กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด
(การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ)
อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน



กันยายน 2560

หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด
(การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ)
อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน
Cleaner Technology Codes of Practice : Ready Meals Industry

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด
(การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ)
อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน
Cleaner Technology Codes of Practice : Ready Meals Industry

คณะผู้จัดทำ

คณะบรรณาธิการ

นางอรอนงค์	ทรงกิตติ	ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน
นายไชยรัตน์	เลี้ยงสุพงศ์	ผู้อำนวยการสำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา 3
นายเสน่ห์	สาครน้อย	วิศวกรชำนาญการพิเศษ
นายพิศิษฐ	รัตนธนาฤกษ์	วิศวกรชำนาญการพิเศษ
นางขจีวรรณ	วรรณรสพากย์	วิศวกรชำนาญการพิเศษ
นายกิตติณัฐ	โสภา	วิศวกรปฏิบัติการ
นางสาวพรวิธู	ฤทธินนท์	วิศวกรปฏิบัติการ
นายบุญสม	จิตโสภณปัญญา	วิศวกรปฏิบัติการ
นางสาวประภัสสร	ฉายจิตต์	นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

ที่ปรึกษา : สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาคารอเนกประสงค์ 1 ชั้น 7 เลขที่ 2 ถนนพระจันทร์ แขวงบรมมหาราชวัง
เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200

รศ.ดร.อุรุยา	วีสกุล	ผู้จัดการโครงการ
ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ	พรเฉลิมพงศ์	ผู้เชี่ยวชาญอุตสาหกรรมรายสาขา
นายสัญชัย	สุจินต์ธรรมสาร	ผู้เชี่ยวชาญอุตสาหกรรมรายสาขา
นายสมศักดิ์	พิชัยบัณฑิตกุล	ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม
นายทินกร	อารมย์สุข	ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน
นายนราศักดิ์	อุทัยดา	วิศวกรประจำโครงการ
นายวิษณุ	ศรีบุรินทร์	วิศวกรประจำโครงการ
นางสาวกาญจนา	จุลวงษ์	เจ้าหน้าที่ประสานงานโครงการ
นายพีระพงศ์	กัทลี	เจ้าหน้าที่ประสานงานโครงการ
นายมนต์ชัย	ทวีวัฒนะกิจบวร	เจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูล
นายสิทธิชัย	สุขเกษม	เจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูล
นายแมนรัตน์	บุญประถัมภ์	เจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูล

จัดทำโดย : กลุ่มเทคโนโลยีการป้องกันมลพิษ สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
เลขที่ 75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 4154 โทรสาร 0 2202 4170 เว็บไซต์ http://www.diw.go.th

พิมพ์ที่ : บริษัท บิ๊กสปริงพริ้นท์ติ้ง จำกัด
2521/24 ถนนลาดพร้าว แขวงคลองเจ้าคุณสิงห์ เขตวังทองหลาง
กรุงเทพมหานคร 10310

ISBN : 978-616-265-170-0

สงวนลิขสิทธิ์โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

สารบัญ

หน้า

คำนำ

กิตติกรรมประกาศ

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ความหมายของอาหารพร้อมรับประทาน 1

1.2 ประเภทของอาหารพร้อมรับประทาน 1

1.2.1 อาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาด้วยความเย็น 1

1.2.2 อาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 3

1.3 กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน 3

1.3.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ 5

1.3.2 กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาด้วยความเย็น 13

1.3.3 กระบวนการผลิตอาหารกระป๋องพร้อมรับประทาน 22

1.3.4 กระบวนการผลิตอาหารแห้งพร้อมรับประทาน 27

บทที่ 2 เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด **35**

2.1 ความหมาย หลักการ และประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด 35

2.1.1 ความหมายของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด 35

2.1.2 หลักการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด 35

2.1.3 ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด 38

2.2 ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้ 38

2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด 39

2.4 ค่าปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของการผลิต (Key Factor) 44

2.5 แนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน 45

2.5.1 อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน 45

2.5.2 การเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการผลิต 45

2.5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน 46

2.5.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า 48

2.5.5 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระบบต่างๆ 52

บทที่ 3 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่เหมาะสม **59**

3.1 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านกระบวนการผลิต 61

3.1.1 การเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง 61

3.1.2 การลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ 63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.3 การลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า 64
3.1.4 การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงาน ในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ 66
3.2 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านการใช้พลังงาน 68
3.2.1 การเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED 68
3.2.2 การติดตั้งสวิทช์แยกการควบคุมไฟแสงสว่าง 69
3.2.3 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน 70
3.2.4 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสม กับภาระการใช้งาน 72
3.2.5 การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ 73
3.2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน 75
3.2.7 การติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มี การทำงาน 77
3.2.8 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ 78
3.2.9 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว ในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส 79
3.2.10 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิต โดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด 81
3.2.11 การปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม 82
3.2.12 การปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ 83
3.2.13 การเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ 85
3.2.14 การนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ 86
3.2.15 การลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ 87
3.3 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านการใช้น้ำ 88
3.3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ 88
3.3.2 การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ 90
3.3.3 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมของแข็งที่ละลาย น้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน 91
3.3.4 การติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง 93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 กรณีศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ 95

4.1 การลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง 96
4.2 การปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook 100
4.3 การติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ 106
4.4 การลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง 110
4.5 การระบายความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ 115
4.6 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม 119
4.7 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน 123
4.8 การติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์ 128
4.9 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน 133
4.10 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน 140
4.11 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ 145
4.12 การลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย 151
4.13 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน 154

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายละเอียดการคำนวณวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ 159
ภาคผนวก ข แนวทางประเมินวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่เหมาะสม 219
ภาคผนวก ค ค่าที่ใช้คำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 229
ภาคผนวก ง คำศัพท์และความหมายที่เกี่ยวข้อง 231
ภาคผนวก จ แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด 237
ภาคผนวก ฉ บรรณานุกรม 239

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 3.1	สรุปวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ	60
ตารางที่ 4.1	สรุปผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษา	95
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	99
ตารางที่ 4.3	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	99
ตารางที่ 4.4	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	100
ตารางที่ 4.5	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook	103
ตารางที่ 4.6	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่องTurbo Cook	103
ตารางที่ 4.7	ผลประโยชน์ที่ได้รับมาตรการปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook	105
ตารางที่ 4.8	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	107
ตารางที่ 4.9	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	108
ตารางที่ 4.10	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	110
ตารางที่ 4.11	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง	112
ตารางที่ 4.12	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง	113
ตารางที่ 4.13	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง	115
ตารางที่ 4.14	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการระบายความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ	117
ตารางที่ 4.15	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการระบายความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.16	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการระบายความชื้นภายในตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ	119
ตารางที่ 4.17	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม	120
ตารางที่ 4.18	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม	120
ตารางที่ 4.19	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม	122
ตารางที่ 4.20	ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าของปั๊มแรงดันสูงก่อนปรับปรุง	124
ตารางที่ 4.21	ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าของปั๊มแรงดันสูงหลังปรับปรุง	126
ตารางที่ 4.22	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน	127
ตารางที่ 4.23	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน	127
ตารางที่ 4.24	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน	128
ตารางที่ 4.25	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์	131
ตารางที่ 4.26	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์	131
ตารางที่ 4.27	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์	133
ตารางที่ 4.28	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน	138
ตารางที่ 4.29	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน	138
ตารางที่ 4.30	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน	140
ตารางที่ 4.31	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน	144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.32	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน	144
ตารางที่ 4.33	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน	145
ตารางที่ 4.34	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ	147
ตารางที่ 4.35	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ	148
ตารางที่ 4.36	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ	151
ตารางที่ 4.37	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย	152
ตารางที่ 4.38	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย	153
ตารางที่ 4.39	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย	154
ตารางที่ 4.40	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน	157
ตารางที่ 4.41	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน	157
ตารางที่ 4.42	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน	158
ตารางที่ ก.1	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง	159
ตารางที่ ก.2	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง	160
ตารางที่ ก.3	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง	162
ตารางที่ ก.4	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ	163
ตารางที่ ก.5	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ	164
ตารางที่ ก.6	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ	165

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ก.7	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า	166
ตารางที่ ก.8	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า	166
ตารางที่ ก.9	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า	166
ตารางที่ ก.10	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	167
ตารางที่ ก.11	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	167
ตารางที่ ก.12	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	168
ตารางที่ ก.13	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED	169
ตารางที่ ก.14	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED	169
ตารางที่ ก.15	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED	170
ตารางที่ ก.16	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมระบบแสงสว่าง	171
ตารางที่ ก.17	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมระบบแสงสว่าง	171
ตารางที่ ก.18	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมระบบแสงสว่าง	172
ตารางที่ ก.19	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน	173
ตารางที่ ก.20	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน	173
ตารางที่ ก.21	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน	175
ตารางที่ ก.22	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน	175
ตารางที่ ก.23	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน	176

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ก.24	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน	177
ตารางที่ ก.25	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	178
ตารางที่ ก.26	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	178
ตารางที่ ก.27	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	180
ตารางที่ ก.28	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน	181
ตารางที่ ก.29	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน	181
ตารางที่ ก.30	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน	182
ตารางที่ ก.31	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน	183
ตารางที่ ก.32	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน	183
ตารางที่ ก.33	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน	184
ตารางที่ ก.34	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ	185
ตารางที่ ก.35	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ	186
ตารางที่ ก.36	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ	187
ตารางที่ ก.37	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส	188
ตารางที่ ก.38	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส	188

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ก.39	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส	189
ตารางที่ ก.40	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด	190
ตารางที่ ก.41	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด	190
ตารางที่ ก.42	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด	191
ตารางที่ ก.43	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม	192
ตารางที่ ก.44	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม	192
ตารางที่ ก.45	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม	195
ตารางที่ ก.46	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ	196
ตารางที่ ก.47	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ	197
ตารางที่ ก.48	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ	200
ตารางที่ ก.49	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ	201
ตารางที่ ก.50	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ	201
ตารางที่ ก.51	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ	203
ตารางที่ ก.52	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่	203
ตารางที่ ก.53	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่	203
ตารางที่ ก.54	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่	205
ตารางที่ ก.55	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดปริมาณน้ำทิ้งที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในหม้อฆ่าเชื้อ	205

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ก.56	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์	206
ตารางที่ ก.57	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์	208
ตารางที่ ก.58	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์	208
ตารางที่ ก.59	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์	209
ตารางที่ ก.60	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์	210
ตารางที่ ก.61	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่	211
ตารางที่ ก.62	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่	211
ตารางที่ ก.63	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่	213
ตารางที่ ก.64	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	214
ตารางที่ ก.65	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	214
ตารางที่ ก.66	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	217
ตารางที่ ก.67	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง	217
ตารางที่ ก.68	คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง	217
ตารางที่ ก.69	ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง	218
ตารางที่ ข.1	ข้อมูลสิ่งที่ป้อนเข้า	220
ตารางที่ ข.2	ข้อมูลราคาหรือค่าใช้จ่าย	221
ตารางที่ ข.3	ข้อมูลเฉลี่ยของการผลิตและวัตถุดิบ	222
ตารางที่ ข.4	ผลกระทบเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์	223

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ข.5	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	224
ตารางที่ ข.6	การจัดลำดับความสำคัญจากการประเมินเบื้องต้น	225
ตารางที่ ข.7	เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านปริมาณ (Quantity, Q)	226
ตารางที่ ข.8	เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านผลกระทบ (Effect, E)	226
ตารางที่ ข.9	เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการกระจายตัว (Distribution, D)	226
ตารางที่ ข.10	การคัดทางเลือก CT ที่สามารถปฏิบัติได้	228
ตารางที่ ข.11	การจัดลำดับทางเลือก CT	228
ตารางที่ ค.1	ค่าที่ใช้คำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	229
ตารางที่ จ.1	แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด	237
ตารางที่ จ.2	แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านกองทุน/โครงการที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุน	238

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 1.1	ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง	2
รูปที่ 1.2	กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน	4
รูปที่ 1.3	กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ	5
รูปที่ 1.4	เครื่องล้างผัก – เนื้อสัตว์แบบอัตโนมัติ	8
รูปที่ 1.5	เครื่องผสมเนื้อ	9
รูปที่ 1.6	เครื่องทอดอินฟราเรดแบบต่อเนื่อง	10
รูปที่ 1.7	เครื่องทอดด้วยระบบน้ำหนุนน้ำมัน	10
รูปที่ 1.8	หม้อต้มและกวนด้วยไอน้ำ	11
รูปที่ 1.9	ซาลาเปาที่ผ่านการแปรรูปในรูปแบบต่างๆ	12
รูปที่ 1.10	เครื่องนึ่งด้วยไอน้ำแบบต่อเนื่อง	12
รูปที่ 1.11	เครื่องอบอาหารด้วยไอน้ำยิ่งยวด รุ่นสายพานลำเลียงต่อเนื่อง	13
รูปที่ 1.12	กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาด้วยความเย็น	14
รูปที่ 1.13	เครื่องขึ้นแบบถาดและปิดผนึกถาดแบบปรับบรรยากาศภายใน	15
รูปที่ 1.14	กราฟแสดงอัตราการแช่เยือกแข็ง	16
รูปที่ 1.15	เครื่องแช่แข็งแบบแผ่น	17
รูปที่ 1.16	เครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	18
รูปที่ 1.17	เครื่องแช่แข็งแบบอุโมงค์	18
รูปที่ 1.18	เครื่องแช่แข็งแบบสายพานเกลียว	19
รูปที่ 1.19	กระบวนการการทำงานของเครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก	19
รูปที่ 1.20	เครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก	20
รูปที่ 1.21	ห้องแช่แข็ง	21
รูปที่ 1.22	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องพร้อมรับประทาน	23
รูปที่ 1.23	การใส่ลงภาชนะบรรจุ	24
รูปที่ 1.24	การไล่อากาศด้วยน้ำ	24
รูปที่ 1.25	กระป๋องที่ผ่านการปิดผนึกแล้ว	25
รูปที่ 1.26	หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)	25
รูปที่ 1.27	ตัวอย่างของภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกสนิท	26
รูปที่ 1.28	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแห้งพร้อมรับประทาน	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 1.29	ตู้อบแห้ง	28
รูปที่ 1.30	แสดงส่วนประกอบของตู้อบแห้ง	29
รูปที่ 1.31	เครื่องทำแห้งแบบสายพาน	29
รูปที่ 1.32	แสดงองค์ประกอบภายในของเครื่องทำแห้งแบบสายพาน	30
รูปที่ 1.33	แบบจำลองเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่มีขั้นตอนการแช่แข็งและการทำแห้งอยู่ในชุดเดียวกัน	30
รูปที่ 1.34	กราฟขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแช่เยือกแข็ง	31
รูปที่ 2.1	หลักการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด	35
รูปที่ 2.2	วิธีการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด	36
รูปที่ 2.3	เงื่อนไขในการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี	37
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนการตรวจประเมินเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด	43
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวแบบใช้ไอน้ำ	62
รูปที่ 3.2	เครื่องแช่แข็งก่อนปรับปรุง	63
รูปที่ 3.3	เครื่องแช่แข็งหลังปรับปรุง	64
รูปที่ 3.4	ลักษณะถาดรองรับสินค้า	65
รูปที่ 3.5	ลักษณะการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง	66
รูปที่ 3.6	ลักษณะการขนถ่ายผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง	67
รูปที่ 3.7	แสดงการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ที่เครื่องอัดอากาศ	71
รูปที่ 3.8	กระบวนการอบด้วยเครื่องปิ้งแบบสายพาน	75
รูปที่ 3.9	อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปิ้ง	76
รูปที่ 3.10	ลักษณะปล่องลมระบายอากาศ	77
รูปที่ 3.11	ช่องปล่องลมระบายอากาศ	77
รูปที่ 3.12	เตาแก๊สที่โรงงานใช้ในปัจจุบัน	80
รูปที่ 3.13	ตัวอย่างหัวเผาแบบอินฟราเรด	81
รูปที่ 3.14	ไม้ฟืนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อน้ำ	85
รูปที่ 3.15	แผ่นกั้นภายในหม้อฆ่าเชื้อ	87
รูปที่ 3.16	ชุดหัวสเปรย์น้ำเย็น	89
รูปที่ 3.17	ระบบการระบายน้ำแบบอัตโนมัติ	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.1	ลักษณะการทำงานของปั๊มน้ำเย็น	96
รูปที่ 4.2	ปั๊มน้ำเย็นของโรงงาน ขนาด 30 กิโลวัตต์	97
รูปที่ 4.3	การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็น	97
รูปที่ 4.4	มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor)	98
รูปที่ 4.5	ข้อมูลด้านเทคนิคของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	98
รูปที่ 4.6	ลักษณะตู้ Steamer Box	101
รูปที่ 4.7	การจัดวางข้าวเหนียวในรถเข็นก่อนนำเข้าตู้ Steamer Box	101
รูปที่ 4.8	ข้าวเหนียวที่ออกมาจาก Steamer Box และการพลิกข้าวเหนียว	101
รูปที่ 4.9	ลักษณะเครื่อง Turbo Cook	102
รูปที่ 4.10	ข้าวเหนียวสุกหลังจากหุงด้วยเครื่อง Turbo Cook	102
รูปที่ 4.11	แผนผังของการขนย้ายวัตถุดิบในแต่ละส่วน	106
รูปที่ 4.12	แผนผังการติดตั้งท่อลำเลียงวัตถุดิบและปั๊มจากส่วนต้มน้ำเชื่อมส่งมายังส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์	107
รูปที่ 4.13	เครื่องปิดผนึกถุง	110
รูปที่ 4.14	ผลิตภัณฑ์หลังจากการปิดผนึกถุง	110
รูปที่ 4.15	การจัดวางถุงผลิตภัณฑ์ในเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศโดยไม่มีอุปกรณ์กดทับ	111
รูปที่ 4.16	อุปกรณ์กดทับปากถุงที่เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ	111
รูปที่ 4.17	ถุงผลิตภัณฑ์หลังผ่านการปิดผนึกถุง	112
รูปที่ 4.18	ตู้อบลมร้อนของโรงงาน	115
รูปที่ 4.19	บริเวณภายในของตู้อบลมร้อน	116
รูปที่ 4.20	บริเวณด้านบนของตู้อบลมร้อนก่อนปรับปรุง	116
รูปที่ 4.21	ชุดพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งด้านบนของตู้อบลมร้อนหลังปรับปรุง	117
รูปที่ 4.22	ปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump)	123
รูปที่ 4.23	แรงดันของน้ำก่อนปรับปรุงตั้งค่าไว้ที่ 20 บาร์	124
รูปที่ 4.24	กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	124
รูปที่ 4.25	แรงดันของน้ำหลังปรับปรุงและอินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งแล้ว	125
รูปที่ 4.26	การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำแรงดันสูง	125
รูปที่ 4.27	กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าหลังปรับปรุง	126

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.28	การไล่อากาศออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยไอน้ำก่อนการปิดผนึกฝา	129
รูปที่ 4.29	ปั๊มสุญญากาศ	130
รูปที่ 4.30	การติดตั้งปั๊มสุญญากาศที่เครื่องปิดผนึกฝาผลิตภัณฑ์	130
รูปที่ 4.31	แผนผังการผลิตไอน้ำก่อนปรับปรุง	134
รูปที่ 4.32	การตั้งเวลาในการโบล์วดาวน์	134
รูปที่ 4.33	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง	135
รูปที่ 4.34	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำอาร์โอสำหรับป้อนเข้าหม้อน้ำขนาด 2 ตันต่อชั่วโมง	136
รูปที่ 4.35	แผนผังการผลิตไอน้ำหลังปรับปรุง	136
รูปที่ 4.36	ระบบอาร์โอ ถังพักน้ำ และระบบท่อน้ำอาร์โอ	136
รูปที่ 4.37	การตั้งเวลาในการโบล์วดาวน์หลังปรับปรุง	137
รูปที่ 4.38	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำโบล์วดาวน์หลังการปรับปรุง	137
รูปที่ 4.39	เครื่องอัดอากาศขนาด 30 กิโลวัตต์	141
รูปที่ 4.40	รูปหน้าจอแสดงสถานะการทำงาน	141
รูปที่ 4.41	ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	142
รูปที่ 4.42	การติดตั้งอินเวอร์เตอร์	143
รูปที่ 4.43	ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	143
รูปที่ 4.44	การต้มวัตถุดิบประเภทเส้นแป้งก่อนปรับปรุง	146
รูปที่ 4.45	แบบชุดหม้อต้มและชุดลดอุณหภูมิเส้นแป้ง	147
รูปที่ 4.46	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีที่แปรผันกับระยะเวลาในการเติมอากาศ	152
รูปที่ 4.47	ปั๊มน้ำเย็นขนาด 30 กิโลวัตต์	155
รูปที่ 4.48	ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	155
รูปที่ 4.49	การใช้พลังไฟฟ้าที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์	155
รูปที่ 4.50	การติดตั้งอินเวอร์เตอร์	156
รูปที่ 4.51	ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	156
รูปที่ 4.52	การใช้กำลังไฟฟ้าขณะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ด้วย PID Control	156
รูปที่ ข.1	แผนผังรวมกระบวนการผลิต	219
รูปที่ ข.2	ผังก้างปลาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาทั้งหมด	227
รูปที่ ข.3	ตัวอย่างผังก้างปลาที่ใช้วิเคราะห์	227

บทที่ 1
บทนำ

อาหารพร้อมรับประทาน (Ready Meals) จัดเป็นอาหารที่สามารถตอบสนองความต้องการของคนในชุมชนเมืองปัจจุบันที่มีวิถีชีวิตเปลี่ยนไป เนื่องจากพฤติกรรมของคนรุ่นใหม่มีการประกอบอาหารรับประทานเองน้อยลง เนื่องจากครอบครัวมีขนาดเล็กลงมีการออกไปใช้บริการร้านอาหารนอกบ้านมากขึ้น อีกทั้งการประกอบอาหารไทยทั้งอาหารคาว อาหารหวาน และอาหารว่าง มีความยุ่งยากในการคัดสรรเครื่องปรุง การจัดเตรียมวัตถุดิบ และวิธีการปรุง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงาน เวลา และความประณีต ทำให้อาหารพร้อมรับประทาน ได้รับความนิยมมากขึ้น เป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ต้องการรับประทานอาหารที่มีรสชาติดี โดยไม่ต้องเสียเวลาและยุ่งยากในการปรุงอาหาร ซึ่งเพียงแค่นำอาหารพร้อมรับประทานไปอุ่น อบ นึ่ง หรือเข้าเตาไมโครเวฟก็สามารถรับประทานได้ทันที ทำให้อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทานกลายเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีศักยภาพ และมีแนวโน้มที่ดีในการเติบโตทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดส่งออก อีกทั้งยังเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศอย่างมาก โดยในปี พ.ศ. 2557 - 2559 ที่ผ่านมาภาพรวมการส่งออกอาหารพร้อมรับประทานมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 12,500 - 13,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อปี

1.1 ความหมายของอาหารพร้อมรับประทาน

พิมพ์เพ็ญและนิธิยา[1] (2560) ผู้เชี่ยวชาญด้านการแปรรูปอาหาร ได้ให้ความหมายของคำว่า “อาหารพร้อมรับประทาน” ว่าคืออาหารที่ผ่านการปรุงสุกพร้อมรับประทาน ด้วยกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ แล้วนำมาผ่านกระบวนการถนอมอาหารที่ทำให้อายุการเก็บรักษาของอาหารนานขึ้น เพื่อทำลายหรือควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ของผู้บริโภค (Pathogen) โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทที่สามารถรักษาคุณภาพอาหารที่บรรจุ ให้มีอายุ การเก็บรักษาตามที่ต้องการเมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่ระบุไว้ ซึ่งสามารถนำมารับประทานได้ทันทีหลังจากการละลายหรืออุ่นให้ร้อนเหมือนอาหารที่ปรุงสุกใหม่

1.2 ประเภทของอาหารพร้อมรับประทาน

อาหารพร้อมรับประทานสามารถแบ่งประเภทตามเทคโนโลยีการเก็บรักษาได้ 2 ประเภท ดังนี้

1.2.1 อาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาด้วยความเย็น

1. อาหารพร้อมรับประทานแช่แข็ง (Frozen Ready Meals) หมายถึง อาหารปรุงสุกแล้วที่เก็บรักษาด้วยการแช่แข็ง ซึ่งเป็นกรรมวิธีการแปรรูปเพื่อถนอมอาหารด้วยการลดอุณหภูมิอาหาร

[1] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560, www.foodnetworksolution.com

ให้ต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ถือเป็นกรรมวิธีการถนอมอาหารที่คงความสด และรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการถนอมอาหารด้วยวิธีอื่น สามารถเก็บรักษาได้ 6 - 18 เดือน โดยปกติแล้วการเก็บรักษาด้วยวิธีนี้จะใช้กับอาหารพร้อมรับประทานที่มีส่วนประกอบเป็นวัตถุดิบจำพวกเนื้อสัตว์ หรืออาหารที่ต้องส่งออกต่างประเทศ โดยวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์จะผ่านการเตรียมเบื้องต้น (Raw Material Preparation) เช่น การคัดขนาด การล้าง การแล่เป็นชิ้น การตัดแต่ง และการแกะเปลือก เป็นต้น ก่อนนำไปผ่านการปรุงสุก (Cooking) ได้แก่ การนึ่ง (Steaming) การทอด (Frying) หรือต้มสุก เป็นต้น แล้วจึงบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ และเก็บรักษาตามลำดับ ผู้บริโภคสามารถแกะบรรจุภัณฑ์แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปอุ่นเพื่อรับประทานได้ทันที ใช้เวลาในการอุ่นประมาณ 4 - 7 นาที ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งมีหลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง[2]

2. อาหารพร้อมรับประทานแช่เย็น (Chilled Ready Meals) หมายถึง อาหารปรุงสุกแล้วที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing Point) ของอาหาร วัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเสื่อมสภาพของอาหาร ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยจะเก็บรักษาได้ไม่เกิน 7 - 14 วัน เหมาะกับอาหารพร้อมรับประทานที่ส่งขายภายในประเทศ ผู้บริโภคสามารถแกะบรรจุภัณฑ์แล้วนำผลิตภัณฑ์ไปอุ่นเพื่อรับประทานได้ทันที ใช้เวลาอุ่นเพื่อรับประทาน 1-2 นาที โดยวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์จะผ่านการเตรียมเบื้องต้น เช่น การคัดขนาด การล้าง การแล่เป็นชิ้น และการตัดแต่ง เป็นต้น ก่อนนำไปผ่านการปรุงสุก ได้แก่ การนึ่ง การทอด หรือต้มสุก เป็นต้น แล้วจึงบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ และทำการเก็บรักษา ตามลำดับ โดยจะเก็บไว้ที่ช่วงอุณหภูมิ 4 - 7 องศาเซลเซียส

[2] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2989/การแช่เยือกแข็ง-freezing

1.2.2 อาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

อาหารพร้อมรับประทานประเภทนี้ส่วนใหญ่จะถูกทำให้ปลอดเชื้อในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกสนิท (In-Container Sterilization) ได้แก่

1. อาหารกระป๋องพร้อมรับประทาน (Ready to Eat Canned Food) เป็นอาหารที่ผ่านการถนอมอาหารด้วยการใช้ความร้อน และทำการบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกสนิท (Hermectically Sealed Container) เช่น กระป๋อง (Can) ถุงทนร้อนสูง (Retort Pouch) หรือขวดแก้ว ก่อนจะนำไปฆ่าเชื้อในระดับปลอดเชื้อเชิงการค้า (Commercial Sterilization) โดยมักทำการฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ (Retort) ชนิด Water Spray สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานประมาณ 6 เดือน ถึง 3 ปี โดยไม่เน่าเสีย

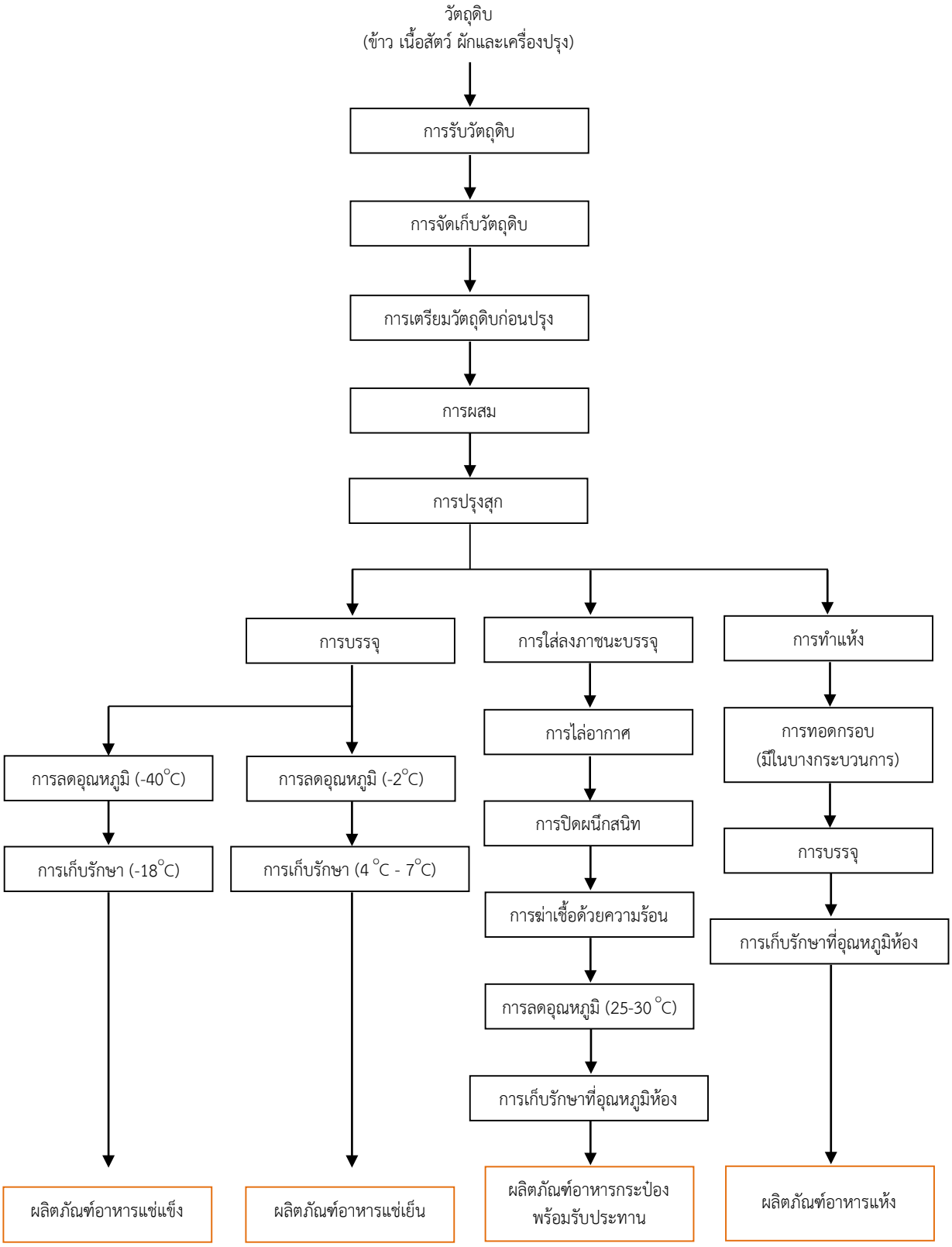
2. อาหารแห้ง (Dried Food หรืออาจเรียกว่า Dehydrated Food) เป็นอาหารที่ผ่านการอบแห้งหรือการตากแห้ง (Drying or Dehydration) เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร เป็นการถนอมอาหารที่สำคัญวิธีหนึ่ง เพราะการลดปริมาณน้ำเป็นการหยุดการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme) และชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของอาหาร (Food Spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) ซึ่งสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คือ

- อาหารแห้งเป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำ (Low Water Activity Food) มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้น้อยกว่า 0.6 และมีความชื้น (Moisture Content) ต่ำกว่าร้อยละ15 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมสภาพ ทั้งเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย หากเป็นอาหารที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Food, IMF) จะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ระหว่าง 0.6 - 0.85 และมีความชื้นร้อยละ 15-55
- สามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เสื่อมสภาพ ไม่ต้องแช่เย็น แต่ทั้งนี้ควรเก็บในที่แห้งและเย็นเพื่อรักษาคุณภาพและต้องเก็บรักษาไว้ในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม และควรควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ให้ต่ำเพื่อป้องกันการดูดน้ำกลับ
- อาหารแห้งมีน้ำหนักเบา และมีปริมาตรลดลง เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหารสด การกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกจากอาหาร ทำให้ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ลดลงด้วย

1.3 กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน[3]

กระบวนการผลิตของอาหารพร้อมรับประทานที่กล่าวมาในข้างต้นสามารถแสดงดังในรูปที่ 1.2 โดยแบ่งกระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานแต่ละประเภทได้ ดังนี้

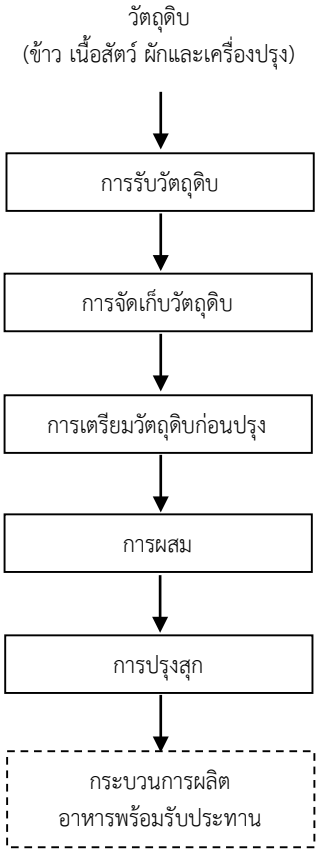
[3] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560, www.foodnetworksolution.com



รูปที่ 1.2 กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน

1.3.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปอาหาร (Food Processing) เป็นกระบวนการสำคัญเพื่อเตรียมวัตถุดิบให้พร้อม ซึ่งประกอบด้วยหลายขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

1. การรับวัตถุดิบ

โดยทั่วไปมาตรฐานในการตรวจรับของวัตถุดิบให้มีคุณภาพถูกสุขลักษณะ และป้องกันการปนเปื้อนสู่ผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถปฏิบัติได้ ดังนี้

- วัตถุดิบหลัก ประกอบด้วย ข้าว เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ เป็นต้น เมื่อมาถึงโรงงานมีขั้นตอนปฏิบัติ ดังนี้

1) พนักงานตรงจุดรับวัตถุดิบเตรียมน้ำแข็ง ตะกร้า เครื่องชั่ง และน้ำสำหรับล้างวัตถุดิบ

2) เมื่อรถขนส่งวัตถุดิบเข้าจอด เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ ทำการตรวจวัดอุณหภูมิของวัตถุดิบ โดยทำการสุ่มตรวจบนรถขนส่งบริเวณหน้าตู้ กลางตู้ และหลังตู้ และบันทึกผลการตรวจรับ

3) เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ตามเกณฑ์การสุ่ม ดังนี้

- วัตถุดิบมากกว่า 1,000 กิโลกรัม จะสุ่มตรวจ 5 กิโลกรัม
- วัตถุดิบน้อยกว่า 1,000 กิโลกรัม จะสุ่มตรวจ 3 กิโลกรัม

4) เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ เพื่อจะได้ส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และเชื้อจุลินทรีย์ ณ ห้องปฏิบัติการภายนอกที่น่าเชื่อถือ ความถี่ 6 เดือนต่อครั้งต่อผู้ขาย

5) กรณีผลการตรวจรับผ่านเกณฑ์ ดำเนินการแจ้งหัวหน้าฝ่ายผลิตเพื่อรับเข้า กรณีไม่ผ่านเกณฑ์ต้องดำเนินการแก้ไขดังนี้

- หัวข้ออุณหภูมิ ดำเนินการแก้ไขโดยการเพิ่มน้ำแข็ง และตรวจสอบอุณหภูมิซ้ำ
- คุณภาพลักษณะทางกายภาพไม่ผ่าน ดำเนินการแก้ไขโดยแจ้งผู้จัดการโรงงานเพื่อหาข้อสรุป วิธีการแก้ไขและป้องกันต่อไป

- วัตถุดิบรอง ได้แก่ น้ำแข็ง สารเคมี สารปรุงแต่ง เป็นต้น เมื่อมาถึงโรงงานมีขั้นตอนปฏิบัติ ดังนี้

1) หัวหน้าฝ่ายสำนักงานหรือเจ้าหน้าที่สโตร์ ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพเชิงปริมาณของวัตถุดิบ เฉพาะสารเคมี และสารปรุงแต่ง โดยพิจารณาจากการส่งมอบสินค้าที่ตรงตามการจัดซื้อ จัดจ้าง ปริมาณของสินค้าที่ถูกต้องและบันทึกผลการตรวจรับ

2) เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ ดำเนินการตรวจสอบคุณลักษณะด้านคุณภาพของวัตถุดิบรองทุกประเภทโดยพิจารณาจากเอกสารหลักฐาน เช่น Certificate of Analysis (COA) (ถ้ามี) ลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ความขุ่น สิ่งปลอมปน สภาพและการชำรุด วันหมดอายุ (ถ้ามี) พร้อมบันทึกผลการตรวจรับ

- บรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ถุงพลาสติก และกล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ เมื่อมาถึงโรงงานมีขั้นตอนปฏิบัติ ดังนี้

1) เจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ดำเนินการตรวจสอบโดยพิจารณาเอกสาร เช่น COA Marking เป็นต้น พร้อมลงบันทึกในแบบฟอร์มการตรวจสอบบรรจุภัณฑ์

2) เจ้าหน้าที่สโตร์ ดำเนินการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และเช็คความสะอาดของบรรจุภัณฑ์ กรณีเจ้าหน้าที่สโตร์ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพไม่ผ่านให้คัดแยกบรรจุภัณฑ์ ณ จุดคัดแยกเพื่อนำส่งคืน เฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด และบันทึกลงในผลการตรวจรับ

2. การจัดเก็บวัตถุดิบ

การเก็บรักษาคุณภาพวัตถุดิบก่อนแปรรูปทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบให้ต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ไปจนถึง -18 องศาเซลเซียส (วัตถุประสงค์ของการลดอุณหภูมิเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพด้วยจุลินทรีย์ (Microbial Spoilage) เช่น Proteus spp. และป้องกันการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย ต่อสุขภาพของผู้บริโภคและรักษาความสดของวัตถุดิบ)

โดยแบ่งเป็นประเภทของวัตถุดิบดังนี้

- วัตถุดิบเป็นอาหารทะเล ทำการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งผสมเกลือหรือการเก็บรักษาไว้ในน้ำทะเลผสมน้ำแข็งที่เย็นจัด ซึ่งขั้นตอนการลดอุณหภูมินี้ส่วนใหญ่จะถูกทำมาก่อนแล้วจากเรือประมงหรือโรงงานแปรรูป ก่อนเก็บรักษาในห้องเย็น (Cold Storage)
- วัตถุดิบประเภทเนื้อสัตว์อื่นๆ จะทำการแช่แข็งด้วยเครื่องแช่แข็งก่อนเก็บรักษาในห้องเย็น
- ผักและผลไม้ จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing Point) และอุณหภูมิการแช่เย็นผักและผลไม้ต้องไม่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling Injury) ซึ่งเป็นอาการผิดปกติที่ทำให้เกิดความเสียหายมีหลายลักษณะ เช่น เกิดรอยแผล ฉ่ำน้ำ เปลือกหรือเนื้อเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ

3. การเตรียมวัตถุดิบก่อนปรุง

- การละลายอาหารแช่แข็ง วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง สามารถแบ่งได้ 2 หลักการขึ้นอยู่กับชนิดของพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในการละลาย คือ การใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหารแช่แข็ง และการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในอาหารแช่แข็ง

1) การใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหารแช่แข็ง โดยให้ความร้อนผ่านตัวกลางไปสู่ผิวของอาหารแช่แข็งโดยให้ผิวอาหารแช่แข็งสัมผัสกับผิวของตัวกลาง และแหล่งให้ความร้อน เช่น การให้ความร้อนผ่านทางแผ่นโลหะร้อน อากาศร้อน น้ำ สารละลายหรือไอน้ำ ส่วนการใช้ความดันสูงเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

2) การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในอาหารแช่แข็ง ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในอาหาร โดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอาหารเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ได้แก่ สมบัติไดอิเล็กตริกในการละลายด้วยไมโครเวฟ และคุณสมบัติการนำไฟฟ้าในการละลายด้วยวิธีการใช้ไฟฟ้าโดยตรง (Ohmic) รวมทั้งการใช้อุลตร้าโซนิกในการละลายด้วย

- การตัดแต่งขั้นต้น ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้สำหรับผลิตอาหารพร้อมรับประทาน เช่น
  - ปลา จะถูกส่งไปทำการตัดหัว ขอดเกล็ด ควักไส้ ดึงก้าง และอาจมีการลอกหนัง แล่เป็นชิ้น
  - กุ้ง จะถูกถอดหัว แกะเปลือก ผ่าหลัง ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
  - ไก่ จะถูกชำแหละออกเป็นส่วนๆ เช่น อกไก่ น่องไก่ ปีกไก่ เนื้อไก่ เป็นต้น และตัดแต่งตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

- การล้าง เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนและลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในวัตถุดิบ การล้างทำความสะอาดวัตถุดิบอาจจะใช้น้ำเย็นที่สะอาดผสมคลอรีนที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 3 - 5 และอาจเติมเกลือเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำ เครื่องล้างวัตถุดิบอาจทำโดยการใช้วิธีจุ่มล้างในภาชนะหรือล้างผ่านสายพานที่มีน้ำฉีดล้างบนสายพานนั้นหรือทั้งสองวิธีร่วมกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.4 การล้างในขั้นตอนแรกน้ำที่ผ่านการล้างจะมีการเจือปนด้วยเลือดและสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่ติดมากับวัตถุดิบในปริมาณสูง ดังนั้นจึงต้องมีการล้างซ้ำหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งปริมาณจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้



รูปที่ 1.4 เครื่องล้างผัก – เนื้อสัตว์แบบอัตโนมัติ[4]

- การตัดแต่งขั้นสุดท้าย วัตถุดิบที่ผ่านขั้นตอนการตัดแต่งขั้นต้น ซึ่งมีการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกไปแล้ว จะถูกตัดแต่งและแล่ให้มีลักษณะตามความต้องการที่กำหนดไว้ จากนั้นวัตถุดิบ จะถูกล้างทำความสะอาดอีกครั้งเพื่อกำจัดเศษเนื้อจากการตัดแต่งออกให้หมด ทั้งนี้ระหว่างการตัดแต่งอาจมีการใช้น้ำแข็งรักษาอุณหภูมิเพื่อคงคุณภาพความสดและลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

4. การผสม

เป็นการนำวัตถุดิบตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกันโดยใช้แรงกล ซึ่งทำให้วัตถุดิบที่ต้องการผสมเกิดการเคลื่อนตัวและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ หรือเป็นการผสมตามสูตรที่กำหนดให้มีรสชาติและกลิ่นตามที่ต้องการ การผสมเป็นขั้นตอนสำคัญในการแปรรูปอาหารซึ่งจะพบในกรรมวิธีการผลิตอาหารแทบทุกชนิด ซึ่งตัวอย่างเครื่องที่ใช้ในการผสมดังแสดงในรูปที่ 1.5

[4] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด,http://www.betterpack.co.th/th/pre-processing/เครื่องล้างผัก – เนื้อสัตว์ แบบอัตโนมัติ, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560



รูปที่ 1.5 เครื่องผสมเนื้อ[5]

5. การปรุงสุก

เป็นการใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมสภาพและจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคแต่ไม่ได้ทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยที่อาหารนั้นจะสามารถเก็บรักษาได้นาน ปลอดภัยต่อการบริโภค ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาและขนย้ายปกติ ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในในการปรุงสุก เช่น

- การทอด (Frying) คือ การทำอาหารให้สุกโดยใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน โดยปกติใช้อุณหภูมิในการทอดประมาณ 170 - 210 องศาเซลเซียส ซึ่งประเภทของการทอดแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การทอดโดยใช้น้ำมันน้อย (Pan Frying) เป็นการทอดโดยการใช้น้ำมันหรือไขมันปริมาณเล็กน้อยเพียงเพื่อไม่ให้วัตถุดิบติดกับภาชนะทอด ลักษณะกระทะที่ใช้จะเป็นกระทะก้นตื้น (Skillet) ระหว่างการทอดอาจมีการกลับด้านวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบสุกทั่วถึง เช่น การทอดเนื้อสัตว์ ไข่ดาว เบคอน เป็นต้น เครื่องจักรที่ใช้สำหรับการทอดประเภทนี้จะเป็นแบบที่มีใบพัดที่พื้นอุปกรณ์ เพื่อป้องกันวัตถุดิบติดอุปกรณ์และเพื่อทำหน้าที่กลับด้านวัตถุดิบ หรือการใช้พนักงานในการทอดโดยควบคุมอุณหภูมิและเวลา สำหรับการทอดโดยใช้น้ำมันมากหรือน้ำมันท่วม (Deep Fat Frying) เป็นการทอดที่ใช้น้ำมันปริมาณมาก โดยวัตถุดิบจะจมอยู่ในน้ำมัน เกิดลักษณะผิวหน้าที่แห้งกรอบเป็นเปลือกสีน้ำตาล เครื่องจักรที่ใช้กับการทอดแบบต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 1.6 ใช้ทอดวัตถุดิบที่มีปริมาณมากและลำเลียงโดยใช้สายพานจุ่มลงในน้ำมัน หรือเครื่องจักรที่ใช้กับการทอดแบบกะ (Batch Process) ดังแสดงในรูปที่ 1.7 ใช้พนักงานในการทอดโดยควบคุมอุณหภูมิและเวลา

[5] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด, http://www.betterpack.co.th/th/เครื่องจักรในระบบจัดเตรียมวัตถุดิบ/เครื่องผสมเนื้อ, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560



รูปที่ 1.6 เครื่องทอดอินฟราเรดแบบต่อเนื่อง[6]



รูปที่ 1.7 เครื่องทอดด้วยระบบน้ำหนุนน้ำมัน[7]

- การผัด (Stir-Frying) เป็นวิธีการทำให้วัตถุดิบให้สุก โดยนำวัตถุดิบใส่ลงในกระทะที่มีน้ำมันหรือน้ำเล็กน้อย ตั้งไฟโดยใช้ไฟแรง และเวลารวดเร็ว แล้วพลิกกลับไปมาจนสุก นิยมใช้ปรุงอาหารประเภท ผัก เช่น ผักบุ้ง ผักกระเฉด ผักรวม หรือ ข้าว ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ อาจใส่ กระเทียม เนื้อสัตว์ อาหารทะเล ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรส เช่น ซีอิ๊ว น้ำตาล น้ำปลา เครื่องจักรที่ใช้กับการผัดจะเป็นแบบหม้อมีฝาปิดภายในมีใบพัดกวนเพื่อกันการติดอุปกรณ์และกลับวัตถุดิบ

- การต้ม (Cooking) เป็นวิธีการทำให้อาหารให้สุกโดยนำวัตถุดิบใส่ลงในหม้อหรือเครื่องฆ่าเชื้อ นิยมใช้ปรุงกับอาหารประเภทที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เช่น แกงจืด แกงเขียวหวาน แกงส้ม เป็นต้น หรือการหุงกับข้าว เครื่องจักรที่ใช้กับการต้มจะเป็นแบบหม้อภายในมีใบพัดกวนเพื่อกันการติดอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.8

[6] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด, http://www.betterpack.co.th/th/thermal-processing/เครื่องทอดอินฟราเรดแบบต่อเนื่อง, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560

[7] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด, http://www.betterpack.co.th/th/thermal-processing/เครื่องทอด, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560



รูปที่ 1.8 หม้อต้มและกวนด้วยไอน้ำ[8]

- การตุ๋น (Stewing) เป็นวิธีการปรุงสุกอาหารโดยการต้มและเคี่ยวในภาชนะปิด ใช้ไฟอ่อน เป็นเวลานาน (Low Temperature Long Time) เพื่อให้อาหารสุกอย่างช้าๆ การตุ๋นส่งผลให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น ช่วยให้เนื้อสัตว์เปื่อยนุ่มเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ทำให้แรงยึดตัวระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยลง เนื้อสัตว์ที่หยาบกระด้างเมื่อผ่านการตุ๋นแล้วจะทำให้เนื้อนุ่มน่ารับประทาน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อวัว ที่มีส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น เอ็นพังผืด ความร้อนจากการต้มและเคี่ยวจะเปลี่ยนสารคอลลาเจนให้เป็นเจลาตินทำให้เนื้อนุ่มขึ้น หรือช่วยในการสกัดสารอาหาร กลิ่น และรสชาติของอาหารจากเนื้อสัตว์ ผักสมุนไพร เครื่องยาจีน น้ำที่ได้จากการตุ๋นสามารถใช้เสิร์ฟกับอาหารในลักษณะน้ำราด (Gravy) ได้ เครื่องจักรที่ใช้กับการตุ๋นจะมีลักษณะคล้ายกับการต้ม คือ เป็นหม้อมีฝาปิดสนิท ภายในมีใบพัดกวนเพื่อป้องกันการวัตถุดิบติดกับอุปกรณ์

- การนึ่ง (Steaming) เป็นวิธีการทำอาหารให้สุกด้วยการใช้ความร้อนจากไอน้ำร้อนที่ได้จากการต้มน้ำเดือด การนึ่งโดยทั่วไปจะทำที่ความดันบรรยากาศปกติ ที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 100 - 105 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนจากไอน้ำจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารด้วยการพาความร้อนและเข้าสู่ภายในชิ้นอาหารด้วยการนำความร้อน ความร้อนจากการนึ่งทำให้แป้ง (Starch) เกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) และโปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ (Protein Denaturation) จึงทำให้อาหารสุก อาหารที่ผ่านการนึ่งให้สุกจะชุ่มชื้น ผิวนุ่ม ไม่เกิดชั้นผิวที่แห้งกรอบ (Crust) เหมือนอาหารที่ผ่านการอบ (Baking) ซึ่งใช้ความร้อนแห้ง (Dry Heat) หรือการทอด (Frying) ซึ่งใช้น้ำมันเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1.9 เครื่องจักรที่ใช้กับการนึ่งจะเป็นหม้อมีฝาปิดสนิทแบบกะ (Batch Steaming) หรือเครื่องนึ่งด้วยไอน้ำแบบต่อเนื่อง (Continuous Steaming) ดังแสดงในรูปที่ 1.10

[8] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด, http://www.betterpack.co.th/th/thermal-processing/หม้อต้มและกวนด้วยไอน้ำ, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560



รูปที่ 1.9 ซาลาเปาที่ผ่านการแปรรูปในรูปแบบต่างๆ[9]



รูปที่ 1.10 เครื่องนึ่งด้วยไอน้ำแบบต่อเนื่อง[10]

- การอบ (Baking) คือ การทำอาหารให้สุกโดยใช้ความร้อนแห้ง (Dry Heating) นิยมใช้กับการอบกับอาหาร เช่น เนื้อหมู ไก่ หรือผัก เครื่องที่ใช้ คือ เครื่องอบอาหารด้วยไอน้ำยิ่งยวด ดังแสดงในรูปที่ 1.11 หากเป็นการอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Bakery) เครื่องจักรที่ใช้กับการอบจะเป็นเตาอบ (Oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิและเวลา

[9] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1612/steaming-การนึ่ง เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560

[10] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด, http://www.betterpack.co.th/th/thermal-processing/เครื่องนึ่งด้วยไอน้ำแบบต่อเนื่อง, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560



รูปที่ 1.11 เครื่องอบอาหารด้วยไอน้ำยิ่งยวด รุ่นสายพานลำเลียงต่อเนื่อง[11]

- การย่าง (Grilling) หรือการปิ้ง เป็นวิธีการทำให้อาหารสุกโดยการให้อาหารสัมผัสกับความร้อนจากเปลวไฟโดยตรง ใช้กับเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อหมู หรือไก่ เครื่องจักรที่ใช้กับการย่างจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) ใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก เช่น หมูปิ้ง ลูกชิ้น ที่มีปริมาณมากลำเลียงโดยใช้สายพานหรือแบบกะ (Batch) ใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ ไก่ย่างหรือเป็ดย่างแบบทั้งตัว

1.3.2 กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาด้วยความเย็น

นิยาม

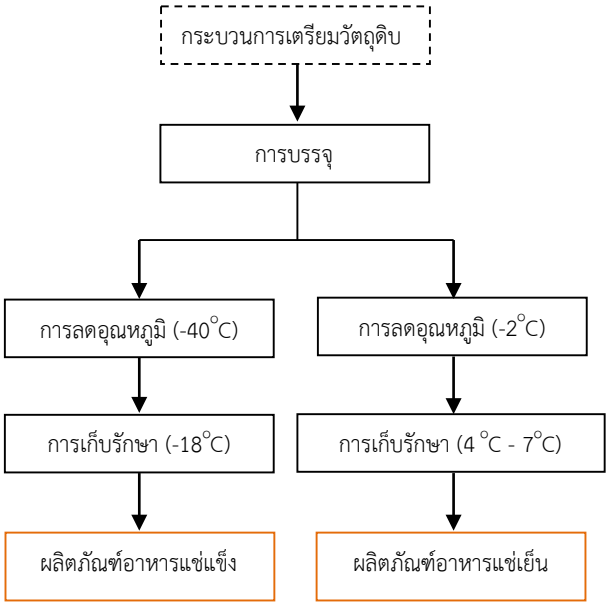
ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดสุขลักษณะสำหรับอาหารเยือกแข็ง (มอก.928-2533) ได้ให้ความหมายของอาหารเยือกแข็ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่ผ่านกรรมวิธีการคัดเลือกและการเตรียมวัตถุดิบตามวิธีการที่เหมาะสม แล้วนำไปทำเยือกแข็งอย่างรวดเร็ว และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า - 18 องศาเซลเซียส โดยให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยที่สุดจนถึงเวลาจำหน่าย

อาหารแช่เย็น หมายถึง อาหารที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing Point) ของอาหาร วัตถุประสงค์เพื่อชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และชะลอการเสื่อมสภาพของอาหารทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยวิธีนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสน้อยที่สุด

[11] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด, http://www.betterpack.co.th/th/thermal-processing/เครื่องอบอาหารด้วยไอน้ำยิ่งยวด-รุ่น-สายพานลำเลียงต่อเนื่อง, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560

กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตหลังจากการเตรียมวัตถุดิบของอาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาด้วยความเย็น จะเป็นกระบวนการที่ประกอบด้วยการปรุงสุกด้วยวิธีต่างๆ ตามชนิดของผลิตภัณฑ์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ปลอดเชื้อเพื่อการค้าก่อนการบรรจุและการเก็บรักษา ดังแสดงในรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานที่เก็บรักษาด้วยความเย็น

1. การบรรจุ

การบรรจุสินค้าด้วยการห่อหุ้มหรือการใส่ลงในภาชนะปิดใดๆ สำหรับเครื่องที่นิยมใช้แสดงในรูปที่ 1.13 ซึ่งหน้าที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ คือ ปกป้องผลิตภัณฑ์จากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และป้องกันการสูญเสียน้ำ กลิ่น รสชาติ ออกจากอาหาร และปกป้องการดูดซับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์กลับเข้าไปภายในอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารพร้อมรับประทาน

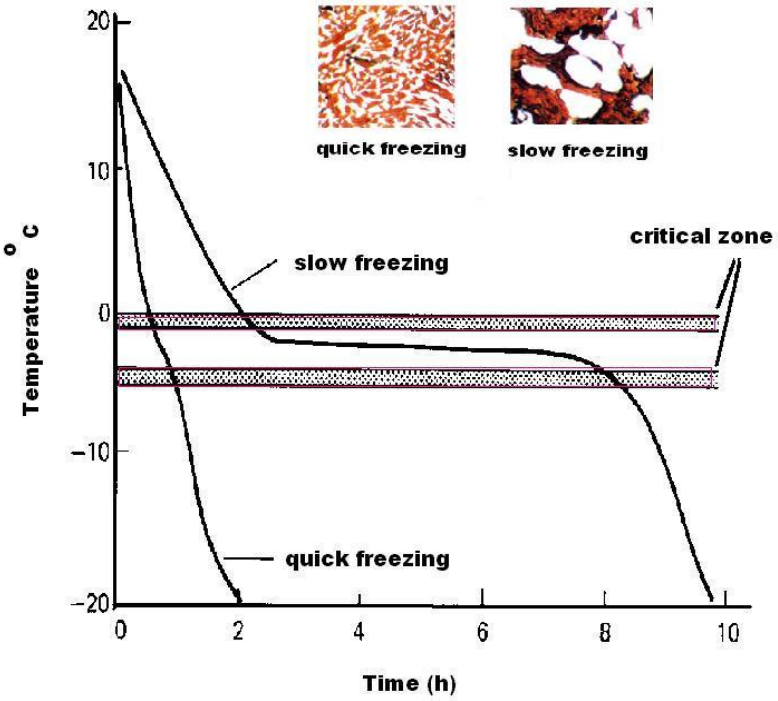


รูปที่ 1.13 เครื่องขึ้นแบบถาดและปิดผนึกถาดแบบปรับบรรยากาศภายใน[12]

2. การลดอุณหภูมิ

เป็นกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์อาหารก่อนการเก็บรักษา ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็นจะถูกลดอุณหภูมิต่ำลงแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของอาหาร โรงงานอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่จะทำการลดอุณหภูมิอยู่ที่ -2 องศาเซลเซียส สาเหตุเนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ที่เก็บรักษาในสภาพแช่เย็นโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในอาหารจะยังไม่เริ่มแข็งตัวจนกลายเป็นน้ำแข็ง เนื่องจากอาหารส่วนใหญ่จะมีจุดเยือกแข็งเริ่มที่ -2.2 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ซึ่งจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ (ที่ 0 องศาเซลเซียส) ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งจะถูกลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส โรงงานอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่จะทำการลดอุณหภูมิอยู่ที่ -35 ถึง - 40 องศาเซลเซียส สาเหตุเพราะอัตราการแช่เยือกแข็ง (Freezing Rate) มีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง และส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร แช่เยือกแข็งที่ได้ การแช่เยือกแข็งอาหารที่สมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับการแช่เยือกแข็งอย่างเร็ว (Quick Freezing) ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก กระจายทั่วชิ้นอาหาร อาหารแช่เยือกแข็งที่ได้จะมีคุณภาพดี เมื่อนำมาหลอมละลายน้ำแข็ง (Thawing) จะสูญเสียของเหลวน้อย (Drip Loss) ส่วนการแช่เยือกแข็งอย่างช้า (Slow Freezing) ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาหลอมละลายจะสูญเสียของเหลว (Drip Loss) มากกว่าดังแสดงในรูปที่ 1.14

[12] ที่มา บริษัท เบทเตอร์แพค จำกัด, http://www.betterpack.co.th/th/weighting-filling-and-packaging-machineries/เครื่องขึ้นแบบถาดและปิดผนึกถาดแบบปรับบรรยากาศภายใน, เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560

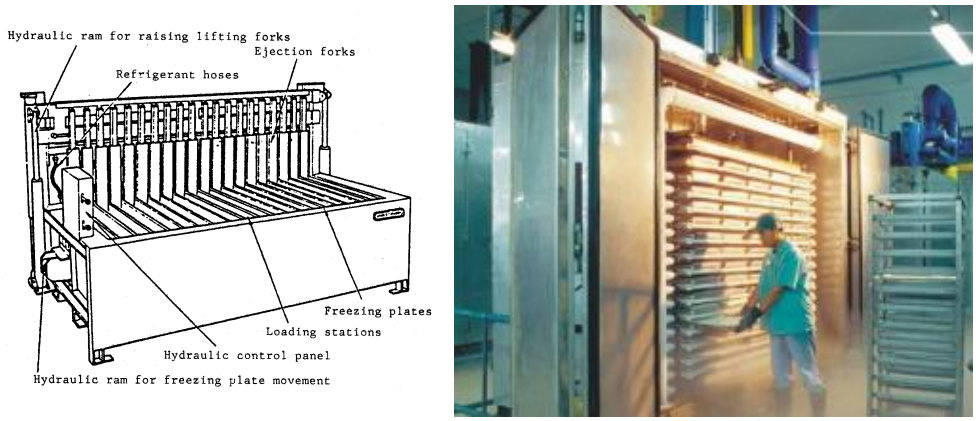


รูปที่ 1.14 กราฟแสดงอัตราการแช่เยือกแข็ง[13]

เครื่องแช่แข็งที่นิยมนำมาใช้เพื่อการแช่แข็งในอาหารพร้อมรับประทาน

- เครื่องแช่แข็งแบบแผ่น (Plate Freezer) หรือ Contact Plate Freezer หรือ Block Freezer เป็นเครื่องแช่แข็งที่ใช้เพื่อการแช่แข็งแบบก้อนอาหารก่อนการบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 1.15 ซึ่งหลักทำงาน คือ การวางอาหารแนบระหว่างแผ่นโลหะเย็นจัดที่มีสารทำความเย็น (Refrigerant) ไหลเวียนอยู่ภายใน โดยใช้ไฮดรอลิกทำให้แผ่นโลหะเย็นเคลื่อนที่บีบแนบกับอาหาร เกิดการถ่ายเทความเย็นแบบการนำความเย็นจากแผ่นโลหะไปยังอาหาร นิยมใช้กับอาหารที่มีขนาดและรูปร่างสม่ำเสมอ เป็นแผ่นหรือบรรจุในถาดโลหะ อาจมีการเติมน้ำหรือสารละลาย เช่น น้ำเชื่อม น้ำเกลือ อาหารแช่แข็งที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (Block)

[13] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3193/freezing-rate-อัตราการแช่เยือกแข็ง, เข้าถึงเมื่อวันที่ 7/7/2560

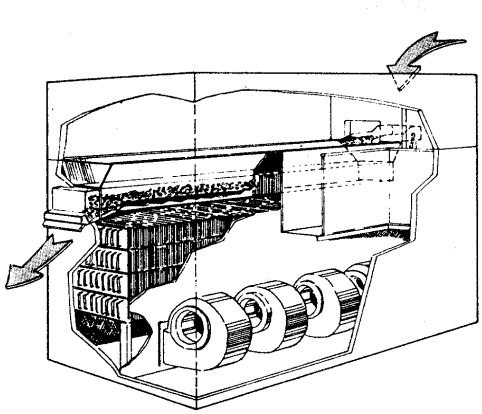


รูปที่ 1.15 เครื่องแช่แข็งแบบแผ่น[14]

- เครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Freezer) คือ เครื่องที่ใช้สำหรับแช่แข็งอาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นก่อนการบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 1.16 อาหารจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบแช่แข็งโดยเกลี่ยสม่ำเสมอเป็นชั้นบาง (Bed) บนสายพานลำเลียงที่มีรูเจาะ เพื่อให้ตัวกลางการแช่แข็ง คือ ลมเย็นจัดความเร็วสูงจากระบบทำความเย็นเป่าผ่านรูตะแกรงในทิศทางที่ตั้งฉากกับชิ้นอาหาร ทำให้ชิ้นอาหารลอยตัวเป็นอิสระอยู่เหนือตะแกรงคล้ายการเคลื่อนที่ของของไหล (Fluidized) ชิ้นอาหารเกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสแลกเปลี่ยนความร้อนกับลมเย็นจัดอย่างสม่ำเสมอทุกทิศทาง ทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออาหารถูกแช่แข็งอย่างสมบูรณ์ก็จะถูกลำเลียงออกมาอย่างต่อเนื่อง ระยะเวลาในการแช่แข็งอาหารแต่ละชนิดสามารถปรับเปลี่ยนได้ด้วยอัตราเร็วของสายพาน ทั้งนี้สายพานอาจมีระบบเขย่าเพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่ของชิ้นอาหารดียิ่งขึ้น

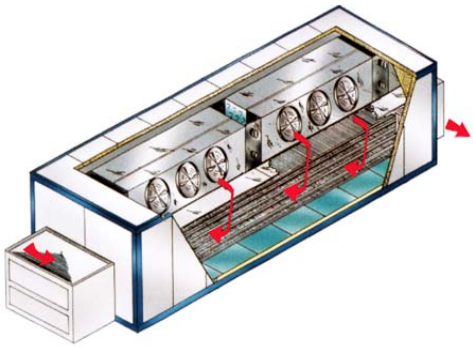
เครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเหมาะกับอาหารที่เป็นชิ้นขนาดเล็ก มีรูปทรงและขนาดสม่ำเสมอ และยังเหมาะกับอาหารที่มีแนวโน้มเกาะติดกันง่ายเนื่องจากมีผิวหน้าเหนียว ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งที่ได้จากการแช่แข็งด้วยเครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งแบบไอคิวเอฟ (Individual Quick Freezing, IQF) คือ แยกเป็นชิ้นๆ เป็นอิสระไม่เกาะกันเป็นก้อน เนื่องจากอัตราการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว อาหารแช่แข็งที่ได้จึงมีคุณภาพดี

[14] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0928/plate-freezer-เครื่องแช่แข็งแบบแผ่น, เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560



รูปที่ 1.16 เครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิดไดซ์เบด[15]

- เครื่องแช่แข็งแบบอุโมงค์ (Tunnel Freezer) อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้ การแช่แข็งทำได้โดยการเรียงผลิตภัณฑ์บนถาดและวางลงบนชั้น หรือทำเป็นรถเข็นหลายๆ ชั้น แต่ละชุดของชั้นวางผลิตภัณฑ์จะต้องวางให้มีช่องทางสำหรับลมผ่าน เมื่อต้องการแช่แข็งก็จะนำผลิตภัณฑ์เข้าเป็นชุด และเมื่อต้องการนำผลิตภัณฑ์ออกก็จะนำออกมาทั้งชุดเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.17 ในกรณีที่ห้องเย็นมีขนาดใหญ่เครื่องทำความเย็นอาจติดตั้งหลายชุดในระหว่างช่องสำหรับชั้นวางของก็ได้

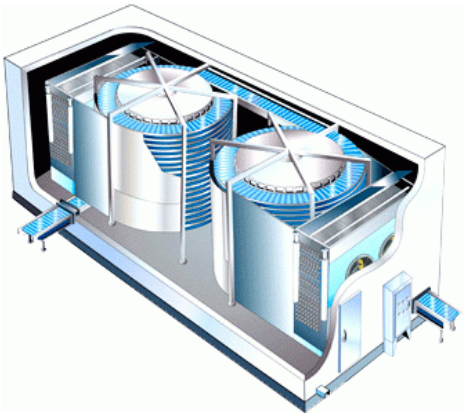


รูปที่ 1.17 เครื่องแช่แข็งแบบอุโมงค์[16]

- เครื่องแช่แข็งแบบสายพานเกลียว (Spiral Freezer) เป็นเครื่องแช่แข็งที่จัดอยู่ในกลุ่มเครื่องแช่แข็งที่ใช้การพ่นลมเย็นจัด (Air Blast Freezer) ซึ่งเป็นระบบต่อเนื่อง โดยอาหารจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องด้วยสายพาน (Belt Conveyor) ซึ่งขดและวนเป็นเกลียวเข้าไปในเครื่องแช่แข็ง ดังแสดงในรูปที่ 1.18 เมื่ออุณหภูมิใจกลางของอาหารต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส อาหารจะเคลื่อนที่ออกมา

[15] ที่มา www.fao.org/docrep/003/r1076e/R1076E04.HTM เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560

[16] ที่มา www.advancedfreezer.com/multipass.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560

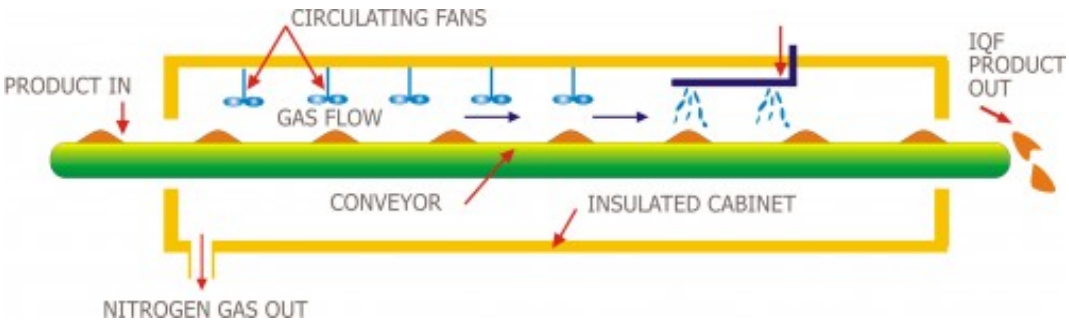


รูปที่ 1.18 เครื่องแช่แข็งแบบสายพานเกลียว[17]

- เครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก (Cryogenic Freezer) คือ การแช่แข็งโดยการใช้สารไครโอเจน (Cryogen) เช่น สารไนโตรเจนเหลว ซึ่งเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำมาก โดยเมื่อสารสัมผัสกับอาหารจะเกิดการเดือดและดึงเอาความร้อนแฝง (Latent Heat) ออกจากอาหาร เพื่อการเปลี่ยนสถานะ ทำให้อุณหภูมิอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว การแช่แข็งแบบไครโอจินิกนั้นเป็นการแช่แข็งอย่างรวดเร็วมาก ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้เป็น IQF ซึ่งการแช่แข็งอาหารด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการจุ่มอาหารลงในสารไครโอเจน หรือพ่นสารไครโอเจนลงบนผิวหน้าของอาหารโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 1.19 และรูปที่ 1.20

สารไครโอเจนที่นิยมใช้เพื่อการแช่แข็งอาหาร ได้แก่

- สารไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen)
- สารคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (Liquid Carbon Dioxide)



รูปที่ 1.19 กระบวนการการทำงานของเครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก[18]

[17] ที่มา www.betterpack.co.th/th/freezing-and-cooling, เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560

[18] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0624/cryogenic-freezing-การแช่เยือกแข็งด้วยสารไครโอเจน, เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560



รูปที่ 1.20 เครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก[19]

คุณภาพอาหารที่ผ่านการแช่แข็งไครโอจินิกจะเกิดผลึกน้ำแข็งภายในวัตถุดิบจัดเป็นการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว (Quick Freezing) โดยน้ำในอาหารจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นน้ำแข็งด้วยการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กสม่ำเสมอกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้อาหารแช่แข็งมีคุณภาพดีและสูญเสียน้ำเมื่อนำมาหลอมละลายน้อยมาก

3. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

การเก็บรักษาไม่ได้เป็นกรรมวิธีที่มุ่งทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Micorbial Spoilgage) และจุลินทรีย์ก่อโรค แต่เป็นการใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อยับยั้งการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ โดยจะเก็บในห้องเก็บดังแสดงในรูปที่ 1.21 โดยผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็นจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 4 - 7 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า แต่จะไม่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -2.2 องศาเซลเซียส ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา เพื่อรักษาคุณภาพ ป้องกันการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ และป้องกันการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) ของน้ำแข็ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพ

[19] ที่มา www.praxairfood.com, เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560



รูปที่ 1.21 ห้องแช่แข็ง [20]

<u>บรรจุภัณฑ์</u>

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 295) พ.ศ. 2548 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก ได้ให้ความหมายของภาชนะบรรจุไว้ว่า วัตถุดิบที่ใช้บรรจุอาหาร ไม่ว่าด้วยการใส่หรือห่อ หรือด้วยวิธีใดๆ และให้ หมายความรวมถึงฝาหรือจุกด้วย โดยกำหนดให้ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังนี้

1. สะอาด
2. ไม่มีสารอื่นมาปนเปื้อนกับอาหาร ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
3. ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
4. ไม่มีสีออกมาปนกับอาหาร

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารสำหรับเตาไมโครเวฟ (มอก.2493 - 2554) ที่มีขอบข่ายครอบคลุมภาชนะพลาสติกรวมฝาที่ต้องสัมผัสโดยตรงกับอาหารที่อุ่นในเตาไมโครเวฟและต้องทนอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้วัสดุที่ใช้ทำภาชนะพลาสติก ต้องเป็นดังนี้

1. เรซิน ต้องเป็นเรซินบริสุทธิ์ (Virgin Resin) ระดับชั้นคุณภาพที่สัมผัสอาหารได้ (Food Contact Grade) และต้องเป็นชนิดที่เหมาะสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ กรณีผสมเศษวัสดุ (Scrap) ยอมให้ใช้ได้เฉพาะที่ยังคงอยู่ในกระบวนการผลิตเท่านั้น ผู้ทำต้องพิสูจน์หรือแสดงเอกสารรับรองคุณภาพหรือผลการวิเคราะห์จากสถาบันหรือหน่วยงานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยอมรับ
2. วัสดุที่ใช้ทำ ต้องเป็นพอลิโพรไพลีน พอลิเอทิลีนเทเรฟแทเลต พอลิเมทิลเมทาคริเลต และพอลิเมทิลเพนทีน ตามที่ระบุไว้ในไว้ที่ฉลาก โดยการวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตาม มอก.656 ที่ว่าด้วยเรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะและเครื่องใช้พลาสติกสำหรับอาหาร

[20] ที่มา บริษัท คูล อาร์ท (ประเทศไทย) จำกัด, http://www.thaitechno.net/t1/productdetails.php?id=58013&uid=39753 เข้าถึงเมื่อวันที่ 17/1/2560

1.3.3 กระบวนการผลิตอาหารกระป๋องพร้อมรับประทาน

นิยาม

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 349) พ.ศ. 2556 เรื่อง วิธีการผลิตเครื่องมือ เครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำและชนิดที่ปรับกรด กำหนดไว้ดังนี้

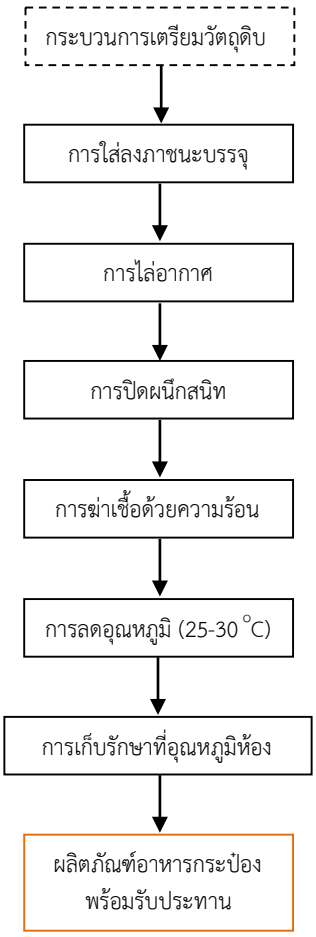
- อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ หมายความว่า อาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อน ภายหลังหรือก่อนบรรจุหรือปิดผนึก และให้ความหมายรวมถึงอาหารอื่นที่มีกระบวนการผลิตในทำนองเดียวกันนี้ที่มีค่าพีเอช มากกว่า 4.6 และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water Activity) มากกว่า 0.85 ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่เป็นโลหะหรือวัตถุอื่นที่คงรูปหรือไม่คงรูป ที่สามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุได้ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ
- อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่ปรับกรด หมายความว่า อาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อน ภายหลังหรือก่อนบรรจุหรือปิดผนึก และให้ความหมายรวมถึงอาหารที่มีกระบวนการผลิตในทำนองเดียวกันนี้ที่มีความเป็นกรดต่ำ และมีกระบวนการปรับค่าพีเอชไม่เกิน 4.6 และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water Activity) มากกว่า 0.85 ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่เป็นโลหะหรือวัตถุอื่นที่คงรูปหรือไม่คงรูป ที่สามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุได้ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในอุณหภูมิปกติ

เพื่อคุ้มครองผู้บริโภคจากอันตรายของอาหารประเภทดังกล่าว สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงได้ออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ. 2556 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ได้มีการกำหนดหลักเกณฑ์และเงื่อนไขให้ผู้ผลิตและนำเข้าอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทต้องดำเนินการอย่างหนึ่งอย่างใด คือ

- ในอาหารชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ คือ มีค่าความเป็นกรดด่างมากกว่า 4.6 และค่าวอเตอร์แอคติวิตีมากกว่า 0.85 ให้ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด (Scheduled Process) โดยให้ค่า F_0 (Sterilizing Value) ไม่ต่ำกว่า 3 นาที ซึ่งเพียงพอในการทำลายสปอร์ของเชื้อคลอสทริเดียม โบทูลินั่ม (Clostridium Botulinum) ทั้งนี้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดจะต้องมีการศึกษาทดสอบการกระจายความร้อนหรืออุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อ (Heat Distribution) และอัตราการแทรกผ่านความร้อน (Heat Penetration) ณ สถานที่ผลิตแห่งนั้น ตามหลักเกณฑ์วิธีการ หรือเงื่อนไขที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนด
- อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่ปรับกรด เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของอาหารไม่เกิน 4.6 ให้วิธีการปรับให้ได้สภาพความเป็นกรด-ด่างสมดุล (Equilibrium pH) และกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ หรือเงื่อนไขที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนด

<u>กระบวนการผลิต</u>

กระบวนการผลิตหลังจากการเตรียมวัตถุดิบของอาหารกระป๋องพร้อมรับประทาน จะบรรจุอาหารในภาชนะปิดผนึกสนิท เช่น กระป๋อง ถุงทนร้อนสูง หรือขวดแก้ว แล้วฆ่าเชื้อด้วยความร้อน โดยใช้อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนดในระดับปลอดเชื้อเชิงการค้า เพื่อให้อาหารปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ โดยไม่เสื่อมสภาพเป็นเวลาอย่างน้อย 6 เดือน ถึง 3 ปี กระบวนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 1.22



รูปที่ 1.22 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องพร้อมรับประทาน

1. การใส่ลงภาชนะบรรจุ (Filling) ดังแสดงในรูปที่ 1.23 อาหารที่บรรจุอาจเป็นประเภทของแข็ง เช่น ชิ้นผลไม้ ชิ้นเนื้อ ข้าว ประเภทของเหลวอย่างเดียว เช่น น้ำผลไม้ น้ำแกง หรือประเภทที่ผสมกับส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำเชื่อม น้ำเกลือ น้ำมัน ซอส ในการบรรจุจะต้องบรรจุให้อาหารมีปริมาตรและน้ำหนักบรรจุที่เหมาะสม ไม่ควรบรรจุอาหารจนเต็มพอดีเนื่องจากระหว่างการให้ความร้อนจะเกิดการขยายตัวของของเหลวอาจทำให้บรรจุภัณฑ์เสียหายได้



รูปที่ 1.23 การใส่ลงภาชนะบรรจุ

2. การไล่อากาศ (Exhausting) เพื่อให้ภายในกระป๋องมีสภาวะเป็นสุญญากาศเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนและป้องกันปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดกับอาหาร ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สี กลิ่น และรสชาติ ซึ่งการไล่อากาศทำได้โดยการพ่นไอน้ำร้อนไปที่ผิวหน้าของอาหารด้วยเครื่องไล่อากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1.24 เมื่อปิดฝาไอน้ำร้อนจะควบแน่น ทำให้ที่ว่างเหนือกระป๋องเป็นสุญญากาศหรืออาจใช้การดูดอากาศออกก่อนการปิดผนึก



รูปที่ 1.24 การไล่อากาศด้วยไอน้ำ

3. การปิดผนึกสนิท (Hermitically Seal) ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์และสิ่งปนเปื้อนจากภายนอก รวมทั้งไอน้ำและอากาศผ่านเข้าไปภายในบรรจุภัณฑ์ภายหลังการฆ่าเชื้อแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 1.25



รูปที่ 1.25 กระป๋องที่ผ่านการปิดผนึกแล้ว

4. การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน โดยการใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ให้เพียงพอกับการฆ่าเชื้อระดับปลอดเชื้อเพื่อการค้าตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศา จะทำในหม้อฆ่าเชื้อ ดังแสดงในรูปที่ 1.26 หากทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า สามารถทำการฆ่าเชื้อในหม้อต้มที่ความดันบรรยากาศปกติได้ เพื่อให้อาหารปลอดภัยและเก็บรักษาไว้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนด



รูปที่ 1.26 หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)[21]

5. การลดอุณหภูมิ กระบวนการนี้ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่จะทำภายในหม้อฆ่าเชื้อ โดยการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิเย็นลงโดยใช้น้ำเย็นที่สะอาด และควรดำเนินการทำให้เย็นทันทีภายหลังการฆ่าเชื้อแล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้แบคทีเรียที่ทนความร้อนซึ่งอาจหลงเหลืออยู่เจริญเติบโตได้

6. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง การเก็บรักษาที่เหมาะสมควรเก็บในที่มีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ต้องเก็บในที่ไม่อับชื้น เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเสียเร็วกว่าปกติ ไม่ควรเก็บรวมกับเครื่องปรุงรส หรือสารเคมีอื่นๆ เพราะไอของสารเหล่านั้นอาจกัดกร่อนกระป๋องได้

[21] ที่มา บริษัท เคเอ็ม แกรนด์แพค จำกัด, http://kmgrandpack.com/index.php/th/product/waterspray-overpressure-retort, เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560

<u>บรรจุภัณฑ์</u>

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ. 2556 เรื่องอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุอาหารชนิดที่เป็นโลหะ ชนิดที่เป็นถุงทนร้อนสูง ลามิเนต ฉาบ เคลือบ อัด หรือติดด้วยโลหะ หรือสิ่งอื่นใด และชนิดที่เป็นขวดแก้วที่ฝามียางหรือวัสดุอื่นผนึก ดังแสดงในรูปที่ 1.27 โดยให้มีคุณสมบัติดังนี้

1. สะอาด
2. ไม่เคยใช้ใส่อาหารหรือวัตถุอื่นใดมาก่อน ถ้าภาชนะบรรจุนั้นเป็นโลหะ
3. ไม่มีตะกั่ว สนิมเหล็ก หรือสีอื่นใดติดอยู่ที่ด้านในของภาชนะบรรจุ นอกจากสีของแลคเคอร์หรือสีของดีบุก และด้านในของภาชนะบรรจุที่ทำด้วยแผ่นเหล็กต้องเคลือบดีบุก หรือสารอื่นใดที่ป้องกันมิให้อาหารสัมผัสกับแผ่นเหล็กได้โดยตรง
4. ไม่รั่วหรือบวม
5. เป็นภาชนะบรรจุที่ไม่มีสารออกมาปนเปื้อนกับอาหารในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ



รูปที่ 1.27 ตัวอย่างของภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกสนิท[22]

[22] ที่มา พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0220/canning-การผลิตอาหารกระป๋อง เข้าถึงเมื่อวันที่ 11/1/2560

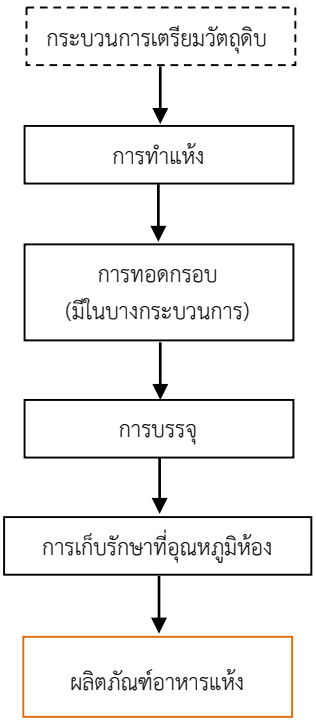
1.3.4 กระบวนการผลิตอาหารแห้งพร้อมรับประทาน

นิยาม

อาหารแห้ง หมายถึง อาหารที่ผ่านการอบแห้งหรือการตากแห้ง เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร ซึ่งสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คือ เป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำ โดยมีค่าน้อยกว่า 0.6 มีความชื้นต่ำโดยมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 15 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมสภาพ ทั้งเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย

กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตหลังจากการเตรียมวัตถุดิบของอาหารแห้งพร้อมรับประทานจะเป็นกระบวนการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ปลอดเชื้อเพื่อการค้า โดยการอบแห้งหรือการตากแห้ง (Drying or Dehydration) เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร ก่อนการบรรจุ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 1.28



รูปที่ 1.28 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแห้งพร้อมรับประทาน

1. การทำแห้ง (Dehydration) เป็นวิธีการถนอมอาหารที่นิยมใช้มานาน ใช้หลักการลดความชื้นของอาหารด้วยการระเหยน้ำ กระบวนการที่ใช้ เช่น การอบแห้ง การทอด หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก เป็นต้น อาหารที่นำมาทำแห้งมีหลายประเภท วัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาทำแห้งอาจมีสถานะเป็นของเหลว ของกึ่งแข็งหรือของแข็ง มาทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งอาจเป็นชิ้น เป็นแผ่นหรือเป็นผง ที่มีลักษณะและคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนทำแห้งที่เลือกใช้

ตัวอย่างอาหารแห้งพร้อมรับประทานที่พบทั่วไป ได้แก่ เนื้อสัตว์ เช่น แคบหมู หมูแผ่น สัตว์น้ำ เช่น หนังปลาทอด เป็นต้น ซึ่งอัตราการทำแห้ง (Drying Rate) ขึ้นอยู่กับ

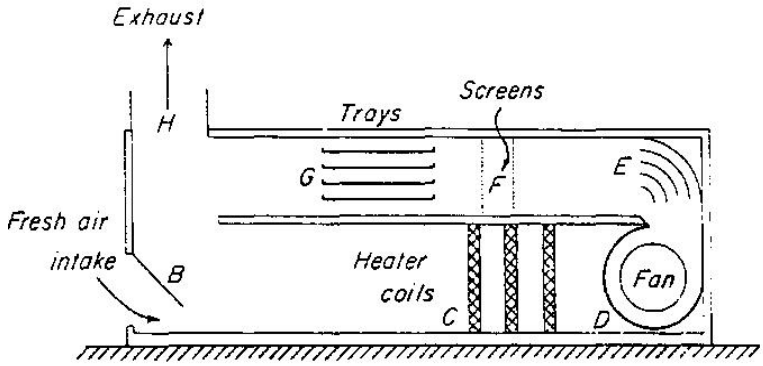
- ชนิดของอาหาร
- ขนาดและรูปร่างของชิ้นอาหาร
- อุณหภูมิที่ใช้อบ
- ความเร็วลมและการกระจายของลมในตู้อบ
- ปริมาณของอาหารที่ใส่ในตู้อบและการจัดเรียงอาหาร

เครื่องทำแห้งที่นิยมนำมาใช้เพื่อการทำแห้งในอาหารพร้อมรับประทาน

- ตู้อบแห้ง (Cabinet Drier) หมายถึง เครื่องทำแห้งที่ใช้เพื่อการทำแห้งอาหารที่มีลักษณะเป็นตู้ (Cabinet) ดังแสดงในรูปที่ 1.29 ส่วนประกอบของตู้อบแห้งมีลักษณะเป็นตู้ดังแสดงในรูปที่ 1.30 ซึ่งมีช่องเข้าของอากาศ (Fresh Air Intake, B) ถูกดูดเข้าไปในตู้อบ ผ่านคอยล์ร้อน (Heater Coil, C) โดยใช้พัดลม (Fan, D) ก่อนลมร้อนแห้งจะถูกเป่าเข้าไปในห้องอบแห้ง อาจผ่านตะแกรงกรอง (Screen, F) เพื่อทำให้อากาศสะอาด ลมร้อนแห้งจะระเหยเอาน้ำจากอาหารเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน ระหว่างการอบลมร้อนชื้นที่ผ่านอาหารจะถูกปล่อยออก (Exhaust, H) ภายในห้องอบมีถาดไว้สำหรับใส่วัตถุดิบที่ต้องการอบแห้งเรียงเป็นชั้นๆ ซึ่งอาจเรียกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray Drier) หรือภายในห้องอบอาจเป็นไม้แขวนอาหารที่ต้องการอบ หรือรถเข็นอาหารเข้าไปในห้องอบซึ่งโดยปกติจะใช้เวลาอบแห้ง ประมาณ 3 - 12 ชั่วโมง



รูปที่ 1.29 ตู้อบแห้ง



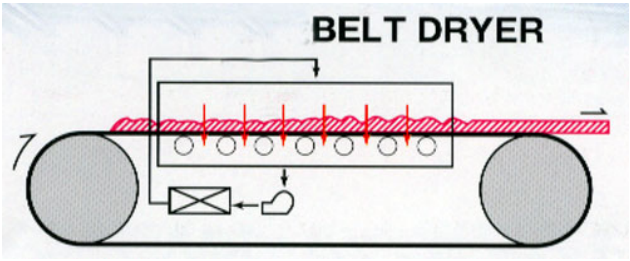
รูปที่ 1.30 แสดงส่วนประกอบของตู้อบแห้ง[23]

- เครื่องทำแห้งแบบสายพาน (Belt Drier) เป็นเครื่องทำแห้งชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อการทำแห้งอาหาร ทำงานแบบต่อเนื่องใช้สายพานลำเลียงเพื่อลดการใช้แรงงานนำเข้าและเอาผลิตภัณฑ์ออก อาหารจะถูกวางเรียงให้กระจายสม่ำเสมอบนสายพานที่มีลักษณะเป็นตะแกรงโปร่งให้อากาศผ่านได้ บริเวณที่อบแห้งมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีลมร้อนเป็นตัวกลางถ่ายเทความชื้นออกจากชิ้นอาหาร แหล่งกำเนิดความร้อนอาจเป็น ฮีตเตอร์ แก๊ส หรือไอน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1.31 และ 1.32



รูปที่ 1.31 เครื่องทำแห้งแบบสายพาน

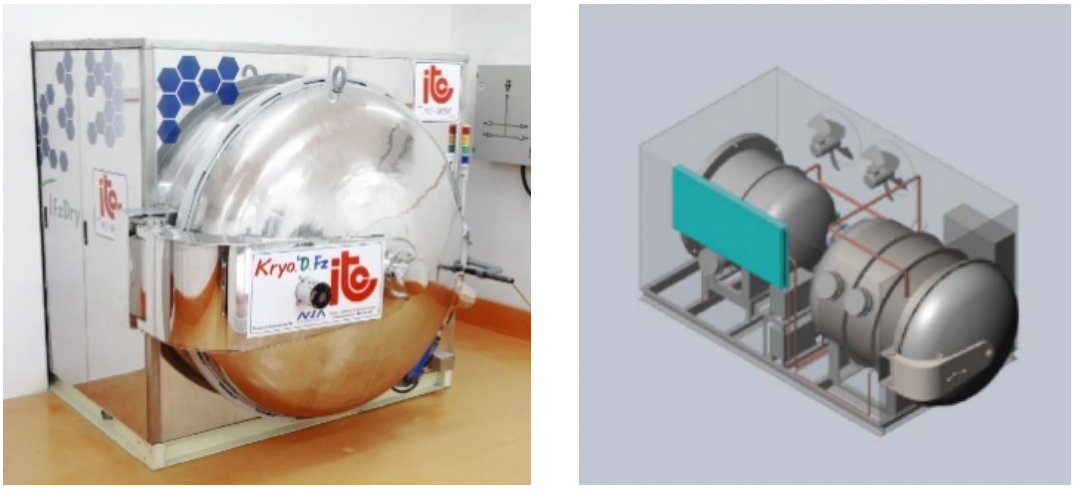
[23] ที่มา http://www.fao.org/docrep/V5030E/V5030E0c.htm เข้าถึงเมื่อวันที่ 1/11/2559



รูปที่ 1.32 แสดงองค์ประกอบภายในของเครื่องทำแห้งแบบสายพาน

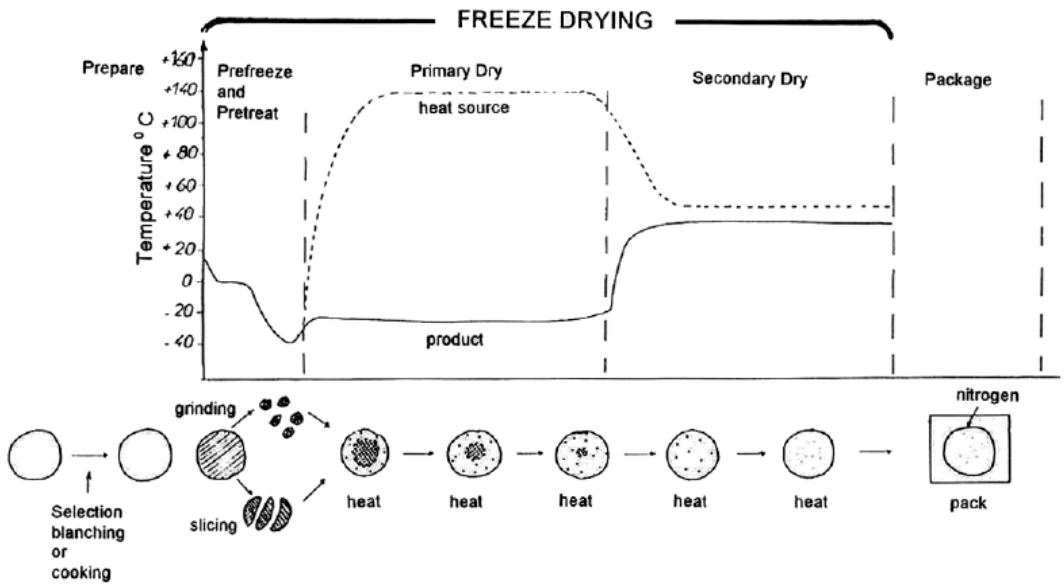
ความเร็วของสายพานสามารถปรับได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้เพื่อการทำแห้ง การอบแห้งสามารถแบ่งเป็นช่วงๆ เมื่อความชื้นในอาหารลดลงถึงระดับที่ต้องการเป็นการสิ้นสุดการอบแห้ง อาหารจะเคลื่อนที่ออกมาจากบริเวณอบแห้ง ซึ่งเครื่องทำแห้งแบบสายพานเหมาะกับการทำแห้งอาหารที่มีปริมาณมาก มีขนาดชิ้นที่สม่ำเสมอ

- เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (Freeze Drier) ดังแสดงในรูปที่ 1.33 เป็นเครื่องทำแห้งโดยการแช่แข็งอาหารก่อน แล้วลดความดันภายใต้อุณหภูมิต่ำเพื่อให้น้ำแข็งระเหิดเป็นไอ (ที่อุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) วิธีการนี้เหมาะกับอาหารที่ไวต่อการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการด้วยความร้อน อาหารแห้ง ที่ได้จะคงคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส โครงสร้าง สี กลิ่น และรสชาติ ได้ใกล้เคียงกับของสดแต่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนทั่วไป ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังแสดงในรูปที่ 1.34



รูปที่ 1.33 แบบจำลองเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่มีขั้นตอนการแช่แข็งและการทำแห้งอยู่ในชุดเดียวกัน[24]

[24] ที่มา : http://www.itc-group.co.th/Catalog/ITC-700-7-%E2%80%9Ci%E2%80%9D%20Fz%20Dry.pdf, เข้าถึงเมื่อวันที่ 7/7/2560



รูปที่ 1.34 กราฟขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแช่เยือกแข็ง[25]

1) การแช่เยือกแข็ง (Freezing) ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งจะเป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเพื่อให้น้ำหรือสารละลายในผลิตภัณฑ์สร้างผลึกเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ สิ่งสำคัญของขั้นตอนนี้ คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง ระดับความเร็วของการแช่เยือกแข็งควรเป็นการแช่แข็งแบบเร็ว (Quick Freezing) เนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้น จะมีขนาดเล็กจึงไม่ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เสียหาย แต่หากเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow Freezing) เวลาในการเกิดผลึกนาน ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ เบียดช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้เซลล์แตก โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหาย

2) การทำแห้งระยะที่ 1 (Primary Drying) เป็นการลดปริมาณน้ำภายในผลิตภัณฑ์ (Dehydration) โดยการลดความดันบรรยากาศเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งเกิดการระเหิดกลายเป็นไอออกไปจากผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะใช้ระดับความดันสุญญากาศตั้งแต่ 132 ปาสกาล (Pa) จนถึง 132 เมกะปาสกาล (MPa) เพื่อทำให้การระเหิดของผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งการระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (Ice Layer) จะเริ่มจากชั้นน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ระเหิดกลายเป็นไอทำให้บริเวณนี้เป็นชั้นแห้ง (Dry Layer) จากนั้นชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์จะระเหิดผ่านชั้นแห้งออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ โดยระยะเวลาการระเหิดขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

3) การทำแห้งระยะที่ 2 (Secondary Drying) ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดน้ำที่อยู่ในรูปของพันธะกับสารอื่น (Bound Water) ในผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่ตกผลึกและแข็งตัวไปกับน้ำอิสระ ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการทำแห้งระยะที่ 1 การระเหิดของน้ำอิสระหมดไปแล้วการทำแห้งในช่วงนี้

[25] ที่มา : http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/lyophilization%20technology1.pdf, เข้าถึงเมื่อวันที่ 7/7/2560

เรียกว่า “Desorption” อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานจากแหล่งความร้อนถูกถ่ายเท สู่ผลิตภัณฑ์โดยตรง โดยการให้ความร้อนในช่วงระยะเวลาการทำแห้งที่ 2 เป็นการให้อุณหภูมิในห้องทำแห้ง เพื่อการรักษาระดับอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ ควรใช้ความระมัดระวังในการให้ความร้อนเพราะปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์มีเหลือน้อยอาจทำให้โปรตีนในผลิตภัณฑ์เสียหายได้

- เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Drier) เป็นเครื่องอบที่ใช้ทำแห้งอาหารที่ทำงานภายใต้ภาวะความดันอากาศต่ำกว่าความดันบรรยากาศสุญญากาศตาม Phase Diagram ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำลง การทำให้เกิดสุญญากาศในห้องอบจะใช้ปั๊มสุญญากาศเพื่อสูบอากาศออก การทำแห้งด้วยเครื่องอบสุญญากาศ จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการทำแห้งที่ความดันบรรยากาศ เครื่องอบสุญญากาศยังใช้ในการวิเคราะห์หาความชื้นของอาหารที่ไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น อาหารที่มีน้ำตาลสูง หรืออาหารที่มีน้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนประกอบ เพื่อหลีกเลี่ยงการอบ ที่อุณหภูมิสูงที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด

- เครื่องทำแห้งอินฟราเรด (Infrared Drier) เป็นเครื่องที่ใช้เพื่อการทำแห้งอาหารโดยใช้รังสีอินฟราเรด การอบแห้งเหมาะสมในการใช้งานกับอาหารมีความชื้นไม่สูงมาก ซึ่งการอบแห้งแบบอินฟราเรดอาจใช้ร่วมกับการให้ความร้อนแบบอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้ ข้อดีของการใช้อินฟราเรดเพื่ออบแห้งอาหารมีดังนี้

  - เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในเนื้อวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ส่งผลให้ผิวภายนอกของวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวย่นและได้ผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง
  - รังสีอินฟราเรดยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงานและลดระยะเวลาในการอบแห้ง

2. การทอดกรอบหลังการอบแห้ง พบในบางกระบวนการที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสในด้านความกรอบเพิ่มขึ้น หรือต้องการลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ก่อนการบรรจุ การทอดกรอบโดยการใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนใช้อุณหภูมิในการทอดที่ 170 - 210 องศาเซลเซียส นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์พวกแคบหมู หมูแผ่น เนื้อแผ่น หนังปลาทอด เป็นต้น

3. การบรรจุ นิยมใช้ถุงอลูมิเนียมฟอยล์เคลือบผิวด้วยพลาสติก (Laminated Aluminum Bag) ถุงลักษณะนี้สามารถป้องกันแสงและออกซิเจนในอากาศได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดไม่หืน กลิ่นรสไม่เปลี่ยนแปลง การบรรจุนิยมใส่ก๊าซไนโตรเจนลงไปในถุงแทนอากาศปกติที่มีออกซิเจนปนอยู่ แล้วจึงปิดผนึกถุง การแทนที่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจนที่เป็นแก๊สเฉื่อยนี้ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอด

4. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง การเก็บรักษาที่เหมาะสมควรเก็บในที่มีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ต้องเก็บในที่แห้ง ไม่อับชื้น เพราะจะทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ

และอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยเฉพาะเชื้อราเพราะเชื้อราต้องการน้ำน้อยกว่าแบคทีเรียและยีสต์ในการดำรงชีวิต

<u>บรรจุภัณฑ์</u>

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 295) พ.ศ. 2548 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก ได้ให้ความหมายของภาชนะบรรจุไว้ว่า วัตถุดิบที่ใช้บรรจุอาหาร ไม่ว่าด้วยการใส่หรือห่อ หรือด้วยวิธีใดๆ และให้ หมายความรวมถึงฝาหรือจุกด้วย โดยกำหนดให้ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังนี้

1. สะอาด
2. ไม่มีสารอื่นมาปนเปื้อนกับอาหาร ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
3. ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
4. ไม่มีสีออกมาปนกับอาหาร

บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง (Pakaging for Dried Foods) วัตถุประสงค์เพื่อควบคุมให้อาหารแห้งมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้น้อยกว่า 0.6 โดยคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง มีดังนี้

1. สามารถป้องกันความชื้น (Moisture Barrier) บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งจะต้องป้องกันการดูดซึมกลับความชื้นจากอากาศรอบๆ คือ ควรมีค่าอัตราการดูดซึมกลับความชื้น (Water Vapor Transmission Rate) ต่ำ ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับ ชนิด และคุณภาพ ตลอดจนความหนาของวัสดุที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์
2. สามารถป้องกันอากาศ โดยเฉพาะออกซิเจนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น Lipid Oxidation ซึ่งทำให้อาหารเกิดกลิ่นหืน และยังเป็นผลให้อาหารสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะกรดไขมันที่จำเป็น (Essential Fatty Acid) บรรจุภัณฑ์อาหารแห้งที่ดีจะต้องสามารถป้องกันก๊าซออกซิเจนจากสภาวะอากาศรอบๆ ผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุ นอกจากนี้อาจใช้สารดูดซับออกซิเจน (Oxygen Absorber) เพื่อช่วยดูดซับออกซิเจนที่มีอยู่แล้วในบรรจุภัณฑ์ก่อนปิดผนึก และจะซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา
3. มีความทนทานต่อการกดหรือการกระแทก บรรจุภัณฑ์อาหารแห้งที่ดีจะต้องทนต่อการกดและการกระแทกได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากเนื้ออาหารแห้งมักแข็ง เปราะ แตกง่าย และมีส่วนแหลมคมสามารถทิ่มแทงภาชนะบรรจุได้

บทที่ 2
เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

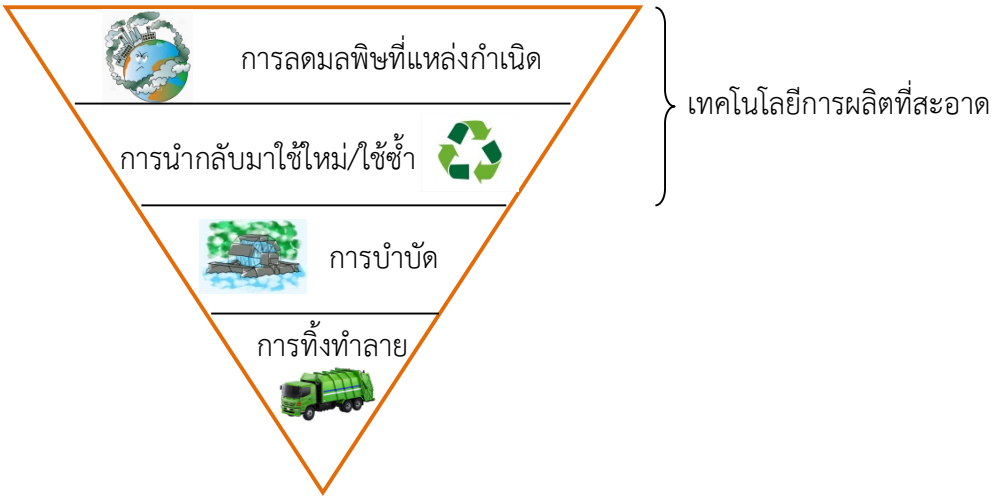
2.1 ความหมาย หลักการ และประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

2.1.1 ความหมายของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology : CT) หมายถึง การพัฒนา ปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดผลกระทบ ความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ โดยการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ การใช้ซ้ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตควบคู่กันไป

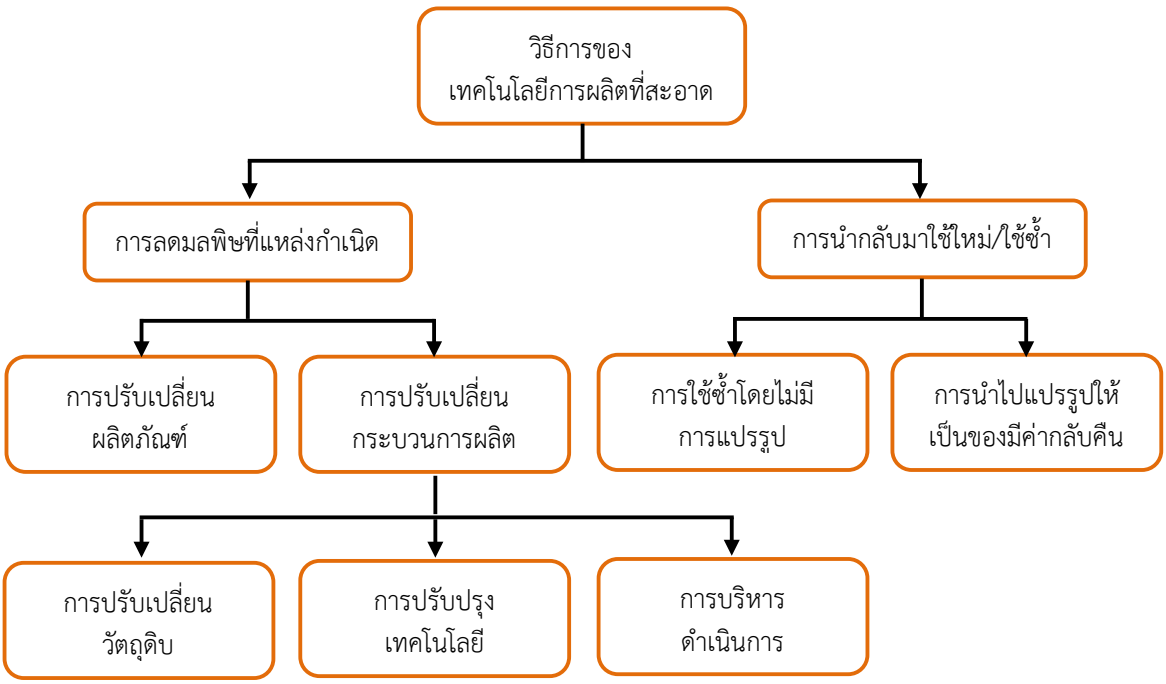
2.1.2 หลักการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดเป็นหลักการป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention) ที่เน้นการใช้หลักการลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด (Waste Minimization) โดยวิธีการแยกสารพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนซึ่งประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ทำให้เกิดผลพลอยได้ที่ไม่เป็นอันตราย รวมทั้งการลดปริมาณและความเข้มข้นขององค์ประกอบในของเสียด้วยการนำไปใช้ซ้ำ (Reuse) หรือการนำกลับไปใช้ใหม่ (Recycle) จนไม่สามารถนำของเสียไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ก็จะนำไปบำบัดให้ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีการดำเนินการอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง นอกจากนี้ในการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายได้นั้นยังต้องประกอบด้วยทัศนคติที่ดีและการร่วมมือกันอย่างเต็มที่จากบุคลากรทุกฝ่ายอีกด้วย



รูปที่ 2.1 หลักการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด มีวิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดและวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

<u>การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด</u> แบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้

1) การปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ (Product Reformulation)

เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดหรือให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ลดการใช้การวัสดุหรือสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายและส่งผลกระทบในระหว่างการผลิต การใช้งาน และการทำลายหลังการใช้งาน

2) การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต (Process Change) แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

- **การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ (Input Material Change)**

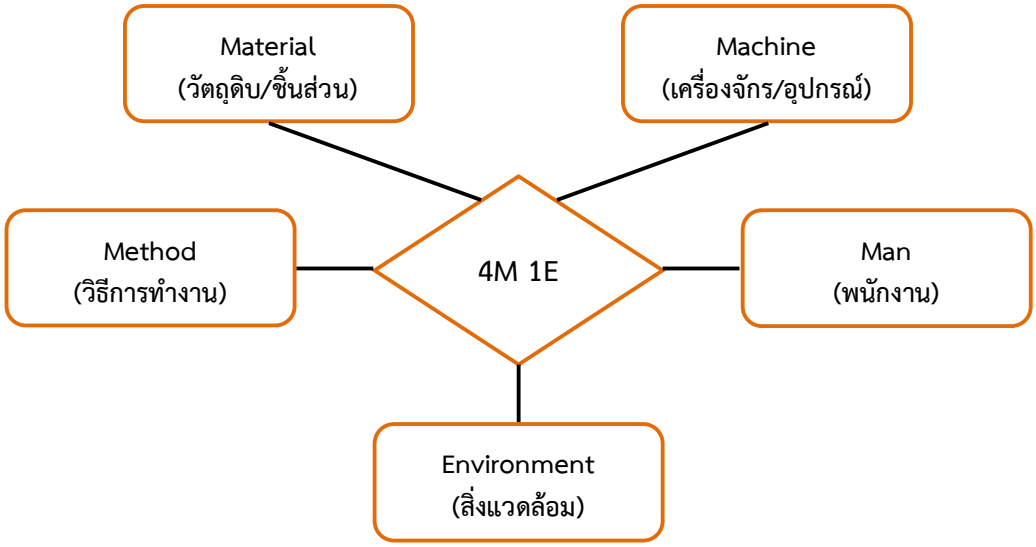
เป็นการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพหรือมีสิ่งปนเปื้อนน้อย รวมทั้งการลดหรือยกเลิกการใช้วัตถุดิบที่เป็นอันตราย เพื่อหลีกเลี่ยงการเติมสิ่งปนเปื้อนเข้าไปในกระบวนการผลิต

- **การปรับปรุงเทคโนโลยี (Technology Improvement)**

เป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตหรือการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การปรับปรุงผังโรงงาน การเพิ่มระบบอัตโนมัติ การปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต และการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้เพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ซึ่งเงื่อนไขในการปรับปรุงเทคโนโลยีมีองค์ประกอบ 5 ประการ (4 M 1 E) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

- **การบริหารการดำเนินการ (Operational Management)**

เป็นการบริหารระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิตให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิผล โดยใช้เทคนิคการลด การรวม และการทำขั้นตอนการผลิตให้ง่ายขึ้น รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 2.3 เงื่อนไขในการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี

<u>การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ</u>

โดยทั่วไปควรเริ่มจากการลดการสูญเสียที่แหล่งกำเนิดให้ได้มากที่สุดก่อนที่จะใช้วิธีนำกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ ซึ่งการใช้ซ้ำทำได้โดยการหาทางนำวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพมาใช้ประโยชน์ หรือหาทางใช้ประโยชน์จากสารหรือวัสดุที่ปนอยู่ในของเสียโดยการนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตเดิมหรือกระบวนการผลิตอื่นๆ ส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นการนำของเสียไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้สามารถนำเอากลับมาใช้งานได้อีกหรือเพื่อทำให้เป็นผลพลอยได้ การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ควรจะดำเนินการ ณ จุดกำเนิดของเสียนั้นมากกว่าการขนย้ายไปจัดการที่อื่น ซึ่งจะทำได้ง่ายกว่าและมีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งลดอัตราเสี่ยงจากการปนเปื้อนในระหว่างการรวบรวมหรือขนถ่าย

โรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปสามารถนำแนวทางเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปใช้เพื่อพัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิต ทำให้เพิ่มความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศพร้อมรับกับการแข่งขันทางการค้าของตลาดโลกได้ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและให้ประโยชน์อย่างมากมาย ในบางกรณีมีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปปฏิบัติใช้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนแต่ผลประโยชน์ที่ได้กลับมาสามารถลดต้นทุนการผลิตได้มาก หรือถ้าหากมีการลงทุนก็สามารถได้รับผลตอบแทนภายในระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ที่คุ้มค่าต่อการลงทุนได้

2.1.3 ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาหรือปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมและทำให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งให้ประโยชน์ในภาคส่วนต่างๆ ดังนี้

1) ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดต่อภาคอุตสาหกรรม

- ช่วยลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากการใช้ทรัพยากรต่างๆ ลดลง ได้แก่ น้ำ วัตถุดิบ พลังงานและสารเคมี รวมถึงการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดหรือจัดการของเสีย
- การทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เพราะพนักงานมีสุขอนามัยดีและลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ
- เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ทำให้ได้ปริมาณสินค้าเพื่อจำหน่ายมากขึ้น
- เพิ่มคุณภาพสินค้าจากการที่มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง
- เกิดของเสียน้อยลง ลดต้นทุนการบำบัด ลดมลพิษจากอุตสาหกรรม
- ภาพลักษณ์ขององค์กรที่ดีขึ้น

2) ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดต่อบุคคล

- มีสุขภาพแข็งแรง ปลอดจากสารพิษ
- ได้ใช้สินค้าที่มีคุณภาพสูงขึ้น
- มีสภาพแวดล้อมและความเป็นอยู่ดีขึ้น
- มีความภูมิใจในผลงานที่มีส่วนร่วมทำให้เกิดสิ่งดีๆ

3) ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดต่อชุมชน

- มีความร่วมมือก่อให้เกิดความสามัคคีกันระหว่างบ้าน ชุมชน และโรงงานดีขึ้น
- สังคมรอบๆ โรงงานน่าอยู่มากขึ้น

4) ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดต่อภาครัฐ

- แบ่งเบาภารกิจในการตรวจสอบติดตาม
- ส่งเสริมภาพพจน์ของประเทศไทยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม
- เพิ่มศักยภาพในการส่งออก และพัฒนาเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ

2.2 ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้

1) ผู้บริหาร (Leader) ผู้บริหารเป็นผู้ที่มีอำนาจตัดสินใจดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในสถานประกอบการ ดังนั้น ผู้บริหารต้องให้ความสำคัญต่อเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดด้วยการประกาศเป็นนโยบายโดยระบุเป็นลายลักษณ์อักษรที่ชัดเจน รวมทั้งกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่เข้าใจได้ง่ายและปฏิบัติได้จริง พร้อมให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและกำลังคนให้กับทีมงาน เอาใจใส่ต่อการดำเนินการอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นการติดตามผลการดำเนินงานด้วยการซักถามจากหัวหน้างานหรือ

ผู้ปฏิบัติ หรือจัดให้มีการรายงานผลความก้าวหน้าในที่ประชุมทุกสัปดาห์หรือทุกเดือนตามแต่ความเหมาะสม

2) การมีส่วนร่วมของพนักงาน (Staff Participation) พนักงานเป็นผู้ลงมือปฏิบัติจริงในทุกขั้นตอนของการดำเนินการเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด ดังนั้น จำเป็นต้องสร้างการมีส่วนร่วมของพนักงานทุกฝ่ายให้เกิดขึ้นภายในองค์กร โดยจะต้องชี้แจงให้พนักงานเห็นถึงความจำเป็นที่องค์กรต้องทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด และสร้างความรู้สึกว่าเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไม่เป็นภาระต่อการงานที่ปฏิบัติอยู่เป็นประจำ เพื่อเป็นการกระตุ้นการมีส่วนร่วมให้ไปสู่การลงมือปฏิบัติ

3) มูลเหตุจูงใจ (Incentive) มูลเหตุจูงใจเป็นกลยุทธ์ส่วนหนึ่งในการกระตุ้นให้บุคคลทุกส่วนในองค์กรดำเนินการเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด โดยมูลเหตุจูงใจส่วนใหญ่นั้นมักจะเกี่ยวข้องกับผลประโยชน์ที่แต่ละฝ่ายจะได้รับ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ฝ่ายผู้บริหารกับฝ่ายผู้ปฏิบัติ สำหรับฝ่ายผู้บริหารนั้นมูลเหตุจูงใจประกอบด้วย การได้รับผลตอบแทนทางธุรกิจ เช่น การลดต้นทุนค่าใช้จ่ายอย่างชัดเจน การลดหย่อนด้านภาษี การสร้างภาพลักษณ์ในด้านการอนุรักษ์และการรักษาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการให้ความใส่ใจต่อชุมชนรอบข้างสถานประกอบการ และสำหรับฝ่ายผู้ปฏิบัติจะเป็นเรื่องของการได้รับผลตอบแทนในรูปแบบรางวัลลักษณะต่างๆ การยกย่องจากผู้บริหาร รวมทั้งคุณภาพชีวิตและสภาพการทำงานภายในสถานประกอบการที่ดีขึ้น

4) องค์ความรู้ (Knowledge) นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น หากทีมงานขาดองค์ความรู้และความเข้าใจก็จะไม่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดให้ประสบความสำเร็จได้ โดยองค์ความรู้แบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง เป็นองค์ความรู้ที่ได้จากข้อมูลการดำเนินงานของสถานประกอบการในด้านการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย ส่วนที่สอง เป็นองค์ความรู้ในด้านการสร้างความตระหนักต่อการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการรักษาสิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อมูลในสองส่วนแรกจะเป็นเครื่องมือหนึ่งในการสร้างการมีส่วนร่วมและกระตุ้นจิตสำนึกให้พนักงาน โดยข้อมูลนั้นจะต้องมีการสื่อสารภายในกับทุกคนได้รับทราบอย่างทั่วถึงและต่อเนื่องตลอดเวลา และส่วนที่สาม เป็นองค์ความรู้เทคนิคเฉพาะทางที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการ เช่น ความรู้สำหรับใช้หาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต เป็นต้น

2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

ขั้นตอนในการตรวจประเมินด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผนและการจัดตั้งทีมงาน (CT Planning & Organization)

การวางแผนและการจัดทีมงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อจะแสดงความร่วมมือในการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด โดยผู้ประกอบการจะต้องเห็นความสำคัญของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและให้การสนับสนุน ดังนี้

1) กำหนดนโยบายอย่างชัดเจนและเป็นลายลักษณ์อักษร โดยแจ้งทุกแผนกเพื่อให้ทุกคนมีส่วนร่วม มีการชี้แจงนโยบายเป็นระยะเพื่อการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง

2) จัดตั้งทีมงาน ประกอบด้วยผู้แทนจากหลายฝ่ายที่สัมพันธ์กัน ได้แก่ ฝ่ายบริหาร ฝ่ายผลิต ฝ่ายวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายจัดซื้อ/จัดส่ง โดยร่วมประชุมเพื่อปรึกษาและเสนอแนวทางข้อคิดเห็นต่างๆ เพื่อค้นหาของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตและหาแนวทางแก้ไขเพื่อให้เกิดการสูญเสียนั้นเป็นศูนย์ หรือเป็นการใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงเพิ่มคุณภาพและอัตราการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจประเมินเบื้องต้น (Pre Assessment)

ในการตรวจประเมินเบื้องต้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตของโรงงานและประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง โดยทีมงานสามารถใช้เครื่องมือที่สำคัญ คือ ผังกระบวนการผลิตในการอธิบายกระบวนการผลิต ซึ่งผังกระบวนการผลิตนี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการทำสมดุลมวล เพื่อทำการตรวจประเมินโดยละเอียดในขั้นต่อไป โดยขั้นตอนการตรวจประเมินเบื้องต้น ดังนี้

1) สร้างแผนผังกระบวนการผลิต โดยจะให้ความสนใจกับกิจกรรมที่มักไม่อยู่ในแผนผังกระบวนการผลิตทั่วไป เช่น

- การทำความสะอาด
- การขนส่ง เก็บวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์
- การซ่อมแซมและบำรุงรักษาเครื่องจักร อุปกรณ์ เป็นต้น

ในการสร้างแผนผังกระบวนการผลิต ทีมงานจะสามารถบันทึกรายละเอียดของแต่ละกระบวนการได้

2) การเดินสำรวจเบื้องต้น ควรเดินสำรวจตั้งแต่จุดเริ่มต้นกระบวนการผลิตจนจบกระบวนการผลิต (ตั้งแต่รับวัตถุดิบจนได้เป็นผลิตภัณฑ์) โดยให้ความสนใจในส่วนของการใช้ทรัพยากร ของเสียที่เกิดขึ้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้ ในระหว่างการเดินสำรวจควรพูดคุยกับพนักงานประจำหน่วยการผลิตเพื่อสอบถามให้ได้ข้อมูลการทำงานจริง ลักษณะและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งมักนำมาสู่โอกาสในการใช้ทรัพยากรให้น้อยลงหรือการลดของเสีย นอกจากนี้ควรจดบันทึกปัญหาและแนวทางแก้ไขที่พบระหว่างการเดินสำรวจด้วย

3) เลือกประเด็นที่น่าสนใจ คัดเลือกประเด็นที่น่าสนใจของโรงงานสำหรับการตรวจประเมินโดยละเอียด มีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

- ก่อให้เกิดของเสียในปริมาณมาก
- ใช้หรือทำให้เกิดสารเคมีหรือวัตถุอันตราย
- คิดเป็นจำนวนเงินที่สูญเสียไปสูง
- มีประโยชน์จากการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปใช้อย่างเห็นได้ชัดเจน

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจประเมินโดยละเอียด (Detail Assessment)

ทำการเก็บข้อมูลในเชิงปริมาณสำหรับประเด็นที่น่าสนใจที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการตรวจประเมินเบื้องต้นเพื่อนำมาจัดทำสมดุลมวล การตรวจประเมินโดยละเอียดมีขั้นตอน ดังนี้

1) เก็บข้อมูลในเชิงปริมาณ ข้อมูลที่ทำการเก็บบันทึกควรเป็นปริมาณต่อหน่วยการผลิต เช่น ปริมาณน้ำใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะช่วยในการวิเคราะห์จุดที่มีการสูญเสีย เช่น ปริมาณการใช้น้ำต่อคนในส่วนของสำนักงานสูงขึ้นมากในช่วง 2 เดือนที่ผ่านมา อาจมีสาเหตุมาจากก๊อกน้ำชำรุด หรือท่อรั่ว เป็นต้น

2) การทำสมดุลมวล เพื่อให้ทราบปริมาณวัตถุดิบ น้ำใช้ และพลังงานทั้งหมดที่เข้าและออกจากระบบ โดยตามทฤษฎีแล้วมวลเข้า (Input) ต้องเท่ากับมวลออก (Output) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะได้ข้อมูลปริมาณมวลเข้าและมวลออกทั้งหมด โดยเฉพาะในส่วนของเสียและผลพลอยได้มักจะเป็นการประมาณการจากการทำสมดุลมวล ดังนั้น จึงขึ้นอยู่กับทีมงานว่าสามารถยอมรับระดับความคลาดเคลื่อนได้เท่าใด

3) จัดทำทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด ทางเลือกของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่ได้จากการตรวจประเมินส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของทีมงาน โดยการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้สมดุลมวลประกอบการพิจารณา และวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษดังแสดงในบทที่ 3 สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลเริ่มต้นได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปทางเลือกของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดสามารถแบ่งเป็นประเภทหลักๆ ได้ ดังนี้

- การจัดการที่ดีภายในสถานประกอบการ (Good Housekeeping) และวิธีการทำงานที่ถูกต้อง (Good Working Practice) คือ การบริหารกระบวนการผลิตและการปฏิบัติงานให้มีศักยภาพ
- การปรับปรุงเทคโนโลยี
- การนำกลับมาใช้ซ้ำ/นำกลับมาใช้ใหม่

4) จดบันทึกและเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก เมื่อทีมงานได้คัดเลือกแนวทางที่จะดำเนินการได้แล้ว ต้องมีการเรียงลำดับความสำคัญและความยากง่ายในการปฏิบัติของแต่ละทางเลือก (นำไปปฏิบัติได้ทันทีหรือต้องศึกษาเพิ่มเติม)

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study)

เมื่อทีมงานเลือกแนวทางที่จะดำเนินการได้แล้ว ต้องมีการประเมินและศึกษาความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม เพื่อเลือกเฉพาะแนวทางที่มีความเหมาะสมที่สุดมาใช้

1) การประเมินเบื้องต้น โดยการประเมินร่วมกันระหว่างทีมงานและผู้บริหารเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นของแต่ละแนวทาง ซึ่งผลของการประเมินเบื้องต้นจะบอกได้ว่าแนวทางใดมีความเป็นไปได้และแนวทางใดต้องศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม

2) การประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิค ต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตและความปลอดภัยที่จะเกิดจากการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีหรือวิธีการทำงาน นอกจากนี้ต้องพิจารณาด้วยว่าจำเป็นต้องมีการฝึกอบรมพนักงานเพิ่มเติมหรือการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นหรือไม่

3) การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการเปรียบเทียบต้นทุนในการเปลี่ยนแปลงกับมูลค่าที่จะประหยัดได้ โดยต้นทุนแบ่งออกเป็นเงินลงทุนและค่าดำเนินการ ซึ่งจะนำมาหักลบกับค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ โดยปกติการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์จะใช้การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period) เป็นหลัก

4) การประเมินความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม ในบางกรณีประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้จากทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดจะค่อนข้างชัดเจน แต่ในบางกรณีการประเมินประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจะทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งการประเมินความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อมโดยการอ้างอิงกับกฎหมายและข้อกำหนดต่างๆ จะช่วยให้การประเมินทำได้สะดวกขึ้น

ขั้นตอนที่ 5 ลงมือปฏิบัติและติดตามผล (Implementation & Evaluation)

ถึงแม้ทีมงานจะเลือกแนวทางในการดำเนินการด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่มีความเหมาะสมไว้แล้วแต่หากไม่มีการนำไปปฏิบัติใช้ วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษนั้นจะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใดเลยกับองค์กร ดังนั้น จึงต้องมีการจัดทำแผนปฏิบัติงานและตรวจติดตามเพื่อทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

1) จัดเตรียมแผนปฏิบัติงาน รายละเอียดของแผนปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

- กิจกรรมที่ต้องกระทำ
- ทรัพยากรที่ต้องใช้ในการปฏิบัติงาน (บุคลากรและงบประมาณ)
- บุคคลที่จะรับผิดชอบกิจกรรมนั้นๆ
- กรอบเวลาในการทำงาน

2) นำแนวทางในการดำเนินการด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่ได้รับการคัดเลือกไปปฏิบัติใช้ ในบางครั้งการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานหรือติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ใหม่อาจต้องมีการฝึกอบรมพนักงานเพิ่มเติมเพื่อให้ทราบถึงวิธีปฏิบัติงานใหม่หรือวิธีการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ใหม่

3) ตรวจสอบและติดตามผลการดำเนินงาน การตรวจสอบและติดตามผลการดำเนินงานเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการประเมินผล ตัวอย่างดัชนีชี้วัดผลสำเร็จ เช่น

- ปริมาณของเสียต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ลดลง
- ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ลดลง
- ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี

4) ปรับปรุงและดำเนินกิจกรรมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดอย่างต่อเนื่อง ทีมงานต้องนำผลที่ได้รับมาปรับปรุงการดำเนินงานให้ดียิ่งขึ้นและต้องนำเสนอผลสำเร็จให้กับบุคคลอื่นๆ ในสถาน

ประกอบการให้รับทราบ รวมทั้งเผยแพร่แนวคิดด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปยังพนักงานทุกระดับ นอกจากนี้สถานประกอบการยังสามารถนำแนวคิดด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปใช้ร่วมกับระบบคุณภาพต่างๆ ที่สถานประกอบการใช้อยู่หรือที่จะใช้ในอนาคตได้



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการตรวจประเมินเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

2.4 ค่าปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของการผลิต (Key Factor)

ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพในการผลิตที่สำคัญของอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทานมี 3 ประเด็นหลัก คือ

1) อัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบที่ใช้ (%Yield) เป็นค่าปัจจัยหลักที่สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการผลิตของโรงงาน โดยคำนวณในรูปของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ออกจากกระบวนการผลิตเทียบกับน้ำหนักวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\%\text{Yield} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (ตัน)} \times 100}{\text{น้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด (ตัน)}}$$

2) การใช้พลังงาน

- **การใช้พลังงานไฟฟ้า** จะใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นค่าปัจจัยหลักที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)}}{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (ตัน)}}$$

- **การใช้พลังงานความร้อน** จะใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อนเป็นค่าปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิต เช่น การใช้พลังงานความร้อนในการต้มผลิตภัณฑ์ การฆ่าเชื้อ และการบรรจุ เป็นต้น ซึ่งการคำนวณค่าปัจจัยดังกล่าวสามารถคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตมีหน่วยเป็นเมกะจูล (MJ) เปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตที่มีหน่วยเป็นตัน (Ton) โดยค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อนซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานความร้อน} = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิต (เมกะจูล)}}{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (ตัน)}}$$

3) การใช้น้ำ เป็นค่าปัจจัยหลักที่สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการนำน้ำประปา น้ำบาดาลหรือน้ำผิวดินมาใช้ในกระบวนการผลิต โดยเทียบเป็นปริมาณการใช้น้ำ (ลูกบาศก์เมตร) ต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ตัน) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ดัชนีการใช้น้ำ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (ลูกบาศก์เมตร)}}{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (ตัน)}}$$

2.5 แนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน

แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทานที่นำมารวบรวมไว้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการโรงงานคัดเลือกวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่เป็นประโยชน์ นำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาและการดำเนินงานของแต่ละโรงงาน โดยแนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับกระบวนการผลิตและหน่วยสนับสนุนการผลิตต่างๆ สำหรับอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน มีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน

- **การผลิตอาหารพร้อมรับประทาน** จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิต (Good Manufacturing Practice: GMP) รวมไปถึงการออกแบบโรงงานให้ถูกสุขลักษณะอนามัยที่ดี มีการแบ่งพื้นที่ความเสี่ยงต่ำ (Low-Care Area) คือ พื้นที่การผลิตที่เป็นกระบวนการก่อนกระบวนการฆ่าเชื้อ และพื้นที่ความเสี่ยงสูง (High-Care Area) คือ บริเวณผลิตอาหารส่วนที่อาหารผ่านกระบวนการแปรรูปหรือหุงต้มสุกแล้วอย่างชัดเจน โดยออกแบบระบบการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์เข้าทางด้านพื้นที่ความเสี่ยงต่ำและออกทางด้านพื้นที่ความเสี่ยงสูงอย่างเป็นระบบ มีการจัดทำตารางการทำความสะอาดและการบริหารจัดการคุณภาพโดยรวม (Total Quality Management: TQM)

- **การบริหารจัดการแผนการผลิตสำหรับขั้นตอนต่างๆ** ให้มีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อครั้งมากที่สุดหรือวางแผนการผลิตให้ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันผลิตให้ได้ปริมาณมากที่สุด เพื่อลดการสูญเสียจากการล้างระหว่างการเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์

- **ระบบปลอดเชื้อ (Aseptic)** ในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานควรทำในระบบปลอดเชื้อให้มากที่สุดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งหากเกิดการตรวจพบเชื้อในผลิตภัณฑ์จนเกิดการส่งคืนผลิตภัณฑ์จะทำให้เกิดการสูญเสียเป็นจำนวนมาก

- **อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหารพร้อมรับประทานด้วยการแช่เย็น** ควรเก็บที่อุณหภูมิระหว่าง -2 ถึง 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นปัญหาของอาหารแช่เย็นหลายชนิดที่เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อโรค สามารถเจริญเติบโตได้ในขณะที่เก็บอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่า 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน หรือเกิดจากการควบคุมอุณหภูมิไม่ดีทำให้อุณหภูมิภายในอาหารสูงขึ้น ส่งผลให้มีการสร้างสารพิษในอาหาร

2.5.2 การเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการผลิต

- **การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์** ในเครื่องฆ่าเชื้อที่ดีควรจะไล่อากาศออกจากเครื่องให้หมดด้วยวิธีการหาค่าการกระจายความร้อนของเครื่องฆ่าเชื้อ เพื่อป้องกันการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์และควรเลือกเครื่องให้เหมาะสมกับบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋อง ควรใช้กับเครื่องฆ่าเชื้อประเภทไอน้ำ

- **การกระจายตัวของอากาศ (Air Distribution)** กระบวนการแช่เย็นและแช่แข็งส่วนใหญ่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอาหาร ซึ่งปัญหาที่สำคัญของการทำความเย็น คือ การกระจายตัวของอากาศ (Air Distribution) โดยเวลาในการทำความเย็นจะสั้นลงเมื่ออากาศมีความเร็วมากขึ้น แต่ก็ต้องใช้พลังงานในการขับพัดลมสูงขึ้นเช่นกัน แม้จะออกแบบให้อากาศมีการกระจายตัวที่ดีแต่หากการจัดการไม่ดี เช่น การจัดเรียงอาหารไม่สม่ำเสมอจะทำให้เกิดช่องว่างที่อากาศไหลไปได้ง่ายโดยไม่ผ่านอาหาร ทำให้อุณหภูมิของอาหารที่ตำแหน่งต่างๆ ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการทำความเย็นนานขึ้น เพื่อให้อาหารที่อยู่บริเวณเย็นช้าที่สุดมีอุณหภูมิตามที่กำหนด

- **การสูญเสียน้ำหนัก (Weight Loss)** ขณะทำความเย็นของอาหารพร้อมรับประทาน เนื่องจากในบางกระบวนการไม่มีการห่อหุ้มอาหารทำให้น้ำในอาหารระเหย แต่การห่อหุ้มอาหารแม้จะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักแต่ก็ต้องแลกกับเวลาการทำเย็นที่นานขึ้น สำหรับอาหารที่ไม่มีการห่อหุ้ม เช่น เนื้อสัตว์ หรือไส้กรอกหลังทำให้สุก การใช้ความเร็วลมสูงๆ แม้จะเป็นการเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำหนัก แต่เพราะเวลาการทำความเย็นสั้นลงทำให้การสูญเสียน้ำหนักโดยรวมลดลงได้

- **ระบบลำเลียงบรรจุภัณฑ์** ในการผลิตบางแห่งมีการใช้น้ำยาหล่อลื่นสายพาน ซึ่งโดยปกติน้ำยาหล่อลื่นจะฉีดลงบนสายพานเมื่อมีการเปิดสวิตช์เดินเครื่องจักร แต่สายพานบางจุดที่ยังไม่ใช้งานก็จะมีน้ำยาหล่อลื่นสายพานถูกฉีดใช้ไปด้วย ทำให้เกิดการใช้น้ำและสารเคมีโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงควรติดตั้งชุดอุปกรณ์ที่เรียกว่า Timer เพื่อช่วยในการฉีดน้ำยาหล่อลื่นสายพานเป็นจังหวะ เปิด-ปิดตามการใช้งานจริงจะช่วยให้ประหยัดน้ำและสารเคมีมากขึ้น รวมทั้งการเลือกใช้หัวฉีดน้ำยาหล่อลื่นสายพานที่เหมาะสมเพียงพอต่อขนาดและความยาวของสายพานเพื่อป้องกันสายพานสะดุดและสายพานขาดได้

2.5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน

- **การเก็บข้อมูลเชื้อเพลิง** โดยปกติการเก็บข้อมูลมักทำได้ยากเนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านอุปกรณ์และการปฏิบัติงาน จึงมีข้อเสนอแนะหรือข้อแนะนำในการดำเนินการดังนี้

  - เชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล กรณีที่โรงงานไม่มีการติดมาตรวัดการใช้เชื้อเพลิง ในการจดข้อมูลส่วนใหญ่จะมีความผิดพลาด เนื่องจากการวัดการใช้เชื้อเพลิงจากถังเก็บน้ำมันที่มีขนาดใหญ่รวมถึงระดับอ้างอิงปริมาณการใช้ของตัวถังเก็บซึ่งส่วนใหญ่ไม่ละเอียด ทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ถูกต้อง ดังนั้นควรมีการปรับความละเอียดในการอ่านค่าปริมาณการใช้น้ำมันของถังเก็บใหม่

  - เชื้อเพลิงก๊าซ เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) กรณีที่โรงงานไม่มีการติดมาตรวัดในการจดข้อมูลส่วนใหญ่จะมีความผิดพลาดเนื่องจากวัดการใช้เชื้อเพลิงจากถังเก็บที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งถังเก็บส่วนใหญ่จะไม่มีสเกลวัดปริมาณเชื้อเพลิงมีเพียงแต่เกจวัดความดัน ทำให้ไม่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงได้ ดังนั้น หากจำเป็นต้องการเก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงสามารถนำข้อมูลการซื้อเชื้อเพลิงมาใช้ได้ เพียงแต่ต้องจดบันทึกปริมาณการใช้น้ำป้อนในรอบที่มีการซื้อเชื้อเพลิงอย่างแม่นยำ กล่าวคือต้องเป็นระยะเวลาเดียวกัน (ชั่วโมงเดียวกัน)

- เชื้อเพลิงแข็ง เช่น แกลบ ไม้สับ กะลาปาล์ม ถ่านหิน ก่อนนำเชื้อเพลิงไปใช้งานทุกครั้งควรมีการชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงทุกครั้ง หรือทำการชั่งน้ำหนักหลายๆ ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยต่อการป้อนเชื้อเพลิง 1 ครั้ง จากนั้นนำค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้มาคูณกับจำนวนครั้งที่ทำการป้อนเชื้อเพลิงต่อวันเทียบกับรอบการจดบันทึกการใช้น้ำป้อนในช่วงระยะเวลาเดียวกัน

- **การเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ** จะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำลงได้ โดยน้ำป้อนที่มีอุณหภูมิที่ต่ำเมื่อนำมาต้มให้กลายเป็นไอต้องใช้เวลาที่นานกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ให้ความร้อนมาก จึงควรมีการอุ่นน้ำป้อนให้อุณหภูมิสูงขึ้นก่อนนำเข้าสู่หม้อไอน้ำ

- **การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ** ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้โดยจะนำน้ำคอนเดนเสทมาผสมกับน้ำป้อนหม้อน้ำเพื่อทำให้น้ำป้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น

- **การนำความร้อนทิ้งจากไอเสียของหม้อน้ำมาถ่ายเทให้กับน้ำมันเตา** ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่หัวฉีดน้ำมันเตาของหม้อน้ำ โดยเดินท่อจ่ายน้ำมันทะลุผ่านขดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ภายในปล่องไอเสียเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากไอเสียสู่น้ำมันเตา ทำให้ลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าในการดูดน้ำมันเตาได้และยังช่วยลดอุณหภูมิของไอเสียก่อนปล่อยสู่บรรยากาศได้อีกด้วย

- **การไล่น้ำที่ค้างในท่อไอน้ำ** หลังจากที่เริ่มเดินระบบหม้อน้ำแล้ว ก่อนการใช้งานไอน้ำทุกครั้งให้ทำการเปิดวาล์วของอุปกรณ์ที่ประกอบกับหม้อน้ำทุกเครื่องเพื่อเป็นการไล่น้ำที่ค้างอยู่ในท่อไอน้ำออกให้หมดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ

- **การปรับอัตราส่วนการเผาไหม้ของหม้อน้ำ** ในกรณีที่โรงงานมีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงควรมีการตรวจวัดค่าองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย ซึ่งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวขนาดกำลังการผลิตไอน้ำไม่เกิน 10 ตันต่อชั่วโมง ควรมีค่าออกซิเจนไม่เกินร้อยละ 4 หากพบว่ามีค่าสูงกว่ามาตรฐานแสดงถึงอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงมากเกินไป ซึ่งอากาศส่วนเกินนี้จะพาความร้อนออกไปทางปล่องไอเสีย ดังนั้น จึงควรมีการปรับอัตราส่วนการเผาไหม้ของหม้อน้ำให้อยู่ในระดับค่ามาตรฐานเพื่อช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงลง

- **การลดเวลาการใช้งานหม้อน้ำ** ส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้ โดยการลดชั่วโมงการใช้งานของหม้อน้ำลง ต้องอาศัยความร่วมมือจากแต่ละฝ่ายในการควบคุมแบบกำหนดเวลาเปิด - ปิดหม้อน้ำ ตัวอย่างเช่น ในช่วงเช้าเปิดก่อนเครื่องจักร 0.5 ชั่วโมง และปิดก่อน 1 ชั่วโมง ซึ่งจะลดการใช้งานลงได้รวม 1.5 ชั่วโมงต่อรอบการทำงาน ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงของหม้อน้ำลงได้

- **การล้างทำความสะอาดหม้อน้ำ** โรงงานควรมีการจ้างผู้รับเหมาจากภายนอกให้ดำเนินการล้างทำความสะอาดหม้อน้ำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ขึ้นอยู่กันจำนวนชั่วโมงการใช้งานและเชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น ถ้าใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงจะมีผลกระทบทำให้เกิดคราบเขม่าจับผิวท่อในปริมาณสูง ดังนั้น โรงงาน

จึงควรเพิ่มความถี่ในการล้างทำความสะอาดหม้อน้ำ โดยการดำเนินการทำความสะอาดคราบเขม่าเองเดือนละ 1 ครั้ง เป็นต้น

- **การหุ้มฉนวนกันความร้อน** โรงงานควรมีการสำรวจตรวจสอบท่อส่งจ่ายไอน้ำที่ไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนหรือบริเวณอื่นที่ฉนวนกันความร้อนชำรุด ทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่มีคุณภาพและความหนาที่เหมาะสมที่ท่อส่งจ่ายไอน้ำเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยไม่จำเป็น

- **การสำรวจและตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap)** ควรดำเนินการอย่างสม่ำเสมอและดำเนินการซ่อมแซมอุปกรณ์ดักไอน้ำที่ชำรุด เพื่อลดการสูญเสียไอน้ำและช่วยประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำของโรงงาน

- **การตรวจสอบตำแหน่งที่มีการรั่วของไอน้ำ** ตามบริเวณท่อส่งจ่ายและอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทั้งหมด โดยกำหนดระยะเวลาการตรวจสอบทุกๆ 1 เดือน และดำเนินการปรับปรุงซ่อมแซมตำแหน่งการรั่วไหลของไอน้ำตามจุดต่างๆ โดยการเปลี่ยนปะเก็นและเชื่อมรอยรูรั่วไหลของไอน้ำหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด เพื่อป้องกันการรั่วไหลของไอน้ำภายในโรงงาน

- **ติดตั้งปล่องระบายลมร้อนขาออกจากคอนเดนเซอร์ในทิศทางที่เหมาะสม** เพื่อป้องกันไม่ให้ลมร้อนไหลย้อนกลับไปแทนที่อากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์ และควรทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อย่างสม่ำเสมอเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ยึดเกาะผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์ ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศลดลง

- **การเพิ่มประสิทธิภาพหอหล่อเย็น** ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้าและขาออก อุณหภูมิอากาศขาเข้า ตรวจประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอหล่อเย็นอยู่เป็นประจำ เมื่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลงควรทำการล้างแผ่นฟิลเลอร์ภายในหอหล่อเย็นและทำความสะอาดหัวกระจายน้ำของหอหล่อเย็นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อทำให้ประสิทธิภาพการกระจายฝอยน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถระบายความร้อนของน้ำได้ดี ลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบสูงขึ้น

- **ติดตั้งอุปกรณ์บังแสงแดดให้กับชุดคอยล์ร้อน (Condensing Unit)** ของเครื่องปรับอากาศเพื่อลดค่าอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ ในกรณีที่ชุดคอยล์ร้อนติดตั้งอยู่กลางแจ้งในจุดที่ได้รับแสงแดดส่องในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ระบบของเครื่องปรับอากาศไม่สามารถระบายความร้อนออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลให้การควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการภายในอาคารหรือในกระบวนการผลิตไม่ได้ตามที่กำหนด

2.5.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

- **การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงาน**

  - โดยทั่วไปการติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณพื้นที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานตามการออกแบบส่วนใหญ่จะใช้สวิตช์เปิด-ปิดรวมกันเป็นกลุ่มแบ่งตามพื้นที่หรือโซน ทำให้เมื่อมีการ

ปฏิบัติงานจำเป็นต้องเปิดไฟฟ้าแสงสว่างขึ้นทั้งกลุ่มโคม แม้จะมีความต้องการใช้งานไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อทำงานในบางพื้นที่เท่านั้น ก็ไม่สามารถที่จะเปิด-ปิดโคมไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ที่ต้องการหรือเฉพาะโต๊ะของพนักงานได้ ซึ่งการติดตั้งสวิตซ์กระตุกสำหรับกับโคมไฟฟ้าเพื่อเปิด-ปิดการใช้งานนั้นจะช่วยในการลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าภายในโรงงานลง

- การใช้หลอดประหยัดพลังงานชนิดหลอด LED จากการที่หลอด LED ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าหลอดชนิดฟลูออเรสเซนต์ถึงหนึ่งเท่าตัวในขณะที่ค่าความสว่างใกล้เคียงกัน และสามารถประกอบลงในชุดโคมเดิมได้ รวมทั้งหลอด LED มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก ทำให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้มาก

- วิธีใช้เครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมในอาคารสำนักงาน[1] มีแนวทางการดำเนินการดังนี้

1) ปิดเครื่องปรับอากาศทันทีเมื่อไม่ต้องการใช้งาน และเมื่อต้องการเปิดเครื่องใหม่อีกครั้ง ควรทิ้งระยะเวลาอย่างน้อย 15 นาที

2) อบรมและปลูกฝังทัศนคติที่ดีในการอนุรักษ์พลังงานให้แก่พนักงาน ให้รับผิดชอบในการปิดการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงหยุดพักเที่ยงและช่วงเวลาก่อนเลิกงานครึ่งชั่วโมง นอกจากนั้นให้เลื่อนเวลาการเปิดใช้งานในช่วงเช้าที่อากาศยังไม่ร้อนเป็นระยะเวลา 15 นาที

3) ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศไม่ต่ำกว่าที่ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากหากตั้งอุณหภูมิให้สูงขึ้นทุก 1 องศา จะประหยัดไฟเพิ่มขึ้นร้อยละ 10

4) แยกสวิตช์เปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศและพัดลมระบายอากาศออกจากกัน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเปิดพัดลมระบายอากาศไว้ตลอดเวลาที่ใช้เครื่องปรับอากาศ

5) เปิดหน้าต่างให้ลมพัดเข้ามาในห้องช่วงที่อากาศไม่ร้อนแทนการเปิดเครื่องปรับอากาศ จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเป็นการถ่ายเทอากาศ

6) ตรวจวัดประสิทธิภาพการไหลเวียนหรือการถ่ายเทของอากาศในห้องปรับอากาศ หากมีการไหลเวียนของอากาศไม่เพียงพอให้แก้ไขโดยติดตั้งพัดลมระบายอากาศ โดยขนาดของพัดลมระบายอากาศต้องมีความเหมาะสมกับขนาดของห้อง

7) ไม่นำต้นไม้มาปลูกในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศเพราะต้นไม้จะคายไอน้ำ ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานมากขึ้น

8) ย้ายเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ปล่อยความร้อน เช่น กาต้มน้ำร้อนไฟฟ้า เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น นำออกไว้นอกห้องปรับอากาศ โดยเฉพาะเครื่องถ่ายเอกสารนอกจากจะปล่อยความร้อนออกสู่ห้อง

[1] ที่มา : นางสาวกนกอร สีแสง สำนักงานตรวจสอบภายใน มหาวิทยาลัยขอนแก่น เข้าถึงเมื่อวันที่ 25/12/2559

ปรับอากาศทำให้สิ้นเปลืองไฟฟ้าแล้ว ผงหมึกจากเครื่องจะฟุ้งกระจายอยู่ในห้องเป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของผู้ปฏิบัติงานบริเวณนั้น

9) ตรวจสอบและอุดรอยรั่วที่ผนัง ฝ้าเพดาน ประตู ช่องแสง เพื่อป้องกันความเย็นรั่วไหลจากห้องปรับอากาศ

10) ทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศอยู่เสมออย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง จะช่วยประหยัดไฟฟ้าได้ร้อยละ 5-7

11) กำหนดตารางการดูแลรักษา ซ่อมบำรุง และมีคู่มือปฏิบัติงาน

12) รณรงค์สร้างจิตสำนึกในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจาก การใช้เครื่องปรับอากาศอย่างจริงจังและต่อเนื่องด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ติดสติ๊กเกอร์ประชาสัมพันธ์ จัดบอร์ดนิทรรศการ การประกาศเสียงตามสาย หรือให้ความรู้โดยการจัดอบรม เป็นต้น

- **การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารคลังเก็บสินค้า**

- การปรับปรุงหรือเพิ่มแผ่นใสของช่องรับแสงสว่างธรรมชาติบนหลังคา ทำให้ได้รับแสงสว่างธรรมชาติในช่วงเวลากลางวันเพิ่มมากขึ้น และเพียงพอต่อการทำงานโดยไม่ต้องเปิดไฟฟ้าแสงสว่างช่วยในช่วงเวลากลางวันอีก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างลงได้

- **การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในพื้นที่กระบวนการผลิตของโรงงาน**

- การเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระงาน ไม่ให้มีขนาดมอเตอร์ที่ใหญ่เกินความจำเป็น เนื่องจากมอเตอร์ทำงานที่ภาระงานต่ำจะทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพและทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปโดยเปล่าประโยชน์

- ทำการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ที่มอเตอร์ของปั๊มน้ำ โดยอาศัยหลักการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ปรับเปลี่ยนตาม ส่งผลให้มอเตอร์สามารถปั๊มน้ำได้เหมาะสมกับอัตราการใช้น้ำ ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์โดยรวมลดลง

- เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 90 ในช่วงภาระงานที่กว้างคือ ตั้งแต่ร้อยละ 70 – 100 ของพิกัด ในขณะที่มอเตอร์มาตรฐานจะมีค่าประสิทธิภาพดีที่สุดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 82 ในช่วงภาระงานที่ร้อยละ 50 – 60 ของพิกัดเท่านั้น

- ตรวจวัดค่าแรงดันด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าภายในโรงงานมีแรงดันไฟฟ้าสูงเกินกว่าพิกัดแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้งาน ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก (Iron Loss หรือ Core Loss) ในหม้อแปลงไฟฟ้าและในอุปกรณ์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแก้ไขโดยการปรับ Tap ด้านปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อให้แรงดัน

ด้านทุติยภูมิ ของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าลดลงอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับค่าพิกัดแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน

- การติดตั้งชุดเติมสารหล่อลื่นอัตโนมัติสำหรับมอเตอร์ โดยปกติพนักงานต้องมาเติมสารหล่อลื่นที่มอเตอร์เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพของมอเตอร์ทุกๆ 1 – 3 เดือน หรือแล้วแต่สภาพการใช้งาน จึงอาจทำให้พนักงานเกิดการลืมหรือเติมสารหล่อลื่นเกินความจำเป็นได้ ดังนั้น จึงควรมีชุดอุปกรณ์ที่เรียกว่า ชุดเติมสารหล่อลื่นอัตโนมัติ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวและลดการทำงานของพนักงานได้

- ติดตั้งชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor Bank) ที่บริเวณตู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board) ซึ่งจะมีผลทำให้ภาระงานของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลงและลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบลง อีกทั้งยังช่วยลดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor: PF)[2] ของโรงงานลงด้วย

- การเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) หรือหอหล่อเย็น (Cooling Tower) ในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นของโรงงานมีสภาพการใช้งานมานาน ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำความเย็นสูงมากขึ้น มีวิธีการคัดเลือกดังนี้

1) สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็น อุณหภูมิน้ำเย็นด้านเข้าและออก กำลังไฟฟ้าที่ใช้ และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นเดิม

2) สำรวจข้อมูลด้านคุณสมบัติทางเทคนิคและด้านราคา เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานและผลตอบแทนการลงทุน

3) จัดทำแผนการดำเนินการติดตั้งเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น

4) ดำเนินการจัดซื้อและติดตั้ง ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการพร้อมทั้งตรวจวัดข้อมูลเชิงเทคนิคเพื่อนำผลมาวิเคราะห์หลังการปรับปรุง

- การทำความสะอาดพื้นที่และตัวพนักงานในโรงงาน ซึ่งใช้ลมในการเป่าฝุ่นที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆ ภายในโรงงาน ควรใช้ลมที่เกิดจากเครื่องเป่าลม (Blower) แทนการใช้ลมที่เกิดจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เนื่องจากลมที่เกิดจากเครื่องอัดอากาศนั้นเป็นลมที่ผ่านการอัดความดัน ซึ่งการนำอากาศอัดมาใช้ในการเป่าฝุ่นเป็นการทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากโดยไม่จำเป็น ซึ่งต่างจากลมที่เกิดจากเครื่องเป่าลมที่ใช้ความเร็วลมเพียงพอที่ความดันปกติ

- การใช้เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ในกรณีที่ต้องการใช้ความดันของอากาศอัดสูง โดยปกติสภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศ จะมีการปรับตั้งความดันการผลิตอากาศอัดสูงสุดไว้ที่ 9.80 บาร์ ซึ่งเป็นความดันลมอัดที่สูง ในขณะที่การสำรวจพิกัดความดันใช้งานโดยทั่วไปของเครื่องจักรและ

[2] ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) คือตัวเลขที่บอกถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ประโยชน์หรือเกิดการทำงานจริงกับขนาดของกำลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากระบบไฟฟ้า ที่มา กรณีตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2558

อุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดมีพิกัดการทำงานที่ความดันลมอัดใช้งานเพียง 5.0-7.0 บาร์ จึงควรทำการปรับลดอัตราการผลิตความดันของอากาศอัดลงให้เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้

- การลดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) ทำการประเมินผลการสูญเสียพลังงานโดยการทดสอบการรั่วไหลของระบบอัดอากาศโดยจับเวลา การทำงานของเครื่องอัดอากาศที่สภาวะมีภาระใช้งาน (On load) และสภาวะไร้ภาระใช้งาน (Un load) ขณะช่วงเวลาที่โรงงานไม่มีการผลิตหรือใช้งานอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัด ซึ่งหากพบว่าเครื่องอัดอากาศมีการทำงานที่สภาวะมีภาระใช้งานเกิดขึ้น แสดงว่ามีการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบหรืออุปกรณ์ จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินวิเคราะห์ผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้น

2) จัดประชุมร่วมกันระหว่างผู้บริหาร ทีมอนุรักษ์พลังงาน และตัวแทนจากฝ่ายผลิต เพื่อให้ทุกคนรับทราบการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลของอากาศอัด เพื่อหาแนวทางในการตรวจสอบและปรับปรุง โดยกำหนดรูปแบบของวิธีการตรวจสอบและแจ้งให้พนักงานทุกคนทราบ

3) ดำเนินการวางแผนการสำรวจหาจุดรั่วไหลทั้งหมดของโรงงาน โดยอาจแสดงสัญลักษณ์ตำแหน่งที่มีการรั่วไหลของอากาศอัดให้ฝ่ายซ่อมบำรุงดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมอย่างเร่งด่วน

- การเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศใหม่ (Air Compressor) ประสิทธิภาพสูงแทนเครื่องเดิม ในกรณีที่โรงงานมีเครื่องอัดอากาศมีสภาพการใช้งานมานาน ให้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอัดอากาศเพื่อตรวจสอบการสูญเสียพลังงานจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

2.5.5 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในระบบต่างๆ

- **การลดการใช้น้ำของน้ำใช้ทั่วไป**

การใช้น้ำในส่วนของน้ำใช้ทั่วไปในโรงงาน สำหรับห้องน้ำ โรงอาหาร การรดน้ำต้นไม้ในส่วนพื้นที่สีเขียวของโรงงานเป็นกิจกรรมที่มักพบการสูญเสียน้ำโดยไม่จำเป็นในโรงงาน เนื่องจากโดยปกติแล้วการตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมกลุ่มนี้จะไม่ได้ทำกันเป็นประจำ เนื่องจากไม่มีการติดตั้งมาตรวัดน้ำสำหรับกิจกรรมเหล่านี้โดยเฉพาะ ความสิ้นเปลืองน้ำของน้ำใช้ทั่วไปเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

- มีพฤติกรรมการใช้น้ำที่ไม่เหมาะสม เช่น ใช้น้ำฉีดล้างสิ่งสกปรกบนพื้นหรืออุปกรณ์ต่างๆ แทนการกวาดหรือเช็ด
- มีน้ำรั่วไหลจากข้อต่อ วาล์ว ท่อ หรืออุปกรณ์ที่ชำรุด โดยไม่ทำการแก้ไข
- ใช้น้ำรดน้ำต้นไม้อย่างฟุ่มเฟือย ไม่ควบคุมดูแล
- นำน้ำไปใช้งานผิดวัตถุประสงค์ เช่น การต่อน้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตนำไปรดน้ำต้นไม้ เป็นต้น

สำหรับแนวทางลดการใช้น้ำใช้ทั่วไปจะเป็นมาตรการในเชิงการจัดการ โดยการตรวจสอบปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงเทียบกับค่าดัชนีมาตรฐานของกิจกรรมต่างๆ เช่น การใช้น้ำของพนักงานในสำนักงานอยู่ที่ประมาณ 40 – 60 ลิตรต่อคนต่อ 8 ชั่วโมง การใช้น้ำในกิจกรรมโรงอาหารอยู่ที่ 50 ลิตรต่อคนต่อวัน เป็นต้น หากตรวจสอบปริมาณน้ำใช้แล้วมีค่าเกินกว่าค่าดัชนีดังกล่าว จะบ่งบอกถึงการใช้น้ำมากเกินความจำเป็นได้

- **การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของอุปกรณ์ต่างๆ**

ในการใช้งานอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำและอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบสาธารณูปโภค เช่น ถังกรองทราย ถังกรองคาร์บอน ระบบอาร์โอ ระบบหม้อน้ำ ระบบหอหล่อเย็น จะมีการใช้น้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น ใช้เพื่อระบายความร้อนจากกระบวนการผลิต ใช้สำหรับล้างเพื่อกำจัดความสกปรก ใช้เพื่อควบคุมปริมาณสารละลายไม่ให้มีสูงเกินไปจนเป็นปัญหากับระบบหรืออุปกรณ์ ซึ่งจะมีแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำที่แตกต่างกัน ดังนี้

- ระบบถังกรองทรายหรือถังกรองมัลติมีเดีย

ขั้นตอนการปฏิบัติงานปกติของโรงงานส่วนใหญ่มักกำหนดเกณฑ์ในการล้างย้อนของถังกรองทรายและถังกรองมัลติมีเดีย โดยใช้เวลากำหนดความถี่สำหรับการล้างย้อน ซึ่งเป็นวิธีกำหนดเกณฑ์การล้างย้อนที่ไม่สอดคล้องกับลักษณะการสะสมของสารแขวนลอยในถังกรองที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณน้ำที่กรอง ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเข้า ซึ่งปัจจัยดังกล่าวไม่ได้สัมพันธ์กับเวลาการทำงานของถังกรองโดยตรง มีแนวโน้มที่ทำให้ความถี่ในการล้างย้อนมากเกินไปเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น การกำหนดความถี่การล้างย้อนที่เหมาะสมควรใช้เกณฑ์ค่าความดันแตกต่าง (Differential Pressure) และกำหนดค่าความดันแตกต่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 – 1.0 บาร์ สำหรับใช้เป็นเงื่อนไขในการล้างย้อนของถังกรองแต่ละใบ

นอกจากนี้การกำหนดระยะเวลาในการล้างย้อนแต่ละครั้ง โรงงานส่วนใหญ่มักกำหนดเป็นช่วงระยะเวลาที่แน่นอน เช่น ล้างย้อนเป็นเวลา 30 นาที แล้วหยุด ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ไม่เหมาะสม ควรพิจารณาใช้การตรวจสอบดูความใสของน้ำที่ออกจากถังกรอง โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าในช่วงการล้างย้อนแทนและการล้างย้อนควรเสร็จสิ้นเมื่อความใสของน้ำที่ออกจากถังกรองใกล้เคียงกับน้ำที่ใช้ล้างย้อน ดังนั้น การลดการใช้น้ำในระบบถังกรองทรายหรือถังกรองมัลติมีเดีย ควรใช้การเลือกเกณฑ์และเวลาในการล้างย้อนให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงานจริง ทำให้ความถี่ในการล้างย้อนและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างย้อนแต่ละครั้งลดลง สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำในระบบถังกรองได้

- ระบบถังกรองคาร์บอน

คาร์บอนเป็นสารกรองที่นำมาใช้ในการกรอง สี กลิ่น และคลอรีนเป็นส่วนใหญ่ เพราะมีคุณสมบัติในการดูดซับสีและกลิ่นซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็กมาก สารกรองคาร์บอนหรือเรียกว่าถ่าน

กัมมันต์เม็ดมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับได้เป็นอย่างดี ซึ่งถ้าหากมีพื้นที่ผิวมากก็จะมีความสามารถในการดูดซับสูงไปด้วย แต่เนื่องจากน้ำแต่ละแห่งที่นำมากรองอาจมีสิ่งเจือปนในน้ำไม่เท่ากัน บางแห่งอาจมีตะกอนแขวนลอยมากับน้ำค่อนข้างมาก ตะกอนพวกนี้จะไปจับที่ผิวของคาร์บอนซึ่งจะทำให้การดูดซับเสื่อมประสิทธิภาพไป ดังนั้น จึงต้องมีการเอาตะกอนดังกล่าวออกไปโดยวิธีการล้างย้อนเช่นเดียวกับการล้างย้อนในระบบของถังกรองอื่นๆ โรงงานมักใช้เวลาเป็นเกณฑ์สำหรับกำหนดความถี่ในการล้างย้อนของถังกรองคาร์บอน ซึ่งเป็นการกำหนดเกณฑ์การล้างย้อนที่ไม่สัมพันธ์กับหน้าที่ของอุปกรณ์โดยตรง เนื่องจากการล้างย้อนในระบบถังกรองคาร์บอนต้องการให้สิ่งสกปรกบนผิวสารกรองคาร์บอนหลุดออกเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีน สี และกลิ่น แต่น้ำป้อนเข้าถังกรองคาร์บอนส่วนใหญ่มักเป็นน้ำที่มีความขุ่นต่ำอยู่แล้ว ซึ่งไม่ต้องการการล้างย้อนบ่อยเหมือนกับถังกรองทรายหรือถังกรองมัลติมีเดีย ดังนั้น ควรใช้การตรวจสอบประสิทธิภาพของสารกรองคาร์บอนเป็นเกณฑ์ในการกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างย้อน รวมทั้งใช้การตรวจสอบดูความใสของน้ำที่ออกจากถังกรองคาร์บอนโดยการสังเกตด้วยตาเปล่าแทน จะช่วยลดการสูญเสียน้ำในระบบถังกรองคาร์บอนได้

- ระบบผลิตน้ำอ่อน

การสูญเสียน้ำในระบบผลิตน้ำอ่อนจะอยู่ในขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเรซิน (Regeneration) เนื่องจากมีการใช้น้ำสำหรับการล้างย้อน การผสมเกลือ การล้างช้าและการล้างเร็ว ซึ่งสาเหตุของการสิ้นเปลืองน้ำในระบบผลิตน้ำอ่อน ส่วนใหญ่เกิดจากวิธีการฟื้นฟูสภาพเรซินที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำอ่อนต่ำกว่าเกณฑ์และต้องทำการฟื้นฟูสภาพเรซินถี่มากขึ้น

การลดการสูญเสียน้ำในระบบผลิตน้ำอ่อนสามารถทำได้โดยการทดสอบด้วยวิธี Elution Study ซึ่งเป็นการศึกษาความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของการฟื้นฟูสภาพเรซินเพื่อหาสาเหตุข้อบกพร่อง ทำให้ทราบประเด็นที่ต้องทำการแก้ไขในการฟื้นฟูสภาพเรซินได้ ช่วยให้สามารถควบคุมขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเรซินได้อย่างถูกต้องและใช้ปริมาณเกลืออย่างเหมาะสม จะทำให้ฟื้นฟูสภาพเรซินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้รอบการผลิตน้ำอ่อนเพิ่มขึ้น ลดการใช้น้ำและเกลือ นอกจากนี้ ในบางระบบพบว่ามีการสูญเสียน้ำในขั้นตอนการล้างสุดท้าย (Final Rinse) ในปริมาณมาก เนื่องจากคุณภาพน้ำหลังจากการฟื้นฟูสภาพเรซินในช่วงแรกยังไม่ผ่านเกณฑ์ที่ต้องการ ไม่สามารถเติมเข้าสู่ระบบได้ต้องเปิดระบายทิ้ง แต่เนื่องจากคุณภาพน้ำที่ออกมาในช่วงการล้างสุดท้ายมีคุณภาพที่ดีกว่าน้ำที่ป้อนเข้าระบบ ดังนั้น สามารถนำน้ำในส่วนนี้หมุนเวียนกลับไปเป็นน้ำป้อนระบบผลิตน้ำอ่อนได้อีก จะช่วยลดการใช้น้ำได้อีกส่วนหนึ่ง

- ระบบผลิตน้ำอาร์โอ

ปกติแล้วในการเดินระบบผลิตน้ำอาร์โอจำเป็นต้องมีการระบายน้ำทิ้งออกมาตลอดเวลาเพื่อทิ้งสารละลายที่แยกจากน้ำป้อนออกไป โดยปริมาณน้ำระบายทิ้งจากระบบสามารถอ้างอิงได้จากค่า % Recovery โดยคำนวณได้จาก

% Recovery = (ปริมาณน้ำอาร์โอที่ผลิตได้ / ปริมาณน้ำป้อน) x 100

ถ้าหากสามารถเพิ่มค่า % Recovery ให้สูงขึ้นจากค่าปัจจุบันได้ ปริมาณน้ำที่ระบายทิ้งของระบบจะลดลง ซึ่งค่า % Recovery ที่เหมาะสมของแต่ละระบบจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณสารละลายในน้ำป้อน ประสิทธิภาพของระบบปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบอาร์โอ การเลือกใช้สารเคมีเพื่อป้องกันเมมเบรน ปริมาณสารละลายในน้ำอาร์โอที่ยอมรับได้ แต่โดยทั่วไประบบอาร์โอที่มีการออกแบบและดูแลอย่างถูกต้องควรมีค่า % Recovery อยู่ในช่วง 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ (เป็นค่ามาตรฐานทั่วไปจากผู้ผลิต/จำหน่ายระบบอาร์โอที่สามารถทำได้) ดังนั้น แนวทางการลดการใช้น้ำของระบบนี้จึงเน้นไปที่การควบคุมคุณภาพน้ำป้อนให้มีคุณภาพดีอย่างต่อเนื่องและมีการตรวจสอบค่าต่างๆ ที่สำคัญอย่างสม่ำเสมอ เช่น ค่า SDI (Silt Density Index) ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำ ค่าเหล็ก ค่าแมงกานีส ค่าอลูมิเนียม เป็นต้น เมื่อควบคุมคุณภาพน้ำป้อนได้อย่างเหมาะสมแล้วก็จะช่วยให้สามารถเพิ่มค่า % Recovery หรือลดอัตราการระบายน้ำทิ้งได้

นอกจากนี้การหากิจกรรมการใช้น้ำในโรงงานที่สามารถนำน้ำระบายทิ้งจากระบบอาร์โอไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มเติม เช่น นำไปล้างพื้น รดน้ำต้นไม้ ใช้เป็นน้ำล้างสำหรับโถปัสสาวะหรือชักโครก เป็นต้น จะช่วยลดการใช้น้ำในภาพรวมได้อีกทางหนึ่ง

- ระบบหม้อน้ำ

ในระบบหม้อน้ำการสูญเสียน้ำจะเกิดขึ้นใน 2 จุดใหญ่ คือ จากการระบายน้ำทิ้งเพื่อควบคุมปริมาณสารละลายและควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐาน มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและการเกิดตะกรันภายในหม้อน้ำ รวมทั้งควบคุมคุณภาพไอน้ำที่ผลิตได้ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในจุดต่างๆ อีกจุดหนึ่งที่มักเกิดการสูญเสียน้ำ คือ การสูญเสียน้ำคอนเดนเสทจากอุปกรณ์ Steam Trap และน้ำคอนเดนเสทที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากเกิดการปนเปื้อนหรือเกิดจากข้อจำกัดของระบบ เช่น ไม่มีระบบท่อสำหรับนำกลับมาใช้หรือมีแรงดันไม่เพียงพอสำหรับนำกลับมายังจุดใช้งาน

แนวทางการลดการระบายน้ำทิ้งจากหม้อน้ำจะพิจารณาจากคุณภาพน้ำระบายทิ้งว่ามีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์คุณภาพน้ำหม้อน้ำตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงหรือไม่ ควบคู่ไปกับคุณภาพของไอน้ำที่ผลิตได้ ถ้าคุณภาพน้ำระบายทิ้งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงและคุณภาพไอน้ำยังอยู่ในเกณฑ์ที่ควบคุม แสดงว่าระบบหม้อน้ำยังสามารถลดการระบายน้ำทิ้งได้ สำหรับมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพน้ำของระบบหม้อน้ำที่ใช้อ้างอิงในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มี 2 หน่วยงาน ได้แก่ มาตรฐาน JIS (Japanese International Standard) และมาตรฐาน ASME (American Society Mechanical Engineers) ซึ่งขึ้นอยู่กับโรงงานจะเลือกใช้มาตรฐานของหน่วยงานใด นอกจากนี้การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำป้อนเข้าระบบหม้อน้ำให้มีคุณภาพดีอย่างต่อเนื่องจะสามารถลดการสิ้นเปลืองน้ำและพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

สำหรับการลดการสูญเสียน้ำคอนเดนเสทสามารถทำได้หลายแนวทาง เช่น การตรวจสอบอุปกรณ์ Steam Trap ให้มีสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งานอยู่เสมอ เพื่อลดการสูญเสียไอน้ำโดยไม่จำเป็น อีกแนวทางหนึ่งที่ควรดำเนินการ คือ พยายามลดการปนเปื้อนในน้ำคอนเดนเสทจากการนำไปใช้งานหรือจัดทำระบบเพื่อแยกน้ำคอนเดนเสทที่ปนเปื้อนกับไม่ปนเปื้อนออกจากกัน หากไม่สามารถทำตามแนวทางดังกล่าวได้ อย่างน้อยควรนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้งานในวัตถุประสงค์อื่น เช่น ใช้เติมเข้าระบบหอหล่อเย็นจะช่วยลดการสูญเสียน้ำในภาพรวมได้

- ระบบหอหล่อเย็น

น้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบหอหล่อเย็นจะถูกนำไปใช้สำหรับวัตถุประสงค์หลัก 2 ส่วน คือ ใช้ในการระเหยกลายเป็นไอเพื่อดึงความร้อนออกจากระบบและใช้ในการระบายทิ้งเพื่อควบคุมปริมาณสารละลายในน้ำหล่อเย็นให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อควบคุมการกัดกร่อน การเกิดตะกรันหรือการอุดตันและปริมาณจุลชีพในน้ำ ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการใช้งานและอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบหอหล่อเย็น

แนวทางการลดการใช้น้ำในระบบหอหล่อเย็นทำได้โดยการลดการระบายน้ำทิ้งเป็นหลักเพราะไม่สามารถลดการใช้น้ำในส่วนของการระเหยกลายเป็นไอได้ เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำของระบบขึ้นอยู่กับภาระการใช้งานของกระบวนการผลิต ยกเว้นแต่การปรับเปลี่ยนระบบการระบายความร้อนด้วยน้ำเป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศจึงจะช่วยลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยได้ เมื่อลดการระบายน้ำทิ้งจากระบบจะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำหล่อเย็นเพิ่มสูงขึ้น ในอุตสาหกรรมทั่วไประดับความเข้มข้นของสารละลายจะประเมินโดยใช้ค่าวัฏจักรความเข้มข้น (Cycle of Concentration) หรือค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นหลัก สำหรับหอหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ดีจะมีค่าวัฏจักรความเข้มข้นหรือค่าการนำไฟฟ้าสูงและไม่ก่อให้เกิดปัญหาใดๆ ต่อระบบ อย่างไรก็ตามแนวโน้มปัญหาของระบบหอหล่อเย็นที่มีค่าวัฏจักรความเข้มข้นสูงมักเป็นปัญหาด้านการเกิดตะกรันหรือการอุดตันมากกว่าปัญหาด้านอื่นๆ

ดังนั้น ในการเพิ่มค่าวัฏจักรความเข้มข้นด้วยการลดการระบายน้ำทิ้งของระบบหอหล่อเย็นจะต้องพิจารณาค่าดัชนีต่างๆ ที่บ่งบอกถึงแนวโน้มการเกิดตะกรันทั้งหมด เช่น ค่า LSI (Langelier Saturation Index) ที่บ่งบอกแนวโน้มการเกิดตะกรันหินปูน ค่าซิลิกา ดัชนีค่าแคลเซียมแมกนีเซียมซิลิเกต CaMgSi (ผลคูณของค่าความเข้มข้นของค่าแคลเซียม แมกนีเซียม และซิลิกาในน้ำหล่อเย็น) ดัชนีค่าแมกนีเซียมซิลิเกต MgSi (ผลคูณของค่าความเข้มข้นของค่าแมกนีเซียมและซิลิกาในน้ำหล่อเย็น) รวมถึงพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของระบบ เช่น บริเวณที่ความเร็วน้ำต่ำ ข้อกำหนดคุณภาพน้ำของผู้ผลิตอุปกรณ์ ข้อจำกัดของสารเคมีที่ใช้ เพื่อใช้หาค่าวัฏจักรความเข้มข้นที่เหมาะสมกับระบบและมีคุณภาพน้ำไม่เกินเกณฑ์ต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว ในระบบหอหล่อเย็นที่มีการเติมสารเคมีที่เหมาะสมสามารถควบคุมค่าดัชนี LSI ได้สูงสุดที่ +2.5 ค่าซิลิกาอยู่ในช่วง 150 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ สำหรับดัชนีค่าแคลเซียมแมกนีเซียมซิลิเกต CaMgSi และดัชนีค่าแมกนีเซียมซิลิเกต MgSi จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและคุณภาพน้ำของหอหล่อเย็น สำหรับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำหล่อเย็นของพารามิเตอร์อื่นๆ

ในน้ำจะอ้างอิงจากข้อแนะนำของผู้จำหน่ายสารเคมีและผู้ผลิตอุปกรณ์หรือผู้ออกแบบเป็นหลัก เมื่อได้ข้อมูลค่าสูงสุดของแต่ละเกณฑ์แล้ว จึงจะนำมาประเมินหาค่าวัฏจักรความเข้มข้นที่เหมาะกับระบบและควบคุมคุณภาพน้ำให้ใกล้เคียงกับค่าที่ควบคุมให้ได้มากที่สุด จะทำให้มีปริมาณน้ำระบายทิ้งลดลงได้

- **การนำน้ำที่ผ่านการใช้งานที่มีคุณภาพดีกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่**

ในโรงงานแต่ละแห่งจะมีความต้องการคุณภาพน้ำเพื่อใช้งานหลายรูปแบบ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ประเภทน้ำคุณภาพสูง เช่น ใช้สำหรับการบริโภคหรือผสมในผลิตภัณฑ์

2) ประเภทน้ำคุณภาพทั่วไป เช่น ใช้สำหรับอุปกรณ์สนับสนุนการผลิตต่างๆ ใช้ในกระบวนการผลิตหรือใช้สำหรับการล้างในกระบวนการผลิตบางประเภท

3) ประเภทน้ำคุณภาพต่ำ เช่น ใช้รดน้ำต้นไม้หรือใช้สำหรับการล้างทั่วไป

ดังนั้น จึงควรวิเคราะห์และพิจารณาว่าการใช้น้ำในแต่กิจกรรมมีพารามิเตอร์ใดที่เป็นเงื่อนไขหรือข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน อาทิเช่น ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความกระด้าง เป็นต้น เมื่อทราบข้อมูลดังกล่าวแล้วจึงนำมากำหนดแนวทางในการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการที่ใช้น้ำคุณภาพสูงสามารถนำไปใช้ซ้ำสำหรับงานที่ใช้น้ำคุณภาพต่ำกว่าในจุดใดได้บ้าง ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้น้ำและลดการระบายน้ำทิ้งลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียได้ เช่น การนำน้ำทิ้งจากระบบผลิตน้ำอาร์โอกลับมารดน้ำต้นไม้หรือนำกลับมาล้างทำความสะอาด เป็นต้น

- **การใช้ประโยชน์จากน้ำฝนที่กักเก็บได้ในโรงงาน**

สำหรับโรงงานที่มีบริเวณพื้นที่มากและอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในเกณฑ์สูง การพิจารณาใช้ประโยชน์จากน้ำฝนที่สามารถเก็บรวบรวมได้ในบริเวณพื้นที่ของโรงงาน เป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติได้ เมื่อพิจารณาคุณภาพของน้ำฝนส่วนใหญ่จะมีปริมาณสารละลายต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับคุณภาพน้ำดิบที่โรงงานใช้อยู่ ซึ่งมีศักยภาพสามารถนำกลับมาใช้กับกิจกรรมบางอย่างในโรงงานได้ แม้ในบางกรณีอาจมีการปนเปื้อนบ้างเนื่องจากน้ำฝนบางส่วนไหลผ่านบริเวณที่มีการผลิต แต่ถ้าใช้ระบบการจัดการหรือเลือกวิธีการบำบัดที่เหมาะสม โรงงานจะสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำฝนอย่างคุ้มค่าได้

- **การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่**

การนำน้ำเสียมาบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่สามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ

- On-Site Recycle เป็นการบำบัดน้ำเสียแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเดียว โดยไม่รวมกับน้ำเสียจากจุดอื่นๆ เช่น การใช้ระบบเมมเบรนบำบัดน้ำระบายทิ้งจากหอหล่อเย็นเพื่อนำกลับไปเป็นน้ำป้อนของหอหล่อเย็นใหม่อีกครั้ง สิ่งเจือปนในน้ำเสียจากจุดเดียวกันจะมีการ

เปลี่ยนแปลงและมีความหลากหลายน้อยกว่าทำให้สามารถทำการบำบัดได้ง่ายขึ้น จึงมีต้นทุนต่ำกว่าการบำบัดในอีกรูปแบบหนึ่ง

- Off-Site Recycle เป็นการบำบัดน้ำเสียที่รวบรวมจากหลายแหล่งกำเนิดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำน้ำเสียจากบ่อบำบัดขั้นสุดท้ายมาบำบัดด้วยระบบเมมเบรนเพื่อนนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ เนื่องจากน้ำเสียขั้นสุดท้ายจะมีสิ่งเจือปนที่มีปริมาณมากกว่าและหลากหลายกว่า ต้นทุนการบำบัดและการดูแลรักษาจะสูงกว่า รวมทั้งทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากน้ำที่บำบัดแล้วจะมีน้อยกว่า

การตัดสินใจเลือกรูปแบบการนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบ สามารถพบได้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป สำหรับโรงงานที่มีการลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่มีมาตรฐานและสามารถบำบัดน้ำเสียได้คุณภาพผ่านเกณฑ์ที่ต้องการ ควรพิจารณาหาจุดใช้งานในโรงงานที่สามารถใช้น้ำคุณภาพต่ำเพื่อนำน้ำเสียในบ่อสุดท้ายกลับมาใช้งาน เช่น การนำไปรดต้นไม้ การนำไปใช้ล้างพื้น จะช่วยลดการใช้น้ำและลดการระบายทิ้งออกจากโรงงานได้ ซึ่งในบางครั้งโรงงานอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการระบายทิ้งด้วย

ในบางกระบวนการน้ำเสียที่เกิดขึ้นอาจมีการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย สามารถบำบัดและนำกลับมาใช้ได้เลย เช่น น้ำล้างย้อนจากถังกรอง น้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการผลิต เป็นต้น เป็นแนวทางที่ควรเลือกในลำดับต้นๆ นอกจากการบำบัดจะมีต้นทุนที่ต่ำสุดแล้วยังช่วยลดภาระของระบบบำบัดน้ำเสียรวม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากน้ำที่บำบัดแล้วได้มากขึ้นด้วย

บทที่ 3
วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่เหมาะสม

การตรวจประเมินโรงงานและการตรวจวัดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต (Key Factor) เป็นขั้นตอนสำคัญในการจัดทำวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่เหมาะสมของโรงงาน ซึ่งการตรวจประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การประเมินเบื้องต้น

เป็นการเดินสำรวจพื้นที่การผลิตและบริเวณโรงงานโดยรอบ และรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของโรงงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ข้อมูลการผลิตและประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง โดยใช้การเขียนแผนผังของกระบวนการผลิตและทำการค้นหาประเด็นที่น่าสนใจเพื่อทำการปรับปรุง

2. การประเมินโดยละเอียด

จากการประเมินเบื้องต้นทำให้ทราบประเด็นที่มีผลกระทบด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญต่อมา ในขั้นตอนการประเมินโดยละเอียดจึงเป็นการค้นหาขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดความสูญเสียสูงที่สุดเพื่อที่จะปรับปรุงแก้ไขได้ตรงจุด โดยอาศัยข้อมูลจากการทำสมดุลมวลสารหรือสมดุลพลังงาน รวมถึงค่าปัจจัยที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานย้อนหลังในช่วงที่ผ่านมา เช่น การใช้น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่นๆ ที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เป็นต้น หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตนั้นๆ ด้วยการใช้แผนภูมิก้างปลา เมื่อทราบถึงสาเหตุแล้วจึงค้นหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษต่างๆและทำการคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมเพื่อนำไปปฏิบัติ

จากการประเมินเบื้องต้นและการประเมินโดยละเอียดตามวิธีการข้างต้นจะทำให้ได้ทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่มีลำดับความยาก-ง่ายในการนำไปปฏิบัติ ซึ่งต้องทำการประเมินความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อมก่อนนำไปลงมือปฏิบัติต่อไป

สำหรับวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษของอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทานที่นำเสนอในบทนี้ได้มาจากการสำรวจกระบวนการผลิตในโรงงานที่เข้าร่วมโครงการตามแนวทางของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดโดยเน้นประเด็นหลักที่มีความสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่

1. ด้านกระบวนการผลิต
2. ด้านการใช้พลังงาน
    2.1 การลดปริมาณการใช้ความร้อน
    2.2 การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า
3. ด้านการใช้น้ำ

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่รวบรวมมา ดังสรุปในตารางที่ 3.1 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้โรงงานอื่นๆ ได้นำไปปรับใช้เพื่อปรับปรุงการผลิตตามความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน โดยได้แสดงวิธีการคำนวณในเชิงทฤษฎีพร้อมตัวอย่าง เพื่อให้โรงงานสามารถประเมินประโยชน์ที่จะได้รับ

หากดำเนินการตามวิธีการดังกล่าว ซึ่งไม่เพียงแต่ได้รับประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์เท่านั้น หากยังมีส่วนช่วยในการลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการผลิตได้อีกด้วย

วิธีการที่นำเสนอในบทนี้เป็นข้อมูลแนวทางในเบื้องต้นเท่านั้น กรณีที่ผู้ประกอบการจะประยุกต์วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษไปใช้จริง ควรมีการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมก่อนนำไปปฏิบัติใช้เพื่อให้สอดคล้องและเหมาะสมกับปัจจัยการผลิตหรือข้อจำกัดต่างๆ ในการผลิตของแต่ละโรงงาน

ตารางที่ 3.1 สรุปวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ		เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง (กิโลกรัม/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
3.1	**วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านกระบวนการผลิต**				
3.1.1	การเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง	1,000,000	482,895	19,459	25
3.1.2	การลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ	600,000	290,181	51,507	25
3.1.3	การลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า	100,000	700,000	-	2
3.1.4	การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	150,000	151,200	-	12
3.2	**วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านการใช้พลังงาน**				
3.2.1	การเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED	4,000,000	4,577,626	750,602	11
3.2.2	การติดตั้งสวิทช์แยกการควบคุมไฟแสงสว่าง	50,000	49,180	8,019	13
3.2.3	การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน	540,000	396,706	64,684	17
3.2.4	การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน	132,000	91,168	14,907	18
3.2.5	การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	20,000	7,488	1,090	33
3.2.6	การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปั้นแบบสายพาน	50,000	55,650	9,255	11
3.2.7	การติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน	2,000	2,081	290	12
3.2.8	การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ	10,000	59,233	17,257	3
3.2.9	การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส	69,000	98,116	11,831	9
3.2.10	การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด	20,000	51,870	8,281	5
3.2.11	การปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม	10,000	29,607	7,496	5
3.2.12	การปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ	300,000	1,965,026	1,316,877	2
3.2.13	การเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ	ไม่มีค่าใช้จ่าย	93,600	86,486	ทันที
3.2.14	การนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่	30,000	8,050	872	45
3.2.15	การลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อ	ไม่มีค่าใช้จ่าย	1,071,185	51,163	ทันที

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ		เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาท/ปี)	ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง (กิโลกรัม/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
	ผลิตภัณฑ์				
3.3	**วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านการใช้น้ำ**				
3.3.1	การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์	50,000	9,028	233	67
3.3.2	การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่	200,000	276,296	78,315	9
3.3.3	การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	20,000	129,298	30,614	2
3.3.4	การการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง	2,000	3,677	44	7
รวม		**7,355,000**	**10,599,161**	**2,529,282**	

3.1 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านกระบวนการผลิต

3.1.1 การเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ในกระบวนการหุงข้าวโรงงานใช้เครื่องหุงข้าวแบบไฟฟ้าขนาด 54 กิโลวัตต์ สามารถหุงข้าวได้ปริมาณ 180 กิโลกรัมต่อรอบ โดยใช้ฮีตเตอร์ทำให้น้ำร้อนจนกลายเป็นไอน้ำเพื่อนำไปใช้หุงข้าวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการหุงข้าวแต่ละครั้ง 60 นาทีต่อรอบ จากข้อมูลโรงงานมีปริมาณในการหุงข้าว 1,400 กิโลกรัมต่อวัน

จากการสำรวจกระบวนการหุงข้าวพบว่าการทำงานของเครื่องหุงข้าวแบบเดิมมีการใช้พลังงานซ้ำซ้อน กล่าวคือใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้น้ำร้อนกลายเป็นไอน้ำนำไปใช้หุงข้าว ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการใช้ไอน้ำไปหุงข้าวโดยตรง อีกทั้งโรงงานมีการซื้อไอน้ำจากโรงงานในเครือมาใช้ในกระบวนการอื่นอยู่แล้วสามารถนำมาใช้ในการหุงข้าวได้โดยใช้งบประมาณไม่สูงมาก

2. แนวทางการปรับปรุง

ปัจจุบันโรงงานซื้อไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตอื่นอยู่แล้วในราคา 170 บาทต่อตันไอน้ำ ซึ่งเป็นต้นทุนที่ต่ำกว่าการใช้ฮีตเตอร์ผลิตไอน้ำ เนื่องจากไอน้ำที่มีความร้อนแฝงจะมีราคาต่ำกว่าความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้าอยู่มาก จึงควรนำไอน้ำที่ซื้อมาจากภายนอกมาใช้ในการหุงข้าวแทนการใช้ไฟฟ้าผลิตไอน้ำ ซึ่งสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนเครื่องหุงข้าวแบบเดิมเป็นหม้อนึ่งแบบที่ใช้ไอน้ำโดยตรง



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวแบบใช้ไอน้ำ[1]

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 1.1)

ปริมาณไฟฟ้าที่ประหยัด	=	150,234	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	482,895	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	1,000,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	1,000,000 บาท / 482,895 บาทต่อปี	
	=	2.07	ปี
	≈	25	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[2] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 150,234 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	=	150,234 x 0.5821	
	=	87,451	กิโลกรัมต่อปี

การใช้ไอน้ำในการผลิตของโรงงานมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.2376 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมไอน้ำ[3] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไอน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 286,160 กิโลกรัมต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น	=	286,160 x 0.2376	
	=	67,992	กิโลกรัมต่อปี
ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	=	87,451 - 67,992	
	=	19,459	กิโลกรัมต่อปี

[1] ที่มา http://www.smenggwork.com/commercial-kitchen-equipments.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 12/08/2560

[2] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน) มกราคม 2560

[3] ที่มาค่าจากการตรวจวัดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงาน

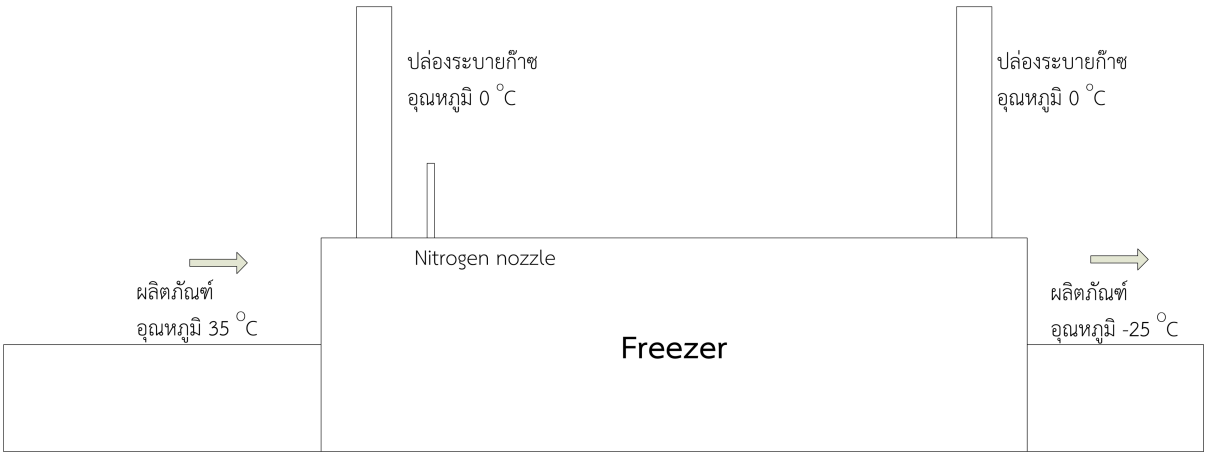
3.1.2 การลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

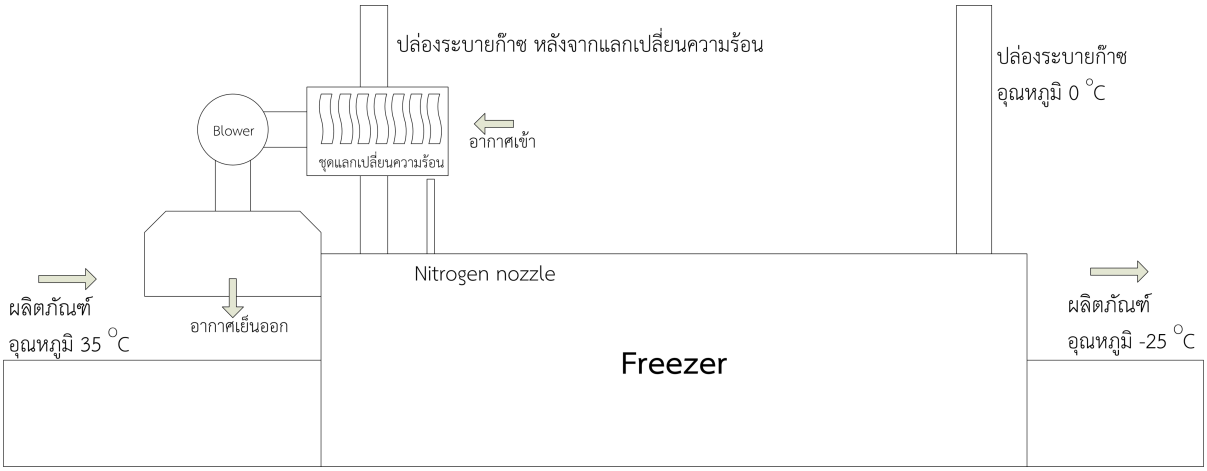
กระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานในปัจจุบันหลังผ่านขั้นตอนจากอบเสร็จแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่อบเสร็จจะมีอุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียสและถูกนำมาเข้าเครื่องแช่แข็งเพื่อลดอุณหภูมิลงเหลือ -25 องศาเซลเซียส โดยใช้ไนโตรเจนช่วยในการลดอุณหภูมิก่อนที่จะบรรจุและเก็บสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากการสำรวจพบว่าขั้นตอนการลดอุณหภูมิต้องใช้เวลาค่อนข้างนานเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เข้าและออกจากเครื่องแช่แข็งมีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก ทำให้ปริมาณการใช้ไนโตรเจนค่อนข้างสูง จากข้อมูลของโรงงานมีปริมาณการผลิตของโรงงานประมาณ 1,480,515 กิโลกรัมต่อปี และมีปริมาณการใช้ไนโตรเจนเหลวประมาณ 3,559,787 กิโลกรัมต่อปี

2. แนวทางการปรับปรุง

เนื่องจากเครื่องแช่แข็งใช้ไนโตรเจนในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้เหลืออุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จากการสำรวจพบว่าที่เครื่องแช่แข็งมีปล่องปล่อยอากาศทิ้งจำนวน 2 ปล่อง ซึ่งควบคุมการไหลของอากาศด้วยแดมเปอร์ โดยอุณหภูมิของอากาศที่ปล่อยทิ้งออกจากเครื่องมีอุณหภูมิเฉลี่ย 0 องศาเซลเซียส โรงงานจึงมีแนวคิดในการนำอากาศที่ปล่อยทิ้งผ่านปล่องมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอกผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้เกิดอากาศเย็น และนำอากาศเย็นที่ได้ไปลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งเข้าเครื่องแช่แข็งไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 เครื่องแช่แข็งก่อนปรับปรุง



รูปที่ 3.3 เครื่องแช่แข็งหลังปรับปรุง

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 1.2)

ปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ลดลง	=	103,636	กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	290,181	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	600,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	600,000 บาท / 290,181 บาทต่อปี	
	=	2.07	ปี
	≈	25	เดือน

การใช้ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบในการผลิตมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.4970 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมไนโตรเจน[4] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไนโตรเจนลดลงเท่ากับ 103,636 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	=	103,636 x 0.4970	
	=	51,507	กิโลกรัมต่อปี

3.1.3 การลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไก่พร้อมรับประทานแบบแช่แข็ง โดยกระบวนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่ตัดแต่งชิ้นเนื้อ หมัก แล้วเข้าสู่กระบวนการทำให้สุก หลังจากนั้นจะให้ชิ้นเนื้อไก่เคลื่อนที่ไปตามสายพานเข้าสู่เครื่องแช่แข็ง (Freezer) ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ผ่านสายพานไปยังกระบวนการบรรจุถุงและบรรจุกล่อง แล้วเข้าห้องเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบพบว่าในกระบวนการผลิตหลังจาก

[4] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

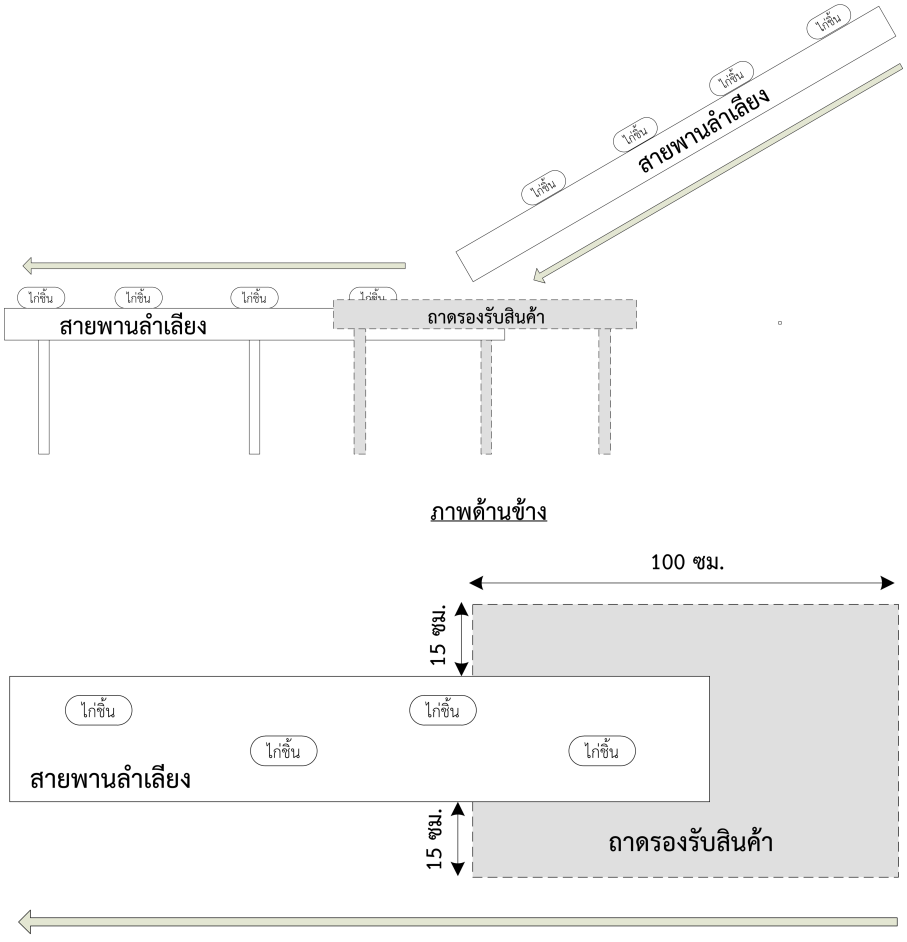
ผ่านเครื่องแช่แข็งแล้วสินค้าจะถูกลำเลียงโดยสายพานจากทางออกของเครื่องแช่แข็งซึ่งอยู่ด้านบนก่อนลงมาสู่สายพานลำเลียงด้านล่าง โดยระหว่างช่วงต่อสายพานลำเลียงจะมีพนักงานคอยกวาดชิ้นเนื้อไก่ให้ตกลงสู่สายพานลำเลียงด้านล่าง แต่ในช่วงรอยต่อนี้จะมีชิ้นเนื้อไก่ตกหล่นจำนวนหนึ่งซึ่งเกิดจากพนักงานกวาดชิ้นเนื้อไก่ไม่หมด ทำให้ชิ้นเนื้อไก่ที่ตกหล่นนี้ต้องทิ้งไปเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลโรงงานมีปริมาณเนื้อไก่ที่ตกลงพื้นในแต่ละวันประมาณ 20 กิโลกรัม และเนื้อไก่มีมูลค่าประมาณกิโลกรัมละ 100 บาท

2. แนวทางการปรับปรุง

แบ่งแนวทางในการปรับปรุงเป็น 2 แนวทาง คือ

1) การเพิ่มขนาดของถาดรองรับสินค้าบริเวณช่วงระหว่างปากทางออกของเครื่องแช่แข็งกับสายพานลำเลียง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

2) การปรับวิธีการกวาดเนื้อไก่ของพนักงานและปรับรูปแบบการวางสายพานให้สามารถรองรับชิ้นเนื้อไก่ได้ดีขึ้น โดยไม่ให้เกิดช่องว่างให้ชิ้นเนื้อไก่ตกหล่นออกนอกสายพานได้



รูปที่ 3.4 ลักษณะถาดรองรับสินค้า

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

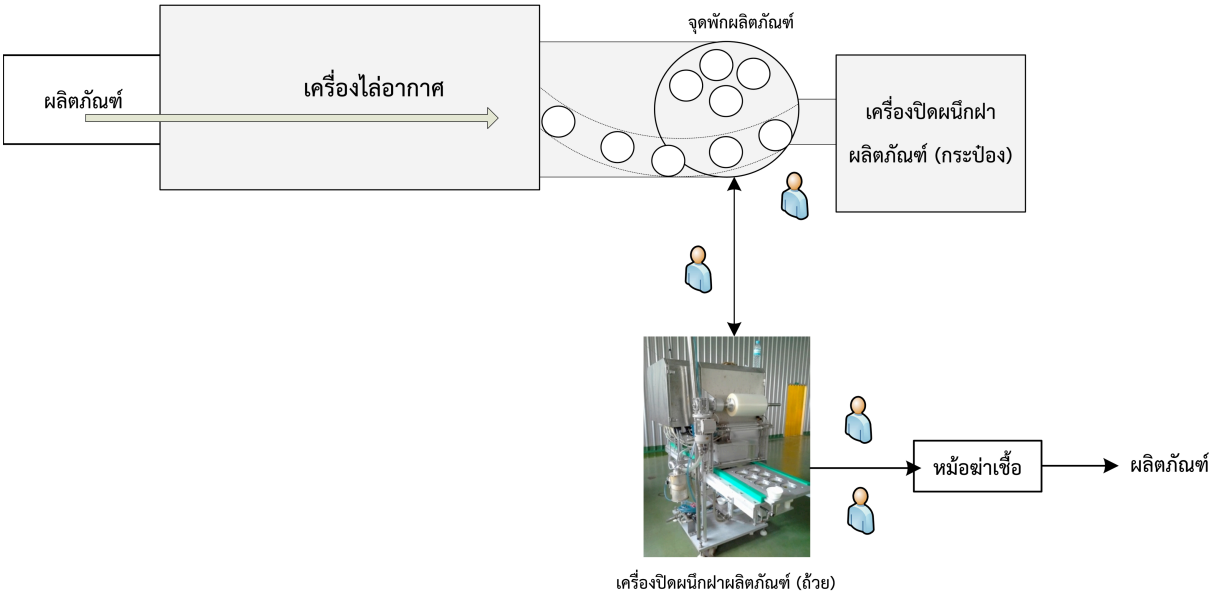
จากผลการดำเนินการดังกล่าว โดยใช้แนวทางการแก้ไขที่ 1 การเพิ่มขนาดของถาดรองรับสินค้าบริเวณช่วงระหว่างปากทางออกของเครื่องแช่แข็งกับสายพานลำเลียงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 1.3)

ปริมาณของเสียที่ลดลง	=	7,000	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	700,000	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	100,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	100,000 บาท / 700,000 บาทต่อปี	
	=	0.14	ปี
	≈	2	เดือน

3.1.4 การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

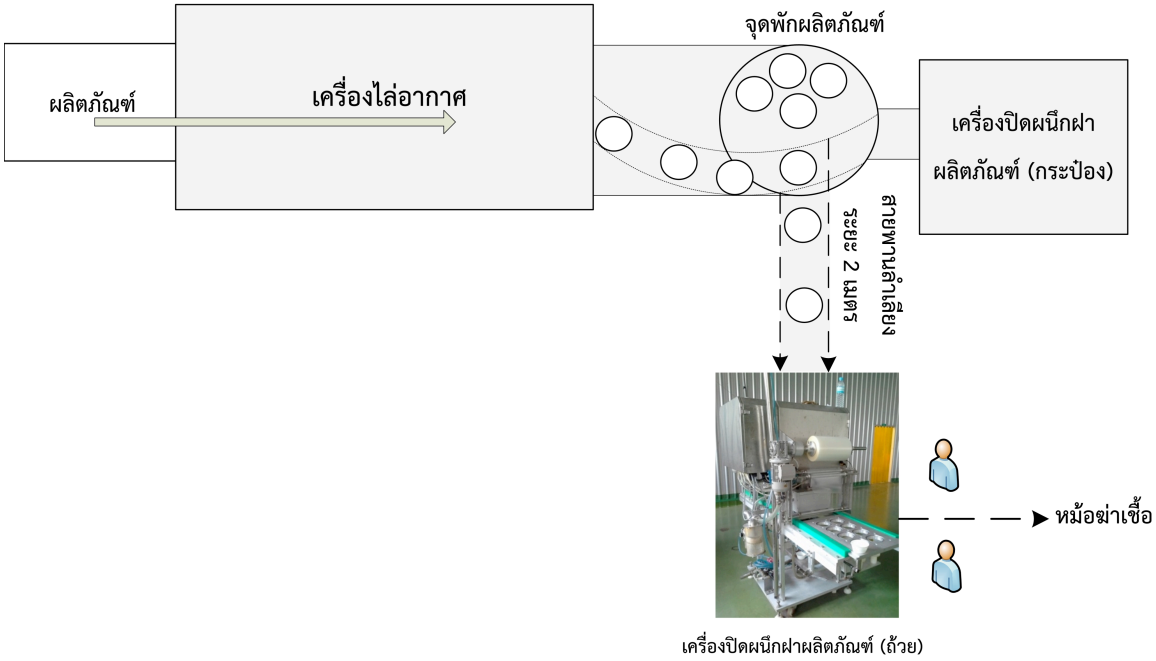
จากกระบวนการผลิตข้าวพร้อมรับประทาน ซึ่งต้องมีการบรรจุข้าวหุงสุกลงในถ้วยพลาสติกและเติมส่วนผสมที่ผ่านการปรุงสุกแล้ว เช่น เนื้อสัตว์ โปรตีนเสริม และเครื่องแกง เป็นต้น บรรจุลงในถ้วยและลำเลียงผ่านสายพานเพื่อผ่านขั้นตอนการไล่อากาศก่อนนำไปปิดผนึกฝา โดยตำแหน่งติดตั้งปัจจุบันของเครื่องปิดผนึกฝา ยังไม่เชื่อมต่อกับสายพานทำให้ต้องใช้พนักงานจำนวน 4 คน ในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการไล่อากาศแล้วไปยังเครื่องปิดผนึกฝาทำให้สูญเสียเวลาในการผลิตและค่าจ้างแรงงานโดยไม่จำเป็น ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง

2. แนวทางการปรับปรุง

จากปัญหาการสูญเสียดังกล่าวมีแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความต่อเนื่องมากขึ้น โดยการออกแบบและติดตั้งชุดสายพานลำเลียงวัตถุดิบจากขั้นตอนการไล่อากาศเชื่อมต่อไปยังเครื่องปิดผนึกฝาผลิตภัณฑ์ ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและช่วยลดจำนวนพนักงานในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ได้เหลือเพียง 2 คน ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะการขนถ่ายผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 1.4)

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	151,200	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	150,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	150,000 บาท / 151,200 บาทต่อปี	
	=	0.99	ปี
	≈	12	เดือน

3.2 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านการใช้พลังงาน

3.2.1 การเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

จากการสำรวจพบว่าโรงงานใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 8,000 หลอด ในระบบแสงสว่างภายในโรงงานโดยเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างภายในโรงงานคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 10 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีหลอด LED มีความก้าวหน้าและมีประสิทธิภาพให้แสงสว่างทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเดิมได้โดยที่ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงครึ่งหนึ่ง รวมทั้งราคาที่ลดต่ำลงมามากเหมาะสมที่จะใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เดิมได้เป็นอย่างดี

2. แนวทางการปรับปรุง

มีแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ โดยใช้เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ LED ขนาด 18 วัตต์ ซึ่งมีความสว่างใกล้เคียงหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเดิมซึ่งจะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 1,289,472 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.1)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	1,289,472	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	4,577,626	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	4,000,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	4,000,000 บาท / 4,577,626 บาทต่อปี	
	=	0.87	ปี
	≈	11	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[5] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 1,289,472 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 1,289,472 x 0.5821

= 750,602 กิโลกรัมต่อปี

[5] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3.2.2 การติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมไฟแสงสว่าง

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานมีการติดตั้งระบบแสงสว่างสำหรับฝั่งดิบโดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ต่อหลอด จำนวน 200 หลอด กระจายทั่วห้อง โดยใช้สวิทซ์ควบคุมการเปิด-ปิด เพียงชุดเดียว การออกแบบติดตั้งสวิทซ์ควบคุมลักษณะนี้เหมาะกับการผลิตที่ต่อเนื่องตลอดทั้งกระบวนการผลิต เพราะจะใช้พื้นที่ทำงานในการทำงานเต็มพื้นที่เนื่องจากมีการเปิด-ปิด ระบบแสงสว่างพร้อมกัน ทำให้ต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ถูกกว่า แต่ในกระบวนการผลิตที่มีการใช้พื้นที่บางส่วน ปิดบางส่วน อาจไม่เหมาะสมกับการที่มีสวิทซ์ควบคุมการเปิด-ปิด เพียงชุดเดียว จึงทำให้ต้องเปิดไฟแสงสว่างทิ้งไว้ด้วย ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ โรงงานมีช่วงเวลาทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 350 วันต่อปี หรือ 8,400 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งการทำงานของโรงงานจะไม่ได้ใช้พื้นที่การผลิตทั้งหมดพร้อมกันตลอดเวลา การติดตั้งสวิทซ์ควบคุมเพียงชุดเดียวจึงไม่เหมาะกับการใช้งาน

2. แนวทางการปรับปรุง

แนะนำให้ทำการติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมหลอดในระบบแสงสว่าง โดยจัดกลุ่มการทำงานเป็นกลุ่มๆตามลักษณะการใช้งาน และใช้สวิทซ์ควบคุมไฟแสงสว่างตามกลุ่มที่ได้จัดแยกไว้ จากการประเมินคาดว่าจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างลงได้ประมาณร้อยละ 20

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.2)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	13,776	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	49,180	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	50,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	50,000 บาท / 49,180 บาทต่อปี	
	=	1.02	ปี
	≈	13	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[6] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 13,776 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 13,776 x 0.5821

= 8,019 กิโลกรัมต่อปี

[6] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3.2.3 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน

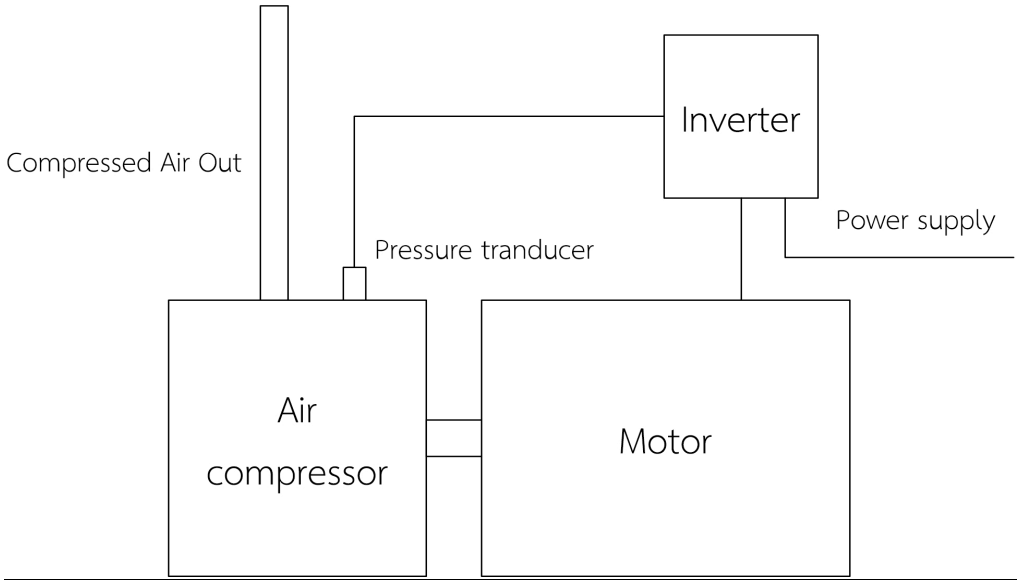
1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

เครื่องอัดอากาศ ทำหน้าที่อัดอากาศภายนอกให้มีแรงดันเพิ่มขึ้นตามต้องการแล้วส่งไปตามระบบส่งอากาศอัดเพื่อนำไปใช้ในระบบควบคุมนิวเมติก ซึ่งใช้สำหรับทำความสะอาดและใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆ ลักษณะการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบสกรูจะเป็นแบบช่วงที่มีภาระการใช้งาน (Load) และไม่มีภาระการใช้งาน (Unload) สลับกันไป หมายความว่าในขณะที่เครื่องอัดอากาศทำงานยังไม่ถึงแรงดันที่ตั้งค่าไว้ เครื่องอัดอากาศจะทำงานเต็มกำลังจนสามารถผลิตลมออกมาได้ตามปริมาณของเครื่องอัดอากาศ เรียกว่า เครื่องทำงานในสภาวะที่มีภาระการใช้งาน และเมื่อเครื่องอัดอากาศทำงานถึงแรงดันที่ตั้งค่าไว้ เครื่องอัดอากาศจะหยุดผลิตอากาศแต่มอเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 40 เป็นลักษณะนี้สลับกันเรื่อยไป หรือสามารถสรุปได้ง่ายๆ คือ สภาวะที่มีภาระการใช้งานเครื่องอัดอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าและผลิตอากาศอัดออกมา แต่สภาวะที่ไม่มีภาระการใช้งานเครื่องอัดอากาศจะใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ไม่ผลิตอากาศอัดออกมา

จากการเข้าสำรวจตรวจวัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศขนาด 90 กิโลวัตต์ พบว่าระยะเวลาการทำงานของเครื่องอัดอากาศช่วงที่มีภาระการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 50 และช่วงระยะเวลาการทำงานของเครื่องอัดอากาศช่วงที่ไม่มีภาระการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 50 ซึ่งช่วงนี้เครื่องอัดอากาศจะใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ไม่ได้ผลิตอากาศอัดออกมา ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์

2. แนวทางการปรับปรุง

ติดตั้งอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่เครื่องอัดอากาศขนาด 90 กิโลวัตต์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้เทคโนโลยี VSD (Vary Speed Drive) สามารถปรับเปลี่ยนรอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้งานได้ โดยใช้แรงดันที่ตั้งค่าไว้ของเครื่องอัดอากาศเป็นตัวกำหนดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ จากนั้นจึงส่งสัญญาณไปปรับค่าความถี่ที่เหมาะสมเพื่อปรับแต่งรอบการหมุนของมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยระบบ PID (Proportional Integral Derivative) อินเวอร์เตอร์จะปรับความถี่ที่ส่งไปยังมอเตอร์ให้มีรอบการทำงานสัมพันธ์กับความต้องการลมและแรงดัน เมื่อรอบการหมุนของมอเตอร์เหมาะสมการใช้พลังงานจะลดลงต่ำสุด เมื่อเทียบกับเครื่องอัดอากาศแบบปกติ ปริมาณการใช้พลังงานจะลดลง ส่งผลให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แรงดันของการใช้งานด้วยระบบอินเวอร์เตอร์จะมีความเสถียรสูงมาก แรงดันจะคงที่เหมาะต่อการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำของแรงดัน ควรมีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระงานที่ใช้จริงเพื่อให้มอเตอร์มีการปรับรอบความเร็วการหมุนที่เหมาะสม โดยลดการสูญเปล่าของกำลังไฟฟ้าในการขับมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีภาระการใช้งานจะส่งผลให้การใช้พลังงานจะลดลงไปมาก เมื่อเทียบกับเครื่องอัดอากาศแบบปกติที่ไม่มีการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ ซึ่งถือว่าเป็นการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด ที่ปรึกษานำเสนอให้ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ที่เครื่องอัดอากาศ

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.3)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	111,122	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	396,706	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	540,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	540,000 บาท / 396,706 บาทต่อปี	
	=	1.36	ปี
	≈	17	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[7] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 111,122 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 111,122 x 0.5821

= 64,684 กิโลกรัมต่อปี

[7] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3.2.4 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

มอเตอร์ปั๊ม ถือได้ว่าเป็นระบบขับเคลื่อนหลักในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ในการใช้งานของปั๊มโดยทั่วไปมีความจำเป็นที่จะต้องปรับอัตราการไหลของของเหลวในท่อส่งเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน เช่น การปรับอัตราการไหลเพื่อควบคุมปริมาณของสารเคมีในกระบวนการผสมของอุตสาหกรรมเคมีต่างๆ หรือการควบคุมความดันภายในท่อส่งให้เหมาะสมกับการใช้งานจากผู้ใช้ เป็นต้น โดยการปรับเปลี่ยนนี้จะอยู่ในทิศทางที่เพิ่มหรือลดอัตราการไหลของของเหลวในท่อส่งลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (เฮดหรือความดัน: P อัตราการไหล: Q) ของปั๊มที่มีการกำหนดจากค่าออกแบบ (Design Point) และ/หรือค่าปรับตั้ง (Set Point) ที่ต้องการ

ทีมที่ปรึกษาร่วมกับทีมงานของโรงงานเข้าสำรวจปั๊มน้ำเย็นขนาด 22 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ชุด ใช้งานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เดินสลับการทำงาน และจากการตรวจวัดพบว่ามีภาระการใช้งานในการทำความเย็นของปั๊มไม่คงที่ บางครั้งมีภาระการใช้งานในการทำความเย็นมาก บางครั้งมีภาระการใช้งานน้อย แต่การทำงานของปั๊มปัจจุบันต้องทำงานในอัตรางานคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ไม่มีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบไปตามสภาพการใช้งานจริง ส่งผลต่อการใช้พลังงานค่อนข้างสูงมาก คิดเป็น 148,262 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

2. แนวทางการปรับปรุง

ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drives: VSD) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverter)[8] เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบให้เหมาะสมกับสภาวะของภาระใช้งาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในกระบวนการต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยสามารถประหยัดพลังงานของมอเตอร์อันเนื่องมาจากความเร็วรอบที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลา

จึงแนะนำให้ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระการใช้งานจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ให้มีความเหมาะสมต่อภาระการใช้งานจริงในแต่ละวันที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา สามารถประหยัดพลังงานของมอเตอร์อันเนื่องมาจากความเร็วรอบที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลาได้

[8] ที่มา “เอกสารเผยแพร่ความรู้เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน-อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์” การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
“กรณีศึกษา 020 การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์กับเครื่องสูบน้ำ”, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
“Good Practice Guide 249 : Energy Saving in Industrial Water Pumping Systems” Best Practice Programme
“Variable Speed Driven Pumps-Best Practice Guide” , BPMA : The Pump IndustryAssociation

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.4)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	25,609	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	91,168	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	132,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	132,000 บาท / 91,168 บาทต่อปี	
	=	1.45	ปี
	≈	18	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[9] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 25,609 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	=	25,609 x 0.5821	
	=	14,907	กิโลกรัมต่อปี

3.2.5 การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 30 กิโลวัตต์ แบบสกรูทำงานแบบมีภาระงานและไม่มีภาระงาน ผลิตอากาศอัด 88.3 ลิตรต่อวินาที จากการตรวจวัดพบว่าโรงงานใช้แรงดันในการผลิตอากาศอัดอยู่ที่ 7.5 บาร์ ต่อภาระงานที่ 6.5 บาร์ โดยเครื่องอัดอากาศจะทำงานช่วงมีภาระงานที่ร้อยละ 61 และทำงานช่วงไม่มีภาระงานที่ร้อยละ 39 ตลอด 24 ชั่วโมง ระยะเวลาทำงาน 300 วันต่อปี เนื่องจากอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง และเมื่ออัดเข้าไปในเครื่องอัดอากาศแล้วจะได้เนื้ออากาศอัดที่มากกว่าเช่นกัน ปกติโรงงานจะติดตั้งเครื่องอัดอากาศเป็นศูนย์รวมหลายๆ ชุด หากมีการต่อท่อดักระบายความร้อนทิ้งออกภายนอกไม่เหมาะสมจะทำให้การระบายความร้อนของระบบอัดอากาศไม่ดีพอ ทางโรงงานควรพิจารณาในการปรับปรุงระบบระบายความร้อนเพื่อนำความร้อนออกนอกห้องเครื่องอัดอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศจากเดิม 40 องศาเซลเซียส เมื่อปรับปรุงลดอุณหภูมิในห้องลงเหลือ 35 องศาเซลเซียส จะทำให้ลดพลังงานลงได้

[9] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

2. แนวทางการปรับปรุง

แนะนำให้ทำการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ โดยการติดตั้งท่อนำส่งอากาศจากเครื่องอัดอากาศนำไประบายทิ้งภายนอกตัวอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องช่วยทำให้อากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิลดลงได้

การลดอุณหภูมิอากาศทุกๆ 3 องศาเซลเซียส จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 1 ของกำลังการผลิตโดยสามารถคำนวณผลประหยัดพลังงานที่ได้จากการลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าได้จากจากสมการพลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศ ดังนี้

$$W_{isen} = \frac{ikR_w(T_1)}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{k-1}{i*k}\right)} - 1\right] \qquad (1)$$

เมื่อ W_{isen} = พลังที่ใช้ในการอัดอากาศ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

i = จำนวนขั้นตอนการอัด (Stage Compressor), 1

k = 1.4 Isentropic of Air Constant

R_w = 0.2871 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน ค่าคงที่ของก๊าซสัมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ที่ระดับน้ำทะเล

T_1 = อุณหภูมิก่อนการปรับปรุง, เคลวิน

T_2 = อุณหภูมิหลังการปรับปรุง, เคลวิน

P_1 = ความดันที่ 1 บรรยากาศ (1.013 บาร์)

P_2 = แรงดันอากาศที่ผลิต, บาร์

$$P = \Delta W_{isen} * Da * FAD * \%L_{DU} \qquad (2)$$

เมื่อ P : พลังไฟฟ้าที่ลดลง, กิโลวัตต์ (1 กิโลวัตต์ เท่ากับ 1 กิโลจูลต่อวินาที)

ΔW_{isen} : ผลต่างของพลังที่ใช้ในการอัดอากาศ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

Da : ความหนาแน่นของอากาศที่ 15 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.225×10^{-3} กิโลกรัมต่อลิตร

FAD : ความสามารถในการผลิตอากาศอัด, ลิตรต่อวินาที

$\%L_{DU}$: เปอร์เซ็นต์การ ON-LOAD ใน 1 รอบการทำงาน

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.5)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	1,872	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	7,488	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	20,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	20,000 บาท / 7,488 บาทต่อปี	
	=	2.67	ปี
	≈	33	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[10] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 1,872 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

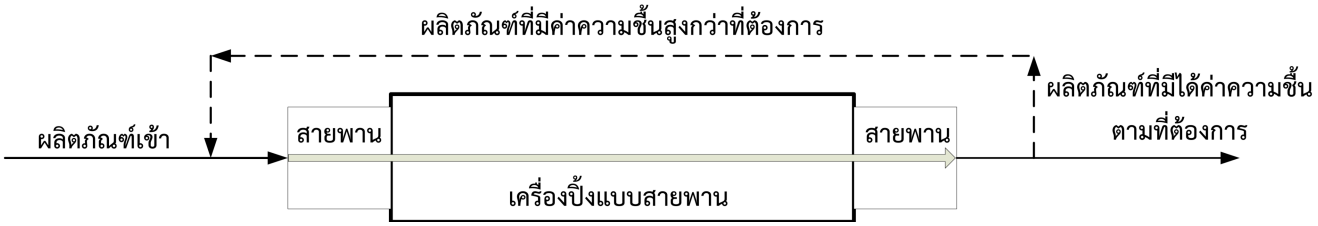
ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 1,872 x 0.5821

= 1,090 กิโลกรัมต่อปี

3.2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ในกระบวนการผลิตหมูอบมีการใช้เครื่องปิ้งแบบสายพานทำหน้าที่อบวัตถุดิบ ซึ่งลักษณะการทำงานของเครื่องจะใช้สายพานลำเลียงหมูแผ่นเข้าสู่เครื่องปิ้ง โดยตั้งค่าอุณหภูมิการอบไว้ที่ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นจะลำเลียงหมูแผ่นวนไปตามความยาวสายพานเป็นจำนวน 3 รอบ จนได้ค่าความชื้นตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 แต่จากการสังเกตที่อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพบว่าเครื่องปิ้งแบบสายพานสามารถทำอุณหภูมิในการอบได้เพียง 120 องศาเซลเซียสเท่านั้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการอบนานขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยที่อุณหภูมิดังกล่าวค่อนข้างต่ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากอุปกรณ์การวัดค่าอุณหภูมิของเครื่องปิ้งมีความคลาดเคลื่อน ขาดความแม่นยำประกอบกับเครื่องปิ้งมีอายุการใช้งานยาวนานและขาดการซ่อมบำรุงอย่างเหมาะสม ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้มีความเสื่อมโทรมชำรุดเช่น ชุดฮีทเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 กระบวนการอบด้วยเครื่องปิ้งแบบสายพาน

[10] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปิ้ง

2. แนวทางการปรับปรุง

แนะนำให้ทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดฮีตเตอร์และชุดเซนเซอร์ควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้การวัดค่าอุณหภูมิมีความเที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้นทำให้เครื่องปิ้งแบบสายพานสามารถทำอุณหภูมิในการอบได้ 150 องศาเซลเซียส ตามที่ตั้งค่าไว้ได้ มีอัตราการระเหยของความชื้นที่ดีขึ้นซึ่งจะสามารถเพิ่มความเร็วในการอบผลิตภัณฑ์และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.6)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	15,900	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	55,650	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	50,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	50,000 บาท / 55,650 บาทต่อปี	
	=	0.9	ปี
	≈	11	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[11] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 15,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 15,900 x 0.5821

= 9,255 กิโลกรัมต่อปี

[11] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3.2.7 การติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

จากการสำรวจโรงงานพบว่า การระบายอากาศในกระบวนการผลิตปัจจุบันมีการใช้งานโบลว์เวอร์ดูดอากาศร้อนและไอน้ำที่ระเหยจากหม้อต้มผลิตภัณฑ์ออกจากบริเวณพื้นที่การผลิตระบายออกสู่ภายนอกเพื่อให้ควบคุมอุณหภูมิไม่สูงเกินไปจนส่งผลต่อการทำงานของพนักงานในพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยโบลว์เวอร์ที่ใช้ปัจจุบันมีขนาด 3.7 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด ระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 312 วันต่อปี

แต่ในการใช้งานโบลว์เวอร์เพื่อดูดอากาศในบางช่วงเวลาไม่มีการใช้งานหม้อต้มแต่ยังมีอากาศเข้าสู่ปล่องลมอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์สำหรับปิดบริเวณปากปล่องลมในช่องที่หม้อต้มไม่ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3.11 ทำให้เพิ่มภาระการทำงานของโบลว์เวอร์สูญเสียพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น



รูปที่ 3.10 ลักษณะปล่องลมระบายอากาศ



รูปที่ 3.11 ช่องปล่องลมระบายอากาศ

2. แนวทางการปรับปรุง

เสนอแนวทางการปรับปรุงโดยการติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดอากาศเพื่อไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมในช่วงที่หม้อต้มหยุดผลิตเพื่อลดภาระให้กับการโบลว์เวอร์และประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.7)

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	499	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	2,081	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	2,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	2,000 บาท / 2,081 บาทต่อปี	
	=	0.96	ปี
	≈	12	เดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[12] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 499 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 499 x 0.5821

= 290 กิโลกรัมต่อปี

3.2.8 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานติดตั้งหม้อน้ำไว้ใช้งานขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 2 ชุด และตั้งแรงดันไอน้ำสำหรับใช้งานไว้ที่ 7 บาร์ โดยหม้อน้ำจะทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ชุด ระยะเวลาเดินระบบหม้อน้ำประมาณ 16 - 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวนวันทำงาน 312 วันต่อปี และใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตาเกรดเอ ประมาณ 796,230 ลิตรต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่าย 8,440,038 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 54.05 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงาน โดยความต้องการใช้ไอน้ำของกระบวนการผลิตประมาณ 1,400 - 1,600 กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง

เนื่องจากตั้งค่าแรงดันไอน้ำไว้ที่ 7 บาร์ เท่ากันทั้ง 2 ชุด ทำให้หม้อน้ำทั้ง 2 ชุด มีการหยุดและทำงานพร้อมกัน ซึ่งหากคำนวณจากการกำลังการผลิตของหม้อน้ำ ณ ปัจจุบัน หม้อน้ำสามารถผลิตไอน้ำรวมกันสูงสุดได้ 4,800 กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นกำลังการผลิตที่มากเกินความต้องการใช้งานส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสูงตามไปด้วย

2. แนวทางการปรับปรุง

แนะนำให้ดำเนินการปรับตั้งค่าแรงดันไอน้ำของหม้อน้ำแต่ละชุดให้แตกต่างกันเพื่อให้ช่วงเวลาการทำงานของหม้อน้ำสอดคล้องกับปริมาณการใช้ไอน้ำในปัจจุบันโดยกำหนดแรงดันไอน้ำของชุดที่ 1 ประมาณ 6 - 7 บาร์ และแรงดันไอน้ำของหม้อน้ำชุดที่ 2 ประมาณ 5.5 - 6.5 บาร์ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไอน้ำและการใช้เชื้อเพลิงประจำวันมาวิเคราะห์ผลประหยัดก่อน-หลังการปรับปรุง โดยเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน

[12] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.8)

ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ลดลง	=	5,588	ลิตรต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	59,233	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	10,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	10,000 บาท / 59,233 บาทต่อปี	
	=	0.17	ปี
	≈	3	เดือน

การใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0883 กิโลกรัมต่อลิตร[13] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันเตาลดลงเท่ากับ 5,588 ลิตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 5,588 x 3.0883

= 17,257 กิโลกรัมต่อปี

3.2.9 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ในกระบวนการผลิตของโรงงานมีการใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) สำหรับการต้มน้ำเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ และใช้ในการลวกวัตถุดิบจากการสำรวจข้อมูลพบว่าโรงงานใช้การต้มด้วยเตาแก๊สเป็นแบบระบบเปิดซึ่งมีเปลวไฟจากเตาแก๊สเป็นสีเหลืองส้มที่บ่งบอกถึงการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ (การสันดาปที่สมบูรณ์เปลวไฟจะเป็นสีน้ำเงิน) โดยสาเหตุเกิดจากเตาแก๊สมีสภาพเก่าและไม่สามารถปรับระดับการให้ความร้อนตามที่ต้องการได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ทำให้มีการสูญเสียพลังงานความร้อนและค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังส่งผลให้สภาพแวดล้อมบริเวณการผลิตมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานด้วย

[13] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560



รูปที่ 3.12 เตาแก๊สที่โรงงานใช้ในปัจจุบัน

2. แนวทางการปรับปรุง

เสนอให้มีการเลือกใช้อุปกรณ์ในการให้ความร้อนแบบใหม่ซึ่งมีลักษณะเป็นเตาให้ความร้อนแบบหุ้มฉนวนมีชุดป้องกันการกระจายความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนสามารถช่วยลดระยะเวลาในการต้มน้ำได้และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานได้เนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบพื้นที่ทำงานลดลง

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.9)

ปริมาณก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้ลดลง	=	3,800	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	98,116	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	69,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	69,000 บาท / 98,116 บาทต่อปี	
	=	0.70	ปี
	≈	9	เดือน

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.1133 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมก๊าซปิโตรเลียมเหลว[14] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวลดลงเท่ากับ 3,800 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 3,800 x 3.1133

= 11,831 กิโลกรัมต่อปี

[14] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3.2.10 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานมีการผลิตโดยใช้การทอด มีปริมาณผลิตภัณฑ์ 206,119.27 กิโลกรัมต่อปี และมีการใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) จากการสำรวจของโรงงาน พบว่าปัจจุบันการทอดโดยใช้หัวเผาแก๊สรุ่นเก่าให้ความร้อนกับแม่พิมพ์ใช้เวลานานทำให้ใช้ก๊าซปริมาณมาก จากข้อมูลมีการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจำนวน 26,595.90 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นเงิน 518,620.13 บาทต่อปี หัวเผาแก๊สแบบธรรมดาทั่วไปที่ใช้ในการหุงต้มอาหารตามครัวเรือนเป็นหัวแก๊สที่ปล่อยแก๊สออกมาโดยตรง ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ เนื่องจากคุณลักษณะการเคลื่อนที่ของเปลวไฟที่สัมผัสกับภาชนะไม่ค่อยดี ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนในส่วนนี้ไปเป็นจำนวนมาก หรือคิดเป็นร้อยละ 65 ของพลังงานที่ใส่เข้าไปทั้งหมด หรือคิดเป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียงร้อยละ 35[15]

2. แนวทางการปรับปรุง

เนื่องจากหัวเผาที่โรงงานใช้มีอายุการใช้งานนานและมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ต่ำ ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองก๊าซโดยไม่จำเป็น จึงเสนอให้ทำการเปลี่ยนหัวเผาชุดเดิมเป็นหัวเผาแบบอินฟราเรด ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงกว่า โดยหัวเผาแบบอินฟราเรดมีลักษณะเป็นแผ่นเซรามิกทนความร้อน มีรูพรุน เตาแก๊สอินฟราเรดจะมีการทำงานแบบซึมแก๊ส โดยแก๊สจะถูกกักเก็บในหัวเผาก่อนแล้วค่อยๆ ปล่อยแก๊สออกมาตามรูพรุน เปลวไฟของเตาแก๊สอินฟราเรดจึงต่ำหรือไม่มีเปลวไฟ ซึ่งให้พลังงานความร้อนได้สูง ด้วยลักษณะการทำงานแบบซึมแก๊ส จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ร้อยละ 45-50[16] ทำให้เตาแก๊สอินฟราเรดสามารถลดการใช้แก๊สได้ถึงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับหัวเผาแก๊สแบบธรรมดาและช่วยลดการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวลงได้



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างหัวเผาแบบอินฟราเรด

[15] ที่มา ผลงานการวิจัยและพัฒนา "เตาแก๊สประสิทธิภาพสูงเพื่อวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม High Efficiency Gas Burners for Small and Medium Scale Enterprises" ของ ศ.ดร.สำเริง จักรใจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[16] ที่มา บริษัท ศักดิ์สยามอุตสาหกรรม จำกัด ผู้ผลิต Infrared gas stove ยี่ห้อ SEKI, www.seiki-stoves.com

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.10)

ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวลดลง	=	2,660	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	51,870	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	20,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	20,000 บาท / 51,870 บาทต่อปี	
	=	0.39	ปี
	≈	5	เดือน

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.1133 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมก๊าซปิโตรเลียมเหลว[17] หลังปรับปรุงมีปริมาณการก๊าซปิโตรเลียมเหลวลดลงเท่ากับ 2,660 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	=	2,660 x 3.1133	
	=	8,281	กิโลกรัมต่อปี

3.2.11 การปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานมีหม้อน้ำขนาด 4 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 1 ชุด ใช้สำหรับกระบวนการผลิตและฆ่าเชื้อ ใช้งานเฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 300 วันต่อปี ผลิตไอน้ำที่ความดัน 7 บาร์ ใช้เชื้อเพลิงรวม 362,600 ลิตรต่อปี โรงงานตั้งค่าความดันในการผลิตไอน้ำไว้ที่ 7 บาร์ แต่ในกระบวนการผลิตใช้แรงดันไอน้ำไม่เกิน 5 บาร์ รวมทั้งชุดหม้อต้ม 2 ชุด ใช้เวลาในการต้ม 2 ชั่วโมงต่อชุด ใช้แรงดันไอน้ำไม่เกิน 3 บาร์ ซึ่งจากการตรวจสอบการทำงานของหม้อน้ำพบว่ามีการตัด-ต่อบ่อยครั้ง เนื่องจากมีปริมาณการใช้ไอน้ำและความต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำที่หม้อน้ำผลิตได้ค่อนข้างมาก

2. แนวทางการปรับปรุง

จากข้อมูลการใช้งานจริงแรงดันไอน้ำที่ต้องการอยู่ที่ 5 บาร์ ดังนั้นจึงสามารถปรับลดแรงดันในการผลิตไอน้ำลงจากเดิม 7 บาร์ เหลือ 6 บาร์ โดยตั้งค่าเผื่อไว้ 1 บาร์ เนื่องจากในช่วงเช้าของแต่ละวันมีการเร่งต้มน้ำเพื่อใช้สำหรับฆ่าเชื้อในกระบวนการผลิตพร้อมกันหลายชุด มีผลทำให้แรงดันไอน้ำตก และเพื่อไม่ให้เกิดแรงดันไอน้ำตกจากการฆ่าเชื้อพร้อมกันหลายชุดจึงควรปรับวิธีการฆ่าเชื้อใหม่เป็นครั้งละ 1 ชุด เพื่อจะได้สามารถลดแรงดันของหม้อน้ำลงอีกครั้งละ 0.5 บาร์ จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานด้านเชื้อเพลิงและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอีกทางหนึ่งด้วย

[17] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.11)

ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ลดลง	=	2,393	ลิตรต่อปี
ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้ลดลง	=	25	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	29,607	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	10,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	10,000 บาท / 29,607 บาทต่อปี	
	=	0.34	ปี
	≈	5	เดือน

การใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0883 กิโลกรัมต่อลิตร[18] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันเตาลดลงเท่ากับ 2,393 ลิตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 2,393 x 3.0883

= 7,390 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำอ่อนเป็นน้ำป้อนหม้อน้ำมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0985 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[19] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำอ่อนลดลงเท่ากับ 25.42 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 25.42 x 3.0985

= 79 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 7,390 + 79

= 7,469 กิโลกรัมต่อปี

3.2.12 การปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

การเผาไหม้ที่ดีหรือการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือการเผาไหม้ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถให้ปริมาณความร้อนเท่ากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและมีองค์ประกอบของการเผาไหม้ที่ดี คือการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจะต้องเป็นไปอย่างทั่วถึงรวมไปถึงระยะเวลาและอุณหภูมิของเชื้อเพลิงต้องเหมาะสม ผลที่ได้จากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ปริมาณของเชื้อเพลิงและออกซิเจนที่ใช้จะต้องได้อัตราส่วนที่พอใช้ สำหรับหม้อน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจึงกำหนดค่าที่เหมาะสมให้อากาศเสียที่ถูกปล่อยออกทางปล่องมีปริมาณอากาศส่วนเกินอยู่ที่ร้อยละ 20 - 50 โดยน้ำหนัก[20] หรือมีปริมาณออกซิเจนอยู่ระหว่างร้อยละ 4 - 7

[18] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

[19] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[20] ที่มาคู่มือบริหารจัดการพลังงานความร้อน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

การเผาไหม้นั้นไม่สามารถทำให้เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ตลอดเวลาเนื่องจากมีปัจจัยหลายๆ ปัจจัย เช่น สภาพของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ไม่คงที่ ระบบควบคุมการเผาไหม้ ฯลฯ ทำให้เราต้องเพิ่มอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เข้าไปเพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมด แต่ถ้าเราเพิ่มอากาศมากเกินไปก็จะทำให้มีการสูญเสียความร้อนที่ปล่องมากเกินไป

จากการสำรวจพบว่าปัจจุบันโรงงานใช้หม้อน้ำขนาด 15 ตันต่อชั่วโมง ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง เฉลี่ยชั่วโมงละ 937 กิโลกรัม โดยที่หม้อน้ำทำงาน 8,400 ชั่วโมงต่อปี เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในไอเสียได้ร้อยละ 12 แสดงถึงการสูญเสียความร้อนที่ปล่องมากเกินไป

2. แนวทางการปรับปรุง

1) ติดตั้งเครื่องตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ปล่องเพื่อตรวจสอบปริมาณออกซิเจน และทำการปรับการเผาไหม้ได้ทันทีที่ปริมาณออกซิเจนมีค่าเกินกว่าที่กำหนด (ร้อยละ 4 - 7)

2) ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ปล่องโดยใช้เครื่องตรวจวัดแบบพกพาและทำการปรับการเผาไหม้เป็นประจำ

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.12)

ปริมาณถ่านหินที่ใช้ลดลง	=	517,112	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	1,965,026	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	300,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	300,000 บาท / 1,965,026 บาทต่อปี	
	=	0.15	ปี
	≈	2	เดือน

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 2.5466 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมถ่านหิน[21] โดยมีปริมาณการใช้ถ่านหินลดลงเท่ากับ 517,112 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 517,112 x 2.5466

= 1,316,877 กิโลกรัมต่อปี

[21] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

3.2.13 การเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

เชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อนกับหม้อน้ำของโรงงานใช้ ไม้ฟืนที่มีขนาดท่อนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ได้ระยะเวลานานขึ้น แต่เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีข้อเสียคือ มีค่าความชื้นสูง และใช้พื้นที่ในการจัดเก็บค่อนข้างมาก ซึ่งพื้นที่ในการจัดเก็บไม้ฟืนของโรงงานไม่เหมาะสมทำให้ไม่สามารถควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทนี้ได้ ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นไม่คงที่จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ



รูปที่ 3.14 ไม้ฟืนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อน้ำ

2. แนวทางการปรับปรุง

แนะนำมีการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงที่นำมาใช้สำหรับหม้อน้ำให้เป็นไม้ฟืนที่มีค่าความชื้นต่ำหรือพิจารณาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการจัดการที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ให้ค่าความร้อนสม่ำเสมอมากขึ้น สำหรับนำมาใช้ทดแทนไม้ฟืนที่พบปัญหาค่าความชื้นสูง โดยหลังจากที่ปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงก็จะทำให้การเผาไหม้ดียิ่งขึ้น ช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำได้มากขึ้น

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.13)

ปริมาณไม้ฟืนที่ลดลง	=	124,800	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	93,600	บาทต่อปี

มาตรการนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน เนื่องจากเป็นการปรับเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กลงหรือมีความชื้นต่ำซึ่งไม่ได้ใช้เงินลงทุนเพียงแต่ปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

การใช้สารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.6930 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมสารชีวมวล[22] หลังปรับปรุงเมื่อเลือกใช้ไม้ฟืนที่มีขนาดเล็กลงและมีค่าความชื้นต่ำจะลดการใช้ไม้ฟืนได้ 124,800 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 124,800 x 0.6930

= 86,486 กิโลกรัมต่อปี

3.2.14 การนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

กระบวนการอบสโม๊คกี้เป็นการใช้ไอน้ำแบบ Indirect Steam โดยไอน้ำจะผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อและไม่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ไอน้ำที่ควบแน่นหลังจากการถ่ายเทความร้อนแฝงไปสู่กระบวนการผลิตแล้วจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวเรียกว่า น้ำคอนเดนเสท ซึ่งมีปริมาณสารละลายต่ำและมีอุณหภูมิสูงประมาณ 100 องศาเซลเซียส ปัจจุบันโรงงานปล่อยน้ำคอนเสททิ้งโดยไม่มีการบริหารจัดการนำกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อนและน้ำเป็นอย่างมาก หากนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงและปริมาณน้ำได้

2. แนวทางการปรับปรุง

เนื่องจากปริมาณความร้อนของไอน้ำที่ควบแน่นกลายเป็นน้ำคอนเดนเสทนั้นมีค่าสูงประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณความร้อนเดิมที่เกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิง จึงเสนอแนะแนวทางในการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ โดยการติดตั้งท่อจากจุดที่ปล่อยน้ำคอนเดนเสททิ้งเพื่อนำมาใช้เป็นน้ำป้อนให้แก่หม้อน้ำซึ่งจะช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อน ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงการใช้น้ำ การใช้สารเคมีปรุงแต่งน้ำ เนื่องจากน้ำคอนเดนเสทเป็นน้ำที่มีปริมาณสารละลายต่ำ และลดการสูญเสียความร้อนไปกับน้ำโบล์วดาวน์

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.14)

ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ลดลง	=	322	ลิตรต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	8,050	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	30,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	30,000 บาท / 8,050 บาทต่อปี	
	=	3.73	ปี
	≈	45	เดือน

[22] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

การใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 2.7080 กิโลกรัมต่อลิตร[23] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลลดลงเท่ากับ 322 ลิตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 322 x 2.7080

= 872 กิโลกรัมต่อปี

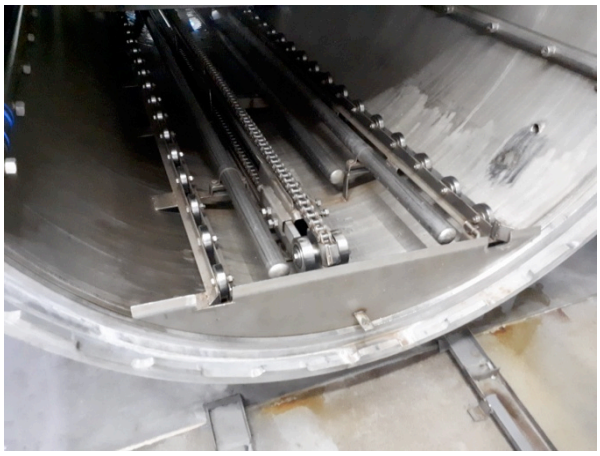
3.2.15 การลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

จากการสำรวจในกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลิตภัณฑ์จะผ่านกระบวนการบรรจุใส่ถุงพลาสติกแล้วปิดผนึก จากนั้นจะถูกนำมาเรียงไว้ในตะแกรงที่เป็นชั้นๆ และนำเข้าหม้อฆ่าเชื้อเพื่อทำการฆ่าเชื้อ โดยในระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อจะมีการฉีดน้ำผสมกับไอน้ำเพื่อทำให้มีอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการฆ่าเชื้อในแต่ละรอบโรงงานจะทำการปล่อยน้ำในหม้อฆ่าเชื้อทิ้งทั้งหมด ซึ่งทำให้สูญเสียน้ำและพลังงานความร้อนไปพร้อมกับน้ำที่ทิ้งไป

2. แนวทางการปรับปรุง

เสนอให้ปรับรูปแบบการทำงานของพนักงานในขั้นตอนการปล่อยน้ำทิ้ง โดยการเก็บน้ำที่ค้างอยู่บริเวณด้านล่างหม้อฆ่าเชื้อด้วยแผ่นกั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.15 เพื่อกักเก็บน้ำร้อนส่วนหนึ่งไว้ในหม้อฆ่าเชื้อ เนื่องจากน้ำที่เหลืออยู่ในหม้อฆ่าเชื้อเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้และเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนในการฆ่าเชื้อในรอบต่อไปได้



รูปที่ 3.15 แผ่นกั้นภายในหม้อฆ่าเชื้อ

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดูในภาคผนวก ก หัวข้อ 2.15)

[23] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลง = 5,400 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ลดลง = 791,154 เมกะจูลต่อปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม = 1,071,185 บาทต่อปี

มาตรการนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน เนื่องจากเป็นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำงาน

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.0612 กิโลกรัมต่อเมกะจูล[24] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวลดลง เนื่องจากการนำน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกลับมาใช้ซ้ำเท่ากับ 791,154 เมกะจูลต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 791,154 x 0.0612

= 48,419 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำเป็นส่วนประกอบในการผลิตมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5081 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[25] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 5,400 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 5,400 x 0.5081

= 2,744 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 48,419 + 2,744

= 51,163 กิโลกรัมต่อปี

3.3 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษด้านการใช้น้ำ

3.3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อเสร็จแล้วจะถูกนำไปไว้ในห้องลดอุณหภูมิภายในห้องจะติดตั้งระบบพ่นน้ำเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.16 เพื่อลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์โดยน้ำเย็นจะพ่นออกมาทางด้านบนเพียงด้านเดียว ซึ่งทำให้น้ำสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้ไม่ทั่วถึง จึงต้องใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์นานและใช้น้ำในปริมาณมาก

[24] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[25] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2560



รูปที่ 3.16 ชุดหัวสเปรย์น้ำเย็น

2. แนวทางการปรับปรุง

สำหรับแนวทางที่จะมานำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการลดอุณหภูมิ คือ การเพิ่มจำนวนหัวฉีดน้ำในอีกสองทิศทาง ได้แก่ ด้านข้างทางด้านซ้ายและด้านขวาภายในห้องลดอุณหภูมิ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำและผลิตภัณฑ์เพื่อลดระยะเวลาในการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ และเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำด้วย โดยจะมีการติดตั้งชุดดึงน้ำเย็นจากกระบวนการอื่นๆ เพื่อเอาน้ำเย็นจากกระบวนการอื่นนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ด้วย

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ3.1)

ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลง	=	459	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	9,028	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	50,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	50,000 บาท / 9,028 บาทต่อปี	
	=	5.54	ปี
	≈	67	เดือน

การใช้น้ำประปาเป็นส่วนประกอบในการผลิตมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5081 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[26] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 459 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 459 x 0.5081

= 233 กิโลกรัมต่อปี

[26]ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

3.3.2 การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ไอน้ำจากหม้อน้ำจะถูกส่งไปตามท่อส่งเพื่อใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำแบบสัมผัสโดยตรงและแบบไม่สัมผัส ดังนั้นไอน้ำที่ไหลผ่านท่อจะเกิดการสูญเสียความร้อน และเมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ใช้ไอน้ำแบบไม่สัมผัสจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งเรียกว่า น้ำคอนเดนเสท โดยน้ำคอนเดนเสทนี้เองจะต้องถูกนำออกจากระบบอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้กับดักไอน้ำเพื่อประสิทธิภาพการใช้งานของระบบไอน้ำ

จากการสำรวจพบว่า โรงงานใช้น้ำอาร์โอเป็นน้ำป้อนสำหรับหม้อน้ำขนาด 15 ตันต่อชั่วโมง มีปริมาณน้ำป้อนเฉลี่ย 156 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อผ่าน Economizer เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอร้อนแล้ว ได้อุณหภูมิน้ำป้อนสูงขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส ในระบบท่อส่งไอน้ำหลักมีการเดินท่อน้ำคอนเดนเสทคู่ขนานไปกับท่อส่งไอน้ำหลักเป็นระยะทางกว่า 200 เมตร ซึ่งก่อนหน้านี้มีการนำน้ำคอนเดนเสทกลับไปเข้าถังเพื่อใช้เป็นน้ำป้อนของหม้อน้ำตัวเดิม แต่ในปัจจุบันมีการติดตั้งหม้อน้ำใหม่ขนาด 15 ตันต่อชั่วโมง และถังน้ำป้อนใหม่ทำให้ไม่ได้นำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้งาน โดยปล่อยน้ำคอนเดนเสทระบายทิ้งสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้สูญเสียทั้งน้ำคอนเดนเสทที่มีคุณสมบัติที่ดีและมีความร้อนอยู่ ดังนั้นหากโรงงานนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาที่ถังน้ำป้อนได้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านน้ำและพลังงานของหม้อน้ำได้

2. แนวทางการปรับปรุง

เนื่องจากน้ำคอนเดนเสทเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำ ดังนั้น น้ำคอนเดนเสทจึงมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการที่จะใช้เป็นน้ำป้อนสำหรับหม้อน้ำเพราะนอกจากจะเป็นน้ำที่มีปริมาณสารละลายต่ำแล้ว ยังมีความร้อนสะสมอยู่ด้วย ดังนั้น จึงสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้โดยการต่อท่อจากจุดเดิมที่ปล่อยทิ้งน้ำคอนเดนเสทนำกลับมาใช้เป็นน้ำป้อนให้แก่หม้อน้ำ จะช่วยลดค่าเชื้อเพลิงในหม้อน้ำ ลดปริมาณการใช้น้ำ ช่วยลดการใช้สารเคมีปรุงแต่งน้ำ และยังช่วยลดการสูญเสียความร้อนไปกับโบล์วดาวน์ได้มากขึ้น เนื่องจากน้ำคอนเดนเสทมีปริมาณสารละลายต่ำจึงช่วยลดความถี่ในการโบล์วดาวน์ได้

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 3.2)

ปริมาณถ่านหินที่ใช้ลดลง	=	28,499	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลง	=	4,200	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	276,296	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	200,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	200,000 บาท / 276,296 บาทต่อปี	
	=	0.72	ปี

≈ 9 เดือน

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 2.5466 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมถ่านหิน[27] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ถ่านหินลดลงเท่ากับ 28,499 กิโลกรัมต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 28,499 x 2.5466

= 72,576 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำอาร์โอเป็นน้ำป้อนหม้อน้ำมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 1.3664 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[28]หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำอาร์โอลดลงเท่ากับ 4,200 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 4,200 x 1.3664

= 5,739 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 72,576 + 5,739

= 78,315 กิโลกรัมต่อปี

3.3.3 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

การโบล์วดาวน์ (Blowdown)[29] หมายถึง การระบายน้ำที่มีความเข้มข้นของสารละลายและอนุภาคต่างๆ เกินกว่าระดับที่เหมาะสมออกจากหม้อน้ำ (Boiler) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกรัน (Scale Formation) ภายในหม้อน้ำและระบบท่อ ป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion) เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลาย ป้องกันการปนของน้ำร้อนไปกับไอน้ำ (Carryover) เนื่องจากการเดือดอย่างรุนแรงภายในหม้อน้ำเพราะความเข้มข้นของสารละลายที่สูงขึ้น

ความเข้มข้นของสารละลายที่สูงขึ้นในหม้อน้ำ เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อน้ำเกิดระเหยเป็นไอน้ำไปเรื่อยๆ แต่สารละลายหรืออนุภาคต่างๆ ไม่ได้ระเหยไปกับไอน้ำเหล่านั้น เมื่อมีการเติมน้ำทดแทนไอน้ำที่ระเหยไปมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงตลอดเวลาซึ่งจำเป็นต้องระบายน้ำที่มีความเข้มข้นสูงออกจากหม้อน้ำเพื่อกำจัดสารละลายเหล่านั้นออกจากระบบหม้อน้ำ

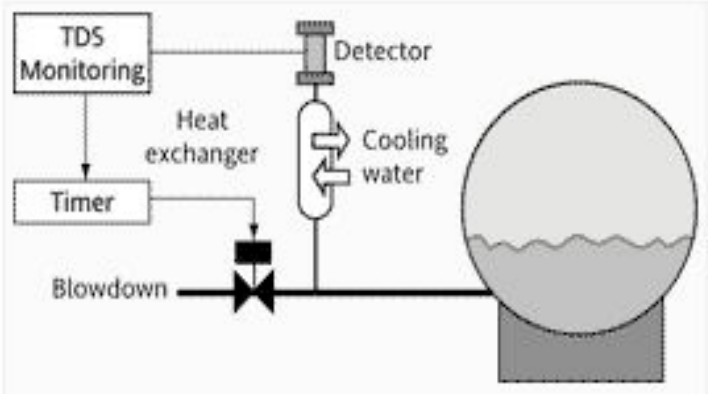
จากการสำรวจโรงงานใช้น้ำอ่อนเพื่อป้อนให้แก่หม้อน้ำขนาด 4 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณน้ำป้อนประมาณ 586 ลิตรต่อวัน ซึ่งโรงงานควบคุมการโบล์วดาวน์น้ำในหม้อน้ำโดยกำหนดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolved Solid, TDS) ไม่เกิน 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดซึ่งแนะนำให้ควบคุมค่าของแข็งละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 3000 - 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดการ

[27] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560
[28] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559
[29] ที่มา http://www.foodnetworksolution.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 15/05/2560

สูญเสียพลังงานความร้อนที่ต้องปล่อยออกไปกับการโบล์วดาวน์โดยไม่จำเป็น หากโรงงานสามารถปรับเกณฑ์การโบล์วดาวน์ให้มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานได้จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานและการใช้น้ำได้

2. แนวทางการปรับปรุง

ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการระบายน้ำแบบอัตโนมัติซึ่งมีอุปกรณ์วัดค่าของแข็งละลายน้ำได้ (TDS Meter) ประกอบอยู่เนื่องจากการควบคุมการระบายน้ำโดยไม่ใช้ระบบอัตโนมัตินั้นจะไม่สามารถทราบถึงระดับความเข้มข้นของสารละลายในน้ำได้ การปรับระดับการระบายน้ำจึงไม่สามารถทำได้อย่างเหมาะสม ผู้ปฏิบัติงานจะไม่ทราบว่าเมื่อใดควรเปิดโบล์วดาวน์เพื่อระบายน้ำและเปิดนานเท่าใด ด้วยเหตุนี้หากมีการใช้ระบบการระบายน้ำแบบอัตโนมัติก็จะสามารถปรับอัตราการโบล์วดาวน์ให้แปรผันตามระดับความเข้มข้นของสารละลายในหม้อน้ำได้ สามารถตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายในหม้อน้ำเพื่อปรับวาล์วระบายน้ำได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งปรับเปลี่ยนเกณฑ์การโบล์วดาวน์จากที่กำหนดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงไม่เกิน 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานที่ 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดการสูญเสียพลังงานและน้ำได้มากขึ้น



รูปที่ 3.17 ระบบการระบายน้ำแบบอัตโนมัติ

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 3.3)

ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ลดลง	=	8,786	ลิตรต่อปี
ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลง	=	1,123	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	129,298	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	20,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	20,000 บาท / 129,298 บาทต่อปี	

= 0.15 ปี

≈ 2 เดือน

การใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0883 กิโลกรัมต่อลิตร[30] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันเตาลดลงเท่ากับ 8,786 ลิตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 8,786 x 3.0883

= 27,134 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำอ่อนเป็นน้ำป้อนหม้อน้ำมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0985 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[31] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 1,123 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 1,123 x 3.0985

= 3,480 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 27,134 + 3,480

= 30,614 กิโลกรัมต่อปี

3.3.4 การติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานใช้น้ำประปาในกระบวนการผลิตปริมาณ 5.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยนำมาใช้ล้างทำความสะอาดในกระบวนการผลิตปริมาณ 4 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นค่าใช้จ่าย 45,265 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 72.72 ของน้ำประปาทั้งหมดในรอบวัน

จากการสำรวจโรงงานพบว่าพนักงานมีพฤติกรรมเปิดวาล์วน้ำทิ้งไว้ตลอดเวลาในช่วงเวลาที่ล้างทำความสะอาดพื้น และบริเวณปลายสายยางไม่มีการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิด ทำให้เวลาลากสายยางไปล้างยังจุดอื่นต้องเปิดน้ำไว้ตลอดเวลา เกิดการสูญเสียน้ำโดยไม่จำเป็น

2. แนวทางการปรับปรุง

ติดตั้งวาล์วเปิด-ปิดน้ำที่ปลายสายยางที่ใช้ล้างทำความสะอาด โดยสุ่มตรวจวัดปริมาณน้ำล้างทำความสะอาดพื้นต่อรอบก่อนการติดตั้ง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์การสูญเสียน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดต่อวันเทียบกับหลังปรับปรุง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลประหยัด

3. ผลประโยชน์ด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการดำเนินการดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก หัวข้อ 3.4)

[30] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

[31] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลง	=	87	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้รวม	=	3,677	บาทต่อปี
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	2,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	2,000 บาท / 3,677 บาทต่อปี	
	=	0.54	ปี
	≈	7	เดือน

การใช้น้ำประปาเป็นส่วนประกอบในการล้างทำความสะอาดมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5081 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[32] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 87 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 87 x 0.5081

= 44 กิโลกรัมต่อปี

[32] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

บทที่ 4
กรณีศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ

กรณีศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่นำเสนอในบทนี้ เป็นตัวอย่างที่มีการดำเนินงานแล้วในอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทานที่เข้าร่วมโครงการ ซึ่งหากโรงงานอื่นสนใจมีการนำไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งช่วยลดมลพิษและเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้อีกด้วย เนื้อหาของกรณีศึกษาแต่ละวิธีจะประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานและสภาพปัญหา แนวทางการปรับปรุง เงินลงทุน ผลประโยชน์ด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ พร้อมกับแสดงรายละเอียดการคำนวณที่เกี่ยวข้องไว้ด้วย สำหรับผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษาทั้งหมดสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษา

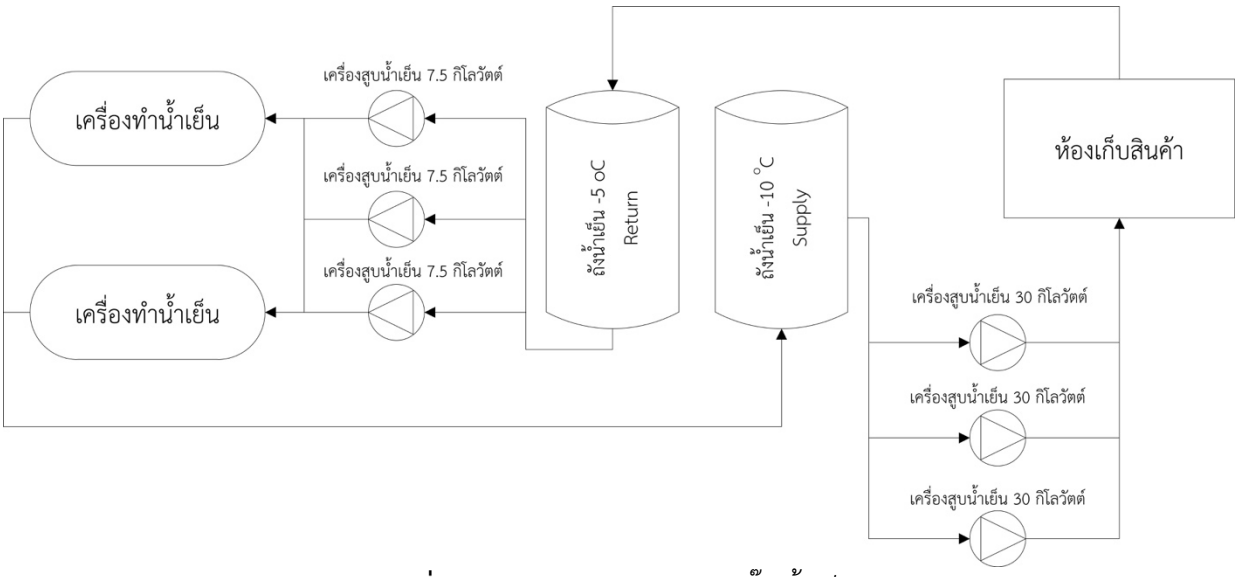
มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง (กิโลกรัมต่อปี)
4.1 การลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	130,000	25,811	61	4,232
4.2 การปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook	38,800	1,752,000	1	(-37,060)
4.3 การติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์	398,000	238,320	21	(-83)
4.4 การลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง	5,000	8,985	7	760
4.5 การระบายความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ	38,500	175,665	3	29,216
4.6 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งละลายน้ำได้ให้เหมาะสม	ไม่มีค่าใช้จ่าย	400,581	ทันที	22,082
4.7 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน	10,000	38,535	4	6,283
4.8 การติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์	60,000	31,940	23	40,722
4.9 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการปรับเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน	43,459	618,114	1	12,223
4.10 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน	108,000	223,200	6	32,481
4.11 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ	548,000	2,061,486	4	(-620)

มาตรการ	เงินลงทุน (บาท)	ผลประหยัด (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง (กิโลกรัมต่อปี)
4.12 การลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย	ไม่มีค่าใช้จ่าย	144,900	ทันที	24,099
4.13 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน	320,000	323,122	12	54,049
รวมผลการนำ CT Option ไปปฏิบัติใช้	**1,699,759**	**6,042,659**	**-**	**188,384**

4.1 การลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานมีห้องเก็บสินค้าที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 5 องศาเซลเซียส โดยกระบวนการทำความเย็นในห้องเก็บสินค้าจะใช้เครื่องทำความเย็น (Chiller) ขนาด 110 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง ทำน้ำเย็นที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ส่งไปที่ถังเก็บ 1 และใช้ปั๊มน้ำเย็นขนาด 30 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด ส่งน้ำเย็นไปที่ห้องเก็บสินค้าผ่านเครื่องระเหย (Evaporator) เมื่อน้ำเย็นผ่านเครื่องระเหยแล้วอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็น -5 องศาเซลเซียส แล้วส่งน้ำเย็นกลับมาที่ถังเก็บ 2 และใช้ปั๊มน้ำเย็นขนาด 7.5 กิโลวัตต์จำนวน 3 ชุด ส่งน้ำเย็นไปลดอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นให้เหลือ -10 องศาเซลเซียส อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการทำงานจะวนเป็นวงจรลักษณะเช่นนี้ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยที่เครื่องจักรในระบบทำน้ำเย็นนี้จะทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ระยะเวลาทำงาน 365 วันต่อปี โดยปั๊มน้ำเย็นมีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปี และใช้มอเตอร์รุ่นเก่าซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำโดยมีประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 90.7 ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 22.5 กิโลวัตต์ การตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ลักษณะการทำงานของปั๊มน้ำเย็น



รูปที่ 4.2 ปั๊มน้ำเย็นของโรงงาน ขนาด 30 กิโลวัตต์



รูปที่ 4.3 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็น

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีมอเตอร์ได้พัฒนาไปมาก โดยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงถูกผลิตขึ้นในเชิงพาณิชย์มากขึ้นและมีราคาต่ำลง มีประสิทธิภาพมากกว่ามอเตอร์แบบเดิมประมาณร้อยละ 5-10 ขึ้นอยู่กับขนาดของมอเตอร์

ดังนั้น จึงเสนอแนวทางให้โรงงานเปลี่ยนจากมอเตอร์รุ่นเดิมซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงกว่า มาเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในการขับเคลื่อนปั๊มน้ำเย็นเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยมีข้อมูลทางด้านเทคนิคดังแสดงในรูปที่ 4.5 เมื่อดำเนินการเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขนาด 30 กิโลวัตต์ จากรูปมอเตอร์ใหม่จะมีประสิทธิภาพของมอเตอร์ร้อยละ 94.20 สามารถคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ต้องการของมอเตอร์ใหม่และกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ดังนี้



รูปที่ 4.4 มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor)

			400V 50Hz										380V 50Hz	415V 50Hz		
			Efficiency		Power factor		Current		Torque				Current	Current		
			at % full load		at % full load											
kW	Motor frame	Speed [r/min]	100 [%]	75 [%]	100 [%]	75 [%]	Full load I_N [A]	Locked rotor I_L/I_N	Full load T_N [Nm]	Locked rotor T_L/T_N	Break down T_B/T_N	t_E time[2] [sec]	Full load I_N [A]	Full load I_N [A]	Moment of inertia $J=¼GD^2$ [kg·m²]	Weight of foot mount motor [kg]
3000 r/min = 2 poles																
0.75*	80A	2870	**82.4**	83.2	**0.85**	0.79	1.55	7.2	2.5	2.9	3.1	11	1.61	1.52	0.001	18
1.1	80B	2890	**83.4**	83.5	**0.85**	0.80	2.2	8.0	3.6	3.2	3.2	12	2.3	2.2	0.001	18.5
1.5*	90S	2910	**86.3**	85.7	**0.84**	0.77	3.0	9.7	4.9	4.1	4.4	6	3.0	2.9	0.001	24
2.2*	90L	2900	**87.5**	87.4	**0.85**	0.80	4.2	9.5	7.2	3.9	3.8	5	4.4	4.2	0.002	26
3*	100L	2900	**88.1**	88.5	**0.88**	0.85	5.6	8.5	9.9	3.0	3.5	6	5.8	5.4	0.004	37
4	112M	2915	**88.8**	88.9	**0.89**	0.85	7.3	9.4	13.1	3.0	4.0	9	7.6	7.2	0.006	48
5.5	132SA	2925	**89.1**	88.8	**0.89**	0.86	10.1	7.7	18.0	2.3	3.3	7	10.4	9.8	0.013	62
7.5	132SB	2920	**90.2**	90.4	**0.90**	0.88	13.4	7.9	24.5	2.3	3.0	12	14.0	13.0	0.015	73
11*	160MA	2950	**92.3**	91.8	**0.88**	0.85	19.6	7.9	35.6	2.3	3.0	6	20.3	19.1	0.045	121
15*	160MB	2950	**92.5**	92.3	**0.89**	0.86	26.4	7.8	48.6	2.1	2.9	6	27.4	25.9	0.051	129
18.5	160L	2940	**92.3**	92.3	**0.89**	0.87	32.5	7.6	60.1	2.1	2.7	5	34.0	31.7	0.057	151
22	180M	2950	**93.1**	93.0	**0.88**	0.86	38.6	7.9	71.2	2.4	2.7	5	40.1	37.7	0.078	184
30*	200LA	2970	**94.2**	93.6	**0.87**	0.83	53	9.1	96.5	3.0	2.9	5	55	52	0.141	260
37	200LB	2960	**93.3**	92.8	**0.88**	0.85	65	6.5	119.4	2.4	2.6	5	68	62	0.158	268
45	225M	2975	**93.9**	93.7	**0.88**	0.86	79	9.1	144.5	2.3	2.5	7	81	76	0.241	332
55	250M	2970	**94.6**	94.0	**0.90**	0.89	93	8.9	176.9	2.5	2.8	5	98	91	0.331	405
75	280S	2975	**94.9**	94.3	**0.91**	0.89	126	9.4	240.8	3.2	3.5	14	131	123	0.605	550
90	280M	2980	**95.4**	95.1	**0.92**	0.92	147	7.1	288.4	2.2	2.7	5	156	143	0.685	620
110*	315S	2985	**96.0**	95.6	**0.92**	0.91	180	6.0	351.9	2.0	2.5	-	190	174	1.185	980
132*	315M	2983	**95.5**	94.9	**0.90**	0.90	222	6.0	423.0	2.1	2.3	-	230	212	1.87	1080
160*	315LA	2985	**96.8**	96.7	**0.92**	0.92	260	5.4	511.9	2.0	2.4	-	273	249	2.15	1160

This data is provided for guidance only, guaranteed only when confirmed by CMG.
*Meets MEPS High Efficiency level as per AS/NZS 1359.5:2004

The HGA range of motors exceed MEPS2 requirements of AS/NZS1359.5:2004 with many sizes meeting High Efficiency levels of the same standard. HGA motors exceed European Eff1 levels and correspond to IE2 (High Efficiency) of the new international standard IEC 60034-30.

รูปที่ 4.5 ข้อมูลด้านเทคนิคของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญ มาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ชั่วโมงการทำงาน	H	ชั่วโมงต่อวัน	24	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	365	ข้อมูลโรงงาน
ขนาดปั๊มน้ำเย็น	S	กิโลวัตต์	30	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนปั๊มน้ำเย็น ขนาด 30 กิโลวัตต์	N	เครื่อง	3	ข้อมูลโรงงาน
ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.55	ข้อมูลโรงงาน
ประสิทธิภาพของมอเตอร์เก่า	IE1	เปอร์เซ็นต์	90.70	ข้อมูลจากผู้ผลิต
ประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่	IE2	เปอร์เซ็นต์	94.20	ข้อมูลจากผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เก่า	W_M	กิโลวัตต์	22.50	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.3 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำก่อนปรับปรุง	W_{Be}	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของมอเตอร์ใหม่	W_{Af}	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	W_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
รวมเงินลงทุน	B_I	บาท

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำ (W_{Be}) = W_M x IE1
= 22.50 x (90.70 / 100)
= 20.41 กิโลวัตต์

<u>หลังปรับปรุง</u>

กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของมอเตอร์ใหม่ (W_{Af}) = W_{Be} / IE2
= 20.41 / (94.20 / 100)
= 21.67 กิโลวัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (W_S) = (W_M - W_{Af}) x H x D
= (22.50 - 21.67) x 24 x 365
= 7,270.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S) = W_S x E_C
= 7,270.80 x 3.55
= 25,811 บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุนค่ามอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	=	120,000	บาท
ค่าแรงติดตั้ง	=	10,000	บาท
รวมเงินทุน (B_I)	=	120,000 + 10,000	บาท
	=	130,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	B_I / B_S	
	=	130,000 / 25,811	
	=	5.04	ปี
	≈	61	เดือน

การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[1] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 7,270.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 7,270.80 x 0.5821

= 4,232 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดการใช้พลังงานในปั๊มน้ำเย็นโดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	130,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	25,811	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	61	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	7,270.80	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	4,232	กิโลกรัมต่อปี

4.2 การปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ในกระบวนการหุงข้าวเหนียวของโรงงานจะใช้การหุงด้วยตู้ Steamer Box ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยนำข้าวเหนียวที่แช่น้ำแล้วใส่ลงในถาดขนาด 60 x 40 เซนติเมตร ปริมาณถาดละ 1 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ในการหุงแต่ละครั้งจะใช้ข้าวเหนียวดิบในการหุงทั้งหมด 60 กิโลกรัมต่อรอบ จากนั้นนำถาดข้าวเหนียวดิบที่แช่น้ำแล้วใส่ในตู้ Steamer Box โดยใช้ไอน้ำที่ความดัน 4 บาร์ เป็นแหล่งความร้อนและควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการหุง 65 นาทีต่อรอบ หลังจากหุงเสร็จแล้วจะได้ข้าวเหนียวสุก 90 กิโลกรัมต่อรอบ โดยมีระยะเวลาผลิตเฉลี่ยในกระบวนการหุงข้าวเหนียวประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อทำการสำรวจขั้นตอนการทำงานในกระบวนการหุงข้าวเหนียว พบว่าเมื่อหุงข้าวได้ประมาณ 30 นาทีแล้ว จะต้องนำข้าวเหนียวออกมาเติมน้ำและทำการพลิกข้าวเหนียวในถาดจากด้านบนลงล่างและด้านล่างขึ้นบนทุกครั้งเพื่อให้ข้าวเหนียวสุกทั่วถึงดังแสดงใน

[1] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

รูปที่ 4.8 ซึ่งการนำข้าวเหนียวออกมาเติมน้ำและพลิกข้าวเหนียวในถาดจะทำให้เกิดการสูญเสียไอน้ำในขณะที่เปิดตู้ Steamer Box รวมทั้งเสียเวลาการทำงานมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.6 ลักษณะตู้ Steamer Box



รูปที่ 4.7 การจัดวางข้าวเหนียวในรถเข็นก่อนนำเข้าตู้ Steamer Box



รูปที่ 4.8 ข้าวเหนียวที่ออกมาจาก Steamer Box และการพลิกข้าวเหนียว

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

สำหรับแนวทางการแก้ไขทำได้โดยการเปลี่ยนกระบวนการหุงข้าวเหนียวจากการใช้ตู้Steamer Box มาใช้เครื่อง Turbo Cook ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เนื่องจากโรงงานมีการใช้งานเครื่อง Turbo Cook สำหรับนึ่งผลิตภัณฑ์อื่นอยู่แล้ว และมีการใช้งานเครื่อง Turbo Cook เพียงร้อยละ 60 ของกำลังการผลิต จึงสามารถนำเครื่อง Turbo Cook มาใช้เพิ่มเติมในการหุงข้าวเหนียวได้ โดยมีลักษณะการทำงานคล้ายกับตู้ Steamer Box ซึ่งมีลักษณะเป็นอุโมงค์ ใช้สายพานลำเลียงข้าวเหนียวเข้าไปในอุโมงค์ และใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อนเพื่อทำให้ข้าวเหนียวสุกทั่ว เนื่องจากมีการให้ความร้อนที่ทั่วถึงทั้งด้านบน ด้านข้าง และด้านล่างของถาด จึงทำให้ข้าวเหนียวสุกทั้งหมด ไม่ต้องพลิกกลับด้านข้าวเหนียวดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยมีผลการปรับปรุงดังนี้



รูปที่ 4.9 ลักษณะเครื่อง Turbo Cook



รูปที่ 4.10 ข้าวเหนียวสุกหลังจากหุงด้วยเครื่อง Turbo Cook

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญ มาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ปริมาณข้าวเหนียวสุก	R_{PM}	กิโลกรัมต่อเดือน	50,000	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณข้าวเหนียวดิบก่อนปรับปรุง	R_{Be}	กิโลกรัมต่อรอบ	60	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณข้าวเหนียวสุกก่อนปรับปรุง	P_{Be}	กิโลกรัมต่อรอบ	90	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณข้าวเหนียวดิบหลังปรับปรุง	R_{Af}	กิโลกรัมต่อรอบ	73.53	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณข้าวเหนียวสุกหลังปรับปรุง	P_{Af}	กิโลกรัมต่อรอบ	125	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ราคาข้าวเหนียวดิบ	R_C	บาทต่อกิโลกรัม	40	ข้อมูลโรงงาน
ราคาน้ำมันเตา	O_C	บาทต่อลิตร	10.61	ข้อมูลโรงงาน
สัดส่วนน้ำมันเตาต่อไอน้ำ	OS	ลิตรต่อกิโลกรัมไอน้ำ	0.106	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวเหนียวก่อนปรับปรุง	S_{Be}	กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก	1.6	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวเหนียวหลังปรับปรุง	S_{Af}	กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก	1.8	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ 4.6 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ก่อนปรับปรุง	O_{Be}	ลิตรต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก
ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้หลังปรับปรุง	O_{Af}	ลิตรต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก
ปริมาณน้ำมันเตาที่เพิ่มขึ้น	O_I	ลิตรต่อปี
ต้นทุนน้ำมันเตาที่ใช้ก่อนปรับปรุง	BO_{Be}	บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก
ต้นทุนน้ำมันเตาที่ใช้หลังปรับปรุง	BO_{Af}	บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก
ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวต่อรอบก่อนปรับปรุง	SR_{Be}	กิโลกรัมไอน้ำต่อรอบ
ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวต่อรอบหลังปรับปรุง	SR_{Af}	กิโลกรัมไอน้ำต่อรอบ
ต้นทุนในการหุงข้าวเหนียวก่อนปรับปรุง	BR_{Be}	บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก
ต้นทุนในการหุงข้าวเหนียวหลังปรับปรุง	BR_{Af}	บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก
ต้นทุนในการหุงข้าวเหนียวที่ลดลง	BR_S	บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

ก่อนปรับปรุง

ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวเหนียว (S_{Be}) = 1.6 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ (O_{Be}) = S_{Be} x OS

= 1.6 x 0.106

= 0.17 ลิตรต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

ต้นทุนน้ำมันเตาที่ใช้ (BO_{Be}) = O_{Be} x O_C

= 0.17 x 10.61

= 1.80 บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวต่อรอบ (SR_{Be}) = S_{Be} x P_{Be}

= 1.6 x 90

= 144 กิโลกรัมไอน้ำต่อรอบ

%$Yield_{Be}$ = P_{Be} / (R_{Be} + SR_{Be})) x 100

= 90 / (60 + 144)) x 100

= 44.12 เปอร์เซ็นต์

ต้นทุนในการหุงข้าวเหนียว (BR_{Be}) = ((R_{Be} / P_{Be}) x R_C) + BO_{Be}

= ((60 / 90) x 40) + 1.80

= 28.47 บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

หลังปรับปรุง

ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวเหนียว (S_{Af}) = 1.8 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ (O_{Af}) = S_{Af} x OS

= 1.8 x 0.106

= 0.19 ลิตรต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

ปริมาณน้ำมันเตาที่เพิ่มขึ้น (O_I) = (O_{Af} - O_{Be}) x R_{PM} x 12

= (0.19 - 0.17) x 50,000 x 12

= 12,000 ลิตรต่อปี

ต้นทุนน้ำมันเตาที่ใช้ (BO_{Af}) = O_{Af} x O_C

= 0.19 x 10.61

= 2.02 บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

ปริมาณไอน้ำที่ใช้หุงข้าวต่อรอบ (SR_{Af}) = S_{Af} x P_{Af}

= 1.8 x 125

= 225 กิโลกรัมไอน้ำต่อรอบ

%$Yield_{Af}$ = (P_{Af} / (R_{Af} + SR_{Af})) x 100

= (125 / (73.53 + 225)) x 100

= 41.87 เปอร์เซ็นต์

ต้นทุนในการหุงข้าวเหนียว (BR_{Af}) = $((R_{Af} / P_{Af}) \times R_C) + BO_{Af}$

= ((73.53 / 125) x 40) + 2.02

= 25.55 บาทต่อกิโลกรัมข้าวเหนียวสุก

ต้นทุนในการหุงข้าวเหนียวที่ลดลง (BR_S) = $BR_{Be} - BR_{Af}$

= 28.47 - 25.55

= 2.92 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_s) = $BR_S \times R_{PM} \times 12$

= 2.92 x 50,000 x 12

= 1,752,000 บาทต่อปี

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์</u>

เงินลงทุนค่าทดสอบใช้เครื่อง Turbo Cook (B_I) = 38,800 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S

= 38,800 / 1,752,000

= 0.02 ปี

≈ 1 เดือน

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0883 กิโลกรัมต่อลิตร[2] หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไอน้ำเพิ่มขึ้นคิดเป็นปริมาณน้ำมันเตาที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 12,000 ลิตรต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น = 12,000 x 3.0883

= 37,060 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.7 ผลประโยชน์ที่ได้รับมาตรการปรับปรุงกระบวนการหุงข้าวเหนียวโดยใช้เครื่อง Turbo Cook

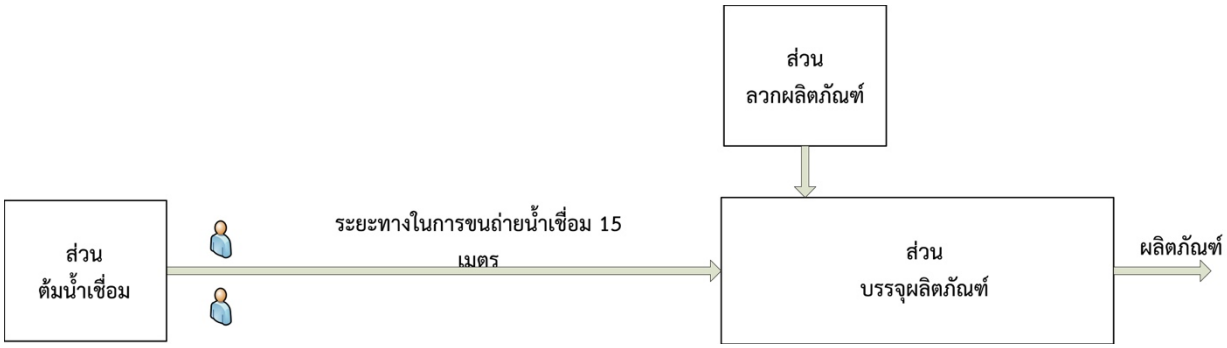
รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	38,800	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	1,752,000	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	1	เดือน
ต้นทุนในการหุงข้าวเหนียวที่ลดลง	2.92	บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น	37,060	กิโลกรัมต่อปี

[2] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

4.3 การติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

จากการสำรวจการกระบวนผลิตอาหารพร้อมรับประทานแช่แข็งของโรงงานพบว่า โรงงานได้จัดแบ่งพื้นที่ของการผลิตออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนต้มน้ำเชื่อม ส่วนลวกผลิตภัณฑ์ และส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งในแต่ละส่วนของการผลิตจะอยู่ห่างกันและเป็นห้องที่ไม่ติดกันดังแสดงในรูปที่ 4.11 ทำให้ต้องใช้พนักงานจำนวน 2 คน ทำการขนถ่ายน้ำเชื่อมจากส่วนต้มน้ำเชื่อมและผลิตภัณฑ์ที่ลวกแล้วจากส่วนลวกผลิตภัณฑ์เพื่อนำมายังส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ ในแต่ละวันจะมีการผลิตประมาณ 4 รอบ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเวลา รวมทั้งเกิดการสูญเสียน้ำเชื่อมในระหว่างการเคลื่อนย้ายไปบางส่วน จากการเก็บข้อมูล โรงงานมีการสูญเสียน้ำเชื่อมระหว่างการขนถ่ายประมาณ 2 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต

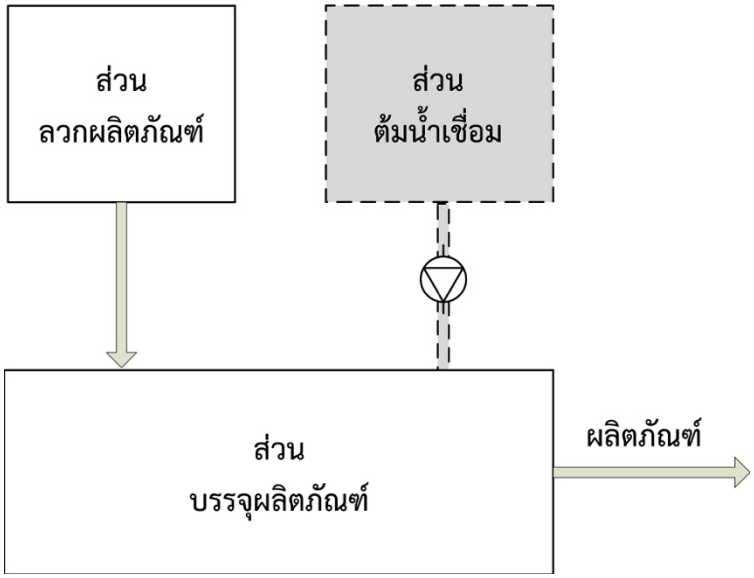


รูปที่ 4.11 แผนผังของการขนย้ายวัตถุดิบในแต่ละส่วน

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เนื่องจากในโรงงานมีพื้นที่ใช้งานจำกัด ทำให้จำเป็นต้องออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมเข้ามาช่วยเพื่อให้การผลิตเป็นไปได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ แนวทางการปรับปรุงจึงดำเนินการติดตั้งท่อลำเลียงวัตถุดิบและปั๊มโดยใช้วัสดุเป็นสแตนเลสทั้งหมดเพื่อความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สุดท้าย จากส่วนต้มน้ำเชื่อมส่งมายังส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เพื่อลดการขนถ่ายน้ำเชื่อมโดยใช้พนักงาน ซึ่งทำให้การขนถ่ายน้ำเชื่อมสะดวกรวดเร็วมากขึ้น ลดการสูญเสียน้ำเชื่อมในระหว่างการขนถ่ายวัตถุดิบ และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ไม่ต้องใช้พนักงานในการขนถ่ายทำให้สามารถโยกย้ายพนักงานไปทำงานในส่วนอื่นได้

เคลื่อนย้ายจุดต้มน้ำเชื่อม
ติดตั้งเครื่องกวนผสมสแตนเลส ปั๊มและท่อลำเลียงวัตถุดิบ



รูปที่ 4.12 แผนผังการติดตั้งท่อลำเลียงวัตถุดิบและปั๊มจากส่วนต้มน้ำเชื่อมส่งมายังส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญ มาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ค่าแรงพนักงาน	Wa	บาทต่อคน	300	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนพนักงานก่อนปรับปรุง	n_1	คนต่อวัน	2	ข้อมูลโรงงาน
รอบการผลิต	N	รอบต่อวัน	4	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณน้ำเชื่อมที่สูญเสียก่อนปรับปรุง	W_{loss1}	กิโลกรัมต่อรอบ	2	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณน้ำเชื่อมที่สูญเสียหลังปรับปรุง	W_{loss2}	กิโลกรัมต่อรอบ	0.25	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ราคาน้ำเชื่อม	W_C	บาทต่อกิโลกรัม	30	ข้อมูลโรงงาน
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อรอบการผลิต	E	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	1	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ราคาค่าไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.90	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ 4.9 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ค่าใช้จ่ายด้านพนักงานก่อนปรับปรุง	WA_{Be}	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านน้ำเชื่อมที่สูญเสียก่อนปรับปรุง	W_{Be}	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านน้ำเชื่อมที่สูญเสียหลังปรับปรุง	W_{Af}	บาทต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	P	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าหลังปรับปรุง	P_{Af}	บาทต่อปี
ปริมาณน้ำเชื่อมที่สูญเสียลดลง	W_S	กิโลกรัมต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายก่อนปรับปรุง	B_{Be}	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายหลังปรับปรุง	B_{Af}	บาทต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

ค่าใช้จ่ายด้านพนักงาน (WA_{Be}) = $n_1 \times Wa \times D$

= $2 \times 300 \times 300$

= 180,000 บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำเชื่อมที่สูญเสีย (W_{Be}) = $W_{loss1} \times N \times W_C \times D$

= $2 \times 4 \times 30 \times 300$

= 72,000 บาทต่อปี

รวมค่าใช้จ่าย (B_{Be}) = $WA_{Be} + W_{Be}$

= 180,000 + 72,000

= 252,000 บาทต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำเชื่อมที่สูญเสีย (W_{Af}) = $W_{loss2} \times N \times W_C \times D$

= $0.25 \times 4 \times 30 \times 300$

= 9,000 บาทต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P) = $N \times E \times D$

= $4 \times 1 \times 300$

= 1,200 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (P_{Af}) = $P \times E_C$

= $1,200 \times 3.90$

= 4,680 บาทต่อปี

รวมค่าใช้จ่าย (B_{Af}) = $W_{Af} + P_{Af}$

= 9,000 + 4,680

= 13,680 บาทต่อปี

ปริมาณน้ำเชื่อมที่สูญเสียลดลง (W_S) = $((W_{loss1} \times N) - (W_{loss2} \times N) \times D$

= ((2 x 4) - (0.25 x 4)) x 300

= 2,100 กิโลกรัมต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S) = $B_{Be} - B_{Af}$

= 252,000 - 13,680

= 238,320 บาทต่อปี

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์</u>

เงินลงทุนชุดถังต้มกวนผสม เครื่องกรอง ถังพัก และระบบท่อสแตนเลส พร้อมติดตั้ง (B_I) = 398,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S

= 398,000 / 238,320

= 1.67 ปี

≈ 21 เดือน

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้น้ำเชื่อมเป็นส่วนประกอบในการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.2934 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมน้ำเชื่อม[3] หลังการปรับปรุงมีปริมาณน้ำเชื่อมที่สูญเสียลดลงเท่ากับ 2,100 กิโลกรัมต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 2,100 x 0.2934

= 616 กิโลกรัมต่อปี

การใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[4] หลังการปรับปรุงมีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1,200 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น = 1,200 x 0.5821

= 699 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น = 699 - 616

= 83 กิโลกรัมต่อปี

[3] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[4] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ 4.10 ผลประโยชน์ที่ได้รับมาตรการติดตั้งท่อและปั๊มเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	398,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	238,320	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	21	เดือน
ปริมาณน้ำเชื่อมที่สูญเสียลดลง	2,100	กิโลกรัมต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น	83	กิโลกรัมต่อปี

4.4 การลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานมีกระบวนการปิดผนึกถุงอาหารพร้อมรับประทานด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ (Vacuum Sealing) สามารถปิดผนึกถุงได้ครั้งละ 4-6 ถุง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยประเภทผลิตภัณฑ์ที่นำมาผ่านการปิดผนึกด้วยเครื่องมีขนาด 1 กิโลกรัม เมื่อปิดผนึกเรียบร้อยแล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.14 โดยปกแล้วเครื่องปิดผนึกมีระยะเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 312 วันต่อปี ปัจจุบันโรงงานมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 2,267 กิโลกรัมต่อวัน



รูปที่ 4.13 เครื่องปิดผนึกถุง



รูปที่ 4.14 ผลิตภัณฑ์หลังจากการปิดผนึกถุง

จากการสำรวจพบว่า การปิดผนึกถุงจะใช้เวลาทำงานเฉลี่ย 45 วินาทีต่อรอบ ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์เฉลี่ย 4 กิโลกรัมต่อรอบ ในการจัดเรียงถุงเพื่อปิดผนึกจะจัดเรียงถุงเป็นแถวๆละ 2-3 ถุง จำนวน 2 แถว และพับปากถุงลงในช่องดังแสดงในรูปที่ 4.15 ขณะปิดฝาเครื่องปิดผนึกถุง เกิดปัญหาปลายถุงดีดขึ้นมาและขยับเคลื่อนไปจากตำแหน่งจัดวางเดิม ทำให้เสียเวลาในการจัดเรียงใหม่ เมื่อปิดผนึกถุงเสร็จพบว่าถุงผลิตภัณฑ์บางส่วนบิดเบี้ยวไม่สวยงามหรือบางถุงปิดไม่สนิท จึงต้องเสียเวลาแกะถุงเพื่อนำผลิตภัณฑ์กลับมาบรรจุในถุงใหม่และทำการปิดผนึกใหม่อีกครั้ง ซึ่งจากข้อมูลโรงงานมีอัตราถุงเสียเฉลี่ยร้อยละ 5 ต่อวัน



รูปที่ 4.15 การจัดวางถุงผลิตภัณฑ์ในเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศโดยไม่มีอุปกรณ์กดทับ

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

แนวทางในการปรับปรุงการปิดผนึกถุงทำได้โดยจัดทำอุปกรณ์สำหรับกดทับปากถุงเพื่อไม่ให้ปลายถุงดีดขึ้นมาและเคลื่อนไปจากตำแหน่งจัดวางเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งหลังจากทำการปรับปรุงแล้วสามารถช่วยลดเวลาในการปิดผนึกถุงได้เหลือประมาณ 40 วินาทีต่อรอบ และลดการปิดผนึกถุงที่ไม่สมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.17 จากการทดสอบการทำงานสามารถลดถุงเสียได้เหลือประมาณร้อยละ 1



รูปที่ 4.16 อุปกรณ์กดทับปากถุงที่เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ



รูปที่ 4.17 ถุงผลิตภัณฑ์หลังผ่านการปิดผนึกถุง

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้	N_P	กิโลกรัมต่อวัน	2,267	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนถุงที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์	N_B	ถุงต่อวัน	2,267	ข้อมูลโรงงาน
น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแล้ว	W_P	กิโลกรัมต่อถุง	1	ข้อมูลโรงงาน
น้ำหนักถุงเปล่าขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม	W_B	กิโลกรัมต่อถุง	0.0147	ข้อมูลโรงงาน
ราคาถุงต่อหน่วย	B_C	บาทต่อถุง	0.30	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาทำงาน	h	ชั่วโมงต่อวัน	8	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาปิดผนึกถุงก่อนปรับปรุง	S_1	วินาทีต่อรอบ	45	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ระยะเวลาปิดผนึกถุงก่อนปรับปรุง	S_2	วินาทีต่อรอบ	40	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	312	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ปิดผนึกได้	N	กิโลกรัมต่อรอบ	4	ข้อมูลโรงงาน
อัตราถุงเสียก่อนปรับปรุง	P_{Be}	เปอร์เซ็นต์ต่อวัน	5	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
อัตราถุงเสียหลังปรับปรุง	P_{Af}	เปอร์เซ็นต์ต่อวัน	1	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.12 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
จำนวนถุงทั้งหมดที่ใช้บรรจุก่อนปรับปรุง	B_{Be}	ถุงต่อวัน
จำนวนถุงทั้งหมดที่ใช้บรรจุหลังปรับปรุง	B_{Af}	ถุงต่อวัน
จำนวนถุงเสียก่อนปรับปรุง	N_{loss1}	ถุงต่อวัน
จำนวนถุงเสียหลังปรับปรุง	N_{loss2}	ถุงต่อวัน
จำนวนถุงเสียที่ลดลง	N_S	ถุงต่อปี
น้ำหนักถุงเสียที่ลดลง	W_S	กิโลกรัมต่อปี
มูลค่าถุงเสียก่อนปรับปรุง	B_{loss1}	บาทต่อปี
มูลค่าถุงเสียหลังปรับปรุง	B_{loss2}	บาทต่อปี
ระยะเวลาในการปิดผนึกถุงก่อนปรับปรุง	T_{Be}	ชั่วโมงต่อวัน
ระยะเวลาในการปิดผนึกถุงหลังปรับปรุง	T_{Af}	ชั่วโมงต่อวัน
ระยะเวลาในการปิดผนึกถุงที่ลดลง	T_S	ชั่วโมงต่อวัน
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

จำนวนถุงทั้งหมดที่ใช้บรรจุ (B_{Be}) $= N_B / (1 - (P_{Be}))$

$= 2,267 / (1 - (5 / 100))$

$= 2,386$ ถุงต่อวัน

จำนวนถุงเสีย (N_{loss1}) $= B_{Be} - N_B$

$= 2,386 - 2,267$

$= 119$ ถุงต่อวัน

มูลค่าถุงเสีย (B_{loss1}) $= N_{loss1} \times B_C \times D$

$= 119 \times 0.30 \times 312$

$= 11,138$ บาทต่อปี

ระยะเวลาในการปิดผนึกถุง (T_{Be}) $= (N_P \times (S_1 / N)) / 3,600$

$= (2,386 \times (45 / 4)) / 3,600$

$= 7.46$ ชั่วโมงต่อวัน

<u>หลังปรับปรุง</u>

จำนวนถุงทั้งหมดที่ใช้บรรจุ (B_{Af}) $= N_B / (1 - (P_{Af}))$

$= 2,267 / (1 - (1 / 100))$

$= 2,290$ ถุงต่อวัน

จำนวนถุงเสีย (N_{loss2}) $= B_{Af} - N_B$

	= 2,290 - 2,267	
	= 23	ถุงต่อวัน
มูลค่าถุงเสีย (B_{loss2})	= $N_{loss2} \times B_C \times D$	
	= 23 x 0.30 x 312	
	= 2,153	บาทต่อปี
จำนวนถุงเสียที่ลดลง (N_S)	= $(N_{loss1} - N_{loss2}) \times D$	
	= (119 - 23) x 312	
	= 29,952	ถุงต่อปี
น้ำหนักถุงเสียที่ลดลง (W_S)	= $N_S \times W_B$	
	= 29,952 x 0.0147	
	= 440.29	กิโลกรัมต่อปี
ระยะเวลาในการปิดผนึกถุง (T_{Af})	= $(N_P \times (S_2 / N)) / 3,600$	
	= (2,290 x (40 / 4)) / 3,600	
	= 6.36	ชั่วโมงต่อวัน
ระยะเวลาในการปิดผนึกถุงที่ลดลง (T_S)	= $T_{Be} - T_{Af}$	
	= 7.46 - 6.36	
	= 1.1	ชั่วโมงต่อวัน
มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S)	= $B_{loss1} - B_{loss2}$	
	= 11,138 - 2,153	
	= 8,985	บาทต่อปี

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์</u>

เงินลงทุนติดตั้งอุปกรณ์กดทับปากถุง (B_I)	= 5,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= B_I / B_S	
	= 5,000 / 8,985	
	= 0.56	ปี
	≈ 7	เดือน

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้ถุงบรรจุภัณฑ์ชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 1.7258 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม LDPE[5] หลังการปรับปรุงมีปริมาณถุงเสียลดลงเท่ากับ 440.29 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 440.29 x 1.7258

= 760 กิโลกรัมต่อปี

[5] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ตารางที่ 4.13 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดถุงเสียจากกระบวนการปิดผนึกถุง

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	5,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	8,985	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	7	เดือน
จำนวนถุงเสียลดลง	29,952	ถุงต่อปี
ระยะเวลาในการปิดผนึกถุงลดลง	1.1	ชั่วโมงต่อวัน
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	760	กิโลกรัมต่อปี

4.5 การระบายความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ในขั้นตอนการอบผลิตภัณฑ์ โรงงานใช้ตู้อบลมร้อนแบบใส่ถาดมีจำนวนชั้นทั้งหมด 20 ชั้น โดยมีตู้อบลมร้อนใช้งานอยู่ทั้งหมด 7 ตู้ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 วัตถุประสงค์ในการอบโดยใช้ลมร้อนในขั้นตอนนี้เพื่อทำการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ โดยใช้เวลาในการอบประมาณ 8 ชั่วโมงต่อรอบ และทำการผลิตวันละ 1 รอบ ในการอบจะแบ่งการอบออกเป็น 2 ช่วง คือเมื่ออบผลิตภัณฑ์ครบ 4 ชั่วโมง แล้วพนักงานจะเปิดตู้อบเพื่อพลิกกลับด้านผลิตภัณฑ์อีกด้านหนึ่งขึ้น และทำการอบต่ออีก 4 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งสม่ำเสมอกัน ซึ่งปกติการอบค่อนข้างใช้เวลานานเนื่องจากตู้อบดังกล่าวเป็นตู้อบรุ่นเก่าที่ใช้ในกระบวนการผลิตมานาน ไม่มีการออกแบบระบบระบายความชื้นออกจากตู้ไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ทำให้ใช้เวลานานในการอบผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด



รูปที่ 4.18 ตู้อบลมร้อนของโรงงาน



รูปที่ 4.19 บริเวณภายในของตู้อบลมร้อน



รูปที่ 4.20 บริเวณด้านบนของตู้อบลมร้อนก่อนปรับปรุง

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เนื่องจากความชื้นที่ระเหยออกจาผลิตภัณฑ์แล้ว ไม่ได้ถูกระบายออกไปจากตู้อบอย่างเหมาะสม ส่งผลให้การอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งต้องใช้เวลานานขึ้น สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงจึงทำการติดตั้งชุดพัดลมระบายอากาศที่บริเวณด้านบนของตู้อบลมร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.21 เพื่อระบายความชื้นภายในตู้อบออกไปให้เร็วขึ้น ทำให้ความชื้นภายในตู้อบลมร้อนลดลงและได้ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานที่ต้องการเร็วขึ้น จากการทดสอบอบผลิตภัณฑ์หลังจากติดตั้งระบบแล้วสามารถลดระยะเวลาในการอบลงเหลือประมาณ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.21 ชุดพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งด้านบนของตู้อบลมร้อนหลังปรับปรุง

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการระบายความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของตู้อบลมร้อน	E_O	กิโลวัตต์ต่อตู้	16.60	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
จำนวนตู้อบลมร้อน	N	ตู้	7	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ระยะเวลาทำงานก่อนปรับปรุง	H_{Be}	ชั่วโมงต่อวัน	8	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาทำงานหลังปรับปรุง	H_{Af}	ชั่วโมงต่อวัน	5	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของตู้อบลมร้อนที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ	E_N	กิโลวัตต์ต่อตู้	21.78	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.50	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ 4.15 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการระบายความชื้นออกจากตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าของตู้อบก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน
พลังงานไฟฟ้าของตู้อบที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศหลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	C_{Be}	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าหลังปรับปรุง	C_{Af}	บาทต่อปี
ระยะเวลาในการอบที่ลดลง	T_S	ชั่วโมงต่อวัน
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าของตู้อบ (E_{Be}) = $E_O \times N \times H_{Be}$
= 16.60 x 7 x 8
= 929.60 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (C_{Be}) = $E_{Be} \times E_c \times D$
= 929.60 x 3.50 x 300
= 976,080 บาทต่อปี

หลังปรับปรุง

ระยะเวลาในการอบที่ลดลง (T_S) = $H_{Be} - H_{Af}$
= 8 -5
= 3 ชั่วโมงต่อวัน

พลังงานไฟฟ้าของตู้อบที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ (E_{Af}) = $E_N \times N \times H_{Af}$
= 21.78 x 7 x 5
= 762.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (C_{Af}) = $E_{Af} \times E_c \times D$
= 762.30 x 3.50 x 300
= 800,415 บาทต่อปี

กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (E_S) = $(E_{Be} - E_{Af}) \times D$
= (929.60 - 762.30) x 300
= 50,190 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S) = $C_{Be} - C_{Af}$
= 976,080 - 800,415
= 175,665 บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุนติดตั้งชุดพัดลมระบายอากาศ (B_I) = 38,500 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S
= 38,500 / 175,665
= 0.22 ปี
≈ 3 เดือน

การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[6] หลังการปรับปรุงมีการใช้ไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 50,190 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

[6] ที่มา องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 50,190 x 0.5821

= 29,216 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.16 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการระบายความชื้นภายในตู้อบลมร้อนเพื่อลดเวลาในการอบ

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	38,500	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	175,665	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	3	เดือน
กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	50,190	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ระยะเวลาในการอบที่ลดลง	3	ชั่วโมงต่อวัน
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	29,216	กิโลกรัมต่อปี

4.6 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพปัญหา

โรงงานมีการใช้งานหม้อน้ำขนาด 1 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 2 เครื่อง สำหรับผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตโดยใช้น้ำอ่อนเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำ ซึ่งมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้(Total Dissolved Solid, TDS) เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเติมน้ำป้อนเฉลี่ยประมาณ 16 ตันต่อวัน อุณหภูมิน้ำป้อน 30 องศาเซลเซียส และใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันโรงงานกำหนดให้มีการโบล์วดาวน์น้ำจากหม้อน้ำทุก 1 ชั่วโมง จำนวน 8 ครั้งต่อวัน ตามข้อมูลที่แนะนำของผู้จำหน่ายหม้อน้ำเมื่อคำนวณปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ปล่อยทิ้งรวมทั้งหมดได้ประมาณ 4 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากการตรวจวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำโบล์วดาวน์พบว่า มีค่าประมาณ 150 - 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก (ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้สำหรับหม้อน้ำขนาดไม่เกิน 20 บาร์ จะมีค่ามาตรฐานที่ไม่เกิน 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร)[7] ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนจากน้ำโบล์วดาวน์ที่ระบายทิ้งและน้ำอ่อนที่ใช้สำหรับป้อนหม้อน้ำมีปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากการโบล์วดาวน์ที่มากเกินความจำเป็น

2. แนวทางการปรับปรุง

แนวทางในการปรับปรุงทำได้โดยทำการตรวจวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำโบล์วดาวน์ และนำมาใช้ในการควบคุมเพื่อปรับลดความถี่ในการโบล์วดาวน์ โดยควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำในหม้อน้ำให้มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร แทนการกำหนดเปิดโบล์วดาวน์ตามเวลา ในเบื้องต้นได้ดำเนินการปรับลดความถี่ในการโบล์วดาวน์จาก 8 ครั้งต่อวัน โดยทำการตรวจสอบค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ควบคู่ไปด้วย และพบว่าสามารถลดความถี่ลงเหลือ 1 ครั้งต่อวัน โดยมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำโบล์วดาวน์

[7] ที่มาประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติน้ำสำหรับหม้อน้ำ พ.ศ. 2549

เฉลี่ยประมาณ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดการสูญเสียพลังงานความร้อนและลดปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ได้ประมาณ 3.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ความถี่ในการโบล์วดาวน์ก่อนปรับปรุง	F_{Be}	ครั้งต่อวัน	8	ข้อมูลโรงงาน
ความถี่ในการโบล์วดาวน์หลังปรับปรุง	F_{Af}	ครั้งต่อวัน	1	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์	m_{BD}	ลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง	0.5	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	c	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส	4.186	ค่าคงที่
		เมกะจูลต่อตัน-องศาเซลเซียส		
อุณหภูมิน้ำป้อน	T_1	องศาเซลเซียส	30	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำในหม้อน้ำ	T_2	องศาเซลเซียส	100	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ราคาค่าน้ำป้อนเฉลี่ย	W_C	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	15.23	ข้อมูลโรงงาน
ราคาพลังงานจากเชื้อเพลิงก๊าซ LPG เฉลี่ย	E_C	บาทต่อเมกะจูล	1.25	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ 4.18 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ก่อนปรับปรุง	m_{Be}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์หลังปรับปรุง	m_{Af}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ลดลง	M	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านน้ำที่ประหยัดได้	W_S	บาทต่อปี
ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียก่อนปรับปรุง	Q_{Be}	เมกะจูลต่อปี
ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียหลังปรับปรุง	Q_{Af}	เมกะจูลต่อปี
ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียลดลง	Q	เมกะจูลต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	Q_S	บาทต่อปี
มูลค่ารวมที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ (m_{Be}) = $F_{Be} \times m_{BD} \times D$
= 8 x 0.5 x 300
= 1,200 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสีย (Q_{Be}) = $(m_{Be} \times c \times (T_2 - T_1))$
= 1,200 x 4.186 x (100 - 30)
= 351,624 เมกะจูลต่อปี

หลังปรับปรุง

เมื่อดำเนินการปรับลดความถี่ในการโบล์วดาวน์ลงเหลือ 1 ครั้งต่อวัน จะลดปริมาณน้ำโบล์วดาวน์และพลังงานความร้อนที่สูญเสียได้ ดังนี้

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ (m_{Af}) = $F_{Af} \times m_{BD} \times D$
= 1 x 0.5 x 300
= 150 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ลดลง (M) = $m_{Be} - m_{Af}$
= 1,200 - 150
= 1,050 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำที่ประหยัดได้ (W_S) = $M \times W_C$
= 1,050 x 15.23
= 15,992 บาทต่อปี

ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสีย (Q_{Af}) = $(m_{Be} \times c \times (T_2 - T_1))$
= 150 x 4.186 x (100 - 30)
= 43,953 เมกะจูลต่อปี

ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียลดลง (Q) = $Q_{Be} - Q_{Af}$
= 351,624 - 43,953
= 307,671 เมกะจูลต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (Q_S) = $Q \times E_C$
= 307,671 x 1.25
= 384,589 บาทต่อปี

มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ (B_S) = $W_S + Q_S$
= 15,992 + 384,589
= 400,581 บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน เนื่องจากเป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการโบล์วดาวน์และโรงงานมีเครื่องมือในการตรวจวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่แล้ว

ระยะเวลาคืนทุน = ทันที

การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้พลังงานความร้อนแก่หม้อน้ำ มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.0612 กิโลกรัมต่อเมกะจูล[8] หลังการปรับปรุงสามารถลดการสูญเสียพลังงานความร้อนได้เท่ากับ 307,671 เมกะจูลต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 307,671 x 0.0612

= 18,829 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำอ่อนเป็นน้ำป้อนสำหรับหม้อน้ำ มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0985 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[9] หลังการปรับปรุงสามารถลดปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ได้เท่ากับ 1,050 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 1,050 x 3.0985

= 3,253 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลงทั้งหมด = 18,829 + 3,253

= 22,082 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.19 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ให้เหมาะสม

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	400,581	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	ทันที	เดือน
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ลดลง	1,050	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียลดลง	307,671	เมกะจูลต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลงทั้งหมด	22,082	กิโลกรัมต่อปี

[8] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[9] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

4.7 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ปั๊มน้ำ คือ อุปกรณ์สำหรับส่งน้ำหรือถ่ายเทของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งหรือหมุนเวียนน้ำหรือของเหลวให้ผสมกันในบริเวณที่จำกัด ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการใช้งานปั๊มน้ำทั้งในภาคการเกษตร อุตสาหกรรม และครัวเรือน เช่น ปั๊มน้ำเย็น ปั๊มน้ำร้อน ปั๊มเคมี ปั๊มน้ำประปา เป็นต้น การทำงานของปั๊มน้ำจะทำการสูบและส่งน้ำไปในอัตราการไหลและแรงดันคงที่ตลอดเวลาตามที่ออกแบบไว้

จากการสำรวจและตรวจวัดการทำงานของปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump) ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ซึ่งใช้สำหรับส่งน้ำใช้ไปทำความสะอาดในกระบวนการผลิต โดยส่งน้ำจ่ายผ่านหัวฉีด 15 หัว กำหนดแรงดันที่ต้องการไว้ที่ 20 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ลักษณะการทำความสะอาดในกระบวนการผลิตโดยปกติจะใช้หัวฉีดในการทำความสะอาดไม่พร้อมกัน แต่เนื่องจากการทำงานของปั๊มน้ำที่ต้องส่งน้ำในอัตราคงที่ตลอดเวลา ทำให้การใช้พลังงานในปั๊มแรงดันสูงมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ อีกทั้งแรงดันที่กำหนดไว้มีค่าสูงเกินความจำเป็น เนื่องจากแรงดันที่กำหนดไว้คำนวณจากการใช้งานในขณะที่หัวฉีดทำงานพร้อมกันทั้ง 15 หัว แต่การใช้งานจริงไม่ได้ใช้งานพร้อมกันทั้งหมด จากการคำนวณตามลักษณะการใช้งานแรงดันที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 15 บาร์ โดยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าของปั๊มน้ำแรงดันสูงที่ใช้งานปัจจุบัน สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.20 และสรุปเป็นกราฟที่แสดงดังรูปที่ 4.24



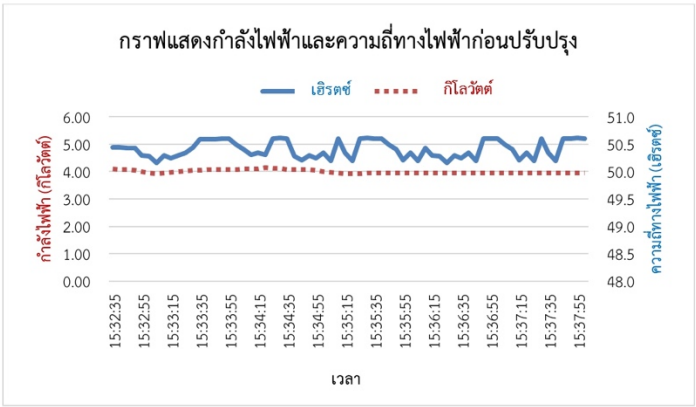
รูปที่ 4.22 ปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump)



รูปที่ 4.23 แรงดันของน้ำก่อนปรับปรุงตั้งค่าไว้ที่ 20 บาร์

ตารางที่ 4.20 ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าของปั๊มแรงดันสูงก่อนปรับปรุง

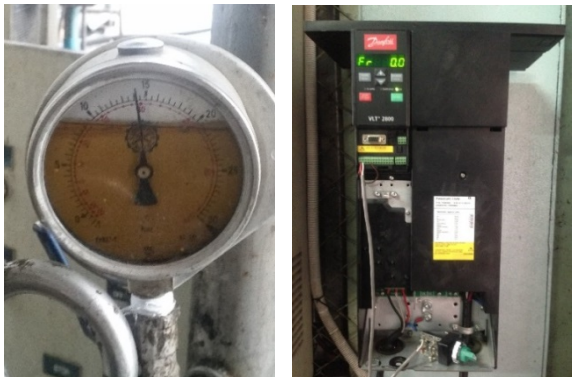
วันที่	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW
28/06/17	15:32:35	50.1	4.89	15:33:40	50.0	5.17	15:34:45	50.0	4.42	15:35:50	50.0	4.80	15:36:55	50.0	5.20
28/06/17	15:32:40	50.0	4.90	15:33:45	50.0	5.19	15:34:50	50.0	4.58	15:35:55	50.0	4.41	15:37:00	50.0	5.20
28/06/17	15:32:45	50.0	4.87	15:33:50	50.0	5.20	15:34:55	50.0	4.50	15:36:00	50.0	4.69	15:37:05	50.0	4.99
28/06/17	15:32:50	50.0	4.87	15:33:55	50.0	5.20	15:35:00	50.0	4.69	15:36:05	50.0	4.40	15:37:10	50.0	4.80
28/06/17	15:32:55	50.0	4.58	15:34:00	50.0	4.99	15:35:05	50.0	4.40	15:36:10	50.0	4.87	15:37:15	50.0	4.41
28/06/17	15:33:00	50.0	4.56	15:34:05	50.1	4.80	15:35:10	50.0	5.21	15:36:15	50.0	4.58	15:37:20	50.0	4.69
28/06/17	15:33:05	50.0	4.32	15:34:10	50.1	4.61	15:35:15	50.0	4.69	15:36:20	50.0	4.56	15:37:25	50.0	4.40
28/06/17	15:33:10	50.0	4.58	15:34:15	50.1	4.69	15:35:20	50.0	4.40	15:36:25	50.0	4.32	15:37:30	50.0	5.21
28/06/17	15:33:15	50.0	4.50	15:34:20	50.1	4.60	15:35:25	50.0	5.21	15:36:30	50.0	4.58	15:37:35	50.0	4.69
28/06/17	15:33:20	50.0	4.59	15:34:25	50.1	5.21	15:35:30	50.0	5.24	15:36:35	50.0	4.50	15:37:40	50.0	4.40
28/06/17	15:33:25	50.0	4.68	15:34:30	50.1	5.24	15:35:35	50.0	5.20	15:36:40	50.0	4.69	15:37:45	50.0	5.21
28/06/17	15:33:30	50.0	4.90	15:34:35	50.0	5.20	15:35:40	50.0	5.20	15:36:45	50.0	4.40	15:37:50	50.0	5.21
28/06/17	15:33:35	50.0	5.19	15:34:40	50.0	4.56	15:35:45	50.0	4.99	15:36:50	50.0	5.21	15:37:55	50.0	5.24
													Avg.	50.0	4.81



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าก่อนปรับปรุง

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เนื่องจากขนาดของปั๊มแรงดันสูงมีแรงดันที่สูงกว่าความต้องการในการใช้งานจริง รวมทั้งไม่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการส่งน้ำได้ตามปริมาณที่ต้องการใช้ในการทำงานจริงได้ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น ดังนั้นการนำเทคโนโลยี VSD (Vary Speed Drive) หรืออินเวอร์เตอร์มาติดตั้งจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสม โดยออกแบบให้ทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้เหมาะสมกับปริมาณที่ต้องการใช้ ตามค่าที่วัดได้จากเครื่องตรวจวัดแรงดันทางด้านส่งน้ำ โดยการส่งสัญญาณไปปรับค่าความถี่ไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อปรับรอบการหมุนของมอเตอร์ให้รอบการทำงานสัมพันธ์กับความต้องการน้ำและความดันด้วยระบบ PID (Proportional Integral Derivative) เมื่อรอบการหมุนของมอเตอร์เหมาะสมการใช้พลังงานจะลดลงต่ำสุดเมื่อเทียบกับปั๊มน้ำแบบปกติ ปริมาณการใช้พลังงานจะลดลง เป็นการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์และเครื่องตรวจวัดแรงดัน เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานน้ำ โดยตั้งค่าแรงดันไว้ที่ 15 บาร์แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.25 เมื่อทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าหลังการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 4.26 และได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.21 ซึ่งสรุปเป็นรูปแบบกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.27



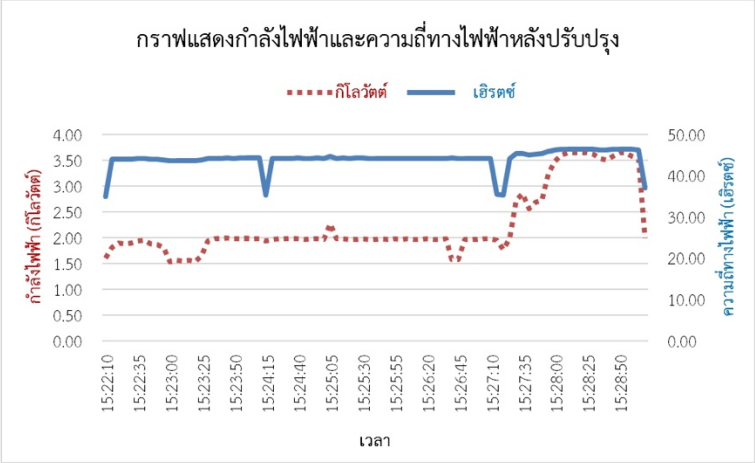
รูปที่ 4.25 แรงดันของน้ำหลังปรับปรุงและอินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งแล้ว



รูปที่ 4.26 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำแรงดันสูง

ตารางที่ 4.21 ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าของปั๊มแรงดันสูงหลังปรับปรุง

วันที่	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW	เวลา	Hz	kW
28/06/17	15:22:10	34.97	1.60	15:23:35	44.13	1.98	15:25:00	44.19	1.96	15:26:25	44.19	1.96	15:27:50	45.27	2.72
28/06/17	15:22:15	43.92	1.80	15:23:40	44.12	1.98	15:25:05	44.56	2.27	15:26:30	44.17	1.96	15:27:55	45.85	3.24
28/06/17	15:22:20	43.93	1.88	15:23:45	44.21	1.99	15:25:10	44.13	1.97	15:26:35	44.16	1.97	15:28:00	46.18	3.47
28/06/17	15:22:25	43.93	1.87	15:23:50	44.18	1.98	15:25:15	44.20	1.97	15:26:40	44.21	1.57	15:28:05	46.33	3.60
28/06/17	15:22:30	43.95	1.89	15:23:55	44.20	1.97	15:25:20	44.10	1.96	15:26:45	44.15	1.57	15:28:10	46.36	3.63
28/06/17	15:22:35	44.03	1.93	15:24:00	44.21	1.98	15:25:25	44.21	1.97	15:26:50	44.17	1.97	15:28:15	46.36	3.63
28/06/17	15:22:40	44.10	1.95	15:24:05	44.23	1.97	15:25:30	44.23	1.97	15:26:55	44.13	1.96	15:28:20	46.36	3.63
28/06/17	15:22:45	43.95	1.88	15:24:10	44.20	1.97	15:25:35	44.13	1.97	15:27:00	44.16	1.97	15:28:25	46.36	3.63
28/06/17	15:22:50	43.94	1.87	15:24:15	35.33	1.93	15:25:40	44.18	1.96	15:27:05	44.18	1.97	15:28:30	46.32	3.61
28/06/17	15:22:55	43.82	1.80	15:24:20	44.18	1.96	15:25:45	44.15	1.98	15:27:10	44.18	1.97	15:28:35	46.25	3.53
28/06/17	15:23:00	43.58	1.53	15:24:25	44.19	1.97	15:25:50	44.14	1.96	15:27:15	35.48	1.94	15:28:40	46.23	3.50
28/06/17	15:23:05	43.60	1.56	15:24:30	44.16	1.98	15:25:55	44.13	1.98	15:27:20	35.33	1.76	15:28:45	46.30	3.57
28/06/17	15:23:10	43.57	1.54	15:24:35	44.18	1.98	15:26:00	44.18	1.96	15:27:25	44.14	1.99	15:28:50	46.35	3.64
28/06/17	15:23:15	43.61	1.56	15:24:40	44.21	1.98	15:26:05	44.18	1.97	15:27:30	45.25	2.72	15:28:55	46.35	3.64
28/06/17	15:23:20	43.59	1.53	15:24:45	44.19	1.97	15:26:10	44.16	1.96	15:27:35	45.38	2.85	15:29:00	46.30	3.58
28/06/17	15:23:25	43.70	1.64	15:24:50	44.12	1.98	15:26:15	44.18	1.96	15:27:40	44.95	2.56	15:29:05	46.26	3.53
28/06/17	15:23:30	44.09	1.93	15:24:55	44.24	1.97	15:26:20	44.17	1.97	15:27:45	45.19	2.68	15:29:10	37.00	1.99
													Avg.	44.04	2.24



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าหลังปรับปรุง

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญ มาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.22 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ขนาดของปั๊ม	S_P	กิโลวัตต์	7.5	ข้อมูลโรงงาน
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.57	ข้อมูลโรงงาน
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	W_P	เปอร์เซ็นต์	50	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาทำงาน	h	ชั่วโมงต่อปี	8,400	ข้อมูลโรงงาน
ความถี่ทางไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	Hz_{Be}	เฮิรตซ์	50.02	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ความถี่ทางไฟฟ้าเฉลี่ยหลังปรับปรุง	Hz_{Af}	เฮิรตซ์	44.04	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์	4.81	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยหลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์	2.24	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.23 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานก่อนปรับปรุง	P_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานหลังปรับปรุง	P_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	P_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Be}) = $E_{Be} \times h \times W_P$

= 4.81 x 8,400 x (50/100)

= 20,202 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Af}) = $E_{Af} \times h \times W_P$

= 2.24 x 8,400 x (50/100)

= 9,408 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_S) = $P_{Be} - P_{Af}$

= 20,202 - 9,408

= 10,794 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S) = $P_S \times E_C$

= 10,794 x3.57

= 38,535 บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุนติดตั้งอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดัน (B_I) = 10,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S

= 10,000 / 38,535

= 0.26 ปี

≈ 4 เดือน

หมายเหตุ เนื่องจากโรงงานมีอินเวอร์เตอร์ที่ไม่ได้ใช้งานอยู่แล้ว จึงเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนเฉพาะการจัดหาอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันและการติดตั้งเท่านั้น

การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานให้กับปั๊มแรงดันสูง มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[10] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 10,794 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 10,794 x 0.5821

= 6,283 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.24 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูงตามภาระการใช้งาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	10,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	38,535	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	4	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	10,794	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	6,283	กิโลกรัมต่อปี

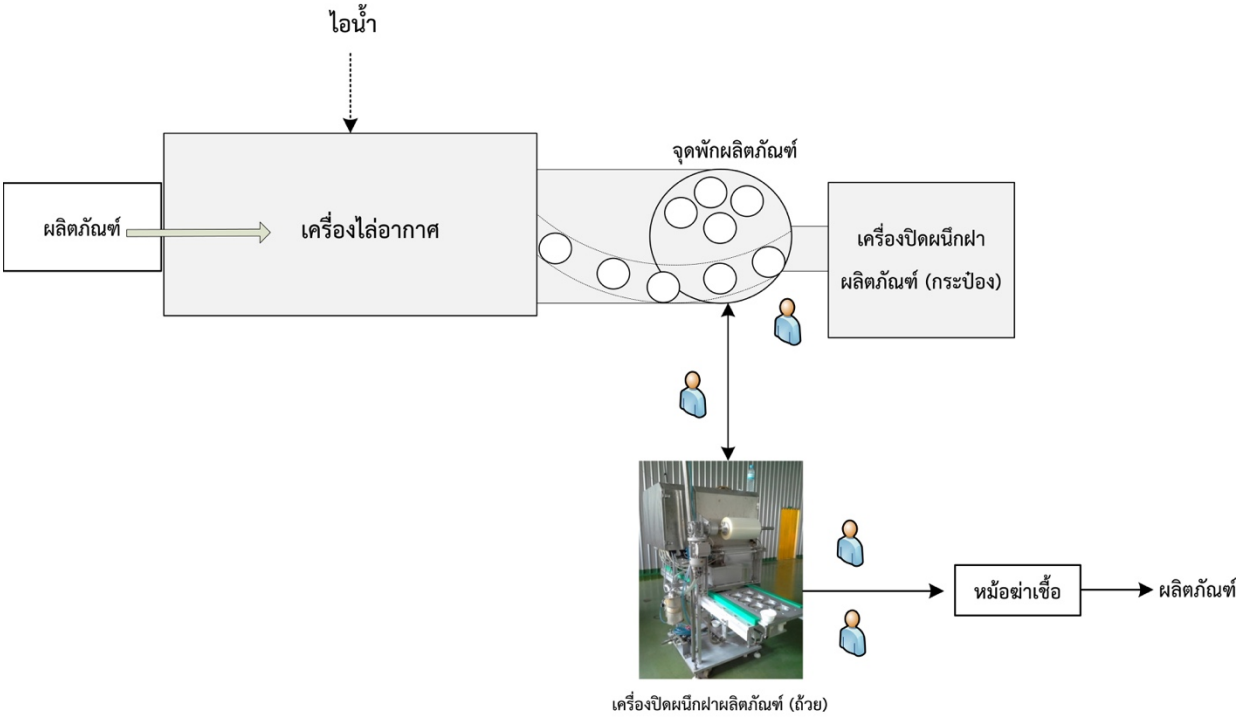
4.8 การติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนการไล่อากาศออกจากผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะทำการปิดผนึกฝา เพื่อช่วยทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารให้มีคุณภาพและอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น ในขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์จะถูกลำเลียงเคลื่อนที่ผ่านเครื่องไล่อากาศไปตามรางสายพานยาว 6 เมตร โดยภายในเครื่องไล่อากาศจะมีการใช้ไอน้ำความดัน 4 บาร์ ซึ่งผลิตจากหม้อน้ำขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.28 เพื่อช่วยในการไล่อากาศออกก่อนการปิดผนึกฝา โดยการทำให้ไอน้ำเข้าไปแทนที่อากาศในบรรจุภัณฑ์

[10] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ให้เต็ม หลังจากปิดผนึกแล้วไอน้ำจะเกิดการควบแน่นสร้างสภาวะสุญญากาศในถ้วย ซึ่งพบว่ามีการใช้ไอน้ำในการไล่อากาศเป็นปริมาณมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างมากเนื่องจากเป็นการไล่อากาศโดยการแทนที่ด้วยไอน้ำ



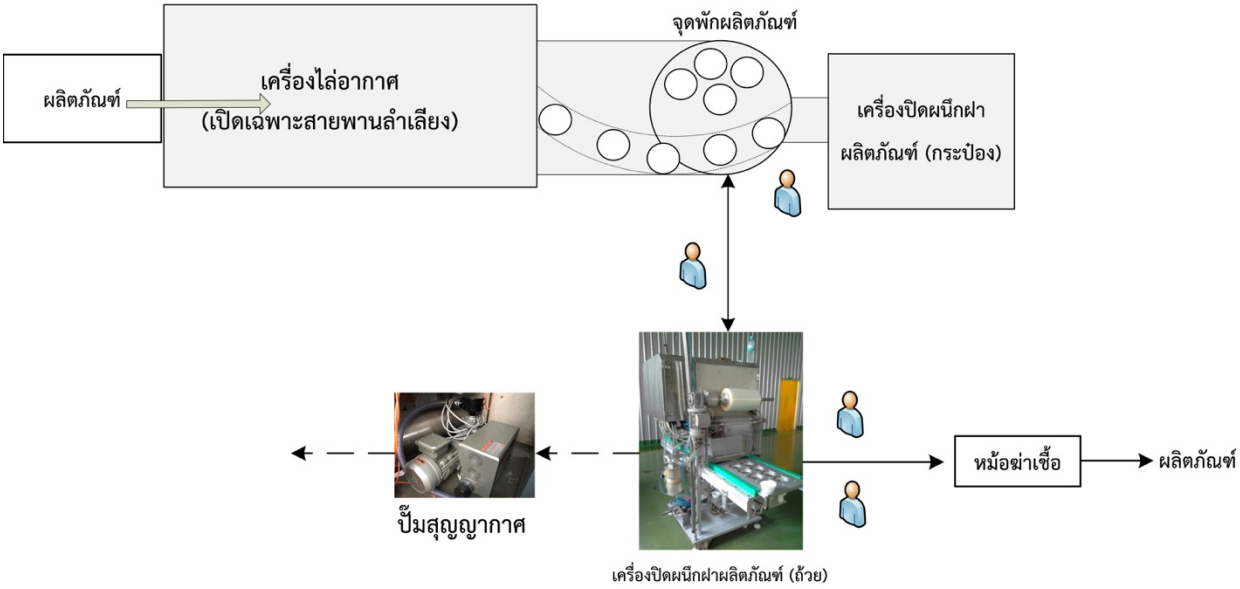
รูปที่ 4.28 การไล่อากาศออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยไอน้ำก่อนการปิดผนึกฝา

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เมื่อทำการตรวจสอบเครื่องปิดผนึกฝาของโรงงาน พบว่าสามารถทำการปรับปรุงโดยติดตั้งปั๊มสุญญากาศดังแสดงในรูปที่ 4.29 เพื่อใช้แทนเครื่องไล่อากาศได้ โดยยกเลิกการใช้งานเครื่องไล่อากาศเพื่อลดการใช้พลังงานความร้อนที่นำมาผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการไล่อากาศ และติดตั้งชุดปั๊มสุญญากาศทดแทนเพื่อใช้ในการดูดอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์โดยตรง ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการไล่อากาศได้ดีกว่าเดิม เนื่องจากปั๊มสุญญากาศจะทำให้เกิดสภาวะสุญญากาศก่อนการปิดผนึกได้รวดเร็วกว่า ทำให้ช่วยลดเวลาในการไล่อากาศ รวมทั้งประหยัดพื้นที่ในการทำงาน สามารถเพิ่มทั้งประสิทธิภาพในการผลิตและเพิ่มกำลังการผลิตได้ โดยลักษณะการติดตั้งปั๊มสุญญากาศจะติดตั้งบริเวณด้านนอกห้องผลิตแล้วต่อท่อดูดอากาศมายังเครื่องปิดผนึกฝา ดังแสดงในรูปที่ 4.30 จากการปรับปรุงติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถยกเลิกการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนได้ สามารถคำนวณผลประหยัดที่ได้รับได้ดังนี้



รูปที่ 4.29 ปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ 4.30 การติดตั้งปั๊มสุญญากาศที่เครื่องปิดผนึกฝาผลิตภัณฑ์

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.25 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ขนาดหม้อน้ำ	S	ตันต่อชั่วโมง	3	ข้อมูลโรงงาน
ประสิทธิภาพของหม้อน้ำ	e	เปอร์เซ็นต์	85	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำที่ผลิต	P_1	บาร์	4	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาทำงาน	h	ชั่วโมงต่อวัน	8	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน
ราคาเชื้อเพลิงไม้ฟืน	F_C	บาทต่อกิโลกรัม	0.75	ข้อมูลโรงงาน
ค่าความร้อนของไม้ฟืน[11]	c	เมกะจูลต่อกิโลกรัม	15.99	ข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง
ขนาดท่อปล่อยไอน้ำ	d	มิลลิเมตร	2	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
จำนวนท่อปล่อยไอน้ำ	n	จุด	20	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำบริเวณเครื่องจักร	P_2	บาร์	3	ข้อมูลโรงงาน
ค่าเอนทาลปีของน้ำที่ 3 บาร์[12]	$Q_{@\ 3\ bar}$	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	2,724.7	ข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง
ปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ใช้หลังปรับปรุง	F_{Af}	กิโลกรัมต่อปี	0	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ราคาค่าไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	4	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของปั๊ม	E	กิโลวัตต์	1.5	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.26 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณ การติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
อัตราการสูญเสียไอน้ำ	M_{loss}	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
พลังงานความร้อนที่สูญเสีย	H_{loss}	เมกะจูลต่อชั่วโมง
ปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ใช้ก่อนปรับปรุง	F_{Be}	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ประหยัดได้	F_S	กิโลกรัมต่อปี
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	H_S	เมกะจูลต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ประหยัดได้	C_S	บาทต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานของปั๊มสุญญากาศหลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าหลังปรับปรุง	C_{Af}	บาทต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

[11] รายงานพลังงานของประเทศไทยรายปี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน “ค่าการแปลงหน่วย CONVERSION FACTORS ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิง (ค่าความร้อนสุทธิ) ENERGY CONTENT OF FUEL (NET CALORIFIC VALUE)”

[12] ค่ามาตรฐานจากตารางไอน้ำอิ่มตัว

ก่อนปรับปรุง

อัตราการสูญเสียไอน้ำ (M_{loss}) = $0.4\ d^2\ n\ (P_2 + 1.013)$

= $0.4 \times (2)^2 \times 20 \times (3 + 1.013)$

= 128.42 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

พลังงานความร้อนที่สูญเสีย (H_{loss}) = $((M_{loss} \times Q_{@\ 3\ bar}) / e) / 1,000$

= $((128.42 \times 2,724.7) / (85/100)) / 1,000$

= 411.65 เมกะจูลต่อชั่วโมง

ปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ใช้ (F_{Be}) = $(H_{loss} / c) \times h \times D$

= $(411.65 / 15.99) \times 8 \times 300$

= 61,786 กิโลกรัมต่อปี

หลังปรับปรุง

ปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ประหยัดได้ (F_S) = $F_{Be} - F_{Af}$

= $61,786 - 0$

= 61,786 กิโลกรัมต่อปี

พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (H_S) = $F_S \times c$

= $61,786 \times 15.99$

= 987,958.14 เมกะจูลต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ประหยัดได้ (C_S) = $F_S \times F_C$

= $61,786 \times 0.75$

= 46,340 บาทต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานของปั๊มสุญญากาศ (E_{Af}) = $E \times h \times D$

= $1.5 \times 8 \times 300$

= 3,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (C_{Af}) = $E_{Af} \times E_C$

= $3,600 \times 4$

= 14,400 บาทต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_s) = $C_S - C_{Af}$

= $46,340 - 14,400$

= 31,940 บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุนติดตั้งปั๊มสุญญากาศ 1 ชุด (B_I) = 60,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S

= $60,000 / 31,940$

= 1.88 ปี

≈ 23 เดือน

<u>การคำนวณประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้ไม้ฟืน (สารชีวมวล) เป็นเชื้อเพลิง มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.6930 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมไม้ฟืน[13] หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไอน้ำลดลงทำให้ลดการใช้ไม้ฟืนได้ 61,786 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 61,786 x 0.6930

= 42,818 กิโลกรัมต่อปี

การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง[14] หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 3,600 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น = 3,600 x 0.5821

= 2,096 กิโลกรัมต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลงทั้งหมด = 42,818 - 2,096

= 40,722 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.27 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งปั๊มสุญญากาศแทนเครื่องไล่อากาศในขั้นตอนการปิดผนึกผลิตภัณฑ์

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	60,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	31,940	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	23	เดือน
ปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ประหยัดได้	61,776	กิโลกรัมต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	40,722	กิโลกรัมต่อปี

4.9 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน

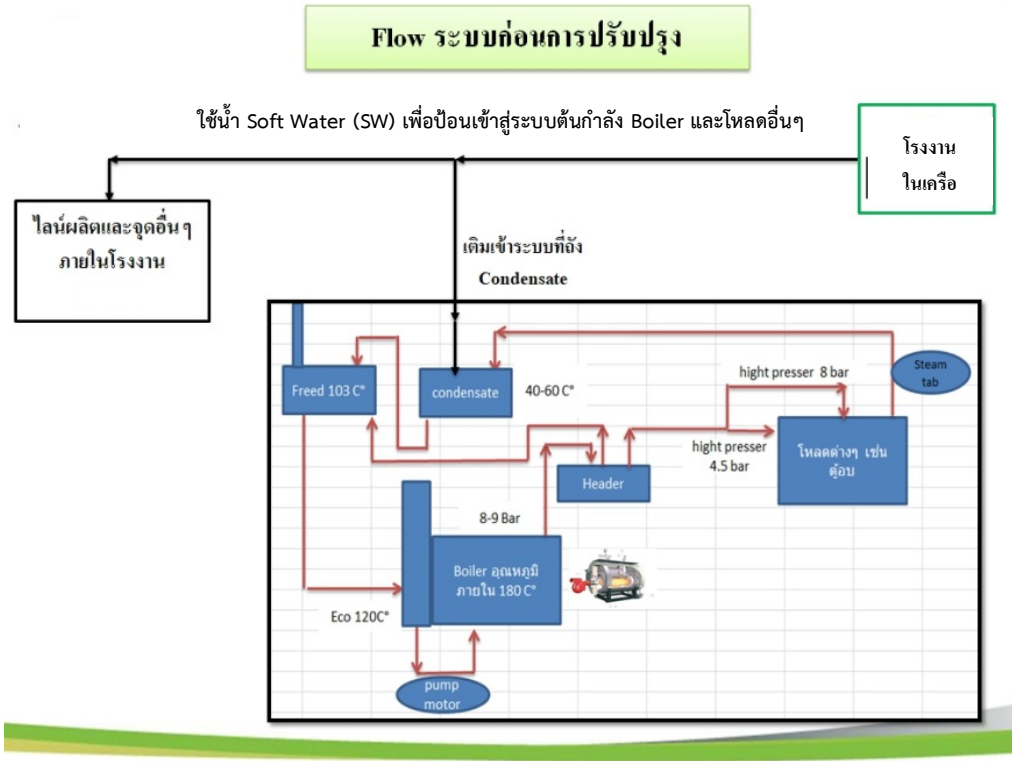
1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

โรงงานมีการซื้อน้ำอ่อนจากโรงงานภายในเครือ นำมาใช้ภายในกระบวนการผลิต บางส่วนใช้เป็นน้ำป้อนให้แก่หม้อน้ำขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง และบางส่วนนำมาผลิตเป็นน้ำอาร์โอเพื่อป้อนให้กับหม้อน้ำขนาด 2 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นหม้อน้ำที่ติดตั้งใหม่ คิดเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ป้อนหม้อน้ำรวมทั้งหมด 51.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.31 จากการสำรวจพบว่าค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำอ่อนที่ซื้อมามีค่าสูงถึง 438 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำอ่อนที่เก็บไว้ในถังน้ำป้อนมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลงเท่ากับ 338 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมี

[13] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[14] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

น้ำคอนเดนเสทบางส่วนวนกลับมาที่ถังน้ำป้อนด้วย โดยโรงงานจะกำหนดอัตราโบล์วดาวน์น้ำจากหม้อน้ำโดยใช้เกณฑ์ควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ไว้ที่ไม่เกิน 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร กล่าวคือ ถ้าน้ำในหม้อน้ำมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงเกิน 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบจะทำการโบล์วดาวน์อัตโนมัติโดยใช้การตั้งเวลาเปิด-ปิดวาล์วโบล์วดาวน์ ดังแสดงในรูปที่ 4.32 เนื่องจากค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำป้อนหม้อน้ำมีค่าสูง โรงงานจึงตั้งเวลาในการโบล์วดาวน์ไว้ค่อนข้างบ่อย คือโบล์วดาวน์ทุก 10 นาที ครั้งละ 30 วินาที เพื่อให้คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ซึ่งจะทำให้สูญเสียน้ำและพลังงานความร้อนเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 4.31 แผนผังการผลิตไอน้ำก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4.32 การตั้งเวลาในการโบล์วดาวน์

Water Analysis Report

Messrs. :

Date : 04/03/60

Sampling Date : 03/03/60

Code :

Ref. Code :

ATTN :

Analysis Results

PARAMETER	TYPE OF SAMPLE				Standard Control for boiler		
	Soft	Feed Tank	B/W 3 Ton	Condensate	Feed water	Boiler	Condensate
Appearance	ใสไม่มีสี	เหลืองอ่อนใส	ใสไม่มีสี	ใสไม่มีสี			
pH (as 25°C)	7.81	7.74	12.19	7.70	5.8 - 9.5	8.5 -11.8	> 6
Conductivity (µs/cm as 25°C)	875	675	5820	719	< 400	<5000	< 50
Total Dissolved Solid (mg/l as NaCl)	438	338	3376	403		<3500	
Total Hardness (mg/l as $CaCO_3$)	6	8	12	6	< 10	<10	
Ca-Hardness (mg/l as $CaCO_3$)	4	6	8	4			
Mg-Hardness (mg/l as $CaCO_3$)	2	2	4	2			
M- Alkalinity (mg/l as $CaCO_3$)	300	234	1185	249		500-800	
P-Alkalinity (mg/l as $CaCO_3$)	-	-	840	-			
Total Iron (mg/l as Fe)	0.02	2.7	0.1	0.4		<0.5	
Chloride (mg/l as Cl)	29.4	24.5	179.6	26.1	< 40	<500	
Silica (mg/l as SiO_2)	12.0	16.3	74	1.8		<100	

รูปที่ 4.33 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำป้อนหม้อน้ำขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

จากข้อมูลของโรงงาน มีการใช้ไอน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ที่ 1,660 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และปัจจุบันโรงงานมีการใช้งานระบบผลิตน้ำอาร์โอ ขนาด 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงอยู่แล้ว ซึ่งมีกำลังการผลิตน้ำอาร์โอเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำป้อนทั้งหมดของหม้อน้ำเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิต จากการตรวจสอบค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำอาร์โอมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.34 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำอ่อนที่ใช้อยู่ ดังนั้นจึงสามารถนำน้ำอาร์โอมาใช้เป็นน้ำป้อนให้กับหม้อน้ำ แทนการใช้น้ำอ่อน และสามารถเดินระบบหม้อน้ำขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง เพียงเครื่องเดียวสำหรับกระบวนการผลิตได้ได้ โดยติดตั้งถังพักน้ำอาร์โอ ขนาด 2.5 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 2 ถัง และเดินระบบส่งน้ำอาร์โอไปที่ถังน้ำป้อน และนำน้ำส่วนที่ทิ้งจากระบบผลิตน้ำอาร์โอกลับมาใช้ในการล้างพื้นหรือส่วนอื่นๆ ของโรงงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.35 และ 4.36 หลังจากการปรับปรุงทำให้สามารถช่วยลดความถี่ในการโบล์วดาวน์ได้เหลือเพียง 1 ครั้งต่อชั่วโมง ครั้งละ 10 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.37 โดยผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 4.38 เมื่อพิจารณาจากคุณภาพน้ำโบล์วดาวน์ที่ได้โรงงานยังสามารถลดความถี่ในการโบล์วดาวน์เพิ่มขึ้นได้อีกในอนาคต เนื่องจากค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ยังต่ำกว่าเกณฑ์ค่อนข้างมาก

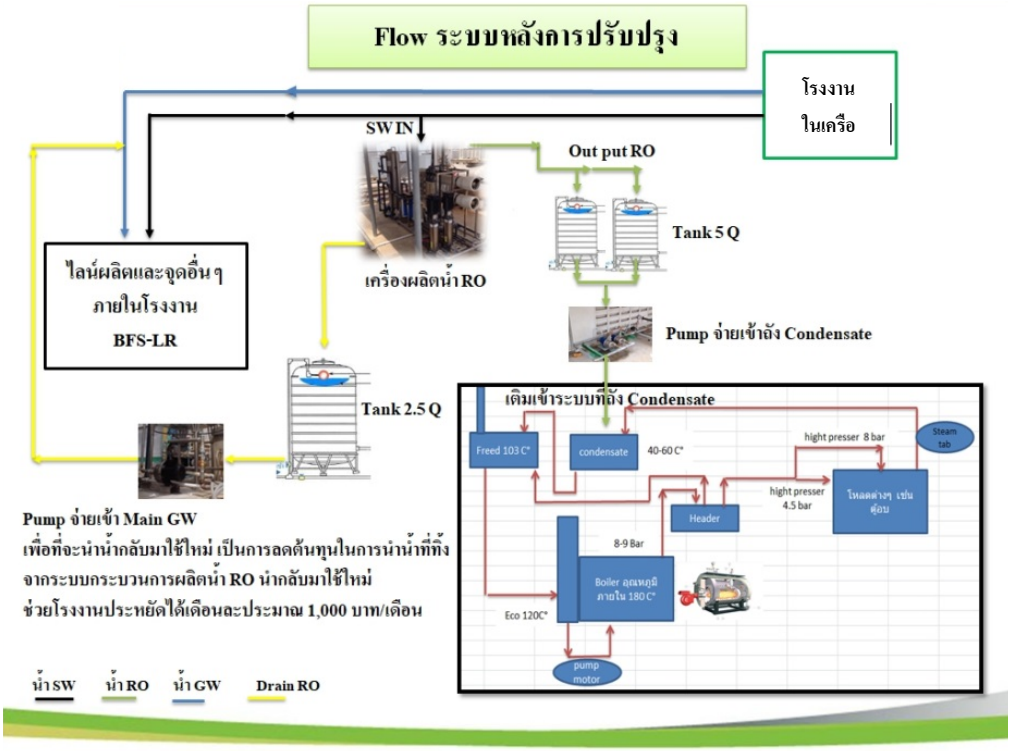
Sample type : Water
Sample condition : Room Temperature
Physical condition : Yellow water has some solids.
Sample ID : 004
Tested date : Jun 12, 2017 - Jun 15, 2017
Sample description : Feed Boiler No.1 , ภายหลัง Feed Boiler

Sample collected date : Jun 12, 2017 11:00
Sample collected from : วิศวกรรม
Sample collected by : -
Sample received date : Jun 12, 2017

Analysis	Reference Method	Result	Unit	LOD	LOQ	Limits
* Color	APHA 2120 B. Visual Comparison Method (2012)	< 5	Color Unit	-	5	-
* Conductivity	Conductivity Meter	106	µS/cm	-	-	-
pH	APHA 4500-H+ B. Electrometric Method (2012)	8.02	-	-	-	-
Total Dissolved Solids (TDS)	APHA 2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 C (2012)	< 50	mg/L	5	50	-
* Turbidity	APHA 2130 B. Nephelometric method (2012)	65	NTU	-	-	-

Remarks : * Analysis is not accredited under ISO/IEC 17025

รูปที่ 4.34 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำอาร์โอสำหรับป้อนเข้าหม้อน้ำขนาด 2 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.35 แผนผังการผลิตไอน้ำหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.36 ระบบอาร์โอ ถังพักน้ำ และระบบท่อน้ำอาร์โอ



รูปที่ 4.37 การตั้งเวลาในการโบล์วดาวน์หลังปรับปรุง

Sample type : Water
Sample condition : Room Temperature
Physical condition : Yellow water has some solids.
Sample ID : 001
Tested date : Jun 12, 2017 - Jun 15, 2017
Sample description : Blow Down Boilor , น้ำใน Boilor ก่อน Boilor

Sample collected date : Jun 12, 2017 11:00
Sample collected from : วิศวกรรม
Sample collected by : -
Sample received date : Jun 12, 2017

Analysis	Reference Method	Result	Unit	LOD	LOQ	Limits
* Color	APHA 2120 B. Visual Comparison Method (2012)	< 5	Color Unit	-	5	-
* Conductivity	Conductivity Meter	808	µS/cm	-	-	-
pH	APHA 4500-H+ B. Electrometric Method (2012)	11.25	-	-	-	-
Total Dissolved Solids (TDS)	APHA 2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180 C (2012)	318	mg/L	5	50	-
* Turbidity	APHA 2130 B. Nephelometric method (2012)	85	NTU	-	-	-

Remarks : * Analysis is not accredited under ISO/IEC 17025

รูปที่ 4.38 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำโบล์วดาวน์หลังการปรับปรุง

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.28 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้	S	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	1,660	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำขณะใช้งาน	P_w	บาร์	8.0	ข้อมูลโรงงาน
ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว	F_C	บาทต่อกิโลกรัม	23.61	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิน้ำป้อน	T_1	องศาเซลเซียส	100	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ค่าเอนทาลปีของน้ำป้อน	Q_F	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	419.10	ข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง
ค่าเอนทาลปีของน้ำโบล์วดาวน์	Q_B	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	720.90	ข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว	c	เมกะจูลต่อกิโลกรัม	50.23	ข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง
ราคาน้ำอ่อน	B_W	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	20	ข้อมูลโรงงาน
ชั่วโมงทำงานของหม้อน้ำ	h	ชั่วโมงต่อปี	7,488	ข้อมูลโรงงาน
เวลาที่ใช้ตรวจวัดปริมาณน้ำโบล์วดาวน์	t_T	วินาที	5	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์จากการตรวจวัด	V_T	ลิตร	15	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
เวลาในการโบล์วดาวน์ก่อนปรับปรุง	t_{Be}	วินาทีต่อครั้ง	30	ข้อมูลโรงงาน
ความถี่ในการโบล์วดาวน์ก่อนปรับปรุง	F_{Be}	ครั้งต่อชั่วโมง	6	ข้อมูลโรงงาน
เวลาในการโบล์วดาวน์หลังปรับปรุง	t_{Af}	วินาทีต่อครั้ง	10	ข้อมูลโรงงาน
ความถี่ในการโบล์วดาวน์หลังปรับปรุง	F_{Af}	ครั้งต่อชั่วโมง	1	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ 4.29 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ได้จากการตรวจวัด	V	ลิตรต่อวินาที
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ทั้งหมดก่อนปรับปรุง	V_{Be}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ทั้งหมดหลังปรับปรุง	V_{Af}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ประหยัดได้	V_S	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านน้ำที่ประหยัดได้	C_W	บาทต่อปี
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	H_S	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียวเหลวที่ประหยัดได้	F_S	กิโลกรัมต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียวเหลวที่ประหยัดได้	C_F	บาทต่อปี
มูลค่ารวมที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

ก่อนปรับปรุง

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ได้จากการตรวจวัด (V) = V_T / t_T
= 15 / 5
= 3 ลิตรต่อวินาที

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ทั้งหมด (V_{Be}) = $(V \times t_{Be} \times F_{Be} \times h) / 1,000$
= (3 x 30 x 6 x 7,488) / 1,000
= 4,043.52 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

หลังปรับปรุง

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ทั้งหมด (V_{Af}) = $(V \times t_{Af} \times F_{Af} \times h) / 1,000$
= (3 x 10 x 1 x 7,488) / 1,000
= 224.64 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ที่ประหยัดได้ (V_S) = $V_{Be} - V_{Af}$
= 4,043.52 - 224.64
= 3,818.88 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำที่ประหยัดได้ (C_W) = $V_S \times B_W$
= 3,818.88 x 20
= 76,378 บาทต่อปี

พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (H_S) = $V_S \times (Q_B - Q_F)$
= 3,818.88 x (720.90 - 419.1)
= 1,152,537.98 เมกะจูลต่อปี

ปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียวเหลวที่ประหยัดได้ (F_S) = H_S / c
= 1,152,537.98 / 50.23
= 22,945.21 กิโลกรัมต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียวเหลวที่ประหยัดได้ (C_F) = $F_S \times F_C$
= 22,945.21 x 23.61
= 541,736 บาทต่อปี

มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ (B_S) = $C_W + C_S$
= 76,378 + 541,736
= 618,114 บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุนติดตั้งระบบท่อน้ำและถังพักน้ำอาร์โอ (B_I) = 43,459 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S
= 43,459 / 618,114

= 0.07 ปี

≈ 1 เดือน

การคำนวณประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้น้ำอ่อนเป็นน้ำป้อนหม้อน้ำ มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0985 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรน้ำอ่อน[15] ก่อนปรับปรุงมีปริมาณน้ำโบล์วดาวน์เท่ากับ 4,043.52 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่า = 4,043.52 x 3.0985

= 12,529 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำอาร์โอเป็นน้ำป้อนหม้อน้ำ มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 1.3644 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรน้ำอาร์โอ[16] หลังปรับปรุงมีปริมาณน้ำโบล์วดาวน์เท่ากับ 224.64 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่า = 224.64 x 1.3644

= 306 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 12,529 - 306

= 12,223 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.30 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการเปลี่ยนประเภทน้ำป้อน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	43,459	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	618,114	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	1	เดือน
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียวเหลวที่ประหยัดได้	541,736	บาทต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	12,223	กิโลกรัมต่อปี

4.10 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ปั๊มลมหรือเครื่องอัดอากาศ[17] คือ อุปกรณ์บีบอัดอากาศจากบรรยากาศเพื่อให้เกิดความดันสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้ในรูปแบบหนึ่งของพลังงาน ด้วยคุณสมบัติที่เหมาะสมและหลากหลาย การใช้งานอากาศอัดส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นตัวขับเครื่องจักรต่างๆ เช่น อุปกรณ์ หุ่นยนต์ เครื่องมือลมต่างๆ การทำงานของเครื่องอัดอากาศเริ่มจากสกรูดูดอากาศผ่านชุดกรองเพื่อให้เกิดการอัดตัวของอากาศ สกรูจะอัดอากาศโดยลดปริมาตรของอากาศลงจนเกิดเป็นความดันอากาศที่สูงขึ้น จากนั้นอากาศที่ผ่านการอัดตัวจะถูกส่งไปยังถังแยกน้ำมัน ภายในถังนี้

[15] ที่มา : องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[16] ที่มา : องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

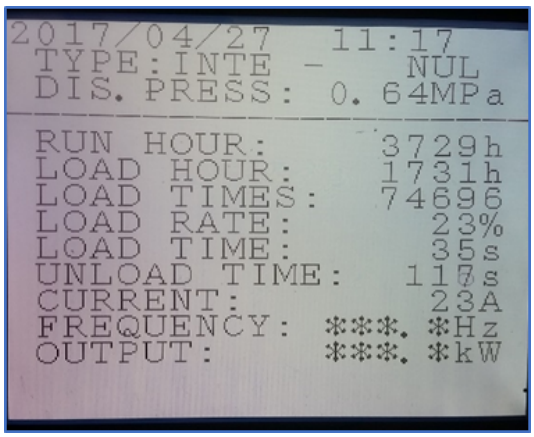
[17] ที่มาจาก http://www.adekom-thailand.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 25/7/2560

น้ำมันกว่าร้อยละ 99 จะถูกแยกออกเพื่อความเหมาะสมและความสะอาดของอากาศอัด กระบวนการสุดท้ายคือการทำอากาศอัดให้มีอุณหภูมิต่ำลงโดยการระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำที่อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน ในโรงงานมีการใช้งานเครื่องอัดอากาศขนาด 30 กิโลวัตต์ เพื่อผลิตอากาศอัดสำหรับใช้ในการผลิต

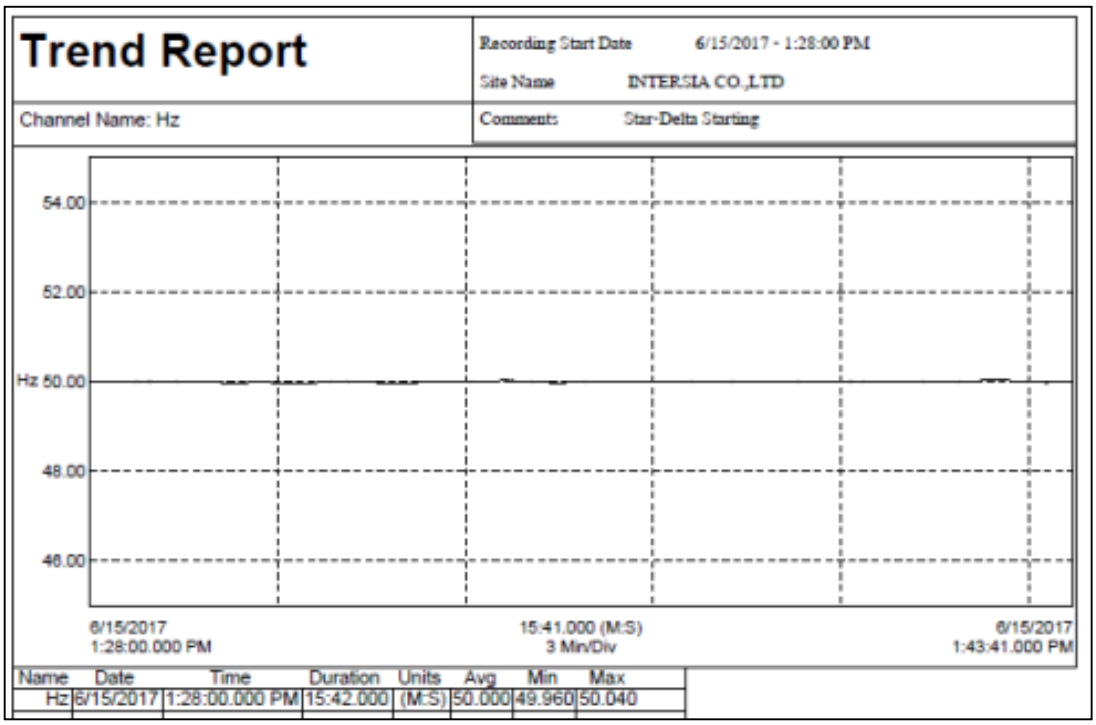
จากการสำรวจและตรวจวัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.39 โดยตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดแสดงได้ดังรูปที่ 4.40 เป็นข้อมูลขณะที่ทำการตรวจวัดโดยแสดงอัตราการผลิตอากาศอยู่ที่ร้อยละ 23 มีการใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 23 แอมแปร์ ผลิตแรงดันได้ 0.64 เมกะปาสกาล (6.4 บาร์) ซึ่งผลจากการตรวจวัดในภาพรวมแสดงได้ดังรูปที่ 4.41 พบว่าเครื่องอัดอากาศ มีการทำงานในช่วงที่มีภาระการใช้งาน (Onload) เฉลี่ยร้อยละ 61.00 และช่วงไม่มีภาระการใช้งาน (Unload) เฉลี่ยร้อยละ 39.00 ซึ่งช่วงนี้ไม่มีการผลิตอากาศอัดแต่มอเตอร์ทำงานโดยใช้กำลังไฟฟ้าร้อยละ 35 ของพิกัดเครื่องและมีการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 27.53 กิโลวัตต์ จากสัดส่วนเวลาการทำงานเฉลี่ยดังกล่าวเครื่องอัดอากาศต้องทำการตัด-ต่อบ่อยครั้ง ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก

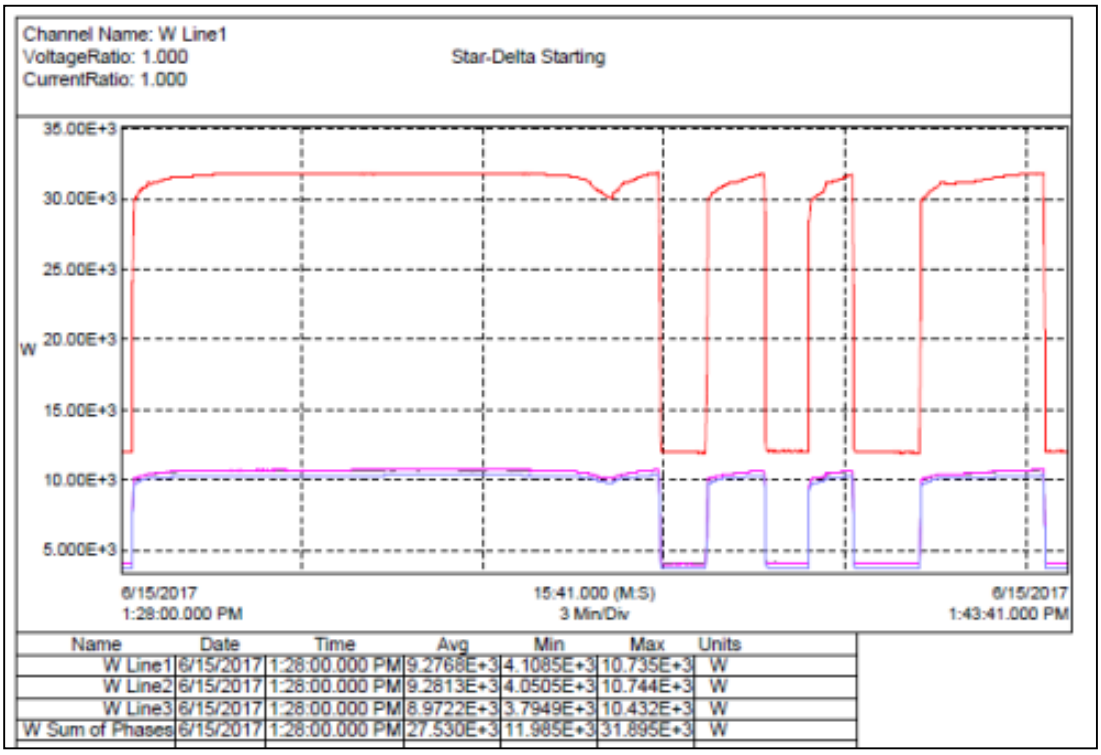


รูปที่ 4.39 เครื่องอัดอากาศขนาด 30 กิโลวัตต์



รูปที่ 4.40 รูปหน้าจอแสดงสถานะการทำงาน





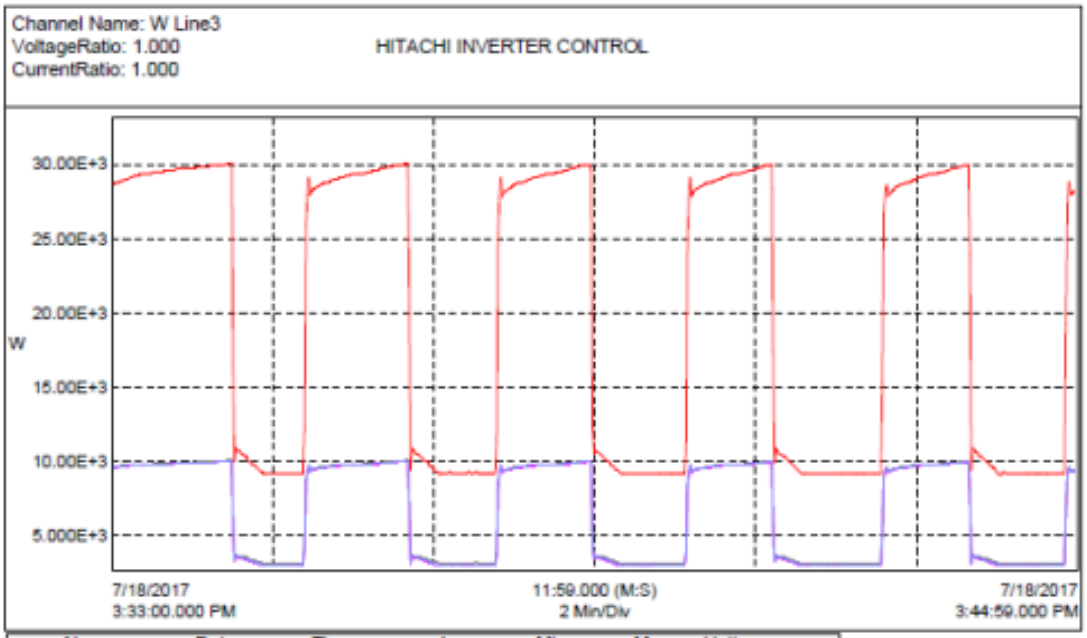
รูปที่ 4.41 ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าก่อนปรับปรุง

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

แนวทางการปรับปรุงทำได้โดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.42 เพื่อควบคุมเครื่องอัดอากาศให้ผลิตปริมาณอากาศอัดตามภาระงานที่ใช้จริง ช่วยทำให้มอเตอร์มีการปรับรอบความเร็วการหมุนอย่างเหมาะสม โดยลดการสูญเปล่าของกำลังไฟฟ้าในการขับมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีภาระการใช้งาน ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงไปมาก จากผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศที่ใช้งาน แสดงผลการตรวจวัดดังในรูปที่ 4.43 โดยได้ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าหลังจากปรับปรุงอยู่ที่ 19.78 กิโลวัตต์ ซึ่งสามารถช่วยให้มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น



รูปที่ 4.42 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์



Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
W Line1	7/18/2017	3:33:00.000 PM	6.6533E+3	3.1149E+3	10.085E+3	W
W Line2	7/18/2017	3:33:00.000 PM	6.5448E+3	2.9520E+3	10.035E+3	W
W Line3	7/18/2017	3:33:00.000 PM	6.5811E+3	3.0044E+3	10.027E+3	W
W Sum of Phases	7/18/2017	3:33:00.000 PM	19.779E+3	9.0713E+3	30.141E+3	W

รูปที่ 4.43 ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.31 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ขนาดของเครื่องอัดอากาศ	S_A	กิโลวัตต์	30	ข้อมูลโรงงาน
ความสามารถในการผลิตอากาศอัด	C_A	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที	5.30	ข้อมูลโรงงาน
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	4.00	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาทำงาน	h	ชั่วโมงต่อปี	7,200	ข้อมูลโรงงาน
ความถี่ทางไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	Hz_{Be}	เฮิรตซ์	50.00	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์	27.53	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยหลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์	19.78	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.32 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานก่อนปรับปรุง	P_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานหลังปรับปรุง	P_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	P_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Be}) = E_{Be} x h
= 27.53 x 7,200
= 198,216 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Af}) = E_{Af} x h
= 19.78 x 7,200
= 142,416 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_S) = P_{Be} - P_{Af}
= 198,216 - 142,416
= 55,800 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S) = P_S x E_C
= 55,800 x 4.00
= 223,200 บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุนติดตั้งอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ประกอบ (B_I) = 108,000 บาท
ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S
= 108,000 / 223,200
= 0.48 ปี
≈ 6 เดือน

หมายเหตุ เนื่องจากโรงงานมีอินเวอร์เตอร์ขนาด 11 กิโลวัตต์ ที่ติดกับเครื่องจักรเก่าที่ยกเลิกการใช้งานไปแล้ว ซึ่งสามารถนำมาติดตั้งและใช้งานได้ จึงมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเฉพาะการติดตั้งและการจัดหาอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สายฟ้า ตู้ไฟ เป็นต้น

การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องอัดอากาศ มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[18] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 55,800 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 55,800 x 0.5821
= 32,481 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.33 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบการหมุนของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศตามภาระการใช้งาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	108,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	223,200	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	6	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	55,800	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	32,481	กิโลกรัมต่อปี

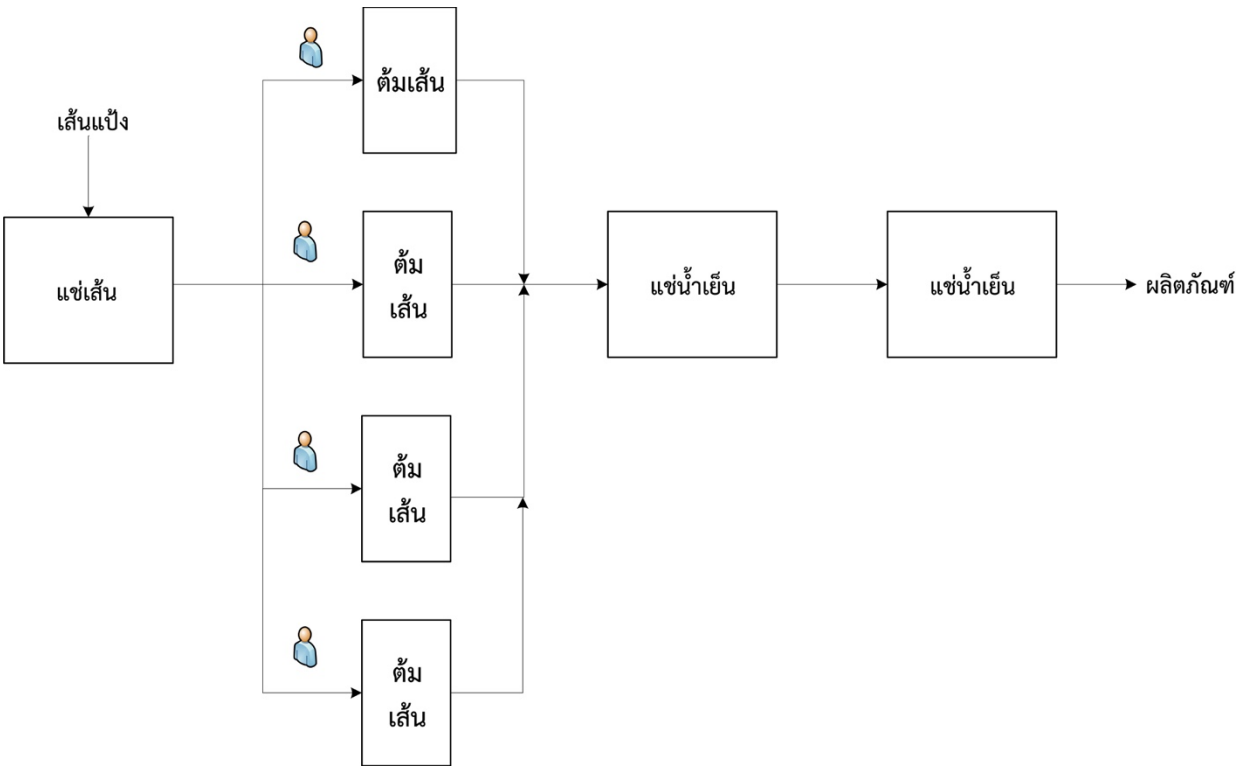
4.11 การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ

1. ข้อมูลพื้นฐานสภาพของปัญหา

ในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทานของโรงงาน มีขั้นตอนการต้มวัตถุดิบประเภทเส้นแป้ง โดยเริ่มจากการแช่เพื่อล้างแป้งที่ติดมากับเส้น ก่อนนำเส้นที่ล้างแล้วใส่ลงถังต้มที่เป็นลักษณะถังเปิด แล้วจึงให้พนักงานใช้ไม้พายกวนเส้นแป้งเพื่อให้วัตถุดิบสุกทั่วทั้งหม้ออย่างสม่ำเสมอ โดยใช้เวลาในการต้มครั้งละ

[18] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ประมาณ 2 นาที และมีหม้อต้มที่ใช้ผลิตทั้งหมด 4 ใบ หลังจากนั้นจึงนำเส้นที่ต้มสุกแล้วไปแช่น้ำอีก 2 รอบ เพื่อลดอุณหภูมิเส้นก่อนนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.44 ซึ่งในกระบวนการต้มเส้นนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการต้มนานและใช้อุณหภูมิในการต้มสูง เนื่องจากลักษณะของหม้อต้มที่เป็นถังฝาเปิดและไม่มีฉนวนกันความร้อน ทำให้มีการสูญเสียความร้อนสูงในระหว่างกระบวนการต้ม รวมทั้งสูญเสียน้ำในขั้นตอนล้างวัตถุดิบและการแช่ค่อนข้างมาก ในการต้มและล้างแช่เส้นแป้งจะใช้พนักงานประจำทำหน้าที่ดูแลระหว่างการต้ม 1 คน ต่อ 1 หม้อต้ม เพื่อคอยกวนเส้นแป้งและมีพนักงานช่วยในการยกเส้นออกจากหม้อต้ม ทำให้ต้องใช้พนักงานค่อนข้างมากในกระบวนการนี้

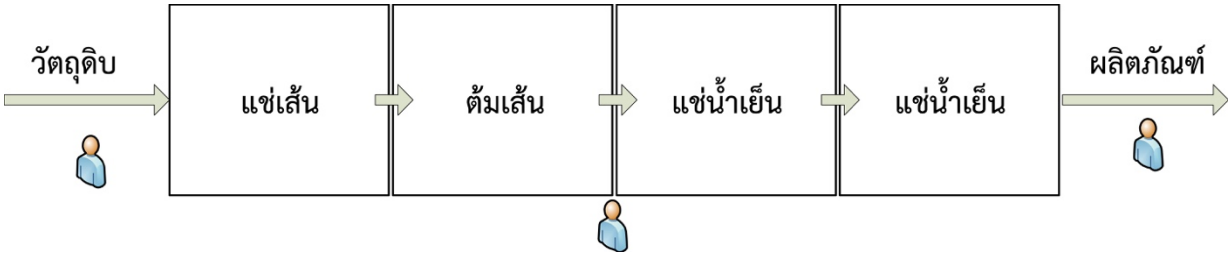


รูปที่ 4.44 การต้มวัตถุดิบประเภทเส้นแป้งก่อนปรับปรุง

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เนื่องจากวิธีการทำงานเดิมเกิดการสูญเสียพลังงานค่อนข้างสูงและใช้พนักงานในการทำงานหลายคน โรงงานจึงปรับปรุงเปลี่ยนรูปแบบการต้มจากแบบเดิมเป็นการต้มแบบอัตโนมัติและต่อเนื่อง โดยออกแบบหม้อต้มใหม่มีลักษณะเป็นตระกร้ากระพ้อสำหรับใส่เส้น ซึ่งตะกร้าจะแช่อยู่ในอ่างน้ำจำนวน 4 อ่าง ประกอบด้วยอ่างแช่เส้นสำหรับล้างแป้ง 1 อ่าง อ่างน้ำร้อนสำหรับต้ม 1 อ่าง และอ่างน้ำสำหรับลดอุณหภูมิเส้น 2 อ่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.45 ซึ่งหม้อต้มแบบใหม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการต้มได้เท่ากันทุกครั้ง เมื่อครบกำหนดเวลาก็จะทำการยกตะกร้าด้วยมอเตอร์และเทเส้นลงสู่ตะกร้าถัดไป ซึ่งรูปแบบในการต้มดังกล่าวจะทำงานได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ทำให้ประหยัดพลังงาน ลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากเป็นอ่างต้มแบบหุ้มฉนวนกันความร้อน และลดการใช้พนักงานประจำหม้อต้มแต่ละหม้อได้ คงเหลือแต่พนักงานในการเคลื่อนย้ายเส้นแป้งเข้าและออกชุดหม้อต้มเท่านั้น สามารถโยกย้ายพนักงานที่ดูแลในกระบวนการต้มเส้นไปทำงานในส่วนการผลิต

อื่นแทนได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียน้ำในระหว่างการยกตะกร้าวัตถุดิบเข้า-ออกได้บางส่วนเมื่อเทียบกับวิธีการเดิม



รูปที่ 4.45 แบบชุดหม้อต้มและชุดลดอุณหภูมิเส้นแป้ง

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.34 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	c	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส	4.186	ค่าคงที่
		เมกะจูลต่อตัน-องศาเซลเซียส		
อุณหภูมิน้ำในหม้อต้ม	T_2	องศาเซลเซียส	100	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำปกติ	T_1	องศาเซลเซียส	30	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
รอบการผลิตก่อนปรับปรุง	n_{Be}	รอบต่อวัน	10	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณน้ำในหม้อต้ม	V_W	ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ	0.1	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดก่อนปรับปรุง	V_{Be}	ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ	0.3	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อแช่เส้นหลังปรับปรุง	V_{Af1}	ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ	0.1	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
รอบการเปลี่ยนน้ำบ่อแช่เส้นหลังปรับปรุง	n_{Af1}	รอบต่อวัน	10	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อต้มเส้นหลังปรับปรุง	V_{Af2}	ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ	0.1	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
รอบการเปลี่ยนน้ำบ่อต้มเส้นหลังปรับปรุง	n_{Af2}	รอบต่อวัน	3	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อลดอุณหภูมิเส้นหลังปรับปรุง	V_{Af3}	ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ	0.2	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
รอบการเปลี่ยนน้ำบ่อลดอุณหภูมิเส้นหลังปรับปรุง	n_{Af3}	รอบต่อวัน	3	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ราคาพลังงานความร้อนต่อหน่วย	C_H	บาทต่อเมกะจูล	32.07	ข้อมูลโรงงาน
ราคาค่าน้ำประปา	C_W	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	19.67	ข้อมูลโรงงาน
ค่าใช้จ่ายด้านพนักงาน	C_P	บาทต่อคน	300	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนพนักงานก่อนปรับปรุง	N_{Be}	คน	4	ข้อมูลโรงงาน

จำนวนพนักงานหลังปรับปรุง	N_{Af}	คน	3	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ใช้งานทั้งหมด	E_W	กิโลวัตต์	2	ข้อมูลโรงงาน
เวลาทำงานหลังปรับปรุง	t_{Af}	ชั่วโมงต่อวัน	4	ข้อมูลโรงงาน
ราคาไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.50	ข้อมูลโรงงาน

หมายเหตุ: ค่าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กิโลกรัมต่อลิตร หรือเท่ากับ 1 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.35 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ก่อนปรับปรุง	Q_{Be}	เมกะจูลต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนก่อนปรับปรุง	B_{QBe}	บาทต่อปี
ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดก่อนปรับปรุง	W_{Bf}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านน้ำใช้ก่อนปรับปรุง	B_{WBf}	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพนักงานก่อนปรับปรุง	B_{PBf}	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายก่อนปรับปรุง	B_{TBf}	บาทต่อปี
ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้หลังปรับปรุง	Q_{Af}	เมกะจูลต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนหลังปรับปรุง	B_{QAf}	บาทต่อปี
ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดหลังปรับปรุง	W_{Af}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านน้ำใช้หลังปรับปรุง	B_{WAf}	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพนักงานหลังปรับปรุง	B_{PAf}	บาทต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหลังปรับปรุง	B_{EAf}	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายหลังปรับปรุง	B_{TAf}	บาทต่อปี
ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ประหยัดได้	Q_S	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดประหยัดได้	W_S	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
มูลค่ารวมที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ (Q_{Be}) = $(n_{Be} \times V_W) \times c \times D \times (T_2 - T_1)$

= $(10 \times 0.1) \times 4.186 \times 300 \times (100 - 30)$

= 87,906 เมกะจูลต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อน (B_{QBe}) = $Q_{Be} \times C_H$

= $87,906 \times 32.07$

= 2,819,145 บาทต่อปี

ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมด (W_{Be}) = $n_{Be} \times V_{Be} \times D$

= $10 \times 0.3 \times 300$

= 900 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำใช้ (B_{WBe}) = $W_{Bf} \times C_W$

= 900 x 19.67

= 17,703 บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านพนักงาน (B_{PBe}) = $N_{Be} \times C_P \times D$

= 4 x 300 x 300

= 360,000 บาทต่อปี

รวมค่าใช้จ่าย (B_{TBe}) = $B_{QBe} + B_{WBe} + B_{PBe}$

= 2,819,145 + 17,703 + 360,000

= 3,196,848 บาทต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ (Q_{Af}) = $n_{Af2} \times V_{Af2} \times c \times D \times (T_2 - T_1)$

= (3 x 0.1) x 4.186 x 300 x (100 - 30)

= 26,372 เมกะจูลต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อน (B_{QAf}) = $Q_{Af} \times C_H$

= 26,372 x 32.07

= 845,750 บาทต่อปี

ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมด (W_{Af}) = $((n_{Af1} \times V_{Af1}) + (n_{Af2} \times V_{Af2}) + (n_{Af3} \times V_{Af3})) \times D$

= ((10 x 0.1) + (3 x 0.1) + (3 x 0.2)) x 300

= 570 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำใช้ (B_{WAf}) = $W_{Adf} \times C_W$

= 570 x 19.67

= 11,212 บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านพนักงาน (B_{PAf}) = $N_{Af} \times C_P \times D$

= 3 x 300 x 300

= 270,000 บาทต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (E_{Af}) = $E_{W \times} t_{Af} \times D$

= 2 x 4 x 300

= 2,400 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (B_{EAf}) = $E_{Af} \times E_C$

= 2,400 x 3.50

= 8,400 บาทต่อปี

รวมค่าใช้จ่าย (B_{TAf}) = $B_{QAf} + B_{WAf} + B_{PAf} + B_{EAf}$

= 845,750 + 11,212 + 270,000 + 8,400

= 1,135,362 บาทต่อปี

ค่าพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (Q_S) = Q_{Be} - Q_{Af}

= 87,906 - 26,372

= 61,534 เมกะจูลต่อปี

ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดประหยัดได้ (W_S) = W_{Be} - W_{Af}

= 900 - 570

= 330 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ (B_S) = B_{TBe} - B_{TAf}

= 3,196,848 - 1,135,362

= 2,061,486 บาทต่อปี

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์</u>

เงินลงทุน (B_I) = 548,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S

= 548,000 / 2,061,486

= 0.27 ปี

≈ 4 เดือน

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[19] หลังการปรับปรุงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2,400 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น = 2,400 x 0.5821

= 1,397 กิโลกรัมต่อปี

การใช้ก๊าซธรรมชาติ (NG) เป็นเชื้อเพลิงในการให้พลังงานความร้อน มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.0099 กิโลกรัมต่อเมกะจูล[20] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้ก๊าซธรรมชาติ (NG) คิดเป็นปริมาณพลังงานที่ลดลงได้เท่ากับ 61,534 เมกะจูลต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 61,534 x 0.0099

= 609 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำประปาเป็นส่วนประกอบในการผลิต มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5081 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[21] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้น้ำประปาได้เท่ากับ 330 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

[19] ที่มา องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

[20] ที่มา องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[21] ที่มา องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 330 x 0.5081

= 168 กิโลกรัมต่อปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด = 1,397 - 609 - 168

= 620 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.36 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการต้มวัตถุดิบ

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	548,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	2,061,486	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	4	เดือน
ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ประหยัดได้	61,534	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดประหยัดได้	330	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด	620	กิโลกรัมต่อปี

4.12 การลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย

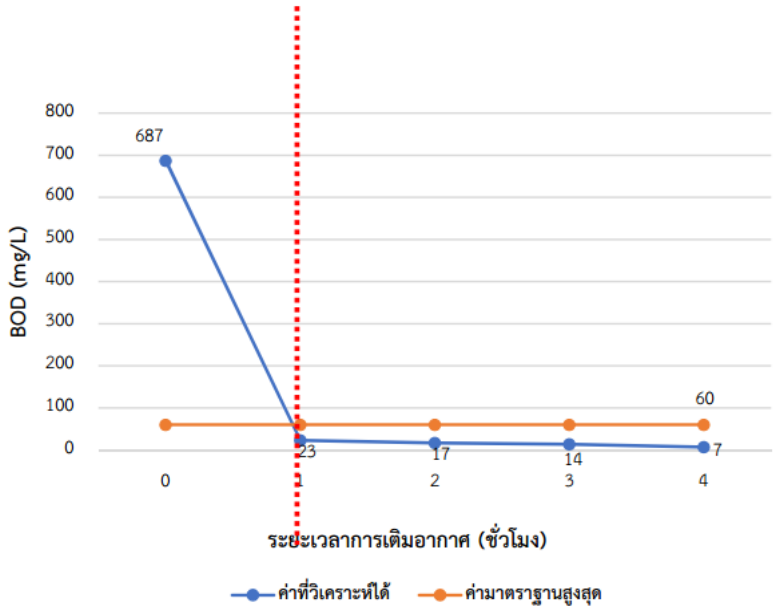
1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตทั้งหมดของโรงงาน มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) สำหรับบำบัดนำเสียทางชีวภาพ โดยทำการบำบัดน้ำเสียเป็นรอบปริมาณครั้งละ 60 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 รอบต่อวัน ใช้เวลาในการเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียรอบละ 8 ชั่วโมง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะส่งไปที่บ่อบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรม จากการตรวจสอบน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสบีอาร์ของโรงงานแล้ว พบว่ายังมีคุณภาพดีกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่นิคมฯ กำหนดไว้มาก แต่โรงงานยังคงมีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าบำบัดน้ำทิ้งที่ทางนิคมเรียกเก็บในอัตราเท่าเดิม เสมือนกับการปล่อยน้ำทิ้งที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของนิคมฯ

2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เนื่องจากค่าใช้จ่ายหลักของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเติมอากาศ ดังนั้น โรงงานจึงมีการศึกษาแนวทางเพื่อปรับลดค่าใช้จ่าย โดยการลดระยะเวลาในการเติมอากาศเพื่อลดอัตราการกำจัดบีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ในน้ำเสียลง แต่ยังทำให้คุณภาพน้ำเสียที่บำบัดแล้วดีเพียงพอที่จะระบายทิ้งให้กับนิคมฯ ซึ่งแนวทางการศึกษาการปรับปรุงทำโดยการเก็บน้ำเสียตัวอย่างในบ่อเติมอากาศทุก 1 ชั่วโมง มาวิเคราะห์หาค่าบีโอดี และนำค่าบีโอดีที่วัดได้มาหาความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเติมอากาศ เพื่อวิเคราะห์หาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการเติมอากาศในแต่ละรอบการบำบัดน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.46 เมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้วโรงงานจึงทำการปรับลดระยะเวลาในการเติมอากาศให้เหมาะสมตามผลการทดสอบ เพื่อควบคุมให้คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมี

ค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของนิคมฯ มากขึ้น จะสามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียได้



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีที่แปรผันกับระยะเวลาในการเติมอากาศ

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าระยะเวลาการเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ของโรงงานที่สามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้ค่าบีโอดีที่ต่ำกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานของนิคมฯ ที่กำหนดไว้ที่ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มต้นผ่านเกณฑ์ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง เป็นต้นไป โดยสามารถลดค่าบีโอดีจาก 687 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 23 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันที่ทำการบำบัดน้ำเสียโดยเติมอากาศ 8 ชั่วโมงต่อรอบ โรงงานสามารถลดระยะเวลาในการเติมอากาศได้เป็นจำนวนมาก แต่ในเบื้องต้นโรงงานเลือกลดระยะเวลาในการเติมอากาศลงเหลือ 6 ชั่วโมงต่อรอบก่อน เป็นการป้องกันความเสี่ยงในกรณีน้ำเสียของโรงงานอาจมีปริมาณค่าบีโอดีสูงกว่าค่าที่ทำการทดลอง และเพื่อรักษาคุณภาพน้ำทิ้งให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่โรงงานต้องการได้ตลอดเวลา

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.37 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ระยะเวลาเติมอากาศก่อนปรับปรุง	T_{Be}	ชั่วโมงต่อรอบ	8	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาเติมอากาศหลังปรับปรุง	T_{Af}	ชั่วโมงต่อรอบ	6	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
จำนวนรอบในการบำบัดน้ำเสีย	R	รอบต่อวัน	3	ข้อมูลโรงงาน

จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน
ราคาไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.50	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน	E_W	กิโลวัตต์	23	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.38 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานก่อนปรับปรุง	P_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	E_{Be}	บาทต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานหลังปรับปรุง	P_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าหลังปรับปรุง	E_{Af}	บาทต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	P_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Be}) $= T_{Be} \times R \times E_W \times D$

$= 8 \times 3 \times 23 \times 300$

$= 165,600$ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (E_{Be}) $= P_{Be} \times E_C$

$= 165,600 \times 3.5$

$= 579,600$ บาทต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Af}) $= T_{Af} \times R \times E_W \times D$

$= 6 \times 3 \times 23 \times 300$

$= 124,200$ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (E_{Af}) $= P_{Af} \times E_C$

$= 124,200 \times 3.5$

$= 434,700$ บาทต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_S) $= P_{Be} - P_{Af}$

$= 165,600 - 124,200$

$= 41,400$ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S) $= E_{Be} \times E_{Af}$

$= 579,600 - 434,700$

$= 144,900$ บาทต่อปี

การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน เนื่องจากเป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานและโรงงานมีอุปกรณ์ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำอยู่แล้ว

ระยะเวลาคืนทุน = ทันที

การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[22] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 41,400 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 41,400 x 0.5821

= 24,099 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.39 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการลดเวลาการเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน	-
มูลค่าที่ประหยัดได้	144,900	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	ทันที	-
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	41,400	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	24,099	กิโลกรัมต่อปี

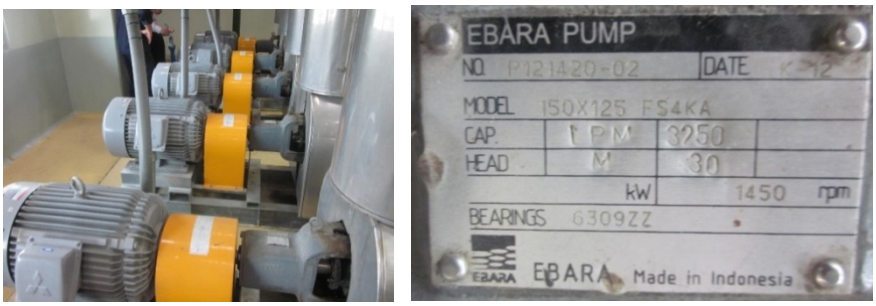
4.13 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน

1. ข้อมูลพื้นฐานและสภาพของปัญหา

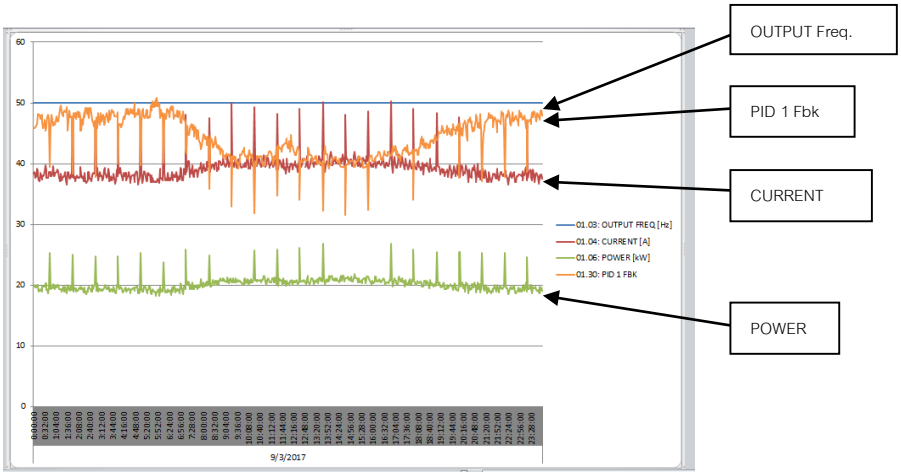
มอเตอร์ปั๊ม ถือได้ว่าเป็นระบบขับเคลื่อนหลักในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ในการใช้งานของปั๊ม โดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์ในการปรับอัตราการไหลของของเหลวในท่อส่ง เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน เช่น การควบคุมความดันภายในท่อส่งให้เหมาะสมกับการใช้งานจากผู้ใช้ เป็นต้น โดยการปรับเปลี่ยนนี้จะอยู่ในทิศทางที่เพิ่มหรือลดอัตราการไหลของของเหลวในท่อส่งลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (เฮดหรือความดัน: P อัตราการไหล: Q) ของปั๊มที่มีการกำหนดจากค่าออกแบบหรือค่าปรับตั้งที่ต้องการ

เมื่อเข้าสำรวจปั๊มน้ำเย็นขนาด 30 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด ที่ใช้งานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ดังแสดงในรูปที่ 4.47 ซึ่งทั้ง 3 ชุด ทำงานสลับกันตลอด 24 ชั่วโมง และจากการตรวจสอบพบว่าภาระการใช้งานของปั๊มไม่คงที่ อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ออกจากปั๊มน้ำเย็นในระบบทำความเย็นมีค่าสูงกว่าภาระการทำความเย็นที่ระบบต้องการ ทำให้มีน้ำเย็นส่วนหนึ่งไหลกลับ (Bypass) กลับสู่ปั๊มน้ำโดยตรงอยู่ตลอดเวลา จากผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นขณะที่ใช้งาน กำลังไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยประมาณ 21.80 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.48 และ 4.49

[22] ที่มา องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560



รูปที่ 4.47 ปั๊มน้ำเย็นขนาด 30 กิโลวัตต์



รูปที่ 4.48 ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าและความถี่ทางไฟฟ้าก่อนปรับปรุง

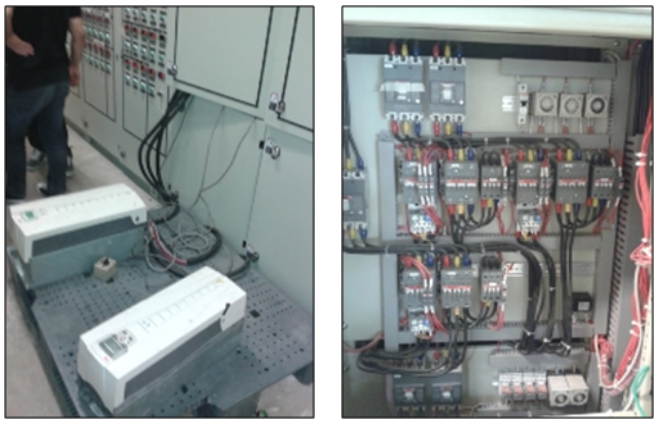


รูปที่ 4.49 การใช้พลังไฟฟ้าที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์

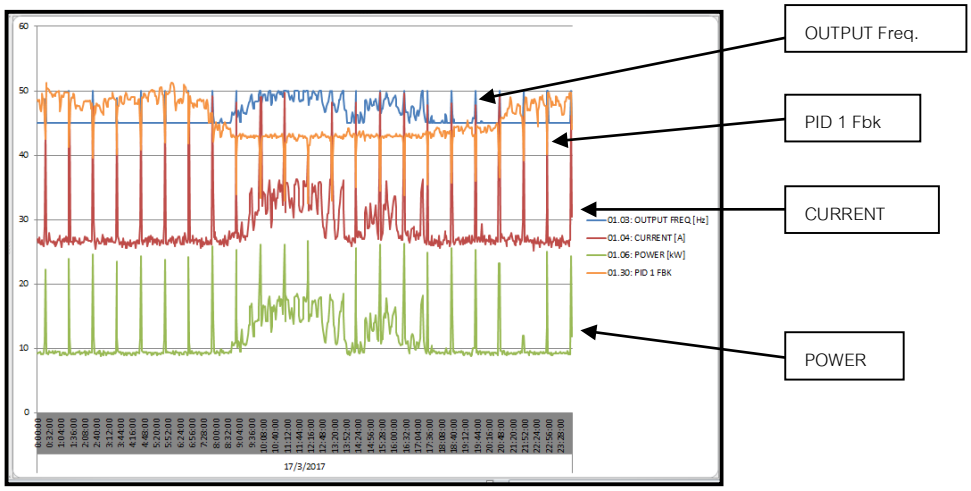
2. แนวทางการแก้ไขและวิธีดำเนินงาน

เนื่องจากภาระการใช้งานของปั๊มน้ำเย็นมีภาระที่ไม่คงที่ แต่การทำงานของมอเตอร์เดินเต็มที่ตลอดเวลาทำให้เกิดสูญเสียพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น จึงได้ดำเนินการปรับปรุงโดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์สำหรับปั๊มน้ำเย็นขนาด 30 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.50 สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าให้ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบให้เหมาะสมกับภาระงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในกระบวนการ

ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยช่วยประหยัดพลังงานมอเตอร์ได้จากความเร็วรอบที่ลดลงสัมพันธ์กับภาระการใช้งานในแต่ละช่วงเวลา หลังจากติดตั้งแล้วตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ลดลงเหลือ 9.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.51 และ 4.52



รูปที่ 4.50 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.51 ผลการบันทึกกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.52 การใช้กำลังไฟฟ้าขณะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ด้วย PID Control

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน ข้อมูลจากผู้ผลิต และผลการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญ มาทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.40 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาของข้อมูล
ขนาดมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็น	S_M	กิโลวัตต์	30	ข้อมูลโรงงาน
ความเร็วรอบของมอเตอร์	R_M	รอบต่อนาที	1,450	ข้อมูลโรงงาน
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.48	ข้อมูลโรงงาน
ระยะเวลาทำงาน	h	ชั่วโมงต่อวัน	24	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	312	ข้อมูลโรงงาน
ความถี่ทางไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	Hz_{Be}	เฮิรตซ์	50.00	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์	21.80	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
ความถี่ทางไฟฟ้าเฉลี่ยหลังปรับปรุง	Hz_{Af}	เฮิรตซ์	Vary	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยหลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์	9.40	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.41 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานก่อนปรับปรุง	P_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานหลังปรับปรุง	P_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	P_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_S	บาทต่อปี
เงินลงทุน	B_I	บาท

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Be}) = E_{Be} x h x D

= 21.80 x 24 x 312

= 163,238.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน (P_{Af}) = E_{Af} x h x D

= 9.40 x 24 x 312

= 70,387.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (P_S) = P_{Be} - P_{Af}
= 163,238.40 - 70,387.20
= 92,851.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_S) = P_S x E_C
= 92,851.20 x 3.48
= 323,122 บาทต่อปี

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์</u>

เงินลงทุนติดตั้งอินเวอร์เตอร์ขนาด 30 กิโลวัตต์ (B_I) = 320,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = B_I / B_S
= 320,000 / 323,122
= 0.99 ปี
≈ 12 เดือน

<u>การคำนวณผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานให้กับปั๊มน้ำเย็น มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[23] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 92,851.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 92,851.20 x 0.5821
= 54,049 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 4.42 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นตามภาระการใช้งาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	320,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัดได้	323,122	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	12	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	92,851.20	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	54,049	กิโลกรัมต่อปี

[23] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ภาคผนวก ก
รายละเอียดการคำนวณวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ

1. ด้านกระบวนการผลิต

1.1 การเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.1 ตารางที่ ก.2 และตารางที่ ก.3 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณข้าวสุก	R	กิโลกรัมข้าวสุกต่อวัน	1,400	ข้อมูลโรงงาน
ราคาข้าวสาร	R_C	บาทต่อกิโลกรัม	30	ข้อมูลโรงงาน
อัตราส่วนข้าวสารต่อข้าวสุก	-	-	1 : 2	ข้อมูลโรงงาน
	r	-	0.5	ข้อมูลจากการคำนวณ
ปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการหุงข้าว	S_1	กิโลกรัมไอน้ำต่อรอบ	101	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าหม้อหุงข้าว	W_1	กิโลวัตต์	54	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณข้าวสุก (ต่อรอบ)	R_1	กิโลกรัมข้าวสุกต่อรอบ	180	ข้อมูลโรงงาน
ประสิทธิภาพของหม้อนึ่งหุงข้าว	-	เปอร์เซ็นต์	85	ข้อมูลโรงงาน
	f	-	0.85	ข้อมูลจากการคำนวณ
ราคาไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.55	ข้อมูลโรงงาน
ราคาไอน้ำที่ซื้อจากภายนอก	S_C	บาทต่อตันไอน้ำ	170	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าหม้อหุงข้าวแบบใหม่	W_2	กิโลวัตต์	10	ข้อมูลบริษัทผู้จัดจำหน่าย
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อรอบ	1	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	365	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.2 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ต้นทุนวัตถุดิบ	C_R	บาทต่อกิโลกรัม
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตข้าวสุกก่อนปรับปรุง	E_{R1}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตข้าวสุกหลังปรับปรุง	E_{R2}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก
ไอน้ำที่ใช้ต่อปริมาณข้าวสุกหลังปรับปรุง	S_2	กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวสุก
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณไอน้ำที่ใช้หลังปรับปรุง	S_{Af}	กิโลกรัมไอน้ำต่อปี
ต้นทุนไอน้ำในการหุงข้าวหลังปรับปรุง	S_R	บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก
ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการหุงข้าวหลังปรับปรุง	E_R	บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก
มูลค่าต้นทุนก่อนปรับปรุง	B_{Be}	บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก
มูลค่าต้นทุนหลังปรับปรุง	B_{Af}	บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_{save}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

ต้นทุนวัตถุดิบ (C_R) = R_C x r
= 30 บาทต่อกิโลกรัม x 0.5
= 15 บาทต่อกิโลกรัม

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตข้าวสุก (E_{R1}) = W_1 x H / (R_1 x f)
= $\frac{\text{54 กิโลวัตต์ x 1 ชั่วโมงต่อรอบ}}{\text{180 กิโลกรัมข้าวสุกต่อรอบ x 0.85}}$
= 0.35 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Be}) = E_{R1} x R x D
= 0.35 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก
x 1,400 กิโลกรัมข้าวสุกต่อวัน x 365 วันต่อปี
= 178,850 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าต้นทุนก่อนปรับปรุง (B_{Be}) = E_{R1} x E_C
= 0.35 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก
x 3.55 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
= 1.24 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก

หลังปรับปรุง

ไอน้ำที่ใช้ต่อปริมาณข้าวสุก (S_2) = S_1 / R_1
= 101 กิโลกรัมไอน้ำต่อรอบ / 180 กิโลกรัมข้าวสุกต่อรอบ
= 0.56 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวสุก

ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (S_{Af}) = $S_2 \times R \times D$
= 0.56 กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวสุก
x 1,400 กิโลกรัมข้าวสุกต่อวัน x 365 วันต่อปี
= 286,160 กิโลกรัมไอน้ำต่อปี

ต้นทุนไอน้ำในการหุงข้าว (S_R) = $S_2 \times S_C / 1,000$

$$= \frac{0.56 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมข้าวสุก} \times 170 \text{ บาทต่อตันไอน้ำ}}{1,000 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อตันไอน้ำ}}$$

= 0.095 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตข้าวสุก (E_{R2}) = $W_2 \times H / R_1$

$$= \frac{10 \text{ กิโลวัตต์} \times 1 \text{ ชั่วโมงต่อรอบ}}{180 \text{ กิโลกรัมข้าวสุกต่อรอบ}}$$

= 0.056 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Af}) = $E_{R2} \times R \times D$
= 0.056 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก
x 1,400 กิโลกรัมข้าวสุกต่อวัน x 365 วันต่อปี
= 28,616 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_{save}) = $E_{Be} - E_{Af}$
= 178,850 - 28,616 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
= 150,234 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการหุงข้าว (E_R) = $E_{R2} \times E_C$
= 0.056 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมข้าวสุก
x 3.55 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
= 0.20 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก

มูลค่าต้นทุน (B_{Af}) = $S_R + E_R$
= 0.095 + 0.20 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก
= 0.295 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = $B_{Be} - B_{Af}$
= 1.24 - 0.295 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก

= 0.945 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก

= 0.945 x R x D

= 0.945 บาทต่อกิโลกรัมข้าวสุก
x 1,400 กิโลกรัมข้าวสุกต่อวัน x 365 วันต่อปี

= 482,895 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

หม้อนึ่งหุงข้าวแบบไอน้ำ พร้อมติดตั้ง = 1,000,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 1,000,000 บาท / 482,895 บาทต่อปี

= 2.07 ปี

≈ 25 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[1] หลังปรับปรุงสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเท่ากับ 150,234 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 150,234 x 0.5821

= 87,451 กิโลกรัมต่อปี

การใช้ไอน้ำการผลิตมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.2376 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมไอน้ำ[2] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ไอน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 286,160 กิโลกรัมต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่เพิ่มขึ้น = 286,160 x 0.2376

= 67,992 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 87,451 - 67,992

= 19,459 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.3 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเปลี่ยนหม้อนึ่งสำหรับหุงข้าวเป็นแบบใช้ไอน้ำโดยตรง

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	1,000,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	482,895	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	25	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	150,234	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	19,459	กิโลกรัมต่อปี

1.2 การลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ

[1] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

[2] ที่มาค่าการตรวจวัดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงาน

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลงจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.4 ตารางที่ ก.5 และตารางที่ ก.6 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณผลิตภัณฑ์	P	กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ต่อปี	1,480,515	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณไนโตรเจนเหลว	N	กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี	3,559,787	ข้อมูลโรงงาน
ค่าเอนทาลปีของไนโตรเจนเหลว[3] (at boiling point -195.8 ^{o}C at 1 atm)	h_N	กิโลจูลต่อกิโลกรัมไนโตรเจน	199	ค่าคงที่
ราคาไนโตรเจน	N_C	บาทต่อกิโลกรัมไนโตรเจน	2.8	ข้อมูลโรงงาน
อัตราส่วนเนื้อ	-	เปอร์เซ็นต์	70	ข้อมูลโรงงาน
	Meat	-	0.7	ข้อมูลจากการคำนวณ
ค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อ[4]	Cp_m	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส	1.42	ค่าคงที่
อัตราส่วนแป้ง	-	เปอร์เซ็นต์	30	ข้อมูลโรงงาน
	Flour	-	0.3	ข้อมูลจากการคำนวณ
ค่าความร้อนจำเพาะของแป้ง[5]	Cp_f	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส	1.17	ค่าคงที่
อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง	T_1	องศาเซลเซียส	35	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง	T_2	องศาเซลเซียส	25	ข้อมูลโรงงาน
น้ำหนักผลิตภัณฑ์	m	กิโลกรัม	1	ข้อมูลโรงงาน

[3] ที่มา Physical and Thermal Properties of Nitrogen, http://www.engineeringtoolbox.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 20/7/2560

[4] ที่มา Specific Heat of Food and Foodstuff, http://www.engineeringtoolbox.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 20/7/2560

[5] ที่มา Specific Heat of Food and Foodstuff, http://www.engineeringtoolbox.com เข้าถึงเมื่อวันที่ 20/7/2560

ตารางที่ ก.5 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
อัตราการใช้ไนโตรเจนต่อผลิตภัณฑ์ก่อนปรับปรุง	N_{Be}	กิโลกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์
อัตราการใช้ไนโตรเจนต่อผลิตภัณฑ์หลังปรับปรุง	N_{Af}	กิโลกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์
ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์	Cp	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส
ปริมาณพลังงานที่ใช้ลดลงต่อกิโลกรัม	Q_m	กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์
ปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ลดลงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์	N_S	กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

อัตราการใช้ไนโตรเจนต่อผลิตภัณฑ์ (N_{Be}) = N / P

= $\frac{\text{3,559,787 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี}}{\text{1,480,515 กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ต่อปี}}$

= 2.40 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์

<u>หลังปรับปรุง</u>

ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย เนื้อและแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ในอัตราส่วน 70:30 โดยประมาณ ดังนั้นค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้ดังนี้

ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Cp) = (Cp_m x Meat) + (Cp_f x Flour)

= (1.42 x 0.7) + (1.17 x 0.3)

= 1.35 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส

เมื่อติดตั้งชุดลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์แล้วคาดว่าจะสามารถลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนเข้าเครื่องแช่แข็งได้ 10 องศาเซลเซียส

ปริมาณพลังงานที่ใช้ลดลงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Q_m) = mCpΔT

= 1 กิโลกรัม x 1.35 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส x (35 - 25) องศาเซลเซียส

= 13.50 กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์

อัตราการใช้ไนโตรเจนต่อผลิตภัณฑ์ (N_{Af}) = Q_m / h_N

= $\frac{\text{13.50 กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์}}{\text{199 กิโลจูลต่อกิโลกรัมไนโตรเจน}}$

= 0.07 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์

ปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ลดลง (N_S) = N_{Af} x P

= 0.07 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ x 1,480,515 กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ต่อปี

= 103,636 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = $N_S \times N_C$

= 103,636 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี

x 2.8 บาทต่อกิโลกรัมไนโตรเจน

= 290,181 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน = 600,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 600,000 บาท / 290,181 บาทต่อปี

= 2.07 ปี

≈ 25 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบในการผลิตมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.4970 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมไนโตรเจน[6] หลังปรับปรุงสามารถลดปริมาณการใช้ไนโตรเจนลงเท่ากับ 103,636 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 103,636 x 0.4970

= 51,507 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.6 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดเวลาและการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการลดอุณหภูมิ

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	600,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	290,181	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	25	เดือน
ปริมาณไนโตรเจนที่ลดลง	103,636	กิโลกรัมไนโตรเจนต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	51,507	กิโลกรัมต่อปี

1.3 การลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี และระยะเวลาคืนทุน จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.7 ตารางที่ ก.8 และตารางที่ ก.9 ตามลำดับ

[6] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณของเสียต่อวัน	P_{loss}	กิโลกรัมต่อวัน	20	ข้อมูลโรงงาน
มูลค่าผลิตภัณฑ์	P_C	บาทต่อกิโลกรัม	100	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	350	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.8 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณของเสียที่ประหยัดได้	P_{save}	กิโลกรัมต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนดำเนินการปรับปรุงพบว่ามีของเสียเกิดขึ้นระหว่างสายพานส่งสินค้าจำนวน 20 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อดำเนินการปรับปรุงจะสามารถลดปริมาณของเสียได้ 20 กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณของเสียที่ลดลง (P_{save}) = P_{loss} x D
= 20 กิโลกรัมต่อวัน x 350 วันต่อปี
= 7,000 กิโลกรัมต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = P_{save} x P_C
= 7,000 กิโลกรัมต่อปี x 100 บาทต่อกิโลกรัม
= 700,000 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มขนาดของถาดรองรับสินค้าบริเวณช่วงระหว่างปากทางออกของเครื่องแช่แข็งกับสายพานลำเลียง เงินลงทุนดังนี้

ติดตั้งถาดรองรับสินค้าใต้สายพานลำเลียงสินค้า = 100,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 100,000 บาท / 700,000 บาทต่อปี
= 0.14 ปี
≈ 2 เดือน

ตารางที่ ก.9 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดปริมาณของเสียระหว่างสายพานส่งสินค้า

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	100,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	700,000	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	2	เดือน
ปริมาณของเสียที่ลดลง	7,000	กิโลกรัมต่อปี

1.4 การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี และระยะเวลาคืนทุน จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ ก.10 ตารางที่ ก.11 และตารางที่ ก.12 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของเครื่องสุญญากาศ	W	กิโลวัตต์	3	ข้อมูลบริษัทผู้จัดจำหน่าย
ราคาค่าไฟฟ้า	E_c	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	4	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนพนักงานในการขนถ่ายก่อนปรับปรุง	n_1	คนต่อวัน	4	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนพนักงานในการขนถ่ายหลังปรับปรุง	n_2	คนต่อวัน	2	ค่าที่ได้จากการประเมิน
ค่าแรงพนักงาน	W_a	บาทต่อคน	300	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อวัน	8	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.11 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพนักงานก่อนปรับปรุง	WA_{Be}	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพนักงานหลังปรับปรุง	WA_{Af}	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า	W_C	บาทต่อวัน
รวมค่าใช้จ่ายหลังปรับปรุง	B_{Af}	บาทต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายด้านพนักงาน (WA_{Be}) = $n_1 \times W_a$

= 4 คนต่อวัน x 300 บาทต่อคน

= 1,200 บาทต่อวัน

= 1,200 x D

= 1,200 บาทต่อวัน x 300 วันต่อปี

= 360,000 บาทต่อปี

หลังปรับปรุง

ค่าใช้จ่ายด้านพนักงาน (WA_{Af}) = $n_2 \times W_a$
= 2 คนต่อวัน x 300 บาทต่อคน
= 600 บาทต่อวัน
= 600 x D
= 600 บาทต่อวัน x 300 วันต่อปี
= 180,000 บาทต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (ต่อวัน) = W x H
= 3 กิโลวัตต์ x 8 ชั่วโมงต่อวัน
= 24 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E) = 24 x D
= 24 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน x 300 วันต่อปี
= 7,200 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (W_C) = E x Ec
= 7,200 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี x 4 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
= 28,800 บาทต่อปี

รวมค่าใช้จ่ายหลังปรับปรุง (B_{Af}) = $WA_{Af} + W_C$
= 180,000 + 28,800 บาทต่อปี
= 208,800 บาทต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = $WA_{Be} - B_{Af}$
= 360,000 - 208,800 บาทต่อปี
= 151,200 บาทต่อปี

เงินลงทุน

ชุดสายพานลำเลียงวัตถุดิบ = 150,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 150,000 บาท / 151,200 บาทต่อปี
= 0.99 ปี
≈ 12 เดือน

ตารางที่ ก.12 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนพนักงานในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	150,000	บาทต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	151,200	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	12	เดือน

2. ด้านการใช้พลังงาน

2.1 การเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.13 ตารางที่ ก.14 และตารางที่ ก.15 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์	-	วัตต์ต่อหลอด	36	ข้อมูลโรงงาน
	W_1	กิโลวัตต์ต่อหลอด	0.036	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของบัลลาสต์	-	วัตต์ต่อหลอด	5	ข้อมูลโรงงาน
	W_2	กิโลวัตต์ต่อหลอด	0.005	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ LED	-	วัตต์ต่อหลอด	18	ข้อมูลบริษัทผู้จำหน่าย
	W_3	กิโลวัตต์ต่อหลอด	0.018	ข้อมูลบริษัทผู้จำหน่าย
จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์	N	หลอด	8,000	ข้อมูลโรงงาน
เปอร์เซ็นต์การใช้งานหลอดฟูลออเรสเซนต์ในโรงงาน	-	เปอร์เซ็นต์	80	ข้อมูลโรงงาน
	f	-	0.8	ข้อมูลจากการคำนวณ
ราคาค่าไฟฟ้า	E_c	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.55	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อปี	8,760	ข้อมูลโรงงาน

หมายเหตุ 1,000 วัตต์ เท่ากับ 1 กิโลวัตต์

ตารางที่ ก.14 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Be}) = $(W_1 + W_2) \times N \times H \times f$

= (0.036 + 0.005) กิโลวัตต์ต่อหลอด x 8,000 หลอด x 8,760 ชั่วโมงต่อปี x 0.8

= 2,298,624 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Af}) = W_3 x N x H x D x f
= 0.018 กิโลวัตต์ต่อหลอด x 8,000 หลอด x 8,760 ชั่วโมงต่อปี x 0.8
= 1,009,152 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_S) = E_{Be} - E_{Af}
= 2,298,624 - 1,009,152
= 1,289,472 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = E_S x E_c
= 1,289,472 x 3.55
= 4,577,626 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ค่าหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ LED รวมติดตั้ง = 500 บาทต่อหลอด

เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น = 8,000 หลอด x 500 บาทต่อหลอด
= 4,000,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 4,000,000 บาท / 4,577,626 บาทต่อปี
= 0.87 ปี
≈ 11 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[7] หลังการปรับปรุงสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเท่ากับ 1,289,472 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 1,289,472 x 0.5821
= 750,602 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.15 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาใช้หลอด LED

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	4,000,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	4,577,626	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	11	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	1,289,472	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	750,602	กิโลกรัมต่อปี

[7] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

2.2 การติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมระบบแสงสว่าง

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัด ค่าตัวแปร และผลประโยชน์ที่ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ ก.16 ตารางที่ ก.17 และตารางที่ ก.18 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมระบบแสงสว่าง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของหลอดฟลูออเรสเซนต์	-	วัตต์ต่อหลอด	36	ข้อมูลโรงงาน
	W_1	กิโลวัตต์ต่อหลอด	0.036	ข้อมูลจากการคำนวณ
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของบัลลาสต์	-	วัตต์ต่อหลอด	5	ข้อมูลโรงงาน
	W_2	กิโลวัตต์ต่อหลอด	0.005	ข้อมูลจากการคำนวณ
จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์	N	หลอด	200	ข้อมูลโรงงาน
พลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะสามารถลดลงได้	-	เปอร์เซ็นต์	20	ค่าที่ได้จากการประเมิน
	r	-	0.2	ข้อมูลจากการคำนวณ
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	E_c	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.57	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อปี	8,400	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.17 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมระบบแสงสว่าง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Be}) = $(W_1 + W_2) \times N \times H$

= (0.036 + 0.005) กิโลวัตต์ต่อหลอด x 200 หลอด x 8,400 ชั่วโมงต่อปี

= 68,880 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

หลังปรับปรุง

หลังการติดตั้งแยกสวิทซ์การควบคุมการเปิด-ปิดระบบแสงสว่างของโรงงาน คาดว่าจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 20

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Af}) = $E_{Be} \times (1 - r)$

= 68,880 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี x (1 - 0.2)

= 55,104 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_S) = E_{Be} - E_{Af}

= 68,880 - 55,104

= 13,776 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = E_S x Ec

= 13,776 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี x 3.57 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

= 49,180 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ค่าอุปกรณ์สวิทซ์แยกการควบคุมพร้อมติดตั้ง = 50,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 50,000 บาท / 49,180 บาทต่อปี

= 1.02 ปี

≈ 13 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[8] หลังปรับปรุงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 13,776 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 13,776 x 0.5821

= 8,019 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.18 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งสวิทซ์แยกการควบคุมระบบแสงสว่าง

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	50,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	49,180	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	13	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	13,776	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	8,019	กิโลกรัมต่อปี

[8] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

2.3 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัด ค่าตัวแปร และผลประโยชน์ที่ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ ก.19 ตารางที่ ก.20 และตารางที่ ก.21 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
กำลังไฟฟ้าเครื่องอัดอากาศ	W	กิโลวัตต์	90	ข้อมูลโรงงาน
ความสามารถในการผลิตอากาศอัด	FAD	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที	15.88	ข้อมูลจากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ขณะ Load	P_{load}	กิโลวัตต์	94.5	ข้อมูลจากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ขณะ Unload	P_{un}	กิโลวัตต์	40	ข้อมูลจากการตรวจวัด
%Load	-	เปอร์เซ็นต์	50	ข้อมูลจากการตรวจวัด
	%Load	-	0.5	ข้อมูลจากการคำนวณ
%Unload		เปอร์เซ็นต์	50	ข้อมูลจากการตรวจวัด
	%Unload	-	0.5	ข้อมูลจากการคำนวณ
ราคาค่าไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.57	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อปี	4,992	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.20 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ความต้องการอากาศอัดของระบบ	FAD_r	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
สมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ	SEC	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Be}) = $[(\%Load \times P_{load}) + (\%Unload \times P_{un})] \times H$

= $[(0.5 \times 94.5) + (0.5 \times 40)]$ กิโลวัตต์ x 4,992 ชั่วโมงต่อปี

= 335,712 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

หลังปรับปรุง

ความต้องการอากาศอัดของระบบ (FAD_r) = FAD x %Load

= 15.88 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที x 0.5

= 7.94 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

สมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ (SEC) = $\frac{(W \times 60)}{(FAD \times 1{,}000)}$

= $\frac{\text{90 กิโลวัตต์ x 60 นาทีต่อชั่วโมง}}{\text{15.88 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที x 1,000 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร}}$

= 0.34 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Af}) = $[(FAD_r \times SEC \times 1{,}000) / 60] \times H$

= [(7.94 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที x 0.34 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร x 1,000 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร) / 60 ชั่วโมงต่อนาที] x 4,992 ชั่วโมงต่อปี

= 224,590 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_S) = $E_{Be} - E_{Af}$

= 335,712 - 224,590

= 111,122 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = $E_S \times E_C$

= 111,122 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี x 3.57 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

= 396,706 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

อินเวอร์เตอร์ ขนาด 90 กิโลวัตต์	=	450,000	บาท
ค่าติดตั้ง	=	90,000	บาท
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	450,000 + 90,000	บาท
	=	540,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	540,000 บาท / 396,706	บาทต่อปี
	=	1.36	ปี
	≈	17	เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[9] หลังปรับปรุงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 111,122 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 111,122 x 0.5821

= 64,684 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.21 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	540,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	396,706	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	17	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	111,122	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	64,684	กิโลกรัมต่อปี

2.4 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัด ค่าตัวแปร และผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.22 ตารางที่ ก.23 และตารางที่ ก.24 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์	W_1	กิโลวัตต์	22	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตรวจวัดได้	W_2	กิโลวัตต์	19.7	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ความเร็วรอบมอเตอร์ก่อนปรับปรุง	MS_1	รอบต่อนาที	1,450	ข้อมูลโรงงาน
ความเร็วรอบมอเตอร์หลังปรับปรุง	MS_2	รอบต่อนาที	1,350	ค่าที่ได้จากการประเมิน
เปอร์เซ็นต์การใช้งาน	-	เปอร์เซ็นต์	90	ข้อมูลจากการตรวจวัด
	r	-	0.9	ข้อมูลจากการคำนวณ
ราคาค่าไฟฟ้า	E_c	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.56	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อปี	7,488	ข้อมูลโรงงาน

[9] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.23 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	W_3	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ร้อยละพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_{Per}	เปอร์เซ็นต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Be}) = W_2 x H x r
= 19.7 กิโลวัตต์ x 7,488 ชั่วโมงต่อปี x 0.9
= 132,762 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W_3) = $(MS_2 / MS_1)^3$ x W_2
= (1,350 รอบต่อนาที / 1,450 รอบต่อนาที)^3
x 19.7 กิโลวัตต์
= 15.9 กิโลวัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Af}) = W_3 x H x r
= 15.9 กิโลวัตต์ x 7,488 ชั่วโมงต่อปี x 0.9
= 107,153 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ร้อยละพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_{Per}) = $\frac{(W_2 - W_3) \times 100}{W_2}$

= $\frac{(19.7 - 15.9) \text{ กิโลวัตต์} \times 100}{19.7 \text{ กิโลวัตต์}}$

= 19.29 เปอร์เซ็นต์

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_S) = E_{Be} - E_{Af}
= 132,762 - 107,153
= 25,609 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = E_S x Ec
= 25,609 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี x 3.56 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
= 91,168 บาทต่อปี

เงินลงทุน

อินเวอร์เตอร์ ขนาด 22 กิโลวัตต์	=	110,000	บาท
ค่าติดตั้ง	=	22,000	บาท
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	110,000 + 22,000	บาท
	=	132,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	132,000 บาท / 91,168 บาทต่อปี	
	=	1.45	ปี
	≈	18	เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[10] หลังปรับปรุงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 25,609 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 25,609 x 0.5821

= 14,907 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.24 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	132,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	91,168	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	18	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	25,609	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	14,907	กิโลกรัมต่อปี

2.5 การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.25 ตารางที่ ก.26 และตารางที่ ก.27 ตามลำดับ

[10] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ความดันที่ 1 บรรยากาศ	P_1	บาร์	1.013	ค่าคงที่
แรงดันใช้งาน	P_2	บาร์	7.5	ข้อมูลโรงงาน
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ขณะ Load	P_{load}	กิโลวัตต์	30	ข้อมูลจากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ขณะ Unload	P_{un}	กิโลวัตต์	11.5	ข้อมูลจากการตรวจวัด
%Load	-	เปอร์เซ็นต์	61	ข้อมูลจากการตรวจวัด
	$\%L_{DU}$	-	0.61	ข้อมูลจากการคำนวณ
%Unload	-	เปอร์เซ็นต์	49	ข้อมูลจากการตรวจวัด
	%Unload	-	0.49	ข้อมูลจากการคำนวณ
อุณหภูมิห้องก่อนปรับปรุง	T_1	องศาเคลวิน	313	ข้อมูลจากการคำนวณ
อุณหภูมิห้องหลังปรับปรุง	T_2	องศาเคลวิน	308	ข้อมูลจากการคำนวณ
ความสามารถในการผลิตอากาศอัด	FAD	ลิตรต่อวินาที	88.3	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ราคาค่าไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	4.00	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อปี	7,200	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.26 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนปรับปรุง	W_{isen1}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังปรับปรุง	W_{isen2}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศลดลง	ΔW_{isen}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	P	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>สมการที่ใช้ในการคำนวณ</u>

$$W_{isen} = \frac{ikR_W(T_1)}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{k-1}{i*k}\right)} - 1\right] \quad (1)$$

เมื่อ W_{isen} = พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศ, (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

i = จำนวนขั้นตอนการอัด (Stage Compressor), 1

k = Isentropic of Air Constant, 1.4

R_w = ค่าคงที่ของก๊าซสัมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ที่ระดับน้ำทะเล, 0.2871 (กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน)

T_1 = อุณหภูมิก่อนการปรับปรุง, (เคลวิน)

T_2 = อุณหภูมิหลังการปรับปรุง, (เคลวิน)

P_1 = ความดันที่ 1 บรรยากาศ, (1.013 บาร์)

P_2 = แรงดันอากาศที่ผลิต, (บาร์)

$$P = \Delta W_{isen} * Da * FAD * \%L_{DU} \quad (2)$$

เมื่อ P : กำลังไฟฟ้าที่ลดลง, กิโลวัตต์ (1 กิโลวัตต์ เท่ากับ 1 กิโลจูลต่อวินาที)

ΔW_{isen} : ผลต่างของพลังที่ใช้ในการอัดอากาศ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

Da : ความหนาแน่นของอากาศที่ 15 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.225×10^{-3} กิโลกรัมต่อลิตร

FAD : ความสามารถในการผลิตอากาศอัด, ลิตรต่อวินาที

$\%L_{DU}$: เปอร์เซ็นต์การ ON-LOAD ใน 1 รอบการทำงาน

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

จากสมการที่ (1) อุณหภูมิห้องก่อนปรับปรุง = 40 องศาเซลเซียส

พลังที่ใช้ในการอัดอากาศ (W_{isen1}) = $\frac{ikR_w(T_1)}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{k-1}{i*k}\right)} - 1\right]$

= $\frac{1 \times 1.4 \times 0.2871 \text{ กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน} \times (40 + 273) \text{ เคลวิน}}{(1.4 - 1)} \times [(7.5\text{บาร์} / 1.013 \text{ บาร์})^{0.2857} - 1]$

= 242.73 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

<u>หลังปรับปรุง</u>

จากสมการที่ (1) อุณหภูมิห้องหลังปรับปรุง = 35 องศาเซลเซียส

พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศ (W_{isen2}) = $\frac{ikR_w(T_1)}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{k-1}{i*k}\right)} - 1\right]$

= $\frac{1 \times 1.4 \times 0.2871 \text{ กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน} \times (35 + 273) \text{ เคลวิน}}{(1.4 - 1)} \times [(7.5\text{บาร์} / 1.013 \text{ บาร์})^{0.2857}) - 1]$

= 238.85 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศลดลง (ΔW_{isen}) = $W_{isen1} - W_{isen2}$

= 242.73 - 238.85

= 3.88 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

จากสมการที่ (2)

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง (P) = $\Delta W_{isen} \times Da \times FAD \times \%L_{DU}$

= 3.88 กิโลจูลต่อกิโลกรัม $\times 1.225 \times 10^{-3}$ กิโลกรัมต่อลิตร

x 88.3 ลิตรต่อวินาที x 0.61

= 0.26 กิโลวัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_S) = P x H

= 0.26 กิโลวัตต์ x 7,200 ชั่วโมงต่อปี

= 1,872 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด(B_{save}) = E_s x E_C

= 1,872 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี x 4.00 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

= 7,488 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

เงินลงทุนรวม = 20,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 20,000 บาท / 7,488 บาทต่อปี

= 2.67 ปี

≈ 33 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[11] หลังปรับปรุงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 1,872 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 1,872 x 0.5821

= 1,090 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.27 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	20,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	7,488	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	33	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	1,872	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	1,090	กิโลกรัมต่อปี

2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปั้นแบบสายพาน

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.28 ตารางที่ ก.29 และตารางที่ ก.30 ตามลำดับ

[11] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.28 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
กำลังไฟฟ้าของเครื่องปิ้งแบบสายพาน	W_1	กิโลวัตต์	53	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ราคาค่าไฟฟ้า	E_c	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	3.5	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงานก่อนปรับปรุง	H_1	ชั่วโมงต่อวัน	2.5	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงานหลังปรับปรุง	H_2	ชั่วโมงต่อวัน	1.5	ค่าที่ได้จากการประเมิน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.29 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_{SD}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน
	E_{SY}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Be}) = $W_1 \times H_1$

= 53 กิโลวัตต์ x 2.5 ชั่วโมงต่อวัน

= 132.50 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

<u>หลังปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Af}) = $W_1 \times H_2$

= 53 กิโลวัตต์ x 1.5 ชั่วโมงต่อวัน

= 79.50 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_{SD}) = $E_{Be} - E_{Af}$

= 132.50 - 79.50

= 53 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_{SY}) = $E_{SD} \times D$

= 53 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน x 300 วันต่อปี

= 15,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = $E_{SY} \times E_C$

= 15,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี x 3.5 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

= 55,650 บาทต่อปี

เงินลงทุน

ติดตั้งชุดเซนเซอร์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมตู้ควบคุม	=	32,000	บาท
ติดตั้งชุดฮีทเตอร์ (ชุดให้ความร้อน)	=	18,000	บาท
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น	=	32,000 + 18,000	บาท
	=	50,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	50,000 บาท / 55,650 บาทต่อปี	
	=	0.90	ปี
	≈	11	เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[12] หลังปรับปรุงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 15,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 15,900 x 0.5821

= 9,255 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.30 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปิ้งแบบสายพาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	50,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	55,650	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	11	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	15,900	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	9,255	กิโลกรัมต่อปี

2.7 การติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ ก.31 ตารางที่ ก.32 และตารางที่ ก.33 ตามลำดับ

[12] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.31 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	W_1	กิโลวัตต์	2	ข้อมูลจากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	W_2	กิโลวัตต์	1.8	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ราคาค่าไฟฟ้า	E_C	บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง	4.17	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อปี	2,496	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.32 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	E_{Be}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	E_{Af}	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	E_S	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (E_{Be}) = W_1 x H
= 2 กิโลวัตต์ x 2,496 ชั่วโมงต่อปี
= 4,992 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

พลังงานไฟฟ้า (E_{Af}) = W_2 x H
= 1.8 กิโลวัตต์ x 2,496 ชั่วโมงต่อปี
= 4,493 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_S) = E_{Be} - E_{Af}
= 4,992 - 4,493
= 499 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = E_S x E_C
= 499 x 4.17 บาทต่อปี
= 2,081 บาทต่อปี

เงินลงทุน

ติดตั้งแผ่นกั้นโลหะ = 2,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 2,000 บาท / 2,081 บาทต่อปี

= 0.96 ปี

≈ 12 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานไฟฟ้ามีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5821 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง[13] หลังปรับปรุงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 499 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 499 x 0.5821

= 290 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.33 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งแผ่นโลหะกั้นท่อดูดลมไม่ให้ดูดอากาศจากปล่องลมที่ไม่มีการทำงาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	2,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	2,081	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	12	เดือน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	499	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	290	กิโลกรัมต่อปี

2.8 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.34 ตารางที่ ก.35 และตารางที่ ก.36 ตามลำดับ

[13] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.34 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณน้ำป้อน	m	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	24	ข้อมูลโรงงาน
(ความหนาแน่นของน้ำ = 1 ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	-	ตันต่อวัน	24	ข้อมูลจากการคำนวณ
ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้	F	ลิตรต่อวัน	2,552	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้	S	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	1,508	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำขณะใช้งาน	P_w	บาร์	7.0	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิน้ำป้อน	T_f	องศาเซลเซียส	100	ข้อมูลจากการตรวจวัด
เอนทาลปีของน้ำป้อน	h_{fw}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	419.10	ค่าคงที่
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	H_1	เมกะจูลต่อลิตร	38.18	ค่าคงที่
เส้นผ่านศูนย์กลางหม้อน้ำ	d	เมตร	2	ข้อมูลโรงงาน
ความยาวหม้อน้ำ	L	เมตร	3.5	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของหม้อน้ำ	Ts	องศาเซลเซียส	60	ข้อมูลจากการตรวจวัด
อุณหภูมิอากาศโดยรอบ	Ta	องศาเซลเซียส	35	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ค่าคงที่สตีฟาน-โบลทซ์มันน์	σ	$W/m^2.K^4$	5.669×10^{-8}	ค่าคงที่
ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (เหล็กชุบกัลวาไนซ์)[14]	e	-	0.88	ค่าคงที่
สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ[15]	h_c	$W/m^2.C$	10	Gas in Free Convection
ค่าความร้อนของน้ำมันเตา เกรดซี	H_2	กิโลแคลลอรีต่อลิตร	9,000	ค่าคงที่
ราคาน้ำมันเตา	F_C	บาทต่อลิตร	10.60	ข้อมูลโรงงาน
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	H_Y	ชั่วโมงต่อปี	4,992	ข้อมูลโรงงาน

[14] ที่มา http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 24/8/2560

[15] ที่มา http://www.engineersedge.com/thermodynamics/overall_heat_transfer-table.htm เข้าถึงเมื่อวันที่ 24/8/2560

ตารางที่ ก.35 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
อัตราการใช้น้ำมันเตา	r	ลิตรต่อตันไอน้ำ
พื้นที่ผิวของหม้อน้ำด้านหน้า-หลัง	A_1	ตารางเมตร
พื้นที่ผิวด้านข้างของหม้อน้ำ	A_2	ตารางเมตร
พื้นที่ผิวของหม้อน้ำทั้งหมด	A_S	ตารางเมตร
การสูญเสียความร้อนผ่านผนัง	Q_r	กิโลแคลลอรีต่อปี
ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง	F_S	ลิตรต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

อัตราการใช้น้ำมันเตา(r) = F / m

= 2,552 ลิตรต่อวัน / 24 ตันต่อวัน

= 106.33 ลิตรต่อตันไอน้ำ

<u>หลังปรับปรุง</u>

เมื่อหยุดหม้อน้ำลง 1 เครื่อง ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานผ่านผนังหม้อน้ำลง ดังนี้

พื้นที่ผิวของหม้อน้ำด้านหน้า-หลัง (A_1) = $2 \times \pi d^2/4$

= $2 \times 3.142 \times (2 \text{ เมตร})^2 / 4$

= 6.28 ตารางเมตร

พื้นที่ผิวด้านข้างของหม้อน้ำ(A_2) = πdL

= $3.142 \times 2 \text{ เมตร} \times 3.5 \text{ เมตร}$

= 21.99 ตารางเมตร

พื้นที่ผิวของหม้อน้ำทั้งหมด (A_s) = $A_1 + A_2$

= 6.28 + 21.99

= 28.27 ตารางเมตร

จากสมการการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง (Q_r)

$Q_r = [(\sigma \times e \times [((Ts + 273)^4 - (Ta + 273)^4)] + h_c \times (Ts - Ta)] \times A_s$

$= [\ [(\sigma \times 10^{-8} \times e \times ((60 + 273)^4 - (35 + 273)^4)\ ] + (10 \times (60 - 35))\ ] \times 28.27$

= 11,717.57 วัตต์

= 11,717.57 วัตต์ x 0.8598 กิโลแคลลอรีต่อวัตต์-ชั่วโมง

= 10,074.77 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

= 10,074.77 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง x H_Y

= 10,074.77 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง x 4,992 ชั่วโมงต่อปี

= 50,293,252 กิโลแคลลอรีต่อปี

ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง (F_S) = Q_r / H_2

= $\frac{50,293,252 \text{ กิโลแคลลอรีต่อปี}}{9,000 \text{ กิโลแคลลอรีต่อลิตร}}$

= 5,588 ลิตรต่อปี

มูลค่าที่ประหยัดได้ (B_{save}) = F_S x F_C

= 5,588 ลิตรต่อปี x 10.60 บาทต่อลิตร

= 59,233 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ค่าบริการปรับตั้งแรงดัน = 10,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 10,000 บาท / 59,233 บาทต่อปี

= 0.17 ปี

≈ 3 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0883 กิโลกรัมต่อลิตร[16] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันเตาลดลงเท่ากับ 5,588 ลิตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 5,588 x 3.0883

= 17,257 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.36 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	10,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	59,233	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	3	เดือน
ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง	5,588	ลิตรต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	17,257	กิโลกรัมต่อปี

[16] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

2.9 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.37 ตารางที่ ก.38 และตารางที่ ก.39 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.37 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	LPG_1	กิโลกรัมต่อปี	9,500	ข้อมูลโรงงาน
หัวเตาแก๊สแบบแรงดันสูงประหยัดพลังงานได้	-	เปอร์เซ็นต์	40	ข้อมูลบริษัทผู้จัดจำหน่าย
	r	-	0.4	ข้อมูลจากการคำนวณ
ราคาก๊าซปิโตรเลียมเหลว	LPG_C	บาทต่อกิโลกรัม	25.82	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.38 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหลังปรับปรุง	LPG_2	กิโลกรัมต่อปี
มูลค่าการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวก่อนปรับปรุง	C_{Be}	บาทต่อปี
มูลค่าการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหลังปรับปรุง	C_{Af}	บาทต่อปี
ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ลดลง	LPG_S	กิโลกรัมต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

มูลค่าการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (C_{Be}) = $LPG_1 \times LPG_C$

= 9,500 กิโลกรัมต่อปี x 25.82 บาทต่อกิโลกรัม

= 245,290 บาทต่อปี

หลังปรับปรุง

จากการติดตั้งหัวเตาแก๊สแบบแรงดันสูงประหยัดพลังงานได้[17] ร้อยละ 40

ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG_2) = $LPG_1 \times (1- r)$

= 9,500 กิโลกรัมต่อปี x (1 - 0.4)

[17] ที่มา บริษัท ไฮ-เซฟเวอร์ จำกัด, https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=816025895087651&id=458399727516938, เข้าถึงเมื่อวันที่ 24/8/2560

= 5,700 กิโลกรัมต่อปี

มูลค่าการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (C_{Af}) = LPG_2 x LPG_C

= 5,700 กิโลกรัมต่อปี x 25.82 บาทต่อกิโลกรัม

= 147,174 บาทต่อปี

ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ลดลง (LPG_S) = LPG_1 - LPG_2

= 9,500 - 5,700

= 3,800 กิโลกรัมต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = C_{Be} - C_{Af}

= 245,290 - 147,174

= 98,116 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ชุดหัวเตาแก๊สแบบแรงดันสูง 10 ชุด ชุดละ = 6,900 บาทต่อชุด

เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น = 6,900 บาทต่อชุด x 10 ชุด

= 69,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 69,000 บาท / 98,116 บาทต่อปี

= 0.70 ปี

≈ 9 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.1133 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมก๊าซปิโตรเลียมเหลว[18] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวลดลงเท่ากับ 3,800 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 3,800 x 3.1133

= 11,831 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.39 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวในกระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนประเภทเตาแก๊ส

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	69,000	บาทต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	98,116	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	9	เดือน
ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ลดลง	3,800	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	11,831	กิโลกรัมต่อปี

[18] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

2.10 การลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.40 ตารางที่ ก.41 และตารางที่ ก.42 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.40 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณก๊าซปิโตรเลียมเหลว	LPG	กิโลกรัมต่อปี	26,595.90	ข้อมูลโรงงาน
ค่าพลังงานความร้อน	Q_{Kg}	เมกะจูลต่อกิโลกรัม	50.23	ค่าคงที่
อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลง	-	เปอร์เซ็นต์	10	ค่าที่ได้จากการประเมิน
	f	-	0.10	ข้อมูลจากการคำนวณ
ราคาก๊าซปิโตรเลียมเหลว	LPG_C	บาทต่อกิโลกรัม	19.50	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.41 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ลดลง	LPG_S	กิโลกรัมต่อปี
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	Q_Y	เมกะจูลต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

จากข้อมูลของผู้ผลิตหัวเผาแบบอินฟราเรดสามารถช่วยลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงลงได้ถึงร้อยละ 30 แต่เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป จึงคิดอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงในการคำนวณที่ร้อยละ 10

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ลดลง (LPG_S) = LPG x f
= 26,595.90 กิโลกรัมต่อปี x 0.10
= 2,660 กิโลกรัมต่อปี

พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (Q_Y) = LPG_S x Q_{Kg}
= 2,660 กิโลกรัมต่อปี x 50.23 เมกะจูลต่อกิโลกรัม
= 133,611.80 เมกะจูลต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = LPG_S x LPG_C
= 2,660 กิโลกรัมต่อปี x 19.50 บาทต่อกิโลกรัม
= 51,870 บาทต่อปี

เงินลงทุน

หัวเผาแบบอินฟราเรด	=	20,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	20,000 บาท / 51,870	บาทต่อปี
	=	0.39	ปี
	≈	5	เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.1133 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมก๊าซปิโตรเลียมเหลว[19] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวลดลงเท่ากับ 2,660 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	=	2,660 x 3.1133	
	=	8,281	กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.42 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตโดยการใช้หัวเผาแบบอินฟราเรด

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	20,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	51,870	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	5	เดือน
ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ลดลง	2,660	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	8,281	กิโลกรัมต่อปี

2.11 การปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.43 ตารางที่ ก.44 และตารางที่ ก.45 ตามลำดับ

[19] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.43 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณการใช้น้ำมันเตาของหม้อน้ำ	F	ลิตรต่อปี	217,560	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ก่อนปรับปรุง	S_1	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	392.8	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำขณะใช้งานก่อนปรับปรุง	P_{w1}	บาร์	7.0	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำขณะใช้งานหลังปรับปรุง	P_{w2}	บาร์	6.0	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิน้ำป้อน	T_f	องศาเซลเซียส	95	ข้อมูลจากการตรวจวัด
อุณหภูมิของไอน้ำหลังปรับปรุง	T_{S1}	องศาเซลเซียส	170.40	จากตาราง Saturated Steam
อุณหภูมิของไอน้ำหลังปรับปรุง	T_{S2}	องศาเซลเซียส	165	จากตาราง Saturated Steam
ความร้อนแฝงของไอน้ำก่อนปรับปรุง	H_{fg1}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	2,046.5	จากตาราง Saturated Steam
ความร้อนแฝงของไอน้ำหลังปรับปรุง	H_{fg2}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	2,064.9	จากตาราง Saturated Steam
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C	H_1	เมกะจูลต่อลิตร	41.28	ค่าคงที่
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	c	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส	4.186	ค่าคงที่
ราคาน้ำมันเตา	F_C	บาทต่อลิตร	12.16	ข้อมูลโรงงาน
ราคาน้ำอ่อน	W_C	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	20	ข้อมูลโรงงาน
ชั่วโมงทำงานของหม้อน้ำ	h	ชั่วโมงต่อปี	7,200	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.44 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ความร้อนสัมผัสก่อนปรับปรุง	SH_1	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ความร้อนสัมผัสหลังปรับปรุง	SH_2	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำก่อนปรับปรุง	Q_1	กิโลจูลต่อชั่วโมง
ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำหลังปรับปรุง	Q_2	กิโลจูลต่อชั่วโมง
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้หลังปรับปรุง	S_2	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ปริมาณไอน้ำที่ใช้ลดลง	S_{Af}	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ปริมาณน้ำป้อนที่ลดลง	W_{Af}	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ความร้อนป้อนเข้าเพื่อผลิตไอน้ำลดลง	%Q	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง	F_S	ลิตรต่อปี
มูลค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้	F_{save}	บาทต่อปี
มูลค่าน้ำป้อนที่ประหยัดได้	W_{save}	บาทต่อปี
มูลค่ารวมที่ประหยัดได้	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

เนื่องจากแรงดันในตารางไอน้ำเป็นแรงดันสัมบูรณ์เมื่อความดันไอน้ำที่ 7 บาร์เกจ จึงต้องรวมความดันบรรยากาศไปอีก 1 บาร์ รวมเป็น 8 บาร์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิของไอน้ำ

อุณหภูมิของไอน้ำ (จากตารางไอน้ำ) = 170.40 องศาเซลเซียส

ความร้อนสัมผัส (SH_1) = $c \times (T_{S1} - T_f)$

= 4.186 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส

x (170.40 - 95) องศาเซลเซียส

= 315.63 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำ (Q_1) = $S_1 \times (SH_1 + H_{fg1})$

= 392.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

x (315.63 + 2,046.5) กิโลจูลต่อกิโลกรัม

= 927,844.66 กิโลจูลต่อชั่วโมง

หลังปรับปรุง

เนื่องจากแรงดันในตารางไอน้ำเป็นแรงดันสัมบูรณ์เมื่อความดันไอน้ำที่ 6 บาร์เกจ จึงต้องรวมความดันบรรยากาศไปอีก 1 บาร์ รวมเป็น 7 บาร์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิของไอน้ำ

อุณหภูมิของไอน้ำ (จากตารางไอน้ำ) = 165 องศาเซลเซียส

ความร้อนสัมผัส (SH_2) = $c \times (T_{S2} - T_f)$

= 4.186 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส

x (165 - 95) องศาเซลเซียส

= 293.02 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (S_2) = $S_1 \times (H_{fg1} / H_{fg2})$

= 392.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x $\frac{\text{2,046.5 กิโลจูลต่อกิโลกรัม}}{\text{2,064.9 กิโลจูลต่อกิโลกรัม}}$

= 389.27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำ (Q_2) = $S_2 \times (SH_2 + H_{fg2})$

= 389.27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

x (293.02 + 2,064.9) กิโลจูลต่อกิโลกรัม

= 917,867.52 กิโลจูลต่อชั่วโมง

การลดความดันในการผลิตไอน้ำลงเท่ากับ 7 บาร์ ไอน้ำจะมีค่าความร้อนแฝงสูงกว่าไอน้ำที่ทำการผลิตที่ความดัน 8 บาร์ ในขณะที่ภาระการใช้ไอน้ำเท่าเดิม สามารถลดปริมาณการใช้ไอน้ำลดลงได้ดังนี้

ปริมาณไอน้ำที่ใช้ลดลง (S_{Af}) = $(S_1 - S_2)$

= 392.8 - 389.27

= 3.53 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ปริมาณน้ำป้อนที่ที่ลดลง (W_{Af}) = S_{Af} x h

= 3.53 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 7,200 ชั่วโมงต่อปี

= 25,416 กิโลกรัมต่อปี

= 25,416 กิโลกรัมต่อปี x $\frac{\text{(1 ลูกบาศก์เมตร)}}{\text{1,000 กิโลกรัม}}$

= 25.42 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าน้ำป้อนที่ประหยัดได้ (W_{Save}) = W_{Af} x W_C

= 25.42 ลูกบาศก์เมตรต่อปี x 20 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 508 บาทต่อปี

ความร้อนป้อนเข้าเพื่อผลิตไอน้ำลดลง (%Q) = (Q_1 - Q_2) / Q_1 x 100

= $\frac{\text{(927,844.66 - 917,867.52) กิโลจูลต่อชั่วโมง}}{\text{927,844.66 กิโลจูลต่อชั่วโมง}}$ x 100

= 1.1 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง (F_S) = F x %Q

= 217,560 ลิตรต่อปี x (1.1 / 100)

= 2,393 ลิตรต่อปี

มูลค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ (F_{save}) = F_S x F_C

= 2,393 ลิตรต่อปี x 12.16 บาทต่อลิตร

= 29,099 บาทต่อปี

มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ (B_{save}) = W_{Save} + F_{save}

= 508 + 29,099

= 29,607 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ค่าจ้างปรับตั้งแรงดัน = 10,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 10,000 บาท / 29,607 บาทต่อปี

= 0.34 ปี

≈ 5 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0883 กิโลกรัมต่อลิตร[20] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันเตาลดลงเท่ากับ 2,393 ลิตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 2,393 x 3.0883

= 7,390 กิโลกรัมต่อปี

[20] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

การใช้น้ำอ่อนเป็นน้ำป้อนสำหรับหม้อน้ำมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0985 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[21] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำอ่อนลดลงเท่ากับ 25.42 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 25.42 x 3.0985

= 79 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 7,390 + 79

= 7,469 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.45 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการปรับลดแรงดันไอน้ำให้เหมาะสม

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	10,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	29,607	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	5	เดือน
ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง	2,393	ลิตรต่อปี
ปริมาณน้ำอ่อนที่ลดลง	25.42	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	7,469	กิโลกรัมต่อปี

2.12 การปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.46 ตารางที่ ก.47 และตารางที่ ก.48 ตามลำดับ

[21] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ตารางที่ ก.46 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ขนาดหม้อน้ำ	-	ตันต่อชั่วโมง	15	ข้อมูลโรงงาน
ชั่วโมงทำงานของหม้อน้ำ	T_w	ชั่วโมงต่อปี	8,400	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณการใช้ถ่านหิน	F	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	937	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณน้ำป้อน	FW	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	6,500	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิน้ำป้อน	-	องศาเซลเซียส	60	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ค่าความร้อนต่ำของถ่านหิน	LH	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม	5,900	ค่าคงที่
ค่าความร้อนจำเพาะของถ่านหิน	H_s	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม -องศาเซลเซียส	0.33	ค่าคงที่
อุณหภูมิอากาศ	T_a	องศาเซลเซียส	30	ข้อมูลจากการตรวจวัด
อุณหภูมิของก๊าซเสีย	T_g	องศาเซลเซียส	220	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ปริมาณโบลว์ดาวน์	B	เปอร์เซ็นต์	1	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิของโบลว์ดาวน์	-	องศาเซลเซียส	170.40	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำ	P_w	บาร์	7.0	ข้อมูลโรงงาน
เอนทาลปีจำเพาะของน้ำ	h_f	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม	172.22	จากตาราง Saturated Steam
เอนทาลปีจำเพาะของการกลายเป็นไอ	h_{fg}	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม	488.77	จากตาราง Saturated Steam
เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำ	h_g	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม	660.95	จากตาราง Saturated Steam
อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้	-	องศาเซลเซียส	35	ข้อมูลจากการตรวจวัด
เอนทาลปีจำเพาะของน้ำป้อน	$h_{f,W}$	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม	60	จากตาราง Saturated Steam
เอนทาลปีจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ 30 ˚C	$h_{f,30}$	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม	30	จากตาราง Saturated Steam
เอนทาลปีจำเพาะของน้ำโบลว์ดาวน์	$h_{f,b}$	กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม	172.22	จากตาราง Saturated Steam
ความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังหม้อน้ำ	H_l	เปอร์เซ็นต์	3	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ปริมาณออกซิเจนในอากาศ	O_2	เปอร์เซ็นต์	21	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสียก่อนปรับปรุง	$O_{2,bef}$	เปอร์เซ็นต์	12	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสียหลังปรับปรุง	$O_{2,af}$	เปอร์เซ็นต์	7	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ราคาถ่านหิน	F_C	บาทต่อกิโลกรัม	3.8	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.47 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_c	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน	Q_w	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ปริมาณอากาศจริงของก๊าซเสียเชิงทฤษฎี	Go	ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม
ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี	Ao	ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม
อัตราส่วนของอากาศก่อนปรับปรุง	m_{be}	-
อัตราส่วนของอากาศหลังปรับปรุง	m_{af}	-
ปริมาณอากาศจริงของก๊าซเสียก่อนปรับปรุง	G_{be}	ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม
ปริมาณอากาศจริงของก๊าซเสียหลังปรับปรุง	G_{af}	ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสียก่อนปรับปรุง	Qe_{be}	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสียหลังปรับปรุง	Qe_{af}	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ความร้อนสูญเสียในโบลว์ดาวน์	Q_b	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังหม้อน้ำ	Q_r	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ความร้อนของไอน้ำก่อนปรับปรุง	QSt_{be}	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ความร้อนของไอน้ำหลังปรับปรุง	QSt_{af}	กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
ประสิทธิภาพของหม้อน้ำก่อนปรับปรุง	$\%Eff_{be}$	เปอร์เซ็นต์
ประสิทธิภาพของหม้อน้ำหลังปรับปรุง	$\%Eff_{af}$	เปอร์เซ็นต์
ประสิทธิภาพของหม้อน้ำเพิ่มขึ้น	$\%Eff_{inc}$	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณของไอน้ำที่ผลิตได้	S	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ปริมาณการใช้ถ่านหิน	C	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณถ่านหินที่ลดลง	F_S	ลิตรต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

ปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสีย ($O_{2,bef}$) = 12 เปอร์เซ็นต์

ความร้อนเข้า

ความร้อนของเชื้อเพลิง (Q_c) = F x LH

= 937 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 5,900 กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม

= 5,528,300 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน (Q_w) = FW x ($h_{f,W}$ - $h_{f,30}$)

= 6,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x (60 - 30) กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม

= 195,000 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ความร้อนออก

ปริมาณอากาศจริงของก๊าซเสียเชิงทฤษฎี (Go) = (0.89 x LH / 1,000) + 1.65

= $\frac{0.89 \times 5{,}900 \text{ กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม}}{1{,}000 \text{ กิโลแคลลอรีต่อลูกบาศก์เมตร}}$ + 1.65

= 6.90 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม

ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี (Ao) = (1.01 x LH / 1,000) + 0.5

= $\frac{(1.01 \times 5{,}900 \text{ กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม})}{1{,}000 \text{ กิโลแคลลอรีต่อลูกบาศก์เมตร}}$ + 0.5

= 6.46 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม

อัตราส่วนของอากาศ (m_{be}) = $O_2 / (O_2 - O_{2,bef})$

= 21 เปอร์เซ็นต์ / (21 - 12) เปอร์เซ็นต์

= 2.33

ปริมาณอากาศจริงของก๊าซเสีย (G_{be}) = Go + (Ao x (m_{be}- 1))

= 6.90 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม
+ (6.46 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม x (2.33 - 1))

= 15.49 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม

ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย (Qe_{be}) $F \times G_{be} \times H_s \times (T_g - T_a)$

= 937 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 15.49 ลูกบาศก์เมตร
ต่อกิโลกรัม x 0.33 กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม-
องศาเซลเซียส x (220 - 30) องศาเซลเซียส

= 910,035.95 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ความร้อนสูญเสียในโบลว์ดาวน์ (Q_b) = $B \times FW \times (h_{f,b} - h_{f,w})$

= (1 / 100) x 6,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
x (172.22 - 60) กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม

= 7,294.30 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ความร้อนสูญเสียผ่านผนังหม้อน้ำ (Q_r) = $(Q_c + Q_w) \times H_l$

= (5,528,300 + 195,000) กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง
X (3 / 100)

= 171,699 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ความร้อนของไอน้ำ (QSt_{be}) = $Q_c + Q_w - Qe_{be} - Q_b - Q_r$

= 5,528,300 + 195,000 - 910,035.95 -
7,294.30 - 171,699

= 4,634,270 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ปริมาณของไอน้ำที่ผลิตได้(S) = FW - (B x FW)

= 6,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

- ((3 / 100) x 6,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

= 6,305 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหม้อน้ำ ($\%Eff_{be}$) = $(QSt_{be} / (Q_c + Q_w)) \times 100$

$$= \frac{\text{4,634,270 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง}}{\text{(5,528,300 + 195,000) กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง}} \times 100$$

= 80.97 เปอร์เซ็นต์

<u>หลังปรับปรุง</u>

ปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสีย ($O_{2,af}$) = 7 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อปรับปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสียลดลง ทำให้ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสียลดลงดังนี้

อัตราส่วนของอากาศ (m_{af}) = $O_2 / (O_2 - O_{2,bef})$

= 21 เปอร์เซ็นต์ / (21 - 7) เปอร์เซ็นต์

= 1.50

ปริมาณอากาศจริงของก๊าซเสีย (G_{af}) = $Go + (Ao \times (m_{af} - 1))$

= 6.90 + (6.46 x (1.50 - 1))

= 10.13 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม

ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย (Qe_{af}) = $F \times G_{af} \times H_s \times (T_g - T_a)$

= 937 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 10.13 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม x 0.33 กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส x (220 - 30) องศาเซลเซียส

= 595,136.49 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ความร้อนของไอน้ำ (QSt_{af}) = $Q_c + Q_w - Qe_{af} - Q_b - Q_r$

= 5,528,300 + 195,000 - 595,136.49- 7,294.30 - 171,699

= 4,949,170.21 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง

ดังนั้น ประสิทธิภาพของหม้อน้ำ ($\%Eff_{af}$) = $(QSt_{af} /(Q_c + Q_w)) \times 100$

$$= \frac{\text{4,949,170.21 กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง}}{\text{(5,528,300 + 195,000) กิโลแคลลอรีต่อชั่วโมง}} \times 100$$

= 86.47 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของหม้อน้ำเพิ่มขึ้น ($\%Eff_{inc}$) = $(\%Eff_{af} - \%Eff_{be}) / \%Eff_{aft} \times 100$

$$= \frac{\text{(86.47 - 80.97) เปอร์เซ็นต์}}{\text{83.75 เปอร์เซ็นต์}} \times 100$$

= 6.57 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณการใช้ถ่านหิน (C) = $F \times T_w$

= 937 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 8,400 ชั่วโมงต่อปี

= 7,870,800 กิโลกรัมต่อปี

ปริมาณถ่านหินที่ลดลง (F_S) = $\%Eff_{inc}$ x C

= (6.57 / 100) x 7,870,800 กิโลกรัมต่อปี

= 517,112 กิโลกรัมต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = F_S x F_C

= 517,112 กิโลกรัมต่อปี x 3.8 บาทต่อกิโลกรัม

= 1,965,026 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

เงินลงทุน = 300,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 300,000 บาท / 1,965,026 บาทต่อปี

= 0.15 ปี

≈ 2 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 2.5466 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมถ่านหิน[22] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ถ่านหินลดลงเท่ากับ 517,112 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 517,112 x 2.5466

= 1,316,877 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.48 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการปรับปรุงการเผาไหม้ของระบบหม้อน้ำ

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	300,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	1,965,026	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	2	เดือน
ปริมาณถ่านหินที่ลดลง	517,112	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	1,316,877	กิโลกรัมต่อปี

2.13 การเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.49 ตารางที่ ก.50 และตารางที่ ก.51 ตามลำดับ

[22] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.49 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณไม้ฟืนที่ใช้	Wo_1	กิโลกรัมต่อปี	624,000	ข้อมูลโรงงาน
ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ก่อนปรับปรุง	-	เปอร์เซ็นต์	80	ข้อมูลโรงงาน
	f_1	-	0.8	ข้อมูลจากการคำนวณ
ประสิทธิภาพในการเผาไหม้หลังปรับปรุง	-	เปอร์เซ็นต์	100	ค่าที่ได้จากการประเมิน
	f_2	-	1	ข้อมูลจากการคำนวณ
ค่าพลังงานความร้อนของไม้ฟืน	c_{Wo}	เมกะจูลต่อกิโลกรัม	15.99	อ้างอิงจากรายงานพลังงานของประเทศไทยรายปี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
ราคาไม้ฟืน	Wo_C	บาทต่อกิโลกรัม	0.75	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.50 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ค่าพลังงานความร้อนก่อนปรับปรุง	$Q_{80\%}$	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณไม้ฟืนที่ใช้หลังปรับปรุง	Wo_2	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณไม้ฟืนที่ลดลง	Wo_S	กิโลกรัมต่อปี
		ตันต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

ปัจจุบันโรงงานใช้ไม้ฟืน 624,000 กิโลกรัมต่อปี[23] ซึ่งไม้ฟืนที่ใช้เป็นไม้ฟืนที่มีขนาดใหญ่ เนื่องด้วยวิธีการจัดหาและจัดเก็บไม้ฟืนทำโดยการตัดไม้ใหญ่นำมากองในพื้นที่เปิด แล้วนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงโดยไม่มีการลดความชื้นก่อน ทำให้ไม้ฟืนมีความชื้นสูงกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไม้ฟืนที่ใช้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงประเภทไม้ฟืน (ค่าความร้อนสุทธิ) ที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้ให้ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 15.99 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังนั้น ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด คือ

ค่าพลังงานความร้อน ($Q_{80\%}$) = $Wo_1 \times c_{Wo} \times f_2$

= 624,000 กิโลกรัมต่อปี

x 15.99 เมกะจูลต่อกิโลกรัม x 0.8

= 7,982,208 เมกะจูลต่อปี

[23] ที่มา ข้อมูลจากโรงงาน

หลังปรับปรุง

หากโรงงานสามารถหาไม้ฟืนที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ มาใช้งานหรือปรับปรุงการจัดเก็บไม้ฟืนก่อนการนำไปใช้ อาทิเช่น นำมาตากแดดให้แห้งก่อนใช้ การเก็บในพื้นที่ปิดเพื่อป้องกันฝน เป็นต้น จะทำให้ไม้ฟืนมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้เต็มประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณปริมาณไม้ฟืนที่ใช้ได้ ดังนี้

ปริมาณไม้ฟืนที่ใช้ (Wo_2) = $(Q / c_{Wo}) / 1$

= $\frac{\text{7,982,208 เมกะจูลต่อปี}}{\text{15.99 เมกะจูลต่อกิโลกรัม x 1}}$

= 499,200 กิโลกรัมต่อปี

ปริมาณไม้ฟืนที่ลดลง (Wo_S) = $Wo_1 - Wo_2$

= 624,000 - 499,200

= 124,800 กิโลกรัมต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = $Wo_S \times Wo_C$

= 124,800 กิโลกรัมต่อปี

x 0.75 บาทต่อกิโลกรัม

= 93,600 บาทต่อปี

เงินลงทุน

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน เนื่องจากเป็นการปรับเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กลงหรือมีความชื้นต่ำลงซึ่งไม่ได้ใช้เงินลงทุนเพียงแต่ปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

ระยะเวลาคืนทุน = ทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้สารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.6930 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมสารชีวมวล[24] เมื่อเลือกใช้ไม้ฟืนที่มีขนาดเล็กลงและมีค่าความชื้นต่ำจะลดการใช้ไม้ฟืนได้ 124,800 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 124,800 x 0.6930

= 86,486 กิโลกรัมต่อปี

[24] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ตารางที่ ก.51 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบหม้อน้ำ

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	0	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	93,600	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	0	เดือน
ปริมาณไม้ฟืนที่ลดลง	124,800	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	86,486	กิโลกรัมต่อปี

2.14 การนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.52 ตารางที่ ก.53 และตารางที่ ก.54 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.52 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่นำกลับ	T_r	องศาเซลเซียส	100	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ปริมาณของคอนเดนเสทที่นำกลับ	Q_r	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	20	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิของน้ำป้อนก่อนปรับปรุง	T_{f1}	องศาเซลเซียส	30	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้	Q_f	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	170	ข้อมูลโรงงาน
ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล	C_d	เมกะจูลต่อลิตร	36.42	ค่าคงที่
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	C_w	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส	4.186	ค่าคงที่
ราคาน้ำมันดีเซล	F_C	บาทต่อลิตร	25.00	ข้อมูลโรงงาน
%Efficiency	-	เปอร์เซ็นต์	80	ข้อมูลโรงงาน
	%f	-	0.8	ข้อมูลจากการคำนวณ
จำนวนชั่วโมงทำงาน	H	ชั่วโมงต่อปี	2,496	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.53 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
อุณหภูมิของน้ำป้อนหลังปรับปรุง	T_{f2}	องศาเซลเซียส
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	E_S	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ลดลง	F_S	ลิตรต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

โรงงานใช้น้ำป้อนหม้อน้ำที่มีอุณหภูมิ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส โดยหม้อน้ำผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้นทั้งหมดยังไม่มีการนำกลับมาใช้ซ้ำ เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการระบายน้ำคอนเดนเสททิ้ง

หลังปรับปรุง

เมื่อนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ซ้ำ สามารถคำนวณพลังงานความร้อนที่ลดลงได้ ดังนี้

อุณหภูมิของน้ำป้อน (T_{f2}) = $(T_r \times Q_r) + [T_{f1} \times (Q_f - Q_r)] / Q_f$

= (100 องศาเซลเซียส x 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) + [(30 องศาเซลเซียส x (170 - 20) กิโลกรัมต่อชั่วโมง)] / 170 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

= 38.24 องศาเซลเซียส

พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (E_s) = $Q_f \times C_w \times (T_{f2} - T_{f1})$

= 170 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 4.186 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส x (38.24 - 30) องศาเซลเซียส

= 5,863.75 กิโลจูลต่อชั่วโมง

= 5,863.75 x H x %f

= 5,863.75 กิโลจูลต่อชั่วโมง x 2,496 ชั่วโมงต่อปี x 0.8 / 1,000 กิโลจูลต่อเมกะจูล

= 11,709 เมกะจูลต่อปี

ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ลดลง (F_S) = E_s / C_d

= 11,709 เมกะจูลต่อปี / 36.42 เมกะจูลต่อลิตร

= 322 ลิตรต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = $F_S \times F_C$

= 322 ลิตรต่อปี x 25 บาทต่อลิตร

= 8,050 บาทต่อปี

เงินลงทุน

เงินลงทุน = 30,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 30,000 บาท / 8,050 บาทต่อปี

= 3.73 ปี

≈ 45 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 2.7080 กิโลกรัมต่อลิตร[25] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลลดลงเท่ากับ 322 ลิตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 322 x 2.7080

= 872 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.54 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทจากกระบวนการอบผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	30,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	8,050	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	45	เดือน
ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ประหยัด	322	ลิตรต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	872	กิโลกรัมต่อปี

2.15 การลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.55 ตารางที่ ก.56 และตารางที่ ก.57 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.55 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
จำนวนรอบการระบายน้ำทิ้งก่อนปรับปรุง	N_{Be}	รอบต่อวัน	20	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนรอบการระบายน้ำทิ้งหลังปรับปรุง	N_{Af}	รอบต่อวัน	2	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณน้ำระบายน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ	V	ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ	1	ข้อมูลโรงงาน
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	c	กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส	4.186	ค่าคงที่
อุณหภูมิน้ำปกติ	T_1	องศาเซลเซียส	30	ข้อมูลจากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำในหม้อฆ่าเชื้อ	T_2	องศาเซลเซียส	65	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ราคาน้ำอ่อน	W_C	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	15.23	ข้อมูลโรงงาน
ราคาพลังงานความร้อน	Q_C	บาทต่อเมกะจูล	1.25	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน

[25] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.56 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณน้ำที่สูญเสียก่อนปรับปรุง	W_{loss1}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำที่สูญเสียหลังปรับปรุง	W_{loss2}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำที่ลดลงหลังปรับปรุง	m	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณพลังงานความร้อนที่ลดลง	Q	เมกะจูลต่อวันต่อปี
มูลค่าน้ำที่สูญเสียก่อนปรับปรุง	W_{Be}	บาทต่อปี
มูลค่าน้ำที่สูญเสียหลังปรับปรุง	W_{Af}	บาทต่อปี
มูลค่าพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	Q_S	บาทต่อปี
มูลค่าน้ำที่ประหยัดได้	W_S	บาทต่อปี
มูลค่ารวมที่ประหยัดได้	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (W_{loss1}) = N_{Be} x V x D
= 20 รอบต่อวัน x 1 ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ x 300 วันต่อปี
= 6,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าน้ำที่สูญเสีย (W_{Be}) = W_{loss1} x W_C
= 6,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี x 15.23 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
= 91,380 บาทต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (W_{loss2}) = N_{Af} x V x D
= 2 รอบต่อวัน x 1 ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ x 300 วันต่อปี
= 600 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าน้ำที่สูญเสีย (W_{Af}) = W_{loss2} x W_C
= 600 ลูกบาศก์เมตรต่อปี x 15.23 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
= 9,138 บาทต่อปี

ปริมาณน้ำที่ลดลง (m) = W_{loss1} x W_{loss2}
= 6,000 - 600 ลูกบาศก์เมตรต่อปี
= 5,400 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณพลังงานความร้อนที่ลดลง (Q) = $mc(T_2 - T_1)$

= 5,400 ลูกบาศก์เมตรต่อปี x 4.186 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส x (65 - 30) องศาเซลเซียส

= 791,154 เมกะจูลต่อปี

มูลค่าน้ำที่ประหยัดได้ (W_S) = $W_{Be} - W_{Af}$

= 91,380 - 9,138

= 82,242 บาทต่อปี

มูลค่าพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (Q_S) = $Q \times Q_C$

= 791,154 เมกะจูลต่อปี x 1.25 บาทต่อเมกะจูล

= 988,943 บาทต่อปี

มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ (B_{save}) = $W_S + Q_S$

= 82,242 + 988,943 บาทต่อปี

= 1,071,185 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเนื่องจากเป็นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำงาน

ระยะเวลาคืนทุน = ทันที

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.0612 กิโลกรัมต่อเมกะจูล[26] หลังปรับปรุงมีค่าพลังงานความร้อนลดลงเนื่องจากการนำน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกลับมาใช้ซ้ำเท่ากับ 791,154 เมกะจูลต่อปี ซึ่งใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 791,154 x 0.0612

= 48,419 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำประปาเป็นส่วนประกอบในการผลิตมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5081 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[27] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 5,400 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 5,400 x 0.5081

= 2,744 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 48,419 + 2,744

= 51,163 กิโลกรัมต่อปี

[26] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

[27] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

ตารางที่ ก.57 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดปริมาณน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อในกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	0	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	1,071,185	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	0	เดือน
ปริมาณน้ำที่ลดลง	5,400	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณพลังงานความร้อนที่ลดลง	791,154	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	51,163	กิโลกรัมต่อปี

3. ด้านการใช้น้ำ

3.1 การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.58 ตารางที่ ก.59 และตารางที่ ก.60 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.58 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
จำนวนหัวฉีดก่อนปรับปรุง	N_1	จุด	18	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนหัวฉีดหลังปรับปรุง	N_2	จุด	24	ข้อมูลโรงงาน
อัตราการไหลต่อจุดก่อนปรับปรุง	F_1	ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อจุด	0.002	ข้อมูลโรงงาน
อัตราการไหลต่อจุดหลังปรับปรุง	F_2	ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อจุด	0.001	ข้อมูลบริษัทผู้จัดจำหน่าย
เวลาในการฉีดก่อนปรับปรุง	T_1	นาทีต่อรอบ	8	ข้อมูลโรงงาน
เวลาในการฉีดหลังปรับปรุง	T_2	นาทีต่อรอบ	4	ข้อมูลโรงงาน
รอบการใช้	n	รอบต่อวัน	8	ข้อมูลโรงงาน
ราคาค่าน้ำ	W_C	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	19.67	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	300	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.59 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณน้ำที่ใช้ก่อนปรับปรุง	W_{Be}	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
		ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำที่ใช้หลังปรับปรุง	W_{Af}	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
		ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณน้ำประหยัด	W_S	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้น้ำก่อนปรับปรุง	B_{Be}	บาทต่อปี
มูลค่าที่ประหยัดได้หลังปรับปรุง	B_{Af}	บาทต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

ปริมาณน้ำที่ใช้ (W_{Be}) = $N_1 \times F_1 \times T_1 \times n$

= 18 จุด x 0.002 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อจุด x 8 นาทีต่อรอบ x 8 รอบต่อวัน

= 2.30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

= 2.30 x D

= 2.30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน x 300 วันต่อปี

= 690 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าน้ำที่ประหยัดได้ (B_{Be}) = $W_{Be} \times W_C$

= 690 ลูกบาศก์เมตรต่อปี x 19.67 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 13,572 บาทต่อปี

<u>หลังปรับปรุง</u>

ปริมาณน้ำที่ใช้ (W_{Af}) = $N_2 \times F_2 \times T_2 \times n$

= 24 จุด x 0.001 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อจุด x 4 นาทีต่อรอบ x 8 รอบต่อวัน

= 0.77 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

= 0.77 x D

= 0.77 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน x 300 วันต่อปี

= 231 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าน้ำที่ประหยัดได้ (B_{Af}) = $W_{Af} \times W_C$

= 231 ลูกบาศก์เมตรต่อปี x 19.67 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 4,544 บาทต่อปี

ปริมาณน้ำใช้ที่ลดลง (W_S) = W_{Be} - W_{Af}

= 690 - 231

= 459 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = B_{Be} - B_{Af}

= 13,572 - 4,544

= 9,028 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

ติดตั้งและเปลี่ยนชุดหัวสเปรย์ฉีดน้ำฝอยประสิทธิภาพสูง = 50,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 50,000 บาท /9,028 บาทต่อปี

= 5.54 ปี

≈ 67 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้น้ำประปาเป็นส่วนประกอบในการผลิตมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5081 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[28] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 459 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 459 x 0.5081

= 233 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.60 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	50,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	9,028	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	67	เดือน
ปริมาณน้ำใช้ที่ลดลง	459	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	233	กิโลกรัมต่อปี

3.2 การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.61 ตารางที่ ก.62 และตารางที่ ก.63 ตามลำดับ

[28] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ตารางที่ ก.61 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณน้ำป้อน	m	ลิตรต่อชั่วโมง	6,500	ข้อมูลโรงงาน
		กิโลกรัมต่อชั่วโมง	6,500	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณคอนเดนเสทที่สามารถนำกลับได้	Q_c	ลิตรต่อชั่วโมง	500	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำขณะใช้งาน	P_w	บาร์	7.0	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิน้ำป้อนก่อนปรับปรุง	T_{f1}	องศาเซลเซียส	60	ข้อมูลจากการตรวจวัด
อุณหภูมิคอนเดนเสท	T_c	องศาเซลเซียส	100	ข้อมูลจากการตรวจวัด
เอนทาลปีของน้ำป้อน	$h_{f,w}$	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	251.1	ค่าคงที่
ค่าความร้อนของถ่านหิน	H	เมกะจูลต่อกิโลกรัม	24.70	ค่าคงที่
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	Cp	กิโลจูลต่อกิโลกรัม -องศาเซลเซียส	4.186	ค่าคงที่
ราคาถ่านหิน	F_C	บาทต่อกิโลกรัม	3.8	ข้อมูลโรงงาน
ราคาน้ำอาร์โอ	RO_C	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	40	ข้อมูลโรงงาน
ชั่วโมงการทำงานของหม้อน้ำ	h	ชั่วโมงต่อปี	8,400	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.62 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
อุณหภูมิน้ำป้อนหลังปรับปรุง	T_{f2}	องศาเซลเซียส
ปริมาณความร้อนที่ลดลง	Q	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณถ่านหินที่ลดลง	F_S	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณน้ำอาร์โอที่ลดลง	RO_S	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
มูลค่าถ่านหินที่ประหยัดได้	B_F	บาทต่อปี
มูลค่าน้ำอาร์โอที่ประหยัดได้	B_{RO}	บาทต่อปี
มูลค่ารวมที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

อุณหภูมิน้ำป้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส

<u>หลังปรับปรุง</u>

อุณหภูมิน้ำป้อน (T_{f2}) = $[(Q_c \times T_c) + ((m - Q_c) \times T_{f1})] / m$

$$= \frac{(500 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง} \times 100 \text{ องศาเซลเซียส}) + ((6{,}500 - 500) \text{ ลิตรต่อชั่วโมง} \times 60 \text{ องศาเซลเซียส})}{6{,}500 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}}$$

= 63.08 องศาเซลเซียส

ปริมาณความร้อนที่ลดลง (Q) = $mCp\Delta T$

$$= \frac{\text{6,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 4.186 กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส x (63.08 - 60) องศาเซลเซียส}}{\text{1,000 กิโลจูลต่อเมกะจูล}}$$

= 83.80 เมกะจูลต่อชั่วโมง

= 83.80 x h

= 83.80 เมกะจูลต่อชั่วโมง x 8,400 ชั่วโมงต่อปี

= 703,920 เมกะจูลต่อปี

ปริมาณถ่านหินที่ลดลง (F_S) = Q / H

$$= \frac{\text{703,920 เมกะจูลต่อปี}}{\text{24.70 เมกะจูลต่อกิโลกรัม}}$$

= 28,499 กิโลกรัมต่อปี

ปริมาณน้ำอาร์โอที่ลดลง (RO_S) = Q_c x h / 1,000

$$= \frac{\text{500 ลิตรต่อชั่วโมง x 8,400 ชั่วโมงต่อปี}}{\text{1,000 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร}}$$

= 4,200 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าถ่านหินที่ประหยัดได้ (B_F) = F_S x F_C

= 28,499 กิโลกรัมต่อปี x 3.80 บาทต่อกิโลกรัม

= 108,296 บาทต่อปี

มูลค่าน้ำอาร์โอที่ประหยัดได้ (B_{RO}) = RO_S x RO_C

= 4,200 ลูกบาศก์เมตรต่อปี
x 40 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 168,000 บาทต่อปี

มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ (B_{save}) = B_F + B_{RO}

= 108,296 + 168,000 บาทต่อปี

= 276,296 บาทต่อปี

หมายเหตุ มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ไม่รวมค่าบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากปัจจุบันทางโรงงานส่งน้ำเสียไปบำบัดที่โรงงานในเครือโดยไม่มีค่าใช้จ่าย

เงินลงทุน

เงินลงทุนปรับปรุงท่อคอนเดนเสท = 200,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 200,000 บาท / 276,296 บาทต่อปี

= 0.72 ปี

≈ 9 เดือน

การคำนวณประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 2.5466 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมถ่านหิน[29] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้ถ่านหินลดลงเท่ากับ 28,499 กิโลกรัมต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 28,499 x 2.5466

= 72,576 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำอาร์โอเป็นน้ำป้อนหม้อน้ำจะเกิดการปล่อยก๊าซ CO_2 เทียบเท่า 1.3664 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[30] โดยมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 4,200 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 4,200 x 1.3664

= 5,739 กิโลกรัมต่อปี

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 72,576 + 5,739

= 78,315 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.63 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	200,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	276,296	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	9	เดือน
ปริมาณถ่านหินที่ลดลง	28,499	กิโลกรัมต่อปี
ปริมาณน้ำอาร์โอที่ลดลง	4,200	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	78,315	กิโลกรัมต่อปี

3.3 การลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.64 ตารางที่ ก.65 และตารางที่ ก.66 ตามลำดับ

[29] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

[30] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ตารางที่ ก.64 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณน้ำป้อน	m	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	9.43	ข้อมูลโรงงาน
(ความหนาแน่นของน้ำ		ตันต่อวัน	9.43	ข้อมูลโรงงาน
= 1 ตันต่อลูกบาศก์เมตร)				
ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้	F	ลิตรต่อวัน	725.20	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้	S	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	392.8	ข้อมูลโรงงาน
ความดันไอน้ำขณะใช้งาน	P_w	บาร์	7.0	ข้อมูลโรงงาน
อุณหภูมิน้ำป้อน	T_f	องศาเซลเซียส	95	ข้อมูลจากการตรวจวัด
เอนทาลปีของน้ำป้อน	h_{fw}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	398	ค่าคงที่
เอนทาลปีของโบล์วดาวน์	h_{fBD}	กิโลจูลต่อกิโลกรัม	720.90	ค่าคงที่
ค่าความร้อนของน้ำมันเตา	H	เมกะจูลต่อลิตร	41.28	ค่าคงที่
ค่า TDS ของน้ำป้อน	TDS_1	มิลลิกรัมต่อลิตร	300	ข้อมูลจากการตรวจวัด
ค่า TDS ของน้ำโบล์วดาวน์ก่อนปรับปรุง	TDS_2	มิลลิกรัมต่อลิตร	1,200	ข้อมูลโรงงาน
ค่า TDS ของน้ำโบล์วดาวน์หลังปรับปรุง	TDS_3	มิลลิกรัมต่อลิตร	3,500	ข้อมูลโรงงาน
ราคาน้ำมันเตา	F_C	บาทต่อลิตร	12.16	ข้อมูลโรงงาน
ราคาน้ำป้อน (น้ำอ่อน)	W_C	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	20	ข้อมูลโรงงาน
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ	h	ชั่วโมงต่อปี	7,200	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.65 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ก่อนปรับปรุง	$\%loss_{Be}$	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ทิ้งหลังปรับปรุง	$\%loss_{Af}$	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณน้ำป้อนก่อนปรับปรุง	W_{Be}	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ปริมาณน้ำป้อนหลังปรับปรุง	W_{Af}	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ปริมาณน้ำป้อนที่ลดลง	W_S	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	Q	เมกะจูลต่อปี
ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง	F_S	ลิตรต่อปี
มูลค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้	B_F	บาทต่อปี
มูลค่าน้ำป้อนประหยัดได้	B_W	บาทต่อปี
มูลค่ารวมที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

ก่อนปรับปรุง

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ ($\%loss_{Be}$) = $[TDS_1 / (TDS_2 - TDS_1)] \times 100$

$$= \frac{\text{300 มิลลิกรัมต่อลิตร}}{\text{(1,200 - 300) มิลลิกรัมต่อลิตร}} \times 100$$

= 33.33 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณน้ำป้อน (W_{Be}) = $S / (1 - \%loss_{Be})$

= 392.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง / (1- (33.33 / 100))

= 589 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

หลังปรับปรุง

ปริมาณน้ำโบล์วดาวน์ ($\%loss_{Af}$) = $[TDS_1 / (TDS_3 - TDS_1)] \times 100$

$$= \frac{\text{300 มิลลิกรัมต่อลิตร}}{\text{(3,500 - 300) มิลลิกรัมต่อลิตร}} \times 100$$

= 9.38 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณน้ำป้อน (W_{Af}) = $S / (1 - \%loss_{Af})$

= 392.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง / (1 - (9.38 / 100))

= 433 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ปริมาณน้ำป้อนที่ลดลง (W_S) = $W_{Be} - W_{Af}$

= 589 - 433

= 156 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

(ความหนาแน่นของน้ำ = $156 \times h / 1,000$

= 1 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) = $\frac{\text{156 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x 7,200 ชั่วโมงต่อปี}}{\text{1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}}$

= 1,123 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ (Q) = $((W_S \times (h_{fBD} - h_{fw})) \times h) / 1,000$

$$= \frac{\text{(156 กิโลกรัมต่อชั่วโมง x (720.9 - 398) กิโลจูลต่อกิโลกรัม x 7,200 ชั่วโมงต่อปี)}}{\text{1,000 กิโลจูลต่อเมกะจูล}}$$

= 362,681 เมกะจูลต่อปี

ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง (F_S) = Q / H

= 362,681 เมกะจูลต่อปี / 41.28 เมกะจูลต่อลิตร

= 8,786 ลิตรต่อปี

มูลค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ (B_F) = $F_S \times F_C$

= 8,786 ลิตรต่อปี x 12.16 บาทต่อลิตร

= 106,838 บาทต่อปี

มูลค่าน้ำที่ประหยัดได้ (B_W) = $W_S \times W_C$

= 1,123 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

x 20 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 22,460 บาทต่อปี

มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ (B_{save}) = $B_F + B_W$

= 106,838 + 22,460

= 129,298 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

เงินลงทุนจากการตรวจวัดค่า TDS = 20,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 20,000 บาท / 129,298 บาทต่อปี

= 0.16 ปี

≈ 2 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0883 กิโลกรัมต่อลิตร[31] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำมันเตาลดลงเท่ากับ 8,786 ลิตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 8,786 x 3.0883

= 27,134 กิโลกรัมต่อปี

การใช้น้ำอ่อนเป็นน้ำป้อนหม้อน้ำมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 3.0985 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[32] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 1,123 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 1,123 x 3.0985

= 3,480 กิโลกรัมต่อปี

<u>ผลรวมด้านสิ่งแวดล้อม</u>

ดังนั้น รวมปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 27,134 + 3,480

= 30,614 กิโลกรัมต่อปี

[31] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มกราคม 2560

[32] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ตารางที่ ก.66 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการลดการโบล์วดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	20,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	129,298	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	2	เดือน
ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง	8,786	ลิตรต่อปี
ปริมาณน้ำป้อนที่ลดลง	1,123	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	30,614	กิโลกรัมต่อปี

3.4 การติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง

<u>รายละเอียดการคำนวณ</u>

เพื่อหามูลค่าที่ประหยัดได้ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน และปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากโรงงาน โดยผลการตรวจวัดค่าตัวแปรและผลประโยชน์ที่ได้รับดังแสดงในตารางที่ ก.67 ตารางที่ ก.68 และตารางที่ ก.69 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.67 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาตรการการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย	ค่า	แหล่งที่มาข้อมูล
ปริมาณน้ำประปา	W_1	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	5.5	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณที่ใช้ล้างทำความสะอาดก่อนปรับปรุง	W_2	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	4	ข้อมูลโรงงาน
วาล์วน้ำล้างทำความสะอาด	N	ชุด	10	ข้อมูลโรงงาน
ปริมาณน้ำสูญเสียหลังปรับปรุง	-	เปอร์เซ็นต์	7	ค่าที่ได้จากการประเมิน
	f	-	0.07	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
ราคาน้ำประปา	W_{C1}	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	36.27	ข้อมูลโรงงาน
ราคาค่าบำบัดน้ำเสีย	W_{C2}	บาทต่อลูกบาศก์เมตร	6	ข้อมูลโรงงาน
จำนวนวันทำงาน	D	วันต่อปี	312	ข้อมูลโรงงาน

ตารางที่ ก.68 คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรการการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง

รายการ	ตัวแปร	หน่วย
ปริมาณน้ำที่ลดลง	W_{Af}	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
มูลค่าที่ประหยัด	B_{save}	บาทต่อปี

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

ปริมาณที่ใช้ล้างทำความสะอาด = 4 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

<u>หลังปรับปรุง</u>

ปริมาณน้ำที่ลดลง (W_{Af}) = ($f \times W_2$)

= 0.07 x 4 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

= 0.28 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

= 0.28 x D

= 0.28 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน x 312 วันต่อปี

= 87 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

มูลค่าที่ประหยัด (B_{save}) = W_{Af} x (W_{C1} + W_{C2})

= 87 ลูกบาศก์เมตรต่อปี x (36.27 + 6) บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 3,677 บาทต่อปี

<u>เงินลงทุน</u>

วาล์วเปิด-ปิดน้ำที่สายยาง = 2,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 2,000 บาท / 3,677 บาทต่อปี

= 0.54 ปี

≈ 7 เดือน

<u>ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม</u>

การใช้น้ำประปาในการล้างทำความสะอาดมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เทียบเท่า 0.5081 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[33] หลังปรับปรุงมีปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ 87 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ดังนั้น ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง = 87 x 0.5081

= 44 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ ก.69 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากมาตรการการติดตั้งวาล์วน้ำเปิด-ปิดบริเวณปลายสายยาง

รายการ	ค่า	หน่วย
เงินลงทุน	2,000	บาท
มูลค่าที่ประหยัด	3,677	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	7	เดือน
ปริมาณน้ำที่ลดลง	87	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่าที่ลดลง	44	กิโลกรัมต่อปี

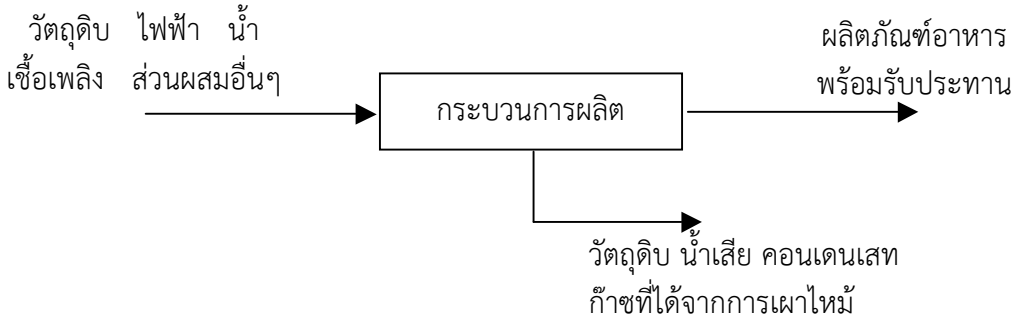
[33] ที่มาองค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มิถุนายน 2559

ภาคผนวก ข
แนวทางประเมินวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และการป้องกันมลพิษที่เหมาะสม

การตรวจประเมินโรงงานและการตรวจวัดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตการตรวจประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การประเมินเบื้องต้น

เป็นการสำรวจและรวบรวมข้อมูลรายละเอียดพื้นฐานของโรงงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต โดยเริ่มต้นจากการทำแผนภูมิขั้นตอนกระบวนการผลิต สำหรับขั้นตอนกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน ดังแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ ข.1 - ข.3 นอกจากขั้นตอนการผลิตซึ่งเป็นขั้นตอนหลักแล้ว ยังมีขั้นตอนอื่นๆ อีกประกอบด้วย ขั้นตอนการผลิตน้ำอ่อน การผลิตไอน้ำ และการบำบัดน้ำเสีย หลังจากนั้น จึงทำการเขียนแผนผังรวมของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนผังแบบย่อดังแสดงในรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แผนผังรวมกระบวนการผลิต

จากนั้นจัดทำค่าปัจจัยที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต (Key Factor) ในภาพรวมของโรงงาน โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรหรือปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน จำนวน 12 เดือน เช่น การใช้น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่นๆ โดยเทียบต่อหนึ่งหน่วยวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ เป็นต้น นำข้อมูลการใช้วัตถุดิบและข้อมูลปริมาณการผลิตบันทึกลงในตารางที่ ข.1 และตารางที่ ข.2 บันทึกข้อมูลราคาวัตถุดิบ นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ ข.1 มาวิเคราะห์หาข้อมูลเฉลี่ยของปริมาณการผลิตและการใช้วัตถุดิบ ดังตารางที่ ข.3 หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเทคนิคและผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์โดยใช้ตารางที่ ข.4 สำหรับตารางที่ ข.5 ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลในตารางที่ ข.7 - ข.9 ประกอบการคำนวณ และนำข้อมูลผลกระทบเชิงเทคนิค ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์และผลกระทบเชิงสิ่งแวดล้อมที่วิเคราะห์ได้มาสรุปรวมไว้ในตารางที่ ข.6 พร้อมทั้งหาผลรวมคะแนน และจัดลำดับความสำคัญโดยเริ่มต้นจากลำดับที่ 1 ซึ่งมีคะแนนมากที่สุดไปจนถึงลำดับสุดท้ายโดยลำดับที่ 1 จะนำไปทำการประเมินละเอียดในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสิ่งที่ป้อนเข้า

รายการ		เดือน (ปี.....)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ปริมาณการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน	(ตัน)												
วัตถุดิบของแห้ง (ข้าว)	(ตัน)												
วัตถุดิบกลุ่มเนื้อสัตว์	(ตัน)												
วัตถุดิบกลุ่มไม่ใช่เนื้อสัตว์	(ตัน)												
เครื่องปรุง	(ตัน)												
น้ำประปา	(ลูกบาศก์เมตร)												
น้ำจากธรรมชาติ (น้ำบาดาล)	(ลูกบาศก์เมตร)												
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	(กิโลกรัม)												
ฟืน	(ตัน)												
ไฟฟ้า	(กิโลวัตต์ชั่วโมง)												

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลราคาหรือค่าใช้จ่าย

รายการ	เดือน (ปี.....)												เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(Y)
วัตถุดิบของแห้ง (ข้าว) (บาทต่อตัน)													
วัตถุดิบกลุ่มเนื้อสัตว์ (บาทต่อตัน)													
วัตถุดิบกลุ่มไม่ใช่เนื้อสัตว์ (บาทต่อตัน)													
เครื่องปรุง (บาทต่อตัน)													
น้ำประปา (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)													
น้ำจากธรรมชาติ (น้ำบาดาล) (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)													
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) (บาทต่อกิโลกรัม)													
ฟืน (บาทต่อตัน)													
ไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)													

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลเฉลี่ยของการผลิตและวัตถุดิบ

รายการ	เดือน (ปี.....)												เฉลี่ย	Benchmark
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(Av)	หรือค่าที่ดีที่สุด
ปริมาณการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน (ตัน)														
วัตถุดิบของแห้ง (ข้าว) (ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)														
วัตถุดิบกลุ่มเนื้อสัตว์ (ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)														
วัตถุดิบกลุ่มไม่ใช่เนื้อสัตว์ (ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)														
เครื่องปรุง (ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)														
น้ำประปา (ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์)														
น้ำจากธรรมชาติ (น้ำบาดาล) (ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์)														
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) (กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์)														
ฟืน (ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)														
ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันผลิตภัณฑ์)														

ตารางที่ ข.4 ผลกระทบเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์

รายการ		ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ต่อเดือน (Av)	ค่าที่ดีที่สุด (Best)	ความสามารถในการปรับปรุงการผลิต(%) [(Av - Best)/Best]*100	คะแนนผลกระทบเชิงเทคนิค	ต้นทุนต่อหน่วย (Y)	จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (บาท) (Av - Best)*X*Y	ความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์	คะแนนผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์
วัตถุดิบของแห้ง (ข้าว)	(ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)								
วัตถุดิบกลุ่มเนื้อสัตว์	(ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)								
วัตถุดิบกลุ่มไม่เนื้อสัตว์	(ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)								
เครื่องปรุง	(ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)								
น้ำประปา	(ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์)								
น้ำจากธรรมชาติ (น้ำบาดาล)	(ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์)								
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	(กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์)								
ฟืน	(ตันต่อตันผลิตภัณฑ์)								
ไฟฟ้า	(กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันผลิตภัณฑ์)								

คะแนนผลกระทบเชิงเทคนิค เชิงเศรษฐศาสตร์	1	2	3
	> 0 - 30%	31 - 60%	>61%
	> 0 - 30%	31 - 60%	>61%

ค่าเฉลี่ยกำลังการผลิต / เดือน (X)

ตันต่อเดือน

ตารางที่ ข.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

รายการ	ปริมาณ (หน่วย/ปี)			Q	E	D	ผลรวม Q*E*D	คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม
	(X * Av * 12)	เปลี่ยนค่าเทียบกับเกณฑ์ QED						
น้ำประปา			ม^3 / ปี					
น้ำจากธรรมชาติ (น้ำบาดาล)			ม^3 / ปี					
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)		CO_2 :	ตัน / ปี					
ฟืน		CO_2 :	ตัน / ปี					
ไฟฟ้า		CO_2 :	ตัน / ปี					

คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อม	1	2	3
	0 - 9	10 - 18	19 - 27

รายการ	ปริมาณมลพิษ CO_2	
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	(กิโลกรัมต่อกิโลกรัม LPG)	
ฟืน	(กิโลกรัมต่อกิโลกรัมฟืน)	
ไฟฟ้า	(กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)	

ตารางที่ ข.6 การจัดลำดับความสำคัญจากการประเมินเบื้องต้น

รายการ	ผลกระทบเชิงเทคนิค A	ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์ B	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม C	ผลรวมคะแนน (A X 2)+(B X 2)+(C X 1)	ลำดับที่
วัตถุดิบของแห้ง (ข้าว)					
วัตถุดิบกลุ่มเนื้อสัตว์					
วัตถุดิบกลุ่มไม่ใช่เนื้อสัตว์					
เครื่องปรุง					
น้ำประปา					
น้ำจากธรรมชาติ (น้ำบาดาล)					
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)					
ฟืน					
ไฟฟ้า					
คะแนนถ่วงน้ำหนัก	X 2	X 2	X 1		

หมายเหตุ คะแนนถ่วงน้ำหนักของแต่ละกลุ่มขึ้นกับข้อตกลงภายในหน่วยงาน

ตารางที่ ข.7 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านปริมาณ (Quantity, Q)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
ปริมาณการใช้น้ำ	มากกว่า 300,000 ลบ.ม./ปี	60,000–300,000 ลบ.ม./ปี	น้อยกว่า 60,000 ลบ.ม./ปี
CO_2 จากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงาน	มากกว่า 10 ตัน/ปี	1–10 ตัน/ปี	น้อยกว่า 1 ตัน/ปี

ตารางที่ ข.8 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านผลกระทบ (Effect, E)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
ปริมาณการใช้น้ำ	2 คะแนน		
CO_2 จากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงาน	-	NO_X และ SO_2	CO_2

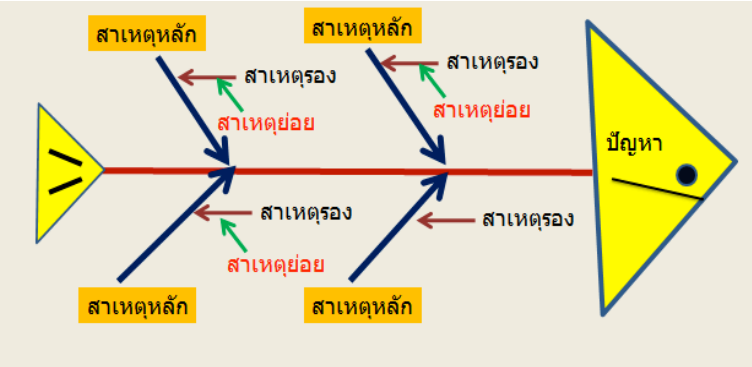
ตารางที่ ข.9 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการกระจายตัว (Distribution, D)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
ปริมาณการใช้น้ำ	น้ำบาดาล	น้ำประปาของภาครัฐ	น้ำประปาของภาคเอกชน
CO_2 จากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงาน	3 คะแนน		

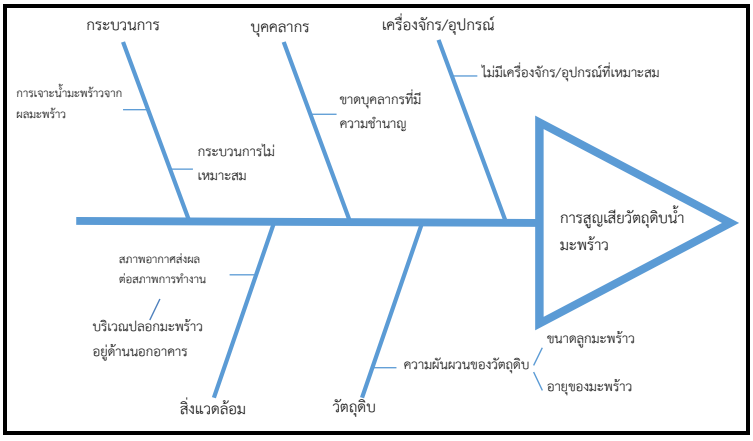
2. การประเมินโดยละเอียด

จากการประเมินเบื้องต้นทำให้ทราบว่าวัตถุดิบชนิดใดมีผลกระทบทั้งในเชิงเทคนิคเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการค้นหาว่าบริเวณใดหรือขั้นตอนใดในกระบวนการผลิตก่อให้เกิดความสูญเสียสูงที่สุด เพื่อที่จะได้ปรับปรุงแก้ไขได้ตรงจุด ซึ่งทำได้โดยการทำสมดุลมวลสารหรือสมดุลพลังงาน

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในบริเวณหรือขั้นตอนนั้นๆ ทำได้โดยการใช้แผนภูมิก้างปลา ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ข.2 - ข.3 โดยวิเคราะห์หาสาเหตุจาก 5 แหล่ง คือ พนักงาน (Man) วิธีการดำเนินการ (Method) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) และสิ่งแวดล้อม (Environment) เมื่อทราบถึงสาเหตุของปัญหาหรือใช้หลักการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดในการค้นหาทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดแล้ว ให้นำไปรวบรวมไว้ในตารางที่ ข.10 จากนั้นจึงทำการระดมสมองจากทีมงานเพื่อทำการคัดเลือกทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่สามารถปฏิบัติได้ออกจากทางเลือกที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ ซึ่งแบ่งเป็นทางเลือกที่สามารถทำได้ทันทีและทางเลือกที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยให้ทำการจัดลำดับทางเลือกโดยใช้ตารางที่ ข.11 ซึ่งต้องมีการประเมินทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อม



รูปที่ ข.2 ผังก้างปลาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาทั้งหมด



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างผังก้างปลาที่ใช้วิเคราะห์

ตารางที่ ข.10 การคัดทางเลือก CT ที่สามารถปฏิบัติได้

ทางเลือก CT	ทำได้ทันที	ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม	ไม่สามารถปฏิบัติได้	หมายเหตุ
1.				
2.				
3.				
4.				

ตารางที่ ข.11 การจัดลำดับทางเลือก CT

ทางเลือก CT	คะแนนความเป็นไปได้			คะแนนรวม	ลำดับที่
	ด้านเทคนิค	ด้านเศรษฐศาสตร์	ด้านสิ่งแวดล้อม		
1.					
2.					
3.					
4.					
คะแนนถ่วงน้ำหนัก	X2	X2	X1		

หมายเหตุ คะแนนถ่วงน้ำหนักของแต่ละกลุ่มขึ้นกับข้อตกลงภายในหน่วยงาน

การให้คะแนนความเป็นไปได้ มีการให้คะแนนจะใช้เกณฑ์ ดังนี้

ด้านเทคนิค

1 หมายถึง แก้ไขได้ยาก ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการปฏิบัติงาน

2 หมายถึง แก้ไขได้ปานกลาง ทีมงานสามารถปฏิบัติได้โดยได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ

3 หมายถึง แก้ไขได้ง่าย ทีมงานสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง

ด้านเศรษฐศาสตร์

1 หมายถึง ให้ผลตอบแทนด้านการเงินหรือช่วยลดต้นทุนได้น้อย

2 หมายถึง ให้ผลตอบแทนด้านการเงินหรือช่วยลดต้นทุนได้ปานกลาง

3 หมายถึง ให้ผลตอบแทนด้านการเงินหรือช่วยลดต้นทุนได้มาก

ด้านสิ่งแวดล้อม

1 หมายถึง ลดปริมาณมลพิษได้น้อย

2 หมายถึง ลดปริมาณมลพิษได้ปานกลาง

3 หมายถึง ลดปริมาณมลพิษได้มาก

จากการประเมินวิเคราะห์การประเมินเบื้องต้น และการประเมินละเอียดด้วยวิธีการขั้นต้น จะทำให้ได้มาตรการเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่มีลำดับความยาก – ง่ายในการนำไปปฏิบัติ แล้วจึงนำมาตรการที่ได้ไปทำการศึกษาความเป็นไปได้ในด้านต่างๆ แล้วจึงทำการลงมือปฏิบัติต่อไป

ภาคผนวก ค
ค่าที่ใช้คำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ ค.1 ค่าที่ใช้คำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

รายการ	หน่วย	ปริมาณก๊าซ CO_2 เทียบเท่า (กิโลกรัม CO_2 ต่อหน่วย)
น้ำมันเตา[1]	ลิตร	3.0883
น้ำมันดีเซล[1]	ลิตร	2.7080
ถ่านหิน[1]	กิโลกรัม	2.5466
ไฟฟ้า[1]	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	0.5821
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)[1]	กิโลกรัม	3.1133
ก๊าซธรรมชาติ (NG)[1]	ลูกบาศก์ฟุต	0.0573
สารชีวมวล[2]	กิโลกรัม	0.6930
น้ำประปา-การประปานครหลวง[2]	ลูกบาศก์เมตร	0.5081
น้ำอ่อน[2]	ลูกบาศก์เมตร	3.0985
น้ำอาร์โอ (RO)[2]	ลูกบาศก์เมตร	1.3664
พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE)[2]	กิโลกรัม	1.7258
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)[2]	เมกะจูล	0.0612
ก๊าซธรรมชาติ (NG)[2]	เมกะจูล	0.0099
น้ำเชื่อม[2]	กิโลกรัม	0.2934
ไนโตรเจน[2]	กิโลกรัม	0.4970
ไอน้ำ[3]	กิโลกรัม	0.2376

ที่มา : 1. องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) รวบรวมมาจากข้อมูลทุติยภูมิสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (UPDATE : มกราคม 2560) www.tgo.or.th

2. องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม (UPDATE : มิถุนายน 2559) www.tgo.or.th

3. ข้อมูลจากการตรวจวัดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงาน

ภาคผนวก ง
คำศัพท์และความหมายที่เกี่ยวข้อง

Air Intake (ช่องลมเข้า)	ช่องทางเข้าของลมหรืออากาศจากภายนอกที่ถูกดูดเพื่อส่งเข้าสู่ระบบปรับอากาศ มักจะติดตั้งแผ่นกรองอากาศหยาบที่บริเวณปากช่องทางเข้าของลม เพื่อไม่ให้ฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปในระบบปรับอากาศ และมีแผ่นปรับปริมาณอากาศเพื่อควบคุมปริมาณอากาศให้มีความเหมาะสมกับระบบปรับอากาศที่ได้ออกแบบไว้
Belt Conveyor (สายพานลำเลียง)	อุปกรณ์ลำเลียงที่ใช้สายพานเป็นตัวพาวัสดุ ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้สำหรับลำเลียงวัตถุดิบอาหาร ระหว่างกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การคัดคุณภาพ และการลำเลียงเข้าสู่กระบวนการแปรรูปอาหารแบบต่อเนื่อง เช่น เครื่องทำแห้งแบบสายพาน เครื่องแช่เยือกแข็ง เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพานวน เครื่องทอดแบบต่อเนื่อง และยังใช้เพื่อลำเลียงผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปเพื่อการบรรจุหีบห่อ หรือลำเลียงบรรจุภัณฑ์
Bulk Density (ความหนาแน่นรวม)	เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุ หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล เช่น แป้ง สตาร์ช เมล็ดธัญพืช กาแฟผง นมผง อาหารสัตว์ ขนมขบเคี้ยว และ ลูกกวาด เป็นต้น ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุด้วย ต่างจากความหนาแน่นเนื้อ (Solid Density) ซึ่งเป็นความหนาแน่นของชิ้นวัสดุแต่ละชิ้น และจะไม่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุ วัสดุชนิดเดียวกันอาจพิจารณาความหนาแน่นเป็นความหนาแน่นเนื้อ และความหนาแน่นรวม เช่น การวัดความหนาแน่นของมันฝรั่งแต่ละหัว ได้ค่าเป็นความหนาแน่นเนื้อ แต่หากวัดความหนาแน่นของมันฝรั่งขณะกองอยู่ หรืออยู่ในถังเก็บ จะได้ค่าเป็นความหนาแน่นรวม เป็นต้น ดังนั้นความหนาแน่นรวมจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นเนื้อเสมอ
Chilling Injury (อาการสะท้านหนาว)	อาการผิดปกติของผักและผลไม้เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของผักและผลไม้ชนิดนั้น อาการผิดปกติที่ทำให้เกิดความเสียหายมีหลายลักษณะ เช่น เกิดรอยแผล ฉ่ำน้ำ เปลือกหรือเนื้อเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ ผักและผลไม้แต่ละชนิดจะเกิดอาการสะท้านหนาวที่อุณหภูมิแตกต่างกัน มักเกิดกับผักและผลไม้เขตร้อน (Tropical Fruit) และผลไม้เขตกึ่งร้อน (Subtropical Fruit)
Commercial Sterilization (การทำให้ปลอดเชื้อเพื่อการค้า)	การแปรรูปอาหารด้วยความร้อนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค การทำให้ปลอดเชื้อเพื่อการค้าไม่ได้เป็นการทำให้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เพื่อคงรักษาคุณภาพของอาหารไว้ แต่ยังคงเหลือจุลินทรีย์บางชนิด เช่น แบคทีเรียที่ทนความร้อนสูง รวมทั้งสปอร์ของแบคทีเรียที่ทนร้อน ซึ่งจุลินทรีย์ที่เหลือรอดนี้ จะไม่สามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาและขนส่งปกติ ทำให้อาหารเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้อง และปลอดภัยต่อการบริโภค

Cryogen (ไครโอเจน)	ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำมาก ใช้เป็นตัวกลางสำหรับการแช่เยือกแข็งอาหาร เรียกว่า การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิก โดยสารไครโอเจนเมื่อสัมผัสกับอาหารในบรรยากาศปกติจะเดือดอย่างรวดเร็วและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ดึงความร้อนแฝงออกจากอาหาร ทำให้อาหารถูกแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว
Desorption การคาย	เป็นการคายความชื้นออกจากอาหาร หรือ การคายสารที่ดูดซับไว้ ออกจากผิวของตัวดูดซับ
Drip Loss (การสูญเสียของเหลว)	การสูญเสียน้ำของอาหารแช่เยือกแข็งเมื่อนำมาหลอมละลาย เกิดจากการแช่เยือกแข็งอย่างช้าๆ ทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งต่ำ ส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ทำลายเซลล์อาหาร ส่งผลให้อาหารสูญเสียคุณภาพด้านต่างๆ เช่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ
Drying Rate อัตราการทำแห้ง	อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลา ระหว่างการทำแห้ง ซึ่งอัตราการทำแห้งของอาหารขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้ง และสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน เป็นต้น
Enzyme (เอนไซม์)	กลุ่มโปรตีนที่ผลิตโดยเซลล์สิ่งมีชีวิต พบได้ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ ระบบการย่อยอาหาร โดยย่อยสลายโมเลกุลของอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง
Essential Fatty Acid (กรดไขมันที่จำเป็น)	กรดไขมันที่ร่างกายจำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่บริโภคเข้าไป เพื่อทำให้สุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ กรดไขมันประเภทนี้ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ มีประโยชน์ต่อสุขภาพ การเจริญเติบโต การพัฒนาการ การทำงานของสมอง และการสืบพันธุ์ การขาดกรดไขมันที่จำเป็นจะมีผลกระทบต่อสุขภาพ
Exhaust Fan (พัดลมดูดออก)	พัดลมทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากภายในไปสู่พื้นที่ภายนอกหรือกระบวนการปรับสภาวะอากาศต่อไป โดยมีพัดลมดูดอากาศช่วยในการระบายอากาศหรือดูดอากาศที่มีกลิ่นหรือมีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออกไปจากห้อง/พื้นที่ที่ต้องการควบคุม
Food spoilage (การเสื่อมเสียของอาหาร)	การเสื่อมหรือการลดลงของคุณภาพอาหาร ทางด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส รสชาติ เนื้อสัมผัส เป็นการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการทำให้อาหารไม่เป็นที่ต้องการ ไม่ปลอดภัย หรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการเสื่อมเสียของอาหารมีสาเหตุได้ทั้งทางกายภาพ ทางเคมีจากปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์
Freezing Point (จุดเยือกแข็ง)	อุณหภูมิที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง มักใช้กับน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ซึ่งน้ำในอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ น้ำนม ไข่ จะอยู่ในรูปของสารละลาย ทำให้จุดเยือกแข็งของอาหารจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ โดยน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันบรรยากาศปกติมีอุณหภูมิจุดเยือกแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส
Freezing Rate (อัตราการแช่เยือกแข็ง)	ผลต่างของอุณหภูมิก่อนการแช่เยือกแข็ง และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์หลังการแช่เยือกแข็งหารด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง โดยอัตราการ

	แช่เยือกแข็งมีผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็ง ซึ่งอัตราการแช่เยือกแข็งอย่างเร็ว (Quick Freezing) ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายทั่วชิ้นอาหาร อาหารแช่เยือกแข็งมีคุณภาพดี เมื่อนำมาหลอมละลายน้ำแข็งจะสูญเสียของเหลวน้อย ส่วนอัตราการการแช่เยือกแข็งอย่างช้า (Slow Freezing) ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาหลอมละลายจะสูญเสียของเหลวมาก
F value (ค่าเอฟ)	เวลา มีหน่วยเป็นนาที ที่ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์หรือสปอร์ของจุลินทรีย์จากจำนวนเริ่มต้นที่ทราบค่า (N_0) ลงมาให้ถึงระดับที่ต้องการ (N) โดยมีค่าเป็นจำนวนเท่าของ ค่า D (D value) สามารถแสดงได้ดังสมการ $F = D (\log N_0 - \log N)$ ค่า F โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปแบบโดยอักษรตัวยก เป็นค่า Z (Z value) ของจุลินทรีย์เป้าหมาย และอักษรตัวห้อย T เป็นอุณหภูมิคงที่ใช้ในการทำลายเชื้อ ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องใช้ค่า F เพื่อเปรียบเทียบผลของการทำลายจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน สำหรับอาหารกระป๋องที่เป็นกรดต่ำใช้ค่า (เป็นหน่วย องศาฟาเรนไฮซ์) หรือ (เป็นหน่วย องศาเซลเซียส) มีชื่อเรียกเฉพาะว่า F_0 (อ่านว่าเอฟ-ศูนย์ หรือ เอฟ-ซี-โร่)
Gelatinization (การเจลาติไนซ์)	ปรากฏการณ์ของน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในภายในโมเลกุลของเม็ดแป้ง เนื่องจากความร้อนทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้ง สายพอลิเมอร์ของอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) ที่อัดแน่นอยู่ในเม็ดแป้งจะคลายตัวและรวมกับน้ำที่ล้อมรอบ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏให้เม็ดแป้งพองตัว และความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง
Hermectically Sealed Container (ภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท)	เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทที่หลังจากบรรจุอาหารและปิดผนึกสนิทแล้วไม่มีการรั่ว ซึม หรือปริแตก สามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของน้ำและอากาศได้ดี สามารถทนต่อความร้อนและความดันในหม้อฆ่าเชื้อระหว่างการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนระดับพาสเจอไรซ์ และระดับสเตอริไรซ์ได้ ไม่เปลี่ยนแปลงสภาพระหว่างการฆ่าเชื้อ และระหว่างการเก็บรักษาไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถเก็บรักษาอาหารได้เป็นเวลานาน โดยคุณภาพของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง
In-Container Sterilization (การสเตอริไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ การทำให้ปลอดเชื้อในบรรจุภัณฑ์)	อาจเรียกว่า Canning เป็นการสเตอริไรซ์อาหาร หลังจากที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกสนิทในระดับการทำให้ปลอดเชื้อเพื่อการค้า
Intermediate Moisture Food (อาหารกึ่งแห้ง)	อาหารที่มีน้ำปานกลาง มีปริมาณความชื้นประมาณ 15-55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีระหว่าง 0.60-0.85 อาหารประเภทนี้แตกต่างจากอาหารแห้งที่ปริมาณความชื้นน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และค่าวอเตอร์แอคทิวิตีอาหารแห้งน้อยกว่า 0.6 จากคุณสมบัติดังกล่าวอาหารกึ่งแห้งจึงมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าอาหารแห้ง เนื่องจากยังมีน้ำอยู่บางส่วน มีความชุ่มฉ่ำ ไม่แห้งและแข็งเกินไป

Latent Heat ความร้อนแฝง	ปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารเปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง เช่น ความร้อนแฝงที่ใช้เปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นน้ำแข็งในการแช่เยือกแข็งอาหาร
Microbial Spoilage (การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์)	เป็นการเสื่อมเสียของอาหารที่มีสาเหตุหลัก คือ จุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย รา หรือยีสต์ ซึ่งเกิดการปนเปื้อนและเพิ่มจำนวนขึ้นในอาหาร แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ทำให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนไปจนไม่เป็นที่ยอมรับ การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์อาจเป็นอันตรายต่อการบริโภค หากเป็นการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ
Moisture Content (ความชื้น)	เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื่องจาก -ความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งกระทบต่ออายุการวางจำหน่ายอาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย เนื่องจากมีสภาวะเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และรา -ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค และการสร้างสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ รวมถึงการสร้างสารพิษของรา เช่น Aflatoxin และ Patulin ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค -ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ -ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส เช่น ความกรอบ ความหนืด การเกาะติดกันเป็นก้อน -ความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด -ความชื้นมีผลต่อการกำหนดราคาสินค้า เช่น ข้าว เมล็ดธัญพืช กำหนดราคารับซื้อผันแปรตามปริมาณความชื้น
Ohmic Heating (การให้ความร้อนแบบโอห์มิก)	เป็นการให้ความร้อนโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าสลับที่ความถี่ 50-60 Hz กับอาหารที่นำไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าทำให้เซลล์ของอาหารสั่นสะเทือนและเสียดสีกัน เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอภายในชิ้นของอาหาร มีการประยุกต์การให้ความร้อนแบบโอห์มิกมาใช้ให้ความร้อนอาหาร เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การพาสเจอไรซ์ การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง อาจเรียกว่า Joule Heating
Oxidation Reaction (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน)	ปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากวงโคจรให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Reduction) จะเกิดคู่กัน สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) และเรียกสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนนี้ว่า ตัวออกซิไดส์ (Oxidizing Agent) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันมักจะเกี่ยวข้องกับออกซิเจน นอกจากนี้ออกซิเดชันยังหมายถึงการเสียไฮโดรเจนอะตอม

	ออกจากโมเลกุลอีกด้วย ปฏิกิริยาออกซิเดชันและอนุมูลอิสระนั้นมีความเกี่ยวข้องกัน เนื่องจากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดอนุมูลอิสระของสารต่างๆ ได้มากมายหลายชนิด และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอื่นๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป
Pathogen (จุลินทรีย์ก่อโรค)	จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคในมนุษย์และสัตว์ โดยจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นสาเหตุสำคัญของโรคที่มีอาหารเป็นสื่อ คือ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษ
Phase diagram (แผนภาพเฟส)	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารในสถานะของแข็ง ของเหลว และไอ โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน
Protein Denaturation (การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน)	การเปลี่ยนแปลงจากสภาพธรรมชาติของโปรตีน มีผลทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนไปแต่ไม่ทำลายพันธะเพปไทด์ ซึ่งเป็นพันธะระหว่างกรดอะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน แต่มีพันธะไฮโดรเจนซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างระดับต่างๆ ของโปรตีนถูกทำลาย โครงสร้างจึงเกิดการคลายตัวเปลี่ยนจากโครงสร้างเดิมตามธรรมชาติเป็นโครงสร้างใหม่
Recrystallization การเกิดผลึกใหม่	ในอาหารแช่เยือกแข็งเกิดจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในกระบวนการแช่เยือกแข็งซึ่งไม่คงตัว ระหว่างการเก็บรักษา สามารถขยายขนาด เปลี่ยนรูปร่างได้ส่วนมากมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ผลึกน้ำแข็งบางส่วนละลายไป เกิดผลึกใหม่อย่างช้าๆ ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้อาหารสูญเสียคุณภาพ
Refrigerant (สารทำความเย็น)	สารเคมีเหลวที่ใช้ในเครื่องทำความเย็น มีสมบัติ คือ มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้เร็วที่ความดันปกติ ทำให้ดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อมได้ดี ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) ฟรีออน (Freon หรือ Dichloro Difluoro) เป็นต้น
Relative Humidity (ความชื้นสัมพัทธ์)	เขียนย่อว่า RH คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่สภาวะความดันและอุณหภูมิเดียวกัน มักแสดงในรูปร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ หาได้จากความสัมพันธ์กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง จากความสัมพันธ์ในแผนภูมิไซโครมิทริก
Retort (รีทอร์ท หม้อฆ่าเชื้อ)	อุปกรณ์ที่ใช้แปรรูปอาหารด้วยความร้อน เพื่อฆ่าเชื้ออาหารซึ่งบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท เช่น กระป๋อง ขวดแก้ว ถุงทนร้อนสูง โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นอุปกรณ์สำคัญในการผลิตอาหารกระป๋อง
Retort Pouch (ถุงทนร้อนสูง)	บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดหนึ่งที่จัดเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว ซึ่งทำจากฟิล์มหลายชนิดมาเชื่อมประสานและขึ้นรูปเป็นถุง ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถปิดผนึกสนิท มีความแข็งแรง สามารถทนต่อความร้อน และความดันสูงได้ ใช้บรรจุอาหารที่ต้องการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในระดับปลอดเชื้อเชิงการค้า ได้เหมือนกับกระป๋อง โดยมักทำการฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ ชนิด Water Spray อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เช่นเดียวกับอาหารกระป๋อง
Screen (ตะแกรง กรองผ่านตะแกรง)	n. ตะแกรง อุปกรณ์ที่มีช่องเปิดจำนวนมาก ใช้แยกวัสดุขนาดต่างๆ ออกจากกัน วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าช่องเปิดก็จะผ่านลงไปได้ ส่วนวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องเปิดก็จะค้างอยู่บนตะแกรง (เหมือน mesh ,sieve, sifter) v. กรองผ่านตะแกรง เพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลวหรือแยกของแข็ง

	ที่มีขนาดอนุภาคต่างกันออกจากกัน
Starch (สตาร์ช)	พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่พบในพืช เช่น เมล็ดธัญพืช พืชหัว และถั่วเมล็ดแห้ง มีน้ำตาลกลูโคสเป็นมอโนเมอร์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ซึ่งเชื่อมต่อที่ตำแหน่งแอลฟา 1,4 จะได้เป็นโครงสร้างแบบแอไมโลส (Amylose) ส่วนการเชื่อมต่อที่ตำแหน่งแอลฟา 1,4 และแอลฟา 1,6 จะได้เป็นโครงสร้างแบบแอไมโลเพกทิน (Amylopectin)
Thawing (การหลอมละลายอาหารแช่เยือกแข็ง)	เป็นการหลอมละลายอาหารแช่เยือกแข็ง เพื่อการคืนสภาพให้พร้อมรับประทาน หรือพร้อมกับการนำไปใช้งาน
Tray Drier (ตู้อบแห้งแบบถาด)	เป็นตู้อบที่ใช้ลมร้อน โดยนำตัวอย่างอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ และพืชสมุนไพรใส่ในถาด แล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส เป็นต้น ภายในตู้จะมีพัดลมดูดอากาศและความชื้นออกไปเพื่อทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้น
Water Activity (วอเตอร์แอคทีวิตี แอคติวิตีของน้ำ)	เขียนย่อว่า a_w เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร โดยค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ เป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_o) ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน $a_w = P/P_o$ หรือวัดได้จากความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารในสภาวะสมดุล (Equilibrium Relative Humidity, ERH) หารด้วย 100 $a_w = ERH/100$ โดยค่าวอเตอร์แอคทีวิตีมีค่าตั้งแต่ 0-1
Water Vapor Transmission Rate (อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ)	เขียนย่อว่า WVTR หมายถึง อัตราเร็วในการซึมของไอน้ำผ่านวัสดุชนิดหนึ่ง มีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร/วัน การวัดการซึมผ่านของไอน้ำจะวัดในสถานะที่สมดุลที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เช่น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร ใช้เพื่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง เนื่องจากมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของอาหาร

ภาคผนวก จ
แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

ตารางที่ จ.1 แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

หน่วยงาน	การบริการ	ที่อยู่	เบอร์โทรศัพท์
1. สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อม โรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม http://www.diw.go.th/	- ข้อมูลทั่วไปด้าน CT - นโยบายและแผน CT - การตรวจประเมิน CT - จัดทำหลักปฏิบัติที่ดีด้านการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุด - ให้ทุนและส่งเสริมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด	75/6 ถ.พระราม 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	โทรศัพท์ : 022024154 โทรสาร : 022024170
2. กรมควบคุมมลพิษ http://www.pcd.go.th/	- ข้อมูลทั่วไปด้าน CT - ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกฎหมายสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานต่างๆ	92 ซ.พหลโยธิน 7 ถ.พหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400	โทรศัพท์ : 022982271 022982000 โทรสาร : 022982002
3. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน http://www.eppo.go.th/	- ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน	121/1-2 ถ.เพชรบุรี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400	โทรศัพท์ : 026121555 โทรสาร : 026121358
4. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ http://www.ifrpd.ku.ac.th/	- ข้อมูลทั่วไปด้าน CT - เทคโนโลยีการผลิตอาหาร - การฝึกอบรมสัมมนา	50 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900	โทรศัพท์ : 029428629 โทรสาร : 029406455
5. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง http://www.foodeng.kmitl.ac.th/	- ข้อมูลทั่วไปด้าน CT - การฝึกอบรมสัมมนา - การตรวจประเมิน CT - กรณีศึกษาสำหรับ CT	1 ซ.ฉลองกรุง 1 เขลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520	โทรศัพท์ : 023298000 โทรสาร : 023298103
6. สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ http://turac.tu.ac.th/	- ข้อมูลทั่วไปด้าน CT - จัดทำหลักปฏิบัติที่ดีด้านการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุด - การสนับสนุนทุนการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องจักร - จัดทำคู่มือแนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ	อาคารอเนกประสงค์ 1 ชั้น 7 เลขที่ 2 ถ.พระจันทร์ แขวงพระบรมมหาราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200	โทรศัพท์ : 026133120 โทรสาร : 022241376
7. มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ http://www.su.ac.th/	- ข้อมูลทั่วไปด้าน CT - การฝึกอบรมสัมมนา - การตรวจประเมิน CT - กรณีศึกษาสำหรับ CT	6 ถ.ราชมรรคาใน อ. เมือง จ.นครปฐม 73000	โทรศัพท์ : 034253843 โทรสาร : 034255099
8. คลังข้อมูลงานวิจัยไทย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) http://www.tnrr.in.th/	- ข้อมูลงานวิจัยเทคโนโลยีสะอาด - การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรม	196 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900	โทรศัพท์ : 025612445
9. บริษัท โฮลี่ฮาร์ท อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับระบบประหยัดพลังงานทั้งในด้าน Electricity Saver และ Fuel Saver (Gas Saver)	118/123 ซ.สุขุมวิท 23 คลองเตยเหนือ วัฒนา กรุงเทพฯ 10110	โทรศัพท์ : 0982505456

ตารางที่ จ.2 แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านกองทุน/โครงการที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุน

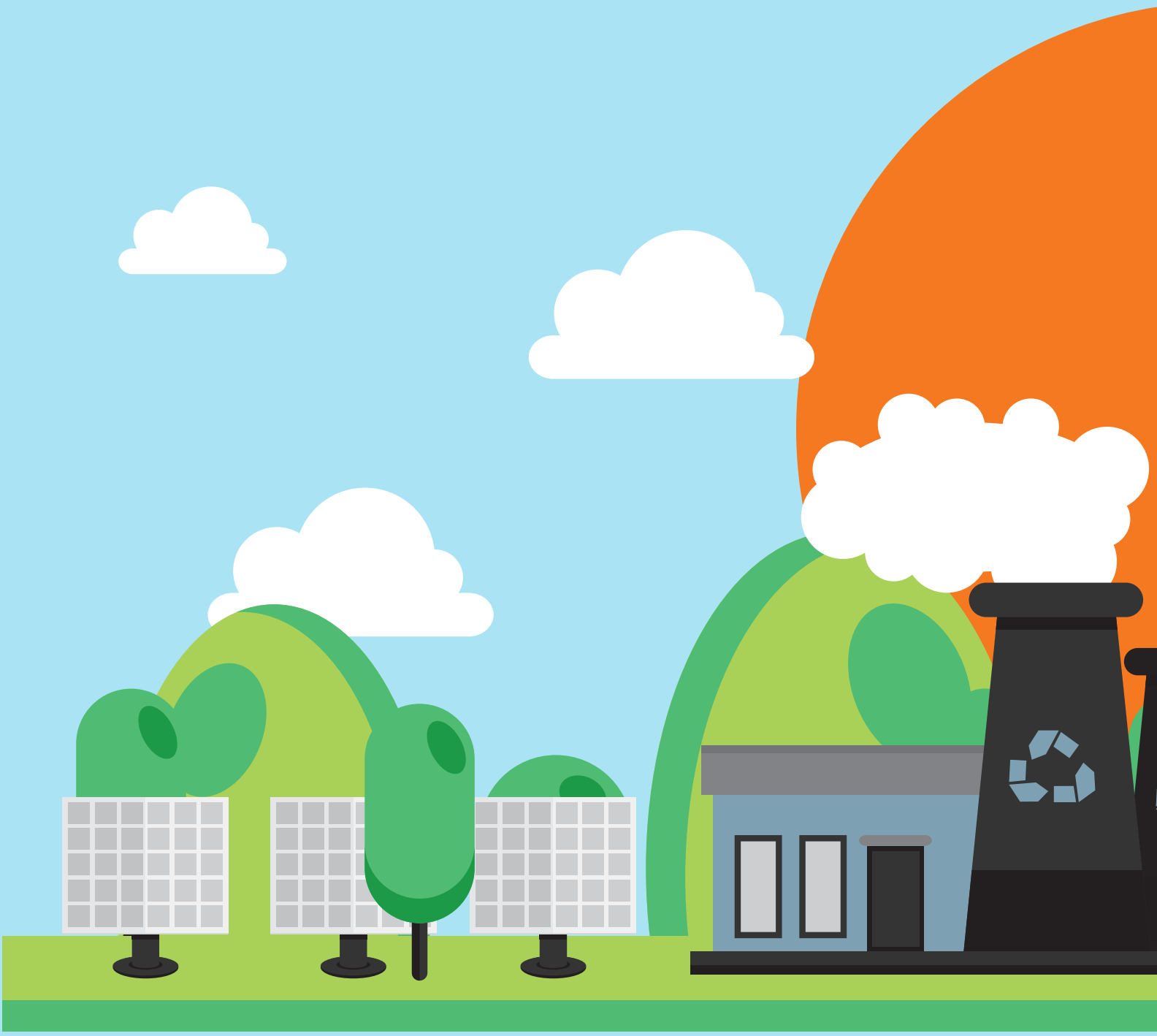
หน่วยงาน	กองทุนโครงการ	ที่อยู่/เบอร์โทรศัพท์
1. สำนักงานกองทุนสิ่งแวดล้อม สำนักนโยบายและแผน กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม http://envfund.onep.go.th/	กองทุนสิ่งแวดล้อม	60/1 ซ.พิบูลวัฒนา 7 ถ.พระราม 6 เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ : 022656588 โทรสาร : 022656599
2. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ http://www.nstda.or.th/	- การสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของ อุตสาหกรรมไทย	111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ : 025647000 ต่อ 1334-1336
3. กองทุนพัฒนานวัตกรรม สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ http://www.nia.or.th/	- โครงการนวัตกรรมดีไม่มีดอกเบี้ย - โครงการแปลงเทคโนโลยีเป็นทุน - โครงการทุนเครือข่ายวิสาหกิจนวัตกรรม	73/1 ถ.พระราม 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ : 026446000 โทรสาร : 026448444
4. ธนาคารออมสิน http://www.gsb.or.th	โครงการสินเชื่อเพื่อธุรกิจ SME	470 ถ.พหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ : 022998000
5. ธนาคารพัฒนาวิสาหกิจขนาด กลางและขนาดย่อมแห่งประเทศไทย http://www.smebank.co.th	สินเชื่อนวัตกรรม	อาคาร SME Bank 310 ถ.พหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ : 022653000 โทรสาร : 022654000
6. ธนาคารกรุงไทย จำกัด (มหาชน) http://www.ktb.co.th	- สินเชื่อกรุงไทยประหยัดพลังงาน - สินเชื่อวายุภักษ์อนุรักษ์พลังงาน - โครกการเงินกู้เพื่อสิ่งแวดล้อม	2 ถ.สุขุมวิท ชั้น 5 อาคารเพลินจิตเซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ โทรศัพท์ : 022088364-8 โทรสาร : 022568100
7. ธนาคารกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) http://www.bangkokbank.com	- สินเชื่อบัวหลวงกรีน - สินเชื่อบัวหลวงประหยัดพลังงาน SMEs	333ถ.สุขุมวิท กรุงเทพฯ โทรศัพท์ : 026455555 ศูนย์บริการ 1333
8. ธนาคารกสิกรไทย http://www.kasikornbank.com	สินเชื่อเงินกู้เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กสิกรไทย	1 ซ.ราษฎ์รบูรณะ 27/1 ถ.ราษฎ์รบูรณะ เขตราษฎ์รบูรณะ กรุงเทพฯ 10410 โทรศัพท์ : 028888888

ภาคผนวก ฉ
บรรณานุกรม

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร** 2556.
2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด อุตสาหกรรมการทำเครื่องดื่มจากผักหรือผลไม้** 2559.
3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง.** 2551.
4. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและป้องกันมลพิษ) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ (ลูกชิ้น-ไส้กรอก)**. 2549.
5. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นม.** 2550.
6. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. **พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 พร้อมกฎกระทรวง และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุงปี 2558).** 2558.
7. สถาบันอาหาร. **หลักการผลิตและฆ่าเชื้ออาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยความร้อน.** 2560.
8. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมแก้ว.** 2558.
9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **กรณีตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม.** 2558.
10. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **คู่มือการบริหารจัดการพลังงานและความร้อน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://webkc.dede.go.th/testmax/node/244 สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560.
11. วัชระ มั่งวิทิตกุล. **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.** 2548.
12. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและป้องกันมลพิษ) ฉบับปรับปรุง อุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง**. 2550.
13. **“Chiller : เครื่องทำความเย็น.”** (ม.ป.ป). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.pneumax.co.th/Article/Chiller.php สืบค้น 25 มิถุนายน 2559.
14. องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). **“ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม.”** (2559). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc สืบค้น 21 มิถุนายน 2559.

15. องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). **“ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) รวบรวมมาจากข้อมูลทุติยภูมิสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร.”** (2560). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/organization_emission/organization_emission.pnc สืบค้น 10 พฤษภาคม 2560.
16. ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. **“อาหารไทยเป็นที่ยอมรับระดับนานาชาติโอกาสธุรกิจที่เกี่ยวเนื่องในซัพพลายเชน”.** (2559). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thansettakij.com/content/106250 สืบค้น 12 กุมภาพันธ์ 2560.
17. ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์.**“ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร Food Network Solution”.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com สืบค้น 7 กรกฎาคม 2560.
18. บริษัท ไอคิวซี (ประเทศไทย) จำกัด. **“ขั้นตอนปฏิบัติงานเรื่องการตรวจรับวัตถุดิบ”.** (2560). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.iqc-thailand.com สืบค้น 7 กรกฎาคม 2560.
19. ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2547. **“เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 1)”.** วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็น ไทย11: 20-22.
20. ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2548. **“เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 2)”.** วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็น ไทย14: 11-13.
21. ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2548. **“เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 3)”.** วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็น ไทย15: 7-9.
22. บริษัท ไอ.ที.ซี. 2559.**แบบจำลองเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง** [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก: http://www.itc- group.co.th/Catalog/ITC-700-7-%E2%80%9Ci%E2%80%9D%20Fz%20Dry.pdf สืบค้น 10 กรกฎาคม 2560.
23. ผศ.ดร.สมสมร แก้วบริสุทธิ์. 2560. **“การแปรรูปแมลงเพื่อเพิ่มมูลค่า”.** [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก: https://home.kku.ac.th/orip2/orip_main/attach/knowledge_1407232647_bug%20transformation.pdf สืบค้น 7 กรกฎาคม 2560.
24. จุฑารัตน์ สังขะชาติ และคณะ. 2552. **“การศึกษาวิธีลดปัญหาหลังการละลายด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า”.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 10-14
25. S. M. Engineering Works. **Rice Boiler Tilting Type** [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก: http://www.smenggwork.com/commercial-kitchen-equipments.html สืบค้น 1 สิงหาคม 2560.



กลุ่มเทคโนโลยีการป้องกันมลพิษ
สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน
กรมโรงงานอุตสาหกรรม
โทรศัพท์ : 0 2202 4154
โทรสาร : 0 2202 4170
เว็บไซต์ : www.diw.go.th

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์และมีสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้

ISBN 978-616-265-170-0
9 786162 651700