รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประหยัดพลังงานโดยการเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้

Energy Saving by Increasing Boiler Efficiency and Condensate Recovery

นางสาวเปมิกา การสมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การประหยัดพลังงานโดยการเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวเปมิกา การสมศาสตร์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเคมี
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายอุดมศักดิ์ เชื้อทอง
สถานประกอบการ บริษัท ฟูจิ เอซ จำกัด

บทคัดย่อ

หม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปเป็นอุปกรณ์สำคัญของกระบวนการผลิต ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงค่อนข้างมาก การใช้งานหม้อไอน้ำให้เกิดประสิทธิภาพและการนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำกลับมาใช้ประโยชน์นั้นสามารถทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงได้ โครงการนี้จึงได้มีแนวทางในการประหยัดเชื้อเพลิงในโรงงานฟูจิเอซ โรงงานมีหม้อไอน้ำทั้งหมด 4 เครื่อง ได้แก่ หม้อไอน้ำหมายเลข 3 4 5 และ 6 แต่ทำการใช้งานเพียง 3 เครื่องและจะสลับการใช้งานไปเรื่อยๆ ซึ่งหม้อไอน้ำที่ใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่ หม้อไอน้ำหมายเลข 3 5 และ 6 โดยในการตรวจสอบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ต้องทำการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ ซึ่งทำให้ทราบว่าหม้อไอน้ำของโรงงานหมายเลข 3 5 และ 6 มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า 85% จึงได้ทำการปรับปรุงการใช้งานหม้อไอน้ำและปรับความดันในการเดินเครื่องใหม่ โดยการใช้งานหม้อไอน้ำหมายเลข 4 5 และ 6 ที่ความดัน 6.5 6.5 และ 6.7 บาร์ ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหมายเลข 4 สูงกว่าหมายเลข 3 16% และจากการปรับปรุงประสิทธิภาพส่งผลให้หม้อไอน้ำหมายเลข 5 และ 6 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 6% และ 1% ตามลำดับ ส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงไปได้ทั้งหมด 146 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นเงิน 2.19 ล้านบาทต่อปี ในส่วนของการนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำกลับมาใช้ซึ่งในที่นี้คือคอนเดนเสทที่ถูกปล่อยทิ้งออกจากระบบ Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 และ Dry C3 กลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำอีกครั้ง ซึ่งทำให้ลดการใช้น้ำ RO ที่ถูกเติมเพื่อเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำไปได้ 18 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ 0.26 ล้านบาทต่อปี ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำสูงขึ้นจากเดิม 60 เป็น 87 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานความร้อน 3.17 ล้านบีทียูต่อปี ประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ 1.27 ล้านบาทต่อปี อย่างไรก็ตาม ในการนำคอนเดนเสทกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำต้องได้รับการออกแบบกับดักไอน้ำขนาดท่อ ชนิดและความหนาฉนวนที่เหมาะสม โครงการนี้ใช้กับดักไอน้ำเป็นอุปกรณ์ในการส่งคอนเดนเสทโดยอาศัยแรงดันไอจากไอน้ำที่ถูกปล่อยออกจากระบบพร้อมคอนเดนเสท สำหรับการออกแบบขนาดท่อชนิดและความหนาของฉนวนนั้น ระบบ Printing 3, Printing 4 และ Dry C1/C2 ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว ส่วนระบบ Dry C3 ใช้ขนาด ¾ นิ้ว สำหรับฉนวนที่ใช้งานเป็นประเภท Micro cover ที่ความหนา 1 นิ้วในทุกระบบ ซึ่งโครงการนี้ลงทุนเป็นเงินจำนวน 100,000 บาทในการติดตั้งอุปกรณ์ ประหยัดค่าน้ำ RO และเชื้อเพลิงไปได้ 1.53 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 24 วัน

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ, คอนเดนเสท, กับดักไอน้ำ, ขนาดท่อ, ฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Energy Saving by Increasing Boiler Efficiency and Condensate Recovery
Student intern name: Ms. Pemika Karnsomsart
Faculty: Engineering **Department:** Chemical Engineering
Advisor name: Asst. Prof. Siripan Murathathunyaluk
Mentor name: Mr. Udomsak Chuatong
Company: Fuji Ace Co.,Ltd

ABSTRACT

Boiler in industrial plant is an important device of production process generally which uses a lot of fuel. Effective usage of boiler and recycling waste heat from the boiler can save fuel. This project has guidelines for fuel economy at Fuji Ace Factory. The factory has 4 boilers including boiler numbers 3, 4, 5 and 6 but only use 3 machines and will switch using continuously. Boilers which are used currently are boiler numbers 3, 5 and 6. To check boiler efficiency, it is necessary to collect data about the amount of feed water to boiler to compare with the amount of fuel consumption to produce steam which shows that efficiency of boiler number 3, 5 and 6 are less than 85%. Improving boiler operation and adjusting operated pressure by using boiler number 4, 5 and 6 at the pressure of 6.5, 6.5 and 6.7 bar respectively. The efficiency of boiler number 4 is higher than number 3 16%. From efficiency improvement, boiler number 5 and 6 have increased efficiency by 6% and 1% respectively. Resulting in fuel saving of 146 cubic meters per day and representing 2.19 million baht per year. For the recycle of waste heat from the boiler which is condensate that is drained out from the Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 and Dry C3 systems to return to be feed water to boiler. It reduces RO water usage that is added as feed water to boiler by 18 cubic meters per day which save the cost of 0.26 million baht per year. Resulting in water temperature in boiler increased from 60 to 87 degrees celsius, reducing heat energy consumption 3.17 million BTU per year which can save 1.27 million baht per year. However, to bring condensate back into feed water to boiler. It is necessary to design steam trap, pipe size, type and thickness of insulation appropriately. This project uses steam trap as a device to deliver condensate based on steam pressure from released steam from the system with condensate. For pipe size design and type and thickness of the insulation, Printing 3, Printing 4 and Dry C1/C2 systems use 1 inch pipe size, Dry C3 system uses ¾ inch size. For insulation that is used as Micro cover which has thickness for 1 inch in all systems. This project invests 100,000 baht. The return on investment is 24 days.

Keywords : Efficiency, Condensate, Steam trap, Pipe size, Insulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ฟูจิเอซ จำกัด ที่ตอบรับโครงการสหกิจศึกษา และให้ได้เรียนรู้การทำงานตลอดระยะของการทำงาน ซึ่งทำให้โครงการสหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ นายอุดมศักดิ์ เชื้อทอง ผู้นิเทศงาน ที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และประสานงานไปยังบริษัทผู้จัดหาเพื่อสอบถามข้อมูล และให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์นิเทศ ที่คอยให้การอบรมสั่งสอน ความรู้และคำแนะนำแก่นักศึกษา ตลอดจนให้การสนับสนุนโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นายพัชรพล วงษ์สุรินทร์ ซึ่งเป็นพี่เลี้ยง และพี่ๆ พนักงานจากบริษัท ฟูจิเอซ จำกัด ที่คอยช่วยเหลือ ดูแล และให้คำแนะนำในการทำโครงการ

ท้ายสุดนี้ทางนักศึกษาขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนการทำโครงการสหกิจศึกษานี้ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาที่ดี

เปมิกา การสมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หม้อไอน้ำ	3
2.1.1 ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ	4
2.1.2 การอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำ	5
2.2 กับดักไอน้ำ	7
2.2.1 ประเภทของกับดักไอน้ำ	7
2.2.2 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ	8
2.3 การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้งาน	13
2.3.1 การนำคอนเดนเสทกลับกับความดันย้อนกลับ	13
2.3.2 ขนาดท่อคอนเดนเสท	14
2.4 ฉนวนกันความร้อน	17
2.4.1 การหาความหนาเทียบเท่า (equivalent thickness)	17
2.4.2 ความต้านทานที่พื้นผิว	17
2.4.3 การสูญเสียพลังงานความร้อน	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและผลการวิเคราะห์โครงการ	22
3.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	22
3.2 โครงการติดตั้งการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่	23
3.2.1 การใช้น้ำ RO ก่อนและหลังติดตั้งโครงการ	24
3.2.2 พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำก่อนและหลังติดตั้งโครงการ	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการนำคอนเดนเสทกลับ 26
3.3.1 การหาความสูงที่ใช้ส่งคอนเดนเสทจากแรงดันไอน้ำ 26
3.3.2 การเลือกฉนวนและหาความหนาที่เหมาะสมในการใช้งาน 26

บทที่ 4 สรุปผลของโครงการ 29
4.1 สรุปผลของโครงการ 29
4.2 ข้อเสนอแนะโครงการ 30

เอกสารอ้างอิง 31
ภาคผนวก 33
ภาคผนวก ก การเลือกขนาดท่อคอนเดนเสทและกับดักไอน้ำ 34
ก.1 การเลือกขนาดท่อคอเดนเสท 35
ก.2 การเลือกกับดักไอน้ำ 36
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ 40
ข.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ 41
ข.2 พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งโครงการ 42
ข.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการนำคอนเดนเสทกลับ 44
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ 49
ภาคผนวก ง ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการคำนวณ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของกับดักไอน้ำ	7
2.2 การเปรียบเทียบกับดักไอน้ำแบบต่างๆ	8
2.3 ค่า R_s ของวัสดุ	18
2.4 ค่าความหนาเทียบเท่าของท่อความหนาต่างๆ	18
3.1 ปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ก่อนและหลังผ่านการปรับปรุง	23
3.2 ค่าใช้จ่ายของน้ำ RO ก่อนและหลังการติดตั้งโครงการ	25
3.3 ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ลดลงหลังการติดตั้งโครงการ	26
3.4 ความสูงที่เกิดจากแรงดันไอและความสูงท่อในแต่ละระบบ	26
3.5 อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อหุ้มด้วยฉนวนประเภทต่างๆ	27
3.6 อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อหุ้มและไม่หุ้มแจ็คเกตอลูมิเนียม	27
3.7 อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงของระบบ Dry lamination	27
ก.1 ขนาดท่อที่ถูกใช้ในแต่ละระบบ	36
ก.2 ความจุคอนเดนเสทสูงสุดที่รับได้ของกับดักไอน้ำ TW Brand steam trap class 16K no.4	37
ข.1 อัตราการโบลว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ	41
ค.1 ปริมาณน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำหมายเลข 3 5 และ 6 ก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพ	50
ค.2 ปริมาณน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำหมายเลข 4 5 และ 6 หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ	50
ค.3 ข้อมูลสำหรับการเลือกขนาดท่อและการคำนวณหาความสูงคอนเดนเสท	51
ค.4 ข้อมูลสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	51
ง.1 ค่า specific enthalpy ที่อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (h_l)	53
ง.2 ค่า safety factor ของกับดักไอน้ำ	53
ง.3 ค่า minor loss coefficient (K_f) ของระบบ Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 และ Dry C3	54
ง.4 ความหนาของฉนวนที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ (แนวทางการเลือกความหนาที่จะใช้)	54
ง.5 ค่า thermal conductivity ของฉนวน Micro cover	55
ง.6 ค่า thermal conductivity ของฉนวน Micro hi-temp	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของระบบไอน้ำ	3
2.2 กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	10
2.3 การทำงานของกับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	10
2.4 กับดักไอน้ำแมคคานิกส์แบบลูกลอยแบบมีคาน	12
2.5 แผนภูมิการเลือกขนาดท่อคอนเดนเสท	16
3.1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	22
3.2 แผนภูมิระบบหม้อไอน้ำของโรงงาน	23
3.3 พลังงานความร้อนที่ใช้ก่อนและหลังการติดตั้ง	25
ก.1 ความจุคอนเดนเสทสูงสุดที่รับได้ของกับดักไอน้ำ ARITA FT14-4.5	38
ข.1 แผนภูมิ Moody	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หม้อไอน้ำ (boiler) เป็นภาชนะอัดความดันที่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้แก่น้ำ และผลิตเป็นไอน้ำยวดยิ่ง (superheated steam) การใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำถือเป็นค่าใช้จ่ายหลักของโรงงาน ไอน้ำที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตภายในโรงงาน การประหยัดพลังงานของหม้อไอน้ำทำให้เกิดการลดการใช้เชื้อเพลิง สามารถทำได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ หรือการนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำมาใช้ประโยชน์

บริษัท ฟูจิเอซ จำกัด สาขาโรงงานบางปู เป็นบริษัทที่ผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทอ่อนตัว ในกระบวนการผลิต ประกอบด้วย ระบบการออกแบบ (Design) ระบบการทำแม่พิมพ์ (Cylinder making) ระบบการพิสูจน์สี (Koseiki proof) ระบบการพิมพ์สี (Printing) ระบบการเคลือบ (Dry lamination) ระบบการเคลือบไร้ความร้อน (Extrude lamination) ระบบการตัด (Slitting) และระบบทำซอง (Bag making) สำหรับระบบการพิมพ์สีและระบบการเคลือบเป็นหน่วยการผลิตหลักที่ใช้ไอน้ำเป็นแหล่งความร้อนในการเดินเครื่อง เมื่อไอน้ำผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและถูกควบแน่นกลายเป็นคอนเดนเสท (condensate) ในปัจจุบันโรงงานได้มีการนำคอนเดนเสทจากหน่วยการผลิต Printing 5 และ Printing 6 กลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ แต่ยังมีบางหน่วยการผลิตที่มีการปล่อยคอนเดนเสททิ้ง ได้แก่ หน่วยการผลิต Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 และ Dry C3 หากมีการนำคอนเดนเสทที่ปล่อยทิ้งกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำจะทำให้อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการลดการใช้เชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ การนำคอนเดนเสทกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำจะต้องได้รับการออกแบบอุปกรณ์อย่างเหมาะสม เพื่อคำนึงถึงความคุ้มค่าของต้นทุนและความเหมาะสมของการใช้งานของอุปกรณ์

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ RO คอนเดนเสท น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ และเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ เพื่อใช้ในการคำนวณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ พลังงานความร้อนที่ลดลงแสดงถึงการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงด้วย การลดการใช้เชื้อเพลิงเป็นการประหยัดพลังงานของหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถทำได้โดยการตรวจสอบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและการนำคอนเดนเสทที่ถูกปล่อยทิ้งกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ โดยคำนึงถึงการออกแบบความเหมาะสมของการติดตั้งอุปกรณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ โดยการตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการนำน้ำคอนเดนเสทที่เดรนทิ้งกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ โดยคำนึงถึงการออกแบบความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำน้ำกลับอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำและน้ำ RO สำหรับเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ส่งผลให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายของระบบหม้อไอน้ำในโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ตรวจสอบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ จำนวน 4 เครื่องที่กำลังการผลิตของหม้อไอน้ำต่างกัน
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนและหลังการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ที่มีต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
3. ออกแบบอุปกรณ์ ได้แก่ ขนาดท่อ ชนิดกับดักไอน้ำ ชนิดและความหนาของฉนวน สำหรับการนำน้ำคอนเดนเสทกลับอย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 วิธีการดำเนินโครงการ

1. รวบรวมข้อมูลการใช้ปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ น้ำคอนเดนเสท น้ำ RO สำหรับเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ และเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
2. ตรวจสอบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ
3. คำนวณปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำที่ใช้ก่อนและหลังการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้เป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ
4. ออกแบบอุปกรณ์สำหรับการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้เป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ได้แก่ ขนาดท่อ ชนิดกับดักไอน้ำ ชนิดและความหนาของฉนวน และคำนวณหาความคุ้มทุน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

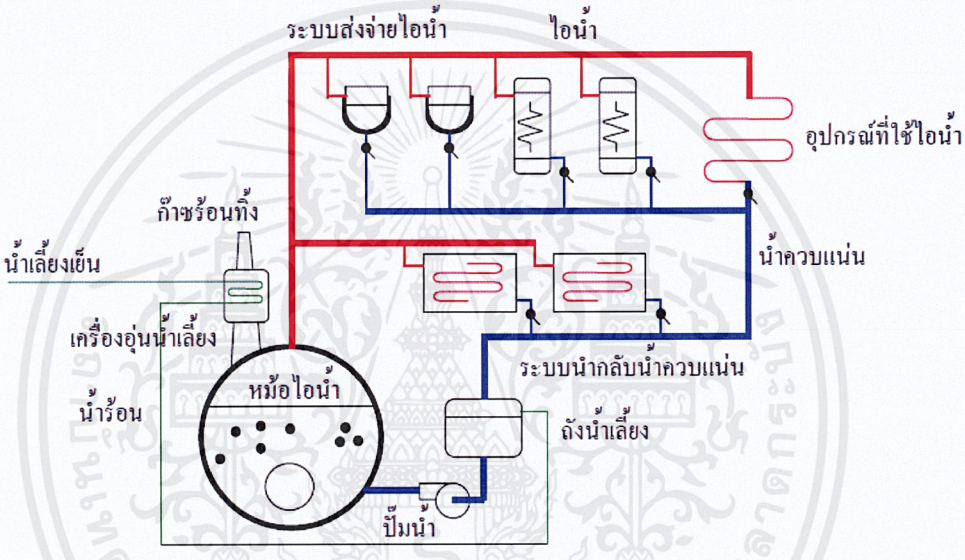
สามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทในส่วนของเชื้อเพลิง โดยการเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของน้ำ RO สำหรับเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หม้อไอน้ำ [1]

ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในหลายอุตสาหกรรม รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ จากรูป ระบบไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ หม้อไอน้ำ ระบบส่งจ่ายไอน้ำ ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น หรือคอนเดนเสท และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของระบบไอน้ำ [1]

จากรูปที่ 2.1 น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังผู้ใช้ในโรงงาน ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมายังหม้อไอน้ำอีกครั้งเพื่อรวมกับน้ำเติม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญหลักในระบบไอน้ำ ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำเพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

ประเภทของหม้อไอน้ำที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ ประเภทท่อน้ำ (water tube type) ซึ่งจะมีน้ำอยู่ในท่อและที่ใช้แก๊สในการเผาไหม้ให้เกิดความร้อนอยู่รอบๆ ท่อเหล่านั้น และอีกประเภทคือแบบเปลือกหรือท่อไฟ (shell or fire tube) ซึ่งตรงกันข้ามกับประเภทแรก

หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (water tube boiler) เป็นหม้อไอน้ำที่มีท่อจำนวนมากเชื่อมต่อระหว่างหม้อไอ (steam drum) กับ หม้อน้ำล่าง (mud drum) โดยใช้หลักการปล่อยน้ำวิ่งอยู่ในท่อ แล้วปล่อยเปลวไฟให้สัมผัสกับท่อ เพื่อถ่ายเทความร้อนไปสู่น้ำให้กลายเป็นไอ ต้องการไอน้ำที่มีความร้อนยวดยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับข้อดีของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ สามารถที่จะรับการเปลี่ยนแปลงภาระงานอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้เปรียบหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำจะมีน้ำบรรจุภายในเป็นส่วนน้อย ดังนั้น ความล่าช้าในการให้ความร้อนที่มีต่อระบบก็จะน้อยกว่าในหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ และอันตรายจากการระเบิดของหม้อน้ำแบบท่อน้ำก็มีน้อยลงด้วย แต่ข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ คือ บำรุงรักษายากกว่า เนื่องจากหม้อไอน้ำมีท่อจำนวนมากเรียงซ้อนกันเป็นแถวหลายแถว ถ้าท่อน้ำท่อใดท่อหนึ่งของหม้อน้ำเกิดชำรุดและเป็นท่อที่อยู่แถวด้านในการจะเข้าไปเปลี่ยนหรือซ่อมจะต้องตัดท่อน้ำแถวนอกที่บังออกเสียก่อนจึงจะเข้าไปซ่อมท่อที่อยู่แถวในได้ ซึ่งเป็นการซ่อมแซมที่ไม่คุ้มค่า การซ่อมโดยทั่วไปจึงใช้วิธีกลึงเพลาเหล็กตันให้มีลักษณะเหมือนจุกไม้ก๊อกอุดปากขวดเข้าไป ในหม้อไอและหม้อน้ำล่างอุดท่อที่รั่วไว้เพื่องดการใช้งาน เมื่อเป็นเช่นนี้ประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำก็จะลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณของเส้นท่อที่แตกและถูกอุดไว้

2.1.1 ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ

1) ควรเลือกกำลังของหม้อไอน้ำที่พอเหมาะกับภาระไอน้ำ และควรเดินใช้งานที่ภาระเต็มที่ตลอดเวลาหม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องใช้งานที่ภาระเต็มที่หรือใกล้เต็มที่ หม้อไอน้ำที่เดินภาระต่ำๆ ตลอดเวลา เรียกว่า หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป ควรเปลี่ยนไปใช้หม้อไอน้ำที่มีขนาดเล็กลง

2) หลีกเลี่ยงการสตาร์ทบ่อยๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดการ

- สูญเสียพลังงานไปในการที่ต้องทำให้หม้อไอน้ำร้อนขึ้นมาใหม่
- สูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการเดินพัดลมเป่าไล่อากาศและก๊าซต่างๆ ออกไปจากห้องเผาไหม้ก่อนการจุดสตาร์ททุกครั้ง
- สูญเสียความร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ ในขณะที่พัดลมเป่าไล่ลมร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ (purging)

3) ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงควรใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งแสดงให้ทราบได้โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง หรือปริมาณออกซิเจนต่ำ ควันดำคือคาร์บอนที่มีขนาดเล็กมากเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์อันเนื่องมาจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำมากเกินไป หรือการปรับแต่งการเผาไหม้ไม่ดี หรือหัวเผาทำงานผิดปกติ

4) อุณหภูมิของก๊าซร้อนทิ้งออกปล่องควรต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้แต่ต้องสูงกว่าจุดกลั่นตัวของน้ำและกรดเล็กน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการผุกร่อน หม้อไอน้ำทั่วๆ ไป ขณะเดินที่ไฟต่ำ (low fire) จะมีอุณหภูมิปล่องต่ำกว่าขณะเดินที่ไฟสูง (high fire) หรือเดินที่ไฟปานกลาง (medium fire)

5) ควรทำความสะอาดท่อในหม้อไอน้ำเป็นระยะๆ เพื่อลดการขัดข้องอันเนื่องมาจากตะกรันและเขม่า ซึ่งจะลดความสามารถผลิตไอน้ำให้ได้สูงสุดตามพิกัดของหม้อไอน้ำ การทำความสะอาดสามารถเพิ่มความสามารถของหม้อไอน้ำให้กลับคืนดังเดิมได้

6) ควรมีการตรวจวัดปริมาณการผลิตไอ เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไปในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อติดตามดูว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะลดลงหรือไม่ ควรติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณ และเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

2.1.1.1 การควบคุมการโบลว์ดาวน์

น้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำอาจมีสิ่งเจือปนอยู่ ซึ่งถ้าหากไม่จำกัดทิ้งจะทำให้เกิดตะกรันในท่อน้ำได้ การกำจัดสิ่งเจือปนนี้สามารถทำได้โดยการปล่อยน้ำร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ (blowdown) ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของสิ่งเจือปนลดลง ในหลายกรณีผู้ควบคุมหม้อไอน้ำอาจจะโบลว์ดาวน์มากกว่าความจำเป็น ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเปล่าของพลังงาน การใช้อัตราการโบลว์ดาวน์ที่ถูกต้องและการนำความร้อนจากโบลว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวน์กลับมาใช้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ อัตราการโบลว์ดาวน์ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับสภาพน้ำที่ใช้ ซึ่งหมายถึงระดับปริมาณของสิ่งแขวนลอยและสารละลายในน้ำ ควรมีค่าไม่เกิน 3,500 ppm

การควบคุมการโบลว์ดาวน์ ทำได้โดยการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ โดยนำน้ำจากหม้อไอน้ำมาวัดด้วยเครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า โดยต้องปล่อยน้ำระบายทิ้ง เพื่อไล่สิ่งสกปรกในท่อแล้วจึงนำมาเข้าเครื่องวัด หากค่าที่วัดได้ต่ำกว่ามาตรฐานก็ควรลดความถี่หรือปริมาณการระบายลง โดยการคำนวณอัตราการโบลว์ดาวน์สามารถหาได้ ดังนี้

$$q_{BD} = \frac{m_s \times f_c}{b_c - f_c} \qquad (2.1)$$

โดยที่ q_{BD} คือ อัตราการโบลว์ดาวน์ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

m_s คือ อัตราการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

f_c คือ ค่า total dissolved solids (TDS) ในน้ำป้อน (ppm)

b_c คือ ค่า total dissolved solids (TDS) สูงสุดที่ยอมรับได้ในน้ำในหม้อไอน้ำ (ppm)

2.1.2 การอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำ [2]

การอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำ ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำมาใช้ประโยชน์ และการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วยในการเดินเครื่องหม้อไอน้ำ เช่น ปั๊ม พัดลม เป็นต้น

การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ควรทำการตรวจวัดสมดุลความร้อนต่างๆ นำมาวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียต่างๆ พิจารณาว่าจะลดความสูญเสียได้อย่างไร และตัดสินใจจากภาพรวมแล้วจึงนำไปปฏิบัติ ในการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วย สิ่งที่สำคัญคือ การตรวจสอบสภาพการเดินเครื่องของหม้อไอน้ำ แล้วดำเนินการปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพการเดินเครื่องนั้น

2.1.2.1 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ [3]

การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การคำนวณโดยวิธีนี้ง่ายและไม่ยุ่งยาก สมการที่ 2.2 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

$$e_b = \frac{m_s (H_v - H_l)}{m_f \times F} \times 100 \qquad (2.2)$$

โดยที่ e_b คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

m_s คือ อัตราการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัมต่อวินาที)

m_f คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อวินาที)

H_v คือ เอนทาลปีของไอน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_l คือ เอนทาลปีของน้ำป้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

F คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

2.1.2.2 การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ [2]

พลังงานที่เหลือจากการใช้แล้ว (waste heat) ในกรณีนี้ ได้แก่ คอนเดนเสทหรือน้ำร้อนจากการใช้งานในกระบวนการผลิตส่วนต่างๆ

คอนเดนเสท คือ ไอน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ หรือเรียกว่า น้ำกลั่นร้อนที่เหมาะต่อการป้อนกลับให้หม้อไอน้ำ การนำคอนเดนเสทป้อนกลับให้หม้อไอน้ำไม่เพียงแต่จะเป็นไอน้ำ และระบบไอน้ำเมื่อคิดรวมกันแล้วจะทำให้สามารถประหยัดเงินได้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากยังมีพลังงานความร้อนในตัวสูง การเพิ่มขึ้นทุกๆ 5 องศาเซลเซียส ของน้ำปอนหมอไอน้ำ จะประหยัดเชื้อเพลิงไดประมาณ 1%

เหตุผลหนึ่งที่คนนิยมนำคอนแดนเสทกลับมาใช เนื่องจากคอนเดนเสทเป็นน้ำสะอาดที่ผ่านการบำบัดจนเหมาะสมสำหรับใช้กับหม้อไอน้ำแล้ว จึงควรจะนำกลับคืนมาใช้เสมอ ยกเว้นคอนเดนเสทที่เกิดการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต เพราะนอกจากอนุรักษ์พลังงานแล้ว ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับเป็นค่าน้ำและค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำอีกด้วย คอนเดนเสทสามารถใช้งานได้ใน คือ น้ำกลับคืนไปเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยตรง ในกรณีนี้เราสามารถใชอุปกรณแลกเปลี่ยนความรอนของคอนเดนเสทกลับมาใชไดอยูดีเพื่อที่จะนำความรอนจากคอนเดนเสทมาใชใหมากที่สุด ทอคอนเดนเสทควรหุมฉนวน เพื่อปองกันการสูญเสียของความรอน

ไอน้ำที่ควบแน่นหลังจากที่มีการถ่ายเทความร้อนแฝงไปสู่กระบวนการผลิต ปริมาณความร้อนของไอน้ำที่ควบแน่นนี้มีปริมาณ 20% ของปริมาณความร้อนเดิมที่เกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิง จึงเป็นความสิ้นเปลืองหากมีการทิ้งส่วนนี้ไป ไอน้ำที่ควบแน่นควรนำไปผ่านให้ความร้อนกับขบวนการผลิตอื่นๆ ที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในระบบไอน้ำ ไอน้ำที่ควบแน่นที่ไม่ปนเปื้อนกับสารเคมีในขบวนการผลิต เมื่อผ่านการทำความสะอาดเพียงเล็กน้อยและปรับความเป็นกรด-ด่างนำกลับเข้าระบบป้อน จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมน้ำป้อนและลดการปล่อยน้ำที่ระบายทิ้ง

น้ำที่เปลี่ยนสถานะจากไอน้ำมาเป็นน้ำหรือคอนเดนเสทจะมีพลังงานอยู่ ยิ่งอุณหภูมิและความดันสูงมากเท่าไรพลังงานในคอนเดนเสทก็จะยิ่งสูงมากเท่านั้น ทั้งนี้ หากสามารถนำน้ำคอนเดนเสทเหล่านั้นกลับไปใช้งานหรือนำกลับไปเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำจะเกิดประโยชน์หลัก 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ประหยัดเชื้อเพลิงที่จะใช้ในการผลิตไอน้ำ

2) ประหยัดน้ำ เนื่องจากปัจจุบันหลายพื้นที่ในประเทศได้มีการยกเลิกการใช้น้ำบาดาล ดังนั้น น้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงต้นทุนในการผลิต หลายโรงงานหันมาให้ความสนใจในการลดการใช้น้ำ หากมีการพิจารณานำน้ำคอนเดนเสทกลับมาผสมเพื่อป้อนหม้อไอน้ำ นอกจากจะช่วยลดการใช้น้ำแล้ว ยังช่วยลดกระบวนการปรับสภาพน้ำ ลดการใช้เคมีในการปรับสภาพน้ำ ลดการใช้ไฟฟ้าในปั๊มน้ำและอื่นๆ อีกด้วย

3) ผลิตไอน้ำได้เร็วขึ้น เช่น หากต้องการต้มน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้เป็นไอจะใช้เวลานานกว่าต้มน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กับดักไอน้ำ [4]

กับดักไอน้ำ (steam trap) คือ วาล์วอัตโนมัติที่ทำหน้าที่แยกน้ำที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำหรือเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำออกไปจากระบบ เพื่อป้องกันการอั้นตัวของน้ำ (water locked) อันอาจนำไปสู่การเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง หรือปรากฏการณ์ค้อนน้ำ (water hammer) ซึ่งมีผลให้ท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต่างๆ ในกระบวนการผลิตเกิดความเสียหาย กับดักไอน้ำยังมีหน้าที่ในการระบายก๊าซและอากาศออกจากระบบโดยไม่เกิดการสูญเสียไอน้ำ ก๊าซและอากาศเหล่านั้นสามารถแทนที่ไอน้ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการพาความร้อนลดลง และยังกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงพื้นผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตด้วย และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดก็คือ ท่อหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์เกิดอากาศอัด (air locked) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไม่ได้ ซึ่งแม้แต่ไอน้ำควบแน่นก็ไม่สามารถออกไปได้ เป็นอุปกรณ์สำหรับปล่อยคอนเดนเสทออกจากระบบไอน้ำ และป้องกันคอนเดนเสทท่วมผิวการถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้อาจทำหน้าที่ปล่อยอากาศและก๊าซที่ไม่ควบแน่นทิ้งไปการรั่วของกับดักไอน้ำ หรือการล้มเหลวจากการเปิดค้างให้ไอน้ำไหลผ่านได้เป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงานอย่างมากมาย เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อน ควรจะได้มีแผนตรวจการทำงานของกับดักไอน้ำอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ การเลือกใช้ประเภทและขนาดของกับดักไอน้ำที่ไม่ถูกต้อง จะทำให้กับดักไอน้ำทำงานโดยไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่และอาจนำไปสู่การล้มเหลวของกับดักไอน้ำก่อนเวลาอันควร

2.2.1 ประเภทของกับดักไอน้ำ

ตารางที่ 2.1 ประเภทของกับดักไอน้ำ [4]

การแยกประเภทตามหลักการทำงาน	หลักการออกแบบและทำงาน	การแยกประเภทตามโครงสร้าง
แบบเทอร์โมสแตติกส์ (thermostatic steam trap)	ทำงานโดยอาศัยความแตกต่าง ของอุณหภูมิของไอน้ำและน้ำร้อนในการสร้างกลไกให้เปิด-ปิด	1) แบบโลหะคู่ (bimetallic steam trap) 2) แบบสมดุลแรงดัน (balance pressure) 2.1 แบบเบลโล 2.2 แบบ Capsule 2.3 แบบ X- Element
แบบแมคคานิกส์ (mechanical steam trap)	ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของ ความหนาแน่นของไอน้ำและน้ำร้อนที่ไม่เท่ากันมา สร้างกลไกให้เปิด-ปิด	1) แบบถ้วยหงาย 2) แบบถ้วยคว่ำ (inverted bucket steam trap) 2 .1 แบบถ้วยคว่ำติดคาน 2.2 แบบถ้วยคว่ำอิสระ 3) แบบลูกลอย (float steam trap) 3.1 แบบลูกลอยมีคาน 3.2 แบบลูกลอยอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ประเภทของกับดักไอน้ำ (ต่อ)

การแยกประเภทตามหลักการทำงาน	หลักการออกแบบและทำงาน	การแยกประเภทตามโครงสร้าง
แบบเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic steam trap)	ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของ หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ คือ การเปลี่ยนสถานะ ความเร็วของการไหล แรงดัน พื้นที่และปริมาตรในการสร้างกลไกให้เปิด-ปิด	1. แบบจาน (disc steam trap) 1.1 ไม่มีรูระบายอากาศ (no air vent) 1.2 มีรูระบายอากาศ (air vent)

2.2.2 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ [3]

เนื่องจากกับดักไอน้ำมีหลายประเภท จึงจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ และลักษณะงานต่างๆ การเลือกใช้กับดักไอน้ำต้องพิจารณาความเหมาะสมกับเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

1) ความดันใช้งานสูงสุดและต่ำสุด
2) ความดันแตกต่างสูงสุดและต่ำสุดที่กับดักไอน้ำรับได้
3) อุณหภูมิใช้งานสูงสุด
4) อัตราการระบายออกของน้ำคอนเดนเสท
5) เงื่อนไขในการติดตั้ง
6) ชนิดของกับดักไอน้ำ

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบกับดักไอน้ำแบบต่างๆ [5]

ประเภท		ข้อดี	ข้อเสีย
แบบแมคคานิกส์ (mechanical steam trap)	แบบถ้วยหงาย	1) การทำงานแม่นยำ 2) ไอน้ำรั่วไหลเนื่องจากมี water seal	1) รูปร่างและขนาดใหญ่ 2) การระบายอากาศทิ้งไม่ดี
	แบบถ้วยคว่ำ	1) การระบายอากาศทิ้งดี	1) การติดตั้งไม่สะดวก 2) ประสิทธิภาพการระบายน้ำคอนเดนเสทไม่ดี
	แบบลูกลอย	1) เหมาะสมกับความดันต่ำ 2) โครงสร้างง่าย 3) ปลอยทิ้งอย่างต่อเนื่องและการทำงานเงียบ 4) เปลี่ยนลูกลอยและบาลิ้น ได้ง่าย	1) ไม่ทนต่อค้อนน้ำ 2) จำเป็นต้องติดตั้งในแนวระดับจึงมีขีดจำกัดด้านสถานที่ติดตั้ง
แบบเทอร์โมสแตติกส์ (thermostatic steam trap)	แบบเบลโล	1) สามารถปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิน้ำระบายได้ 2) การระบายอากาศทิ้งดี	1) ไม่ทนต่อค้อนน้ำ 2) ไม่เหมาะสมกับค่าความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบกับดักไอน้ำแบบต่างๆ (ต่อ)

ประเภท		ข้อดี	ข้อเสีย
	แบบไบเมทัล	1) ไม่มีปัญหาลิ้นปิดตาย 2) การระบายอากาศทิ้งดี	1) ผลต่างอุณหภูมิสำหรับเปิดปิดลิ้นสูง 2) คุณสมบัติของไบเมทัลเปลี่ยนแปลงขณะใช้งาน
แบบเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic steam trap)	แบบออริฟิส	1) ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา 2) เหมาะกับความดันสูงอุณหภูมิสูง	1) ไอน้ำรั่วไหลมาก 2) มีปัญหาการขัดข้องของชิ้นส่วนที่มีความเที่ยงสูง 3) มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (30%)
	แบบจาน	1) ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา 2) โครงสร้างง่าย 3) สามารถใช้กับไอดงได้ 4) ทนต่อค้อนน้ำได้	1) ต้องมีผลต่างความดันทำงานอย่างต่ำสุด 0.3 กิโลปาสคาล 2) มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (30%)

กับดักไอน้ำมีอยู่มากมาย ถ้าทราบถึงลักษณะสำคัญของกับดักไอน้ำแต่ละชนิด จะทำให้เลือกชนิดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน หลักทั่วไปสำหรับการเลือกชนิดของกับดักไอน้ำ คือ กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระจะเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ทำความร้อนทั่วไปมากที่สุด โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะต่อไปนี้ [3]

1) อุปกรณ์ที่อัตราคอนเดนเสทอาจจะแปรเปลี่ยนไปได้มาก

2) อุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

3) อุปกรณ์ที่จะนำคอนเดนเสทกลับมาใช้อีก

กับดักไอน้ำแบบจานเหมาะสำหรับการระบายคอนเดนเสทออกจากท่อไอน้ำเมนและถังชุบต่างๆ ในการใช้กับดักไอน้ำแบบจาน มีข้อแนะนำว่าควรจะจำกัดความดันทางเข้า (P_1) และความดันทางออก (P_2) หรือความดันย้อนกลับ ให้อยู่ในพิกัดต่อไปนี้

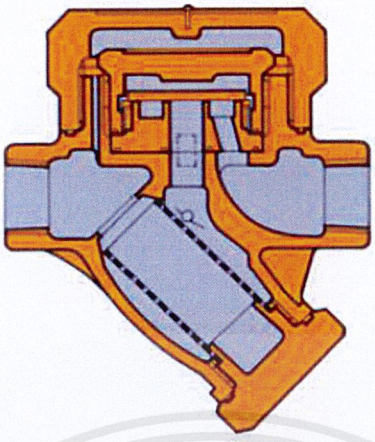
ก) ถ้า P_1 มากกว่า 0.6 บาร์ แล้ว P_2 จะต้องน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของ P_1

ข) ถ้า P_1 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.6 บาร์ แล้ว ความแตกต่างระหว่างความดันขาเข้าและขาออก ($P_1 - P_2$) จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 บาร์

อัตราการระบายของคอนเดนเสทขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างความดันขาเข้าและขาออกจากกับดักไอน้ำ หรือระหว่างความดันไอและความดันย้อนกลับ ถ้าความดันทั้งสองนี้เปลี่ยนแปลงหรือไม่คงที่ ต้องเลือกผลต่างต่ำสุดของความดันมาใช้ในการเลือกกับดักไอน้ำ

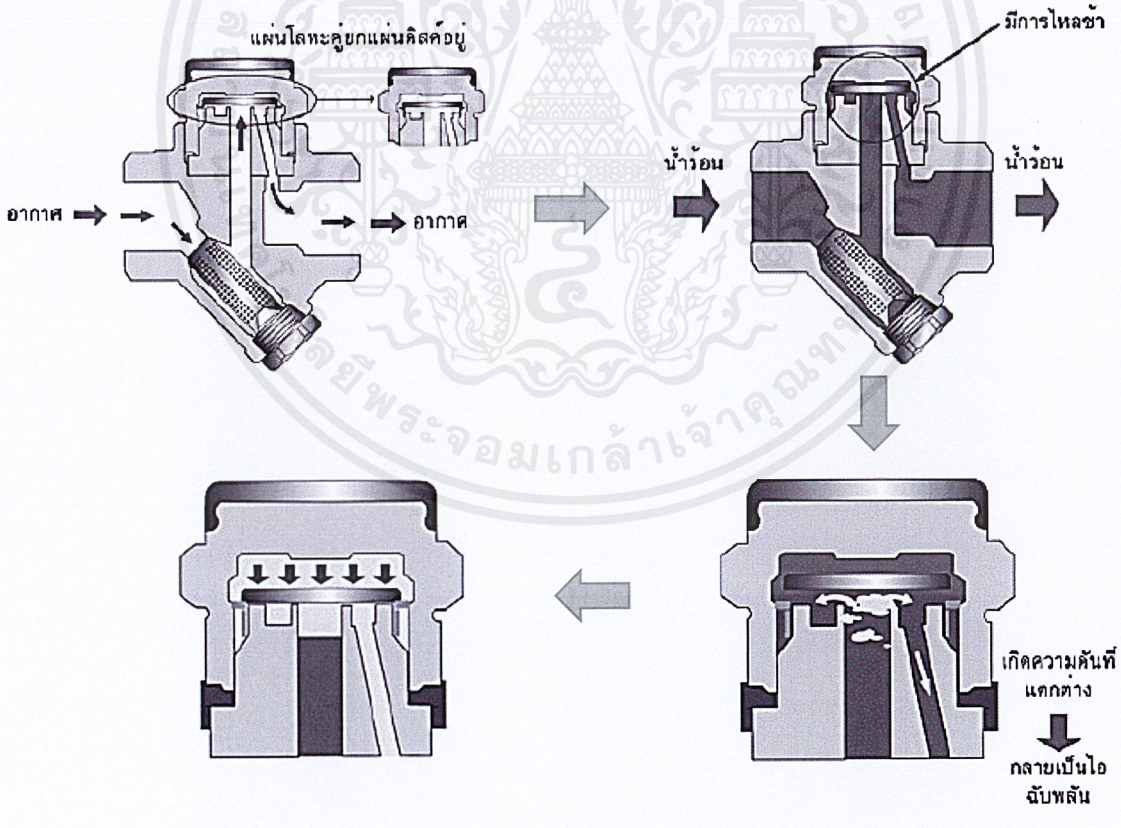
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ [4]



รูปที่ 2.2 กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ [4]

จากโครงสร้างภายใน รูปที่ 2.2 จะเห็น body ซึ่งสร้างเป็นบ่าวาล์ววงแหวน แผ่นจาน ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ส่วนเดียวทำหน้าที่เป็นฝาครอบส่วนที่เป็นบ่าวาล์ว ในตัว body จะเป็นบ่าวาล์ว 2 ชั้น เรียบและชุบแข็ง และแผ่นจานเหมือนกัน เมื่อนำทั้งคู่มาประกบกันจะทำให้ปิดสนิทมาก



รูปที่ 2.3 การทำงานของกับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 เมื่ออากาศไหลเข้ากับดักไอน้ำแบบแผ่นจานอากาศจะถูกระบายออกได้สะดวก เพราะมี แผ่นโลหะคู่ยกแผ่นจานอยู่จึงทำให้มีช่องว่างใต้แผ่นจานอากาศจึงไหลผ่านออกไปได้ เมื่อไอผสมคอนเดนเสทเข้ามา กลไกการปิดของจานเป็นผลมาจากการกลายเป็นไอของน้ำร้อนที่เปลี่ยนแรงดันโดยฉับพลัน ณ พื้นที่ใต้แผ่นจานไอน้ำจะระบายออกอย่างรวดเร็ว ทำให้แผ่นจานถูกดูดลงมาปิดวาล์ว ในขณะเดียวกัน ไอน้ำบางส่วนจะไหลเข้าไปยังช่องว่างเหนือแผ่นดิสก์ แรงดันไอจะกดแผ่นจานดันคอนเดนเสทที่เข้ามาจนกระทั่งปิดวงแหวนด้านในและด้านนอก ส่งคอนเดนเสทไป จานจะเปิดเนื่องจากไอน้ำบนจานถ่ายเทความร้อนออก ทำให้แรงกดลดลงเป็นผลทำให้แรงดันด้านล่างดันให้จานเปิด

การทำงานของกับดักไอน้ำแบบแผ่นจานอาศัยความแตกต่างของแรงดันในการทำงาน ถ้าแรงดันด้านขาออกสูงจะมีผลต่ออัตราการระบาย แต่ถ้าแรงดันด้านขาออกสูงเกิน 20% ของแรงดันด้านขาเข้า จะทำให้กับดักไอน้ำทำงานผิดปกติ (chattering) และถ้าแรงดันขาออกสูงเกิน 50% ของแรงดันขาเข้าจะทำให้กับดักไอน้ำเปิดตลอดเวลา (blowing)

อัตราการทำงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิไอน้ำและสภาพแวดล้อม กับดักส่วนใหญ่จะปิดอยู่ประมาณ 20 ถึง 40 วินาที หากกับดักเปิดบ่อยเกินไป อาจเกิดจากสถานที่ติดตั้งที่เย็น ชื้น หรือลมแรง อัตราการเปิดสามารถช้าลงได้โดยการติดตั้งฉนวนหุ้มเข้ากับด้านบนของกับดัก

คุณสมบัติของกับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ มีดังต่อไปนี้ [6]

1) สามารถทำงานได้ในทุกช่วงการทำงานโดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยน

2) มีขนาดกะทัดรัดเรียบง่ายน้ำหนักเบาและมีความจุคอนเดนเสทขนาดใหญ่

3) สามารถใช้กับไอน้ำแรงดันสูงและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และไม่ได้รับผลกระทบจากค้อนน้ำหรือการสั่นสะเทือน โครงสร้างเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งหมดให้ความต้านทานต่อคอนเดนเสทในระดับสูง

4) ไม่มีความเสียหายจากการแช่แข็ง ถ้าติดตั้งด้วยแผ่นดิสก์ในระนาบแนวตั้งและปล่อยสู่บรรยากาศอย่างอิสระ อย่างไรก็ตามการทำงานในตำแหน่งนี้อาจส่งผลให้เกิดการสึกหรอของขอบดิสก์

5) เนื่องจากแผ่นดิสก์เป็นเพียงส่วนที่เคลื่อนไหวเท่านั้น จึงสามารถทำการบำรุงรักษาได้ง่ายโดยไม่ต้องถอดกับดักออกจากสาย

6) เสียงที่เกิดขึ้นเมื่อกับดักเปิดและปิด ทำให้การทดสอบกับดักง่ายมาก

ถ้าแรงดันขาเข้าสร้างขึ้นอย่างช้าๆ กับดักไอน้ำสามารถปล่อยอากาศจำนวนมากในตอนเริ่มต้น อย่างไรก็ตามการสะสมความดันอย่างรวดเร็วจะทำให้อากาศความเร็วสูงปิดกับดักในลักษณะเดียวกับไอน้ำจะเกิดการล็อคอากาศ ในกรณีนี้ช่องระบายอากาศอุณหภูมิแยกสามารถติดตั้งขนานกับกับดัก กับดักไอน้ำที่ทันสมัยสามารถมีแผ่นป้องกันอากาศเข้าที่ติดตั้งอยู่ภายในซึ่งป้องกันความดันอากาศที่อยู่ด้านบนของแผ่นดิสก์ และช่วยให้อากาศออกมาได้

2.2.2.2 กับดักไอน้ำแบบแมคคานิกสแบบลูกลอย [4]

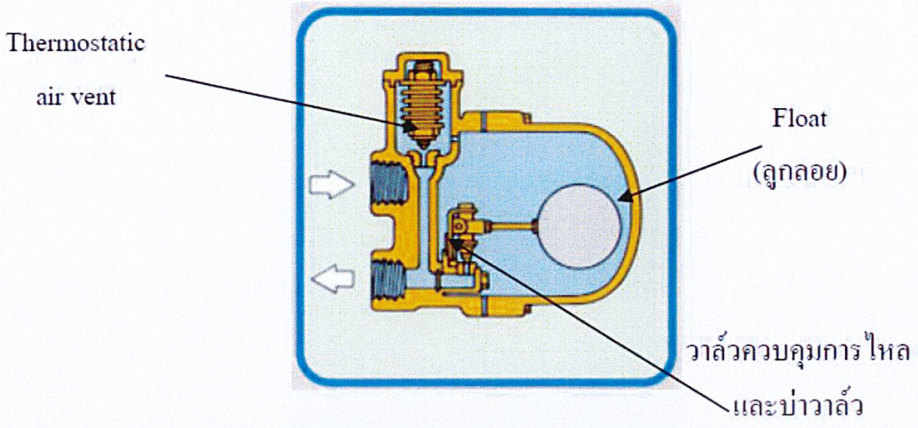
ในปัจจุบันกับดักไอน้ำแบบแมคคานิกส์แบบลูกลอยที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป สามารถแบ่งเป็นแบบ หลักๆได้ 2 แบบ คือ

1) แมคคานิกส์แบบลูกลอยแบบมีคาน (lever float)

2) แมคคานิกส์แบบลูกลอยแบบลอยอิสระไม่มีคาน (free float)

เพื่อให้สามารถรู้ความแตกต่างของทั้งสองชนิดดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบถึงหลักการทำงานของแต่ละชนิด ซึ่งจะอธิบายกับดักไอน้ำแมคคานิกส์แบบลูกลอยแบบมีคาน ต่อจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กับดักไอน้ำแมคคานิกส์แบบลูกลอยแบบมีคาน [4]

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าวาล์วควบคุมการไหลของกับดักไอน้ำจะเชื่อมต่อกับคานและลูกบอลกลวง ซึ่งทั้งหมดเป็นส่วนประกอบของตัวกับดักไอน้ำ โดยที่วาล์วควบคุมและบ่าวาล์วจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำร้อนนั้น เพราะต้องการออกแบบให้มีการสูญเสียจากการรั่วไหลของไอน้ำน้อยที่สุดและได้ติดตั้งรูระบายอากาศเหนือคานและลูกบอล

เมื่อติดตั้งกับดักไอน้ำเข้ากับระบบ อากาศจะถูกดันให้ไปในกับดักไอน้ำ ก้อนบอลจะอยู่ในตำแหน่งต่ำสุดทำให้วาล์วปิดดังนั้น อากาศเย็นจะถูกระบายออกผ่านที่รูระบายอากาศ

เมื่อไอน้ำเข้ามา ทำให้อุณหภูมิภายในกับดักไอน้ำเริ่มสูงขึ้นเป็นผลให้รูระบายอากาศขยายตัวปิดวาล์วด้านบน ส่วนลูกลอยจะตกลงมาที่ตำแหน่งต่ำสุดวาล์วควบคุมการไหลและบ่าวาล์วจะปิด ทำให้กับดักไอน้ำ ไม่ปล่อยให้ไอน้ำรั่วไหลออกไป จนกระทั่งคอนเดนเสทเข้าสู่กับดัก ทำให้ลูกบอลลอยขึ้นยกวาล์วขึ้นจากที่บ่าวาล์วและระบายคอนเดนเสทโดยใช้แรงดันไอจากไอที่เข้ามาดันออกไป

รูระบายอากาศอัตโนมัติใช้องค์ประกอบแคปซูลแรงดันสมดุล เช่นเดียวกับกับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ และตั้งอยู่ในพื้นที่ไอน้ำเหนือระดับคอนเดนเสท หลังจากปล่อยอากาศเริ่มต้น รูจะยังคงปิดจนกว่าอากาศหรือก๊าซอื่นๆ ที่ไม่ควบแน่นสะสมในระหว่างการทำงานตามปกติ และทำให้เกิดการเปิดโดยการลดอุณหภูมิของส่วนผสมอากาศหรือไอน้ำ

รูระบายอากาศถือเป็นข้อเสียถ้ามีค้อนน้ำอยู่ในระบบ ลูกบอลอาจได้รับความเสียหายจากค้อนน้ำ อย่างไรก็ตาม ในกับดักลูกลอยที่ทันสมัย รูระบายอากาศจะมีขนาดกะทัดรัดและมีความทนทานมากด้วยแคปซูลสแตนเลสทั้งหมดและเทคนิคการเชื่อมที่ทันสมัยซึ่งใช้ในลูกบอล ทำให้กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์มีความทนทานต่อค้อนน้ำ กับดักไอน้ำแบบลอยตัวจะปล่อยคอนเดนเสททันที โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไอน้ำ

คุณสมบัติของกับดักไอน้ำแบบลูกลอย มีดังนี้ [6]

1) กับดักไอน้ำปล่อยคอนเดนเสทอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิไอน้ำ ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสำหรับพื้นที่ผิวที่มีความร้อน

2) สามารถจัดการกับปริมาณคอนเดนเสทที่มากหรือน้อยได้ดีเท่าๆ กัน และไม่มีผลกระทบเนื่องจากการขึ้นลงของแรงดันหรืออัตราการไหล

3) การติดตั้งช่องระบายอากาศอัตโนมัติทำให้ตัวดักสามารถระบายอากาศออกได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) มีความจุขนาดใหญ่ตามขนาดของกับดักไอน้ำ

5) กับดักไอน้ำที่มีลิ้นปลดล็อคไอน้ำเป็นกับดักไอน้ำชนิดเดียวที่เหมาะสำหรับการใช้งานที่สามารถล็อคไอน้ำได้

2.3 การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้งาน [7]

การนำคอนเดนเสทกลับโดยแรงโน้มถ่วงเป็นวิธีที่ดีที่สุด คอนเดนเสทจะไหลกลับไปถังป้อนน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการจัดระบบท่อนำน้ำร้อนกลับ (condensate return) การออกแบบระบบท่อนี้จะไม่ควรมีการยกท่อสูงเกินไป เพื่อป้องกันการเกิดความดันย้อนกลับ (back pressure) ที่สูง ในการนำคอนเดนเสทกลับไปยังที่สูงกว่านั้น หากพื้นที่ไม่สูงจนเกินไปจนถึงขั้นต้องใช้ปั๊มไฟฟ้า การใช้กับดักไอน้ำสามารถใช้งานได้ โดยอาศัยการใช้แรงดันไอของคอนเดนเสท แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาแรงดันขาเข้าและแรงดันย้อนกลับ รวมถึงปริมาณคอนเดนเสทว่าขนาดของกับดักไอน้ำนั้นเพียงพอหรือไม่

2.3.1 การนำคอนเดนเสทกลับกับความดันย้อนกลับ

แรงดันย้อนกลับ คือ แรงดันที่อยู่ด้านหลังของกับดักไอน้ำ กล่าวอีกนัยหนึ่ง แรงดันย้อนกลับ คือ แรงดันออกหรือแรงดันทุติยภูมิของกับดัก ความแตกต่างระหว่างความดันขาเข้ากับดักความดันย้อนกลับเรียกว่า ความดันแตกต่าง (differential pressure)

หากคอนเดนเสทถูกปล่อยสู่บรรยากาศหลังจากกับดักไอน้ำ ความดันย้อนกลับจะถูกพิจารณาว่าเป็น 0 ปาสคาล (เกจ) แม้ว่าคอนเดนเสทจะถูกปล่อยที่ความดันบรรยากาศ แต่ข้อจำกัดในการวางท่อ เช่น ข้องอ ข้อต่อ และวาล์วอาจเพิ่มแรงดันย้อนกลับได้ การปั๊มน้ำแนวตั้งในท่อคอนเดนเสทจะเพิ่มแรงดันย้อนกลับในรูปแบบของความดันสถิตย์ (static pressure)

1) ความดันย้อนกลับและความจุการปล่อยออกของกับดักไอน้ำ

เมื่อความดันย้อนกลับเพิ่มขึ้น ความดันแตกต่างของกับดักไอน้ำจะลดลง ซึ่งจะลดความสามารถในการระบายออก ในทางตรงกันข้าม เมื่อความดันแตก ต่างเพิ่มขึ้นความสามารถในการระบายของกับดักไอน้ำก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

2) แรงดันย้อนกลับสูงสุดที่รับได้

แรงดันย้อนกลับไม่เพียงแต่ส่งผลต่อความจุของการปล่อยคอนเดนเสทของกับดักไอน้ำเท่านั้น จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณาแรงดันย้อนกลับสูงสุดที่รับได้ของกับดักไอน้ำ

แรงดันย้อนกลับสูงสุดที่รับได้ของกับดักไอน้ำ คือ แรงดันย้อนกลับสูงสุดที่กับดักไอน้ำสามารถควบคุมได้และยังคงทำงานตามปกติ มักจะแสดงเป็นร้อยละของความดันขาเข้ากับดัก

สำหรับกับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ ความดันย้อนกลับมีบทบาทสำคัญในการทำงานของกับดักไอน้ำ เมื่อความดันย้อนกลับเพิ่มขึ้นเวลาปิดวาล์วของจานจะสั้นลง และอัตราการทำงานของกับดักไอน้ำจะเร็วขึ้น ในบางจุดแรงดันย้อนกลับอาจสูงจนกับดักไม่ทำงาน และในที่สุดเปิดอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ขนาดท่อคอนเดนเสท [8]

การออกแบบระบบนั้น เรื่องของขนาดท่อเป็นอีกหนึ่งเรื่องสำคัญที่ต้องแน่ใจว่าขนาดของท่อที่ใช้นำคอนเดนเสทกลับต้องถูกต้องเท่ากับขนาดของท่อที่ใช้สำหรับนำไอน้ำไปใช้งาน โดยพื้นฐานแล้วก็คือเหตุผลเดียวกัน ถ้าท่อมีขนาดเล็กเกินไปก็ยิ่งต้องการพลังงานมากขึ้น เพื่อให้สามารถส่งไอน้ำที่มีความดันโต้กลับไปภายในระบบให้ได้

ถ้าท่อมีขนาดใหญ่เกินไป ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งก็จะสูงกว่าและการสูญเสียความร้อนที่พื้นผิวก็จะมากขึ้น ด้วยการออกแบบขนาดของท่อคอนเดนเสทให้ถูกต้องเป็นเรื่องที่ทำได้ยากกว่าการออกแบบขนาดของท่อที่ถูกต้องสำหรับไอน้ำเป็นอย่างมาก ภายใต้สภาวะการใช้งานตามปกติ บางส่วนของไอน้ำควบแน่นจะแฟลชไปที่ไอน้ำในท่อปกติ ส่วนดังกล่าวก็จะมีน้ำหนักน้อยแต่จะมีปริมาตรใหญ่ ดังนั้น จึงเป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องมีความเข้าใจรูปแบบของการไหล 2 เฟส (two phase flow) นี้ด้วย เมื่อมีการกำหนดขนาดของท่อให้ถูกต้อง

ทั้งนี้ ท่อคอนเดนเสททั้งหมดควรออกแบบให้มีขนาดสำหรับการไหลของน้ำภายใต้สภาวะของการเริ่มเดินเครื่อง เพราะภายใต้สถานการณ์การเริ่มเดินเครื่องนั้น จะเกิดไอน้ำควบแน่นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้ไอน้ำอย่างน้อยเป็น 2 เท่าของการเดินเครื่องตามปกติ และท่อที่ออกแบบให้มีขนาดตามลักษณะดังที่กล่าวมาจะสามารถพาไอน้ำแฟลชและน้ำที่ควบแน่นที่ผสมกันได้อย่างเพียงพอภายใต้สภาวะการเดินเครื่องดังกล่าว

2.3.2.1 การเลือกขนาดท่อคอนเดนเสท

การเลือกขนาดของท่อคอนเดนเสทขึ้นอยู่กับ

1) ความดัน - ความแตกต่างของความดันระหว่างปลายด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งของท่อ ความแตกต่างของความดันนี้อาจช่วยเสริมการไหลหรือทำให้คอนเดนเสทบางส่วนกลายเป็นไอแฟลช

2) ปริมาณ - ปริมาณคอนเดนเสทที่จัดการได้

3) เงื่อนไข – คอนเดนเสทเป็นของเหลวหรือไอแฟลช

2.3.2.2 ข้อแนะนำเกี่ยวกับท่อขาออกของกับดักไอน้ำ

1) เส้นทางการปล่อยกับดักขนาดที่ถูกต้องซึ่งลาดเอียงไปในทิศทางของการไหลและเปิดปลายหรือระบายที่ตัวรับสัญญาณจะไม่ถูกน้ำท่วมและอนุญาตให้ไอน้ำแฟลชผ่านคอนเดนเสทอย่างไม่จำกัด ให้ใช้ความชันต่ำสุด 1 ใน 70 (ลดลง 150 มิลลิเมตร ทุก 10 เมตร) การตรวจสอบด้วยสายตามักจะถูกใช้เพื่อยืนยันว่าเป็นเส้นลาด ถ้าไม่มีความลาดชัน แสดงว่าความชันไม่ลาดพอ

2) การส่งคอนเดนเสทโดยไม่ใช้ปั๊มสูบน้ำ ควรมีระยะให้สั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และติดตั้งวาล์วกันกลับเพื่อหยุดการควบแน่นที่ตกลงไปในกับดัก การส่งคอนเดนเสทไปยังที่สูง ควรปล่อยลงไปบนท่อนำกลับ สิ่งนี้จะหยุดการควบแน่นของคอนเดนเสทที่ไหลย้อนกลับมาจากท่อนำกลับหลักหลังจากที่ออกจากกับดัก เพื่อช่วยให้การเดินทางของไอน้ำแฟลชในที่สูงเป็นไปอย่างง่าย

เพื่อความเหมาะสม จะต้องพิจารณาการใช้งานท่อยกขึ้นที่ใหญ่กว่าเล็กน้อย ซึ่งจะสร้างความเร็วไอแฟลชที่ต่ำ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดค้อนน้ำและเสียงที่เกิดจากไอน้ำที่พยายามผ่านคอนเดนเสทเหลวในท่อยก การส่งคอนเดนเสทในท่อยกควรได้รับการยืนยันแล้วว่าแรงดันไอน้ำในระบบสูงกว่าแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเดนเสทที่จุดระบายกับดัก หากไม่เป็นเช่นนั้นจะเกิดการท่วมของน้ำ เว้นแต่ว่ามีการใช้กับดักปั๊มหรือชุดดักปั๊มเพื่อให้มีการระบายน้ำอย่างเหมาะสมกับแรงดันย้อนกลับ

3) สายการส่งคืนคอนเดทเสทโดยทั่วไปควรลาดลงและไม่มีการท่วมของน้ำ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดไอน้ำแบบแฟลช ในเส้นทางกลับยาว คอนเดนเสทแบบร้อนจากกับดักควรระบายลงในเครื่องรับแบบมีช่องระบายอากาศ (หรือภาชนะแฟลชที่เหมาะสม) จากจุดที่สามารถสูบฉีดไปยังปลายทางได้

2.3.2.3 แผนภูมิการเลือกขนาดท่อคอนเดนเสท

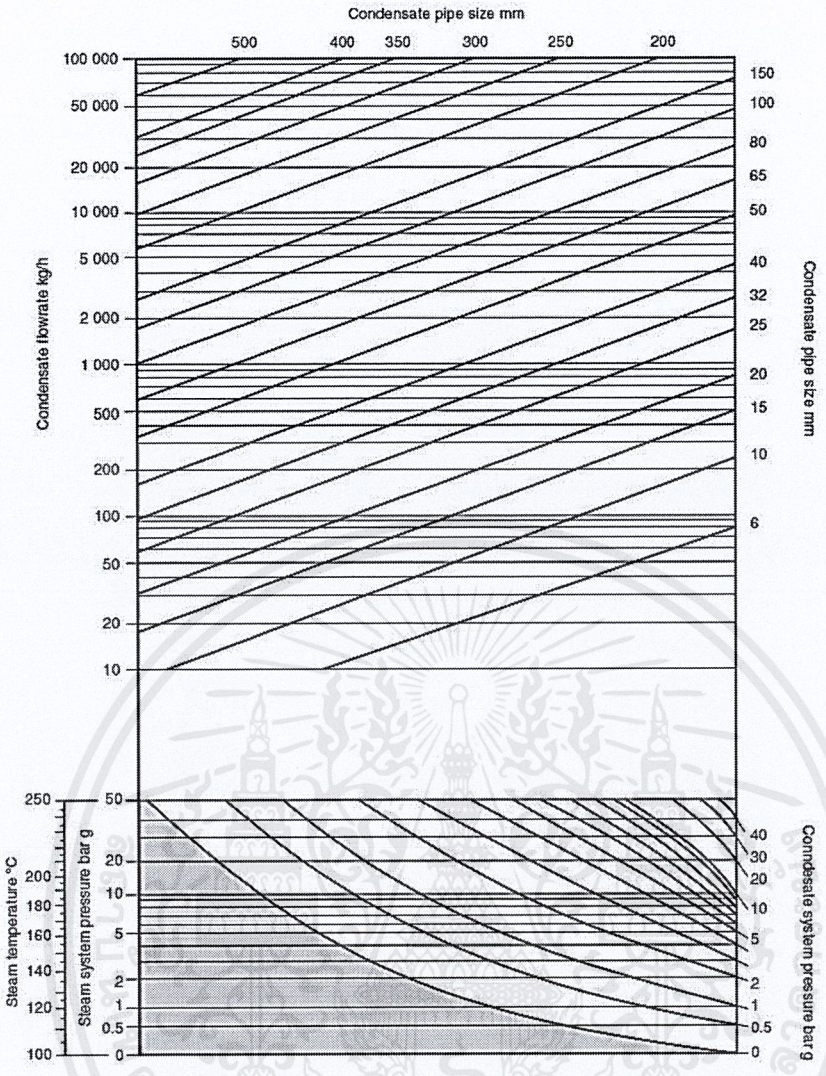
แผนภูมิการเลือกขนาดท่อคอนเดนเสทแสดงดังรูปที่ 2.5 สามารถใช้ในการกำหนดขนาดของท่อคอนเดนเสท ประกอบด้วย

- ท่อระบายน้ำที่ไม่มีไอน้ำแฟลช
- สายประกอบด้วยการไหลแบบสองเฟส เช่น การระบายขาออกของกับดักไอน้ำ ซึ่งถูกเลือกตามความดันขาเข้า-ออกของกับดัก

แผนภูมิ (รูปที่ 2.5) :

- ทำงานได้กับความเร็วของไอน้ำแฟลชที่ยอมรับได้ที่ 15 - 20 เมตรต่อวินาที ตามขนาดท่อและสัดส่วนของไอน้ำที่เกิดขึ้น
- สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิคอนเดนเสทที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ เช่นเดียวกับกรณีที่ใช้กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมสแตติกส์
- ใช้ในการกำหนดขนาดของท่อของกับการระบายขาออกของกับดักไอในสภาวะโหลดเต็ม ไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับความจุเริ่มต้นหรือการกำจัดก๊าซที่ไม่ควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนภูมิการเลือกขนาดท่อคอนเดนเสท [8]

การส่งคอนเดนเสทโดยทั่วไปจะใช้ท่อนำกลับด้วยแรงโน้มถ่วง ในระบบที่แยกกันนั้นจำเป็นต้องเชื่อมต่อกับดักไอน้ำหลายตัวในท่อการส่งคืนทั่วไป หากตรงตามข้อควรพิจารณาต่อไปนี้ ปัญหาจะไม่เกิดขึ้น

- ท่อนำกลับทั่วไปไม่ได้ถูกน้ำท่วมและลาดในทิศทางของการไหลไปยังปลายเปิดหรือเครื่องระบายอากาศที่มีช่องระบายอากาศหรือถังแฟลช
- ท่อโดยทั่วไปมีขนาดตามรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ฉนวนกันความร้อน [3]

ฉนวนกันความร้อน คือ วัตถุหรือวัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย ฉนวนกันความร้อนที่ดีจะทำหน้าที่ต้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้สะดวก ซึ่งจะถูกใช้เพื่อประโยชน์ต่อไปนี้

1) ป้องกันเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ
2) ควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการ
3) ลดการสูญเสียพลังงานความร้อน
4) ป้องกันการเกิดไอน้ำกลั่นตัวบนผิววัสดุ

2.4.1 การหาความหนาเทียบเท่า (equivalent thickness)

ในกรณีที่มีความร้อนถ่ายเทของท่อกลม จากเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กไปยังเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ จะใช้ค่าการหาความหนาเทียบเท่า (Eq_{tk}) แทนความหนาของฉนวน ซึ่งหาค่าได้ ดังนี้

$$Eq_{tk} = kR_s \times \frac{t_h - t_s}{t_s - t_a} \qquad (2.3)$$

โดยที่ t_a คือ อุณหภูมิอากาศ (องศาฟาเรนไฮต์)

t_h คือ อุณหภูมิด้านร้อน (องศาฟาเรนไฮต์)

t_s คือ อุณหภูมิพื้นผิวของฉนวน (องศาฟาเรนไฮต์)

k คือ ค่าการนำความร้อนของฉนวน (บีทียูนิ้วต่อชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์)

R_s คือ ความต้านทานที่พื้นผิว (ชั่วโมงตารางฟุตองศาฟาเรนไฮต์ต่อบีทียู)

2.4.2 ความต้านทานที่พื้นผิว

ค่าความต้านทานที่พื้นผิว (R_s) นั้นขึ้นอยู่กับค่าหลายอย่าง เช่น ความเร็วลมของพื้นผิว สภาพแวดล้อม คุณสมบัติของพื้นผิวแต่ละชนิด การหาค่า R_s ของวัสดุขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิและความเร็วลมแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่า R_s ของวัสดุ [3]

(t_a-t_s) หรือ (t_s-t_a) (°F)	เส้นใยเรียบ/โลหะไม่มัน	อะลูมิเนียม	ท่อไร้สนิม ท่อสแตนเลส
	อากาศนิ่ง		
10	0.53	0.90	0.81
25	0.52	0.88	0.79
50	0.50	0.86	0.76
75	0.48	0.84	0.75
100	0.46	0.80	0.72
10	0.53	0.90	0.81
	ความเร็วลม (ไมล์/ชม.)		
5	0.35	0.41	0.40
10	0.30	0.35	0.34
20	0.24	0.28	0.27

สำหรับการหาความหนาเทียบเท่าของท่อกลมที่ฉนวนหนาขนาดต่างๆ หุ้มอยู่นั้น อาจใช้ตารางที่ 2.4 ในการหาความหนาของฉนวน

ตารางที่ 2.4 ค่าความหนาเทียบเท่าของท่อความหนาต่างๆ [3]

ขนาดท่อปกติ (นิ้ว)	**ความหนาจริง (นิ้ว)**				
	1	1.5	2	2.5	3
0.5	1.73	2.918	4.238	5.662	7.172
0.75	1.626	2.734	3.996	5.297	6.712
1	1.532	2.563	3.711	4.953	6.275
1.25	1.447	2.405	3.472	4.626	5.856
1.5	1.403	2.312	3.342	4.449	5.629
2	1.337	2.195	3.148	4.177	5.276
2.5	1.287	2.099	2.997	3.968	5.001
3	1.242	2.012	2.858	3.771	4.742
3.5	1.217	1.959	2.772	3.649	4.582
4	1.194	1.916	2.704	3.549	4.448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การสูญเสียพลังงานความร้อน

ที่สภาวะคงที่ ความร้อนที่ส่งผ่านฉนวนจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่ส่งผ่านส่วนอื่นๆ ของระบบด้วย ความร้อนที่ผ่านออกมาจากฉนวนจะมีค่าเท่ากับความร้อนจากพื้นผิววัตถุออกไปยังอากาศ

$$Q_F = \frac{t_h - t_a}{\frac{tk}{k} + R_s} \tag{2.4}$$

$$Q_T = Q_F \times A \tag{2.5}$$

$$\frac{Q_T}{\Delta T} = W \times \rho \times C_p \tag{2.6}$$

โดยที่ Q_F คือ ความร้อนที่ส่งผ่านระบบ (บีทียูต่อชั่วโมงตารางฟุต)

Q_T คือ ความร้อนที่สูญเสียทั้งหมด (บีทียูต่อชั่วโมง)

tk คือ ค่าความหนาของฉนวน (นิ้ว)

A คือ พื้นที่ของฉนวน (ตารางฟุต)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิของไหล (บีทียูต่อปอนด์องศาฟาเรนไฮต์)

W คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (องศาฟาเรนไฮต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chelemuge, Tomoaki Namioka และคณะ ศึกษาเชื้อเพลิงอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำผสมน้ำมัน ซึ่งประสบความสำเร็จในการผลิตโดยไม่ต้องใช้สารออกฤทธิ์ใดๆ บนพื้นผิว โดยได้ศึกษาการทดลองในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม เพื่อตรวจสอบลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำผสมน้ำมัน โดยวิเคราะห์การปล่อยก๊าซไอเสียและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงอิมัลชั่นชนิดน้ำในน้ำมันมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง NO_x และการปล่อยเขม่า และมีการประหยัดพลังงานมากกว่า 10% เมื่อใช้เชื้อเพลิงอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำผสมน้ำมันเป็นเวลานานในหม้อไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนนั้นเกิดจากการทำงานในอัตราส่วนที่ต่ำกว่าเช่นเดียวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากความสะอาดของพื้นผิวท่อหม้อน้ำโดยการลดการปล่อยฝุ่นละออง ผลกระทบเหล่านี้ยังแสดงให้เห็นถึงหม้อต้มน้ำร้อนที่ดำเนินการในเชิงพาณิชย์ [9]

Engin Ozdemir ศึกษาผลของอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบหม้อไอน้ำในหม้อต้มน้ำที่มีกำลังการผลิตอัตราไอน้ำ 55 ตันต่อหน่วยเวลาที่ 245 องศาเซลเซียส และความดัน 20 บาร์ อากาศที่เผาไหม้จากหม้อไอน้ำนั้นมาจากพัดลมที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 30 กิโลวัตต์ ที่มอเตอร์ขนาด 1,450 รอบต่อนาที เนื่องจากมอเตอร์พัดลมที่ทำงานด้วยความเร็วที่ระบุได้ให้อัตราการไหลของอากาศที่เท่ากัน ปริมาณอากาศส่วนเกินและอุณหภูมิของก๊าซไอเสียจึงสูงมากเมื่อรับภาระต่ำ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอยู่ในระดับต่ำเนื่องจากการสูญเสียพลังงานความร้อน และยังนำไปสู่การสูญเสียพลังงานไฟฟ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ความเร็วมอเตอร์พัดลมจะลดลงเป็น 400 รอบต่อนาทีจาก 1,450 รอบต่อนาที โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD) หลังจากการใช้ VSD อุณหภูมิปล่องไอเสียจะลดลงจาก 195 เป็น 145 องศาเซลเซียส ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น 2.5% และประหยัดพลังงานไฟฟ้า 8,000 กิโลวัตต์ต่อเดือน [10]

Rahul Dev Gupta, Sudhir Ghai และ Ajai Jain ได้นำเสนอผลการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในหน่วยโรงต้มน้ำขนาดใหญ่ของโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ โดยศึกษาสาเหตุของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ไม่ดี ซึ่งมาจากการสูญเสียความร้อนหลายประการ เช่น การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ของคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ การสูญเสียเนื่องจากก๊าซไอเสียแห้ง การสูญเสียเนื่องจากความชื้นในน้ำมันเชื้อเพลิง การสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี การสูญเสียเนื่องจากการโบลว์ดาวน์และการสูญเสียจากการเผาไฮโดรเจน และอื่นๆ ซึ่งได้มีการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนต่างๆ และได้มีการทำข้อแนะนำสำหรับการจัดการโรงงานเพื่อการใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ได้แก่ การจัดการถ่านหินโดยการติดตั้ง Sieve Analyzer ในโรงหม้อไอน้ำ เพื่อทำการ Sieve Analysis และสามารถส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้เครื่องบดถ่านหินได้ การทำการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียทุก 2 ชั่วโมง และปรับการเผาไหม้อากาศส่วนเกินตามสภาพที่เปลี่ยนแปลง การซ่อมแซมวาล์วควบคุมไอน้ำแบบเป่าลมแบบเขม่า ส่งผลให้ปล่องเป่าลมที่ติดตั้งทำงานไม่ได้ จึงแนะนำให้ดำเนินการเป่าเขม่าทุกครั้งในการเปลี่ยน ควรติดตั้ง Economizer และเครื่องอุ่นอากาศ การติดตั้งระบบโบลว์ดาวน์อัตโนมัติ ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานที่สูญเปล่าได้ด้วยระบบต่อเนื่อง การหุ้มฉนวนอย่างเหมาะสม ฉนวนที่เสียหายหรือชำรุดควรเปลี่ยน ควรตรวจสอบปลอกหม้อไอน้ำจากฮอตสปอต ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าสูญเสียความร้อน มีการฝึกอบรมในพื้นที่อนุรักษ์พลังงาน การลดการสูญเสียคาร์บอนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ถูกเผาไหม้ ข้อแนะนำนี้ได้รับการดำเนินการโดยการจัดการโรงงาน และแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจพบว่าค่าใช้จ่ายในระบบจะคืนทุนในช่วงเวลาสั้นๆ จากการแนะนำของงานนี้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น 2% และการประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นเงิน 34,12,395 รูปีต่อปี นอกจากนี้ยังพบว่า การระมัดระวังในการใช้งานหม้อไอน้ำสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหม้อไอน้ำได้อย่างมาก [11]

Jan Taler, Piotr Dzierwa และคณะ ศึกษาแบบจำลองของหม้อไอน้ำที่เพื่อกำหนดอัตราการไหลของความร้อนจากห้องเผาไหม้ที่ถูกส่งไปยังเครื่องระเหย โดยศึกษาการเริ่มเดินเครื่องอย่างรวดเร็วของหม้อไอน้ำจากสภาวะเย็น อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเป็นสำหรับการทำความร้อนเครื่องระเหยจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งถูกกำหนดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องระเหยหม้อไอน้ำ แบบจำลองนี้คำนึงถึงที่จุดเริ่มต้นของการระเหยน้ำที่ได้รับความร้อนโดยปราศจากการเกิดไอน้ำ จากนั้นหลังจากถึงอุณหภูมิอิ่มตัว กระบวนการเดือดจะเริ่มต้นขึ้นและผลิตไอน้ำ การให้ความร้อนของเครื่องระเหยจะดำเนินการด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเนื่องจากความเค้นสูงสุดของเส้นรอบวงที่เกิดขึ้นที่ขอบของรอยต่อแบบดรัมดาวน์ - ดรัม หลังจากกำหนดอุณหภูมิของของเหลวที่เหมาะสมแล้ว ความดันไอน้ำอิ่มจะสามารถถูกกำหนดได้ง่าย การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องระเหยและห้องเผาไหม้อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้มั่นใจได้ว่าการคำนวณความร้อนของถังเหมาะสมที่สุด ปริมาณของน้ำมันหนักที่ถูกใช้ระหว่างการอุ่นเครื่องที่เหมาะสมของดรัมก็ถูกคำนวณเช่นกัน การใช้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนนี้สามารถกำหนดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้อย่างเหมาะสมเพื่อลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มีราคาแพง การใช้วิธีการที่เสนอจะทำให้ระยะเวลาในการเริ่มหม้อไอน้ำสั้นลงอย่างมีนัยสำคัญ [12]

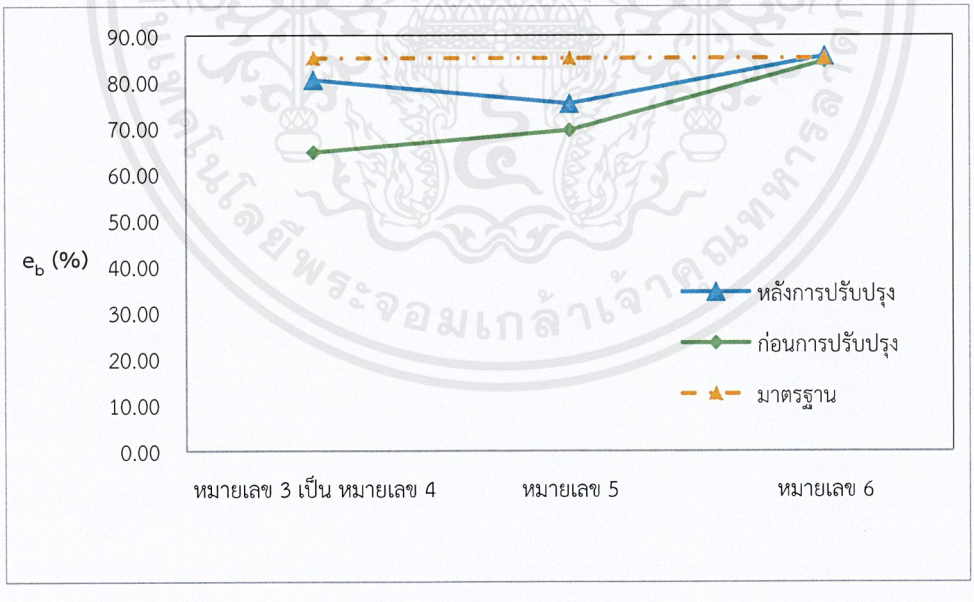
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานและผลการวิเคราะห์โครงการ

3.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

จากการรวบรวมปริมาณการใช้น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำและเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงาน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่าหม้อไอน้ำหมายเลข 3 5 และ 6 มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า 85% [13] แสดงดังในรูปที่ 3.1 จึงได้ทำการซ่อมบำรุงเครื่อง ผลจากการซ่อมบำรุงพบว่า หม้อไอน้ำหมายเลข 3 มีการชำรุดภายใน หมายเลข 5 และหมายเลข 6 มีประสิทธิภาพต่ำเนื่องมาจากมีระยะเวลาการทำงานที่สั้น ทำให้เกิดการเปิดเครื่องบ่อยครั้ง ส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเปิดเครื่อง

จากการที่ประสิทธิภาพการทำงานหม้อไอน้ำต่ำ จึงทำการปรับความดันการใช้งานใหม่ ที่ความดัน 6.1 และ 6.3 บาร์ ทำให้การทำงานของหม้อไอน้ำมีระยะเวลาที่สั้น จึงทำการปรับความดันใหม่ โดยปรับความดันที่ความดันต่ำสุดเป็น 6.5 บาร์ ซึ่งเป็นความดันการใช้งานสูงสุดเดิม เนื่องจากหม้อไอน้ำหมายเลข 3 ชำรุด จึงเปลี่ยนมาใช้งานหม้อไอน้ำหมายเลข 4 แทนหมายเลข 3 การใช้งานหม้อไอน้ำของโรงงานในตอนนี้จึงเป็นหม้อไอน้ำหมายเลข 4 5 และ 6 ที่ความดัน 6.5 6.5 และ 6.7 บาร์ ตามลำดับ เพื่อเพิ่มระยะเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ ทำให้เกิดการเปิด-ปิดหม้อไอน้ำน้อยลง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานหม้อไอน้ำ



รูปที่ 3.1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

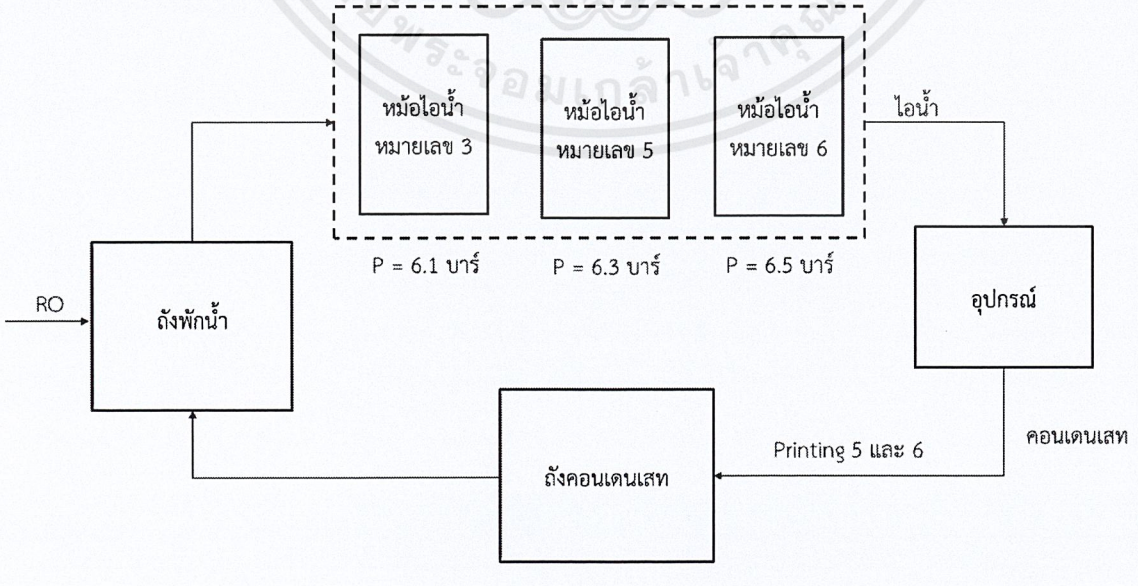
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ก่อนและหลังผ่านการปรับปรุง

หมายเลขหม้อไอน้ำ	ปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m^3/วัน)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (m^3/วัน)		ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง (m^3/วัน)
		ก่อน	หลัง	
3	6.0	684	-	131
4	6.0	-	553	
5	30.0	3233	2958	275
6	10.0	831	821	10
	รวม	**4,748**	**4,332**	**416**

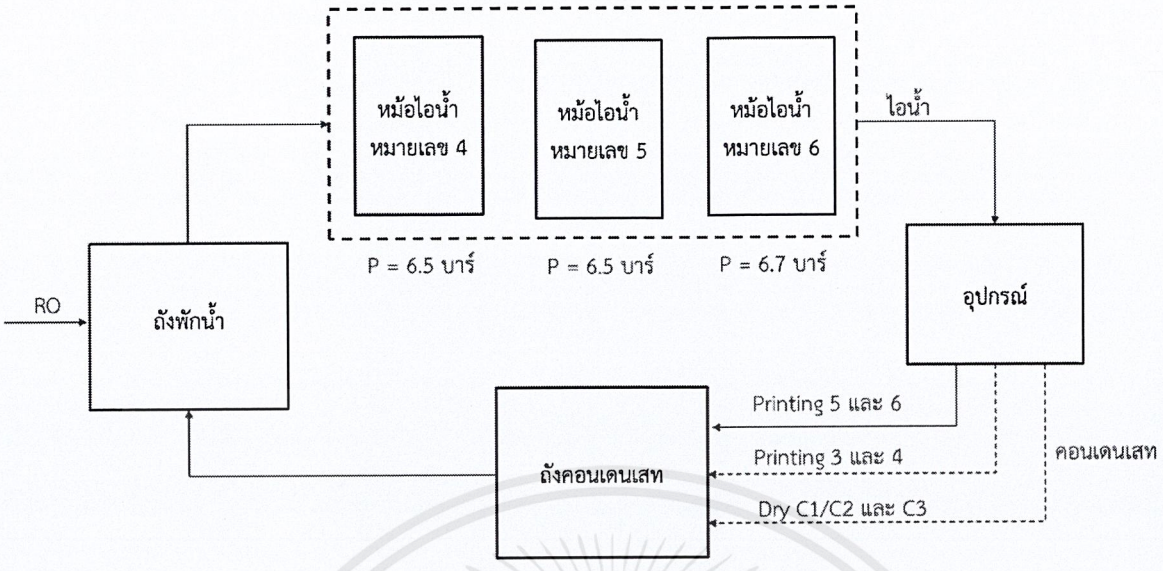
จากของการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำพบว่า ประสิทธิภาพการใช้งานของหม้อไอน้ำหมายเลข 5 และ 6 เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากระยะเวลาการทำงานของหม้อไอน้ำที่นานขึ้น ในการทำงานของหม้อไอน้ำ เมื่อหม้อไอน้ำทำงานไปถึงความดันที่กำหนดจะเกิดการหยุดเครื่อง และจึงเริ่มเดินเครื่องใหม่อีกครั้ง ยิ่งเกิดการเปิด-ปิดเครื่องบ่อยครั้ง ยิ่งทำให้ใช้เชื้อเพลิงในการเริ่มเดินเครื่องมาก การเพิ่มระยะการทำงานของหม้อไอน้ำ ทำให้เกิดการเปิดเครื่องน้อยลง ส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงในการเริ่มเดินเครื่อง โดยการใช้งานหม้อไอน้ำหมายเลข 4 แทนหมายเลข 3 ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 64.66% เป็น 80.33% ส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงไปได้ 131 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หม้อไอน้ำหมายเลข 5 มีประสิทธิภาพเพื่อขึ้นจาก 69.41% เป็น 75.17% ส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงไปได้ 275 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และหม้อไอน้ำหมายเลข 6 เพิ่มขึ้นจาก 84.38% เป็น 85.49% ส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงไปได้ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รวมทั้งหมดประหยัดเชื้อเพลิงไปได้ 416 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นประหยัดค่าใช้จ่ายได้ทั้งหมด 2,187,773.50 บาทต่อปี

3.2 โครงการติดตั้งการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่



ก) ก่อนปรับปรุงประสิทธิภาพและติดตั้งโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) หลังปรับปรุงประสิทธิภาพและติดตั้งโครงการ

รูปที่ 3.2 แผนภูมิระบบหม้อไอน้ำของโรงงาน

ปัจจุบัน โรงงานฟูจิเอซได้มีการนำคอนเดนเสทจากระบบ Printing 5 และ Printing 6 กลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ คอนเดนเสทจากถังคอนเดนเสทจะถูกส่งไปยังถังพักน้ำ หากปริมาณคอนเดนเสทไม่เพียงพอ จะมีการเติมน้ำ RO ลงสู่ถังพักน้ำ ทำให้อุณหภูมิน้ำในถังพักน้ำมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส จากการสำรวจข้อมูลของโรงงาน พบว่า โรงงานยังไม่มีการนำคอนเดนเสทจากระบบ Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 และ Dry C3 กลับมาใช้งาน โครงการนี้จึงได้มีแนวทางในการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้เป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ แผนภูมิระบบหม้อไอน้ำของโรงงานแสดงดังรูปที่ 3.2

3.2.1 การใช้น้ำ RO ก่อนและหลังติดตั้งโครงการ

จากการรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำ RO สำหรับเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ แสดงดังตารางที่ 3.2 ก่อนการติดตั้ง ปริมาณน้ำ RO ที่ใช้ในระบบอยู่ที่ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณคอนเดนเสทจากระบบ Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 และ Dry C3 รวมอยู่ที่ทั้งหมด 18 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำให้หลังจากการติดตั้งปริมาณน้ำ RO ที่ใช้อยู่ที่ 7 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยราคาน้ำ RO อยู่ที่ 400 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ 262,800 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

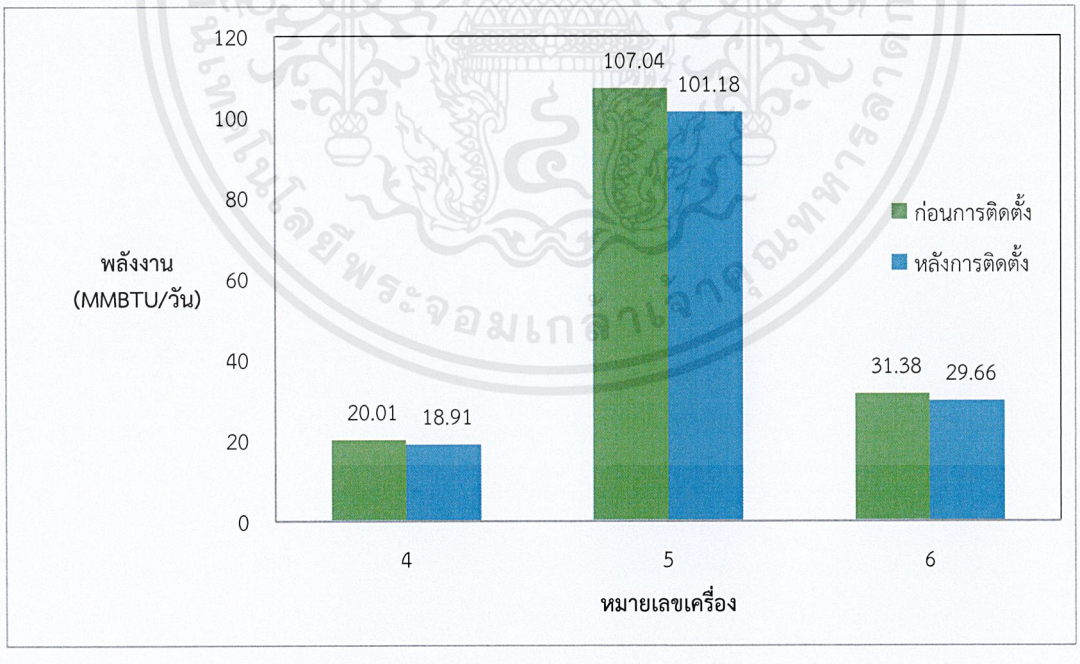
ตารางที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายของน้ำ RO ก่อนและหลังการติดตั้งโครงการ

ปริมาณน้ำ RO สำหรับน้ำป้อน (m^3/วัน)		ค่าใช้จ่าย (บาท)	
		ต่อวัน	ต่อปี
ก่อนการติดตั้ง	25	1,000	365,000
หลังการติดตั้ง	7	280	102,200
ลดต้นทุน	18	720	262,800

3.2.2 พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำก่อนและหลังติดตั้งโครงการ

ก่อนการติดตั้งโครงการ อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส หลังจากมีการนำคอนเดนเสทจากระบบ Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 และ Dry C3 ปริมาณทั้งหมด 18 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็นที่ประมาณ 87 องศาเซลเซียส การคำนวณได้จากสมการ ข.3 แสดงในภาคผนวก ข.2.1

สภาวะของหม้อไอน้ำที่โรงงานใช้ในหม้อไอน้ำหมายเลข 4 5 และ 6 อยู่ที่ความดัน 6.5 6.5 และ 6.7 บาร์ ตามลำดับ ก่อนการปรับปรุง พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้อยู่ที่ 158.43 ล้านบีทียูต่อวัน หลังการปรับปรุง พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้อยู่ที่ 149.75 ล้านบีทียูต่อวัน แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งประหยัดพลังงานความร้อนไปได้ทั้งหมด 8.68 ล้านบีทียูต่อวัน คิดเป็นประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ทั้งหมด 1,266,495.12 บาทต่อปี แสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.3 พลังงานความร้อนที่ใช้ก่อนและหลังการติดตั้งโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ลดลงหลังการติดตั้งโครงการ

หมายเลขหม้อไอน้ำ	พลังงานความร้อนที่ลดลง (MMBTU/วัน)	ลดต้นทุน (บาท)	
		ต่อวัน	ต่อปี
4	1.1	440.22	158,479.05
5	5.86	2,342.33	843,237.96
6	1.72	687.30	247,428.86
รวม	8.68	3,469.85	1,266,495.12

3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการนำคอนเดนเสทกลับ

3.3.1 การหาความสูงที่ใช้ส่งคอนเดนเสทจากแรงดันไอน้ำ

เนื่องจากจุดปล่อยคอนเดนเสททิ้งจากแต่ละระบบการผลิตอยู่ต่ำกว่าถังคอนเดนเสท จึงต้องมีการใช้อุปกรณ์ในการส่งคอนเดนเสทไปยังที่สูง ซึ่งโครงการได้ออกแบบการใช้กับดักไอน้ำเป็นอุปกรณ์ในการส่งน้ำกลับโดยอาศัยแรงดันไอที่ถูกปล่อยออกจากระบบมาพร้อมกับคอนเดนเสท เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถใช้แรงดันไอน้ำในการส่งคอนเดนเสทไปยังถังคอนเดนเสท แสดงการคำนวณได้ในภาคผนวก ข.3.1

ในการส่งคอนเดนเสทไปยังถังพักน้ำโดยใช้กับดักไอน้ำซึ่งอาศัยแรงดันไอจากระบบการผลิต พบว่ากับดักไอน้ำสามารถถูกใช้เป็นอุปกรณ์ในการส่งคอนเดนเสทกลับไปยังถังพักน้ำได้ เนื่องจากความสูงที่เกิดจากแรงดันไอที่ได้จากการคำนวณจากสมการ ข.9 มีค่ามากกว่าความสูงท่อในทุกระบบการผลิต แสดงได้จากตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความสูงที่เกิดจากแรงดันไอและความสูงท่อในแต่ละระบบ

ระบบการผลิต	ความสูงสูงสุดจากการคำนวณ (เมตร)	ความสูงท่อ (เมตร)
Printing 3	15.94	1.1
Printing 4	15.94	1.1
Dry C1/C2	10.62	2.7
Dry C3	10.62	3.2

3.3.2 การเลือกฉนวนและหาความหนาที่เหมาะสมในการใช้งาน

สำหรับฉนวนที่ใช้ในการหุ้มท่อคอนเดนเสทมาจากบริษัท ไมโครไฟเบอร์ อุตสากรรม จำกัด ซึ่งมี 4 แบบให้เลือกใช้ คือ Micro cover และ Micro hi-temp ที่ความหนาแน่น 24, 32 และ 40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 1 นิ้ว

เพื่อทำการเลือกใช้งานความเหมาะสมของฉนวน จึงได้ทำการหาอุณหภูมิคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อถูกส่งไปยังถังคอนเดนเสท ซึ่งแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข.3.2 จากระบบ Printing 3 และ Printing 4 เมื่อทำการหุ้มท่อด้วยฉนวนแต่ละชนิด พบว่าอุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อถูกส่งไปยังถังคอนเดนเสท แสดงได้ดังตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงมีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากฉนวน Micro hi-temp มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูงกว่า จึงเลือกใช้ฉนวน Micro cover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.6 แสดงอุณหภูมิคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อถูกส่งไปยังถังคอนเดนเสทเมื่อทำการหุ้มและไม่หุ้มฉนวนด้วยอลูมิเนียมแจ็คเกต ซึ่งอลูมิเนียมแจ็คเกตมีต้นทุนที่สูง จากการคำนวณสมการที่ 2.3 อุณหภูมิพื้นผิวฉนวนจะอยู่ที่ประมาณ 38 องศาเซลเซียส เมื่อไม่มีการหุ้มด้วยอลูมิเนียมแจ็คเกตซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก และเนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลงของคอนเดนเสทเมื่อหุ้มและไม่หุ้มด้วยแจ็คเกตอลูมิเนียมมีความไม่แตกต่างกันมากนัก ทางโรงงานจึงพิจารณาไม่หุ้มแจ็คเกตอลูเนียม โดยอุณหภูมิของคอนเดนเสทจากระบบ Printing 3 และ Printing 4 เมื่อถูกส่งไปยังถังคอนเดนเสทเมื่อท่อไม่หุ้มด้วยแจ็คเกตอลูมิเนียมจะอยู่ที่ประมาณ 98 องศาเซลเซียส

จากระบบการผลิต Dry C1/C2 และ Dry C3 เมื่อใช้ฉนวน Micro Cover ที่ความหนา 1 นิ้ว ในการหุ้มท่อคอนเดนเสทและคิดแบบไม่หุ้มแจ็คเก็ตอลูมิเนียม เมื่อคอนเดนเสทจากทั้งสองระบบถูกส่งมายังท่อรวมและส่งไปยังถังคอนเดนเสท อุณหภูมิของคอนเดนเสทจะอยู่ที่ประมาณ 95 องศาเซลเซียส แสดงได้จากตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.5 อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อหุ้มด้วยฉนวนประเภทต่างๆ

ประเภท	ความหนาแน่น (kg/m^3)	อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลง (°C)
Micro cover	64	1.8
Micro hi-temp	24	1.9
	32	1.8
	40	1.7

ตารางที่ 3.6 อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อหุ้มและไม่หุ้มแจ็คเกตอลูมิเนียม

การหุ้มอลูมิเนียมแจ็คเก็ต	อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลง (°C)
หุ้ม	1.8
ไม่หุ้ม	2.0

ตารางที่ 3.7 อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลงของระบบ Dry lamination

ระบบ Dry lamination	อุณหภูมิของคอนเดนเสทที่ลดลง (°C)
C1/C2	0.4
C3	0.7
ท่อรวม	5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้ใช้เงินลงทุนในการติดตั้งอุปกณ์สำหรับนำคอนเดนเสทกลับประมาณ 100,000 บาท เมื่อรวมผลการประหยัดค่าเชื้อเพลิงและน้ำ RO พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ทั้งหมด 1,529,295.12 บาทต่อปี เมื่อคำนวณเป็นระยะเวลาของการคืนทุนเป็นระยะเวลา 23.87 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลของโครงการ

4.1 สรุปผลของโครงการ

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ แสดงให้เห็นว่าหม้อไอน้ำหมายเลข 3 เกิดการชำรุดภายใน ทำให้สูญเสียปริมาณเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำเกินกว่าที่ควรใช้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำ จึงหยุดการใช้งานหม้อไอน้ำหมายเลข 3 และเปลี่ยนมาใช้งานหมายเลข 4 แทน ส่วนหม้อไอน้ำหมายเลข 5 ไม่พบความผิดปกติ แต่มีประสิทธิภาพต่ำเนื่องมาจากการทำงานที่เริ่มเดินเครื่องบ่อยเกินไป ทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงในการเริ่มเดินเครื่องบ่อยครั้ง จึงทำการปรับค่าความดันหม้อไอน้ำใหม่เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเดินเครื่องให้นานมากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ผลจากการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในโรงงาน แสดงให้เห็นว่าหม้อไอน้ำหมายเลข 5 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 5.76% จาก 69.41% เป็น 75.17% และหมายเลข 6 เพิ่มขึ้น 1.11% จาก 84.38% เป็น 85.49% และการเปลี่ยนการใช้งานหม้อไอน้ำจากหมายเลข 3 มาเป็นหมายเลข 4 ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 15.67% จากการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อน้ำทั้งหมด ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ 2,187,773.50 บาทต่อปี

การนำคอนเดนเสทจากระบบผลิต Printing 3 Printing 4 Dry C1/C2 และ Dry C3 มาเป็นน้ำป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ ทำให้ลดปริมาณการใช้น้ำ RO ไป 18 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นเงิน 262,800 บาทต่อปี เมื่อนำคอนเดนเสททั้งหมดกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำจะสูงขึ้น 17 องศาเซลเซียส จากเดิม 60 องศาเซลเซียส เป็น 87 องศาเซลเซียส ส่งผลให้พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในหม้อไอน้ำลดลงไป 3,166.24 ล้านบีทียูต่อปี ประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ 1,266,495.12 บาทต่อปี

โครงการได้ทำการออกแบบการใช้กับดักไอน้ำ ขนาดท่อ ชนิดและความหนาฉนวนที่เหมาะสมในการนำคอนเดนเสทกลับ โดยได้ทำการตรวจสอบว่าสามารถใช้กับดักไอน้ำในการส่งคอนเดนเสทโดยอาศัยแรงดันไอน้ำ พบว่าสามารถใช้งานได้ในทุกระบบการผลิต เนื่องจากความสูงในการส่งคอนเดนเสทที่เกิดจากแรงดันไอมีค่ามากกว่าความสูงท่อในทุกระบบการผลิต ซึ่งในการออกแบบการใช้กับดักไอน้ำได้มีการตรวจสอบคุณสมบัติการใช้งานของกับดักไอน้ำที่ใช้ในทุกระบบการผลิต ส่วนในการเลือกขนาดท่อนั้น ได้ทำการอ้างอิงจากแผนภูมิการเลือกขนาดท่อคอนเดนเสท และได้ออกแบบการเลือกใช้ฉนวนที่เหมาะสม ระบบ Printing 3 และ Printing 4 ใช้กับดักไอน้ำประเภทจาน และใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว ระบบ Dry C1/C2 ใช้กับดักไอน้ำประเภทลูกลอย ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว และในระบบ Dry C3 ใช้กับดักไอน้ำแบบลูกลอย และใช้ขนาดท่อ ¾ นิ้ว สำหรับทุกระบบการผลิต ฉนวนที่ใช้งานเป็นประเภทไฟเบอร์กลาส ชนิด Micro cover เนื่องจากเมื่อเทียบอุณหภูมิคอนเดนเสทที่ลดลงเมื่อถูกส่งไปยังถังคอนเดนเสทกับความคุ้มค่าในการลงทุนและความสะดวกใช้งานของฉนวนแต่ละชนิด ฉนวน Micro cover มีความคุ้มค่ามากที่สุด ความหนาของฉนวนที่เลือกใช้อยู่ที่ 1 นิ้ว และไม่มีการติดตั้งอลูมิเนียมแจ็คเกต จากการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการนำคอนเดนเสทกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ใช้เงินลงทุนอยู่ที่ประมาณ 100,000 บาท โครงการนี้ประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ทั้งหมด 1,529,295.12 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 24 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ข้อเสนอแนะโครงการ

ควรตรวจสอบอุปกรณ์ในระบบหม้อไอน้ำว่าชำรุดหรือทำงานผิดปกติหรือไม่ ควรมีกำหนดการตรวจสอบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ และทั้งนี้ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำบางเครื่องยังต่ำกว่า 85% ควรติดต่อองค์กรจัดหาสินค้าและบริการ (supplier) ให้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงให้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. **ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม (industrial steam System).** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_13.pdf.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2562. **การอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://อบรมหม้อไอน้ำ.com/images/pdf/text/3.8.pdf.

[3] ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์. (2548). เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2562. **การจัดการกับดักไอน้ำ.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/ file_handbook/Pre_T_H/Heat_4.pdf.

[5] บริษัท วีเวิร์คเบสท์ จำกัด. 2562. **การบำรุงรักษาระบบไอน้ำและสตีมแทรป.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://library.dip.go.th/multim5/ ebook/IE%205%20%E0%B8%811%E0%B8%AD%E0%B8%AA.pdf.

[6] บริษัท สไปแร็กซ์ ซาร์โก (ประเทศไทย) จำกัด. 2562. **Steam traps and steam trapping.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-traps-and-steam-trapping/mechanical-steam-traps#article-top.

[7] บริษัท ทีแอลวี จำกัด. 2562. **Trap back pressure.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : https://www.tlv.com/ global/UK/steam-theory/trap-back-pressure.html.

[8] บริษัท สไปแร็กซ์ ซาร์โก (ประเทศไทย) จำกัด. 2562. **Condensate recovery.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/condensate-recovery/sizing-condensate-return-lines#article-top.

[9] Chelemuge, Tomoaki, Kunio, Masanori and Koichi. 2011. "Commercial-scale demonstration of pollutant emission reduction and energy saving for industrial boilers by employing water/oil emulsified fuel." Applied Energy 93 (2012) 517–522.

[10] Engin Ozdemir. 2003. "Energy conservation opportunities with a variable speed controller in a boiler house." Applied Thermal Engineering 24 (2004) 981–993.

[11] Rahul, Sudhir, and Ajai. 2011. Energy Efficiency Improvement Strategies for Industrial Boilers: A Case Study. [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/259268333_Energy_Efficiency_Improvement_Strategies_for_Industrial_Boilers_A_Case_Study.

[12] Jan, Piotr, Dawid and Piotr. 2015. "Optimization of the boiler start-up taking into account thermal stresses." Energy xxx (2015) 1-11.

[13] ไอเอเนอจีกูรู. 2562. **การอนุรักษ์พลังงานในหม้อไอน้ำ.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : https://ienergyguru.com/2015/11/หม้อไอน้ำ/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] epmc. 2562. **TW Brand Steam Trap Class 16K No.4.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://www.epmc.co.th/Steam%20Traps/pdfs/TW%20TD%20Thermodynamic%20Steam%20Trap.pdf

[15] บริษัท อีโมเทค จำกัด. 2562. **สตีมแทร็ป.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://www.emotech.co.th/15625987/%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B5%E0%B8%A1%E0%B9%81%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B9%8A%E0%B8%9B-steam-trap

[16] Engineers Edge. 2562. **Moody Chart.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : https://www.engineersedge.com/fluid_flow/pressure_drop/moody_chart.html.

[17] Engineering ToolBox. 2562. **Water - Enthalpy (H) and Entropy (S).** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1508.html

[18] Engineering ToolBox. 2562. **Steam Traps - Safety Factor.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : https://www.engineeringtoolbox.com/steam-trap-safety-factor-d_1144.html.

[19] ผศ.ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ (2561). เอกสารประกอบการสอน 01226321 ปฏิบัติการเฉพาะหน่วย 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุรุทหารลาดกระบัง.

[20] บริษัท ไมโครไฟเบอร์อุตสาหกรรม จำกัด. 2562. **MicroCover.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://microfiberinsulation.com/portfolio-item/microcover/.

[21] บริษัท ไมโครไฟเบอร์อุตสาหกรรม จำกัด. 2562. **Micro Hi-Temp.** [Online]. เข้าได้ถึงจาก : http://microfiberinsulation.com/portfolio-item/micro-hi-temp/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

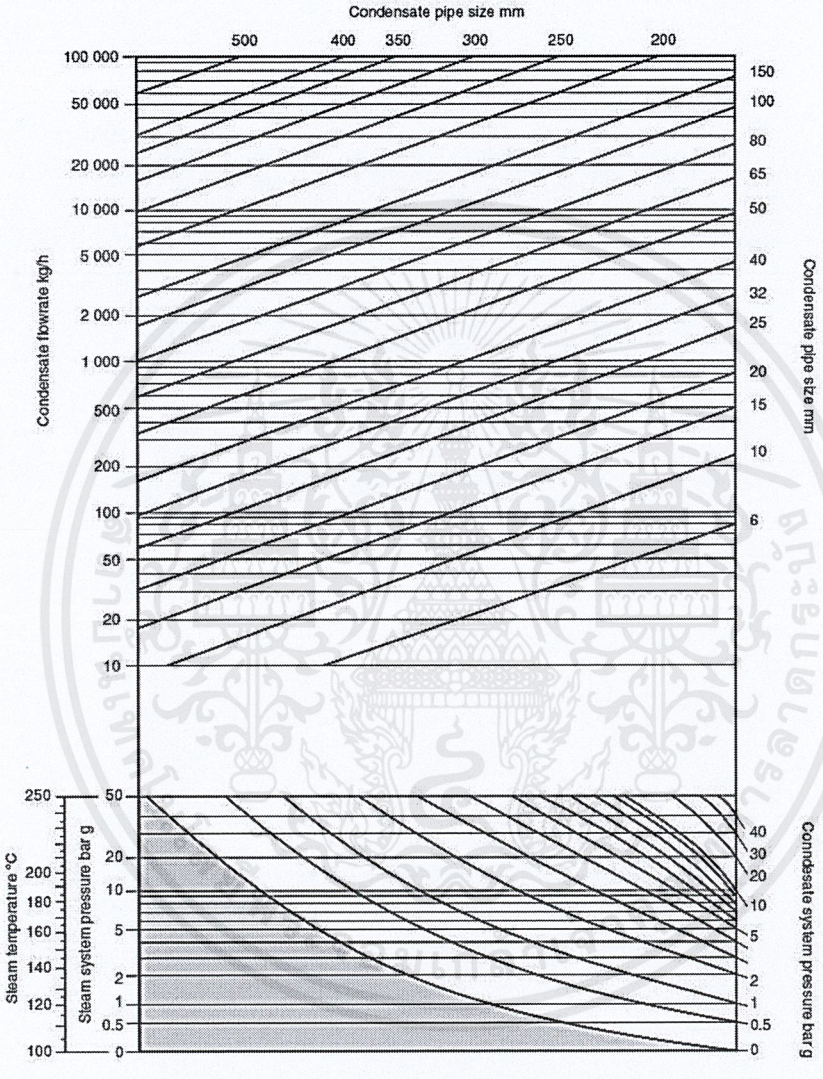
ภาคผนวก ก

การเลือกขนาดท่อคอนเดนเสทและกับดักไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การเลือกขนาดท่อคอเดนเสท

ปริมาณคอนเดนเสทจากระบบผลิต Printing 3 และ Printing 4 อยู่ที่ระบบละ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ความดันไอที่จุดปล่อยคอนเดนเสทอยู่ที่ประมาณ 1.5 - 2 บาร์ ปริมาณคอนเดนเสทจากระบบผลิต Dry C1/C2 อยู่ที่ 5.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และ Dry C3 อยู่ที่ 2.66 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ความดันไอที่จุดปล่อยคอนเดนเสทของทั้งสองระบบอยู่ที่ประมาณ 1 – 2.5 บาร์ ทำการเลือกขนาดท่อ จากรูปที่ 2.5 แผนภูมิการเลือกขนาดท่อ



รูปที่ 2.5 แผนภูมิการเลือกขนาดท่อคอนเดนเสท [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ขนาดท่อที่ถูกใช้ในแต่ละระบบ

ระบบ	แรงดันไอสูงสุด (บาร์)	ปริมาณคอนเดนเสท (kg/ชม.)	ขนาดท่อ (mm)
Printing 3	2	199.656	25
Printing 4	2	199.656	25
Dry C1,C2	2.5	213.233	25
Dry C3	2.5	106.217	20

จากตารางที่ ก.1 ทำการเลือกขนาดท่อคอนเดนเสทที่ความดันสูงสุดของระบบ สำหรับระบบ Printing 3 และ Printing 4 พบว่าที่ความดัน 2 บาร์ ปริมาณคอนเดนเสทเท่ากับ 199.656 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดท่อที่ใช้งานอยู่ที่ 25 มิลลิเมตร การเลือกขนาดท่อคอนเดนเสทของระบบ Dry C1/C2 พบว่าที่ความดัน 2.5 บาร์ ปริมาณคอนเดนเสทเท่ากับ 213.233 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดท่อที่ใช้งานอยู่ที่ 25 มิลลิเมตร การเลือกขนาดท่อคอนเดนเสทของระบบ Dry C3 พบว่าที่ความดัน 2.5 บาร์ ปริมาณคอนเดนเสทเท่ากับ 106.217 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดท่อที่ใช้งานอยู่ที่ 20 มิลลิเมตร

ก.2 การเลือกกับดักไอน้ำ

พิจารณาการเลือกใช้กับกัดไอน้ำที่เหมาะสมในการส่งคอนเดนเสทไปยังถังคอนเดนเสท สำหรับระบบ Printing 3 และ Printing 4 พิจารณาเลือกใช้กับดักไอน้ำแบบจาน เนื่องจากกับดักไอน้ำประเภทนี้มีข้อเสียที่น้อยเมื่อเทียบกับประเภทอื่น คือใช้กับระบบที่มีแรงดันย้อนกลับสูงไม่ได้ จึงทำการพิสูจน์เพื่อหาตรวจสอบว่าสามารถใช้งานกับดักไอนน้ำประเภทนี้ได้หรือไม่

รุ่นของกับดักไอน้ำประเภทจานที่ใช้คือ TW Brand steam trap class 16K no.4 ความดันแตกต่าง (DP) เท่ากับผลต่างความดันขาเข้า (P_1) และความดันย้อนกลับ (BP)

เมื่อ P_1 = 1.5 บาร์

BP = ความดันสถิตย์ = ρgh

ρ = ความหนาแน่นคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 100 °C = 958.35 kg/m^3

h = ความสูงของท่อ = 1.1 m

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2

จาก BP = ρgh

= 958.35 x 9.81 x 1.1

= 10,340 Pa

= 0.10 บาร์

DP = P_1 – BP

= 1.5 – 0.10

= 1.40 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของคอนเดนเสท คือ 199.656 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในการตรวจสอบความจุกับกับดักไอน้ำ ต้องมีการสำรองค่า safety factor โดยคูณเข้ากับปริมาณคอนเดนเสทที่มีอยู่ เพื่อรองรับการใช้งานสูงสุดของกับดักไอน้ำ จากตารางที่ ง.2 ค่า safety factor ของกับดักไอประเภทเทอร์โมไดนามิกส์ มีค่าเท่ากับ 1.5 ทำการคิดปริมาณคอนเดนเสทที่ 299.484 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ขนาดกับดักไอน้ำ 25 มิลลิเมตร

ตารางที่ ก.2 ความจุคอนเดนเสทสูงสุดที่รับได้ของกับดักไอน้ำ TW Brand steam trap class 16K no.4 [14]

DP (kg/cm^2)	0.3	0.6	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
15	160	205	250	320	380	420	460	490	540	590	630	660	690
20	230	295	360	460	530	590	640	690	770	840	900	960	1000
25	290	380	460	590	680	760	820	880	980	1060	1130	1200	1260

จากตารางที่ ก.2 พบว่าที่ความดัน 1.40 บาร์ ความจุสูงสุดที่กับดักไอน้ำรับได้อยู่ที่ 511.558 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณของคอนเดนเสทเมื่อคำนึงค่า safety factor อยู่ที่ 299.484 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงว่าสามารถใช้งานกับดักไอน้ำนี้ได้

สำหรับระบบ Dry C3 พิจารณาเลือกใช้กับดักไอแบบลูกลอย เนื่องจากเป็นสต็อคของทางโรงงาน สำหรับระบบ Dry C1/C2 พิจารณาเลือกใช้กับดักไอแบบลูกลอย เนื่องจากกับดักไอน้ำแบบจานไม่สามารถรับความจุคอนเดนเสทของระบบนี้ที่ความดันแตกต่างของระบบนี้ได้

รุ่นของกับดักไอน้ำประเภทจานที่ใช้คือ ARITA BFT16-4.5

เมื่อ P_1 = 1 บาร์

ρ = ความหนาแน่นคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 100 °C = 958.35 kg/m^3

h = ความสูงของท่อ = 2.7 m

จาก BP = ρgh

= 958.35 x 9.81 x 2.7

= 25,390 Pa

= 0.25 บาร์

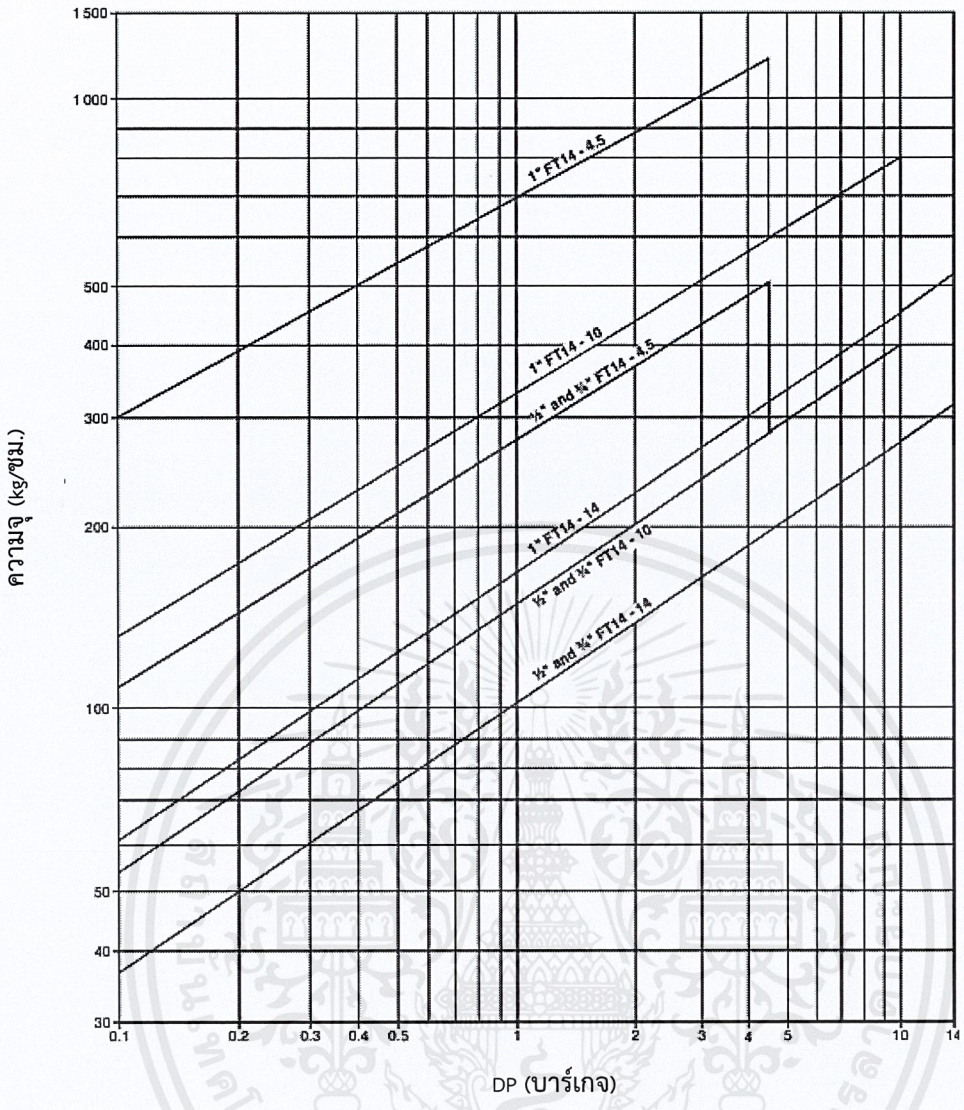
DP = P_1 – BP

= 1 – 0.25

= 0.75 บาร์

ปริมาณของคอนเดนเสท คือ 213.233 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากตารางที่ ง.2 ค่า safety factor ของกับดักไอประเภทเทอร์โมไดนามิกส์ มีค่าเท่ากับ 2 ทำการคิดปริมาณคอนเดนเสทที่ 426.466 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ขนาดกับดักไอน้ำ 25 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ความจุคอนเดนเสทสูงสุดที่รับได้ของกับดักไอน้ำ ARITA FT14-4.5 [15]

จากรูปที่ ก.1 พบว่า ขนาดกับดักไอน้ำ 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ที่ความดัน 0.7461 บาร์ มีความจุสูงสุดที่กับดักไอน้ำรับได้อยู่ที่ประมาณ 630 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณของคอนเดนเสทเมื่อคำนึงค่า safety factor อยู่ที่ 426.466 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงว่าสามารถใช้งานกับดักไอน้ำนี้ได้

สำหรับระบบ Dry C3 พิจารณาเลือกใช้กับดักไอแบบลูกลอย เนื่องจากเป็นสต๊อคของทางโรงงาน รุ่นของกับดักไอน้ำประเภทจานที่ใช้คือ ARITA FT14-4.5

เมื่อ P_1 = 1 บาร์

ρ = ความหนาแน่นคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 100 °C = 958.35 kg/m^3

h = ความสูงของท่อ = 3.2 m

จาก BP = ρgh

= 958.35 x 9.81 x 3.2

= 30,090 Pa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BP = 0.30 บาร์

DP = P_1 – BP

= 1 – 0.30

= 0.70 บาร์

ปริมาณของคอนเดนเสท คือ 106.217 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากตารางที่ ง.2 ค่า safety factor ของกับดักไอประเภทเทอร์โมไดนามิกส์ มีค่าเท่ากับ 2 ทำการคิดปริมาณคอนเดนเสทที่ 212.434 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ขนาดกับดักไอน้ำ 20 มิลลิเมตร

จากรูปที่ ก.1 พบว่าที่ขนาดกับดักไอน้ำ 20 มิลลิเมตร (¾ นิ้ว) ที่ความดัน 0.70 บาร์ มีความจุสูงสุดที่กับดักไอน้ำรับได้อยู่ที่ประมาณ 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณของคอนเดนเสทเมื่อคำนึงค่า safety factor เท่ากับ 212.434 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงว่าใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

ข.1.1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

จาก $$e_b = \frac{m_s (H_v - H_l)}{m_f \times F} \times 100 \qquad (2.2)$$

ตัวอย่างการคำนวณจากหม้อไอน้ำหมายเลข 3

เมื่อ H_v = เอนทาลปีของไอน้ำที่อุณหภูมิ 350 °C ณ ความดัน 6.5 บาร์ = 3163.11 kJ/kg

H_l = เอนทาลปีของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำหลังผ่าน economizer อุณหภูมิ 75 °C

= 314 kJ/kg

F = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง= 1000 BTU/ft^3 = 63.70 kJ/kg

m_s = อัตราการผลิตไอน้ำซึ่งเท่ากับอัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำลบออกด้วยอัตราการโบลว์ดาวน์

โดย อัตราน้ำป้อนเข้า = 6 m^3/วัน = 241.98 kg/s

อัตราการโบลว์ดาวน์จากตาราง ข.1 = 0.0426 m^3/วัน = 1.73 kg/s

$$e_b = \frac{m_s (H_v - H_l)}{m_f \times F} \times 100$$

$$= \frac{(241.98 - 1.7286) \times (3163.91 - 314)}{16{,}669.764 \times 63.6976} \times 100$$

$$= 64.95\%$$

อัตราการโบลว์ดาวน์คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 โดยค่า TDS ในน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำและอัตราการโบลว์ดาวน์แสดงดังตารางที่ ข.1 เนื่องจากไม่ทราบปริมาณไอน้ำที่ผลิต จึงสมมติให้อัตราการผลิตไอน้ำเท่ากับอัตราน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ

ตารางที่ ข.1 อัตราการโบลว์ดาวน์ของหม้อไอน้ำ

หมายเลขหม้อไอน้ำ	ปริมาณน้ำที่ใช้ (m^3/วัน)	ค่า TDS ในน้ำป้อน (ppm)	อัตราการโบลว์ดาวน์ (m^3/วัน)
3	6	24.65	0.0426
4	6	24.65	0.0426
5	30	24.65	0.2128
6	10	24.65	0.0709

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1.2 ราคาเชื้อเพลิง

จาก Saturated volume = Gas volume used x Unit conversion x Fwv (ข.1)

$$\text{Energy} = \frac{\text{Saturated volume} \times \text{Gas heating value}}{1{,}000{,}000} \quad \text{(ข.2)}$$

เมื่อ Fwv = ค่าแก้ไขไอน้ำ (Correction for water vapor content) = 1.02

Unit conversion : 1 m^3 = 35.315 ft^3

Gas heating value = 1000 BTU/ft^3

ตัวอย่างการคำนวณ จากการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ลดการใช้เชื้อเพลิงไปได้ 416 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

Saturated volume = 416 x 35.315 x 1.02

= 14,984.86 ft^3/วัน

$$\text{Energy} = \frac{14{,}984.86 \times 1{,}000}{1{,}000{,}000}$$

= 14.985 MMBTU/วัน

เมื่อพลังงานความร้อน 1 ล้านบีทียู มีราคาเฉลี่ย 400 บาท แสดงว่า ถ้าพลังงานความร้อนลดลง 14.985 ล้านบีทียู จะประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้ 5,993.90 บาทต่อวัน คิดเป็นต่อปีเท่ากับ 2,187,773.50 บาท

ข.2 พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำก่อนและหลังการติดตั้งโครงการ

ข.2.1 การหาอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ

จาก $$m_1 C_{p1}(T - T_1) = m_2 C_{p2}(T_2 - T) \quad \text{(ข.3)}$$

เมื่อ m_1 คือ อัตราน้ำเย็น (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

m_2 คือ อัตราน้ำร้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส)

T_1 คือ อุณหภูมิน้ำเย็น (องศาเซลเซียส)

T_2 คือ อุณหภูมิน้ำร้อน (องศาเซลเซียส)

T คือ อุณหภูมิน้ำผสม (องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำคอนเดนเสทจากระบบ Printing 3 และ 4 อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส และ Dry C1,C2 และ C3 อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เติมลงในถังคอนเดนเสทซึ่งมีคอนเดนเสทจากที่ถูกนำกลับมาจากระบบ Printing 5 และ 6 อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอนเดนเสทก่อนถูกส่งไปยังถังพักน้ำซึ่งคำนวณจากสมการ ข.1 จะอยู่ที่ประมาณ 97.8 องศาเซลเซียส เมื่อคอนเดนเสทถูกสูบไปยังถังพักน้ำที่มีปริมาณน้ำในถังพักน้ำอยู่ที่ประมาณ 54 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหลังเติมคอนเดนเสทผสมลงกับน้ำในถังพักน้ำซึ่งคำนวณได้จากสมการ ข.1 จะมีอุณหภูมิประมาณ 91.5 องศาเซลเซียส จากนั้น จะมีการเติมน้ำ RO ลงมายังถังพักน้ำ อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (T) หาได้ดังนี้

เมื่อกำหนดตัวแปรจากสมการ ข.1 ให้เป็นดังนี้

m_1 = อัตราการไหลน้ำ RO = 7 m^3/วัน = 0.081 kg/hr

m_2 = อัตราการไหลน้ำในถังพักน้ำ = ปริมาณคอนเดนเสทรวมกับน้ำในถังพักน้ำ
= 93 m^3/วัน = 1.04 kg/hr

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิน้ำ = 4.22 kJ/kg °C

T_1 = อุณหภูมิน้ำ RO = 28 °C

T_2 = อุณหภูมิน้ำในถังพักน้ำ (เมื่อคอนเดนเสทผสมกับน้ำที่มีอยู่ในถัง)
= 91.5 °C

$$m_1C_{p1}(T - T_1) = m_2C_{p2}(T_2 - T)$$

$$m_1C_{p1}T + m_2C_{p2}T = m_1C_pT_1 + m_2C_pT_2$$

$$T = \frac{m_1C_{p1}T_1 + m_2C_{p2}T_2}{m_1C_{p1} + m_2C_{p2}}$$

$$= \frac{(0.081 \times 4.22 \times 28) + (1.04 \times 4.22 \times 91.5)}{(0.081 \times 4.22) + (1.04 \times 4.22)}$$

$$= 87 \text{ °C}$$

ข.2.2 การหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

จาก
$$Q = \frac{m_{FW}(H_l - h_l) + (m_{FW} - q_{BD})(H_v - H_l)}{e_b} \qquad \text{(ข.4)}$$

ตัวอย่างการคำนวณจากหม้อไอน้ำหมายเลข 4 ก่อนการติดตั้งโครงการ

เมื่อ Q = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ

m_{FW} = อัตราน้ำป้อนเข้า = 6 m^3/วัน = 5857.36 kg/hr

q_{BD} = อัตราการโบลว์ดาวน์ = 41.49 kg/hr

H_v = เอนทาลปีของไอน้ำที่อุณหภูมิ 350 °C ณ ความดัน 6.5 บาร์ = 3163.11 kJ/kg

H_l = เอนธาลปีของน้ำอิ่มตัวที่ความดันหม้อไอน้ำ 6.5 บาร์ = 709.70 kJ/kg

h_l = เอนธาลปีของน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิน้ำป้อนเข้า 60 °C = 251.20 kJ/kg

e_b = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ = 0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{m_{FW}(H_l - h_l) + (m_{FW} - q_{BD})(H_v - H_l)}{e_b}$$

$$= \frac{[5857.36 \times (709.70 - 251.20)] + [(5857.36 - 41.49) \times (3163.11 - 709.70)]}{0.80}$$

Q = 21,105,632.70 kJ/วัน

= 20.01 MMBTU/วัน

เมื่อพลังงานความร้อน 1 ล้านบีทียู มีราคาเฉลี่ย 400 บาท แสดงว่า พลังงานความร้อน 24.75 ล้านบีทียู คิดเป็นค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 8,004.20 บาท

ข.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการนำคอนเดนเสทกลับ

ข.3.1 การวิเคราะห์หาความสูงสูงสุดในการใช้แรงดันไอ

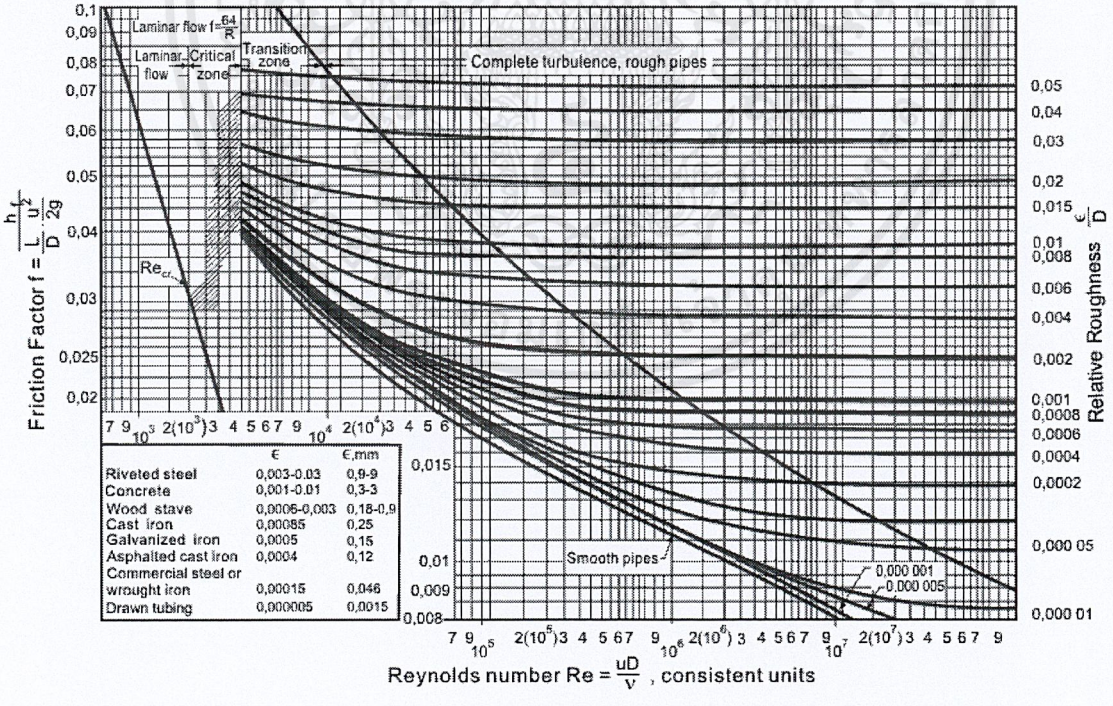
ตัวอย่างการคำนวณจากระบบ Printing 3

ความดันไอขาเข้าต่ำสุด = 2.5 บาร์ (สมบูรณ์) = 250,000 Pa

ความดันขาออกเท่ากับความดันบรรยากาศ = 1 บาร์ (สมบูรณ์) = 100,000 Pa

อัตราการไหลคอนเดนเสท = 5 m^3/hr

ขนาดท่อคอนเดนเสท 25 mm = 0.025 m



รูปที่ ข.1 แผนภูมิ Moody [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3.1.1 ความเร็วคอนเดนเสท

จาก $$W = vA \qquad (ข.5)$$

เมื่อ W = อัตราการไหลคอนเดนเสท = 5 m^3/วัน

v = ความเร็วคอนเดนเสท

A = พื้นที่หน้าตัดท่อ = $\pi \times 0.0125^2 = 4.91 \times 10^{-4}$ m^2

$$W = vA$$

$$v = \frac{W}{A}$$

$$= \frac{5}{4.91 \times 10^{-4}}$$

$$= 10{,}191 \text{ m/วัน}$$

$$= 0.118 \text{ m/s}$$

ข.3.1.2 จำนวนเลขเรย์โนลด์

จาก $$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \qquad (ข.6)$$

เมื่อ Re = จำนวนเลขเรย์โนลด์

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ = 0.025 m

ρ = ความหนาแน่นของคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 100 °C = 958.35 kg/m^3

μ = ความหนืดของคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 100 °C = 0.0002822 kg/m s

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$= \frac{958.35 \times 0.1180 \times 0.025}{0.0002822}$$

$$= 10{,}014.14$$

ข.3.1.3 Major losses (h_{fs})

จาก $$h_{fs} = 4f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{v^2}{2}\right) \qquad (ข.7)$$

เมื่อ L = ความยาวท่อ = 1.1 m

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ = 0.025 m

v = ความเร็วคอนเดนเสท = 0.118 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า f หาได้จากแผนภูมิ Moody เมื่อเป็นท่อกัลวาไนซ์ = 0.039

$$h_{fs} = 4f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{v^2}{2}\right)$$

$$= \frac{4 \times 0.039 \times 1.1 \times 0.1180^2}{0.025 \times 2}$$

$$= 0.0477 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

ข.3.1.4 Minor losses (h_L)

จาก

$$h_L = K\left(\frac{v^2}{2}\right) \qquad \text{(ข.8)}$$

เมื่อ K = loss coefficient คิดที่โกลบวาล์ว = 6

$$h_L = K\left(\frac{v^2}{2}\right)$$

$$= \frac{6 \times 0.1180^2}{2}$$

$$= 0.0418 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

ข.3.1.5 ความสูงสูงสุด

จาก

$$z = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - \frac{h_f}{g} \qquad \text{(ข.9)}$$

เมื่อ z = ความสูงสูงสุด

P_1 = ความดันขาเข้า = 250,000 Pa

P_2 = ความดันขาเข้า = 100,000 Pa

h_f = friction head loss ทั้งหมดเมื่อรวมค่า major loss และ minor loss ทั้งหมด

= 0.1051 m^2/s^2

ρ = ความหนาแน่นของคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 100 °C = 958.35 kg/m^3

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2

$$z = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - \frac{h_f}{g}$$

$$= \frac{250{,}000 - 10{,}000}{958.35 \times 9.81} - \frac{0.1051}{9.81}$$

$$= 15.94 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3.2 การเลือกฉนวนใช้งาน

ตัวอย่างการคำนวณจากระบบ Printing 3

เมื่อ t_a = อุณหภูมิอากาศ = 28 °C

t_h = อุณหภูมิด้านร้อน = 100 °C

t_s = อุณหภูมิพื้นผิวของฉนวน

Eq_{tk} = ความหนาเทียบเท่า = tk

tk = ค่าความหนาฉนวน = 1 นิ้ว = 0.025 m

R_s = ความต้านทานที่พื้นผิวฉนวนเมื่อฉนวนเป็นไฟเบอร์กลาส = 0.49 ft^2 °F h/BTU

= 0.0863 m^2°C/W

k = ค่าการนำความร้อนของฉนวน Micro cover = 0.046 W/m°C

A = พื้นที่หน้าของท่อรวมฉนวน = 0.004 m^2

ρ = ความหนาแน่นของคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 100 °C = 958.35 kg/m^3

W = อัตราการไหลคอนเดนเสท = 5 m^3/วัน = 5.79 x 10^{-5} m^3/s

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิคอนเดนเสท 100 °C = 4.22 kJ/kg °C

ข.3.2.1 อุณหภูมิพื้นผิวฉนวน

จาก
$$Eq_{tk} = kR_s \times \frac{t_h - t_s}{t_s - t_a} \qquad (2.3)$$

$$0.025 = 0.046 \times 0.0863 \times \frac{100 - t_s}{t_s - 28}$$

$$t_s = 38\ ^\circ C$$

ข.3.2.2 ความร้อนที่ส่งผ่านระบบ (Q_F)

จาก
$$Q_F = \frac{t_h - t_a}{\frac{tk}{k} + R_s} \qquad (2.4)$$

$$= \frac{100 - 28}{\frac{0.025}{0.046} + 0.0863}$$

$$= 114.29\ W/m^2$$

ข.3.2.3 ความร้อนที่สูญเสียทั้งหมด (Q_T)

จาก
$$Q_T = Q_F \times A \qquad (2.5)$$

$$= 114.29 \times 0.0040$$

$$= 0.458\ kJ/s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3.2.4 อุณหภูมิคอนเดนเสทที่เปลี่ยนแปลง (ΔT)

จาก

$$\Delta T = \frac{Q_T}{W \times \rho \times C_p} \qquad (2.6)$$

$$= \frac{0.458}{5.79 \times 10^{-5} \times 958.35 \times 4.22}$$

$$= 2.0 \ ^\circ C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ปริมาณน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำหมายเลข 3 5 และ 6 ก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพ

วันที่	หม้อไอน้ำหมายเลข 3		หม้อไอน้ำหมายเลข 5		หม้อไอน้ำหมายเลข 6	
	ปริมาณน้ำ (m^3/วัน)	ปริมาณเชื้อเพลิง (m^3/วัน)	ปริมาณน้ำ (m^3/วัน)	ปริมาณเชื้อเพลิง (m^3/วัน)	ปริมาณน้ำ (m^3/วัน)	ปริมาณเชื้อเพลิง (m^3/วัน)
20 ต.ค.62	5.8	679	30.0	3232	9.248	825
21 ต.ค.62	6.1	687	30.2	3234	10.355	835
22 ต.ค.62	6.1	688	29.3	3229	10.550	838
23 ต.ค.62	5.7	675	31.0	3235	9.557	826
26 ต.ค.62	6.2	690	32.0	3238	9.463	823
27 ต.ค.62	5.9	682	27.6	3226	10.446	836
28 ต.ค.62	6.0	685	32.1	3239	10.449	836
เฉลี่ย	**6.0**	**684**	**30.0**	**3233**	**10.0**	**831**

ตารางที่ ค.2 ปริมาณน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำหมายเลข 4 5 และ 6 หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ

วันที่	หม้อไอน้ำหมายเลข 4		หม้อไอน้ำหมายเลข 5		หม้อไอน้ำหมายเลข 6	
	ปริมาณน้ำ (m^3/วัน)	ปริมาณเชื้อเพลิง (m^3/วัน)	ปริมาณน้ำ (m^3/วัน)	ปริมาณเชื้อเพลิง (m^3/วัน)	ปริมาณน้ำ (m^3/วัน)	ปริมาณเชื้อเพลิง (m^3/วัน)
4 พ.ย.62	5.9	551	29.2	2955	9.554	818
5 พ.ย.62	6.0	553	30.1	2958	10.530	825
6 พ.ย.62	5.8	549	32.4	2964	10.228	822
7 พ.ย.62	6.2	555	28.0	2952	10.465	824
8 พ.ย.62	6.0	554	30.0	2960	10.226	823
9 พ.ย.62	6.3	558	29.6	2957	9.539	817
10 พ.ย.62	5.8	550	31.0	2961	9.574	818
เฉลี่ย	**6.0**	**553**	**30.0**	**2958**	**10.0**	**821**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลสำหรับการเลือกขนาดท่อและการคำนวณหาความสูงคอนเดนเสท

ระบบ	ปริมาณคอนเดนเสท (m^3/วัน)	ความดันไอต่ำสุดที่ออกจากระบบ (บาร์)	ความดันไอสูงสุดที่ออกจากระบบ (บาร์)
Printing 3	5	1.5	2
Printing 4	5	1.5	2
Dry C1/C2	5.3	1	2.5
Dry C3	2.7	1	2.5

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

	หมายเลขหม้อน้ำ			
	3	4	5 (ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ)	6 (ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ)
น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (m^3/วัน)	6	6	30	10
อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหลังผ่าน economizer (°C)	75	75	75	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ค่า specific enthalpy ที่อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (h_l) [17]

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	h_l (kJ/kg)
25	997.05	104.8
30	995.65	125.7
35	994.03	146.6
40	992.22	167.5
45	990.21	188.4
50	988.04	209.3
55	985.69	230.3
60	983.2	251.2
65	980.55	272.1
70	977.76	293.2
75	974.84	314
80	971.79	335
85	968.61	356
90	965.31	377
95	961.89	398.1
100	958.35	419.2

ตารางที่ ง.2 ค่า safety factor ของกับดักไอน้ำ [18]

ประเภทของกับดักไอน้ำ	Safety factor
แบบสมดุลแรงดัน	3
แบบไบเมทัล	2.5
แบบลูกลอย	2
แบบถ้วยคว่ำ	2.5
แบบใช้การขยายตัวของเหลว	3
แบบเทอร์โมไดนามิกส์	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ค่า minor loss coefficient (K_f) ของระบบ Printing 3, Printing 4, Dry C1/C2 และ Dry C3 [19]

ประเภท	Printing 3 และ Printing 4		Dry C1/C2		Dry C3	
	K_f	จำนวน	K_f	จำนวน	K_f	จำนวน
ข้อต่อ 90 องศา	0.75	3	0.75	2	0.75	3
ข้อต่อ 45 องศา	-	-	0.35	2	-	-
โกลบวาล์ว	6	1	6	1	6	1

ตารางที่ ง.4 ความหนาของฉนวนที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ (แนวทางการเลือกความหนาที่จะใช้) [20]

ระบบท่อ	ช่วงอุณหภูมิของของเหลว (°C)	ขนาดท่อ (นิ้ว)					
		< 1	1½ - 2	2½ - 4	5 - 6	8 - 12	14 - 20
		ความหนา (นิ้ว)					
ไอน้ำร้อนความดันสูง	152-238	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ความดันปานกลาง	122-151	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0
ความดันต่ำ	94-121	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5
อุณหภูมิต่ำ	49-93	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0
คอนเดนเสท	30-50	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 ค่า thermal conductivity ของฉนวน Micro cover [20]

อุณหภูมิ (°C)	Thermal conductivity (W/m°C)
10	0.03
24	0.032
38	0.033
66	0.038
93	0.043
121	0.046
148	0.051
177	0.056
204	0.062
232	0.069
260	0.075

ตารางที่ ง.6 ค่า thermal conductivity ของฉนวน Micro hi-temp [21]

อุณหภูมิ (°C)	Thermal conductivity (W/m K)		
	24 kg/m^3	32 kg/ m^3	40 kg/ m^3
24	0.035	0.033	0.031
50	0.039	0.037	0.036
100	0.049	0.046	0.043
150	0.067	0.059	0.054
200	0.088	0.074	0.063
250	0.11	0.098	0.085
300	0.152	0.129	0.104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้