การพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม

การศึกษาค้นคว้าอิสระ

ของ

สิริธร ศรีไพบูลย์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

กันยายน 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม

การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
สิริธร ศรีไพบูลย์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
กันยายน 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

A Development of Real Time Monitoring System for the Operation of Steam Generators and Steam Users: A Case Study of Beverage Manufacturing Factory

Sirithorn Sripaiboon

A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)
September 2021
Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของ นางสาวสิริธร ศรีไพบูลย์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. อดิเรก จันตะคุณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. สุพรรณนิกา วัฒนะ)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)	(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม
ผู้วิจัย สิริธร ศรีไพบูลย์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณนิกา วัฒนะ
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time โดยการพัฒนาซอฟต์แวร์ตามหลักการทำงานของระบบสกาดา เพื่อนำมาใช้ในการติดตามสถานะและแจ้งเตือนให้กับผู้ใช้งาน ซึ่งจะแสดงสถานะการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำและการใช้ไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำ โดยใช้หน่วยควบคุมระยะไกลเป็นตัวกลางทำการเชื่อมต่อซอฟต์แวร์ระบบต่าง ๆ ร่วมกับระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่ได้พัฒนาขึ้น ทำให้ซอฟต์แวร์สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้ จากการทดสอบและประเมินการใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นโดยการใช้ค่าสถิติเชิงพรรณนาในการวัดระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบทุกคนจำนวน 7 ราย พบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งทำให้ระบบนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง และนำไปพัฒนาเพื่อใช้งานกับอุตสาหกรรมอื่น ๆได้

คำสำคัญ : ระบบไอน้ำ, ระบบสกาดา, ระบบติดตามสถานะ, โรงงานผลิตเครื่องดื่ม

TITLE	A Development of Real Time Monitoring System for the Operation of Steam Generators and Steam Users: A Case Study of Beverage Manufacturing Factory		
AUTHOR	Sirithorn Sripaiboon		
ADVISORS	Assistant Professor Supannika Wattana , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	**MAJOR**	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Mahasarakham University	**YEAR**	2021

ABSTRACT

This research presents the design and development of a real time monitoring system for the operation of steam generators and steam users by developing software according to the SCADA system. This system is used for monitoring and notifying users about the status of the steam generation from steam generators and the steam consumption from steam users by employing remote control unit for interfacing various system software with the developed monitoring system. This allows the software to communicate with each other. Based on the assessment by using descriptive statistics to measure a satisfaction level of 7 users, it is shown that the developed monitoring system have been verified for accuracy and the system can operate properly. Therefore, this system is practical and can be developed for applying to other industries.

Keyword : Steam system, SCADA system, monitoring system, beverage manufacturing factory

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ ผศ.ดร.สุพรรณนิกา วัฒนะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและแก้ไขข้อพกพร้องต่างๆ ขอขอบพระคุณผศ.ดร.อดิเรก จันตะคุณ, ผศ.ดร.นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ และผศ.ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา ที่กรุณาให้คำแนะนำตรวจแก้ไขและเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนสามารถนำเอาความรู้มาบูรณาการในการทำการค้นคว้าอิสระได้สำเร็จ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาการวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) และบริษัท สิงห์ เบเวอเรช จำกัด ที่ได้มอบโอกาส ความรู้ และประสบการณ์ รวมถึงให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนสามารถนำผลสำเร็จของงานวิจัยนี้ไปใช้ได้จริง

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรคณะวิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและข้อแนะนำในการทำการค้นคว้าอิสระ ขอบคุณครอบครัวและเพื่อที่เป็นกำลังใจสำคัญช่วยให้งานการค้นคว้าอิสระสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สิริธร ศรีไพบูลย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพประกอบ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชนที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 พื้นฐานของหม้อน้ำ กระบวนการผลิตไอน้ำ และวิธีการลดพลังงาน 3

2.2 ระบบควบคุมดูแล และจัดเก็บข้อมูล 31

2.3 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของ 35

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 41

3.1 โครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบ 41

3.2 การออกแบบระบบภายในซอฟต์แวร์ 42

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 42

3.4 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 44

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 46

บทที่ 4 ผลการวิจัย 49
4.1 ผลการพัฒนาระบบติดตามสถานการณ์ทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ 49
4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และผู้ใช้ไอน้ำ 52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 54
5.1 สรุปผลการวิจัย 54
5.2 ข้อเสนอแนะ 54
บรรณานุกรม 55
ประวัติผู้เขียน 58

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 ตัวอย่างตารางไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิใดๆ 23

ตาราง 2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย..... 36

ตาราง 3.1 รายละเอียดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ 44

ตาราง 4.1 การแสดงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมของระบบ..... 52

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 2.1 องค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ [1] 3
ภาพประกอบ 2.2 ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของหม้อไอน้ำ [1] 4
ภาพประกอบ 2.3 จำนวนกลับของท่อไฟ [1] 6
ภาพประกอบ 2.4 ห้องกลับไฟ (a) แบบหลังเปียก (b) แบบหลังแห้ง [1] 6
ภาพประกอบ 2.5 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ [1] 6
ภาพประกอบ 2.6 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลับ หลังเปียก [1] 7
ภาพประกอบ 2.7 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับ หลังแห้ง [1] 7
ภาพประกอบ 2.8 หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง [1] 8
ภาพประกอบ 2.9 หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็ก [1] 9
ภาพประกอบ 2.10 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ [1] 10
ภาพประกอบ 2.11 หม้อน้ำโรงไฟฟ้า [1] 11
ภาพประกอบ 2.12 หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้ง [1] 12
ภาพประกอบ 2.13 หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A, D และ O [1] 13
ภาพประกอบ 2.14 หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียว [1] 13
ภาพประกอบ 2.15 หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้ง [1] 14
ภาพประกอบ 2.16 หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้ [1] 15
ภาพประกอบ 2.17 หม้อน้ำแบบผสม กรณีใช้เชื้อเพลิงแข็ง [1] 16
ภาพประกอบ 2.18 หม้อน้ำแบบผสม กรณีใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ [1] 16
ภาพประกอบ 2.19 หม้อน้ำไฟฟ้า [1] 16
ภาพประกอบ 2.20 กราฟ T-V ของน้ำ และกระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำเมื่อความดันคงที่ [2] ... 20
ภาพประกอบ 2.21 กราฟ T-V ของน้ำ และการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ณ ความดันใด ๆ [2] 21

ภาพประกอบ 2.22 Economizer [3] 27

ภาพประกอบ 2.23 Air preheater [3] 27

ภาพประกอบ 2.24 ตัวอย่างการหุ้มฉนวนตรงท่อส่งไอน้ำ [3] 28

ภาพประกอบ 2.25 Continuous blow down heat recovery [3] 29

ภาพประกอบ 2.26 การนำ drain กลับมาที่ feed water tank [3] 29

ภาพประกอบ 2.27 องค์ประกอบของ SCADA [4] 31

ภาพประกอบ 2.28 การติดตั้ง SCADA สำหรับตรวจสอบ เก็บรวบรวมข้อมูล และบริหารระบบควบคุม *[4]* 32

ภาพประกอบ 2.29 การติดต่อโดยใช้ SPC เป็นตัวกลางระหว่าง Central Computer SCADA Software และ RTU [4] 35

ภาพประกอบ 3.1 โครงสร้างภาพรวมของระบบ 41

ภาพประกอบ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 43

ภาพประกอบ 4.1 จอแสดงผล ณ เวลาจริง 51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

แหล่งพลังงานความร้อนที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม มีด้วยกันหลายรูปแบบ พลังงานความร้อนในรูปแบบของไอน้ำถือเป็นหนึ่งในพลังงานที่สำคัญและเป็นที่นิยมนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคารกลุ่มโรงแรม โรงพยาบาล ระบบไอน้ำแบบระบบท่อปิดเป็นระบบที่ผลิตแล้วต้องใช้ทันที ส่วนสำคัญในการจัดการระบบไอน้ำที่ดีนั้น ต้องควบคุมปริมาณการผลิตไอน้ำให้สัมพันธ์กับปริมาณการใช้ไอน้ำ โดยเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ทำงานมีประสิทธิภาพนั้น จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน รวมถึงมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มที่จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม โดยการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ต่าง ๆ ที่สามารถทำงานประสานกันระหว่างระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำ ระบบควบคุมกระบวนการผลิตของแต่ละผู้ใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำและอุปกรณ์ตรวจวัด บนโครงสร้างของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศของโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ระบบจัดการระบบไอน้ำในงานวิจัยนี้ คือ ระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time ระบบจะรวบรวมข้อมูลจาก ระบบควบคุมกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไอน้ำระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำ และอุปกรณ์เครื่องตรวจวัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาแสดงผลอย่างเป็นระบบ ทำให้ผู้ควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำสามารถทราบถึงสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และผู้ใช้ไอน้ำในปัจจุบัน รวมถึงสามารถสร้างความเข้าใจพฤติกรรมผู้ใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำให้กับผู้ควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำได้มากขึ้น ลดความผิดพลาดของการควบคุมเครื่องจักร และสามารถดูความผิดปกติของการทำงานของเครื่องจักรได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และผู้ใช้ไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่ม พฤติกรรมการผลิตและการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในโรงงาน

1.3.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และศึกษากระบวนการผลิตไอน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำและการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1.3.3 ศึกษาฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่ม และซอฟต์แวร์ในการพัฒนาระบบ

1.3.4 รวบรวมและจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ

1.3.5 พัฒนาออกแบบระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ

1.3.6 ดำเนินการทดสอบการใช้ระบบที่ได้ทำการพัฒนา

1.4 ประโยชนที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำระบบไปใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการจัดการเครื่องกำเนิดไอน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.2 เป็นการนำเสนอแนวทางในการพัฒนาการจัดการพลังงานไอน้ำ โดยมุ่งเน้นถึงการลดต้นทุนการผลิต

1.4.3 สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาแนวทางการควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำและการจัดการพลังงานให้ดียิ่งขึ้น รวมถึงยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดการพลังงานด้านอื่น ๆได้อีกด้วย

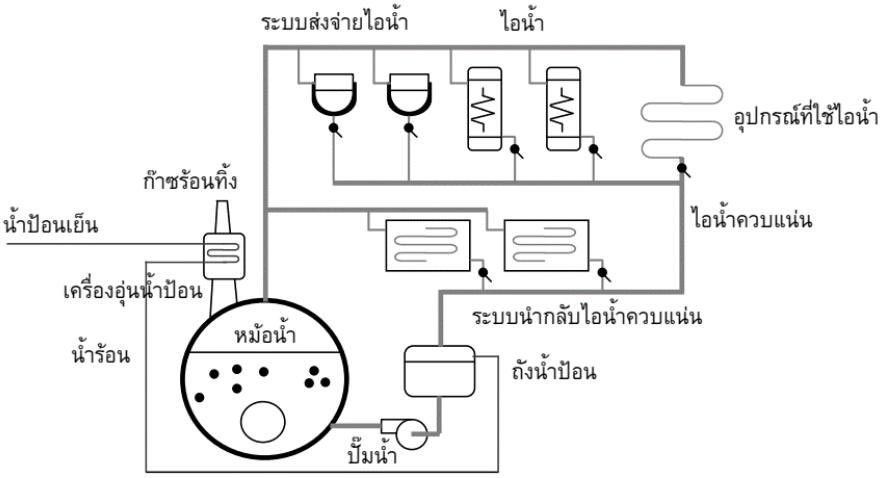
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการผลิตไอน้ำและการใช้ไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างถูกต้อง ในบทนี้จึงดำเนินการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของหม้อน้ำ กระบวนการผลิตไอน้ำ วิธีการลดพลังงาน ในหัวข้อที่ 2.1 และหัวข้อที่ 2.2 อธิบายถึงระบบควบคุมดูแลและจัดเก็บข้อมูล และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานเครื่องเนิดไอน้ำมีการนำเสนอในหัวข้อที่ 2.3

2.1 พื้นฐานของหม้อน้ำ กระบวนการผลิตไอน้ำ และวิธีการลดพลังงาน

2.1.1 พื้นฐานของหม้อน้ำและระบบไอน้ำ

ระบบไอน้ำ หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยหม้อน้ำและอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ หม้อน้ำ ระบบส่งจ่ายไอน้ำระบบนำกลับไอน้ำควบแน่นหรือคอนเดนเสท (Condensate) และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ(ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง) ดังภาพประกอบ 2.1 ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็น ได้ในหลายอุตสาหกรรม จากภาพประกอบ 2.1 น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อน้ำ เพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตในโรงงานผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมาเก็บไวในถังน้ำป้อนเพื่อรวมกับน้ำเติมก่อนที่จะส่งไปยังหม้อน้ำ และผลิตเป็นไอน้ำต่อไป



ภาพประกอบ 2.1 องค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ [1]

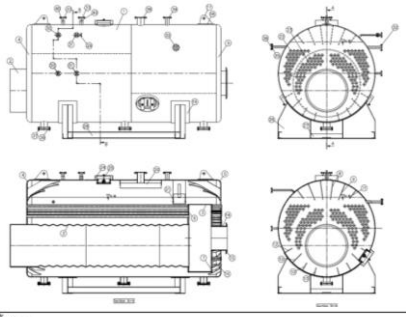
หม้อน้ำ เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไอน้ำเพื่อนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ โดยสามารถผลิตไอน้ำได้ทั้งปริมาณและความดันที่ต้องการ ดังนั้นหม้อน้ำจึงมีหลายแบบตามความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) จะใช้ในการถ่ายเทความร้อน (Heat Exchanger) ในกระบวนการผลิตและไอน้ำยิ่งยวด (Superheat Steam) ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะใช้เป็นต้นกำลัง (Power Plant) เช่น ขับเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น คำจำกัดความของหม้อน้ำตามกฎกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ.2549 ระบุว่าหม้อน้ำ หมายถึง ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่นน้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลหรือภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป

2.1.2 โครงสร้างหม้อน้ำ

หม้อน้ำ ทุกแบบจะต้องประกอบด้วย

- เตา (Furnace) หรือห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) เป็นส่วนสำหรับให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้หรือสันดาปกับอากาศ
- ส่วนที่เก็บน้ำ (Water space) เป็นส่วนที่เก็บน้ำไว้ภายในหม้อน้ำ
- ส่วนที่เก็บไอน้ำ (Steam space) คือ ส่วนที่สะสมไอน้ำที่เกิดจากการผลิตไอน้ำ

การออกแบบหม้อน้ำโดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงรายละเอียดโครงสร้าง และส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้โครงสร้างมีความแข็งแรง สามารถใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัยซึ่งต้องมีการออกแบบให้สามารถรับความเค้นจากความดันไอน้ำ และอุณหภูมิขณะทำงานได้ ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ ชนิด 3 กลับ แสดงได้ดังภาพประกอบ 2.2



รายการชิ้นส่วน

1-เปลือกหม้อน้ำ	15-หน้าแปลนท้าย	25-ช่องคนลง	34-หน้าแปลนมือดิเลคโทรด
2-ท่อไฟใหญ่	16-เหล็กยึดโยง	26-แท่นเครื่อง	35-หน้าแปลนช่องระบายผิว
3-ห้องไฟกลับ	17-หูหิ้ว	27-เหล็กยึดฐาน	36-หน้าแปลนท่อจ่ายไอน้ำ
4-ผนังหน้า	18-19-แผ่นเชื่อมยึด	28-เหล็กฐาน	37-หน้าแปลนช่องคนลง
5-ผนังหลัง	20-อุปกรณ์แยกน้ำจากไอน้ำ	29-ชิ้นตรวจระดับน้ำ	38-แผ่นปิดช่องท่อระบาย
6-ผนังหน้าห้องไฟกลับ	21-กล่องน้ำเข้า	30-หน้าแปลนมือดแห่งแก้วดูระดับน้ำ	39-แผ่นปิดช่องมือลอด
7-ผนังหลังห้องไฟกลับ	22-ท่อไฟเล็กกลับที่ 3	31-หน้าแปลนมือดชุดลูกลอยระดับน้ำ	40-ข้อลด
8-13-หูช้าง หรือเหล็กยึดโยง	23-ท่อไฟเล็กกลับที่ 2	32-หน้าแปลนท่อน้ำเข้า	
14-แผ่นครอบ	24-แผ่นเสริมยึดช่องคนลง	33-หน้าแปลนมือดชิ้นนิรภัย	

ภาพประกอบ 2.2 ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของหม้อไอน้ำ [1]

2.1.3 ประเภทของหม้อน้ำ

หม้อน้ำปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะโครงสร้างคือหม้อน้ำแบบท่อไฟหม้อน้ำแบบท่อน้ำและหม้อน้ำแบบอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถจัดอยู่ในหม้อน้ำสองประเภทแรกได้ ซึ่งรายละเอียดของหม้อน้ำแต่ละประเภทมีดังต่อไปนี้

1) หม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) คือ หม้อน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อ หม้อน้ำแบบท่อไฟมีลักษณะโครงสร้างดังต่อไปนี้

(ก) เปลือกหม้อน้ำ (Boiler shell) หมายถึง เปลือกเหล็กของหม้อน้ำภายในบรรจุน้ำและไอน้ำที่มีความดัน จึงต้องได้รับการออกแบบและสร้างอย่างแข็งแรง แต่ไม่ได้หมายรวมถึงอิฐหรือฉนวนความร้อนที่หุ้มหม้อน้ำ เปลือกหม้อน้ำมีทั้งที่ทำด้วยเหล็กกล้าและเหล็กหล่อแต่ที่ทำด้วยเหล็กหล่อจะเป็นหม้อน้ำขนาดเล็กส่วนหม้อน้ำขนาดใหญ่จะทำด้วยแผ่นเหล็กกล้า (เช่น ASTM SA516-70 ตามมาตรฐาน ASME Section II) ม้วนขึ้นรูปให้มีรูปทรงกระบอก

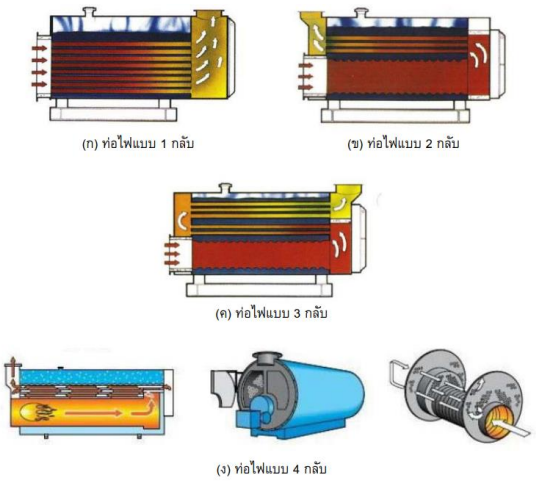
(ข) ผนังหน้าและผนังหลังหม้อน้ำ (End plate or tube sheet) คือ ส่วนที่ปิดหัวปิดท้ายของเปลือกหม้อน้ำ ผนังหม้อน้ำมีทั้งแบบแผ่นเหล็กเรียบแบบขึ้นรูปเป็นแผ่นโค้ง และแบบขอบโค้ง ผนังหม้อน้ำแบบแผ่นโค้งสามารถรับความดันไอน้ำได้ดีแต่มีความยุ่งยากในการสร้างที่ต้องเจาะรูเพื่อใส่ท่อไฟ ผนังหม้อน้ำแบบแผ่นเรียบทำได้ง่ายเหมาะสำหรับเป็นผนังที่ต้องเจาะรูเพื่อใส่ท่อไฟ แต่ผนังแผ่นเรียบแข็งแรงน้อยกว่าจะต้องออกแบบให้มีความหนาของแผ่นเหล็กมากกว่า และจะต้องออกแบบติดตั้งเหล็กยึดโยงเพื่อเสริมความแข็งแรงของผนังเปลือกหม้อน้ำ

(ค) เหล็กยึดโยง (Stay) ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงของผนังหม้อน้ำโดยการดึงผนังหม้อน้ำเอาไว้อาจจะดึงผนังไว้กับเปลือกหม้อน้ำ หรือดึงระหว่างผนังหนากับผนังหลังหม้อน้ำเอาไว้ด้วยกันมีทั้งแบบเหล็กแท่งกลม (Stay Rod) แบบหูช้าง (Gusset stay) หรือเป็นท่อกลวง (Stay tube) เพื่อถ่ายเทความร้อนด้วย

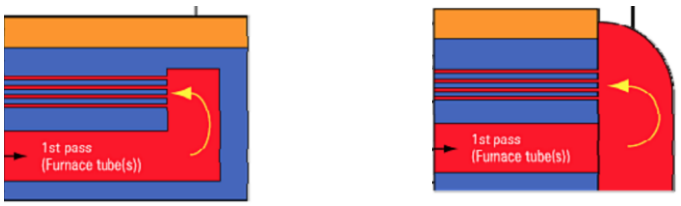
(ง) ท่อไฟใหญ่หรือลูกหมู (Furnace) คือท่อนำก๊าซร้อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่มักจะเป็นห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ มีทั้งแบบขึ้นรูปเป็นลอนที่แข็งกว่าและถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าแบบท่อไฟเรียบที่ต้องมีความหนามากกว่าและต้องมีวงแหวนเสริมความแข็งแรง (Reinforce ring) ภายนอก

(จ) ท่อไฟเล็ก (Fire tube) คือท่อขนาดเล็กที่ให้ก๊าซร้อนไหลผ่านภายในท่อมีการติดตั้ง 2 ลักษณะคือ แบบเชื่อมและแบบเบ่งสำหรับถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายนอกท่อ และทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงของผนังหม้อน้ำ(กรณีติดตั้งแบบเชื่อม) โดยการดึงผนังหม้อน้ำท่อไฟเล็กมีทั้งแบบเกลียว และแบบเรียบซึ่งส่วนมากมักจะเป็นท่อเรียบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 4 นิ้ว ความหนาของท่อระหว่าง 2.5-3.5 มิลลิเมตร แต่หม้อน้ำบางยี่ห้ออาจจะเป็นท่อไฟเล็กแบบเกลียวเพื่อให้ก๊าซร้อนเกิดการหมุนวนเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน หม้อน้ำทั่วไปจะมีการออกแบบท้อไฟเล็กในหม้อน้ำให้ก๊าซร้อนมีทิศทางการไหลกลับไปกลับมาอยู่ภายในหม้อน้ำเพื่อเพิ่มระยะทางในการแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงของหม้อน้ำสูงขึ้น

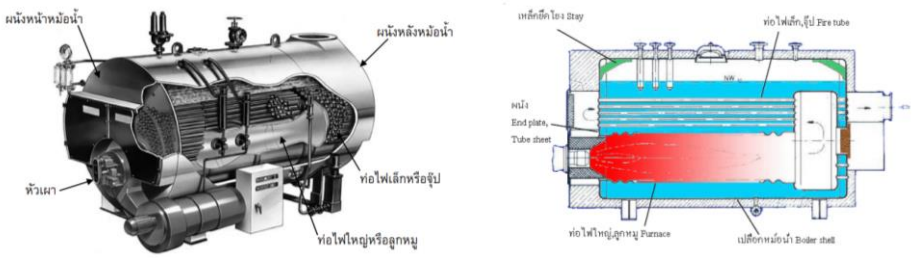
ตามไปด้วยเรียกจำนวนครั้งในการไหลกลับไปกลับมาของก๊าซร้อนในท่อไฟทั้งหมดภายในหม้อน้ำว่าจำนวนกลับ (Pass) ดังภาพประกอบ 2.3 นอกจากนี้ตรงบริเวณหัวและท้ายหม้อน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ไฟมีการกลับทิศทางการไหล จะเรียกบริเวณนี้ว่าห้องไฟกลับหากห้องไฟกลับนั้นมีน้ำล้อมรอบภายนอกจะเรียกว่าแบบหลังเปียก (Wet back) ในทางกลับกัน หากห้องไฟกลับไม่มีน้ำล้อมรอบหรือเป็นแบบห้องที่ก่อด้วยอิฐทนไฟยื่นออกไปนอกตัวหม้อน้ำจะเรียกว่าแบบหลังแห้ง (Dry back) ดังภาพประกอบ 2.4 และโครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟแสดงได้ดังภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.3 จำนวนกลับของท่อไฟ [1]



ภาพประกอบ 2.4 ห้องกลับไฟ (a) แบบหลังเปียก (b) แบบหลังแห้ง [1]



ภาพประกอบ 2.5 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟ [1]

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งหม้อน้ำแบบท่อไฟตามลักษณะการจัดวางท่อไฟได้อีก 3 ประเภทย่อย ได้แก่

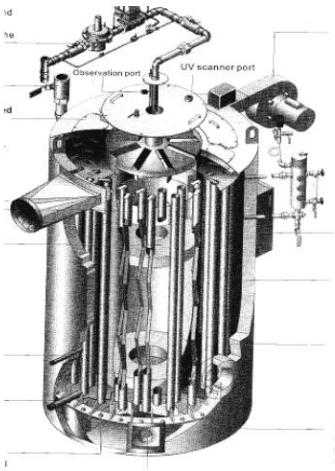
(ก) หม้อน้ำแบบท่อไฟนอน (Horizontal package fire tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนจากก๊าซร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อไฟนั้น โดยมีเปลือกหม้อน้ำรูปทรงกระบอกนอนเป็นภาชนะรับความดันไอน้ำและเก็บกักน้ำไว้ ขนาดของหม้อน้ำแบบท่อไฟนอนส่วนใหญ่จะมีขนาดกำลังผลิตไอน้ำอยู่ประมาณ 100-12,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) อยู่ประมาณ 1-2 MPa สำหรับหม้อน้ำแบบท่อไฟที่มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำและความดันอนุญาตใช้งานสูงสุดที่สูงกว่านี้จะเป็นหม้อน้ำที่ต้องออกแบบเป็นพิเศษจึงที่มีใช้งานกันไม่มากเนื่องจากข้อจำกัดทางโครงสร้างการออกแบบ หม้อน้ำแบบท่อไฟสำเร็จรูป (Package fire tube boiler) ที่ใช้งานกันมากที่สุด คือ หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลับหลังเปียก (3-pass wet back fire tube boiler) ประมาณ 80% ของหม้อน้ำที่มีใช้ในปัจจุบัน ดังภาพประกอบ 2.6 รองลงมาคือหม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับหลังแห้ง (4-pass dry back fire tube boiler) ประมาณ 10%ของหม้อน้ำที่มีใช้ในปัจจุบัน ดังภาพประกอบ 2.7 หม้อน้ำทั้ง 2 แบบ เป็นหม้อน้ำแบบสำเร็จรูปแบบท่อไฟนอนขนาดของหม้อน้ำแบบนี้ส่วนใหญ่จะมีขนาดกำลังผลิตไอน้ำอยู่ระหว่าง 500 – 12,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (WAWP) อยู่ระหว่าง 1-2 MPa และส่วนใหญ่ประมาณ 70% ของผู้ใช้หม้อน้ำแบบนี้จะผลิตไอน้ำที่ความดัน 750 kPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำอยู่ระหว่าง 80-93% (LHV)

ภาพประกอบ 2.6 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 3 กลับ หลังเปียก [1]

ภาพประกอบ 2.7 หม้อน้ำแบบท่อไฟ 4 กลับ หลังแห้ง [1]

(ข) หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง (Vertical fire tube boiler) เป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟขนาดเล็กมีเปลือกหม้อน้ำรูปทรงตั้งที่เก็บน้ำอยู่ประมาณ 80% ของความสูงของหม้อน้ำมีท่อไฟขนาดเล็กจำนวนหลายท่อเพื่อรับการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนซึ่งไหลภายในท่อไฟตำแหน่งห้องเผาไหม้หรือลักษณะการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต ดังภาพประกอบ 2.8 หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง

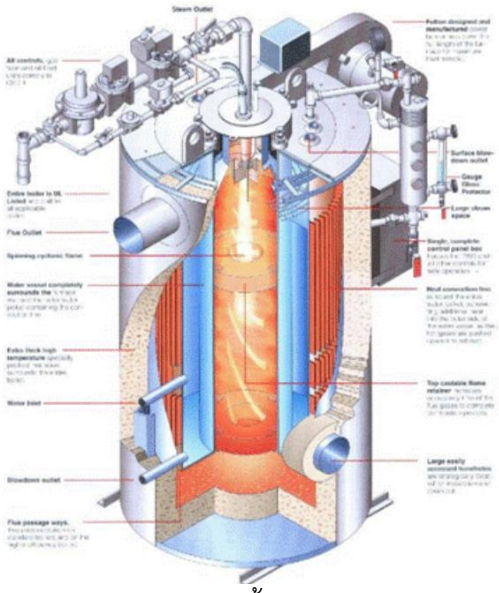
เหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มาก ขนาดไม่ใหญ่และไม่มีการ เปลี่ยนแปลงของภาระไอน้ำ (Steam load) อย่างรวดเร็ว เป็นหม้อน้ำที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมาก มีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซแต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเพราะหม้อน้ำขนาดเล็กอาจมีปัญหาเรื่องเขม่าควันอุดตัน และต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาบ่อย ถ้าต้องการจะใช้หม้อน้ำแบบท้อไฟตั้งที่ใช้น้ำมันเตาแบบเชื้อเพลิง ควรจะเป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่าและการเผาไหม้สะอาด ขนาดกำลังผลิตไอน้ำของหม้อน้ำแบบนี้อยู่ระหว่างประมาณ 10-2,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) ไม่เกิน 1 MPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 75-85% (LHV) หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นแต่มีราคาเครื่องต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น



ภาพประกอบ 2.8 หม้อน้ำแบบท่อไฟตั้ง [1]

(ค) หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็ก (Tubeless boiler) มีรูปร่างโครงสร้างคล้ายกันกับหม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเป็นอย่างมากเพียงแต่ภายในหม้อน้ำไม่มีท่อไฟเล็กแต่หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กถือเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟ เพราะมีท่อไฟใหญ่เป็นห้องเผาไหม้อยู่ตรงกลางหรืออาจจะนับเป็นหม้อน้ำแบบลูกหมูตั้งก็ได้ เพราะมีลักษณะคล้ายกับหม้อน้ำแบบลูกหมูของโรงสี แต่หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กเป็นหม้อน้ำท่อไฟตั้งสมัยใหม่ที่ใช้ระบบหัวพ่นไฟและระบบความปลอดภัยที่ทันสมัย ดังภาพประกอบ 2.9 หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็กเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟขนาดเล็ก เหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มาก และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระไอน้ำ (Steam load) อย่างรวดเร็ว เป็นหม้อน้ำที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมากมีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซแต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเชื้อเพลิง เพราะหม้อน้ำขนาดเล็กอาจมีปัญหาเรื่องเขม่าควันอุดตัน และต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาบ่อย เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซเพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่าและมีการเผาไหม้สะอาด ขนาดกำลังผลิตของหม้อน้ำแบบนี้อยู่ระหว่างประมาณ 10-1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (WAWP) ไม่เกิน 1 MPa มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 75-80% (LHV) ซึ่งน้อยกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟตั้งเล็กน้อย หม้อน้ำ

แบบไม่มีท่อไฟเล็กถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นๆ แต่มีราคาเครื่องต่ำกว่าหม้อไอแบบอื่นๆ



ภาพประกอบ 2.9 หม้อน้ำแบบไม่มีท่อไฟเล็ก [1]

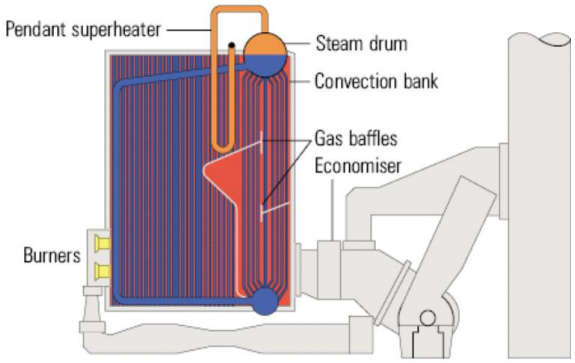
2) หม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีน้ำอยู่ภายในท่อน้ำรับความร้อนจากก๊าซร้อนที่ไหลผ่านอยู่ภายนอกท่อเพื่อระเหยกลายเป็นไอน้ำ หม้อน้ำแบบท่อน้ำมีหลากหลายประเภทมากมีขนาดกำลังผลิตไอน้ำตั้งแต่ขนาดเล็กๆ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จนถึงขนาดใหญ่มากที่สามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 1,300 MW ความดันอนุญาตใช้งานสูงสุด (MAWP) อยู่ระหว่างประมาณ 1-31 MPa และอุณหภูมิสูง ถึง 593 $^{\circ}$C สำหรับหม้อน้ำแบบท่อน้ำที่มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำมากกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มักจะเป็นหม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่า 1 MPa เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างที่สามารถรับความดันไอน้ำได้สูงกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟซึ่งใช้เปลือกหม้อน้ำเป็นส่วนรับความดันจึงไม่สามารถรับความดันไอน้ำที่สูงมากได้ การเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำควรจะเลือกใช้งานในกรณีที่ต้องการผลิตไอน้ำความดันสูงกว่า 1.5 MPa หรือต้องการปริมาณไอน้ำมากกว่า 15,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้าต้องการผลิตไอน้ำความดันและปริมาณต่ำกว่านี้ไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำเพราะการดูแลบำรุงรักษาที่ยุ่งยากกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันสูง และหม้อน้ำต้องมีการหยุดเครื่องบ่อยและเป็นเวลานานหลายวันเพราะแม้ว่าหม้อน้ำจะมีระบบ Boiler lay-up ทำการอุ่นหม้อน้ำไม่ให้เกินการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน (Cold end corrosion) แต่ก็ต้องใช้พลังงานในการอุ่นหม้อน้ำให้ร้อนอยู่ตลอดเวลา โครงสร้างหลักของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ดังภาพประกอบ 2.10 ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

(ก) ถังไอ (Steam drum or Upper drum) เป็นโครงสร้างเหล็กทรงกระบอกที่อยู่ด้านบนของหม้อน้ำแบบท่อน้ำเป็นที่เกิดหรือแยกตัวของไอน้ำที่ระเหยขึ้นมาจากผิวน้ำโดยปรกติระดับน้ำจะอยู่ประมาณระดับครึ่งหนึ่งของถังไอนี้ส่วนด้านล่างของถังไอจะเป็นส่วนที่ท่อน้ำจำนวนมากเข้ามาต่อชนเพื่อให้น้ำในท่อน้ำที่ได้รับการถ่ายเทความร้อนเวียนขึ้นมาแยกตัวเป็นไอน้ำ หม้อน้ำ

แบบท่อน้ำที่ดีจะมี Steam separator หรือ Steam purifier อยู่ในถังไอด้านบน เพื่อแยกน้ำและสิ่งสกปรกออกจากไอน้ำเพื่อทำให้ไอน้ำแห้งและสะอาดขึ้น

(ข) ถังโคลน (Mud drum or Lower drum) เป็นโครงสร้างเหล็กทรงกระบอกที่อยู่ด้านล่างของหม้อน้ำแบบท่อน้ำมักจะมีขนาดเล็กกว่าถังไอถังโคลนทำหน้าที่คล้ายท่อร่วม (Header) ของท่อน้ำ โดยส่วนด้านบนของถังโคลนจะเป็นส่วนที่ท่อน้ำจำนวนมากจากด้านบนเข้ามาต่อชน ในขณะผลิตไอน้ำจะมีการหมุนเวียนของน้ำในท่อมากตะกอนหนักจะตกลงสะสมที่ถังโคลนนี้ส่วนตะกอนเบาจะถูกหมุนเวียนไปตามธรรมชาติของความแตกต่างกันของอุณหภูมิน้ำ ดังนั้นน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำจะต้องมีความสะอาดมากเพราะสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็ง เช่น ทราย สนิม ขี้เชื่อมโลหะ ฯลฯ จะขัดสีภายในท่อน้ำ เพราะการหมุนเวียนของน้ำในท่อจนทำให้ท่อน้ำบางลงจนแตกได้

(ค) ท่อน้ำ (Water tube) คือท่อที่ให้น้ำไหลผ่านภายในท่อโดยรับความร้อนจากก๊าซร้อนภายนอกท่อถ่ายเทให้กับน้ำที่อยู่ภายในท่อ ท่อน้ำเป็นส่วนที่รับความร้อนส่วนใหญ่จากก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ดังนั้นท่อน้ำจึงต้องสะอาดปราศจากตะกรัน ถ้าภายในท่อน้ำมีตะกรันเพียงบางๆ ท่อน้ำอาจเกิดการเสียหายได้เนื่องจากโลหะผิวนอกท่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากถ่ายเทความร้อนได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมความร้อนของเนื้อโลหะ (Overheat) จนโครงสร้างโลหะของเหล็กเสียไปไม่สามารถรับความดันได้ (Long term overheat) ท่อน้ำมักจะเป็นท่อเรียบหรืออาจมีครีบ (Fin) ภายนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½” ถึง 3” (12.7-76.2 มิลลิเมตร) ความหนาของท่อ 2.0-3.5 มิลลิเมตร

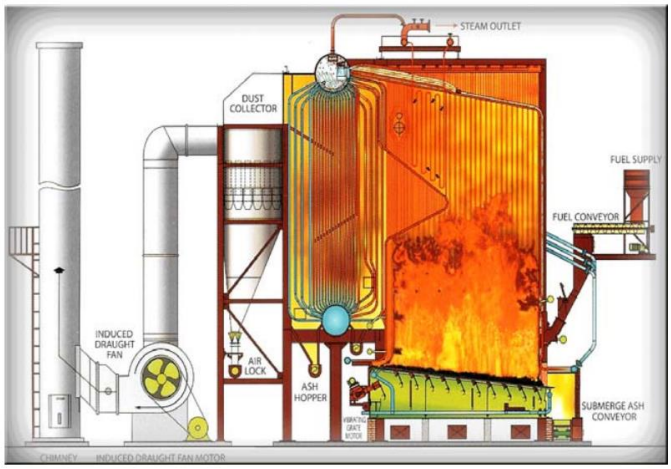


ภาพประกอบ 2.10 โครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อน้ำ [1]

3) หม้อน้ำแบบอื่นๆ

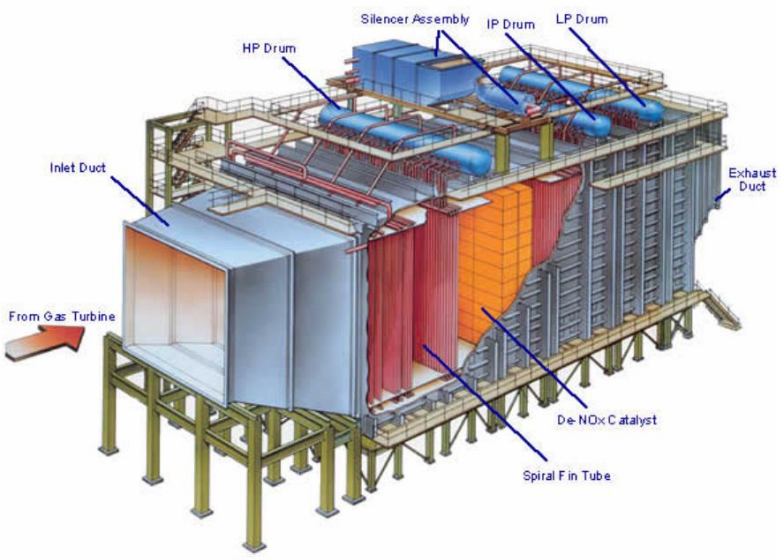
(ก) หม้อน้ำโรงไฟฟ้า (Power plant boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่มากดังแสดงในรูปภาพประกอบ 2.11 ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำยิ่งยวด (Superheated steam) ที่มีความดันสูงมากถึง 4-20 MPa เพื่อจ่ายไอน้ำให้กับกังหันไอน้ำ (Steam turbine) เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตไฟฟ้า เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงก๊าซ เนื่องจากมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงมากจึงต้องเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาต่ำที่สุดระบบหม้อน้ำมีความซับซ้อนมากเพราะจะต้องมีระบบอุปกรณ์สนับสนุนทั้งหลายที่ต่างไปจากหม้อน้ำขนาดเล็กทั่วไป เช่น Superheater, Desuperheater, Economizer, หรือ Recuperator ระบบการเก็บลำเลียง และย่อยถ่านหิน และระบบลดมลพิษทางอากาศ เป็นต้น

ในปัจจุบันเนื่องจากราคาของเชื้อเพลิงที่แพงขึ้นจึงมีการส่งเสริมให้เอกชนสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้าขนาดที่เล็กกว่า 10 MW (VSPP) เพื่อใช้เองหรือขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับระบบโดยใช้หม้อน้ำขนาดเล็กลงและใช้เชื้อเพลิงทางการเกษตรมาเผาไหม้ที่หม้อน้ำแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล



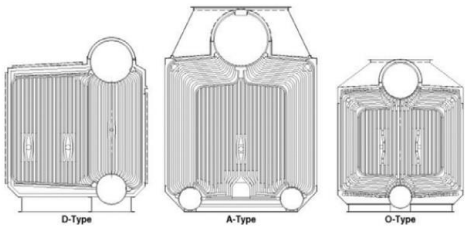
ภาพประกอบ 2.11 หม้อน้ำโรงไฟฟ้า [1]

(ข) หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้ง (Waste heat boiler or heat recovery steam generator, HRSG) เป็นหม้อน้ำที่ผลิตไอน้ำจากก๊าซร้อนที่ทิ้งจากขบวนการเผาไหม้ต่างๆ ลักษณะที่นิยมใช้กันมาก คือการผลิตไอน้ำร่วมกันกับ Gas turbine ที่มีไอเสียอุณหภูมิสูงมากซึ่งได้มาจากเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า (Cogeneration or combined cycle) หม้อน้ำแบบนี้อาจจะสามารถผลิตไอน้ำได้หลายระดับความดันในเครื่องเดียวกัน สามารถติดตั้งหัวเผาที่ปล่องไอเสีย (Duct burner) ก่อนที่จะเข้าหม้อน้ำหรือติดตั้งหัวพ่นไฟที่ตัวหม้อน้ำเอง เพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนในการผลิตไอน้ำให้มากขึ้นเพื่อจ่ายไอน้ำให้กับกังหันไอน้ำ (Steam turbine) หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้หม้อน้ำ HRSG สามารถติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมต่างๆ เหล่านี้ ได้แก่ ชุด Superheater, Desuperheater, Economizer, Air preheater, Duct burner และ Diverter หากต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้งมีลักษณะดังรูปภาพประกอบ 2.12



ภาพประกอบ 2.12 หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้ง [1]

(ค) หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A, D และ O (A, D and O type water tube boiler) ดังรูปภาพประกอบ 1.13 เป็นหม้อน้ำแบบท่อน้ำสำเร็จรูป (Package water tube boiler) สามารถผลิตไอน้ำความดันสูงตั้งแต่ 1.8-10 MPa ขนาดกำลังผลิตไอน้ำประมาณ 5,000-100,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปกติจะผลิตไอน้ำอิ่มตัวแต่สามารถติดตั้ง Superheater ในห้องเผาไหม้เพื่อผลิตไอน้ำยิ่งยวดได้อุณหภูมิไอน้ำถึง 570 °C เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงก๊าซ แต่หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A สามารถสร้างให้มีระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่ด้านล่างระหว่างถังโคลน (Mud drum) ทั้งสองได้และมีระบบอุปกรณ์สนับสนุนต่างจากหม้อน้ำขนาดเล็กทั่วไป เช่น ระบบ Superheated, Desuperheater, Economizer, Recuperator, ระบบการเก็บลำเลียงและย่อยถ่านหิน และระบบลดมลพิษทางอากาศ เป็นต้น การเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำแบบนี้จะเลือกใช้งานที่ต้องการผลิตไอน้ำความดันสูงกว่า 1.5 MPa หรือต้องการปริมาณไอน้ำมากกว่า 15,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ถ้าต้องการผลิตไอน้ำความดันและปริมาณต่ำกว่านี้ไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำนี้เพราะจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าและการบำรุงรักษาที่ยุ่งยากกว่าหม้อน้ำแบบท่อไฟมาก จึงไม่ควรเลือกใช้หม้อน้ำแบบนี้ถ้าจะเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันสูงและหม้อน้ำต้องหยุดเครื่องบ่อยและเป็นเวลานานหลายวัน เพราะแม้ว่าหม้อน้ำจะมีระบบ Boiler lay-up อุ่น ไม่ให้เกิดการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน (Cold end corrosion) แต่ก็ต้องใช้พลังงานในการอุ่นหม้อน้ำให้ร้อนอยู่ตลอดเวลา



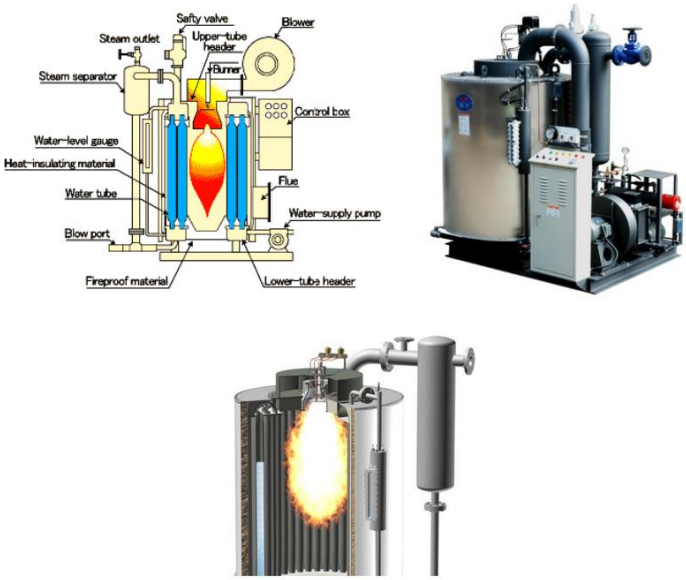
ภาพประกอบ 2.13 หม้อน้ำแบบท่อน้ำรูปตัว A, D และ O [1]

(ง) หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียว (Once-through coiled water tube boiler) เป็นหม้อน้ำที่ส่วนใหญ่มีท่อน้ำขดเป็นวงกลมโดยน้ำอยู่ภายในท่อมีหัวเผาอยู่ตรงกลางของชุดท่อน้ำที่ขดเป็นวงกลมนั้น น้ำจะถูกป้อนเข้าที่ปลายท่อน้ำด้านหนึ่งของชุดขดท่อน้ำแล้วไหลผ่านรับความร้อนออกไปกลายเป็นไอน้ำที่ปลายของท่อน้ำอีกด้านหนึ่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.14 หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียวสามารถผลิตไอน้ำได้เร็วมาก สามารถปรับอัตราการป้อนน้ำและอัตราการเผาไหม้ให้ผลิตเป็นไอน้ำยิ่งยวดได้ แต่ถ้าปรับไม่ถูกต้องจะผลิตไอน้ำที่ความชื้นสูงออกมาแทนเป็นหม้อน้ำที่ต้องการน้ำที่สะอาดมาก ถ้ามีตะกรันในท่อน้ำ ท่อน้ำจะแตกออกหรือถ้ามีการกัดกร่อนจนท่อน้ำทะลุจะต้องเปลี่ยนชุดขดท่อน้ำทั้งชุด หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียวมีทั้งหม้อน้ำที่ใช้น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงก๊าซ แต่เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่าและการเผาไหม้สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียวถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น มีตั้งแต่ขนาดเล็กกำลังผลิตไอน้ำ 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจนถึงขนาดใหญ่มากที่สามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 MW เหมาะที่จะเลือกใช้หม้อน้ำแบบนี้เมื่อต้องการความดันไอน้ำสูงกว่า 1.5 MPa ในจนถึงความดันไอน้ำระดับ Super critical

ภาพประกอบ 2.14 หม้อน้ำแบบท่อขดผ่านครั้งเดียว [1]

(จ) หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้ง (Vertical water tube boiler) เป็นหม้อน้ำแบบท่อขนาดเล็กโครงสร้างมีท่อน้ำขนาดเล็กจำนวนหลายท่อประกอบกับท่อร่วม (Header) ด้านบนและด้านล่าง

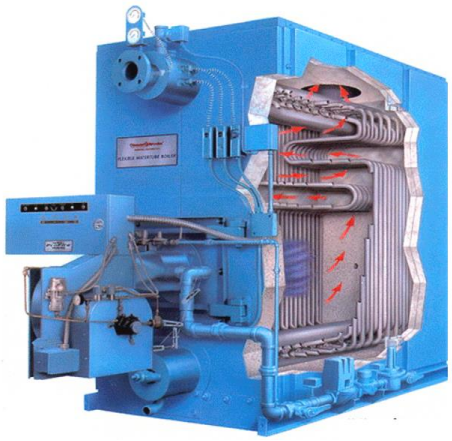
โดยเรียงท่อเป็นรูปวงกลมคล้ายทรงกระบอก และเว้นพื้นที่บริเวณตรงกลางเครื่องไว้สำหรับเป็นห้องเผาไหม้โดยมีหัวพ่นไฟอยู่ตรงกลางที่ด้านบนของหม้อน้ำ ดังรูปภาพประกอบ 2.15 หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งเหมาะกับการใช้ไอน้ำปริมาณไม่มาก และไม่เปลี่ยนแปลงภาวะไอน้ำอย่างรวดเร็วใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยมาก มีทั้งหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ แต่ไม่เหมาะกับการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เพราะหม้อน้ำขนาดเล็ก หัวพ่นไฟมีรูหัวฉีดน้ำมันเตาขนาดเล็กมากทำให้ฉีดพ่นน้ำมันเตาได้ไม่ค่อยดีและต้องล้างทำความสะอาดหัวฉีดน้ำมันเตาที่อยู่ด้านบนบ่อย ถ้าต้องการจะใช้หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงควรจะเป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่ 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซ เพราะมีราคาเชื้อเพลิงถูกกว่าและการเผาไหม้สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งนี้จัดเป็นหม้อน้ำแบบไหลผ่านครั้งเดียว (Once-through boiler) ด้วยเช่นกัน หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้งมีขนาดกำลังผลิต 10-2,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงสุดไม่เกิน 2 MPa ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 80-85% (LHV) ซึ่งถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่น แต่ถ้ามีราคาเครื่องต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นจึงเหมาะที่จะเลือกใช้เป็นหม้อน้ำขนาดเล็กกำลังผลิตไอน้ำไม่เกิน 800 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



ภาพประกอบ 2.15 หม้อน้ำแบบท่อน้ำตั้ง [1]

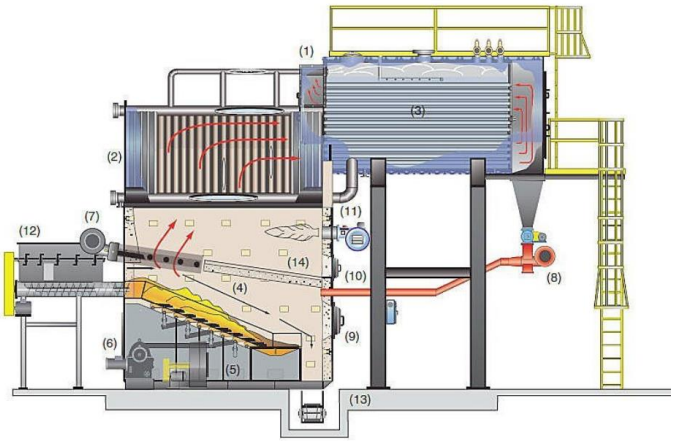
(ฉ) หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้ (Bend water tube knock down boiler) เป็นของ หม้อน้ำแบบท่อน้ำที่ดัดท่อให้เป็นรูปร่างเฉพาะเพื่อกำหนดทิศทางการไหลของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปภาพประกอบ 2.16 ท่อน้ำที่ถูกดัดประกอบปลายท่อทั้งสองด้านเข้ากับท่อร่วม (Header) โดยปลายท่อน้ำถูกออกแบบให้มีความหนาขึ้นและเป็นรูปกรวยเรียวลง แล้วใช้ตัวประกับที่มีนน็อตสำหรับขันอัดให้ปลายท่อน้ำเข้าไปอัดแน่นอยู่ในรูท่อที่ท่อร่วม เวลาขนส่งหม้อน้ำแบบนี้สามารถจะขนส่งหม้อน้ำมาเป็นชิ้นๆ แล้วใช้เวลาในการประกอบบนแท่นเครื่องเพียง 2 วัน ซึ่งการออกแบบหม้อน้ำเช่นนี้จะใช้เป็นหม้อน้ำที่ใช้เปลี่ยนทดแทนหม้อน้ำเก่าที่อยู่ในห้องหม้อน้ำที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายหม้อน้ำเครื่องใหม่เข้าไปเปลี่ยนได้ เช่น หม้อน้ำที่ติดตั้งอยู่บนชั้นใต้ดินที่แคบ

หรือบนอาคารที่สูงมาก เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของหม้อน้ำแบบนี้ หม้อน้ำจึงใช้ได้เพียงเชื้อเพลิงดีเซลหรือเชื้อเพลิงก๊าซ แต่เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อน้ำแบบนี้คือเชื้อเพลิงก๊าซเพราะมีราคาค่าเชื้อเพลิงถูกกว่าและการเผาไหม้สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้ มีขนาดกำลังผลิตไอน้ำ 300-3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงสุดไม่เกิน 1 MPa ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำประมาณ 80- 85% (LHV) ถือเป็นหม้อน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอื่นๆ เหมาะที่จะใช้เป็นหม้อน้ำไว้เปลี่ยน ทดแทนหม้อน้ำเก่าที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายหม้อน้ำเครื่องใหม่แบบปกติเข้าไปเปลี่ยนทดแทนได้

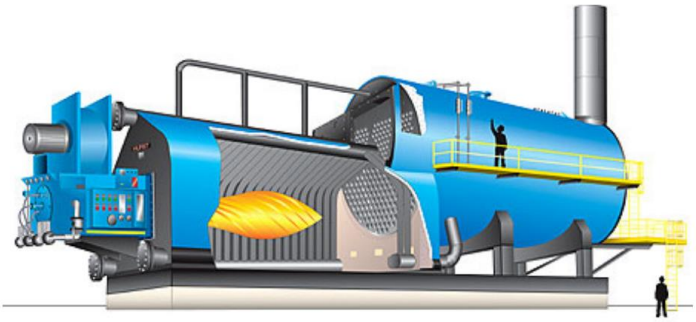


ภาพประกอบ 2.16 หม้อน้ำแบบท่อน้ำดัดถอดประกอบได้ [1]

(ช) หม้อน้ำแบบผสม (Hybrid boiler) เป็นหม้อน้ำที่มีทั้งหม้อน้ำแบบท่อน้ำและหม้อน้ำแบบท่อไฟอยู่ในเครื่องเดียวกัน ส่วนใหญ่จะเป็นหม้อน้ำใช้เชื้อเพลิงแข็ง โดยสร้างให้หม้อน้ำแบบท้อน้ำที่อยู่ด้านล้างเป็นส่วนของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ส่วนโครงสร้างที่เป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟที่อยู่ด้านบนจะเป็นส่วนที่รับการถ่ายเทความร้อนที่เหลือออกมาจากส่วนโครงสร้างหม้อน้ำแบบท่อน้ำดังในรูปภาพประกอบ 2.17 หรือหากใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ การออกแบบอาจจัดวางให้ทั้งหม้อน้ำแบบท่อน้ำและหม้อน้ำแบบท่อไฟอยู่ข้างกันในแนวระดับเกือบเสมอกัน ดังแสดงในรูปภาพประกอบ 2.18 ขนาดกำลังผลิตไอน้ำของหม้อน้ำแบบผสมประมาณ 5,000-20,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันไอน้ำจึงถูกจำกัดด้วยโครงสร้างของหม้อน้ำแบบท่อไฟจึงผลิตความดันไอน้ำสูงสุดไม่เกิน 2 MPa



ภาพประกอบ 2.17 หม้อน้ำแบบผสม กรณีใช้เชื้อเพลิงแข็ง [1]



ภาพประกอบ 2.18 หม้อน้ำแบบผสม กรณีใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ [1]

(ซ) หม้อน้ำไฟฟ้า (Electrical boiler) มีกำลังผลิตไอน้ำประมาณ 10-3,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดัน 1-2 MPa เป็นหม้อน้ำที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้สะอาดเพราะไม่มีระบบลำเลียงเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ปราศจากมลพิษทางอากาศเหมาะกับการผลิตไอน้ำปริมาณไม่มาก แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตไอน้ำมีต้นทุนในการผลิตไอน้ำสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น หม้อน้ำไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปภาพประกอบ 2.19

ภาพประกอบ 2.19 หม้อน้ำไฟฟ้า [1]

2.1.4 ระบบกำเนิดไอน้ำ

หม้อน้ำมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำที่มีความดันสูงในระบบกำเนิดไอน้ำนอกจากจะประกอบด้วยตัวหม้อน้ำแล้วยังต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ในระบบย่อยต่างๆ อีกหลายระบบดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์ในระบบน้ำป้อน ระบบน้ำป้อน (Feed water system) เป็นระบบแรกสุดที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากน้ำป้อนเปรียบเสมือนวัตถุดิบต้นทางในการผลิตไอน้ำ คุณภาพของน้ำป้อนส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของหม้อน้ำ และความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ ระบบน้ำป้อนประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

(ก) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ (Water treatment system) หรือบางครั้งเรียกว่าระบบกรองน้ำ มีหน้าที่ขจัดความกระด้างของน้ำที่มาจากเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total dissolved solids, TDS) ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดตะกรันเกาะผิวถ่ายเทความร้อนภายในหม้อน้ำ

(ข) ถังน้ำป้อน (Feed water tank) ใช้บรรจุน้ำป้อนที่จะนำไปใช้ในหม้อน้ำ โดยทั่วไปแล้วจะมีระบบนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงในการต้มน้ำให้ได้มากที่สุด เมื่อคอนเดนเสทที่นำกลับมาลงถังน้ำป้อนผสมกับน้ำป้อนจากเครื่องทำน้ำอ่อนซึ่งในระบบนี้จะเรียกว่าน้ำเติม (Make up water) แล้วอุณหภูมิของน้ำผสมควรจะมีค่าใกล้ 100 °C ที่สุดเท่าที่จะทำได้เนื่องจาก

- น้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำ ถ้ามีอุณหภูมิร้อนขึ้นทุก 10 °C จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1.6%
- อุณหภูมิน้ำป้อนใกล้ 100 °C จะช่วยไล่ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ ที่ปนอยู่ในน้ำออกได้ดีเกือบเทียบเท่าการใช้ถังไล่อากาศหรือถังดีแอเรเตอร์ (Deaerator)
- ท่อนำน้ำคอนเดนเสทที่บริเวณก่อนเข้าถัง ควรมีท่อแยกพร้อมวาล์วเพื่อใช้เป็ดคอนเดนเสททิ้งในกรณีที่พบว่าน้ำคอนเดนเสทไม่บริสุทธิ์เนื่องจากเหตุใดๆ ก็ตามหรืออาจใช้เพื่อแบ่งน้ำคอนเดนเสทไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ตามต้องการได้

การติดตั้งถังน้ำป้อนมีข้อแนะนำดังต่อไปนี้

- สำหรับระบบการใช้ไอน้ำที่มีคอนเดนเสท (Condensate water return) กลับมาเติมหม้อน้ำมีมากกว่า 75% ถังน้ำป้อนซึ่งเป็นถังน้ำหุ้มฉนวน ก็สามารถใช้งานแบบทั่ว ๆ ไปได้
- ถังน้ำป้อนสามารถสร้างด้วยเหล็กแผ่นความหนาอย่างน้อย 4.5 มิลลิเมตร (จะมีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 10 ปี) ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกนอนหัวท้ายแบบเรียบเป็นที่นิยมใช้งานกันทั่วไป เพราะไม่มีความดันภายในถัง ส่วนถังทรงกระบอกตั้งหรือถังรูปทรงเหลี่ยมไม่นิยมใช้งานกันนอกจากจะมีปัญหาเรื่องพื้นที่ที่จำกัด เพราะถังทรงกระบอกตั้งแบบหัวท้ายเรียบและถังรูปทรงเหลี่ยมอาจจะเกิดเสียงลั่นของแผ่นเหล็กที่ขยับตัวเนื่องจากน้ำหนักของน้ำที่กดลงบนผนังของถัง
- ถังน้ำป้อนควรออกแบบให้เก็บน้ำเพื่อใช้ป้อนหม้อน้ำได้นานอย่างน้อย 5 นาที ถ้ามีคอนเดนเสทกลับมาน้อย หรืออย่างน้อย 10 นาทีหากมีคอนเดนเสทกลับมามาก

- ควรจะมีระบบอุ่นน้ำในถังน้ำป้อน หากน้ำในถังน้ำป้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 90 °C หรือมีคอนเดนเสทกลับมาน้อยกว่า 50% เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการกัด กร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting corrosion) กับหม้อน้ำ
- สิ่งที่ต้องระวังที่สุดของถังน้ำป้อนและถังคอนเดนเสท (Condensate tank) ก็คือ ท่อระบายไอ (Vent) จะต้องมีขนาดใหญ่พอ และอยู่ด้านบนของถัง และต้องไม่มีวาล์วใดๆ ที่ท่อระบายไอเพราะบางครั้งในระบบการใช้ไอน้ำอาจมีกับดักไอน้ำ (Steam trap) รั่วซึมหรือมีการเปิด By pass valve ที่กับดักไอน้ำทำให้มีไอน้ำย้อนกลับเข้ามาที่ถังน้ำป้อนจนอาจทำให้ถังน้ำป้อนระเบิดได้
- นอกจากนี้ท่อระบาย (Vent) ก็ไม่ควรใช้ร่วมกันกับท่อน้ำล้น (Over flow) ของถัง น้ำป้อนเพราะท่อน้ำล้นอาจเกิดตีบตันเนื่องจากตะกรัน อาจทำให้ถังน้ำป้อนระเบิดได เช่นเดียวกัน
- ถังน้ำป้อนจะต้องประกอบด้วยหลอดแก้วดูระดับน้ำ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำ ระบบเติมน้ำอัตโนมัติและอาจจะต้องมีท่อ High pressure condensate return สำหรับระบบที่มีการปล่อยน้ำ Condensate return ความดันสูงกลับมา
- แม้ว่าถังน้ำป้อนที่ทำด้วยเหล็กจะมีการกัดกร่อนบ้างแต่ก็ไม่ควรเคลือบด้วยวัสดุ ใดๆ เพราะอาจหลุดร่อนเนื่องจากความร้อนและการขยายตัวและหดตัวได้ทำให้ หลุดลอดเข้าไปในหม้อน้ำได้และถังพักน้ำของหม้อน้ำจะทำงานที่ความอุณหภูมิ เกิน 60 °C และมักจะมีประจุคลอไรด์ในน้ำจะทำให้ถังเหล็กกล้าไร้สนิมแตกร้าวได้ง่ายจากปัญหา Stress corrosion cracking

(ค) ระบบปั๊มน้ำป้อน (Feed water system) ประกอบด้วยตัวปั๊ม ท่อป้อน มิเตอร์วัดปริมาณน้ำป้อน และวาล์วกันกลับป้องกันน้ำในหม้อน้ำไหลย้อนกลับได้

(ง) ระบบปั๊มสารเคมีเข้าหม้อน้ำ (Chemical feed system) ประกอบด้วยถังน้ำยาเคมี เครื่องกวน และปั๊มน้ำยาเคมีที่มีคุณสมบัติพิเศษคือทนการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดีระบบปั๊มสารเคมีเข้าหม้อน้ำทำหน้าที่ป้อนสารเคมีเข้าผสมกับน้ำป้อนหรือน้ำที่อยู่ในหม้อน้ำเพื่อปรับสภาพทางเคมีให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ถือเป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบเกิดภายในหม้อน้ำ (Boiler internal water treatment)

2) อุปกรณ์ในระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำจะมีความดันที่สูงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ หากได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องไม่จำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งระบบวัดและควบคุมความดันไอน้ำ เพื่อตรวจสอบและป้องกันไม่ให้ความดันไอ น้ำสูงเกินกว่าความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด (Maximum allowable working pressure) ระบบวัดและควบคุม ความดันไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

(ก) มาตรวัดความดันไอน้ำ (Pressure gauge) ทำหน้าที่วัดและแสดงค่าความดันของไอน้ำตรงตำแหน่งที่ติดตั้งมาตรวัด หน้าปัดของมาตรวัดความดันไอน้ำต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถวัดได้ 1.5 ถึง 2 เท่าของความดันอนุญาตให้ใช้งานสูงสุด และต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับความดันใช้งาน (Operating pressure) และความดันอันตรายไว้ให้เห็นได้ชัดเจน มาตรวัด

ความดันไอน้ำสำหรับวัดความดันในหม้อน้ำมักจะติดตั้งใกล้ตัวหม้อน้ำมากที่สุดเพื่อให้ค่าที่อ่านได้ตรงตามความเป็น

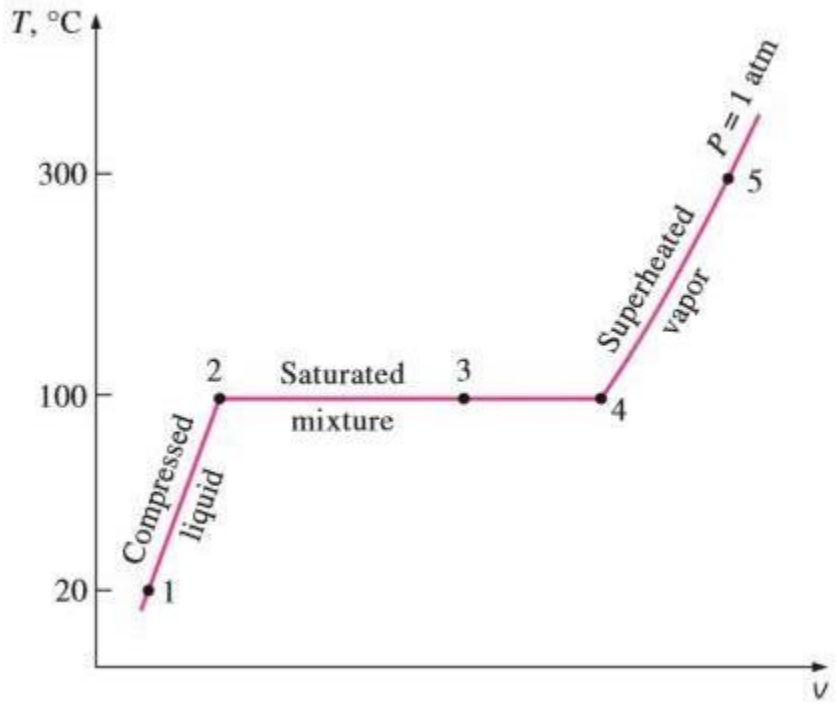
(ข) สวิตช์ควบคุมความดัน (Pressure switch) เป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาเพื่อรักษาความดันไอน้ำใช้งานให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ทำงานโดยอาศัยหลักการขยายตัวของปรอทที่บรรจุในหลอดแก้ว โดยเมื่อความดันไอน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง เบลโลว์ (Bellow) หรือแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ที่ติดตั้งเข้ากับบริเวณที่ต้องการวัดและควบคุมความดันไอน้ำจะเกิดการขยายหรือหดตัวทั้งเบลโลว์และไดอะแฟรมต่างมีกลไกเชื่อมโยงไปยังสวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรควบคุมทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาต่อไป

(ค) สวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่อง (Modulating pressure control switch) ทำหน้าที่ควบคุมวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมการเร่งหรี่ของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาอย่างต่อเนื่อง สวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำแบบต่อเนื่องจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงความดันเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยอาศัย Potentiometer แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปยังวงจรควบคุมการทำงานของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาต่อไป

(ง) สวิตช์จำกัดความดันไอน้ำสูงสุด (High limit pressure switch) เป็นสวิตช์ปรอทเช่นเดียวกับสวิตช์ควบคุมความดันไอน้ำ แต่ทำหน้าที่เพื่อความปลอดภัยเป็นหลัก ในกรณีที่ความดันไอน้ำเกินกว่าความดันไอน้ำใช้งานที่ตั้งไว้สวิตช์นี้จะตัดวงจรไฟฟ้าของระบบป้อนเชื้อเพลิงหรือหัวเผาให้หยุดการทำงานทันทีอาจมีสัญญาณเตือน (Alarm) ดังขึ้น และสวิตช์จะล็อคตัวเองทันทีหากทำการแก้ไขข้อบกพร่องของระบบที่ทำให้ความดันมีค่าสูงเกินกว่าความดันไอน้ำใช้งานที่ตั้งไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และต้องการจะเดินระบบป้อน เชื้อเพลิงหรือหัวเผาไหม้จะต้องกดปุ่มปลดล็อก (Reset) เสียก่อนระบบทั้งหมดจึงจะสามารถเริ่มต้นการทำงาน ได้ตามปกติ

2.1.5 คุณสมบัติของไอน้ำ (Properties of Steam)

ในเทอร์โมไดนามิกนั้น งานที่ได้ส่วนใหญ่ได้มาจากการขยายตัวของแก๊สเป็นส่วนมาก มนุษย์ได้นิยามแก๊สในอุดมคติที่ (Ideal gas) มาเพื่อแสดงสมการเกี่ยวกับก๊าซออกมาซึ่งเป็นสมการของสภาวะ (Equation of state) ได้แต่ในความเป็นจริงแล้วแก๊สต่าง ๆ นั้นไม่สามารถแสดงสภาวะเหมือนสมการง่าย ๆ ดังเช่นแก๊สในอุดมคติ ซึ่งจะเรียกแก๊สเหล่านั้นว่า “แก๊สจริง (Real gas)”
สำหรับวัฏจักรผลิตกำลังโดยทั่วไปจะกล่าวถึงไอน้ำ (Steam) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งความสัมพันธ์ทางสภาวะของไอน้ำค่อนข้างที่จะยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากไม่สามารถแสดงออกมาในรูปสมการสภาวะอย่างง่ายได้ ดังนั้นส่วนมากจึงนิยมแสดงโดยใช้แผนภาพ หรือตาราง



ภาพประกอบ 2.20 กราฟ T-V ของน้ำ และกระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำเมื่อความดันคงที่ [2]

จากแผนภาพ T-V ณ ที่ความดันคงที่ สถานะของน้ำในช่วงต่าง ๆ มีดังนี้

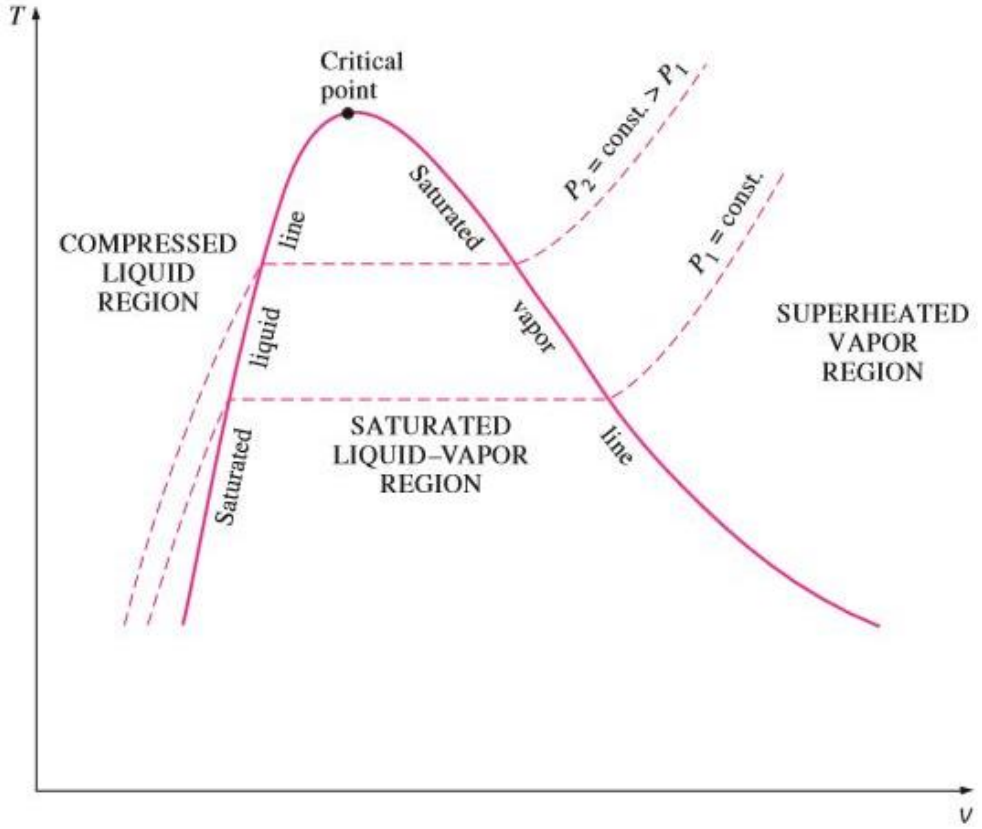
- น้ำ (ของเหลว) เมื่อได้รับความร้อน ปริมาตรจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้น (สภาวะที่ 1 ไปยังสภาวะที่ 2) โดยน้ำที่สภาวะนี้จะเรียกว่า ของเหลวอัด (Compressed liquid)

- เมื่อเพิ่มความร้อนแก่น้ำจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง ที่เรียกว่าอุณหภูมิจุดเดือด (Boiling point) (สภาวะที่ 2) จะเรียกน้ำที่มีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิจุดเดือดว่า ของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid)

- เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวอิ่มตัว อุณหภูมิของของน้ำ (ของเหลว) จะไม่เพิ่มขึ้น ที่สภาวะนี้ถ้ายังคงเพิ่มความร้อนเข้าไปอีกอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณไอน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังสภาวะที่ 3 จะเรียกสถานะนี้ว่า ของผสมอิ่มตัว (Saturated mixture) เปอร์เซ็นต์ของไอน้ำที่ผสมอยู่ในของผสมอิ่มตัวถูกกำหนดด้วยค่าคุณภาพของไอ (Quality)

- เมื่อให้ความร้อนไปเรื่อย ๆ จนน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอหมดโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังสภาวะที่ 4 จะเรียกไอสภาวะนี้ว่า ไออิ่มตัว (Saturated vapor)

- เมื่อของน้ำระเหยกลายเป็นไอหมดแล้วเพิ่มความร้อนเข้าไปอีกปริมาตรและอุณหภูมิก็จะเพิ่มมากขึ้นอีกด้วยแต่สถานะยังคงเป็นไอเหมือนเดิม (สภาวะที่ 5) ดังนั้นไอน้ำในสภาวะนี้จะเรียกว่า ไอน้ำร้อนยิ่งยวด หรือ ไอดง (Superheated steam)" ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิไอน้ำยิ่งยวดกับอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัวจะเรียกว่า "องศาของความร้อนยิ่งยวด (Degree of superheat)"



ภาพประกอบ 2.21 กราฟ T-V ของน้ำ และการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ณ ความดันใด ๆ [2]

จากแผนภาพ T-V ซึ่งแสดงกรณีอุณหภูมิ และความดันใด ๆ มีรายละเอียดดังนี้

- เส้นทางซ้ายของโดมจะเรียกว่า “เส้นของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid line)” และเส้นทางขวาจะถูกเรียกว่า “เส้นไออิ่มตัว (Saturated vapor line)”

- เมื่อความดันสูงขึ้นระยะห่างของทั้งสองเส้นจะเข้าใกล้กันมากขึ้น และจุดที่เส้นสองเส้นนี้รวมตัวกันจะเรียกว่า “จุดวิกฤต (Critical point)” ความดันที่จุดวิกฤตนี้จะเรียกว่า “ความดันวิกฤต (Critical pressure)” ถ้าความดันเกิน ณ จุดนี้การระเหยจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ของเหลวจะเปลี่ยนเป็นไอโดยตรง

- ความดันที่อยู่เหนือความดันวิกฤตขึ้นไปจะถูกเรียกว่า “ความดันเหนือย่านวิกฤติ (Supercritical pressure)” และความดันที่อยู่ต่ำกว่าความดันวิกฤตจะถูกเรียกว่า “ความดันต่ำกว่าวิกฤติ (Sub critical pressure) ”

2.1.6 การเปลี่ยนแปลงสภาวะของไอน้ำ (Steam state Change)

- กระบวนการความดันคงที่ (Constant pressure process) ที่หม้อไอน้ำ (Boiler) ไอน้ำร้อนยิ่งยวด เมื่อทำการควบแน่นในภาชนะควบแน่นแล้ว ถ้ากำหนดให้ความดันมีค่าคงที่แล้ว การเข้า-ออก ของปริมาณความร้อนจะสามารถหาได้ดังสมการ

$$Q = m (h2 - h1) \quad (2.1)$$

โดย Q คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในหม้อไอน้ำ (kJ/hr.), m คือ อัตราการไหลของน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ (kg/hr.), h1 คือ ค่าเอนทาลปีของน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิก่อนเข้าหม้อไอน้ำ (kJ/kg) และ h2 คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ ณ อุณหภูมิและความดันที่ต้องการ

- กระบวนการปริมาตรคงที่ (Constant volume process) ภายในภาชนะที่ปิดสนิท ไอน้ำเมื่อได้รับความร้อนหรือถูกทำให้เย็นลง ปริมาณความร้อนที่เข้า-ออก จากภาชนะสามารถหาได้จากสมการ

$$Q = m (u2 - u1) \quad (2.2)$$

โดย Q คือปริมาณความร้อนที่ให้ไอน้ำ (kJ), m คือ ปริมาณของเหลว (น้ำ) ที่อยู่ในภาชนะ (kg), u1 คือ ค่าพลังงานภายในจำเพาะของน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิก่อนให้ความร้อน (kJ/kg) และ u2 คือ ค่าพลังงานภายในจำเพาะของไอน้ำหลักจากให้ความร้อน (kJ/kg)

- กระบวนการแอเดียแบติก (Adiabatic process) งาน (Work) ที่เกิดได้จากกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) สำหรับในกระบวนการแอเดียแบติกแบบระบบเปิดสามารถคำนวณหาได้จากสมการพลังงานที่ว่า

$$W = m (h, in - h, out) \quad (2.3)$$

โดย W คืองานที่เกิดจากกังหัน (kJ/hr.), m คือ ปริมาณของไอน้ำที่เข้ากังหันไอน้ำ (kg/hr), h,in คือ ค่าเอนทาลปีของสภาวะไอน้ำก่อนเข้ากังหัน (kJ/kg) และ h, out คือ ค่าเทนทาลปีของสภาวะไอน้ำหลังออกมากจากกังหัน (kJ/kg)

- กระบวนการทรอตทลิง (Throttling process) วาล์วปรับความดันสามารถช่วยในการควบคุมปริมาณการไหลของไอน้ำได้ ไอน้ำนั้นเมื่อมีการขยายตัวแบบทรอตทลิง ค่าเอนทัลปีจะมีค่าคงที่ ไอน้ำเปียกหรือไอน้ำอิ่มตัวถ้าให้มีการขยายตัวจากทรอตทลิงจะกลายเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยการใช้คุณสมบัตินี้เองเราสามารถที่จะหาค่าคุณภาพของไอน้ำเปียกได้ อุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับของความเปียก (Wet degree) จะเรียกว่า “ทรอตทลิงแคลอรี่มิเตอร์ (Throttling calorimeter)” ไอน้ำเปียกภายหลังขยายตัวแบบทรอตทลิงผ่านวาล์ว ก็จะเข้าไปสู่ส่วนที่ใช้ทำการวัด ซึ่งก็จะทำการวัดอุณหภูมิและความดัน ถ้าไอน้ำเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวดแล้ว ที่อุณหภูมิและความดันนี้ เมื่อใช้ตารางไอน้ำร้อนยิ่งยวดก็จะสามารถหาค่าเอนทัลปีได้

2.1.7 คุณสมบัติต่าง ๆ ในตารางไอน้ำ (Properties in Steam Table)

ตารางไอน้ำ(Steam table) สามารถแบ่งแยกออกเป็นตารางไอน้ำอิ่มตัวกับตารางไอน้ำร้อนยิ่งยวด (ตารางไอดง) ในตารางไอน้ำอิ่มตัวนั้นจะแสดงค่าของ เอนโทรปีจำเพาะ (s), ค่าเอนทัลปีจำเพาะ (h), พลังงานภายในจำเพาะ (u), ค่าปริมาตรจำเพาะ (v) ของไอน้ำอิ่มตัว (g) และของเหลวอิ่มตัว (f)

ส่วนตารางของไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) นั้นจะแสดงค่าปริมาตรจำเพาะ (v), ค่าเอนทาลปีจำเพาะ (h), พลังงานภายในจำเพาะ (u), และค่าเอนโทรปีจำเพาะ (s) ของไอน้ำร้อนยิ่งยวด ในย่านที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว

โดยปกติแล้วแผนภาพไอน้ำที่นิยมใช้จะเป็นแผนภาพ P-v และแผนภาพ T-s สำหรับแผนภาพที่ถูกนำไปใช้งานจริงแล้วส่วนมากสำหรับไอน้ำจะเป็นแผนภาพ h-s และสำหรับสารทำความเย็น (Refrigerant) ก็จะใช้แผนภาพ P-h สารทำความเย็นส่วนมากจะถูกใช้ในเครื่องทำความเย็นหรือปั๊มความร้อน ความร้อนที่เข้า-ออก ที่ความดันคงที่เป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นแผนภาพที่ส่วนมากจะนิยมใช้กันจะเป็นแผนภาพ P-h ที่มีแกนตั้งเป็นความดัน และแกนนอนเป็นค่าเอนธัลปีจำเพาะ

ตาราง 2.1 ตัวอย่างตารางไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิใดๆ

อุณหภูมิ (^{o} C)	ความดัน (kPa)	ปริมาตรจำเพาะ (m^3/kg)		พลังงานภายใน (kJ/kg)		เอนธัลปี (m^3/kg)		เอนโทรปี (kJ/kg.K)	
		v_f	v_g	u_f	u_g	h_f	h_g	s_f	s_g
0.01	0.6113	0.001000	206.132	0	2375.33	0	2501.35	0	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.118	20.97	2382.24	20.98	2510.54	0.0761	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.377	41.99	2389.15	41.99	2519.74	0.1510	8.9007
15	1.705	0.001001	77.925	62.98	2396.04	62.98	2528.91	0.2245	8.7813
20	2.339	0.001002	57.7897	83.94	2402.91	83.94	2538.06	0.2966	8.6671
25	3.169	0.001003	43.3593	104.86	2409.76	104.87	2547.17	0.3673	8.5579

2.1.8 การเกิดขึ้นของไอน้ำ (Raising Steam)

การเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะต้องเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ (อุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว = Saturation Temperature) โดยใช้ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) เมื่อเพิ่มความร้อนต่อไปอุณหภูมิจะคงที่ ในช่วงนี้คือความร้อนแฝง (Latent Heat) น้ำจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ การต้มน้ำที่ความดันบรรยากาศ ความร้อนสัมผัส 419 กิโลจูล/กิโลกรัม จะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจากจุดเยือกแข็ง (Freezing Point = 0 องศาเซลเซียส) จนถึงจุดเดือนของน้ำ (100 องศาเซลเซียส) ถ้าต้องการเปลี่ยนน้ำ1 กิโลกรัมให้เป็นไอน้ำต้องใช้ความร้อนประมาณ 2,258 กิโลจูล ซึ่งมีความร้อนแฝงที่มีปริมาณมากเพียงพอสำหรับการใช้งานในแต่ละจุดของกระบวนการผลิตต่าง ๆ

ถ้าความดันเพิ่มขึ้นน้ำจะไม่เดือดที่ 100 องศาเซลเซียส แต่จะเดือดที่อุณหภูมิที่สูงกว่านี้ ดังรูปที่ 1 ปริมาณความร้อนทั้งหมดของไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความดัน ในขณะที่ปริมาณความร้อนแฝงจะลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับจำนวนของพลังงานที่ป้อนเข้าไป เช่น ความร้อนสัมผัส ซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดจากการควบแน่น (Condensate) สำหรับคุณสมบัติของจุดเดือดที่อุณหภูมิสูง เมื่อความดันเพิ่มขึ้นก็ต้องสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตด้วย

2.1.9 การจ่ายไอน้ำ (Steam Distribution)

การใช้อุปกรณ์ที่ใช้กับไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด จะทำให้การจ่ายไอน้ำมีปริมาณที่เหมาะสมและมีคุณภาพเป็นความต้องการประการแรกที่สำคัญ เพื่อให้การผลิตมีคุณภาพ ไอน้ำต้องมีความดันที่ถูกต้องตรงกับความต้องการของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิต และคุณสมบัติประการต่อมาจะเป็นเรื่องของอุณหภูมิที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรืออุณหภูมิสูงขึ้นของไอน้ำ เพื่อเร่งกระบวนการผลิตให้เร็วขึ้น

ระบบการจ่ายไอน้ำในอุดมคติ จะมีเส้นทางเดินไอน้ำที่สั้นที่สุด โดยเริ่มจากหม้อไอน้ำถึงกระบวนการที่ต้องใช้ไอน้ำและต้องใช้ท่อที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตั้งอยู่บนสมมติฐาน 2 ประการ คือ ประการแรก ไม่ว่าฉนวนหุ้มท่อที่ใช้จะมีคุณภาพเพียงใดก็ตาม ปริมาณความร้อนผ่านท่อที่อุณหภูมิสูงก็ยังคงมีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น ประการที่ 2 การสูญเสียความร้อนน้อยที่สุดแต่จะทำให้เกิดความดันตกในท่อ (Pressure Drop) เพิ่มขึ้นและมีการสูญเสียจากความฝืดหรือความเสียดทานภายในระบบ การออกแบบในขั้นสุดท้ายของระบบการจ่ายไอน้ำในการทำงานจริง จะเป็นต้องนำหลักการในอุดมคติมาผสมผสานกับองค์ประกอบอื่น ๆ อีกหลายอย่าง องค์ประกอบที่พิจารณาเมื่อออกแบบระบบการจ่ายไอน้ำใหม่ หรือเมื่อประเมินผลระบบการจ่ายไอน้ำที่มีอยู่เดิม จะต้องมีแนวทางเพิ่มเติมจากในส่วนที่กล่าวมาแล้วด้วยเพราะการขาดความเอาใจใส่ในเรื่องเหล่านี้ จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากประสิทธิภาพโดยรวมลดลงและจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

2.1.10 ความดันของไอน้ำ (Steam Pressure)

การผลิตไอน้ำควรผลิต ณ ระดับความดันสูงสุดตามความสามารถของอุปกรณ์ที่มีอยู่ในระบบ เพื่อให้ได้ไอน้ำในปริมาณมาก ในทางปฏิบัติความดันที่ใช้งานจะต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Costs) และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพโดยรวมของระบบด้วย

1. ประโยชน์ของการจ่ายไอน้ำที่ความดันสูง มีดังต่อไปนี้

- การจ่ายไอน้ำที่มีความดันสูงจะช่วยลดขนาดของท่อ เพราะเมื่อความดันสูงขึ้นปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (Specific Volume of Steam) ก็จะลดลงที่มีความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) ไอน้ำ 1 กิโลกรัม จะมีปริมาตรจำเพาะ 1.67 ม^3 แต่ถ้าความดัน 7 บาร์ (bar) จะมีปริมาตรจำเพาะเพียง 0.24ม^3 ดังนั้น ความดันสูงจะใช้ท่อขนาดเล็กลงแต่สามารถพาไอน้ำได้ในปริมาณที่เท่ากัน ท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนลดลง

- การจ่ายไอน้ำที่มีความดันสูงจะช่วยลดปริมาณการใช้วัสดุหุ้มฉนวนน้อยลง สำหรับท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก แต่ประโยชน์ที่ได้รับก็ไม่ใช่จะดีเสมอไป การเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำให้สูงขึ้นมีผลให้การกำหนดความหนาของฉนวนที่หุ้มท่อที่กำหนดไว้หนาขึ้นด้วย

2. ผลที่เกิดขึ้นตามมาจากการจ่ายไอน้ำที่ความดันสูง มีดังนี้

- สิ่งที่เป็นไปได้คือการใช้ผนังท่อที่หนาขึ้น ท่อจะมีราคาแพงขึ้นตามความดัน อุณหภูมิที่สูงขึ้น รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อต่อต่าง ๆ หน้าแปลน (Flanges) เป็นต้น

- การสูญเสียจากการรั่วไหลของไอน้ำจะสูงขึ้น เพราะการสูญเสียจากการรั่วไหลของไอน้ำโดยทั่ว ๆ ไปจะเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของความดันที่ใช้อยู่แล้ว เช่น การรั่วไหลของไอน้ำที่ความดัน 10 บาร์ จะเกิดขึ้นเป็น 2 เท่าของไอน้ำที่ความดัน 5 บาร์

- เมื่อความสูงไอน้ำแฟลช (Flash Steam) จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียถ้าไม่มีเครื่องที่ใช้ความดันต่ำจากแฟลชทำงานไปได้พร้อม ๆ กับอุปกรณ์ที่ใช้กับความสูง

- การสูญเสียความร้อนจะสูงขึ้น การสูญเสียความร้อนจะเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของอุณหภูมิที่อิ่มตัวของไอน้ำ (Steam Saturation Temperature) เช่น การสูญเสียความร้อนที่ความดัน 10.0 บาร์ จะมากกว่าที่ความดันที่ 5.0 บาร์ ประมาณ 15% ต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กลง

- ความดันของไอน้ำจะลดลงเมื่อผ่านวาล์วความร้อน (Pressure Reduction Valve : PRV) อาจจะต้องทำความร้อนยิ่งยวดลดลง (De-Superheated) ก่อนที่จะมีการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป เมื่อความดันของปริมาตรไอน้ำอิ่มตัวลดลง (Saturated Steam) ปริมาณความร้อนก็ไม่สูญเสียไป ขณะเดียวกัน ความร้อนส่วนเกินนี้จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนสัมผัสในไอน้ำได้และจะทำให้อุณหภูมิของไอน้ำสูงขึ้น ในกรณีที่อุณหภูมิสูงสุดนี้ทำให้ค่าตัวแปรของกระบวนการ (Process Parameter) เกิดวิกฤต ความร้อนที่เกินดังกล่าวจำเป็นต้องกำจัดออกไปจากจุดนี้ ซึ่งบ่อยครั้งไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นความร้อนที่เกินจะสูญเสียไปในระบบจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลง

การกำหนดความดันสำหรับระบบการจ่ายไอน้ำขนาดเล็กเป็นเรื่องค่อนข้างง่าย คือติดตั้งระบบให้ตรงกับความต้องการที่ต่ำสุดของผู้ใช้ ถ้าไม่มีการคำนึงถึงการขยายตัวของระบบในอนาคตหรืออุปกรณ์ใหม่ ๆ ที่ต้องการใช้สำหรับความดันสูง

สำหรับระบบที่ต้องการไอน้ำที่ความดันสูงในปริมาณน้อย ๆ แต่กลับนำเอาไปใช้กับไอน้ำที่ความดันต่ำในปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะแยก 2 ระบบนี้ออกจากกันให้ชัดเจน เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ความดันสูง (High Pressure Steam Generator) จะผลิตไอน้ำที่ความดันสูงและใช้กับอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงกว่า

ความดันสูง > จะทำให้เกิดการรั่วไหลและการสูญเสียที่ไอน้ำแฟลช

ความดันต่ำ > จะทำให้เกิดความร้อนสูญเสียที่พื้นผิวเป็นจำนวนมาก

2.1.11 การอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำและไอน้ำ

การอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำ หรือ Energy conservation in Steam Boiler and Steam distribution system ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำมาใช้ประโยชน์ และการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วยในการเดินเครื่องหม้อไอน้ำ เช่น ปั๊ม พัดลม เป็นต้น

การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ควรทำการตรวจวัดสมดุลความร้อนต่างๆ นำมาวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียต่างๆ พิจารณาว่าจะลดความสูญเสียได้อย่างไร และตัดสินใจจากภาพรวมแล้วจึงนำไปปฏิบัติ ในการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วย สิ่งที่สำคัญคือ การตรวจสอบสภาพการเดินเครื่องของหม้อไอน้ำ แล้วดำเนินการปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพการเดินเครื่องนั้น กรณีที่จะอนุรักษ์พลังงานด้วยการดัดแปลงเครื่องจักร จะต้องพิจารณาล่วงหน้าอย่างถี่ถ้วนว่านอกจากในการทำงานตามปกติแล้ว ในการเริ่มเดินเครื่องและในขณะที่ภาระมีการเปลี่ยนแปลง จะเป็นอุปสรรคต่อการเดินเครื่องหรือไม่ มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในหม้อน้ำและระบบไอน้ำโดยทั่วไป มีดังนี้

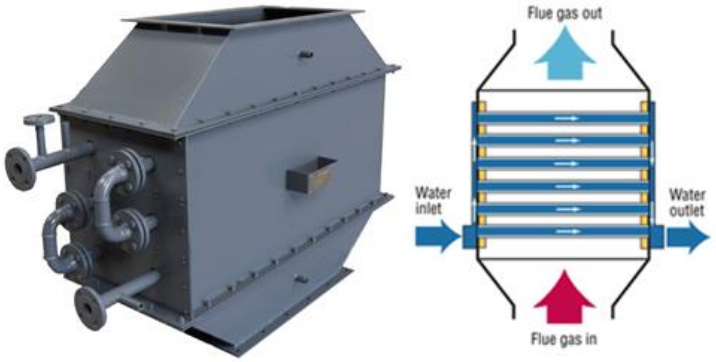
- การลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย
- การลดปริมาณก๊าซไอเสีย
- การลดปริมาณความร้อนที่แผ่รังสีออกไป
- การนำน้ำจาก blow down กลับมาใช้ประโยชน์
- การนำ drain กลับมาใช้ประโยชน์
- การอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วยของหม้อไอน้ำ
- การเดินเครื่องหม้อไอน้ำด้วยจำนวนเครื่องที่เหมาะสม

ก) การลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

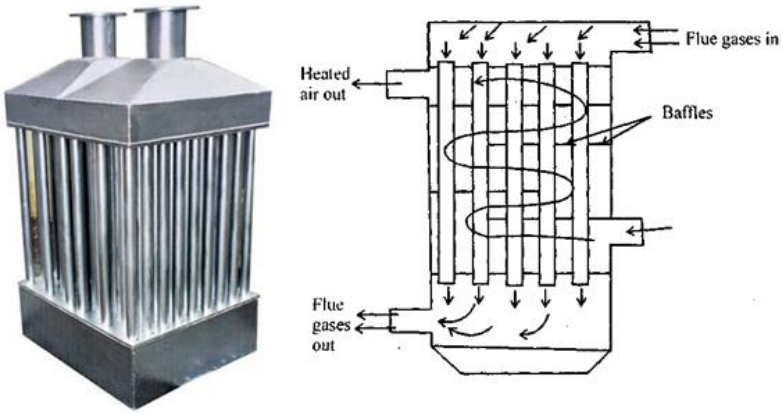
ความร้อนสัมผัสในก๊าซไอเสีย (Heat loss in flue gas) ถือเป็นความร้อนสูญเสียที่สำคัญที่สุดในหม้อไอน้ำเกือบทั้งหมด มาตรการลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียเพื่อลดความร้อนสูญเสียนี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิผลที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ สำหรับวิธีการที่เป็นรูปธรรมได้แก่การติดตั้ง economizer และ air preheater วิธีเหล่านี้เป็นการนำปริมาณความร้อนที่ก๊าซไอเสียนำออกไปจากหม้อไอน้ำ มาถ่ายเทให้แก่น้ำเลี้ยงหรืออากาศสำหรับเผาไหม้ จึงสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงที่เดิมเคยต้องใช้เพื่อการนั้นได้ กล่าวคือเป็นอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ระยะหลังนี้หม้อไอน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดจะติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้

นอกจากนี้ หากความร้อนระหว่างก๊าซเผาไหม้กับน้ำในหม้อไอน้ำถ่ายเทได้ไม่ดี การแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีประสิทธิภาพต่ำ อาจทำให้ก๊าซทิ้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ขี้เถ้าที่เกาะติดที่พื้นผิวถ่ายเทความร้อนของหม้อไอน้ำด้านก๊าซไอเสียและตะกรันที่เกาะติดที่ด้านน้ำ จะสามารถกำจัดได้ด้วยการทำ soot blow หรือสามารถลดได้ด้วยการควบคุมคุณภาพน้ำอย่างเข้มงวด อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้งานหม้อไอน้ำเป็นระยะเวลานาน สิ่งสกปรกเหล่านี้จะสะสมเพิ่มมากขึ้น สิ่งสกปรกที่ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการบำรุงรักษาประจำวัน จะกำจัดได้เมื่อหยุดเครื่อง โดยเขม่าและขี้เถ้าที่เกาะอยู่ที่พื้นผิวด้านก๊าซ จะกำจัดโดยติดตั้งนั่งร้านในเตาแล้วใช้แปรงทองเหลืองและน้ำความดันสูงในการล้างออก

กล่าวคือใช้วิธีทางกายภาพ ส่วนตะกรันที่เกาะอยู่ที่พื้นผิวด้านน้ำ จะใช้กรดเกลือหรือกรดซิตริกล้างออก กล่าวคือใช้วิธีทางเคมี



ภาพประกอบ 2.22 Economizer [3]



ภาพประกอบ 2.23 Air preheater [3]

ข) การลดปริมาณก๊าซไอเสีย

การลดปริมาณก๊าซไอเสีย ทำได้ด้วยการลดอัตราอากาศส่วนเกินเพื่อลดปริมาณอากาศที่ป้อนให้แก่หม้อไอน้ำ วิธีนี้ไม่เพียงแต่จะลดความสูญเสียในไอเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเท่านั้น แต่ยังสามารถคาดหวังได้ว่าจะช่วยลดความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของ blower ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม หากลดอัตราอากาศส่วนเกินจนต่ำเกินไป จะทำให้เผาไหม้ได้ไม่ดี จึงจำเป็นต้องควบคุมอย่างเหมาะสมไม่ให้ปล่อยก๊าซที่ไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ปัจจุบันยังมีหม้อไอน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่จะติดตั้งเครื่องวัด CO ซึ่งสามารถวิเคราะห์ก๊าซ CO ในก๊าซไอเสียได้โดยตรงไว้ที่ท่อไอเสียเพื่อทำการควบคุมสภาพการเผาไหม้อีกด้วย

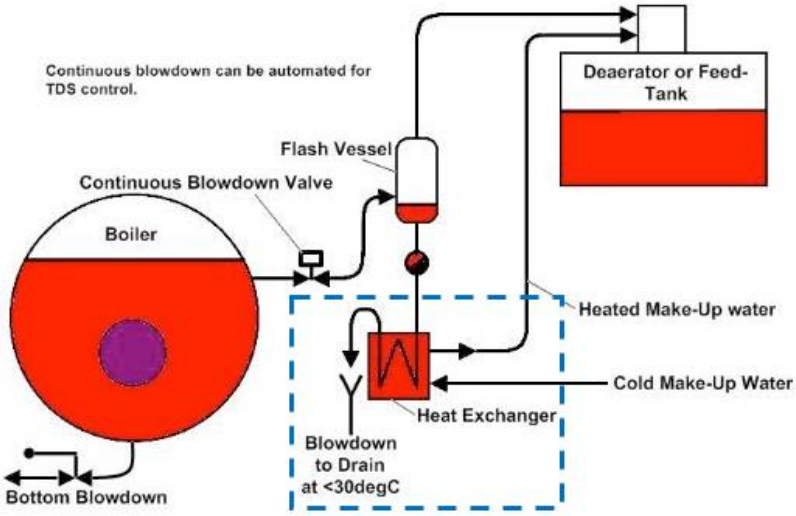
ค) การลดปริมาณความร้อนที่แผ่รังสีออกไป

ความร้อนที่แผ่รังสีออกจากตัวหม้อไอน้ำ ท่อต่างๆ และท่อไอเสีย (Heat loss on surface areas) ถือว่าเป็นความร้อนสูญเสียอย่างหนึ่ง ดังนั้นการลดความร้อนสูญเสียส่วนนี้จึงมีผลทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มาตรการที่ใช้ได้แก่ การติดตั้งฉนวนความร้อน อย่างไรก็ตาม ยิ่งฉนวนความร้อนมีความหนามาก ความร้อนที่แผ่รังสีออกไปจะลดลง แต่เนื่องจากต้นทุนการติดตั้งจะสูงขึ้น จึงมีความหนาของฉนวนความร้อนค่าหนึ่งที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ ยังมีหม้อไอน้ำที่นำความร้อนที่แผ่รังสีออกจากผนังรอบหม้อไอน้ำและห้องเผาไหม้ มาถ่ายเทให้ท่อขาเข้าของอากาศสำหรับเผาไหม้อีกด้วย

ภาพประกอบ 2.24 ตัวอย่างการหุ้มฉนวนตรงท่อส่งไอน้ำ [3]

ง) การนำน้ำ blow down กลับมาใช้ประโยชน์

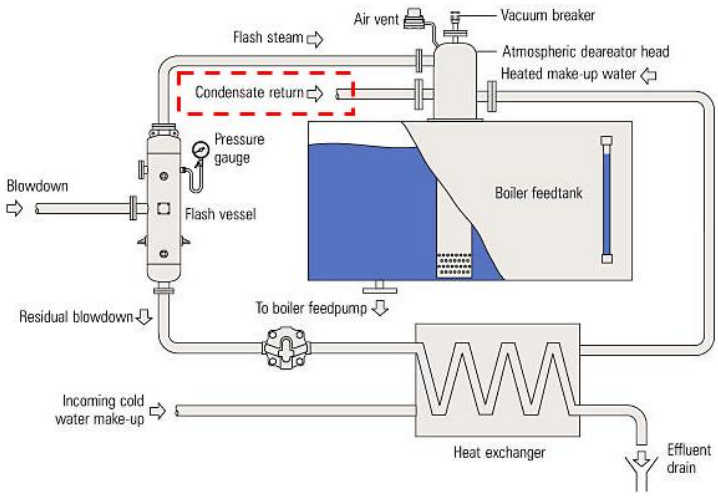
น้ำ blow down ที่ปล่อยจาก drum ของหม้อไอน้ำเป็นน้ำร้อน ซึ่งมีความร้อนอยู่พอสมควร ดังนั้น การนำความร้อนนี้กลับมาใช้ประโยชน์จึงเป็นการอนุรักษ์พลังงาน วิธีการ blow down แบ่งออกเป็น periodic blow down กับ continuous blow down โดย periodic blow down จะ blow down น้ำในหม้อไอน้ำจำนวนมากในครั้งเดียว การนำความร้อนกลับมาใช้จึงต้องมี blow tank และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่ และนำความร้อนกลับมาใช้ได้เป็นครั้งๆ เท่านั้นจึงนำไปใช้งานได้ไม่สะดวกและมีประโยชน์ใช้งานจำกัด แต่ continuous blow down จะค่อยๆ ปล่อยน้ำทีละน้อย จึงมีข้อได้เปรียบในการนำความร้อนกลับมาใช้ ในหม้อไอน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยมากจะใช้วิธีผลิตไอน้ำด้วย flash tank และนำไอน้ำนั้นไปเป็นแหล่งความร้อนสำหรับ deaerator



ภาพประกอบ 2.25 Continuous blow down heat recovery [3]

จ) การนำ drain กลับมาใช้ประโยชน์

ระบบหม้อไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ ท่อ และถังเก็บจำนวนมากสำหรับให้ความร้อนด้วยไอน้ำและสำหรับรักษาอุณหภูมิ ซึ่ง drain ที่ออกมาจากอุปกรณ์เหล่านี้จะมีปริมาณมากพอสมควร เราควรพิจารณาว่าสามารถนำ drain กลับมาใช้ประโยชน์สำหรับหม้อไอน้ำและอุปกรณ์อื่นๆ ได้อีกหรือไม่ เนื่องจาก drain ที่นำกลับมาได้ที่จริงเป็นน้ำที่ควบแน่นจากไอน้ำ ดังนั้นจึงมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำบริสุทธิ์ แต่บางครั้งจะมีโคลนหรือเลน (sludge) และน้ำมันปนอยู่ ดังนั้น จึงต้องทำการวิเคราะห์น้ำ เพื่อกำหนดว่าจะนำไปใช้ที่ใด หากใน drain มีสิ่งเจือปนน้อยและมีคุณภาพน้ำดี ก็สามารถใช้เป็นน้ำให้หม้อไอน้ำได้โดยตรง หากใน drain มีสิ่งเจือปนมาก ก็สามารถใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำเลี้ยงได้



ภาพประกอบ 2.26 การนำ drain กลับมาที่ feed water tank [3]

ฉ) การอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วยของหม้อไอน้ำ

ระบบหม้อไอน้ำจะประกอบด้วยอุปกรณ์ช่วยต่างๆ เช่น ปั๊ม พัดลม ฯลฯ เพื่อกำเนิดไอน้ำ อุปกรณ์ช่วยเหล่านี้โดยทั่วไปจะออกแบบมาให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมที่สุดเมื่อเดินเครื่องที่พิกัดเช่นเดียวกับตัวหม้อไอน้ำ ดังนั้น กรณีที่เดินเครื่องที่ภาระไม่เต็มกำลัง โดยมากการเดินเครื่องจะมีประสิทธิภาพต่ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในขณะที่เดินเครื่องที่ภาระไม่เต็มกำลัง อาจใช้วิธีการควบคุมความเร็วรอบด้วยระบบไฟฟ้า (การควบคุมความถี่ปฐมภูมิ การแปลงจำนวนขั้ว เป็นต้น) หรือด้วยระบบทางกล (hydraulic coupling เป็นต้น) สำหรับพัดลมอาจเปลี่ยนจากพัดลม centrifugal เป็นพัดลม axial flow variable wing ที่มีประสิทธิภาพสูงแม้มีภาระไม่เต็มกำลังก็ได้

ช) การเดินเครื่องหม้อไอน้ำด้วยจำนวนเครื่องที่เหมาะสม

กรณีที่ใช้ไอน้ำในโรงงาน เมื่อปริมาณการใช้ไอน้ำเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของภาระในกระบวนการผลิต หรือเมื่อมีกระบวนการผลิตใหม่เพิ่มขึ้นมา สมบัติอื่นๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ของไอน้ำที่ต้องการอาจจะเปลี่ยนไปจากเดิมได้ เนื่องจากหม้อไอน้ำจะถูกออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเดินเครื่องที่จุดใกล้ๆ กับพิกัด การเดินเครื่องที่ภาระต่ำมากและที่ภาระเกินกำลังจึงไม่ใช่การเดินเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง เราควรพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางด้านผู้ใช้ไอน้ำ และเปลี่ยนจำนวนเครื่องหม้อไอน้ำที่จะเดินเครื่อง หรือหากจำเป็นก็ทำการดัดแปลงหม้อไอน้ำให้สามารถเดินเครื่องหม้อไอน้ำที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานของทั้งระบบ
ออกของของไหลเย็น สำหรับ R ของ เส้นกราฟแต่ละเส้นนั้นเป็นอัตราส่วนระหว่างผลคูณของอัตราการไหลโดยมวลกับความร้อนจำเพาะของของไหลทั้งสองอัตราส่วนนี้ยังมีอัตราส่วนเท่ากับค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในเชลล์หารด้วยค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในท่อด้วย ฉะนั้น

$$P=\frac{t_2-t_1}{T_1-t_1}=\frac{\left(mC_p\right)_{\text{tube side}}}{\left(mC_p\right)_{\text{shell side}}} \qquad (2.4)$$

สำหรับค่า R มาใช้งานนั้นก็ไม่ต้องคำนึงถึงเลยว่าของไหลร้อนจะไหลในเชลล์หรือไหลในท่อ และถ้าหากของไหลชนิดหนึ่งชนิดใดมีอุณหภูมิคงที่แล้ว ก็ไม่คำนึงถึงทิศทางการไหลของของไหลที่มีอุณหภูมิคงที่นั้น ทั้งนี้เพราะ F จะมีค่าเท่ากับ 1 และสามารถนำเอาค่า LMTD ไปใช้งานได้เลย

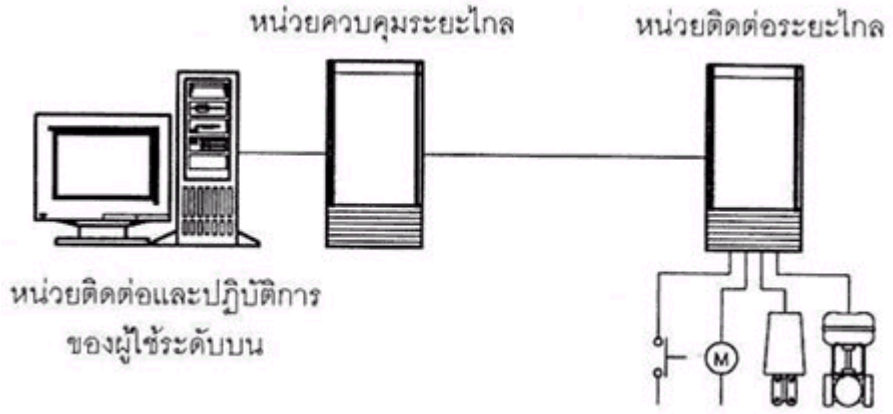
2.2 ระบบควบคุมดูแล และจัดเก็บข้อมูล

2.2.1 ความหมายของ SCADA

SCADA นั้นย่อมาจากคำว่า Supervisory Control And Data Acquisition เป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time ใช้ในการตรวจสอบสถานะตลอดจนถึงควบคุมการทำงานของระบบควบคุมในอุตสาหกรรมและงานวิศวกรรมต่าง ๆ เช่น งานด้านโทรคมนาคมสื่อสาร การประปา การบำบัดน้ำเสีย การจัดการด้านพลังงาน อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันและก๊าซ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ การขนส่ง กระบวนการนิวเคลียร์ในโรงไฟฟ้าเป็นต้น ตัวอย่างการใช้งานเช่นใช้ SCADAตรวจสอบข้อมูลเช่นการรั่วไหลของของเหลวที่เกิดขึ้นในท่อขนส่งจากตัวตรวจจับแล้วส่งสัญญาณแจ้งเตือนให้พนักงานทราบ โดยส่งข้อมูลสู่ส่วนกลางของระบบ SCADA เป็นต้น

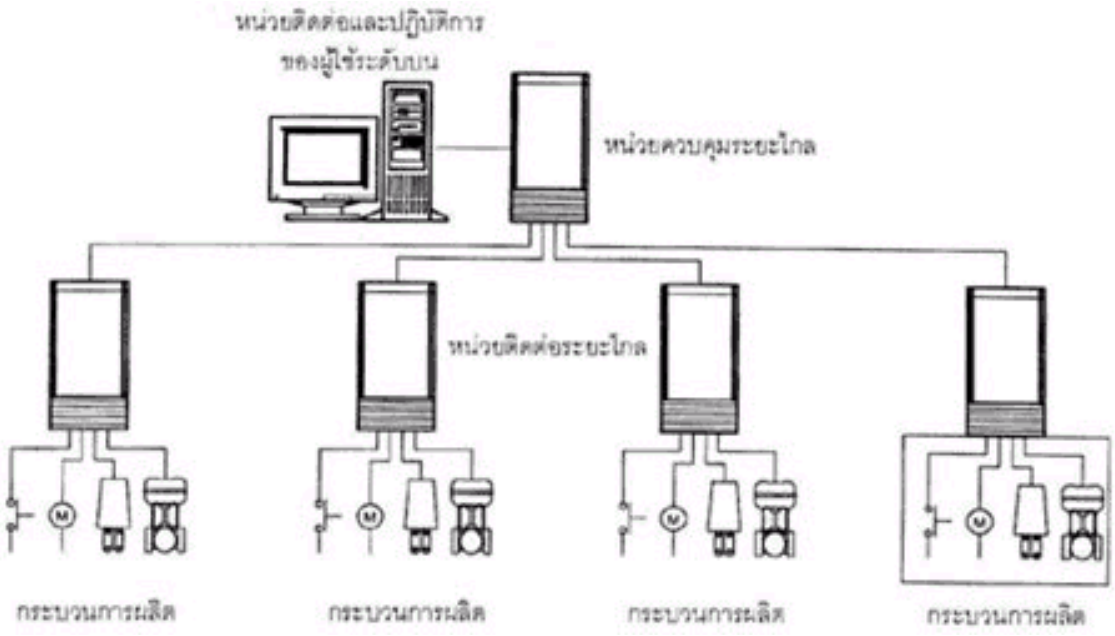
นอกจากนั้น SCADA อาจทำหน้าที่คำนวนและประมวลผลข้อมูลที่ได้จากฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ เช่น PLC, Controller, DCS, RTU แล้วแสดงข้อมูลทางหน้าจอ หรือส่งสัญญาณควบคุมฮาร์ดแวร์ดังกล่าว เช่นหากอุณหภูมิของอุปกรณ์สูงเกินพิกัด ให้ทำการปิดอุปกรณ์นั้นเป็นต้น โดยสั่งงานผ่าน PLC หรือ Controller ที่ติดต่ออยู่ ทั้งนี้ SCADA สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากระบบควบคุมทั้งหมดไว้ในฐานข้อมูลเพื่อให้พนักงานหรือโปรแกรมอื่น ๆ สามารถนำไปใช้งานได้ SCADA นั้นเข้าไปมีส่วนในงานควบคุมทั้งเล็กและใหญ่ที่ต้องการแสดงผล แลกเปลี่ยนข้อมูล หรือควบคุมระบบต่าง ๆ จากส่วนกลาง เพื่อการทำงานของระบบรวมที่สัมพันธ์กัน มองเห็นภาพรวมได้อย่างชัดเจนและมีความรวดเร็วต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ระบบ SCADA ในปัจจุบันมีความสามารถในการสื่อสาร ควบคุมและประมวลผลข้อมูลจาก I/O ของอุปกรณ์เช่น PLC, DCS, RTU ได้ถึงระดับที่เกินหนึ่งแสน I/O แล้วและได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถรองรับความต้องการใหม่ ๆ ของผู้ใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอดมา

2.2.2 องค์ประกอบของ SCADA



ภาพประกอบ 2.27 องค์ประกอบของ SCADA [4]

ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นระยะทางไกลได้โดย หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของผู้ใช้ระดับบนเป็นเครื่องมือปฏิบัติการของผู้ใช้สำหรับตรวจสอบและควบคุม กระบวนการผลิตเชื่อมต่อกับหน่วยควบคุมระยะไกล หน่วยควบคุมระยะไกลติดต่อกับหน่วยติดต่อระยะไกลโดยการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอลทางระบบเครือข่ายคมนาคม และหน่วยติดต่อระยะไกลเป็นเครื่องมือเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิต ประกอบด้วย หน่วยรับสัญญาณและส่งสัญญาณของสัญญาณชนิดแอนะล็อก และสัญญาณชนิดดิจิตอล



ภาพประกอบ 2.28 การติดตั้ง SCADA สำหรับตรวจสอบ เก็บรวบรวมข้อมูล และบริหารระบบควบคุม *[4]*

2.2.3 ส่วนประกอบของ SCADA

1. Field Instrumentation เป็นเครื่องมือ หรือเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือถูกตรวจสอบ อุปกรณ์นี้จะเปลี่ยน Physical Parameter เช่น Fluid Flow, Velocity, Fluid Level ให้เป็น Electrical Signal เช่น Voltage หรือ Current ซึ่งสามารถอ่านค่าเหล่านี้ได้โดย Remote Station Equipment ผลลัพธ์ที่ได้เป็นได้ทั้ง Analog และ Digital

2. Remote Station เป็นส่วนที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ และส่งไปยังศูนย์กลางระบบ SCADA ซึ่งอาจจะเป็น Remote Terminal Unit (RTU)หรือ Programmable Logic Controller (PLC) ก็ได้ RTU คือ อุปกรณ์ใช้ในการตรวจจับสัญญาณจาก Field Sensor แล้วส่งสัญญาณข้อมูลให้ Controller ควบคุม อุปกรณ์

Remote Station แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

2.1 Single Board : input และ output เป็น Fixed Number จะมีราคาถูกแต่ไม่สามารถรองรับการขยายของระบบสมัยใหม่ได้

2.2 Modular Board : สามารถรองรับการขยาย Remote Station ได้ แต่ราคาค่อนข้างแพง

3. Communication Network เป็นการส่งข้อมูลดิจิตอลระหว่างสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่หนึ่ง โดยผ่านตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เช่น สายเคเบิล คลื่นวิทยุ หรือผ่านระบบ GSM/GRSP

4. Central Monitoring Station (CMS) เป็นศูนย์กลางของระบบ SCADA โดยรับข้อมูลมาประมวลผลและทำการแสดงกระบวนการบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์

2.2.4 ฐานของข้อมูล SCADA

1. Realtime Database Servers เป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้จัดการและเก็บค่าของกระบวนการ ณ เวลาปัจจุบันในขณะใดๆ ค่า real-time จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ค่าของกระบวนการจะถูกตรวจจับ (monitor & scan) โดย RTU (Remote Termination Unit) จากนั้น ข้อมูลค่า real-time จะถูกประมวลนำมาแสดงผลบน MMI (Man-Machine Interface) เพื่อให้โอเปอเรเตอร์ รู้ถึงสภาพของกระบวนการ ณ ขณะนั้นๆ ค่า real-time ทุกๆ ค่าจะถูก update ได้ไม่เกินทุกๆ 2 วินาที

2. Historical Database Servers เป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้จัดการและจัดเก็บค่า Historical Data ของกระบวนการเพื่อใช้ในการ Trending, Logging, Statistic และ Report ตัวอย่างของฐานข้อมูลชนิดนี้ คือ XIS (Extended Information System) ซึ่งถูกสร้างโดยใช้ Sybase Relational Database Management System (RDBMS) ที่เป็นมาตรฐาน

มาตรฐาน Protocols ที่ใช้ใน SCADA

ปัจจุบัน มี SCADA มาตรฐาน Protocols มากกว่า 200 โปรโตคอลทั่วโลก ที่ใช้สำหรับการติดต่อระหว่าง Central Computer และ Remote RTUs ,PLCs และ Flow Computer Standard มาตรฐาน Protocols ที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 5 แบบ

1 . ASCII (American Standard Code for Information Interchange) เป็ น โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของคอมพิวเตอร์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและเป็นสากล

2. CAP (Compressed ASCII Protocol) เป็น RTU Protocol ที่ดีที่สุด เป็นภาษาที่คนสามารถอ่านเข้าใจได้ (Man readable) มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) เร็ว (Fast) และมีความปลอดภัยสูง (Secure)

3. Modbus เป็น point-to-point PLC protocol ที่ใช้กันทุกหนทุกแห่ง แต่มีข้อเสีย คือ เป็นภาษาที่คนไม่สามารถอ่านเข้าใจได้ (Man unreadable)

4. Modbus X เป็นส่วนที่พัฒนามาจาก Modbus Protocol ที่ทำให้ผู้ใช้ Modbus สามารถอ่านและสามารถสร้างจำนวนบวกและลบได้

5. IEEE 32-bit Single Format Floating Point เป็นมาตรฐานของงานอุตสาหกรรม สำหรับการส่งตัวเลข 23 บิต ด้วยความถูกต้อง โปรโตคอลเหล่านี้ใช้ได้กับ National Instrument’s Lookout ที่เป็น Object Oriented Software, DDE, SQL

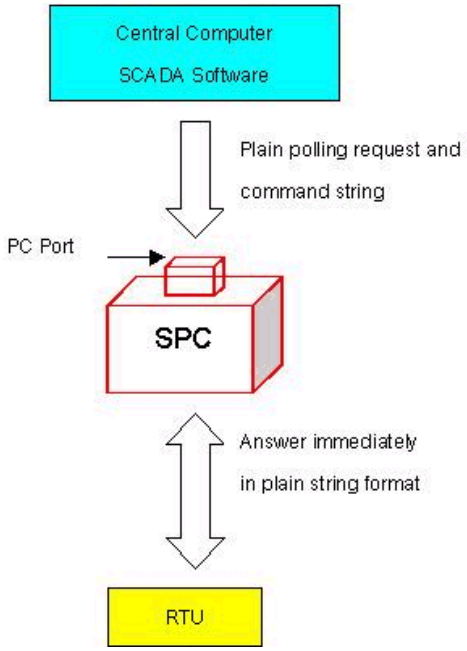
2.2.5 การแปลงข้อมูล SCADA Protocol

ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากกระบวนการจะถูกแปลงโดย SCADA Central Station Computer ไปเป็นข้อมูลชนิดตัวเลขและตรรกะ ส่วนใน Object Oriented Software รูปแบบของฐานข้อมูลจะถูกเก็บในรูปของ Object โดยข้อมูลในฐานข้อมูลเหล่านี้จะถูกเรียกใช้โดย Central Station Computer จาก Remote RTUs, PLCs, Flow Computers เป็นต้น และข้อมูลจะถูกส่งผ่านสัญญาณวิทยุ , สายเคเบิ้ล , Fiber Optic Cable , By Dialing , By Satellite Communication การแปลงระบบให้ SCADA System Protocol สามารถใช้งานกับคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่และฐานข้อมูลแบบใหม่ได้ ซึ่งมีหลายแนวทางด้วยกัน

1. การแปลง Remote RTUs เก่า และ Flow Computer ให้สื่อสารด้วย Standard Protocol วิธีนี้ทำให้ข้อมูลในระบบเดิมยังคงอยู่ครบถ้วน

2. การแปลง Remote RTUs ใหม่และ Flow Computer ให้สื่อสารด้วย Old Protocol วิธีนี้ไม่นิยม เนื่องจากมีข้อเสียคือ เป็นการใช้เทคโนโลยีเก่า (Step back technology)

3. การใช้ SPC (SCADA Protocol Converter) เป็น H/W Protocol Converter ระหว่าง RTUs ,PLCs ,Flow Computer และ Central Station ซึ่งวิธีนี้ทำให้ระบบเก่า (Old System) สามารถสื่อสารกับซอฟท์แวร์แบบใหม่ (Modern Software) ได้ และ SPC จะติดต่อโดยตรงกับ Central Station โดยไม่มี Delay หรือ Distortion เลย



ภาพประกอบ 2.29 การติดต่อโดยใช้ SPC เป็นตัวกลางระหว่าง Central Computer SCADA Software และ RTU [4]

2.3 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของ

เนื่องจากการพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time เป็นการพัฒนาระบบให้สอดคล้องกับระบบโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม ดังนั้นเพื่อให้ซอฟต์แวร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยจึงได้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้กับระบบการควบคุมที่สำคัญ และระบบปฏิบัติการที่ใช้เทคโนโลยีที่ใกล้เคียงกับระบบโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น วศิน เตรียมพิทักษ์ [5] ได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบการจัดการสถานีรถไฟด้วยโปรแกรมเฉพาะ และทำการทดลองระหว่างซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์, สรณัท วงศ์สัมพันธ์ [6] ได้ทำการออกแบบระบบศูนย์ข้อมูลสำหรับโรงควบคุมคุณภาพน้ำ, เฉลิมชาติ มานพ [7] ได้ทำการพัฒนามิเตอร์และระบบการจัดการน้ำบาดาลแบบสมองกลฝังตัวร่วมกับซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต, อิสฬาณุรักษ์ ชูพงศ์ [8] ได้ทำการพัฒนาระบบติดตามยานพาหนะ และธนเมศร์ ทองนา [9] ได้ทำการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ไอโอทีตรวจวัดสภาพแวดล้อมในพื้นที่แปลงเพาะปลูกแบบเปิด โดยใช้เครือข่ายลอร์รา เพื่อการเกษตรที่แม่นยำ

ตาราง 2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ชื่อผู้แต่ง	วัตถุประสงค์	ขอบเขตงานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลลัพธ์
วศิน เตรียมพิทักษ์ [5]	เพื่อจำลองระบบการจัดการสถานีรถไฟ สำหรับไว้ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานของระบบภายในสถานีรถไฟ และทดลองการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ โดยซอฟต์แวร์ระบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะมีการทำงานสอดคล้องตามหลักการทำงานของระบบสกาดา ซึ่งเป็นระบบที่ใช้งานจริงกับสถานีรถไฟฟ้าในปัจจุบัน	- ศึกษาและค้นคว้าระบบการจัดการสถานีรถไฟ - พัฒนาระบบการจัดการสถานีรถไฟโดยใช้ภาษา Ladder ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ ทดสอบการทำงานและปรับปรุงระบบให้มีความสอดคล้องกับระบบที่มีการใช้จริง	พัฒนาซอฟต์แวร์ระบบการจัดการสถานีรถไฟด้วยโปรแกรมเฉพาะ และทำการทดลองระหว่างซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์	สามารถนำระบบการจัดการสถานีรถไฟที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ในการเรียนการสอน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นต้องมีความสอดคล้องกับการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆที่มีในสถานีรถไฟ เพื่อให้ผู้ที่ศึกษาเกิดความรู้ความเข้าใจที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

ตาราง 2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	วัตถุประสงค์	ขอบเขตงานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลลัพธ์
สรณัท วงศ์สัมพันธ์ [6]	-จัดทำต้นแบบของการออกแบบวิธีรับส่งข้อมูล ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทั้ง 8 แห่งรอบกรุงเทพมหานครไปยังศูนย์ข้อมูลกลางโรงควบคุมคุณภาพน้ำบางซื่อ -บันทึกผลการดำเนินงานอุปกรณ์ภายในโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง และจัดเก็บข้อมูลต่างๆในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย	- ทำการศึกษาสภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ - ออกแบบระบบ รับ-ส่ง ข้อมูลแบบเรียลไทม์ของศูนย์ข้อมูลกลาง โดยการออกแบบอุปกรณ์ควบคุม ที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ บันทึกผลการส่งข้อมูลผ่านระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์ เอสคิวแอล ในระบบภาษามาตรฐานในการเข้าถึงฐานข้อมูล	ออกแบบระบบปฏิบัติการ รับ-ส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ ออกแบบตู้ควบคุม ทดลองกับอุปกรณ์จริง	ผู้บริหารและผู้เกี่ยวข้องในการจัดการโรงควบคุมคุณภาพน้ำได้รับข้อมูลแบบเรียลไทม์ด้วยการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตจากทุกที่ทั่วโลก เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิผลการบำบัดน้ำเสีย ข้อมูลถูกจัดเก็บสามารถนำกลับมาวิเคราะห์ได้ภายหลัง

ตาราง 2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	วัตถุประสงค์	ขอบเขตงานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลลัพธ์
เฉลิมชาติ มานพ [7]	-ออกแบบและพัฒนามิเตอร์น้ำบาดาลระบบสมองกลฝังตัวทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ประยุกต์และระบบฐานข้อมูลที่ทำงานบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต สำหรับใช้ตรวจติดตามและบันทึกปริมาณการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำบาดาลระยะใกล้และระยะไกล	- ศึกษาเทคนิคการวัดปริมาณการใช้น้ำบาดาล - ออกแบบสร้างระบบมิเตอร์น้ำบาดาลแบบสมองกลฝังตัว พัฒนาระเบียบวิธีการประมวลผลสัญญาณจากการวัดสำหรับตรวจสอบความผิดปกติของการใช้น้ำ	ออกแบบและพัฒนาระบบประมวลผลบนซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานแบบเวลาจริง พร้อมระบบการรายงานผลและแจ้งเตือนต่อผู้ควบคุมและผู้ใช้น้ำ	ผลลัพธ์สอดคล้องกันกับการทดสอบโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงในการทดลองภาคสนาม

ตาราง 2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	วัตถุประสงค์	ขอบเขตงานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลลัพธ์
อิสฬาณุรักษ์ ชูพงศ์ [8]	-เพื่อพัฒนาระบบติดตามยานพาหนะ -เพ่อให้สามารถประเมินเวลาในการเดินทางได้อย่างแม่นยำและลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น -เพื่อให้สามารถตรวจสอบพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับได้	- สามารถบันทึกข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของรถประจำทางที่ติดตั้งเครื่องระบุตำแหน่งได้ - สามารถจัดการข้อมูลของรถประจำทางแต่ละคันได้ - สามารถเรียกดูสรุปจำนวนรถโดยสารสาธารณะแต่ละสายที่ให้บริการได้ - สามารถใช้งานแอพพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ - บอกระยะทางรถประจำทางที่ใกล้ที่สุดได้ สามารถดูพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่ได้	วิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา ทดสอบและติดตั้งระบบติดตามยานพาหนะ	ตรวจสอบตำแหน่งของรถโดยสารสาธารณะได้อย่างแม่นยำ เป็นตัวช่วยในการวางแผนการเดินทางได้อย่างเหมาะสม ลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นต่อการเดินทาง ตอบโจทย์การใช้ชีวิตของประชาชนในเมืองหลวงได้เป็นอย่างดี

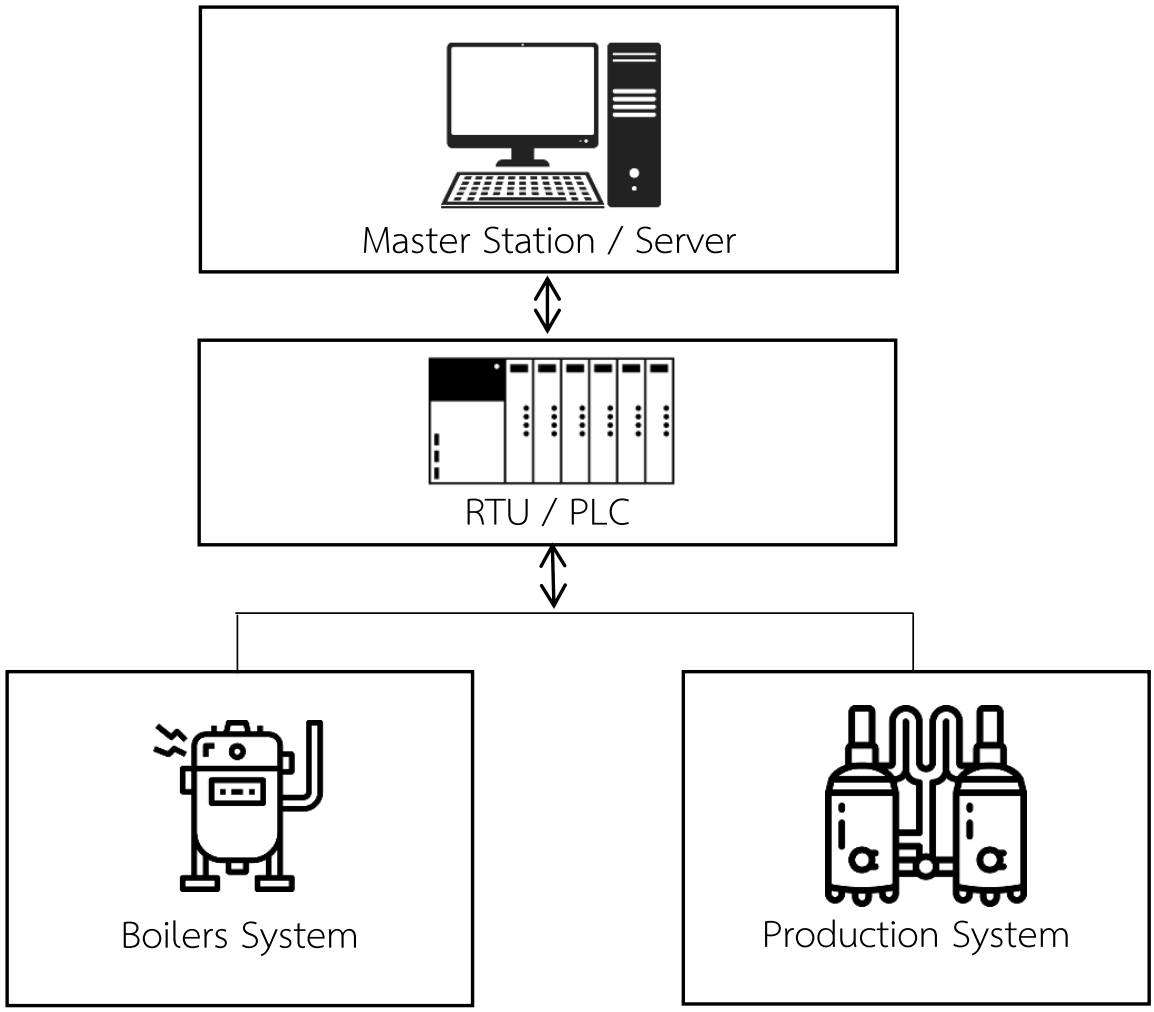
ตาราง 2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	วัตถุประสงค์	ขอบเขตงานวิจัย	วิธีการวิจัย	ผลลัพธ์
ธนเมศร์ ทองนา [9]	-เพื่อพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมในบริเวณพื้นพี่เพาะปลูก - ศึกษาอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม ในการทำการเกษตรแม่นยำ - เพื่อแสดงผลการตรวจสอบสภาพแวดล้อม โดยรับข้อมูลมาจากอุปกรณ์เซนเซอร์ในการบริหารจัดการสภาพพื้นที่เพาะปลูก - เพื่อลดต้นทุนในการปรับสภาพแวดล้อมก่อนทำการเพาะปลูกโดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ปริมาณก๊าซในอากาศ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด	- ใช้พื้นที่จำลอง เพื่อทำการเก็บค่าสภาพแวดล้อมของพื้นที่เพาะปลูก - ติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์เพื่อทำการทดลองในพื้นที่จำลอง - เก็บค่าความเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมจากอุปกรณ์เซนเซอร์ผ่านเครือข่ายลอร์ราทุกๆ 1 นาที อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้จะวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ ความกดอากาศ ปริมาณก๊าซในอากาศ ตัวระบุตำแหน่งเฉพาะในพื้นที่เพาะปลูกจำลอง	ศึกษา วิเคราะห์ปัญหา ออกแบบ พัฒนา ทดสอบและติดตั้งระบบและอุปกรณ์	เกษตรกรมีแดรชบอร์ดสำหรับช่วยบริหารจัดการแปลงเพาะปลูกและใช้อุปกรณ์เซนเซอร์เข้ามาช่วยในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมเพื่อนำค่าที่วัดได้นำไปดูแลแปลงเพราะปลูกต่อไป และประหยัดเวลาในการเก็บข้อมูลโดยการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ในการเก็บข้อมูลแทนแรงงานคน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างภาพรวมของระบบ รวมถึงหลักการทำงานและการออกแบบในส่วนต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย หลักการทำงานของซอฟต์แวร์ การออกแบบหน้าจอแสดงผลสถานะ การแจ้งเตือนการทำงาน และสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 โครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบ



ภาพประกอบ 30 โครงสร้างภาพรวมของระบบ

การจัดการดูแลกระบวนการผลิตไอน้ำ ภายในโรงงานงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม จะเป็นการควบคุมและสังเกตการณ์ทำงานของระบบต่างๆ ภายในโรงงานงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ได้แก่ ระบบการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และระบบการผลิตเครื่องดื่ม โดยมีผู้ควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำเป็นผู้ควบคุมระบบ และมีระบบติดตามการทำงานของระบบต่างๆ เป็นส่วนที่ช่วยให้ผู้ควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำตัดสินใจจัดการดูแลกระบวนการผลิตไอน้ำ ได้อย่างรวดเร็ว โดยระบบติดตามการทำงานของระบบต่างๆนั้นจะแสดงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการแสดงผลอุปกรณ์เสมือนทำหน้าที่แสดงเป็นระบบการทำงานต่างๆแบบ real time โดยมีตัวกลางที่ทำหน้าที่คอยรับข้อมูลจากอุปกรณ์มายังคอมพิวเตอร์ คือ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller: PLC) ซึ่งภาพรวมการทำงานทั้งหมดจะแสดงดังภาพประกอบ 3.1

3.2 การออกแบบระบบภายในซอฟต์แวร์

โครงสร้างของหน้าจอแสดงผลระบบติดตามประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และส่วนของผู้ใช้ไอน้ำ

รายละเอียดในส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ประกอบด้วย สถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ, สถานการณ์ทำงานของหัวพ่นไฟ (Burner), อัตราการไหลมวลไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ, ความดันไอน้ำที่แหล่งจ่ายไอน้ำต้นทางและสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติของความดันไอน้ำที่แหล่งจ่ายไอน้ำต้นทาง

รายละเอียดในส่วนของผู้ใช้ไอน้ำ ประกอบด้วย สถานะการทำงานของผู้ใช้ไอน้ำ, สถานะการใช้ไอน้ำ, สัญญาณการเปิดปิดวาล์วไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำ, อัตราการไหลมวลไอน้ำของการใช้ไอน้ำ, ความดันไอน้ำที่ผู้ใช้ได้รับ และสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติของความดันไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำ

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยจะมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังภาพประกอบ 3.2

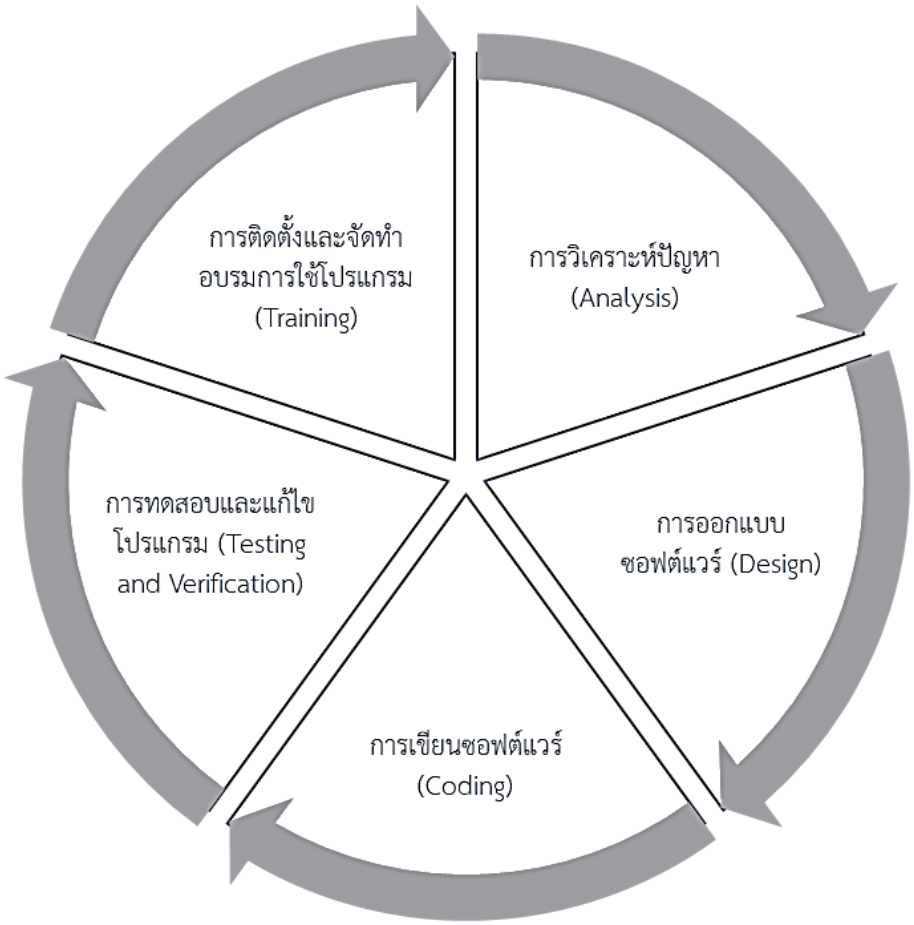
1. การวิเคราะห์ปัญหา (Analysis) ศึกษาพฤติกรรมการใช้ไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำ ระบบการจัดการ และการควบคุมระบบการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ทำความเข้าใจกับปัญหาที่เกิดขึ้นและสร้างจุดมุ่งหมายในการแก้ไขปัญหา นั้นคือ การทำระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและการใช้ไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำ เพื่อให้ผู้ควบคุมสามารถจัดการระบบการผลิตไอน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การออกแบบซอฟต์แวร์ (Design) ศึกษาซอฟต์แวร์ของกระบวนการผลิตเครื่องดื่ม กระบวนการผลิตไอน้ำ และซอฟต์แวร์อื่นๆ เลือกเครื่องมือที่เหมาะสมมาออกแบบระบบการแสดงผลและการรับส่งข้อมูล ให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การเขียนซอฟต์แวร์ (Coding) นำระบบการแสดงผลที่ได้จากขั้นตอนการออกแบบซอฟต์แวร์มาแปลงให้อยู่ในรูปของคำสั่งคอมพิวเตอร์ โดยใช้ความรู้และทักษะการเขียนโปรแกรม การใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ รวมทั้งเครื่องมือที่ช่วยในการเขียนโปรแกรม เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ถูกต้อง การทำงานตรงตามความต้องการของจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้

4. การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม (Testing and Verification) เป็นการทดสอบการเขียนโปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถทำตามความต้องการหรือไม่ โดยการทดลองการใช้โปรแกรมจริง เพื่อค้นหาข้อบกพร่อง และปรับปรุงให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม

5. การติดตั้งและจัดทำอบรมการใช้โปรแกรม (Training) หลังจากที่ได้ทำการทดสอบจนมีความมั่นใจแล้วว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้จริงและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ระบบ เป็นการจัดอบรมเพื่ออธิบายวิธีการใช้โปรแกรม แนะนำคุณสมบัติ และองค์ประกอบของโปรแกรมต่างๆ



ภาพประกอบ 31.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. ข้อมูลรายการอินพุตและเอาต์พุตจากกระบวนการผลิตไอน้ำและกระบวนการผลิตเครื่องดื่ม จากการศึกษาและออกแบบระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องจักรตามความต้องการของผู้ควบคุมเครื่อง จำนวนอินพุตและเอาต์พุตที่นำมาใช้มีทั้งหมด 75 ข้อมูล โดยรายละเอียดแสดงดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 รายละเอียดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ

No	Location	Signal Name	IO type
1	Boiler Plant	Status BL1	Digital Input
2		Burner Status BL1	Analog Input
3		Status BL2	Digital Input
4		Burner Status BL2	Analog Input
5		Status BL3	Digital Input
6		Burner Status BL3	Analog Input
7		Status BL4	Digital Input
8		Burner Status BL4	Analog Input
9		Status BL5	Digital Input
10		Burner Status BL5	Analog Input
11		Status BL6	Digital Input
12		Burner Status BL6	Analog Input
13		Status BL7	Digital Input
14		Burner Status BL7	Analog Input
15		Status BL8	Digital Input
16		Burner Status BL8	Analog Input
17		Status BL9	Digital Input
18		Burner Status BL9	Analog Input
19		Status BL10	Digital Input
20		Burner Status BL10	Analog Input
21		Status BL11	Digital Input
22		Burner Status BL11	Analog Input
23		Status BL12	Digital Input
24		Burner Status BL12	Analog Input
25		Status BL13	Digital Input
26		Burner Status BL13	Analog Input

ตาราง 3.1 รายละเอียดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ (ต่อ)

No	Location	Signal Name	IO type
27	Boiler Plant	Oxygen BL13	Analog Input
28		Status BL14	Digital Input
29		Burner Status BL14	Analog Input
30		Oxygen BL14	Analog Input
31		Steam Pressure Header	Analog Input
32		Alarm Pressure	Analog Input
33		Steam Flow Rate L1	Analog Input
34		Steam Flow Rate L2	Analog Input
35		Steam Flow Rate L3	Analog Input
36		Steam Flow Rate L4	Analog Input
37		Steam Flow Rate L5	Analog Input
38	Hot process	Status BH1	Digital Input
39		Control Valve BH1	Analog Input
40		Steam Pressure BH1	Analog Input
41		Steam Flow Rate BH1	Analog Input
42		Status BH2	Digital Input
43		Control Valve BH2	Analog Input
44		Steam Pressure BH2	Analog Input
45		Steam Flow Rate BH2	Analog Input
46	CIP process	Status CIP1	Digital Input
47		Control Valve CIP1	Analog Input
48		Steam Pressure CIP1	Analog Input
49		Status CIP2	Digital Input
50		Control Valve CIP2	Analog Input
51		Steam Pressure CIP2	Analog Input
52		Status CIP3	Digital Input
53		Control Valve CIP3	Analog Input
54		Steam Pressure CIP3	Analog Input
55		Status CIP4	Digital Input
56		Control Valve CIP4	Analog Input
57		Steam Pressure CIP4	Analog Input
58		Status CIP5	Digital Input
59		Control Valve CIP5	Analog Input

ตาราง 3.1 รายละเอียดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมดของระบบ (ต่อ)

No	Location	Signal Name	IO type
60	CIP process	Steam Pressure CIP5	Analog Input
61	Packing process	Status FL1	Digital Input
62		Status FL2	Digital Input
63		Status FL3	Digital Input
64		Status FL4	Digital Input
65		Status FL5	Digital Input
66		Status FL6	Digital Input
67		Steam Pressure FL5	Analog Input
68	Drying process	Status DP1	Digital Input
69		Control Valve DP1	Analog Input
70		Steam Pressure DP1	Analog Input
71		Steam Flow Rate DP1	Analog Input
72		Status DP2	Digital Input
73		Control Valve DP2	Analog Input
74		Steam Pressure DP2	Analog Input
75		Steam Flow Rate DP2	Analog Input

2. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา เป็นซอฟต์แวร์ Semitic WinCC เป็นโปรแกรม SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) นำมาใช้สำหรับการพัฒนาระบบการส่งข้อมูลในระยะไกล สามารถติดต่อสื่อสารกับซอฟต์แวร์ของกระบวนการผลิตไอน้ำและกระบวนการผลิตเครื่องดื่มได้ โดยพัฒนาระบบแสดงผลแบบ MMI (Man Machine Interface) คือ ความสามารถในการแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ในรูปแบบกราฟิก ข้อความ สัญลักษณ์ แผนภาพ เป็นต้น สามารถเชื่อมโยงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟิกกับพารามิเตอร์จาก Data Sever ความสามารถในการสั่งการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดผ่านระบบกราฟิกได้

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากระบบที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปใช้งานได้มีการติดตามผลการใช้งานของผู้ใช้ระบบและวัดระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบหลังจากใช้งานเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive research) และเก็บรวมรวมข้อมูลจากผู้ใช้งานทั้งหมด 7 ราย ด้วยแบบสอบถามประเภทให้ผู้ตอบแบบสอบถามกรอกข้อมูลด้วยตนเอง (Self-administration questionnaires) คำถามที่ใช้ในการประเมิน เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจากการศึกษาและ

ดัดแปลงจากข้อมูลงานวิจัยในหัวข้อการเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้งานโปรแกรมในระบบประชุมทางไกลผ่านระบบเครือข่าย [10] มีจำนวน 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการใช้งาน, ด้านประสิทธิภาพของระบบ, ด้านความสะดวก และด้านคุณภาพของระบบ ซึ่งคำถามมีลักษณะเป็นมาตราส่วน (Scale) ตามแบบประเมินค่า (Rating scale) ให้ผู้ตอบคำถามประเมินค่าด้วยการเลือกเพียงคำตอบเดียว ในลักษณะการประเมินค่าของลิเคอร์ท (Likert) โดยกำหนดความหมายของแต่ละระดับดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับมากที่สุด
ระดับ 4 หมายถึง ความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับมาก
ระดับ 3 หมายถึง ความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับปานกลาง
ระดับ 2 หมายถึง ความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับน้อย
ระดับ 1 หมายถึง ความพึงพอใจของผู้ใช้อยู่ในระดับน้อยที่สุด

การประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ผู้ศึกษาจะนำข้อมูลจากแบบสอบถามทั้งหมดมาบันทึกค่าโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อคำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการพรรณนาและอธิบายผลของการศึกษา โดยใช้วิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และกำหนดระดับผลดังนี้

ถ้าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง	4.50 – 5.00	หมายถึง อยู่ในเกณฑ์มากที่สุด
ถ้าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง	3.50 – 4.49	หมายถึง อยู่ในเกณฑ์มาก
ถ้าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง	2.50 – 3.49	หมายถึง อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
ถ้าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง	1.50 – 2.49	หมายถึง อยู่ในเกณฑ์น้อย
ถ้าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง	1.00 – 1.49	หมายถึง อยู่ในเกณฑ์น้อยที่สุด

ซึ่งผลที่ได้นั้นต้องอยู่ในเกณฑ์มาก หรือเกณฑ์มากที่สุด นั่นคือค่าเฉลี่ยต้องมากกว่า 3.50 ขึ้นไป เป็นค่าที่ผู้ใช้ยอมรับได้ และระบบที่พัฒนานั้นสามารถใช้ได้จริง

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการวิจัยเชิงพรรณนา และมาตรวัดลิเคอร์ทมาใช้ในการติดตามผลการใช้งานของผู้ใช้ระบบ โดยมีหลักการดังนี้

1. หลักการสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) [11] ใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายลักษณะของตัวแปร โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

   1.1 การหาค่าร้อยละ (Percentage) เพื่อใช้แปลความหมายของข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

$$\text{ค่าร้อยละ} = \frac{\text{จำนวนคำตอบ}}{\text{จำนวนผู้ตอบทั้งหมด}} \times 100 \qquad (3.1)$$

1.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean)

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n} \quad (3.2)$$

เมื่อ $\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ย

x_i แทน คะแนนของแต่ละคน

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

1.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$$S.D. = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i-\bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (3.3)$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนกลุ่มตัวอย่าง

$\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ย

x_i แทน คะแนนของแต่ละคน

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

2. มาตรวัดของลิเคอร์ท (Likert Scale) [12] เป็นมาตรวัดที่ใช้สำหรับให้ผู้แสดงระดับความคิดเห็นใน แบบสอบถามปลายปิดที่จะมีตัวเลือกให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบตามระดับความเห็นด้วย วิธีวัดความพึงพอใจหรือความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามด้วยมาตรวัดของลิเคอร์ท คือให้ผู้ตอบเลือกแสดงความเห็น จากระดับความพึงพอใจหรือระดับความเห็นด้วย 5 ระดับ แต่ละระดับมีความหมายดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง เห็นด้วยที่สุด หรือพึงพอใจที่สุด

ระดับ 4 หมายถึง เห็นด้วย หรือพอใจ

ระดับ 3 หมายถึง เฉยๆ หรือปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย หรือไม่พึงพอใจ

ระดับ 1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง หรือไม่พึงพอใจอย่างยิ่ง

การแปลผลแบบสอบถาม เมื่อผู้ออกแบบสอบถามเก็บข้อมูลจากผู้ตอบแบบสอบถามและนำค่าที่ได้จากมาตรวัดของลิเคอร์ท หาค่าเฉลี่ย จะสามารถแปลผลความพึงพอใจหรือความเห็นด้วยของผู้ตอบแบบสอบถาม ตามแนวคิด Likert Rating Scale ได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.50–5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจหรือเห็นด้วยในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.50–4.49 หมายถึง มีความพึงพอใจหรือเห็นด้วยในระดับมาก

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.50–3.49 หมายถึง มีความพึงพอใจหรือเห็นด้วยในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.50–2.49 หมายถึง มีความพึงพอใจหรือเห็นด้วยในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00–1.49 หมายถึง มีความพึงพอใจ หรือเห็นด้วยในระดับน้อยที่สุด

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยการพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม โดยแบ่งการผลดำเนินการวิจัยเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลการพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ
2. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ

4.1 ผลการพัฒนาระบบติดตามสถานการณ์ทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ

รายละเอียดของระบบติดตามสถานการณ์ทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และส่วนของผู้ใช้ไอน้ำ แสดงดังภาพประกอบ 4.1

ส่วนสำคัญที่ผู้ควบคุมระบบการผลิตไอน้ำต้องเฝ้าระวังของระบบการผลิตไอน้ำ ประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อน้ำจำนวน 12 เครื่อง, เครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อไฟจำนวน 2 เครื่อง, ท่อส่งไอน้ำที่มีมิเตอร์วัดอัตราการไหลของไอน้ำจำนวน 5 ไลน์ และSteam Header จำนวน 1 จุด นำมาแสดงผลในส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำของระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.สถานการณ์ทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ แทนด้วยสัญลักษณ์เครื่องกำเนิดไอน้ำทั้งหมด 14 จำนวน แสดงผลเป็นสีเขียวหมายถึงเครื่องกำเนิดไอน้ำกำลังทำงาน และแสดงผลเป็นสีเทาหมายถึงเครื่องกำเนิดไอน้ำไม่ทำงาน

2.อัตราการไหลมวลไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ แสดงค่าที่มิเตอร์วัดอัตราการไหลของไอน้ำของแต่ละท่อส่งไอน้ำนั้นๆอ่านค่าได้ โดยแสดงผลเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วมง

3.ความดันไอน้ำที่ Steam Header แสดงค่าความดันไอน้ำที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันอ่านค่าได้ โดยแสดงผลเป็นเลขหลักทศนิยม 2 ตำแหน่งที่มีหน่วยเป็นบาร์

4.สัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติของความดันไอน้ำที่ Steam Header เป็นสัญญาณแสดงการแจ้งเตือนด้วยสัญญาณไฟ โดยสัญลักษณ์สัญญาณแจ้งเตือนความดันไอน้ำแสดงผลเป็นสีแดงหมายถึงความดันไอน้ำที่ Steam Header มีความผิดปกติที่ค่าอาจจะสูง หรือต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด และแสดงผลเป็นสีเทาหมายถึงความดันไอน้ำที่ Steam Header มีความดันตรงค่ามาตรฐานที่กำหนด

อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเฝ้าระวัง คือส่วนของผู้ใช้ไอน้ำ ประกอบไปด้วย กระบวนการให้ความร้อนในการผลิตเครื่องดื่ม, กระบวนการบรรจุภัณฑ์, กระบวนการทำความสะอาด และกระบวนการอบด้วยไอน้ำ โดยส่วนของผู้ใช้ไอน้ำของระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำจะนำมาแสดงผลในรูปแบบสัญลักษณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.สถานะการทำงานของผู้ใช้ไอน้ำ แทนด้วยสัญลักษณ์เครื่องใช้ไอน้ำนั้นๆ โดยแสดงผลเป็นสีเขียวหมายถึงเครื่องจักรกำลังทำงาน และแสดงผลเป็นสีเทาหมายถึงเครื่องจักรไม่ทำงาน

2.สถานะการใช้ไอน้ำ แทนด้วยสัญลักษณ์รูปวาล์วไอน้ำ โดยแสดงผลเป็นสีเขียวหมายถึงเครื่องจักรกำลังใช้ไอน้ำ และแสดงผลเป็นสีเทาหมายถึงเครื่องจักรไม่ได้ใช้ไอน้ำ

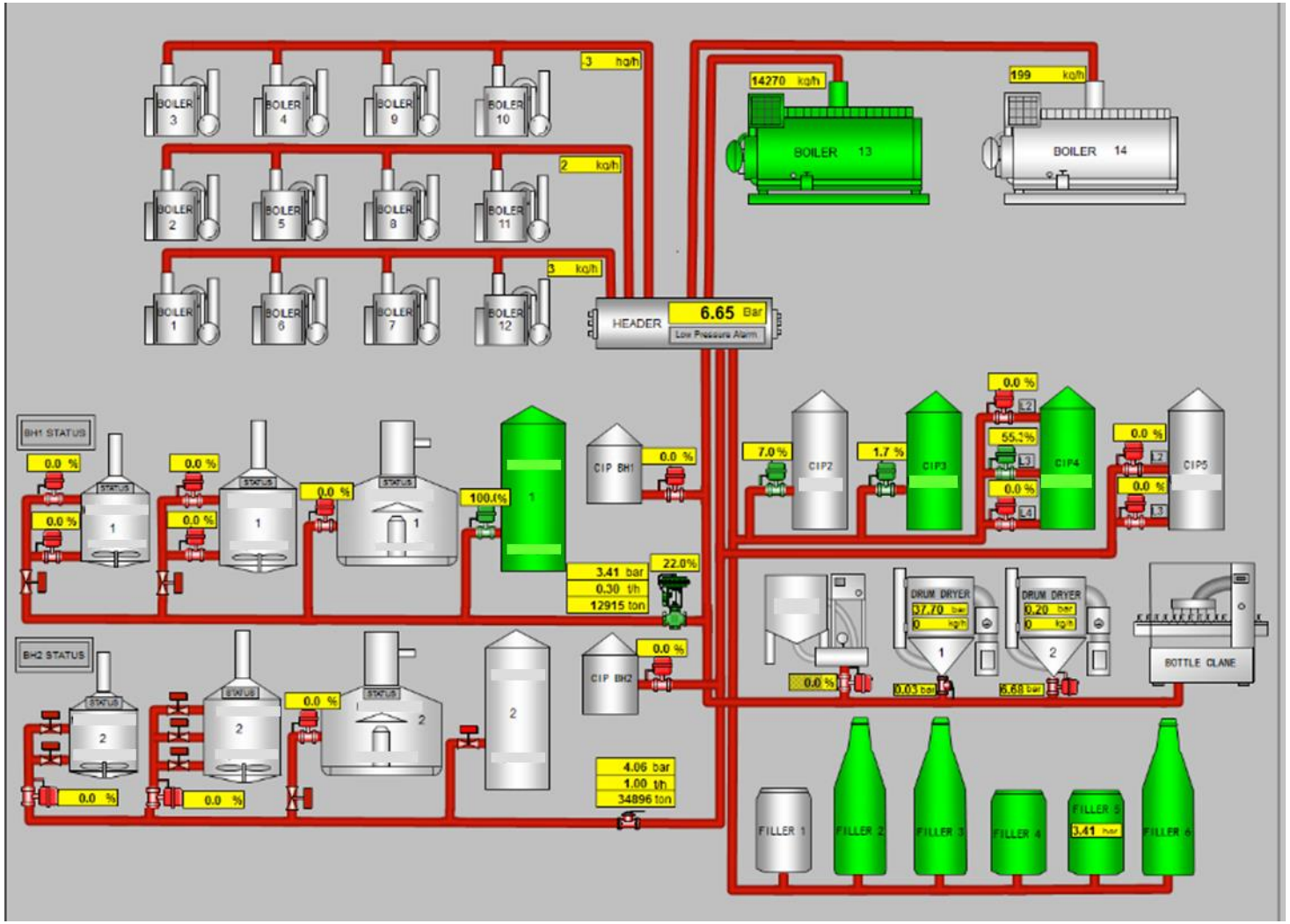
3.การทำงานของวาล์วไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำ จะแสดงเป็นค่าอัตราการเปิดปิดของวาล์ว ตามคำสั่งตัวควบคุมวาล์ว

4.อัตราการไหลมวลไอน้ำของการใช้ไอน้ำ แสดงค่าที่มิเตอร์วัดอัตราการไหลของไอน้ำของเครื่องใช้ไอน้ำนั้นๆอ่านค่าได้ โดยแสดงผลเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง

5.ความดันไอน้ำที่ผู้ใช้ได้รับ แสดงค่าความดันไอน้ำที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันอ่านค่าได้ โดยแสดงผลเป็นเลขหลักทศนิยม 2 ตำแหน่งที่มีหน่วยเป็นบาร์

6.สัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติของความดันไอน้ำของผู้ใช้ไอน้ำ จะแสดงการแจ้งเตือนด้วยสีที่บริเวณค่าความดันไอน้ำที่ผู้ใช้ไอน้ำนั้นๆ โดยพื้นหลังสีแดงหมายถึงแจ้งเตือนความดันไอน้ำที่ Steam Header มีความผิดปกติที่ค่าอาจจะสูง หรือต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด และแสดงผลเป็นสีเหลืองหมายถึงความดันไอน้ำที่ Steam Header มีความดันตรงค่ามาตรฐานที่กำหนด

อย่างไรก็ตามผลการแสดงของส่วนของผู้ใช้ไอน้ำของระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำที่ได้กล่าวมานั้นจะไม่ได้แสดงครบทุกส่วนของแต่ละเครื่องจักรขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ระบบและความพร้อมของเครื่องจักรด้วย



ภาพประกอบ 32.1 จอแสดงผล ณ เวลาจริง

4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำ

ผลประเมินความพึงพอใจผู้ใช้ระบบโดยมีผู้ควบคุมเครื่องทั้งหมดเป็นผู้ประเมินจำนวน 7 คน ทดลองใช้โปรแกรมของระบบและประเมินความพึงพอใจใน 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการใช้งานระบบ, ด้านประสิทธิภาพของระบบ, ด้านความสะดวก และด้านคุณภาพของระบบ โดยใช้แบบทดสอบถามประมาณค่า 5 ระดับ และรวมผลมาวิเคราะห์ด้วยค่าทางสถิติค่าเฉลี่ย แสดงผลตามตาราง 4.1

ตาราง 4.1 การแสดงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมของระบบ

หัวข้อการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	แปลผล
ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการใช้งานระบบ		
1. รูปแบบการใช้งานระบบ	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
2. กระบวนการทำงานของระบบ	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
สรุปผลประเมินด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการใช้งานระบบ	**4.57 ± 0.13**	**มากที่สุด**
ด้านประสิทธิภาพของระบบ		
3. ความถูกต้อง แม่นยำของระบบ	4.43 ± 0.28	มาก
4. ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
5. การออกแบบให้เข้าใจง่าย	4.43 ± 0.28	มาก
6. ความเป็นปัจจุบันของข้อมูล	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
สรุปผลประเมินด้านประสิทธิภาพของระบบ	**4.50 ± 0.12**	**มากที่สุด**
ด้านความสะดวก		
7. ความสะดวกด้านการใช้งานโปรแกรม	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
8. ความเหมาะสมด้านการใช้งานโปรแกรม	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
สรุปผลประเมินด้านความสะดวก	**4.57 ± 0.13**	**มากที่สุด**
ด้านคุณภาพของระบบ		
9. ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งาน	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
10. ความพึงพอใจด้านการใช้งานโดยรวม	4.57 ± 0.19	มากที่สุด
สรุปผลประเมินด้านคุณภาพของระบบ	**4.57 ± 0.13**	**มากที่สุด**
สรุปผลประเมิน 4 ด้าน	**4.54 ± 0.07**	**มากที่สุด**

จากตาราง 4.1 ผลการตอบแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบจำนวน 7 คน พบว่าผลประเมินความพึ่งพอใจในด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการใช้งานระบบ มีค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ 4.57 ดังนั้น ผู้ใช้ระบบมีความพึ่งพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ผลประเมินความพึ่งพอใจในด้านด้านประสิทธิภาพของระบบ มีค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ 4.50 ดังนั้น ผู้ใช้ระบบมีความพึ่งพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ผลประเมินความพึ่งพอใจในด้านความสะดวก มีค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ 4.57 ดังนั้นผู้ใช้ระบบมีความพึ่งพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ผลประเมินความพึ่งพอใจในด้านคุณภาพของระบบ มีค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ 4.57 ดังนั้นผู้ใช้ระบบมีความพึ่งพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

สรุปผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวมของผู้ใช้ระบบจำนวนทั้งหมด 7 คน พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ 4.54 ดังนั้น ผู้ใช้ระบบมีความพึงพอใจในภาพรวม อยู่ในระดับมากที่สุด

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ ได้นำเสนอถึงการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่ผลิตและใช้ไอน้ำ โดยเริ่มจากศึกษาภาพรวมการทำงานของกระบวนการผลิตไอน้ำและการใช้ไอน้ำของในแต่ละเครื่องจักรที่อยู่หน้างานจริง ศึกษาระบบควบคุมและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและใช้ไอน้ำ จากนั้นทำการออกแบบระบบแสดงผลการทำงานของเครื่องจักรให้ผู้ใช้งานทราบ และการแจ้งเตือนความผิดปกติที่อาจจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำให้ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว โดยซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถเชื่อมต่อซอฟต์แวร์เดิมที่ใช้อยู่ในโรงงานได้

สำหรับการพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่ผลิตและใช้ไอน้ำ เริ่มจากการเก็บรวมรวมพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไอน้ำนำมาแสดงผลในรูปลักษณะของสัญญาลักษณ์หรือภาพเสมือน และแบ่งข้อมูลอย่างเป็นสัดส่วนเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งระบบที่กล่าวมานี้ได้ถูกนำไปทดสอบระบบที่หน้างานจริง และสามารถนำไปใช้ได้จริง

จากการวัดผลความพึงพอใจหลังการใช้ระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่ผลิตและใช้ไอน้ำ พบว่าการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำและผู้ใช้ไอน้ำแบบ Real Time มีความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบอยู่ในระดับมาก และมีความพึงพอใจด้านกระบวนการ/ขั้นตอนการใช้งาน ด้านประสิทธิภาพของระบบ และด้านความสะดวกอยู่ในระดับมากที่สุด โดยผลการประเมินดังกล่าวนี้อาจเป็นผลมาจากรูปแบบการใช้งาน กระบวนการทำงาน ความสะดวก ความเหมาะสม ประโยชน์จากการใช้ และการใช้งานโดยรวม ในขณะที่ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพของระบบอยู่ในลำดับสุดท้ายของการประเมินความพึงพอใจ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการส่งข้อมูลในขณะที่แหล่งส่งข้อมูลมีความบกพร่อง และภาพการแสดงผลมีความซับซ้อน ดังนั้น เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพระบบการใช้งาน และเพิ่มความพึงพอใจกับการใช้งานระบบให้มากขึ้น จึงได้ปรับปรุงในส่วนของประสิทธิภาพในส่งข้อมูล และปรับการแสดงผลให้เข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาระบบแสดงสถานะการทำงานของเครื่องจักรนี้ ถึงแม้ว่าจะสามารถนำไปใช้ได้จริง แต่มีส่วนที่ยังไม่สามารถสร้างความแม่นยำได้ คือ การตรวจวัดค่าของอุปกรณ์มีความผิดเพี้ยนหรือไม่ นอกจากนั้นระบบสามารถพัฒนาต่อยอดไปได้ทั้งการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ จนไปถึงการควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ

บรรณานุกรม

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. คู่มือการใช้งานและดูแลรักษาหม้อไอน้ำ. [อินเทอร์เน็ต] 2553; Available from: http://reg3.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/boiler2.pdf.
2. บริษัท เอนเนอร์ยี่ ควอลิตี้ เซอร์วิส จำกัด. ตารางไอน้ำ. [อินเทอร์เน็ต] 2558; Available from: https://ienergyguru.com/2015/09/steam-table/.
3. สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. การอนุรักษ์พลังงานในระบบความร้อน. [อินเทอร์เน็ต] 2547; Available from: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_9.pdf.
4. บริษัท ริเวอร์พลัส จำกัด. *SCADA System*. [อินเทอร์เน็ต] 2554; Available from: https://riverplus.com/scada-system.
5. วศิน เตรียมพิทักษ์, ศึกษาและพัฒนาระบบจัดการสถานีรถไฟจำลอง. 2561, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง: กรุงเทพฯ.
6. สรณัท วงศ์สัมพันธ์, การออกแบบระบบศูนย์ข้อมูลสำหรับโรงควบคุมคุณภาพน้ำ. 2563, มหาวิทยาลัยสยาม: กรุงเทพฯ.
7. เฉลิมชาติ มานพ, การพัฒนามิเตอร์และระบบการจัดการน้ำบาดาลแบบสมองกลฝังตัวร่วมกับซอฟต์แวร์ประยุกต์ทำงานบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. 2563, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง: กรุงเทพฯ.
8. อิสหาณุรักษ์ ชูพงศ์, ระบบติดตามยานพาหนะ. 2558, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: กรุงเทพฯ.
9. ธนเมศร์ ทองนา, การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ไอโอทีตรวจวัดสภาพแวดล้อมในพื้นที่แปลงเพาะปลูกแบบเปิดโดยใช้เครือข่ายลอร์ราเพื่อการเกษตรที่แม่นยำ. 2562, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: กรุงเทพฯ.
10. คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. การเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้งานโปรแกรมในระบบประชุมทางไกลผ่านระบบเครือข่าย. [อินเทอร์เน็ต]; Available from: https://sites.google.com/site/project1video/home
11. ดร.สุทิน ชนะบุญ. สถิติกับการวิจัย. [อินเทอร์เน็ต]; Available from: http://www.kkpho.go.th/i/index.php/component/attachments/download/1927
12. Greed is Gooda. มาตราวัดของลิเคิร์ท. [อินเทอร์เน็ต]; Available from:

https://greedisgoods.com/likert-scale-คือ.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสิริธร ศรีไพบูลย์
วันเกิด	วันที่20 เดือนกันยายน พ.ศ.2538
สถานที่เกิด	จังหวัดยโสธร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่12 ถนนประคองพันธ์ อำเภอเมืองมุกดาหาร ตำบลมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2560 ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2564 ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	โครงการพัฒนาการวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (Research Development Innovation Management: RDI)