



หลักสูตรการยกระดับความปลอดภัย พลังงาน และสิ่งแวดล้อม สำหรับหม้อน้ำด้วยเทคโนโลยี 4.0

จัดทำโดย

นายวิศิษฐ์ศักดิ์ กฤษณพันธ์ วิศวกรชำนาญการพิเศษ
รักษาการในตำแหน่งวิศวกรเชี่ยวชาญ
กองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน



หลักสูตรการยกระดับความปลอดภัย พลังงาน และสิ่งแวดล้อม สำหรับหม้อน้ำด้วยเทคโนโลยี 4.0 กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ชื่อหลักสูตร	หลักสูตรการยกระดับความปลอดภัย พลังงาน และสิ่งแวดล้อม สำหรับหม้อน้ำด้วยเทคโนโลยี 4.0
คุณสมบัติผู้เข้าอบรม	ผู้ทำงานที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม
ระยะเวลา	6 ชั่วโมง (1 วัน)

คำอธิบายหลักสูตร

หลักสูตรนี้เป็นการนำเสนอแนวทางในการนำเทคโนโลยี 4.0 ที่ทันสมัยเข้ามาประยุกต์ใช้กับหม้อน้ำ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หรือการประหยัดพลังงาน หรือลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ทั่วไป

กระตุ้นให้ผู้เข้าอบรมเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยี 4.0 และรับรู้แนวทางในการยกระดับการใช้งานหม้อน้ำด้วยเทคโนโลยี 4.0 เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หรือการประหยัดพลังงาน หรือลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

ผู้ผ่านการฝึกอบรมควรมีความรู้ความสามารถดังนี้ :

1. รู้จักยุค 4.0 ได้แก่ Thailand 4.0, Internet of Things (IoT) และเทคโนโลยี 4.0 สำหรับอุตสาหกรรม ได้แก่ Industry 4.0, Factory 4.0
2. รู้จักการนำเทคโนโลยีด้านการวิเคราะห์คำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) มาประยุกต์ใช้งานเพื่อคาดการณ์ผลการใช้งานหม้อน้ำ
3. รู้จักปัญหาต่าง ๆ ที่มีโอกาสเกิดกับหม้อน้ำ และเข้าใจหลักการด้านความปลอดภัย พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ในการใช้งานหม้อน้ำสำหรับโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)
4. รู้จักวิธีการนำเทคโนโลยี 4.0 อาทิเช่น Smart Safety and Monitor เข้ามาประยุกต์ใช้งานกับหม้อน้ำ เพื่อให้เกิดการยกระดับด้านความปลอดภัย การประหยัดพลังงาน และลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม
5. สามารถเสนอแนวคิดหรือแนวทางที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 กับหม้อน้ำในโรงงานของผู้เข้าร่วมอบรม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หรือการประหยัดพลังงาน หรือลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

แผนการฝึกอบรมหลักสูตร
“การยกระดับความปลอดภัย พลังงาน และสิ่งแวดล้อมสำหรับ หม้อน้ำ ด้วยเทคโนโลยี 4.0”

ที่	เรื่อง	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1	- การเปลี่ยนแปลงในยุค Thailand 4.0, Internet of Things (IOT), Industry 4.0 และ Factory 4.0	0.5
2	- เทคโนโลยีด้านการวิเคราะห์คำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)	0.5
3	- อุบัติเหตุในการใช้งานหม้อน้ำ และหลักการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัย	1.0
4	- ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม และการอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	1.0
5	- การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 และ Smart Safety and Monitoring กับการใช้งานหม้อน้ำ เพื่อยกระดับความปลอดภัย พลังงาน และสิ่งแวดล้อม	1.5
6	- การเสวนากับผู้ประกอบการที่มีประสบการณ์ใช้งาน Smart Boiler	0.5
7	- การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และนำเสนอวิธีการนำเทคโนโลยี 4.0 มาแก้ปัญหาหรือยกระดับการใช้งานหม้อน้ำ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	1.0
รวม		6

หมายเหตุ แต่ละหัวข้อสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม

สารบัญ

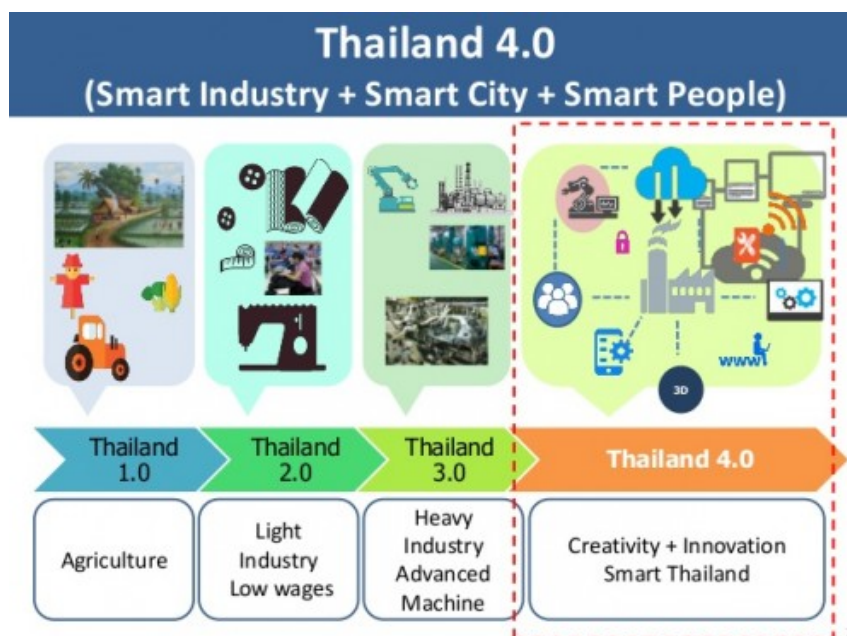
	หน้า
หัวข้อที่ 1 การเปลี่ยนแปลงในยุค Industry 4.0 และ Factory 4.0	1
1. นโยบาย Thailand 4.0	1
2. เทคโนโลยี Internet of Things	4
3. Industry 4.0	7
4. Factory 4.0	9
หัวข้อที่ 2 เทคโนโลยีด้านการวิเคราะห์คำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)	11
1. ความเป็นมาของการจำลองสถานการณ์ (Simulation)	11
2. คำจำกัดความ	11
3. ประเภทของแบบจำลองสถานการณ์	12
4. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	13
5. ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม	15
6. การประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์กับหม้อน้ำ	16
หัวข้อที่ 3 อุบัติเหตุในการใช้งานหม้อน้ำและหลักการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัย	23
1. อุบัติเหตุในการใช้งานหม้อน้ำ	23
2. หลักการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัย	26
หัวข้อที่ 4 การอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรการสิ่งแวดล้อมในระบบไอน้ำ	31
1. การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ	32
2. ความเป็นมิตรการสิ่งแวดล้อมของระบบไอน้ำ	35
หัวข้อที่ 5 การยกระดับหม้อน้ำด้วยเทคโนโลยี 4.0	39
1. วิวัฒนาการของหม้อน้ำ	39
2. หลักการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 กับหม้อน้ำ	40
3. องค์ประกอบหลักของเทคโนโลยี 4.0 ที่นำมาประยุกต์ใช้กับหม้อน้ำ	42
4. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 เพื่อยกระดับหม้อน้ำ	43

หัวข้อที่ 1

การเปลี่ยนแปลงในยุค Industry 4.0 และ Factory 4.0

1. นโยบาย Thailand 4.0

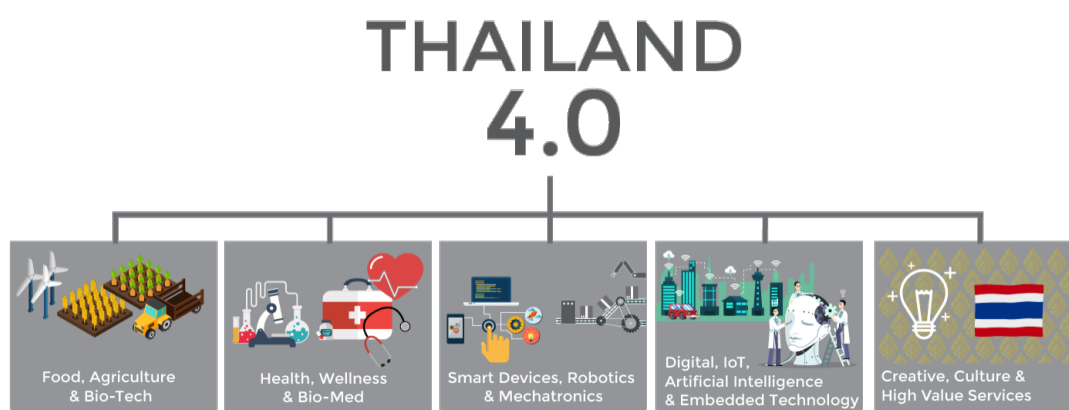
โมเดล Thailand 4.0 ถือเป็นแนวคิดของรัฐบาลไทยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขับเคลื่อนประเทศไทยให้หลุดจากกับดักประเทศรายได้ปานกลาง และมุ่งสู่การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ โดยเน้นระบบเศรษฐกิจแบบสร้างคุณค่า (Value-based economy) ที่มีการเพิ่มมูลค่าและศักยภาพในภาคการผลิตและบริการที่เป็นรากฐานของระบบเศรษฐกิจในปัจจุบันของประเทศไทย ผ่านการใช้นวัตกรรม เทคโนโลยี และความคิดสร้างสรรค์



รูปที่ 1.1 แนวคิด Thailand 4.0

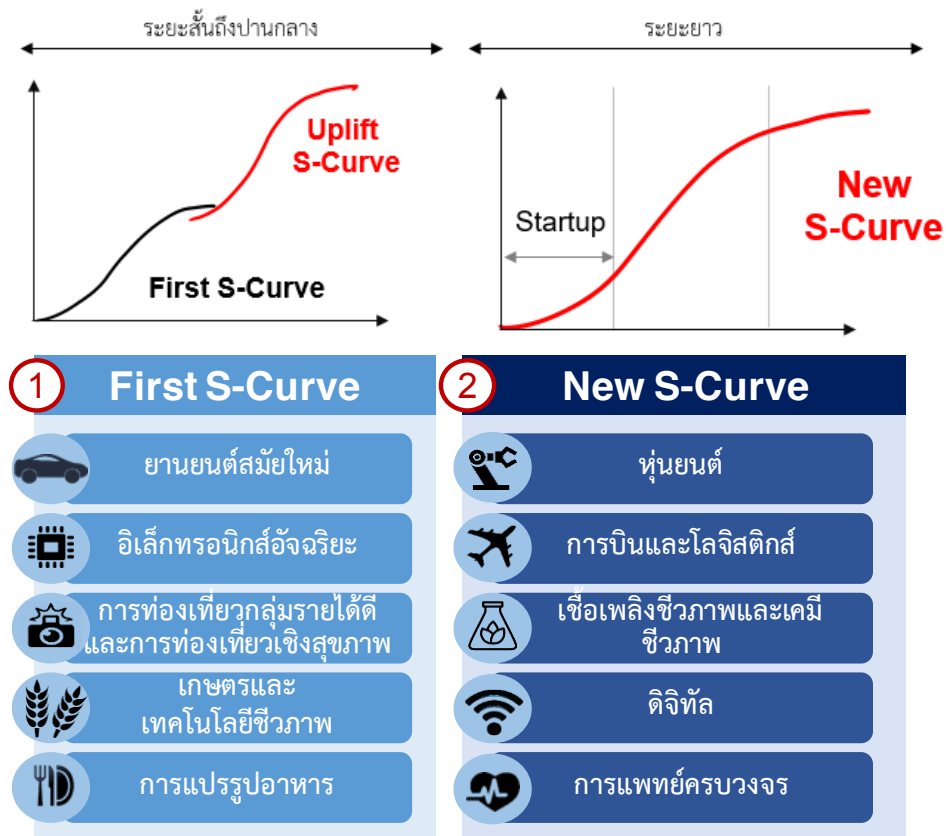
แนวคิด Thailand 4.0 มีจุดเริ่มต้นจากการวิเคราะห์พัฒนาการของระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีพื้นฐานจากระบบเศรษฐกิจที่พึ่งพาการผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรกรรมในยุค Thailand 1.0 ก่อนจะมีการพัฒนาการผลิตเพื่อลดการนำเข้า การพัฒนาอุตสาหกรรมเบา และการใช้แรงงานในยุค Thailand 2.0 ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจโดยพึ่งพาการผลิตและอุตสาหกรรม (Manufacturing and industry) การส่งออกและภาคการบริการท่องเที่ยว ซึ่งเป็น “เครื่องยนต์ทางเศรษฐกิจ” หลักของประเทศไทยในยุค Thailand 3.0 โดยพัฒนาการดังกล่าวได้ช่วยนำพาให้ประเทศไทยยกระดับเศรษฐกิจ

จากการเป็นประเทศในกลุ่มรายได้ต่ำ (Low-income countries) ในช่วงก่อนทศวรรษ 1980 จนกลายเป็นประเทศกลุ่มรายได้ปานกลางระดับสูง (Upper middle-income countries) ในปัจจุบัน ผลจากการพัฒนาระบบเศรษฐกิจโดยพึ่งพาการส่งออก การผลิตสินค้าทางอุตสาหกรรม และการท่องเที่ยว เป็นผลให้เศรษฐกิจของประเทศไทยเติบโตขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 9.5 ต่อปี ระหว่างปี พ.ศ. 2530-2539 ก่อนการประสบวิกฤติทางเศรษฐกิจต้มยำกุ้ง



รูปที่ 1.2 ทิศทางของอุตสาหกรรมตามแนวทาง Thailand 4.0

อย่างไรก็ตาม ด้วยสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป ปัญหาทางเศรษฐกิจในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว (Developed countries) ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศคู่ค้า ทำให้ประเทศไทยสูญเสียความสามารถในการแข่งขันในการค้าโลกและติดกับดักกลุ่มประเทศรายได้ปานกลาง ส่งผลให้โมเดลเศรษฐกิจแบบ Thailand 3.0 ไม่อาจทำให้ประเทศไทยคงการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจไว้ได้ ประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องหาโมเดลทางเศรษฐกิจใหม่ที่สร้างการเติบโตแบบก้าวกระโดด (New S-Curve) โดยเน้นระบบเศรษฐกิจแบบสร้างคุณค่าและนวัตกรรมซึ่งประเทศไทยจำเป็นต้องผลิตเทคโนโลยีใหม่บางส่วนเอง บนรากฐานภาคส่วนทางเศรษฐกิจที่เป็นจุดแข็งดั้งเดิมของประเทศ ได้แก่ การเกษตร อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ การแพทย์ และการท่องเที่ยว ฯลฯ เพื่อตอบสนองความจำเป็นดังกล่าว รัฐบาลไทยได้ผลักดันแนวคิดเศรษฐกิจดิจิทัล โดยการใช้ประโยชน์จากการสื่อสาร เทคโนโลยีสารสนเทศ และการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งช่วยส่งเสริมและพัฒนาภาคส่วนอุตสาหกรรมที่เป็นจุดแข็งของประเทศไทยอยู่แล้ว ให้มีประสิทธิภาพและมีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่ามากขึ้น ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีดิจิทัล ได้แก่ การทำการเกษตรแม่นยำ (Precision Farming), อินเทอร์เน็ตอุตสาหกรรม (Industrial Internet), เมืองอัจฉริยะ (Smart City), ระบบการบริการสาธารณูปโภค อัจฉริยะ (Smart Utilities) และระบบข้อมูลกลาง หรือ Big Data เพื่อการบริหารจัดการภาครัฐ



รูปที่ 1.3 อุตสาหกรรมกลุ่ม First S-Curve และ New S-Curve

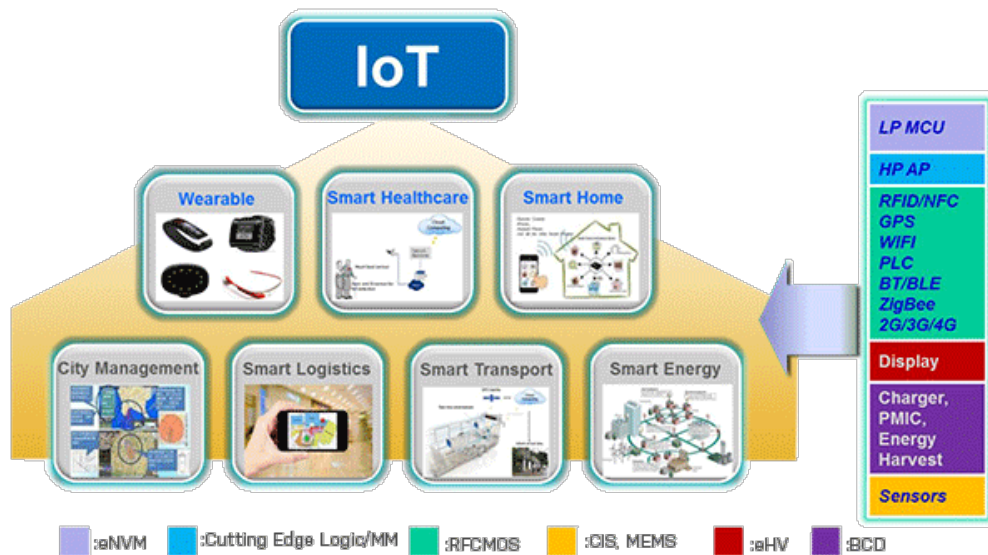
การจะบรรลุวัตถุประสงค์ของการยกระดับอุตสาหกรรมหลักของประเทศ จะต้องมีเครื่องมือและเทคโนโลยีที่เป็นรากฐานของการเชื่อมต่อระหว่างโลกทางกายภาพและข้อมูลดิจิทัล โครงข่าย Internet of Things ได้รับการคาดหมายว่าจะเป็นหนึ่งในตัวขับเคลื่อนที่สำคัญที่จะเข้ามาช่วยสนับสนุนให้เกิดการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2. เทคโนโลยี Internet of Things

Internet of Things หรือ IoT เป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด ตั้งแต่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และ วัตถุต่าง ๆ เข้าด้วยกัน อันเป็นผลให้ระบบต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นอัตโนมัติ ทั้ง ยังเป็นผลให้มนุษย์สามารถเข้าถึงข้อมูลได้หลากหลายยิ่งขึ้น ควบคุมอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

IoT อาจถือเป็นแนวคิดใหม่ที่มีการกล่าวถึงไม่นานมานี้ แต่ IoT เป็นผลสืบเนื่องของการพัฒนาระบบ อินเทอร์เน็ต ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างโครงข่ายเพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานแตกต่างกันให้สามารถสื่อสารกันได้ โดย IoT จะเปิดโอกาสให้มีการเชื่อมต่อในรูปแบบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น และรองรับอุปกรณ์ที่พัฒนาโดยผู้ผลิตที่มีเทคโนโลยีแตกต่างกันมากกว่าเดิม ในปัจจุบันสามารถจัดกลุ่มการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ได้ตามรูปแบบดังต่อไปนี้

- **การเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น (Short-Range Devices)** เป็นรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระยะสั้นมาก โดยใช้กำลังส่งต่ำมาก เหมาะสำหรับการสื่อสารในพื้นที่ครอบคลุมขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ในลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ (Peer-to-peer) หรือการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายก็ได้ ตัวอย่างของการเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าว เช่น WiFi, Bluetooth, Z-Wave และ ZigBee เป็นต้น
- **การเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่** เป็นรูปแบบการให้บริการที่มีพื้นที่ครอบคลุมกว้าง โดยอาศัยการเชื่อมต่ออุปกรณ์เครื่องลูกข่าย IoT เข้ากับโครงสร้างพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอยู่แล้ว ตัวอย่างของการเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าว เช่น เทคโนโลยี NB-IoT และ LTE-M เป็นต้น
- **การเชื่อมต่อผ่านโครงข่าย LPWAN** เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายกำลังส่งต่ำบริเวณกว้าง Low Power Wide Area Network (LPWAN) โดยเน้นใช้งานในลักษณะการสื่อสารแบบ Narrow Band หรือ Ultra Narrow Band ที่มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำมาก ประหยัดพลังงานมาก และมีราคาอุปกรณ์ต่อหน่วยที่ต่ำ ตัวอย่างของการเชื่อมต่อในลักษณะดังกล่าว เช่น LoRaWAN, SigFox และ Ingenu เป็นต้น
- **การเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายสื่อสารดาวเทียม** เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อที่เหมาะสมกับการใช้งานที่มีพื้นที่ครอบคลุมการให้บริการที่กว้างมาก แต่การเชื่อมต่อง่ายกว่าจะมีระยะเวลาการตอบสนอง (Latency) ช้ากว่าการเชื่อมต่อรูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากระยะเวลาที่สัญญาณเดินทางไป-กลับ ระหว่างอุปกรณ์สื่อสารภาคพื้นโลกและดาวเทียม



รูปที่ 1.4 การนำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ตามแนวทาง Thailand 4.0

ความสามารถในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่หลากหลายเข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเปิดโอกาสให้มีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายและกว้างขวางมาก โดยรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์ต่าง ๆ จำนวนมากเข้ากับโครงข่าย จะช่วยให้สามารถตรวจวัดข้อมูลที่หลากหลายประเภทได้เป็นจำนวนมาก และช่วยให้สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์และแสดงผลแบบกราฟฟิกเพื่อช่วยในการตัดสินใจได้ เมื่อนำระบบดังกล่าวผนวกเข้ากับ ระบบ Big Data จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อน มีจำนวนมากและทันเหตุการณ์ (Real-time) ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งาน Internet of Things สำหรับงานอุตสาหกรรม เช่น

2.1 อินเทอร์เน็ตอุตสาหกรรม (Industrial Internet)

อินเทอร์เน็ตอุตสาหกรรม คือ โครงข่ายข้อมูลขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ เครื่องจักร เครื่องวัด และระบบการควบคุมในระบบอุตสาหกรรมเข้าด้วยกัน การส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายจะช่วยให้อุปกรณ์และระบบต่าง ๆ มีการทำงานที่แม่นยำสามารถทำงานสอดคล้องกันได้โดยไม่ต้องใช้แรงงานคน การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ สภาพของเครื่องจักร เช่น อุณหภูมิ การสั่น การหมุน นอกจากจะช่วยตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักรแล้ว ยังช่วยคาดการณ์เวลาที่จำเป็นต้องเปลี่ยนอะไหล่ของอุปกรณ์เมื่อชำรุด ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอะไหล่ใหม่ที่ไม่จำเป็น นอกจากนี้ การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างร้านสะดวกซื้อ ระบบโลจิสติกส์ และโรงงาน จะช่วยให้สามารถบริหารการผลิตและกระจายสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งประเทศไทยในฐานะที่มีสัดส่วนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมอยู่ในระดับสูง จะมีโอกาสได้ประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนที่ไม่จำเป็น

2.2 ระบบขนส่งและยานพาหนะ (Logistics and Vehicles)

โครงข่าย IoT จะเข้ามามีส่วนช่วยในการพัฒนาระบบคมนาคมและการจัดการโลจิสติกส์ โดยช่วยสนับสนุนให้มีการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่าง ยานพาหนะด้วยกัน หรือระหว่างยานพาหนะและระบบควบคุมการจราจรอื่น เช่น ระบบสัญญาณจราจร ระบบข้อมูลสภาพจราจร ซึ่งการนำเอาระบบ ดังกล่าว มาใช้กับระบบขนส่งสินค้าจะช่วยให้การบริการมีความปลอดภัย สะดวก แม่นยำและตรงเวลามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังทำให้สามารถทราบตำแหน่ง ยานพาหนะ ทราบสถานการณ์รับ-ส่งสินค้า อันส่งผล ให้การจัดการสินค้าคงคลังมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.3 ระบบค้าและเทคโนโลยีการเงิน (Retail Environment)

เทคโนโลยี IoT สามารถเข้ามามีบทบาทสนับสนุนระบบค้าและเทคโนโลยีทางการเงินได้หลายรูปแบบ เช่น ระบบการชำระเงินอัตโนมัติ (Auto-payment) ในร้านค้า ระบบการชำระเงินโดยผ่าน Wearable devices และโทรศัพท์เคลื่อนที่ การบริหารจัดการสินค้าคงคลัง รวมถึงสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ใน โรงงานอุตสาหกรรมในงานเกษตรกรรม เพื่อสั่งซื้อและชำระเงินค่าวัสดุ อุปกรณ์และวัตถุดิบโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ ระบบค้าปลีกและเทคโนโลยีการเงินยังสามารถช่วยสนับสนุนการสร้างคุณค่าและเพิ่มประสิทธิภาพ การผลิตและการให้บริการในภาคส่วนอื่น เช่น การท่องเที่ยว ค้าปลีก และการจัดการข้อมูลกลางภาครัฐ เป็นต้น

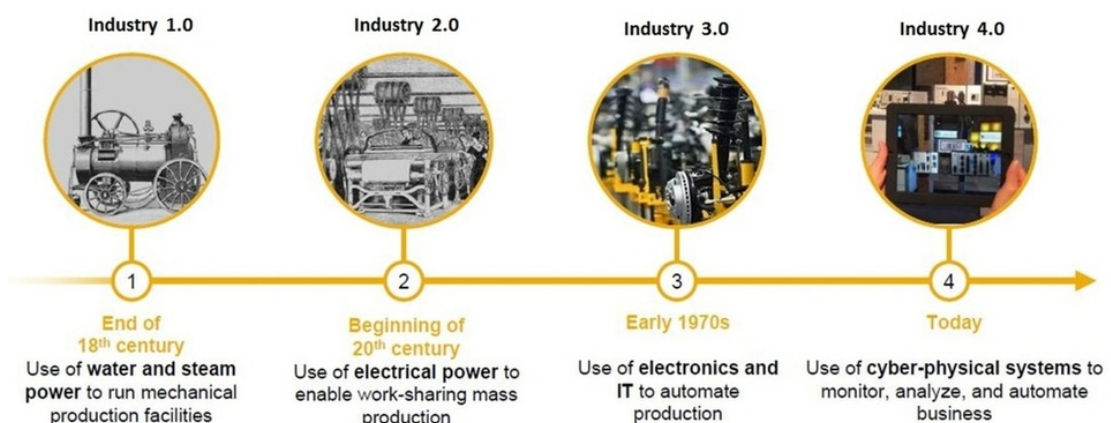
2.4 ระบบการจัดการสำนักงาน (Smart Office)

Smart offices เป็นส่วนหนึ่งที่ IoT จะเข้ามามีบทบาท โดยเฉพาะด้านการบริหารจัดการการใช้พลังงานและการดูแลรักษาความปลอดภัยภายในสำนักงาน โดยสถาบันวิจัย McKinsey Global ได้ประเมินว่า การใช้อุปกรณ์ IoT ในสำนักงานจะช่วยให้บริษัทสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 20% นอกจากนี้ บริษัทและหน่วยงานต่าง ๆ สามารถประยุกต์ใช้ IoT ในการเพิ่มขีดความสามารถในการทำงาน (Productivity) ของพนักงาน ในบริษัท ไม่ว่าจะเป็นการอบรมพนักงานใหม่ด้วยระบบ Virtual reality การจัดการและติดตามเอกสาร รวมถึง การติดตามการทำงานของพนักงาน เพื่อพัฒนาระบบการทำงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น การเข้ามาของอุปกรณ์ IoT จะสามารถทำให้บริษัทและหน่วยงานต่าง ๆ ใช้คนน้อยลง แต่ในขณะเดียวกันได้งานมากขึ้น ลดต้นทุน และเพิ่มโอกาสในการเติบโต

3. Industry 4.0

แนวทางของอุตสาหกรรมในอนาคตได้มีการกระเพื่อมขึ้นทั่วโลก ซึ่งมีการเรียกขานที่แตกต่างกันไป กล่าวคือ แนวคิดที่ทาง EU หรือ European Union มีข้อสรุปออกมา เรียกว่า Factories of the Future (FoF) ในอเมริกาเรียกว่า Smart Manufacturing ส่วน Industry 4.0 เยอรมนีเป็นประเทศที่นำไปใช้ ทั้งนี้ในกรอบของการผลิตในอนาคต หรือ Factories of the Future จะพูดถึงเรื่องการหาวัตถุดิบใหม่ๆ เช่น มีน้ำหนักเบา หรือแบตเตอรี่ประหยัดพลังงานสามารถนำกลับมาใช้ได้ง่าย เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งไม่ได้กล่าวถึงเรื่องกระบวนการ Automation หรือว่า IT เข้ามาช่วยเพียงอย่างเดียว โดยหากเทียบการเรียกแบบเยอรมันผสานกับยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรม สามารถแบ่งยุคได้ดังนี้

- Industry 1.0 คือ ยุคการผลิตด้วยเครื่องจักรกลไอน้ำที่แรงงานคน/สัตว์
- Industry 2.0 คือ ยุคแห่งการคิดค้นมอเตอร์ไฟฟ้า/พลังงานไฟฟ้า เพื่อทดแทนเครื่องจักรกลไอน้ำผลิตสินค้าที่เร็วขึ้น ถึงขั้นลักษณะที่เหมือนๆ กันจึงเกิดการผลิตแบบ Mass Production ที่สินค้าผลิตเหมือนกันในปริมาณมาก
- Industry 3.0 คือ ยุคเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ดิจิทัล/หุ่นยนต์ เริ่มแพร่หลาย กระบวนการผลิตทุกอย่างเริ่มอัตโนมัติมากขึ้นทำงานซ้ำ ๆ ได้ดี เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ มีการนำหุ่นยนต์เข้ามาใช้งานทดแทนแรงงานมนุษย์ การผลิตด้วยการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาสั่งเครื่องจักรในการผลิต
- Industry 4.0 คือ การผลิตด้วยการนำเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ามามีการเชื่อมโยงข้อมูลการผลิตระหว่างเครื่องจักรอย่างมีประสิทธิภาพ จากการผลิตที่มีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ จึงต้องมีการออกแบบ function การผลิตที่ละเอียดขึ้นแบบที่มนุษย์ไม่สามารถผลิตได้ เป็นยุคใหม่ของการรวมพลังระหว่างเทคโนโลยีดิจิทัลควบคุมเครื่องจักรให้เครื่องจักรสื่อสารข้อมูลกันเอง ซึ่งตัวที่ผลักดันได้ชัดเจนที่สุดให้เกิด 4.0 ขึ้นมาคือ อินเทอร์เน็ต/ไซเบอร์

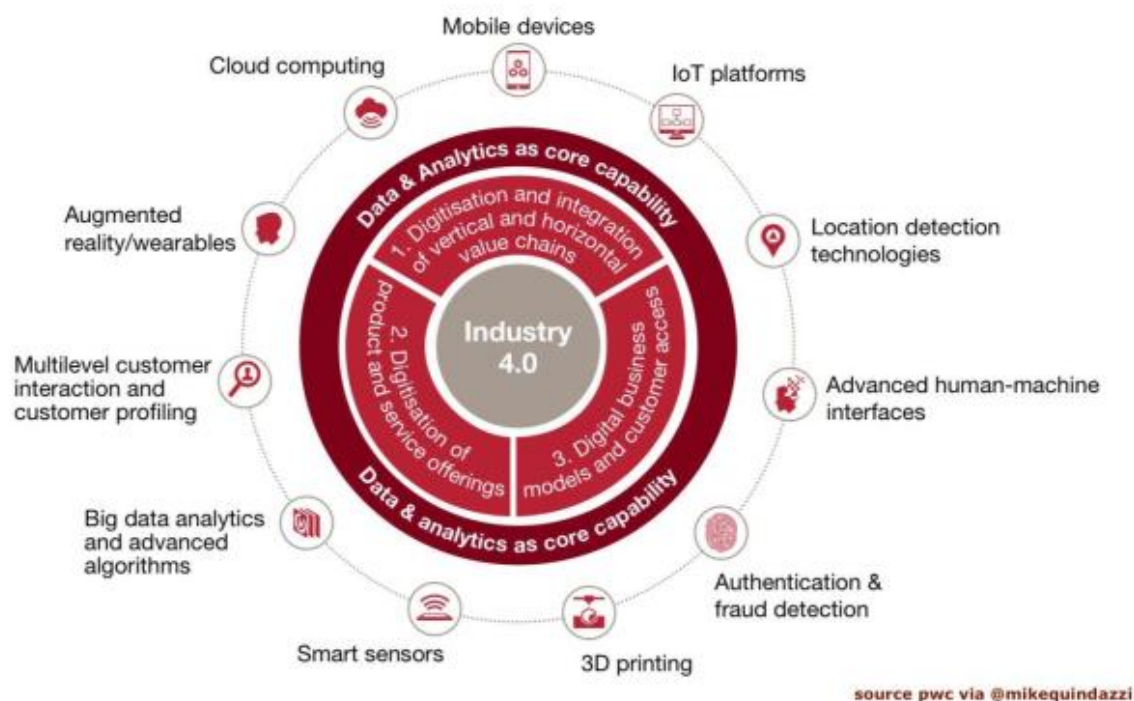


รูปที่ 1.5 วิวัฒนาการของอุตสาหกรรม

ดังนั้น อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) หรือ การปฏิวัติอุตสาหกรรมขั้นที่ 4 จึงเป็นการรวมกันของนวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่สำคัญ ๆ หลายอย่าง que เต็บโตสูงงอมในเวลาเดียวกันซึ่งคาดว่าจะเปลี่ยนภูมิทัศน์ของอุตสาหกรรมการผลิตอย่างมาก เทคโนโลยีเหล่านี้ได้แก่

- หุ่นยนต์ขั้นสูง (Robotics)
- ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)
- เซ็นเซอร์ที่ซับซ้อน (Sophisticated Sensors)
- คอมพิวเตอร์ระบบคลาวด์ (Cloud Computing)
- การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics)

ซึ่งเมื่อเทคโนโลยีเหล่านี้ได้ถูกนำมารวมเข้าด้วยกันจะเกิดการเชื่อมต่อระหว่างโลกเสมือนจริงกับโลกทางกายภาพ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอุตสาหกรรม



รูปที่ 1.6 แผนภาพทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรม 4.0 โดยใช้ Digital Technology

4. Factory 4.0

ภาพรวมทางด้านยุทธศาสตร์ Factory 4.0 ของกระทรวงอุตสาหกรรม เป็นการมอง 4 มิติ เชื่อมโยงกันเป็นระบบ และเกื้อกูลซึ่งกันและกัน ประกอบด้วย

- 1) โรงงาน
- 2) ชุมชน/วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม
- 3) สิ่งแวดล้อม
- 4) ทรัพยากรมนุษย์



รูปที่ 1.7 ยุทธศาสตร์ Factory 4.0 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ภาคการผลิตจะเป็นกลไกหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งก็คือผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่มากกว่า 1.5 แสนรายทั่วประเทศ โดยมีภาครัฐสนับสนุนในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้มากขึ้น ช่วยลดต้นทุนและความยุ่งยากในการใช้บริการกับภาครัฐ และในขณะเดียวกันผู้ประกอบการโรงงานก็จะต้องช่วยเหลือเกื้อหนุนองค์ประกอบสำคัญของเศรษฐกิจฐานรากอีก 3 ส่วน ได้แก่

- 1) สิ่งแวดล้อมในพื้นที่จะต้องมีการดูแลรักษาและปกป้องอย่างจริงจัง
- 2) พัฒนาชุมชนให้เข้มแข็ง เพื่อให้ชุมชนมีทุนสะสมใช้หล่อเลี้ยงเศรษฐกิจได้ด้วยตนเอง
- 3) การพัฒนาคนในโรงงานและในชุมชนให้มีคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น สร้างงานและอาชีพเสริมที่เชื่อมโยงหรือจ้างช่วงจากโรงงาน



รูปที่ 1.8 แผนภาพเชื่อมโยงเพื่อยกระดับสู่ Factory 4.0

สิ่งที่สำคัญก็คือ ผู้ประกอบการภาคการผลิตทั่วประเทศจะต้องเข้มแข็ง มีผลกำลังขับเคลื่อนเศรษฐกิจประเทศและเศรษฐกิจพื้นที่ของตน ใส่ใจปกป้องดูแลสิ่งแวดล้อมโดยรอบโรงงานอย่างจริงจัง มีการส่งเสริมพัฒนาชุมชนรอบข้างให้อยู่ได้เพื่อเป็นเครือข่ายสนับสนุนโรงงาน และต้องช่วยเหลือคนในชุมชนให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นเพราะนั่นคือแรงงานที่มีค่าของกิจการ จะเห็นได้ว่า “Factory 4.0” ไม่ใช่เพียงแค่การมุ่งไปที่การผลิตหรือผลกำไรเท่านั้น แต่ยังเป็นการพุ่งเป้าไปถึงผลกระทบที่จะตามมาจากภาคการผลิต ทั้งกับผู้คนและสิ่งแวดล้อม ซึ่งถือเป็นทรัพยากรที่สำคัญยิ่งสำหรับการขับเคลื่อนของภาคอุตสาหกรรม และการขับเคลื่อนประเทศไปข้างหน้า

บรรณานุกรม

“เทคโนโลยี Internet of Things และนโยบาย Thailand 4.0” สำนักงาน กสทช.

“ยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไทย 4.0 ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 - 2579)” กระทรวงอุตสาหกรรม

<https://www.nectec.or.th/news/news-public-document/iotforindustrial-kullachart.html>

<http://www.thailand40.com/thailand40.html>

<https://vsharecontent.com/2018/03/03/the-future-of-work-in-the-age-of-ai-eps-2-the-internet-of-things/>

<https://vsharecontent.com/2018/02/27/the-future-of-work-in-the-age-of-ai-episode-1-the-industrial-4-0/>

หัวข้อที่ 2

เทคโนโลยีด้านการวิเคราะห์คำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)

1. ความเป็นมาของการจำลองสถานการณ์ (Simulation)

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1950 ซึ่งเป็นยุคที่คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ มีราคาค่อนข้างสูง รวมทั้งการฝึกอบรมในเรื่องคอมพิวเตอร์ เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก ดังนั้นวิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จึงไม่เป็นที่รู้จักมากนัก หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1970-1980 คอมพิวเตอร์กลายเป็นที่ยอมรับอย่างรวดเร็วและมีราคาถูกลง ส่งผลให้การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากขึ้น และถูกใช้บ่อยขึ้นในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์และอากาศยาน ในปี ค.ศ. 1978 งานวิจัยด้านแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) ได้มีการจัดอันดับอยู่ในลำดับที่ 5 และในปี ค.ศ. 1979 มีการสำรวจพบว่ามีบริษัทขนาดใหญ่ถึง 84% ที่มีการใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) ซึ่งหลังจากนั้นมีการนำแบบจำลองสถานการณ์ไปใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น นำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม ธนาคาร หรือการบริการประชาชนในด้านต่าง ๆ การขนส่งและโลจิสติกส์ การกระจายสินค้า โรงพยาบาล เครือข่ายคอมพิวเตอร์และกระบวนการทางธุรกิจ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) กลายมาเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่แม้แต่บริษัทขนาดเล็กก็มีการนำไปใช้และใช้งานได้ง่ายขึ้นเพื่อช่วยในส่วนของการทำงาน

2. คำจำกัดความ

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือ กระบวนการในการออกแบบแบบจำลองของระบบจริงและประสบการณ์ด้านพฤติกรรมต่าง ๆ โดยการสร้างแบบจำลองเพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของระบบ หรือการประเมินด้วยวิธีการที่แตกต่างกันไป สำหรับการปฏิบัติการของระบบ (ภายใต้ข้อจำกัดซึ่งถูกกำหนดตามมาตรฐานหรือเกณฑ์ที่ตั้งไว้)

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) คือ เป็นวิธีการการออกแบบตัวแบบจำลอง (Model) ของสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้น หรือระบบในเชิงทฤษฎี โดยการจำลองผ่านทางคอมพิวเตอร์ และวิเคราะห์ผลการปฏิบัติการ (Output) ซึ่งการจำลองสถานการณ์ด้วย

คอมพิวเตอร์สามารถใช้ในการทำนายผลกระทบที่จะเกิดขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในสถานการณ์ของระบบจำลอง

3. ประเภทของแบบจำลองสถานการณ์

ระบบ (System) หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงการทำงานร่วมกันเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของระบบนั้น

แบบจำลอง (Model) คือ วัตถุหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ระบบสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการศึกษาระบบการทำงานจริงที่ต้องการศึกษาและตัวแบบที่ใช้ในการจำลองนี้เป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

การจำแนกประเภทของแบบจำลองสถานการณ์นั้นจำแนกตามการใช้งาน โดยอาศัยลักษณะการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบ (Status System) ซึ่งแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. แบบระบบสถิตกับแบบระบบเชิงพลวัต (Static & Dynamic Simulation Models): การจำลองแบบระบบสถิต คือ การจำลอง ณ เวลาหนึ่งหรือการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบไม่เกี่ยวข้องกับเวลา ส่วนการจำลองแบบระบบเชิงพลวัต คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบมีความเกี่ยวข้องกับเวลาหรือเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

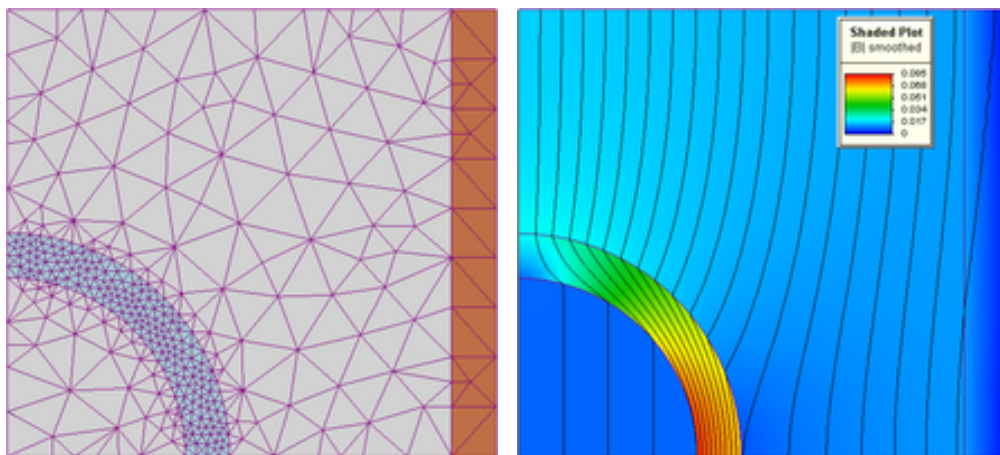
2. แบบระบบงานต่อเนื่องกับแบบระบบงานไม่ต่อเนื่อง (Continuous & Discrete Simulation Models) : การจำลองแบบระบบงานต่อเนื่อง คือ ระบบงานที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบมีความต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น ระดับน้ำภายในเขื่อนจะต้องมีการเพิ่มหรือลดตลอดเวลาซึ่งเกิดจากการเปิดระบายน้ำออกหรือเมื่อเกิดฝนตก เป็นต้น ส่วนแบบจำลองแบบระบบงานไม่ต่อเนื่อง คือ ระบบงานที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบเป็นช่วง ๆ ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ระบบการทำงานของธนาคารที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพระหว่างเวลา 8.30-16.30 น. เป็นต้น

3. แบบระบบแน่นอนกับแบบระบบไม่แน่นอน (Deterministic & Stochastic Simulation Models) : แบบจำลองแบบระบบแน่นอน คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบใหม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าเป็นอย่างไรหรือตัวแบบที่ไม่มีการป้อนข้อมูลแบบสุ่ม (Random Input) จะเป็นแบบไม่มีความเสี่ยงหรือความแปรปรวนเลย ทุกอย่างเกิดขึ้นในปริมาณที่แน่นอน เช่น ตัวแบบทางการเงินของบริษัทที่สมมติว่ายอดขายหรือค่าใช้จ่ายเป็นไปตามประมาณการ ดังนั้น ถ้าในแต่ละเดือนหรือปลายปีจะมีตัวเลขเป็นค่าประมาณการ เป็นต้น ในขณะที่แบบจำลองแบบระบบไม่แน่นอน คือ ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบที่ไม่สามารถบอกได้ว่าจะเกิดอะไรขึ้นหรือเป็นการใช้ตัวแปรป้อนเข้าที่มีความแปรปรวนหรือความเสี่ยง เช่น ตัวแบบงบประมาณทางการเงินของบริษัทที่สมมติว่ายอดขายหรือค่าใช้จ่ายมีคุณลักษณะแบบมีการแจกแจง ดังนั้น ถ้าในแต่ละเดือนหรือปลายปีจะมีค่าไม่แน่นอน แต่อย่างไรก็ดีการจำลองแบบนี้ก็สามารถประเมินค่าความเสี่ยงเป็นตัวเลขได้ เช่น โอกาสที่บริษัทจะได้กำไร 40% เท่ากับ 75% เป็นต้น

4. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method หรือ Finite Element Analysis) หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่า FEM คือ เทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อม ๆ กับสมการปริพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากการกำหนดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ (สำหรับปัญหาที่อยู่ในสถานะคงที่) หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์ เช่น Euler method Runge-Kutta methods

ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้น ปัญหาพื้นฐานคือ การสร้างสมการที่สามารถประมาณค่าสมการที่กำลังสนใจศึกษาแต่มีความแน่นอนทางตัวเลข ซึ่งหมายความว่าความคลาดเคลื่อนในข้อมูลนำเข้า (input) และการคำนวณระหว่างกลางจะไม่ถูกรวมเข้าไป และส่งผลให้ข้อมูลส่งออก (output) ไร้ความหมาย ซึ่งวิธีการนั้นมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในขอบเขตที่ซับซ้อน (Complex domains) เมื่อขอบเขตมีการเปลี่ยนแปลง (เช่นในช่วงปฏิกิริยาโซลิดสเตตที่ขอบเขตมีการเคลื่อนที่ (solid state reaction with a moving boundary)) หรือเมื่อผลแม่นยำตรงที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดขอบเขต หรือเมื่อผลลัพธ์ไม่มีความราบเรียบ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างของการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

(<https://th.wikipedia.org/wiki/ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์>)

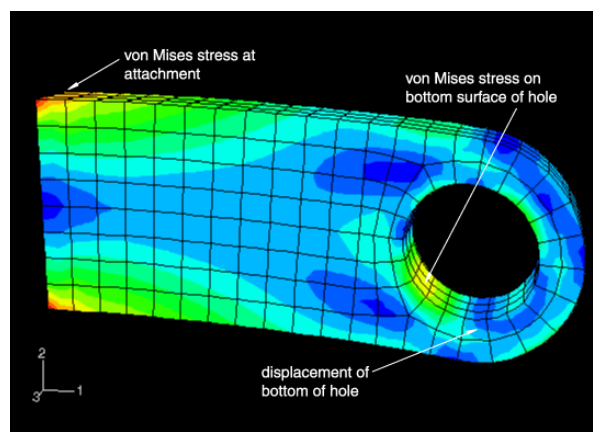
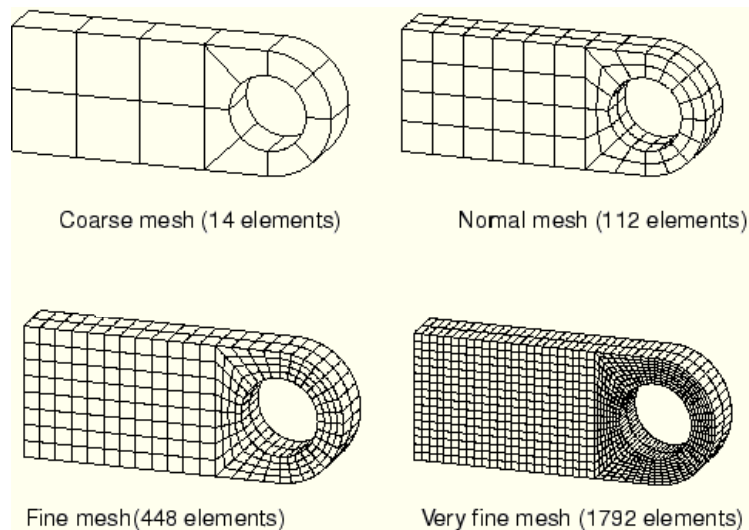
ข้อดีของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

- สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้
- สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อน เช่น Heat Transfer, Fluids, Electromagnetic หรือ Multi-Physics เป็นต้น

- สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่รับภาระต่าง ๆ เช่น ภาระที่กระทำกับ node หรือ element, ภาระที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือ ภาระที่ขึ้นอยู่กับความถี่
- สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่วัสดุมีคุณสมบัติแบบ non-isotropic
- สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่วัสดุมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น คุณสมบัติของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

ข้อเสียของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

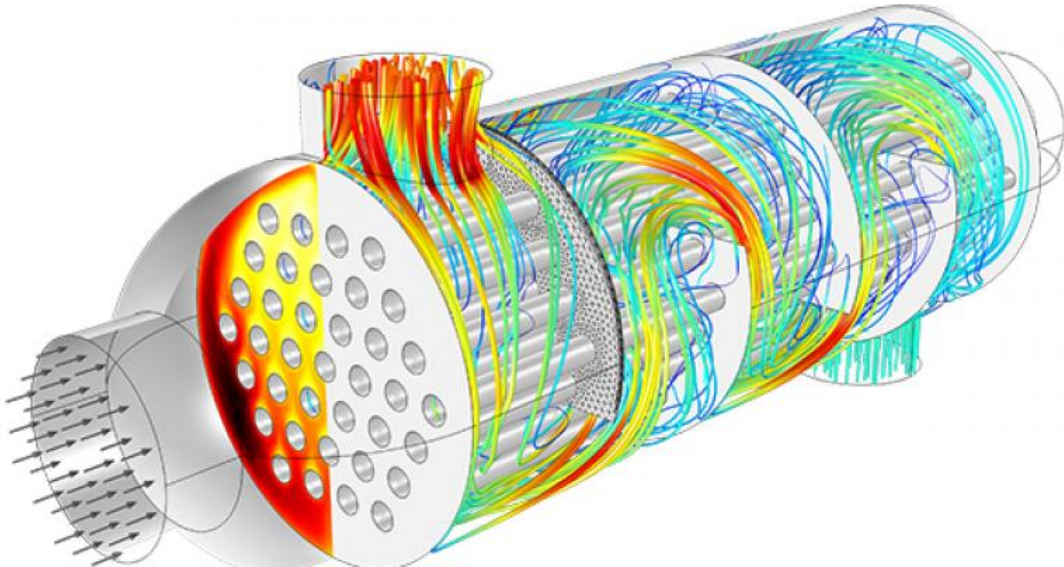
- เป็นวิธีการประเมินเชิงตัวเลข ดังนั้นจะมี error เกิดขึ้นเสมอ
- ผู้ใช้ต้องมีประสบการณ์และความชำนาญในการทำแบบจำลอง FEM ถึง จะทำให้ได้คำตอบที่สอดคล้องกับความเป็นจริง
- ต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงและซอฟต์แวร์ที่น่าเชื่อถือ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของการเลือก mesh ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ (ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

5. ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม

ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (Finite Volume Method) เป็นระเบียบวิธีที่พัฒนามาจากระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) โดยหลังจากการแบ่งขอบเขตของปัญหาเป็นปริมาตรย่อย ๆ แล้ว จะทำการอินทิเกรตสมการอนุพันธ์ของปัญหาลดปริมาตรควบคุม (Control volume) ซึ่งให้ความหมายทางกายภาพที่ชัดเจนหากจะเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ อาจกล่าวได้ว่าระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม เหมือนแทนค่าฟังก์ชันประมาณแบบขั้นบันได (Stepwise) หรือ แบบเชิงเส้น (Linear piecewise) แทนรูปแบบทั่วไปอยู่ในรูปแบบจุด (Point form) การประมาณตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนจึงมีความง่ายกว่า ทำให้เป็นที่นิยมในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computation fluid dynamics)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (Bjorn Sjodin, COMSOL)

ข้อดีของวิธีไฟไนต์วอลุ่ม

- ระบบสมการมีความซับซ้อนน้อย เป็นที่นิยมในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล เนื่องจากใช้ฟังก์ชันประมาณแบบขั้นบันได (Stepwise) หรือ แบบเชิงเส้น (Linear piecewise)
- สามารถใช้ได้ดีในแบบจำลองที่มีการแบ่งเอลิเมนต์ที่ไม่เป็นระเบียบ (Unstructured meshes)

ข้อเสียของวิธีไฟไนต์วอลุ่ม

- มีข้อจำกัดในการแก้ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อน

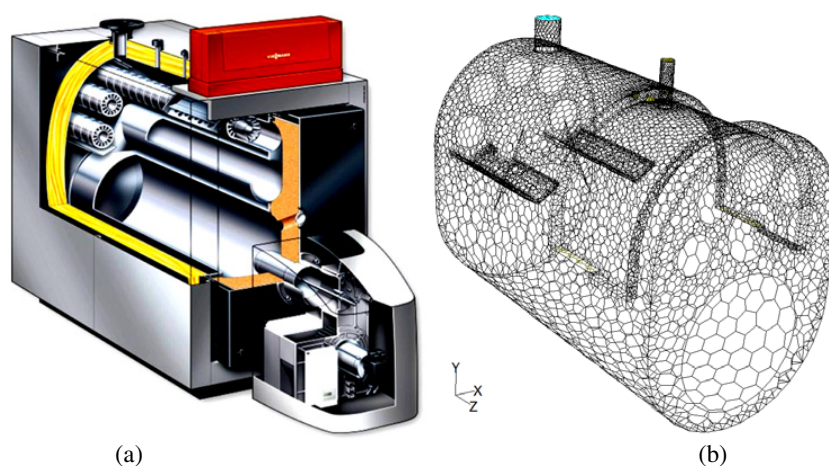
6. การประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์กับหม้อน้ำ

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถนำมาใช้เพื่อการศึกษาแนวโน้มต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นจากการใช้งานหม้อน้ำได้หลากหลาย ในหัวข้อนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์จากบทความวิจัยในระดับนานาชาติที่มีความน่าสนใจดังต่อไปนี้

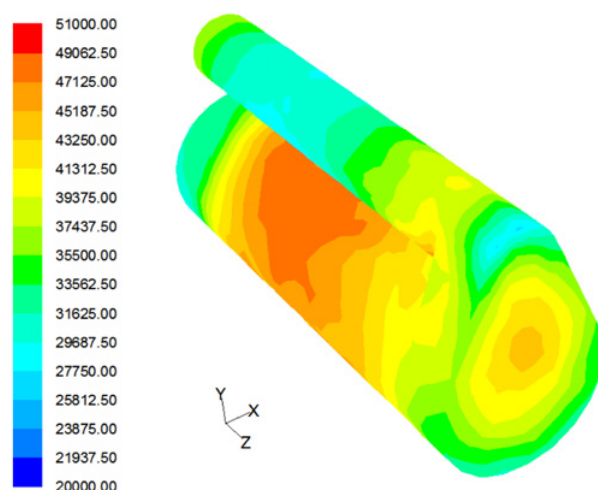
6.1 “Computer simulation of the fire-tube boiler hydrodynamics”,

Sergei A. Khaustov, Konstantin Vladimirovich Buvakov

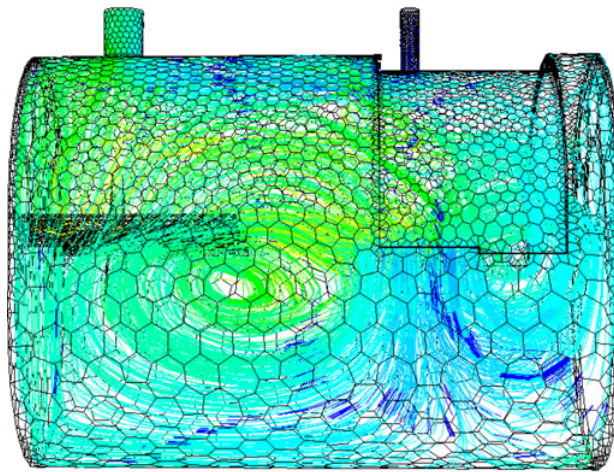
งานวิจัยนี้เป็นการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลุ่ม เพื่อจำลองไฮดรอดนามิกส์ที่เกิดขึ้นภายในหม้อไอน้ำแบบท่อไฟด้วยซอฟต์แวร์จำลองทางวิศวกรรมของ ANSYS Fluent 12.1.4 โดยการคำนวณโครงสร้างของแบบจำลองไฮดรอดนามิกส์และการกระจายอุณหภูมิแบบปริมาตร ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟิก ดังต่อไปนี้



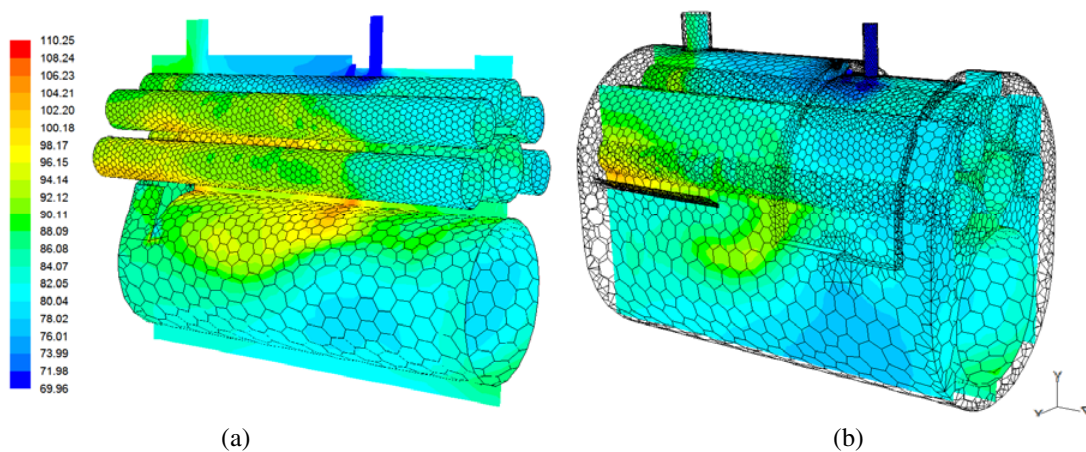
รูปที่ 2.4 การสร้าง Mesh ของหม้อน้ำแบบท่อไฟ



รูปที่ 2.5 การกระจายของ Heat flux (W/m^2) ที่เกิดขึ้นบนผนังของท่อไฟใหญ่และท่อไฟเล็ก



รูปที่ 2.6 การไหลเวียนของน้ำ (Pathlines) ในหม้อน้ำ



รูปที่ 2.7 การกระจายของอุณหภูมิ (°C) ที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำ

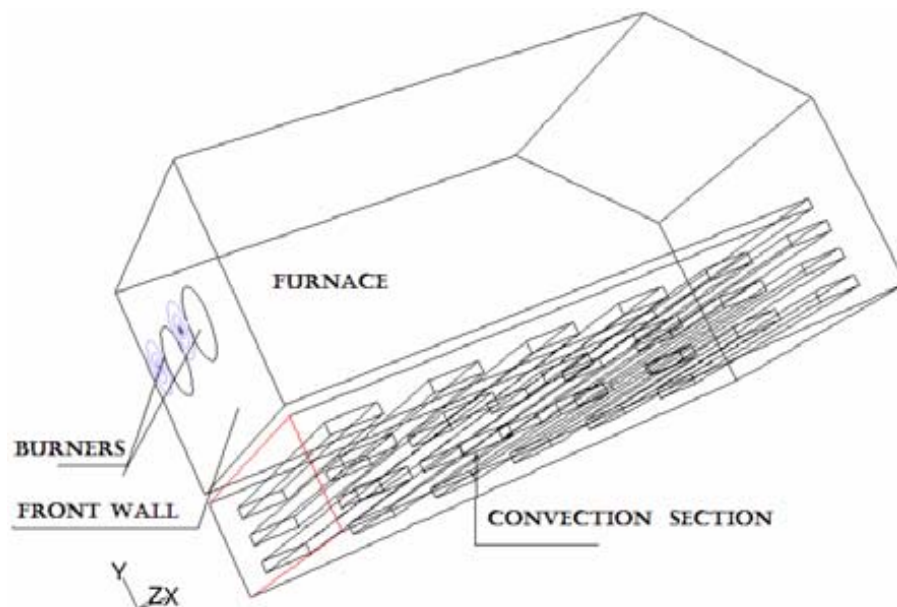
a) อุณหภูมิของผนังท่อไฟใหญ่และท่อไฟเล็ก b) อุณหภูมิของน้ำในหม้อน้ำ

6.2 “Computer Simulation of NO_x Formation in Boilers”,

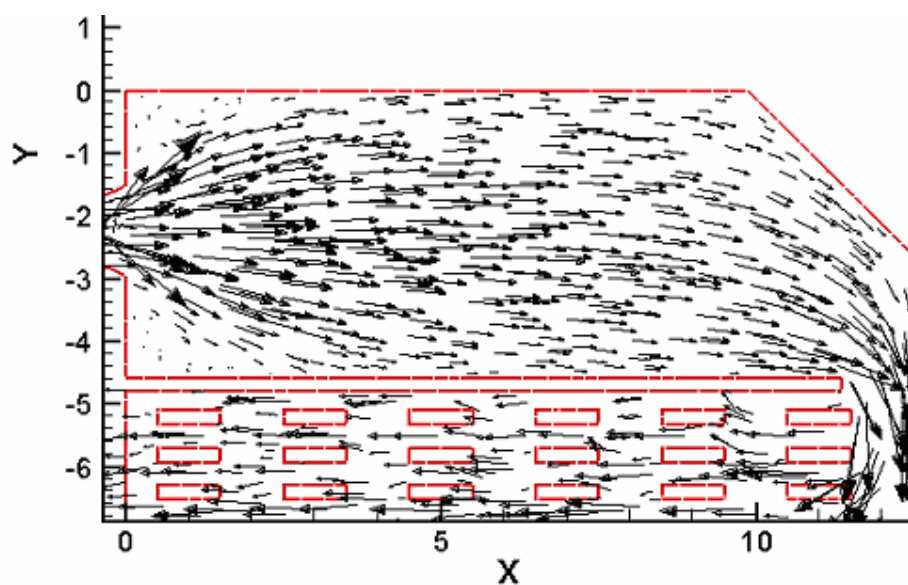
M. A. Habib, Moustafa Elshafei

งานวิจัยนี้เป็นการใช้วิธีไฟไนต์วอลุ่มเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเกิด NO_x ในหม้อน้ำอุตสาหกรรมเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการทำงานที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของหม้อน้ำ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการก่อตัวของ NO_x โดยใช้เตาเผาแบบจำลอง 3 มิติของหม้อน้ำอุตสาหกรรม โดยหม้อน้ำที่ศึกษามีขนาด 160 เมกะวัตต์และใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง รูปแบบการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำเป็นปัญหา 3 มิติที่เกี่ยวข้องกับความปั่นป่วนการเผาไหม้การแผ่รังสีนอกเหนือจากการสร้างแบบจำลอง NO_x แบบจำลอง 3 มิติได้รับการพัฒนาโดยการแบ่งปริมาตรของเตาหลอมออกเป็นปริมาตรควบคุมที่มีความเข้มข้นของกริดมากขึ้นใกล้กับผนังท่อบและพื้นที่ที่มีการไล่ระดับ

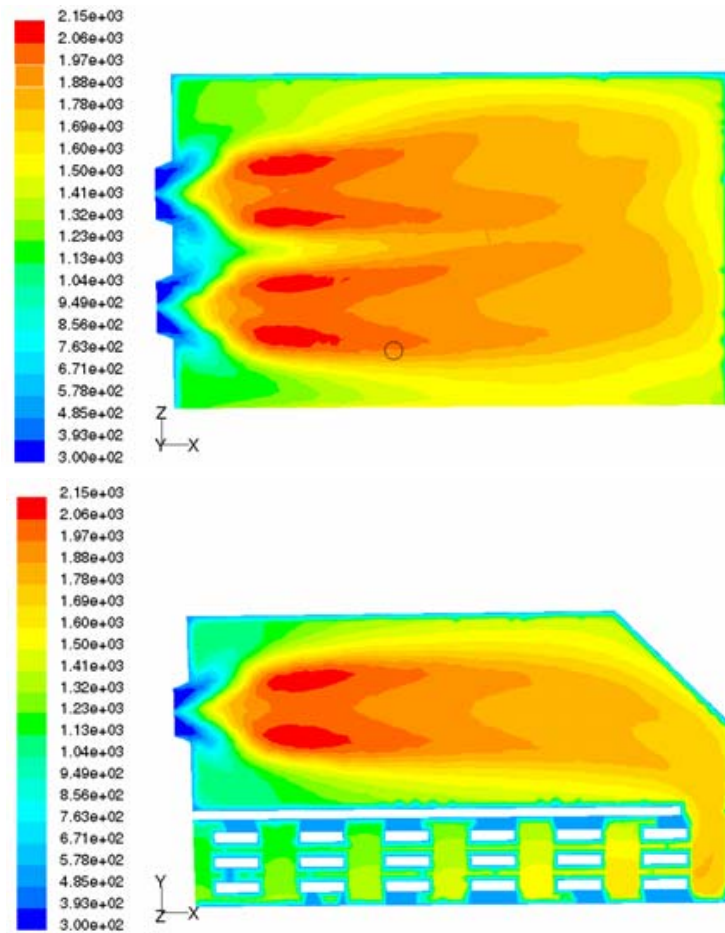
คุณสมบัติสูง การศึกษาแบบจำลองได้จัดให้มีการกระจายอุณหภูมิแบบ 3D รวมถึงอัตราการก่อตัวของ NOx ในห้องเผาไหม้และในไอเสียในทุกสภาวะการใช้งาน



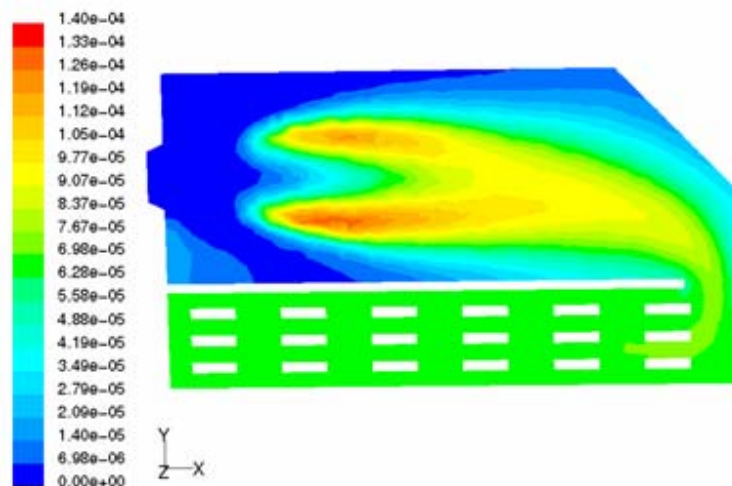
รูปที่ 2.8 ภาพจำลองหม้อน้ำแบบ 3D



รูปที่ 2.9 ภาพด้านบนของหม้อน้ำแสดงค่า Velocity Vector ของลมร้อนที่ไหลออกจากหัวเผา



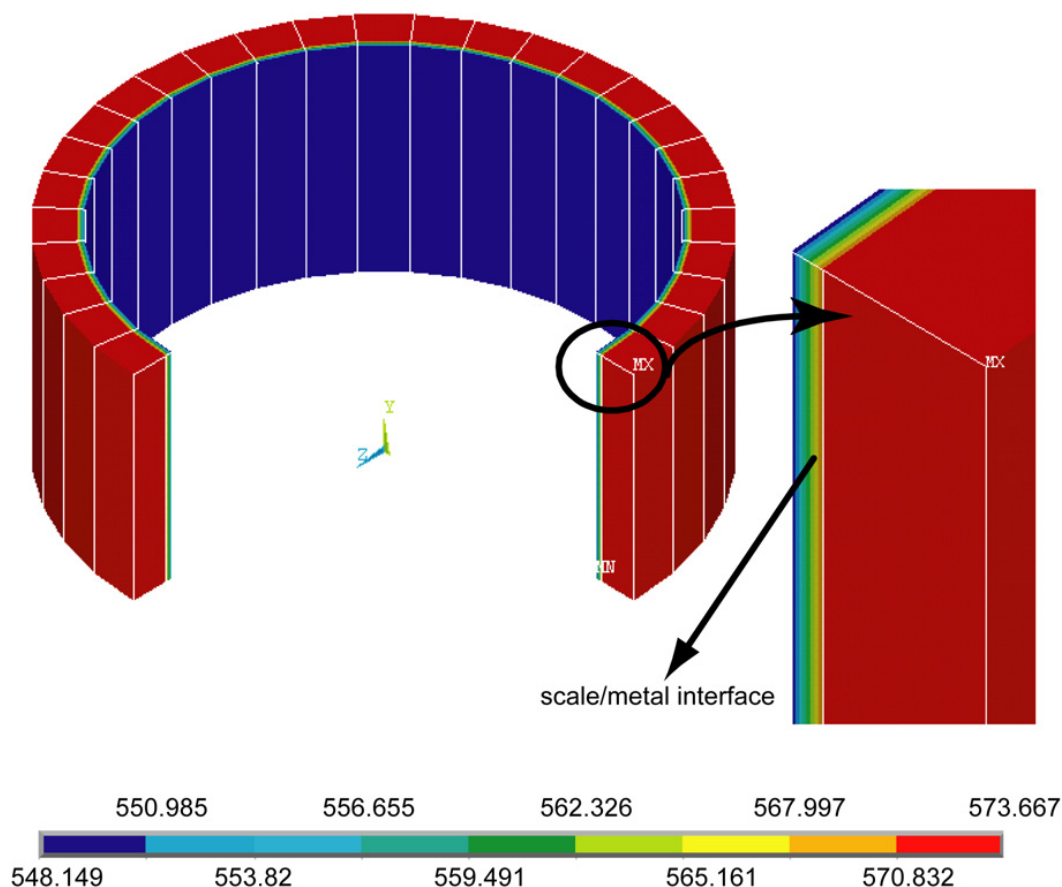
รูปที่ 2.10 การกระจายตัวของอุณหภูมิลมร้อน (°C) ภายในหม้อน้ำ



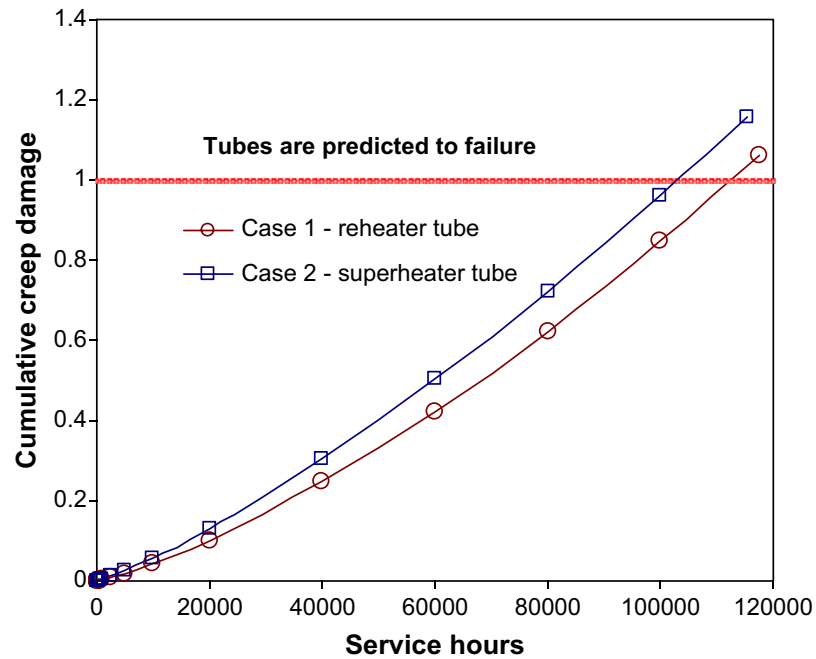
รูปที่ 2.11 ปริมาณของ NOx (ppm) ที่เกิดขึ้นภายในหม้อน้ำ

6.3 “Failure case studies of SA213-T22 steel tubes of boiler through computer simulations”, J. Purbolaksono, J. Ahmad, A. Khinani, A.A. Ali, A.Z. Rashid

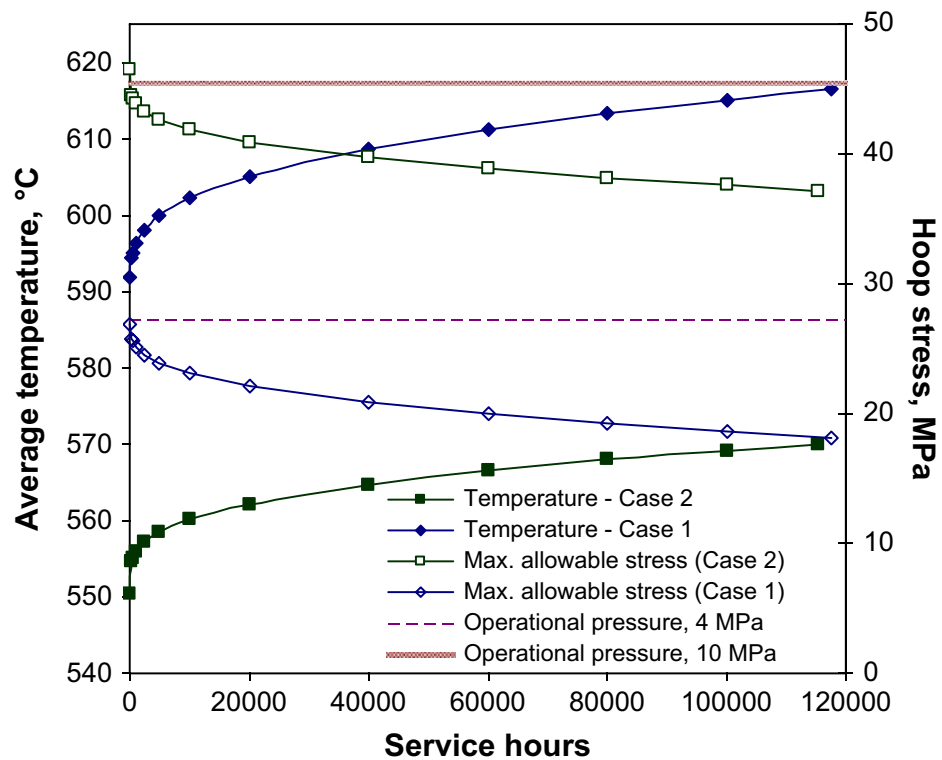
อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและค่าความแข็งแรงลดลงของโลหะท่อและการพัฒนาของระดับออกไซด์บนพื้นผิวด้านในของท่อหม้อน้ำในช่วงเวลานาน ซึ่งเป็นปัญหาทั่วไปในโรงไฟฟ้า การประเมินอายุการใช้งานที่เหมาะสมหรือการตรวจสอบสภาพของท่อหม้อน้ำควรดำเนินการเป็นระยะ การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์อาจช่วยให้สามารถคาดการณ์ถึงแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหาย แทนวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา การตรวจสอบทางโลหะวิทยา และการวัดความแข็งแรงเชิงกล เพื่อดำเนินการป้องกันก่อนที่จะเกิดความเสียหาย ในงานวิจัยนี้มีการประเมินความเสียหายของท่อ Reheater และท่อ Superheater ซึ่งทำจากเหล็ก SA213-T22 เพื่อประเมินอายุการใช้งานที่เหลืออยู่จะทำในรูปแบบของความเสียหายสะสม



รูปที่ 2.12 การจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิ (°C) ของท่อ Superheater
เมื่อถูกใช้งานไปแล้ว 115,494 ชั่วโมง



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความเสียหายที่เพิ่มขึ้นสะสมโดยประมาณของท่อ Reheater และท่อ Superheater



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยและความเค้นอนุญาตใช้งานสูงสุด

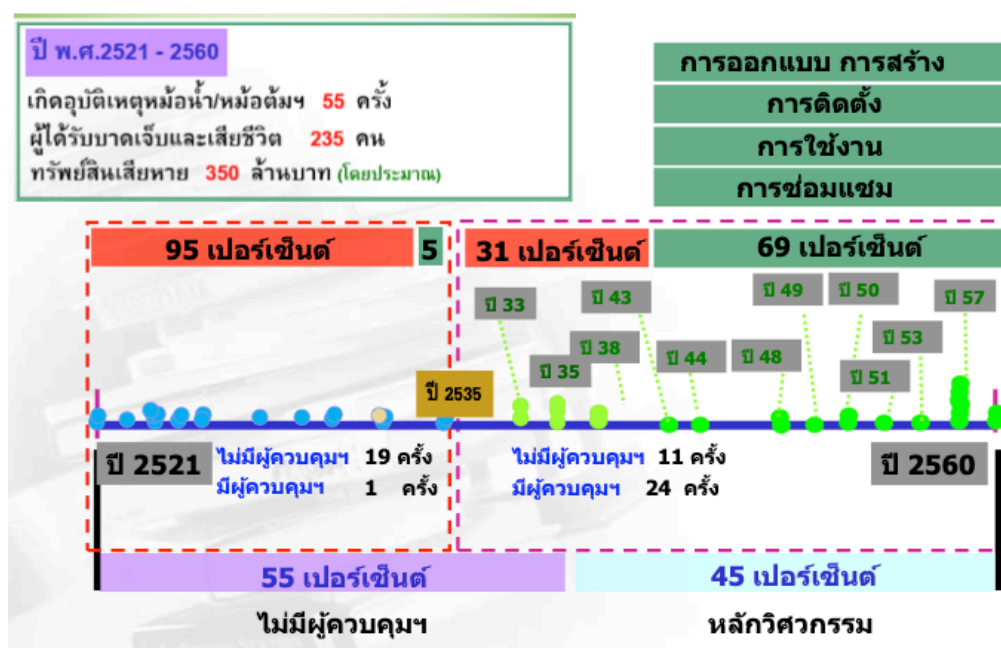
[illegible]

หัวข้อที่ 3

อุบัติเหตุในการใช้งานหม้อน้ำ และหลักการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัย

1. อุบัติเหตุในการใช้งานหม้อน้ำ

หม้อน้ำ คือ เครื่องต้นกำลังที่สำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม ประมาณกันว่าในประเทศไทยมีหม้อน้ำที่มีการใช้งานอยู่ มากกว่า 10,000 ลูก อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับหม้อน้ำและก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุด คือ การระเบิดของหม้อน้ำ ซึ่งสร้างความเสียหายอย่างร้ายแรงต่อชีวิตและทรัพย์สินของโรงงาน และผู้ที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้น ความปลอดภัยในการทำงานกับหม้อน้ำจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521-2560 เกิดอุบัติเหตุจากหม้อน้ำหรือหม้อต้มฯ จำนวนทั้งสิ้น 55 ครั้ง มีผู้ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตจำนวน 235 คน และมีทรัพย์สินเสียหายโดยประมาณ 350 ล้านบาท จากการตรวจสอบพบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุมาจากการไม่มีผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มหรือผู้ที่ควบคุมขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานหรือการควบคุมหม้อน้ำ คิดเป็น 55 เปอร์เซ็นต์ และความบกพร่องของหม้อน้ำและอุปกรณ์อันเนื่องมาจากการออกแบบ สร้าง ติดตั้ง ใช้งาน และซ่อมแซม คิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.1 สถิติการเกิดอุบัติเหตุหม้อน้ำและสาเหตุ (ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

โดยสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหม้อน้ำหรือหม้อต้มฯ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) สาเหตุจากความบกพร่องของหม้อน้ำและอุปกรณ์

- โครงสร้างมีการออกแบบและสร้างไม่ได้มาตรฐาน เช่น
 - ใช้เหล็กผิดเกรดและความหนาไม่เหมาะสมกับความดันที่ใช้งาน
 - ใช้ลวดเชื่อมไม่เหมาะสมกับเหล็กที่ทำตัวหม้อไอน้ำ ทำให้รอยเชื่อมเกิดการร้าว และการผุกร่อนรุกรอยเชื่อม
 - ลักษณะของการเชื่อมไม่ดี มีรอยร้าว มีตามด เกิดความเครียดของรอยเชื่อมขณะทำการเชื่อม ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ที่รอยร้าวจนเกิดการผุกร่อนขึ้น
- ติดตั้งอุปกรณ์หม้อน้ำและอุปกรณ์ความปลอดภัยไม่ครบถ้วน ไม่ถูกต้อง หรืออุปกรณ์ป้องกันชำรุด เช่น
 - ขาดการไล่อากาศ ทำให้น้ำป้อนมีออกซิเจนมากจนเกิดการผุกร่อนภายในหม้อน้ำ
 - ขาดการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ทำให้น้ำป้อนมีความเข้มข้นของทางแร่ธาตุภายในหม้อน้ำมากเกินไป ส่งผลให้เกิดตะกอนเกาะจับในหม้อน้ำ
 - วาล์วนิรภัยที่ติดตั้งมีขนาดไม่เหมาะสมหรือชำรุด ทำให้ระบายความดันออกไม่ทัน
 - ระบบหยุดเชื้อเพลิงไม่ทำงานอัตโนมัติ หรือไม่มีระบบอัตโนมัติ ทำให้เมื่อเกิดเปลวไฟดับภายในห้องเผาไหม้จะมีไอของเชื้อเพลิง จำนวนมากสะสมอยู่พอจุดไฟใหม่จึงระเบิดขึ้น
- หม้อน้ำเก่า เกิดการผุกร่อน มีส่วนที่ชำรุดเสียหาย

2) สาเหตุการดำเนินการที่ผิดพลาดของผู้ใช้งานหม้อน้ำ

- ขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องสำหรับการใช้งานหม้อน้ำ ทำให้ใช้งานหม้อน้ำผิดวิธี หรือไม่ทราบว่าการเกิดขึ้นกับหม้อน้ำขณะนั้นเป็นพฤติกรรมที่ผิดปกติ
- ขาดการตรวจสอบเครื่องและหม้อน้ำก่อนและหลังการใช้งาน และการบำรุงรักษาตามแผน
- ขาดทักษะในการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างเหตุการณ์หม้อน้ำระเบิดและผลกระทบที่เกิดขึ้น (ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

2. หลักการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัย

จากความเสียหายที่เกิดขึ้นข้างต้น ทำให้เห็นได้ว่าการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัยมีความสำคัญ และความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งหลักการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัยมีดังต่อไปนี้

2.1 การติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อน้ำ

1) ติดตั้งวาล์วนิรภัย (Safety Valve) อย่างน้อย 2 ชุด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่าวาล์วนิรภัย ไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร สามารถตรวจสอบการใช้งานได้ง่าย สำหรับหม้อไอน้ำที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนน้อยกว่า 50 ตารางเมตร จะมีวาล์วนิรภัยเพียงหนึ่งชุดก็ได้ ในการติดตั้งวาล์วนิรภัยต้องไม่มีวาล์ว ปิด-เปิด คั่นระหว่างหม้อน้ำกับวาล์วนิรภัย และต้องมีท่อระบายไอน้ำจากวาล์วนิรภัยไปยังที่ที่เหมาะสม และปลอดภัย



รูปที่ 3.3 การติดตั้งวาล์วนิรภัย (Safety Valve)



รูปที่ 3.4 การติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำชนิดหลอดแก้ว

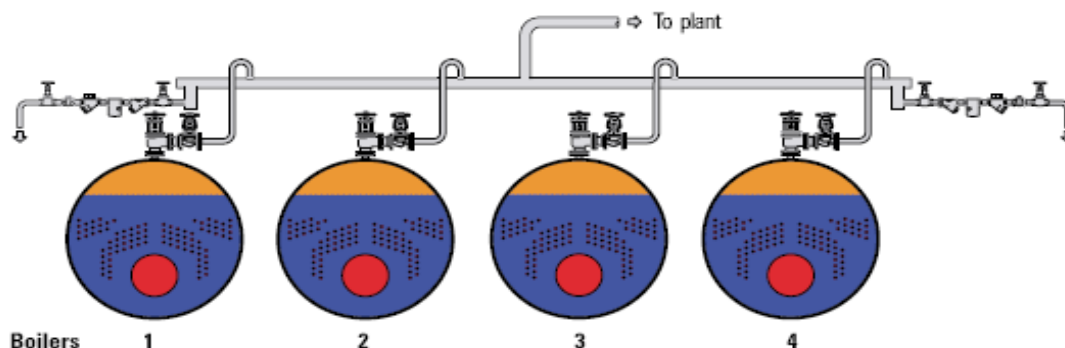
2) ติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำชนิดหลอดแก้ว ไว้ในที่เห็นได้ชัด พร้อมวาล์วปิด-เปิด เพื่อตรวจสอบระดับน้ำ และต้องมีท่อระบายที่เหมาะสม พร้อมทั้งจัดให้มีเครื่องป้องกันหลอดแก้วด้วย

3) ติดตั้งเครื่องวัดความดันไอน้ำ ขนาดหน้าปัทม์ เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร มีสเกลที่สามารถวัดความดันได้ถึง 1.5 - 2 เท่าของความดันใช้งานสูงสุดและต้องมีเครื่องหมายแสดงระดับความดันอันตราย ไว้ให้เห็นโดยชัดเจน

4) ติดตั้งเครื่องสูบน้ำเข้าหม้อไอน้ำ ขนาดความสามารถอัดน้ำได้ อย่างน้อย 1.5 เท่า ของความดันใช้งานสูงสุด และความสามารถในการสูบน้ำเข้าต้องมากกว่าอัตราการผลิตไอน้ำ

5) ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check Valve) ที่ท่อน้ำเข้าหม้อน้ำ โดยติดตั้งให้ใกล้หม้อไอน้ำมากที่สุด และมีขนาดเท่ากับท่อน้ำเข้า

- 6) ติดตั้งวาล์วจ่ายไอน้ำที่ตัวหม้อไอน้ำ
- 7) ถ้ามีหม้อน้ำตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปและใช้ท่อจ่ายไอน้ำร่วมกัน ต้องติดตั้งวาล์วกันกลับที่ท่อหลังวาล์วจ่ายไอน้ำของหม้อไอน้ำแต่ละเครื่อง

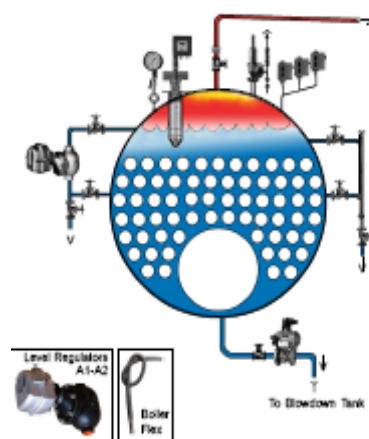


รูปที่ 3.5 การติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check Valve) เมื่อมีหม้อน้ำที่ใช้ท่อจ่ายไอน้ำร่วมกัน

- 8) ติดตั้งเครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งต้องตรวจจลพดลช่วยเผาไหม้เชื้อเพลิงเมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤต ในกรณีที่ใช้เครื่องฟนไฟต้องตรวจจลพดลการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์เผาไหม้เชื้อเพลิงเมื่อระดับน้ำต่ำถึงจุดวิกฤต
- 9) ติดตั้งสัญญาณเตือนอัตโนมัติ แจ้งอันตราย เมื่อระดับน้ำในหม้อน้ำต่ำกว่าระดับใช้งานปกติ
- 10) จัดให้มีฉนวนหุ้มท่อจ่ายไอน้ำโดยตลอด
- 11) ท่อน้ำ ท่อจ่ายไอน้ำ วาล์วปิด-เปิดทุกตัว และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้กับหม้อน้ำ ต้องเป็นชนิดที่ใช้กับหม้อน้ำเท่านั้น และเหมาะสมกับความดันใช้งานด้วย
- 12) หม้อน้ำที่สูงกว่าพื้น 3 เมตรขึ้นไป ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินไรรอบหม้อน้ำ
- 13) จัดให้มีวาล์วปิด-เปิด เพื่อระบายน้ำจากส่วนล่างสุดของหม้อน้ำ ให้สามารถระบายได้สะดวกไปยังที่ที่เหมาะสมปลอดภัย



รูปที่ 3.6 บันไดและทางเดินรอบหม้อน้ำ



รูปที่ 3.7 วาล์วระบายได้หม้อน้ำ

2.2 การปฏิบัติงานในการใช้งานหม้อน้ำอย่างปลอดภัย

2.2.1 การตรวจสอบก่อนการเดินเครื่องหม้อน้ำและการเดินเครื่องหม้อน้ำ

- 1) ก่อนการเริ่มเครื่องหม้อน้ำ ต้องตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งปิด-เปิดของอุปกรณ์หม้อน้ำ
- 2) ตรวจสอบระดับน้ำในถังพัก และภายในหม้อน้ำให้อยู่ในระดับที่ถูกต้อง ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตาและความดันเชื้อเพลิงก๊าซ (กรณีใช้เชื้อเพลิงเหลว)
- 3) เปิดวาล์วระบายน้ำกันหม้อน้ำ (Blow down) เพื่อระบายโคลนตะกอนออกในขั้นต้น
- 4) กรณีใช้เชื้อเพลิงแข็ง ห้ามใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไวไฟช่วยจุดเชื้อเพลิงแข็งโดยเด็ดขาด เพราะอาจเกิดอันตรายกับผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน
- 5) เริ่มเดินเครื่องหม้อน้ำ (Start burner หรือ จุดเตา) โดยเริ่มจากอุณหภูมิต่ำ อย่าเร่งอุณหภูมิให้หม้อน้ำร้อนขึ้นทันทีทันใด
- 6) ให้อุณหภูมิในหม้อน้ำมีความดันเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะหม้อน้ำแบบท่อน้ำ ควรให้หม้อน้ำมีความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นไม่เกิน 7 bar/hr หรือ 100 lb/in²/hr
- 7) เปิดวาล์วจ่ายไอน้ำไปใช้งานอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการเกิดค้อนน้ำ (Water hammer) ในท่อไอน้ำ
- 8) เปิดวาล์วบายพาสที่อยู่คู่กับ กับดักไอน้ำ (Steam trap) ทุกตัวในระบบ เช่น ท่อจ่ายไอน้ำสำหรับอุ่นหัวเผา (Steam atomizing pipe) เครื่องผลิตไอน้ำยวดยวด (Superheater) (ถ้ามี) เป็นต้น

2.2.2 ขณะเดินเครื่องหม้อน้ำ

- 1) ทดสอบการทำงานและการอุดตันของท่อทางต่าง ๆ ของอุปกรณ์ความปลอดภัย เช่น หลอดแก้วลูกลอย เป็นต้น เพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่อาจจะมาอุดตันช่องทางของอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้การทำงานของอุปกรณ์นั้นผิดพลาด
- 2) เปิดวาล์วระบายได้หม้อน้ำ (Blow down valve) เพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่อาจจะตกตะกอน อยู่ด้านล่างหม้อน้ำ เนื่องจากตะกอนเหล่านี้ จะสะสมอยู่ที่ท้องหม้อน้ำมากขึ้น จนทำให้น้ำไม่สามารถหล่อเลี้ยงส่วนล่างของท่อไฟใหญ่ทำให้ท่อไฟใหญ่ส่วนล่างมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิด Overheat ซึ่งจะทำให้โครงสร้างท่อไฟใหญ่ไม่สามารถรับแรงดันไอน้ำจนทำให้หม้อน้ำระเบิดได้
- 3) ตรวจสอบคุณภาพน้ำของหม้อน้ำ และสภาพน้ำภายในหม้อน้ำอย่างน้อยวันละครั้ง เพื่อกำหนดระยะเวลาในการระบายน้ำและควบคุมคุณภาพน้ำ หากเป็นหม้อน้ำที่มีขนาดใหญ่หรือหม้อน้ำที่ใช้งานความดันสูง จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทุกชั่วโมง
- 4) จัดบันทึกประจำวัน ค่าควบคุมต่าง ๆ และสังเกตสิ่งผิดปกติ เช่น ความดัน ไอน้ำ น้ำมันเชื้อเพลิงตกค้างในห้องเผาไหม้ อุณหภูมิน้ำมันเตา ความดันเชื้อเพลิง ระดับน้ำ การทำงานของปั๊มน้ำ อุณหภูมิที่ปล่อยไอเสีย เป็นต้น
- 5) ตรวจวัดและปรับแต่งประสิทธิภาพการเผาไหม้อย่างสม่ำเสมอ

6) กรณีที่มีการใช้ถังพักน้ำ น้ำในถังพักน้ำควรมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 70°C เพื่อเป็นการป้องกันการผุกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion) และประหยัดพลังงาน

2.2.3 การหยุดเดินเครื่องหม้อน้ำ

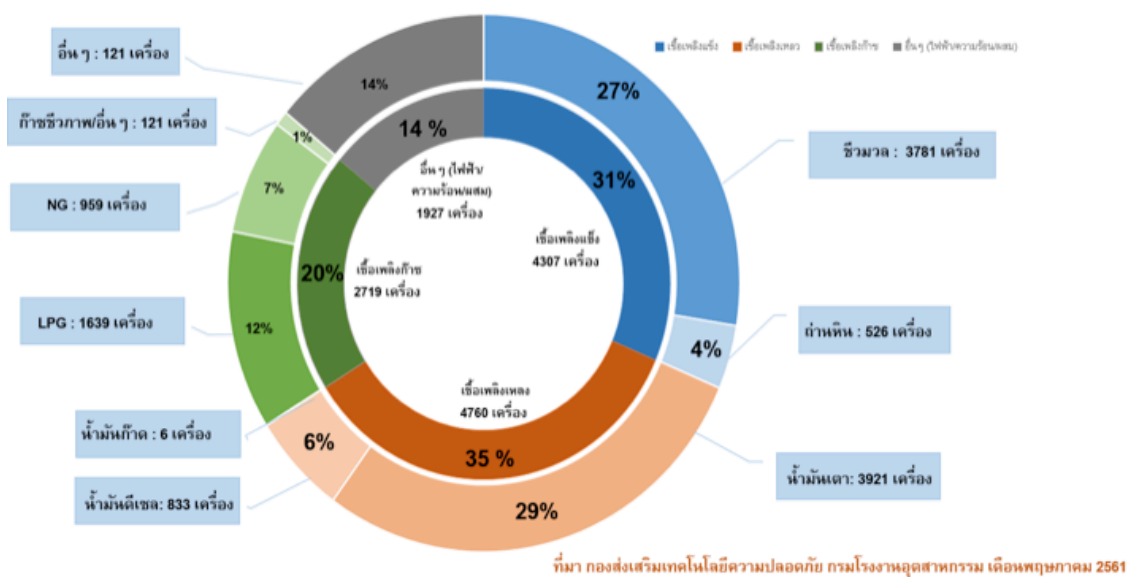
- 1) กรณีใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ
 - 1.1) ปรับเปลี่ยนสวิตช์แรงหรือเป็นแบบควบคุมด้วยมือ (Manual)
 - 1.2) ปรับการเผาไหม้ไปที่ตำแหน่งหรือสุด เพื่อลดอุณหภูมิห้องเผาไหม้
 - 1.3) ปิดสวิตช์หยุดการเผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อน้ำ เมื่ออยู่ที่ตำแหน่งหรือสุดเป็นเวลา ครู่หนึ่ง
- 2) กรณีที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง ให้หยุดการป้อนเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ออกให้หมด โดยยังคงเปิดพัดลมดูดอากาศ (Induced Draft Fan) ไว้ก่อน
 - 3) ปิดวาล์วต่าง ๆ เช่น วาล์วเชื้อเพลิง วาล์วท่อน้ำมันเข้าเครื่องอุ่นน้ำมัน วาล์วปั๊มน้ำมัน วาล์วจ่ายไอน้ำ วาล์วน้ำเข้า ฯลฯ
- 4) กรณีที่หยุดหม้อน้ำไม่เกิน 3 เดือน ให้เก็บเปียกโดยการเติมสารจับก๊าซออกซิเจน ในน้ำในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากก๊าซออกซิเจน หากหยุดหม้อน้ำตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป ให้เก็บแห้งโดยการระบายน้ำออกให้หมด พร้อมทั้งใส่สารดูดความชื้น

[illegible]

หัวข้อที่ 4

การอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในระบบไอน้ำ

จากข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า สัดส่วนประเภทของเชื้อเพลิงที่มีการใช้งานในหม้อน้ำ (โดยแบ่งตามจำนวนหม้อน้ำ) มีดังนี้ เชื้อเพลิงเหลวมีการใช้งาน 35% เชื้อเพลิงแข็งมีการใช้งาน 31% และเชื้อเพลิงก๊าซมีการใช้งาน 20% ตามลำดับ ซึ่งชนิดของเชื้อเพลิงที่มีการใช้งานหลัก ๆ ได้แก่ น้ำมันเตาคิดเป็น 29% เชื้อเพลิงชีวมวลคิดเป็น 27% และ LPG คิดเป็น 12%



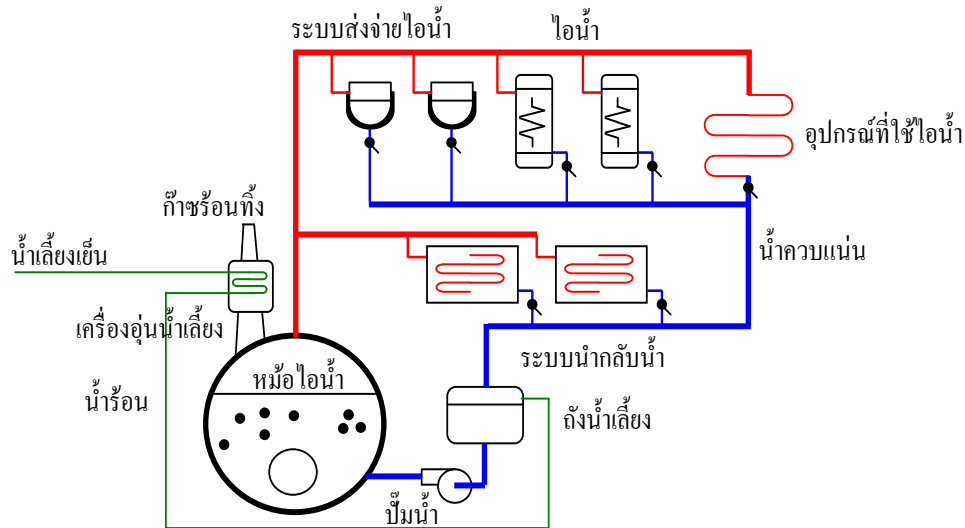
รูปที่ 4.1 สัดส่วนของประเภทเชื้อเพลิงที่มีการใช้งานในหม้อน้ำ (ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

ซึ่งทั้งน้ำมันเตาและ LPG ล้วนเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวมวลและน้ำมันเตาเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วยังมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการใช้งานหม้อน้ำนอกจากจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยแล้ว ยังต้องคำนึงการอนุรักษ์พลังงานและการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอถึงวิธีการอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ และการลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

1. การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ

1.1 การสูญเสียพลังงานในหม้อน้ำ

ในการทำงานของหม้อน้ำจะเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของพลังงานความร้อนในส่วนหลักทั้งสิ้น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนผลิตไอน้ำ 2) ส่วนส่งจ่ายไอน้ำ และ 3) ส่วนการนำความร้อนกลับมาใช้



รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของหม้อน้ำ (ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

1.1.1 การสูญเสียพลังงานในส่วนผลิตไอน้ำ

การสูญเสียพลังงานในส่วนผลิตไอน้ำ ประกอบด้วย

- การสูญเสียจากก๊าซไอเสีย

เป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความร้อนจากการเผาไหม้บางส่วนสูญเสียไปกับก๊าซไอเสียที่มีอุณหภูมิสูง การสูญเสียนี้เป็นการสูญเสียของหม้อน้ำที่มีค่ามากที่สุด (10-30%) และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้หม้อน้ำมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง การสูญเสียนี้จะมีค่ามาก-น้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของก๊าซไอเสียและปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้

- การสูญเสียจากคาร์บอนมอนนอกไซด์

เป็นการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

- การสูญเสียจากเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด

เป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากคาร์บอนบางส่วนในเชื้อเพลิงแข็งถูกเผาไหม้ไม่หมด และหลุดออกจากหม้อน้ำโดยปะปนมากับขี้เถ้า สำหรับหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวและก๊าซจะไม่มี การสูญเสียในส่วนนี้

- การสูญเสียผ่านผนังหม้อน้ำ

เป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากผนังหม้อน้ำมีอุณหภูมิสูงเกินไป แล้วมีการถ่ายเทความร้อนจากผนังหม้อน้ำสู่ด้านนอก

- การสูญเสียผ่านโบล์ดาวน์

เป็นการสูญเสียเนื่องจากการปล่อยน้ำร้อนออกจากหม้อน้ำ

2.1.2 การสูญเสียพลังงานในส่วนส่งจ่ายไอน้ำและส่วนการนำความร้อนกลับมาใช้

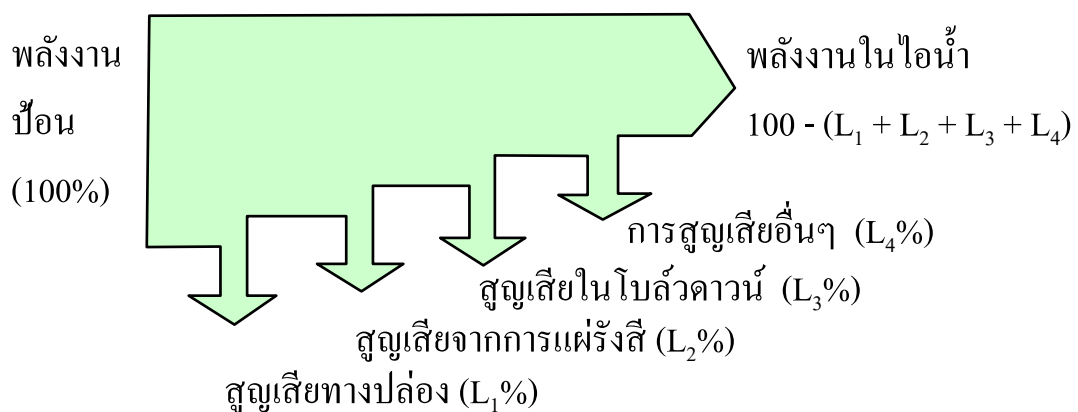
การสูญเสียพลังงานในส่วนส่งจ่ายไอน้ำและส่วนการนำความร้อนกลับมาใช้ ประกอบด้วย

- การสูญเสียจากการรั่วไหลของไอน้ำ

เป็นการสูญเสียเนื่องจากท่อส่งไอน้ำมีรอยแตกหรือรอยรั่ว ทำให้เกิดการสูญเสียไอน้ำและความดันไอน้ำลดลง

- การสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิว

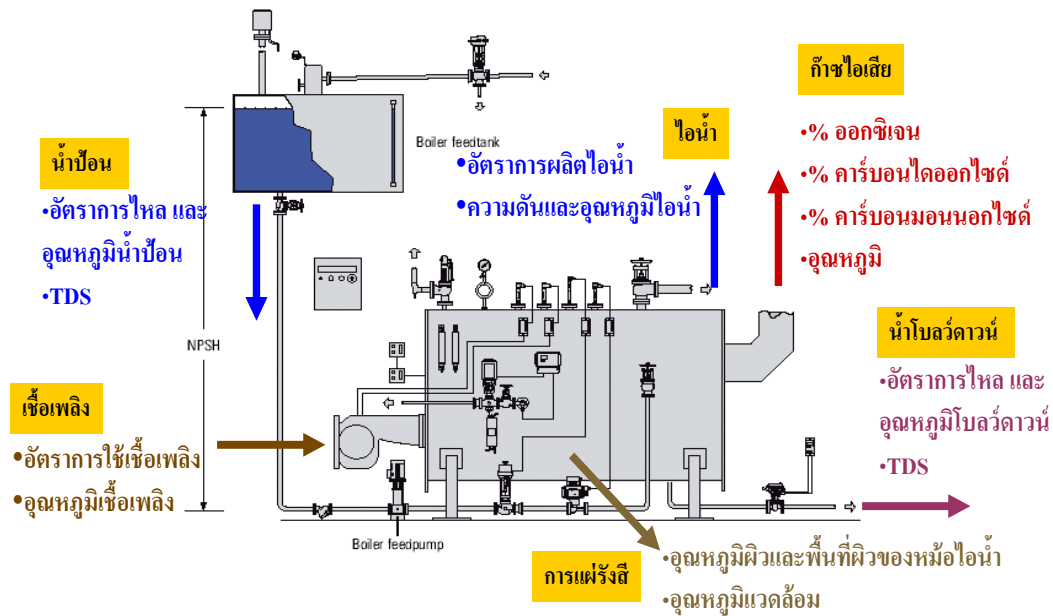
เป็นการสูญเสียความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อสู่อากาศภายนอก เนื่องจากไม่มีการหุ้มฉนวน หรือฉนวนไม่มีความหนาเพียงพอ หรือฉนวนเสียหาย ทำให้สูญเสียพลังงานของไอน้ำ



รูปที่ 4.3 การสูญเสียพลังงานในหม้อน้ำ

2.2 แนวทางการประหยัดพลังงาน

เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงานแล้ว หากต้องการประหยัดพลังงานจำเป็นต้องมีแนวทางในการลดการสูญเสียพลังงาน ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 การตรวจวัดข้อมูลการทำงานของหม้อน้ำ (ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

2.2.1 การประหยัดพลังงานในส่วนผลิตไอน้ำ

- ลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย : ทุก ๆ 22°C ของอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพหม้อน้ำเพิ่มขึ้น 1%
- เพิ่มอุณหภูมิ น้ำป้อน : ทุก ๆ 6°C ของอุณหภูมิ น้ำป้อนที่เพิ่มขึ้น จะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1%
- เพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ : ทุก ๆ 20°C ของอุณหภูมิอากาศเข้า จะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1%
- ลดปริมาณอากาศส่วนเกิน : ทุก ๆ 1% ของก๊าซออกซิเจนในก๊าซไอเสียที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพหม้อน้ำเพิ่มขึ้น 1%
- การโบว์ลวอร์น : การโบว์ลวอร์นออกทุก ๆ 10% ในหม้อน้ำที่ผลิตความดันไอน้ำ 15 barg จะทำให้ประสิทธิภาพหม้อน้ำลดลง 3%
- ความหนาของเขม่าที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไฟ : เพิ่มขึ้นทุก ๆ 3 มิลลิเมตร จะสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น 2.5%
- ความหนาของตะกรันที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อน้ำ : เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 มิลลิเมตร จะสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น 5-8%

2.2.2 การประหยัดพลังงานในส่วนส่งจ่ายไอน้ำและส่วนการนำความร้อนกลับมาใช้

- ลดการรั่วไหลของไอน้ำ : โดยตรวจสอบรูรั่วของท่อ ข้อต่อ และวาล์วต่าง ๆ และซ่อมแซมรูรั่วและหมั่นระบายคอนเดนเสทออกจากเฮดเตอร์จ่ายไอน้ำ
- ลดการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิว : โดยตรวจสอบความเสียหายของฉนวนอย่างสม่ำเสมอ และซ่อมแซมฉนวนที่เสียหาย

2. ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของระบบไอน้ำ

2.1 หลักการเผาไหม้

กระบวนการเผาไหม้ หมายถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิงอันจะประกอบไปด้วย การเกิดความร้อนหรือความร้อนและแสงสว่าง ซึ่งการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อมีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอ ออกซิเจน (O_2) เป็นหนึ่งในธาตุพื้นฐานของโลก ซึ่งมีปริมาณ 20.9 % ของอากาศทั้งหมด ส่วนอีก 79 เปอร์เซ็นต์ คือ ไนโตรเจนและธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย

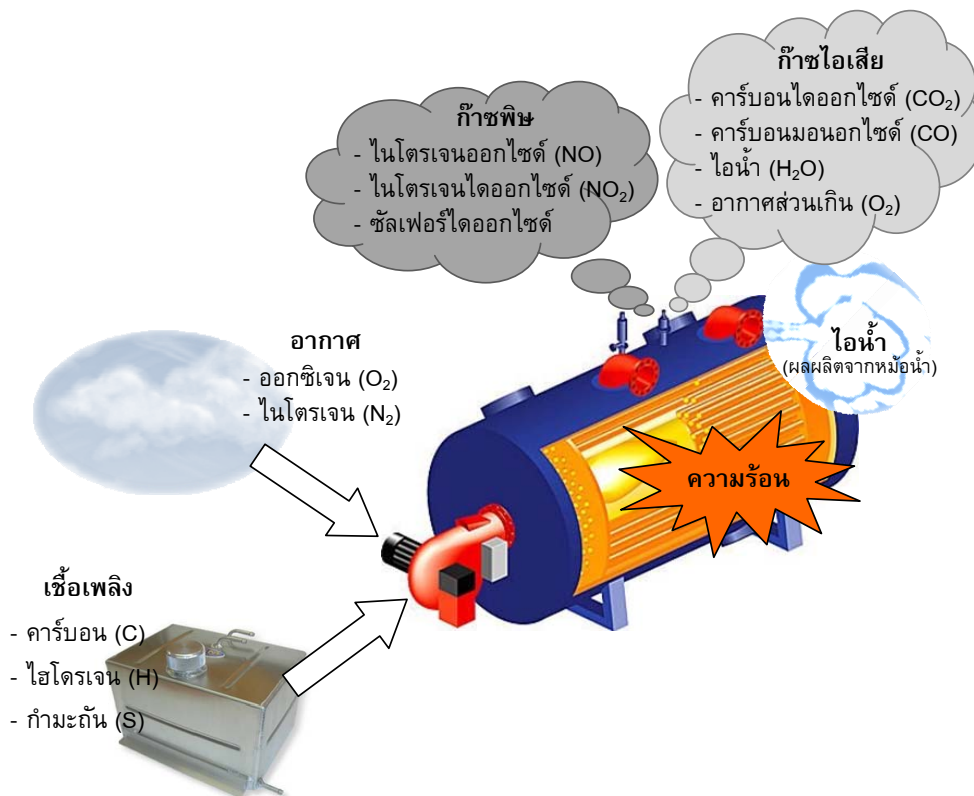
ก๊าซไนโตรเจนจะลดประสิทธิภาพของการเผาไหม้ โดยดูดความร้อนออกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และทำให้ก๊าซที่ปล่อยควันท่อร้อน อีกทั้งไนโตรเจนยังสามารถรวมตัวกับออกซิเจน (โดยเฉพาะเวลาที่มีอุณหภูมิเปลวไฟสูง) และทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งเป็นมลพิษสำหรับคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H_2) และกำมะถัน (S) ที่อยู่ในเชื้อเพลิงจะรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศแล้วก่อตัวเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไอน้ำ (H_2O) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

C	+ O_2	→	CO_2	+ 8,084 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของคาร์บอน
2C	+ O_2	→	2 CO	+ 2,430 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของคาร์บอน
$2H_2$	+ O_2	→	$2H_2O$	+ 28,922 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของไฮโดรเจน
S	+ O_2	→	SO_2	+ 2,224 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของกำมะถัน

รูปที่ 4.5 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การปลดปล่อยความร้อนทั้งหมดในเชื้อเพลิงเกี่ยวข้องกับการควบคุมปัจจัย 3 ประการของการเผาไหม้ (3T) ซึ่งได้แก่

- (1) อุณหภูมิ (Temperature) ซึ่งจะต้องมีค่าสูงพอที่จะจุดไฟและทำให้เชื้อเพลิงติดไปตลอดเวลา
- (2) ความแปรปรวน (Turbulence) ซึ่งจะเป็นตัวเริ่มการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจน
- (3) เวลา (Time) ซึ่งจะต้องมีเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์



รูปที่ 4.6 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้ในหม้อน้ำ (ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม)

การเผาไหม้ที่ดีหรือการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ การเผาไหม้ที่สามารถให้ปริมาณความร้อนเท่ากับค่าพลังงานของเชื้อเพลิง โดยปริมาณของเชื้อเพลิงและออกซิเจนที่ใช้จะต้องได้อัตราส่วนที่พอเหมาะ ผลที่ได้จากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ถ้าเชื้อเพลิงประกอบด้วย คาร์บอน และไฮโดรเจน

ในทางปฏิบัติ เพื่อให้แน่ใจว่าการเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์จริง ๆ (เพราะถ้าไม่สมบูรณ์ไอเสียจะมี CO ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และปริมาณความร้อนที่ได้จะลดน้อยลงไป) จะใช้อากาศมากกว่าที่คำนวณได้จากสมการเคมี ซึ่งอากาศส่วนที่มากกว่านี้เรียกว่า อากาศส่วนเกิน (Excess air) ในหม้อน้ำอากาศส่วนเกินจะใช้ประมาณ 5-20 % ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์สามารถตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ไอเสียที่ออกจากปล่อง และนำข้อมูลดังกล่าวมาปรับแต่งการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีที่สุด

2.2 มาตรฐานการปล่อยก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงในหม้อน้ำ

ก๊าซไอเสียที่ปล่อยระบายจากปล่องของหม้อน้ำต้องควบคุมให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 ซึ่งค่าดังกล่าวสอดคล้องกับกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดมาตรฐานการระบายอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ในหม้อน้ำ โดยได้กำหนดปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อน้ำ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 มาตรฐานการปล่อยก๊าซไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทมลพิษ	ประเภทเชื้อเพลิง				
	น้ำมันเตา	น้ำมัน ใช้แล้ว	ถ่านหิน	ชีวมวล	เชื้อเพลิง อื่น ๆ
ฝุ่นละออง (mg/m ³)	< 240	< 240	< 320	< 320	< 320
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm)	< 950	< 800	< 700	< 60	< 60
ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	< 200	< 200	< 400	< 200	< 200
คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	< 690	< 110	< 690	< 690	< 690
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)			< 80		
ไฮโดรเจนคลอไรด์ (ppm)			< 160		

[illegible]

หัวข้อที่ 5

การยกระดับหม้อน้ำด้วยเทคโนโลยี 4.0 และ Smart Safety and Monitoring

1. วิวัฒนาการของหม้อน้ำ

Boiler 1.0 ใช้แรงงานคนในการควบคุมการทำงานเป็นหลัก (ระบบ Manual)

Boiler 2.0 มีการนำเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ มาทดแทนแรงงานคนและใช้ระบบควบคุมการทำงานของหม้อน้ำแบบเปิด-ปิด (On-Off Control)

Boiler 3.0 มีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง (Modulating Control)

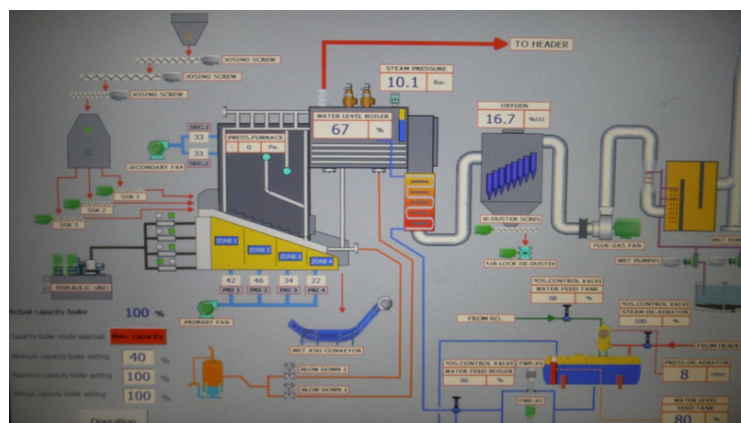
Boiler 4.0 มีระบบควบคุมอัตโนมัติแบบ Real Time และสามารถสื่อสารเชื่อมต่ออุปกรณ์การวัดได้ทั้งหมด และแสดงผลพร้อมกับการวิเคราะห์ผลการทำงานของหม้อน้ำแบบ Real time



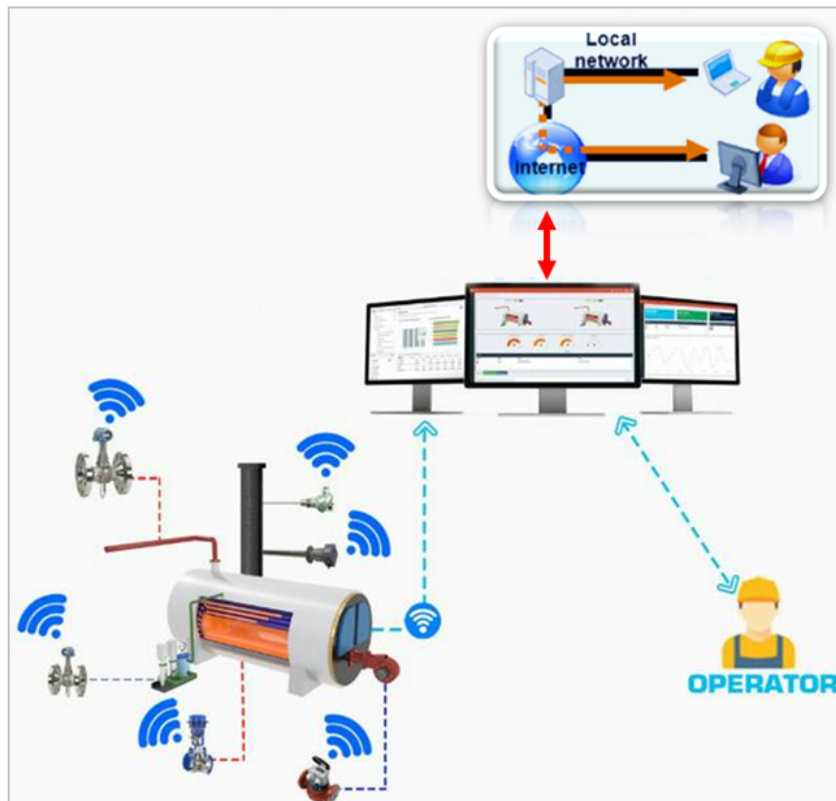
Boiler 1.0



Boiler 2.0



Boiler 3.0



Boiler 4.0

รูปที่ 5.1 วิวัฒนาการของหม้อน้ำ

2. หลักการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 กับหม้อน้ำ

การนำเทคโนโลยี 4.0 มาประยุกต์ใช้กับหม้อน้ำ เพื่อยกระดับหม้อน้ำให้กลายเป็น *Smart boiler control* และ *Smart boiler monitoring* จะช่วยให้หม้อน้ำสามารถทำงานได้อย่าง ปลอดภัย ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งจะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหม้อน้ำสามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้งานได้ง่ายมากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัญหา และแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งในการนำเทคโนโลยี 4.0 มาประยุกต์ใช้นั้น จะเกิดการยกระดับดังต่อไปนี้

1) ผู้ควบคุมหม้อน้ำสามารถทำงานผ่านการควบคุมจากจุดเดียว

ในการทำงานของผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำโดยปกติจะต้องอ่านและบันทึกค่าต่าง ๆ ตามที่กำหนดจากอุปกรณ์ตรวจวัด เช่น ความดัน อุณหภูมิ อัตราการไหล ระดับน้ำในหม้อน้ำ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดเหล่านี้มักจะไม่ได้อยู่ในบริเวณเดียวกัน หรืออยู่ในตำแหน่งที่เข้าถึงได้ยาก การนำเทคโนโลยี 4.0 เข้ามาประยุกต์ใช้กับหม้อน้ำจะช่วยให้ข้อมูลทุกอย่างมารวมอยู่ที่ศูนย์กลาง โดยสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุมและวัดค่าทุกตัวจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบและนำขึ้นมาแสดงผลบนชุดระบบแสดงผลได้โดยที่ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำไม่ต้องไปอ่านค่าในตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

2) ทำให้ทราบถึงสถานะการทำงานของหม้อน้ำและขึ้นน้ำเตือนภัยได้

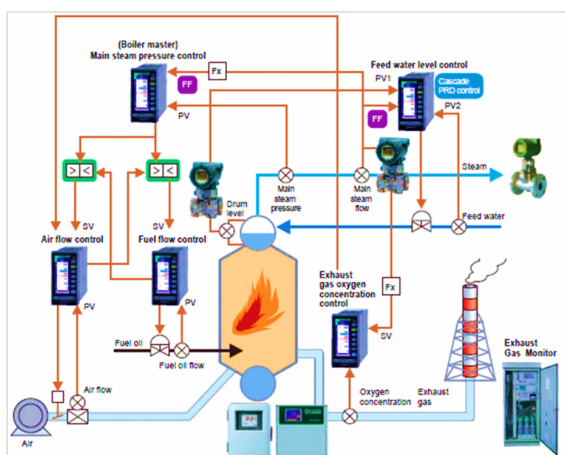
เทคโนโลยี 4.0 สามารถนำสัญญาณจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่อ่านได้จากหม้อน้ำ มาทำการวิเคราะห์และแจ้งเตือนให้ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำในกรณีที่มีค่าผิดปกติจากค่าที่กำหนด ทั้งในรูปแบบข้อความแจ้งเตือนแสดงผล หรือแถบสี หรือไฟสัญญาณ เพื่อให้ผู้ควบคุมประจำหม้อน้ำสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน

3) ช่วยควบคุมการทำงานของหม้อน้ำให้เป็นไปตามกฎหมาย

เมื่อนำค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดมาผนวกกับข้อบังคับทางกฎหมาย เพื่อควบคุมให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อน้ำอยู่ในช่วงตามที่กฎหมายระบุไว้ เช่น การควบคุมอัตราการไหลของน้ำป้อนให้เท่ากับหรือสูงกว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุด เป็นต้น

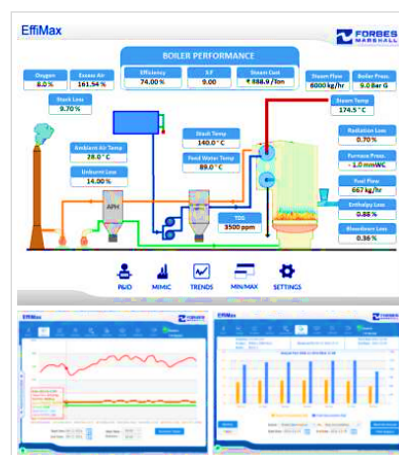
4) แสดงผลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและใช้งานบนอุปกรณ์พกพา

ระบบติดตามหม้อน้ำ Smart Monitoring Boiler มีความสามารถในการเชื่อมโยงระบบให้เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริหารและวิศวกรผู้ดูแล สามารถเข้าถึงข้อมูลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ผ่านระบบเครือข่ายได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องไปตรวจสอบข้อมูลจากรายงานของผู้ควบคุมหม้อน้ำ หรือเข้าไปตรวจสอบจากระบบที่ติดตั้งหม้อน้ำ ซึ่งในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้นนอกจากจะรองรับการทำงานบนคอมพิวเตอร์แล้ว ยังสามารถทำงานด้วยอุปกรณ์พกพาผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้อีกด้วย



ที่มา : YOKOGAWA

Smart boiler control



ที่มา : Forbes Marshall

Smart boiler monitoring

รูปที่ 5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 เพื่อให้เกิดการยกระดับหม้อน้ำเป็น Boiler 4.0 ภายใต้แนวคิด Smart boiler control & Smart boiler monitoring

3. องค์ประกอบหลักของเทคโนโลยี 4.0 ที่นำมาประยุกต์ใช้กับหม้อน้ำ

องค์ประกอบหลักของเทคโนโลยี 4.0 ที่นำมาประยุกต์ใช้กับหม้อน้ำ ประกอบด้วย

1) เซ็นเซอร์และเครื่องมือวัด

เซ็นเซอร์และเครื่องมือวัดเป็นส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำโดยตรง ซึ่งจะแตกต่างออกไปตามลักษณะของหม้อน้ำ ซึ่งหม้อน้ำแต่ละชุดอาจจะมีการติดตั้งชุดเซ็นเซอร์ที่ไม่เหมือนกัน แต่จะนำไปสู่ข้อมูลในรูปแบบเดียวกัน ยังมีเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้มากเพียงใด ก็จะช่วยช่วยให้ระบบทราบถึงสถานะต่าง ๆ ได้มากยิ่งขึ้น แต่ด้วยรูปแบบของหม้อน้ำที่แตกต่างกัน และการติดตั้งที่ต่างกัน จึงทำให้สัญญาณที่ได้รับจะต้องมีการแปลงให้เกิดความเหมาะสมก่อนนำมาใช้งาน

2) ชุดตัวควบคุมกลาง

ชุดตัวควบคุมกลางเป็นอุปกรณ์หลักที่ติดตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับหม้อน้ำหรือในห้องควบคุมการทำงานของหม้อน้ำ ส่วนประกอบหลักของชุดควบคุมกลางจะประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ประมวลผลที่ทำงานพร้อมกับซอฟต์แวร์ โดยจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ส่งมาจากหม้อน้ำและแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถอ่านค่าได้โดยสะดวก จากนั้นจึงนำมาประมวลผลและบันทึกข้อมูลไว้ภายในตัวเครื่อง พร้อมเชื่อมต่อสัญญาณไปยังเครือข่ายเพื่อส่งต่อข้อมูลไปเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล และนำค่าพารามิเตอร์จากระบบเครือข่ายมาแสดงผลบนจอภาพของอุปกรณ์แสดงผล

3) ระบบฐานข้อมูล

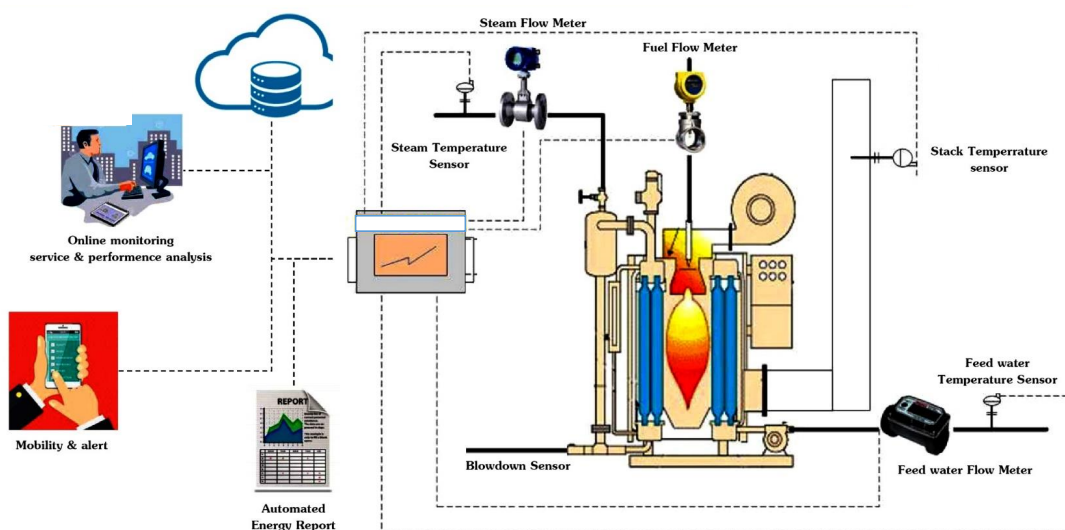
ระบบฐานข้อมูลเป็นระบบที่ติดตั้งอยู่บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มีหน้าที่รับข้อมูลจากชุดควบคุมกลางมาจัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล เพื่อนำมาตรวจสอบ ใช้งาน หรือแสดงผลในภายหลัง

4) ระบบแสดงผล

เป็นระบบที่ถูกออกแบบเพื่อแสดงผลข้อมูลของหม้อน้ำทั้งในรูปแบบของข้อมูลดิบที่อ่านค่าได้จากหม้อน้ำ หรือข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลหรือการวิเคราะห์มาแล้วเพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการการทำงานของหม้อน้ำให้เกิดประสิทธิภาพ โดยระบบแสดงผลจะดึงข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล มาแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์แบบพกพาตามแต่ผู้ออกแบบระบบได้จัดทำไว้

4. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 4.0 เพื่อยกระดับหม้อน้ำ

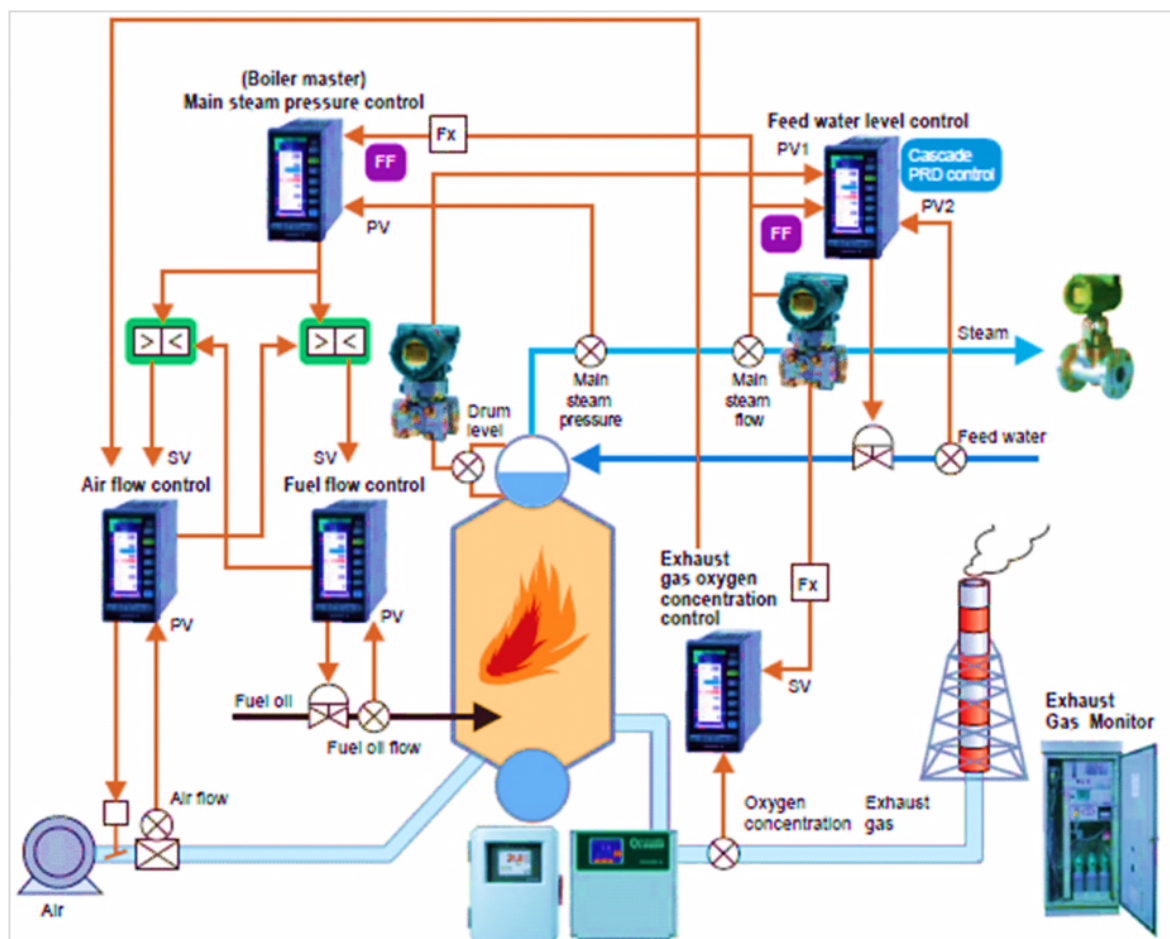
ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอตัวอย่างของการนำเทคโนโลยี 4.0 มาใช้งานเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีแนวทางการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อยกระดับหม้อน้ำเป็น Boiler 4.0 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Boiler 4.0 แบบ Once through boiler (ที่มา: MD Smart Boiler)

จากรูปที่ 5.4 มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ ได้แก่

- 1) Steam Flow Meter เพื่อวัดและควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำ
- 2) Flue Flow Meter เพื่อวัดและควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิง
- 3) Feed Water Flow Meter เพื่อวัดและควบคุมอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำ
- 4) Feed Water Temperature Sensor เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำ
- 5) Stack Temperature Sensor เพื่อวัดอุณหภูมิไอเสียบริเวณปล่องไอเสีย
- 6) Blow Down Sensor เพื่อควบคุมการโบลด์วาร์นของน้ำจากหม้อน้ำ
- 7) Pressure Sensor เพื่อวัดความดันภายในหม้อน้ำ



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Boiler 4.0 แบบท่อน้ำ (ที่มา: Yokogawa)

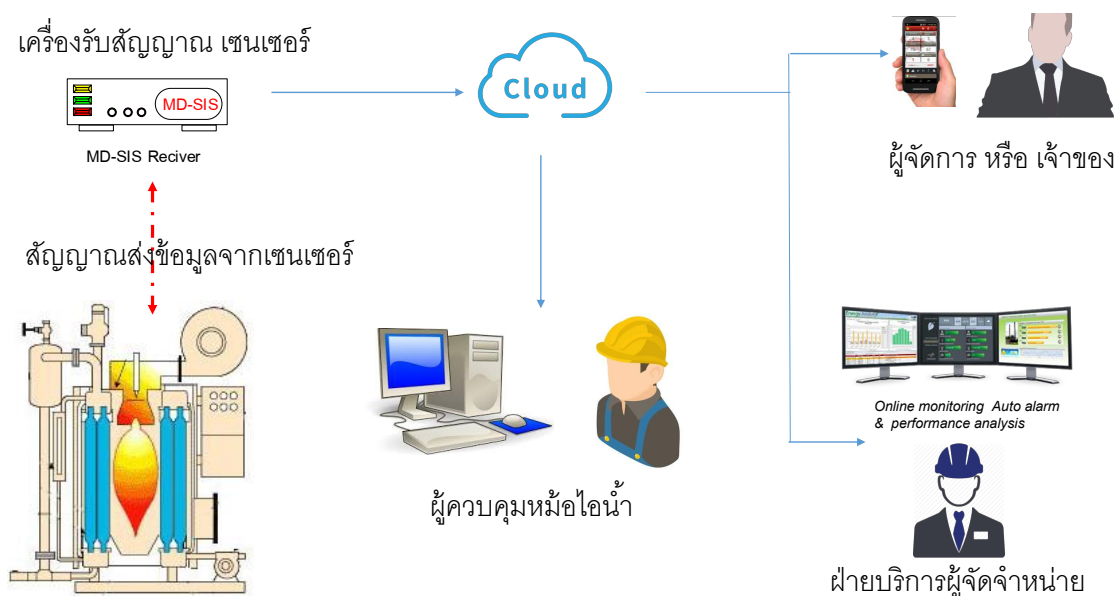
จากรูปที่ 5.5 มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ควบคุม ได้แก่

- 1) Air Flow Control เพื่อวัดและควบคุมอัตราการไหลของอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้
- 2) Fuel Flow Control เพื่อวัดและควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้
- 3) Feed Water level Control เพื่อวัดและควบคุมระดับน้ำในหม้อน้ำและอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำ
- 4) Steam Pressure Control เพื่อวัดความดันของน้ำในหม้อน้ำ และใช้เป็นข้อมูลเพื่อควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศ
- 5) Exhaust Gas Oxygen Concentration Control เพื่อวัดค่าออกซิเจนและใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมปริมาณอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้
- 6) Exhaust Gas Monitor เพื่อวัดก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสีย
- 7) Blow Down Sensor เพื่อควบคุมการโบลว์ดาวน์ของน้ำจากหม้อน้ำ

4.1 การยกระดับด้านความปลอดภัย

เทคโนโลยี 4.0 สามารถยกระดับหม้อน้ำให้เกิดความปลอดภัยได้ดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเทคโนโลยี 4.0 เมื่อนำมาประกอบกันทำให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติการทำงานของหม้อไอน้ำตลอดเวลา (Real Time Alarm) ด้วยเซ็นเซอร์ต่าง ๆ พร้อมควบคุมไม่ให้เกิดเหตุ เช่น หากความดันภายในหม้อน้ำสูงกว่าปกติและวาล์วนิรภัยไม่ทำงานหรือระดับน้ำในหม้อน้ำต่ำกว่าปกติ ระบบจะควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงหรือการจ่ายน้ำเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น โดยระบบจะแจ้งเตือนความผิดปกติมายังคอมพิวเตอร์และ/หรือโทรศัพท์มือถือ อีกทั้งระบบสามารถเชื่อมต่อตรงกับผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายหม้อไอน้ำ โดยมีวิศวกรผู้เชี่ยวชาญสามารถตรวจสอบแบบระยะไกลเพื่อให้คำปรึกษาได้ ซึ่งถือว่าการยกระดับความปลอดภัยให้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการยกระดับความปลอดภัย

2) อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเทคโนโลยี 4.0 เมื่อนำมาประกอบกันทำให้สามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่บันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูลมาประมวลผลเพื่อวางแผนการบำรุงรักษา โดยพิจารณาจากจำนวนการทำงานผิดปกติ และอายุการใช้งานของอุปกรณ์

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	ค่าที่แสดง	การดำเนินการ
1	Steam Flow Meter	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหม้อน้ำ	จัดทำแผนการบำรุงรักษา ในแต่ละชิ้นส่วน
2	Water Flow Meter	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหม้อน้ำ	
3	Flue Flow Meter	จำนวนชั่วโมงการทำงานของหัวเผา	

4.2 การยกระดับด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยี 4.0 สามารถยกระดับหม้อน้ำให้เกิดการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ดังต่อไปนี้

1) ระบบน้ำป้อน : การติดตั้ง Feed Water Temperature Sensor จะสามารถช่วยบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำป้อน เพื่อติดตามและหาค่าศักยภาพในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อน รวมถึงใช้หาประสิทธิภาพของหม้อน้ำได้ ซึ่งทุก ๆ 6°C ของอุณหภูมิน้ำป้อนที่เพิ่มขึ้น จะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1% โดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนอาจทำได้โดยการติดตั้ง Economizer เพิ่มเติม

2) ระบบน้ำในหม้อน้ำ :

2.1) การติดตั้ง Steam Pressure Control เพื่อตรวจวัดความดันไอน้ำที่ผลิต ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อปรับความดันไอน้ำให้มีความเหมาะสม โดยการพิจารณาความดันสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นในหม้อน้ำ (อาจรวมไปถึงช่วงเวลาที่เครื่องจักรต้องการไอน้ำทั้งในมิติของปริมาณและความดัน) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับความต้องการ อีกทั้งยังสามารถตรวจหาการรั่วของไอน้ำได้จากการพิจารณา Pressure Drop ในช่วงต่าง ๆ

2.2) การติดตั้ง Blow Down Sensor หรือชุดตรวจวัดค่า TDS ของน้ำโบล์ดวาร์น จะช่วยให้ระยะเวลาและช่วงการโบล์ดวาร์นเกิดความเหมาะสมหรือใกล้เคียงกับคุณสมบัติของน้ำที่จะต้องโบล์ดวาร์นตามกฎหมายมากที่สุด และช่วยลดพลังงานที่สูญเสียไปกับน้ำโบล์ดวาร์น เนื่องจากการโบล์ดวาร์นออกทุก ๆ 10% ในหม้อน้ำที่ผลิตความดันไอน้ำ 15 barg จะทำให้ประสิทธิภาพหม้อน้ำลดลง 3%

3) ระบบเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ :

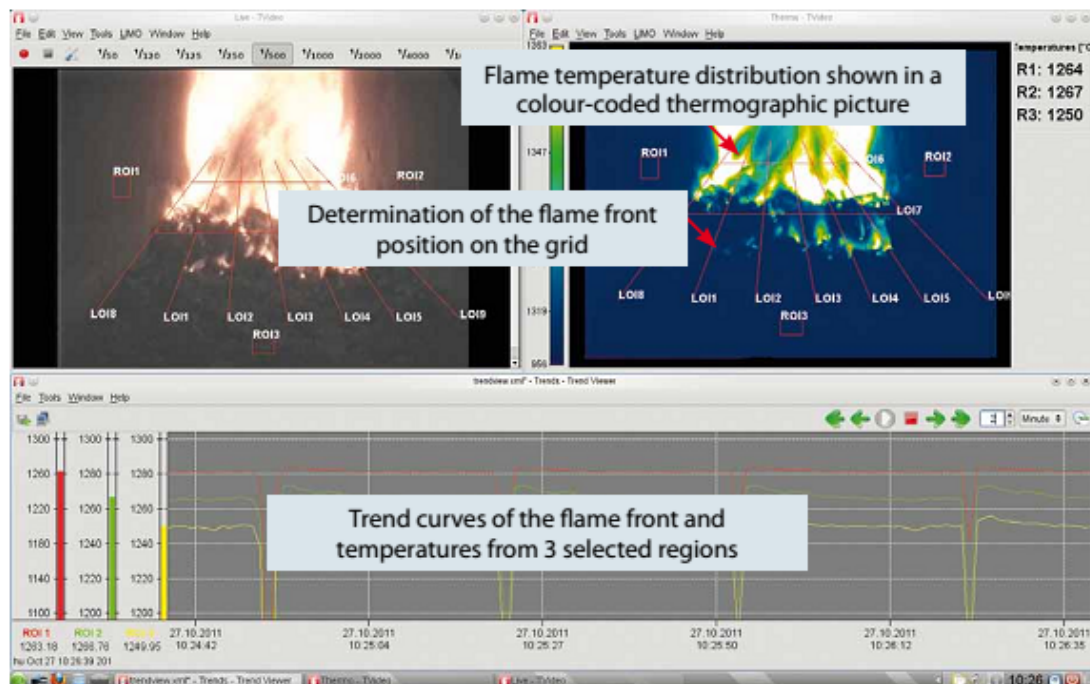
3.1) การติดตั้ง Stack Temperature Sensor เพื่อวัดอุณหภูมิไอเสียบริเวณปล่องไอเสียจะช่วยให้ได้ข้อมูลซึ่งสามารถนำไปประมวลผลเพื่อหาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนกับน้ำ เนื่องจากทุก ๆ 22°C ของอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพหม้อน้ำเพิ่มขึ้น 1% ปัญหาที่ทำให้ไอเสียมีอุณหภูมิสูงอาจเกิดมาจากตะกอนที่เกาะบริเวณผิวท่อหนาเกินไปจนเป็นอุปสรรคในการแลกเปลี่ยนความร้อน หรือคราบเขม่าจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3.2) การติดตั้ง Exhaust Gas Oxygen Concentration Control เพื่อวัดค่าออกซิเจนในก๊าซไอเสีย จะสามารถเชื่อมโยงข้อมูลเข้ากับ Air Flow Control เพื่อควบคุมพัฒนาการดูดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และปรับอากาศส่วนเกินให้เหมาะสม เนื่องจากทุก ๆ 1% ของก๊าซออกซิเจนในก๊าซไอเสียที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพหม้อน้ำเพิ่มขึ้น 1%

3.3) การติดตั้ง Exhaust Gas Monitor เพื่อวัดก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสีย จะช่วยให้วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้ได้ และการควบคุมไม่ให้ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด

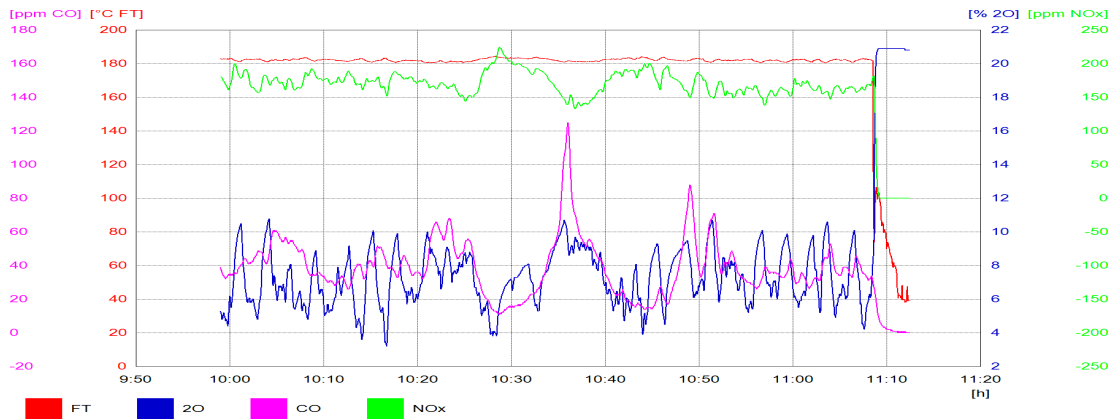


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างหน้าจอแสดงการประมวลผลประสิทธิภาพหม้อน้ำ (ที่มา: MD Smart Boiler)



Thermography screen (waste incineration plant)

รูปที่ 5.5 ตัวอย่างหน้าจอแสดงการติดตามอุณหภูมิห้องเผาไหม้ (ที่มา: Durag)



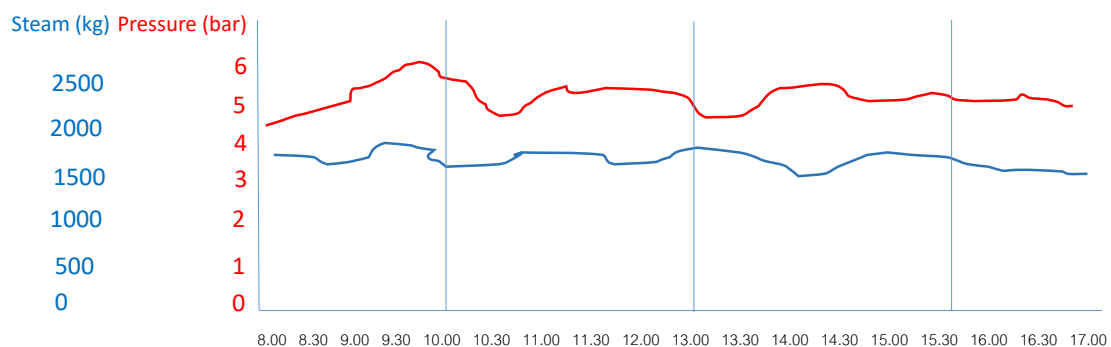
รูปที่ 5.6 ตัวอย่างหน้าจอแสดงก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากปล่อง (ที่มา: Nalco)

4.3 การยกระดับด้านการบริหารจัดการเชิงเศรษฐศาสตร์

เทคโนโลยี 4.0 สามารถยกระดับด้านการบริหารจัดการเชิงเศรษฐศาสตร์กับหม้อน้ำได้ดังต่อไปนี้

1) สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และทราบถึงราคาไอน้ำต่อกิโลกรัมหรือต่อตัน (Steam cost) ทำให้ทราบถึงต้นทุนการผลิตที่แท้จริง

2) สามารถตรวจสอบคุณภาพต่อราคาของเชื้อเพลิงที่ใช้ ในด้านของค่าพลังงานความร้อนจากข้อมูลกราฟ SF Ratio



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างข้อมูลจากกราฟ SF Ratio (ที่มา: MD Smart Boiler)

3) สามารถวางแผนควบคุมต้นทุนการผลิตจากปริมาณการผลิตต่อปริมาณและต้นทุนไอน้ำ (SEC : Specific Energy Consumption)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเพียงตัวอย่างบางส่วนเท่านั้น เทคโนโลยี 4.0 ยังมีอุปกรณ์และประโยชน์อีกมากมาย ที่สามารถนำมาออกแบบและประยุกต์ให้เกิดความเหมาะสมหรือตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานหม้อน้ำ เพื่อให้เกิดการยกระดับในด้านต่าง ๆ ของหม้อน้ำให้ดีขึ้นต่อไป