

การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า สำหรับหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

Analysis of Heat Loss from Insulation Deterioration by Applying Value Engineering Technique for a Boiler of a Thermal Power Plant

มานพ นิลรัตน์^{1*}, เสกสรร สุธรรมานนท์¹, จันทกานต์ ทวีกุล²

Manop Nilrat^{1*}, Sakesun Suthummanon¹, Juntakan Taweekun²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ E-mail: manop.nil@egat.co.th

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ E-mail: sakesun.s@psu.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ E-mail: juntakan@me.psu.ac.th

*Corresponding author: manop.nil@egat.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าสำหรับหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ขนาด 340 เมกะวัตต์ ภายใต้สภาวะการทำงาน 29% กำลังผลิต เพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพของหม้อไอน้ำ โดยนำแผนการดำเนินงานวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอนของสมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้กับโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ 1. การรวบรวมข้อมูล 2. การวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน 3. การสร้างสรรค์ความคิด 4. การประเมินผล 5. การพัฒนาความคิด และ 6. การนำเสนอ ผลการวิจัยพบว่าการสูญเสียความร้อนรวม 5,295,280.21 เมกะจูล กรณีดำเนินการมาตรการแก้ไข คือเปลี่ยนฉนวนที่เสื่อมสภาพสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ 4,510,644.60 เมกะจูล ที่สภาวะตัวประกอบการใช้งาน 100% หรือคิดเป็น 85.18% และลดการสูญเสียความร้อนได้ 2,119,551.90 เมกะจูล หรือคิดเป็น 40.03% ที่สภาวะตัวประกอบการใช้งาน 46.99% อุณหภูมิมีฉนวนไม่เกิน 60 °C มีระยะเวลาคืนทุน 0.32 ปี นอกจากนี้ยังสามารถนำขั้นตอนการดำเนินงานนี้ไปใช้ค้นหาการสูญเสียความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำในกลุ่มโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ลดการใช้พลังงาน, วิศวกรรมคุณค่า, โรงไฟฟ้าพลังความร้อน

Abstract

This paper presents an analysis of the heat Loss from insulation deterioration by applying value engineering for a boiler of a 340 MW thermal power plant under operating 29% Installed capacity. To analyze the loss of heat from insulation deterioration of the boiler, Value job plan six steps of Society of American Value Engineers International (SAVE) is applied for the thermal power plant as the following: 1) data and information collection, 2) function analysis, 3) creative, 4) evaluation, 5) development and 6) presentation. According to the research, the results show that there is a 5,295,280.21 MJ thermal loss, in case of corrective measures. Replacement insulation can reduce heat loss by 4,510,644.60 MJ at 100% output factor or 85.18% and reduce heat loss by 2,119,551.90 MJ at 46.99% output factor or 40.03% and the insulation temperature up to 60 °C. The payback period is found to be 0.32 years. Moreover, this research methodology can be applied to other power plants in the future.

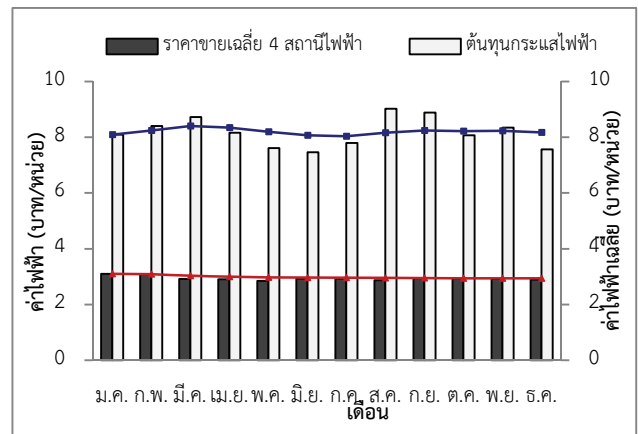
Keywords: Energy Reduction, Value Engineering, Thermal Power Plant

1. บทนำ

การขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องของทุกประเทศทั่วโลก เป็นหนึ่งในปัจจัยที่จะขับเคลื่อนความต้องการพลังงานของโลกให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสำนักงานสารสนเทศด้านพลังงานสหรัฐอเมริกา เปิดเผยรายงานทิศทางพลังงานโลก หรือ International Energy Outlook 2016 (IEO 2016) ระบุว่า การบริโภคพลังงานของโลกจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 48 ในช่วง 3 ทศวรรษข้างหน้า โดยที่มีกลุ่มประเทศในเอเชียเป็นตัวขับเคลื่อน [1]

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เป็นรัฐวิสาหกิจด้านกิจการพลังงานภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงพลังงาน ดำเนินธุรกิจหลักในการผลิต จัดให้ได้มา และจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ให้แก่ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ผู้ใช้ไฟฟ้าตามกฎหมายกำหนดและประเทศใกล้เคียง ในปี พ.ศ. 2557 กฟผ. มีการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา 377.22 ล้านลิตร น้ำมันดีเซล 17.02 ล้านลิตร ถ่านหินลิกไนต์ 20.40 ล้านตันและก๊าซธรรมชาติ 415,000.40 ล้านลูกบาศก์ฟุต [2] ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนการผลิตและซื้อพลังงานไฟฟ้ามีปริมาณ 177,580.47 ล้านหน่วย (รวมการรับซื้อจากโรงไฟฟ้าเอกชนและนำเข้าจากต่างประเทศ) [3]

โรงไฟฟ้ากระบี่เป็นหนึ่งในโรงไฟฟ้าของ กฟผ. ชนิดโรงไฟฟ้าพลังความร้อน กำลังผลิตติดตั้ง 340 เมกะวัตต์ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะส่งไปยังสถานีไฟฟ้าแรงสูงทั้งสิ้น 4 สถานีซึ่งกระจายตัวอยู่ใน 4 จังหวัดประกอบด้วย สถานีไฟฟ้าแรงสูงกระบี่ จังหวัดกระบี่ สถานีไฟฟ้าแรงสูงลำภูรา จังหวัดตรัง สถานีไฟฟ้าแรงสูงพังงา จังหวัดพังงา และ สถานีไฟฟ้าแรงสูงทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ใช้เชื้อเพลิงหลักคือน้ำมันเตาผลิตกระแสไฟฟ้า ในปี 2557 (เดินเครื่องมากที่สุดในช่วง 3 ปีย้อนหลัง) ผลิตไฟฟ้า 1,313 ล้านหน่วย โดยใช้ น้ำมันเตา 304.7 ล้านลิตรและน้ำมันปาล์มดิบ (นโยบายรัฐบาล) 0.966 ล้านลิตร ซึ่งต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 8.18 บาทต่อหน่วย (ราคาน้ำมันเตาเฉลี่ย 27.55 บาทต่อลิตรและน้ำมันปาล์มดิบ 23.44 บาทต่อลิตร) ราคาขายเฉลี่ย 2.94 บาทต่อหน่วย [4] รายละเอียดแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 รายละเอียดระหว่างราคาขายไฟฟ้าและต้นทุนกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นความร้อนและเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน คือหม้อไอน้ำ มีขนาด 1,078 ตัน อายุการใช้งาน 12 ปี จากปัจจัยอายุการใช้งานและปัจจัยอื่น ๆ ย่อมจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ การเสื่อมสภาพของฉนวนที่หุ้มผนังหม้อไอน้ำก็เป็นหนึ่งในนั้น ซึ่งเมื่อฉนวนเสื่อมสภาพจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อน

เนื่องจากการใช้พลังงานความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าและภาพรวมประสิทธิภาพขององค์กร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์ที่เป็นรูปแบบเชิงการจัดการเพื่อจะนำไปสู่การคิดวิธีการลดพลังงานที่สูญเสีย โดยประยุกต์ใช้แนวคิดต่าง ๆ เข้ามาช่วยเพื่อร่วมกันคิดหาวิธีการ ซึ่งเทคนิคด้านการจัดการเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อวิเคราะห์หาการสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพที่ไม่จำเป็นหรือสูญเปล่า จึงเป็นที่มาของการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าสำหรับหม้อไอน้ำแรงดันสูงของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพของหม้อไอน้ำแรงดันสูงและกำหนดมาตรการในการแก้ไข โดยนำแผนการดำเนินงานวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอนของสมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งสหรัฐอเมริกา มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ส่วนข้อมูลของหม้อไอน้ำว่ามีประสิทธิภาพลดลงหรือไม่ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยไม่ได้ศึกษาเนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลมีหลายปัจจัย โดยงานวิจัยนี้เน้นศึกษาในเรื่องการสูญเสียความร้อนจากฉนวน ได้ใช้ค่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ผู้ผลิตให้มา

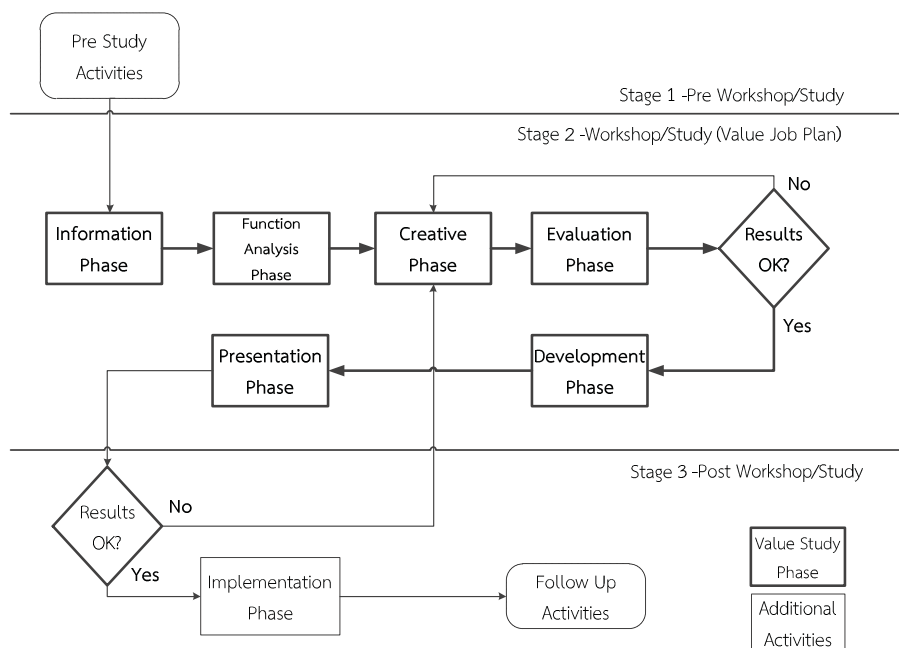
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1 วิศวกรรมคุณค่า

วิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering; VE) มีหลักพื้นฐานคือเป็นเทคนิคที่มีระบบเพื่อจัดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นออกไปโดยที่คงหน้าที่การทำงานและรักษาไว้ซึ่งคุณภาพตลอดจนความน่าเชื่อถือ ทางสมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งอเมริกาได้แบ่งแผนการดำเนินงานวิศวกรรมคุณค่าออกเป็น 6 ขั้นตอน [5] ได้แก่ 1.ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล 2.ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน 3.ขั้นตอนการสร้างสรรคความคิด 4.ขั้นตอนการประเมินผล 5.ขั้นตอนการพัฒนาความคิด 6.ขั้นตอนการนำเสนอ โดยงานวิจัยนี้จะประยุกต์แนวคิดและขั้นตอนวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอนให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแผนงานสำหรับการลดต้นทุนด้วยวิธีวิศวกรรมคุณค่า

วิศวกรรมคุณค่าของสมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งสหรัฐอเมริกา ระยะเวลาการศึกษาคุณค่าโดยทั่วไปครอบคลุม 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2

1. ก่อน-ประชุมเชิงปฏิบัติการ (เตรียม)
2. ประชุมเชิงปฏิบัติการ (ดำเนินการแผน 6 ขั้นตอน)
3. หลัง-ประชุมเชิงปฏิบัติการ (เอกสารและการดำเนินการ)



รูปที่ 2 Value study process flow diagram

2.2. การสูญเสียความร้อน

การสูญเสียความร้อนไปกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างหม้อไอน้ำกับสิ่งแวดล้อมโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน การสูญเสียด้วยสาเหตุนี้ขึ้นกับอุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ อุณหภูมิผิวมีค่าค่อนข้างคงที่แม้ว่าอัตราการผลิตไอน้ำจะลดลง ดังนั้นการสูญเสียพลังงานด้วยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนมีสัดส่วนที่ผูกพันกับอัตราการผลิตไอน้ำ เช่น สัดส่วนการสูญเสียพลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้น

เท่าตัวถ้าอัตราการผลิตไอน้ำลดลงครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้สัดส่วนการสูญเสียพลังงานความร้อนด้วยสาเหตุนี้จะลดลงถ้าหม้อไอน้ำที่มีกำลังการผลิตสูงเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนสูญเสียจากการถ่ายเทความร้อนนี้มีค่าน้อยมากไม่เกิน 1% [6] ในหม้อไอน้ำสมัยใหม่ที่ได้รับการออกแบบอย่างดี

2.3 ฉนวนกันความร้อน

การหุ้มฉนวนกันความร้อนจะส่งผลให้ลดการสูญเสียทางพื้นผิวของวัตถุได้ประมาณ 95% ของการสูญเสียความร้อนทางพื้นผิว ซึ่งผลประหยัดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเลือกใช้ชนิดและความหนาของฉนวนความร้อน ดังนั้นเมื่อลงทุนหุ้มฉนวนพื้นผิววัตถุแล้ว ระยะเวลาคืนทุนจะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ ชั่วโมงการใช้งาน และค่าเชื้อเพลิง ซึ่งปกติการหุ้มฉนวนจะมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 ปี โดยปกติเมื่อหุ้มฉนวนที่ความหนาแน่นเหมาะสม อุณหภูมิพื้นผิวฉนวนจะไม่เกิน 60 °C [7]

2.4 การบำรุงรักษาฉนวนอุณหภูมิต่ำ

ฉนวนต้องการการบำรุงรักษา การซ่อมแซม หรือการเปลี่ยนฉนวนใหม่จากการถูกทำให้เสียหาย หรือน้ำซึมซอกในฉนวน ซึ่งผลกระทบของความชื้นต่อฉนวนเปียกจะทำให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนลดลงถึง 23 เท่า [8] ของฉนวนแห้ง จากผลของสภาพนำความร้อนของน้ำที่มากกว่าอากาศอยู่ 23 เท่า จากสาเหตุด้วยสภาวะอากาศ การถูกกระทำหรือการซึมเข้ามาของไอน้ำ ความสำคัญของฉนวน คือการป้องกันการสูญเสียพลังงานออกนอกระบบ และเพื่อหวังผลดังกล่าวฉนวนจะต้องแห้งและไม่เสียหายจนหมดสภาพความเป็นฉนวน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีหลายงานวิจัยที่ได้ตระหนักถึงการลดพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการและเทคนิคต่าง ๆ มาช่วย เพื่อหาปัจจัยที่ช่วยลดการใช้พลังงาน หาแนวทางมาตรการลดการใช้พลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [9] ได้ออกเอกสารเผยแพร่ กรณีศึกษาโรงงานที่ใช้หลักการลดต้นทุนพลังงานด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า กรณีศึกษาที่ 1 บริษัท ชินเจนทา ครอป โพรเทคชั่น จำกัด พบว่าผลการประหยัดพลังงานที่ได้จากมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนคิดเป็นเงินได้ 217,735 บาทต่อปี ส่วนมาตรการที่ต้องมีการลงทุนประหยัดได้ 1,372,776 บาทต่อปี กรณีศึกษาที่ 2 บริษัท จุฑาวรรณ จำกัด พบว่าผลการประหยัดพลังงานที่ได้จากมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนคิดเป็นเงินได้ 700,960 บาทต่อปี ส่วนที่ต้องมีการลงทุนประหยัดได้ 216,200 บาทต่อปี

Wang et al. [10] ได้ศึกษาการนำความร้อนเสีย (Waste heat) กลับมาใช้ ในส่วนของก๊าซไอเสียก่อนที่จะเข้าเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurizer; FGD) ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน กำลังผลิต 600 เมกะวัตต์ พบว่าความร้อนเสียส่วนนี้สามารถนำกลับมาใช้ได้โดยการติดตั้งเครื่องประหยัดความดันต่ำ (Low Pressure Economizer; LPE) เพื่อนำน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนกับความร้อนที่ยังคงมีอยู่ในก๊าซ ไอเสียก่อนจะเข้า FGD และปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศพบว่าสามารถประหยัดเชื้อเพลิงถ่านหินลงได้เทียบเท่ากับมาตรฐาน (Standard Coal Equivalent; SCE) 2-4 g/kWh ภายใต้การทำงานแบบเต็มกำลัง

Zhao et al. [11] ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน 600 เมกะวัตต์ ที่โหลดการทำงาน 470 เมกะวัตต์ โดยศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีและการกระจายในแต่ละระบบย่อยและอุปกรณ์ ผลปรากฏว่าการสูญเสียเอ็กเซอร์ยีของทั้งระบบมีประมาณ 1,111.41 เมกะจูล และประสิทธิภาพเอ็กเซอร์ยีของระบบทั้งหมดเป็น 30.75% นอกจากนี้ยังพบว่า การสูญเสียเอ็กเซอร์ยีส่วนใหญ่เกิดจากของระบบการเผาไหม้หม้อไอน้ำและการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งผลของการสูญเสียพลังงานนั้นสามารถแจ้งให้คำแนะนำสำหรับการประหยัดพลังงานของโรงไฟฟ้าต่อไปได้

3. วิธีการดำเนินงาน

กรอบแนวคิดประกอบด้วยขั้นตอนดำเนินงานโดยประยุกต์แผนการดำเนินงานวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3 เทคนิควิศวกรรมคุณค่ามีขั้นตอนของแผนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ เรียกว่า แผนงานวิศวกรรมคุณค่า (VE job plan) ซึ่งมีหลายขั้นตอนและแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงแนวทางการประยุกต์ใช้แผนงานวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอนของสมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งสหรัฐอเมริกา กับโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ตัวอย่าง

ขั้นตอน	วัตถุประสงค์
1.การรวบรวมข้อมูล	เข้าใจพื้นฐานการใช้พลังงาน
2.การวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน	เข้าใจหน้าที่และคุณค่า
3.การสร้างสรรคความคิด	หาแนวทางวิธีการตรวจสอบ
4.การประเมินผล	เพื่อวิเคราะห์การสูญเสีย
5.การพัฒนาความคิด	หาแนวทางปฏิบัติ
6.การนำเสนอผู้บริหาร	เสนอข้อมูลให้ผู้บริหาร

รูปที่ 3 กรอบแนวคิด

- 3.1 **ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล** ดำเนินการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของโรงไฟฟ้าความร้อนตัวอย่าง ทำให้ทราบถึงพื้นฐานการใช้พลังงาน รวมทั้งการออกความเห็นเพื่อการปรับปรุงข้อมูลได้จากการวัดโดยตรงและจากฐานข้อมูลการผลิตย้อนหลัง
- 3.2 **ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน** ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Microsoft excel) วิเคราะห์การใช้พลังงานความร้อนที่หม้อไอน้ำ โดยการใช้พลังงานบนพื้นฐานหน้าที่หลัก
- 3.3 **ขั้นตอนการสร้างสรรคความคิด** การระดมความคิดเห็นและประเมินโดยร่วมกับคณะทำงาน เพื่อหาแนวทางลดการสูญเสียความร้อนที่มีความเห็นว่าเป็นไปได้ ใช้ความคิดสร้างสรรค์
- 3.4 **ขั้นตอนการประเมินผล** คัดเลือกแนวทางและศึกษาประเมินผลวิเคราะห์ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาผลการลดการใช้พลังงานและระยะเวลาคืนทุน
- 3.5 **ขั้นตอนการพัฒนาความคิด** คณะทำงานพิจารณาถึงแนวทางการปฏิบัติงานในลักษณะ Timeline โดยต้องมีรายละเอียดดังนี้คือ เวลา ขั้นตอนการปฏิบัติและผู้รับผิดชอบ เพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการปฏิบัติงานได้อย่างชัดเจน
- 3.6 **ขั้นตอนการนำเสนอ** โดยมีรูปแบบการนำเสนอที่เข้าใจง่าย แสดงถึงประโยชน์ที่จะได้รับ แสดงตัวเลขการประหยัดพลังงานที่ชัดเจนเพื่อประกอบการตัดสินใจว่าควรมีการลงทุนหรือไม่

4. ผลการดำเนินงานวิศวกรรมคุณค่า

4.1 การจัดตั้งคณะทำงานวิศวกรรมคุณค่าและการอบรม

คณะทำงานวิศวกรรมคุณค่าพลังงานสำหรับงานวิจัยนี้ จัดตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อร่วมกันดำเนินการตามแผนงานวิศวกรรมคุณค่า ประกอบด้วยสมาชิกจากหลายแผนก

การอบรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การอบรมสำหรับคณะทำงานวิศวกรรมคุณค่า

อบรมโดยผู้รับผิดชอบพลังงานประจำโรงไฟฟ้า และผู้วิจัย เพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและการประยุกต์ใช้วิศวกรรมคุณค่า เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ในการสำรวจการใช้พลังงาน การคิดมาตรการ การปรับปรุง และการติดตามผลการปรับปรุง โดยกำหนดระยะเวลาการฝึกอบรม 2 วัน เป็นการอบรมภาคทฤษฎีและกรณีตัวอย่างเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนโดยการประยุกต์ใช้วิศวกรรมคุณค่า 1 วันในห้องเรียน อีก 1 วันเป็นการลงมือปฏิบัติจริง เป็นการนำหลักการที่เรียนรู้ไปใช้งานจริง โดยการสำรวจการใช้พลังงานในโรงไฟฟ้า ณ สถานที่ทำงานจริง

2. การอบรมสำหรับพนักงานทั่วไปที่เกี่ยวข้อง

อบรมโดยผู้รับผิดชอบพลังงานประจำโรงไฟฟ้าและผู้วิจัย เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและการประยุกต์ใช้วิศวกรรม เป็นการอบรมแบบเชิงรุก โดยผู้อบรมจะไปดำเนินการอบรมยังจุดกลุ่มเป้าหมาย โดยที่ผู้รับผิดชอบพลังงานประจำโรงไฟฟ้า และผู้วิจัยไปจัดอบรมให้ยังสถานที่ทำงานโดยตรง

4.2 การดำเนินกิจกรรมวิศวกรรมคุณค่า

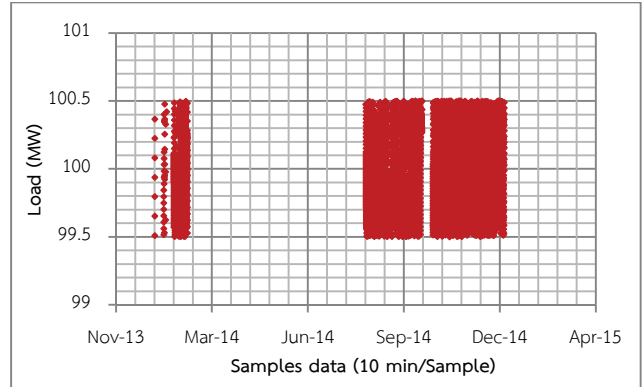
การดำเนินกิจกรรมวิศวกรรมคุณค่าโดยประยุกต์ใช้แผนงานวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอนของสมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งอเมริกากับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนตัวอย่างมีเป้าหมายหลักและตัวชี้วัดผลสำเร็จการดำเนินแผนงานวิศวกรรมคุณค่าในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เป้าหมายหลักและตัวชี้วัดผลสำเร็จการดำเนินงาน
วิศวกรรมคุณค่าแต่ละขั้นตอน

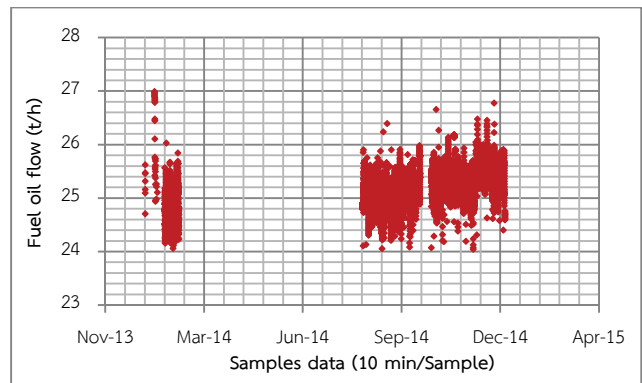
ขั้นตอน	เป้าหมายหลัก	ตัวชี้วัด ผลสำเร็จ
	(KRA)	(KPI)
1. การรวบรวมข้อมูล	รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนและข้อมูลฉนวนของหม้อไอน้ำ	ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนและฉนวน
2. การวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน	วิเคราะห์การใช้พลังงานความร้อนที่หม้อไอน้ำ โดยการใช้พลังงานบนพื้นฐานหน้าที่หลัก	ปริมาณพลังงานความร้อนที่หม้อต้มไอน้ำ
3. การสร้างสรรค์ความคิด	คณะทำงานระดมความคิดเห็นร่วมกันในขั้นตอนนี้จะต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์เพื่อหาแนวทางลดการสูญเสียความร้อนที่ผิวผนังหม้อไอน้ำ	ได้แนวทางลดการสูญเสียความร้อนที่ผิวผนังหม้อไอน้ำ
4. การประเมินผล	คัดเลือกแนวทางและประเมินผลวิเคราะห์การสูญเสียความร้อน	ได้ผลการประเมินความร้อนสูญเสีย
5. การพัฒนาความคิด	กรณีเปลี่ยนฉนวนใหม่พิจารณาถึง Timeline โดยมีรายละเอียด คือ ขั้นตอนการปฏิบัติ เวลาและผู้รับผิดชอบ	Timeline รายละเอียด ขั้นตอนการปฏิบัติ เวลา ผู้รับผิดชอบ
6. การนำเสนอ	นำเสนอผู้บริหาร	มีการนำเสนอผู้บริหาร

1. ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ดำเนินการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณหาการใช้พลังงานความร้อนที่หม้อต้มไอน้ำทำให้ทราบถึงพื้นฐานการใช้พลังงาน ที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ รวมทั้งนำเสนอแนวทางเพื่อการปรับปรุง ดังในรูปที่ 4, รูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างข้อมูลจากระบบ Plant Information โดยจำแนกเฉพาะข้อมูลที่สภาวะการทำงาน 29% กำลังการผลิต เนื่องจากปกติโรงไฟฟ้าจะถูกสั่งการให้

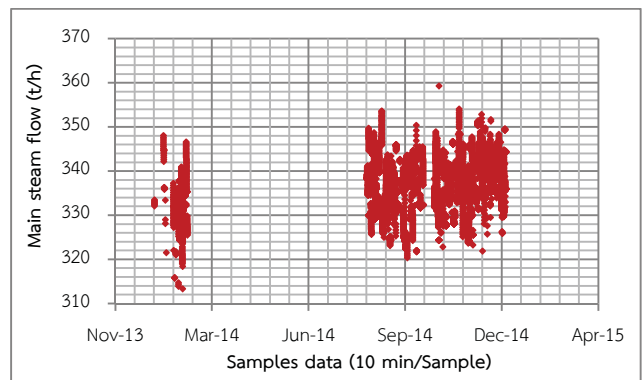
เดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานนี้มากที่สุด โดยศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าแห่งชาติ เก็บค่าทุก 10 นาที ค่าบวกลบ 0.5 ทั้งหมด 7,980 ตัวอย่าง ได้แก่ ข้อมูลไฟฟ้าที่ผลิตได้ อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการผลิตไอน้ำ จากนั้นนำข้อมูลหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 4 การผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 5 อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 6 ปริมาณไอน้ำที่ผลิต

ตารางที่ 2 ไฟฟ้าที่ผลิตได้ อัตราการใช้เชื้อเพลิงและอัตราการผลิตไอน้ำ

กำลังผลิต (%)	ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (t/h)	อัตราการผลิตไอน้ำ (t/h)
29	100,023.34	25.18	336.25

นอกจากนั้นได้มีการเก็บข้อมูลเวลาใช้งานอุปกรณ์ ตัวประกอบการใช้งาน และค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงน้ำมันเตาชนิดที่ 2 ค่ากำมะถันไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยมีรายละเอียดข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3 เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 3 ข้อมูลการเก็บค่าและตรวจวัด

รายการข้อมูล	ข้อมูล	หน่วย	แหล่งข้อมูล
เวลาใช้งานอุปกรณ์	8,215	h/y	รายงานผลิต
ตัวประกอบการใช้งาน	46.99	%	รายงานผลิต
ค่าความร้อนสูง	42.006	MJ/l	Lab เคมี
การตั้งค่าแรงดัน	161	bar _g	PI System
อุณหภูมิความร้อนทิ้ง	85.4	°C	PI System
อุณหภูมิ Condensate	330	°C	PI System
สัดส่วนการนำ Condensate ไปใช้	82	%	PI System
การ Blowdown	0.5	%	PI System
สภาพ Stream Tab	ไม่รู้	-	ตรวจวัด
ปริมาณ O ₂ ในไอเสีย	7.484	%	ตรวจวัด
จำนวนของ Boiler	1	ตัว	-

หมายเหตุ: PI = Plant Information

การควบคุมในโรงไฟฟ้าเป็นระบบอัตโนมัติ เมื่อมีค่าใดไม่อยู่ในเกณฑ์จะมีระบบแจ้งเตือนและหรือแสดงผล Real time ซึ่งดำเนินการควบคุมและปรับปรุงอุปกรณ์อยู่แล้ว ยกเว้นระบบที่ป้องกันความร้อนสูญเสียจากฉนวนไม่มีการตรวจสอบ จึงนำแสดงเฉพาะค่าที่เกี่ยวข้องกับแหล่งเกิดความร้อน

คำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ โดยสมการที่ (1) [12]

$$Q_U = V_F \times HHV \times H \times OF \quad (1)$$

เมื่อ

- Q_U คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ (MJ/y)
- V_F คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย (l/h)
- HHV คือ ค่าความร้อนสูง (MJ/l)

H คือ ชั่วโมงการทำงานต่อปี (h/y)

OF คือ ตัวประกอบการใช้งาน (%)

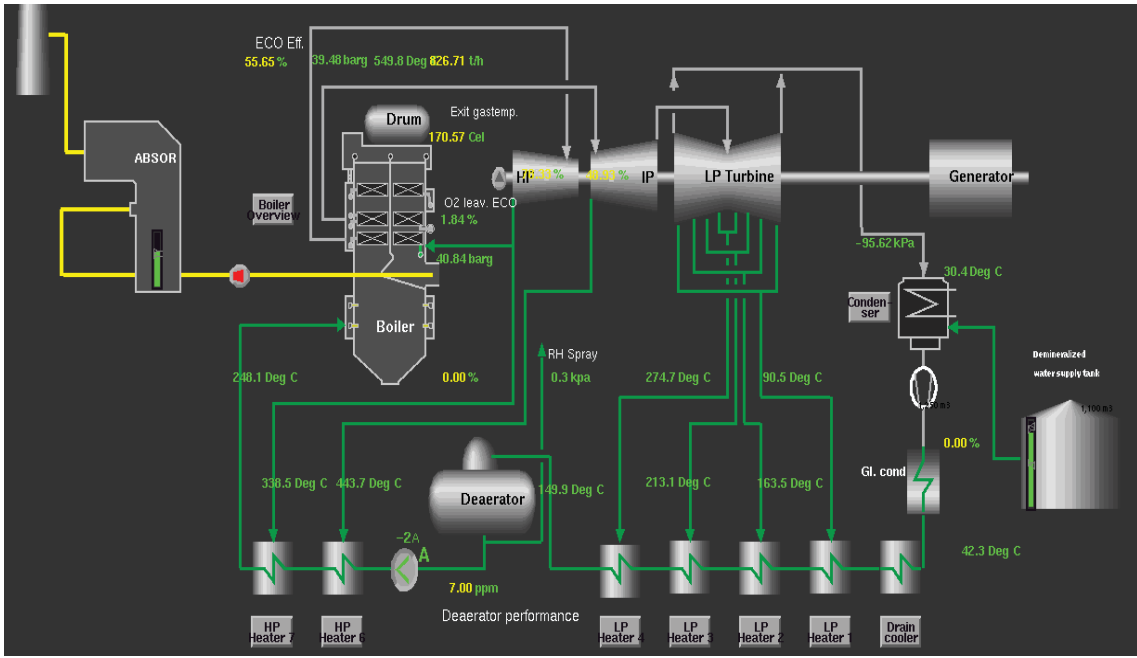
แทนค่าในสมการ

$$Q_U = 25.18 \times 42.006 \times 8,215 \times 46.99$$

ได้ว่า ปริมาณความร้อนที่ใช้ในสภาวะการทำงาน 29% กำลังการผลิตเท่ากับ 408,300,646 MJ/y

ฉนวนผิวผนังหม้อไอน้ำแรงดันสูงวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนในการเก็บรักษาความร้อนเป็นชนิดฉนวนใยหิน (Rockwool) ส่วนวัสดุที่ใช้ทำแจ็คเก็ตเป็นเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized)

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน โรงไฟฟ้าพลังความร้อนมีหลักการการทำงาน โดยใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง จะถูกปั๊มส่งน้ำมัน (Fuel oil pump) ไปยังเครื่องอุ่นน้ำมัน (Fuel oil heater) เพื่อลดความหนืดของน้ำมัน ก่อนส่งไปยังระบบฉีดน้ำมัน (Ignitor oil system) โดยในระบบฉีดน้ำมันนี้ จะมีอากาศร้อนที่มาจากพัดลมดูดอากาศ (Force draft fan) จากบรรยากาศภายนอกผ่านมายังเครื่องถ่ายเทความร้อนให้อากาศ (Air heater) แล้วไปรวมกับน้ำมันที่ระบบฉีดน้ำมันเพื่อใช้ในการสันดาปในห้องเผาไหม้ ทำให้การลุกไหม้ในนั้นเป็นไปด้วยดี ผลจากการเผาไหม้ภายในเตา จะทำให้เกิดความร้อน ความร้อนที่ได้นี้จะถ่ายเทผ่านท่อน้ำที่ประกอบกันเป็นผนังหม้อต้มน้ำ (Wall tube) ของหม้อไอน้ำแรงดันสูง (Boiler) ทำให้น้ำบริสุทธิ์ที่อยู่ภายในท่อ ได้รับความร้อนจนเดือดกลายเป็นไอน้ำ จากนั้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แยกไอน้ำ (Steam drum) เพื่อแยกเอาไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ส่งไปเพิ่มอุณหภูมิที่แผงท่อผลิตไอน้ำความร้อนสูง (Superheater) อีกชุดหนึ่ง เพื่อให้เป็นไอน้ำ (Superheated Steam) ที่มีอุณหภูมิ 541 องศาเซลเซียส และความดัน 165.9 บาร์ที่กำลังการผลิตสูงสุด แล้วจึงถูกส่งไปขับเคลื่อนกังหันความดันสูง (High pressure turbine) เพื่อขับเคลื่อนให้หมุน ส่วนไอน้ำจะมีอุณหภูมิและความดันลดลง จะถูกส่งกลับไปยังหม้อต้มน้ำเพื่อรับความร้อนที่แผงท่อผลิตไอน้ำอีกชุดหนึ่ง (Reheater) เพื่อเพิ่มความร้อนและความดันให้กับไอน้ำอีกครั้ง จนได้อุณหภูมิประมาณ 540 องศาเซลเซียส ก่อนถูกส่งไปขับเคลื่อนกังหันความดันปานกลาง (Intermediate pressure turbine) และส่งต่อไปขับเคลื่อนกังหันความดันต่ำ (Low pressure turbine) เพลลาของเครื่องกังหันทั้ง 3 ชนิด จะเชื่อมติดต่อกันเป็นเพลลาเดียวกันกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เกิดเป็นพลังงานไฟฟ้าขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ได้ถูกส่งไปเพิ่มแรงดันที่หม้อแปลงไฟฟ้า (Power transformer) ก่อนส่งเข้าสถานไปไฟฟ้า (Sub station) แล้วส่งต่อไปยังระบบสายส่งต่อไป โดยรูปที่ 7 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน



รูปที่ 7 ไดอะแกรมการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

ดำเนินการวิเคราะห์หน้าที่ที่กำหนดค่าจำกัดความหน้าที่ของหม้อไอน้ำแรงดันสูงและส่วนประกอบเกี่ยวกับความร้อนเพื่อทำหน้าที่ที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น และทำให้คณะทำงานมีความเข้าใจเหมือน ๆ กัน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กำหนดค่าจำกัดความหน้าที่ของหม้อไอน้ำและส่วนประกอบเกี่ยวกับความร้อน

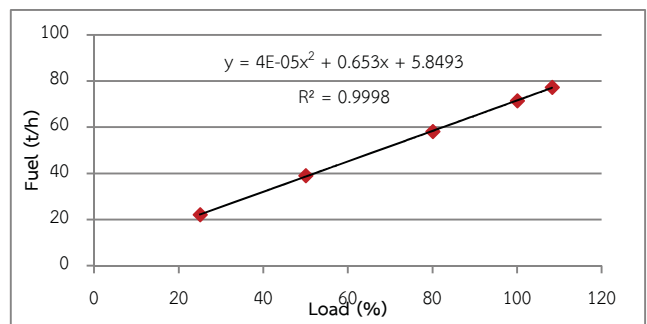
อุปกรณ์	หน้าที่		
	คำกริยา	คำนาม	เงื่อนไข
หม้อไอน้ำ	เปลี่ยนผลิต	พลังงานเคมีเป็นพลังงานความร้อน	ตามความต้องการของภาระงาน
ท่อเหล็ก	รับ	พลังงานความร้อน	ไม่เกินค่าออกแบบ
อิฐทนไฟ	ป้องกัน	ความร้อน	-
ฉนวนกันความร้อน	ป้องกัน	ความร้อนสูญเสีย	-

การเชื่อมโยงหน้าที่กับต้นทุนดังตารางที่ 5 เริ่มต้นจากการกำหนดค่าจำกัดความของหน้าที่ที่จำเป็นตามความต้องการของอุปกรณ์ดังตารางที่ 4 ซึ่งต้นทุนที่เกิดจากเป้าหมาย ก็คือทรัพยากรที่ถูกใช้ไปเพื่อให้บรรลุหน้าที่ที่จำเป็นตามความต้องการ

ตารางที่ 5 การเชื่อมโยงหน้าที่กับต้นทุนเฉพาะส่วนความร้อนของหม้อไอน้ำ

ความต้องการ	หน้าที่	สิ่งของ	ต้นทุน
เชื้อเพลิงเพื่อเปลี่ยนเป็นความร้อน	เปลี่ยน	น้ำมัน	ค่าน้ำมัน
ทำให้น้ำในท่อภายในหม้อไอน้ำกลายเป็นไอ	พลังงานเคมีเป็นพลังงานความร้อน	เตา	เชื้อเพลิง
ดงที่จุดใช้งาน คือ อุณหภูมิ 520 °C และความดัน 161 bar _g	เป็นพลังงานความร้อนให้ น้ำที่อยู่ในท่อ	ความร้อนแล้วส่งถ่าย	

นำข้อมูลทางด้านความร้อนมาวิเคราะห์หน้าที่โดยเทียบกับ Heat balance Performance data และ Technical data เพื่อหาการใช้พลังงานบนพื้นฐานหน้าที่หลัก



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับกำลังการผลิต

เนื่องจากที่สภาวะการทำงาน 29% กำลังการผลิตไม่มีข้อมูล อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ควรจะเป็น เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับอัตราการใช้จริงที่เก็บข้อมูลได้ ดังนั้นจึงใช้ตัวเลขจาก Performance data sheet ที่มีตัวเลขอัตราการใช้ ในช่วง 25% 50% 80% 100% และ 108.29% กำลังการผลิต นำมาสร้างกราฟและหาสมการดังรูปที่ 8 ได้ดังนี้

$$y = 0.00004x^2 + 0.653x + 5.8493 \quad (2)$$

แทนค่า $y = (0.00004 \times 29^2) + (0.653 \times 29) + 5.8493$ ได้ค่าอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่สภาวะการทำงาน 29% กำลังการผลิตเท่ากับ 24.82 t/h ซึ่งเมื่อคิดเป็นปริมาณความร้อนตามสมการที่ (1) จะได้เท่ากับ 402,462,173 MJ/y

จากข้อมูลในตารางที่ 6 แสดงปริมาณความร้อนที่ใช้ในสภาวะการทำงาน 29% โดยเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจาก Performance data เป็นค่าที่ควรจะได้ซึ่งได้รวมการสูญเสียปกติไว้แล้วกับการเก็บข้อมูลจากระบบ Plant Information จะเห็นว่าปัจจุบัน ณ ปีที่เก็บข้อมูลโรงไฟฟ้าใช้ปริมาณความร้อน 408,300,646 MJ/y มากกว่าอยู่ 1.45% ซึ่งแสดงว่ามีการสูญเสียความร้อนมากกว่าค่าที่ควรจะเป็น เป็นการสูญเสียในระบบ โดยหม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์หนึ่งในระบบที่มีการสูญเสียมาก

ตารางที่ 6 ปริมาณความร้อนที่ใช้ในสภาวะการทำงาน 29%

ข้อมูล	ปริมาณความร้อน (MJ/y)
Performance data	402,462,173
ข้อมูลจากระบบ PI	408,300,646
ผลต่าง	5,838,472

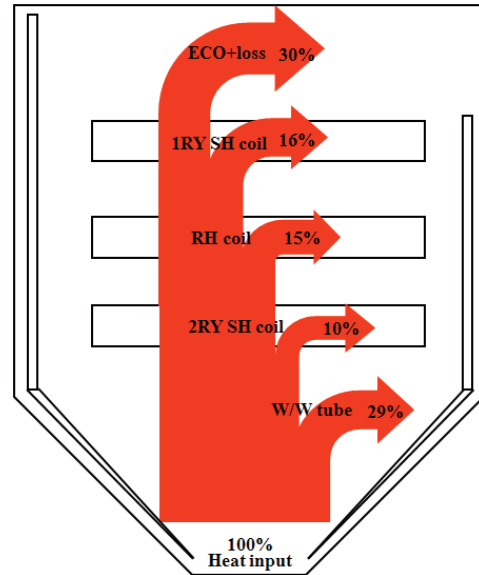
หรือกรณีคิดอัตราการใช้ความร้อน (Heat Rate) ในการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย ปัจจุบัน ณ ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลจะใช้ความร้อนมากกว่า 1.43% รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อัตราการใช้ความร้อนผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย

ข้อมูล	อัตราการใช้ความร้อน (kJ/kWh)
Performance data	10,629.96
ข้อมูลจากระบบ PI	10,782.33
ผลต่าง	152.37

เมื่อนำข้อมูลจากระบบ Plant Information มาวิเคราะห์ Heat balance ของหม้อไอน้ำแรงจะได้อัตราการใช้ความร้อนภายใน ดังแสดงในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าปริมาณความร้อนที่

ส่งไปยังเครื่องอุ่นน้ำป้อนและความร้อนสูญเสีย มีสัดส่วนสูงถึง 30% กรณีรวมความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีที่หม้อไอน้ำด้วย จะเท่ากับ 31% ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลก่อนหน้าแสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียความร้อนในระบบ

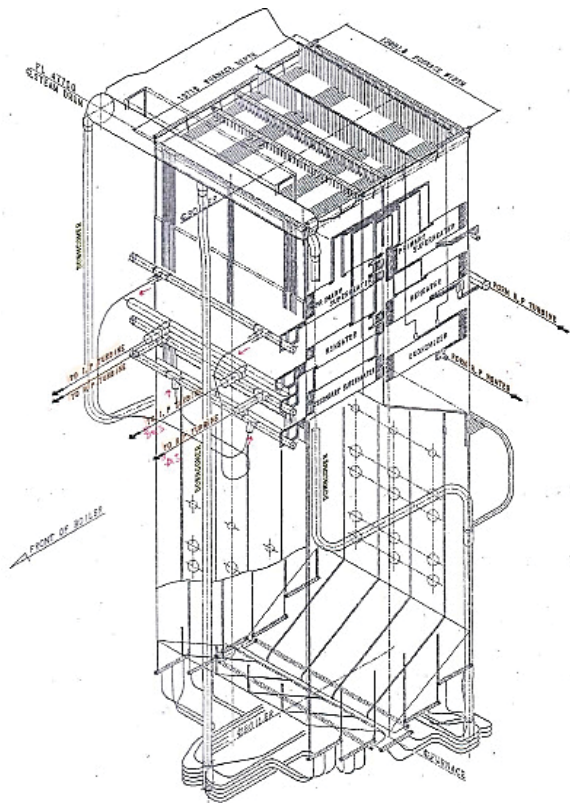


รูปที่ 9 Heat balance หม้อไอน้ำที่สภาวะการทำงาน 29%

3. ขั้นตอนการสร้างสรรค์ความคิด ใช้วิธีการระดมสมอง โดยคณะทำงาน ร่วมกันระดมความคิดเห็นและประเมินโดยสังเขปหาแนวทางที่มีความเห็นว่าเป็นไปได้ในการลดการสูญเสียความร้อน โดยพิจารณาจากข้อมูลก่อนหน้า ซึ่งได้มีการเสนอพิจารณาเปลี่ยนฉนวนผิวผนังหม้อไอน้ำ โดยมี 3 แนวทางคือ

1. เปลี่ยนฉนวนผิวผนังหม้อไอน้ำทั้งหมด
2. เปลี่ยนฉนวนผิวผนังหม้อไอน้ำด้านหน้า-ด้านหลัง
3. เปลี่ยนฉนวนผิวผนังหม้อไอน้ำเฉพาะส่วน

เนื่องจากหม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนและผลิตความร้อน การจะป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากการพาและการแผ่รังสีจากผนังจะมีฉนวนกันความร้อนทำหน้าที่เพื่อหาวิธีการวิเคราะห์ ลดการสูญเสียความร้อนเกินความจำเป็น มติในที่ประชุมคณะทำงานได้เสนอให้ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน โดยให้ถ่ายภาพทุกจุดบริเวณผิวผนังหม้อไอน้ำ พื้นที่รวม 1,631 ตารางเมตร เพื่อนำประกอบการตัดสินใจในการเลือกแนวทางแก้ไขและจะได้ทราบถึงตำแหน่งพื้นที่ฉนวนเสื่อมสภาพซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อน รูปที่ 10 และ 11 แสดงโครงสร้างของหม้อไอน้ำ มีความสูง 31 เมตรและภาพหม้อไอน้ำ



รูปที่ 10 โครงสร้างหม้อไอน้ำ



รูปที่ 11 หม้อไอน้ำ

4. ขั้นตอนการประเมินผล ประเมินผลการสูญเสียความร้อนที่ผิวผนังหม้อไอน้ำ ดำเนินการศึกษาโดยละเอียด หาข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจคัดเลือกแนวทาง ได้แก่ บริเวณพื้นที่สูญเสียความร้อน ขนาดพื้นที่และอุณหภูมิสูงสุดที่จุดสูญเสียความร้อน

ของผนังที่ฉนวนเสื่อมสภาพ ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 8 และ ตารางที่ 9

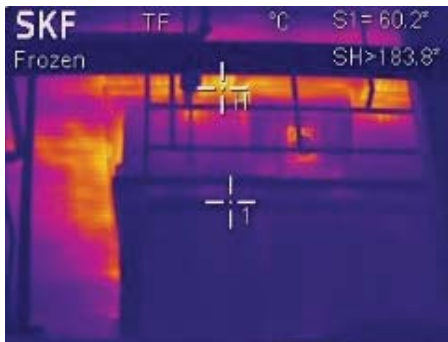
ตารางที่ 8 บริเวณพื้นที่สูญเสียความร้อนของผนังที่ฉนวนเสื่อมสภาพ

พื้นที่	พื้นที่ทดสอบ	ภาพความร้อน
A ₁ แนวตั้ง		
A ₂ แนวตั้ง		
A ₃ แนวนอน		
A ₄ แนวนอน		
A ₅ แนวนอน		
A ₆ แนวนอน		
A ₇ แนวนอน		
A ₈ แนวตั้ง		
A ₉ แนวตั้ง		
A ₁₀ แนวตั้ง		
A ₁₁ แนวตั้ง		

ตารางที่ 9 แสดงความกว้าง ความยาว ขนาดพื้นที่และอุณหภูมิสูงสุดที่จุดสูญเสียความร้อนของผนังที่ฉนวนเสื่อม

พื้นที่	พื้นที่รอบหม้อไอน้ำ			อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	พื้นที่ (ตารางเมตร)	
A ₁	2	5.8	11.6	146.5
A ₂	2.2	5.6	12.32	127.5
A ₃	4.9	3	14.7	183.8
A ₄	2	3.2	6.4	179.2
A ₅	3.1	5.3	16.43	102
A ₆	4	3	12	172.6
A ₇	2.5	3.1	7.75	183.7
A ₈	2.3	2	4.6	183.7
A ₉	1.1	2	2.2	79.9
A ₁₀	1	1	1	112.8
A ₁₁	1.1	1.2	1.32	96.4

ใช้ฉนวนใยหินความหนา 0.1 เมตร ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 ใช้พื้นที่ 90.32 ตารางเมตร ดังแสดงในตารางที่ 9 และผลการทดสอบด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนบริเวณฉนวนที่สภาพปกติ ว่าสามารถกันความร้อนโดยมีอุณหภูมิที่ผิวได้ 60 °C จริง จึงนำมาเป็นเกณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ทดสอบด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนบริเวณฉนวนที่สภาพปกติ

คณะทำงานร่วมกันคัดเลือกแนวทางโดยพิจารณาจาก 2 ส่วน คือสิ่งที่คาดหวังผลความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และสิ่งที่คาดหวังผลความเป็นไปได้ทางเทคนิค นั่นก็คือ การพิจารณาความคุ้มค่ากับการลงทุน เวลาที่ใช้ในดำเนินการ การให้ผลประโยชน์ และความเป็นไปได้ที่จะนำไปปฏิบัติ และที่สำคัญคือต้องไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ดังในตารางที่ 10 แสดงผลการประเมินผลคัดเลือกแนวทาง

ตารางที่ 10 การประเมินผลคัดเลือกแนวทาง

แนวทางแก้ไข	เศรษฐศาสตร์	เทคนิค	ผลคะแนน
เปลี่ยนฉนวนฉนวนผนังหม้อไอน้ำทั้งหมด	5	5	25
เปลี่ยนฉนวนฉนวนผนังหม้อไอน้ำด้านหน้า-ด้านหลัง	6	7	42
เปลี่ยนฉนวนฉนวนผนังหม้อไอน้ำเฉพาะส่วน	8	9	72

หมายเหตุ: 1 น้อยที่สุด - 10 มากที่สุด

จากข้อมูลการประเมินผลคัดเลือกแนวทาง คณะทำงานมีมติเลือกแนวทางที่ได้ผลคะแนนการประเมินมากที่สุดคือการเปลี่ยนฉนวนฉนวนผนังหม้อไอน้ำเฉพาะส่วน โดยมีพื้นที่ดำเนินการรวม 90.32 ตารางเมตร ขึ้นต่อไปนำข้อมูลที่สำรวจได้กับข้อมูลเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 11 คำนวณเพื่อหาปริมาณความร้อนสูญเสียของผนังที่ฉนวนเสื่อม ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากผนังที่หุ้มฉนวนใหม่ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ลดลงกรณีหุ้มฉนวนผนังใหม่และระยะเวลาคืนทุนข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 12 และตารางที่ 13 โดยใช้สมการที่ (3) - (23) ในการวิเคราะห์

การสูญเสียความร้อนผ่านผนังที่ฉนวนเสื่อมสภาพ [13-15]

$$h_{CV} = 2.2 \times (T_{SV} - T_0)^{0.25} \quad (3)$$

เมื่อ h_{CV} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนผนังฉนวนเสื่อมสภาพพื้นผิวแนวตั้ง ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_{SV} คือ อุณหภูมิผิวผนังแนวตั้ง ($^\circ C$)

T_0 คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ($^\circ C$)

$$h_{CH} = 1.5 \times (T_{SH} - T_0)^{0.25} \quad (4)$$

เมื่อ h_{CH} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนผนังฉนวนเสื่อมสภาพพื้นผิวแนวนอน ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_{SH} คือ อุณหภูมิผิวผนังแนวนอน ($^\circ C$)

$$Q_{rv} = \sigma \times \epsilon \times A_v \times 3.6 \times ((T_{SV} + 273)^4 - (T_0 + 273)^4) \quad (5)$$

เมื่อ Q_{rv} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีฉนวนเสื่อมสภาพพื้นผิวแนวตั้ง (kJ/h)

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ 5.6697×10^{-8} (W/m².K⁴)

ϵ คือ ค่าสภาพการแผ่รังสีของวัตถุ

A_v คือ พื้นที่ฉนวนล้อมสภาพและชำระคผนังแนวตั้ง (m²)

$$Q_{rH} = \sigma \times \epsilon \times A_H \times 3.6 \times ((T_{SH} + 273)^4 - (T_0 + 273)^4) \quad (6)$$

เมื่อ Q_{rH} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีฉนวนล้อมสภาพพื้นผิวแนวนอน (kJ/h)

A_H คือ พื้นที่ฉนวนล้อมสภาพและชำระคผนังแนวนอน (m²)

$$Q_{CV} = h_{CV} \times A_v \times (T_{SV} - T_0) \times 3.6 \quad (7)$$

เมื่อ Q_{CV} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการพาฉนวนล้อมสภาพพื้นผิวแนวตั้ง (kJ/h)

$$Q_{CH} = h_{CH} \times A_H \times (T_{SH} - T_0) \times 3.6 \quad (8)$$

เมื่อ Q_{CH} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการพาฉนวนล้อมสภาพพื้นผิวแนวนอน (kJ/h)

$$Q_{VT} = (Q_{CV} + Q_{rV}) \times \frac{H}{1000} \quad (9)$$

เมื่อ Q_{VT} คือ ความร้อนสูญเสียรวมของผนังฉนวนล้อมสภาพพื้นผิวแนวตั้ง (MJ/y)

H คือ เวลาใช้งานอุปกรณ์ (h/y)

$$Q_{HT} = (Q_{CH} + Q_{rH}) \times \frac{H}{1000} \quad (10)$$

เมื่อ Q_{HT} คือ ความร้อนสูญเสียรวมของผนังฉนวนล้อมสภาพพื้นผิวแนวนอน (MJ/y)

$$Q_T = Q_{VT} + Q_{HT} \quad (11)$$

เมื่อ Q_T คือ ความร้อนสูญเสียรวมของผนังฉนวนล้อมสภาพ (MJ/y)

การสูญเสียความร้อนผ่านผนังที่หุ้มฉนวนใหม่ [13-15]

$$h_{CVn} = 2.2 \times (T_N - T_0)^{0.25} \quad (12)$$

เมื่อ h_{CVn} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวตั้ง (W/m² °C)

T_N คือ อุณหภูมิผิวฉนวนหลังหุ้ม (°C)

$$h_{CHn} = 1.5 \times (T_N - T_0)^{0.25} \quad (13)$$

เมื่อ h_{CHn} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวนอน (W/m² °C)

$$Q_{rVn} = \sigma \times \epsilon \times A_v \times 3.6 \times ((T_N + 273)^4 - (T_0 + 273)^4) \quad (14)$$

เมื่อ Q_{rVn} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวตั้ง (kJ/h)

$$Q_{rHn} = \sigma \times \epsilon \times A_H \times 3.6 \times ((T_N + 273)^4 - (T_0 + 273)^4) \quad (15)$$

เมื่อ Q_{rHn} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวนอน (kJ/h)

$$Q_{CVn} = h_{CVn} \times A_v \times (T_N - T_0) \times 3.6 \quad (16)$$

เมื่อ Q_{CVn} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการพาผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวตั้ง (kJ/h)

$$Q_{CHn} = h_{CHn} \times A_H \times (T_N - T_0) \times 3.6 \quad (17)$$

เมื่อ Q_{CHn} คือ ความร้อนสูญเสียโดยการพาผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวนอน (kJ/h)

$$Q_{VTn} = (Q_{CVn} + Q_{rVn}) \times \frac{H}{1000} \quad (18)$$

เมื่อ Q_{VTn} คือ ความร้อนสูญเสียรวมของผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวตั้ง (MJ/y)

H คือ เวลาใช้งานอุปกรณ์ (h/y)

$$Q_{HTn} = (Q_{CHn} + Q_{rHn}) \times \frac{H}{1000} \quad (19)$$

เมื่อ Q_{HTn} คือ ความร้อนสูญเสียรวมของผนังหุ้มฉนวนใหม่พื้นผิวแนวนอน (MJ/y)

$$Q_{Tn} = Q_{VTn} + Q_{HTn} \quad (20)$$

เมื่อ Q_{Tn} คือ ความร้อนสูญเสียรวมของผนังที่หุ้มฉนวนใหม่ (MJ/y)

การลดลงของความร้อนสูญเสีย

$$Q_{SAVE} = Q_T - Q_{Tn} \quad (21)$$

เมื่อ Q_{SAVE} คือ ความร้อนสูญเสียลดลง (MJ/y)

$$Q_{SAVEOF} = (Q_T - Q_{Tn}) \times OF \quad (22)$$

เมื่อ Q_{SAVEOF} คือ ความร้อนสูญเสียลดลง (MJ/y)

OF คือ ตัวประกอบการใช้งาน
อุปกรณ์ (%)

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลเบื้องต้น

รายการข้อมูล	ตัวย่อ	ข้อมูล	หน่วย	แหล่งที่มา
เวลาใช้งานอุปกรณ์	H	8,215	h/y	รายงาน ผลิต
ราคาเชื้อเพลิง	C _L	27.55	บาท/ล	รายงาน บัญชี
ตัวประกอบการใช้งาน อุปกรณ์	OF	46.99	%	รายงาน ผลิต
ความหนาแน่นไย หิน	tinst	0.1	m	Data sheet
ค่าการนำความร้อน ของฉนวน	k _{INS}	0.034	W/m °C	Data sheet
ค่าสภาพการเปล่ง รังสีความร้อนผิวผนัง	ε	0.95	-	ตาราง
อุณหภูมิผิวหลังหุ้ม ใหม่	T _N	60	°C	เกณฑ์ไม่ เกิน 60 °C
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	h _B	88.15	%	รายงาน ผลิต
ค่าความร้อนสูง เชื้อเพลิง	kJ/l	42,006	HHV	ตรวจวัด Lab เคมี
ค่าใช้จ่ายการติดตั้ง ฉนวน	C _I	500,000	บาท	สอบถาม
พื้นที่ที่ฉนวนเสื่อม และชำรุด ผนัง แนวตั้ง	A _V	A ₁ -A ₁₁	m ²	สำรวจ
พื้นที่ที่ฉนวนเสื่อม และชำรุด ผนัง แนวนอน	A _H	A ₁ -A ₁₁	m ²	สำรวจ
อุณหภูมิผิวผนังที่ ฉนวนเสื่อมและ ชำรุด ผนังแนวตั้ง	T _{SV}	A ₁ -A ₁₁	°C	ตรวจวัด
อุณหภูมิผิวผนังที่ ฉนวนเสื่อมและ ชำรุด ผนังแนวนอน	T _{SH}	A ₁ -A ₁₁	°C	ตรวจวัด
อุณหภูมิอากาศ แวดล้อม	T _O	33.4	°C	ตรวจวัด

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณความร้อนสูญเสียของผนังที่ฉนวนเสื่อมสภาพ
ความร้อนที่สูญเสียจากผนังที่หุ้มฉนวนใหม่และความร้อนสูญเสียลดลงที่
สถานะตัวประกอบการใช้งานอุปกรณ์เท่ากับ 100%

Area	Q _T	Q _{Tn}	Q _{SAVE}
	MJ/y	MJ/y	MJ/y
A ₁	687,538.16	109,973.59	577,564.57
A ₂	566,766.25	116,799.57	449,966.68
A ₃	1,156,385.56	120,977.38	1,035,408.18
A ₄	480,175.19	52,670.46	427,504.73
A ₅	430,858.85	135,214.89	295,643.96
A ₆	839,513.89	98,757.07	740,756.82
A ₇	609,068.21	63,780.62	545,287.59
A ₈	411,603.23	43,610.22	367,993.01
A ₉	40,829.70	20,857.06	19,972.64
A ₁₀	36,675.15	9,480.48	27,194.67
A ₁₁	35,866.02	12,514.27	23,351.75
A ₁ -A ₁₁	5,295,280.21	784,635.61	4,510,644.60

การวิเคราะห์การลงทุน

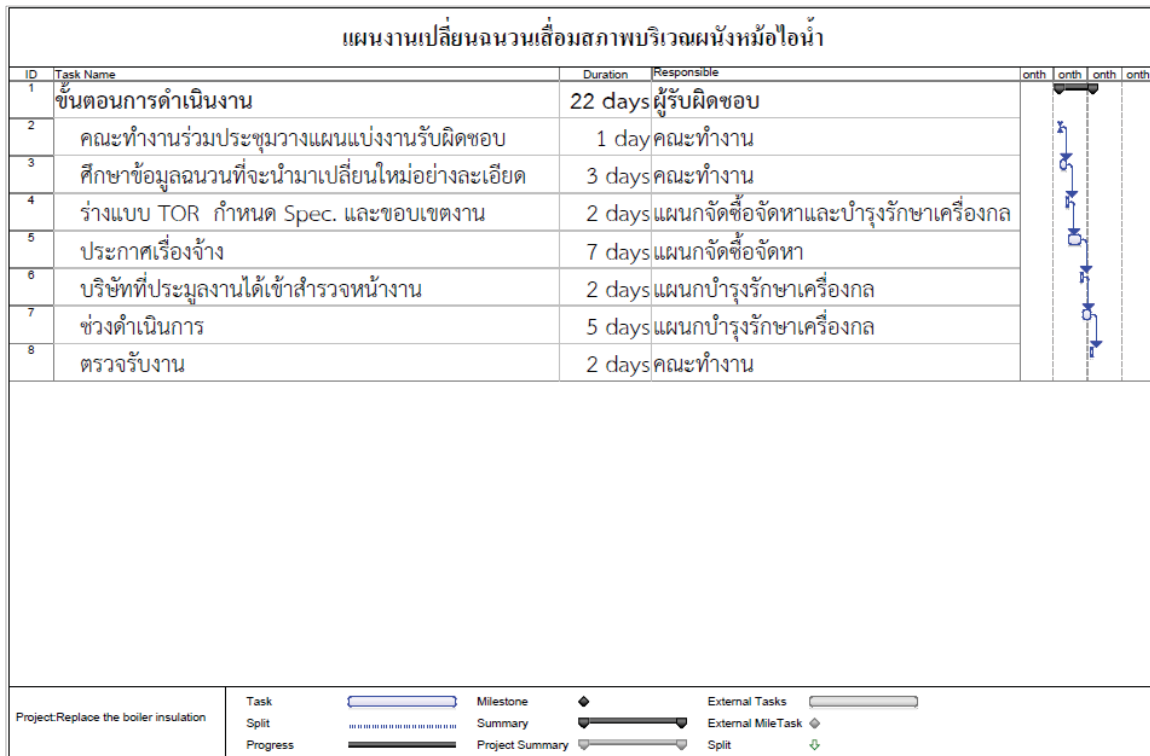
$$PB = \frac{C}{S} \quad (23)$$

เมื่อ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
C คือ ค่าใช้จ่ายการติดตั้งฉนวน
ทั้งหมด (บาท)
S คือ ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัด
ได้ที่สถานะตัวประกอบการใช้
งานอุปกรณ์เท่ากับ 46.99%
(บาท/ปี)

ตารางที่ 13 ระยะเวลาคืนทุนกรณีดำเนินการมาตรการหุ้มฉนวนผิวผนังใหม่

C (บาท)	S (บาท/ปี)	PB (ปี)
500,000	1,577,001	0.32

5. ขั้นตอนการพัฒนาความคิด พิจารณาถึงแนวทางการ
ปฏิบัติงาน จะต้องเขียนแนวทางการปฏิบัติงานในลักษณะ
Timeline โดยมีรายละเอียด คือขั้นตอนการปฏิบัติ ระยะเวลาและ
ผู้รับผิดชอบ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งโดยปกติโรงไฟฟ้า
จะดำเนินการงานซ่อมแซมและปรับปรุงอุปกรณ์ในช่วงหยุดซ่อม
ประจำปีที่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า เพื่อหลีกเลี่ยงในส่วนของ
ค่าปรับ เพราะโรงไฟฟ้าจะเดินเครื่องหรือหยุดเครื่องขึ้นอยู่กับ
คำสั่งของศูนย์ควบคุมกำลังไฟฟ้าแห่งชาติ กรณีมีการหยุดออก
แผนจะโดนปรับเงิน

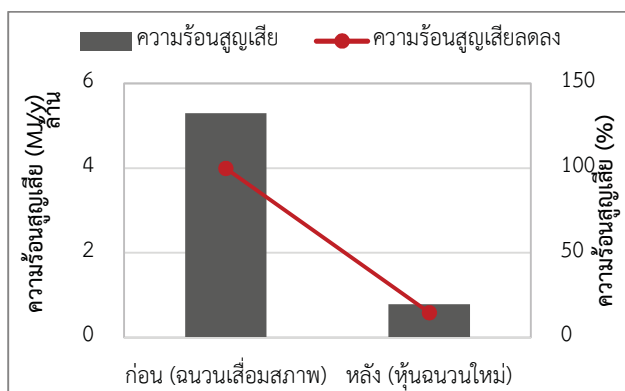


รูปที่ 13 Timeline แผนงานเปลี่ยนฉนวนล้อมสภาพบริเวณผนังหม้อไอน้ำ

6. ขั้นตอนการนำเสนอผู้บริหาร โดยมีรูปแบบการนำเสนอที่เข้าใจง่ายแสดงถึงประโยชน์ที่จะได้รับ แสดงตัวเลขการประหยัดพลังงานที่ชัดเจนเพื่อประกอบการตัดสินใจ ดังในรูปที่ 14 แสดงค่าความร้อนสูญเสียและค่าความร้อนสูญเสียลดลงหลังจากหุ้มฉนวนใหม่ที่สภาวะตัวประกอบการใช้งานอุปกรณ์เท่ากับ 100% และตารางที่ 14 แสดงขนาดพื้นที่เปลี่ยนฉนวนเงินที่ประหยัด เงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุนที่สภาวะตัวประกอบการใช้งานอุปกรณ์เท่ากับ 46.99%

ตารางที่ 14 พื้นที่เปลี่ยน เงินที่ประหยัดเงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุน

รายละเอียด	ผล	หน่วย
พื้นที่เปลี่ยนฉนวน	90.32	ตารางเมตร
ความร้อนสูญเสียลดลง	2,119,552	เมกะจูล/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัด	1,577,001	บาท
เงินลงทุน	500,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.32	ปี



รูปที่ 14 ความร้อนสูญเสียก่อน-หลัง

จากการนำหลักการดำเนินแผนงานวิศวกรรมคุณค่ามาประยุกต์ใช้พบว่าสามารถช่วยให้การดำเนินการมีแบบแผนและเป็นระบบ การวิเคราะห์ที่เป็นรูปแบบเชิงการจัดการ นำไปสู่วิธีการลดพลังงานที่สูญเสีย โดยประยุกต์ใช้แนวคิดต่าง ๆ เข้ามาช่วย ร่วมกันคิดหาวิธีการ ส่งผลให้ได้ค่าการลดการสูญเสียความร้อน และแผนงานที่นำไปสู่การปฏิบัติได้ ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการปฏิบัติทำงานง่ายขึ้น ส่งเสริมให้เกิดการทำงานเป็นทีม แต่สิ่งที่สำคัญคือต้องได้รับความร่วมมือตั้งแต่ระดับสูงสุดไปจนถึงระดับล่างสุดไม่เช่นนั้น กิจกรรมจะไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์เป้าหมายได้ ควรพัฒนาบุคลากรในทุกส่วนงานให้มีความรู้ ให้มีจิตสำนึกด้านการจัดการพลังงานและการนำเครื่องมือทางการบริหารจัดการพลังงานมาช่วยในการลดการใช้พลังงาน ซึ่งจะช่วยเพิ่มนักอนุรักษ์พลังงานให้มากขึ้น สิ่งต่าง ๆ

เหล่านี้จะช่วยกระตุ้นให้เกิดการขับเคลื่อนอย่างมีระบบ ต่อเนื่องและยั่งยืน

5. สรุปผล

จากผลการวิจัยพบว่าขั้นตอนการดำเนินงานที่ประยุกต์ขึ้นมา นั้น โดยคณะทำงานร่วมกันระดมความคิดและเสนอแนว ทางแก้ไข ประเมินคัดเลือกแนวทางและร่วมกันรวบรวมข้อมูล ต่าง ๆ ตามการดำเนินแผนงานวิศวกรรมคุณค่า 6 ขั้นตอน สามารถวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพของ หม้อไอน้ำแรงดันสูง ซึ่งมีค่าการสูญเสียความร้อนรวม 5,295,280.21 เมกะจูล และกรณีดำเนินการมาตรการแก้ไข คือ เปลี่ยนฉนวนที่เสื่อมสภาพสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ 4,510,644.60 เมกะจูล ที่สถานะตัวประกอบการใช้งาน 100% หรือคิดเป็น 85.18% และลดการสูญเสียความร้อนได้ 2,119,551.90 เมกะจูล หรือคิดเป็น 40.03% ที่สถานะตัว ประกอบการใช้งาน 46.99% อุณหภูมิผิวฉนวนไม่เกิน 60 °C มี ระยะเวลาคืนทุน 0.32 ปี

จะเห็นว่าประโยชน์ในการประยุกต์ใช้แผนงานวิศวกรรมคุณค่าที่นำมาใช้ในการลดการสูญเสียความร้อน นำไปสู่การลด ต้นทุน นอกจากนั้นยังสามารถนำขั้นตอนการดำเนินงานนี้ไปใช้ ค้นหาค่าการสูญเสียความร้อนสำหรับหม้อไอน้ำแรงดันสูงในกลุ่ม โรงไฟฟ้าประเภทอื่นและยังสามารถนำแนวทางการดำเนินการ วิจัยไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ฝ่าย โรงไฟฟ้าภาคใต้ กองการผลิตโรงไฟฟ้ากระบี่ และบุคลากรที่ให้ความช่วยเหลือ ให้ความร่วมมือในส่วนของข้อมูลและ ข้อเสนอแนะ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] U.S. energy information administration (2016, May 11). Developing economies in Asia lead projected growth in world energy use. [Blog post]. Retrieved from <http://www.eia.gov/pressroom/releases/press432.cfm>
- [2] Electricity generating authority of Thailand (2559). Report fuel used in production. [Blog post]. Retrieved from http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&layout=edit&id=84&Itemid=200

- [3] Electricity generating authority of thailand (2559). Report production of electricity. [Blog post]. Retrieved from http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&layout=edit&id=78&Itemid=200
- [4] Electricity generating authority of thailand & Accounting and Budget Division Electricity and fuel (2559). Reports cost of electricity power plants Thermal. [Annual Report].
- [5] SAVE International (2015). Value Methodology Standard and Body of Knowledge. [Blog post]. Retrieved from <http://www.value-eng.org/>
- [6] Somchart Chantasiriwan. (2554). *Power plant engineering*. Bangkok: Thammasat University.
- [7] King Mongkut's University of Technology Thonburi (2559). Energy conservation in industrial. [E-learning]. Retrieved from http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/index.html
- [8] Tragam Gaogasigam. (2537). *Thermal Insulation Handbook*. Bangkok: M&E.
- [9] Department of the Energy Development and Promotion (2545). Case Study of the energy costs by applying value engineering.
- [10] C. Wang., B. He. S. Sun., Y. Wu., N. Yan., L. Yan., & X. Pei. (2012). Application of a low pressure economizer for waste heat recovery from the exhaust flue gas in a 600 MW power plant [Electronic version]. *Energy*, 48(1), 196–202.
- [11] H. Zhao., C. Liu., Y. Bai., H. Zhang., & L. Wei. (2012). Exergy Analysis of a 600 MW Thermal Power Plant [Electronic version]. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 1–4.
- [12] Somkiat Boonnasa. (2546). *Energy management in industry*. Bangkok: Takasorn
- [13] Surachai Sanitjai. (2548). *Energy conservation quick handbook for factory*. Bangkok: TPA Publishing.
- [14] Supachai Panyavee & Jatuporn Stakulcharoen. (2549). *Handbook reduction of energy production costs*. Bangkok: TPA Publishing
- [15] Yunus A. Cengel & Afshin J. Ghajar. (2011). *Heat and mass transfer fundamentals and applications 4th*. Singapore: McGraw-Hill.

