รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Energy Conservation by Cogeneration System in Textile Industry

นายทวี กฤตเมธาพร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

T148584

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Energy Conservation by Cogeneration System in Textile Industry

นายทวี กฤตเมธาพร

สขหมู่.....
เลขทะเบียน 148584
วัน.เดือน.ปี 6 พ.ค. 2560

b.12871382
i.....

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายทวี กฤตเมธาพร
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.ปิยะนาถ สมมณี
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายอำนาจ มากแก้ว
ชื่อสถานประกอบการ บริษัท เอฟ เอ เอส เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาการอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมบางปู โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษาจัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมกลางน้ำ และมีสัดส่วนของการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้ายในรูปแบบความร้อนและพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 87% และ 13% ตามลำดับ ผู้ประกอบการเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบนที่ใช้กังหันก๊าซและอุปกรณ์การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและประสิทธิภาพหม้อน้ำ รวมถึงลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ผลการศึกษาของระบบผลิตพลังงานร่วมเชิงเทคนิคด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมแสดงค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ 92.36% ค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง 19.5% และการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 38.6% เมื่อเทียบกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน ส่วนผลการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมแสดงการใช้เงินลงทุน 450,000,000 บาท จะใช้ระยะเวลาคืนทุนภายใน 1.67 ปี และมีผลตอบแทนการลงทุนที่ 319.52% สรุปคือระบบผลิตพลังงานร่วมแสดงผลกระทบด้านบวกต่อการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อมตลอดจนมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

คำสำคัญ: การอนุรักษ์พลังงาน ระบบผลิตพลังงานร่วม อุตสาหกรรมสิ่งทอ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิค การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์

Co-operative Title: Energy Conservation by Cogeneration System in Textile Industry

Student Intern Name: Mr. Tawee Krittametaporn

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

Advisor Name: Asst. Prof. Dr. Piyanart Sommani

Mentor Name: Mr. Amnat Makeaw

Company: F.A.S Engineering Co., Ltd.

ABSTRACT

This research examined energy conservation by using cogeneration system in the textile industry located at Bang Poo Industrial Estate. This textile industry, which was categorized as midstream sector, consumed final energy as heat of 87% and electricity of 13%. The entrepreneur prefers the gas turbine topping cycle cogeneration system with heat recovery unit since their advantages such as increased fuel consumption efficiency and boiler efficiency, and reduced energy costs. The results of technical analysis of cogeneration system, by considering energy and environmental issues, showed the overall efficiency of 92.36%, the primary energy saving of 19.5%, and the reduction of carbon dioxide emission of 38.6%, when compared to the separated heat and power system. In case of the economic analysis of cogeneration installation, the results demonstrated that the investment costs were 450,000,000 Baht, the payback period was 1.67 years and the return on investment was 319.52%. In summary, the cogeneration system has the positive impacts on energy and environmental issues as well as economic value of the investment.

Keywords: Energy Conservation, Cogeneration System, Textile Industry, Technical Analysis, Economic Analysis

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจศึกษานี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความร่วมมือระหว่างบริษัท เอฟ เอ เอส เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (F.A.S Engineering Co., Ltd.) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปิยะนาถ สมมณี อาจารย์นิเทศโครงงานสหกิจศึกษา สำหรับคำปรึกษา ความรู้ ความช่วยเหลือ แนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางตลอดระยะเวลาโครงงาน และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความรู้ โครงงานนี้จึงสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ มากแก้ว ผู้จัดการโครงการ คุณภูมิ ฆังคะรัตน์ วิศวกรพี่เลี้ยง และพนักงานของบริษัท เอฟ เอ เอส เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ที่ให้คำปรึกษาด้านเทคนิค พร้อมทั้งการประสานงานกับผู้ประกอบการของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษา

ขอขอบคุณ คุณภาสธร วิพุธานุพงษ์ ผู้จัดการโรงงานของบริษัท เอ็นเอส โอจี เอ็นเนอร์จี โซลูชั่น (ไทยแลนด์) จำกัด สำหรับคำปรึกษาด้านข้อมูล และการอนุญาตให้ศึกษาดูงานระบบผลิตพลังงานร่วม และคุณนิพิฐ โพธิสุรินทร์ วิศวกรไฟฟ้าระดับ 4 ฝ่ายเศรษฐกิจพลังงานไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง เขตวัดเลียบ สำหรับคำปรึกษาด้านมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ที่คอยสนับสนุน ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ทวี กฤตเมธาพร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความร้อนทิ้งและการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ 4

2.2 ระบบผลิตพลังงานร่วม 7

2.3 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม 17

2.4 การวิเคราะห์ทางการเงินโครงการประหยัดพลังงาน 20

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา 22

3.1 การสืบค้นและรวบรวมข้อมูล 22

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิค 22

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ 24

บทที่ 4 ผลการดำเนินการศึกษาและการวิเคราะห์ผล 25

4.1 ข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษา 25

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิค 29

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ 31

4.4 ภาพรวมของผลการศึกษาเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม 32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 34

5.1 สรุปผลการศึกษา 34

5.2 ข้อเสนอแนะ 35

บรรณานุกรม 36

ภาคผนวก 38

ภาคผนวก ก 39

ภาคผนวก ข 40

ภาคผนวก ค 42

ภาคผนวก ง 43

ภาคผนวก จ 46

ประวัติผู้เขียน 54

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างแหล่งความร้อนทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม 5
2.2 ความแตกต่างของระบบผลิตพลังงานร่วมที่จำแนกตามชนิดของเครื่องต้นกำลัง 13
2.3 ค่าประสิทธิภาพอ้างอิงของระบบผลิตพลังงานร่วม 17
3.1 กิจกรรมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน และระบบผลิตพลังงานร่วม 24
4.1 ประสิทธิภาพและการลดการใช้เชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วม 30
4.2 ปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม 31
4.3 การประมาณค่าใช้จ่ายและรายได้ด้านพลังงานก่อนและหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม 32
4.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา 32
ง.1 ค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้นตามสัญญาซื้อขายก๊าซธรรมชาติก่อนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม (ระยะเวลา 1 ปี) 47
ง.2 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ตามเกณฑ์ของการไฟฟ้านครหลวงสำหรับการใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 48
ง.3 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของการใช้ไฟฟ้าในโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 49
ง.4 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของการใช้ไฟฟ้าในโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 49
ง.5 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นจากการขายไฟฟ้าของโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 50
ง.6 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นจากการขายไฟฟ้าของโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 50
ง.7 ค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้นตามสัญญาซื้อขายก๊าซธรรมชาติหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม (ระยะเวลา 1 ปี) 51

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 การใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม 8

2.2 การใช้ความร้อนแบบคาสเคด 9

2.3 ระบบผลิตพลังงานร่วม 10

2.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันไอน้ำ 11

2.5 ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซและชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน 12

2.6 สมรรถนะด้านพลังงานในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและ ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ 14

2.7 การกำหนดขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ 15

2.8 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน และระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ 18

3.1 ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมและความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงของ ระบบผลิตพลังงานร่วม 23

3.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมและความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงของ ระบบผลิตพลังงานร่วม 23

4.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ 25

4.2 ระบบผลิตความร้อนรูปแบบไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต 26

4.3 แผนภาพระบบผลิตพลังงานร่วมสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษา 28

4.4 ค่าพลังงานที่คำนวณได้ในขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วมที่กำหนด 29

4.5 ภาพรวมของผลการศึกษาเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ 33

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558; สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2558)

แนวโน้มการขยายตัวทางเศรษฐกิจของไทยและแผนการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานด้านขนส่งตามนโยบายรัฐบาล พลเอก ประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี ตลอดจนการเตรียมการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community: AEC) ส่งผลต่อการใช้พลังงานของประเทศไทย กระทรวงพลังงานจึงวางกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ โดยบูรณาการแผนพลังงาน 5 แผนหลักและวางกรอบเวลาของแผนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-2579 ได้แก่ 1) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (Power Development Plan: PDP) 2) แผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Plan: EEP) 3) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP) 4) แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของไทย (Oil Plan) และ 5) แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง (Gas Plan) เพื่อให้การบริหารจัดการด้านพลังงานของประเทศเป็นไปในแนวทางเดียวกันอย่างเป็นระบบ

การขยายตัวทางเศรษฐกิจจะส่งผลต่อความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น แหล่งพลังงานที่นิยมใช้ในปัจจุบันอยู่ในรูปของพลังงานสิ้นเปลือง คือ เชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีอย่างจำกัดเนื่องจากใช้แล้วหมดไป ราคาผันผวนตามกลไกของตลาด และก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน การดำเนินการขับเคลื่อนแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติสู่การปฏิบัติในกลุ่มเศรษฐกิจ ได้แก่ 1) ภาคอุตสาหกรรม 2) ภาคอาคารธุรกิจ อาคารของรัฐ 3) ภาคบ้านอยู่อาศัย และ 4) ภาคขนส่ง จึงมุ่งตอบสนองต่อประเด็นดังนี้ 1) ด้านความมั่นคงทางพลังงาน (Security) 2) ด้านเศรษฐกิจ (Economy) และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อม (Ecology)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558) แสดงแนวโน้มการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 และเมื่อจำแนกตามชนิดพลังงาน พบว่าอัตราส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายสูงสุดคือพลังงานเชิงพาณิชย์ ได้แก่ น้ำมันสำเร็จรูป ไฟฟ้า ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ รองลงมาเป็นพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม เช่น ฟืน ถ่าน แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และพลังงานหมุนเวียน เช่น แสงอาทิตย์ ฟืน แกลบ กากอ้อย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะ และก๊าซชีวภาพ ส่วนการจำแนกตามกลุ่มเศรษฐกิจจะพบว่าการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่มี

อัตราส่วนระดับสูงคือภาคอุตสาหกรรมและภาคขนส่ง รองลงมาเป็นภาคบ้านอยู่อาศัย ภาคธุรกิจการค้า และภาคเกษตรกรรม และเมื่อพิจาณาเฉพาะภาคอุตสาหกรรมซึ่งแบ่งออกเป็นอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมเหมืองแร่ และอุตสาหกรรมก่อสร้าง จะพบว่าอุตสาหกรรมการผลิตมีอัตราส่วนของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายสูงที่สุด ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะส่วนของอุตสาหกรรมการผลิตจะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายพลังงานหรือต้นทุนการผลิตของผู้ประกอบการซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการบริหารโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางการอนุรักษ์พลังงานสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง การสร้างค่านิยมและจิตใต้สำนึกการใช้พลังงาน การอนุรักษ์พลังงานช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานของผู้ประกอบการซึ่งเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศและยังเป็นการตอบสนองต่อแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติของรัฐ รวมทั้งช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย อย่างไรก็ตามการอนุรักษ์พลังงานในส่วนกระบวนการผลิตจะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อกระบวนการผลิตตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย

โครงงานนี้ศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration) โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษาจัดอยู่ในประเภทอุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream) โดยใช้เกณฑ์การจำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์หลักที่มีในโรงงาน เนื่องจากเป็นการดำเนินการปรับปรุงและตกแต่งผลิตภัณฑ์ เช่น ปั่นด้าย ฟอก ย้อมสี ตกแต่งขั้นสุดท้าย และเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ใช้ความร้อนปริมาณมาก ความต้องการใช้พลังงานในโรงงานแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1) ความร้อนจากก๊าซธรรมชาติที่รับจากระบบท่อจัดจำหน่ายก๊าซธรรมชาติ เพื่อใช้สำหรับผลิตไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และ 2) พลังงานไฟฟ้าที่รับจากระบบเชื่อมต่อไฟฟ้า เพื่อใช้สำหรับระบบปรับอากาศ ระบบอากาศอัด ระบบของเครื่องจักร ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมมีความสนใจในการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งไอน้ำและไฟฟ้า เนื่องจากหม้อน้ำเดิมที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมจึงมุ่งเน้นการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานและเพื่อลดต้นทุนการผลิตด้านค่าใช้จ่ายพลังงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 อนุรักษ์พลังงานโดยใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1.2.2 ลดต้นทุนการผลิตด้านค่าใช้จ่ายพลังงาน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตประเภทสิ่งทอซึ่งตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมบางปู

1.3.2 การอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ

1.3.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์โดยใช้เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 สำรวจและเก็บข้อมูลการใช้งานจริง

1.4.3 ศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากระบบผลิตพลังงานร่วม

1.4.4 วิเคราะห์และคำนวณผลเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

1.4.5 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

1.5.2 ปฏิบัติตามแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติในรัฐบาลพลเอก ประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความร้อนทิ้งและการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557)

โรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการที่มีกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูง มักปล่อยความร้อนทิ้งซึ่งเป็นความร้อนที่ใช้ไม่หมดออกสู่บรรยากาศ และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดจนทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการจึงควรสำรวจแหล่งความร้อนทิ้งและหาแนวทางในการนำความร้อนกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การอุ่นอากาศ การอุ่นน้ำร้อน การต้มน้ำ โดยผ่านอุปกรณ์ เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หม้อน้ำความร้อนทิ้ง ซึ่งจะทำให้เครื่องจักรเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้พลังงาน การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้จึงช่วยลดพลังงานป้อนเข้า เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ และส่งผลให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำลง

2.1.1 นิยามของความร้อนทิ้ง

ความร้อนทิ้ง (Waste Heat) คือ ความร้อนที่ปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศหลังจากผ่านการใช้ประโยชน์แล้ว โดยอาจอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ

1. ก๊าซร้อน เช่น อากาศร้อนจากกระบวนการระบายความร้อน ก๊าซไอเสียร้อนจากเตาเผาและเตาอบ ก๊าซร้อนจากแหล่งอื่น ๆ

2. ของเหลวร้อน เช่น น้ำร้อน (อาจมีสารปนเปื้อน) น้ำมันร้อน ของเหลวร้อนชนิดอื่น

การจำแนกแหล่งความร้อนทิ้งตามเกณฑ์อุณหภูมิ สามารถแบ่งได้ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิสูง อุณหภูมิปานกลาง และอุณหภูมิต่ำ (ตัวอย่างของแหล่งความร้อนทิ้งแสดงดังตารางที่ 2.1) อุณหภูมิของแหล่งความร้อนทิ้งจะส่งผลต่อคุณภาพของความร้อนทิ้ง คุณภาพของความร้อนทิ้งสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่

- ความร้อนทิ้งคุณภาพสูง มีอุณหภูมิมากกว่า 650^{o}c เช่น ก๊าซไอเสียจากเตาเผา เหมาะสำหรับใช้ในระบบผลิตกำลัง (Power Generation) ระบบผลิตพลังงานร่วมหรือระบบโคเจนเนเรชัน (Cogeneration) หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

- ความร้อนทิ้งคุณภาพปานกลาง มีอุณหภูมิระหว่าง 230-650^{o}c เช่น ก๊าซไอเสียจากหม้อน้ำ กังหันก๊าซ เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตไอน้ำความดันปานกลางหรือใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

- ความร้อนทิ้งคุณภาพต่ำ มีอุณหภูมิน้อยกว่า 230°c เช่น คอนเดนเสท น้ำ ของเหลวที่ใช้ระบายความร้อน เหมาะสำหรับให้ความร้อนขั้นต้น เช่น อุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำ อุ่นของเหลว อุ่นอากาศ ผลิตน้ำร้อน หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างแหล่งความร้อนทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม

แหล่งความร้อนทิ้ง	อุณหภูมิ (°c)
1. แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิสูง	
Nickel Refining Furnace	1,371-1,649
Aluminum Refining Furnace	649-760
Zinc Refining Furnace	760-1,093
Copper Refining Furnace	760-816
Steel Heating Furnace	927-1,038
Glass Melting Furnace	982-1,538
Solid Waste Incinerators	649-982
2. แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิปานกลาง	
Steam Boiler Exhausts	232-482
Gas Turbine Exhausts	371-538
Reciprocating Engine Exhausts	316-593
Heat Treating Furnace	427-649
Drying and Baking Ovens	232-593
3. แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ	
Process Steam Condensate	54-88
Cooling Water from:	
Furnace Doors	32-54
Bearings	32-88
Welding Machines	32-88
Injection Molding Machines	32-88
Air Compressor	27-49
Internal Combustion Engine	66-121
Condenser of Air Conditioner and Refrigerator	32-43

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557 : 4-3

2.1.2 การประเมินปริมาณและคุณภาพของความร้อนทิ้ง

การสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซร้อนหรือของเหลวร้อนเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนสูง ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (Waste Heat Recovery) ขั้นแรกต้องประเมินตัวแปร คือ อัตราการไหลของกระแส อุณหภูมิ และองค์ประกอบของก๊าซร้อนหรือของเหลวร้อน เมื่อหาค่าตัวแปรเหล่านี้ได้แล้ว จะกำหนดวิธีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ซึ่งต้องสอดคล้องกับการใช้งาน และจะต้องพิจารณาศักยภาพในการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ การใช้ความร้อนทิ้งอย่างคุ้มทุน ทางเลือกของการใช้ความร้อนทิ้ง เทคโนโลยีที่ใช้ในการนำความร้อนทิ้งในก๊าซร้อนหรือของเหลวร้อนกลับมาใช้ เช่น การอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ การผลิตไอน้ำ การผลิตกระแสไฟฟ้า

2.1.3 แนวทางการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

แนวทางในการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมกลับมาใช้ใหม่สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การนำความร้อนทิ้งจากก๊าซร้อนกลับมาใช้ใหม่ ก๊าซร้อนหรือก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งจากหม้อน้ำหรือเตาเผาเป็นการสูญเสียความร้อนปริมาณมาก (10-50%) ดังนั้นจึงควรนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ เช่น ใช้อุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้โดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (เช่น Recuperator, Recuperative Burner และ Air Preheater) ใช้ผลิตไอน้ำโดยใช้ Waste Heat Boiler ใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำโดยใช้ Economizer อุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาเผาโดยเพิ่มบริเวณ Preheating Zone นำอากาศร้อนจากบริเวณ Cooling Zone ในการอบแห้ง

2. การนำความร้อนทิ้งจากน้ำร้อนหรือของเหลวร้อนกลับมาใช้ใหม่ น้ำหรือของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศจัดเป็นของเหลวที่มีพลังงานอยู่ภายใน กรณีที่ของเหลวสะอาด เช่น คอนเดนเสท น้ำระบายความร้อนในกระบวนการผลิต ควรนำกลับมาใช้โดยตรงกับหม้อน้ำหรือใช้ผลิตไอน้ำแฟลชเพื่อนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิต แต่ถ้าของเหลวสกปรก เช่น น้ำร้อนในกระบวนการฟอกย้อม น้ำระบายของหม้อน้ำ น้ำร้อนในกระบวนการผลิต การนำกลับมาใช้ประโยชน์จะต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เช่น การนำความร้อนทิ้งจากน้ำย้อมกลับมาใช้อุ่นน้ำก่อนเข้าเครื่องย้อม หรือนำน้ำระบายที่มีความดันสูงมาผลิตไอน้ำแฟลชเพื่อนำไปอุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำ ประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้โดยทั่วไปมักเป็นแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) และเปลือกและท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger) ประเภทไหลสวนทางกัน (Counter Flow) เพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่า อย่างไรก็ตามการนำความร้อนทิ้งจากน้ำร้อนหรือของเหลวร้อนกลับมาใช้ใหม่ จะต้องพิจารณาความคุ้มค่า

ในการลงทุนและเสถียรภาพในการนำกลับมาใช้ เนื่องจากน้ำร้อนหรือของเหลวร้อนจัดเป็นแหล่งพลังงานคุณภาพต่ำ ประเด็นที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม คือ ความต่อเนื่องของความร้อนทิ้ง อุณหภูมิของความร้อนทิ้ง ปริมาณความร้อนทิ้ง ความสะอาด และตำแหน่งที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

3. การนำความร้อนทิ้งจากอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ อากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศจัดเป็นอากาศที่มีพลังงานอยู่ภายใน กรณีที่อากาศสะอาด ควรนำกลับมาใช้โดยตรงในกระบวนการเดิมหรือกระบวนการใหม่ แต่ถ้าอากาศสกปรก เช่น ก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งจากเตาเผามีฝุ่นละอองและสิ่งเจือปน การนำกลับมาใช้ประโยชน์จะต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยทั่วไปมักเป็นแบบวงล้อความร้อน (Heat Wheels) ท่อความร้อน (Heat Pipes) และขดความร้อน (Heat Coils)

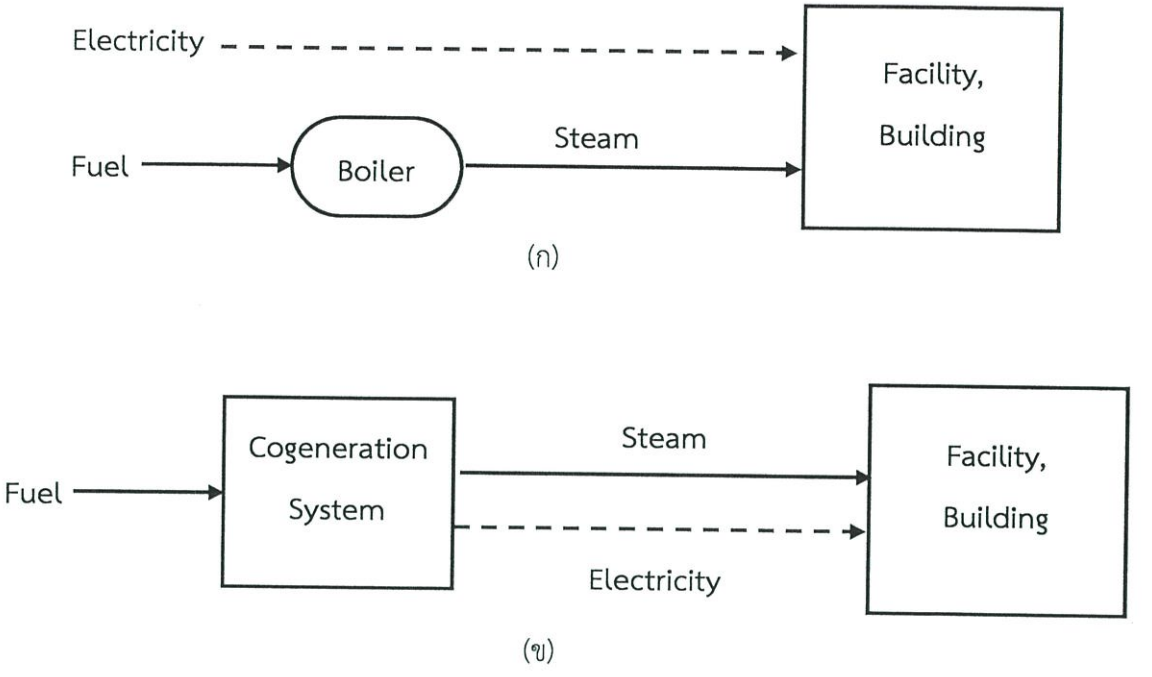
2.2 ระบบผลิตพลังงานร่วม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ก และ มปป.ข; ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. 2552; U.S. Environmental Protection Agency. 2015a)

โรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในรูปแบบต่างๆ แต่ระบบผลิตพลังงานส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการมักผลิตเฉพาะความร้อน ส่วนพลังงานไฟฟ้าจะรับซื้อมาจากผู้ขายไฟฟ้า ระบบผลิตพลังงานร่วมหรือระบบโคเจนเนอเรชันจึงเข้ามามีบทบาทอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงเพียงชนิดเดียวแต่สามารถผลิตได้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อน โรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการที่ออกแบบระบบผลิตพลังงานร่วมให้เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานของตนเอง จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยมีต้นทุนด้านพลังงานที่ต่ำลงและได้ความร้อนทิ้งในรูปไอน้ำหรือก๊าซร้อนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนผลิตกระแสไฟฟ้าไปเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น การต้มน้ำร้อน การทำความเย็น สิ่งเหล่านี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน เพิ่มเสถียรภาพระบบไฟฟ้า และได้ความร้อนไปใช้งาน

2.2.1 นิยามของระบบผลิตพลังงานร่วม

ระบบผลิตพลังงานร่วมหรือระบบโคเจนเนอเรชัน (Cogeneration System) คือ ระบบที่ใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งพลังงานปฐมภูมิชนิดเดียวกันในการผลิตและจ่ายพลังงานทุติยภูมิตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยทั่วไป คือ พลังงานไฟฟ้า (พลังงานกล) และพลังงานความร้อน (ก๊าซร้อน ของเหลวร้อน ไอน้ำ) ระบบผลิตพลังงานร่วมจึงสามารถใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าและใช้ประโยชน์จากความร้อนทิ้งในขณะเดียวกัน ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วม คือ มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือระบบผลิตความร้อนแบบแยกส่วนที่มีอยู่เดิม (Separated Heat and Power System) ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

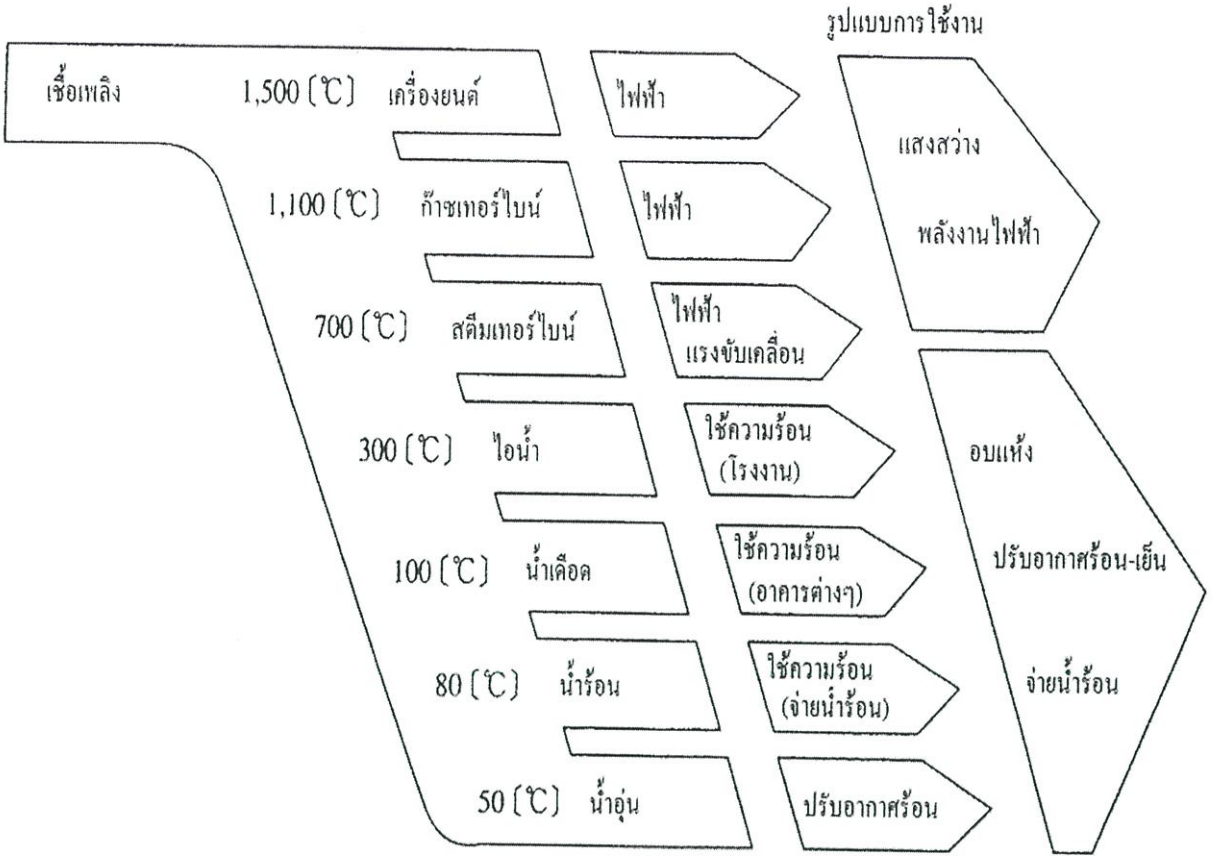
ผลิตพลังงานร่วมสูงถึง 70-80% เมื่อเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 25-45% เนื่องจากความร้อนทิ้งที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจะถูกปล่อยทิ้งให้กับบรรยากาศโดยไม่ถูกนำไปใช้งาน ดังนั้นระบบผลิตพลังงานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในระยะหลังจึงนิยมการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม ความแตกต่างของระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม
(ก) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและระบบผลิตไอน้ำแบบแยกส่วน และ (ข) ระบบผลิตพลังงานร่วม

2.2.2 หลักการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วม

ระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นระบบที่นำความร้อนมาใช้งานแบบคาสเคด (ภาพที่ 2.2) คือ การนำความร้อนมาใช้งานจากระดับอุณหภูมิสูงไล่ลงไปตามลำดับ โดยแปลงความร้อนที่มีเอ็กเซอร์จีสูงหรือความร้อนคุณภาพสูงซึ่งได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าและแรงขับเคลื่อนก่อน (ซึ่งก็คือการรักษาเอ็กเซอร์จี) จากนั้นจึงใช้ความร้อนทิ้งซึ่งมีคุณภาพต่ำลงในวัตถุประสงค์ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำกว่า เช่น ไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต พลังงานไฟฟ้า แสงสว่าง การอบแห้ง การปรับอากาศร้อน-เย็น การจ่ายน้ำร้อน วิธีการใช้ความร้อนแบบคาสเคดนี้สามารถนำพลังงานเคมีที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงฟอสซิลมาใช้งานตามลำดับโดยให้สูญเสียเอ็กเซอร์จีน้อยที่สุด จึงจัดเป็นระบบในอุดมคติสำหรับการแปลงพลังงาน



ภาพที่ 2.2 การใช้ความร้อนแบบคาสเคด

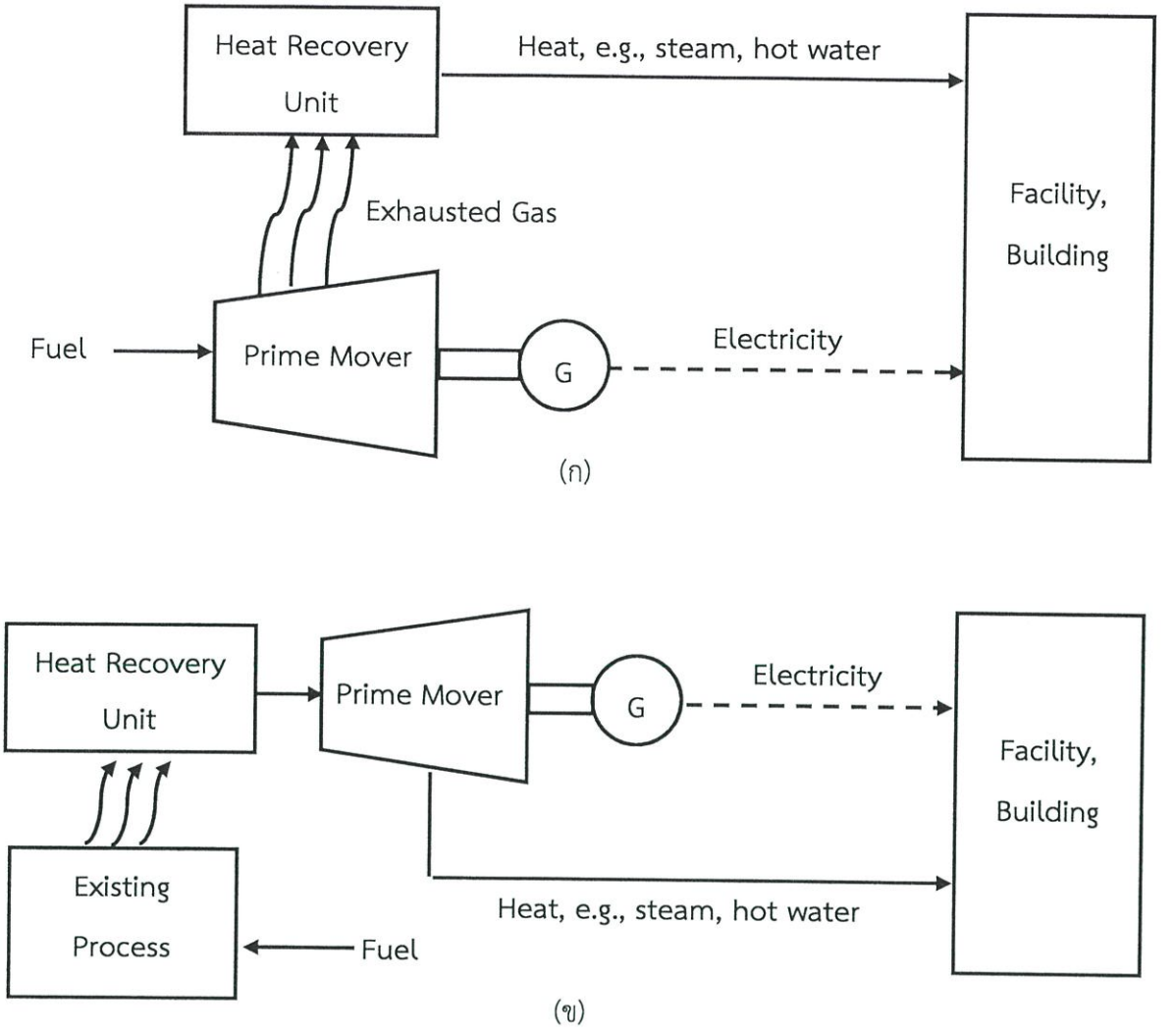
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, มปปก : 3-17

2.2.3 ประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วม

การจำแนกระบบผลิตพลังงานร่วมตามลำดับการใช้ประโยชน์ของความร้อนก่อนหรือหลังการผลิตพลังงานกล สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบน (Topping Cycle Cogeneration) คือ วัฏจักรผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานกลก่อนแล้วจึงนำความร้อนทิ้งไปใช้ประโยชน์ (ภาพที่ 2.3 (ก)) เป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าโดยใช้ไอน้ำหรือก๊าซร้อนความดันสูง แล้วจึงใช้ความร้อนทิ้งจากไอน้ำหรือก๊าซร้อนความดันต่ำไปใช้ในกระบวนการผลิต

2. ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรล่าง (Bottoming Cycle Cogeneration) คือ วัฏจักรนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ก่อนแล้วจึงผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานกล (ภาพที่ 2.3 (ข)) เป็นระบบที่เอาความร้อนจากเชื้อเพลิงมาใช้ก่อนในกระบวนการผลิต เช่น หม้อเผาปูนซีเมนต์ เตาหลอมแก้ว เตาหลอมเหล็ก แล้วจึงใช้ความร้อนทิ้งผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 2.3 ระบบผลิตพลังงานร่วม (ก) แบบวัฏจักรบน และ (ข) แบบวัฏจักรล่าง

การเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมจะขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม โดยทั่วไประบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบนจะเหมาะกับอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ โรงกลั่นน้ำมัน ส่วนระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรล่างจะเหมาะกับอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เช่น อุตสาหกรรมผลิตซีเมนต์ อุตสาหกรรมผลิตเหล็ก อุตสาหกรรมผลิตแก้ว และอุตสาหกรรมเคมี

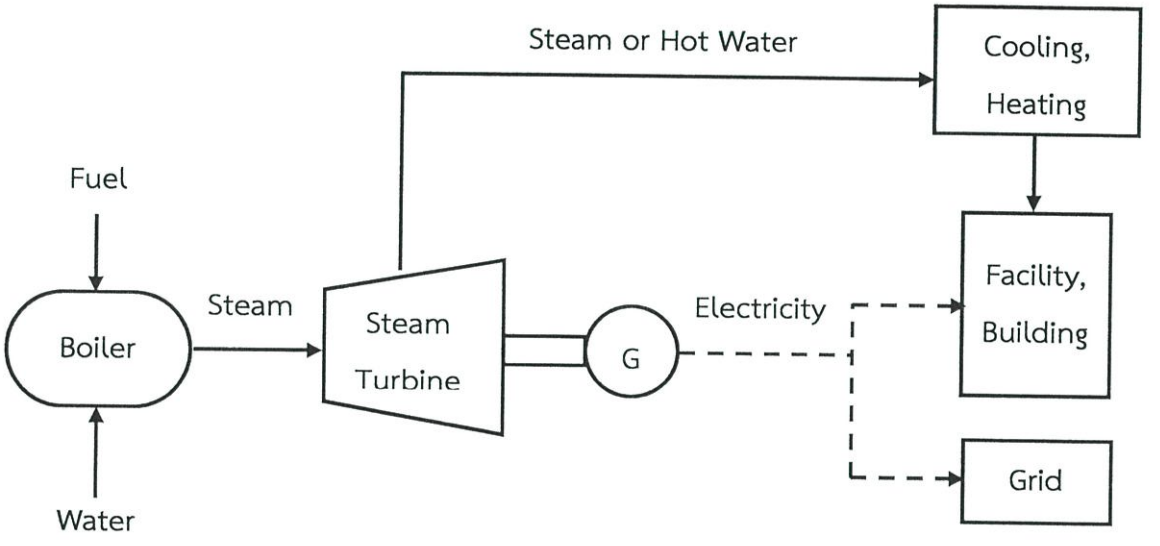
การจำแนกระบบผลิตพลังงานร่วมตามชนิดของเครื่องต้นกำลัง (Prime Mover) สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System) ประกอบด้วย หม้อน้ำ กังหันไอน้ำ โดยใช้เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว หรือเชื้อเพลิงก๊าซ มีหลักการทำงานคือ เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำในหม้อน้ำและผลิตไอน้ำยวดยิ่ง (Superheat

Steam) ที่อุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำจะไปขับกังหันไอน้ำได้กำลังงานที่เพลาและขับเครื่องมือกล เช่น ปั๊ม คอมเพรสเซอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป (ภาพที่ 2.4) เมื่อพิจารณาตามชนิดของกังหัน ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันไอน้ำจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ

- กังหันชนิด Back Pressure ไอน้ำที่ผ่านกังหันไอน้ำจะถูกปล่อยออกจากตัวกังหัน และมีความดันเหลืออยู่ประมาณ 3-20 บาร์ สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไปได้

- กังหันชนิด Extraction ไอน้ำบางส่วนถูกปล่อยออกมาในช่วงกลางของกังหัน และไอน้ำที่ปล่อยออกมานี้จะมีความดันหลายขนาดให้เลือกตามความเหมาะสมกับจุดใดจุดหนึ่งของกระบวนการผลิต ไอน้ำที่เหลือจะถูกปล่อยให้ขยายตัวผ่านกังหัน เพื่อผลิตไฟฟ้าจนมีความดันต่ำแล้วจึงออกจากกังหัน

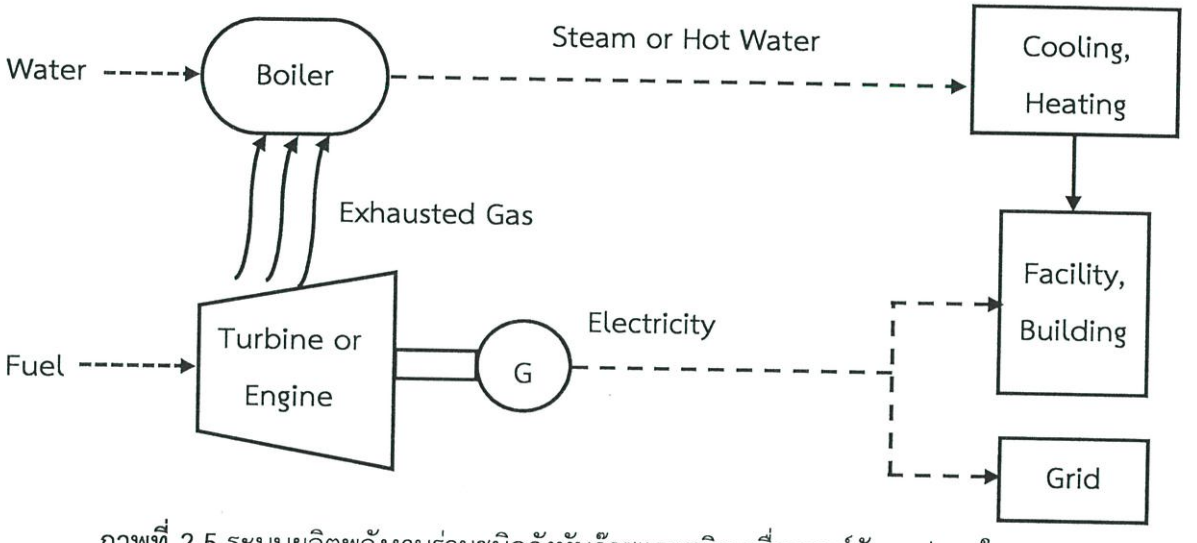


ภาพที่ 2.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันไอน้ำ

2. ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ (Gas Turbine Cogeneration System) มีหลักการทำงาน คือ คอมเพรสเซอร์จะอัดอากาศจากภายนอกและนำเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้ามาผสมกับอากาศและจุดระเบิด เกิดก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ขึ้น ซึ่งจะไปขยายตัวผ่านกังหันก๊าซและหมุนกังหันก๊าซ แกนของกังหันก๊าซจะขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ก๊าซร้อนที่ปล่อยจากกังหันก๊าซจะมีอุณหภูมิ 450-550^{o}c และใช้ Waste Heat Boiler เพื่อผลิตไอน้ำที่ความดันต่ำๆ หรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

3. ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Reciprocating Engine Cogeneration System) ระบบนี้สามารถแบ่งได้ตามประเภทเครื่องยนต์เป็น 2 ชนิด คือ เครื่องยนต์ Spark-ignition Engines ใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงก๊าซ และเครื่องยนต์ Compression-ignition Engines ใช้น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันเตา พลังงานที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 100 kW-10 MW ความร้อนทิ้งอยู่ในรูปของก๊าซไอเสีย น้ำหล่อเย็นเสื้อสูบและน้ำมันหล่อลื่น การนำความร้อนไปใช้อาจใช้คู่กับ Waste Heat Boiler ในการผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อน

การทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซและระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายในแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซและชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน

2.2.4 เกณฑ์การเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม

ระบบผลิตพลังงานร่วมที่จำแนกตามชนิดของเครื่องต้นกำลังมีกำลังผลิต ขอบเขตการใช้งานและสมรรถนะของระบบที่แตกต่างกัน แต่มีประสิทธิภาพรวมและการประหยัดพลังงานที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 2.2) เกณฑ์ในการพิจารณาการเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม ได้แก่ อัตราส่วนความต้องการความร้อนต่อไฟฟ้า (Heat to power ratio: H/P) ของโรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการ เพราะระบบผลิตพลังงานร่วมจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อค่า H/P ของระบบมีค่าใกล้เคียงกับค่า H/P ของสถานประกอบการ ชนิดของเชื้อเพลิง คุณภาพของความร้อนที่ต้องการ ลักษณะการใช้ความร้อนและไฟฟ้าของโรงงานตลอดจนระยะเวลาการใช้งาน ต้นทุนการก่อสร้าง และเงื่อนไขด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของระบบผลิตพลังงานร่วมที่จำแนกตามชนิดของเครื่องต้นกำลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. มปป.ข)

รายละเอียด	กังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure	กังหันก๊าซ	เครื่องยนต์สันดาปภายใน
เชื้อเพลิง	ก๊าซ เชื้อเพลิงเหลว ของแข็ง	ก๊าซ เชื้อเพลิงเหลว	ก๊าซ เชื้อเพลิงเหลว
กำลังผลิต	500 kW-100 MW	500 kW-100 MW	100 kW-10 MW
ความร้อนทิ้ง	ไอน้ำ 150°c	ก๊าซร้อน 450-550°c	น้ำร้อน 50 % ก๊าซร้อน 450°c 50%
อัตราส่วนความต้องการความร้อนต่อไฟฟ้า	5-20	2-5	1-3
ประสิทธิภาพรวม	สูงสุด 80%	55-75%	50-80%

2.2.5 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตพลังงานร่วม

ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วม เช่น

1. ประหยัดพลังงาน ระบบผลิตพลังงานร่วมมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน 50-90% ซึ่งเมื่อเทียบกับระบบแยกผลิตสำหรับการผลิตความร้อนจะมีประสิทธิภาพ 75% และการผลิตไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพ 35-40%

2. ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากระบบผลิตพลังงานร่วมช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพราะความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตพลังงานในขั้นต้นจะถูกนำไปผลิตพลังงานรูปอื่นต่อไป

3. เงินลงทุนเริ่มแรกของระบบผลิตพลังงานร่วมต่ำกว่าเงินลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

4. ระบบผลิตพลังงานร่วมช่วยลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ของการไฟฟ้า จึงลดภาระของภาครัฐในการสร้างโรงไฟฟ้า

ข้อจำกัดของระบบผลิตพลังงานร่วม เช่น

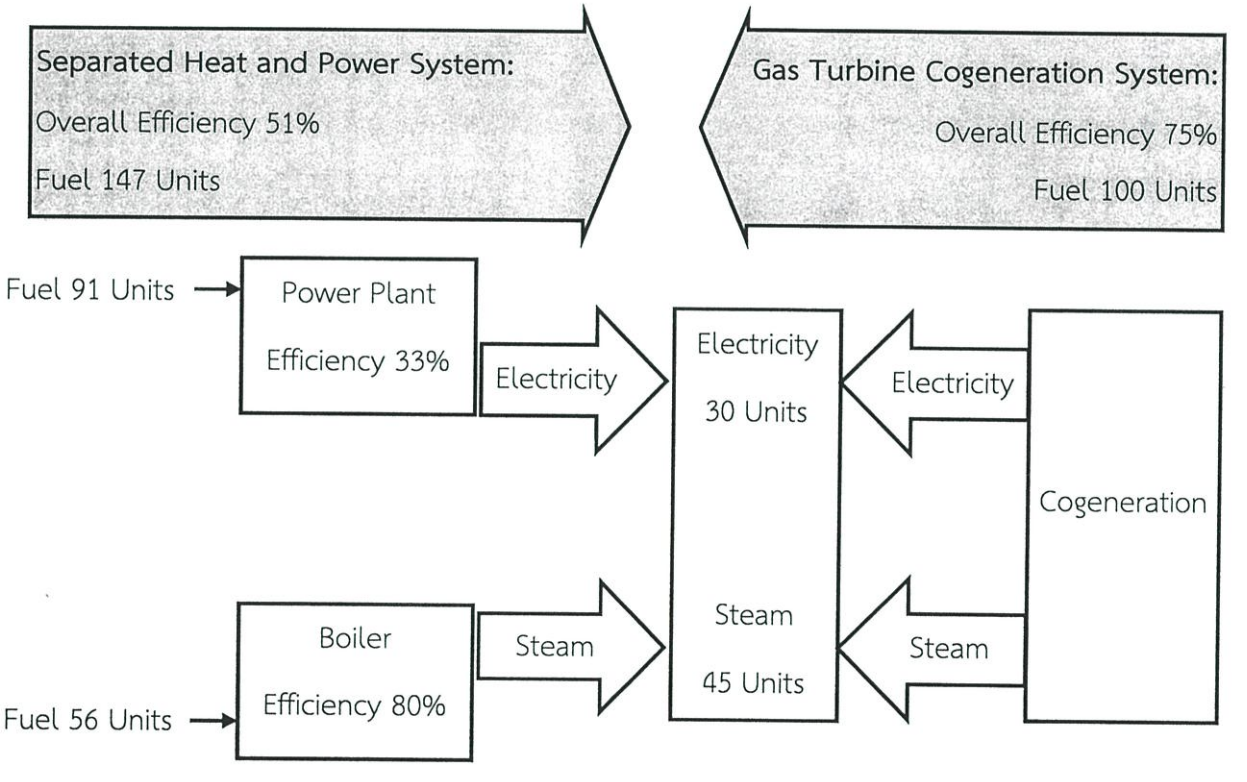
1. ความยุ่งยากและซับซ้อน ระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นระบบที่ยุ่งยากและซับซ้อนต่อการออกแบบ ติดตั้ง และควบคุม จึงจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์มาดำเนินงาน

2. ต้นทุนการติดตั้งและการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง

3. กรณีที่ติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมซึ่งมีกำลังการผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนเกินความต้องการใช้ทำให้อาจมีไฟฟ้าหรือไอน้ำเหลือ และอาจเกิดความยุ่งยากในการจัดการกับพลังงานส่วนเกินนี้

2.2.6 การอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วม

ระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนมีสมรรถนะด้านพลังงานที่สูงกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน การใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมยังช่วยลดการใช้พลังงานปฐมภูมิ ซึ่งจะช่วยลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ ภาพที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านพลังงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ โดยแสดงให้เห็นว่าระบบผลิตพลังงานร่วมมีประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ (75%) ที่สูงกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน (51%) และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิ จะพบว่าระบบผลิตพลังงานร่วมใช้พลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิรวม (100 หน่วยเชื้อเพลิง) ต่ำกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน (147 หน่วยเชื้อเพลิง)

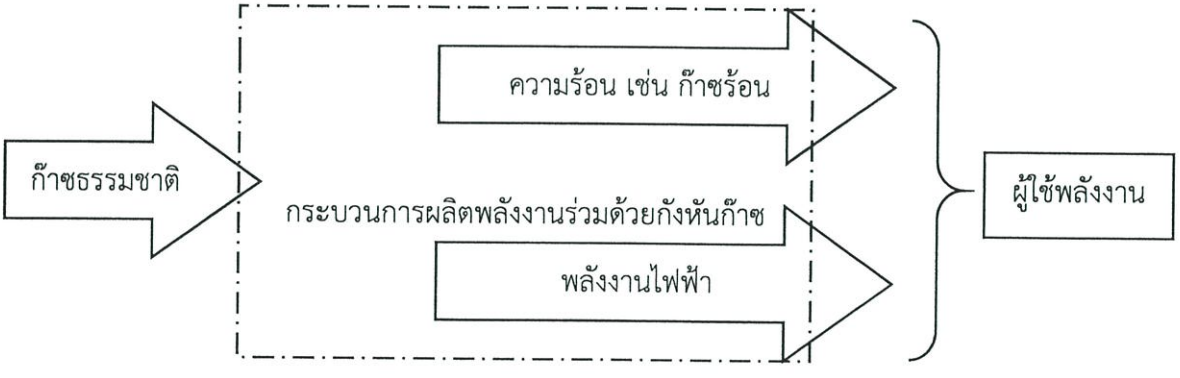


ภาพที่ 2.6 สมรรถนะด้านพลังงานในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน และระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ

ที่มา : ดัดแปลงจาก U.S. Environmental Protection Agency, 2015a : 5

การอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถพิจารณาได้จากสมรรถนะด้านพลังงาน โดยเฉพาะดัชนีชี้วัดการประหยัดพลังงาน เช่น ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม ความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตรวจวัดปริมาณพลังงานที่เกี่ยวข้องในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตได้และถูกนำไปใช้ประโยชน์จากระบบผลิตพลังงานร่วม แสดงในคู่มือการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมและการคำนวณค่า PES สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ระบบ Cogeneration (ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. 2552)

1. ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration Overall Efficiency: η) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลรวมของพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ผลิตจากระบบผลิตพลังงานร่วม ต่อพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วมภายในช่วงเวลาที่กำหนด การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานต้องเริ่มจากการกำหนดขอบเขตของระบบ (ภาพที่ 2.7) เครื่องต้นกำลัง เช่น กังหันก๊าซที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าและความร้อนให้แก่ผู้ใช้พลังงาน จะจัดอยู่ภายในขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วม ส่วนการใช้ความร้อนและพลังงานกลภายในระบบผลิตพลังงานร่วมจะต้องไม่ถูกรวมในส่วนของพลังงานที่ระบบผลิตได้ และอุปกรณ์ผลิตความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าเสริมอื่นๆ ที่ผลิตความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวซึ่งไม่จัดเป็นกระบวนการผลิตพลังงานร่วม จะต้องไม่ถูกรวมอยู่ในขอบเขตของระบบ เช่น หม้อน้ำเสริม หม้อน้ำสำรอง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง



ภาพที่ 2.7 การกำหนดขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วมคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากสมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3 ดังนี้

$$\eta = \frac{p - q_{Cogen}}{f_{Cogen}} \quad (2.1)$$

$$q_{Cogen} = q - q_{Non\text{-}cogen} \quad (2.2)$$

$$f_{Cogen} = f - f_{Non\text{-}cogen} \quad (2.3)$$

โดย η = ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม

p = พลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วม โดยคิดจากพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ (MWh)

q = ความร้อนรวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมที่นำไปใช้ประโยชน์ได้นอกเหนือจากการนำไปใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยตรง (MWh)

q_{Cogen} = ความร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมและถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการอื่นๆ (MWh)

$q_{Non\text{-}cogen}$ = ความร้อนที่ผลิตได้จากกระบวนการที่ไม่ใช่ระบบผลิตพลังงานร่วมและถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการอื่นๆ (MWh)

f = พลังงานเชื้อเพลิงรวมที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้ค่าความร้อนต่ำ (MWh)

f_{Cogen} = พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้ค่าความร้อนต่ำ (MWh)

$f_{Non\text{-}cogen}$ = พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการที่ไม่ใช่ระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้ค่าความร้อนต่ำ (MWh)

2. ความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง (Primary Energy Savings: PES) หมายถึง ร้อยละของพลังงานปฐมภูมิที่ประหยัดได้เมื่อใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System) โดยคิดเทียบจากพลังงานปฐมภูมิที่ต้องใช้จริงเมื่อใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน (Separated Heat and Power System) และใช้ผลิตพลังงานดังกล่าวในปริมาณที่เท่ากันด้วยค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันด้วยเทคโนโลยีที่สามารถจัดหาได้ในปัจจุบัน ค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการใช้พลังงานปฐมภูมิในระบบผลิตพลังงานร่วม

ความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วมคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 ดังนี้

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{Cogen\ H_\eta}{Ref\ H_\eta} + \frac{Cogen\ E_\eta}{Ref\ E_\eta}}\right) \times 100\% \quad (2.4)$$

โดย PES = ความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง (%)

Cogen H_η = ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์จากระบบผลิตพลังงานร่วม หรืออัตราส่วนของความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ผลิตจากระบบผลิตพลังงานร่วม (q) หารด้วยพลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิรวม (f) ที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม

Cogen E_η = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานร่วม หรืออัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (p) หารด้วยพลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิรวม (f) ที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม

Ref H_η = ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์อ้างอิง โดยอ้างอิงจากระบบที่ผลิตความร้อนเพียงอย่างเดียวด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน (ตารางที่ 2.3)

Ref E_η = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอ้างอิง โดยอ้างอิงจากระบบที่ผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน (ตารางที่ 2.3)

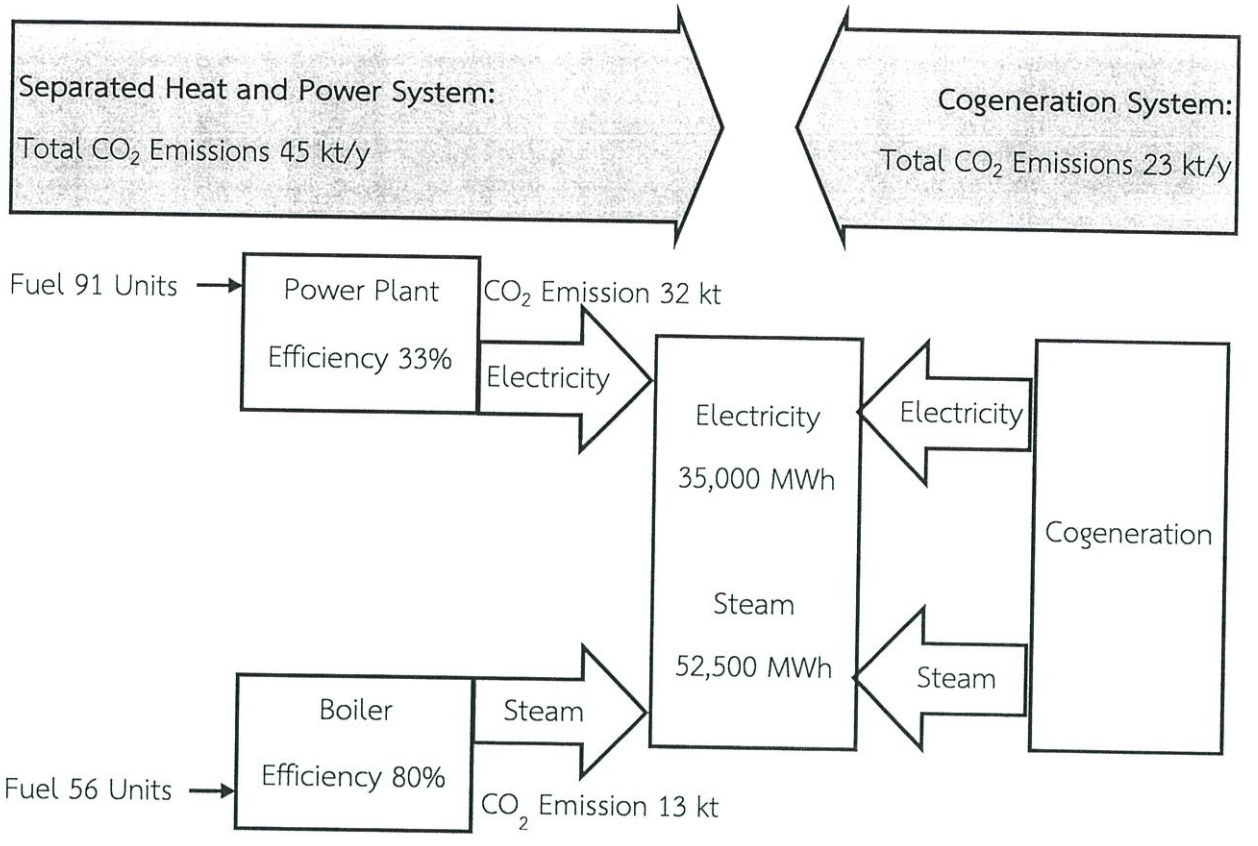
ตารางที่ 2.3 ค่าประสิทธิภาพอ้างอิงของระบบผลิตพลังงานร่วม (ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. 2552)

เชื้อเพลิง	Ref H_η	Ref E_η
ก๊าซธรรมชาติ	85%	45%
ถ่านหิน	80%	40%

2.3 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2557; U.S. Environmental Protection Agency. 2015a)

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิโดยเฉพาะเชื้อเพลิงฟอสซิลในรูปถ่านหิน น้ำมันดิบ และแก๊สธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ ผลกระทบเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ปัจจุบันการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมภายในโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะระบบผลิตพลังงานร่วมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน รวมถึงช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (ภาพที่ 2.8)

148584



ภาพที่ 2.8 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน และระบบผลิตพลังงานร่วมชนิดกังหันก๊าซ

ที่มา : ดัดแปลงจาก U.S. Environmental Protection Agency, 2015a : 5

การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานร่วมเมื่อเปรียบเทียบกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน คำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$C_S = (C_T + C_G) - C_{CHP} \qquad (2.5)$$

โดย C_S = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (tCO_2)

C_T = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (tCO_2)

C_G = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (tCO_2)

C_{CHP} = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม (tCO_2)

ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (C_T) โดยคิดเทียบเท่ากับความร้อนที่ระบบผลิตพลังงานร่วมผลิตได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6 และ 2.7

$$C_T = F_T \times EF_F \quad (2.6)$$

$$F_T = CHP_T/\eta_T \quad (2.7)$$

โดย C_T = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (tCO_2)

F_T = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเมื่อคิดจากความร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (MWh)

EF_F = ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับระบบผลิตความร้อนอย่างเดียวที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติ (tCO_2/MWh) คิดที่ 116.9 lb/MMBtu (U.S. Environmental Protection Agency. 2015a)

= 116.9 lb/MMBtu x 0.4536 kg/lb x 3.412 MMBtu/MWh

= 180.92 kg/MWh

= 0.18 tCO_2/MWh

CHP_T = ความร้อนรวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกเหนือจากการนำไปใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยตรง (MWh)

η_T = ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ผลิตความร้อน คิดที่ 80% สำหรับหม้อน้ำทั่วไปที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (U.S. Environmental Protection Agency. 2015a)

ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (C_G) โดยคิดเทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตพลังงานร่วมผลิตได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8

$$C_G = E_G \times EF_G \quad (2.8)$$

โดย C_G = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (tCO_2)

E_G = พลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้เมื่อคิดจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (MWh)

EF_G = ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าประเทศไทย (tCO_2/MWh) คิดที่ 0.5897 tCO_2/MWh (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2557)

ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม (C_{CHP}) คำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$C_{CHP} = F_{CHP} \times EF_F \quad (2.9)$$

โดย C_{CHP} = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม (tCO_2)

F_{CHP} = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในระบบผลิตพลังงานร่วม (MWh)

EF_F = ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับระบบผลิตพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (tCO_2/MWh) คิดที่ 0.18 tCO_2/MWh

2.4 การวิเคราะห์ทางการเงินโครงการประหยัดพลังงาน (วัชระ มั่งวิทิตกุล. 2548)

การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจของรัฐบาลจะให้ความสำคัญกับมูลค่าของผลประโยชน์สุทธิที่ให้กับสังคมโดยรวม (Net Social Benefits) ภายใต้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการวิเคราะห์โครงการของเอกชนจะเน้นมูลค่าผลประโยชน์สุทธิที่ให้กับเจ้าของโครงการ (Internal to the Project Itself) หลักการวิเคราะห์โครงการจะพิจารณาที่ผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในรูปตัวเงินของโครงการเพื่อประเมินศักยภาพของโครงการต่อการลงทุน เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบ่งเป็น เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลาและเกณฑ์แบบปรับค่าเวลา สำหรับการวิเคราะห์ทางการเงินเบื้องต้นจะใช้เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลาโดยกำหนดให้ค่าเงินคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุนและผลตอบแทนการลงทุน

2.4.1 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะเวลาที่โครงการใช้ในการจ่ายคืนเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการ คำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (2.10)$$

เงินลงทุนเริ่มต้นประกอบด้วยค่าอุปกรณ์ ค่าติดตั้ง และค่าบริหารโครงการ

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ต่อปีหลังจากหักค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการและการบำรุงรักษาแล้ว

ระยะเวลาคืนทุนสำหรับโครงการประหยัดพลังงานที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปแล้วจะไม่เกิน 5 ปี แต่ถ้าโครงการมีขนาดใหญ่ ใช้เงินลงทุนสูง ระยะเวลาในการคืนทุนที่ยอมรับได้อาจมากกว่า 5 ปี ข้อดีของการใช้วิธีระยะเวลาคืนทุน ได้แก่ วิเคราะห์ได้ง่าย วิเคราะห์เบื้องต้นได้รวดเร็ว และผู้อื่นสามารถเข้าใจได้ง่าย แต่มีข้อจำกัด ได้แก่ ไม่คำนึงถึงผลประหยัดที่ได้หลังจากที่คืนทุนแล้ว ไม่คำนึงถึงมูลค่าโครงการ และไม่คำนึงถึงค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

2.4.2 ผลตอบแทนการลงทุน

ผลตอบแทนการลงทุน (Return on Investment: ROI) คือ ร้อยละของผลประหยัดสุทธิที่ได้รับตลอดอายุการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกับเงินลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11

$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน (ROI)} = \frac{\text{ผลประหยัดตลอดอายุการใช้งาน-เงินลงทุน}}{\text{เงินลงทุน}} \times 100\% \qquad (2.11)$$

การวิเคราะห์โครงการประหยัดพลังงานด้วยวิธีผลตอบแทนการลงทุนจะเลือกโครงการที่ให้ค่าผลตอบแทนการลงทุนสูงสุดเป็นอันดับแรกและลดหลั่นลงมาตามลำดับ ข้อดีของการใช้วิธีผลตอบแทนการลงทุน ได้แก่ วิเคราะห์ได้ง่าย วิเคราะห์เบื้องต้นได้รวดเร็ว คำนึงถึงผลประโยชน์ของโครงการ วิธีนี้ลดข้อจำกัดของวิธีระยะเวลาการคืนทุนเพราะจะคำนึงถึงความประหยัดที่ได้หลังจากที่คืนทุนแล้ว ส่วนข้อจำกัด ได้แก่ ไม่คำนึงถึงค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ไม่คำนึงถึงระยะเวลาของการได้มาซึ่งผลประโยชน์ โดยที่ให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินจำนวนเท่ากันในปัจจุบัน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

โครงงานสหกิจศึกษาเรื่องการอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้รับข้อมูลบางส่วนที่สามารถเปิดเผยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมบางปู และมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 การสืบค้นและรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ข้อมูลของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

สืบค้น ศึกษา และรวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่างๆ ทั้งที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิของโครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอและการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้ายในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจากเว็บไซต์ของกระทรวงอุตสาหกรรมและกระทรวงพลังงานตามลำดับ ตลอดจนเว็บไซต์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง หนังสือ บทความวิชาการ และบทความวิจัย และข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้ายในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษา

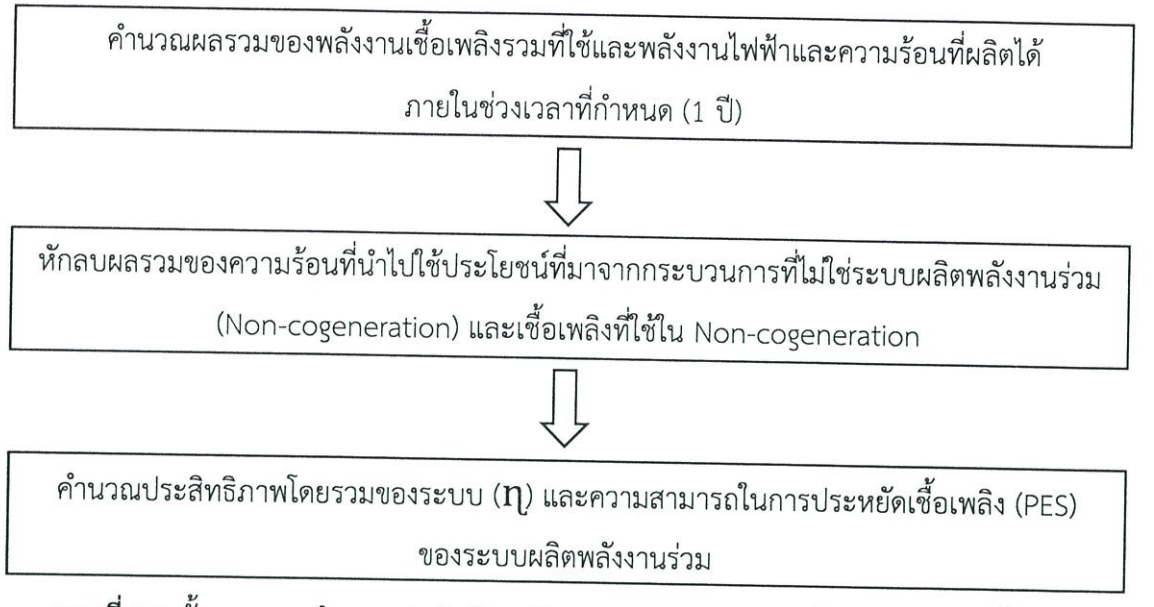
3.1.2 ข้อมูลของระบบผลิตพลังงานร่วม

สืบค้น ศึกษา และรวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่างๆ ทั้งที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิของหลักการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมจากเว็บไซต์ของกระทรวงพลังงานหรือเว็บไซต์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง หนังสือ บทความวิชาการและบทความวิจัย และเอกสารของโรงงานอุตสาหกรรมที่ศึกษา และข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง

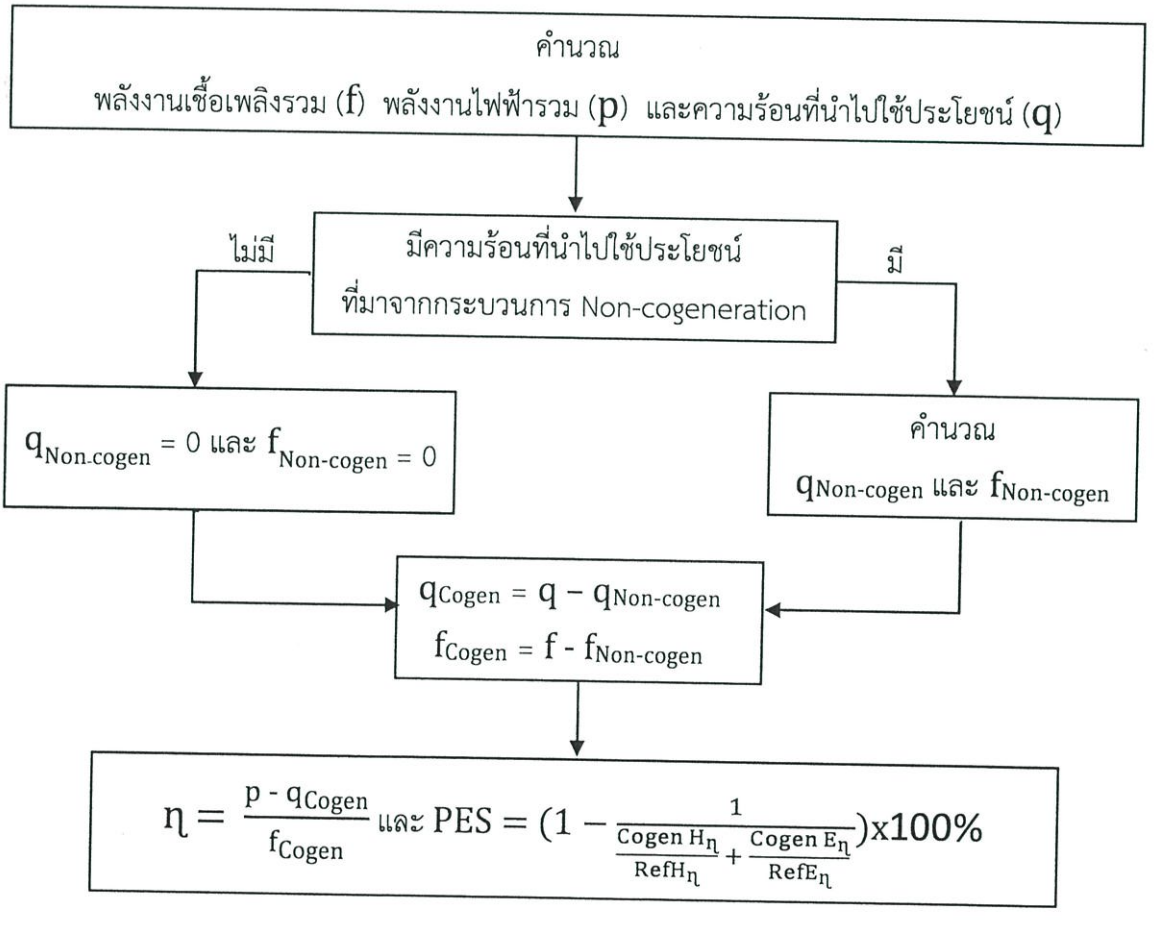
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิค

3.2.1 ด้านการประหยัดพลังงาน

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคด้านการประหยัดพลังงานอ้างอิงจากคู่มือการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมและการคำนวณค่า PES สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ระบบ Cogeneration (ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. 2552) โดยพิจารณาค่าประสิทธิภาพโดยรวม (η) และค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง (Primary Energy Savings: PES) ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วม ตามขั้นตอนการคำนวณในภาพที่ 3.1 และใช้สมการคำนวณในภาพที่ 3.2 สำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมต้องกำหนดขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วม แล้วจึงคำนวณค่าดังกล่าว



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมและความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วม



ภาพที่ 3.2 สมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมและความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วม

3.2.2 ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอ้างอิงจากเอกสาร Fuel and Carbon Dioxide Emissions Savings Calculation Methodology for Combined Heat and Power Systems (U.S. Environmental Protection Agency. 2015a) โดยพิจารณากิจกรรมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ตารางที่ 3.1) และเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วม

ตารางที่ 3.1 กิจกรรมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วม

ระบบผลิตพลังงาน	กิจกรรมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
1. ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน	
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า	การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ระบบผลิตความร้อน	การผลิตความร้อนจากก๊าซธรรมชาติ
2. ระบบผลิตพลังงานร่วม	การผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากก๊าซธรรมชาติ

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์อ้างอิงจากหนังสือกระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม (วัชระ มั่งวิทิตกุล. 2548) โดยพิจารณาระยะคืนทุน และผลตอบแทนการลงทุนเมื่อใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม

บทที่ 4

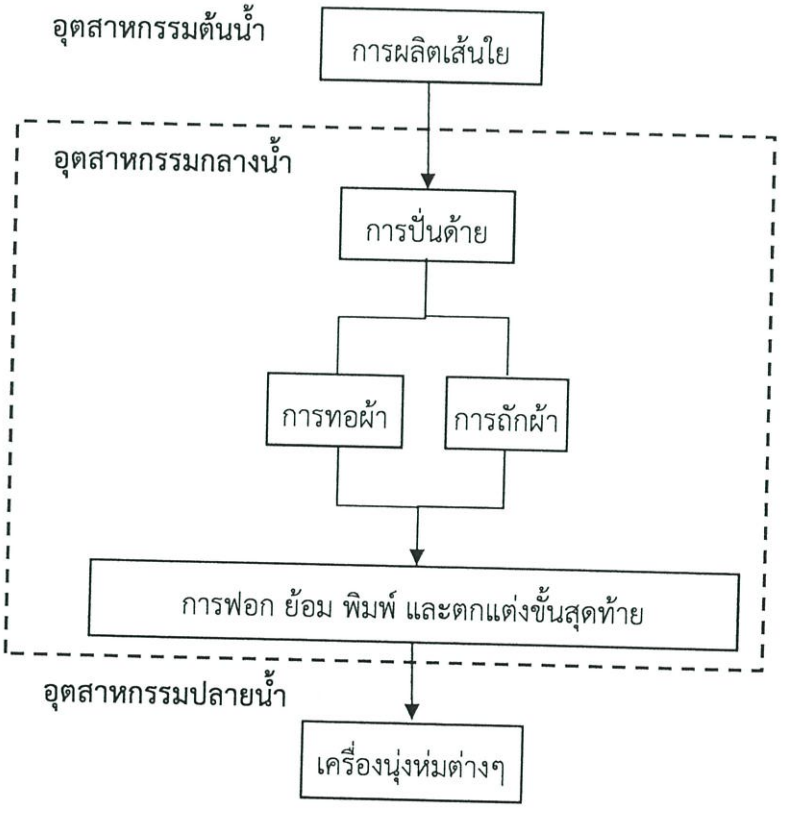
ผลการดำเนินการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

โครงงานการอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอนี้ ได้รับข้อมูลบางส่วนที่สามารถเปิดเผยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมบางปู ผลการดำเนินการศึกษาและการวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิคด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม และเชิงเศรษฐศาสตร์ แสดงดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษา

4.1.1 ลักษณะการบริโภคพลังงาน

1. โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษาจัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream) ตามเกณฑ์การจำแนกโดยใช้ชนิดของผลิตภัณฑ์หลักที่มีในโรงงานดังภาพที่ 4.1 และประกอบด้วยอุตสาหกรรมย่อย คือ อุตสาหกรรมปั่นด้าย และอุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งขั้นสุดท้าย ดังนี้

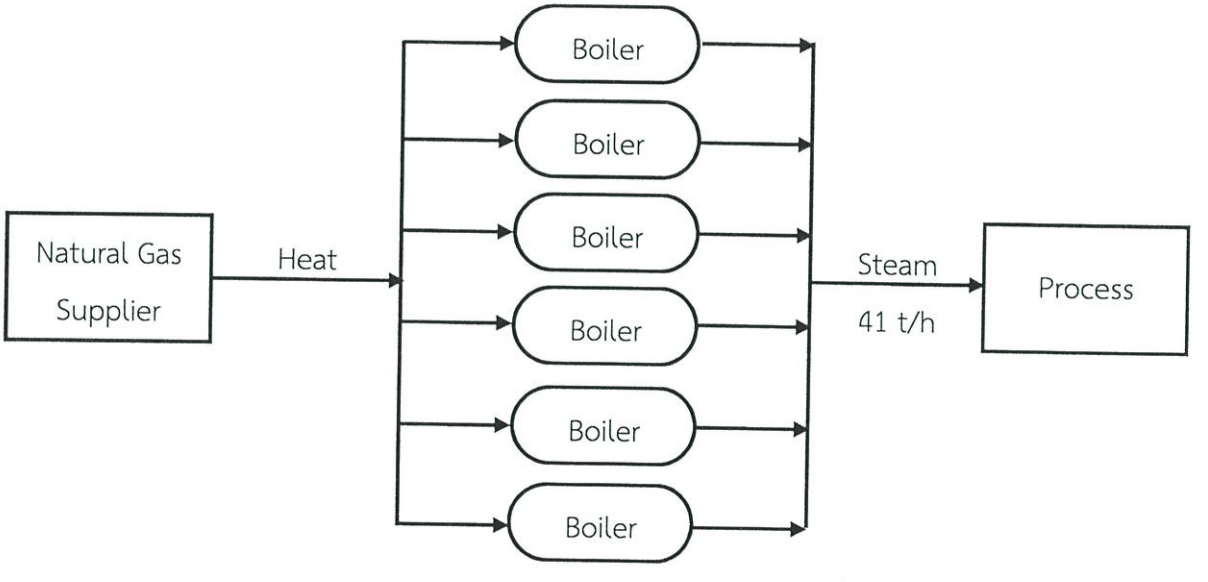


ภาพที่ 4.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ

- อุตสาหกรรมปั่นด้าย เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบคือผลิตภัณฑ์เส้นใย เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่คือด้ายที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ ด้ายที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถักทอ และด้ายที่ใช้ในการตัดเย็บเครื่องนุ่งห่ม

- อุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งขั้นสุดท้าย เป็นอุตสาหกรรมที่เพิ่มมูลค่าให้กับผ้าผืนดิบ อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมฟอกย้อมในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำ สี และสารเคมี พลังงาน รวมทั้งแรงงานในปริมาณมาก ตลอดจนต้องใช้เทคโนโลยีระดับสูงเพื่อผลิตสินค้าให้มีคุณภาพดีและมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นอุตสาหกรรมลักษณะนี้จึงมีต้นทุนการผลิตสูงมากโดยเฉพาะค่าใช้จ่ายด้านการบำบัดมลภาวะและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

2. ลักษณะการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้าย แบ่งเป็นความร้อนรูปแบบไอน้ำที่ได้จากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติซึ่งรับซื้อจากระบบท่อจัดจำหน่ายก๊าซธรรมชาติ เพื่อผลิตไอน้ำปริมาณ 41 t/h สำหรับใช้ในกระบวนการผลิต (ภาพที่ 4.2) และพลังงานไฟฟ้าที่รับซื้อจากระบบเชื่อมต่อไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศ ระบบอากาศอัด ระบบของเครื่องจักร ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์สำนักงาน สัดส่วนของความร้อนและพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 87% และ 13% ของการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้ายตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 ระบบผลิตความร้อนรูปแบบไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต

สัดส่วนการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้ายในลักษณะความร้อนรูปแบบไอน้ำ (87%) แสดงถึงการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ ข้อมูลเกี่ยวกับระบบผลิตความร้อนรูปแบบไอน้ำซึ่งรวบรวมได้จากการสัมภาษณ์หัวหน้าแผนกกระบวนการผลิต คือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานมีอายุการใช้งานเป็น

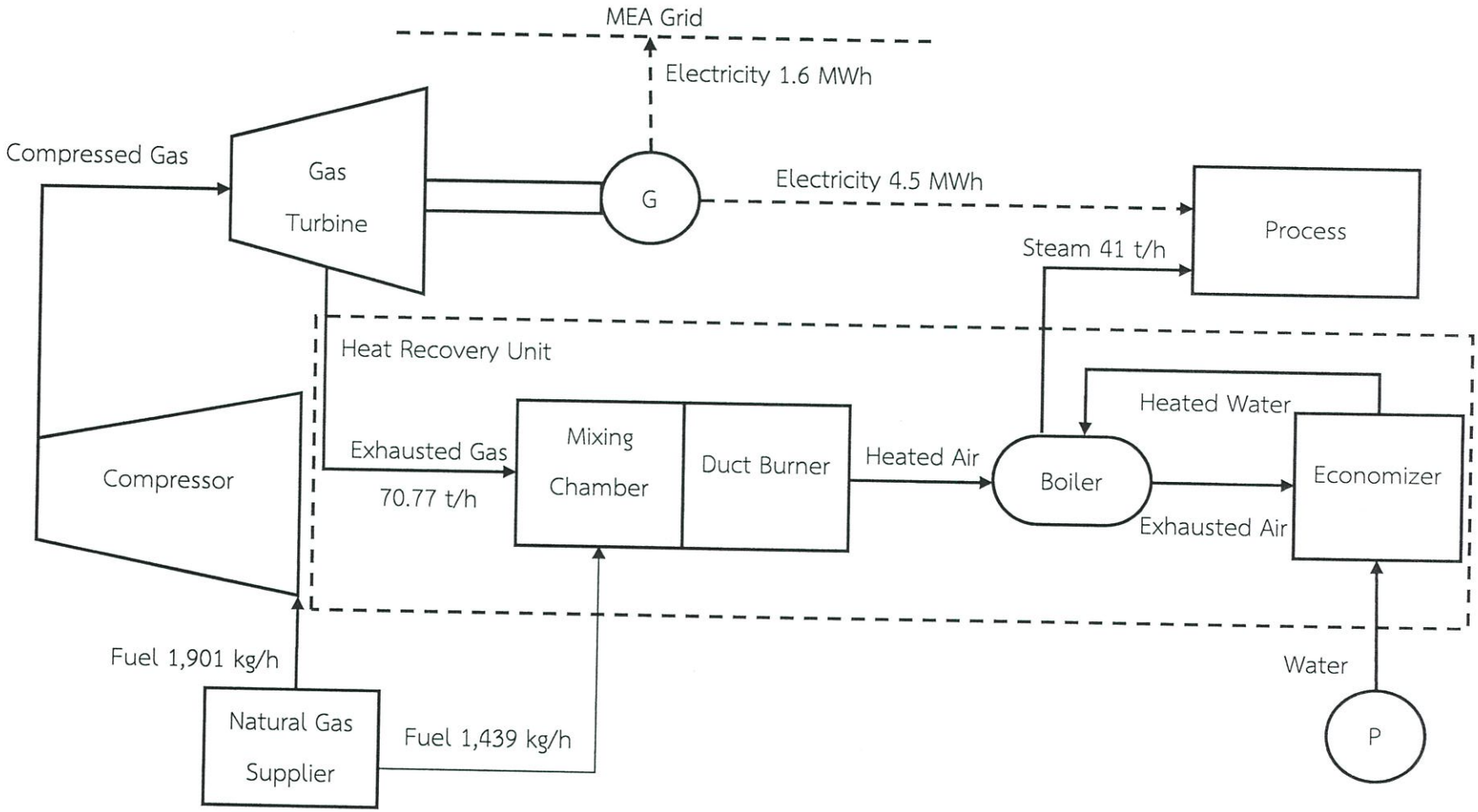
เวลานานและมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมดำเนินธุรกิจมาเป็นเวลาประมาณ 30 ปี โดยเฉพาะหม้อน้ำที่ใช้ผลิตไอน้ำเพื่อป้อนเข้ากระบวนการผลิตซึ่งเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler) มีลักษณะเป็นหม้อน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อนั้น มีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง และส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมจึงสนใจในการเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานและเพื่อลดต้นทุนการผลิตด้านค่าใช้จ่ายพลังงาน

4.1.2 ระบบผลิตพลังงานร่วม

พลังงานขั้นสุดท้ายสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษาทั้ง 2 ลักษณะ คือ ความร้อนที่ได้จากก๊าซธรรมชาติ และพลังงานไฟฟ้า จะต้องรับซื้อจากแหล่งจำหน่าย และเนื่องจากระบบผลิตความร้อนในรูปแบบไอน้ำด้วยหม้อน้ำที่ใช้ภายในโรงงานถึงกำหนดอายุการใช้งาน ผู้ประกอบการจึงเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบนชนิดกังหันก๊าซ (ระบบผลิตพลังงานแบบใหม่) แทนการเปลี่ยนหม้อน้ำ (ระบบผลิตพลังงานแบบเดิม) เพราะระบบพลังงานร่วมสามารถใช้พลังงานปฐมภูมิเพียงชนิดเดียวในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งต่างจากการใช้หม้อน้ำซึ่งสามารถผลิตความร้อนได้เพียงรูปแบบเดียว

1. ส่วนประกอบของระบบผลิตพลังงานร่วม ได้แก่ เครื่องต้นกำลังหลักและอุปกรณ์การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่เกี่ยวข้อง เครื่องต้นกำลังของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบนที่ผู้ประกอบการเลือกใช้ คือ กังหันก๊าซ เพราะต้องการนำก๊าซร้อนไปผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต

2. หลักการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบนชนิดกังหันก๊าซ (ภาพที่ 4.3) คือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) จะต่ออยู่บนเพลาเดียวกับกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และต่อตรงไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เมื่อระบบทำงาน อากาศจะถูกดูดจากภายนอกเข้าเครื่องอัดอากาศ และอากาศจะถูกอัดจนมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นจะถูกส่งไปยังห้องเผาไหม้ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และให้ความร้อนแก่อากาศ ก๊าซร้อนที่ออกจากห้องเผาไหม้จะถูกส่งไปยังตัวกังหันทำให้กังหันหมุนเกิดงานและขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย และระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบนชนิดกังหันก๊าซยังเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ 2 ลักษณะ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ทั้งการใช้เชื้อเพลิงและหม้อน้ำ คือ การนำก๊าซร้อนที่ปล่อยจากกังหันก๊าซสู่บรรยากาศซึ่งมีอุณหภูมิ 550°c ที่ความดัน 0.003 MPa ไปให้ความร้อนแก่หม้อน้ำแบบท่อความร้อนทิ้ง (Waste Heat Boiler) ซึ่งสามารถผลิตไอน้ำได้หลายระดับความดันภายในเครื่องเดียว และการนำไอเสียจากหม้อน้ำไปอุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำ



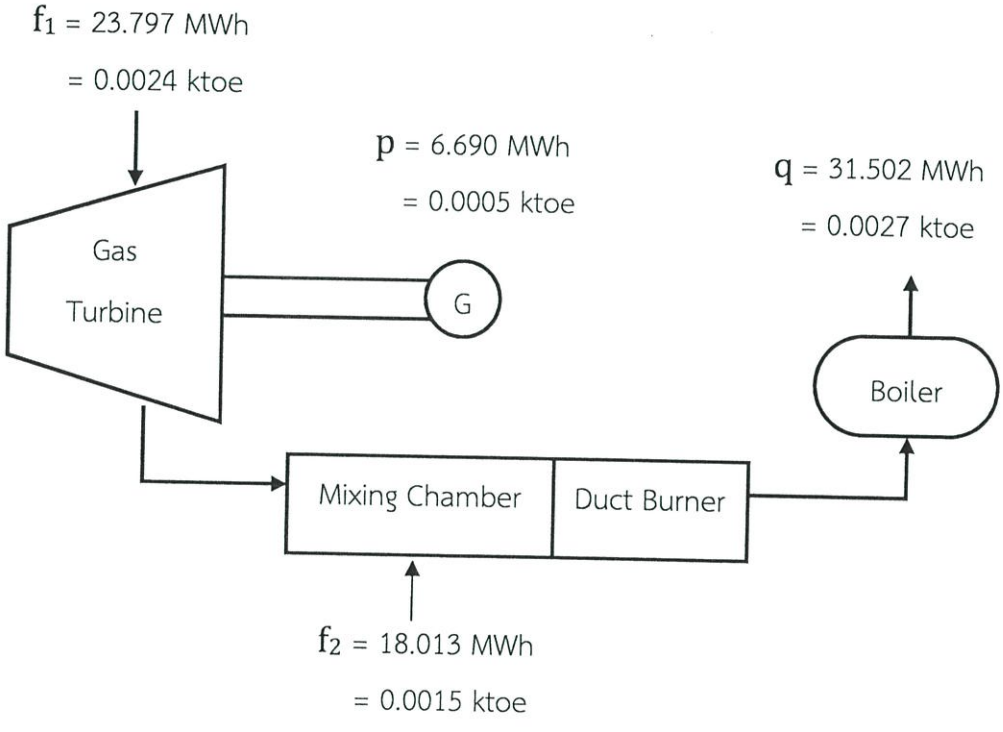
ภาพที่ 4.3 แผนภาพระบบผลิตพลังงานร่วมสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษา

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิค

4.2.1 ด้านการประหยัดพลังงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคด้านการประหยัดพลังงานพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพโดยรวม (η) และค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง (Primary Energy Savings: PES) ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วม

กรณีระบบผลิตพลังงานร่วม ต้องกำหนดขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วมดังแสดงในภาพที่ 4.4 เพื่อคำนวณพลังงานเชื้อเพลิงรวมที่ใช้ (ผลรวมของ f_1 และ f_2) พลังงานไฟฟ้า (p) และความร้อนที่ผลิตได้ (q)



ภาพที่ 4.4 ค่าพลังงานที่คำนวณได้ในขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วมที่กำหนด

เมื่อคำนวณค่าพลังงานข้างต้นแล้ว จะคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วม (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ) และค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วม (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) ตารางที่ 4.1 สรุปดัชนีชี้วัดการประหยัดพลังงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วม

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพและการลดการใช้เชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วม

ระบบผลิตพลังงาน	ดัชนีชี้วัดการประหยัดพลังงาน	
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน (แบบเดิม)	ประสิทธิภาพของระบบผลิตความร้อน[1]	68.33%
	ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า[2]	38%
	ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ	59.94%
	ค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง	-
ระบบผลิตพลังงานร่วม (แบบใหม่)	ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ	92.36%
	ค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง	19.50%

หมายเหตุ [1]ประสิทธิภาพของระบบผลิตความร้อนในระบบผลิตพลังงานแบบเดิม อ้างอิงจากประสิทธิภาพของหม้อน้ำเก่าของโรงงาน

[2] ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานแบบเดิม อ้างอิงจากประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหินของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. มปป)

4.2.2 ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพิจารณาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันและระบบผลิตพลังงานร่วม กรณีระบบผลิตพลังงานร่วม จะต้องกำหนดขอบเขตของระบบโดยใช้หลักในการกำหนดเช่นเดียวกับภาพที่ 4.4 เพื่อคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามกิจกรรมในขอบเขตที่กำหนดนั้น ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณพลังงานรวมที่ผลิตได้ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันซึ่งคิดเทียบเท่ากับพลังงานที่ผลิตได้ของระบบผลิตพลังงานร่วมเท่ากับ 274,968 MWh/y เมื่อใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมจะสามารถลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิได้ 157,608 MWh/y และสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ 34,014 tCO_2/y หรือคิดเป็น 38.60% เมื่อเทียบกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม

	ประเภทการผลิตพลังงาน					
	ระบบผลิตความร้อน		ระบบผลิตไฟฟ้า		ระบบผลิตพลังงานร่วม	
1. ด้านพลังงาน	MWh/y	ktoe/y	MWh/y	ktoe/y	MWh/y	ktoe/y
การใช้เชื้อเพลิง	331,920.00	28.54	126,720.00	10.89	301,032.00	25.88
พลังงานที่ผลิตได้	226,800.00	19.5	48,168.00	4.14	274,968.00	23.64
2. ด้านสิ่งแวดล้อม	tCO_2/y		tCO_2/y		tCO_2/y	
การปล่อยก๊าซ CO_2	59,760.00		28,368.00		54,114.00	
การลดการปล่อยก๊าซ CO_2 (tCO_2/y)	-		-		34,014.00	
การลดการปล่อยก๊าซ CO_2 (%)	-		-		38.60	

หมายเหตุ 1 MWh = 0.086 toe

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมจะพิจารณาจากระยะคืนทุนและผลตอบแทนการลงทุน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ) ตารางที่ 4.3 แสดงการประมาณค่าใช้จ่ายและรายได้ด้านพลังงาน ได้แก่ ค่าก๊าซธรรมชาติและค่าไฟฟ้า ก่อนและหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้อัตรารับซื้อค่าก๊าซธรรมชาติและค่าไฟฟ้าตามแหล่งจำหน่าย คือ บริษัท ปตท. จำหน่ายก๊าซธรรมชาติ จำกัด และการไฟฟ้านครหลวงตามลำดับ และใช้อัตราขายไฟฟ้าตามแหล่งรับซื้อไฟฟ้า คือ การไฟฟ้านครหลวง

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าของการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษา พบว่าหากโรงงานติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมจะใช้เงินลงทุนเริ่มต้น ได้แก่ ค่าติดตั้งระบบและเครื่องจักร ค่าซ่อมบำรุงระบบ และค่าบริหารจัดการระบบในระยะเวลา 5 ปี เท่ากับ 83%, 13% และ 4% ของเงินลงทุนเริ่มต้นตามลำดับ รวมทั้งสิ้นประมาณ 450,000,000 บาท โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนภายใน 1.67 ปี และมีผลตอบแทนการลงทุนที่ 319.52% (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.3 การประมาณค่าใช้จ่ายและรายได้ด้านพลังงานก่อนและหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม

เดือน	ค่าก๊าซธรรมชาติ (Baht)		ค่าไฟฟ้า (Baht)	
	ก่อนติดตั้ง (รับซื้อ)	หลังติดตั้ง (รับซื้อ)	ก่อนติดตั้ง (รับซื้อ)	หลังติดตั้ง (ขาย)
ม.ค.	31,769,382.22	22,064,902.32	10,348,568.39	2,598,411.00
ก.พ.	31,048,523.22	21,344,043.32	10,348,568.39	2,426,933.85
มี.ค.	30,400,731.04	21,343,496.24	10,978,167.68*	2,957,005.20
เม.ย.	30,365,002.49	20,876,270.96	9,406,744.76	2,241,688.80*
พ.ค.	30,365,002.49	20,876,270.96	9,406,744.76	2,484,679.20*
มิ.ย.	30,365,002.49	20,876,270.96	10,819,480.20	2,452,621.20
ก.ค.	30,365,002.49	20,876,270.96	10,824,630.81*	2,303,902.50
ส.ค.	30,365,002.49	20,876,270.96	10,739,755.36*	2,507,263.80
ก.ย.	30,365,002.49	20,876,270.96	11,290,392.02	2,522,452.50
ต.ค.	30,365,002.49	20,876,270.96	11,210,667.17*	2,476,917.00
พ.ย.	30,365,002.49	20,876,270.96	10,819,480.20	2,586,192.00
ธ.ค.	30,365,002.49	20,876,270.96	9,602,576.04*	2,471,696.10*
รวม	**366,503,658.91**	**252,638,880.49**	**125,795,775.76**	**30,029,763.15**

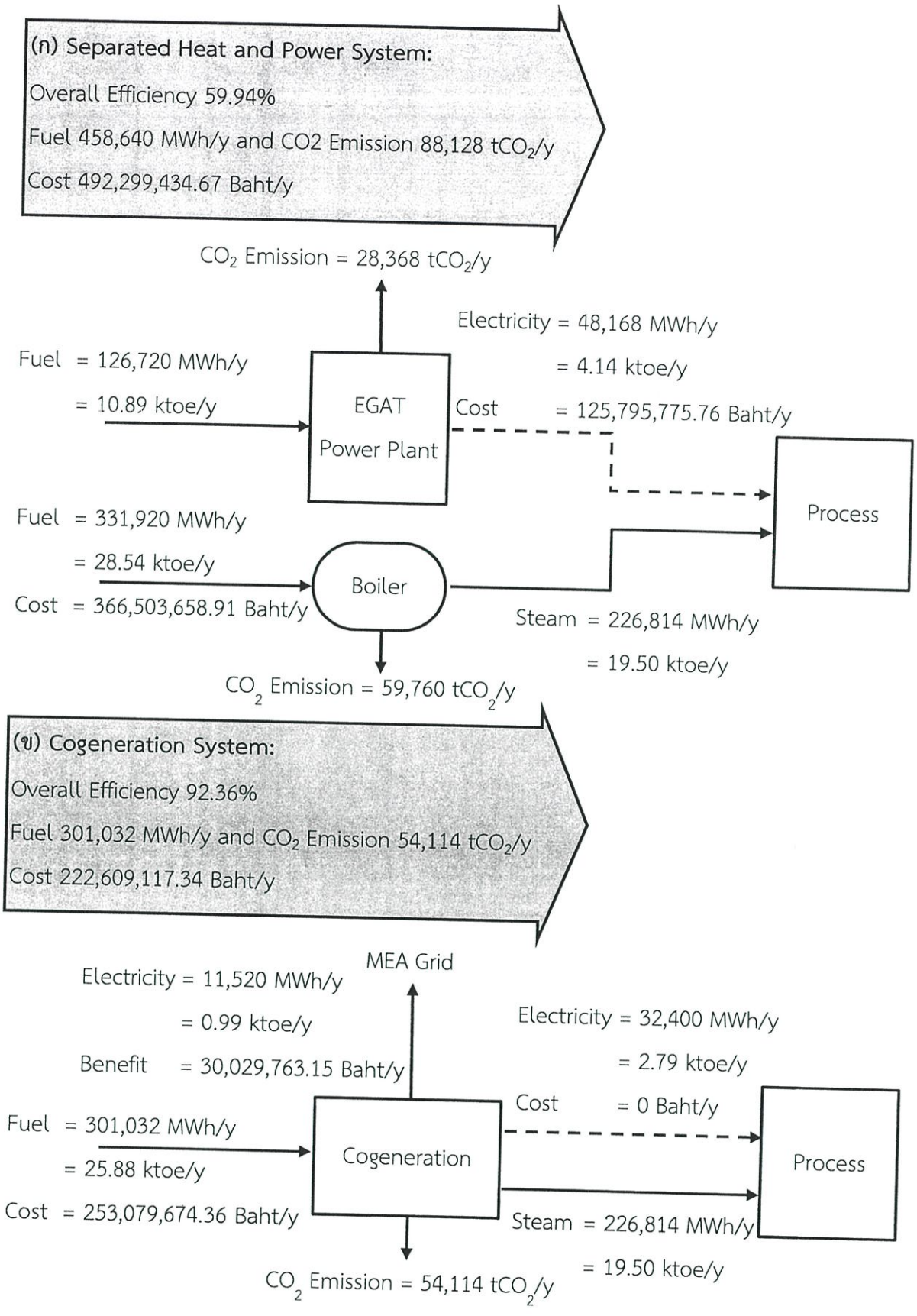
หมายเหตุ *เดือนที่มีการทำงานในวันหยุดราชการ ให้คิดค่าไฟฟ้าอัตรา Holiday

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา

ค่าใช้จ่าย (Baht)		เงินลงทุนเริ่มต้น (Baht)	ผลประหยัดสุทธิ (Baht)	ระยะเวลาคืนทุน (Year)	ผลตอบแทนการลงทุน (%)
ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง				
492,299,434.67	222,609,117.34	450,000,000	269,690,317.33	1.67	319.52

4.4 ภาพรวมของผลการศึกษาเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม

ผลการศึกษาเชิงเทคนิคด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมและเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม สรุปไว้ดังภาพที่ 4.5 โดยแบ่งเป็นภาพที่ 4.5 (ก) แสดงระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน ซึ่งเป็นระบบเดิมที่โรงงานอุตสาหกรรมใช้ก่อนติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม และภาพที่ 4.5 (ข) แสดงระบบผลิตพลังงานร่วม ข้อมูลในภาพแสดงถึงผลกระทบด้านบวกต่อการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนของการเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม



ภาพที่ 4.5 ภาพรวมของผลการศึกษาเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์
(ก) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน และ (ข) ระบบผลิตพลังงานร่วม

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงงานการอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอนี้ ได้รับข้อมูลบางส่วนที่สามารถเปิดเผยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมบางปู ข้อสรุปเชิงเทคนิคด้านการประหยัดพลังงานและด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงข้อสรุปเชิงเศรษฐศาสตร์ และข้อเสนอแนะมีดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษาจัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมกลางน้ำและมีสัดส่วนของการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้ายในลักษณะความร้อนและพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 87% และ 13% ตามลำดับ ผู้ประกอบการเลือกใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบวัฏจักรบนชนิดกังหันก๊าซ เนื่องจากเป็นระบบที่ผลิตได้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ลักษณะการผลิตพลังงานเหมาะสมกับลักษณะการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอ และตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานใกล้กับแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติจากบริษัท ปตท. จำหน่ายก๊าซธรรมชาติ จำกัด ระบบนี้จะใช้กังหันก๊าซเป็นเครื่องต้นกำลังเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและหม้อน้ำโดยนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ด้วยการนำก๊าซร้อนที่ปล่อยจากกังหันก๊าซสู่บรรยากาศไปผลิตไอน้ำและการนำไอเสียจากหม้อน้ำไปอุ่นน้ำป้อนหม้อน้ำ และสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ข้อสรุปเชิงเทคนิคด้านการประหยัดพลังงาน ได้แก่ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกันเท่ากับ 92.36% และ 59.94% ตามลำดับ และระบบผลิตพลังงานร่วมมีความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิงเท่ากับ 19.5% ส่วนข้อสรุปเชิงเทคนิคด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 34,014 tCO_2/y หรือคิดเป็น 38.60% เมื่อเทียบกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน และจากข้อสรุปทั้งด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมแสดงให้เห็นว่าระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้

2. ข้อสรุปเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมใช้เงินลงทุน 450,000,000 บาท ใช้ระยะเวลาคืนทุนภายใน 1.67 ปี และมีผลตอบแทนการลงทุนที่ 319.52% ซึ่งแสดงถึงความคุ้มค่าของการลงทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. โรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการที่ใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เกินความต้องการใช้ภายในองค์กร ควรขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือการไฟฟ้านครหลวงตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small Power Producer: SPP) หรือผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer: VSPP) เนื่องจากเป็นการสร้างรายได้ให้องค์กร ตัวอย่างเช่น โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ศึกษาผลิตไฟฟ้าได้เกินความต้องการใช้ประมาณ 1.6 MW จึงจัดเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก และเนื่องจากโรงงานตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมบางปู จึงต้องดำเนินการขอจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากกับการไฟฟ้านครหลวงตามประกาศการไฟฟ้านครหลวง ที่ 43/2559 เรื่อง ข้อกำหนดการเชื่อมต่อ การใช้บริการ และการปฏิบัติการระบบโครงข่ายไฟฟ้า ในส่วนข้อกำหนดการเชื่อมต่อ (การไฟฟ้านครหลวง. 2558ก) และติดต่อขอรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับขั้นตอนการเชื่อมต่อขั้นต่ำและข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานร่วมที่ฝ่ายเศรษฐกิจพลังงาน การไฟฟ้านครหลวง เขตวัดเลียบ โรงงานอุตสาหกรรมนี้สามารถสร้างรายได้จากการขายไฟฟ้า 30,029,763.15 Baht/y

2. ควรเปรียบเทียบเครื่องต้นกำลังชนิดกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และเครื่องยนต์ใช้ก๊าซ (Gas Engine) สำหรับการผลิตไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เพื่อเป็นทางเลือกในการลงทุนแก่ผู้ประกอบการ เนื่องจากเครื่องยนต์ใช้ก๊าซมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานค่อนข้างสูง สามารถเดินเครื่องได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้ก๊าซความดันสูงจึงไม่ต้องติดตั้งคอมเพรสเซอร์ สามารถเร่งกำลังการผลิตได้เร็ว และอุณหภูมิของก๊าซที่ส่งเข้าสู่ระบบไม่มีผลต่อเครื่องยนต์มากนักจึงไม่ต้องติดตั้งเครื่องทำความเย็น (Chiller)

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2557. **คู่มือสำหรับหลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ (โรงงาน): การจัดการพลังงานความร้อน.** พิมพ์ครั้งที่ 1.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. **รายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย ปี 2558.** [Online]. Available : http://www.dede.go.th/download/state_59/Energy%20Balance%20of%20Thailand2015.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. มปป.ก. **ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน.** [Online]. Available : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_9.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. มปป.ข. **เอกสารเผยแพร่ภาคอุตสาหกรรม หมวดที่ 9 : ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration).** [Online]. Available : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay28%20Cogeneration.pdf

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547. **คู่มืออนุรักษ์พลังงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ.** [Online]. Available : http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/20.pdf

การไฟฟ้านครหลวง. 2558ก. **ระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2558.** [Online]. Available : http://www.mea.or.th/upload/download/file_a10ffd98094063f94aaddb32995d505f.pdf

การไฟฟ้านครหลวง. 2558ข. **อัตราค่าไฟฟ้า เริ่มใช้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าเดือนพฤศจิกายน 2558.** [Online]. Available : http://www.mea.or.th/upload/download/file_4432fed72763bdc538c0a8ef0208df35.pdf

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. มปป. **โรงไฟฟ้ายิ่งมีประสิทธิภาพสูง ยิ่งช่วยลดโลกร้อน.** [Online]. Available : http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=359& Itemid=217

วัชระ มั่งวิทิตกุล. 2548. **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เรียล ยู พาวเวอร์.

ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552. **คู่มือการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมและการคำนวณค่า PES สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ระบบ Cogeneration.**

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. **สรุปสาระสำคัญแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558–2579.** [Online]. Available : http://www2.eppo.go.th/encon/EEP2015/Draft-EEP2015.pdf

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2557. **รายงานการศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2557.** [Online]. Available : http://tver.tgo.or.th/2015/file/download/Grid_Emission_Factor_124.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2015a. **Fuel and Carbon Dioxide Emissions Savings Calculation Methodology for Combined Heat and Power Systems.** [Online]. Available : https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/fuel_and_carbon_dioxide_emissions_savings_calculation_methodology_for_combined_heat_and_power_systems.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2015b. **Catalog of CHP Technologies.** [Online]. Avaliable : https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน

การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ระบุในขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วม (ภาพที่ 4.4) เนื่องจากต้องคำนวณพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน เทียบกับพลังงานดังกล่าวในระบบผลิตพลังงานร่วม และใช้สมการดังนี้

$$\eta_{SHP} = \frac{p_{SHP} + q_{SHP}}{\frac{p_{SHP}}{Eff_p} + \frac{q_{SHP}}{Eff_q}}$$

โดย η_{SHP} = ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน

p_{SHP} = พลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (MWh)

= 6.69 MWh

q_{SHP} = ความร้อนรวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ (MWh)

= 31.5 MWh

Eff_p = ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า

= 38% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. มปป)

Eff_q = ประสิทธิภาพของระบบผลิตความร้อน

= 68.33% (ประสิทธิภาพของหม้อน้ำเก่าของโรงงาน)

ดังนั้น

$$\eta_{SHP} = \frac{6.69\ MWh + 31.5\ MWh}{\frac{6.69\ MWh}{0.38} + \frac{31.5\ MWh}{0.6833}}$$

η_{SHP} = 0.5994 หรือ 59.94%

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม

การคำนวณประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ระบุในขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วม (ภาพที่ 4.4) และใช้สมการดังนี้

$$\eta = \frac{p + q_{Cogen}}{f_{Cogen}}$$

โดย η = ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตพลังงานร่วม

p = พลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วม โดยคิดจากพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ (MWh)

= 6.69 MWh

f = พลังงานเชื้อเพลิงรวมที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้ค่าความร้อนต่ำ (MWh)

= 1,901 kg/h + 1,439 kg/h

= 3,340 kg/h x 42,710 Btu/kg x 1.055058 kJ/Btu x 0.0002778 kWh/kJ x 1 h

= 41.810 MWh

$f_{Non\text{-}cogen}$ = พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการที่ไม่ใช่ระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้ค่าความร้อนต่ำ (MWh)

= 1,439 kg/h x 42,710 Btu/kg x 1.055058 kJ/Btu x 0.0002778 kWh/kJ x 1 h

= 18.013 MWh

f_{Cogen} = พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม โดยใช้ค่าความร้อนต่ำ (MWh)

= $f - f_{Non\text{-}cogen}$

= 41.810 MWh – 18.013 MWh

= 23.797 MWh

q = ความร้อนรวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมที่นำไปใช้ประโยชน์ได้นอกเหนือจากการนำไปใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยตรง (MWh)

= ไอน้ำ 41 t/h ที่ 0.64 MPaG

= 2,765.770 kJ/kg x 41,000 kg/h x 0.0002778 kWh/kJ x 1 h

= 31.502 MWh

$q_{Non\text{-}cogen}$ = ความร้อนที่ผลิตได้จากกระบวนการที่ไม่ใช่ระบบผลิตพลังงานร่วมและถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการอื่นๆ (MWh)

$= f_{Non\text{-}cogen} \times \eta_{Duct\ Burner}$

= 18.013 MWh x 90%

= 16.212 MWh

q_{Cogen} = ความร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมและถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการอื่นๆ (MWh)

$= q - q_{Non\text{-}cogen}$

= 31.502 MWh – 16.212 MWh

= 15.290 MWh

ดังนั้น

$$\eta = \frac{6.69\ MWh + 15.29\ MWh}{23.797\ MWh}$$

η = 0.9236 หรือ 92.36%

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง

การคำนวณความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง (Primary Energy Savings: PES) ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ระบุในขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วม (ภาพที่ 4.4) และใช้สมการดังนี้

$$PES = (1 - \frac{1}{\frac{Cogen\ H_{\eta}}{Ref\ H_{\eta}} + \frac{Cogen\ E_{\eta}}{Ref\ E_{\eta}}})x100\%$$

โดย PES = ความสามารถในการประหยัดเชื้อเพลิง (%)

$Cogen\ H_{\eta}$ = ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์จากระบบผลิตพลังงานร่วม หรืออัตราส่วนของความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ผลิตจากระบบผลิตพลังงานร่วม (q) หารด้วยพลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิรวม (f) ที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม

= 31.502 MWh / 41.810 MWh

= 0.753

$Cogen\ E_{\eta}$ = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานร่วม หรืออัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (p) หารด้วยพลังงานเชื้อเพลิงปฐมภูมิรวม (f) ที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม

= 6.69 MWh / 41.810 MWh

= 0.16

$Ref\ H_{\eta}$ = ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์อ้างอิง โดยอ้างอิงจากระบบที่ผลิตความร้อนเพียงอย่างเดียวด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน (ตารางที่ 2.3)

= 85%

$Ref\ E_{\eta}$ = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าอ้างอิง โดยอ้างอิงจากระบบที่ผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน (ตารางที่ 2.3)

= 45%

ดังนั้น

$$PES = (1 - \frac{1}{\frac{0.753}{0.85} + \frac{0.16}{0.45}})x100\%$$

$$PES = 19.5\%$$

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ของระบบพลังงานร่วม ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ระบุในขอบเขตของระบบผลิตพลังงานร่วม (ภาพที่ 4.4)

1. การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่แยกกัน มีดังนี้

1.1 การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตความร้อน

- คำนวณปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เมื่อคิดจากกระบวนการผลิตความร้อนอย่างเดียว โดยคิดเทียบเท่ากับความร้อนที่ระบบผลิตพลังงานร่วมผลิตได้

$$F_T = CHP_T / \eta_T$$

โดย F_T = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเมื่อคิดจากความร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (MWh)

CHP_T = ความร้อนรวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกเหนือจากการนำไปใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยตรง (MWh)

= 31.502 MWh

η_T = ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ผลิตความร้อน (หม้อน้ำเก่าของโรงงาน)

= 68.33%

ดังนั้น

F_T = 31.502 MWh / 0.6833

= 46.1 MWh

- คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (C_T) โดยคิดเทียบเท่ากับความร้อนที่ระบบผลิตพลังงานร่วมผลิตได้

$$C_T = F_T \times EF_F$$

โดย C_T = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (tCO_2)

F_T = 46.1 MWh

EF_F = ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับระบบผลิตความร้อนอย่างเดียวที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติ (tCO_2/MWh) คิดที่ 116.9 lb/MMBtu (U.S. Environmental Protection Agency. 2015a)

= 116.9 lb/MMBtu x 0.4536 kg/lb x 3.412 MMBtu/MWh

= 180.92 kg CO_2/MWh หรือ 0.18 tCO_2/MWh

ดังนั้น

C_T = 46.1 MWh x 0.18 tCO_2/MWh

= 8.30 tCO_2

= 8.30 tCO_2 x 24 h/day x 25 days/Mt x 12 Mt/y

= 59,760 tCO_2/y

1.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตความไฟฟ้า

คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (C_G) โดยคิดเทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตพลังงานร่วมผลิตได้

$$C_G = E_G \times EF_G$$

โดย C_G = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (tCO_2)

E_G = พลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้เมื่อคิดจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (MWh)

= 6.69 MWh

EF_G = ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าประเทศไทย (tCO_2/MWh)

= 0.5897 tCO_2/MWh (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2557)

ดังนั้น

C_G = 6.69 MWh x 0.5897 tCO_2/MWh

= 3.94 tCO_2

= 3.94 tCO_2 x 24 h/day x 25 days/Mt x 12 Mt/y

= 28,368 tCO_2/y

2. การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานร่วม

$$C_{CHP} = F_{CHP} \times EF_F$$

โดย C_{CHP} = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม (tCO_2)

F_{CHP} = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในระบบผลิตพลังงานร่วม (MWh)

= 41.81 MWh

EF_F = ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับระบบผลิตพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (tCO_2/MWh)

= 0.18 tCO_2/MWh

ดังนั้น

C_{CHP} = 41.81 MWh x 0.18 tCO_2/MWh

= 7.52 tCO_2

= 7.52 tCO_2 x 24 h/day x 25 days/Mt x 12 Mt/y

= 54,114 tCO_2/y

3. การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบผลิตพลังงานร่วม

$$C_S = (C_T + C_G) - C_{CHP}$$

โดย C_S = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (tCO_2)

C_T = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตความร้อนอย่างเดียว (tCO_2)

= 59,760 tCO_2/y

C_G = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว (tCO_2)

= 28,368 tCO_2/y

C_{CHP} = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตพลังงานร่วม (tCO_2)

= 54,114 tCO_2/y

ดังนั้น

C_S = (59,760 tCO_2/y + 28,368 tCO_2/y) – 54,114 tCO_2/y

= 34,014 tCO_2/y

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์

การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ในโครงงานสหกิจศึกษานี้ ใช้เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลาโดยกำหนดให้ค่าเงินคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้แก่

1. **การคำนวณระยะเวลาคืนทุน**

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (y)} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

เงินลงทุนเริ่มต้นของระบบผลิตพลังงานร่วม ได้แก่ ค่าติดตั้งระบบและเครื่องจักร ค่าซ่อมบำรุงระบบและค่าบริหารจัดการระบบภายในระยะเวลา 5 ปี คิดเป็น 83%, 13% และ 4% ของเงินลงทุนเริ่มต้นตามลำดับ รวมทั้งสิ้นประมาณ 450,000,000 บาท

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี คือ ค่าเฉลี่ยต่อปีของผลรวมของค่าใช้จ่ายก่อนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมและรายได้จากการขายไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม โดยหักค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม

1. ค่าใช้จ่ายก่อนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม ได้แก่ ค่าเชื้อเพลิง (ก๊าซธรรมชาติ) สำหรับใช้ผลิตไอน้ำ และค่าไฟฟ้าสำหรับใช้ภายในโรงงาน

1.1 การคำนวณค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้นก่อนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม

การคำนวณค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้นใช้เกณฑ์ของ บริษัท ปตท.จำหน่ายก๊าซธรรมชาติ จำกัด คือ ผลรวมของค่าก๊าซธรรมชาติที่ใช้งานจริง ค่าเช่าท่อของ ปตท. และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม แสดงดังตารางที่ ง.1 โดยใช้จำนวนก๊าซธรรมชาติตามสัญญาซื้อขายต่อเดือน คือ 73,089.75 MMBtu/Mt

ตารางที่ ง.1 ค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้นตามสัญญาซื้อขายก๊าซธรรมชาติก่อนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม (ระยะเวลา 1 ปี)

ค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้น	ราคา	ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (MMBtu/Mt)			
		มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน-ธันวาคม
1. ค่าก๊าซธรรมชาติ (Baht/MMBtu)					
0-5,000 MMBtu แรก	436.87	5,000.00	-	-	-
5,001-10,000 MMBtu ต่อไป	414.13	5,000.00	-	-	-
10,001-50,000 MMBtu ต่อไป	401.88	40,000.00	-	-	-
50,001-150,000 MMBtu ต่อไป	393.13	23,089.75	73,089.75	3,820.50	-
150,001 MMBtu เป็นต้นไป	384.39	-	-	69,269.25	657,807.75
รวม (Baht)	339,124,328.03	29,407,473.42	28,733,773.42	28,128,360.17	252,854,721.02
2. ค่าเช่าท่อ (Baht)	283,538.00	1	1	1	9
3. ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)		2,078,370.80	2,031,211.80	1,988,832.87	17,878,459.41
รวมทั้งสิ้น (Baht)	366,503,658.91	31,769,382.22	31,048,523.22	30,400,731.04	273,285,022.43

1.2 การคำนวณค่าไฟฟ้าเบื้องต้นก่อนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม

การคำนวณค่าไฟฟ้าเบื้องต้นใช้เกณฑ์ของการไฟฟ้านครหลวง เนื่องจากโรงงานมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1,125 kW/15 min ต่อผ่านเครื่องหน่วยวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว จึงตรงตามลักษณะการใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 (กิจการขนาดใหญ่) ของการไฟฟ้านครหลวง (ตารางที่ ง.2) และครื่องหน่วยวัดไฟฟ้าของโรงงานคิดตามประเภทอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff)

ตารางที่ ง.2 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ตามเกณฑ์ของการไฟฟ้านครหลวงสำหรับการใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 (การไฟฟ้านครหลวง. 2558ข)

ระดับแรงดันที่ใช้งาน	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Baht/kW)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)		ค่าบริการ (Baht/Mt)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
แรงดัน 69 kV ขึ้นไป	74.14	0	4.1283	2.6107	312.24
แรงดัน 12 - 24 kV	132.93	0	4.2097	2.6295	312.24
แรงดันต่ำกว่า 12 kV	210.00	0	4.3555	2.6627	312.24

หมายเหตุ On Peak ช่วงเวลา 09.00-22.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์

Off Peak ช่วงเวลา 22.00- 09.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และ ช่วงเวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์-วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชยและวันพืชมงคล)

การคำนวณค่าไฟฟ้าเบื้องต้นใช้เกณฑ์ของการไฟฟ้านครหลวง คือ ผลรวมของค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ค่าพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับค่าไฟฟ้าผกผัน (F_t) ค่าบริการรายเดือน ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม โรงงานทำงาน 6 วัน วันละ 24 ชั่วโมง โดยมีวันหยุด คือ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการ และวันแรงงานแห่งชาติ และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า 4.5 เมกะวัตต์ต่อชั่วโมง ตารางที่ ง.3 และ ง.4 แสดงตัวอย่างค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของการใช้ไฟฟ้าในโรงงานแบบ Holiday และ Non-holiday ของเดือนกรกฎาคมและกันยายนตามลำดับ

ตารางที่ ง.3 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของการใช้ไฟฟ้าในโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558

ค่าไฟฟ้าเบื้องต้น	ช่วงเวลาการใช้	จำนวนหน่วย (kWh)	ราคา (Baht/Unit)	จำนวนเงิน (Baht)
ค่าพลังงานไฟฟ้า	On Peak	1,228,500	4.2097	5,171,616.45
	Off Peak	207,000	2.6295	544,306.50
	Holiday	216,000	2.6295	567,972
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	On Peak	N/A	132.93	N/A
	Off Peak	N/A	0	N/A
	Holiday	N/A	0	N/A
ค่าพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ		N/A	56.07	N/A
ค่าไฟฟ้าผกผัน (F_t)		1,651,500	0.4961	819,309
ค่าบริการรายเดือน			312.24	312.24
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)				497,246
รวมทั้งสิ้น (Baht)				**7,600,762.48**

หมายเหตุ N/A ไม่สามารถแสดงข้อมูล เนื่องจากเป็นความลับของผู้ประกอบการ

Holiday หมายถึงโรงงานทำงานวันที่ 30 และ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นวันหยุดราชการ

ตารางที่ ง.4 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของการใช้ไฟฟ้าในโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2558

ค่าไฟฟ้าเบื้องต้น	ช่วงเวลาการใช้	จำนวนหน่วย (kWh)	ราคา (Baht/Unit)	จำนวนเงิน (Baht)
ค่าพลังงานไฟฟ้า	On Peak	1,287,000	4.2097	5,417,883.90
	Off Peak	200,700	2.6295	527,740.65
	Holiday	0	2.6295	0
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	On Peak	N/A	132.93	N/A
	Off Peak	N/A	0	N/A
	Holiday	N/A	0	N/A
ค่าพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ		N/A	56.07	N/A
ค่าไฟฟ้าผกผัน (F_t)		1,487,700	0.4638	689,995
ค่าบริการรายเดือน			312.24	312.24
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)				464,515
รวมทั้งสิ้น (Baht)				**7,100,447.29**

หมายเหตุ N/A ไม่สามารถแสดงข้อมูล เนื่องจากเป็นความลับของผู้ประกอบการ

2. รายได้หลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ที่ขายให้การไฟฟ้านครหลวง โดยอ้างอิงวิธีคิดจากฝ่ายเศรษฐกิจพลังงาน การไฟฟ้านครหลวง เขตวัดเลียบ คือ ผลรวมของค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับค่าไฟฟ้าผกผัน (F_t) โรงงานจะขายไฟฟ้าเฉพาะวันที่มีการทำงานเท่านั้น โดยขายไฟฟ้าที่ 1.6 เมกะวัตต์ต่อชั่วโมง ตารางที่ ง.5 และ ง.6 แสดงตัวอย่างค่าไฟฟ้าเบื้องต้นจากการขายไฟฟ้าของโรงงานแบบ Holiday และ Non-holiday ของเดือนมกราคมและพฤษภาคมตามลำดับ

ตารางที่ ง.5 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นจากการขายไฟฟ้าของโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2560

ค่าไฟฟ้าเบื้องต้น	ช่วงเวลาการขาย	จำนวนหน่วย (kWh)	ราคา (Baht/Unit)	จำนวนเงิน (Baht)
ค่าพลังงานไฟฟ้า	On Peak	390,000	4.2243	1,647,477.00
	Off Peak	420,000	2.3567	989,814.00
	Holiday	0	2.3567	0
ค่าไฟฟ้าผกผัน (F_t)		810,000	-0.048	-38,880
รวมทั้งสิ้น (Baht)				**2,598,411.00**

ตารางที่ ง.6 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้นจากการขายไฟฟ้าของโรงงานที่ระดับแรงดัน 24 kV ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560

ค่าไฟฟ้าเบื้องต้น	ช่วงเวลาการขาย	จำนวนหน่วย (kWh)	ราคา (Baht/Unit)	จำนวนเงิน (Baht)
ค่าพลังงานไฟฟ้า	On Peak	390,000	4.2243	1,647,477.00
	Off Peak	387,000	2.3567	912,042.90
	Holiday	78,000	2.3567	183,823
ค่าไฟฟ้าผกผัน (F_t)		777,000	-0.3329	-258,663
รวมทั้งสิ้น (Baht)				**2,484,679.20**

หมายเหตุ Holiday หมายถึงโรงงานทำงานวันที่ 5 และ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นวันหยุดราชการ

3. ค่าใช้จ่ายหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม ได้แก่ ค่าเชื้อเพลิง (ก๊าซธรรมชาติ) เนื่องจากระบบผลิตพลังงานสามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้าและความร้อน หลักการคำนวณค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้นหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมให้คิดแบบวิธีก่อนการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม (ตารางที่ ง.7) และใช้จำนวนก๊าซธรรมชาติตามสัญญาซื้อขายต่อเดือน คือ 50,019.5 MMBtu/Mt

ตารางที่ ง.7 ค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้นตามสัญญาซื้อขายก๊าซธรรมชาติหลังการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม (ระยะเวลา 1 ปี)

ค่าเชื้อเพลิงเบื้องต้น	ราคา	ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (MMBtu/Mt)			
		มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน-ธันวาคม
1. ค่าก๊าซธรรมชาติ (Baht/MMBtu)					
0-5,000 MMBtu แรก	436.87	5,000.00	-	-	-
5,001-10,000 MMBtu ต่อไป	414.13	5,000.00	-	-	-
10,001-50,000 MMBtu ต่อไป	401.88	40,000.00	-	-	-
50,001-150,000 MMBtu ต่อไป	393.13	19.50	50,019.50	49,961.00	-
150,001 MMBtu เป็นต้นไป	384.39	-	-	58.50	450,175.50
รวม (Baht)	232,708,647.26	20,337,866.04	19,664,166.04	19,663,654.75	173,042,960.45
2. ค่าเช่าท่อ (Baht)	283,538.00	1	1	1	9
3. ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)		1,443,498.28	1,396,339.28	1,396,303.49	12,291,636.17
รวมทั้งสิ้น (Baht)	**252,638,880.49**	**22,064,902.32**	**21,344,043.32**	**21,343,496.24**	**187,886,438.62**

จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

เงินลงทุนเริ่มต้น = 450,000,000 Baht

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี = ค่าใช้จ่ายก่อนการติดตั้งระบบ + รายได้หลังการติดตั้งระบบ - ค่าใช้จ่ายหลังการติดตั้งระบบ

โดย ค่าใช้จ่ายก่อนการติดตั้งระบบ = ค่าก๊าซธรรมชาติ + ค่าไฟฟ้า

= 366,503,568.91 Baht/y + 125,795,775.76 Baht/y

= 492,299,434.67 Baht/y

รายได้หลังการติดตั้งระบบ = ค่าไฟฟ้าที่ขายได้

= 30,029,763.15 Baht/y

ค่าใช้จ่ายหลังการติดตั้งระบบ = ค่าก๊าซธรรมชาติ

= 252,638,880.49 Baht/y

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี = 492,299,434.67 Baht/y + 30,029,763.15 Baht/y – 252,638,880.49 Baht/y

= 269,690,317.33 Baht/y

ดังนั้น

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{450{,}000{,}000 \text{ Baht}}{269{,}690{,}317.33 \text{ Baht/y}}$$

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = 1.67 ปี

2. การคำนวณผลตอบแทนการลงทุน

$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน (ROI)} = \frac{\text{ผลประหยัดตลอดอายุการใช้งาน-เงินลงทุน}}{\text{เงินลงทุน}} \times 100\%$$

อายุการใช้งานของระบบผลิตพลังงานร่วม คือ 7 ปี โดยอ้างอิงจาก U.S. Environmental Protection Agency (2015b)

โดย ผลประหยัดตลอดอายุการใช้งาน = 7 ปี x 269,690,317.33 Baht

= 1,887,832,221.31 Baht

ดังนั้น

$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน (ROI)} = \frac{1,887,832,221.31 \text{ Baht} - 450,000,000 \text{ Baht}}{450,000,000 \text{ Baht}} \times 100\%$$

ผลตอบแทนการลงทุน (ROI) = 319.52%

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายทวี กฤตเมธาพร
วัน เดือน ปีเกิด	30 กันยายน 2537
ที่อยู่	9/53 ซอยพหลโยธิน 54/1 แยก 3 (หมู่บ้านนภาวัลย์) แขวงสายไหม เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร 10220
E-mail	Kunweenakub@hotmail.com
โทรศัพท์	08-5844-3985