ศักยภาพการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า
ด้วยระบบผลิตพลังงานร่วม

นายรุ่ง กิตติพิชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-863-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16214972

ENERGY CONSERVATION POTENTIAL IN THE TEXTILE INDUSTRY WITH COGENERATION SYSTEM

Mr. Rung Kittipichai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requiremints

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate school

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-863-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศักยภาพการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้าด้วยระบบผลิตพลังงานร่วม
โดย	นายรุ่ง กิตติพิชัย
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

( )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

รุ่ง กิตติพิชัย : ศักยภาพการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า ด้วยระบบผลิตพลังงานร่วม (ENERGY CONSERVATION POTENTIAL IN THE TEXTILE INDUSTRY WITH COGENERATION SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา :รศ.ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์, 217 หน้า. ISBN 974-632-863-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา ศักยภาพการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้าด้วยระบบผลิตพลังงานร่วม โดยประเมินความเป็นไปได้ทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ รูปแบบของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้ในการประเมิน คือ ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล และแบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แนวทางตามขนาดและความต้องการไอน้ำของโรงงาน คือ 1) กรณี Heat match จะพิจารณาให้ระบบผลิตไอน้ำให้เพียงพอกับความต้องการไอน้ำของโรงงาน และ 2) กรณี Pcwer match จะพิจารณาให้ระบบผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าของโรงงาน โดยเชื้อเพลิงที่ใช้พิจารณาในการประเมิน ได้แก่ น้ำมันเตา เกรด C

ผลของการศึกษาสภาพการใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าในอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้าพบว่ามีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนกิจการประกอบการในโรงงาน คือ โรงงานที่มีการดำเนินกิจการ 1 กิจการ, 2 กิจการ หรือตั้งแต่ 3 กิจการขึ้นไป ซึ่งมีอัตราการใช้พลังงานความร้อนต่อไฟฟ้า ประมาณ 7,67,3,61 หรือ 1.12 ตามลำดับ

ผลการประเมินศักยภาพระบบผลิตพลังงานร่วม พบว่า ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลมีความเหมาะสมในการติดตั้งกับอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้ามากกว่าแบบกังหันไอน้ำ จากผลการประเมินระบบผลิตพลังงานร่วมกับอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า ที่มีความต้องการพลังไฟฟ้า ตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป มีจำนวน 50 โรงงาน มีกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 376 MW พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 2,708 GWh/ปี รายได้สุทธิที่ประหยัดได้ เท่ากับ 1,586 ล้านบาท/ปี

ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงได้พิจารณาพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ อัตราค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า และราคาเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าเมื่อมีราคาเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงขึ้น และระยะเวลาการคืนทุนน้อยลงส่วนราคาเชื้อเพลิง เมื่อมีราคาเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนลดลง ระยะเวลาการคืนทุนนานขึ้น และในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งสอง พบว่า ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลจะให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงกว่า และระยะเวลาการคืนทุนน้อยกว่าแบบกังหันไอน้ำ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C516040 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: COGENERATION/STEAM TURBINE/DIESEL ENGINE/TEXTILE INDUSTRY
RUNG KITTIPICHAI : ENERGY CONSERVATION POTENTIAL IN THE TEXTILE INDUSTRY WITH COGENERATION SYSTEM. 217 pp. ISBN 974-632-863-8

The purpose of this thesis is to study the energy conservation potential in the textile industry with Cogeneration System. It evaluates the technical and economical feasibility of the Cogeneration System. The types of Cogeneration System considered and Diesel engine cogeneration system and back pressure steam turbine cogeneration system. The analysis is devided into two cases due to consideration of the size and demand in steam being used in the factory. They are 1) Heat match case which is to determine amount of steam generated to be served the demand in the factory and 2) Power match case which is to determine amount of electricity generated to be served the demand in the factory. Type of fuel considered is fuel oil C.

The study shows that the quantity of heat and electricity being used in fabric dyeing factories are variable depending upon the number of activity in the factory which may be one, two, or three or more. In each case, the consumption of heat per electrical energy was found to be about 7.67,3.61 or 1.12 repectively.

The result of cogeneration system assessment is that Diesel engine cogeneration system installed in textile industry is more suitable than back pressure steam turbine cogeneration system. Moreover, there are 50 textile factories which demand electric power. more than 1,000 kW. These factories have total electric power installation of 376 MW, producing total electric energy of 2,708 GWh/year and have net annual revenue of 1,586 million Baht per year.

In sensitivity analysis of parameters, two cases were considered, namely the electric energy purchasing rate from Metropolis Electricity Authority(MEA) or Provincial Electricity Authority(PEA) and the price of fuel oil. It was found that if the price of electricity increase,Internal Rate of Return (IRR) will increase, and Pay Back Period(PBP) will decrease. In analysis of another case, if the price of fuel increases, the IRR decreases and PBP increases. And for parameter analysis, the IRR for Diesel engine cogeneration system used in textile factories will increases and the PBP will decreases at a higher rate than that for steam turbine cogeneration system.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ และอาจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทและโรงงานฟอกย้อมผ้าที่ได้ตอบแบบสอบถาม, ฝ่ายทะเบียนและสถิติโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, บริษัท บุญเยี่ยมและสหาย จำกัด, บริษัท มิตซูบิชิ เฮฟวี่ อินดัสตรี่ จำกัด, บริษัท ABB Industry Limited และบริษัท โยชิมิเน(ไทยแลนด์) จำกัด ที่ได้ให้ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ 1

    1.1 บทนำ 1

    1.2 ที่มาของปัญหา 8

    1.3 วัตถุประสงค์ 8

    1.4 ขอบเขตของงาน 9

    1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 9

    1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย 9

2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา 10

3. กระบวนการฟอกย้อมผ้า 13

4. ระบบผลิตพลังงานร่วมและวิธีการประเมินศักยภาพการใช้ระบบ 24

    4.1 ชนิดของระบบผลิตพลังงานร่วม 24

    4.2 เทคโนโลยีของระบบผลิตพลังงานร่วม 26

    4.3 ข้อดี-ข้อเสียของระบบผลิตพลังงานร่วม 29

    4.4 การวิเคราะห์ทางเทคนิคระบบผลิตไอน้ำของโรงงานฟอกย้อมผ้า 31

4.5 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วม 33
4.5.1 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบเครื่องยนต์ดีเซล 33
4.5.2 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine 37
4.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม 41
4.7 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ 46
4.8 วิธีการดำเนินงานวิจัย 47
4.9 ข้อสมมุติในการศึกษาวิจัย 51
5 ผลการวิเคราะห์การประเมินศักยภาพและวิจารณ์ 54
5.1 ผลการประเมินระบบผลิตพลังงานร่วมกับโรงงานฟอกย้อมผ้า 54
5.1.1 ผลการวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานของโรงงานฟอกย้อมผ้า..... 54
5.1.2 ผลการประเมินศักยภาพทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วม กับโรงงานฟอกย้อมผ้า 55
5.1.3 ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของ ระบบผลิตพลังงานร่วมกับโรงงานฟอกย้อมผ้า 58
5.2 ผลของการศึกษา 70
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคของโรงงานตัวอย่าง 70
5.2.2 ผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วมกับ โรงงานตัวอย่าง 71
5.2.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม กับโรงงานตัวอย่าง 71
5.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร 74
5.4 ผลการประเมินศักยภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมกับ อุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า 77
6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 88
6.1 สรุปผลการศึกษา 88
6.2 ข้อเสนอแนะ 91

รายการอ้างอิง 92
ภาคผนวก 96
ก. ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ 97
ข. สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล 101
ค. การคำนวณหากำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำของระบบผลิตพลังงานร่วม
แบบกังหันไอน้ำประเภท Back pressure steam turbine 108
ง. ค่าลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วม 115
จ. แบบสอบถามการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม 121
ฉ. ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานฟอกย้อมผ้าที่ได้จากแบบสอบถาม 123
ช. ผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม
กับโรงงานฟอกย้อมผ้าที่ได้จากแบบสอบถาม 141
ซ. ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานฟอกย้อมผ้าตัวอย่าง 178
ฌ. ผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของ
โรงงานฟอกย้อมผ้าตัวอย่าง..... 181
ญ. ผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม
แบบเครื่องยนต์ดีเซลกับอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า 214
ประวัติผู้เขียน 217

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทย	1
ตารางที่ 1.2	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและกำลังการติดตั้งพลังไฟฟ้ารวมในประเทศไทย	2
ตารางที่ 1.3	การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ ปี 2536	5
ตารางที่ 1.4	การใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ได้สำรวจเก็บข้อมูลจากโรงงานทั่วประเทศไทย	6
ตารางที่ 4.1	กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำ 1000 kg/h เมื่อสภาวะของไอน้ำขาเข้า เป็นไอน้ำยิ่งยวด 316 °C (600 °F)	39
ตารางที่ 5.1	รายชื่อของโรงงานที่ตอบกลับแบบสอบถามข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน	55
ตารางที่ 5.2	ข้อมูลการใช้พลังงานและอัตราส่วนพลังงานความร้อนและไฟฟ้าของโรงงานฟอกย้อมผ้า	57
ตารางที่ 5.3	ผลการประเมินศักยภาพทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วมของโรงงานฟอกย้อมผ้า	59
ตารางที่ 5.4 (a)	ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ที่ discount rate 15 % ในกรณี Heat match	60
ตารางที่ 5.4 (b)	ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ที่ discount rate 15 % ในกรณี Power match	62
ตารางที่ 5.5 (a)	ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ณ ระดับความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ 42 kg_P/cm^2 (g) ที่ discount rate 15 % ในกรณี Heat match	63
ตารางที่ 5.5 (b)	ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ณ ระดับความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ 42 kg_P/cm^2 (g) ที่ discount rate 15 % ในกรณี Power match	64

ตารางที่ 5.6 (a) ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ณ ระดับความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ 32 kg_F/cm^2 (g) ที่ discount rate 15 % ในกรณี Heat match 65

ตารางที่ 5.6 (b) ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ณ ระดับความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ 32 kg_F/cm^2 (g) ที่ discount rate 15 % ในกรณี Power match 67

ตารางที่ 5.7 (a) ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ณ ระดับความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ 18 kg_F/cm^2 (g) ที่ discount rate 15 % ในกรณี Heat match 68

ตารางที่ 5.7 (b) ผลการประเมินศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำกับโรงงานฟอกย้อมผ้า ณ ระดับความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ 18 kg_F/cm^2 (g) ที่ discount rate 15 % ในกรณี Power match 69

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคของโรงงานฟอกย้อมผ้าตัวอย่าง 72

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานฟอกย้อมผ้าตัวอย่าง 73

ตารางที่ 5.10 อัตราส่วนพลังไฟฟ้าต่อแรงม้าติดตั้งรวม (P/Hp ratio) ของโรงงานฟอกย้อมผ้าที่ได้จากแบบสอบถาม 80

ตารางที่ 5.11 ผลการประมาณการการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า 82

ตารางที่ 5.12 ผลการประเมินศักยภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบเครื่องยนต์ดีเซลกับอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า 86

ตารางที่ ข1 ข้อมูลของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล 101

ตารางที่ ข2 ค่าของตัวแปร x, y, xy, x^2, y^2, Σx, Σy, Σxy, Σx^2 และ Σy^2 104

ตารางที่ ข3 ค่าของตัวแปร x, y, xy, x^2, y^2, Σx, Σy, Σxy, Σx^2 และ Σy^2 106

ตารางที่ ค1 กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำ 1000 kg/h เมื่อสภาวะของไอน้ำขาเข้าเป็นไอน้ำยิ่งยวด ..... อุณหภูมิ 316 °C (600 °F) 114

ตารางที่ ง1 ค่าลงทุนรวมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล 116

ตารางที่ ง2 ค่าของตัวแปร x, y, xy, x^2, y^2, Σx, Σy, Σxy, Σx^2 และ Σy^2 117

ตารางที่ ง3 ค่าลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine 119

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนแยกกัน 3
รูปที่ 1.2 ระบบผลิตพลังงานร่วม 3
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอ 13
รูปที่ 3.2 กระบวนการฟอกย้อมผ้า และลักษณะของพลังงานที่ใช้ 14
รูปที่ 3.3 เครื่องเผาขน 15
รูปที่ 3.4 เครื่องต้มแบบเกียร์ 17
รูปที่ 3.5 เครื่องย้อมผ้า แบบ Open Winch 19
รูปที่ 3.6 เครื่องย้อมผ้า แบบ Rapid Winch 20
รูปที่ 3.7 เครื่องย้อมผ้า แบบ Rapid Jet 21
รูปที่ 3.8 เครื่องทำแห้ง 22
รูปที่ 4.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ประเภท ท๊อปปิงไซเคิล 25
รูปที่ 4.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ประเภท บ็อททัมมิงไซเคิล 26
รูปที่ 4.3 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันก๊าซ 27
รูปที่ 4.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังความร้อนร่วม 28
รูปที่ 4.5 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล 29
รูปที่ 4.6 แบบจำลองของการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตของ
โรงงานฟอกย้อมผ้า 32
รูปที่ 4.7 แบบจำลองของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล 34
รูปที่ 4.8 แบบจำลองของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ
ชนิด Back pressure steam turbine 38
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการคืนทุนกับ
ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง 75
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลตอบแทนการลงทุน
กับราคาเชื้อเพลิง 76
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการคืนทุน
กับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า 78

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลตอบแทนการลงทุน
กับอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า 80
รูปที่ ก1 กระบวนการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ 97
รูปที่ ข1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับ
อัตราการผลิตไอน้ำที่ผลิตได้จากระบบ 102
รูปที่ ข2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าระบบ
กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ 103
รูปที่ ค1 กระบวนการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำแบบไอเซนทรอปิก 108

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

η	ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์; %
ε	ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์; %
ρ	ความหนาแน่น; kg/m^3
C	ค่าใช้จ่าย; บาท/ปี
DC	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge); บาท/kW
e	พลังงานรวม (พลังงานภายในรวมกับพลังงานจลน์และพลังงานศักย์); kJ
EC	ค่าพลังงานไฟฟ้า; บาท/kWh
EE	พลังงานไฟฟ้า; kWh
FP	ราคาเชื้อเพลิง; บาท/ลิตร
h	เอนทาลปี; kJ/kg
g	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก; 9.8 m/s^2
Hg	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง; kJ/l
H/P	อัตราส่วนพลังงานความร้อนต่อไฟฟ้า
i	อัตราดอกเบี้ย หรือ Discount rate; %
IC	ราคาระบบผลิตพลังงานร่วม; บาท
IRR	อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal rate of return); %
k	ระยะเวลาที่ประเมิน หรือจำนวนปีของอายุการใช้งาน; ปี
LF	โหลดแฟกเตอร์ (%)
m	อัตราการไหลเชิงมวลหรืออัตราการผลิต; kg/h
M	มวล; kg
n	ระยะเวลาการคืนทุน; ปี
P	พลังไฟฟ้า; kW
Pg	ความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ; kg_F/cm^2 (g)
P/Hp	อัตราส่วนพลังไฟฟ้าต่อแรงม้าติดตั้งรวม; kW/Hp

PSR	อัตราส่วนของกำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำ; kW/1000 kg/h
q	อัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านพื้นผิว; kJ/h
Q	ปริมาณการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านพื้นผิว; kJ
R	รายได้; บาท/ปี
(SPWF,i%,n)	Uniform series present worth factor
SSSF	สภาวะอยู่ตัว การไหลอยู่ตัว (Steady-State, Steady-Flow)
T	อุณหภูมิ; K
TIC	เงินลงทุนเริ่มต้น; บาท
u	พลังงานภายใน; kJ/kg
v	ปริมาตรจำเพาะ; m^3/kg
V	ปริมาตร; m^3
V	ความเร็ว; m/s
w	กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำ; kJ/h
Z	ความต่างระดับ; m

<u>สัญญลักษณ์กำกับล่าง</u>

aux	เสริม
avg	ค่าเฉลี่ย
b	หม้อไอน้ำ
boiler	หม้อไอน้ำ
cg	ระบบผลิตพลังงานร่วม
cg-grid	ไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานร่วมส่งเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า
CV	ปริมาตรควบคุม
diesel	ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล
diesel&aux	ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลและหม้อไอน้ำเสริม
diesel-grid	ไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลส่งเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า
e	ขาออก

E	ไฟฟ้า
f	เชื้อเพลิง
f	สภาวะเป็นของเหลวหรือน้ำ
g	สภาวะเป็นไอหรือไอน้ำ
gen	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
grid	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
grid-process	ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่งไปยังกระบวนการผลิตหรือโรงงาน
i	ขาเข้า
net	ผลรวม หรือสุทธิ
o	อากาศหรือสภาวะแวดล้อม
o&m	ดูแลและบำรุงรักษา
old	ระบบผลิตพลังงานของโรงงานเดิม
process	กระบวนการผลิต
s	ไอน้ำ
SC	ไฟฟ้าสำรอง
tur	กังหันไอน้ำ
turbine	ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ
turbine&aux	ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำและหม้อไอน้ำเสริม
turbine-grid	ไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำส่งเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า
w	น้ำป้อน