สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ซ
รายการรูปประกอบ	ฌ
รายการสัญลักษณ์	ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฎ

บทที่

1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1.3 วัตถุประสงค์	8
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**10**
2.1 Black Liquor	10
2.1.1 ส่วนประกอบของ Black Liquor	11
2.1.2 ค่าความร้อน (High Heating Value; HHV)	11
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนร่วม	12
2.2.1 ระบบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม	12
2.2.2 วัฏจักรพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิก	16
2.3 ค่า Primary Energy Saving (PES) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก	19
2.3.1 คำนิยามพื้นฐาน	19
2.3.2 การกำหนดขอบเขตของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม	23
2.3.3 การหาค่าพลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานที่ผลิตได้	24

	หน้า
2.3.4 การคิดผลของพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ผลิตจากกระบวนการ Non-Cogeneration และพลังงานเชื้อเพลิง Non-Cogeneration ที่เกี่ยวข้อง	25
2.3.5 การคำนวณค่า PES ของระบบ	25
2.3.6 การหาประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ (η)	27
2.4 การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน	27
2.4.1 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback period)	27
2.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	28
2.4.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR)	29
2.5 ต้นทุนค่าไฟฟ้า	29
3. กระบวนการผลิตของโรงงาน	**31**
3.1 กระบวนการผลิตเยื่อ	31
3.1.1 กระบวนการต้มเยื่อ	32
3.1.2 กระบวนการล้างเยื่อ	33
3.2 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืน	33
3.2.1 หน่วยทำระเหย (Evaporation Plant)	34
3.2.2 หม้อไอน้ำนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery Boiler)	34
3.2.3 หน่วยทำด่าง (Causticizing plant & Lime Kiln)	38
3.3 กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงงานที่ทำการศึกษา	39
4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิธีวิจัย	**41**
4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	41
4.2 ประเภทของข้อมูล	43
5. ผลการศึกษาและวิจารณ์	**44**
5.1 ผลการศึกษาการผลิตไฟฟ้าและการขายไฟฟ้า	44
5.2 ผลการศึกษาผลประกอบการในการผลิตไฟฟ้าด้วย Black Liquor ในปี พ.ศ. 2554	46
5.3 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของ Black Liquor กับ เยื่อกระดาษ	53
5.4 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของ Black Liquor กับ ไอน้ำที่ผลิตได้	54
5.5 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของไอน้ำความดันสูงกับไฟฟ้าที่ผลิตได้	55
5.6 การทดสอบประสิทธิภาพ Steam Turbine ของโรงงานที่ทำการศึกษา	55

	หน้า
5.7 กลยุทธ์การผลิตไฟฟ้าโดยวิธีการจัดการการเดินเครื่องและวางแผนการซ่อมบำรุง	58
5.8 กลยุทธ์สำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยการควบคุม Conditions การเดิน Steam Turbine	60
6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	**62**
6.1 สรุปผลการศึกษา	62
6.2 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	**65**
ภาคผนวก	
ก. ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (เฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน)	68
ข. การซื้อขายไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตกับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP)	100
ประวัติผู้วิจัย	**107**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

1.1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ พ.ศ. 2553 1

1.2 ปริมาณการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย พ.ศ. 2551-2553 3

1.3 จำนวนโครงการโรงไฟฟ้า IPP, SPP และ VSPP ของประเทศไทย 4

2.1 ค่า Ref H_{η} และ Ref E_{η} แยกตามชนิดของเชื้อเพลิง 26

5.1 การขายไฟฟ้าที่ผลิตจาก Black Liquor ในปี พ.ศ 2554 47

5.2 มูลค่าการสูญเสียในช่วงที่หยุดจำหน่ายไฟฟ้า 47

5.3 ปริมาณเชื้อเพลิง Black Liquor ของหน่วยระเหย, โรงเยื่อ และหม้อไอน้ำ 49

5.4 ปริมาณไฟฟ้า และมูลค่าที่ได้จากการขายไฟในปี พ.ศ. 2554 50

5.5 สรุปผลการเดินเครื่องในปี พ.ศ. 2554 51

5.6 ปริมาณ WBL (TDS/day) ที่แปรผันตามความเข้มข้น 54

5.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ Steam Turbine ตามเงื่อนไขต่างๆ 56

5.8 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพ Steam Turbine ตาม Conditions ต่างๆ 57

5.9 แผนการหยุดการซ่อมบำรุงที่จัดทำขึ้นใหม่และผลการหยุดซ่อมบำรุงในปี พ.ศ. 2554 59

5.10 เงื่อนไขการเดินเครื่องของหน่วยผลิตเยื่อกระดาษ ทำระเหยหม้อไอน้ำและ
หน่วยผลิตไฟฟ้า เพื่อให้ได้ไฟฟ้า มากกว่า 25 MW 60

5.11 รายได้จากการขายไฟฟ้าที่ผลิตได้กับไฟฟ้าตามเป้าหมายปี พ.ศ. 2554 61

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

1.1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ พ.ศ. 2553 2
1.2 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553 2
1.3 จำนวนและกำลังการผลิตติดตั้งโรงไฟฟ้าในโครงการ SPP ของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537-2554 5
2.1 Black Liquor ที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ 10
2.2 ส่วนประกอบของ Black Liquor 11
2.3 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้ Steam Turbine 13
2.4 Back Pressure Turbine 13
2.5 Condensing Extraction Turbine 13
2.6 Steam Turbine แบบต่างๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนร่วม 14
2.7 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้ Gas Turbine 15
2.8 ระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน 16
2.9 ระบบ Brayton Cycle 17
2.10 ระบบ Rankine Cycle 18
2.11 ระบบ Combined Cycle 18
2.12 การกำหนดขอบเขตของระบบ CO-Generation 23
3.1 วงจรนำสารเคมีกลับคืนจากกระบวนการผลิตเยื่อ 33
3.2 อุปกรณ์ใน Feed water system 36
3.3 แผนผังกระบวนการผลิตไอน้ำของ Power Boiler 37
3.4 แผนผังการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำจาก Steam Turbine 40
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเยื่อกระดาษกับปริมาณ 53
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างไอน้ำที่ผลิตได้กับปริมาณ HBL (TDS) ที่ 73-78 %DS ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ 54
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างไอน้ำที่ผลิตได้กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 55

รายการสัญลักษณ์

f_{COGEN}	พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
q	พลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์รวม
p_{COGEN}	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
q_{COGEN}	พลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ผลิตจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
$p_{non\text{-}COGEN}$	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบ Non-Cogeneration
$q_{non\text{-}COGEN}$	พลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ผลิตจากระบบ Non-Cogeneration
σ_{COGEN}	อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าต่อพลังงานความร้อน
$H\eta$	ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
$E\eta$	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
η	ประสิทธิภาพโดยรวม

ประมวลศัพท์และคำย่อ

SPP	=	Small Power Producer
BL	=	Black Liquor
WBL	=	Weak Black Liquor
HBL	=	Heavy Black Liquor
IRR	=	Internal rate of return
NPV	=	Net Present Value
HHV	=	High Heating Value
LHV	=	Lower Heating Value
PES	=	Primary Energy Saving
HP	=	High Pressure
MP	=	Medium Pressure
LP	=	Low Pressure
DC	=	Direct Current
DS	=	Dry solid
MW	=	Mega watt
COD	=	Commercial Operation Date
PEA	=	Provincial Electricity Authority
kWh	=	Kilowatt-hour
ADT	=	Air Dry Ton
TDS	=	Ton Dry Solid
hr	=	Hour
kW	=	Kilowatt
kJ	=	Kilo joule
MJ	=	Mega joule