

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการ	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	8
2.1 ระบบการผลิตของโรงไฟฟ้าและคุณสมบัติอุปกรณ์หลักในระบบผลิต	8
2.1.1 คุณสมบัติอุปกรณ์ Boiler	9
2.1.2 คุณสมบัติอุปกรณ์ Steam Turbine	10
2.1.3 คุณสมบัติอุปกรณ์ Generator	11
2.1.4 คุณสมบัติอุปกรณ์ Condenser	11
2.2 วิธีคำนวณประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลักในระบบผลิต	12
2.2.1 อุปกรณ์ Boiler	12
2.2.2 อุปกรณ์ Steam Turbine ควบกับอุปกรณ์ Generator	13
2.2.3 อุปกรณ์ Condenser	16

2.3	ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโรงไฟฟ้า	21
2.3.1	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ของโรงไฟฟ้า	21
2.3.2	ค่าอัตราการใช้ความร้อนต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (Heat Rate)	22
2.3.3	ดัชนีชี้วัดสมรรถนะในการปรับปรุงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้า	22
2.4	การวัดการกระจาย (Measure of Dispersion)	26
2.5	การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	30
2.5.1	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น	30
2.5.2	การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น	32
2.5.3	แนวทางการวิเคราะห์การถดถอย	33
บทที่ 3	วิธีการวิจัย	35
3.1	เก็บข้อมูลด้านสถานะการเดินเครื่อง (Operating point) ที่ใช้ทำแบบจำลอง	35
3.1.1	จากระบบจัดเก็บฐานข้อมูลโรงไฟฟ้า (Mae Moh Power Plant Database)	38
3.1.2	ติดตั้งอุปกรณ์วัดเพิ่มเติมเพื่อเก็บข้อมูล	39
3.2	สร้างแบบจำลองสถานะการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน	42
3.3	สร้าง Correction Curve สำหรับปรับแก้ตัวแปรในกระบวนการผลิตจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น	44
3.4	เก็บข้อมูลด้านสถานะการเดินเครื่อง (Operating point) หลังจากโรงไฟฟ้าบำรุงรักษาตามวาระ	47
3.5	คำนวณค่า Target Heat Rate ตามแนวทางของ STEP Factor	50
3.5.1	คำนวณ Target Steam Turbine Heat Consumption	50
3.5.2	คำนวณ Target On-Load Make up Heat Consumption	54
3.5.3	คำนวณ Target Radiation Heat Loss	57
3.5.4	คำนวณ Target Boiler Efficiency	60
3.5.5	คำนวณ Target On Load Heat Consumption	60
3.5.6	คำนวณ Target Auxiliary Power	60
3.5.7	คำนวณ Target Heat Rate	61

บทที่ 4 ผลการวิจัย	62
4.1 ผลลัพธ์ทำ Model Simulation ได้ค่า Correction Factor	62
4.1.1 Main Steam Pressure	62
4.1.2 Main Steam Temperature	63
4.1.3 Reheat Steam Temperature at Intercept valve	65
4.1.4 Reheat Pressure Drop	66
4.1.5 Reheat at temperature water flow	67
4.1.6 Condenser Pressure	68
4.1.7 Cooling Water Temperature to Condenser	70
4.1.8 Cooling Water Flow to Condenser	71
4.2 ผลการคำนวณ Target Heat Rate	72
4.2.1 Target Steam Turbine Heat Consumption	72
4.2.2 Target Make up Heat Consumption	85
4.2.3 Target Radiation Heat Loss	89
4.2.4 Target Boiler Efficiency	93
4.2.5 Target Auxiliary Power	95
4.3 ผลลัพธ์คำนวณค่า Target Heat Rate ของการทดสอบใช้งานดัชนี STEP Factor	97
4.4 ผลลัพธ์ค่า Actual Heat Rate	97
4.5 ผลลัพธ์การทดสอบใช้งานดัชนี STEP Factor	98
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	99
5.1 สรุปผลการวิจัย	99
5.2 ข้อเสนอแนะ	100
เอกสารอ้างอิง	101
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก ข้อมูลสถานะการเดินเครื่องในสภาพปัจจุบันของ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8 (ตัวอย่าง จำนวน 1 ชั่วโมง)	104

ภาคผนวก ข ข้อมูลสถานะการเดินเครื่องในสภาพปัจจุบันของ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8 (ตัวอย่าง จำนวน 1 ชั่วโมง)	137
ภาคผนวก ค สรุปผลการทางคณิตศาสตร์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไปเมื่อปัจจัยที่พิจารณา เปลี่ยนแปลง และ Correction Factor ของแต่ละปัจจัย	175
ภาคผนวก ง เปรียบเทียบความแตกต่างของ Correction Factor ในแต่ละ ปัจจัย ระหว่างค่าเดิมตั้งแต่ First Synchronization กับค่าใหม่ที่สถานะ อุปกรณ์ปัจจุบันเป็นผลงานวิจัยที่ 100%Load(300 MW) และ 80%Load (240 MW)	178
ภาคผนวก จ เอกสารการประชุมทางวิชาการ ประวัติผู้เขียน	187 201

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ประวัติการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะ หน่วยที่ 8-13	1
2.1	ค่า K_L ที่ใช้คำนวณในสมการที่ (2.6)	17
2.2	ค่า K_f ที่ใช้คำนวณในสมการที่ (2.7)	18
2.3	Reference Code	19
2.4	ค่าความหนาของท่อตามมาตรฐาน หรือค่า SWG.	20
2.5	ค่าปรับแก้ตามเงื่อนไขคุณสมบัติเนื้อวัสดุและความหนาภายในท่อของ Condenser โรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 8 - 13	20
2.6	การแปรผลลัพท์ค่า STEP Factor จากการคำนวณ	23
2.7	พิจารณาแนวทางการวิเคราะห์การถอดออกจากค่าสถิติ	33
3.1	สรุป Operating Point บนเงื่อนไขกำลังผลิต 300 MW ข้อมูลค่าเฉลี่ยใน วันที่ 16 กรกฎาคม 2555 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง	40
3.2	ค่า Correction Factor ของแต่ละค่าของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า Condenser	46
3.3	สรุป Operating Point บนเงื่อนไขกำลังผลิต 300 MW ข้อมูลค่าเฉลี่ย ตั้งแต่ เวลา 08:00 น. ของวันที่ 2 มกราคม 2556 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง (สำหรับคำนวณในส่วน Steam Turbine-Generator)	48
3.4	สรุป Operating Point บนเงื่อนไขกำลังผลิต 300 MW ข้อมูลค่าเฉลี่ย ตั้งแต่ เวลา 08:00 น. ของวันที่ 2 มกราคม 2556 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง และข้อมูลผลวิเคราะห์ถ่าน (สำหรับคำนวณในส่วน Boiler)	49
3.5	ค่า Z จากข้อมูลผู้ผลิต	52
3.6	Pipe work Specification และ Pipe Heat Loss ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8 และค่าอุณหภูมิของของไหลผ่านท่อ บนเงื่อนไข Load 300 MW	58
3.7	ตัวอย่างผลลัพท์ค่า Pipe Heat Loss ที่อ่านจาก CEGB-Heat Loss from Insulated Pipes โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8 ตามค่าอุณหภูมิของของไหลผ่าน ท่อดังตารางที่ 3.7	59
4.1	ผลคำนวณ Corrected Generator Output ที่ 100%Load (300 MW)	73

4.2	ผลคำนวณ Corrected Generator Output ที่ 80%Load (240 MW)	73
4.3	ผลคำนวณ Corrected Generator Output ที่ 60%Load (180 MW)	74
4.4	เปรียบเทียบค่า Correction Factor ก่อน-หลัง การปรับปรุงในการวิจัย ที่ 100% Load (300 MW)	75
4.5	ผลคำนวณ Corrected Steam Turbine Heat Rate ที่ 100% Load (300 MW)	77
4.6	ผลคำนวณ Corrected Steam Turbine Heat Rate ที่ 80% Load (240 MW)	78
4.7	ผลคำนวณ Corrected Steam Turbine Heat Rate ที่ 60% Load (180 MW)	79
4.8	ผลคำนวณ Target Steam Turbine-Generator Exhaust Pressure แต่ละ Step Load และแต่ละค่าของ Inlet Cooling Water Temperature ครอบคลุมทุกสภาวะเดินเครื่อง	81
4.9	ผลคำนวณ Target Steam Turbine-Generator Exhaust Pressure Correction Factor แต่ละ Step Load และแต่ละค่าของ Condenser Pressure ครอบคลุมทุกสภาวะเดินเครื่อง	83
4.10	ผลคำนวณ Target Soot Blowing Make-up Heat Consumption (เท่ากันทุก Step Load)	85
4.11	ผลคำนวณ Target Blow-down Make-up Heat Consumption (เท่ากันทุก Step Load)	85
4.12	ผลคำนวณ Target Leakage Make-up Heat Consumption ที่ 100% Load (300 MW)	86
4.13	ผลคำนวณ Target Leakage Make-up Heat Consumption ที่ 80% Load (240 MW)	86
4.14	ผลคำนวณ Target Leakage Make-up Heat Consumption ที่ 60% Load (180 MW)	87
4.15	ผลคำนวณ Target Leakage Make-up Heat Consumption ทุก Step Load	87
4.16	อุณหภูมิของของไหลทำงานที่นำมากำหนดค่า Target Radiation Heat Loss ในแต่ละ Step Load	89
4.17	ผลคำนวณ Target Radiation Heat Loss ที่ 100%Load(300 MW)	90
4.18	ผลคำนวณ Target Radiation Heat Loss ที่ 80%Load(240 MW)	91
4.19	ผลคำนวณ Target Radiation Heat Loss ที่ 60%Load(180 MW)	92
4.20	ผลคำนวณ Target Boiler Efficiency แต่ละ Step Load	94

4.21	ผลคำนวณ Target Auxiliary Power แต่ละ Step Load	95
4.22	ผลคำนวณ Target Heat Rate รายเดือน ตั้งแต่ ม.ค. ถึง ก.ค. 2556	97
4.23	ผลคำนวณ Net Plant Heat Rate รายเดือน ตั้งแต่ ม.ค. ถึง ก.ค. 2556	98
4.24	ผลคำนวณดัชนี STEP Factor รายเดือน ตั้งแต่ ม.ค. ถึง ก.ค. 2556	98

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
2.1	อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนถ่านหินแม่เมาะ	8
2.2	แผนผังละเอียดกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนถ่านหินแม่เมาะ	9
2.3	แผนผังระบบการทำงานของหม้อไอน้ำ	10
2.4	ดุลพลังงานภายใน Boiler	13
2.5	กราฟ Correction Factor ของค่าความบริสุทธิ์ของก๊าซไฮโดรเจนภายใน Generator	16
2.6	แบบจำลองอย่างง่ายของ Condenser	21
2.7	แผนผังแสดงแนวทาง/หลักการคำนวณ STEP Factor	24
2.8	แสดงการกระจายของข้อมูล 3 ชุดที่แตกต่างกันแต่ค่ากลางเท่ากัน	27
2.9	แสดงระยะห่างของ Q_1 และ Q_3	29
3.1	แผนภาพ Heat Balance Guaranteed ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 8 จำย Load 300 MW โดยบริษัทผู้ผลิตตั้งแต่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า	35
3.2	แผนภาพ Heat Balance Guaranteed ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 8 จำย Load 300 MW โดยบริษัทผู้ผลิตตั้งแต่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า	39
3.3	แผนภาพตำแหน่งวัดค่า Cooling Water Flow Rate	40
3.4	แบบจำลองรูปแบบ Design Case โดยใช้โปรแกรม Gate Cycle & Cycle Link	43
3.5	ตัวอย่างการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ผลลัพธ์แต่ละจุด ก่อน-หลัง อุปกรณ์	43
3.6	ตัวอย่างข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงไฟฟ้ากับค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า Condenser ซึ่งได้รับมาจากบริษัทผู้ผลิตตั้งแต่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า	45
3.7	แผนผังแสดงแนวทาง/หลักการคำนวณ STEP Factor	47
3.8	แผนภูมิแสดงตัวอย่างของ Willan 's Line Diagram	51

3.9	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไป ต่อเมื่อค่า Condenser Pressure เปลี่ยนแปลง ซึ่งได้จากการทำ Heat Balance Model บนเงื่อนไข Load 180 MW, 240 MW และ 300 MW	53
3.10	แผนภูมิแสดงตัวอย่าง Condenser Pressure Correction Curve ที่ได้จากการทำ Heat Balance Model บนเงื่อนไข Load 180 MW, 240 MW และ 300 MW	54
3.11	แผนภูมิ CEGB-Heat Loss from Insulated Pipes	58
4.1	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไป เมื่อค่า Main Steam Pressure เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	62
4.2	Main Steam Pressure Correction Factor	62
4.3	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไป เมื่อค่า Main Steam Temperature เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	63
4.4	Main Steam Temperature Correction Factor	64
4.5	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไป เมื่อค่า Reheat Steam Temperature at Intercept valve เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	65
4.6	Reheat Steam Temperature at Intercept valve Correction Factor	65
4.7	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไป เมื่อค่า Reheat Pressure Drop เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	66
4.8	Reheat Pressure Drop Correction Factor	66
4.9	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไป เมื่อค่า Reheat at temperature water flow เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	67
4.10	Reheat at temperature water flow Correction Factor	67
4.11	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่เบี่ยงเบนไป เมื่อค่า Condenser Pressure เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	68

4.12	Condenser Pressure Correction Factor	69
4.13	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่ เบี่ยงเบนไปเมื่อค่า Cooling Water Temperature to Condenser เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	70
4.14	Cooling Water Temperature to Condenser Correction Factor	70
4.15	ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์ Steam Turbine – Generator ที่ เบี่ยงเบนไป เมื่อค่า Reheat at temperature water flow เปลี่ยนแปลง (Load 180, 240 และ 300 MW)	71
4.16	Cooling Water Flow Correction Factor	72
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแต่ละ Parameters ที่ส่งผล ต่อค่า Corrected Generator Output ที่เบี่ยงเบนไป ที่กำลังผลิต 100%Load (300MW)	76
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแต่ละ Parameters ที่ส่งผล ต่อค่า Corrected Generator Output ที่เบี่ยงเบนไป ที่กำลังผลิต 80%Load (240MW)	76
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าแต่ละ Parameters ที่ส่งผล ต่อค่า Corrected Generator Output ที่เบี่ยงเบนไป ที่กำลังผลิต 60%Load (180MW)	77
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่าง Basic Steam Turbine Heat Consumption กับ Load	80
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่าง Target Steam Turbine-Generator Exhaust Pressure กับ Load	82
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่าง Target Steam Turbine-Generator Exhaust Pressure Correction Factor กับ Load	84
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่าง Target Make-up Heat Consumption กับ Load	88
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่าง Target Radiation Heat Loss กับ Load	93
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่าง Target Boiler Efficiency กับ Load	94
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่าง Boiler Efficiency (HHV) กับ Load (Performance Test ปี 2551)	95
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่าง Target Auxiliary Power กับ Load	96

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C	ปริมาณความร้อนที่ Steam Turbine ใช้ในขั้นตอน Start up ยังไม่ได้จ่ายกำลังผลิตไฟฟ้าออกมา	GJ/h
f	ค่า Condenser Pressure ที่เหมาะสมกับสภาวะการจ่าย Load	bar
h	ระยะเวลาที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า	h
h_F	ค่าเอนทาลปีของน้ำ ที่สภาวะเดียวกับ Final Feed Water เข้า Boiler	kJ/kg
h_O	ค่าเอนทาลปีของ Steam ณ ตำแหน่ง Drum Boiler	kJ/kg
h_S	ค่าเอนทาลปีของ Steam Soot Blowing	kJ/kg
h_W	ค่าเอนทาลปีของ Make-up Water ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ	kJ/kg
H	อัตราการสิ้นเปลืองปริมาณความร้อนที่ Steam Turbine ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในหนึ่งหน่วยเวลา	GJ/h
H_M	ค่าเป้าหมายอัตราพลังงานความร้อนที่ต้องป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มเติม	GJ
H_p	Pipe Heat Loss	J/m
H_t	ค่าเป้าหมายของปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการขับเคลื่อน Steam Turbine	GJ/h
H_R	Target Radiation Heat Loss จาก Steam และ Feed Water Range Pipe Work	GJ
k	Make-up Plant Factor	-
L	กำลังผลิตรวมของ Generator	MW
m	ค่าความชันของสมการ	kJ/kWh
M_B	Target Blow Down Make-up Heat Consumption Rate	GJ/h
M_L	Target Leakage Make-up Heat Consumption Rate	GJ/h
M_S	Target Steam Soot Blowing Make-up Heat Consumption Rate	GJ/h
P	Equivalent Proportion ของ Steam Leak ณ ตำแหน่ง Turbine Stop Valve และ Final Feed Water	Ton/Day
Q_s	Steam Soot Blowing Consumption	Ton/Day

สัญลักษณ์

ความหมาย

หน่วย

 Q_B

Quantity of Blow Down Water Flow

kg/s

 Z ค่าแก้ตามลักษณะอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของ Steam เข้าสู่
Steam Turbine

-