สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญ	ฉ
สารบาญตาราง	ซ
สารบาญภาพ	ฌ
รายการสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการ	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับจากการวิจัย	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	8
2.1 ชนิดของถ่านหิน	8
2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน	10
2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้า	13
2.4 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้า	14
2.5 การถ่ายเทความร้อน	18
2.6 ผลกระทบจากสิ่งสกปรก	23
2.7 รูปแบบการสะสมตัวของเถ้าบนผนังท่อ	26
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	29
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	29
3.2 วิธีการวิจัย	32
3.2.1 ศึกษาคุณสมบัติของเถ้าในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	32
3.2.2 ศึกษาสภาพการใช้เชื้อเพลิงและการใช้เครื่องเป่าเถ้า	36

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

3.2.3 การหาค่าการนำความร้อนของเถ้า (k) 38
3.2.4 การหาค่าความต้านทานความร้อน (R_f) 39
3.2.4.1 ค่าความต้านทานความร้อนบริเวณ Furnace Zone 39
3.2.4.2 ค่าความต้านทานความร้อนบริเวณ Convection Zone 40
3.3.5 รูปแบบการสะสมตัวของเถ้าบนผนังท่อ 46
3.3.6 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ 47
3.2.6.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าเถ้า 47
3.2.6.2 ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงเมื่อมีเถ้าสะสม 48
บทที่ 4 ผลการวิจัย 50
4.1 ค่าการนำความร้อนของเถ้า (k) 50
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานความร้อน 50
4.3 การสะสมตัวของเถ้าที่มีปัจจัยต่อการถ่ายเทความร้อน 52
4.4 ความถี่ที่เหมาะสมในการใช้เครื่องเป่าเถ้า 58
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 65
5.1 สรุปผลการวิจัย 65
5.2 ข้อเสนอแนะ 66

เอกสารอ้างอิง 67

ภาคผนวก 69
ภาคผนวก ก ข้อมูลคุณสมบัติของเถ้าในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ 70
ภาคผนวก ข ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ 76
ภาคผนวก ค ข้อมูลค่าความต้านทานความร้อน 81
ภาคผนวก ง ข้อมูลการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ 109
ภาคผนวก จ ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าเถ้า 124
ภาคผนวก ฉ เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่ 126
ภาคผนวก ช เอกสารการประชุมทางวิชาการ 139

ประวัติผู้เขียน 149

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	Classification of Coal by Rank (Singer,1991)	9
2.2	การเปรียบเทียบรายงานการวิเคราะห์ถ่านหินบนฐานต่างๆ (Singer,1991)	10
2.3	องค์ประกอบของถ่านหิน วิเคราะห์โดยใช้หลักเกณฑ์ออกไซด์ของเถ้า (วราภรณ์ คุณาวนากิจ,2540)	14
2.4	คุณสมบัติของเถ้าถ่านหิน (Singer,1991)	15
2.5	ความสัมพันธ์ของปริมาณเหล็กออกไซด์ที่มีต่อการหลอมละลายของเถ้า (Nicholls and Selvig ,1932)	17
2.6	ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการเกิด Asymptotic Fouling (Agrawal and Kakac, 1991)	28
3.1	ข้อมูลของเครื่องเป่าเถ้าในหม้อกำเนิดไอน้ำ	31
4.1	ค่าการนำความร้อนของเถ้า (Thermal Conductivity, k)	50
4.2	ค่าตัวแปรโมเดลของค่าความต้านทานความร้อน	56
4.3	ความถี่ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าเถ้าจากการวิเคราะห์	63
4.4	ความถี่ในการใช้เครื่องเป่าเถ้าและค่าใช้จ่ายในอดีตที่ปฏิบัติมา	63

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	รูปแบบพื้นฐานการเกาะตัวของสิ่งสกปรก	6
2.1	อุณหภูมิต่างๆของเถ้าเมื่อเริ่มหลอม (Singer,1991)	12
2.2	ความสัมพันธ์ของ Ash-Fusibility Temperature กับ Silica/Alumina Ratio (Singer,1991)	16
2.3	ผลของการเพิ่มปริมาณแคลเซียมออกไซด์กับอุณหภูมิเถ้าที่กลายเป็นของไหลของ Easten Coal (Nicholls and Selvig ,1932)	17
2.4	วงจรความร้อนของการถ่ายเทความร้อนแบบรวม	21
2.5	รูปแบบการแลกเปลี่ยนความร้อน (Singer, 1991)	22
2.6	รูปแบบการเกาะสะสมตัวของ Fouling (Agrawal and Kakac, 1991)	26
3.1	หม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11	29
3.2	วงจรวงจรการทำงานของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11	30
3.3	เครื่องเป่าเถ้า Short Retracting Blower แบบ V58	31
3.4	เครื่องเป่าเถ้า Long Retracting Blower แบบ RKS 81 E	31
3.5	การติดตั้ง Thermocouple วัดอุณหภูมิผนังเตา	32
3.6	องค์ประกอบของเถ้าในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 10	33
3.7	องค์ประกอบของเถ้าในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 11	34
3.8	Slag Parameters ของเถ้าในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 10	35
3.9	Slag Parameters ของเถ้าในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 11	35
3.10	การใช้เชื้อเพลิงถ่านหินลิกไนต์และน้ำมันดีเซล (Light Oil) ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 10	36
3.11	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกาซร้อนและประสิทธิภาพของหม้อกำเนิดไอน้ำ เมื่อมีการใช้เครื่องเป่าเถ้า (วันที่ 29 มิถุนายน 2540)	37
3.12	เครื่องมือทดลองหาค่าการนำความร้อนของเถ้า (k)	38
3.13	บริเวณ Furnace Zone (Water Wall Tube)	40
3.14	แผง Economizer Upper/Intermediate/Lower Assembly	42

3.15	แผง SH. Horizontal Spaced Low Temperature Assembly	43
3.16	แผง RH. Horizontal Spaced/Platen Assembly	44
3.17	แผง SH. Horizontal Spaced/Platen High Temperature Assembly	45
3.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานความร้อนกับเวลา	46
3.19	ความถี่ที่เหมาะสมในการใช้เครื่องเป่าเถ้า	49
4.1	ค่าความต้านทานความร้อนบริเวณ Furnace Zone	51
4.2	ค่าความต้านทานความร้อนบริเวณ Convection Zone	51
4.3	โมเดลของค่าความต้านทานความร้อน (R_i) บริเวณ Furnace-Burner Zone	52
4.4	โมเดลของค่าความต้านทานความร้อน (R_i) บริเวณ Furnace-Middle Zone	52
4.5	โมเดลของค่าความต้านทานความร้อน (R_i) บริเวณ Economizer Intermediate/Lower Assembly	53
4.6	โมเดลของค่าความต้านทานความร้อน (R_i) บริเวณ Economizer Upper Assembly	53
4.7	โมเดลของค่าความต้านทานความร้อน (R_i) บริเวณ Superheater Low Temperature Assembly	54
4.8	โมเดลของค่าความต้านทานความร้อน (R_i) บริเวณ Superheater High Temperature Assembly	54
4.9	โมเดลของค่าความต้านทานความร้อน (R_i) บริเวณ Reheater Assembly	55
4.10	ปริมาณการสะสมของเถ้าในบริเวณ Furnace Zone	57
4.11	ปริมาณการสะสมของเถ้าในบริเวณ Convection Zone	57
4.12	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Furnace Burner Zone (n = 22 Times/Day)	59
4.13	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Furnace Middle Zone (n = 22 Times/Day)	60
4.14	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Economizer Interm./Lower Assembly (n = 3 Times/Day)	60
4.15	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Economizer Upper Assembly (n = 2 Times/Day)	61
4.16	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Superheater Low Temperature Assembly (n = 4 Times/Day)	61
4.17	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Superheater High Temperature Assembly (n = 10 Times/Day)	62
4.18	การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Reheater Assembly (n = 4 Times/Day)	62

อักษรย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน	(m^2)
a , b	ค่าคงที่ (Constant)	
C_b	ความเข้มข้นของของเหลวใน Bulk Fluid	(kg/m^3)
C_E	ค่ากระไฟฟ้าต่อหน่วย	(Baht / kWh)
C_L	ราคาถ่านหินต่อหน่วยน้ำหนัก	(Baht / Ton)
C_M	ค่าบำรุงรักษาเครื่องเป่าเถ้าต่อครั้งทำงาน	(Baht / Time)
C_p	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ความดันคงที่ (Heat Transfer Coefficient at Constant Pressure)	(kJ/kg)
$C_{p,g}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกาซร้อน ที่ความดันคงที่	(kJ/kg)
$C_{p,s}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไอน้ำ ที่ความดันคงที่	(kJ/kg)
$C_{p,w}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของน้ำ ที่ความดันคงที่	(kJ/kg)
C_s	ความเข้มข้นของของเหลวที่ติดพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน	(kg/m^3)
C_w	ราคาของน้ำต่อหน่วย	(Baht / kg)
$Cost_E$	ค่าใช้จ่ายจากพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์เครื่องเป่าเถ้า	(Baht)
$Cost_M$	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องเป่าเถ้า	(Baht)
$Cost_{Soot}$	ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าเถ้า	(Baht)
$Cost_S$	ค่าใช้จ่ายจากไอน้ำที่ใช้กับเครื่องเป่าเถ้า	(Baht)
d_i	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ	(m)
d_o	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ	(m)
h_c	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Coefficient of Convection Heat Transfer)	(kW / m^2K)
h_f	Enthalpy ของน้ำที่เข้าไปในหม้อกำเนิดไอน้ำ	(kJ/kg)
h_s	Enthalpy ของไอน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดท่อ	(kJ/kg)
h_r	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation Heat Transfer Coefficient)	(kW / m^2K)
k	ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)	(kW/m.K)

L	ความยาวของทรงกระบอกที่บรรจุเถ้า	(m)
LHV	ค่าความร้อน (Low Heating Value) ของถ่านหินลิกไนต์	(kJ/kg)
m_{soot}	ปริมาณไอน้ำที่ใช้ทำความสะอาด	(kg)
$\dot{m}_g$	อัตราการไหลของกาซร้อน (Gas Flow)	(kg/s)
$\dot{m}_s$	อัตราการไหลของไอน้ำ (Steam Flow)	(kg/s)
$\dot{m}_w$	อัตราการไหลของน้ำ (Water Flow)	(kg/s)
N_1	จำนวนครั้งในการเป่าทำความสะอาด	
N_2	จำนวนเครื่องเป่าเถ้าที่ใช้งาน	
P_E	กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนหัวพ่นไอน้ำ	(kW)
Q_c	ปริมาณการถ่ายเทความร้อนในสภาวะที่ท่อสะอาด	(GJ)
Q_f	ปริมาณการถ่ายเทความร้อนขณะมีเถ้าเกาะ	(GJ)
Q_L	ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ	(kJ/kg)
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	(kW)
q_c	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพา	(kW)
q_f	อัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีเถ้าเกาะสะสม	(kW)
q_k	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ	(kW)
q_r	อัตราความร้อนจากการแผ่รังสี	(kW)
q_w	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำหรือไอน้ำได้รับ	(kW)
R_f	ค่าความต้านทานความร้อนของสิ่งสกปรก (Fouling Resistance)	(K/kW)
R_r	ค่าความต้านทานความร้อนของการแผ่รังสี	(K/kW)
R_t	ค่าความต้านทานความร้อนรวม	(K/kW)
R^*_t	Asymptotic Fouling Factor, (a/b)	(K/kW)
$R_{t,c}$	ความต้านทานความร้อนรวมที่สภาวะสะอาด	(K/kW)
$R_{t,f}$	ความต้านทานความร้อนรวมเมื่อมีสิ่งสกปรกเกาะ	(K/kW)
R_{t0}	ค่าความต้านทานความร้อนที่สภาวะเตาสะอาด ($t = t_0$)	(K/kW)
R_{tm}	ค่าความต้านทานความร้อนที่สภาวะเตาสกปรกมาก ($t = t_m$)	(K/kW)
T_b	อุณหภูมิของของไหล (Bulk Temperature)	(K)

T_g	อุณหภูมิของกาซร้อน	(K)
T_{gc}	อุณหภูมิของกาซร้อนที่สภาวะท่อสะอาด	(K)
T_{gf}	อุณหภูมิของกาซร้อนที่สภาวะที่สกปรก	(K)
$T_{g,in}$	อุณหภูมิของกาซร้อนเข้าจากพื้นที่ ที่พิจารณา	(^oC,K)
$T_{g,out}$	อุณหภูมิของกาซร้อนออกจากพื้นที่ ที่พิจารณา	(^oC,K)
T_H	อุณหภูมิของผนังด้านที่ร้อน ที่ X = 0	(K)
T_L	อุณหภูมิของผนังด้านที่เย็น ที่ X = L	(K)
T_s	อุณหภูมิของน้ำหรือไอน้ำในท่อ	(K)
T_{sat}	อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ (Saturatate Temperature)	(K)
$T_{s,in}$	อุณหภูมิของไอน้ำก่อนเข้าแผงท่อ ที่พิจารณา	(^oC,K)
$T_{s,out}$	อุณหภูมิของไอน้ำที่ออกจากแผงท่อ ที่พิจารณา	(^oC,K)
T_w	อุณหภูมิของผนังรับความร้อน	(K)
T_{wc}	อุณหภูมิของน้ำระหว่างพื้นที่ ที่พิจารณา	(^oC,K)
$T_{w,in}$	อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงท่อ ที่พิจารณา	(^oC,K)
$T_{w,out}$	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงท่อ ที่พิจารณา	(^oC,K)
ΔT_1	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างกาซร้อนและไอน้ำด้านเข้า	(^oC,K)
ΔT_2	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างกาซร้อนและไอน้ำด้านออก	(^oC,K)
ΔT_m	Logarithmic Mean Temperature Difference	(^oC,K)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient)	($kW/m^2.K$)
W_{motor}	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์	(kWh)
x	ความหนาของผนังนำความร้อน	(m)
$\varnothing_d$	อัตราการเกาะสะสมตัว (Deposition Rate)	($m^2.K/kJ$)
$\varnothing_r$	อัตราการกำจัดออก (Removal Rate)	($m^2.K/kJ$)
ε	การแผ่รังสี (Emissivity) ของเปลวไฟไปยังพื้นที่รับความร้อน	
σ	ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan - Boltzmann Constant) มีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-8} $W/m^2.K^4$	($W/m^2.K^4$)
θ	Time Constant , (1/b)	(hr)