# รายการรูปประกอบ

**รูป** **หน้า**


1.1 การหลอมละลายของหัวเผาวัสดุพรุนในงานวิจัยของ พีรพงษ์ โตขลิบ [16] 2
1.2 การขยายตัวทางความร้อนของหัวเผาวัสดุพรุนในงานวิจัยของของ พีรพงษ์ โตขลิบ [16] 2
1.3 ความซับซ้อนของหัวเผาวัสดุพรุนในงานวิจัยของ พีรพงษ์ โตขลิบ [16] 3
2.1 อุปกรณ์การทดลองของ Kaplan และ Hall [3] 6
2.2 อุปกรณ์การทดลองของ Tseng และ Howell [4] 7
2.3 แนวคิดการเผาไหม้ละอองเชื้อเพลิงเหลวในวัสดุพรุนของ Tseng และ Howell [4] 7
2.4 อุปกรณ์การทดลองของ Takami [5] 8
2.5 อุปกรณ์การทดลอง Jugjai และคณะ [6] 10
2.6 อุปกรณ์การทดลองของ Jugjai และ Polmart [7] 11
2.7 อุปกรณ์การทดลองของ ชุติเดช ผ่องใส [8] 12
2.8 อุปกรณ์การทดลองของ กิตติศักดิ์ สุวรรณวิจิตต์ [9] 13
2.9 อุปกรณ์การทดลองของ มกร ลักขณา [10] 14
2.10 ภาพเปรียบเทียบการไหลของอากาศแบบ Annular และ Swirling 15
2.11 อุปกรณ์การทดลองของ Pickenäcker [11] 16
2.12 แสดงอุปกรณ์การทดลองของพีรยุทธ ทองเต็ม [12] 17
2.13 อุปกรณ์การทดลองของ พีรพงษ์ โตขลิป [14] 18
3.1 โครงสร้างเปลวไฟแบบลามินาร์ของเชื้อเพลิงผสมมาก่อน [16] 20
3.2 โครงสร้างเปลวไฟแบบแพร่ชนิดราบเรียบ [16] 21
3.3 เปรียบเทียบการเผาไหม้แบบหมุนเวียนความร้อนและการเผาไหม้แบบไม่มีการหมุนเวียนความร้อน [2] 25
3.4 แสดงการถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้ ที่เกิดขึ้นในชั้นวัสดุพรุน [14] 25
3.5 แนวคิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยวัสดุพรุนชนิดไม่มีการแตกตัวเป็นละออง [14] 27
3.6 เทคนิคการเผาไหม้แบบเป็นขั้นตอน 29
4.1 Schematic diagram ของระบบทดสอบหัวเผาวัสดุพรุน 30
5.1 Schematic diagram แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของหัวเผาในการทดลองครั้งที่ 1 38
5.2 รูปถ่ายส่วนประกอบของ PE ในการทดลองครั้งที่ 1 39
5.3 อิทธิพลของ $X_{PB}$ (FR และ Φ คงที่) ต่อโครงสร้างอุณหภูมิเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG (1st Test) 40
5.4 รูปถ่ายแสดงการเกิดการเผาไหม้ที่ไม่เต็มหน้าตัดของห้องเผาไหม้ 41

**รูป** **หน้า**


5.5 อิทธิพลของ $X_{PB}$ (FR และ Φ คงที่) ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG (1st Test) เปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต [14] 41

5.6 รูปถ่ายแสดงการเผาไหม้ที่เกิดภายนอก PE 42

5.7 อิทธิพลของ $X_{PB}$ (FR และ Φ คงที่) ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG (1st Test) เปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต [14] 43

5.8 ภาพถ่ายแสดงการหลอมละลายของชั้นตาข่ายสแตนเลสใน PB 44

5.9 Schematic diagram แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของหัวเผาในการทดลองครั้งที่ 2 45

5.10 ภาพถ่ายแสดงการปรับปรุงหัวเผาวัสดุพรุนจากการทดลองครั้งที่ 1 46

5.11 อิทธิพลของ $X_{PB}$ (FR และ Φ คงที่) ต่อโครงสร้างอุณหภูมิเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG (2nd Test) 47

5.12 ภาพถ่ายแสดงการเกิดเปลวไฟภายนอก PE 48

5.13 อิทธิพลของ $X_{PB}$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG (2nd Test) เปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต [14] 49

5.14 อิทธิพลของ $X_{PB}$ (FR และ Φ คงที่) ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG (2nd Test) เปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต [14] 50

5.15 Schematic diagram แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของหัวเผาในการทดลองครั้งที่ 3 51

5.16 รูปถ่ายแสดงการปรับปรุงหัวเผาจากการทดลองครั้งที่ 2 52

5.17 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG (3rd Test) 53

5.18 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้ Kerosene (3rd Test) 53

5.19 อิทธิพลของ $X_{PB}$ (FR และ Φ คงที่) ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG และ Kerosene (3rd Test) 54

5.20 อิทธิพลของ $X_{PB}$ (FR และ Φ คงที่) ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG และ Kerosene (3rd Test) เปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต [14] 55

6.1 อิทธิพลของ Φ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 56

6.2 อิทธิพลของ Φ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 56

6.3 อิทธิพลของ Φ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม (Mixed fuel: 50% LPG + 50% Kerosene โดยค่าความร้อน) 57

6.4 อิทธิพลของ Φ ต่อประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของเชื้อเพลิง 3 ชนิด 58

6.5 อิทธิพลของ Φ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด 59

6.6 อิทธิพลของ Φ ต่อ $T_{ap}$ ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด 60

6.7 อิทธิพลของ Φ ต่อ $\Delta P$ ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด 61

**รูป** **หน้า**


6.8 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 62

6.9 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 62

6.10 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม (Mixed fuel: 50% LPG + 50% Kerosene โดยค่าความร้อน) 63

6.11 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของเชื้อเพลิง 3 ชนิด 64

6.12 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด 65

6.13 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อ $T_{ap}$ ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด 66

6.14 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อ $\Delta P$ 67

6.15 อิทธิพลของ FR ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาของเชื้อเพลิง LPG 68

6.16 อิทธิพลของ FR ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาของเชื้อเพลิง Kerosene 69

6.17 อิทธิพลของ FR ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อของเชื้อเพลิงผสม 69

6.18 อิทธิพลของ FR ต่อประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของเชื้อเพลิง 3 ชนิด 70

6.19 อิทธิพลของ FR ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียของหัวเผา 71

6.20 อิทธิพลของ FR ต่อ $T_{ap}$ 72

6.21 อิทธิพลของระยะ FR ต่อ $\Delta P$ 73

7.1 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 74

7.2 อิทธิพลของระยะ $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG [14] 74

7.3 ขนาดช่องทางการไหลของอากาศแบบวงแหวนที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -4 และ 0 mm และระยะห่างระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ 75

7.4 อิทธิพลของ $X_{PB}$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียของงานวิจัยปัจจุบันเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต[14] 76

7.5 อิทธิพลของ $X_{PB}$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียของงานวิจัยปัจจุบันเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต[14] 77

7.6 อิทธิพลของ $X_{PB}$ ต่อความดันตกคร่อมห้องเผาไหม้ ($\Delta P$) ของงานวิจัยปัจจุบันเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีต[14] 78

ก.1 รูปถ่ายระบบหัวเผาวัสดุพรุน 85

ก.2 รูปถ่าย Porous burner (PB) 85

ก.3 รูปถ่ายตาข่ายสแตนเลสขนาด 100 mesh/inch2 86

ก.4 รูปถ่าย Combustor block (CB) พร้อม Cement liner 86

ก.5 รูปถ่าย Porous emitter (PE) พร้อม Cement liner 86

**รูป** **หน้า**


ก.6 รูปถ่ายการจัดเรียง Alumina ball ใน PE 87
ก.7 รูปถ่ายระบบป้อนเชื้อเพลิง Kerosene 87
ก.8 รูปถ่ายอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง (Kerosene) 87
ก.9 รูปถ่ายอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของแก๊ส (LPG) และอากาศ ตามลำดับ 88
ก.10 รูปถ่ายอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) 88
ก.11 รูปถ่ายอุปกรณ์อุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature recorder) 88
ก.12 รูปถ่ายเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust gas analyzer) 89
ก.13 รูปถ่ายคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล 89
ก.14 รูปถ่ายอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) 90
ก.15 รูปถ่ายอุปกรณ์วัดความดัน (U-tube manometer) 90
ก.16 รูปถ่ายอุปกรณ์จ่ายอากาศ (Air-compressor) 90
ก.17 รูปถ่ายระบบระบายแก๊สไอเสีย 91
ก.18 รูปถ่ายหัวเชื่อมอะซิทีลีนสำหรับจุดเตา 92
ก.19 รูปถ่ายถังดับเพลิง 92
ค.1 อิทธิพลของค่า $\Phi$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 113
ค.2 อิทธิพลของค่า $\Phi$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 113
ค.3 อิทธิพลของค่า $\Phi$ ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 114
ค.4 อิทธิพลของค่า $\Phi$ ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 114
ค.5 อิทธิพลของค่า $\Phi$ ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 115
ค.6 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 116
ค.7 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 116
ค.8 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 117
ค.9 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 117
ค.10 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 118
ค.11 อิทธิพลของค่า FR ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 119
ค.12 อิทธิพลของค่า FR ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 119
ค.13 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 120
ค.14 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 120
ค.15 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 121
ค.16 อิทธิพลของค่า $\Phi$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 122

**รูป** **หน้า**


ค.17 อิทธิพลของค่า Φ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 122

ค.18 อิทธิพลของค่า Φ ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 123

ค.19 อิทธิพลของค่า Φ ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 123

ค.20 อิทธิพลของค่า Φ ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 124

ค.21 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 125

ค.22 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 125

ค.23 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 126

ค.24 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 126

ค.25 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 127

ค.26 อิทธิพลของค่า FR ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 128

ค.27 อิทธิพลของค่า FR ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 128

ค.28 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 129

ค.29 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 129

ค.30 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 130

ค.31 อิทธิพลของค่า Φ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 131

ค.32 อิทธิพลของค่า Φ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 131

ค.33 อิทธิพลของค่า Φ ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 132

ค.34 อิทธิพลของค่า Φ ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 132

ค.35 อิทธิพลของค่า Φ ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 133

ค.36 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 134

ค.37 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 134

ค.38 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 135

ค.39 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 135

ค.40 อิทธิพลของค่า $X_{PB}$ ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 136

ค.41 อิทธิพลของค่า FR ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 137

ค.42 อิทธิพลของค่า FR ต่อปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 137

ค.43 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $\Delta P$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 138

ค.44 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $T_{ap}$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 138

ค.45 อิทธิพลของค่า FR ต่อ $\eta_p$ และ $\eta_r$ เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 139

**รูป** **หน้า**


ง.1 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.25 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 141

ง.2 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.27 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 142

ง.3 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.31 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 142

ง.4 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.34 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 143

ง.5 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.37 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 143

ง.6 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.43 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 144

ง.7 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.45 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 144

ง.8 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.55 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 145

ง.9 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.66 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 145

ง.10 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.25 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 146

ง.11 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.27 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 146

ง.12 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.31 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 147

ง.13 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.34 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 147

ง.14 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.37 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 148

ง.15 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.43 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 148

**รูป** **หน้า**


ง.16 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.45 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 149

ง.17 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.55 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 149

ง.18 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -20 mm และ $\Phi$ = 0.66 เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 150

ง.19 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -20 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 150

ง.20 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -16 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 151

ง.21 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -12 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 151

ง.22 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -8 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 152

ง.23 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -4 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 152

ง.24 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = 0 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 153

ง.25 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -20 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 153

ง.26 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -16 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 154

ง.27 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -12 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 154

ง.28 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -8 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 155

ง.29 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = -4 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 155

ง.30 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.34 และ $X_{PB}$ = 0 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 156

**รูป** **หน้า**


ง.31 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -20 mm, $\Phi$ = 0.34 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 156

ง.32 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -20 mm, $\Phi$ = 0.34 และ FR = 6 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 157

ง.33 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -20 mm, $\Phi$ = 0.34 และ FR = 7 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 157

ง.34 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ NOX ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = 0 mm, $\Phi$ = 0.34 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 158

ง.35 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ NOX ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = 0 mm, $\Phi$ = 0.34 และ FR = 6 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 158

ง.36 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ NOX ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = 0 mm, $\Phi$ = 0.34 และ FR = 7 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG 159

ง.37 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.26 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 160

ง.38 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.31 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 161

ง.39 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.35 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 161

ง.40 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.39 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 162

ง.41 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.45 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 162

ง.42 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.47 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 163

ง.43 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.57 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 163

ง.44 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$= 0.26 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 164

ง.45 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$= 0.31 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 164

**รูป** **หน้า**


ง.46 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ Φ= 0.35 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 165

ง.47 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ Φ= 0.39 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 165

ง.48 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ Φ= 0.45 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 166

ง.49 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ Φ= 0.47 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 166

ง.50 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ Φ= 0.57 เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 167

ง.51 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -20 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 167

ง.52 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -16 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 168

ง.53 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -12 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 168

ง.54 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -8 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 169

ง.55 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -4 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 169

ง.56 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = 0 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 170

ง.57 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -20 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 170

ง.58 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -16 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 171

ง.59 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -12 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 171

ง.60 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -8 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 172

**รูป** **หน้า**


ง.61 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -4 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 172

ง.62 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = 0 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 173

ง.63 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, $\Phi$ = 0.39 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 173

ง.64 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, $\Phi$ = 0.39 และ FR = 6 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 174

ง.65 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, $\Phi$ = 0.39 และ FR = 7 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 174

ง.66 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, $\Phi$ = 0.39 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 175

ง.67 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, $\Phi$ = 0.39 และ FR = 6 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 175

ง.68 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, $\Phi$ = 0.39 และ FR = 7 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิง Kerosene 176

ง.69 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.33 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 177

ง.70 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.40 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 178

ง.71 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.47 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 178

ง.72 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.54 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 179

ง.73 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.65 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 179

ง.74 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.66 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 180

ง.75 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.33 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 180

**รูป** **หน้า**


ง.76 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.40 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 181

ง.77 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.47 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 181

ง.78 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.54 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 182

ง.79 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.65 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 182

ง.80 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $X_{PB}$ = -8 mm และ $\Phi$ = 0.66 เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 183

ง.81 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -20 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 183

ง.82 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -16 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 184

ง.83 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -12 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 184

ง.84 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -8 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 185

ง.85 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -4 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 185

ง.86 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = 0 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 186

ง.87 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -20 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 186

ง.88 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -16 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 187

ง.89 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -12 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 187

ง.90 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, $\Phi$ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -8 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 188

**รูป** **หน้า**


ง.91 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = -4 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 188

ง.92 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง FR = 5 kW, Φ = 0.39 และ $X_{PB}$ = 0 mm เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 189

ง.93 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, Φ = 0.39 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 189

ง.94 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, Φ = 0.39 และ FR = 6 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 190

ง.95 สภาวะ Steady state ของอุณหภูมิที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, Φ = 0.39 และ FR = 7 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 190

ง.96 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, Φ = 0.39 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 191

ง.97 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, Φ = 0.39 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 191

ง.98 สภาวะ Steady state ของปริมาณ CO และ $NO_X$ ในไอเสียที่สภาวะการทดลอง $X_{PB}$ = -8 mm, Φ = 0.39 และ FR = 5 kW เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม 192

จ.1 ระบบหัวเผาวัสดุพรุน 194

จ.2 แบบแยกส่วนของระบบหัวเผาวัสดุพรุน (1/3) 195

จ.3 แบบแยกส่วนของระบบหัวเผาวัสดุพรุน (2/3) 196

จ.4 แบบแยกส่วนของระบบหัวเผาวัสดุพรุน (3/3) 197

จ.5 แบบทางวิศวกรรมของฝาปิด Porous burner 198

จ.6 แบบทางวิศวกรรมของ Porous burner 199

จ.7 แบบทางวิศวกรรมของ PB socket 200

จ.8 แบบทางวิศวกรรมของ Combustor block 201

จ.9 แบบทางวิศวกรรมของ Porous emitter 202

จ.10 แบบทางวิศวกรรมของ PE cover 203

ฉ.1 แสดงภาพการแผ่รังสีจากวัสดุพรุนตัวแผ่รังสีไปยังหัวเผาวัสดุพรุน 205

ฉ.2 แบบจำลองอย่างง่ายที่ใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่ปลายของหัวเผาวัสดุพรุน 206

ฉ.3 การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังท่อที่ Element เล็กๆ 206

ฉ.4 ภาพแสดงทิศทางการไหลของอากาศในส่วนต่างๆภายในหัวเผา 209

**รูป** **หน้า**

ฉ.5 แบบจำลองอย่างง่ายที่ใช้ในการคำนวณอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าไปยังห้องเผาไหม้ 211
ฉ.6 แบบจำลองการไหลของอากาศที่ไหลผ่าน PB และ PB socket 212
ฉ.7 แบบจำลองการไหลของอากาศที่ไหลใน Combustor block 214
ช.1 ลักษณะของตาข่ายสแตนเลส 232
ช.2 แบบจำลองอย่างง่ายสำหรับคำนวณฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน 237
ช.3 แบบจำลองของระบบเพื่อคำนวณฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน ( $\tau=0$ ) 241
ช.4 แบบจำลองของระบบเพื่อคำนวณฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน ( $\tau=\tau_{PE}$ ) 243