

การประเมินการใช้พลังงานสำหรับห้วเผาประสิทธิภาพสูงในเตาซีตเติลของอุตสาหกรรมเซรามิกใน
ประเทศไทย

นางสาวเสาวภา อาสาวะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

AN ASSESSMENT OF ENERGY CONSUMPTION FOR HIGH-EFFICIENCY BURNERS IN
SHUTTLE KILN FOR CERAMIC INDUSTRY IN THAILAND

Miss Sauvara Arsawa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินการใช้พลังงานสำหรับห้วเผา ประสิทธิภาพ
สูงในเตาซีตเติลของอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย
ไทย

โดย

นางสาวเสาวรา อาสาวะ

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ณัฐเดช เพ็ญวงษ์)

เสาวรา อาสาวะ :การประเมินการใช้พลังงานสำหรับหัวเผาประสิทธิภาพสูงในเตาชุดเตล
ของอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย. (AN ASSESSMENT OF ENERGY
CONSUMPTION FOR HIGH-EFFICIENCY BURNERS IN SHUTTLE KILN FOR
CERAMIC INDUSTRY IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สมเกียรติ
ตั้งจิตติเจริญ, 136 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ และเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่าง
เทคโนโลยีหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟและรีเจนเนอเรทีฟสำหรับเตาชุดเตลใน
อุตสาหกรรมเซรามิก โดยการเลือกอุณหภูมิในการอุ่นอากาศของหัวเผาให้มีความเหมาะสมกับ
ขนาดของเตา ซึ่งใช้ข้อมูลจากโรงงานเซรามิกตัวอย่างที่ใช้เตาเผาแบบเตาชุดเตลขนาด 4 ลูกบาศก์
เมตร และใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้อายุของโครงการ
เท่ากับ 70 ปี

จากการวิเคราะห์พลังงานสำหรับเตาเผาเซรามิกที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ
32.39% พบว่าควรเลือกใช้เทคโนโลยีหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟที่มีความสามารถ
ในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700°C ซึ่งสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 30.51% โดยที่การ
ติดตั้งหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ จะให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเท่ากับ 5,074,855.52 บาท
และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2.56 ปี หรือติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟมีความสามารถในการ
อุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 900°C ซึ่งสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 39.70% โดยที่การติดตั้งหัว
เผาแบบรีเจนเนอเรทีฟจะให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเท่ากับ 4,911,429.12 บาท และมี
ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4.17 ปี ซึ่งจากผลการศึกษาสำหรับเตาเผาเซรามิกในโรงงานตัวอย่าง
สามารถสรุปได้ว่าสมควรเลือกลงทุนในโครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่มี
ความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2555.....

5370376121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : ENERGY ASSESSMENT/ HIGH-EFFICIENCY BURNER/ SHUTTLE KILN

SAUVARA ARSAWA : AN ASSESSMENT OF ENERGY CONSUMPTION FOR HIGH-EFFICIENCY BURNERS IN SHUTTLE KILN FOR CERAMIC INDUSTRY IN THAILAND. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT TANGJITSITCHAREON, Ph.D., 136 pp.

The purpose of this thesis is to analyze and compare the energy consumption of the high efficiency burners, which are the recuperative burner and the regenerative burner, for the shuttle kiln in the ceramic industry. In order to select a type of the high efficiency burner which appropriates for the kiln, the energy data from the shuttle kiln is utilize from the size of 4 cubicmeter and the use of the liquefied petroleum gas (LPG). The project is conducted under the assumptions for a period of 70 years. The energy balance of the shuttle kiln showed that the thermal efficiency is 32.39%. According to an analysis of the the recuperative burner, the obtained optimum preheating air combustion temperature is 700°C. The fuel consumption of the high efficiency burner can be saved about 30.51%. The Net Present Value (NPV) and the payback period are 5,074,855.52 Baht, and 2.56 years, respectively. In the case of the regenerative burner, the obtained optimum preheating air combustion temperature is 900°C. The fuel consumption of the high efficiency burner can be saved about 39.70%. However, the Net Present Value (NPV) is 4,911,429.12 Baht, which is over than the one from the recuperative burner and the payback period is 4.17 years which is longer than the one from the recuperative burner. Therefore, the recuperative burner should be invested in this study.

Department : Industrial Engineering Student's Signature.....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature.....

Academic Year : 2012.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของบุคคล และหน่วยงานดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสถิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดา เนตร รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และดร.ณัฐเดช เพ็ญวงวงศ์ ซึ่งคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและ ถ่ายทอดประสบการณ์ความรู้ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ คุณเอกราช รจิกาโมทย์ บริษัทฉัตรวิบูลย์เครื่องเคลือบดินเผา คุณนนท์วัฒน์ วีระชาติเทวัญ บริษัท อีคลิปลิส คอมบัสชั่น ประเทศไทย และคุณวิชิต คุระทอง บริษัทสแกนออร์ป จำกัด ประเทศไทย ที่ให้ความร่วมมือเอื้อเฟื้อข้อมูลประกอบการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ และสนับสนุน ทำให้ งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. บทนำ.....	1
1.2. ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	4
1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
1.4. ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.6. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1. เทคโนโลยีการเผาเซรามิก	9
2.2. ส่วนประกอบของเตาเผาเซรามิกแบบเตาขัดเตลิต.....	10
2.3. ลักษณะ และหลักการทำงานของเตาเผาเซรามิกแบบเตาขัดเตลิต.....	10
2.4. สมดุลมวล	11
2.5. สมดุลพลังงาน	12
2.6. หัวเผาเชื้อเพลิง (BURNER) สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก	16
2.7. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	19
2.8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลพลังงาน.....	26
3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	26

3.2. ข้อมูลที่ต้องตรวจวัด	28
3.3. โครงสร้างและลักษณะทั่วไปของชุดเตลในโรงงานตัวอย่าง	30
3.4. ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงาน	31
3.5. สมดุลมวลของกระบวนการเผาเซรามิก	35
3.6. สมดุลพลังงานของกระบวนการเผาเซรามิก	40
บทที่ 4 การวิเคราะห์การเลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง	50
4.1. วิเคราะห์ปริมาณความต้องการพลังงานและเชื้อเพลิง	50
4.2. ต้นทุนพลังงานและค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูง	59
บทที่ 5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	68
5.1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NET PRESENT VALUE)	68
5.2. ระยะเวลาคืนทุน	77
5.3. สรุปผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	78
5.4. การวิเคราะห์ความไวของโครงการโดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว	79
5.5. การวิเคราะห์ความไวของโครงการโดยทำการเปลี่ยนแปลงสองตัวแปร	92
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	111
6.1. สรุปผลการวิจัย	111
6.2. ข้อเสนอแนะ	113
รายการอ้างอิง	115
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก	118
ภาคผนวก ข	131
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	136

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัด	29
ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 1	31
ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 2	31
ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 3	32
ตารางที่ 3.5 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 4	32
ตารางที่ 3.6 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 5	33
ตารางที่ 3.7 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ย 5 ครั้ง	34
ตารางที่ 3.8 องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย	38
ตารางที่ 3.9 ร้อยละสมมูลมวลทั้งกระบวนการเผาเซรามิก	39
ตารางที่ 3.10 ร้อยละของสมมูลมวลทั้งกระบวนการเผาเซรามิก	47
ตารางที่ 4.1 ปริมาณความต้องการพลังงาน เชื้อเพลิง และอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงต่อ	
1 รอบการเผา เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง	57
ตารางที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายแรงงาน	59
ตารางที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผาประสิทธิภาพสูง	60
ตารางที่ 4.4 ปริมาณร้อยละของค่าบำรุงรักษาหัวเผาประสิทธิภาพสูง	60
ตารางที่ 4.5 ต้นทุนพลังงานของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700	
องศาเซลเซียส	61
ตารางที่ 4.6 ปริมาณเชื้อเพลิง และต้นทุนเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	
ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส	61
ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400	
ถึง 700 องศาเซลเซียส	61
ตารางที่ 4.8 ต้นทุนเชื้อเพลิง และต้นทุนหัวเผา ต่อหน่วยกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ของหัวเผาแบบ	
รีคัพเปอร์เรทีฟ	62
ตารางที่ 4.9 ต้นทุนพลังงานที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียสของหัวเผาแบบ	
รีเจนเนอเรทีฟ	64
ตารางที่ 4.10 ปริมาณเชื้อเพลิงและต้นทุนเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	
ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส	65

ตารางที่ 4.11	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส	65
ตารางที่ 4.12	ต้นทุนเชื้อเพลิง และต้นทุนหัวเผา ต่อหน่วยกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	66
ตารางที่ 5.1	การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	70
ตารางที่ 5.2	การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	74
ตารางที่ 5.3	ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของ 2 โครงการ	78
ตารางที่ 5.4	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	80
ตารางที่ 5.5	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลดของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	81
ตารางที่ 5.6	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	82
ตารางที่ 5.7	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	83
ตารางที่ 5.8	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	84
ตารางที่ 5.9	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	85
ตารางที่ 5.10	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลดของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	86
ตารางที่ 5.11	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	88
ตารางที่ 5.12	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	89
ตารางที่ 5.13	การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	90

ตารางที่ 5.14 อัตราร้อยละของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับศูนย์.....	91
ตารางที่ 5.15 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	97
ตารางที่ 5.16 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE) ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ...	100
ตารางที่ 5.17 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ.....	102
ตารางที่ 5.18 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนตอนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	104
ตารางที่ 5.19 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE) ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	107
ตารางที่ 5.20 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ.....	110

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตเซรามิก.....	2
รูปที่ 1.2 การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเซรามิก.....	3
รูปที่ 2.1 เตาเผาแบบชัตเติล (SHUTTLE KILN)	9
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเตาชัตเติล (SHUTTLE KILN).....	11
รูปที่ 2.3 VENTURI BURNER	17
รูปที่ 2.4 หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผารีคัพเปอร์เรทีฟ.....	18
รูปที่ 2.5 หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผารีเจนเนอเรทีฟ	19
รูปที่ 3.1 เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย (รุ่น TESTO 300 M AND XL)	26
รูปที่ 3.2 เทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรดแบบไม่สัมผัส CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A 876 ชนิด K....	27
รูปที่ 3.3 เทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะเปียก-แห้ง	28
รูปที่ 3.4 เตาชัตเติลขนาด 4 ลูกบาศก์เมตรของโรงงานตัวอย่าง	30
รูปที่ 3.5 หัวปั่นไฟแบบเวนจูรี (VENTURI BURNERS)	30
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	63
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	66
รูปที่ 5.1 การวิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ของหัวเผาแบบ รีคัพเปอร์เรทีฟ	92
รูปที่ 5.2 การวิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ของหัวเผาแบบ รีเจนเนอเรทีฟ	93
รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของ หัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ.....	96
รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE)ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	99
รูปที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผา แบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	101
รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของ หัวเผา	103

รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE) ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	106
รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (DISCOUNT RATE) และเงินลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ	109

บทที่ 1

บทนำ

1.1. บทนำ

อุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในลำดับต้นๆ ที่ได้รับการสนับสนุนและส่งเสริมจากภาครัฐ อันเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีส่วนเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมบริการ เป็นต้น ทั้งนี้อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่มีฐานการผลิตในประเทศไทยเป็นจำนวนมากซึ่งแต่เดิมเป็นการประกอบอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดย่อมที่ทำการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการภายในประเทศ และทดแทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์เซรามิกจากต่างประเทศเท่านั้น ต่อมาประเทศไทยได้มีการศึกษาและพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง จนทำให้ประเทศไทยสามารถเป็นหนึ่งในผู้ผลิตเซรามิกที่มีความสำคัญในภูมิภาคเอเชีย โดยในปัจจุบันประเทศไทยสามารถทำการผลิตเพื่อการส่งออกเซรามิกซึ่งทำรายได้ให้กับประเทศได้สูงถึงปีละประมาณ 19,000 ล้านบาท โดยอุตสาหกรรมเซรามิกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

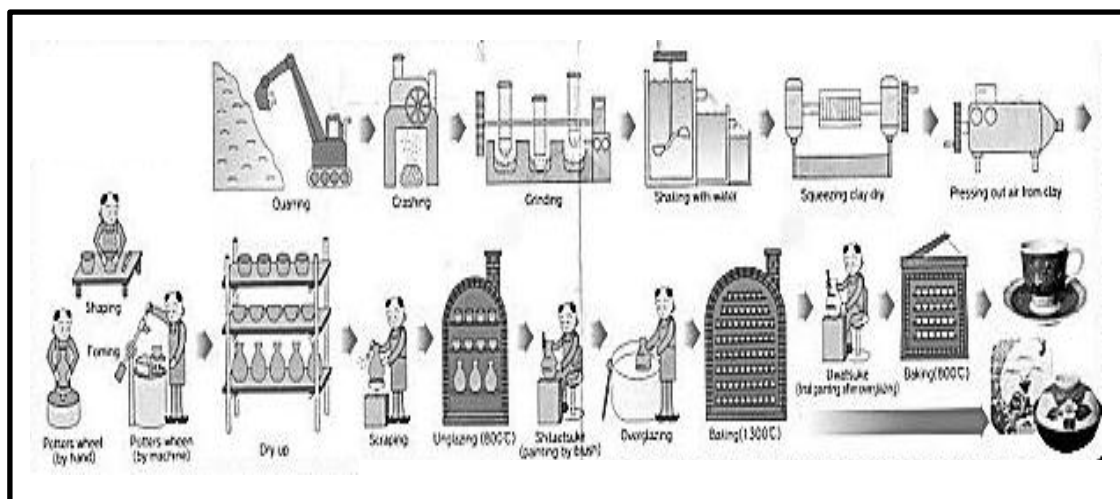
- เซรามิกแบบดั้งเดิม (Traditional Ceramics) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นจากวัสดุหลักคือ ดินเหนียว ดินดำ ดินขาว และแร่อื่นๆ ผลิตภัณฑ์เซรามิกแบบดั้งเดิม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จำพวกกระเบื้อง เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของข้าวถ้วยเครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า เป็นต้น

- เซรามิกสมัยใหม่ (New Ceramics) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการต่างๆมาแล้วเพื่อให้ความบริสุทธิ์สูง และเป็นเซรามิกที่รับน้ำหนักในอุณหภูมิสูง โดยเซรามิกสมัยใหม่แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ เซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง, อิเล็กโทรเซรามิก และเซรามิกสำหรับงานทางการแพทย์

ทั้งนี้อุตสาหกรรมเซรามิกสมัยใหม่ในประเทศไทยเป็นเพียงการนำเข้าวัตถุดิบสำเร็จรูปจากต่างประเทศ และเนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีที่ยังต้องมีการพึ่งพาจากบริษัทแม่ในต่างประเทศเป็นหลักจึงทำให้เป็นอุตสาหกรรมการผลิตแบบไม่ครบวงจร ดังนั้นอุตสาหกรรมเซรามิก เกือบทั้งหมดในประเทศไทยจึงจัดได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมเซรามิกแบบเซรามิกแบบดั้งเดิม โดยมี

ผู้ผลิตส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย สำหรับผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมเซรามิกประกอบด้วย 5 ประเภทหลักคือ กระเบื้อง เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของชำร่วยและเครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า

กระบวนการผลิตเซรามิก



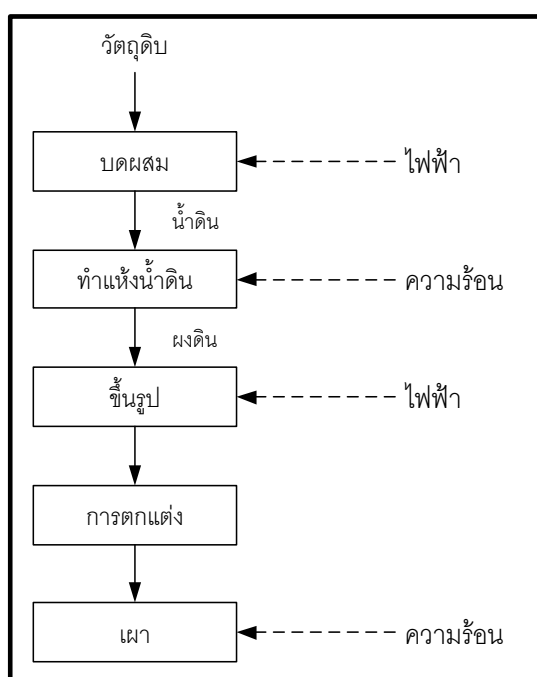
รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตเซรามิก

ที่มา: <http://garryceramics.blogspot.com>

กระบวนการผลิตเซรามิกประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ การเตรียมเนื้อดิน การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยที่กระบวนการเตรียมเนื้อดินจะเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตเซรามิก ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ดินจับตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ขั้นตอนที่สองคือ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยแม่พิมพ์รูปแบบต่างๆ โดยการนำเนื้อดินที่เตรียมไว้มาใส่ในแม่พิมพ์และทำการอัดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และขั้นตอนสุดท้ายคือ การเผาผลิตภัณฑ์ด้วยเตาเผาเซรามิกแบบเตาซัดเตล ซึ่งเป็นขั้นตอนของการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นรูปมีความแห้ง แข็งตัว และมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยการเผาผลิตภัณฑ์จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเผาดิบ หรือการเผาบิสกิต คือการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกหลังจากการขึ้นรูปและตกแต่งผลิตภัณฑ์ ด้วยการเพิ่มความร้อนขึ้นทีละน้อย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเผาไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ออกจากผลิตภัณฑ์, การเผาเคลือบ เป็นการเผาผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ผ่านการชุบเคลือบแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้วัสดุเคลือบหลอมเป็นเนื้อแก้วติดแน่นอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์ โดยจะทำการเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1200-1400°C

การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเซรามิก [1]

สำหรับกระบวนการผลิตเซรามิกเป็นกระบวนการที่ต้องการใช้พลังงาน 2 ชนิด คือพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยคิดเป็นร้อยละ 75 และ 25 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตตามลำดับ โดยมีการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 2 และเมื่อคิดสัดส่วนต้นทุนทางพลังงานของอุตสาหกรรมเซรามิกพบว่า มีต้นทุนทางพลังงานถึง 40% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด



รูปที่ 1.2 การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเซรามิก [1]

กระบวนการเผา นับเป็นกระบวนการในการผลิตเซรามิกที่ใช้พลังงานสูงที่สุด ในขณะที่ปัจจุบันราคาเชื้อเพลิงมีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับค่าแรงงาน ส่งผลให้โรงงานเซรามิกมีต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เพื่อให้โรงงานสามารถดำรงอยู่ได้ในสภาวะการแข่งขันในปัจจุบัน จึงเป็นเหตุที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับการนำหัวเผาประสิทธิภาพสูงมาประยุกต์ใช้กับเตาเผาเซรามิกแบบเตาชุดเตล โดยที่หัวเผาประสิทธิภาพสูงแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ หัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ (Recuperative Burner) และหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative burner)

โดยที่หัวเผาทั้ง 2 แบบ ถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้ระบบสามารถดึงเอาความร้อนที่ถูกปล่อยไปกับกระบวนการเผา กลับมาใช้ใหม่ ด้วยการดึงเอาความร้อนนั้นกลับมาเพื่อใช้อุ่นอากาศก่อนเข้า

เผาให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นผลให้กระบวนการเผาสามารถปรับอุณหภูมิได้ถึงระดับที่กำหนดไว้โดยที่มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงจากเดิม ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ประกอบการเซรามิกสามารถลดต้นทุนทางพลังงานได้โดยมีความสอดคล้องและรองรับกับแผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554-2573) ของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้กำหนดไว้ว่าให้ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคอาคารธุรกิจ และภาคบ้านอยู่อาศัย ทำการอนุรักษ์พลังงานด้วยการประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งหมายถึงการการทำงานที่ได้ผลลัพธ์เท่าปกติแต่มีปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลงจากเดิม

1.2. ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้พลังงานสูงในกระบวนการเผา สำหรับประเทศไทยซึ่งปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้จะประกอบด้วย เชื้อเพลิงแข็ง โดยทั่วไปจะเป็นไม้ชนิดต่างๆ และเชื้อเพลิงก๊าซ โดยทั่วไปเป็นก๊าซหุงต้ม (LPG) ซึ่งถ้าหากมาพิจารณาในส่วนเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG) ในปัจจุบันรัฐบาลต้องมีการชดเชยราคาก๊าซหุงต้มประมาณ 50% ของราคาก๊าซหุงต้มในตลาดโลก เพื่อเป็นการลดความเดือดร้อนให้กับผู้จำหน่าย เป็นผลให้รัฐบาลจะต้องแบกรับภาระที่หนักและส่งผลให้กลไกทางการตลาดผิดเพี้ยน จึงเป็นเหตุให้รัฐบาลพยายามแยกตลาดก๊าซหุงต้มของอุตสาหกรรมออกจากตลาดขนส่งและครัวเรือน ส่งผลให้ราคาก๊าซหุงต้มที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาต้นทุนของผู้ประกอบการเซรามิก พบว่าการประมาณการต้นทุนเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG) อยู่ในสัดส่วนร้อยละ 40 ของต้นทุนรวม ซึ่งใช้มากกว่าประเทศจีนที่ใช้เพียงร้อยละ 36 เท่านั้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นทุนทางด้านอื่นๆ พบว่าต้นทุนด้านพลังงานเป็นต้นทุนที่สูงที่สุดของอุตสาหกรรม โดยการปรับขึ้นของราคาก๊าซจะทำให้ผู้ประกอบการต้องแบกรับภาระต้นทุนเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG) ที่มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมประมาณ 600,000 ตันต่อปี ส่งผลทำให้ต้นทุนของการผลิตเซรามิกเพิ่มขึ้น 11-15%

ปัจจุบันในต่างประเทศได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์หรือประหยัดพลังงานสำหรับกระบวนการเผาด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผา โดยการเปลี่ยนไปใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง 2 ชนิด ได้แก่ หัวเผาแบบรีคัพเพอเรทีฟ (recuperative burner) และรีเจเนอเรทีฟ (regenerative) ซึ่งทำให้อากาศที่จะเข้าไปเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้เป็นการประหยัดเชื้อเพลิงซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มมีการทดลองนำเทคโนโลยีหัวเผาแบบรีเจเนอเรทีฟ มาใช้แทนหัวเผาแบบเดิม ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและเหล็กกล้า พบว่ามีผลการอนุรักษ์พลังงานสูงถึง 30-40% ของการใช้พลังงานเดิม

ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเซรามิก โดยอาศัยการนำเอาความสำเร็จของการเปลี่ยนจากหัวเผาเดิมเป็นหัวเผาประสิทธิภาพสูงของอุตสาหกรรมเหล็กมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเซรามิก และทั้งนี้ยังเป็นการตอบสนองต่อนโยบายการรับมือกับสถานการณ์ทางพลังงาน [2] ในเรื่องของการประหยัดพลังงาน และอนุรักษ์พลังงานด้วยการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า ซึ่งสามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยยื่นเสนอเพื่อขอเข้าร่วมโครงการส่งเสริมการจัดการด้านการใช้พลังงานโดยวิธีประกวดราคา (Demand side Management by bidding mechanism) ที่ทางสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจูงใจผู้ประกอบการให้ตัดสินใจลงทุนปรับเปลี่ยนเครื่องจักรหรืออุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานทั้งด้านไฟฟ้าและความร้อนโดยใช้เงินจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเป็นเงินสนับสนุนให้ผู้ประกอบการเอกชนประเภทต่างๆ อาทิเช่น โรงงานอุตสาหกรรม อาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า โรงพยาบาล โรงแรม และรีสอร์ท เป็นต้น โดยโครงการนี้จะจ่ายเงินสนับสนุนให้กับผู้ประกอบการที่ผ่านการคัดเลือกตามหน่วยพลังงานที่ประหยัดได้ใน 1 ปี และผู้เสนอขอรับเงินสนับสนุนต่อค่าพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีต่ำที่สุดจะมีโอกาสได้รับเงินสนับสนุนจากกองทุนฯ ก่อน

1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบพลังงานในการใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟและรีคัพเพอเรทีฟ สำหรับเตาซีดเต็ลในอุตสาหกรรมเซรามิก เพื่อทดแทนการใช้หัวเผาแบบเดิม

1.3.2. เพื่อเลือกอุณหภูมิในการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูงให้มีความเหมาะสมกับขนาดของเตาซีดเต็ลสำหรับกระบวนการเผาเซรามิกได้ และเพื่อเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงาน

1.3.3. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบในการลงทุนหัวเผาประสิทธิภาพสูง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิงและอัตราการผลิต

1.4. ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1. เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมที่มีผู้ประกอบการเป็นผู้ดูแลและควบคุมทุกอย่างในโรงงานแต่เพียงผู้เดียวนั้นมักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับภาระต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าโรงงานขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยสนใจที่จะทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนลง โดยทำการเก็บข้อมูลในโรงงานเซรามิกตัวอย่างประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ที่ใช้เตาซีดเต็ล ขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร และมีการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง

1.4.2. เทคโนโลยีหัวเผาประสิทธิภาพสูงที่ศึกษาได้แก่

- หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Burner)
- หัวเผาแบบรีคัพเพอเรทีฟ (Recuperative Burner)

1.4.3. วิเคราะห์ข้อมูลทางพลังงานจากเตาเผาเซรามิก แบบเตาซีดเต็ล หุ้มฉนวนไฟเบอร์ ขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร และใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีการใช้หัวเผาแบบเดิม ทั้งนี้เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์หาอัตราการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผาประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 ชนิด

1.4.4. กำหนดให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิกคงที่ และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างคงที่

1.4.5. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ความสามารถในการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูง

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. สามารถลดต้นทุนค่าพลังงานเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยใช้เทคโนโลยีหัวเผาประสิทธิภาพสูง และตอบสนองต่อนโยบายแผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573) ของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

1.5.2. สามารถเลือกคุณสมบัติที่เหมาะสมในการอุ่นอากาศของเทคโนโลยีหัวเผาประสิทธิภาพสูงสำหรับเตาซีตเติลในอุตสาหกรรมเซรามิก

1.5.3. เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการที่สนใจด้านเทคโนโลยีหัวเผาประสิทธิภาพสูงสามารถนำไปอ้างอิงเพื่อขอรับทุนสนับสนุนการลงทุนด้านเทคโนโลยีจากภาครัฐ

1.6. วิธีการดำเนินการวิจัย

1.6.1. ค้นคว้าทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาซีตเติล, หลักการทำงานของเทคโนโลยีหัวเผาประสิทธิภาพสูง สมดุลมวล สมดุลพลังงาน ประสิทธิภาพของเตาเผา และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1.6.2. ทำการเก็บข้อมูลทางด้านพลังงานในกระบวนการเผาเซรามิกของโรงงานตัวอย่าง

1.6.3. ศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง ได้แก่ ความสามารถในการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูง และกำลังการผลิตของเซรามิก

1.6.4. การวิเคราะห์ข้อมูล

- คำนวณสมมูลมวล และสมมูลพลังงานของเตาเผาเซรามิก
- คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิก
- คำนวณปริมาณความต้องการพลังงานและเชื้อเพลิง เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

1.6.5. เลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการอุ่นอากาศกับต้นทุนเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผาประสิทธิภาพสูง ทั้งแบบรีเจนเนอเรทีฟและแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

1.6.6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1.6.7. สรุปผลการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

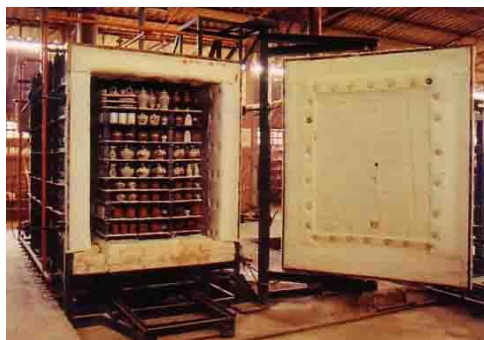
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. เทคโนโลยีการเผาเซรามิก [3]

การเผาเซรามิกเป็นขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก และเป็นกระบวนการที่ทำให้เซรามิกมีรูปร่างคงทนไม่เปลี่ยนแปลง ทนทานต่อเคมีและน้ำ ซึ่งนับว่ามีความสำคัญ และมีผลกระทบต่อการผลิตเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเผาดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์ได้คุณภาพดี สม่ำเสมอทั่วทั้งเตา มีการประหยัดเชื้อเพลิง และที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ต้องใช้ระยะเวลาในการเผาสั้นที่สุด โดยที่การเผาเซรามิกมี 2 ลักษณะ ได้แก่ การเผาบิสกิต (Biscuit firing) และการเผาสุกตัว (Glost firing)

เตาชัตเติล (Shuttle kiln) เป็นเตาเผาแบบแบบเปิด (รูปที่ 2.1) หรือยกประตูเตาขึ้นลงมีโครงสร้างของฐานที่แข็งแรง ประตูเตาแยกขึ้นลงได้ทั้งหัวเตาและท้ายเตา มีการเรียงผลิตภัณฑ์ที่เผาบนรถที่เคลื่อนที่เข้าเตาเผาได้

ลักษณะทั่วไปของเตาเตาชัตเติล (Shuttle kiln) มีการจัดระบบลมร้อนแบบทางเดินลมร้อนลง (Down Draft) โดยใช้เชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ความร้อนได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ หรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว ซึ่งมีอัตราการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าเตาเผาเชื้อเพลิงแบบไม่พีน การควบคุมอุณหภูมิสามารถจัดการได้ดีกว่า มีการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผาสม่ำเสมอ และสามารถใช้งานได้กับการเผาผลิตภัณฑ์ทั้งแบบบิสกิต และเผาเคลือบ



รูปที่ 2.1 เตาเผาแบบชัตเติล (Shuttle kiln)

ที่มา: <http://www.interkilns.com>

2.2. ส่วนประกอบของเตาเผาเซรามิกแบบเตาชุดเตล [3]

2.2.1. ห้องเผา (Firing chamber) เป็นบริเวณที่ใช้วางผลิตภัณฑ์เพื่อเผา ประกอบด้วย ส่วนพื้นเตา, ส่วนหลังคาเตา และกำแพงเตา โดยเป็นปริมาตรภายในเตาเผาที่ให้พลังงานความร้อนกับผลิตภัณฑ์

2.2.2. ผนังเตา (Wall) ส่วนของผนังเตาจะใช้ไฟเบอร์เป็นวัสดุทนความร้อน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากภายในเตาเผาออกสู่ผนังด้านนอกของเตาเผา

2.2.3. หลังคาเตา (Cover) จะมีรูปร่างโค้งหรือแบนราบ สำหรับหลังคาเตาที่โค้งจะต้องคำนึงถึงการหดตัว และการขยายตัวของอิฐ รวมทั้งน้ำหนัก และความดันที่เกิดขึ้นภายในเตา

2.2.4. ปล่องเตา (Exhaust flue or Chimney) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ระบายก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในเตา ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้น

2.2.5. ประตูเตา (Door) ควรจะมีฉนวนป้องกันไม่ให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์รั่วไหลออกสู่ภายนอกได้

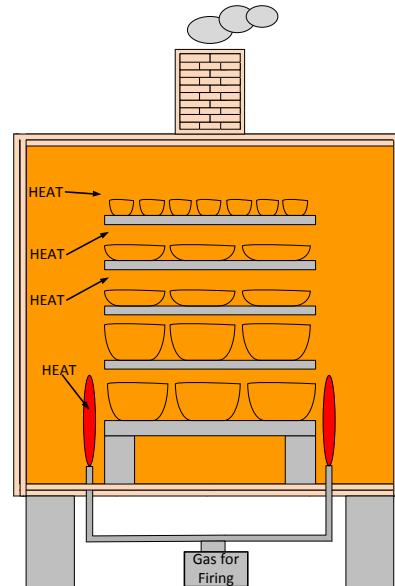
2.2.6. หัวฟืนไฟ (Burner) ที่ตำแหน่งนี้อากาศและเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนสำหรับกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ภายในเตาเผา

2.2.7. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น รถเตา (Kiln Car) ต้องมีช่องระบายความร้อนในรถเตาเพื่อออกสู่ปล่อง ทำให้การหมุนเวียนของลมร้อนภายในเตาเป็นไปอย่างช้าๆ และความร้อนในเตาสูงขึ้น

2.3. ลักษณะ และหลักการทำงานของเตาเผาเซรามิกแบบเตาชุดเตล

เตาชุดเตล (Shuttle Kiln) จัดเป็นเตาเผาแบบไม่ต่อเนื่อง โดยเตาเผาที่โรงงานตัวอย่างใช้มีลักษณะเป็นเตาสี่เหลี่ยมขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร มีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.2 คือ เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) จะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของเตาเผาผ่านหัวเผาแบบเวนจูรี (Venturi Burner) จำนวน 2 ฝั่ง ฝั่งละ 12 หัว โดยที่เชื้อเพลิงจะออกจากหัวฟืน (Burner) และถูกเผาไหม้ให้เป็นเปลวไฟ การเผาไหม้จะให้ความร้อนพุ่งขึ้นสู่เพดานเตา เนื่องจากแรงดันภายในเตามีค่าเพิ่มขึ้น

จึงทำให้ไอร้อนหาทางออก ส่งผลให้เกิดการไหลวกกลับลงข้างล่าง ทำให้มีไอร้อนผ่านขึ้นงาน ก่อนที่จะถูกดูดออกไปทางปล่องปล่อยก๊าซไอเสีย กระบวนการเผาเซรามิกจะเริ่มต้นทำการเผา ผลิตภัณฑ์ตั้งแต่อุณหภูมิของเตาเผามีค่าเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศ จนกระทั่งอุณหภูมิของเตาเผามีค่าเท่ากับ $1200-1400^{\circ}\text{C}$ รวมเป็นระยะเวลาในการเผาทั้งหมดเท่ากับ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเตาชัตเติล (Shuttle Kiln)

ที่มา: http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u7-3.htm

2.4. สมดุลมวล [4],[5],[6]

สมดุลมวล คือ ความสัมพันธ์ของมวลที่เข้าและออกจากระบบ โดยที่มวลที่เข้าสู่ระบบจะต้องมีค่าเท่ากับมวลที่ออกจากระบบ

$$m_f + m_a = m_{p,o} + m_{g,o} + m_{\text{other}} \quad 2.4-1$$

เมื่อ	m_f	=	มวลเชื้อเพลิงเข้าเผา
	m_a	=	มวลของอากาศเข้า
	$m_{p,o}$	=	มวลของมวลชิ้นในผลิตภัณฑ์
	$m_{g,o}$	=	มวลก๊าซเสียออก
	m_{other}	=	มวลของเชื้อเพลิงและอากาศที่สูญเสียตามช่องเปิดต่างๆ

2.5. สมดุลพลังงาน [4],[5],[6]

สมดุลพลังงาน หมายถึง ความสัมพันธ์ของปริมาณระหว่างพลังงานความร้อนที่ป้อนสู่ระบบทั้งหมดและพลังงานความร้อนที่ถูกใช้และสูญเสีย

2.5.1. พลังงานความร้อนที่ป้อนสู่ระบบประกอบด้วย

2.5.1.1 ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG(Q_{in})

$$Q_{in} = W_g \times LHV \quad 2.5.1-1$$

เมื่อ Q_{in} = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (กิโลจูล)

W_g = น้ำหนักของเชื้อเพลิง (กิโลกรัม)

LHV = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG (กิโลจูล/กิโลกรัม)

2.5.2. พลังงานความร้อนสูญเสียสำหรับการเผา [10]

2.5.2.1 พลังงานที่สะสมในเปลือกเตา (Q_1)

Q_1 = พลังงานที่สะสมในไฟเบอร์ (Q_{11}) + พลังงานที่สะสมในตัวโครงเตาเผา (Q_{12})

$$Q_1 = Q_{11} + Q_{12} \quad 2.5.2-2$$

โดยที่

$$Q_{11} = W_{11} \times C_{p1} \times \Delta t_{11}$$

$$Q_{12} = W_{12} \times C_{p2} \times \Delta t_{12}$$

เมื่อ W_{11} = น้ำหนักของไฟเบอร์ (กิโลกรัม)

C_{p1} = ค่าความร้อนจำเพาะของไฟเบอร์ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

Δt_{11} = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

W_{12} = น้ำหนักของโครงตัวเตา (กิโลกรัม)

C_{p2} = ค่าความร้อนจำเพาะของเหล็ก (กิโลจูล/กิโลกรัม)

Δt_{12} = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตาสูงสุดในการเผากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

2.5.2.2 พลังงานที่สะสมในพื้นที่ (Q₂)

$$Q_2 = W_{21} \times C_{p3} \times \Delta t_{21} \quad 2.5.2-3$$

เมื่อ W_2 = น้ำหนักของอิฐพื้นที่ (กิโลกรัม)

C_{p3} = ค่าความร้อนจำเพาะของอิฐพื้นที่ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

Δt_{21} = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ กับอุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

2.5.2.3 พลังงานความร้อนที่สะสมในเฟอร์นิเจอร์ (Q₃)

$$Q_3 = W_3 \times C_{p5} \times \Delta t_3 \quad 2.5.2-4$$

เมื่อ W_3 = น้ำหนักของเฟอร์นิเจอร์ (กิโลกรัม)

C_{p5} = ค่าความร้อนจำเพาะของเฟอร์นิเจอร์ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

Δt_3 = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดในเตากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

2.5.2.4 พลังงานที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์ (Q₄)

$$Q_4 = m_p \times C_{p6} \times \Delta t_4 \quad 2.5.2-5$$

เมื่อ m_p = น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)

C_{p6} = ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

Δt_4 = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดในเตากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

2.5.2.5 พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสี (Q_5)

$$Q_5 = \text{พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสีของเปลือยกเตา (} Q_{51} \text{) + พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสีพื้นเตา (} Q_{52} \text{)}$$

$$Q_5 = Q_{51} + Q_{52} \quad 2.5.2-6$$

โดยที่

$$Q_{51} = A_1 \times e_1 \times 5.67 \left[\left(\frac{t_{s(\text{avg})1} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^4 \right] \times \text{hr} \times 3.6$$

$$Q_{52} = A_2 \times e_2 \times 5.67 \left[\left(\frac{t_{s(\text{avg})2} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^4 \right] \times \text{hr} \times 3.6$$

$$\text{เมื่อ } A_1 = \text{พื้นที่เปลือยกเตา (ตารางเมตร)}$$

$$e_1 = \text{ค่า Emissivity ของอะลูมิเนียม, Oxidized (ใช้ค่า 0.85)}$$

$$t_{s(\text{avg})1} = \text{อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือยกเตา (องศาเซลเซียส)}$$

$$t_s = \text{อุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)}$$

$$\text{hr} = \text{จำนวนชั่วโมงที่เผา}$$

$$A_2 = \text{พื้นที่ใต้พื้นเตา (ตารางเมตร)}$$

$$e_2 = \text{ค่า Emissivity ของเหล็ก, Oxidized (ใช้ค่า 0.85)}$$

$$t_{s(\text{avg})2} = \text{อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นเตา (องศาเซลเซียส)}$$

2.5.2.6 พลังงานที่สูญเสียไปจากการพาความร้อน (Q_6)

$$Q_6 = \text{พลังงานที่สูญเสียไปจากการพาความร้อนที่เปลือยกเตา (} Q_{61} \text{) + พลังงานที่สูญเสียไปจากการพาความร้อนที่พื้นเตา (} Q_{62} \text{)}$$

$$Q_6 = Q_{61} + Q_{62} \quad 2.5.2-7$$

โดยที่

$$Q_{61} = A_1 \times hc_1 \times (t_{s(\text{avg})1} - t_a) \times \text{hr} \times 3.6$$

$$Q_{62} = A_2 \times hc_2 \times (t_{s(\text{avg})2} - t_a) \times \text{hr} \times 3.6$$

$$\text{เมื่อ } A_1 = \text{พื้นที่เปลือยกเตา (ตารางเมตร)}$$

hc_1	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากผิวเตา
$t_{s(av)1}$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตา (องศาเซลเซียส)
A_2	=	พื้นที่ใต้พื้นเตา (ตารางเมตร)
hc_2	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากผิวใต้พื้นเตา
$t_{s(av)2}$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นเตา (องศาเซลเซียส)
t_s	=	อุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
hr	=	จำนวนชั่วโมงที่เผา

2.5.2.7 พลังงานที่สะสมอยู่ในก๊าซไอเสีย (Q_7)

$$Q_7 = m_g \times C_{pg} \times (T_g - T_a) \quad 2.5.2-8$$

เมื่อ m_g	=	ปริมาณก๊าซไอเสียที่ออกจากปล่อง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
T_g	=	อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (องศาเซลเซียส)
T_a	=	อุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

2.5.2.8 พลังงานที่สูญเสียไปกับความชื้นในอากาศ (Q_8)

$$Q_8 = m_a \times W \times C_{st} \times (T_g - T_a) \quad 2.5.2-9$$

เมื่อ m_a	=	มวลของอากาศที่เข้าสู่ระบบ (กิโลกรัม)
W	=	Specific humidity (kg H ₂ O/kg dry air)
C_{st}	=	ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของไอน้ำจาก T_g ถึง T_a
T_g	=	อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (องศาเซลเซียส)
T_a	=	อุณหภูมิของบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)

2.5.2.9 พลังงานที่สูญเสียตามช่องเปิดและที่ไม่สามารถวัดค่าได้ (Q_9)

การสูญเสียพลังงานชนิดนี้เป็นการสูญเสียพลังงานที่ไม่สามารถวัดค่าได้

$$Q_9 = Q_{in} - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8) \quad 2.5.2-10$$

2.5.3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิก

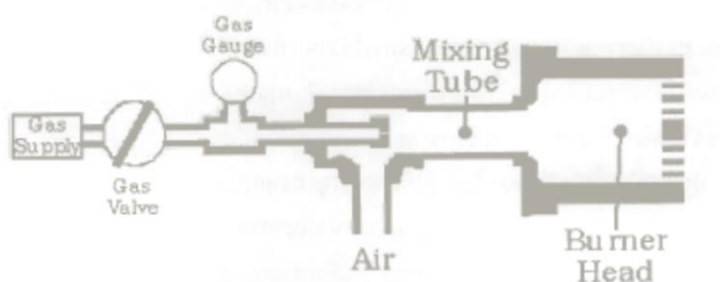
$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพความร้อนของเตาเผา} &= \frac{\text{พลังงานความร้อนที่ใช้ประโยชน์}}{\text{พลังงานความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่เตาเผา}} \\ &= \frac{Q_4}{Q_{in}} \times 100\% \end{aligned} \quad 2.5.3-11$$

2.6. หัวเผาเชื้อเพลิง (Burner) สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก

หัวเผา ทำหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิงและอากาศเข้าไปยังส่วนที่ทำการเผาไหม้ ตามการจัดตำแหน่งของเปลวไฟในเตาเผา การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์อย่างต่อเนื่อง หัวเผาแบบใช้เชื้อเพลิงของเหลว ทำหน้าที่ให้ส่วนผสมกระจายตัวเป็นไอและละออง เพื่อช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น

2.6.1. หัวเผาชนิดเวนจูรี (Venturi burner)

เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส่วนมากจะใช้หัวเผาชนิดเวนจูรี (Venturi burner) ดังรูปที่ 2.3 โดยหลักการทำงานของหัวเผาดังกล่าวคือ อากาศหลัก (Primary air) และก๊าซเชื้อเพลิงผสมกันภายในท่อของหัวเผา ซึ่งจะต้องมีการควบคุมอัตราส่วนระหว่างอากาศหลักกับก๊าซเชื้อเพลิงให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และมีการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนหัวของหัวเผา หัวเผาชนิดเวนจูรีทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กกล้า และกลึงเป็นรูปร่างแบบของเวนจูรี สำหรับจำนวนหัวเผาในแต่ละเตาเผา นั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดของเตาเผาเซรามิก โดยปกติเตาเผาแบบเตาชุดเตาขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร จะติดตั้งประมาณ 20-24 หัวเผา

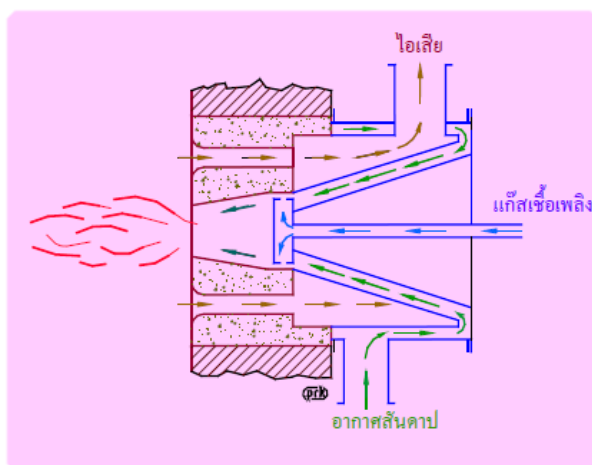


รูปที่ 2.3 Venturi burner [12]

2.6.2. หัวเผาประสิทธิภาพสูง[7],[8]

ปัจจุบันมีการพัฒนาหัวเผาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อใช้กับการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง เช่น เตาเผาอุตสาหกรรม โดยอาศัยหลักการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียกลับมาอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้ หัวเผาประเภทนี้มี 2 แบบ คือ

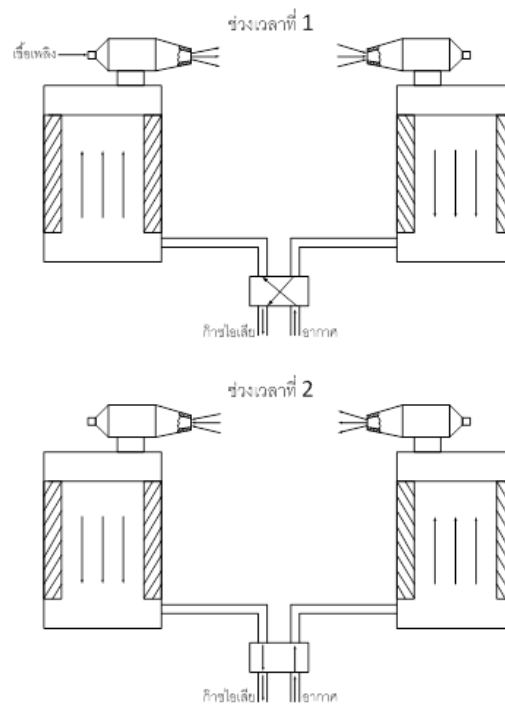
หัวเผารีคัพเปอร์เรทีฟ เป็นหัวเผาที่มีลักษณะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อแฝงรังสีโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้นมาติดกับหัวเผาเป็นชุดเดียวกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.4 คือ นำก๊าซไอเสียทิ้งมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็นที่จะใช้เผาไหม้ ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นภายในตัวหัวเผาที่ออกแบบให้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในตัวเอง เมื่ออากาศเย็นที่จะใช้ในการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นและประหยัดเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.4 หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผารีคัพเปอร์เรทีฟ [7]

หัวเผารีเจนเนอเรทีฟคือ หัวเผาที่ออกแบบมาเพื่อให้มีการนำเอาความร้อนที่กลับมามีใช้ให้ ได้มากที่สุด ซึ่งก๊าซไอเสียจะนำมาเก็บสะสมความร้อนที่ห้องสะสมความร้อนการสะสมความร้อน สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากห้องกักเก็บก๊าซไอเสียถูกออกแบบให้ใช้วัสดุที่สะสม ความร้อนได้สูงมาก โดยอากาศเย็นที่ใช้ในการเผาไหม้จะแลกเปลี่ยนความร้อนในห้องกักเก็บไอ เสีย ทำให้อากาศที่ใช้เผาไหม้มีอุณหภูมิสูงได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน ส่งผลให้สามารถ ประหยัดเชื้อเพลิงได้มาก และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น

หลักการการแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผารีเจนเนอเรทีฟสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.5 คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศเย็นที่ใช้เผา ซึ่งชุดหัวเผารีเจนเนอเรทีฟจะประกอบด้วย หัวเผา, รี เจนเนอเรเตอร์อย่างละ 2 ชุด และวาล์วสลับทิศทาง 1 ชุด มีหลักการทำงาน คือ เมื่อหัวเผาชุดที่ 1 ทำงาน อากาศจากภายนอกถูกป้อนเข้าที่รีเจนเนอเรเตอร์ชุดที่ 1 ในขณะเดียวกันก๊าซไอเสียที่เกิด จากการเผาไหม้จะผ่านออกไปทางหัวเผาชุดที่ 2 และไปเก็บสะสมความร้อนที่รีเจนเนอเรเตอร์ชุดที่ 2 เมื่อวาล์วสลับทิศทาง การไหลของอากาศที่ป้อนเข้าอากาศก็จะถูกอุ่นโดยความร้อนที่สะสมในรี เจนเนอเรเตอร์ก่อนที่จะถึงหัวเผา ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นในการเผาไหม้ที่หัวเผาชุดที่ 2 โดยที่ จะทำการสลับทิศทางของวาล์วทุกๆ 10-60 วินาทีขึ้นกับการออกแบบ ดังนั้นหัวเผาชุดที่ 1 และ 2 จะ ได้รับการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ตลอดเวลา สำหรับก๊าซร้อนที่ถูกใช้ให้ความร้อนไปแล้วจะถูก ดึงออกโดยพัดลมดูดอากาศสำหรับการเผาไหม้



รูปที่ 2.5 หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผาจีเนเนอรัเรทีฟ [8]

2.7. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2.7.1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) [9]

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุนพลังงาน จากมาตรการติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูง ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไปภายใต้ โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราส่วนลด (discount rate)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad 2.6-1$$

โดยที่	n	=	อายุของโครงการ (ปี)
	ES_t	=	ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n
	I_0	=	เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment)

i = อัตราส่วนลด (discount rate)

หลักในการตัดสินใจ (Decision Rule) เมื่อ $NPV > 0$ หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมที่จะลงทุนได้ กล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ($PVC > NPV$)

2.7.2. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Analysis: PB) [9]

ระยะเวลาคืนทุนคือ ระยะเวลาเป็นจำนวนปี เดือน หรือวันที่กระแสเงินสดรับจากโครงการ สามารถชดเชย กระแสเงินสดจ่าย ลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอ รับการสนับสนุน จะมีลักษณะการลงทุน เพียงครั้งเดียว ในปีแรก และให้ผลตอบแทน ที่เท่ากันทุกปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}} \quad 2.7.2-2$$

ในการเลือกโครงการ ค่าระยะเวลาคืนทุนจะแสดงให้เห็นว่าต้องใช้เวลานานเพียงใดในการได้ทุนคืน ถ้าสามารถได้ทุนคืนเร็วโครงการก็จะน่าสนใจ

2.7.3. การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เป็นการทดสอบความมั่นคงของข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์หีบหนี้ของการประมาณค่าความน่าจะเป็น การใช้ดุลพินิจเกี่ยวกับตัวเลขต่างๆ ตลอดจนข้อสมมติพื้นฐานที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนั้น ทั้งนี้โดยการแทนที่ข้อสมมติ หรือตัวเลขตัวใหม่ ซึ่งแตกต่างไปจากเดิมในระดับที่กำหนดหรือต้องการทดสอบ ลงไปแทนข้อสมมติหรือตัวเลขที่ใช้อยู่เดิมในการประมาณการงบประมาณ และทำการคำนวณใหม่อีกครั้ง แล้วพิจารณาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ว่าแตกต่างไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปมักพิจารณาตัวแปรที่มีความสำคัญ และผู้วิเคราะห์ไม่มีความมั่นใจในความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มา และต้องการประเมินว่า หากข้อมูลตัวเลขหรือข้อสมมติที่ใช้มีความคลาดเคลื่อน จะทำให้ตัวเลขผลลัพธ์คำนวณได้แตกต่างไปจากค่าเดิมมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีคือการวิเคราะห์ความไว

แบบที่ละตัวแปร (One-way Sensitivity Analysis) และการวิเคราะห์ความไวของสองตัวแปร (Two-way Sensitivity Analysis)

2.7.3.1 การวิเคราะห์ความไวแบบที่ละตัวแปร (One-way Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไวแบบทางเดียวเป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่มีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร หรือองค์ประกอบในการวิเคราะห์ที่ละตัว

2.7.3.2 การวิเคราะห์ความไวของสองตัวแปร (Two-way Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบสองทางเป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่มีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร หรือองค์ประกอบในการวิเคราะห์ 2 ปัจจัยไปพร้อมๆ กัน

2.8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- การศึกษาการใช้พลังงานในเตาเผาเหล็กที่ใช้หัวเผาไร้เงินเนอเรที่ฟร่วมกับบริคูเพอเรเตอร์/คณิต มานะธรร(2552) [10]

ทำการศึกษาการใช้พลังงานของเตาเผาเหล็กที่ใช้หัวแบบไร้เงินเนอเรที่ฟร่วมกับบริคูเพอเรเตอร์ ที่ขนาดเตาเท่ากับ 30 ตันต่อชั่วโมง โดยมีการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า พลังงานความร้อนจากหัวเผาไร้เงินเนอเรที่ฟมีค่าเท่ากับ 59.6% และพลังงานความร้อนจะถ่ายเทให้กับเหล็กแท่งยาวเท่ากับ 59.5% เมื่อทำการคำนวณประสิทธิภาพของเตาพบว่า มีค่าเท่ากับ 67% เมื่อทำการติดตั้งหัวเผาแบบไร้เงินเนอเรที่ฟร่วมกับบริคูเพอเรที่ฟจำนวน 3 คู่ ร่วมกับหัวเผารวมดา พบว่าจะสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้เท่ากับ 32%

- การวิเคราะห์ไอเสียเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาเผาเหล็ก/ จิตตินแดงเที่ยง(2552) [11]

ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไอเสียและอัตราการไหลของไอเสียที่ออกจากเตาแบบ pusher ขนาด 70 ตันต่อชั่วโมงซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงรวมทั้งการวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลความร้อนของโรงงานเหล็ก เพื่อจำแนกว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นได้นำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่โดยผลการศึกษาพบว่าสมดุลความร้อน

ของการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่โดยรีคูเพอเรเตอร์สามารถทำได้เพียง 1.5% และพบว่า ประสิทธิภาพของเตาเผาเท่ากับ 63% ซึ่งเป็นผลจากการเดินเตาแบบ part load จะทำให้ไอเสีย จากหัวเผาเข้าที่เข้าสู่เตาเผาที่มีค่าต่ำและทำให้ damper ของไอเสียต้องปิดลงเพื่อรักษาความดัน ภายในเตาจะส่งผลให้ไอเสียรั่วออกไปตามช่องเปิดต่างๆคิดเป็น 19% ของปริมาณเชื้อเพลิง โดยมี แนวทางการแก้ไขคือ ปรับปรุงกระบวนการรีดให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นโดยเน้นที่การบำรุงรักษาเป็น หลักและเพิ่มสายการรีดเหล็กให้มากขึ้นและแก้ไขรอยรั่วของอากาศภายนอกที่จะเข้าสู่ท่อก๊าซไอ เสียโดยจะสามารถลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้ประมาณ 4% ของอัตราการใช้เชื้อเพลิงในสภาวะ การทำงานปกติ

- การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดราชบุรี/ ชัย ศักดิ์ ชาติรัจันทรสกุล(2545) [12]

ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของเตาเผาในโรงงาน เครื่องปั้นดินเผาโดยทำการศึกษาเกี่ยวกับสมดุลสมมูลพลังงานของเตามังกรโดยแบ่งออกเป็น 2 ขนาดคือขนาด 42 ตาและ 23 ตาพบว่ามีความประสิทธิภาพของเตามังกรตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โม ไดนามิกส์ได้เท่ากับ 11.57 % และ 13.49 % ตามลำดับปริมาณการสูญเสียส่วนใหญ่เป็นการ สูญเสียเนื่องจากความร้อนที่สะสมในตัวเตาซึ่งมีค่าสูงถึง 47 % และ 45.38 % ตามลำดับจึงได้ นำเสนอให้มีการบูรณนบริเวณผนังเตาภายในด้วยเส้นใยไฟเบอร์การปรับปรุงประสิทธิภาพการ เผาไหม้ด้วยการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาและปรับปรุงอัตราส่วนอากาศในการเผาไหม้ให้มีค่า เข้าใกล้ 1.5 การหุ้มฉนวนที่บริเวณผิวผนังเตาด้านบนด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และการปรับเปลี่ยน ชนิดของเชื้อเพลิงมาใช้ producer gas ร่วมกับการปรับปรุงเตาเผา และจากการวิเคราะห์ข้อมูล ด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าควรกำหนดให้มีแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ หรือทำการ ปรับเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ งาน เพื่อเป็นการลดมลพิษที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงาน แสงอาทิตย์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ กรณีศึกษา โรงงานฟอกย้อม/ ธนิต มหิทธิพันธ์(2553) [13]

ได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงาน แสงอาทิตย์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำของโรงงานฟอกย้อม โดยทำการวิเคราะห์แยกเป็นสอง โครงการคือ โครงการที่ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง และโครงการที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ผล

การวิเคราะห์พบว่าไม่คุ้มค่าทางการเงินในกรณีที่ใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนต่ำกว่าอัตราคิดลดที่กำหนดไว้ แต่จะพบว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนในกรณีที่ใช้น้ำมันเตาเกรดซีเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 3.41 และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 28 ในส่วนของการวิเคราะห์ความไวในกรณีที่ราคาเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้น การลดต้นทุนของการผลิตลง 20% และมีการเปลี่ยนแปลงอัตราคิดลดลง 6% จะพบว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์ของโครงการ แสดงให้ทราบว่ามีความอ่อนไหวทางการเงินมาก จึงสรุปได้ว่าไม่มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

- การศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเตาเผาเซรามิก/ ปิยะภัทร คุ่มปรีดี(2544) [6]

ได้ศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ความร้อนสำหรับเตาเผาเซรามิกซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในกระบวนการเผาเซรามิก พบว่าอุณหภูมิปล่อยทิ้งทางปล่องมีค่าประมาณ 800 องศาเซลเซียส คิดเป็นพลังงานที่ถูกปล่อยทิ้ง 59.5% ใช้ก๊าซ LPG ในการเผา 13.7 กิโลกรัม คิดเป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิกเท่ากับ 1.7% หลังจากทำการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ Recuperator แบบ Cross-Flow Four-Pass เข้ากับเตาเผาเซรามิกพบว่าสามารถอุ่นอากาศจากอุณหภูมิ 49 ได้เป็น 394 องศาเซลเซียส สามารถประหยัดก๊าซ LPG ลง 23% ต่อการเผา 1 ครั้งคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ประมาณ 14,553 บาท/ปี ระยะเวลาในการคืนทุน 2 ปี 2 เดือนอัตราผลตอบแทนการลงทุน 49.5% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิกเท่ากับ 2.3%ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเตาเผาเซรามิกขนาดอื่นๆ Recuperator มีประสิทธิผล 47% และความดันสูญเสียในระบบ 124 Pa

- ศักยภาพการใช้ความร้อนทิ้งจากเตาอุตสาหกรรม/ พุฒิพล ลิ้มปัสสภณพนิช (2543) [14]

ได้ทำการศึกษาถึงศักยภาพการใช้ความร้อนทิ้งจากเตาอุตสาหกรรม 5 ประเภท ได้แก่ เตาเผาปูนปลาสเตอร์ เตาเผาเซรามิก เตาเผาเหล็ก เตาหลอมแก้วและเตาเผากระเบื้อง ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสามารถนำความร้อนจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นสัดส่วนเท่ากับ 29.59%, 80.47%, 46.33%, 63.93% และ 42.30% ตามลำดับและเมื่อทำการพิจารณาในเรื่องของการประหยัดเชื้อเพลิงจากการอุ่นอากาศได้เป็น 3.31%, 20.63%, 17.40%, 28.75%, 3.22%ซึ่งจะ

สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ปีละ 279 ลิตร, 113 กิโลกรัม, 8,434 ลิตร และ 58,187 ลิตร ตามลำดับ

- การศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์อุณหอากาศด้วยไอเสีย สำหรับเตาเผาอุตสาหกรรม/ วร วุฒิ มั่นสกุล (2544) [15]

ได้ทำการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์อุณหอากาศด้วยไอเสีย สำหรับเตาเผาแบบสปริงแผ่น เพื่อนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าเตาเผา โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องอุณหอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0318 เมตร ความยาว 1.2 เมตร ความหนาของผนังท่อ 2 มิลลิเมตร จำนวน 78 ซึ่งสามารถอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาไหม้จาก 48 องศาเซลเซียส เป็น 200 องศาเซลเซียส จะประหยัดน้ำมันเตาได้เฉลี่ย 9% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาได้เป็น 26% ระยะเวลาคืนทุน 8 เดือนและมีอัตราผลตอบแทนในการลงทุนประมาณ 151%

- Economic feasibility assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in Thailand./ Delivand, M. K., M. Barz, et al. (2011) [16]

ได้ทำการประเมินความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ฟางข้าวในผลิตไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย โดยให้มีอายุโครงการเท่ากับ 20 ปี โดยที่จะทำการศึกษาก่อตั้งโรงไฟฟ้า ขนาด 5,8,10,15 และ 20 MW ผลการศึกษาพบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ -3.15, 0.94, 2.96, 9.33 และ 18.79 ล้านเหรียญสหรัฐตามลำดับ ซึ่งจากผลดังกล่าวจะสามารถอธิบายได้ว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาด 5 MW เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเงินลงทุน ส่วนของโรงไฟฟ้าขนาด 8 MW พบว่าผลตอบแทนไม่เป็นที่น่าสนใจเนื่องจากได้ค่าต่ำกว่าอัตราขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 11% และในส่วนขนาด 15 และ 20 MW มีความน่าสนใจในการลงทุนเนื่องจากมีระยะเวลาการคืนทุนที่เร็ว การวิเคราะห์ความไว จะพบว่ามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาขายไฟฟ้า และราคาเชื้อเพลิง

- Recuperative and regenerative techniques at high temperature./ R, N. (1983). [17]

ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำเอาความร้อนทิ้งของอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกจากเตาอุตสาหกรรมมาใช้อุ่นอากาศก่อนเข้าเผา โดยงานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเตาเผาขนาดเล็ก โดยหัวเผาจะ

สามารถถึงความร้อนของเชื้อเพลิงได้ถึง 600 กิโลวัตต์ ที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียสจะสามารถ
 อุ่นอากาศได้ 600 องศาเซลเซียส คิดเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงได้เท่ากับ 40%ของการใช้เชื้อเพลิง
 ทั้งหมด โดยหัวเผาชนิดนี้จะสามารถนำไปใช้ได้กับเตาหลากหลายชนิด เช่น เตาที่เปลงไฟสัมผัส
 โดยตรงกับโลหะ และมีจำกัดเกี่ยวกับอากาศที่จะนำกลับมาอุ่นจะต้องมีการค้ำนึ่งถึงปริมาณฝุ่นที่
 รวมอยู่ด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของหัวเผา

- Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and
 sensitivity analysis./ Zhang, Y., M. A. Dubé, et al. (2003) [18]

ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลขนาด 8,000 ตัน/ปี ซึ่งมีกระบวนการผลิตอยู่ 4 วิธี คือ การใช้ต่างหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ หรือน้ำมันที่เหลือจากการปรุงอาหาร ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการที่ใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ร่วมกับต่างจะใช้ต้นทุนคงที่ต่ำที่สุด สำหรับกระบวนการที่ใช้น้ำมันที่เหลือจากการปรุงอาหารกับต่างจะใช้ต้นทุนในด้านของวัตถุดิบต่ำ แต่ต้องไปเพิ่มต้นทุนในส่วนของการกำจัดกรดไขมันก่อนนำไปผลิต ส่วนกระบวนการที่ใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์หรือน้ำมันที่เหลือจากการปรุงอาหารที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้ต้นทุนต่ำกว่าในกรณีที่ใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การวิเคราะห์ความไวของทั้ง 4 กระบวนการแสดงให้เห็นทราบว่า ความสามารถในการผลิตราคาของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และราคาขายของไบโอดีเซลเป็นองค์ประกอบหลักที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซล

บทที่ 3

การตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลพลังงาน

การตรวจวัด และจัดเก็บข้อมูลในขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์พลังงานตามทฤษฎีของสมดุลมวล และสมดุลพลังงาน โดยทำการเก็บข้อมูลจากโรงงานเซรามิกตัวอย่างประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารจำนวน 1 โรงงาน ที่มีการใช้เตาเผาแบบเตาชุดเตีลขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร และมีการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง

3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

3.1.1. เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย (รุ่น testo 300 M and XL)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดค่าองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจน และอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์บนจอแสดงผล โดยค่าอุณหภูมิที่สามารถวัดได้อยู่ในช่วง -40 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการแสดงผลอุณหภูมิ 0.01 องศาเซลเซียส วิธีการใช้งานคือ สอดหัวแห่เข้าไปในท่อโดยผ่านรูเล็กๆ ที่ทำขึ้นบนท่อปล่อยก๊าซไอเสีย โดยที่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปในไมโครโพรเซสเซอร์ทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและแสดงผลบนจอ



รูปที่ 3.1 เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย (รุ่น testo 300 M and XL)

3.1.2. เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัสหรือเทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด (ยี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A 876 ชนิด k)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดค่าอุณหภูมิทั้งภายใน และภายนอกของเตาซัดเตล โดย มีช่วงอุณหภูมิในการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 1,350 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการแสดงผล อุณหภูมิ 0.01 องศาเซลเซียส ระดับความเที่ยงตรง ± 0.5 องศาเซลเซียส สามารถวัดค่า อุณหภูมิได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสระหว่างเทอร์โมมิเตอร์ และวัตถุที่จะวัดอุณหภูมิ วิธีการใช้งานคือ ชี้เทอร์โมมิเตอร์ไปยังพื้นผิวหรือจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิภายในและ ภายนอกเตาเผา และทำการอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้



รูปที่ 3.2 เทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรดแบบไม่สัมผัส CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A 876 ชนิด k

3.1.3. เทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะเปียก-แห้ง

ใช้ในการวัดอุณหภูมิอากาศ โดยเทอร์โมมิเตอร์ด้านหนึ่งจะเป็นแบบกระเปาะแห้งใช้สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศ และอีกด้านหนึ่งจะเป็นเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก (มีไส้ผ้ายัดติดอยู่ที่ส่วนล่างของเทอร์โมมิเตอร์) ซึ่งจะใช้วัดอุณหภูมิอากาศที่เย็น โดยการระเหย โดยที่เทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองจะแสดงอุณหภูมิที่ลดลงจากล่างถึงบน



รูปที่ 3.3 เทอร์มิเตอร์ กระเปาะเปียก-แห้ง

3.1.4. เครื่องชั่ง

ใช้ในการวัดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังเข้าเผา มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

3.2. ข้อมูลที่ต้องตรวจวัด

3.2.1. การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

- ขนาดเตาด้านกว้าง, ยาว, สูง (เมตร)
- จำนวนชั่วโมงการเผาขึ้นงานต่อวัน (ชั่วโมง)
- ประเภทของผลิตภัณฑ์

3.2.2. รายการข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัด

ทำการตรวจวัดข้อมูลดังตารางที่ 3.1 ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการเผา ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นระยะเวลารวม 8 ชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 ครั้ง

ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัด

ที่	รายการตรวจวัด	สัญลักษณ์	หน่วย	เครื่องมือตรวจวัด
1	น้ำหนักของเชื้อเพลิง	W_g	Kg	เครื่องชั่ง
2	น้ำหนักของไฟเบอร์	W_{11}	Kg	คู่มือเตาเผา
3	อุณหภูมิของบรรยากาศ	t_{sur}	$^{\circ}C$	เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัส
4	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตา	t_{avg} (ภายในเตา)	$^{\circ}C$	เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัส
5	น้ำหนักของโครงตัวเตา	W_{12}	Kg	คู่มือเตาเผา
6	อุณหภูมิเฉลี่ยของรอบผนังเตา	t_{avg} (รอบผนังเตา)	$^{\circ}C$	เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัส
7	น้ำหนักของอิฐพื้นเตา	W_{21}	Kg	คู่มือเตาเผา
8	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นเตา	t_{avg} (ที่พื้นเตา)	$^{\circ}C$	เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัส
9	น้ำหนักของเฟอร์นิเจอร์	W_3	Kg	คู่มือเตาเผา
10	น้ำหนักผลิตภัณฑ์	m_p	Kg	เครื่องชั่ง
11	อุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซเสีย	t_{avg} (ก๊าซเสีย)	$^{\circ}C$	เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย
12	เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจน	% O_2	%	เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย
13	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	% CO_2	%	เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย
14	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	% CO	ppm	เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย
15	เปอร์เซ็นต์ก๊าซไนโตรเจน	% N_2	%	เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย

3.3. โครงสร้างและลักษณะทั่วไปของชุดเตาในโรงงานตัวอย่าง

เตาชุดเตาหุ้มฉนวนไฟเบอร์ที่มีขนาดภายในเตาเท่ากับ ความกว้าง 1,290 มิลลิเมตร, ความสูง 1,537 มิลลิเมตร และความลึก 2,375 มิลลิเมตร ซึ่งมีระบบทางเดินลมร้อนลง (Down Draft) โดยหัวพ่นไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นหัวพ่นไฟแบบเวนจูรี (Venturi Burners) ประกอบด้วยหัวเผาจำนวน 2 ฝั่งๆ ละ 12 หัว และหัวพ่นไฟชนิดนี้สามารถเผาให้พลังงานความร้อนต่อหัวเท่ากับ 12 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงที่ความดันบรรยากาศ



รูปที่ 3.4 เตาชุดเตาขนาด 4 ลูกบาศก์เมตรของโรงงานตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 หัวพ่นไฟแบบเวนจูรี (Venturi Burners)

3.4. ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงาน

ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 1

ชั่วโมงที่	นาทีที่	ช่วงอุณหภูมิในการเผา (°C)	อุณหภูมิ(เฉลี่ย) :°C			
			รอบผนังเตา	ที่พื้นเตา	ภายในเตา	ไอดี
0	0	0-550	38.43	39.15	40.6	38.2
1	60		39.76	51.29	294.3	90.1
2	120		40.05	74.76	448	215.4
3	180	550-600	41.88	78.54	573.5	345.6
4	240	600-950	45.19	88.31	868.0	597
5	300	950	47.21	92.35	987.4	692.3
6	360	950-1200	49.65	97.45	1052.7	734.3
7	420		56.32	99.86	1178.3	796.5
8	480	1200-1400	60.34	103.41	1289	835

ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 2

ชั่วโมงที่	นาทีที่	ช่วงอุณหภูมิในการเผา (°C)	อุณหภูมิ(เฉลี่ย) :°C			
			รอบผนังเตา	ที่พื้นเตา	ภายในเตา	ไอดี
0	0	0-550	38.88	40.04	41.4	39.4
1	60		39.73	48.42	292.35	91.06
2	120		41.79	73.41	451.21	213.95
3	180	550-600	43.31	79.18	570.7	348.03
4	240	600-950	44.63	87.32	872.3	599.11
5	300	950	45.79	93.09	988.59	690.97
6	360	950-1200	46.76	96.58	1051.11	733.52
7	420		53.56	97.55	1180.4	791.08
8	480	1200-1400	59	103.52	1288.13	842.2

ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 3

ชั่วโมงที่	นาทีที่	ช่วงอุณหภูมิในการเผา (°C)	อุณหภูมิ(เฉลี่ย) :°C			
			รอบผนังเตา	ที่พื้นเตา	ภายในเตา	ไอเสีย
0	0	0-550	37.98	38.26	41.03	40.3
1	60		39.33	46.42	296.64	89.55
2	120		42.04	75.11	442.8	219.72
3	180	550-600	43.41	76.9	579.7	350.9
4	240	600-950	46.75	86.22	868.4	596.61
5	300	950	48.61	92.02	990.61	696.62
6	360	950-1200	51.96	94.58	1051.86	745.3
7	420		55.45	103.17	1181.61	798.64
8	480	1200-1400	57.37	102.3	1293.31	830.43

ตารางที่ 3.5 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 4

ชั่วโมงที่	นาทีที่	ช่วงอุณหภูมิในการเผา (°C)	อุณหภูมิ(เฉลี่ย) :°C			
			รอบผนังเตา	ที่พื้นเตา	ภายในเตา	ไอเสีย
0	0	0-550	39.3	40.99	43.03	41.41
1	60		42.21	48.12	298.84	93.31
2	120		42.95	72.01	443.7	220.61
3	180	550-600	43.61	79.08	578.9	343.27
4	240	600-950	44.17	89.99	867.3	598.78
5	300	950	47.64	95.13	990.84	688.74
6	360	950-1200	51.01	100.53	1047.25	725.09
7	420		57.55	100.85	1171.54	801.61
8	480	1200-1400	61.02	101.55	1280.47	851.76

ตารางที่ 3.6 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ยครั้งที่ 5

ชั่วโมงที่	นาทีที่	ช่วงอุณหภูมิในการเผา (°C)	อุณหภูมิ(เฉลี่ย) :°C			
			รอบผนังเตา	ที่พื้นเตา	ภายในเตา	ไอดีเสีย
0	0	0-550	36.87	37.37	39.38	38.2
1	60		37.66	47.4	300.5	100.51
2	120		41.44	75.19	444.9	210.19
3	180	550-600	44.31	80.43	574.7	349.92
4	240	600-950	48.4	83.52	873.8	603.38
5	300	950	49.55	89.06	995.31	681.18
6	360	950-1200	50.23	94.53	1046.3	735.17
7	420		52.92	99.42	1182.81	809.75
8	480	1200-1400	57.56	99.85	1284.48	854.12

ตารางที่ 3.7 ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเฉลี่ย 5 ครั้ง

ครั้งที่	อุณหภูมิเฉลี่ย : °C						ออกซิเจน (O ₂): (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂): (%)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO): (ppm)	น้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (kg)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง (kg)
	บรรยากาศแบบแห้ง	บรรยากาศแบบเปียก	รอบผนังเตา	ที่พื้นเตา	ภายในเตา	ไอเสีย						
1	35	34	60.34	103.41	1289	835	4.91	10.74	58.53	139.5	1209.5	1112.74
2	36.2	33.5	59	103.52	1288.13	842.2	6.14	9.19	67.96	141.6	1112.3	1001.07
3	34.4	32	57.37	102.3	1293.31	830.43	6.57	9.57	57.82	138	1228.8	1155.07
4	37	33.7	61.02	101.55	1280.47	851.76	4.1	11.03	58.78	137.4	1314.5	1213.28
5	36.7	34.3	57.56	99.85	1284.48	854.12	6.8	9.76	53.65	142.2	1235.45	1130.44
เฉลี่ย	35.86	33.50	59.06	102.13	1287.08	842.70	5.70	10.06	59.35	139.74	1220.11	1122.52

3.5. สมดุลมวลของกระบวนการเผาเซรามิก [6]

3.5.1. มวลเข้าสู่ระบบ

3.5.1.1 มวลเชื้อเพลิงเข้าเผา

จากการเก็บข้อมูลพบว่าใน 1 รอบการเผาจะใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เฉลี่ยเท่ากับ 139.74 กิโลกรัม

3.5.1.2 มวลผลิตภัณฑ์ที่เข้าเผา

จากการเก็บข้อมูลพบว่าใน 1 รอบการเผามีการนำผลิตภัณฑ์เข้าเผาเฉลี่ยเท่ากับ 1,220.11 กิโลกรัม

3.5.1.3 มวลของอากาศที่เข้าเผา (ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้)

จากการเก็บข้อมูลค่าร้อยละของก๊าซออกซิเจนในก๊าซไอเสียพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยเท่ากับ 5.70% ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่าปริมาณอากาศส่วนเกินได้จากสมการ

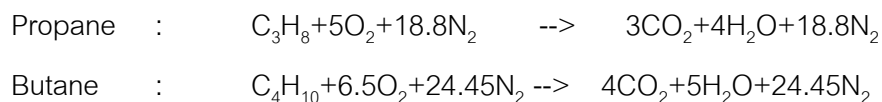
$$m = \frac{21}{21 - \%O_2}$$

$$m = \frac{21}{21 - 5.7} = 1.37$$

พบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 1.37

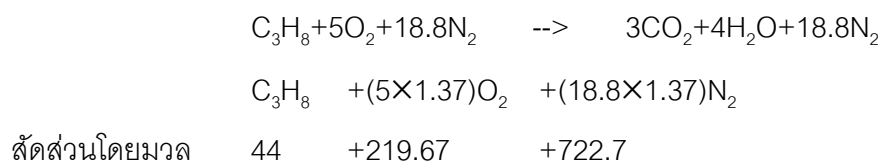
กำหนดให้	เชื้อเพลิง LPG 1 kg	ประกอบด้วย	C_3H_8	=	0.53	kg
			C_4H_{10}	=	0.47	kg
	อากาศ 1 Volume	ประกอบด้วย	N	=	79	%
			O_2	=	21	%

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) จะประกอบไปด้วย Propane(C_3H_8) และ Butane(C_4H_{10}) โดยที่มีสมการเผาไหม้ของ LPG คือ



พิจารณาปริมาณอากาศสำหรับการสันดาปโพรเพน (Propane)

จากสมการการสันดาป



พิจารณาน้ำหนักของอากาศ ($\text{O}_2 + \text{N}_2$)

$$\text{O}_2 = \frac{0.53 \times 219.67}{44}$$

$$\text{O}_2 = 2.646 \text{ kg}$$

$$\text{N}_2 = \frac{0.53 \times 722.7}{44}$$

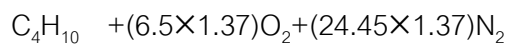
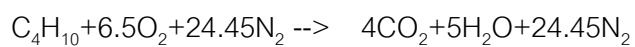
$$\text{N}_2 = 8.705 \text{ kg}$$

โพรเพน (Propane) หนัก 0.53 kg ใช้อากาศ ($\text{O}_2 + \text{N}_2$) หนัก 11.35 kg

ดังนั้น	LPG 139.74 kg ประกอบด้วย	Propane 74.06 kg
	C_3H_8 0.53 kg ใช้	อากาศ 11.35 kg
	C_3H_8 74.06 kg ใช้	อากาศ 1,586.22 kg

พิจารณาปริมาณอากาศสำหรับการสันดาปบิวเทน (Butane)

จากสมการการสันดาป



สัดส่วนโดยมวล	58	+285.6	+940
---------------	----	--------	------

พิจารณาน้ำหนักของอากาศ ($\text{O}_2 + \text{N}_2$)

$$\text{O}_2 = \frac{0.47 \times 285.56}{58}$$

$$\text{O}_2 = 2.314 \text{ kg}$$

$$\text{N}_2 = \frac{0.47 \times 939.89}{58}$$

$$\text{N}_2 = 7.616 \text{ kg}$$

บิวเทน (Butane) หนัก 0.47 kg ใช้อากาศ ($\text{O}_2 + \text{N}_2$) หนัก 9.93 kg

ดังนั้น LPG 139.74 kg ประกอบด้วย Butane 65.68 kg

C_4H_{10} 0.47 kg	ใช้อากาศ	9.93	kg
-----------------------------------	----------	------	----

C_4H_{10} 65.68 kg	ใช้อากาศ	1387.68	kg
------------------------------------	----------	---------	----

ดังนั้นปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ($m_{a,i}$) เท่ากับ 2,973.90 กิโลกรัม

3.5.2. มวลออกจากระบบ

3.5.2.1 มวลของความชื้นในผลิตภัณฑ์

จากการเก็บข้อมูลพบว่าใน 1 รอบการเผาไหม้มีมวลของผลิตภัณฑ์เข้าเผาเฉลี่ยเท่ากับ 1,220.11 กิโลกรัม และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผาพบว่ามวลเฉลี่ยเท่ากับ 1,122.52 กิโลกรัม ดังนั้นมวลที่สูญเสียไปกับความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 97.59 กิโลกรัม

3.5.2.2 มวลของก๊าซไอเสีย

จากการตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสียเฉลี่ย ประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจน 5.70%, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10.06%, ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 0.0059% และก๊าซไนโตรเจน 84.23%

ตารางที่ 3.8 องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย

ชนิดของไอเสีย	ร้อยละโดยปริมาตร	มวล	ร้อยละโดยมวล
ออกซิเจน (O ₂)	5.70	182.53	6.12
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	10.06	442.55	14.83
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	0.0059	0.166	0.006
ไนโตรเจน (N ₂)	84.23	2,358.50	79.04

จากการพิจารณาการสันดาป Propane และ Butane พบว่า

เชื้อเพลิง LPG=1kg :	N ₂ =	16.32	kg
จะได้	O ₂ =	1.26	kg
	CO ₂ =	3.06	kg
	CO=	0.00115	kg
เชื้อเพลิง LPG=139.74 kg:	N ₂ =	2280.78	kg
	O ₂ =	176.51	kg
	CO ₂ =	427.97	kg

$$CO = 0.16 \quad \text{kg}$$

ดังนั้นมวลของก๊าซไอเสียทั้งหมดเท่ากับ 2,885.42 kg

3.5.2.3 มวลผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเตาเผา

จากการเก็บข้อมูลพบว่าใน 1 รอบการเผามีการนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผา มีมวลเฉลี่ยเท่ากับ 1,122.52 กิโลกรัม

3.5.2.4 มวลของเชื้อเพลิงและอากาศที่สูญเสียตามช่องเปิดต่างๆ

มวลของเชื้อเพลิงและอากาศที่สูญเสียตามช่องเปิดต่างๆ มีค่าเท่ากับ 228.21 กิโลกรัม

3.5.3. ร้อยละของสมดุลมวลของกระบวนการเผาเซรามิก

ตารางที่ 3.9 ร้อยละสมดุลมวลทั้งกระบวนการเผาเซรามิก

มวลในระบบ	สัญลักษณ์	จำนวน (กิโลกรัม)	ร้อยละ
มวลที่เข้าสู่ระบบ			100.00
1. มวลเชื้อเพลิงเข้าเผา	m_f	139.74	3.22
2. มวลวัสดุ (ผลิตภัณฑ์) ที่เข้าเผา	$m_{p,i}$	1,220.11	28.15
3. มวลของอากาศเข้า	$m_{a,i}$	2,973.90	68.62
มวลที่ออกจากระบบ			100.00
1. มวลของความร้อนในผลิตภัณฑ์	m_{moi}	97.59	2.25
2. มวลก๊าซไอเสีย	$m_{g,o}$	2,885.42	66.58
3. มวลวัสดุ (ผลิตภัณฑ์) ที่ออกจากเตาเผา	$m_{p,o}$	1,122.52	25.90
4. มวลของเชื้อเพลิงและอากาศที่สูญเสียตามช่องเปิดต่างๆ	m_{other}	228.21	5.27

3.6. สมดุลพลังงานของกระบวนการเผาเซรามิก [6]

3.6.1. พลังงานความร้อนที่ป้อนสู่ระบบประกอบด้วย

3.6.1.1 ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG(Q_{in})

$$Q_{in} = W_g \times LHV$$

$$\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิง } (W_g) = 139.74 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง } (LHV) = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม [19]}$$

$$Q_{in} = 139.74 \times 46,607 = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ดังนั้น ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG } (Q_{in}) = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

3.6.2. พลังงานความร้อนสูญเสียสำหรับการเผา

3.6.2.1 พลังงานที่สะสมในเปลือกเตา (Q_1)

$$Q_1 = \text{พลังงานที่สะสมในไฟเบอร์ } (Q_{11}) + \text{พลังงานที่สะสมที่โครงเตาเผา } (Q_{12})$$

โดยที่

$$Q_1 = Q_{11} + Q_{12}$$

$$Q_{11} = W_{11} \times C_{p1} \times \Delta t_{11}$$

$$Q_{12} = W_{12} \times C_{p2} \times \Delta t_{12}$$

$$\text{น้ำหนักของไฟเบอร์ } (W_{11}) = 615 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าความร้อนจำเพาะของไฟเบอร์ } (C_{p1}) = 1.088 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตากับอุณหภูมิของบรรยากาศ

$$(\Delta t_{11}) = 625.61 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$Q_{11} = 615 \times 1.088 \times 625.61 = 418,846 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ดังนั้น พลังงานที่สะสมในไฟเบอร์ } (Q_{11}) = 418,846 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{น้ำหนักของโครงตัวเตา (W}_{12}) = 2,000 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าความร้อนจำเพาะของเหล็ก (C}_{p2}) = 0.5 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตาสูงสุดในการเผากับ

$$\text{อุณหภูมิของบรรยากาศ (\Delta t}_{12}) = 59.06 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$Q_{12} = 2,000 \times 0.5 \times 59.06 = 59,058 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ดังนั้น พลังงานที่สะสมที่โครงเตาเผา (Q}_{12}) = 59,058 \text{ กิโลจูล}$$

$$Q_1 = 418,846 + 59,058 = 477,904 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ดังนั้น พลังงานที่สะสมในเปลือกเตา (Q}_{1}) = 477,904 \text{ กิโลจูล}$$

3.6.2.2 พลังงานที่สะสมในพื้นที่ (Q₂)

$$Q_2 = W_{21} \times C_{p3} \times \Delta t_{21}$$

$$\text{น้ำหนักของอิฐพื้นที่ (W}_{2}) = 600 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าความร้อนจำเพาะของอิฐพื้นที่ C}_{p3} = 0.96 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่กับอุณหภูมิของบรรยากาศ

$$(\Delta t_{21}) = 66.27 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$Q_2 = 600 \times 0.96 \times 66.27 = 38,169.22 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ดังนั้น พลังงานที่สะสมในพื้นที่ (Q}_{2}) = 38,169.22 \text{ กิโลจูล}$$

3.6.2.3 พลังงานความร้อนที่สะสมในเฟอร์นิเจอร์ (Q₃)

$$Q_3 = W_3 \times C_{p5} \times \Delta t_3$$

$$\text{น้ำหนักของเฟอร์นิเจอร์ (W}_{3}) = 383 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าความร้อนจำเพาะของเฟอร์นิเจอร์ (C}_{p5}) = 0.67 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดในเตากับอุณหภูมิของบรรยากาศ } (\Delta t_3) \\ = 1,251.22 \text{ องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

$$Q_3 = 383 \times 0.67 \times 1,251.22 = 321,075.1 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานความร้อนที่สะสมในเฟอร์นิเจอร์ (Q_3) = 321,075.1 กิโลจูล

3.6.2.4 พลังงานที่ใช้เผาผลิติดักถ่าน (Q₄)

$$Q_4 = m_p \times C_{p6} \times \Delta t_4$$

$$\text{น้ำหนักผลิติดักถ่าน (m}_p) = 1,220.11 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าความร้อนจำเพาะของผลิติดักถ่าน (C}_{p6}) = 1.38 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดในเตากับอุณหภูมิของบรรยากาศ } (\Delta t_4) \\ = 1,251.22 \text{ องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

$$Q_4 = 1,220.11 \times 1.38 \times 1,251.22 = 2,109,351 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่ใช้เผาผลิติดักถ่าน (Q_4) = 2,109,351 กิโลจูล

3.6.2.5 พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสี (Q₅)

$$Q_5 = \text{พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสีของเปลือกเตา (Q}_{51}) + \text{พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสีพื้นเตา (Q}_{52})$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่} \\ Q_{51} = A_1 \times e_1 \times 5.67 \left[\left(\frac{t_{s(\text{avg})1} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^4 \right] \times \text{hr} \times 3.6 \\ Q_{52} = A_2 \times e_2 \times 5.67 \left[\left(\frac{t_{s(\text{avg})2} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_a + 273}{100} \right)^4 \right] \times \text{hr} \times 3.6 \end{aligned}$$

$$\text{พื้นที่เปลือกเตา (A}_1) = 11.27 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{ค่า Emissivity ของอะลูมิเนียม, Oxidized (e}_1) = 0.85$$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตา (t}_{s(\text{avg})1}) = 47.459 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิของบรรยากาศ (t}_a) = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{จำนวนชั่วโมงที่เผา (hr) = 8 \text{ ชั่วโมง}$$

$$Q_{51} = 11.27 \times 0.85 \times 5.67 \left[\left(\frac{47.459 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{35.86 + 273}{100} \right)^4 \right] \times 8 \times 3.6$$

$$Q_{51} = 10,640.55 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่เสียไปจากการแผ่รังสีของเปลือกเตา (Q_{51}) = 10,640.55 กิโลจูล

$$\text{พื้นที่เปลือกเตา } (A_2) = 3.064 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{ค่า Emissivity ของอะลูมิเนียม, Oxidized } (e_1) = 0.85$$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตา } (t_{s(\text{avg})2}) = 68.993 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิของบรรยากาศ } (t_a) = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{จำนวนชั่วโมงที่เผา } (\text{hr}) = 8 \text{ ชั่วโมง}$$

$$Q_{52} = 3.064 \times 0.85 \times 5.67 \left[\left(\frac{68.993 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{35.86 + 273}{100} \right)^4 \right] \times 8 \times 3.6$$

$$Q_{52} = 19,473.83 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่เสียไปจากการแผ่รังสีพื้นเตา (Q_{52}) = 19,473.83 กิโลจูล

$$Q_5 = 10,640.55 + 19,473.83 = 30,114.38 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสี (Q_5) = 30,114.38 กิโลจูล

3.6.2.6 พลังงานที่สูญเสียไปจากการพาความร้อน (Q_6)

$$Q_6 = \text{พลังงานที่เสียไปจากการพาความร้อนที่เปลือกเตา } (Q_{61}) + \text{พลังงานที่เสียไปจากการพาความร้อนที่พื้นเตา } (Q_{62})$$

โดยที่

$$Q_{61} = A_1 \times hc_1 \times (t_{s(\text{avg})1} - t_a) \times \text{hr} \times 3.6$$

$$Q_{62} = A_2 \times hc_2 \times (t_{s(\text{avg})2} - t_a) \times \text{hr} \times 3.6$$

$$\text{พื้นที่เปลือกเตา } (A_1) = 11.27 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากผิวเตา } (hc_1) = 3.645$$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตา } (t_{s(\text{avg})1}) = 47.459 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิของบรรยากาศ } (t_a) = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{จำนวนชั่วโมงที่เผา (hr)} = 8 \text{ ชั่วโมง}$$

$$Q_{61} = 11.27 \times 3.645 \times (47.459 - 35.86) \times 8 \times 3.6 = 13,717.62 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่เสียไปจากการพาความร้อนที่เปลือกเตา (Q_{61}) = 13,717.62 กิโลจูล

$$\text{พื้นที่เปลือกเตา (A}_2\text{)} = 3.064 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากผิวเตา (hc}_2\text{)} = 4.74$$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลือกเตา (t}_{s(\text{avg})2}\text{)} = 68.993 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิของบรรยากาศ (t}_a\text{)} = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{จำนวนชั่วโมงที่เผา (hr)} = 8 \text{ ชั่วโมง}$$

$$Q_{61} = 3.064 \times 4.74 \times (68.993 - 35.86) \times 8 \times 3.6 = 13,853.34 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่เสียไปจากการพาความร้อนที่พื้นเตา (Q_{62}) = 13,853.34 กิโลจูล

$$Q_6 = 13,717.62 + 13,853.34 = 27,570.96 \text{ กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่สูญเสียไปจากการพาความร้อน (Q_6) = 27,570.96 กิโลจูล

3.6.2.7 พลังงานที่สะสมอยู่ในก๊าซไอเสีย (Q_7)

$$Q_7 = m_g \times C_{pg} \times (T_g - T_a)$$

$$Q_7 = Q(O_2) + Q(CO_2) + Q(CO) + Q(N_2)$$

ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ออกจากปล่องก๊าซไอเสีย ($m(O_2)$) = 176.51 กิโลกรัม

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากปล่องก๊าซไอเสีย ($m(CO_2)$)
= 427.97 กิโลกรัม

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ออกจากปล่องก๊าซไอเสีย ($m(CO)$)
= 0.16 กิโลกรัม

ปริมาณไนโตรเจนที่ออกจากปล่องก๊าซไอเสีย ($m(N_2)$) = 2,280.7 กิโลกรัม

อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (T_g) = 842.70 องศาเซลเซียส

$$\text{อุณหภูมิของบรรยากาศ (T}_a\text{)} = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\begin{aligned} Q(\text{O}_2) &= m(\text{O}_2) \times C_p(\text{O}_2) \times (T_g - T_a) \\ &= 176.51 \times 1.038 \times 806.84 \\ &= 147,830 \text{ กิโลจูล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q(\text{CO}_2) &= m(\text{CO}_2) \times C_p(\text{CO}_2) \times (T_g - T_a) \\ &= 427.97 \times 1.145 \times 806.84 \\ &= 395,373 \text{ กิโลจูล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q(\text{CO}) &= m(\text{CO}) \times C_p(\text{CO}) \times (T_g - T_a) \\ &= 0.16 \times 1.096 \times 806.84 \\ &= 142.11 \text{ กิโลจูล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q(\text{N}_2) &= m(\text{N}_2) \times C_p(\text{N}_2) \times (T_g - T_a) \\ &= 2280.78 \times 1.11 \times 806.84 \\ &= 2,042,655.57 \text{ กิโลจูล} \end{aligned}$$

$$Q_7 = 147,830 + 395,373 + 142.11 + 2,042,655.57 = 2,586,001 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ดังนั้น พลังงานที่สะสมอยู่ในก๊าซไอเสีย (Q}_7\text{)} = 2,586,001 \text{ กิโลจูล}$$

3.6.2.8 พลังงานที่สูญเสียไปกับความชื้นในอากาศ(Q_8)

$$Q_8 = m_a \times \omega_1 \times C_{pst} \times (T_g - T_a)$$

$$\omega_1 = \frac{C_p(T_{wet} - T_{dry}) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0.622 P_{g2}}{P - P_{g2}}$$

$$C_{pst} = \frac{h(T_g) - h(T_a)}{T_g - T_a}$$

ค่าความดันไอน้ำที่อุณหภูมิบรรยากาศแบบกระเปาะเปียก (P_{g2})

$$= 5.2134 \quad \text{กิโลปาสคาล}$$

ค่าความดันบรรยากาศที่ 1 atm (P) = 101.325 กิโลปาสคาล

$$\omega_2 = \frac{0.622 \times 5.2134}{101.325 - 5.2134}$$

$$\omega_2 = 0.033739 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

ดังนั้น ค่าความชื้นจำเพาะ (ω_2) = 0.033739 kg H₂O/kg dry air

ค่าความร้อนจำเพาะ (C_p) = 1.005 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส

อุณหภูมิบรรยากาศแบบกระเปาะเปียก (T_{wet}) = 33.50 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิบรรยากาศ (T_{dry}) = 35.86 องศาเซลเซียส

ค่าเอนทาลปีของการกลายเป็นไอ (h_{fg}) = 3603.169 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ค่าเอนทาลปีของไอน้ำ (h_g) = 2566.848 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ค่าเอนทาลปีของของเหลวอิ่มตัว (h_{f2}) = 140.413 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

$$\omega_1 = \frac{1.005 (33.50 - 35.86) + (0.033739 \times 3603.169)}{2566.848 - 140.413} = 0.04923 \text{ kg H}_2\text{O/kg dry air}$$

ดังนั้น ค่าความชื้นจำเพาะ (ω_1) = 0.04923 kg H₂O/kg dry air

ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่อุณหภูมิของไอลเสีย ($h(T_g)$)

$$= 4,260.931 \quad \text{กิโลจูลต่อกิโลกรัม}$$

ค่าเอนทาลปีของน้ำที่อุณหภูมิมบรรยากาศ ($h(T_a)$)

$$= 2,566.848 \quad \text{กิโลจูลต่อกิโลกรัม}$$

$$C_{pst} = \frac{4260.931 - 2,566.848}{842.70 - 35.86} = 2.099 \quad \text{กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส}$$

ดังนั้น ค่าความร้อนจำเพาะ (C_{pst}) = 2.099 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส

$$\text{มวลของอากาศที่เข้าสู่ระบบ } (m_a) = 2,973.90 \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$\text{อุณหภูมิของก๊าซเสีย } (T_g) = 842.70 \quad \text{องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิของบรรยากาศ } (T_a) = 35.86 \quad \text{องศาเซลเซียส}$$

$$Q_8 = 2,973.90 \times 0.04923 \times 2.099 \times (842.70 - 35.86) = 248,020 \quad \text{กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่สูญเสียไปกับความชื้นในอากาศ (Q_8) = 248,020 กิโลจูล

3.6.2.9 พลังงานที่สูญเสียตามช่องเปิดและที่ไม่สามารถวัดค่าได้ (Q_9)

การสูญเสียพลังงานชนิดนี้เป็นการสูญเสียพลังงานที่ไม่สามารถวัดค่าได้

$$Q_9 = Q_{in} - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8)$$

$$Q_9 = 6,512,862.18 - (477,904 + 38,169.22 + 321,075.1 + 2,109,351 + 30,114.38 +$$

$$27,570.96 + 2,586,001 + 248,020) = 674,656.94 \quad \text{กิโลจูล}$$

ดังนั้น พลังงานที่สูญเสียตามช่องเปิดและที่ไม่สามารถวัดค่าได้ (Q_9) = 674,656.94 กิโลจูล

3.6.3. ร้อยละของสมดุลพลังงานทั้งกระบวนการเผาเซรามิก

ตารางที่ 3.10 ร้อยละของสมดุลมวลทั้งกระบวนการเผาเซรามิก

พลังงานในระบบ	สัญลักษณ์	ค่าพลังงาน (กิโลจูล)	ร้อยละ
---------------	-----------	-------------------------	--------

พลังงานในระบบ	สัญลักษณ์	ค่าพลังงาน (กิโลจูล)	ร้อยละ
พลังงานความร้อนที่ป้อนสู่ระบบ			
1.พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	Q_{in}	6,512,862.18	100.00
พลังงานความร้อนสูญเสียสำหรับการเผา			
1.พลังงานที่สะสมในเปลือกเตา	Q_1	477,904.04	7.34
2.พลังงานที่สะสมที่พื้นเตา	Q_2	38,169.22	0.59
3.พลังงานที่สะสมในเฟอร์นิเจอร์	Q_3	321,075.05	4.93
4.พลังงานที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์	Q_4	2,109,351.09	32.39
5.พลังงานที่สูญเสียไปจากการแผ่รังสี	Q_5	30,114.38	0.46
6.พลังงานที่สูญเสียไปจากการพาความร้อน	Q_6	27,570.96	0.42
7.พลังงานที่สะสมอยู่ในก๊าซเสีย	Q_7	2,586,000.52	39.71
8.พลังงานที่สูญเสียไปกับความชื้นในอากาศ	Q_8	248,020.00	3.81
9.พลังงานที่สูญเสียตามช่องเปิดและที่ไม่สามารถวัดค่าได้	Q_9	674,656.94	10.36

3.6.5. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิก

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา } (\eta) = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่ใช้ประโยชน์}}{\text{พลังงานความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่เตาเผา}}$$

$$\eta = \frac{Q_4}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{2,109,351.09}{6,512,862.18} \times 100\%$$

$$\eta = 32.39\%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิก = 32.39%

บทที่ 4

การวิเคราะห์การเลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

ศึกษาและเลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงทดแทนหัวเผาแบบเดิมคือ หัวเผาแบบเวนจูรี (Venturi burner) ของโรงงานเซรามิกตัวอย่าง ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ซึ่งใช้เตาเผาแบบเตาซัดเต็ล ขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลง โดยหัวเผาประสิทธิภาพสูงที่นำมาใช้ในการพิจารณาประกอบด้วยหัวเผา 2 ชนิด คือ หัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ และหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

4.1. วิเคราะห์ปริมาณความต้องการพลังงานและเชื้อเพลิง

วิเคราะห์ปริมาณความต้องการพลังงาน และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส และหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส โดยอ้างอิงปริมาณพลังงานความร้อนที่ป้อนสู่ระบบซึ่งใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว ในกระบวนการเผาเซรามิกด้วยหัวเผาเดิม จากหัวข้อ

3.6.1

4.1.1. ปริมาณความต้องการพลังงานเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$Q_{in(ใหม่)} = Q_{in(เดิม)} - Q_{in(air)}$$

$$Q_{in(ใหม่)} = [m_g \times LHV] - [A \times C_p \times (t_{air} - t_{sur})]$$

เมื่อ $Q_{in(ใหม่)}$ คือ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง (กิโลจูล)

$Q_{in(เดิม)}$ คือ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม (กิโลจูล) จาก 3.6.1

$Q_{in(air)}$ คือ ปริมาณพลังงานความร้อนจากการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูง (กิโลจูล)

- m_g คือ ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม (กิโลกรัม)
- LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) (กิโลจูล/กิโลกรัม)
- A คือ มวลอากาศที่เข้าเผาไหม้จริง (กิโลกรัม) จาก 3.5.1
- C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (กิโลจูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส)
- t_{air} คือ อุณหภูมิอากาศที่เข้าเผาไหม้เมื่อผ่านหัวเผาแบบปริเจนเนอร์เรทีฟหรือแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ (องศาเซลเซียส)
- t_{sur} คือ อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

4.1.2. ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$m_{g(\text{ใหม่})} = \frac{Q_{in(\text{ใหม่})}}{LHV}$$

- เมื่อ $m_{g(\text{ใหม่})}$ คือ ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง (กิโลกรัม)
- $Q_{in(\text{ใหม่})}$ คือ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง (กิโลจูล) จาก 4.1.1
- LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) (กิโลจูล/กิโลกรัม)

4.1.3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณความต้องการพลังงานและเชื้อเพลิงต่อ 1 รอบการเผา เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

4.1.3.1 อุณหภูมิในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาของหัวเผาประสิทธิภาพสูงเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส

- ปริมาณความต้องการพลังงานเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$Q_{in(ใหม่)} = Q_{in(เดิม)} - [A \times C_p \times (t_{air} - t_{sur})]$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม จาก 3.6.1

$$(Q_{in(เดิม)}) = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

$$\text{มวลอากาศที่เข้าเผาใหม่จริง จาก 3.5.1 (A)} = 2,973.90 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p)} = 1.0061 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม (t_{sur})} = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ (t_{air})} = 400 \text{ องศาเซลเซียส}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส ($Q_{in(ใหม่)}$) = 5,423,342.01 กิโลจูล

- ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$m_{g(ใหม่)} = \frac{Q_{in(ใหม่)}}{LHV}$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$(Q_{in(ใหม่)}) = 5,423,342.01 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส ($m_{g(ใหม่)}$) = 116.36 กิโลกรัม

4.1.3.2 อุณหภูมิในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาของหัวเผาประสิทธิภาพสูงเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส

- ปริมาณความต้องการพลังงานเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$Q_{in(ใหม่)} = Q_{in(เดิม)} - [A \times C_p \times (t_{air} - t_{sur})]$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม จาก 3.6.1

$$(Q_{in(เดิม)}) = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

$$\text{มวลอากาศที่เข้าเผาไหม้จริง จาก 3.5.1 (A)} = 2,973.90 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะของอากาศ (C}_p\text{)} = 1.0061 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม (t}_{sur}\text{)} = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ (t}_{air}\text{)} = 500 \text{ องศาเซลเซียส}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส $(Q_{in(ใหม่)}) = 5,124,138.36$ กิโลจูล

- ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$m_{g(ใหม่)} = \frac{Q_{in(ใหม่)}}{LHV}$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$(Q_{in(ใหม่)}) = 5,124,138.36 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส $(m_{g(ใหม่)}) = 109.94$ กิโลกรัม

4.1.3.3 อุณหภูมิในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาของหัวเผาประสิทธิภาพสูงเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส

- ปริมาณความต้องการพลังงานเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$Q_{in(ใหม่)} = Q_{in(เดิม)} - [A \times C_p \times (t_{air} - t_{sur})]$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม จาก 3.6.1

$$(Q_{in(เดิม)}) = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

$$\text{มวลอากาศที่เข้าเผาไหม้จริง จาก 3.5.1 (A)} = 2,973.90 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p)} = 1.0061 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม (t_{sur})} = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ (t_{air})} = 600 \text{ องศาเซลเซียส}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส ($Q_{in(ใหม่)}$) = 4,824,934.7 กิโลจูล

- ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$m_{g(ใหม่)} = \frac{Q_{in(ใหม่)}}{LHV}$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$(Q_{in(ใหม่)}) = 4,824,934.7 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส ($m_{g(ใหม่)}$) = 103.52 กิโลกรัม

4.1.3.4 อุณหภูมิในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาของหัวเผาประสิทธิภาพสูงเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส

- ปริมาณความต้องการพลังงานเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$Q_{in(ใหม่)} = Q_{in(เดิม)} - [A \times C_p \times (t_{air} - t_{sur})]$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม จาก 3.6.1

$$(Q_{in(เดิม)}) = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

$$\text{มวลอากาศที่เข้าเผาไหม้จริง จาก 3.5.1 (A)} = 2,973.90 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p)} = 1.0061 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม (t_{sur})} = 35.86 \text{ องศาเซลเซียส}$$

$$\text{อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ (t_{air})} = 700 \text{ องศาเซลเซียส}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส ($Q_{in(ใหม่)}$) = 4,525,731.05 กิโลจูล

- ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$m_{g(ใหม่)} = \frac{Q_{in(ใหม่)}}{LHV}$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$(Q_{in(ใหม่)}) = 4,525,731.05 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส ($m_{g(ใหม่)}$) = 97.1 กิโลกรัม

4.1.3.5 อุณหภูมิในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาของหัวเผาประสิทธิภาพสูงเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส

- ปริมาณความต้องการพลังงานเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$Q_{in(ใหม่)} = Q_{in(เดิม)} - [A \times C_p \times (t_{air} - t_{sur})]$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม จาก 3.6.1

$$(Q_{in(เดิม)}) = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV) = 46,607 กิโลจูล/กิโลกรัม

มวลอากาศที่เข้าเผาไหม้จริง จาก 3.5.1 (A) = 2,973.90 กิโลกรัม

ความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p) = 1.0061 กิโลจูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม (t_{sur}) = 35.86 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ (t_{air}) = 800 องศาเซลเซียส

ดังนั้น ปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ($Q_{in(ใหม่)}$) = 4,226,527.40 กิโลจูล

- ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$m_{g(ใหม่)} = \frac{Q_{in(ใหม่)}}{LHV}$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$(Q_{in(ใหม่)}) = 4,226,527.40 \text{ กิโลจูล}$$

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV) = 46,607 กิโลจูล/กิโลกรัม

ดังนั้น ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส ($m_{g(ใหม่)}$) = 90.68 กิโลกรัม

4.1.3.6 อุณหภูมิในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเผาของหัวเผาประสิทธิภาพสูงเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส

- ปริมาณความต้องการพลังงานเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$Q_{in(ใหม่)} = Q_{in(เดิม)} - [A \times C_p \times (t_{air} - t_{sur})]$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาชนิดเดิม จาก 3.6.1

$$(Q_{in(เดิม)}) = 6,512,862.18 \text{ กิโลจูล}$$

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV) = 46,607 กิโลจูล/กิโลกรัม

มวลอากาศที่เข้าเผาไหม้จริง จาก 3.5.1 (A) = 2,973.90 กิโลกรัม

ความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p) = 1.0061 กิโลจูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อม (t_{sur}) = 35.86 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ (t_{air}) = 900 องศาเซลเซียส

ดังนั้น ปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส ($Q_{in(ใหม่)}$) = 3,927,323.75 กิโลจูล

- ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$m_{g(ใหม่)} = \frac{Q_{in(ใหม่)}}{LHV}$$

เมื่อ ปริมาณพลังงานความร้อนเมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

$$(Q_{in(ใหม่)}) = 3,927,323.75 \text{ กิโลจูล}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV)} = 46,607 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัม}$$

ดังนั้น ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส ($m_{g(ใหม่)}$) = 84.26 กิโลกรัม

สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณความต้องการพลังงานเชื้อเพลิง และอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงต่อ 1 รอบการเผา เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบปริคัพเปอร์เรทีฟที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส และแบบรีเจนเนอเรทีฟที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อหัวเผาประสิทธิภาพสูงทั้งสองแบบมีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้มีปริมาณความต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดน้อยลง และมีอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความต้องการพลังงาน เชื้อเพลิง และอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงต่อ 1 รอบการเผา เมื่อใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูง

อุณหภูมิอุ่นอากาศก่อนเข้าเผา (°C)		ค่าพลังงาน (kj)	ปริมาณ เชื้อเพลิง LPG (kg)	อัตราการ ประหยัด เชื้อเพลิง (%)
รีคัพเปอร์เรทีฟ	รีเจนเนอเรทีฟ			
400	400	5,423,342.01	116.36	16.73
500	500	5,124,138.36	109.94	21.32
600	600	4,824,934.70	103.52	25.29
700	700	4,525,731.05	97.10	30.51
	800	4,226,527.40	90.68	35.1
	900	3,927,323.75	84.26	39.7

4.2. ต้นทุนพลังงานและค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูง

การเลือกความเหมาะสมในการติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงจะต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูง(องศาเซลเซียส) กับต้นทุนเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผาประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 แบบ ซึ่งประกอบด้วย ราคาหัวเผาประสิทธิภาพสูง ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ ค่าบำรุงรักษาหัวเผาประสิทธิภาพสูง ค่าไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายแรงงาน เพื่อให้ได้ความคุ้มค่าในการเลือกลงทุนทั้งทางด้านพลังงาน และด้านการเงินมากที่สุด โดยทำการวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไข

- ทำการเผาผลิตภัณฑ์ 2 รอบต่อวัน
- จำนวนวันทำงานเท่ากับ 312 วันต่อปี
- จำนวนการเผาผลิตภัณฑ์เฉลี่ย 761,348.64 กิโลกรัมต่อปี
- ต้นทุนเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เท่ากับ 30.13 บาทต่อกิโลกรัม (อ้างอิงจากราคาขายปลีกเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ภาคอุตสาหกรรมสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงอุตสาหกรรม (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/petro/price/> [พฤษภาคม พศ.2555])
- อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็ก อัตราปกติหน่วยละ 2.46 บาทต่อหน่วย (อ้างอิงจากโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า จำแนกตามกิจการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html#2> [พฤษภาคม พศ.2555])
- ค่าใช้จ่ายแรงงานดังตารางที่ 4.2 (อ้างอิงจากรายงานผลการสำรวจอัตราค่าจ้างและสวัสดิการสำหรับการบริการค่าจ้าง ประจำปี 2554-2555)

ตารางที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายแรงงาน

ค่าใช้จ่ายแรงงาน			
ตำแหน่ง	วิศวกร	เจ้าหน้าที่กะ	พนักงานฝ่ายผลิต
เงินเดือน (บาท/เดือน)	15,700	11,141	9,646
จำนวนคน (คน)	1	2	2
รวม (บาท/ปี)	188,400.00	267,384.00	231,504.00
รวมทั้งหมด (บาท/ปี)	687,288.00		

- อายุการใช้งานของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟเท่ากับ 7 ปี และอายุการใช้งานของหัวเผาแบบปริเจนเนอเรทีฟเท่ากับ 10 ปี (อ้างอิงจากบริษัทผู้ผลิตหัวเผาประสิทธิภาพสูง) ทั้งนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงเตาเผา หรืออุตสาหกรรมแล้วอายุการใช้งานหัวเผาจะมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากเตาแต่ละประเภทมีลักษณะการทำงาน และใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้อุปกรณ์ของหัวเผาประสิทธิภาพสูงเกิดการชำรุด เสียหาย หรือสึกกร่อนในระยะเวลาที่แตกต่างกัน
- ค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผา (อ้างอิงจากบริษัทผู้ผลิตหัวเผาประสิทธิภาพสูง) ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผาประสิทธิภาพสูง

รายการ	หัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	หัวเผาแบบปริเจนเนอเรทีฟ
ค่าหัวเผา	1,250,000	3,000,000
ค่าอุปกรณ์	500,000	750,000
ค่าติดตั้ง	300,000	600,000
รวม	2,050,000	4,350,000

- อัตราค่าบำรุงรักษาหัวเผาและอุปกรณ์ (อ้างอิงจากบริษัทผู้ผลิตหัวเผาประสิทธิภาพสูง) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณร้อยละของค่าบำรุงรักษาหัวเผาประสิทธิภาพสูง

อุณหภูมิอุณหภูมิอากาศ (°C)	ร้อยละของค่าบำรุงรักษาหัวเผาเฉลี่ยต่อปี	
	แบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	แบบปริเจนเนอเรทีฟ
400	4	5
500	5	6
600	7	7
700	10	8
800		10
900		12

4.2.1. โครงการห้วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

พิจารณาต้นทุนเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งห้วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟขนาด 350,000 บีทียูต่อชั่วโมง (92 กิโลวัตต์) จำนวน 4 ตัวโดยวางด้านละ 2 ตัวทแยงมุมกัน เพื่อให้กระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ โดยที่ห้วเผาแบบนี้จะมีความสามารถในการอุ่นอากาศในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส และมีอายุการใช้งานเท่ากับ 7 ปี

4.2.1.1 ต้นทุนเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ของห้วเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนพลังงานของห้วเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอุ่นอากาศ (°C)	ปริมาณเชื้อเพลิง LPG (kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/ปี)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/kg)
400	232.73	2,187,759.43	2.87
500	219.89	2,067,061.60	2.72
600	207.05	1,946,363.77	2.56
700	194.21	1,825,665.94	2.40

4.2.1.2 ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ของห้วเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณเชื้อเพลิง และต้นทุนเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ของห้วเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอุ่นอากาศ	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัด (กิโลกรัม/ปี)	ต้นทุนเชื้อเพลิงที่ประหยัด(บาท/ปี)
400	14,587	439,509.08
500	18,593	560,206.91
600	22,599	680,904.74
700	26,605	801,602.57

4.2.1.3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนห้วเผาของห้วเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของห้วเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 700 องศาเซลเซียส

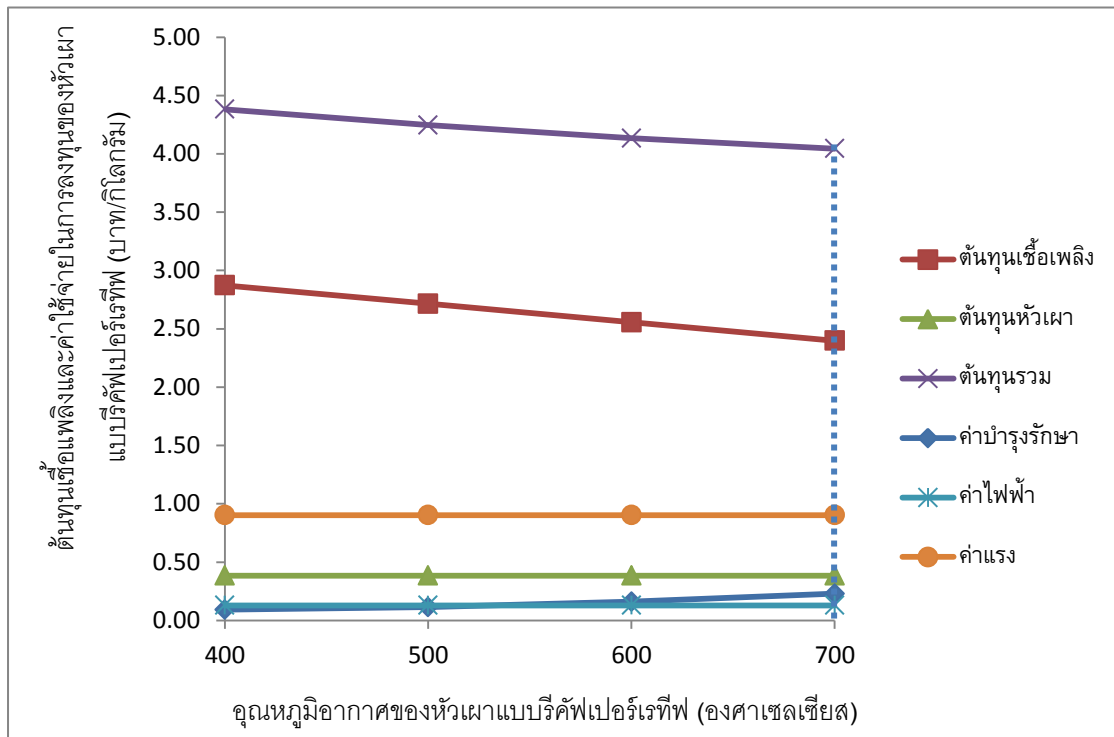
อุณหภูมิ อุณหภูมิ อากาศ (°C)	ต้นทุนหัวเผา (บาท/ปี)						
	ค่า หัวเผา	ค่า อุปกรณ์	ค่าติดตั้ง	ค่าบำรุง รักษา	ค่าไฟฟ้า	ค่าแรงงาน	รวม
400	178,571.43	71428.57	42,857.14	70,000	98,438.25	687,288	1,148,583.39
500	178,571.43	71428.57	42,857.14	87,500	98,438.25	687,288	1,166,083.39
600	178,571.43	71428.57	42,857.14	122,500	98,438.25	687,288	1,201,083.39
700	178,571.43	71428.57	42,857.14	175,000	98,438.25	687,288	1,253,583.39

4.2.1.4 ต้นทุนเชื้อเพลิง และต้นทุนหัวเผาต่อหน่วยกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนเชื้อเพลิง และต้นทุนหัวเผา ต่อหน่วยกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

อุณหภูมิ อุณหภูมิ อากาศ (°C)	ต้นทุน (บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์)					
	เชื้อเพลิง	หัวเผา (หัวเผา, อุปกรณ์ และค่าติดตั้ง)	ค่า บำรุงรักษา	ค่าไฟฟ้า	ค่าแรงงาน	รวม
400	2.87	0.38	0.09	0.13	0.90	4.382
500	2.72	0.38	0.11	0.13	0.90	4.247
600	2.56	0.38	0.16	0.13	0.90	4.134
700	2.40	0.38	0.23	0.13	0.90	4.044

4.2.1.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

จากรูปที่ 4.1 ในการพิจารณาการเลือกลงทุนที่อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่มีความเหมาะสมกับต้นทุนเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟพบว่าควรเลือกติดตั้งหัวเผาที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีต้นทุนรวมต่ำที่สุดคือ 4.044 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ โดยคิดเป็นต้นทุนเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.40 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ และต้นทุนอื่นๆรวมเท่ากับ 1.65 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์

4.2.2. โครงการห้วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

พิจารณาต้นทุนเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งห้วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ ขนาด 460 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด โดยใช้รีเจนเนอเรเตอร์ชนิด alumina ball และมีระยะเวลาในการสับการทำงานของห้วเผาเท่ากับ 60 วินาทีต่อ โดยที่ห้วเผาแบบนี้มีความสามารถในการอุ่นอากาศในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส และมีอายุการใช้งานเท่ากับ 10 ปี

4.2.2.1 ต้นทุนเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ของห้วเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ต้นทุนพลังงานในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียสของห้วเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

อุณหภูมิอุ่นอากาศ (°C)	ปริมาณเชื้อเพลิง LPG (kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/ปี)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/kg)
400	232.73	2,187,759.43	2.87
500	219.89	2,067,061.60	2.72
600	207.05	1,946,363.77	2.56
700	194.21	1,825,665.94	2.40
800	181.37	1,704,968.11	2.24
900	168.53	1,584,270.28	2.08

4.2.2.3 ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณเชื้อเพลิง และต้นทุนเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอุณหภูมิอากาศ	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัด (กิโลกรัม/ปี)	ต้นทุนเชื้อเพลิงที่ประหยัด (บาท/ปี)
400	14,587.09	439,509.08
500	18,592.99	560,206.91
600	22,598.90	680,904.74
700	26,604.80	801,602.57
800	30,610.70	922,300.40
900	34,616.60	1,042,998.22

4.2.2.4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนหัวเผาของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส

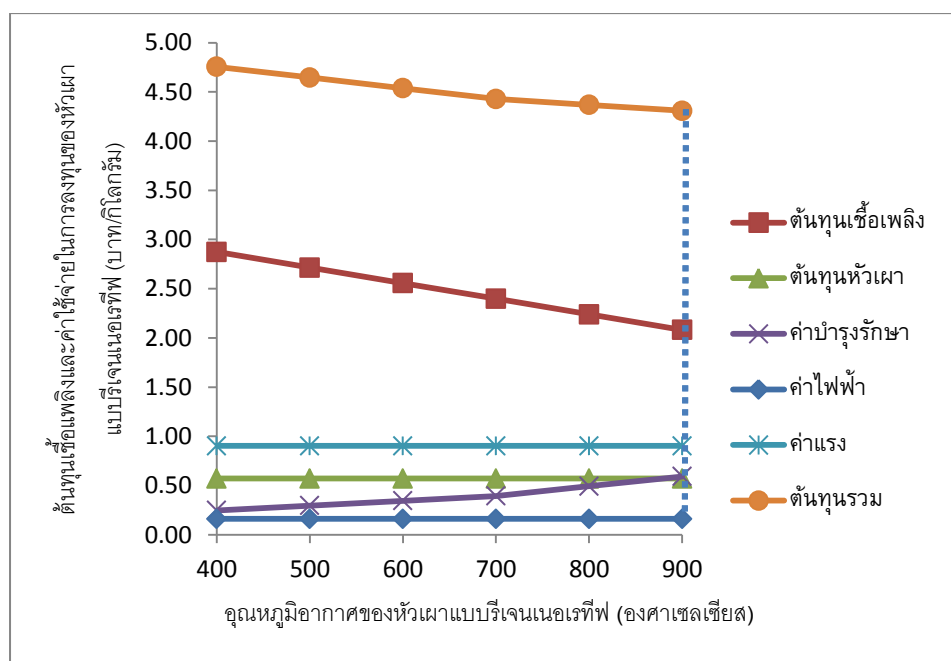
อุณหภูมิอากาศ (°C)	ต้นทุนหัวเผา (บาท/ปี)						
	ค่าหัวเผา	ค่าอุปกรณ์	ค่าติดตั้ง	ค่าบำรุงรักษา	ค่าไฟฟ้า	ค่าแรงงาน	รวม
400	300,000	75,000	60,000	187,500	123,047.81	687,288	1,432,835.81
500	300,000	75,000	60,000	225,000	123,047.81	687,288	1,470,335.81
600	300,000	75,000	60,000	262,500	123,047.81	687,288	1,507,835.81
700	300,000	75,000	60,000	300,000	123,047.81	687,288	1,545,335.81
800	300,000	75,000	60,000	375,000	123,047.81	687,288	1,620,335.81
900	300,000	75,000	60,000	450,000	123,047.81	687,288	1,695,335.81

4.2.2.5 ต้นทุนเชื้อเพลิง และต้นทุนหัวเผาต่อหน่วยกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ต้นทุนเชื้อเพลิง และต้นทุนหัวเผา ต่อหน่วยกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

อุณหภูมิ อุณหอากาศ (°C)	ต้นทุน (บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์)					
	เชื้อเพลิง	หัวเผา (หัวเผา, อุปกรณ์ และค่าติดตั้ง)	ค่า บำรุงรักษา	ค่าไฟฟ้า	ค่าแรงงาน	รวม
400	2.87	0.57	0.25	0.16	0.90	4.76
500	2.72	0.57	0.30	0.16	0.90	4.65
600	2.56	0.57	0.34	0.16	0.90	4.54
700	2.40	0.57	0.39	0.16	0.90	4.43
800	2.24	0.57	0.49	0.16	0.90	4.37
900	2.08	0.57	0.59	0.16	0.90	4.31

4.2.2.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

จากรูปที่ 4.2 ในการพิจารณาการเลือกลงทุนที่อุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่มีความเหมาะสมกับต้นทุนเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟที่พบว่า ควรเลือกติดตั้งหัวเผาที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 900°C เนื่องจากมีต้นทุนรวมต่ำที่สุดคือ 4.31 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ โดยคิดเป็นต้นทุนเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.08 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ และต้นทุนอื่นๆรวมเท่ากับ 2.23 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์

จากผลการวิเคราะห์ในบทนี้สามารถสรุปได้ว่าควรเลือกลงทุนติดตั้งหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ 700 องศาเซลเซียส หรือเลือกติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟที่มีอุณหภูมิในการอุ่นอากาศที่ 900 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้การตัดสินใจเลือกติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงให้กับเตาเผาเซรามิกของโรงงานตัวอย่างจะต้องตัดสินใจประกอบกับผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 5

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์การเลือกใช้อุณหภูมิในการอุ่นอากาศของหัวเผาประสิทธิภาพสูงในบทที่ 4 พบว่า สำหรับหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ควรเลือกติดตั้งหัวเผาที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส หรือแบบรีเจนเนอเรทีฟ ควรเลือกติดตั้งหัวเผาที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส และศึกษาว่าโครงการที่จะทำการลงทุนนี้มีความเหมาะสมทางการเงินหรือไม่ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดให้อายุโครงการให้เท่ากันซึ่งในกรณีนี้มีอายุโครงการเท่ากับ 70 ปีโดยการลงทุนซ้ำหลายครั้งจนกระทั่งอายุโครงการเท่ากัน แล้วจึงวิเคราะห์โครงการโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์

5.1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูง ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไปภายใต้ โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราส่วนลด (discount rate)

$$\text{จากสูตร} \quad \text{NPV} = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

โดยที่ n = อายุของโครงการ (ปี)

ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment)

i = อัตราส่วนลด (discount rate)

ในการเลือกลงทุนโครงการใดๆ ค่า NPV จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณา มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ ของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวก

แสดงว่าโครงการดังกล่าว สมควรที่จะลงทุน หรือถ้าค่า NPV มีค่าเป็นลบแสดงว่าโครงการดังกล่าว ไม่สมควรที่จะลงทุน

5.1.1. โครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

กำหนดให้

- อายุหัวเผา = 7 ปี
- ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (ES_t) จากตารางที่ 4.5 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส สามารถประหยัดได้ = 801,602.57 บาทต่อปี
- อัตราส่วนลด (i) เท่ากับ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคาร = 8% (อ้างอิงจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารแห่งประเทศไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก

http://www.bot.or.th/Thai/Statistics/FinancialMarkets/Interstrate/_layouts/application/interest_rate/IN_Rate.aspx# [พฤษภาคม พศ.2555])

- เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการซึ่งประกอบด้วย ค่าหัวเผา ค่าอุปกรณ์ และค่าติดตั้ง (I_0) = 2,050,000 บาท
- กำหนดให้ลงทุนซ้ำในปีที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 และปีที่ 63 โดยคำนวณเงินลงทุนเพิ่มจาก

เงินลงทุนเพิ่ม = เงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ – ผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการในปีนั้นๆ (ในกรณีนี้คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี)

$$\text{เงินลงทุนเพิ่ม} = 2,050,000 - 801,602.57 = 1,248,397.43 \text{ บาท}$$

จะได้

ตารางที่ 5.1 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการหัวเผาแบบรีคิฟเปอร์เรทีฟ

ปีที่ (t)	ES_t	$(1+i)^t$	$ES_t/(1+i)^t$
0	-2,050,000.00	1.00	-2,050,000.00
1	801,602.57	1.08	742,224.60
2	801,602.57	1.17	687,245.00
3	801,602.57	1.26	636,337.96
4	801,602.57	1.36	589,201.82
5	801,602.57	1.47	545,557.24
6	801,602.57	1.59	505,145.59
7	-1,248,397.43	1.71	-728,427.91
8	801,602.57	1.85	433,080.92
9	801,602.57	2.00	401,000.86
10	801,602.57	2.16	371,297.09
11	801,602.57	2.33	343,793.60
12	801,602.57	2.52	318,327.41
13	801,602.57	2.72	294,747.60
14	-1,248,397.43	2.94	-425,030.69
15	801,602.57	3.17	252,698.56
16	801,602.57	3.43	233,980.15
17	801,602.57	3.70	216,648.28
18	801,602.57	4.00	200,600.26
19	801,602.57	4.32	185,740.98
20	801,602.57	4.66	171,982.39
21	-1,248,397.43	5.03	-248,001.33
22	801,602.57	5.44	147,447.18
23	801,602.57	5.87	136,525.17
24	801,602.57	6.34	126,412.19
25	801,602.57	6.85	117,048.33

ปีที่ (t)	ES_t	$(1+i)^t$	$ES_t/(1+i)^t$
26	801,602.57	7.40	108,378.08
27	801,602.57	7.99	100,350.07
28	-1,248,397.43	8.63	-144,706.39
29	801,602.57	9.32	86,034.01
30	801,602.57	10.06	79,661.12
31	801,602.57	10.87	73,760.30
32	801,602.57	11.74	68,296.57
33	801,602.57	12.68	63,237.57
34	801,602.57	13.69	58,553.30
35	-1,248,397.43	14.79	-84,434.79
36	801,602.57	15.97	50,200.02
37	801,602.57	17.25	46,481.50
38	801,602.57	18.63	43,038.43
39	801,602.57	20.12	39,850.40
40	801,602.57	21.72	36,898.51
41	801,602.57	23.46	34,165.29
42	-1,248,397.43	25.34	-49,266.89
43	801,602.57	27.37	29,291.23
44	801,602.57	29.56	27,121.51
45	801,602.57	31.92	25,112.51
46	801,602.57	34.47	23,252.32
47	801,602.57	37.23	21,529.93
48	801,602.57	40.21	19,935.12
49	-1,248,397.43	43.43	-28,746.76
50	801,602.57	46.90	17,091.15
51	801,602.57	50.65	15,825.14
52	801,602.57	54.71	14,652.91
53	801,602.57	59.08	13,567.51

ปีที่ (t)	ES_t	$(1+i)^t$	$ES_t/(1+i)^t$
54	801,602.57	63.81	12,562.51
55	801,602.57	68.91	11,631.95
56	-1,248,397.43	74.43	-16,773.46
57	801,602.57	80.38	9,972.52
58	801,602.57	86.81	9,233.82
59	801,602.57	93.76	8,549.83
60	801,602.57	101.26	7,916.51
61	801,602.57	109.36	7,330.10
62	801,602.57	118.11	6,787.13
63	-1,248,397.43	127.55	-9,787.15
64	801,602.57	137.76	5,818.87
65	801,602.57	148.78	5,387.84
66	801,602.57	160.68	4,988.74
67	801,602.57	173.54	4,619.21
68	801,602.57	187.42	4,277.04
69	801,602.57	202.41	3,960.23
70	801,602.57	218.61	3,666.88
$\sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \text{ หรือ NPV}$			5,074,855.52

กำหนดให้เครื่องหมายลบในแถว ES_t แทนการลงทุน และ แทนปีที่มีการลงทุนซ้ำ

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเป็นบวกเท่ากับ 5,074,855.52 บาท แสดงว่ายอมรับโครงการได้ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การติดตั้งหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศที่ 700 องศาเซลเซียส ด้วยเงินลงทุนเริ่มต้นโครงการ

เท่ากับ 2,050,000 บาท จะให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเมื่อสิ้นสุดโครงการที่ปีที่ 70 เท่ากับ 5,074,855.52 บาท

5.1.2. โครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

กำหนดให้

- อายุหัวเผา = 10 ปี
- ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (ES_t) จากตารางที่ 4.10 ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส สามารถประหยัดได้ = 1,042,998.22 บาทต่อปี
- อัตราส่วนลด (i) เท่ากับ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคาร = 8% (อ้างอิงจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารแห่งประเทศไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก

http://www.bot.or.th/Thai/Statistics/FinancialMarkets/Interstrate/_layouts/application/interest_rate/IN_Rate.aspx# [พฤษภาคม พศ.2555])

- เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการซึ่งประกอบด้วย ค่าหัวเผา ค่าอุปกรณ์ และค่าติดตั้ง (I_0) = 4,350,000 บาท
- กำหนดให้ลงทุนซ้ำในปีที่ 10, 20, 30, 40, 50 และปีที่ 60 โดยคำนวณเงินลงทุนเพิ่มจาก

เงินลงทุนเพิ่ม = เงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ – ผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการในปีนั้นๆ (ในกรณีนี้คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี)

เงินลงทุนเพิ่ม = 4,350,000 - 1,042,998.22 = 3,307,001.78 บาท

จะได้

ตารางที่ 5.2 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

ปีที่ (t)	ES_t	$(1+i)^t$	$ES_t/(1+i)^t$
0	-4,350,000.00	1.00	-4,350,000.00
1	1,042,998.22	1.08	965,739.10
2	1,042,998.22	1.17	894,202.87
3	1,042,998.22	1.26	827,965.62
4	1,042,998.22	1.36	766,634.83
5	1,042,998.22	1.47	709,847.07
6	1,042,998.22	1.59	657,265.80
7	1,042,998.22	1.71	608,579.45
8	1,042,998.22	1.85	563,499.49
9	1,042,998.22	2.00	521,758.78
10	-3,307,001.78	2.16	-1,531,781.69
11	1,042,998.22	2.33	447,324.06
12	1,042,998.22	2.52	414,188.95
13	1,042,998.22	2.72	383,508.28
14	1,042,998.22	2.94	355,100.26
15	1,042,998.22	3.17	328,796.54
16	1,042,998.22	3.43	304,441.24
17	1,042,998.22	3.70	281,890.04
18	1,042,998.22	4.00	261,009.29
19	1,042,998.22	4.32	241,675.27
20	-3,307,001.78	4.66	-709,511.30
21	1,042,998.22	5.03	207,197.59
22	1,042,998.22	5.44	191,849.62
23	1,042,998.22	5.87	177,638.54
24	1,042,998.22	6.34	164,480.13

ปีที่ (t)	ES_t	$(1+i)^t$	$ES_t/(1+i)^t$
25	1,042,998.22	6.85	152,296.42
26	1,042,998.22	7.40	141,015.20
27	1,042,998.22	7.99	130,569.63
28	1,042,998.22	8.63	120,897.80
29	1,042,998.22	9.32	111,942.41
30	-3,307,001.78	10.06	-328,641.02
31	1,042,998.22	10.87	95,972.58
32	1,042,998.22	11.74	88,863.50
33	1,042,998.22	12.68	82,281.01
34	1,042,998.22	13.69	76,186.12
35	1,042,998.22	14.79	70,542.71
36	1,042,998.22	15.97	65,317.32
37	1,042,998.22	17.25	60,479.00
38	1,042,998.22	18.63	55,999.08
39	1,042,998.22	20.12	51,851.00
40	-3,307,001.78	21.72	-152,224.38
41	1,042,998.22	23.46	44,453.87
42	1,042,998.22	25.34	41,160.99
43	1,042,998.22	27.37	38,112.03
44	1,042,998.22	29.56	35,288.92
45	1,042,998.22	31.92	32,674.92
46	1,042,998.22	34.47	30,254.56
47	1,042,998.22	37.23	28,013.48
48	1,042,998.22	40.21	25,938.41
49	1,042,998.22	43.43	24,017.04
50	-3,307,001.78	46.90	-70,509.34
51	1,042,998.22	50.65	20,590.74
52	1,042,998.22	54.71	19,065.50

ปีที่ (t)	ES_t	$(1+i)^t$	$ES_t/(1+i)^t$
53	1,042,998.22	59.08	17,653.24
54	1,042,998.22	63.81	16,345.60
55	1,042,998.22	68.91	15,134.81
56	1,042,998.22	74.43	14,013.71
57	1,042,998.22	80.38	12,975.66
58	1,042,998.22	86.81	12,014.50
59	1,042,998.22	93.76	11,124.54
60	-3,307,001.78	101.26	-32,659.47
61	1,042,998.22	109.36	9,537.50
62	1,042,998.22	118.11	8,831.02
63	1,042,998.22	127.55	8,176.87
64	1,042,998.22	137.76	7,571.17
65	1,042,998.22	148.78	7,010.35
66	1,042,998.22	160.68	6,491.06
67	1,042,998.22	173.54	6,010.24
68	1,042,998.22	187.42	5,565.04
69	1,042,998.22	202.41	5,152.81
70	1,042,998.22	218.61	4,771.12
$\sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \text{ หรือ NPV}$			4,911,429.12

กำหนดให้เครื่องหมายลบในแถว ES_t แทนการลงทุน และแทนปีที่มีการลงทุนซ้ำ

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเป็นบวกเท่ากับ 4,911,429.12 บาท แสดงว่ายอมรับโครงการได้ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟที่อุณหภูมิก่อนอากาศที่ 900 องศาเซลเซียส ด้วยเงินลงทุนเริ่มต้นโครงการเท่ากับ 4,350,000 บาท จะให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเมื่อสิ้นสุดโครงการที่ปีที่ 70 เท่ากับ 4,911,429.12 บาท

5.2. ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period: PB) คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสดรับจากโครงการสามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายเมื่อตอนลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการได้พอดี เมื่อมีการดำเนินโครงการ หากผลตอบแทนที่ได้รับคุ้มกับจำนวนลงทุนได้เร็วเท่าใด โครงการนั้นก็เกิดผลดีมากกว่านั้น เพราะทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงต่อการลงทุนในอนาคตน้อยลง และยังสามารถนำผลตอบแทนที่ได้ไปลงทุนในโครงการอื่นๆ ได้อีก

จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}}$$

5.2.1. โครงการห้วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

กำหนดให้

- ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี จาก Error! Reference source not found. ี่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส สามารถประหยัดได้ = 801,602.57 บาทต่อปี
- เงินจ่ายลงทุน = 2,050,000 บาท

จะได้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{2,050,000}{801,602.57}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 2.56 \text{ ปี}$$

จะเห็นได้ว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการห้วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ เท่ากับ 2.56 ปี

5.2.2. โครงการห้วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

กำหนดให้

- ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี จาก Error! Reference source not found. ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส สามารถประหยัดได้ = 1,042,998.22 บาทต่อปี
- เงินจ่ายลงทุน = 4,350,000 บาท

จะได้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{4,350,000}{1,042,998.22}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 4.17 \text{ ปี}$$

จะเห็นได้ว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ เท่ากับ 4.17 ปี

5.3. สรุปผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของ 2 โครงการ

รายการ	หัวเผา	
	รีคัพเปอร์เรทีฟ	รีเจนเนอเรทีฟ
อุณหภูมิในการอุ่นอากาศ (องศาเซลเซียส)	700	900
อายุการใช้งานของหัวเผา (ปี)	7	10
อายุโครงการ (ปี)	70	70
ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	801,602.57	1,042,998.22
เงินจ่ายลงทุน (บาท)	2,050,000.00	4,350,000.00
อัตราส่วนลด (i) (%)	8	8
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)	5,074,855.52	4,911,429.12
ระยะเวลาคืนทุน (PB) (ปี)	2.56	4.17

จากตารางที่ 5.3 สามารถสรุปได้ว่าสำหรับโรงงานตัวอย่างสมควรเลือกติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเมื่อสิ้นสุดโครงการที่ปีที่ 70 เท่ากับ 5,074,855.52 ซึ่งมีค่าสูงกว่าโครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

5.4. การวิเคราะห์ความไวของโครงการโดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว

การวิเคราะห์ความไวของโครงการโดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว เป็นการวิเคราะห์สถานะทางการเงิน หรือการเปลี่ยนแปลงกำไรของโครงการ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าที่ละตัวแปร ของตัวแปรต่างๆ เช่น ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG), อัตราส่วนลด (Discount Rate) เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ อายุของหัวเผา และอัตราการผลิต เป็นต้น เนื่องจากสิ่งเหล่านี้จะมีผลกระทบโดยตรงต่อโครงการที่จะทำให้ผลตอบแทนการลงทุนหรือต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ของโครงการมีค่าเปลี่ยนไป

ดังนั้นเพื่อจะเป็นการลดอัตราความเสี่ยงของโครงการที่เกิดขึ้น และการคาดคะเนผลตอบแทนของโครงการที่สูงเกินไป จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความไว ซึ่งผลของการวิเคราะห์ความไวจะแสดงให้เห็นถึงความคล่องตัว และความสามารถในการทนต่อความเสี่ยงของโครงการว่ามากนักน้อยเพียงใด

5.4.1. โครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

5.4.1.1 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ
 ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบ
 รีคัพเปอร์เรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	ราคาเชื้อเพลิง	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0.00	-4,899,340.60
-86%	4.30	-3,474,455.44
-71%	8.61	-2,049,570.28
-57%	12.91	-624,685.12
-43%	17.22	800,200.04
-29%	21.52	2,225,085.20
-14%	25.83	3,649,970.36
0%	30.13	5,074,855.52
14%	34.43	6,499,740.68
29%	38.74	7,924,625.84
43%	43.04	9,349,511.00
57%	47.35	10,774,396.16
71%	51.65	12,199,281.32
86%	55.96	13,624,166.48
100%	60.26	15,049,051.64

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 0-100% ของราคาเชื้อเพลิงในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 30.13 บาทต่อกิโลกรัม จากตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อราคาเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่า 50.88% ของราคาในปัจจุบัน หรือที่ราคาเชื้อเพลิงต่ำกว่า 14.80 บาทต่อกิโลกรัม แล้วจะส่งผลกระทบต่อโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ เนื่องจากเชื้อเพลิงมีราคาต่ำอยู่แล้ว

จึงส่งผลให้ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมูลค่าในการลงทุนติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าไม่สมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ เมื่อราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ต่ำกว่า 14.80 บาทต่อกิโลกรัม

5.4.1.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลดของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	อัตราส่วนลด	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0.00%	35,612,179.58
-86%	1.14%	23,772,310.95
-71%	2.29%	16,730,558.72
-57%	3.43%	12,340,521.90
-43%	4.57%	9,471,644.43
-29%	5.71%	7,509,921.75
-14%	6.86%	6,110,928.91
0%	8.00%	5,074,855.52
14%	9.14%	4,281,742.02
29%	10.29%	3,657,059.82
43%	11.43%	3,152,931.01
57%	12.57%	2,737,599.13
71%	13.71%	2,389,359.88
86%	14.86%	2,092,963.46
100%	16.00%	1,837,422.09

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 0-100% ของอัตราส่วนลดในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 8% จากตารางที่ 5.5 จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราส่วนลดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในช่วงดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือก

ลงทุนในโครงการติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเป็นบวก ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนลดเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 16% ก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อโครงการ และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่ 326.05% หรือที่อัตราส่วนลดมากกว่า 34.08% แล้วจะส่งผลกระทบต่อโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ เนื่องจากอัตราส่วนลดมีค่าสูงเกินไปเมื่อเทียบกับผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าสมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ เมื่ออัตราส่วนลด (Discount Rate) มีค่าต่ำกว่า 34.08%

5.4.1.3 การเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	เงินจ่ายลงทุน	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0.00	-
-86%	292,857.14	9,274,290.32
-71%	585,714.29	8,574,384.52
-57%	878,571.43	7,874,478.72
-43%	1,171,428.57	7,174,572.92
-29%	1,464,285.71	6,474,667.12
-14%	1,757,142.86	5,774,761.32
0%	2,050,000.00	5,074,855.52
14%	2,342,857.14	4,374,949.72
29%	2,635,714.29	3,675,043.92
43%	2,928,571.43	2,975,138.12
57%	3,221,428.57	2,275,232.32
71%	3,514,285.71	1,575,326.52
86%	3,807,142.86	875,420.72
100%	4,100,000.00	175,514.92

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนเพิ่มขึ้นและลดลง ในช่วง 0-100% ของเงินจ่ายลงทุนในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 2,050,000 บาท จากตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อเงินจ่ายลงทุนมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงดังกล่าวก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อโครงการ และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่า เมื่อเงินจ่ายลงทุนมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่า 103.58% ของเงินลงทุนในปัจจุบัน หรือที่เงินจ่ายลงทุนสูงกว่า 4,173,439.60 บาท แล้ว จะส่งผลกระทบต่อโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ เนื่องจากมูลค่าในการลงทุนติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟมีค่าสูงเกินไปเมื่อเทียบผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการประหยัดเชื้อเพลิงของโครงการ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าสมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ เมื่อเงินจ่ายลงทุนต่ำกว่า 4,173,439.60 บาท

5.4.1.4 การเปลี่ยนแปลงความไว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิต หรือปริมาณผลิตภัณฑ์เข้าเผาของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	ปริมาณผลิตภัณฑ์เข้าเผา (kg)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-60%	488.04	-909,662.15
-50%	610.06	87,757.46
-40%	732.07	1,085,177.07
-30%	854.08	2,082,596.69
-20%	976.09	3,080,016.30
-10%	1098.10	4,077,435.91
0%	1220.11	5,074,855.52

จากผลการวิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราการผลิตลดจากเดิม ในช่วง 0-60% จากตารางที่ 5.7 พบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตลดลงต่ำกว่า 50.88% ของอัตราการผลิตเดิม หรือที่ปริมาณผลิตภัณฑ์เข้าเผาเท่ากับ 599.32 กิโลกรัม จะส่งผลให้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเป็นลบ

ดังนั้นหากจะเลือกลงทุนติดตั้งหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ จะต้องผลิตผลิตภัณฑ์เข้าเผาต่อ ครั้งอย่างต่ำเท่ากับ 599.32 กิโลกรัม

5.4.1.5 การเปลี่ยนแปลงความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	อายุหัวเผา	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0	-
-86%	1	-17,574,206.49
-71%	2	-4,329,782.16
-57%	3	69,833.56
-43%	4	2,267,817.67
-29%	5	3,585,607.93
-14%	6	4,349,505.59
0%	7	5,074,855.52
14%	8	5,532,555.86
29%	9	5,888,241.12
43%	10	6,172,784.68
57%	11	6,394,320.60
71%	12	6,587,221.77
86%	13	6,740,087.51
100%	14	6,880,182.66

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาเพิ่มขึ้น และลดลงในช่วง 0-100% ของอายุการใช้งานในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 7 ปี จากตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าเมื่ออายุการใช้งานของหัวเผามีการเปลี่ยนแปลงลดลงกว่า 57.37% ของอายุการใช้งานเดิม หรือที่อายุการใช้งานของหัวเผาที่มีค่าต่ำกว่า 3 ปีแล้วจะส่งผลกระทบต่อโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ เนื่องจากอายุการใช้งานของหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟมีค่าน้อยเกินไป

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าสมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ เมื่อหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟมีอายุการใช้งานมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปี

5.4.2. โครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

5.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	ราคาเชื้อเพลิง	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0.00	-8,066,409.64
-90%	3.01	-6,768,625.77
-80%	6.03	-5,470,841.89
-70%	9.04	-4,173,058.01
-60%	12.05	-2,875,274.14
-50%	15.07	-1,577,490.26
-40%	18.08	-279,706.39
-30%	21.09	1,018,077.49
-20%	24.10	2,315,861.37
-10%	27.12	3,613,645.24
0%	30.13	4,911,429.12
10%	33.14	6,209,212.99
20%	36.16	7,506,996.87
30%	39.17	8,804,780.75
40%	42.18	10,102,564.62
50%	45.20	11,400,348.50
60%	48.21	12,698,132.37
70%	51.22	13,995,916.25

% การเปลี่ยนแปลง	ราคาเชื้อเพลิง	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
80%	54.23	15,293,700.13
90%	57.25	16,591,484.00
100%	60.26	17,889,267.88

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 0-100% ของราคาเชื้อเพลิงในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 30.13 บาทต่อกิโลกรัม จากตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่า เมื่อราคาเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่า 37.84 ของราคาในปัจจุบัน หรือที่ราคาเชื้อเพลิงต่ำกว่า 18.73 บาทต่อกิโลกรัม แล้วจะส่งผลกระทบต่อโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเป็นลบ เนื่องจากต้นทุนเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับมูลค่าในการลงทุนติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าสมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ เมื่อราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ต่ำกว่า 18.73 บาทต่อกิโลกรัม

5.4.2.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลดของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	อัตราส่วนลด	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0%	42,559,875.72
-90%	1%	31,456,123.55
-80%	2%	23,847,762.63
-70%	2%	18,510,644.14
-60%	3%	14,675,884.90
-50%	4%	11,853,594.07
-40%	5%	9,726,908.98
-30%	6%	8,087,633.60
-20%	6%	6,796,720.93
-10%	7%	5,759,734.26
0%	8.0%	4,911,429.12

% การเปลี่ยนแปลง	อัตราส่วนลด	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
10%	8.8%	4,205,946.74
20%	9.6%	3,610,496.93
30%	10.4%	3,101,235.11
40%	11.2%	2,660,534.98
50%	12.0%	2,275,159.52
60%	12.8%	1,935,017.10
70%	13.6%	1,632,303.86
80%	14.4%	1,360,903.88
90%	15.2%	1,115,964.01
100%	16.0%	893,588.22

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 0-100% ของอัตราส่วนลดในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 8% จากตารางที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนลดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกลงทุนในโครงการติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเป็นบวก ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราดอกเบี้ยเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 16% ก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อโครงการ และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าที่อัตราส่วนลดมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 151.92% หรือที่อัตราส่วนลดมากกว่า 20.15% แล้วจะส่งผลกระทบต่อโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ เนื่องจากอัตราส่วนลดมีค่าสูงเกินไปเมื่อเทียบกับผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าสมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ เมื่ออัตราส่วนลด (Discount Rate) มีค่าต่ำกว่า 20.15%

5.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	เงินจ่ายลงทุน	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0.00	-
-90%	435,000	12,171,197.80
-80%	870,000	11,364,556.83
-70%	1,305,000	10,557,915.87
-60%	1,740,000	9,751,274.90
-50%	2,175,000	8,944,633.94
-40%	2,610,000	8,137,992.98
-30%	3,045,000	7,331,352.01
-20%	3,480,000	6,524,711.05
-10%	3,915,000	5,718,070.08
0%	4,350,000	4,911,429.12
10%	4,785,000	4,104,788.15
20%	5,220,000	3,298,147.19
30%	5,655,000	2,491,506.23
40%	6,090,000	1,684,865.26
50%	6,525,000	878,224.30
60%	6,960,000	71,583.33
70%	7,395,000	-735,057.63
80%	7,830,000	-1,541,698.60
90%	8,265,000	-2,348,339.56
100%	8,700,000	-3,154,980.52

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุนเพิ่มขึ้น และลดลง ตั้งแต่ 0-100% ของเงินจ่ายลงทุนในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 4,350,000 บาท จากตารางที่ 5.11 จะเห็นได้ว่า เมื่อเงินจ่ายลงทุนมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่า 60.89% ของราคาในปัจจุบัน หรือที่เงิน

จ่ายลงทุนสูงกว่า 6,998,602.99 บาท แล้วจะส่งผลให้ปฏิเสธ เนื่องจากมูลค่าในการลงทุนติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟมีค่าสูงมากเมื่อเทียบผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าไม่สมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ เมื่อเงินจ่ายลงทุนสูงกว่า 6,998,602.99 บาท

5.4.2.4 การเปลี่ยนแปลงความไว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิต หรือปริมาณผลิตภัณฑ์เข้าเผาของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	ปริมาณผลิตภัณฑ์เข้าเผา(kg)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-50%	610.06	-1,129,563.47
-40%	732.07	78,635.04
-30%	854.08	1,286,833.56
-20%	976.09	2,495,032.08
-10%	1098.10	3,703,230.60
0%	1220.11	4,911,429.12

จากผลการวิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราการผลิตลดจากเดิมในช่วง 0-50% จากตารางที่ 5.12 พบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตลดลงต่ำกว่า 40.65% ของอัตราการผลิตเดิม หรือที่ปริมาณผลิตภัณฑ์เข้าเผาเท่ากับ 724.12 กิโลกรัม จะส่งผลให้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเป็นลบ

ดังนั้นหากจะเลือกลงทุนติดตั้งหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ จะต้องผลิตผลิตภัณฑ์เข้าเผาต่อครั้งอย่างต่ำเท่ากับ 724.12 กิโลกรัม

5.4.2.5 การเปลี่ยนแปลงความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 การวิเคราะห์ความไวโดยทำการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

% การเปลี่ยนแปลง	อายุหัวเผา	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
-100%	0	-
-90%	1	-45,478,527.76
-80%	2	-17,374,505.39
-70%	3	-8,038,735.45
-60%	4	-3,374,720.39
-50%	5	-578,433.74
-40%	6	1,042,519.84
-30%	7	2,581,677.00
-20%	8	3,552,894.79
-10%	9	4,307,641.56
0%	10	4,911,429.12
10%	11	5,381,517.54
20%	12	5,790,844.42
30%	13	6,115,218.06
40%	14	6,412,493.12
50%	15	6,645,009.70
60%	16	6,847,737.67
70%	17	7,025,334.64
80%	18	7,198,666.51
90%	19	7,332,220.51
100%	20	7,451,359.53

จากผลการวิเคราะห์ความไว โดยทำการเปลี่ยนแปลงอายุการใช้งานของหัวเผาเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 0-100% ของอายุการใช้งานในปัจจุบันซึ่งเท่ากับ 10 ปี จากตารางที่ 5.13 จะ

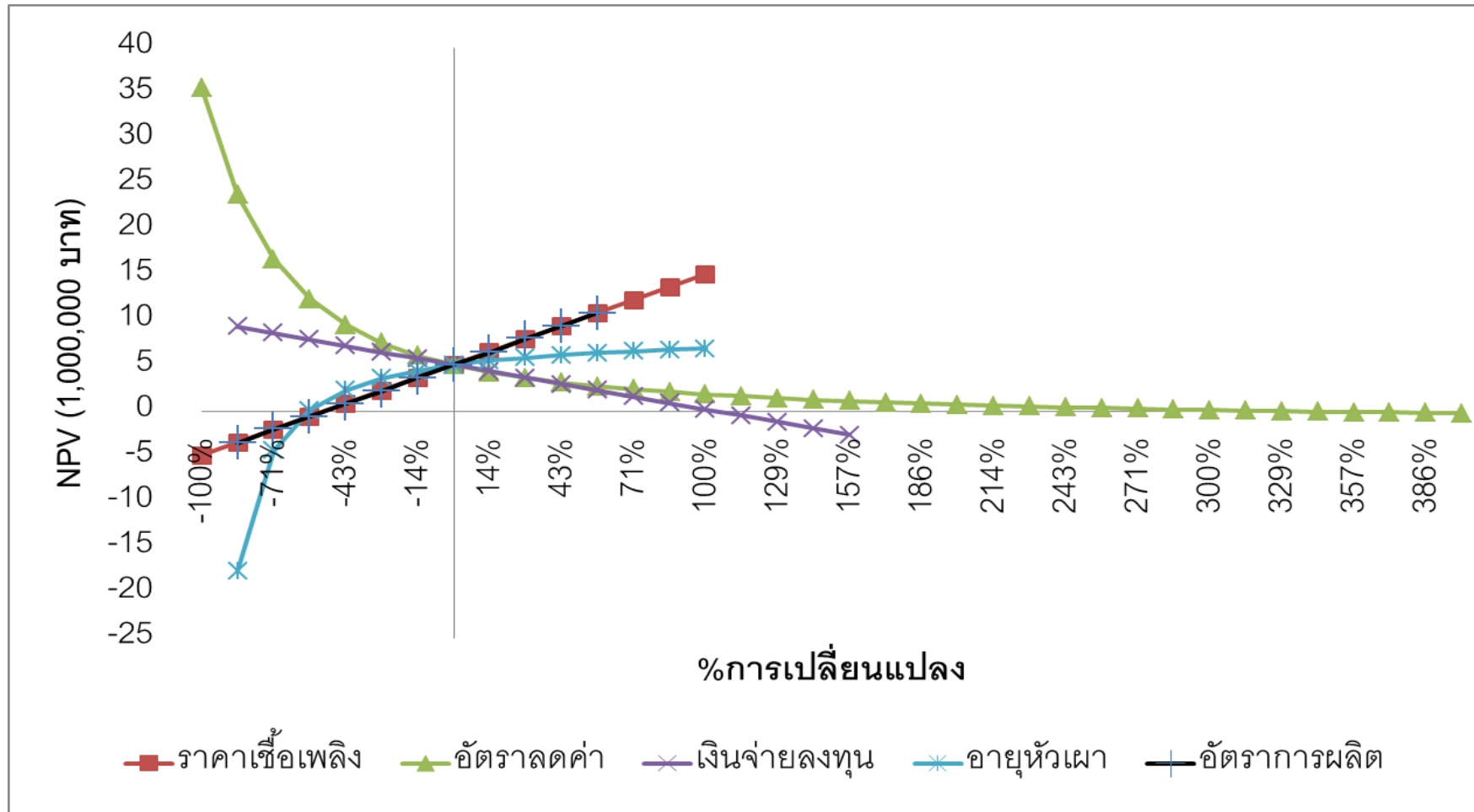
เห็นได้ว่าเมื่ออายุการใช้งานของหัวเผามีการเปลี่ยนแปลงลดลง 46.43% ของอายุการใช้งานเดิม หรือที่อายุการใช้งานของหัวเผาที่มีค่าต่ำกว่า 6 ปีแล้วจะส่งผลกระทบต่อโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ เนื่องจากอายุการใช้งานของหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟมีค่าน้อยเกินไป

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความไว สามารถสรุปได้ว่าสมควรติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ เมื่อหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟมีอายุการใช้งานมากกว่าหรือเท่ากับ 6 ปี

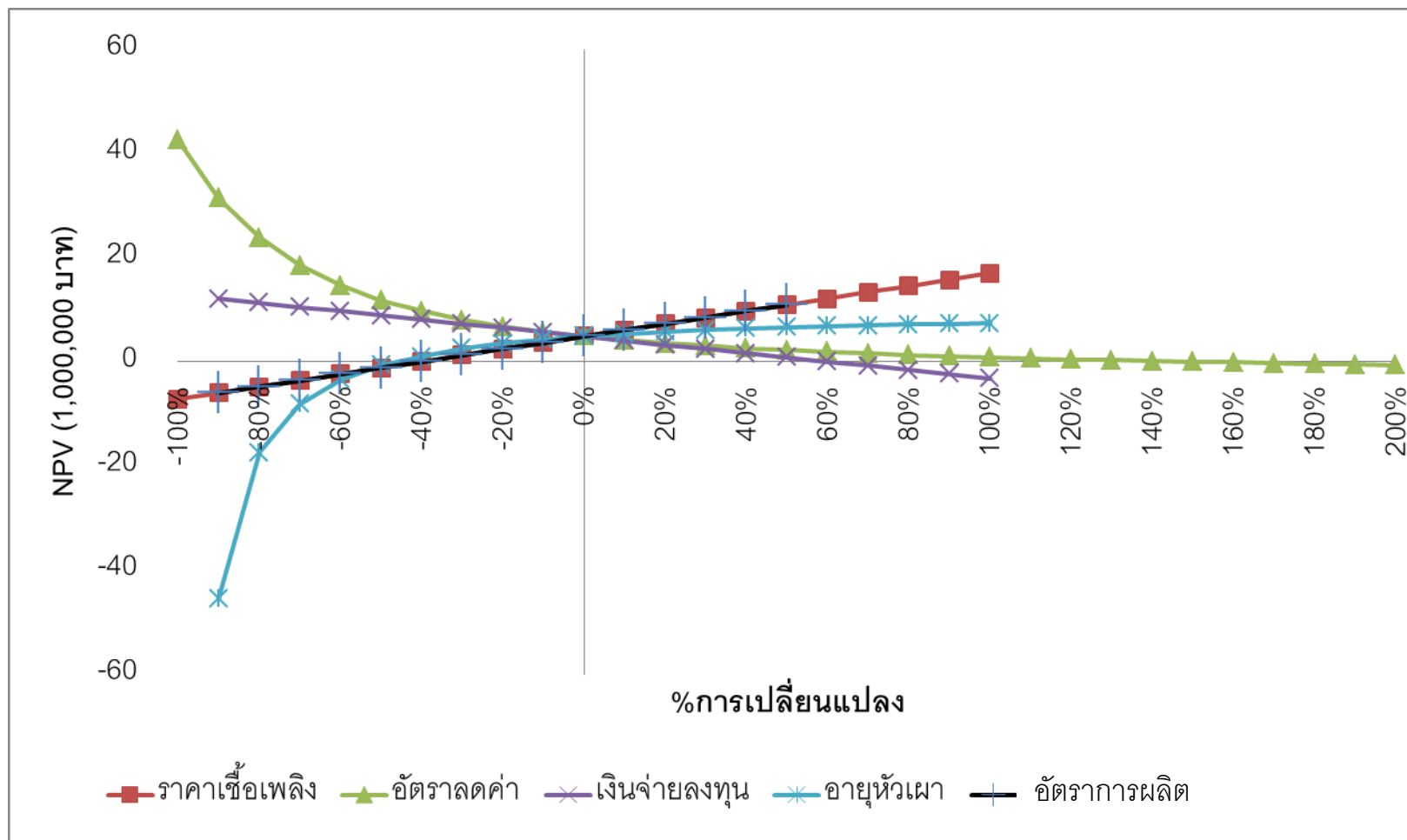
5.4.3. สรุปผลการวิเคราะห์ความไวของ 2 โครงการ

ตารางที่ 5.14 อัตราร้อยละของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับศูนย์

ตัวแปร	การเปลี่ยนแปลง (%ของค่าเดิม)	
	หัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ	หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ
ราคาเชื้อเพลิง	-50.88%	-37.84%
อัตราส่วนลด	326.05%	151.92%
เงิยจ่ายลงทุน	103.58%	60.89%
อายุหัวเผา	-57.37%	-46.43%
อัตราการผลิต	-50.88%	-37.84%



รูปที่ 5.1 การวิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เวทึฟ



รูปที่ 5.2 การวิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ของหัวเผาแบบบริเงินนอเรทีฟ

จากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 แสดงการวิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ พบว่า

- เมื่อราคาเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงลดลงแล้วจะส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิซึ่งทำให้ไม่ยอมรับโครงการ จากการศึกษาข้อมูลในอดีตพบว่าราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับผลการวิเคราะห์ความไว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิงไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกโครงการ
- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอายุหัวเผาตกลงก็จะส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิเช่นกัน และผลจากการศึกษาข้อมูลทางเทคนิคพบว่าในความเป็นจริงแล้วการพัฒนาหัวเผาจะมีการพัฒนาอายุหัวเผาให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการลดความถี่ในการเปลี่ยนหัวเผาและลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของอายุหัวเผาไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกโครงการ
- เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตลดลงแล้วจะส่งผลกระทบทำให้ไม่ยอมรับโครงการ จากการศึกษาข้อมูลพบว่าโดยส่วนใหญ่จะทำการเผาผลิตภัณฑ์เต็มกำลัง เนื่องจากจะทำให้มีต้นทุนการเผาผลิตภัณฑ์ที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงลดลงแล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกโครงการ
- เมื่ออัตราส่วนลด (discount rate) มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิซึ่งทำให้ไม่ยอมรับโครงการ แต่จากผลการศึกษาในอดีตพบว่าอัตราส่วนลดมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6-12% ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอัตราส่วนลดที่ทำให้ส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ทำให้ไม่ยอมรับโครงการ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนลดไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกโครงการ
- เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าการลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มมากขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิซึ่งทำให้ไม่ยอมรับโครงการ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นเทคโนโลยีอย่างแพร่หลาย จะให้มี

ผู้พัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้นส่งผลราคาของเทคโนโลยีจะลดลงไปด้วย ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าการลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ เพิ่มไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกโครงการ

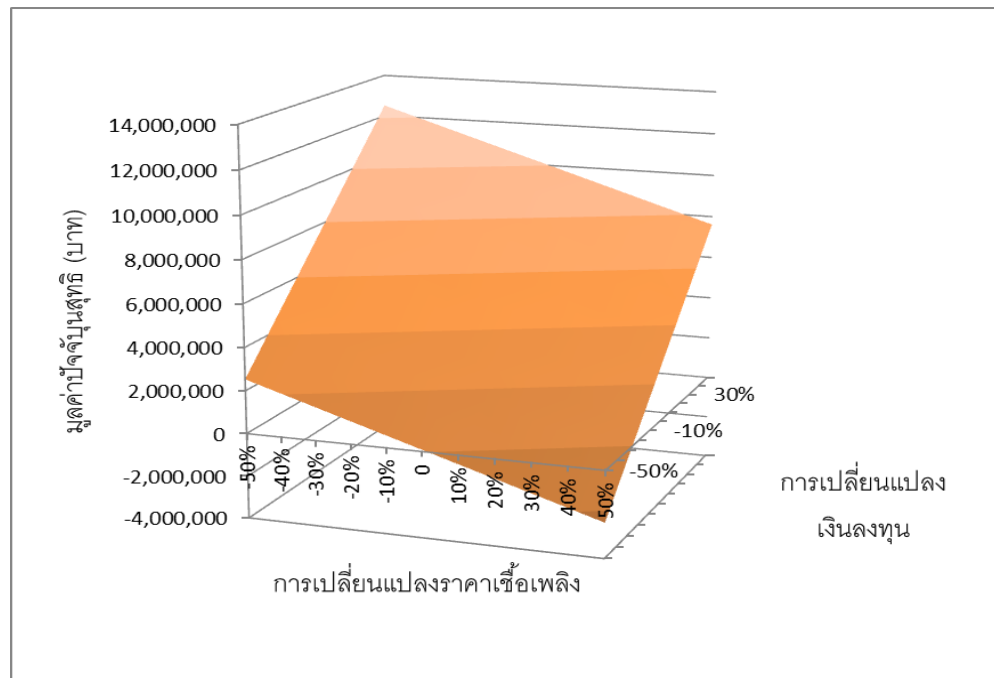
5.6. การวิเคราะห์ความไวของโครงการโดยทำการเปลี่ยนแปลงสองตัวแปร

การวิเคราะห์ความไวของโครงการโดยทำการเปลี่ยนแปลงสองตัวแปร เป็นการวิเคราะห์สถานะทางการเงิน หรือการเปลี่ยนแปลงกำไรของโครงการ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าพร้อมกันที่ละสองตัวแปร โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปร เช่น ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG), อัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ เป็นต้น เนื่องจากสิ่งเหล่านี้จะมีผลกระทบโดยตรงต่อโครงการที่จะทำให้ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการเปลี่ยนไป

ดังนั้นเพื่อจะเป็นการลดอัตราความเสี่ยงของโครงการที่เกิดขึ้น และการคาดคะเนผลตอบแทนของโครงการ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความไว ซึ่งผลของการวิเคราะห์ความไวจะแสดงให้เห็นถึงความคล่องตัว และความสามารถในการทนต่อความเสี่ยงของโครงการว่ามากน้อยเพียงใด

5.6.1. โครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

5.6.1.1 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.15



รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

ตารางที่ 5.15 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

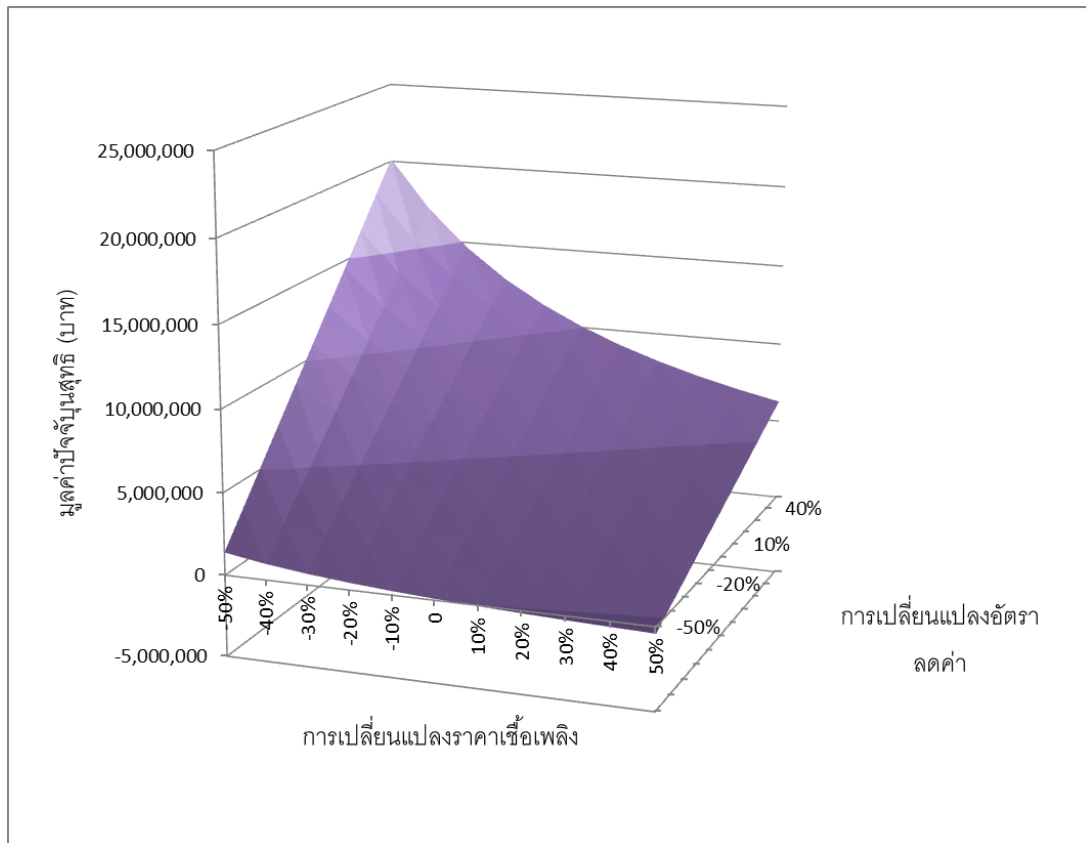
		การเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุน										
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) :%	-50%	2,537,428	2,047,494	1,557,560	1,067,626	577,692	87,757	-402,177	-892,111	-1,382,045	-1,871,979	-2,361,913
	-40%	3,534,847	3,044,913	2,554,979	2,065,045	1,575,111	1,085,177	595,243	105,309	-384,625	-874,559	-1,364,493
	-30%	4,532,267	4,042,333	3,552,399	3,062,465	2,572,531	2,082,597	1,592,663	1,102,729	612,795	122,860	-367,074
	-20%	5,529,687	5,039,753	4,549,818	4,059,884	3,569,950	3,080,016	2,590,082	2,100,148	1,610,214	1,120,280	630,346
	-10%	6,527,106	6,037,172	5,547,238	5,057,304	4,567,370	4,077,436	3,587,502	3,097,568	2,607,634	2,117,700	1,627,766
	0%	7,524,526	7,034,592	6,544,658	6,054,724	5,564,790	5,074,856	4,584,921	4,094,987	3,605,053	3,115,119	2,625,185
	10%	8,521,945	8,032,011	7,542,077	7,052,143	6,562,209	6,072,275	5,582,341	5,092,407	4,602,473	4,112,539	3,622,605
	20%	9,519,365	9,029,431	8,539,497	8,049,563	7,559,629	7,069,695	6,579,761	6,089,827	5,599,893	5,109,959	4,620,024
	30%	10,516,785	10,026,851	9,536,917	9,046,982	8,557,048	8,067,114	7,577,180	7,087,246	6,597,312	6,107,378	5,617,444
	40%	11,514,204	11,024,270	10,534,336	10,044,402	9,554,468	9,064,534	8,574,600	8,084,666	7,594,732	7,104,798	6,614,864
50%	12,511,624	12,021,690	11,531,756	11,041,822	10,551,888	10,061,954	9,572,020	9,082,085	8,592,151	8,102,217	7,612,283	

แสดง ผลประโยชน์ของโครงการมีค่าติดลบ หรือไม่สมควรเลือกลงทุน

จากตารางที่ 5.15 เป็นการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์ของโครงการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ร่วมกับเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการในช่วงเพิ่มขึ้นและลดลงตั้งแต่ 10-50% จากเดิม พบว่า

- ผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นบวก หรือสรุปได้ว่าสมควรลงทุนโครงการในกรณีดังต่อไปนี้
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพิ่มขึ้น และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการลดลง
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพิ่มขึ้น และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการลดลง
- ผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นลบ หรือมีค่าน้อยลงกว่าผลประโยชน์ที่ควรได้รับในโครงการปัจจุบัน หรือสรุปได้ว่า ไม่สมควรเลือกลงทุน เนื่องจากเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการมีค่าสูงเกินเมื่อเทียบกับผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้นในช่วง 10-50% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% (15.07 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 10% (2,255,000 บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -402,177 บาท
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 40% และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้นในช่วง 30-50% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 40% (18.08 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 30% (2,665,000 บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -384,625 บาท
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 30% (21.09 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 50% (3,075,000 บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -367,074 บาท

5.6.1.2 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีคิฟเปอร์เรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.16



รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีคิฟเปอร์เรทีฟ

ตารางที่ 5.16 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์โรทีฟ

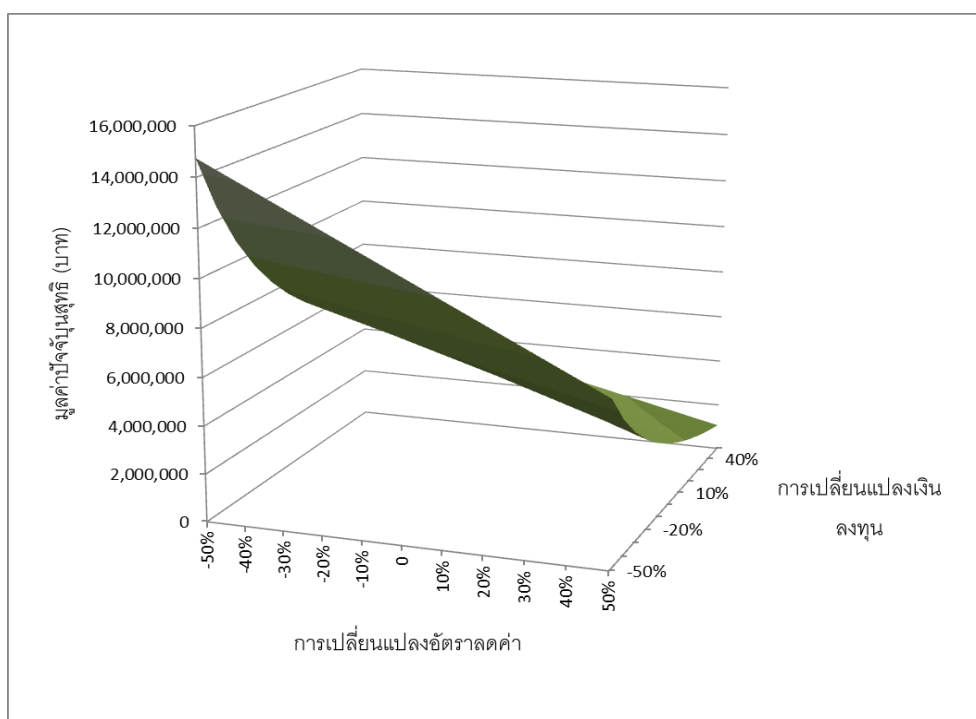
		การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) :%										
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) :%	-50%	1,386,162	984,180	677,201	437,003	244,778	87,757	-42,892	-153,396	-248,226	-330,652	-403,106
	-40%	3,261,472	2,591,462	2,077,062	1,673,219	1,349,545	1,085,177	865,534	680,242	521,788	384,641	264,657
	-30%	5,136,783	4,198,745	3,476,924	2,909,435	2,454,312	2,082,597	1,773,961	1,513,880	1,291,803	1,099,933	932,419
	-20%	7,012,093	5,806,027	4,876,785	4,145,651	3,559,078	3,080,016	2,682,387	2,347,518	2,061,818	1,815,226	1,600,182
	-10%	8,887,403	7,413,309	6,276,647	5,381,867	4,663,845	4,077,436	3,590,813	3,181,157	2,831,832	2,530,518	2,267,944
	0%	10,762,714	9,020,591	7,676,508	6,618,083	5,768,612	5,074,856	4,499,239	4,014,795	3,601,847	3,245,811	2,935,707
	10%	12,638,024	10,627,873	9,076,370	7,854,299	6,873,378	6,072,275	5,407,666	4,848,433	4,371,862	3,961,103	3,603,469
	20%	14,513,334	12,235,155	10,476,231	9,090,516	7,978,145	7,069,695	6,316,092	5,682,071	5,141,877	4,676,396	4,271,232
	30%	16,388,645	13,842,438	11,876,093	10,326,732	9,082,912	8,067,114	7,224,518	6,515,710	5,911,891	5,391,688	4,938,994
	40%	18,263,955	15,449,720	13,275,954	11,562,948	10,187,678	9,064,534	8,132,944	7,349,348	6,681,906	6,106,981	5,606,757
50%	20,139,265	17,057,002	14,675,816	12,799,164	11,292,445	10,061,954	9,041,371	8,182,986	7,451,921	6,822,273	6,274,519	

แสดงผลประโยชน์ของโครงการมีค่าติดลบ หรือไม่สมควรเลือกลงทุน

จากตารางที่ 5.16 เป็นการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์ของโครงการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ในช่วงเพิ่มขึ้นและลดลงตั้งแต่ 10-50% จากเดิม พบว่าโดยส่วนใหญ่ผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นบวก หรือสรุปได้ว่าสมควรลงทุนโครงการ ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้

กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% และอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้นในช่วง 10-50% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% (15.07 บาทต่อกิโลกรัม) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้น 10% (อัตราส่วนลดเท่ากับ 8.8%) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -42,892 บาท

5.6.1.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.17



รูปที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

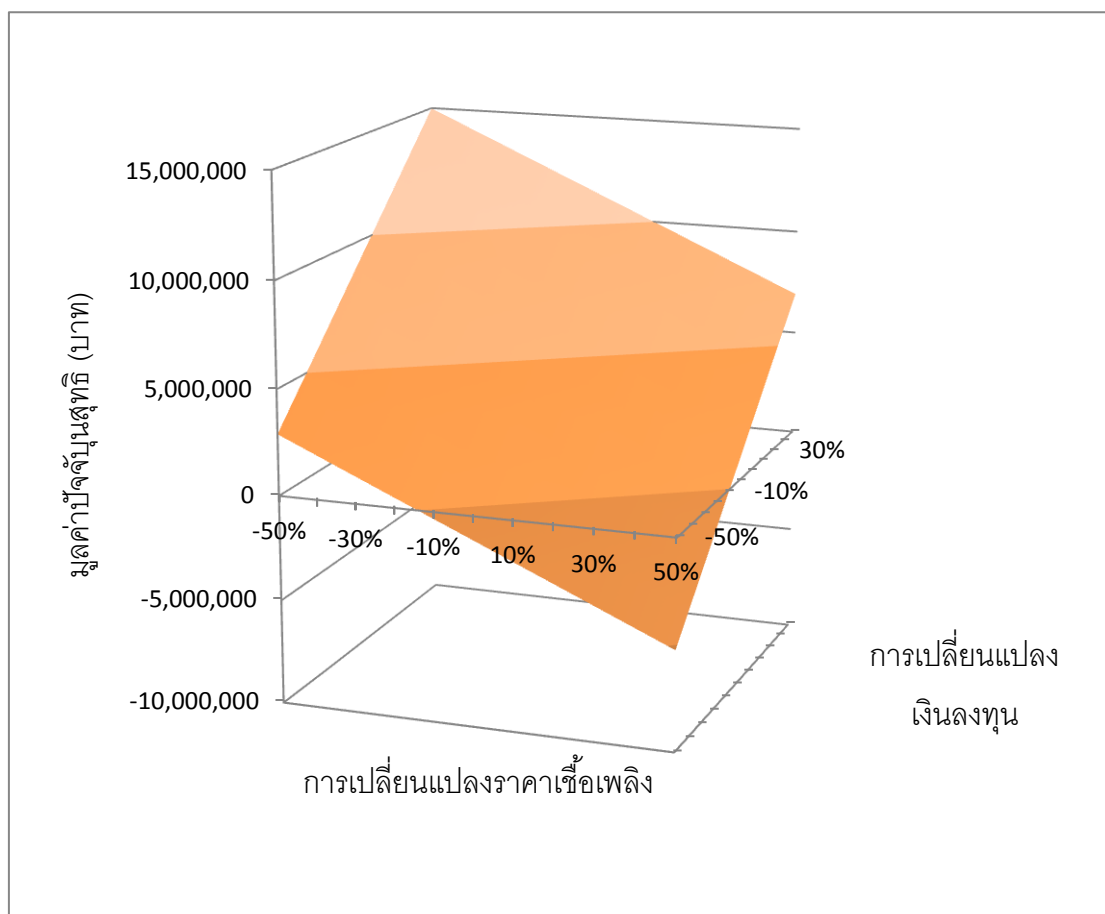
ตารางที่ 5.17 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

		การเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุน :%										
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) :%	-50%	14,757,908	13,958,869	13,159,830	12,360,791	11,561,753	10,762,714	9,963,675	9,164,636	8,365,597	7,566,558	6,767,519
	-40%	12,546,706	11,841,483	11,136,260	10,431,037	9,725,814	9,020,591	8,315,368	7,610,145	6,904,922	6,199,699	5,494,476
	-30%	10,837,562	10,205,351	9,573,140	8,940,930	8,308,719	7,676,508	7,044,298	6,412,087	5,779,876	5,147,665	4,515,455
	-20%	9,490,122	8,915,714	8,341,307	7,766,899	7,192,491	6,618,083	6,043,676	5,469,268	4,894,860	4,320,452	3,746,044
	-10%	8,408,139	7,880,234	7,352,328	6,824,423	6,296,517	5,768,612	5,240,706	4,712,801	4,184,895	3,656,989	3,129,084
	0%	7,524,526	7,034,592	6,544,658	6,054,724	5,564,790	5,074,856	4,584,921	4,094,987	3,605,053	3,115,119	2,625,185
	10%	6,791,751	6,333,249	5,874,746	5,416,244	4,957,742	4,499,239	4,040,737	3,582,235	3,123,732	2,665,230	2,206,728
	20%	6,175,589	5,743,430	5,311,271	4,879,112	4,446,954	4,014,795	3,582,636	3,150,477	2,718,319	2,286,160	1,854,001
	30%	5,650,997	5,241,167	4,831,337	4,421,507	4,011,677	3,601,847	3,192,017	2,782,187	2,372,357	1,962,527	1,552,697
	40%	5,199,368	4,808,657	4,417,945	4,027,234	3,636,522	3,245,811	2,855,099	2,464,388	2,073,676	1,682,965	1,292,254
	50%	4,806,666	4,432,474	4,058,282	3,684,090	3,309,898	2,935,707	2,561,515	2,187,323	1,813,131	1,438,939	1,064,747

จากตารางที่ 5.17 เป็นการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์ของโครงการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุน ในช่วงเพิ่มขึ้นและลดลงตั้งแต่ 10-50% จากเดิม พบว่าผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นบวก หรือสรุปได้ว่าสมควรลงทุนในทุกโครงการ

5.6.2. โครงการห้วยเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

5.6.2.1 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของห้วยเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.18



รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนของห้วยเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

ตารางที่ 5.18 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และเงินจ่ายลงทุนตอนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

		การเปลี่ยนแปลงเงินจ่ายลงทุน										
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) : %	-50%	2,903,641	2,097,000	1,290,359	483,718	-322,923	-1,129,563	-1,936,204	-2,742,845	-3,549,486	-4,356,127	-5,162,768
	-40%	4,111,840	3,305,199	2,498,558	1,691,917	885,276	78,635	-728,006	-1,534,647	-2,341,288	-3,147,929	-3,954,570
	-30%	5,320,038	4,513,397	3,706,756	2,900,115	2,093,475	1,286,834	480,193	-326,448	-1,133,089	-1,939,730	-2,746,371
	-20%	6,528,237	5,721,596	4,914,955	4,108,314	3,301,673	2,495,032	1,688,391	881,750	75,109	-731,532	-1,538,173
	-10%	7,736,435	6,929,794	6,123,153	5,316,513	4,509,872	3,703,231	2,896,590	2,089,949	1,283,308	476,667	-329,974
	0%	8,944,634	8,137,993	7,331,352	6,524,711	5,718,070	4,911,429	4,104,788	3,298,147	2,491,506	1,684,865	878,224
	10%	10,152,832	9,346,191	8,539,551	7,732,910	6,926,269	6,119,628	5,312,987	4,506,346	3,699,705	2,893,064	2,086,423
	20%	11,361,031	10,554,390	9,747,749	8,941,108	8,134,467	7,327,826	6,521,185	5,714,544	4,907,903	4,101,262	3,294,621
	30%	12,569,229	11,762,589	10,955,948	10,149,307	9,342,666	8,536,025	7,729,384	6,922,743	6,116,102	5,309,461	4,502,820
	40%	13,777,428	12,970,787	12,164,146	11,357,505	10,550,864	9,744,223	8,937,582	8,130,941	7,324,300	6,517,659	5,711,018
	50%	14,985,627	14,178,986	13,372,345	12,565,704	11,759,063	10,952,422	10,145,781	9,339,140	8,532,499	7,725,858	6,919,217

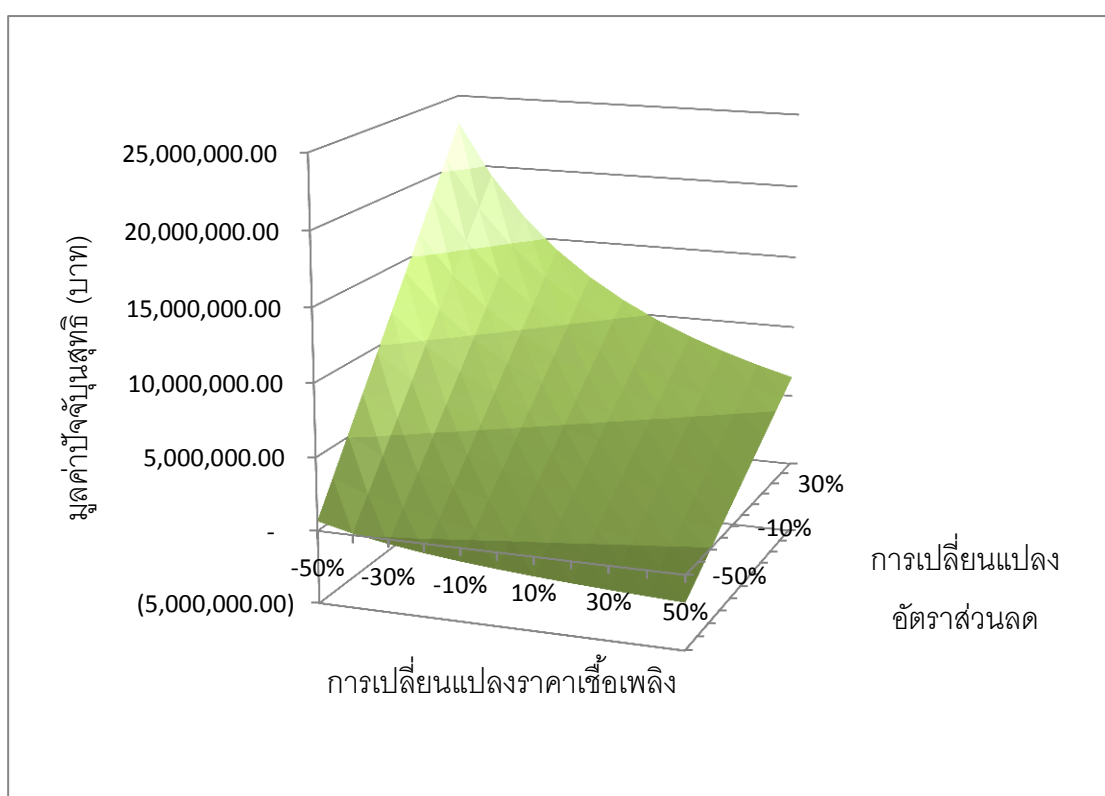
■ แสดงผลประโยชน์ของโครงการมีค่าติดลบ หรือไม่สมควรเลือกลงทุน

จากตารางที่ 5.18 เป็นการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์ของโครงการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ร่วมกับเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการในช่วงเพิ่มขึ้นและลดลงตั้งแต่ 10-50% จากเดิม พบว่า

- ผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นบวก หรือสรุปได้ว่าสมควรลงทุนโครงการในกรณีดังต่อไปนี้
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพิ่มขึ้น และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้นในช่วง 10-50%
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพิ่มขึ้น และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการลดลงในช่วง 10-50%
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง ในช่วง 10-40% และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการลดลงในช่วง 10-50%
- ผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นลบ หรือมีค่าน้อยลงกว่าผลประโยชน์ที่ควรได้รับในโครงการปัจจุบัน หรือสรุปได้ว่า ไม่สมควรเลือกลงทุน เนื่องจากเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการมีค่าสูงเกินเมื่อเทียบกับผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการลดลงที่ 10% และเพิ่มขึ้นในช่วง 10-50% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% (15.07 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 10% (4,785,000บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -1,936,204 บาท
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 40% และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้นในช่วง 10-50% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 40% (18.08 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 30% (5,655,000บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -2,341,288 บาท
 - กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 30% (21.09 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 50% (6,525,000บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -2,746,371บาท

- กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 20% (24.10 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 50% (6,525,000บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -1,538,173 บาท
- กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 10% (27.12 บาทต่อกิโลกรัม) และเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการเพิ่มขึ้น 50% (6,525,000บาท) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ -329,974 บาท

5.6.2.2 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.19



รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

ตารางที่ 5.19 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

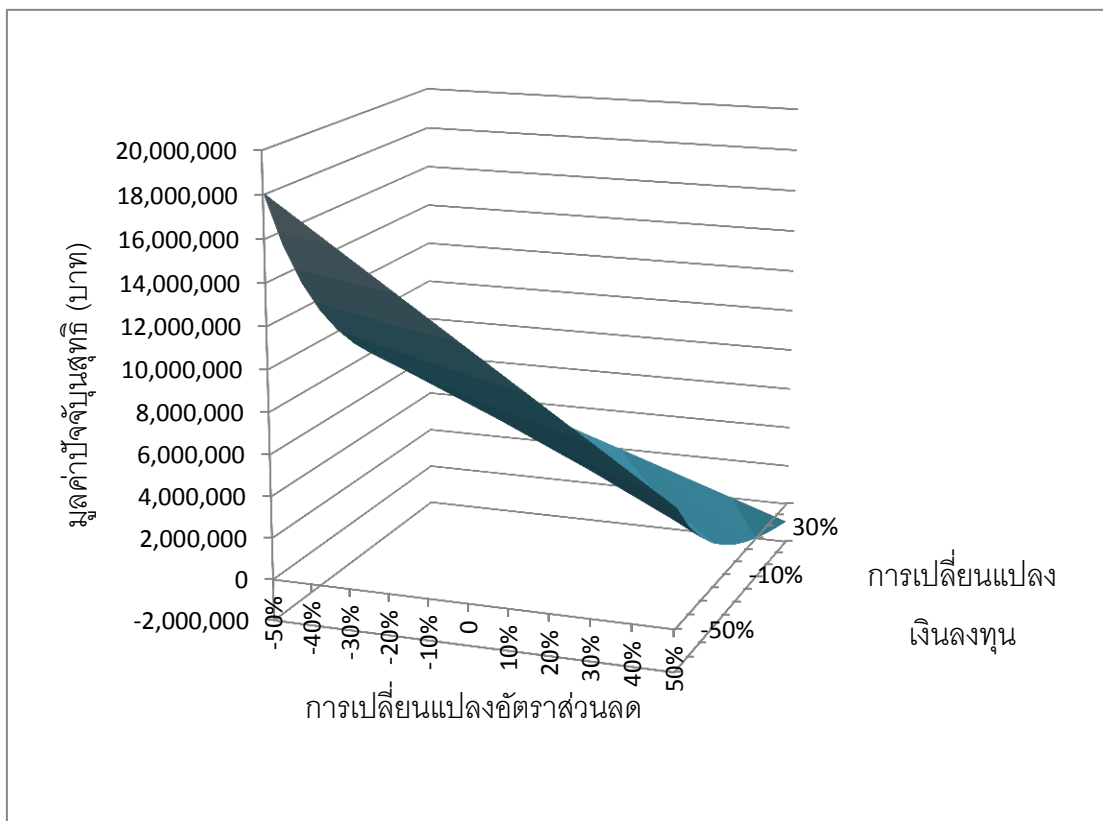
		การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) :%										
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
การเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) :%	-50%	669,543	109,535	-315,433	-646,942	-912,249	-1,129,563	-1,311,285	-1,466,031	-1,599,909	-1,717,332	-1,821,553
	-40%	2,906,353	2,033,010	1,365,181	841,791	422,147	78,635	-207,839	-450,726	-659,680	-841,759	-1,002,211
	-30%	5,143,163	3,956,484	3,045,794	2,330,523	1,756,544	1,286,834	895,608	564,580	280,549	33,815	-182,868
	-20%	7,379,974	5,879,959	4,726,407	3,819,256	3,090,941	2,495,032	1,999,054	1,579,886	1,220,778	909,388	636,474
	-10%	9,616,784	7,803,434	6,407,020	5,307,988	4,425,338	3,703,231	3,102,500	2,595,191	2,161,006	1,784,962	1,455,817
	0	11,853,594	9,726,909	8,087,634	6,796,721	5,759,734	4,911,429	4,205,947	3,610,497	3,101,235	2,660,535	2,275,160
	10%	14,090,404	11,650,384	9,768,247	8,285,453	7,094,131	6,119,628	5,309,393	4,625,803	4,041,464	3,536,108	3,094,502
	20%	16,327,214	13,573,859	11,448,860	9,774,186	8,428,528	7,327,826	6,412,840	5,641,108	4,981,693	4,411,682	3,913,845
	30%	18,564,025	15,497,333	13,129,473	11,262,918	9,762,924	8,536,025	7,516,286	6,656,414	5,921,921	5,287,255	4,733,187
	40%	20,800,835	17,420,808	14,810,087	12,751,651	11,097,321	9,744,223	8,619,732	7,671,720	6,862,150	6,162,829	5,552,530
50%	23,037,645	19,344,283	16,490,700	14,240,383	12,431,718	10,952,422	9,723,179	8,687,025	7,802,379	7,038,402	6,371,872	

แสดงผลประโยชน์ของโครงการมีค่าติดลบ หรือไม่สมควรเลือกลงทุน

จากตารางที่ 5.19 เป็นการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์ของโครงการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ในช่วงเพิ่มขึ้นและลดลงตั้งแต่ 10-50% จากเดิม พบว่าโดยส่วนใหญ่ผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นบวก หรือสรุปได้ว่าสมควรลงทุนโครงการ ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้

- กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ลดลงในช่วง 10-20% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% (15.07 บาทต่อกิโลกรัม) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) ลดลง 10% (อัตราส่วนลดเท่ากับ 7.2%) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ 912,294 บาท
- กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% และอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้นในช่วง 10%-50% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 50% (15.07 บาทต่อกิโลกรัม) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้น 50% (อัตราส่วนลดเท่ากับ 12%) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ 1,821,553 บาท
- กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 40% และอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้นในช่วง 10-50% เช่น ที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 40% (18.08 บาทต่อกิโลกรัม) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้น 50% (อัตราส่วนลดเท่ากับ 12%) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ 1,002,211 บาท
- กรณีที่ราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ลดลง 30% (21.09 บาทต่อกิโลกรัม) และอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพิ่มขึ้น 50% (อัตราส่วนลดเท่ากับ 12%) ส่งผลให้ผลประโยชน์ที่ควรได้รับมีค่าเท่ากับ 182,868 บาท

5.6.2.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 5.20



รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

จากตารางที่ 5.20 เป็นการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงผลประโยชน์ของโครงการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุน ในช่วงเพิ่มขึ้นและลดลงตั้งแต่ 10-50% จากเดิม พบว่าผลประโยชน์ของโครงการที่จะได้รับมีค่าเป็นบวก หรือสรุปได้ว่าสมควรลงทุนในทุกโครงการ

ตารางที่ 5.20 การวิเคราะห์ความไวสองตัวแปร ระหว่างอัตราส่วนลด (Discount Rate) และเงินจ่ายลงทุนของหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ

		การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลด (Discount Rate) :%										
		-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
เงินจ่ายลงทุน :%	-50%	18,127,016	16,872,331	15,617,647	14,362,963	13,108,278	11,853,594	10,598,910	9,344,225	8,089,541	6,834,857	5,580,172
	-40%	15,319,961	14,201,350	13,082,740	11,964,130	10,845,519	9,726,909	8,608,299	7,489,688	6,371,078	5,252,468	4,133,857
	-30%	13,150,905	12,138,251	11,125,597	10,112,942	9,100,288	8,087,634	7,074,979	6,062,325	5,049,671	4,037,016	3,024,362
	-20%	11,440,820	10,512,000	9,583,180	8,654,360	7,725,541	6,796,721	5,867,901	4,939,081	4,010,262	3,081,442	2,152,622
	-10%	10,067,155	9,205,671	8,344,187	7,482,703	6,621,218	5,759,734	4,898,250	4,036,766	3,175,282	2,313,798	1,452,313
	0	8,944,634	8,137,993	7,331,352	6,524,711	5,718,070	4,911,429	4,104,788	3,298,147	2,491,506	1,684,865	878,224
	10%	8,012,928	7,251,532	6,490,136	5,728,739	4,967,343	4,205,947	3,444,550	2,683,154	1,921,758	1,160,362	398,965
	20%	7,228,654	6,505,023	5,781,391	5,057,760	4,334,128	3,610,497	2,886,865	2,163,234	1,439,602	715,971	-7,660
	30%	6,560,107	5,868,333	5,176,558	4,484,784	3,793,010	3,101,235	2,409,461	1,717,686	1,025,912	334,137	-357,637
	40%	5,983,751	5,319,108	4,654,465	3,989,821	3,325,178	2,660,535	1,995,892	1,331,249	666,605	1,962	-662,681
	50%	5,481,847	4,840,509	4,199,172	3,557,834	2,916,497	2,275,160	1,633,822	992,485	351,147	-290,190	-931,528

แสดงผลประโยชน์ของโครงการมีค่าติดลบ หรือไม่สมควรเลือกลงทุน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาและวิจัยเรื่องการประเมินการใช้พลังงานสำหรับหั่วเผาประสิทธิภาพสูงในเตาซีตเติลของอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลพลังงานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากโรงงานเซรามิกตัวอย่าง ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร จำนวน 1 โรงงาน ที่มีการใช้เตาเผาแบบเตาซีตเติลขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร และมีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเลือกใช้หั่วเผาประสิทธิภาพสูงทดแทนหั่วเผาแบบเดิม เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงลง ซึ่งผลจากการศึกษาและวิจัยสามารถสรุปได้ดังหัวข้อดังต่อไปนี้

6.1.1. จากข้อมูลพลังงานที่วัดได้ เมื่อนำไปวิเคราะห์สมมูลพลังงานของกระบวนการเผาเซรามิกแล้วพบว่าจะต้องใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เท่ากับ 6,512,862.18 กิโลจูล และมีพลังงานความร้อนสูญเสียไปกับก๊าซไอเสียเท่ากับ 2,586,000.52 กิโลจูล หรือคิดเป็นร้อยละ 39.71 และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาเซรามิกเท่ากับ 32.39%

6.1.2. การเลือกใช้หั่วเผาประสิทธิภาพสูง

เลือกโครงการหั่วเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

ผลการพิจารณาด้านทุนพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการพบว่าควรเลือกติดตั้งหั่วเผาที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีต้นทุนรวมต่ำที่สุดคือ 4.044 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ โดยคิดเป็นต้นทุนเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.40 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ และต้นทุนอื่นๆรวมเท่ากับ 1.65 บาทต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลงได้เท่ากับ 26,605 กิโลกรัมต่อปี

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ด้านการเงินของโครงการ พบว่าโครงการนี้ใช้เงินลงทุนเริ่มต้นเท่ากับ 2,050,000 บาท ซึ่งให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของการลงทุน เมื่อสิ้นสุดโครงการปีที่ 70 เท่ากับ 5,074,855.52 บาท และการลงทุนนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 2.56 ปี และเมื่อทำการวิเคราะห์ความไวของโครงการ โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว ในด้านที่เพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 10%-50% ของราคาหรือค่าในปัจจุบัน ได้ผลดังต่อไปนี้

- เมื่อราคาเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีราคาต่ำกว่า 14.80 บาทต่อกิโลกรัม แล้วจะส่งผลกระทบต่อให้ปฏิเสธโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ
- เมื่ออัตราส่วนลด (Discount Rate) หรืออัตราดอกเบี้ยมีค่ามากกว่า 34.08% แล้วจะส่งผลกระทบต่อให้ปฏิเสธโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ
- เมื่อเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการ มีค่าสูงกว่า 4,173,439.60 บาท แล้วจะส่งผลกระทบต่อให้ปฏิเสธโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าติดลบ

ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความไวเหล่านี้จะเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้โครงการขาดทุนได้

จากผลการศึกษาและวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า สำหรับเตาเผาเซรามิกในโรงงานตัวอย่างสมควรเลือกลงทุนในโครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ ที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส

6.2. ข้อเสนอแนะ

6.2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากผลการศึกษาและวิจัยเรื่องการประเมินการใช้พลังงานสำหรับหัวเผาประสิทธิภาพสูงในเตาซีตเติลของอุตสาหกรรมเซรามิกในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาครั้งต่อไป ดังนี้

6.2.1.1 ทำการศึกษาการเลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงกับเตาเผาเซรามิกที่มีขนาดความจุอื่นๆ ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกปัจจุบัน

6.2.1.2 ทำการศึกษาการเลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงกับเตาเผาเซรามิกที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ก๊าซธรรมชาติ

6.2.1.3 ทำการศึกษาการเลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิอื่นๆ

6.2.1.4 ทำการศึกษาและวิจัยการเลือกใช้หัวเผาประสิทธิภาพสูงกับอุตสาหกรรมหรือเตาเผาชนิดอื่น

6.2.2. ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการ

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการในการเขียนข้อเสนอโครงการขอรับเงินสนับสนุนโครงการส่งเสริมการจัดการด้านการใช้พลังงานโดยวิธีประกวดราคา (DSM bidding) ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

สำหรับผู้ประกอบการที่ใช้เตาเผาแบบเตาซีตเติล ขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร และใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง สามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปเขียนในส่วนของรายละเอียดได้ดังนี้

6.2.2.1 ข้อมูลมาตรการ

โครงการหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟที่มีความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียส ให้กับเตาเผาแบบเตาซีตเติล ขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานหรือเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ได้เท่ากับ 26,604.80 กิโลกรัมต่อปี

6.2.2.2 รายละเอียดด้านการเงิน

เงินลงทุนในการติดตั้งหัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟที่มี
ความสามารถในการอุ่นอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับ 700 องศาเซลเซียสเท่ากับ
2,050,000 บาท ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานหรือเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว
(LPG) ได้เท่ากับ 801,602.57 บาทต่อปี

รายการอ้างอิง

- [1] พลังงานกระทรวง., พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกรม. (2551) เอกสารเผยแพร่ โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอลูมิเนียม, หน้า 22
- [2] พลังงานกระทรวง.,(2554) แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573), หน้า 4-5
- [3] พลังงานกระทรวง., พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกรม. (2546) รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่อง โครงการการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิกและอิฐ, หน้า 16-20
- [4] Handy manual Ceramic Industry. 1994. The Energy Conservation Center (ECC), Japan
- [5] กองบรรณาธิการ. การตรวจวัดประสิทธิภาพเตาเผาเซรามิก. วารสารประสิทธิภาพพลังงาน. 16(70): 51-55
- [6] ปิยะภัทร คุ่มปรีดี. (2544). การศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเตาเผาเซรามิก. วศ.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกรม., โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ. ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึกหัวเผาแบบเซลล์พี-รีคัพเปอร์เรทีฟ, หน้า 1-6
- [8] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกรม., โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ. ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึกหัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ, หน้า 1-7
- [9] พลังงานกระทรวง., พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกรม.(2550) เครื่องมือในการประเมินโครงการ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www2.dede.go.th/webpage/tools.htm> [พฤษภาคม 2555]
- [10] คณิต มานะธุระ. (2552). การศึกษาการใช้พลังงานในเตาเผาเหล็กที่ใช้หัวเผารีเจนเนอเรทีฟร่วมกับรีคูปอเรเตอร์. วศ.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [11] จิตติน แดงเที่ยง. (2552). การวิเคราะห์ไอเสียเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาเผาเหล็ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23

- [12] ชัยศักดิ์ ชาตรีจันทร์สกุล (2545). การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดราชบุรี.วศ.ม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [13] ธนิต มหิทธิพันธ์. (2553). การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่ออุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำกรณีศึกษา โรงงานฟอกย้อม. วท.ม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [14] พุฒิพล ลิ้มปโยคณพนิช. (2543). ศักยภาพการใช้ความร้อนทิ้งจากเตาอุตสาหกรรม. วท.ม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [15] วรวิมล มั่นสกุล. (2544). การศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์อุ่นอากาศด้วยไอเสีย สำหรับเตาเผาอุตสาหกรรม. วศ.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] Delivand, M. K., M. Barz, et al. (2011). "Economic feasibility assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in Thailand." Applied Energy88(11): 3651-3658.
- [17] R, N. (1983). "Recuperative and regenerative techniques at high temperature." Journal of Heat Recovery Systems3(5): 385-404.
- [18] Zhang, Y., M. A. Dubé, et al. (2003). "Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis." Bioresourcetchnology90(3): 229-240.
- [19] ESSOM CO., LTD. Heating Values. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.essom.com/engineering.php> [พฤษภาคม 2555]
- [20] Ali, B. (2006). "Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey." Applied Thermal Engineering26(11-12): 1301-1309.
- [21] David W. Richherson. (2006). "Modern Ceramic Engineering Properties, Processing and design." U.S. Taylor & Francis Group.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการตรวจวัดข้อมูลพลังงาน

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ลำดับที่	เครื่องมือตรวจวัด	รูป	วัตถุประสงค์	วิธีใช้งาน
1	เครื่องตรวจวัดองค์ประกอบของไอก๊าซเสีย (testo 300 M and XL)		วัด %O ₂ , %CO ₂ , %CO, %N ₂ และ อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	สอดหัวแห่เข้าไปในท่อโดยผ่านรูเล็กๆ ที่ทำขึ้นบนท่อปล่อยก๊าซไอเสีย โดยที่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทั่วไปจะถูกป้อนเข้าไปในไมโครโพรเซสเซอร์และทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
2	เทอร์โมมิเตอร์แบบไม่สัมผัส		วัดค่าอุณหภูมิ โดยไม่ต้องมีการสัมผัสระหว่างเทอร์โมมิเตอร์และวัตถุที่จะวัดอุณหภูมิ	ชี้เทอร์โมมิเตอร์ไปยังพื้นผิวหรือจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา และอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้

ลำดับที่	เครื่องมือตรวจวัด	รูป	วัตถุประสงค์	วิธีใช้งาน
3	เครื่องชั่ง		ชั่งน้ำหนัก	ตั้งเครื่องชั่งให้ได้ระดับกับพื้นราบและการชั่งให้วางสิ่งของตรงบริเวณกึ่งกลางของถาดชั่ง
4	ตลับเมตร		ตรวจสอบระยะหรือขนาดความกว้างความยาว ความสูงหรือความหนาของวัสดุชิ้นงาน	วางด้านข้างของไม้เมตรให้ขนานกับผิวและอ่านค่า

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 1

อุณหภูมิ	T(รอบผนังเตา) (°C)						T (ที่พื้นเตา) (°C)						
	ผิวด้านประตูเตา	ผิวเปลือกด้านบน	ผิวเปลือกด้านซ้าย	ผิวเปลือกด้านขวา	ผิวเปลือกด้านหลัง	เฉลี่ย	มุมที่ 1	มุมที่ 2	มุมที่ 3	มุมที่ 4	ตรงกลาง	เฉลี่ย	
เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง													
0	37.85	38.63	38.47	38.34	38.28	38.43	39.41	39.19	39.24	40.22	37.71	39.15	
60	38.45	40.60	40.49	39.95	39.32	39.76	49.99	50.44	52.50	53.13	50.41	51.29	
120	38.30	40.78	40.57	40.53	40.19	40.05	74.55	75.29	75.00	74.95	74.00	74.76	
180	41.21	40.24	42.26	42.59	43.09	41.88	78.40	78.44	78.61	78.80	78.44	78.54	
240	43.58	44.83	46.27	45.73	45.55	45.19	88.11	88.18	88.59	88.46	88.23	88.31	
300	45.47	46.89	47.70	48.39	47.59	47.21	92.16	92.39	92.43	92.60	92.18	92.35	
360	48.33	49.84	50.36	49.85	49.88	49.65	97.45	97.35	97.50	97.56	97.39	97.45	
420	55.76	58.41	55.90	55.51	56.02	56.32	99.47	99.98	100.13	100.04	99.65	99.86	
480	59.60	60.03	60.88	60.47	60.70	60.34	103.15	103.42	103.85	103.53	103.11	103.41	

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 1 (ต่อ)

อุณหภูมิ	T(ภายในเตา) (°C)						T(ก๊าซไอเสีย) (°C)						ออกซิเจน (O ₂): (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂): (%)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO): (ppm)
	เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง	ผิวเตาด้านหน้า(ซ้าย)	ผิวเตาด้านหน้า(ขวา)	ผิวเตาด้านบน(ซ้าย)	ผิวเตาด้านบน(ขวา)	ผิวเตาด้านหลัง	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5			
0	40.66	40.60	40.72	40.68	40.36	40.60	38.23	38.22	38.21	38.14	38.21	38.20	4.06	7.26	47.05
60	294.27	294.30	294.33	294.31	294.29	294.30	90.10	90.11	90.09	90.09	90.10	90.10	7.29	9.38	39.98
120	448.03	448.01	447.99	448.01	447.99	448.00	215.38	215.42	215.46	215.39	215.34	215.40	4.10	11.65	49.78
180	573.50	573.50	573.43	573.50	573.57	573.50	345.61	345.58	345.62	345.59	345.59	345.60	4.90	9.80	65.50
240	868.00	868.00	867.99	868.00	868.00	868.00	597.00	597.01	597.00	596.96	597.03	597.00	6.71	11.35	33.70
300	987.42	987.38	987.43	987.43	987.36	987.40	692.33	692.31	692.29	692.31	692.24	692.30	3.76	13.06	79.01
360	1052.82	1052.59	1052.74	1052.51	1052.84	1052.70	734.30	734.33	734.29	734.28	734.30	734.30	5.03	10.22	58.91
420	1178.27	1178.32	1178.28	1178.34	1178.30	1178.30	796.49	796.54	796.43	796.60	796.46	796.50	4.34	12.54	67.11
480	1289.02	1289.00	1289.00	1288.97	1289.03	1289.00	834.97	835.17	834.90	835.01	834.94	835.00	4.00	11.42	85.69

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 2

อุณหภูมิ	T(รอบผนังเตา) (°C)						T (ที่พื้นเตา) (°C)						
	ผิวด้านประตูเตา	ผิวเปลือกด้านบน	ผิวเปลือกด้านซ้าย	ผิวเปลือกด้านขวา	ผิวเปลือกด้านหลัง	เฉลี่ย	มุมที่ 1	มุมที่ 2	มุมที่ 3	มุมที่ 4	ตรงกลาง	เฉลี่ย	
เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง													
0	38.59	38.67	39.83	39.39	37.94	38.88	40.10	39.96	40.63	40.41	39.10	40.04	
60	39.74	39.74	39.70	39.76	39.69	39.73	48.58	48.64	48.78	48.28	47.85	48.42	
120	41.72	42.02	41.64	42.10	41.49	41.79	73.46	73.53	73.37	73.36	73.35	73.41	
180	43.30	43.30	43.34	43.34	43.25	43.31	78.98	80.33	78.97	79.76	77.85	79.18	
240	44.65	44.67	44.61	44.70	44.53	44.63	87.30	87.33	87.35	87.31	87.31	87.32	
300	45.50	45.83	45.76	46.25	45.60	45.79	93.07	93.08	93.10	93.14	93.06	93.09	
360	46.75	46.73	46.77	46.82	46.71	46.76	96.41	96.44	96.55	97.28	96.21	96.58	
420	53.40	53.61	53.60	53.72	53.48	53.56	97.15	97.59	98.02	98.10	96.87	97.55	
480	58.93	58.95	58.90	59.33	58.89	59	103.96	103.69	104.00	103.91	102.03	103.52	

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 2 (ต่อ)

อุณหภูมิ	T(ภายในเตา) (°C)						T(ก๊าซไอเสีย) (°C)						ออกซิเจน (O ₂): (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂): (%)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO): (ppm)
	ผิวเตาด้านหน้า(ซ้าย)	ผิวเตาด้านหน้า(ขวา)	ผิวเตาด้านบน(ซ้าย)	ผิวเตาด้านบน(ขวา)	ผิวเตาด้านหลัง	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย			
เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง															
0	41.48	41.17	41.40	41.53	41.42	41.40	38.39	38.96	39.38	40.03	40.24	39.40	3.50	5.14	39.16
60	292.41	291.62	292.31	293.39	292.03	292.35	91.05	91.05	91.06	91.07	91.07	91.06	8.07	8.56	65.79
120	451.19	451.22	451.17	451.28	451.17	451.21	213.93	213.81	214.04	213.88	214.08	213.95	4.15	15.71	73.80
180	569.88	572.56	570.69	571.21	569.24	570.72	347.07	348.39	347.33	349.46	347.90	348.03	10.09	4.82	46.05
240	872.92	872.78	872.02	872.41	871.46	872.32	597.58	598.72	598.98	599.40	600.86	599.11	8.08	9.58	82.78
300	988.59	988.59	988.60	988.57	988.58	988.59	690.95	690.99	690.93	691.06	690.92	690.97	4.30	5.51	54.60
360	1051.05	1051.07	1051.12	1051.30	1051.00	1051.11	732.05	733.81	733.26	734.12	734.36	733.52	3.30	11.70	89.55
420	1180.87	1180.33	1180.90	1180.66	1179.25	1180.40	791.09	790.89	791.42	791.01	791.00	791.08	6.51	13.96	90.64
480	1287.40	1288.79	1288.43	1287.61	1288.43	1288.13	842.24	842.21	842.41	842.41	841.70	842.20	7.26	7.74	69.31

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 3

อุณหภูมิ	T(รอบผนังเตา) (°C)						T (ที่พื้นเตา) (°C)						
	ผิวด้านประตูเตา	ผิวเปลือกด้านบน	ผิวเปลือกด้านซ้าย	ผิวเปลือกด้านขวา	ผิวเปลือกด้านหลัง	เฉลี่ย	มุงที่ 1	มุงที่ 2	มุงที่ 3	มุงที่ 4	ตรงกลาง	เฉลี่ย	
เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง													
0	38.28	37.78	37.51	38.41	37.93	37.98	38.19	38.66	38.50	38.07	37.91	38.26	
60	39.90	40.01	39.45	38.60	38.67	39.33	46.47	46.24	47.20	46.44	45.77	46.42	
120	41.82	42.90	42.08	41.91	41.50	42.04	74.99	75.14	75.35	75.08	74.97	75.11	
180	43.39	43.44	43.39	43.50	43.34	43.41	78.02	77.05	76.58	76.72	76.14	76.9	
240	46.19	46.97	46.85	47.23	46.49	46.75	87.02	87.08	86.07	85.17	85.75	86.22	
300	48.36	48.17	49.40	49.08	48.03	48.61	92.02	91.98	92.00	92.16	91.95	92.02	
360	52.01	52.34	52.82	52.71	49.94	51.96	94.54	94.75	95.08	94.60	93.93	94.58	
420	56.22	55.65	54.82	56.38	54.20	55.45	103.58	103.52	103.52	102.72	102.48	103.17	
480	56.45	58.07	57.28	58.60	56.47	57.37	101.01	103.38	103.01	103.02	101.10	102.3	

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 3 (ต่อ)

อุณหภูมิ	T(ภายในเตา) (°C)						T(ก๊าซไอเสีย) (°C)						ออกซิเจน (O ₂): (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂): (%)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO): (ppm)
	ผิวเตาด้านหน้า(ซ้าย)	ผิวเตาด้านหน้า(ขวา)	ผิวเตาด้านบน(ซ้าย)	ผิวเตาด้านบน(ขวา)	ผิวเตาด้านหลัง	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย			
0	40.53	41.28	40.64	41.60	41.09	41.03	41.02	39.10	40.02	40.25	41.14	40.30	4.31	5.28	39.21
60	295.69	295.93	297.25	297.74	296.60	296.64	89.56	89.53	89.56	89.47	89.63	89.55	7.04	11.34	61.06
120	443.05	442.75	442.40	443.01	442.80	442.80	219.05	220.46	219.21	220.40	219.48	219.72	3.23	10.65	38.37
180	578.44	576.96	578.53	581.86	582.76	579.71	352.35	350.47	351.15	348.75	351.80	350.90	6.14	14.89	47.70
240	868.10	869.01	867.71	868.36	868.97	868.43	595.32	597.19	596.93	596.62	596.98	596.61	6.08	9.34	52.16
300	989.28	990.47	991.35	989.72	992.21	990.61	694.30	695.80	699.24	698.03	695.72	696.62	9.31	4.87	84.34
360	1052.89	1053.19	1051.41	1049.00	1052.81	1051.86	745.26	744.25	744.62	744.60	747.78	745.30	4.08	9.32	58.10
420	1181.44	1181.60	1181.66	1182.22	1181.11	1181.61	799.47	796.46	797.20	800.08	799.99	798.64	11.39	6.78	63.87
480	1294.79	1292.27	1292.06	1293.14	1294.31	1293.31	830.18	831.15	829.03	831.40	830.38	830.43	7.50	13.65	75.56

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 4

อุณหภูมิ	T(รอบผนังเตา) (°C)						T (ที่พื้นเตา) (°C)						
	ผิวด้านประตูเตา	ผิวเปลือกด้านบน	ผิวเปลือกด้านซ้าย	ผิวเปลือกด้านขวา	ผิวเปลือกด้านหลัง	เฉลี่ย	มุมที่ 1	มุมที่ 2	มุมที่ 3	มุมที่ 4	ตรงกลาง	เฉลี่ย	
เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง													
0	39.35	38.46	40.19	39.28	37.36	39.30	40.93	40.92	41.06	41.19	40.87	40.99	
60	42.26	41.76	43.36	44.19	39.50	42.21	49.85	47.93	48.16	48.26	46.41	48.12	
120	42.73	42.08	43.48	44.61	41.88	42.95	70.95	72.32	72.20	73.41	71.17	72.01	
180	43.29	43.41	43.31	45.00	43.05	43.61	79.44	78.21	79.45	80.55	77.77	79.08	
240	43.88	43.90	43.85	45.85	43.38	44.17	89.78	90.38	89.28	90.88	89.62	89.99	
300	48.27	46.88	47.97	48.25	46.85	47.64	94.63	96.02	94.70	95.89	94.40	95.13	
360	50.80	52.84	50.18	51.74	49.48	51.01	99.26	100.96	100.97	101.59	99.88	100.53	
420	57.59	57.57	57.72	57.50	57.36	57.55	100.06	101.02	100.90	101.66	100.60	100.85	
480	60.36	61.06	62.26	62.07	59.36	61.02	100.26	102.79	101.69	102.18	100.82	101.55	

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 4 (ต่อ)

อุณหภูมิ	T(ภายในเตา) (°C)						T(ก๊าซไอเสีย) (°C)						ออกซิเจน (O ₂): (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂): (%)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO): (ppm)
	เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง	ผิวเตาด้านหน้า(ซ้าย)	ผิวเตาด้านหน้า(ขวา)	ผิวเตาด้านบน(ซ้าย)	ผิวเตาด้านบน(ขวา)	ผิวเตาด้านหลัง	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5			
0	43.10	43.22	43.52	43.85	41.46	43.03	40.96	41.57	40.95	41.32	42.25	41.41	3.06	4.97	36.78
60	300.01	298.99	298.20	298.49	298.49	298.84	92.60	93.18	94.10	93.76	92.92	93.31	4.55	8.86	62.00
120	444.14	444.27	444.30	442.82	442.96	443.70	220.73	220.13	219.43	223.57	219.19	220.61	3.10	12.04	45.13
180	578.92	578.97	579.63	578.83	578.28	578.93	343.35	342.21	342.98	344.54	343.25	343.27	4.42	7.89	42.75
240	867.13	866.81	867.32	868.72	866.63	867.32	598.86	599.58	598.68	598.46	598.32	598.78	6.58	11.21	55.90
300	990.12	991.43	990.41	991.82	990.42	990.84	688.61	685.30	689.85	688.47	691.45	688.74	2.05	7.33	79.13
360	1047.61	1046.59	1048.74	1047.10	1046.19	1047.25	725.94	724.90	725.27	724.15	725.19	725.09	2.37	15.78	69.68
420	1171.59	1172.21	1169.72	1172.32	1171.88	1171.54	801.56	801.28	801.02	802.09	802.13	801.61	7.13	13.57	56.37
480	1280.70	1279.77	1281.22	1281.70	1278.94	1280.47	852.15	851.80	851.60	851.84	851.41	851.76	3.28	17.62	81.32

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 5

อุณหภูมิ	T(รอบผนังเตา) (°C)						T (ที่พื้นเตา) (°C)						
	ผิวด้านประตูเตา	ผิวเปลือกด้านบน	ผิวเปลือกด้านซ้าย	ผิวเปลือกด้านขวา	ผิวเปลือกด้านหลัง	เฉลี่ย	มุมที่ 1	มุมที่ 2	มุมที่ 3	มุมที่ 4	ตรงกลาง	เฉลี่ย	
เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง													
0	36.90	37.50	36.17	37.59	36.19	36.87	36.46	37.23	38.15	39.01	36.01	37.37	
60	37.31	37.70	37.68	38.03	37.56	37.66	47.75	47.27	47.90	48.49	45.53	47.40	
120	41.48	41.38	41.57	41.63	41.14	41.44	75.68	75.14	75.03	76.03	74.01	75.19	
180	43.79	44.75	44.98	44.48	43.55	44.31	80.69	80.50	82.09	80.33	78.52	80.43	
240	48.36	48.37	49.02	48.12	48.10	48.40	83.10	83.48	83.59	84.36	83.07	83.52	
300	49.16	49.93	50.97	48.94	48.75	49.55	88.74	89.97	88.86	89.92	87.81	89.06	
360	49.64	50.56	51.02	49.97	49.96	50.23	94.26	95.09	95.06	95.13	93.12	94.53	
420	51.96	52.62	53.90	54.25	51.89	52.92	99.02	100.02	99.14	100.49	98.46	99.42	
480	55.37	59.76	57.72	57.95	56.99	57.56	99.01	100.02	99.65	100.64	99.95	99.85	

ผลการตรวจวัดข้อมูลครั้งที่ 5 (ต่อ)

อุณหภูมิ	T(ภายในเตา) (°C)						T(ก๊าซไอเสีย) (°C)						ออกซิเจน (O ₂): (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂): (%)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO): (ppm)
	ผิวเตาด้านหน้า(ซ้าย)	ผิวเตาด้านหน้า(ขวา)	ผิวเตาด้านบน(ซ้าย)	ผิวเตาด้านบน(ขวา)	ผิวเตาด้านหลัง	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย			
เวลา (นาทีที่)/ ตำแหน่ง															
0	39.55	39.75	39.52	39.45	38.59	39.38	39.85	38.48	36.26	36.67	37.71	38.20	3.46	5.48	41.91
60	299.97	299.39	301.33	302.97	298.83	300.50	100.46	101.19	100.48	99.43	100.93	100.51	5.02	8.78	42.60
120	444.87	444.84	445.37	445.65	443.70	444.90	210.95	209.83	210.86	209.77	209.47	210.19	8.70	12.73	65.69
180	573.79	575.45	574.78	575.70	573.93	574.73	350.47	349.81	349.48	349.39	350.58	349.92	9.06	11.34	55.70
240	873.71	873.81	873.38	874.52	873.49	873.78	602.96	603.16	604.09	603.36	603.15	603.38	3.86	8.61	59.26
300	995.08	995.29	996.03	995.29	994.92	995.31	681.98	680.70	681.00	681.73	680.51	681.18	2.44	6.83	37.09
360	1046.29	1046.38	1047.90	1046.19	1044.67	1046.30	735.22	736.25	733.56	735.30	735.52	735.17	6.23	7.34	80.29
420	1182.68	1183.07	1183.27	1182.90	1182.13	1182.81	809.87	810.42	809.81	809.03	809.57	809.75	9.00	15.94	42.38
480	1284.45	1284.99	1284.94	1285.21	1282.79	1284.48	855.62	854.57	852.96	853.73	853.68	854.12	12.36	10.82	57.86

ภาคผนวก ข

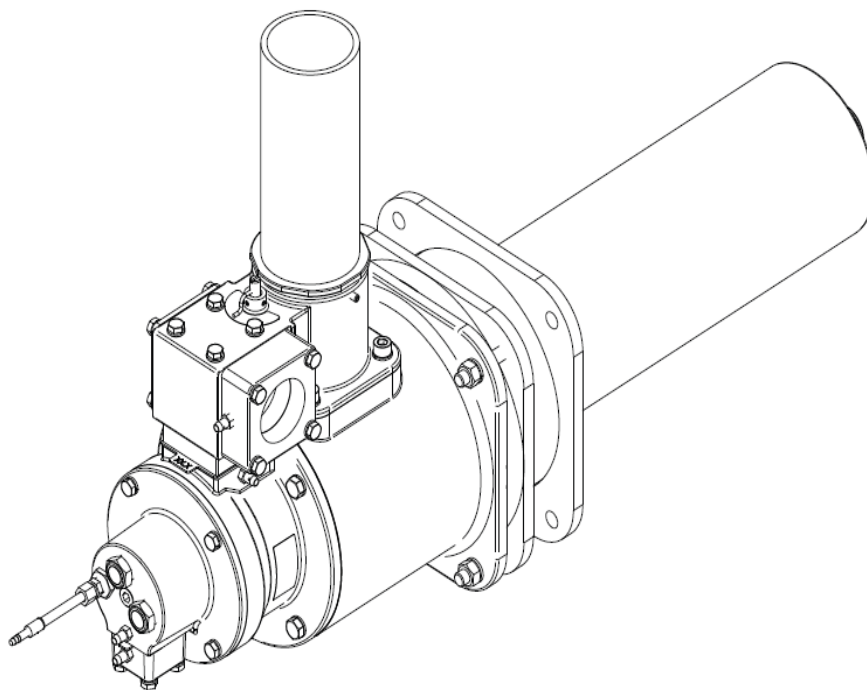
ข้อมูลหัวเผาประสิทธิภาพสูง

หัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีคัพเปอร์เรทีฟ

208 Design Guide

9/16/2011


Self-Recuperative Burners



Datasheet 208-2

2/24/2012

Self-Recuperative Burners

Parameter	Typical Burner Input 1000's Btu/h (kW) ⁴		
	250 (66)	300 (79)	350 (92)
Low Firing Rate x 1000 Btu/h (kW) ¹	15 (4.4)	15 (4.4)	15 (4.4)
Minimum Low Fire Air Pressure Drop, "w.c. (mbar) <i>Measure between Taps A and C</i>	0.3 (0.8)		
Gas Inlet Pressure Required, "w.c. (mbar) ² <i>Tap B (see page 4)</i>	6.4 (15.9)	8.8 (21.9)	12.1 (30.1)
Air Inlet Pressure Required with 15% Excess Air, "w.c. (mbar) <i>Tap E (see page 4) Based on 1800°F (982°C) Chamber Temperature</i>	14.2 (35.5)	20.1 (50.3)	26.2 (65.5)
Total Air Required, SCFH (Nm ³ /hr) <i>Eductor Air Plus Combustion Air, Assuming 15% Excess Combustion Air</i>	10300 (292)	12100 (343)	13950 (395)
High Fire (350,000 Btu/h) Flame Length, inches (mm)	12 (300)		
Maximum Flame Velocity, ft/s (m/s)	700 (220)		
Maximum Furnace Temperature °F (°C)	2200 (1200)		
Piping	NPT or BSP interface is available		
Flame Detection	UV Scanner		
Ignition	Direct Spark Ignition (6 kVAC)		
Fuels <i>For any other mixed gas, contact Eclipse</i>	Natural Gas		
Weight, lbs (kg) ³ <i>Burner and Recuperative Tube</i>	125 (57)		
Approvals			

¹ The low fire rate represents the capability of the burner. Achievement of this rate will be affected by the control method and ratio regulator used in the system design. Typical ratio regulators provide a 10 to 1 turndown from high to low fire.

² If a ratio regulator is being used, the gas pressure into the ratio regulator should be at least 5" w.c. above the static air pressure at Tap A.

³ All weights are approximate.

⁴ All imperial units based upon gross calorific values (HHV). All metric units based upon net calorific values (LHV).

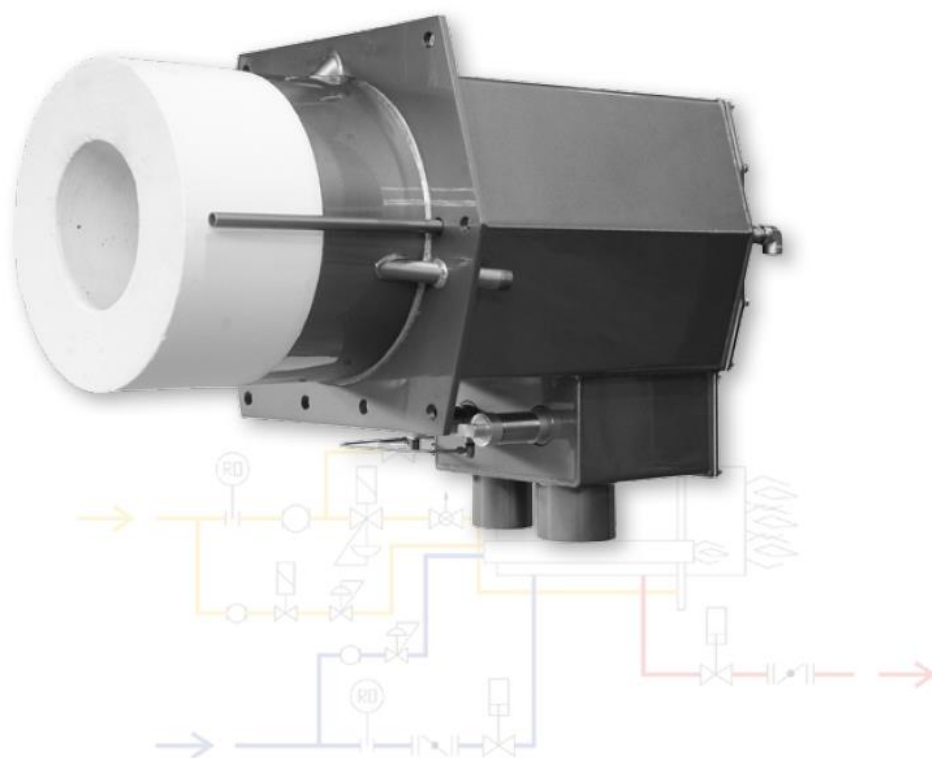
• All information is based on laboratory testing with neutral (0.0" w.c.) chamber conditions.

• Air and fuel pressure data given in this document are based on 15% excess air and hot furnace conditions.

• Plumbing of gas will affect accuracy of orifice readings. All information based on general acceptable air and gas piping practices.

หัวเผาประสิทธิภาพสูงแบบรีเจนเนอเรทีฟ

Regenerativbrenner Regenerative Burner



BESCHREIBUNG

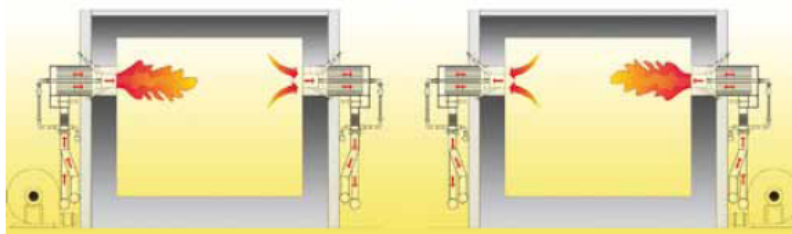
- Paarweise zu betreibender Brenner zur Beheizung von Schmiede- und Walzwerksöfen
- Höchste Luftvorwärmung,
- feuerungstechnischer Wirkungsgrad im Schmelzofen zum Beispiel 85%
- verschiedene Größen mit Leistungsbereich von 400 bis 1.500kW
- Anwendungstemperatur bis ca. 1350°C
- Besonders kompakte Bauform durch integrierten Wabenkörper-Wärmetauscher
- Pneumatische Umschaltvorrichtung ABGAS/ LUFT ist Bestandteil des Brenners
- Geringer Aufwand für Wartung und Reinigung

DESCRIPTION

- Burner for operation in pairs on forging and reheating furnaces
- Highest preheating of the combustion air
- Firing efficiency in a forging furnace e.g. 85%
- Different sizes with capacities ranging from 400 kW up to 1.500 kW
- Operating temperature up to 1.350°C
- Uniquely compact design due to the integration of the honeycomb-heat exchanger
- Pneumatic driven switch valve for FLUE GAS and AIR as part of the burner

WIRKUNGSWEISE

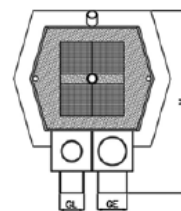
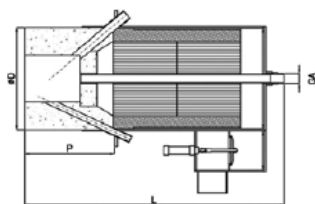
REGFIRE®-Regenerativbrenner werden paarweise betrieben. Während Brenner 1 die notwendige Wärme erzeugt, werden die heißen Abgase durch Brenner 2 abgesaugt. Nach etwa einer Minute erfolgt die Umschaltung der Brenner. Die Verbrennungsluft durchströmt jetzt Brenner 2 und wird vom heißen Regenerator vorgewärmt. Die Abgase verlassen über Brenner 1 den Ofen.



MODE OF OPERATION

REGFIRE®-Regenerative Burners are being operated in pairs. While burner 1 provides the required heat, the flue gases are being forced to leave the furnace through burner 2. After a certain period of time the burners will be switched. The combustion air streams now through the preheated honeycomb heat exchanger in burner 2 and the flue gases leave the furnace across burner 1.

TECHNISCHE DATEN



TECHNICAL DATA

Brennertyp Burner type	Nennleistung, kW Nom. Power, kW	Gasart Gas type	Gasdruck Gas pressure	Luftdruck Air pressure	Abgasabsaugung Suction pressure	Temperatur max. Temperature max.
REGFIRE	460 kW	N.G. G.P.L.	100 mbar	80 mbar	80 mbar	1350 °C

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเสาวรา อาสาวะ เกิดเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ.2530 ที่อำเภอสุโขทัย จังหวัดนราธิวาส สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553