

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างหน่วย
บำบัดมลภาวะทางอากาศแบบเปียกและแบบเผาไหม้โดยตรง
ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

THE ECONOMICS WORTHINESS COMPARSION FOR
AIR POLLUTION TREATMENT UNIT BETWEEN
WET SCRUBBER AND AFTER BURNER IN AUTOMOTIVE
PARTS INDUSTRY

ชไมพร ชูเจริญ
อัญชิษฐา สิริอัมพรกุลชัย

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

THE ECONOMICS WORTHINESS COMPARSION FOR
AIR POLLUTION TREATMENT UNIT BETWEEN
WET SCRUBBER AND AFTER BURNER IN AUTOMOTIVE
PARTS INDUSTRY

CHAMAIPORN CHUJAROEN
OANCHITTHA SIRIOAMPHONKUNCHAI

A COOPERATIVE EDUCATION SUMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

หัวข้อสหกิจศึกษา การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศแบบเปียก และแบบเผาไหม้โดยตรงในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

The Economic Worthiness Comparison for Air Pollution Treatment Unit between Wet Scrubber and After Burner in Automotive Parts Industry

ชื่อนักศึกษา นางสาวชไมพร ชูเจริญ รหัสนักศึกษา 58050602

นางสาวอัญชิษฐา สิริอัมพรกุลชัย รหัสนักศึกษา 58050702

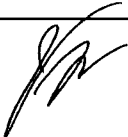

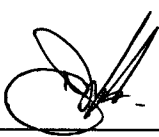
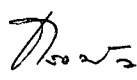
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีสิ่งแวดล้อม ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการ	
นางสาวพิมลดา จำรัสแสง กรรมการ	 
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์นี้เป็นของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อสหกิจศึกษา	การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศแบบเปียกและแบบเผาไหม้โดยตรงในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชไมพร ชูเจริญ	รหัสนักศึกษา	58050602
	นางสาวอัญชิษฐา สิริอัมพรกุลชัย	รหัสนักศึกษา	58050702
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์		

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษานี้ถูกจัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศแบบเปียก (Wet scrubber, WS) และระบบเผาไหม้โดยตรง (After burner, AB) เพื่อบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ กลุ่มตัวอย่างคือชิ้นงานหมายเลข 9900 โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด CO ของหน่วยบำบัด AB (อุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างชิ้นงาน) เครื่องมือที่ใช้ในการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ 1)มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 2)อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) 3)ระยะเวลาคืนทุน (PP) เพื่อนำมาวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง 5 กรณี ได้แก่ กรณีพื้นฐาน (I), กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และ 1.0 (กรณี II และ III) และกรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และ 1.0 (กรณี IV และ V) ผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างชิ้นงานที่เหมาะสมของหน่วยบำบัด AB คือ 400 องศาเซลเซียสและ 1,040 มิลลิเมตร ทำให้ค่าของไอเสีย CO ผ่านมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2549 (ต่ำกว่า 690 ppm) และจากการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าในกรณี I-V ของโครงการมีค่า NPV เท่ากับ 632,493 582,541 605,491 764,887 และ 704,057 บาทตามลำดับ ค่า BCR เท่ากับ 1.09, 1.08, 1.08, 1.11 และ 1.10 เท่าตามลำดับ ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3.31, 3.37, 3.34, 3.25, และ 3.28 ปีตามลำดับ และระยะเวลาจุดคุ้มทุนของกรณี I - III อยู่ในปีที่ 9 ส่วนกรณี IV และ V อยู่ในปีที่ 8 ในเชิงเศรษฐศาสตร์ถือว่าหน่วยบำบัด WS คุ้มค่า และเหมาะสมสำหรับบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าหน่วยบำบัด AB

คำสำคัญ: หน่วยบำบัดอากาศแบบเปียก, หน่วยบำบัดอากาศแบบเผาไหม้โดยตรง, การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Title	The Economics Worthiness Comparison for Air Pollution Treatment Unit between Wet scrubber and After burner in Automotive Parts Industry	
Student	Miss Chamaiporn Chujaroen	Student ID 58050602
	Miss Oanchittha Sirioamphonkonchai	Student ID 58050702
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Latkrabang (KMITL)	
Academic Year	2018	
Advisor	Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak	

Abstract

This cooperative education report aimed to compare the economic worthiness between Wet scrubber (WS) and After burner (AB) for carbon monoxide (CO) treatment from combustion process in Automotive Parts Industry. The work pieces, part number 9900, were treated through AB unit. The temperature and distance between work pieces were varied for CO treatment. The economic tools for comparison were done such as; Net present value (NPV), Benefit cost ratio (BCR), Payback period (PP). All parameters were estimated in 5 scenarios: the basic case (I), the case of increasing cost for installation both 1.85% and 1.0%; case (II and III). Furthermore, the other scenarios, the increasing rate of fuel price by 1.85% or 1.0%; case (IV and V) were also determined. The results showed that the appropriate temperature and distance were 400 °C and 1,040 mm. Then, the CO exhaust passed the Notification of Standard for Emissions for Industry, B.E. 2549 (less than 690 ppm). The economic worthiness comparison showed that in case I-V: the NPV as following 632,493, 582,541, 605,491, 764,887 and 704,057 Baht. The BCR were 1.09, 1.08, 1.08, 1.11 and 1.10 times, respectively. The PP were 3.31, 3.37, 3.34, 3.25, and 3.28 years, respectively. The breakeven point period of case I - III were done within 9 years while the case IV and V were less time in 8 years. Finally, in the economics point of view, the Wet Scrubber unit revealed the cost-effective and suitability for the carbon monoxide treatment more than the After Burner unit.

Keywords: Wet scrubber unit, After burner unit, Analysis of the economics worthiness.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างมาโดยตลอด จนโครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณ นางสาวพิมลดา จำรัสแสง พี่เลี้ยงประจำโครงการที่ได้ดูแล ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีตลอดการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทางบริษัท และ พนักงานในบริษัทเดินโซ่ ประเทศไทย(จำกัด) ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่ดีตลอดจนการดูแลที่อบอุ่นตลอดการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้

ชไมพร ชูเจริญ
อัญชิษฐา สิริอัมพรกุลชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	3
2.2 แหล่งกำเนิดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	4
2.3 องค์ประกอบของมลภาวะทางอากาศจากอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	5
2.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ CO	5
2.5 ระบบบำบัดอากาศแบบเปียก (WS)	8
2.6 ระบบเผาไหม้โดยตรง (AB)	10
2.7 ปฏิกิริยาการเผาไหม้	13
2.8 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	15
2.9 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	16
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	18
3.1 การทำงานของระบบบำบัดอากาศด้วยหน่วยบำบัด AB	18
3.2 การทดลองหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	19
3.3 การทดลองหาระยะห่างระหว่างชิ้นงานที่เหมาะสมเพื่อบำบัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	20
3.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำเครื่องบำบัดมลพิษทาง อากาศ WS มาใช้แทนเครื่องบำบัดมลพิษทางอากาศ AB	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	22
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของหน่วยบำบัด AB	22
4.1.1 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	22
4.1.2 การหาระดับอัตราส่วนระหว่างอากาศและก๊าซเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการ บำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของหน่วยบำบัด AB	25

4.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำเครื่องบำบัดมลพิษทางอากาศ WS มาใช้แทนเครื่องบำบัดมลพิษทางอากาศ AB	26
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการวิจัย	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด CO	40
ภาคผนวก ข การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	46
ภาคผนวก ค เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ Testo 350	64
ภาคผนวก ง Sunpress Oil	66

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	4
ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่อสุขภาพมนุษย์	6
ตารางที่ 3.1 การทำงานของระบบบำบัดอากาศด้วยหน่วยบำบัด AB	18
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อบำบัด CO ของหน่วยบำบัด AB	23
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีพื้นฐาน	27
ตารางที่ 4.3 ผลประโยชน์ในการลดต้นทุนการเดินทางระบบทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีพื้นฐาน	28
ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีพื้นฐาน	29
ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	31
ตารางที่ ก – 1 อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส	40
ตารางที่ ก – 2 อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	41
ตารางที่ ก – 3 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	42
ตารางที่ ก – 4 อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	43
ตารางที่ ก – 5 ระยะห่างระหว่างชั้นงาน 1040 mm	44
ตารางที่ ก – 6 ระยะห่างระหว่างชั้นงาน 400 mm	45
ตารางที่ ข – 1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีพื้นฐาน	48
ตารางที่ ข – 2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	48
ตารางที่ ข – 3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีอัตราเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	49
ตารางที่ ข – 4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	49
ตารางที่ ข – 5 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีอัตราเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	50
ตารางที่ ข – 6 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	51
ตารางที่ ข – 7 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง	52
ตารางที่ ข – 8 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	53
ตารางที่ ข – 9 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง	54
ตารางที่ ข – 10 ผลประโยชน์ในการลดต้นทุนการเดินทางระบบทางเศรษฐกิจของโครงการ	55
ตารางที่ ข – 11 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	56

ตารางที่ ข – 12 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง	58
ตารางที่ ข – 13 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	60
ตารางที่ ข – 14 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง	62

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผลของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่ออัตราการเดินหัวใจของหนู	6
รูปที่ 2.2 Wet scrubber	9
รูปที่ 2.3 ราคาการลงทุนเทียบตามพื้นที่หน้าตัดของระบบ (Pack Tower Equipment Cost)	10
รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่อง AB	11
รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิกับเวลาและประสิทธิภาพของระบบ	11
รูปที่ 3.1 หน่วยบำบัดอากาศ AB	18
รูปที่ 3.2 After burner's drawing	19
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเครื่อง AB กับความเข้มข้นของ CO ที่ตรวจวัดได้	24
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างชิ้นงานภายในหน่วยบำบัด AB กับความเข้มข้นของ CO	25
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีพื้นฐาน	30
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	32
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง	32
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	33
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง	33

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
CO ₂	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
WS	ระบบบำบัดอากาศแบบเปียก
AB	ระบบเผาไหม้โดยตรง
A/F	อัตราส่วนระหว่างอากาศและก๊าซเชื้อเพลิง
NPV	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
BCR	อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของ ผลประโยชน์ต่อต้นทุน
PP	ระยะเวลาคืนทุน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าทั่วโลกกำลังประสบปัญหาในเรื่องมลภาวะทางอากาศและได้มีการรณรงค์ให้มนุษย์ตระหนักถึงปัญหาที่ร้ายแรงนี้ ซึ่งปัญหามลภาวะทางอากาศนั้นได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม มิสามารถปฏิเสธได้ว่ามลภาวะทางอากาศมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากภาคอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เป็นหนึ่งในห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลไทยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจุบันมีผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของไทยมากกว่า 1,800 ราย

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและอะไหล่ยานยนต์ในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การหล่อโลหะ การขึ้นรูปโลหะ การตัดโลหะ การทำความสะอาดชิ้นงาน และการพ่นสี มักจะพบมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่าย โลหะหนัก และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังนั้นผู้ประกอบการจึงต้องควบคุมและบำบัดมลภาวะที่เกิดขึ้นก่อนปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ

จากความเป็นมาและความสำคัญเบื้องต้น ผู้วิจัยจึงเลือกเครื่องมือในการบำบัดอากาศ คือ เครื่อง Wet scrubber (WS) และเครื่อง After burner (AB) มาศึกษาเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องบำบัดมลภาวะทางอากาศ WS และ AB ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ ไอระเหยของน้ำมัน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการมลภาวะทางอากาศจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ต่อไปในภาคหน้า

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการบำบัดมลภาวะทางอากาศด้วยหน่วยบำบัด AB
2. เพื่อศึกษาอุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างชิ้นงานที่เหมาะสมเพื่อบำบัดมลภาวะทางอากาศด้วยหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ AB
3. เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศระหว่างหน่วยบำบัด WS และ AB ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ระดับอุณหภูมิที่ศึกษา ได้แก่ 280, 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส
2. ปัจจัยคงที่ในการทดลอง ได้แก่ ประเภทของชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาคือ ชิ้นงาน Radiator และ ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน
3. หน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ WSเป็นชนิดหอสเปรย์ โดยใช้ Liquid scrubbing คือ น้ำและ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite : NaClO)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำผลการศึกษามาประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องมือ และหลักการเพื่อ บำบัดมลภาวะทางอากาศในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
2. เรียนรู้การใช้ชีวิตในสังคมการทำงาน การมีปฏิสัมพันธ์ต่อเพื่อนร่วมงาน การมีวินัย และการดูแล รับผิดชอบตนเอง
3. เพิ่มพูนประสบการณ์ในการทำงานก่อนการทำงานจริงหลังจบการศึกษา
4. สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการศึกษา และประกอบอาชีพต่อไปในอนาคต

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นมลภาวะทางอากาศที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่เติบโตอย่างก้าวกระโดด ก่อให้เกิดมลภาวะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการลดปริมาณมลภาวะตั้งแต่จุดกำเนิดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมมากที่สุดในการลดมลภาวะ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ AB ถึง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการระเหยน้ำมัน Sunpress ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

2.1 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

2.1.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน

ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน คือขั้นตอนการนำวัตถุดิบหลัก (อะลูมิเนียม) มาตัดและขึ้นรูปตามรูปแบบของแต่ละส่วนประกอบ เพื่อนำมาประกอบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งในยานยนต์ โดยในขั้นตอนนี้ เริ่มจากการนำวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งมีการฉีดพ่นน้ำมัน Sunpress เพื่อป้องกันชิ้นงานติดกับเครื่องจักร และป้องกันการแตกร้าวของชิ้นงาน รวมทั้งมีการตัดวัตถุดิบส่วนเกินออก เพื่อให้ได้รูปทรงของชิ้นงานตามต้องการ สำหรับชิ้นงานแต่ละส่วนประกอบจะถูกนำไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์ในขั้นตอนการประกอบต่อไป

2.1.2 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วน

ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วน คือขั้นตอนการนำแต่ละชิ้นส่วนที่ได้จากขั้นตอนการขึ้นรูปมาประกอบเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ ในบางขั้นตอนชิ้นงานอาจมีการใช้โลหะ (วัสดุเชื่อมประสาน) ซึ่งมีอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในชิ้นงาน

2.1.3 ขั้นตอนการเชื่อมประสาน (Brazing)

ขั้นตอนการประสาน คือขั้นตอนการนำชิ้นงานที่ผ่านการประกอบจนเสร็จสมบูรณ์มาเชื่อมประสานด้วยการผ่านความร้อน โดยมีการพ่นฟลักซ์เพื่อเปิดผิวชิ้นงาน และทำความสะอาดผิวของชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานที่เป็นอะลูมิเนียมเชื่อมติดกันได้ดีขึ้น

2.1.4 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยก๊าซฮีเลียม (Helium test)

ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพเป็นขั้นตอนการตรวจหารอยรั่วของชิ้นงาน โดยการใช้ก๊าซฮีเลียมในการตรวจสอบ ด้วยการตรวจสอบการต่อชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบ จากนั้นทำให้ห้องในเครื่องทดสอบอยู่ในสภาวะสุญญากาศ แล้วปล่อยก๊าซฮีเลียมเข้าสู่ชิ้นงาน หากตรวจพบก๊าซฮีเลียมภายในห้องตรวจสอบแสดงว่าชิ้นงานมีรอยรั่ว การตรวจสอบคุณภาพประกอบด้วยด้าน 3 ด้าน คือ Helium test, Inner leak test และ Inner fin test

2.1.5 ขั้นตอนการบรรจุ (Packaging)

ขั้นตอนการบรรจุ คือขั้นตอนเตรียมการก่อนส่งชิ้นงานออกสู่ตลาด โดยการบรรจุชิ้นงานด้วยพลาสติก และบรรจุลงกล่องลัง จากนั้นนำชิ้นงานเก็บเข้าสู่โกดังเตรียมจำหน่ายออกสู่ตลาด

2.2 แหล่งกำเนิดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เป็นกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบหลัก ได้แก่ อะลูมิเนียม ด้วยการให้ความร้อนในการเชื่อมประสานชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ทำให้เกิดการสันดาปของไฮโดรเจนน้ำมัน จึงเกิดมลภาวะทางอากาศเป็นหลัก รวมทั้งยังเกิดกากของเสียจากชิ้นงานไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ และเศษวัตถุดิบส่วนเกิน

ตารางที่ 2.1 ของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

ขั้นตอน	ของแข็ง	ของเหลว	ก๊าซ
การขึ้นรูปชิ้นงาน	- ถุงมือที่เปื้อนน้ำมัน Sunpress - ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ - เศษอะลูมิเนียมส่วนเกิน	-	-
การประกอบชิ้นส่วน	- ถุงมือที่เปื้อนน้ำมัน Sunpress - ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ - เศษผ้าที่เปื้อนโลโซที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงาน	-	-
การเชื่อมประสาน (Brazing)	- เศษผงฟลักซ์	-	- ละอองผงฟลักซ์ - CO - CO ₂
การตรวจสอบคุณภาพด้วยก๊าซฮีเลียม (Helium Test)	- ของเสียจากชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ	- น้ำเสียที่เกิดจากการใช้ในการ reuse ก๊าซฮีเลียมเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ	-
การบรรจุ (Packaging)	- กล่องกระดาษที่ชำรุดขณะขนส่ง - เศษพลาสติกส่วนเกินในการบรรจุ	-	-

2.3 องค์ประกอบของมลภาวะทางอากาศจากอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

จากขั้นตอนต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการเชื่อมประสานที่มีการใช้ความร้อนในการเชื่อมประสานและระเหยน้ำมัน Sunpress ออกจากชิ้นงาน ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของไอระเหยของน้ำมัน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของไอระเหยของน้ำมัน ซึ่งเป็นมลภาวะทางอากาศหลักที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ นอกจากนี้ยังเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนและออกไซด์ของซัลเฟอร์ขึ้นอีกด้วย แต่มีอัตราการเกิดเพียงเล็กน้อย

2.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

2.4.1 สมบัติของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

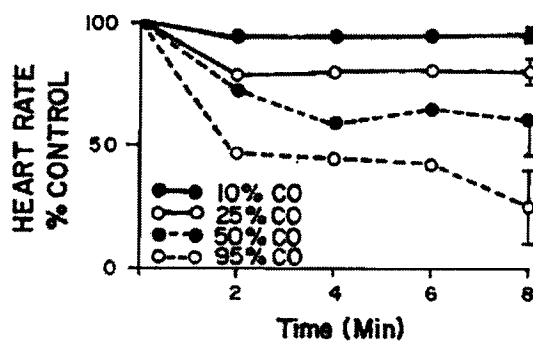
- สมบัติทั่วไป / แหล่งกำเนิด

สูตรทางเคมีประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจนอย่างละ 1 อะตอม (CO) มีคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนาแน่น 0.97 kg/m^3 ซึ่งเบากว่าอากาศ ความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาต่ำ และสามารถปะปนอยู่ในอากาศได้นาน 1-2 เดือน เป็นก๊าซพิษและก๊าซไวไฟสูง มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหรือการเผาไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรม

- อันตรายจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซ CO จัดเป็นก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ทำให้เข้าสู่ร่างกายได้โดยที่เราไม่รู้ตัวและเมื่อก๊าซชนิดนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้ โดยจะไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 200-250 เท่า ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายลดน้อยลง ส่งผลให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียน สมองขาดออกซิเจน และถ้าร่างกายได้รับก๊าซ CO ในปริมาณมากอาจทำให้ร่างกายเกิดอาการขาดออกซิเจนเฉียบพลันจนถึงขั้นเสียชีวิตได้

นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Mcgrath (1984) ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับผลของก๊าซ CO ที่มีต่อระบบหัวใจในหนูสายพันธุ์ Sprague Dawley พบว่าหลังจาก 8 นาทีผ่านไปอัตราการเต้นหัวใจของหนูมีค่าลดลงเมื่อได้รับการฉีดสารละลายก๊าซ CO เข้าสู่กระแสเลือด และเมื่อระดับความเข้มข้นของก๊าซเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจลดต่ำลงแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลของความเข้มข้นก๊าซ CO ที่มีต่ออัตราการเต้นหัวใจของหนู
ที่มา: Mcgrath (1984) The Effects of Carbon Monoxide on the Heart.

ผลกระทบของก๊าซ CO ที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ในระดับที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของก๊าซ CO ที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์

ระดับความเข้มข้น	อาการ	วิธีการปฐมพยาบาลเบื้องต้น
50 - 200 ppm	อาการปวดศีรษะเล็กน้อย และอ่อนเพลีย	วิธีการปฐมพยาบาลเบื้องต้นสำหรับผู้ป่วยที่ได้รับก๊าซ CO ในขั้นแรกให้รีบเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปยังสถานที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ แต่ถ้าไม่สามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ให้รีบทำการเปิดหน้าต่างหรือประตูเพื่อให้มีอากาศหมุนเวียนเข้าออกได้สะดวกทั้งนี้ต้องกระทำโดยเร็วที่สุด แต่หากเห็นว่าผู้ป่วยหายใจติดขัดหรือหยุดหายใจ ต้องรีบผายปอด แล้วรีบนำส่งโรงพยาบาลหรือหากโทรเรียกให้รถพยาบาลมารับ ควรแจ้งให้มีการนำเครื่องช่วยหายใจมาด้วย
200 - 400 ppm	อาการคลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียนศีรษะอย่างรุนแรง และอาจถึงขั้นเป็นลม	
1,200 ppm	อาการหัวใจเต้นเร็วขึ้นผิดปกติ และเริ่มต้นผัดบังหวะ	
2,000 ppm	อาการอาจถึงขั้นหมดสติ และอาจถึงเสียชีวิต	
5,000 ppm	อาการอาจทำให้เสียชีวิตภายในไม่กี่นาที แต่อาจรอดชีวิตหากรีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณอับอากาศมาสู่อากาศที่มีอากาศบริสุทธิ์ หรือมีออกซิเจนเพียงพอ	

ที่มา : <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item>

2.4.2 วิธีการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

วิธีการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันในต่างประเทศ และประเทศไทยใช้วิธีการตรวจวัดตามมาตรฐาน และวิธีการเทียบเท่าเป็นการวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดอัตโนมัติ (Automatic) ไม่มีวิธี manual ซึ่งกำหนดวิธีการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยระบบแอนติโออาร์ (Non Dispersive Infrared Detection : NDIR) เป็นวิธีมาตรฐาน

หลักการ Non Dispersive Infrared Detection (NDIR)

หลักการทำงานของเครื่อง NDIR ใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Infrared) ของสารแต่ละชนิดในปริมาณที่ต่าง นั่นคือ สารต่างชนิดกันดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างกันดังเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 4 ถึง 4.5 ไมครอน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 4.5 ถึง 5 ไมครอน ในการตรวจวัดทำการดูดก๊าซที่ต้องการวัดผ่านเข้าไปในหลอด ซึ่ง ฉายแสง IR ตลอดเวลา ถ้าก๊าซมี CO อยู่จะทำการดูดกลืนรังสี IR ซึ่งรังสี IR สุดท้ายจะลดลงแปรตามปริมาณของ CO

2.4.3 การควบคุมก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

1. การควบคุม ณ แหล่งกำเนิด ก๊าซ CO เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นในการควบคุมการเกิดก๊าซ CO จึงจำเป็นต้องควบคุมให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเกิดอย่างสมบูรณ์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้น คือ อัตราส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง อุณหภูมิในการเผาไหม้ และระยะเวลาในการไหม้
2. การควบคุมโดยการบำบัดมลภาวะทางอากาศก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยมีการจัดทำระบบบำบัดมลภาวะอากาศที่ปล่อยที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ระบบบำบัดที่ใช้ เช่น WS เป็นต้น
3. การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของรถยนต์นั้นเป็นอีกสาเหตุที่ก่อให้เกิดก๊าซ CO ซึ่งแนวทางในการควบคุมไอเสียในรถยนต์คือ การบำบัดไอเสียโดยการลดปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในขั้นแรกสามารถทำได้โดยการปรับปรุงแบบเครื่องยนต์และการป้อนน้ำมัน แต่ที่กำลังได้รับการพัฒนา ได้แก่ Thermal reactor และ Catalytic converter

- Thermal reactor ถูกนำมาใช้แทนที่ท่อไอเสียปกติ มีการควบคุมให้ไอเสียคงอุณหภูมิสูง นานพอที่จะเกิดการออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนและก๊าซ CO ได้มาก ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อไอเสียที่มีฉนวนกันความร้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าปกติ มีแผงภายในควบคุมทิศทางการไหลของไอเสียพร้อมทั้งป้อนอากาศซึ่งจำเป็นต่อการออกซิเดชันโดย Thermal reactor อาจมีการออกซิเดชันที่ผิวของโลหะ และผิวออกไซด์นี้จะเกิดการเสียดสีของอนุภาคมลสารในไอเสียที่ลอยผ่านด้วยความเร็วสูง โดยเฉพาะสารประกอบตะกั่วทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวของ Reactor ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนสูงสามารถทนความร้อนได้ถึง 900 องศาเซลเซียส

- Catalytic converter ทำหน้าที่ช่วยในการออกซิเดชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และก๊าซ CO ให้กลายเป็นก๊าซ CO₂ และ H₂O ต้องใช้อากาศช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาใช้กันมากในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียม ซึ่งมีอุณหภูมิสม่ำเสมออัตราการไหลคงที่ และตัวทำปฏิกิริยามีความเข้มข้นสูงสม่ำเสมอ การเร่งปฏิกิริยาของไอเสียจากรถยนต์มีปัญหายุ่งยาก เนื่องจากอุณหภูมิอัตราการไหลและความเข้มข้นของไอเสียเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องอุ่นเครื่องโดยเร็วเมื่อติดเครื่อง สามารถทนความร้อนสูงได้เป็นเวลานาน จะต้องสามารถขจัดมลสารในอากาศที่เจือจางและมีอัตราการไหลที่เร็ว รวมทั้งต้องทนต่อปฏิกิริยากับสารประกอบในไอเสีย

4. บำบัดมลภาวะทางอากาศภายในอาคาร เช่น การติดตั้งเครื่องฟอกอากาศเพื่อดักจับสิ่งสกปรกออกจากอากาศ เครื่องฟอกอากาศมีหลายแบบ โดยตัวกรองแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. ตัวกรองแห้ง

- ตัวกรองก่อน เป็นตัวกรองหยาบเหมาะสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ นิยมติดตั้งไว้ก่อนตัวกรองละเอียด เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของตัวกรองละเอียด

- ตัวกรองคาร์บอนที่ทำปฏิกิริยาดูดซับสิ่งสกปรก โดยเฉพาะก๊าซต่าง ๆ ไว้ได้มาก คิดเป็นน้ำหนัก 1 ใน 3 ส่วนของคาร์บอน บางครั้งอาจผสม KMnO_4 หรือ Aluminium silicate เพื่อช่วยในการออกซิไดส์สารพิษ

- ตัวกรองละเอียด เป็นเครื่องฟอกอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและดีที่สุด ใ้กรองเป็นแบบชนิดที่ทำจากใยแก้วละเอียด ซึ่งสามารถกรองอนุภาคในอากาศขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมครอนได้สูง

- ตัวกรองหลัง เป็นตัวกรองหยาบชั้นสุดท้าย ในบางกรณีอาจเคลือบด้วยคาร์บอน เพื่อดักจับสิ่งสกปรกที่เหลืออยู่ในอากาศ

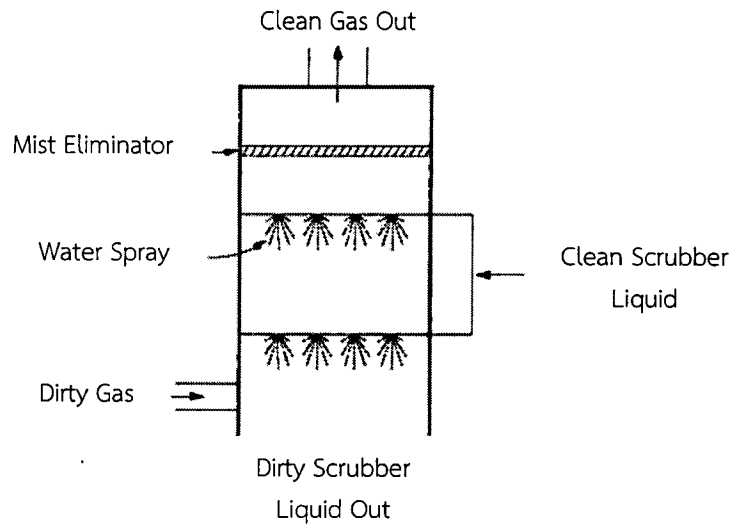
2. ตัวกรองเปียก ทำหน้าที่ดูดซับไอของสารเคมีและก๊าซต่าง ๆ ซึ่งเป็นการลดอากาศเสียก่อนปล่อยออกสู่ห้องปฏิบัติการ โดยของเหลวที่ใช้ในการดูดซับไอของสารเคมีและก๊าซต่าง ๆ มีหลายชนิด เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 – 5 % ใช้ในการดูดซับก๊าซคลอรีน, SO_2 และไอของกรด HCl , HNO_3 , H_2SO_4 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 1 % ใช้ในการดูดซับควันและไอระเหยของสารละลายอินทรีย์ เป็นต้น

2.5 หน่วยบำบัดอากาศแบบเปียก (Wet scrubber)

หน่วยบำบัดอากาศแบบเปียก (WS) สามารถใช้บำบัดก๊าซและไอ (Gas and vapor) ตลอดจนอนุภาคขนาดเล็กที่ปนเป็นมลภาวะโดยใช้ของเหลว เช่น น้ำเป็นตัวดักจับโดยการพ่นฉีดของเหลวหรือน้ำให้เป็นละอองฝอยขนาดเล็กกระจายไปปะทะกับกระแสก๊าซหรือไอ โดยการกระทบและเกิดการดูดซึมเป็นกลไกหลักในการบำบัดอากาศ

2.5.1 หลักการทำงานของหน่วยบำบัดอากาศแบบเปียก

หน่วยบำบัดอากาศ WS ทำงานโดยอาศัยหลักการดูดซึม (Absorption) โดยการสัมผัสกันระหว่างอากาศที่มีสารปนเปื้อนกับของเหลว (ขึ้นอยู่กับสารที่ปนเปื้อนในอากาศ โดยปกติคือน้ำ) จากนั้นเกิดการดูดซึมทำให้อนุภาคของสารปนเปื้อนในอากาศเข้าไปรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำ และมีชั้นตัวกลางหรือที่เรียกว่า Packing media ทำหน้าที่ในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศที่มีสารปนเปื้อนกับน้ำ เมื่อน้ำตกกระทบกับ Packing media จะทำให้น้ำแตกตัวมีขนาดเล็กกลงและบางส่วนจะไหลเป็นฟิล์มบางๆไปตามผิวของ Packing media ลักษณะนี้ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดักจับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 Wet scrubber

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก US EPA, 2002. EPA Air Pollution Cost Control Manual.

2.5.2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

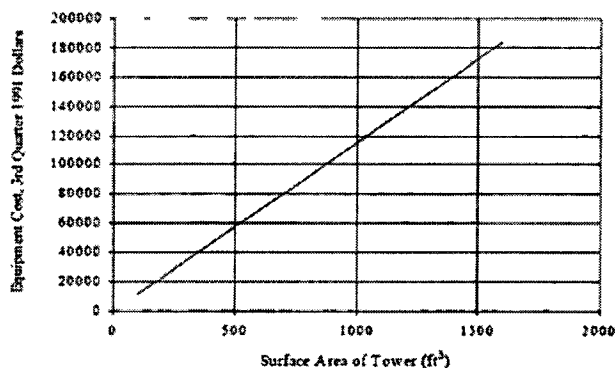
ในการประเมินราคาค่าใช้จ่ายในการลงทุนจะมีความคลาดเคลื่อนได้ถึง 30% เนื่องจาก

- รายละเอียดเล็ก ๆ น้อย ๆ แตกต่างกันได้ถึง 5% ในขั้นตอนการกำหนดลักษณะเฉพาะ (Specification)
- ขั้นตอนการออกแบบให้เพียงพอต่อการใช้งาน อาจแตกต่างกันได้ถึง 20%
- ขั้นตอนของผู้รับเหมา อาจแตกต่างกันได้ถึง 30%

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ได้แก่ ค่าวัสดุก่อสร้างและอุปกรณ์รวมภาษี ค่าขนส่ง ค่าติดตั้งอุปกรณ์ ค่าอุปกรณ์วัดคุม ค่าที่ปรึกษาออกแบบและคุมงาน ค่าทดสอบระบบ และค่าเดินระบบไฟฟ้าและระบบน้ำ เป็นต้น

ต้นทุนในการเดินระบบ (Operating cost) ได้แก่ ค่าแรงงานพนักงานและผู้ควบคุม ค่าน้ำที่ใช้ในระบบ ค่าไฟที่ใช้ในระบบ ค่าสารเคมีที่ใช้ในระบบ ค่าบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กากตะกอน ค่าจ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา เป็นต้น โดยราคาหน่วยบำบัดอากาศแบบเปียกกรรมควบคุมมลพิษได้ให้เกณฑ์การพิจารณาขึ้นกับข้อมูลดังต่อไปนี้

- ปริมาณและอัตราการไหลของอากาศที่มีกลิ่น
- องค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีกลิ่น และความเข้มข้น (อาจต้องเจือจางก่อน)
- อุณหภูมิและความชื้นของอากาศนั้น อุณหภูมิควรลดลงมาเสียก่อนไม่ให้สูงจนเกิดไอน้ำในระบบ และต้องมีการนำความร้อนออกจากระบบ เช่น มีการแลกเปลี่ยนความร้อน
- หากเป็นกลิ่นที่มากับฝุ่นหรือละออง ควรดักด้วยที่กรอง เช่น ตะแกรงหรือถุงกรองก่อน เพราะอาจทำให้ระบบอุดตันได้
- หน่วยบำบัดนี้มีผู้ผลิตและจำหน่ายในประเทศเป็นจำนวนมาก จึงควรสอบถามราคาในท้องตลาดมีราคา 200,000 ถึงกว่า 5 ล้านบาทขึ้นกับขนาดเป็นหลัก (ไม่รวมระบบแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบบำบัดน้ำเสีย)
- ค่าใช้จ่ายประจำ คือ สารเคมี ระบบวัดคุม และการบำบัดน้ำเสีย หากไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียอยู่เดิมค่าใช้จ่ายส่วนนี้อาจสูงมาก



รูปที่ 2.3 ราคาการลงทุนเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของระบบ
(Pack Tower Equipment Cost)

ที่มา: US EPA, EPA Air Pollution Cost Control Manual, 2002

นอกจากนี้ยังมีระบบระบายอากาศหากเดิมไม่มีหรือไม่พอจะต้องติดตั้งเพิ่ม ประกอบด้วย Hood หรือตู้ดูดอากาศ, ท่อ, พัดลม รวมทั้งปล่องระบายอากาศ ซึ่งระบบบำบัดกลิ่นจะต้องมีระบบระบายอากาศประกอบด้วยเสมอเพื่อดูดกลิ่นเข้าและออกจากหน่วยบำบัด

- Hood ราคาขึ้นอยู่กับสถานที่และชนิดที่เหมาะสม แต่ราคาไม่สูง เพราะเป็นโลหะธรรมดา และมีผู้จำหน่ายให้สอบประเมินราคาได้
- ท่อ จำหน่ายเป็นเมตร ส่วนข้องอ ข้อเชื่อม และ Blast Gate ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ได้แก่ เหล็กคาร์บอน เหล็กชุบสังกะสี เหล็กสแตนเลส FRP หรือ PVC
- ค่าติดตั้ง ประมาณ 30% ของค่าอุปกรณ์ แต่ขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการติดตั้ง ควรให้ผู้รับเหมาแจกแจงค่าแรง ค่าทดสอบ และค่าคุมงานมาให้
- ค่าใช้จ่ายรายปี ค่าไฟฟ้าของพัดลมขึ้นตรงกับอัตราการไหลของอากาศในระบบ และ Static pressure drop ในระบบ

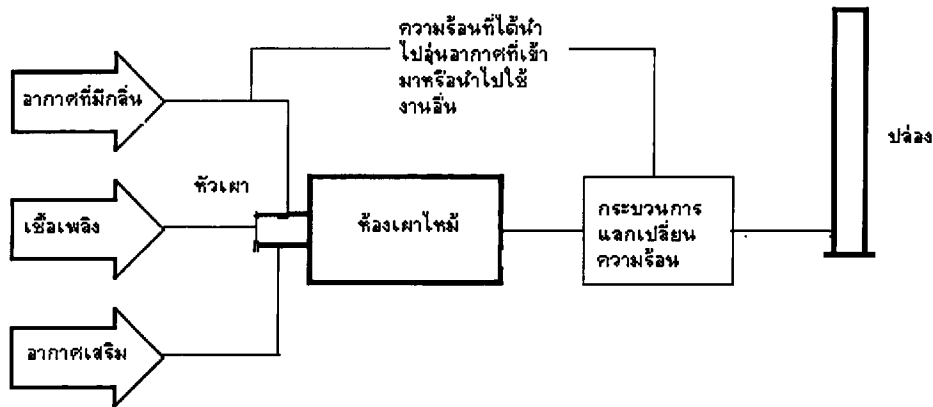
2.6 หน่วยบำบัดอากาศแบบระบบเผาไหม้โดยตรง (After burner)

2.6.1 หลักการทำงานของหน่วยบำบัดอากาศแบบระบบเผาไหม้โดยตรง (AB)

หน่วยบำบัดอากาศ AB (Direct combustion process) ใช้หลักการบำบัดกลิ่นโดยอากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่นถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 550 – 800°C เพื่อออกซิไดซ์ (Oxidize) และสลาย (Decompose) สารที่มีกลิ่นและเผาไหม้ได้ ทำให้มีกลิ่นเจือจางลง หรือไม่มีกลิ่นเลย

อุปกรณ์ในการเผาเรียกว่า After burner เพราะอยู่หลังอุปกรณ์การผลิตต่าง ๆ ถูกใช้เพื่อเผาอากาศที่มีกลิ่นก่อนถูกระบายออกทางปล่อง มีลักษณะเป็นห้องบุด้วยอิฐทนไฟ และมีหัวเผาสำหรับให้เชื้อเพลิงและอากาศเข้าไป โดยปกติจะทำเป็นสองห้องเพื่อให้ห้องแรกเป็นที่ผสมระหว่างอากาศที่มีกลิ่นกับเชื้อเพลิง ความเร็วของอากาศในช่วงนี้ราว 8 - 15 เมตร/วินาที เพื่อให้มีการผสมที่เพียงพอ การเผาไหม้อาจทำในห้องที่สอง แต่การออกแบบจะมีห้องเดียวก็ได้ โดยแบ่งเป็นส่วนผสมและส่วนการเผาไหม้ ส่วนการฉีดอากาศที่มีกลิ่นเข้าไปทำได้ทั้งฉีดเข้าไปพร้อมกับเชื้อเพลิง หรือฉีดเข้าไปในตอนหลังในลักษณะของ Secondary air หลังการเผาไหม้ อากาศร้อนอาจนำไปแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange) เพื่อนำความร้อนไปใช้งานอื่น ๆ หรือทำไอน้ำหรือน้ำร้อน

เตาเผาที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.4 โดยอากาศที่มีกลิ่นและก๊าซเชื้อเพลิงถูกผสมเข้าด้วยกันและถูกฉีดเข้าไปในเตาเผา ด้วยอุณหภูมิประมาณ 550°C ขึ้นไปเพื่อให้มั่นใจว่าก๊าซที่มีกลิ่นได้ถูกเผาอย่างสมบูรณ์ ก๊าซบางชนิดเช่น CO และกลุ่ม VOC อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ เมื่ออากาศถูกทำให้ร้อนในระดับที่ต้องการแล้วจะต้องการเวลาที่อุณหภูมินี้ (Residence time) เพื่อออกซิไดซ์สารที่มีกลิ่นให้เปลี่ยนเป็นสารอื่น เช่น กลุ่มกำมะถันจะกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น

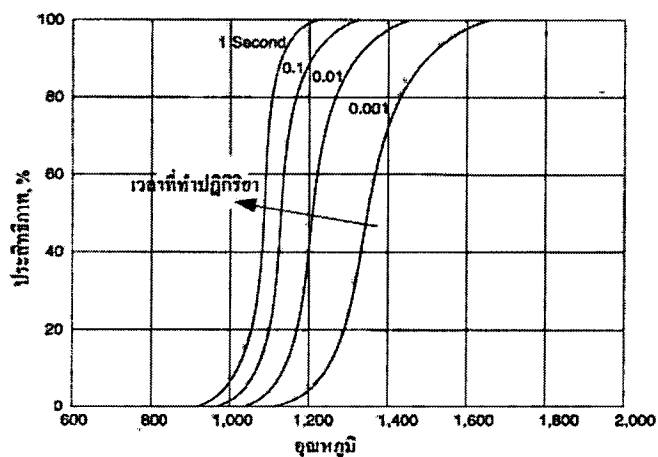


รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่อง AB

ที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/l4combustion.htm

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพการเผาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของก๊าซทางเข้าก่อนเผา อุณหภูมิในเตาเผา และช่วงเวลาที่ก๊าซอยู่ในห้องเผา โดยพิจารณาจากสมการการเผาไหม้ ซึ่งโดยปกติจะสมมุติว่าเป็นสมการลำดับที่ 1 (First order reaction) และเป็นค่าเฉพาะสำหรับสารเคมีที่จะทำการเผา



รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิกับเวลาและประสิทธิภาพของระบบ

(ที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_combustion.htm)

ขนาดของเตาเผาพิจารณาจากอัตราการไหลของอากาศเสีย และอัตราการไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาต้องเป็นเชื้อเพลิงสะอาด เช่น ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มีค่าประมาณ 11.5 เท่าของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการเผาไหม้อากาศเสีย ความเร็วของก๊าซในเตาเผาอาจเป็นได้ตั้งแต่ 3 ถึง 15 เมตรต่อวินาที แต่โดยปกติจะใช้ค่าระหว่าง 3 ถึง 6 เมตรต่อวินาที ความเร็วของก๊าซที่สูงขึ้นสามารถช่วยลดอันตรายจากการเกิดเปลวไฟย้อนกลับ (Flashback) โดยอัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาเผาที่นิยมใช้มีค่าระหว่าง 2.0 ถึง 3.0 เวลาที่ก๊าซอยู่ในห้องเผาที่น้อยที่สุดเป็น 0.20 ถึง 2.0 วินาที ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพที่ต้องการและสารที่ต้องการเผา

2.6.3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของหน่วยบำบัดอากาศ AB มีลักษณะคล้ายคลึงกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของระบบบำบัดอากาศ WS แต่แตกต่างกันที่ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของ AB จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบเชื้อเพลิง การเติมอากาศ และไม่มีการเดินระบบน้ำ รวมทั้งยังไม่มีการใช้สารเคมีในระบบเนื่องจากใช้การเผาไหม้เชื้อเพลิงในการบำบัด

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ได้แก่ ค่าวัสดุก่อสร้างและอุปกรณ์รวมภาษี ค่าขนส่ง ค่าติดตั้งอุปกรณ์ ค่าอุปกรณ์วัดคุม ค่าที่ปรึกษาออกแบบและคุมงาน ค่าทดสอบระบบ ค่าเดินระบบเติมอากาศ และค่าเดินระบบท่อส่งก๊าซ

ต้นทุนในการเดินระบบ (Operating cost) ได้แก่ ค่าแรงงานพนักงานและผู้ควบคุม ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบ (Liquid propane gas) ค่าจ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาโดยราคาของระบบขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณและอัตราการไหลของอากาศที่มีกลิ่น
- องค์ประกอบทางเคมีของสารที่มีกลิ่นและความเข้มข้น (หากเข้มข้นและมีค่าความร้อนจะประหยัดเชื้อเพลิง)
- อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศนั้น (หากอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำจะประหยัดเชื้อเพลิง)
- หากเป็นกลิ่นที่มากับฝุ่นหรือละอองที่มองเห็นได้ควรดักด้วยที่กรอง เช่น ตะแกรงหรือถุงกรองก่อน
- เตาเผาอากาศมีราคาขึ้นกับค่าสร้างเตา ฉนวน หัวเผา ซึ่งราคาในประเทศไทยส่วนมากมีค่าประมาณระหว่าง 0.5 - 5.0 ล้านบาท โดยมีผู้ผลิตในประเทศไทยที่มักผลิตเตาเผาขยะด้วย จึงสามารถสอบราคาได้
- กรณีของ Flare ชนิดต่าง ๆ ต้องติดต่อผู้จำหน่ายโดยตรง เพราะจะมีการออกแบบรายละเอียด
- ค่าใช้จ่ายหลักของระบบไม่ใช่ตัวอุปกรณ์แต่คือ ค่าเชื้อเพลิง ซึ่งหากไม่มีการนำความร้อนมาใช้ใหม่จะสิ้นเปลืองมาก

2.7 ปฏิกริยาการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่วัตถุที่เผาไหม้ได้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนพร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะที่เดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์ หรือผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่ ก๊าซ CO_2 และ H_2O การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ และก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ

ในการคำนวณการเผาไหม้คำนวณปริมาณต่าง ๆ ต่อปริมาณเชื้อเพลิงหนึ่งหน่วย โดยทั่วไปสำหรับเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลวใช้มวล 1 kg (เขียนตามความนิยมนว่า kg_f) และสำหรับเชื้อเพลิงก๊าซจะใช้ 1 m^3_N (เขียนตามความนิยมนว่า m^3_{N-f}) เป็นปริมาณหนึ่งหน่วย หน่วย m^3_N หมายถึง ปริมาตรที่สภาวะมาตรฐาน (ความดัน 0.1013 MPa (1 บรรยากาศ) อุณหภูมิ 0°C (273.15°K)) เมื่อแสดงปริมาณอากาศหรือปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงต่าง ๆ ด้วยหน่วยนี้แล้วจะสามารถกำหนดปริมาณสัมบูรณ์ของก๊าซเหล่านั้นได้ จึงมีความสะดวกในการใช้งาน

กรณีองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลวแสดงสัดส่วนโดยมวล (kg / kg_f) ของคาร์บอน(C) ไฮโดรเจน(H) กำมะถัน(S) ออกซิเจน(O) ไนโตรเจน(N) ความชื้น(w) และขี้เถ้าในเชื้อเพลิง(a)

$$C + H + S + O + N + w + a = 1 \quad \text{---(1)}$$

แต่ในกรณีของเชื้อเพลิงก๊าซแสดงสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีโดยปริมาตร ($\text{m}^3_N / \text{m}^3_{N-f}$) ของก๊าซ CO , H_2 , C_mH_n , O_2 , N_2 , CO_2 , $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ ฯลฯ ซึ่งเป็นองค์ประกอบตามลำดับ

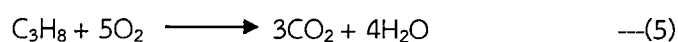
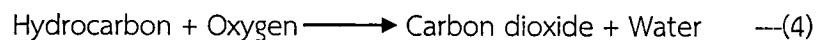
$$\text{CO} + \text{H}_2 + \text{C}_m\text{H}_n + \text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 1 \quad \text{---(2)}$$

$$2\text{H}_2 + 2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} \quad \text{---(3)}$$

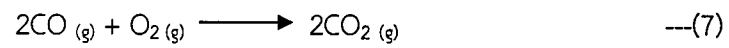
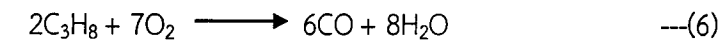
ปฏิกิริยาในห้องเผาไหม้ H_2 และ O_2 ไม่สามารถเปลี่ยนเป็น H_2O ทั้งหมดในทันที แต่ต้องผ่านปฏิกิริยาพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้เกิด H_2O ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง และในขณะเดียวกันก็เกิดปฏิกิริยาที่ H_2O สลายตัวย้อนกลับกลายเป็น H_2 กับ O_2 อีกด้วย ดังนั้น H_2 , O_2 และ H_2O ยังคงอยู่ด้วยสัดส่วนค่าหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในขณะนั้น (สภาวะสมดุลเคมี) อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ต่อสารตั้งต้นจะมีค่าสูงมาก หากอุณหภูมิของก๊าซเผาไหม้ไม่ได้มีอุณหภูมิสูงมากแล้วพิจารณาว่าสารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งหมดก็ได้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซ (Liquid propane gas)

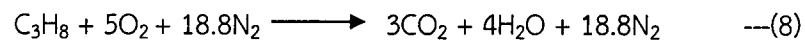
ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซ (Liquid propane gas) นั้นคือ เมื่อเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ผลที่ได้ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ดังนี้



แต่หากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซ (Liquid propane gas) นั้นเป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และน้ำ (H_2O) แทน และเมื่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ขึ้นอีกครั้งหนึ่ง จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นผลิตภัณฑ์ ดังนี้



ซึ่งในอากาศ (Air) ประกอบด้วย ก๊าซ O_2 ประมาณ 21% และ N_2 ประมาณ 79% หรือสัดส่วนของ $\text{O}_2 : \text{N}_2 = 1 : 3.76$ โดยปริมาตร ดังนั้นสมการการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง (Liquid propane gas) สามารถเขียนได้ดังนี้

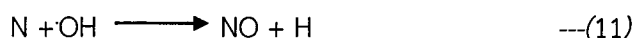


ดังนั้นในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของก๊าซ (Liquid propane gas) อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศจึงควรอยู่ที่ อากาศ ($\text{O}_2 + \text{N}_2$) : เชื้อเพลิง = 23.8 : 1

2.8 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

ออกไซด์ของไนโตรเจน ประกอบด้วย ไนตรัสออกไซด์(N₂O) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไดไนโตรเจนไตรออกไซด์ (N₂O₃) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์ (N₂O₄) และ ไดไนโตรเจนเพนตอกไซด์ (N₂O₅) แต่ชนิดที่สำคัญคือ ไนตริกออกไซด์ (NO) และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ และมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมากกว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนชนิดอื่น NO เป็นก๊าซไม่มีสีและกลิ่น ละลายน้ำได้เล็กน้อย NO₂ มีสถานะก๊าซที่อุณหภูมิปกติ ก๊าซทั้งสองชนิดเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ ได้แก่ ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ปฏิกิริยาเชิงจลนพลศาสตร์ในดิน หรืออาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ แต่น้อยกว่าในธรรมชาติ เช่น การเผาผลาญเชื้อเพลิง อุตสาหกรรมการทำกรดไนตริก การชุบโลหะและการทำวัตถุระเบิด เป็นต้น แหล่งกำเนิด NO_x แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

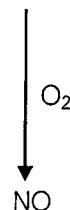
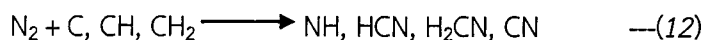
1. Thermal NO_x เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง N₂ กับ O₂ ในอากาศในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 1,204 องศาเซลเซียส โมเลกุล N₂ และ O₂ จะแตกตัวอยู่ในรูปอะตอมตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Zeldovitch mechanism ดังนี้



อัตราการเกิด Thermal NO_x ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ อุณหภูมิ (temperature) ช่วงเวลาที่มีก๊าซไนโตรเจน (residence time) และการปั่นกววน (turbulence)

2. Fuel NO_x เกิดจากไนโตรเจนที่เจือปนในเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันและถ่านหิน ซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจน ประมาณ 0.5 - 1.5% ในระหว่างการเผาไหม้ ไนโตรเจนที่จับอยู่กับเชื้อเพลิง จะปล่อย free radical และเกิด free N₂ หรือ NO โดยการเผาไหม้ถ่านหิน จะเกิด thermal NO_x 25% และเกิด Fuel NO_x 75% ของการปลดปล่อยรวมทั้งหมด

3. Prompt NO_x เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นน้อย และปฏิกิริยาค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง atmospheric nitrogen (N₂) และทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ C, CH, CH₂ fragments ที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจาก thermal หรือ fuel processes เกิดเป็น fixed species of nitrogen ได้แก่ NH, HCN, H₂ CN และ CN (chloroacetophenone หรือ CN gas) ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น NO ได้ดังนี้



2.9 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจลงทุนในโครงการ ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนผลประโยชน์ (Cost - benefit analysis) โดยพิจารณาต้นทุนทางตรง เช่น เงินลงทุนในโครงการ และต้นทุนทางอ้อมที่ไม่ได้เป็นตัวเงิน ประกอบด้วย ต้นทุนค่าเสียโอกาส รวมทั้งผลประโยชน์ทางตรง ผลประโยชน์ทางอ้อม แล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ประกอบกัน ดังนี้

2.9.1 เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ (Present value benefit, PVB) และมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (Present value cost, PVC) ของโครงการในแต่ละปี

$$\text{จาก NPV} = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad \text{---(13)}$$

โดย n = จำนวนปีที่ใช้ประเมินโครงการ

B_t = ผลประโยชน์ในปีที่ t

C_t = ต้นทุนในปีที่ t

r = อัตราส่วนลด

ถ้า $NPV > 0$ แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

2. อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit cost ratio: B/C ratio) หมายถึง อัตราส่วนของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ต่อมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการ จาก

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{(B_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{(C_t)}{(1+r)^t}} \quad \text{---(14)}$$

ถ้า $B/C > 1$ แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

3. ระยะคืนทุน (Payback period) เป็นเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินโครงการมีค่าเท่ากับต้นทุนในการลงทุนของโครงการพอดี วิธีการนี้พิจารณาถึงจำนวนปีที่จะได้รับผลประโยชน์คุ้มกับเงินลงทุน

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยจากต่างประเทศ

Kishore. et al. (2011) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเจือจางก๊าซ CO_2 ต่อการเผาไหม้แบบอะเดียบาติก ความเร็วของก๊าซเชื้อเพลิงซิน (Syngas) ผสม ความเข้าใจรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของเปลวไฟ วิธีการไหลของความร้อนที่มีการตั้งค่าคล้ายกับ de goey และเพื่อนร่วมงานอีกท่านหนึ่ง ถูกใช้สำหรับการคำนวณความเร็วของการเผาไหม้ ความเร็วในการเผาไหม้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับการเพิ่มปริมาณก๊าซไฮโดรเจนในก๊าซผสม ของก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซ CO เมื่อ

การเจือจางของ CO₂ คงที่ ความเร็วในการเผาไหม้ลดลงอย่างน่าทึ่งด้วยการเจือจางก๊าซ CO₂ ในก๊าซผสมของก๊าซ H₂ กับ CO₂ เนื่องจากการลดลงในการปลดปล่อยความร้อน อุณหภูมิของเปลวไฟ และค่าการแพร่ความร้อนของก๊าซผสม

Weber. et al. (n.d.) เทคโนโลยีแบบใหม่ของการเชื่อมเปลวไฟเผาไหม้กับอากาศที่มีอุณหภูมิสูงและก๊าซหุงต้มปริมาณมาก โดยมีเตาเผาทดสอบที่ 0.58 เมกกะวัตต์ ของก๊าซหุงต้มขาเข้าและอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ด้วยการให้ความร้อนก่อนด้วยอุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เพื่อดำเนินการตรวจสอบกระบวนการ การตรวจวัดเตาเผาครอบคลุมเกี่ยวกับการตรวจวัดความเร็ว องค์ประกอบของก๊าซ (O₂, CO₂, CO, H₂, CH₄) และการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยออกมา เตาเผาถูกดำเนินการภายใต้สภาพคล้ายกับเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการปั่นกววนและปริมาตรเตาเผาเกือบทั้งหมดถูกเติมด้วยผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่เติมด้วยออกซิเจน 2% - 3% ทั้งกระแสก๊าซธรรมชาติและกระแสอากาศที่ใช้เผาไหม้ นำพาผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่ร้อนในปริมาณมากก่อนนำมาผสมกัน

งานวิจัยในประเทศ

วสุพร (2558) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษา 1) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรีสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย และ 2) เพื่อประเมินมูลค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเต็มใจจ่ายเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน โดยใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์จากแบบสอบถามเพื่อสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างครัวเรือนส่วนบุคคลในจังหวัดนครปฐม จำนวน 210 ตัวอย่าง ด้วยวิธีสมมติเหตุการณ์ให้ประเมินค่า (Contingent valuation method) โดยวิธีการตั้งคำถามแบบปลายปิดเสนอราคาสองครั้ง (Double bounded Close – ended) ซึ่งมีระดับราคาเสนอเริ่มต้น 4 ราคา คือ 200 บาท 300 บาท 1,000 บาท และ 2,000 บาท แล้วนำมาวิเคราะห์หามูลค่าความเต็มใจจ่ายและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเต็มใจจ่ายเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยที่ถูกเซนเซอร์ (Censored regression) ด้วยแบบจำลองโทบิต (Tobit model)

ผลการศึกษามูลค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อน และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเต็มใจจ่ายเพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อนพบว่าค่าเฉลี่ยของความเต็มใจจ่ายของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 720.24 บาท/ปี/ครัวเรือน ค่ามัธยฐานของความเต็มใจจ่ายมีค่าเท่ากับ 628.79 บาท/ปี/ครัวเรือน สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเต็มใจจ่ายของกลุ่มตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ราคาเสนอเริ่มต้น อาชีพ และค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน ส่วนผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรี สำหรับบ้านที่อยู่อาศัย กรณีพื้นฐาน พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ -10,692 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่า เท่ากับ 0.95 เท่า และอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าเท่ากับร้อยละ 8.73 แสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 6 ปี 4 เดือน สำหรับผลการศึกษาความอ่อนไหวของโครงการพบว่า กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบโซลาร์รูฟลดลง ทำให้ต้นทุนของโครงการลดลง โครงการจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน กรณีปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโซลาร์รูฟเพิ่มขึ้น และกรณีอัตราค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ผลประโยชน์ของโครงการเพิ่มขึ้น โครงการจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

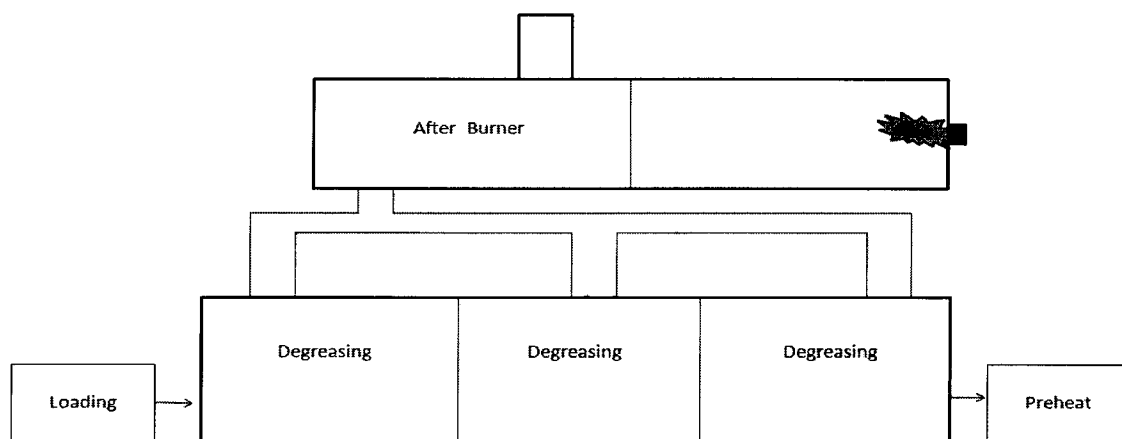
3.1 การทำงานของระบบบำบัดอากาศด้วยหน่วยบำบัด After burner



รูปที่ 3.1 หน่วยบำบัดอากาศ AB
ที่มา: <http://pollutioncare.co.th/home>

ตารางที่ 3.1 การทำงานของระบบบำบัดอากาศด้วยหน่วยบำบัด After burner

ขั้นตอนการทำงาน	Process	
	Air	Product
ชิ้นงานที่ถูกเคลือบด้วยน้ำมัน Sunpress	ชิ้นงาน	
ระเหยน้ำมัน Sunpress ออกจากชิ้นงานจนกลายเป็น Oil mist	Degreasing	Pre - heat
เผาทำลาย Oil mist	AB	Brazing
เผาทำลาย CO และ NO _x	AB	Cooling
ปล่อยอากาศที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่ภายนอกโรงงาน	ปล่อยระบายอากาศ	Unloading



รูปที่ 3.2 Drawing after burner

ที่มา: คู่มือระบบมลภาวะทางอากาศ

3.2 การทดลองหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซ CO

3.2.1 วัสดุ / อุปกรณ์

1. เครื่องตรวจวัด CO : เครื่อง Testo 350 analyzer box
2. หน่วยบำบัด AB

3.2.2 วิธีดำเนินการทดลอง

1. ติดตั้งเครื่องตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของ CO ที่ปล่อยออกมาจากการบำบัดบริเวณจุดตรวจวัดของหน่วยบำบัด AB
2. ตั้งค่าหน่วยบำบัด AB ให้มีระดับอุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส
3. ปล่อยชิ้นงานที่กำหนดไว้ให้ไหลตามสายพานผ่านเครื่อง Degreasing เพื่อกำจัดน้ำมัน Sunpress ที่เคลือบอยู่ที่ชิ้นงานตามขั้นตอนการทำงานปกติ โดยมีระยะเวลาห่างของชิ้นงานแต่ละแถวคือ 30 วินาที/แถว โดยนำชิ้นงานเข้าเต็มห้องเผา จำนวน 12 แถว จำนวนชิ้นงานแต่ละแถวมี 2 ชิ้นงาน
4. บันทึกค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ได้จากเครื่องตรวจวัดที่ติดตั้งไว้บริเวณจุดตรวจวัด
5. ทำซ้ำข้อ 2 ถึงข้อ 5 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของหน่วยบำบัด AB ที่ใช้ในการทดลองเป็น 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
6. นำค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง
ปัจจัยที่ควบคุม
 1. ระยะห่างของชิ้นงาน 1040 mm
 2. ประเภทชิ้นงาน Radiator number 9900
 ระยะเวลาการทดลอง : 6 นาที (12 แถว)

3.3 การทดลองหาระยะห่างระหว่างชั้นงานที่เหมาะสมเพื่อบำบัดก๊าซ CO

3.3.1 วัสดุ / อุปกรณ์

1. เครื่องตรวจวัด CO : เครื่อง Testo 350 analyzer box
2. อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Pitot tube)
3. หน่วยบำบัด, AB

3.3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

1. ติดตั้งเครื่องตรวจวัดปริมาณความเข้มข้น CO และ Pitot tube บริเวณจุดตรวจวัดของโรงงานก่อนระบายอากาศออกสู่ภายนอกโรงงาน
2. ตั้งค่าหน่วยบำบัด AB ให้มีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ตามผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง 3.3
3. ปลดปล่อยชั้นงานที่กำหนดไว้ให้ไหลตามสายพานผ่านเครื่อง Degreasing เพื่อกำจัดน้ำมัน Sunpress ที่เคลือบอยู่ที่ชั้นงานตามขั้นตอนการทำงานปกติ
4. บันทึกค่าปริมาณความเข้มข้นของ CO ที่ได้จากเครื่องตรวจวัดที่ติดตั้งไว้บริเวณจุดตรวจวัดทุกๆ 1 นาที
5. บันทึกค่าอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (Liquid propane gas) และอากาศ
6. นำค่าปริมาณความเข้มข้นของ CO และอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (Liquid propane gas) และอากาศที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

ปัจจัยที่ควบคุม

1. ระยะห่างของชั้นงาน 400 และ 1040 mm
2. อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาการทดลอง : 30 นาที

3.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ Wet scrubber มาใช้แทนเครื่องบำบัดมลภาวะทางอากาศ After burner

3.4.1 หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value : NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของผลประโยชน์กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการโดยใช้อัตราคิดลด (discount rate) ตัวใดตัวหนึ่งมาปรับมูลค่าที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาให้มาอยู่ที่จุดเดียวกัน คือ ณ ปัจจุบัน พิจารณาจาก NPV มากกว่าศูนย์หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน
2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - cost ratio : BCR) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ที่ได้รับตลอดอายุโครงการกับต้นทุนเริ่มแรกของโครงการนั้น พิจารณาจาก BCR มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
3. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period) คือ ระยะเวลาของการลงทุนที่ผลประโยชน์สุทธิจากโครงการเท่ากับต้นทุนเริ่มแรก

3.4.2 ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ

ต้นทุนของโครงการนำเครื่องบำบัดมลภาวะทางอากาศ WS มาใช้แทนเครื่องบำบัดมลภาวะทางอากาศ AB ประกอบด้วย

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ได้แก่ ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ
2. ต้นทุนในการเดินระบบ (Operating cost) ได้แก่ ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา/อะไหล่, ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ, ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ในระบบ, ต้นทุนค่าบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กากตะกอน กากของเสีย

ผลประโยชน์ด้านการลดต้นทุนการเดินระบบของโครงการนำเครื่องบำบัดมลภาวะทางอากาศ WS มาใช้แทนเครื่องบำบัดมลภาวะทางอากาศ AB ประกอบด้วย

1. ประโยชน์จากการลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ (Operating cost)

3.4.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการจะวิเคราะห์ใน 4 กรณี
 กรณีที่ 1 กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
 กรณีที่ 2 กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง
 กรณีที่ 3 กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
 กรณีที่ 4 กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3.4.4 ข้อกำหนด

1. ระยะเวลาในการศึกษาโครงการ 10 ปี โดยกำหนดมาจากอายุการใช้งานของหน่วยบำบัด Wet scrubber ที่มีอายุการใช้งานอยู่ในช่วง 10 – 15 ปี ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาอายุของโครงการเป็นเวลา 10 ปี เพื่อให้ป้องกันความแปรปรวนของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของหน่วยบำบัด Wet scrubber ในกรณีที่มีอายุการใช้งานสูง
2. กำหนดให้ปัจจัยทางด้านแรงงานที่ใช้ดูแลระบบ Wet scrubber : After burner = 1 : 1
3. ไม่คิดค่าใช้จ่ายสารเคมีที่ใช้ในระบบ Wet scrubber เนื่องจากมีค่าน้อยมาก

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การหาสถานะที่เหมาะสมในการทำงานของหน่วยบำบัด After burner

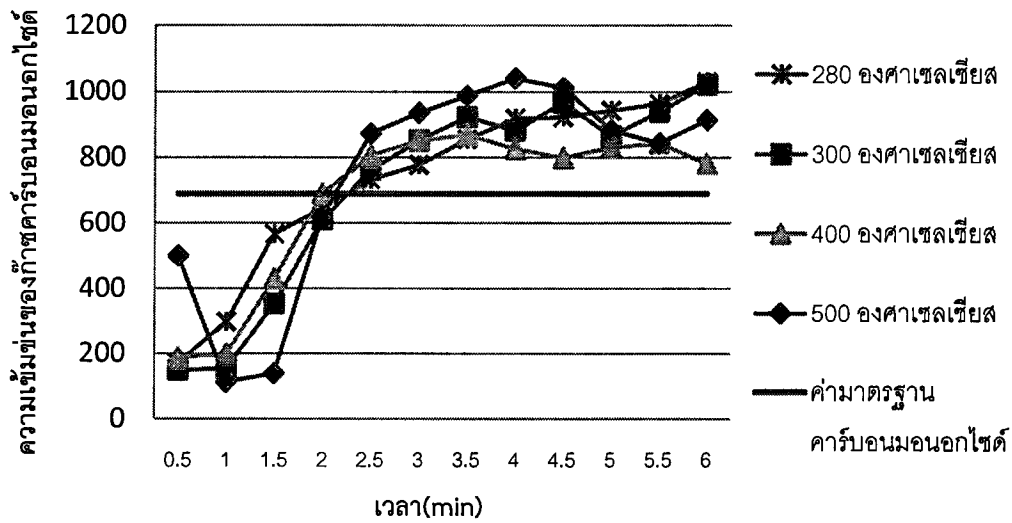
4.1.1 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ในกระบวนการผลิต เมื่อชิ้นงานถูกเคลือบด้วยน้ำมัน Sunpress (ตั้งรายละเอียดในภาคผนวก ค) เพื่อลดโอกาสแตกหักของชิ้นงานและกันสนิมแล้วจึงต้องนำชิ้นงานไปประเหยน้ำมันส่วนเกินออกจากชิ้นงานภายในห้องเผา degreasing ซึ่งสามารถบรรจุชิ้นงานได้ทั้งหมดจำนวน 12 แถวของชิ้นงาน เมื่อระยะห่างระหว่างแถวของชิ้นงานแต่ละแถวมีขนาด 1040 mm โดยแต่ละแถวของชิ้นงานจะบรรจุชิ้นงานแถวละ 2 ชิ้น จึงทำให้จำนวนชิ้นงานบรรจุเต็มห้องเผา โดยชิ้นงานแต่ละแถวจะใช้เวลา 6 นาทีในการระเหยน้ำมัน Sunpress ในห้องเผาตั้งแต่ชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าสู่ห้องเผาจนชิ้นงานเคลื่อนที่ออกจากห้องเผา ดังนั้นในการเคลื่อนแถวของชิ้นงานแต่ละแถวจึงใช้ระยะเวลาห่างกัน แถวละ 30 วินาที เมื่อน้ำมัน Sunpress ถูกระเหยจนกลายเป็นไอระเหยของน้ำมัน และบางส่วนกลายเป็นก๊าซ CO ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยไอระเหยน้ำมันและก๊าซ CO เคลื่อนเข้าสู่หน่วยบำบัด AB เพื่อบำบัดไอระเหยน้ำมันและก๊าซ CO ให้กลายเป็นก๊าซ CO₂ ที่สามารถระบายออกสู่ภายนอกโรงงานได้ ทำให้อากาศเสียที่ปล่อยออกสู่ภายนอกโรงงานมีค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ตรวจวัดได้ไม่เกินค่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทกระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ได้กำหนดไว้ไม่เกิน 690 ppm ซึ่งในการทดลองทางผู้วิจัยได้ทำการทดลอง เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบำบัดมลภาวะทางอากาศด้วยหน่วยบำบัด AB ที่สามารถบำบัดก๊าซ CO ให้เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนด

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อบำบัด CO ของหน่วยบำบัด AB

เวลา(min)	แถว	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ ตรวจวัดได้ (ppm)				ค่ามาตรฐาน CO* (ppm)
		280°C	300°C	400°C	500°C	
0.30	แถว 1	171	148	188	500	690
1.00	แถว 2	298	154	199	113	690
1.30	แถว 3	566	353	431	138	690
2.00	แถว 4	646	610	690	624	690
2.30	แถว 5	733	761	806	873	690
3.00	แถว 6	777	852	851	935	690
3.30	แถว 7	855	923	869	988	690
4.00	แถว 8	918	882	826	1041	690
4.30	แถว 9	923	967	799	1011	690
5.00	แถว 10	942	864	830	883	690
5.30	แถว 11	963	938	843	843	690
6.00	แถว 12	1030	1021	781	914	690
เฉลี่ย		735	706	676	739	690

หมายเหตุ ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก ดังตาราง ก - 1, ก - 2, ก - 3 และ ก - 4



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเครื่อง After burner และความเข้มข้นของ CO ที่ตรวจวัดได้

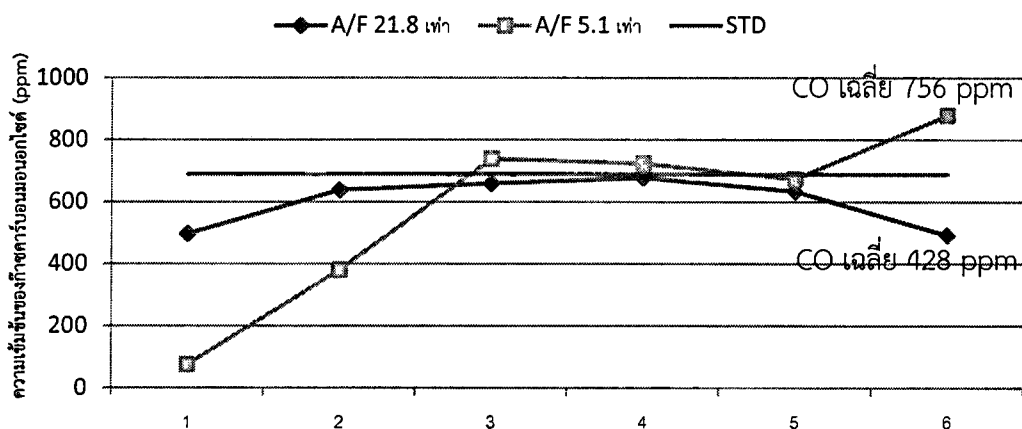
จากรูปที่ 4.1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซ CO ด้วยหน่วยบำบัด AB พบว่า ณ อุณหภูมิ 280, 300 และ 400 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของ CO ที่ตรวจวัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่นำชิ้นงานเคลื่อนเข้าสู่ห้องเผา และความเข้มข้นของก๊าซ CO จะเริ่มมีความเข้มข้นเกินมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2549 (690 ppm) เมื่อชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าห้องเผาเป็นเวลาเกินแถวที่สี่ และจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสในแถวที่ 1 ความเข้มข้นของก๊าซ CO ตรวจวัดได้มีค่าความเข้มข้นที่สูงต่างจากอุณหภูมิอื่นที่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากมีการตกค้างของไอระเหยของน้ำมันในห้องเผาจึงทำให้ความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ตรวจวัดได้มีค่าสูง และเมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของก๊าซ CO เฉลี่ยที่ตรวจวัดได้พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส สามารถบำบัดไอระเหยของน้ำมันแล้วเกิดก๊าซ CO เฉลี่ยต่ำที่สุด นั่นคือ 676 ppm จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดเมื่อบำบัดก๊าซ CO ด้วยหน่วยบำบัด AB เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่ปลดปล่อยออกมาจากการบำบัดด้วยระดับอุณหภูมินี้มีค่าต่ำที่สุด

4.1.2 การหาระยะห่างระหว่างชิ้นงานที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของหน่วยบำบัด After burner

ในกระบวนการบำบัดไอระเหยของน้ำมัน จากการคำนวณอัตราส่วนระหว่างอากาศและก๊าซเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซ CO คือ 23.8 : 1 จึงเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้สมบูรณ์ที่ไอระเหยน้ำมันถูกเผาไหม้เปลี่ยนเป็นก๊าซ CO₂ และไม่เกิดก๊าซ CO ทางผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดลองในสองสถานะคือ ในสถานะที่ระยะห่างของชิ้นงานเป็นไปตามทฤษฎีมาตรฐานการผลิตที่ระยะห่าง 1040 mm และสถานะในปัจจุบันที่ระยะห่างของชิ้นงานกำหนดตามปริมาณคำสั่งผลิตที่ระยะห่าง 400 mm ซึ่งทำให้จำนวนชิ้นงานเมื่อเต็มห้องเผาเพิ่มมากขึ้นจากกรณีระยะห่างระหว่างชิ้นงาน 1040 mm

การกำหนดระยะห่างระหว่างชิ้นงานเป็นตัวกำหนดจำนวนชิ้นงานที่เข้าสู่ห้องเผา degreasing เต็มห้องเผา โดยเมื่อระยะห่างของชิ้นงานมากทำให้จำนวนชิ้นงานเมื่อบรรจุเต็มห้องเผามีจำนวนน้อย ปริมาณไอระเหยของน้ำมันที่ต้องเข้าสู่กระบวนการบำบัดจึงเกิดขึ้นน้อย แต่เมื่อระยะห่างระหว่างชิ้นงานน้อยลง จึงทำให้จำนวนชิ้นงานเมื่อบรรจุเต็มห้องเผาเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ปริมาณไอระเหยของน้ำมันที่ต้องเข้าสู่กระบวนการบำบัดจึงเกิดขึ้นในปริมาณมากขึ้น

ในการทดลองที่ผู้วิจัยศึกษาครั้งนี้หน่วยบำบัด AB เป็นระบบอัตโนมัติที่มีการปรับพารามิเตอร์อัตราการไหลของอากาศและก๊าซเชื้อเพลิง (Liquid propane gas) ให้สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในระบบที่ได้จากปริมาณอากาศเสียที่ถูกส่งผ่านมาจาก Degreasing ทำให้อุณหภูมิของอากาศเสียที่ถูกจ่ายเข้าไปในห้องเผาของหน่วยบำบัด AB มีอุณหภูมิแตกต่างกัน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างชิ้นงานภายในหน่วยบำบัด After burner และความเข้มข้นของ CO

จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน 400 mm เนื่องจากปริมาณอากาศเสียที่ได้จากชิ้นงานในระบบ Degreasing ถูกจ่ายเข้าห้องเผาเป็นจำนวนมากอัตราส่วนระหว่างอากาศและก๊าซเชื้อเพลิงจึงมีค่าเท่ากับ 5.1 เท่า หน่วยบำบัด AB สามารถบำบัดไอระเหยน้ำมันแล้วเกิดก๊าซ CO เฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ คือ 765 ppm ดังแสดงให้เห็นจากภาคผนวก ก ตารางที่ ก - 5 ซึ่งเกินค่ามาตรฐานเนื่องจากปริมาณอากาศในกระบวนการบำบัดไม่เพียงพอต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงเกิดก๊าซ CO ที่ความเข้มข้นสูง ในขณะที่ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน 1,040 mm มีระยะห่างระหว่างชิ้นงานมาก จึงทำให้ปริมาณชิ้นงานในระบบ Degreasing น้อย อากาศเสียที่ถูกจ่ายเข้าห้องเผาจึงมีปริมาณน้อย อัตราการส่วนระหว่างก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศ

จึงมีค่าเท่ากับ 21.8 เท่า หน่วยบำบัด AB สามารถบำบัดไอระเหยน้ำมันแล้วเกิดก๊าซ CO เฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ คือ 428 ppm ดังแสดงให้เห็นจากภาคผนวก ก ตารางที่ ก - 6 เนื่องจากปริมาณอากาศเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ จึงเกิดก๊าซ CO ในความเข้มข้นต่ำ ซึ่งไม่เกินมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2549 (ต่ำกว่า 690 ppm)

4.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ Wet scrubber มาใช้แทนเรื่องบำบัดมลภาวะทางอากาศ After burner

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของการทำงานของหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศทั้งสองหน่วย โดยมีข้อกำหนดด้วยระยะเวลาในการดำเนินโครงการนาน 10 ปี เพื่อนำมาเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของหน่วยบำบัดทั้งสองหน่วยนี้ตามหัวข้อต่าง ๆ ได้แก่ ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ ผลประโยชน์ของโครงการ โดยใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ 3 ประเภท คือ 1. NPV 2. BCR 3. PP โดยผู้วิจัยทำการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการประกอบด้วย 5 กรณี ดังนี้

1. กรณีพื้นฐาน
2. กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3. กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง
4. กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
5. กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีพื้นฐานเป็นการศึกษาจากต้นทุนจริงที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของหน่วยบำบัด WS และหน่วยบำบัด AB โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงต้นทุนของโครงการและผลประโยชน์ของโครงการ และปีฐานที่ใช้ในการศึกษามูลค่า คือ ปี พ.ศ. 2560

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีพื้นฐาน (หน่วย : บาท)

ปีที่	ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ		ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาท)		ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กากตะกอน กากของเสีย(บาท)		ต้นทุนสุทธิของโครงการ (บาท)	
	WS	AB	WS	AB	WS (ไฟฟ้า)	AB (เชื้อเพลิง)	WS	AB	WS	AB	WS	AB
0	2,700,000	50,000,000	-	-	-	-	-	-	-	-	2,700,000	50,000,000
1	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
2	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
3	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
4	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
5	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
6	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
7	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
8	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
9	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
10	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
รวม											7,519,790	63,160,000

จากตารางที่ 4.2 พบว่าต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ (เช่น ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ, ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา, ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ, ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ในระบบ, ต้นทุนค่าบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น เป็นต้น) เมื่อรวมค่าใช้จ่ายที่ดำเนินการบำบัดก๊าซ CO ด้วยหน่วยบำบัด WS นาน 10 ปีมีค่าเท่ากับ 7,519,790 บาท

ตารางที่ 4.3 ผลประโยชน์ในการลดต้นทุนการเดินระบบทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีพื้นฐาน
(หน่วย : บาท)

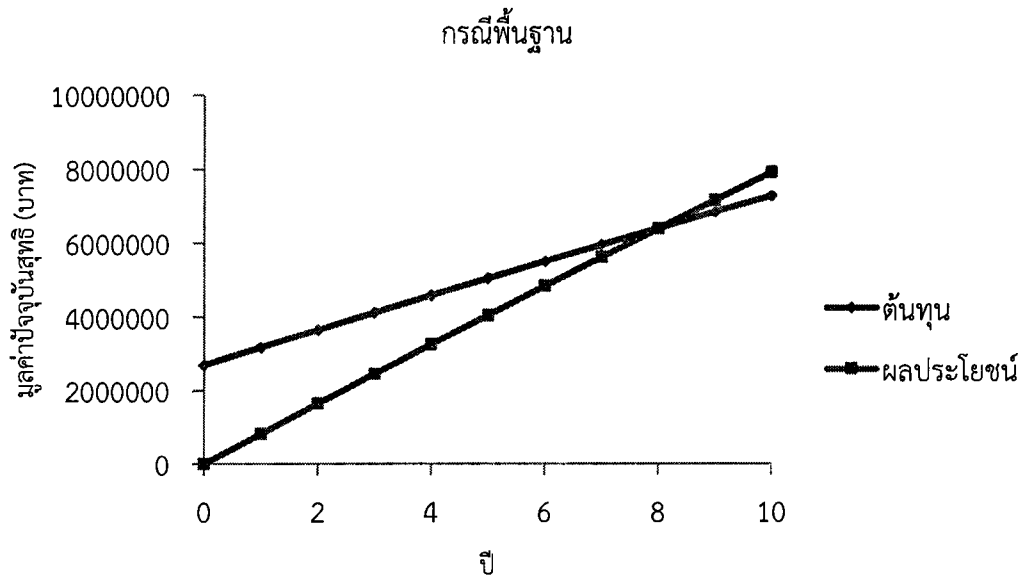
ปีที่	ผลประโยชน์ในการลดต้นทุนการเดินระบบ
0	0
1	834,021
2	834,021
3	834,021
4	834,021
5	834,021
6	834,021
7	834,021
8	834,021
9	834,021
10	834,021
รวม	8,340,210

จากตารางที่ 4.3 เมื่อมีการจัดการเปลี่ยนหน่วยบำบัดจาก AB เป็นหน่วยบำบัด WS พบว่าผลประโยชน์ในการลดต้นทุนการเดินระบบทางเศรษฐกิจของโครงการโดยการเปลี่ยนหน่วยบำบัดมีมูลค่า 8,340,210 บาท เมื่อเวลาผ่านไป 10 ปีหลังจากการเปลี่ยนหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พื้นฐาน (หน่วย : บาท)

ลำดับ	รายการ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	รวม
		2560	2461	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	
1	ต้นทุนของโครงการ	2,700,000	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	7,519,790
2	ผลประโยชน์ของโครงการ	0	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	8,340,212
3	Discount Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	-
4	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ (1)*(3)	2,700,000	477,159	472,388	467,664	462,987	458,357	453,774	449,236	444,744	440,296	435,893	7,262,497
5	มูลค่าปัจจุบันของประโยชน์โครงการ (2)*(3)	0	825,681	817,424	809,250	801,157	793,146	785,214	777,362	769,589	761,893	754,274	7,894,990
6	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (5)-(4)	-2,700,000	348,522	345,037	341,586	338,170	334,789	331,441	328,126	324,845	321,597	318,381	632,493

หมายเหตุ DF คือ ปัจจัยการลดมูลค่าของเงินเมื่อเวลาผ่านไป หมายถึง เงินจำนวนเดียวกันในอนาคตที่มีมูลค่าน้อยกว่าในปัจจุบัน



จากรูปที่ 4.3 พบว่าระยะเวลาในการดำเนินโครงการที่คาดว่าผลประโยชน์ที่ได้รับจะคุ้มค่ากับต้นทุนที่เสียไป คือ ปีที่ 8 ถึงจุดคุ้มทุน

จากตารางผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการได้ ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value : NPV) จากตารางที่ 4.4 พบว่า

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PVB} - \text{PVC} \\ &= 7,894,990 - 7,262,497 \\ &= 632,493 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 632,493 บาท แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจาก NPV มีค่าเป็นบวก

2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - cost ratio : BCR)

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{\text{PVB}}{\text{PVC}} \\ &= \frac{7,894,990}{7,262,497} \\ &= 1.09 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

จากการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าเท่ากับ 1.09 เท่า แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่ามากกว่า 1

3. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period)

ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการคือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 3.31 ปี

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

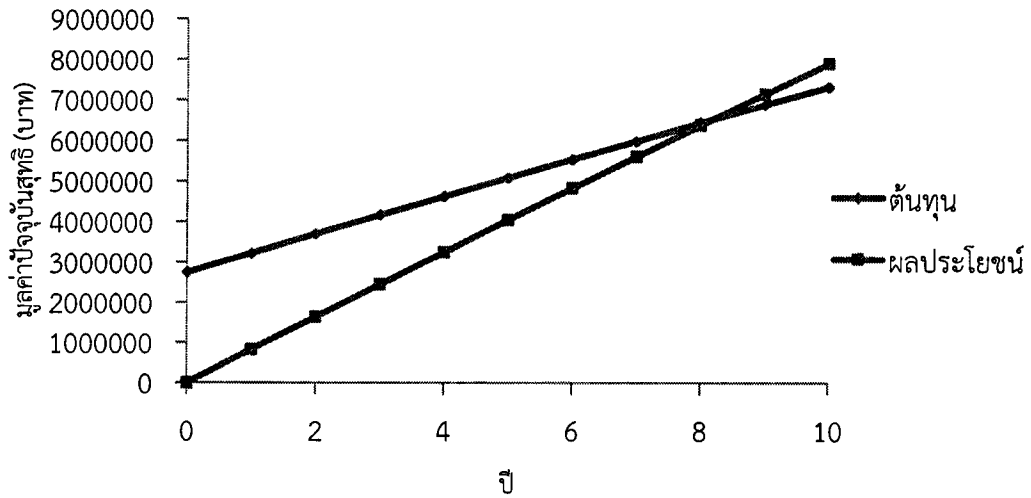
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการประกอบด้วย 4 กรณี ดังนี้
กรณีที่ 1 กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยอ้างอิงอัตราการเพิ่มขึ้น 1.85% มาจากค่าเฉลี่ยอัตราเงินเฟ้อย้อนหลัง 10 ปี (ปี พ.ศ.2550 - 2561)

- กรณีที่ 2 กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยอ้างอิงอัตราการเพิ่มขึ้น 1.85% มาจากค่าเฉลี่ยอัตราเงินเฟ้อย้อนหลัง 10 ปี (ปี พ.ศ.2550 - 2561)
- กรณีที่ 3 กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยอ้างอิงอัตราการเพิ่มขึ้น 1.0% มาจากแนวโน้มอัตราเงินเฟ้อปี พ.ศ.2562 (ธนาคารแห่งประเทศไทย)
- กรณีที่ 4 กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยอ้างอิงอัตราการเพิ่มขึ้น 1.0% มาจากแนวโน้มอัตราเงินเฟ้อปี พ.ศ.2562 (ธนาคารแห่งประเทศไทย)

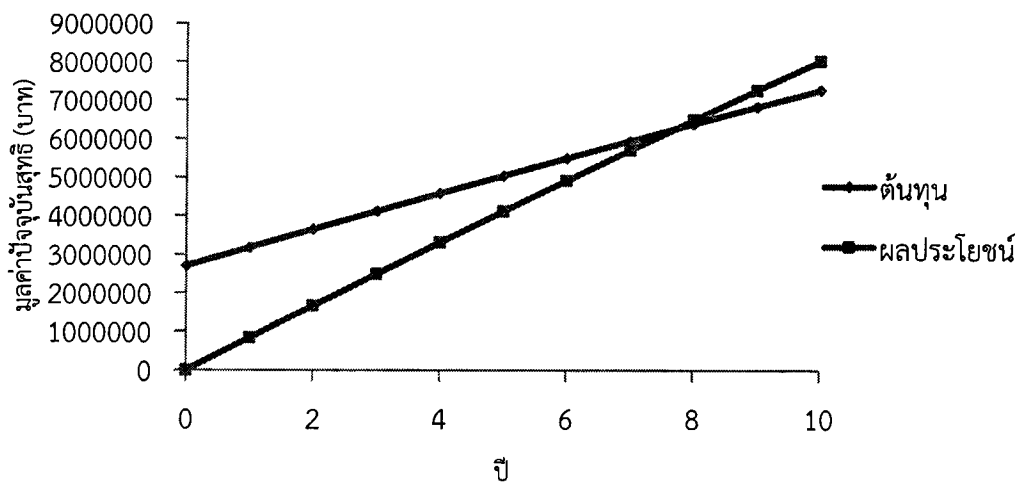
ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

กรณีที่ใช้ในการศึกษา	ต้นทุนของโครงการ (บาท)	ผลประโยชน์ของโครงการ (บาท)	NPV (บาท)	BCR (เท่า)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	จุดคุ้มทุน
กรณีพื้นฐาน	7,262,497	7,894,990	632,493	1.09	3.31	ปีที่ 9
กรณีที่ 1	7,312,447	7,894,990	582,541	1.08	3.37	ปีที่ 9
กรณีที่ 2	7,262,497	8,027,384	764,887	1.11	3.25	ปีที่ 8
กรณีที่ 3	7,289,497	7,894,990	605,491	1.08	3.34	ปีที่ 9
กรณีที่ 4	7,262,497	7,966,555	704,057	1.10	3.28	ปีที่ 8

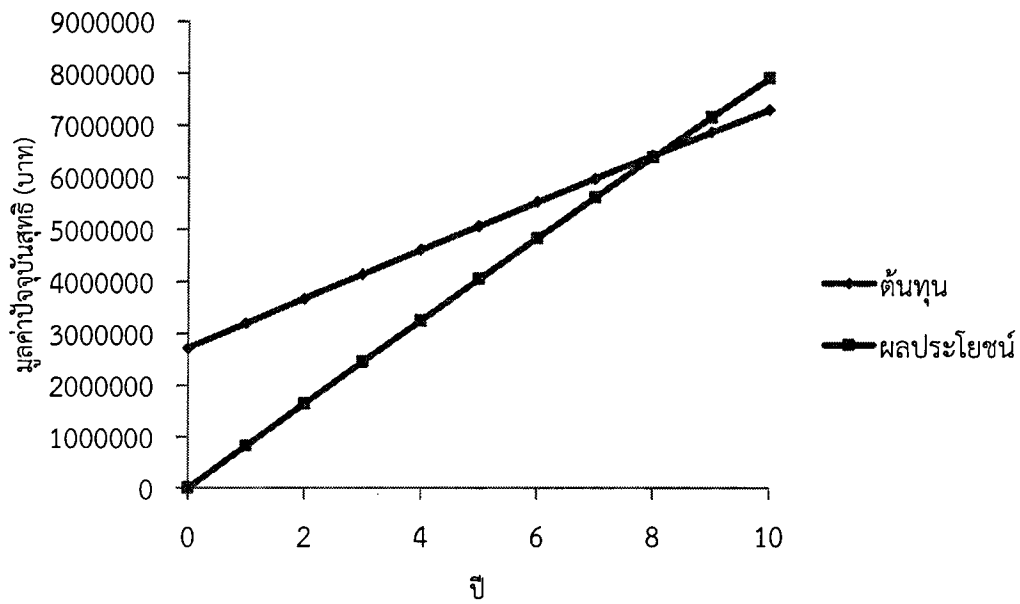
หมายเหตุ ดังแสดงข้อมูลภาคผนวก ข ตาราง ข - 1 ถึง ข - 8



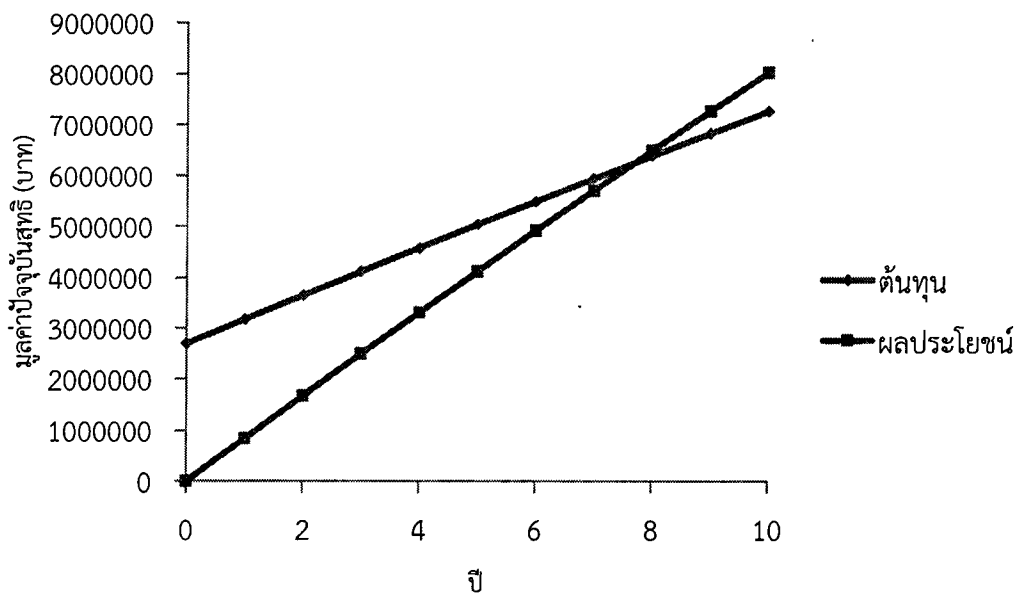
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อจำนวนปีในการลงทุน กรณีอัตราพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษากระบวนการบำบัดมลภาวะทางอากาศ พบว่าสามารถบำบัดก๊าซ CO จากกระบวนการผลิตได้โดยมีสถานะที่เหมาะสมทำให้ค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2549 (690 ppm) หน่วยบำบัดอากาศ AB อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และระยะห่างระหว่างชั้นงานที่เหมาะสม คือ 1,040 mm ซึ่งปริมาณก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2549 (ต่ำกว่า 690 ppm) เพราะเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ที่สมบูรณ์เนื่องจากเป็นระยะห่างที่ทำให้อัตราส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง (A/F) มีค่า 21.8 เท่า

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนำหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ WS มาใช้แทนหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ AB กรณีพื้นฐานเมื่อใช้หน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ WS แทน AB นั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีจุดคุ้มทุนในปีที่ 9 กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และ 1.0 และกรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 พบว่าโครงการนั้นเกิดความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีจุดคุ้มทุนในปีที่ 9, 8, 9 และ 8 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการบำบัดก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแล้ว การนำหน่วยบำบัดมลภาวะทางอากาศ WS มาใช้ในการบำบัดก๊าซ CO แทนหน่วยบำบัด AB ถือว่าเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากหน่วยบำบัด WS ไม่มีการเผาไหม้ในกระบวนการการบำบัดจึงลดการเกิดก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของหน่วยบำบัดอย่าง AB จากความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และความคุ้มค่าทางสิ่งแวดล้อม การนำหน่วยบำบัด WS มาใช้แทนหน่วยบำบัด AB ช่วยลดต้นทุนในการเดินระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศและช่วยลดปัญหาการเกิดก๊าซ CO ระหว่างกระบวนการผลิตได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา

1. ควรศึกษาการเปรียบเทียบกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ CO ที่เกิดขึ้นเมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างชั้นงานมีค่าเท่ากับ 1,040 mm และ 400 mm ตามลำดับ
2. ควรศึกษาการบำบัดก๊าซ CO ระหว่างหน่วยบำบัด WS และหน่วยบำบัด AB โดยใช้ชั้นงานชนิดเดียวกัน

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

เนื่องจาก WS เป็นกระบวนการบำบัดมลภาวะทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้น้อยกว่า AB จึงควรศึกษาต่อในการหาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการดูแลหน่วยบำบัดให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและยาวนานขึ้น เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือ และลดค่าใช้จ่ายการเดินระบบของ

โครงการในด้านการบำรุงรักษา/อะไหล่ โดยพารามิเตอร์ที่ควรควบคุมคือ อัตราการไหลของอากาศเสีย อัตราการไหลของ Scrubber liquid อุณหภูมิของอากาศเสีย ความดันลดภายในระบบ และค่าความเป็นกรด – ด่างของ Scrubber Liquid เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และยืดอายุการใช้งานของระบบ

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2561. ระบบเผาไหม้โดยตรง. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/l4combustion.htm.
- กฤษณ์ คงเจริญ และธันวา จิตต์สงวน. 2004. “การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนโครงการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา โรงพยาบาลแก่ง จังหวัดระยอง.” วารสารเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 11(1-2) : 33-48.
- ขวัญจิรา แก้วปาน. 2015. “การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินโครงการระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตผักปลอดสารพิษของกลุ่มเกษตรกร อำเภอพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์.” วารสารสมาคมนักวิจัย. 20(2) : 148-160.
- คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 2008. แก๊ส (GAS). [Online]. Available : <http://chem.flas.kps.ku.ac.th/SLIDE/SLIDE-01403117-CH04-GAS-FULL.pdf>.
- จิราภรณ์ ขาวงษ์. 2562. การวิเคราะห์การลงทุน Investment Analysis. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.scribd.com/presentation/159683144>.
- นฤมล เสกธีระ. 2013. “หลักการกำหนดให้ผู้ก่อเกิดมลพิษเป็นผู้จ่ายเพื่อแก้ปัญหามลพิษทางอากาศจากภาคอุตสาหกรรม.” วารสารนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 16 : 175-199.
- ประจวบ อินระวงศ์ และคณะ. 2014. “วิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานเกิน 10 ปี.” หน้า 391-396. ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1. นครราชสีมา : คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- พบพร เศรษฐพฤกษา และคณะ. 2014. “การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการพัฒนาน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่การเกษตรแบบพึ่งพาน้ำฝน อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี.” SDU J. Res. Develop. 10(2) : 197-211.
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2558. เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/04-02.html>.
- วสุพร ติวางาม. 2015. “การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรีสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย.” วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา และคณะ. 2009. “การกำจัดไอระเหยของ Butyl Oxitol จากโรงงานเคลือบผิวโลหะด้วย Wet Scrubber.” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 32(2-3) : 211-224.
- สกนธ์ นัยนันท์. 2016. “การวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการตัดสินใจลงทุนเครื่องจักรเคลื่อนที่บริเวณลานเก็บตู้คอนเทนเนอร์และคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท XYZ.” งานนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศรัณญา ทองอุ้น. 2012. “การบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์แบบท่อนาโน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อภิชาติ ศุภจรรยาภิรักษ์ และสุดจิต ครุจิต. 2011. “การพัฒนาโซโคลนสคริปเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอย

- ขนาดเล็ก.” *KKU J. Res. Develop.* 16(7) : 802-812.
- Ali, H. et al. 2017. “Flow visualization and modeling of scrubbing liquid flow patterns inside a centrifugal wet scrubber for improved design.” *Chemical Engineering Science.* 173 : 98-109.
- Bianchini, A. et al. 2018. “Theoretical model and preliminary design of an innovation wet scrubber for the separation of fine particulate matter produced by biomass combustion in small size boilers.” *Biomass and Bioenergy.* 116 : 60-71.
- Biard, P.F. et al. 2017. “Intensification of volatile organic compound absorption in a compact wet scrubber at co - current flow.” *Chemosphere.* 173 : 612-621.
- Calcedo, J.S. et al. 2015. “Analysis on integrated management of the quality, environment and safety on the industrial projects.” *Procedia Engineering.* 132 : 140-145.
- Chien, C.L. et al. 2015. “High - efficiency parallel - plate wet scrubber (PPWS) for soluble gas removal.” *Separation and Purification Technology.* 142 : 189-195.
- Distribution service center. 2018. **Combustion Requirements.** [Online]. Available : [https://dscng.pttplc.com/\(S\(rswdyzfvrg1cvkvujfcqj\)\)/Knowledge/Knowledgeinside?p=Natural_Gas_Combustion](https://dscng.pttplc.com/(S(rswdyzfvrg1cvkvujfcqj))/Knowledge/Knowledgeinside?p=Natural_Gas_Combustion).
- Hahn, E. 2018. Combustion of Propane vs Incomplete Combustion: Formulas & Equations. [Online]. Available : <https://www.elgas.com.au/blog/2208-complete-incomplete-combustion-of-lpg-propane-equations>.
- James R. Kastner and Das, K. C. 2002. “Wet scrubber Analysis of Volatile Organic Compound Removal in the Rendering Industry.” *Journal of the Air and Waste Management Association.* 52(4) : 459-469.
- Kishore, V.R. et al. 2011. “Adiabatic burning velocity and cellular flame characteristics of H₂-CO-CO₂-air mixtures.” *Combustion and Flame.* 158 : 2149-2164.
- Liu, D. et al. 2016. “CO₂ quality control in Oxy-fuel technology for CCS : SO₂ removal by the caustic scrubber in Callide Oxy-fuel Project.” *International Journal of Greenhouse Gas Control.* 51 : 207-217.
- Park, H.W. et al. 2015. “Simultaneous treatment of NO and SO₂ with aqueous NaClO₂ solution in a wet scrubber combined with a plasma electrostatic precipitator.” *Journal of Hazardous Materials.* 285 : 117-126.
- Peksen, M. et al. 2015. “A 3D multiphysics model and its experimental validation for predicting the mixing and combustion characteristics of an afterburner.” *INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY.* 40 : 9462-9472.
- PTT. 2018. **Natural Gas Combustion.** [Online]. Available : http://pttinternet.pttplc.com/Csc_gas/csc_ind/utilization/naturalgascombustion.asp.
- Schiffner, K.C. and Hesketh, H.E. 1996. **Wet Scrubbers.** 2nd ed. Lancaster : Technomic Publishing.
- Siamchemi. 2018. **ก๊าซ LPG.** [Online]. Available : <https://www.siamchemi.com/>

- %E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B-lpg/.
- UniThai. 2018. **COMBUSTION theory**. [Online]. Available : <http://www.unithai.co.th/knowledge-detail.php?id=811>.
- Urieli, I. 2018. Chapter 11: Combustion. [Online]. Available : https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Applied/Chapt.7_11/Chapter11.html.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2002. **Particulate Matter Controls-Wet Scrubbers for Particulate Matter**. Durham.
- WEBER, R. et al. 2000. "Combustion of natural gas with high - Temperature air and large quantities of flue gas." *Proceedings of the Combustion Institute*. 28 : 1315-1321.
- Yang, S. et al. 2017. "Removal of NO_x and SO₂ from Simulated Ship Emissions using Wet Scrubbing based on Seawater Electrolysis Technology" *Chemical Engineering Journal*.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
ของหน่วยบำบัด After burner

ผลการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของหน่วยบำบัด AB

ตารางที่ ก - 1 อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส

เวลา(min)	แถว	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ ตรวจวัดได้ (ppm)				ค่ามาตรฐาน CO* (ppm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.30	แถว 1	165	178	170	171	690
1.00	แถว 2	291	310	293	298	690
1.30	แถว 3	548	579	571	566	690
2.00	แถว 4	637	656	645	646	690
2.30	แถว 5	724	743	732	733	690
3.00	แถว 6	774	796	761	777	690
3.30	แถว 7	857	859	849	855	690
4.00	แถว 8	914	917	923	918	690
4.30	แถว 9	916	925	928	923	690
5.00	แถว 10	944	939	943	942	690
5.30	แถว 11	966	966	957	963	690
6.00	แถว 12	1034	1037	1019	1030	690
เฉลี่ย					739	690

ตารางที่ ก - 2 อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เวลา(min)	แถว	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ ตรวจวัดได้ (ppm)				ค่ามาตรฐาน CO* (ppm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.30	แถว 1	150	137	157	148	690
1.00	แถว 2	155	144	163	154	690
1.30	แถว 3	354	343	362	353	690
2.00	แถว 4	611	601	618	610	690
2.30	แถว 5	761	743	779	761	690
3.00	แถว 6	841	854	861	852	690
3.30	แถว 7	922	917	930	923	690
4.00	แถว 8	871	882	893	882	690
4.30	แถว 9	963	970	968	967	690
5.00	แถว 10	871	859	862	864	690
5.30	แถว 11	951	921	942	938	690
6.00	แถว 12	1030	1011	1022	1021	690
เฉลี่ย					706	690

ตารางที่ ก - 3 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

เวลา(min)	แถว	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ ตรวจวัดได้ (ppm)				ค่ามาตรฐาน CO* (ppm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.30	แถว 1	187	169	208	188	690
1.00	แถว 2	194	189	214	199	690
1.30	แถว 3	442	421	430	431	690
2.00	แถว 4	702	671	697	690	690
2.30	แถว 5	799	808	811	806	690
3.00	แถว 6	844	846	863	851	690
3.30	แถว 7	863	871	873	869	690
4.00	แถว 8	811	840	827	826	690
4.30	แถว 9	778	810	809	799	690
5.00	แถว 10	832	821	837	830	690
5.30	แถว 11	842	850	857	843	690
6.00	แถว 12	769	791	783	781	690
เฉลี่ย					676	690

ตารางที่ ก - 4 อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

เวลา(min)	แถว	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ ตรวจวัดได้ (ppm)				ค่ามาตรฐาน CO* (ppm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.30	แถว 1	377	401	722	500	690
1.00	แถว 2	107	102	130	113	690
1.30	แถว 3	131	127	156	138	690
2.00	แถว 4	623	619	630	624	690
2.30	แถว 5	872	866	881	873	690
3.00	แถว 6	934	931	940	935	690
3.30	แถว 7	991	979	994	988	690
4.00	แถว 8	1044	1037	1042	1041	690
4.30	แถว 9	1015	1004	1014	1011	690
5.00	แถว 10	883	879	887	883	690
5.30	แถว 11	841	829	859	843	690
6.00	แถว 12	909	902	931	914	690
เฉลี่ย					739	690

ตารางที่ ก - 5 ผลการทดลองหา A/F ที่เหมาะสมในการบำบัด CO ของหน่วยบำบัด AB ระยะห่าง
ระหว่างชิ้นงาน 1040 mm

วันที่ทำการทดลอง 17 ตุลาคม 2561

ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน 1040 mm

เวลา	Part No.	CO (ppm)	m ³ /s Air	m ³ /s LPG	A/F ratio
10:03:04	16D	497	36	1.68	21.4
10:04:04	16D	639	37	1.76	21.0
10:05:04	16D	660	37	1.76	21.0
10:06:04	16D	678	37	1.72	21.5
10:07:04	27D	634	37	1.84	20.1
10:08:04	27D	492	38	1.78	21.3
10:09:04	27D	323	31	1.70	18.2
10:10:04	27D	266	37	1.72	21.5
10:11:04	27D	272	38	1.76	21.6
10:12:04	16D	295	38	1.74	21.8
10:13:04	16D	320	38	1.72	22.1
10:14:04	16D	386	38	1.72	22.1
10:15:04	16D	334	38	1.82	20.9
10:16:04	16D	356	38	1.74	21.8
10:17:04	16D	387	38	1.92	19.8
10:18:04	27D	341	38	1.80	21.1
10:19:04	27D	278	38	1.66	22.9
10:20:04	27D	293	38	1.64	23.2
10:21:04	27D	319	38	1.64	23.2
10:22:04	27D	291	38	1.68	22.6
10:29:04	27D	312	38	1.68	22.6
10:30:04	27D	265	38	1.66	22.9
10:31:04	27D	269	38	1.68	22.6
10:32:04	27D	279	38	1.66	22.9
เฉลี่ย		428	38	1.7	21.8

ตารางที่ ก - 6 ผลการทดลองหา A/F ที่เหมาะสมในการบำบัด CO ของหน่วยบำบัด AB ระยะห่าง
ระหว่างชั้นงาน 400 mm

วันที่ทำการทดลอง 18 ตุลาคม 2561

ระยะห่างระหว่างชั้นงาน 400 mm

เวลา	Part No.	CO (ppm)	m ³ /s Air	m ³ /s LPG	A/F ratio
10:03:42	9900	76	5	1.68	3.0
10:04:42	9900	379	5	1.76	2.8
10:05:42	9900	740	5	1.76	2.8
10:06:42	9900	724	5	1.72	2.9
10:07:42	9900	674	5	1.84	2.7
10:08:42	9900	879	5	1.78	2.8
10:09:42	9900	810	6	1.70	3.5
10:10:42	9900	872	6	1.72	3.5
10:11:42	9900	931	6	1.76	3.4
10:12:42	9900	556	6	1.74	3.4
10:26:42	9900	703	9	1.66	5.4
10:27:42	9900	757	9	1.98	4.5
10:28:42	9900	868	9	1.66	5.4
10:29:42	9900	751	9	1.68	5.4
10:30:42	9900	848	9	1.66	5.4
10:31:42	9900	827	9	1.68	5.4
10:32:42	9900	603	9	1.66	5.4
เฉลี่ย		765	7	1.72	5.1

ภาคผนวก ข

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณค่าปัจจุบันของเงินในอนาคต

กรณีที่ 1 กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 2 กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

$$PV = FV \times \frac{1}{(1+r)^n}$$

โดย PV คือ ค่าเงินในปัจจุบัน (Present value)

FV คือ ค่าเงินในอนาคต (Future value)

r คือ อัตราลด (Discount rate)

n คือ จำนวนปีที่ลดลง

$$PV = FV \times DF$$

โดย DF คือ ปัจจัยลด (Discounting factor) = $\frac{1}{(1+r)^n}$

$$r = (1 + \text{อัตราดอกเบี้ยแท้จริง}) \times (1 + \text{อัตราเงินเฟ้อ}) - 1$$

ซึ่งอัตราดอกเบี้ยแท้จริงอ้างอิงมาจากอัตราตัวเงินคงคลังปี พ.ศ.2561 คือร้อยละ 1.50 และอัตราเงินเฟ้ออ้างอิงจากค่าเฉลี่ยอัตราเงินเฟ้อปี พ.ศ.2550 - 2561 คือร้อยละ 1.85

ดังนั้น $r = (1 + 0.015) \times (1 + 0.0185) - 1$

$$r = 0.034\%$$

$$DF = \frac{1}{(1+0.00034)^1}$$

$$DF = 1$$

การคำนวณค่าปัจจุบันของเงินในอนาคต

กรณีที่ 3 กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.1 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กรณีที่ 4 กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.1 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

$$PV = FV \times \frac{1}{(1+r)^n}$$

โดย PV คือ ค่าเงินในปัจจุบัน (Present value)

FV คือ ค่าเงินในอนาคต (Future value)

r คือ อัตราลด (Discount rate)

n คือ จำนวนปีที่ลดลง

$$PV = FV \times DF$$

โดย DF คือ ปัจจัยลด (Discounting factor) = $\frac{1}{(1+r)^n}$

$$r = (1 + \text{อัตราดอกเบี้ยแท้จริง}) \times (1 + \text{อัตราเงินเฟ้อ}) - 1$$

ซึ่งอัตราดอกเบี้ยแท้จริงอ้างอิงมาจากอัตราตัวเงินคงคลังปี พ.ศ.2561 คือร้อยละ 1.50 และอัตราเงินเฟ้ออ้างอิงจากแนวโน้มอัตราเงินเฟ้อทั่วไปปี 2562 คือร้อยละ 1.0

ดังนั้น

$$r = (1 + 0.015) \times (1 + 0.0100) - 1$$

$$r = 0.025\%$$

$$DF = \frac{1}{(1+0.00025)^1}$$

$$DF = 1$$

ตารางที่ ข - 1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีพื้นฐาน

ประเภท	หน่วยบำบัด	ความถี่	ราคา (บาท)	ต้นทุนต่อปี (บาท)
ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ	WS		2,700,000	2,700,000
	After burner		50,000,000	50,000,000
ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการ บำรุงรักษา	WS	1 ครั้ง / ปี	45,000	45,000
	After burner	4 ครั้ง / ปี	140,000	560,000
ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ในระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	214.9	2,578.8
ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ใน ระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	13,000	156,000
	After burner	12 ครั้ง / ปี	63,000	756,000
ต้นทุนค่าบำบัดของเสียที่ เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กาก ตะกอน กากของเสีย	WS (กากน้ำมัน)	4 ครั้ง / ปี	60,000	240,000
	WS (กากตะกอนน้ำเสีย)	12 ครั้ง / ปี	3,200	38,400

ตารางที่ ข - 2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และ
ผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ประเภท	หน่วยบำบัด	ความถี่	ราคา (บาท)	ต้นทุนต่อปี (บาท)
ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ	WS		2,749,950	2,749,950
	AB		50,000,000	50,000,000
ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการ บำรุงรักษา	WS	1 ครั้ง / ปี	45,000	45,000
	AB	4 ครั้ง / ปี	140,000	560,000
ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ในระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	214.9	2,578.8
ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ใน ระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	13,000	156,000
	AB	12 ครั้ง / ปี	63,000	756,000
ต้นทุนค่าบำบัดของเสียที่ เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กาก ตะกอน กากของเสีย	WS (กากน้ำมัน)	4 ครั้ง / ปี	60,000	240,000
	WS (กากตะกอนน้ำ เสีย)	12 ครั้ง / ปี	3,200	38,400

ตารางที่ ข - 3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และ
ต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ประเภท	หน่วยบำบัด	ความถี่	ราคา (บาท)	ต้นทุนต่อปี (บาท)
ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ	WS		2,700,000	2,700,000
	AB		50,000,000	50,000,000
ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการ บำรุงรักษา	WS	1 ครั้ง / ปี	45,000	45,000
	AB	4 ครั้ง / ปี	140,000	560,000
ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ในระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	214.9	2,578.8
ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ใน ระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	13,000	156,000
	AB	12 ครั้ง / ปี	64,165.5	769,986
ต้นทุนค่าบำบัดของเสียที่ เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กาก ตะกอน กากของเสีย	WS (กากน้ำมัน)	4 ครั้ง / ปี	60,000	240,000
	WS (กากตะกอนน้ำเสีย)	12 ครั้ง / ปี	3,200	38,400

ตารางที่ ข - 4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และ
ผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ประเภท	หน่วยบำบัด	ความถี่	ราคา (บาท)	ต้นทุนต่อปี (บาท)
ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ	WS		2,727,000	2,727,000
	AB		50,000,000	50,000,000
ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการ บำรุงรักษา	WS	1 ครั้ง / ปี	45,000	45,000
	AB	4 ครั้ง / ปี	140,000	560,000
ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ในระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	214.9	2,578.8
ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ใน ระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	13,000	156,000
	AB	12 ครั้ง / ปี	63,000	756,000
ต้นทุนค่าบำบัดของเสียที่ เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กาก ตะกอน กากของเสีย	WS (กากน้ำมัน)	4 ครั้ง / ปี	60,000	240,000
	WS (กากตะกอนน้ำ เสีย)	12 ครั้ง / ปี	3,200	38,400

ตารางที่ ข - 5 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน : กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และ
ต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ประเภท	หน่วยบำบัด	ความถี่	ราคา (บาท)	ต้นทุนต่อปี (บาท)
ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ	WS		2,700,000	2,700,000
	AB		50,000,000	50,000,000
ต้นทุนค่าใช้จ่ายใน การบำรุงรักษา	WS	1 ครั้ง / ปี	45,000	45,000
	AB	4 ครั้ง / ปี	140,000	560,000
ต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ใน ระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	214.9	2,578.8
ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ ในระบบ	WS	12 ครั้ง / ปี	13,000	156,000
	AB	12 ครั้ง / ปี	63,630	763,560
ต้นทุนค่าบำบัดของ เสียที่เกิดขึ้น เช่น น้ำ เสีย กากตะกอน กาก ของเสีย	WS (กากน้ำมัน)	4 ครั้ง / ปี	60,000	240,000
	WS (กากตะกอนน้ำเสีย)	12 ครั้ง / ปี	3,200	38,400

ตารางที่ ข - 6 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ปีที่	ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ		ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาท)		ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าไฟฟ้า (บาท)		ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าบำรุงรักษาของเสียที่เกิดขึ้น (บาท)		ต้นทุนสุทธิของโครงการ (บาท)	
	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB
0	2,749,950	50,000,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,749,950	50,000,000
1	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
2	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
3	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
4	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
5	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
6	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
7	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
8	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
9	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
10	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	-	481,979	1,316,000
รวม													7,569,740	63,160,000

ตารางที่ ข - 7 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ปีที่	ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ		ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาท)		ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าบำรุงรักษาที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าบำรุงรักษาของเสียที่เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กากตะกอน กากของเสีย (บาท)		ต้นทุนสุทธิของโครงการ (บาท)	
	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB
0	2,700,000	50,000,000	-	-	-	-	-	-	-	-	2,700,000	50,000,000
1	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
2	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
3	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
4	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
5	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
6	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
7	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
8	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
9	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
10	-	-	45,000	560,000	156,000	769,986	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,329,986
รวม											7,519,790	63,299,860

ตารางที่ ข - 8 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประกอบการไม่มีการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ปีที่	ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ		ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาท)		ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าบำรุงรักษาที่ใช้ใน		ต้นทุนค่าบำรุงรักษาของเสียที่		ต้นทุนสุทธิของโครงการ (บาท)	
	WS	AB	WS	AB	WS (ไฟฟ้า)	AB (เชื้อเพลิง)	WS	AB	WS	AB	WS	AB
0	2,727,000	50,000,000	-	-	-	-	-	-	-	-	2,727,000	50,000,000
1	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
2	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
3	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
4	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
5	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
6	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
7	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
8	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
9	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
10	-	-	45,000	560,000	156,000	756,000	2,578.8	-	278,400	-	481,979	1,316,000
รวม											7,546,790	63,160,000

ตารางที่ ข - 9 ต้นทุนทางเศรษฐกิจของโครงการ กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ปีที่	ต้นทุนค่าติดตั้งระบบ		ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาท)		ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าไฟฟ้า (บาท)		ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ (บาท)		ต้นทุนค่าบำรุงรักษาของเสียที่เกิดขึ้น เช่น น้ำเสีย กากตะกอน กากของเสีย (บาท)		ต้นทุนสุทธิของโครงการ (บาท)		
	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	WS	AB	
0	2,700,000	50,000,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,700,000	50,000,000
1	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
2	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
3	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
4	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
5	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
6	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
7	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
8	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
9	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
10	-	-	45,000	560,000	156,000	763,560	2,578.8	-	278,400	-	278,400	-	-	481,979	1,329,986
รวม														7,519,790	63,299,860

ตารางที่ ข - 10 ผลประโยชน์ในการลดต้นทุนการเดินระบบทางเศรษฐกิจของโครงการ

ปีที่	ผลประโยชน์ในการลดต้นทุนการเดินระบบ			
	กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง	กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง
0	0	0	0	0
1	834,021	848,007	834,021	841,581
2	834,021	848,007	834,021	841,581
3	834,021	848,007	834,021	841,581
4	834,021	848,007	834,021	841,581
5	834,021	848,007	834,021	841,581
6	834,021	848,007	834,021	841,581
7	834,021	848,007	834,021	841,581
8	834,021	848,007	834,021	841,581
9	834,021	848,007	834,021	841,581
10	834,021	848,007	834,021	841,581
รวม	8,340,210	8,480,070	8,340,210	8,415,810

ตารางที่ ข - 11 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประกอบการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ลำดับ	รายการ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	รวม
		2560	2461	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	
1	ต้นทุนของโครงการ	2,749,950	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	7,569,740
2	ผลประโยชน์ของโครงการ	0	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	8,340,210
3	Discount Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	-
4	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ (1)*(3)	2,749,950	477,159	472,388	467,664	462,987	458,357	453,774	449,236	444,744	440,296	435,893	7,312,447
5	มูลค่าปัจจุบันของประโยชน์โครงการ (2)*(3)	0	825,681	817,424	809,250	801,157	793,146	785,214	777,362	769,588	761,893	754,274	7,894,989
6	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (5)-(4)	-2,749,950	348,522	345,036	341,586	338,170	334,788	331,441	328,126	324,845	321,596	318,380	582,541

ตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value : NPV)

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PVB} - \text{PVC} \\ &= 7,894,989 - 7,312,447 \\ &= 582,541 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 582,541 บาท แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่าเป็นบวก

2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - cost ratio : BCR)

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{\text{PVB}}{\text{PVC}} \\ &= \frac{7,894,989}{7,312,447} \\ &= 1.08 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

จากการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าเท่ากับ 1.08 เท่า แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่ามากกว่า 1

3. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period)

ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 3.37 ปี

ตารางที่ ข - 12 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ลำดับ	รายการ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	รวม
		2560	2461	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	
1	ต้นทุนของโครงการ	2,700,000	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	7,519,790
2	ผลประโยชน์ของโครงการ	0	848,007	848,007	848,007	848,007	848,007	848,007	848,007	848,007	848,007	848,007	8,480,072
3	Discount Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	-
4	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ (1)*(3)	2,700,000	477,159	472,388	467,664	462,987	458,357	453,774	449,236	444,744	440,296	435,893	7,262,497
5	มูลค่าปัจจุบันของประโยชน์โครงการ (2)*(3)	0	839,527	831,132	822,821	814,592	806,446	798,382	790,398	782,494	774,669	766,923	8,027,384
6	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (5)-(4)	-2,700,000	362,368	358,744	355,157	351,605	348,089	344,608	341,162	337,751	334,373	331,029	764,887

ตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.85 และ
 ต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value : NPV)

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PVB} - \text{PVC} \\ &= 8,027,384 - 7,262,497 \\ &= 764,887 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 764,887 บาท แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่า
 ทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่าเป็นบวก

2. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - cost ratio : BCR)

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{\text{PVB}}{\text{PVC}} \\ &= \frac{8,027,384}{7,262,497} \\ &= 1.11 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

จากการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าเท่ากับ 1.11 เท่า แสดงว่าโครงการมี
 ความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่ามากกว่า 1

3. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period)

ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิ
 ในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ
 3.25 ปี

ตารางที่ ข - 13 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ลำดับ	รายการ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	รวม
		2560	2461	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	
1	ต้นทุนของโครงการ	2,727,000	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	7,546,790
2	ผลประโยชน์ของโครงการ	0	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	834,021	8,340,210
3	Discount Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	-
4	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ (1)*(3)	2,727,000	477,159	472,388	467,664	462,987	458,357	453,774	449,236	444,744	440,296	435,893	7,289,497
5	มูลค่าปัจจุบันของประโยชน์โครงการ (2)*(3)	0	825,681	817,424	809,250	801,157	793,146	785,214	777,362	769,588	761,893	754,274	7,894,989
6	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (5)-(4)	-2,727,000	348,522	345,036	341,586	338,170	334,788	331,441	328,126	324,845	321,596	318,380	605,491

ตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีต้นทุนค่าติดตั้งระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และผลประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

4. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value : NPV)

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PVB} - \text{PVC} \\ &= 7,894,989 - 7,289,497 \\ &= 605,491 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 605,491 บาท แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่าเป็นบวก

5. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - cost ratio : BCR)

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{\text{PVB}}{\text{PVC}} \\ &= \frac{7,894,989}{7,289,497} \\ &= 1.08 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

จากการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าเท่ากับ 1.08 เท่า แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่ามากกว่า 1

6. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period)

ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 3.34 ปี

ตารางที่ ข - 14 ผลการศึกษาค่าทางเศรษฐศาสตร์กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง (หน่วย : บาท)

ลำดับ	รายการ	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	รวม
		2560	2461	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	
1	ต้นทุนของโครงการ	2,700,000	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	481,979	7,519,790
2	ผลประโยชน์ของโครงการ	0	841,581	841,581	841,581	841,581	841,581	841,581	841,581	841,581	841,581	841,581	8,415,812
3	Discount Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	-
4	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ (1)*(3)	2,700,000	477,159	472,388	467,664	462,987	458,357	453,774	449,236	444,744	440,296	435,893	7,262,497
5	มูลค่าปัจจุบันของประโยชน์โครงการ (2)*(3)	0	833,165	824,834	816,585	808,420	800,335	792,332	784,409	776,565	768,799	761,111	7,966,555
6	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (5)-(4)	-2,700,000	356,006	352,446	348,922	345,432	341,978	338,558	335,173	331,821	328,503	325,218	704,057

ตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ กรณีอัตราค่าพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0 และ ต้นทุนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

4. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value : NPV)

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{PVB} - \text{PVC} \\ &= 7,966,555 - 7,262,497 \\ &= 704,057 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 704,057 บาท แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่าเป็นบวก

5. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - cost ratio : BCR)

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{\text{PVB}}{\text{PVC}} \\ &= \frac{7,966,555}{7,262,497} \\ &= 1.10 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

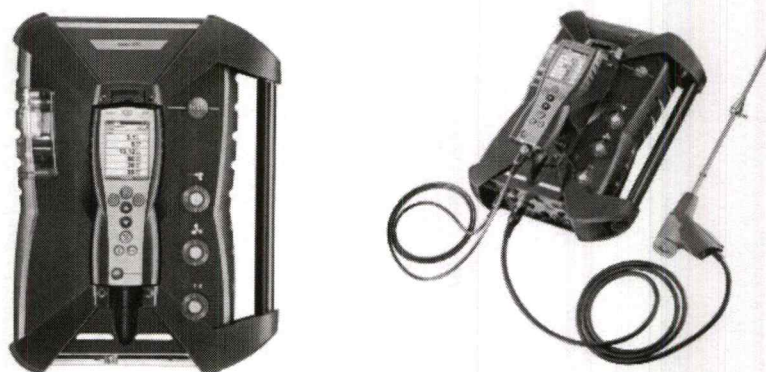
จากการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าเท่ากับ 1.10 เท่า แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุน เนื่องจากมีค่ามากกว่า 1

6. ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period)

ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก จากการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 3.28 ปี

ภาคผนวก ค

เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ Testo 350



เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ Testo 350 เป็นเครื่องมือตรวจวัดก๊าซมลภาวะจากปล่องระบายอากาศ ควบคุมไปกับการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกระบวนการผลิตได้ โดยสามารถเลือกติดตั้งเซ็นเซอร์วัดก๊าซได้พร้อมกัน 4 เซ็นเซอร์ ได้แก่ O_2 , CO , CO_{low} , NO , NO_{low} , NO_2 และ SO_2 (มีเซ็นเซอร์ O_2 เป็นมาตรฐาน) โดยมีข้อจำกัดในการตรวจวัดอยู่ช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส และมีฟิลเตอร์สำหรับเซ็นเซอร์ NO เพื่อยืดอายุการใช้งาน โดยเครื่องสามารถเจือจางความเข้มข้นก๊าซไอเสียได้สูง (dilution) สำหรับเซ็นเซอร์ O_2 , CO , CO_{low} , NO , NO_{low} และ SO_2 ได้สูงสุดถึง 40 เท่า และมีการตั้งค่าศูนย์ (Zeroing) ของเซ็นเซอร์วัดแรงดันอัตโนมัติทุก 10 วินาที เพื่อหลีกเลี่ยงการเบี่ยงเบนไปของเซ็นเซอร์วัดแรงดันเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลง

Kalibrier-Protokoll

Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage
Certificato di taratura • Informe de calibración

Be sure. 

Gerät / Module type / Type de modèle / Prodotto / Modelo: T350
Seriennummer / Serial No. / No. de série / No. Serie strumento / n° de serie: 61213289

Temperaturmessung Temperature measurement Mesure de température Misura della temperatura Medición de temperatura	Sollwert Reference Référence Valore campione Referencia	Istwert Actual value Valeur effective Valore misurato Valor medido	zulässige Abweichung Permissible deviation Différence admissible Scostamento ammesso Desviación permitida
Verbrennungslufttemp. / Ambient air temp. Température d'air de combustion Temperatura aria comburente Temperatura ambiente	100.0 °C	100.1 °C	± 0.5 °C
Abgastemperatur / Flue gas temperature Température des fumées Temperatura fumi Temperatura gases	100.0 °C	100.0 °C	± 0.5 °C
Zug-/Druckmessung Draught/pressure measurement Mesure de tirage/de pression Misura della pressione/tiraggio Medición de trío/ presión	8.00 hPa	7.97 hPa	± 0.12 hPa

Gasmeßwerte / Gas values / Valeurs de gaz mesurées / Parametri di misura del gas / Gases patrón

Reg. Nr. Reg. No. Reg. No. Num. reg. n° certi	Gas	Sollwert Reference Référence Valore campione Referencia	Istwert Actual value Valeur effective Valore misurato Valor medido	zulässige Abweichung Permissible deviation Différence admissible Scostamento ammesso Desviación permitida
20180253	NO	153 ppm	151 ppm	± 8 ppm
20180190	O2	5.01 %	5.04 %	± 0.20 %
20180677	O2	2.52 %	2.52 %	± 0.20 %
20180253	O2	0.00 %	0.00 %	± 0.20 %
20180190	CO	403 ppm	401 ppm	± 20 ppm
20180677	CO	703 ppm	699 ppm	± 35 ppm
20180253	CO	100 ppm	104 ppm	± 10 ppm

Datum/Date/Data/Data/Fecha: 27.04.2018 Prüfer/Inspector/Vérificateur/Verificatore/Verificador: 4869

ภาคผนวก ง

Sunpress oil

ROCOL**SAFETY DATA SHEET**

SUNPRESS S105J

Page: 1

Compilation date: 10/10/2014

Revision No: 5

Section 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking**1.1. Product Identifier**

Product name: SUNPRESS S105J

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of substance / mixture: Metal Forming Lubricant

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Company name: ROCOL

ROCOL House

Swillington

Leeds

West Yorkshire

LS26 8BS

ENGLAND

Tel: +44 (0) 113 232 2700

Fax: +44 (0) 113 232 2740

Email: customer-service@rocol.com**1.4. Emergency telephone number**

Emergency tel: +44 (0) 113 232 2600

Section 2: Hazards Identification**2.1. Classification of the substance or mixture**

Classification under CHIP: Xn: R65

Most important adverse effects: Harmful: may cause lung damage if swallowed.

2.2. Label elements

Label elements under CHIP:

Hazard symbols: Harmful.



Risk phrases: R65: Harmful: may cause lung damage if swallowed.

Safety phrases: S62: If swallowed, do not induce vomiting: seek medical advice immediately and show this container or label.

2.3. Other hazards

PBT: This product is not identified as a PBT/vPvB substance.

[cont...]

SAFETY DATA SHEET

SUNPRESS 8105J

Page: 2

Section 3: Composition/Information on Ingredients

3.2. Mixtures

Hazardous Ingredients:

HYDROCARBONS, C13-C16, N-ALKANES, ISOALKANES, CYCLICS, <0.03% AROMATICS - REACH registered number(s): 01-2119826592-36-XXXX

EINECS	CAS	CHIP Classification	CLP Classification	Percent
934-954-2	-	Xn: R65	Asp. Tox. 1: H304; -: EUH065	70-90%

ALIPHATIC ALCOHOL

278-306-0	75782-86-4	N: R50	Aquatic Acute 1: H400; Aquatic Chronic 2: H411	1-10%
-----------	------------	--------	--	-------

Section 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

Skin contact: Wash immediately with plenty of soap and water.

Eye contact: Bathe the eye with running water for 15 minutes. Consult a doctor.

Ingestion: Wash out mouth with water.

Inhalation: Remove casualty from exposure ensuring one's own safety whilst doing so.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Skin contact: There may be mild irritation at the site of contact.

Eye contact: There may be irritation and redness.

Ingestion: There may be irritation of the throat.

Inhalation: There may be coughing and a sore throat.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Section 5: Fire-fighting measures

5.1. Extinguishing media

Extinguishing media: Use water spray to cool containers. Suitable extinguishing media for the surrounding fire should be used.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Exposure hazards: In combustion emits toxic fumes of carbon dioxide / carbon monoxide.

5.3. Advice for fire-fighters

Advice for fire-fighters: Wear self-contained breathing apparatus. Wear protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

Section 6: Accidental release measures

[cont...]

SAFETY DATA SHEET

SUNPRESS 8105J

Page: 3

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Personal precautions: Refer to section 8 of SDS for personal protection details.

6.2. Environmental precautions

Environmental precautions: Do not discharge into drains or rivers.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Clean-up procedures: Transfer to a closable, labelled salvage container for disposal by an appropriate method.

6.4. Reference to other sections**Section 7: Handling and storage****7.1. Precautions for safe handling**

Handling requirements: Avoid direct contact with the substance.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions: Store in cool, well ventilated area.

Suitable packaging: Must only be kept in original packaging.

7.3. Specific end use(s)**Section 8: Exposure controls/personal protection****8.1. Control parameters**

Workplace exposure limits: No data available.

DNEL/PNEC Values

DNEL / PNEC: No data available.

8.2. Exposure controls

Engineering measures: Ensure there is sufficient ventilation of the area.

Respiratory protection: Respiratory protection not normally required.

Hand protection: Protective gloves.

Eye protection: Safety glasses with side-shields.

Skin protection: Protective clothing.

Environmental: No special requirement.

Section 9: Physical and chemical properties**9.1. Information on basic physical and chemical properties**

State: Liquid

Colour: Colourless

Odour: Characteristic odour

Evaporation rate: Negligible

[cont...]

SAFETY DATA SHEET

SUNPRESS S105J

Page: 5

Section 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Ecotoxicity values: No data available.

12.2. Persistence and degradability

Persistence and degradability: Only slightly biodegradable.

12.3. Bioaccumulative potential

Bioaccumulative potential: No data available.

12.4. Mobility in soil

Mobility: Non-volatile. Absorbed only slowly into soil.

12.5. Results of PBT and vPvB assessment

PBT identification: This product is not identified as a PBT/vPvB substance.

12.8. Other adverse effects

Section 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Disposal of packaging: Dispose of in a regulated landfill site or other method for hazardous or toxic wastes.

NB: The user's attention is drawn to the possible existence of regional or national regulations regarding disposal.

Section 14: Transport information

Transport class: This product does not require a classification for transport.

Section 15: Regulatory information

15.1. Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

15.2. Chemical Safety Assessment

Section 16: Other information

Other information

Other information: This safety data sheet is prepared in accordance with Commission Regulation (EU) No 453/2010.

Complied in accordance with REACH.

Product label must specify:

CONTAINS SUBSTANCE(S):

HYDROCARBONS, C13-C16, N-ALKANES, ISOALKANES, CYCLICS, <0.03%

AROMATIC (EC no. 934-954-2)

[cont...]

SAFETY DATA SHEET

BUNPRESS S105J

Page: 6

Phrases used in 2.2 and 2.3: EUH066: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.

H304: May be fatal if swallowed and enters airways.

H400: Very toxic to aquatic life.

H411: Toxic to aquatic life with long lasting effects.

R50: Very toxic to aquatic organisms.

R55: Harmful may cause lung damage if swallowed.

Legend to abbreviations: PNEC = predicted no effect level

DNEL = derived no effect level

LD50 = median lethal dose

LC50 = median lethal concentration

EC50 = median effective concentration

IC50 = median inhibitory concentration

dw = dry weight

bw = body weight

cc = closed cup

oc = open cup

MUS = mouse

GPG = guinea pig

RBT = rabbit

HAM = hamster

HMN = human

MAM = mammal

PGN = pigeon

IVN = intravenous

SCU = subcutaneous

EKN = skin

DRM = dermal

OCC = ocular/comest

PCP = physico-chemical properties

Legal disclaimer: The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. This company shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product.

[final page]