



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติ
ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA

**Substitution of Natural Gas by Tail Gas from Olefin Plant
at Hot Oil Furnaces in PTA Production**

นายรัชชัย เสนีย์ศรีสกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเคมี ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

การใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติ
ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA

**Substitution of Natural Gas by Tail Gas from Olefin Plant
at Hot Oil Furnaces in PTA Production**

นายรัชชัย เสนีย์ศรีสกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเคมี ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติ ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA	
ชื่อ-สกุล	นายรณชัย เสนีย์ศรีสกุล	
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
ชื่อ-สกุล อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมนามุลย์	
ชื่อ-สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ	
ชื่อ-สกุล ผู้ดูแลงาน	1. นายคณศ เพชรรมณีทวีสิน	วิศวกรส่วนเทคนิค
	2. นายวุฒิวัฒน์ ติรรัชกุล	วิศวกรส่วนเทคนิค
สถานประกอบการ	บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด	

บทคัดย่อ

เศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นหลักการเปลี่ยนแปลงวงจรการใช้ทรัพยากรของโรงงานอุตสาหกรรมอย่างคุ้มค่าและมีการหมุนเวียนได้มากที่สุดเพื่อลดการเกิดของเสีย ลดค่าใช้จ่ายต่างๆ และตอบ โจทย์การบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน โครงการสหกิจศึกษานี้ดำเนินการที่บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ซึ่งอยู่ในกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Tail gas ที่มีราคาถูกจากโรงงาน โอลิฟินในกลุ่มบริษัท เป็นเชื้อเพลิงแทน ก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิตกรดเทเรฟทาลิกบริสุทธิ์ (Purified Terephthalic Acid: PTA) งานที่ทำประกอบด้วยการศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของ Tail gas เปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติ การคำนวณอัตราการไหลและความดันภายในท่อส่ง Tail gas จาก โรงงาน โอลิฟินถึงกระบวนการผลิต PTA ด้วยการควบคุมมวลสารและพลังงาน การวิเคราะห์การถอดถอยและการคำนวณไฮดรอลิก การศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อ กระบวนการผลิต การศึกษาหน่วย Tail gas header รวมทั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นที่ต้อง จัดหาเพิ่มเติมเมื่อใช้ Tail gas และสุดท้ายประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยอัตรา ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบ สมบัติ อัตรา การไหลของ Tail gas และความดันภายในท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินเพียงพอต่อการนำ Tail gas มาใช้แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA แต่มี

ข้อควรระวังเกี่ยวกับการกัดกร่อนและความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูง พบว่าต้องใช้ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว (Sch. No. 40) ความยาว 1.7 กิโลเมตร จากจุดเชื่อมต่อถึงกระบวนการผลิต PTA และติดตั้ง Tail gas header และ Tail gas holders ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายของการลงทุนทั้งหมด 8 ล้านบาท ได้รับผลตอบแทนปีละ 1 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายในประมาณ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 20 ปี โดยยังไม่รวมค่าจ้างแรงงาน ดังนั้นโครงการนี้ไม่เหมาะสมต่อการลงทุน แต่มีความน่าสนใจเมื่อพิจารณาผลตอบแทนต่อบริษัทในกลุ่ม พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

คำสำคัญ: กระบวนการผลิต PTA เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ก๊าซธรรมชาติ Tail gas

required. The estimated investment cost is about 8 MTHB. The net benefit from this project is approx. 1 MTHB/year at the internal rate of return (IRR) of 7.5% in 20 years. Based on the company's criteria, it is not viable for the company to invest but it may be worth to the PTT Global Chemical Public Co., Ltd. group.

Keywords: PTA production, Hot oil furnace, Natural gas, Tail gas.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ที่ให้โอกาสและสนับสนุนการทำโครงการสหกิจศึกษานี้ และขอขอบคุณพี่ๆ ที่บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือและดูแลข้าพเจ้าเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณกณิศ เพชรมณีทวีสิน คุณจิตติวัฒน์ ตีระชกุล และพี่ทุกท่านที่ดูแล ให้ความรู้ คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการออกแบบและการคำนวณ รวมทั้งสอนการปฏิบัติงานในบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ชันนันต์ สมานมุลย์ และรศ.ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และคำชี้แนะในการแก้ปัญหาตลอดจนให้ประสบการณ์ต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายกราบบิดามารดา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

คุณงามความดีใดที่อาจเกิดจากงานนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดี ให้แก่ข้าพเจ้า

นายรณชัย เสนีย์ศรีสกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 Purified Terephthalic Acid.....	4
2.2 เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน.....	6
2.3 ก๊าซธรรมชาติ.....	8
2.4 Tail Gas.....	8
2.5 ค่าความร้อน.....	8
2.6 การควบคุมมลสารและพลังงาน.....	9
2.7 การวิเคราะห์การถดถอย.....	11
2.8 การคำนวณไฮดรอลิก.....	12
2.9 การกักกรองที่อุณหภูมิสูง.....	14
2.10 การสูญเสียคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 ความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูง	21
2.12 อัตราผลตอบแทนภายใน	21
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	24
3.1 ศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของ Tail Gas	24
3.2 จำนวนอัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงาน โอลิฟิน มาที่กระบวนการผลิต PTA	24
3.3 ศึกษาเส้นทางของท่อส่ง Tail Gas และคำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail Gas จากโรงงาน โอลิฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA	27
3.4 ศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดจากการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่ เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	29
3.5 ศึกษาและตรวจสอบการทำงานของหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่จำเป็น ต่อการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	30
3.6 ประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และคำนวณผลตอบแทนที่ได้	31
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	33
4.1 องค์ประกอบและสมบัติของ Tail Gas เปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติ	33
4.2 อัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงาน โอลิฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA	34
4.3 เส้นทางของท่อส่ง Tail Gas และความดันภายในท่อส่ง Tail Gas จากโรงงาน โอลิฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA	38
4.4 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่ เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	40
4.5 หน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อการใช้ Tail Gas แทน ก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	43
4.6 ผลประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	67
ประวัติผู้เขียน	73

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติและ Tail gas	33
ตารางที่ 4.2	ค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติและ Tail gas	33
ตารางที่ 4.3	ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด พ.ศ. 2562	34
ตารางที่ 4.4	ตัวแปรอิสระที่มีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่ เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน.....	36
ตารางที่ 4.5	อุณหภูมิโลหะของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนและ อุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	40
ตารางที่ 4.6	อุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่อาจเกิดความเสียหาย กรณีใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติ	41
ตารางที่ 4.7	ความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน กรณีใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟิน	42
ตารางที่ 4.8	เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	46
ตารางที่ 4.9	Damper position ของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	47
ตารางที่ 4.10	ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อ การใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด.....	48

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	Purified terephthalic acid block flow diagram	5
รูปที่ 2.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Purified terephthalic acid	6
รูปที่ 2.3	ประเภทของเครื่องให้ความร้อนทั่วไป	6
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA	7
รูปที่ 2.5	กลไกการกักความร้อนของออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง	15
รูปที่ 2.6	อัตราการกักความร้อนโดยประมาณสำหรับการเกิดออกซิเดชัน	15
รูปที่ 2.7	การเกิดออกซิเดชันของนอตเหล็กกล้าคาร์บอนบนแกนตั้งเหล็กกล้าไม่เป็สนิม ที่ 704 °C.....	16
รูปที่ 2.8	ผลของอุณหภูมิต่อการกักความร้อนของสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูง ในเหล็กกล้าและเหล็กกล้าไม่เป็สนิม	17
รูปที่ 2.9	ตัวคูณสำหรับอัตราการกักความร้อนในรูปที่ 2.8 โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของกำมะถัน ที่แตกต่างกัน	18
รูปที่ 2.10	ความเสียหายที่เกิดจากการกักความร้อนของสารประกอบกำมะถันในท่อข้องอ 90 °.....	18
รูปที่ 2.11	อุณหภูมิและความดันของไฮโดรเจนที่ปลอดภัยสำหรับการทำงาน ของเหล็กกล้าคาร์บอนและโลหะผสมต่ำ	20
รูปที่ 2.12	ความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงของท่อหม้อไอน้ำ.....	21
รูปที่ 3.1	Block flow diagram of hot oil system in PTA production process	25
รูปที่ 3.2	Moody's diagram.....	28
รูปที่ 4.1	อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่อัตราส่วนต่างๆ ของการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติ.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2	ผลตอบแทนที่ได้ในอัตราส่วนต่างๆ ของการใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟิน แทนก๊าซธรรมชาติของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด	38
รูปที่ 4.3	เส้นทางของท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินถึงกระบวนการผลิต PTA.....	39
รูปที่ 4.4	ความดันภายในท่อของ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินถึงกระบวนการผลิต PTA.....	40
รูปที่ 4.5	เส้นทางของท่อส่งก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	43
รูปที่ 4.6	หน่วยปฏิบัติการและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	43
รูปที่ 4.7	หน่วยปฏิบัติการ Tail gas header ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	44
รูปที่ 4.8	การติดตั้ง Tail gas holders ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	45
รูปที่ 4.9	ผลตอบแทนที่ได้ของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ในการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	49
รูปที่ ก.1	ตัวอย่างการคำนวณ Friction factor	60
รูปที่ ก.2	ตัวอย่างการปฏิบัติงานของ Tail gas holders ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน.....	62
รูปที่ ก.3	ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมความดัน ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	64
รูปที่ ก.4	ตัวอย่างการคำนวณ Damper position ของพัดลมเป่าอากาศ ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน.....	65
รูปที่ ก.5	ตัวอย่างการเขียน Cash flow ในการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายในของการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน....	66
รูปที่ ข.1	ตัวอย่างการกรอกข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ลงในโปรแกรม Microsoft office excel.....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.2	ตัวอย่างหน้าต่างคำสั่ง Regression ของโปรแกรม Microsoft office excel	68
รูปที่ ข.3	ตัวอย่างการเลือกข้อมูลของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ	68
รูปที่ ข.4	ตัวอย่างผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ	69
รูปที่ ข.5	ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการกักร้อนของออกซิเดชันของเหล็กกล้าคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 375°C ในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	70
รูปที่ ข.6	ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการกักร้อนของสารประกอบกำมะถันใน เหล็กกล้าคาร์บอนที่อุณหภูมิ 775°C (1427°F)ในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	71
รูปที่ ข.7	ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการกักร้อนของสารประกอบกำมะถันที่ความเข้มข้น 0.003%โดยน้ำหนักในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน	72

บทที่ 1

บทนำ

เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) เป็นหลักการเปลี่ยนแปลงวงจรการใช้ทรัพยากร ให้มีการหมุนเวียนได้มากที่สุด ซึ่งอาจเป็นการใช้หมุนเวียนในโรงงานเองหรือระหว่างกลุ่มบริษัท ในเครือ หรือเป็นการเปลี่ยนจากขั้นตอนที่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด เป็นการใช้ทรัพยากรที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือนำทรัพยากรที่มาจากสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว หรือของเสียมาใช้ในกระบวนการผลิตอย่างคุ้มค่า จึงเป็นการลดการเกิดของเสียและตอบโจทย์ การบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน โครงการนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Tail gas ซึ่งเป็น ผลพลอยได้ (By-product) จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (Hot oil furnaces) ในกระบวนการผลิต PTA ของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด เพื่อเป็นทางเลือกใน การใช้พลังงานทดแทนและลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน (Operating cost)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ทำธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตและจัดจำหน่าย Purified terephthalic acid (PTA) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในงานของอุตสาหกรรมพลาสติก บรรจุภัณฑ์ และสิ่งทอ มีสายการผลิตทั้งหมด 3 โรงงาน แต่ทำการผลิตเพียง 2 โรงงาน คือ โรงงานที่ 2 และ 3 เนื่องจาก ปัญหาเชิงพาณิชย์ โดยกระบวนการผลิต PTA ประกอบด้วย หน่วย Crude terephthalic acid (CTA unit) และหน่วย Purified Terephthalic Acid (PTA unit) เริ่มจากการส่งพาราไซลีน อากาศ ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวทำละลาย เข้าเครื่องปฏิกรณ์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากนั้นสารละลาย Intermediate ที่ได้จะถูกส่งเข้าเครื่องแยกและเครื่องอบแห้งได้ผง CTA แล้วแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและ ตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ ส่วนผง CTA จะถูกส่งเข้าเครื่องปฏิกรณ์เกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation reaction) เพื่อผสมกับน้ำปราศจากไอออน โดยใช้เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (Hot oil furnace) ในการให้ความร้อนกับสารละลาย CTA จากนั้นจะส่งสารละลาย Intermediate ที่ ได้เข้าเครื่องแยกและอบแห้งได้ผง PTA ที่ต้องการ

โดยปกติความร้อนที่ให้แก่สารละลาย CTA ที่เครื่องปฏิกรณ์ ได้จากการเผาไหม้ ก๊าซธรรมชาติที่จัดซื้อและก๊าซชีวภาพที่ผลิตเองจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท ความร้อน

จากการเผาไหม้ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนจะถ่ายโอนให้ตัวกลางน้ำมันร้อนและส่งไปที่เครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้ น้ำมันร้อนยังถูกนำไปใช้ให้ความร้อนที่อุปกรณ์ต่างๆ เช่น Hot oil cooler เพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด อยู่ในกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) การพิจารณาเลือกใช้พลังงานอื่นจากบริษัทในกลุ่มซึ่งมีราคาถูกกว่าแทนก๊าซธรรมชาติคาดว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานได้ โครงการนี้บริษัทต้องศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Tail gas ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงาน โอเลฟิน มาให้พลังงานความร้อนแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA

Tail gas เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่างๆ มีองค์ประกอบและสมบัติแตกต่างกันตามกระบวนการผลิต โดยทั่วไปจะใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในกระบวนการผลิต หากไม่มีการนำไปใช้ต้องจำกัดทิ้ง Tail gas จากกระบวนการผลิตโอเลฟินประกอบด้วยมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก ในการนำ Tail gas มาใช้ต้องศึกษาการปฏิบัติงานได้ ผลกระทบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดต่างๆ และประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และผลตอบแทนที่ได้ เช่น ค่าใช้จ่ายในการวางท่อจากโรงงาน โอเลฟินถึงกระบวนการผลิต PTA การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ที่จำเป็นต้องเพิ่มเติม เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA
- 2) ประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

1.3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการ

- 1) รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นของ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินในกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) เพื่อใช้แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA ได้แก่ องค์ประกอบ สมบัติ อัตราการไหล เส้นทางและความดันภายในท่อส่ง Tail gas
- 2) ศึกษาผลกระทบของการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่อาจเกิดขึ้นต่อกระบวนการผลิต PTA

- 3) ศึกษาหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นต่อการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน
- 4) ประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของ Tail gas
- 2) กำหนดอัตราการไหลของ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินในกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) มาที่กระบวนการผลิต PTA โดยการควบคุมมวลสารและพลังงานและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ
- 3) ศึกษาเส้นทางของท่อส่ง Tail gas และคำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail gas จากโรงงานโอเลฟินในกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ถึงกระบวนการผลิต PTA โดยการคำนวณไฮดรอลิก
- 4) ศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดจากการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนตามมาตรฐาน API 571 และ API 941
- 5) ศึกษาและตรวจสอบการทำงานของหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน
- 6) ประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และคำนวณผลตอบแทนที่ได้ด้วยอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ผลการศึกษาการใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA
- 2) การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

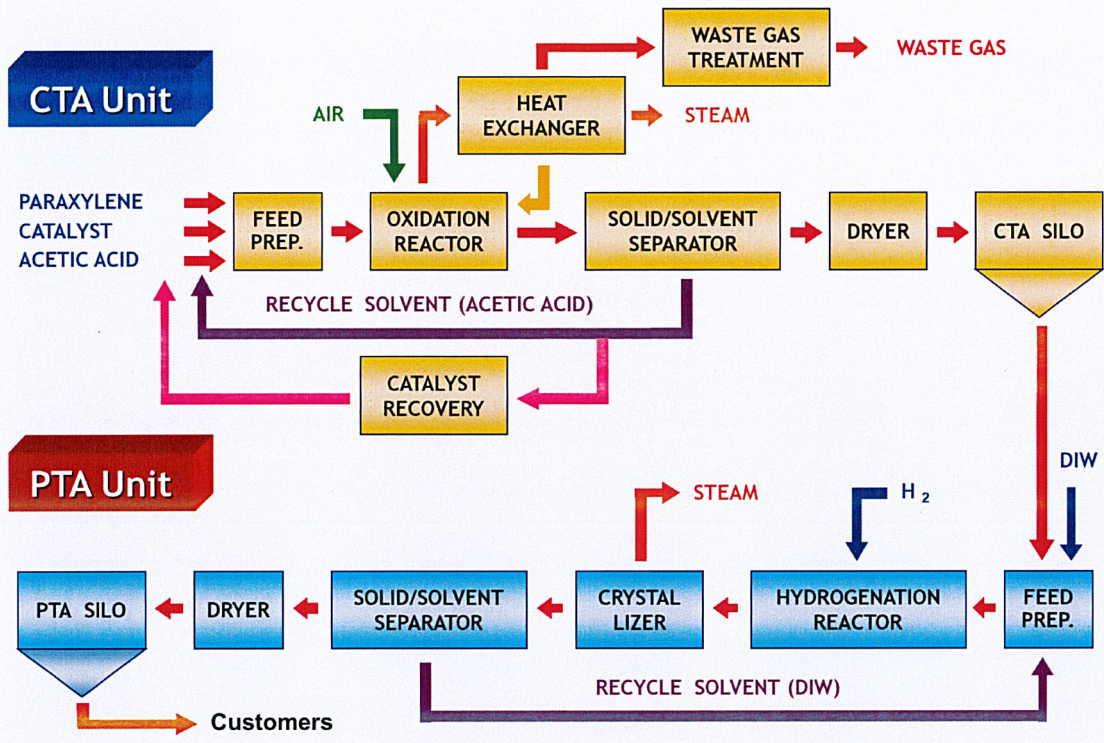
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงกระบวนการผลิต PTA เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ก๊าซธรรมชาติ Tail gas และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อกระบวนการผลิต PTA ของการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อน รวมถึงวิธีการคำนวณ สมการที่ใช้ในการคำนวณ ต่างๆ และสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงาน

2.1 Purified Terephthalic Acid

Purified terephthalic acid (PTA) เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดพลาสติก Polyethylene terephthalate (PET) ซึ่งใช้ในงานของอุตสาหกรรมพลาสติกและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวด ภาชนะบรรจุอาหาร และแผ่นฟิล์ม เป็นต้น และเป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ (Polyester fibers) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2.1.1 กระบวนการผลิต Purified Terephthalic Acid

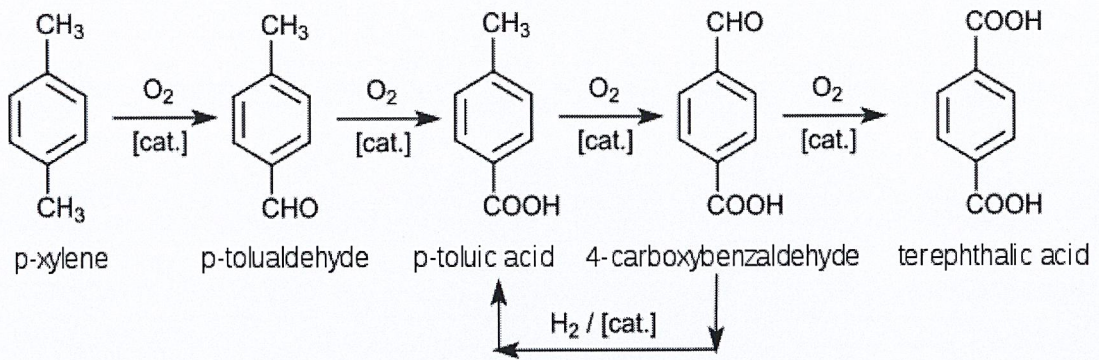
กระบวนการผลิต PTA ประกอบด้วย หน่วย Crude terephthalic acid (CTA unit) และหน่วย Purified terephthalic acid (PTA unit) โดยเริ่มจากการส่งพาราไซลีน ตัวเร่งปฏิกิริยา และกรดแอซิดิกเข้าหน่วยเตรียมการป้อน (Feed preparation) แล้วส่งเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบออกซิเดชัน (Oxidation reactor) เพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ ได้สารละลาย Intermediate ออกทางด้านล่างเข้าเครื่องแยกตัวทำละลายและของแข็ง (Solid and solvent separator) เพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยา และกรดแอซิดิกกลับมาใช้ใหม่ และป้อนเข้าเครื่องอบแห้ง (Dryer) ได้ผง CTA เก็บไว้ที่ไซโล (CTA silo) จากนั้นผง CTA จะถูกส่งเข้าหน่วยเตรียมการป้อน (Feed preparation) เพื่อผสมกับน้ำปราศจากไอออน โดยใช้เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (Hot oil furnace) ในการให้ความร้อนกับสารละลาย CTA แล้วป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation reactor) ได้สารละลาย Intermediate ออกมาเข้าสู่เครื่องตกผลึก (Crystallizer) จากนั้นส่งเข้าเครื่องแยกตัวทำละลายและของแข็ง และเครื่องอบแห้ง ได้ผง PTA ที่ต้องการเก็บไว้ที่ไซโล (PTA silo) ก่อนนำส่งให้ลูกค้าผ่านทางท่อและรถบรรทุกต่อไป



รูปที่ 2.1 Purified terephthalic acid block flow diagram (GC-M PTA Co., Ltd., 2019)

2.1.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Purified terephthalic acid

Purified terephthalic acid เกิดจากการออกซิเดชันของพาราไซลีน โดยอนุมูลเสรี (Free radical) ของโบรมไนด์จะสลายสารประกอบไฮเปอร์ออกไซด์ของโคบอลต์และแมงกานีส ทำให้เกิดอนุมูลเสรีของออกไซด์จับกับไฮโดรเจนที่หมู่ Methyl ส่งผลให้ความแข็งแรงของพันธะของคาร์บอนกับไฮโดรเจนลดลง พาราไซลีนจึงถูกเปลี่ยนเป็น *p*-Toluic acid และ Terephthalic acid และการเกิดออกซิเดชันไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิด 4-Carboxybenzaldehyde (4-CBA) ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ไม่บริสุทธิ์ ดังรูปที่ 2.2

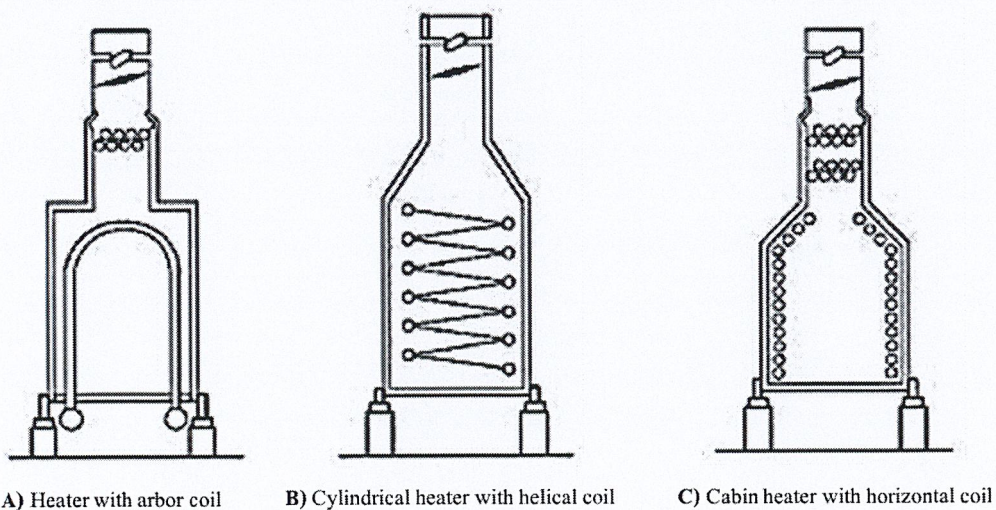


รูปที่ 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Purified terephthalic acid (GC-M PTA Co., Ltd., 2019)

ส่วนใหญ่ใช้โคบอลต์ แมงกานีส และสารประกอบโบรไมด์ เช่น โซเดียมโบรไมด์ ไฮโดรเจนโบรไมด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดแอซิดิกเป็นตัวทำละลาย และออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์

2.2 เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (Hot Oil Furnace)

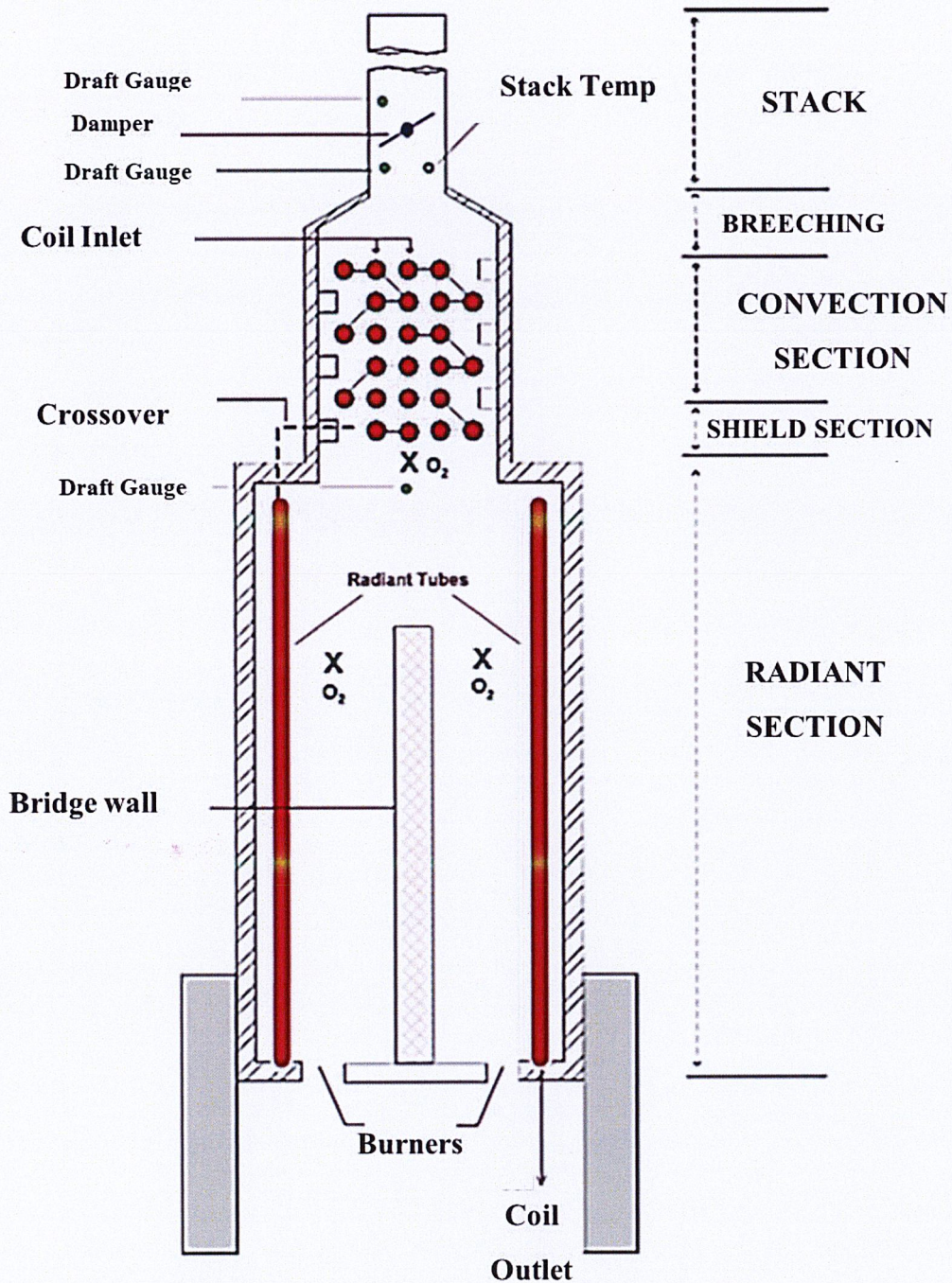
เครื่องให้ความร้อน (Heater) เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่ใช้ความร้อนโดยตรงจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ถ่านหิน เป็นต้น ในอุตสาหกรรมทั่วไป เครื่องให้ความร้อนที่ใช้กันมากมีลักษณะเป็นกล่อง ทรงกระบอก และ Cabin ภายในเครื่องให้ความร้อนยังมีลักษณะที่ต่างกันตามการจัดวางท่อขดลวด (Coil tubes) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ประเภทของเครื่องให้ความร้อนในอุตสาหกรรมทั่วไป

(American Petroleum Institute, 2011)

เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (Hot oil furnace) ในกระบวนการผลิต PTA ลักษณะเป็นกล่องและ
การวางท่อขดลวดในแนวตั้ง (Vertical coil) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA

(Ametek Process Instruments, 2016)

โดยก๊าซธรรมชาติและอากาศจะถูกส่งเข้าเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนทางด้านล่าง แล้วเกิดการเผาไหม้โดยใช้หัวเผาเชื้อเพลิง (Burner) สร้างประกายไฟ น้ำมันร้อนที่นำไปให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต PTA จะถูกส่งกลับมารับความร้อนผ่านทางท่อที่อยู่ด้านข้าง ในส่วนของการแผ่รังสีความร้อน (Radiation section) และด้านบนในส่วนของการพาความร้อนของอากาศ (Convection section) แล้วส่งไปให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ต่างๆ อีกครั้ง ส่วนอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้จะถูกปล่อยสู่บรรยากาศจากทางด้านบนของเตา (Stack) ซึ่งอาจเกิดผลกระทบจากการกัดกร่อน เช่น การเกิดออกซิเดชัน การสูญเสียคาร์บอน เป็นต้น

2.3 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)

ก๊าซธรรมชาติเป็นปิโตรเลียมชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกันภายใต้ความร้อนหลายร้อยล้านปี และแรงกดดันมหาศาลจนแปรสภาพเป็นปิโตรเลียมทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็ง(ถ่านหิน) ของเหลว(น้ำมันดิบ) และก๊าซ(ก๊าซธรรมชาติ) โดยทั่วไปก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วย มีเทนร้อยละ 70 ขึ้นไป และไฮโดรคาร์บอน เช่น อีเทน โพรเพน บิวเทน รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์และน้ำ เมื่อนำมาใช้งานต้องผ่านการแยกก๊าซออกจากกันเสียก่อน จึงใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเม็ดพลาสติก โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) เป็นต้น

2.4 Tail Gas

Tail gas เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่างๆ มีองค์ประกอบและสมบัติแตกต่างกันตามกระบวนการผลิต โดย Tail gas จากกระบวนการผลิตโอเลฟินประกอบด้วย มีเทนสูงถึงร้อยละ 80 ไฮโดรเจนร้อยละ 20 ไฮโดรเจนซัลไฟด์และน้ำเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม

2.5 ค่าความร้อน (Calorific Values)

Tail gas จากโรงงานโอเลฟินและก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลทำให้ค่าความร้อนของ Tail gas เพียงพอต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน โดยความร้อนของเชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้ที่มี

อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เรียกว่า ค่าความร้อน (Calorific values) ในกระบวนการเผาไหม้ ไอ้ น้ำ ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะดูดซึมความร้อนบางส่วนไว้ในรูปความร้อนแฝงของไอ้ น้ำ ซึ่งผลรวมของความร้อนกับความร้อนแฝงของไอ้ น้ำ เรียกว่า ค่าความร้อนรวม (Gross calorific values: GCV) และค่าความร้อนที่ไม่รวมกับความร้อนแฝงของไอ้ น้ำ เรียกว่า ค่าความร้อนสุทธิ (Net calorific values: NCV)

2.6 การควบคุมมวลสารและพลังงาน (Material and Energy Balances)

การใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน จำเป็นต้องศึกษาอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน และคำนวณอัตราการไหลของ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินด้วยสมการดังต่อไปนี้

2.6.1 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency)

หน่วยหรืออุปกรณ์ที่เกิดการเผาไหม้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ไปสู่ผลิตภัณฑ์หรือสารต่างๆ ได้ เช่น หม้อไอน้ำ เตาเผา เป็นต้น ซึ่งพลังงานความร้อนนั้นไม่สามารถนำไปให้ความร้อนกับสารที่ต้องการได้ทั้งหมด มีบางส่วนที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่เกิดการเผาไหม้ ดังสมการที่ 2.1

$$\eta = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\dot{Q} \times \text{NCV}} \quad (2.1)$$

โดย	η	=	ประสิทธิภาพการเผาไหม้
	\dot{m}	=	อัตราการไหลเชิงมวลของผลิตภัณฑ์หรือสารที่ต้องการ (kg/s)
	\dot{Q}	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง (m ³ /s)
	h_1	=	เอนทัลปีขาเข้าของผลิตภัณฑ์หรือสารที่ต้องการ (kcal/kg)
	h_2	=	เอนทัลปีขาออกของผลิตภัณฑ์หรือสารที่ต้องการ (kcal/kg)
	NCV	=	ค่าความร้อนสุทธิ (kcal/m ³)

2.6.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

ความร้อนที่ถูกนำไปใช้ย่อมน้อยกว่าความร้อนที่ใส่เข้าไปในอุปกรณ์ให้ความร้อน โดยอัตราส่วนของความร้อนที่ถูกนำไปใช้ต่อความร้อนที่ใส่เข้าไปเรียกว่า “ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency)” ดังสมการที่ 2.2

$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_H} \quad (2.2)$$

โดย η = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
 W_{out} = ความร้อนที่ถูกนำไปใช้ (kcal/kg)
 Q_H = ความร้อนที่ใส่เข้าไป (kcal/kg)

2.6.3 การดุลพลังงานสำหรับระบบเปิด (Energy Balance for Open Systems)

การดุลพลังงานทั่วไปของพลังงาน มีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายโอนพลังงานสุทธิเข้าสู่ระบบที่ ปริมาตรคงตัว ($E_{in} - E_{out} = E_{accumulate}$) โดยกระแสไหลเข้าและออกมีความสัมพันธ์กับพลังงานต่างๆ เช่น พลังงานภายใน พลังงานศักย์โน้มถ่วง พลังงานจลน์ และพลังงานที่มีส่วนร่วมของระบบ เป็นต้น ดังสมการที่ 2.3

$$\frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta[(H + \frac{1}{2}u^2 + zg)m]_{fs} = \dot{Q} + \dot{W} \quad (2.3)$$

โดย $\frac{d(mU)_{cv}}{dt}$ = การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของระบบ (kcal/s)
 ΔH = การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (kcal/kg)
 $\frac{1}{2}\Delta u^2$ = การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ (kcal/kg)
 Δzg = การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์โน้มถ่วง (kcal/kg)
 \dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของสาร (kg/s)
 \dot{Q} = พลังงานความร้อน (kcal/s)
 \dot{W} = งานที่ระบบทำได้ (kcal/s)

2.7 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ในการประมาณความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจหรือตัวแปรตามด้วยปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตามหรือเรียกว่า ตัวแปรอิสระ ตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป โดยเลือกใช้แบบจำลองของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณในการประมาณค่าอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน และใช้สัมประสิทธิ์ตัวกำหนดในการวัดความแม่นยำของแบบจำลอง ดังนี้

2.7.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของตัวแปรตามมากกว่าหนึ่งปัจจัย โดยกรณีมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวแปร การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณจะกำหนดตัวแปรหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาความผันแปรเป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่สนใจศึกษาเป็นตัวแปรอิสระ ดังสมการที่ 2.4

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.4)$$

เมื่อ Y = ตัวแปรตามหรือตัวแปรที่สนใจศึกษา
 X_i = ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตาม
 β_i = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน (Partial regression coefficient)

2.7.2 สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (Coefficient of Determination: R^2)

สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลในการวิเคราะห์การถดถอย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.5

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.5)$$

โดย R^2 = สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด
 \hat{Y}_i = ค่าของข้อมูล (กลุ่มตัวอย่าง)

Y_i = ค่าของข้อมูล (ประชากร)

\bar{Y}_i = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดมีค่าเป็นบวกเสมอ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และมีประโยชน์ดังนี้

- 1) แสดงถึงความใกล้ชิดระหว่างเส้นของสมการการถดถอยกับค่า Y โดยหากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า ค่า Y จะอยู่บนเส้นสมการการวิเคราะห์การถดถอยมากขึ้น
- 2) แสดงถึงความเหมาะสมของสมการการวิเคราะห์การถดถอยว่า สามารถแสดงแนวโน้มของข้อมูลได้มากน้อยเพียงใด โดยหากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่า แนวโน้มของข้อมูลจะเป็นลักษณะเส้นตรงมากขึ้น
- 3) แสดงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) ที่มีต่อตัวแปรตาม (Y) โดยหากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเท่ากับ 0.5 แสดงว่า สมการการวิเคราะห์การถดถอยสามารถอธิบายการกระจายของตัวแปรตามได้ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือตัวแปรอิสระมีอิทธิพลต่อตัวแปร 50 เปอร์เซ็นต์

2.8 การคำนวณไฮดรอลิก (Hydraulic Calculation)

Tail gas ถูกส่งจากโรงงาน โอลิฟินด้วยความดันสูงผ่านทางท่อไปยัง โรงงานต่างๆ ดังนั้นเพื่อป้องกันการผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากความดันของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินต่อกระบวนการผลิต PTA จึงจำเป็นต้องคำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail gas ที่กระบวนการผลิต PTA ด้วยสมการดังต่อไปนี้

2.8.1 Mach Number

ค่า Mach number บอกให้ทราบถึงชนิดของของไหลโดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible fluid) และของไหลแบบอัดตัวได้ (Compressible fluid) โดยค่า Mach number ถูกกำหนดด้วยอัตราส่วนระหว่างความเร็วของของไหล (ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างของไหลกับของแข็งที่เป็นขอบเขตของการไหล) และความเร็วเสียงภายในของไหลชนิดนั้น ดังสมการที่ 2.6

$$Ma^2 = \frac{\rho u^2}{\gamma P} \quad (2.6)$$

โดย	Ma	=	Mach number
	ρ	=	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
	u	=	ความเร็วของของไหล (m/s)
	γ	=	อัตราส่วนระหว่างค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่และค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่
	P	=	ความดันของของไหล (Pa)

มีการตั้งสมมติที่ง่ายและจำกัดเพื่อให้เหมือนกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงดังนี้

- 1) สถานะคงตัว
- 2) 1 ทิศทางการไหล
- 3) ไม่คำนวณการเปลี่ยนแปลงความเร็วในแนวพื้นที่หน้าตัด
- 4) แรงเสียดทานเหลือเพียงแรงเฉือนที่ผนัง
- 5) งานที่กระทำโดยของไหลมีค่าเป็นศูนย์
- 6) ผลกระทบของพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานศักย์เชิงกลน้อยมาก
- 7) ของไหลเป็นก๊าซอุดมคติ และมีค่าความจุความร้อนจำเพาะคงที่

2.8.2 Isothermal Friction Flow

อุณหภูมิของของไหลแบบอัดตัวได้ภายในท่อค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อสู่อากาศเพียงพอ จึงทำให้อุณหภูมิของของไหลแบบอัดตัวได้คงที่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างง่ายและไม่ซับซ้อนด้วยสมการ Isothermal friction flow ดังสมการที่ 2.7

$$P_a^2 - P_b^2 = \frac{G^2 RT}{M} \left[2 \ln \frac{P_a}{P_b} + \frac{f(L_b - L_a)}{r_H} \right] \quad (2.7)$$

โดย	P_a	=	ความดันต้นทาง (atm)
	P_b	=	ความดันปลายทาง (atm)
	G	=	ความเร็วเชิงมวล ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

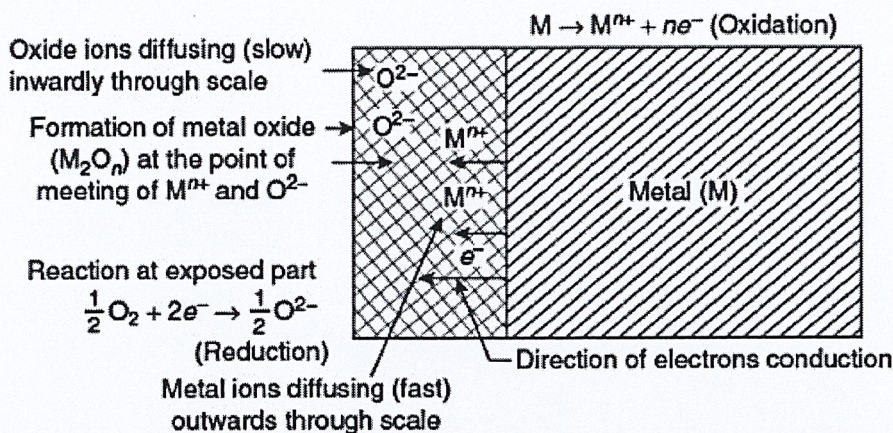
R	=	ค่าคงที่ของก๊าซ
T	=	อุณหภูมิของของไหล (K)
M	=	มวลโมเลกุลของของไหล (g/mol)
f	=	Fanning friction
$L_b - L_a$	=	ความยาวของท่อจากต้นทางถึงปลายทาง (m)
r_H	=	รัศมีไฮดรอลิกของท่อ (m)

2.9 การกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Corrosion)

การกัดกร่อนทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อโลหะโดยส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดขึ้นกับโลหะเท่านั้น เช่น การเกิดสนิมบนเหล็ก ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของปฏิกิริยาเคมีระหว่างเหล็กกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น อัตราการกัดกร่อนนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยา และปัจจัยอื่นๆ เช่น แรงกด และการกัดเซาะ (Erosion) เป็นต้น Tail gas ประกอบด้วยไฮโดรเจนและมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับอากาศจะเกิดการคายความร้อนและปลดปล่อยก๊าซที่เหลือจากการเผาให้ออกมา ได้แก่ ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ ซึ่งสามารถเกิดการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนดังนี้

2.9.1 การกัดกร่อนของออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Oxidation Corrosion)

การกัดกร่อนของออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง มีสาเหตุมาจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับเหล็กกล้าคาร์บอนหรือโลหะชนิดอื่นๆ ที่อุณหภูมิสูง จนทำให้พื้นผิวของโลหะที่สัมผัสบางลง และกลายเป็นเกล็ดออกไซด์ (Oxide scale) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลไกการกัดกร่อนของออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง (Engineering Chemistry, 2014)

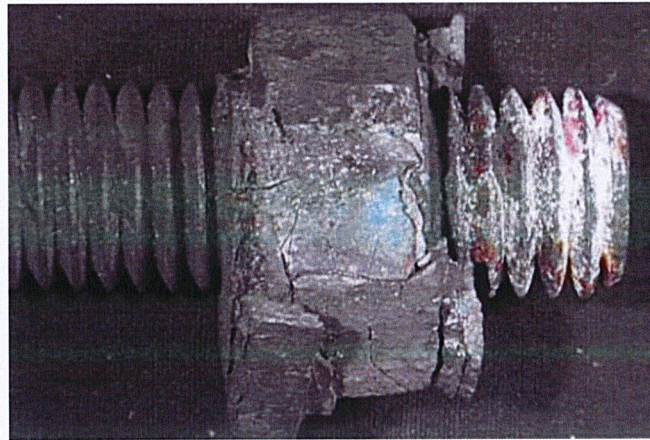
การเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโลหะ และอุณหภูมิของโลหะโดยส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 538°C (1,000°F) และวัสดุส่วนใหญ่ที่ได้รับความเสียหาย คือ วัสดุที่ทำจากเหล็กทั้งหมด รวมถึงเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม และโลหะผสมนิกเกิล อัตราการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโครเมียม และเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.6

Corrosion rate (mpy)							
Material of construction	Maximum metal temperature (°C)						
	482-570	511-538	539-566	567-593	594-621	622-649	650-677
CS	2	4	6	9	14	22	33
1.25 Cr	2	3	4	7	12	18	30
2.25 Cr	1	1	2	4	9	14	24
5 Cr	1	1	1	2	4	6	15
7 Cr	1	1	1	1	1	2	3
9 Cr	1	1	1	1	1	1	1
12 Cr	1	1	1	1	1	1	1
304 SS	1	1	1	1	1	1	1
309 SS	1	1	1	1	1	1	1
310 SS / HK	1	1	1	1	1	1	1
800 H / HP	1	1	1	1	1	1	1

รูปที่ 2.1 อัตราการกัดกร่อนโดยประมาณสำหรับการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง

(American Petroleum Institute, 2005)

ส่วนใหญ่พบในเครื่องให้ความร้อนและหม้อไอน้ำ ส่งผลให้โลหะมีความหนาแน่นลดลงและถูกปกคลุมไปด้วยเกล็ดออกไซด์ที่พื้นด้านนอก ดังรูปที่ 2.7



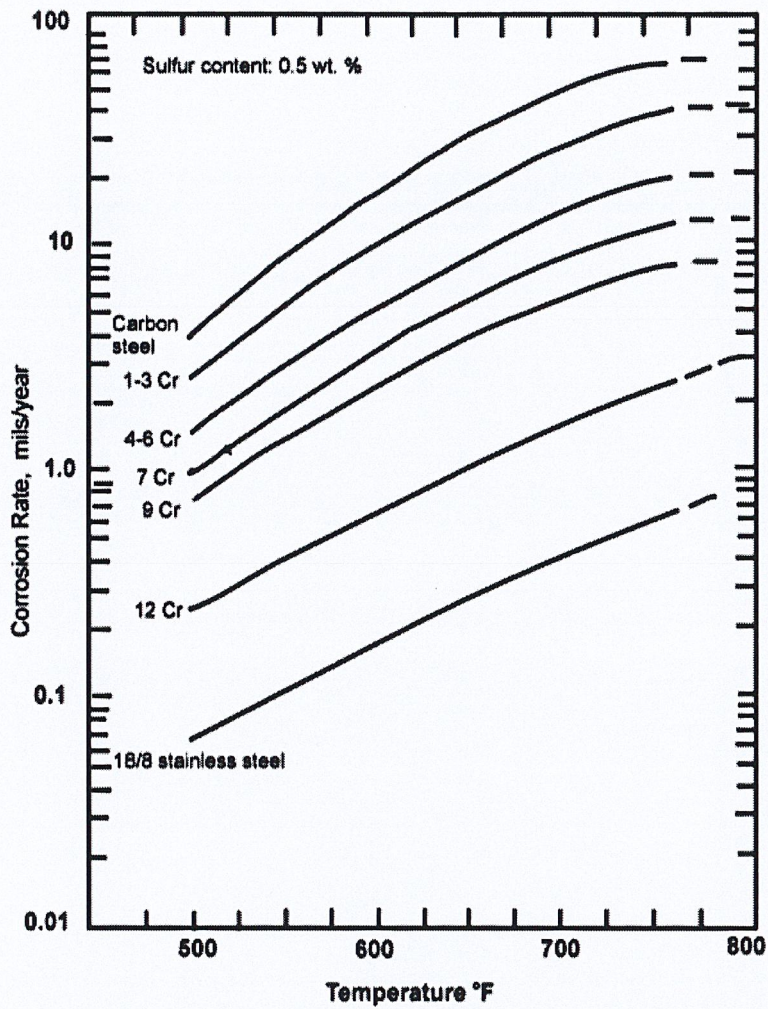
รูปที่ 2.2 การเกิดออกซิเดชันของนอตเหล็กคาร์บอนแกนตั้งเหล็กกล้าไม่เป็สนิมที่ 704°C (American Petroleum Institute, 2005)

การต้านทานและป้องกันการกัดกร่อนของออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงสามารถทำได้ดีที่สุด คือการยกระดับโลหะให้เป็นโลหะที่สามารถต้านทานได้มากขึ้น โดยโครเมียมเป็นองค์ประกอบหลักที่สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ รวมถึงซิลิกอนและอลูมิเนียมด้วย แต่บางครั้งจำเป็นต้องมีการจำกัดความเข้มข้นขององค์ประกอบเหล่านี้เพื่อป้องกันผลกระทบที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลด้วย

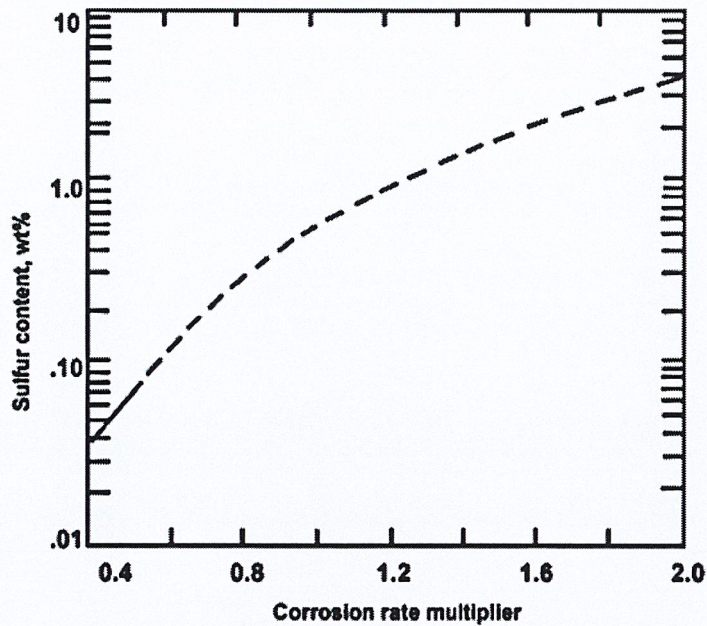
2.9.2 การกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Sulfidation Corrosion)

การกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูง มีสาเหตุมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือโลหะชนิดอื่นๆทำปฏิกิริยากับสารประกอบกำมะถันในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เกิดเป็นเกล็ดซัลไฟด์ (Sulfide scale) บนบริเวณผิวของโลหะเช่นเดียวกับการกัดกร่อนของออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง ปัจจัยสำคัญต่อการเกิดการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูง คือ องค์ประกอบของโลหะ ความเข้มข้นของสารประกอบกำมะถัน และอุณหภูมิ โดยการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 260°C (500°F) และวัสดุที่ได้รับความเสียหาย คือ วัสดุที่ทำจากเหล็กทั้งหมด รวมทั้งเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าโลหะผสมต่ำ เหล็กกล้าไม่เป็สนิม

โลหะผสมนิกเกิลและโลหะผสมทองแดง อัตราการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโครเมียม และจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9

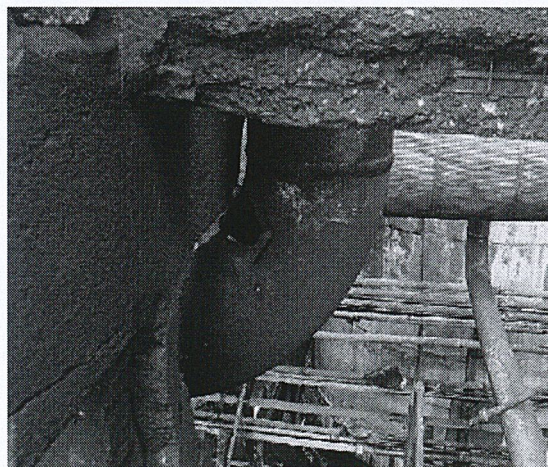


รูปที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิต่อการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูงในเหล็กกล้า และเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (American Petroleum Institute, 2005)



รูปที่ 2.9 ตัวคูณสำหรับอัตราการกัดกร่อนในรูปที่ 2.8 ขึ้นอยู่กับปริมาณกำมะถันที่แตกต่างกัน
(American Petroleum Institute, 2005)

ส่วนใหญ่พบในเครื่องให้ความร้อน ท่อส่งน้ำมันดิบ และอุปกรณ์ที่มีการสัมผัสกับสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูง จะทำให้พื้นผิวของโลหะบางลง แต่ยังมีบางส่วนที่สามารถเกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่ได้โดยจะทำให้พื้นผิวของโลหะที่ถูกกัดกร่อนถูกปกคลุมไปด้วยเกลือซัลไฟด์ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันในท่อข้องอ 90°
(American Petroleum Institute, 2005)

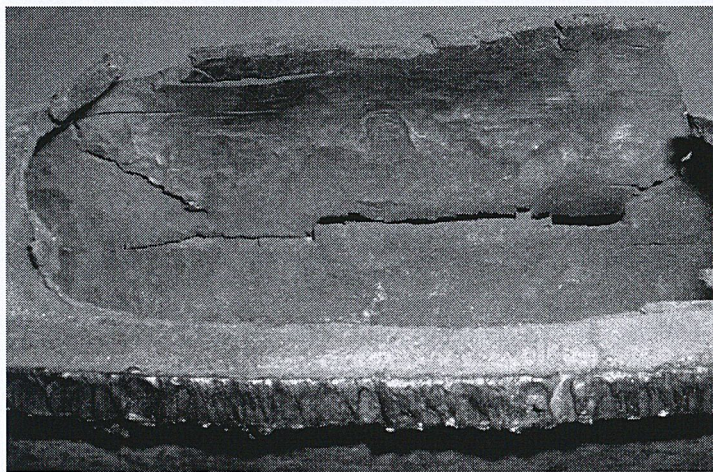
การต้านทานและการป้องกันที่สามารถทำได้ที่ดีที่สุด คือ การยกระดับโลหะให้เป็นโลหะที่สามารถต้านทานได้มากขึ้น โดยการเพิ่ม โครเมียมซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ และลดการทำปฏิกิริยากับสารประกอบกำมะถันด้วยการแพร่ของอลูมิเนียมสู่โลหะ

2.10 การสูญเสียคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Decarburization)

การสูญเสียคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงเกิดจากการสัมผัสกับไฟของโลหะโดยตรง หรือการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง จนทำให้คาร์บอนและสารประกอบคาร์บอนของโลหะถูกกำจัดเหลือเพียงโลหะบริสุทธิ์ การสูญเสียคาร์บอนขึ้นอยู่กับ Carbon activity เวลา และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่สูงเกิน 204°C โดยทั่วไปการสูญเสียคาร์บอนจะทำให้ความแข็งแรงของโลหะลดลง แต่หากอุณหภูมิและเวลาที่ได้รับสูงขึ้นจะทำให้ได้รับผลกระทบอื่นๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นตามมา นอกจากนี้ยังสามารถเกิดการสูญเสียคาร์บอนจากแรงดึงและการคืบได้ด้วย ส่วนใหญ่พบในท่อและอุปกรณ์ที่มีการสัมผัสกับไฟและอุณหภูมิสูง รวมทั้งกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับไฮโดรเจนทั้งสิ้น การตรวจสอบความสูญเสียคาร์บอนสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางโลหศาสตร์ (Metallography) และสามารถป้องกันโดยการเลือกวัสดุที่เหมาะสมซึ่งประกอบด้วยโครเมียมและ โมลิบดีนัม หากโลหะที่ใช้งานมีการสัมผัสกับไฮโดรเจนที่อุณหภูมิควรเลือกโลหะตามมาตรฐาน API 941 ดังรูปที่ 2.11

2.11 ความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Hydrogen Attack: HTHA)

ไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของ Tail gas ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน โดยมีสาเหตุมาจากการสัมผัสกับไฮโดรเจนของวัสดุที่อุณหภูมิและความดันสูง จนเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนกลายเป็นมีเทนส่งผลทำให้เกิดฟองอากาศ เกิดการฟุกร่อนของรอยแยกขนาดเล็ก ส่วนใหญ่พบในหน่วยของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับไฮโดรเจน เช่น Hydrotreaters (Desulfurizers) และ Hydrocrackers เป็นต้น และท่อของหม้อไอน้ำที่มีความดันสูง ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงของท่อหม้อไอน้ำ

(American Petroleum Institute, 2005)

ความเสียหายจากไฮโดรเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันของไฮโดรเจน เวลาและความเค้น (Stress) โดยอุณหภูมิและความดันของไฮโดรเจนที่ปลอดภัยสำหรับการทำงานของเหล็กกล้าคาร์บอนและโลหะผสมต่ำ ดังรูปที่ 2.11 และศึกษาเพิ่มเติมได้ตามมาตรฐาน API 941

2.12 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

การประเมินความเหมาะสมและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการ นิยมใช้การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) โดยการคำนวณอัตราลดค่า (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับ

มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการและการประหยัดพลังงาน ตลอดอายุโครงการ โดยต้องทราบ กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ กระแสเงินสดรับสุทธิต่ออายุโครงการ ระยะเวลาของโครงการ ดังสมการที่ 2.8

$$PW(i^*) = \frac{A_0}{(1+i^*)^0} + \frac{A_1}{(1+i^*)^1} + \dots + \frac{A_N}{(1+i^*)^N} = 0 \quad (2.8)$$

โดย PW = มูลค่าปัจจุบัน
 i^* = อัตราผลตอบแทนภายใน
 A_i = ค่าประเมินรายปี (Annual value)

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ. 2558 บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด นำก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศของบริษัท มาใช้ร่วมกับก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน โดยศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดภายในกระบวนการผลิต ออกแบบและติดตั้งหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อกระบวนการผลิตเพิ่มเติม รวมทั้งตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดภายในกระบวนการผลิต เพื่อความเหมาะสมต่อการใช้ก๊าซชีวภาพร่วมกับก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

Pijak, M. และคณะ (2012) ศึกษาการใช้ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศร่วมกับก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียมีความไม่แน่นอน จึงมีความจำเป็นต้องติดตั้ง Natural gas holder ซึ่งมีหน้าที่รักษาอัตราการไหลและความดันของก๊าซเชื้อเพลิงให้มีความคงที่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันผลกระทบต่อกระบวนการผลิต PTA และอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย เช่น วาล์วหยุดระบบ (Shutdown valve) วาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับ (Check valve) เป็นต้น

Pongpat, L. (2016) ศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน เนื่องจากการใช้ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศร่วมกับก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน พบว่า ท่อแบบมีครีป (Fin tubes) และท่อขดลวด (Coil tubes) เกิด

ความเสียหายจากการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดสนิม กัดกร่อนและ
ร่วงตกลงมา โดยสาเหตุมาจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกลบอยู่ในก๊าซชีวภาพจากกระบวนการกำจัด
น้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในปริมาณมาก และอุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสูงถึง
775°C ด้วยการวิเคราะห์ทางโลหศาสตร์ตามมาตรฐาน API 571

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA ทั้งในด้านการปฏิบัติงานได้ ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน หน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ที่จำเป็นต้องติดตั้งเพิ่มเติม และการประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

3.1 ศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของ Tail Gas

เก็บรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบและสมบัติของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

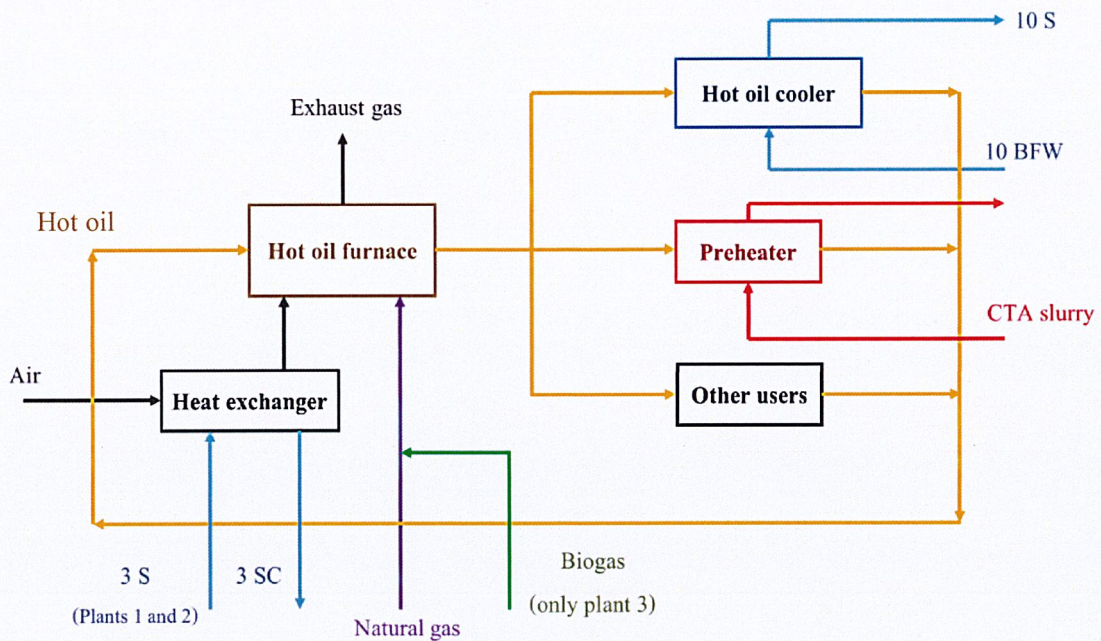
3.2 กำหนดอัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงานโอลิฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

3.2.1 กำหนดอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด มีแนวโน้มของการใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จึงมีความจำเป็นต้องคำนวณอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งานภายในอนาคต ด้วย 2 วิธี คือ การดุลมวลสารและพลังงาน และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ดังนี้

3.2.1.1 การดุลมวลสารและพลังงาน

ก๊าซธรรมชาติถูกส่งเข้าเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน เกิดการเผาไหม้ การคายความร้อน และถ่ายโอนความร้อนไปสู่น้ำมันร้อนเพื่อนำไปใช้ให้ความร้อนในอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต PTA เช่น Hot oil cooler และ Preheater จากนั้นน้ำมันร้อนจะถูกส่งกลับไปเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนอีกครั้งเพื่อรับความร้อนใหม่อีกครั้ง โดยไอน้ำถูกนำมาใช้ให้ความร้อนแก่อากาศก่อนเข้าเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 2 และก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศของบริษัท ถูกนำมาใช้ให้ความร้อนร่วมกับก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 3 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Block flow diagram of hot oil system in PTA production process

(GC-M PTA Co., Ltd., 2019)

1) คำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1

$$\eta = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\dot{m}_F(\text{NCV})} \quad (2.1)$$

2) คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Preheater

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Preheater สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.2

$$\eta = \frac{W_{\text{out}}}{Q_H} \quad (2.2)$$

3) คำนวณอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

อัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถคำนวณได้ด้วย

การดุลพลังงานสำหรับระบบเปิด ดังสมการที่ 2.3

$$\frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta\left[\left(H + \frac{1}{2}u^2 + zg\right)\dot{m}\right]_{fs} = \dot{Q} + \dot{W} \quad (2.3)$$

3.2.1.2 วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

1) เก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติ
รวบรวมข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเพื่อนำไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

2) วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ โดยกำหนดให้ อัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเป็นตัวแปรที่สนใจศึกษาหรือตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ (X_i) หรือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตาม ดังสมการที่ 2.4

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.4)$$

3.2.2 จำนวนอัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

อัตราการไหลของ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินมาที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA สามารถคำนวณได้จากค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติเปลี่ยนเป็นค่าความร้อนของ Tail gas ดังสมการที่ 3.1

$$(NCV \times \dot{Q})_{natural} = (NCV \times \dot{Q})_{tail} \quad (3.1)$$

3.3 ศึกษาเส้นทางของท่อส่ง Tail Gas และคำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

3.3.1 ศึกษาเส้นทางของท่อส่ง Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

ศึกษาเส้นทางของท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินถึงกระบวนการผลิต PTA พร้อมทั้งกำหนดจุดเชื่อมต่อ (Tie-in point) และเส้นทางของการวางท่อจากจุดเชื่อมถึงกระบวนการผลิต

3.3.2 ตรวจสอบชนิดของไหลของ Tail Gas จากโรงงานโอเลฟิน

ของไหลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ของไหลแบบอัดตัวได้และของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ โดยใช้สมการ Mach number ดังสมการที่ 2.6

$$Ma^2 = \frac{\rho u^2}{\gamma P} \quad (2.6)$$

โดย ค่า Ma มากกว่า 0.2 ของไหลจะเป็นของไหลอัดตัวได้

ค่า Ma น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ของไหลเป็นของไหลอัดตัวไม่ได้

3.3.3 คำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต

PTA

3.3.3.1 คำนวณความเร็วภายในท่อของ Tail Gas

ความเร็วภายในท่อของ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟิน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2

$$u = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (3.2)$$

3.3.3.2 คำนวณ Reynold Number

Reynold number บอกให้ทราบถึงรูปแบบการไหลของของไหล โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) และการไหลแบบช่วงต่อ (Transition flow) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.3

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} \quad (3.3)$$

โดย ถ้าของไหลมีค่า Re ตั้งแต่ 0 ถึง 2,000 จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ

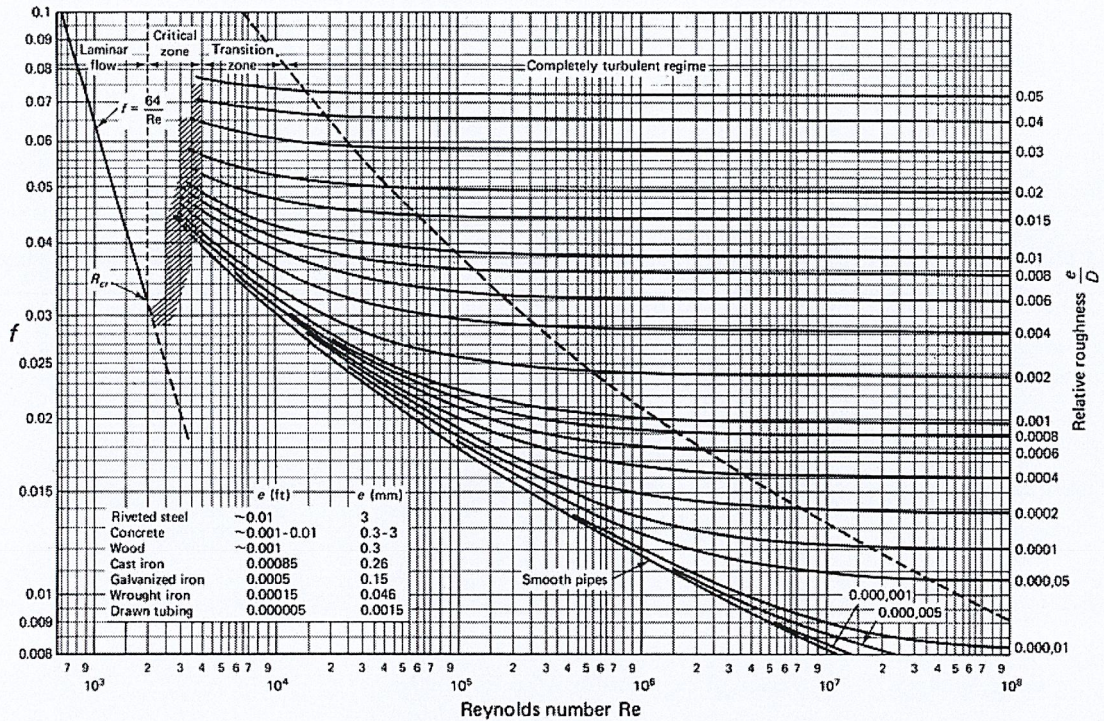
ถ้าของไหลมีค่า Re ตั้งแต่ 2,001 ถึง 4,000 จะเป็นการไหลแบบช่วงต่อ

ถ้าของไหลมีค่า Re ตั้งแต่ 4,000 ขึ้นไป จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

3.3.3.3 ค่าความ Friction Factor

Friction factor ของท่อส่ง Tail gas สามารถคำนวณได้จาก Moody's diagram ดัง

รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Moody's diagram (McCabe, W. L., Smith, J.C. and Harriott P., 2005)

3.3.3.4 ค่าความเร็วเชิงมวลของ Tail Gas

ความเร็วเชิงมวลของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟิน สามารถคำนวณได้ ดังสมการ

ที่ 3.4

$$G = \frac{\dot{Q}p}{A} \quad (3.4)$$

3.3.3.5 ค่าความรัศมีไฮดรอลิกของท่อส่ง Tail Gas

รัศมีไฮดรอลิกของท่อส่ง Tail gas สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของความยาวรอบรูปของหน้าตัดต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังสมการที่ 3.5

$$\tau_H = \frac{\text{Cross-section perimeter}}{\text{Cross-section area}} \quad (3.5)$$

3.3.3.6 คำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

ความดันภายในท่อส่ง Tail gas จาก โรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ Isothermal friction flow ดังสมการที่ 2.7

$$P_a^2 - P_b^2 = \frac{G^2 RT}{M} \left[2 \ln \frac{P_a}{P_b} + \frac{f(L_b - L_a)}{\tau_H} \right] \quad (2.7)$$

3.4 ศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดจากการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

3.4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์อุณหภูมิโลหะของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

3.4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน เช่น หัวเผา เชื้อเพลิง และท่อแบบมิกซ์ เป็นต้น โดยเปรียบเทียบวัสดุของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 2 และสายการผลิตที่ 3 เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ (วัสดุของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 3 ถูกออกแบบให้สามารถรองรับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ก๊าซชีวภาพซึ่งมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับ Tail gas)

3.4.3 วิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

นำข้อมูลอุณหภูมิและวัสดุของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนจากขั้นตอนที่ 3.4.1 และ 3.4.2 มาวิเคราะห์หาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

น้ำมันร้อนด้วยการวิเคราะห์ความเป็นได้ของการเกิดผลกระทบ และความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมาตรฐาน API 571 และ API 941 เพื่อรับมือและป้องกันกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

3.5 ศึกษาและตรวจสอบการทำงานของหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

3.5.1 Tail Gas Header

ศึกษาหน่วย Natural gas header ในกระบวนการผลิต PTA เพื่อจัดซื้อและออกแบบการจัดเรียงของอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็นของหน่วย Tail gas header ต่อการใช้ Tail gas จากโรงงานแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อน

3.5.2 Tail Gas Holders

ศึกษา Natural gas holder ในกระบวนการผลิต PTA เพื่อคำนวณหาปริมาตรที่จำเป็นของ Tail gas holders ต่อการใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินที่เตาให้ความร้อน เนื่องจากอัตราการไหลของ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตโอเลฟิน โดยถ้ากระบวนการผลิตโอเลฟินเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของ Tail gas เพิ่มขึ้น แต่ถ้ากระบวนการผลิตโอเลฟินลดลงจะทำให้อัตราการไหลของ Tail gas ลดลงด้วย จึงจำเป็นต้องติดตั้ง Tail gas holders เพื่อรักษาความดันและปริมาณ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิต โดยสามารถคำนวณปริมาตรของ Tail gas holders ได้ดังสมการที่ 3.6

$$v = \frac{Qt(P_1 - P_2)}{P_3} \quad (3.6)$$

3.5.3 ตรวจสอบความดันภายในท่อส่งก๊าซเชื้อเพลิงที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ตรวจสอบความดันภายในท่อส่งก๊าซเชื้อเพลิงของที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนด้วยการเปรียบเทียบความดันภายในท่อส่งก๊าซเชื้อเพลิงระหว่างการใช้ก๊าซธรรมชาติและ Tail gas

3.5.4 ตรวจสอบการทำงานของวาล์วควบคุมที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนด้วยการคำนวณ C_v (Flow coefficient) และกราฟคุณลักษณะ (Characteristic curve) ดังสมการที่ 3.7 และ 3.8 โดยสมการที่ 3.7 สามารถใช้ได้เมื่อ $\Delta P > \frac{P_1}{2}$ และสมการที่ 3.8 สามารถใช้ได้เมื่อ $\Delta P < \frac{P_1}{2}$

$$C_v = \frac{Q\sqrt{SG \times T_f}}{249P_1} \quad (3.7)$$

$$C_v = \frac{Q}{287} \sqrt{\frac{SG \times T_f}{\Delta P(P_1 + P_2)}} \quad (3.8)$$

เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วที่ภาวะการปฏิบัติงานปกติ ควรมีค่าอยู่ช่วง 20 – 80 เปอร์เซ็นต์ หากมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า วาล์วไม่สามารถทำงานได้เพียงพอต่อความต้องการจำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดของวาล์วให้ใหญ่ขึ้น แต่หากมีค่าน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า วาล์วควบคุมไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดของวาล์วให้เล็กลง

3.5.5 ตรวจสอบการทำงานของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ตรวจสอบ Damper position ด้วยกราฟสมรรถนะ (Performance curve) ของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน โดย Damper position ของพัดลมเป่าอากาศที่ภาวะการปฏิบัติงานควรมีค่าอยู่ช่วง 0 – 70 เปอร์เซ็นต์

3.6 ประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และคำนวณผลตอบแทนที่ได้

3.6.1 ประเมินค่าใช้จ่ายของการลงทุนในการจัดซื้อและติดตั้งหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ประเมินค่าใช้จ่ายของการลงทุนของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด เช่น ค่าวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อน ค่าการติดตั้ง และวางท่อจากโรงงาน โอลิฟินถึงกระบวนการผลิต PTA เป็นต้น โดยไม่คำนึงถึงค่าแรงในการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ค่าเช่าของชั้นวางท่อ และค่าภาษีต่างๆ

3.6.2 จำนวนผลตอบแทนที่ได้รับของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด

ผลตอบแทนที่ได้รับของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด มาจากการลดค่าบริการส่วนของต้นทุนคงที่ (Demand charge) ของปริมาณการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟิน สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 3.9

$$\text{Demand charge} = 2.768 \times \text{MDCQ} \quad (3.9)$$

3.6.3 จำนวนอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ

นำค่าใช้จ่ายในการลงทุนและผลตอบแทนที่ได้รับของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด จากขั้นตอนที่ 3.6.1 และ 3.6.2 มาประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน ดังสมการที่ 2.8

$$\text{PW}(i^*) = \frac{A_0}{(1+i^*)^0} + \frac{A_1}{(1+i^*)^1} + \dots + \frac{A_N}{(1+i^*)^N} = 0 \quad (2.8)$$

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 องค์ประกอบและสมบัติของ Tail Gas เปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติและ Tail gas ประกอบด้วยมีเทนเป็นส่วนใหญ่ และก๊าซอื่นๆ เพียงเล็กน้อย เช่น อีเทน เอทิลีน ไนโตรเจน เป็นต้น ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติและ Tail gas

ส่วนประกอบ	หน่วย	ก๊าซธรรมชาติ	Tail gas
มีเทน	%mol	89.58	86.88
อีเทนและเอทิลีน		3	0.68
โพรเพนและโพรพิลีน		0.96	-
บิวเทนและบิวทีน		0.42	-
เพนเทนและเพนทีน		0.13	-
คาร์บอนมอนอกไซด์		-	0.09
คาร์บอนไดออกไซด์		4.18	-
ออกซิเจน		-	-
ไนโตรเจน		1.76	0.04
ไฮโดรเจน		-	12.3
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	ppm	-	0.3
ความชื้น	lbs/Mft ³	1.263	0.16

ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติและ Tail gas

ค่าความร้อน	หน่วย	ก๊าซธรรมชาติ	Tail gas
ค่าความร้อนรวม	BTU/scf	986.9	918.4
ค่าความร้อนต่ำสุทธิ		907	823.2

องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติและ Tail gas ใกล้เคียงกันจึงส่งผลทำให้ค่าความร้อนของก๊าซทั้งสองแตกต่างกันเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ และพบไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบของ Tail gas ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

4.2 อัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

4.2.1 อัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ก๊าซธรรมชาติทั้งหมดถูกนำไปใช้ในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ต่างๆ เช่น Hot oil cooler และ Preheater เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันในปี พ.ศ. 2562 บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด มีปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติเท่ากับ 88,792 MMBTU/month คิดเป็นอัตราการไหลเท่ากับ 3,208 Nm³/h ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด พ.ศ. 2562

เดือน	ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ (MMBTU/month)	อัตราการไหล (Nm ³ /h)
มกราคม	89,477	3,390
กุมภาพันธ์	75,501	3,167
มีนาคม	89,926	3,407
เมษายน	77,599	3,038
พฤษภาคม	88,140	3,339
มิถุนายน	85,428	3,344
กรกฎาคม	78,522	3,074
สิงหาคม	86,825	3,289
กันยายน	84,632	3,313
ตุลาคม	71,882	2,723

จากการศึกษาปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ในช่วงปี พ.ศ. 2558 ถึงปัจจุบัน พบว่า อัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี ดังนั้นจำเป็นต้องคำนวณอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติเตาให้ความร้อนแก่

น้ำมันร้อนในปีถัดไปเพื่อรองรับกระบวนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ด้วย 2 วิธี คือ การควบคุมมวลสารและพลังงาน และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ดังนี้

4.2.1.1 การควบคุมมวลสารและพลังงาน

การควบคุมมวลสารและพลังงานเริ่มจากการคำนวณประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เตาน้ำมันแก่น้ำมันร้อน ได้แก่ เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน และ Preheater พบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเท่ากับ 97.5 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Preheater เท่ากับ 79.81 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันจากอัตราการไหลของน้ำมันร้อนที่ถูกใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ พบว่า อัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 2 เท่ากับ $2,024 \text{ Nm}^3/\text{h}$ และอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 3 เท่ากับ $1,848 \text{ Nm}^3/\text{h}$

4.2.1.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเริ่มจากการกำหนดให้ อัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเป็นตัวแปรที่สนใจศึกษาหรือเรียกว่า ตัวแปรตาม (Y) ส่วนตัวแปรที่เหลือเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตามหรือเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (X_i) จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตัวแปรอิสระที่มีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ตัวแปร	ชื่อของตัวแปร
X ₁	อัตราการไหลของน้ำมันร้อนที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน
X ₂	อุณหภูมิขาเข้าของน้ำมันร้อนที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน
X ₃	อุณหภูมิขาออกของน้ำมันที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน
X ₄	อุณหภูมิขาออกของน้ำมันร้อนที่ Preheater
X ₅	อัตราการไหลของสารละลาย CTA ที่ Preheater
X ₆	ความหนาแน่นของสารละลาย CTA ที่ Preheater
X ₇	อุณหภูมิขาเข้าของสารละลาย CTA ที่ Preheater
X ₈	อุณหภูมิขาออกของสารละลาย CTA ที่ Preheater
X ₉	อัตราการไหลของ 10 BFW ที่ Hot oil cooler
X ₁₀ (only plant 3)	อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

โดยตัวแปรอิสระที่มีผลต่ออัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน จะมีผลต่ออัตราการไหลของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเช่นกัน

ขั้นตอนต่อไป คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ โดยนำข้อมูลของตัวแปรจากตารางที่ 4.4 มาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณด้วย โปรแกรม Microsoft office excel ได้ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + fX_6 + gX_7 + hX_8 + iX_9 + j \quad (4.1)$$

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + fX_6 + gX_7 + hX_8 + iX_9 + jX_{10} + k \quad (4.2)$$

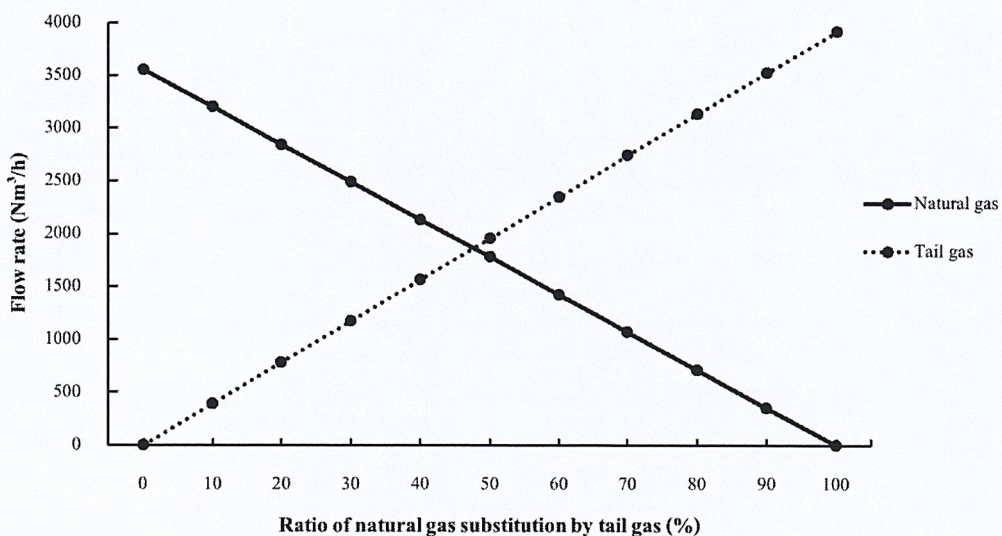
สมการเชิงเส้นแบบพหุคูณในสายการผลิตที่ 1 และ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเท่ากับ 0.9 และสายการผลิตที่ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเท่ากับ 0.95 ซึ่งแสดงให้เห็นความแม่นยำของสมการเชิงเส้นแบบพหุคูณถึง 90% และ 95% ตามลำดับ และมีค่าความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระ (p-value) ทุกตัวน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นความมีนัยสำคัญของตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตามเป็นอย่างมาก

ขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน โดยแทนข้อมูลของการปฏิบัติงานจริงในสมการที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า อัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 2 เท่ากับ 1,916 Nm³/h และอัตราการไหลของ ก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 3 เท่ากับ 1,640 Nm³/h

จากการคำนวณหาอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนด้วยวิธีการคลุมวสารและพลังงาน วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ และเปรียบเทียบอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติในปัจจุบันพบว่า วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณมีความแม่นยำมากที่สุดด้วยอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA ทั้งหมดเท่ากับ 3,556 Nm³/h

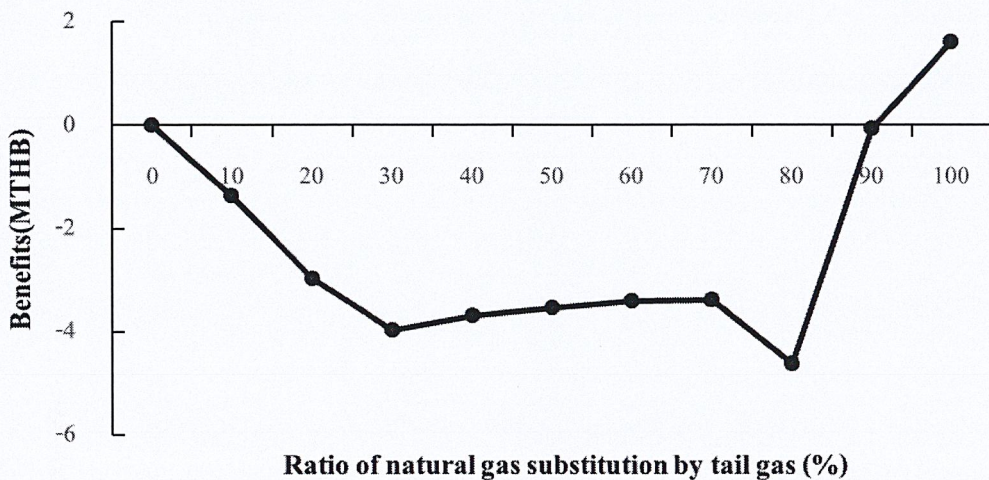
4.2.2 อัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

การคำนวณอัตราการไหลของ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA เริ่มจากการคำนวณอัตราการไหลของ Tail gas ที่ใช้แทนก๊าซธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อน และค่าความร้อนของก๊าซทั้งสอง เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต PTA ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่อัตราส่วนต่างๆ ของการใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติ

ขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณผลตอบแทนที่ได้รับของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด จากการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่อัตราส่วนต่างๆ ของการใช้ Tail gas เพื่อการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด พบว่า การใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติทั้งหมดที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (100%) สามารถสร้างผลตอบแทนต่อบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ได้สูงสุดเท่ากับ 1 ล้านบาทต่อปี ดังรูปที่ 4.2



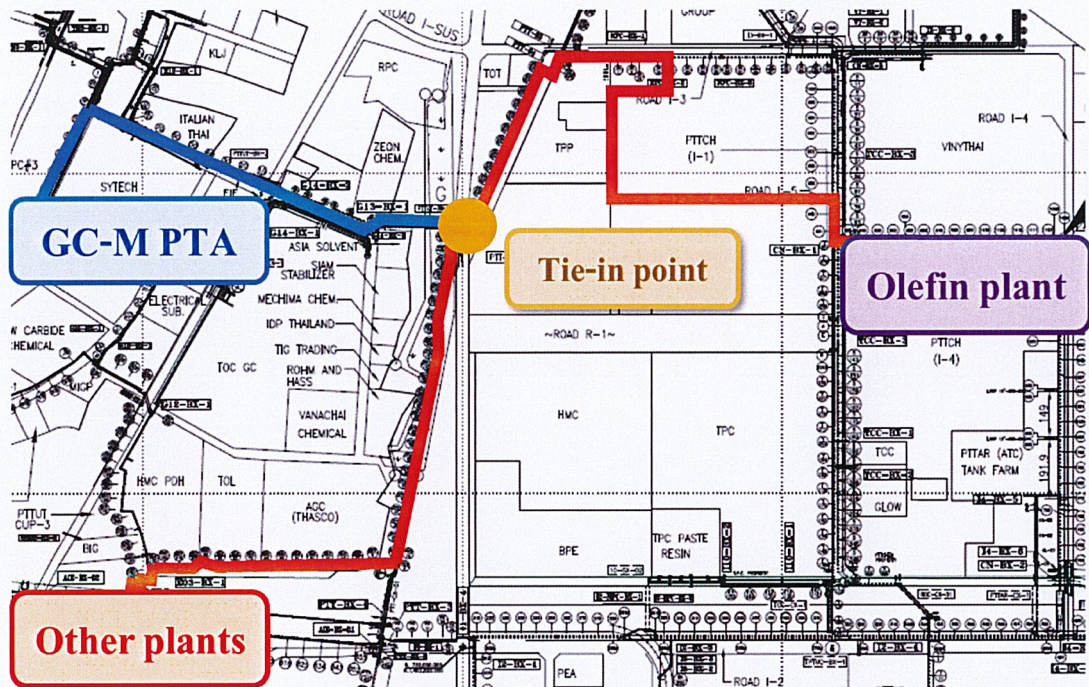
รูปที่ 4.2 ผลตอบแทนที่ได้รับของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ที่อัตราส่วนต่างๆ ในการใช้ Tail gas จากโอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ดังนั้นการคำนวณทางด้านเทคนิคต่างๆ เช่น การคำนวณไฮดรอลิก การศึกษาและตรวจสอบหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ต่อจากนี้จะใช้อัตราการไหลของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินเท่ากับ 3,911 Nm³/h

4.3 เส้นทางของท่อส่ง Tail Gas และความดันภายในท่อส่ง Tail Gas จากโรงงานโอลิฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA

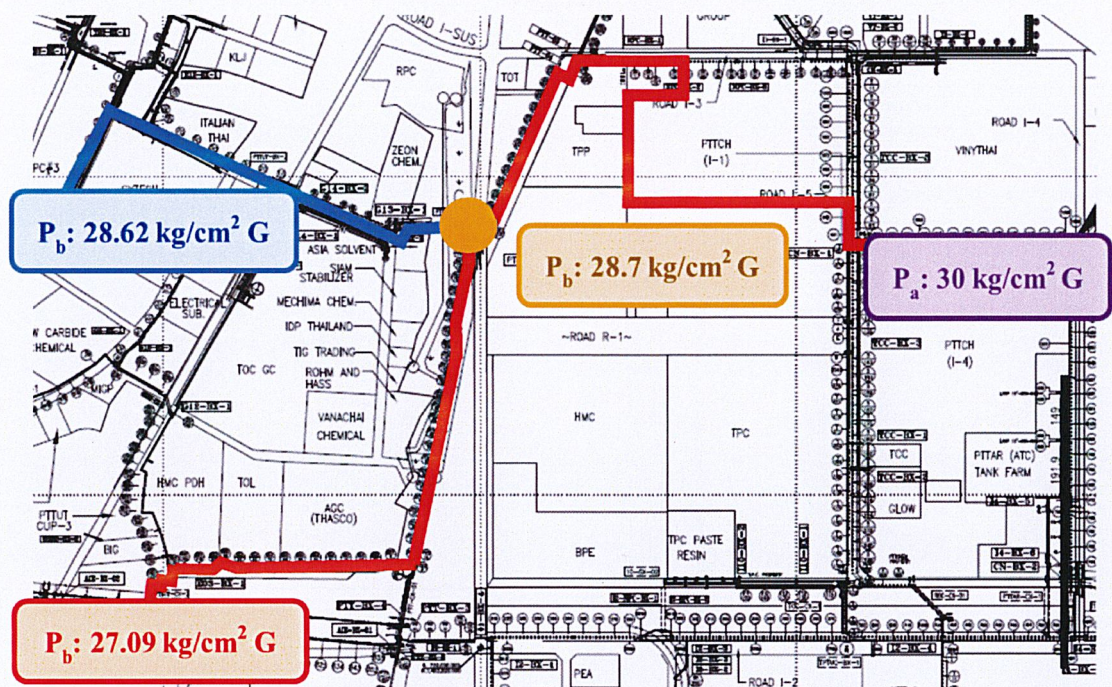
ท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ระดับของการทนต่อแรงดัน (Pressure rating class) เท่ากับ 300 และความหนา (Schedule) เท่ากับ 40 สามารถเชื่อมต่อท่อส่ง Tail gas ที่จุดเชื่อมต่อ (Tie-in point) และวางท่อตามแนวเส้นทาง

ของชั้นวางท่อ (Pipe rack) เข้ากระบวนการผลิต PTA เป็นระยะทางประมาณ 1.7 km โดยไม่
 คำนวณความสูงของท่อ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เส้นทางของท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินถึงกระบวนการผลิต PTA

ขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินมาที่
 กระบวนการผลิต PTA โดยใช้สมการ Mach number และ Isothermal friction flow พบว่า Tail gas
 ถูกส่งจากโรงงาน โอลิฟินด้วยความดันต้นทาง $30 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ซึ่งทำให้ Tail gas เป็นของไหล
 แบบอัดตัวได้ ผ่านจุดเชื่อมต่อที่ความดัน $28.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ และส่งกระบวนการผลิต PTA ความดัน
 ลดลงเหลือเพียง $28.62 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต PTA อย่าง
 แน่นนอน



รูปที่ 4.4 ความดันภายในท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินถึงกระบวนการผลิต PTA

4.4 ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการพาความร้อน และส่วนของการแผ่รังสีความร้อน โดยงานวิจัยของ Pongpat, L. (2016) พบว่า อุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนและอุณหภูมิโลหะ (Metal temperature) ของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสูงมากพอที่สามารถเกิดการความเสียหายแก่อุปกรณ์ต่างๆ ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิโลหะของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนและอุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ส่วนของความร้อน	อุณหภูมิโลหะ (°C)	อุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (°C)
การแผ่รังสีของความร้อน	375	775
การพาความร้อน	375	326 - 775

ขั้นตอนต่อไป คือ การศึกษาและรวบรวมข้อมูลวัสดุของอุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่อาจเกิดความเสียหาย เช่น ท่อครีป (Fin tubes) ท่อขดลวด (Coil tubes) และหัวเผาเชื้อเพลิง (Burners) เป็นต้น โดยการเปรียบเทียบวัสดุของอุปกรณ์ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในสายการผลิตที่ 2 กับสายการผลิตที่ 3 พบว่า อุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม อาจเกิดความเสียหายได้ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 อุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่อาจเกิดความเสียหายกรณีใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติ

อุปกรณ์	วัสดุที่ใช้ในการผลิต	
	สายการผลิตที่ 2	สายการผลิตที่ 3
Radiation tubes support	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
Radiation tubes guide	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ไร้ตะเจ็บ
Steel structure	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
Stack	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
Convection end tube sheet	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
Header box	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
Breeching access door	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
Pin	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม
V,Y-anchor	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ไร้ตะเจ็บ
Wire	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ไร้ตะเจ็บ
Twist stud & lock washer	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม	เหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ไร้ตะเจ็บ

อุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมสามารถเกิดความเสี่ยงภัยได้

ขั้นตอนต่อไปคือ การศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต PTA โดยศึกษาความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนพบว่า การเผาไหม้ของ Tail gas กับอากาศจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนและก๊าซต่างๆ ได้แก่ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์และน้ำ ออกมา ซึ่งเกิดการกัดกร่อน การสูญเสียคาร์บอนและความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงต่ออุปกรณ์ ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ได้ดังตารางที่ 4.7

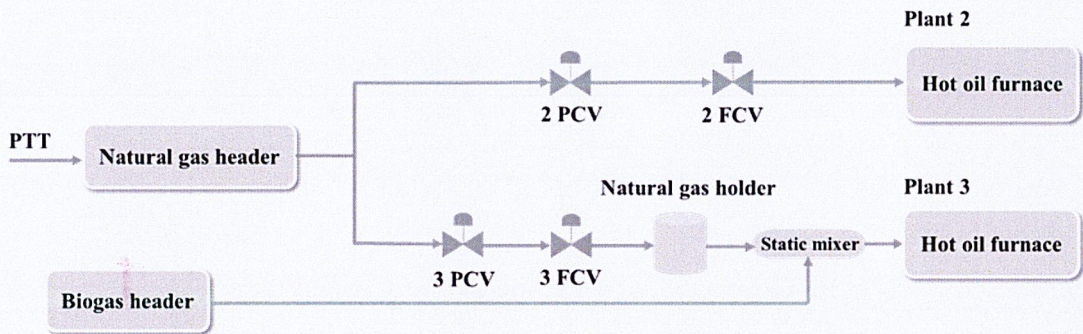
ตารางที่ 4.7 ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน กรณีใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติ

ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น	สายการผลิตที่ 2	สายการผลิตที่ 3
การกัดกร่อนของออกซิเดชัน	ไม่เกิดความเสี่ยง	ไม่เกิดความเสี่ยง
การกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถัน	ไม่เกิดความเสี่ยง	เกิดความเสี่ยง
การสูญเสียคาร์บอน	อาจเกิดความเสี่ยง	อาจเกิดความเสี่ยง
ความเสียหายจากไฮโดรเจน	อาจเกิดความเสี่ยง	อาจเกิดความเสี่ยง

พบว่า อุปกรณ์ที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนได้รับความเสียหายเนื่องจากการใช้ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท ร่วมกับก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน และอาจเกิดการสูญเสียคาร์บอนและความเสียหายจากไฮโดรเจนต่ออุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเนื่องจากไฮโดรเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกรับใน Tail gas แต่ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดเนื่องจากต้องวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการที่เหมาะสม

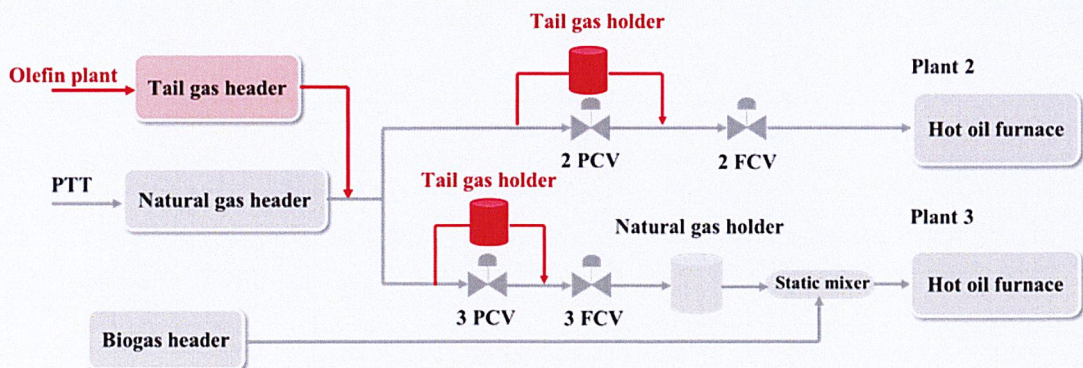
4.5 หน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อการใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ก๊าซธรรมชาติที่จัดซื้อถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต PTA โดยผ่าน Natural gas header เพื่อลดความดัน ก่อนแยกเข้าสู่สายการผลิต 2 และ 3 ผ่านวาล์วควบคุมความดันและวาล์วควบคุมอัตราการไหลเพื่อควบคุมความดันและอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติให้เหมาะสม และเกิดการเผาไหม้ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เส้นทางของท่อส่งก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

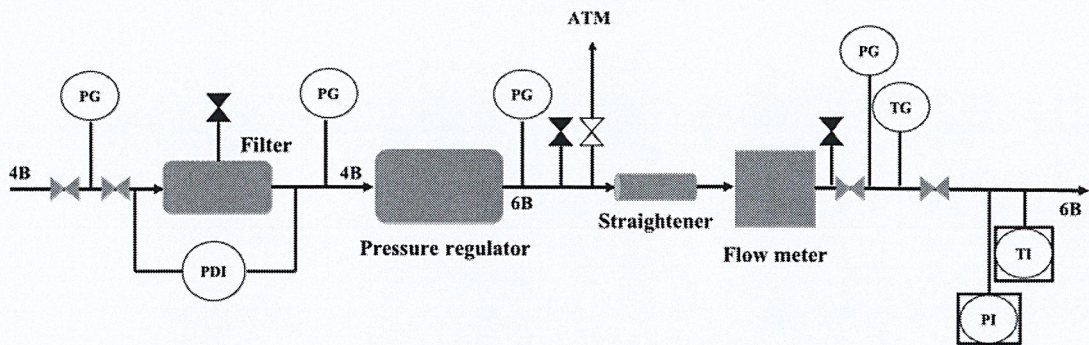
การใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนจำเป็นต้องติดตั้งหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ เพิ่มเติมที่มีความเหมาะสม เช่น Tail gas header Tail gas holders เป็นต้น ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 หน่วยปฏิบัติการและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

4.5.1 Tail Gas Header

Tail gas header มีหน้าที่ในการเตรียมภาวะให้เหมาะสมของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟิน ก่อนเข้าเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน เช่น ความดัน อุณหภูมิ และกรองสิ่งสกปรก เป็นต้น ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ดังรูปที่ 4.7



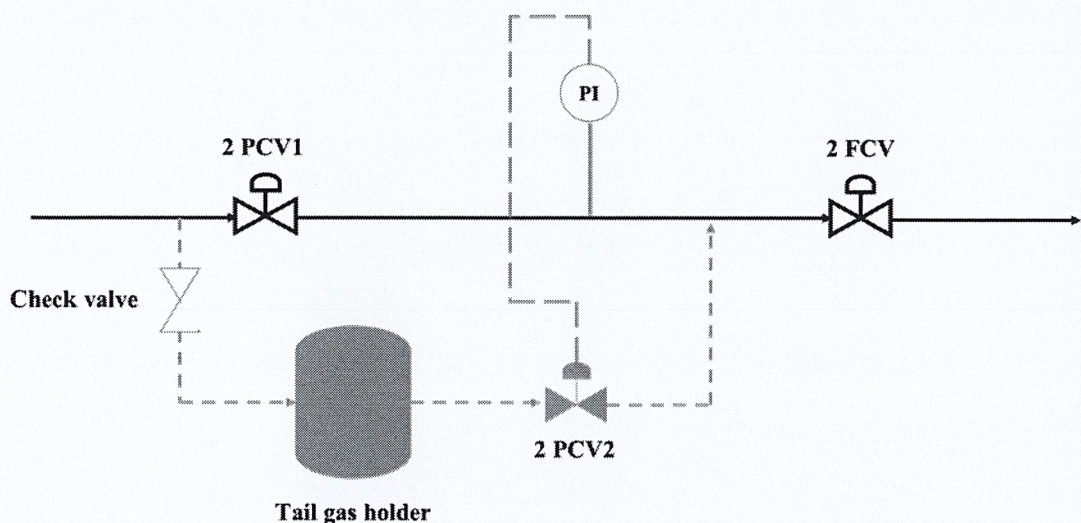
รูปที่ 4.7 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ของหน่วย Tail gas header

- 1) เครื่องกรอง (Filter) ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกและสิ่งปนเปื้อนที่ปนมากับ Tail gas
- 2) เครื่องควบคุมความดัน (Pressure regulator) ทำหน้าที่ลดความดันที่ส่งมาจากโรงงาน โอลิฟินให้เหมาะสมก่อนเข้าเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน
- 3) ท่อยึด (Straightener) ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลให้คงที่
- 4) มาตรวัดอัตราการไหล (Flow meter) ทำหน้าที่วัดปริมาณการใช้ของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟิน
- 5) ตัวชี้บอกความแตกต่างของความดัน (Differential pressure indicator: PDI) ทำหน้าที่วัดความแตกต่างความดันเพื่อป้องกันการอุดตันของสิ่งปนเปื้อนที่ตัวกรอง
- 6) เกจวัดแรงดัน (Pressure gauge: PG) ทำหน้าที่วัดความดันของ Tail gas ที่บริเวณหน้างาน
- 7) ตัวชี้บอกความดัน (Pressure indicator: PI) ทำหน้าที่วัดความดันของ Tail gas พร้อมทั้งส่งข้อมูลไปที่ห้องควบคุม
- 8) เกจวัดอุณหภูมิ (Temperature gauge: TG) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิของ Tail gas ที่หน้างาน

- 9) ตัวชี้บอกอุณหภูมิ (Temperature indicator: TI) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิของ Tail gas พร้อมทั้งส่งข้อมูลไปที่ห้องควบคุม

4.5.2 Tail Gas Holders

Tail gas holder ทำหน้าที่สนับสนุนและป้องกันการลดความดันลงของ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินถึงกระบวนการผลิต PTA โดยติดตั้งที่บริเวณวาล์วควบคุมความดันที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การติดตั้ง Tail gas holder อุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

เมื่อความดันภายในท่อลดลงจนวาล์วควบคุมความดัน (2 PCV 1) ไม่สามารถควบคุมความดันได้ตามความต้องการของกระบวนการผลิต PTA ตัวชี้บอกความดัน (PI) จะส่งสัญญาณสั่งให้วาล์วควบคุมความดันของสายสนับสนุน (2 PCV 2) เปิดออก ทำให้ Tail gas ที่ถูกเก็บอยู่ใน Tail gas holder จะไหลเข้าสู่สายการผลิตหลัก (เส้นสีดำ) เพื่อรักษาปริมาณของ Tail gas ให้เพียงพอต่อความต้องการของกระบวนการผลิต PTA โดยคำนวณปริมาตรของ Tail gas holder ด้วยสมการของก๊าซอุดมคติ พบว่า สายการผลิตที่ 2 จำเป็นต้องติดตั้ง Tail gas holder ปริมาตรเท่ากับ 3.5 m^3 และสายการผลิตที่ 3 จำเป็นต้องติดตั้ง Tail gas holder ปริมาตรเท่ากับ 2.4 m^3

4.5.3 ผลการตรวจสอบความดันภายในท่อส่งก๊าซเชื้อเพลิงที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

การใช้ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA จะทำให้อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสูงขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ความดันลด (Pressure drop) สูงขึ้นและความดันภายในท่อส่งก๊าซเชื้อเพลิงที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตอย่างแน่นอน

4.5.4 ผลการตรวจสอบการทำงานของวาล์วควบคุมที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

วาล์วควบคุม (Control valve) ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนมี 2 ชนิด คือ วาล์วควบคุมความดัน (Pressure control valve: PCV) และวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve: FCV) การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์ว (Valve opening) ด้วยการคำนวณ C_v โดยเปรียบเทียบระหว่างก๊าซธรรมชาติและ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ชนิดของวาล์วควบคุม	เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์ว	
	ก๊าซธรรมชาติ	Tail gas
สายการผลิตที่ 2		
วาล์วควบคุมความดัน	58	64
วาล์วควบคุมอัตราการไหล	66	72
สายการผลิตที่ 3		
วาล์วควบคุมความดัน	50	49
วาล์วควบคุมอัตราการไหล	60	59

การทำงานที่เหมาะสมของวาล์ว เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควรมีค่าอยู่ในช่วง 20 – 80% ที่ภาวะการปฏิบัติงานปกติ จากตารางที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่า วาล์วควบคุมความดันและวาล์ว

ควบคุมอัตราการไหลที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถทำงานได้ตามปกติและเพียงพอต่อความต้องการ

4.5.5 ผลการตรวจสอบการทำงานของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

พัดลมเป่าอากาศ (Forced draft fan) ถูกนำมาใช้ในการเป่าอากาศเข้าสู่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเพื่อทำการเผาไหม้กับอากาศ และเป่าก๊าซเหลือจากการเผาไหม้ออกจากเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน การตรวจสอบการทำงานของพัดลมเป่าอากาศด้วยการคำนวณ Damper position โดยใช้กราฟสมรรถนะ (Performance curve) ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 Damper position ของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ชนิดของพัดลม	Damper position (%)	
	ก๊าซธรรมชาติ	Tail gas
สายการผลิตที่ 2		
พัดลมเป่าอากาศ	49.6	63
พัดลมเป่าก๊าซเหลือจากการเผาไหม้	41.7	52
สายการผลิตที่ 3		
พัดลมเป่าอากาศ	53.6	61
พัดลมเป่าก๊าซเหลือจากการเผาไหม้	44.1	50

เช่นเดียวกับวาล์วควบคุม การทำงานที่เหมาะสมของพัดลมเป่าอากาศ ค่า Damper position ของพัดลมเป่าอากาศควรอยู่ในช่วง 0 - 70% ที่ภาวะการปฏิบัติงานปกติ จากตารางที่ 4.9 สามารถสรุปได้ว่าพัดลมเป่าอากาศและพัดลมเป่าก๊าซเหลือจากการเผาไหม้ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถปฏิบัติงานได้ตามปกติและเพียงพอต่อความต้องการ

4.6 ผลประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

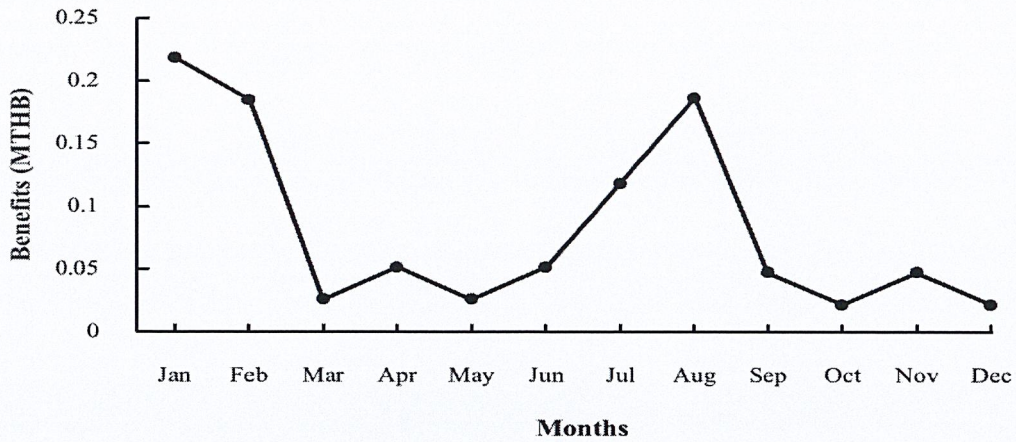
ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ประกอบด้วย ค่าหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต้องต่อการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ค่าการติดตั้งและเชื่อมต่อท่อจากจุดเชื่อมต่อมาที่กระบวนการผลิต PTA ทั้งหมด 8

ล้านบาท โดยไม่คำนวณค่าการติดตั้งหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อการ
การใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ค่าเช่าชั้นวางท่อ และค่าภาษีจาก
ทางนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต่อการ
ใช้ Tail Gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ	จำนวน	ราคา (ล้านบาท/หน่วย)	ค่าใช้จ่าย (ล้านบาท)
Tail gas holder 2.6 m ³	1	3	3
Tail gas holder 1.8 m ³	1	2	2
วาล์วควบคุมความดัน	3	0.09	0.27
วาล์วป้องกันการไหลกลับ	3	0.01	0.03
Tail gas header	1	0.7	0.7
การติดตั้งและวางท่อ (2 สายการผลิต)	2	1	2

ขั้นตอนต่อมา คือ การคำนวณผลตอบแทนที่ได้และการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ของ
การใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA ด้วย
อัตราผลตอบแทนภายใน โดยบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ได้รับผลตอบแทนจากการลดค่าบริการ
ส่วนของต้นทุนคงที่ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลตอบแทนที่ได้ของบริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ในการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ได้รับผลตอบแทนของการใช้ Tail gas แทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA สูงถึง 1 ล้านบาทต่อปี ซึ่งคิดเป็นอัตราการตอบแทนภายในประมาณ 7.5% ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการลงทุนมีความน่าสนใจเนื่องจากผลตอบแทนของกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ Tail gas จากโรงงาน โอลิฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA พบว่า องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติกับ Tail gas มีความใกล้เคียงกัน ส่งผลทำให้ค่าความร้อนของทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันด้วย แต่อาจเกิดความเสียหายจากไฮโดรเจนและการสูญเสียคาร์บอนต่ออุปกรณ์ภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนได้เนื่องจากพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.3 ppm และไฮโดรเจน 12.3% โดยโมล จำเป็นต้องเชื่อมต่อและติดตั้งท่อที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน (6 นิ้วและความหนา 40) จากจุดเชื่อมต่อมาที่กระบวนการผลิตเป็นระยะทางประมาณ 1.7 กิโลเมตร รวมทั้งติดตั้ง Tail gas header และ Tail gas holders เพิ่มเติมเพื่อความเหมาะสมต่อการใช้ Tail gas ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนโดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนของการจัดซื้อหน่วยปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือวัด ทั้งหมด 8 ล้านบาท บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด ได้รับผลตอบแทนปีละ 1 ล้านบาท คิดเป็นอัตราผลตอบแทนภายในประมาณ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการลงทุนแต่มีความน่าสนใจเนื่องจากผลตอบแทนของกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เช่น การลดลงของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนที่เกิดจากปริมาณของไฮโดรเจนที่สูงขึ้น
- 2) การศึกษาและวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับการสูญเสียคาร์บอน และความเสียหายจากไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน
- 3) การพูดคุยและยืนยันอัตราการไหล องค์ประกอบ และความดันภายในท่อส่ง Tail gas กับทางโรงงาน โอลิฟินในกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ให้แน่นอนและชัดเจน
- 4) การพูดคุยและตกลงราคาของ Tail gas กับทางโรงงาน โอลิฟินในกลุ่มบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)

5) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็น เช่น เครื่องแยก (Separator) เพื่อใช้ในการแยก ไฮโดรเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ เครื่องกวนผสมในท่อ (Static mixer) เพื่อใช้ผสม ก๊าซธรรมชาติที่จัดซื้อและ Tail gas จากโรงงานโอเลฟิน เมื่อใช้ก๊าซทั้งสองร่วมกันในการ ให้ความร้อนที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. “บทที่ 2 การคำนวณการดุลพลังงานความร้อน (Calculation of Heat Balance)” คู่มือฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน อาวุโส. 2-15 กอบบุญ หล่อทองคำ. 2552. ความรู้เบื้องต้นเรื่องการเสื่อมสภาพของโลหะ.
- ทรงศิริ แต่สมบัติ. 2548. การวิเคราะห์การถดถอย (**Regression Analysis**). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- American Petroleum Institute. 2005. **Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry**. Washington, DC.
- American Petroleum Institute. 2001. **Inspection of Fired Boilers and Heaters**. Washington, DC.
- American Petroleum Institute. 2016. **Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants**. Washington, DC.
- Ametek Process Instruments. 2016. **Process Heaters, Furnaces and Fired Heaters Improving Efficiency and Reducing NO_x**. U.S.A.: AMETEX, Inc.
- Cangel, Y.A. and Boles, M.A. 2011. **Thermodynamics an Engineering Approach**. 7th in SI Units. Singapore: McGraw-Hill Education.
- Elmastudio. 2019. **Oil and Gas Separator**. New Zealand: [Online]. <http://www.oilngasseparator.info/oil-handling-surfacefacilities/fired-heater-design.html>.
- Engineering Chemistry. 2014. **Corrosion and its Control**. Wiley India Pvt. Ltd.
- Greenberg, J.H. 1994. **Industrial Thermal Processing Equipment Handbook**. U.S.A.: ASM International.
- McCabe, W. L., Smith, J.C. and Harriott P. 2005. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 7th ed. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Welter, F.C. 2005. **E PTA: The Lurgi/Eastman/SK Process**. in Meyers, R.A. (Editor-in-Chief). **Handbook of Petrochemicals Production Process**. U.S.A.: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Park, C.S. 2013. **Fundamentals of Engineering Economics**. 8th ed. U.S.A.: Courier Kendallville.
- Pardoe, I. 2012. **Applied Regression Modeling**. 2nd ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

- Pijak, M., Sitthichai, T., Patompong, M., et al. 2012. “Anaerobic Project (Modification of FG/BG Mixing at PTA Hot Oil Furnace)” in **Siam Mitsui PTA Co., Ltd. Project.**
- Pongpat, L. 2016. “SMPC 3PF-601 Preheat-Fin Tubes Corrosion.” in **Siam Mitsui PTA Co., Ltd. Project.**
- PTT Pubic Co., Ltd. 2020. **Basic of Natural Gas.** [Online]. [https://dscng.pttplc.com/\(S\(0vwb4uftzyf4zskdig5cdpco\)\)/Knowledge/Knowledge-inside?p=Basic_of_Natural_Gas](https://dscng.pttplc.com/(S(0vwb4uftzyf4zskdig5cdpco))/Knowledge/Knowledge-inside?p=Basic_of_Natural_Gas)
- Smith, J.M., Van Ness, H.C. and Abbott, M.M. 2018. **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics.** 8th ed. Singapore: McGraw-Hill Education.
- Eastop, T.D. and Croft, D.R. 1990. **Energy Efficiency for Engineering and Technologists.** England: Longman Group UK Limited.
- Wikiwind. 2019. **Terephthalic Acid.** [Online]. https://www.wikiwand.com/en/Terephthalic_acid.
- Yamatake Honeywell Co., Ltd. 1997. **Selection Guide to Control Valves.**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การควบคุมมวลสารและพลังงาน (Material and Energy Balances)

1.1 การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ดังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนถูกนำมาใช้ให้ความร้อนในอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต PTA โดยใช้ก๊าซธรรมชาติที่มีค่าความร้อนสุทธิ 8,071 kcal/kg ด้วยอัตราการไหล 1,663 Nm³/h เป็นเชื้อเพลิงและน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 276 °C ด้วยอัตราการไหล 583.45 ton/s เป็นสื่อกลางในการรับความร้อนจากก๊าซธรรมชาติ จนอุณหภูมิของน้ำมันร้อนเพิ่มเป็น 313 °C

- เมื่อ
1. ค่าเอนทัลปีของน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 276 °C เท่ากับ 167.31 kcal/kg
 2. ค่าเอนทัลปีของน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 313 °C เท่ากับ 189.74 kcal/kg

$$\eta = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\dot{m}_F \times \text{NCV}}$$

$$\eta = \frac{583.45 \times 1000 \times (189.74 - 167.31)}{(1,663)(8,071)} \times 100$$

$$= 97.5 \%$$

1.2 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Preheater

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Preheater สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2 ดังตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 2 สารละลาย CTA ได้รับความร้อน ด้วยอัตราการไหล 130 ton/h ที่อุณหภูมิ 243.2 °C ถูกให้ความร้อนด้วยน้ำมันร้อนอัตราการไหล 449 ton/h ที่อุณหภูมิ 289 °C ลดลงเหลืออุณหภูมิ 269 °C จนทำให้สารละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 263.4 °C

- เมื่อ
1. เอนทัลปีของน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 289 °C เท่ากับ 175 kcal/kg
 2. เอนทัลปีของน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 269 °C เท่ากับ 163 kcal/kg
 3. เอนทัลปีของสารละลาย CTA ที่อุณหภูมิ 243.2 °C เท่ากับ 252 kcal/kg

4. เอนทัลปีของสารละลาย CTA ที่อุณหภูมิ 263.4 °C เท่ากับ 274 kcal/kg

5. พลังงานที่ใช้ในการเกิดผลึกของสารละลาย CTA เท่ากับ 1,849,859 kcal/h

$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_H}$$

$$\eta = \frac{(\text{Crystallization heat} + \text{Sensible heat})_{CTA}}{(\text{Sensible heat})_{Hot\ oil}} \times 100$$

$$\eta = \frac{1,849,859 + (130 \times 1,000 \times (274 - 252))}{449 \times 1,000 \times (175 - 163)} \times 100$$

$$= 79.81\%$$

1.3 การคำนวณอัตราการไหลของน้ำมันร้อนที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

อัตราการไหลของน้ำมันร้อนที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถคำนวณได้จากความร้อนที่ถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์ต่าง เช่น Hot oil cooler และ Preheater เป็นต้น ด้วยสมการที่ 2.3 ดังตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3 น้ำมันร้อนอุณหภูมิ 313 °C ถูกนำไปใช้ให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต PTA ดังนี้

1. การผลิตไอน้ำความดัน 10 bar อัตราการไหล 4.5 ton/h ที่ Hot oil cooler ทำให้อุณหภูมิของน้ำมันร้อนลดลงเหลือ 276 °C

สมมติฐาน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Hot oil cooler มีค่าเท่า 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอต่อการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Hot oil cooler

$$\dot{Q} + \dot{W} = \frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta[(H + \frac{1}{2}u^2 + zg)m]_{fs}$$

$$\dot{m}(h_2 - h_1)_{Hot\ oil} = (\text{Crystallization heat} + \dot{m}(h_2 - h_1))_{Steam}$$

$$\dot{m}(189.74 - 167.31) = 4.5 \times 1000 \times (477.35)$$

$$\dot{m} = 588 \text{ ton/h}$$

2. การเตรียมภาวะของสารละลาย CTA อัตราการไหล 180 ton/h และอุณหภูมิ 243.2 °C ที่ Preheater ทำให้อุณหภูมิของสารละลาย CTA ละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 286.7 °C และอุณหภูมิของน้ำร้อนลดลงเหลือ 270 °C

- เมื่อ
1. เอนทัลปีของน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 270 °C เท่ากับ 164.03 kcal/kg
 2. เอนทัลปีของสารแขวนลอยที่อุณหภูมิ 286.7 °C เท่ากับ 301.35 kcal/kg
 3. พลังงานที่ใช้ในการเกิดผลึก ของสารละลาย CTA เท่ากับ 3,183,920 kcal/h
 4. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Preheater มีค่าเท่า 79.81 เปอร์เซ็นต์

$$\dot{Q} + \dot{W} = \frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta[(H + \frac{1}{2}u^2 + zg)\dot{m}]_{fs}$$

$$\dot{m}(h_2 - h_1)_{Hot\ oil} = \dot{m}(h_2 - h_1)_{CTA}$$

$$\dot{m}(189.74 - 164.03)(0.7981) = 3,183,920 + (180 \times 1000 \times (301.35 - 252))$$

$$\dot{m} = 588\text{ ton/h}$$

นอกจากนี้ยังใช้ในหน่วยปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่างๆ อีกมากมายประมาณ 70 ton/h และมีสายแยก (By-pass) สำหรับใช้เพิ่มเติมอีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลนั้นร้อนทั้งหมด ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำมันร้อนเท่ากับ 720 ton/h

1.4 การคำนวณอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

การคำนวณอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน สามารถหาได้จากการคูณพลังงานที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนได้ตามสมการที่ 2.3 ดังตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 4 เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงโดยมีค่าความร้อนสุทธิ 8,071 kcal/m³ ความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้จะถูกถ่ายโอนสู่น้ำมันร้อนที่อัตราการไหล 720 ton/h และอุณหภูมิ 276 °C จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 313 °C

- เมื่อ
1. เอนทัลปีของน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 313 °C เท่ากับ 189.4 kcal/kg
 2. เอนทัลปีของน้ำมันร้อนที่อุณหภูมิ 276 °C เท่ากับ 167.31 kcal/kg
 3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเท่ากับ 97.5 เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \dot{Q} + \dot{W} &= \frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta\left[\left(H + \frac{1}{2}u^2 + zg\right)\dot{m}\right]_{fs} \\ \eta \dot{V}(\text{LHV}) &= \dot{m}(h_2 - h_1) \\ 8,071(\dot{V})(0.975) &= 720 \times 1,000 \times (189.4 - 167.31) \\ \dot{V} &= 2,024 \text{ Nm}^3/\text{h} \end{aligned}$$

1.5 การคำนวณอัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินที่ใช้แทนก๊าซธรรมชาติในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

เมื่อทราบอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถคำนวณอัตราการไหลของ Tail Gas จากโรงงาน โอเลฟินที่ใช้แทนก๊าซธรรมชาติในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนได้ด้วยค่าความร้อนสุทธิของก๊าซทั้งสอง ตามสมการที่ 3.1 ดังตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างที่ 5 เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนในกระบวนการผลิต PTA ต้องการแทนอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติมีค่าความร้อนเท่ากับ 8,071 kcal/m³ และมีอัตราการไหล 1,916 Nm³/h ด้วย Tail gas มีค่าความร้อนเท่ากับ 7,324 kcal/m³

$$\begin{aligned} (\text{LHV} \times \dot{Q})_{\text{natural}} &= (\text{LHV} \times \dot{Q})_{\text{tail}} \\ (8,071 \times 1,916) &= 7,324 \times (\dot{Q})_{\text{tail}} \\ \dot{Q}_{\text{tail}} &= 2,111 \text{ Nm}^3/\text{h} \end{aligned}$$

2. การคำนวณไฮดรอลิก (Hydraulic Calculation)

2.1 การคำนวณ Mach number

การตรวจสอบชนิดของไหลของ Tail gas ภายในท่อจากโรงงานโอเลฟินมีความจำเป็นต่อการเลือกสมการที่ใช้ในการคำนวณความดันภายในท่อ ซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยสมการของ Mach number จากสมการที่ 2.6 ดังตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่างที่ 6 Tail gas ถูกส่งผ่านท่อจากโรงงานโอเลฟินด้วยความเร็ว 8.58 m/s ความดันเท่ากับ 2.94 MPa อุณหภูมิ 25 °C ทำให้มีความหนาแน่นเท่ากับ 17.88 kg/m³ เมื่อ อัตราส่วนระหว่างค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่และค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (γ) เท่ากับ 1.3

$$\begin{aligned} \text{Ma}^2 &= \frac{\rho u^2}{\gamma P} \\ \text{Ma}^2 &= \frac{17.8 \times (8.58)^2}{1.3(2.94 \times 1,000)} \\ \text{Ma} &= 0.59 \end{aligned}$$

เนื่องจากค่า Ma ของ Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินมีค่ามากกว่า 0.2 Tail gas จึงเป็นของไหลแบบอัดตัวได้ ดังนั้นการคำนวณความดันภายในท่อของ Tail gas จาก โอเลฟินถึงกระบวนการผลิต PTA จึงเลือกใช้สมการ Isothermal friction flow

2.2 การคำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail Gas จากโรงงานโอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต

PTA

สามารถคำนวณหาความดันภายในท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอเลฟินมาที่กระบวนการผลิต PTA ด้วยสมการ Isothermal friction flow ตามสมการที่ 2.7 ดังตัวอย่างที่ 7 ตัวอย่างที่ 7 โรงงาน โอเลฟินส่ง Tail gas ด้วยอัตราการไหล 2,550 kg/h ความหนาแน่น 17.8 kg/m³ ที่ความดัน 30 atm และอุณหภูมิ 25 °C ด้วยท่อเหล็กกล้าคาร์บอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 1,700 m

- เมื่อ
1. มวลโมเลกุลของ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินเท่ากับ 15.6 g/mol
 2. ความหนืด 0.1 cP
 3. มีค่าความหยาบของผิวท่อเหล็กกล้าคาร์บอนเท่ากับ 0.00045 m

สมมติฐาน

1. ไม่คำนวณความดันลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความสูง
2. ไม่คำนวณความดันลดลงเนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ข้อต่อ ข้องอ
 - 1) การคำนวณความเร็วภายในท่อของ Tail gas ด้วยสมการที่ 3.2

$$u = \frac{\dot{Q}}{A}$$

$$= \frac{2,550}{17.78 \times \frac{\pi(0.154)^2}{4}} \times \frac{1}{3,600}$$

$$= 2.14 \text{ m/s}$$

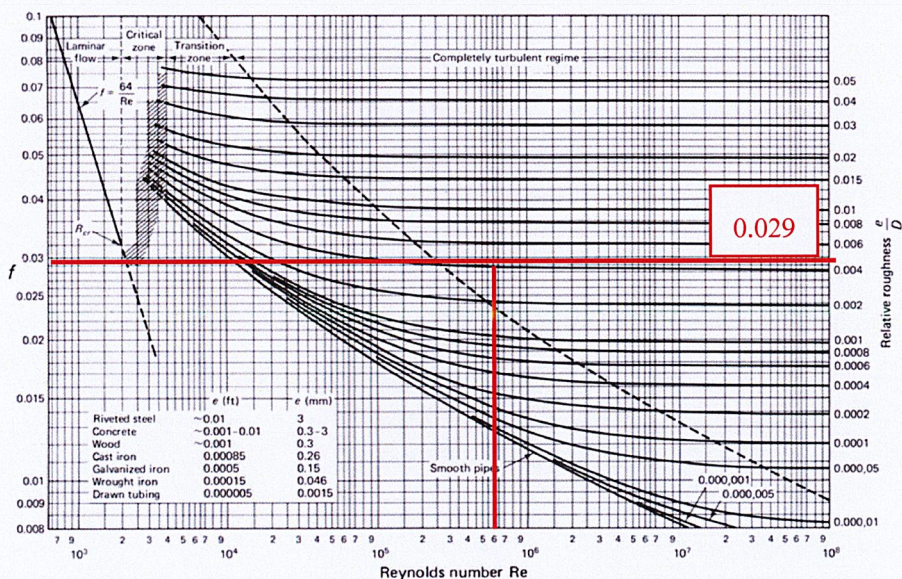
2) การคำนวณ Reynold number ด้วยสมการที่ 3.3

$$\text{Re} = \frac{\rho u d}{\mu}$$

$$= \frac{17.8(2.14)(0.154)}{0.00001}$$

$$= 586,616$$

3) การคำนวณ Fanning friction โดยใช้ Moody's diagram ตามรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างการคำนวณ Friction factor

เมื่อ Re มีค่า 2,0561,458 และ $\frac{\epsilon}{D} = 0.0045$ จะได้

$$f = 0.029$$

4) การคำนวณความเร็วเชิงมวลของ Tail gas ด้วยสมการที่ 3.4

$$\begin{aligned} G &= \frac{Q_p}{A} \\ &= \frac{2,550}{\frac{\pi(0.154)^2}{4}} \times \frac{1}{3,600} \\ &= 38.03 \text{ kg/m}^2\text{s} \end{aligned}$$

5) การคำนวณรัศมีไฮดรอลิกของท่อ

รัศมีไฮดรอลิกของท่อ หาได้จากอัตราส่วนของความยาวรอบรูปของหน้าตัดต่อพื้นที่หน้าตัด สำหรับท่อรูปทรงกลมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$\begin{aligned} r_H &= \frac{d}{4} \\ &= \frac{0.154}{4} \\ &= 0.0385 \text{ m} \end{aligned}$$

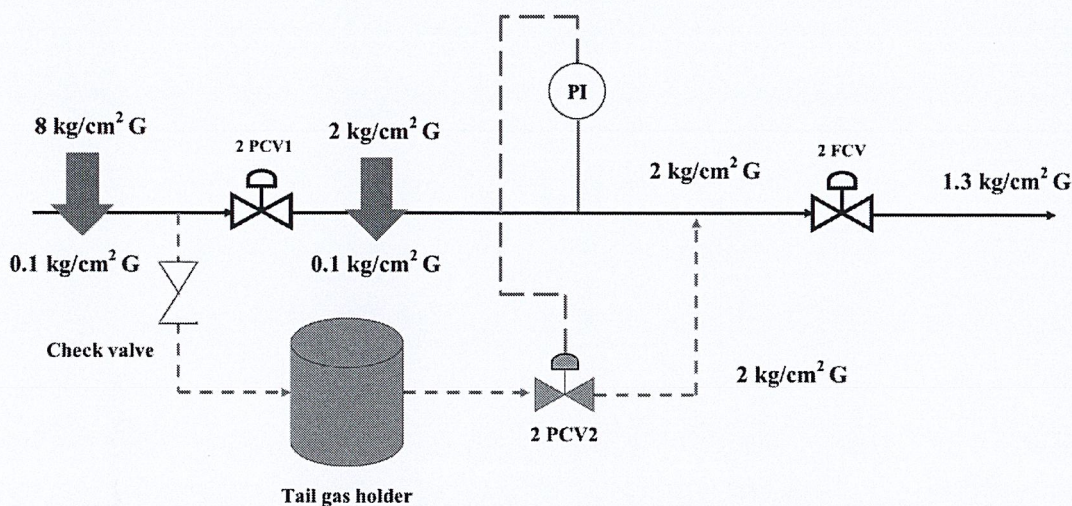
6) การคำนวณความดันภายในท่อส่ง Tail gas จากโรงงาน โอเลฟิน มาที่กระบวนการผลิต PTA ด้วยสมการที่ 2.7

$$\begin{aligned} P_a^2 - P_b^2 &= \frac{G^2 RT}{M} \left[2 \ln \frac{P_a}{P_b} + \frac{f(L_b - L_a)}{r_H} \right] \\ 30^2 - P_b^2 &= \frac{(38.03)^2 (0.08206) (25 + 273.15)}{15.6 \times 101,325} \times \left[2 \ln \frac{30}{P_b} + \frac{0.029(1,700)}{0.0385} \right] \\ P_b &= 29.9 \text{ atm} \end{aligned}$$

3. การคำนวณปริมาตรของ Tail Gas Holders

ปริมาตรของ Tail gas holder ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6 ดังตัวอย่างที่ 8

ตัวอย่างที่ 8 เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนจำเป็นต้องใช้ความดันของก๊าซภายในท่อ $2 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ การใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนจำเป็นต้องติดตั้ง Tail gas holder เนื่องจากความไม่แน่นอนของปริมาณที่ถูกส่งและเพื่อรักษาความดันให้คงที่ โดยสามารถทดแทนได้เป็นเวลา 25 s อัตราการไหลของ Tail gas เท่ากับ $2,111 \text{ Nm}^3/\text{h}$ และความดันภายในท่อต่ำที่สุดเมื่อไม่มีก๊าซเชื้อเพลิง $0.1 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$



รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการปฏิบัติงานของ Tail gas holders ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{\dot{Q}t(P_1 - P_2)}{P_3} \\
 &= \frac{2,111(25)(2 - 0.1)}{8 \times 3600} \\
 &= 3.5 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. การตรวจสอบการทำงานของวาล์วควบคุมและพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

4.1 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.7 และ 3.8 ดังตัวอย่างที่ 9

ตัวอย่างที่ 9 ก๊าซธรรมชาติไหลผ่านวาล์วควบคุมความดันที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน ทำให้ความดันลดลงจาก 8 kg/cm² G เหลือเพียง 2 kg/cm² G ด้วยอัตราการไหล 1,904 m³/h ที่อุณหภูมิ 25 °C

- เมื่อ
1. ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซธรรมชาติเท่ากับ 0.6448
 2. ค่า C_v selected ของวาล์วควบคุมความดันมีค่าเท่ากับ 44
- 1) การคำนวณ C_v ด้วยสมการที่ 3.7 และ 3.8

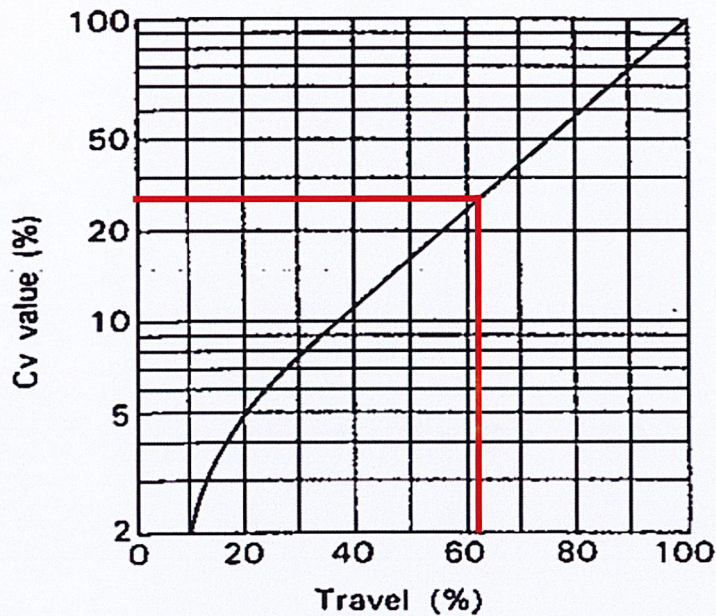
เลือกสมการที่ 3.6 เนื่องจาก $\Delta P > \frac{P_1}{2}$ จะได้

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{Q\sqrt{SG \times T_f}}{249P_1} \\
 &= \frac{1,663(\sqrt{0.6448 \times (25 + 273)})}{249(8)} \\
 &= 11.57
 \end{aligned}$$

- 2) การคำนวณ C_v value (%)

$$\begin{aligned}
 C_v \text{ value (\%)} &= \frac{C_v}{C_{v \text{ selected}}} \times 100 \\
 &= \frac{11.57}{44} \times 100 \\
 &= 26.3 \%
 \end{aligned}$$

- 3) การคำนวณการเปิดของวาล์วควบคุมความดันด้วยกราฟคุณลักษณะของวาล์ว



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมความดันที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (Yamatake Honeywell Co., Ltd., 1997)

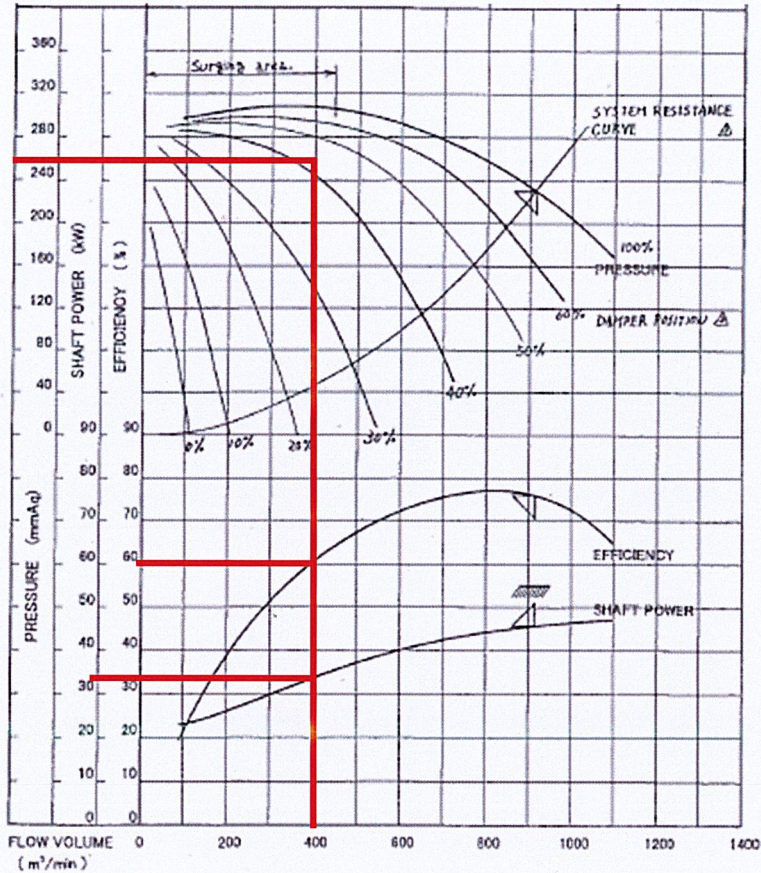
เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมความดันที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเท่ากับ 62%

4.2 การคำนวณ Damper position ของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

การคำนวณ Damper position ของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนสามารถคำนวณได้จากกราฟสมรรถนะดังตัวอย่างที่ 10

ตัวอย่างที่ 10 อากาศถูกเป่าด้วยพัดลมเป่าอากาศเข้าเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนด้วยความเร็ว 400 m/min เมื่ออากาศผ่านพัดลมเป่าอากาศทำให้เกิดความดันลด 250 mmAq

จากกราฟสมรรถนะพบว่า Damper position ของพัดลมเป่าอากาศที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อนเท่ากับ 41% ประสิทธิภาพการทำงานเท่ากับ 61% และกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 34 kW ดังรูปที่ ก.3

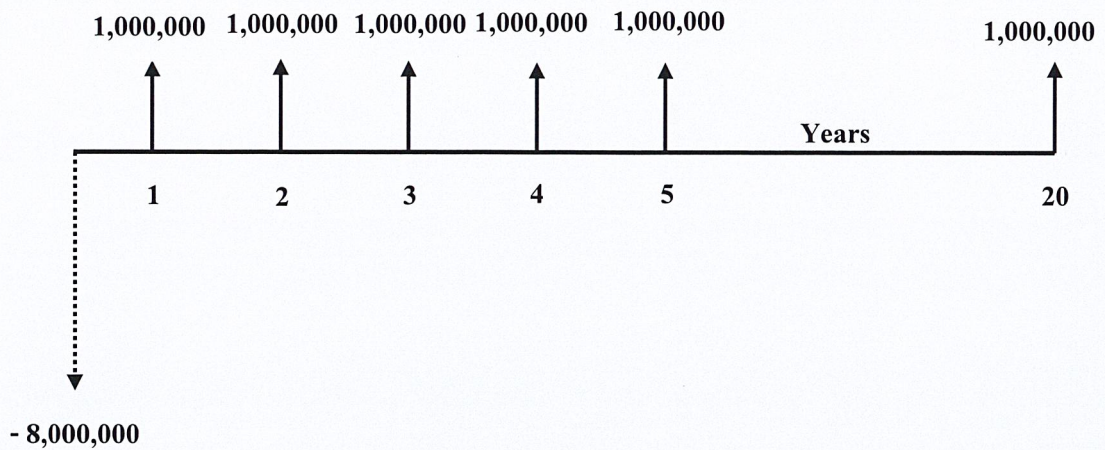


รูปที่ ก.4 ตัวอย่างการคำนวณ Damper position ของพัดลมเป่าอากาศ
 ที่เตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน (GC-M PTA Co., Ltd., 2001)

5. การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน

การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการ นิยมใช้อัตราผลตอบแทนภายใน ตาม
 สมการที่ 2.8 ดังตัวอย่างที่ 11

ตัวอย่างที่ 11 โครงการนี้มีต้นทุนในการลงทุนทั้งหมด 8 ล้านบาท ได้รับผลตอบแทนปีละ
 1 ล้านบาท คำนวณหาค่าอัตราผลตอบแทนภายใน 20 ปี



รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการเขียน Cash flow ในการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายในของการใช้ Tail gas จากโรงงานโอเลฟินแทนก๊าซธรรมชาติที่เผาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

ให้กำหนดค่า IRR เท่ากับค่าๆ หนึ่ง เช่น $i^* = 10$ แล้วทำการคำนวณหามูลค่าปัจจุบัน ดังนี้

$$\begin{aligned}
 PW(i^*) &= \frac{A_0}{(1+i^*)^0} + \frac{A_1}{(1+i^*)^1} + \dots + \frac{A_N}{(1+i^*)^N} = 0 \\
 &= -8,000,000 + \frac{1,000,000}{(1+0.1)} + \frac{1,000,000}{(1+0.1)^2} + \dots + \frac{1,000,000}{(1+0.1)^{20}} \\
 &= 355,260.7
 \end{aligned}$$

ถ้ามูลค่าปัจจุบันไม่เท่ากับ 0 ให้ Trial and error ค่าของอัตราผลตอบแทนภายในจนทำให้มูลค่าปัจจุบันเป็น 0 ดังนี้

กำหนด ให้ $i^* = 7.5\%$

$$\begin{aligned}
 PW(i^*) &= -8,000,000 + \frac{1,000,000}{(1+0.075)} + \frac{1,000,000}{(1+0.075)^2} + \dots + \frac{1,000,000}{(1+0.075)^{20}} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ

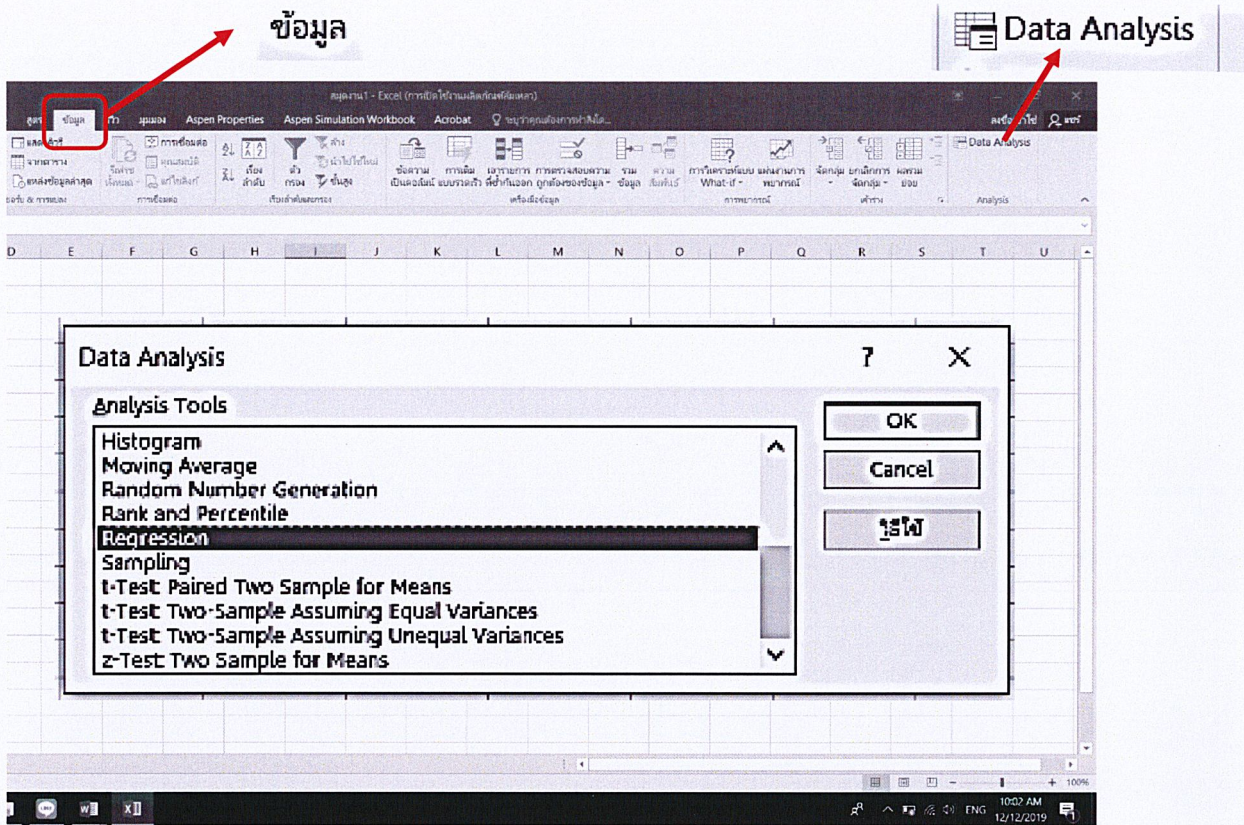
การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณใช้โปรแกรม Microsoft office excel โดยมีวิธีดังนี้

1) กรอกข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณลงในโปรแกรมโดยแบ่งตัวแปรเป็น 2 แบบ คือ ตัวแปรอิสระ (X_i) สามารถมีได้มากกว่า 1 ตัวแปร และตัวแปรตาม (Y) เพียง 1 ตัวแปรเท่านั้น ดังรูปที่ ข.1

Y	X1	X2	X3
5	1	3	6
10	2	6	20
15	3	9	7
20	4	12	9
25	5	15	0
30	6	18	5
35	7	21	8
40	8	24	6
45	9	27	5
50	10	30	1

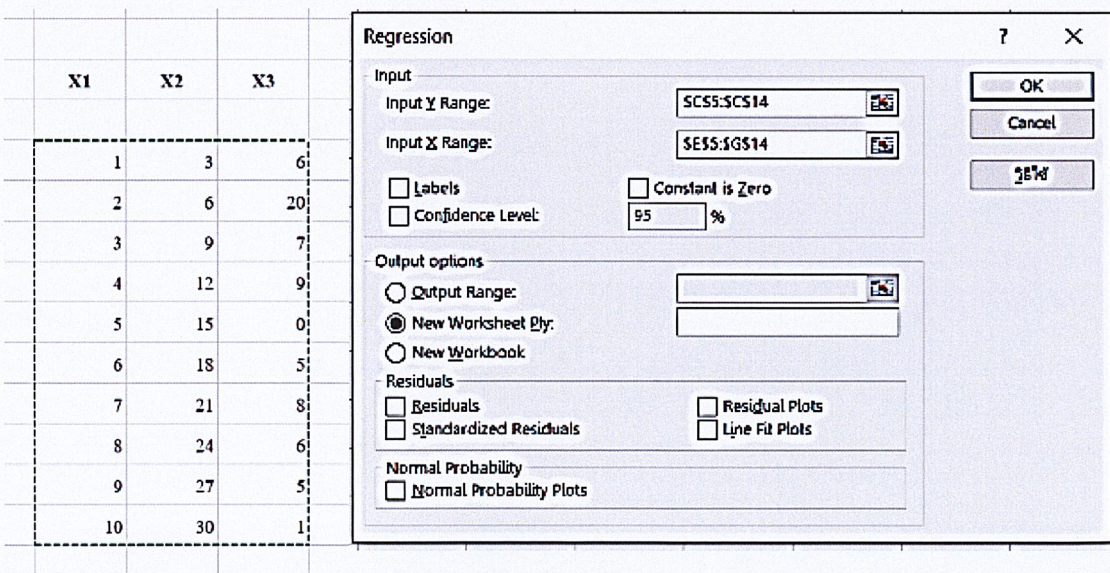
รูปที่ ข.1 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ
ลงในโปรแกรม Microsoft office excel

2) เลือกคำสั่งการวิเคราะห์การถดถอยโดยไปที่เมนู ข้อมูล (Data) --> Data analysis --> Regression ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างหน้าต่างคำสั่ง Regression ของโปรแกรม Microsoft office excel

3) เลือกชุดข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ทั้งตัวแปรอิสระตัวแปรตามให้ถูกต้องแล้วกดตกลง (OK) ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างการเลือกข้อมูลของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

4) โปรแกรมจะแสดงผลพีชขึ้นมาในหน้าต่างใหม่ Sheet ดังรูปที่ ข.4

Regression Statistics								
Multiple R	1							
R Square	1							
Adjusted R Square	0.857142857							
Standard Error	1.31075E-15							
Observations	10							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	3	2062.5	687.5	6.00239E+32	8.09219E-98			
Residual	7	1.20265E-29	1.71807E-30					
Total	10	2062.5						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	6.0004E-16	1.41954E-15	0.422701147	0.685195173	-2.75663E-15	3.95672E-15	-2.75663E-15	3.95672E-15
X Variable 1	0	0	65535	#NUM!	0	0	0	0
X Variable 2	1.666666667	5.60927E-17	2.97127E+16	#NUM!	1.666666667	1.666666667	1.666666667	1.666666667
X Variable 3	-8.95583E-17	9.33483E-17	-0.959398886	0.369315144	-3.10292E-16	1.31175E-16	-3.10292E-16	1.31175E-16

รูปที่ ข.4 ตัวอย่างผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเส้นเชิงแบบพหุคูณ

2. การวิเคราะห์อัตราการกักต่อนที่อุณหภูมิสูง

2.1 การวิเคราะห์การกักต่อนของออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงภายในเตาให้ความร้อนด้วยน้ำมันร้อน

อัตราการกักต่อนของออกซิเดชันภายในเตาให้ความร้อนด้วยน้ำมันร้อนสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยรูปที่ 2.6 ดังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 อุณหภูมิโลหะของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน 375°C

Corrosion rate (mpy)							
Material of construction	Maximum metal temperature (°C)						
	482-570	511-538	539-566	567-593	594-621	622-649	650-677
CS	2	4	6	9	14	22	33
1.25 Cr	2	3	4	7	12	18	30
2.25 Cr	1	1	2	4	9	14	24
5 Cr	1	1	1	2	4	6	15
7 Cr	1	1	1	1	1	2	3
9 Cr	1	1	1	1	1	1	1
12 Cr	1	1	1	1	1	1	1
304 SS	1	1	1	1	1	1	1
309 SS	1	1	1	1	1	1	1
310 SS / HK	1	1	1	1	1	1	1
800 H / HP	1	1	1	1	1	1	1

รูปที่ ข.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนของออกซิเดชันของเหล็กกล้าคาร์บอน
ที่อุณหภูมิ 375°C ในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

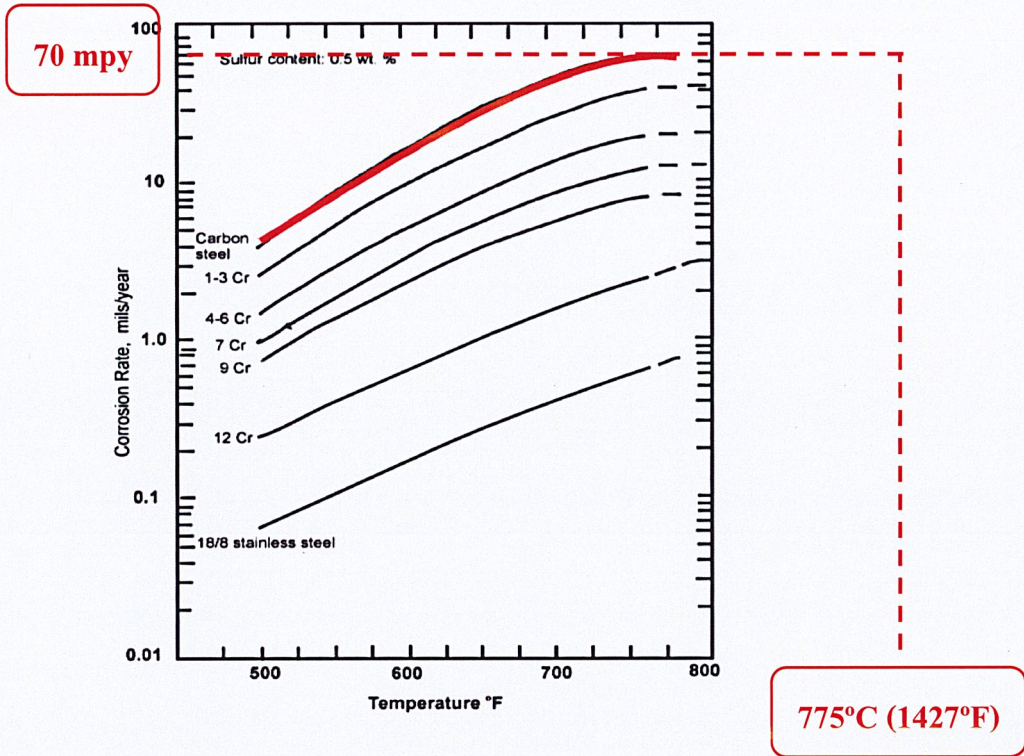
อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมที่อุณหภูมิโลหะ 375°C
มีค่าน้อยกว่า 1 mpy ดังนั้นจึงไม่สามารถเกิดความเสียหายได้

2.2 การกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันที่อุณหภูมิสูง

อัตราการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถัน สามารถวิเคราะห์ได้ตามรูปที่ ข.6 และ ข.7
ดังตัวอย่าง 2

ตัวอย่าง 2 อุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน 775°C พบว่า ไอเสียมีองค์ประกอบของ
กำมะถัน (Sulfur content) 0.003% โดยน้ำหนัก

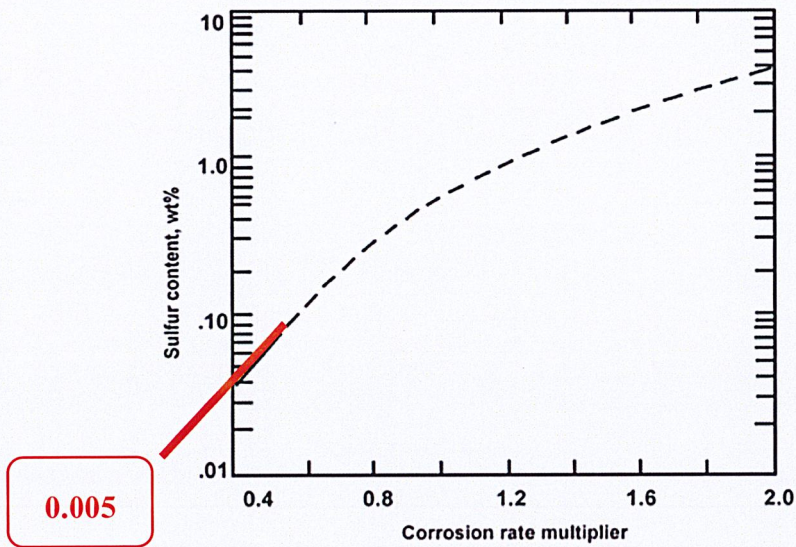
1) การคำนวณอัตราการกัดกร่อนที่อุณหภูมิ 775°C (1427°F) ด้วยรูปที่ 2.9



รูปที่ ข.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันในเหล็กกล้าคาร์บอน ที่อุณหภูมิ 775°C (1427°F) ในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

อัตราการกัดกร่อนที่ความเข้มข้นของกำมะถัน 0.5 % โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 775°C (1427°F) มีค่าเท่ากับ 70 mpy

2) การคำนวณอัตราการกัดกร่อนที่ความเข้มข้น 0.003 % โดยน้ำหนักด้วยรูปที่ 2.10



รูปที่ ข.7 ตัวอย่างการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถัน ที่ความเข้มข้น 0.003% โดยน้ำหนักในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน

$$\begin{aligned}
 \text{Corrosion rate} &= \text{Multiplier} \times \text{Corrosion rate at 0.5wt\% of sulfur content} \\
 &= 0.005 \times 70 \\
 &= 0.35 \text{ mpy}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราการกัดกร่อนของสารประกอบกำมะถันที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.003% โดย น้ำหนัก และอุณหภูมิภายในเตาให้ความร้อนแก่น้ำมันร้อน 775°C (1427°F) มีค่าเท่ากับ 0.35 mpy

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	รณชัย เสนีย์ศรีสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	6 สิงหาคม 2540
ที่อยู่	33/2 ม.9 ต.ปากน้ำ อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา 24110
E-mail	Ronnachai.intern@gmail.com
โทรศัพท์	062-498-2235
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2553 - 2559	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นถึงตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์ ฉะเชิงเทรา
พ.ศ. 2559 – ปัจจุบัน	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน ส่วนกระบวนการผลิต
บริษัท เนสท์เล่ (ไทย) จำกัด – โรงงานอมตะซิตี้
ตั้งแต่วันที่ 3 มิถุนายน 2562 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2562
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา ส่วนวิศวกรรมเทคนิค
บริษัท จีซี-เอ็ม พีทีเอ จำกัด
ตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 29 พฤศจิกายน 2562

ผลงานตีพิมพ์ในงานประชุมระดับชาติ

Ronnachai Senesrisakul, Piyanart Sommani, Thachanan Samanmulya and Anchaleeporn Waritswat Lothongkum “Substitution of Natural Gas by Tail Gas from Olefin Plant at Hot Oil Furnace in PTA Production” Proceedings of The 29th TIChE Conference (TIChE 2020) “Bio-economy for sustainable future” The Tawana Bangkok, Thailand, 23-24 March 2020