

การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพthalic anhydride เป็นเชื้อเพลิงเสริม  
ในเตาเผาเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน

UTILIZATION OF PHTHALIC ANHYDRIDE WASTE AS AN ADDITIONAL  
FUEL IN A FURNACE FOR OIL HEATING SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมบีโศรเคมี  
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-503-2

การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นเชื้อเพลิงเสริม  
ในเตาเผาเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน

UTILIZATION OF PHTHALIC ANHYDRIDE WASTE AS AN ADDITIONAL  
FUEL IN A FURNACE FOR OIL HEATING SYSTEM



ธรรมนุญ สุกิตติ

THAMMANOON SUKITTI

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 41489  
วัน, เดือน, ปี 19 ก.พ. 2545

b.....  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-503-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**UTILIZATION OF PHTHALIC ANHYDRIDE WASTE AS AN ADDITIONAL  
FUEL IN A FURNACE FOR OIL HEATING SYSTEM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2001**



**COPYRIGHT 2001**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

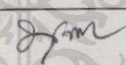

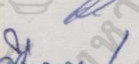
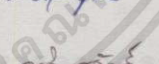
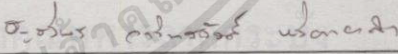
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นเชื้อเพลิงเสริม  
ในเตาเผาเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน  
UTILIZATION OF PHTHALIC ANHYDRIDE WASTE AS AN  
ADDITIONAL FUEL IN A FURNACE FOR OIL HEATING SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นายธรรมบุญ สุกิตติ  
รหัสประจำตัว 42061206  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมปิโตรเคมี  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.ศิริพล คุณาธิปพงศ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
อาจารย์บุญชัย	โชติวิริยาณิชย์	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	
ดร.ศิริพล	คุณาธิปพงศ์	
ผศ.ดร.อัญชลีพร	วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ	

วัน/เดือนปี ที่สอบ 17 กันยายน 2544 เวลา 12.00-13.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว



(รศ.ดร.บรรณานันท์ อัจฉริยะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นเชื้อเพลิงเสริมในเตาเผาเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลาง น้ำมัน

นักศึกษา

นาย ธรรมนุญ สุกิตติ

รหัสประจำตัว

42061206

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมปิโตรเคมี

พ.ศ.

2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ. ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. ศิริพล คุณาธิปพงษ์

รองกรรมการผู้จัดการฝ่ายเทคนิค

บริษัท คอนทิเนนทอล ปิโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด

### บทคัดย่อ

พาทาลิกแอนไฮไดรด์ผลิตจากปฏิกิริยาพหุเชิงลออกซิเดชันของอโทไซลีน แต่เดิมส่วน กัดันเบาและส่วนกัดันหนักซึ่งเป็นของเสียที่มีสถานะเป็นของเหลวในกระบวนการจะถูกระบาย ออกและปล่อยให้เย็นตัวเกิดกากของแข็งประมาณ 2.09 ตันต่อวัน และถูกส่งไปกำจัดโดยการ ฟังกลบ จากแนวคิดของการผลิตที่สะอาดของเสียนี้จึงถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมภายใน เตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงหลัก คือ น้ำมันเตาหรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งจะลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน และการกำจัดของเสีย รวมทั้งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมอย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง กระบวนการนั้น บริษัทฯ ต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 450,000 บาทต่อปี ในการกำจัดกากของแข็งที่ จำเป็นต้องพลัซออกจากกระบวนการเนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ บางครั้งเมื่อ ของเสียมีความหนืดสูงหรือมีปริมาณไม่สม่ำเสมอที่จะใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงหลัก กรณีนี้จะใช้แต่ เชื้อเพลิงหลักเท่านั้น จึงต้องพลัซของเสียซึ่งค้างอยู่ด้านทางออกของเครื่องสูบของเสียจาก กระบวนการผลิตออก เพื่อป้องกันการอุดตันภายในหัวเผาและระบบท่อ และในกรณีที่มีการหยุดใช้ ของเสียเนื่องจากเกิดปัญหาขัดข้องในกระบวนการ ก่อนที่จะเริ่มป้อนของเสียเข้าเตาเผาอีกจะต้อง พลัซอากาศออกจากท่อเพื่อป้องกันปัญหาฟองอากาศ จึงทำให้มีของเสียบางส่วนถูกพลัซออกมาด้วย นอกจากนี้ของเสียยังถูกระบายออกจากถังเก็บของเสียเพื่อป้องกันการล้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้ ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจาก

กระบวนการผลิต 2 วิธี โดยการถอดเครื่องสูบของเสียซึ่งขบวนการปลัซของเสียที่มีความหนักกลับ  
ถึงเก็บของเสีย และการใช้ถังหลอมกากของแข็งที่เกิดจากการปลัซของเสียเนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ  
ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จากการปรับปรุงทั้งสองวิธีสามารถลดการใช้น้ำมันเตาได้ประมาณ 103 ลิตร  
ต่อวัน ที่อัตราการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์  $100 \pm 5$  ตันต่อวัน คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้จากค่า  
พลังงานและค่ากำจัดกากของแข็งประมาณ 696,747 บาทต่อปี นอกจากนี้ยังได้นำเสนอแผน  
ปรับปรุงเพิ่มเติมสองแผนที่ควรจะทำต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Utilization of Phthalic Anhydride Waste as an Additional Fuel in a Furnace for Oil Heating System
<b>Student</b>	Mr. Thammanoon Sukitti
<b>Student ID.</b>	42061206
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Petrochemical Engineering
<b>Year</b>	2001
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Anchaleeporn W. Lothongkum
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Dr. Siripoln Kunatippapong Technical Vice President Continental Petrochemicals (Thailand) Co., Ltd.

### ABSTRACT

Phthalic anhydride is produced by partial oxidation of o-xylene. Formerly, light ends and heavy ends (liquid waste) were drained out and cooled down to ambient. The solid waste of about 2.09 tons/day was sent to a service company and discarded by landfill. Based on cleaner production concept this waste was used as an additional fuel in a furnace for oil heating system to reduce main fuel consumption, i.e., fuel oil or natural gas for cost saving regarding fuel cost and waste disposal cost as well as less environmental impact. However, using waste from PA production continuously without any modification, the company spent 450,000 baht a year to discard waste from unavoidable limitations, i.e., sometimes when waste was too viscous or its amount was not regularly available to burn with the main fuel. In these cases only the main fuel was used. Therefore, the waste, which remained at the discharge side of the residue pump, must be flushed out to prevent plugging in the residue burner and the piping system. Apart from flushing out due to the two limitations mentioned above, some waste was discharged. Since after stop using waste from any process troubleshooting, before start using it again air must be flushed out to avoid air blockage in the operation. Thus, some waste came out with air. In addition, waste was drained out to avoid the overflow from the waste product drum. In order to use waste as an additional fuel efficiently, this work firstly removed the residue pump which obstructed flushing viscous waste back to the waste product drum resulting in less waste flushing out. Secondly, the

melting drum was used to remelt waste from unavoidable limitations. The modifications by this work saved up fuel oil of about 103 liter/day at  $100 \pm 5$  ton PA/day. The total cost saving regarding fuel cost and waste disposal cost were approximately 696,747 baht/year. Two additional tasks were also proposed in this paper.



## กิตติกรรมประกาศ

กระผม ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา และ  
ดร. ศิริพล คุณาริพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ แนวความคิดในการแก้ปัญหาและ  
โอกาสอันทรงค่าแก่กระผม ขอขอบพระคุณผู้บริหาร บริษัท คอนทิเนนทอล ปีโตรเคมีคอล  
(ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสในการทำวิจัยที่โรงงาน คุณสโรจน์ ตาวัฒน์ คุณสมบัติ ทองสดา  
คุณสมบัติ ใจรักษ์ คุณจักรรินทร์ บุตรโยชน์โท และพนักงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำ  
วิจัยตลอดมา ขอขอบพระคุณกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแห่งชาติ (สพข.) สำนัก  
นายกรัฐมนตรี และบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้  
การสนับสนุนด้านเงินทุนการวิจัยและการสัมมนา โครงการศูนย์เทคโนโลยีพลังงานและเทคโนโลยี  
สะอาด สำนักงานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ  
สิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมไทย ที่อนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ขอขอบพระคุณ  
อาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผศ.ดร. วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข หัวหน้าภาควิชา  
วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์  
ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านของกระผม อาจารย์ไพลิน  
เงาตระการวิวัฒน์ คุณพ่อคุณแม่ผู้ให้กำเนิด คุณสุมิตร สุกิตติ คุณสุดา อธิธิวิบูลย์ ที่สนับสนุน ให้  
กำลังใจ และให้คำแนะนำตลอดมา

ธรรมบุญ สุกิตติ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
ศัพท์เทคนิค.....	XII
คำนำ.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.3 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	2
1.3.1 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจาก กระบวนการผลิต.....	2
1.3.2 การปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต.....	2
1.3.3 การเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจาก กระบวนการผลิต.....	2
1.3.4 การตรวจประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	4
2.2 มลพิษอุตสาหกรรม.....	10
2.2.1 การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดและการนำกลับคืน.....	12
2.2.2 การกำจัด.....	14
2.3 เตาเผากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.....	15
2.3.1 เตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน.....	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 เตาเผาให้ความร้อนแก่ของเหลวที่มีความหนืดสูง .....	16
2.3.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบเตาเผา .....	16
2.3.4 หม้อต้มซ้ำของหอกลิ้น .....	16
2.3.5 เตาเผาให้ความร้อนแก่น้ำมันดิบป้อนหอกลิ้นบรรยากาศ .....	16
2.3.6 เตาเผาให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นของเครื่องปฏิกรณ์ .....	16
2.3.7 เตาเผาของเสีย .....	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย .....	26
3.1 อุปกรณ์ .....	26
3.2 การปรับปรุงกระบวนการ .....	27
3.3 การประเมินผล .....	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล .....	32
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	36
5.1 สรุป .....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	36
5.2.1 การปรับปรุงระบบท่อฟลักซ์ของเสีย .....	36
5.2.2 การแก้ปัญหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ควบแน่น ของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น .....	38
เอกสารอ้างอิง .....	40
ภาคผนวก .....	43
ภาคผนวก ก ข้อมูล .....	44
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ .....	47
ภาคผนวก ค ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน พ.ศ. 2543-2544 .....	52
ประวัติผู้เขียน .....	58

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของของเสียบที่ใช้กับเตาเผาซีเมนต์.....	21
3.1 องค์ประกอบของของเสียบจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	27
4.1 การประเมินผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์จากการปรับปรุงกระบวนการใช้ ของเสียบ .....	32
4.2 กิจกรรมที่มีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงของเตาเผา.....	33
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพอากาศเสียบที่ปล่องไอเสียบของเตาเผาให้ความร้อนแก่ ตัวกลางน้ำมันปี พ.ศ. 2541 พ.ศ. 2542 และ พ.ศ. 2543 เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 .....	34
4.4 ของเสียบพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	35
5.1 จุดเดือดและจุดหลอมเหลวขององค์ประกอบของของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์	38
5.2 เปรียบเทียบค่าจริงจากการทำงานและค่าจากการออกแบบของอุปกรณ์ควบแน่น ของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น .....	39
ก.1 ปริมาณกากของเสียบจากกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการกำจัด พ.ศ. 2541-2544.....	44
ก.2 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียว กับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียบจากกระบวนการผลิตเป็น เชื้อเพลิงเสริม พ.ศ. 2541.....	44
ก.3 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียว กับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียบจากกระบวนการผลิตเป็น เชื้อเพลิงเสริม พ.ศ. 2542.....	45
ก.4 จำนวนชั่วโมงที่มีการใช้ของเสียบเป็นเชื้อเพลิงเสริมภายในเตาเผาให้ความร้อนแก่ ตัวกลางน้ำมัน .....	45
ก.5 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียว กับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียบจากกระบวนการผลิตเป็น เชื้อเพลิงเสริมที่อัตราการผลิต 100 ± 5 ตัน/วัน .....	46

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
ก.6	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติระหว่างวันที่มีการใช้ก๊าซธรรมชาติ อย่างเดียวกับวันที่มีการใช้ก๊าซธรรมชาติร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต เป็นเชื้อเพลิงเสริม พ.ศ. 2543 ที่อัตราการผลิต $100 \pm 5$ ตัน/วัน .....	46
ข.1	ผลการคำนวณหาปริมาณของเสียที่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม .....	48
ค.1	ปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัท พ.ศ. 2543-2544 .....	55
ค.2	สรุปปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัท พ.ศ. 2543-2544 .....	57

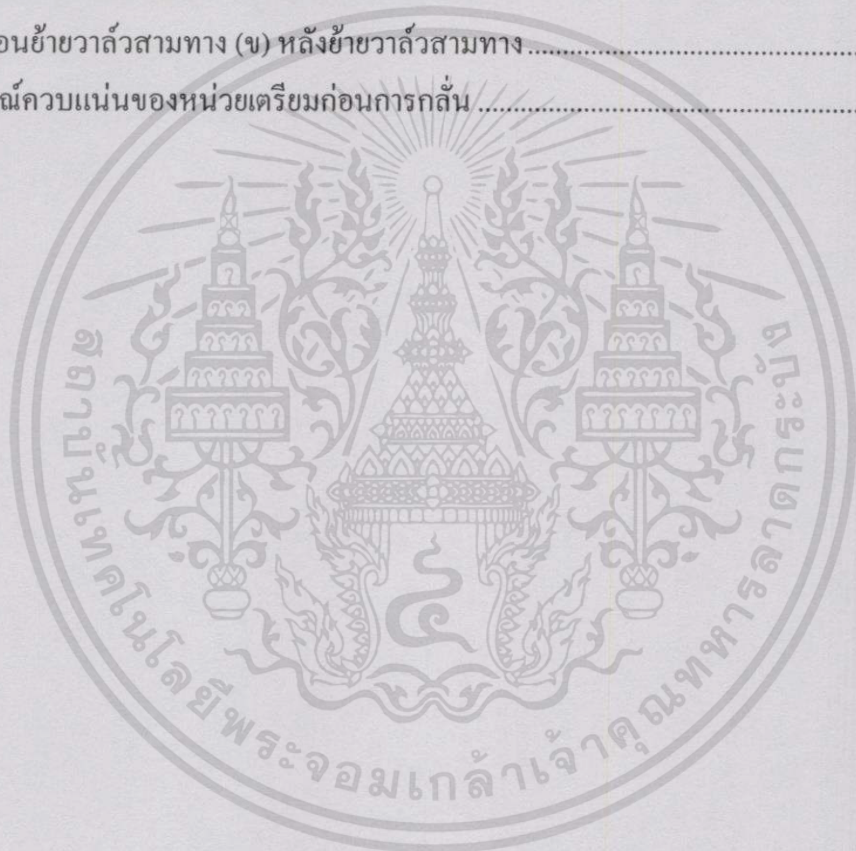


# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนหลักและระบบสาธารณูปการต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	6
2.2 กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	6
2.3 ส่วนออกซิเดชันของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	7
2.4 ส่วนควบแน่นของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	8
2.5 ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่นของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	9
2.6 เตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นไอของกระบวนการผลิตพอลิคาร์บอเนตหรือโคพอลิเมอร์ของสไตรีน.....	18
2.7 เตาเผากำจัดไอเสียที่มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้.....	18
2.8 ระบบเตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นของเหลวประเภทคลอรีเนเต็ดหรือของเสียอื่น ๆ.....	20
2.9 ระบบเตาเผาของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตตัวทำละลายที่มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้.....	22
2.10 ระบบเตาเผาขยะเทศบาลที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า.....	23
2.11 ตะกรับของเตาเผาขยะเทศบาล.....	23
2.12 เตาเผาของเสียแบบหมุน (ก) กระบวนการเผาของเสีย (ข) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบเตาเผา.....	24
2.13 เตาเผาของเสียแบบฟลูอิด ไคซ์เบด.....	25
3.1 ระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน.....	26
3.2 ถังบรรจุกากของเสีย.....	28
3.3 ระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันหลังจากถอดเครื่องสูบของเสียออก.....	28
3.4 ระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันเมื่อติดตั้งถังหลอมกากของเสีย.....	29

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.5	ถังหลอมกากของเสียจากกระบวนการผลิต	
	(ก) การใช้งานระบบถังหลอมกากของเสียจากกระบวนการผลิต	
	(ข) ภาพถ่ายถังหลอมกากของเสียและถังเก็บของเสียจากกระบวนการผลิต.....	30
5.1	การติดตั้งท่อฟลักซ์ของเสียกลับถังเก็บของเสียโดยตรง .....	37
5.2	ระบบท่อของเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน	
	(ก) ก่อนย้ายวาล์วสามทาง (ข) หลังย้ายวาล์วสามทาง .....	37
5.3	อุปกรณ์ควมแน่นของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น .....	39



## ศัพท์เทคนิค

การกระจายเชื้อเพลิง	Atomization
การกลั่นด้วยไอน้ำ	Steam distillation
การนำกลับคืน	Recovery
การนำกลับมาใช้	Recycling
การนำความร้อนที่กลับมาใช้	Waste heat recovery
การเผาทิ้ง	Incineration
การฝังกลบ	Landfill
การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด	Waste reduction at source
ของเสียพาทาลิกแอนไฮไดรด์	Phthalic anhydride waste
เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง	Fixed-bed reactor
เตาเผาของเสีย	Incinerator
เตาเผาของเสียคลอรีเนเต็ด	Chlorinated waste incinerator
เตาเผาของเสียในรูปสารละลาย	Aqueous waste incinerator
เตาเผาของเสียแบบฟลูอิด ไคซ์เบด	Fluidized bed incinerator
เตาเผาของเสียแบบหมุน	Rotary kiln incinerator
ปฏิกิริยาพาเซียออกซิเดชัน	Partial oxidation
พาทาลิกแอนไฮไดรด์	Phthalic anhydride
ระบบก๊าซไนโตรเจนและอากาศอัด	Nitrogen gas and Compressed air systems
ระบบของเหลวถ่ายเทความร้อน	Heat transfer oil system
ระบบน้ำหล่อเย็น	Cooling water system
ระบบบำบัดก๊าซเสีย	Waste gas treatment system
ระบบไอน้ำ	Steam system
ส่วนกักเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุ	Storing, Flaking and Bagging parts
ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่น	Pretreatment and Distillation parts
ส่วนควบแน่น	Condensation part
ส่วนออกซิเดชัน	Oxidation part
สวิทช์ก๊าซคอนเดนเซอร์	Switch gas condenser
หัวเผาของเสีย	Residue burner

## ศัพท์เทคนิค (ต่อ)

องค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่า	Light ends
พาทาลิกแอนไฮไดรด์ (ส่วนกลั่นเบา)	
องค์ประกอบที่มีจุดเดือดสูงกว่า	Heavy ends
พาทาลิกแอนไฮไดรด์ (ส่วนกลั่นหนัก)	
อุณหภูมิที่สามารถติดไฟได้เอง	Auto-ignition temperature
อุปกรณ์กรองและกำจัดฝุ่น	Filter and Dedusting blower
อุปกรณ์ทำสูญญากาศ	Vacuum ejector
อุปกรณ์ลดเสียง	Silencer



## คำนำ

การลดของเสียที่แหล่งกำเนิดและการนำของเสียที่เกิดขึ้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นประเด็นที่พิจารณาอย่างมากในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน สำหรับของเสียที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ถ้ากำจัดโดยการฝังกลบอย่างไม่ถูกวิธีจะทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและอาจเกิดความเป็นพิษต่อชั้นน้ำใต้ดิน การกำจัดของเสียโดยการเผาช่วยลดปริมาณกากของเสียลงได้อย่างมาก อีกทั้งยังสามารถนำพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ แต่ทั้งนี้จะต้องควบคุมไม่ให้เกิดมลพิษจากการเผาของเสีย

งานวิจัยนี้ปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นเชื้อเพลิงเสริมภายในเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงหลัก คือน้ำมันเตาหรือก๊าซธรรมชาติ และทำการประเมินปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลักที่ลดลงและปริมาณกากของเสียที่เหลือที่ถูกนำไปกำจัดโดยการฝังกลบ เนื้อหาวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย 5 บท คือ

- บทที่ 1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของการเกิดของเสียของบริษัทฯ วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนการทำวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับงานวิจัย
- บทที่ 2 กล่าวถึงกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ ประเภทของมลพิษอุตสาหกรรม แนวทางการลดมลพิษและวิธีการกำจัดของเสีย เตาเผากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและการเผาของเสีย
- บทที่ 3 กล่าวถึงระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันของบริษัทฯ องค์ประกอบของของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ การปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม
- บทที่ 4 แสดงผลประโยชน์ที่ได้หลังจากการปรับปรุงกระบวนการ การตรวจประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม การวัดคุณภาพก๊าซที่ปล่อยไอเสียของเตาเผาเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
- บทที่ 5 สรุปผลวิทยานิพนธ์ และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงระบบเพิ่มเติม

# บทที่ 1

## บทนำ

พาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเรซิน พอลิเอสเทอร์ เรซินอัลคิเด สีย้อม และพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่งคือ สารเสริมสภาพพลาสติก เพื่อให้เกิดความอ่อนตัว พาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาพาร์เซิล ออกซิเดชันของออโทไซลีน (o-Xylene) ในสถานะก๊าซภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed-bed reactor) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกควบแน่นให้เป็นของเหลวภายในอุปกรณ์ควบแน่นและทำให้บริสุทธิ์โดยกระบวนการกลั่น

ส่วนกลั่นผลิตภัณฑ์พาทาลิกแอนไฮไดรด์มี 2 ส่วน คือ หอกกลั่นส่วนกลั่นเบา (Light ends column) และหอกกลั่นผลิตภัณฑ์ (Product column) ส่วนกลั่นเบา (Light ends) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่าพาทาลิกแอนไฮไดรด์ จะถูกแยกออกที่ยอดหอกกลั่นส่วนกลั่นเบา พาทาลิกแอนไฮไดรด์จะถูกแยกออกที่ยอดหอกกลั่นผลิตภัณฑ์ สำหรับส่วนกลั่นหนัก (Heavy ends) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีจุดเดือดสูงกว่าพาทาลิกแอนไฮไดรด์ จะถูกแยกออกทางด้านล่าง ส่วนกลั่นเบาและส่วนกลั่นหนักจะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังเก็บของเสียจากกระบวนการผลิต (Waste product drum) และจะถูกระบายลงถังบรรจุของเสีย (Waste container) และยื่นตัวลงกลายเป็นของแข็งในที่สุด ถ้าไม่มีการใช้ของเสียนี้เป็นเชื้อเพลิงเสริม ต้องเสียค่าใช้จ่ายจัดให้แก่บริษัทภายนอกเป็นจำนวนเงินที่สูง

บริษัทฯ จึงทดลองใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมภายในเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันที่ใช้ น้ำมันเตาหรือก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยที่ไม่มีการปรับปรุงกระบวนการแต่อย่างใด พบว่าเนื่องจากบางครั้งเมื่อของเสียมีความหนืดสูง หรือของเสียมีปริมาณของเสียไม่สม่ำเสมอ จึงต้องใช้แต่เชื้อเพลิงหลัก ของเสียจะถูกปลัซออกจากกระบวนการเพื่อป้องกันการอุดตันภายในหัวเผาและระบบท่อ ดังนั้นทำให้ไม่สามารถใช้ของเสียได้อย่างต่อเนื่อง และในกรณีที่มีการหยุดการใช้ของเสียเนื่องจากมีปัญหาขัดข้องในกระบวนการ เมื่อจะเริ่มป้อนของเสียเข้าเตาเผาอีกจะต้องปลัซของเสียออกจากท่อ เพื่อป้องกันปัญหาฟองอากาศ ดังนั้นจะมีของเสียบางส่วนถูกปลัซออกพร้อมอากาศ นอกจากนี้อาจมีการระบายของเสียออกจากถังเก็บของเสียเพื่อป้องกันการล้น บริษัทฯ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เหล่านี้ประมาณ 450,000 บาทต่อปี

## 1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.1.1 ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลัก โดยใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นเชื้อเพลิงเสริมภายในเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน

1.1.2 ลดปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ต้องส่งไปกำจัด และลดผลกระทบของกากของเสียอุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

พัฒนากระบวนการ โดยการปรับปรุงกระบวนการพลัชของเสียในระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน และการใช้ถังหลอมกากของเสียจากกระบวนการผลิต เพื่อใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นเชื้อเพลิงเสริมอย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.3 ขั้นตอนการทำวิจัย

1.3.1 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต เก็บข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลักของเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันและข้อมูลค่าใช้จ่ายในการส่งของเสียไปกำจัด

1.3.2 การปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต ปรับปรุงกระบวนการพลัชของเสียในระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน และการใช้ถังหลอมกากของเสียจากกระบวนการผลิต

1.3.3 การเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต เก็บข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลักของเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน และค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุง

1.3.4 การตรวจประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตรวจวัดคุณภาพก๊าซที่ปล่องไอเสียของเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.4.1 บริษัทฯ สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลักโดยใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริม
- 1.4.2 สามารถลดปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิต
- 1.4.3 บริษัทฯ ไม่ต้องเสียค่ากำจัดกากของเสียจากกระบวนการผลิต
- 1.4.4 ผู้วิจัยเกิดทักษะในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางอุตสาหกรรม



## บทที่ 2

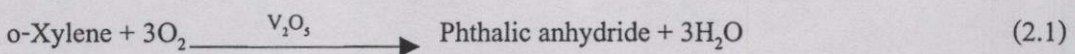
# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [1-5]

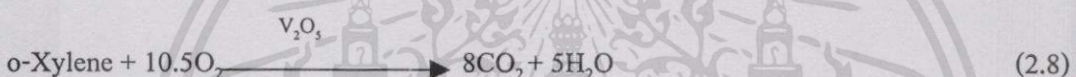
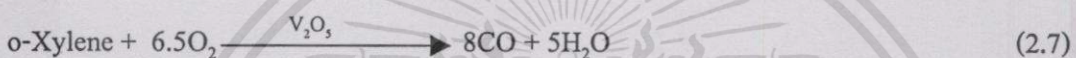
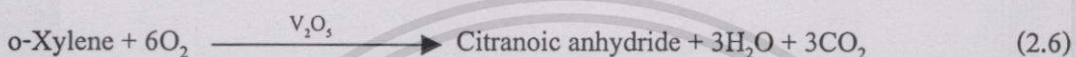
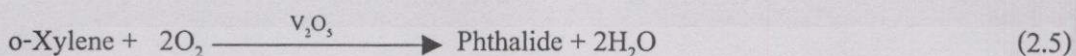
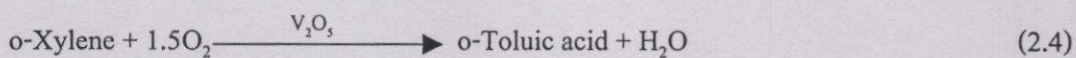
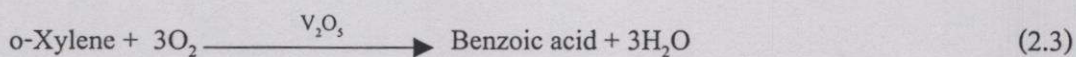
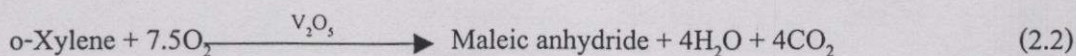
พาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตไดออกทิลพาทาเลตซึ่งเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก การผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1920 [1] ในยุคแรกจะใช้เนฟทาลีนจากน้ำมันถ่านหิน (Coal tar) เป็นสารตั้งต้น ต่อมาในปี 1946 บริษัทเชฟรอน (Chevron) ได้ทำการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของอโทไซลีนในสถานะก๊าซแต่ก็ยังไม่เป็นที่นิยม ในช่วงต้นทศวรรษที่ 1950 เซอร์วิน-วิลเลียม (Sherwin-Williams) และแบดเจอร์ (Badger) ได้พัฒนากระบวนการผลิตแบบฟลูอิดไคซ์เบด ซึ่งให้ผลได้พาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Yield) สูง

กระบวนการของบีเอเอสเอฟ (Badische Anilin und Soda Fabrik Process: BASF) อโทไซลีนกลายเป็นสารตั้งต้นที่นิยมใช้ในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากมีการพัฒนาการผลิตไซลีนจากกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reforming) และแยกอโทไซลีนจากไอโซเมอร์ของไซลีน โดยอโทไซลีนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย มีเวลาสัมผัส (Contact time) 5 วินาที [2] สำหรับกระบวนการของเชฟรอน อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 400-475 องศาเซลเซียส เวลาสัมผัส 0.5 วินาที ใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กกว่าและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยกว่ากระบวนการของบีเอเอสเอฟ จึงเกิดผลได้ต่ำกว่า แต่เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ในปริมาณมากกว่า

การผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์โดยการทำปฏิกิริยาพาเซียออกซิเดชันของอโทไซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมเพนตะออกไซด์ [3] เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



นอกจากนี้ภายในเครื่องปฏิกรณ์ยังเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่นๆ เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) กรดอโทโทลูอิก (o-Toluic acid) พาทาลิด (Phthalide) ซิทราโนอิกแอนไฮไดรด์ (Citranic anhydride) คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอื่นๆ ดังสมการปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reactions)



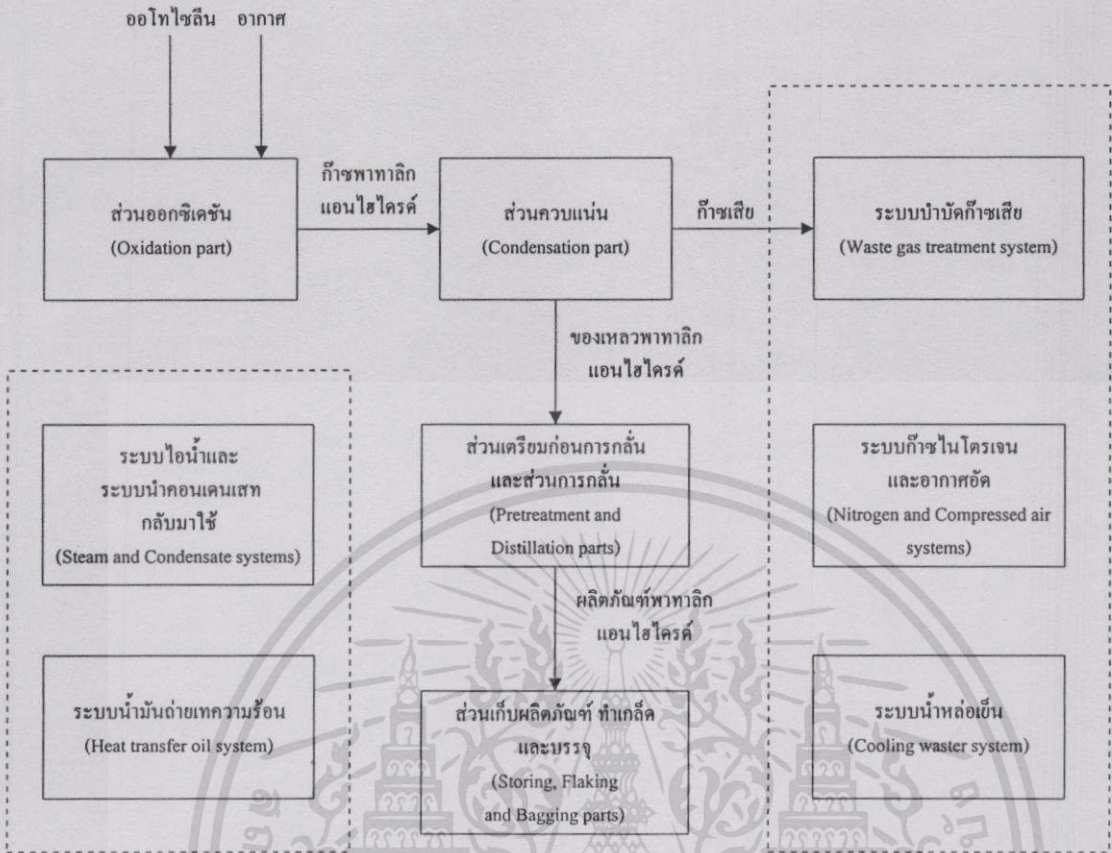
ส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ คือ

1. ส่วนออกซิเดชัน (Oxidation part)
2. ส่วนควบแน่น (Condensation part)
3. ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่น (Pretreatment and Distillation parts)
4. ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุ (Storing, Flaking and Bagging parts)

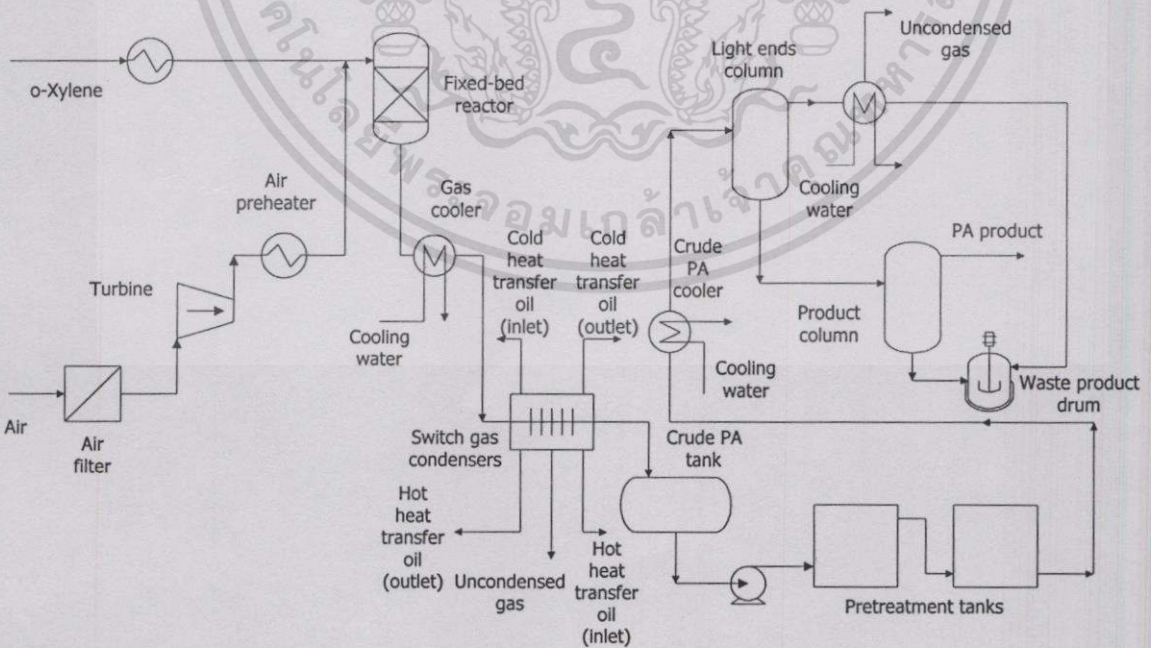
นอกจากนี้ยังมีระบบสาธารณูปการ (Utility systems) ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ

1. ระบบไอน้ำและระบบนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ (Steam and Condensate systems)
2. ระบบน้ำมันถ่ายเทความร้อน (Heat transfer oil system)
3. ระบบก๊าซไนโตรเจนและอากาศอัด (Nitrogen gas and Compressed air systems)
4. ระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling water system)
5. ระบบบำบัดก๊าซเสีย (Waste gas treatment system)

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนหลักและระบบสาธารณูปการต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์



รูปที่ 2.1 ส่วนหลักและระบบสาธารณูปการต่างๆ ของกระบวนการผลิตพาหาลิกแอนไฮไดรด์ [3]

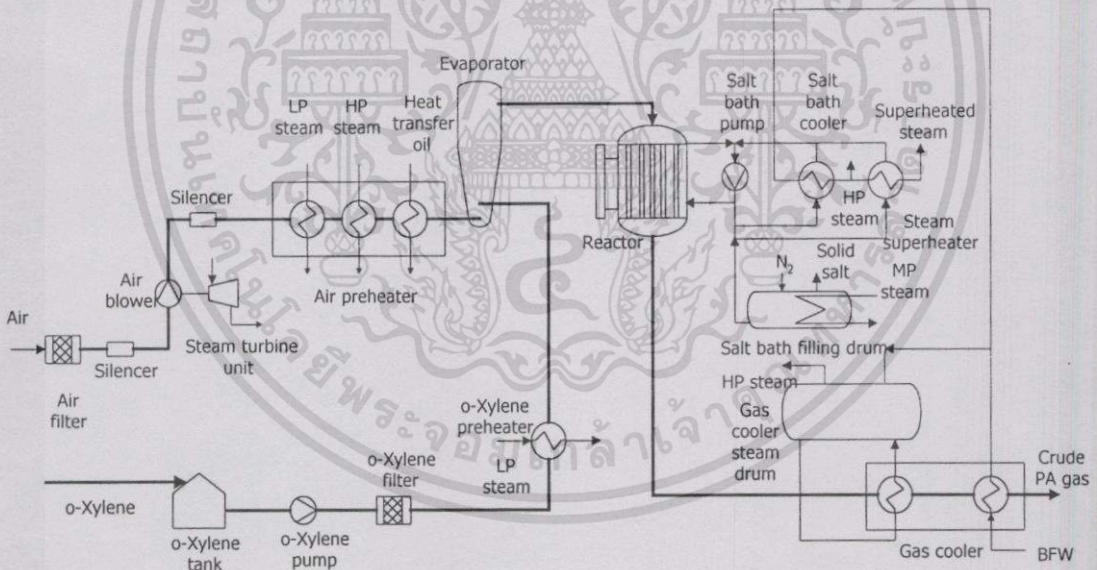


รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตพาหาลิกแอนไฮไดรด์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดส่วนหลักของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ มีดังนี้

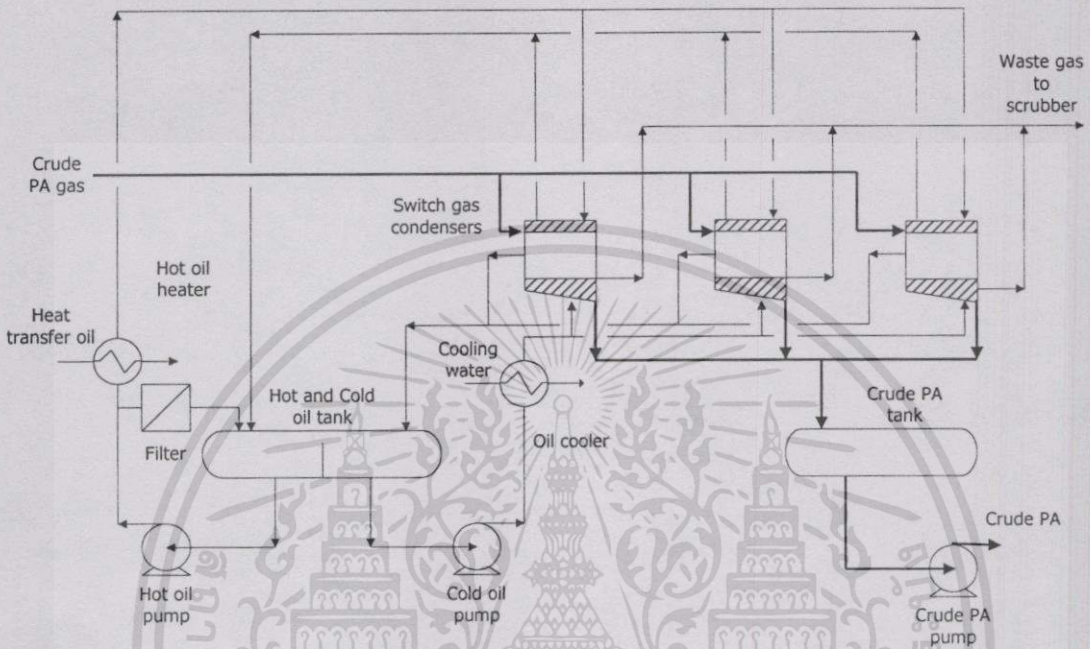
1. ส่วนออกซิเดชัน แสดงดังรูปที่ 2.3 อากาศจะถูกดูดด้วยเครื่องเป่าลม (Air blower) ผ่านเครื่องกรองอากาศ (Air filter) และอุปกรณ์ลดเสียง (Silencer) เข้าไปยังอุปกรณ์ให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 150 องศาเซลเซียส ในขณะที่อโทไซลีนถูกสูบเข้าเครื่องกรองแล้วผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึง 150-170 องศาเซลเซียส และจะถูกพ่นออกเป็นละอองเล็ก ๆ ละอองของอโทไซลีนจะถูกอากาศร้อนพาเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์แบบเบคคิงซึ่งบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมเพนตะออกไซด์ อโทไซลีนและออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากปฏิกิริยาคายความร้อนมาก ดังนั้นในเครื่องปฏิกรณ์จะถูกหล่อเย็นด้วยเกลือหลอมเหลวของโพแทสเซียมไนเตรตและโซเดียมไนไตรต์ (Molten salt of Potassium Nitrate ( $\text{KNO}_3$ ) and Sodium Nitrite ( $\text{NaNO}_2$ )) เกลือหลอมเหลวจะถ่ายเทความร้อนออกที่อุปกรณ์ซอลท์บัทคูลเลอร์ (Salt bath cooler) และ สติมซูเปอร์ฮีตเตอร์ (Steam superheater) เพื่อผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง (High pressure saturated steam) และ ไอน้ำ (Superheated steam) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะผ่านเข้าสู่ก๊าซคูลเลอร์ (Gas cooler) เพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซก่อนที่จะส่งไปยังส่วนควบแน่น



รูปที่ 2.3 ส่วนออกซิเดชันของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [3]

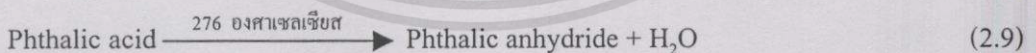
2. ส่วนควบแน่น แสดงดังรูปที่ 2.4 หลังจากก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ผ่านการลดอุณหภูมิถึง 160 องศาเซลเซียส ก็จะถูกส่งเข้าสู่สวิทช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ (Switch gas condenser) และจะถูกลดอุณหภูมิลดด้วยน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Cold oil) จนกลายเป็นของแข็งเกาะอยู่ที่ครีป (Fin tube) ของสวิทช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น

คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ จะถูกส่งไประบบบำบัดก๊าซเสีย พาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ถูกลดอุณหภูมิจนกลายเป็นของแข็งจะถูกหลอมด้วยน้ำมันถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิสูง (Hot oil) และกลายเป็นของเหลวส่งไปรวมกันในถังเก็บของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Crude phthalic anhydride tank)



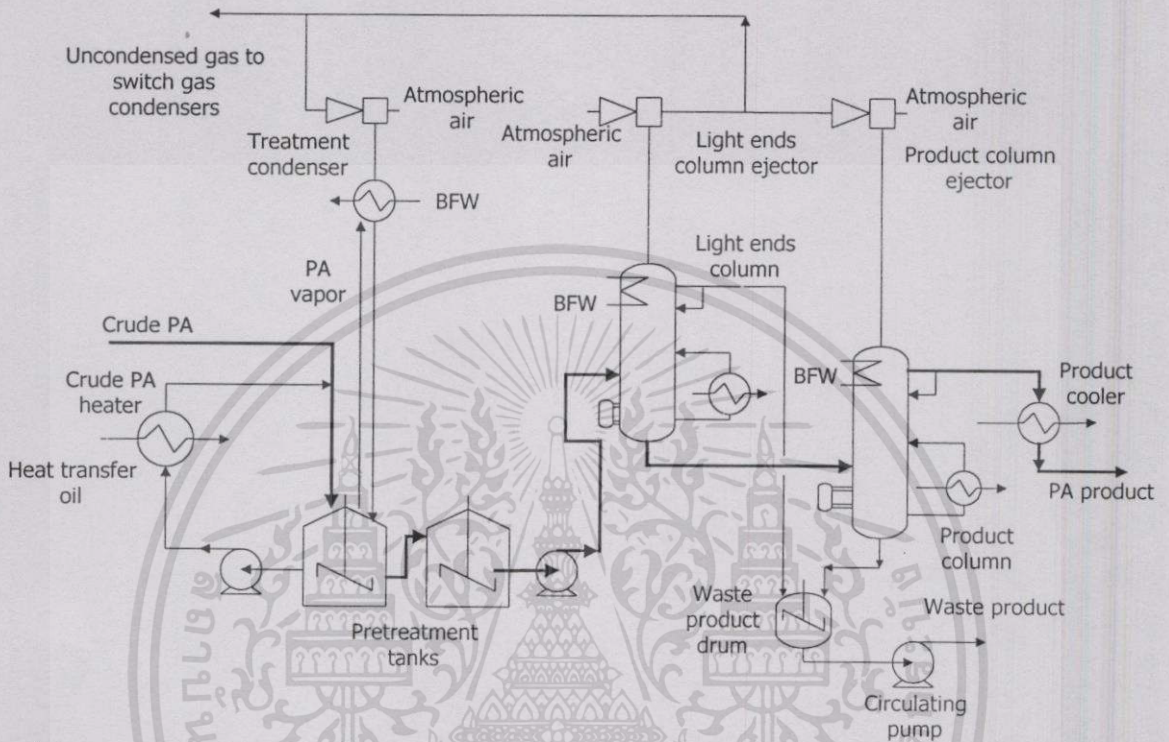
รูปที่ 2.4 ส่วนควบคุมของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [3]

ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่น แสดงในรูปที่ 2.5 ของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ถูกส่งไปยังถังเก็บของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังมีความบริสุทธิ์ไม่เพียงพอ จึงต้องทำให้บริสุทธิ์โดยการไล่ออกประกอบของกรดพาทาลิกภายในถังเตรียมก่อนการกลั่น (Pretreatment vessel) ที่อุณหภูมิ 276 องศาเซลเซียส ดังสมการ



ไอที่มีส่วนประกอบของพาทาลิกแอนไฮไดรด์และน้ำจะผ่านเข้าอุปกรณ์ควบคุมหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น (Treatment condenser) เพื่อควบแน่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์กลับมาที่ถังเตรียมก่อนการกลั่น พาทาลิกแอนไฮไดรด์จากถังเตรียมก่อนการกลั่นจะถูกสูบไปยังหอกลั่น ส่วนกลั่นเบา เพื่อกลั่นแยกส่วนกลั่นเบาออกทางด้านยอดหอ พาทาลิกแอนไฮไดรด์และส่วนกลั่นหนักจะไหลออกทางด้านล่างเข้าหอกลั่นผลิตภัณฑ์ ได้เป็นผลิตภัณฑ์พาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.85 % ส่วนกลั่นหนักที่ด้านล่างของหอกลั่นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปรวมกับส่วนกลั่น

เบาที่ดึงเก็บของเสียจากกระบวนการผลิต สำหรับก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ไม่ได้ควบแน่นที่หอกลั่นส่วนกลั่นเบาและหอกลั่นผลิตภัณฑ์จะผ่านอุปกรณ์ทำสูญญากาศ (Vacuum ejector) ให้กับหอกลั่น และถูกดึงกลับไปควบแน่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์อีกครั้งที่สวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์



รูปที่ 2.5 ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่นของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [3]

4. ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุ ของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากหอกลั่น ผลิตภัณฑ์จะถูกส่งมาเก็บที่ Run down tank แล้วส่งต่อไปถึงเก็บผลิตภัณฑ์ (Pure phthalic anhydride check tank) และถึงโหลดผลิตภัณฑ์ (Liquid phthalic anhydride loading station) เพื่อส่งขายให้ลูกค้า โดยรถบรรทุกสารเคมีเหลว นอกจากนี้ยังถูกส่งไปเก็บที่ถังสำรองผลิตภัณฑ์ (Tank of client) เพื่อเก็บไว้ส่งขายในช่วงที่หยุดการผลิต ผลิตภัณฑ์บางส่วนจากถังเก็บผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปทำพาทาลิกแอนไฮไดรด์ชนิดเกล็ด (Flaked phthalic anhydride) ที่หน่วยทำเกล็ด (Flaker unit) แล้วจึงลำเลียงเข้าหน่วยบรรจุถุง เพื่อสะดวกในการขนส่งขายให้กับลูกค้า ในส่วนของหน่วยทำเกล็ดและบรรจุถุงจะมีฝุ่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์เกิดขึ้นบ้าง ซึ่งจะถูกกำจัดโดยอุปกรณ์กรองและกำจัดฝุ่น (Filter and Dedusting blower)

ปฏิกิริยาพาเซิลออกซิเดชันด้วยออกโทไซลีนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ปฏิกิริยาหลักคายความร้อนถึง 1,293 กิโลจูลต่อโมลออกโทไซลีน [4] ใช้น้ำจำนวนมากถูกผลิตจากการถ่ายเทความร้อนจากเกลือหลอมเหลวของโพแทสเซียมไนเตรตและโซเดียมไนไตรต์ การพัฒนาเครื่อง

ปฏิกรณ์และตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในกระบวนการผลิตจาก 850 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 1 ตัน เป็น 150 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 1 ตัน โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากน้ำมันเตา การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์และตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้กระบวนการผลิตสามารถลดอัตราการป้อนอากาศเข้าเครื่องปฏิกรณ์ได้ [5] การลดอัตราการป้อนอากาศเข้าเครื่องปฏิกรณ์จะลดค่าใช้จ่ายในการลงทุน เนื่องจากสามารถใช้คอมเพรสเซอร์ที่มีขนาดเล็กลงจึงประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

## 2.2 มลพิษอุตสาหกรรม [6]

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ซึ่งมีผลบังคับเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2535 ได้ให้คำจำกัดความ “มลพิษ” และ “ภาวะมลพิษ” ไว้ดังต่อไปนี้

“มลพิษ” หมายถึง “ของเสีย วัตถุอันตราย และมลสารอื่น ๆ รวมทั้งตะกอน กาก หรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษ หรือที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดหรืออาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือภาวะที่เป็นพิษภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน และให้รวมถึง รังสี ความร้อน แสง เสียง กลิ่น ความสั่นสะเทือนหรือเหตุรำคาญอื่น ๆ ที่เกิดหรือถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดมลพิษด้วย”

“ภาวะมลพิษ” หมายถึง “สภาวะที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงหรือปนเปื้อนโดยมลพิษ ซึ่งทำให้คุณภาพของสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมลง เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษในดิน”

มลพิษอุตสาหกรรมเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นพร้อมกับการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมในประเทศ การพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศไทย แบ่งได้เป็น 4 ยุค คือ

1. ยุคแรกของการพัฒนาอุตสาหกรรม เริ่มใน พ.ศ. 2500 เพื่อตอบสนองความต้องการในการอุปโภคบริโภคภายในประเทศตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ใน พ.ศ. 2502 มีการจัดตั้งบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย เพื่อให้เงินช่วยเหลือผู้ประกอบการอุตสาหกรรมกู้ยืม ใน พ.ศ. 2503 ได้จัดตั้งสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน เพื่อส่งเสริมให้มีการลงทุนทางอุตสาหกรรมโดยให้สิทธิพิเศษทางด้านภาษีอากร ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็ก

2. ยุคเริ่มต้นการควบคุมมลพิษ เริ่มใน พ.ศ. 2510 ด้วยการตราพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 จัดตั้งกองสิ่งแวดล้อมโรงงาน ใน พ.ศ. 2518 และตราพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 มีการจัดตั้งหน่วยงานการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยขึ้นในปี พ.ศ. 2515 เพื่อมีหน้าที่ควบคุมและรับผิดชอบการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมทั่วประเทศ อุตสาหกรรมเริ่มเน้นการส่งออกมากขึ้น มีอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลเพิ่มมากขึ้น

1. ยุคต้นมลพิษ เริ่มใน พ.ศ. 2520 เนื่องจากเริ่มมีการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีการพบแหล่งก๊าซธรรมชาติ ประชาชนเริ่มตื่นตัวถึงอันตรายของสารพิษ ต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 4 มีการจัดตั้งสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติขึ้น

2. ยุคตามแก้ปัญหามลพิษ เริ่มใน พ.ศ. 2530 มีโรงงานจดทะเบียนประมาณ 50,000 แห่ง เกิดภาวะวิกฤตสิ่งแวดล้อมขึ้นในประเทศเนื่องจากการปล่อยมลพิษลงแม่น้ำลำคลองและอากาศ มีการประกาศใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 7 ซึ่งเน้นถึงการพัฒนาเทคโนโลยี ทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกาศใช้พระราชบัญญัติโรงงาน พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พระราชบัญญัติวัดอุณหภูมิมิบบทกำหนดโทษผู้กระทำความผิดถึงขั้นจำคุก

มลพิษอาจเกิดจากแหล่งกำเนิดมลพิษซึ่งแตกต่างกัน ได้แก่ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม อาคาร สิ่งก่อสร้าง ยานพาหนะ สถานที่ประกอบกิจการใด ๆ หรือสิ่งอื่นใด ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของ มลพิษ แหล่งกำเนิดมลพิษแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

1. มลพิษชุมชน ได้แก่ มลพิษหรือของเสีย เช่น ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสียจากอาคาร บ้านเรือนที่อยู่อาศัย ที่ทำงาน หรืออากาศเสียจากยานพาหนะ ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง หรือ กิจกรรมอื่นเกิดขึ้นในชุมชนต่าง ๆ มักจะเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดภาวะมลพิษในประเทศ ซึ่งมีผล โดยตรงต่อความเป็นอยู่และสุขภาพอนามัยของชุมชนนั้น ๆ

2. มลพิษเกษตรกรรม ได้แก่ มลพิษจากแหล่งเพาะปลูก การปศุสัตว์ การเพาะเลี้ยงสัตว์ น้ำ และการประมง ซึ่งมีการใช้สารเคมีเพื่อเป็นปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง อาหารสัตว์ ทำให้มีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ อากาศ และดิน นอกจากนี้ยังมีของเสียจากมูลและซากพืชซากสัตว์ เนื่องจากการเกษตรกรรมในพื้นที่กว้าง บางครั้งไม่สามารถเจาะจงแหล่งที่กำเนิดมลพิษได้

3. มลพิษอุตสาหกรรม ได้แก่ มลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการผลิต ประกอบ บรรจุ ซ่อมบำรุงหรือแปรสภาพวัตถุดิบต่าง ๆ ให้เป็นสินค้าสำหรับการอุปโภคบริโภค หรือเป็น วัตถุดิบสำหรับการผลิตของอื่น ๆ ต่อไป มลพิษอุตสาหกรรม ได้แก่ ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลสาร หรือวัตถุอันตราย รวมทั้งกากตะกอนทั้งที่อยู่ในสภาพ ของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ เช่น กลิ่น ควัน เขม่า เถ้าถ่าน วัตถุมีพิษต่าง ๆ เป็นต้น

มลพิษอุตสาหกรรม เกิดขึ้นในหลายลักษณะได้แก่

1. มลพิษทางน้ำ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมทำให้น้ำเน่าเสีย เนื่องจากน้ำเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรมมีมลพิษเข้มข้นเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำก็จะทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้

2. มลพิษทางอากาศ เป็นมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เกิดเขม่า ควันดำ ก๊าซพิษ และฝุ่นละออง มลพิษทาง

ในเขตอุตสาหกรรมหนาแน่น เช่น อ. พระประแดง มลพิษอากาศร้อยละ 70 เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม

3. มลพิษทางเสียงและการสั่นสะเทือน โดยทั่วไปแล้วมาจากการทำงานของเครื่องจักรจากแรงกระแทก เช่น เครื่องทอผ้า การระเบิด เช่น การทำเหมือง หรือการเสียดสี เช่น โรงกลึง โรงเลื่อย โรงไม้หิน เสียงและการสั่นสะเทือนมีผลต่อสุขภาพอนามัยของคนงานในโรงงานและชุมชนที่อยู่ข้างเคียง เสียงดังทำให้ระบบการได้ยินเสื่อม ขาดสมาธิในการทำงาน การสั่นสะเทือนทำให้ร่างกายต้องการออกซิเจนมากขึ้น ปอดและหัวใจต้องทำงานมากกว่าปกติ

4. มลพิษจากกากของเสีย กากของเสีย ได้แก่ ของเสียที่เป็นของแข็งรวมถึงมูลฝอย ชากพืช ชากสัตว์ เศษผ้า เศษไม้ หีบห่อ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือเศษวัสดุ ต่าง ๆ กากของเสียเหล่านี้อาจถูกกองรวมกันไว้โดยไม่มีมาตรการทำให้ส่งกลิ่นเหม็นและเป็นบ่อเกิดของเชื้อโรคได้

5. มลพิษจากของเสียอันตราย ของเสียอันตราย ได้แก่ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เจือปนด้วยองค์ประกอบที่สามารถเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เช่น สารไวไฟ สารกัดกร่อน สารพิษ สารระเบิดได้ สารกัมมันตรังสี เป็นต้น สารเหล่านี้อาจเป็นส่วนของวัตถุดิบหรือเกิดขึ้นภายในกระบวนการผลิต เมื่อขาดการจัดเก็บ ขนส่ง หรือกำจัดอย่างถูกวิธีอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อคนงานและชุมชนรอบข้าง โรงงานประเภทที่มีของเสียอันตราย ได้แก่ โรงงานปิโตรเคมี โรงงานยา โรงงานแบตเตอรี่ เป็นต้น

ของเสียอุตสาหกรรมและของเสียอันตรายจัดเป็นของเสียที่มีการปนเปื้อนอยู่ในระดับที่สูง การจัดเก็บของเสียดังกล่าวจำเป็นต้องทำด้วยความระมัดระวัง การกำจัดหรือการนำของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ กลับมาใช้ต้องคำนึงถึงปริมาณและกระบวนการลดความเป็นพิษเป็นหลัก การลดมลพิษจากของเสียอุตสาหกรรมและของเสียอันตรายอาจทำได้ ดังนี้

2.2.1 การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดและการนำกลับคืน [7-8] ปัจจุบันมีการนำแนวคิดเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในกระบวนการผลิต โดยการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ใด ๆ เพื่อให้มีการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้เปลี่ยนเป็นของเสียน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย จึงเป็นการลดมลพิษและความเสี่ยงที่แหล่งกำเนิดที่จะมีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม [7] ของเสียจากกระบวนการผลิตมีหลายลักษณะ เช่น ในรูปของแข็ง ได้แก่ เศษกระดาษ ก่อกระดาษ และเศษของที่ไม่ใช้แล้ว ในรูปของเหลว ได้แก่ สารเคมีที่หก และในรูปของก๊าซ ได้แก่ ไอ ตลอดจนควันระเหยที่อาจก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกโรงงาน นอกจากนี้ยังรวมถึงน้ำเสีย พลังงานที่สูญเสีย ตลอดจนของเสียอันตรายที่เป็นสารออกฤทธิ์ สารพิษ สารคิดไฟง่าย และสารกัดกร่อน

การสร้างผลกำไรด้วยกิจกรรมเทคโนโลยีสะอาด ทำได้โดยใช้เทคนิคในการลดของเสีย คือ การลดความผิดพลาดในกระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่จะก่อให้เกิดของเสีย ตัวอย่าง เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิต การปรับปรุงการจัดการของโรงงานเพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบ การซ่อมแซมระบบที่รั่วไหล การป้องกันสารหก นอกจากนี้วิธีอื่นๆ เช่น การใช้ประโยชน์จากของเสียหรือผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (Waste utilization) การใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อการนำกลับคืน (Recovery) โดยส่วนใหญ่วิธีนี้ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูงซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์เพื่อดูความคุ้มค่าในการดำเนินการ แม้ว่าเทคโนโลยีใหม่ ๆ เหล่านี้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง แต่อาจจะมียุทธศาสตร์คืนทุนรวดเร็วเช่นกัน

ตัวอย่างการนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในการนำกลับคืนและการนำกลับมาใช้ (Recycling) เช่น ในอุตสาหกรรมที่มีการใช้ตัวทำละลาย ตัวทำละลายมีสมบัติหลายประการที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรม แต่ก็เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมถ้าขาดการจัดการที่เหมาะสม [8] ตัวทำละลาย เช่น สารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ ไกลคอล อีเทอร์ คีโตน แอลกอฮอล์ เอมีน และฮาโลเจนเต็ดไฮโดรคาร์บอน ถูกใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เช่น

- การกำจัดฝุ่น น้ำมัน สารหล่อลื่น ไขมัน หรือสารปนเปื้อนจากชิ้นส่วนโลหะพลาสติก หรือเครื่องแก้ว
- การทำความสะอาดอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมสีและยาฆ่าแมลง การทำความสะอาดหม้อไอน้ำ เครื่องกำเนิดความร้อน ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดตัวทำละลายเหลือทิ้งปริมาณมาก

- การซักแห้งโดยใช้ตัวทำละลายกำจัดสิ่งสกปรกและไขมันออกจากผ้า
- การลอกสีออกจากพื้นผิวของเหล็กกล้าและอะลูมิเนียม

การจัดการตัวทำละลายเหลือทิ้งเป็นภาระที่เพิ่มขึ้นทั้งในด้านของเวลา วัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และการจัดการสารเหลือทิ้งอันตราย ตัวทำละลายมักจะย่อยสลายได้ยาก โดยเฉพาะตัวทำละลายฮาโลเจนเต็ดไฮโดรคาร์บอนจะคงสภาพอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานมาก การกำจัดตัวทำละลายด้วยวิธีการฝังกลบมีข้อจำกัดที่ตัวทำละลายสามารถละลายชั้นวัสดุรองพื้นพอลิเมอร์ทำให้ชั้นวัสดุรองพื้นแตกร้าว และเกิดการปนเปื้อนของตัวทำละลายและสารอันตรายอื่น ๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างการลดปริมาณของเสียจากตัวทำละลาย เช่น

1. การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด (Waste reduction at source) โดยการปรับปรุงอุปกรณ์ กระบวนการผลิต การเปลี่ยนวัตถุดิบ การปรับปรุงวิธีการทำงาน และการดูแลรักษา เช่น
  - การเปลี่ยนหรือปรับปรุงอุปกรณ์ เช่น การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้ในการผลิตเพื่อควบคุมการผลิตให้ได้มาตรฐาน

- การเปลี่ยนวัตถุดิบ เช่น การเปลี่ยนมาใช้สารที่ไม่เป็นพิษหรือเป็นพิษน้อยกว่า หรือใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเพื่อลดสารปนเปื้อนเข้าสู่กระบวนการ
- การป้องกันการรั่วและการทำหก เช่น ติดตั้งเครื่องควบคุมระดับของเหลวในถังเก็บสาร ใช้ถังและภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับสมบัติและสถานะการใช้งานของสาร รวมทั้งดูแลสภาพของถังและภาชนะบรรจุ
- การบำรุงรักษาป้องกัน ตรวจสอบสภาพการใช้งานของอุปกรณ์อยู่เป็นประจำ
- การตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในกระบวนการผลิต โดยทำการประเมินสมดุลมวลสารในกระบวนการผลิตที่มีการใช้ตัวทำละลาย

2. การนำตัวทำละลายกลับคืน (Solvent recovery) ช่วยลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายใหม่ และลดตัวทำละลายที่ต้องกำจัด ตัวทำละลายที่ใช้แล้วมักจะถูกนำกลับมาใช้ได้อีกในงานทำความสะอาด เช่น อุตสาหกรรมสี การพิมพ์ ผลิตกาวยื่น ส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชัดเงาโลหะ การนำตัวทำละลายกลับคืนมีหลายวิธี เช่น การกลั่น การระเหย การตกตะกอน การหมุนเหวี่ยง การกรอง และการสกัดด้วยตัวทำละลาย

การนำตัวทำละลายกลับคืนสามารถทำได้ทั้งในและนอกสถานที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เงินทุน ค่าใช้จ่าย ความรู้ความชำนาญ ชนิดและปริมาณตัวทำละลายใช้แล้วที่จะนำกลับคืน การนำตัวทำละลายกลับคืนแบบในสถานที่ ทางองค์กรต้องลงทุนซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการนำตัวทำละลายกลับคืน เช่น เครื่องมือกลั่น ระบบกลั่นสารในสถานที่ที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่มีปริมาณตัวทำละลายใช้แล้วมากกว่าวันละ 8 แกลลอน ถ้าน้อยกว่านี้ควรจ้างบริษัทที่รับจัดการ

2.2.2 การกำจัด [9-10] ของเสียบางประเภทที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้จะถูกนำไปกำจัดวิธีกำจัดของเสียที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีด้วยกัน 2 วิธี คือ การกำจัดของเสียโดยการฝังกลบ (Landfill) และการกำจัดของเสียโดยการเผาทิ้ง (Incineration) ในประเทศที่มีพื้นที่น้อยกว่าอย่างประเทศญี่ปุ่นกำจัดของเสียด้วยวิธีฝังกลบเพียง 27 % เผาทิ้ง 23 % แต่มีการนำของเสียกลับมาใช้ถึง 50 % ส่วนประเทศสหรัฐอเมริกากำจัดของเสียด้วยวิธีฝังกลบถึง 60 % เผาทิ้ง 17 % และนำของเสียกลับมาใช้ 23 %

2.2.2.1 การฝังกลบ การฝังกลบของเสียเป็นวิธีที่พัฒนามาจากการทิ้งในพื้นที่โล่ง (Open dumps) ซึ่งของเสียจะถูกนำไปกองทิ้งไว้ การทิ้งขยะวิธีนี้ยังเป็นวิธีที่ยังทำอยู่ในบางประเทศ เช่น เม็กซิโก และฟิลิปปินส์ ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลเพราะขยะเหล่านี้เป็นแหล่งเกิดของโรคติดต่อ การชะของน้ำอาจเป็นปัญหาสำคัญของการทิ้งด้วยวิธีนี้ จึงได้มีการนำขยะไปฝังกลบแทนเนื่องจากสามารถควบคุมบริเวณและป้องกันการชะของน้ำได้ดีกว่า

เดิมการกำจัดด้วยวิธีฝังกลบเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด แต่ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียด้วยวิธีฝังกลบมีราคาสูงขึ้น เนื่องจากราคาที่ดิน ค่าขนส่ง และค่าดูแล

บำรุงรักษาสูงขึ้น เช่น ค่ากำจัดของเสียในมลรัฐฟิลาเดลเฟีย มีราคา 20 ดอลลาร์ ในปี 1980 และเพิ่มเป็น 100 ดอลลาร์ ในปี 1990 ค่ากำจัดของเสียในนิวยอร์กอยู่ที่ 70 ดอลลาร์ ในปี 1987 และเพิ่มเป็น 420 ดอลลาร์ ในปีต่อมา

อย่างไรก็ตามการกำจัดโดยการฝังกลบไม่เป็นที่นิยมนักสำหรับของเสียที่เป็นพิษ เนื่องจากของเสียอาจแพร่ผ่านลงไปถึงชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก นอกจากนี้ผู้ผลิตของเสียต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเสียจากโรงงานไปยังบริเวณฝังกลบ และบริเวณฝังกลบขยะอันตรายมีอยู่ในปริมาณน้อยและอยู่ห่างจากโรงงานมาก

สารที่ไม่นิยมนำกำจัดโดยการฝังกลบ [9]

1. สารอันตรายประเภทไม่สลายตัวด้วยชีวภาพ (Non-biodegradable hazardous materials) เช่น คลอรีนเต็ดไฮโดรคาร์บอน และจารบี
2. สารเป็นพิษประเภทสลายตัวได้ยาก รวมถึงโลหะหนัก เช่น ฟีนอล ไชยาไนด์ สารประกอบโลหะไซยาไนด์ ของเสียจากการผลิตยาโรก โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว พรอท นิกเกิล ทองแดง สังกะสี และของเสียจากการผลิตยาปราบศัตรูพืช
3. กรดแก่หรือสารประกอบแอลคาไลในปริมาณมากพอที่จะส่งผลกระทบต่อธรรมชาติบริเวณที่มีการฝังกลบ เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 2.2.2.2 การเผาทิ้ง

การกำจัดของเสียโดยการเผาทิ้งเป็นวิธีที่เป็นที่นิยมนักวิธีหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากไม่ต้องส่งของเสียไปทิ้งในบริเวณฝังกลบที่อยู่ห่างออกไป และการเผาสามารถลดปริมาตรและกำจัดความเป็นพิษของสารบางชนิดได้ แต่อย่างไรก็ตามการที่โรงงานอุตสาหกรรมจะสร้างเตาเผาจำเป็นจะต้องมีการลงทุนสูง เพราะนอกจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างเตาเผาแล้วยังต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เครื่องเป่าลม เกียร์ยก ระบบลำเลียงของเสีย อุปกรณ์ควบคุมเตาเผา หน่วยบำบัดก๊าซเสียและควบคุมมลพิษทางอากาศ และหน่วยบำบัดเถ้าของเสีย สำหรับรายละเอียดของเตาเผาแต่ละชนิดจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 2.3

### 2.3 เตาเผากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม [11]

เตาเผาเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่วัตถุในเตาเผาหรือของไหลที่ไหลเวียนอยู่ในเขตท่อภายในเตาเผา ตัวอย่างเตาเผาที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่

2.3.1 เตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน เตาเผาประเภทนี้ให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน เช่น เทอร์มินอล (Therminol) ดาวเทอร์ม (Dowtherm) และเกลือหลอมเหลว ซึ่งตัวกลางน้ำมันเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนจากเตาเผาจะถูกหมุนเวียนไปถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์ถ่ายเท

ความร้อนภายในกระบวนการ โดยทั่วไปท่อสำหรับตัวกลางน้ำมันจะถูกจัดเรียงอยู่ที่ผนัง หรือ หลังคาของห้องเผาไหม้ ตัวกลางน้ำมันได้รับความร้อนจากการแผ่รังสี และเพื่อให้สามารถใช้ พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด จะมีชุดท่อที่ให้ความร้อนแก่ตัวกลาง น้ำมันด้วยการพาอีกชุด

**2.3.2 เตาเผาให้ความร้อนแก่ของเหลวที่มีความหนืดสูง** เตาเผานี้ให้ความร้อนแก่ของเหลวที่มีความหนืดสูงและเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อทำให้ความหนืดลดลงและสามารถสูบไปใช้งานได้

**2.3.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบเตาเผา** เตาเผาประเภทนี้ใช้ให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาอุณหภูมิความร้อน ตัวอย่าง เช่น

- เตาเผาให้ความร้อนแก่ไฮโดรคาร์บอนและไอน้ำในการผลิตไฮโดรเจนด้วยปฏิกิริยารีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ ภายในเขตท่อบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล อุณหภูมิของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกจากเตาเผาอยู่ระหว่าง 790-900 องศาเซลเซียส

- เตาเผาไพโรไลซิสให้ความร้อนแก่สารตั้งต้น เช่น อีเทน โพรเพน แนฟทา ก๊าซออยล์ และน้ำมันเตาในกระบวนการผลิตโอเลฟินส์ อุณหภูมิของโอเลฟินส์ที่ออกจากเตาเผาอยู่ระหว่าง 820-900 องศาเซลเซียส

**2.3.4 หม้อต้มซ้ำของหอกถัน (Column reboiler)** เตาเผาทำหน้าที่เป็นหม้อต้มซ้ำของหอกถัน เพื่อระเหยของเหลวจากหอกถันให้กลายเป็นไอ ช่วงอุณหภูมิใช้งานประมาณ 200-290 องศาเซลเซียส

**2.3.5 เตาเผาให้ความร้อนแก่น้ำมันดิบป้อนหอกถันบรรยากาศ (Fractionating-column feed preheater)** เตาเผานี้ให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำมันดิบเกิดการระเหยเป็นไอบางส่วน น้ำมันดิบที่ป้อนเข้าสู่เตาเผามีอุณหภูมิเข้าประมาณ 230 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิขาออกอยู่ที่ประมาณ 370 องศาเซลเซียส ซึ่งที่สภาวะนี้มีไอบางส่วนของน้ำมันอยู่ 60%

**2.3.6 เตาเผาให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นของเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor-feed preheater)** เตาเผานี้ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสารตั้งต้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ ตัวอย่างเช่น

- เตาเผาให้ความร้อนในกระบวนการผลิตโพลีเมอร์ของสไตรีนแบบวัฏภาคเดียวองค์ประกอบเดียว อุณหภูมิสารตั้งต้นเพิ่มขึ้นจาก 370 องศาเซลเซียส เป็น 810 องศาเซลเซียส

- เตาเผาให้ความร้อนในปฏิกิริยารีฟอร์มมิงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวัฏภาคเดียวหลายองค์ประกอบ อุณหภูมิสารตั้งต้นเพิ่มขึ้นจาก 430 องศาเซลเซียส เป็น 540 องศาเซลเซียส

- เตาเผาให้ความร้อนในปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนด้วยไฮโดรเจน (Hydrocracking) แบบหลายวัฏภาคหลายองค์ประกอบ อุณหภูมิสารตั้งต้นเพิ่มขึ้นจาก 370 องศาเซลเซียส เป็น 450 องศาเซลเซียส

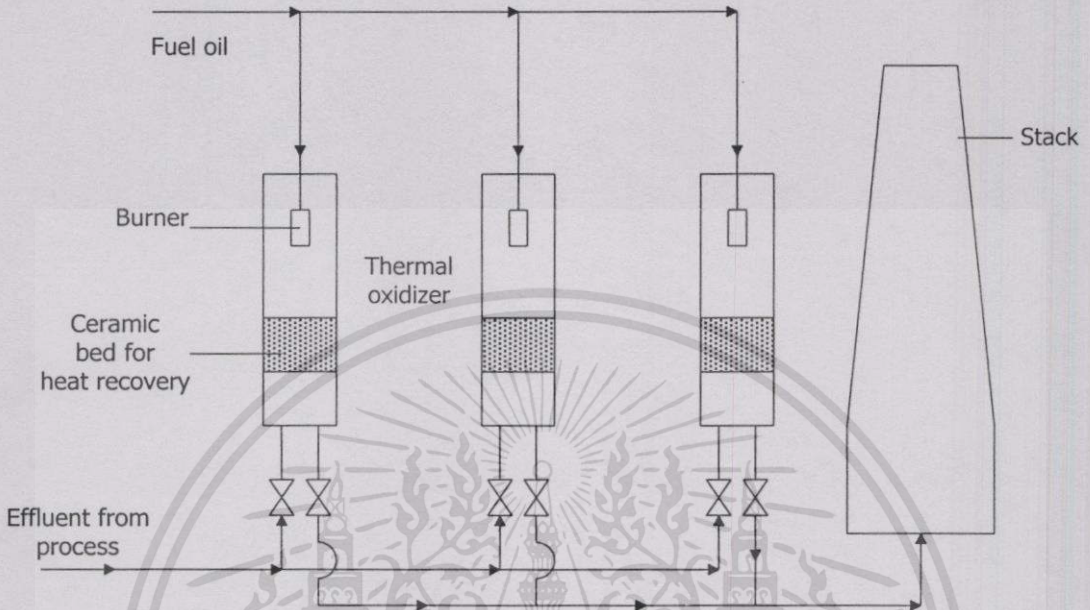
2.3.7 เตาเผาของเสีย (Incinerator) [9, 12-27] เตาเผาประเภทนี้ใช้กำจัดของเสียประเภทของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ และเถ้าที่ไม่ติดไฟจะถูกนำไปฝังกลบ ข้อดีของการกำจัดของเสียโดยการเผา คือ ใช้กำจัดของเสียอันตรายที่ใช้วิธีการฝังกลบไม่ได้ และสามารถนำความร้อนทิ้งจากการเผากลับมาใช้ (Waste heat recovery) เช่น การกำจัดขบวนการผลิตน้ำตาล ผลพลอยได้ คือ พลังงานความร้อนที่ผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในโรงงาน [9] เตาเผาของเสียจะต้องมีระบบเชื้อเพลิงหลักเพื่อช่วยให้การเผาไหม้เกิดอย่างต่อเนื่อง การเผาของเสียจำแนกได้ตามสถานะของของเสียที่ต้องการกำจัดดังนี้ คือ

2.3.7.1 การเผาของเสียที่มีสถานะเป็น ไอ (Incineration of gaseous wastes) [9, 13-14] เพื่อกำจัดความเป็นพิษหรือองค์ประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบที่เกิดกลิ่นจะสามารถติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เช่น กลิ่นจากอุตสาหกรรมอาหาร สามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียส แต่อัตราการสลายตัวที่อุณหภูมินี้ค่อนข้างช้า กลิ่นจากอุตสาหกรรมอาหารควรถูกเผาอุณหภูมิประมาณ 600-750 องศาเซลเซียส เพราะมีอัตราการสลายตัวสูง ตัวอย่างการเผาของเสียที่มีสถานะเป็น ไอ [9]

- การเผาไฮโดรเจนซัลไฟด์และไฮโดรเจนไซยาไนด์ด้วยวิธี Direct flame ซึ่งใช้เผาไอเสียที่มีค่าความร้อนสูง (ประมาณ 890 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร) เนื่องจากไอเสียมีความร้อนสูงจึงให้ความเสถียรของเปลวไฟได้ดี แต่เพื่อคงความเสถียรของเปลวไฟจึงมีการเผาเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเสริม

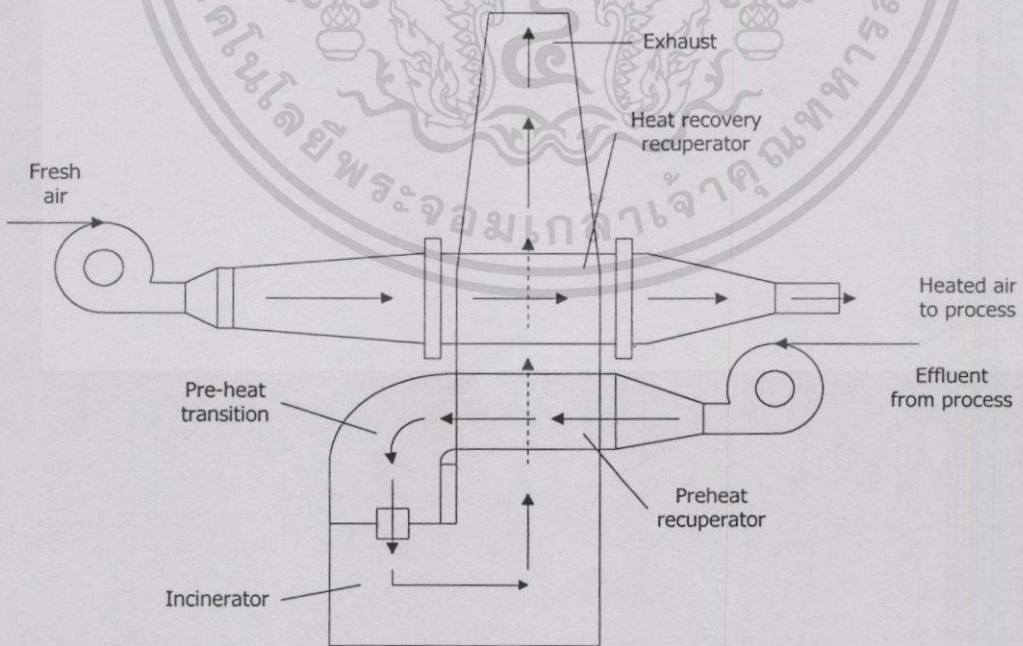
- การเผาแบบใช้ความร้อนสูง (Thermal incineration) คือ การเผาไอเสียที่มีค่าความร้อนต่ำ (ประมาณ 0.25-5 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร) เนื่องจากไอเสียมีค่าความร้อนต่ำ การจะทำให้ไอเสียสลายตัวจะต้องเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 540-820 องศาเซลเซียส ในบางกรณีอาจสูงถึง 1,200 องศาเซลเซียส จึงต้องใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนในปริมาณมากขึ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเผา คือ อุณหภูมิที่สูงเพียงพอสำหรับการออกซิไดส์ไอเสีย และเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ ) ในปริมาณน้อย เวลาที่ไอเสียพักตัวอยู่ในห้องเผาไหม้ของเตาเผาต้องนานเพียงพอที่จะทำให้ไอเสียเกิดการสลายตัว ซึ่งโดยทั่วไปจะมีช่วงเวลาที่อยู่ที่ 0.25-1 วินาที และความปั่นป่วน (Turbulence) ที่จะทำให้เกิดการผสมที่ค้ำระหว่างไอเสียกับอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้ เตาเผาไอเสียของกระบวนการผลิตพอลิคาร์บอนเนตหรือโคพอลิเมอร์ของสไตรีน (รูปที่ 2.6) ไอเสียจะถูกเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส มีการใช้เซรามิกในระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ไอเสียจะถูกป้อนผ่านวาล์วซึ่งเปิด-ปิดเป็นจังหวะ เมื่อวาล์วเปิดไอเสียจะไหลผ่านเซรามิกเบดซึ่งทำหน้าที่ดักฝุ่นที่ติดมากับไอเสีย และเป็นตัวเก็บและถ่ายความร้อนจากการเผาไหม้ให้แก่ไอเสียภายในเตาเผา ก๊าซเสียจากการเผาไหม้จะไหลผ่านเซรามิกเบดและถ่ายเท

ความร้อนให้กับเซรามิกเบดเพื่อถ่ายเทให้แก่ไอเสียที่เข้ามาในเตาเผา และพาฝุ่นที่ติดอยู่ในเซรามิกเบดผ่านวาล์วทางออกไปสู่ปล่องไอเสีย



รูปที่ 2.6 เตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นไอของกระบวนการผลิตพอลิคาร์บอนเนตหรือโคพอลิเมอร์ของสไตรีน [14]

รูปที่ 2.7 แสดงเตาเผากำจัดไอเสียที่มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้



รูปที่ 2.7 เตาเผากำจัดไอเสียที่มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีการเผาไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงถึง 760-815 องศาเซลเซียส โดยมีเวลาพักตัว 5 วินาที ก๊าซเสียที่จะปล่อยสู่บรรยากาศจะถ่ายเทความร้อนให้กับไอเสีย เพื่อเพิ่มอุณหภูมิไอเสียก่อนป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไอเสียเพิ่มขึ้น และก๊าซเสียจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศเพื่อทำอากาศร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

- การเผาแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic incineration) [9, 13] คือ การเผาไอเสียในสภาวะความเข้มข้นต่ำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ แพลตินัมเคลือบบนตัวรองรับประเภทโลหะหรือเซรามิกรูปร่างรังผึ้ง (Honeycombs) ข้อดีของการเผาไหม้แบบนี้ คือ สามารถกำจัดไอเสียที่อุณหภูมิประมาณ 320-540 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและปลอดภัยกว่าการเผาไหม้แบบใช้ความร้อนสูง และลดปัญหาการเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ แต่ค่าใช้จ่ายของวิธีนี้ค่อนข้างสูงเนื่องจากราคาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ตัวอย่างกระบวนการที่อาจใช้การเผาไหม้แบบนี้ เช่น กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์และมาลิกแอนไฮไดรด์ กระบวนการอบสี กระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์ กระบวนการผลิตอะคริลิก [9]

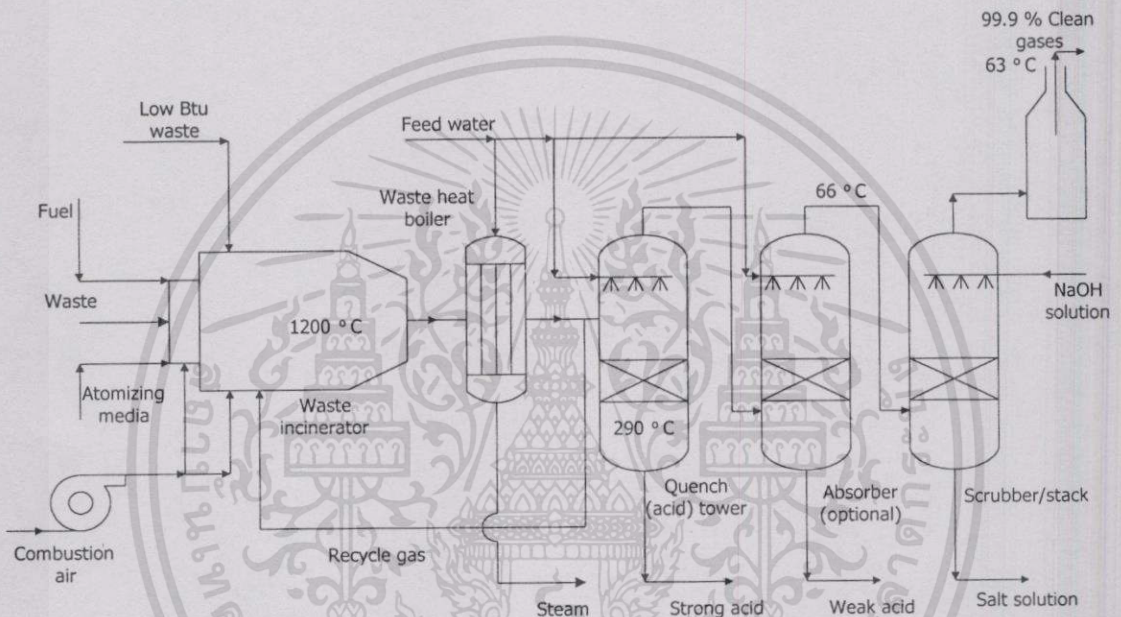
2.3.7.2 การเผาของเสียที่มีสถานะเป็นของเหลว (Incineration of liquid wastes) [15-22] การเผาไหม้ของเสียที่มีสถานะเป็นของเหลวสามารถทำได้ในบ่อซึ่งบรรจุของเหลวอยู่ หรือเผาในลักษณะเป็นหยดหรือละอองของเหลว (Droplet burning) โดยของเสียจะถูกอัดให้เป็นหยดหรือละอองโดยใช้ความดันจากตัวกลาง เช่น ไอน้ำ และอากาศอัด หรือใช้อุปกรณ์เชิงกล เช่น เครื่องสูบลม วิธีการกระจายของเสียในเตาเผา เช่น

- การกระจายของเสียโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Rotary cup atomization) [17] ของเสียถูกป้อนเข้าด้านในของถ้วยที่กำลังหมุนด้วยความเร็ว 3,500-4,000 รอบต่ออนาที และจะถูกเหวี่ยงแผ่ออกเป็นแผ่นบางและส่งออกจากปากถ้วยด้วยแรงหนีศูนย์กลางสัมผัสกับอากาศส่วนแรก (Primary air) ที่ออกมาจากด้านข้างของหัวเผา ละอองของเสียจะระเหยเป็นไอและติดไฟทันที

- การกระจายของเสียโดยใช้ไอน้ำหรืออากาศอัด (Steam or Compressed air atomization) ของเสียถูกป้อนผ่านท่อขนาดเล็กซึ่งซ่อนอยู่ในท่อใหญ่ที่มีตัวกลางที่มีความดันสูง คือ ไอน้ำหรืออากาศอัด ของเสียที่พุ่งออกมาจากปลายท่อเล็กจะกระทบกับไอน้ำหรืออากาศอัดที่ออกมาจากท่อใหญ่แล้วถูกอัดออกสู่ปลายหัวเผาแตกออกเป็นละอองขนาดเล็กประมาณ 100-150 ไมครอน การกระจายของเสียวิธีนี้ก่อให้เกิดสภาวะหมุนวนแบบปั่นป่วนสูงจึงนิยมใช้กำจัดของเสียอันตรายมากที่สุด เพราะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเสียสูง มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ถึง 99.99 % ที่อุณหภูมิประมาณ 980 องศาเซลเซียส มีเวลาพักตัว 1 วินาทีที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 10-20 % [18]

- การกระจายของเสียโดยใช้แรงดันของของเหลวผ่านหัวฉีดขนาดเล็ก (Mechanical atomization or Pressure jet burner) ของเสียถูกสูบด้วยความดันสูงผ่านรูของหัวฉีดเป็นละอองขนาดเล็กประมาณ 1-2 ไมครอน และเหวี่ยงเป็นเกลียว อย่งไรก็ตามก็เกิดละอองขนาดใหญ่หลายร้อยไมครอน ละอองของเสียจะระเหยและเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว การกระจายตัวของขนาดละอองกว้าง จึงไม่นิยมใช้เท่ากับการกระจายตัวแบบที่ใช้ไอน้ำหรืออากาศอัด

รูปที่ 2.8 แสดงเตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นของเหลวประเภทคลอรีนเต็ดหรือของเสียอื่นๆ



รูปที่ 2.8 ระบบเตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นของเหลวประเภทคลอรีนเต็ดหรือของเสียอื่น ๆ [19]

จากรูปที่ 2.8 ของเสียถูกเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ก๊าซเสียที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทความร้อนให้คอนเดนเสทเพื่อผลิตไอน้ำภายในหม้อไอน้ำ ความร้อนทิ้งเนื่องจากก๊าซเสียมีองค์ประกอบของคลอรีนจำนวนมากจึงต้องบำบัดด้วยการดูดซับด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายในหอดูดซับสามหอที่ทำงานต่อเนื่องกันเป็นอนุกรม สารพลอยได้จากการดูดซับคลอรีน คือ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง และสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ สารละลายเกลือนี้จะถูกส่งไปทำแห้งและนำไปฝังกลบหรือขายเป็นโซเดียมคลอไรด์คุณภาพต่ำ [19]

การเผาของเสียอันตรายในบริเวณใกล้เคียงชุมชนจำเป็นต้องมีหน่วยบำบัดก๊าซเสียจึงมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างหน่วยบำบัดของเสียอาจใช้เรือบรรทุกเตาเผาของเสียเพื่อนำของเสียไปเผาในทะเล เช่น เรือ Valcanus ของบริษัท Ocean

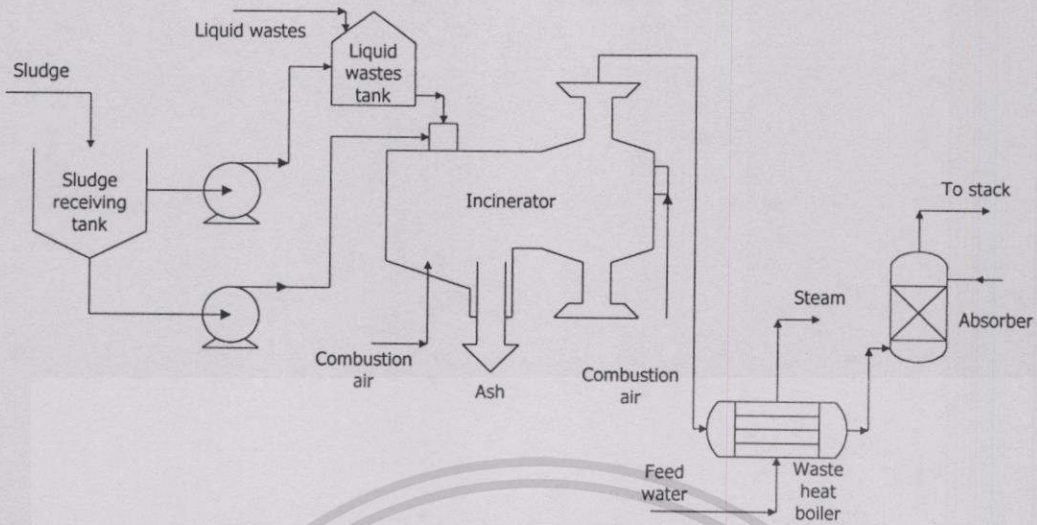
Combustion Service B. V. เมืองรอตเทอร์ดัม เผาของเสียประเภทคลอรีเนเต็ดไฮโดรคาร์บอนจากกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส ด้วยเตาเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เมตร สูง 8 เมตร อัตราการเผาไหม้ของเสีย 20-30 ตันต่อชั่วโมง [20]

บริษัทเจนเนอรัล พอร์ตแลนด์ (General Portland Inc.: GPI) ซึ่งเป็นผู้ผลิตซีเมนต์รายใหญ่ และบริษัทซิสเทค คอร์ปอเรชัน (Systech Corporation) [21] ได้ร่วมกันพัฒนาระบบเตาเผาซีเมนต์ในมลรัฐแคนซัส โอไฮโอ และแคลิฟอร์เนีย โดยใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินปริมาณวันละ 150 ตันต่อวัน ผสมกับกากของเสียประเภทสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นของเหลว และมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงระหว่าง 5,500-6,700 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ทำให้ประหยัดการใช้ถ่านหินภายในเตาเผาได้ประมาณ 25-50 % คุณสมบัติของของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในเตาเผาซีเมนต์แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของของเสียที่ใช้กับเตาเผาซีเมนต์ [21]

คุณสมบัติและองค์ประกอบ	ค่าสูงสุด
ค่าความร้อน	> 10,000 Btu/lb (5,500 kcal/kg)
ความหนืด	100 cP
แฮโลเจน	5 % โดยน้ำหนัก
แบเรียม สังกะสี โครเมียม	3,000 ppm
ตะกั่ว	4,000 ppm
เถ้า	7 % โดยน้ำหนัก
ของแข็ง	30 % โดยน้ำหนัก

ในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้สารที่ไม่ระเหยอื่น ๆ เช่น เรซิน และสีย้อมผ้า และของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตตัวทำละลาย เช่น ทอลูอิน ไซลีน แอลกอฮอล์ ทีโตน เอสเทอร์ กลับมาใช้ด้วยระบบการแยกสาร โดยเฉพาะวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ จะได้ตัวทำละลายที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นไปใช้ ส่วนกากของเสียจากหอกถ่านจะถูกนำไปเผาทิ้งเพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กลับมาใช้ผลิตไอน้ำดังรูปที่ 2.9 [22]



รูปที่ 2.9 ระบบเตาเผาของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตตัวทำละลายที่มีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ [22]

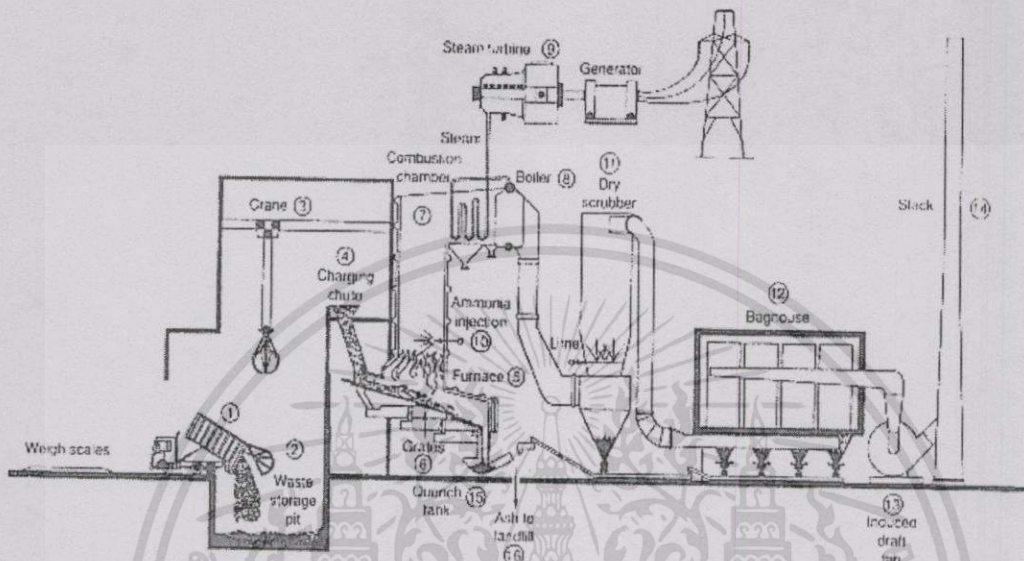
จากรูปที่ 2.9 เป็นเตาเผากำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตตัวทำละลายที่อยู่ในรูปกากตะกอนจากหอกลั่นและสารละลาย พลังงานที่ได้จากการเผากากตะกอน 3,630,000 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง และจากสารละลายของเสีย 484,000 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง สามารถนำความร้อนทิ้งจากการเผาไหม้มาใช้ในการผลิตพลังงานไอน้ำ 2,643,000 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

#### 2.3.7.2 เตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นของแข็ง (Incineration of solid wastes)

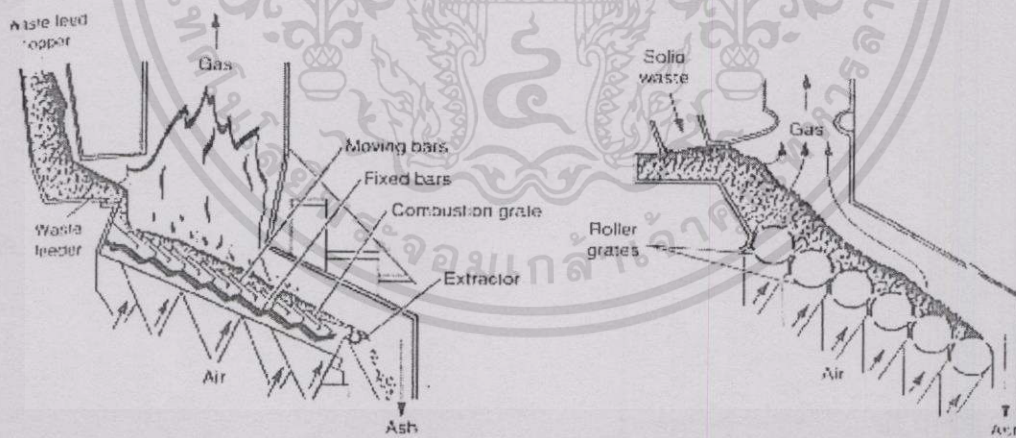
[10, 15, 23-27] ระบบการกำจัดของเสียที่มีสถานะเป็นของแข็งมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากของเสียมีความหลากหลายในองค์ประกอบ เช่น ขยะเทศบาล และต้องการพื้นที่มากสำหรับระบบลำเลียงด้วยเครนและสายพานลำเลียง สำหรับการเก็บของเสีย นอกจากนี้ต้องมีระบบย่อยหรือลดขนาด เตาเผาประเภทนี้มักมีการใช้เชื้อเพลิงสำรองช่วยในการเผาไหม้ของเสียที่มีความชื้นสูง เพื่อให้ประสิทธิภาพในการเผาสูง เตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นของแข็งอาจมีการทำงานเป็นอนุกรมต่อกัน โดยเซลล์แรกของเตาเผาจะทำกรเผาของเสีย ส่วนเซลล์ท้าย ๆ ของเตาเผาจะทำหน้าที่ในการเผาก๊าซที่มีกลิ่นเพื่อให้ก๊าซเสียที่ปล่อยออกที่ปล่องไอเสียมีความสะอาดสูง

ประเทศในทวีปยุโรปมีการใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ขยะเทศบาลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.10 อัตราการเผาขยะวันละ 100-1,000 ตัน ขยะจะถูกลำเลียงมาทิ้งที่หลุมขยะ และจะถูกป้อนเข้าสู่กรวยสำหรับเทขยะ (Charging chute) ลงบนตะแกรง (Grates) (รูปที่ 2.11) ขยะจะถูกเผาไหม้และเลื่อนไปตามตะแกรง ภายในห้องเผาไหม้มีการพ่นละอองแอมโมเนียเพื่อลดการเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซเสียจากการเผาไหม้จะผ่านเข้าหม้อไอน้ำความร้อนทิ้งเพื่อถ่ายเทความร้อนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นก๊าซเสียจะผ่านเข้าสครับเบอร์แบบแห้ง (Dry scrubber) เพื่อลดองค์ประกอบประเภทไฮโดรเจนคลอไรด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้

ผงปูนขาวหรือหินปูน และผ่านเข้าสู่ Baghouse หรือ เครื่องจับอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) เพื่อกำจัดฝุ่นละอองหรือองค์ประกอบของโลหะก่อนจะปล่อยออกทางปล่องไอเสีย  
 ถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้จะถูกลดอุณหภูมิลงในถังลดความร้อน (Quench tank) แล้วนำไปฝังกลบต่อไป



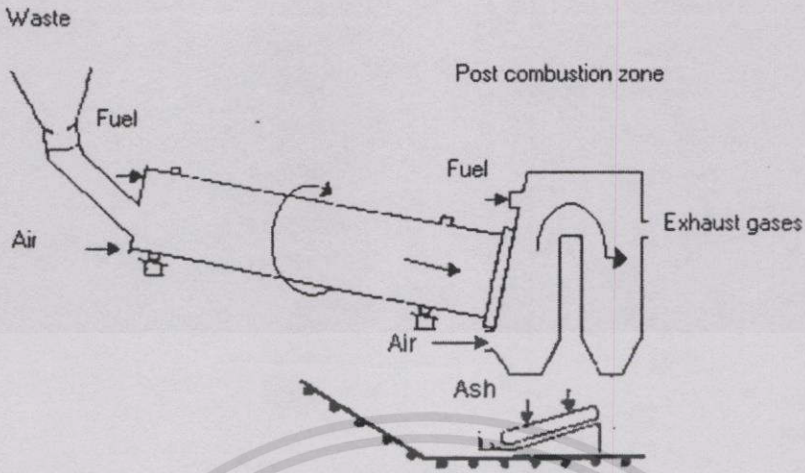
รูปที่ 2.10 ระบบเตาเผาขยะเทศบาลที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า [24]



รูปที่ 2.11 ตะกรับของเตาเผาขยะเทศบาล [24]

เตาเผาของเสียที่มีสถานะเป็นของแข็งที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เตาเผาของเสียแบบหมุน (Rotary kiln incinerator) และ เตาเผาของเสียแบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized bed incinerator) ดังรูปที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



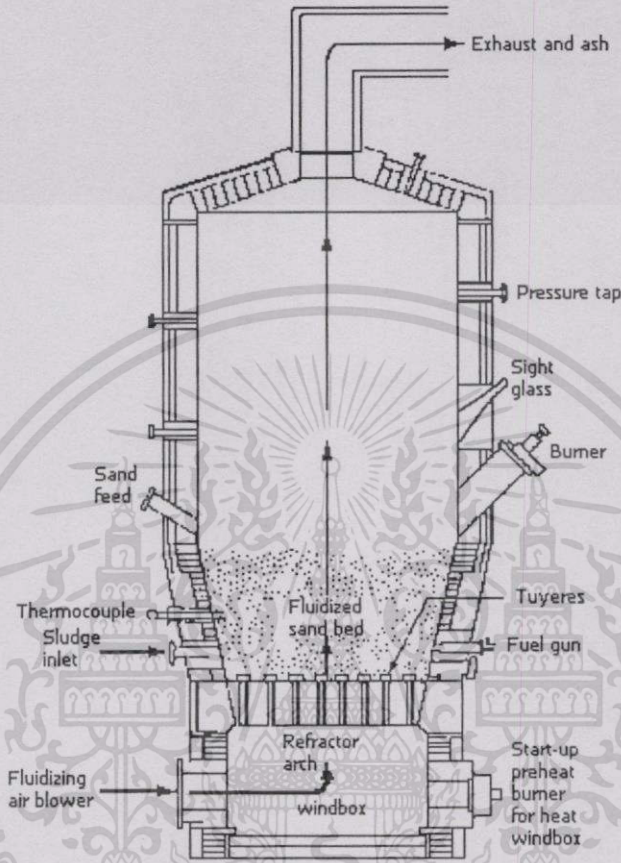
รูปที่ 2.12 เตาเผาของเสียแบบหมุน [26-27]

- (ก) กระบวนการเผาของเสีย
- (ข) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบเตาเผา

เตาเผาของเสียแบบหมุนเป็นเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับกำจัดของเสียที่มีหลายองค์ประกอบ ส่วนประกอบสำคัญของเตาประกอบด้วยทรงกระบอกทำด้วยเหล็กต่อกับแกนหมุนทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ การหมุนของเตาเผาของเสียช่วยให้เกิดการผสมกันอย่างป็นป่วนระหว่างของเสียกับอากาศจึงให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเสียสูง นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์และการถลุงแร่ ของเสียจะถูกเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800-1,000 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของเตา 1-5 รอบต่อนาที เวลาพักตัวในเตาเผานานหลายนาทีไปจนถึงชั่วโมง ก๊าซเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเผาไหม้ของเสียจะถูกเผาในห้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส เวลาพักตัวประมาณ 2 วินาที เถ้าจากการเผาไหม้จะออกจากเตาเผาทางด้านล่างของห้องเผาไหม้ที่แสดงดังรูปที่ 2.12 (ก)



รูปที่ 2.13 เตาเผาของเสียแบบฟลูอิดไคซ์เบด [23]

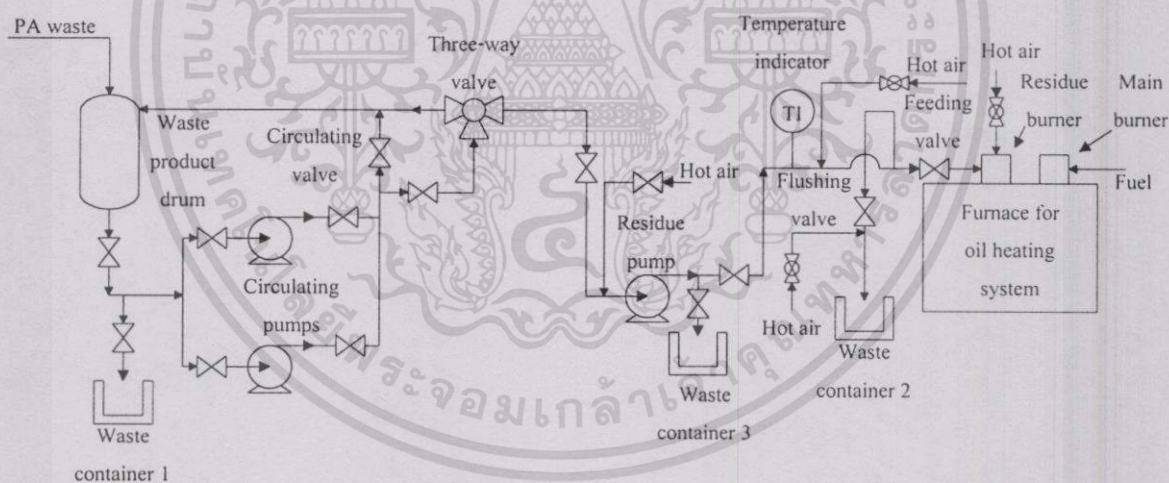
เตาเผาของเสียแบบฟลูอิดไคซ์เบดเป็นเตาเผาที่มีโครงสร้างเป็นถังเหล็กแนวตั้งบรรจุเบดเม็ดทรายซึ่งช่วยให้เกิดภาวะปั่นป่วนและเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน จึงให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเสียสูง อาจใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นวัสดุในเบด เพราะสามารถทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในก๊าซเสียเกิดเป็นแคลเซียมซัลเฟต เตาเผาใช้น้ำมันเตาหรือก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเพื่อรักษาอุณหภูมิการเผาไหม้และให้ความร้อนกับเบดให้สูงประมาณ 800-1,000 องศาเซลเซียส เตาเผาแบบนี้สามารถเผาของเสียได้ทั้งในสถานะของแข็งที่ผ่านการลดขนาดมาแล้ว ของแข็งกึ่งเหลว หรือของเหลว ของเสียจะถูกป้อนเข้าทางหัวเผาสมกับอากาศที่ถูกป้อนจากหัวฉีดอากาศ (Tuyeres) ผ่านอนุภาคของเบดจนทำให้อนุภาคมีความเร็วประมาณ 1-3 เมตรต่อวินาที ก๊าซเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้จะผ่านเข้ากระบวนการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และหน่วยบำบัดก๊าซเสียต่อไป [10, 23, 25]

## อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

เตาเผาในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ถูกใช้เพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันชนิดเทอร์มินอล และถ่ายเทความร้อนให้กับส่วนควบแน่น ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่น นอกจากนี้ยังใช้เป็นเตาเผาของเสียจากกระบวนการผลิตที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงหลัก คือ น้ำมันเตาหรือก๊าซธรรมชาติ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงหลัก ค่ากำจัดกากของเสียของบริษัทฯ และลดผลกระทบต่อสภาพของเสียอุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อม

### 3.1 อุปกรณ์

รูปที่ 3.1 แสดงระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันของบริษัทฯ ซึ่งเดิมใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลัก และได้เปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติแทนเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2543



รูปที่ 3.1 ระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน

ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์มีสถานะเป็นของเหลว ประกอบด้วยส่วนกลั่นเบาซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำกว่าพาทาลิกแอนไฮไดรด์และถูกแยกออกทางยอดหอกลั่นส่วนกลั่นเบา และส่วนกลั่นหนักซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีจุดเดือดสูงกว่าพาทาลิกแอนไฮไดรด์และถูกแยกออกทางด้านล่างของหอกลั่นผลิตภัณฑ์ ทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งไปเก็บที่ถังเก็บของเสียจากกระบวนการผลิตและถูกสูบผ่านวาล์วสามทาง (Three-way valve) ด้วยเครื่องสูบทวนเวียน (Circulating pump) และไหลไปที่เครื่องสูบของเสียจากกระบวนการผลิต (Residue

pump) เพื่อส่งไปยังหัวเผาของเสีย (Residue burner) ที่อยู่ด้านบนของเตาเผา จากนั้นของเสียจะถูกพ่นเป็นละอองด้วยอากาศอัดและถูกเผาไหม้ องค์ประกอบของของเสียแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

องค์ประกอบ	ส่วนกลั่นเบา (% โดยน้ำหนัก)	ส่วนกลั่นหนัก (% โดยน้ำหนัก)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของแต่ละองค์ประกอบ ในของเสีย
มาเลอิกแอนไฮไดรด์	7.41	0	2.30
กรดเบนโซอิก	29.63	0	9.20
พาทาลิกแอนไฮไดรด์	62.96	58.33	59.77
องค์ประกอบอื่นที่มีจุดเดือดสูง	0	41.67	28.73

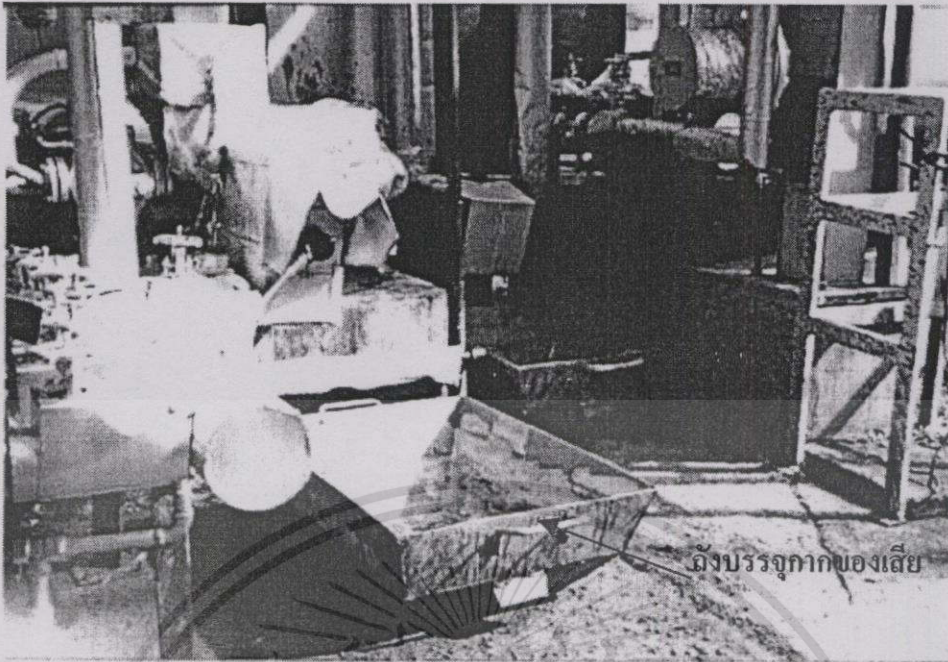
หมายเหตุ: ข้อมูลจาก Stream data sheet จาก Supplier ของบริษัทฯ

จากตารางที่ 3.1 ในของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตประมาณ 2.09 ตันต่อวัน มีองค์ประกอบของพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 59.77 % คิดเป็นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่สูญเสียออกมากับของเสียประมาณ 1.25 ตันต่อวัน

### 3.2 การปรับปรุงกระบวนการ

ในเบื้องต้นบริษัทฯ ได้นำของเสียจากกระบวนการผลิตมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมภายในเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน โดยที่ไม่ได้มีการปรับปรุงกระบวนการแต่อย่างใด ทำให้ไม่สามารถใช้ของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะยังมีการฟลัชหรือระบายของเสียออกจากระบบท่อ เนื่องจาก

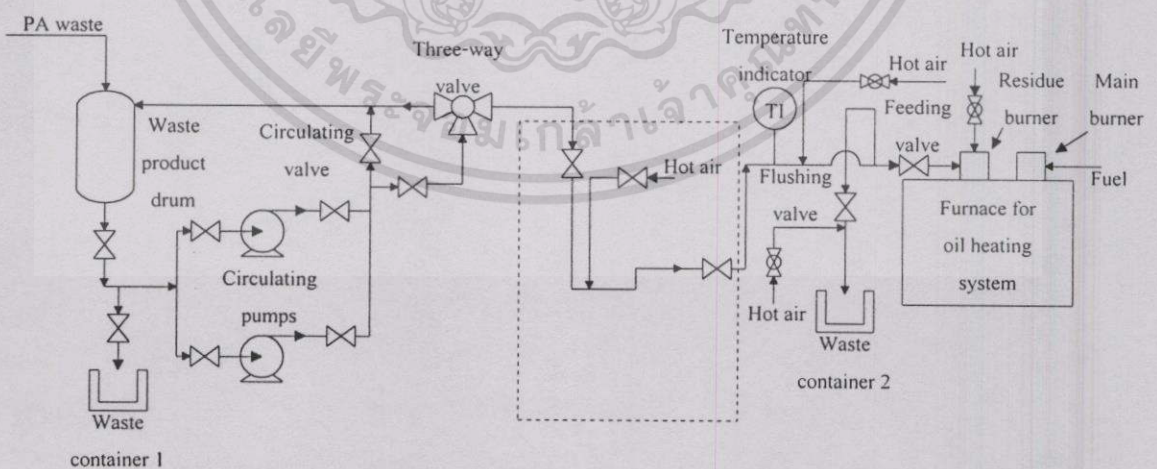
1. เกิดการอุดตันภายในหัวเผาหรือท่อของเสียติดต่อกันเป็นเวลานาน หรือเครื่องสูบของเสียขัดข้องทำให้ไม่สามารถเผาของเสียได้ จึงต้องระบายของเสียลงถังบรรจุกากของเสียที่ 1 ในรูปที่ 3.1 และ 3.2 เพื่อป้องกันการล้น
2. ของเสียมีความหนืดสูง หรือมีปริมาณไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมอย่างต่อเนื่องได้ เพราะจะเกิดการอุดตันภายในหัวเผาและท่อ ซึ่งเมื่อหยุดใช้ของเสียจึงต้องฟลัชส่วนที่ค้างอยู่ด้านทางออกของเครื่องสูบของเสียลงถังบรรจุกากของเสียที่ 2 และ 3
3. เกิดปัญหาฟองอากาศเนื่องจากมีอากาศสะสมอยู่ในท่อของเสีย ดังนั้นก่อนการป้อนของเสียเข้าเตาเผาทุกครั้งจึงต้องฟลัชอากาศที่ค้างอยู่ภายในท่อทำให้มีของเสียบางส่วนถูกฟลัชออกมาพร้อมกับอากาศที่ถังบรรจุกากของเสียที่ 2



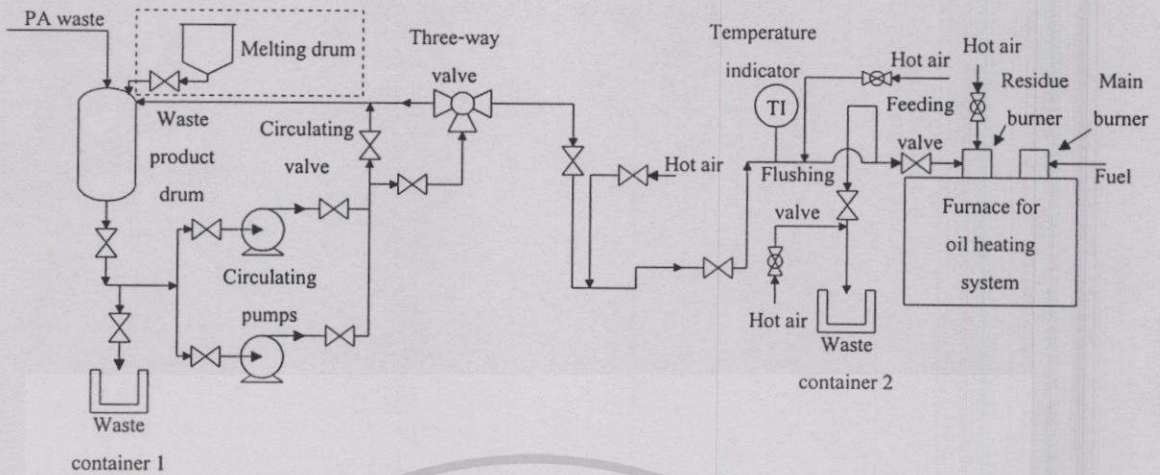
ถังบรรจุกากของเสีย

รูปที่ 3.2 ถังบรรจุกากของเสีย

เพื่อลดปริมาณและเพื่อใช้ประโยชน์กากของเสียจากกระบวนการผลิต ในเดือนมิถุนายน 2543 จึงปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียในระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน โดยการถอดเครื่องสูบของเสียออก ซึ่งจะทำให้การฟลักซ์ของเสียกลับทำได้สะดวกขึ้น ลดปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิตที่ถูกฟลักซ์ลงถังบรรจุของเสียเมื่อมีการหยุดใช้ของเสีย และใช้ถังหลอมกากของเสีย (Melting drum) แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 ระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันหลังจากถอดเครื่องสูบของเสียออก



รูปที่ 3.4 ระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางนำมันเมื่อติดตั้งถังหลอมกากของเสีย

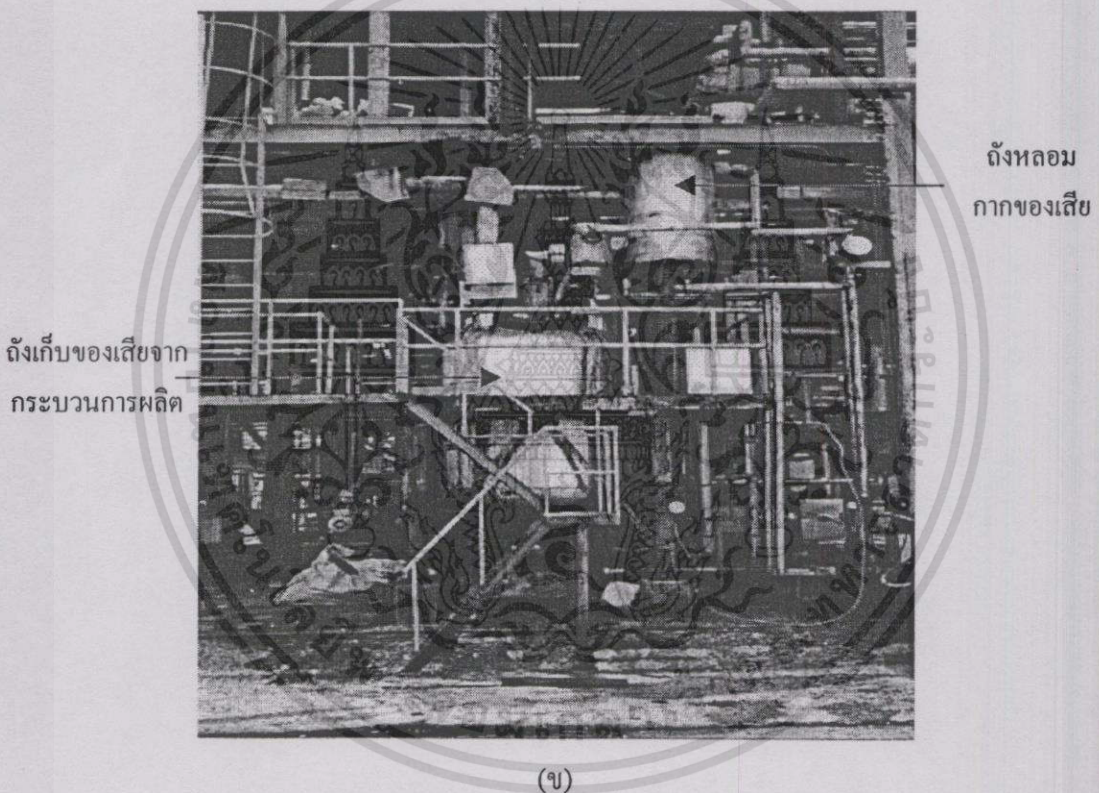
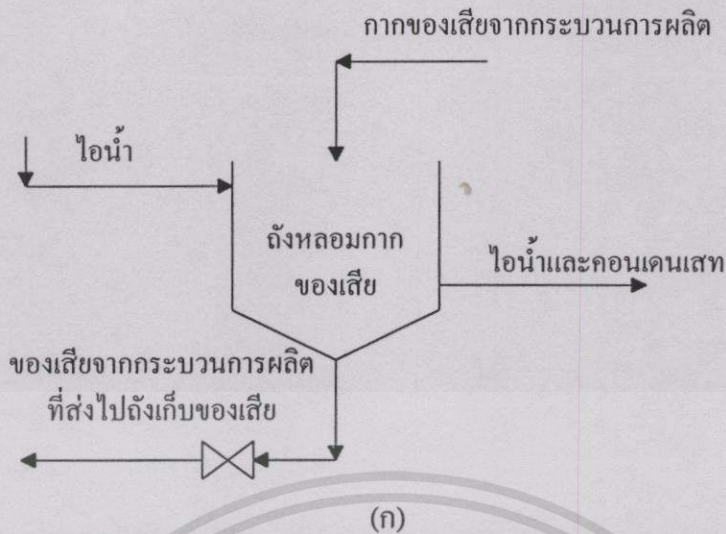
ขั้นตอนการฟลักซ์ของเสียกลับถังเก็บของเสียมีดังนี้

- 1 บันที่ค่าระดับของเสียในถังเก็บของเสีย
- 2 เปิดวาล์วสามทาง 100 %
- 3 หยุดเครื่องสูบลมเวียน
- 4 เปิดวาล์วหมุนเวียน (Circulating valve)
- 5 ปิดวาล์วที่อยู่ด้านทางเข้าของวาล์วสามทาง
- 6 เปิดวาล์วอากาศร้อนที่เครื่องสูบลมของเสียทิ้งไว้ 4-5 นาที เพื่อฟลักซ์ของเสียกลับไป

ถังเก็บของเสีย ถ้ามีการฟลักซ์กลับจะเห็นไอระบายออกที่วาล์วระบายความดันบนถังเก็บของเสีย ทำการฟลักซ์จนกระทั่งระดับของเสียในถังเก็บของเสียคงที่

- 7 ปิดวาล์วอากาศร้อนที่เครื่องสูบลมของเสีย และวาล์วด้านทางเข้าของเครื่องสูบลมของเสีย
- 8 ปิดวาล์วป้อนของเสีย (Feeding valve)
- 9 เปิดเครื่องสูบลมเวียน
- 10 เปิดวาล์วหมุนเวียน และปิดวาล์วสามทางมาที่ 0 %

สำหรับกากของเสียที่จำเป็นต้องฟลักซ์ออกจากกระบวนการเมื่อมีการป้อนของเสียเข้าสู่เตาเผา และของเสียที่ระบายออกจากถังเก็บของเสียเพื่อป้องกันการล้นออกจากถัง จะถูกนำมาทวนและหลอมใหม่ในถังหลอมกากของเสียซึ่งได้รับความร้อนจากไอน้ำความดัน 6 บาร์ รูปที่ 3.5 แสดงถึงหลอมกากของเสีย กากของเสียที่หลอมเหลวแล้วจะถูกส่งไปถังเก็บของเสียและนำกลับใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมอีกครั้ง



รูปที่ 3.5 ถังหลอมกากของเสียจากกระบวนการผลิต

(ก) การใช้งานระบบถังหลอมกากของเสียจากกระบวนการผลิต

(ข) ภาพถ่ายถังหลอมกากของเสียและถังเก็บของเสียจากกระบวนการผลิต

### 3.3 การประเมินผล

ประเมินผลของการปรับปรุงกระบวนการ โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียวกัวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงการใช้ของเสีย ที่อัตราการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาทาลิกแอนไฮไดรด์  $100 \pm 5$  ตันต่อวัน (ตารางที่ ก.5 ภาคผนวก ก) สำหรับข้อมูลปริมาณการใช้  
ก๊าซธรรมชาติอย่างเดียวและก๊าซธรรมชาติร่วมกับของเสีย ที่อัตราการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์  
 $100 \pm 5$  ตันต่อวัน แสดงในตารางที่ ก.6 นอกจากนี้ได้ตรวจวัดคุณภาพไอเสียจากปล่องไอเสีย  
เปรียบเทียบกับค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ตามพระราชบัญญัติ  
โรงงาน พ.ศ. 2535 เพื่อประเมินผลกระทบของการนำของเสียจากกระบวนการผลิตมาใช้เป็น  
เชื้อเพลิงเสริมต่อสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

แต่เดิมก่อนที่จะมีการนำของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมภายในเตาเผา ของเสียจะถูกระบายออกจากถังเก็บของเสีย และบริษัทฯ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด (ภาคผนวก ข.1 และ ข.2 แสดงปริมาณและค่ากำจัดของเสีย) บริษัทฯ จึงเริ่มใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริมโดยที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการในเดือนสิงหาคม 2541 ซึ่งสามารถประหยัดน้ำมันเตาได้เฉลี่ยประมาณ 738 ลิตรต่อวัน (แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข.3) อย่างไรก็ตามบริษัทฯ ต้องจ่ายเงินประมาณ 446,766 บาทต่อปีในการกำจัดของเสียที่จำเป็นต้องพลัซออกจากกระบวนการและที่ระบายออกจากถังเก็บของเสีย ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียในเดือนมิถุนายน 2543 โดยถอดเครื่องสูบของเสียออกจากระบบเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน และใช้ถังหลอมกากของเสีย ผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์ของการปรับปรุงทั้งสองกรณีแสดงในตารางที่ 4.1 (การคำนวณในภาคผนวก ข.4)

ตารางที่ 4.1 การประเมินผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์จากการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสีย

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง (บาท)	175,000 <sup>1</sup>
ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ (บาท/ปี)	696,747
- มูลค่าของน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	249,981 <sup>2</sup>
- ค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย (บาท/ปี)	446,766
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	0.25

หมายเหตุ: 1. ค่าใช้จ่ายของการใช้ถังหลอมกากของเสีย (การถอดเครื่องสูบของเสียไม่เสียค่าใช้จ่าย)

2. คิดเทียบกับราคาน้ำมันเตา 8.09 บาท/ลิตร

จากการคำนวณในภาคผนวก ข.3 ที่อัตราการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์  $100 \pm 5$  ตันต่อวัน หลังการปรับปรุงกระบวนการเพื่อใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริม สามารถทดแทนการใช้ น้ำมันเตาเฉลี่ยวันละ 841 ลิตรต่อวัน ซึ่งประหยัดน้ำมันเตาได้วันละ 103 ลิตร เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ปีละ 249,981 บาท คิดเทียบเท่ากับปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ประหยัดได้ 108 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นเงินประมาณปีละ 202,474 บาท

จากตารางที่ ก. 1 ภาคผนวก ก หลังการปรับปรุง บริษัทฯ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียจากกระบวนการผลิตปีละ 446,766 บาท คิดเป็นผลประโยชน์ที่ได้จากการปรับปรุงทั้งสิ้นปีละ 696,747 บาท (249,981 + 446,766 บาท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดิมบริษัทฯ ใช้น้ำมันถั่วเหลืองความร้อนเทอร์มินอลที่ได้รับความร้อนจากเตาเผาเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันและถั่วเหลืองความร้อนภายในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เพียงอย่างเดียว แต่หลังจากเดือนกรกฎาคม 2543 บริษัทฯ มีการแบ่งตัวกลางน้ำมันไปใช้ถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิตด้วย นอกจากนี้ในเดือนตุลาคม 2543 บริษัทฯ ได้เปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักแทนการใช้น้ำมันเตาในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ ใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติในกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิต

การแบ่งน้ำมันถั่วเหลืองความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิต การเปลี่ยนใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักแทนการใช้น้ำมันเตา รวมทั้งการเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิตตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงของเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการของกรณีเหล่านี้ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว กิจกรรมที่มีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงของเตาเผา แสดงดังตารางที่ 4.2

ปริมาณและมูลค่าการใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติของบริษัทฯ พ.ศ. 2543-2544 แสดงในตารางที่ ค.1 ภาคผนวก ค และคิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยแสดงในตารางที่ ค.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระหว่างเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2543 มีการใช้พลังงานต่อตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 3.84 ล้านบีทียู และระหว่างเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2543 เท่ากับ 3.77 ล้านบีทียู คิดเป็นพลังงานที่ลดลงเนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 0.07 ล้านบีทียู (โดยไม่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากการแบ่งน้ำมันถั่วเหลืองความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิต การเปลี่ยนใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักแทนการใช้น้ำมันเตา และการเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิต)

ตารางที่ 4.2 กิจกรรมที่มีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงของเตาเผา

กิจกรรม	พ.ศ. 2543										พ.ศ. 2544											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสีย																						
แบ่งน้ำมันถั่วเหลืองความร้อนไปใช้ที่กระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิต																						
ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักแทนน้ำมันเตา																						
ขยายกำลังการผลิตไดออกทิลพาทาลิต																						

ผลการวิเคราะห์คุณภาพอากาศเสียจากปล่องไอเสียของเตาเผาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงานจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เพื่อดูผลกระทบของการใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริมให้ความร้อนแก่เตาเผาเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันต่อสิ่งแวดล้อม แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพอากาศเสียที่ปล่องไอเสียของเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมันปี พ.ศ. 2541 พ.ศ. 2542 และ พ.ศ. 2543 เปรียบเทียบกับมาตรฐานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 [29]

รายการตรวจวัด	ค่ามาตรฐาน	พ.ศ. 2541 (น้ำมันเตา)	พ.ศ. 2542 (น้ำมันเตา + ของเสีย)	พ.ศ. 2543 (ก๊าซธรรมชาติ + ของเสีย)
ฝุ่นละออง (mg/Nm <sup>3</sup> )	300 max	464.05	80.37	31.45
ตะกั่ว (mg/Nm <sup>3</sup> )	30 max	0.008	NA	NA
ปรอท (mg/Nm <sup>3</sup> )	3 max	0.0011	NA	NA
ไนโตรเจนไดออกไซด์ (mg/Nm <sup>3</sup> )	470 max	1.94	35.59	7.55
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (mg/Nm <sup>3</sup> )	3,250 max	702	665	196.99
คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	1,000 max	138-170	NA	NA
ไอกรด (as H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , mg/Nm <sup>3</sup> )	100 max	NA	77.76	30.16
โซลีน (mg/Nm <sup>3</sup> )	870 max	NA	NA	NA
ความขุ่นมัว (Opacity, %)	20 max	NA	3.00	1.50

หมายเหตุ: NA หมายถึงไม่ได้ทำการตรวจวัดค่า

จากตารางที่ 4.3 ในปี 2541 ซึ่งมีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว ปริมาณฝุ่นละอองมีค่าสูงถึง 464.05 mg/Nm<sup>3</sup> ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงฯ แต่อย่างไรก็ตาม ในปี 2542 และ 2543 เมื่อมีการใช้ของเสียจากกระบวนการเป็นเชื้อเพลิงเสริม ค่าปริมาณฝุ่นละอองมีค่าลดลงเป็น 80.37 และ 31.45 mg/Nm<sup>3</sup> ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไอกรด และความขุ่นมัวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามพระราชบัญญัติโรงงาน สรุปได้ว่าคุณภาพอากาศเสียที่ปล่องไอเสียจากการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมในเตาเผาอยู่ในขอบเขตที่กฎหมายกำหนด

การนำของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม นอกจากลดค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงหลักแล้ว ยังเป็นการลดมลภาวะจากกากของเสียต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย The Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) ประเทศสหรัฐอเมริกา

ได้กำหนดของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นของเสียมีพิษซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งหรือมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตที่ผิดปกติดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ของเสียพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [30]

Industry and EPA Hazardous-waste number	Hazardous waste	Hazard code
K093	องค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำจากการกลั่นซึ่งได้จากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากอโทไซลีน	T
K094	องค์ประกอบที่มีจุดเดือดสูงจากการกลั่นซึ่งได้จากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากอโทไซลีน	T

หมายเหตุ: T หมายถึง ของเสียมีพิษซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งหรือมีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ

## บทที่ 5

# สรุปและข้อเสนอแนะ

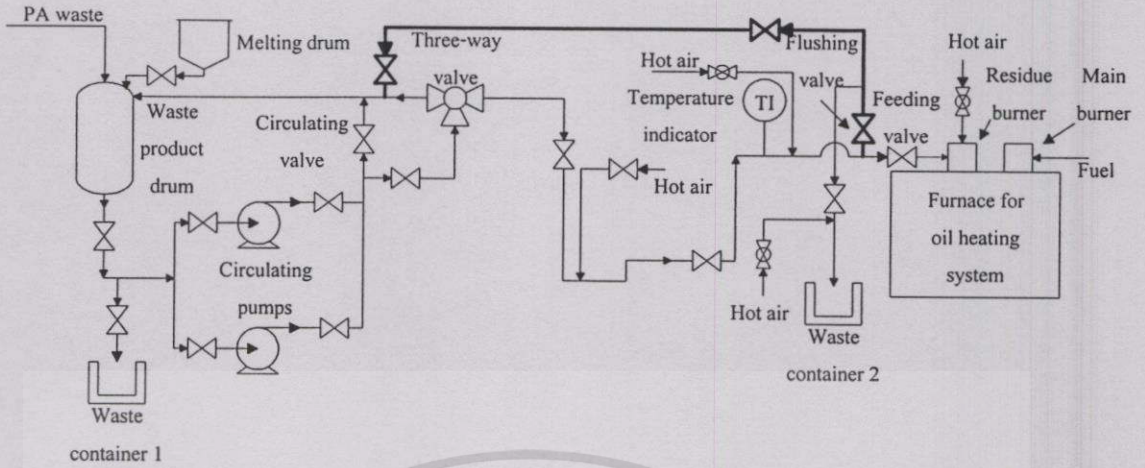
### 5.1 สรุป

การปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน โดยการถอดเครื่องสูบของเสียที่ขัดขวางการฟลักซ์ของเสียกลับถึงเก็บของเสียออกจากระบบท่อ และการใช้ถังหลอมกากของเสีย สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันเตาได้ประมาณวันละ 103 ลิตร ที่อัตราการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์  $100 \pm 5$  ตันต่อวัน คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ประมาณปีละ 249,981 บาท และประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียประมาณปีละ 446,766 บาท รวมเป็นเงินที่ประหยัดได้ทั้งสิ้นปีละ 696,747 บาท นอกจากนี้ยังช่วยลดมลภาวะจากกากของเสียต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่คุณภาพอากาศเสียจากการเผาไหม้ของเสียทดแทนเชื้อเพลิงหลักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

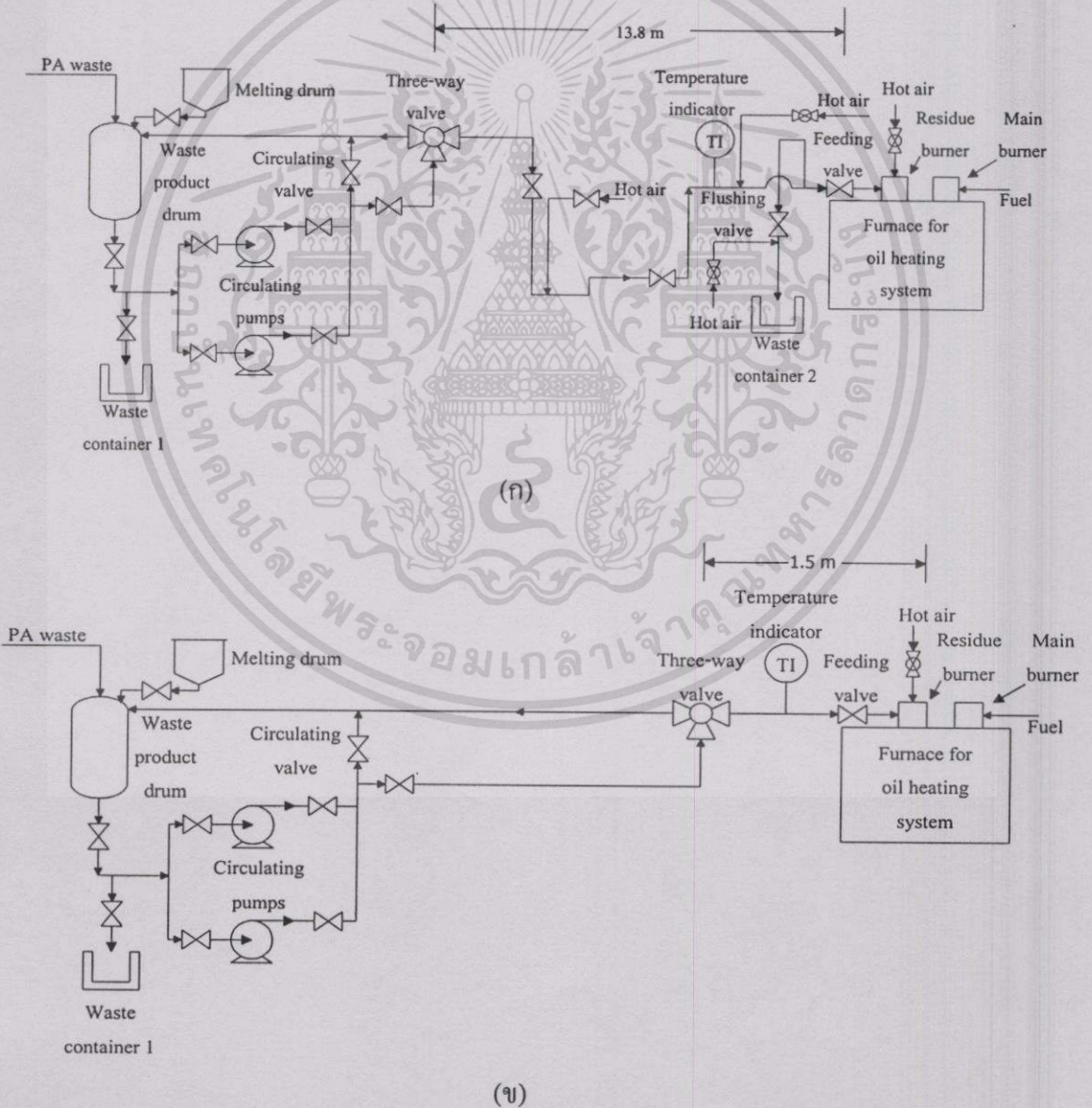
### 5.2 ข้อเสนอแนะ

#### 5.2.1 การปรับปรุงระบบท่อฟลักซ์ของเสีย

แม้จะมีการถอดเครื่องสูบของเสียซึ่งขวางการฟลักซ์กลับของของเสียออกจากระบบท่อ แต่ยังคงต้องฟลักซ์ของเสียออกมากับอากาศก่อนป้อนของเสียเข้าเตาเผาทุกครั้ง แม้ว่ากากของเสียซึ่งมีปริมาณไม่มากนักจะถูกนำมาหลอมใหม่ที่ถังหลอมกากของเสีย และส่งไปที่ถังเก็บของเสียจากกระบวนการผลิตเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการและใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมต่อไป แต่พนักงานจะต้องเสียเวลาและแรงงานทุบกากของเสียเพื่อใส่ในถังหลอมกากของเสีย ดังนั้นเพื่อความสะดวกและลดเวลาในการทำงาน จึงควรติดตั้งท่อฟลักซ์ของเสียกลับถึงเก็บของเสียโดยตรงแทนการฟลักซ์ลงถังบรรจุกากของเสีย 2 ดังรูปที่ 5.1 (เส้นเข้ม) หรือการย้ายตำแหน่งวาล์วสามทางซึ่งเดิมอยู่ห่างจากวาล์วป้อนของเสีย 13.8 เมตร รูปที่ 5.2 (ก) มาที่ระยะห่าง 1.5 เมตร รูปที่ 5.2 (ข) เพราะจะช่วยลดอากาศที่ค้างอยู่ในท่อของเสีย และจะสามารถป้อนของเสียเข้าสู่เตาเผาได้โดยไม่ต้องทำการฟลักซ์ก่อน ซึ่งทั้งสองกรณีจะทำให้ไม่มีของเสียที่ถูกฟลักซ์ออกมากับอากาศก่อนป้อนของเสียเข้าเตาเผาทุกครั้ง



รูปที่ 5.1 การติดตั้งท่อพลัซของเสียกลับถึงเก็บของเสียโดยตรง



รูปที่ 5.2 ระบบท่อของเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ (ก) ก่อนย้ายวาล์วสามทาง (ข) หลังย้ายวาล์วสามทางนั้น ไม่นอนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบข้อเสนอแนะทั้งสองกรณี การย้ายวาล์วสามทางเป็นวิธีที่ดีกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมการป้อนของเสียได้โดยตรงที่ห้องควบคุม การติดตั้งท่อฟลักซ์ของเสียกลับถึงเก็บของเสียโดยตรงจะต้องมีการเปิด-ปิดวาล์วป้อนของเสียที่อยู่ในกระบวนการ ซึ่งการวิเคราะห์การลงทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จะต้องคำนวณโดยละเอียดต่อไป

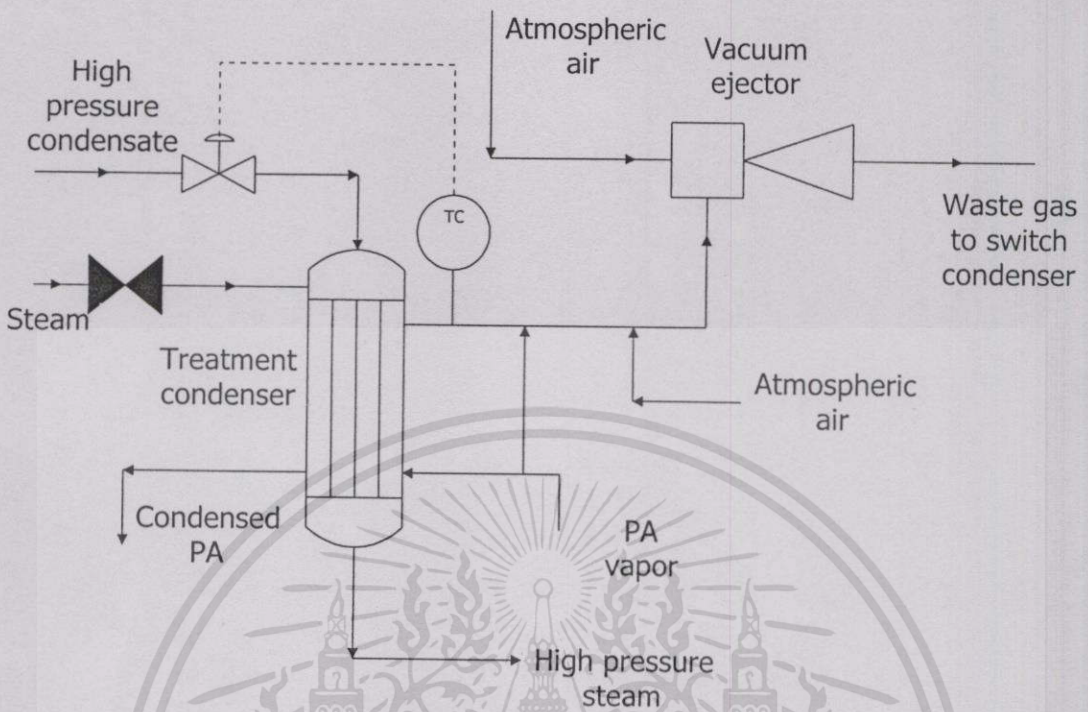
### 5.2.2 การแก้ปัญหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ควบแน่นของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น

โดยปกติของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์บริสุทธิ์ 99 % จะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวแสดงในตารางที่ 5.1 ของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์จะถูกควบแน่นที่สวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ และทำให้บริสุทธิ์โดยกำจัดครดมาเลอิกและกรดพาทาลิกที่ถึงเตรียมก่อนการกลั่น ที่อุณหภูมิประมาณ 276 องศาเซลเซียส ของเหลวบางส่วนจะระเหยเป็นไอ และควบแน่นองค์ประกอบพาทาลิกแอนไฮไดรด์กลับมาที่ถึงเตรียมก่อนการกลั่นด้วยอุปกรณ์ควบแน่นของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น โดยใช้คอนเดนเสทความดันสูง ดังรูปที่ 5.3

ปัจจุบันอุปกรณ์ควบแน่นของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่นมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำ พบว่าอุณหภูมิและความดันของไอน้ำที่ผลิตได้จะต่ำกว่าค่าจากการออกแบบ (ตารางที่ 5.2) ทำให้เกิดการสูญเสียองค์ประกอบพาทาลิกแอนไฮไดรด์ออกไปทางอุปกรณ์ทำสุญญากาศ ในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงควรทำความสะอาดอุปกรณ์ควบแน่นของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น และสามารถควบแน่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์กลับคืนได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.1 จุดเดือดและจุดหลอมเหลวขององค์ประกอบของของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [3]

องค์ประกอบ	จุดเดือด (°ซ)	จุดหลอมเหลว (°ซ)
กรดมาเลอิก	-	สลายตัวที่ 135
มาเลอิกแอนไฮไดรด์	202	52.8
กรดเบนโซอิก	249	122
กรดออโทโทลูอิก	259	108
กรดพาทาลิก	-	สลายตัวที่ 200
พาทาลิกแอนไฮไดรด์	284.5	131.1
พาทาไลด์	290	73



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์ควบแน่นของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าจริงจากการทำงานและค่าจากการออกแบบของอุปกรณ์ควบแน่นของหน่วยเตรียมก่อนการกลั่น

สภาวะ	อุณหภูมิ (°C)		ความดัน (บาร์)	
	ไอน้ำที่ผลิตได้*	ในถังเตรียมก่อนการกลั่น	ไอน้ำที่ผลิตได้	คอนเดนเสทที่ป้อน
ค่าจริงจากการทำงาน	205	276	17	28
ค่าจากการออกแบบ	220	276	22	28

หมายเหตุ: \* ข้อมูลจากตารางไอน้ำอิมตัว

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Satterfield, C. N. 1991. **Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice**. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill.
- [2] Froment, G. F. and Bischoff, K. B. 1990. **Chemical Reactor Analysis and Design**. 2nd ed. USA: John Wiley & Sons.
- [3] **Operation manual**: Continental Petrochemicals (Thailand) Co., Ltd.
- [4] Wiedemann, O. and Gierer, W. 1979. "Phthalic anhydride made with less energy" **Chemical Engineering**. 86 (3): 62-63.
- [5] Zimmer, J. C. 1974. "Low Air-Feedrate Cuts Phthalic Anhydride Costs" **Chemical Engineering**. 81 (5): 82-83.
- [6] ปราณี พันธุมสินชัย. 2542. มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- [7] Wigglesworth, D. เพิ่มกำไรและลดของเสียด้วยเทคโนโลยีสะอาด สำหรับสถานประกอบการขนาดเล็ก. แปลโดย โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและการพัฒนาที่ยั่งยืน กรุงเทพฯ: สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [8] Hazardous Waste Reduction Program, Oregon Department of Environmental Quality. วิธีการลดของเสียที่เป็นตัวทำลายและการนำกลับคืน. แปลโดย ผศ. จินดา อุดชาชน: โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและการพัฒนาที่ยั่งยืน. กรุงเทพฯ: สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [9] Bridgewater, A. V. and Mumford, C. J. 1979. **Waste Recycling and Pollution Control Handbook**. Great Britain: George Goldwin Limited.
- [10] Cunningham, W.P. and Saigo, B.P., 1999. **Environmental Science**. USA: McGraw-Hill.
- [11] Berman, H. L., 1979. "Fired Heaters: Finding the basic design for your application" 286-292. in Cavaseno, V. **Process Heat Exchange**. New York: McGraw-Hill.
- [12] สำนักรักษาความสะอาดกรุงเทพมหานคร. 2538. โรงงานเผาขยะมูลฝอย เล่ม 1. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์.
- [13] Ross, R. D. 1971. "Incineration of Gaseous Wastes" 75-78. in Kirov, N. Y. **Solid Waste Treatment and Disposal: The International of the 1971 Australian Waste Disposal Conference**. New South Wales: Ann Arbor Service Publishers Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] บริษัท ไบเออร์ โพลีเมอร์ จำกัด. 2543. เอกสารประกอบการบรรยายวิชา **Petrochemical Plant and Process Design** เรื่อง กระบวนการผลิตพลาสติกพอลิคาร์บอเนต สไตรีน-อคริไลไนทริลและอคริไลไนทริล-บิวทาไดอิน-สไตรีน.
- [15] Niessen, W. R. 1995. **Combustion and Incineration Processes**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker.
- [16] Tchobonoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S., 1993. **Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues**. Singapore: McGraw-Hill.
- [17] ศูนย์ประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน กองเศรษฐกิจการพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ. 2536. การเผาไหม้เชื้อเพลิงและการบำรุงรักษาหัวเผา. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [18] Campbell, C. E. 1997. "Incineration: Tested & True." **Chemical Engineering**. 100(5): 142-145.
- [19] Leite, O.C. 1998. "Burn Waste Cost-Effectively" **Hydrocarbon Processing**. 5: 119-126.
- [20] Willetts, S. L. 1983. "Liquid Waste Disposal Techniques" 359-378. in Holmes, J. R. **Practical Waste Management**. United Kingdoms.
- [21] Peter, P., Higgins, G. M. and Chadbourne, J., 1986. "Hazardous Waste as Supplemental Fuel for Cement Kilns" 65-69. in **Proceedings of the Twelfth Biennial Conference: 1986 National Waste Processing Conference**. New York: ASME Solid Waste Processing Division.
- [22] Shinozaki, M. and Sudoh, M. 1986. "Recovery and Reutilization of Waste Solvents." 1232-1237. in Thome, K. J. **Recycling Internation Vol. 2**. Berlin: Kozmiensky EF-Verlag für Energie-Und Umwelttechnik.
- [23] Higgins, T. 1989. **Hazardous Waste Minimization Handbook**. USA: Lewis Publishers.
- [24] Vandecasteele, C., Dutré, Block, C. and Schoeters, J., **Incineration**. [Online]. Available: <http://www.bygg.ntnu.no/pbl/elce2000/faginfo/Art9/index.html>. 2001.
- [25] United Nations Environment Programme (UNEP). **Newsletter and Technical Publications <Municipal Solid Waste Management>**. [Online]. Available: [http://www.unep.or.jp/ietc/ESTdir/pub/MSW/RO/Europe/Topic\\_d.asp](http://www.unep.or.jp/ietc/ESTdir/pub/MSW/RO/Europe/Topic_d.asp). 2001.
- [26] Thermal Process Construction Company Inc. **Rotary kiln incinerator**. [Online]. Available: <http://www.tpcon.com/rotary.html>. 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] Von Roll America Inc. **Incineration Process Control Summary**. [Online]. Available: [http://www.vonrollwti.com/custom/op\\_kln.html](http://www.vonrollwti.com/custom/op_kln.html). 2001.
- [28] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2536. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน. กรุงเทพฯ.
- [29] Brunner, C. R. 1993. **Hazardous Waste Incineration**. 2nd ed. USA: McGraw-Hill.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูล

ตารางที่ ก.1 ปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการกำจัด พ.ศ. 2541-2544

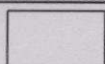
ปี	ปริมาณกากของเสีย (ตัน)	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย <sup>1</sup> (บาท)
2541	550.05	3,575,325
2542	262.96	552,216
2543	38.43 <sup>2</sup>	80,703
2544	0 <sup>3</sup>	0

- หมายเหตุ: 1. กากของเสียถูกส่งไปกำจัดโดยบริษัท ก ในปี 2541 (6,500 บาทต่อตัน) และโดยบริษัท ข ตั้งแต่ปี 2542 (2,100 บาทต่อตัน)
2. กากของเสียทั้งหมด 38.43 ตันเป็นกากของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงมกราคม-พฤษภาคม
3. ข้อมูลเดือน มกราคม-กรกฎาคม

ตารางที่ ก.2 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียวกับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริม พ.ศ. 2541

วันที่	ปริมาณการ ใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)	วันที่	ปริมาณการ ใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)	วันที่	ปริมาณการ ใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)	วันที่	ปริมาณการ ใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)
1/8/41	7,330	17/8/41	6,597	12/9/41	3,244	4/10/41	5,591
2/8/41	7,152	24/8/41	4,994	13/9/41	3,150	11/10/41	5,943
3/8/41	7,308	25/8/41	4,204	14/9/41	4,477	17/10/41	7,468
4/8/41	7,409	26/8/41	5,215	15/9/41	4,587	26/10/41	7,795
5/8/41	6,894	28/8/41	4,880	16/9/41	4,122	27/10/41	7,852
6/8/41	7,167	2/9/41	5,947	17/9/41	7,774	28/10/41	7,588
7/8/41	6,742	3/9/41	5,758	18/9/41	3,659	29/10/41	7,580
8/8/41	6,861	4/9/41	5,698	19/9/41	5,348	30/10/41	6,420
9/8/41	5,742	5/9/41	5,938	25/9/41	3,199	29/11/41	6,639
11/8/41	5,200	6/9/41	5,984	27/9/41	4,361	3/12/41	6,453
12/8/41	5,722	10/9/41	3,695	28/9/41	5,620	4/12/41	6,494
13/8/41	5,053	11/9/41	3,231	30/9/41	4,693		

หมายเหตุ:



น้ำมันเตา



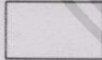
น้ำมันเตากับของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

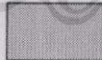
ตารางที่ ก.3 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียวกับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริม พ.ศ. 2542

วันที่	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)	วันที่	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)	วันที่	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)	วันที่	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)
2/1/42	7,971	27/6/42	7,798	22/8/42	7,298	3/11/42	6,602
4/1/42	7,983	4/7/42	7,180	23/8/42	7,144	4/11/42	6,440
5/1/42	7,976	7/7/42	7,668	25/8/42	6,043	18/11/42	6,146
9/1/42	6,866	8/7/42	7,470	26/8/42	6,400	24/11/42	8,722
13/1/42	6,823	9/7/42	7,635	29/8/42	7,643	1/12/42	8,297
15/1/42	5,695	10/7/42	7,694	5/10/42	7,423	4/12/42	8,321
1/2/42	5,081	11/7/42	7,480	6/10/42	7,088	5/12/42	8,396
25/2/42	6,054	15/7/42	6,336	7/10/42	7,537	7/12/42	8,447
27/2/42	6,643	20/7/42	7,245	9/10/42	5,983	8/12/42	8,210
3/3/42	6,287	21/7/42	7,780	11/10/42	6,076	12/12/42	8,116
14/3/42	7,723	22/7/42	7,658	14/10/42	5,559	13/12/42	7,844
15/3/42	7,697	23/7/42	7,668	16/10/42	7,680	20/12/42	6,155
16/3/42	7,877	24/7/42	7,398	19/10/42	6,226	21/12/42	8,330
17/3/42	6,495	25/7/42	6,211	23/10/42	6,140	24/12/42	8,529
1/6/42	6,746	9/8/42	7,867	25/10/42	7,985	25/12/42	8,520
12/6/42	7,412	12/8/42	6,744	27/10/42	6,053	26/12/42	8,503
15/6/42	8,008	15/8/42	7,357	2/11/42	6,761	28/12/42	6,629
24/6/42	6,862	21/8/42	7,391				

หมายเหตุ:



น้ำมันเตา



น้ำมันเตากับของเสีย

ตารางที่ ก.4 จำนวนชั่วโมงที่มีการใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริมภายในเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน

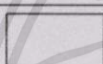
เดือน-ปี	จำนวนชั่วโมง	เดือน-ปี	จำนวนชั่วโมง	เดือน-ปี	จำนวนชั่วโมง
ส.ค. 41	190.5	ก.พ. 42	305	ส.ค. 42	260
ก.ย. 41	488.5	มี.ค. 42	303	ก.ย. 42	364
ต.ค. 41	364	เม.ย. 42	133	ต.ค. 42	408
พ.ย. 41	457	พ.ค. 42	47.5	พ.ย. 42	325
ธ.ค. 41	323	มิ.ย. 42	358.5	ธ.ค. 42	179
ม.ค. 42	316	ก.ค. 42	159.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

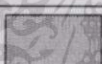
ตารางที่ ก.5 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียวกับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมที่อัตราการผลิต  $100 \pm 5$  ตัน/วัน

วันที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ลิตร)	อัตราการผลิต (ตัน)	วันที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ลิตร)	อัตราการผลิต (ตัน)
17/10/41	7,468	96.53	15/7/42	6,336	100.1
29/10/41	7,580	95.57	22/7/42	7,658	99.56
29/11/41	6,639	104.72	18/6/43	6,939	96.62
27/2/42	6,643	97.48	19/6/43	6,849	98.68
17/3/42	6,495	97.26	24/6/43	6,012	101.27
1/6/42	6,746	101.98	2/7/43	6,824	100.77
15/6/42	8,008	97.22	12/7/43	6,839	95.38
4/7/42	7,180	101.74	10/9/43	6,172	98.23
8/7/42	7,470	95.41			

หมายเหตุ:



น้ำมันเตา



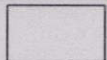
น้ำมันเตากับของเสีย

เริ่มการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสีย เดือนมิถุนายน 2543

ตารางที่ ก.6 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติระหว่างวันที่มีการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างเดียวกับวันที่มีการใช้ก๊าซธรรมชาติร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริม พ.ศ. 2543 ที่อัตราการผลิต  $100 \pm 5$  ตัน/วัน

วันที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ลูกบาศก์เมตร)	อัตราการผลิต (ตัน)	วันที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ลูกบาศก์เมตร)	อัตราการผลิต (ตัน)
5/10/43	12,544	98.99	15/11/43	13,065	101.54
11/10/43	13,004	98.01	17/12/43	12,783	102.63
21/10/43	13,148	100.83	22/12/43	13,258	100.76
10/11/43	10,489	98.22	5/1/44	14,623	102.51
11/11/43	12,164	98.94	31/1/44	11,932	104.23
12/11/43	13,543	100.58			

หมายเหตุ:



ก๊าซธรรมชาติ



ก๊าซธรรมชาติกับของเสีย

เปลี่ยนใช้ก๊าซธรรมชาติแทนน้ำมันเตาในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์  
เดือนตุลาคม 2543

## ภาคผนวก ข

## ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 ของเสียจากกระบวนการผลิตรวม คือ ของเสียที่ถูกส่งไปกำจัด และของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในเตาเผาให้ความร้อนแก่ตัวกลางน้ำมัน ซึ่งสามารถคำนวณจากปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิต (ตารางที่ ก.1) และปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในแต่ละเดือน โดยคิดจากปริมาณน้ำมันเตาที่ทดแทนด้วยของเสียในแต่ละเดือน ของ พ.ศ. 2541-2542 ซึ่งคำนวณจาก ตารางที่ ก.2 และ ก.3 ในภาคผนวก ก

ปริมาณของเสียรวม

$$= \text{ปริมาณของเสียที่ถูกส่งไปกำจัด} + \text{ปริมาณของเสียใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม}$$

ปริมาณของเสียที่ถูกส่งไปกำจัด พ.ศ. 2541-2542

$$= 550.05 + 262.96$$

$$= 813.01 \text{ ตัน}$$

ปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม (สามารถคำนวณโดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันเตาเฉลี่ยวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียวกับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริม แสดงตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ข้อมูลเดือนสิงหาคม 2541)

ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเฉลี่ยวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียว เดือนสิงหาคม 2541

$$= (7,330 + 7,152 + 7,308 + 7,409 + 6,894 + 7,167 + 6,742 + 6,861 + 5,742 + 6,597 + 4,994 + 4,204 + 5,215) / 13$$

$$= 6,432 \text{ ลิตร/วัน}$$

ปริมาณการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริม เดือนสิงหาคม 2541

$$= (5,200 + 5,722 + 5,053 + 4,880) / 4$$

$$= 5,214 \text{ ลิตร/วัน}$$

คิดเป็นน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ในเดือนสิงหาคม 2541

$$= 6,432 - 5,214$$

$$= 1,218 \text{ ลิตร/วัน}$$

คิดเป็นพลังงานที่ทดแทนได้ในเดือนสิงหาคม 2541

$$= 1,218 \text{ ลิตร/วัน} \times 9,700 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม} \times 0.951 \text{ กิโลกรัม/ลิตร}$$

$$= 11,237,281 \text{ กิโลแคลอรี/วัน}$$

ดังนั้นปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมเทียบเท่ากับพลังงานที่ทดแทนได้ในเดือนสิงหาคม

$$= (11,237,281 \text{ กิโลแคลอรี/วัน}) \times (1 \text{ ตัน}/1,000 \text{ กิโลกรัม}) /$$

$$4,800 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม}$$

$$= 2.34 \text{ ตัน/วัน}$$

(ค่าความร้อนของของเสียจากกระบวนการผลิต = 4,800 กิโลแคลอรี [3])

ผลการคำนวณปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมเดือนสิงหาคม-ธันวาคม แสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ผลการคำนวณหาปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม

เดือน	ต.ค. 41	ก.ย. 41	ต.ค. 41	พ.ย. 41	ธ.ค. 41
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ทดแทน (ลิตร/วัน)	1,218	1,496	NA	NA	NA
คิดเป็นพลังงาน (กิโลแคลอรี/วัน)	11,237,281	13,804,105	NA	NA	NA
ปริมาณของเสีย (ตัน/วัน)	2.34	2.86	NA	NA	NA
เวลาที่ทำการเผาของเสีย (ชั่วโมง)*	190.5	488.5	364	457	323

หมายเหตุ: \* เวลาที่ทำการเผาของเสียในเดือนนั้น

NA ไม่มีข้อมูลการใช้น้ำมันเตาอย่างเสียทั้งวันและไม่มีข้อมูลการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียทั้งวัน จึงไม่มีค่าเฉลี่ยดังกล่าว

ปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมใน พ.ศ. 2541

$$= \text{ปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือน (ตารางที่ ข.1)} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่มีการใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริม (ตารางที่ ก.4)}$$

$$= ((2.34+2.86 \text{ ตัน/วัน})/2) \times (190.5+488.5+364+457+323 \text{ ชั่วโมง})$$

$$\times (1 \text{ วัน}/24 \text{ ชั่วโมง})$$

$$= 198.14 \text{ ตัน}$$

ทำการคำนวณเช่นเดียวกับปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมใน พ.ศ. 2541 จะได้ปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม พ.ศ. 2542 คือ 244 ตัน

ปริมาณของเสียทั้งหมดใน พ.ศ. 2541-2542

$$\begin{aligned}
 &= \text{ปริมาณของเสียที่ส่งไปกำจัด} + \text{ปริมาณของเสียที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม} \\
 &= (550.05+262.96)+(198.14 +244) \text{ ตัน} \\
 &= 1,255.15 \text{ ตัน}
 \end{aligned}$$

คิดเป็นปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อปี

$$\begin{aligned}
 &= 1,255.15 \text{ ตัน}/(2 \text{ ปี}) \\
 &= 627.58 \text{ ตัน/ปี}
 \end{aligned}$$

คิดเป็นปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อวัน

$$\begin{aligned}
 &= 627.58 \text{ ตัน/ปี}/300 \text{ วัน/ปี} \\
 &= 2.09 \text{ ตัน/วัน} \quad (\text{กำหนดให้ 1 ปี ทำการผลิต 300 วัน})
 \end{aligned}$$

ข.2 เมื่อใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริม โดยไม่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการใด ๆ บริษัท ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสีย 262.96 ตัน ในพ.ศ. 2542 และ 38.43 ตัน ในเดือนมกราคม 2543-พฤษภาคม 2544 (ตารางที่ ก.1) รวมระยะเวลา 17 เดือน คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียเฉลี่ย

$$\begin{aligned}
 &= ((262.96 + 38.43) \text{ ตัน} \times (12 \text{ เดือน}/17 \text{ เดือน}) \times 2,100 \text{ บาท/ตัน})/1 \text{ ปี} \\
 &= 446,766 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

ข.3 การหาปริมาณน้ำมันเตาที่ประหยัดได้จากการใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงเสริม โดยที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสีย โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้ น้ำมันเตาระหว่างวันที่มีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียวกับวันที่มีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมที่อัตราการผลิต  $100 \pm 5$  ตัน/วัน (ตารางที่ ก.6) ในช่วงก่อนการปรับปรุง (สิงหาคม 2541-พฤษภาคม 2543) และหลังการปรับปรุง (มิถุนายน 2543-กันยายน 2543) สามารถคำนวณได้จาก

ปริมาณน้ำมันเตาเฉลี่ยเมื่อมีการใช้น้ำมันเตาอย่างเดียวก่อนการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 &= (7,468+7,580+6,495+8,008+7,470+7,658)/6 \\
 &= 7,447 \text{ ลิตร/วัน}
 \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำมันเตาเฉลี่ยเมื่อมีการใช้น้ำมันเตาร่วมกับใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเสริมก่อนการปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 &= (6,639+6,643+6,746+7,180+6,336)/5 \\
 &= 6,709 \text{ ลิตร/วัน}
 \end{aligned}$$

คิดเป็นมูลค่าก๊าซธรรมชาติที่ประหยัดได้

$$\begin{aligned}
 &= (103 \text{ ลิตร/วัน} \times 9,700 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม} \times 0.951 \text{ กิโลกรัม/ลิตร} \times \\
 &\quad 179 \text{ บาท/ล้านบีทียู} \times 1 \text{ ล้านบีทียู/1,000,000 บีทียู}) / \\
 &\quad 0.251996 \text{ กิโลแคลอรี/บีทียู} \quad (\text{ราคาก๊าซธรรมชาติ } 179 \text{ บาท/ล้านบีทียู}) \\
 &= 674.91 \text{ บาท/วัน} \\
 &= 674.91 \text{ บาท/วัน} \times (300 \text{ วัน}) / (1 \text{ ปี}) \\
 &= 202,474 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

ข.4 ผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์: การคำนวณระยะเวลาคืนทุนจากการปรับปรุงกระบวนการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิต

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ค่าวัสดุและค่าติดตั้งถังหลอมกากของเสีย)

$$= 175,000 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสีย (จาก ข.2)

$$= 446,766 \text{ บาท/ปี}$$

มูลค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ (จาก ข.3)

$$= 249,981 \text{ บาท/ปี}$$

คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ทั้งสิ้น

$$= 249,981 + 446,766$$

$$= 696,747 \text{ บาท/ปี}$$

ระยะเวลาคืนทุน =  $175,000 \text{ บาท} / 696,747 \text{ บาท/ปี} = 0.25 \text{ ปี}$

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน พ.ศ. 2543-2544

หลังการปรับปรุงกระบวนการ บริษัทฯ ใช้เชื้อเพลิงหลักทั้งน้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติ เพื่อผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ด้วยก๊าซธรรมชาติและไดออกทิลพาทาเลตด้วยก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตา ข้อมูลปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัทเดือนตุลาคม 2543-เมษายน 2544 มีการเบ่งน้ำมันถ่ายเทความร้อนมาใช้ในกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาเลต แต่ยังไม่มีการขยายกำลังการผลิตไดออกทิลพาทาเลต

ตัวอย่างการคำนวณใช้ข้อมูล: เดือนตุลาคม 2543 (ตารางที่ ก.1) บริษัทฯ ผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ และไดออกทิลพาทาเลต 2,956.72 และ 1,832.85 ตัน มีการใช้เชื้อเพลิงดังนี้

- กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ใช้ก๊าซธรรมชาติ 12,363.15 ล้านบีทียู ค่าก๊าซธรรมชาติที่จ่าย 2,802,557 บาท

- กระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาเลตใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติ 4,500 ลิตร และ 2,060.53 ล้านบีทียู ค่าน้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติที่จ่าย 43,650 บาท และ 467,093 บาท

กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์:

ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$= 12,363.15 \text{ ล้านบีทียู} / 2,956.72 \text{ ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

$$= 4.18 \text{ ล้านบีทียู/ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$= \text{ปริมาณการใช้พลังงานรวม/อัตราการผลิตรวม}$$

$$= (12,363.15 + 13,169.02 + 12,069.98 + 15,256.88 + 10,032.14 + 10,377.56) /$$

$$(2,956.72 + 2,988.10 + 3,013.71 + 2,942.42 + 2,642.24 + 2,654.76)$$

$$= 4.26 \text{ ล้านบีทียู/ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

ค่าเชื้อเพลิงที่จ่ายในเดือนตุลาคม = 2,802,557 บาท ดังนั้น

มูลค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$= 2,802,557 \text{ บาท} / 2,956.72 \text{ ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

$$= 948 \text{ บาท/ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

มูลค่าพลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$\begin{aligned}
 &= \text{มูลค่าพลังงานรวม/อัตราการผลิตรวม} \\
 &= (2,802,557 + 2,585,716 + 2,377,939 + 2,755,405 + 1,820,291 + 1,940,181) / \\
 &\quad (2956.72 + 2,988.10 + 3,013.71 + 2,942.42 + 2,642.24 + 2,654.76) \\
 &= 831 \text{ บาท/ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}
 \end{aligned}$$

กระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์:

กระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์ใช้น้ำมันเตา 4,500 ลิตร คิดเป็นพลังงาน

$$\begin{aligned}
 &= (4,500 \text{ ลิตร} \times 9,700 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม} \times 0.951 \text{ กิโลกรัม/ลิตร} \\
 &\quad \times 1 \text{ ล้านบีทียู}) / (0.251996 \text{ กิโลแคลอรี/บีทียู} \times 1,000,000 \text{ บีทียู}) \\
 &= 164.73 \text{ ล้านบีทียู}
 \end{aligned}$$

(คำนวณพลังงานของน้ำมันเตาในหน่วยบีทียู เพื่อรวมกับพลังงานของก๊าซธรรมชาติที่มีหน่วยซื้อขายเป็นบีทียู)

ปริมาณการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$\begin{aligned}
 &= \text{ปริมาณการใช้พลังงานของน้ำมันเตา} + \text{ปริมาณการใช้พลังงานของ} \\
 &\quad \text{ก๊าซธรรมชาติ} \\
 &= 164.73 + 2,060.53 \\
 &= 2,225.26 \text{ ล้านบีทียู}
 \end{aligned}$$

ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$\begin{aligned}
 &= 2,225.26 \text{ ล้านบีทียู} / 1,832.85 \text{ ตัน ไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์} \\
 &= 1.21 \text{ ล้านบีทียู/ตัน ไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์}
 \end{aligned}$$

ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิตไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$= 1.77 \text{ ล้านบีทียู/ตัน ไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

ค่าเชื้อเพลิงที่จ่าย

$$\begin{aligned}
 &= 43,650 + 467,093 \text{ บาท} \\
 &= 510,743 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

มูลค่าเชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$\begin{aligned}
 &= 510,743 \text{ บาท} / 1,832.85 \text{ ตัน ไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์} \\
 &= 279 \text{ บาท/ตัน ไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์}
 \end{aligned}$$

มูลค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิตไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$= 346 \text{ บาท/ตัน ไดออกทิลพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

รวม:

ปริมาณการใช้พลังงานของบริษัท ฯ

$$\begin{aligned}
 &= \text{ปริมาณการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์} + \\
 &\quad \text{ปริมาณการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาเลต} \\
 &= 12,363.15 + 2,225.26 \\
 &= 14,588.41 \text{ ล้านบีทียู}
 \end{aligned}$$

ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยของบริษัท ฯ

$$= 14,990.57 \text{ ล้านบีทียู}$$

มูลค่าการใช้พลังงานรวมของบริษัท ฯ

$$\begin{aligned}
 &= \text{มูลค่าการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์} \\
 &\quad + \text{มูลค่าการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตไดออกทิลพาทาเลต} \\
 &= 2,802,557 + 43,650 + 467,093 \\
 &= 3,313,300 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

มูลค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยของบริษัท ฯ

$$= 2,924,004 \text{ บาท}$$

สำหรับข้อมูลที่มีการขายกำลังการผลิต ไดออกทิลพาทาเลต พฤษภาคม-สิงหาคม 2544 มีดังนี้

ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$= 4.08 \text{ ล้านบีทียู/ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

มูลค่าพลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

$$= 755 \text{ บาท/ตันพาทาลิกแอนไฮไดรด์}$$

ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิต ไดออกทิลพาทาเลต

$$= 1.94 \text{ ล้านบีทียู/ตันไดออกทิลพาทาเลต}$$

มูลค่าพลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยการผลิต ไดออกทิลพาทาเลต

$$= 374 \text{ บาท/ตันไดออกทิลพาทาเลต}$$

ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยของบริษัท ฯ

$$= 17,429 \text{ ล้านบีทียู}$$

มูลค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยของบริษัท ฯ

$$= 3,273,460 \text{ บาท}$$

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัท ฯ มกราคม 2543-สิงหาคม 2544 ตารางที่ ก.2 สรุปข้อมูลปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัท ฯ ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงของเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัท พ.ศ. 2543-2544

เดือน	น้ำมันเตา (ลิตร)		น้ำมันเตา (ล้านบาท)		ก๊าซธรรมชาติ (ล้านบิตู)		ก๊าซธรรมชาติ (ล้านบาท)		ค่าก๊าซธรรมชาติ ที่จ่าย (บาท)		ปริมาณพลังงานรวม (ล้านบาท)		มูลค่าพลังงานรวม (บาท)		ปริมาณพลังงานต่อหน่วยการผลิต (ล้านบาท/ตัน)		มูลค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต (บาท/ตัน)		ปริมาณพลังงานรวม (ล้านบาท)	ปริมาณพลังงานรวม (ล้านบาท)	มูลค่าพลังงานรวม (ล้านบาท)	ปริมาณพลังงานรวม (ล้านบาท)	
	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP					
ม.ค.	290,000	43,000	10,615.89	1,574.08	0	0	2,570.20	1,455.09	2,119,900	314,330	0	0	10,615.89	1,574.08	2,119,900	314,330	4.13	1.08	825	216	12,189.98	PA + DOP	2,434,230
ก.พ.	247,500	47,000	9,060.12	1,720.51	0	0	2,624.80	1,511.34	1,786,950	339,340	0	0	9,060.12	1,720.51	1,786,950	339,340	3.45	1.14	681	225	10,780.62	PA + DOP	2,126,290
มี.ค.	277,500	47,500	10,158.31	1,738.81	0	0	2,693.19	1,587.84	2,114,550	361,950	0	0	10,158.31	1,738.81	2,114,550	361,950	3.77	1.10	785	228	11,897.12	PA + DOP	2,476,500
เม.ย.	199,500	46,000	7,303.00	1,683.90	0	0	1,773.20	1,367.82	1,500,240	345,920	0	0	7,303.00	1,683.90	1,500,240	345,920	4.12	1.23	846	253	8,986.90	PA + DOP	1,846,160
พ.ค.	198,500	47,000	7,266.40	1,720.51	0	0	1,429.42	1,429.53	1,562,195	369,890	0	0	7,266.40	1,720.51	1,562,195	369,890	5.08	1.20	1,093	259	8,986.90	PA + DOP	1,932,085
เม.ย.	253,625	45,875	9,284.33	1,679.32	0	0	2,415.35	1,480.52	1,880,410	340,385	0	0	9,284.33	1,679.32	1,880,410	340,385	3.84	1.13	779	230	10,963.66	PA + DOP	2,220,795
มิ.ย.	282,500	49,000	10,341.35	1,793.72	0	0	2,830.08	1,728.27	2,147,000	372,400	0	0	10,341.35	1,793.72	2,147,000	372,400	3.65	1.04	759	215	12,135.07	PA + DOP	2,519,400
ก.ค.	316,000	49,000	11,567.66	1,793.72	0	0	2,983.24	1,825.27	2,423,720	375,830	0	0	11,567.66	1,793.72	2,423,720	375,830	3.88	0.98	813	206	13,361.38	PA + DOP	2,799,550
เฉลี่ย	299,250	49,000	10,954.51	1,793.72	0	0	2,906.16	1,776.77	2,285,360	374,115	0	0	10,954.51	1,793.72	2,285,360	374,115	3.77	1.01	786	211	12,748.23	PA + DOP	2,659,475
ส.ค.	366,800	0	13,427.28	0	0	0	3,000.88	1,637.94	2,659,300	0	0	0	13,427.28	0	2,659,300	0	4.47	0	886	0	13,427.28	PA + DOP	2,659,300
ก.ย.	289,700	7,500	10,604.91	274.55	0	0	2,369.20	1,611.60	2,172,750	56,250	0	0	10,604.91	274.55	2,172,750	56,250	4.48	0.17	917	35	10,879.46	PA + DOP	2,229,000
เฉลี่ย	328,250	3,750	12,016.09	137.27	0	0	2,685.04	1,624.77	2,416,025	28,125	0	0	12,016.09	137.27	2,416,025	28,125	4.48	0.08	900	17	12,153.37	PA + DOP	2,444,150
ต.ค.	0	4,500	0.00	164.73	12,363.15	2,060.53	2,956.72	1,832.85	0	43,650	2,802,557	467,093	12,363.15	2,225.26	2,802,557	510,743	4.18	1.21	948	279	14,588.41	PA + DOP	3,313,300
พ.ย.	0	0	0.00	0.00	13,169.02	2,194.84	2,988.10	1,777.54	0	0	2,585,716	430,953	13,169.02	2,194.84	2,585,716	430,953	4.41	1.23	865	242	15,363.86	PA + DOP	3,016,669
ธ.ค.	0	0	0.00	0.00	12,069.98	2,011.66	3,013.71	1,746.35	0	0	2,377,939	396,323	12,069.98	2,011.66	2,377,939	396,323	4.01	1.15	789	227	14,081.64	PA + DOP	2,774,262

ตารางที่ ค.1 ปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัท พ.ศ. 2543-2544 (ต่อ)

เดือน	น้ำมันเตา (ลิตร)		น้ำมันเตา (ล้านบียู)		ก๊าซธรรมชาติ (ล้านบียู)		อัตราการผลิต (ตัน)		ค่าน้ำมันเตาที่จ่าย (บาท)		ค่าก๊าซธรรมชาติ ที่จ่าย (บาท)		ปริมาณพลังงานรวม (ล้านบียู)		มูลค่าพลังงานรวม (บาท)		ปริมาณพลังงานต่อหน่วยการผลิต (ล้านบียู/ตัน)		มูลค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต (บาท/ตัน)		ปริมาณพลังงานรวม (ด้านบียู)		มูลค่าพลังงานรวม (บาท)			
	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
ม.ค.	0	0	0	0	15,256.88	2,542.81	2,949.42	1,771.29	0	0	2,755,405	459,234	15,256.88	2,542.81	2,755,405	459,234	5.17	1.44	934	259	17,799.69	3,214,639	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
ก.พ.	0	24,500	0	896.86	4,300.05	1,433.35	904.90	1,377.50	0	206,290	808,108	269,369	4,300.05	2,330.21	808,108	475,659	4.75	1.69	893	345	6,630.26	1,283,767	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
มี.ค.	0	0	0	0	10,032.14	3,344.05	2,632.24	1,178.96	0	0	1,820,291	606,764	10,032.14	3,344.05	1,820,291	606,764	3.81	2.84	692	515	13,376.19	2,427,055	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
เม.ย.	0	24,500	0	896.86	10,377.56	3,459.19	2,654.76	1,132.24	0	211,190	1,940,181	646,727	10,377.56	4,356.05	1,940,181	857,917	3.91	3.85	731	758	14,733.61	2,798,099	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
พ.ค.	0	4,833	0	176.93	12,211.46	2,602.18	2,865.83	1,573.20	0	42,473	2,380,348	501,182	12,211.46	2,779.11	2,380,348	543,656	4.26	1.77	831	346	14,990.57	2,924,004	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
มิ.ย.	0	45,000	0	1,812.02	12,477.62	4,159.21	2,857.51	3,175.16	0	482,625	2,323,996	774,665	12,477.62	5,971.23	2,323,996	1,257,290	4.37	1.88	813	396	18,448.85	3,581,286	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
ก.ค.	0	50,000	0	1,647.29	10,863.72	3,621.24	2,912.25	2,870.84	0	438,750	2,030,941	676,980	10,863.72	5,268.53	2,030,941	1,115,730	3.73	1.84	697	389	16,132.25	3,146,672	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
ส.ค.	0	28,500	0	1,830.33	11,203.58	3,734.53	2,696.04	2,904.71	0	431,500	2,063,860	687,953	11,203.58	5,564.86	2,063,860	1,119,453	4.16	1.92	766	385	16,768.44	3,183,313	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
ธ.ค.	0	43,250	0	1,043.29	12,820.77	4,504.59	3,150.85	2,598.63	0	0	2,355,102	827,468	12,820.77	5,547.88	2,355,102	827,468	4.07	2.13	747	318	18,368.65	3,182,570	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP
เฉลี่ย	0	43,250	0	1,583.23	11,841.42	4,004.89	2,904.16	2,887.34	0	338,219	2,193,475	741,767	11,841.42	5,588.13	2,193,475	1,079,986	4.08	1.94	755	374	17,429.55	3,273,460	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP	PA + DOP

หมายเหตุ: กิตติพลังงานของน้ำมันเตาในหน่วยเดียวกับก๊าซธรรมชาติซึ่งซื้อขายในหน่วยบียู

ม.ค.43-พ.ค. 43

ก่อนปรับปรุงการใช้น้ำมันเตา

ค.ค.43-มิ.ย. 44

หลังปรับปรุงการใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติ

มิ.ย.43-ก.ค. 43

หลังปรับปรุงการใช้น้ำมันเตา

แบ่งน้ำมันถ่านหิน

ส.ค.43-ก.ย. 43

หลังปรับปรุงการใช้น้ำมันเตา

หลังปรับปรุงการใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติ

แบ่งน้ำมันถ่านหิน

แบ่งน้ำมันถ่านหิน

ขยายกำลังการผลิตได้ออกกิตติบาทละ

ตารางที่ ค.2 สรุปปริมาณและมูลค่าการใช้เชื้อเพลิงของบริษัท พ.ศ. 2543-2544

สถานะการใช้ น้ำมันถ่านหิน ความร้อน	เชื้อเพลิงที่ใช้		ช่วงเวลา	สภาวะ การปรับปรุง	อัตราการผลิตเฉลี่ย (ตัน/เดือน)		ปริมาณพลังงานรวม (ล้านบีทียู/เดือน)		มูลค่าพลังงานรวม (บาท/เดือน)		ปริมาณพลังงาน ต่อหน่วยการผลิต (ล้านบีทียู/ตัน)	มูลค่าพลังงาน ต่อหน่วยการผลิต (บาท/ตัน)		ปริมาณ พลังงานรวม PA + DOP (ล้านบาท)	มูลค่า พลังงานรวม PA + DOP (บาท)
	PA	DOP			PA	DOP	PA	DOP	PA	DOP					
ก่อนแบ่ง น้ำมันถ่านหิน ความร้อน	น้ำมันเตา	น้ำมันเตา	ม.ค.43-ม.ย.43*	ก่อนปรับปรุง	2,415.35	1,480.52	9,284.33	1,679.32	1,880,410	340,385	3.84	779	230	10,963.66	2,220,795
	น้ำมันเตา	น้ำมันเตา	มิ.ย.43-ก.ค.43	หลังปรับปรุง	2,906.16	1,776.77	10,954.51	1,793.72	2,285,360	374,115	3.77	786	211	12,748.23	2,659,475
หลังแบ่ง น้ำมันถ่านหิน ความร้อน	น้ำมันเตา	น้ำมันเตา	ส.ค.43-ก.ย.43	หลังปรับปรุง	2,685.04	1,624.77	12,016.09	137.27	2,416,025	28,125	4.48	900	17	12,153.37	2,444,150
	ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา	ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา	ต.ค.43-ม.ย.44*	หลังปรับปรุง	2,865.83	1,573.20	12,211.46	2,779.11	2,380,348	543,656	4.26	831	346	14,990.57	2,924,004
	ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา	ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา	พ.ค.44-ส.ค.44	หลังปรับปรุง	2,904.16	2,887.34	11,841.42	5,588.13	2,193,475	1,079,986	4.08	755	374	17,429.55	3,273,460

หมายเหตุ: \* เดือนพฤษภาคม 2543 และกุมภาพันธ์ 2544 มีการ Shut down กระบวนการผลิตพาทิกแอมโซไครด์ จึงไม่นำข้อมูลในเดือนดังกล่าวมาคิด

## ประวัติผู้เขียน

นายธรรมนุญ สุกิตติ เกิดที่จังหวัดชลบุรี เมื่อวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2520 จบการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) จากมหาวิทยาลัยบูรพา เมื่อปี พ.ศ. 2542 เคยฝึกงานที่บริษัท ไทยออยล์ จำกัด จังหวัดชลบุรี ในระหว่างเดือนธันวาคม 2540-กุมภาพันธ์ 2541 ขณะที่ยังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ได้ทำวิทยานิพนธ์ที่บริษัท คอนทินเนนทอล ปีโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด

ผลงานวิจัยเรื่อง Using Phthalic Anhydride Waste as an Additional Fuel for Oil Heating System in a Phthalic Anhydride Plant นำเสนอในการประชุมวิชาการ Asia-Pacific Roundtable for Cleaner Production ครั้งที่ 3 ซึ่งจัดขึ้นที่กรุงมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์ ถึง 2 มีนาคม พ.ศ. 2544 ([www.aprcp.org](http://www.aprcp.org)) และผลงานวิจัยเรื่อง Phthalic Anhydride Waste: An Additional Fuel for a Vertical-Structured Furnace ขณะนี้อยู่ในช่วงการแก้ไขตามคำแนะนำจากคณะกรรมการประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ใน Asian Journal of Energy and Environment