สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แนวทางการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ สำหรับต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม

ภัสสร ไวยศยะวรรณ์

อมตะ อนันต์พินิจวัฒนา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104372
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Guidelines for Energy Utilization in a Phthalic Anhydride Process for the Optimum Energy Cost

Phatsorn Waisayawan

Amata Anantpinijwattana

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	แนวทางการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์สำหรับต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม
โดย	นางสาวภัสสร ไวยศยะวรรณ์
	นายอมตะ อนันต์พินิจวัฒนา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศิริพล คุณาธิปพงษ์
	General Manager (Technical & Production) และ QMR
	บริษัท คอนทิเนนทอล ปิโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับพิจารณาและอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ศิริพล คุณาธิปพงษ์)

.....กรรมการ
(ผศ.รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แนวทางการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์สำหรับต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม

โดย นางสาวภัสสร ไวยศยะวรรณ์

นายอมตะ อนันต์พินิจวัฒนา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศิริพล คุณาธิปพงษ์

General Manager (Technical & Production) and QMR

บริษัท คอนทิเนนทอล ปิโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เสนอแนวทางปรับปรุงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เพื่อต้นทุนที่เหมาะสม ขั้นแรกคือการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้ ในงานนี้พิจารณามูลค่าของพลังงานจากไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนระหว่างการนำไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์แทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ กับการนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำ 2 เครื่อง ผลการคำนวณต้นทุนของพลังงานโดยใช้ข้อมูลทางทฤษฎีและข้อมูลที่เก็บจากกระบวนการพบว่ามูลค่าของการนำไอน้ำไปใช้ให้ความร้อนสูงกว่าการนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ และขั้นที่สองคือวางแผนการใช้ไอน้ำจากปริมาณไอน้ำที่ได้นี้เพื่อใช้ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต (Start Up) พบว่าควรนำไอน้ำนี้ไปแทนไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำด้วยน้ำมันเตาก่อน จากนั้นจึงนำไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ และใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ จากแนวทางนี้สามารถลดต้นทุนของค่าพลังงานเฉพาะอุปกรณ์ส่วนที่เกี่ยวข้องได้ ประมาณ 27,000 บาท ต่อการเริ่มกระบวนการผลิต 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Guidelines for Energy Utilization in a Phthalic Anhydride Process for the Optimum Energy Cost
By	Miss Phatsorn Waisayawan
	Mr. Amata Anantpinijwattana
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum
Co-advisor	Dr. Siripoln Kunatippapong
	General Manager (Technical & Production) and QMR
	Continental Petrochemicals (Thailand) Co. Ltd.
Report for	Bachelor of Engineering (Chemical Engineering)
	Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This project proposes guidelines for energy utilization in a phthalic anhydride process for the optimum energy cost. A better alternative of the energy to be used was considered. In this current work, the utilization of steam obtaining from the exothermic reaction of o-xylene oxidation was firstly evaluated. Based on the energy cost calculation from both theoretical and practical data, it was concluded that using this steam as a heating media in the phthalic anhydride process instead of using hot oil preheated by natural gas contributed more benefit than using this steam to produce electricity by 2 steam turbines. Secondly, a plan to use this available steam for starting up the plant was considered. The suggestion was decided by using this steam to replace the steam produced by the boilers, then to use as the heating media instead of hot oil preheated by natural gas, and to produce electricity by steam turbines accordingly. These guidelines accounted for less energy cost due to equipment involved which was about 27,000 Baht per one start up.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณผู้บริหารของ บริษัท คอนทิเนนทอล ปิโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด ดร.ศิริพล คุณาธิปพงษ์ General Manager (Technical & Production) และ QMR อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และทีมงานของบริษัท

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และบริษัท ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงงาน

ขอขอบคุณ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงงาน และตรวจแก้ไขรายงาน ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และคำแนะนำตลอดมา หากมีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

ภัสสร ไวยศยะวรรณ์

อมตะ อนันต์พินิจวัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎี 4

2.1 ดุลพลังงานในระบบเปิดทั่วไป 4

2.2 ดุลพลังงานของกระบวนการเคมี 4

2.3 กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 6

2.4 เทคนิคการประหยัดพลังงาน 10

บทที่ 3 การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน 14

3.1 การเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้เพื่อต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม 14

3.2 วางแผนการใช้ไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 33

4.1 ผลการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้เพื่อต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม 33

4.2 แผนการใช้ไอน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 33

4.3 ข้อเสนอแนะ 33

เอกสารอ้างอิง 35

ภาคผนวก 36

ภาคผนวก ก การคำนวณความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน 37

ภาคผนวก ข ข้อมูลของหม้อไอน้ำ 43

ภาคผนวก ค ข้อมูลของน้ำมันถ่ายเทความร้อนจากบริษัทผู้ผลิต 46

ภาคผนวก ง ข้อมูลของกังหันไอน้ำ 49

ภาคผนวก จ ข้อมูลการเริ่มกระบวนการผลิต 55

ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการใช้พลังงานของบริษัท 62

ภาคผนวก ช การคำนวณมูลค่าพลังงานในการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้ 64

ภาคผนวก ซ การคำนวณมูลค่าพลังงานที่ใช้ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ราคาต่อหน่วยของพลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติปี พ.ศ. 2551 19
ตารางที่ 3.2 สมบัติของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและไอน้ำที่ใช้ในระบบ 22
ตารางที่ 3.3 มูลค่าพลังงานทางทฤษฎีในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต 31
ตารางที่ 3.4 มูลค่าพลังงานจากภาวะปฏิบัติการในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต 32
ตารางที่ ก-1 ความร้อนมาตรฐานของการเกิด 39
ตารางที่ ก-2 องค์ประกอบและสมบัติของผลิตภัณฑ์หลักและ
ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากเครื่องปฏิกรณ์ 37
ตารางที่ ก-3 ความร้อนมาตรฐานของทุกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น 41
ตารางที่ ข-1 อัตราการใช้น้ำมันเตาของหม้อไอน้ำ 12A 44
ตารางที่ ข-2 อัตราการใช้น้ำมันเตาของหม้อไอน้ำ 16A 45
ตารางที่ ค-1 สมบัติของน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ
และน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง 48
ตารางที่ ง-1 ข้อมูลเชิงเทคนิคของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 จากบริษัทผู้ผลิต 49
ตารางที่ ง-2 ข้อมูลเชิงเทคนิคของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 จากบริษัทผู้ผลิต 50
ตารางที่ ง-3 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากภาวะการปฏิบัติงาน 51
ตารางที่ จ-1 อัตราการใช้วัตถุดิบและสาธารณูปโภคระหว่างเริ่มกระบวนการผลิตครั้งที่ 1 55
ตารางที่ จ-2 อัตราการใช้วัตถุดิบและสาธารณูปโภคระหว่างเริ่มกระบวนการผลิตครั้งที่ 2 60
ตารางที่ ฉ-1 อัตราการใช้ไฟฟ้าในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ทั้ง 2 โรงงาน
ไดออกทิลพาทาเลต และอาคารสำนักงาน 62
ตารางที่ ฉ-2 อัตราการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ทั้ง 2 โรงงาน
และไดออกทิลพาทาเลต 63
ตารางที่ ช-1 มูลค่าพลังงานเมื่อนำไอน้ำไปให้ความร้อนแทน
น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ 69
ตารางที่ ช-2 มูลค่าพลังงานเมื่อนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 72
ตารางที่ ช-3 มูลค่าพลังงานเมื่อนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 75
ตารางที่ ช-4 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของรูปแบบการใช้ไอน้ำที่ได้จาก
การถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ซ-5 อัตราการผลิตไอน้ำของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์จาก
การคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับภาวะการปฏิบัติงาน 79
ตารางที่ ซ-1 มูลค่าพลังงานทางทฤษฎีในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต 83
ตารางที่ ซ-2 มูลค่าพลังงานเมื่อใช้ข้อมูลปฏิบัติการในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนผังกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 9
รูปที่ 2.2 เหตุผลในการดำเนินการประหยัดพลังงาน 10
รูปที่ 3.1 แผนภาพอย่างง่ายของระบบไอน้ำและไอน้ำกลั่นตัว
ของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 15
รูปที่ 3.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ (มกราคม-กันยายน พ.ศ. 2551) 18
รูปที่ 3.3 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ 19
รูปที่ 3.4 อัตราการคายความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ออัตราการไหลเชิงมวล
ของออโทไซลีน 20
รูปที่ 3.5 มูลค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากไอน้ำความดัน 20 บาร์
อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส ด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 21
รูปที่ 3.6 มูลค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากไอน้ำความดัน 29 บาร์
อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 21
รูปที่ 3.7 อัตราการผลิตไอน้ำสำหรับใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิต
และผลิตกระแสไฟฟ้า 23
รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของรูปแบบการใช้พลังงาน 24
รูปที่ 3.9 อัตราการผลิตไอน้ำของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์จากความร้อนจากปฏิกิริยา 25
รูปที่ 3.10 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 26
รูปที่ 3.11 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 26
รูปที่ 3.12 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของรูปแบบการใช้พลังงาน
จากภาวะการปฏิบัติงาน 27
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงาน 29
รูปที่ 3.14 แนวทางการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตที่เสนอ 30
รูปที่ ง.1 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 จากบริษัทผู้ผลิต
เมื่อใช้ไอน้ำความดัน 20 บาร์ อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ง.2 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 จากบริษัทผู้ผลิต เมื่อใช้ไอน้ำความดัน 29 บาร์ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส 51
รูปที่ ง.3 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 ที่ภาวะการปฏิบัติงาน 54
รูปที่ ง.4 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 ที่ภาวะการปฏิบัติงาน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

จากแนวโน้มความต้องการและราคาของพลังงานเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากแหล่งพลังงานจำกัด ในปี พ.ศ. 2546 คณะรัฐมนตรีได้มีมติดำเนินนโยบายด้านพลังงานของประเทศภายใต้เป้าหมายลดการใช้พลังงานต่อค่าผลิตภัณฑ์ภายในประเทศเบื้องต้น (Gross Domestic Product :GDP) ของประเทศจาก 1.4 :1 เป็น 1:1 ภายในระยะเวลา 5 ปี กระทรวงพลังงานในฐานะหน่วยงานกำกับดูแลและรับผิดชอบด้านพลังงานได้กำหนดเป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคขนส่งและภาคอุตสาหกรรม และรณรงค์การประหยัดพลังงานอย่างต่อเนื่องเพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน [1] ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ระบุว่ามูลค่าการนำเข้าพลังงานของประเทศในปี พ.ศ. 2550 สูงถึง 869,038 ล้านบาท ซึ่งเป็นการใช้โดยภาคอุตสาหกรรมถึงร้อยละ 36 [2] ดังนั้นรัฐบาลจึงกำหนดมาตรการและข้อบังคับให้โรงงานอุตสาหกรรมดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ [3]

1. การปรับปรุงประสิทธิภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิง
2. การป้องกันการสูญเสียพลังงาน
3. การนำพลังงานที่เหลือจากการใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่
4. การเปลี่ยนไปใช้พลังงานอีกประเภทหนึ่งที่เหมาะสม
5. การปรับปรุงการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระและวิธีการอื่น
6. การใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ตลอดจนใช้ระบบควบคุมการทำงานและวัสดุที่ช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน
7. การอนุรักษ์พลังงานโดยวิธีอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

บริษัท คอนทิเนนทอล ปิโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ร่วมโครงการนี้เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจปิโตรเคมีขั้นกลาง มีกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์จาก 2 โรงงาน 50,000 ตัน/ปี และไดออกทิลพาทาเลต 36,000 ตัน/ปี พลังงานที่บริษัทใช้จากค่าไฟฟ้า ค่าก๊าซธรรมชาติ และค่าน้ำมันเตา ประกอบด้วย

1. ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตและอาคารสำนักงาน บริษัทผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองด้วยกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) โดยใช้ไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของออโทไซลีนที่เครื่องปฏิกรณ์ และจะซื้อบางส่วนจากการไฟฟ้านครหลวงเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่บริษัทผลิตไม่เพียงพอ

2. ก๊าซธรรมชาติที่ใช้อุ่นน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง (Malotherm, Therminol-66) ที่ใช้เป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Santotherm, Therminol VP-1) สำหรับป้อนสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์เพื่อใช้หลอมเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ

3. น้ำมันเตาที่ใช้ผลิตไอน้ำที่หม้อไอน้ำสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต

จากการศึกษาแผนผังกระบวนการผลิต (Process Flow Diagrams: PFD) แผนผังแสดงระบบท่อและอุปกรณ์ (Pipiping and Instrument Diagrams: P&ID) มีความเป็นไปได้ในการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต (Start Up) และระหว่างกระบวนการผลิต จากไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงจากการถ่ายเทความร้อนของปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนและน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติที่เครื่องอุ่นอากาศ (Air Preheater) เครื่องอุ่นน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Therminol VP-1 Heater) และเครื่องอุ่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ (Crude PA Preheater)

ในโครงงานนี้จะดุลพลังงานในกระบวนการผลิตและพิจารณามูลค่าของพลังงานไอน้ำที่ผลิตได้เฉพาะจากโรงงานที่ 1 ที่มีกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ประมาณ 2,200 กิโลกรัม/ชั่วโมง ด้วยออโทไซลีนประมาณ 2,114 กิโลกรัม/ชั่วโมง เพื่อเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้สำหรับต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม ทำให้สามารถใช้ทรัพยากรพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก่อให้เกิดประโยชน์เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อบริษัทและสอดคล้องกับนโยบายของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาและกำหนดแนวทางการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ศึกษากระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

1.3.3 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา

1.3.4 ดุลพลังงานในกระบวนการผลิต

1.3.5 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.6 เสนอแนวทางการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่มีต้นทุนพลังงานต่ำ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 แนวทางการใช้พลังงานที่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

1.4.2 ลดต้นทุนด้านพลังงาน

1.4.3 นักศึกษาได้เรียนรู้การปฏิบัติงานจริงภายในโรงงาน และเกิดทักษะในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ดุลพลังงานในระบบเปิดทั่วไป [4]

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระบบเปิดมีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานที่ถ่ายเทเข้าและออกทั้งหมดในระบบนั้น ในรูปแบบของพลังงานภายใน พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ รวมถึงพลังความร้อน และงาน ที่เกี่ยวข้องกับระบบ โดยมีสมการทั่วไป คือ

$$\frac{d(mU)_{CV}}{dt} + \Delta[(H + \frac{1}{2}u^2 + zg)\dot{m}]_{fs} = \dot{Q} + \dot{W} \qquad (2.1)$$

เมื่อ

$\frac{d(mU)_{cv}}{dt}$: อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานเทียบกับเวลา

ΔH : ผลต่างของเอนทัลปีระหว่างกระแสที่ไหลเข้าและออกจากระบบ

$\Delta \frac{1}{2}u^2$: ผลต่างพลังงานจลน์ระหว่างกระแสที่ไหลเข้าและออกจากระบบ

Δzg : ผลต่างพลังงานศักย์ระหว่างกระแสที่ไหลเข้าและออกจากระบบ

$\dot{m}$: อัตราการไหลเชิงมวลของสาร

$\dot{Q}$: อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิของระบบ

$\dot{W}$: งานสุทธิของระบบ

2.2 ดุลพลังงานของกระบวนการเคมี (Balances on Reactive Processes) [5]

ในปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลที่เสถียรจะต้องการพลังงานที่ใช้ในการแตกสลายพันธะเคมีของสารตั้งต้นและเมื่อเกิดการสร้างพันธะของสารผลิตภัณฑ์จะมีพลังงานส่วนหนึ่งถูกปลดปล่อยออกมา ถ้าพลังงานที่ใช้ในการสร้างพันธะมากกว่าพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) พลังงานรวมที่ถูกปลดปล่อย (Heat of Reaction) จะถ่ายเทจากเครื่องปฏิกรณ์ไปยังสิ่งแวดล้อมในรูปของความร้อนหรืองาน ทำให้อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะมากกว่าจะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) จะต้องให้พลังงานแก่เครื่องปฏิกรณ์ในรูปของความร้อนหรืองาน อุณหภูมิจะลดลง

การเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในหรือเอนทัลปีของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์จะส่งผลต่อการออกแบบและการปฏิบัติการของกระบวนการ ถ้าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนจำเป็นต้องให้พลังงานแก่เครื่องปฏิกรณ์ แต่ต้องคำนึงถึงปริมาณและราคาพลังงานที่ต้องใช้ ในกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จะต้องทราบปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกมาและหาวิธีควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในค่าที่กำหนด เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติการและให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากปฏิกิริยาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตไอน้ำที่หม้อต้มไอน้ำด้วยความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์หรือจากเตาเผา การดุลพลังงานที่เครื่องปฏิกรณ์ทำให้ทราบว่าจะต้องให้พลังงานเท่าใด หรือใช้สารหล่อเย็นปริมาณเท่าใด

ค่าความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of Reaction) $\Delta\hat{H}_r(T,P)$ หรือเอนทัลปีของปฏิกิริยา คือ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานหรือเอนทัลปีในกระบวนการซึ่งสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาเดี่ยวอย่างสมบูรณ์กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน

1. ถ้า $\Delta\hat{H}_r(T,P)$ มีค่าเป็นบวก จะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนที่อุณหภูมิ T และความดัน P และ ถ้า $\Delta\hat{H}_r(T,P)$ มีค่าเป็นลบ แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนที่อุณหภูมิ T และความดัน P
2. ที่ความดันต่ำหรือปานกลาง $\Delta\hat{H}_r(T,P)$ จะไม่ขึ้นกับความดัน
3. ค่าความร้อนของปฏิกิริยาขึ้นกับสมการเคมีและสถานะของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์
4. ความร้อนมาตรฐานของปฏิกิริยา $\Delta\hat{H}_r^\circ$ คือ ความร้อนของปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิและความดันอ้างอิง (25 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ) คำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$\Delta\hat{H}_r^\circ = \sum_{Product}|v_i|\Delta\hat{H}_{fi}^\circ - \sum_{Reactant}|v_i|\Delta\hat{H}_{fi}^\circ \qquad (2.2)$$

v_i = สัมประสิทธิ์ปริมาณสารสัมพันธ์ของสาร i ในปฏิกิริยา (Stoichiometric Coefficient of Species i)

$\Delta\hat{H}_{fi}^\circ$ = ความร้อนมาตรฐานของการเกิดของสาร i (Standard Heat of Formation of Species i)

การคำนวณ $\Delta\dot{H}$ ของเครื่องปฏิกรณ์คำนวณได้ดังนี้

$$\Delta\dot{H} = \dot{\varepsilon}_j\Delta\hat{H}_r^\circ + \sum\dot{n}_{out}\hat{H}_{out} - \sum\dot{n}_{in}\hat{H}_{in} \qquad (2.3.1)$$

$$= \sum_{Reaction}\dot{\varepsilon}_j\Delta\hat{H}_{rj}^\circ + \sum\dot{n}_{out}\hat{H}_{out} - \sum\dot{n}_{in}\hat{H}_{in} \qquad (2.3.2)$$

สมการที่ 2.3.1 สำหรับปฏิกิริยาเดี่ยว (Single Reaction) และสมการที่ 2.3.2 สำหรับหลายปฏิกิริยา (Multiple Reactions)

โดยที่ $\dot{\varepsilon}_j$= Extent of Reaction คำนวณได้จากสมการที่ 2.4

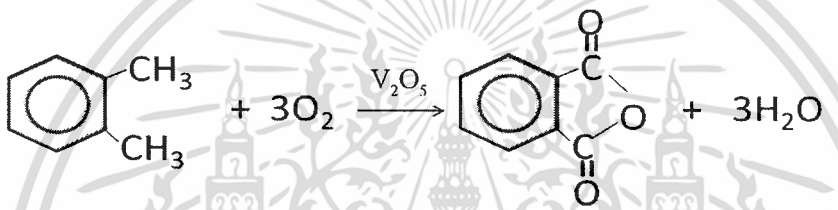
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{\varepsilon} = \frac{|n_{A,out} - n_{A,in}|}{|\nu_A|} = \frac{n_{A,r}}{\nu_A} \quad (2.4)$$

$n_{A,r}$ = โมลของสาร A ที่ใช้ทำปฏิกิริยา

2.3 กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [6]

พาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic Anhydride) เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน (o-Xylene) กับออกซิเจน (O_2) พาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นสารตัวกลางในการผลิตพลาสติกจากไวนิลคลอไรด์ และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพาทาเลตเอสเทอร์ที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์และพอลิเอสเทอร์ที่เติมลงในสี แลกเกอร์ สีย้อมและยาฆ่าแมลง ปฏิกิริยาการเกิดพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดังสมการที่ 2.5



(2.5)

นอกจากนี้ยังเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (Side Reactions) ได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ได้แก่ กรดเบนโซอิก (Benzoic Acid) มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) ไซทราโคนิคแอนไฮไดรด์ (Citraconic Anhydride) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide)

กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. ส่วนออกซิเดชัน (Oxidation Part)
2. ส่วนควบแน่น (Condensation Part)
3. ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่น (Pretreatment and Distillation Parts)
4. ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุ (Storing, Flaking and Bagging Parts)

รายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังนี้

1. ส่วนออกซิเดชัน (Oxidation Part) อากาศจะถูกส่งผ่านเครื่องกรองอากาศและผ่านเครื่องอุ่นอากาศ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 150 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าเครื่องระเหยออโทไซลีน (o-Xylene Evaporator) ในขณะที่ออโทไซลีนจะถูกส่งจากถังเก็บ ผ่านเข้าเครื่องกรองและเครื่องอุ่นออโทไซลีน (o-Xylene Preheater) จนมีอุณหภูมิประมาณ 150-170 องศาเซลเซียส แล้วจึงผ่านเข้าเครื่องระเหยออโทไซลีน เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในสถานะไอและผสมกับอากาศ ก๊าซผสมจะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) ที่บรรจุวาเนเดียมเพนทอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือพาทาลิกแอนไฮไดรด์ในสถานะของก๊าซ เรียกว่า ก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ (Crude PA Gas) ซึ่งจะผ่านเข้าก๊าซคูลเลอร์ (Gas Cooler) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบก่อนส่งไปยังส่วนควบแน่น เนื่องจากปฏิกิริยาออซิเดชันของออโทไซลีนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (ΔH°_{r}= -9,777.56 กิโลจูล/กิโลกรัมออโทไซลีน) จึงต้องใช้เกลือหลอมเหลวของโพแทสเซียมไนเทรตและโซเดียมไนไทรต์ (Molten Salt of Potassium Nitrate (KNO_3) and Sodium Nitrite ($NaNO_2$)) มารับความร้อนออกจากเครื่องปฏิกรณ์ แล้วนำไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ (Salt Bath Cooler) และสตีมซุปเปอร์ฮีทเตอร์ (Steam Superheater) ได้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

2. ส่วนควบแน่น (Condensation Part) ก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบที่ออกจากก๊าซคูลเลอร์จะมีอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 160 องศาเซลเซียส ก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบจากเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 จะถูกรวมเข้าด้วยกันและส่งเข้าสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ ทั้ง 5 ตัว ที่ประกอบด้วยกลุ่มของท่อแบบครีบ สวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์แต่ละตัวจะสลับกันทำงานระหว่างการรับผลิตภัณฑ์และการหลอมผลิตภัณฑ์โดยมีน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Therminol VP-1) อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เข้าแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบทำให้พาทาลิกแอนไฮไดรด์มีอุณหภูมิลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง พาทาลิกแอนไฮไดรด์มีลักษณะค่อนข้างหนืดจึงเกาะติดบริเวณครีบในสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ พาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ถูกลดอุณหภูมิจนกลายเป็นของเหลวหนืดจะถูกเพิ่มอุณหภูมิด้วยน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิ 180-190 องศาเซลเซียส จนความหนืดลดลงแล้วถูกส่งไปรวมกันในถังเก็บของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ถูกควบแน่น เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ จะถูกส่งไปบำบัดที่หอดูดซับก๊าซเสีย

3. ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่น (Pretreatment and Distillation Parts) ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นประกอบด้วยถังเตรียมก่อนการกลั่น (Pretreatment Vessels) 3 ถัง ซึ่งต่ออนุกรมกันอยู่ ของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ จะถูกส่งมายังถังเตรียมก่อนการกลั่นถังที่หนึ่ง และเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-เบสเพื่อไม่ให้พาทาลิกแอนไฮไดรด์หนืดเกินไปของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์บางส่วนจะถูกส่งผ่านเครื่องอุ่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ มารับความร้อนจากน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง (Therminol-66) อุณหภูมิประมาณ 340 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้พาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบเย็นตัวลง แล้วจึงวนกลับเข้าถังเตรียมก่อนการกลั่นถังที่หนึ่งอีกครั้ง ที่ถังเตรียมก่อนการกลั่นทั้งสามถัง ใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง ในการรักษาอุณหภูมิของของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ และมีใบกวนช่วยให้เกิดการผสมอย่างดีเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากันทุกส่วน ส่วนก๊าซเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างเคียงจะใช้เครื่องดูดอากาศดูดออกไปบำบัด ของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบจะถูกส่งเข้าส่วนการกลั่น ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยหอกลั่น 3 หอ คือ หอกลั่นเบา (Light Ends Column) 2 หอ และหอกลั่นผลิตภัณฑ์ (Product Column) 1 หอ โดยพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบที่ถูกบำบัดจะผ่านเข้าเครื่องหล่อเย็นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ (Crude PA Cooler) เพื่อลดอุณหภูมิก่อนส่งเข้าหอกลั่นเบาหอที่ 1 ซึ่งจะแยกก๊าซเสียที่มีจุดเดือดต่ำกว่าพาทาลิกแอนไฮไดรด์ออกทางยอดหอ ส่วนพาทาลิกแอนไฮไดรด์และสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดสูงจะไหลออกทางก้นหอแล้วถูกส่งเข้าหอกลั่นเบาที่ 2 ซึ่งจะแยกพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่บริสุทธิ์ออกทางยอดหอ ส่วนของเหลวที่ก้นหอจะถูกส่งเข้าหอกลั่นผลิตภัณฑ์เพื่อกลั่นแยกอีกครั้ง ดังรูปที่ 2.1 พาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่บริสุทธิ์จะถูกทำให้เย็นลงเป็นของเหลวโดยผ่านเครื่องหล่อเย็นพาทาลิกแอนไฮไดรด์บริสุทธิ์ (Pure PA Cooler) ก่อนถูกส่งไปเก็บที่ถังเก็บ (Pure PA Tank)

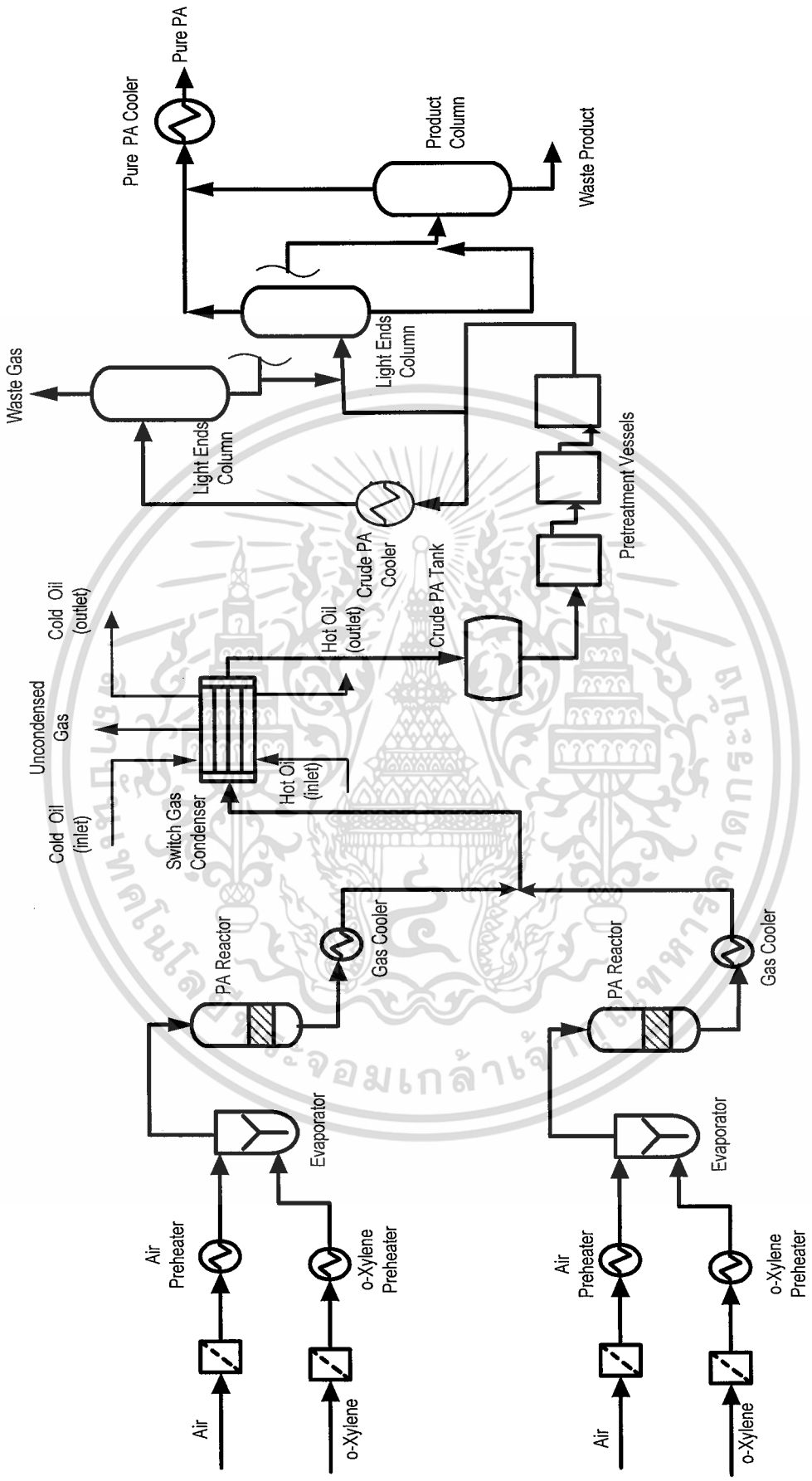
4. ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุ (Storing, Flaking and Bagging Parts) พาทาลิกแอนไฮไดรด์จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

4.1 เพื่อการจำหน่าย แบบของเหลวและแบบเกล็ด

4.2 เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไดออกทิลพาทาเลต

4.3 เพื่อเก็บสำรองไว้จำหน่ายเมื่อโรงงานหยุดการผลิตชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

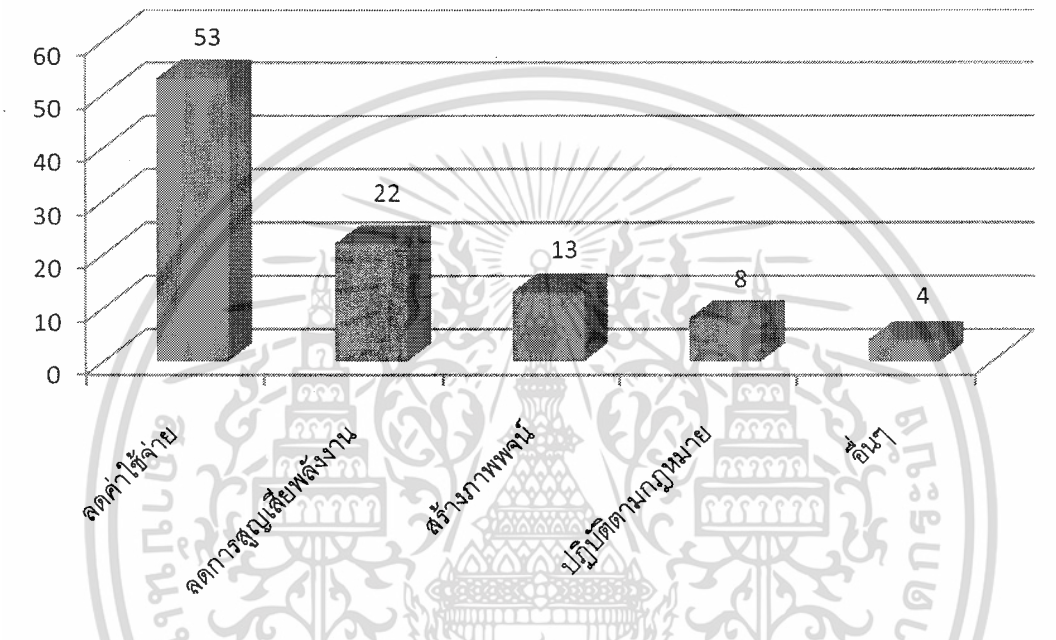


รูปที่ 2.1 แผนผังกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เทคนิคการประหยัดพลังงาน [7]

ค่าใช้จ่ายพลังงานเป็นต้นทุนที่สำคัญของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท การลดค่าใช้จ่ายพลังงานจะช่วยเพิ่มกำไรให้แก่ผู้ประกอบการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจุบันเมื่อสภาพการแข่งขันทางธุรกิจมีความรุนแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามการลดค่าใช้จ่ายพลังงานให้สัมฤทธิ์ผลต้องรู้จักเลือกใช้เทคโนโลยีหรือเทคนิคที่เหมาะสมและมีกระบวนการในการนำเทคนิคไปใช้อย่างเป็นระบบ โดยทั่วไปเหตุผลที่ต้องดำเนินการประหยัดพลังงานแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เหตุผลในการดำเนินการประหยัดพลังงาน [7]

2.4.1 ความหมายของการประหยัดพลังงาน [8]

การประหยัดพลังงานในโรงงาน หมายถึง การจัดการด้านการใช้พลังงานเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยไม่มีผลเสียต่อกิจกรรมการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยการเลือกรูปแบบการใช้พลังงานที่เหมาะสม และใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ลดการสูญเสียพลังงาน ส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างยั่งยืน การลดต้นทุนการผลิต ลดการหยุดเครื่องจักรในขณะทำงาน และลดปัญหาด้านมลภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 หลักทั่วไปในการประหยัดพลังงานในโรงงาน

ก. การเลือกใช้พลังงานและเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม ในการเลือกใช้ชนิดของพลังงานและเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับงานมากที่สุดต้องพิจารณาสมบัติกายภาพและราคาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพรวมสูงสุด

ข. การเลือกใช้วิธีแปลงพลังงานและกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม ในกรณีที่กระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนดรูปแบบของพลังงานที่จะใช้ หากกระบวนการใดสามารถใช้พลังงานได้มากกว่าหนึ่งรูปแบบ ควรพิจารณาใช้พลังงานรูปแบบที่มีความเหมาะสมทั้งด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์

ค. การลดการสูญเสียและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าในโรงงานต้องศึกษาสภาพการใช้งานและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน ศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการลดความสูญเสียเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น ท่อไอน้ำรั่ว ลมรั่ว ฉนวนความร้อนเสื่อมสภาพ เป็นต้น เพื่อให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ง. การนำพลังงานที่ยังมีศักยภาพกลับมาใช้ประโยชน์ เป็นการศึกษาวิเคราะห์นำความร้อนทิ้ง (Waste Heat) จากกระบวนการต่างๆ ที่ยังมีศักยภาพกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ (Waste Heat Recovery) แต่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์

ตัวอย่างเทคนิคที่ใช้เพื่อการประหยัดพลังงาน

ก. อุปกรณ์ที่ช่วยประหยัดพลังงาน คือ อุปกรณ์หรือเครื่องจักรประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อควบคุมการใช้พลังงาน เช่น มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ เป็นต้น

ข. ระบบที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน คือ ระบบควบคุมการใช้พลังงาน เช่น ระบบควบคุมอัตโนมัติ ระบบกักเก็บความเย็น ระบบความร้อนร่วม เป็นต้น

ค. วิธีการช่วยประหยัดพลังงาน คือ การจัดการการใช้อุปกรณ์เครื่องจักร เช่น การใช้อุปกรณ์อย่างถูกวิธี การจัดตารางเวลาการทำงานและการบำรุงรักษาอุปกรณ์เครื่องจักรที่เหมาะสม การออกแบบระบบและอุปกรณ์เพื่อการประหยัดพลังงาน เป็นต้น

2.4.3 ประเภทของมาตรการประหยัดพลังงาน

มาตรการต่างๆ ในการประหยัดพลังงาน หากพิจารณาในลักษณะของการปรับปรุงหรือระดับการลงทุนโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก. มาตรการที่ไม่ต้องลงทุนหรือลงทุนน้อยดำเนินการได้ง่าย เช่น การควบคุมอากาศส่วนเกิน การปรับความตึงของสายพาน การทำความสะอาดหอน้ำหล่อเย็นที่สกปรก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. มาตรการที่มีการลงทุนปรับปรุงอุปกรณ์พอสมควรแต่ลงทุนไม่มาก เช่น การหุ้มฉนวน การนำคอนเดนเสทหรือไอน้ำกลั่นตัวกลับมาใช้ประโยชน์ การเปลี่ยนหัวเผาในหม้อไอน้ำ การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การติดตั้งกับดักไอน้ำ (Steam Trap) เป็นต้น

ค. มาตรการที่มีการลงทุนสูงระยะเวลาคืนทุนนาน โดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงอุปกรณ์เครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตใหม่ เช่น การเปลี่ยนหม้อไอน้ำ การติดตั้งระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ การติดตั้งระบบความร้อนร่วม เป็นต้น

2.4.4 ขั้นตอนดำเนินการเพื่อการประหยัดพลังงาน

ขั้นตอนในการนำเทคนิคประหยัดพลังงานไปใช้ อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย

ก. ตรวบสอบการใช้พลังงาน ตรวจสอบลักษณะการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้วิเคราะห์ศักยภาพในการประหยัดพลังงาน

ข. วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงาน

ค. วิเคราะห์ศักยภาพในการประหยัดพลังงาน เป็นการเลือกใช้เทคนิคการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม

ง. วิเคราะห์การเงิน ประเมินว่าเทคนิคประหยัดพลังงานที่เลือกมีผลตอบแทนทางการเงินคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่

จ. กำหนดเป้าหมาย แผน และการลงทุน นำศักยภาพในการประหยัดของเทคนิคการประหยัดพลังงานมากำหนดเป้าหมาย หลังจากนั้นนำเป้าหมายมาจัดทำแผนและเลือกวิธีการลงทุนที่เหมาะสมต่อองค์กร แล้วจึงดำเนินการประหยัดพลังงาน

ฉ. ติดตามและประเมินผล หลังจากดำเนินการประหยัดพลังงานแล้วติดตามและประเมินผลว่าบรรลุผลตามเป้าหมายหรือไม่ และยังใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการแก้ไขปรับปรุงเทคนิคการประหยัดพลังงานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.4.5 การตรวจสอบทำบัญชีพลังงาน (Energy Audit)

การตรวจสอบทำบัญชีพลังงาน คือ การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อที่จะหาแนวทางในการประหยัดพลังงาน โดยทั่วไปการตรวจสอบทำบัญชีพลังงาน มีขั้นตอนปฏิบัติตามลำดับ ดังนี้

ก. การตรวจสอบการใช้พลังงานจากข้อมูลในอดีต เป็นการรวบรวมและศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมาที่ทางโรงงานได้บันทึกไว้ เพื่อทราบปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานทุกรูปแบบที่ใช้ ผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ รูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา

ข. การตรวจสอบการใช้พลังงาน โดยการสำรวจภายในโรงงาน ขั้นตอนแรกเป็นการสำรวจแผนผังของโรงงาน เพื่อให้ทราบลักษณะทั่วไปของโรงงาน กระบวนการผลิตและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่างๆ พิจารณาบริเวณที่มีการใช้พลังงานสูง ระบบการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ และบริเวณที่เกี่ยวข้อง และขั้นตอนการเข้าสำรวจในโรงงานเพื่อหาตำแหน่งที่มีการใช้พลังงาน การสูญเสียพลังงาน และต้นเหตุของการสูญเสียพลังงาน สำรวจระบบการใช้พลังงานทุกระบบทั้งในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต ช่วงระหว่างการผลิต และหยุดทำการผลิต รวมทั้งการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบสภาพการใช้พลังงาน

ค. การตรวจสอบและการวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด จากผลของการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานข้างต้น นำข้อมูลมาสร้างรูปแบบการใช้พลังงานว่าจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดบ้าง วิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข และคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมทั้งในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์เพื่อลดปริมาณพลังงานสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน

3.1 การเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้เพื่อต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม

การดำเนินงานในส่วนนี้เป็นการพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ และการนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ 2 เครื่อง เพื่อเลือกแนวทางการใช้พลังงานที่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาตร์มากที่สุด โดยมีขั้นตอนดำเนินงาน ดังนี้

3.1.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับบริษัทและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

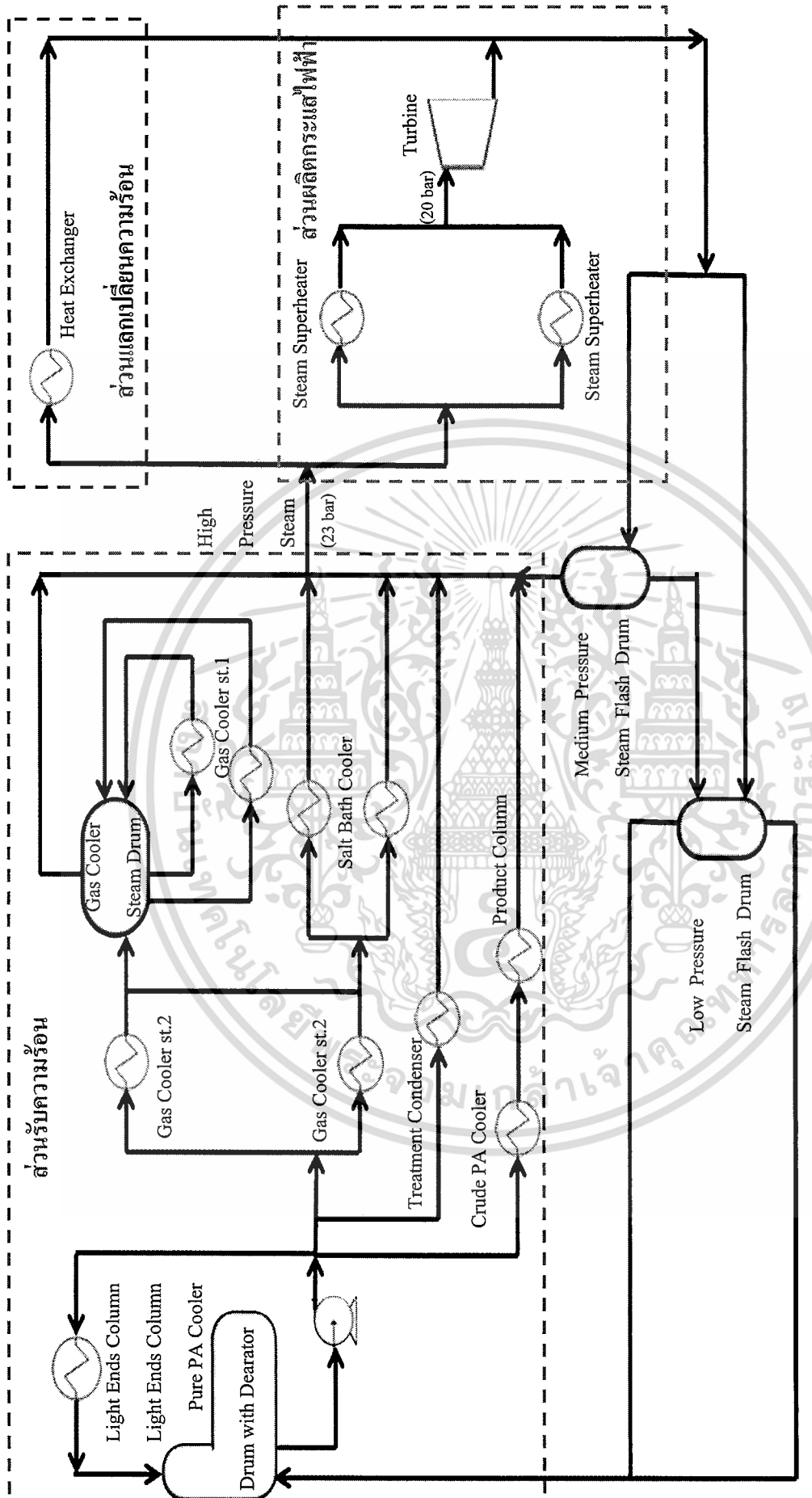
3.1.2 ศึกษาแผนผังกระบวนการผลิต (PFD) แผนผังแสดงระบบท่อและอุปกรณ์ (P&ID) และเอกสารอธิบายกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ของบริษัท

3.1.3 ศึกษากระบวนการผลิตเฉพาะส่วนของระบบไอน้ำและไอน้ำกลั่นตัวโดยละเอียด ทำแผนผังแสดงทิศทางการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงเพียงอย่างเดียว และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงร่วมกับการใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

ระบบไอน้ำและไอน้ำกลั่นตัวหรือคอนเดนเสท (Steam and Condensate System)

จากรูปที่ 3.1 ระบบไอน้ำเริ่มจากถังปรับสภาพน้ำป้อนหม้อไอน้ำและการไล่อากาศ (Drum with Dearator) ที่อุปกรณ์นี้น้ำป้อนหม้อไอน้ำจะถูกปรับสภาพให้เป็นเบสด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) และไล่ออกซิเจนที่ละลายอยู่ด้วยสารละลายไฮดราซีน (N_2H_4) เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ จากนั้นจะถูกส่งไปใช้ในกระบวนการผลิต 3 ส่วน คือ ส่วนรับความร้อน ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน และส่วนผลิตกระแสไฟฟ้า รายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพอย่างง่ายของระบบไอน้ำและไอน้ำกลั่นตัวของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ส่วนรับความร้อน

น้ำป้อนหม้อไอน้ำจากถังพักน้ำผ่านปั๊มแยกเป็น 4 สาย คือ ส่วนที่หนึ่งนำไปรับความร้อนจากกระบวนการผลิตในส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่นที่เครื่องควบแน่นของหอกลั่นซึ่งประกอบด้วย หอกลั่นส่วนกลั่นเบา 2 หอ และเครื่องหล่อเย็นพาทาลิกแอนไฮไดรด์บริสุทธิ์แล้ววนกลับมาที่ถังปรับสภาพน้ำป้อนหม้อไอน้ำและการไล่อากาศ เพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ที่ประมาณ 150 องศาเซลเซียส ขณะที่ส่วนที่สองนำไปรับความร้อนที่ก๊าซคูลเลอร์ขั้นที่ 2 เพื่อลดอุณหภูมิของพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ และมีถังพักน้ำ (Gas Cooler Steam Drum) เก็บน้ำป้อนหม้อไอน้ำส่วนหนึ่งไว้ใช้ควบคุมอุณหภูมิของก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบที่ก๊าซคูลเลอร์ขั้นที่ 1 น้ำป้อนหม้อไอน้ำส่วนที่ไม่ได้เก็บในถังพักน้ำจะถูกส่งไปรับความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนโดยแลกเปลี่ยนความร้อนกับเกลือหลอมเหลว (อุณหภูมิประมาณ 340 องศาเซลเซียส) ที่อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ ของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 กลายเป็นไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง ส่วนที่สามส่งไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนเตรียมก่อนการกลั่น (Treatment Condenser) และส่วนที่สี่ นำไปผ่านเครื่องหล่อเย็นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ และเครื่องควบแน่นของหอกลั่นผลิตภัณฑ์ ไอน้ำที่ได้จากส่วนรับความร้อน 3 ส่วนหลังนี้จะรวมกันแล้วส่งไปยังส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนและส่วนผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

2) ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน

ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงส่วนหนึ่งจะถูกแบ่งเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังนี้

2.1) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงเพียงอย่างเดียว

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกลุ่มนี้จะใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง 6,700 กิโลกรัม/ชั่วโมงเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

ก. เครื่องอุ่นออโทไซลีน มี 3 เครื่อง เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่มอุณหภูมิของออโทไซลีนก่อนเข้าผสมกับอากาศที่เครื่องระเหย

ข. เครื่องอุ่นอากาศอัด (Compressed Air Heater) อากาศอัดจะใช้ขับดันก๊าซเสียในส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่นเพื่อส่งไปบำบัดที่หอดูดซับก๊าซเสีย

ค. ระบบท่อส่งพาทาลิกแอนไฮไดรด์ในกระบวนการผลิต เพื่อป้องกันการแข็งตัวของพาทาลิกแอนไฮไดรด์

2.2) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงร่วมกับน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง (Therminol–66) เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกลุ่มนี้ใช้ไอน้ำประมาณ 1,800 กิโลกรัม/ชั่วโมง ปริมาณไอน้ำที่ใช้สามารถปรับเปลี่ยนได้ขึ้นกับต้นทุนพลังงาน ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ก. เครื่องอุ่นอากาศ ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับอากาศก่อนนำไปผสมกับออโทไซลีนที่เครื่องระเหยออโทไซลีน

ข. เครื่องอุ่นน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ ใช้ให้ความร้อนแก่น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำเพื่อหลอมพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบที่เกาะอยู่ที่ครีบของสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์

ค. เครื่องอุ่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ ใช้ให้ความร้อนแก่พาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบก่อนส่งเข้าถังเก็บพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ

3) ส่วนผลิตกระแสไฟฟ้า

ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงอีกส่วนหนึ่งจะส่งผ่านสตีมซุปเปอร์ฮีทเตอร์ของเครื่องปฏิกรณ์ ได้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และ 2 กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 ไม่เกิน 9,700 กิโลกรัมของไอน้ำ/ชั่วโมง และของเครื่องที่ 2 มากกว่า 7,500 กิโลกรัมของไอน้ำ/ชั่วโมง

สำหรับไอน้ำกลั่นตัวหลังผ่านกระบวนการผลิต จะนำไปแยกที่ถังแยกไอน้ำความดันปานกลาง (Medium Pressure Steam Flash Drum) ส่วนที่เป็นไอจากถังแยกไอน้ำความดันปานกลางจะนำไปรวมกับไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงก่อนส่งเข้าผลิตกระแสไฟฟ้า ขณะที่ส่วนที่เป็นของเหลวจะส่งเข้าถังแยกไอน้ำความดันต่ำ (Low Pressure Steam Flash Drum) ส่วนที่เป็นไอและของเหลวจากถังนี้จะส่งกลับถังปรับสภาพน้ำป้อนหม้อไอน้ำและการไล่อากาศ (Drum with Dearator) สำหรับใช้ควบคุมความดันให้คงที่

3.1.4 ศึกษาระบบน้ำมันถ่ายเทความร้อน

ระบบน้ำมันถ่ายเทความร้อน เป็นระบบที่ใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน 2 ชนิด คือ น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

ระบบน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง

น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงได้รับความร้อนจากเตาเผาที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิง ใช้ให้ความร้อนกับอุปกรณ์ต่อไปนี้

ก. เครื่องอุ่นอากาศ ที่ใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนร่วมกับไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง

ข. เครื่องอุ่นน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ ซึ่งติดตั้งขนานกับเครื่องอุ่นน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

ค. ถังเก็บพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ 3 ถัง และเครื่องอุ่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ

ง. รีบอยเลอร์ (Reboiler) ของหอกลั่น 3 หอ ได้แก่ หอกลั่นเบา 2 หอ และหอกลั่นผลิตภัณฑ์

104372

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

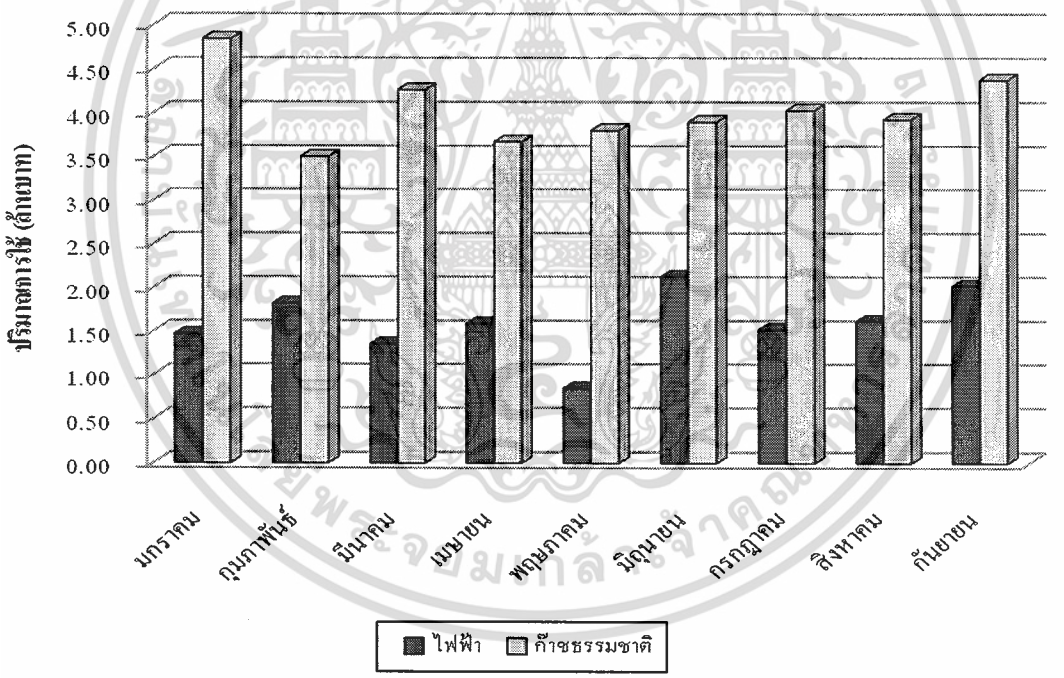
จ. ถังผสมของเสียจากการกลั่น (Waste Product Drum) เพื่อป้องกันของเสียแข็งตัวขณะผสม

ฉ. อุปกรณ์ที่ใช้ขับดันของเสียจากการกลั่นไปบำบัดที่หอดูดซับก๊าซเสีย

ระบบน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ

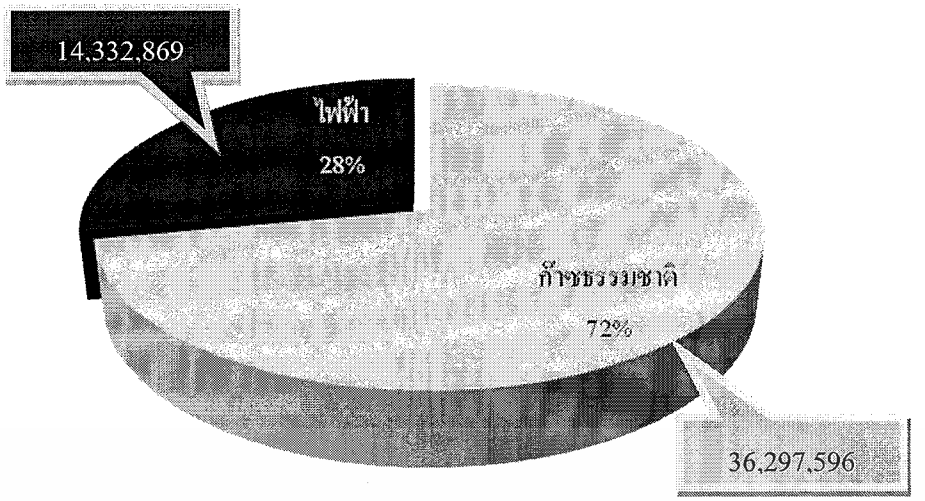
น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ 50-55 องศาเซลเซียส ใช้ที่สวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์เพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบและเพื่อแยกก๊าซเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ 180-190 องศาเซลเซียส ทำหน้าที่หลอมพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่เกาะติดบริเวณครีบของสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์

3.1.5 เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติระหว่างเดือนมกราคม – กันยายน พ.ศ. 2551 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และแสดงสัดส่วนของไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในรูปที่ 3.3 ราคาต่อหน่วยดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ (มกราคม-กันยายน พ.ศ. 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ

ตารางที่ 3.1 ราคาต่อหน่วยของพลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติปี พ.ศ. 2551

ชนิดของพลังงาน	ราคาต่อหน่วย
ไฟฟ้า	2.90 Baht/kW•h
ก๊าซธรรมชาติ	319.41 Baht/MMBtu

3.1.6 คำนวณความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน ($\Delta\dot{H}$) จากทฤษฎีในบทที่ 2 ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนที่กำลังการผลิตปัจจุบันเท่ากับ 2,113.76 กิโลกรัม/ชั่วโมง (พาทาลิกแอนไฮไดรด์ 2,201.23 กิโลกรัม/ชั่วโมง) มีขั้นตอนดังนี้

1) คำนวณความร้อนมาตรฐานของปฏิกิริยา (Standard Heat of Reaction : $\Delta\hat{H}_r^\circ$) จากสมการที่ 2.2

2) คำนวณ Extent of Reaction : $\dot{\varepsilon}_j$ ของแต่ละปฏิกิริยา จากสมการที่ 2.4

3) แทนค่าเอนทัลปีที่เข้าและออกจากเครื่องปฏิกรณ์จากแผนผังกระบวนการผลิต (PFD) ความร้อนมาตรฐานของปฏิกิริยา ($\Delta\hat{H}_r^\circ$) และค่า Extent of Reaction ในสมการที่ 2.3.2 ได้ $\Delta\dot{H} = -2.07 \times 10^7$ กิโลจูล/ชั่วโมง

4) คำนวณความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาต่อกิโลกรัมของออโทไซลีน (q)

$$q = \frac{\Delta\dot{H}}{\dot{m}_{o-Xylene}} \tag{3.1}$$

$$= \frac{-2.07 \times 10^7}{2113.76} \frac{\frac{\text{กิโลจูล}}{\text{ชั่วโมง}}}{\frac{\text{กิโลกรัมของออโทไซลีน}}{\text{ชั่วโมง}}}$$

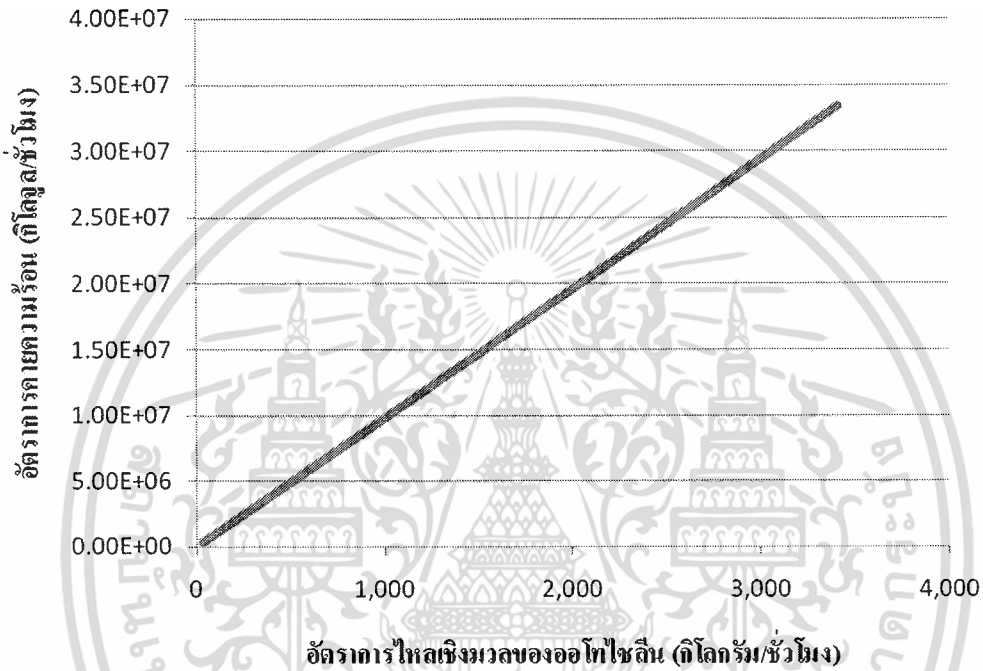
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= -9{,}777.56 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัมของออโทไซลีน}$$

5) คำนวณอัตราการคายความร้อนจากปฏิกิริยาของออโทไซลีน ดังสมการที่ 3.2

$$\dot{Q} = \dot{m}_{o-Xylene}\, q \tag{3.2}$$

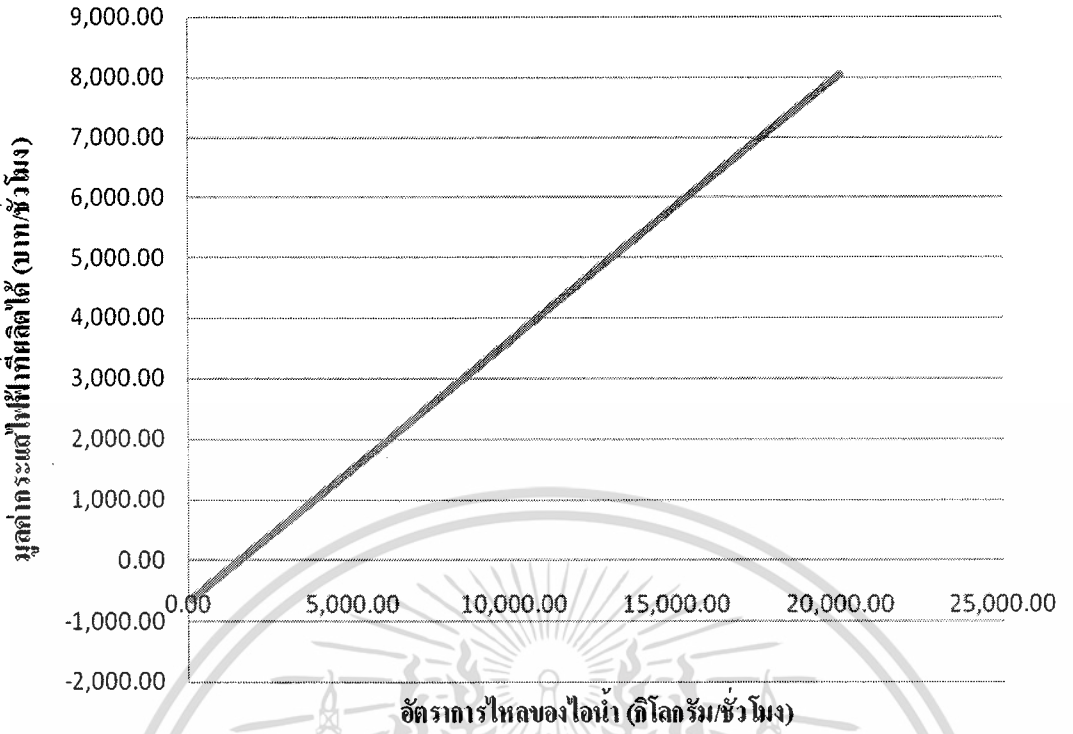
ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 3.4



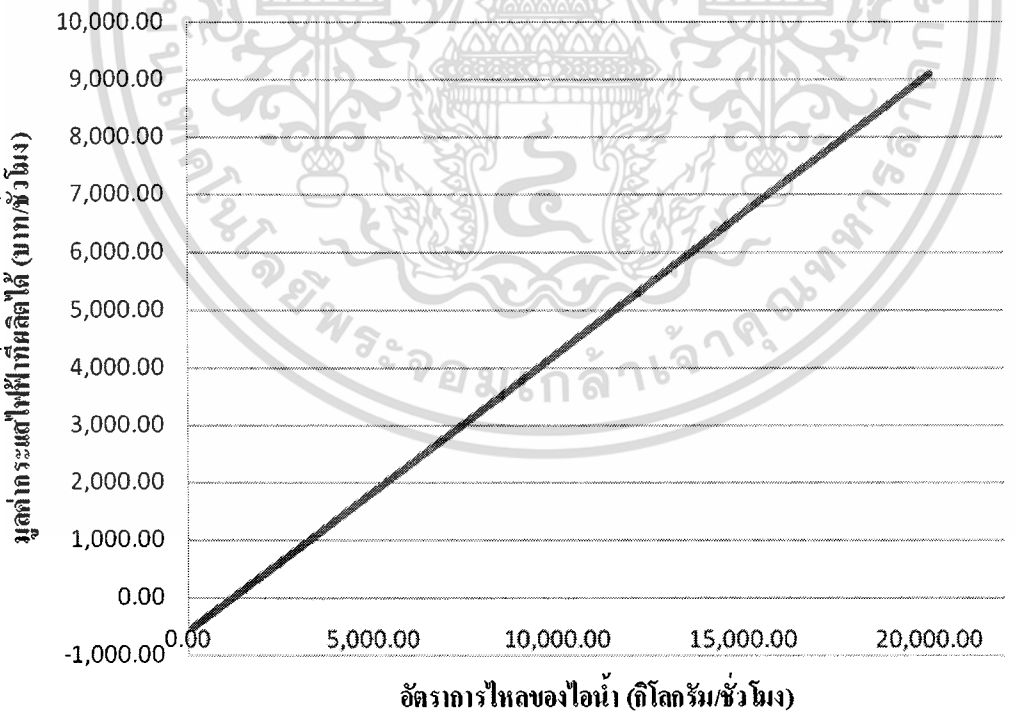
รูปที่ 3.4 อัตราการคายความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ออัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน

3.1.7 คำนวณค่าไฟฟ้าที่ผลิตด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และ 2 จากข้อมูลเชิงเทคนิค โดยใช้ราคาต่อหน่วยของพลังงานไฟฟ้าจากตารางที่ 3.1 รูปที่ 3.5-3.6 แสดงมูลค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากไอน้ำด้วยกังหันไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 มูลค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากไอน้ำความดัน 20 บาร์ อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส ด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1



รูปที่ 3.6 มูลค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากไอน้ำความดัน 29 บาร์ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและไอน้ำที่ต้องการสำหรับใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตและผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2 สมบัติของน้ำป้อนหม้อไอน้ำและไอน้ำที่ใช้ในระบบ

สมบัติ	น้ำป้อนหม้อไอน้ำ	ไอน้ำสำหรับ		
		ให้ความร้อนในกระบวนการผลิต	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 2
อุณหภูมิ (°C)	210	220	340	320
ความดัน (barg)	29	23	20	29
เอนทัลปี (kJ/kg)	897	2,802	3,113	3,043

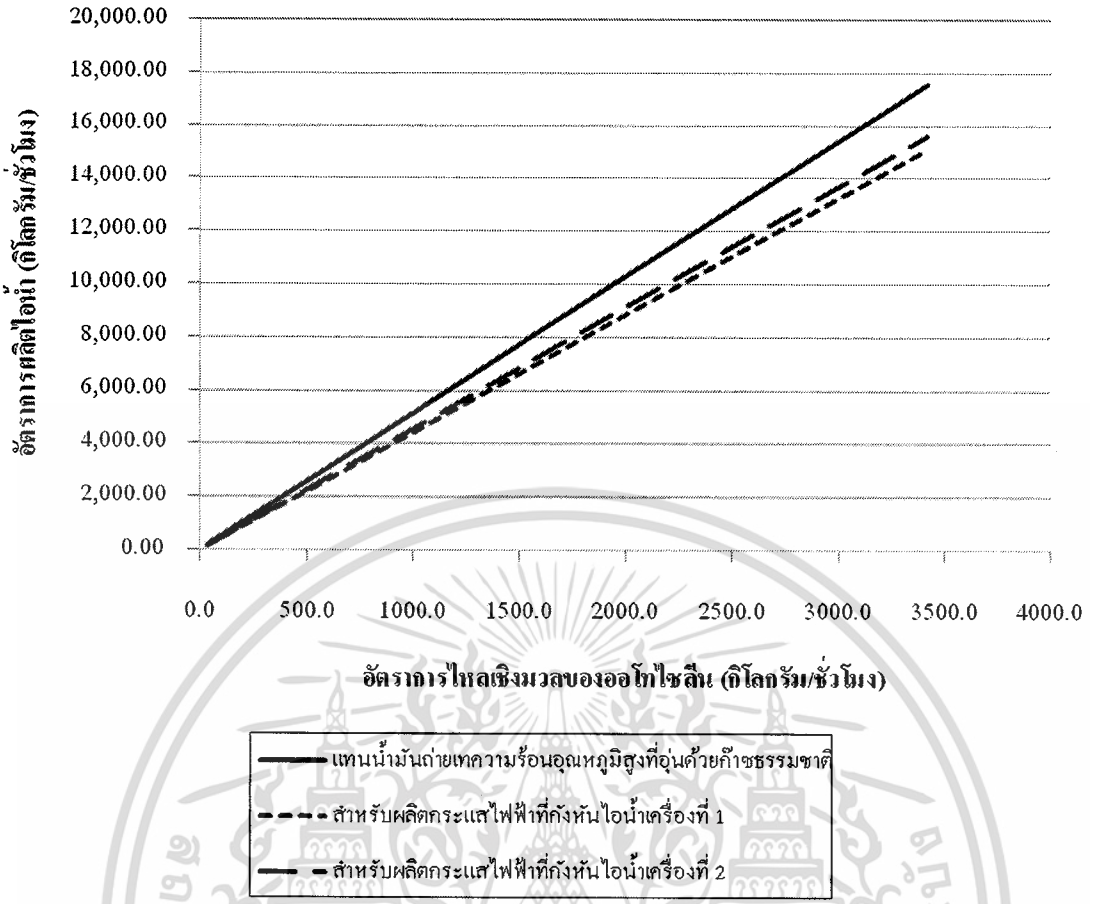
3.1.8 คำนวณปริมาณไอน้ำที่สามารถผลิตจากดุลพลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ และใช้สมการที่ 2.1 โดยไม่พิจารณาพลังงานจลน์ ($\dot{m}\Delta\frac{1}{2}u^2$) พลังงานศักย์ ($\dot{m}g\Delta z$) และให้เครื่องปฏิกรณ์ทำงานที่ภาวะคงตัว ไม่มีงานเกิดขึ้น จึงสามารถตัดพจน์พลังงานสะสม ($\frac{d(m\bar{U})_{CV}}{dt}$) และงานสุทธิของระบบ ($\dot{W}$) ได้ ดังนั้นสามารถลดรูปสมการที่ 2.1

$$\dot{m}_{Steam}\Delta H_{fs} = \dot{Q} \tag{3.3.1}$$

$$\dot{m}_{Steam}\Delta H_{fs} = \dot{m}_{o-Xylene}q \tag{3.3.2}$$

จากสมการที่ 3.3.2 สามารถคำนวณอัตราการผลิตไอน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนสำหรับใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตและผลิตกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



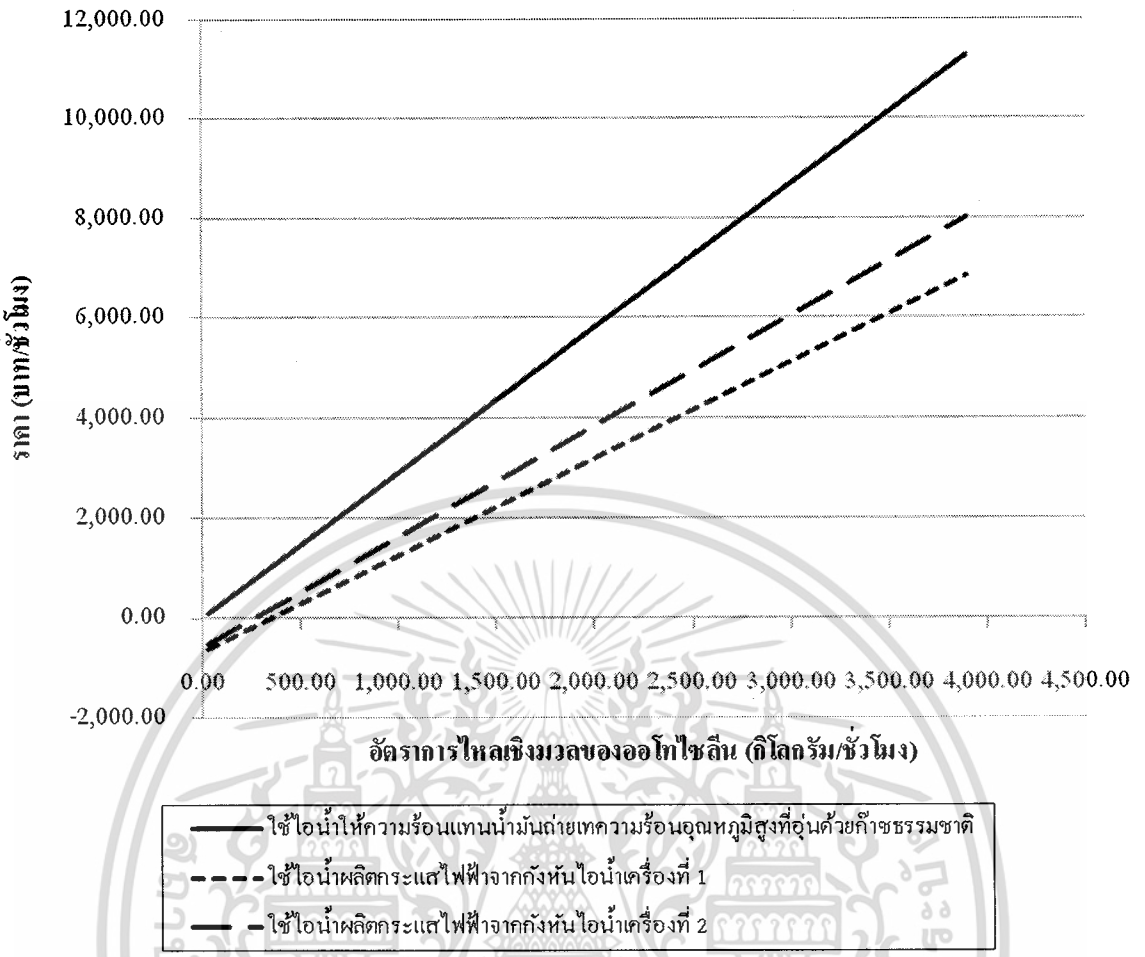
รูปที่ 3.7 อัตราการผลิตไอน้ำสำหรับใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตและผลิตกระแสไฟฟ้า

3.1.9 เปรียบเทียบรูปแบบการใช้พลังงานที่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สุดจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลเชิงเทคนิค แสดงดังรูปที่ 3.8 โดยพิจารณาจากปริมาณไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนที่เท่ากัน ดังนี้

1) การนำไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงไปใช้ให้ความร้อนแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ คำนวณมูลค่าพลังงานโดยใช้ราคาต่อหน่วยจากตารางที่ 3.1

2) การนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



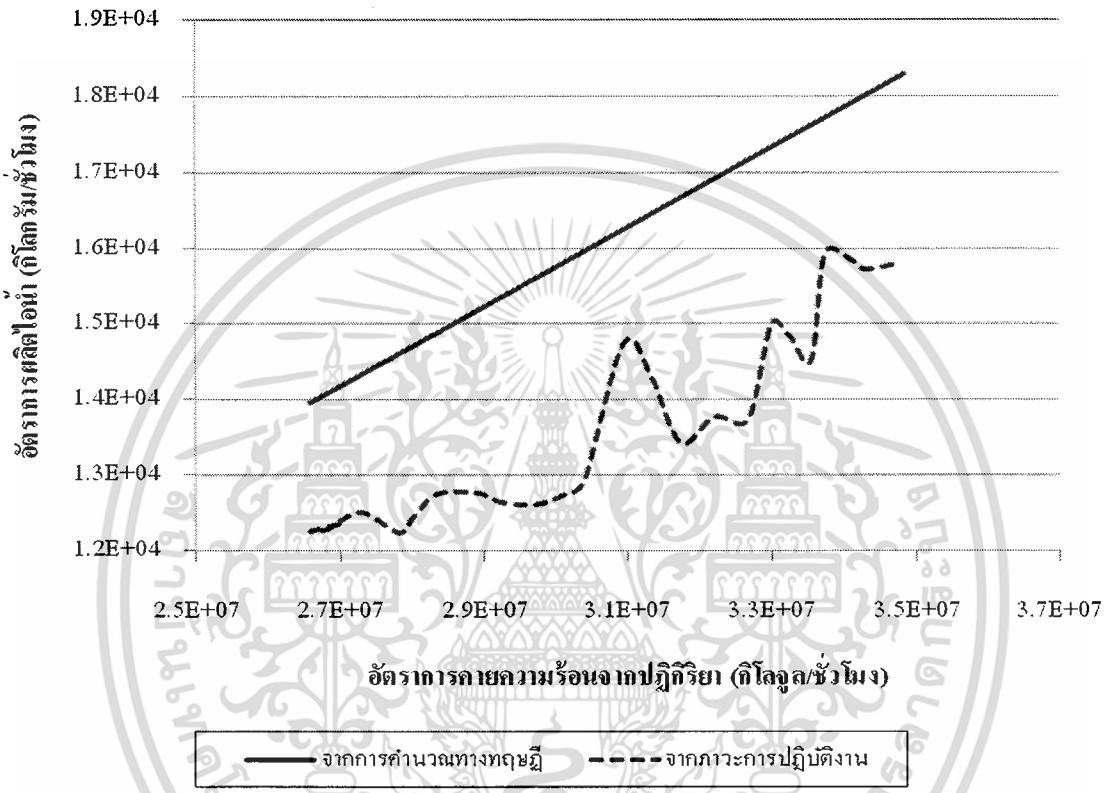
รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของรูปแบบการใช้พลังงาน

จากรูปที่ 3.8 เนื่องจากในช่วงแรกต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่เครื่องอัดอากาศซึ่งต่ออยู่กับกังหันไอน้ำทั้ง 2 เครื่อง ดังนั้นกราฟในช่วงแรกจึงมีค่าติดลบ จากกราฟที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนที่ต้องการประมาณ 2,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (พาทาลิกแอนไฮไดรด์ 2,085 กิโลกรัม/ชั่วโมง) มูลค่าพลังงานจากการนำไอน้ำไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติสูงกว่าการนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำทั้ง 2 เครื่อง มีค่าเฉลี่ยของผลต่างประมาณ 2,275 บาท /2,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (แสดงในตารางที่ ช-4 ภาคผนวก ช)

3.1.10 ทำนองเดียวกับข้อ 3.1.9 เปรียบเทียบรูปแบบการใช้พลังงานที่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สุดจากภาวะการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต ได้แก่ อัตราการผลิตไอน้ำของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ และอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำด้วยกังหันไอน้ำทั้ง 2 เครื่อง โดยพิจารณาที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซอลท์บาทคูลเลอร์และกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2

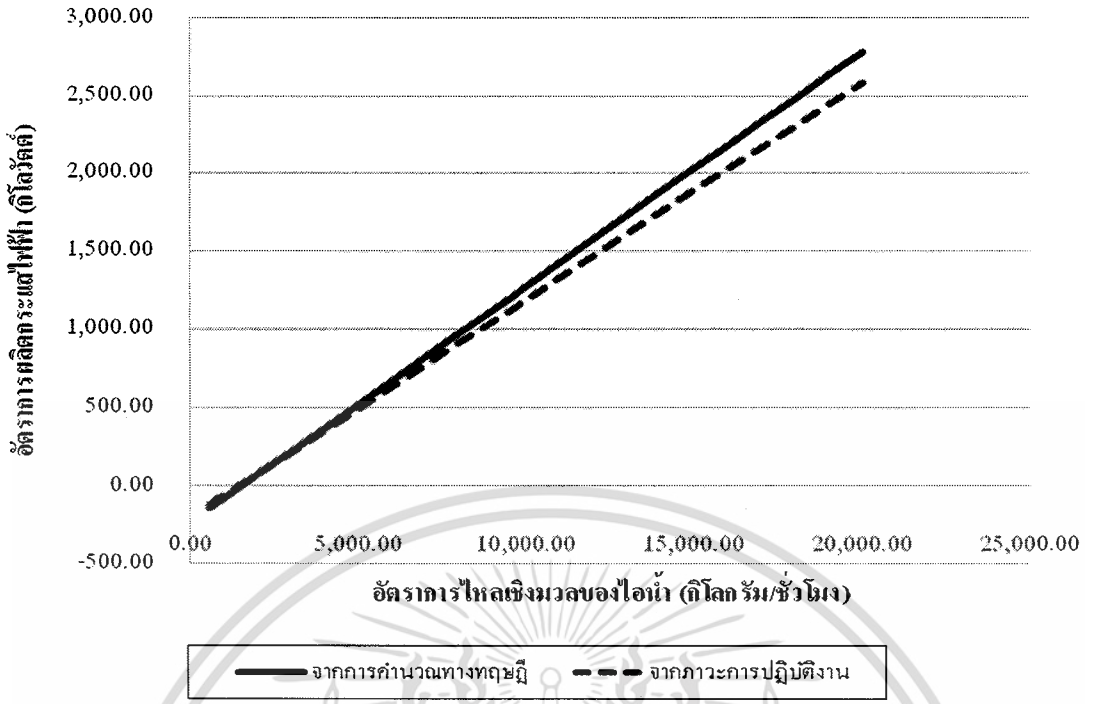
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดงอัตราการผลิตไอน้ำของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์จากการคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าภาวะการปฏิบัติงาน (แสดงในตารางที่ ช-5 ภาคผนวก ช) รูปที่ 3.10-3.11 แสดงอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 จากค่าที่คำนวณโดยทฤษฎีด้วยข้อมูลเชิงเทคนิคจากบริษัทผู้ผลิตเปรียบเทียบกับภาวะการปฏิบัติงาน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

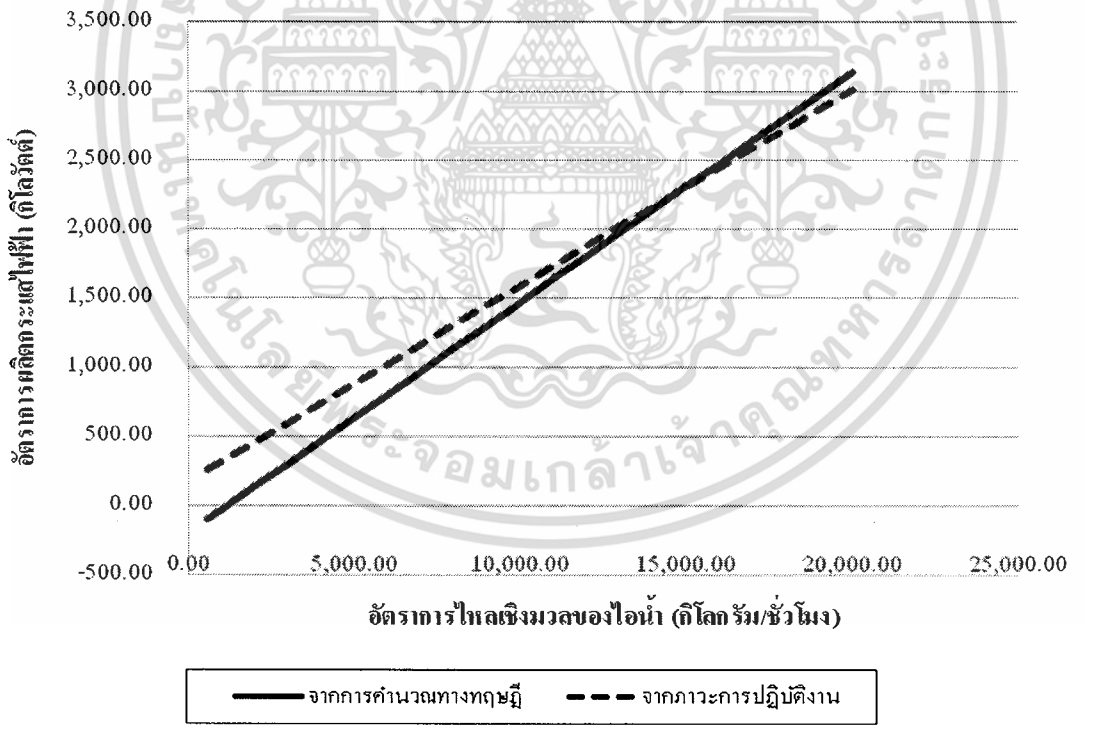


รูปที่ 3.9 อัตราการผลิตไอน้ำของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์จากความร้อนจากปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1



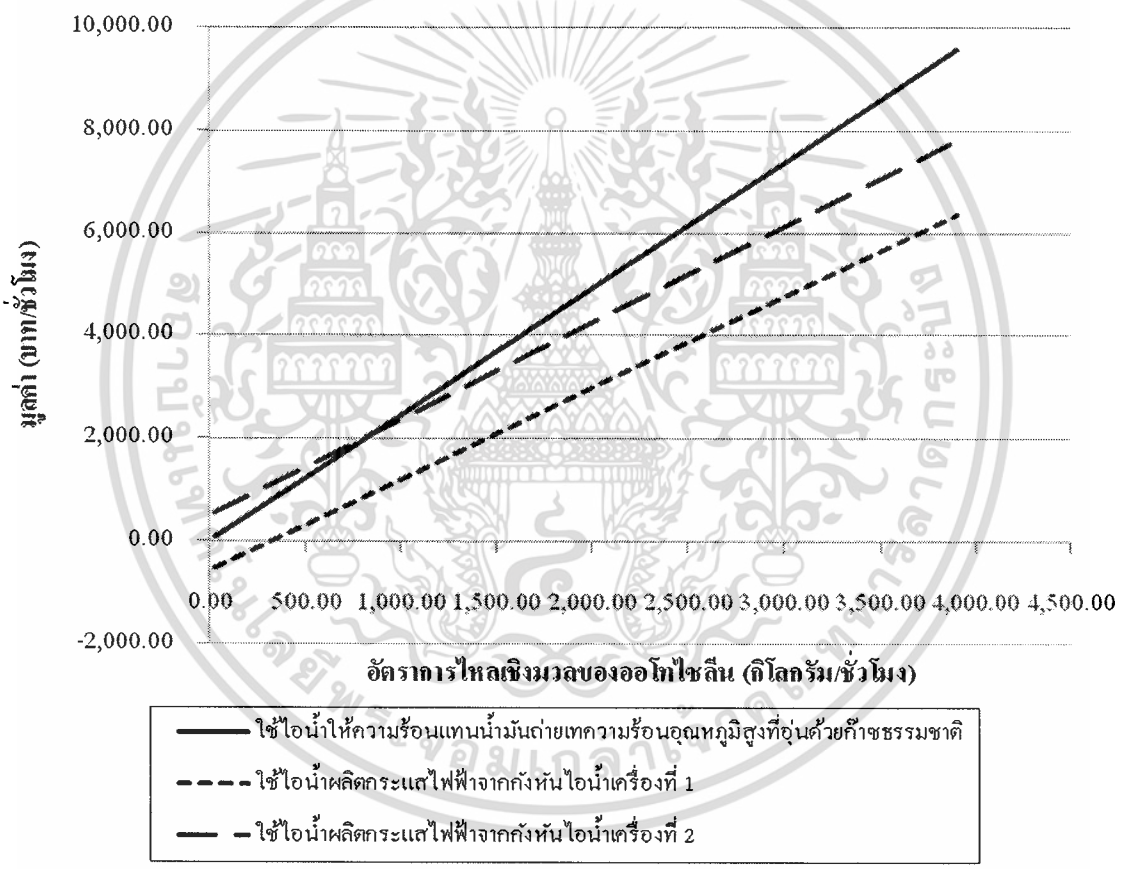
รูปที่ 3.11 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

พบว่ามูลค่าพลังงานทางทฤษฎีของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์สูงกว่ามูลค่าที่ภาวะการปฏิบัติงานเพราะค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตไอน้ำสูงกว่า ดังรูปที่ 3.9 คิดประสิทธิภาพของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ได้ร้อยละ 85 (แสดงในตารางที่ ช-5 ภาคผนวก ช) จากรูปที่ 3.10 และ 3.11 สามารถสร้างสมการแสดงอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะการปฏิบัติงาน (ภาคผนวก ง.3)

จากผลในรูปที่ 3.9-3.11 สามารถคำนวณมูลค่าพลังงานจากภาวะการปฏิบัติงานเพื่อหารูปแบบการใช้ไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนที่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สุด ดังรูปที่ 3.12 ในกรณีการนำไอน้ำไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ คิดที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ 85% ส่วนกรณีการนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำคิดจากสมการแสดงอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะการปฏิบัติงานที่ได้จากรูปที่รูปที่ ง.3 และ ง.4



รูปที่ 3.12 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของรูปแบบการใช้พลังงานจากภาวะการปฏิบัติงาน

จากรูปที่ 3.12 มูลค่าของพลังงานกรณีการนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 ติดลบเพราะในช่วงแรกต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่เครื่องอัดอากาศ ในขณะที่มูลค่าของพลังงานกรณีการนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีส่วนที่ติดลบเพราะกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 มีอัตราการไหลขาเข้าของไอน้ำต่ำสุดค่อนข้างสูง 7,500 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ดังแสดงในตารางที่ ง-2 ภาคผนวก ง) จึงมีความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าที่อัตราการไหลขาเข้าของไอน้ำต่ำ พบว่ามูลค่าพลังงานจากการนำไอน้ำไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติสูงกว่าการนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำทั้ง 2 เครื่อง มีค่าเฉลี่ยของผลต่างประมาณ 1,300 บาท ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนที่ต้องการประมาณ 2,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (แสดงในตารางที่ ช-4 ภาคผนวก ช)

3.2 วางแผนการใช้ไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

จากแผนผังกระบวนการผลิตและแผนผังแสดงระบบท่อและอุปกรณ์ พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะจัดการพลังงาน (Energy Management) ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต (Start Up) เพื่อให้ต้นทุนพลังงานต่ำ โดยเปลี่ยนรูปแบบการใช้ไอน้ำ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.2.1 ศึกษาวิธีการเริ่มกระบวนการผลิตของบริษัทจากเอกสารแสดงขั้นตอนการเริ่มกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์และการสอบถามจากบุคลากรฝ่ายปฏิบัติการที่ทำหน้าที่ควบคุมการเริ่มกระบวนการผลิต มีรายละเอียดดังนี้

1) กำหนดอัตราการไหลของออโทไซลีนในขั้นตอนการเริ่มกระบวนการผลิต

อัตราการไหลของออโทไซลีนกำหนดในหน่วย กรัมออโทไซลีน/นอร์มอลลูกบาศก์เมตรของอากาศ (g/Nm^3) การคำนวณ ($C_{o-Xylene}$) ได้จากสมการที่ 3.4

$$C_{o-Xylene}\left(\frac{g}{Nm^3}\right) = \frac{\dot{m}_{o-Xylene}\left(\frac{kg}{h}\right)\times\frac{1000\,g}{1\,kg}}{\dot{n}_{Air}\left(\frac{Nm^3}{tube\times h}\right)\times N_{tube}} \qquad (3.4)$$

เมื่อ

$\dot{m}_{o-Xylene}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน

$\dot{n}_{Air}$ = อัตราการไหลเชิงโมลของอากาศที่ภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)

N_{tube} = จำนวนท่อภายในเครื่องปฏิกรณ์ (เครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 มีจำนวนท่อ 9,000 และ 6,447 ตามลำดับ)

การเริ่มกระบวนการผลิต บริษัทจะเริ่มที่ออโทไซลีน 30 กรัม/นอร์มอลลูกบาศก์เมตร และเพิ่ม 1 กรัม/นอร์มอลลูกบาศก์เมตร ทุก 10 นาที จนมีค่า 60 กรัม/นอร์มอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

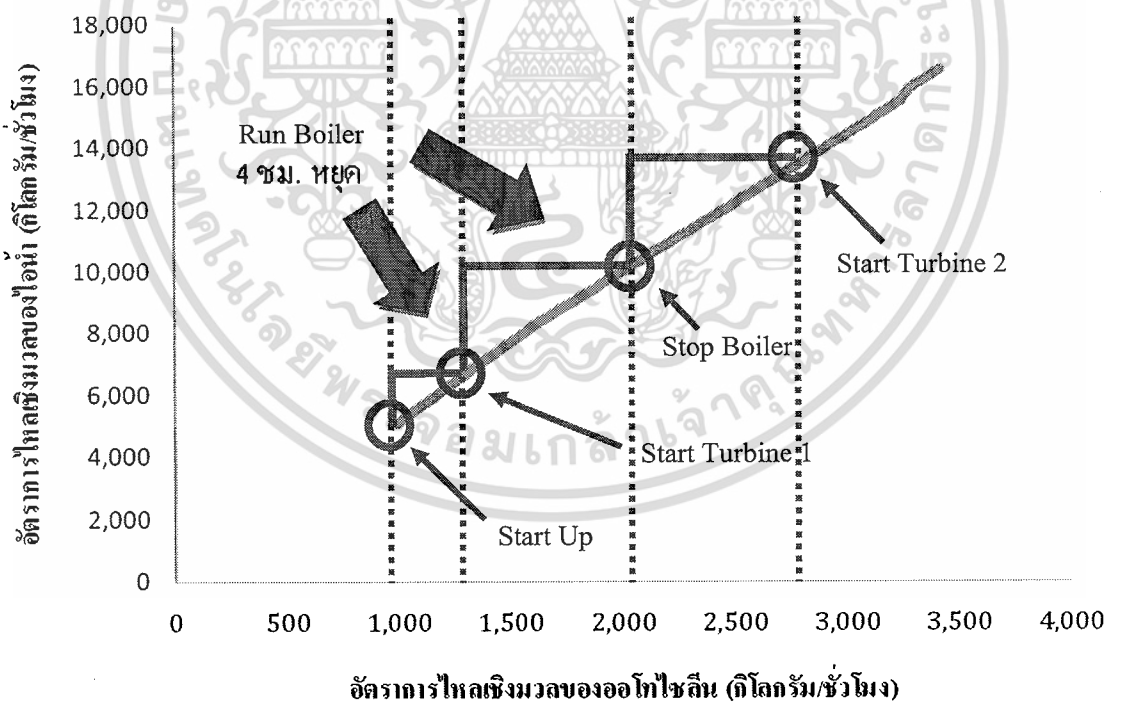
ลูกบาศก์เมตร จากนั้นจะเพิ่มที่อัตรา 1 กรัม/นอร์มอลลูกบาศก์เมตร ทุก 30 นาที จนถึงค่ากำลังการผลิตที่ต้องการ

2) การใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต

ช่วงเริ่มกระบวนการผลิตและระหว่างการผลิตจะใช้ไอน้ำที่อุปกรณ์ต่างๆ เช่นเดียวกัน ดังนี้ ใช้ให้ความร้อนแก่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงเพียงอย่างเดียว และที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงร่วมกับน้ำมันแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิสูง และใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ 2 เครื่อง ซึ่งไอน้ำที่ใช้ผลิตมาจาก

- การถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนที่อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์
- หม้อไอน้ำ (Boiler) 2 เครื่อง เมื่อปริมาณไอน้ำที่ผลิตจากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ไม่เพียงพอที่จะให้ความร้อนในกระบวนการผลิต

3.2.2 เก็บข้อมูลการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต ขั้นตอนการใช้ไอน้ำที่ผลิตได้ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 3.13 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ซ-1 ภาคผนวก ซ)

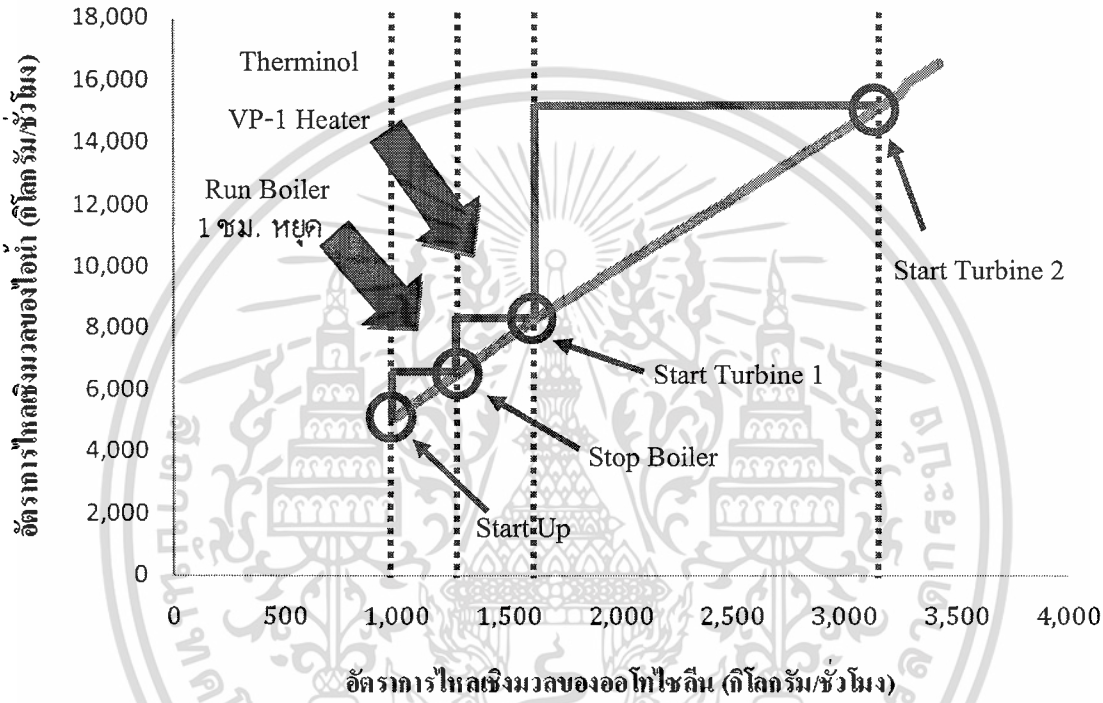


รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 พบว่าในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงาน มีการใช้ไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำนานประมาณ 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง จึงต้องหาวิธีจัดการพลังงานที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนพลังงาน

3.2.3 ทำแผนการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต โดยใช้ผลจากการดุลพลังงาน และพิจารณาการใช้ไอน้ำที่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สุด แนวทางการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตที่เสนอ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แนวทางการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตที่เสนอ

วางแผนการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตจากผลการเปรียบเทียบมูลค่าพลังงานในหัวข้อที่ 3.1 (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ซ-1 ภาคผนวก ซ) ดังนี้

ก. ผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำในอัตรา 6,700 กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อเริ่มกระบวนการผลิตเพื่อใช้ถ่ายเทความร้อนให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงเพียงอย่างเดียว และใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงถ่ายเทความร้อนให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงร่วมกับน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ

ข. ลดอัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำลง 5.13 กิโลกรัม/ชั่วโมง ทุกอัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง และใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงที่ผลิตจากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์แทนไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. หลังจาก 1 ชั่วโมง เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนประมาณ 1,334 กิโลกรัม/ชั่วโมง (อัตราการผลิตไอน้ำจากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ 6,700 กิโลกรัม/ชั่วโมง) หยุดการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ และนำไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงที่เหลือไปใช้แทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Therminol VP-1 Heater) ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงร่วมกับน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงเพื่อลดการใช้ก๊าซธรรมชาติ

ง. เริ่มนำไอน้ำที่ได้จากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ ไปผลิตกระแสไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 เมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนประมาณ 1,642 กิโลกรัม/ชั่วโมง (อัตราการผลิตไอน้ำจากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ 8,500 กิโลกรัม/ชั่วโมง)

จ. เมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนประมาณ 3,283 กิโลกรัม/ชั่วโมง (อัตราการผลิตไอน้ำจากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ 16,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง) หยุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และนำไอน้ำที่ได้จากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ไปผลิตกระแสไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 แทน

3.2.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของมูลค่าพลังงานของการใช้ไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงานและแนวทางที่เสนอ พิจารณาเฉพาะ หม้อไอน้ำ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงร่วมกับน้ำมันแลกเปลี่ยนความร้อน กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีนระหว่าง 1,334 – 3,420 กิโลกรัม/ชั่วโมง

คำนวณมูลค่าพลังงานทางทฤษฎีโดยใช้ราคาต่อหน่วยจากตารางที่ 3.1 ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และมูลค่าพลังงานจากภาวะปฏิบัติการดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 มูลค่าพลังงานทางทฤษฎีในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต

Start Up	ราคาต่อการเริ่มกระบวนการผลิต (บาท/ครั้ง)			
	ก๊าซธรรมชาติ	ไฟฟ้า	น้ำมันเตา	รวม
ก่อนการดำเนินงาน	-13,929.13**	23,890.80	-31,983.58	-22,021.92
แนวทางที่เสนอ	-1,385.56	12,064.60	-6,150.69	4,528.35
ผลต่าง	12,543.57*	-11,826.20	25,832.89	26,550.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4มูลค่าพลังงานจากภาวะปฏิบัติการในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต

Start Up	ราคาต่อการเริ่มกระบวนการผลิต (บาท/ครั้ง)			
	ก๊าซธรรมชาติ	ไฟฟ้า	น้ำมันเตา	รวม
ก่อนการดำเนินงาน	-16,387.30**	18,481.55	-34,751.88	-32,657.63
แนวทางที่เสนอ	-2,637.88	4,290.88	-6,683.05	-5,030.06
ผลต่าง	13,749.42*	-14,190.67	28,068.83	27,627.57

* ค่าบวก คือ มูลค่าพลังงานที่ได้รับ

** ค่าลบ คือ มูลค่าพลังงานที่สูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 ผลการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้เพื่อต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม

จากการคำนวณทางทฤษฎีและจากภาวะการปฏิบัติงาน พบว่าการนำไอน้ำจากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนไปให้ความร้อนแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่านำไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2

4.2 แผนการใช้ไอน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

พิจารณาลำดับการใช้ไอน้ำจากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตที่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด ควรนำไอน้ำนี้ไปใช้แทนไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำด้วยน้ำมันเตาก่อน จากนั้นจึงนำไปใช้ให้ความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงร่วมกับน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ และใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 สามารถลดต้นทุนพลังงานในโรงงานผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์โรงที่ 1 ประมาณ 27,000 บาท ต่อการเริ่มกระบวนการผลิต 1 ครั้ง

4.3 ข้อเสนอแนะ

4.3.1 การเปรียบเทียบมูลค่าของพลังงานใช้ราคาเฉลี่ยของพลังงานระหว่างเดือนมกราคม – กันยายน พ.ศ. 2551 ดังนั้นถ้ามูลค่าของพลังงานเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนจะกระทบต่อการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ ทำให้ผลต่อการเลือกใช้ประเภทของพลังงานและรูปแบบการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์แตกต่างกัน จึงต้องติดตามมูลค่าของพลังงานทั้งประเภทและรูปแบบที่ใช้ในกระบวนการผลิตอย่างสม่ำเสมอ

4.3.2 การดำเนินงานนี้เก็บข้อมูลปริมาณไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนของปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนในช่วงที่อากาศแห้ง ไม่มีฝน จากการปฏิบัติงานสังเกตได้ว่าช่วงฝนตกจะมีปริมาณความชื้นในบรรยากาศสูง ทำให้ไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนของปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนเกิดการควบแน่นและสามารถนำไปใช้ได้น้อยลง จึงต้องใช้หม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตไอน้ำในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตนานขึ้น ดังนั้นต้นทุนพลังงานจะสูงขึ้นจากราคาของน้ำมันเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **วิศวกรรมสาร,** ฉบับที่ 2, มีนาคม-เมษายน 2549. หน้า 44 – 49.

[2] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. **สถานการณ์พลังงานไทยปี 2550 และแนวโน้มปี 2551.** [Online]. Available : http://www.eppo.go.th/info/report-2550/pressenergy 2550.ppt

[3] สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. **พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน,** 2535.

[4] J.M. Smith, H.C. Van Ness, and M.M. Abbott. 2005. **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics.** New York : McGraw-Hill.

[5] R.M. Felder and R.W. Rousseau. 2000. **Elementary Principles of Chemical Processes.** 3rd Ed. New York : John Wiley & Sons.

[6] บริษัทคอนทิเนนทอล ปิโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด. **PA Process Description, Piping and Instrument Diagram, and Process Flow Diagram.**

[7] วัชระ มั่งวิทิตกุล. 2548. **กระบวนการและเทคนิค การลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : รำไพ เพรส.

[8] กุลยา ศรีงามผ่อง. 2545. **การบูรณาการพลังงานในโรงงานผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[9] R.C. Weast and M.J. Astle. 1992. **CRC Handbook of Chemistry and Physics.** Florida: CRC Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

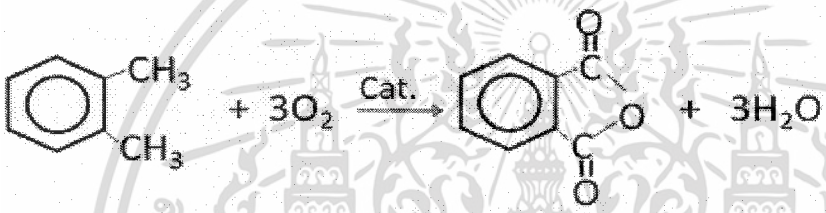
ภาคผนวก ก

การคำนวณความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของออโทไซลีน ($\Delta \dot{H}$)

ก.1 ปฏิกิริยาหลักและปฏิกิริยาข้างเคียงของการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ [6]

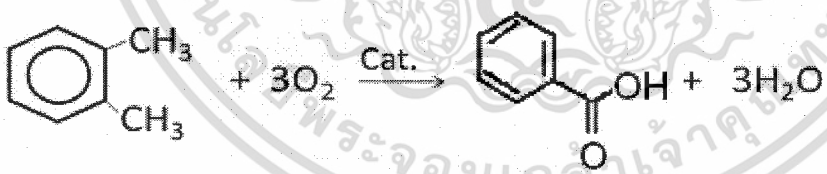
ปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน ที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส และความดัน 1.11 บาร์ ใช้วาเนเดียมเพนทอกไซด์ (V_2O_5) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาหลัก: ออโทไซลีนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ ดังสมการที่ 2.1

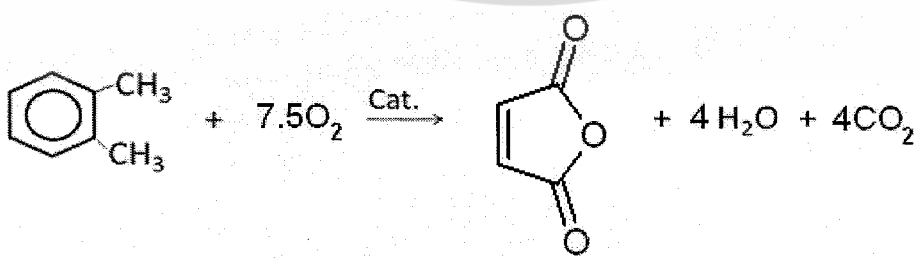


ออโทไซลีน พาทาลิกแอนไฮไดรด์ (2.1)

ปฏิกิริยาข้างเคียง: ออโทไซลีนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง ได้แก่ กรดเบนโซอิก มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ไซทราโคนิคแอนไฮไดรด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไปนี้

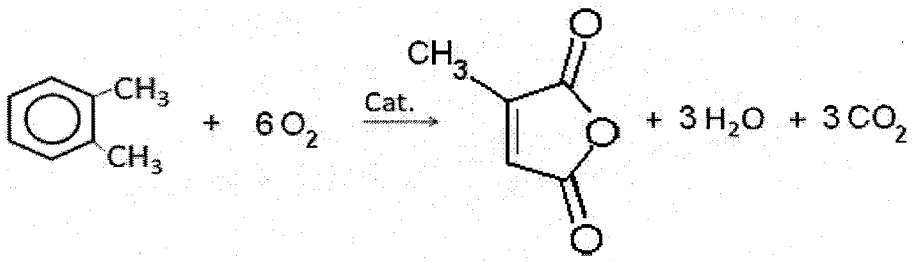


ออโทไซลีน กรดเบนโซอิก (ก-1)

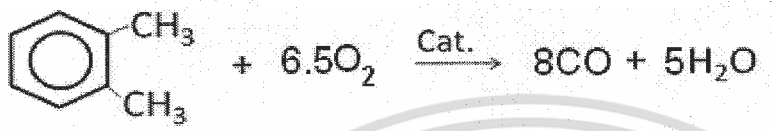


ออโทไซลีน มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (ก-2)

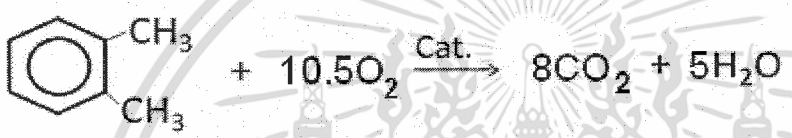
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ออโทไซลีน ไซทราโคนิคแอนไฮไดรด์ (ก-3)



ออโทไซลีน คาร์บอนมอนอกไซด์ (ก-4)



ออโทไซลีน คาร์บอนไดออกไซด์ (ก-5)

ก.2 คำนวณความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน ($\Delta\dot{H}$)

คำนวณความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนที่อัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 2,113.76 กิโลกรัม/ชั่วโมง ได้จากสมการที่ 2.3.2

$$\Delta\dot{H} = \sum_{Reaction} \dot{\varepsilon}_j \Delta\hat{H}^{\circ}_{rj} + \sum \dot{n}_{out}\hat{H}_{out} - \sum \dot{n}_{in}\hat{H}_{in} \qquad (2.3.2)$$

ก.2.1 คำนวณความร้อนจากปฏิกิริยา ($\sum_{Reaction} \dot{\varepsilon}_j \Delta\hat{H}^{\circ}_{rj}$)

1) คำนวณความร้อนมาตรฐานของปฏิกิริยา (Standard Heat of Reaction : $\Delta\hat{H}^{\circ}_{r}$) จากสมการที่ 2.2

$$\Delta\hat{H}^{\circ}_{r} = \sum_{Product}|v_i|\Delta\hat{H}^{\circ}_{fi} - \sum_{Reactant}|v_i|\Delta\hat{H}^{\circ}_{fi} \qquad (2.2)$$

โดยใช้ความร้อนมาตรฐานของการเกิด (Standard Heat of Formation: $\Delta\hat{H}^{\circ}_{fi}$) จากตารางที่ ก-1

ตัวอย่างการคำนวณความร้อนมาตรฐานของปฏิกิริยาหลัก สมการที่ 2.1

$$\Delta\hat{H}^{\circ}_{r} = \{(-371.717) + 3(-241.980)\} - \{19.008 + 3(0)\}$$
$$= -1{,}116.665 \text{ กิโลจูล/โมล}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณความร้อนมาตรฐานของปฏิกิริยาข้างเคียง สมการที่ ก-1

$$\Delta\hat{H}_r^\circ = \{(-290.396) + 3(-241.980)\} - \{19.008 + 3(0)\}$$
$$= -1{,}035.344 \text{ กิโลจูล/โมล}$$

ตารางที่ ก-1 ความร้อนมาตรฐานของการเกิด (Standard Heat of Formation : $\Delta\hat{H}_{fi}^\circ$) [9]

สารประกอบ	ความร้อนมาตรฐานของการเกิด	
	kcal/mol	kJ/mol
ออโทไซลีน	4.540	19.008
ออกซิเจน	0.000	0.000
พาทาลิกแอนไฮไดรด์	-88.783	-371.717
กรดเบนโซอิก	-69.360	-290.396
มาเลอิกแอนไฮไดรด์	-95.132	-398.299
ไซทราโคนิกแอนไฮไดรด์	-106.900	-447.569
คาร์บอนมอนอกไซด์	-26.416	-110.599
คาร์บอนไดออกไซด์	-94.052	-393.777
ไอน้ำ	-57.796	-241.980

2) คำนวณ Extent of Reaction : $\dot{\varepsilon}_j$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{|n_{A,out} - n_{A,in}|}{|\nu_A|} = \frac{n_{A,r}}{\nu_A} \qquad (2.4)$$

ตัวอย่างการคำนวณ Extent of Reaction ของปฏิกิริยาหลัก ดังนี้

จากสมการที่ 2.1

1 โมลของพาทาลิกแอนไฮไดรด์ สมมูลกับ 1 โมลของออโทไซลีน ดังนั้นจากตารางที่ ก-2 พาทาลิกแอนไฮไดรด์ 14.86 กิโลโมล/ชั่วโมง สมมูลกับออโทไซลีน 14.86 กิโลโมล/ชั่วโมง

$n_{A,r}$ = 14.86 กิโลโมล/ชั่วโมง

ν_A = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{n_{A,r}}{\nu_A} = \frac{14.86 \text{ กิโลโมล/ชั่วโมง}}{1}$$

= 14.86 กิโลโมล/ชั่วโมง

ตัวอย่างการคำนวณ Extent of Reaction ของปฏิกิริยาข้างเคียง ดังนี้

จากสมการที่ ก-1

1 โมลของกรดเบนโซอิก สมมูลกับ 1 โมลของออโทไซลีน ดังนั้นจากตารางที่ ก-2 กรดเบนโซอิก 0.08 กิโลโมล/ชั่วโมง สมมูลกับออโทไซลีน 0.08 กิโลโมล/ชั่วโมง

$n_{A,r}$ = 0.08 กิโลโมล/ชั่วโมง

ν_A = 1

$$\dot{\varepsilon}_2 = \frac{n_{A,r}}{\nu_A} = \frac{0.08 \text{ กิโลโมล/ชั่วโมง}}{1}$$

= 0.08 กิโลโมล/ชั่วโมง

ตารางที่ ก-2 องค์ประกอบและสมบัติของผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากเครื่องปฏิกรณ์

องค์ประกอบ	น้ำหนักโมเลกุล	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt)	สัดส่วนเชิงโมล (Mole Fraction)	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/h)	อัตราการไหลเชิงโมล (kmol/h)
ออกซิเจน	32.000	15.820	0.145	7,687.297	240.228
ไนโตรเจน	28.020	72.220	0.754	35,093.337	1,252.439
พาทาลิกแอนไฮไดรด์	148.120	4.530	0.009	2,201.230	14.861
กรดเบนโซอิก	122.120	0.020	0.000	9.718	0.080
มาเลอิกแอนไฮไดรด์	98.060	0.240	0.001	116.621	1.189
ไซทราโคนิกแอนไฮไดรด์	112.080	0.020	0.000	9.718	0.087
คาร์บอนมอนอกไซด์	28.010	0.630	0.007	306.131	10.929
คาร์บอนไดออกไซด์	44.010	2.200	0.015	1,069.030	24.291
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	64.070	0.010	0.000	4.859	0.076
ไอน้ำ	18.018	4.310	0.070	2,094.327	116.235
รวม		100.000	1.000	48,592.270	1,660.415

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความร้อนมาตรฐานของทุกปฏิกิริยา ($\sum_{Reaction} \dot{\varepsilon}_j \Delta\hat{H}^{\circ}_{rj}$)
ดังแสดงในตารางที่ ก-3

ตารางที่ ก-3 ความร้อนมาตรฐานของทุกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ($\sum_{Reaction} \dot{\varepsilon}_j \Delta\hat{H}^{\circ}_{rj}$)

ปฏิกิริยา	สารผลิตภัณฑ์	Extent of Reaction ($\dot{\varepsilon}_j$) (kmol/h)	ความร้อนมาตรฐานของปฏิกิริยา ($\Delta\hat{H}^{\circ}_{rj}$) (MJ/kmol)	$\dot{\varepsilon}_j \times \Delta\hat{H}^{\circ}_{rj}$ (MJ/h)
หลัก	พาทาลิกแอนไฮไดรด์	14.860	-1,116.66	-16,593.65
ข้างเคียง	กรดเบนโซอิก	0.080	-1,035.34	-82.83
	มาเลอิกแอนไฮไดรด์	1.190	-3,010.58	-3,582.59
	ไซทราโคนิกแอนไฮไดรด์	0.090	-2,373.85	-213.65
	คาร์บอนมอนอกไซด์	1.366	-2,113.70	-2,887.31
	คาร์บอนไดออกไซด์	2.323	-4,379.12	-10,172.71
$\sum_{Reaction} \dot{\varepsilon}_j \Delta\hat{H}^{\circ}_{rj}$				-33,532.73

ก.2.2 จากตัวเลขของเอนทัลปีที่เข้าและออกจากเครื่องปฏิกรณ์ในแผนผังกระบวนการผลิต

เอนทัลปีที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ ($\sum \dot{n}_{in} \hat{H}_{in}$) = 7.80223×10^6 กิโลจูล/ชั่วโมง

เอนทัลปีที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ ($\sum \dot{n}_{out} \hat{H}_{out}$) = 2.06675×10^7 กิโลจูล/ชั่วโมง

ก.2.3 แทนค่าความร้อนมาตรฐานของทุกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น($\sum_{Reaction} \dot{\varepsilon}_j \Delta\hat{H}^{\circ}_{rj}$) จากตารางที่ ก-3 ค่าเอนทัลปีที่เข้า ($\sum \dot{n}_{in} \hat{H}_{in}$) และออกจากเครื่องปฏิกรณ์ ($\sum \dot{n}_{out} \hat{H}_{out}$) ลงในสมการที่ 2.3.2 จะได้

$$\Delta\dot{H} = (-3.353 \times 10^7) + (2.067 \times 10^7) - (7.802 \times 10^6)$$
$$= -2.07 \times 10^7 \text{ กิโลจูล/ชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 ความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาต่อกิโลกรัมของออโทไซลีน (q)

$$q = \Delta \dot{H} / m \tag{3.1}$$

$$= \frac{-2.07 \times 10^7 \text{ กิโลจูล/ชั่วโมง}}{2113.76 \text{ กิโลกรัมของออโทไซลีน/ชั่วโมง}}$$

$$= -9{,}777.56 \text{ กิโลจูล/กิโลกรัมของออโทไซลีน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลของหม้อไอน้ำ

ข.1 ค่าออกแบบของหม้อไอน้ำจากบริษัทผู้ผลิตแสดงดังนี้

ข.1.1 ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ : น้ำมันเตาเกรด A

ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส = 0.985 กิโลกรัม/ลิตร

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ = 10,140 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

ข.1.2 ภาวะปฏิบัติงาน

ความดัน = 8 กิโลกรัม/ตารางเมตร•ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

= 7.8448 บาร์

อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ = 20 องศาเซลเซียส

ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ = 431.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง (หม้อไอน้ำ 12A)

= 575.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง (หม้อไอน้ำ 16A)

ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ = 6,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (หม้อไอน้ำ 12A)

= 8,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (หม้อไอน้ำ 12A)

เอนทัลปีของน้ำป้อน (ที่ 20 องศาเซลเซียส) = 20.06644 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

เอนทัลปีของไอน้ำความดัน 7.8848 บาร์ = 662.8244 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

ข.1.3 สูตรการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้}\left(\frac{kg}{h}\right)\times\text{ผลต่างเอนทัลปีของไอน้ำ}\,(kcal/kg)}{\text{ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้}\left(\frac{kg}{h}\right)\times\text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้}\,(kcal/kg)}\times 100\ \%\quad \text{(ข.1)}$$

ข.1.4 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ 12A

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{6{,}000\left(\frac{kg}{h}\right)\times 642.75796\ (kcal/kg)}{431.8\left(\frac{kg}{h}\right)\times 10{,}140(kcal/kg)}\times 100\%$$

= 88 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1.5 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ 16A

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{8{,}000\left(\frac{kg}{h}\right)\times 642.75796\ (kcal/kg)}{575.8\left(\frac{kg}{h}\right)\times 10.140(kcal/kg)} \times 100\%$$

$$= \quad 88\ \%$$

ข.2 อัตราการใช้น้ำมันเตาของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ ข-1 อัตราการใช้น้ำมันเตาของหม้อไอน้ำ 12A

ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ (L)	เวลา (s)
1	7.39
1	7.47
1	7.51
1	7.53
1	7.44
1	7.59
1	7.45
1	7.62
เฉลี่ย	7.50
อัตรา (L/h)	480.00
ประสิทธิภาพ (%)	77.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 อัตราการใช้น้ำมันเตาของหม้อไอน้ำ 16A

ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ (L)	เวลา (s)
1	6.03
1	5.98
1	6.04
1	6.02
1	5.95
1	6.01
1	5.97
1	6.05
เฉลี่ย	6.01
อัตรา (L/h)	599.38
ประสิทธิภาพ (%)	80.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลของน้ำมันถ่ายเทความร้อนจากบริษัทผู้ผลิต

ค.1 น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Therminol VP-1)

น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำมีสถานะของเหลว/ไอ เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนที่เสถียรและเหมาะสำหรับปฏิบัติงานในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 370-400 องศาเซลเซียส เป็นสารผสมยูเทกติกของ 73.5% ไดฟีนิลออกไซด์ต่อ 26.5% ไดฟีนิล เป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องระวังการแข็งตัวของน้ำมันเมื่อท่อมีความเย็น เป็นสารที่เกิดการเผาไหม้ได้แต่ไม่เกิดไฟไหม้หรือการระเบิดที่รุนแรง แต่อย่างไรก็ตามที่ภาวะความดันสูงจะรวมตัวกับอากาศแล้วเกิดการระเบิด

ค.1.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Therminol VP-1) ในสถานะของเหลว

ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$$= -0.90797T\ (°C) + 0.00078116T^{2} - 2.367*10^{-6}T^{3} + 1083.25 \qquad (ค\text{-}1)$$

ความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัม เคลวิน)

$$= 0.002414T + 5.9591*10^{-6}T^{2} - 2.9879*10^{-8}T^{3} + 4.4172*10^{-11}T^{4} + 1.498 \qquad (ค\text{-}2)$$

สภาพการนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน)

$$= -8.19477*10^{-5}T - 1.92257*10^{-7}T^{2} + 2.5034*10^{-11}T^{3} - 7.2974*10^{-15}T^{4} + 0.137743 \qquad (ค\text{-}3)$$

ความหนืดไดเนมาติกส์ (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)

$$= e^{\frac{544.149}{T+114.43} - 2.59578} \qquad (ค\text{-}4)$$

ความดันไอ (กิโลปาสคาล)

$$= -0.190859T + 4.35824*10^{-3}T^{2} - 3.6106*10^{-5}T^{3} + 1.08408*10^{-7}T^{4} + 2.12329 \qquad (ค\text{-}5)$$

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

$$= -0.528933T - 7.50103*10^{-5}T^{2} + 1.5622*10^{-6}T^{3} - 3.771*10^{-9}T^{4} + 425.18 \qquad (ค\text{-}6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Therminol VP-1) ในสถานะไอ

ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$$=-0.0303917T(°C)+4.34615*10^{-4}T^{2}-2.41006*10^{-6}T^{3}+5.33458*10^{-9}T^{4}+0.553905 \quad (ค-7)$$

ความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัม เคลวิน)

$$= 0.003703T-3.0274*10^{-6}T^{2}+2.9324*10^{-9}T^{3}+0.92709 \quad (ค-8)$$

สภาพการนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน)

$$= 4.84257*10^{-5}T+2.9067*10^{-8}T^{2}-6.5306*10^{-12}T^{3}+0.0075110 \quad (ค-9)$$

ความหนืดไดนามิกส์ (มิลลิปาสคาล/วินาที)

$$= 2.0124*10^{-5}T+3.4557*10^{-9}T^{2}-7.1288*10^{-12}T^{3}+0.005449 \quad (ค-10)$$

ค.2 น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง (Therminol 66)

น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงเป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนที่เสถียร มีประสิทธิภาพสูงและอายุการใช้งานยาวนาน เหมาะสำหรับปฏิบัติงานในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 345 องศาเซลเซียส น้ำมันชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตเรซิน การกลั่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ การผลิตเส้นใยจากพอลิเอสเทอร์ การผลิตฟีนอล การอุ่นอากาศที่ใช้ในเตาเผา เป็นต้น

ค.2.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง (Therminol 66)

ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$$= -0.614254T\ (°C) -0.000321T^{2}+1020.62 \quad (ค-11)$$

ความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัม เคลวิน)

$$= 0.003313T+0.0000008970785T^{2}+1.496005 \quad (ค-12)$$

สภาพการนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน)

$$= -0.000033T-0.00000015T^{2}+0.118294 \quad (ค-13)$$

ความหนืดไคเนมาติกส์ (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)

$$= e^{\frac{586.375}{T+62.5}-2.2809} \quad (ค-14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันไอ (กิโลปาสคาล)

$$= e^{\frac{-9094.51}{T+340}+17.6371} \qquad \text{(ค-15)}$$

ตารางที่ ค-1 สมบัติของน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Therminol VP-1) และ น้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูง (Therminol 66)

สมบัติ	ประเภทของน้ำมันถ่ายเทความร้อน	
	Therminol VP-1	Therminol 66
องค์ประกอบ	ไดฟีนิลออกไซด์/ไดฟีนิล	เทอร์ฟีนิลที่ถูกเติมไฮโดรเจน
ลักษณะ	ไม่ตกตะกอน	ของเหลวสีเหลืองอ่อน
อุณหภูมิสูงสุดเมื่อไหลแบบกลุ่ม (°C)	400	345
อุณหภูมิสูงสุดเมื่อไหลแบบฟิล์ม (°C)	430	375
ความหนืดไคเนมาติกส์ที่ 40 °C (mm^3/s)	2.48	29.64
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1,068	1,011
จุดวาบไฟ (°C)	124	170
จุดติดไฟ (°C)	127	216
อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (°C)	621	399
จุดเดือดที่ 1.013 บาร์ (°C)	257	359
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงอุณหภูมิ	0.00097/°C	0.0009/°C
ความชื้น (ppm)	< 300	< 150
ความเป็นกรด	< 0.2 mgKOH/g	< 0.2 mgKOH/g
คลอรีน (ppm)	< 10	< 10
การกัดกร่อนทองแดง	<< 1a	<< 1a
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย	166	252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

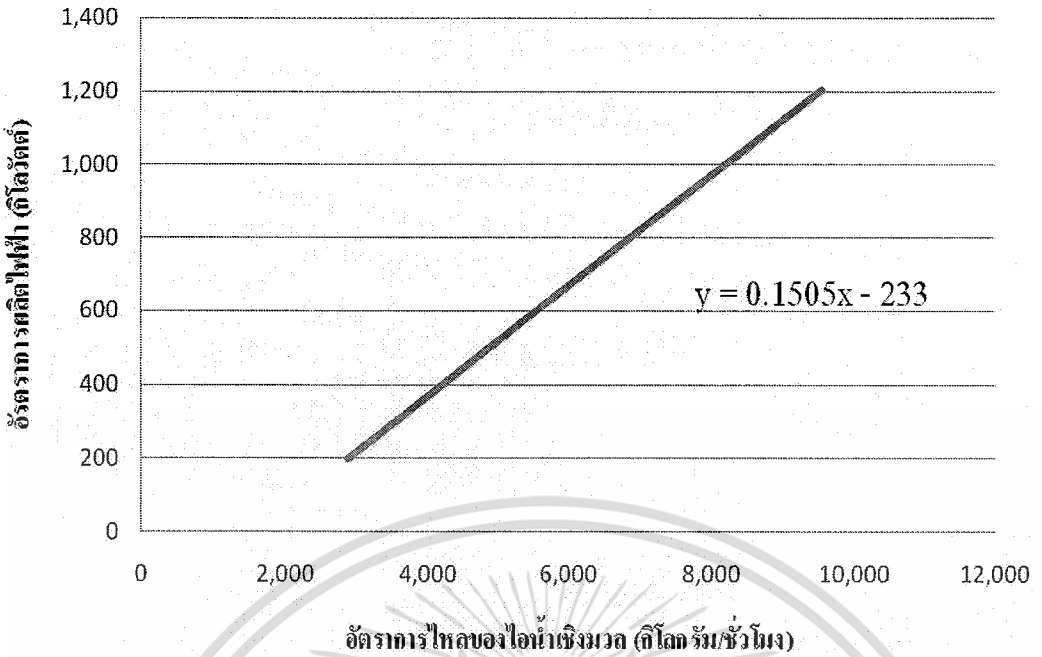
ภาคผนวก ง
ข้อมูลของกังหันไอน้ำ

ง.1 กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลเชิงเทคนิคของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 จากบริษัทผู้ผลิต

ข้อมูลเชิงเทคนิค	หน่วย	ค่าต่ำ	ค่ากลาง	ค่าสูง
ไฟฟ้าที่ผลิตได้	kW	-	1,120	1,190
ความเร็ว (Secondary Speed)	min^{-1}	1,482	1,500	1,513
ความเร็ว (Trip Speed)				
- เชิงกลศาสตร์	min^{-1}	-	1,650	-
- เชิงอิเล็กทรอนิกส์	min^{-1}	-	1,680	-
เกียร์ส่งผ่าน (Gear Transmission)		-	3.75	-
อุณหภูมิของไอน้ำขาเข้า	°C	290	340	350
ความดันของไอน้ำขาเข้า	barg	16	20	24
อุณหภูมิของไอน้ำขาออก	°C	-	-	250
ความดันของไอน้ำขาออก	barg	0.1	0.20	1.5
ความดันของไอน้ำหล่อเย็น	barg	-	6	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



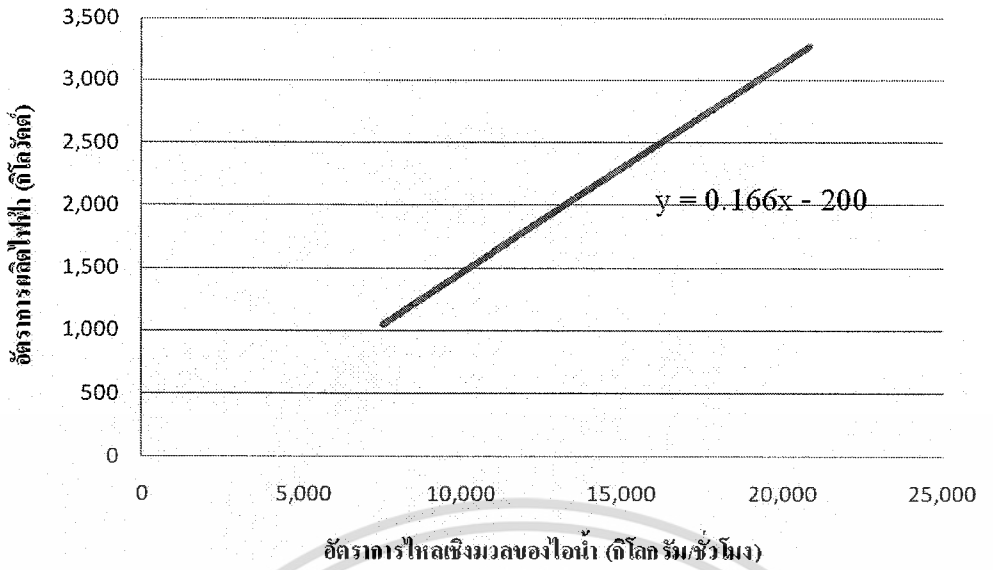
รูปที่ ง.1 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 จากบริษัทผู้ผลิต เมื่อใช้ไอน้ำความดัน 20 บาร์ อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส

ง.2 กังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลเชิงเทคนิคของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 จากบริษัทผู้ผลิต

ข้อมูลเชิงเทคนิค	หน่วย	ค่าต่ำ	ค่ากลาง	ค่าสูง
ไฟฟ้าที่ผลิตได้	kW	750	3,200	3,500
ความเร็ว				
- กังหัน	rpm	7,500	7,500	7,500
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	rpm	1,500	1,500	1,500
ความเร็ววิกฤต	rpm	8,250	8,250	8,250
อุณหภูมิของไอน้ำขาเข้า	°C	180	320	320
ความดันของไอน้ำขาเข้า	barg	10.00	26.28	29.42
อัตราการไหลของไอน้ำขาเข้า	ton/h	7.50	19.60	20.80
อุณหภูมิของไอน้ำขาออก	°C	49.50	65.00	65.00
ความดันของไอน้ำขาออก	barg	0.12	0.28	0.28
อัตราการไหลของไอน้ำขาออก	ton/h	7.50	19.60	20.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.2 อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 จากบริษัทผู้ผลิต เมื่อใช้ไอน้ำความดัน 29 บาร์ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส

ง.3 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากภาวะการปฏิบัติงาน

ตารางที่ ง-3 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากภาวะการปฏิบัติงาน

ออโทไซลีน		ไอน้ำขาเข้า		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)	
g/Nm^3	kg/h	kg/h	barg	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 2
78.0	2,667.0	2,745.0	21.0	60.0	0.0
78.0	2,667.0	2,745.0	19.0	100.0	0.0
78.0	2,667.0	2,745.0	18.8	300.0	0.0
78.0	2,667.0	2,745.0	18.0	500.0	0.0
78.0	2,665.0	2,743.0	21.5	800.0	0.0
78.0	2,668.0	2,746.0	20.0	800.0	0.0
78.0	2,667.0	2,745.0	19.5	200.0	0.0
75.0	2,565.0	2,640.0	19.8	500.0	0.0
79.0	2,559.0	2,638.0	18.0	0.0	2,370.0
79.0	2,560.0	2,639.0	18.0	0.0	2,240.0
79.0	2,560.0	2,639.0	19.0	0.0	2,250.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

ออโทไซลีน		ไอน้ำขาเข้า		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)	
g/Nm^3	kg/h	kg/h	barg	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 2
79.0	2,560.0	2,639.0	19.0	0.0	2,000.0
75.0	2,559.0	2,634.0	19.5	0.0	1,370.0
70.0	2,394.0	2,464.0	20.0	0.0	1,760.0
70.0	2,398.0	2,468.0	20.0	0.0	1,760.0
72.0	2,332.0	2,404.0	21.5	0.0	1,500.0
72.0	2,462.0	2,534.0	21.6	0.0	1,750.0
72.0	2,462.0	2,534.0	19.8	0.0	1,750.0
68.6	2,223.0	2,291.6	20.0	0.0	1,480.0
68.6	2,223.0	2,291.6	19.0	0.0	1,400.0
75.0	2,565.0	2,640.0	18.0	0.0	2,050.0
75.0	2,565.0	2,640.0	22.0	0.0	2,040.0
75.0	2,560.0	2,635.0	17.0	0.0	2,070.0
83.0	2,837.0	2,920.0	22.5	0.0	2,400.0
83.0	2,842.0	2,925.0	20.0	0.0	2,440.0
80.0	2,746.0	2,826.0	18.5	0.0	2,450.0
80.0	2,736.0	2,816.0	18.0	0.0	2,240.0
80.0	2,736.0	2,816.0	20.7	0.0	2,310.0
81.0	2,770.0	2,851.0	20.7	0.0	2,520.0
81.0	2,770.0	2,851.0	21.0	0.0	2,400.0
66.0	2,257.0	2,323.0	18.0	0.0	1,280.0
75.0	2,565.0	2,640.0	18.0	0.0	2,010.0
77.0	2,636.0	2,713.0	19.5	0.0	2,260.0
55.0	1,895.0	1,950.0	19.0	0.0	1,030.0
82.0	2,804.0	2,886.0	20.0	0.0	2,370.0
82.0	2,802.0	2,884.0	21.5	0.0	2,600.0
61.0	2,086.0	2,147.0	19.3	0.0	1,330.0

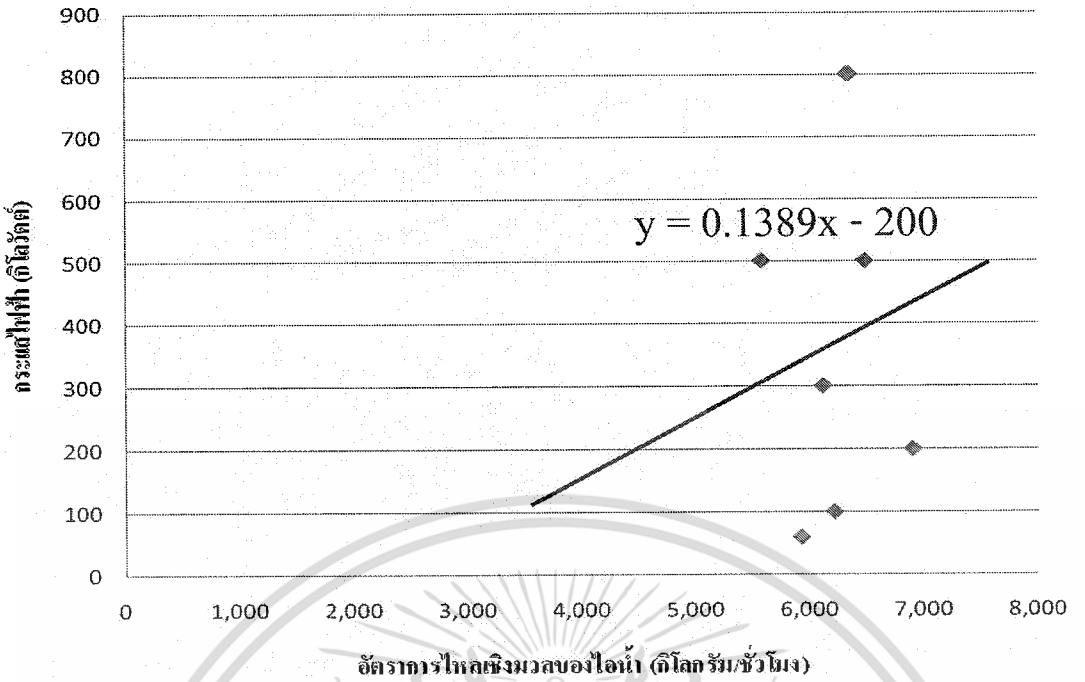
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

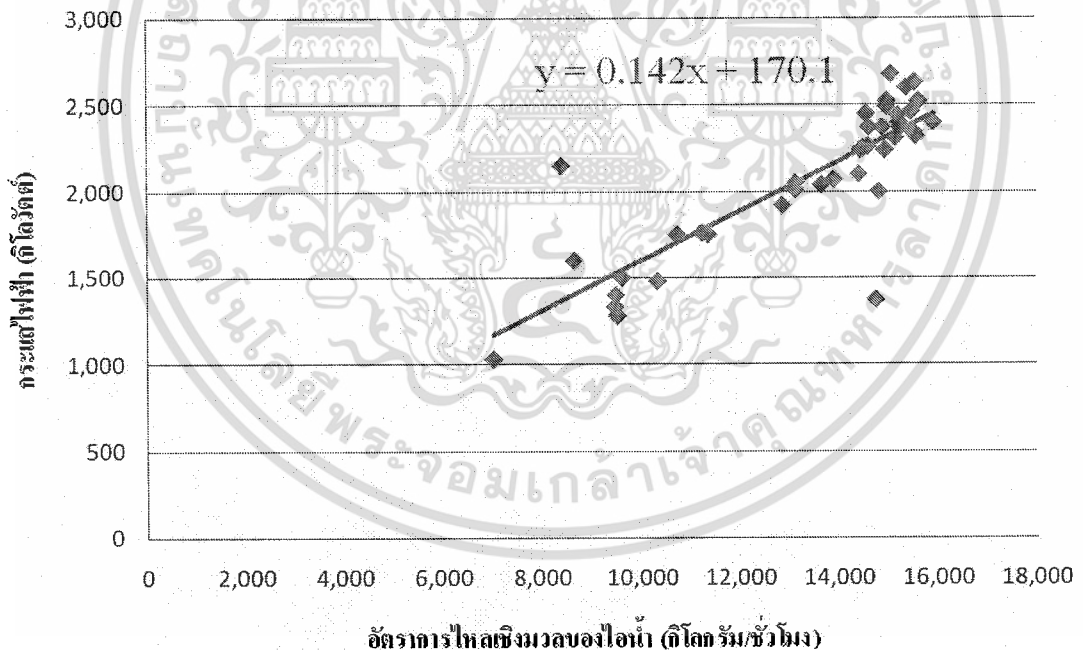
ออโทไซลีน		ไอน้ำขาเข้า		ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)	
g/Nm^3	kg/h	kg/h	barg	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	กังหันไอน้ำเครื่องที่ 2
82.0	2,804.0	2,886.0	19.5	0.0	2,150.0
82.0	2,804.0	2,886.0	21.5	0.0	2,340.0
82.0	2,804.0	2,886.0	21.5	0.0	2,460.0
63.0	2,768.0	2,831.0	19.5	400.0	0.0
63.0	2,162.0	2,225.0	19.0	400.0	0.0
78.0	2,668.0	2,746.0	18.0	0.0	2,100.0
67.0	2,291.0	2,358.0	20.0	0.0	1,600.0
83.0	2,839.0	2,922.0	20.5	0.0	2,680.0
83.0	2,839.0	2,922.0	23.0	0.0	2,630.0
83.5	2,856.0	2,939.5	21.0	0.0	2,370.0
83.5	2,856.0	2,939.5	21.7	0.0	2,320.0
82.0	2,825.0	2,907.0	20.0	0.0	2,490.0
80.0	2,745.0	2,825.0	17.5	0.0	1,920.0
70.0	2,394.0	2,464.0	20.0	230.0	0.0
75.0	2,565.0	2,640.0	19.5	0.0	2,020.0

หมายเหตุ บันทึกจากกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 ที่ภาวะการปฏิบัติงาน



รูปที่ ง.4 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 ที่ภาวะการปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการเริ่มกระบวนการผลิต

ตารางที่ จ-1 ตัวอย่างอัตราการใช้วัตถุดิบและสาธารณูปโภคระหว่างเริ่มกระบวนการผลิตครั้งที่ 1

เวลา	ออโทไซลีน (g/Nm^3)	อัตราการไหลของออโทไซลีน (kg/h)	อัตราการไหลของอากาศ (Nm^3/h)	ความดันที่อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ (barg)	ไอน้ำจากหม้อไอน้ำ 16A (kg/h)	ไอน้ำที่ส่งเข้ากังหันไอน้ำ		หมายเหตุ
						อัตราการไหล (kg/h)	ความดัน (barg)	
		FI-0132	FI-0134	PIC-0261	FIC-0927	FI-0903	PI-0904	มิเตอร์ที่อ่านค่า
10:55 AM	36	1,205	34,228.0	11.0	6,375			เริ่มเดินกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1
11:05 AM	37	1,230	34,138.1	-	5,984			
11:15 AM	38	1,293	34,277.5	19.5	6,331	-		
11:25 AM	39	ไม่มีการบันทึกผล						
11:35 AM	40	1,376	34,238.6	21.7	3,888	4,286.00	-	
11:45 AM	41	1,398	34,227.0	19.6	1,551	3,434.48		
11:55 AM	42	1,439	34,270.1	19.6	3,519	3,404.61		
12:05 PM	43	1,481	34,233.9	19.6	5,500	3,618.72		
12:15 PM	44	1,500	34,243.6	19.7	5,304	3,974.59		

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

เวลา	ออโทไซลีน (g/Nm^3)	FI-0132	FI-0134	PIC-0261	FIC-0927	FI-0903	PI-0904	หมายเหตุ
12:25 PM	45	1,549	34,307.0	20.0	6,248	4,187.91		
12:35 PM	46	1,558	34,254.3	20.6	5,924	4,234.35	20.33	
12:45 PM	47	1,609	34,309.9	19.3	5,760	5,371.54	18.86	
12:55 PM	48	1,649	34,252.2	19.6	5,123	5,257.91	18.66	
1:05 PM	49	1,677	34,223.4	19.6	5,118	5,232.66	19.94	
1:15 PM	50	1,715	34,401.1	19.8	5,520	5,468.00	19.53	
1:25 PM	51	1,759	34,109.8	20.1	5,398	5,529.70	19.89	ชะลอการเดิน
1:35 PM	52	1,784	34,183.0	19.6	1,159	4,540.56	13.66	หม้อไอน้ำ
1:45 PM	53	1,824	34,223.9	19.9	0	4,073.63	11.03	หม้อไอน้ำดับ
1:55 PM	54	1,852	34,282.8	19.7	5,026	4,405.33	14.03	เริ่มเดินหม้อไอน้ำ
2:05 PM	55	1,883	34,081.6	19.7	5,915	5,217.79	16.38	อีกครั้ง
2:15 PM	56	1,914	34,090.2	20.3	4,093	5,788.92	20.15	
2:25 PM	57	1,958	34,177.0	19.8	3,592	5,704.92	19.62	
2:35 PM	58	1,987	34,403.0	18.8	3,189	5,514.19	18.37	

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

เวลา	ออโทไซลีน (g/Nm^3)	FI-0132	FI-0134	PIC-0261	FIC-0927	FI-0903	PI-0904	หมายเหตุ
2:45 PM	59	2,030	34,277.6	18.1	2,793	5,439.26	17.68	
2:55 PM	60	2,062	34,223.3	18.6	2,338	5,506.14	18.11	
3:10 PM	61	2,096	34,267.1	17.3	0	5,219.95	16.25	หยุดหม้อไอน้ำ
3:25 PM	62	2,130	34,164.1	14.2	0	4,772.74	13.67	
3:40 PM	63	2,164	34,426.5	13.5	0	4,607.92	12.70	
3:55 PM	64	2,202	34,276.8	14.5	0	4,828.97	13.93	
4:25 PM	66	ไม่มีการบันทึกผล						
4:40 PM	67	2,295	34,253.0	17.5	0	5,177.00	16.08	
4:55 PM	68	2,333	34,223.0	16.5	0	5,086.00	15.64	
5:10 PM	69	2,361	34,275.0	18.0	0	5,277.00	16.72	
5:25 PM	70	2,401	34,234.0	18.0	0	5,247.00	16.59	
5:55 PM	71	2,424	34,372.0	19.5	0	5,471.00	18.20	
6:25 PM	72	2,468	34,234.0	20.1	0	5,703.00	19.57	
6:55 PM	73	2,493	34,261.0	20.0	0	5,502.00	18.19	

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

เวลา	ออโทไซลีน (g/Nm^3)	FI-0132	FI-0134	PIC-0261	FIC-0927	FI-0903	PI-0904	หมายเหตุ
7:25 PM	74	2,529	34,181.0	18.5	0	6,058.00	17.47	
7:55 PM	75	2,564	34,250.0	18.5	0	5,984.00	17.17	
8:25 PM	76	2,606	34,234.0	20.0	0	6,336.00	19.13	
8:55 PM	77	2,654	34,309.0	20.0	0	6,638.00	19.27	
22/23	เริ่มวันใหม่							
9:00 AM	78	2,669	34,206.3	20.5	0	6,726.64	19.61	ก่อนเพิ่มอัตราการไหล
9:00 AM	78	2,662	34,189.0	19.5	0	6,488.36	18.12	
9:00 AM	79	2,705	34,227.3	18.5	0	8,027.64	16.80	
9:30 AM	80	2,733	34,228.1	17.5	0	7,442.40	15.67	
10:00 AM	81	2,777	34,232.2	19.0	0	7,463.08	17.73	
10:30 AM	82	2,806	34,303.9	21.0	0	7,556.61	20.03	
11:00 AM	83	2,846	34,193.3	21.5	0	7,891.46	20.25	เริ่มเดินกังหันไอน้ำ
11:30 AM	84	2,874	34,246.1	19.5	0	7,093.36	18.66	เครื่องที่ 2
12:00 PM	85	2,909	34,214.9	21.5	0	7,760.64	20.80	

ตารางที่ จ-1 (ต่อ)

เวลา	ออโทไซลีน (g/Nm^3)	FI-0132	FI-0134	PIC-0261	FIC-0927	FI-0903	PI-0904	หมายเหตุ
12:30 PM	86	2,939	34,247.5	21.7	0	7,925.54	20.99	
1:00 PM	86	2,937	34,234.0	21.5	0	7,531.70	21.19	เก็บข้อมูลในลักษณะแนวโน้ม
1:30 PM	86	2,943	34,286.5	21.3	0	8,035.66	20.57	

ตารางที่ จ-2 ตัวอย่างอัตราการใช้วัตถุดิบและสาธารณูปโภคระหว่างเริ่มกระบวนการผลิตครั้งที่ 2

เวลา	เครื่องปฏิกรณ์ที่ 1			เครื่องปฏิกรณ์ที่ 2			ไอน้ำจากหม้อไอน้ำ 12A และ 16A (kg/h)	ไอน้ำที่ส่งเข้ากังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และ 2				กำลังไฟฟ้า (kW)		หมายเหตุ
	อัตราการไหลออโทไซลีน (kg/h)	อัตราการไหลอากาศ (Nm^3/h)	ความดันที่อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ (barg)	อัตราการไหลออโทไซลีน (kg/h)	อัตราการไหลของอากาศ (Nm^3/h)	ความดันที่อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ (barg)		อัตราการไหล (kg/h)	ความดัน (barg)	อัตราการไหล (kg/h)	ความดัน (barg)			
	FI-0134	FI-0132	PIC-0261	FRC-2134	FRC-2132	PIC-2261	FIC-0927	FI-0903	PI-0904	FI-0904	PI-2904	กังหันไอน้ำ 1	กังหันไอน้ำ 2	
9:00 AM	เริ่มกระบวนการผลิต													
9:12 AM	1596	33061.5	18				62.5		18	1390	19	-600		
9:22 AM	1640	32147.3	24				4.5		24	672	24	-580		หยุดหม้อไอน้ำ
9:37 AM	1671	32350.0	21						24	1622	25	-100		เริ่มกังหันไอน้ำ 1
9:47 AM	1711	32415.0	16					4185	15	2072	15	-130		
9:57 AM	1760	32460.0	15					4051	15	2151	15	-120		
10:07 AM	1763	32438.0	15					4119	15	2206	15	-110		เริ่มเครื่องปฏิกรณ์ 2
10:17 AM	1785	32430.0	16	975	23340.0	16.24		4144	16	2560	16	-80		
10:27 AM	1717	32310.0	17	1003	23330.0	16.86		4173	16	2405	17	-50		
10:37 AM	1717	32417.0	17	1026	23300.0	17.09		4215	17	2414	17	-30		
10:55 AM	1742	32186.0	18	1049	23450.0	17.94		4500	18	2549	18	10		
11:05 AM	1771	32327.0	18	1074	23350.0	18.37		4412	18	2490	18	20		
11:15 AM	1787	32302.0	20	1079	23670.0	19.77		4585	19	2561	20	90		
11:25 AM	1801	32321.0	20	1099	23300.0	20.38		4636	20	2617	20	110		
11:35 AM	1834	32458.0	20	1123	23300.0	20.17		4661	20	2616	20	110		
11:45 AM	1849	32482.0	21	1143	23200.0	21.12		4726	21	2662	21	150		

ตารางที่ จ-2 (ต่อ)

เวลา	FI-0134	FI-0132	PIC-0261	FRC-2134	FRC-2132	PIC-2261	FIC-0927	FI-0903	PI-0904	FI-0904	PI-2904	กังหันไอน้ำ 1	กังหันไอน้ำ 2	หมายเหตุ
11:55 AM	1872	32417.0	21	1167	23200.0	21.49		4695	21	2726	22	170		
12:05 PM	เปลี่ยนกะ ไม่เพิ่มอัตราการผลิต													
12:15 PM	1887	32446.0	22	1190	23520.0	21.95		4818	22	2700	22	180		
12:25 PM	1898	32412.0	23	1210	23000.0	23.14		4908	23	2783	23	210		
2:35 PM	1929	32476.0	22	1237	23130.0	21.70		6257	22	3222	22	400		
12:45 PM	1948	32404.0	20	1258	23200.0	20.22		5806	20	3188	20	320		
12:55 PM	1963	32407.0	21	1284	23330.0	20.47		5240	20	3003	21	250		เตรียมกังหันไอน้ำ 2
1:05 PM	1988	32461.0	22	1307	23500.0	21.79		5447	21	3095	22	300		
1:15 PM	2015	32448.0	22	1328	23500.0	21.87		5400	21	3098	22	300		
1:25 PM	2025	32469.0	21	1351	23500.0	21.20		6321	21	3428	21	250		เครื่องปฏิกรณ์ 1*
1:35 PM	2024	32555.0	21	1378	23310.0	21.10		6139	21	3389	21	150		
1:45 PM	2028	32534.0	21	1404	23210.0	21.03		5789	21	3401	21	-600	1061.9	เริ่มกังหันไอน้ำ 2
1:55 PM	2030	32473.0	21	1422	23210.0	21.10		6825	21	3815	21	-600	1335.6	
2:05 PM	2047	32355.0	21	1445	23350.0	20.86		6680	20	3793	21	-600	1329.8	
2:15 PM	2040	32411.0	21	1469	23200.0	21.32		6586	21	3814	21	-600	1322.9	
2:25 PM	2060	32449.0	22	1492	23300.0	21.92		6537	22	3773	22	-600	1337.8	
2:35 PM	2045	32556.0	22	1519	23290.0	21.89		6706	21	3902	22	-600	1414.6	

หมายเหตุ * เพิ่มอัตราการไหลของออโทไซลีนทุก 30 นาที

ภาคผนวก ฉ.

ข้อมูลการใช้พลังงานของบริษัท

ตารางที่ ฉ-1 อัตราการใช้ไฟฟ้าในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ทั้ง 2 โรงงาน ไดออกทิลพาทาเลต และอาคารสำนักงาน (เดือนมกราคม-กันยายน พ.ศ. 2551)

เดือน	อัตราการใช้ไฟฟ้า (kW h)						ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW h)	ไฟฟ้าที่ซื้อ (kW h)	รวม (kW h)	ราคา (Baht)	ราคา/หน่วย (Baht/ kW h)
	Air Blower	PA	DOP	Utilities	PSA Unit	Office					
มกราคม	842,300	394,800	87,570	570,400	350	29,870	1,442,290	483,000	1,925,290	1,464,492.9	3.0
กุมภาพันธ์	714,400	270,900	55,828	493,800	24,522	28,620	966,070	622,000	1,588,070	1,816,809.8	2.9
มีนาคม	902,400	381,000	48,061	519,800	37,009	33,780	1,484,050	438,000	1,922,050	1,351,140.2	3.1
เมษายน	757,500	357,900	36,142	488,500	42,918	32,710	1,203,670	512,000	1,715,670	1,584,850.0	3.1
พฤษภาคม	976,500	436,200	3,078	495,100	45,944	33,260	1,690,082	300,000	1,990,082	842,349.2	2.8
มิถุนายน	636,300	399,900	63,657	507,200	35,993	31,280	908,330	766,000	1,674,330	2,123,213.8	2.8
กรกฎาคม	781,200	375,450	21,075	501,100	42,005	31,940	1,201,770	551,000	1,752,770	1,518,374.3	2.8
สิงหาคม	798,200	361,800	44,814	528,400	30,456	30,730	1,214,400	580,000	1,794,400	1,612,283.8	2.8
กันยายน	440,600	359,850	34,770	574,800	6,730	29,400	746,150	700,000	1,446,150	2,019,355.6	2.9
รวม	6,849,400	3,337,800	394,995	4,679,100	265,927	281,590	10,856,812	4,952,000	15,808,812	14,332,869.3	26.1
เฉลี่ย	761,044.4	370,866.7	43,888.3	519,900.0	29,547.4	31,287.8	1,206,312.4	550,222.2	1,756,534.7	1,592,541.0	2.9

ตารางที่ ฉ-2 อัตราการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ทั้ง 2 โรงงาน และไดออกทิลพาทาเลต (เดือนมกราคม-กันยายน พ.ศ. 2551)

เดือน	พาทาลิกแอนไฮไดรด์		ไดออกทิลพาทาเลต		รวม		
	ปริมาณ (MMBtu)	ราคา (Baht)	ปริมาณ (MMBtu)	ราคา (Baht)	ปริมาณ (MMBtu)	ราคา (Baht)	ราคา/หน่วย (Baht/MMBtu)
มกราคม	14,342.17	4,578,112.90	815.60	260,344.77	15,157.77	4,838,457.67	319.21
กุมภาพันธ์	10,579.06	3,267,094.54	753.13	232,586.54	11,332.19	3,499,681.08	308.83
มีนาคม	12,859.97	4,039,651.33	704.95	221,443.15	13,564.92	4,261,094.48	314.13
เมษายน	10,932.79	3,439,335.88	735.00	231,222.94	11,667.79	3,670,558.82	314.59
พฤษภาคม	11,977.12	3,750,858.38	151.16	47,338.57	12,128.28	3,798,196.95	313.17
มิถุนายน	11,346.58	3,550,185.58	1,108.03	346,687.03	12,454.61	3,896,872.61	312.89
กรกฎาคม	11,884.17	3,879,920.84	462.20	150,898.16	12,346.37	4,030,819.00	326.48
สิงหาคม	11,719.33	3,829,588.63	290.12	94,804.08	12,009.45	3,924,392.71	326.78
กันยายน	12,928.26	4,377,522.46	0.00	0.00	12,928.26	4,377,522.46	338.60
รวม	108,569.45	34,712,270.55	5,020.19	1,585,325.23	113,589.64	36,297,595.78	2,874.66
เฉลี่ย	12,063.27	3,856,918.95	557.80	176,147.25	12,621.07	4,033,066.20	319.41

ภาคผนวก ช

การคำนวณมูลค่าพลังงานในการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกว่าและสามารถทดแทนกันได้

ช.1 ตัวอย่างการคำนวณมูลค่าพลังงานทางทฤษฎีเมื่อนำไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิต

ช.1.1 การคำนวณอัตราการผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง

พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยา

$$\dot{Q} = \dot{m}_{o-Xylene} q \tag{3.2}$$

อัตราการผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงที่นำไปใช้ในการให้ความร้อน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

$$\dot{m}_{Steam} \Delta H_{fs} = \dot{Q} \tag{3.3.1}$$

เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวขาออกจากอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์
(23 บาร์ 220 องศาเซลเซียส) = 2,802.5 กิโลจูล/กิโลกรัม

เอนทัลปีของน้ำขาเข้าอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์
(29 บาร์ 210 องศาเซลเซียส) = 897.67 กิโลจูล/กิโลกรัม

ดังนั้น $\Delta H_{fs}\left(\frac{\text{กิโลจูล}}{\text{กิโลกรัม}}\right)$ = (2,802.5 – 897.67) $\left(\frac{\text{กิโลจูล}}{\text{กิโลกรัม}}\right)$ = 1,904.83 $\left(\frac{\text{กิโลจูล}}{\text{กิโลกรัม}}\right)$

ช.1.2 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง

ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง (อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความดัน 23 บาร์) ถ่ายเทความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วกลั่นตัวเป็นของเหลวอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันเดิม

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง (ล้านบีทียู/ชั่วโมง)

$$= \dot{m}_{Steam}\left(\frac{\text{กิโลกรัม}}{\text{ชั่วโมง}}\right) \times \frac{0.947817}{10^6}\left(\frac{\text{ล้านบีทียู}}{\text{กิโลจูล}}\right)$$

$$\times (\text{เอนทัลปีของไอน้ำฯ-เอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัว})\left(\frac{\text{กิโลจูล}}{\text{กิโลกรัม}}\right) \tag{ช.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมี

เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงก่อนถ่ายเทความร้อน = 2,799.8 กิโลจูล/กิโลกรัม

เอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัวหลังการถ่ายเทความร้อน = 941.6 กิโลจูล/กิโลกรัม

ช.1.3 แปลงปริมาณความร้อนเป็นมูลค่าก๊าซธรรมชาติที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงไปทดแทน (ใช้ค่าก๊าซธรรมชาติ 319.41 บาท/ล้านบีทียู)

ช.1.4 ตัวอย่างการคำนวณ

ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน 900 กิโลกรัม/ชั่วโมง

พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยา = 900 × 9,777.56 = 8,799,804 กิโลจูล/ชั่วโมง

อัตราการผลิตไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง

$$= \frac{8,799,804}{2,802.5 - 897.6} = 4,619.73 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง

$$= 4,619.73 \times \frac{0.947817}{10^6} \times (2,799.8 - 941.6)$$

= 8.136 ล้านบีทียู/ชั่วโมง

มูลค่าก๊าซธรรมชาติที่ประหยัดได้ = 8.136 × 319.41 = 2,598.86 บาท/ชั่วโมง

ช.2 การคำนวณมูลค่าพลังงานทางทฤษฎีเมื่อนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

ช.2.1 การคำนวณอัตราการผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ใช้สมการที่ 3.3.1 โดยใช้เอนทัลปีของน้ำขาเข้าอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ (23 บาร์ 220 องศาเซลเซียส) 897.67 กิโลจูล/กิโลกรัม

ใช้เอนทัลปีของไอน้ำร้อนยวดยิ่งขาออกจากอุปกรณ์สตีมซุปเปอร์ฮีทเตอร์ (20 บาร์ 340 องศาเซลเซียส) 3,113.6 กิโลจูล/กิโลกรัม

ช.2.2 สมการอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 ทางทฤษฎี คือ

$$\text{กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์)} = \frac{571.67 \times \text{อัตราการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)}}{3,600} - 233 \quad \text{(ช.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช.2.3 แปลงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 เป็นค่าไฟฟ้า
(ใช้ค่าไฟฟ้า 2.90 บาท/กิโลวัตต์ ชั่วโมง)

ช.2.4 ตัวอย่างการคำนวณ
ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน 900 กิโลกรัม/ชั่วโมง

อัตราการผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

$$= \frac{8,799,804}{3,113.6 - 897.6} = 3,971.16 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า $= \frac{571.67 \times 3,971.16}{3,600} - 233 = 364.52$ กิโลวัตต์

มูลค่าไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

$= 364.52 \times 2.90 = 1,057.10$ บาท/ชั่วโมง

ช.3 การคำนวณมูลค่าพลังงานทางทฤษฎีเมื่อนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

คำนวณเช่นเดียวกับมูลค่าพลังงานทางทฤษฎีเมื่อนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

ใช้เอนทัลปีของไอน้ำขาออกจากอุปกรณ์สตีมซุปเปอร์ฮีทเตอร์ (29 บาร์ 320 องศาเซลเซียส) 3,043.3 กิโลจูล/กิโลกรัม

ช.3.1 สมการอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 ทางทฤษฎี คือ

$$\text{กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์)} = \frac{\text{อัตราการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)}}{6} - 200 \qquad \text{(ช.3)}$$

ช.3.2 ตัวอย่างการคำนวณ
ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน 900 กิโลกรัม/ชั่วโมง

อัตราการผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

$$= \frac{8,799,804}{3,043.3 - 897.6} = 4,100.12 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า = $\frac{4,100.12}{6}$ – 200 = 483.35 กิโลวัตต์

มูลค่าไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

= 483.35 × 2.90 = 1,401.73 บาท/ชั่วโมง

ช.4 การคำนวณมูลค่าพลังงานด้วยข้อมูลภาวะปฏิบัติงานเมื่อนำไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิต

ให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพร้อยละ 85 ดังนั้น

มูลค่าก๊าซธรรมชาติที่ประหยัดได้เมื่อคำนวณด้วยข้อมูลภาวะปฏิบัติงาน

= มูลค่าก๊าซธรรมชาติที่ประหยัดได้ทางทฤษฎี × 0.85

ช.5 การคำนวณมูลค่าพลังงานด้วยข้อมูลภาวะปฏิบัติงานเมื่อนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

คำนวณเช่นเดียวกับมูลค่าพลังงานทางทฤษฎีเมื่อนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

ช.5.1 สมการอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 จากภาวะปฏิบัติงาน คือ

$$\text{กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์)} = \frac{\text{อัตราการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)} \times 500}{3,600} - 200 \qquad \text{(ช.4)}$$

ช.5.2 ตัวอย่างการคำนวณ

ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน 900 กิโลกรัม/ชั่วโมง

อัตราการผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

$$= \frac{8,799,804}{3,113.6 - 897.6} = 3,971.16 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า = $\frac{3971.16 \times 500}{3,600}$ – 200 = 351.55 กิโลวัตต์

กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ = 351.55 × 2.90 = 1,057.10 บาท/ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช.6 การคำนวณมูลค่าพลังงานจากภาวะการปฏิบัติงานเมื่อนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

คำนวณเช่นเดียวกับมูลค่าพลังงานทางทฤษฎีเมื่อนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

ช.6.1 สมการอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 จากภาวะปฏิบัติงาน คือ

กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์)

$$= 0.142 \times \text{อัตราการผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง } \left(\frac{\text{กิโลกรัม}}{\text{ชั่วโมง}}\right) + 170.1 \qquad \text{(ช.6)}$$

ช.3.3 ตัวอย่างการคำนวณ

ที่อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน 900 กิโลกรัม/ชั่วโมง

อัตราการผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

$$= \frac{8,799,804}{3,043.3 - 897.6} = 4,100.12 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า = (0.142 × 4,100.12) +170.1 = 752.32 กิโลวัตต์

มูลค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ = 752.32 × 2.90 = 2181.72 บาท/ชั่วโมง

ผลการคำนวณทั้งหมดแสดงดังตารางที่ ช-1 ถึง ช-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-1 มูลค่าพลังงานเมื่อนำไอน้ำไปใช้ให้ความร้อนแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากไอน้ำ (MMBtu/h)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
100	977,756	513.30	0.904	288.76	245.45
200	1,955,512	1,026.61	1.808	577.52	490.90
300	2,933,268	1,539.91	2.712	866.29	736.34
400	3,911,024	2,053.21	3.616	1,155.05	981.79
500	4,888,780	2,566.52	4.520	1,443.81	1,227.24
600	5,866,536	3,079.82	5.424	1,732.57	1,472.69
700	6,844,292	3,593.12	6.328	2,021.33	1,718.13
800	7,822,048	4,106.43	7.232	2,310.09	1,963.58
900	8,799,804	4,619.73	8.136	2,598.86	2,209.03
1,000	9,777,560	5,133.04	9.040	2,887.62	2,454.48
1,100	10,755,316	5,646.34	9.945	3,176.38	2,699.92
1,200	11,733,072	6,159.64	10.849	3,465.14	2,945.37
1,300	12,710,828	6,672.95	11.753	3,753.90	3,190.82

ตารางที่ ช-1 (ต่อ)

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากไอน้ำ (MMBtu/h)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
1,400	13,688,584	7,186.25	12.657	4,042.67	3,436.27
1,500	14,666,340	7,699.55	13.561	4,331.43	3,681.71
1,600	15,644,096	8,212.86	14.465	4,620.19	3,927.16
1,700	16,621,852	8,726.16	15.369	4,908.95	4,172.61
1,800	17,599,608	9,239.46	16.273	5,197.71	4,418.06
1,900	18,577,364	9,752.77	17.177	5,486.47	4,663.50
2,000	19,555,120	10,266.07	18.081	5,775.24	4,908.95
2,100	20,532,876	10,779.37	18.985	6,064.00	5,154.40
2,200	21,510,632	11,292.68	19.889	6,352.76	5,399.85
2,300	22,488,388	11,805.98	20.793	6,641.52	5,645.29
2,400	23,466,144	12,319.29	21.697	6,930.28	5,890.74
2,500	24,443,900	12,832.59	22.601	7,219.04	6,136.19
2,600	25,421,656	13,345.89	23.505	7,507.81	6,381.64
2,700	26,399,412	13,859.20	24.409	7,796.57	6,627.08

ตารางที่ ช-1 (ต่อ)

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากไอน้ำ (MMBtu/h)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
2,800	27,377,168	14,372.50	25.313	8,085.33	6,872.53
2,900	28,354,924	14,885.80	26.217	8,374.09	7,117.98
3,000	29,332,680	15,399.11	27.121	8,662.85	7,363.43
3,100	30,310,436	15,912.41	28.025	8,951.62	7,608.87
3,200	31,288,192	16,425.71	28.930	9,240.38	7,854.32
3,300	32,265,948	16,939.02	29.834	9,529.14	8,099.77
3,400	33,243,704	17,452.32	30.738	9,817.90	8,345.22
3,500	34,221,460	17,965.62	31.642	10,106.66	8,590.66
3,600	35,199,216	18,478.93	32.546	10,395.42	8,836.11
3,700	36,176,972	18,992.23	33.450	10,684.19	9,081.56
3,800	37,154,728	19,505.53	34.354	10,972.95	9,327.01
3,900	38,132,484	20,018.84	35.258	11,261.71	9,572.45
4,000	39,110,240	20,532.14	36.162	11,550.47	9,817.90

ตารางที่ ช-2 มูลค่าพลังงานเมื่อนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี (kW)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะปฏิบัติงาน (kW)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
0	0	0.00	-233.00	-200.00	-675.70	-580.00
100	977,756	441.24	-166.61	-138.72	-483.17	-402.28
200	1,955,512	882.48	-100.22	-77.43	-290.63	-224.56
300	2,933,268	1,323.72	-33.83	-16.15	-98.10	-46.84
400	3,911,024	1,764.96	32.56	45.13	94.43	130.89
500	4,888,780	2,206.20	98.95	106.42	286.96	308.61
600	5,866,536	2,647.44	165.34	167.70	479.50	486.33
700	6,844,292	3,088.68	231.73	228.98	672.03	664.05
800	7,822,048	3,529.92	298.12	290.27	864.56	841.77
900	8,799,804	3,971.16	364.52	351.55	1,057.10	1,019.49
1,000	9,777,560	4,412.40	430.91	412.83	1,249.63	1,197.21
1,100	10,755,316	4,853.64	497.30	474.12	1,442.16	1,374.94
1,200	11,733,072	5,294.87	563.69	535.40	1,634.69	1,552.66
1,300	12,710,828	5,736.11	630.08	596.68	1,827.23	1,730.38

ตารางที่ ช-2 (ต่อ)

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี (kW)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะปฏิบัติงาน (kW)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
1,400	13,688,584	6,177.35	696.47	657.97	2,019.76	1,908.10
1,600	15,644,096	7,059.83	829.25	780.53	2,404.82	2,263.54
1,700	16,621,852	7,501.07	895.64	841.82	2,597.36	2,441.27
1,800	17,599,608	7,942.31	962.03	903.10	2,789.89	2,618.99
1,900	18,577,364	8,383.55	1,028.42	964.38	2,982.42	2,796.71
2,000	19,555,120	8,824.79	1,094.81	1,025.67	3,174.96	2,974.43
2,100	20,532,876	9,266.03	1,161.20	1,086.95	3,367.49	3,152.15
2,200	21,510,632	9,707.27	1,227.59	1,148.23	3,560.02	3,329.87
2,300	22,488,388	10,148.51	1,293.98	1,209.52	3,752.55	3,507.59
2,400	23,466,144	10,589.75	1,360.37	1,270.80	3,945.09	3,685.32
2,500	24,443,900	11,030.99	1,426.77	1,332.08	4,137.62	3,863.04
2,600	25,421,656	11,472.23	1,493.16	1,393.37	4,330.15	4,040.76
2,700	26,399,412	11,913.47	1,559.55	1,454.65	4,522.69	4,218.48
2,800	27,377,168	12,354.71	1,625.94	1,515.93	4,715.22	4,396.20

ตารางที่ ช-2 (ต่อ)

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี (kW)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะปฏิบัติงาน (kW)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
2,900	28,354,924	12,795.95	1,692.33	1,577.21	4,907.75	4,573.92
3,000	29,332,680	13,237.19	1,758.72	1,638.50	5,100.28	4,751.64
3,100	30,310,436	13,678.43	1,825.11	1,699.78	5,292.82	4,929.37
3,200	31,288,192	14,119.67	1,891.50	1,761.06	5,485.35	5,107.09
3,300	32,265,948	14,560.91	1,957.89	1,822.35	5,677.88	5,284.81
3,400	33,243,704	15,002.15	2,024.28	1,883.63	5,870.42	5,462.53
3,500	34,221,460	15,443.38	2,090.67	1,944.91	6,062.95	5,640.25
3,600	35,199,216	15,884.62	2,157.06	2,006.20	6,255.48	5,817.97
3,700	36,176,972	16,325.86	2,223.45	2,067.48	6,448.01	5,995.70
3,800	37,154,728	16,767.10	2,289.84	2,128.76	6,640.55	6,173.42
3,900	38,132,484	17,208.34	2,356.23	2,190.05	6,833.08	6,351.14
4,000	39,110,240	17,649.58	2,422.62	2,251.33	7,025.61	6,528.86

ตารางที่ ช-3 มูลค่าพลังงานเมื่อนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี (kW)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะปฏิบัติงาน (kW)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
0	0	0.00	-200.00	170.10	-580.00	493.29
100	977,756	455.57	-124.07	234.79	-359.81	680.89
200	1,955,512	911.14	-48.14	299.48	-139.62	868.50
300	2,933,268	1,366.71	27.78	364.17	80.58	1,056.10
400	3,911,024	1,822.28	103.71	428.86	300.77	1,243.70
500	4,888,780	2,277.85	179.64	493.55	520.96	1,431.31
600	5,866,536	2,733.41	255.57	558.24	741.15	1,618.91
700	6,844,292	3,188.98	331.50	622.94	961.34	1,806.51
800	7,822,048	3,644.55	407.43	687.63	1,181.53	1,994.12
900	8,799,804	4,100.12	483.35	752.32	1,401.73	2,181.72
1,000	9,777,560	4,555.69	559.28	817.01	1,621.92	2,369.32
1,100	10,755,316	5,011.26	635.21	881.70	1,842.11	2,556.93
1,200	11,733,072	5,466.83	711.14	946.39	2,062.30	2,744.53
1,300	12,710,828	5,922.40	787.07	1,011.08	2,282.49	2,932.13

ตารางที่ ช-3 (ต่อ)

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี (kW)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะปฏิบัติงาน (kW)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
1,400	13,688,584	6,377.97	862.99	1,075.77	2,502.68	3,119.74
1,600	15,644,096	7,289.11	1,014.85	1,205.15	2,943.07	3,494.94
1,700	16,621,852	7,744.67	1,090.78	1,269.84	3,163.26	3,682.55
1,800	17,599,608	8,200.24	1,166.71	1,334.53	3,383.45	3,870.15
1,900	18,577,364	8,655.81	1,242.64	1,399.23	3,603.64	4,057.75
2,000	19,555,120	9,111.38	1,318.56	1,463.92	3,823.83	4,245.36
2,100	20,532,876	9,566.95	1,394.49	1,528.61	4,044.03	4,432.96
2,200	21,510,632	10,022.52	1,470.42	1,593.30	4,264.22	4,620.56
2,300	22,488,388	10,478.09	1,546.35	1,657.99	4,484.41	4,808.17
2,400	23,466,144	10,933.66	1,622.28	1,722.68	4,704.60	4,995.77
2,500	24,443,900	11,389.23	1,698.20	1,787.37	4,924.79	5,183.37
2,600	25,421,656	11,844.80	1,774.13	1,852.06	5,144.98	5,370.98
2,700	26,399,412	12,300.36	1,850.06	1,916.75	5,365.18	5,558.58
2,800	27,377,168	12,755.93	1,925.99	1,981.44	5,585.37	5,746.18

ตารางที่ ช-3 (ต่อ)

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	ความร้อนจากปฏิกิริยา (kJ/h)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/h)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎี (kW)	อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าจากภาวะปฏิบัติงาน (kW)	มูลค่าทางทฤษฎี (Baht/h)	มูลค่าจากภาวะปฏิบัติงาน (Baht/h)
2,900	28,354,924	13,211.50	2,001.92	2,046.13	5,805.56	5,933.79
3,000	29,332,680	13,667.07	2,077.85	2,110.82	6,025.75	6,121.39
3,100	30,310,436	14,122.64	2,153.77	2,175.52	6,245.94	6,308.99
3,200	31,288,192	14,578.21	2,229.70	2,240.21	6,466.13	6,496.60
3,300	32,265,948	15,033.78	2,305.63	2,304.90	6,686.33	6,684.20
3,400	33,243,704	15,489.35	2,381.56	2,369.59	6,906.52	6,871.80
3,500	34,221,460	15,944.92	2,457.49	2,434.28	7,126.71	7,059.41
3,600	35,199,216	16,400.49	2,533.41	2,498.97	7,346.90	7,247.01
3,700	36,176,972	16,856.06	2,609.34	2,563.66	7,567.09	7,434.61
3,800	37,154,728	17,311.62	2,685.27	2,628.35	7,787.29	7,622.22
3,900	38,132,484	17,767.19	2,761.20	2,693.04	8,007.48	7,809.82
4,000	39,110,240	18,222.76	2,837.13	2,757.73	8,227.67	7,997.42

ตารางที่ ช-4 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของรูปแบบการใช้ไอน้ำที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	มูลค่าพลังงานจากการคำนวณทางทฤษฎี (Baht)			ผลต่างของมูลค่าพลังงานจากการคำนวณทางทฤษฎี (Baht)			มูลค่าพลังงานจากภาวะการปฏิบัติงาน (Baht)			ผลต่างของมูลค่าพลังงานจากภาวะการปฏิบัติงาน (Baht)		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 1 และ 2	กรณีที่ 1 และ 3	เฉลี่ย	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 1 และ 2	กรณีที่ 1 และ 3	เฉลี่ย
1,000	2,887.62	1,249.63	1,621.92	1,637.99	1,265.70	1,451.85	2,454.48	1,197.21	2,369.32	1,257.27	85.16	671.22
2,000	5,775.24	3,174.96	3,823.83	2,600.28	1,951.41	2,275.85	4,908.95	2,974.43	4,245.36	1,934.52	663.59	1,299.06
3,000	8,662.85	5,100.28	6,025.75	3,562.57	2,637.10	3,099.84	7,363.43	4,751.64	6,121.39	2,611.79	1,242.04	1,926.92
4,000	11,550.47	7,025.61	8,227.67	4,524.86	3,322.80	3,923.83	9,817.90	6,528.86	7,997.42	3,289.04	1,820.48	2,554.76

หมายเหตุ

กรณีที่ 1: การนำไอน้ำไปใช้ให้ความร้อนแทนน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิสูงที่อุ่นด้วยก๊าซธรรมชาติ

กรณีที่ 2: การนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1

กรณีที่ 3: การนำไอน้ำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2

ตารางที่ ช-5 อัตราการผลิตไอน้ำของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์จากการคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับภาวะการปฏิบัติงาน

อัตราการไหลเชิงมวลของ ออโทไซลีน (kg/h)	อัตราการผลิตไอน้ำ จากการคำนวณทางทฤษฎี (kg/h)	อัตราการผลิตไอน้ำ จากภาวะการปฏิบัติงาน (kg/h)	ประสิทธิภาพของ อุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์ (%)
2,760	14,167	12,354	87
2,720	13,962	12,258	88
2,743	14,080	12,283	87
2,791	14,326	12,509	87
2,845	14,603	12,242	84
2,866	14,711	12,456	85
2,900	14,886	12,753	86
2,957	15,178	12,763	84
2,992	15,358	12,638	82
3,039	15,599	12,611	81
3,077	15,794	12,728	81
3,108	15,953	12,911	81
3,166	16,251	14,739	91
3,206	16,457	14,284	87
3,247	16,667	13,423	81

ตารางที่ ช-5 (ต่อ)

อัตราการไหลเชิงมวลของออโทไซลีน (kg/h)	อัตราการผลิตไอน้ำจากการคำนวณทางทฤษฎี (kg/h)	อัตราการผลิตไอน้ำจากภาวะการปฏิบัติงาน (kg/h)	ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ซอลท์บาทคูลเลอร์
3,295	16,913	13,772	81
3,343	17,160	13,738	80
3,376	17,329	14,999	87
3,402	17,463	14,828	85
3,432	17,617	14,513	82
3,452	17,719	15,930	90
3,492	17,925	15,813	88
3,509	18,012	15,710	87
3,552	18,233	15,780	87
3,564	18,294	16,088	88
เฉลี่ย			85

ภาคผนวก ซ

การคำนวณมูลค่าพลังงานที่ใช้ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต

การคำนวณมูลค่าพลังงาน ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ จะคำนวณความแตกต่างของมูลค่าพลังงานเฉพาะอุปกรณ์ส่วนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไอน้ำ และการใช้ความร้อนจากไอน้ำ คือ กังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 และ 2 หม้อไอน้ำ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำความดันสูงร่วมกับน้ำมันแลกเปลี่ยนความร้อน

กำหนดให้เริ่มกระบวนการผลิตที่ออโทไซลีน 34 กรัม/นอร์มอลลูกบาศก์เมตร และเพิ่มออโทไซลีน 1 กรัม/นอร์มอลลูกบาศก์เมตร ทุก 10 นาที ในช่วงออโทไซลีน 34-60 กรัม/นอร์มอลลูกบาศก์เมตร หลังจากนั้นจะเพิ่ม ทุก 15 นาที จนถึง 100 กรัมออโทไซลีน/นอร์มอลลูกบาศก์เมตร

ซ.1 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ซ.1.1 เมื่อไม่นำไอน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ จะคิดว่ากังหันไอน้ำใช้ไฟฟ้า 600 กิโลวัตต์

ซ.1.2 คำนวณอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 ทางทฤษฎีจากสมการ ช.4

ซ.1.3 การคำนวณอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1 ด้วยข้อมูลภาวะปฏิบัติงาน คิดจากสมการ ช.5

ซ.1.4 คำนวณอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 ทางทฤษฎีจากสมการ ช.6

ซ.1.5 คำนวณอัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2 ด้วยข้อมูลภาวะปฏิบัติงาน คิดจากสมการ ช.7

ซ.2 การคำนวณค่าก๊าซธรรมชาติ

ซ.2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ไอน้ำความดันสูงร่วมกับน้ำมันแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิสูง ต้องการความร้อน 3.04 ล้านบีทียู/ชั่วโมง เทียบเท่าการใช้ก๊าซธรรมชาติ 971.8 บาท/ชั่วโมง (319 $\frac{\text{บาท}}{\text{ล้านบีทียู}}$ × 3.04 ล้านบีทียู)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ.2.2 เมื่อคิดมูลค่าพลังงานจากภาวะการปฏิบัติงาน จะกำหนดให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพร้อยละ 85

ซ.3 การคำนวณค่าน้ำมันเตา

คิดที่ราคาน้ำมันเตาในตลาดประมาณ 11.12 บาท/ลิตร

ซ.3.1 หม้อไอน้ำใช้น้ำมันเตา 584.09 ลิตร/ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี ร้อยละ 88 ดังนั้นหม้อไอน้ำจะใช้น้ำมันเตา 7,380.83 บาท/ชั่วโมง

ซ.3.2 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจากภาวะปฏิบัติงาน ร้อยละ 81 ดังนั้นต้องใช้น้ำมันเตา 8,019.67 บาท/ชั่วโมง

ผลการคำนวณมูลค่าพลังงานที่ใช้ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ ซ-1 และ ซ-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ-1 มูลค่าพลังงานทางทฤษฎีในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
เริ่มกระบวนการผลิต	34	1,162.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	35	1,197.00	-290.00	-161.97	-1,230.14	-161.97	-161.97	-1,230.14
	36	1,231.20	-290.00	-161.97	-1,230.14	-161.97	-161.97	-1,230.14
	37	1,265.40	-290.00	-161.97	-1,230.14	-161.97	-161.97	-1,230.14
	38	1,299.60	-290.00	-161.97	-1,230.14	-161.97	-161.97	-1,230.14
หยุดเดินหม้อไอน้ำ	39	1,333.80	-290.00	-161.97	-1,230.14	-161.97	-161.97	-1,230.14
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	40	1,368.00	-290.00	-161.97	-1,230.14	-161.97	-131.02	0.00
	41	1,402.20	-63.89	-161.97	-1,230.14	-161.97	-114.15	0.00
	42	1,436.40	-52.91	-161.97	-1,230.14	-161.97	-97.27	0.00
	43	1,470.60	-41.94	-161.97	-1,230.14	-161.97	-80.40	0.00
	44	1,504.80	-30.96	-161.97	-1,230.14	-161.97	-63.53	0.00
	45	1,539.00	-19.99	-161.97	-1,230.14	-161.97	-46.66	0.00
	46	1,573.20	-9.01	-161.97	-1,230.14	-161.97	-29.78	0.00
	47	1,607.40	1.96	-161.97	-1,230.14	-161.97	-12.91	0.00

ตารางที่ ซ-1 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	48	1,641.60	12.93	-161.97	-1,230.14	-161.97	0.00	0.00
	49	1,675.80	23.91	-161.97	-1,230.14	-107.00	0.00	0.00
	50	1,710.00	34.88	-161.97	-1,230.14	-96.02	0.00	0.00
	51	1,744.20	45.86	-161.97	-1,230.14	-85.05	0.00	0.00
	52	1,778.40	56.83	-161.97	-1,230.14	-74.07	0.00	0.00
	53	1,812.60	67.81	-161.97	-1,230.14	-63.10	0.00	0.00
	54	1,846.80	78.78	-161.97	-1,230.14	-52.12	0.00	0.00
	55	1,881.00	89.75	-161.97	-1,230.14	-41.15	0.00	0.00
	56	1,915.20	100.73	-161.97	-1,230.14	-30.17	0.00	0.00
	57	1,949.40	111.70	-161.97	-1,230.14	-19.20	0.00	0.00
	58	1,983.60	122.68	-161.97	-1,230.14	-8.23	0.00	0.00
	59	2,017.80	133.65	-161.97	-1,230.14	2.75	0.00	0.00
หยุดเดินหม้อไอน้ำ	60	2,052.00	144.63	-161.97	-1,230.14	13.72	0.00	0.00
	61	2,086.20	233.40	-242.95	0.00	37.05	0.00	0.00

ตารางที่ ซ-1 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
	62	2,120.40	249.86	-242.95	0.00	53.51	0.00	0.00
	63	2,154.60	266.32	-242.95	0.00	69.97	0.00	0.00
	64	2,188.80	282.79	-242.95	0.00	86.43	0.00	0.00
	65	2,223.00	299.25	-242.95	0.00	102.89	0.00	0.00
	66	2,257.20	315.71	-242.95	0.00	119.35	0.00	0.00
	67	2,291.40	332.17	-242.95	0.00	135.81	0.00	0.00
	68	2,325.60	348.63	-242.95	0.00	152.28	0.00	0.00
	69	2,359.80	365.09	-242.95	0.00	168.74	0.00	0.00
	70	2,394.00	381.55	-242.95	0.00	185.20	0.00	0.00
	71	2,428.20	398.02	-242.95	0.00	201.66	0.00	0.00
	72	2,462.40	414.48	-242.95	0.00	218.12	0.00	0.00
	73	2,496.60	430.94	-242.95	0.00	234.58	0.00	0.00
	74	2,530.80	447.40	-242.95	0.00	251.05	0.00	0.00
	75	2,565.00	463.86	-242.95	0.00	267.51	0.00	0.00

ตารางที่ ซ-1 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
	76	2,599.20	480.32	-242.95	0.00	283.97	0.00	0.00
	77	2,633.40	496.79	-242.95	0.00	300.43	0.00	0.00
	78	2,667.60	513.25	-242.95	0.00	316.89	0.00	0.00
	79	2,701.80	529.71	-242.95	0.00	333.35	0.00	0.00
	80	2,736.00	546.17	-242.95	0.00	349.82	0.00	0.00
	81	2,770.20	562.63	-242.95	0.00	366.28	0.00	0.00
	82	2,804.40	579.09	-242.95	0.00	382.74	0.00	0.00
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2	83	2,838.60	722.53	-242.95	0.00	399.20	0.00	0.00
	84	2,872.80	741.36	-242.95	0.00	415.66	0.00	0.00
	85	2,907.00	760.18	-242.95	0.00	432.12	0.00	0.00
	86	2,941.20	779.01	-242.95	0.00	448.58	0.00	0.00
	87	2,975.40	797.83	-242.95	0.00	465.05	0.00	0.00
	88	3,009.60	816.66	-242.95	0.00	481.51	0.00	0.00
	89	3,043.80	835.49	-242.95	0.00	497.97	0.00	0.00

ตารางที่ ซ-1 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
	90	3,078.00	854.31	-242.95	0.00	514.43	0.00	0.00
	91	3,112.20	873.14	-242.95	0.00	530.89	0.00	0.00
	92	3,146.40	891.97	-242.95	0.00	547.35	0.00	0.00
	93	3,180.60	910.79	-242.95	0.00	563.82	0.00	0.00
	94	3,214.80	929.62	-242.95	0.00	580.28	0.00	0.00
	95	3,249.00	948.45	-242.95	0.00	596.74	0.00	0.00
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2	96	3,283.20	967.27	-242.95	0.00	613.20	0.00	0.00
	97	3,317.40	986.10	-242.95	0.00	768.60	0.00	0.00
	98	3,351.60	1,004.93	-242.95	0.00	787.43	0.00	0.00
	99	3,385.80	1,023.75	-242.95	0.00	806.25	0.00	0.00
	100	3,420.00	1,042.58	-242.95	0.00	825.08	0.00	0.00
ผลรวม			23,890.80	-13,929.13	-31,983.58	12,064.60	-1,385.56	-6,150.69

ตารางที่ ซ-2 มูลค่าพลังงานเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติงานในช่วงเริ่มกระบวนการผลิต

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
เริ่มกระบวนการผลิต	34	1,162.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	35	1,197.00	-290.00	-190.55	-1,336.61	-290.00	-190.55	-1,336.61
	36	1,231.20	-290.00	-190.55	-1,336.61	-290.00	-190.55	-1,336.61
	37	1,265.40	-290.00	-190.55	-1,336.61	-290.00	-190.55	-1,336.61
	38	1,299.60	-290.00	-190.55	-1,336.61	-290.00	-190.55	-1,336.61
หยุดเดินหม้อไอน้ำ	39	1,333.80	-290.00	-190.55	-1,336.61	-290.00	-190.55	-1,336.61
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	40	1,368.00	-290.00	-190.55	-1,336.61	-290.00	-260.84	0.00
	41	1,402.20	-136.53	-190.55	-1,336.61	-290.00	-246.50	0.00
	42	1,436.40	-126.40	-190.55	-1,336.61	-290.00	-232.15	0.00
	43	1,470.60	-116.27	-190.55	-1,336.61	-290.00	-217.81	0.00
	44	1,504.80	-106.14	-190.55	-1,336.61	-290.00	-203.47	0.00
	45	1,539.00	-96.01	-190.55	-1,336.61	-290.00	-189.13	0.00
	46	1,573.20	-85.88	-190.55	-1,336.61	-290.00	-174.79	0.00
	47	1,607.40	-75.75	-190.55	-1,336.61	-290.00	-160.45	0.00

ตารางที่ ซ-2 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 1	48	1,641.60	-65.62	-190.55	-1,336.61	-290.00	0.00	0.00
	49	1,675.80	-55.49	-190.55	-1,336.61	-176.33	0.00	0.00
	50	1,710.00	-45.36	-190.55	-1,336.61	-166.20	0.00	0.00
	51	1,744.20	-35.23	-190.55	-1,336.61	-156.07	0.00	0.00
	52	1,778.40	-25.10	-190.55	-1,336.61	-145.94	0.00	0.00
	53	1,812.60	-14.97	-190.55	-1,336.61	-135.81	0.00	0.00
	54	1,846.80	-4.84	-190.55	-1,336.61	-125.68	0.00	0.00
	55	1,881.00	5.29	-190.55	-1,336.61	-115.55	0.00	0.00
	56	1,915.20	15.42	-190.55	-1,336.61	-105.42	0.00	0.00
	57	1,949.40	25.55	-190.55	-1,336.61	-95.29	0.00	0.00
	58	1,983.60	35.68	-190.55	-1,336.61	-85.16	0.00	0.00
	59	2,017.80	45.81	-190.55	-1,336.61	-75.03	0.00	0.00
หยุดเดินหม้อไอน้ำ	60	2,052.00	55.94	-190.55	-1,336.61	-64.90	0.00	0.00
	61	2,086.20	99.10	-285.83	0.00	-82.15	0.00	0.00

ตารางที่ ซ-2 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
	62	2,120.40	114.30	-285.83	0.00	-66.95	0.00	0.00
	63	2,154.60	129.49	-285.83	0.00	-51.76	0.00	0.00
	64	2,188.80	144.69	-285.83	0.00	-36.56	0.00	0.00
	65	2,223.00	159.88	-285.83	0.00	-21.37	0.00	0.00
	66	2,257.20	175.08	-285.83	0.00	-6.17	0.00	0.00
	67	2,291.40	190.27	-285.83	0.00	9.02	0.00	0.00
	68	2,325.60	205.47	-285.83	0.00	24.22	0.00	0.00
	69	2,359.80	220.66	-285.83	0.00	39.41	0.00	0.00
	70	2,394.00	235.86	-285.83	0.00	54.61	0.00	0.00
	71	2,428.20	251.05	-285.83	0.00	69.80	0.00	0.00
	72	2,462.40	266.25	-285.83	0.00	85.00	0.00	0.00
	73	2,496.60	281.44	-285.83	0.00	100.19	0.00	0.00
	74	2,530.80	296.64	-285.83	0.00	115.39	0.00	0.00
	75	2,565.00	311.83	-285.83	0.00	130.58	0.00	0.00

ตารางที่ ซ-2 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
	76	2,599.20	327.03	-285.83	0.00	145.78	0.00	0.00
	77	2,633.40	342.22	-285.83	0.00	160.97	0.00	0.00
	78	2,667.60	357.42	-285.83	0.00	176.17	0.00	0.00
	79	2,701.80	372.62	-285.83	0.00	191.37	0.00	0.00
	80	2,736.00	387.81	-285.83	0.00	206.56	0.00	0.00
	81	2,770.20	403.01	-285.83	0.00	221.76	0.00	0.00
	82	2,804.40	418.20	-285.83	0.00	236.95	0.00	0.00
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2	83	2,838.60	433.40	-285.83	0.00	252.15	0.00	0.00
	84	2,872.80	748.37	-285.83	0.00	267.34	0.00	0.00
	85	2,907.00	764.41	-285.83	0.00	282.54	0.00	0.00
	86	2,941.20	780.45	-285.83	0.00	297.73	0.00	0.00
	87	2,975.40	796.49	-285.83	0.00	312.93	0.00	0.00
	88	3,009.60	812.53	-285.83	0.00	328.12	0.00	0.00
	89	3,043.80	828.57	-285.83	0.00	343.32	0.00	0.00

ตารางที่ ซ-2 (ต่อ)

	ออโทไซลีน		ต้นทุนก่อนดำเนินงาน (Baht)			ต้นทุนตามแนวทางนำเสนอ (Baht)		
	(g/Nm^3)	อัตราการไหล (kg/h)	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	น้ำมันเตา
	90	3,078.00	844.61	-285.83	0.00	358.51	0.00	0.00
	91	3,112.20	860.65	-285.83	0.00	373.71	0.00	0.00
	92	3,146.40	876.69	-285.83	0.00	388.90	0.00	0.00
	93	3,180.60	892.73	-285.83	0.00	404.10	0.00	0.00
	94	3,214.80	908.77	-285.83	0.00	419.29	0.00	0.00
	95	3,249.00	924.81	-285.83	0.00	434.49	0.00	0.00
เริ่มกังหันไอน้ำเครื่องที่ 2	96	3,283.20	940.85	-285.83	0.00	449.68	0.00	0.00
	97	3,317.40	956.89	-285.83	0.00	771.58	0.00	0.00
	98	3,351.60	972.93	-285.83	0.00	787.62	0.00	0.00
	99	3,385.80	988.97	-285.83	0.00	803.66	0.00	0.00
	100	3,420.00	1,005.01	-285.83	0.00	819.70	0.00	0.00
ผลรวม			18,481.55	-16,387.30	-34,751.88	4,290.88	-2,637.88	-6,683.05

หมายเหตุ ขั้นตอนการใช้ไอน้ำก่อนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการใช้ไอน้ำจากแนวทางที่นำเสนอ