

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพื่อเพิ่มการผลิต
พาทาลิกแอนไฮไดรด์



T104102



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 104102
วัน,เดือน,ปี..... 3 0 ๓.๑. 2552

b. 121 22๙๐
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**IMPROVEMENT OF A BOILER FEED WATER SYSTEM TO
INCREASE PHTHALIC ANHYDRIDE PRODUCTION**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพื่อเพิ่มการผลิตพาทาลิก แอนไฮไดรด์
โดย นางสาวณัฐธิดา โสติดินิรันดร
นางสาวนงนุช คนหาญ
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ศิริพล คุณาธิปพงษ์
General Manager (Technical & Production) QMR
บริษัท คอนทิเนนทอล ปีโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด
ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

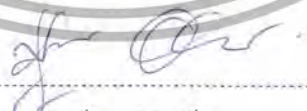
..... กรรมการ

(รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)



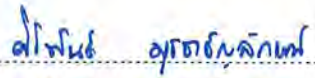
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. ศิริพล คุณาธิปพงษ์)



..... กรรมการ

(ผศ. ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์)



..... กรรมการ

(อ. ศิริพันธ์ มุรธาชัยอุทัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Improvement of a Boiler Feed Water System to Increase Phthalic Anhydride Production

By Miss Nattida Sotthinirandorn
Miss Nongnuch Khonharn

Advisor Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

Co-Advisor Dr. Siripol Kunathipapong
General Manager (Technical & Production) QMR
Continental Petrochemicals (Thailand) Co., Ltd.

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project studies the performances of a high pressure pump and boiler feed water system for heat exchanger equipment in a phthalic anhydride process. The following parameters were collected: inlet and outlet flow rates of boiler feed water at a high pressure pump, inlet temperature and outlet pressure of boiler feed water at a high pressure pump, and inlet flow rate of boiler feed water at heat exchanger equipment, i.e., 2 gas coolers and 2 salt bath coolers. It was found that for a higher production of phthalic anhydride in terms of an increased flow rate of feed o-xylene about 5,000 kg/h, the boiler feed water flow rate for 2 gas coolers of 98 m³/h was needed. According to the theoretical $NPSH_a$ and $NPSH_r$, obtaining from pump characteristics curve, the maximum boiler feed water without cavitation was 63 m³/h. It indicated that the amount of boiler feed water from a high pressure pump was not enough for the desired production of phthalic anhydride. By improvements of the boiler feed water system by decreasing the numbers of connections and length of piping as well as installation of a booster pump, enough flow rate of boiler feed water is expected.

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารของบริษัท คอนทิเนนทอล ปีโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสทำโครงการที่บริษัท ดร. ศิริพล คุณาธิปพงษ์ รองกรรมการผู้จัดการฝ่ายเทคนิค และผลิต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำรวมถึงแนวคิดเพื่อแก้ปัญหาระหว่างการดำเนินงาน ทั่วๆ ทั่วงานที่ให้ข้อมูลของบริษัท อำนวยความสะดวกในการติดต่อขอเช่า อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก ร่วมเก็บข้อมูลจากภาวะการปฏิบัติงานจริง และช่วยแก้ปัญหาตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วน รศ. ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาในการทำงาน และตรวจแก้ไขรายงาน ทำให้ปริยฐานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผศ. ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ และ อาจารย์ศิริพันธ์ มุรชัญญ์ วรรณกรรม การสอบปริยฐานิพนธ์

ยังผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ คุณความดีที่เกิดจากประโยชน์ของปริยฐานิพนธ์นี้ ขอมอบแต่บิดามารดาผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ครูอาจารย์ที่ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ทำงาน หากมีสิ่งผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นางสาวณัฐธิดา โสถลนิรันดร

นางสาวนงนุช คนหาญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์และระบบสารหล่อลื่น.....	3
2.2 ระบบไอน้ำและคอนเดนเสท.....	10
2.3 สมการเบอร์นูลลีและทฤษฎีเกี่ยวกับปั๊ม.....	13
2.4 เหนือของระบบ.....	14
2.5 กราฟเหนือของระบบ.....	19
2.6 Net Positive Suction Head (NPSH).....	20
2.7 คาวิตชัน.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 การติดตั้งระบบปั๊มความดันสูง.....	24
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์กับอัตราการไหล ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ.....	25
3.3 การคำนวณ NPSH _a	26
3.4 การปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	27
4.1 การวิเคราะห์สาเหตุค่า $NPSH_d$ ของปั๊มความดันสูงไม่เพียงพอ.....	27
4.2 อัตราการไหลของออตโตไฮดรอลิกกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ ทางเข้าปั๊มความดันสูง แก๊สคูลเลอร์ 2 เครื่อง และชอลด์บาทคูลเลอร์ 2 เครื่อง.....	29
4.3 การเปรียบเทียบค่าเสดจากการปฏิบัติงานจริงกับทฤษฎี.....	30
4.4 ค่า $NPSH_d$ ของปั๊มความดันสูง.....	31
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของออตโตไฮดรอลิกกับอัตราการไหลของ น้ำป้อนหม้อไอน้ำที่แก๊สคูลเลอร์.....	32
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของออตโตไฮดรอลิกกับอัตราการไหลของ น้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ชอลด์บาทคูลเลอร์.....	33
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูงกับ เสดทางด้านดูด.....	34
4.8 การดำเนินงานแก้ไข.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก.....	43
ภาคผนวก ข. ข้อมูล.....	46
ภาคผนวก ค. การคำนวณ $NPSH_d$	49

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์และระบบสาธารณูปโภค.....	5
รูปที่ 2.2	แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	5
รูปที่ 2.3	ส่วนออกซิเดชันในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	6
รูปที่ 2.4	ส่วนควบแน่นในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	7
รูปที่ 2.5	ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่นในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	9
รูปที่ 2.6	ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำแก๊ส และบรรจุในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์.....	10
รูปที่ 2.7	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบไอน้ำและคอนเดนเสทในส่วนออกซิเดชัน.....	11
รูปที่ 2.8	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบไอน้ำและคอนเดนเสทในส่วนเตรียมการก่อนการกลั่นและการกลั่น.....	12
รูปที่ 2.9	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในระบบไอน้ำและคอนเดนเสท.....	13
รูปที่ 2.10	แผนภาพมูดี้ (Moody diagram).....	16
รูปที่ 2.11	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับอัตราส่วนระหว่างขนาดของท่อกรณีขยายขนาดหรือลดขนาดทันที.....	17
รูปที่ 2.12	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับลักษณะและขนาดของข้อต่อ.....	18
รูปที่ 2.13	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับลักษณะและขนาดของวาล์ว.....	19
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างกราฟสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง.....	20
รูปที่ 2.15	ค่า $NPSH_r$ เมื่อปั๊มอยู่สูงกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด.....	21
รูปที่ 2.16	ค่า $NPSH_r$ เมื่อปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด.....	21
รูปที่ 3.1	ระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากถังกำจัดอากาศไปยังปั๊มความดันสูง.....	24
รูปที่ 3.2	เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิครุ่นพกพา.....	25
รูปที่ 4.1	แผนภาพแสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ของปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว มีอัตราการสูบไม่เพียงพอ.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.2	แผนภาพแสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดควิเตชันเมื่อใช้ปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว.....	28
รูปที่ 4.3	แผนภาพแสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ค่า $NPSH_d$ ของปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว ไม่เพียงพอ.....	28
รูปที่ 4.4	อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในส่วนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ ที่โรงงานที่ 1.....	29
รูปที่ 4.5	อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในส่วนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ ที่โรงงานที่ 2.....	30
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับเสดของปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว.....	31
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $NPSH_d$ และ $NPSH_r$ กับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ความดัน 3.8 บาร์.....	32
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुลเลอร์ ในโรงงานที่ 1 และ 2.....	33
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซอลต์บาทकुลเลอร์ ในโรงงานที่ 1 และ 2.....	34
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูงกับเสดทางด้านคูด.....	35
รูปที่ 4.11	ระบบส่งน้ำป้อนหม้อน้ำจากถังกำจัดอากาศไปยังปั๊มความดันสูง หลังการดำเนินงาน.....	37
รูปที่ 5.1	ปริมาณน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ผลิตจากปั๊มความดันสูงและที่โครงการโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुลเลอร์และซอลต์บาทकुลเลอร์ ในกระบวนการผลิต.....	39
รูปที่ ก.1	การติดตั้งทรานสคิวเซอร์แบบตัววีที่ท่อ.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.2 การติดตั้งทรานสดิวเซอร์แบบตัวเซดที่ท่อ.....	44
รูปที่ ก.3 การติดตั้งทรานสดิวเซอร์แบบตัวดับเบิลยูที่ท่อ.....	45
รูปที่ ก.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก.....	45



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าความขรุขระเฉลี่ย (E) ของวัสดุที่ใช้ผลิตท่อ.....	15
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก่อนการดำเนินงานกับความสูญเสียเฮด และค่า $NPSH_r$ ของปั๊มความดันสูง.....	36
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ หลังการดำเนินงานกับความสูญเสียเฮด และค่า $NPSH_r$ ของปั๊มความดันสูง.....	38
ตารางที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหล ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แก๊สคูเลอร์และชอลต์บาทคูเลอร์ของโรงงานที่ 1 และ โรงงานที่ 2.....	46
ตารางที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับเฮดที่ได้จาก การปฏิบัติงานและจากการอ่านกราฟสมรรถนะของปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว.....	46
ตารางที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของ น้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สคูเลอร์ ในโรงงานที่ 1 และ 2.....	47
ตารางที่ ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของ น้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชอลต์บาทคูเลอร์ ในโรงงานที่ 1 และ 2.....	48
ตารางที่ ค.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อส่ง น้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อนการดำเนินงาน.....	51
ตารางที่ ค.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อส่ง น้ำป้อนหม้อไอน้ำหลังการดำเนินงาน.....	54

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

โครงการนี้เป็นความร่วมมือกับบริษัท คอนทิเนนทัล ปีโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นกลางที่ผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride: PA) แห่งเดียวในประเทศไทย ประกอบด้วยโรงงานที่ 1 และโรงงานที่ 2 มีกำลังการผลิตรวม 50,000 ตันต่อปี และไดออกทิลพาทาเลต (Diocetyl phthalate: DOP) ปริมาณ 36,000 ตันต่อปี พาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเอสเตอร์ เรซินอัลคิล สี ย้อม และพลาสติกไซเซอร์ ส่วนหนึ่งของพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ผลิตได้จะนำไปผลิตไดออกทิลพาทาเลต ซึ่งเป็นสารที่นำไปผลิตสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) ที่ทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติยืดหยุ่น พาทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาฟาร์เรียมออกซิเดชันของออโทไซลีน (o-xylene) ในสถานะก๊าซภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed-bed reactor) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกควบแน่นให้เป็นของเหลวภายในอุปกรณ์ควบแน่นและทำให้บริสุทธิ์โดยกระบวนการกลั่น

กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ประกอบด้วยส่วนออกซิเดชัน ส่วนควบแน่น ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่น และส่วนทำเกลือและบรรจุภัณฑ์ ในส่วนออกซิเดชันและส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่นจะใช้น้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Boiler feed water: BFW) เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิ ควบแน่นผลิตภัณฑ์ และผลิตไอน้ำความดันระดับต่างๆ สำหรับใช้ในกระบวนการ ผู้ออกแบบระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำตอนเริ่มต้นใช้ปั๊มความดันต่ำและความดันสูงอย่างละ 1 เครื่อง แต่จากกราฟสมรรถนะของปั๊มความดันสูงทางบริษัทพบว่าสามารถให้อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพียงพอที่จะส่งไปแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการ ดังนั้นบริษัทจึงเปลี่ยนใช้ปั๊มความดันสูงเพียงตัวเดียวสำหรับระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ แต่พบว่าเมื่อต้องการเพิ่มกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ การใช้ปั๊มความดันสูงเพียงตัวเดียวไม่สามารถส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำไปยังส่วนต่างๆ ในกระบวนการได้เพียงพอ บริษัทมีนโยบายเพิ่มกำลังการผลิตทั้ง 2 โรงงาน เพื่อเตรียมรับความต้องการพาทาลิกแอนไฮไดรด์ของตลาดที่จะเพิ่มขึ้น โครงการนี้จะตรวจสอบสมรรถนะของปั๊มความดันสูงและระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ โดยเก็บข้อมูลที่สำคัญต่างๆ ของปั๊มความดันสูง ระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ฯลฯ เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำให้เพียงพอต่อการเพิ่มกำลังผลิต

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาแนวทางปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำให้เพียงพอต่อการเพิ่มกำลังผลิต พาทาลิกแอนไฮไดรด์ของทั้ง 2 โรงงาน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์
- 1.3.2 ศึกษากระบวนการส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำในกระบวนการผลิต
- 1.3.3 วิเคราะห์สาเหตุที่คาดว่าส่งผลต่ออัตราสูบของปั๊มความดันสูงไม่เพียงพอ
- 1.3.4 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์สมรรถนะของปั๊มความดันสูงและระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ
- 1.3.5 หาแนวทางปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำให้เพียงพอต่อการเพิ่มกำลังผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพียงพอต่อกำลังผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่เพิ่มขึ้น
- 1.4.2 นักศึกษาได้เรียนรู้การปฏิบัติงานจริงภายในโรงงาน และเกิดทักษะในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride production) และระบบสาธารณูปโภค (Utility systems) [1-2]

ปี ค.ศ. 1920 เริ่มการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้เนฟทาลีนที่ได้จากน้ำมันถ่านหิน (Coal tar) เป็นสารตั้งต้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1946 บริษัท เชฟรอน (Chevron) ผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีนในสถานะก๊าซแต่ยังไม่เป็นที่นิยมนัก ต่อมาในช่วงต้นทศวรรษที่ 1950 เซอร์วิน-วิลเลียม (Sherwin-Williams) และแบดเจอร์ (Badger) ได้พัฒนากระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เพื่อให้ได้ผลได้ (Yield) ของพาทาลิกแอนไฮไดรด์สูงโดยใช้กระบวนการผลิตแบบฟลูอิดไคซ์เบด

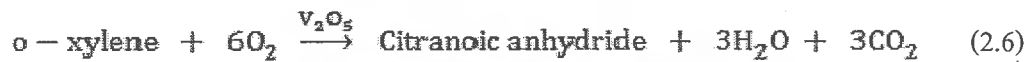
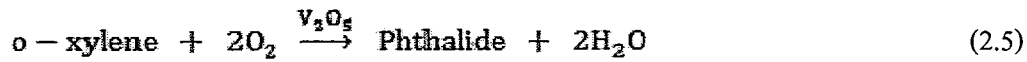
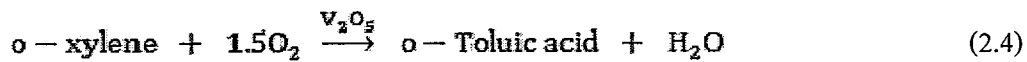
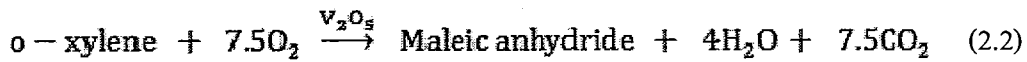
จากกระบวนการของบีเอเอสเอฟ (Badische Anilin und Soda Fabrik Process: BASF) ซึ่งเป็นบริษัทผลิตเคมีภัณฑ์ของประเทศเยอรมัน ทำให้ออโทไซลีนกลายเป็นสารตั้งต้นที่นิยมใช้ในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ เพราะมีการพัฒนาการผลิตไซลีนจากกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reforming) และแยกออโทไซลีนจากไอโซเมอร์ของไซลีน ออโทไซลีนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย และมีเวลาสัมผัส (Contact time) 5 วินาที สำหรับกระบวนการของเชฟรอนมีภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 400-475 องศาเซลเซียส และเวลาสัมผัส 0.5 วินาที โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กกว่าและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยกว่ากระบวนการของบีเอเอสเอฟ ซึ่งจะเกิดผลได้ต่ำกว่า แต่เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) ในปริมาณมากกว่า

พาทาลิกแอนไฮไดรด์สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออโทไซลีน (o-xylene) กับออกซิเจนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมเพนทอกไซด์ ดังสมการ



ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reaction) ที่เกิดขึ้น ได้แก่ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) กรดโทลูอิก (Toluic acid) พาทาลाइด์ (Phthalide) ซิตราโคนิกแอนไฮไดรด์ (Citraconic anhydride) คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอื่นๆ ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

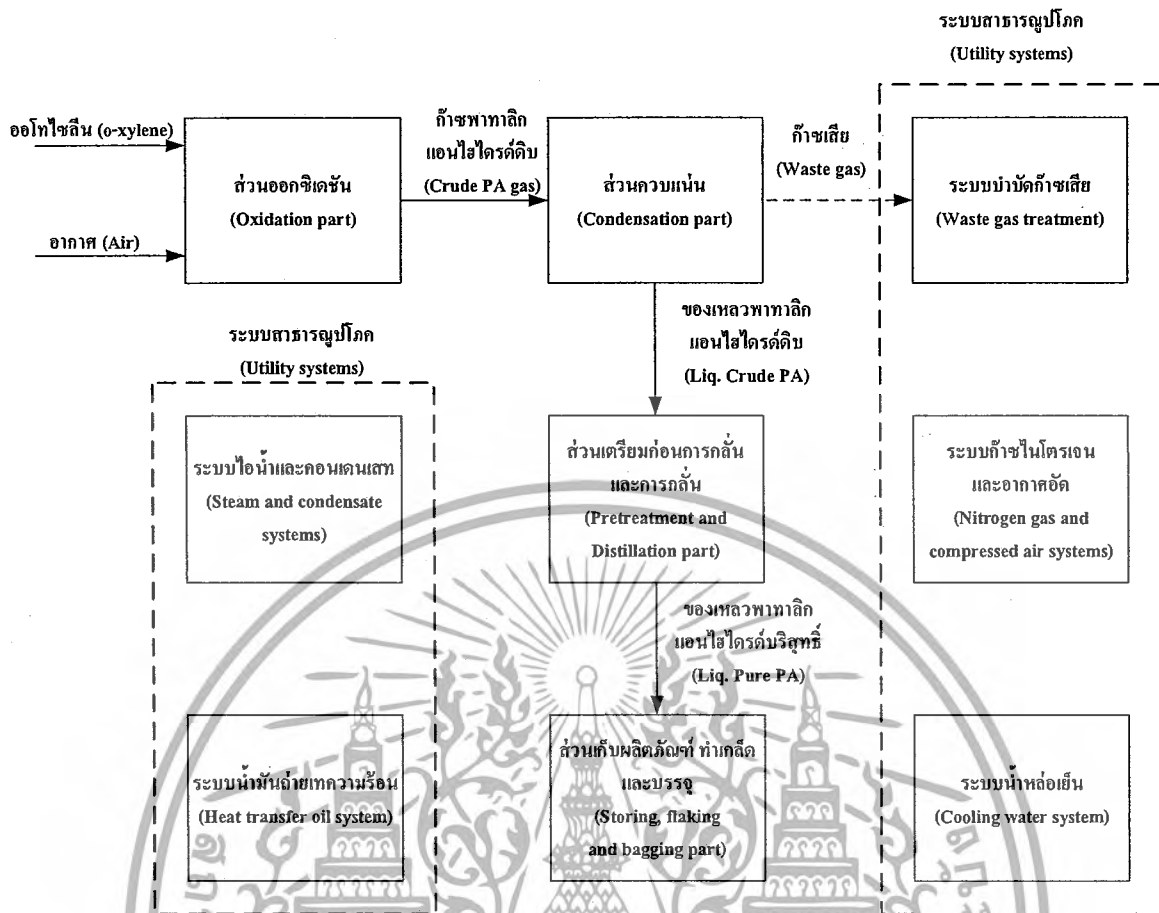
1. ส่วนออกซิเดชัน (Oxidation part)
2. ส่วนควบแน่นก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ (Condensation part)
3. ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและการกลั่น (Pretreatment and distillation part)
4. ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุ (Storing, flaking and bagging part)

ระบบสาธารณูปโภคแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ

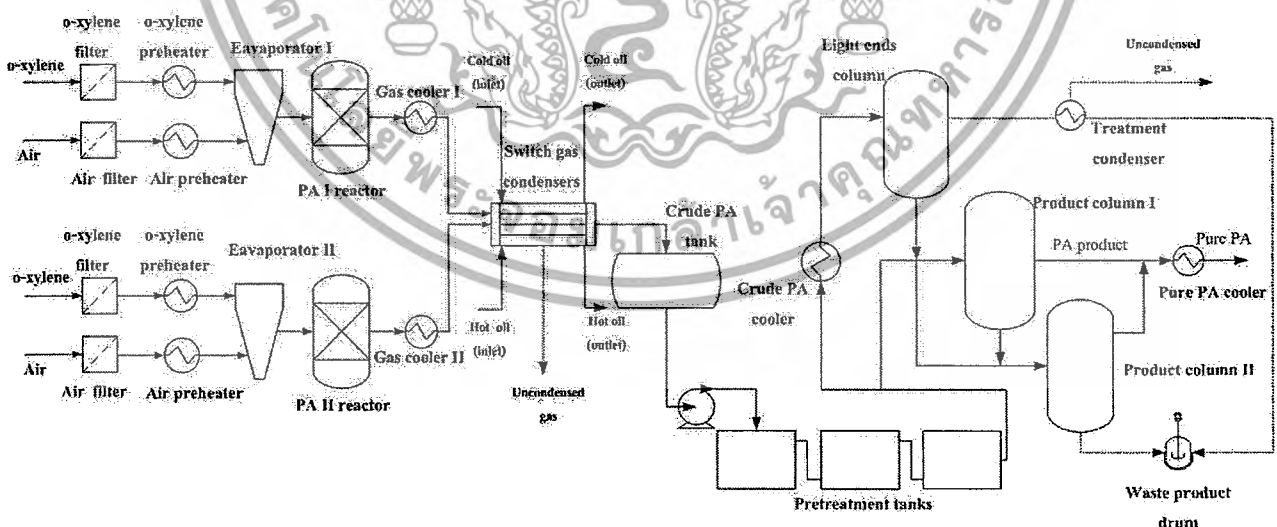
1. ระบบไอน้ำและคอนเดนเสท (Steam and condensate systems)
2. ระบบน้ำมันถ่ายเทความร้อน (Heat transfer oil system)
3. ระบบก๊าซไนโตรเจนและอากาศอัด (Nitrogen gas and compressed air systems)
4. ระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling water system)
5. ระบบบำบัดก๊าซเสีย (Waste gas treatment system)

แผนผังกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์และระบบสาธารณูปโภค แสดงดังรูปที่ 2.1 และ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตพทาติกแอนไฮไดรด์และระบบสาธารณูปโภค

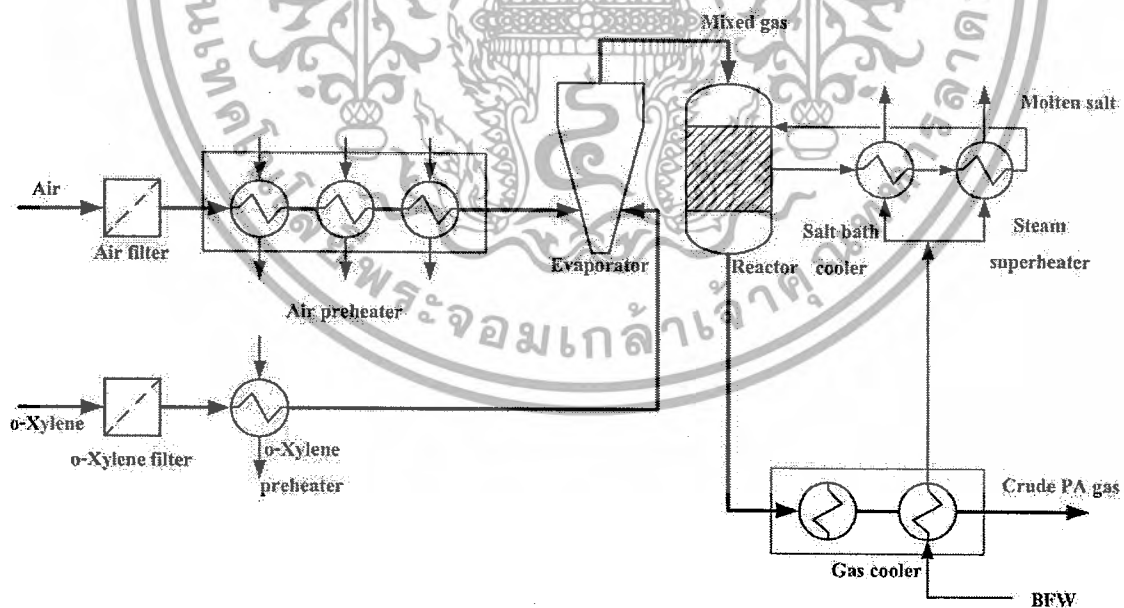


รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตพทาติกแอนไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์มีดังนี้

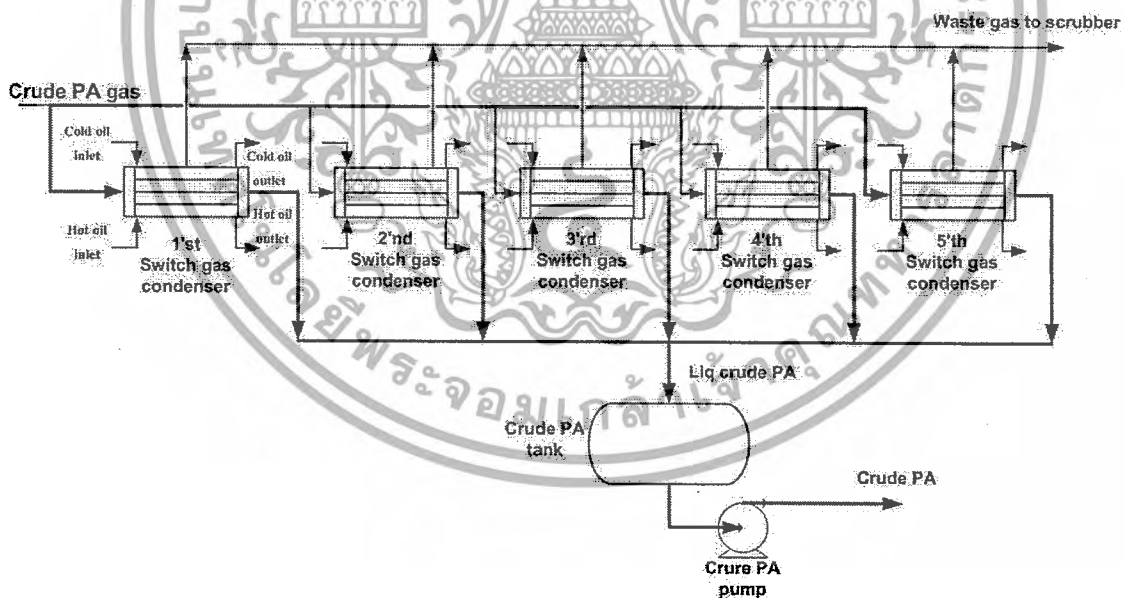
1. ส่วนออกซิเดชัน แสดงดังรูปที่ 2.3 อากาศจะถูกดูดเข้าไปในเครื่องอุ่นอากาศ (Air preheater) ซึ่งมีจำนวน 2 เครื่อง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 150 องศาเซลเซียส ขณะที่อโทไซลีนจะถูกสูบจากถังเก็บเพื่อส่งเข้าเครื่องกรอง (Filter) แล้วผ่านเครื่องอุ่นอโทไซลีน (o-xylene preheater) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึง 150-170 องศาเซลเซียส อโทไซลีนจะกลายเป็นไอและผสมกับอากาศร้อนที่เครื่องระเหยก่อนทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในเครื่องปฏิกรณ์ที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาแวนเดียมเพนตะออกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์หลักคือพาทาลิกแอนไฮไดรด์ในสถานะก๊าซ เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนจึงต้องใช้เกลือหลอมเหลวของโพแทสเซียมไนเตรดและโซเดียมไนไตรต์ (Molten salt of potassium nitrate (KNO_3) and Sodium nitrite (NaNO_2)) มารับความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์ และไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซอลต์บัทคูลเลอร์ (Salt bath cooler) และสตีมนิวเปอร์ฮีเตอร์ (Steam superheater) หลังจากนั้นเกลือหลอมเหลวจะหมุนเวียนกลับเข้าเครื่องปฏิกรณ์อีกครั้ง ส่วนน้ำป้อนหม้อไอน้ำจะกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัวความดันสูง (High pressure saturated steam) และไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) ก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากเครื่องปฏิกรณ์จะผ่านเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สคูลเลอร์ (Gas cooler) เพื่อลดอุณหภูมิก่อนที่จะส่งไปยังส่วนควบแน่น



รูปที่ 2.3 ส่วนออกซิเดชันในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนควบแน่น แสดงดังรูปที่ 2.4 ก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ถูกส่งเข้าสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ (Switch gas condenser) ซึ่งมีจำนวน 5 ตัว เพื่อควบแน่นก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ หลักการทำงานของสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์จะสลับกันระหว่างการรับผลิตภัณฑ์ (Loading) และการหลอมผลิตภัณฑ์ (Melting) เมื่อสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์เครื่องที่ 1 รับผลิตภัณฑ์เต็มถึงจะส่งเข้าสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์เครื่องที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งในขณะที่สวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์เครื่องที่ 2 รับผลิตภัณฑ์นั้น สวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์เครื่องที่ 1 จะเกิดการหลอมผลิตภัณฑ์ ภายในสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ประกอบด้วยกลุ่มท่อแบบครีป (Finned tube) และมีน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Cold oil) 50-55 องศาเซลเซียส หมุนเวียนอยู่ในท่อ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงพาทาลิกแอนไฮไดรด์และสารปนอื่นๆ จะแข็งเกาะที่ผิวของท่อแบบครีป ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ จะออกจากสวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์ที่อุณหภูมิประมาณ 65-70 องศาเซลเซียส และถูกส่งไปบำบัดที่หอดูดซับก๊าซเสีย (Waste gas scrubber) ส่วนพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่เป็นของแข็งจะถูกหลอมด้วยน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ 180-190 องศาเซลเซียส กลายเป็นของเหลวส่งไปรวมกันในถังเก็บของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ (Crude PA tank)



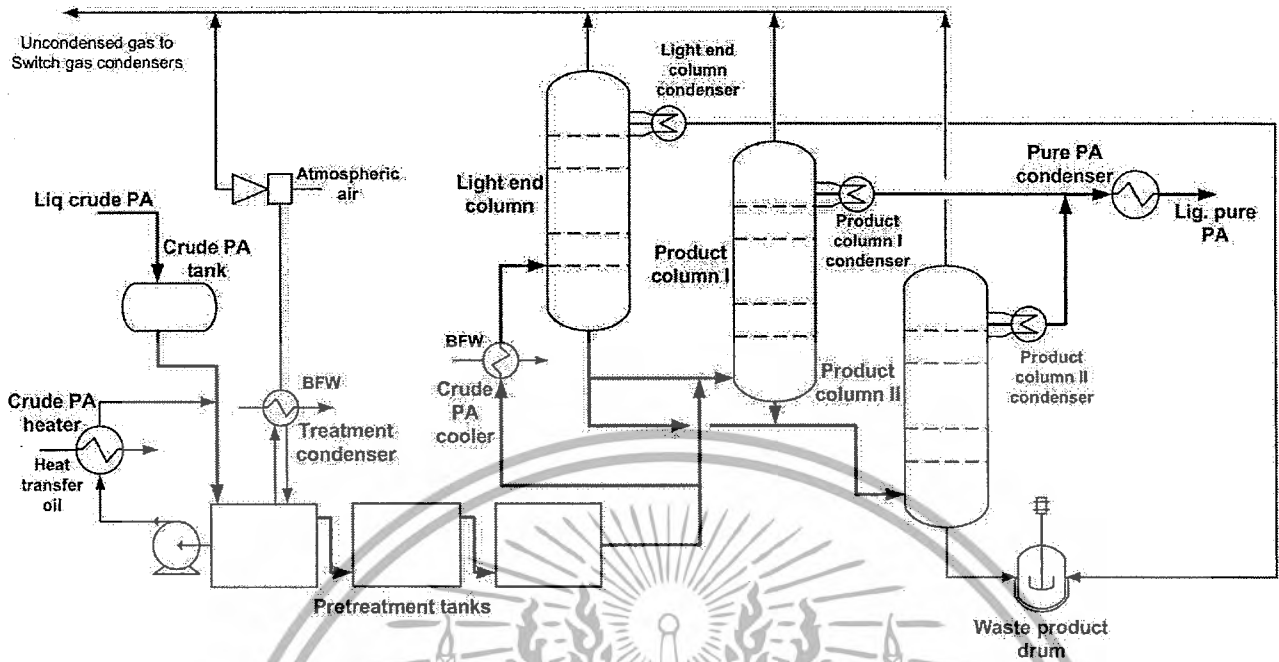
รูปที่ 2.4 ส่วนควบแน่นในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

3. ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่น ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นประกอบด้วยถังเตรียมก่อนการกลั่น (Pretreatment tank) 3 ถังต่ออนุกรมกัน ของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

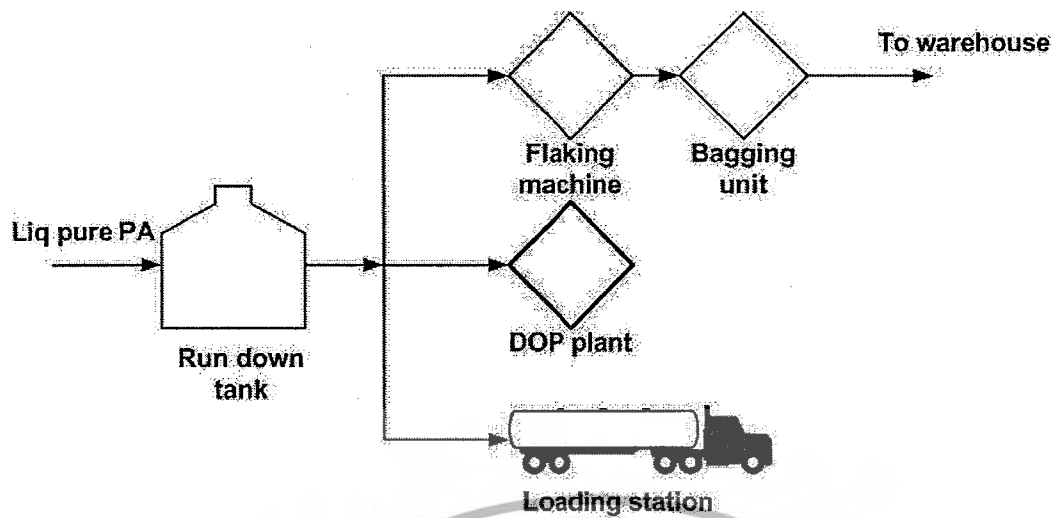
จะถูกป้อนเข้ามาที่ถังเตรียมก่อนการกลั่นครั้งที่หนึ่งก่อน เมื่อเต็มถังแล้วจึงไหลเข้าถังที่สอง สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) จะเข้าผสมกับของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ ในถังเตรียมก่อนการกลั่นครั้งที่หนึ่ง จากนั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องให้ความร้อน (Crude PA heater) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 160 องศาเซลเซียส เป็น 280 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำมันถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิสูง แล้วจึงส่งเข้าถังเตรียมก่อนการกลั่นครั้งที่สองต่อไป ที่ถังเตรียมก่อนการกลั่นทั้งสองถัง มีใบกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างดีและมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ สำหรับก๊าซเสียที่เกิดจาก ปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่กลั่นตัวในถังเตรียมก่อนการกลั่นจะถูกดูดออกด้วยเครื่องดูดอากาศ (Air jet) จากของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์เพื่อช่วยให้การกลั่นดีขึ้น ก๊าซเสียเหล่านี้จะผ่านหน่วยควบแน่น ของระบบบำบัด (Treatment condenser) เพื่อทำให้อิพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ปนอยู่กลั่นตัวแล้ว ส่งกลับไปเข้าถังเตรียมก่อนการกลั่นครั้งที่หนึ่งและขณะเดียวกันจะถ่ายเทความร้อนให้น้ำป้อน หม้อไอน้ำ (Boiler feed water) ทำให้เกิดไอน้ำอิมตัวความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกดูดออกและส่งเข้า สวิตช์ก๊าซคอนเดนเซอร์เพื่อส่งไปกำจัดออกที่หอดูดซับก๊าซเสีย หลังจากนี้ของเหลวพาทาลิก แอนไฮไดรด์ดิบผ่านส่วนการเตรียมก่อนการกลั่นแล้วจะถูกส่งไปที่ส่วนการกลั่นในหอสุญญากาศ 3 หอ คือ หอกลั่นส่วนกลั่นเบา (Light end column) และหอกลั่นผลิตภัณฑ์ (Product column) 2 หอ ที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยใช้เครื่องดูดอากาศเป็นตัวสร้างสุญญากาศ ส่วนบนของหอกลั่นทั้ง 3 หอ นี้มีอุปกรณ์ควบแน่นไอ 3 เครื่อง ทำหน้าที่ควบแน่นไอให้กลายเป็นของเหลวด้วยการแลกเปลี่ยน ความร้อนกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำทำให้เกิดไอน้ำความดันต่ำ 5 บาร์ ก๊าซเสียจากส่วนบนจากหอกลั่น ส่วนกลั่นเบาจะถูกส่งไปบำบัดที่หอดูดซับก๊าซเสีย สำหรับของเหลวที่ผ่านการกลั่นจากหอกลั่น ส่วนกลั่นเบาจะไหลออกทางด้านล่างและส่งต่อแยกเข้าหอกลั่นผลิตภัณฑ์สองหอ ได้ผลิตภัณฑ์ พาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.85% ที่ยอดหอ ซึ่งจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ลดอุณหภูมิของ พาทาลิกแอนไฮไดรด์บริสุทธิ์ (Pure PA cooler) เพื่อลดอุณหภูมิเป็น 160 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะ ส่งไปเก็บที่ถังพัก (Run down tank) ส่วนล่างจากหอกลั่นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปถังเก็บของเสียจาก กระบวนการผลิต (Waste product drum) เพื่อบำบัดต่อไป

ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่นในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ส่วนเตรียมก่อนการกลั่นและส่วนการกลั่นในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

4. ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุ แสดงดังรูปที่ 2.6 ของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์บริสุทธิ์จากหอกลั่นผลิตภัณฑ์ถูกส่งมาเก็บที่ถังพัก จากนั้นถูกส่งต่อไปยังถังเก็บผลิตภัณฑ์ (Pure phthalic anhydride check tank) และถังโหลดผลิตภัณฑ์ (Liquid phthalic anhydride loading tank) เพื่อส่งขายให้ลูกค้า ส่วนหนึ่งจะป้อนเป็นวัตถุดิบเข้ากระบวนการผลิตไดออกซิดพาทาลิก นอกจากนี้น้ำบางส่วนของของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากถังเก็บผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปทำพาทาลิกแอนไฮไดรด์ชนิดเกล็ด (Flaked phthalic anhydride) ที่หน่วยทำเกล็ด (Flaking unit) แล้วจึงลำเลียงเข้าหน่วยบรรจุถุง (Bagging unit) เพื่อส่งขายให้กับลูกค้า ส่วนฝุ่นพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่เกิดขึ้นจะถูกกำจัดด้วยเครื่องกรองและเครื่องกำจัดฝุ่น (Filter and dedusting blower)



รูปที่ 2.6 ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ ทำเกล็ด และบรรจุในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์

2.2 ระบบไอน้ำและคอนเดนเสท

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พาทาลิกแอนไฮไดรด์จะเกิดความร้อนปริมาณมากพอที่สามารถผลิตไอน้ำความดันระดับต่างๆ ให้กับกระบวนการผลิตผ่านระบบสาธารณูปโภคคือระบบไอน้ำและคอนเดนเสท แม้ว่าจะไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ในกระบวนการ แต่ก็สามารถลดการใช้พลังงานได้มาก

ระบบไอน้ำและคอนเดนเสทจะมีถังกำจัดอากาศ (Drum with deaerator) เพื่อรับน้ำจัดแร่แล้วมาปรับสภาพโดยเติมสารละลายไฮดรอะซีน (N_2H_4) เพื่อกำจัดออกซิเจนในน้ำและเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เพื่อปรับสภาพน้ำให้เป็นด่างก่อนที่จะส่งไปใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนที่หน่วยต่างๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.2.1. ส่วนออกซิเดชัน

2.2.1.1 เครื่องอุ่นอากาศ (Air preheater) เพื่อให้ความร้อนกับอากาศก่อนส่งไปผสมกับออกโทไซลีนที่เครื่องระเหยออกโทไซลีน

2.2.1.2 เครื่องอุ่นออกโทไซลีน (o-xylene preheater) เพื่อให้ความร้อนกับออกโทไซลีนก่อนนำไปผสมกับอากาศร้อนที่เครื่องระเหยออกโทไซลีน

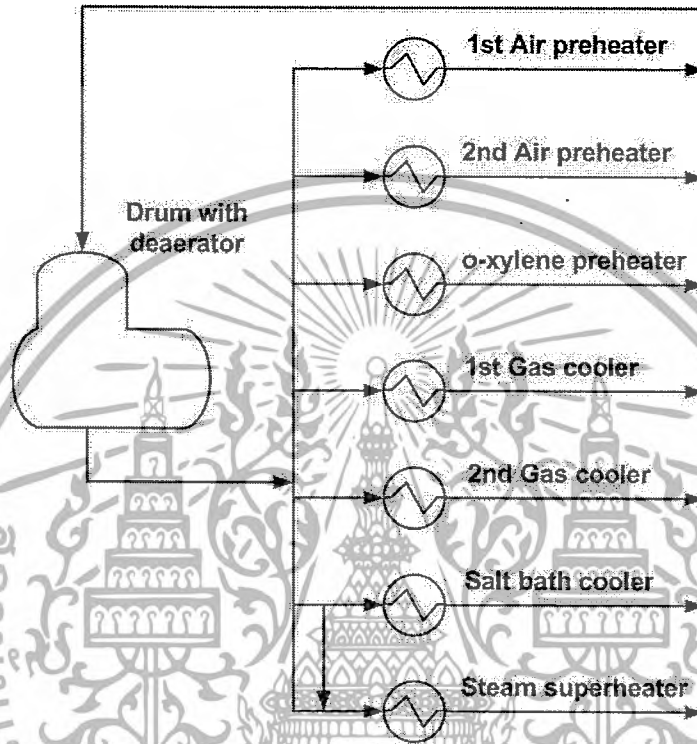
2.2.1.3 สตีมซูเปอร์ฮีตเตอร์ (Steam superheater) เพื่อทำให้ไอน้ำอิมตัวกลายเป็นไอน้ำร้อนหดยิ่ง 20 บาร์ ใช้ผลิตไฟฟ้าในกระบวนการ

2.2.1.4 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซอลต์บัทคูลเลอร์ (Salt bath cooler) ใช้น้ำป้อนหม้อไอน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนกับเกลือหลอมเหลวที่รับความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์และผลิตไอน้ำอิมตัวความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.5 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สจูลเลอร์ (Gas cooler) เพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์

รูปที่ 2.7 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบไอน้ำและคอนเดนเสทในส่วนออกซิเดชัน



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบไอน้ำและคอนเดนเสทในส่วนออกซิเดชัน

2.2.2 ส่วนเตรียมการก่อนการกลั่นและการกลั่น

2.2.2.1 หน่วยควบแน่นที่ระบบการบำบัด (Treatment condenser) เพื่อควบแน่นไอพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ปนอยู่ในก๊าซเสียเพื่อส่งกลับไปเข้าส่วนเตรียมก่อนการกลั่น

2.2.2.2 อุปกรณ์หล่อเย็นของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบ (Liquid crude PA cooler) เพื่อลดอุณหภูมิของของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบก่อนส่งเข้าหอกลั่นส่วนกลั่นเบา

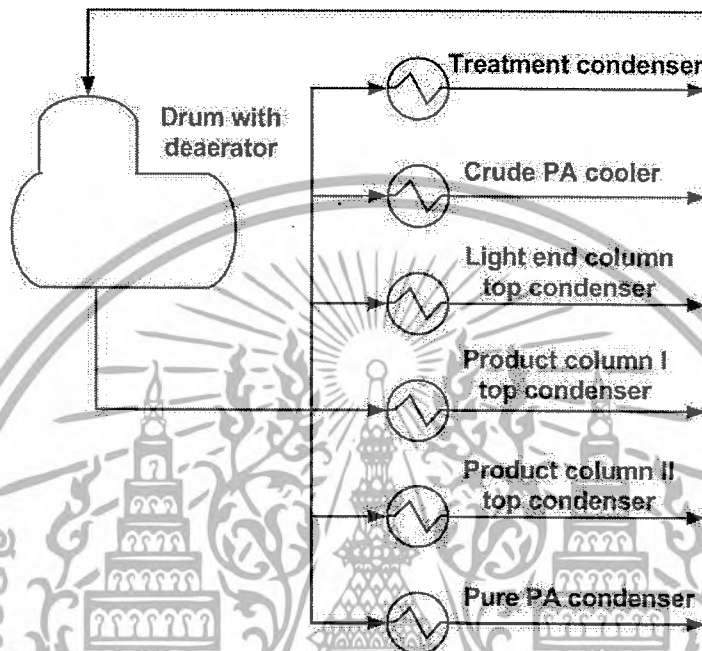
2.2.2.3 หน่วยควบแน่นที่ยอดหอกลั่นส่วนกลั่นเบา (Light end column condenser) เพื่อควบแน่นก๊าซเสีย

2.2.2.4 หน่วยควบแน่นที่ยอดหอกลั่นผลิตภัณฑ์ (Product column condenser) เพื่อควบแน่นผลิตภัณฑ์พาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.5 อุปกรณ์ลดอุณหภูมิของเหลวพาทาลิกแอนไฮไดรด์บริสุทธิ์ (Pure PA condenser) ก่อนส่งเข้าถึงเก็บพาทาลิกแอนไฮไดรด์

รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบไอน้ำและคอนเดนเสทในส่วนเตรียมการก่อนการกลั่นและการกลั่น



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบไอน้ำและคอนเดนเสทในส่วนเตรียมการก่อนการกลั่นและการกลั่น

2.2.3. ส่วนอื่นๆ

2.2.3.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศอัด (Compressed air heater) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้อากาศอัด

2.2.3.2 หน่วยกำจัดออกซิเจนในน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Boiler feed water drum with deaerator)

2.2.3.3 แก๊สคูลเลอร์สตีม (Gas cooler steam drum) ใช้เก็บน้ำป้อนหม้อไอน้ำส่วนหนึ่งไว้เพื่อควบคุมอุณหภูมิของก๊าซพาทาลิกแอนไฮไดรด์ดิบที่แก๊สคูลเลอร์ชั้นที่ 1 ให้คงที่

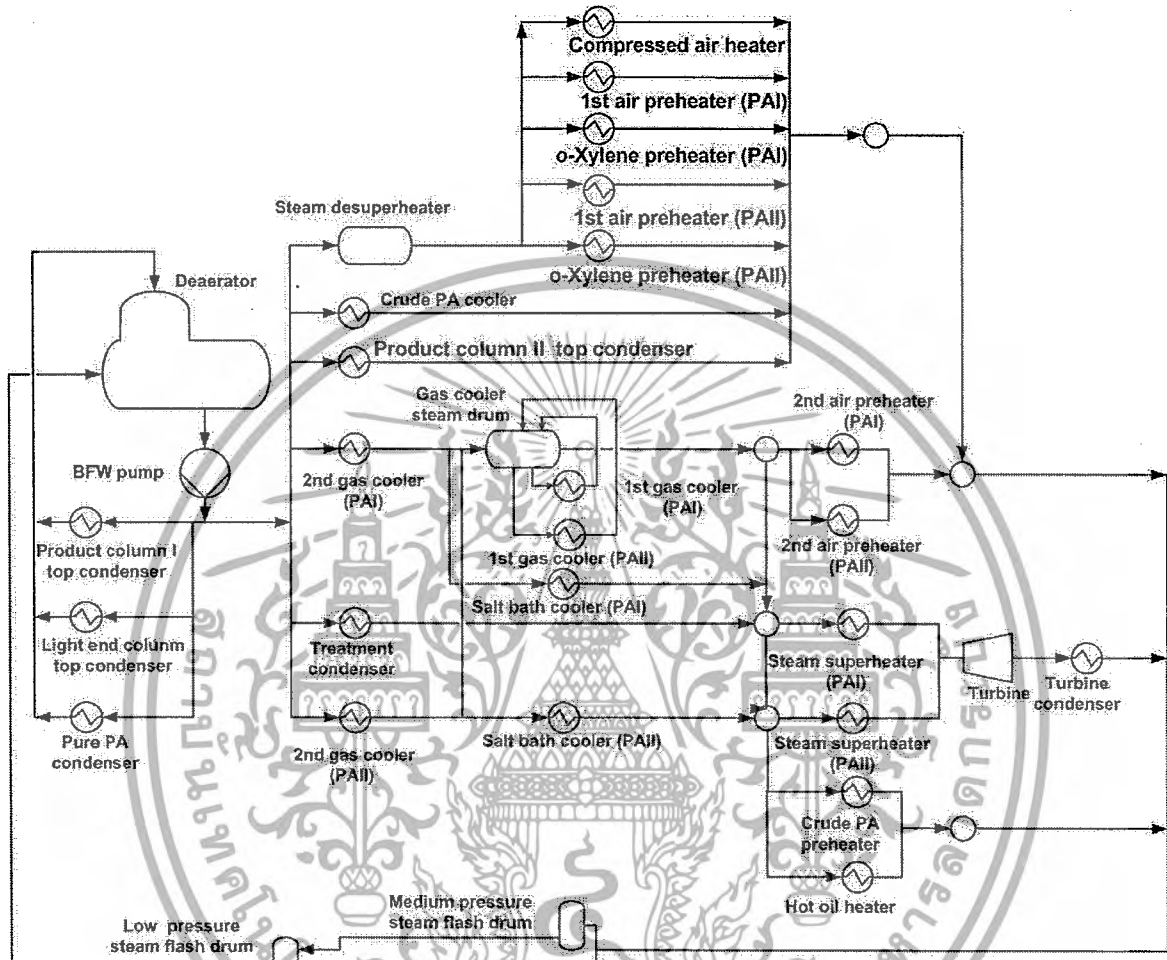
2.2.3.4 เครื่องอุ่นน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Hot oil heater) เพื่อให้ความร้อนกับน้ำมันถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำ VP-1

2.2.3.5 แฟลชดรัมสำหรับไอน้ำความดันปานกลาง (Medium pressure steam flash drum) เพื่อผลิตไอน้ำความดันปานกลาง 8 บาร์ ส่งเข้าแฟลชดรัมสำหรับไอน้ำความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.6 แฟลชดรัมสำหรับไอน้ำความดันต่ำ (Low pressure steam flash drum)
เพื่อผลิตไอน้ำความดันต่ำ 4 บาร์ ส่งกลับถึงกำจัดอากาศ

รูปที่ 2.9 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในระบบไอน้ำและน้ำคอนเดนเสท



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในระบบไอน้ำและคอนเดนเสท

2.3 สมการเบอร์นูลลีและทฤษฎีเกี่ยวกับปั๊ม [3-4]

เบอร์นูลลีเสนอสมการที่แสดงดุลพลังงานสำหรับสถานะคงตัว (Steady state) และการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) คือ ในกรณีที่การไหลที่มีอุณหภูมิคงที่ พลังงานของระบบย่อมอนุรักษ์ โดยพลังงานมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ

- 1) พลังงานที่อยู่ในรูปของความดัน (Pressure)
- 2) พลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ (Kinetic energy)
- 3) พลังงานในรูปของแรงโน้มถ่วงหรืออีกนัยหนึ่งพลังงานศักย์ (Potential energy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g \Delta z = k \quad (2.9)$$

สมมติว่าความหนาแน่นคงที่ หากเอาความหนาแน่น ρ หารสมการที่ 2.9 และคิดระหว่างจุดสองจุดที่กระบวนการเปลี่ยนแปลงไป ดังสมการนี้

$$\frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + F_L = k \quad (2.10)$$

เมื่อ $\frac{\Delta v^2}{2g}$ = เทอมพลังงานจลน์ (เมตร)
 Δz = เทอมพลังงานศักย์ (เมตร)
 $\frac{\Delta P}{\rho g}$ = เทอมความดัน (เมตร)
 F_L = เทอมความเสียดทานที่เกิดจากความต้านทานภายในท่อ ข้อต่อ และวาล์ว (เมตร)

2.4 เฮดของระบบ (System head) [3-8]

เฮดของระบบ หมายถึง เฮดที่เกิดจากผลรวมของความสูญเสียที่เกิดขึ้นตามตำแหน่งต่างๆ ในระบบท่อ ความสูญเสียประกอบด้วยเฮดเสียดทานหรือเฮดความฝืด (Friction head) เริ่มตั้งแต่ความสูญเสียที่ปากทางเข้าท่อคู่ด (Entrance loss) ความสูญเสียเฮดที่ข้อต่อที่มีอยู่ในระบบ (Fitting loss) ความสูญเสียเฮดเนื่องจากความยาวท่อ (Loss in pipe length) ข้อต่อ และวาล์วที่ติดตั้งไว้ในระบบ (Equipment loss) รวมถึงความสูญเสียเฮดที่ปากทางออก (Exit loss) เฮดของระบบเมื่อรวมกับเฮดสถิตย์ (Static head) จะเรียกว่า เฮดรวม (Total head)

2.4.1 ความสูญเสียเฮดเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ

เมื่อของเหลวไหลเข้าไปในท่อปิด ไม่ว่าจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) จะเกิดการสูญเสียเฮดเนื่องจากความเสียดทานของผนังภายในท่อ และความยาวของท่อ ถ้าท่อเรียบและสั้นความสูญเสียจะน้อย แต่ถ้าเป็นท่อที่มีผนังภายในหยาบหรือท่อที่มีความขรุขระ ความสูญเสียก็จะมากขึ้น การคำนวณความสูญเสียเฮดเนื่องจากความยาวท่อและความเสียดทานภายในท่อ ใช้สมการของ Darcy-Weisbach ดังนี้

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.11)$$

เมื่อ h_f = ความสูญเสียเฮดเนื่องจากความเสียดทาน (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (Fanning friction factor)

L = ความยาวของท่อ (เมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (เมตร)

v = ความเร็วของการไหล (เมตร/วินาที)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดโลก (เมตร/วินาที²)

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่มีค่าเรย์โนลด์มากกว่า 4,000 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ จะขึ้นกับค่าเรย์โนลด์และค่าความขรุขระสัมพัทธ์ภายในท่อ (Relative roughness: ϵ/D) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความขรุขระของผิวท่อเฉลี่ย (ϵ) และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (D) ความขรุขระของผิวท่อขึ้นอยู่กับชนิด ระยะเวลาการใช้งาน และสภาพของวัสดุที่ใช้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความขรุขระเฉลี่ย (ϵ) ของวัสดุที่ใช้ผลิตท่อ [3]

ชนิดของท่อ	ค่าความขรุขระเฉลี่ย (ϵ)	
	ฟุต (ft)	มิลลิเมตร (mm.)
ท่อที่ได้จากการรีด ท่อทองเหลือง ท่อดีบุก หลอดแก้ว ท่อภายในที่เคลือบหรือฉาบด้วยบิพูนีนัส ท่อซีเมนต์ที่หล่อ โดยการเหวี่ยงหินปูน	0.000005	0.0015
ท่อเหล็กกล้าหรือท่อเหล็กเหนียวที่ขายในท้องตลาด	0.00015	0.046
ท่อเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปโดยการเชื่อม	0.00015	0.046
ท่อเหล็กหล่อที่เคลือบหรือฉาบด้วยยางมะตอย	0.0004	0.12
ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.00085	0.15
ท่อเหล็กหล่อ	0.0006 - 0.003	0.25
ท่อไม้	0.0006 - 0.003	0.18 - 0.9
ท่อคอนกรีต	0.001 - 0.01	0.3 - 3
ท่อเหล็กกล้าที่ยัดด้วยหมุด	0.003 - 0.03	0.9 - 9

Lewis F. Moody ทำแผนภูมิซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์ (N_r หรือ Re) กับสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (f) และความขรุขระสัมพัทธ์ (ϵ/D) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เรียกว่า แผนภาพมูดี้ (Moody diagram) สมการที่ใช้หาค่าเรย์โนลด์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} = \frac{Dv}{\nu} \tag{2.12}$$

เมื่อ

Re = ค่าเรย์โนลด์

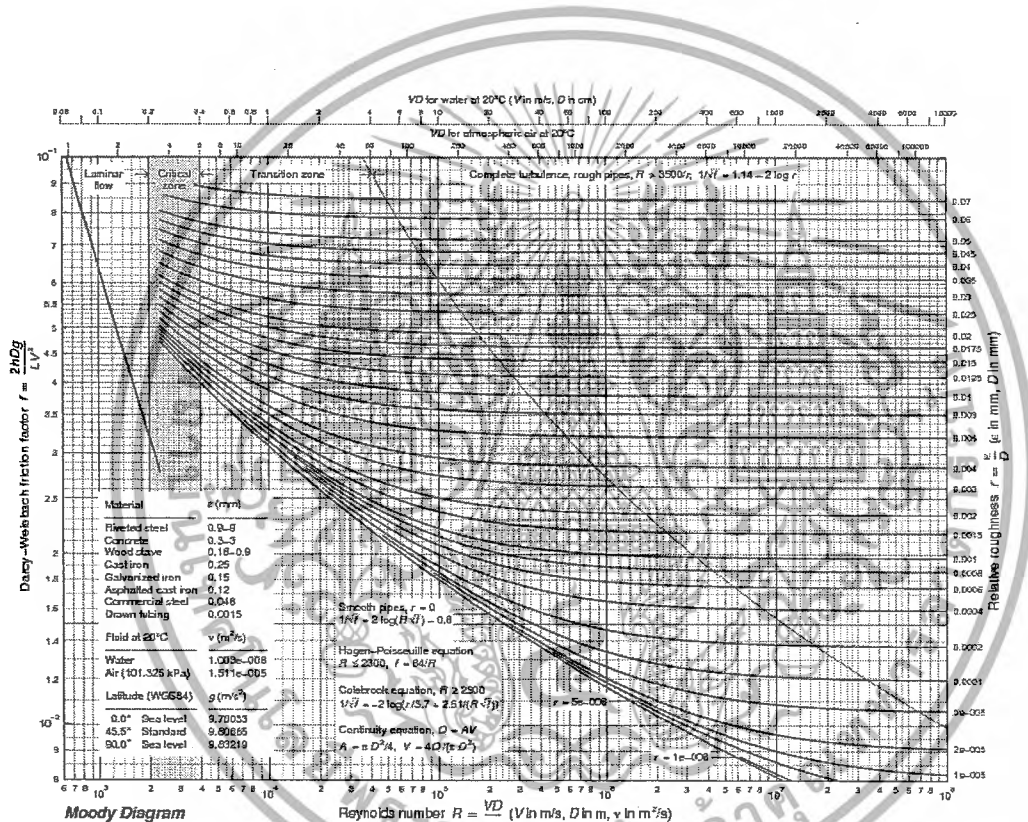
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

v = ความเร็วของของไหลภายในท่อ (เมตร/วินาที)

ν = ความหนืดไคเนมาติกส์ (ตารางเมตร/วินาที)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

μ = ความหนืดไดนามิกส์ (กิโลกรัม/เมตร-วินาที)



รูปที่ 2.10 แผนภาพมูดี้ (Moody diagram) [6]

นอกจากนี้สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (f) จากสมการต่อไปนี้

$$f = 0.001375 \left[1 + \left(2000 \frac{\epsilon}{D} + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right]; Re \geq 4,000 \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ความสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนขนาดท่อ

การวางระบบท่อบางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องเพิ่มหรือลดขนาดของท่อที่ใช้ จะทำให้เกิดความสูญเสียเกิดขึ้น การเปลี่ยนขนาดท่อทำโดยใช้ข้อขยาย (Enlarger) และข้อลด (Reducer) ค่าความสูญเสียสำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อที่ขยายหรือลดขนาดทันที มีสมการคำนวณ ดังนี้

$$h_L = k \frac{v^2}{2g} \tag{2.14}$$

เมื่อ v = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวในท่อ (เมตร/วินาที)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากการเปลี่ยนขนาดท่อ ขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างขนาดของท่อ อ่านค่าได้จากรูปที่ 2.11

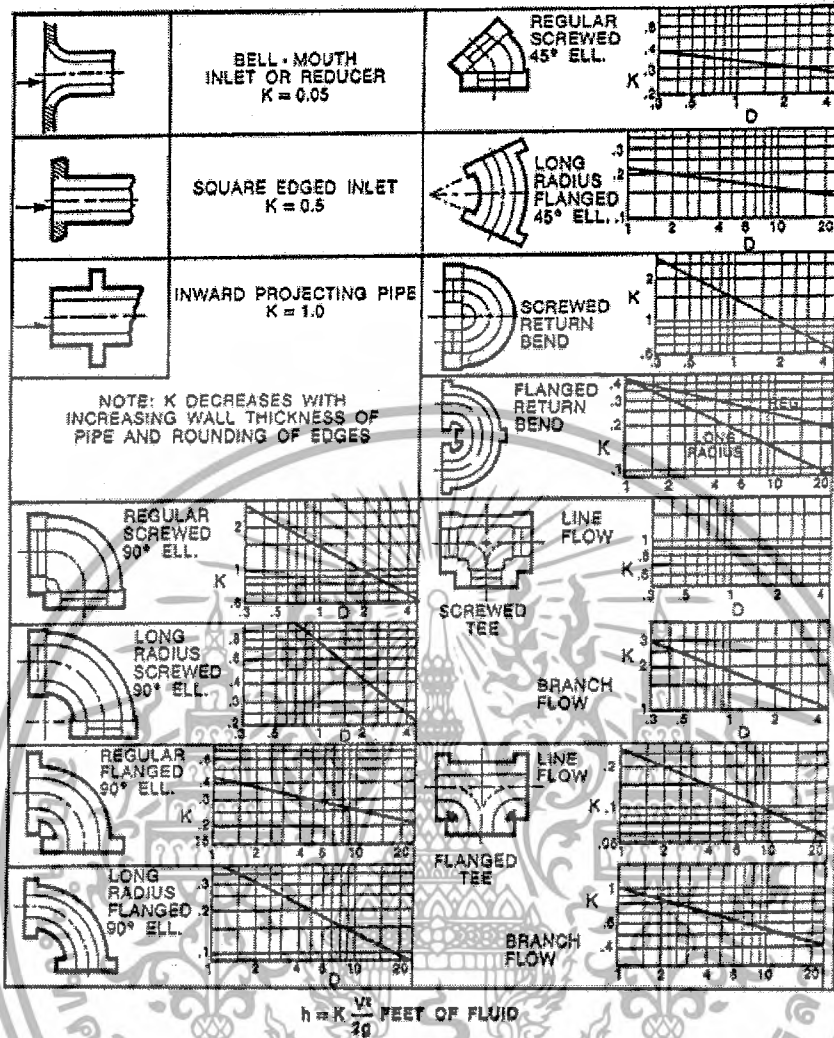


รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับอัตราส่วนระหว่างขนาดของท่อกรณีขยายขนาดหรือลดขนาดทันที [7]

2.4.3 การสูญเสียเฮดที่ข้อต่อและวาล์ว (Fitting loss)

เมื่อมีการวางท่อย่อมมีการสูญเสียเฮดเกิดขึ้นจากข้อต่อและวาล์ว คำนวณค่าความสูญเสียได้จากสมการที่ 2.14 โดยค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อและวาล์ว (k) ได้จากรูปที่ 2.12 และ 2.13 ดังนี้

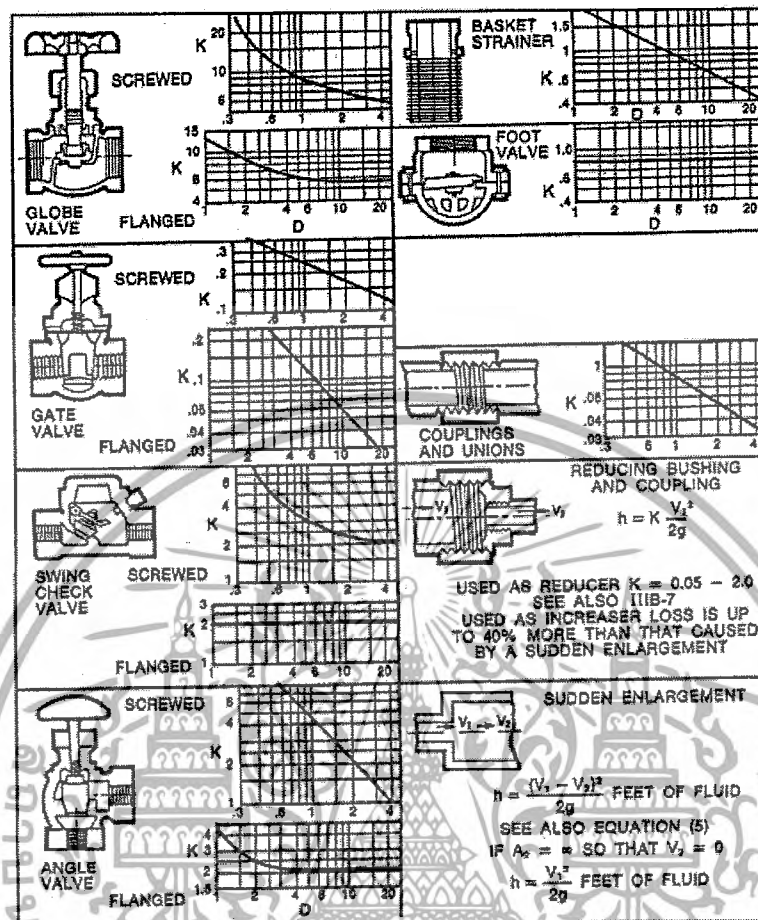
RESISTANCE COEFFICIENTS FOR VALVES AND FITTINGS



รูปที่ 2.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับลักษณะและขนาดของข้อต่อ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESISTANCE COEFFICIENTS FOR VALVES AND FITTINGS

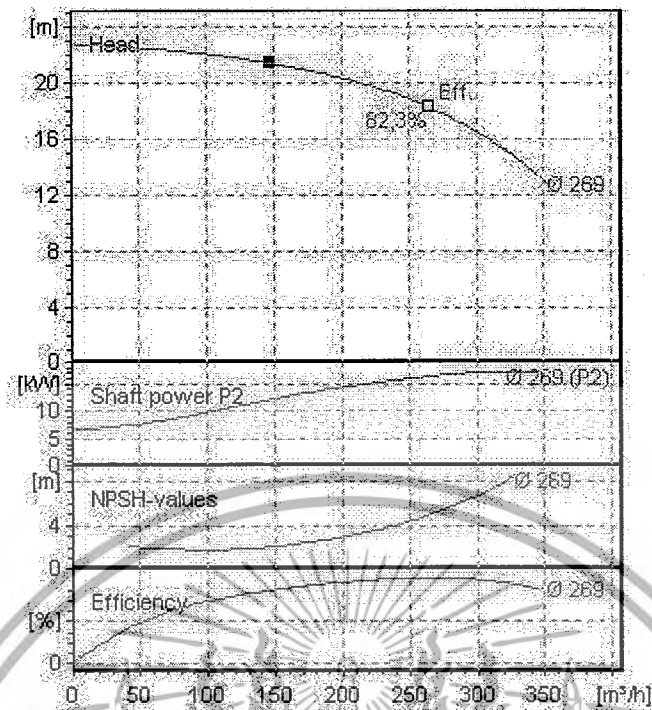


รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับลักษณะและขนาดของวาล์ว [8]

2.5 กราฟเฮดของระบบ (System head curve) [4]

กราฟเฮดของระบบ คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเฮดรวมด้านจ่ายหรือพลังงานที่ปั๊มจะต้องให้กับระบบ โดยปกติบริษัทมีกราฟสมรรถนะปั๊มจากผู้ผลิต ที่แสดงความสัมพันธ์ของอัตราไหลกับเฮด กำลัง และประสิทธิภาพของปั๊ม รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างกราฟสมรรถนะของปั๊มหยอยโข่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟสมรรถนะของปั๊มหอยโข่ง [8]

2.6 Net Positive Suction Head (NPSH) [4]

NPSH คือ ความดันสัมบูรณ์หรือเฮดที่ทางเข้าปั๊มทั้งหมดลบด้วยความดันไอของของเหลว นั้น บอกค่าความดันเป็นความสูงของของเหลวที่ก่อให้เกิดการไหลของของเหลวเข้าไปในห้องสูบของปั๊ม ซึ่ง NPSH ต้องมีค่าบวกเสมอ และแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.6.1 NPSH ที่มีอยู่ (Available NPSH, $NPSH_A$) คือ ค่า NPSH ที่มีอยู่ในระบบ ขึ้นอยู่กับ การออกแบบระบบท่อดูดของปั๊ม ได้แก่ เสดทางด้านดูด (Suction head) ความสูญเสียเฮดเนื่องจาก ความเสียดทานภายในท่อและความดันไอของของเหลวขึ้นกับสมบัติและอุณหภูมิของของเหลว

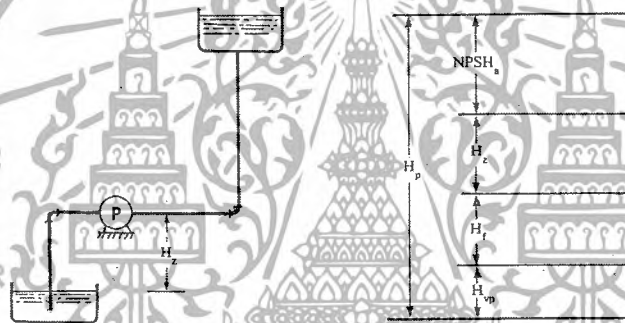
2.6.2 NPSH ที่ต้องการ (Required NPSH, $NPSH_R$) คือ ค่า NPSH ของปั๊มที่ถูกออกแบบ มาจากผู้ผลิต ปั๊มแต่ละตัวจะมีค่า $NPSH_R$ แตกต่างกัน แม้แต่ปั๊มตัวเดียวกัน ค่า $NPSH_R$ ก็จะเปลี่ยนไป ตามอัตราการไหลและความเร็วของของไหล ผู้ผลิตปั๊มจะจัดทำเอกสารแสดงค่า $NPSH_R$ ของปั๊มไว้

หลักการของ NPSH ใช้ได้กับปั๊มทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นแบบหอยโข่ง โรตารี หรือแบบ ลูกสูบชัก ค่า NPSH มีความสำคัญต่อการทำงานของปั๊ม เพราะถ้าค่า NPSH ไม่เพียงพอของเหลวใน ห้องสูบจะกลายเป็นไอซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพของปั๊มลดลง ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง อาจเกิดการกร่อนเนื้อโลหะของใบพัดหรือห้องสูบและทำความเสียหายให้แก่ปั๊ม ปრაกฏการณ์นี้

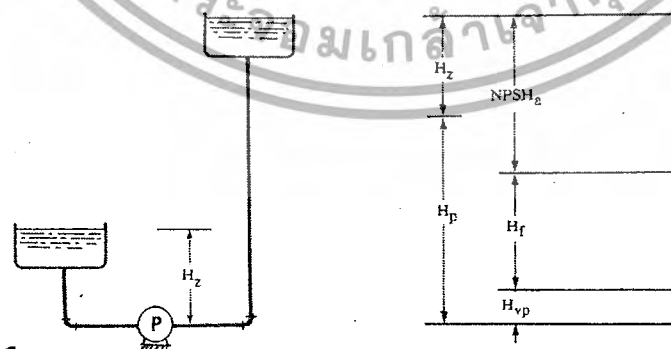
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า คาวิเตชัน (Cavitation) และถ้าหากจะให้ปั๊มทำงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ค่า $NPSH_a$ จะต้องมากกว่าค่า $NPSH_r$ ของปั๊มนั้น

ในกรณีที่เป็นการติดตั้งที่ทราบค่า $NPSH_r$ ความแตกต่างระหว่างความดันของบรรยากาศกับผลรวมของการสูญเสียพลังงานทางท่อคุณลักษณะต่างๆ (Head loss) และความดันไอจะทำให้ทราบว่าสามารถติดตั้งปั๊มให้อยู่สูงกว่าระดับของเหลวได้มากที่สุดเท่าใด เช่น ถ้าความดันของบรรยากาศมีค่าสูงกว่าผลรวมดังกล่าว 5 เมตร จะบอกได้ว่าสามารถตั้งปั๊มสูงกว่าระดับของของเหลวได้ไม่เกิน 5 เมตร แต่ถ้าความดันของบรรยากาศมีค่าน้อยกว่าผลรวมดังกล่าว 3 เมตร ก็จะต้องติดตั้งปั๊มให้อยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวไม่น้อยกว่า 3 เมตร ปั๊มจึงจะมีค่า $NPSH$ ไม่น้อยกว่าที่ต้องการ เป็นต้น หลักการที่ได้อธิบายข้างต้นนี้สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น เมื่อพิจารณารูปที่ 2.15 และ 2.16



รูปที่ 2.15 ค่า $NPSH_a$ เมื่อปั๊มอยู่สูงกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด [4]



รูปที่ 2.16 ค่า $NPSH_a$ เมื่อปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปั๊มอยู่สูงกว่าระดับของเหลวทางด้านดูด สมการที่ใช้คำนวณ คือ

$$NPSH_a = H_p - H_{vp} - H_f - H_z \quad (2.15)$$

เมื่อ H_p = ความดันสัมบูรณ์บนผิวของของเหลวทางด้านดูด บวกเป็นความสูงของของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าของเหลวที่ดูด

H_{vp} = ความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด บวกเป็นความสูงของของเหลว

H_f = ผลรวมของเฮดที่สูญเสียในท่อดูดทั้งหมด

H_z = ความแตกต่างระหว่างระดับผิวของของเหลวกับศูนย์กลางของปั๊มหรือระยะดูดยก

เมื่อปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับของของเหลวทางด้านดูด สมการที่ใช้คำนวณ คือ

$$NPSH_a = H_p + H_z - H_{vp} - H_f \quad (2.16)$$

2.7 คาวิเทชัน (Cavitation) [5]

คาวิเทชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะของใบพัดหรือห้องสูบโดยมีสาเหตุมาจากค่า $NPSH_a$ ของปั๊มต่ำกว่าค่า $NPSH_r$ ในปั๊มหรือเชิง ขั้นตอนของการเกิดคาวิเทชันสรุปได้ดังนี้

1. ปั๊มถูกใช้งานในสภาพที่ความดันที่ทางเข้าของปั๊มต่ำกว่าความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมินั้น จึงทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ
2. การเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นก๊าซ ทำให้เกิดโพรงอากาศหรือช่องว่างขึ้นที่ทางเข้าปั๊ม ดังนั้นปริมาณของเหลวที่ไหลเข้าปั๊มจะลดลงและมีฟองอากาศปนเข้าไปด้วย
3. ฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้ เป็นฟองอากาศความดันต่ำ เมื่อเข้าถึงห้องสูบจะมีปริมาตรสูงขึ้น ฟองอากาศเหล่านี้จะไหลไปตามใบพัดด้วยแรงหนีศูนย์กลางไปสู่ปลายใบพัด
4. ที่ปลายใบพัดจะมีความดันสูง ดังนั้นฟองอากาศความดันต่ำจะแตกและเกิดแรงกระแทก ทำให้ปั๊มเกิดการสั่นและเกิดเสียงดัง นอกจากนี้ยังทำให้โลหะที่ปลายใบพัดและที่ผนังของห้องสูบหลุดเป็นชิ้นเล็กๆ การเกิดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ทำให้ใบพัดและผนังห้องสูบสึกหรอ บางครั้งอาจทะลุเป็นรูทำให้ของเหลวพุ่งออกมาภายนอกปั๊ม

คาวิเทชันเป็นสิ่งที่ป้องกันได้โดยพยายามหลีกเลี่ยงลักษณะการใช้งาน เช่น

1. ให้ปั๊มทำงานที่เฮดต่ำกว่าเฮดของปั๊มที่จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดมาก เช่น ปั๊มทำงานได้

ประสิทธิภาพสูงสุดที่เฮด 30 เมตร แต่นำปั๊มนั้นไปใช้งานที่มีเฮดเพียง 3 เมตร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ให้ปั๊มทำงานที่อัตราการสูบสูงกว่าอัตราการสูบที่จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดมาก
3. ระยะดูดยก (Suction lift) มากกว่า หรือค่า $NPSH_u$ น้อยกว่าความต้องการของปั๊มตามที่กำหนดไว้ในกราฟสมรรถนะของปั๊มจากบริษัทผู้ผลิต
4. อุณหภูมิของของเหลวที่ถูกปั๊มสูงกว่าค่าในการออกแบบมาก
5. ความเร็วของใบพัดสูงกว่าที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้มาก



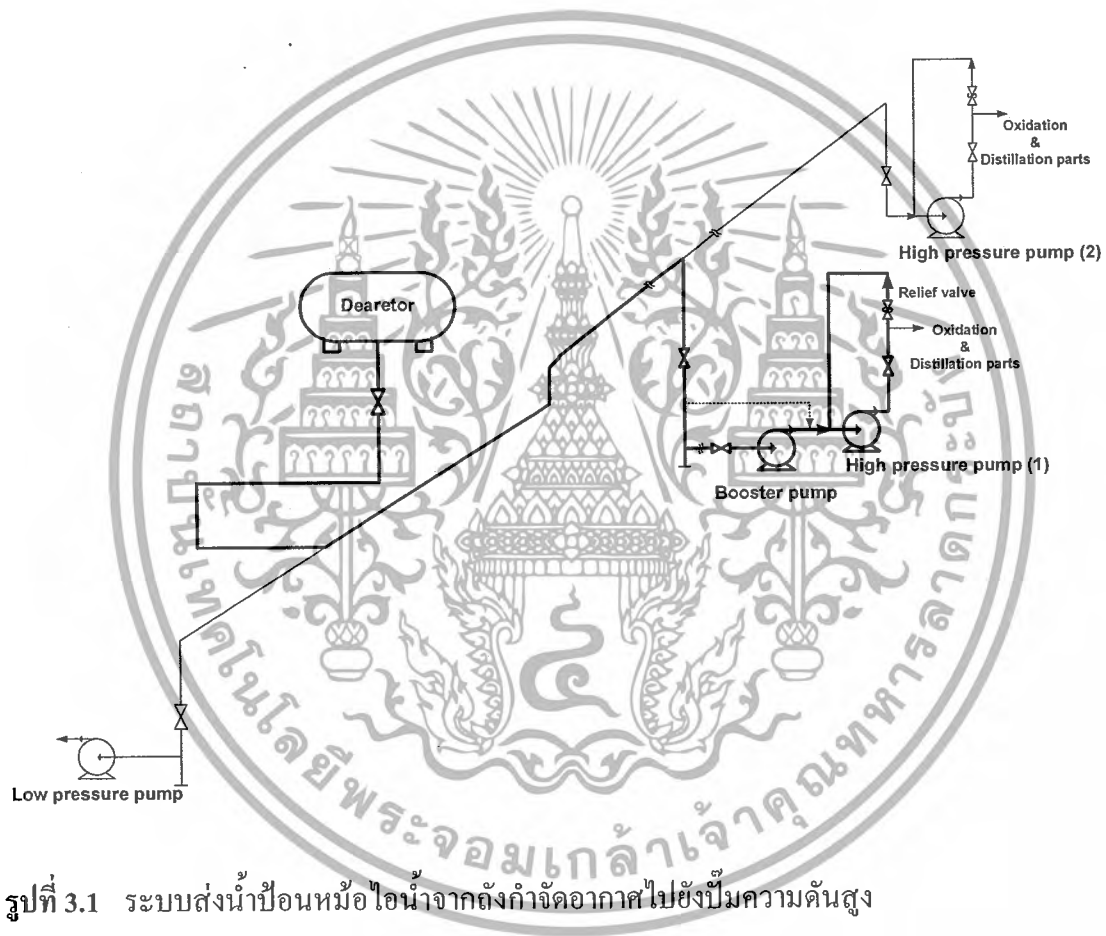
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การติดตั้งระบบปั๊มความดันสูง

ระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำในกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์สำหรับ 2 โรงงาน ก่อนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 3.1 น้ำป้อนหม้อไอน้ำจะถูกส่งจากถังกักอากาศไปยังปั๊มความดันสูง เพื่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.1 ระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากถังกักอากาศไปยังปั๊มความดันสูง

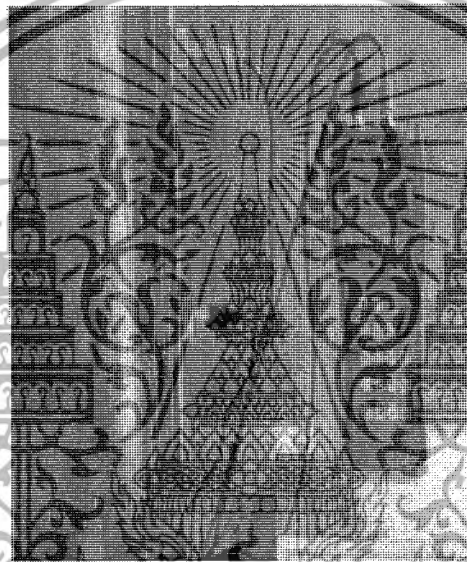
ก่อนการดำเนินงานเมื่อกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ของทั้ง 2 โรงงาน ที่อัตราการป้อนออกโทไซลีนไม่เกิน 4,500 กก./ชม. บริษัทจะใช้ปั๊มความดันต่ำ 1 ตัว แต่ถ้ากำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่อัตราการป้อนออกโทไซลีนสูงกว่า 4,500 กก./ชม. บริษัทจะใช้ปั๊มความดันสูง 1 ตัว ซึ่งในกรณีหลังพบว่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำระดับความดันต่างๆ ไม่เพียงพอ ดังนั้นจะต้องวิเคราะห์สาเหตุและตรวจยืนยันสมรรถนะของปั๊มความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์กับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

การตรวจยืนยันสมรรถนะของปั๊มความดันสูงจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต โดยวัดอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก(Ultrasonic flow meter) ดังนี้

3.2.1 ศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก ดังข้อมูลที่แสดงในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกครุ่นพกพา

3.2.2 วัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากปั๊มความดันสูง อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง ความดันที่ทางออกของปั๊มความดันสูง อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สทูลเลอร์ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซอลด์บัททูลเลอร์ของทั้ง 2 โรงงาน ที่อัตราการไหลของอโทไซลีน 5 ค่า เก็บและบันทึกข้อมูลที่ต้องการศึกษา

3.2.3 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับอัตราการไหลของอโทไซลีน เพื่อประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำป้อนหม้อไอน้ำเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอโทไซลีนเป็น 5,000 กก./ชม. ตามกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์รวมของทั้ง 2 โรงงาน ที่บริษัทต้องการประมาณ 5,325 กก./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณค่า NPSH_r

3.3.1 วัดระดับความสูงระหว่างระดับน้ำในถังกำจัดอากาศกับศูนย์กลางของปั๊มความดันสูง

3.3.2 เก็บข้อมูลภาวะของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ถังกำจัดอากาศ ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำที่เข้าถึงกำจัดอากาศ อุณหภูมิของน้ำที่ถังกำจัดอากาศ ความดันภายในถังกำจัดอากาศ

3.3.3 พล็อตกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเสดที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงกับเสดที่ได้จากการอ่านกราฟสมรรถนะ ข้อมูลของเสดของปั๊มความดันสูงที่ได้จากการปฏิบัติงานจริง และจากกราฟสมรรถนะแสดงในตารางที่ ข.2 ภาคผนวก ข.

3.3.4 ศึกษาระยะเวลาทางการเดินท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ จำนวนข้อต่อ วาล์ว การลดขนาดของท่อทางด้านดูด เพื่อคำนวณเสดสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ ดังตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ค.

3.3.5 พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับค่า NPSH_r ของปั๊มความดันสูงที่ได้จากการคำนวณ และค่า NPSH_r ที่ได้จากการอ่านกราฟสมรรถนะของปั๊มความดันสูง

3.3.6 พิจารณาอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ปั๊มสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดคาวิตีชั่น จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับค่า NPSH_r

3.4 การปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

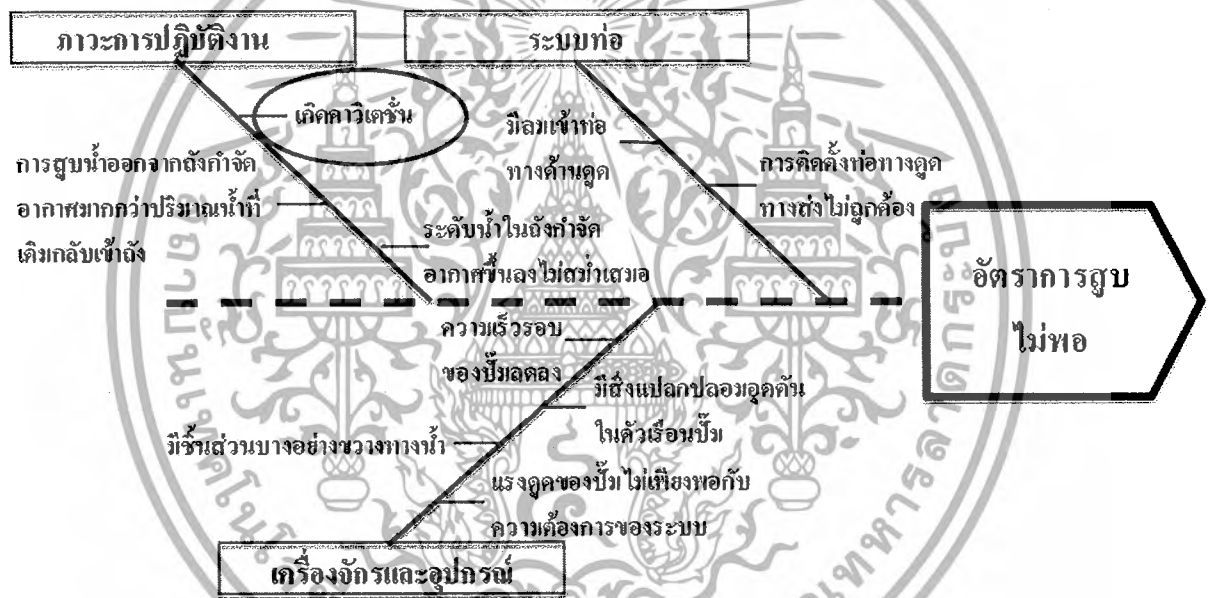
ประเมินผลของการเก็บข้อมูลของระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ โดยเปรียบเทียบอัตราการไหลของอโทไซส์กับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แก๊สคูลเลอร์และซอลด์บัทคูลเลอร์ต้องการ ที่อัตราการไหลของอโทไซส์ 5,000 กก./ชม. และพิจารณาสมรรถนะของปั๊มจากค่า NPSH_r ที่ได้จากการคำนวณกับค่า NPSH_r

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ข้อมูล

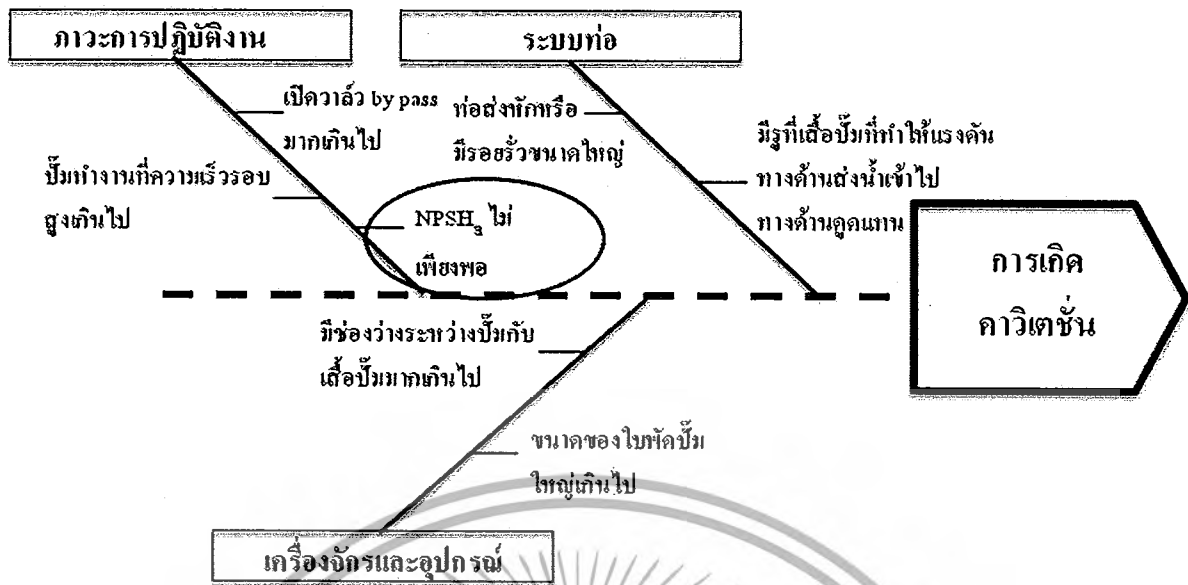
4.1 การวิเคราะห์สาเหตุค่า NPSH_r ของปั๊มความดันสูงไม่เพียงพอ

เมื่อเพิ่มกำลังการผลิตพาหนิกแอนไฮไดรด์ที่อัตราการป้อนออกโทไซลีนสูงกว่า 5,00 กก./ชม. พบว่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว ที่ใช้ยังไม่เพียงพอ สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนจากกระบวนการกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำ ระดับความดันต่างๆ จึงวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนภาพแสดงสาเหตุและผล และการระดมสมองกับทีมงานของบริษัท ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ของปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว มีอัตราการสูบไม่เพียงพอ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าสาเหตุสำคัญที่คาดว่าส่งผลต่อการที่อัตราการสูบไม่เพียงพอ และทำให้น้ำป้อนหม้อไอน้ำไม่สามารถไหลเข้าปั๊มความดันสูงได้เต็มทีคือการเกิดควาเวตชัน จึงใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผลเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดควาเวตชันของปั๊มความดันสูงในระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดคาวิเทชันเมื่อใช้ปั๊มความดันสูงจำนวน 1 ตัว

จากรูปที่ 4.2 สาเหตุการเกิดคาวิเทชันของปั๊มความดันสูงที่สำคัญ คือ ค่า NPSH_ร ไม่เพียงพอ กับค่า NPSH_อ และพิจารณาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา ค่า NPSH_ร ไม่เพียงพอ โดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ค่า NPSH_อ ของปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว ไม่เพียงพอ

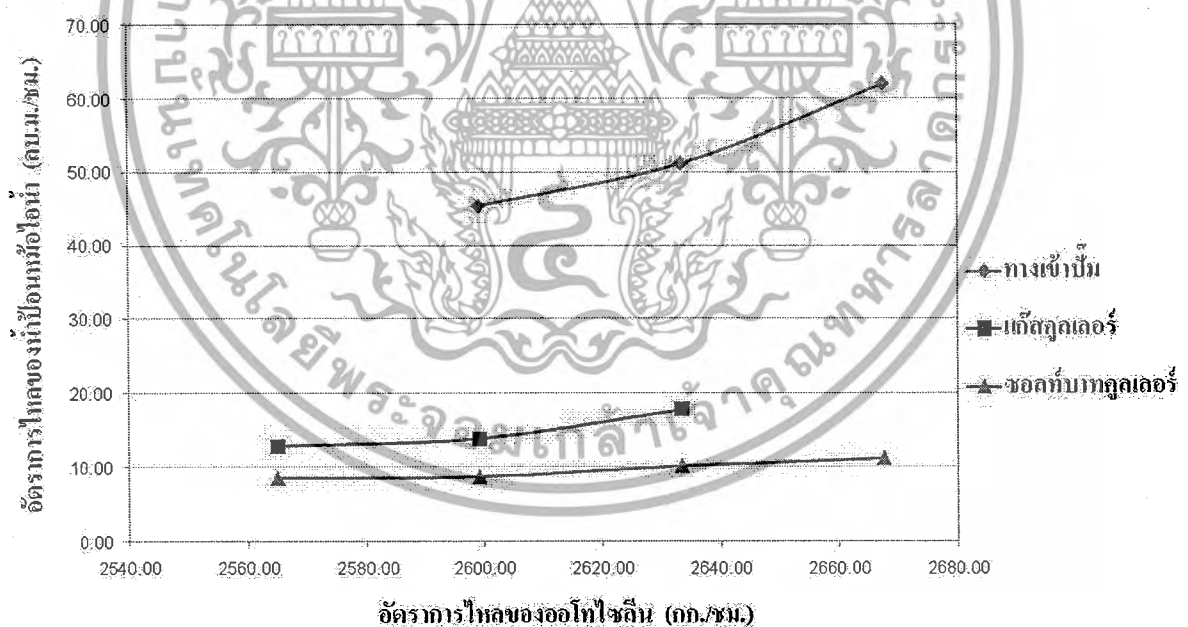
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ทำให้การใช้ปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว ไม่เพียงพอสำหรับระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เพราะค่า $NPSH_a$ ไม่เพียงพอกับค่า $NPSH_r$ ที่ปั๊มความดันสูงต้องการ จากหลายปัจจัยในรูปที่ 4.3 เลือการศึกษาปัจจัยต่อไปนี้อย่างมีความเป็นไปได้ในการดำเนินงานสูง

1. ระยะทางการเดินท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำและจำนวนข้อต่อด้านจ่ายมากเกินความจำเป็น
2. แรงดันของน้ำป้อนหม้อไอน้ำเข้าปั๊มความดันสูงไม่เพียงพอ

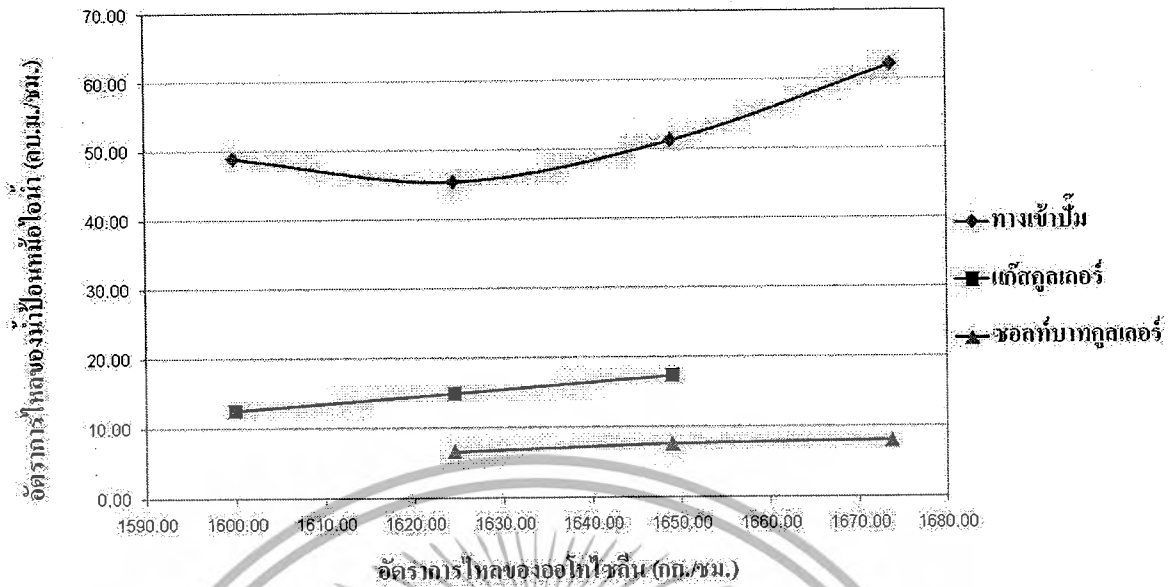
4.2 อัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง แก๊สकुลดอร์ 2 เครื่อง และซอลต์บาทकुลดอร์ 2 เครื่อง

ค่าการวัดอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูงและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुลดอร์และซอลต์บาทकुลดอร์ อุปกรณ์ละ 2 เครื่อง ของทั้ง 2 โรงงานที่อัตราการไหลของอโทไซลีนต่างๆ แสดงข้อมูลในตารางที่ ข.1 ภาคผนวก ข. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुลดอร์ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซอลต์บาทकुลดอร์ของโรงงานที่ 1 และ โรงงานที่ 2 แสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในส่วนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่โรงงานที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

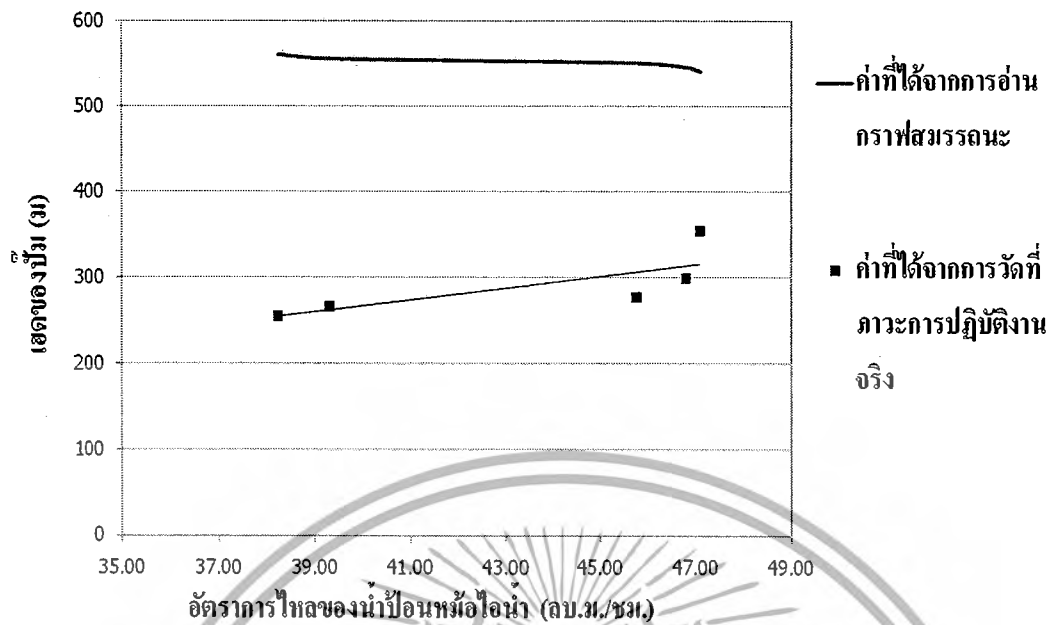


รูปที่ 4.5 อัตราการใช้ไ้ม้ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในส่วนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ที่โรงงานที่ 2

จากรูปแสดงอัตราการใช้ไ้ม้ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำของทั้ง 2 โรงงาน พบว่าที่อัตราการใช้ไ้ม้เท่ากัน ปริมาณการใช้ไ้ม้ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ปั้มความดันสูงมากที่สุด รองลงมาคือที่แก๊สกูลเลอร์และซอลท์บัทกูลเลอร์ ตามลำดับ จะต้องใช้ไ้ม้ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการใช้ไ้ม้เพิ่มขึ้น (กำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เพิ่มขึ้น)

4.3 การเปรียบเทียบค่าเสดจากการปฏิบัติงานจริงกับทฤษฎี

ค่าเสดจากการปฏิบัติงานจริงและจากทฤษฎีพิจารณาที่อัตราการใช้ไ้ม้ของทั้ง 2 โรงงานเท่ากับ 5,000 กก./ชม. (กำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ 5,325 กก./ชม.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ไ้ม้ของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับเสดของปั้มความดันสูง 1 ตัวแสดงในรูปที่ 4.6

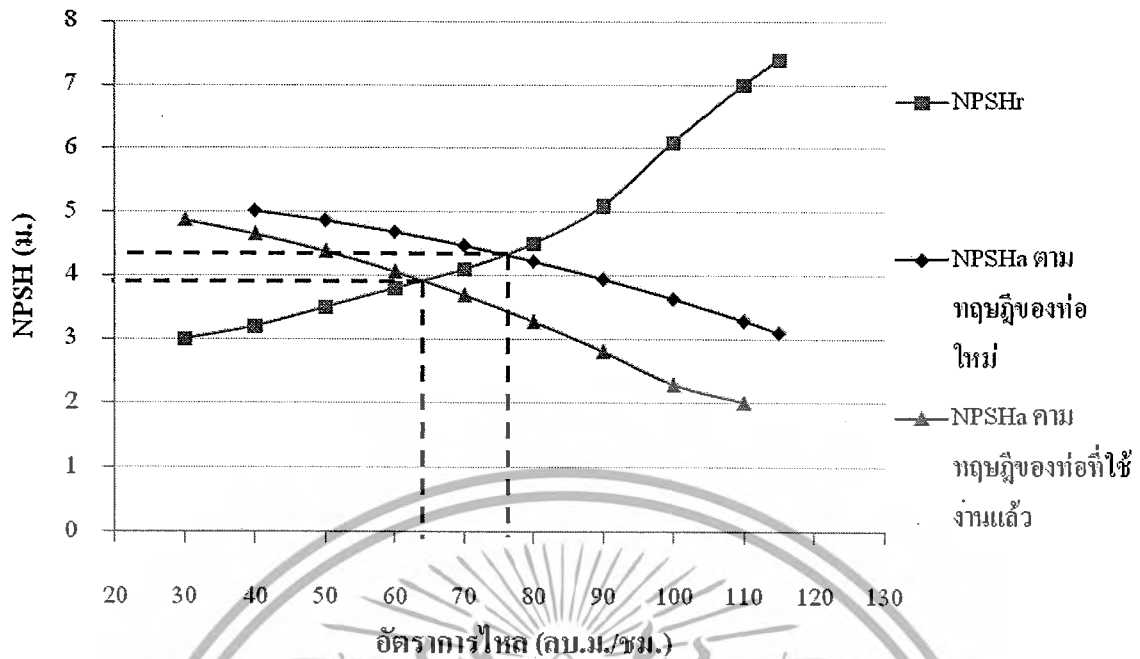


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับเฮดของปั๊มความดันสูงจำนวน 1 ตัว

จากรูปที่ 4.6 พบว่าค่าเฮดของปั๊มความดันสูงที่ได้จากการวัดที่ภาวะการปฏิบัติงานจริงน้อยกว่าค่าเฮดที่ได้จากการอ่านกราฟสมรรถนะในคู่มือการปฏิบัติงานของปั๊มความดันสูงประมาณ 50% แสดงว่าอัตราการไหลของปั๊มความดันสูง 1 ตัว เพื่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำไม่เพียงพอสำหรับระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

4.4 ค่า $NPSH_r$ ของปั๊มความดันสูง

รูปที่ 4.7 แสดงผลการคำนวณค่า $NPSH_r$ ของปั๊มความดันสูงตามทฤษฎี (ภาคผนวก ก.) เปรียบเทียบกับค่า $NPSH_r$ ของปั๊มความดันสูงที่อ่านจากกราฟสมรรถนะที่ความดัน 3.8 บาร์ ซึ่งเป็นความดันในถังกำจัดอากาศ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาว่าค่า $NPSH_r$ ของปั๊มความดันสูงไม่เพียงพอกับค่า $NPSH_r$ ที่ต้องการ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $NPSH_a$ และ $NPSH_r$ กับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ที่ความดัน 3.8 บาร์

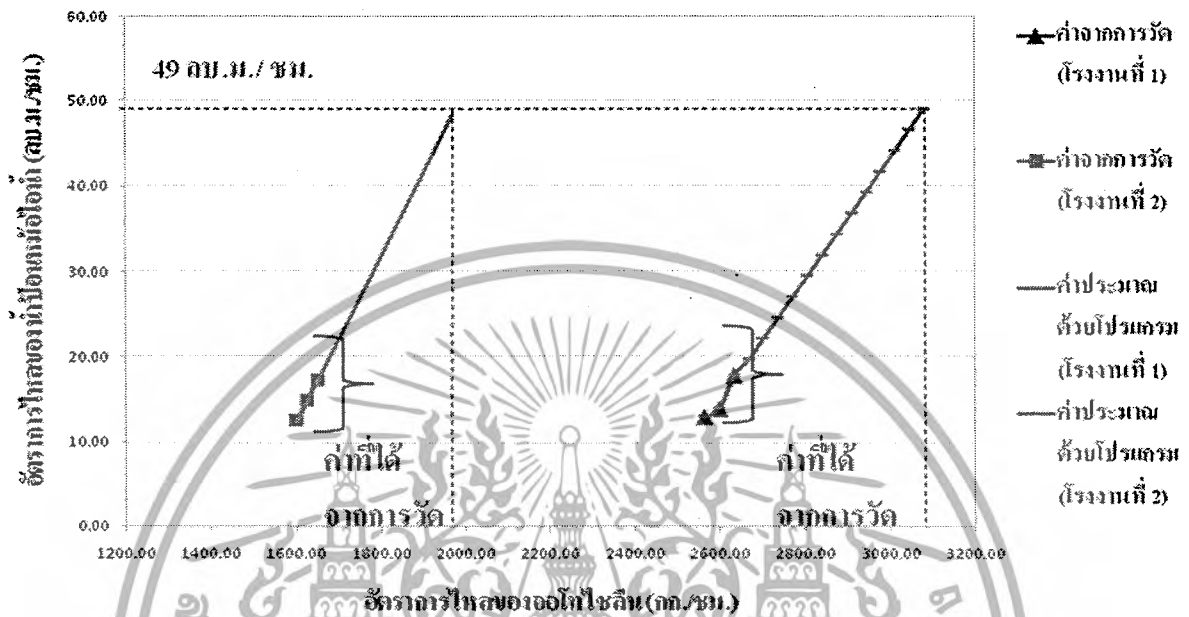
จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำเป็นระบบท่อใหม่ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำมากกว่า 76 ลบ.ม./ชม. ซึ่งเป็นจุดตัดระหว่างเส้นกราฟของค่า $NPSH_r$ กับค่า $NPSH_a$ ตามทฤษฎี ค่า $NPSH_a$ ของปั๊มความดันสูงตามทฤษฎีที่คำนวณจากค่าการปฏิบัติงานจริงน้อยกว่าค่า $NPSH_r$ ที่ได้จากกราฟสมรรถนะ ซึ่งจะทำให้เกิดควิเตชันในท่อทางด้านดูดของปั๊มความดันสูง และสำหรับระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำเป็นระบบท่อผ่านการใช้งาน 10 ปี พบว่าค่า $NPSH_a$ ของปั๊มความดันสูงตามทฤษฎีที่คำนวณจากค่าการปฏิบัติงานจริงน้อยกว่าค่า $NPSH_r$ ที่ได้จากกราฟสมรรถนะที่อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำมากกว่า 63 ลบ.ม./ชม.

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของออตโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่แก๊สกูลเตอร์

เนื่องจากบริษัทมีนโยบายเพิ่มกำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ของทั้ง 2 โรงงาน 5,325 กก./ชม. (อัตราการป้อนออตโทไซลีน 5,000 กก./ชม.) แต่ยังไม่ได้นำดำเนินการจึงไม่สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ต้องการที่อัตราการผลิตนี้ ดังนั้นจะต้องประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำด้วยโปรแกรม Excel ซึ่งค่าจากอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुูลเลอร์และค่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากการประมาณด้วยโปรแกรม Excel ที่อัตราการไหลของอโทไซลีนค่าต่างๆ สำหรับโรงงานที่ 1 และโรงงานที่ 2 แสดงในตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข.

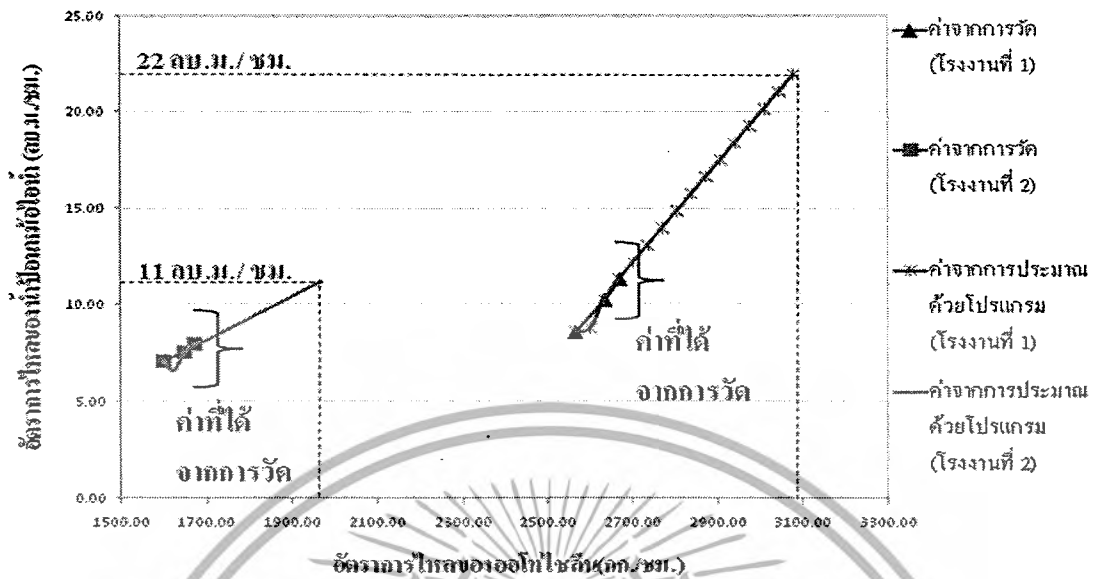


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुูลเลอร์ในโรงงานที่ 1 และ 2

จากรูปที่ 4.8 ที่กำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 5,325 กก./ชม. (อัตราการไหลของอโทไซลีนทั้ง 2 โรงงานเท่ากับ 5,000 กก./ชม.) พบว่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुูลเลอร์ทั้ง 2 โรงงานต้องการจากการประมาณค่าเท่ากับ 98 ลบ.ม./ชม.

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ซอลต์บาทकुูลเลอร์

ค่าจากอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซอลต์บาทकुูลเลอร์และค่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากการประมาณด้วยโปรแกรม Excel ที่อัตราการไหลของอโทไซลีนค่าต่างๆ สำหรับโรงงานที่ 1 และโรงงานที่ 2 แสดงในตารางที่ ข.4 ภาคผนวก ข.

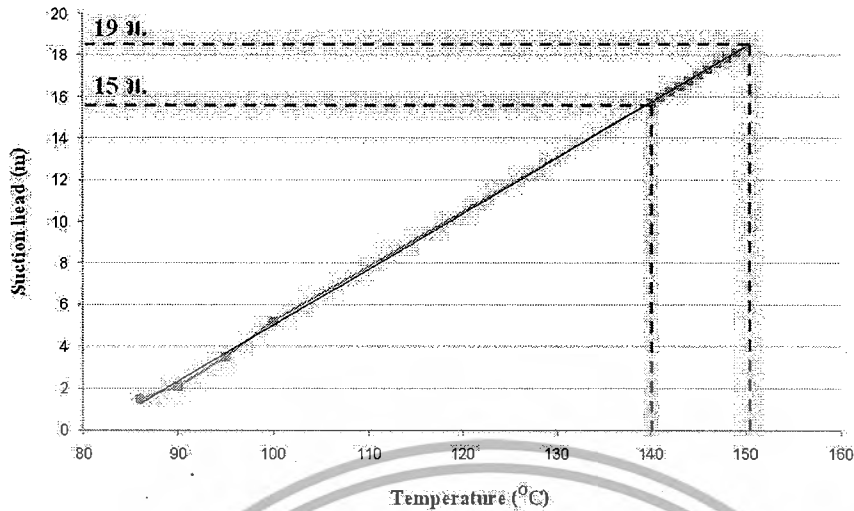


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไชลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดบาคูลเลอร์ในโรงงานที่ 1 และ 2

จากรูปที่ 4.9 ที่กำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 5,325 กก./ชม. (อัตราการไหลของอโทไชลีนทั้ง 2 โรงงานเท่ากับ 5,000 กก./ชม.) พบว่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ต้องการที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดบาคูลเลอร์ทั้ง 2 โรงงานต้องการจากการประมาณค่าเท่ากับ 33 ลบ.ม./ชม.

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูงกับเสตทางด้านดูด

ที่อัตราการไหลของอโทไชลีนเท่ากับ 5,000 กก./ชม. อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ระบบต้องการเท่ากับ 98 กก./ชม. เมื่อพิจารณาระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำเป็นระบบท่อที่ผ่านการใช้งาน 10 ปี $NPSH_r$ ที่อ่านจากรูปที่ 4.7 มีค่าเท่ากับ 3.8 เมตร ซึ่งต่ำกว่าค่าเสตทางด้านดูดที่ปั๊มความดันสูงต้องการตั้งแต่ 15-19 เมตร ที่อุณหภูมิการปฏิบัติงาน 140 – 150 °ซ ดังรูปที่ 4.10 จึงยืนยันได้ว่า ค่า $NPSH_r$ ของปั๊มความดันสูงไม่เพียงพอกับค่า $NPSH_r$



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง กับเฮดทางด้านดูด

4.8 การดำเนินงานแก้ไข

1. ติดตั้งปั๊มเสริมเพื่อเพิ่มอัตราการไหล (Booster pump) เพิ่มขึ้นอีก 1 ตัว ซึ่งคาดว่าจะทำให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำได้เพียงพอเมื่อบริษัทเพิ่มกำลังการผลิตตามที่ต้องการ

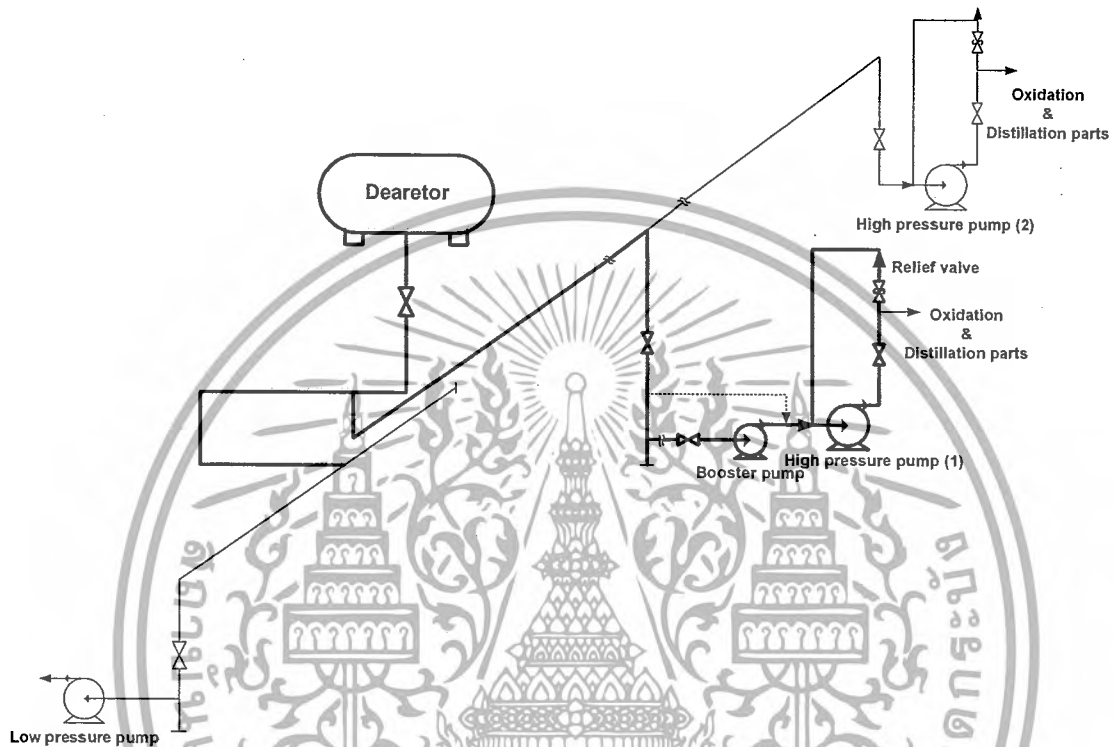
2. ปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยลดระยะทางการเดินท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ และลดจำนวนข้อต่อด้านดูดเพื่อลดทอมแรงเสียดทาน เพราะถ้าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำสูงขึ้นเนื่องจากความต้องการเพิ่มกำลังการผลิต จะทำให้การสูญเสียเฮดลักษณะต่างๆ เพิ่มขึ้นและค่า $NPSH_a$ ของปั๊มลดลง ดังตารางที่ 4.1 สำหรับเฮดจากความดัน เฮดจากความดันไอของของเหลว และเฮดจากพลังงานศักย์มีค่าคงที่ เพราะความดันในถังกักอากาศและอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำมีค่าคงที่ และไม่มี ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำกับศูนย์กลางของปั๊ม ถ้าต้องการเพิ่มกำลังการผลิตทางทาลิกแอนไฮโดรคาร์บอนทั้ง 2 โรงงานที่ 5,325 กก./ชม. ดังนั้นตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4.8 อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แก๊สคูลเลอร์และที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซอลต์บาทคูลเลอร์ของทั้ง 2 โรงงาน ต้องการเท่ากับ 98 ลบ.ม./ชม. และ 33 ลบ.ม./ชม. ตามลำดับ อัตราการไหลที่ 98 ลบ.ม./ชม. มีค่า $NPSH_a$ ประมาณ 2.90 เมตร (ตารางที่ 4.1) ซึ่งน้อยกว่าค่า $NPSH_r$ ที่ต้องการเท่ากับ 6.1 เมตร (รูปที่ 4.7) แสดงว่าค่า $NPSH_a$ ไม่เพียงพอที่จะทำให้ปั๊มความดันสูงมีอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหรือไอน้ำก่อนการดำเนินงานกับความสูญเสียเฮด และค่า NPSH₂ ของปั๊มความดันสูง

อัตราการไหลของ น้ำป้อนหรือไอน้ำ (ลบ.ม./ชม.)	เฮดจาก พลังงานศักย์ (ม.)	เฮดจากความดัน (ม.)	เฮดจากความดันไอ ของเหลว (ม.)	เฮดจากความสูญเสีย ของข้อต่อ วาล์ว ของท่อขนาด 3 นิ้ว (ม.)	เฮดจากความสูญเสียของ ข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาด ของท่อขนาด 6 นิ้ว (ม.)	เฮดจากความเสียดทาน ภายในท่อ (ม.)	NPSH ₂ (m)
40.00	6.50	42.21	43.43	0.24	0.13	0.02	4.89
50.00	6.50	42.21	43.43	0.38	0.21	0.03	4.66
60.00	6.50	42.21	43.43	0.54	0.30	0.04	4.39
70.00	6.50	42.21	43.43	0.74	0.41	0.06	4.07
80.00	6.50	42.21	43.43	0.96	0.54	0.08	3.70
90.00	6.50	42.21	43.43	1.22	0.68	0.10	3.29
100.00	6.50	42.21	43.43	1.50	0.84	0.12	2.82
110.00	6.50	42.21	43.43	1.82	1.02	0.14	2.30

รูปที่ 3.1 ในบทที่ 3 และรูปที่ 4.11 แสดงระบบส่งน้ำป้อนหม้อน้ำจากถังกำจัดอากาศไปยังบ่อบำบัดความดันสูงก่อนและหลังการดำเนินงาน จากรูปที่ 4.12 ได้ลักษณะของการเดินท่อส่งน้ำป้อนหม้อน้ำจากถังกำจัดอากาศไปยังบ่อบำบัดความดันสูงเท่ากับ 9 เมตร และจำนวนข้อต่อด้านจุด 1 ตัว แต่จากการคำนวณ (ภาคผนวก ค.2) พบว่า $NPSH_r$ ของบ่อบำบัดเพิ่มขึ้นน้อยมาก ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.11 ระบบส่งน้ำป้อนหม้อน้ำจากถังกำจัดอากาศไปยังบ่อบำบัดความดันสูงหลังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนของน้ำป้อนหม้อไอน้ำหลังการดำเนินงานกับการสูญเสียเสด และค่า NPSH_u ของปั๊มความดันสูง

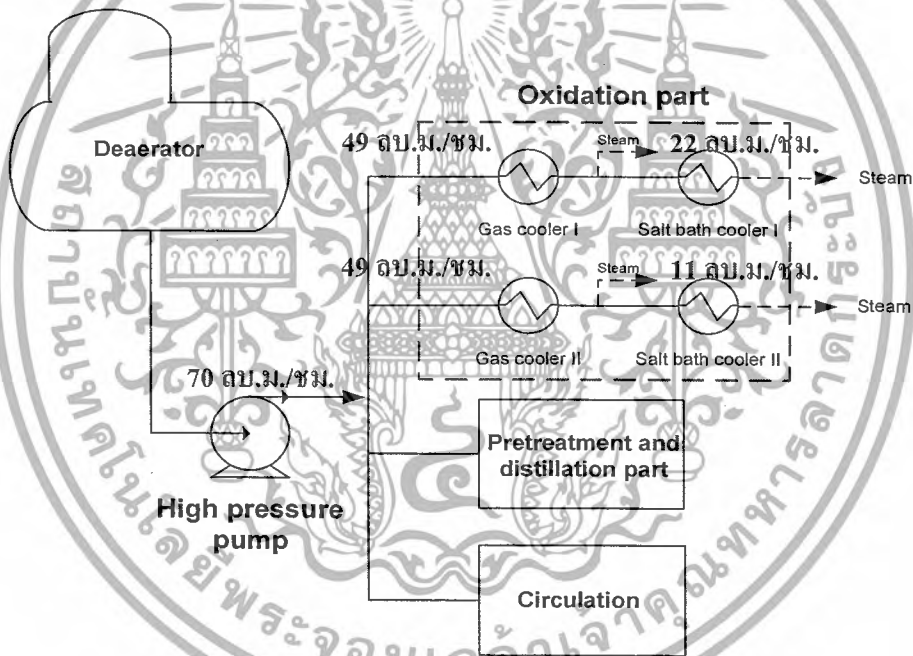
อัตราการไหลของ น้ำป้อนหม้อไอน้ำ (ลบ.ม./ชม.)	เสดจาก พลังงานสถิตย์ (ม.)	เสดจากความดัน (ม.)	เสดจากความดันไอ ของของเหลว (ม.)	เสดจากความสูญเสีย ของข้อต่อ วาล์ว ของท่อขนาด 3 นิ้ว (ม.)	เสดจากความสูญเสียของ ข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาด ของท่อขนาด 6 นิ้ว (ม.)	เสดจากความเสดตาม ภายในท่อ (ม.)	NPSH _u (m)
40.00	6.50	42.21	43.43	0.16	0.09	0.02	5.01
50.00	6.50	42.21	43.43	0.25	0.14	0.03	4.86
60.00	6.50	42.21	43.43	0.36	0.21	0.04	4.67
70.00	6.50	42.21	43.43	0.49	0.28	0.06	4.45
80.00	6.50	42.21	43.43	0.64	0.37	0.08	4.19
90.00	6.50	42.21	43.43	0.81	0.46	0.10	3.91
100.00	6.50	42.21	43.43	1.00	0.57	0.12	3.58
110.00	6.50	42.21	43.43	1.21	0.69	0.14	3.23

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานพบว่าที่กำลังการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์รวมของทั้ง 2 โรงงานที่ต้องการเพิ่ม เป็น 5,325 กก./ชม. ด้วยอัตราการไหลของอโทไซลีนเท่ากับ 5,000 กก./ชม. ป้อนความดันสูง จำนวน 1 ตัว มีอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำตามการออกแบบป้อนเท่ากับ 70 ลบ.ม./ชม. จึงไม่เพียงพอกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตทั้งแก๊สคูลเลอร์และซอลต์บัทคูลเลอร์ของทั้ง 2 โรงงาน ต้องการเท่ากับ 98 และ 33 ลบ.ม./ชม. ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ปริมาณน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ผลิตจากป้อนความดันสูงและที่ต้องการโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สคูลเลอร์และซอลต์บัทคูลเลอร์ในกระบวนการผลิต

สิ่งที่ได้ดำเนินการปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ มีดังนี้

1. ติดตั้งปั๊มเสริมเพื่อเพิ่มอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัว
2. ปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำโดยลดระยะทางการเดินท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

และลดจำนวนข้อต่อด้านดูดจากถังกำจัดอากาศไปยังปั๊มความดันสูง

5.2 ข้อเสนอนณะ

ตามทฤษฎีเทอมเสดความดันไอมีผลต่อค่า $NPSH_u$ ดังสมการที่ 2.15 และ 2.16 ที่ใช้คำนวณค่า $NPSH_u$ และเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเสดความดันไอมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับเสดลักษณะอื่นได้แก่ เสดจากความสูญเสยของข้อต่อ วาล์ว และเสดจากความเสยคทานภายในท่อ ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 การปรับปรุงระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำด้วยการลดระยะทางการเดินท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำและลดจำนวนข้อต่อจึงมีผลกระทบต่อค่า $NPSH_u$ น้อยมาก (ภาคผนวก ค.2) ดังนั้นถ้าต้องการลดเทอมเสดความดันไอของน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพื่อให้ค่า $NPSH_u$ เพิ่มสูงขึ้น จึงควรลดอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั้ม โดยมีระบบแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ท่อทางด้านดูดก่อนทางเข้าปั้มความดันสูง ด้วยการติดตั้งระบบท่อและใช้น้ำหล่อเย็นจากหอทำน้ำเย็น แต่บริษัทจะพิจารณาเป็นทางเลือกสุดท้าย เพราะการใช้น้ำป้อนหม้อไอน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเกิดสคูเลอร์และชอลต์บาทคูเลอร์จะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมาก เป็นสาเหตุเสี่ยงต่อการเกิดความเสยหายภายในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature shock)



เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลกระบวนการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์จากบริษัท คอนนิเนนทัล บีโตร์เคมีคอล จำกัด (มหาชน)
- [2] กุลยา ศรีงามผ่อง. การบูรณาการพลังงานในโรงงานพาทาลิกแอนไฮไดรด์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมบีโตร์เคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [3] Noel de Nevers. 1991. **Fluid Mechanics for Chemical Engineering**. 2nd Ed. Singapore : McGraw-Hill.
- [4] รศ. พูลพร แสงบางปลา และคณะ. ความรู้พื้นฐานวิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกล. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550.
- [5] ภัทรภรณ์ เมฆพฤษาวงศ์ และวัชรระ เพิ่มชาติ. เครื่องสูบน้ำงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [6] Pump Performance Curve. **Characteristic Curves of a Centrifugal Pump**. [Online]. Available: http://www.impeller.net/magazine/Enc_en/doc47x.asp
- [7] มนทล สุกใส. **Food Engineering for Education Site**. [Online]. Available: http://pirun.ku.ac.th/~g4765306/image/head_loss/hl05.gif
- [8] The Mc Nally Institute. **NPSH Calculating**. [Online]. Available: <http://www.mcnallyinstitute.com/11-html/11-12.html>
- [9] P.C.Mckenzie Company. 2008. **Proper Sizing of Boiler Feedwater Systems**. [Online]. Available: http://www.mckenziecorp.comboiler_feedwater.htm.
- [10] Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald. 2001. **Pump Handbook**. 3rd Ed. McGraw-Hill.
- [11] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2008. **บทที่ 4 เครื่องขับเคลื่อนของไหล**. [Online]. Available: <http://www.ic.kmutnb.ac.th/download%20file/unit%20and%20lab/acrobat%20unit2/chapter%204%20pump.pdf>
- [12] Pump Industry portal. **Pumpworld-Suction**. [Online]. Available: http://www.pumpworld.com/Cavitation_suction_cavitation.htm
- [13] สุเทพ พงศ์ชูชัยกุล. **เมื่อปั๊มมีปัญหา เราจะค้นหาสาเหตุอย่างไร**. [Online]. Available: http://www.thailandindustry.com/home/news_preview.php?id=417§ion=3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Boilerthailand. ระบบคอนเดนเสท.[Online]. Available:
<http://www.boilerthailand.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=556559&Ntype=>
- [15] บริษัท สยามราชธานี จำกัด. ถาม- ตอบปัญหาเรื่องปั๊ม. [Online]. Available:
<http://www.siamrajathanee.co.th/epc/html/faq.php>
- [16] การไฟฟ้านครหลวง. วิธีคิดค่าไฟฟ้ารายเดือน. [Online]. Available:
<http://www.mea.or.th/internet/>
- [17] ข้อมูลเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกจากบริษัทผู้ผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก [17]

ก.1 หลักการวัด

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบพกพาถูกออกแบบเพื่อการวัดของเหลวภายในท่อปิด โดยใช้หลักการของการส่งผ่านเวลาและความแตกต่างของความเร็วในการเดินทางของคลื่นเสียง เมื่อทิศทางการไหลกับคลื่นเสียงไปในทิศทางเดียวกัน ความเร็วจะสูงขึ้น และเมื่อมีทิศทางตรงข้ามกัน ความเร็วจะลดลง ทรานสดิวเซอร์จะติดกับผิวท่อและไม่ทำให้ค่าของอัตราการไหลภายในท่อลดลง ไม่มีแรงดันตกคร่อม สะดวกต่อการติดตั้งและเคลื่อนย้าย ทรานสดิวเซอร์ทั้งสองตัวถูกออกแบบให้มีหน้าที่ทั้งการส่งและการรับในตัวเดียวกัน โดยระยะห่างระหว่างตัววัดทั้ง 2 ตัวเท่ากับค่าที่คำนวณจากเครื่องมือวัด การติดตั้งตัวทรานสดิวเซอร์มี 3 แบบ ได้แก่แบบวี (V-Method) แบบแซด (Z-Method) และแบบดับเบิลยู (W-Method) ซึ่งการเลือกรูปแบบการติดตั้งจะต้องพิจารณาขนาดของท่อเป็นหลัก

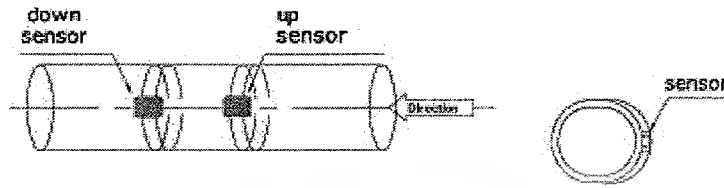
ก.2 การเลือกตำแหน่งติดตั้งของตัวทรานสดิวเซอร์ทั้งสอง

พื้นฐานในการเลือกจุดติดตั้งทรานสดิวเซอร์ที่ดีที่สุดคือต้องมีน้ำเต็มท่อที่ต้องการวัด โดยจะติดตั้งในแนวนอนหรือแนวตั้ง แต่ต้องไม่มีฟองอากาศหรือท่อไม่สกปรกมากเกินไป หลักการในการเลือกตำแหน่งที่จะติดตั้งมีดังนี้

1. ระยะท่อตรงควรมีระยะด้านเข้า (Upstream) ก่อนถึงทรานสดิวเซอร์ประมาณ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (10 D) ส่วนด้านออก (Downstream) ของทรานสดิวเซอร์ควรมีระยะ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (5D)
2. ตรวจสอบว่ามีน้ำเต็มท่อหรือไม่
3. อุณหภูมิของท่อที่ต้องการวัดไม่ควรสูงกว่าอุณหภูมิที่ทรานสดิวเซอร์สามารถทนได้
4. เลือกจุดวัดบนผิวท่อด้านนอกที่ไม่มีสนิมเกาะและทำความสะอาดก่อนติดตั้งทรานสดิวเซอร์
5. ทาจาระบีที่หัวของทรานสดิวเซอร์ทั้งสองและนำไปประกบที่ผิวท่อด้านนอก โดยทรานสดิวเซอร์ที่มีเครื่องหมายสีแดงจะติดตั้งบริเวณทางเข้าของท่อ (Upstream) ส่วนทรานสดิวเซอร์ที่มีเครื่องหมายสีน้ำเงินจะติดตั้งบริเวณทางออกของท่อ (Downstream) เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกจะแสดงระยะห่างของทรานสดิวเซอร์ทั้งสอง

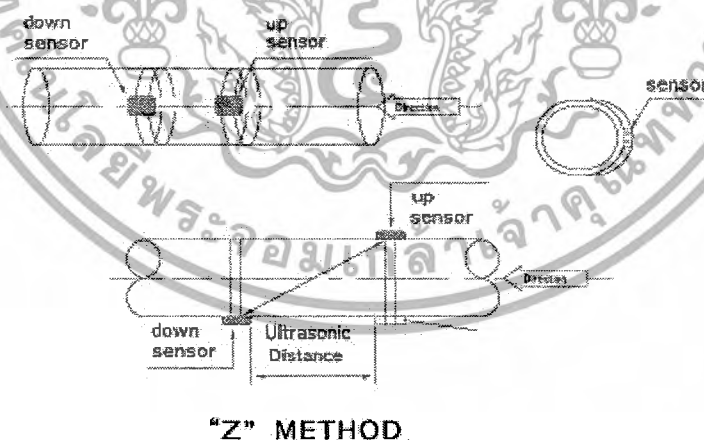
ก.3 รูปแบบการติดตั้ง

1. การติดตั้งแบบวี ดังรูปที่ ก.1 ใช้กับท่อที่มีขนาด 20 -300 มม. ซึ่งทรานสดิวเซอร์ทั้งสองจะอยู่ในแนวเดียวกันและคลื่นเสียงจะเดินทางเป็นจำนวน 2 เท่า ของท่อ



รูปที่ ก.1 การติดตั้งทรานสดิวเซอร์แบบตัววีที่ท่อ

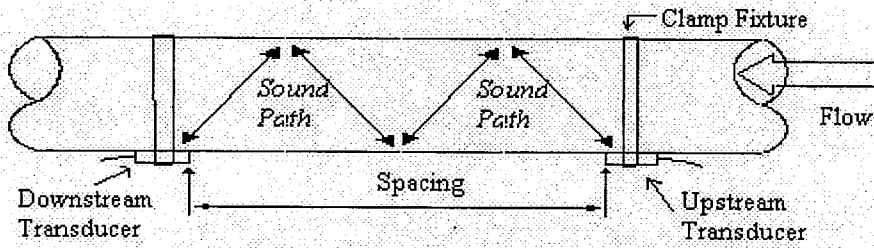
2. การติดตั้งแบบแซด ดังรูปที่ ก.2 ใช้กับท่อที่มีขนาด 300-500 มม. ซึ่งทรานสดิวเซอร์ทั้งสองจะอยู่ในแนวตรงข้ามกัน โดยที่คลื่นเสียงจะเดินทางไปยังอีกด้านหนึ่งของท่อเป็นจำนวนหนึ่งเท่าของท่อ



รูปที่ ก.2 การติดตั้งทรานสดิวเซอร์แบบตัวแซดที่ท่อ

3. การติดตั้งแบบดับเบิลยู ดังรูปที่ ก.3 ใช้กับท่อที่มีขนาด 10-100 มม. ซึ่งทรานสดิวเซอร์ทั้งสองอยู่ในแนวเดียวกัน โดยที่คลื่นเสียงก็จะเดินทางเป็นจำนวนสี่เท่าของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 การติดตั้งทรานสดิวเซอร์แบบตัวดับเบิลยูที่ท่อ



รูปที่ ก.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูล

ตารางที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไฮลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สकुเลอร์ และชอลต์บาทकुเลอร์ของโรงงานที่ 1 และโรงงานที่ 2

อัตราการไหลของอโทไฮลีน (กก./ชม.)		อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (ลบ.ม./ชม.)				
โรงงานที่ 1	โรงงานที่ 2	ทางเข้าปั๊ม ความดันสูง	โรงงานที่ 1		โรงงานที่ 2	
			แก๊ส कुเลอร์	ชอลต์บาท कुเลอร์	แก๊ส कुเลอร์	ชอลต์บาท कुเลอร์
2,667.60	1,673.66	62.08	9.91	11.29	11.88	7.95
2,633.40	1,649.04	51.23	17.84	10.23	17.29	7.53
2,599.20	1,624.43	45.42	13.93	8.75	14.90	6.59
2,565.00	1,599.82	48.88	12.94	8.59	12.49	7.09

ตารางที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำกับเขตที่ได้จากการปฏิบัติงานและจากการอ่านกราฟสมรรถนะของปั๊มความดันสูง จำนวน 1 ตัว

ความดัน (บาร์)	อัตราการไหลของน้ำที่ทางออกของ ปั๊มความดันสูง (ลบ.ม./ชม.)										อัตราการไหล เฉลี่ยของ น้ำป้อน หม้อไอน้ำ (ลบ.ม./ชม.)	เขตที่ได้ จากการ ปฏิบัติงาน จริง (ม.)	เขตที่ได้ จากการ อ่านกราฟ สมรรถนะ (ม.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
23	40	39	40	39	39	38	38	38	38	38	38.24	254.82	560
24	38	38	38	38	38	38	38	40	39	41	39.31	265.90	555
25	46	46	45	46	46	45	45	46	47	46	45.78	276.98	550
27	47	47	46	47	47	47	48	47	48	48	46.81	299.14	545
32	43	44	45	46	47	48	49	47	47	48	47.10	354.54	540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทไซลีนกับอัตราการไหลของน้ำป้อน
หม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแก๊สอุตสาหกรรมในโรงงานที่ 1 และ 2

โรงงานที่ 1 (กก./ชม.)	โรงงานที่ 2 (กก./ชม.)	อัตราการไหลของน้ำที่ แก๊สอุตสาหกรรมในโรงงานที่ 1 (ลบ.ม./ชม.)	อัตราการไหลของน้ำที่ แก๊สอุตสาหกรรมในโรงงานที่ 2 (ลบ.ม./ชม.)
2,565.00	1,599.82	12.94	12.49
2,599.20	1,624.43	13.93	14.90
2,633.40	1,649.04	17.84	17.29
2,667.60	1,673.66	19.70	19.65
2,701.80	1,698.27	22.15	22.05
2,736.00	1,722.88	24.60	24.45
2,770.20	1,747.49	27.05	26.85
2,804.40	1,772.11	29.50	29.25
2,838.60	1,796.72	31.94	31.65
2,872.80	1,821.33	34.39	34.05
2,907.00	1,845.95	36.84	36.45
2,941.20	1,870.56	39.29	38.85
2,975.40	1,895.17	41.74	41.25
3,009.60	1,919.78	44.19	43.65
3,043.80	1,944.40	46.64	46.05
3,078.00	1,969.01	49.08	48.45

หมายเหตุ



คือ ค่าที่ได้จากการวัด



คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอโทโซลินกับอัตราการไหลของน้ำป้อน
หม้อไอน้ำที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดบาคูลเลอร์ในโรงงานที่ 1 และ 2

โรงงานที่ 1 (กก./ชม.)	โรงงานที่ 2 (กก./ชม.)	อัตราการไหลของน้ำที่ ชนิดบาคูลเลอร์ ในโรงงานที่ 1 (ลบ.ม./ชม.)	อัตราการไหลของน้ำที่ ชนิดบาคูลเลอร์ ในโรงงานที่ 2 (ลบ.ม./ชม.)
2,565.00	1,599.82	8.59	7.09
2,599.20	1,624.43	8.75	6.59
2,633.40	1,649.04	10.23	7.53
2,667.60	1,673.66	11.29	7.95
2,701.80	1,698.27	12.16	8.12
2,736.00	1,722.88	13.05	8.39
2,770.20	1,747.49	13.94	8.67
2,804.40	1,772.11	14.83	8.95
2,838.60	1,796.72	15.72	9.23
2,872.80	1,821.33	16.61	9.51
2,907.00	1,845.95	17.50	9.79
2,941.20	1,870.56	18.38	10.06
2,975.40	1,895.17	19.27	10.34
3,009.60	1,919.78	20.16	10.62
3,043.80	1,944.40	21.05	10.90
3,078.00	1,969.01	21.94	11.18

หมายเหตุ



คือ ค่าที่ได้จากการวัด



คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การคำนวณ NPSH_a

ก.1 ตัวอย่างการคำนวณค่า NPSH_a ของปั๊มความดันสูงก่อนการดำเนินงาน

1. ค่าที่ได้จากการวัดที่ภาวะการปฏิบัติงานจริง มีดังนี้

- อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง 145 องศาเซลเซียส
- ความดันที่ถังกักอากาศเท่ากับ 3.81 บาร์
- ความหนาแน่นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เท่ากับ 921.7 กก./ลบ.ม.
- ความสูงของระดับน้ำถึงจุดศูนย์กลางของปั๊ม เท่ากับ 6.5 ม.

2. ค่าที่ได้จากการเปิดตาราง มีดังนี้

- ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.97×10^{-4} กก./ม.-วินาที
 - ความดันไอของน้ำ ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เท่ากับ 3.92 บาร์
3. กำหนดอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เท่ากับ 40 ลบ.ม./ชม.

4. หาความเร็วของน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากสมการ

$$v = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} \quad (ค.1)$$

ซึ่งในระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำประกอบด้วย ท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในท่อขนาด 3 นิ้ว} &= (40 \text{ ลบ.ม./ชม.}) / ((\pi \times (0.152 \text{ ม.})^2 / 4)) \\ &= 8,771.22 \text{ ม./ชม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในท่อขนาด 6 นิ้ว} &= (40 \text{ ลบ.ม./ชม.}) / ((\pi \times (0.762 \text{ ม.})^2 / 4)) \\ &= 2,192.81 \text{ ม./ชม.} \end{aligned}$$

5. หาค่าเรย์โนลด์์จากสมการที่ (2.12) ของท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว

$$\begin{aligned} Re_{3in} &= (3 \text{ นิ้ว} \times 8,771.22 \text{ ม./ชม.} \times 921.7 \text{ กก./ลบ.ม.}) / (1.97 \times 10^{-4} \text{ กก./ม.-วินาที}) \times \\ &3,600 \text{ วินาที} \times 39.37 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าเรย์โนลด์์ของท่อขนาด 3 นิ้ว} = 8.69 \times 10^5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Re_{6in} = (6 \text{ นิ้ว} \times 2,192.81 \text{ ม./ชม.} \times 921.7 \text{ กก./ลบ.ม.}) / ((1.97 \times 10^{-4} \text{ กก./ม.} \cdot \text{วินาที}) \times 3,600 \text{ วินาที} \times 39.37 \text{ นิ้ว})$$

ค่าเรย์โนลด์ส์ของท่อขนาด 6 นิ้ว = 4.34×10^5

6. อ่านค่าความขรุขระเฉลี่ย (ϵ) ของท่อเหล็กกล้าจากตารางที่ 2.1 จะได้ 0.00015 ฟุต

7. คำนวณค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (ϵ/D) ของท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว

$$\epsilon/D_{3in} = 0.00015 \text{ ฟุต} / 0.25 \text{ ฟุต}$$

$$\text{ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อขนาด 3 นิ้ว} = 0.0006$$

$$\epsilon/D_{6in} = 0.00015 \text{ ฟุต} / 0.5 \text{ ฟุต}$$

$$\text{ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อขนาด 6 นิ้ว} = 0.0003$$

8. คำนวณสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (f) ของท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว จากสมการที่ (2.13) ดังนี้

$$f_{3in} = 0.001375 [1 + ((20000 \times 0.0006) + (10^6 / 8.69 \times 10^5))^{1/3}]$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อขนาด 3 นิ้ว} = 6.93 \times 10^{-3}$$

$$f_{6in} = 0.001375 [1 + ((20000 \times 0.0003) + (10^6 / 4.34 \times 10^5))^{1/3}]$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อขนาด 6 นิ้ว} = 6.24 \times 10^{-3}$$

9. คำนวณค่าความสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานภายในท่อ จากสมการที่ (2.11)

$$h_{L,6in} = 6.24 \times 10^{-3} \times (25.65 \text{ ม.} / 0.16 \text{ ม.}) \times ((2,192.81 \text{ ม./ชม.}) / 2 \times 9.8 \text{ ม./วินาที}^2)$$

$$\text{ค่าความสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานภายในท่อทั้งหมด} = 0.14 \text{ ม.}$$

10. อ่านค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากข้อต่อ วาล์ว (k) และการลดขนาดของท่อจากรูปที่ 2.12 และ 2.13 ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำก่อนการดำเนินงาน

ชนิดของข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาด	ขนาดของท่อ (นิ้ว)	จำนวน	k	k _{total}
90° long radius flanged	6	4	0.19	0.76
45° long radius flanged	6	2	0.18	0.36
flanged tee line	6	1	0.12	0.12
flanged tee brunch	6	5	0.6	3
contraction (6" => 3")	-	1	0.27	0.27
gate valve	6	2	0.11	0.22
90° long radius flanged	3	1	0.35	0.35
flanged tee line	3	1	0.18	0.18

ดังนั้น

ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดจากข้อต่อและวาล์ว (k) ของท่อขนาด 3 นิ้ว เท่ากับ 0.53

ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดจากข้อต่อและวาล์ว (k) ของท่อขนาด 6 นิ้ว เท่ากับ 4.73

เนื่องจากท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำเป็นท่อที่ผ่านการใช้งานแล้ว จึงต้องเพิ่มค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งานของท่อ ซึ่งจากการทดลองของมหาวิทยาลัยยูธาร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า

ค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งานของท่อมีค่าเท่ากับ 1.5 ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อและวาล์ว (k) ของท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 0.795 และ 7.095 ตามลำดับ

11. คำนวณความสูญเสียเฮดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาด จากสมการที่ (2.15)

$$h_{L,3in} = (0.795 \times (8,771.22 \text{ ม./ชม.})^2) / 2 \times 9.8 \text{ ม./วินาที}^2$$

ค่าความสูญเสียเฮดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อขนาด 3 นิ้ว = 0.24 ม.

$$h_{L,6in} = (7.095 \times (2,192.81 \text{ ม./ชม.})^2) / 2 \times 9.8 \text{ ม./วินาที}^2$$

ค่าความสูญเสียเฮดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อขนาด 6 นิ้ว = 0.14 ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. คำนวณค่า $NPSH_a$ จากสมการที่ (2.16)

$$NPSH_a = 6.5 \text{ ม.} + 42.21 \text{ ม.} - 43.43 \text{ ม.} - 0.14 \text{ ม.} - 0.24 \text{ ม.} - 0.14 \text{ ม.}$$

ดังนั้น ค่า $NPSH_a$ ที่อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ 40 ลบ.ม./ชม. เท่ากับ 4.88 เมตร

การคำนวณค่า $NPSH_a$ จากการคำนวณข้างต้น โดยเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำตั้งแต่ 40 - 110 ลบ.ม./ชม. ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ค.2 ตัวอย่างการคำนวณค่า $NPSH_a$ ของปั๊มความดันสูงหลังการดำเนินงาน

1. ค่าที่ได้จากการวัดที่ภาวะการปฏิบัติงานจริง มีดังนี้

- อุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่ทางเข้าปั๊มความดันสูง 145 องศาเซลเซียส
- ความดันที่ถังกักอากาศเท่ากับ 3.81 บาร์
- ความหนาแน่นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เท่ากับ 921.7 กก./ลบ.ม.
- ความสูงของระดับน้ำถึงจุดศูนย์กลางของปั๊ม เท่ากับ 6.5 ม.

2. ค่าที่ได้จากการเปิดตาราง มีดังนี้

- ความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.97×10^{-4} กก./ม.วินาที
- ความดันไอของน้ำ ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เท่ากับ 3.92 บาร์

3. กำหนดอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำเท่ากับ 40 ลบ.ม./ชม.

4. หาความเร็วของน้ำป้อนหม้อไอน้ำจากสมการ

$$v = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} \quad (\text{ค.1})$$

ซึ่งในระบบส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำประกอบด้วย ท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในท่อขนาด 3 นิ้ว} &= (40 \text{ ลบ.ม./ชม.}) / ((\pi \times (0.152\text{ม.})^2 / 4)) \\ &= 8,771.22 \text{ ม./ชม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วของน้ำป้อนหม้อไอน้ำในท่อขนาด 6 นิ้ว} &= (40 \text{ ลบ.ม./ชม.}) / ((\pi \times (0.762\text{ม.})^2 / 4)) \\ &= 2,192.81 \text{ ม./ชม.} \end{aligned}$$

5. หาค่าเรย์โนลด์ส์จากสมการที่ (2.12) ของท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว

$$\begin{aligned} \text{Re}_{3\text{in}} &= (3 \text{ นิ้ว} \times 8,771.22 \text{ ม./ชม.} \times 921.7 \text{ กก./ลบ.ม.}) / ((1.97 \times 10^{-4} \text{ กก./ม.} \cdot \text{วินาที}) \times \\ &3,600 \text{ วินาที} \times 39.37 \text{ นิ้ว}) \end{aligned}$$

$$\text{ค่าเรย์โนลด์ส์ของท่อขนาด 3 นิ้ว} = 8.69 \times 10^5$$

$$\begin{aligned} \text{Re}_{6\text{in}} &= (6 \text{ นิ้ว} \times 2,192.81 \text{ ม./ชม.} \times 921.7 \text{ กก./ลบ.ม.}) / ((1.97 \times 10^{-4} \text{ กก./ม.} \cdot \text{วินาที}) \times \\ &3,600 \text{ วินาที} \times 39.37 \text{ นิ้ว}) \end{aligned}$$

$$\text{ค่าเรย์โนลด์ส์ของท่อขนาด 6 นิ้ว} = 4.34 \times 10^5$$

6. อ่านค่าความขรุขระเฉลี่ย (ϵ) ของท่อเหล็กกล้าจากตารางที่ 2.1 จะได้ค่าเท่ากับ 0.00015 ฟุต

7. คำนวณค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (ϵ/D) ของท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว

$$\epsilon/D_{3\text{in}} = 0.00015 \text{ ฟุต} / 0.25 \text{ ฟุต}$$

$$\text{ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อขนาด 3 นิ้ว} = 0.0006$$

$$\epsilon/D_{6\text{in}} = 0.00015 \text{ ฟุต} / 0.5 \text{ ฟุต}$$

$$\text{ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อขนาด 6 นิ้ว} = 0.0003$$

8. คำนวณสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (f) ของท่อขนาด 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว จากสมการที่ (2.13) ดังนี้

$$f_{3\text{in}} = 0.001375 [1 + ((20000 \times 0.0006) + (10^6 / 8.69 \times 10^5))^{1/3}]$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อขนาด 3 นิ้ว} = 6.93 \times 10^{-3}$$

$$f_{6\text{in}} = 0.001375 [1 + ((20000 \times 0.0003) + (10^6 / 4.34 \times 10^5))^{1/3}]$$

$$\text{สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อขนาด 6 นิ้ว} = 6.24 \times 10^{-3}$$

9. คำนวณค่าความสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานภายในท่อ จากสมการที่ (2.11)

จากการลดระยะทางที่ใช้ในการส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่บริเวณก่อนทางเข้าปั๊มความดันสูง

สามารถลดระยะทางที่ใช้ในการส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำเท่ากับ 9 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{L,6in} = 6.24 \times 10^{-3} \times (9 \text{ ม./} 0.16 \text{ ม.}) \times ((2,192.81 \text{ ม./ชม.})/2 \times 9.8 \text{ ม./วินาที}^2)$$

ค่าความสูญเสียเฮดที่เกิดจากความต้านทานภายในท่อทั้งหมด = 0.065 ม.

10. อ่านค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดที่เกิดจากข้อต่อและวาล์วต่าง (k) จากรูปที่ 2.12 และ 2.13 แสดงดังตารางที่ ค.3 หลังการดำเนินงาน ได้ลกระยะของการเดินท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำ จากถังกำจัดอากาศไปยังบ่อบำบัดความดันสูงเท่ากับ 9 เมตร และจำนวนข้อต่อด้านจุด 1 ตัว

ตารางที่ ค.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อส่งน้ำป้อนหม้อไอน้ำหลังการดำเนินงาน

ชนิดของข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาด	ขนาดของท่อ (นิ้ว)	จำนวน	k	k _{total}
90° long radius flanged	6	4	0.19	0.76
45° long radius flanged	6	2	0.18	0.36
flanged tee line	6	2	0.12	0.24
flanged tee brunch	6	5	0.6	3
contraction (6" => 3")	-	1	0.27	0.27
gate valve	6	2	0.11	0.22
90° long radius flanged	3	1	0.35	0.35
flanged tee line	3	1	0.18	0.18

ดังนั้น

ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดที่เกิดจากข้อต่อและวาล์วต่าง (k) ของท่อขนาด 3 นิ้ว เท่ากับ 0.53

ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฮดที่เกิดจากข้อต่อและวาล์วต่าง (k) ของท่อขนาด 6 นิ้ว เท่ากับ 4.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. คำนวณค่าความสูญเสียเฮดที่เกิดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดจากสมการที่ (2.15)

$$h_{L,3m} = (0.53 \times (8,771.22 \text{ ม./ชม.})^2) / 2 \times 9.8 \text{ ม./วินาที}^2$$

ค่าความสูญเสียเฮดที่เกิดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อขนาด 3 นิ้ว = 0.53 ม.

$$h_{L,6m} = (4.85 \times (2,192.81 \text{ ม./ชม.})^2) / 2 \times 9.8 \text{ ม./วินาที}^2$$

ค่าความสูญเสียเฮดที่เกิดจากข้อต่อ วาล์ว และการลดขนาดของท่อขนาด 3 นิ้ว = 0.21 ม.

12. คำนวณค่า NPSH_a จากสมการที่ (2.16)

$$\text{NPSH}_a = 6.5 \text{ ม.} + 42.21 \text{ ม.} - 43.43 \text{ ม.} - 0.065 \text{ ม.} - 0.53 \text{ ม.} - 0.21 \text{ ม.}$$

ดังนั้น ค่า NPSH_a ที่อัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ 40 ลบ.ม./ชม. มีค่าเท่ากับ 5.01 เมตร

การคำนวณค่า NPSH_a จากการคำนวณข้างต้น โดยเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำป้อนหม้อไอน้ำตั้งแต่ 40 - 110 ลบ.ม./ชม. ดังแสดงในตารางที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้