การสร้างแบบจำลองและการออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ

นายวชิระ เสาวภาคย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1258-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELING AND OPTIMIZATION OF ATMOSPHERIC AND VACUUM DISTILATION COLUMN

Mr. Wachira Saowapark

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001
ISBN 974-03-1258-6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลอง และการออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ
โดย	นายวชิระ เสาวภาคย์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายสุเมธ ปริญญาปริวัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(นายสุเมธ ปริญญาปริวัฒน์)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วชิระ เสาวภาคย์: การสร้างแบบจำลอง และการออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ (MODELING AND OPTIMIZATION OF ATMOSPHERIC AND VACUUM DISTILLATION COLUMN) อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.มนตรี วงศ์ศรี, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : นายสุเมธ ปริญญาปริวัฒน์ ; 56 หน้า ISBN 974-03-1258-6

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลอง และการออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศของบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมิกัลไทยจำกัด (มหาชน) จังหวัดระยอง ด้วยโปรแกรมไฮซิส (Hysys) เพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ต้องการของตลาดสูงสุด โดยที่คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นยังคงอยู่ภายในมาตรฐานที่กำหนด

แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะต้องสอดคล้องและต้องสามารถเป็นตัวแทนของกระบวนการผลิตจริงได้ โดยการเลือกข้อมูลจริงจากการผลิตของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ ในช่วงที่อยู่ในสภาวะที่มีความเสถียร

เมื่อแบบจำลอง ได้ตรวจสอบว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศได้ จึงได้นำแบบจำลองนี้มาทำการออปติไมซ์เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha มากที่สุด และมาทำการออปติไมซ์เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ D150 และ D500 มากที่สุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha D150 และ D500 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ราคาสูงและเป็นที่ต้องการของตลาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนักศึกษา....................................
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา....................................
ปีการศึกษา 2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม....................................

417 14856 21 MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: HYSYS/ SIMULATION/ OPTIMIZATION/ ATMOSPHERIC AND VACUUM DISTILATION COLUMN

WACHIRA SAOWAPARK: MODELING AND OPTIMIZATION OF ATMOSPHERIC AND VACUUM DISTILATION COLUMN. THESIS ADVISOR: MONTREE WONGSRI, D.Sc. THESIS COADVISOR: SUMATE PARINYAPARIWAT. 56 pp. ISBN 974-03-1258-6

This research was emphasized on modeling and optimization of Atmospheric and Vacuum Distillation Column unit in the Thai Petrochemical Industry (Public) Co.Ltd. at Rayong by using of Hysys which is the simulation software. Maximize on product quantity was the objective of Simulation Model optimization in order to achieve maximum products that has high market demand and still meet required product quality.

Simulation Model had been build by using Hysys and the model had to be consistence with actual unit characteristic. Input by actual data from actual operation during steady state period into simulation model is necessary to prove the simulation model.

As simulation model had been proved to ensure this model could be represented the characteristic of actual unit, next step the optimization on distillation column was performed. For Atmospheric Distillation column, maximizing of Heavy Naphtha product was the objective of optimization. For Vacuum Distillation column, maximizing of D150 and D500 product was the objective of optimization. According to product price Heavy Naphtha , D150 and D500 have high price and high market demand.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Chemical Engineering
Field of study of Chemical Engineering
Academic year 2001

Student's signature....................................
Advisor's signature ....
Co-advisor's signature..................................

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คุณสุเมธ ปริญญาปริวัฒน์ จากบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมิกัลไทยจำกัด (มหาชน) อย่างสูงสำหรับการให้คำปรึกษา การให้โอกาส และการแนะนำในการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อนๆ และน้องๆ สำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และพี่น้องในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การจำลองกระบวนการผลิต	3
2.2 การกลั่น	4
2.2.1 การกลั่นแบบแฟลช	4
2.2.2 การกลั่นแบบดิฟเฟอเรนเชียล	4
2.2.3 การกลั่นด้วยไอน้ำ	5
2.2.4 การกลั่นลำดับส่วน	5
2.3 การออปติไมซ์	7
2.3.1 ความหมายของการออปติไมซ์	8
2.3.2 สาเหตุการทำออปติไมซ์	9
2.3.3 ตัวอย่างการนำไปใช้ของการทำออปติไมซ์เซชัน	10
2.3.4 ขอบเขตการทำออปติไมซ์เซชัน	11
2.3.5 ขั้นตอนการทำออปติไมซ์เซชัน	12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.6 อุปสรรคต่อการทำออปติไมซ์เซชัน.......................................13
2.4 องค์ประกอบการทำออปติไมซ์เซชัน.......................................15
2.4.1 แบบจำลองกระบวนการ.......................................15
2.4.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.......................................15
2.4.3 เงื่อนไขบังคับ.......................................15
2.4.4 อัลกอริธึมสำหรับการทำออปติไมซ์เซชัน.......................................16
บทที่ 3 กระบวนการผลิตของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ.......................................18
3.1 หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ.......................................18
3.2 หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ.......................................20
บทที่ 4 การสร้างแบบจำลองของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ.......................................25
4.1 การสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรมไฮซิส.......................................25
4.2 ผลการจำลอง.......................................36
4.3 กรณีศึกษา ผลของตัวแปรต่อแบบจำลอง.......................................39
บทที่ 5 การออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ.......................................47
5.1 องค์ประกอบของการออปติไมซ์.......................................47
5.2 ผลการออปติไมซ์.......................................48
5.3 สรุปผลการออปติไมซ์.......................................51
รายการอ้างอิง.......................................52
ภาคผนวก.......................................53
ก. โปรแกรมไฮซิส.......................................53
ข. สมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการออปติไมต์.......................................55
ประวัติผู้เขียน.......................................56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 รายละเอียดหอกลั่น สำหรับสมการคณิตศาสตร์......................................6
รูปที่ 3.1 หน่วยการกลั่นความดัน..20
รูปที่ 3.2 หน่วยการกลั่นความดัน..23
รูปที่ 4.1 แบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ...26
รูปที่ 4.2 แบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ...27
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 1B01 กับ อุณหภูมิเข้า 1C01................40
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผลิตภัณฑ์ HGO และ ATB
กับ อุณหภูมิเข้า 1C01...40
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 1B01 กับ อัตราการไหล รีฟลักซ์............42
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผลิตภัณฑ์ HN และ Kerosene
กับ อัตราการไหลรีฟลักซ์..42
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 6B01 กับ อุณหภูมิเข้า 6C01................44
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผลิตภัณฑ์ HSP และ VR
กับ อุณหภูมิเข้า 6C01...44
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 6B01 กับ ความดันยอดหอ 6C01...........46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของหอกลั่นบรรยากาศ....................24

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะของหอเสถียรแนพทา....................24

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของหอกลั่นสุญญากาศ....................24

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ....................28

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ....................31

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติของสารป้อนของหน่วยกลั่นความดันบรรยากาศ....................33

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติของสารป้อนของหน่วยกลั่นความดันสุญญากาศ.................... 34

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูล การดำเนินงานจริงกับแบบจำลองของ
หน่วยกลั่นความดันบรรยากาศ....................36

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูล การดำเนินงานจริงกับแบบจำลองของ
หน่วยกลั่นความดันสุญญากาศ....................38

ตารางที่ 4.7 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศ....................39

ตารางที่ 4.8 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรีฟลักซ์เข้าหอกลั่นบรรยากาศ.................... 41

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศ....................43

ตารางที่ 4.10 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความดันหอกลั่นสุญญากาศ.................... 45

ตารางที่ 5.1 แสดงผลก่อนและหลัง การออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่น
ความดันบรรยากาศ....................48

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการพิจารณาในแง่รายได้ของหน่วยการกลั่น
ความดันบรรยากาศ....................49

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิเข้า 1C01....................49

ตารางที่ 5.4 แสดงผลก่อนและหลัง การออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่น
ความดันสุญญากาศ....................50

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการพิจารณาในแง่รายได้ของหน่วยการกลั่น
ความดันสุญญากาศ....................50

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิเข้า 6C01....................51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

ธุรกิจอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและปิโตรเลียม เป็นอุตสาหกรรมหนักที่มีความสำคัญต่อประเทศเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ นำรายได้เข้าประเทศและลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้ ธุรกิจโรงกลั่นน้ำมันจัดว่าเป็นธุรกิจปิโตรเคมีและปิโตรเลียมที่สำคัญประเภทหนึ่ง

ประเทศไทยมีโรงกลั่นน้ำมันหลายโรงงาน โรงกลั่นน้ำมันทีพีไอซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดระยองเป็นบริษัทในกลุ่มทีพีไอ ทำการผลิตน้ำมันและผลิตภัณฑ์จากน้ำมันต่าง ๆ โดยเริ่มทำการผลิตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ซึ่งรับน้ำมันดิบจากแหล่งต่าง ๆ จากภายนอกประเทศ น้ำมันดิบจะถูกผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อกลั่นแยก กำจัดสารปนเปื้อน และปรับปรุงคุณภาพ จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานที่ต้องการ โดยน้ำมันดิบจะถูกกลั่นแยกภายใต้ความดันบรรยากาศก่อน จนได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ส่วนกากที่เหลือจะถูกกลั่นแยกอีกครั้งที่ความดันสุญญากาศ เพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่น และยางมะตอย โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นนั้นจะต้องผ่านหน่วยผลิตต่าง ๆ เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนและปรับปรุงคุณภาพ ก่อนที่จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ในการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ จะแยกน้ำมันส่วนที่เบาออกทางด้านบนของหอกลั่นส่วนผลิตภัณฑ์ที่หนักจะแยกออกด้านล่างของหอกลั่นตามลำดับ ซึ่งเรียงตามลำดับได้ดังนี้ แอลพีจี ไลท์แนพทา เฮฟวี่แนพทา เคโรซีน ไลท์แกสออยล์ และส่วนที่หนักที่สุดคือ เอทีบี (Atmospheric Tower Bottom) ซึ่งจะออกทางด้านล่างของหอกลั่น (LG Engineering Co. Ltd. Seoul Korea, 1995a)

เอทีบีจะเป็นส่วนน้ำมันหนักที่ไม่สามารถกลั่นแยกภายใต้บรรยากาศ แต่สามารถกลั่นแยกภายใต้ความดันสุญญากาศ โดยจะผ่านเข้าหอกลั่นสุญญากาศอีกครั้ง จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และวีอาร์ (Vacuum Residue) ซึ่งจะเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแอสฟัลทีน (LG Engineering Co. Ltd. Seoul Korea, 1995b)

ความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจโรงกลั่นนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดการที่ดีเริ่มตั้งแต่การจัดการวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ รวมทั้งกากของเสีย ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการจัดทำระบบต่าง ๆ มาช่วยในการทำงาน โดยเฉพาะการนำคอมพิวเตอร์

และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ เข้ามาช่วยมากมาย ตัวอย่าง เช่น โปรแกรมพิมส์ (PIMS) ทำหน้าที่ในการควบคุม และเลือกวัตถุดิบ

โปรแกรมไฮซิส (Hysys) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบกระบวนการผลิต และสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต จากความสามารถในการคำนวณ และสร้างแบบจำลองโครงข่ายการผลิตที่ซับซ้อน จึงสามารถใช้โปรแกรมไฮซิสเพื่อจำลองกระบวนการผลิตเพื่อคำนวณหาสภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมสำหรับการผลิตทำให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตสูงสุดสำหรับวัตถุแต่ละชนิด และผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติแตกต่าง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอการสร้างแบบจำลองและออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ ซึ่งเป็นหน่วยผลิตหลักที่สำคัญ เนื่องจากเป็นหน่วยผลิตเริ่มต้นของอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ผลิตภัณฑ์จากหน่วยผลิตดังกล่าวจะใช้เป็นสารป้อนของหน่วยผลิตอื่น ๆ โดยใช้โปรแกรมไฮซิสเวอร์ชัน 2.2 แบบสถานะคงตัวของบริษัทไฮโปรเทค (Hyprotech)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สร้างแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ เพื่อหาสภาวะปฏิบัติการสำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

1.2.2 ออปติไมซ์แบบจำลองที่สร้างไว้ เพื่อให้การใช้ทรัพยากรมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ใช้โปรแกรมไฮซิส เวอร์ชัน 2.2 แบบสถานะคงตัว

1.3.2 ใช้สมการสภาวะของเป็งโรบินสัน (Peng Robinson)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถลดเวลาในการปรับแต่งกระบวนการ และทรัพยากรที่ต้องใช้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเป็นปริมาณมากที่สุด ลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าที่กำหนด รวมทั้งทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง นอกจากนี้ยังใช้ในการหาความสามารถและข้อจำกัดของหน่วยการผลิตที่มีอยู่ ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงหรือขยายกำลังการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจำลองกระบวนการผลิต

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว ในงานด้านอุตสาหกรรมเคมีก็มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์อยู่มากมาย โดยผู้ประกอบการสามารถประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสม เช่น โปรแกรมด้านการจำลองกระบวนการ การวิเคราะห์ระบบท่อ และการควบคุมกระบวนการแบบกะ นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเคมีทางอ้อมในด้านบริหารธุรกิจและงานโครงการ เช่น การจัดการด้านเอกสาร การจำลองทางคณิตศาสตร์ สถิติ การออกแบบและการจัดการฐานข้อมูล

โปรแกรมทางด้านวิศวกรรมเคมีมีการเปลี่ยนแปลง และพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โปรแกรมไฮซิส เป็นโปรแกรมเพื่อการจำลองแบบกระบวนการผลิต โดยเป็นการพัฒนาของบริษัทไฮโปรเทค

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานด้านกระบวนการผลิตในการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ ในปัจจุบันนั้นมีจุดประสงค์ 2 ประการ ประการแรกคือ ด้านการออกแบบที่เน้นไปในด้านการทำนายผลที่จะเกิดขึ้น และประการที่สองคือ การจำลองกระบวนการผลิตโดยการสร้างแบบจำลองจากกระบวนการผลิตจริง แล้วใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ (Shannon, 1975)

การจำลองกระบวนการผลิตสามารถแบ่งเป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลอง และการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของกระบวนการผลิตจริง

การจำลองกระบวนการผลิตถูกนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ลดมลภาวะ เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เพิ่มความปลอดภัย พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ และเพิ่มคุณภาพของสินค้าในกระบวนการผลิต ความก้าวหน้าด้านคอมพิวเตอร์อย่างรวดเร็ว ทำให้ปัจจุบันการจำลองแบบปัญหา หรือการจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นวิธีที่นิยม อีกทั้งตัวจำลองแบบกระบวนการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองมีให้เลือกมากมาย มีความยืดหยุ่นสูง สามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมหลายประเภท จึงมีการนำไปใช้แพร่หลาย

เหตุผลที่ต้องสร้างแบบจำลองเลียนแบบกระบวนการผลิตแทนการทดลองกับกระบวนการผลิตจริง เพราะการทดลองกับกระบวนการผลิตจริงอาจทำให้เกิดปัญหาต่อกระบวนการ

ผลิตและยากที่จะควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ของการทดลองให้คงที่ ยิ่งไปกว่านั้นผลการทดลองที่ได้แต่ละครั้งของการทดลอง อาจจะไม่ใช่ผลที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขกลุ่มเดียวกันหรืออาจจะเป็นไปไม่ได้กับทุกรูปแบบที่ต้องการ การทดลองกับกระบวนการผลิตจริงอาจจะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมากจึงจะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ (Thongpraserd, 1996)

จากอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองกับกระบวนการผลิตจริงได้จึงต้องใช้การจำลองกระบวนการผลิตในการช่วยแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองกระบวนการผลิตนั้น ผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาดีพอและสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหานั้น ๆ ได้ นอกจากนั้นจะต้องรู้ชัดเจนว่าวัตถุประสงค์ที่ต้องการคืออะไร และสุดท้ายผู้ใช้ต้องมีประสบการณ์หรือมีความสามารถในการตีความคำตอบที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะแยกแยะและตัดสินใจในการนำผลที่ได้นี้ไปใช้

2.2 การกลั่น (Distillation)

การกลั่นเป็นกระบวนการแยกสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างกันระหว่างความดันไอ (Vapor Pressure) ขององค์ประกอบภายในสารผสมแต่ละชนิด เมื่อองค์ประกอบภายในมีความดันไอไม่เท่ากัน สารที่มีความดันไอสูง จะมีจุดเดือดต่ำและกลายเป็นไอง่ายกว่าสารที่มีความดันไอต่ำ เมื่อสารที่เป็นไอง่าย กลั่นแยกออกมา ส่วนสารที่มีจุดเดือดสูง จะยังคงเป็นของเหลวอยู่

2.2.1 การกลั่นแบบแฟลช (Flash distillation)

การกลั่นแบบแฟลช เป็นการกลั่นซึ่งสารผสมเหลวส่วนหนึ่ง ถูกทำให้กลายเป็นไอ ซึ่งองค์ประกอบไอ จะอยู่ในสภาพสมดุล กับองค์ประกอบของเหลวที่เหลือ จากนั้นก็จะทำการแยกไอออกไปทำการควบแน่นต่อไป

2.2.2 การกลั่นแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential distillation)

การกลั่นแบบดิฟเฟอเรนเชียล เป็นการกลั่นแบบแบทช์ (batch) ซึ่งสารผสมที่ต้องการกลั่นจะได้รับความร้อนจนถึงจุดฟอง (Bubble point) ส่วนที่กลายเป็นไอก็จะถูกส่งออกไป ทำการควบแน่นและแยกออกจากภาชนะกลั่น การกลั่นแบบนี้ของเหลวที่เหลือในภาชนะกลั่นจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ ของของเหลวอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากสารที่ระเหยได้ง่ายกว่าจะกลายเป็นไอในสัดส่วนที่มากกว่า ซึ่งเป็นผลให้จุดฟองของการกลั่นจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น

เนื่องจากองค์ประกอบของของเหลว แปรเปลี่ยนในระหว่างการกลั่น องค์ประกอบของไอก็จะแปรเปลี่ยนตามไปด้วย อย่างไรก็ดีจะถือว่าเกิดสภาพสมดุล ระหว่างไอและของเหลวในภาชนะที่เหลืออยู่ในเวลานั้น

2.2.3 **การกลั่นด้วยไอน้ำ** (Steam distillation)

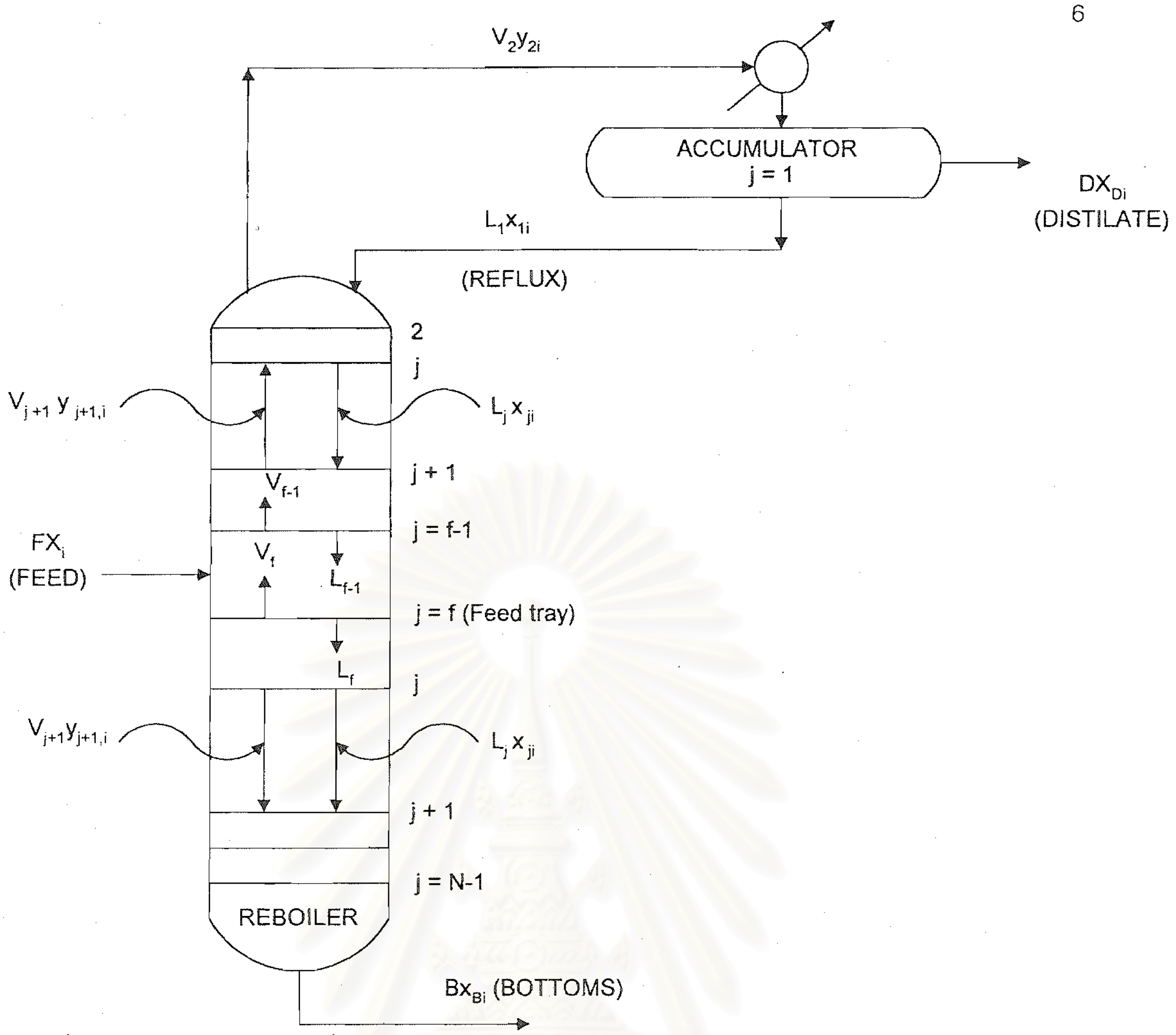
การกลั่นด้วยไอน้ำ เป็นการกลั่นที่มีการผ่านไอน้ำ เข้ามาสัมผัสโดยตรงกับสารผสมที่จะทำการกลั่นไม่ว่าจะเป็นกรรมวิธีแบบแบทช์ หรือ แบบต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้วการกลั่นด้วยไอน้ำ เป็นการกลั่นแบบหนึ่งที่มีการเติมสารประกอบเฉื่อยเพิ่มลงไป เช่น ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ อื่น ๆ แต่โดยทั่วไปนิยมใช้ไอน้ำเพราะค่าใช้จ่ายน้อยและใช้ได้ง่าย การกลั่นอาจจะได้รับความร้อนจากไอน้ำเพียงอย่างเดียว หรือแหล่งความร้อนอื่นเพิ่มเติมด้วยก็ได้

2.2.4 **การกลั่นลำดับส่วน** (Fractional Distillation)

การกลั่นลำดับส่วน เป็นการกลั่นที่ต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่บริสุทธิ์มาก โดยการกลั่นแบบดิฟเฟอเรนเชียล หรือแบบแฟลช ไม่สามารถกระทำได้ และเป็นการกลั่นที่ได้ผลดีและประหยัดพลังงาน อุปกรณ์การกลั่นแบบนี้มักจะเป็นสเตจ (Stage) ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลาย การกลั่นลำดับส่วนอาจอธิบายได้ว่าเป็นการกลั่นแบบแฟลชมาต่อกันเข้าเป็นอนุกรม โดยผลผลิตที่ได้จากสเตจหนึ่งจะเป็นกระแสป้อนเข้าสเตจถัดไป จะเห็นว่าไอที่ออกจากสเตจ หนึ่ง ๆ จะผ่านเข้าไปในสเตจที่อยู่ชั้นบน ในขณะที่ของเหลวจะผ่านเข้าสู่สเตจที่ต่ำลงไป ในขณะเดียวกันสเตจนี้จะรับไอที่มาจากสเตจชั้นล่าง และของเหลวที่ออกจากสเตจชั้นบน ด้วยกระบวนการดังกล่าว ความเข้มข้นของสารที่ระเหยง่ายกว่าจะเพิ่มมากขึ้นในชั้นของไอ ตามทิศทางของการไหลของของเหลว โดยที่อุณหภูมิของการกลั่นจะลดลงตามทิศทางการไหลของไอ

สเตจจะทำหน้าที่ให้ของเหลวและไอสัมผัสกันอย่างทั่วถึง ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารและพลังงาน โดยที่ของเหลวและไอที่ออกจากสเตจหนึ่ง ๆ จะอยู่ในสถานะสมดุลซึ่งกันและกัน

จะเห็นว่า ไอ Vj+1 จะขึ้นมาจากสเตจที่ j+1 เข้าสู่สเตจ j ในขณะที่ของเหลว Lj-1 ไหลจากสเตจที่ j-1 เข้าสู่สเตจ j ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รายละเอียดหอกลั่น สำหรับสมการคณิตศาสตร์

สมการคณิตศาสตร์ของหอกลั่น

- สมการสมดุล

$$y_{ji} = K_{ji}x_{ji} \qquad (j=1,2,\ldots,N)$$

$$\sum_{i=1}^{c} y_{ji} = 1 \qquad (j=1,2,\ldots,N)$$

$$\sum_{i=1}^{c} x_{ji} = 1 \qquad (j=1,2,\ldots,N)$$

- สมการสมดุลมวล

$$V_{j+1}y_{j+1,i} = L_jx_{ji} + DX_{Di} \qquad (j=1,2,\ldots,f-2)$$

$$V_fy_{fi} + V_Fy_{Fi} = L_{f-1}x_{f-1,i} + DX_{Di}$$

$$V_{j+1}y_{j+1,i} = L_jx_{ji} - Bx_{Bi} \qquad (j=f,f+1,\ldots,N-1)$$

$$FX_i = DX_{Di} + Bx_{Bi}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สมการสมดุลเอนทาลปี

$$V_{j+1}H_{j+1} = L_j h_j + DH_D + Q_C \quad (j=1,2,\ldots,f\text{-}2)$$

$$V_f H_f + V_F H_F = L_{f-1}h_{f-1} + DH_D + Q_C$$

$$V_{j+1}H_{j+1} = L_j h_j - Bh_B + Q_R \quad (j= f,f+1,\ldots,N\text{-}1)$$

$$FH = Bh_B + DH_D + Q_C - Q_R$$

โดย Q_R = ปริมาณความร้อนเข้าที่ reboiler

Q_C = ปริมาณความร้อนออกที่ condenser

j เป็น stage index

i เป็น component index

2.3 การออปติไมซ์

การออปติไมซ์คือเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญในกระบวนการตัดสินใจ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านการดำเนินงาน การออกแบบ การจัดการของโรงงานกระบวนการเคมีและโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ลักษณะปัญหาการออปติไมซ์และเทคนิคครอบคลุมถึงการหาคำตอบตลอดจนอธิบายถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี ปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมอื่น ๆ

การทำออปติไมซ์เซชันนั้นควรจะทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการทำออปติไมซ์เซชัน เช่นการออปติไมซ์การออกแบบหม้อต้มซ้ำจะถูกต้องหรือไม่ขึ้นกับกระบวนการ ระบบของไหล ระบบท่อ และระบบการถ่ายเทความร้อน ซึ่งวิศวกรกระบวนการผลิตต้องระบุให้ได้ถึงการทำงานของความร้อน อุณหภูมิที่กลับมา สื่อความร้อน และคุณสมบัติของของไหลในกระบวนการผลิตทั้งทางกายภาพ และเทอร์โมไดนามิกส์ รวมถึงการขนถ่าย วิศวกรต้องเป็นผู้กำหนดจำนวนชั้นในหอกลั่น ระดับของเหลว อัตราการหมุนเวียน รวมทั้งเปอร์เซนต์ไอเบื้องต้น ซึ่งเหล่านี้มีผลต่อหม้อต้มซ้ำในช่วงสุดท้าย

ในปัจจุบันการทำออปติไมซ์เซชันได้พัฒนาถึงขั้นที่มีการการทำออปติไมซ์เซชันแบบออนไลน์คือรวมระบบ APC (Advanced Process Control) เข้ากับการทำออปติไมซ์เซชันดังเช่นที่โรงกลั่น Lanzhou Petroleum ในประเทศจีนโดยสร้างแบบจำลองของหอกลั่นน้ำมันดิบขึ้นมาแล้วใช้แบบจำลองการขนถ่ายมวลมาทำออปติไมซ์เซชัน ผลที่ได้ก็จะมีความถูกต้องเนื่องมาจากระบบ APC ซึ่งได้คำนึงถึงตัวแปรที่จะทำให้เกิดความผันผวนอันได้แก่ อัตราการไหล

ของสารตั้งต้น และความดันชั้นบนสุดของหอกลั่น ผลการออปติไมซ์เซชันที่ถูกต้องตามเงื่อนไขบังคับ (Chen, 2001)

การประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตของโรงงานปิโตรเคมี จากการควบคุมกระบวนการผลิตด้วยวิธีการที่ทันสมัยนั้นมีหลักการอยู่ที่การผลิตจะเปลี่ยนแปลงภาวะการทำงานคงตัวไปเรื่อย ๆ เพื่ออยู่ในจุดที่ดีกว่าหรือที่เรียกว่าเป็นจุดออปติมัม ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามภาวะเวลาของสิ่งเหล่านี้

1 ข้อจำกัดของระบบยูทิลิตี้ (ขึ้นอยู่กับแต่ละชั่วโมงและวัน)

2 ความผันแปรของวัตถุดิบ (ขึ้นอยู่กับแต่ละวัน)

3 ปริมาณความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนไป (ขึ้นอยู่กับแต่ละวันและสัปดาห์)

4 ข้อจำกัดของอุปกรณ์ (ขึ้นกับแต่ละวันและแต่ละสัปดาห์)

5 ความต้องการของตลาด (ขึ้นกับแต่ละสัปดาห์)

6 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (ขึ้นกับแต่ละสัปดาห์และเดือน)

7 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา (ขึ้นกับแต่ละเดือน)

8 การเปลี่ยนค่าคอนฟิกกูเรชันของอุปกรณ์ (ขึ้นกับแต่ละเดือน)

การทำ RTO (Real Time/Online Optimization) ต้องพยามเก็บข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการที่เป็นภาวะคงตัวเพื่อใช้ปรับพารามิเตอร์ในแบบจำลอง เมื่อแบบจำลองสอดคล้องกับกระบวนการจริง ก็นำไปใช้เพื่อกำหนดภาวะการทำงานที่จะทำให้ได้กำไรสูงสุด โดยภาวะดังกล่าวจะเปลี่ยนไปได้เรื่อย ๆ

2.3.1 ความหมายการออปติไมซ์

การออปติไมซ์อาจกล่าวได้โดยสรุปและง่าย ๆ คือ การใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้น ๆ

ออปติไมซ์เซชันมีอยู่ในทุกสาขาของวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และธุรกิจ ปัญหาทางวิศวกรรมที่จะนำมายกตัวอย่างคือ มีกระบวนการผลิตที่สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ และมีข้อจำกัดทางด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิต เช่น กำไร ต้นทุนวัตถุดิบ หรือพลังงาน และเราต้องการหาค่าของปริมาณเหล่านี้ที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุด สามารถใช้วิธีการทางการออปติไมซ์หาคำตอบที่ต้องการได้

ปัญหาทางด้านการดำเนินงานในโรงงาน การออกแบบกระบวนการผลิตทางวิศวกรรมเคมี มีอยู่เป็นจำนวนมากและอาจเป็นไปได้ที่ปัญหาเหล่านี้มีคำตอบมากมายเช่นกัน ออปติไมซ์จะช่วยเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากเซ็ทของคำตอบที่มีอยู่ โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ และเนื่องจากการหาคำตอบนี้มีความยุ่งยากซับซ้อน จึงจำเป็นต้องใช้ ซอฟท์แวร์ และ

คอมพิวเตอร์ช่วย แต่การใช้ซอฟท์แวร์และคอมพิวเตอร์นั้น จะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาดีพอ สามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหานั้น ๆ ได้ และรู้ชัดเจนว่าวัตถุประสงค์ทางด้านสมการที่ต้องการคืออะไร ไม่ว่าจะเป็นกำไรสูงสุด หรือว่าต้นทุนวัตถุดิบและพลังงานน้อยที่สุด สิ่งสุดท้ายคือต้องมีประสบการณ์หรือความสามารถในการตีความคำตอบที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะแยกแยะและตัดสินใจในการนำผลที่ได้นี้ไปใช้

การทำออปติไมซ์เซชันในกระบวนการผลติทางเคมีประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ

- การทำออปติไมซ์เซชันในการออกแบบกระบวนการผลิตจะทำใน การสังเคราะห์แผนภาพลำดับการทำงาน การออกแบบอุปกรณ์ คุณลักษณะเฉพาะของการภาวะปฏิบัติการ
- การทำออปติไมซ์เซชันในการควบคุมการผลิต หมายถึง การทำพารามิเตอร์และการควบคุมภาวะ การให้คำแนะนำการควบคุมการผลิต RTO และ Predicative Control
- การใช้เทคนิคของออปติไมซ์เซชัน ได้แก่ การทำโปรแกรมแบบควอดราติก การทำโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้น การทำออปติไมซ์ปัญหาการควบคุม และปัญหาแบบผสมระหว่างความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องรวมทั้งแบบจำนวนจริงผสม (Mixed-Integer and Hybrid Discrete-continuous Problems)

2.3.2 สาเหตุการทำออปติไมซ์

การทำออปติไมซ์เซชันคือการศึกษาว่าอะไรคือสิ่งที่ดีที่สุดโดยคำนี้มีการใช้มากในหลายสาขาวิชาซึ่งต้องอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย และต่อมาก็มีการใช้คอมพิวเตอร์ในช่วงศตวรรษที่ 20

การตัดสินใจหลาย ๆ อย่างการเลือกคำตอบให้ได้ผลดีที่สุดคือการทำออปติไมซ์เซชัน เช่นในการออกแบบโดยเริ่มจากชั้นแรกซึ่งต้องรู้ว่าตัวแปรอะไรที่มีผลต่อระบบ และขั้นที่สองคือต้องรู้วิธีการวัดผลที่ได้จากระบบ และสุดท้ายจะต้องวัดค่าตัวแปรที่ทำให้ได้ผลดีที่สุด (Douglass J. Wilde, 1967)

ในการดำเนินงานของโรงงาน สิ่งที่ต้องการคือสมรรถนะในการดำเนินงาน อย่างเช่น การปรับปรุงผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสำคัญ ลดการใช้พลังงาน เพิ่มกำลังการผลิต และให้มีช่วงเวลาทำงานระหว่างการหยุดดำเนินการนานขึ้น การทำออปติไมซ์เซชัน ยังสามารถใช้ในการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ลดการสึกหรอของเครื่องจักรและการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ

การคำนวณผลประโยชน์ที่ได้รับจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง ตัวแปรทางด้านการดำเนินงานและการออกแบบในโรงงานส่วนใหญ่ จะมีความเกี่ยวโยงกันเสมอ ยกตัวอย่างเช่น

การประหยัดพลังงานเพียง 5% ทางด้านค่าใช้จ่ายของหอกลั่น อาจจะทำให้โครงการประหยัดพลังงานมีความคุ้มค่า อย่างไรก็ตามการคำนวณผลประโยชน์ในหน่วยปฏิบัติการกลั่นนั้น ไม่ใช่การคำนวณเพียงจุดใดจุดหนึ่ง เช่นการพิจารณาเฉพาะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคอนเดนเซอร์และหม้อต้มซ้ำ การลดพลังงานที่ใช้ในหม้อต้มซ้ำอาจส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ และนั่นหมายถึงกำไรที่อาจลดลง ดังนั้นในการทำออปติไมซ์จะต้องคิดถึงความเกี่ยวข้องของตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการที่เกี่ยวกับต้นทุนให้รอบด้าน

ข้อโต้แย้งเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือการนำการโปรแกรมออปติไมซ์เซชันไปใช้เกิดขึ้นเพราะมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ หรือข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโมเดลนั้น ดังนั้นวิศวกรจะต้องมีวิจารณญาณในการใช้เทคนิคการออปติไมซ์ และนำผลที่ได้รับจากการออปติไมซ์ไปใช้ โดยต้องพิจารณาถึงความไม่แน่นอน หรือความถูกต้องแม่นยำของโมเดลและของข้อมูลที่ใช้อย่างรอบคอบ คำตอบที่ได้จากการออปติไมซ์สามารถนำไปใช้ โดยถือว่าเป็นขีดจำกัดบน นอกจากนั้นในการประเมินว่าผลของพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนอย่างนี้ มีผลต่อคำตอบอย่างไร เราก็สามารถใช้การวิเคราะห์ความไว ส่วนใหญ่แล้วคำตอบที่ได้ มักจะไม่ถูกกระทบโดยพารามิเตอร์บางตัวมีความไวต่ำ ดังนั้นการหาค่าที่ถูกต้องแม่นยำของค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จึงไม่จำเป็นมากนัก นอกจากนี้โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตและค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ มักจะไม่มีค่าที่ตายตัว จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและเงื่อนไขต่าง ๆ

2.3.3 ตัวอย่างการนำไปใช้ของการทำออปติไมซ์เซชัน

การออปติไมซ์เซชันสามารถนำไปใช้ได้หลายวิธี ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. การหาภาวะการผลิตที่ดีที่สุดของหน่วยการผลิต เช่น ในหอกลั่นและหอดูดซับ
2. การออกแบบกระบวนการของโรงงาน
3. การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลของโรงงานจากการวัดเพื่อนำมาใช้ประโยชน์อื่น
4. การหาเส้นทางการกระจายน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ของโรงกลั่น
5. ค่าการจัดสรรทรัพยากรหรือการใช้งานของหน่วยการผลิตต่าง ๆ
6. การออกแบบขนาดและเลย์เอาท์ของท่อส่ง
7. การหาทำเลที่ตั้งที่ดีที่สุดของโรงงาน
8. การลดค่าใช้จ่ายของการเก็บสินค้าหรือผลิตภัณฑ์
9. การหากำหนดการบำรุงรักษาและการทดแทนอุปกรณ์การผลิต
10. การวางแผนและทำกำหนดการเกี่ยวกับการก่อสร้าง
11. การทำออปติไมซ์และการควบคุมการกลั่นแบบต่อเนื่อง

12. การทำออปติไมซ์และการควบคุมการกลั่นแบบกะ

13. การทำออปติไมซ์และการควบคุมการกลั่นรวมแบบกะและแบบต่อเนื่องรวมกัน

14. การทำออปติไมซ์การออกแบบและดำเนินงานกระบวนการโครมาโตรกราฟฟิค

2.3.4 ขอบเขตการทำออปติไมซ์เซชัน

การทำออปติไมซ์เซชันมีหลายระดับนับตั้งแต่ คอมเพล็กซ์ของโรงงานรวมถึงแฟซิลิตี้ไปจนถึงหน่วยการผลิตย่อย ๆ กล่าวโดยสรุปคือ ปัญหาการออปติไมซ์เซชันมีได้ 3 จุดดังนี้

- ระดับโรงงาน
- ระดับกระบวนการผลิตหรือหน่วยปฏิบัติการ
- ระดับอุปกรณ์การผลิตแต่ละชิ้นในโรงงาน

ความซับซ้อนของการวิเคราะห์ของการหาคำตอบอาจมีลักษณะทั่วๆ ไป หรืออาจทำการตรวจวัดรายละเอียดปลีกย่อย ขึ้นกับความต้องการ ความแม่นยำหรือ ความละเอียดถูกต้องของข้อมูล และเวลาที่มีในการทำออปติไมซ์ โดยทั่วไปบริษัททางอุตสาหกรรมมีปัญหาในด้านการออปติไมซ์อยู่ 3 ระดับคือ

- การจัดการ
- การดำเนินการผลิต
- การออกแบบเครื่องมือและกระบวนการผลิต

การตัดสินใจที่เกี่ยวกับการจัดการได้แก่ การวิเคราะห์โครงการ การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต งบประมาณของบริษัท การลงทุนทางด้านการตลาด และการวิจัยและพัฒนา การสร้างโรงงานใหม่

การดำเนินการผลิตเพื่อหาสมรรถนะการผลิตที่ดีที่สุด มักจะทำออปติไมซ์ในความถี่ค่อนข้างมาก และหมายถึงว่าวิศวกรต้องหาว่าสมรรถนะการผลิตที่ดีที่สุดในช่วงเวลาที่เป็นชั่วโมง วัน หรือสัปดาห์ หรือแม้กระทั่งในบางกรณีจะต้องทำการออปติไมซ์ทุกนาที การหาสมรรถนะการผลิตที่ดีที่สุดในด้านการควบคุม คือในการหาเซทพอยท์ของกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรืออัตราการไหล เมื่อภาวะการตลาดหรือภาวะการผลิตเปลี่ยนไป ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการดำเนินงานทางด้านการผลิตอยู่ที่จุดที่ดีที่สุดตลอดเวลา นอกจากนั้นการดำเนินงานของโรงงานอาจเกี่ยวข้องกับการจัดสรรวัตถุดิบ การใช้ยูทิลิตี้ เช่นไอน้ำ หรือน้ำหล่อเย็น

การดำเนินงานในโรงงานยังเกี่ยวข้องกับภาพรวมของการขนส่ง การกระจายหรือจัดส่งผลิตภัณฑ์โดยให้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด

ปัญหาทางด้านการออกแบบกระบวนการผลิตและอุปกรณ์การผลิตจะเกี่ยวกับการเลือกประเภทของการผลิต เช่น แบบกะ หรือแบบต่อเนื่อง การเลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ปัจจัยของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อต้นทุนหรือกำไรที่ทำให้เราควรพิจารณาการนำการออปติไมซ์มาใช้ได้แก่

- แรงจูงใจทางด้านเศรษฐศาสตร์
  - เพื่อเพิ่มผลกำไรให้มากที่สุด
  - เพื่อลดค่าใช้จ่ายให้มีค่าต่ำสุดทั้งค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ
  - เพื่อใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด
- แรงจูงใจทางด้านเทคโนโลยี
  - เพื่อให้ได้แผนการดำเนินงานที่ดีที่สุด
  - เพื่อเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์หรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์
  - เพื่อให้ได้ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด
  - เพื่อให้การหยุดชะงักของการปฏิบัติการของกระบวนการมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุด

แหล่งข้อมูลที่สำคัญที่จะชี้ชัดว่าการทำออปติไมซ์ให้ประโยชน์ได้มากหรือน้อยคือ

1. รายงานทางด้านกำไรหรือขาดทุนของโรงงาน หรือหน่วยย่อย
2. บันทึกรายงานการผลิตประจำวัน หรือประจำเดือน

โรงงานเคมี ปิโตรเคมี หรือกลั่นน้ำมันมีความใหญ่โตซับซ้อน การทำออปติไมซ์ค่อนข้างเป็นงานที่ยากพอสมควรที่จะทำออปติไมซ์ได้ทั้งหมด ดังนั้นเราอาจเลือกทำออปติไมซ์เพียงบางส่วน การทำออปติไมซ์เพียงบางส่วนหมายถึงการทำออปติไมซ์เฉพาะช่วงหนึ่งของการดำเนินการผลิต โดยทั่วไปอาจจะไม่นำปัจจัยบางประการเข้ามาคิด ถึงแม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ตาม (เพราะหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดไม่ได้) แต่อย่างน้อยคำตอบที่ได้ก็จะดีกว่าเดิม

2.3.5 ขั้นตอนการทำออปติไมซ์เซชัน

ไม่มีวิธีการที่เป็นขั้นตอนหรืออัลกอริทึมวิธีใดวิธีหนึ่ง ที่สามารถใช้กับปัญหาทุกปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกวิธีการสำหรับแต่ละกรณีขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

- ลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และความชัดเจนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- ธรรมชาติของเงื่อนไขบังคับ

- จำนวนตัวแปรอิสระและไม่อิสระ

เราสามารถสรุปขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์และหาคำตอบของการออปติไมซ์ได้ 6 ขั้นตอน โดยไม่จำเป็นต้องทำตามขั้นตอนเหล่านี้ทุกประการ บางขั้นตอนอาจทำก่อนหรือสลับกันได้ แต่ในที่สุดแล้วการทำออปติไมซ์ขั้นตอนจะต้องมีขั้นตอนทั้ง 6 ประการนี้ (Donald, 1969: 1-3)

- วิเคราะห์กระบวนการการผลิต หาจำนวนตัวแปรที่เกี่ยวกับปัญหาว่ามีอะไรบ้าง คุณลักษณะเฉพาะของปัญหาที่สนใจ ตั้งคำถามว่าปัญหาคืออะไร

- หาเกณฑ์สำหรับการออปติไมซ์และกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยเขียนสมการในเทอมของตัวแปรในขั้นแรกพร้อมกับสัมประสิทธิ์ สรุปว่าสิ่งที่ต้องการแท้จริงคืออะไร

- เขียนสมการคณิตศาสตร์ของปัญหา หรือหน่วยการผลิตทั้งสมการและอสมการ โดยใช้สมการดุลมวล สมการดุลพลังงาน ข้อกำหนดต่าง ๆ เงื่อนไขบังคับต่าง ๆ แยกแยะว่าตัวแปรใดบ้างเป็นตัวแปรอิสระ และตัวแปรไม่อิสระ เพื่อหาองศาของความอิสระ ตั้งคำถามให้อยู่ในรูปที่สื่อถึงวิธีการแก้ปัญหา

- ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ให้แยกเป็นปัญหาย่อย ๆ หรือลดความยากหรือซับซ้อนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และแบบจำลองของกระบวนการ ทยอยจัดหาส่วนประกอบของคำตอบ

- เลือกเทคนิคการออปติไมซ์ที่เหมาะสมกับปัญหา ทำปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่ายแล้วทำออปติไมซ์เซชัน เพื่อสังเคราะห์ปัญหา

- ตรวจสอบคำตอบที่ได้และตรวจหาความไวของผลลัพธ์ กับการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์บางตัวในปัญหา

2.3.6 อุปสรรคต่อการทำออปติไมซ์

อุปสรรคที่เกิดขึ้นกับการทำออปติไมซ์ขึ้นอยู่กับความซับซ้อน (เชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น) และความคดเคี้ยวของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับเป็นสมการเชิงเส้น เราสามารถใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพอย่างเช่น ลีเนียร์โปรแกรมมิง แก้ปัญหาได้โดยไม่ยาก ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันกำลังสองที่ไม่ซับซ้อนจึงสามารถหาคำตอบได้ไม่ยาก โดยใช้วิธีการเรียกว่าควอดเดรติกโปรแกรมมิง แต่ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับเป็นฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่มีรูปแบบยุ่งยาก อาจไม่เจอคำตอบหรือคำตอบที่ได้ไม่ใช่คำตอบที่ออปติมัมที่สุด ปัญหาการออปติไมซ์ส่วนใหญ่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาคำตอบ ดังนั้นปัญหาที่แท้จริงที่จะเป็นอุปสรรคต่อการนำการออปติไมซ์ไปใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจ คือผู้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือวิศวกรไม่รู้จริง หรือไม่มีความเข้าใจเพียงพอระหว่างตัวปัญหาที่เกิดขึ้นกับปัญหาที่นำมาเขียนเป็นนิพจน์ทาง

คณิตศาสตร์ เพื่อจะนำไปให้คอมพิวเตอร์หาคำตอบ ประการถัดมาวิศวกรต้องมีความรู้ในการวิเคราะห์คำตอบที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์ว่าถูกต้องและน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงไร ปัญหาอื่น ๆ ได้แก่การเลือกโค้ดหรือโปรแกรมที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาการออปติไมซ์

ปัญหาการออปติไมซ์เกี่ยวกับพฤติกรรมของระบบกายภาพที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ จะทำให้วิธีการออปติไมซ์บางวิธีไม่เหมาะสมและบางครั้งคำตอบที่ได้ผิดพลาด (โดยไม่พิจารณาเรื่องความเชี่ยวชาญของวิศวกรในการฟอร์มูเลตปัญหากายภาพให้เป็นปัญหาคณิตศาสตร์)

คุณลักษณะที่จะทำให้เกิดความยุ่งยากและความล้มเหลวในการคำนวณหาคำตอบการออปติไมซ์มีดังนี้

- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ มีความไม่ต่อเนื่องของค่าพารามิเตอร์ ยกตัวอย่างได้แก่ ราคาของคอมเพรสเซอร์หรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อาจจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับฟังก์ชันของตัวแปร เช่นขนาด ความดัน อุณหภูมิ และอื่น ๆ ผลที่ตามมาคือการเพิ่มค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในบางช่วงจะไม่มีผลต่อราคา ในขณะที่ในอีกช่วงหนึ่งจะมีผล

- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับอาจเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น ดังที่จะเห็นได้ต่อไปว่าฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นก่อให้เกิดความยากลำบากอย่างไรบ้าง ในการแก้ปัญหาการออปติไมซ์

- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับอาจอยู่ในเทอมของตัวแปรซึ่งมีการเกี่ยวโยงกันอย่างซับซ้อน ตัวอย่างที่รู้จักกันดีคือ อุณหภูมิและความดันในถังที่มีความเกี่ยวพันกัน ถ้าอุณหภูมิสูงความดันก็จะลดและกลับกัน

- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับอาจมีพฤติกรรมที่แบนราบ ในช่วงตัวแปรบางช่วงและมีพฤติกรรมแบบเอ็กซ์โปแนนเชียลในช่วงอื่น หมายความว่าค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับไม่มีความไวในกรณีแรก และมีความไวมากในกรณีหลัง

- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อาจมีจุดออปติมัมเฉพาะที่ (local optimum) หลายจุด แต่เราต้องการหาจุดออปติมัมสูงสุด (global optimum) ถ้าจุดเริ่มต้นในการค้นหาจุดออปติมัมต่างกันเราอาจได้รับคำตอบต่างกัน เราสามารถตรวจสอบได้หรือไม่ได้ว่าคำตอบที่ได้นั้นเป็นจุดออปติมัมสูงสุด

2.4 องค์ประกอบการทำออปติไมซ์เซชัน

ปัญหาออปติไมซ์เหล่านี้จะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกันทำให้การศึกษาและการพัฒนาเทคนิคการออปติไมซ์ทำได้รวดเร็วขึ้น ในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้ โครงสร้างคล้ายคลึงกันนี้มีเฟรมเวิร์กหรือวิธีการเหมือนกันซึ่งมีองค์ประกอบจำเป็นของปัญหาทางด้านออปติไมซ์ดังนี้

2.4.1 แบบจำลองกระบวนการ

แบบจำลองกระบวนการคือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นในการเลียนแบบเพื่อหาจุดที่เหมาะสมทั้งของแบบจำลองและกระบวนการแบบจำลองกระบวนการจะเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรอิสระของกระบวนการซึ่งใช้เป็นเซ็ตพอยท์ในตัวควบคุม แบบจำลองแบ่งตามความแม่นยำได้เป็นสามประเภท

- แบบจำลองทางทฤษฎีเป็นแบบจำลองที่อาศัยความรู้ด้านฟิสิกส์ เคมี และกฎต่าง ๆ มาสร้างและอธิบายแบบจำลอง ฉะนั้นแบบจำลองประเภทนี้จะสอดคล้องกับทฤษฎี
- แบบจำลองเอมไพริกัลเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ของข้อมูลเข้าและออก จึงเป็นแบบจำลองที่มีความแม่นยำในช่วงจำกัด
- แบบจำลองกึ่งเอมไพริกัลเป็นแบบจำลองที่อาศัยความรู้ทางกฎและทฤษฎีต่าง ๆ ร่วมกับข้อมูลจากการทดลอง แบบจำลองนี้สามารถใช้ได้ในช่วงกว้างมากกว่าแบบจำลองเอมไพรกัลที่มีความแม่นยำในช่วงจำกัด และยังสามารถใช้ได้ในกรณีที่ตัวแปรวัดค่าไม่ได้หรือตัวแปรกระบวนการเปลี่ยนแปลงเมื่อเงื่อนไขการปฏิบัติงานเปลี่ยนไป

2.4.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หมายถึงสมการหรือกลุ่มของสมการ ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้คำนวณหาค่าต่ำสุดหรือหาค่าสูงสุด การเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นสิ่งที่สำคัญเพราะจะมีผลโดยตรงต่อการทำออปติไมซ์เซชัน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบ่งได้เป็น 3 ประเภท

- เกี่ยวกับต้นทุนการดำเนินงาน
- เกี่ยวกับการลงทุน
- เกี่ยวข้องทั้งต้นทุนการดำเนินงานและเกี่ยวกับการลงทุน

2.4.3 เงื่อนไขบังคับ

ในแต่ละขบวนการจะมีข้อจำกัดกระบวนการอยู่ ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดขอบเขตของการดำเนินกระบวนการ ขอบเขตของกระบวนการแบ่งออกเป็น

- เงื่อนไขบังคับแบบไม่เท่ากัน เป็นอสมการแสดงข้อจำกัดของการออกแบบและข้อจำกัดต่าง ๆ เนื่องจากการผลิต
- เงื่อนไขบังคับแบบเท่ากัน เป็นสมการที่แสดงข้อกำหนดของแบบจำลองกระบวนการและผลิตภัณฑ์

2.4.4 อัลกอริธึมที่ใช้สำหรับการทำออปติไมซ์เซชัน

อัลกอริธึมที่ใช้สำหรับการทำออปติไมซ์เซชัน จะใช้แบบจำลองของกระบวนการและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในการหาเซ็ตพอยท์ที่เหมาะสมของกระบวนการ รูปแบบทั่ว ๆ ไปของปัญหาการทำออปติไมซ์เซชันสามารถเขียนในรูปของสามาการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

มินิไมซ์หรือแมคซิไมซ์ $f(\overline{x})$, $\overline{x} \in Rn$ โดยมีเงื่อนไข

$h_k(\overline{x}) = 0 \quad ; \ k = 1,\ldots,K$

$g_j(\overline{x}) \geq 0 \quad ; \ j = 1,\ldots,J$

$\overline{x}_i^L \leq \overline{x}_i \leq \overline{x}_i^U \quad ; \ i = 1,\ldots,n$

สำหรับปัญหาการหาค่าสูงสุดแทนด้วย

$\max \ f(\overline{x}) = -\min[-f(\overline{x})]$

$f(x)$ แทนฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$h_k(x)$ แทนเงื่อนไขบังคับแบบเท่ากัน

$g_j(x)$ แทนเงื่อนไขบังคับแบบไม่เท่ากัน

x แทนตัวแปรอิสระ

L แทนขอบเขตล่าง

U แทนขอบเขตบน

ในการแก้สมการเพื่อหาคำตอบของการทำออปติไมซ์เซชันนั้น คำตอบที่ได้อาจมีเพียงคำตอบเดียวหรืออาจมีได้มากกว่าหนึ่งคำตอบ ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรไม่ทราบค่า และจำนวนสมการอิสระกล่าวคือ

m_h = จำนวนสมการเงื่อนไขแบบเท่ากัน

m_g = จำนวนสมการเงื่อนไขแบบไม่เท่ากัน

p = จำนวนตัวแปรไม่ทราบค่า

$N_F = p - (m_h + m_g)$ = ดีกรีอิสระ

จากสมการข้างต้น

1) $N_F = 0$ หมายความว่า จำนวนตัวแปรไม่ทราบค่าเท่ากับจำนวนสมการอิสระ คำตอบในการทำออปติไมซ์เซชันมีคำตอบเดียว สามารถแก้สมการได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคในการออปติไมซ์หาคำตอบ
2) $N_F < 0$ หมายความว่า จำนวนตัวแปรไม่ทราบค่าน้อยกว่าจำนวนสมการอิสระ ดังนั้นจึงเป็นสมการที่ไม่สามารถแก้หาคำตอบที่แน่นอนได้ นอกจากจะลดจำนวนสมการ
3) $N_F > 0$ หมายความว่า จำนวนตัวแปรไม่ทราบค่ามากกว่าจำนวนสมการอิสระ คำตอบในการออปติไมซ์จึงมีจำนวนมากมาย ซึ่งต้องใช้เทคนิคในการทำออปติไมซ์เซชันอื่น ๆ ช่วยในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

เทคนิคการทำออปติไมซ์เซชันจะช่วยในการทำออปติไมซ์เซชันให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยแต่ละเทคนิคจะเหมาะสมกับการแก้ปัญหาแต่ละแบบ ขึ้นกับลักษณะของตัวแปร และเงื่อนไขบังคับ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคออปติไมซ์แบบควอดเดรติกแบบต่อเนื่อง (Successive Quadratic Programming: SQP) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหา ที่มีเงื่อนไขแบบบังคับแบบเท่ากันหรือเงื่อนไขบังคับแบบไม่เท่ากัน และมีตัวแปรจำนวนมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
กระบวนการผลิตของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ

3.1 หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ (Atmospheric Distillation Unit)

เป็นหน่วยการผลิตที่ทำหน้าที่กลั่นแยกน้ำมันดิบ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ กัน โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพคือจุดเดือด ที่แตกต่างกันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดในน้ำมันดิบ โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำ จะถูกแยกออกจากหอกลั่นที่ด้านบน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดสูง จะถูกแยกออกทางด้านล่าง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อเรียงตามจุดเดือดน้อยไปมากได้ดังต่อไปนี้

1 แอลพีจี (Liquidfied Petroleum Gas)

2 ไลท์แนพทา (Light Naptha)

3 เฮฟวี่แนพทา (Heavy Naptha)

4 เคโรซีน (Kerosene)

5 ไลท์แกสออยล์ (Light Gas Oil)

6 เฮฟวี่แกสออยล์ (Heavy Gas Oil)

7 เอทีบี (Atmospheric Tower Bottom) หรือ รีดิวซ์ครูด (Reduced Crude)

ซึ่งส่วนที่หนักที่สุดคือ เอทีบีจะออกทางด้านล่างของหอกลั่น

ในกระบวนการกลั่นแยก น้ำมันดิบจะถูกทำให้ร้อนแล้วส่งผ่านเข้าหอกลั่นความดันบรรยากาศภายในหอกลั่นซึ่งประกอบด้วยชั้นแบบวาล์ว (Valve Tray) จำนวน 56 ชั้น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดแตกต่างกัน จะถูกแยกออกจากกัน โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำ จะถูกแยกออกทางด้านบนหอกลั่น ส่วนที่มีจุดเดือดสูงกว่าจะถูกแยกออกทางด้านล่างลงมาตามลำดับจนถึงส่วนที่หนักที่สุดคือเอทีบี

หอกลั่นความดันบรรยากาศได้ถูกออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ 4 ชนิดถูกดึงแยกออกที่ระดับต่าง ๆ ของหอกลั่นเหนือ แฟลชโซน (Flash Zone) โดยเรียงลำดับจากล่างขึ้นข้างบนคือ ไลท์แนพทา เฮฟวี่แนพทา เคโรซีน และเฮฟวี่แกสออยล์ ส่วนไลท์แนพทา และแอลพีจีซึ่งอยู่ในสภาวะไอจะถูกดึงออกจากหอกลั่นทางด้านบนของหอกลั่น ซึ่งจะนำไปผ่านกระบวนการแยกอีกครั้งในหอเสถียรแนพทา

ในหน่วยการผลิตนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1 พรีฮีตติงและดีซอลท์ติง (Preheating and Desalting)

2 หอกลั่นบรรยากาศ (Atmospheric Distillation Column)

3 ไซด์สตริพพิง (Side Stripping)

4 หอเสถียรแนพทา (Light Naphtha Stabilization)

โดยมีหอกลั่นบรรยากาศเป็นส่วนหลักของกระบวนการนี้

กระบวนการกลั่นแยก ส่วนใหญ่จะเกิดในหอกลั่นบรรยากาศ น้ำมันดิบจะถูกส่งเข้าพรีฮีทติงและดีซอลท์ติง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิและกำจัดคลอไรด์ จากนั้นน้ำมันดิบจะถูกทำให้มีอุณหภูมิตามต้องการโดยการผ่านฮีทเตอร์ ก่อนจะส่งเข้าหอกลั่นบรรยากาศ

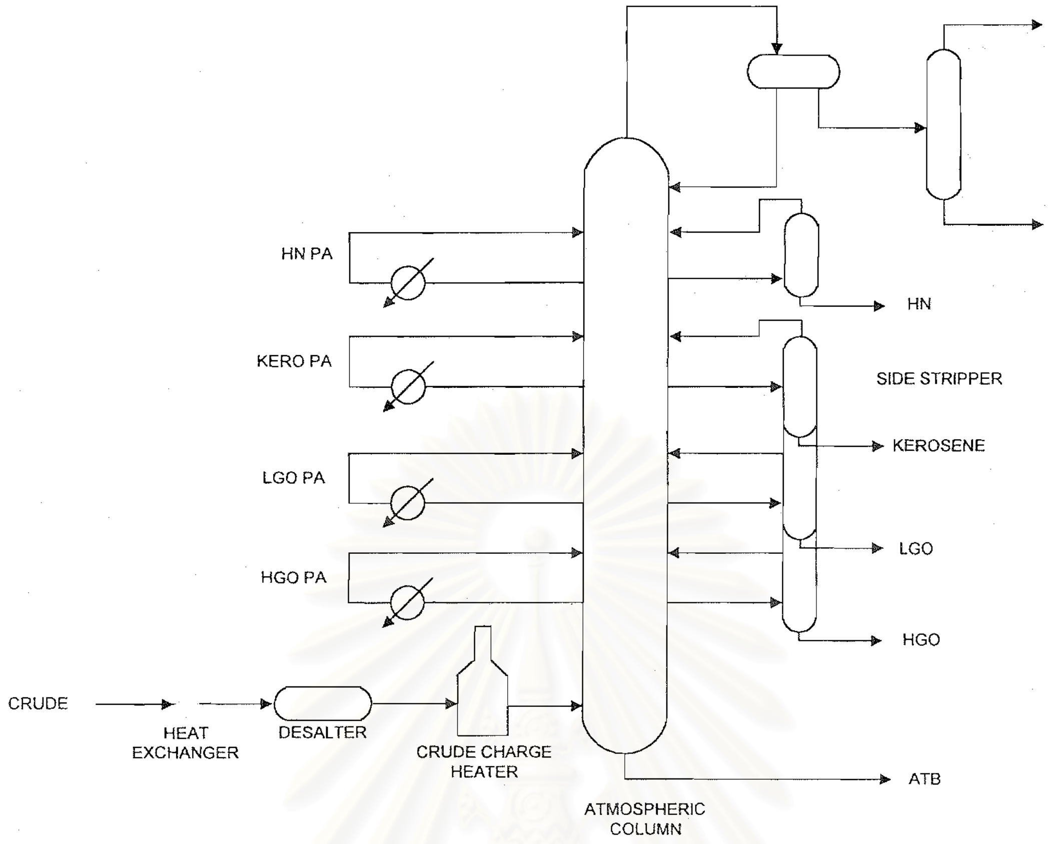
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ส่วนที่เป็นไอจะวิ่งสู่ด้านบนของหอกลั่น เข้าสู่ส่วนที่เรียกว่าส่วนเรคติไฟอิง (Rectifying Section) จะไหลลงสู่ด้านล่างของหอกลั่นเข้าสู่ส่วนที่เรียกว่าส่วนสตริพพิง (Stripping Section) โดยของเหลวนี้จะทำหน้าที่เป็นรีฟลักซ์ของช่วงส่วนสตริพพิง

ส่วนไอที่ออกทางด้านบนสุดของหอกลั่นบรรยากาศ ประกอบด้วย ไลท์แนพทา และบางส่วนจะควบแน่นเป็นของเหลวเข้าสู่รีฟลักซ์ดรัม (Reflux Drum) ส่วนไอที่เหลือจะถูกทำให้เย็นลงอีกในเซ็คคอนสเตตคอนเดนเซอร์ (2^{nd} Stage Condenser) ของเหลวที่ได้จะเข้าส่วนของหอเสถียรแนพทา เพื่อทำการแยกเป็นแอลพีจี และไลท์แนพทา

ส่วนผลิตภัณฑ์อีก 4 ชนิด คือเฮฟวี่แนพทา เคโรซีน ไลท์แกสออยล์ และเฮฟวี่แกสออยล์ (Heavy Gas Oil) ที่ถูกดึงออกทางด้านข้างของหอกลั่นบรรยากาศ จะถูกส่งเข้าหอกลั่นไซด์สตริพพิง (Side Stripping Column) ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางส่วนกลายเป็นไอ โดยเฉพาะส่วนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เบา เป็นการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มจุดวาบไฟ (Flash Point) ของผลิตภัณฑ์ โดยทำการแยกตัวเบาออกไป ส่วนไอที่ออกมาจะถูกส่งกลับเข้าหอกลั่นบรรยากาศหลักอีกครั้ง

ส่วนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เป็นไอที่แฟลชโซน จะใช้ไอน้ำไล่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนส่วนเบาที่อาจติดมากับสารหนักให้กลับขึ้นสู่ด้านบน เอทีบีเป็นน้ำมันไม่สามารถแยกได้แล้วที่ความดันบรรยากาศจะออกด้านล่างสุดของหอกลั่นบรรยากาศ แล้วจะถูกส่งไปกลั่นแยกอีกครั้งที่หอกลั่นสุญญากาศต่อไป

น้ำมันดิบจะถูกแยกในหอกลั่นบรรยากาศเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งมีช่วงของจุดเดือด (Boiling Range) ต่างกัน คุณสมบัติและปริมาณของแต่ละผลิตภัณฑ์ จะถูกปรับแต่งและควบคุม ซึ่งจะปรับเปลี่ยนสภาวะการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตรงตามต้องการและได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณมากที่สุด



รูปที่ 3.1 หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

3.2 หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ (Vacuum Distillation Unit)

เอทีบี หรือ รีดิวซ์ครูด (Reduced Crude) เป็นส่วนที่ได้จากส่วนล่างสุดของหอกลั่นบรรยากาศ เอทีบีประกอบด้วยน้ำมันหล่อลื่นและแวกซ์ (Wax) อะโรมาติก แอสฟัลทีน (Asphaltene) และอื่น ๆ ซึ่งสารเหล่านี้ไม่สามารถกลั่นแยกได้ที่ความดันบรรยากาศ แต่จะกลั่นแยกได้ที่ความดันสุญญากาศ

หอกลั่นสุญญากาศ ทำหน้าที่กลั่นแยกเอาน้ำมันหล่อลื่นออกมา โดยควบคุมให้ได้คุณสมบัติสำคัญที่ต้องการ คือความหนืด (Viscosity) ความสามารถในการระเหย (Volatility) และจุดวาบไฟ (Flash Point) โดยที่ให้มีปริมาณกากจากด้านล่าง (Pitch) น้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากหอกลั่นสุญญากาศ ยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานหรือน้ำมันหล่อลื่นชนิดพิเศษได้ทันที เนื่องจากยังคงมีสารปนเปื้อนที่ไม่ต้องการอยู่ด้วย ได้แก่ แวกซ์ และ อะโรมาติก ดังนั้น น้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากหอกลั่นสุญญากาศ จะต้องผ่านหน่วยการผลิตต่าง ๆ ต่อไปได้แก่ ดีแอสฟัลติง (Deasphalting) การสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ไฮโดรไฟน์นิง (Hydrofining) และดีแวกซ์ซิง (Dewaxing) จึงจะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานตามต้องการ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากหอกลั่นสุญญากาศ เรียงจากด้านบนของหอกลั่นสู่ด้านล่างมีดังนี้

- สลอปออยล์ (Slop Oil)
- ดิสทิลเลต60
- ดิสทิลเลต150
- มิดเดิลสลอป (Middle Slop)
- ดิสทิลเลต500
- เฮฟวีสลอป (Heavy Slop)
- วีอาร์ (Vacuum Residue)

ในหน่วยการผลิตนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนโดยมีหอกลั่นสุญญากาศเป็นส่วนหลักของกระบวนการคือ

- พรีฮีทติง (Preheating)
- หอกลั่นสุญญากาศ (Vacuum Distillation Column)
- ระบบสุญญากาศ (Vacuum System)
- ฮีตเตอร์ (Heater)

เอทีบีจะถูกทำให้ร้อน โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนพรีฮีทติงและฮีทเตอร์ เมื่อได้อุณหภูมิตามต้องการ จะผ่านเข้าหอกลั่นสุญญากาศที่บริเวณ แฟลชโซน เอทีบีจะถูกแยกออกเป็นส่วนที่เป็นไอและของเหลว ส่วนที่เป็นของเหลวจะไหลผ่านลงสู่ด้านล่างสู่ส่วนสตริพพิง ขณะที่ส่วนที่เป็นไอจะวิ่งสู่ด้านบนของหอกลั่นเรียกว่าส่วน เรคติไฟอิง

ในบริเวณแฟลชโซน ส่วนที่เป็นของเหลวจะไหลลงด้านล่าง ซึ่งจะใช้ไอน้ำเพื่อไล่สารส่วนที่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่อาจติดลงมา กลับขึ้นสู่ด้านบนของหอกลั่นสุญญากาศ ส่วนของเหลวที่เหลือจะไหลลงผ่านส่วนสตริพพิง และผสมกับวีอาร์ ที่ถูกดึงออกไปและทำให้เย็นเรียกว่าเคว้นชิง (Quenching) ซึ่งจะย้อนกลับเข้ามาใหม่ เพื่อลดอุณหภูมิของด้านล่างหอกลั่น ทำให้ลดการแตกตัว (Cracking) ของน้ำมันที่เกิดขึ้นได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ส่วนของเหลวที่ผสมกับเคว้นชิงแล้วจะลงสู่ทาร์พอต (Tar Pot) และถูกดึงออกไปทางด้านล่างของหอกลั่นสุญญากาศเรียกว่า วีอาร์

จากนั้น วีอาร์จะถูกปั๊มออกไปเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน กับ เอทีบีเข้ามาใหม่ ทำให้เอทีบีมีอุณหภูมิสูงขึ้น และวีอาร์จะมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งบางส่วนของวีอาร์จะถูกส่งกลับเข้าหอกลั่น เพื่อใช้เป็นเคว้นชิง อัตราการไหลของวีอาร์จะถูกควบคุม โดยอุณหภูมิในทาร์พอต วีอาร์ส่วนที่เหลือจะถูกทำให้เย็นต่อไปอีก โดยแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำป้อนหม้อทำไอน้ำ จะได้ไอน้ำความดันต่ำออกมาจนอุณหภูมิลดลงจึงส่งไปเก็บในถังเก็บ

ส่วนไอที่ออกจากแฟลชโซน จะเข้าสู่ด้านบนของหอกลั่นสุญญากาศ โดยจะผ่านวอชโซน (Wash Zone) ก่อน ในวอชโซนจะมีของเหลวที่ควบแน่นในชั้นด้านบน ไหลสวนทางลงมาเพื่อทำหน้าที่ล้างกำจัดกากจากด้านล่าง ที่อาจจะติดขึ้นไปกับส่วนไอ ต้องควบคุมให้ส่วนของวอชโซนนั้นเปียกด้วยของเหลวจากด้านบนตลอดเวลาและมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดโค้ก ซึ่งจะอุดตันทำให้ได้ประสิทธิภาพในการล้างกำจัดกากจากด้านล่างและกำลังการผลิตของหอกลั่นสุญญากาศลดลง

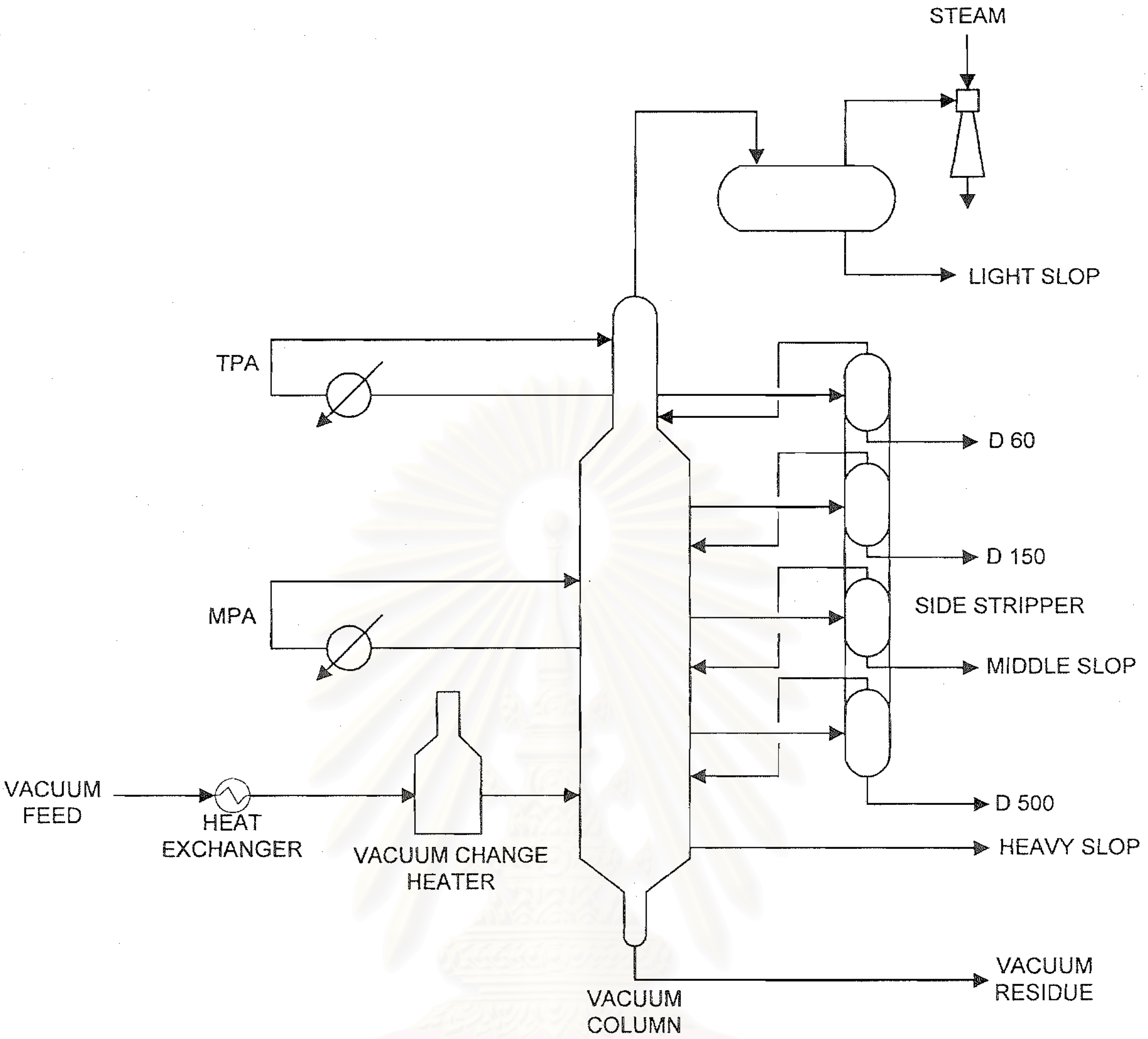
เมื่อส่วนไอผ่านช่วงวอชโซนแล้วส่วนไอจะเข้าสู่ด้านบนของหอกลั่นสุญญากาศเรียกว่าส่วนเรคติไฟอิง ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เกิดการกลั่นแยก และส่วนที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน

หอกลั่นสุญญากาศด้านบนจะประกอบด้วย

1. ปั๊มอะราวด์เบด (Pumparound Bed) 2 ส่วนคือ ทอปปั๊มอะราวด์เบด (Top Pumparound Bed) และมิดเดิลปั๊มอะราวด์เบด (Middle Pumparound Bed)
2. แฟรคชันเนชันเบด (Fractionation Bed) 4 ส่วนคือ ดิสทิลเลต60เบด ดิสทิลเลต150เบด มิดเดิลสลอปเบด และ ดิสทิลเลต500เบด

ปั๊มอะราวด์เบด จะทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากส่วนที่เป็นไอ ทำให้ไอเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งของเหลวนี้ทำหน้าที่เป็นรีฟรักซ์ภายใน (Internal Reflux) โดยของเหลวที่ได้จะถูกดึง ออกจากหอกลั่นและทำให้เย็น แล้วส่งย้อนกลับเข้าหอกลั่นสุญญากาศอีกครั้ง บริเวณด้านบนของปั๊มอะราวด์เบดเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

ทอปปั๊มอะราวด์เบดจะอยู่ด้านบนของ ดิสทิลเลต60เบดและดิสทิลเลต150เบด จะทำหน้าที่ควบแน่นไอให้กลายเป็นของเหลว ทำให้เกิดรีฟรักซ์ภายใน การล้าง และผลิตภัณฑ์ที่จะดึงออกทางด้านข้างของหอกลั่นสุญญากาศ ได้เป็นดิสทิลเลต60 และดิสทิลเลต150

มิดเดิลปั๊มอะราวด์เบดจะอยู่ด้านบนของมิดเดิลสลอปเบดและดิสทิลเลต500เบด จะทำหน้าที่ควบแน่นไอให้กลายเป็นของเหลว ทำให้เกิดรีฟรักซ์ภายใน การล้าง และเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะดึงออกทางด้านข้างของหอกลั่นสุญญากาศ ได้เป็นมิเดิลสลอปและดิสทิลเลต500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของหอกลั่นบรรยากาศ

จำนวนเทรย์	56 เทรย์
ตำแหน่งเทรย์ป้อน	กระแสที่ 1 เทรย์ที่ 53
ตำแหน่งเทรย์กระแสดึงออกข้าง	กระแสที่ 2 เทรย์ที่ 12 กระแสที่ 3 เทรย์ที่ 25 กระแสที่ 4 เทรย์ที่ 37 กระแสที่ 5 เทรย์ที่ 45
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	4.6 เมตร
ความสูง	46.3 เมตร
ความดันภายใน	1.164 kg/cm^2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะของหอเสถียรแนพทา

จำนวนเทรย์	40 เทรย์
ตำแหน่งเทรย์ป้อน	กระแสที่ 20
ตำแหน่งเทรย์กระแสดึงออกข้าง	-
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	1.7 เมตร
ความสูง	27.3 เมตร
ความดันภายใน	7.6 kg/cm^2

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของหอกลั่นสุญญากาศ

จำนวนเทรย์	17 เทรย์
ตำแหน่งเทรย์ป้อน	กระแสที่ 1 เทรย์ที่ 15
ตำแหน่งเทรย์กระแสดึงออกข้าง	กระแสที่ 2 เทรย์ที่ 3 กระแสที่ 3 เทรย์ที่ 6 กระแสที่ 4 เทรย์ที่ 10 กระแสที่ 5 เทรย์ที่ 12 กระแสที่ 6 เทรย์ที่ 14
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	6.7 เมตร
ความสูง	50.89 เมตร
ความดันภายใน	96 mmHg

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การสร้างแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ และความดันสุญญากาศ

4.1 การสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรมไฮซิส

ในการสร้างแบบจำลองหน่วยการผลิต ไม่มีความจำเป็นในการลงรายละเอียดทุกขั้นตอนตามแบบแผนภาพกระบวนการผลิตของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและความดันสุญญากาศ แบบสมบูรณ์ เนื่องจากในรายละเอียดนั้นในการผลิตจริงใช้เพื่อให้สามารถควบคุมหน่วยการผลิต และปรับค่าพารามิเตอร์ แต่ในการสร้างแบบจำลองหน่วยการผลิต ซึ่งเป็นแบบภาวะคงตัว จะต้องลดความยุ่งยากของขั้นตอนกระบวนการผลิตต่าง ๆ โดยจะคงไว้และให้ความสำคัญกับอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่สำคัญของกระบวนการผลิตเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้น มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากโดยไม่จำเป็น และลดปริมาณงาน และเวลาที่ใช้ และสามารถตรวจสอบกลับได้ง่าย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะต้องยังสามารถเป็นตัวแทนของกระบวนการผลิตได้จริง

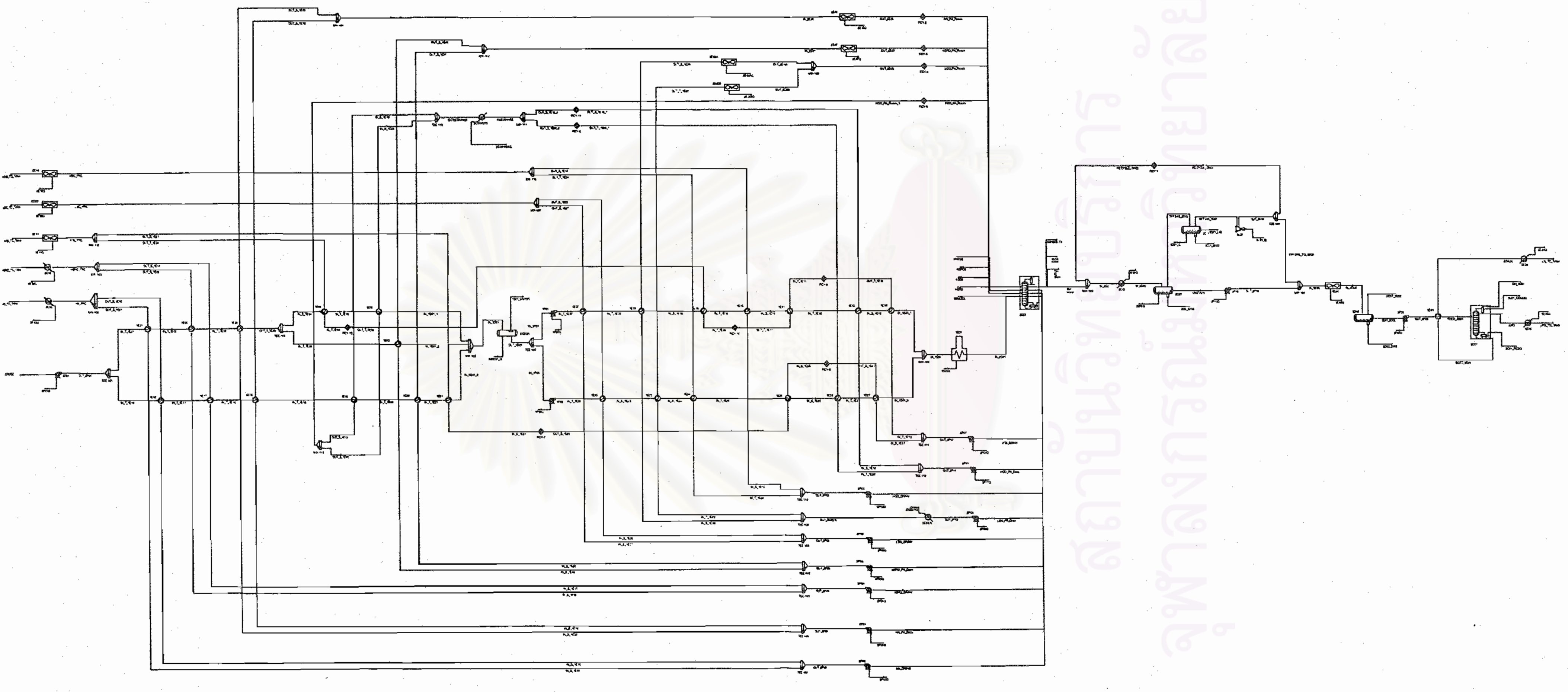
สมการของสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ถูกใช้ในการคำนวณและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองว่าจะตรงกับกระบวนการผลิตจริงเพียงใด ผู้ออกแบบจำลองจึงต้องเลือกใช้สมการสภาวะ (equation of state) ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตนั้น ๆ

สำหรับหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและความดันสุญญากาศ นั้นควรจะเลือกใช้สมการของเป็งโรบินสัน เนื่องจากมีความแม่นยำสำหรับการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในทุก ๆ ภาวะ

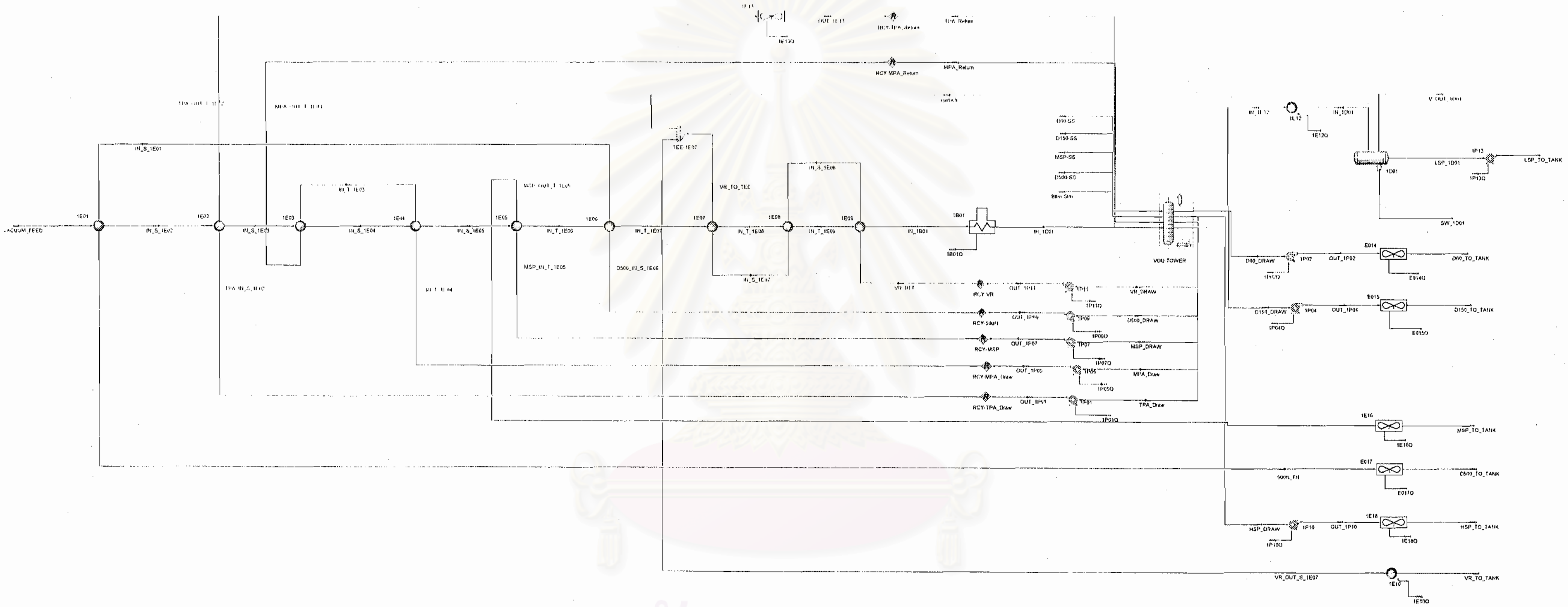
ในแบบจำลองนี้ ผู้ออกแบบได้เลือกใช้สมการสภาวะเป็งโรบินสัน โดยมีขั้นตอนการจำลองดังนี้

1. เลือกข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริง ในช่วงที่อยู่ในภาวะที่มีความเสถียร
2. ใช้โปรแกรมไฮซิสสร้างแบบจำลอง จากแผนภาพกระบวนการผลิต
3. ใส่คุณสมบัติของสารป้อนในแบบจำลอง
4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลอง
5. ปรับแบบจำลองให้ได้ผลตามต้องการโดย ปรับประสิทธิภาพของเทรย์ และปรับตัวแปรของกระบวนการผลิตเช่น อุณหภูมิของแต่ละส่วนของหอกลั่น

จากที่กล่าวข้างต้น แบบจำลองสำหรับหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและความดันสุญญากาศ ได้ถูกสร้างขึ้นบนหลักการข้างต้น แสดงดังรูป 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ



รูปที่ 4.2 แบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ และหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ ประกอบด้วย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ปั๊ม คอมเพรสเซอร์ ถัง หอกลั่น และเตา สำหรับอุปกรณ์ทั้งหมด ของแบบจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแลกเปลี่ยนระหว่างสายการผลิต

หมายเลข	อุปกรณ์
1E01	Crude/HN Product exchanger
1E02	Crude/Kerosene Product exchanger
1E03	Crude/HN Pump around exchanger
1E04	Crude /ATB exchanger
1E05	Crude/HGO Pump around exchanger
1E06	Crude/Kerosene Pump around exchanger
1E07	Crude/LGO Product exchanger
1E08	Crude/LGO Pump around exchanger
1E09	Crude/ATB exchanger
1E10	Crude/HGO Product exchanger
1E11	Crude/ATB exchanger
1E12	Crude/HGO Pump around exchanger
1E13	Crude/ATB exchanger
1E16	Crude/HN Product exchanger
1E17	Crude/Kerosene Product exchanger
1E18	Crude/HN exchanger
1E19	Crude/HGO Pump around exchanger
1E20	Crude/Kerosene exchanger
1E21	Crude/ATB exchanger
1E22	Crude/LGO Product exchanger
1E23	Crude/LGO Pump around exchanger
1E24	Crude/HGO Product exchanger
1E25	Crude/ATB exchanger
1E26	Crude/HGO Pump around exchanger
1E27	Crude/ATB exchanger

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

1. (ต่อ) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแลกเปลี่ยนระหว่างสายการผลิต

หมายเลข	อุปกรณ์
2E03	HN Side Stripper Reboiler
3E01	LN Stabilizer Feed/Bottom exchanger
3E03	LN Stabilizer Reboiler

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบพัดลม

หมายเลข	อุปกรณ์
2E01	Atmospheric Column Overhead Condenser
2E05	HN Pump around Cooler
2E07	Kerosene Pumparound Cooler
2E08	LGO Product Cooler
2E09	LGO pumparound cooler
2E10	HGO product Cooler
2E11	ATB Product cooler
3E02	LN stabilizer Overhead Condenser
3E06	Compressor After Cooler

3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบน้ำหล่อเย็น

หมายเลข	อุปกรณ์
2E02	Atmospheric Column 2 nd Stage Condenser
2E04	HN product cooler
2E06	Kerosene Product Cooler
3E04	LN Product Cooler
3E05	LPG Product Cooler

4. ปั๊ม และ คอมเพรสเซอร์

หมายเลข	อุปกรณ์
9P01	Crude Pump
1P01	Desalted Crude Pump
1P05	Desalted Crude Pump
2P01	HN Pumparound Pump
2P02	Atmospheric Column Reflux Pump
2P03	HN Product Pump

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

4. (ต่อ) ปั๊ม และ คอมเพรสเซอร์

หมายเลข	อุปกรณ์
2P04	Kerosene Product Pump
2P05	LGO Product Pump
2P06	HGO Product Pump
2P07	ATB Product Pump
2P08	Kerosene Pumparound Pump
2P09	LGO Pumparound Pump
2P10	Unstabilized LN Transfer Pump
2P11	HGO Pumparond Pump
3P01	LN Stabilizer Reflux Pump
3P03	LN Stabilizer Feed Pump
3K01	Over vapor compressor

5. ถัง

หมายเลข	อุปกรณ์
1D01	Desalter
2D01	Atmospheric Column Reflux Drum
2D02	Naphtha Drum
3D01	Compressor Suction KO Drum
3D02	LN stabilizer Reflux Drum
3D03	Compressor Discharge KO Drum

6. หอกลั่น

หมายเลข	อุปกรณ์
2C01	Atmospheric Distillation Column
2C02	HN Side Stripper
2C03	Kerosene Side Stripper
2C04	LGO Side Stripper
2C05	HGO Side Stripper
3C01	Light Naphtha Stabilizer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

7. เตา (Fired Heater)

หมายเลข	อุปกรณ์
1B01	Crude Charge Heater

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแลกเปลี่ยนระหว่างสายการผลิต

หมายเลข	อุปกรณ์
6E01	Vacuum Feed/D500 exchanger
6E02	Vacuum Feed/TOP Pumparound exchanger
6E03	Vacuum Feed/Middle Pumparound exchanger
6E04	Vacuum Feed/Middle Pumparound exchanger
6E05	Vacuum Feed/Middle Slop exchanger
6E06	Vacuum Feed/D500 exchanger
6E07	Vacuum Feed/Vacuum Residue exchanger 1
6E08	Vacuum Feed/Vacuum Residue exchanger 2
6E09	Vacuum Feed/Vacuum Residue exchanger 3

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบพัดลม

หมายเลข	อุปกรณ์
6E13	Top Pumparound Cooler
6E14	D6O Product Cooler
6E15	D150 Product Cooler
6E16	Middle Slop Product Cooler
6E17	D500 Product Cooler
6E18	Heavy Slop Product Cooler

3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบน้ำหล่อเย็น

หมายเลข	อุปกรณ์
6E10	Vacuum Residue Water Cooler
6E12	Vacuum Column OVHD Condenser

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) อุปกรณ์ของแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

4. ปั๊ม

หมายเลข	อุปกรณ์
6P01	Top Pumparound Pump
6P05	Moddle Pumparound Pump
6P13	Light Slop Product Pump
6P02	D60 Product Pump
6P04	D150 Product Pump
6P07	Middle Slop Product Pump
6P09	D500 Product Pump
6P10	Heavy Slop Product Pump
6P11	Vacuum Residue Product Pump

5. ถัง

หมายเลข	อุปกรณ์
6D01	Vacuum Column OVHD Condenser

6. หอกลั่น

หมายเลข	อุปกรณ์
6C01	Vacuum Distillation Column
7C02	D60 Side Stripper
7C03	D150 Side Stripper
7C04	MSP Side Stripper
7C05	D500 Side Stripper

7. เตา (Fired Heater)

หมายเลข	อุปกรณ์
6B01	Vacuum Charge Heater

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารป้อนของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ คือน้ำมันดิบ ซึ่งรับจากแหล่งต่าง ๆ จากต่างประเทศ โดยส่วนใหญ่จะรับจากตะวันออกกลาง เนื่องจากเป็นน้ำมันดิบที่มีคุณภาพสูง ส่วนสารป้อนของหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ คือ เอทีบี (Atmospheric Tower Bottom) ซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากส่วนล่างสุดของหอกลั่นบรรยากาศ โดยสมบัติของสารป้อนของหน่วยการ กลั่นความดันบรรยากาศและหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติของสารป้อนของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

คุณสมบัติ	ค่า
1. Sp.gr @60/60 °F	0.8600
2. ASTM D86 (°C)	
0%Volume	37.01
1%Volume	41.23
2%Volume	57.42
4%Volume	65.41
5%Volume	72.30
8%Volume	93.73
10%Volume	113.93
15%Volume	144.69
20%Volume	167.02
25%Volume	187.67
30%Volume	211.74
35%Volume	227.94
40%Volume	242.77
45%Volume	263.66
50%Volume	293.36
55%Volume	318.82
60%Volume	344.86
65%Volume	384.31
70%Volume	425.44
75%Volume	465.34
80%Volume	508.72

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงสมบัติของสารป้อนของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

2. (ต่อ) ASTM D86 (°C)	
85%Volume	545.74
90%Volume	578.40
93%Volume	594.09
95%Volume	609.65
97%Volume	618.83
98%Volume	627.46
99%Volume	632.77
100%Volume	637.63

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติของสารป้อนของหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

คุณสมบัติ	ค่า
1. Sp.gr@60/60 °F	0.95
2. Distillation , TBP (°C)	
0%Volume	235.66
1%Volume	249.60
2%Volume	276.78
4%Volume	311.63
5%Volume	338.31
8%Volume	362.82
10%Volume	382.25
15%Volume	403.75
20%Volume	419.76
25%Volume	435.20
30%Volume	449.79
35%Volume	463.71
40%Volume	477.63
45%Volume	492.44
50%Volume	509.41
55%Volume	528.38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงสมบัติของสารป้อนของหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

คุณสมบัติ	ค่า
2.(ต่อ)Distillation,TBP (^{o}C)	
60%Volume	548.83
65%Volume	568.94
70%Volume	587.80
75%Volume	605.33
80%Volume	622.43
85%Volume	640.54
90%Volume	660.68
93%Volume	670.99
95%Volume	681.29
97%Volume	687.41
98%Volume	693.47
99%Volume	697.45
100%Volume	701.38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการจำลอง

จากแบบจำลองหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ และหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศโดยโปรแกรมไฮซิส ได้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการดำเนินงานจริง กับผลการคำนวณจากโปรแกรม มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่อนข้างน้อย (น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์) และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุด 1.91 เปอร์เซ็นต์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูล การดำเนินงานจริงกับแบบจำลองของหน่วยกลั่นความดันบรรยากาศ

1. ส่วนพรีฮีตติงและดีซอลติง (Preheating and Desalting)

	หน่วย	การดำเนินงานจริง	แบบจำลอง	*% ความแตกต่าง
อัตราการไหลเข้า 1E01 (Train A)	m^3/h	160.07	160.90	0.52
อุณหภูมิเข้าท่อ (tube) 1E01	°C	31.00	31.00	0.00
อัตราการไหลเข้า 1E16 (train B)	m^3/h	263.80	265.20	0.53
อุณหภูมิเข้าท่อ (tube) 1E16	°C	31.00	31.00	0.00
อุณหภูมิออกจาก 1B01	°C	315.60	315.60	0.00

2. หอกลั่นบรรยากาศและไซด์สตริพพิง (Atmospheric Distillation Column and Side Stripping)

	หน่วย	การดำเนินงานจริง	แบบจำลอง	% ความแตกต่าง
อุณหภูมิเข้า 1C01	°C	315.60	315.60	0.00
อุณหภูมิยอดหอ (Top Temperature)	°C	91.05	91.00	-0.05
อุณหภูมิก้นหอ (Bottom Temperature)	°C	297.33	294.00	-1.12
ความดันยอดหอ (Top Pressure)	bar g	0.95	0.95	0.00
ความดันก้นหอ (Bottom pressure)	bar g	1.39	1.39	0.00
อัตราการไหล HN Pumparound	m3/h	259.00	259.00	0.00
อุณหภูมิ HN Pumparound	°C	70.23	70.23	0.00
อัตราการไหล Kero Pumparound	m3/h	97.05	97.04	-0.01
อุณหภูมิ Kero Pumparound	°C	99.75	99.75	0.00
อัตราการไหล LGO Pumparound	m3/h	111.16	111.20	0.04
อุณหภูมิ LGO Pumparound	°C	136.40	136.40	0.00

* %ความแตกต่าง = (แบบจำลอง - การดำเนินงานจริง) / การดำเนินงานจริง x 100

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) เปรียบเทียบระหว่างข้อมูล การดำเนินงานจริงกับแบบจำลองของหน่วยกลั่นความดันบรรยากาศ

	หน่วย	การดำเนินงานจริง	แบบจำลอง	*% ความแตกต่าง
อัตราการไหล HGO Pumparound	m3/h	57.42	57.42	0.00
อุณหภูมิ HGO Pumparound	°C	180.83	183.00	1.20
อัตราการไหล HN Product	m3/h	43.71	43.92	0.48
อัตราการไหล Kero Product	m3/h	17.79	17.69	-0.56
อัตราการไหล LGO Product	m3/h	112.23	112.40	0.15
อัตราการไหล HGO Product	m3/h	11.26	11.26	0.00
อัตราการไหล ATB Product	m3/h	200.40	203.65	1.62

3. หอเสถียรแนพทา (Light Naphtha Stabilization)

	หน่วย	การดำเนินงานจริง	แบบจำลอง	*% ความแตกต่าง
อัตราการไหล 3K01	m3/h	940.33	941.10	0.08
ความดันเข้า 3K01	bar g	0.64	0.64	0.00
ความดันออก 3K01	°C	2.68	2.68	0.00
อัตราการไหลเข้า 3C1	bar g	45.96	45.08	-1.91
อุณหภูมิยอดหอ (Top Temperature)	°C	62.67	63.85	1.88
อุณหภูมิก้นหอ (Bottom Temperature)	°C	138.00	137.00	-0.72
ความดันยอดหอ (Top Pressure)	bar g	7.67	7.67	0.00
ความดันก้นหอ (Bottom Pressure)	bar g	7.97	7.97	0.00
อัตราการไหล LPG Product	m3/h	6.91	6.80	-1.57
อัตราการไหล LN Product	m3/h	37.90	37.54	-0.95

* %ความแตกต่าง = (แบบจำลอง - การดำเนินงานจริง) / การดำเนินงานจริง x 100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูล การดำเนินงานจริงกับแบบจำลองของหน่วยกลั่นความดันสุญญากาศ

1. ส่วน พรีฮีตติง (Preheating)

	หน่วย	การดำเนินงานจริง	แบบจำลอง	* % ความแตกต่าง
อัตราการไหลเข้า 6E01	m3/h	223.65	223.65	0.00
ความดันเข้า 6E01	mm Hg	91.90	91.90	0.00
อุณหภูมิเข้า 6B01	°C	304.00	304.00	0.00
อุณหภูมิเข้า 6C01	°C	394.40	394.40	0.00

2. ส่วนหอกลั่นสุญญากาศและไซด์สตริพพิง (Vacuum Distillation Column and Side Stripping)

	หน่วย	การดำเนินงานจริง	แบบจำลอง	% ความแตกต่าง
อุณหภูมิเข้า 6C01	°C	394.40	394.40	0.00
อุณหภูมิยอดหอ (Top Temperature)	°C	142.20	142.20	0.00
อุณหภูมิก้นหอ (Bottom Temperature)	°C	358.00	351.20	-1.90
ความดันยอดหอ (Top Pressure)	mm Hg	87.40	87.40	0.00
ความดันก้นหอ (Bottom Pressure)	mm Hg	107.40	107.40	0.00
อัตราการไหล Top Pumparound	m3/h	146.45	146.45	0.00
อุณหภูมิ Top Pumparound)	°C	119.00	119.00	0.00
อัตราการรไหล Middle Pumparound	m3/h	115.28	115.28	0.00
อุณหภูมิ Middle Pumparound	°C	159.70	162.16	1.54
อัตราการไหล Light Slop	m3/h	7.31	7.38	0.96
อัตราการไหล D60	m3/h	29.96	29.96	0.00
อัตราการไหล D150	m3/h	29.42	29.42	0.00
อัตราการไหล Middle Slop	m3/h	13.99	13.99	0.00
อัตราการไหล D500	m3/h	47.53	47.53	0.00
อัตราการไหล Heavy slop	m3/h	2.84	2.84	0.00
อัตราการไหล Vacuum Residue	m3/h	93.56	92.54	-1.09

* %ความแตกต่าง = (แบบจำลอง - การดำเนินงานจริง) / การดำเนินงานจริง x 100

4.3 กรณีศึกษา ผลของตัวแปรต่อแบบจำลอง

เนื่องจากแบบจำลองของหน่วยการกลั่นบรรยากาศและหน่วยการกลั่นสุญญากาศมีความซับซ้อน ดังนั้นได้มีการศึกษาผลของตัวแปรต่อแบบจำลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง โดยสามารถนำผลการศึกษามาวิเคราะห์ถึงความเปลี่ยนแปลงเพื่อประโยชน์ในการวางแผนการผลิต

4.3.1 กรณีศึกษา หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

4.3.1.1 ตัวแปร อุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศ

เนื่องจากหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศเป็นหน่วยปฏิบัติการขนาดใหญ่ และมีการใช้พลังงานมาก โดยมีการใช้พลังงานหลักที่ 1B01 (Crude Charge Heater) ซึ่งเป็นการให้พลังงานกับองค์ประกอบในน้ำมันดิบจนกลายเป็นไอทุกองค์ประกอบ ยกเว้น เอทีบี ที่อุณหภูมิประมาณ 310 °C ถึง 330 °C ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการดำเนินงาน

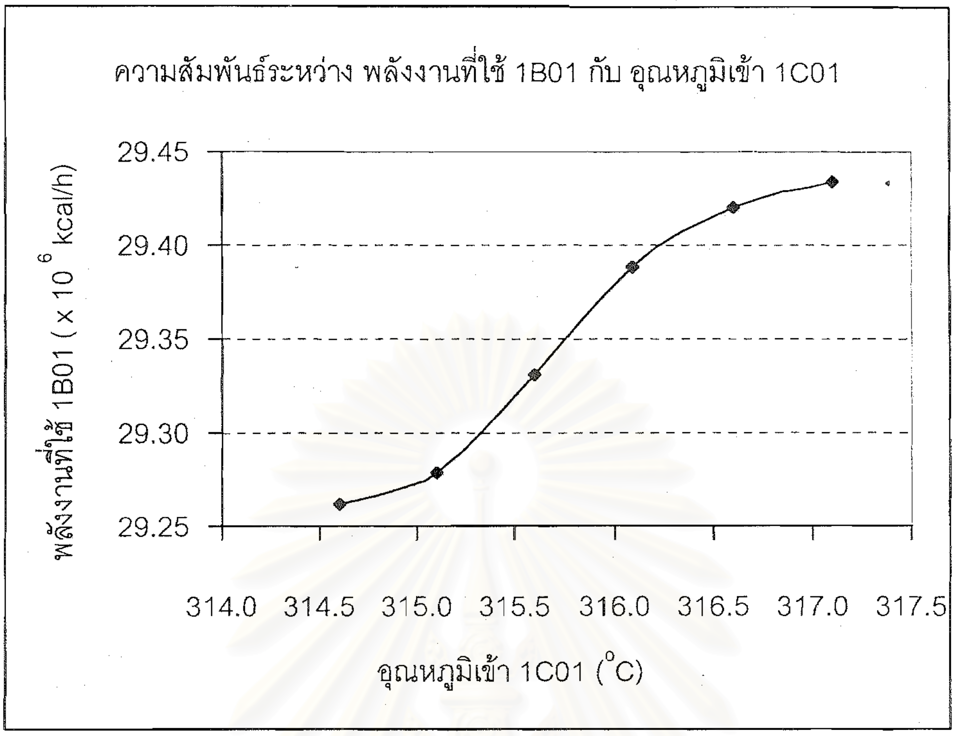
กรณีศึกษานี้ จะศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศ

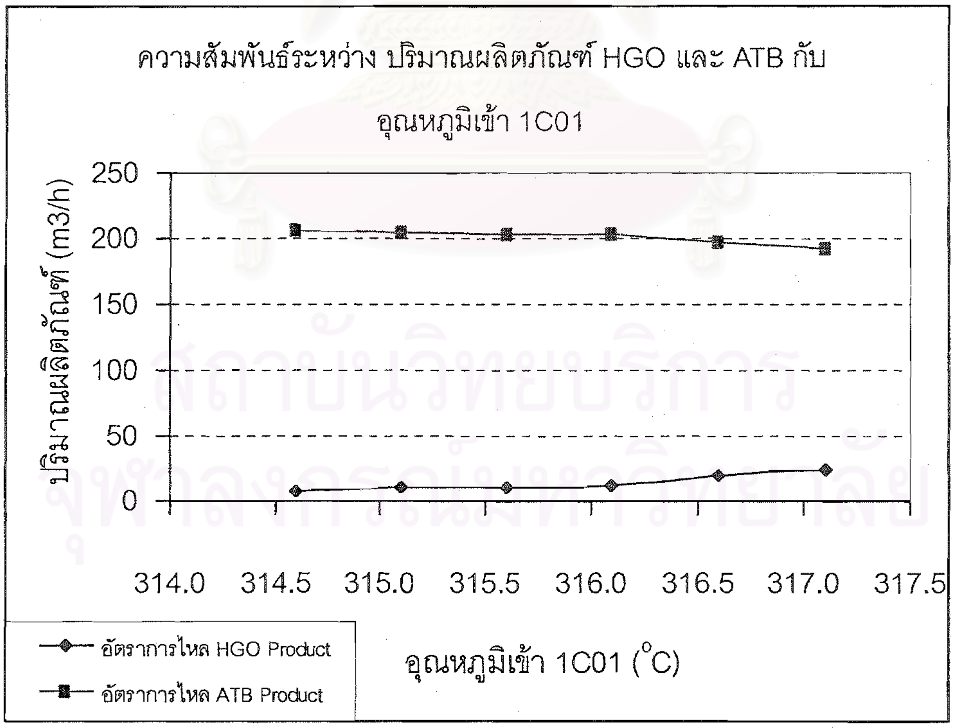
กรณีที่		1	2	3	4	5	6
อุณหภูมิเข้า 1C01	°C	314.60	315.10	315.60	316.10	316.60	317.10
พลังงานที่ใช้ 1B01	x 10^6 kcal/h	29.26	29.28	29.33	29.39	29.42	29.43
อัตราการไหล OH Product	m3/h	44.36	44.36	44.34	44.32	44.32	44.32
อัตราการไหล HN Product	m3/h	44.24	44.11	43.92	43.13	43.21	43.10
อัตราการไหล Kero Product	m3/h	17.53	17.58	17.69	18.59	18.50	18.59
อัตราการไหล LGO Product	m3/h	112.87	112.75	112.40	111.59	111.15	110.59
อัตราการไหลHGO Product	m3/h	8.30	10.01	11.26	12.72	19.00	24.76
อัตราการไหล ATB Product	m3/h	205.99	204.47	203.65	202.91	197.10	191.92

ผลการศึกษาผลกระทบ ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสารป้อนเข้าหอกลั่นบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิช่วงล่างของหอกลั่นเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ HGO เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ ATB ลดลง โดยที่ปริมาณผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

พลังงานที่ใช้ที่ 1BO1 เพิ่มขึ้น 0.17 x 10^6 kcal/h ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ HGO เพิ่มขึ้น 16.46 m^3/h ปริมาณผลิตภัณฑ์ ATB ลดลง 14.07 m^3/h ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 1B01 กับ อุณหภูมิเข้า 1C01



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผลิตภัณฑ์ HGO และ ATB กับ อุณหภูมิเข้า 1C01

4.3.1.2 ตัวแปรรีฟลักซ์ (reflux) ของหอกลั่นบรรยากาศ

ในการดำเนินงานของหอกลั่นบรรยากาศ เครื่องควบแน่นยอดหอ (condensor) จะเป็นอุปกรณ์ควบคุมสภาวะการดำเนินงานส่วนบนของหอกลั่น โดยจะทำให้ไอที่ออกจากยอดหอกลายเป็นของเหลว แล้วส่วนหนึ่งจะส่งกลับเป็นรีฟลักซ์

กรณีศึกษานี้ จะศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณรีฟลักซ์เข้าหอกลั่นบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

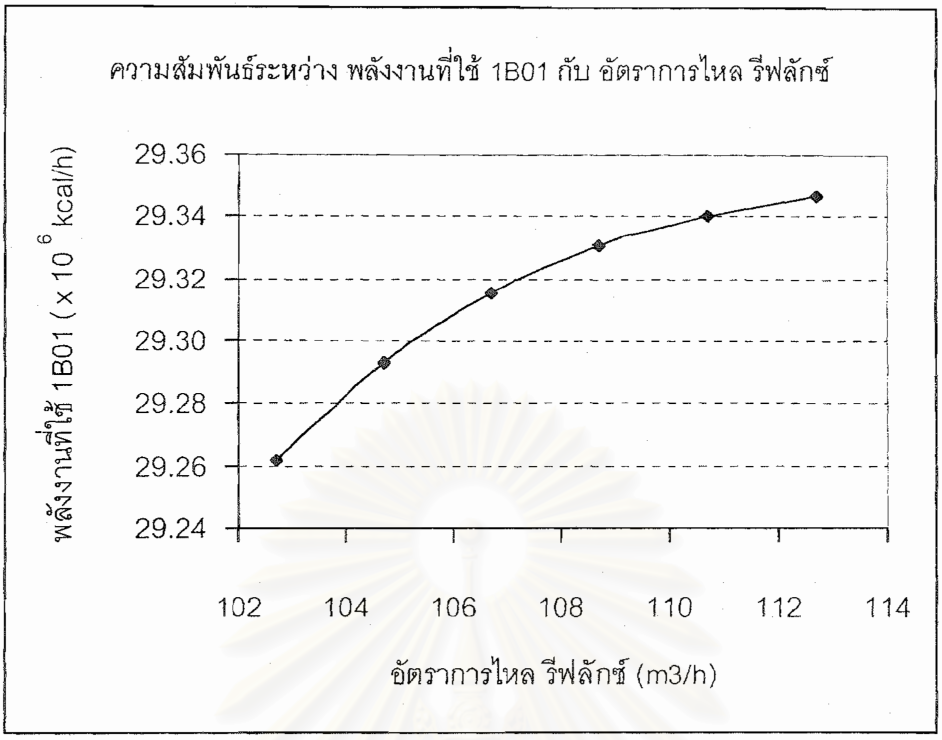
ตารางที่ 4.8 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรีฟลักซ์เข้าหอกลั่นบรรยากาศ

กรณีที่		1	2	3	4	5	6
อัตราการไหล รีฟลักซ์	m3/h	102.70	104.70	106.70	108.70	110.70	112.70
พลังงานที่ใช้ 1B01	x 10^6 kcal/h	29.26	29.29	29.32	29.33	29.34	29.35
อัตราการไหล OH Product	m3/h	44.64	44.55	44.45	44.34	44.25	44.14
อัตราการไหล HN Product	m3/h	39.84	41.17	42.56	43.92	45.42	46.91
อัตราการไหล Kero Product	m3/h	22.66	20.95	19.27	17.69	16.00	14.36
อัตราการไหล LGO Product	m3/h	109.12	110.42	111.51	112.40	113.21	113.93
อัตราการไหลHGO Product	m3/h	15.15	13.60	12.31	11.26	10.32	9.46
อัตราการไหล ATB Product	m3/h	201.86	202.58	203.17	203.65	204.06	204.45

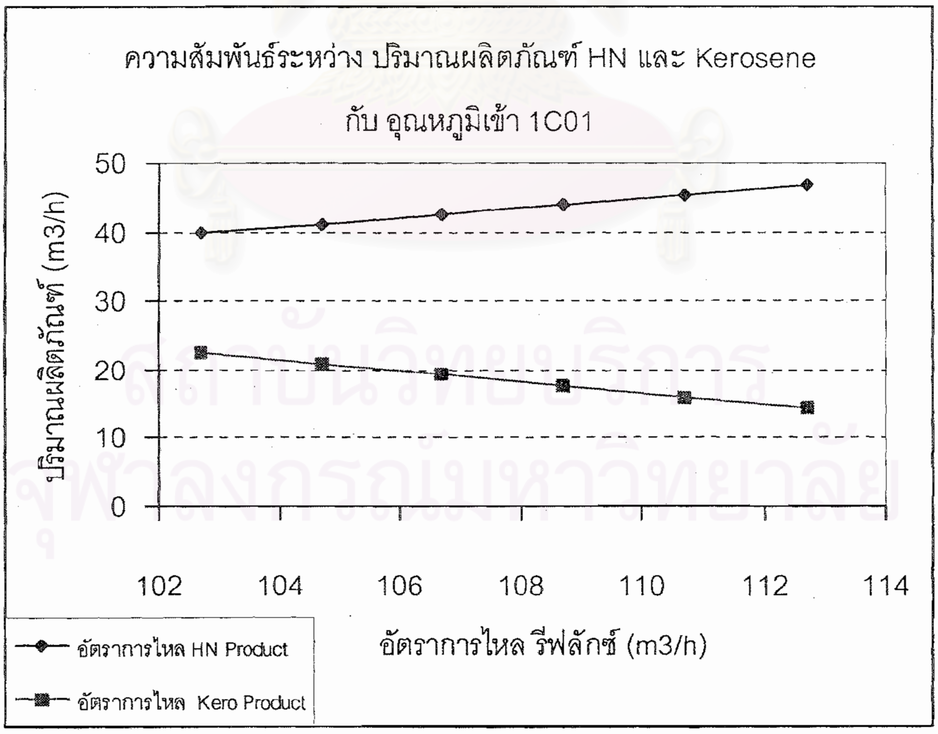
ผลการศึกษาผลกระทบ ของการเปลี่ยนแปลงรีฟลักซ์พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณรีฟรักซ์เข้ายอดหอกลั่นบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิช่วงบนของหอกลั่นลดลง ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ HN เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ Kerosene ลดลง โดยที่ปริมาณผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เปลี่ยนแปลงน้อย

ปริมาณรีฟรักซ์เพิ่มขึ้น 10 m^3/h ทำให้พลังงานที่ใช้ที่ 1BO1 เพิ่มขึ้น 0.09 x 10^6 kcal/h ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ HN เพิ่มขึ้น 7.07 m^3/h ปริมาณผลิตภัณฑ์ Kerosene ลดลง 8.3 m^3/h ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 1B01 กับ อัตราการไหล รีฟลักซ์



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผลิตภัณฑ์ HN และ Keroene กับ อัตราการไหลรีฟลักซ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 กรณีศึกษา หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

4.3.2.1 ตัวแปร อุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศ

เนื่องจากหน่วยการกลั่นสุญญากาศใช้พลังงานหลักที่ 6B01 (Vacuum Charge Heater) ซึ่งเป็นการให้พลังงานกับองค์ประกอบในสารป้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 385 °C ถึง 400 °C ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการดำเนินงาน

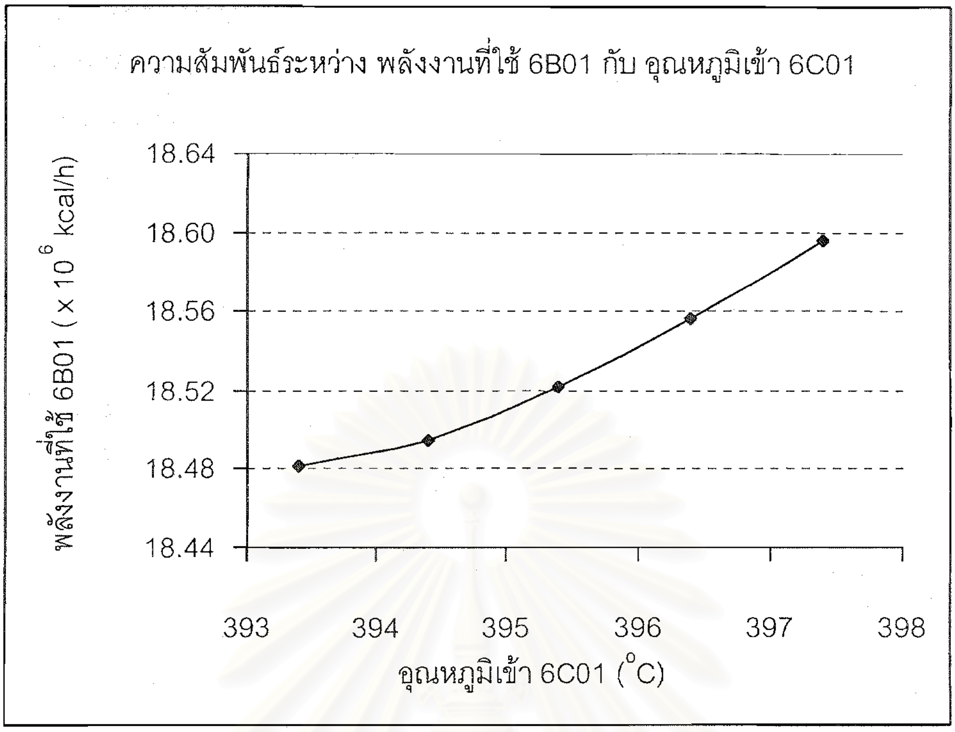
กรณีศึกษานี้ จะศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศ

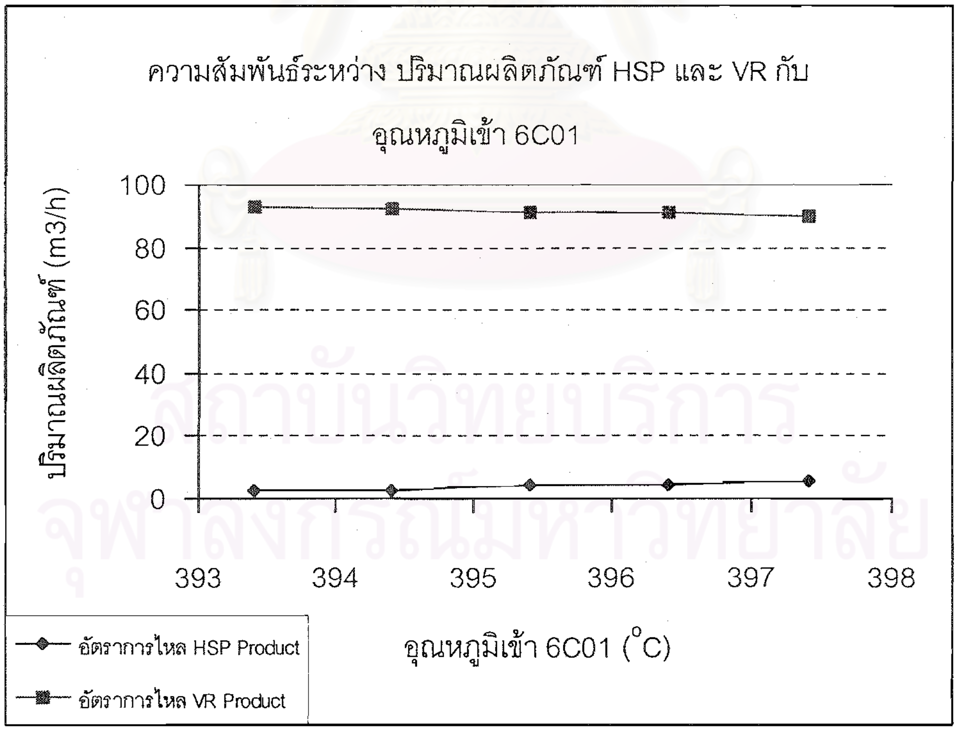
กรณีที่		1	2	3	4	5
อุณหภูมิเข้า 1C01	°C	393.40	394.40	395.40	396.40	397.40
พลังงานที่ใช้ 1B01	x 10^6 kcal/h	18.48	18.49	18.52	18.56	18.60
อัตราการไหล LSP Product	m3/h	7.39	7.38	7.42	7.42	7.39
อัตราการไหล D60 Product	m3/h	29.94	29.96	30.09	30.10	30.64
อัตราการไหลD150 Product	m3/h	29.73	29.42	29.25	29.26	29.30
อัตราการไหล MSP Product	m3/h	14.65	13.99	13.81	13.80	13.60
อัตราการไหลD500 Product	m3/h	46.30	47.53	47.41	47.41	47.32
อัตราการไหล HSP Product	m3/h	2.72	2.84	4.43	4.42	5.80
อัตราการไหล VR Product	m3/h	92.93	92.54	91.26	91.26	89.62

ผลการศึกษาผลกระทบ ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสารป้อนเข้าหอกลั่นสุญญากาศ ทำให้อุณหภูมิช่วงล่างของหอกลั่นเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ HSP เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ VR ลดลง โดยที่ปริมาณผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เปลี่ยนแปลงน้อย

พลังงานที่ใช้ที่ 6BO1 เพิ่มขึ้น 0.12 x 10^6 kcal/h ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ HSP เพิ่มขึ้น 3.08 m^3/h ปริมาณผลิตภัณฑ์ VR ลดลง 3.31 m^3/h ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 6B01 กับ อุณหภูมิเข้า 6C01



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผลิตภัณฑ์ HSP และ VR กับ อุณหภูมิเข้า 6C01

4.3.2.2 ตัวแปร ความดันหอกลั่นสุญญากาศ

ในการดำเนินงานของหอกลั่นสุญญากาศ ความดันจะมีผลต่อการดำเนินงาน เนื่องจากสารป้อนของหอกลั่นมีจุดเดือดสูงมาก จึงต้องดำเนินงานที่ความดันต่ำ เพื่อเพิ่มความสามารถในการระเหยของสารป้อน

กรณีศึกษานี้ จะศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความดันในหอกลั่นสุญญากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

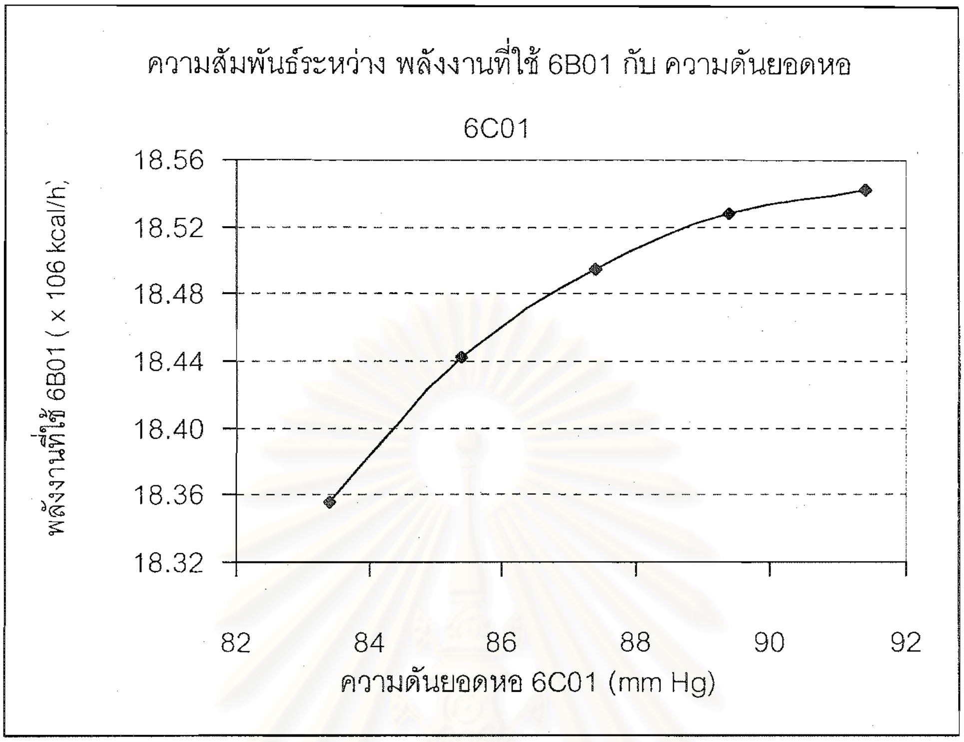
ตารางที่ 4.10 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความดันหอกลั่นสุญญากาศ

กรณีที่		1	2	3	4	5
ความดันยอดหอ 6C01	mm Hg	83.40	85.40	87.40	89.40	91.40
พลังงานที่ใช้ 1B01	x 10^6 kcal/h	18.36	18.44	18.49	18.53	18.54
อัตราการไหล LSP Product	m3/h	7.45	7.42	7.38	7.35	7.34
อัตราการไหล D60 Product	m3/h	31.48	30.67	29.96	29.34	29.03
อัตราการไหลD150 Product	m3/h	29.64	29.56	29.42	29.20	29.33
อัตราการไหล MSP Product	m3/h	13.81	13.87	13.99	14.15	14.25
อัตราการไหลD500 Product	m3/h	47.59	47.56	47.53	47.50	47.49
อัตราการไหล HSP Product	m3/h	0.70	2.02	2.84	3.46	2.93
อัตราการไหล VR Product	m3/h	92.98	92.56	92.54	92.67	93.29

ผลการศึกษาผลกระทบ ของการเปลี่ยนแปลงความดันของหอกลั่นสุญญากาศ เมื่อลดความดันยอดหอกลั่นสุญญากาศ ทำให้การใช้พลังงานที่ 6BO1 ลดลง เนื่องจากน้ำมันสามารถระเหยได้ดีขึ้น โดยที่ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่างๆ เปลี่ยนแปลงน้อย

ความดันยอดหอกลั่นลดลง 8 mmHg ทำให้พลังงานที่ใช้ที่ 1BO1 ลดลง 0.18 x 10^6 kcal/h ดังแสดงในรูปที่ 4.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ 6B01 กับ ความดันยอดหอ 6C01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ และความดันสุญญากาศ

การออปติไมซ์ คือ การใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา ในกรณีศึกษานี้ ต้องการออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha มากที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีราคาสูงและเป็นที่ต้องการของโรงงานปลายทาง (Downstream Plant) เช่น โรงงานผลิตน้ำมันแก๊สโซลีน และ โรงงานผลิตอะโรมาติก และต้องการออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ D150 และ D500 มากที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นสารป้อนของโรงงานน้ำมันเครื่องพื้นฐาน (Lube Base Oil Plant) ซึ่งสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้มาก

5.1 องค์ประกอบของการออปติไมซ์

5.1.1 หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

- ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ ต้องการปริมาณผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha มากที่สุด
- ตัวแปรปรับ (Primary Variable) คือ อุณหภูมิของสารป้อน ซึ่งมีอิทธิพลสูง ต่อการดำเนินงานของหน่วยกลั่น
- เงื่อนไขบังคับ (Constrain) คือ
  - End Point ($^{\circ}$C) ของ Heavy Naphtha Product

    EP HN < 180 $^{\circ}$C
  - End Point ($^{\circ}$C) ของ Kerosene Product

    EP KERO < 300 $^{\circ}$C
  - Distillation 90% volume Point ($^{\circ}$C) ของ Light Gas Oil Product

    90% volume Piont LGO < 357 $^{\circ}$C
  - Flash Point ($^{\circ}$C) ของ Kerosene Product

    FP KERO > 38 $^{\circ}$C
  - Flash Point ($^{\circ}$C) ของ Light Gas Oil Product

    FP LGO > 52 $^{\circ}$C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.2 หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

- ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ ต้องการปริมาณผลิตภัณฑ์ D150 และ D500 มากที่สุด
- ตัวแปรปรับ (Primary Variable) คือ อุณหภูมิของสารป้อน ซึ่งมีอิทธิพลสูง ต่อการดำเนินงานของหน่วยกลั่น
- เงื่อนไขบังคับ (Constrain) คือ ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์
  - ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ D60
    DEN D60 < 899 kg/m^3
  - ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ D150
    DEN D150 < 922 kg/m^3
  - ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ D500
    DEN D500 < 951 kg/m^3

5.2 ผลการออปติไมซ์

5.2.1 หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

การออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ จะพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่ม และการใช้พลังงานของ 1B01 (Crude Charge Heater) เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายหลักของการดำเนินงาน แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลก่อนและหลัง การออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

ผลการดำเนินงาน	ก่อน การออปติไมซ์	หลัง การออปติไมซ์
1. ปริมาณผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha , m3/h	43.92	44.5
2. อุณหภูมิขาเข้า 1B01 (Crude Charge Heater), °C	217.94	217.94
3. อุณหภูมิขาเข้า 1C01 (Atmospheric Distillation Column) , °C	315.6	314.79
4. พลังงานที่ใช้ใน 1B01 (Crude Charge Heater), x10^6 kcal/h	29.330	29.086

ผลการออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศที่ได้ แสดงดังตารางที่ 5.1 สามารถนำไปพิจารณาในแง่ของรายได้ที่เพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการพิจารณาในแง่รายได้ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ

ผลการดำเนินงาน	ปริมาณ	รายได้ที่เพิ่มขึ้น, (US$/h)	รายได้ที่เพิ่มขึ้น, (x 10^6บาทต่อปี)
1. ผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha	+0.578 m3/h	104.23	40.174
2. พลังงานที่ใช้ใน 1B01 (Crude Charge Heater)	-244,406 kcal/h	3.65	1.407

การเก็บข้อมูลของอุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศ แสดงดังตารางที่ 5.3 พบว่าอุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศ จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 314.6 ^{o}C ถึง 316.0 ^{o}C ดังนั้นผลการออปติไมซ์ของอุณหภูมิเข้าหอกลั่นบรรยากาศจึงอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิเข้า 1C01 (^{o}C)

ลำดับการเก็บข้อมูล (ครั้ง)	อุณหภูมิเข้า 1C01 (^{o}C)
1	315.4
2	314.6
3	315.8
4	315.8
5	315.8
6	316.0
7	315.4
8	315.6
9	315.8
10	315.8

5.2.2 หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

การออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ จะพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่ม และการใช้พลังงานของ 6B01 (Vacuum Charge Heater) เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายหลักของการดำเนินงาน แสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงผลก่อนและหลัง การออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

ผลการดำเนินงาน	ก่อน การออปติไมซ์	หลัง การออปติไมซ์
1. ปริมาณผลิตภัณฑ์ D150 , m3/h	29.42	30.34
2. ปริมาณผลิตภัณฑ์ D500 , m3/h	47.53	47.74
3. อุณหภูมิขาเข้า 6B01 (Vacuum Charge Heater), ^{o}C	304.0	303.1
4. อุณหภูมิขาเข้า 6C01 (Vacuum Distillation Column) , ^{o}C	394.4	392.0
5. พลังงานที่ใช้ใน 6B01 (Vacuum Charge Heater), x10^{6} kcal/h	18.49	18.14

ผลการออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศที่ได้ แสดงดังตารางที่ 5.4 สามารถนำไปพิจารณาในแง่ของรายได้ที่เพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการพิจารณาในแง่รายได้ของหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ

ผลการดำเนินงาน	ปริมาณ	รายได้ที่เพิ่มขึ้น, (US$/h)	รายได้ที่เพิ่มขึ้น, (x 10^{6}บาทต่อปี)
1. ผลิตภัณฑ์ D150	+0.9202 m3/h	144.61	55.74
2. ผลิตภัณฑ์ D500	+0.2028 m3/h	31.86	12.89
3. พลังงานที่ใช้ใน 6B01 (Vacuum Charge Heater)	-354,383 kcal/h	5.3	2.04

การเก็บข้อมูลของอุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศ แสดงดังตารางที่ 5.6 พบว่าอุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศ จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 392.9 ^{o}C ถึง 395.9 ^{o}C ดังนั้นผลการออปติไมซ์ของอุณหภูมิเข้าหอกลั่นสุญญากาศจึงอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิเข้า 6C01 (°C)

ลำดับการเก็บข้อมูล (ครั้ง)	อุณหภูมิเข้า 6C01 (°C)
1	394.7
2	395.3
3	394.5
4	393.5
5	393.9
6	395.9
7	393.7
8	395.3
9	392.9
10	393.7

5.3 สรุปการออปติไมซ์

ผลการออปติไมซ์หน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ มีรายได้เพิ่มจากการเพิ่มผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha 40.17 ล้านบาท/ปี และการลดการใช้พลังงานที่ 1B01 ได้ 1.40 ล้านบาท/ปี โดยรายได้หลังการออปติไมซ์จากผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha 3,090 ล้านบาท/ปี ดังนั้นมีรายได้เพิ่มคิดเป็น 1.3 เปอร์เซ็นต์ของรายได้รวมจากผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha ซึ่งควรทำออปติไมซ์เนื่องจากภาวะการผลิตที่จุดออปติไมซ์มีความเป็นไปได้ และมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตปกติน้อย ซึ่งความเสี่ยงน้อยต่อการหยุดการดำเนินงาน

ส่วนหน่วยการกลั่นความดันสุญญากาศ มีรายได้เพิ่มจากการเพิ่มผลิตภัณฑ์ D150 55.74 ล้านบาท/ปี ผลิตภัณฑ์ D500 12.89 ล้านบาท/ปี และการลดการใช้พลังงานที่ 6B01 ได้ 2.04 ล้านบาท/ปี โดยรายได้หลังการออปติไมซ์จากผลิตภัณฑ์ D150 และ D500 4,729 ล้านบาท / ปี ดังนั้นมีรายได้เพิ่มคิดเป็น 1.44 เปอร์เซ็นต์ของรายได้รวมจากผลิตภัณฑ์ D150 และ D500 ซึ่งควรทำออปติไมซ์เนื่องจากภาวะการผลิตที่จุดออปติไมซ์มีความเป็นไปได้ และมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตปกติน้อย ซึ่งความเสี่ยงน้อยต่อการหยุดการดำเนินงาน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกริกชัย สุกาญจนัจที. **อุณหพลศาสตร์สำหรับอุตสาหกรรมซีพีไอ**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Beveridge, S.G. and Scheckter, R.S. **Optimization theory and practice**. McGraw-Hill, 1970.

Chen, E. Real time online optimization. **Hydrocarbon Processing**. Texas :Foster Wheeler, 2001.

Donald, A. P. **Optimization theory with applications.** Montana: John Wiley and Sons, 1969, pp. 1-3.

Douglass, J. W. **Optimization seeking methods.** NJ: Prentice Hall, 1964, pp. 13-17.

Douglass, J. W. and Beightler S. C. **Optimization and optimism.** NJ: Prentice Hall, 1967, pp.1-7.

LG Engineering Co.,Ltd. Seoul Korea. **Basic design package for TPI slitter plant III project.** (n.p.), 1995 a.

LG Engineering Co., Ltd. Seoul Korea. **Preliminary basic design package for vacuum distillation unit TPI lube oil plant.** (n.p.), 1995 b.

Ralph, E. S. **Multiple criteria optimization.** Georgia: John Wiley and Sons, 1986.

Shannon, R. E. **Systems simulations: The art & science.** NJ: Prentice Hall,1975.

Sowell, R. Why a simulation system doesn't match the plant. **Hydrocarbon Processing** (March 1998): 102-107.

Thongpraserd, S.J. **Simulation**. Bangkok: Chulalongkorn University Press,1996.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
โปรแกรมไฮซิส

โปรแกรมไฮซิส เป็นโปรแกรมเพื่อการจำลองแบบกระบวนการผลิต โดยเป็นการพัฒนาของบริษัทไฮโปรเทค (Hyprotech)

1. จุดเด่นของโปรแกรมไฮซิส

1.1 สามารถสร้างแบบจำลองได้อย่างรวดเร็วในหลาย ๆ สถานการณ์ได้อย่างเหมาะสม และสามารถบอกได้ว่าอุปกรณ์ที่จะใช้ต่ำกว่ามาตรฐานหรือไม่

1.2 สามารถลดต้นทุน จากการสร้างแบบจำลองด้านการออกแบบเบื้องต้น จนกระทั่งการออกแบบโดยละเอียด การฝึกอบรมรวมไปถึงการทำออปติไมซ์เซชันตลอดอายุการใช้งานโรงงาน

1.3 สามารถเพิ่มกำไรมากขึ้นจาก การใช้อุปกรณ์ตรงตามที่ออกแบบไว้ เปลี่ยนแปลงการออกแบบได้รวดเร็วและทำขึ้นจริงได้อย่างเหมาะสม และกำหนดค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการได้ถูกต้องจากการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ

2.ลักษณะการใช้งานของโปรแกรมไฮซิสทางเทคนิค

2.1 ทำงานสอดคล้องกับหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์

โปรแกรมไฮซิสมีความน่าเชื่อถือและสามารถเข้าใจได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็นการเลียนแบบกระบวนการในระบบไอน้ำ กระบวนการที่เกี่ยวกับสารไฮโดรคาร์บอน หรือในกระบวนการทางเคมีที่เป็น Non-ideal นอกจากนั้นโปรแกรมยังรวมถึงสมการสภาวะที่จำเป็น และแบบจำลองบางส่วนรวมถึงฐานข้อมูลที่ต้องใช้ในการแก้ปัญหา Hysys.process ยังมีลักษณะพิเศษทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่สามารถจะจัดการกับระบบความดันสูงของ non-ideal แบบจำลองสิ่งแวดล้อมและรวบรวมพารามิเตอร์ไว้มากกว่า 15,000 binary

2.2 มีหน่วยปฏิบัติการที่เข้าใจง่าย

Hysys.process มีบัญชีรายการชุดอุปกรณ์ทำงานเกี่ยวกับปิโตรเคมี เช่น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์เกี่ยวกับการไหลเวียน ชุดถังแยก หอกลั่น เตาปฏิกรณ์ การปฏิบัติการสภาวะของแข็ง และการทำงานแบบลอจิก

ผลการทำงานของการจำลองกระบวนการได้ถูกพัฒนาให้สามารถส่งออกไปยังกรณีศึกษาอื่น ๆ ได้เช่นกัน และส่งผลเป็นข้อมูลชุด ไปยังถังแยกหรือหอกลั่นใดก็ได้ หอกลั่นในที่นี้ใช้ได้กับแบบ 2 และ 3 สถานะและการกลั่นแบบรีแอคตีฟ คุณลักษณะเฉพาะของหอกลั่นสามารถทำงาน

หรือหยุดการทำงานได้ด้วยการกดเม้าส์เท่านั้น โดยจะไม่ยึดติดตัวแปรเฉพาะในกรณีของหอกลั่นที่พัฒนาไปมาก ๆ แผ่นงานอันดับรองลงไปก็สามารถสร้างแบบจำลองคอลัมน์ที่ซับซ้อนได้ รวมทั้งแก้ปัญหาเหมือนกับเป็นหน่วยปฏิบัติการอีกอันหนึ่ง

2.3 แผ่นงานรอง

Hysys.process มีแผ่นงานรองหรือที่เรียกว่า Subflowsheets ที่มีลักษณะเป็นแผ่นงานซ้อนแผ่นงาน มีประโยชน์ดังนี้

- แบบจำลองขนาดใหญ่สามารถถูกจัดการได้ง่ายด้วยการแบ่งเก็บไว้ในแผ่นงานรอง
- แผ่นงานรองแต่ละอันอาจมีคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และส่วนประกอบต่าง ๆ เป็นของตัวเองซึ่งจะเป็นประโยชน์ในกรณีที่กระบวนการมีส่วนประกอบอยู่มาก ทำให้ไม่ต้องรวมทุกส่วนประกอบอยู่บนแผ่นงานหลักแผ่นเดียว
- กรณีศึกษาต่าง ๆ สามารถเปิดทิ้งไว้แล้วเรียกมาอ่านได้ระหว่างที่ทำกรณีอื่นอยู่

2.4 PFD และสมุดงาน

ไฮซิสมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลและดูผลหลายแบบ สมุดงานในรูปของแผ่นงาน หรือ PFD ซึ่งแสดงให้เห็นภาพได้ชัดเจน หรือแม้แต่แสดงเฉพาะตัวแปรที่เลือก สีบนจอก็จะเป็นตัวบอกว่าชุดใดกำลังถูกกำหนด คำนวณ หรือติดตั้งค่าเป็น Default โปรแกรมสามารถเพิ่มลดและดัดแปลงการทำงานโดยตรงใน PFD และสามารถสร้างทิศทางและตารางต่าง ๆ ได้ตามต้องการบน PFD

2.5 Databook

Databook ทำให้เห็นภาพการจัดการข้อมูลได้อย่างกระชับและมีรูปแบบการใช้งานที่ง่าย ซึ่งจะช่วยให้ทำงานได้ดีเมื่อต้องการทำกรณีศึกษาที่มีขนาดใหญ่หรือประเมินผลข้อมูลหลายรูปแบบ แล้วต้องการบันทึกข้อมูลเป็นรายงาน ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรจะมีผลให้ได้รายงานใหม่ด้วย

2.6 Optimizer

ชุดออปติไมซ์เซอร์จะช่วยสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์บนตัวแปรจากแบบจำลอง โดยเทคนิคจำนวนมากมีไว้ให้ใช้งานเพื่อมินิไมซ์หรือแมกซิไมซ์ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ภาคผนวก ข.

สมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการออปติไมต์

เนื่องจากการทำออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศ มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการปริมาณผลิตภัณฑ์ Heavy Naphtha มากที่สุด และหน่วยการกลั่นสุญญากาศ คือต้องการปริมาณผลิตภัณฑ์ D150 และ D500 มากที่สุด ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลิตภัณฑ์ของหอกลั่น จะทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เปลี่ยนแปลงดังแสดงในตาราง ข.1 และ ข.2

ตารางที่ ข.1 สมบัติของผลิตภัณฑ์หน่วยการกลั่นบรรยากาศ

สมบัติ	ก่อนการออปติไมซ์	หลังการออปติไมซ์
End Point HN (°C)	167.72	165.60
End Point Kero (°C)	195.23	196.03
90% volume Piont LGO (°C)	286.42	287.38
Flash Point Kero (°C)	40.99	41.40
Flash Point LGO (°C)	76.58	76.91

ตารางที่ ข.2 สมบัติของผลิตภัณฑ์หน่วยการกลั่นสุญญากาศ

สมบัติ	ก่อนการออปติไมซ์	หลังการออปติไมซ์
Density D60 (kg/m^3)	891.42	891.25
Density D150 (kg/m3)	919.20	919.27
Density D500 (kg/m3)	950.29	950.99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายวชิระ เสาวภาคย์ เกิดวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2537 และศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย