

การดัดแปลงกระบวนการแยกอากาศเป็นกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

นางสาวเสาวลักษณ์ ธนะภาชนี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและเพิ่มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นเพิ่มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

MODIFICATION OF AIR SEPARATION PROCESS TO
LIQUEFIED NATURAL GAS PROCESS

Miss Saowaluk Thanaphat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปลงกระบวนการแยกอากาศเป็นกระบวนการผลิต
	ก๊าซธรรมชาติเหลว
โดย	นางสาวเสาวลักษณ์ ธนะภาชน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรชัย อารณวิชานพ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. นวพล เหล่าศิริพจน์)

เสวาลักษณ์ ฐานะภาชน : การดัดแปลงกระบวนการแยกอากาศเป็นกระบวนการผลิต
ก๊าซธรรมชาติเหลว. (MODIFICATION OF AIR SEPARATION PROCESS TO
LIQUEFIED NATURAL GAS PROCESS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.
เดชา ฉัตรศิริเวช, 136 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบการแยกอากาศและกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ
เหลว เนื่องจากทั้งสองกระบวนการผลิตมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่คล้ายคลึงกันและ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการผลิตมีสถานะที่เรียกว่า ความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic)
จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาการนำอุปกรณ์บางส่วนจากกระบวนการแยกอากาศนำมา
ดัดแปลงใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบสถานะ
ของทั้งสองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม PRO II ในการสร้างแบบจำลองและใช้แบบจำลอง
ดังกล่าวในการเลือกอุปกรณ์บางส่วนของกระบวนการแยกอากาศมาดัดแปลงใช้กับ
กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบสถานะของทั้งสองกระบวนการ
พบว่าในส่วนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate – Fin Heat Exchanger) มี
สถานะที่คล้ายคลึงกัน และเมื่อนำค่าพลังงานความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะจูล/ชั่วโมง
ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นจากกระบวนการแยกอากาศ นำมาดัดแปลงใช้งาน
กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตกได้ปริมาณ
ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี (Productivity) มากที่สุดคือ 23,851.2 กิโลกรัม/ชั่วโมง และใช้ปริมาณ
พลังงานที่ผลิต (Power Consumption) ของการทำความเย็นต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี
น้อยที่สุดคือ 1,204.4 กิโลจูล/กิโลกรัมแอลเอ็นจี และการดำเนินงานที่ความดันต่ำที่สุดจะทำให้
ใช้ปริมาณพลังงานของการทำความเย็นที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีสูงที่สุด

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2554.....

5071523021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : AIR SEPARATION / LIQUEFIED NATURAL GAS

SAOWALUK THANAPHAT : MODIFICATION OF AIR SEPARATION PROCESS
TO LIQUEFIED NATURAL GAS PROCESS. ADVISOR : ASSOC. PROF.
DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 136 pp.

This research aims to investigate of air separation process and liquefied natural gas (LNG) production, as both of two manufacturing processes are using similar technology to manufacture and products of both processes are in Cryogenic condition, base on these knowledge bring to the study to apply some machine and equipment to apply in the liquefied natural gas production. The study is to compare the condition of two processes by PRO II program to create the model and simulate. Also use the created model to selecting the device from air separation process then apply in liquefied natural gas production process. The results of the comparison of the two conditions found in most of the plate – fin heat exchanger with similar conditions. When the heat duty 28.89 M.kJ/hr. The plate –fin heat exchanger air separation process. To be adapted for use with liquefied natural gas production. The natural gas from Western sources of supply LNG productivity is the most 23,851.2 kg/hr. The amount of energy produced per unit mass of LNG production is minimal 1,204.4 kJ/kg of LNG. The refrigeration work for LNG production varied inversely with the pressure of LNG produced.

Department :Chemical Engineering..... Student's Signature

Field of Study :Chemical Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :2011.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ การดูแลเอาใจใส่ และให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์เพื่อให้ได้วิทยานิพนธ์ที่มีความสมบูรณ์ ขอขอบคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรชัย อภรณ์วิชานพ และรองศาสตราจารย์ ดร. นวดล เหล่าศิริพจน์ สำหรับความช่วยเหลือ ตั้งแต่การตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ให้ความกรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้ข้อคิดและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ตลอดจนข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ ที่ช่วยประสาน ตลอดจนจบการศึกษาวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา สามี บริษัทู๊ด (ประเทศไทย) จำกัด ที่ข้าพเจ้าทำงานอยู่และมีอุปการคุณที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษาขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่ช่วยสนับสนุน และให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฑ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการแยกอากาศ.....	4
2.1.1 องค์ประกอบของอากาศ.....	4
2.1.2 วิธีการแยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน.....	5
2.2 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	10
2.1.1 องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ.....	10
2.3.1 ก๊าซธรรมชาติเหลวคือ.....	11
2.3.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	21
3.1 การสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม PRO II.	21
3.2 การศึกษาสภาวะการดำเนินงานของอุปกรณ์ต่างๆ.....	23

บทที่	หน้า
3.3 การเลือกอุปกรณ์ที่มีสภาวะใกล้เคียงกันนำมาดัดแปลงใช้งานกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	24
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	25
4.1 กระบวนการแยกอากาศ.....	25
4.1.1 คุณสมบัติของสารป้อน.....	25
4.1.2 ผังกระบวนการแยกอากาศ.....	26
4.1.3 อัดอากาศ.....	28
4.1.4 ลดอุณหภูมิอัดอากาศ.....	28
4.1.5 ลดอุณหภูมิอากาศเบื้องต้น.....	29
4.1.6 ลดอุณหภูมิของอากาศลงที่ความเย็นยิ่งยวด.....	30
4.1.7 แยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอนบริสุทธิ์.....	30
4.1.8 สภาวะการดำเนินการของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรอง.....	34
4.1.9 สภาวะการดำเนินการของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลัก.....	36
4.2 ผลการเปรียบเทียบสภาวะการดำเนินการกระบวนการแยกอากาศและผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	39
4.3 เลือกอุปกรณ์ที่มีสภาวะเดียวกันนำมาดัดแปลงใช้งาน.....	42
4.4 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	42
4.4.1 คุณสมบัติของสารป้อน.....	42
4.4.2 ผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	43
4.4.3 กระบวนการของระบบการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	44
4.4.4 กระบวนการทำความเย็นแบบหมุนเวียน.....	44
4.4.5 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก.....	49
4.4.6 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก.....	60
4.4.7 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขนอม.....	69
4.4.8 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง.....	78

บทที่	หน้า
4.4.9 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์.....	87
4.4.10 แหล่งก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5.....	96
5 สรุปผลงานวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	107
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	110
ภาคผนวก ก การจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยโปรแกรม PROII.....	110
ภาคผนวก ข การจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยโปรแกรม PRO II.....	123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงองค์ประกอบของอากาศแห้ง.....	4
2.2	แสดงขอบเขตการประยุกต์ใช้อากาศของแต่ละวิธี.....	5
2.3	แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ.....	10
2.4	สรุปเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	12
2.5	แสดงข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีผสมสารทำความเย็นและเทคโนโลยีการขยายตัว.....	19
3.1	แสดงเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการแยกอากาศ.....	23
4.1	องค์ประกอบของอากาศป้อน.....	25
4.2	ตัวแปรของกระบวนการแยกอากาศ.....	25
4.3	แสดงสถานะของอุปกรณ์อัดอากาศ.....	28
4.4	แสดงสถานะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	29
4.5	แสดงสถานะของอุปกรณ์ทำความเย็นแอมโมเนีย.....	30
4.6	แสดงสถานะของหอกลับความดัน.....	31
4.7	แสดงสถานะของอุปกรณ์อัดอากาศความดันสูง.....	31
4.8	แสดงสถานะของอุปกรณ์ลดความดันแบบเทอร์โบ.....	32
4.9	แสดงสถานะของหอกลับความดันต่ำ.....	32
4.10	แสดงสถานะของหอกลับอาร์กอน.....	33
4.11	แสดงสถานะการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรอง..	35
4.12	แสดงสถานะการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก.	37
4.13	แสดงสมดุลมวลของกระบวนการแยกอากาศ.....	38
4.14	เปรียบเทียบสถานะการดำเนินงานของอุปกรณ์อัดความดันของกระบวนการแยกอากาศและผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	39
4.15	เปรียบเทียบสถานะการดำเนินงานของหอกลับของกระบวนการแยกอากาศและผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	40

ตารางที่	หน้า	
4.16	เปรียบเทียบสภาวะการดำเนินงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ของกระบวนการแยกอากาศและผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว.....	41
4.17	แสดงสภาวะของอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 1.....	45
4.18	แสดงสภาวะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 1.....	45
4.19	แสดงสภาวะของอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 2.....	46
4.20	แสดงสภาวะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 2.....	46
4.21	แสดงสภาวะของอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 3.....	47
4.22	แสดงสภาวะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 3.....	47
4.23	แสดงสภาวะของอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจน 1.....	48
4.24	แสดงสภาวะของอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจน 2.....	48
4.25	แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2009).....	50
4.26	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่ง ตะวันออกที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	54
4.27	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่ง ตะวันออกที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	55
4.28	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่ง ตะวันออกที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	56
4.29	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่ง ตะวันออกที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	57
4.30	แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก.....	58
4.31	แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2007).....	60
4.32	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตก ที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	63
4.33	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตก ที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	64

ตารางที่		หน้า
4.34	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตก ที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	65
4.35	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตก ที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	66
4.36	แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันตก.....	67
4.37	แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งชนอม (2007).....	69
4.38	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งชนอม ที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	72
4.39	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งชนอม ที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	73
4.40	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งชนอม ที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	74
4.41	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งชนอม ที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	75
4.42	แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งชนอม.....	76
4.43	แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007).....	78
4.44	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพอง ที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	81
4.45	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพอง ที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	82
4.46	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพอง ที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	83
4.47	แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพอง ที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	84

ตารางที่		หน้า
4.48	แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งน้ำพอง.....	85
4.49	แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์ (2007).....	87
4.50	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ ที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	90
4.51	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ ที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	91
4.52	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ ที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	92
4.53	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ ที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.....	93
4.54	แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งสิริกิติ์.....	94
4.55	แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจาก Sale gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติ ที่ 5 (2010).....	96
4.56	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale gas ของ โรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 ที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.	99
4.57	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale gas ของ โรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 ที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.	100
4.58	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale gas ของ โรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 ที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.	101
4.59	แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale gas ของ โรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 ที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส.	102
4.60	แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซ ธรรมชาติที่ 5.....	103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนผังแสดงการแยกไนโตรเจนโดยวิธี Membrane.....	6
2.2	แผนผังแสดงการแยกไนโตรเจนโดยวิธี Pressure Swing Adsorption.....	7
2.3	แผนผังแสดงการแยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน โดยวิธี Cryogenic Rectification.....	9
2.4	แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี PRICO ^R (Poly Refrigerated Integrated Cycle Operation).....	13
2.5	แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี AP-M (Air Product & Chemicals Inc.).....	14
2.6	แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี LiMuM ^R (Linde Multistage Mixed Refrigerant).....	15
2.7	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี OSMR (LNG Limited).....	16
2.8	แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี Nitrogen Expansion Cycle (Mustang).....	17
2.9	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี Niche LNG (CB&I Lummus).....	18
3.1	ผังแสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวเบื้องต้น.....	24
4.1	ผังแสดงกระบวนการผลิตอากาศ.....	26
4.2	แบบจำลองกระบวนการแยกอากาศที่สร้างด้วยโปรแกรม PRO II.....	27
4.3	แสดงแผนผังของกระแสของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรอง (Sub-cool Heat Exchanger, HX02).....	34
4.4	แสดงแผนผังของกระแสของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก(Main Heat Exchanger, HX01).....	36
4.5	แสดงผังการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้เทคโนโลยี N ₂ Expansion Cycles.....	43

ภาพที่	หน้า	
4.6	แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2009) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก.....	51
4.7	แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II.....	53
4.8	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก.....	59
4.9	แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก.....	59
4.10	แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก.....	61
4.11	แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II.....	62
4.12	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันตก.....	68
4.13	แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันตก.....	68
4.14	แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขนอม (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก.....	70
4.15	แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขนอม (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II.....	71
4.16	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งขนอม.....	77
4.17	แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งขนอม.....	77
4.18	แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก.....	79
4.19	แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II.....	80

ภาพที่	หน้า
4.20	86
4.21	86
4.22	86
4.23	89
4.24	95
4.25	95
4.26	97
4.27	98
4.28	104
4.29	104
4.30	105
4.31	106
ก.1	111

ภาพที่	หน้า
ก.2	แสดงตัวอย่างการกำหนดวิธีการคำนวณคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของ กระบวนการแยกอากาศในแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 112
ก.3	แสดงข้อมูลต่างๆ ที่ป้อนในแต่ละอุปกรณ์ของกระบวนการแยกอากาศใน แบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PRO II 113
ก.4	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติหกล้นความดันในแบบจำลองกระบวนการ แยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 114
ก.5	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติหกล้นความดันต่ำในแบบจำลองกระบวนการ แยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 114
ก.6	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติหกล้นอาร์กอนในแบบจำลองกระบวนการ แยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 115
ก.7	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดอากาศความดันสูงในแบบ จำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 115
ก.8	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์ลดความดันอากาศความดันสูง ในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 116
ก.9	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลัก ในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 116
ก.10	แบบจำลองกระบวนการแยกอากาศที่สร้างด้วยโปรแกรม PRO II..... 110
ก.11	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดอากาศขั้นที่ 1 (Air Compressor, C01_1 st) โดยโปรแกรม PRO II..... 118
ก.12	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขั้นที่ 1 (After Cooler, AF01_1 st) โดยโปรแกรม PRO II..... 118
ก.13	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดอากาศขั้นที่ 2 (Air Compressor, C01_2 nd) โดยโปรแกรม PRO II..... 119
ก.14	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขั้นที่ 2 (After Cooler, AF01_2 nd) โดยโปรแกรม PRO II..... 119
ก.15	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดอากาศขั้นที่ 3 (Air Compressor, C01_3 rd) โดยโปรแกรม PRO II..... 120

ภาพที่	หน้า
ก.16	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 3 (After Cooler, AF01_3 rd) โดยโปรแกรม PRO II..... 120
ก.17	แสดงผลลัพธ์ของเครื่องอัดของทำความเย็นแอมโมเนีย (NH ₃ Compressor, C03) โดยโปรแกรม PRO II..... 121
ก.18	แสดงผลลัพธ์ของเครื่องอัดอากาศความดันสูง (HP Air Compressor, C02) โดยโปรแกรม PRO II 121
ก.19	แสดงผลลัพธ์ของเครื่องลดความดันแบบเทอร์โบ (Turbo Expander, EXP01) โดยโปรแกรม PRO II..... 122
ก.20	แสดงผลลัพธ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Brazed Aluminium Heat Exchanger, HX01) โดยโปรแกรม PRO II..... 122
ข.1	แสดงตัวอย่างการป้อนองค์ประกอบของสารที่ใช้ในแบบจำลองของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 124
ข.2	แสดงตัวอย่างการกำหนดวิธีการคำนวณคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวในแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 125
ข.3	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดไนโตรเจนชั้นที่ 1 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II 126
ข.4	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดไนโตรเจนชั้นที่ 2 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 127
ข.5	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดไนโตรเจนชั้นที่ 3 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 127
ข.6	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจนชั้นที่ 1 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 128
ข.7	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจนชั้นที่ 2 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 128
ข.8	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 129
ข.9	แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติตัวควบคุมในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II..... 129

ภาพที่	หน้า
ข.10	แบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวที่สร้างด้วยโปรแกรม PRO II..... 130
ข.11	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 1 (N ₂ Compressor 1 st , C001_1 st) โดยโปรแกรม PRO II 131
ข.12	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 1 (N ₂ After Cooler 1 st , AF001_1 st) โดยโปรแกรม PRO II..... 131
ข.13	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 2 (N ₂ Compressor 2 nd , C001_2 nd) โดยโปรแกรม PRO II..... 132
ข.14	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 2 (N ₂ After Cooler 2 nd , AF001_2 nd) โดยโปรแกรม PRO II..... 132
ข.15	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 3 (N ₂ Compressor 3 rd , C001_3 rd) โดยโปรแกรม PRO II..... 133
ข.16	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 3 (N ₂ After Cooler 3 rd , AF001_3 rd) โดยโปรแกรม PRO II..... 133
ข.17	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์ลดความดัน 1 (Expander 1, EXP01) โดยโปรแกรม PRO II..... 134
ข.18	แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์ลดความดัน 2 (Expander 2, EXP02) โดยโปรแกรม PRO II..... 134
ข.19	แสดงผลลัพธ์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลักไนโตรเจน (Main Brazed Aluminium Heat Exchanger, HX001) โดยโปรแกรม PRO II..... 135

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานจากก๊าซธรรมชาติมีบทบาทมากขึ้น โดยเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการใช้พลังงานจากน้ำมันและเป็นพลังงานอีกทางเลือกหนึ่งที่ประเทศไทยเลือกใช้ ซึ่งที่ผ่านมามีการใช้ประโยชน์จากก๊าซธรรมชาติไม่มากเท่าที่ควร เนื่องจากมีความยุ่งยากในการขนส่งก๊าซธรรมชาติ โดยต้องลงทุนจำนวนมากในการก่อสร้างท่อส่งก๊าซ ดังนั้นหากแหล่งสำรองก๊าซธรรมชาติตั้งอยู่ห่างจากแหล่งที่ต้องการใช้เป็นพลังงานแล้ว ก็จะไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ จากแหล่งก๊าซธรรมชาตินั้นๆ เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการก่อสร้างท่อส่งก๊าซ

ต่อมาได้มีนวัตกรรมใหม่ โดยการขนส่งก๊าซธรรมชาติในรูปของเหลว (Liquefied Natural Gas ; LNG) โดยเริ่มจากการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงเหลือ -162 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ เพื่อเปลี่ยนสภาพก๊าซมาอยู่ในรูปของเหลวเพื่อให้ง่ายต่อการขนส่ง เนื่องจากจะมีปริมาตรลดลงเหลือเพียงไม่ถึง 1 ใน 600 ของสภาพเป็นก๊าซเท่านั้น [1]

ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas ; LNG) คือ ก๊าซธรรมชาติที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ ให้กลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -162 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ หลังจากนั้นจึงถูกบรรจุลงถังเพื่อขนถ่ายทางเรือไปยังแหล่งที่มีความต้องการใช้ ซึ่งก๊าซธรรมชาติเหลวจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการเพิ่มความร้อนอีกครั้งเพื่อทำให้มีสถานะเป็นก๊าซดังเดิม ดังนั้นจึงต้องมีการนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว มาใช้ในการเปลี่ยนสถานะของก๊าซธรรมชาติเป็นสถานะในรูปของเหลว ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะขนส่งไปใช้ในสถานที่ที่ท่อส่งก๊าซยังไม่ถึง

งานวิจัยนี้สาเหตุที่เลือกที่จะทำการศึกษากระบวนการแยกอากาศและกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว เนื่องจากทั้งสองกระบวนการผลิตมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่คล้ายคลึงกันและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการผลิตมีอุณหภูมิต่ำซึ่งเรียกกสภาวะนี้ว่า “ครัยโอจีนิก” (Cryogenic) [2] ในการนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวมาใช้มีต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูง จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาการนำเครื่องจักรและอุปกรณ์บางส่วนจาก

โรงงานแยกอากาศนำมาดัดแปลงใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว ในประเทศไทยมีโรงงานแยกอากาศที่ปิดตัวลงและปล่อยทิ้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ให้รกร้างไม่เกิดประโยชน์ ซึ่งมีเครื่องจักรและอุปกรณ์บางส่วนยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวได้อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนการสั่งซื้อเครื่องจักรใหม่จากต่างประเทศ ให้กับเจ้าของกิจการ ที่มีแนวความคิดจะสร้างโรงงานผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว โดยการนำการนำเครื่องจักรบางส่วนจากโรงงานแยกอากาศ มาดัดแปลงใช้กับโรงงานผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

โดยจะทำการศึกษาสถานะของทั้งสองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม PRO II ในการสร้างแบบจำลองและใช้แบบจำลองดังกล่าวในการศึกษาเปรียบเทียบสถานะการดำเนินงานและนำมาดัดแปลงใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการนำอุปกรณ์จากกระบวนการแยกอากาศไปใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเปรียบเทียบสถานะการดำเนินการแยกอากาศกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
2. ศึกษาเปรียบเทียบหน่วยผลิตของกระบวนการแยกอากาศกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
3. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุของแต่ละหน่วยผลิต
4. ศึกษาและประเมินข้อจำกัดของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการนำอุปกรณ์จากกระบวนการแยกอากาศมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
2. บริษัทผู้ผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวมีความมั่นใจด้านวิศวกรรม เมื่อนำเครื่องจักรและอุปกรณ์บางส่วนที่เคยใช้ในกระบวนการแยกอากาศนำมาใช้งานกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. ศึกษากระบวนการแยกอากาศและกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
3. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการแยกอากาศและกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
4. ทำการ Simulation เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการแยกอากาศ
5. ประเมินค่าและวิเคราะห์ผลของการนำเครื่องจักรและอุปกรณ์ของกระบวนการแยกอากาศมาใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
6. สรุปเหตุผลของความเป็นไปได้ที่จะนำหรือไม่นำเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ของกระบวนการแยกอากาศมาใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
7. จัดทำวิทยานิพนธ์เป็นรูปเล่ม

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการแยกอากาศ

2.1.1 องค์ประกอบของอากาศ

อากาศจัดเป็นของผสม โดยประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ไอน้ำ เขม่า คาร์บอนไฟ และอนุภาคต่างๆ ปะปนกันอยู่ คุณสมบัติของอากาศไม่มีสี ไม่มีรสชาติ และไม่มีกลิ่น สำหรับอากาศที่ไม่มีไอน้ำอยู่เลย เรียกว่า อากาศแห้ง (Dry Air) ส่วนอากาศที่มีไอน้ำเป็นส่วนผสมอยู่ด้วยเรียกว่า อากาศชื้น (Moist Air) ก๊าซที่มีมากที่สุดในอากาศแห้ง คือ ก๊าซไนโตรเจน ประมาณร้อยละ 78 โดยปริมาตร รองลงมาออกซิเจน ประมาณร้อยละ 21 โดยปริมาตร และอาร์กอนประมาณร้อยละ 1 โดยปริมาตร โดยองค์ประกอบของอากาศแห้งที่มีความสำคัญในกระบวนการแยกอากาศ [3] แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของอากาศแห้ง [3]

องค์ประกอบของอากาศแห้งโดยมาตรฐาน	
ก๊าซ	%โดยปริมาตร
ไนโตรเจน	78.12
ออกซิเจน	20.95
อาร์กอน	0.932
คาร์บอนไดออกไซด์	0.040
คาร์บอนมอนนอกไซด์	0.00001
ไนโตรเจนออกไซด์	0.000031
คริปทอน	0.00011
ซีนอน	0.0000086
นีออน	0.0018
ฮีเลียม	0.00052
ไฮโดรเจน	0.00005

2.1.2 วิธีการแยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน [2]

วิธีการแยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน มี 3 วิธีดังนี้

1. Membrane
2. Pressure Swing Adsorption
3. Cryogenic Rectification

ซึ่งวิธีที่ 3 Cryogenic Rectification ใช้ในผลิตไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอนมากกว่า 90% จากทั่วโลก ทั้ง 3 วิธีมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่ามีต้นทุนและค่าการผลิตอย่างไร ดังนั้นผู้ผลิตสามารถเลือกวิธีการผลิตตามปริมาณการผลิตและตามความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงขอบเขตการประยุกต์ใช้การแยกอากาศของแต่ละวิธี

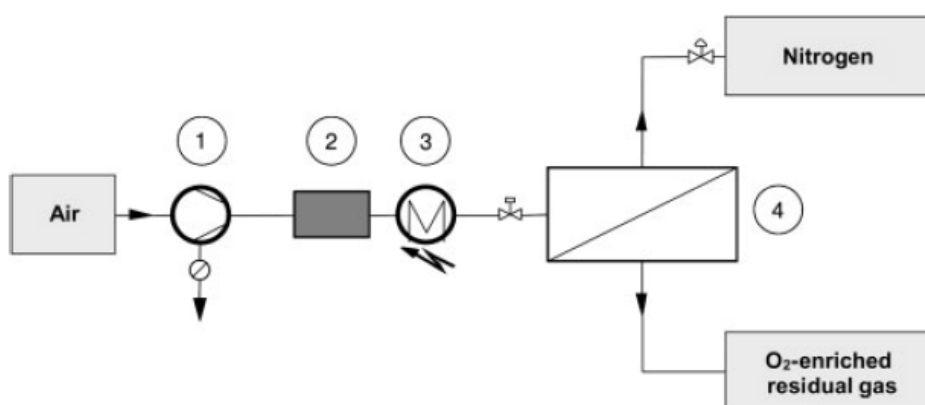
ก๊าซ	ปริมาณ (Nm ³ /h)	ความบริสุทธิ์	วิธีการแยก
ไนโตรเจน	1 – 1000	< 99.5 % ¹⁾	Membrane
	5 – 5000	< 99.5 % ¹⁾	Pressure swing adsorption
	200 – 400 000	< ppb	Cryogenic rectification
ออกซิเจน	5 – 5000	< 95 %	Pressure swing adsorption
	1000 – 150 000	< ppb	Cryogenic rectification
อาร์กอน	Cryogenic rectification		

¹⁾ รวมอาร์กอน

จากตารางที่ 2.2 แสดงขอบเขตการประยุกต์ใช้การแยกอากาศของแต่ละวิธีสรุปได้ตั้งว่า การแยกออกซิเจนไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธี membrane ส่วนวิธี cryogenic rectification สามารถแยกได้ทั้ง ไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน ในปริมาณที่มากและมีความบริสุทธิ์สูง

2.1.2.1 การแยกแบบ Membrane

รูปที่ 2.1 แสดงการแยกไนโตรเจนด้วยวิธี Membrane มีขั้นตอนดังนี้ อากาศที่ความดันบรรยากาศจะถูกอัดที่ความดัน 6-15 บาร์ โดยเครื่องอัดอากาศ (1) จากนั้นอากาศถูกป้อนเข้าสู่ตัวกรองอากาศ (2) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกได้แก่ ฝุ่น ละออง ก่อนเข้าสู่เมมเบรน (4) อากาศจะเข้าสู่เครื่องทำความร้อน (3) ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดการควบแน่นของอากาศภายในช่องเมมเบรน หน่วยเมมเบรนสามารถ กำจัดออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำออกทางด้านล่าง โดยจะแทรกเข้าไปในช่องเมมเบรน ส่วนก๊าซไนโตรเจนจะถูกแยกออกมาส่วนบนของหน่วยเมมเบรน

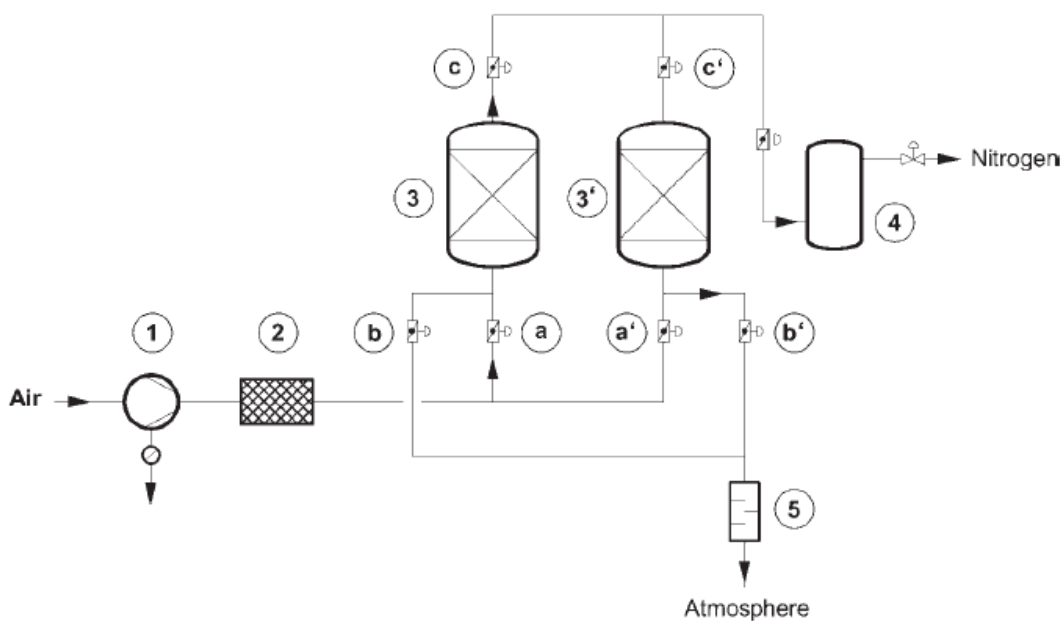


รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงการแยกไนโตรเจนโดยวิธี Membrane

2.1.2.2 การแยกแบบ Pressure Swing Adsorption

รูปที่ 2.2 แสดงการแยกไนโตรเจนด้วยวิธี Pressure Swing Adsorption มีขั้นตอนดังนี้ อากาศที่ความดันบรรยากาศจะถูกอัดที่ความดัน 5-12 บาร์ โดยเครื่องอัดอากาศ (1) จากนั้นอากาศถูกป้อนเข้าสู่ตัวกรองอากาศ (2) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกได้แก่ ฝุ่น ละออง และเข้าสู่หอดูดซับ (3) เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำและออกซิเจน ส่วนไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกด้านหอบของหอดูดซับ รวมไปถึงถังรับเพอร์ (4) ถังรับเพอร์มีไว้เพื่อป้องกันความดัน

แปรปรวนขณะหอดูดซับสลับความดัน หอดูดซับประกอบด้วย หอดูดซับ 2 หอ ซึ่งภายในบรรจุด้วย โมเลคูลาซีฟ (Molecular Sieve) เพื่อทำหน้าที่ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำและ ออกซิเจน โมเลคูลาซีฟมีการจัดเรียงตัวของอะตอมเป็นผลึกที่แน่นอน โมเลคูลาซีฟเป็น สารประกอบพวงกลมมีในซิลิเกต การดูดซับจึงเกิดขึ้นกับโมเลกุลที่มีรูปร่างและขนาดที่แน่นอน ทำให้มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลขนาดตามต้องการ โดยใช้ความดันในการดูดซับอยู่ในช่วง 5-12 บาร์ เพื่อให้ห้องค์ประกอบติดอยู่บนตัวดูดซับมากที่สุด เมื่ออิ่มตัวแล้วก็จะเปลี่ยนไปใช้ เครื่องดูดซับตัวที่สอง ในขณะที่เดียวกันเครื่องดูดซับตัวแรกที่อิ่มตัว (3') มาลดความดันลง โดยเปิด วาล์ว (b') ผ่านตัวเก็บเสียง (5) ปล่อยออกสู่บรรยากาศ เพื่อให้ห้องค์ประกอบที่ถูกดูดซับนั้นคลายตัว ออกมาตามสภาพสมดุลย์ของมันเมื่อเสร็จแล้ว ตัวดูดจะกลับสู่สภาพดั้งเดิมใช้ดูดซับได้ใหม่อีก สลับกันไปตลอดเวลา



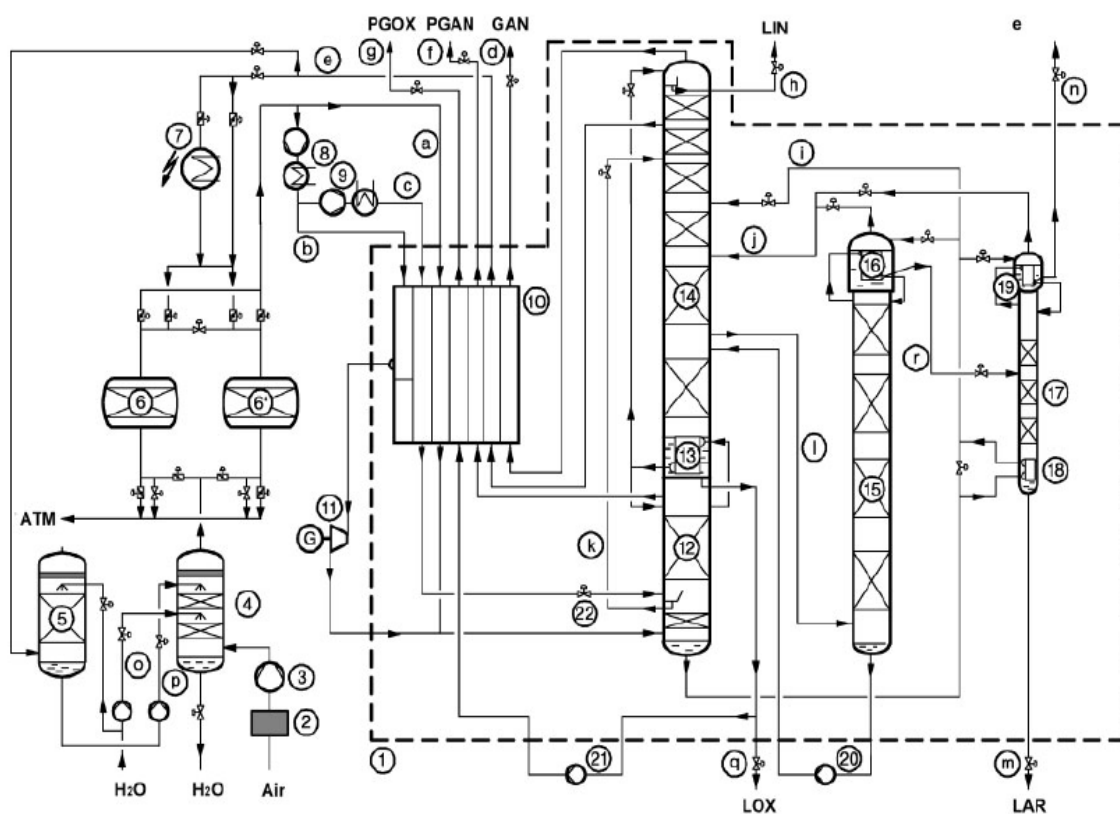
รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงการแยกไนโตรเจนโดยวิธี Pressure Swing Adsorption

2.1.2.3 การแยกแบบ Cryogenic Rectification

รูปที่ 2.3 แสดงการแยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน ด้วยวิธี Cryogenic Rectification อากาศถูกดูดผ่านตัวกรอง (2) เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกได้แก่ ฝุ่น ละออง จากนั้นอากาศถูกอัดเพิ่มความดันเป็น 5.7 บาร์ ด้วยเครื่องอัดอากาศ (3) ทำให้อากาศมี อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 100 องศาเซลเซียส แล้วลดอุณหภูมิของอากาศลงเหลือ 5 องศาเซลเซียส โดยผ่านเครื่องทำความเย็น (4) เพื่อแยกน้ำออกจากอากาศแล้วเข้าสู่หอดูดซับ (6,6') เพื่อแยกก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ออก อากาศจะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 (a) อากาศเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน (10) เพื่อลดอุณหภูมิลง ก่อนเข้าหอกลั่นความดันสูง (12) ส่วนที่ 2 (b) อากาศจะถูกอัด เพื่อเพิ่มความดันด้วยเครื่องอัดอากาศ (8) เข้าไปลดอุณหภูมิลงที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (10) แล้วลดความดันของอากาศลงด้วยเครื่องลดความดัน (11) ส่วนที่ 3 (b) เรียกว่า "internal compression" เพื่อควบคุมความดันในส่วนองค์ประกอบของออกซิเจน โดยผ่านเครื่องอัดอากาศ (9) และถูกทำให้อุณหภูมิลงและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อน (10) และลดความดันลงด้วยวาล์วลดความดัน จากนั้นเข้าสู่หอกลั่นความดันสูง (12) เบื้องต้น อากาศเหลวถูกแยกที่ความดัน 5-6 บาร์ ที่หอกลั่นความดัน ตามจุดเดือดของสารแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.2 ไนโตรเจนเหลวจะถูกกลั่นแยกออกทางด้านบนของหอความดันสูง โดยมี ออกซิเจนปนเปื้อนอยู่ไม่เกิน 1 ppm และไนโตรเจนเหลวที่มีองค์ประกอบของออกซิเจน 35-40% ออกด้านล่างของหอกลั่นความดันสูง จากนั้นไนโตรเจนเหลวที่ถูกกลั่นออกทางด้านบนของหอ ความดันสูง จะถูกส่งไปยังหอกลั่นความดันต่ำ (14) หอความดันต่ำจะดำเนินการอยู่ที่ความดัน 1.3-1.5 บาร์ และจะได้ไนโตรเจนเหลวบริสุทธิ์ ออกด้านบนของหอกลั่นความดันต่ำ ส่วนออกซิเจน เหลวบริสุทธิ์จะออกทางด้านล่างของหอกลั่นความดันต่ำ ก๊าซไนโตรเจนออกทางด้านบนของความ ดันสูง จะถูกเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยผ่านเครื่องควบแน่นหลัก (13) การเย็นตัวลงภายใน เครื่องควบแน่นหลักโดยการกลายเป็นออกซิเจนเหลวจากกันหอกลั่นความดันต่ำภายในหอกลั่น เครื่องควบแน่นและเครื่องกลายเป็นไอ ได้ถูกออกแบบให้เป็นหน่วยที่มีการถ่ายเทความร้อนร่วม ภายในหอกลั่น ในส่วนของของเหลวควบแน่นบางส่วนจะถูกป้อนกลับ (reflux) เข้าสู่หอกลั่นความ ดันสูง และของเหลวควบแน่นบางส่วนที่ถูกขยายตัวจะถูกส่งไปยังหอกลั่นความดันต่ำ

ของเหลวที่อุดมไปด้วยออกซิเจนจากกันของหอกลั่นความดันต่ำที่มีการ ขยายตัว (i) จะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นความดันต่ำโดยผ่านวาล์วลดความดันลงประมาณ 1.3-1.5 บาร์ และส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปที่ด้านบนของหอกลั่นอาร์กอนแบบหยาบ (15) และ หอกลั่นอาร์กอน

บริสุทธิ์ (17) ซึ่งเป็นหน่วยที่มีการถ่ายเทความร้อนร่วมระหว่างเครื่องควบแน่นและเครื่องกลายเป็นไอ (16), (19) เครื่องควบแน่นด้านบนของทั้งสองหอมีความเป็นในการป้อนกลับไปยังหอเดิม (reflux) อากาศเหลืออีกส่วนหนึ่งจากกันของหอกลั่นความดันที่อุดมไปด้วยออกซิเจน (k) จะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นความดันต่ำเช่นกัน โดยผ่านวาล์วลดความดันลงประมาณ 1.3-1.5 บาร์ ส่วนก๊าซออกซิเจนที่ออกจากหอกลั่นความดันต่ำ (l) ที่มีอาร์กอนประมาณ 5-10% โมล มีไนโตรเจนน้อยกว่า 100 ppm และมีออกซิเจนประมาณ 85-95% จะถูกส่งไปยังหอกลั่นอาร์กอน (15) เพื่อกลั่นแยกก๊าซอาร์กอนและอาร์กอนเหลวที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% โมล มีออกซิเจนประมาณ 1 ppm ออกทางด้านบนของหอกลั่น (17) ส่วนอาร์กอนที่ยังมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่จะออกทางด้านล่างหอกลั่นอาร์กอนและกลับเข้าสู่หอกลั่นความดันต่ำ (14) เพื่อทำการกลั่นแยกออกซิเจนต่อไป



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงการแยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน โดยวิธี Cryogenic

Rectification

2.2 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

2.2.1 องค์ประกอบก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ก่อกำเนิดและสะสมตัวอยู่ใต้ผิวโลกนั้นมีหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ บางแห่งประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนจำพวกมีเทนอย่างเดียว บางแห่งประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนผสมกันหลายชนิด อันได้แก่ มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน เพนเทน เฮกซ์เซน และอื่น ๆ สัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของก๊าซแต่ละแหล่งที่พบ ก๊าซธรรมชาติบางแห่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบถึง 70 % และอาจมีสารอื่น ๆ ปนอยู่บ้าง เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซไนโตรเจน และน้ำ ถ้าก๊าซธรรมชาตินั้นมีสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นมีเทนเกือบทั้งหมดเราเรียกว่า "ก๊าซแห้ง" แต่ถ้ามีสารไฮโดรคาร์บอนจำพวก ก๊าซโพรเพน ก๊าซบิวเทน หรือไฮโดรคาร์บอนเหลว เช่น เพนเทน เฮกซ์เซน หรือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ ประกอบอยู่ในปริมาณพอสมควร เราเรียกก๊าซนี้ว่า "ก๊าซชื้น" ซึ่งถ้าจะเปรียบเทียบกับอากาศก็คืออากาศแห้งซึ่งจะมีไอน้ำน้อยมาก และอากาศชื้นซึ่งมีไอน้ำปนอยู่สูงนั่นเอง [2]

ในปัจจุบันก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในประเทศไทยมาจากหลายแหล่งและมีองค์ประกอบในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตามแหล่งที่ขุดพบ แสดงดังตารางที่ 2.3 โดยก๊าซธรรมชาติที่ใช้ส่วนใหญ่ของสถานีก๊าซในกรุงเทพและปริมณฑลมาจากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากแหล่งอ่าวไทย และมีโรงแยกก๊าซที่ระยอง ทางตะวันตกจากแหล่งของประเทศเมียนมา ทางภาคใต้จากขอมในจังหวัดนครศรีธรรมราช ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากแหล่งน้ำพอง ทางภาคเหนือจากแหล่งน้ำมันสิริกิติ์ในจังหวัดกำแพงเพชร [4] และจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 ที่เป็น sale gas [6]

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ [5, 6]

องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติโดยมาตรฐาน %โดยโมล						
ก๊าซ	ตะวันออก (2006-2009)	ตะวันตก (2007)	ชนอม (2007)	น้ำพอง (2007)	สิริกิติ์ (2007)	โรงแยกที่ 5 Sale gas (2010)
มีเทน	74.1-77.5	72.4	62.6-69.6	95.5	84.7-85.4	97
อีเทน	5.4-6.0	3.5	8.3-9.0	0.6	11.2-11.4	0.479
โพรเพน	1.5-2.4	1.06	0.72-5.1	0.07	1.34-1.81	0.002
บิวเทน	0.59-0.9	0.47	0.02-0.38	0.06	0.24-0.48	-
เพนเทน	0.1-0.15	0.1	0.05-0.19	-	0.07-0.14	-
เฮกเซน	0.02-0.04	0.07	0.01-0.3	0.02	0.03-0.065	-
ไนโตรเจน	2.0-2.2	16	0.7-0.76	1.8	0.5-0.6	2.509
คาร์บอนไดออกไซด์	12.7-14.4	6.2-6.4	20.3-21.9	2.0	1	-

2.2.2 ก๊าซธรรมชาติเหลวคือ

ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas: LNG) คือ ก๊าซธรรมชาติที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ ให้กลายเป็นของเหลวที่ -162 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ เป็นของเหลวที่มีความเย็นยิ่งยวดเรียกว่า "Cryogenic liquid" ปริมาตรจะลดลงประมาณ 600 เท่าของสถานะก๊าซ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีองค์ประกอบหลักคือ มีเทน ($\text{Methane} : \text{CH}_4$) ประมาณ 85-95% มีคุณสมบัติไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่กัดกร่อนและไม่เป็นพิษ นอกจากนี้หากเกิดการรั่วไหล ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องหาทางขจัด เนื่องจาก LNG จะระเหยไปในอากาศอย่างรวดเร็วและไม่เหลือสารตกค้างใดๆไว้ เนื่องจาก LNG ไม่ได้ถูกบรรจุในถังโดยใช้ความดันสูง ดังนั้นจึงไม่เกิดการระเบิดใดๆหากเกิดรอยแตกขึ้นที่ถัง ทั้งนี้ปัจจัยเฉพาะที่จะทำให้เกิดการติดไฟขึ้นได้นั้น LNG ต้องกลับไปอยู่ในสถานะก๊าซรวมทั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมปิดโดยมีปริมาณก๊าซในอากาศระหว่าง 5-15% แล้วมีประกายไฟเกิดขึ้น [1]

2.2.3 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว [10]

ในอุตสาหกรรมการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ในขณะนี้มากกว่า 40 ปีของประวัติศาสตร์ นับตั้งแต่เริ่มต้นขึ้นที่โรงงานคาเมลล์ (Camel Plant) ในประเทศแอลจีเรีย (Algeria) ในปี 1964 จากจุดเริ่มต้นของการพัฒนาของตนจะได้รับการมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากแหล่งก๊าซธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่และมีการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ที่เป็นไปได้ เพื่อให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มเทคโนโลยีหลักดังนี้

1) เทคโนโลยีผสมสารทำความเย็น (Mixed Refrigerant Technologies)

โดยใช้สารทำความเย็นในการควบแน่นกระบวนการให้มีสถานะเป็นของเหลว โดยการใช้ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent Heat of Vaporisation) ในการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลง

2) เทคโนโลยีการขยายตัว (Expansion-based Technologies)

เป็นกระบวนการที่สารทำความเย็นจะอยู่ในสถานะของก๊าซเท่านั้น โดยการใช้ความร้อนที่เหมาะสม (Sensible Heat) ในการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลง

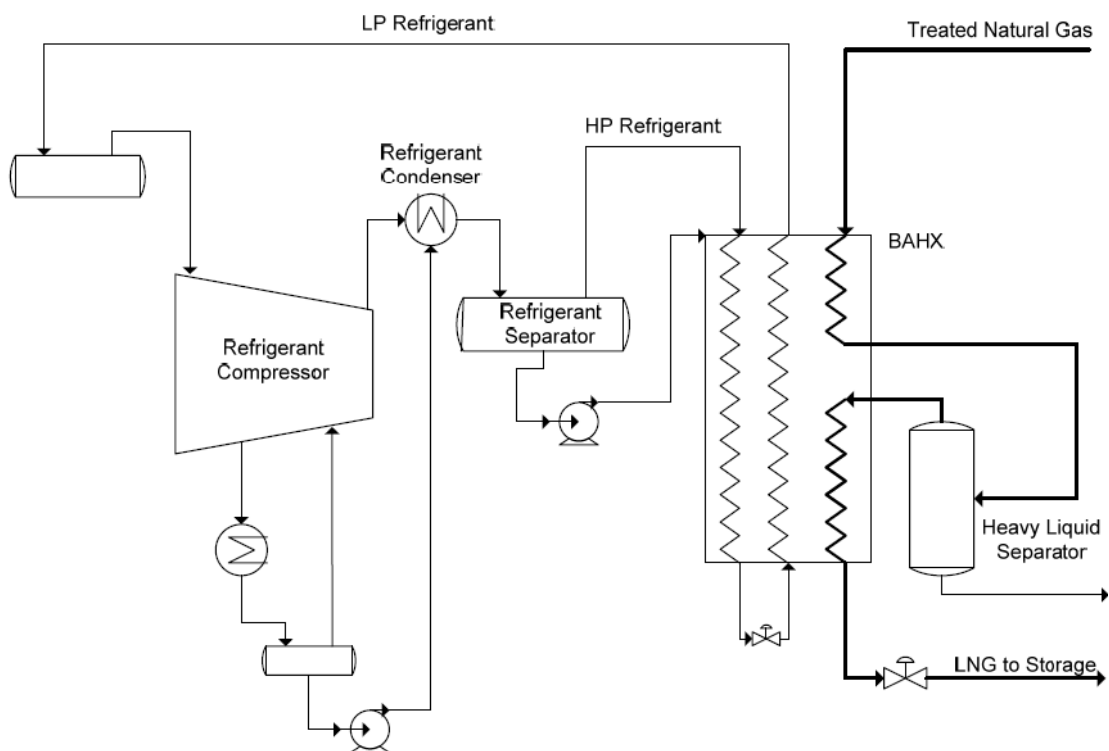
ตารางที่ 2.4 สรุปเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

เทคโนโลยี		ชื่อกระบวนการ	บริษัท
เทคโนโลยีผสมสารทำความเย็น (Mixed Refrigerant : MR)	เทคโนโลยีผสมสารทำความเย็นแบบเดี่ยว (Single Mixed Refrigerant : SMR)	PRICO	Black & Veatch
		AP-M	APCI
		LiMuM	Linde
	Precooling + SMR	OSMR	LNG Limited
เทคโนโลยีการขยายตัว (Expansion-based)		N2 expansion cycles	APCI, Mustang
		Niche LNG	CB&I Lummus

2.2.3.1 เทคโนโลยีผสมสารทำความเย็น (Mixed Refrigerant Technologies)

2.2.3.1.1 PRICO[®] (Poly Refrigerated Integrated Cycle Operation)

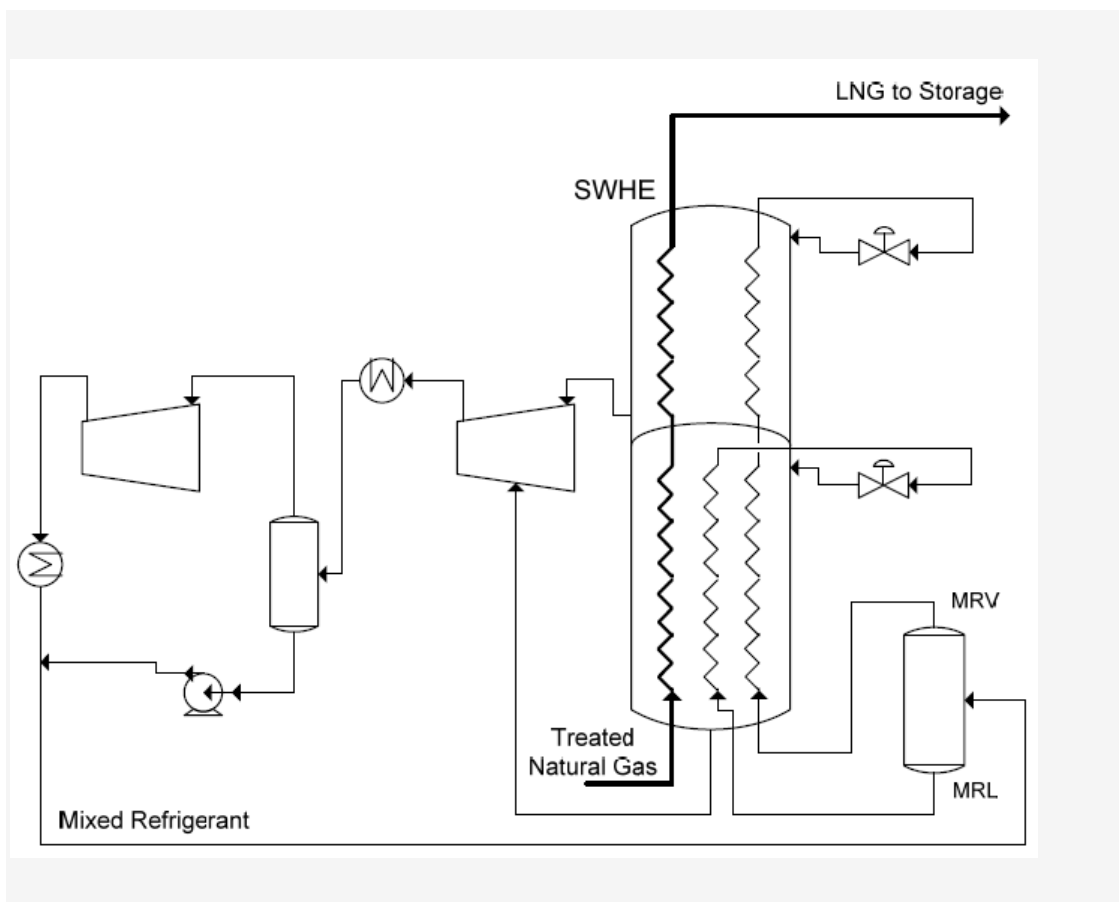
กระบวนการ PRICO ได้รับอนุญาตจากบริษัท Black Veatch Pritchard Corporation แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งกระบวนการประกอบด้วยหนึ่งรอบของสารทำความเย็นผสมที่ประกอบด้วยส่วนผสมของก๊าซมีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน ไนโตรเจน และไอโซเพนเทน ในบางกระบวนการ การแลกเปลี่ยนความร้อนหลักจนเป็นความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic) ที่ใช้ในกระบวนการนี้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอลูมิเนียมเชื่อม (Brazed Aluminium Heat Exchanger, BAHX) ซึ่งจะอยู่ภายในกล่องเก็บความเย็นอีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี PRICO[®] (Poly Refrigerated Integrated Cycle Operation)

2.2.3.1.2 AP-M™ (Air Product & Chemicals Inc.)

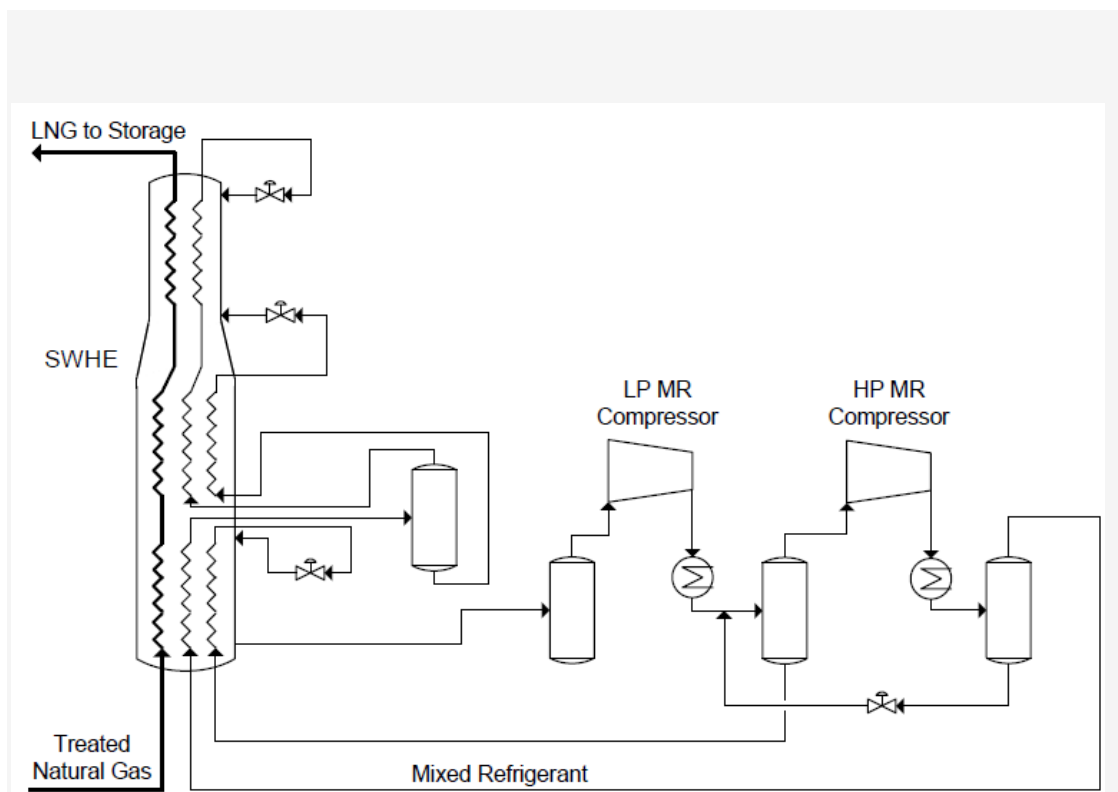
กระบวนการ AP-M ได้รับอนุญาตจากบริษัท APCI (Air Products & Chemicals Inc.) แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นกระบวนการการผสมสารทำความเย็นแบบเดี่ยวโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบความดันเกลียวคู่ (Spiral Wound Heat Exchanger) ในกระบวนการนี้สารทำความเย็นผสมจะถูกทำให้กลายเป็นไอโดยใช้ความดันแตกต่างกันสองระดับ การใช้ความดันแตกต่างกันสองระดับนี้ทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าการใช้ความดันระดับเดียว ซึ่งจะอยู่ภายในกล่องเก็บความเย็นอีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี AP-M (Air Product & Chemicals Inc.)

2.2.3.1.3 LiMuM[®] (Linde Multistage Mixed Refrigerant)

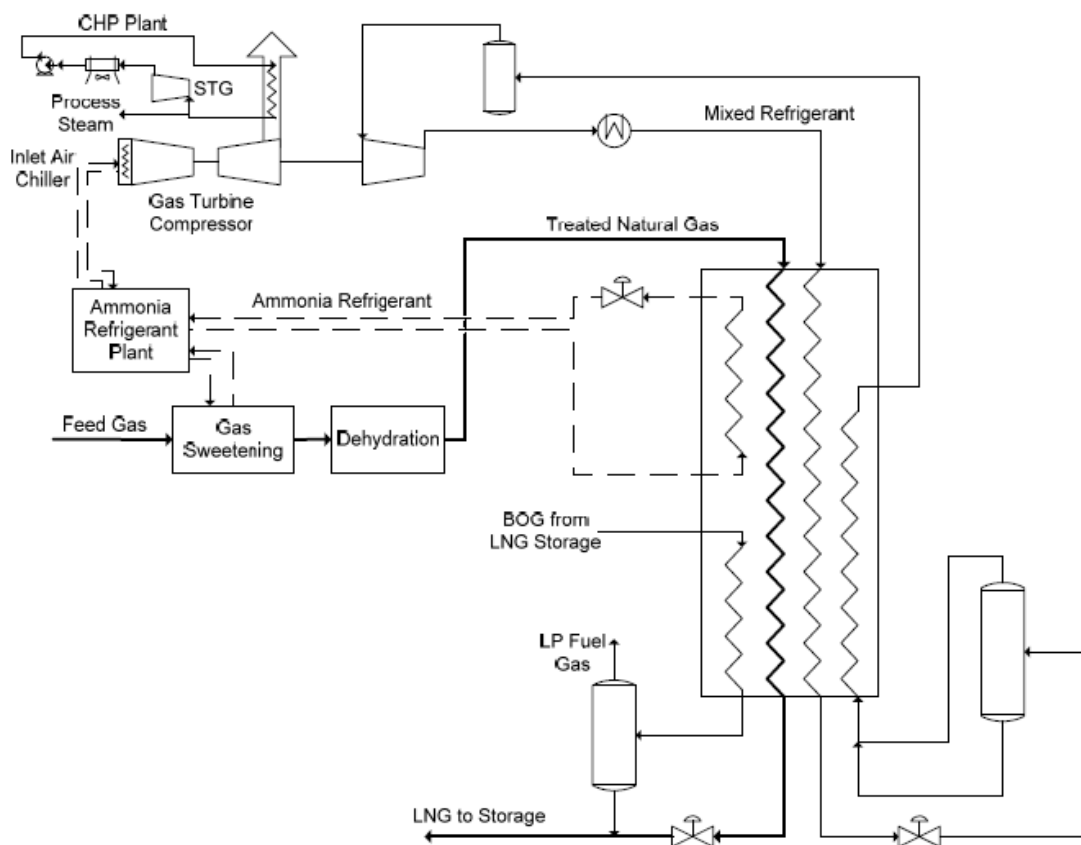
กระบวนการ LiMuM[®] ได้รับอนุญาตจากบริษัท Linde แสดงดังรูปที่ 2.6 เป็นกระบวนการการผสมสารทำความเย็นแบบเดี่ยวโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบความดันเกลียวคู่ (Spiral Wound Heat Exchanger) ในกระบวนการนี้สารทำความเย็นผสมจะถูกทำให้กลายเป็นไอโดยใช้ความดันแตกต่างกันสามระดับ ระดับที่ 1 คือการ ลดอุณหภูมิเบื้องต้น (Precooling) ระดับที่ 2 คือการกลายเป็นของเหลว (Liquefaction) และระดับที่ 3 คือ การทำให้คงสถานะเป็นของเหลวยิ่งยวด (Subcooling) ในการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลง การใช้ความดันแตกต่างกันทั้งสามระดับนี้ทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าการใช้ความดันระดับเดียว เทคโนโลยีนี้ได้รับความนิยมในกระบวนการผลิตที่มีปริมาณสูง ซึ่งจะอยู่ภายในกล่องเก็บความเย็นอีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี LiMuM[®] (Linde Multistage Mixed Refrigerant)

2.2.3.1.4 OSMR™ (Optimised Mixed Refrigerant)

กระบวนการ OSMR นำเสนอโดยบริษัท LNG แสดงดังรูปที่ 2.7 เป็นกระบวนการการผสมสารทำความเย็นแบบเดี่ยว โดยใช้ร่วมกับเครื่องทำความเย็นแอมโมเนียมาตรฐานเป็นกระบวนการดูดซับก๊าซในวงจรเทคโนโลยีผสมสารทำความเย็นแบบเดี่ยว (SMR) ประกอบด้วยเครื่องอัดหลัก (Main Compressor) แบบขั้นตอนเดียว (Single Stage Unit) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอลูมิเนียมเชื่อม (Brazed Aluminium Heat Exchanger, BAHX) อยู่ในกล่องทำความเย็น (Cold Box) ซึ่งมี 3 กระแสหลัก และอีก 2 กระแสรองแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอลูมิเนียมเชื่อม การใช้ประโยชน์จากกระบวนการแอมโมเนียจะช่วยให้การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการและการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ (LNG) เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีผสมสารทำความเย็นแบบเดี่ยวแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังช่วยในการลดขนาดของกล่องทำความเย็น (Cold Box) อีกด้วย

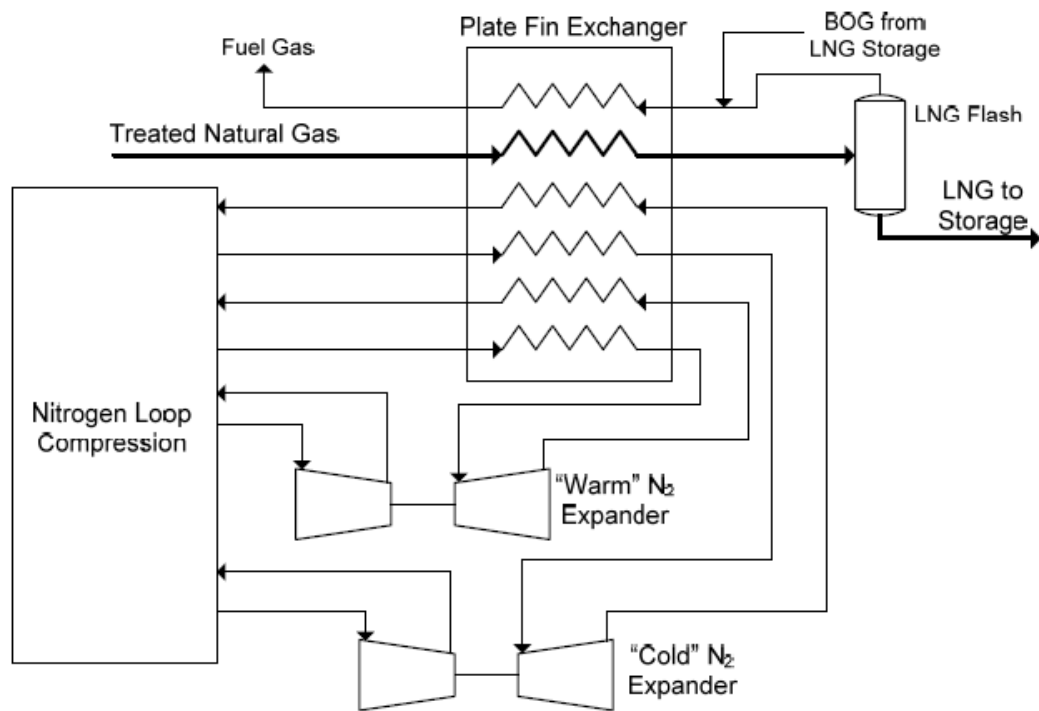


รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี OSMR (LNG Limited)

2.2.3.2 เทคโนโลยีการขยายตัว (Expansion-based Technologies)

2.2.3.2.1 Nitrogen Expansion Cycle

กระบวนการนี้เป็นการใช้ในโตรเจนเป็นสารทำความเย็นในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว แสดงดังรูปที่ 2.8 บางกระบวนการผลิตอาจจะใช้วงจรเพิ่มความดันและลดความดันเพียงวงจรเดียวหรืออาจจะสองวงจรคู่ได้เช่นกันเป็นการเพิ่มเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมภายในวงจรของกระบวนการ บริษัทนำเสนอนี้ได้แก่ APCI, Hamworthy, BHP Petroleum Pty Ltd, Mustang Engineering และ Kanfa Aragon

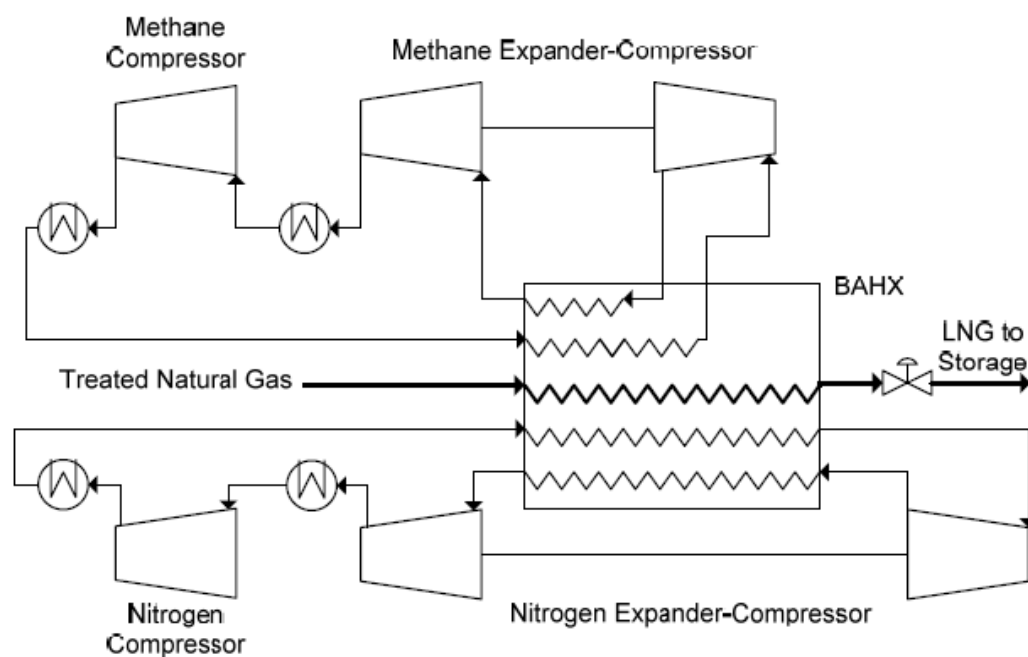


รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี Nitrogen Expansion Cycle

(Mustang)

2.2.3.2.2 Niche LNGSM

กระบวนการนี้เสนอโดยบริษัท CB&I Lummus เป็นการใช้ 2 วงจรร่วมกันในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว แสดงดังรูปที่ 2.9 คือ วงจรที่ 1 ใช้ไนโตรเจนเป็นสารทำความเย็น และวงจรที่ 2 ใช้มีเทนเป็นสารทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยมีการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอลูมิเนียมเชื่อม (Brazed Aluminium Heat Exchanger, BAHX) อยู่ภายในกล่องทำความเย็น (Cold Box)



รูปที่ 2.9 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเทคโนโลยี Niche LNG (CB&I Lummus)

2.2.3.3 ข้อดีและข้อเสียของทั้งสองเทคโนโลยีแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีผสมสารทำความเย็นและเทคโนโลยีการขยายตัว [10]

เทคโนโลยี	ข้อดี	ข้อเสีย
ผสมสารทำความเย็น (Mixed Refrigerant : MR)	<ul style="list-style-type: none"> - ให้ประสิทธิภาพสูง - มีความยืดหยุ่นของสารป้อนในด้านองค์ประกอบและที่สถานะอุณหภูมิห้อง - อ้างอิงในอุตสาหกรรมที่ความจุระหว่าง 0.5-1.5 เมตริกตันต่อปี - ที่ single train ผลิตได้ถึง 1.8 มิลลิวตันต่อปี 	<ul style="list-style-type: none"> - สารทำความเย็นที่ใช้เป็นสารไวไฟ - เนื่องจากเป็นสารทำเย็นที่มีคุณสมบัติติดไฟจึงจำเป็นต้องมีระบบเผาไหม้ (Flare System) - ใช้อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตจำนวนมาก - การดำเนินกระบวนการค่อนข้างยาก
การขยายตัว (Expansion-based)	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตน้อย - ง่ายต่อการดำเนินการและ Start-up - ใช้พื้นที่ในการผลิตน้อย - ง่ายต่อการปรับแต่งกระบวนการผลิต - สารทำความเย็นที่ใช้เป็นสารไม่ติดไฟ มีความปลอดภัยสูง 	<ul style="list-style-type: none"> - ให้ประสิทธิภาพต่ำ - ใช้สารทำความเย็นที่มีอัตราการไหลสูง - ที่ single train ผลิตได้เพียง 0.8 เมตริกตันต่อปี - ไม่มีอ้างอิงในอุตสาหกรรมที่ความจุระหว่าง 0.5-1.5 มิลลิวตันต่อปี

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jung-in Yoon, Ho-saeng Lee, Seung-taek Oh, Sang-gyu Lee and Keunhyung Choi [11] บทความนี้ได้กล่าวถึงความหลากหลายประเภทของก๊าซธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในวงจรการทำให้เหลว ได้มีการออกแบบระบบการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้วงจรของสารทำความเย็นผสมร่วมกัน คือ โพรเพน เอทีลีน และมีเทน ได้มีการเชื่อมโยงขั้นตอนทั้งสามกระบวนการทำความเย็นไว้ด้วยกันโดยการบีบอัด การควบแน่น และการขยายตัวของสารทำความเย็นเพื่อทำให้ก๊าซธรรมชาติเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว

Cycles Jorge H. Foglietta – Manager of Process Engineering, ABB Lummus Global – Randall Division [12] บทความนี้ได้อธิบายกระบวนการในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว กระบวนการนี้เป็นกระบวนการผลิตแอลเอ็นจีที่มีคุณภาพ โดยวิธีการทำความเย็นที่สร้างโดยการขยายตัวของก๊าซ isentropic ใช้เป็นตัวแทนของสารทำความเย็น โดยวิธีการนี้ไม่มีเครื่องทำความเย็นที่เป็นกลไกแบบดั้งเดิม ใช้วงจรการบีบอัด ขยายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน โดยใช้สารทำความเย็นอย่างใดอย่างหนึ่งเป็นก๊าซมีเทนหรือก๊าซไนโตรเจน เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า LNG turboexpander เครื่องทำความเย็นจะมีสถานะในเฟสก๊าซเสมอ

Michael Barclay and Noel Denton, Foster Wheeler Energy Limited, UK [8] ผู้เขียนได้เขียนแสดงความคิดเห็นการผลิตแอลเอ็นจีที่มีความสะดวกในการดำเนินงาน ลดพื้นที่การดำเนินงาน ความปลอดภัยของกระบวนการและประสิทธิภาพในการทำให้เหลวบนแทน offshore โดยการสร้างแบบจำลองการใช้ N2 Expander Cycle แทนการใช้เทคโนโลยีผสมสารทำความเย็นแบบดั้งเดิม (MR)

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาระบบการแยกอากาศและกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกคือการสร้างแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II ขั้นตอนที่สองคือการศึกษาสภาวะการดำเนินงานของอุปกรณ์ต่างๆ ขั้นตอนที่สามารถเลือกอุปกรณ์ที่มีสภาวะใกล้เคียงกันนำมาดัดแปลงใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดในการศึกษาดังแสดงต่อไปนี้

3.1 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PRO II

3.1.1 กระบวนการแยกอากาศ

แบบจำลองกระบวนการของกระบวนการแยกอากาศสำหรับผลิตก๊าซไนโตรเจนที่มีก๊าซออกซิเจนปนเปื้อนน้อยกว่า 10 ppm และออกซิเจนเหลวที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.5% และก๊าซอาร์กอนที่มีก๊าซไนโตรเจนปนเปื้อน 0.5-1% และมีก๊าซออกซิเจนปนเปื้อน 1-2% ได้ถูกสร้างด้วยโปรแกรม PRO II ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตสารความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic) การสร้างแบบจำลองกระบวนการต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในกระบวนการที่ต้องการสร้างเป็นอย่างดี ต้องทราบถึงส่วนประกอบและรายละเอียดต่างๆ ของกระบวนการ เพื่อจะได้กำหนดรายละเอียดเหล่านั้น ลงในแบบจำลองให้เหมือนกระบวนการจริงมากที่สุดและถูกต้องมากที่สุด เพื่อที่จะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลทำให้ผลที่ได้จากแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นตัวแทนกระบวนการจริงได้

3.1.1.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศ

- 1) ศึกษาส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการแยกอากาศ
- 2) ศึกษาข้อมูลและคุณสมบัติของสารป้อนต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการแยกอากาศ

อากาศ

- 3) ศึกษาสภาวะของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในกระบวนการแยกอากาศ
- 4) สร้างแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II
- 5) ใส่คุณสมบัติของสารป้อนต่างๆ ที่จำเป็นในกระบวนการแยกอากาศ
- 6) ใส่ข้อมูลของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ลงในแบบจำลอง
- 7) ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลอง
- 8) ทำการปรับแบบจำลองกระบวนการ เพื่อให้ผลที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับผลที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงมากที่สุด
- 9) สรุปสภาวะของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการแยกอากาศ

3.2 การศึกษาสภาวะการดำเนินงานของอุปกรณ์ต่างๆ

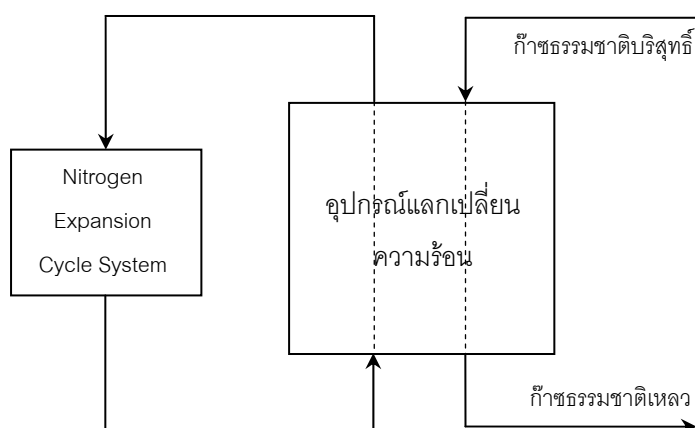
3.2.1 สภาวะการดำเนินการของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศได้แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการแยกอากาศ

หมายเลข	อุปกรณ์
C01_1 st	อุปกรณ์อัดอากาศ (Air Compressor 1 st)
C01_2 nd	อุปกรณ์อัดอากาศ (Air Compressor 2 nd)
C01_3 rd	อุปกรณ์อัดอากาศ (Air Compressor 3 rd)
AF01_1 st	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (After Cooler 1 st)
AF01_2 nd	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (After Cooler 2 nd)
AF01_3 rd	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (After Cooler 3 rd)
R01	อุปกรณ์ทำความเย็นแอมโมเนีย (NH ₃ Refrigerator Unit)
C02	อุปกรณ์อัดอากาศความดันสูง (HP Air Compressor)
EXP02	อุปกรณ์ลดความดันแบบเทอร์โบ (Turbo Expander)
HX01	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Brazed Aluminium Heat Exchanger)
HX02	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรอง (Sub-cool Brazed Aluminium Heat Exchanger)
T01	หอกลั่นความดัน (Pressure Distillation Column)
T02	หอกลั่นความดันต่ำ (Low Pressure Distillation Column)
T03	หอกลั่นอาร์กอน (Argon Distillation Column)

3.2.2 สำหรับคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติที่นำมาพิจารณาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้แหล่งก๊าซธรรมชาติตามตารางที่ 2.3 และนำก๊าซธรรมชาติมาลดอุณหภูมิลงจนมีสถานะเป็นของเหลวที่เรียกว่า ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas : LNG) ซึ่งเป็นสารที่มีความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic) โดยใช้เทคโนโลยีการขยายตัว (Expansion-based Technologies) และ

เรียกกระบวนการนี้ว่า “Nitrogen Expansion Cycle” กระบวนการนี้เป็นกระบวนการใช้ในโตรเจน เป็นสารทำความเย็นในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวเพราะไนโตรเจนมีจุดเดือดต่ำกว่ามีเทน โดยใช้ วงจรการเพิ่มความดันและการลดความดันของก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นกระบวนการทำความเย็น หมุนเวียนภายในระบบ [7-9] แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังแสดงกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวเบื้องต้น

3.3 ขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ที่มีสภาวะใกล้เคียงกันนำมาดัดแปลงใช้งานกับ กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

โดยเปรียบเทียบสภาวะการดำเนินของอุปกรณ์ที่มีสภาวะใกล้เคียงกันเพื่อนำมา ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำมาดัดแปลงใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว โดยพิจารณา จากค่าอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล กำลังของเครื่องจักร พลังงานความร้อน ชนิดของของไหล และวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งสองกระบวนการ

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กระบวนการแยกอากาศ

4.1.1 คุณสมบัติของสารป้อน

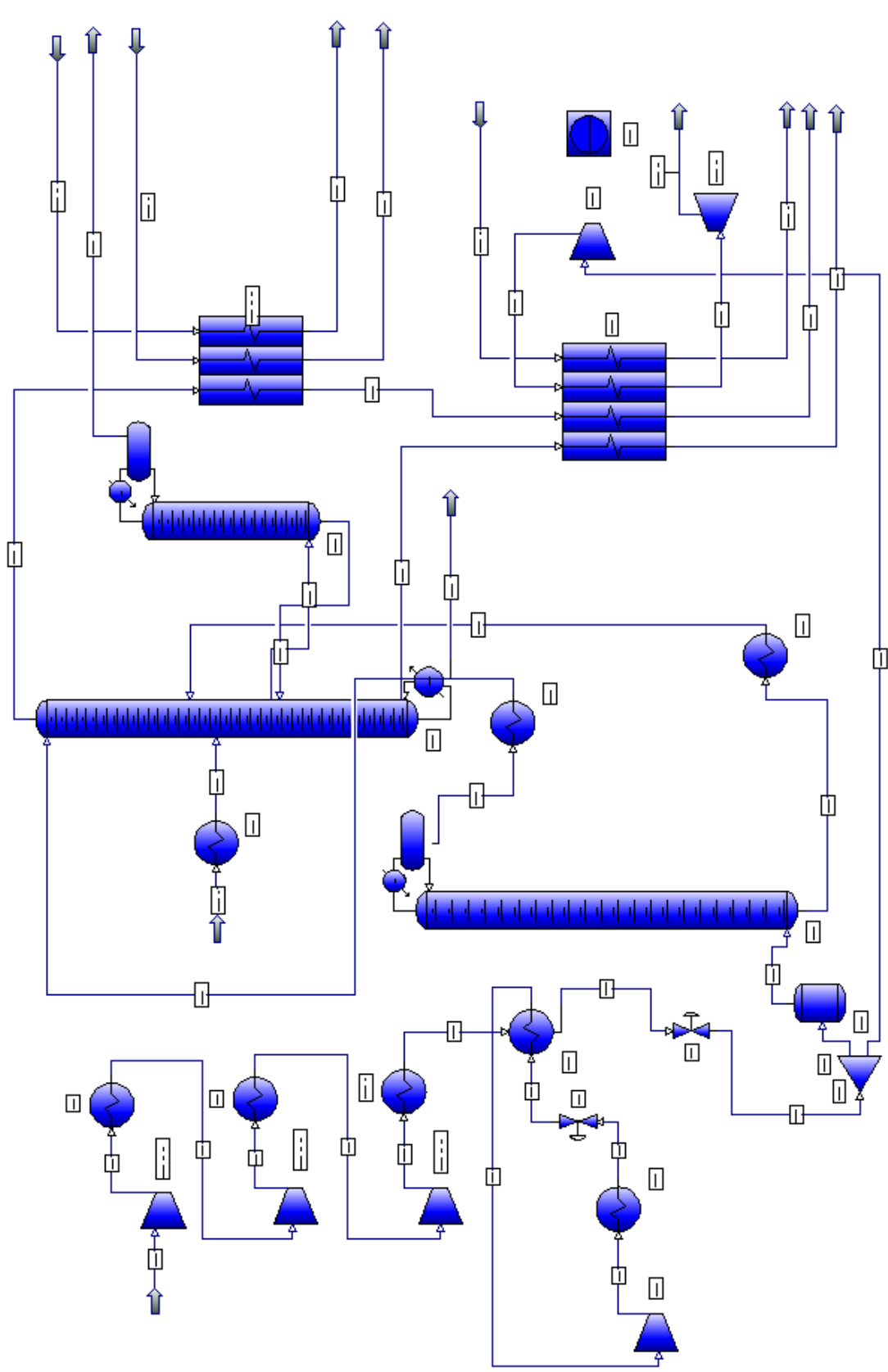
สารป้อนของกระบวนการคือ ไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอากาศแห้ง ในแบบจำลองนี้ไม่พิจารณาถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำที่อยู่ในอากาศ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของอากาศป้อน

องค์ประกอบ	%โมล
ไนโตรเจน	78
ออกซิเจน	21
อาร์กอน	1

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรของกระบวนการแยกอากาศ

ตัวแปร	ค่าสถานะ
อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง	5500
อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	25
ความดัน, บารายากาศ	1



รูปที่ 4.2 แบบจำลองกระบวนการแยกอากาศที่สร้างด้วยโปรแกรม PRO II

4.1.3 อัดอากาศ

อากาศหลังจากผ่านตัวกรองอากาศจะเข้าสู่อุปกรณ์อัดอากาศ (Air Compressor, C01) เพื่อเพิ่มความดันของอากาศเป็น 5.7 บาร์เกจ

ตารางที่ 4.3 แสดงสภาวะของอุปกรณ์อัดอากาศ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
1) อุปกรณ์อัดอากาศขั้นที่ 1 (ความดันเพิ่มขึ้น 1.5 บาร์เกจ, กำลังที่ใช้ 5240 กิโลวัตต์)			
อากาศขาเข้าอุปกรณ์อัดอากาศ	25	0	5500
อากาศขาออกอุปกรณ์อัดอากาศ	142	1.5	5500
2) อุปกรณ์อัดอากาศขั้นที่ 2 (ความดันเพิ่มขึ้น 1.6 บาร์เกจ, กำลังที่ใช้ 2890 กิโลวัตต์)			
อากาศขาเข้าอุปกรณ์อัดอากาศ	38	1.4	5500
อากาศขาออกอุปกรณ์อัดอากาศ	103	3.0	5500
3) อุปกรณ์อัดอากาศขั้นที่ 3 (ความดันเพิ่มขึ้น 2.8 บาร์เกจ, กำลังที่ใช้ 3080 กิโลวัตต์)			
อากาศขาเข้าอุปกรณ์อัดอากาศ	38	2.9	5500
อากาศขาออกอุปกรณ์อัดอากาศ	107	5.7	5500

4.1.4 ลดอุณหภูมิอัดอากาศ

อากาศเมื่อออกจากอุปกรณ์อัดอากาศจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องทำการลดอุณหภูมิลงโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (After Cooler, AF01) ซึ่งระบายความร้อนด้วยน้ำ ลดอุณหภูมิของอากาศลงเหลือ 38 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 แสดงสภาวะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
1) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 1 (ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ 16.82 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง)			
อากาศขาเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน	142	1.5	5500
อากาศขาออกอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน	38	1.4	5500
2) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 2 (ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ 10.44 เมกกะกิโลจูล/ ชั่วโมง)			
อากาศขาเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน	103	3.0	5500
อากาศขาออกอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน	38	2.9	5500
3) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 3 (ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ 11.65 เมกกะกิโลจูล/ ชั่วโมง)			
อากาศขาเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน	107	5.7	5500
อากาศขาออกอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน	38	5.6	5500

4.1.5 ลดอุณหภูมิอากาศเบื้องต้น

จากนั้นอากาศจะผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแอมโมเนีย (NH₃ Refrigerator Unit, R01) โดยใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น ทำให้อุณหภูมิจากอากาศลดลงเหลือ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.5 แสดงสภาวะของอุปกรณ์ทำความเย็นแอมโมเนีย

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
อากาศเข้าเครื่องทำความเย็น	38	5.60	5500
อากาศขาออกเครื่องทำความเย็น	5	5.50	5500
ความดันแตกต่าง (ΔP) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเชลล์ (Shell Side) 0.10 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 300 กิโลวัตต์			

4.1.6 ลดอุณหภูมิของอากาศลงที่ความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic)

อากาศบริสุทธิ์ที่ออกจากหอดูดซับ จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ร้อยละ 90 จะเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX1) หรือที่เรียกว่า Brazed Aluminum Heat Exchanger ซึ่งอยู่ภายในกล่องเก็บความเย็น (Cold box, CB01) ทำให้อุณหภูมิอากาศบริสุทธิ์ขาเข้าจาก 5 องศาเซลเซียส ลดลงเป็น -172 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหล 4950 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากนั้นจะเข้าสู่หอกลั่นความดัน (Pressure Column, T01) เพื่อทำการแยกองค์ประกอบหลักๆของอากาศคือ ไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน

4.1.7 แยกไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอนบริสุทธิ์

เมื่อลดอุณหภูมิของอากาศลงจนถึงอุณหภูมียิ่งยวดแล้วอากาศจะเข้าสู่หอกลั่นความดัน (Pressure Column, T01) มีอัตราการไหล 4950 กิโลเมตร/ชั่วโมง เพื่อทำการแยกองค์ประกอบหลักๆของอากาศคือ ไนโตรเจน ออกซิเจนและอาร์กอน

ผลิตภัณฑ์ที่ออกทางด้านบนหอกลั่นความดัน (Pressure Column, T01) คือ ไนโตรเจนเหลวที่มีความบริสุทธิ์ 99.84% มีอาร์กอนปนเปื้อน 0.16% และมีออกซิเจนปนเปื้อนน้อยกว่า 10 ppm

ผลิตภัณฑ์ที่ออกทางด้านล่างหอกลั่นความดัน (Pressure Column, T01) คือ ไนโตรเจนเหลวที่มีความบริสุทธิ์เพียง 59.43% มีอาร์กอนปนเปื้อน 1.59% และอุดมไปด้วยออกซิเจน 38.98%

ตารางที่ 4.6 แสดงสภาวะของหอกลับความดัน

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ด้านบนหอกลับความดัน	-177.12	4.86	2288.25 (ของเหลวมี N ₂ 99.84% โมล, Ar 0.16% โมลและ O ₂ < 10 ppm)
ด้านล่างหอกลับความดัน	-172.57	5.03	2661.75 (ของเหลวมี N ₂ 59.43% โมล, Ar 1.59% โมลและ O ₂ 38.95 % โมล)
ความดันแตกต่าง (ΔP) ภายในหอกลับความดัน 0.17 บาร์เกจ			
ค่าความร้อน -7100 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง			

จากข้อที่ 4.1.6 อากาศส่วนที่ 2 ร้อยละ 10 โดยมีอัตราการไหล 550 กิโลโมล/ชั่วโมง เข้าสู่เครื่องอัดอากาศ (Compressor, C02) จะทำการอัดเพิ่มความดันจาก 5.25 บาร์เกจ เป็นความดันที่ 8.11 บาร์เกจ เพื่อควบคุมความดันในส่วนการแยกองค์ประกอบของออกซิเจน จากนั้นอากาศจะเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX1) ลดอุณหภูมิลงเหลือ -113.15 องศาเซลเซียส และอากาศจะเข้าสู่เครื่องลดความดัน (Turbo Expander, EXP01) ทำการลดความดันของอากาศลงเหลือ 0.59 บาร์เกจ และทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ -177.24 องศาเซลเซียส จากนั้นจะถูกส่งไปยังหอกลับความดันต่ำ (Low Pressure Column, T02) เพื่อแยกออกซิเจนออกทางด้านล่างของหอกลับความดันต่ำ

ตารางที่ 4.7 แสดงสภาวะของอุปกรณ์อัดอากาศความดันสูง

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
อากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ	5.0	5.25	550
อากาศขาออกเครื่องอัดอากาศ	18.67	8.11	550
ความดันเพิ่มขึ้น 2.86 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 60 กิโลวัตต์			

ตารางที่ 4.8 แสดงสภาวะของอุปกรณ์ลดความดันแบบเทอร์โบ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
อากาศขาเข้าเครื่องลดความดัน	-113.15	8.11	550
อากาศขาออกเครื่องลดความดัน	-177.24	0.59	550
ความดันลดลง 7.52 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 265 กิโลวัตต์			

ผลิตภัณฑ์ที่ออกทางด้านล่างหอกลับความดัน (Pressure Column, T01) จะถูกลดความดันลงเหลือ 0.42 บาร์เกจ โดยผ่าน June Thomson Valve เพื่อเข้าสู่หอกลับความดันต่ำ (Low Pressure Column, T02) ในชั้นที่ 1 และเช่นกันผลิตภัณฑ์ที่ออกทางด้านบนหอกลับความดัน (Pressure Column, T01) จะถูกลดความดันลงเหลือ 0.20 บาร์เกจ โดยผ่าน June Thomson Valve เพื่อเข้าสู่หอกลับความดันต่ำ (Low Pressure Column, T02) ในชั้นที่ 28 ณ หอกลับความดันต่ำจะทำการกลั่นแยกก๊าซไนโตรเจนออกทางด้านบนหอกลับ ได้ก๊าซไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.76%โมล โดยมีอัตราการไหล 4306.12 กิโลโมล/ชั่วโมงและออกซิเจนเหลวออกทางด้านล่างหอกลับ มีความบริสุทธิ์ 99.97%โมล โดยมีอัตราการไหล 875.6 กิโลโมล/ชั่วโมงและถูกบีบเข้าสู่ถังเก็บออกซิเจนเหลว (LOX Storage Tank, TK01)

ตารางที่ 4.9 แสดงสภาวะของหอกลับความดันต่ำ

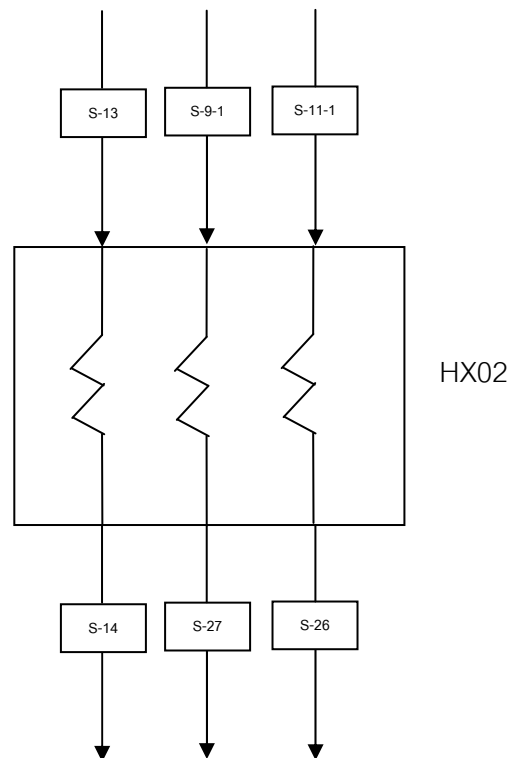
คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ด้านบนหอกลับความดันต่ำ	-194.30	0.17	4306.12 (ก๊าซมี N ₂ 99.76%โมล, Ar 0.235%โมลและ O ₂ < 10 ppm)
ด้านล่างหอกลับความดันต่ำ	-178.23	0.58	875.6 (ของเหลวมี O ₂ 99.97%โมล, Ar 0.028%โมลและ N ₂ < 5 ppm)
ความดันแตกต่าง (ΔP) ภายในหอกลับความดันต่ำ 0.41 บาร์เกจ			
ค่าความร้อน 7100 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง			

การกลั่นแยกอาร์กอน ก๊าซออกซิเจนที่ออกจากหอกลั่นความดันต่ำ (Low Pressure Column, T02) ในชั้นที่ 44 มีออกซิเจน 93.84%โมล อาร์กอน 6.16%โมลและไนโตรเจนน้อยกว่า 5 ppm โดยมีอัตราการไหล 1875 กิโลโมล/ชั่วโมง จะถูกส่งไปยังหอกลั่นอาร์กอน (Argon Column, T03) เพื่อกลั่นแยกก๊าซอาร์กอนและอาร์กอนเหลวที่มีความบริสุทธิ์ 97.89%โมล ออกทางด้านบนของหอกลั่น โดยมีอัตราการไหล 39.31 กิโลโมล/ชั่วโมงและอาร์กอนเหลวมีอัตราการไหล 2.0 กิโลโมล/ชั่วโมง ส่วนอาร์กอนที่ยังมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ 95.91%โมล อยู่จะออกทางด้านล่างหอกลั่นอาร์กอนและกลับเข้าสู่หอกลั่นความดันต่ำ (Low Pressure Column, T02) โดยมีอัตราการไหล 1833.70 กิโลโมล/ชั่วโมง เพื่อทำการกลั่นแยกออกซิเจนต่อไป

ตารางที่ 4.10 แสดงสภาวะของหอกลั่นอาร์กอน

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ด้านบนหอกลั่นอาร์กอน	-184.19	0.15	39.31 (มี Ar 97.89%โมล, O ₂ 1.9%โมลและ N ₂ 0.21%โมล)
ด้านล่างหอกลั่นอาร์กอน	-180.29	0.32	1833.70 (ของเหลวมี O ₂ 95.91%โมล, Ar 4.09%โมล และ N ₂ < 5 ppm)
ความดันแตกต่าง (ΔP) ภายในหอกลั่นอาร์กอน 0.17 บาร์เกจ			
ค่าความร้อน -3492 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง			

4.1.8 สภาวะการดำเนินการของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรอง (Sub-cool Heat Exchanger, HX02) แสดงดังรูปที่ 4.3

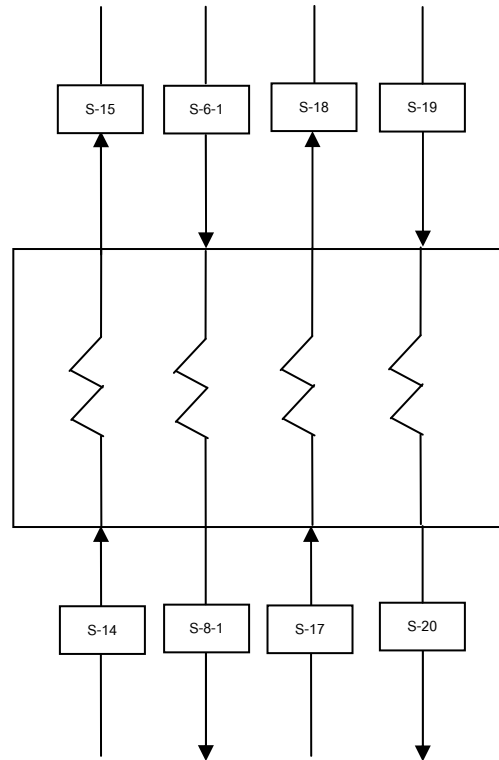


รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังของกระแสของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรอง (Sub-cool Heat Exchanger, HX02)

ตารางที่ 4.11 แสดงสภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรอง
(Sub-cool Heat Exchanger, HX02)

คุณสมบัติ	ขาเข้า			ขาออก		
	S-13	S-9-1	S-11-1	S-14	S-27	S-26
สถานะ	ก๊าซ	ของเหลว	ของเหลว	ก๊าซ	ของเหลว	ของเหลว
กระแส	เย็น	ร้อน	ร้อน	เย็น	ร้อน	ร้อน
อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	-194.30	-172.57	-177.12	-162.23	-179.44	-198.76
ความดัน, บาร์เกจ	0.17	5.03	4.86	0.17	5.03	4.86
อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง	4306.12	2661.75	2288.25	4306.12	2661.75	2288.25
น้ำหนักโมลแลกกุล	28.04	29.76	28.03	28.04	29.76	28.03
องค์ประกอบ						
N ₂	0.9976	0.5943	0.9984	0.9976	0.5943	0.9984
Ar	0.0023	0.0159	0.0016	0.0023	0.0159	0.0016
O ₂	1E-5	0.3898	1E-5	1E-5	0.3898	1E-5
<p>ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ใน S-13 & S-14 คือ 4.14 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ใน S-9-1 & S-27 คือ -1.13 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ใน S-11-1 & S-26 คือ -3.10 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง ค่าพลังงานความร้อนรวมคือ 4.14 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง</p>						

4.1.9 สถานะการดำเนินการของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX01) แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงแผนผังของกระแสของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX01)

ตารางที่ 4.12 แสดงสภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX01)

คุณสมบัติ	ขาเข้า				ขาออก			
	S-17	S-14	S-19	S-6-1	S-18	S-15	S-20	S-8-1
สถานะ	ก๊าซ	ก๊าซ	ก๊าซ	ก๊าซ	ก๊าซ	ก๊าซ	ก๊าซ	ผสม
กระแส	เย็น	เย็น	ร้อน	ร้อน	เย็น	เย็น	ร้อน	ร้อน
อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	-178.3	-162.2	18.7	4.9	52.1	52.1	-113.2	-172.0
ความดัน, บาร์เกจ	0.58	0.17	8.11	5.25	0.58	0.17	8.11	5.25
อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง	277	4306	550	4950	277	4306	550	4950
น้ำหนัก โมแลกุล	32	28.04	28.96	28.96	32	28.04	28.96	28.96
Cp, กิโลจูล/ กิโลกรัม-องศา เซลเซียส	0.948	1.059	1.022	1.018	0.924	1.04	1.80	1.197
ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ ลบ.เมตร	6.723	3.668	10.90	7.863	1.882	1.229	20.83	24.95
N ₂	0.000	0.998	0.781	0.781	0.000	0.998	0.781	0.781
Ar	0.001	0.002	0.009	0.009	0.001	0.002	0.009	0.009
O ₂	0.999	1E-5	0.210	0.210	0.999	1E-5	0.210	0.210
<p>ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ใน S-17 & S-18 คือ 1.88 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ใน S-14 & S-15 คือ 27.01 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ใน S-19 & S-20 คือ -2.18 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ใน S-6-1 & S-8-1 คือ -26.71 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง ค่าพลังงานความร้อนรวมคือ 28.89 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง</p>								

ตารางที่ 4.13 แสดงสมมูลมวลของกระบวนการแยกอากาศ

คุณสมบัติ	อากาศป้อน	ผลิตภัณฑ์			
	S-1	S-16	S-23	S-15	S-18
สถานะ	ก๊าซ	ของเหลว	ก๊าซ	ก๊าซ	ก๊าซ
ของไหล	อากาศ	ออกซิเจน	อาร์กอน	ไนโตรเจน	ออกซิเจน
อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	25.00	-178.23	-184.19	52.07	52.07
ความดัน, บาร์เกจ	0	0.58	0.15	0.17	0.58
อัตราการไหล, กิโลเมตร/ชั่วโมง	5500	875.60	41.31	4306.12	277.07
น้ำหนักโมแลกุล	28.96	32	39.77	28.04	32
Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม- องศาเซลเซียส	1.007	1.769	0.55	1.04	0.924
ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	1.184	2058	6.487	1.229	1.882
N ₂	0.7811	0.0000	0.0021	0.9976	0.0000
Ar	0.0093	0.0003	0.9789	0.0023	0.0006
O ₂	0.2096	0.9997	0.0190	1E-5	0.9994

4.2 เปรียบเทียบสภาวะการดำเนินงานของกระบวนการแยกอากาศและกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

4.2.1 อุปกรณ์อัดความดัน (Compressor)

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบสภาวะการดำเนินงานของอุปกรณ์อัดความดันของกระบวนการแยกอากาศและผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

กระบวนการแยกอากาศ	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
<p>1) อุปกรณ์อัดความดัน ประกอบด้วย C01, AF01</p> <p>1.1) C01</p> <ul style="list-style-type: none"> - ของไหล คือ อากาศ - อุณหภูมิขาออก 107 องศาเซลเซียส - ความดันขาออก 5.7 บาร์เกจ - อัตราการไหล 5500 กิโลโมล/ชั่วโมง - กำลังของอุปกรณ์อัดอากาศชั้นที่ 1 คือ 5240 กิโลวัตต์, ชั้นที่ 2 คือ 2890 กิโลวัตต์, ชั้นที่ 3 คือ 3080 กิโลวัตต์ <p>1.2) AF01</p> <ul style="list-style-type: none"> - ของไหล คือ อากาศ - อุณหภูมิขาออก 38 องศาเซลเซียส - ความดันขาออก 5.6 บาร์เกจ - อัตราการไหล 5500 กิโลโมล/ชั่วโมง - ค่าความร้อนที่เข้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 1 /2/3 คือ 16.82/10.44/11.65 เมกกะจูล/ชั่วโมง 	<p>1) อุปกรณ์อัดความดัน</p> <ul style="list-style-type: none"> - เทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวคือเทคโนโลยีการขยายตัว (Expansion-based Technologies) ซึ่งเทคโนโลยีนี้ต้องอัดความดันของไนโตรเจนที่เป็นสารทำความเย็นหมุนเวียนแลกเปลี่ยนความร้อนภายในระบบขึ้นไปสูงถึง 51 บาร์เกจ ดังนั้นอุปกรณ์อัดอากาศของกระบวนการแยกอากาศจึงไม่สามารถนำมาดัดแปลงใช้งานได้ เนื่องจากความดันที่อุปกรณ์อัดอากาศทำได้เพียง 5.7 บาร์เกจ

4.2.2 หอกลิ้น (Distillation Column)

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบสภาวะการดำเนินงานของหอกลิ้นของกระบวนการแยกอากาศและผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

กระบวนการแยกอากาศ	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
<p>2) หอกลิ้น</p> <p>ประกอบด้วย T01, T02, T03</p> <p>2.1) T01</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิด้านบน/ล่างหอกลิ้น -177.12/-172.57 องศาเซลเซียส - ความดันด้านบน/ล่างหอกลิ้น 4.86/5.03 บาร์ เกจ - ค่าพลังงานความร้อน -25.56 เมกกะจูลต่อ ชั่วโมง <p>2.2) T02</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิด้านบน/ล่างหอกลิ้น -194.30/-178.23 องศาเซลเซียส - ความดันด้านบน/ล่างหอกลิ้น 0.17/0.58 บาร์ เกจ - ค่าพลังงานความร้อน 25.56 เมกกะจูลต่อ ชั่วโมง <p>2.3) T03</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิด้านบน/ล่างหอกลิ้น -184.19/-180.29 องศาเซลเซียส - ความดันด้านบน/ล่างหอกลิ้น 0.15/0.32 บาร์ เกจ - ค่าพลังงานความร้อน -12.56 เมกกะจูลต่อ ชั่วโมง 	<p>2) หอกลิ้น</p> <ul style="list-style-type: none"> - ไม่สามารถนำมาดัดแปลงใช้งานกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวได้ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอากาศและก๊าซธรรมชาติแตกต่างกันการมีจุดเดือดและค่าความดันในการกลั่นแยกมีความแตกต่างกันคือการกลั่นแยกอากาศเป็นการกลั่นแยกไนโตรเจนออกซิเจนและอาร์กอนที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนก๊าซธรรมชาติเป็นการกลั่นแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง อีกทั้งส่วนประกอบภายในหอกลิ้นเช่น จำนวนชั้นชนิดของอุปกรณ์ในการกลั่นแยกมีความแตกต่างกันเป็นการออกแบบการกลั่นเฉพาะแต่ละองค์ประกอบนั้นๆ

4.2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchanger)

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบสภาวะการดำเนินงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นของกระบวนการแยกอากาศและผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

กระบวนการแยกอากาศ	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
<p>3) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น</p> <p>3.1) HX01</p> <ul style="list-style-type: none"> - ก๊าซออกซิเจนอุณหภูมิขาเข้า (S-17) / ขาออก (S-18) -178.27/52.07 องศาเซลเซียส, อัตราการไหล 277 กิโลโมล/ชั่วโมง, ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้คือ 1.88 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง - ก๊าซไนโตรเจนอุณหภูมิขาเข้า (S-14) / ขาออก (S-15) -162.3/52.07 องศาเซลเซียส, อัตราการไหล 4306 กิโลโมล/ชั่วโมง, ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้คือ 27.01 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง - อากาศความดันสูงอุณหภูมิขาเข้า (S-19) / ขาออก (S-20) 18.67/-113.15 องศาเซลเซียส, อัตราการไหล 550 กิโลโมล/ชั่วโมง, ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้คือ -2.18 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง - อากาศความดันต่ำอุณหภูมิขาเข้า (S-6-1) / ขาออก (S-8-1) 4.93/-172 องศาเซลเซียส, อัตราการไหล 4950 กิโลโมล/ชั่วโมง, ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้คือ -26.71 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง - ค่าพลังงานความร้อนรวมคือ 28.89 เมกกะกิโลจูลต่อชั่วโมง 	<p>3) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น</p> <ul style="list-style-type: none"> - ในกระบวนการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์จาก 25 องศาเซลเซียส จนถึง -147 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเช่นเดียวกันกับกระบวนการแยกอากาศที่ต้องลดอุณหภูมิของอากาศลงถึง -172 องศาเซลเซียส เพื่อเข้าสู่หอกลั่นแยกออกซิเจน ไนโตรเจนและอาร์กอนออกจากกัน และสารทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวคือ ไนโตรเจนซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพใกล้เคียงกับอากาศ ดังนั้นจึงสามารถนำมาดัดแปลงใช้งานกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวได้

4.3 การเลือกอุปกรณ์ที่มีสภาวะใกล้เคียงกันนำมาตัดแปลงใช้งานกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

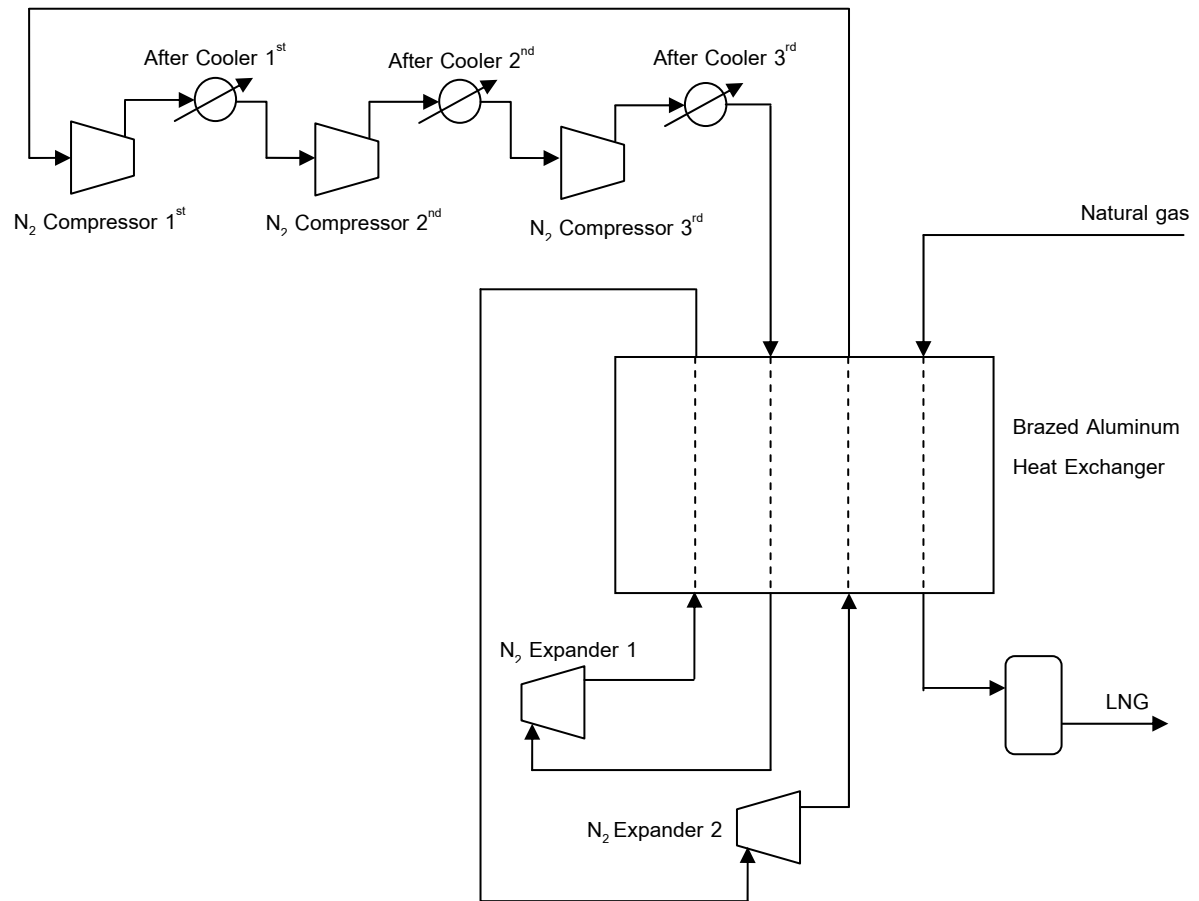
ผลจากการสร้างแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II พบว่าในกระบวนการแยกไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอนออกจากกัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอากาศพบว่าต้องลดอุณหภูมิของอากาศลงถึง -172 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 5.2 บาร์เกจ จึงจะส่งเข้าหอกลั่นความดันเพื่อแยกไนโตรเจน ออกจากออกซิเจนและอาร์กอน ดังนั้นอากาศจึงต้องเข้าไปลดอุณหภูมิลงที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate – Fin Heat Exchanger) หรือที่เรียกว่า Brazed Aluminum Heat Exchanger ที่ทำจากวัสดุ Aluminum อัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งอยู่ภายในกล่องเก็บความเย็น (Cold Box) [3,7] ในกรณีเดียวกันในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวต้องลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ลงเหลือ -147 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ก๊าซธรรมชาติจึงจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Plate – Fin Heat Exchanger) ซึ่งเหมือนกับกระบวนการแยกอากาศดังนั้นจึงเลือกทำการศึกษาค่าพลังงานความร้อน (Duty) ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นเพื่อนำไปตัดแปลงใช้กับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว โดยทำการสมมูลค่าพลังงานความร้อนที่ 28.89 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง และกำหนดอัตราการไหลของสารทำความเย็นไนโตรเจนที่ใช้หมุนเวียนภายในระบบ 4306 กิโลโมล/ชั่วโมง

4.4 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

4.4.1 คุณสมบัติของสารป้อน

องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติที่นำมาศึกษาในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติมีทั้งหมด 6 แหล่ง คือ แหล่งตะวันออก แหล่งตะวันตก แหล่งขนอม แหล่งน้ำพอง แหล่งสิริกิติ์ และ sale gas จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 แสดงดังตารางที่ 2.3

4.4.2 ฟังก์ชันการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว



รูปที่ 4.5 แสดงฟังก์ชันการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้เทคโนโลยี N_2 Expansion Cycles

4.4.3 กระบวนการของระบบการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

สำหรับคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติที่นำมาพิจารณาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้แหล่งก๊าซธรรมชาติตามตารางที่ 2.3 และนำก๊าซธรรมชาติมาลดอุณหภูมิลงจนมีสถานะเป็นของเหลวที่เรียกว่า ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas : LNG) ซึ่งเป็นสารที่มีความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic) โดยใช้เทคโนโลยีการขยายตัว (Expansion-based Technologies) และเรียกกระบวนการนี้ว่า “Nitrogen Expansion Cycle” กระบวนการนี้เป็นการใช้นโตรเจนเป็นสารทำความเย็นในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว โดยใช้วงจรการเพิ่มความดันและการลดความดันของก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นกระบวนการทำความเย็นแบบหมุนเวียน กระบวนการทำความเย็นแบบหมุนเวียนประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

4.4.3.1 Nitrogen Compressor ทำหน้าที่เหมือน Booster Compressor ของระบบทำความเย็นทั่วไป ที่จะทำหน้าที่เพิ่มความดันของไนโตรเจน เพื่อผลักดันให้ไนโตรเจนไหลเวียนในระบบได้

4.4.3.2 After Cooler ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของไนโตรเจน หลังจากได้รับการอัดจาก Nitrogen Compressor จะทำให้อุณหภูมิก๊าซไนโตรเจนสูงขึ้นจึงต้องมีการลดอุณหภูมิของไนโตรเจนลงซึ่งระบายความร้อนด้วยน้ำ

4.4.3.3 Expander จะทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็น โดยจะทำให้ไนโตรเจนขยายตัวและมีอุณหภูมิลดลง

4.4.4 กระบวนการทำความเย็นแบบหมุนเวียน

4.4.4.1 ไนโตรเจนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX001) จะถูกดูดและอัดโดยเครื่องอัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 1 (N₂ Compressor 1st) จากความดัน 3.4 บาร์เกจ จนถึง 8 บาร์เกจ และทำให้อุณหภูมิก๊าซไนโตรเจนสูงขึ้นเป็น 151 องศาเซลเซียส จึงต้องควบคุมอุณหภูมิก๊าซไนโตรเจนไม่ให้เกิน 38 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 1 (N₂ After Cooler 1st) ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ จากนั้นเข้าสู่เครื่องอัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 2

ตารางที่ 4.17 แสดงสภาวะของอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 1

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่องอัดอากาศ	-35.56	3.47	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่องอัดอากาศ	26.22	7.99	4306
ความดันเพิ่มขึ้น 4.52 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 2142 กิโลวัตต์			

ตารางที่ 4.18 แสดงสภาวะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 1

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน	26.22	7.99	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน	25.00	7.89	4306
ความดันแตกต่าง (ΔP) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเชลล์ (Shell Side) 0.10 บาร์เกจ			
ค่าความร้อน 0.41 เมกกะกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง			

4.4.4.2 ไนโตรเจนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 1 (N_2 After Cooler 1st) จะถูกดูดและอัดโดยเครื่องอัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 2 (N_2 Compressor 2nd) จากความดัน 8 บาร์เกจ จนถึง 21 บาร์เกจ และทำให้อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนสูงขึ้นเป็น 151 องศาเซลเซียส จึงต้องควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนไม่ให้เกิน 38 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 2 (N_2 After Cooler 2nd) ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ จากนั้นเข้าสู่เครื่องอัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 3

ตารางที่ 4.19 แสดงสถานะของอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 2

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่องอัดอากาศ	38.00	7.68	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่องอัดอากาศ	151.72	21.49	4306
ความดันเพิ่มขึ้น 13.81 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 3991 กิโลวัตต์			

ตารางที่ 4.20 แสดงสถานะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 2

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน	151.72	21.49	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน	38	21.39	4306
ความดันแตกต่าง (ΔP) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเชลล์ (Shell Side) 0.10 บาร์เกจ			
ค่าความร้อน 4.08 เมกกะกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง			

4.4.4.3 ไนโตรเจนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 2 (N_2 After Cooler 2nd) จะถูกดูดและอัดโดยเครื่องอัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 3 (N_2 Compressor 3rd) จากความดัน 21 บาร์เกจ จนถึง 51 บาร์เกจ และทำให้อุณหภูมิก๊าซไนโตรเจนสูงขึ้นเป็น 153 องศาเซลเซียส จึงต้องควบคุมอุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนไม่ให้เกิน 38 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 3 (N_2 After Cooler 3rd) ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ จากนั้นเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX001) จะถูกลดอุณหภูมิลงเหลือ -32 องศาเซลเซียส ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก ด้วยไนโตรเจนที่ไหลเวียนภายในระบบ จากนั้นไนโตรเจนจะถูกส่งไปลดความดันลงด้วยเครื่องลดความดัน 1 (Expander)

ตารางที่ 4.21 แสดงสถานะของอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 3

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่องอัดอากาศ	38.00	21.39	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่องอัดอากาศ	153	51	4306
ความดันเพิ่มขึ้น 30 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 4.072 กิโลวัตต์			

ตารางที่ 4.22 แสดงสถานะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 3

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน	153	51	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน	38	51	4306
ความดันแตกต่าง (ΔP) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเชลล์ (Shell Side) 0.10 บาร์เกจ			
ค่าความร้อน 4.25 เมกกะกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง			

4.4.4.4 ไนโตรเจนที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก จะถูกลดความดันลงด้วยเครื่องลดความดัน 1 (N2 Expander 1) จาก 51 บาร์เกจ ลงเหลือ 10 บาร์เกจ ทำให้ไนโตรเจนขยายตัวและอุณหภูมิลดลงจาก -81 องศาเซลเซียส ลงเหลือ -110 องศาเซลเซียส จากนั้นเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX001) จะถูกลดอุณหภูมิลงเหลือ -114 องศาเซลเซียส จากนั้นไนโตรเจนจะถูกส่งไปลดความดันลงอีกครั้งด้วยเครื่องลดความดัน 2 (Expander 2)

ตารางที่ 4.23 แสดงสภาวะของอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจน 1

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่องลดความดัน	-29	51	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่องลดความดัน	-104	10.9	4306
ความดันลดลง 40 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 2332 กิโลวัตต์			

4.4.4.5 ไนโตรเจนที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก จะถูกลดความดันลงอีกครั้งด้วยเครื่องลดความดัน 2 (N2 Expander 2) จาก 10 บาร์เกจ ลงเหลือ 4 บาร์เกจ ทำให้ไนโตรเจนขยายตัวและอุณหภูมิของไนโตรเจนลงจาก -114 องศาเซลเซียส ลงเหลือ -148 องศาเซลเซียส จากนั้นเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Heat Exchanger, HX001) เพื่อให้แลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์เพื่อให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์เย็นตัวลงจนเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว

ตารางที่ 4.24 แสดงสภาวะของอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจน 2

คุณลักษณะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์เกจ)	อัตราการไหล (กิโลโมล/ชั่วโมง)
ไนโตรเจนขาเข้าเครื่องลดความดัน	-118	10.76	4306
ไนโตรเจนขาออกเครื่องลดความดัน	-148	4	4306
ความดันลดลง 6.75 บาร์เกจ			
กำลังที่ใช้ 922 กิโลวัตต์			

การลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์จะถูกแลกเปลี่ยนความร้อนกับไนโตรเจนอุณหภูมิ -148 องศาเซลเซียส จากระบบ Nitrogen Expansion Cycle ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูงแบบ BAHX (Blazed Aluminium Heat Exchanger) ที่บรรจุใน Cold Box โดยที่ BAHX มีลักษณะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchangers) ที่ทำจากวัสดุ Aluminum อัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกัน ทำให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) ถูกลดอุณหภูมิลงจนเป็นสถานะของเหลวหรือที่เรียกว่า LNG Product ที่อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาค่าความดันที่ 8, 6, 4. 2 บาร์เกจ เนื่องจากค่าการทนความดันของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นนั้น ที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนของก๊าซธรรมชาติที่นำมาจากกระบวนการแยกอากาศสามารถดำเนินงานที่สูงสุดคือ 8 บาร์เกจ โดยทำการศึกษาจากแหล่งก๊าซธรรมชาติมีทั้งหมด 6 แหล่ง คือ แหล่งตะวันออก แหล่งตะวันตก แหล่งชนอม แหล่งน้ำพอง แหล่งสิริกิติ์ และ sale gas จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5

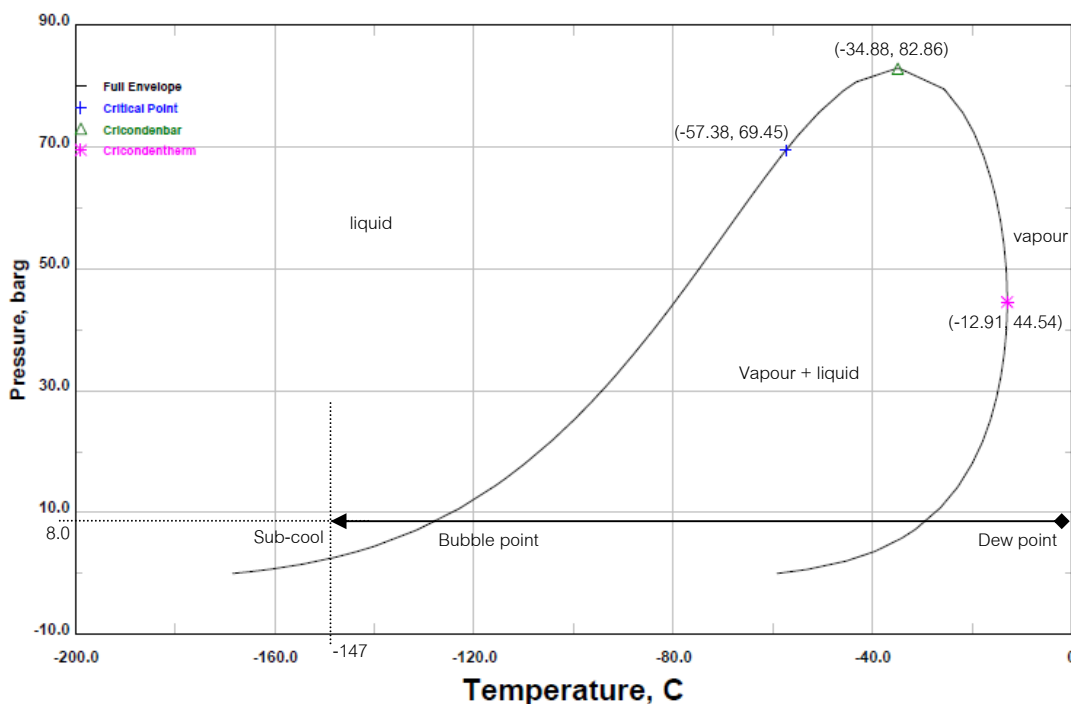
4.4.5 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก

แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2009) ในตารางที่ 4.25 ได้นำองค์ประกอบต่างๆของก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก เหตุผลที่ต้องนำก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาพิจารณาเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีจุดเยือกแข็ง (Freezing) ที่ -50 องศาเซลเซียส มีสถานะจะเป็นน้ำแข็งแห้ง (Dry Ice) ถ้าไม่มีการแยกออกเมื่อนำก๊าซธรรมชาติจากแหล่งนั้นมาดำเนินงานจริงทำให้เกิดการอุดตัน (Block) และทำให้เกิดสภาวะความดันเกิน (Over Pressure) ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchangers) ที่ทำจากวัสดุ Aluminum อัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันนั้นเป็นช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.25 แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2009)

องค์ประกอบ	%โมล (จากแหล่งดั้งเดิม)	%โมล (แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก)
มีเทน	75.80	87.55
อีเทน	5.70	6.58
โพรเพน	1.95	2.25
บิวเทน	0.75	0.87
เพนเทน	0.25	0.29
เฮกเซน	0.03	0.03
ไนโตรเจน	2.10	2.43
คาร์บอนไดออกไซด์	13.55	0.00

เมื่อนำองค์ประกอบต่างๆของก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกนำมาสร้าง Phase Envelope Curve โดยโปรแกรม PRO II เพื่อศึกษาหาพฤติกรรมการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซไปเป็นของเหลว และจากของเหลวไปเป็นก๊าซของผสมตามองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติและจุดที่เหมาะสมในการเลือกผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2009) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก

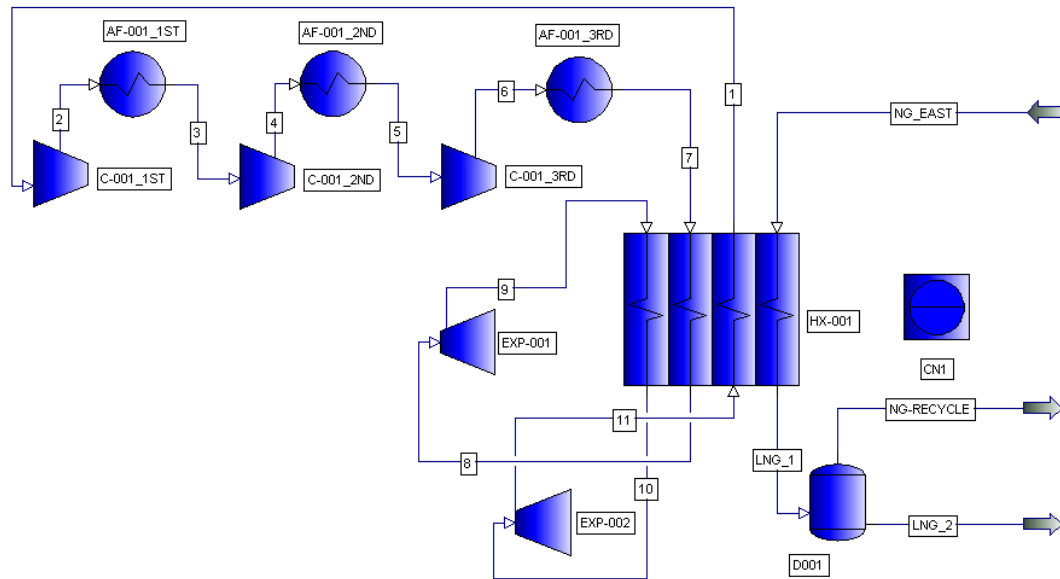
จากรูปที่ 4.6 เป็นแผนภาพที่แสดงถึงความสมดุลของภาค (Phase) แผนภาพสมดุลนี้เป็นเครื่องมือในการศึกษาคุณสมบัติของสสาร โดยแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรดังต่อไปนี้ คือ อุณหภูมิ (Temperature), ความดัน (Pressure), ส่วนผสม (Composition) และภาค (Phase) [13]

- อุณหภูมิ (Temperature) เป็นตัวแปรที่สำคัญมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสสารเช่น ทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวหรือก๊าซ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพิ่มหรือลดลง จะทำให้สสารเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆไปซึ่งรวมทั้งภาคด้วย ดังนั้น ในการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของสสารมักจะใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นหลัก
- ความดัน (Pressure) เป็นตัวแปรที่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสสารเช่น ทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวหรือก๊าซเช่นเดียวกับอุณหภูมิทุกประการ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความดัน

ของสารที่อุณหภูมิคงที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเทียบได้กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารที่ความดันคงที่

- ส่วนผสม (Composition) การที่สารผสมกันในอัตราส่วนที่ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติต่างๆ รวมทั้งภาคของสารนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนผสมนั้นเสมอ ดังนั้นการนำสารมาใช้จำเป็นต้องทราบปริมาณและอัตราส่วนผสมต่างๆ เพื่อจะทราบถึงการใช้งานที่เหมาะสม
- ภาค (Phase) คือ บริเวณที่สารมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงภาคขึ้นกับตัวแปร 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิ ความดัน และส่วนผสม

สามารถอธิบายจุดต่างๆได้ดังนี้ จุด Cricondentherm คือจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด -12.91 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 44.54 บาร์เกจ เป็นจุดที่อยู่บนเส้นน้ำค้าง (Dew Point) ซึ่งเป็นจุดที่ก๊าซธรรมชาติเริ่มจะควบแน่นเป็นของเหลว, จุด Cricondenbar คือจุดที่มีความดันสูงสุด 82.86 บาร์เกจ ณ ที่อุณหภูมิ -34.88 องศาเซลเซียส และจุดวิกฤต (Critical Point) คือ จุดที่เมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้เส้นทางของกระบวนการที่เชื่อมระหว่างจุดของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัวยิ่งสั้นลงที่จุด -57.38 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 69.45 บาร์เกจ เมื่อเชื่อมสถานะของของเหลวอิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆเข้าด้วยกันจะได้เส้น ซึ่งเรียกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เช่นเดียวกันเมื่อเชื่อมสถานะของไออิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆ เข้าด้วยกันจะเกิดเป็นเส้นไออิ่มตัวโดยเส้นของสารอิ่มตัวทั้งสองจะมาบรรจบกันที่จุดวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวเป็นบริเวณที่แสดงสถานะของสารที่มีสถานะเป็นของเหลวอัด (compressed liquid region) ด้านขวาของเส้นไออิ่มตัวเป็นบริเวณของไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor region) ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region)



รูปที่ 4.7 แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II

จากรูปที่ 4.6 Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก (2006-2009) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกนั้นสามารถศึกษาพฤติกรรมได้ว่าการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงจากสถานะก๊าซที่ 25 องศาเซลเซียสจากจุดน้ำค้าง (Dew Point) จนมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด (Bubble Point) และลดอุณหภูมิลงอีกจนถึงสถานะที่เรียกว่า sub-cool liquid ที่ความดันที่ 4-8 บาร์เกจ เป็นสถานะการดำเนินงานที่ห่างจากเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เพราะจะทำให้ของเหลวอยู่ในสถานะที่กลายเป็นไอได้ยาก ส่วนการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ เป็นสถานะการดำเนินงานที่อยู่ต่ำกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) คืออยู่ในส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region) จึงทำให้ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) มีสถานะเป็นของเหลวเพียง 0.8878 สัดส่วนโดยโมล และมีสถานะเป็นก๊าซ 0.1122 สัดส่วนโดยโมล สถานะการดำเนินงานที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์ ณ อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส สรุปได้ดังตารางที่ 4.26 – 4.29

ตารางที่ 4.26 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันออกที่
ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_East	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1,170.2	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21,575.1	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	18.438	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	257.8	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.137	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	6.841	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1,170.2	1,170.2	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21,575.1	21,575.1	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.438	18.438	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-563.9	-563.9	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.379	3.379	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	449.7	449.7	-

ตารางที่ 4.27 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันออกที่
ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_East	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1166.6	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21509.9	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	18.438	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	260.1	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.123	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	5.299	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1166.6	1166.6	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21509.9	21509.9	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.438	18.438	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-564.2	-564.2	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.382	3.382	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	445.1	445.1	-

ตารางที่ 4.28 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันออกที่
ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_East	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1163.1	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21445.3	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	18.438	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	262.3	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.110	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	3.771	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1163.1	1163.1	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21445.3	21445.3	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.438	18.438	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-564.4	-564.4	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.386	3.386	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	449.3	449.3	-

ตารางที่ 4.29 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันออกที่
ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_East	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0.1122	0	1
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1225.0	137.4	-	137.4
กิโลกรัม/ชั่วโมง	22586.3	2449.4	-	2449.4
-น้ำหนักโมเลกุล	18.438	17.824	-	17.824
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	264.6	-148.0	-	-148.0
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.096	1.952	-	1.952
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	2.256	5.473	-	5.473
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	0.8878	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1087.6	1087.6	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	20136.9	20136.9	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.515	18.515	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-565.7	-565.7	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.379	3.379	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	449.7	449.7	-

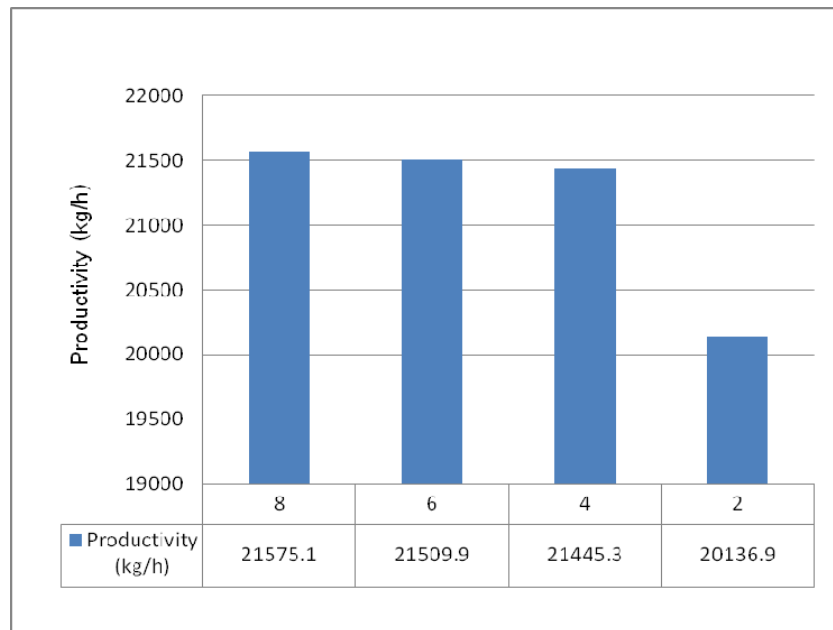
พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออกที่มีการดำเนินงานที่ความดันสูง จะให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวสูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ ในขณะที่ใช้ค่าพลังงาน ความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง และ พลังงานที่ใช้ (Power Consumption) 7,979.64 กิโลวัตต์ ที่เท่ากันและสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอล เอ็นจี (Power consumption per productivity) แสดงดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก

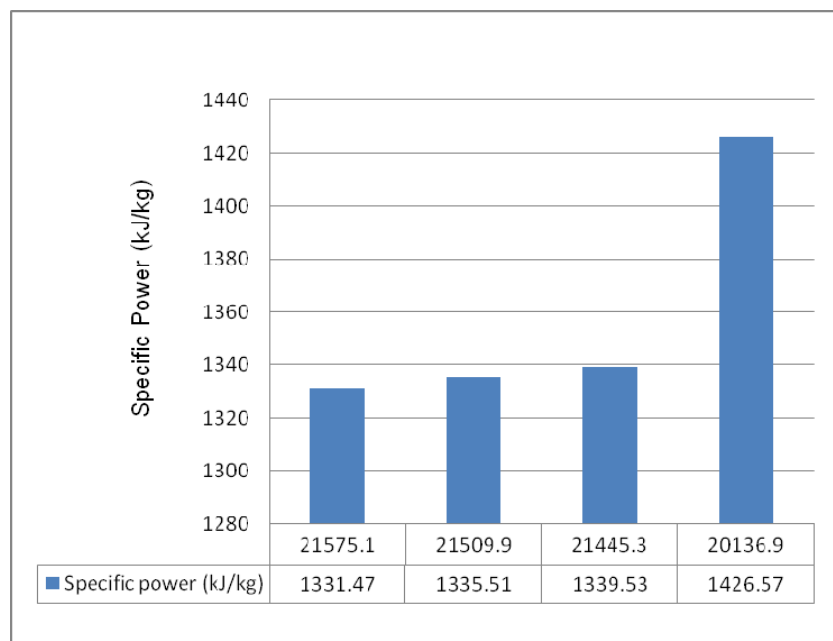
รายละเอียด	8 บาร์เกจ	6 บาร์เกจ	4 บาร์เกจ	2 บาร์เกจ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Productivity), กิโลกรัม/ชั่วโมง	21,575.1	21509.9	21445.3	20136.9
พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลของ แอลเอ็นจี (Specific Power), กิโลจูล/กิโลกรัม	1331.5	1335.5	1339.5	1426.6

จากรูปที่ 4.8 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจจะทำให้ได้ ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณสูงที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.9 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจจะใช้พลังงานที่ ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีต่ำที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์ เกจจะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีสูงที่สุด



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก

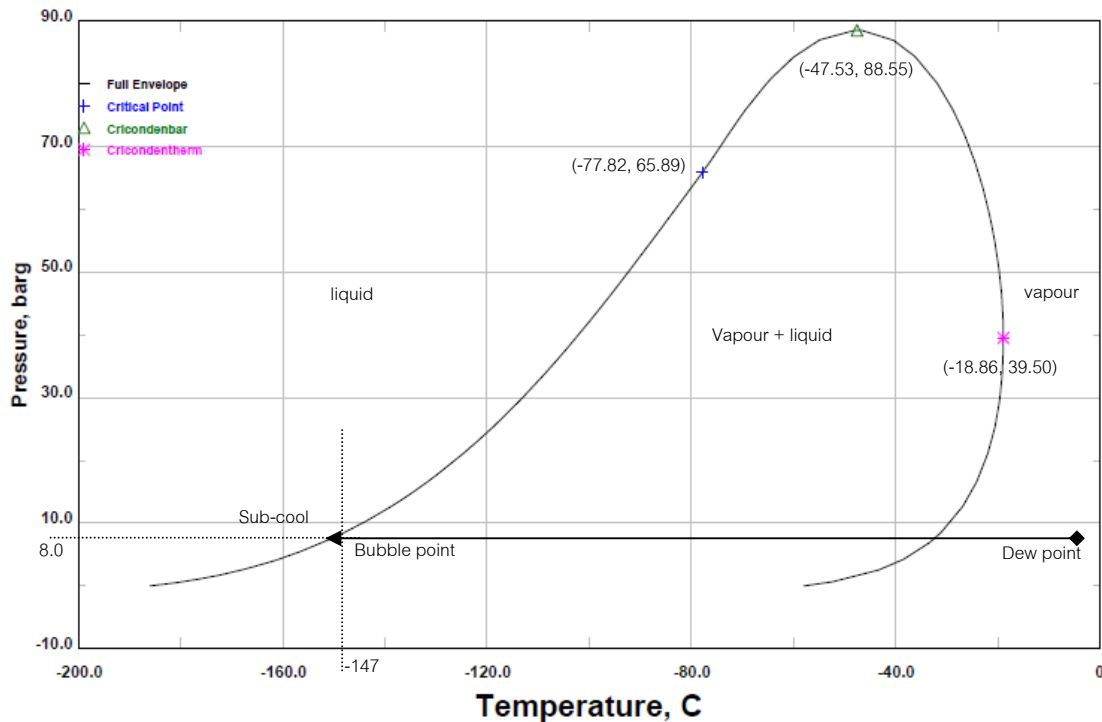
4.4.6 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก

แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2007) ในตารางที่ 4.31 ได้นำองค์ประกอบต่างๆของก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก เหตุผลที่ต้องนำก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาพิจารณาเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีจุดเยือกแข็ง (Freezing) ที่ -50 องศาเซลเซียส มีสถานะจะเป็นน้ำแข็งแห้ง (Dry Ice) ถ้าไม่มีการแยกออกเมื่อนำก๊าซธรรมชาติจากแหล่งนั้นมาดำเนินงานจริงทำให้เกิดการอุดตัน (Block) และทำให้เกิดสภาวะความดันเกิน (Over Pressure) ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchangers) ที่ทำจากวัสดุ Aluminum อัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันนั้นเป็นช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.31 แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2007)

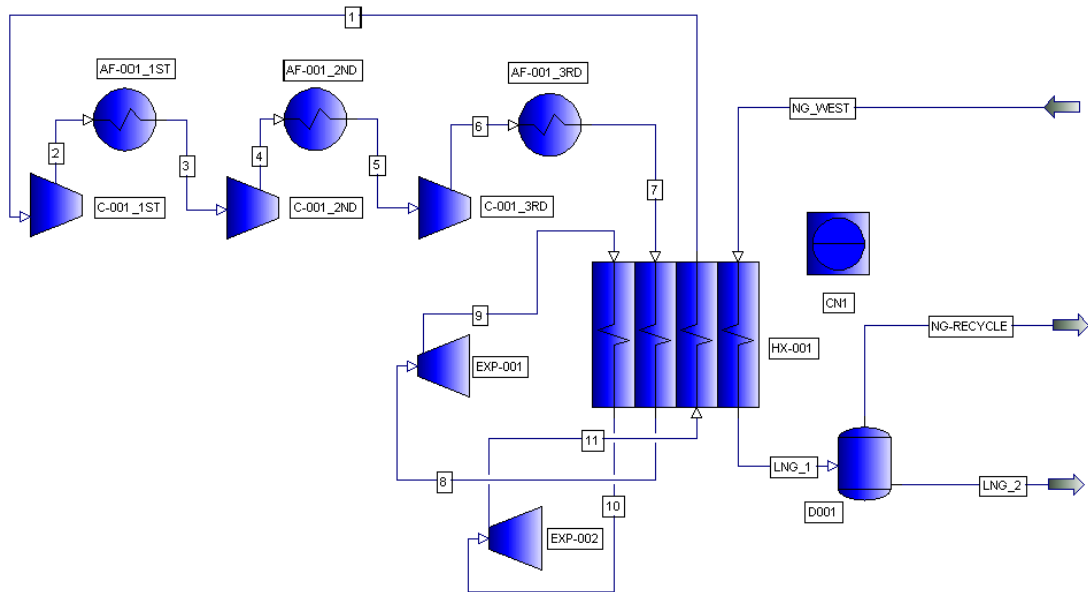
องค์ประกอบ	%โมล (จากแหล่งดั้งเดิม)	%โมล (แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก)
มีเทน	72.4	77.35
อีเทน	3.5	3.74
โพรเพน	1.06	1.13
บิวเทน	0.47	0.50
เพนเทน	0.1	0.11
เฮกเซน	0.07	0.07
ไนโตรเจน	16.0	17.09
คาร์บอนไดออกไซด์	6.3	0.00

เมื่อนำองค์ประกอบต่างๆของก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกนำมาสร้าง Phase Envelope Curve โดยโปรแกรม PRO II เพื่อศึกษาหาพฤติกรรมของการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซไปเป็นของเหลว และจากของเหลวไปเป็นก๊าซของของผสมตามองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติและจุดที่เหมาะสมในการเลือกผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.10 แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก

สามารถอธิบายจุดต่างๆได้ดังนี้ จุด Cricondentherm คือจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด -18.86 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 39.5 บาร์เกจ เป็นจุดที่อยู่บนเส้นน้ำค้าง (Dew Point) ซึ่งเป็นจุดที่ก๊าซธรรมชาติเริ่มจะควบแน่นเป็นของเหลว, จุด Cricondenbar คือจุดที่มีความดันสูงสุด 88.55 บาร์เกจ ณ ที่อุณหภูมิ -47.53 องศาเซลเซียส และจุดวิกฤต (Critical Point) คือ จุดที่เมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้เส้นทางของกระบวนการที่เชื่อมระหว่างจุดของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัวยิ่งสั้นลงที่จุด -77.82 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 65.89 บาร์เกจ เมื่อเชื่อมสภาวะของของเหลวอิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆเข้าด้วยกันจะได้เส้น ซึ่งเรียกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เช่นเดียวกันเมื่อเชื่อมสภาวะของไออิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆ เข้าด้วยกันจะเกิดเป็นเส้นไออิ่มตัวโดยเส้นของสารอิ่มตัวทั้งสองจะมาบรรจบกันที่จุดวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวเป็นบริเวณที่แสดงสภาวะของสารที่มีสถานะเป็นของเหลวอัด (compressed liquid region) ด้านขวาของเส้นไออิ่มตัวเป็นบริเวณของไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor region) ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region)



รูปที่ 4.11 แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II

จากรูปที่ 4.10 Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตก (2006-2009) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกนั้นสามารถศึกษาพฤติกรรมได้ว่าการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงจากสถานะก๊าซที่ 25 องศาเซลเซียสจากจุดน้ำค้าง (Dew Point) จนมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า -147 องศาเซลเซียสเลยจุดเดือด (Bubble Point) และลดอุณหภูมิลงอีกจนถึงสถานะที่เรียกว่า sub-cool liquid ที่ความดันที่ 2-8 บาร์เกจ เป็นสถานะการดำเนินงานที่อยู่ต่ำกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) คืออยู่ในส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region) จึงทำให้ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) มีสถานะเป็นของเหลวไม่ 100% สถานะการดำเนินงานที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์ ณ อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส สรุปได้ดังตารางที่ 4.32-4.35

ตารางที่ 4.32 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตกที่
ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_West	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0.0425	0	1
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1309.7	55.7	-	55.7
กิโลกรัม/ชั่วโมง	25214.3	1363.1	-	1363.1
-น้ำหนักโมเลกุล	19.252	24.463	-	24.463
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	189.9	-191.1	-	-191.1
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	1.923	1.476	-	1.476
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	7.103	24.166	-	24.166
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	0.9575	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1254.0	1254.0	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	23851.2	23851.2	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	19.020	19.020	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-531.6	-531.6	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.308	3.308	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	465.10	465.10	-

ตารางที่ 4.33 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตกที่
ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_West	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0.1423	0	1
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1358.7	193.4	-	193.4
กิโลกรัม/ชั่วโมง	26157.8	4535.0	-	4535.0
-น้ำหนักโมเลกุล	19.252	23.448	-	23.448
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	191.7	-184.3	-	-184.3
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	1.912	1.495	-	1.495
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	5.509	17.556	-	17.556
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	0.8577	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1165.3	1165.3	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21622.8	21622.8	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.555	18.555	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-549.4	-549.4	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.373	3.373	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	465.10	465.10	-

ตารางที่ 4.34 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตกที่
ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_West	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0.2875	0	1
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1460.0	419.7	-	419.7
กิโลกรัม/ชั่วโมง	28107.3	9100.3	-	9100.3
-น้ำหนักโมเลกุล	19.252	21.682	-	21.682
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	193.4	-173.7	-	-173.7
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	1.901	1.590	-	1.590
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	3.935	11.325	-	11.325
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	0.7125	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1040.3	1040.3	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	19007.0	19007.0	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.271	18.271	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-563.6	-563.6	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.416	3.416	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	447.3	447.3	-

ตารางที่ 4.35 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งตะวันตกที่
ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_West	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0.7411	0	1
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	2038.4	1510.7	-	1510.7
กิโลกรัม/ชั่วโมง	39242.9	28348.2	-	28348.2
-น้ำหนักโมเลกุล	19.252	18.765	-	18.765
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	195.1	-153.8	-	-153.8
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	1.890	1.831	-	1.831
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	2.352	5.739	-	5.739
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	0.2589	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	527.7	527.7	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	10894.7	10894.7	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	20.644	20.644	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-524.4	-524.4	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.102	3.102	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	486.5	486.5	-

พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตกที่มีการดำเนินงานที่ความดันสูง จะให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวสูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ ในขณะที่ใช้ค่าพลังงาน ความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง และ พลังงานที่ใช้ (Power Consumption) 7,979.64 กิโลวัตต์ ที่เท่ากันและสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอล เอ็นจี (Power consumption per productivity) แสดงดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันตก

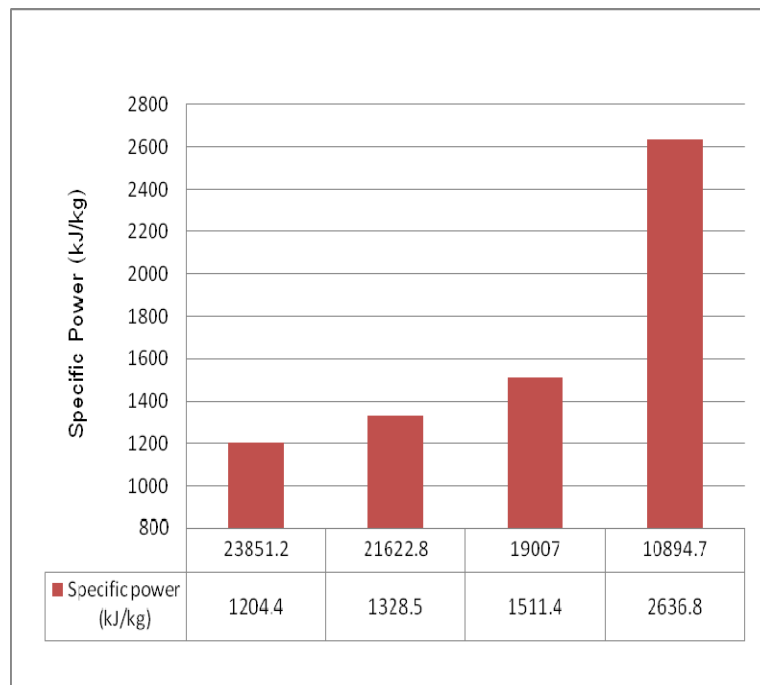
รายละเอียด	8 บาร์เกจ	6 บาร์เกจ	4 บาร์เกจ	2 บาร์เกจ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Productivity), กิโลกรัม/ชั่วโมง	23,851.2	21,622.8	19007.0	10894.7
พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลของ แอลเอ็นจี (Specific Power), กิโลจูล/กิโลกรัม	1204.4	1328.5	1511.4	2636.8

จากรูปที่ 4.12 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะทำให้ได้ ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณสูงที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ จะ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.13 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะใช้พลังงานที่ ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีต่ำที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์ เกจ จะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีสูงที่สุด



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ
ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันตก



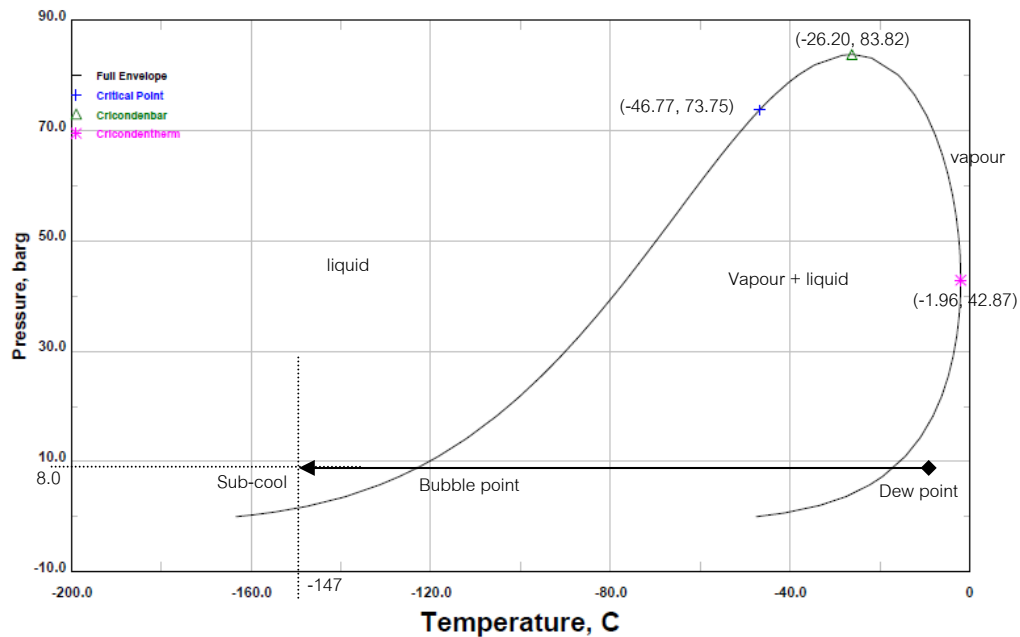
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี
ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันตก

4.4.7 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขนอม

แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขนอม (2007) ในตารางที่ 4.37 ได้นำองค์ประกอบต่างๆของก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก เหตุผลที่ต้องนำก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาพิจารณาเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีจุดเยือกแข็ง (Freezing) ที่ -50 องศาเซลเซียส มีสถานะจะเป็นน้ำแข็งแห้ง (Dry Ice) ถ้าไม่มีการแยกออกเมื่อนำก๊าซธรรมชาติจากแหล่งนั้นมาดำเนินงานจริงทำให้เกิดการอุดตัน (Block) และทำให้เกิดสภาวะความดันเกิน (Over Pressure) ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchangers) ที่ทำจากวัสดุ Aluminum อัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันนั้นเป็นช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.37 แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขนอม (2007)

องค์ประกอบ	%โมล (จากแหล่งดั้งเดิม)	%โมล (แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก)
มีเทน	66.1	83.80
อีเทน	8.65	10.97
โพรเพน	2.93	3.71
บิวเทน	0.2	0.25
เพนเทน	0.12	0.15
เฮกเซน	0.15	0.20
ไนโตรเจน	0.73	0.93
คาร์บอนไดออกไซด์	21.1	0.00



รูปที่ 4.14 แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขอม (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก

สามารถอธิบายจุดต่างๆได้ดังนี้ จุด Cricondentherm คือจุดที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด -1.96 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 42.87 บาร์เกจ เป็นจุดที่อยู่บนเส้นน้ำค้าง (Dew Point) ซึ่งเป็นจุดที่ก๊าซธรรมชาติเริ่มจะควบแน่นเป็นของเหลว, จุด Cricondenbar คือจุดที่มีความดันสูงที่สุด 83.82 บาร์เกจ ณ ที่อุณหภูมิ -26.20 องศาเซลเซียส และจุดวิกฤต (Critical Point) คือ จุดที่เมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้เส้นทางของกระบวนการที่เชื่อมระหว่างจุดของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัวยิ่งสั้นลงที่จุด -46.77 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 73.75 บาร์เกจ เมื่อเชื่อมสถานะของของเหลวอิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆเข้าด้วยกันจะได้เส้น ซึ่งเรียกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เช่นเดียวกันเมื่อเชื่อมสถานะของไออิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆ เข้าด้วยกันจะเกิดเป็นเส้นไออิ่มตัวโดยเส้นของสารอิ่มตัวทั้งสองจะมาบรรจบกันที่จุดวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวเป็นบริเวณที่แสดงสถานะของสารที่มีสถานะเป็นของเหลวอัด (compressed liquid region) ด้านขวาของเส้นไออิ่มตัวเป็นบริเวณของไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor region) ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region)

ตารางที่ 4.38 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งขอมที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Kanom	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1120.9	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21368.1	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	19.063	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	276.9	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.128	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	7.093	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1120.9	1120.9	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21368.1	21368.1	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	19.063	19.063	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-552.8	-552.8	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.282	3.282	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	460.8	460.8	-

ตารางที่ 4.39 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งขอมที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Kanom	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1117.3	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21300	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	19.063	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	279.3	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.113	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	5.491	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1117.3	1117.3	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21300	21300	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	19.063	19.063	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-553.0	-553.0	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.285	3.285	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	460.6	460.6	-

ตารางที่ 4.40 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งขนอนมที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Kanom	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1113.8	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21232.2	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	19.063	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	281.7	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.099	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	3.905	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1113.8	1113.8	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21232.2	21232.2	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	19.063	19.063	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-553.3	-553.3	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.288	3.288	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	460.4	460.4	-

ตารางที่ 4.41 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งขอมที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Kanom	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1110.3	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21165.3	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	19.063	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	284.1	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.085	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	2.335	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1110.3	1110.3	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21165.3	21165.3	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	19.063	19.063	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-553.5	-553.5	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.291	3.291	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	460.2	460.2	-

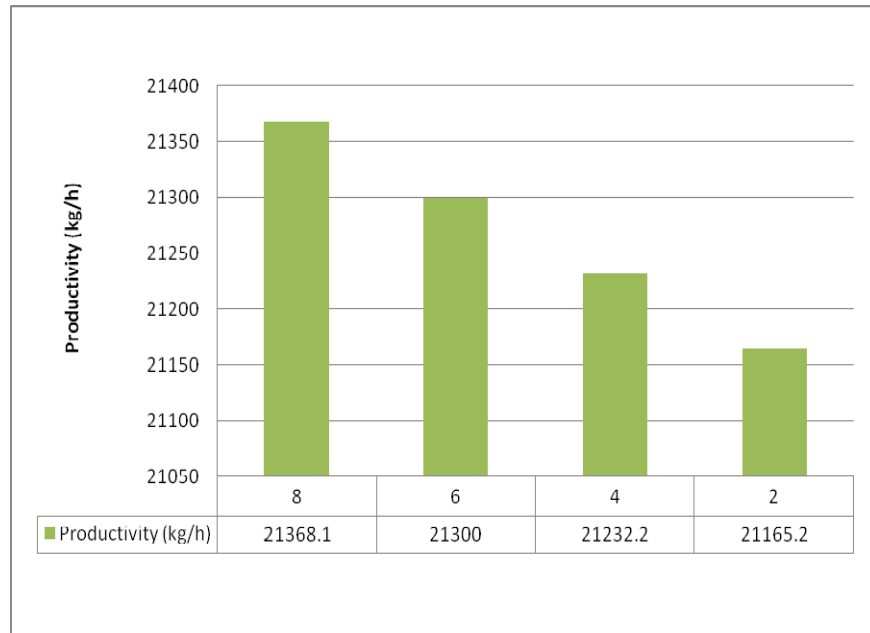
พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขอมที่มีการดำเนินงานที่ความดันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวสูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ ในขณะที่ใช้ค่าพลังงานความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง และ พลังงานที่ใช้ (Power Consumption) 7,979.64 กิโลวัตต์ ที่เท่ากันและสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี (Power consumption per productivity) แสดงดังตารางที่ 4.42

ตารางที่ 4.42 แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งขอม

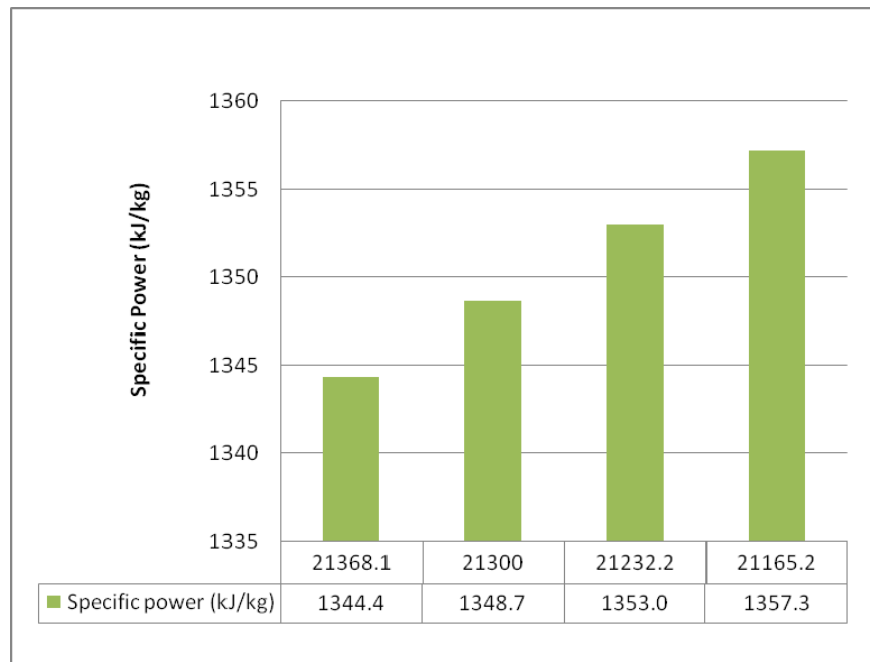
รายละเอียด	8 บาร์เกจ	6 บาร์เกจ	4 บาร์เกจ	2 บาร์เกจ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Productivity), กิโลกรัม/ชั่วโมง	21,368.1	21,300.0	21,232.2	21,165.2
พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลของ แอลเอ็นจี (Specific Power), กิโลจูล/กิโลกรัม	1,344.4	1,348.7	1,353.0	1,357.3

จากรูปที่ 4.16 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณสูงที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.17 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีต่ำที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ จะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีสูงที่สุด



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ
ของก๊าซธรรมชาติแหล่งขนอม



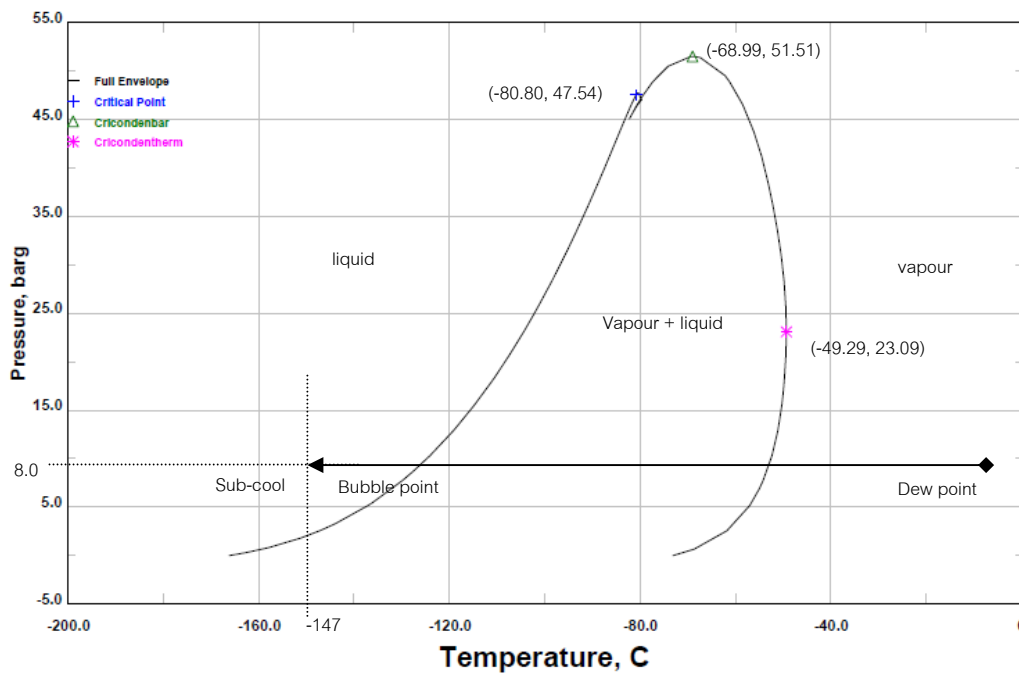
รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี
ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งขนอม

4.4.8 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง

แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007) ในตารางที่ 4.43 ได้นำองค์ประกอบต่างๆของก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก เหตุผลที่ต้องนำก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาพิจารณาเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีจุดเยือกแข็ง (Freezing) ที่ -50 องศาเซลเซียส มีสถานะจะเป็นน้ำแข็งแห้ง (Dry Ice) ถ้าไม่มีการแยกออกเมื่อนำก๊าซธรรมชาติจากแหล่งนั้นมาดำเนินงานจริงทำให้เกิดการอุดตัน (Block) และทำให้เกิดสภาวะความดันเกิน (Over Pressure) ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchangers) ที่ทำจากวัสดุ Aluminum อัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันนั้นเป็นช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

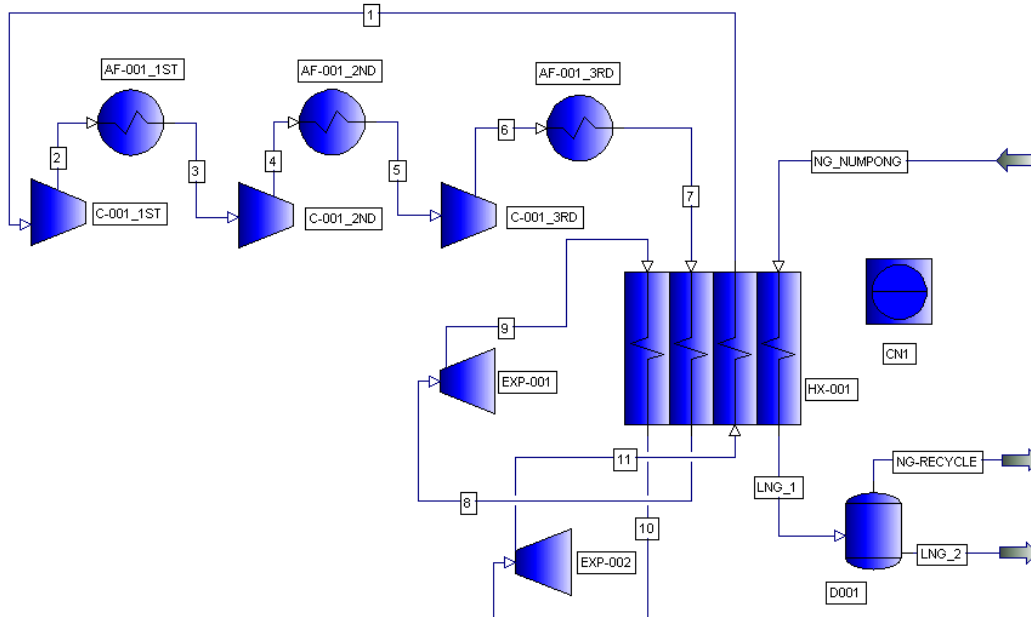
ตารางที่ 4.43 แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007)

องค์ประกอบ	%โมล (จากแหล่งดั้งเดิม)	%โมล (แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก)
มีเทน	95.5	97.4
อีเทน	0.6	0.61
โพรเพน	0.07	0.07
บิวเทน	0.06	0.06
เพนเทน	0.00	0.00
เฮกเซน	0.02	0.002
ไนโตรเจน	1.8	1.84
คาร์บอนไดออกไซด์	2.0	0.00



รูปที่ 4.18 แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก

สามารถอธิบายจุดต่างๆได้ดังนี้ จุด Cricondentherm คือจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด -49.29 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 23.09 บาร์เกจ เป็นจุดที่อยู่บนเส้นน้ำค้าง (Dew Point) ซึ่งเป็นจุดที่ก๊าซธรรมชาติเริ่มจะควบแน่นเป็นของเหลว, จุด Cricondenbar คือจุดที่มีความดันสูงสุด 51.51 บาร์เกจ ณ ที่อุณหภูมิ -68.99 องศาเซลเซียส และจุดวิกฤต (Critical Point) คือ จุดที่เมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้เส้นทางของกระบวนการที่เชื่อมระหว่างจุดของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัวถึงสั้นลงที่จุด -80.80 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 47.57 บาร์เกจ เมื่อเชื่อมสภาวะของของเหลวอิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆเข้าด้วยกันจะได้เส้น ซึ่งเรียกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เช่นเดียวกันเมื่อเชื่อมสภาวะของไออิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆ เข้าด้วยกันจะเกิดเป็นเส้นไออิ่มตัวโดยเส้นของสารอิ่มตัวทั้งสองจะมาบรรจบกันที่จุดวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวเป็นบริเวณที่แสดงสภาวะของสารที่มีสถานะเป็นของเหลวอัด (compressed liquid region) ด้านขวาของเส้นไออิ่มตัวเป็นบริเวณของไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor region) ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region)



รูปที่ 4.19 แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II

จากรูปที่ 4.18 Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพอง (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกนั้นสามารถศึกษาพฤติกรรมได้ว่าการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงจากสถานะก๊าซที่ 25 องศาเซลเซียสจากจุดน้ำค้าง (Dew Point) จนมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียสเลยจุดเดือด (Bubble Point) และลดอุณหภูมิลงอีกจนถึงสถานะที่เรียกว่า sub-cool liquid ที่ความดันที่ 4-8 บาร์เกจ เป็นสถานะการดำเนินงานที่ห่างจากเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เพราะจะทำให้ของเหลวอยู่ในสถานะที่กลายเป็นไอได้ยาก ส่วนการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ เป็นสถานะการดำเนินงานที่อยู่ต่ำกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) คืออยู่ในส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region) จึงทำให้ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) มีสถานะเป็นของเหลวเพียง 0.7313 สัดส่วนโดยโมล และมีสถานะเป็นก๊าซ 0.2687 สัดส่วนโดยโมล พบว่าการดำเนินงานที่ความดันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลว สูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ สถานะการดำเนินงานที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์ ณ อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียสสรุปได้ดังตารางที่ 4.44 – 4.47

ตารางที่ 4.44 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพองที่
ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_ Numpong	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1286.5	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21108.4	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	16.407	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	226.3	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.234	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	6.057	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1286.5	1286.5	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21108.4	21108.4	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.407	16.407	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-613.6	-613.6	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.770	3.770	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	409.6	409.6	-

ตารางที่ 4.45 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพองที่
ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_ Numpong	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1283.1	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21052.4	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	16.407	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	228.4	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.222	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	4.697	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1283.1	1283.1	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21052.4	21052.4	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.407	16.407	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-613.8	-613.8	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.776	3.776	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	409.3	409.3	-

ตารางที่ 4.46 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพองที่
ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_ Numpong	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1279.7	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	20996.9	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	16.407	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	230.4	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.209	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	3.347	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1279.7	1279.7	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	20996.9	20996.9	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.407	16.407	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-614.0	-614.0	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.783	3.783	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	409.0	409.0	-

ตารางที่ 4.47 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งน้ำพองที่
ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_ Numpong	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0.2687	0	1
-อัตราไอน้ำ, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1498.2	402.6	-	402.6
กิโลกรัม/ชั่วโมง	24582.5	6734.5	-	6734.5
-น้ำหนักโมเลกุล	16.407	16.728	-	16.728
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	232.46	-140.5	-	-140.5
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.197	2.111	-	2.111
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	2.005	5.162	-	5.162
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	0.7313	1	-
-อัตราไอน้ำ, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1095.6	1095.6	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	17848.0	17848.0	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.29	16.29	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-620.2	-620.2	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.808	3.808	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	406.1	406.1	-

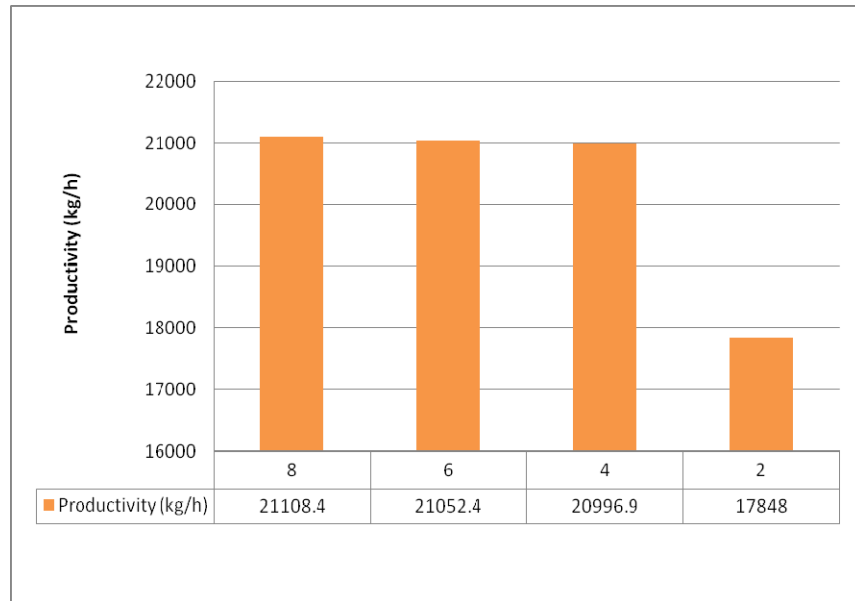
พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำพองที่มีการดำเนินงานที่ความดันสูงจะ ให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวสูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ ในขณะที่ใช้ค่าพลังงานความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง และ พลังงานที่ใช้ (Power Consumption) 7,979.64 กิโลวัตต์ ที่เท่ากันและสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี (Power consumption per productivity) แสดงดังตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.48 แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งน้ำพอง

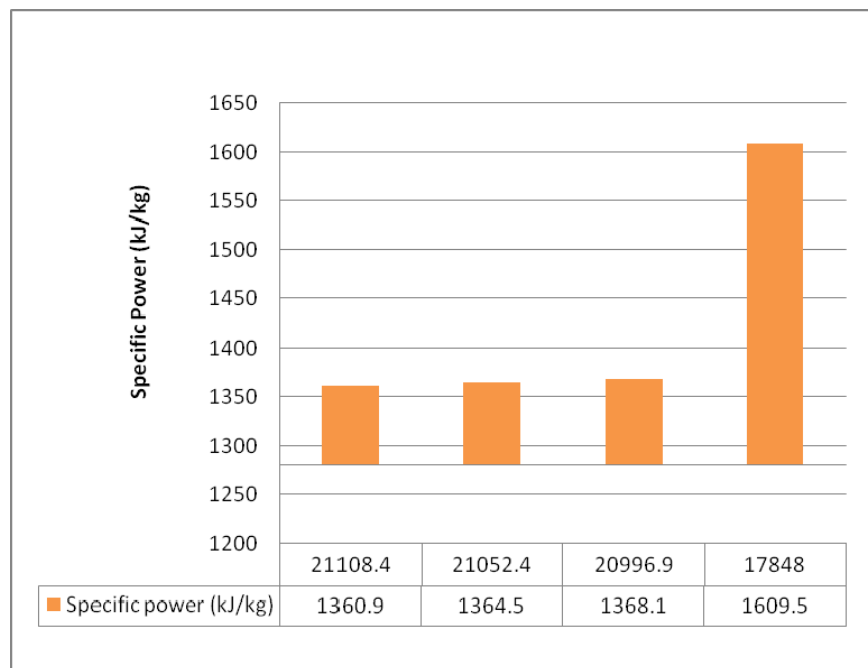
รายละเอียด	8 บาร์เกจ	6 บาร์เกจ	4 บาร์เกจ	2 บาร์เกจ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Productivity), กิโลกรัม/ชั่วโมง	21,108.4	21,052.4	20,996.9	17,848.0
พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลของ แอลเอ็นจี (Specific Power), กิโลจูล/กิโลกรัม	1,360.9	1,364.5	1,368.1	1,609.5

จากรูปที่ 4.20 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะทำให้ได้ ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณสูงที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ จะ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.21 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะใช้พลังงานที่ ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีต่ำที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์ เกจ จะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีสูงที่สุด



รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ
ของก๊าซธรรมชาติแหล่งน้ำพอง



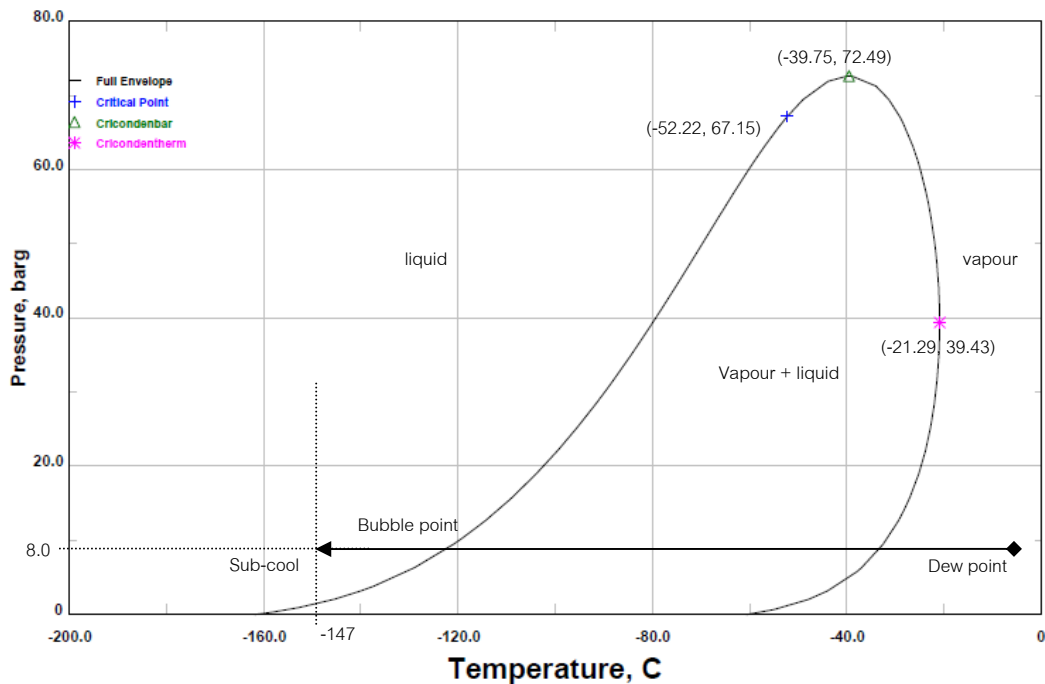
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี
ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งน้ำพอง

4.4.9 แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์

แหล่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์ (2007) ในตารางที่ 4.49 ได้นำองค์ประกอบต่างๆของก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก เหตุผลที่ต้องนำก๊าซธรรมชาติในส่วนที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาพิจารณาเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีจุดเยือกแข็ง (Freezing) ที่ -50 องศาเซลเซียส มีสถานะจะเป็นน้ำแข็งแห้ง (Dry Ice) ถ้าไม่มีการแยกออกเมื่อนำก๊าซธรรมชาติจากแหล่งนั้นมาดำเนินงานจริงทำให้เกิดการอุดตัน (Block) และทำให้เกิดสภาวะความดันเกิน (Over Pressure) ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchangers) ที่ทำจากวัสดุ Aluminum อัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์ (NG Pure) และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันนั้นเป็นช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

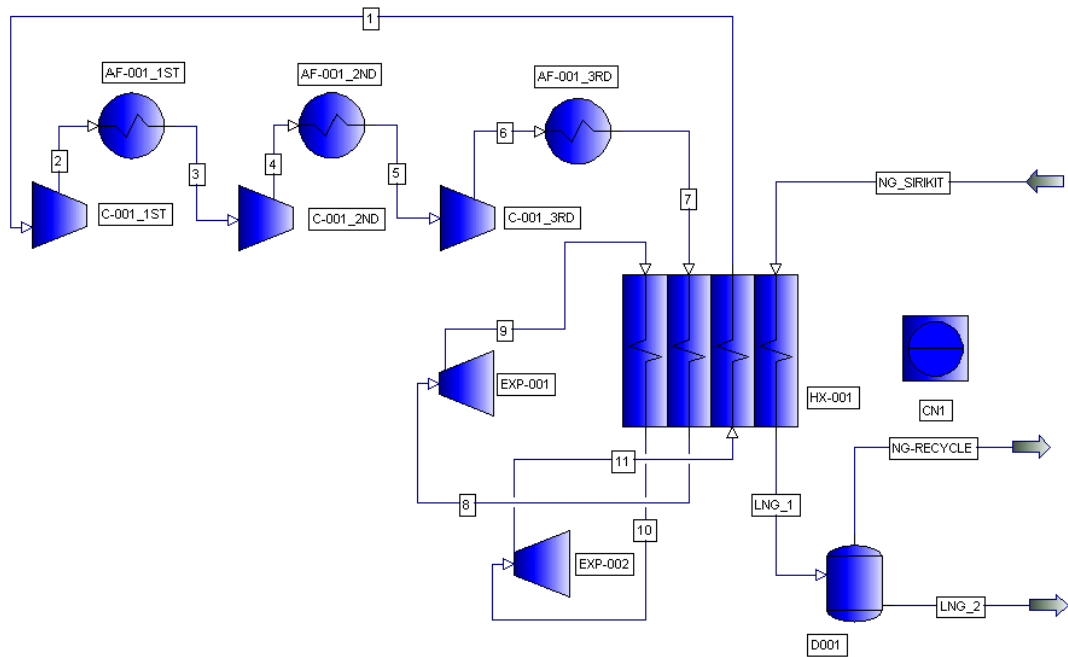
ตารางที่ 4.49 แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์ (2007)

องค์ประกอบ	%โมล (จากแหล่งดั้งเดิม)	%โมล (แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก)
มีเทน	85.05	85.92
อีเทน	11.3	11.42
โพรเพน	1.6	1.59
บิวเทน	0.36	0.36
เพนเทน	0.10	0.11
เฮกเซน	0.05	0.05
ไนโตรเจน	0.55	0.56
คาร์บอนไดออกไซด์	1.0	0.00



รูปที่ 4.22 แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์ (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก

สามารถอธิบายจุดต่างๆได้ดังนี้ จุด Cricondentherm คือจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด -21.29 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 39.43 บาร์เกจ เป็นจุดที่อยู่บนเส้นน้ำค้าง (Dew Point) ซึ่งเป็นจุดที่ก๊าซธรรมชาติเริ่มจะควบแน่นเป็นของเหลว, จุด Cricondenbar คือจุดที่มีความดันสูงสุด 72.49 บาร์เกจ ณ ที่อุณหภูมิ -39.75 องศาเซลเซียส และจุดวิกฤต (Critical Point) คือ จุดที่เมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้เส้นทางของกระบวนการที่เชื่อมระหว่างจุดของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัวยิ่งสั้นลงที่จุด -52.22 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 67.15 บาร์เกจ เมื่อเชื่อมสถานะของของเหลวอิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆเข้าด้วยกันจะได้เส้น ซึ่งเรียกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เช่นเดียวกันเมื่อเชื่อมสถานะของไออิ่มตัวที่ระดับความดันต่างๆ เข้าด้วยกันจะเกิดเป็นเส้นไออิ่มตัวโดยเส้นของสารอิ่มตัวทั้งสองจะมาบรรจบกันที่จุดวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวเป็นบริเวณที่แสดงสถานะของสารที่มีสถานะเป็นของเหลวอัด (compressed liquid region) ด้านขวาของเส้นไออิ่มตัวเป็นบริเวณของไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor region) ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region)



รูปที่ 4.23 แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์ (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยโปรแกรม PRO II

จากรูปที่ 4.22 Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์ (2007) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกนั้นสามารถศึกษาพฤติกรรมได้ว่าการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงจากสถานะก๊าซที่ 25 องศาเซลเซียสจากจุดน้ำค้าง (Dew Point) จนมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียสเลยจุดเดือด (Bubble Point) และลดอุณหภูมิลงอีกจนถึงสถานะที่เรียกว่า sub-cool liquid ที่ความดันที่ 2-8 บาร์เกจ เป็นสถานะการดำเนินงานที่ห่างจากเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เพราะจะทำให้ของเหลวอยู่ในสถานะที่กลายเป็นไอได้ยาก สถานะการดำเนินงานที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์ ณ อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส สรุปได้ดังตารางที่ 4.51 – 4.54

ตารางที่ 4.50 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Sirikit	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1148.8	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21144.1	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	18.406	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	270.7	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.156	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	6.838	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1148.8	1148.8	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21144.1	21144.1	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.406	18.406	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-567.8	-567.8	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.375	3.375	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	449.3	449.3	-

ตารางที่ 4.51 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Sirikit	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1145.2	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21078.6	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	18.406	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	273.1	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.141	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	5.295	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1145.2	1145.2	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21078.6	21078.6	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.406	18.406	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-568.1	-568.1	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.378	3.378	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	449.1	449.1	-

ตารางที่ 4.52 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Sirikit	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1141.7	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21013.8	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	18.406	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	275.4	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.127	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	3.767	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1141.7	1141.7	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21013.8	21013.8	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.406	18.406	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-568.3	-568.3	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.382	3.382	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	448.9	448.9	-

ตารางที่ 4.53 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากแหล่งสิริกิติ์ที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_Sirikit	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1138.2	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	20949.7	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	18.406	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	277.7	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.113	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	2.253	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1138.2	1138.2	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	20949.7	20949.7	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	18.406	18.406	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-568.6	-568.6	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.386	3.386	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	448.7	448.7	-

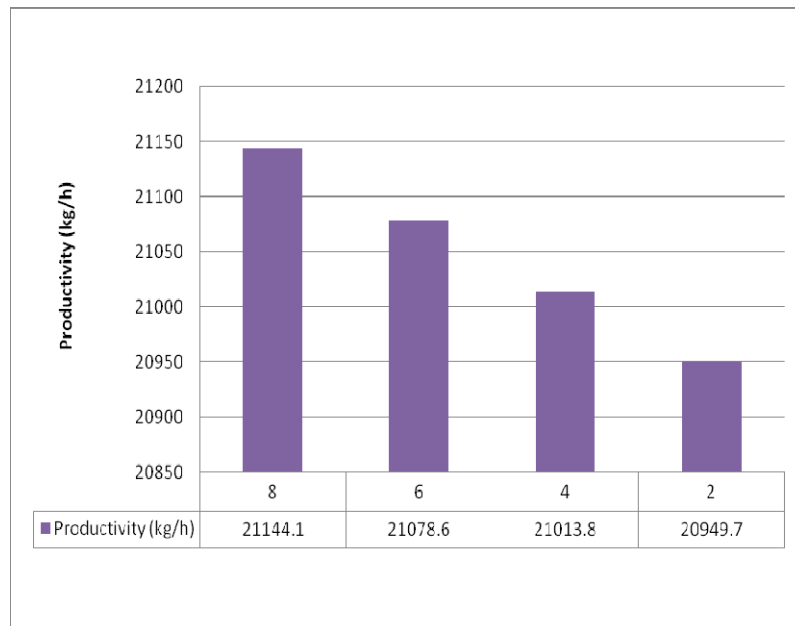
พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสิริกิติ์ที่มีการดำเนินงานที่ความดันสูงจะ ให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวสูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ ในขณะที่ใช้ค่าพลังงานความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะจูล/ชั่วโมง และ พลังงานที่ใช้ (Power Consumption) 7,979.64 กิโลวัตต์ ที่เท่ากันและสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี (Power consumption per productivity) แสดงดังตารางที่ 4.54

ตารางที่ 4.54 แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งสิริกิติ์

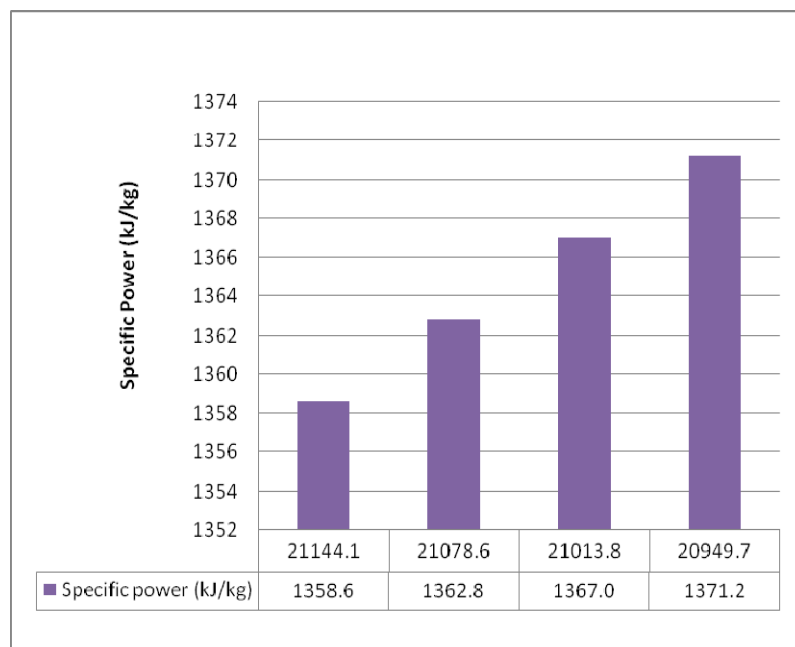
รายละเอียด	8 บาร์เกจ	6 บาร์เกจ	4 บาร์เกจ	2 บาร์เกจ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Productivity), กิโลกรัม/ชั่วโมง	21,144.1	21,078.6	21,013.8	20,949.7
พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลของ แอลเอ็นจี (Specific Power), กิโลจูล/กิโลกรัม	1,358.6	1,362.8	1,367.0	1,371.2

จากรูปที่ 4.24 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะทำให้ได้ ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณสูงที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ จะ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่มีปริมาณต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.25 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะใช้พลังงานที่ ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีต่ำที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์ เกจ จะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีสูงที่สุด



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ
ของก๊าซธรรมชาติแหล่งสิริกิติ์

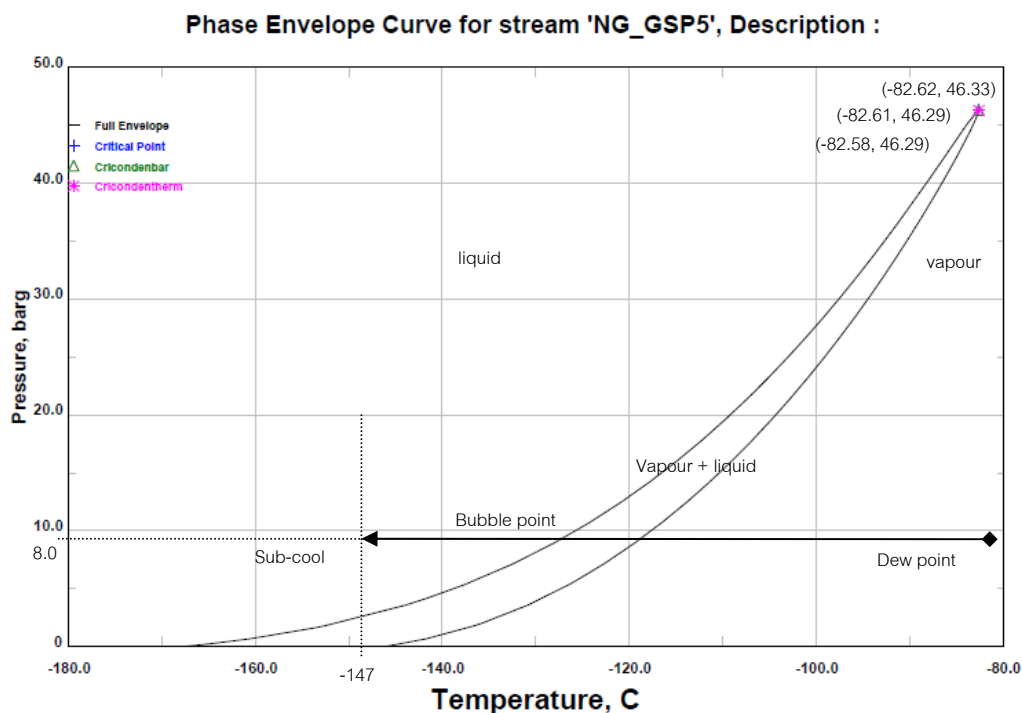


รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี
ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติแหล่งสิริกิติ์

4.4.10 แหล่งก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5
แหล่งก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010)
ได้ใช้แหล่งก๊าซธรรมชาติที่ขนส่งโดยทางท่อ (Pipe Natural Gas) เรียกชื่อทางการตลาดว่า Sale Gas คือ ก๊าซธรรมชาติที่มีก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Purification) ซึ่งมีปริมาณมีเทนสูงถึง 97%โมล ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังตารางที่ 4.55

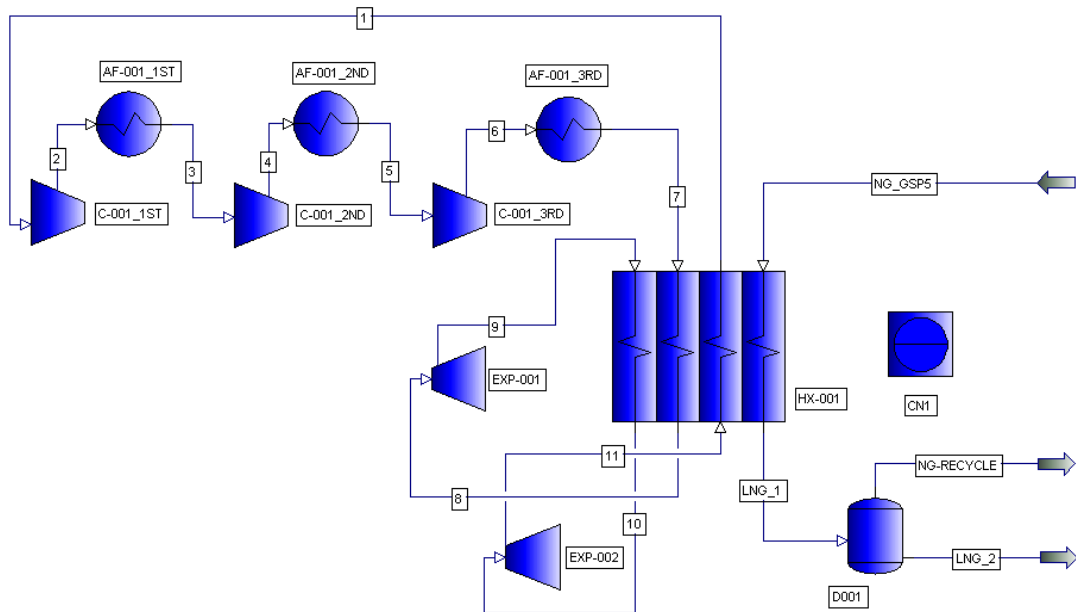
ตารางที่ 4.55 แสดงองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010)

องค์ประกอบ	%โมล (จากแหล่งดั้งเดิม)
มีเทน	97.00
อีเทน	0.479
โพรเพน	0.002
บิวเทน	0.00
เพนเทน	0.00
เฮกเซน	0.00
ไนโตรเจน	2.509
คาร์บอนไดออกไซด์	0.00



รูปที่ 4.26 แสดง Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010)

สามารถอธิบายจุดต่างๆได้ดังนี้ จุด Cricondentherm คือจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด -82.58 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 46.29 บาร์เกจ เป็นจุดที่อยู่บนเส้นน้ำค้าง (Dew Point) ซึ่งเป็นจุดที่ก๊าซธรรมชาติเริ่มจะควบแน่นเป็นของเหลว, จุด Cricondenbar คือจุดที่มีความดันสูงสุด 46.33 บาร์เกจ ณ ที่อุณหภูมิ -82.61 องศาเซลเซียส และจุดวิกฤต (Critical Point) คือ จุดที่เมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้เส้นทางของกระบวนการที่เชื่อมระหว่างจุดของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัวยิ่งสั้นลงที่จุด -82.62 องศาเซลเซียส ณ ที่ความดัน 46.33 บาร์เกจ จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 จุด เกือบจะเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งนี้ที่ปริมาณมีเทนสูงจนเกือบเป็นสารบริสุทธิ์ ทำให้ส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region) มีน้อยกว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งอื่นๆ



รูปที่ 4.27 แสดงผังกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010) โดยโปรแกรม PRO II

จากรูปที่ 4.26 Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010) ที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกนั้นสามารถศึกษาพฤติกรรมได้ว่าการลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงจากสถานะก๊าซที่ 25 องศาเซลเซียสจากจุดน้ำค้าง (Dew Point) จนมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียสเลยจุดเดือด (Bubble Point) และลดอุณหภูมิลงอีกจนถึงสภาวะที่เรียกว่า sub-cool liquid ที่ความดันที่ 4-8 บาร์เกจ เป็นสภาวะการดำเนินงานที่ห่างจากเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) เพราะจะทำให้ของเหลวอยู่ในสภาวะที่กลายเป็นไอได้ยาก ส่วนการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ เป็นสภาวะการดำเนินงานที่อยู่ต่ำกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid line) คืออยู่ในส่วนบริเวณที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (saturated liquid vapor mixture region) จึงทำให้ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) มีสถานะเป็นของเหลวเพียง 0.5866 สัดส่วนโดยโมล และมีสถานะเป็นก๊าซ 0.4134 สัดส่วนโดยโมล พบว่าการดำเนินงานที่ความดันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลว สูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ สภาวะการดำเนินงานที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์ ณ อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส สรุปได้ดังตารางที่ 4.57 – 4.60

ตารางที่ 4.56 แสดงสถานะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale Gas ของโรง
แยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010) ที่ความดัน 8 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_GSP5	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1294.8	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21248.4	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	16.411	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	222.2	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.224	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	6.057	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1294.8	1294.8	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21248.4	21248.4	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.411	16.411	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-612.2	-612.2	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.773	3.773	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	409.8	409.8	-

ตารางที่ 4.57 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale Gas ของโรง
แยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010) ที่ความดัน 6 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_GSP5	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1291.4	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21192.6	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	16.411	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	224.3	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.212	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	4.697	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1291.4	1291.4	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21192.6	21192.6	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.411	16.411	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-612.3	-612.3	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.780	3.780	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	409.5	409.5	-

ตารางที่ 4.58 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale Gas ของ
โรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010) ที่ความดัน 4 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_GSP5	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0	0	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1288.0	-	-	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	21137.2	-	-	-
-น้ำหนักโมเลกุล	16.411	-	-	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	226.3	-	-	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.199	-	-	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	3.347	-	-	-
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	1	1	-
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	1288.0	1288.0	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	21137.2	21137.2	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.411	16.411	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-612.5	-612.5	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.787	3.787	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	409.2	409.2	-

ตารางที่ 4.59 แสดงสภาวะต่างๆของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sale Gas ของโรง
แยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 (2010) ที่ความดัน 2 บาร์เกจ, อุณหภูมิ -147 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	NG_GSP5	LNG_1	LNG_2	NG_Recycle
สถานะก๊าซสัดส่วนโดยโมล	1	0.4134	0	1
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	1667.5	689.4	-	689.4
กิโลกรัม/ชั่วโมง	27365.8	11513.6	-	11513.6
-น้ำหนักโมเลกุล	16.411	16.701	-	16.701
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	228.3	-140.3	-	-140.3
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	2.187	2.115	-	2.115
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	2.005	5.155	-	5.155
สถานะของเหลวสัดส่วนโดยโมล	0	0.5866	1	0
-อัตราการไหล, กิโลโมล/ชั่วโมง,	-	978.1	978.1	-
กิโลกรัม/ชั่วโมง	-	15852.2	15852.2	-
-น้ำหนักโมเลกุล	-	16.206	16.206	-
-เอนทาลปี, กิโลจูล/กิโลกรัม	-	-622.5	-622.5	-
-Cp, กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส	-	3.827	3.827	-
-ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลบ.เมตร	-	404.5	404.5	-

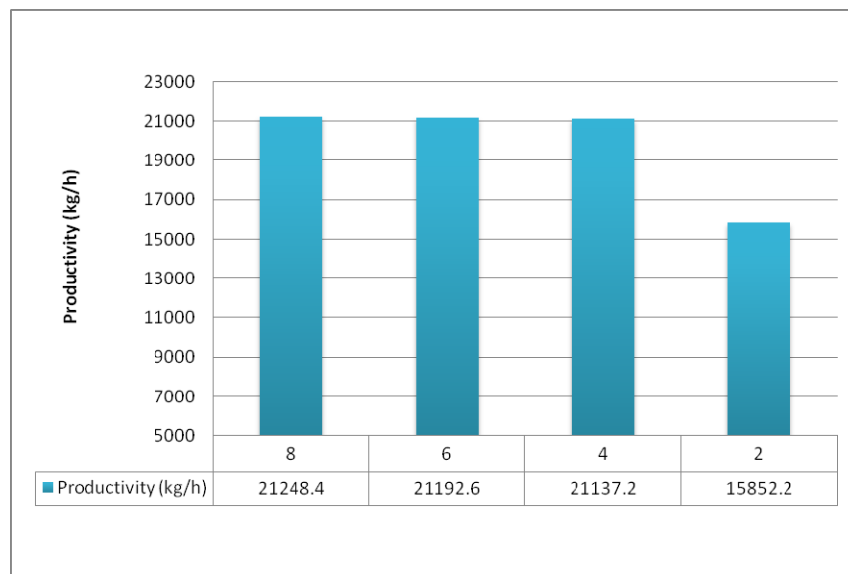
พบว่าก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5 ที่มีการดำเนินงานที่ความดันสูงจะให้ผลผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวสูงกว่าการดำเนินงานที่ความดันต่ำ ในขณะที่ใช้ค่าพลังงานความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง และ พลังงานที่ใช้ (Power Consumption) 7,979.64 กิโลวัตต์ ที่เท่ากันและสามารถคำนวณค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลผลิตแอลเอ็นจี (Power consumption per productivity) แสดงดังตารางที่ 4.60

ตารางที่ 4.60 แสดงค่าพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลผลิตแอลเอ็นจีของการดำเนินงานที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5

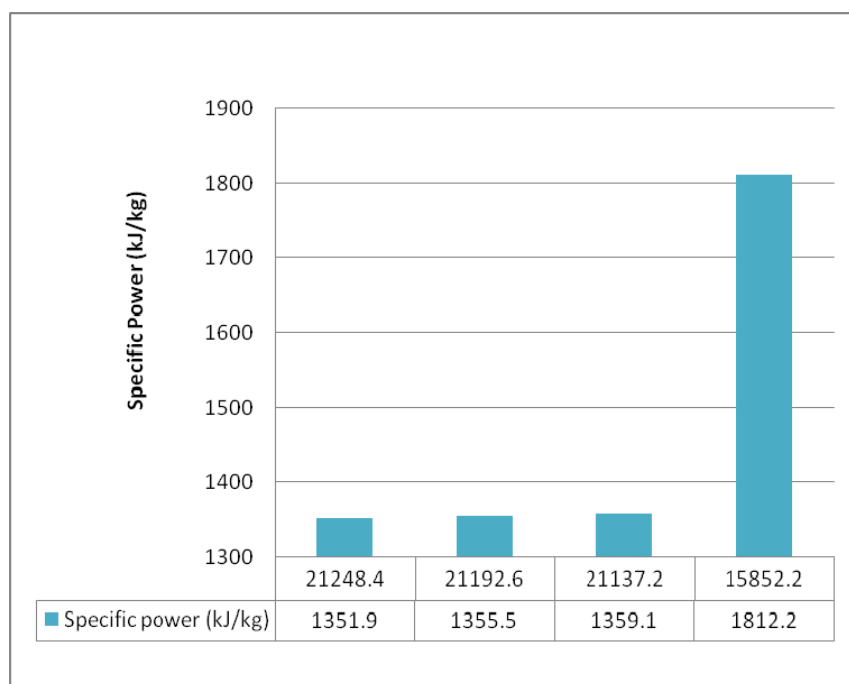
รายละเอียด	8 บาร์เกจ	6 บาร์เกจ	4 บาร์เกจ	2 บาร์เกจ
ผลผลิตที่ได้ (Productivity), กิโลกรัม/ชั่วโมง	21,248.4	21,192.6	21,1137.2	15,852.2
พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลของ แอลเอ็นจี (Specific Power), กิโลจูล/กิโลกรัม	1,351.9	1,355.5	1,359.1	1,812.2

จากรูปที่ 4.28 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะทำให้ได้ผลผลิตแอลเอ็นจีที่มีปริมาณสูงที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ จะทำให้ได้ผลผลิตแอลเอ็นจีที่มีปริมาณต่ำที่สุด

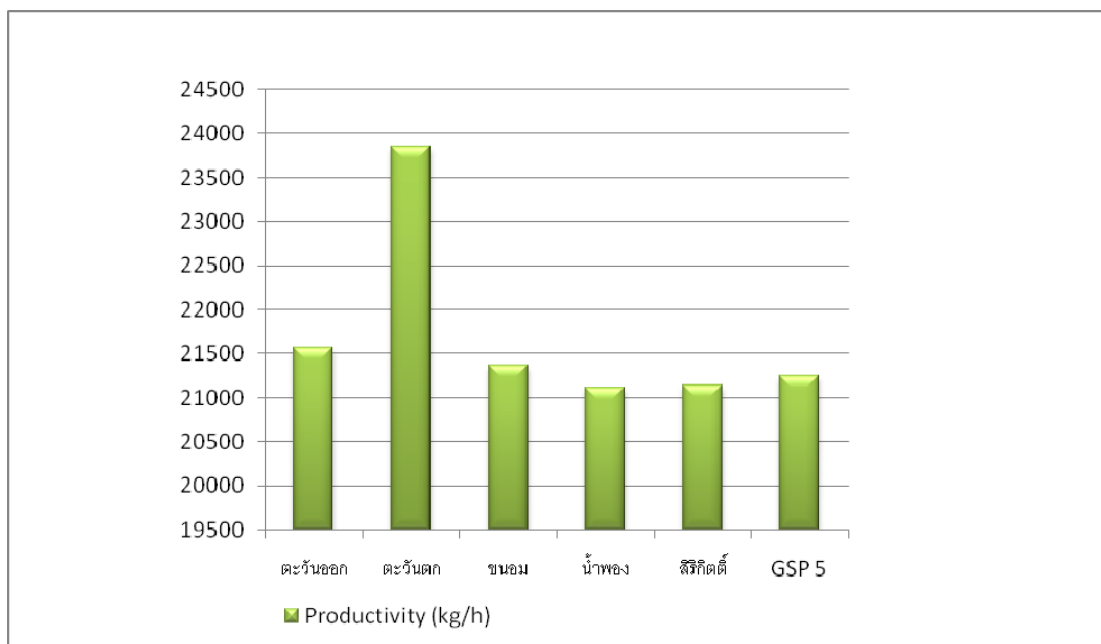
จากรูปที่ 4.29 พบว่าการดำเนินงานความดัน 8 บาร์เกจ จะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลผลิตแอลเอ็นจีต่ำที่สุดและในทางกลับกันการดำเนินงานที่ความดัน 2 บาร์เกจ จะใช้พลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลผลิตแอลเอ็นจีสูงที่สุด



รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ
ของก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5

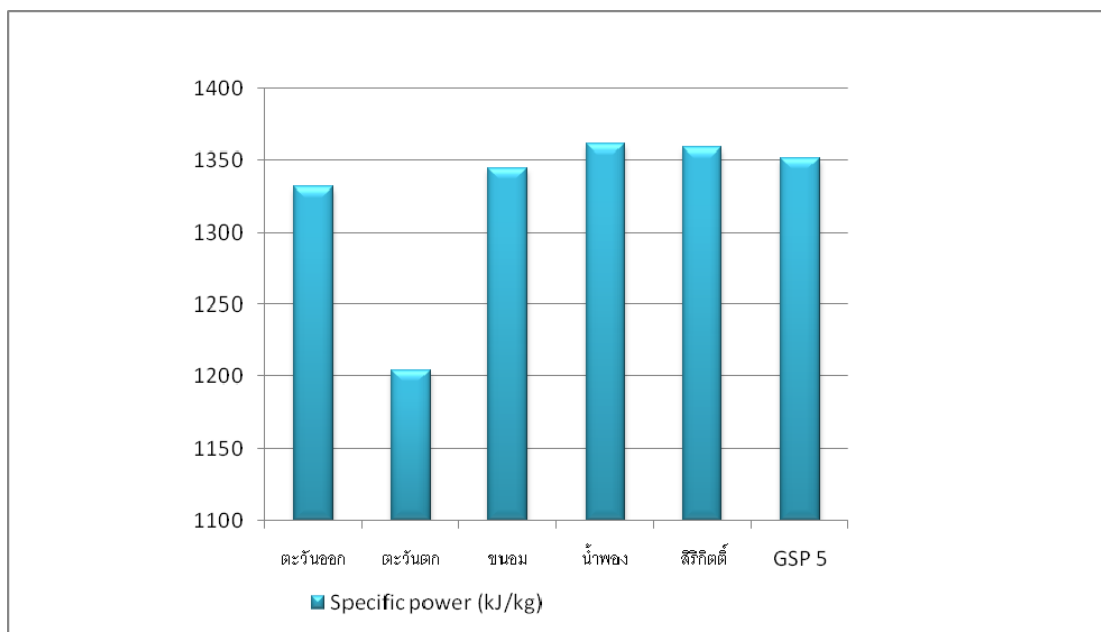


รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี
ที่ความดัน 8, 6, 4, 2 บาร์เกจ ของก๊าซธรรมชาติจาก Sale Gas ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติที่ 5



รูปที่ 4.30 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของก๊าซธรรมชาติแต่ละแหล่งที่ผลิตได้ที่ความดัน 8 บาร์เกจ

จากรูปที่ 4.30 พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตกได้ปริมาณผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งอื่นๆ ในขณะที่ใช้ค่าพลังงานความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะกิโลจูล/ชั่วโมง และ พลังงานที่ใช้ (Power Consumption) 7,979.64 กิโลวัตต์ที่เท่ากัน



รูปที่ 4.31 แสดงปริมาณพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีของก๊าซธรรมชาติแต่ละแหล่งที่ผลิตได้ ที่ความดัน 8 บาร์เกจ

จากรูปที่ 4.31 พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตกใช้ปริมาณพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี

จากรูปที่ 4.30 และ 4.31 จะเห็นได้ว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตกได้ปริมาณผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีมากที่สุดคือ 23,851.2 กิโลกรัม/ชั่วโมง และใช้ปริมาณพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจิน้อยที่สุด 1,204.4 กิโลจูล/กิโลกรัมแอลเอ็นจี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. จากแบบจำลองพบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate-Fin Heat Exchanger) ของกระบวนการแยกอากาศ มีสภาวะการดำเนินงานที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
2. เมื่อนำค่าพลังงานความร้อน (Duty) 28.89 เมกกะจูล/ชั่วโมง ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นจากกระบวนการแยกอากาศ นำมาดัดแปลงใช้งานกับกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว พบว่าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันตกได้ปริมาณผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจี (Productivity) มากที่สุดคือ 23,851.2 กิโลกรัม/ชั่วโมง และใช้ปริมาณพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจಿನ้อยที่สุด 1,204.4 กิโลจูล/กิโลกรัมแอลเอ็นจี
3. การดำเนินงานของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวพบว่าสารป้อนที่มีความดันสูงที่สุดจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุด
4. การดำเนินงานที่ความดันต่ำที่สุดจะทำให้ใช้ปริมาณพลังงานที่ผลิตต่อหน่วยมวลผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีสูงที่สุด
5. องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์แอลเอ็นจีที่ผลิตได้

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่นำมาจากระบบการแยกอากาศนั้นมีข้อจำกัดในด้านค่าการออกแบบความดันที่มีสภาวะการดำเนินงานไม่เกิน 8 บาร์เกจ จึงส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตได้มีปริมาณไม่สูงเท่าที่ควร ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์จะแปรผันตรงกับค่าความดันของการดำเนินงาน จากการพิจารณา Phase Envelope Curve ของก๊าซธรรมชาติแต่ละแหล่งพบว่าสามารถอัดความดันได้สูงกว่า 8 บาร์เกจ แต่ต้องไม่เกินจุดวิกฤต (Critical Point) จะทำให้สามารถได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวที่มีปริมาณสูงขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] Bengt Olav Neeraas, LNG Fundamentale Prinsipp [Online]. 2011. Available from : <http://www.ipt.ntnu.no/> [2011, June 21]
- [2] Frank G. Kerry, Industrial Gas Handbook, Gas Separation and Purification, by Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [3] Klaus D. Timmerhaus, Thomas M. Flynn, Cryogenic Process Engineering, Plenum Press, New York, 1989.
- [4] PRO/II Casebook, Air Separation Plant, 1993.
- [5] โรงแยกก๊าซธรรมชาติโรงที่ 5, คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ, 2550.
- [6] ยอดพงษ์ ลอนนวล, สำเร็จ จักรใจ, สมชาย จันทร์ชานา, นุวงศ์ ชลคุป, การวิเคราะห์ ส่วนประกอบที่แปรผันของก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ที่ใช้ในประเทศไทย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, (25 พฤษภาคม 2550).
- [7] Edited by Heinz-Wolfgang Haring, Translated by Christine Ahner, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Industrial Gas Processing, 2008.
- [8] Michael Barclay and Noel Denton, Foster Wheeler, Selecting offshore LNG process, Energy Limited, UK, LNG journal (October 2005) : page 34-36.
- [9] LNG : The Expanding Horizons of Liquefaction Technology and Project Execution Strategies (August 2007).
- [10] Tariq Shukri, Foster Wheeler, UK, LNG technology selection, discusses available, LNG technologies and the important criteria for selection, Hydrocarbon Engineering (February 2004).
- [11] Jung-in Yoon, Ho-saeng Lee, Seung-taek Oh, Sang-gyu Lee and Keun-hyung Choi, Characteristics of Cascade and C3MR Cycle on Natural Gas Liquefaction Process, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009
- [12] Jorge H. Foglietta – Manager of Process Engineering, ABB Lummus Global – Randall Division, Production of LNG using Dual Independent Expander Refrigeration Cycles, Engineering and Technology, 2009
- [13] ผศ.คมสัน จิระภักดิ์ศิลป, Engineering Metallurgy 1. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา : http://www.ptonline.org/img-lib/staff/file/komson_000200 [2554, ตุลาคม 3]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยโปรแกรม PRO II

โปรแกรม PRO II เป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิตแบบสภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic) เป็นโปรแกรมหนึ่งซึ่งประกอบอยู่ใน Process Engineering Suite ของบริษัท SIMSCI-ESSCOR

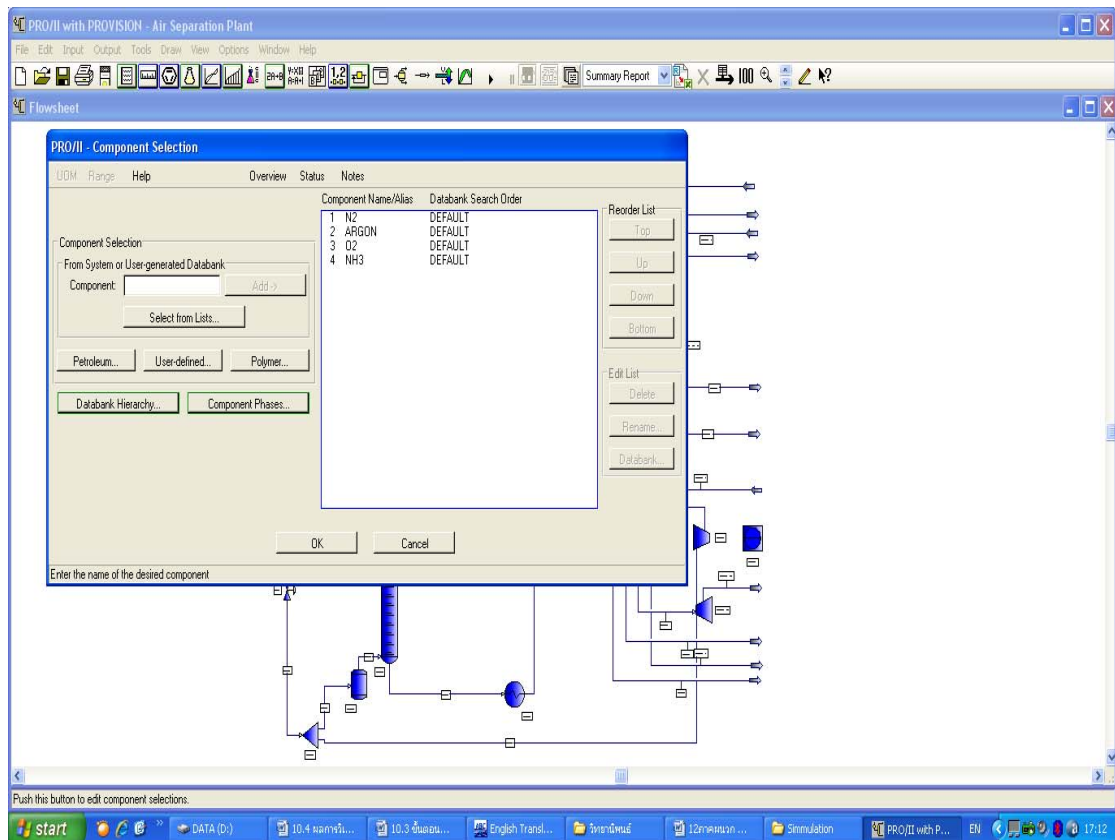
ก.1 การสร้างแบบจำลองของกระบวนการแยกอากาศ

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของกระบวนการแยกอากาศสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

1. ทำการศึกษาการทำงานของกระบวนการแยกอากาศ
2. หาข้อมูลของกระบวนการแยกอากาศ ซึ่งได้แก่
 - องค์ประกอบทั้งหมดของกระบวนการ เช่น เครื่องอัดอากาศ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หอกลิ้น ถังเก็บผลิตภัณฑ์
 - สภาวะการดำเนินงานได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหล
 - องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารป้อนที่เข้ากระบวนการ
 - คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์
3. ทำการสร้างแบบจำลองกระบวนการตามแผนผังกระบวนการผลิต ป้อนข้อมูลของสารป้อนและข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการ และทำการกำหนดสภาวะการดำเนินงานให้กับกระบวนการให้ใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตจริง

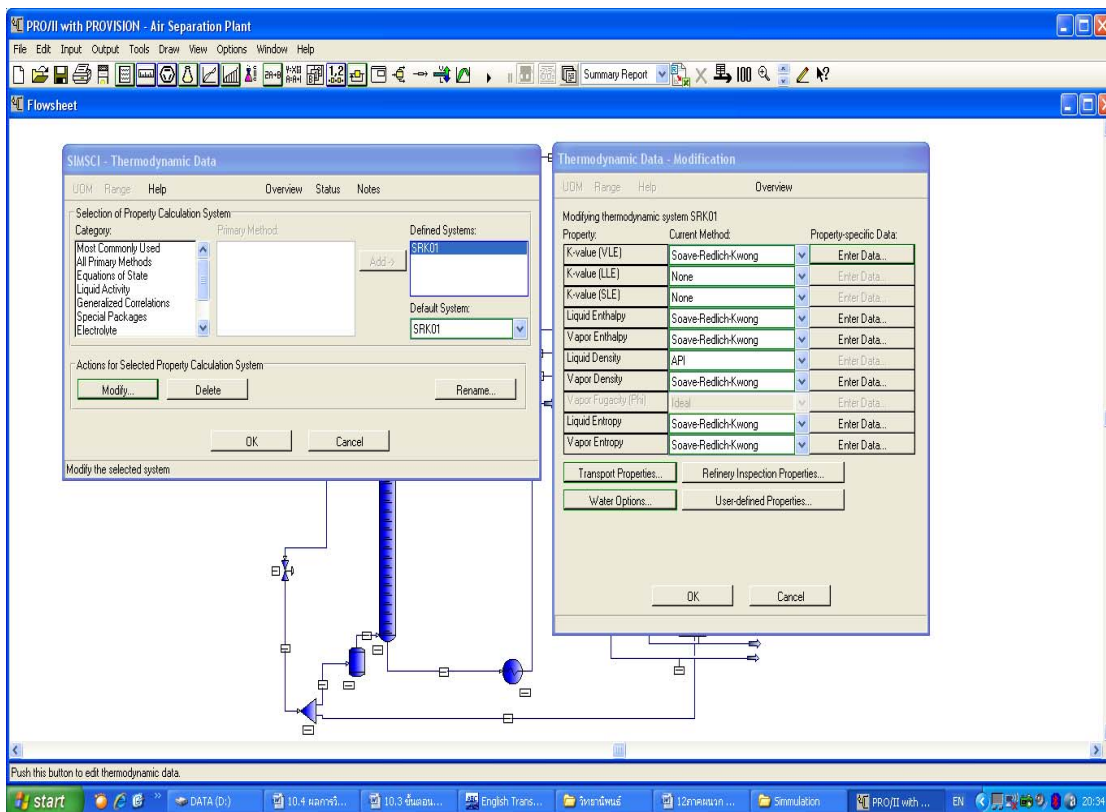
ก.2 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองของกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II

- 1) เลือก Component ที่ใช้เป็นสารป้อนในกระบวนการแยกอากาศ



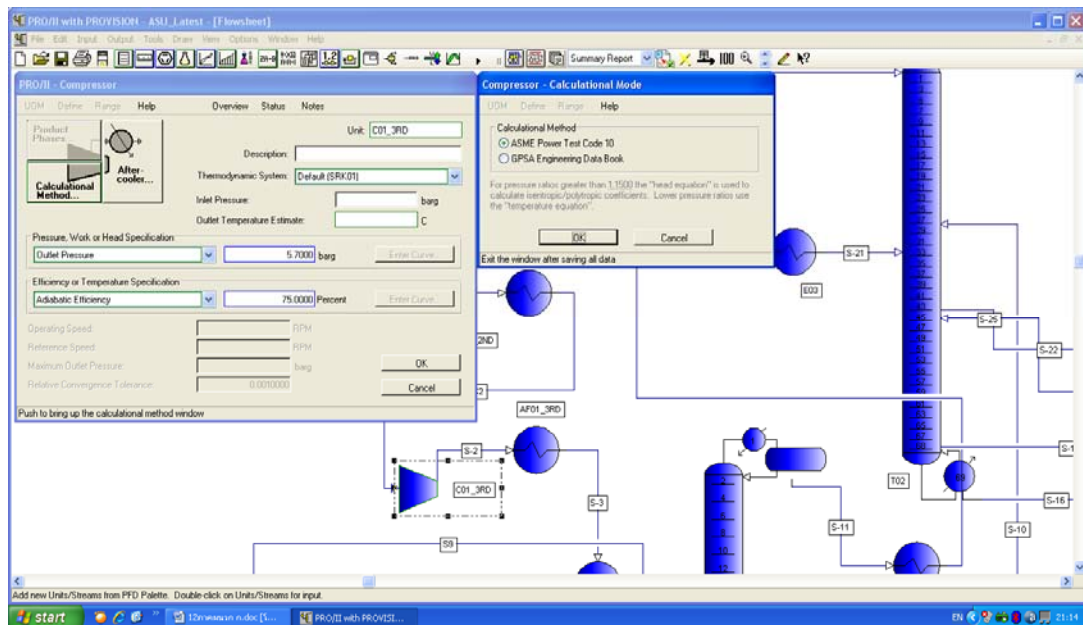
รูปที่ ก.1 แสดงตัวอย่างการป้อนองค์ประกอบของสารที่ใช้ในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II

2) เลือก Thermodynamic data ที่ใช้ในกระบวนการแยกอากาศ

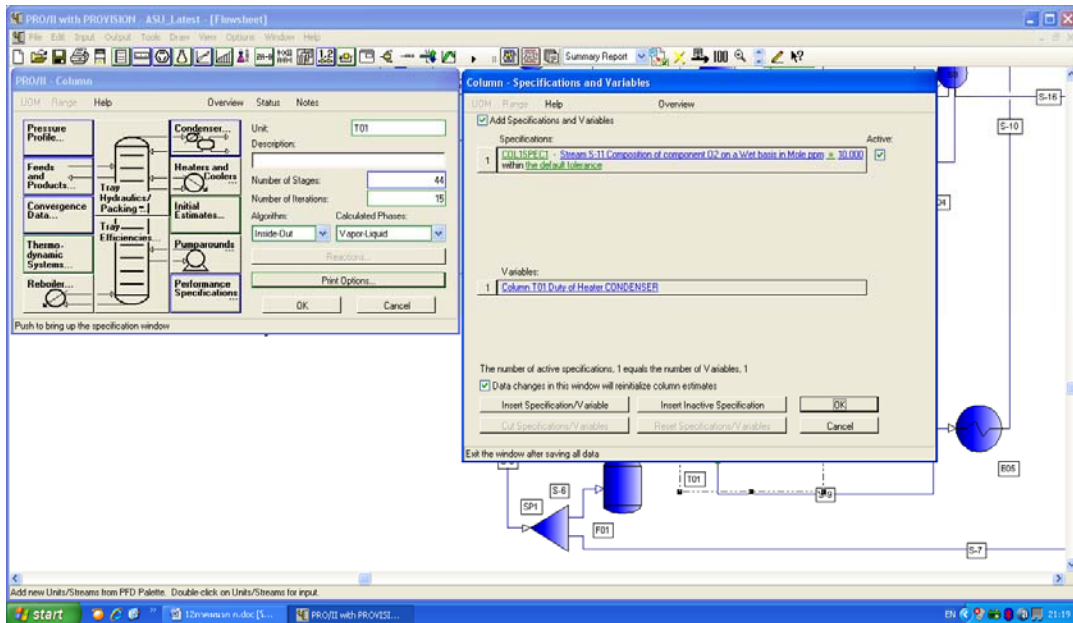


รูปที่ ก.2 แสดงตัวอย่างการกำหนดวิธีการคำนวณคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการแยกอากาศในแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PRO II

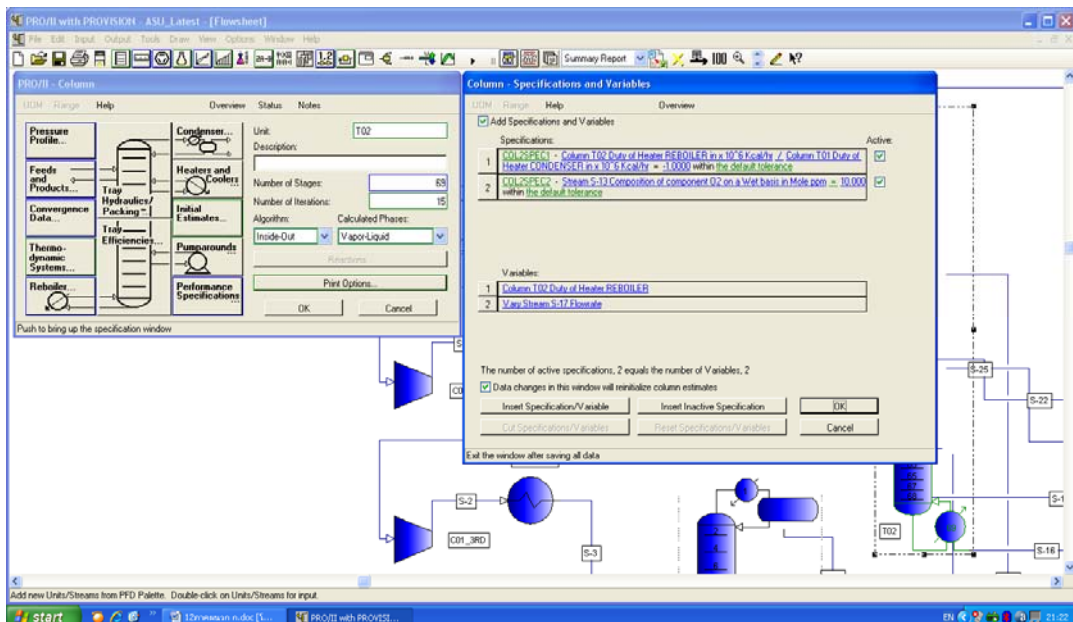
3) การใส่ข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการแยกอากาศ



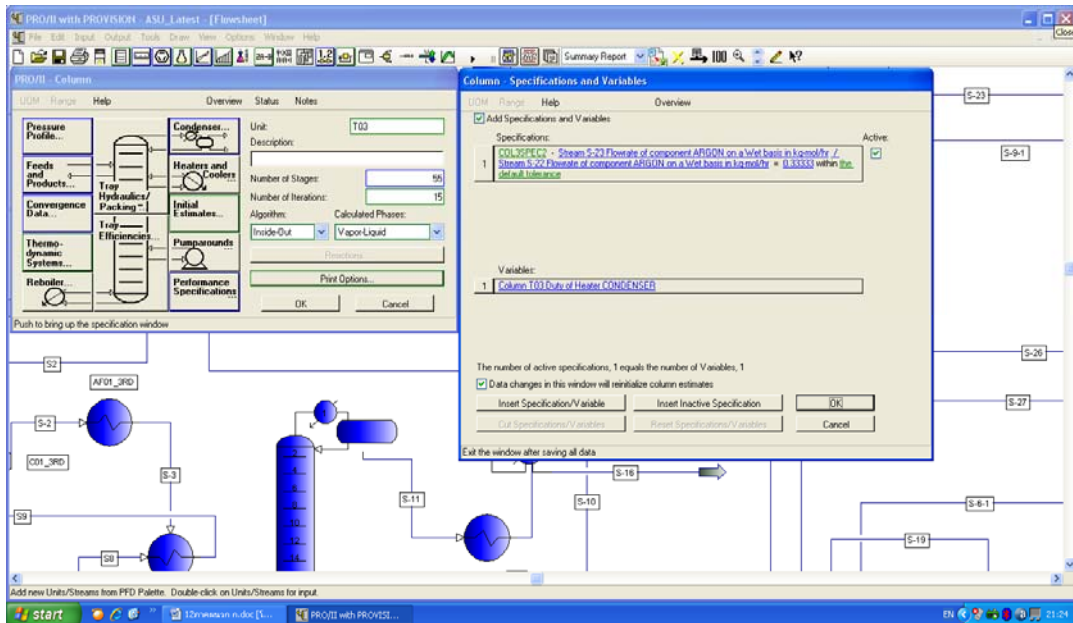
รูปที่ ก.3 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดอากาศในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II



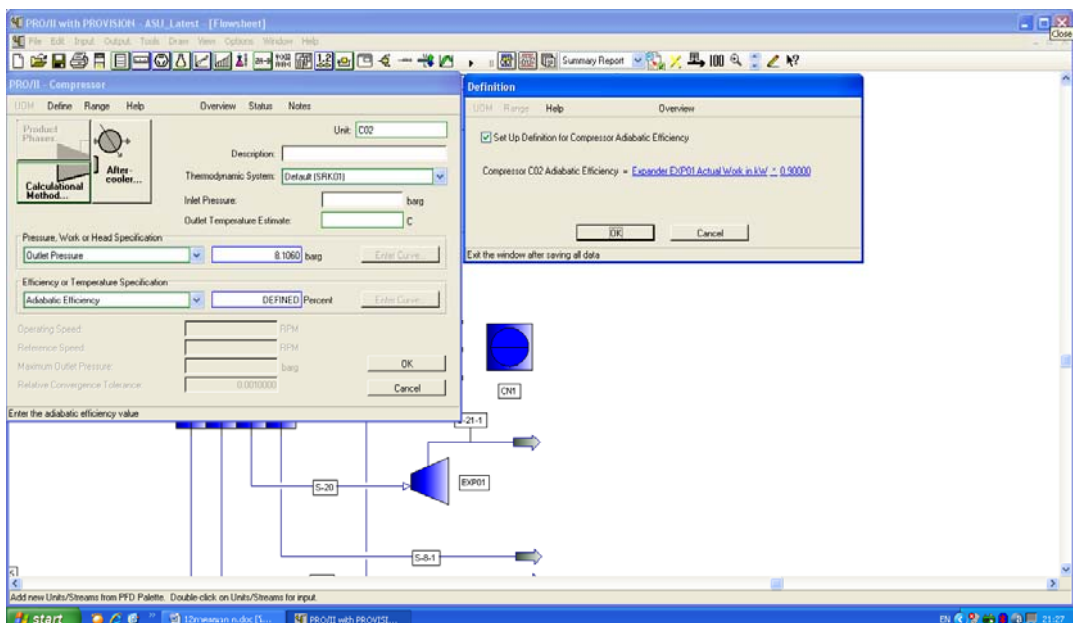
รูปที่ ก.4 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติของกันความดันในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II



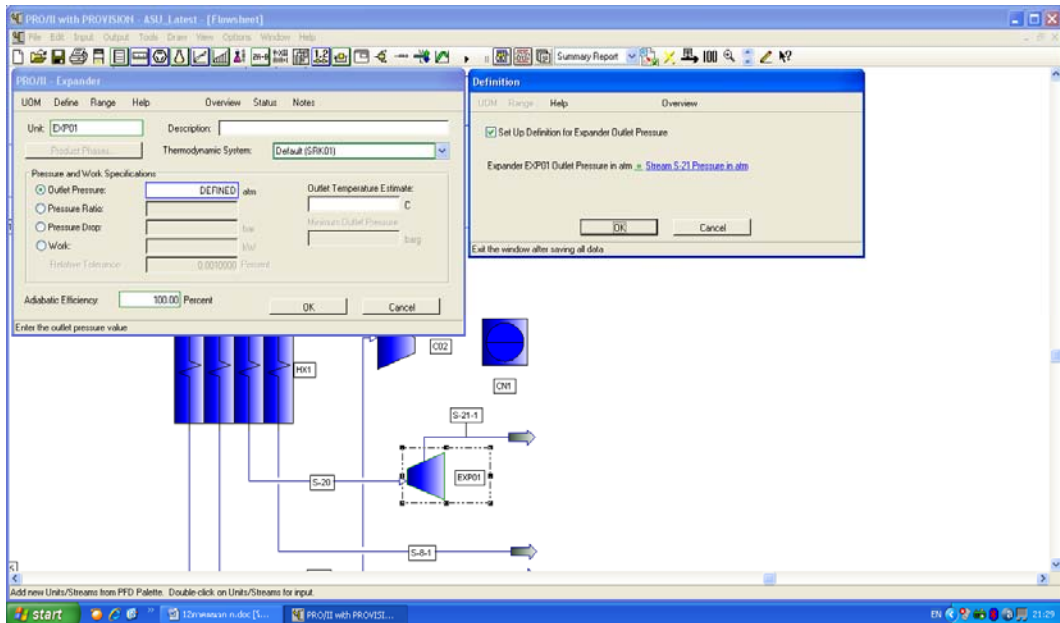
รูปที่ ก.5 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติของกันความดันต่ำในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II



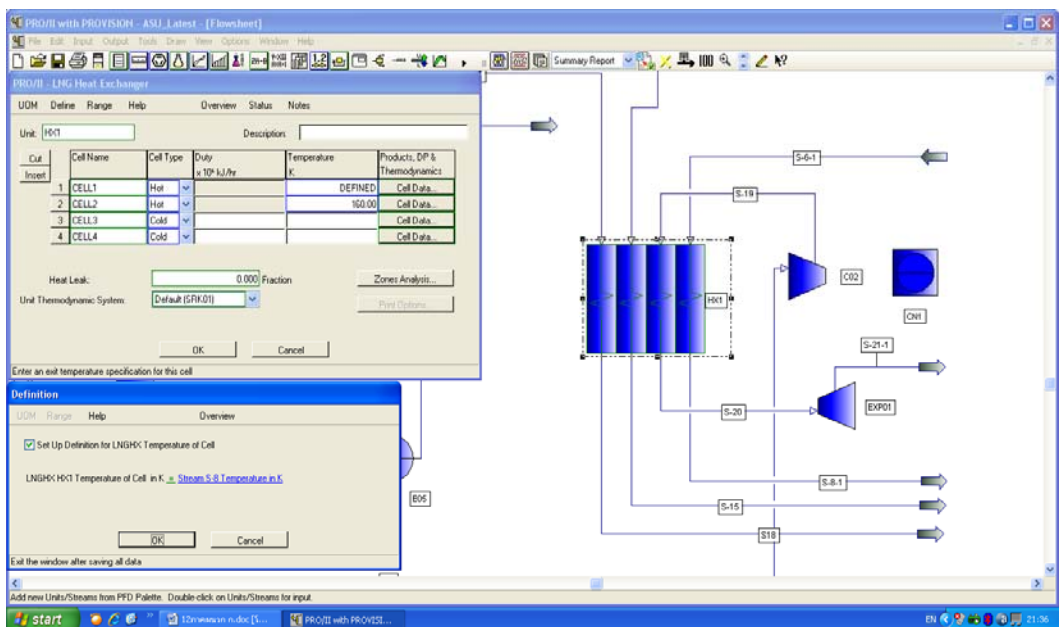
รูปที่ ก.6 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติหอกลั่นอาร์กอนในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II



รูปที่ ก.7 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดอากาศความดันสูงในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II

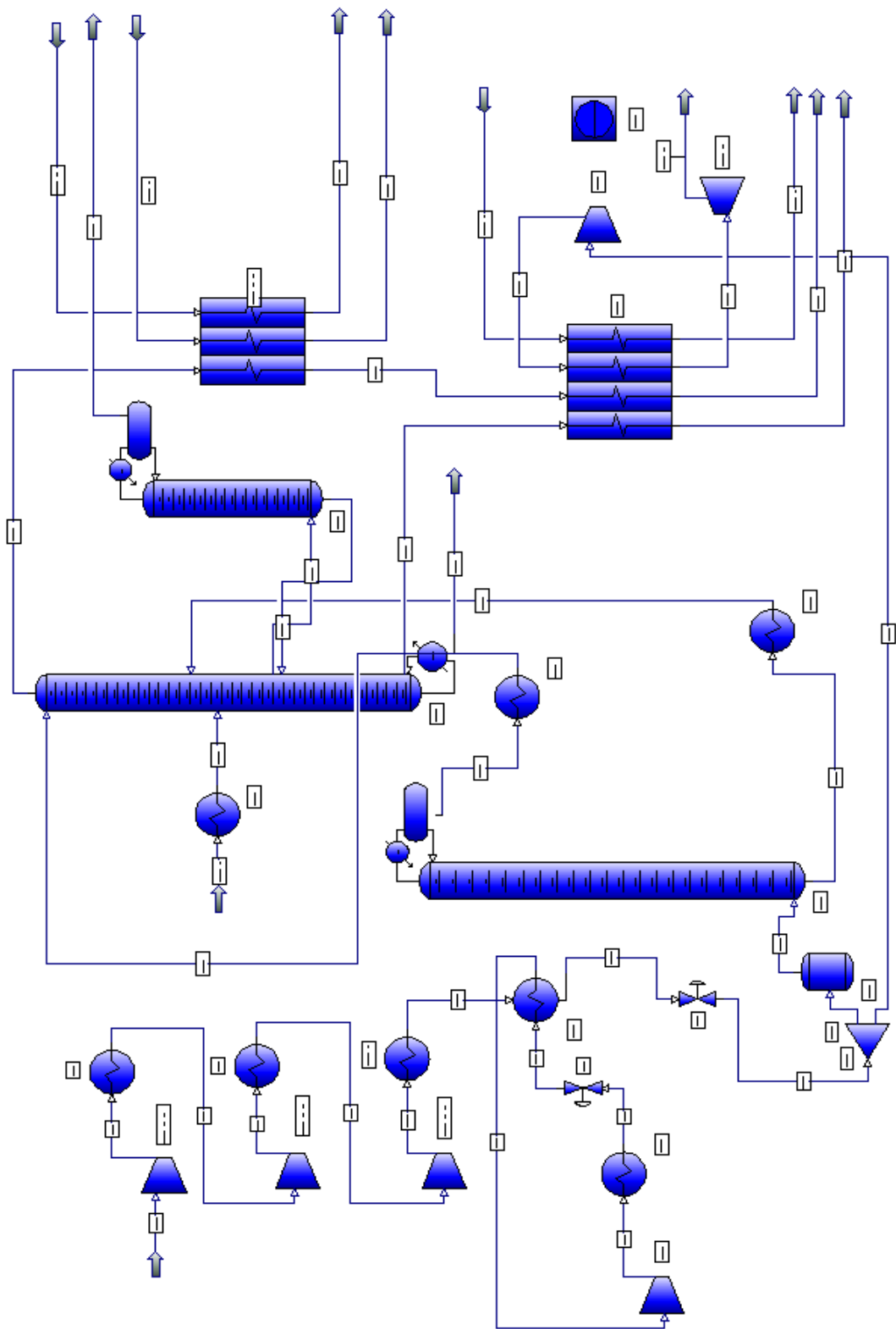


รูปที่ ก.8 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์ลดความดันอากาศความดันสูง
ในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II



รูปที่ ก.9 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลัก
ในแบบจำลองกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II

4) แผนผังกระบวนการแยกอากาศ



รูปที่ ก.10 แบบจำลองกระบวนการแยกอากาศที่สร้างด้วยโปรแกรม PRO II

ก.3 ผลลัพธ์ต่างๆของอุปกรณ์ในกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรม PRO II

Compressor 'C01_1ST'		
Feeds	S-1	
Products	S1	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		142.30
Outlet Pressure, BAR(GA)	1.50	1.50
Pressure Increase, BAR		1.50
Actual Work, KW		5238.19
Head, M		12068.60
Adiabatic Efficiency	75.00	75.00
Polytropic Efficiency		77.92
After Cooler DP, BAR	Default	0.00

รูปที่ ก.11 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดอากาศชั้นที่ 1 (Air Compressor, C01_1st)
โดยโปรแกรม PRO II

Heat Exchanger 'AF01_1ST'		
Feeds - Hot Side	S1	
Products - Hot Side	S3	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Hot Outlet Temperature, C	38.00	38.00
Hot Pressure Drop, BAR	1.0000E-01	1.0000E-01
Hot Liquid Fraction		0.0000
Cold Outlet Temperature, C		55.00
Cold Pressure Drop, BAR		0.00
Cold Liquid Fraction		1.0000
Duty, M*KJ/HR		16.8191
FT		1.0000E-04
LMTD*FT, C		4.3888E-03

รูปที่ ก.12 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 1 (After Cooler, AF01_1st) โดยโปรแกรม PRO II

Compressor 'C01_2ND'		
Feeds	S3	
Products	S4	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		102.71
Outlet Pressure, BAR(GA)	3.00	3.00
Pressure Increase, BAR		1.60
Actual Work, KW		2885.87
Head, M		6648.94
Adiabatic Efficiency	75.00	75.00
Polytropic Efficiency		76.71
After Cooler DP, BAR	Default	0.00

รูปที่ ก.13 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดอากาศชั้นที่ 2 (Air Compressor, C01_2nd)
โดยโปรแกรม PRO II

Heat Exchanger 'AF02_2ND'		
Feeds - Hot Side	S4	
Products - Hot Side	S2	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Hot Outlet Temperature, C	38.00	38.00
Hot Pressure Drop, BAR	1.0000E-01	1.0000E-01
Hot Liquid Fraction		0.0000
Cold Outlet Temperature, C		55.00
Cold Pressure Drop, BAR		0.00
Cold Liquid Fraction		1.0000
Duty, M*KJ/HR		10.4385
FT		1.0000E-04
LMTD*FT, C		3.0479E-03

รูปที่ ก.14 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 2 (After Cooler, AF01_2nd) โดยโปรแกรม PRO II

Compressor 'C01_3RD'

Feeds	S2	
Products	S-2	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		106.97
Outlet Pressure, BAR(GA)	5.70	5.70
Pressure Increase, BAR		2.80
Actual Work, KW		3077.25
Head, M		7089.87
Adiabatic Efficiency	75.00	75.00
Polytropic Efficiency		76.81
After Cooler DP, BAR	Default	0.00

รูปที่ ก.15 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดอากาศชั้นที่ 3 (Air Compressor, C01_3rd)

โดยโปรแกรม PRO II

Heat Exchanger 'AF01_3RD'

Feeds - Hot Side	S-2	
Products - Hot Side	S-3	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Hot Outlet Temperature, C	35.00	35.00
Hot Pressure Drop, BAR	1.0000E-01	1.0000E-01
Hot Liquid Fraction		0.0000
Cold Outlet Temperature, C		55.00
Cold Pressure Drop, BAR		0.00
Cold Liquid Fraction		1.0000
Duty, M*KJ/HR		11.6522
FT		1.0000E-04
LMTD*FT, C		2.9752E-03

รูปที่ ก.16 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชั้นที่ 3 (After Cooler,

AF01_3rd) โดยโปรแกรม PRO II

Compressor 'C03'		
Feeds	S9	
Products	S6	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		23.24
Outlet Pressure, BAR(GA)	8.50	8.50
Pressure Increase, BAR		7.10
Actual Work, KW		299.07
Head, M		15717.81
Adiabatic Efficiency	75.00	75.00
Polytropic Efficiency		75.00
After Cooler DP, BAR	Default	0.00

รูปที่ ก.17 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดของทำความเย็นแอมโมเนีย (NH₃ Compressor, C03) โดยโปรแกรม PRO II

Compressor 'C02'		
Feeds	S-7	
Products	S-19	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		18.67
Outlet Pressure, BAR(GA)	8.11	8.11
Pressure Increase, BAR		2.86
Actual Work, KW		58.79
Head, M		1354.46
Adiabatic Efficiency	Defined	238.03
Polytropic Efficiency		100.00
After Cooler DP, BAR	Default	0.00

รูปที่ ก.18 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดอากาศความดันสูง (HP Air Compressor, C02) โดยโปรแกรม PRO II

Expander 'EXP01'

Feeds		S-20	
Products		S-21-1	
		User Input	Calculated
		-----	-----
Outlet Temperature, C			-177.24
Outlet Pressure, BAR(GA)	Defined		5.8905E-01
Pressure Drop, BAR			7.52
Actual Work, KW			264.48
Efficiency	Default		100.00

รูปที่ ก.19 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์ลดความดันแบบเทอร์โบ (Turbo Expander, EXP01) โดยโปรแกรม PRO II

LNG Heat Exchanger 'HX1'

Feeds - Hot, Cell 1		S-6-1	
Hot, Cell 2		S-19	
Cold, Cell 3		S-14	
Cold, Cell 4		S-17	
Products - Hot, Cell 1		S-8-1	
Hot, Cell 2		S-20	
Cold, Cell 3		S-15	
Cold, Cell 4		S18	
		User Input	Calculated
		-----	-----
Outlet Temperature, C	1	N/A	-172.00
	2	N/A	-113.15
	3	N/A	52.05
	4	N/A	52.05
Cell Duty, M*KJ/HR	1	N/A	-26.7112
	2	N/A	-2.1842
	3	N/A	27.0114
	4	N/A	1.8840
Total Duty, M*KJ/HR		N/A	28.8954

รูปที่ ก.20 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลัก (Main Brazed Aluminium Heat Exchanger, HX01) โดยโปรแกรม PRO II

ภาคผนวก ข

การจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยโปรแกรม PRO II

โปรแกรม PRO II เป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิตแบบสภาวะคงตัว (Steady State) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมความเย็นยิ่งยวด (Cryogenic) เป็นโปรแกรมหนึ่งซึ่งประกอบอยู่ใน Process Engineering Suite ของบริษัท SIMSCI-ESSCOR

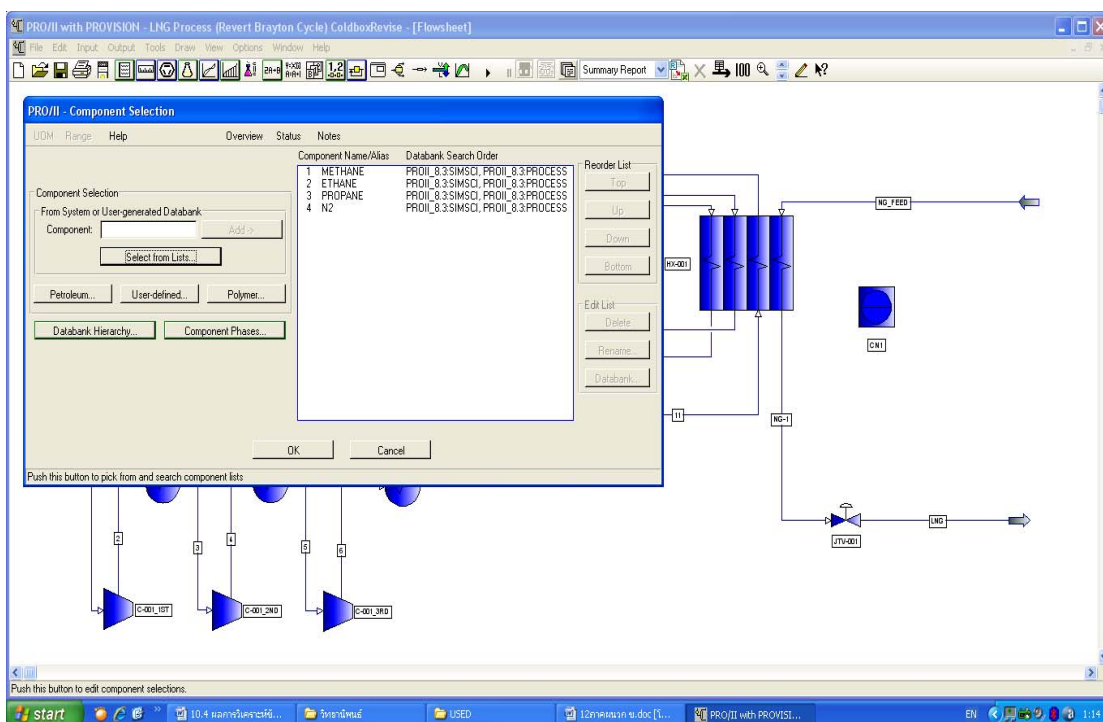
ข.1 การสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

1. ทำการศึกษาการทำงานของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว
2. หาข้อมูลของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวซึ่งได้แก่
 - เลือกเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงจนเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว
 - องค์ประกอบทั้งหมดของกระบวนการ เช่น เครื่องอัดอากาศ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ถังเก็บผลิตภัณฑ์
 - สภาวะการดำเนินงานได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหล
 - องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารป้อนที่เข้ากระบวนการ
 - คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์
3. ทำการสร้างแบบจำลองกระบวนการตามแผนผังกระบวนการผลิต ป้อนข้อมูลของสารป้อนและข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการ และทำการกำหนดสภาวะการดำเนินงานให้กับกระบวนการให้ใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตจริง

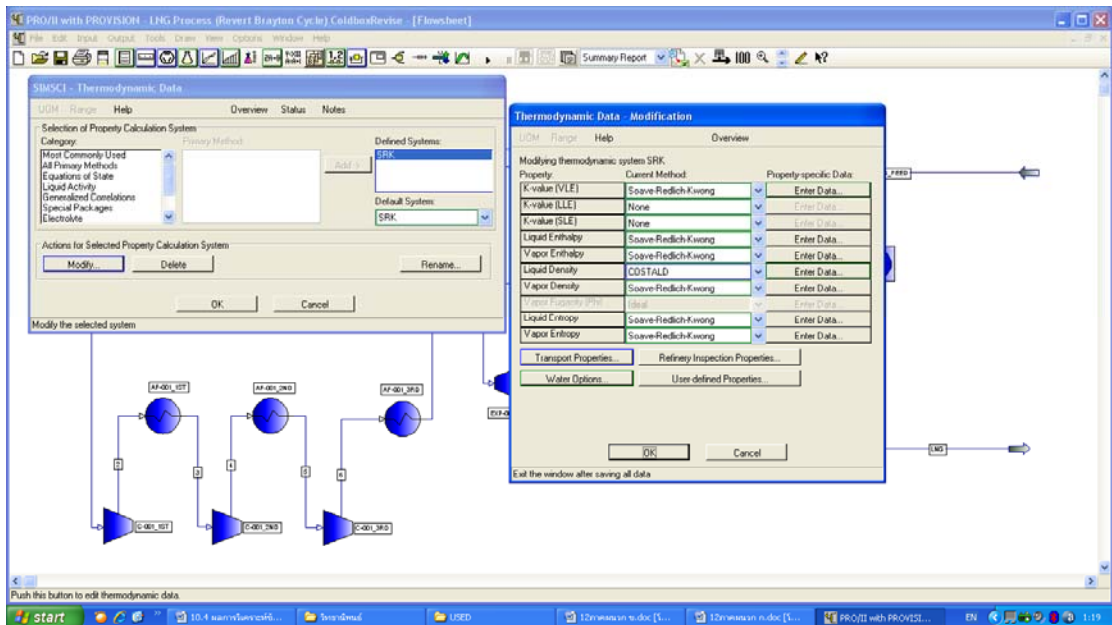
ข.2 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II

- 1) เลือก Component ที่ใช้เป็นสารป้อนในกระบวนการ



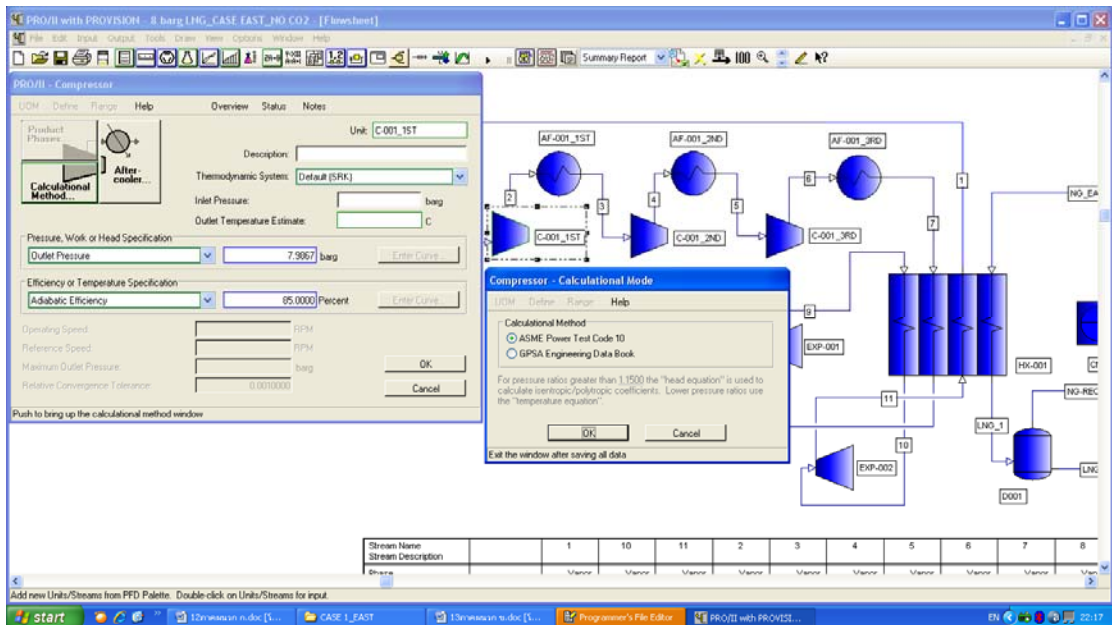
รูปที่ ข.1 แสดงตัวอย่างการป้อนองค์ประกอบของสารที่ใช้ในแบบจำลองของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II

2) เลือก เลือก Thermodynamic data ที่ใช้ในกระบวนการ

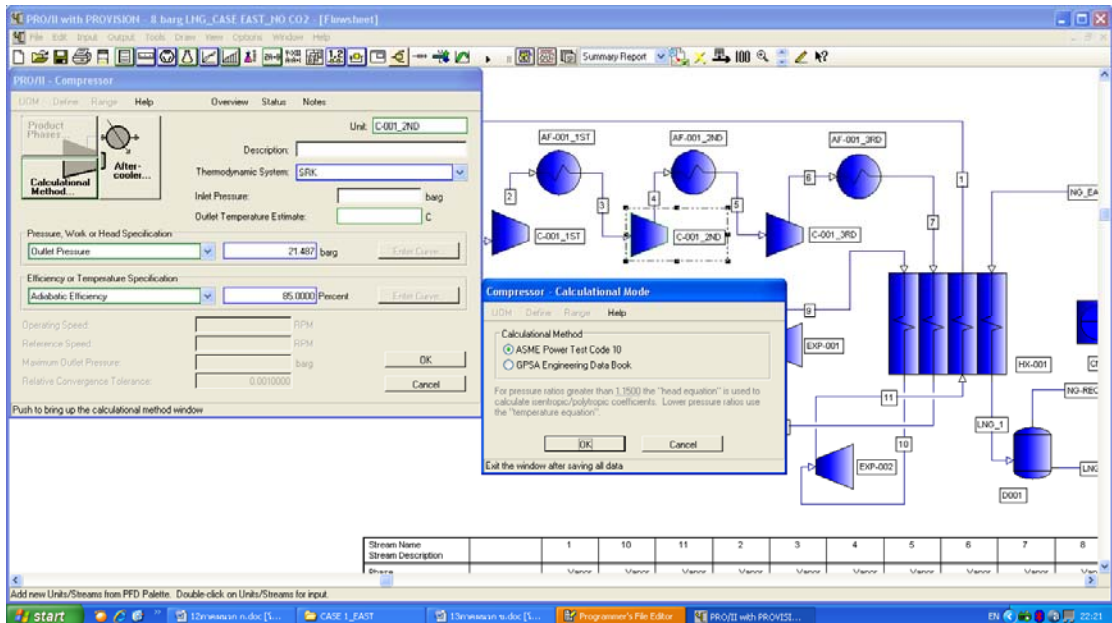


รูปที่ ข.2 แสดงตัวอย่างการกำหนดวิธีการคำนวณคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวในแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PRO II

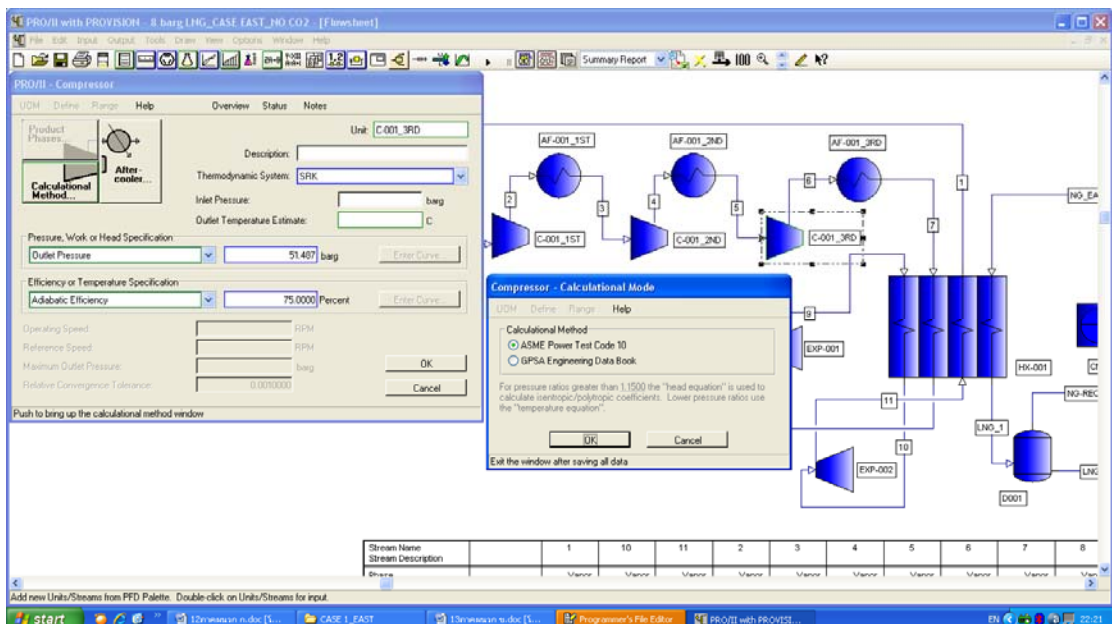
3) การใส่ข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว



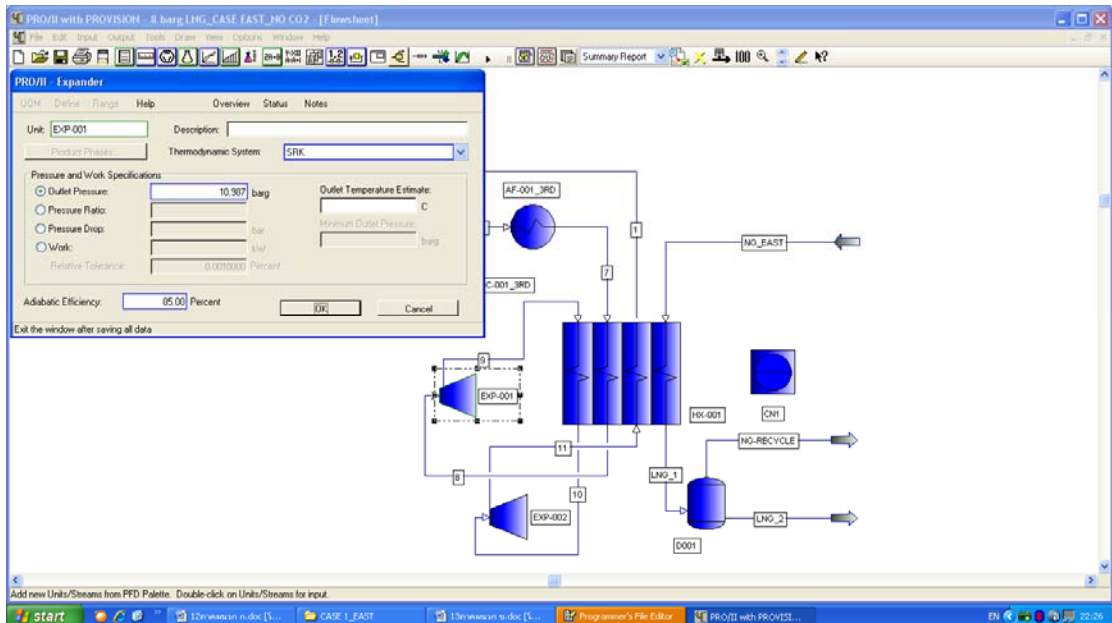
รูปที่ ข.3 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 1 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II



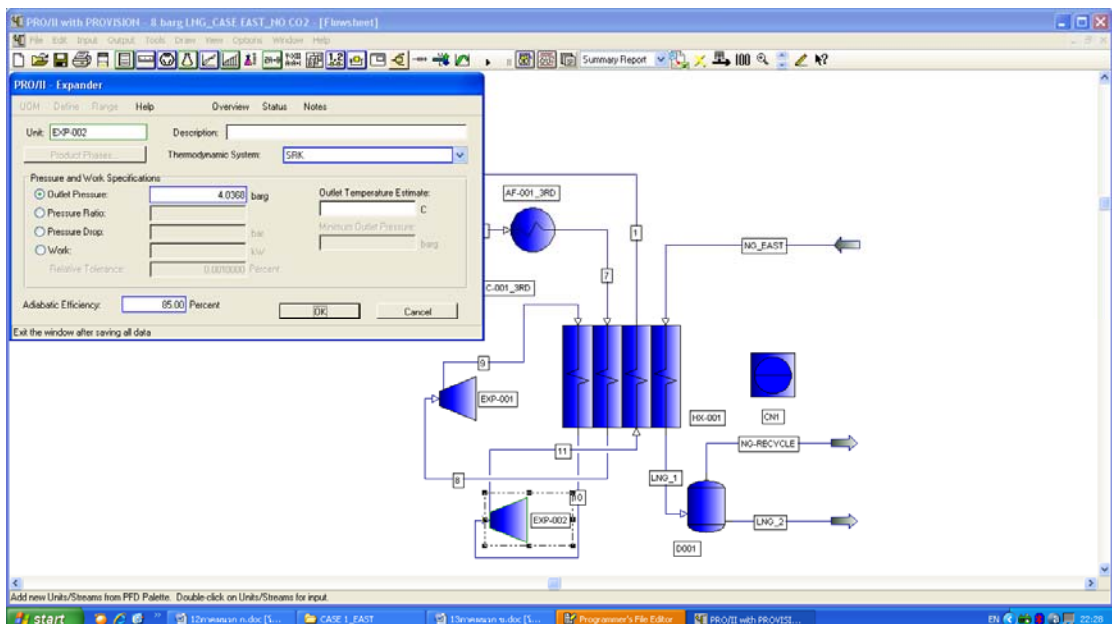
รูปที่ ข.4 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 2 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II



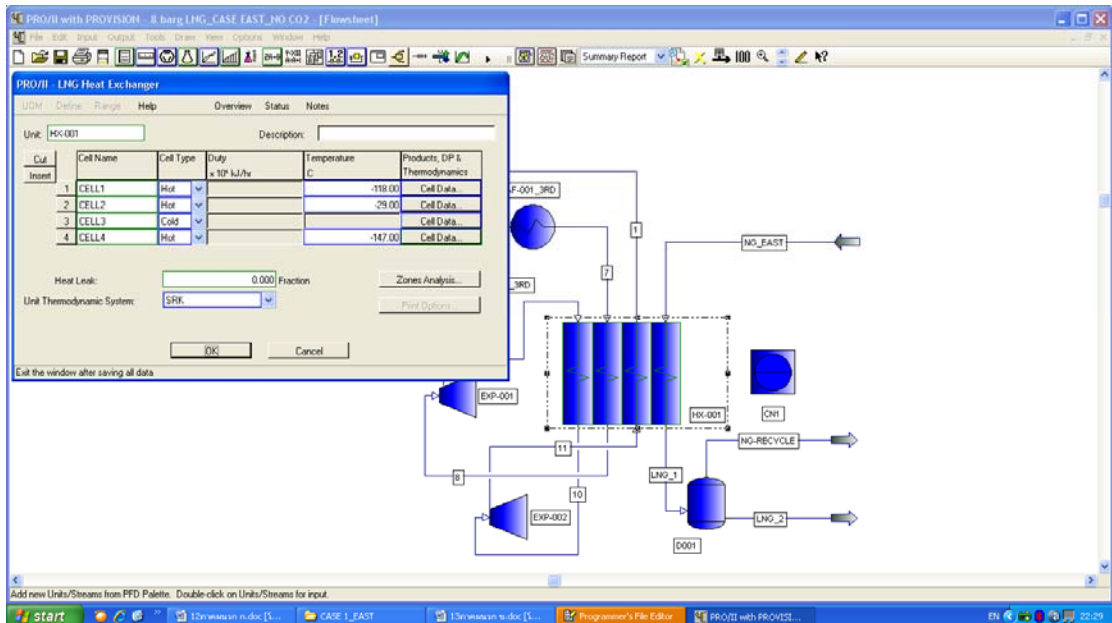
รูปที่ ข.5 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์อัดไนโตรเจนขั้นที่ 3 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II



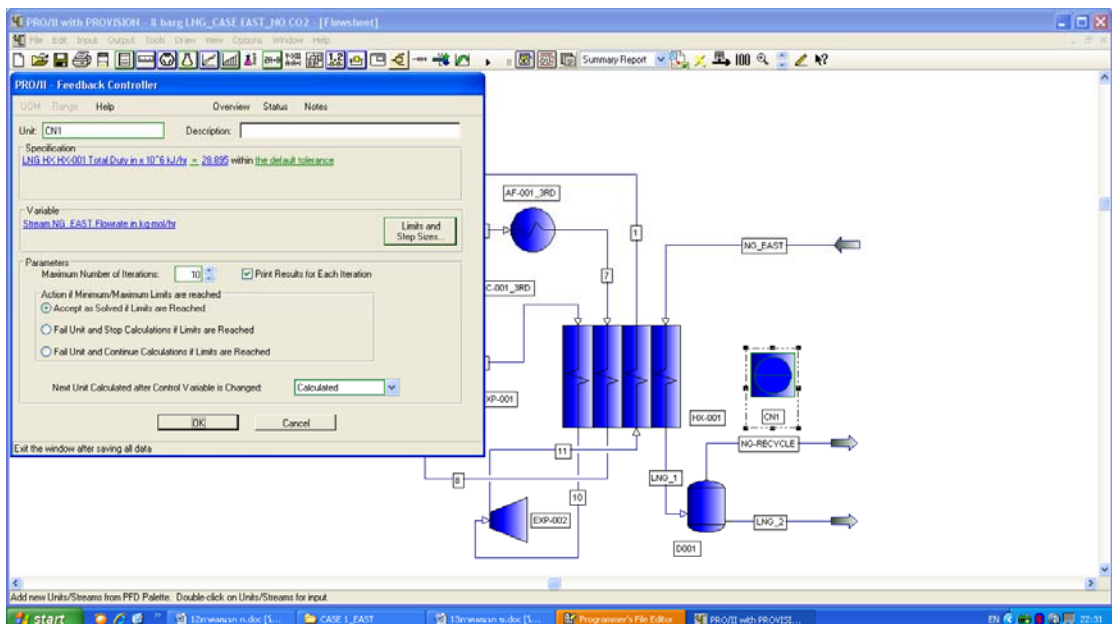
รูปที่ ข.6 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจนขั้นที่ 1 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II



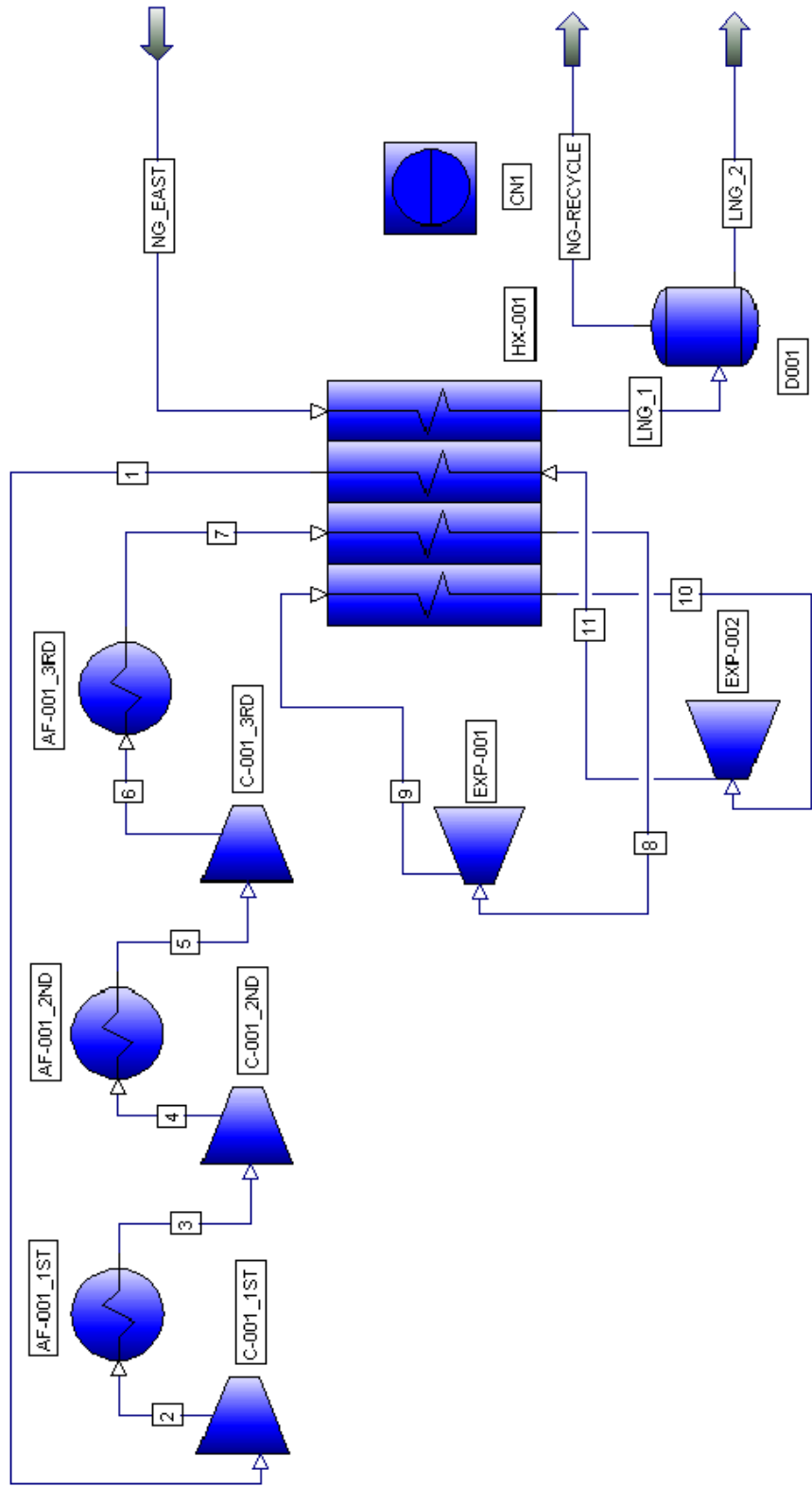
รูปที่ ข.7 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์ลดความดันไนโตรเจนขั้นที่ 2 ในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II



รูปที่ ข.8 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II



รูปที่ ข.9 แสดงตัวอย่างการป้อนคุณสมบัติตัวควบคุมในแบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II



รูปที่ ๑.10 แบบจำลองกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวที่สร้างด้วยโปรแกรม PRO II

ข.3 ผลลัพธ์ต่างๆของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้โปรแกรม PRO II

Compressor 'C-001_1ST'		
Feeds	1	
Products	2	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		115.61
Outlet Pressure, BAR(GA)	7.99	7.99
Pressure Increase, BAR		4.52
Actual Work, KW		2793.16
Head, M		8497.43
Adiabatic Efficiency	85.00	85.00
Polytropic Efficiency		86.39

รูปที่ ข.11 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 1 (N₂ Compressor 1st, C001_1st) โดยโปรแกรม PRO II

Heat Exchanger 'AF-001_1ST'		
Feeds - Hot Side	2	
Products - Hot Side	3	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Hot Outlet Temperature, C	37.80	37.80
Hot Pressure Drop, BAR	3.0000E-01	3.0000E-01
Hot Liquid Fraction		0.0000
Cold Pressure Drop, BAR		0.00
Duty, M*KW-HR/HR		2.7437E-03

รูปที่ ข.12 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 1 (N₂ After Cooler 1st, AF001_1st) โดยโปรแกรม PRO II

Compressor 'C-001_2ND'

Feeds	3	
Products	4	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		151.73
Outlet Pressure, BAR(GA)	21.49	21.49
Pressure Increase, BAR		13.80
Actual Work, KW		3990.91
Head, M		12141.29
Adiabatic Efficiency	85.00	85.00
Polytropic Efficiency		86.84

รูปที่ ข.13 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดก๊าซไนโตรเจนขั้นที่ 2 (N₂ Compressor 2nd, C001_2nd) โดยโปรแกรม PRO II

Heat Exchanger 'AF-001_2ND'

Feeds - Hot Side	4	
Products - Hot Side	5	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Hot Outlet Temperature, C	37.80	37.80
Hot Pressure Drop, BAR	3.0000E-01	3.0000E-01
Hot Liquid Fraction		0.0000
Cold Pressure Drop, BAR		0.00
Duty, M*KW-HR/HR		4.0770E-03

รูปที่ ข.14 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนขั้นที่ 2 (N₂ After Cooler 2nd, AF001_2nd) โดยโปรแกรม PRO II

Compressor 'C-001_3RD'

Feeds	5	
Products	6	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		153.05
Outlet Pressure, BAR(GA)	51.49	51.49
Pressure Increase, BAR		30.30
Actual Work, KW		4072.66
Head, M		12389.98
Adiabatic Efficiency	75.00	75.00
Polytropic Efficiency		77.78

รูปที่ ข.15 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อัดก๊าซไนโตรเจนชั้นที่ 3 (N₂ Compressor 3rd, C001_3rd) โดยโปรแกรม PRO II

Heat Exchanger 'AF-001_3RD'

Feeds - Hot Side	6	
Products - Hot Side	7	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Hot Outlet Temperature, C	37.80	37.80
Hot Pressure Drop, BAR	3.0000E-01	3.0000E-01
Hot Liquid Fraction		0.0000
Cold Pressure Drop, BAR		0.00
Duty, M*KW-HR/HR		4.2497E-03

รูปที่ ข.16 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไนโตรเจนชั้นที่ 3 (N₂ After Cooler 3rd, AF001_3rd) โดยโปรแกรม PRO II

Expander 'EXP-001'

Feeds	8	
Products	9	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		-104.46
Outlet Pressure, BAR(GA)	10.99	10.99
Pressure Drop, BAR		40.00
Actual Work, KW		2332.63
Efficiency	85.00	85.00

รูปที่ ข.17 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์ลดความดัน 1 (Expander 1, EXP01)
โดยโปรแกรม PRO II

Expander 'EXP-002'

Feeds	10	
Products	11	
	User Input	Calculated
	-----	-----
Outlet Temperature, C		-148.27
Outlet Pressure, BAR(GA)	4.04	4.04
Pressure Drop, BAR		6.75
Actual Work, KW		921.92
Efficiency	85.00	85.00

รูปที่ ข.18 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์ลดความดัน 2 (Expander 2, EXP02)
โดยโปรแกรม PRO II

LNG Heat Exchanger 'HX-001'

Feeds - Hot, Cell 1	9
Hot, Cell 2	7
Cold, Cell 3	11
Hot, Cell 4	NG_EAST
Products - Hot, Cell 1	10
Hot, Cell 2	8
Cold, Cell 3	1
Hot, Cell 4	LNG_1

		User Input	Calculated
		-----	-----
Outlet Temperature, C	1	N/A	-118.00
	2	N/A	-29.00
	3	N/A	77.12
	4	N/A	-147.00
Cell Duty, M*KJ/HR	1	N/A	-1.8470
	2	N/A	-9.3181
	3	N/A	28.8950
	4	N/A	-17.7299
Total Duty, M*KJ/HR		N/A	28.8950

รูปที่ ข.19 แสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลักไนโตรเจน (Main Brazed Aluminium Heat Exchanger, HX001) โดยโปรแกรม PRO II

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เสาวลักษณ์ ณะภาชน์ เกิดเมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ.2522 ที่จังหวัด สุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2545 และ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554