

โปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ
Gas Production Process Simulation Program



เสริมศักดิ์ นิลวิลัย
Serm Sak Nilwilai

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Engineering Thesis in Electrical Engineering
Prince of Songkla University
2541

1A11A6

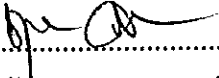
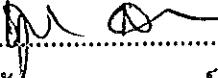
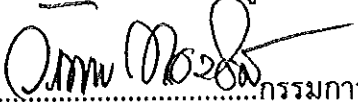
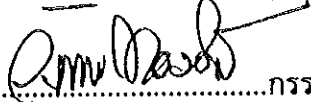
TN ๔๘๐ ๘๗๘ ๒๕๔๑ ๖.๒

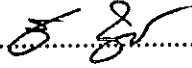
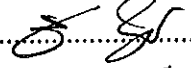
(1)

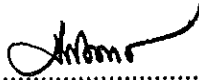
ชื่อวิทยานิพนธ์ โปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ
ผู้เขียน นายเสริมศักดิ์ นิลวิลัย
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

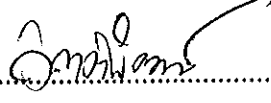
คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการสอบ

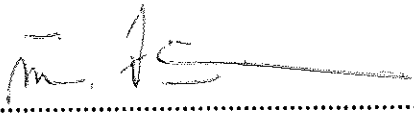
.....ประธานกรรมการ .....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล)
.....กรรมการ .....กรรมการ
(ดร. วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี) (ดร. วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี)

.....กรรมการ .....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เลียง คูบุร์ตต์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เลียง คูบุร์ตต์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ปราโมทย์ จุฑาพร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพัฒน์ ดันตระกูลโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ก้าน จันท์พรหมมา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ
ผู้เขียน	นายเสริมศักดิ์ นิลวิลัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจัดทำโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ (gas production process simulation program) โดยเลือกมาเฉพาะหน่วยแยก (separator unit) ซึ่งจะทำหน้าที่แยกของไหลผสมที่ได้มาจากหลุมเจาะออกมาเป็น 3 เฟส คือ ก๊าซ คอนเดนเสทและน้ำ ทั้งนี้เพื่อจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบควบคุมที่หน่วยแยก โดยจะมีการควบคุมแรงดัน ระดับคอนเดนเสทและระดับน้ำ นอกจากนี้ยังได้ใช้รูปแบบและแนวทางจากชุดฝึกเครื่องจำลองกระบวนการผลิตก๊าซ (gas production process simulator) ของบริษัทโททาลเอ็กซ์โพรเรชันแอนด์โปรดักชันไทยแลนด์¹ ตลอดจนได้นำข้อมูลเบื้องต้นบางส่วนจากการดำเนินการที่แท่นเจาะและผลิตของแหล่งก๊าซบังกช มาพัฒนาโปรแกรมในครั้งนี้

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบทางคณิตศาสตร์ที่แทนการทำงานของกระบวนการผลิตก๊าซ และตัวควบคุมกระบวนการ จากนั้นได้ใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ Lab Windows มาพัฒนาโปรแกรมโดยเลือกรูปแบบภาษา C ตลอดจนใช้ชุดฟังก์ชันและสภาวะแวดล้อมแบบโต้ตอบ (interactive environment and libraries of functions) ของโปรแกรม Lab Windows มาจัดทำเป็นฟังก์ชันย่อยในส่วนตัวแบบกระบวนการผลิตและตัวควบคุมตลอดจนการแสดงผล

ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรม สามารถปรับค่าที่มีผลต่อตัวแปรกระบวนการอันได้แก่ อุณหภูมิและแรงดัน โดยสามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 78.8-122 °F และปรับค่าแรงดันได้ตั้งแต่ 2320 - 2820 kPa นอกจากนี้ในส่วนของสมการการควบคุมที่สามารถที่จะปรับตัวควบคุมแรงดัน ระดับน้ำและระดับคอนเดนเสทเป็นแบบควบคุมด้วยมือ แบบอัตโนมัติพี พีไอและพีไอดี รวมทั้งใช้วิธีการอัลติเมท (ultimate cycle method) สำหรับการปรับค่าต่างๆ ที่เหมาะสมของตัวควบคุมในแบบอัตโนมัติ ซึ่งผลที่ได้ทำให้ค่าตัวแปรกระบวนการเข้าสู่ค่าปรับตั้งได้อย่างถูกต้องชัดเจนตามแบบวิธีการควบคุมที่ได้เลือกไว้

¹บริษัทร่วมลงทุนกับ บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียมจำกัด (มหาชน) บริษัทบริษัทยักษ์และบริษัทสแตทออยล์ ในโครงการพัฒนาแหล่งก๊าซบังกช กลางอ่าวไทย ซึ่งได้มาจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมพนักงานที่วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ตามโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างกรมอาชีวศึกษากับบริษัทโททาลเอ็กซ์โพรเรชันแอนด์โปรดักชันไทยแลนด์ พ.ศ.2534-2536 และต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน (พ.ศ.2540)

Thesis Title Gas Production Process Simulation Program
Author Mr.Serm Sak Nilwilal
Major Program Electrical Engineering
Academic Year 1998

Abstract

This thesis is the development of a computer software for gas production simulation. The basis for this simulation utilised information obtained from TOTAL's¹ Bongkot Platform and related to the original separation facility. The separation unit was of a 3 phase horizontal design and was used to separate gas from liquid and condensate from water.

The mathematical model incorporated the effects of pressure and temperature changes of the hydrocarbon components within the vessel. The simulation programme and mathematical functions used to accomplish this, made use of a computer software called "Lab Windows®" and its associated libraries. The software language used was C language.

The working model, based on the Bongkot system, produced realistic effects and showed how changing operating parameters (such as pressure and temperature) affected the product output. On the working model, temperature could be varied between 78.8 to 122 degrees F, and pressure between 2320 to 2820 kPa. Furthermore, the simulation model was able to demonstrate controller functions, highlighting the effects of change in controller mode settings, i.e. manual, automatic P, PI, PD and PID.

The simulated controller output could be operated in both Auto and Manual modes and was tuned using "field" techniques, i.e. "Ultimate Cycle Method".

¹ TOTAL E & P Thailand is a joint venture partner with PTTEP, British Gas and Statoil. In 1991-1994, TOTAL E & P Thailand set up a Training Centre within the grounds of Hatyai Technical College and also formed an academic agreement with The Department Of Vocational Education (D.O.V.E.) whereby TOTAL would provide technical and financial assistance to Hatyai Technical College. The Academic agreement still continues until now (1997).

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงคำขอบพระคุณต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี และผู้ช่วยศาสตราจารย์เลียง คูบุรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำเป็นอย่างดี รวมทั้งกรุณาช่วยเหลือหาเอกสารข้อมูลและการสนับสนุนอีกหลายประการ ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ปราโมทย์ จุฑาพร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพัฒน์ ตันตระรุ่งโรจน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์วิจิตร ตีจันทิก ผู้อำนวยการวิทยาลัยช่างกลปทุมวัน อาจารย์จรุง เข้มแข็ง ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ คณะผู้ช่วยผู้บริหาร คณะครู-อาจารย์วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ โดยเฉพาะคณะครู-อาจารย์และเจ้าหน้าที่ในแผนกเทคโนโลยีปิโตรเลียมทุกท่าน คณะผู้บริหารบริษัทโททาลฯ Mr.Christian Auge หัวหน้าศูนย์ฝึกอบรม Mr.Alan McHuge และ Mr.Dow Seekmiller ที่ปรึกษาด้านภาษาอังกฤษ Mr.Chris Wheeler ที่ปรึกษาด้านเทคนิค อาจารย์นันทิมา แสงจันทร์ และเจ้าหน้าที่บริษัทโททาลฯทุกท่าน ที่ได้คัดเลือกและมอบหมายให้ ผู้เขียนเข้าร่วมโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างกรมอาชีวศึกษากับบริษัทโททาลฯ ตลอดจนให้คำปรึกษา ให้การฝึกอบรมและความร่วมมือในการดำเนินงานต่างๆ จนสามารถนำความรู้ที่ได้ ส่วนหนึ่งมาจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณอาจารย์นันทิตย์ ยีมาสนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิค กรุงเทพฯ และ Mr.Osama A.Younis ที่ได้ให้คำแนะนำในส่วนของเนื้อหาด้านเคมีและการควบคุม ในช่วงที่ไปอบรมด้านการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม ณ ประเทศอินเดีย

ขอขอบคุณอาจารย์พันธวิทย์ นิลวิลัย สมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาต่อ

ท้ายที่สุดขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน ที่ให้การส่งเสริมและอุปถัมภ์ทางด้านการศึกษา ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้จนประสบความสำเร็จ

เสริมศักดิ์ นิลวิลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
2. กระบวนการผลิตก๊าซและทฤษฎีระบบควบคุม	4
2.1 ปิโตรเลียมคืออะไร	4
2.1.1 ลำดับพาราฟิน (paraffin series) หรือ อัลเคน (alkane)	4
2.1.2 ลำดับพาราฟินไอโซเมอร์ (paraffin series isomers)	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน ปริมาตร และอุณหภูมิของไฮโดรคาร์บอน	7
2.2.1 สารบริสุทธิ์ (pure substance)	7
2.2.2 สารผสม (multi component mixture of substance)	9
2.3 คุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรคาร์บอน	11
2.3.1 จุดเดือด (boiling point).....	11
2.3.2 แรงดันไอ (vapour pressure).....	11
2.4 ก๊าซอุดมคติ (ideal gas).....	11
2.4.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของก๊าซ.....	12
2.4.2 กฎของก๊าซอุดมคติ (ideal gas law).....	14
2.4.3 ความหนาแน่นของก๊าซอุดมคติ (ρ).....	15
2.5 การคำนวณสมดุล (equilibrium calculation)	17
2.5.1 การใช้งานค่าอัตราส่วนสมดุลของการระเหย K	17

	หน้า
2.6 สมการกระบวนการต่างๆ	23
2.6.1 สมการการไหลเข้าและไหลออกจากถังของของไหล	23
2.6.2 การไหลผ่านรูระบายของถังปิด	23
2.6.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศภายในถัง	24
2.6.4 การไหลยุบตัว	25
2.7 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ	28
2.7.1 การสำรวจและผลิตก๊าซธรรมชาติในทะเล	28
2.8 หน่วยแยก (separator)	31
2.8.1 ชนิดของหน่วยแยก	31
2.8.2 โครงสร้างของหน่วยแยก	31
2.8.3 หลักการทำงานของหน่วยแยก	35
2.8.4 การควบคุมในหน่วยแยก	36
2.9 ระบบควบคุมกระบวนการ.....	40
2.9.1 การใช้คนควบคุม (human-aided control)	40
2.9.2 การควบคุมอัตโนมัติ (automatic control)	40
2.9.3 แผนภาพบล็อกการควบคุมกระบวนการ	41
2.9.4 พารามิเตอร์ในระบบควบคุม (control system parameters)	43
2.10 วิธีการควบคุม	45
2.11 คุณภาพระบบควบคุม (control system quality)	52
2.11.1 การรบกวนในวงปิด (loop disturbance)	53
2.11.2 การควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด (optimum control)	54
2.11.3 การวัดคุณภาพ	55
2.12 การปรับแต่งระบบกระบวนการ (process loop tuning)	57
2.12.1 วิธีการตอบสนองชั่วขณะวงเปิด (open loop transient response method)	58
2.12.2 วิธีการอัลติเมท(ultimate cycle method)	60
3. กระบวนการและสมการควบคุม	61
3.1 การออกแบบหน่วยแยกที่ 1	61
3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้น	62
3.1.2 ข้อมูลการออกแบบและการใช้งานปกติ	62

	หน้า
3.1.3 การแจ้งเตือน (alarm) และการปิดวาล์ว(shutdown)	63
3.1.4 การแยกของเหลวและก๊าซในหน่วยแยกที่ 1	64
3.2 สมการการไหลของของไหลในหน่วยแยกที่ 1	69
3.2.1 สมการการไหลของน้ำ	69
3.2.2 สมการการไหลของคอนเดนเสท	71
3.2.3 สมการการเปลี่ยนแปลงแรงดันภายในถัง	73
3.3 สมการการควบคุมกระบวนการหน่วยแยกที่ 1	75
3.3.1 ค่าผิดพลาด	75
3.3.2 การควบคุมแบบสัดส่วน	76
3.3.3 การควบคุมแบบรีเซต	77
3.3.4 การควบคุมแบบอัตรา	78
3.3.5 การควบคุมแบบพีไอดี	80
4. การพัฒนาและการทำงานของโปรแกรมการจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซ.....	81
4.1 ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	81
4.2 การพัฒนาโปรแกรม	82
4.2.1 การจัดหาสมการการทำงานของกระบวนการ	83
4.2.2 การจัดหาสมการควบคุมของตัวควบคุมกระบวนการ	83
4.2.3 การออกแบบกราฟฟิคในแต่ละหน้าจอ การเลือกใช้ชุดฟังก์ชันและ แบบโต้ตอบที่เหมาะสม	84
4.3 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมการจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซ...	93
4.3.1 โปรแกรมหลัก Main();	93
4.3.2 โปรแกรมย่อย System_Program();	94
4.3.3 โปรแกรมย่อย Display_Setup();	95
4.3.4 โปรแกรมย่อย Display_Alarm_System();	96
4.3.5 โปรแกรมย่อย Display_Overview();	96
4.3.6 โปรแกรมย่อย Separator1_Program();	97
4.3.7 โปรแกรมย่อย Display_Control();	98
4.3.8 โปรแกรมย่อย Display_Graph();	99
4.3.9 โปรแกรมย่อย Previous_Trend();	100
4.3.10 โปรแกรมย่อย System_Function();	101

	หน้า
5. ผลการวิจัย	117
5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของระบบควบคุม.....	117
5.1.1 การทดสอบหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการแบบวงเปิด ด้วยฟังก์ชันขั้น (open loop step test transfer function).....	117
5.1.2 การหาฟังก์ชันโอนย้าย (transfer function) กระบวนการรักษาระดับ ของคอนเดินเสทในถังเปิดจากโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการ ผลิตก๊าซธรรมชาติ	120
5.1.3 การหาผลตอบสนองของระบบควบคุมของกระบวนการรักษาระดับ คอนเดินเสทในถังเปิดต่อฟังก์ชันขั้นในการปรับค่าปรับตั้งโดยใช้วิธี การแปลงลาปลาซ	122
5.1.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบควบคุมของ กระบวนการควบคุมระดับคอนเดินเสทโดยวิธีการแปลงลาปลาซและ ผลที่ได้จากการทำงานระบบควบคุมของโปรแกรมจำลองการควบคุม...124	124
5.2 การทดสอบโปรแกรมการจำลองกระบวนการผลิตก๊าซในสภาพการใช้งานจริง.127	127
5.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของสมการกระบวนการ	127
5.2.2 ผลการทดสอบการทำงานของสมการควบคุม	128
5.3 บทสรุป	136
บรรณานุกรม	138
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรคาร์บอน	141
ภาคผนวก ข. ตารางการหาค่า K ของส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอน.....	144
ภาคผนวก ค. ชนิดและสัมประสิทธิ์ของรูระบายชนิดต่าง ๆ	158
ภาคผนวก ง. ข้อมูลรายละเอียดการหาค่าอัตราส่วนก๊าซและคอนเดินเสท ที่ย่านแรงดันและอุณหภูมิใช้งาน.....	160
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวได้ (Z), น้ำหนักโมเลกุล (M.W), ความหนาแน่นจำเพาะ (ρ) ของก๊าซและน้ำหนักจำเพาะ (γ) ของ คอนเดินเสทตามส่วนประกอบที่ใช้งาน	191
ภาคผนวก ฉ. การหาผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการรักษา ระดับของคอนเดินเสทในถังเปิดจากโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิต ก๊าซธรรมชาติต่อฟังก์ชันขั้นในการปรับค่าปรับตั้งโดยใช้วิธีการแปลงลาปลาซ	199

หน้า

ภาคผนวก ข. คุณลักษณะและรายละเอียดการใช้งานเบื้องต้นของซอฟต์แวร์ Lab Windows.	205
ประวัติผู้เขียน	223

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงชื่อของลำดับพาราฟินไฮโดรคาร์บอน C_1-C_{10}	6
2.2 แสดงหน่วยของแรงดัน ปริมาตร อุณหภูมิ จำนวนโมล และค่าคงที่ของก๊าซ	15
2.3 แสดงหน่วยของความหนาแน่น แรงดัน ค่าคงที่ของก๊าซ และอุณหภูมิ	15
3.1 แสดงการตั้งค่าของอุปกรณ์และการแสดงผล	63
3.2 แสดงส่วนประกอบก๊าซธรรมชาติหน่วยแยกที่ 1	64
3.3 แสดงสัดส่วนของการแยกเป็นก๊าซที่ย่านแรงดันและอุณหภูมิใช้งาน	66
3.4 แสดงการหาค่าฟังก์ชันเส้นโค้งกระชับ	67
3.5 แสดงการทดสอบค่า $F(x)$	68
3.6 แสดงอัตราการผลิตของก๊าซและคอนเด็นเสทกับสัดส่วนของการแยกตัว	68
5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การปรับตัวควบคุมด้วยมือกับขนาดวาล์ว และผลของแรงดันที่ขนาดวาล์วค่าต่าง ๆ	130

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงการจัดเรียงตัวและจับยึดระหว่างอะตอมของคาร์บอนแบบลูกโซ่ (ก) และแบบวงแหวน (ข).....	4
2.2 แสดงโครงสร้างอะตอมของคาร์บอน	4
2.3 แสดงการจับยึดระหว่างอะตอมของคาร์บอนและอะตอมของไฮโดรเจน ในกรณีที่มีอะตอมของคาร์บอน 1 ตัว มีเทน (methane) 2 ตัว อีเทน (ethane) และ 3 ตัว โพรเพน (propane)	5
2.4 แสดงการจับยึดอะตอมของไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของคาร์บอน 4 อะตอม แบบปกติและแบบไอโซเมอร์	6
2.5 แสดงไดอะแกรม พี-วี-ที (P-V-T diagram) แสดงสถานะสำหรับสารบริสุทธิ์..	7
2.6 แสดงไดอะแกรม พี-ที แสดงสถานะของสารบริสุทธิ์	8
2.7 แสดงเฟสไดอะแกรมแสดงสถานะของสารผสม	10
2.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับมวลโดยแรงดันและอุณหภูมิคงที่	12
2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับอุณหภูมิโดยแรงดันและมวลคงที่	13
2.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับแรงดันโดยอุณหภูมิและมวลคงที่	14
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Z, P และ T ของก๊าซที่มีส่วนผสมคงที่	16
2.12 แสดงค่า Z ของก๊าซมีเทน อีเทน และโพรเพนที่อุณหภูมิ 160 °C.....	16
2.13 แสดงแนวเส้นจุดฟองของเฟสเอนวิโลป	18
2.14 แสดงแนวเส้นจุดน้ำค้างของเฟสเอนวิโลป	19
2.15 แสดงการแยกของก๊าซ(V)และของเหลว(L)จากของไหลผสมที่จ่ายเข้ามา(F)	20
2.16 แสดงแนวเส้นจุดเฟลชบนเฟสเอนวิโลป	22
2.17 แสดงการไหลเข้าและไหลออกจากถังของของไหล (ก) และการเปลี่ยนแปลง ของระดับของไหล (ข)	23
2.18 แสดงการไหลของของไหลออกจากถังปิดที่มีแรงดัน	23
2.19 แสดงการไหลออกของอากาศในถังเปิด	24
2.20 แสดงการไหลผ่านหัวฉีดชนิดลู่เข้า	26
2.21 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซบางกอก	29
2.22 แสดงหน่วยแยกแบบ 2 เฟสชนิดถังนอน	33

	หน้า
2.23 แสดงหน่วยแยกแบบ 2 เฟสชนิดถังตั้ง	34
2.24 แสดงชุดพ่นน้ำและกรวยทรายของหน่วยแยก	35
2.25 แสดงการแยกระหว่างก๊าซและของเหลวในหน่วยแยก	35
2.26 แสดงรูปแบบการติดตั้งใช้งานตัวควบคุมระดับและแรงดัน	36
2.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับของเหลวในหน่วยแยกแบบถังนอน	37
2.28 แสดงการควบคุมระดับของหน่วยแยก 3 เฟสที่มีอัตราการไหลเข้าของ ของไหลที่จะแยกแตกต่างกัน	38
2.29 แสดงชั้นของเสียและตำแหน่งระดับหน้า	39
2.30 แสดงการใช้คนควบคุม	40
2.31 แสดงการควบคุมอัตโนมัติ	40
2.32 แสดงแผนภาพบล็อกการควบคุมที่ประกอบด้วยสมาชิกต่าง ๆ	42
2.33 แสดงไดอะแกรมงานจริง(ก) และบล็อกไดอะแกรมการควบคุมอัตราการไหล(ข).....	43
2.34 แสดงแถบสัดส่วนของการควบคุมแบบสัดส่วนกับอัตราขยาย	46
2.35 แสดงการเกิดออฟเซต	47
2.36 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางออกตัวควบคุม ซึ่งจะขึ้นกับอัตราขยายและค่าผิดพลาด	48
2.37 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบรีเซตกับค่าผิดพลาดที่คงที่	49
2.38 แสดงสัญญาณทางออกของตัวควบคุมกับการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด ...	50
2.39 แสดงผลการควบคุมแบบพีไอของการตอบสนองแบบกลับข้าง.....	50
2.40 แสดงการเกิดออฟเซตของการควบคุมชนิดพีดี ของการตอบสนองแบบกลับข้าง	51
2.41 แสดงคุณลักษณะของการควบคุมชนิดพีไอดี	52
2.42 แสดงฟังก์ชันขึ้นจากการปรับค่าจุดปรับตั้ง	53
2.43 แสดงฟังก์ชันขึ้นจากการปรับค่าไหลด	53
2.44 แสดงสภาวะไม่เสถียรในแบบเพิ่มอย่างไม่จำกัด (ก) และแบบรอยแกว่ง(ข)	54
2.45 แสดงการตอบสนองต่อการปรับค่าจุดปรับตั้ง	55
2.46 แสดงการตอบสนองต่อการปรับค่าไหลด	55
2.47 แสดงการปรับระบบควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นแบบขนาดหนึ่งในสี่	56
2.48 แสดงการปรับระบบควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นแบบพื้นที่น้อย	57

	หน้า
2.49 แสดงระบบกระบวนการปรับตัวเองได้	58
2.50 แสดงกราฟของวิธีการตอบสนองชั่วขณะวงเปิด	59
3.1 แสดงไดอะแกรมและขนาดของหน่วยแยกที่ 1	61
3.2 แสดงสัดส่วนการแยกก๊าซและของเหลวจากค่าใช้งาน	66
3.3 แสดงไดอะแกรมประกอบสมการการไหลของน้ำ	69
3.4 แสดงไดอะแกรมประกอบสมการการไหลของคอนเด็นเสท	71
3.5 แสดงไดอะแกรมประกอบสมการการควบคุมแรงดันในหน่วยแยกที่ 1	73
3.6 แสดงตัวควบคุมที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม.....	75
3.7 แสดงการหาค่าอินทิกรัลแบบแมนตรง	77
3.8 แสดงการหาค่าอินทิกรัลแบบประมาณการสี่เหลี่ยม	77
3.9 แสดงผลของค่าอนุพันธ์ประมาณการกับอนุพันธ์ค่าจริง	79
4.1 แสดงหน้าจอที่ 1	84
4.2 แสดงหน้าจอที่ 2	85
4.3 แสดงหน้าจอที่ 3	85
4.4 แสดงหน้าจอที่ 4	86
4.5 แสดงหน้าจอที่ 5	86
4.6 แสดงหน้าจอที่ 6	87
4.7 แสดงหน้าจอที่ 7	88
4.8 แสดงหน้าจอที่ 8 การปรับค่าตัวควบคุม.....	89
4.9 แสดงหน้าจอที่ 9 การปรับค่าตัวควบคุมระดับน้ำ	90
4.10 แสดงหน้าจอที่ 10 การปรับค่าตัวควบคุมแรงดัน	90
4.11 แสดงหน้าจอที่ 11 การปรับค่าตัวควบคุมระดับคอนเด็นเสท	90
4.12 แสดงหน้าจอที่ 12 กราฟแสดงการทำงานของกระบวนการ	91
4.13 แสดงหน้าจอที่ 13 กราฟแสดงการทำงานของกระบวนการก่อนหน้านี้	92
4.14 แสดงผังงานโปรแกรมหลัก Main();	93
4.15 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย System_Program();	94
4.16 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย Display_Setup();	95
4.17 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย Display_Alarm_System();	96
4.18 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย Display_Overview();	96
4.19 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย Separator1_Program();	97

	หน้า
4.20 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย Display_Control();	98
4.21 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย Display_Graph();	99
4.22 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย Previous_Trend();	100
4.23 แสดงผังงานโปรแกรมย่อย System_Function();	101
5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดสอบหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการ แบบวงเปิดด้วยฟังก์ชันขั้น 117	117
5.2 แสดงผลตอบสนองของฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการแบบวงเปิด ซึ่งทดสอบด้วยฟังก์ชันขั้น 118	118
5.3 แสดงการทดสอบหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการแบบวงเปิดด้วย ฟังก์ชันขั้นจากค่าปรับตั้ง 120	120
5.4 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงเปิดด้วยการปรับค่าฟังก์ชันขั้นจาก ค่าปรับตั้งของโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ.. 121	121
5.5 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงเปิดด้วยการปรับค่าฟังก์ชันขั้นจาก ค่าปรับตั้งของโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ในรายละเอียด 121	121
5.6 แสดงฟังก์ชันโอนย้ายการควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ทดสอบ 123	123
5.7 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมของโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้น 125	125
5.8 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมจากวิธีการแปลงลาปลาซ 126	126
5.9 แสดงการปรับด้วยมือและผลของสัญญาณควบคุม (ก) กับค่าตัวแปร จากกระบวนการควบคุมระดับน้ำ(ข) 128	128
5.10 แสดงการปรับด้วยมือและผลของสัญญาณควบคุม (ก) กับค่าตัวแปร จากกระบวนการควบคุมแรงดัน (ข) 129	129
5.11 แสดงการปรับด้วยมือและผลของสัญญาณควบคุม (ก) กับค่าตัวแปร จากกระบวนการควบคุมระดับคอนเด็นเสท(ข) 130	130
5.12 แสดงการปรับอัตโนมัติแบบพี ผลของสัญญาณควบคุม (ก.1 ก.2 และ ก.3) ultimate cycle ที่เกิดขึ้นจากผลการปรับค่า K_p (ข.1) และค่าตัวแปร กระบวนการหยุดนิ่งต่ำกว่าจุดปรับตั้ง (ข.2) และ (ข.3)..... 133	133
5.13 แสดงการปรับอัตโนมัติแบบพีไอ ผลของสัญญาณควบคุม(ก) และค่า ตัวแปรกระบวนการ ณ จุดปรับตั้งค่าต่าง ๆ (ข) 134	134

- 5.14 แสดงการปรับอัตราดอกเบี้ยแบบเฟลต ผลของสัญญาณควบคุม (ก) ค่าตัวแปร
กระบวนการ ณ จุดปรับตั้งค่าต่าง ๆ (ข) และการปรับค่า K_D มากกว่าค่า
 T_1 ทำให้สูญเสียการควบคุม135

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาเศรษฐกิจของประเทศไทยได้ขยายตัวในอัตราที่สูงมาก เป็นผลให้ความต้องการใช้พลังงานมีอัตราเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.7 ต่อปี และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 7 จึงได้กำหนดแนวนโยบายการพัฒนาและจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการในประเทศ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ,2537)

ใน พ.ศ. 2533 ได้มีโครงการร่วมลงทุนเพื่อพัฒนาแหล่งก๊าซบังกช ซึ่งมีพื้นที่อยู่ในอำเภอไทยดอนใต้ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 600 กิโลเมตรและห่างจากจังหวัดสงขลาประมาณ 180 กิโลเมตร บริษัทที่ร่วมลงทุนได้แก่ บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียมจำกัด (มหาชน) 40% บริษัทโททาลเอ็กซ์โพรเรชั่นแอนดีโปรดักชั่นไทยแลนด์ 30% บริษัทบริทิชก๊าซ 20% และบริษัทสแตทออยล์ (ประเทศไทย) 10 % โดยบริษัทโททาลฯ ได้รับมอบหมายให้เป็นผู้ดำเนินการต่างๆ ที่แท่นเจาะและผลิต ณ แหล่งก๊าซบังกช (วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่, ม.ป.พ. ,ม.ป.ป.)

กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ได้ตกลงร่วมมือกับบริษัทโททาลฯเพื่อริเริ่มและจัดตั้งศูนย์ฝึกอบรมด้านเทคนิคปิโตรเลียมขึ้นที่วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ระหว่างวันที่ 1 กันยายน 2534 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม 2537 ทั้งนี้เพื่อพัฒนาทรัพยากรบุคคลและสนองความต้องการของอุตสาหกรรมไทยและแรงงานฝีมือด้านการผลิตน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ โดยบริษัทโททาลฯได้ใช้อาคารและสถานที่ของวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ในการฝึกอบรมพนักงานของทางบริษัทก่อนที่จะไปปฏิบัติงานจริงบนแท่นเจาะและผลิต นอกจากนี้บริษัทโททาลฯยังได้ให้การฝึกอบรมให้กับบุคลากรของวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ตลอดทั้งร่วมมือกันจัดทำหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาเทคโนโลยีปิโตรเลียมในช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ในสัญญาความร่วมมือทางวิชาการ ฉบับที่ 1 (สัญญาโครงการกรมอาชีวศึกษา กับ บริษัทโททาลฯ ฉบับที่ 1, 2534)

ในการฝึกอบรมบุคลากรเพื่อที่จะไปทำงานที่แท่นเจาะและผลิตนั้น ต้องมีการเตรียมการฝึกในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นทักษะเบื้องต้นในการใช้ภาษาต่างประเทศเพื่อการติดต่อสื่อสาร การฝึกการใช้เครื่องมือต่างๆ ความปลอดภัยและการปฐมพยาบาล การรักษาสิ่งแวดล้อม และที่สำคัญคือต้องเข้าใจการทำงานของกระบวนการต่างๆ บนแท่นเจาะและผลิตอย่างถูกต้องและชัดเจนก่อน ในช่วงระหว่างที่มีการฝึกอบรม บริษัทโททาลฯได้มีการนำชุดฝึกเครื่องจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซ (gas production process simulator) ซึ่งเป็นชุดคอมพิวเตอร์ที่ได้จำลองสถานการณ์ต่างๆ

ของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาตินำมาให้พนักงานของบริษัทที่เข้าฝึกอบรม ฝึกปฏิบัติให้มีความเข้าใจในการทำงานของกระบวนการทั้งหมด ตลอดจนขั้นตอนวิธีในการปฏิบัติต่างๆตามที่พนักงานแต่ละคนจะต้องทราบและเข้าใจก่อนที่จะไปปฏิบัติงาน

ผลจากการดำเนินการในสัญญาความร่วมมือทางวิชาการ ฉบับที่ 1 ได้มีการดำเนินการต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันเป็นฉบับที่ 4 ซึ่งจะสิ้นสุดสัญญาในสิ้นเดือนธันวาคม 2540 มีผลการดำเนินการโดยสรุป คือ บุคลากรของวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ได้เข้ารับการฝึกอบรมในสาขางานต่างๆ เช่น สาขางานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม งานไฟฟ้า งานเครื่องกล และงานกระบวนการ ตลอดจนได้ร่วมมือกันจัดทำหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาเทคโนโลยีปิโตรเลียมขึ้นใช้ในสถานศึกษาสังกัดกรมอาชีวศึกษา ณ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2537 เป็นรุ่นแรกมาจนถึงปัจจุบัน

เนื่องจากผู้วิจัยได้เป็นผู้หนึ่งของบุคลากรจากวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ที่ได้รับการคัดเลือกเข้าฝึกอบรมในสาขางานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมตามที่ได้กำหนดไว้ในสัญญาความร่วมมือทางวิชาการฉบับที่ 1 และรับผิดชอบในการจัดการเรียนการสอนในแผนกเทคโนโลยีปิโตรเลียม วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ และได้มีโอกาสใช้งานชุดฝึกเครื่องจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซของบริษัทมาระยะหนึ่ง พบว่าเป็นชุดฝึกที่ได้ให้แนวทางต่างๆในการเข้าใจกระบวนการผลิต ระบบการทำงาน การปรับแต่งของระบบเครื่องมือวัดและควบคุม ตลอดจนลำดับขั้นการปฏิบัติต่างๆ ในสถานะฉุกเฉิน แต่ชุดฝึกดังกล่าวทางบริษัทโททาลฯ ได้นำกลับไปใช้งานที่แท่นเจาะและผลิตเพื่อฝึกพนักงานต่อ ประกอบกับไม่สามารถจัดซื้อหาได้ภายในประเทศ

ดังนั้นโดยอาศัยแนวทางจากการทำงานของชุดฝึกดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการจำลองกระบวนการผลิตก๊าซ (gas production process simulation program) โดยเริ่มที่กระบวนการในส่วนของหน่วยแยกที่ 1 (1st stage separator unit) ซึ่งเป็นหน่วยหนึ่งในระบบกระบวนการผลิตก๊าซทั้งหมด อีกทั้งได้มีการนำข้อมูลที่เป็นรายละเอียดที่มีการใช้งานจริงบางส่วน ตลอดจนกรรมวิธีในกระบวนการผลิต (production/processing operation) มาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการจัดหาสมการทางคณิตศาสตร์ ที่แทนการทำงานของกระบวนการหน่วยแยกที่ 1 หลังจากนั้นได้จัดหาสมการการควบคุมที่แทนการทำงานของตัวควบคุม (controller) มาใช้เพื่อที่จะสามารถปรับตัวควบคุมให้เป็นแบบควบคุมด้วยมือ แบบอัตโนมัติ พีไอ และพีไอดี ไปควบคุมค่าตัวแปรในกระบวนการ (process variables) และใช้ความสามารถของโปรแกรม Lab Windows มาพัฒนาโปรแกรมการจำลองกระบวนการผลิตก๊าซ ทั้งนี้เพื่อจะได้นำไปใช้ในการเรียนการสอนด้านเครื่องมือวัดและควบคุมในอุตสาหกรรม แผนกเทคโนโลยีปิโตรเลียม วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ กรมอาชีวศึกษา สถาบันอื่นๆและผู้สนใจ อีกทั้งเป็นแนวทางในการนำไปปรับปรุงและขยายการพัฒนาโปรแกรมของระบบการผลิตก๊าซทั้งระบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการทำงานกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ
- 1.2.2 ศึกษาระบบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรมและการควบคุมที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ
- 1.2.3 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติให้ใช้งานได้กับไมโครคอมพิวเตอร์ 32 บิต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 หาดั้วแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่แทนการทำงานของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติโดยเลือกมาเพียง 1 หน่วย ได้แก่ หน่วยแยกที่ 1
- 1.3.2 หาดั้วแบบสมการตัวควบคุมตัวแปรกระบวนการในหน่วยแยกที่ 1 ที่สามารถควบคุมด้วยมือ และแบบอัตโนมัติ พีไอ และพีไอดี
- 1.3.3 เขียนโปรแกรมโดยใช้รูปแบบภาษา C ตลอดจนใช้ชุดฟังก์ชันและแบบโต้ตอบของโปรแกรม Lab Windows โดยแสดงผลต่างๆที่หน้าจอเป็นแบบกราฟฟิก
- 1.3.4 ทดสอบและปรับแต่ง (tuning) การทำงานของตัวควบคุมที่ค่าจุดปรับตั้ง (set point) ที่โหลดกระบวนการ (process load) ค่าต่างๆ โดยอาศัยวิธีการอัลติเมท (ultimate cycle method)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1 สามารถนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น
- 1.4.2 สามารถนำโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซที่ได้มาประกอบ การเรียนการสอนในหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาเทคโนโลยีปิโตรเลียม และสาขาเครื่องมือวัดและควบคุมในอุตสาหกรรม ในสถานศึกษาระดับอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และสถาบันอื่นๆ
- 1.4.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมกระบวนการแบบอื่นๆ

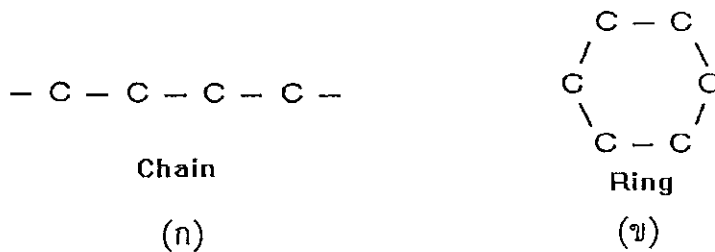
บทที่ 2

กระบวนการผลิตก๊าซและทฤษฎีระบบควบคุม

2.1 ปิโตรเลียมคืออะไร

จากพรบ.ปิโตรเลียม พ.ศ.2514 ปิโตรเลียมหมายความว่า น้ำมันดิบ, ก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซธรรมชาติเหลว สารพลอยได้และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ และอยู่ในสภาพอิสระไม่ว่าจะมีลักษณะเป็นของแข็ง ของหนืด ของเหลว หรือก๊าซ และให้หมายรวมถึงไฮโดรคาร์บอนหนักที่อาจนำขึ้นมาจากแหล่งโดยตรง โดยใช้ความร้อนหรือกรรมวิธีทางเคมี แต่ไม่หมายรวมถึงถ่านหิน หินน้ำมัน หรือหินอื่น ที่สามารถนำมากลั่นเพื่อแยกเอาน้ำมันด้วยการใช้ความร้อนหรือกรรมวิธีทางเคมี

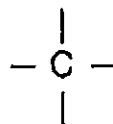
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะมีโครงสร้างทางเคมี ประกอบด้วยไฮโดรเจน (hydrogen) และคาร์บอน (carbon) เป็นหลัก ซึ่งอาจจะมีสารอื่นประกอบอยู่ด้วยก็ได้ สำหรับคาร์บอนจะมีการจัดเรียงตัวและจับยึดระหว่างอะตอม แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ แบบลูกโซ่ (chains) และแบบวงแหวน (rings) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 การจัดเรียงตัวและจับยึดระหว่างอะตอมของคาร์บอนแบบลูกโซ่ (n) และแบบวงแหวน (x) (Campbell ,1992)

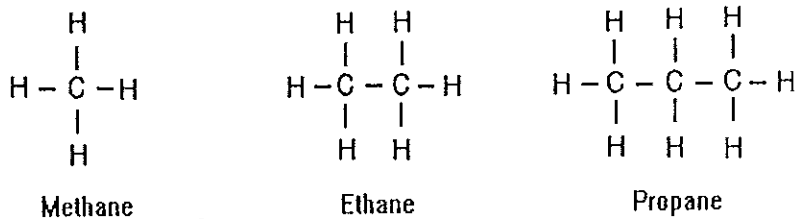
2.1.1 ลำดับพาราฟิน (paraffin series) หรือ อัลเคน (alkane)

เนื่องจากคาร์บอนจะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 4 ตัว จะสามารถเขียนโครงสร้างของอะตอม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 แสดงโครงสร้างอะตอมของคาร์บอน (Campbell ,1992)

แขนอะตอมของคาร์บอนที่ยื่นต่อออกไปทั้ง 4 ด้าน จะเป็นส่วนที่ไปจับยึดกับอะตอมของคาร์บอนหรืออะตอมของไฮโดรเจนตัวต่อไป ลำดับพาราฟินจึงเป็นชื่อของไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลที่มีอะตอมของไฮโดรเจนหรืออะตอมของคาร์บอนไปอยู่ต่อจากส่วนปลายของแขนออกไป ซึ่งโมเลกุลที่มีรูปแบบในลักษณะนี้จะมีคำเรียกลงท้ายด้วยคำว่า -ane จะพบว่าถ้ามีอะตอมของคาร์บอนเพียง 1 อะตอมปรากฏอยู่จะต้องมีอะตอมของไฮโดรเจนอยู่ 4 อะตอม และถ้ามีอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 2 อะตอมหรือมากกว่าก็จะปรากฏว่ามีอะตอมของไฮโดรเจน 3 อะตอมจับยึดกับอะตอมของคาร์บอนตัวที่อยู่ด้านนอก และมีอะตอมของไฮโดรเจน 2 ตัว จับยึดกับอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ในส่วนกลาง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 การจับยึดระหว่างอะตอมของคาร์บอนและอะตอมของไฮโดรเจน

ในกรณีที่มีอะตอมของคาร์บอน 1 ตัว มีเทน(methane) 2 ตัว อีเทน(ethane) และ 3 ตัว โพรเพน(propane) (Campbell ,1992)

จำนวนอะตอมของไฮโดรเจนเมื่อจำนวนอะตอมของคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะเป็นไปตามสมการ (2.1)

$$\text{C}_n\text{H}_{2n+2} \quad (2.1)$$

โดยที่ n = จำนวนอะตอมของคาร์บอน

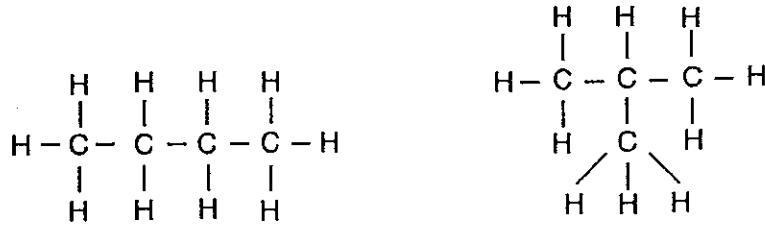
บางครั้งจะเป็นการสะดวกที่จะเรียกชื่อเฉพาะจากจำนวนอะตอมของคาร์บอนก็ได้ เช่น โพรเพน อาจจะเขียนเป็น C_3 หรือเรียกว่า "C-three"

นอกจากนี้อาจจะพบว่ามีกรเขียนเป็น C_6+ (hexanes plus) หรือ C_7+ (heptanes plus) ซึ่งจะมีความหมายว่ามีส่วนผสมหนัก (heavier compounds) รวมอยู่ด้วย

2.1.2 ลำดับพาราฟินไอโซเมอร์ (paraffine series isomers)

ในกรณีที่มีอะตอมของคาร์บอนที่มีตั้งแต่ 4 อะตอมขึ้นไปลักษณะการจับยึดระหว่างอะตอมจะแบ่งเป็นแบบ "ปกติ (normal)" และแบบ "ไอโซเมอร์ (isomer)" โดยแบบปกติจะมีลักษณะเป็นแบบลำดับพาราฟินดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่สำหรับในแบบลำดับพาราฟินไอโซเมอร์ สูตรทางเคมีจะเหมือนเดิมแต่มีข้อแตกต่างในส่วนของการจัดเรียงตัวและจับยึดของอะตอม ซึ่งจะทำให้มีความ

แตกต่างกันทั้งในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี แสดงดังในภาพประกอบ 2.4 โดยมีข้อสังเกตคือ จะแยกแยะชื่อแตกต่างโดยการกำหนดเป็น “ก” หรือ “ป” ไว้



Normal butane
(n-butane)

Isobutane
(i-butane)

ภาพประกอบ 2.4 การจับยึดอะตอมของไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของคาร์บอน 4 อะตอมแบบปกติและแบบไอโซเมอร์ (Campbell, 1992)

นอกจากนี้รูปแบบของการจับยึดของอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนยังมีในอีกหลายรูปแบบเช่น แบบโอเลฟินหรือลำดับเอทิลีน (olefine or ethylene series) หรือ อัลคีน (alkenes), ลำดับอัลไคน์ (alkyne series), แบบอะโรเมติกหรือลำดับเบนซีน (aromatic or benzene series) และ ลำดับแนฟทีน (naphthene series) แต่เนื่องจากในการวิจัยในครั้งนี้จะมีส่วนที่เกี่ยวข้องเฉพาะในแบบลำดับพาราฟินเท่านั้น จึงไม่ได้นำมากล่าวไว้ในที่นี้

ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ จะเป็นการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับลำดับพาราฟินไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะมีอะตอมของคาร์บอนไม่เกิน 10 ($C_1 - C_{10}$) นอกจากนี้ยังมีน้ำ ไนโตรเจน และส่วนผสมอื่นในก๊าซธรรมชาตินั้น เช่น กำมะถัน

ตาราง 2.1 แสดงชื่อของลำดับพาราฟินไฮโดรคาร์บอน $C_1 - C_{10}$

ชื่อ	สูตร	ชื่อ	สูตร
มีเทน (methane)	CH_4	เฮกเซน (hexane)	C_6H_{14}
อีเทน (ethane)	C_2H_6	เฮปเทน (heptane)	C_7H_{16}
โพรเพน (propane)	C_3H_8	ออกเทน (octane)	C_8H_{18}
บิวเทน (butane)	C_4H_{10}	โนแนน (nonane)	C_9H_{20}
เพนเทน (pentane)	C_5H_{12}	ดีเคน (decane)	$C_{10}H_{22}$

สำหรับการเรียกชื่อปิโตรเลียมหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตามคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆมีดังนี้

น้ำมันดิบ(crude oil)คือ ปิโตรเลียมเหลวผสมซึ่งได้มาจากแหล่งกักเก็บโดยยังไม่มี การดำเนินการใดๆ นอกจากการกำจัดสิ่งเจือปนและก๊าซธรรมชาติออกไป ซึ่งจะมีสภาพเป็นของเหลว ทั้งที่ในขณะอยู่ในแหล่งกักเก็บและเมื่อถูกนำขึ้นมาไว้ที่บรรยากาศ

คอนเดนเสท(condensate) คือ ปิโตรเลียมเหลวที่มีอยู่ในแหล่งกักเก็บหรือที่บรรยากาศ แต่เป็นของเหลวที่ได้จากแหล่งกักเก็บที่เป็นแหล่งก๊าซ (gas field)

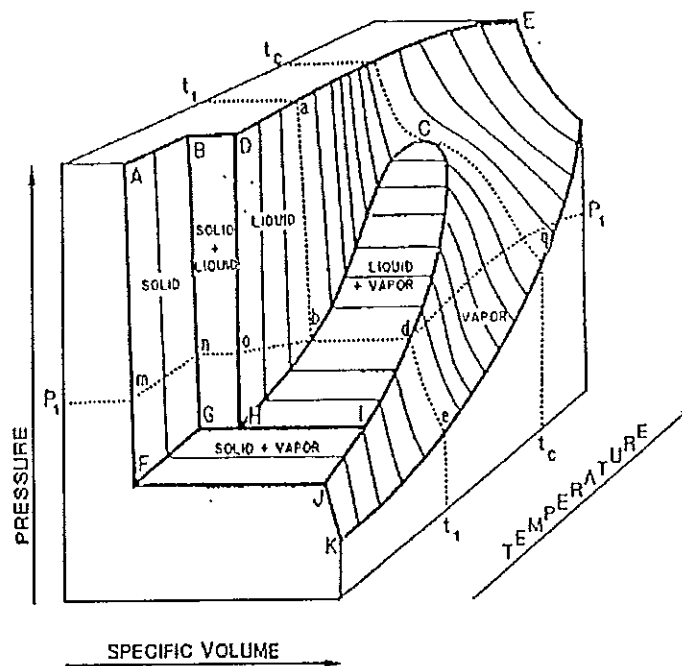
ก๊าซธรรมชาติ (natural gas) คือ ก๊าซที่ได้จากแหล่งก๊าซหรือจากการแยกน้ำมันดิบ

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ ของไฮโดรคาร์บอน

ไฮโดรคาร์บอนจะมีสถานะเป็นของแข็ง (solid) ของเหลว (liquid) ก๊าซหรือไอ (gas or vapor) จะขึ้นอยู่กับค่าของแรงดัน (pressure) ปริมาตร (volume) และอุณหภูมิ (temperature) ในขณะนั้น

2.2.1 สารบริสุทธิ์ (pure substance)

สารบริสุทธิ์ หมายถึงสารที่มีอะตอมหรือโมเลกุลเพียงชนิดเดียวในสารนั้นซึ่งสถานะของ สารบริสุทธิ์ภายใต้ค่าแรงดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ แสดงดังในภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 ไดอะแกรม พี-วี-ที (P-V-T diagram) แสดงสถานะสำหรับสารบริสุทธิ์ (Campbell ,1992)

ไดอะแกรม พี-ที ที่ จะกำหนดไว้มีทั้งหมด 3 แกน คือแกนแรงดัน แกนปริมาตร และ แกนอุณหภูมิ ซึ่งจะประกอบด้วยระนาบต่างๆ โดยในแต่ละระนาบจะแสดงสถานะของสารว่าเป็น ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ หรือผสมกัน ระนาบต่างๆที่ปรากฏได้แก่

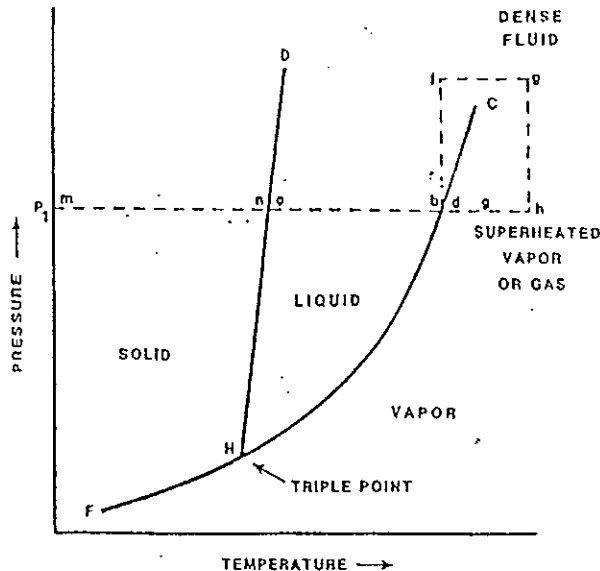
BDHG - ระนาบของแข็งและของเหลว

FGIJ - ระนาบของแข็งและไอ

HCI - ระนาบของเหลวและไอ

สถานะของเหลวจะอยู่ในระนาบด้านซ้ายของระนาบ HCI และติดอยู่กับระนาบ BDHG ส่วนที่มีสถานะเป็นไอจะเป็นแนวลาดเอียงที่อยู่ด้านขวาของระนาบ HCI ที่ระนาบ HCI จะเป็นส่วนที่มีสถานะเป็นของเหลวและไอผสมกันอยู่

นอกจากนี้ยังสามารถที่จะเขียนเป็น ไดอะแกรม พี-ที (P-T diagram) แสดงสถานะ ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.6 ไดอะแกรม พี-ที แสดงสถานะของสารบริสุทธิ์ (Campbell ,1992)

เส้น HD, HC และ FH เป็นเส้นสมดุล (equilibrium line) ซึ่งได้มาจากการปรับค่าแรงดันและอุณหภูมิ ในตลอดแนวเส้นดังกล่าวเพียงแค่เพิ่มหรือลดพลังงานจากกระบวนการก็จะสามารถที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะไป

ในแนว FH จะไม่มีของเหลวปรากฏอยู่ แต่ก็มีโอกาสที่ของแข็งจะกลายเป็นไอได้เลย เช่น การระเหิดของน้ำแข็งแห้ง เส้น HD เป็นเส้นสมดุลระหว่างของแข็งและของเหลว การปรับค่า

แรงดันและอุณหภูมิตลอดช่วงนี้สามารถทำให้มีสถานะเป็นของแข็งทั้งหมด ของเหลวทั้งหมด หรือผสมกันได้

เส้น HC เป็นเส้นสมดุลระหว่างของเหลวและไอ ค่าแรงดันและอุณหภูมิที่จุดสุดท้าย C จะเรียกว่าแรงดันวิกฤติ (critical pressure- P_c) และ อุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature - T_c) จากภาพประกอบ 2.6 ที่จุด P_1 เมื่อเพิ่มค่าอุณหภูมิโดยรักษาระดับของแรงดันคงที่ไว้ จากจุด m ไปยังจุด n จะมีสถานะเป็นของแข็ง จากจุด o-b จะมีสถานะเป็นของเหลว จุด b จะเป็นจุดที่ของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) หากมีการเพิ่มพลังงานเข้าไปจะทำให้กลายเป็นไอโดยแรงดันและอุณหภูมียังคงที่อยู่ จุด d จะเรียกว่าจุดไออิ่มตัว (saturated vapor) สำหรับค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าจุด d ขึ้นไปจะทำให้เกิดสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด (superheated vapor)

สำหรับพื้นที่สี่เหลี่ยม bfghd จะให้คุณสมบัติที่สำคัญในอีกลักษณะหนึ่งออกมา ซึ่งพิสูจน์ได้จากการทดลอง โดยนำของเหลวไปไว้ในตำแหน่งที่มีการปรับค่าแรงดันและอุณหภูมิให้ได้เงื่อนไขของจุด b ออกมา ซึ่งจะยังคงเห็นสภาพเป็นของเหลวอยู่ จากนั้นเพิ่มแรงดันโดยให้อุณหภูมิคงที่ (isothermally) จนถึงจุด f สีของเหลวจากเดิมซึ่งมองเห็นจะค่อยๆ เริ่มจางลง บางจุดจะไม่ปรากฏสีออกมา ณ จุดนี้จะเป็นเหมือนกับไอ แต่ไม่มีฟองหรือไอปรากฏให้เห็น

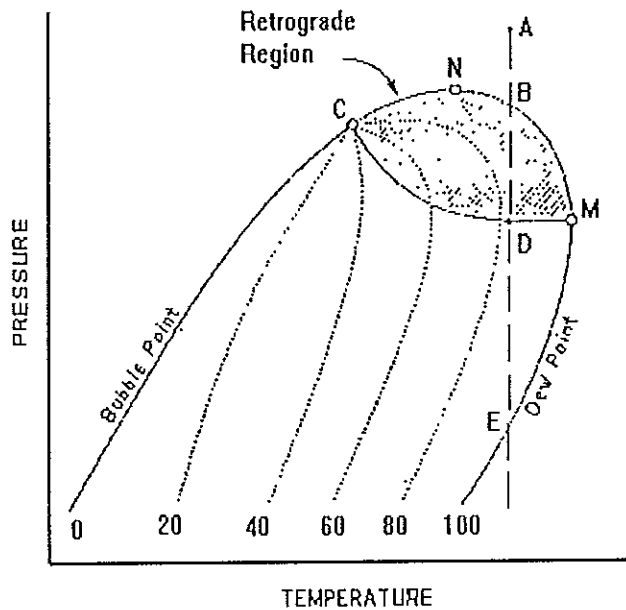
ที่จุด f ดูเหมือนจะมีสถานะเป็นก๊าซแต่จะมีคุณสมบัติที่ต่างจากก๊าซที่เป็นอยู่ในช่วง HC และที่ต่ำกว่าจุดวิกฤติ นั่นคือจะมีการความหนาแน่น (denser) มากกว่าก๊าซปกติ และความอัดตัวได้ (compressible) มากกว่าของเหลวปกติ

จากจุด f หากปรับค่าอุณหภูมิโดยให้แรงดันคงที่ (isobaric) ไปจนถึงจุด g และลดค่าแรงดันโดยให้อุณหภูมิคงที่จนมาถึงจุด h และกลับไปจุด d สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวอิ่มตัวไปเป็นไออิ่มตัวได้แต่จะไม่สามารถสังเกตเห็นสภาวะการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน

ในขณะเดียวกันอาจจะปรับค่าระหว่างจุด b ไปจุด d โดยตรง โดยเพียงแค่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลวในแบบแรงดันคงที่ เริ่มต้นจะมีฟองของไอเกิดขึ้นก่อนต่อมาจะเป็นการผสมกันระหว่างไอและของเหลว และหากยังคงมีการเพิ่มพลังงานต่อไปของเหลวจะกลายเป็นไอจนหมด ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงสถานะตรงนี้จะเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวอิ่มตัวไปเป็นไออิ่มตัวโดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน

2.2.2 สารผสม (multi component mixture of substance)

สำหรับสารผสมจะมี เฟสไดอะแกรม (phase diagram) แสดงสถานะดังแสดงในภาพประกอบ 2.7



ภาพประกอบ 2.7 เฟสไดอะแกรมแสดงสถานะของสารผสม (Campbell ,1992)

ลักษณะของรูปที่คล้ายกับลึ้นนี้ เรียกว่า เฟสเอนวิโลป (phase envelope) องค์ประกอบของสารผสมจะเป็นตัวกำหนดขนาดของเฟสเอนวิโลป ตำแหน่งต่างๆที่ใช้บนเฟสเอนวิโลป กำหนดเรียกชื่อไว้ดังนี้

1. ไครคอนเดนบาร์ (cricondenbar) เป็นจุดสูงสุดของค่าแรงดันที่ยังคงมีสภาพเป็นของเหลวอยู่ (จุด N)
2. ไครคอนเดนเทอร์ม (cricondentherm) เป็นค่าสูงสุดของอุณหภูมิที่ของเหลวและไอ อาจจะเกิดขึ้นด้วยกันในขณะสมดุล (จุด M)
3. ย่านเรโทรเกรด (retrograde region) เป็นพื้นที่ที่อยู่ภายในเฟสเอนวิโลป ซึ่งเกิดการกลั่นตัวของของเหลว โดยการลดค่าแรงดันหรือเพิ่มอุณหภูมิ
4. เส้นคุณภาพ (quality lines) เป็นแนวเส้นประที่อยู่ในเฟสเอนวิโลป โดยเส้นต่างๆเหล่านี้จะขนานกับเส้นฟอง (bubblepoint curve) และเส้นน้ำค้าง (dewpoint curve) ซึ่งเส้นฟองจะแสดง 0% ของไอ และเส้นน้ำค้างจะแสดง 100 % ของไอ และทุกเส้นจะไปตัดกันที่จุดวิกฤติ (จุด C)

เส้น ABDE แสดงกระบวนการกลั่นตัวแบบอุณหภูมิคงที่ (isothermal retrograde condensation process) ที่เกิดขึ้นในถังเก็บคอนเดนเสท จุด A แสดงของไหลที่มีสถานะเดียวอยู่นอกเฟสเอนวิโลป เมื่อลดแรงดันให้ต่ำลง ที่จุด B จะเริ่มมีการกลั่นตัวเป็นของเหลว หากแรงดันยังคงต่ำลงไปอีกจะมีของเหลวมากขึ้น การกลั่นตัวเป็นของเหลวจะยังคงมีจนไปถึงจุด D ซึ่งจะเป็นจุด

ที่ออกจากย่านเรโทรเกรด ซึ่งจากนี้ไปสภาพของเหลวก็จะน้อยลงไปเรื่อยๆ จนในที่สุดถึงจะไปถึงจุดน้ำค้าง(จุด E) ถ้าหากต่ำกว่าจุดนี้ไปแล้วก็จะมีของเหลวปรากฏขึ้นอีก

2.3 คุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรคาร์บอน

ไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน คุณสมบัติที่สำคัญๆ ได้แก่

2.3.1 จุดเดือด (boiling point) คือ อุณหภูมิซึ่งของเหลวเดือดกลายเป็นไอ ที่แรงดันบรรยากาศ เช่น น้ำจะเดือดที่ 100°C ที่แรงดันบรรยากาศ จุดเดือดของไฮโดรคาร์บอนจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนอะตอมของคาร์บอน หากมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมากจุดเดือดจะมีค่าสูง เช่น โพรเพน ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอน 3 อะตอม มีจุดเดือด -42°C ที่แรงดันบรรยากาศ ในขณะที่เฮปเทนมีอะตอมของคาร์บอน 7 อะตอม มีจุดเดือด 98.4°C ที่แรงดันบรรยากาศ แรงดันจะมีผลต่อจุดเดือดโดยตรง เช่น หากนำโพรเพนซึ่งมีจุดเดือด -42°C ที่แรงดันบรรยากาศ (แรงดัน 1 บรรยากาศ เท่ากับ 101 kPa) ไปไว้ที่แรงดัน 1207 kPa จุดเดือดจะมีค่าเป็น 38°C ซึ่งสำหรับไฮโดรคาร์บอนแล้ว จุดเดือดจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น

2.3.2 แรงดันไอ (vapour pressure)

เมื่อมีการอ่านค่าแรงดันที่ถังซึ่งบรรจุไฮโดรคาร์บอนเหลวอยู่ แรงดันที่ได้คือแรงดันไอ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและส่วนผสม ค่าแรงดันที่อ่านออกมาเป็นแรงดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) ตัวอย่างของแรงดันไอ และคุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆ แสดงดังในภาคผนวก ก ตารางที่ ก1 และ ก2

2.4 ก๊าซอุดมคติ (ideal gas)

จะมีการพิจารณาจากหลักการของก๊าซอุดมคติเป็นเบื้องต้น ก่อนจะนำไปใช้สำหรับทำนายพฤติกรรมของก๊าซจริง (actual gas) ค่าของแรงดัน ปริมาตร และอุณหภูมิของก๊าซจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดที่จะบอกพฤติกรรมที่จะเกิดขึ้น ค่าศัพท์ต่างๆที่ใช้ ซึ่งจะต้องทำความเข้าใจในเบื้องต้นก่อนมีดังนี้

มวล (mass) คือ น้ำหนักของก๊าซที่มีอยู่ ณ ปริมาตรนั้น

หน่วยที่ใช้ - ระบบ SI: กิโลกรัม (kg) , หรือ กิโลโมล (kmols)

- ระบบอังกฤษ: ปอนด์ (lb) หรือ ปอนด์โมล (lb mols)

โมล (mols) คือ มวลในหน่วยกิโลกรัม หรือ ปอนด์หารด้วยน้ำหนักโมเลกุล

(molecular weight- MW) ของก๊าซ

น้ำหนักโมเลกุล หาได้จากสมการดังนี้

$$MW = (\text{Sp Gr})(29)$$

เมื่อ Sp Gr = ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย

ความหนาแน่น (density) คือ น้ำหนักของก๊าซที่มีต่อหน่วยของปริมาตรของก๊าซ
หน่วยที่ใช้ - ระบบ SI: กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)
- ระบบอังกฤษ: ปอนด์ / ลูกบาศก์ฟุต (lb/ft^3)

ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) คือ ปริมาตรของก๊าซในหนึ่งหน่วยมวล หรือส่วนกลับของความหนาแน่น
หน่วยที่ใช้ - ระบบ SI: ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม (m^3/kg)
- ระบบอังกฤษ : ลูกบาศก์ฟุต / ปอนด์ (ft^3/lb)

แรงดันที่ใช้ในการพิจารณาต่อไปนี้เป็นดังนี้

หน่วยที่ใช้ - ระบบ SI: บาร์ (bar)
(1 bar = 100 kPa = 0.987 atmosphere)
- ระบบอังกฤษ: psi absolute (psia)

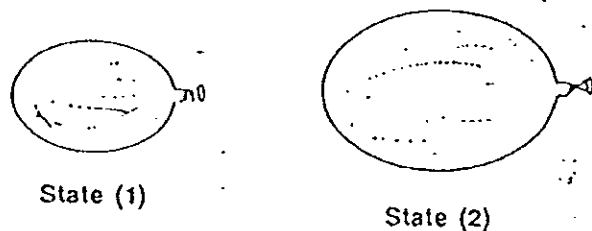
แรงดันสัมบูรณ์จะใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับก๊าซ
อุณหภูมิที่ใช้จะเป็นดังนี้

หน่วยที่ใช้ - ระบบ SI: K , Kelvin $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$
- ระบบอังกฤษ: R , Rankin $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของก๊าซ

การเปลี่ยนแปลงปริมาตร(V) ของก๊าซจะขึ้นอยู่กับ แรงดัน(P) อุณหภูมิ (T) และมวล

2.4.1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับมวลโดยแรงดันและอุณหภูมิตงที่

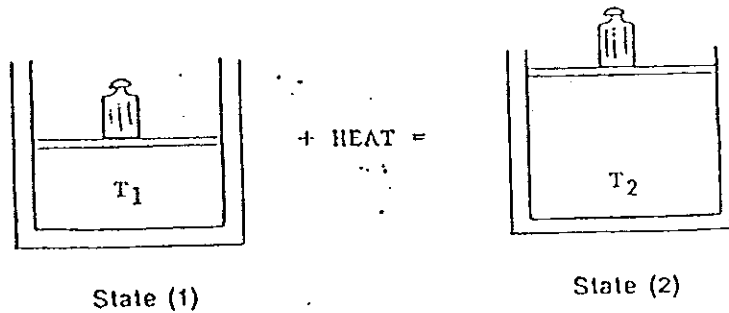


ภาพประกอบ 2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับมวลโดยแรงดันและอุณหภูมิตงที่
(Campbell ,1992)

จากภาพประกอบ 2.8 ลูกโป่งขณะที่ถูกเปิดปลายออก แรงดันและอุณหภูมิในลูกโป่งเท่ากับแรงดันของอากาศที่บรรยากาศ ถ้าเรากำหนดให้อากาศเป็นก๊าซอุดมคติ ค่ามวลของอากาศในลูกโป่งจะมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของอากาศคูณกับปริมาตรภายในของลูกโป่ง เพื่อให้สะดวกจะแทนมวลเป็น n จำนวนโมลของก๊าซที่มีอยู่ ต่อไปสมมติว่ามีการเพิ่มอากาศเข้าไปในลูกโป่งขึ้นมาอีก แรงดันและอุณหภูมิภายในไม่เปลี่ยนแปลง แต่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเพราะว่าโมลของก๊าซ (n) มีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเป็นไปดังแสดงในสมการ (2.2)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.2)$$

2.4.1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับอุณหภูมิโดยแรงดันและมวลคงที่



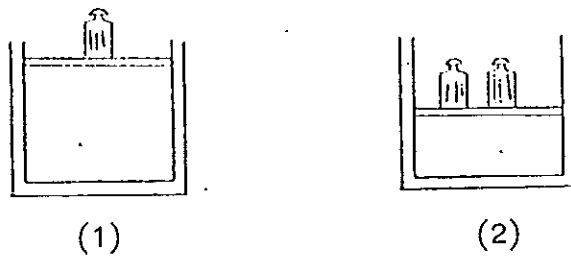
ภาพประกอบ 2.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับอุณหภูมิโดยแรงดันและมวลคงที่
(Campbell, 1992)

จากภาพประกอบ 2.9 ถ้าไม่มีการรั่วไปของมวล แรงดันที่อยู่ภายในที่ (1) และ (2) จะไม่เปลี่ยนแปลงเพราะว่าน้ำหนักบนลูกสูบมีค่าคงที่ หากมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จะทำให้พลังงานภายในสูงขึ้น ความหนาแน่นของก๊าซควรลดลงเพื่อที่จะให้ได้แรงดันคงที่ แต่เนื่องจากมวลทั้งหมดคงที่ทางเดียวที่จะทำให้มีการลดค่าความหนาแน่นได้ จะต้องเพิ่มค่าปริมาตรขึ้น

โดยใช้กฎของซาลส์ (Charles' law) ซึ่งกล่าวว่า "ที่แรงดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซที่มีน้ำหนักคงที่จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์" ดังแสดงในสมการ (2.3)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (2.3)$$

2.4.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับแรงดันโดยอุณหภูมิและมวลคงที่



ภาพประกอบ 2.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับแรงดันโดยอุณหภูมิและมวลคงที่
(Campbell ,1992)

จากภาพประกอบที่ 2.10 หากไม่มีการรั่วซึมของมวลใน (1) และ (2) และกำหนดให้อุณหภูมิที่มีอยู่คงที่ พลังงานของโมเลกุลภายในจะคงที่ เมื่อมีการเพิ่มแรงดันภายนอกโดยการเพิ่มน้ำหนักวัตถุที่กดลงบนลูกสูบ การที่จะทำให้แรงดันภายในลูกสูบให้มีค่าเท่ากับแรงดันที่เพิ่มมานั้น จะต้องทำให้ความหนาแน่นของโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากมวลคงที่ ดังนั้นหากจะให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะต้องมีการลดปริมาตรลง

ซึ่งเป็นไปตามกฎของบอยล์ (Boyle's law) กล่าวไว้ว่า “ ปริมาตรของก๊าซที่มีน้ำหนักคงที่จะแปรผกผันเป็นส่วนกลับของแรงดันที่กระทำลงไป ถ้ารักษาให้อุณหภูมิคงที่” ดังแสดงในสมการ (2.4)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad (2.4)$$

2.4.2 กฎของก๊าซอุดมคติ (Ideal gas law)

โดยใช้กฎของบอยล์และชาลส์ จะได้สมการที่อธิบายพฤติกรรมของก๊าซอุดมคติ ดังแสดงในสมการ (2.5)

$$PV = nRT \quad (2.5)$$

- เมื่อ P หมายถึง แรงดันสัมบูรณ์
 T หมายถึง อุณหภูมิสัมบูรณ์
 V หมายถึง ปริมาตร
 n หมายถึงจำนวนโมลของก๊าซที่มีในภาชนะปิดที่เก็บก๊าซไว้
 R หมายถึงค่าคงที่ของก๊าซ (universal gas constant) ซึ่งจะมีหน่วยตามหน่วยของ แรงดัน ปริมาตร และ อุณหภูมิ ดังแสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 หน่วยของแรงดัน ปริมาตร อุณหภูมิ จำนวนโมล และ ค่าคงที่ของก๊าซ

P	V	T	n	R
bar	m ³	°K	kmols	0.0831
psia	ft ³	°R	lb-mols	10.73

ค่าของ n จะเป็นไปดังแสดงในสมการ (2.6)

$$n = \text{มวลของก๊าซ} / \text{น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ} \quad (2.6)$$

2.4.3 ความหนาแน่นของก๊าซอุดมคติ (ρ)

จะหาได้ดังแสดงในสมการ (2.7) โดยมีหน่วยดังแสดงในตาราง 2.3

$$\rho = \frac{(P)(MW)}{RT} \quad (2.7)$$

ตาราง 2.3 หน่วยของความหนาแน่น แรงดัน ค่าคงที่ของก๊าซ และอุณหภูมิ

ρ	P	R	T
gm/cm ³	bar	83.1	°K
Kg/m ³	bar	0.0831	°K
lb/ft ³	psia	10.73	°R

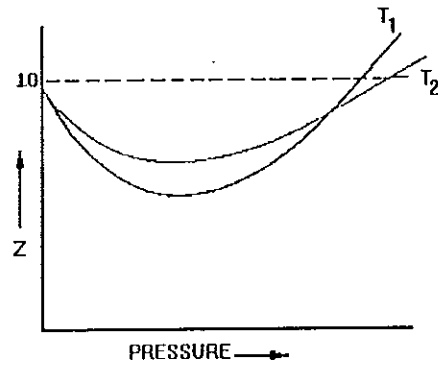
สำหรับก๊าซในสภาวะจริง (real gas) สามารถที่จะหาค่า ρ ได้โดยจะต้องมีการนำค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวได้ (compressibility factor-z) มาพิจารณา ดังแสดงในสมการ (2.10) (Campbell, 1992)

$$z = \frac{P V}{nRT} \quad (2.8)$$

$$\text{หรือ } z = \frac{\text{ความหนาแน่นของก๊าซอุดมคติ (density of Ideal gas)}}{\text{ความหนาแน่นของก๊าซจริง (density of real gas)}} \quad (2.9)$$

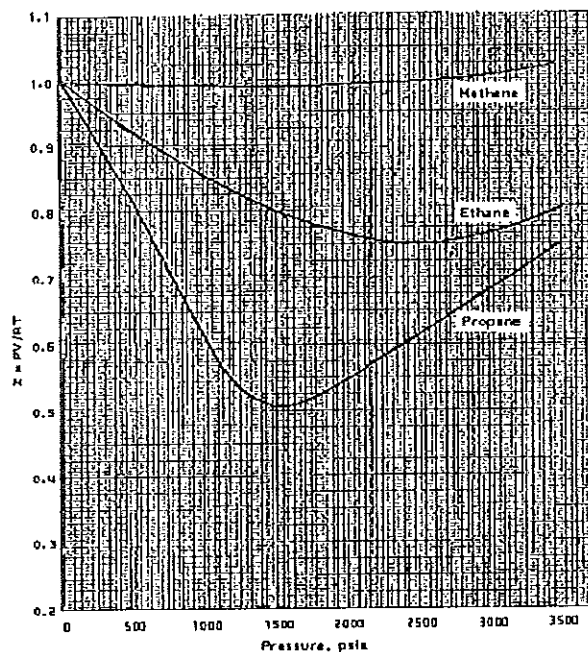
$$\rho = \frac{(P)(MW)}{ZRT} \quad (2.10)$$

เนื่องจาก z ไม่มีหน่วย หน่วยของ p ในที่นี้จึงยังคงเป็นดังแสดงในตาราง 2.3 ในการหาค่า Z นอกจากหาได้ดังแสดงในสมการ (2.8) และ (2.9) แล้วยังสามารถหาได้จากการทดลองความสัมพันธ์ของ Z , P และ T สำหรับก๊าซที่มีส่วนผสมที่ แสดงดังในภาพประกอบ 2.11 ซึ่งสำหรับก๊าซอุดมคติแล้ว Z จะมีค่าเท่ากับ 1



ภาพประกอบ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Z , P และ T ของก๊าซที่มีส่วนผสมที่ (Campbell, 1992)

ในกรณีที่ต้องการแสดงค่า Z ของก๊าซที่แตกต่างกัน สามารถที่จะแสดงค่า Z ได้ดังในภาพประกอบ 2.12 ซึ่งจะแสดงค่า Z ของก๊าซมีเทน อีเทน และโพรเพน ที่อุณหภูมิ 160°C



ภาพประกอบ 2.12 ค่า Z ของก๊าซมีเทน อีเทน และโพรเพน ที่อุณหภูมิ 160°C (Campbell, 1992)

2.5 การคำนวณสมดุล (equilibrium calculation)

ในกรณีวิธีกระบวนการผลิตปิโตรเลียมจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมสถานะที่มีอยู่ เพื่อที่จะเลือกให้ของไหลผสมที่เข้ามา มีการแยกตัวออกเป็นก๊าซหรือของเหลวตามเป้าหมายที่ต้องการ จากของไหลผสมที่ไหลเข้ามา จำเป็นที่จะต้องหาเฟสเอนวิโลป เพื่อที่จะหาขนาดของก๊าซ ของเหลว หรือ ยานที่มีการผสมกันระหว่างของเหลวและก๊าซ ซึ่งในยาดังกล่าว จำเป็นที่จะต้องหาอัตราส่วนของก๊าซ ของเหลวและอัตราส่วนการผสมกันระหว่างของเหลวและก๊าซ วิธีการที่เรียกว่า “การคำนวณสมดุล” จะถูกนำมาใช้เพื่อทำนายผลที่เกิดขึ้น (Campbell ,1992)

อัตราส่วนสมดุลของการระเหย (equilibrium vaporization ratio - K)

$$K_i = \frac{Y_i}{X_i} \quad (2.11)$$

เมื่อ

Y_i = ส่วนประกอบที่เป็นไอ (concentration of a component in the vapor, mol%)

X_i = ส่วนประกอบที่เป็นของเหลว (concentration of a component in the liquid ,mol%)

ค่า K_i จะเป็นการวัดการระเหยของส่วนประกอบหนึ่ง ๆ จากส่วนประกอบที่ผสมกันอยู่ในภาคผนวก ข. แสดงค่า K_i สำหรับส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติ (Campbell ,1992)

2.5.1 การใช้งานค่าอัตราส่วนสมดุลของการระเหย (K)

มีการคำนวณอยู่ 3 วิธีเพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมของการเป็นของเหลวและไอ ซึ่งได้แก่

1. การคำนวณจุดฟอง (bubblepoint calculation)
2. การคำนวณจุดน้ำค้าง (dewpoint calculation)
3. การคำนวณจุดแฟลช (flash calculation)

ก. การคำนวณจุดฟอง

จุดฟอง(bubblepoint) หมายถึงสถานะที่ระบบมีของเหลวอยู่แล้วเริ่มมีฟองก๊าซลูกแรกขึ้นมาและเมื่อมีบางส่วนกลายเป็นก๊าซไปแล้ว หากพิจารณาผลรวมของโมลส่วนย่อย (mole fraction) ของส่วนประกอบทั้งส่วนที่เป็นก๊าซและของเหลว ผลรวมจะมีค่าเป็น 1 (unity)

$$\sum K_i X_i = \sum Y_i = 1.0 \quad (2.12)$$

ลำดับขั้นการคำนวณสำหรับระบบที่ทราบส่วนประกอบแล้ว

1. สมมุติค่าอุณหภูมิสำหรับกรณีที่ทราบค่าแรงดัน
(หรือสมมุติค่าแรงดันกรณีที่ทราบค่าอุณหภูมิ)

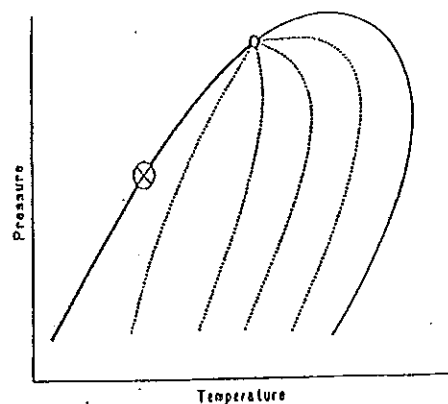
2. หาค่า K_i (ตารางในภาคผนวก ข.) ของส่วนผสมที่แรงดันและอุณหภูมิที่ทราบและสมมุติ
3. นำค่า K_i คูณเข้ากับค่า X_i (สมการ 2.12)
4. หากผลรวมของค่าที่ได้ใน ข้อ 3 มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าได้สมมุติค่าแรงดันหรืออุณหภูมิที่ถูกต้อง หากไม่ถูกต้องให้ทำซ้ำจนได้ $\sum K_i X_i = 1.0$

หมายเหตุ สามารถใช้โมลเปอร์เซ็นต์ (mol percent) แทนโมลส่วนย่อยสำหรับ X_i ซึ่งจะทำให้ผลรวมเป็น 100 แทนที่จะเท่ากับ 1

ดังตัวอย่างต่อไปนี้เราสามารถหาอุณหภูมิจุดฟอง ที่แรงดัน 17.2 bar [250 Psi] ของส่วนผสมได้ดังนี้

ส่วนประกอบ	X_i	สมมุติ $T = 30^\circ\text{C}$ [100°F]		สมมุติ $T = 66^\circ\text{C}$ [150°F]		สมมุติ $T = 56^\circ\text{C}$ [133°F]	
		K_i	$K_i X_i$	K_i	$K_i X_i$	K_i	$K_i X_i$
C_2	0.10	2.410	0.241	3.24	0.324	2.94	0.294
C_3	0.50	0.797	0.399	1.23	0.615	1.07	0.533
$i C_4$	0.15	0.359	0.054	0.610	0.092	0.512	0.077
$n C_4$	0.25	0.264	0.066	0.467	0.117	0.387	0.097
	1.00		0.760		1.148		1.001
			ค่าอุณหภูมิ สมมุติ ต่ำเกินไป		ค่าอุณหภูมิ สมมุติ สูงเกินไป		ค่าอุณหภูมิ สมมุติ ถูกต้อง

ซึ่งจุดฟองจะอยู่ในด้านซ้ายของเฟสเอนวิโลปดังแสดงในภาพประกอบ 2.13



ภาพประกอบ 2.13 แสดงแนวเส้นจุดฟองของเฟสเอนวิโลป (Campbell ,1992)

ข. การคำนวณจุดน้ำค้าง

จุดน้ำค้าง (dewpoint) หมายถึง จุดที่ระบบมีสภาวะเป็นไอทั้งหมด แล้วเริ่มมีหยดของเหลวหยดแรกปรากฏขึ้น ผลรวมของส่วนประกอบจะเป็นดังแสดงในสมการ (2.13)

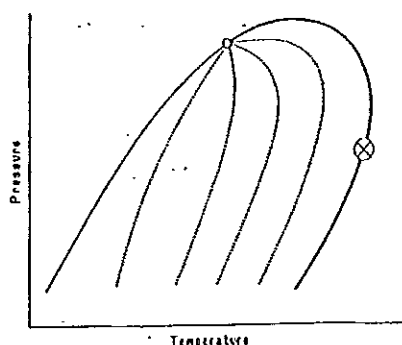
$$\sum \left(\frac{Y_i}{K_i} \right) = \sum X_i = 1.0 \quad (2.13)$$

วิธีการในการคำนวณจะเหมือนกับในแบบการคำนวณจุดฟอง ยกเว้นค่า Y_i (ซึ่งเป็นไอ) จะหารด้วย K_i แทนที่จะเป็นการคูณ

ดังตัวอย่างต่อไปนี้แสดงวิธีการคำนวณหาอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ที่แรงดัน 17.2 bar [250 Psi] ของส่วนผสมดังนี้

ส่วนประกอบ	Y_i	สมมุติ $T = 66^\circ\text{C}$ [150°F]		สมมุติ $T = 93^\circ\text{C}$ [200°F]		สมมุติ $T = 77^\circ\text{C}$ [171°F]	
		K_i	Y_i / K_i	K_i	Y_i / K_i	K_i	Y_i / K_i
C_2	0.10	3.24	0.031	4.26	0.023	3.64	0.028
C_3	0.50	1.23	0.407	1.83	0.273	1.46	0.343
i C_4	0.15	0.610	0.246	0.993	0.151	0.750	0.200
n C_4	0.25	0.467	0.535	0.584	0.428	0.583	0.429
	1.00		1.219		0.875		1.000
			ค่าอุณหภูมิ สมมุติ ต่ำเกินไป		ค่าอุณหภูมิ สมมุติ สูงเกินไป		ค่าอุณหภูมิ สมมุติ ถูกต้อง

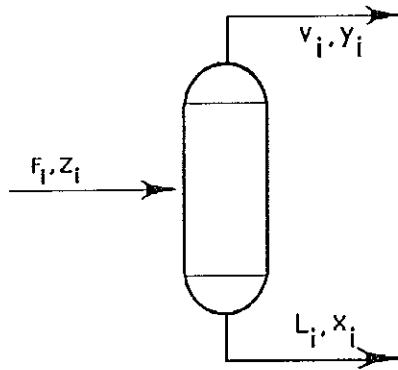
ซึ่งจุดน้ำค้างจะอยู่ในด้านขวาของเฟสเอนวิโลปดังแสดงในภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.14 แสดงแนวเส้นจุดน้ำค้างของเฟสเอนวิโลป (Campbell, 1992)

ค. การคำนวณจุดเฟลช

วัตถุประสงค์ของการคำนวณจุดเฟลช จะใช้สำหรับระบบแยก 2 เฟส (two-phase) เพื่อหาสัดส่วนของก๊าซและของเหลว รวมทั้งส่วนประกอบที่เป็นก๊าซและของเหลว



เมื่อ F = โมลของของไหลที่จ่ายเข้ากระบวนการแยก

(mols of total feed entering separation process)

V = โมลของก๊าซที่ออกจากระบบแยกจาก F โมลที่จ่ายเข้ามา

(mols of gas leaving system for F mols feed)

L = โมลของของเหลวที่ออกจากระบบจาก F โมลที่จ่ายเข้ามา

(mols of liquid leaving system for F mols feed)

Z_i = โมลของส่วนประกอบ "i" ของของไหลที่จ่ายเข้าต่อโมลที่จ่ายมาทั้งหมด

(mols of component "i" in feed stream per mol total feed)

Y_i = โมลส่วนย่อยของส่วนประกอบในส่วนที่เป็นก๊าซ

(mols fr of component "i" in gas stream- V)

X_i = โมลส่วนย่อยของส่วนประกอบในส่วนที่เป็นของเหลว

(mols fr of component "i" in liquid stream- L)

ภาพประกอบที่ 2.15 แสดงการแยกของก๊าซ (V) และ ของเหลว (L) จากของไหลผสมที่จ่ายเข้ามา (F) (Campbell ,1992)

จากภาพประกอบที่ 2.15 จะได้โมลของของไหลเท่ากับ

$$F = V + L \quad (2.14)$$

สำหรับส่วนประกอบแต่ละตัว

$$FX_i = VY_i + LX_i \quad (2.15)$$

หากสมมุติให้ $F = 1$ โมล และ $Z_i = Y_iV + X_iL$ แต่จากที่กำหนดว่า $Y_i = K_iX_i$ สามารถที่จะเขียนสมการใหม่ได้ดังแสดงในสมการ (2.16) และ (2.17) (Campbell, 1992)

$$X_i = \frac{Z_i}{L + VK_i} \quad (2.16)$$

$$Y_i = \frac{Z_i}{V + (L/K_i)} \quad (2.17)$$

นอกจากนี้แล้วผลรวมของโมลส่วนย่อยในส่วนที่เป็นก๊าซหรือของเหลวจะมีค่าเท่ากับ 1 ดังแสดงในสมการ (2.18) และ (2.19) (Campbell, 1992)

$$\sum X_i = \sum \frac{Z_i}{L + VK_i} = 1.0 \quad (2.18)$$

$$\sum Y_i = \sum \frac{Z_i}{V + (L/K_i)} = 1.0 \quad (2.19)$$

ดังนั้นโดยวิธีการทดลองจะต้องสมมุติค่า L หรือ V แล้วหาคำตอบจากสมการ (2.18) หรือ (2.19) หาก $\sum X_i$ หรือ $\sum Y_i = 1$ จะถือว่าได้คำตอบที่ถูกต้องแล้ว

ลำดับขั้นในการคำนวณจุดแฟลชมีดังนี้

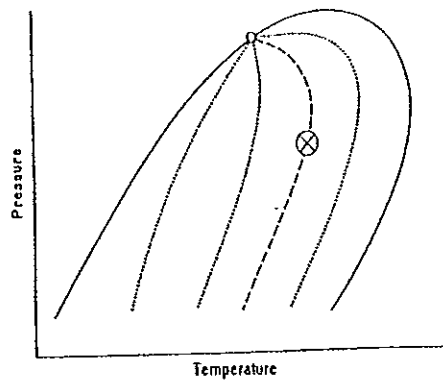
1. หาค่า K จากค่าแรงดันและอุณหภูมิ (ตารางในภาคผนวก ข) ที่กำหนด
2. สมมุติค่า L หรือ V
3. หาคำตอบของสมการ (2.18) หรือ (2.19)
4. หาก $\sum X_i = 1.0$, $\sum Y_i = 1.0$ ถือว่าสิ้นสุดการคำนวณ หากยังไม่ได้ให้ไปทำซ้ำในข้อ 2-4

ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงวิธีการหาสัดส่วนก๊าซและของเหลว จากการแยกแบบ 2 เฟส ถ้าหากมีของไหลผสมง่ายเข้ามาในถังที่แรงดัน 17.2 bar [250 Psi] และอุณหภูมิ 66°C [150 °F]

ส่วนประกอบ	Z_i	K_i	สมมุติ L = 0.5	สมมุติ L = 0.75	สมมุติ L = 0.649	
			$X_i = Z_i/L + VK_i$	$X_i = Z_i/L + VK_i$	X_i	$Y_i = K_i X_i$
C ₂	0.10	3.24	0.047	0.064	0.056	0.181
C ₃	0.50	1.23	0.448	0.473	0.463	0.569
IC ₄	0.15	0.610	0.186	0.166	0.174	0.106
nC ₂	0.25	0.467	0.341	0.288	0.308	0.144
	1.00		1.022	0.991	1.000	1.000

ค่า L สมมุติ
น้อยเกินไป
ค่า L สมมุติ
มากเกินไป
ค่า L สมมุติ
ถูกต้อง

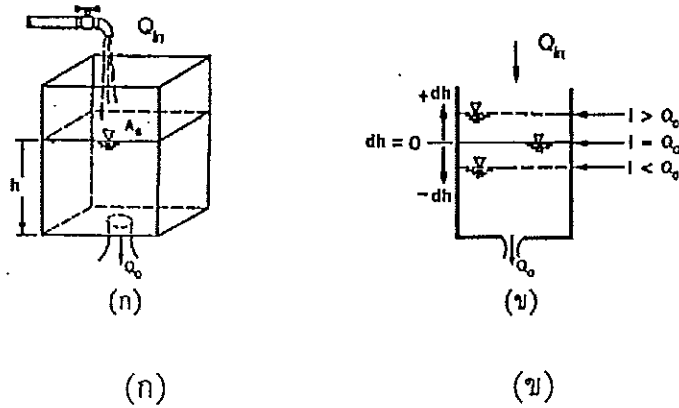
ผลการคำนวณจุดแฟลช จะทำให้ทราบค่าของสัดส่วนของการเป็นก๊าซและของเหลว รวมทั้งส่วนประกอบที่เป็นก๊าซและของเหลว ตำแหน่งของจุดแฟลชที่อยู่บนเฟสเอนวิโลป ดังแสดงในภาพประกอบ 2.16



ภาพประกอบ 2.16 แสดงแนวเส้นจุดแฟลชบนเฟสเอนวิโลป (Campbell, 1992)

2.6 สมการกระบวนการต่าง ๆ

2.6.1 สมการการไหลเข้าและไหลออกจากถังของของไหล



ภาพประกอบ 2.17 การไหลเข้าและไหลออกจากถังของของไหล (ก) และการเปลี่ยนแปลงของระดับของไหล (ข) (กิริติ ลีวัจนกุล, 2538)

จากภาพประกอบ 2.17 ที่เวลาเริ่มต้น $t = 0$ ระดับของไหลในถังสูง h เมื่อเวลาผ่านไป dt มีของไหลไหลเข้าถังด้วยอัตราการไหล Q_{in} และไหลออกจากถังด้วยอัตราการไหล Q_o ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเข้า อัตราการไหลออกและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหล (dS) ในถังดังนี้ (กิริติ ลีวัจนกุล, 2538)

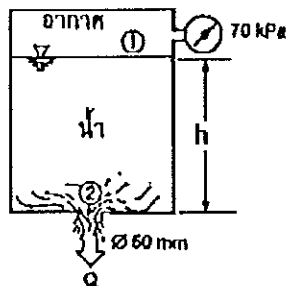
$$Q_{in} - Q_o = dS/dt \tag{2.20}$$

หรือ
$$Q_{in} - Q_o = A_s dh/dt \tag{2.21}$$

การเปลี่ยนแปลงระดับของของไหล dh ในช่วงเวลา dt จะมีค่าเป็นบวก หรือ ศูนย์หรือลบนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออก

2.6.2 การไหลผ่านรูระบายของถังปิด

ในกรณีที่ถังปิดมีแรงดันภายในบรรจุของไหล ดังแสดงในภาพประกอบ 2.18 หากด้านล่างได้มีการเจาะรูระบาย สามารถที่จะหาอัตราการไหลของของไหลออกจากถังปิดนี้ได้จากสมการ (2.22) (กิริติ ลีวัจนกุล, 2538)



ภาพประกอบ 2.18 การไหลของของไหลออกจากถังปิดที่มีแรงดัน (กิริติ ลีวัจนกุล, 2538)

$$Q_o = C_d A_o V_2 \quad (2.22)$$

โดยที่ Q_o = อัตราการไหลออกของของไหลจากถัง (cms)
 C_d = สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (ภาคผนวก ค) (กิริติ ลีวัจนกุล, 2538)
 A_o = พื้นที่หน้าตัดของรูระบาย = $\frac{\pi D^2}{4}$ (m²)
 V_2 = ความเร็วของของไหลที่รูระบาย (m/s)

$$V_2 = \sqrt{2g \left[\frac{P_1}{\gamma} + h \right]} \quad (2.23)$$

g = อัตราเร่งที่ผิวโลก = 9.81 m/s²

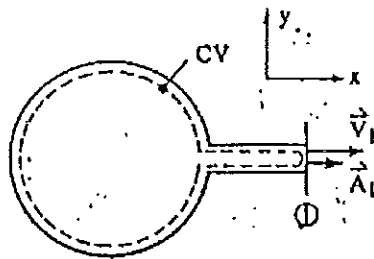
P_1 = แรงดันในถังปิด (kPa)

γ = น้ำหนักจำเพาะ หรือ ความหนาแน่นน้ำหนัก หรือ น้ำหนักของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (N/m³)

h = ความสูงของของไหลปัจจุบัน (m)

2.6.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศภายในถัง

ถังปิดบรรจุอากาศไว้ที่แรงดันและอุณหภูมิค่าหนึ่ง ภายในถังจะมีความหนาแน่นของอากาศคงที่ หากปล่อยอากาศให้ไหลออกด้วยความเร็วผ่านพื้นที่หน้าตัดรูระบายทางออก ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.19 จะสามารถคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศภายในถังที่เวลา $t = 0$ ดังสมการ (2.24) (สมาน เจริญกิจพูนผล และ มนตรี พิรุณเกษตร, 2539)



ภาพประกอบ 2.19 การไหลออกของอากาศภายในถังปิด (สมาน เจริญกิจพูนผล และ มนตรี พิรุณเกษตร, 2539)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{-\rho_1 V_1 A_1}{v} \quad (2.24)$$

เมื่อ $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของอากาศภายในถังที่ $t = 0$ ($\frac{\text{kg/m}^3}{\text{s}}$)
 ρ_1 = ความหนาแน่นของอากาศในขณะยังไม่ระบายออก (kg/m^3)

v_1 = ความเร็วของอากาศขณะระบายออก (m/s)

A_1 = พื้นที่หน้าตัดรูระบาย (m²)

V = ปริมาตรของถังที่เก็บอากาศ (m³)

2.6.4 การไหลยวบตัว

การไหลที่มีความเร็วสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งของก๊าซ การเปลี่ยนแปลงความเร็วและแรงดันจะทำให้ความหนาแน่นและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปด้วย การวิเคราะห์ปัญหาจึงต้องคำนึงถึงผลของการยวบตัวหรือขยายตัวที่เกิดขึ้น สำหรับการไหลของของเหลวโดยทั่วไปจะถือว่าเป็นการไหลไม่ยวบตัว การไหลของก๊าซที่มีค่า mach number , $M < 0.3$ ก็สามารรถถือว่าเป็นการไหลไม่ยวบตัวได้ โดยผลการวิเคราะห์จะแตกต่างจากความเป็นจริงน้อยมาก (สมาน เจริญกิจพูนผล และ มนตรี พิรุณเกษตร, 2539)

ชนิดของการไหลยวบตัว

จะแบ่งตามค่า mach number , M ดังนี้

1. $M < 1$ เป็นการไหลยวบตัวแบบซับโซนิค (subsonic)
2. $M > 1$ เป็นการไหลยวบตัวแบบซูเปอร์โซนิค (supersonic)
3. $0.9 \leq M \leq 1.2$ เป็นการไหลยวบตัวแบบแทรนโซนิค (transonic)
4. $M \geq 5$ เป็นการไหลยวบตัวแบบไฮเปอร์โซนิค (hypersonic)

โดยที่ mach number

$$M = \frac{\text{ความเร็วของการไหลของของไหล ณ ที่แห่งนั้น (V)}}{\text{อัตราเร็วของเสียงในของไหล ณ ที่แห่งนั้น (C)}} \quad (2.25)$$

$$M = V / \sqrt{KRT} \quad (2.26)$$

K = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ = 1.4 (อากาศและก๊าซอุดมคติบางกลุ่ม)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 287 N.m/Kg.K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ขณะนั้น °K

สภาวะนิ่งไอเซนทรอปิก

กระบวนการไหลแบบไอเซนทรอปิก คือ กระบวนการไหลแบบที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนและไม่มีความเสียดทาน

การกำหนดสภาวะของของไหลที่จุดใดๆในสนามการไหล มักกำหนดด้วยคุณสมบัติ 2 ส่วนคือ

1. แรงดันและอุณหภูมิ
2. ความเร็ว

ในการไหลยวตัว เราจะใช้สภาวะหนึ่งเป็นสภาวะอ้างอิง สภาวะหนึ่งคือ สภาวะของของไหลในขณะที่ความเร็วเป็นศูนย์

หากพิจารณาสภาวะที่จุดหนึ่งในสนามการไหลที่มี แรงดัน P อุณหภูมิ T ความหนาแน่น ρ และความเร็ว V เมื่อจุดนั้นถูกทำให้มีความเร็วเท่ากับศูนย์ด้วยกระบวนการไอเซนทรอปิก สภาวะหนึ่งไอเซนทรอปิกของจุดนั้นจะมีแรงดัน P₀ อุณหภูมิ T₀ และความหนาแน่น ρ₀ สำหรับก๊าซอุดมคติจะมีค่าที่สภาวะหนึ่งไอเซนทรอปิกของจุดนั้น ดังนี้

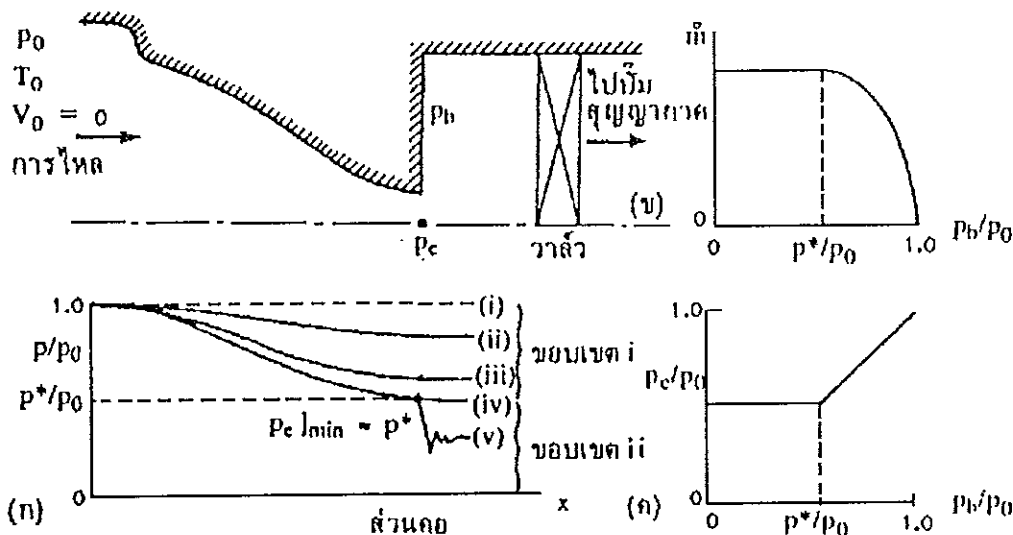
$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \frac{k-1}{2} M^2\right]^{k/(k-1)} \quad (2.27)$$

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{k-1}{2} M^2 \quad (2.28)$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left[1 + \frac{k-1}{2} M^2\right]^{1/(k-1)} \quad (2.29)$$

การไหลไอเซนทรอปิกในหัวฉีดชนิดลู่เข้า

การไหลผ่านหัวฉีดชนิดลู่เข้าถือได้ว่าเป็นกระบวนการไอเซนทรอปิก เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานมีค่าน้อยมาก หากพิจารณาการไหลจากแหล่งขนาดใหญ่ที่ถือได้ว่า V ≈ 0 (เป็นสภาวะหนึ่ง) ผ่านหัวฉีดชนิดลู่เข้า แรงดันย้อนกลับ P_b ที่ส่วนต่อจากหัวฉีดจะถูกควบคุมโดยลิ้นที่อยู่ถัดไป แรงดันที่ระนาบทางออกของหัวฉีดคือ P_e ดังแสดงในภาพประกอบ 2.20



ภาพประกอบ 2.20 การไหลผ่านหัวฉีดชนิดลู่เข้า (สมาน เจริญกิจพูนผล และ มนตรี พิรุณเกษตร, 2539)

เมื่อควบคุมลิ้นให้เปิดมากขึ้น จะทำให้ค่า P_0 ลดลงและมีผลต่อการไหลในกรณีต่างๆ ดังนี้

1. เมื่อลิ้นปิดสนิทจะไม่มีไหลเกิดขึ้น ทุกจุดในหัวฉีดจะมีแรงดันเท่ากับ P_0 ดังกราฟเส้น (i)
2. เมื่อ P_0 ลดลงตามกราฟเส้น (ii) จะเกิดการไหลแบบซับโซนิคและ $P_0 = P_b$ หาก P_b ยังคงลดลงอีกดังกราฟเส้น (iii) การไหลยังคงเป็นแบบซับโซนิคและ $P_0 = P_b$ แต่อัตราการไหลจะเพิ่มขึ้น
3. เมื่อ P_0 ลดลงจนถึงค่าตามกราฟเส้น (iv) การไหลที่ทางออกจะเป็นแบบโซนิค ($M=1$) อัตราการไหลจะมีค่าสูงสุดและ $P_0 = P_b = P^*$
เมื่อ P^* คือแรงดันที่สภาวะวิกฤติ โดยสภาวะวิกฤติคือ สภาวะที่ของไหลมีความเร็วเท่ากับอัตราเสียง $M = 1$

$$\frac{P^*}{P_0} = \left[\frac{2}{k+1} \right]^{k/(k-1)} \quad (2.30)$$

$$= 0.528 \quad (\text{เมื่อ } K = 1.4)$$

4. เมื่อ P_0 ลดลงต่ำกว่าค่าตามกราฟเส้น (iv) การไหลในหัวฉีดจะยังคงเหมือนเดิม แต่การไหลจะปรับตัวจากโซนิคที่ทางออกสู่สภาวะแรงดัน P_b ซึ่งต่ำกว่า P^* ด้วยกระบวนการขยายตัวแบบนอนไอเซนทรอปิก ดังเส้นกราฟ (V) เราเรียกว่าหัวฉีดอยู่ในสภาวะโซ้ก (choke) (ขอบเขต II)

การหาความเร็วของอากาศผ่านหัวฉีดในสภาวะโซ้ก

เงื่อนไขที่หัวฉีดอยู่ในสภาวะโซ้กก็ต่อเมื่อ $P_b/P_0 < 0.528$ โดยที่ P_b คือแรงดันย้อนกลับ (แรงดันสัมบูรณ์) P_0 คือแรงดันด้านทางเข้า (แรงดันสัมบูรณ์) และสมการ (2.31) คือสมการความเร็วของการไหลของของไหล ณ ที่แห่งนั้น (สมาน เจริญกิจพูนผล และ มนตรี พิรุณเกษตร, 2539)

$$V_1 = M_1 C_1 \quad (2.31)$$

V_1 = ความเร็วของของไหล (m/s)

M_1 = mach number ในกรณีที่ หัวฉีดอยู่ในสภาวะโซ้ก $M_1 = 1$

C_1 = อัตราเร็วของเสียงในของไหล = \sqrt{KRT}

K = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ = 1.4

(อากาศและก๊าซอุดมคติบางกลุ่ม)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 287 N.m/Kg.K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ขณะนั้น ($^{\circ}K$)

2.7. กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ

2.7.1 การสำรวจและผลิตก๊าซธรรมชาติในทะเล

ภายหลังที่ได้มีการสำรวจทางธรณีวิทยาหาแนวโน้มว่าจะเป็นแหล่งกักเก็บก๊าซธรรมชาติ และวิธีการสำรวจอีกหลายวิธี (Total E&P Thailand, 1995) ซึ่งสำหรับในทะเล เรือเจาะสำรวจจะทำการเจาะสำรวจไปในบริเวณแหล่งที่ได้รับสัมปทาน ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะนำมาประมวลผลร่วมกันเพื่อยืนยันในปริมาณสำรองของก๊าซ ณ แหล่งนั้น ๆ ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจจะเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้มากที่สุด จากนั้นจะมีการสร้างแท่นเจาะ (wellhead platform: WP) แท่นผลิต (production platform: PP) แท่นที่พักอาศัย (quarter platform: QP) เพื่อที่จะได้นำก๊าซธรรมชาติขึ้นมาใช้งานต่อไป โดยกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ จะมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพประกอบ 2.21

แท่นเจาะ (WP)

จะเป็นที่รวมต้นทางของท่อที่เจาะลงไปใต้ทะเลและลดเลี้ยวไปยังแหล่งกักเก็บที่ได้สำรวจไว้ก่อนแล้ว โดยปกติที่แท่นเจาะจะมีช่องสำหรับให้ต้นทางของท่ออยู่เรียกว่าสลอต (slot) ซึ่งแต่ละสลอตที่ตำแหน่งต้นทางท่อจะมีชุดเครื่องมือวัดและวาล์วต่าง ๆ เรียกว่า christmas tree ติดตั้งอยู่เพื่ออ่านและควบคุมค่าแรงดันก๊าซภายในท่อ ณ ตำแหน่งความลึกต่าง ๆ รวมทั้งประกอบด้วยระบบรักษาความปลอดภัยจากความผิดปกติต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นภายในท่อ จาก christmas tree จะต่อไปยังจุดรวมของก๊าซที่นำขึ้นมาจากใต้ทะเล ซึ่งเรียกว่าแมนิโฟลด์ (manifold) โดยมีวาล์วควบคุมแรงดันจากแต่ละท่อก่อนที่จะต่อรวมกันที่แมนิโฟลด์ ซึ่งจากนี้แล้วจะเป็นท่อเดี่ยวออกไป

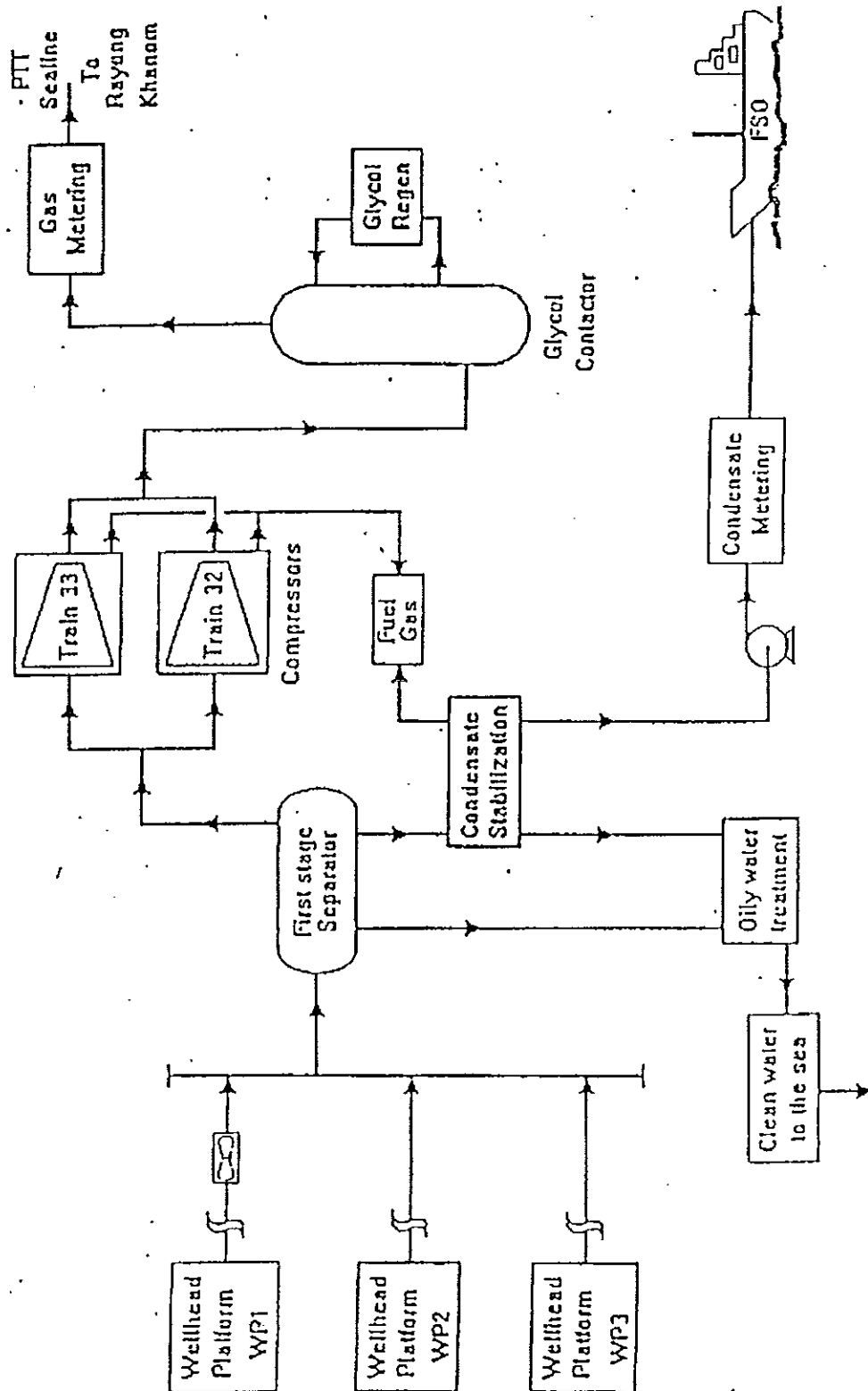
แท่นผลิต (PP)

จากจุดรวมท่อที่เรียกว่าแมนิโฟลด์ ซึ่งเป็นจุดรวมของก๊าซธรรมชาติที่ได้มาจะมีท่อต่อออกจากแมนิโฟลด์ไปยังหน่วยแยกที่ 1 (first stage separator) ซึ่งประกอบอยู่บนแท่นผลิต ในกรณีนี้ที่แท่นเจาะอยู่ใกล้แท่นผลิตจะมีการเดินท่อในอากาศมายังแท่นผลิต และต้องนำไประบายความร้อนด้วยพัดลมก่อนที่จะเข้าไปยังหน่วยแยกที่ 1 สำหรับท่อที่เดินใต้ทะเลมาจะมีการระบายความร้อนไปอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องนำมาระบายความร้อนอีก ที่แท่นผลิตจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. หน่วยแยกที่ 1

เป็นที่รองรับของไหล (fluid) ที่ได้มาจากแท่นเจาะที่รวมกันขึ้นมา ซึ่งอาจจะเป็นก๊าซ น้ำ คอนเดนเสท ปรอท (mercury) น้ำมัน (oil) และอื่น ๆ รวมกันอยู่

หน่วยแยกที่ 1 จะทำการแยกของไหลที่ผสมออกจากกัน นั่นคือส่วนที่เป็นก๊าซจะออกจากหน่วยแยกที่ 1 ทางด้านบนแล้วส่งไปยังกระบวนการอัดก๊าซให้มีแรงดันสูงขึ้น ส่วนที่เหลือที่มีสภาพเป็นของเหลวจะถูกแยกให้ไหลออกทางด้านล่างของหน่วยแยกที่ 1 ซึ่งส่วนที่เป็นน้ำและคอนเดนเสทจะถูกแยกออกจากกันอีก โดยน้ำก็จะถูกนำไปเข้าระบบบำบัดน้ำเสียก่อนจะทิ้งลงทะเล สำหรับคอนเดนเสทจะถูกส่งไปยังส่วนที่เรียกว่า "การทำให้มีเสถียรภาพ" (stabilization) ต่อไป



ภาพประกอบ 2.21 ไต่อะแกรมของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซบงกช
 (Total E&P Thailand, 1995)

2. ระบบอัดก๊าซ (compression system)

ก๊าซที่ออกจากหน่วยแยกที่ 1 จะถูกนำไปอัดให้มีแรงดันสูงขึ้นโดยใช้คอมเพรสเซอร์ ซึ่งขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ จะเป็นแบบอัดสองครั้ง (2 stage compression) โดยที่ก่อนจะเข้าไปยังคอมเพรสเซอร์จะต้องผ่าน scrubber เพื่อแยกของเหลวออกจากก๊าซ เพราะก๊าซขณะถูกอัดหากมีของเหลวอื่น ๆ หรือมีน้ำผสมเข้ามาจะทำให้เกิดความเสียหายต่อคอมเพรสเซอร์ได้

ก๊าซที่ถูกอัดให้มีแรงดันสูงจากการอัดครั้งแรกจะต้องมีการระบายความร้อนก่อนจะส่งเข้าไปยัง scrubber อีกตัวเพื่อแยกของเหลวออกจากก๊าซ แล้วจึงส่งเข้าไปอัดอีกครั้งให้มีแรงดันสูงขึ้นอีกและทางออกก็ต้องมีการระบายความร้อน จุดประสงค์ของการอัดให้ก๊าซมีแรงดันสูง ก็เพื่อให้มีแรงดันสูงพอที่จะส่งไปยังโรงแยกก๊าซที่ชายฝั่งได้ ส่วนการลดอุณหภูมิลงก็เพื่อให้การอัดครั้งต่อไปทำได้ง่าย ตลอดทั้งมีการกลั่นตัวของน้ำหรือคอนเดนเสทตามออกมา ซึ่งเมื่อผ่าน scrubber ก็จะมีการแยกส่วนที่เป็นของเหลวและก๊าซออกจากกันอีก

3. การขจัดน้ำ (dehydration)

ก๊าซที่ผ่านการอัดสองครั้งจากชุดคอมเพรสเซอร์และระบายความร้อนแล้ว จะถูกส่งเข้ากระบวนการแยกน้ำออกจากก๊าซ ซึ่งจะมีการนำก๊าซไปไหลผ่านไกลคอล (glycol) และในขณะที่ไกลคอลสัมผัสกับก๊าซนั้น ไกลคอลจะทำการดูดซับน้ำที่ผสมอยู่ออกไป ซึ่งก็จะมีควบคุมปริมาณน้ำคงเหลืออยู่ในก๊าซไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นไกลคอลจะถูกนำไปผ่านหน่วยฟอกไกลคอล (glycol regeneration unit) เพื่อนำกลับมาใช้ต่อไปอีก

4. การทำให้มีเสถียรภาพ (stabilization)

คอนเดนเสทที่ได้มาจากหน่วยแยกที่ 1 จะต้องมาผ่านหน่วยแยกที่ 2 (second stage separator) และหน่วยแยกที่ 3 (third stage separator) เพื่อที่จะทำให้คอนเดนเสทไม่ระเหยและมีสภาพเป็นของเหลวอย่างแท้จริงที่แรงดันบรรยากาศ คอนเดนเสทที่ผ่านการทำให้มีเสถียรภาพแล้ว จะส่งผ่านทางท่อใต้ทะเลไปยังเรือเก็บที่ลอยห่างจากแท่นผลิตออกไป จากนั้นจะมีการนำเรือมาขนถ่ายคอนเดนเสทจากเรือเก็บดังกล่าว เพื่อส่งไปยังอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ต่อไป

5. หน่วยวัด (metering)

ก่อนที่ก๊าซธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการต่างๆมาแล้ว จะถูกส่งไปยังท่อขนส่งเพื่อจะนำก๊าซส่งไปยังโรงแยกก๊าซที่ชายฝั่ง จะต้องมีการวัด, ตรวจสอบปริมาณและส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ ส่วนประกอบ ซึ่งส่วนนี้จะมีการสอบเทียบกับค่ามาตรฐานตลอดเวลา เพราะปริมาณก๊าซที่ส่งไปต่อวัน เฉพาะที่แหล่งก๊าซบางกจะมามีปริมาณประมาณ 200 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน ที่ 110 Bar ค่าผิดพลาดเล็กน้อยจะมีผลต่อกำไรและขาดทุนต่อกิจการของบริษัทที่ซื้อและขายได้

7. แฟลร์ (flare)

เป็นระบบรักษาความปลอดภัย นั่นคือจะมีท่อสูงอยู่เหนือแท่นผลิต ที่ปลายท่อจะมีการจุดไฟเลี้ยงไว้ตลอดเวลา หากมีการผิดปกติขึ้นและระบบมีการหยุดการทำงาน (shut down) จะมีสัญญาณควบคุมไปปิดต้นทางก๊าซที่จ่ายในระบบตามระดับของความผิดปกติ เช่น ปิดที่หลุมเจาะหรือเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่ง หลังจากนั้นก๊าซที่ค้างอยู่ในระบบจะต้องถูกระบายออกไปที่แฟลร์เพื่อเผาทิ้ง ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถปล่อยให้ก๊าซที่มีอยู่ให้ออกไปในบรรยากาศได้ เพราะอาจเกิดการลุกไหม้ระเบิดขึ้นมา ในขณะที่เดียวกันที่มีการหยุดการทำงานของระบบ จะมีสัญญาณเตือนอยู่ตลอดเวลาให้ผู้ทำงานอยู่เตรียมพร้อมที่จุดรวมพลเพื่อการเคลื่อนย้ายสละแท่นเจาะและผลิต ในกรณีที่ไม่สามารถควบคุมความผิดปกตินั้นได้

2.8. หน่วยแยก (separator)

หน่วยแยกคือ ถังที่ของไหลผสมไหลเข้ามาแล้วจะมีการแยกของไหลออกจากกัน ซึ่งจะมีชื่อเรียกได้หลายแบบ เช่น scrubber , accumulator , flash tank หรือชื่ออื่นๆ ไม่ว่าจะมีส่วนอย่างไรก็ตาม หน้าที่ของหน่วยแยกจะทำหน้าที่ในการแยกของไหลออกจากกัน ปกติจะเป็นก๊าซและของเหลว

2.8.1 ชนิดของหน่วยแยก

แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

ก. แบบรูปทรงของถัง

1. แบบนอน (horizontal)

2. แบบตั้ง (vertical)

ข. แบบจำนวนของของไหลที่ถูกแยก คือ

1. แบบ 2 เฟส ซึ่งจะมีของไหล 2 ชนิด ที่ถูกแยก เช่น

ก๊าซกับของเหลว

2. แบบ 3 เฟส ซึ่งจะมีของไหล 3 ชนิด ที่ถูกแยก เช่น

ก๊าซ น้ำมัน และน้ำ

จำนวนของเฟสจะหมายถึงจำนวนของของไหลที่ไหลออกจากถัง ซึ่งไม่ใช่จำนวนของของไหลที่ไหลเข้าถัง นอกจากนี้ในกรณีที่มีทรายหรือชิ้นส่วนวัตถุเล็กๆที่ปนมากับของไหล จะมีอุปกรณ์พิเศษเพื่อตัดไว้ แต่ในที่นี้จะไม่นับว่าเป็นเฟสในการแยก

2.8.2 โครงสร้างของหน่วยแยก

เนื่องจากหน่วยแยกในขณะทำงานจะต้องอยู่ภายใต้แรงดัน จึงมีโครงสร้างเป็นโลหะที่ทนต่อแรงดันที่ใช้งานนั้นได้ ส่วนบนและเปลือกจะใช้วิธีเชื่อม (welded) เข้าด้วยกันในกรณีที่มีการใช้งานที่มีการกัดกร่อนจากของไหลตัวถังอาจจะต้องทำมาจากสแตนเลส นอกจากนี้ในกรณีที่ใช้

งานที่มีผลจากไอน้ำทะเลจำเป็นจะต้องมีการป้องกันการสึกกร่อน โดยการทาสีชนิดพิเศษหรือ ทาร์ (tar)

สำหรับภายในถังโดยปกติจะทำด้วยสแตนเลส หากจำเป็นต้องมีการถอดประกอบชิ้นส่วนใดเพื่อการทำความสะอาดหรือเปลี่ยนก็จะมีการขันยึดด้วยเกลียวไว้

อุปกรณ์ประกอบภายใน

อุปกรณ์ประกอบภายในต่างๆ แสดงในภาพประกอบ 2.22 ภาพประกอบ 2.23 และ ภาพประกอบ 2.24

1. แผ่นหักเห(deflector plate)ใช้สำหรับการแยกก๊าซ-ของเหลว ติดตั้งด้านหน้าของหัวฉีดทางเข้าของถัง อาจจะเป็นแผ่นแบนหรือกลม เมื่อของไหลมากระทบจะทำให้ของเหลวตกลงด้านล่างในขณะที่ก๊าซจะกระจายอยู่รอบๆ สำหรับแบบถังตั้งแผ่นหักเหจะทำให้ของไหลที่เข้ามาหมุนวนไปกระทบผนังถังแล้วทำให้เกิดการเหวี่ยงออกไป

2. ชุดดักไอน้ำมัน (mist pad) จะมีการใช้มากสำหรับการแยกก๊าซ-ของเหลว เพื่อที่จะนำไอน้ำมัน (mist) ออกจากก๊าซ จะทำเป็นตาข่ายตาถี่เหลี่ยมที่มีความหนาประมาณ 10 - 20 เซนติเมตร ติดตั้งไว้ในตะแกรงเพื่อป้องกันการชำระจากก๊าซที่พุ่งเข้ามาอย่างแรง

3. แผ่นโคalesceสซิ่ง (coalescing plates) ใช้สำหรับเพื่อที่จะแยกของเหลวออกจากก๊าซ จะมีรูปร่างต่างกันตามบริษัทผู้ผลิต บางที่เรียกว่าเวนแพค (vane pack)

4. แผ่นควบคุมแนวตรง (straightening vane) มีใช้ในการแยกก๊าซและของเหลว ใช้แทนชุดดักไอน้ำมันเพื่อป้องกันการไฮเดรต (hydrate) หรือไข (paraffine)

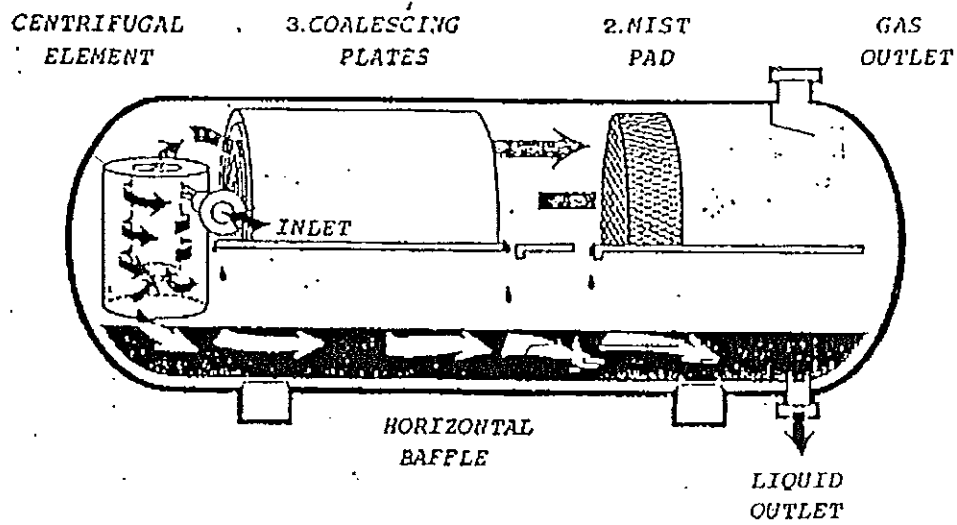
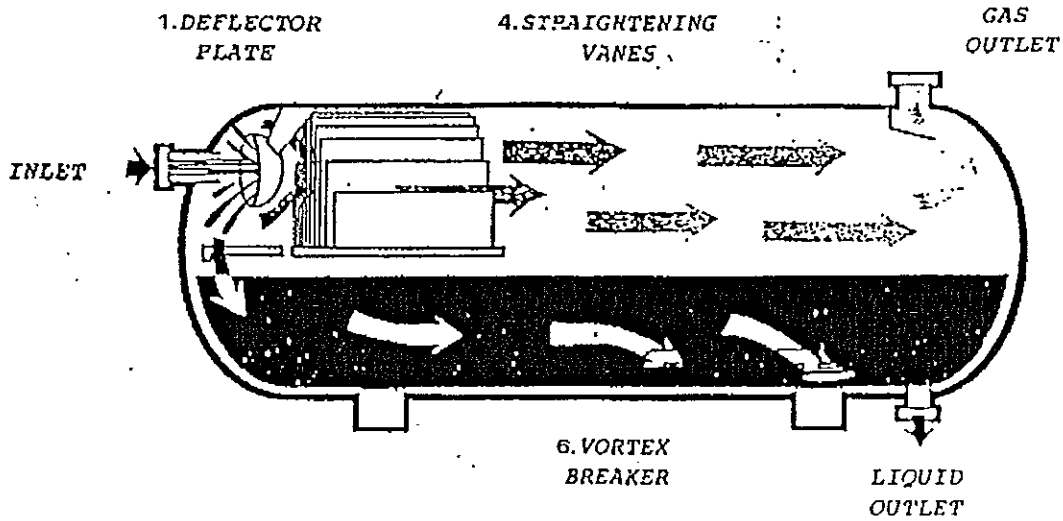
5. ชุดกรอง (filter)ใช้สำหรับกำจัดชิ้นส่วนของแข็งขนาดเล็ก (solid particle) และไอน้ำมันจากก๊าซหรือ น้ำ-น้ำมัน โดยปกติจะต้องสะดวกในการถอดออกเพื่อเปลี่ยน

6. วอร์เท็กซ์เบรกเกอร์ (vortex breakers) จะติดตั้งที่ช่องทางออกของของเหลว เพื่อป้องกันการไหลวนจนเกิดฟองของของไหล ซึ่งอาจจะมีก๊าซไหลปนไปกับของเหลวได้

7. ชุดป้องกันลูกลอย (float shield) ใช้ป้องกันลูกลอยที่ใช้ในการควบคุมระดับไม่ให้กระเพื่อมเมื่อของเหลวเป็นคลื่นขึ้นมา

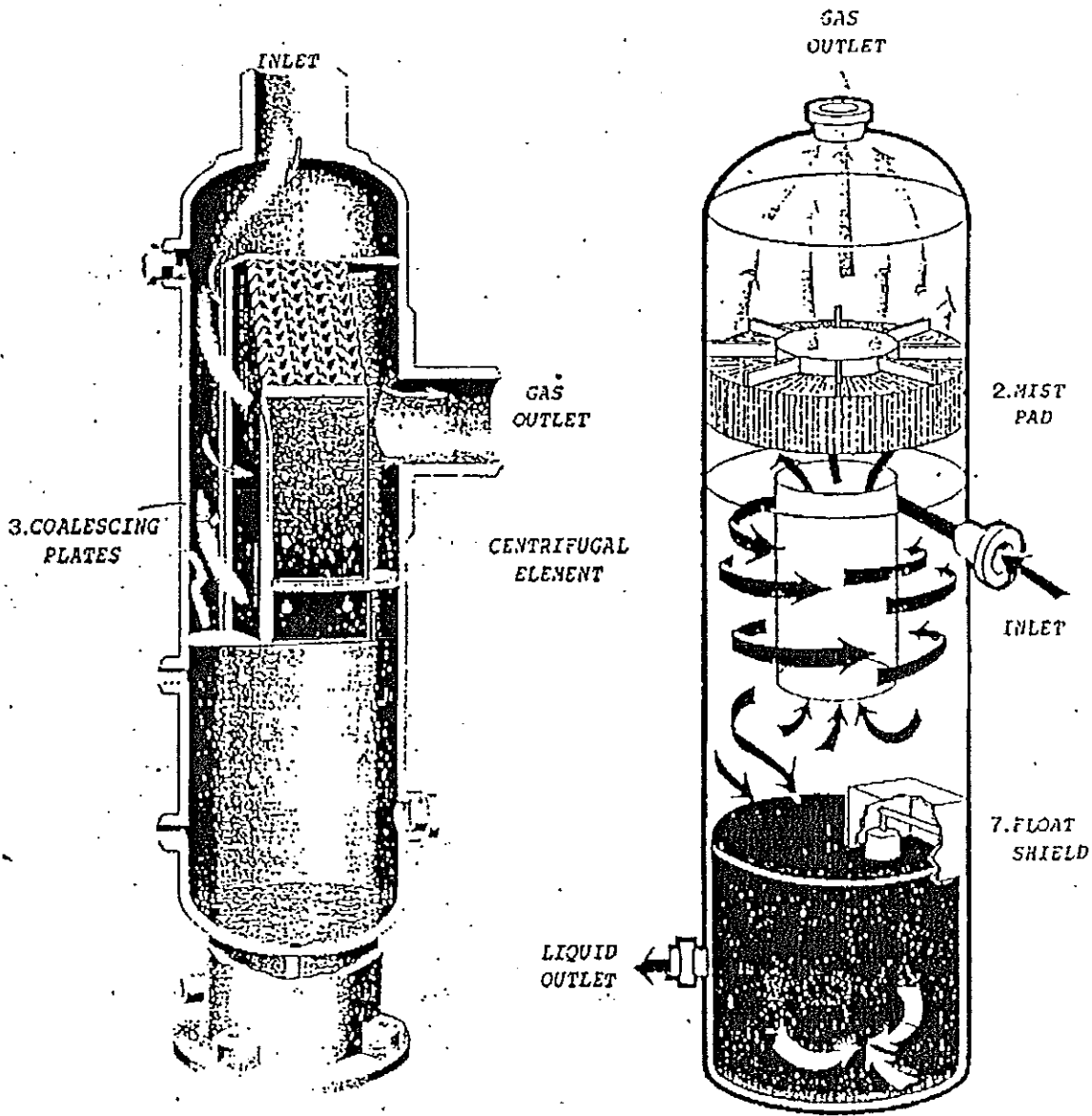
8. ชุดพ่นน้ำ (water jet) อาจจะใช้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าชุดพ่นทราย (sand jet) มีหน้าที่ฉีดสเปรย์น้ำหรือของเหลวอื่นไปยังด้านล่างและด้านข้างของถังด้วยแรงดันที่สูง เพื่อให้ทรายหรือวัตถุเล็กๆที่อยู่ด้านล่างไหลออกจากถังไปได้

9. กรวยทราย (sand cone) ใช้ในที่ที่มีการไหลอย่างต่อเนื่องของทรายหรือวัตถุเล็กๆ ซึ่งจะไปสะสมที่ด้านล่างของกรวยและถ่ายออกเป็นช่วงๆ ใช้งานร่วมกับชุดพ่นน้ำ



Courtesy Black, Sivalis & Bryson

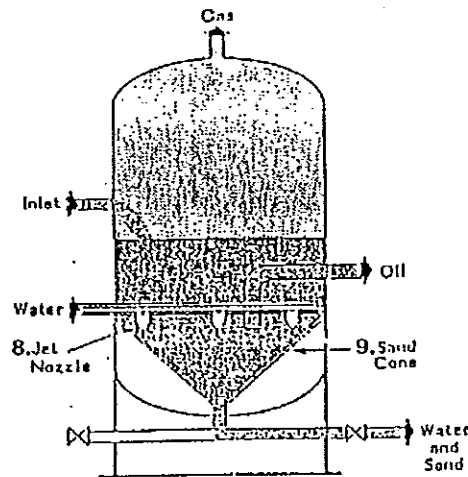
ภาพประกอบ 2.22 หน่วยแยกแบบ 2 เฟสชนิดถังนอน (Campbell, 1992)



Courtesy Perry Equip. Co.

Courtesy Slack, Sivalls & Bryson

ภาพประกอบ 2.23 หน่วยแยกแบบ 2 เฟสชนิดถังตั้ง (Campbell, 1992)



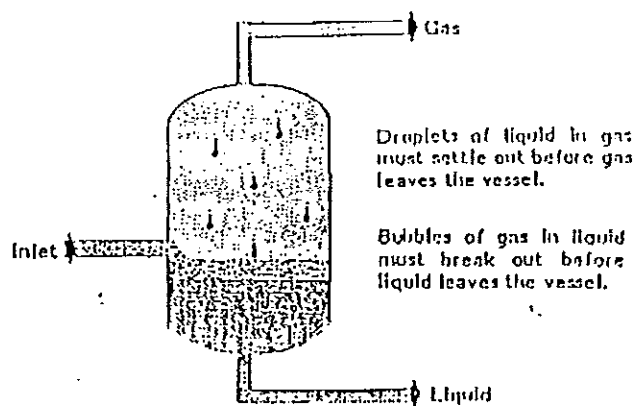
ภาพประกอบ 2.24 แสดงชุดพ่นน้ำและกรวยทรายของหน่วยแยก (Campbell, 1992)

2.8.3 หลักการทำงานของหน่วยแยก

มีตัวแปร 2 ประการที่จำเป็นในการทำงานของหน่วยแยกได้แก่

1. ของไหลที่จะแยกต้องเป็นแบบไม่ละลายเข้าด้วยกัน (insoluble)
2. ของไหลตัวหนึ่งจะต้องเบากว่า

การทำงานของหน่วยแยกจะอาศัยความโน้มถ่วง (gravity) ในการแยกของไหลออกจากกัน หากของไหลดังกล่าวละลายเข้าด้วยกันได้ จะไม่สามารถที่จะแยกโดยใช้ความโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว เช่น น้ำมันดิบจะไม่สามารถแยกออกได้นอกจากจะนำไปเข้ากระบวนการกลั่น เมื่อหลักการของการแยกขึ้นอยู่กับความโน้มถ่วง ในการที่จะแยกของไหลออกจากกันจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของของไหลด้วย ก๊าซจะมีน้ำหนักประมาณ 5% ของน้ำมัน จึงสามารถที่จะแยกออกจากกันโดยใช้เวลาไม่มากนัก ในขณะที่เดียวกันน้ำมันจะมีน้ำหนักประมาณ 3/4 ส่วนของน้ำ จึงต้องใช้เวลามากกว่า ดังนั้นตัวแปรหลักของการแยกจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของน้ำหนักของของไหล การแยกระหว่างก๊าซและของเหลวแสดงดังในภาพประกอบ 2.25



ภาพประกอบ 2.25 แสดงการแยกระหว่างก๊าซและของเหลวในหน่วยแยก (Campbell, 1992)

2.8.4 การควบคุมในหน่วยแยก

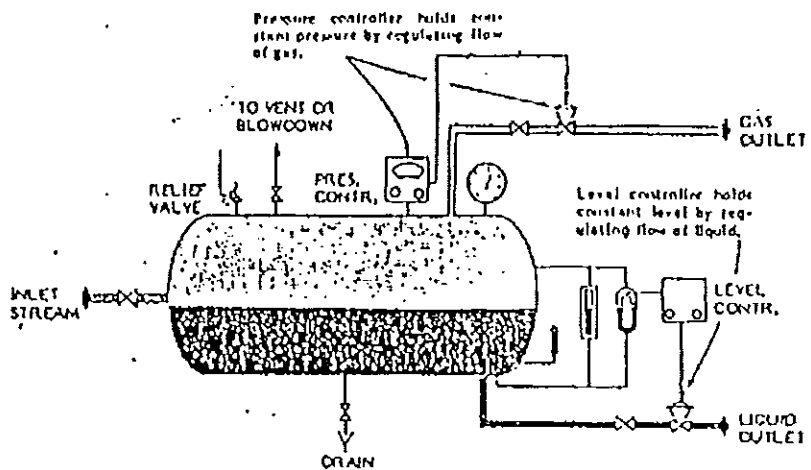
จะมีการควบคุมอยู่ 2 แบบ คือ

1. การควบคุมแรงดัน (pressure control)
2. การควบคุมระดับ (level control)

การควบคุมแรงดัน

ในการปรับค่าแรงดันในถังจะใช้ตัวควบคุมแรงดัน (pressure controller) ไปปรับอัตรา การไหลของก๊าซที่ออกจากถัง โดยใช้วาล์วควบคุมแบบผีเสื้อ (butterfly valve) เพื่อจะลดแรงดัน ตกคร่อมวาล์ว ในบางขณะจะควบคุมแรงดันโดยการส่งสัญญาณไปยังคอมเพรสเซอร์ที่อยู่ในส่วนถัด ไปเพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันได้ รูปแบบการติดตั้งใช้งานตัวควบคุมแรงดันดังแสดงในภาพประกอบ

2.26



ภาพประกอบ 2.26 รูปแบบการติดตั้งใช้งานตัวควบคุมระดับและแรงดัน (Campbell, 1992)

การควบคุมระดับ

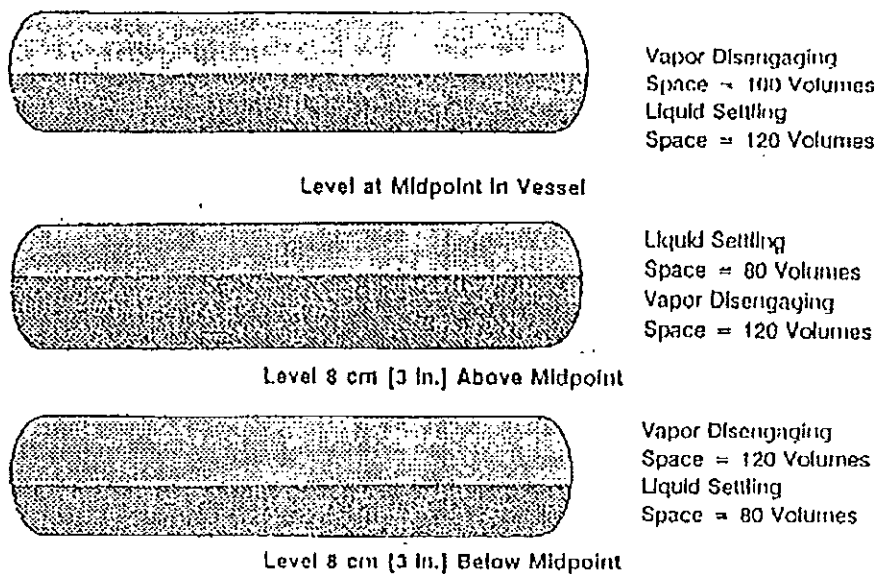
ก. ในหน่วยแยก 2 เฟส

ตำแหน่งของระดับของเหลวที่อยู่ในหน่วยแยก จะมีผลต่อการทำงานของระบบเป็นอย่างมาก ซึ่งระดับของเหลวจะต้องมีความสูงที่ทำให้มีที่ว่างด้านบนเพียงพอที่จะให้เวลากับฟองก๊าซแตกตัวออกกลายเป็นก๊าซ หากระดับสูงเกินไปเวลาที่ใช้จะมากเกินกว่าที่ต้องการ นอกจากนี้ยังจะไปลดระยะที่ว่างที่ออกแบบไว้สำหรับการแตกตัวซึ่งจะทำให้มีของเหลวปนไปกับก๊าซทางออกได้

ในหน่วยแยกแบบถังตั้งจะไม่ค่อยมีผลต่อคุณภาพของก๊าซที่ออกไป เพราะวาระยะที่ว่างในการแตกตัวเป็นไอก๊าซ ปกติจะมีค่ามากกว่า 100 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามสำหรับหน่วยแยก

แบบตั้งนอนการเปลี่ยนแปลงระดับเพียงเล็กน้อยจะมีผลอย่างมากต่อระยะที่ว่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหน่วยแยกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ๆ

ตำแหน่งระดับที่ตัวควบคุมจะต้องรักษาไว้ จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของของเหลวและก๊าซที่เข้ามายังถัง ถ้าหากก๊าซไหลเข้ามากกว่าที่กำหนดและของเหลวไหลเข้ามาน้อย ตัวควบคุมจะต้องรักษาระดับไว้ที่ระดับต่ำๆ เพื่อให้ทำให้มีระยะที่ว่างพอและในทางกลับกันหากของเหลวไหลเข้ามากกว่าก๊าซ จะต้องรักษาระดับที่สูงกว่าเพื่อให้มีระยะเวลาของของเหลวที่อยู่ในถังมากพอ การเปลี่ยนแปลงของระดับกับระยะที่ว่าง มีผลกับปริมาตรของของเหลวและก๊าซของหน่วยแยกแบบตั้งนอน แสดงในภาพประกอบ 2.27



ภาพประกอบ 2.27 การเปลี่ยนแปลงของระดับของเหลวในหน่วยแยกแบบตั้งนอน
(Campbell, 1992)

หากพบว่าก๊าซที่ออกจากถังถูกส่งไปยังกระบวนการถัดไปมีของเหลวปนไป ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้จะต้องมีการลดระดับของของเหลวในถังที่อยู่ปัจจุบันลง เพราะว่าหากมีของเหลวปนไปกับก๊าซ จะทำให้เกิดปัญหาต่อการทำงานมากกว่าการมีฟองก๊าซในของเหลว

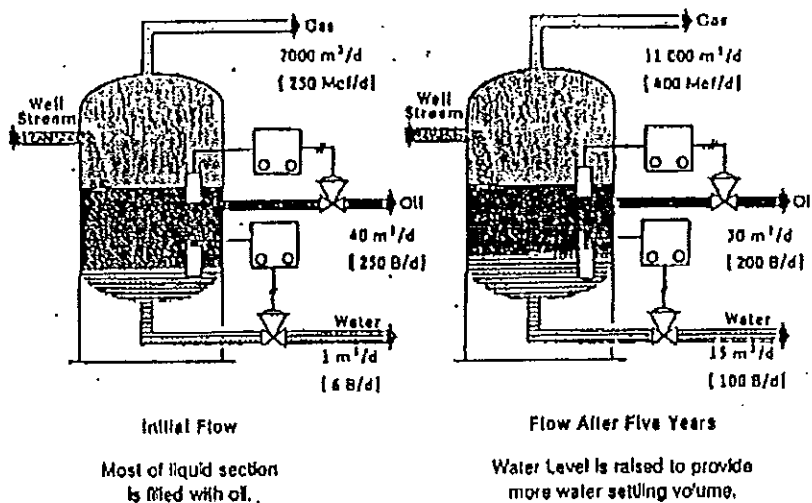
ในการทำงานของตัวควบคุมในการควบคุมระดับ จะมีตัวตรวจรับ (sensor) รับผลการเปลี่ยนแปลงระดับแล้วส่งผลดังกล่าวมายังตัวควบคุมเพื่อที่จะไปปรับวาล์วทางออกให้ระดับอยู่ที่จุดปรับตั้ง (set point) ซึ่งโดยปกติแล้วระดับของเหลวที่อยู่ในถังค่อนข้างที่จะคงที่ หากระดับสูงขึ้นหรือต่ำลงตัวควบคุมก็จะทำงานเพื่อรักษาระดับให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด

ข. ในหน่วยแยก 3 เฟส

สำหรับหน่วยแยก 3 เฟส ด้านทางออกจะมีก๊าซ และของเหลว 2 ประเภท ซึ่งโดยส่วนมากแล้วจะเป็นน้ำและน้ำมัน แต่อาจจะเป็นไกลคอน, น้ำเกลือ (brine)

การควบคุมระดับน้ำและน้ำมัน ในกรณีที่อัตราการไหลของของไหลเปลี่ยนแปลงไป ดังตัวอย่างเช่น

หลุมเจาะที่ให้ก๊าซไหล $7000 \text{ m}^3/\text{d}$ มีน้ำมันไหล $40 \text{ m}^3/\text{d}$ และน้ำไหล $1 \text{ m}^3/\text{d}$ จากนั้นอีก 5 ปีต่อมามีอัตราการไหลของก๊าซ $11000 \text{ m}^3/\text{d}$ มีน้ำมันไหล $30 \text{ m}^3/\text{d}$ และน้ำไหล $15 \text{ m}^3/\text{d}$ จะพบว่าในช่วงแรกของหลุมจะมีน้ำมันอยู่มาก ระดับน้ำจะอยู่ใกล้กับระดับควบคุมที่ต่ำสุด และหลังจากนั้นอีก 5 ปีระดับน้ำจะมีมากขึ้น ซึ่งระดับที่จะต้องควบคุมเปรียบเทียบกับกันดังแสดงในภาพประกอบ 2.28



ภาพประกอบ 2.28 การควบคุมระดับของหน่วยแยก 3 เฟสที่มีอัตราการไหลเข้าของของไหลที่จะแยกแตกต่างกัน (Campbell, 1992)

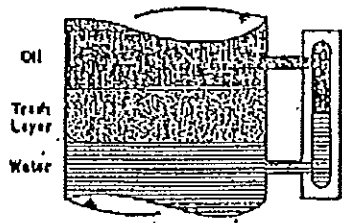
การควบคุมระดับน้ำดังกล่าวจะใช้ตัวควบคุมที่มีตัวตรวจรับที่ออกแบบมาให้ใช้กับความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างน้ำกับน้ำมันในถัง สำหรับตัวตรวจรับที่ใช้ควบคุมระดับน้ำมันจะแยกจากตัวตรวจรับที่ควบคุมระดับของน้ำ โดยปกติระดับของของเหลวที่ถูกควบคุมในหน่วยแยกจะค่อนข้างที่จะคงที่ เปอร์เซ็นต์ของน้ำและน้ำมันจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งระหว่างหน้า (interface) ซึ่งจะหาจากระดับของน้ำในห้องที่เก็บน้ำอยู่

ตำแหน่งระหว่างหน้า จะมีผลจาก 2 กรณีดังนี้

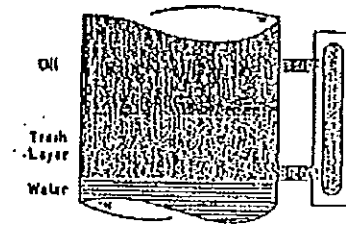
1. ความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำและน้ำมัน
2. ระดับของน้ำในห้องเก็บน้ำ

ตำแหน่งระหว่างหน้าของน้ำกับน้ำมันจะค่อนข้างยากในการที่จะตรวจสอบ เพราะอาจมีการสะสมของตะกอนหรือสิ่งเจือปนต่าง ๆ โดยบางส่วนจะจมหรือลอยอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างหน้า ผลที่เกิดอาจจะมีฟองของน้ำและน้ำมันซึ่งเรียกว่า ชั้นของเสีย (trash layer) ขึ้น ในการใช้งานต้อง

ระมัดระวังในส่วนของชั้นของเสียด เพราะจะมีผลทำให้การทำงานของตัวตรวจรับที่จะมาวัดระดับของน้ำ ได้ค่าระดับน้ำที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งชั้นของเสียดและลักษณะของตำแหน่งระดับน้ำแสดงดังในภาพประกอบ 2.29 ในการใช้งานควรจะมีลักษณะดังในภาพประกอบ 2.29 (ก)



(ก)



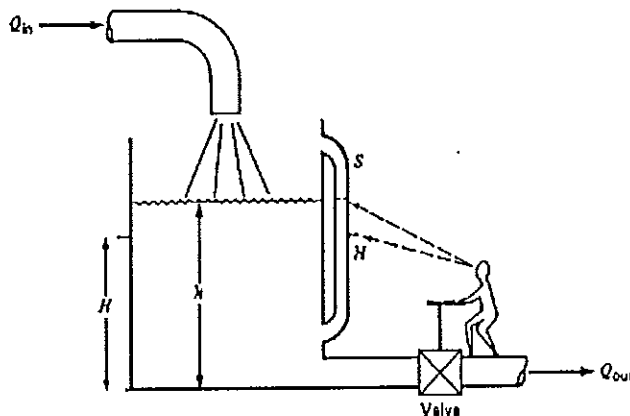
(ข)

ภาพประกอบ 2.29 ชั้นของเสียดและตำแหน่งระดับน้ำ (Campbell, 1992)

2.9 ระบบควบคุมกระบวนการ

วัตถุประสงค์ของการควบคุมกระบวนการ ก็เพื่อที่จะกระทำอย่างจงใจต่อระบบ เพื่อให้เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนี้การควบคุมกระบวนการจะต้องพยายามกำจัดผลกระทบจากอิทธิพลภายนอกที่จะมีผลต่อค่าที่จุดปรับตั้งนั้นด้วย

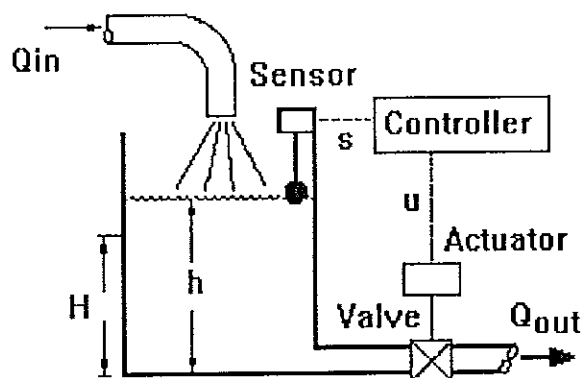
2.9.1 การใช้คนควบคุม (human-aided control)



ภาพประกอบ 2.30 การใช้คนควบคุม (Johnson, 1993)

จากภาพประกอบ 2.30 ผู้ควบคุมพยายามควบคุมระดับน้ำให้คงที่ที่ระดับ H ในขณะที่น้ำมีความสูง h อยู่ โดยผู้ควบคุมจะสังเกตระดับน้ำที่มีอยู่จาก s จากนั้นจะทำการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลออกของน้ำ Q_{OUT} ซึ่งจะสามารถควบคุมระดับน้ำไปที่ระดับ H ได้ โดย Q_{OUT} จะเรียกว่า ตัวแปรที่ใช้ควบคุม (manipulated variable หรือ controlling variable)

2.9.2 การควบคุมอัตโนมัติ (automatic control)



ภาพประกอบ 2.31 การควบคุมอัตโนมัติ (Johnson, 1993)

ภาพประกอบ 2.31 มีการแทนที่คนด้วยระบบทางกล ไฟฟ้าหรือคอมพิวเตอร์ โดยการให้ตัวตรวจรับรับผลการเปลี่ยนแปลงของระดับ แล้วส่งเป็นสัญญาณ s ไปยังตัวควบคุม ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายผู้ควบคุม โดยจะมีการเปรียบเทียบสัญญาณ s กับค่าอ้างอิง หลังจากนั้นก็จะสร้างสัญญาณ u ส่งไปยังตัวขับเคลื่อน (actuator) ซึ่งต่อเชื่อมทางกลโดยตรงกับวาล์ว สัญญาณ u จะทำการปรับวาล์วไปจนกว่าค่าระดับเข้าสู่ระดับที่ต้องการอย่างอัตโนมัติซึ่งวิธีการนี้จะเรียกว่าการควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

2.9.3 แผนภาพบล็อกการควบคุมกระบวนการ

ในทางปฏิบัติเพื่อที่จะให้ง่ายต่อการอธิบายการทำงานของระบบควบคุมกระบวนการ จะมีการเขียนเป็นแผนภาพบล็อก โดยแต่ละบล็อกจะแทนสมาชิก (element) ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบควบคุมกระบวนการ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.32 ซึ่งจะมีสมาชิกต่าง ๆ ได้แก่

กระบวนการ (process)

กระบวนการหมายถึง การเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณ หรือคุณภาพในระบบซึ่งขึ้นอยู่กับเวลา เช่น การควบคุมระดับของของเหลวที่อยู่ในถัง ในแต่ละกระบวนการจะมีค่าตัวแปรที่จะใช้สำหรับการตรวจสอบสภาพของกระบวนการซึ่งเรียกว่าค่าตัวแปรวัด (measure variable) หรือตัวแปรกระบวนการ (process variable)

ตัวอย่างของตัวแปรกระบวนการได้แก่ แรงดัน อุณหภูมิ อัตราการไหล ระดับ เป็นต้น

การวัด (measurement)

เพื่อที่จะทำให้การควบคุมกระบวนการเป็นไปได้ จำเป็นที่จะต้องได้ค่าของตัวแปรนั้นๆ ก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการวัด ในการวัดค่าตัวแปรจะใช้ตัวตรวจรับ ซึ่งจะให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรออกมา แต่ตัวตรวจรับนี้จะถือว่าเป็นอุปกรณ์แรกสำหรับการวัด หากต้องการที่จะเปลี่ยนสัญญาณที่ตรวจรับได้นั้นไปเป็นสัญญาณอื่น จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าทรานสดิวเซอร์ (transducer) เช่น เปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณนิวแมติกส์

ตัวตรวจค่าผิดพลาด (error detector)

เป็นส่วนที่เปรียบเทียบค่าของตัวแปรกระบวนการที่วัดได้กับค่าที่กำหนดไว้ แล้วให้ผลออกมดั่งสมการ (2.32)

$$e = r - b \quad (2.32)$$

- e = ค่าผิดพลาด (error)
- r = ค่าที่จุดปรับตั้ง (setpoint)
- b = ค่าที่วัดได้ (measurement value)

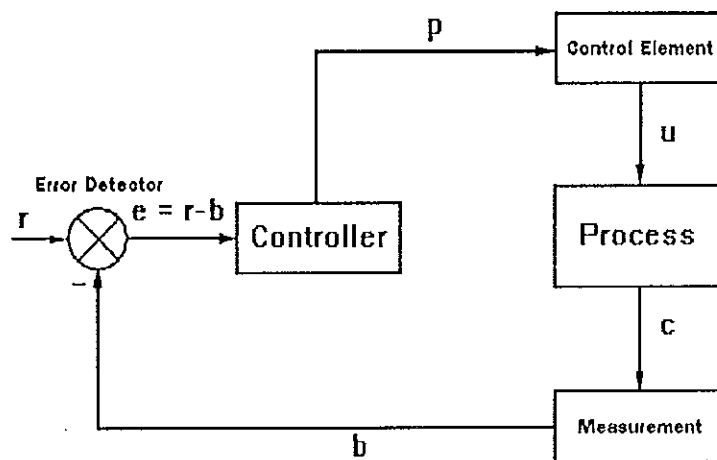
ซึ่งตัวตรวจค่าผิดพลาดจะเป็นส่วนหนึ่งของตัวควบคุม

ตัวควบคุม (controller)

หลังจากที่มีสัญญาณออกจากตัวตรวจค่าผิดพลาดแล้วตัวควบคุมจะทำหน้าที่ในการที่จะประเมินว่าจากค่าผิดพลาดที่มีอยู่ ควรจะมีการส่งสัญญาณออกไปเท่าใดเพื่อที่จะไปปรับส่วนที่ใช้ควบคุมสุดท้าย (final control element) หรือ ส่วนควบคุม (control element) เพื่อให้ค่าผิดพลาดที่มีอยู่หมดไป

ส่วนควบคุม

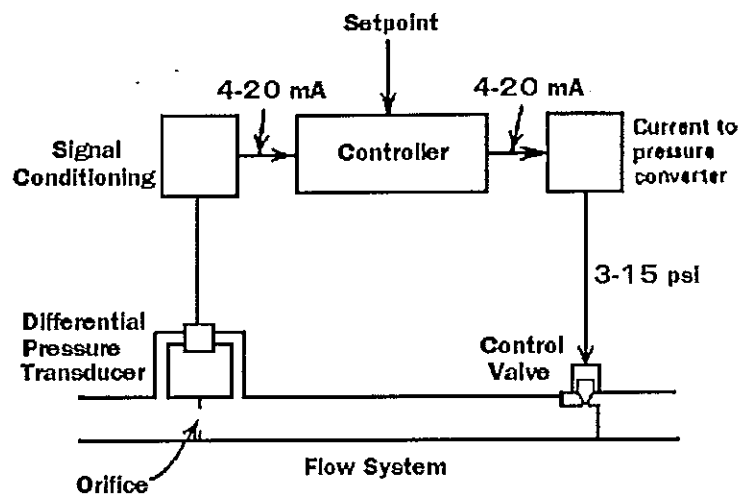
เป็นอุปกรณ์ที่กระทำโดยตรงต่อกระบวนการ เพื่อให้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ควบคุม ให้กลับมาอยู่ที่จุดปรับตั้ง ซึ่งจะรับสัญญาณมาจากตัวควบคุม โดยปกติจะเป็นวาล์วควบคุม (control valve)



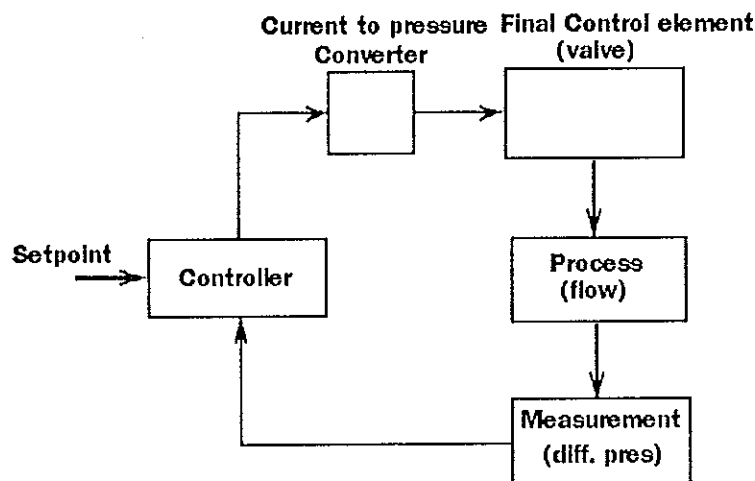
ภาพประกอบ 2.32 แผนภาพบล็อกการควบคุมที่ประกอบด้วยสมาชิกต่างๆ (Johnson, 1993)

การทำงานของในภาพประกอบ 2.32 ตัวแปรที่ถูกควบคุม (controlled variable) คือ c ค่าที่วัดได้ที่แสดงค่าของตัวแปรที่ถูกควบคุมคือ b ค่าที่กำหนดสำหรับอ้างอิงคือ r ตัวตรวจค่าผิดพลาดจะทำหน้าที่คำนวณค่าผิดพลาดเพื่อที่จะส่งสัญญาณ e ไปยังตัวควบคุม ซึ่งตัวควบคุมจะทำหน้าที่เปรียบเทียบและตัดสินใจส่งเป็นสัญญาณ p ออกไปยังส่วนควบคุมเพื่อทำงานแล้วปรับให้ตัวแปร b ให้เท่ากับหรือใกล้เคียง r

จากลักษณะที่สัญญาณต่างๆมีการเชื่อมโยงกันอย่างต่อเนื่องเป็นวงปิด (loop) จึงเรียกว่าเป็นการควบคุมกระบวนการแบบวงปิด (process control loop) และในรูปดังกล่าวสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็น วงปิดป้อนกลับ (feedback loop) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการหาค่าผิดพลาดก่อนแล้วป้อนกลับเพื่อแก้ไขกระบวนการ ซึ่งจะเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดในการควบคุมตัวอย่างไดอะแกรมงานจริงและบล็อกการควบคุมอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.33



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2.33 ไดอะแกรมงานจริง(ก)และบล็อกไดอะแกรมการควบคุมอัตราการไหล (ข)
(Johnson, 1993)

2.9.4 พารามิเตอร์ในระบบควบคุม (control system parameters)

ค่าผิดพลาด (error)

จากสมการ (2.32) ที่ได้กล่าวมาแล้วว่า

$$e = r - b$$

ค่าผิดพลาดที่ได้จะเป็นเพียงบอกว่าค่าที่วัดได้ต่างจากค่าที่กำหนดอย่างไร สำหรับในกรณีที่มีการใช้งานจริง สัญญาณ r และ b จะมีย่านการใช้งานอยู่ เช่น 4-20 mA ดังนั้นหากค่าที่จุด

ปรับตั้งเท่ากับ 9.9 mA และค่าที่วัดได้มีค่าเป็น 10.7 mA หากใช้สมการดังกล่าวจะได้ว่ามีค่าผิดพลาด เท่ากับ $9.9 \text{ mA} - 10.7 \text{ mA} = -0.8 \text{ mA}$ ซึ่งยังไม่ชัดเจน ในการอธิบายค่าผิดพลาด จึงมีการอธิบายเป็นเปอร์เซ็นต์ของย่านการใช้งาน ดังสมการ (2.33) (Johnson, 1993)

$$e_p = \frac{r-b}{b_{\max}-b_{\min}} \times 100 \quad (2.33)$$

เมื่อ

e_p = ค่าผิดพลาด ใน % ของช่วง (span)

b_{\max} = ค่าที่วัดได้สูงสุด

b_{\min} = ค่าที่วัดได้ต่ำสุด

ค่าผิดพลาดจะมีค่าเป็นบวกเมื่อค่าที่วัดได้ต่ำกว่าค่ากำหนด และจะมีค่าเป็นลบเมื่อค่าที่วัดได้สูงกว่าค่ากำหนด

ย่านของตัวแปร (variable range)

ค่าของตัวแปรที่สนใจ เมื่อตัวตรวจรับรับผลของการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรกระบวนการแล้ว ในการที่จะส่งไปยังตัวควบคุมจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดเป็น สัญญาณมาตรฐานที่มีย่านของสัญญาณอยู่ เช่น เป็นสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA เป็นสัญญาณนิวแมติกส์ 3-15 psi ดังนั้น สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจรับ จะต้องผ่านกรรมวิธีการจัดให้อยู่ในย่านของสัญญาณมาตรฐานก่อนที่จะส่งไปยังตัวควบคุมต่อไป

สัญญาณทางออกตัวควบคุม (controller output)

ส่วนที่ใช้ควบคุมสุดท้าย จะได้รับสัญญาณจากตัวควบคุมในย่านหนึ่ง ซึ่งจะเป็นสัญญาณมาตรฐาน เช่น 4-20 mA , 3-15 psi และสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมก็มีการบอกเป็น % เช่นกัน ดังสมการ (2.34)

$$p = \frac{u - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \times 100 \quad (2.34)$$

โดยที่ p = สัญญาณทางออกตัวควบคุม (% ของสัญญาณทางออกสูงสุด)

u = ค่าของสัญญาณทางออก

u_{\max} = สัญญาณทางออกสูงสุด

u_{\min} = สัญญาณทางออกต่ำสุด

การทำงานแบบตรงและแบบกลับข้าง (direct and reverse action)

ตัวควบคุมจะทำงานในแบบตรงก็ต่อเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่าตัวแปรกระบวนการ แล้วทำให้ค่าของสัญญาณทางออกตัวควบคุมเพิ่มขึ้น เช่น ในการควบคุมระดับน้ำในถังเมื่อระดับน้ำสูงขึ้น

สัญญาณทางออกตัวควบคุมจะเพิ่มขึ้น เพื่อให้วาล์วทางออกเปิดให้มากขึ้นทำให้ระดับน้ำลดลง แต่ในแบบกลับข้างหากค่าของตัวแปรกระบวนการเพิ่มขึ้นค่าของสัญญาณทางออกตัวควบคุมจะลดลง เช่น การควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นชุดขับขดลวดความร้อนจะต้องลดค่าความร้อนที่จ่ายออกมาจากขดลวดความร้อนลง

2.10 วิธีการควบคุม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าตัวควบคุมจะทำหน้าที่ในการที่จะสร้างสัญญาณควบคุมจ่ายไปยังส่วนที่ใช้ควบคุมสุดท้ายโดยอาศัยการเบี่ยงเบนไปของค่าที่วัดได้กับค่าจุดปรับตั้งและสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับวิธีการควบคุม ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 วิธี ได้แก่

1. การควบคุมแบบสองตำแหน่ง (two position control mode)
2. การควบคุมแบบสัดส่วน (proportional control mode)
3. การควบคุมแบบรีเซต (reset control mode)
4. การควบคุมแบบอัตรา (rate control mode)
5. การควบคุมแบบประกอบ (composite control mode)

การควบคุมแบบสองตำแหน่ง

เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งการทำงานของตัวควบคุมที่เกิดขึ้นจะทำให้ส่วนที่ใช้ควบคุมสุดท้ายทำงานในสองสถานะเช่น ปิด-เปิด ตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิในห้องโดยใช้เทอร์โมสแตท (thermostat) ซึ่งตัวควบคุมจะทำหน้าที่ปิดหรือเปิดระบบเครื่องทำความเย็น นั่นคือหากอุณหภูมิห้องสูงกว่าที่ค่าจุดปรับตั้งระบบทำความเย็นจะทำงาน เมื่ออุณหภูมิห้องลดลงมาถึงที่ค่าจุดปรับตั้งระบบทำความเย็นจะหยุดทำงาน

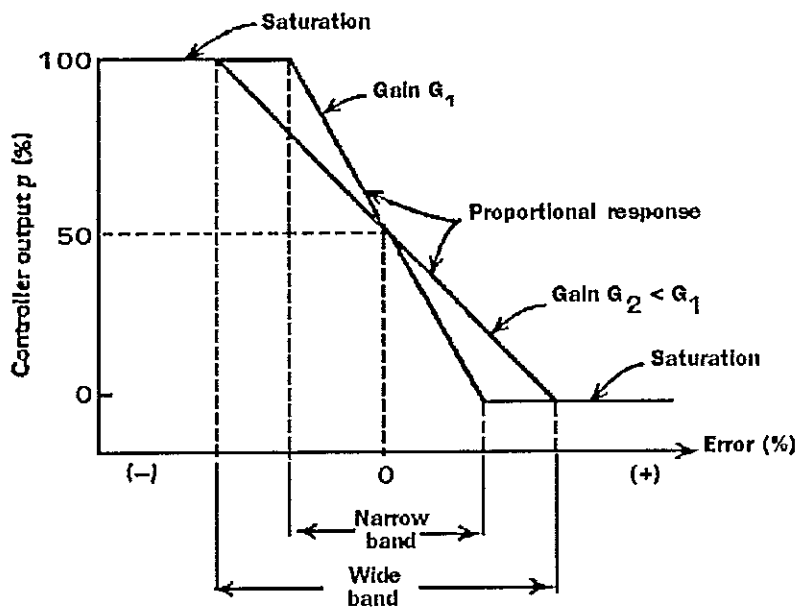
การควบคุมแบบสัดส่วน

การควบคุมแบบสัดส่วน คือ การที่สัญญาณทางออกของตัวควบคุมเป็นสัดส่วนกับสัญญาณผิดพลาดที่จ่ายเข้ามายังตัวควบคุม ดังสมการ (2.35) (Johnson, 1993)

$$p = K_p e_p + p_o \quad (2.35)$$

เมื่อ K_p = อัตราขยายสัดส่วนระหว่างค่าผิดพลาดและค่าสัญญาณทางออกตัวควบคุม
(proportional gain between error and controller output) (%/%)

p_o = สัญญาณทางออกตัวควบคุมในขณะที่ไม่มีความผิดพลาด
(controller output with no error) (%)



ภาพประกอบ 2.34 แถบสัดส่วนของการควบคุมแบบสัดส่วนกับอัตราขยาย
(Johnson, 1993)

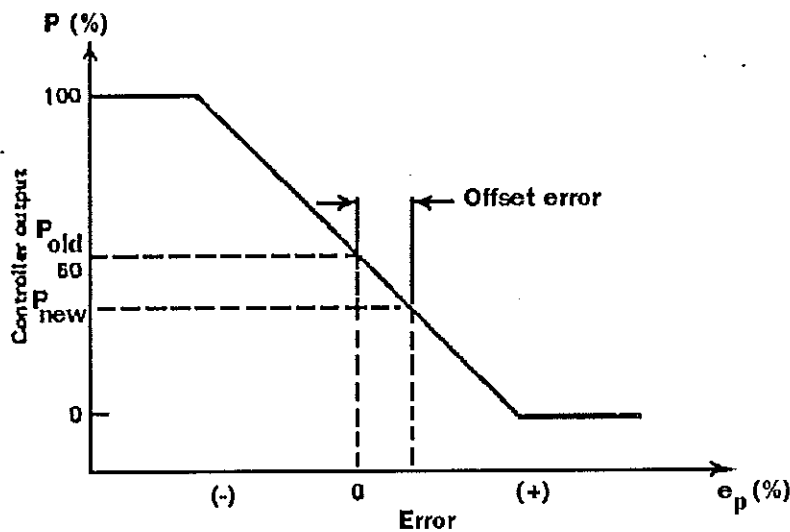
ในกรณีที่ p_0 กำหนดไว้ที่ 50 % แล้วเลือกอัตราขยาย (gain) เป็น G_1 และ G_2 โดยที่ $G_2 < G_1$ จากย่านของค่าผิดพลาดที่มีอยู่แล้วทำให้ได้สัญญาณทางออกตัวควบคุมระหว่าง 0% ถึง 100% จะเรียกว่าแถบสัดส่วน (proportional band) และมีความสัมพันธ์กับอัตราขยาย ดังสมการ (2.36) และดังแสดงในภาพประกอบ 2.34

$$PB = \frac{100}{K_p} \quad (2.36)$$

ซึ่งจะสรุปได้ว่า

1. หากค่าผิดพลาดมีค่า = 0 สัญญาณทางออกจะมีค่าเท่ากับ p_0
2. ถ้ามีค่าผิดพลาดทุก 1% ค่า K_p จะคูณกับผิดพลาดนั้น และจะไปลบหรือบวกกับค่า p_0 ขึ้นอยู่กับว่าเป็นการทำงานแบบตรงหรือแบบกลับข้าง
3. จะมีแถบของค่าผิดพลาด (band of error) หรือ แถบสัดส่วน (proportional band) ในขณะที่สัญญาณทางออกยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว ระหว่าง 0-100 % ซึ่งจะมีในแบบที่เรียกว่าแถบแคบ (narrow band) หรือ แถบกว้าง (wide band)

ออฟเซต (offset) คุณลักษณะที่สำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วน คือจะมีค่าผิดพลาดคงที่ขึ้นมาค่าหนึ่ง เรียกว่า ออฟเซต ซึ่งสามารถที่จะลดโดยการเพิ่มค่า K_p ให้มากขึ้น หรือเป็นการลดแถบสัดส่วนนั่นเอง การเกิดออฟเซต เป็นดังแสดงในภาพประกอบ 2.35



ภาพประกอบ 2.35 การเกิดออฟเซต (Johnson, 1993)

จากภาพประกอบ 2.35 สมมุติว่าในขณะที่เริ่มต้นในช่วงแรกที่ค่าผิดพลาดเท่ากับ 0 สัญญาณทางออกตัวควบคุมเป็น P_{old} ต่อจากนั้นระบบมีผลทำให้ค่าผิดพลาดเพิ่มขึ้นไปทางบวก ตัวควบคุมจะปรับค่า P_{old} เป็น P_{new} ซึ่งจะคงค่านี้ไว้ ผลก็คือมีค่าผิดพลาดปรากฏอยู่หรือเกิดออฟเซต ในกรณีที่เลือกค่าอัตราการขยายมากขึ้นจะทำให้ค่าผิดพลาดลดลง แต่ทั้งนี้หากเลือกค่า K_p มากเกินไปจะทำให้เกิดการทํางานเป็นการปิด-เปิดสลับไปมา นั่นคือเกิดรอยแกว่ง (oscillation) ขึ้น สำหรับในกรณีที่เลือกค่าอัตราการขยายที่น้อยลงการเกิดออฟเซตก็จะมากขึ้น

การควบคุมแบบรีเซต

การควบคุมแบบรีเซต คือ การที่สัญญาณทางออกของตัวควบคุมปรับค่าอยู่ตลอดเวลา หากยังมีค่าผิดพลาดอยู่ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral mode) ดังสมการ (2.37) (Johnson, 1993)

$$\frac{dp}{dt} = K_i e_p \quad (2.37)$$

เมื่อ $\frac{dp}{dt}$ = อัตราสัญญาณทางออกตัวควบคุมที่เปลี่ยนแปลง
(rate of controller output change) (%/s)

K_i = ค่าคงที่ในการปรับแบบรีเซต
(constant relating the rate to the error) ((%/s)/%)

หมายเหตุ - บางครั้ง K_i บอกมาเป็น T_i ซึ่งเท่ากับ $1/K_i$ (seconds or minutes)

หากอินทิเกรต (Integrate) สมการ (2.37) จะได้ดังสมการ (2.38) (Johnson, 1993)

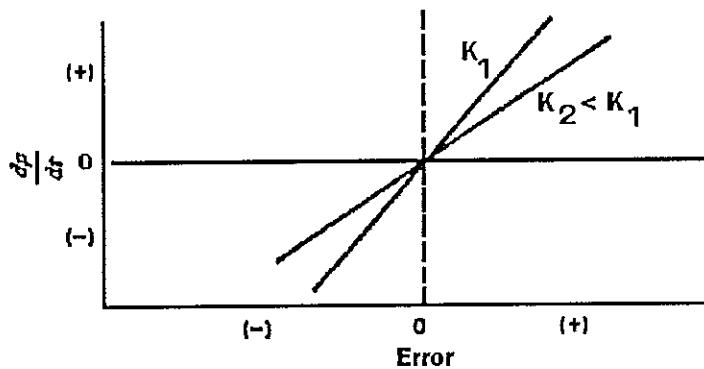
$$p(t) = K_I \int_0^t e_p(t) dt + p(0) \quad (2.38)$$

เมื่อ

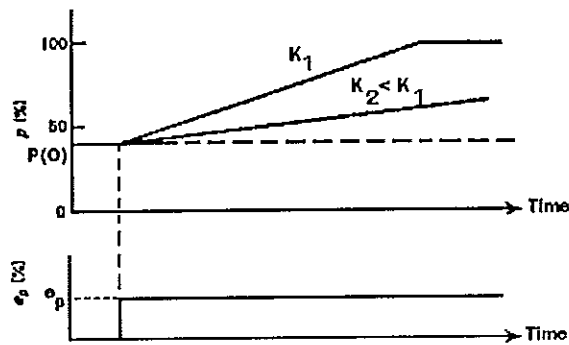
$p(0)$ = ค่าสัญญาณทางออกตัวควบคุมที่เวลาเริ่มต้น (the controller out at $t = 0$)

สมการนี้อธิบายได้ว่าค่าของสัญญาณทางออกตัวควบคุมปัจจุบัน $p(t)$ จะขึ้นอยู่กับค่าของค่าผิดพลาดที่มีมาตั้งแต่ที่เวลา $t = 0$ จากสมการ (2.37) หากค่าผิดพลาดเพิ่มขึ้น 2 เท่า อัตราของสัญญาณทางออกของตัวควบคุมจะเป็น 2 เท่าเช่นกัน ค่า K_I จะหมายถึงสัดส่วนระหว่างค่าผิดพลาดกับสัญญาณทางออกของตัวควบคุม หากค่า K_I มีค่ามากผลก็คือเมื่อมีค่าผิดพลาดเพียงเล็กน้อยจะสร้างอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางออกของตัวควบคุมมาก

ภาพประกอบ 2.36 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ p และค่าผิดพลาดที่ค่า K_I ต่างกัน และภาพประกอบที่ 2.37 แสดงค่าผิดพลาดที่คงที่ที่ค่า K_I ต่างกันจะให้ค่า p ที่ขึ้นกับเวลาเป็นไปตามสมการ (2.38) ซึ่งจะเห็นว่า ค่า K_I ที่ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็วจะให้ค่าของสัญญาณทางออกตัวควบคุมมีค่ามาก หลังจากที่มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้น



ภาพประกอบ 2.36 อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางออกตัวควบคุมซึ่งจะขึ้นกับอัตราขยายและค่าผิดพลาด (Johnson, 1993)



ภาพประกอบ 2.37 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบรีเซตกับค่าผิดพลาดที่คงที่
(Johnson, 1993)

ในการใช้แคลคูลัสจะพบว่าอินทิกรัล จะเป็นการหาพื้นที่ของฟังก์ชัน(function) ดังนั้นในสมการที่ (2.38) จะอธิบายได้ว่าสัญญาณทางออกตัวควบคุมจะเท่ากับพื้นที่ที่ภายในระยะเวลาที่เกิดค่าผิดพลาดคูณกับ K_i หรือกล่าวได้ว่าเทอมของอินทิกรัลจะสะสมค่าผิดพลาดไว้

หมายเหตุ การใช้งานจะไม่ใช้การควบคุมแบบรีเซตเพียงโดดๆ จะต้องใช้ร่วมกับวิธีอื่น
การควบคุมแบบอัตรา

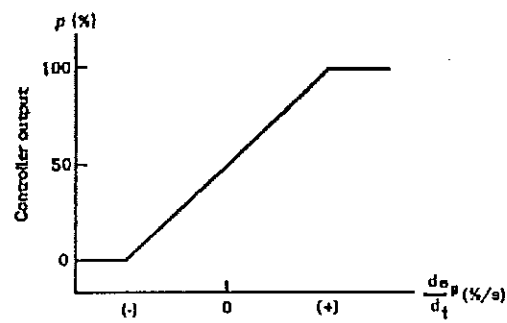
การควบคุมแบบอัตรา คือ การที่สัญญาณทางออกของตัวควบคุมขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการควบคุมแบบอนุพันธ์ (derivative control mode) และเช่นกันจะไม่สามารถใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์แบบโดดๆได้ เพราะว่าหากค่าผิดพลาดมีค่าเป็น 0 หรือคงที่ จะไม่มีสัญญาณจ่ายออกจากตัวควบคุมดังสมการ (2.39) (Johnson, 1993)

$$p = K_D \frac{de_p}{dt} \quad (2.39)$$

เมื่อ K_D = อัตราขยายการควบคุมแบบอัตรา (derivative gain constant) (%-s/%)

$\frac{de_p}{dt}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (rate of change of error) (%/s)

คุณลักษณะของสัญญาณทางออกตัวควบคุมที่ได้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด เป็นดังแสดงในภาพประกอบ 2.38 ซึ่งจะแสดงว่าค่าของสัญญาณทางออกตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด โดยไม่ขึ้นกับขนาดของค่าผิดพลาด



ภาพประกอบ 2.38 สัญญาณทางออกตัวควบคุมกับการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (Johnson, 1993)

การควบคุมแบบประกอบ

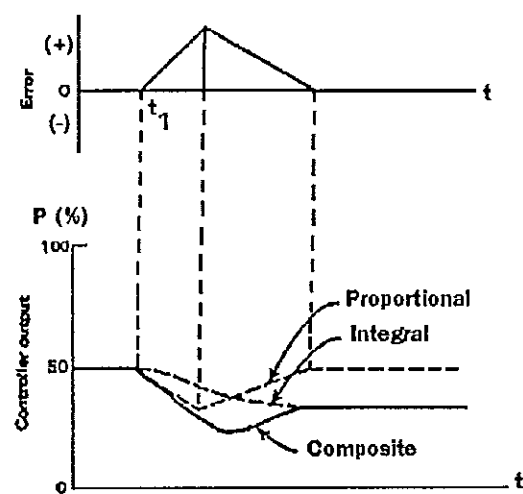
ในการควบคุมที่ซับซ้อนขึ้น จะไม่สามารถที่จะใช้วิธีการควบคุมตามที่ได้กล่าวมาแล้ว เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง ดังนั้นในการใช้งานจึงมีการพิจารณานำวิธีการควบคุมมาประกอบกัน ซึ่งมีรูปแบบดังต่อไปนี้

ก. การควบคุมแบบพีไอ (proportional integral control - PI)

เป็นการรวมกันระหว่างการควบคุมแบบสัดส่วนและการควบคุมแบบรีเซต ดังสมการ (2.40) (Johnson, 1993)

$$p = K_p e_p + K_p K_i \int_0^t e_p dt + p_i(0) \quad (2.40)$$

$p_i(0)$ = สัญญาณทางออกตัวควบคุมที่เวลาเริ่มต้น



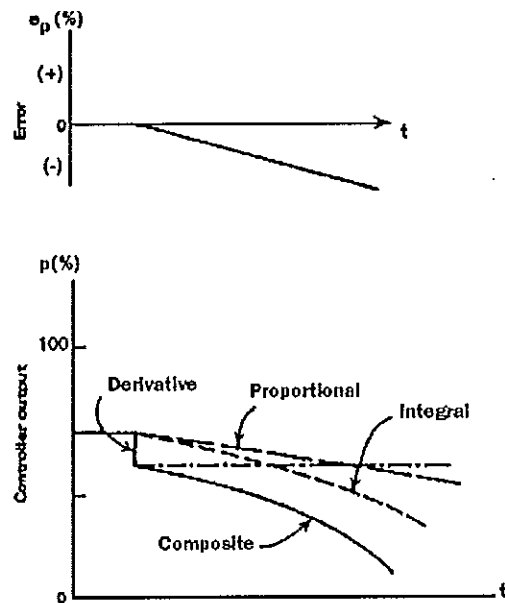
ภาพประกอบ 2.39 ผลการควบคุมแบบพีไอของการตอบสนองแบบกลับข้าง (Johnson, 1993)

ค.การควบคุมชนิดพีไอดี (three mode controller - PID)

เป็นวิธีการควบคุมที่รวมกันระหว่างการควบคุมแบบสัดส่วน แบบรีเซต และแบบอัตราเข้าด้วยกัน มีสมการควบคุมดังในสมการ (2.42) (Johnson, 1993)

$$p = K_p e_p + K_p K_I \int_0^t e_p dt + K_p K_D \frac{de_p}{dt} + p_i(0) \quad (2.42)$$

ภาพประกอบ 2.41 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางออกของตัวควบคุมเมื่อมีค่าผิดพลาดเกิดขึ้น



ภาพประกอบ 2.41 คุณลักษณะของการควบคุมชนิดพีไอดี (Johnson, 1993)

2.11 คุณภาพระบบควบคุม (control system quality)

ในการควบคุมกระบวนการ ตัวแปรที่ต้องการควบคุมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากอิทธิพลหลายอย่างประกอบกัน เป็นการยากที่จะควบคุมให้ค่าตัวแปรนั้นอยู่ที่ค่ากำหนดอย่างชัดเจนได้ ทั้งนี้เพราะว่าตัวแปรจะเปลี่ยนค่าก่อนที่ระบบควบคุมจะสร้างสัญญาณมาแก้ไขการเปลี่ยนแปลงนั้น หากจะกล่าวถึงคุณภาพระบบควบคุม จะต้องยอมรับว่าการควบคุมอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยากแน่นอน ดังนั้นความหมายของคุณภาพระบบควบคุมจึงเป็นการดำเนินการเพื่อที่จะให้ได้ผลผลิตจากการควบคุมเป็นไปอย่างเท่าที่ทำได้นั่นเอง

2.11.1 การรบกวนในวงปิด (loop disturbance)

การควบคุมกระบวนการจะต้องทำการดูแลผลของการรบกวน ให้มีค่าน้อยที่สุดต่อค่าตัวแปรกระบวนการจากค่าจุดปรับตั้ง ซึ่งคุณภาพของระบบควบคุมจะเป็นการบอกถึงระดับของการเบี่ยงเบนไปจากการรบกวน

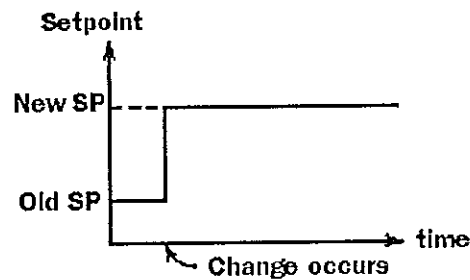
ลักษณะของการรบกวนแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

ก. การรบกวนชั่วขณะ (transient disturbance)

คือการที่ค่าพารามิเตอร์บางค่าในระบบเปลี่ยนแปลงไปอย่างชั่วคราว และมีผลต่อค่าตัวแปรกระบวนการชั่วขณะหนึ่งเท่านั้น ในทางปฏิบัติไม่เหมาะที่จะนำมาหาคุณภาพของระบบควบคุม เพราะในธรรมชาติของการรบกวนชั่วขณะแล้วไม่สามารถที่จะกำหนดค่าต่างๆ เช่น เวลา ความสูง และรูปร่างที่เกิดขึ้นของการรบกวนได้

ข. การปรับค่าจุดปรับตั้ง (setpoint change)

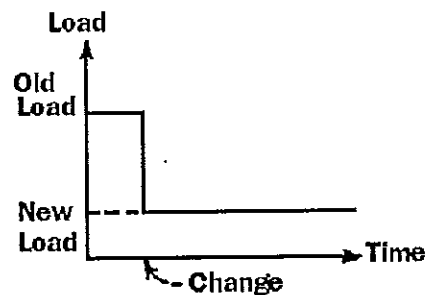
การปรับค่าจุดปรับตั้งให้เป็นแบบการรบกวนปกติในลักษณะของฟังก์ชันขั้น (step function) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.42 การเปลี่ยนค่าจุดปรับตั้งอย่างทันทีทันใดจากค่าเดิมไปหาค่าใหม่เกิดขึ้นได้และมีผลต่อกระบวนการ การหาคุณภาพของระบบควบคุมจึงจะหาว่าระบบจะมีการตอบสนองอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด



ภาพประกอบ 2.42 ฟังก์ชันขั้นจากการปรับค่าจุดปรับตั้ง (Johnson, 1993)

ค. การปรับค่าโหลด (load changes)

การเปลี่ยนแปลงค่าของโหลดสามารถกระทำในแบบฟังก์ชันขั้นได้เช่นกัน ซึ่งสามารถปรับค่าใดๆที่เป็นส่วนประกอบของโหลดได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.43



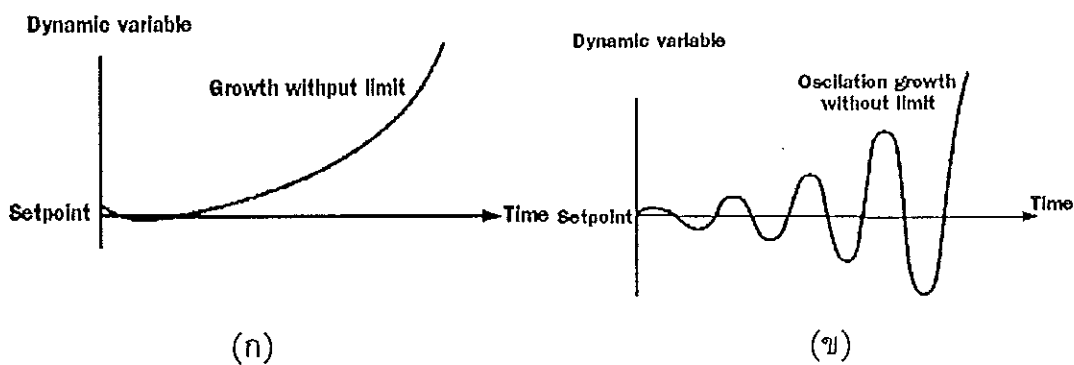
ภาพประกอบ 2.43 ฟังก์ชันขั้นจากการปรับค่าโหลด (Johnson, 1993)

2.11.2 การควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด (optimum control)

การควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด เป็นคำจำกัดความของคุณภาพในระบบควบคุม ซึ่งหากมีการปรับค่าใด ๆ ก็ตามในระบบแล้ว ระบบควบคุมสามารถดูแลเท่าที่จะทำได้ ซึ่งไม่ได้หมายความว่า จะต้อง “ สมบูรณ์ (perfect)” การควบคุมแบบเหมาะสมที่สุดสามารถกำหนดได้จากผลที่มีต่อการปรับค่าของจุดปรับตั้งหรือโหนดตั้งนี้

เสถียรภาพ (stability)

เป็นคุณลักษณะพื้นฐานของคุณภาพการควบคุมที่จะต้องให้การปรับเสถียร (stable - regulation) กับตัวแปรพลวัต (dynamic variable) โดยจำกัดไม่ให้มีค่ามากขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2.44 จะแสดงการตอบสนองแบบไม่เสถียรซึ่งในรูป (ก) การรบกวนทำให้ตัวแปรพลวัตมีค่ามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่รูป (ข) เกิดรอยแกว่ง (oscillation) โดยมีขนาดเพิ่มขึ้น ทั้งสองรูปแบบนี้หากปล่อยให้มีความถี่มากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้กระบวนการทำงานผิดพลาดขึ้นมาได้ ในส่วนของคำว่าเสถียรภาพนั้นหากการควบคุมสามารถควบคุมขนาดของตัวแปรได้ แต่ยังคงมีการแกว่งหรือมีวัฏจักร (cyclic) ในขนาดที่แน่นอน ก็จะต้องว่าตัวแปรนั้นอยู่ภายใต้สภาวะเสถียรได้



ภาพประกอบ 2.44 สภาวะไม่เสถียรในแบบเพิ่มอย่างไม่จำกัด (ก) และแบบรอยแกว่ง (ข)
(Johnson, 1993)

การเบี่ยงเบนน้อยที่สุด (minimum deviation)

หากกระบวนการได้รับการปรับเพื่อที่จะรักษาค่าตัวแปรไว้ที่จุดปรับตั้งหนึ่งแล้ว หลังจากนั้นเมื่อมีการรบกวนเข้ามา ระบบควบคุมจะต้องทำหน้าที่ที่จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรพลวัตให้มีการเบี่ยงเบนน้อยที่สุดจากจุดปรับตั้ง

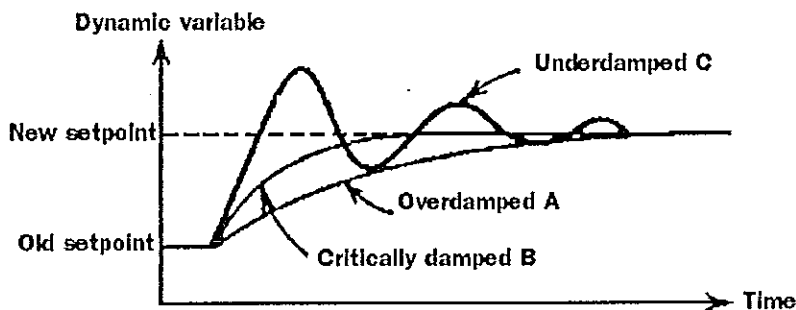
ระยะเวลาสั้นที่สุด (minimum duration)

หากมีการรบกวนเข้ามา จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรไปจากค่าจุดปรับตั้ง คุณภาพของระบบควบคุมประการหนึ่ง คือ ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ไปก่อนที่จะกลับมายังค่าจุดปรับตั้งมีช่วงระยะเวลาที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

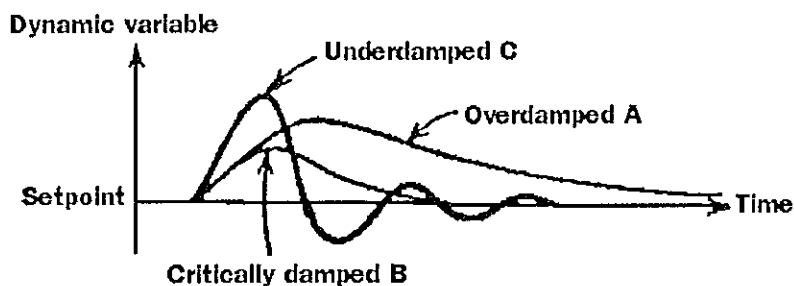
ดังนั้นในการกำหนดคุณภาพของระบบควบคุม จึงเป็นการประเมินผลของเสถียรภาพ การเบี่ยงเบนน้อยที่สุดและระยะเวลาสั้นที่สุดต่อค่าตัวแปรพลวัตจากผลของการรบกวนที่เข้ามา

2.11.3 การวัดคุณภาพ

การตอบสนองของตัวแปรพลวัตในระบบการควบคุมมี 3 ประการ เมื่อมีการรบกวนเข้ามา ซึ่งจะแสดงดังในภาพประกอบ 2.45 และภาพประกอบ 2.46



ภาพประกอบ 2.45 การตอบสนองต่อการปรับค่าจุดปรับตั้ง (Johnson, 1993)



ภาพประกอบ 2.46 การตอบสนองต่อการปรับค่าโหลด (Johnson, 1993)

จากภาพประกอบ 2.45 และภาพประกอบ 2.46 การตอบสนองในแบบต่างๆมีดังนี้

การหน่วงเกิน (overdamped)

ดังในกรณี A ค่าของตัวแปรพลวัตจะค่อยๆเพิ่มขึ้นโดยไม่มีการแกว่ง ระยะเวลาจะไม่ถือว่าน้อยที่สุด ตลอดทั้งการเบี่ยงเบนก็จะเป็นแบบน้อยที่สุดเช่นกัน การตอบสนองดังนี้ให้ผลในด้านความปลอดภัยต่อระบบ ทำให้การเข้าสู่สภาวะเสถียรแน่นอน และไม่เกิดการแกว่ง

การหน่วงวิกฤติ (critical damped)

การปรับตั้งกรณี B จะพบว่าจะเป็นการตอบสนองที่มีการแกว่งไประยะหนึ่งซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นได้และเป็นแบบตอบสนองได้เหมาะสมที่สุด (optimum response) หรือไม่มีการเกิดวัฏจักรนั่นเอง

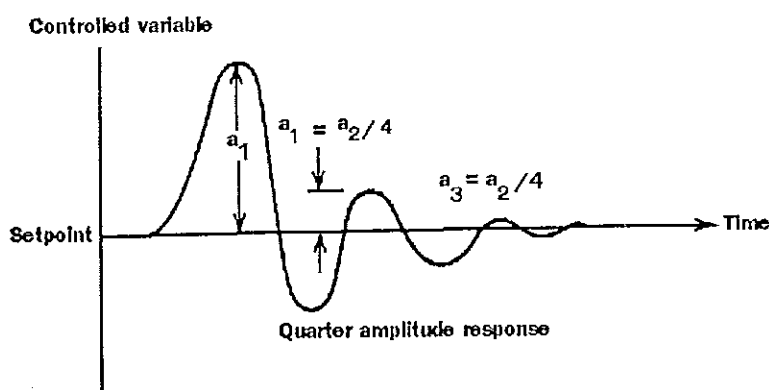
การหน่วงน้อยเกินไป (underdamped)

การปรับต่อไปที่จะกระทำได้คือการปรับในแบบกรณี C ซึ่งจะเป็นแบบการตอบสนองแบบวัฏจักร (cyclic response) โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรพลวัตด้วยจำนวนของการแกว่ง และเป็นไปได้ที่จะปรับจนได้ค่าการเบี่ยงเบนน้อยที่สุดและใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด ได้ในบางขณะ

นอกจากนี้จะมีวิธีการอีก 2 วิธีที่นำมาใช้เพื่อกำหนดคุณภาพในระบบควบคุมได้แก่

ก. แบบขนาดหนึ่งในสี่ (quarter amplitude)

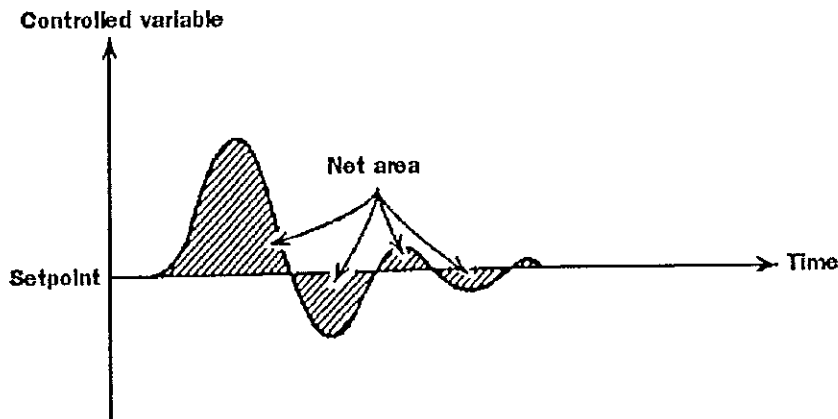
เมื่อมีการตอบสนองออกมาเป็นแบบหน่วงวัฏจักร (damped cyclic response) การวัดคุณภาพทำได้โดยการปรับระบบควบคุม จนทำให้การเบี่ยงเบนจากการรบกวนนั้นค่อยลดต่ำลงครึ่งละหนึ่งในสี่จากค่าสูงสุดแรก ไปจนเข้าจุดปรับตั้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.47 ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการปรับจะไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรง จะพิจารณาในขนาดของการตอบสนองที่จะต้องลดลงครึ่งละหนึ่งในสี่จากค่าเดิม



ภาพประกอบ 2.47 การปรับระบบควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นแบบขนาดหนึ่งในสี่
(Johnson, 1993)

ข. แบบพื้นที่น้อย (minimum area)

ในกรณีที่มีการตอบสนองออกมาเป็นแบบหน่วงน้อยเกินไป (underdamped response) องค์ประกอบในบางครั้งจะเป็นทั้งระยะเวลาและขนาดในการเบี่ยงเบน ซึ่งจะต้องมีการลดค่าให้น้อย หากมีการทำให้ค่าเบี่ยงเบนน้อยลงในช่วงแรกและทำให้มีระยะเวลาน้อยลงในช่วงถัดไป ในการวัดคุณภาพจะเป็นเหมือนการลดพื้นที่ของการเบี่ยงเบนให้น้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังแสดงในภาพประกอบ 2.48



ภาพประกอบ 2.48 การปรับระบบควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นแบบพื้นที่น้อย (Johnson, 1993)

$$A = \int |r - b| \quad (2.43)$$

A = พื้นที่การเบี่ยงเบน (area of deviation)

b = ค่าที่วัดได้ (measure value)

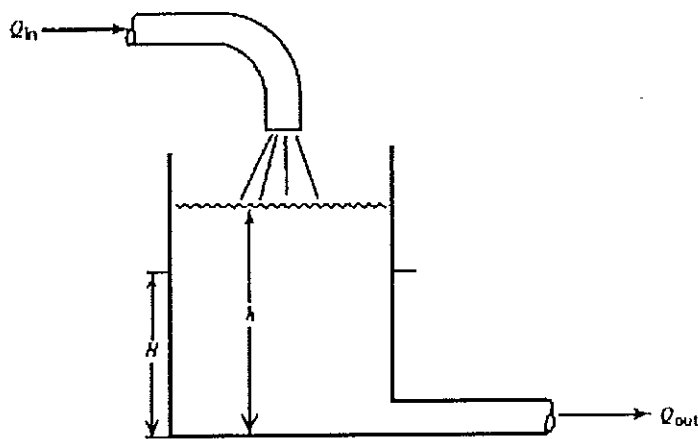
r = ค่าจุดปรับตั้ง (setpoint value)

2.12 การปรับแต่งระบบกระบวนการ (process loop tuning)

ตัวควบคุมเมื่อมีการนำมาใช้งาน จำเป็นที่จะต้องมีการปรับค่าต่างๆ ที่ตัวควบคุมเพื่อที่จะทำให้การควบคุมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการ ในที่นี้จะมีวิธีการอยู่ 2 วิธี ซึ่งจะอาศัยการวัดค่าบางอย่างจากระบบและหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตัวควบคุม ได้แก่

2.12.1 วิธีการตอบสนองชั่วขณะวงเปิด (open loop transient response method)

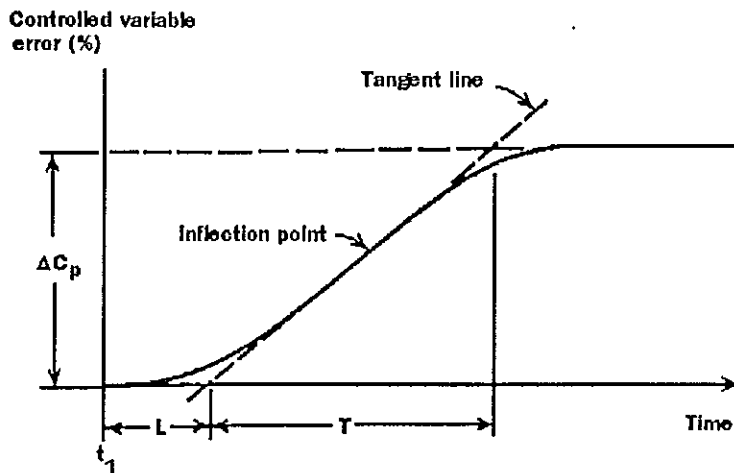
เป็นวิธีการที่พัฒนาโดย Ziegler และ Nichols บางที่จะเรียกว่าวิธีการตอบสนองของกระบวนการ (process reaction method) วิธีการจะกระทำโดยการเปิดวงจรการควบคุม ดังนั้นจะไม่มีการควบคุมใดๆเกิดขึ้น และกระบวนการจะต้องเป็นแบบปรับตัวเองได้ (self regulation) เท่านั้น ระบบกระบวนการปรับตัวเองได้ (self regulation process) คือ ระบบที่มีการปรับค่าของตัวแปรให้มีค่าคงที่ได้ด้วยตนเอง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.49 ระดับน้ำในถังจะมีค่าคงที่หากระดับน้ำมีความสูงพอที่จะให้อัตราการไหลออกของน้ำ Q_{out} เท่ากับอัตราการไหลเข้า Q_{in}



ภาพประกอบ 2.49 ระบบกระบวนการปรับตัวเองได้ (Johnson, 1993)

หลังจากนั้นจะทำการจ่ายการรบกวนชั่วขณะให้โดยการปรับค่าตัวแปรที่ควบคุม จากการปรับขนาดวาล์วทางออกด้วยมือ ซึ่งจะต้องควบคุมให้การรบกวนชั่วขณะที่เกิดขึ้นมีผลเพียงพอที่จะบันทึกค่าที่ต้องการได้

ลักษณะของการตอบสนองชั่วขณะวงเปิดเป็นดังนี้ ที่จุด t_1 จะเริ่มจ่ายการรบกวนให้กับกระบวนการโดยการปรับค่าของวาล์วทางออก หลังจากนั้นระบบจะใช้เวลาช่วงหนึ่งเพื่อที่จะปรับค่าของตัวเองไปยังค่าใหม่ จะได้เส้นกราฟดังแสดงในภาพประกอบ 2.50 เส้นสัมผัสที่ลากบนจุดผัน (inflection point) ไปตัดกับเส้นแกนเวลา ผลที่ได้มีค่าต่าง ๆ ดังนี้



ภาพประกอบ 2.50 กราฟของวิธีการตอบสนองชั่วขณะวงเปิด (Johnson, 1993)

เมื่อ L = เวลาตามหลัง (lag time - นาที)

$$N = \frac{\Delta C_p}{T} \quad (2.44)$$

โดยที่ N = อัตราการตอบสนอง (reaction rate in %/min)

ΔC_p = การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร (variable change in %)

T = เวลาตอบสนองของกระบวนการ (process reaction time in minute)

จากสมการ (2.44) จะนำมาใช้ร่วมกับ ΔP (controlling variable change - %) เพื่อหาค่าในการปรับตัวควบคุมในแบบต่างๆ ดังนี้

การควบคุมแบบสัดส่วน

$$K_p = \frac{\Delta P}{NL} \quad (2.45)$$

การควบคุมแบบพีไอ

$$K_p = 0.9 \frac{\Delta P}{NL} \quad (2.46)$$

$$1/K_I = T_I = 3.33 L \quad (2.47)$$

การควบคุมแบบพีไอดี

$$K_p = 1.2 \frac{\Delta P}{NL} \quad (2.48)$$

$$T_i = 2 L \quad (2.49)$$

$$T_D \text{ หรือ } K_D = 0.5 L \quad (2.50)$$

2.12.2 วิธีการอัลติเมท (ultimate cycle method)

เป็นวิธีการที่พัฒนาโดย Ziegler และ Nichols เช่นกัน บางที่จะเรียกว่า Ziegler Nichols Method เป็นการปรับค่าการควบคุมของตัวควบคุมในขณะที่เป็นแบบวงปิด (closed loop) มีวิธีการปฏิบัติดังนี้

1. ลดค่าผลของการควบคุมแบบรีเซตและแบบอัตราจนมีผลต่อระบบน้อยที่สุด
2. ปรับค่าอัตราขยายสัดส่วน (proportional gain) เป็นการปรับให้ระบบเกิดรอยแกว่งที่มีขนาดและเวลาคงที่น้อยที่สุด (steady cyclic)
3. ค่าอัตราขยายสัดส่วนที่ได้ในขณะนี้จะเรียกว่า อัตราขยายวิกฤติ (critical gain - K_c)
4. จะต้องทำการอ่านค่าคาบเวลา (period) ของวัฏจักรที่เกิดขึ้น
ค่าที่อ่านได้เรียกว่าคาบเวลาวิกฤติ (critical period - T_c) - นาที

วิธีการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้กับระบบกระบวนการใดๆ ก็ได้ ซึ่งจากค่า K_c และ T_c ที่ได้นำไปหาค่าของการปรับค่าในระบบควบคุมต่างๆ ได้ดังนี้

การควบคุมแบบสัดส่วน

$$K_p = 0.5 K_c \quad (2.51)$$

การควบคุมแบบพีไอ

$$K_p = 0.45 K_c \quad (2.52)$$

$$T_i = T_c / 1.2 \quad (2.53)$$

การควบคุมแบบพีไอดี

$$K_p = 0.6 K_c \quad (2.54)$$

$$T_i = T_c / 2.0 \quad (2.55)$$

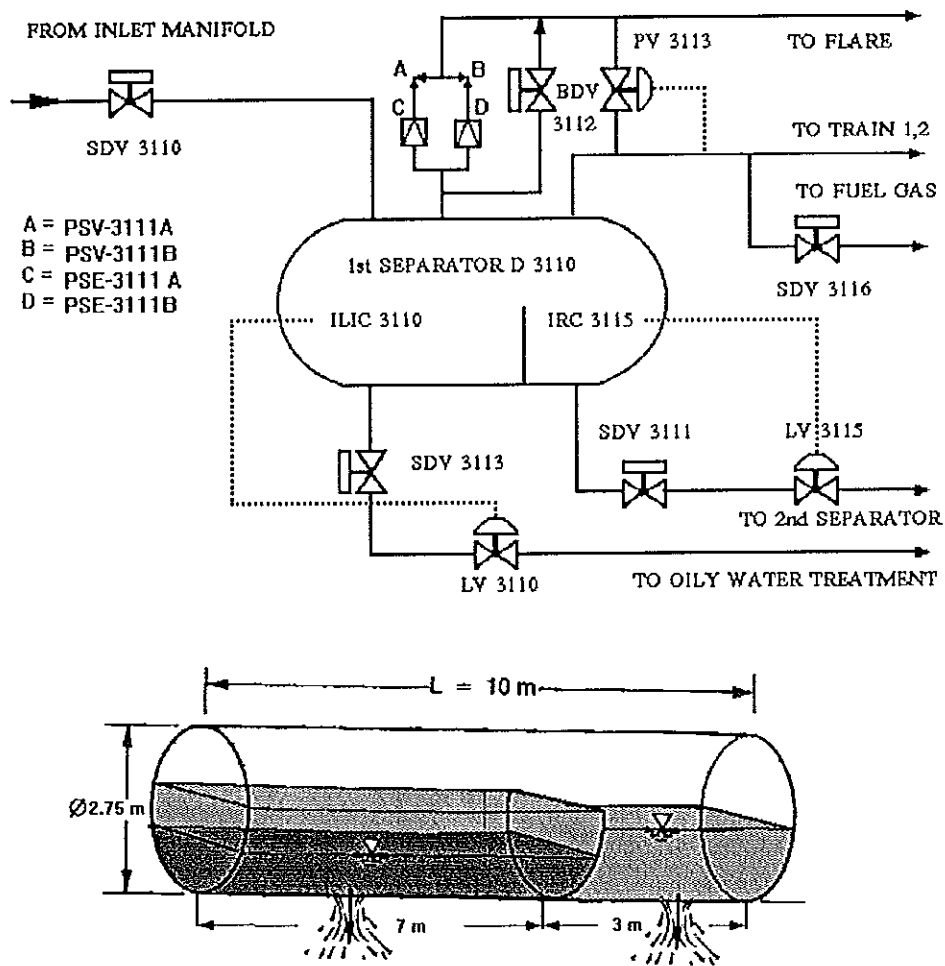
$$T_D \text{ หรือ } K_D = T_c / 8 \quad (2.56)$$

บทที่ 3

กระบวนการและสมการควบคุม

ข้อมูลที่น่ามาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลที่มีการใช้งานจริงที่แทนผลิตก๊าซธรรมชาติ แหล่งก๊าซบางกอก กลางอ่าวไทย และเนื่องจากในเนื้อหาส่วนที่เป็นการทำงานของกระบวนการทางเคมีต่างๆ จำเป็นที่จะต้องมึพื้นฐานในด้านวิศวกรรมเคมีในอีกระดับหนึ่ง ดังนั้นในส่วนของผลทางเคมีที่จะใช้อธิบายพฤติกรรมของไฮโดรคาร์บอนในหน่วยแยกที่ 1 ของการวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการดำเนินการเพียงเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะเป็นแนวทางในการแสดงการจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซในหน่วยแยกที่ 1 เท่านั้น

3.1 การออกแบบหน่วยแยกที่ 1 (Total E&P Thailand, 1995)



ภาพประกอบ 3.1 ไดอะแกรมและขนาดของหน่วยแยกที่ 1

3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้น

ภาพประกอบ 3.1 หน่วยแยกที่ 1 D3110 เป็นหน่วยแยก 3 เฟสแบบตั้งนอน มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 2.75 เมตร ยาว 10 เมตร มีท่อด้านทางเข้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้วทำหน้าที่จ่ายของไหลผสมเข้ามายังหน่วยแยก วาล์วปิด (shutdown valve) SDV-3110 ติดตั้งไว้โดยสามารถควบคุมการทำงานจากระยะไกลได้ ด้านทางออกเป็นท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้วสำหรับนำก๊าซออกจากหน่วยแยกที่ 1 มีวาล์วควบคุมแรงดัน PV 3113 เพื่อรักษาระดับแรงดันในถังให้อยู่ในค่าที่ต้องการ หากมีส่วนของแรงดันเกินมาจะระบายออกไปที่แฟลร์แรงดันสูง (high pressure flare หรือ HP flare) นอกจากนี้ในส่วนของชุดวาล์วแรงดันนิรภัย (pressure safety valves) PSV-3111A/B จะติดตั้งกับดิสก์ระเบิด (rupture disk) PSE-3111A/B เพื่อป้องกันแรงดันในถังมากเกินไปจนเกิดไฟไหม้ ขณะดิสก์ระเบิด PSE-3111A/B ทำงานจะมีสัญญาณส่งไปให้ SDV-3110 ปิดลงสำหรับ BDV-3112 ใช้ในการระบายแรงดันของระบบออกในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งหากมีการทำงานของ BDV-3112 ก็จะทำให้ SDV-3110 ปิดลงเช่นกัน ด้านทางออกของคอนเดินเสทจะเป็นท่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้วโดยมีวาล์วควบคุมระดับ LV-3115 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของคอนเดินเสทในถังไว้และมีวาล์วปิด SDV-3111 ซึ่งจะปิดลงเมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ

ส่วนด้านทางออกของน้ำ จะเป็นท่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว โดยมีวาล์วควบคุมระดับ LV-3110 ทำหน้าที่ควบคุมระดับตำแหน่งระดับหน้าของน้ำ และมีวาล์วปิด SDV-3113 ซึ่งจะปิดลงเมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ นอกจากนี้ยังมีวาล์วควบคุมด้วยมือขนาด 24 นิ้วติดตั้งไว้ที่ถังเช่นกันเพื่อสามารถควบคุมด้วยมือที่แยกออกมาในบางกรณี

3.1.2 ข้อมูลการออกแบบและการใช้งานปกติ

ในการใช้งานหน่วยแยกที่ 1 ข้อมูลที่ออกแบบคือข้อมูลที่กำหนดสำหรับการใช้งานซึ่งได้แก่ อัตราการไหลเข้าของของไหลที่จะเข้าไปยังหน่วยแยก แรงดัน อุณหภูมิ แต่ข้อมูลในการใช้งานปกติ คือ ข้อมูลที่ใช้งานในปัจจุบันซึ่งจะใช้งานได้โดยที่ค่าต่างๆ ต้องไม่เกินข้อกำหนดที่ได้ออกแบบไว้

ข้อมูลการออกแบบ

อัตราการไหลเข้า :	ก๊าซ	343	MMSCFD
	คอนเดินเสท	6,860	BOPD
	น้ำ	13,720	BWPD

แรงดัน : 31 BARG อุณหภูมิ : 92°C

หมายเหตุ MMSCFD = million standard cubic feet per day

BOPD = barrel oil per day

BWPD = barrel water per day

BARG = bar gauge

ข้อมูลการใช้งานปกติ

อัตราการไหล :	ก๊าซ	156-312	MMSCFD
	คอนเด็นเสท	3,120 - 6,240	BOPD
	น้ำ	6,240 - 12,480	BWPD
แรงดัน :	22.5-28.2	BARG	
อุณหภูมิ :	26°C- 64°C		

ตาราง 3.1 การตั้งค่าของอุปกรณ์และการแสดงผล

หมายเลขอุปกรณ์ INSTRUMENT TAG	หน้าที่ SERVICE	ย่านการทำงานและตั้งค่า OPERATING RANGE/SETTING
PSE-3111 A/B	rupture disk (fire)	31 Barg
PSV-3111 A/B	relief valves (fire)	31 Barg
PV-3113	gas outlet pressure	18-27 Barg

3.1.3 การแจ้งเตือน (alarm) และการปิดวาล์ว (shutdown)

ในการแจ้งเตือนจะมีการใช้สัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

- PALL-3110 - มีการปิดวาล์วและแจ้งเตือนเมื่อแรงดันทางเข้าต่ำลงถึง 10 Barg
- PAL - 3110 - มีการแจ้งเตือน เมื่อแรงดันต่ำลงไปถึง 18 Barg
- PAHH-3110 - มีการปิดวาล์วและแจ้งเตือน เมื่อแรงดันทางเข้าสูงถึง 29.3 Barg
- PAH-3110 - มีการแจ้งเตือน เมื่อแรงดันเพิ่มสูงไปถึง 27 Barg
- LAHH-3115 - มีการปิดวาล์วและแจ้งเตือนเมื่อระดับของเหลวในถังสูงถึง 1140 มม.
- LAH - 3115 - มีการแจ้งเตือน เมื่อระดับของเหลวเพิ่มสูงไปถึง 1090 มม.
- LAL - 3115 - มีการแจ้งเตือน เมื่อระดับของเหลวลดลงไปถึง 590 มม.
- LALL-3115 - มีการปิดวาล์วและแจ้งเตือนเมื่อระดับของเหลวในถังต่ำลงถึง 540 มม.
- ILAH-3110 - มีการแจ้งเตือน เมื่อระดับตำแหน่งระดับหน้าเพิ่มสูงไปถึง 470 มม.
- ILAL- 3110 - มีการแจ้งเตือนเมื่อระดับตำแหน่งระดับหน้าลดลงไปถึง 300 มม.
- ILALL-3110 - มีการปิดวาล์วและแจ้งเตือนเมื่อระดับตำแหน่งระดับหน้าในถังต่ำลงถึง 200 มม.
- ESD-0 - การปิดวาล์วฉุกเฉิน (emergency shutdown)ระดับ 0 วาล์ว BDV-3112 จะเปิดออกเพื่อระบายก๊าซในหน่วยแยกที่ 1 ออกไปยังแฟลร์ต่อไป

3.1.4 การแยกของเหลวและก๊าซในหน่วยแยกที่ 1

ในการออกแบบโปรแกรมจำลองกระบวนการผลิตก๊าซจำเป็นที่จะต้องทราบองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติเพื่อที่จะทำให้ทราบสัดส่วนของก๊าซและของเหลวที่จะแยกในหน่วยแยกที่ 1 ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้นี้ได้นำมาจากข้อมูลใช้งานที่แหล่งก๊าซบงกช และใช้วิธีการคำนวณจุดเฟสเพื่อหาสัดส่วนการแยกตัวของก๊าซและคอนเดนเสทที่ย่านแรงดันและอุณหภูมิใช้งาน หลังจากที่ได้สัดส่วนดังกล่าวแล้วก็ไปกำหนดอัตราการไหลเข้าโดยเลือกค่าจากข้อมูลที่ใช้งานปกติ นำผลของสัดส่วนการแยกตัวจากกรณีการปรับอุณหภูมิและแรงดันไปที่ค่าต่างๆมาประกอบเพื่อหาอัตราการไหลเข้าของของไหลที่ไหลเข้าหน่วยแยกที่ 1 สำหรับองค์ประกอบก๊าซธรรมชาติ กำหนดไว้ดังแสดงในตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ส่วนประกอบก๊าซธรรมชาติหน่วยแยกที่ 1

Composition	Value	Unit
H ₂ O	0.000	%mole
CO ₂	21.20	%mole
N ₂	0.760	%mole
CH ₄	59.78	%mole
C ₂ H ₆	8.170	%mole
C ₃ H ₈	5.050	%mole
iC ₄ H ₁₀	1.150	%mole
nC ₄ H ₁₀	1.210	%mole
iC ₅ H ₁₂	0.430	%mole
nC ₅ H ₁₂	0.320	%mole
nC ₆ H ₁₄	1.400	%mole
nC ₇ H ₁₆	0.530	%mole
	100.00	

โดยใช้วิธีการคำนวณจุดเฟสแบบ 2 เฟสเพื่อหาสัดส่วนของก๊าซและของเหลว มีลำดับขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เลือกย่านแรงดันใช้งานในช่วง 21-27.25 Barg หรือ 320 -410 Psia
2. เลือกย่านอุณหภูมิใช้งานในช่วง 21.1-48.8 °C หรือ 70-120 °F
3. หาค่า K ที่แรงดันและอุณหภูมิที่กำหนด (ตารางในภาคผนวก ข)

4. สมมุติค่า L ซึ่งก็คือส่วนที่เป็นของเหลว

5. หาก $\sum x_i$ และ $\sum y_i \approx 1$ แสดงว่าสิ้นสุดการคำนวณ หากยังไม่ได้ให้สมมุติค่า L ขึ้น

ตัวอย่าง เช่น เมื่อเลือกค่าแรงดัน 320 Psia และอุณหภูมิเท่ากับ 70 °F ดำเนินการใน

ขั้นตอนที่ 1-5 ได้ผลดังนี้

อัตราส่วนของของเหลวและก๊าซของก๊าซธรรมชาติ ในหน่วยแยกที่ 1

ที่แรงดัน = 320 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Z_i	K_i	X_i	Y_i
CO ₂	0.2120	3.8000	0.057	0.217
N ₂	0.0076	25.0000	0.000	0.008
C ₁	0.5978	7.6000	0.081	0.613
C ₂	0.0817	1.5600	0.053	0.083
C ₃	0.0505	0.4500	0.108	0.049
iC ₄	0.0115	0.1920	0.053	0.010
nC ₄	0.0121	0.1320	0.077	0.010
iC ₅	0.0043	0.0570	0.051	0.003
nC ₅	0.0032	0.0440	0.044	0.002
nC ₆	0.0140	0.0150	0.319	0.005
nC ₇	0.0053	0.0047	0.157	0.001
Σ	1.0000		1.000	1.0001

จะพบว่าที่ $\sum x_i$ และ $\sum y_i \approx 1$

ได้ค่า L สมมุติ หรือส่วนที่เป็นของเหลว = 0.0293 หรือ 2.93 %

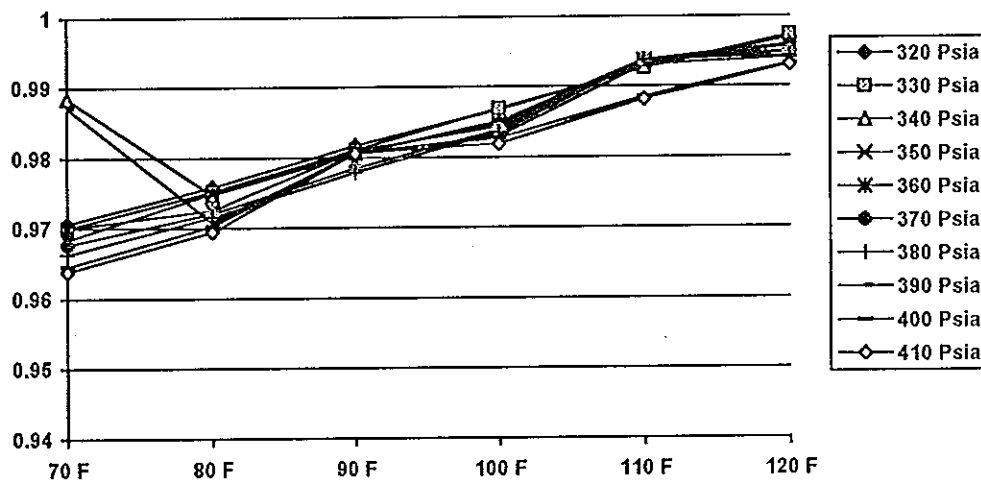
แต่ $V = 1 - L = 1 - 0.0293 = 0.9707$

ดังนั้นค่า V หรือส่วนที่ก๊าซ = 0.9707 หรือ 97.07 %

ข้อมูลรายละเอียดการหาค่า L และ V ที่ย่านแรงดันและอุณหภูมิใช้งาน แสดงดังในภาคผนวก ง. และได้นำมาสรุปเฉพาะส่วนที่เป็นก๊าซไว้ในตาราง 3.3 และนำไปเขียนกราฟดังแสดงในภาพประกอบ 3.2

ตาราง 3.3 สัดส่วนของการแยกเป็นก๊าซที่ย่านแรงดันและอุณหภูมิใช้งาน

แรงดัน Psia	อุณหภูมิ					
	70°F	80°F	90°F	100°F	110°F	120°F
320	0.97070	0.97590	0.98173	0.9868	0.99259	0.99700
330	0.97004	0.97527	0.98108	0.98693	0.99259	0.99738
340	0.98852	0.97475	0.98061	0.98514	0.99377	0.99600
350	0.96842	0.97500	0.98061	0.98485	0.99322	0.99572
360	0.97003	0.97292	0.98104	0.98437	0.99376	0.99503
370	0.96770	0.97216	0.97858	0.98392	0.99376	0.99477
380	0.96627	0.97159	0.97791	0.98360	0.99376	0.99432
390	0.98725	0.97084	0.98060	0.98303	0.99307	0.99405
400	0.96460	0.97028	0.68071	0.98272	0.98854	0.99323
410	0.96387	0.96953	0.98060	0.98192	0.98824	0.99302



ภาพประกอบ 3.2 แสดงสัดส่วนการแยกของก๊าซและของเหลวจากค่าใช้งาน

จากภาพประกอบ 3.2 จะพบว่าหากมีการควบคุมแรงดันและอุณหภูมิในย่านที่กำหนด จะพบสภาวะของการเป็นก๊าซและของเหลวของไฮโดรคาร์บอนตามส่วนผสมดังนี้

1. การปรับอุณหภูมิระหว่าง $70^{\circ}\text{F} - 120^{\circ}\text{F}$ การแยกเป็นของเหลวและก๊าซจะแปรผันตามอุณหภูมิ ในขณะที่การปรับค่าแรงดันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

2. กำหนดจุดที่อุณหภูมิระหว่าง $70^{\circ}\text{F}, 80^{\circ}\text{F}, 90^{\circ}\text{F}, 100^{\circ}\text{F}, 110^{\circ}\text{F}$ และ 120°F โดยเลือกค่าเฉลี่ยจากส่วนที่กลายเป็นก๊าซ กำหนดเป็นค่า $f(x)$ ที่จุดดังกล่าวแล้วหาเส้นโค้งกระชับ (curve fitting) แบบกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อที่จะหาฟังก์ชันสัดส่วนของการกลายเป็นก๊าซ แล้วนำไปคำนวณหาค่าส่วนที่กลายเป็นก๊าซในช่วงออกมา โดยจะมีข้อมูลและวิธีการดังนี้

x :	70	80	90	100	110	120
f(x):	0.965	0.972	0.975	0.983	0.988	0.995

ตาราง 3.4 การหาค่าฟังก์ชันเส้นโค้งกระชับ

r	x_r	f_r	$x_r f_r$	x_r^2	$x_r^2 f_r$	x_r^3	x_r^4
0	70	0.965	67.55	4900	4728.5	343000	24010000
1	80	0.972	77.76	6400	6220.8	512000	40960000
2	90	0.975	87.75	8100	7897.5	729000	65610000
3	100	0.983	98.3	10000	9830	1000000	100000000
4	110	0.988	108.68	12100	11954.8	1331000	146410000
5	120	0.995	119.4	14400	14328	1728000	207360000
Σ	570	5.878	559.44	55900	54959.6	5643000	584350000

ระบบสมการนอร์แมลที่ได้ คือ

$$6 a_0 + 570 a_1 + 55900 a_2 = 5.878$$

$$570 a_0 + 55900 a_1 + 5643000 a_2 = 559.44$$

$$55900 a_0 + 5643000 a_1 + 584350000 a_2 = 54959.6$$

ผลเฉลยของสมการคือ

$$a_0 = 0.93622704 \quad a_1 = 3.171428 * 10^{-4} \quad a_2 = 1.428571 * 10^{-6}$$

ดังนั้น พาราโบลาที่ต้องการคือ

$$F(x) = 0.93622 + 3.171428 * 10^{-4} x + 1.428571 * 10^{-6} x^2 \quad (3.1)$$

ตาราง 3.5 การทดสอบสมการ $F(x)$

r	x_r	f_r	$F(x)$
0	70	0.965	0.96541
1	80	0.972	0.97073
2	90	0.975	0.97633
3	100	0.983	0.98221
4	110	0.988	0.98839
5	120	0.995	0.99484

จากการทดสอบสมการผลเฉลยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้เลือกมาในเบื้องต้น และจะนำผลเฉลย $F(x)$ ไปใช้อธิบายการแยกของเหลวและก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆในย่านที่สนใจ จากค่าใช้งานของหน่วยแยกที่กำหนดว่า

อัตราการไหล : ก๊าซ 156-312 MMSCFD

คอนเดินเสท 3,120 - 6,240 BOPD

ความสัมพันธ์ของก๊าซและของเหลว จะขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิและแรงดันขณะใช้งานที่ 70°F โดยแทนค่า x ด้วย 70 ในสมการ 3.1 จะได้ $F(x) = 0.96541$ หมายความว่า ก๊าซและของเหลวรวมกันจะต้องเท่ากับ 1 แต่ในขณะนี้เป็นก๊าซ = 0.96541 ส่วน ดังนั้นแสดงว่าต้องเป็นของเหลว = $1 - 0.96541 = 0.03459$ ส่วน

โดยนำค่าอัตราการไหลของก๊าซและคอนเดินเสทจากข้อมูลการใช้งานปกติมาพิจารณาร่วมกับ $F(x)$ เพื่อหาอัตราการไหลที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังนี้

ตาราง 3.6 อัตราการไหลของก๊าซและคอนเดินเสทกับสัดส่วนของการแยกตัว

อุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)	V (ส่วนก๊าซ)	อัตราการ ไหลของก๊าซ MMSCFD	$L = 1 - V$ (ส่วนของ เหลว)	อัตราการไหล ของคอนเดิน เสท BOPD	อัตราการไหล ของคอนเดิน เสท L/S
26 (78.8)	0.97009	156.000	0.02991	3120.000	5.741209
30 (86.0)	0.97406	156.638	0.02594	2705.877	4.979169
34 (93.2)	0.97819	157.302	0.02181	2275.065	4.186418
38 (100.4)	0.98222	157.950	0.01778	1854.684	3.412862
42 (107.6)	0.98689	158.701	0.01311	1367.542	2.516458
46 (114.8)	0.99146	159.436	0.00854	891.8324	1.639248
50 (122.0)	0.99618	160.195	0.00382	398.4754	0.733247

นั่นคือ กำหนดไว้ว่า $V = 0.97009$ ส่วน จะมีอัตราการไหล = 156 MMSCFD

$$\begin{aligned} \text{หาก } V = 0.97406 \text{ ส่วน จะมีอัตราการไหล} &= \frac{156 \times 0.97406}{0.97009} \text{ MMSCFD} \\ &= 156.6384 \text{ MMSCFD} \end{aligned}$$

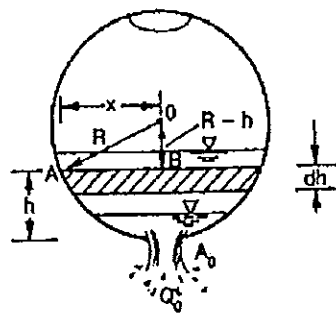
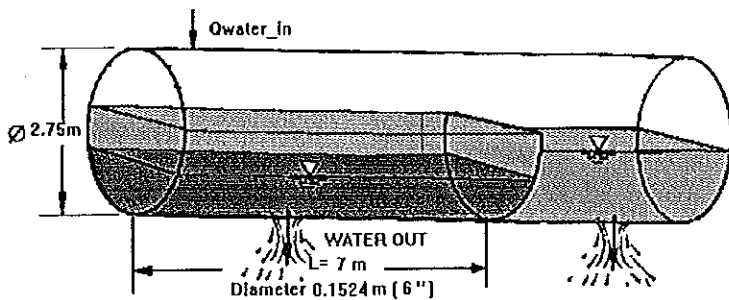
$$\text{ดังนั้นจะได้อัตราการไหลของก๊าซ MMSCFD} = \frac{156 \times V}{0.97009} \quad (3.2)$$

และในทำนองเดียวกันจะได้ว่าอัตราการไหลของคอนเดนเสทจะเป็นดังสมการ (3.3)

$$\text{BOPD} = \frac{3120 \times L}{0.02991} \quad (3.3)$$

3.2 สมการการไหลของของไหลในหน่วยแยกที่ 1

3.2.1 สมการการไหลของน้ำ



ภาพประกอบ 3.3 ไดอะแกรมประกอบสมการการไหลของน้ำ

ในการพิจารณาอัตราการไหลเข้า เนื่องจากในที่นี้จะเป็นการพิจารณาแยกจากส่วนของที่เป็นไฮโดรคาร์บอน นั้นคือจะกำหนดให้อัตราการไหลเข้าจะอยู่ระหว่าง 3,120-6,240 BWPD แต่ในการเลือกจะเลือกที่ค่าคงที่ค่าหนึ่งไว้ เช่น 3,120 BWPD

สมการการไหลเข้าและไหลออกจากถังของของไหล

$$Q_{in} - Q_o = A_s \frac{dh}{dt} \quad (3.4)$$

Q_{in} = มีค่าระหว่าง 3,120-6,240 BWPD

หรือ 5.741-11.48 L/s (1 bbl/day = 1.840131×10^{-3} L/s)

หรือ 0.005741-0.01148 cms (10^3 L/s = 1 cms)

จากนั้นจะได้ว่า

$$dh = \frac{(Q_{in} - Q_o) dt}{A_s} \quad (m) \quad (3.5)$$

เมื่อ

dh = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลา dt

dt = ช่วงการเปลี่ยนแปลงของเวลา (s)

ปกติกำหนด = 1 s

ในขณะที่

$$A_s = L [2 \sqrt{2R h_w - h_w^2}] \quad (3.6)$$

เมื่อ A_s = พื้นที่ผิวหน้าของน้ำ (m^2)

L = ความยาวของถังช่วงที่เก็บน้ำ = 7 m

R = เส้นรัศมีของถัง = 1.375 m

h_w = ความสูงของน้ำใดๆที่พิจารณา (m)

และ

$$Q_o = C_d A_o \sqrt{2g \left[\frac{\Delta P}{\gamma_w} + h_w \right]} \quad (3.7)$$

เมื่อ Q_o = อัตราการไหลออกของน้ำ (L/s)

C_d = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของรูระบาย

ในที่นี้เลือก = 0.8

A_o = พื้นที่หน้าตัดรูระบาย = πr^2 (m^2)

โดยที่ r เท่ากับรัศมีของรูระบาย (m)

หรือ = $\pi d^2 / 4$ เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลาง

$$g = \text{อัตราเร่งที่ผิวโลก} = 9.806 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta P = \text{แรงดันที่อยู่ใต้ง-แรงดันทางออกของถัง} \quad (\text{kPa})$$

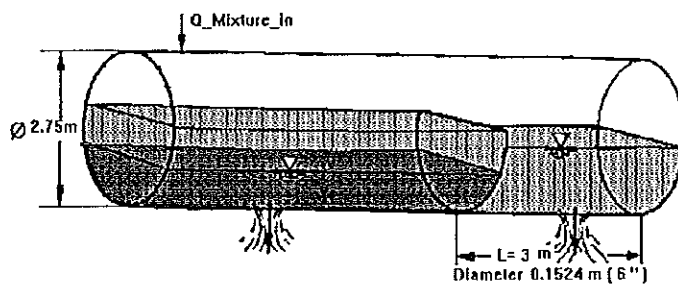
โดยด้านทางออกของถังจะคงมีแรงดันอยู่ 1101 kPa

$$\gamma_w = \text{น้ำหนักจำเพาะของน้ำ เล็กที่อุณหภูมิ } 4^\circ\text{C}$$

มีค่าเท่ากับ $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$

$$h_w = \text{ความสูงของน้ำที่กำลังพิจารณา} \quad (\text{m})$$

3.2.2 สมการการไหลของคอนกรีตเสท



ภาพประกอบ 3.4 ไดอะแกรมประกอบสมการการไหลของคอนกรีตเสท

สมการที่ใช้จะเหมือนกับการไหลของน้ำ แต่อัตราการไหลของคอนกรีตเสทจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งานซึ่งจะเป็นไปดังใน สมการ (3.1) $F(x)$ ในหัวข้อ 3.1.4

สมการการไหลเข้าและไหลออกจากถังของของไหล

$$Q_{in} - Q_o = A_s \frac{dh}{dt} \quad (3.8)$$

$$Q_{in} = \text{มีค่าระหว่าง } 3,120 - 6,240 \text{ BOPD}$$

$$\text{หรือ } 5.741 - 11.48 \text{ L/s} \quad (1 \text{ bbl/day} = 1.840131 \times 10^{-3} \text{ L/s})$$

$$\text{หรือ } 0.005741 - 0.01148 \text{ cms} \quad (10^3 \text{ L/s} = 1 \text{ cms})$$

จากนั้นจะได้ว่า

$$dh = \frac{(Q_{in} - Q_o)}{A_s} dt \quad (\text{m}) \quad (3.9)$$

เมื่อ

dh = ความสูงที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลา dt (m)

dt = ช่วงการเปลี่ยนแปลงของเวลา (s) ปกติกำหนด = 1 s

ในขณะที่

$$A_s = L [2 \sqrt{2R h_c - h_c^2}] \quad (3.10)$$

เมื่อ A_s = พื้นที่ผิวหน้าของคอนเดินเสท (m²)

L = ความยาวของถังช่วงที่เก็บคอนเดินเสท = 3 m

R = เส้นรัศมีของถัง = 1.375 m

h_c = ความสูงของคอนเดินเสทใดๆที่พิจารณา (m)

และ

$$Q_o = C_d A_o \sqrt{2g \left[\frac{\Delta P}{\gamma_c} + h_c \right]} \quad (3.11)$$

เมื่อ

Q_o = อัตราการไหลออกของคอนเดินเสท (L/s หรือ cms)

C_d = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของรูระบาย ในที่นี้เลือก = 0.8

A_o = พื้นที่หน้าตัดรูระบาย = πr^2 (m²)

โดยที่ r เท่ากับรัศมีของรูระบาย (m)

หรือ = $\pi d^2 / 4$ เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลาง

g = อัตราโน้มถ่วงที่ผิวโลก = 9.806 m/s²

ΔP = แรงดันที่อยู่ในถัง-แรงดันทางออกของถัง (kPa)

โดยด้านทางออกของถังจะคงมีแรงดันอยู่ 1101 kPa

γ_c = น้ำหนักจำเพาะของคอนเดินเสท

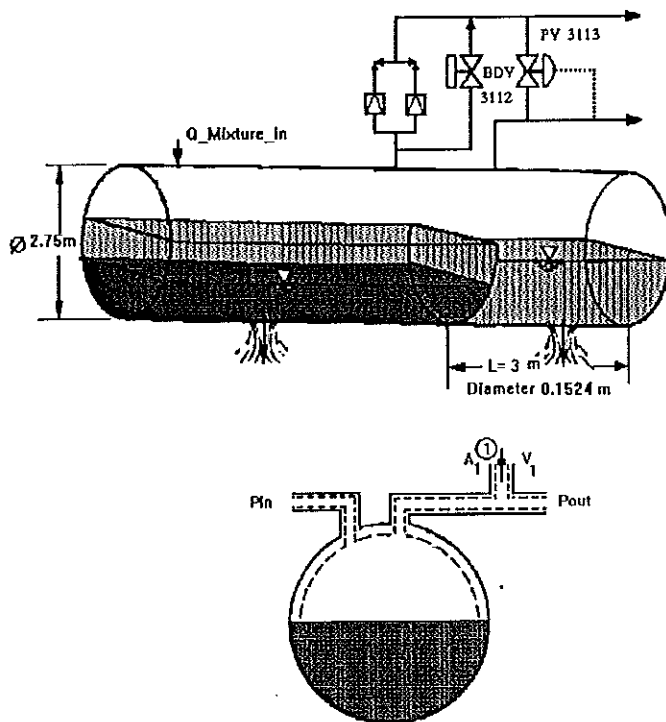
แต่ในที่นี้ใช้ค่าน้ำหนักจำเพาะเฉลี่ยของส่วนประกอบที่

กำหนดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.572×10^3 N/m³

(ภาคผนวก จ.) เป็นค่าในการคำนวณ

h_c = ความสูงของคอนเดินเสทที่กำลังพิจารณา (m)

3.2.3 สมการการเปลี่ยนแปลงแรงดันภายในถัง



ภาพประกอบ 3.5 ไดอะแกรมประกอบสมการการควบคุมแรงดันในหน่วยแยกที่ 1

ด้านทางออกของถังจะเป็นท่อขนาด 24 นิ้วที่จะส่งก๊าซที่ได้ออกไปยังหน่วยถัดไปแต่ในขณะเดียวกันที่ท่อทางออกนี้จะมีวาล์วควบคุม PV-3113 ต่อร่วมด้วยเพื่อทำหน้าที่ควบคุมแรงดันที่อยู่ภายในถังให้มีค่าคงที่ โดยการระบายออกเมื่อแรงดันเกิน และปิดเมื่อแรงดันต่ำกว่าที่กำหนด

จากภาพประกอบ 3.5 P_{in} และ P_{out} จะมีค่าเท่ากัน

โดยที่ P_{in} = แรงดันที่มีอยู่ในถัง

P_{out} = แรงดันที่จ่ายออกไปยังหน่วยถัดไป

ในขณะที่ตั้งตำแหน่งที่ ① จะเป็นตำแหน่งที่มีการระบายก๊าซออกไป โดยวาล์ว PV-3113 จะทำหน้าที่เปิดหรือปิดวาล์ว ซึ่งในขณะที่มีการเปิดวาล์วออกก็จะทำให้มีพื้นที่หน้าตัด A_1 และความเร็วก๊าซที่ถูกระบายออกมีความเร็ว V_1

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\rho_1 V_1 A_1}{v} \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของก๊าซภายในถังที่เวลา } t = 0$$

ρ_1 = ความหนาแน่นของก๊าซขณะนั้น (kg/m^3)

V_1 = ความเร็วของก๊าซที่ถูกปล่อยออกมา (m/s)

ในที่นี้จะพิจารณาหาความเร็วของก๊าซจากสมการ

$$V_1 = \sqrt{KRT} \quad (\text{m/s})$$

ซึ่งจะใช้อธิบายการไหลของก๊าซในสภาวะ choked โดยที่ $K = 1.4$

R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 287 N.m/Kg.K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ในขณะนั้น ($^{\circ}\text{K}$)

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของรูระบาย = πr^2 (m^2)

โดยที่ r เท่ากับรัศมีของรูระบาย (m)

หรือ = $\pi d^2 / 4$ เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลาง

v = ปริมาตรของถังในที่นี้โดยประมาณจะมีของเหลวที่อยู่ในถังเท่ากับ

$1/2$ ถัง ดังนั้นในการคำนวณจะใช้ค่าปริมาตรของถังเท่ากับ $1/2$ ของ

ถังซึ่งเท่ากับ 30 ลูกบาศก์เมตร

จากสมการ (3.12) จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของก๊าซภายในถังที่เวลา $t = 0$ ซึ่งมีหน่วยเป็น (kg/m^3)/s หลังจากผ่านเวลา $t = 0$ ไปแล้วต้องมาพิจารณาความหนาแน่นใหม่ที่ยังคงค้างอยู่ในถังก่อนคือ

ความหนาแน่นใหม่ = ความหนาแน่นก่อนหน้า - อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นที่ $t=0$

$$(3.13)$$

ความหนาแน่นใหม่ที่ได้นี้ จะนำไปหาค่าแรงดันที่ยังคงมีอยู่จากสมการโดยการแทนค่า

ρ ด้วยความหนาแน่นใหม่ที่คำนวณได้จากสมการ (3.13)

$$P = \frac{\rho Z R T}{M.W} \quad (3.14)$$

เมื่อ P = แรงดันสัมบูรณ์ (Pascal)

ρ = ความหนาแน่นของก๊าซ (Kg/m^3)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 287 N.m/Kg.K

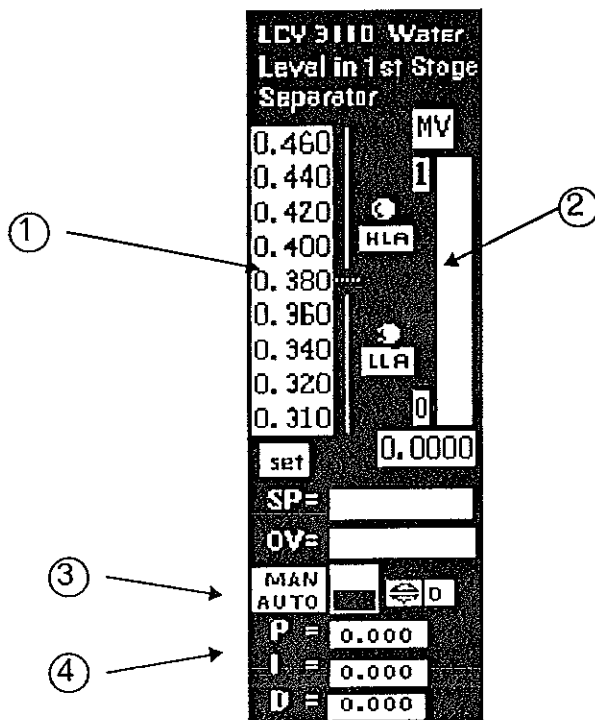
T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ในขณะนั้น ($^{\circ}\text{K}$)

Z = compressibility factor = 0.91

$M.W$ = molecular weight = 27

หมายเหตุ ค่า Z และ $M.W$ แสดงในภาคผนวก จ.

3.3 สมการการควบคุมกระบวนการหน่วยแยกที่ 1



ภาพประกอบ 3.6 ตัวควบคุมที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม

ส่วนประกอบของตัวควบคุม ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6 ได้แก่

1. ส่วนปรับค่าจุดปรับตั้ง
2. ส่วนแสดงผลค่าที่วัดได้
3. ส่วนปรับการควบคุมเป็นแบบควบคุมด้วยมือ และควบคุมอัตโนมัติ
4. ส่วนการปรับตั้งค่าของการควบคุมแบบพี พีไอ พีไอดี

โดยจะมีสมการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมดังนี้

3.3.1 ค่าผิดพลาด

จากที่ได้กล่าวมาก่อนแล้วว่า ในการควบคุมจะต้องมีการวัดค่าผิดพลาดก่อนที่จะดำเนินการในการควบคุมโดยตัวควบคุม ซึ่งสมการของค่าผิดพลาดเป็นดังสมการ (3.15)

$$e_p = \frac{r-b}{b_{\max}-b_{\min}} \times 100 \quad (3.15)$$

เมื่อ

- r = ค่าจุดปรับตั้ง
- b = ค่าที่วัดได้
- e_p = ค่าผิดพลาดใน % ของย่าน
- b_{max} = ค่าที่วัดได้สูงสุด
- b_{min} = ค่าที่วัดได้ต่ำสุด

สำหรับการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์จะเป็นการหาค่าผิดพลาดในแบบที่เป็นส่วนของย่านวัด (Johnson ,1993) ดังนี้

$$DE = \frac{DSP-DV}{D_{MAX}-D_{MIN}} \quad (3.16)$$

- DV = ค่าที่วัดได้
- DSP = ค่าจุดปรับตั้ง
- D_{MAX} = ค่าสูงสุดของย่านวัด
- D_{MIN} = ค่าต่ำสุดของย่านวัด

3.3.2 การควบคุมแบบสัดส่วน

ในการควบคุมแบบสัดส่วน ค่าสัญญาณทางออกของตัวควบคุมจะได้ดังสมการ (3.17)

$$p = K_p e_p + p_o \quad (3.17)$$

เมื่อ K_p = อัตราขยายสัดส่วน (%/%)

p_o = สัญญาณทางออกตัวควบคุมขณะไม่มีค่าผิดพลาด (%)

เนื่องจากในการใช้สมการของค่าผิดพลาดจะเป็นดังในสมการ (3.17) ซึ่งเป็นการอธิบายค่าผิดพลาดในแบบเศษส่วนของย่านวัด ดังนั้นสมการของการควบคุมแบบสัดส่วนที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Johnson ,1993) จะเป็นดังนี้

$$P = PO + KP*DE \quad (3.18)$$

$$POUT = P*ROUT$$

- โดยที่ PO = สัญญาณทางออกขณะไม่มีค่าผิดพลาด
- KP = อัตราขยายสัดส่วน
- P = สัญญาณทางออกของตัวควบคุมแบบสัดส่วน
- ROUT = ค่าสัญญาณทางออกสูงสุด
- POUT = สัญญาณทางออกใช้งาน

3.3.3 การควบคุมแบบรีเซต

ในการควบคุมแบบรีเซตค่าสัญญาณทางออกของตัวควบคุมจะได้ดังสมการ (3.19)

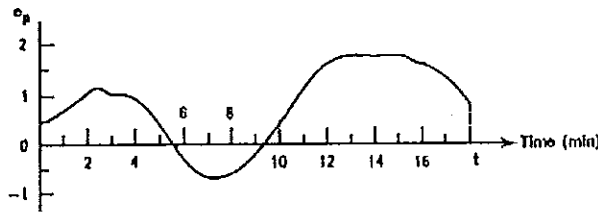
$$p(t) = K_r \int_0^t e_p(t) dt + p(0) \quad (3.19)$$

$p(0)$ = สัญญาณทางออกเมื่อเวลาเริ่มต้น $t = 0$

K_r = อัตราขยายรีเซต %/(%-min)

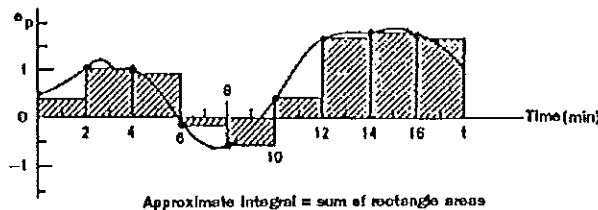
ในการใช้งานแบบนี้ด้วยคอมพิวเตอร์จำเป็นที่จะต้องมีการหาค่าอินทิกรัลของค่าผิดพลาด ซึ่งจะเป็นการประมาณการ สำหรับวิธีที่ใช้คือแบบสี่เหลี่ยม(rectangular)ซึ่งจะให้ความถูกต้องเพียงพอในการควบคุมกระบวนการ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.7 จะเป็นการหาค่าของพื้นที่ทั้งหมดของ e_p จากเวลา 0 ถึง t ในแบบแมนตรง

$$\int_0^t e_p dt = \text{net area} = (\text{area of } e_p > 0) - (\text{area of } e_p < 0) \quad (3.20)$$



$$\text{Exact Integral} = \int_0^t e_p dt = \text{net area} = (\text{area above}) - (\text{area below})$$

ภาพประกอบ 3.7 การหาค่าอินทิกรัลแบบแมนตรง (Johnson ,1993)



ภาพประกอบ 3.8 การหาค่าอินทิกรัลแบบประมาณการสี่เหลี่ยม (Johnson ,1993)

สำหรับในการหาค่าอินทิกรัลแบบประมาณการสี่เหลี่ยมจะใช้คาบในการสุ่ม (periodic - sample) ของ e_p สร้างลำดับของสี่เหลี่ยมที่มีความสูงเท่ากับค่าผิดพลาดที่สุ่มมา (sample error) และมีระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาระหว่างการสุ่ม การอินทิกรัลที่ได้จะประมาณเท่ากับผลรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมทั้งหมด แสดงดังในภาพประกอบ 3.8 และแสดงได้ดังสมการ (3.21)

$$\int_0^t e_p dt \approx [S + e_{p1}] \Delta t \quad (3.21)$$

โดยที่ Δt = เวลาในการสุ่ม (time between samples)

$S = e_{p1} + e_{p2} + \dots$ = ค่าของผลรวมค่าผิดพลาดจากการสุ่มครั้งก่อน

e_{p1} = ค่าผิดพลาดสุดท้ายที่เวลา t ในการอินทิกรัล

ในการกำหนดเวลาของการสุ่ม หากกำหนดให้มีระยะใกล้กันมากขึ้นก็จะทำให้ได้ค่าเข้าใกล้ค่าที่แท้จริงมากขึ้น

สำหรับในการพัฒนาโดยคอมพิวเตอร์ (Johnson , 1993) จะเป็นดังนี้

$$SUM = SUM + DE \quad (3.22)$$

$$PI = KI * DT * SUM \quad (3.23)$$

$$POUT = PI * ROUT \quad (3.24)$$

เมื่อ

SUM = ค่าสะสมของค่าผิดพลาด

KI = อัตราขยายรีเซต

DT = เวลาระหว่างการสุ่ม

PI = สัญญาณทางออกของตัวควบคุมแบบรีเซต

3.3.4 การควบคุมแบบอัตรา

จะมีสมการของสัญญาณทางออกของตัวควบคุมดังในสมการ (3.25)

$$p = K_D \frac{de_p}{dt} \quad (3.25)$$

เมื่อ K_D = อัตราขยายการควบคุมแบบอัตรา (%-s/%)

$\frac{de_p}{dt}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (%/s)

สำหรับการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ จะเป็นการคำนวณโดยการประมาณค่าอนุพันธ์ (approximate derivative) ของค่าผิดพลาดจากข้อมูลสุ่ม (data samples) ซึ่งทำได้โดยการหาอัตราของการเปลี่ยนแปลงในช่วงคาบการสุ่ม (sample period) Δt ดังนี้

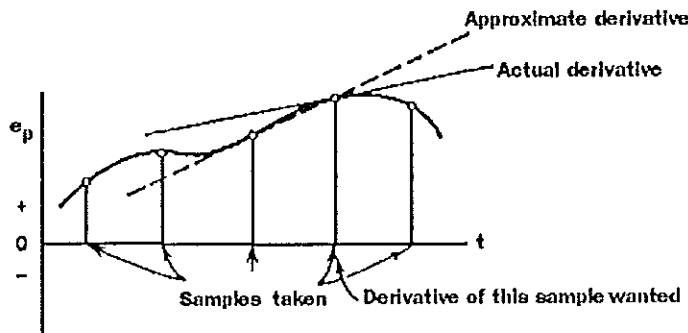
$$\frac{de_p}{dt} \approx \frac{e_{p_i} - e_{p_{i-1}}}{\Delta t} \quad (3.26)$$

โดยที่

e_{p_i} = ค่าผิดพลาดที่สุ่มปัจจุบัน

$e_{p_{i-1}}$ = ค่าผิดพลาดที่สุ่มก่อนหน้านี

Δt = เวลาในการสุ่ม



ภาพประกอบ 3.9 ผลของค่าอนุพันธ์ประมาณการกับอนุพันธ์ค่าจริง (Johnson ,1993)

ผลของค่าอนุพันธ์ประมาณการกับอนุพันธ์ค่าจริงดังแสดงในภาพประกอบ 3.9 ซึ่งมีข้อสังเกตว่าหากลดระยะเวลาการสุ่มลงค่าที่ได้จะถูกตัดองมากขึ้น สมการที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ (Johnson ,1993) เป็นดังนี้

$$DDE = DE - DEO \quad (3.27)$$

$$DEO = DE \quad (3.28)$$

$$PD = KD * DDE / DT \quad (3.29)$$

$$POUT = PD * ROU \quad (3.30)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} DE &= \text{ค่าผิดพลาดที่สุ่มในปัจจุบัน} \\ DEO &= \text{ค่าผิดพลาดที่สุ่มก่อนหน้า} \\ KD &= \text{อัตราขยายแบบอัตรา} \\ PD &= \text{สัญญาณทางออกตัวควบคุมแบบอัตรา} \end{aligned}$$

แต่ในการใช้งานไม่สามารถใช้งานการควบคุมแบบอัตราเพียงอย่างเดียวได้ จำเป็นต้อง
ใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น เช่น การควบคุมแบบพีดี พีไอดี

3.3.5 การควบคุมแบบพีไอดี

สมการของค่าสัญญาณทางออกของตัวควบคุมแสดงในสมการ (3.31)

$$p = K_p e_p + K_p K_i \int_0^t e_p dt + K_p K_D \frac{de_p}{dt} + p_i(0) \quad (3.31)$$

เป็นการควบคุมที่เหมาะสมและนิยมใช้มากที่สุด สำหรับในการใช้งานกับคอมพิวเตอร์
จะเป็นการรวมสมการที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเข้าด้วยกัน (Johnson ,1993) ดังนี้

$$DDE = DE - DEO \quad (3.32)$$

$$DEO = DE \quad (3.33)$$

$$SUM = SUM + DE \quad (3.34)$$

$$PI = KP * KI * DT * SUM \quad (3.35)$$

$$PD = KP * KD * DDE / DT \quad (3.36)$$

$$P = KP * DE + PI + PD \quad (3.37)$$

$$POUT = P * ROUT \quad (3.38)$$

หมายเหตุ ในกรณีที่ส่วนควบคุมซึ่งปกติเป็นวาล์วควบคุมนั้นทำงานในแบบกลับข้าง
(reverse action) จากสมการ (3.38) จะนำมาเขียนใหม่ได้ดังสมการ (3.39)

$$POUT = ROUT - (P * ROUT) \quad (3.39)$$

บทที่ 4

การพัฒนาและการทำงานของโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ

ในการพัฒนาโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ ได้เลือกหน่วยแยกที่ 1 มาเป็นส่วนที่จะจัดทำโปรแกรม ซึ่งหน้าที่ของหน่วยแยกที่ 1 คือการรับของไหลผสมมาจากแท่นเจาะโดยมีการควบคุมแรงดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหลมาก่อนหน้านั้นระดับหนึ่งแล้ว หลังจากนั้นที่หน่วยแยกที่ 1 ก็จะมีการแยกน้ำ คอนเด็นเสท และก๊าซออกจากกันเพื่อส่งไปยังหน่วยอื่นถัดไป ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมจึงเริ่มที่การวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง แล้วจัดหาสมการต่างๆที่จะนำมาใช้งาน ทดสอบการทำงานของแต่ละสมการ ก่อนที่จะนำมาประกอบรวมกันเป็นโปรแกรมทั้งหมด

การดำเนินการดังกล่าวจึงแยกสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเป็นฟังก์ชันย่อยๆแล้วส่งค่าตัวแปรในกระบวนการเข้าไปคำนวณในสมการ หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้มาแสดงผลที่หน้าจอ นอกจากนี้เพื่อที่จะให้มีการขอข้อมูลย้อนหลังในการทำงาน จึงต้องมีฟังก์ชันของการเก็บข้อมูลขณะที่ทำงานอยู่ไว้ในฮาร์ดดิสก์ เพื่อที่จะได้ย้อนมาดูผลการทำงานต่างๆก่อนหน้านี้ได้

4.1 ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ เนื่องจากในการจำลองสถานการณ์ในการทำงานของหน่วยแยกที่ 1 สมการที่ใช้อธิบายการทำงานของกระบวนการจะเป็นฟังก์ชันของเวลา นอกจากนี้ยังต้องมีการแสดงผลมาที่หน้าจอ ตลอดจนให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานได้ใกล้เคียงกับการทำงานจริง ซอร์ฟแวร์ที่เลือกใช้ในการพัฒนาโปรแกรมจะต้องรองรับการทำงานในลักษณะดังกล่าวได้

ซึ่งผู้วิจัยได้มีการใช้ซอร์ฟแวร์ที่ชื่อว่า Lab Windows Version 2.3 ของบริษัท National Instrument Corporation มาพัฒนาโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ บนเครื่องคอมพิวเตอร์ CPU 80486 DX2-66 RAM 8 Mb HDD 519 Mb MONITOR 14" SVGA DOS 6.22 (คุณลักษณะและรายละเอียดการใช้งานเบื้องต้นของซอร์ฟแวร์ Lab Windows แสดงไว้ในภาคผนวก ข.) พบว่าเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาในรูปแบบดังกล่าวนี้มาก โดยรูปแบบของโปรแกรมจะเป็นลักษณะที่มีชุดฟังก์ชันและแบบโต้ตอบ หลังจากนั้นผู้วิจัยจะต้องเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถเลือกว่าจะเขียนในรูปแบบภาษา C หรือภาษา BASIC สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลของตนเองและหากประสงค์ที่จะใช้ชุดฟังก์ชันและแบบโต้ตอบที่มีอยู่ในแบบใดก็ตามที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ ก็สามารถเรียกใช้เพื่อนำข้อมูลไปประมวลผลหรือแสดงผลได้

ในเบื้องต้นขณะที่มีการพัฒนาโปรแกรมอยู่นั้นจำเป็นที่จะต้อง RUN บนโปรแกรม Lab Windows ไปก่อน หากโปรแกรมที่ได้เห็นว่ามีคุณสมบัติแล้วประสงค์ที่จะใช้ในแบบที่มีส่วนขยายเพิ่มข้อมูลเป็นชนิด .EXE ก็สามารภที่จะคอมไพล์ (compile) ไปเป็นแฟ้ม .EXE ได้แต่ต้องมีคอมไพเลอร์ (compiler) ตามรูปแบบของภาษาที่ใช้ในการเขียนมาใช้ในการคอมไพล์ สำหรับข้อจำกัดบางประการในการใช้รูปแบบภาษาทั้งในแบบภาษา C หรือ BASIC นั้นคือจะไม่สามารถใช้รูปแบบคำสั่งของภาษา C หรือ BASIC ได้ทั้งหมด

ในการพัฒนาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เขียนในรูปแบบภาษา C ซึ่งจะได้เพิ่มในการพัฒนาชื่อว่า SIMULATO.C แล้ว RUN บนโปรแกรม Lab Windows โดยยังไม่มีคอมไพล์ ไปเป็นแฟ้ม .EXE ซึ่งจะมีแฟ้มข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาครั้งนี้ ได้แก่

- SIMULATO.C** เป็นรหัสต้นฉบับ (source code) ในรูปแบบภาษา C
 - SIMULATO.UIR** เป็นแฟ้มที่เก็บชุดฟังก์ชันและแบบโต้ตอบที่ได้เลือกใช้ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการขอใช้ user interface library
 - SIMULATO.H** เป็น include file ซึ่งเกิดขึ้นเองหลังจากได้แฟ้ม .UIR และ
ไม่อนุญาตให้ผู้แก้ไขเพิ่มเติมใดๆทั้งสิ้นในแฟ้มนี้
- จะต้องมีครบทั้ง 3 แฟ้มนี้จึงจะ RUN ได้ บนโปรแกรม Lab Windows

4.2 การพัฒนาโปรแกรม

ได้มีการวางกรอบของการพัฒนาโปรแกรมไว้ 3 ขั้นตอนคือ

ก. การจัดหาสมการการทำงานของกระบวนการ ซึ่งได้แก่

- สมการการแยกตัวของก๊าซและคอนเด็นเสท
- สมการการไหลเข้า-ไหลออกและระดับของน้ำในถัง
- สมการการไหลเข้า-ไหลออกและระดับของคอนเด็นเสทในถัง
- สมการการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในถัง

ข. การจัดหาสมการการควบคุมของตัวควบคุมกระบวนการ

ซึ่งจะทำการควบคุมระดับน้ำ ระดับคอนเด็นเสท และแรงดันในถัง

ค. การออกแบบกราฟฟิคในแต่ละหน้าจอภาพ และการเลือกใช้ชุดฟังก์ชัน

และแบบโต้ตอบที่เหมาะสม

4.2.1 การจัดหาสมการการทำงานของกระบวนการ

4.2.1.1 สมการการแยกตัวของก๊าซและคอนเดนเสท

โดยใช้วิธีการคำนวณจุดเฟลชจากข้อมูลบางส่วนที่ใช้งานจริงในหน่วยแยกที่ 1 ของแหล่งก๊าซบงกช นำไปเขียนเป็นฟังก์ชันที่ชื่อ `Check_Qin()`; โดยหน้าที่ของฟังก์ชันจะตรวจสอบค่าของอุณหภูมิว่าเป็นเท่าใด แล้วจะให้สัดส่วนของการแยกตัวของก๊าซและคอนเดนเสทออกมาตามค่าอุณหภูมินั้น

4.2.1.2 สมการการไหลเข้า-ไหลออกและระดับของน้ำ และคอนเดนเสทในถัง

สมการที่ใช้อยู่ในฟังก์ชันที่ชื่อ `Level_Process()`; ซึ่งหน้าที่ของฟังก์ชันจะรับค่าต่าง ๆ ของน้ำหรือคอนเดนเสทในเวลาต่าง ๆ โดยผ่านทางฟังก์ชัน `Water_Process()`; หรือ `Condensate_Process()`; เข้าไปเพื่อให้สมการคำนวณหาระดับของน้ำหรือคอนเดนเสทในเวลาปัจจุบัน ซึ่งสมการในการคำนวณหาระดับจะเป็นสมการเดียวกันแต่แตกต่างกันในข้อมูลที่ใช้ เช่น ความยาวของถังช่วงเก็บน้ำเท่ากับ 7 เมตร ในขณะที่ความยาวของถังช่วงที่เก็บคอนเดนเสทจะมีค่าเท่ากับ 3 เมตร หลังจากการคำนวณจะได้ค่าระดับน้ำหรือคอนเดนเสทในปัจจุบันคืนกลับไปยังสมการระบบเพื่อประมวลผลในส่วนอื่นและแสดงค่า

4.2.1.3 สมการการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในถัง

สมการที่ใช้อยู่ในฟังก์ชันที่ชื่อ `Pressure_Process()`; หน้าที่ของฟังก์ชันจะรับค่าตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจากระบบเข้ามาคำนวณว่า หากมีการระบายก๊าซออกโดยการเปิดวาล์วระบายให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ค่าต่าง ๆ แล้วจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของก๊าซภายในถังลดลง ความหนาแน่นของก๊าซที่เหลือในปัจจุบันจะใช้คำนวณกลับไปเป็นแรงดันภายในถังที่คงเหลือในปัจจุบัน หากมีการปิดวาล์วระบายแรงดันภายในถังจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

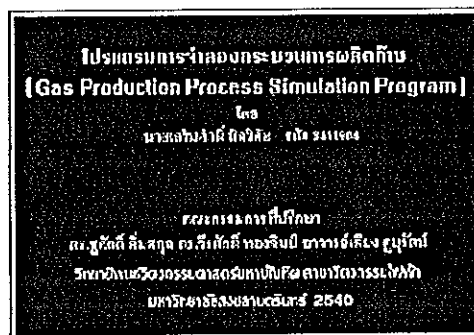
4.2.2 การจัดหาสมการการควบคุมของตัวควบคุมกระบวนการ

ตัวควบคุมกระบวนการที่ใช้มี 3 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำ ระดับคอนเดนเสท และแรงดันภายในถัง สมการการควบคุมที่ใช้อยู่ในฟังก์ชันที่ชื่อ `Main_Controller()`; ซึ่งจะรับค่าระดับน้ำผ่านทางฟังก์ชัน `Water_Controller()`; ค่าระดับคอนเดนเสทผ่านทางฟังก์ชัน `Condensate_Controller()`; และแรงดันผ่านทางฟังก์ชัน `Pressure_Controller()`; หน้าที่ของสมการจะรับค่าตัวแปรกระบวนการที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ แล้วคำนวณเพื่อที่จะส่งสัญญาณออกไปยังทางออกเพื่อไปควบคุมวาล์วตามแบบของการควบคุม ซึ่งอาจจะเป็นการควบคุมแบบพีไอ หรือพีไอดี ผลลัพธ์ที่ได้ของสมการจะเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วที่ใช้ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์ว LV-3110 จะไปควบคุมระดับน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์ว LV-3115 จะไปควบคุมระดับคอนเดนเสท และเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์ว PV-3113 จะไปควบคุมแรงดันในถัง

4.2.3 การออกแบบกราฟฟิคในแต่ละหน้าจอภาพ การเลือกใช้ชุดฟังก์ชัน และแบบโต้ตอบที่เหมาะสม

โปรแกรม Lab Windows ได้เอื้ออำนวยในการที่จะให้ผู้ใช้สามารถที่จะเลือกกราฟฟิคที่ต้องการได้ โดยไปจัดทำรูปภาพมาจากโปรแกรมสร้างกราฟฟิคต่างๆแล้วจัดเก็บเป็นแฟ้ม .PCX หลังจากนั้นก็ import แฟ้ม .PCX เข้ามาในยูสเซอร์อินเตอร์เฟซเอดิเตอร์ (user interface editor) ซึ่งเมื่อได้รูปภาพแล้วต่อไปหากประสงค์ที่จะให้มีการรับข้อมูลเข้าและแสดงผลข้อมูลออกมาก็สามารถที่จะเลือกใช้แบบโต้ตอบจากยูสเซอร์อินเตอร์เฟซเอดิเตอร์ได้ ตัวอย่างของแบบโต้ตอบได้แก่ สวิตช์ปุ่มกดที่หน้าจอ การพล็อตกราฟ การรับข้อความผ่านทางแป้นพิมพ์ ฯลฯ ผลการใช้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซเอดิเตอร์จะได้แฟ้ม .UIR และ .H ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ผู้วิจัยได้จัดทำรูปภาพโดยใช้โปรแกรม Paintbrush โดยมีความละเอียดจอภาพ 640 x 480 จุด ซึ่งจะต้องมีการทดสอบขนาดของภาพที่จะใช้ก่อน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับว่าต้องการรูปภาพอย่างไรและขนาดในการแสดงผลที่หน้าจอเป็นอย่างไร ดังนั้นจำเป็นต้องทดสอบหาขนาดก่อนทุกครั้ง หลังจากที่ได้ขนาดและนำภาพไปไว้ในยูสเซอร์อินเตอร์เฟซเอดิเตอร์แล้ว ต่อไปก็สามารถเลือกใช้แบบโต้ตอบที่เหมาะสมจากที่มีอยู่ได้ ซึ่งในการพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซจะประกอบด้วยกราฟฟิคหน้าจอต่าง ๆ ดังนี้



ภาพประกอบ 4.1 หน้าจอที่ 1

เมื่อทำการ Run โปรแกรม SIMULATO.C บนโปรแกรม Lab Windows หน้าจอแรกจะเป็นดังแสดงในภาพประกอบ 4.1 ด้านบนจะมีเมนูบาร์ให้เลือกดังนี้

SUPERVISION	QUIT
Instructor/Student	

หากเลือกโดยใช้เมาส์คลิกที่เมนูบาร์ย่อย Instructure/Student จะได้หน้าจอที่ 2 ออกมา (ต่อไปนี้การเลือก กระทำโดยการลากเมาส์ไปคลิกตำแหน่งที่ต้องการ) หากเลือก QUIT จะเป็นการเลิกการทำงานของโปรแกรม



ภาพประกอบ 4.2. หน้าจอที่ 2

จากภาพประกอบ 4.2 มีแบบโต้ตอบให้ผู้ใช้ป้อนรหัสผ่าน (password) ให้ป้อน 11 กรณีที่เป็น Instructor และ 22 กรณีที่เป็น Student (ในที่นี้ไม่มีข้อแตกต่างของการใช้งานระหว่างการป้อน 11 และ 22) หลังการป้อนรหัสผ่านแล้วให้เลือก OK ผลที่ได้หากป้อน 11 จะมีข้อความตอบมาว่า " Hello.. Instructor.. " และหากป้อน 22 จะมีข้อความตอบมาว่า " Hello....Student.." นอกจากนี้แล้วจะมีข้อความว่า " Sorry..your password is not correct.."

การป้อนรหัสผ่านที่ถูกต้อง ทั้งในแบบ Instructor หรือ Student จะได้หน้าจอที่ 3 ออกมา

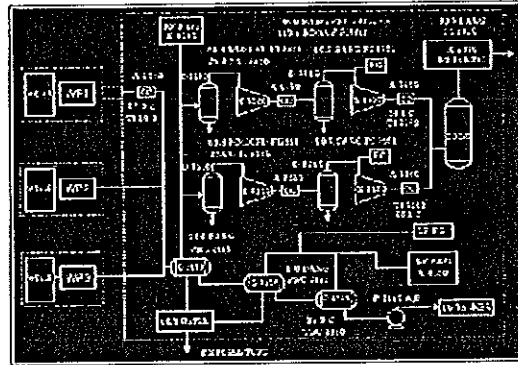
ประเภทงาน	ชื่อตำแหน่ง	ชื่อตำแหน่ง	ชื่อตำแหน่ง	ชื่อตำแหน่ง	ชื่อตำแหน่ง	ชื่อตำแหน่ง
INSTR	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666
STUDENT	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666
WP1	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666
WP2	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666
WP3	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666
EXIT	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666
WP4	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666
WP5	11111111	22222222	33333333	44444444	55555555	66666666

ภาพประกอบ 4.3 หน้าจอที่ 3

จากภาพประกอบ 4.3 ด้านบนของหน้าจอที่ 3 จะมีเมนูบาร์ EXIT1 ให้เลือกในกรณีที่ต้องการเลิกงาน ส่วนที่เหลือสามารถเลือกได้จากตำแหน่งในตาราง ซึ่งในที่นี้จะเลือกได้ 4 ตำแหน่ง ดังนี้

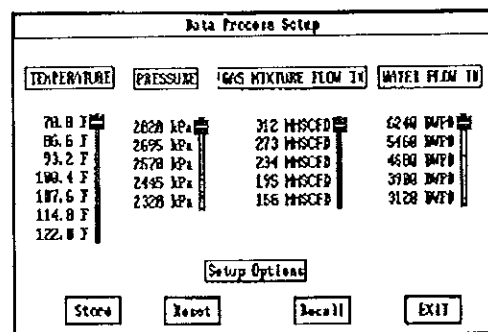
1. เลือกที่ OVERVIEW จะได้หน้าจอกราฟฟิคหน้าจอที่ 4 แสดงภาพรวมของระบบกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ในที่นี้ใช้เป็นภาพอธิบายการทำงานจากระบบทั้งหมดได้ โดยจะเริ่มที่แท่นขุดเจาะ WP1 WP2 และ WP3 จากนั้นของไหลที่ได้มาทั้งหมดจะถูกนำมาแยกที่

หน่วยแยกที่ 1 ส่วนที่เป็นก๊าซก็จะส่งต่อไปยังกระบวนการอัดก๊าซให้มีแรงดันสูงขึ้น จากนั้นจะส่งผ่านไปยังกระบวนการขจัดน้ำและส่งไปขาย สำหรับส่วนที่เป็นน้ำจะนำไปบำบัดก่อนที่จะทิ้งลงทะเล ส่วนคอนเด็นเสทจะต้องไปผ่านหน่วยแยกที่ 2 และหน่วยแยกที่ 3 ก่อนที่จะส่งไปบรรจุยังเรือเก็บต่อไป เลือกสวิทช์ปุ่มกด EXIT จะกลับมาที่หน้าจอที่ 3



ภาพประกอบ 4.4 หน้าจอที่ 4

2. เลือกที่ FOR INSTRUCTOR ONLY จะได้หน้าจอที่ 5 ซึ่งผู้ใช้ที่เข้ามายังหน้านี้ หากประสงค์จะปรับค่าต่างๆของกระบวนการจะสามารถปรับได้



ภาพประกอบ 4.5 หน้าจอที่ 5

โดยปรับที่ Slide Control ซึ่งมีค่าต่างๆ ให้เลือกดังนี้

2.1 อุณหภูมิ เลือกได้เป็น 78.8 °F ,86.6 °F ,93.2°F ,100.4°F ,

107.6°F ,114.8°F และ 122.0°F

2.2 แรงดัน เลือกได้เป็น 2820 kPa ,2695 kPa ,2570 kPa ,2445 kPa

และ 2320 kPa

2.3 อัตราไหลเข้าของก๊าซ เลือกได้เป็น 312 MMSCFD, 273 MMSCFD,
234 MMSCFD, 195 MMSCFD และ 156 MMSCFD

2.4 อัตราไหลเข้าของน้ำ เลือกได้เป็น 6240 BWPD, 5460 BWPD,
4680 BWPD, 3900 BWPD และ 3120 BWPD

หากประสงค์ที่จะเก็บค่าที่เลือกไว้ก่อนให้เลือกปุ่มกด Store จะให้ตั้งชื่อเพิ่มโดยไม่ต้อง
ใส่ส่วนขยาย โปรแกรมจะกำหนดให้เป็นเพิ่มที่มีส่วนขยาย .SET

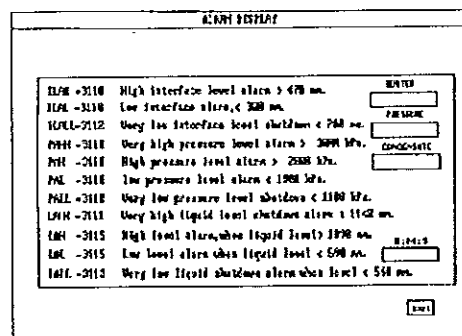
นอกจากนี้หากเลือกปุ่ม Reset จะเป็นการปรับค่าที่ตั้งไว้ไปที่ค่า default หากเลือกปุ่ม
Recall จะเป็นการเลือกค่าที่ตั้งไว้แล้วเป็นเพิ่ม .SET มาใช้งาน

ปุ่ม EXITI เป็นการขอกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้ คือ หน้าจอที่ 3 ซึ่งการกลับไปนี้
โปรแกรมจะถือว่าตำแหน่งของ Slide Control ในขณะนี้คือค่าที่ได้เลือกไว้สำหรับกระบวนการแล้ว

3. เลือกที่ 1 st Separator Group Alarm ในการเลือกที่ตำแหน่งนี้ โปรแกรมจะไปที่หน้า
จอที่ 6 ในหน้าจอที่ 6 จะเป็นการแสดง alarm ที่มีอยู่ ซึ่งในที่นี้จะเป็นการตรวจสอบสถานะของค่า
ตัวแปรต่างๆ หากไม่มีค่าใดสูงกว่าหรือต่ำกว่าตามที่ระบุในแต่ละค่าของการ alarm นั้น โปรแกรมจะ
ให้ข้อความที่เป็นสีดำและไม่มีเสียงใดๆปรากฏออกมา หากมีค่าใดค่าหนึ่งหรือหลายค่าสูงหรือต่ำ
กว่าที่กำหนด ข้อความจะเปลี่ยนสีจากเดิมที่มีสีดำไปเป็นสีแดงเฉพาะในส่วนที่เกิด Alarm และมี
เสียง Alarm เตือนดังขึ้น และกลับมาเป็นข้อความสีดำอีกหากความผิดปกตินั้นได้ถูกแก้ไข ในส่วน
ของการแสดงผลที่เพิ่มเติมเข้ามาได้แก่ นาฬิกา ระดับน้ำ ระดับของคอนเดนเสท และแรงดัน

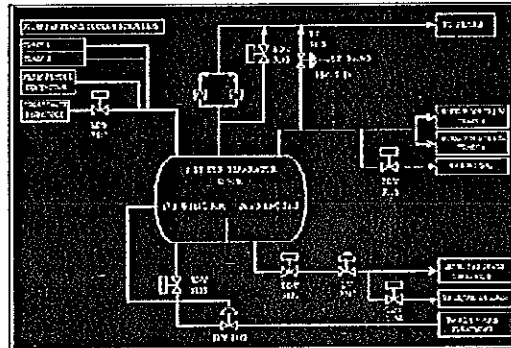
การทำงานของหน้าจอที่ 6 จะไม่เกิดขึ้นหากไม่เข้าไปยังหน้าจอที่ 7 และไป START
ระบบก่อน นอกจากนี้ ณ ที่ตำแหน่ง 1 st Separator Group Alarm จะมี LED แสดงผลอยู่ หากยัง
ไม่ START ระบบก่อนก็ยังไม่มีการตรวจสอบใดๆเกิดขึ้น เมื่อระบบทำงานไปแล้วปรากฏค่าของตัว
แปรในระบบสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนด LED จะเปลี่ยนเป็นสีแดงกระพริบโดยไม่มีเสียงดัง

การเลือก EXIT จากหน้าจอที่ 6 จะกลับไปยังหน้าจอที่ 3



ภาพประกอบ 4.6 หน้าจอที่ 6

4. เลือกที่ 1 st Separator Group จะได้หน้าจอที่ 7 ซึ่งเป็นหน้าจอแสดงการทำงานของหน่วยแยกที่ 1



ภาพประกอบ 4.7 หน้าจอที่ 7

หน้าจอที่ 7 จะประกอบไปด้วยเมนูบาร์หลัก 4 รายการและเมื่อย่อยต่างๆ ดังนี้

DATA MANAGER	CONFIGURATION	RESET	EXITI
START F4	Controller	Reset SDV 3113	
STOP F5	Trends	Reset SDV 3111	
CONTINUE F6			

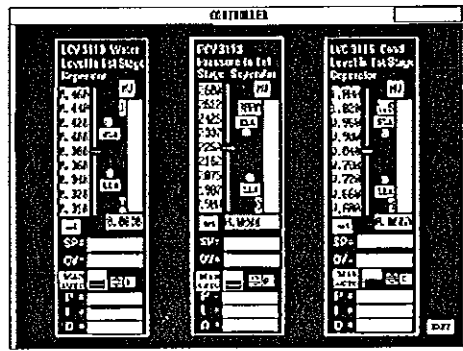
การเข้ามาในหน้าจอนี้ครั้งแรกจะมีให้เลือกได้ในเมื่อย่อยคือ START เมื่อเลือกแล้วระบบจะทำงานโดยแสดงค่าต่างๆออกมาที่หน้าจอ ซึ่งในหน้าจอที่ 7 จะมีการแสดงค่าของแรงดัน อุณหภูมิ ระดับของน้ำ คอนเด็นเสท การ Alarm ต่างๆ สามารถที่จะเลือก STOP เพื่อที่จะหยุดดูค่าต่างๆ และเลือก CONTINUE ให้ระบบทำงานต่อไป

ที่เมนูบาร์ RESET หากระบบมีการ Shutdown ที่วาล์ว SDV-3113 หรือ SDV-3111 จะมีสัญญาณเสียงดังขึ้นและหลอด LED ที่ตำแหน่งวาล์วจะเปลี่ยนเป็นสีแดงกระพริบ ซึ่งจะเกิดเมื่อระดับน้ำหรือคอนเด็นเสทแห้งจนหมดถัง เมื่อกด RESET จะเป็นการปิดวาล์วและเริ่มต้นการทำงานใหม่เฉพาะวาล์วตัวที่ Shutdown ต่อไป

ที่เมนูบาร์ EXITI หากเลือกจะกลับไปหน้าจอที่ 3

ที่เมนูบาร์ CONFIGURATION มีให้เลือก 2 รายการคือ Controller และ Trends

1. หากเลือก Controller จะเป็นการเข้าไปปรับค่าต่างๆของตัวควบคุม 3 ตัวดังในหน้าจอที่ 8



ภาพประกอบ 4.8 หน้าจอที่ 8 การปรับค่าตัวควบคุม

จากภาพประกอบ 4.8 เป็นการปรับตัวควบคุมซึ่งในหน้าจอนี้จะประกอบด้วยตัวควบคุม 3 ตัวคือ LCV-3110 สำหรับควบคุมระดับน้ำ PCV-3113 สำหรับควบคุมแรงดันและ LVC-3115 สำหรับควบคุมระดับคอนเด็นเสท สามารถปรับค่าปรับตั้งได้ และปรับเลือกเป็นแบบควบคุมด้วยมือหรือแบบอัตโนมัติ แต่ในกรณีที่เป็นแบบอัตโนมัติ ในหน้าจอนี้จะยังไม่สามารถปรับค่าพี พีไอ หรือ พีไอดีได้

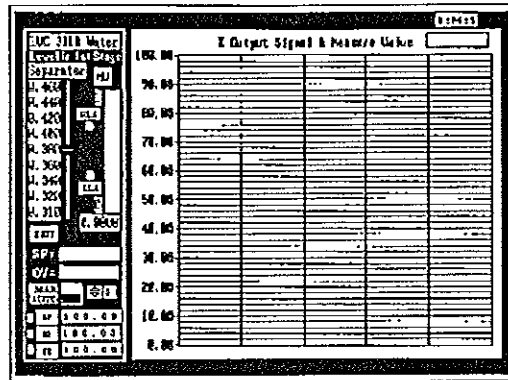
MV = ค่าที่วัดได้ (เมตร ในกรณีน้ำและคอนเด็นเสท , kPa ในกรณีแรงดัน)

SP = ค่าที่ตั้งไว้ (เมตร ในกรณีน้ำและคอนเด็นเสท , kPa ในกรณีแรงดัน)

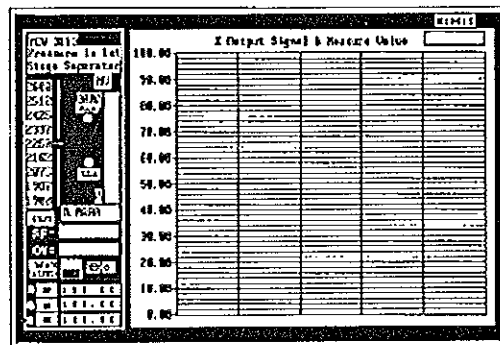
OV = output value ในที่นี้แสดงเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วควบคุม (เมตร)

ปั๊ม MAN - AUTO หากเลือกไว้ด้านบนจะเป็นการควบคุมด้วยมือ ซึ่งวาล์วทางออกจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นสัดส่วนกับขนาดความโตสูงสุดของวาล์วและในการควบคุมด้วยมือ จะปรับได้ตั้งแต่ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ซึ่งก็คือการปรับขนาดวาล์วเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 0.1 = 10% , 0.8 = 80% เป็นต้น ส่วนการปรับเป็น AUTO วาล์วจะปรับตัวเองตามค่าของสัญญาณทางออกของตัวควบคุมที่ตั้งเป็นแบบพี พีไอ หรือพีไอดี

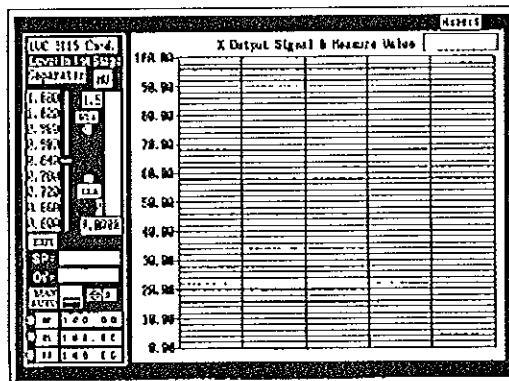
ที่ตัวควบคุมแต่ละตัวจะสามารถเลือกเพื่อปรับค่าในรายละเอียดได้ โดยการเลือกที่ปุ่ม SET ของตัวควบคุมแต่ละตัว ซึ่งในการเลือกหากเลือกที่ SET ของ LCV-3110 สำหรับควบคุมระดับน้ำจะได้หน้าจอที่ 9 หากเลือกที่ SET ของ PCV-3113 สำหรับควบคุมแรงดันจะได้หน้าจอที่ 10 และ หากเลือกที่ SET ของ LVC 3115 สำหรับควบคุมระดับคอนเด็นเสทจะได้หน้าจอที่ 11



ภาพประกอบ 4.9 หน้าจอที่ 9 การปรับค่าตัวควบคุมระดับน้ำ



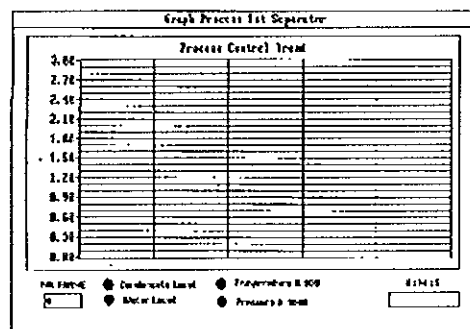
ภาพประกอบ 4.10 หน้าจอที่ 10 การปรับค่าตัวควบคุมแรงดัน



ภาพประกอบ 4.11 หน้าจอที่ 11 การปรับค่าตัวควบคุมระดับคอนกรีตเสท

จากภาพประกอบที่ 4.9 , 4.10 , และ 4.11 จะเป็นหน้าจอสำหรับการปรับค่าตัวควบคุมในรายละเอียดเป็นรายตัว โดยสามารถป้อนค่าพี ไอ และดี โดยการเลือกค่าใดๆเพื่อการปรับได้ การดำเนินการในส่วนอื่นเป็นดังที่กล่าวมาแล้ว ยกเว้นในการปรับค่าพี ไอ และ ดี จะมีปุ่มกด KP KI และ KD ให้ไว้เพื่อจะหยุดการทำงานของระบบ ซึ่งเมื่อกดหยุดแล้วจะมีสีแดงขึ้นที่ LED ที่อยู่ด้านข้าง แล้วเลือกป้อนค่าที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม KP KI หรือ KD ซ้ำระบบจะทำงานต่อและ LED จะกลับไปเป็นสีปกติ นอกจากนี้ในการปรับค่าต่างๆสามารถสังเกตผลตอบสนองของระบบ และค่าของสัญญาณทางออกจากตัวควบคุมได้จากกราฟที่มีอยู่ด้านข้างได้

2. หากเลือก Trends จะได้หน้าจอที่ 12 ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12



ภาพประกอบ 4.12 หน้าจอที่ 12 กราฟแสดงการทำงานของกระบวนการ

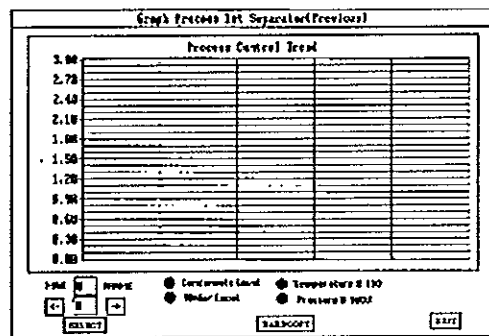
จากภาพประกอบ 4.12 จะเป็นกราฟที่แสดงค่าของตัวแปรในกระบวนการที่ควบคุมได้แก่ แรงดันภายในถัง ระดับของน้ำ ระดับของคอนเดินเสท และอุณหภูมิ ด้านล่างของกราฟ ข้ามมือจะแสดงจำนวนเฟรมที่มีการพล็อตไปแล้ว เพื่อใช้ในการอ้างอิงว่าขณะนี้โปรแกรมได้ทำงานไปมากน้อยเพียงใด ด้านขวามือล่างสุดจะเป็นนาฬิกาแสดงเวลาจริงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ในหน้าจอ นี้จะมีเมนูบาร์ให้เลือกเพื่อใช้งานดังนี้

TRENDS	EXITI
STOP	
PREVIOUS TREND F4	
CONTINUE	F5

ในการเลือกใช้เมนูบาร์ย่อยจะเป็นดังนี้ หากยังไม่มีทางเลือกเมนูบาร์ย่อย โปรแกรมจะพล็อตค่าต่างๆ ที่เป็นค่าปัจจุบันไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อครบหน้าจอที่จะแสดงได้ก็จะกลับไป

เริ่มต้นใหม่และเพิ่มค่าจำนวนเฟรมที่พล็อตไป หากเลือก STOP โปรแกรมจะหยุดการทำงานของระบบ เมื่อผู้ใช้ประสงค์จะขอดูกราฟที่พล็อตก่อนหน้านี้ให้เลือกไปที่ PREVIOUS TREND ซึ่งจะได้หน้าจอที่ 13 ออกมา และเมื่อต้องการให้ระบบทำงานต่อให้เลือก CONTINUE

หากเลือก EXITI ก็จะเป็นการเลิกใช้งานหน้าจอนี้ จะกลับไปยังหน้าจอเดิมก่อนที่จะมา



ภาพประกอบ 4.13 หน้าจอที่ 13 กราฟแสดงการทำงานของกระบวนการก่อนหน้านี้

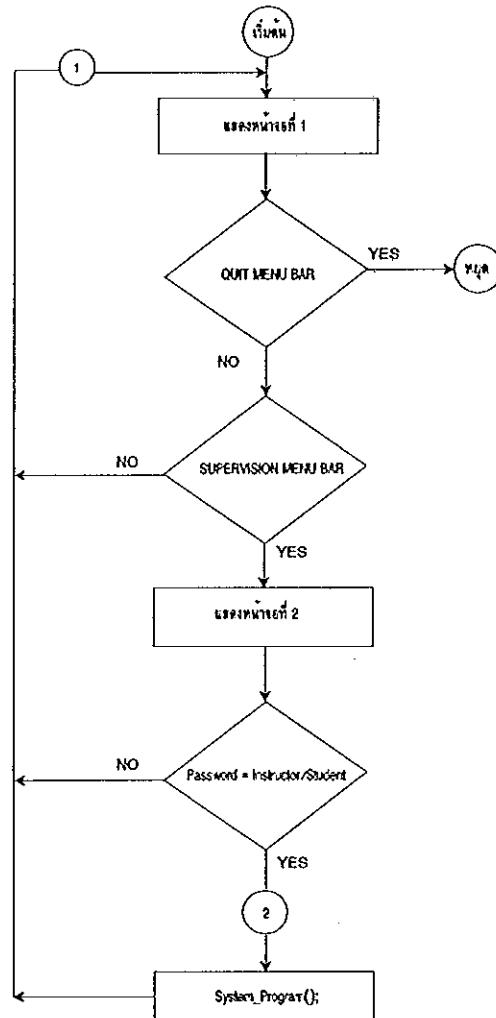
จากภาพประกอบ 4.13 ในหน้าจอนี้ จะให้ผู้ใช้เลือกดูหน้าจอการพล็อตกราฟที่ผ่านมารวมทั้งให้มีการพิมพ์ผลออกทางเครื่องพิมพ์ได้ โดยปฏิบัติดังนี้

1. เลือกเฟรมที่จะดูโดยการเลือกที่ปุ่มเครื่องหมาย <- หรือ -> หมายเลขเฟรมจะเปลี่ยนไปตามที่เลือก โดยจะแสดงหมายเลขได้ไม่เกินเฟรมสูงสุดที่ได้เคยพล็อตมา
2. เลือกปุ่ม Select จะมีการพล็อตกราฟในเฟรมที่เลือกออกมาของหน้าจอที่ 13
3. หากประสงค์ที่จะแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์ ให้เลือกปุ่ม Hardcopy
ทั้งนี้จะต้องมีการตั้งเครื่องพิมพ์ให้ตรงกับที่ใช้งานก่อน
4. เลือก EXITI เมื่อต้องการเลิกงานหน้าจอนี้

4.3. ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมการจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซ

ในการออกแบบโปรแกรมการจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซ ได้มีผังงานแสดงการทำงาน โดยมีโปรแกรมหลัก Main(); และ โปรแกรมย่อยที่เชื่อมโยงกันดังนี้

4.3.1 โปรแกรมหลัก Main();

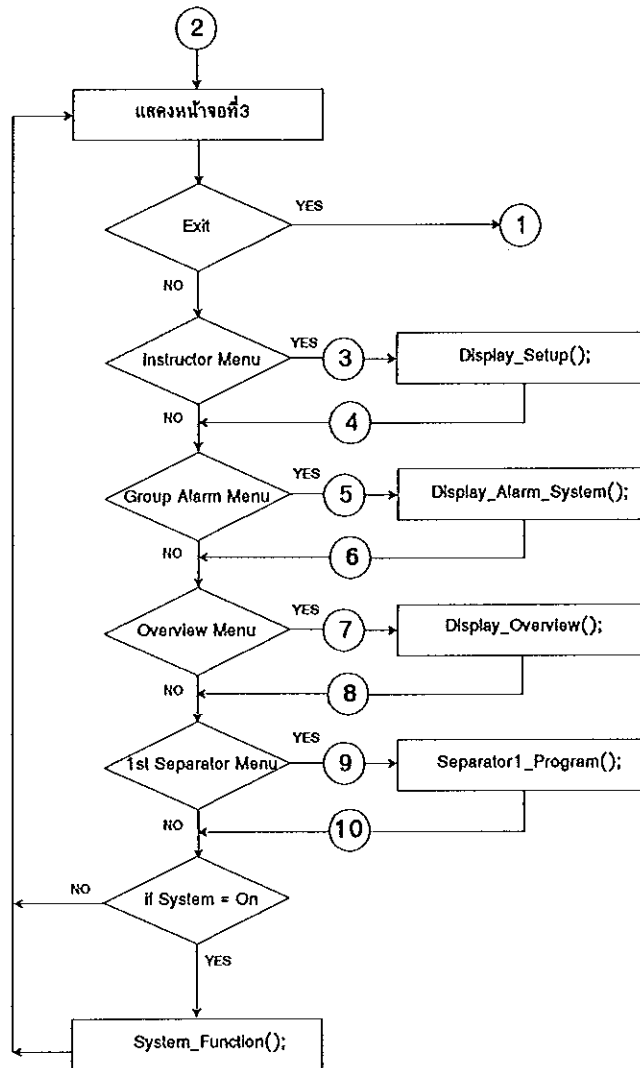


ภาพประกอบ 4.14 ผังงานโปรแกรมหลัก Main();

ในผังงานแรกซึ่งเป็นโปรแกรมหลัก Main(); จะแสดงหน้าจอที่ 1 ผู้ใช้งานหากเลือก SUPERVISION MENU BAR จะผ่านไปหน้าจอที่ 2 แล้วป้อน Password หากป้อนถูกต้องจึงจะ

สามารถเข้าไปยัง System_Program(); นอกเหนือจากนี้แล้วโปรแกรมก็จะวนแสดงหน้าจอที่ 1 ไปจนกว่าจะป้อน Password ถูกต้อง หรือ เลือก QUIT เพื่อเลิกงาน

4.3.2 โปรแกรมย่อย System_Program();

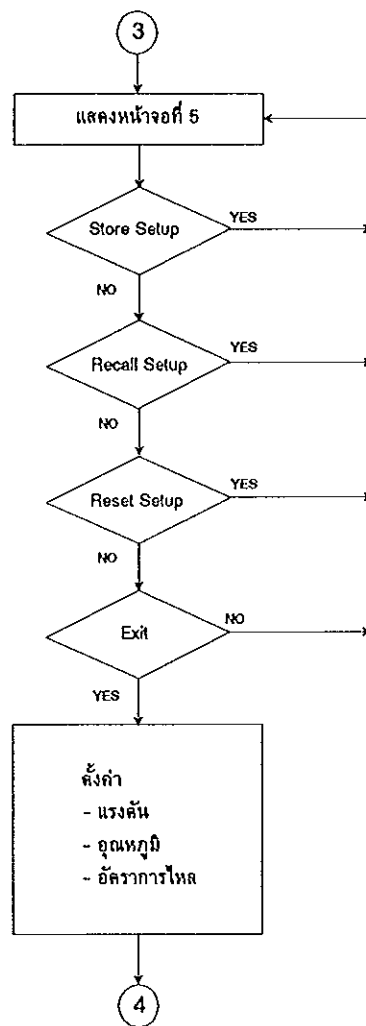


ภาพประกอบ 4.15 ฝั่งงานโปรแกรมย่อย System_Program();

การทำงานของโปรแกรมย่อย System_Program(); จะแสดงหน้าจอที่ 3 ซึ่งขณะนี้ผู้ใช้สามารถที่เลือกการใช้งานได้ 4 แบบ คือ หากต้องการตั้งค่ากระบวนการก่อน จะต้องเลือกไปที่ Instructor Menuซึ่งจะไปเรียกใช้โปรแกรมย่อย Display_Setup(); หากต้องการที่จะดูไอะแกรมของกระบวนการผลิตก๊าซ จะต้องเลือกไปที่ Overview Menu ซึ่งจะไปเรียกใช้โปรแกรมย่อย Display_Overview(); ส่วนโปรแกรมย่อย Display_Alarm_System(); และโปรแกรมย่อย

System_Function(); สามารถที่จะเข้าไปดูหน้าจอได้แต่ยังไม่ทำงานเนื่องจากระบบยังไม่มี การ On ซึ่งจะกระทำการ On ได้โดยการเลือกไปที่ 1 st Separator Menu แล้วไป START ระบบก่อนจึงจะสามารถใช้งานในส่วนดังกล่าวนี้ได้

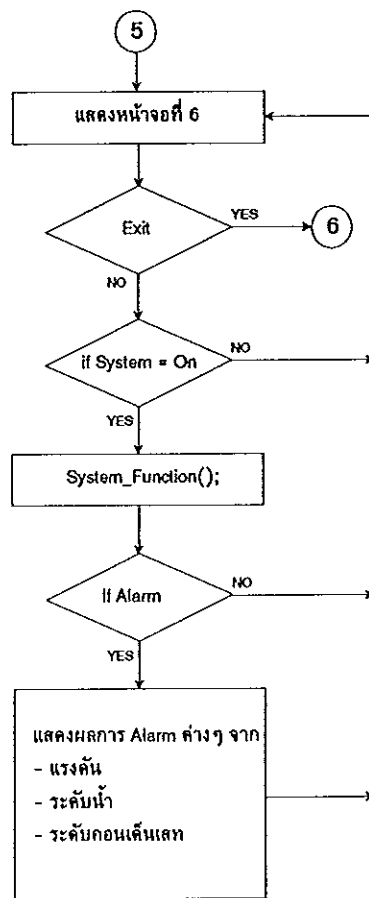
4.3.3 โปรแกรมย่อย Display_Setup();



ภาพประกอบ 4.16 ผังงานโปรแกรมย่อย Display_Setup();

ในโปรแกรมย่อย Display_Setup(); นี้มีหน้าที่กำหนดค่าแรงดัน อุณหภูมิ อัตราการไหล ของน้ำ และก๊าซที่ไหลเข้าหน่วยแยกที่ 1 เมื่อผู้ใช้เข้ามาใช้งานในโปรแกรมย่อยนี้แล้ว สามารถที่จะเลือกการใช้งานได้คือ ปรับค่าต่างๆจากแบบโต้ตอบที่มีอยู่ หากต้องการบันทึกผลให้เลือกที่ปุ่ม Store ซึ่งจะบันทึกค่าไว้ได้ หากประสงค์จะเรียกค่าที่บันทึกไว้แล้วกลับมาใช้ให้เลือกที่ปุ่ม Recall และหากต้องการที่จะปรับค่าทั้งหมดไปที่ค่าของระบบเดิมให้เลือกที่ปุ่ม Reset การออกจากหน้าจอนี้จะถือว่าค่าที่เป็นอยู่ทุกค่าในหน้าจอที่ 5 เป็นค่าที่จะถูกนำไปใช้ในโปรแกรมระบบต่อไป

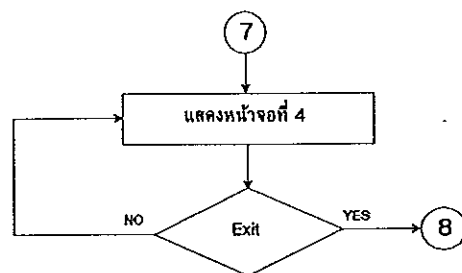
4.3.4 โปรแกรมย่อย Display_Alarm_System();



ภาพประกอบ 4.17 ผังงานโปรแกรมย่อย Display_Alarm_System();

โปรแกรมย่อย `Display_Alarm_System()`; ทำหน้าที่ในการแจ้งเตือนจากกรณีที่กำลังตัวแปรกระบวนการเช่น ระดับน้ำ ระดับคอนเด็นเสท และแรงดันสูงหรือต่ำกว่าค่ากำหนด

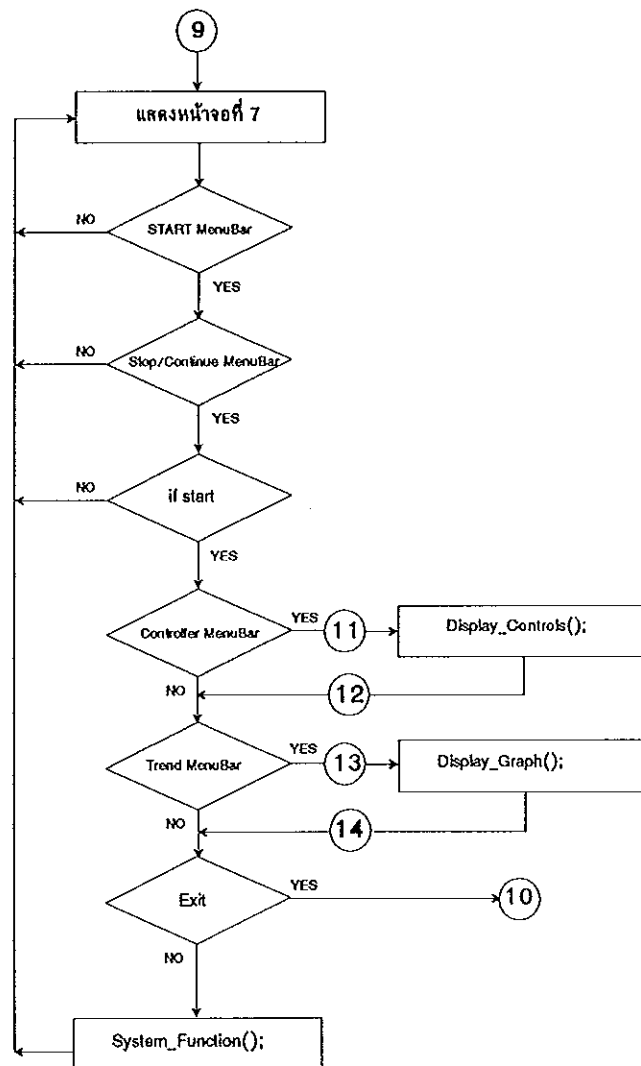
4.3.5 โปรแกรมย่อย Display_Overview();



ภาพประกอบ 4.18 ผังงานโปรแกรมย่อย Display_Overview();

หน้าที่ของโปรแกรม Display_Overview(); จะแสดงไดอะแกรมของกระบวนการผลิต
ภายในภาพรวม

4.3.6 โปรแกรมย่อย Separator1_Program();

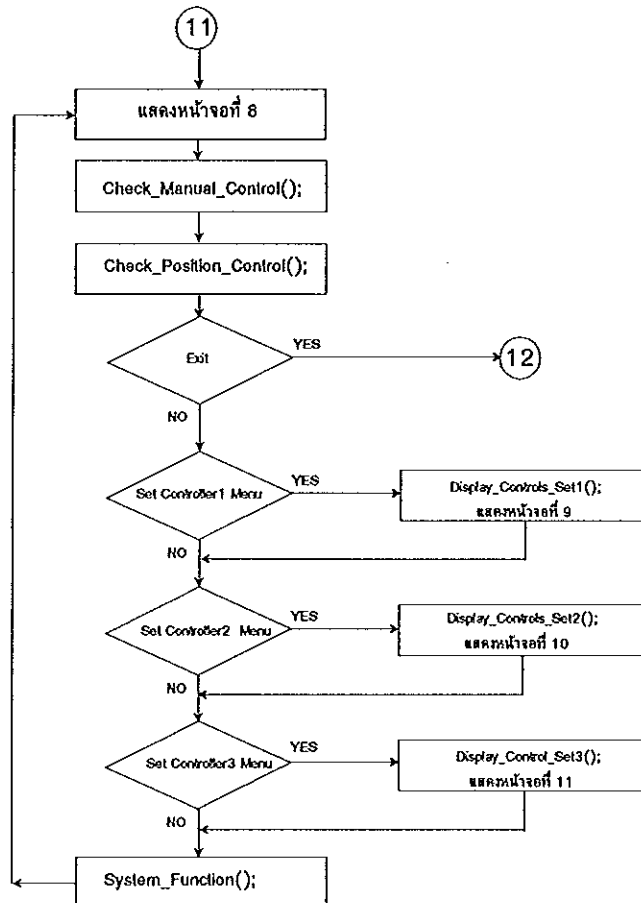


ภาพประกอบ 4.19 ผังงานโปรแกรมย่อย Separator1_Program();

โปรแกรมย่อย Separator1_program(); ทำหน้าที่ในการให้ผู้ใช้เลือกการ START โปรแกรม ซึ่งหลังจากที่เลือกแล้วโปรแกรมย่อย System_Function(); จะทำงาน การทำงานของกระบวนการและการทำงานของระบบควบคุมจะเกิดขึ้นใน System_Function(); นี้ นอกจากนี้ผู้
ใช้ยังสามารถที่จะเลือกไปปรับตั้งควบคุมโดยเลือกที่ Controller MenuBar และไปขอดูกราฟของ
ตัวแปรกระบวนการโดยเลือกที่ Trend MenuBar สำหรับในกรณีที่ระบบได้ทำงานไปแล้วหาก

ประสงค์ที่จะหยุดการทำงานชั่วคราวสามารถทำได้โดยเลือกที่ Stop MenuBar และเลือก Continue MenuBar เมื่อต้องการทำงานต่อไป

4.3.7 โปรแกรมย่อย Display_Control();

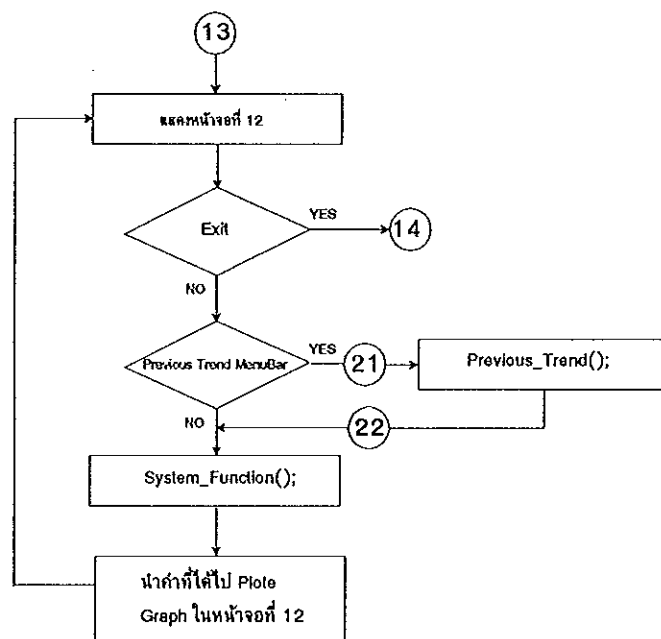


ภาพประกอบ 4.20 ผังงานโปรแกรมย่อย Display_Control();

ผังงานโปรแกรมย่อย Display_Control(); มีหน้าที่ในการแสดงตัวควบคุมที่ใช้ ในหน้าจอที่ 8 ผู้ใช้จะสามารถปรับค่าจุดปรับตั้ง และปรับการควบคุมเป็นแบบควบคุมด้วยมือ หรือแบบอัตโนมัติ ในการปรับควบคุมแบบอัตโนมัติจะยังไม่สามารถปรับค่าพี ไอ หรือ ดี ได้ หากประสงค์ที่ต้องการจะปรับในค่า พี ไอ หรือ ดี สามารถที่จะเลือกเข้าไปโดยเลือกเป็นรายตัว จากตำแหน่ง Set Controller1 Menu ในการปรับตัวควบคุมตัวที่ 1 จะเรียกโปรแกรมย่อย Display_Controls_Set1(); มาใช้ซึ่งจะได้หน้าจอที่ 9 สามารถปรับค่าพี ไอ และดีได้ และหากเลือก Set Controller2 Menu เพื่อการปรับตัวควบคุมตัวที่ 2 ก็จะใช้โปรแกรมย่อย Display_Controls_Set2(); มาใช้ซึ่งจะได้หน้าจอที่ 10 ออกมา สำหรับการเลือก Set Controller3 Menu ก็จะเป็นการปรับตัวควบคุมตัวที่ 3

ซึ่งจะเรียกโปรแกรมย่อย Display_Controls_Set3(); มาใช้และจะได้หน้าจอที่ 11 ออกมาเนื่องจาก หน้าจอนี้มีการปรับค่าต่างๆได้ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรมย่อย Check_Manual_Control(); และ Check_Position_Control(); รวมทั้งโปรแกรมกระบวนการต้องทำงานในหน้าจอนี้ด้วยจึงมีการเรียกใช้โปรแกรม System_Function();เช่นกัน

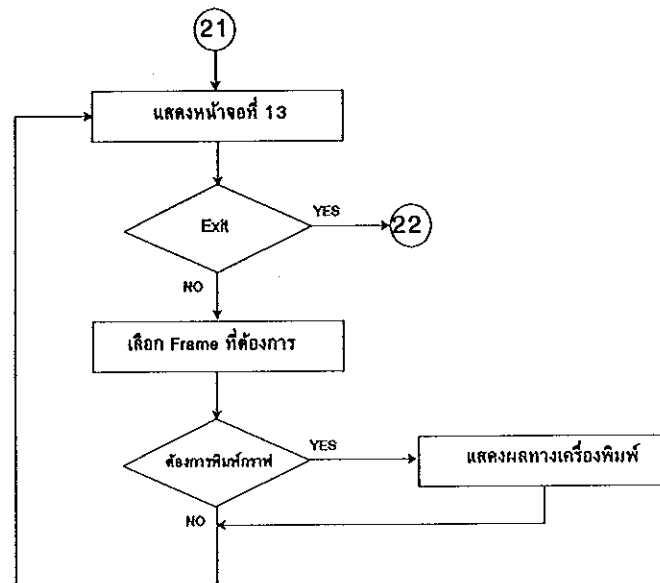
4.3.8 โปรแกรมย่อย Display_Graph();



ภาพประกอบ 4.21 ผังงานโปรแกรมย่อย Display_Graph();

การทำงานในโปรแกรมย่อย Display_Graph(); จะทำหน้าที่ในการพล็อตกราฟของค่าตัวแปรในกระบวนการเช่น แรงดัน อุณหภูมิ ระดับ ไปอย่างต่อเนื่องเวลาที่หน้าจอที่ 8 หากหมดหน้าจอ ก็จะขึ้นหน้าจอใหม่ โดยจะมีค่าตัวเลขบอกจำนวนเฟรมของกราฟที่ได้พล็อตไปแล้ว โปรแกรมยังต้องเรียกโปรแกรมย่อย System_Function(); มาใช้งานเนื่องจากค่าที่นำไปพล็อตคือค่าปัจจุบัน หากผู้ใช้ประสงค์ที่จะดูกราฟของเฟรมก่อนก็สามารถที่จะเลือกไปที่ Previous Trend MenuBar เพื่อขอดูเฟรมในส่วนที่ได้พล็อตไปแล้ว

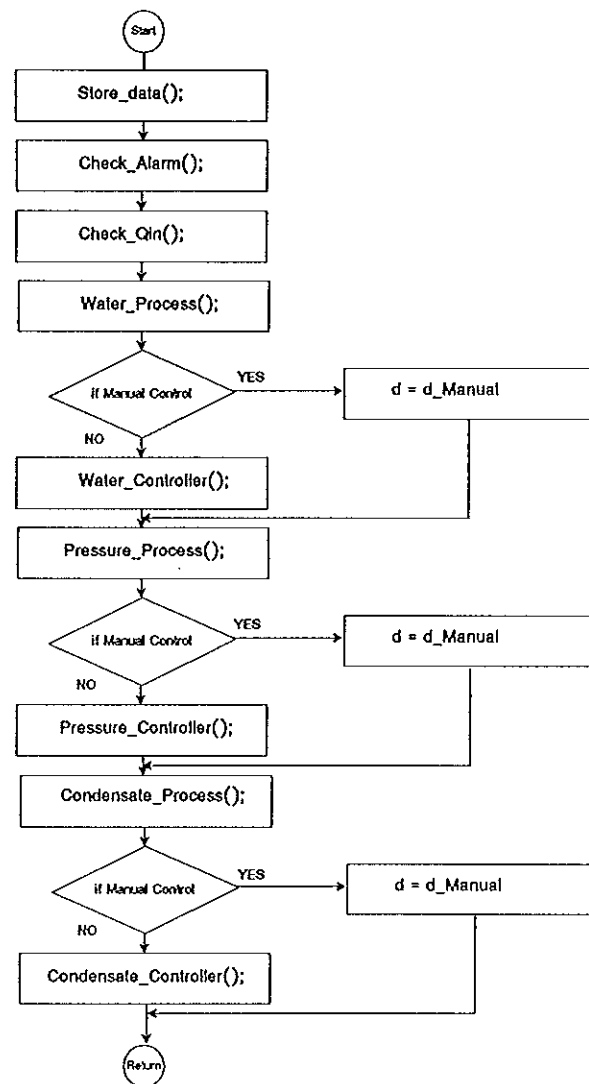
4.3.9 โปรแกรมย่อย Previous_Trend();



ภาพประกอบ 4.22 ผังงานโปรแกรมย่อย Previous_Trend();

การทำงานในโปรแกรมย่อย Previous_Trend (); จะให้ผู้ใช้เลือกดูเฟรมใดก็ได้ที่พล็อตผ่านไปแล้ว โดยมีตัวเลขบอกจำนวนเฟรมที่สูงสุดไว้ นอกจากนี้หากเลือกไปที่เฟรมใดแล้วประสงค์ที่จะพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ ก็ให้เลือกไปที่ปุ่ม Hardcopy ก็จะส่งผลไปแสดงที่เครื่องพิมพ์ได้

4.3.10 โปรแกรมย่อย System_Function();



ภาพประกอบ 4.23 ผังงานโปรแกรมย่อย System_Function();

โปรแกรมย่อย System_Function(); เป็นส่วนสำคัญของระบบการทำงานของโปรแกรม การจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติในครั้งนี้ เพราะโปรแกรมจะประกอบไปด้วย สมการต่างๆ ที่ใช้อธิบายการทำงานของระบบ จะมีการทำงานดังนี้ เมื่อมีการเรียกใช้โปรแกรมย่อย นี้จะมีการเก็บข้อมูลไว้ในฮาร์ดดิสก์โดยโปรแกรมย่อย Store_data(); เพื่อการเรียกมาใช้ในภายหลัง จากนั้นจะมีการตรวจสอบเพื่อการแจ้งเตือนโดยโปรแกรมย่อย Check_Alarm(); ในส่วนของ โปรแกรมย่อย Check_Qin() จะทำหน้าที่ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิเพราะมีผลต่อสัดส่วนการแยก เป็นก๊าซและคอนเด็นเสทเพื่อที่จะไปกำหนดอัตราการไหลเข้าของก๊าซและของเหลว จากนั้น

โปรแกรมย่อย Water_Process(); จะคำนวณค่าระดับน้ำในปัจจุบันออกมาและจะมีการตรวจสอบการควบคุมว่าขณะนี้เป็นการควบคุมด้วยมือหรือควบคุมแบบอัตโนมัติ หากเป็นการควบคุมด้วยมือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วทางออกจะขึ้นอยู่กับ การปรับด้วยมือ แต่หากเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วจะขึ้นอยู่กับตัวควบคุมซึ่งจะมีการคำนวณในโปรแกรมย่อย Water_Controller(); สำหรับในส่วนของแรงดันก็เช่นกัน จะมีโปรแกรมย่อย Pressure_Process(); เพื่อตรวจสอบค่าแรงดันในปัจจุบัน หากเลือกการควบคุมด้วยมือขนาดวาล์วระบายทางออกก็จะขึ้นอยู่กับ การปรับด้วยมือ หากเป็นการปรับอัตโนมัติก็จะขึ้นอยู่กับสัญญาณทางออกของตัวควบคุมในโปรแกรมย่อย Pressure_Controller(); สำหรับในส่วนของระดับคอนเดนเสทก็จะมีโปรแกรมย่อย Condensate_Process(); ทำหน้าที่คำนวณค่าของระดับในปัจจุบัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วทางออกหากเลือกเป็นแบบควบคุมด้วยมือก็จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ปรับในขณะนั้น หากเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติก็จะขึ้นอยู่กับสัญญาณทางออกของตัวควบคุมในโปรแกรมย่อย Condensate_Controller ();

โดยได้แสดงรหัสต้นฉบับของโปรแกรมย่อย System_Function (); ดังนี้

```
/* System_Function Sub-routine Program */
void System_Function (void)
{
    Store_Data();
    Check_Alarm();
    Check_Qin();
    Water_Process();
    If (data_manual_power1_control[0] != 1)
        Water_Controller();
    if (data_manual_power1_control[0] == 1)
        data_water[35] = sp1*data_water[0];
    Pressure_Process();
    If (data_manual_power2_control[0] != 1)
        Pressure_Controller();
    if (data_manual_power2_control[0] == 1)
        data_pressure[35] = sp2*data_pressure[0];
    Condensate_process();
    If (data_manual_power3_control[0] != 1)
        Condensate_Controller();
    if (data_manual_power3_control[0] == 1)
        data_condensate[35] = sp3*data_condensate[0];
```

```

        return
    }
void Store_Data(void)
{
    int file_handel,startfile,i_array,id11,id12,id13;
    long position,array1;
    id11    = data_utility_int[4];    /* id11 */
    id12    = data_utility_int[5];    /* id12 */
    id13    = data_utility_int[6];    /* id13 */
    i_array = data_utility_int[7];
    startfile = data_utility_int[3];    /* startfile */
    array1 = data_utility_long[0];    /* array1 */
    my_array[i_array] = data_condensate[14]; /* Level Condensate */
    my_array[i_array+1] = data_water[14]; /* Level Water */
    my_array[i_array+2] = data_pressure[14]/1000;
    my_array[i_array+3] = data_utility_double[3]/100;
    i_array = i_array+4;
    if (i_array > 4)
    {
        if (startfile==0)
        {
            file_handel = OpenFile("petro.dat",2,0,0);
            FmtFile(file_handel,"%8f<%8f",my_array);
            CloseFile(file_handel);
        }
        if (startfile!=0)
        {
            file_handel = OpenFile("petro.dat",2,1,0);
            FmtFile(file_handel,"%8f<%8f",my_array);
            CloseFile(file_handel);
        }
    }
}

```

```
array1 = array1+1;
startfile = startfile+1;
l_array = 0 ; /* Program write to my_array[3999] max */
}
if (id12==1000)
{
    id11 = 0;
    id12 = 0;
    id13 = id13+1;
}
my_array1[id11] = data_condensate[14];
my_array1[id11+1] = data_water[14];
my_array1[id11+2] = data_pressure[14]/1000;
my_array1[id11+3] = data_utility_double[3]/100;
id11 = id11+4;
id12 = id12+1;
data_utility_int[7] = l_array;
data_utility_int[3] = startfile;
data_utility_long[0] = array1;
data_utility_int[4] = id11; /* id11 */
data_utility_int[5] = id12; /* id12 */
data_utility_int[6] = id13; /* id13 */
return;
}
```

```
void Check_alarm (void)
{
int L1,L2,L3,L4,L5,L6,L7,L8,L9,L10,L11;
if (System == ON)
{
  if (data_water[14]>0.470)
  {
    ILAH3110 = ON;
    L1 = 1;
    delay(0.01);
  }
else
  {
    L1 = 0;
    ILAH3110 = OFF;
  }
if (data_water[14]<0.300)
  {
    ILAL3110 = ON;
    L2 = 1;
    delay(0.01);
  }
else
  {
    L2 = 0;
    ILAL3110 = OFF;
  }
}
```

```
if (data_water[14]<0.200)
{
  ILALL3110 = ON;
  L3 = 1;
  delay(0.01);
}
else
{
  L3 = 0;
  ILALL3110 = OFF;
}
if (data_pressure[14] > 3000)
{
  PAHH3110 = ON;
  L4 = 1;
  delay(0.01);
}
else
{
  L4 = 0;
  PAHH3110 = OFF;
}
if (data_pressure[14]>2800)
{
  PAH3110 = ON;
  L5 = 1;
  delay(0.01);
}
```

```
else
{
L5 = 0;
PAH3110 = OFF;
}
If (data_pressure[14]<1900)
{
PAL3110 = ON;
L6 = 1;
delay(0.01);
}
else
{
L6 = 0;
PAL3110 = OFF;
}
If (data_pressure[14]<1100)
{
PALL3110 = ON;
L7 = 1;
delay(0.01);
}
else
{
L7 = 0;
PALL3110 = OFF;
}
```

```
If (data_condensate[14]>1.140)
```

```
{  
  LAHH3115 = ON;  
  L8 = 1;  
  delay(0.01);  
}
```

```
else
```

```
{  
  L8 = 0;  
  LAHH3115 = OFF;  
}
```

```
If (data_condensate[14]>1.090)
```

```
{  
  LAH3115 = ON;  
  L9 = 1;  
  delay(0.01);  
}
```

```
else
```

```
{  
  L9 = 0;  
  LAH3115 = OFF;  
}
```

```
If (data_condensate[14]<0.590)
```

```
{  
  LAL3115 = ON;  
  L10 = 1;  
  delay(0.01);  
}
```

```
else
{
L10 = 0;
LAL3115 = OFF;
}
If (data_condensate[14]<0.540)
{
LALL3115 = ON;
L11= 1;
delay(0.01);
}
else
{
L11 = 0;
LALL3115 = OFF;
}
LED = L1||L2||L3||L4||L5||L6||L7||L8||L9||L10||L11;
}
}
void Check_QIn (void)
{
double fr,temp,gas_out,bopd;
temp = data_utility_double[3];
fr = 0.93622704+(3.17142857e-4*temp)+(1.428571429e-6*temp*temp);
gas_out = (data_utility_double[4]*fr)/0.97009;
data_utility_double[8] = gas_out;
bopd = (6240*(1-fr))/0.02991;
data_utility_double[5] = bopd;
data_condensate[11] = bopd; /* Q_condensate_In */
return;
}
```

```
void Water_Process (void)
{
    int i;
    for (i=0;i<=99;i++)
        data_level_process[i] = data_water[i];
    Level_Process();
    data_test_double[1] = data_level_process[38];
    data_test_double[3] = data_level_process[39];
    for (i=0;i<=99;i++)
        data_water[i] = data_level_process[i];
    if (data_water[14] == 0)
        SHUTDOWN_WATER = ON;
    else
        SHUTDOWN_WATER = OFF;
    return;
}

void Water_Controller (void)
{
    int i;
    for (i=0;i<=99;i++)
        data_controller[i] = data_water[i];
    if (data_controller[14]>0.470)    /* Sensor Transmitter Calibration*/
        data_controller[14] =0.470;
    if (data_controller[14]<0.300)
        data_controller[14] = 0.300;
    Main_Controller();
    for (i=0;i<=99;i++)
        data_water[i] = data_controller[i];
    return;
}
```

```

void Pressure_Process (void)
{
double A,rdt,r1,v1,V,Pm,R,T,radius,Ab_Temp_C,P,MW,Z;
R = data_pressure[30];
P = data_pressure[3]*1000; /* Kilo-Pascal */
MW = 27; /* average MW from Mixture */
Z = 0.91 ; /* Compressiblility factor of gas */
V = data_pressure[24];
Ab_Temp_C = (((((data_pressure[33]-32)*5)/9)+273.15));
r1 = (P*MW)/(Z*R*Ab_Temp_C);
radius = data_pressure[35]/2;
v1 = sqrt(1.4*287*Ab_Temp_C);
A = 3.14*radius*radius;
rdt = (r1*v1*A)/V;
Pm = ((r1-rdt)*Z*R*Ab_Temp_C)/MW;
if (Pm< 0)
    Pm = 0;
data_pressure[14] = Pm/1000;
data_water[3] = Pm/1000;
data_condensate[3] = Pm/1000;
return;
}
void Pressure_Controller (void)
{
int i;
for (i=0;i<=99;i++)
data_controller[i] = data_pressure[i];
if (data_controller[14]>2700)
    data_controller[14] =2700;
if (data_controller[14]<1700)
    data_controller[14] = 1800;
}

```

```
Main_Controller();
for (i=0;i<=99;i++)
data_pressure[i] = data_controller[i];
return;
}
void Condensate_Process (void)
{
Int i;
for (i=0;i<=99;i++)
data_level_process[i] = data_condensate[i];
Level_Process();
clock = clock+1;
clock1 = clock1+1;
If (clock == 60)
{
clock = 0;
clock_min = clock_min+1;
If (clock_min == 60)
{
clock_min = 0;
clock_hour = clock_hour+1;
if (clock_hour>12)
{
clock_hour = 0;
}
}
}
data_test_double[0] = data_level_process[38];
data_test_double[2] = data_level_process[39];
for (i=0;i<=99;i++)
data_condensate[i] = data_level_process[i];
```

```
if (data_condensate[14] == 0)
    SHUTDOWN_CONDENSATE = ON;
else
    SHUTDOWN_CONDENSATE = OFF;
return;
}
void Condensate_Controller (void)
{
    int i;
    for (i=0;i<=99;i++)
        data_controller[i] = data_condensate[i];
    data_utility_double[20] = data_condensate[14];
    if (data_controller[14]>1)
        data_controller[14] = 1;
    if (data_controller[14]<0)
        data_controller[14] = 0;
    Main_Controller();
    for (i=0;i<=99;i++)
        data_condensate[i] = data_controller[i];
    data_condensate[14]= data_utility_double[20];
    return;
}
void Level_Process (void)
{
    double as,L,ho,ko,ho1,qo,dh,dt,hi,d,i,p1,r;
    L = data_level_process[34];
    ho = data_level_process[14];
    d = data_level_process[35];
    p1 = data_level_process[3]-1101;
    r = data_level_process[10];
```

```
If (ho<=0)
{
  data_level_process[14] = 0 ;
  beep();
  return;
}
If (ho>=2.75)
{
  data_level_process[14] = 2.75 ;
  beep();
  return;
}
i = (data_level_process[11]*1.840131e-3)/1000;
dt = data_level_process[12];
as = L*(2*(sqrt((2*1.375*ho)-(ho*ho))));
ko = 2.783103579*d*d;
ho1 = sqrt((p1/r)+ho);
qo = ko*ho1;
If (as!= 0)
  dh = ((1-qo)*dt)/as;
hi = ho+dh;
ho = hi;
data_level_process[38] = i;
data_level_process[39] = qo;
data_level_process[14] = hi;
return;
}
```

```

void Main_Controller(void)
{
    double DE_i,Setpoint,ho,DDE,DEI_1,DEO,SUM,PI,PD,KP,KI,KD,DT,Pi,Pi1,PO,Pbias;
    double dx,rout,DEI_2,Pi_1,Dmax,Dmin,MV,Setpoint1, valve_travel;
    int Check;
    Setpoint = data_controller[28];
    ho = data_controller[14]; /* MV */
    DDE = data_controller[19];
    DEI_1 = data_controller[31];
    DEO = data_controller[20];
    SUM = data_controller[18];
    KP = data_controller[15];
    KI = data_controller[16];
    KD = data_controller[17];
    DT = data_controller[22];
    rout = data_controller[0];
    DEI_2 = data_controller[32];
    Dmax = data_controller[36];
    Dmin = data_controller[37];
    Setpoint1 = ((Setpoint-Dmin)*100)/(Dmax-Dmin);
    MV = ((ho-Dmin)*100)/(Dmax-Dmin);
    if (MV < 0)
        MV = 0;
    if (MV > 100)
        MV = 100;
        DE_i = ( Setpoint1 - MV)/100;
        DDE = DE_i - DEO;
        DEO = DE_i;
        SUM = SUM + DE_i;
        PI = KP*KI*DT*SUM;
        PD = (KP*KD*(DDE/DT));
        Pi = (KP*DE_i)+PI+PD;

```

```
if (Pi>1)
    Pi = 1;
if (Pi<0)
    Pi = 0;
Pi1 = Pi*rout;
DEI_2 = DEI_1;
DEI_1 = DE_I;
dx = (rout-Pi1+0);
if (ho<0.1)
    dx = 0;
if (dx<0)
    dx = 0;
if (dx>rout)
    dx = rout;
Pi_1 = Pi;
data_controller[19] = DDE;
data_controller[31] = DEI_1;
data_controller[20] = DEO;
data_controller[18] = SUM;
data_controller[32] = DEI_2;
data_controller[35] = dx;
}
```

บทที่ 5

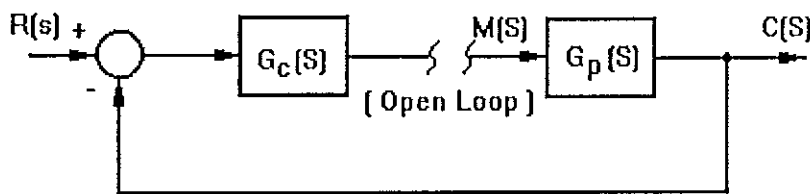
ผลการวิจัย

5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของระบบควบคุม

ในการดำเนินการจัดทำโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของระบบควบคุมโดยการหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการ แล้วนำฟังก์ชันโอนย้ายที่ได้ไปวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการแปลงลาปลาซ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในกระบวนการในรูปแบบจำลองแสดงตัวแปรเข้าและตัวแปรออก จากนั้นหาผลตอบสนองของตัวแปรออกจากการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายการควบคุม แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของกระบวนการจากโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติที่ได้จัดทำขึ้น

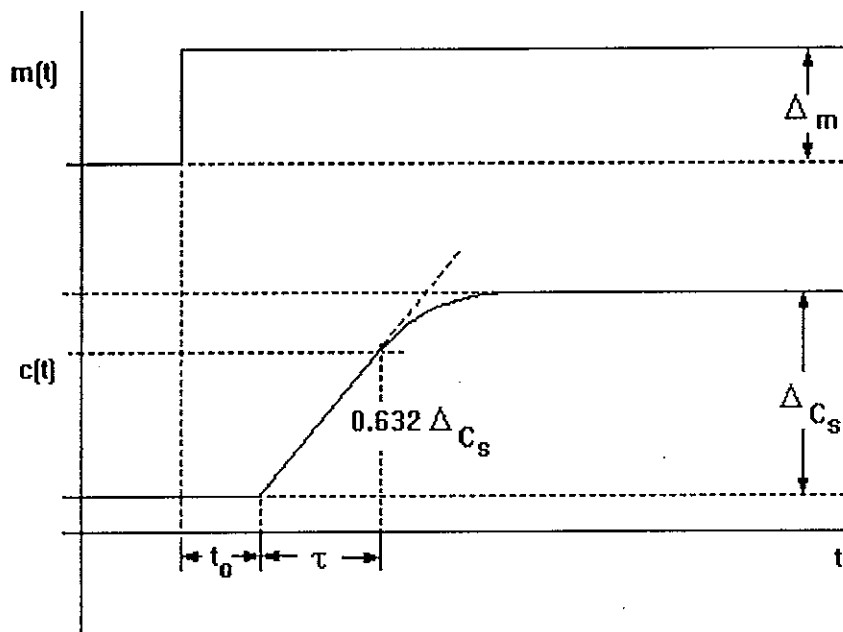
5.1.1 การทดสอบหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการแบบวงเปิดด้วยฟังก์ชันขั้น

(open loop step test transfer function)



ภาพประกอบ 5.1 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการแบบวงเปิดด้วยฟังก์ชันขั้น (Smith and Corripio, 1985)

จากภาพประกอบ 5.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทดสอบหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการ โดยการเปิดวงควบคุมออกระหว่างตัวควบคุมกับกระบวนการ แล้วปรับค่า $m(t)$ เป็นแบบฟังก์ชันขั้น ซึ่งขนาดของฟังก์ชันขั้นจะต้องมีขนาดไม่มากเกินไป เพราะจะทำให้ผลตอบสนองเกิดการเพี้ยน (distort) เนื่องจากผลของกระบวนการที่ไม่เป็นแบบเชิงเส้น (nonlinearities) จากนั้นบันทึกค่าสัญญาณของกระบวนการ $c(t)$ ที่ได้เทียบกับเวลา โดยบันทึกผลตั้งแต่เริ่มจ่ายฟังก์ชันขั้นให้กับกระบวนการไปจนกระบวนการเปลี่ยนค่าของตัวแปรกระบวนการไปที่ค่าคงที่ค่าใหม่ แสดงได้ดังภาพประกอบ 5.2



ภาพประกอบ 5.2 ผลตอบสนองของฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการแบบวงเปิด
ซึ่งทดสอบด้วยฟังก์ชันขั้น

จากภาพประกอบ 5.1 สัญญาณทางออกของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้

$$C(S) = G_p(S)M(S) \quad (5.1)$$

สำหรับการปรับสัญญาณทางออกของตัวควบคุมเป็นแบบฟังก์ชันขั้นจะได้ขนาดของ Δm และโมเดลแบบขั้นหนึ่งรวมช่วงเวลตาย (first-order plus dead-time: FOPDT) (Smith and Corripio, 1985) เป็นดังสมการ 5.2

$$C(S) = \frac{K e^{-t_0 S}}{\tau S + 1} \cdot \frac{\Delta m}{s} \quad (5.2)$$

โดยใช้ Partial Fraction สมการ 5.2 จะได้เป็นดังสมการ 5.3

$$C(S) = K \Delta m e^{-t_0 S} \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{\tau S + 1} \right] \quad (5.3)$$

โดยการใช้ Laplace transform และ real translation theorem จะได้ดังสมการ 5.4

$$\Delta c(t) = K\Delta m u(t-t_0) [1 - e^{-(t-t_0)/\tau}] \quad (5.4)$$

ในขณะที่ฟังก์ชันขั้น $u(t-t_0)$ ที่จ่ายเข้ามาทำให้ได้ว่า

$$\Delta c(t) = 0 \quad \text{เมื่อ } t \leq 0 \quad (5.5)$$

โดยที่ Δc คือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระบวนการที่วัดได้จากสถานะเริ่มต้น

$$\Delta c(t) = c(t) - c(0) \quad (5.6)$$

เมื่อ $c(0)$ = ขนาดของสัญญาณกระบวนการที่เวลาเท่ากับ 0

จากกราฟที่แสดงในภาพประกอบ 5.2 ค่าของ Δc_s เป็นสถานะคงที่ของ $c(t)$ และจากสมการ 5.4 จะได้ว่า

$$\Delta c_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta c(t) = K\Delta m \quad (5.7)$$

จากสมการ 5.7 จะสามารถคำนวณค่าอัตราขยาย (gain : K) ที่สถานะคงที่ได้ว่า

$$K = \frac{\Delta c_s}{\Delta m} \quad (5.8)$$

สำหรับในการหาค่า t_0 และ τ สามารถหาได้ดังนี้

โดยลากเส้นสัมผัส (tangent line) ของเส้นปฏิกิริยากระบวนการที่จุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด จะพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดจะอยู่ที่ $t = t_0$ ซึ่งเป็นดังสมการ 5.9

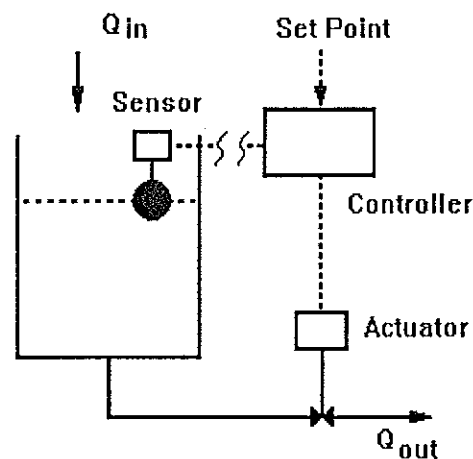
$$\frac{d(\Delta c)}{dt} = K\Delta m \left[\frac{1}{\tau} \right] = \frac{\Delta c_s}{\tau} \quad (5.9)$$

จากภาพประกอบ 5.2 เส้นสัมผัสที่ดังกล่าวแล้วไปตัดกับแกนเวลา t ค่าเริ่มต้น (Initial value) จะเริ่มที่ $t = t_0$ และค่าสุดท้าย (final value) จะอยู่ที่ $t = t_0 + \tau$ สำหรับค่าของ τ หาได้จากสมการ 5.10

$$\Delta c(t_0 + \tau) = K\Delta m (1 - e^{-1}) = 0.632 \Delta c_s \quad (5.10)$$

5.1.2 การหาฟังก์ชันโอนย้าย (transfer function) กระบวนการรักษาระดับของคอนเต็นเสทในถังเปิดจากโปรแกรมการจำลองสถานะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ

โดยเลือกกระบวนการรักษาระดับของคอนเต็นเสทในถังเปิด นั่นคือให้แรงดันภายในถังมีค่าเท่ากับบรรยากาศ (101.325 kPa) และเลือกรูปทรงของถังเป็นแบบทรงกระบอกทั้งนี้เพื่อให้ความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดและระดับที่เวลาใดๆเป็นเชิงเส้น

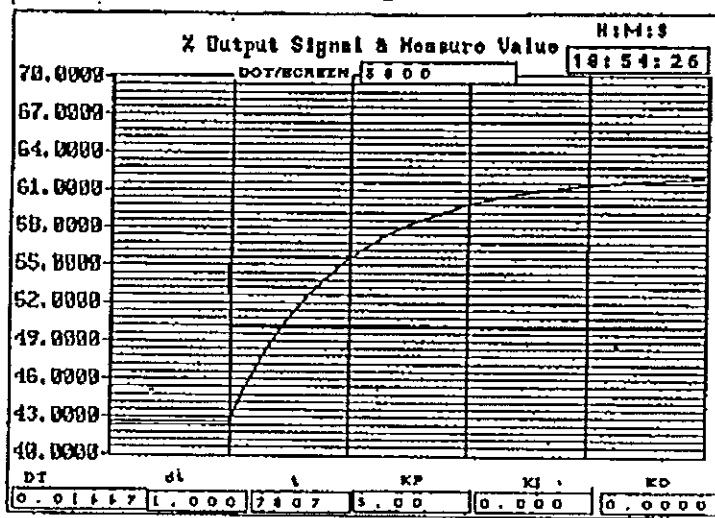


ภาพประกอบ 5.3. การทดสอบหาฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการแบบวงเปิดด้วยฟังก์ชันขั้นจากค่าปรับตั้ง

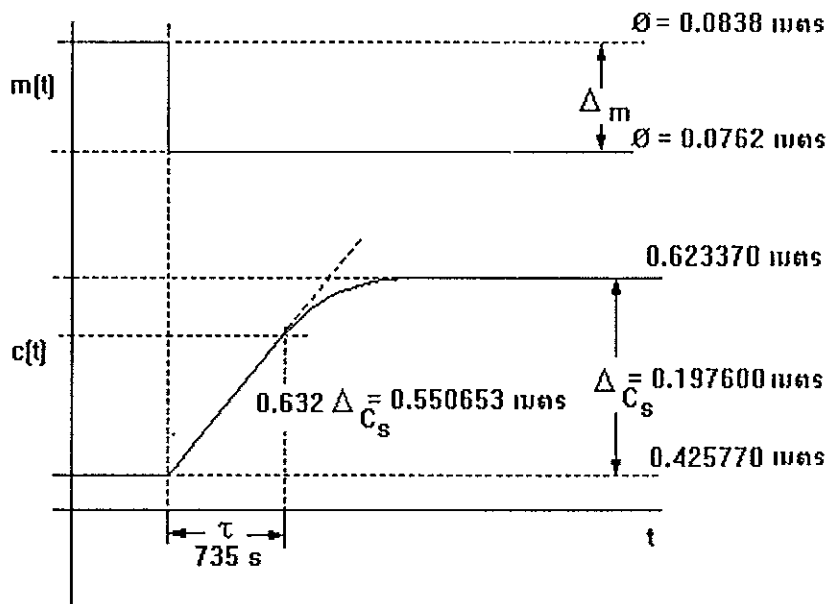
ซึ่งในการปฏิบัติในครั้งนี้อาจทำได้โดยการปรับตัวควบคุมเป็นแบบควบคุมด้วยมือ แล้วปรับค่าปรับตั้งเป็นแบบฟังก์ชันขั้นหรือปรับขนาดวาล์วด้วยมือตนเอง ดังแสดงในภาพประกอบ 5.3

โดยปรับการควบคุมเป็นแบบควบคุมด้วยมือที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0838 เมตร หรือเท่ากับ 55% ของขนาดวาล์วสูงสุด (ขนาดวาล์วสูงสุดเท่ากับ 0.1524 เมตร) ระดับของคอนเต็นเสทจะคงที่ที่ระดับ 0.42577 เมตร จากนั้นปรับขนาดวาล์วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0762 เมตร หรือเท่ากับ 50 % ของขนาดวาล์วสูงสุด ระดับจะค่อยๆเพิ่มขึ้นไป จนหยุดนิ่งที่

ระดับ 0.62337 เมตร บันทึกค่าเวลาที่ใช้ไปได้ผลดังแสดงในภาพประกอบ 5.4 และภาพประกอบ 5.5



ภาพประกอบ 5.4 ผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงเปิดด้วยการปรับค่าฟังก์ชันขึ้น จากค่าปรับตั้งของโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ



ภาพประกอบ 5.5 ผลตอบสนองของกระบวนการแบบวงเปิดด้วยการปรับค่าฟังก์ชันขึ้น จากค่าปรับตั้งของโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติในรายละเอียด

จากสมการ 5.8 จะสามารถคำนวณค่าอัตราขยาย (gain : K) ที่สภาวะคงที่ได้ว่า

$$K = \frac{\Delta c_s}{\Delta m} \quad (5.11)$$

$$\Delta c_s = \frac{(a-b) \times 100}{(D_{\max} - D_{\min}) (1-0)} = \frac{(0.623370 - 0.425770) \times 100}{(1-0)} = 19.76\%$$

เมื่อ a = ค่าคงที่เมื่อปรับวาล์วไปแล้ว (เมตร)

b = ค่าคงที่เริ่มต้น (เมตร)

D_{\max} = ระดับสูงสุดที่ควบคุม (เมตร)

D_{\min} = ระดับต่ำสุดที่ควบคุม (เมตร)

$$\Delta m = \frac{\text{ช่วงขนาดวาล์วที่ปรับไป}}{\text{ขนาดวาล์วสูงสุด}} \times 100 = \frac{0.08382 - 0.0762}{0.1524} \times 100 = 5\%$$

$$K = \frac{19.76\%}{5\%} = 3.952 \quad (5.12)$$

ค่า t_o ไม่สามารถอ่านค่าได้ ในขณะที่ค่า τ มีค่าเท่ากับ 735 s ซึ่งผลที่ได้แสดงว่ากระบวนการเป็นแบบอันดับหนึ่ง (First order) ไม่มีช่วงเวลาตาย สามารถเขียนฟังก์ชันโอนย้ายได้ดังนี้

$$G_p(s) = \frac{3.952}{735s+1} \quad (5.13)$$

5.1.3 การหาผลตอบสนองของระบบควบคุมของกระบวนการรักษาระดับคอนเต็นเสทในถังเปิดต่อฟังก์ชันขั้นในการปรับค่าปรับตั้งโดยใช้วิธีการแปลงลาปลาซ

จากฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วเมื่อต่อเป็นการควบคุมแบบวงปิด โดยคำนึงถึงการทำงานแบบกลับข้างของวาล์ว ความสัมพันธ์ของขนาดวาล์วและสัญญาณทางออกของตัวควบคุมแสดงดังในสมการ (3.39) ซึ่งจะทำให้ได้การควบคุมแบบวงปิดดังแสดงในภาพประกอบ 5.6 โดยฟังก์ชันโอนย้ายของแต่ละบล็อกจะเป็นดังนี้

$$G_c(s) = K_c \frac{(1 + K_I + K_D s)}{s} \quad (5.14)$$

เมื่อ $G_c(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของตัวควบคุมแบบพีไอดี

ทั้งนี้เนื่องจากว่าส่วที่ใช้จะเป็นการทำงานแบบกลับข้างจึงได้เพิ่มเติมบล็อกในส่วน
ของ $G_v(s)$ และ $G_f(s)$ เข้ามา โดยที่

$$G_v(s) = 1 \quad (5.15)$$

เมื่อ $G_v(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของการขยาย (gain)
สัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 1

$$G_f(s) = 1/s \quad (5.16)$$

เมื่อ $G_f(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของขนาดสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 1

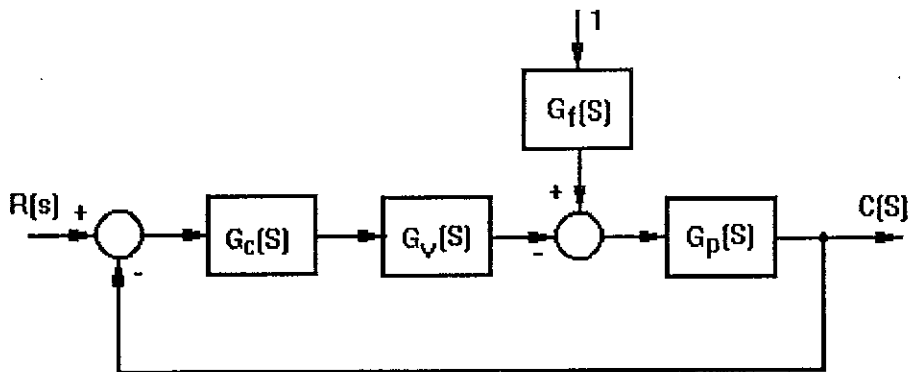
$$G_p(s) = \frac{3.952}{735s+1} \quad (\text{จากสมการ 5.13}) \quad (5.17)$$

เมื่อ $G_p(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการควบคุมระดับ
ของคอนเด็นเสทในถังเปิด

$$R(s) = K_{sp}/s \quad (5.18)$$

เมื่อ $R(s)$ = สัญญาณปรับตั้งที่มีขนาดเท่ากับ K_{sp}

$C(s)$ = ผลตอบสนองของสัญญาณการควบคุม ใน S-Domain



ภาพประกอบ 5.6 ฟังก์ชันโอนย้ายการควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ทดสอบ

ฟังก์ชันโอนย้ายของระบบควบคุมแบบป้อนกลับจากผลการปรับค่าปรับตั้งรวมจะเป็นดังนี้

$$C(s) = -\frac{G_r(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_v(s)G_p(s)} + \frac{G_c(s)G_v(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_v(s)G_p(s)} \times \frac{K_{SP}}{s} \quad (5.19)$$

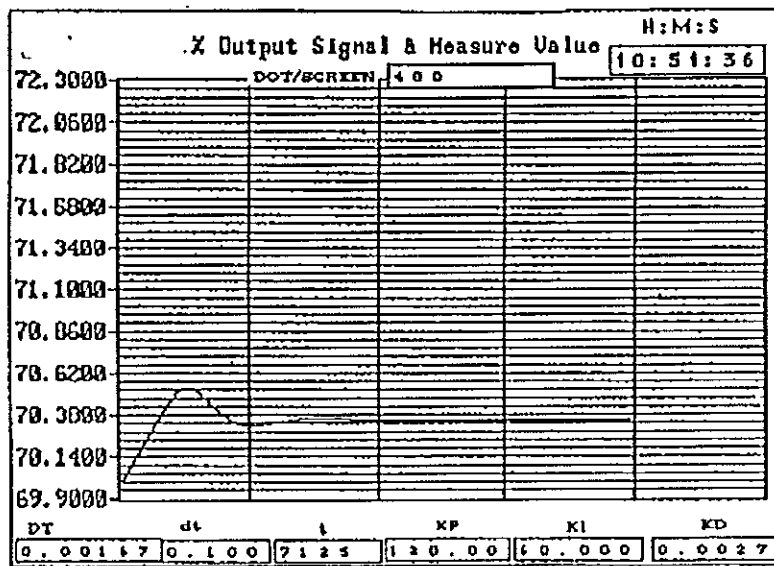
โดยการแปลงกลับลาปลาซ จากสมการ 5.19 จะเป็นดังสมการ 5.20 (แสดงวิธีการหาในภาคผนวก จ.)

$$C(t) = -A (e^{-at} \text{Sine } \omega t) + \{e^{Ft} [(-2Q)\text{Cos}Gt + (2R)\text{Sin}Gt] + St u(t)\} \quad (5.20)$$

5.1.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบควบคุมของกระบวนการควบคุมระดับคอนกรีตโดยวิธีการแปลงลาปลาซ และผลที่ได้จากการทำงานระบบควบคุมของโปรแกรมจำลองการควบคุม

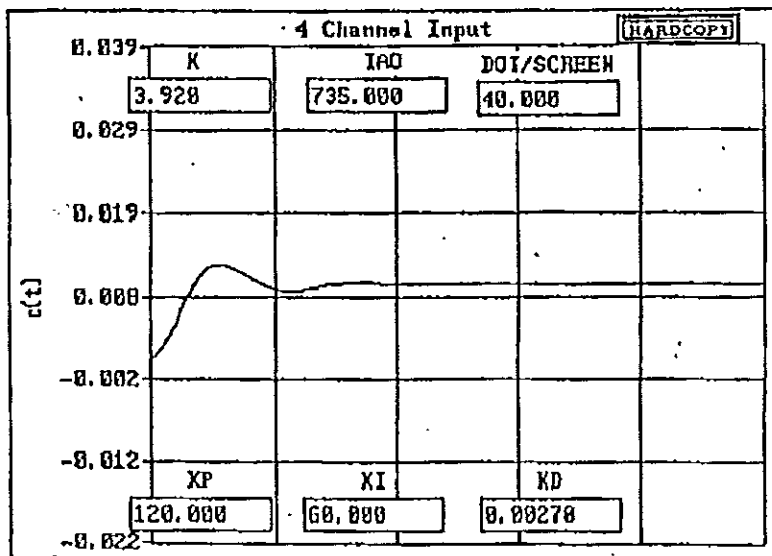
ในการทดสอบโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้น เนื่องจากสมการตัวควบคุมที่ใช้เป็นระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นแบบสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (discrete time signal) นั่นคือจะต้องมีการกำหนดระยะเวลาสุ่ม (sampling time) ในสมการการควบคุมก่อน ซึ่งสำหรับในการควบคุมระดับแล้วค่าที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 5-10 วินาที แต่ในขณะที่การคำนวณในแบบวิธีการแปลงลาปลาซจะเป็นการคำนวณในแบบสัญญาณต่อเนื่อง (continuous time signal) ซึ่งพบว่าหากมีการทดสอบผลตอบสนองของโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้นโดยเลือกระยะเวลาสุ่ม 5-10 วินาทีแล้ว ผลตอบสนองที่ได้จะไม่ตรงกันแต่เมื่อเลือกระยะเวลาสุ่มเป็น 0.5 วินาทีหรือน้อยกว่า ผลตอบสนองที่ได้จะมีผลใกล้เคียงกันมากขึ้น

นอกจากนี้ขนาดของฟังก์ชันขั้นก็จะมีผลต่อการตอบสนองของระบบเช่นกัน โดยในโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้นพบว่าระดับของฟังก์ชันขั้นที่ทดสอบเริ่มที่ระดับ 0.7000 เมตร แล้วปรับไปเป็นสูงสุดไม่เกิน 0.7030 ผลตอบสนองของสัญญาณจากระบบควบคุมของโปรแกรมจำลองการควบคุมที่ได้จัดทำขึ้นและวิธีการแปลงลาปลาซ แสดงผลการทดสอบไว้ดังในภาพประกอบ 5.7 และภาพประกอบ 5.8 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5.7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมของโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้น

จากภาพประกอบ 5.7 เป็นการปรับค่าปรับตั้งจาก 0.7000 เมตร ไปที่ 0.7030 เมตร หรือมีช่วงของฟังก์ชันเป็น 0.003 โดยมีระยะเวลาลุ่ม 0.1 วินาที ค่า $K_p = 120$ ค่า $K_i = 60$ repeat/minute ค่า $K_d = 0.0027$ Minute กราฟแสดงผลมีความละเอียด 400 จุดต่อ 1 หน้าจอ นั่นคือจะใช้เวลาในการแสดงผล 40 วินาทีต่อ 1 หน้าจอ ผลที่ได้จะพบว่าผลตอบสนองของสัญญาณจะใช้ระยะเวลาในช่วง 2 ช่องเล็กใน 1 หน้าจอ ซึ่งจะเป็นระยะเวลาประมาณ 16 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจึงจะเข้าสู่สภาวะคงที่



ภาพประกอบ 5.8 ผลตอบสนองของระบบควบคุมจากวิธีการแปลงลาปลาซ

จากภาพประกอบ 5.8 เป็นการเลือกค่าฟังก์ชันขั้นที่ขนาด 0.01 ค่า $K_p = 120$ ค่า $K_i = 60$ repeat/minute ค่า $K_D = 0.0027$ minute กราฟแสดงผลมีความละเอียด 40 จุดต่อ 1 หน้าจอ นั่นคือจะใช้เวลาในการแสดงผล 40 วินาทีต่อ 1 หน้าจอ ผลที่ได้จะพบว่าผลตอบสนองของสัญญาณจะใช้ระยะเวลาในช่วง 2 ช่องเล็กใน 1 หน้าจอ ซึ่งจะเป็นระยะเวลาประมาณ 16 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจึงจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งตรงกับผลตอบสนองของสัญญาณที่ได้จากโปรแกรมจำลองที่ได้จัดทำขึ้น

สรุปผลการทดสอบในส่วนของการเปรียบเทียบกับแบบวิธีการแปลงลาปลาซ การตอบสนองของทั้งสองรูปเหมือนกัน นั่นคือแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมีความถูกต้อง

5.2 การทดสอบโปรแกรมการจำลองกระบวนการผลิตก๊าซในสภาพการใช้งานจริง

ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรม สภาพต่างๆที่กำหนดไว้ได้แก่ ระยะเวลาของการสุ่มสัญญาณเพื่อที่จะให้ตัวควบคุมทำงานในที่นี้เลือกไว้ที่ 5 วินาที แรงดันภายในถึงมีค่าสูงสุดที่ 2320 kPa ด้านทางออกของน้ำและคอนเดินเสทจะยังคงมีแรงดันด้านทางออกเท่ากับ 1010 kPa

ซึ่งในภาพรวมของโปรแกรม การทำงานในแต่ละหน้าจอได้ผลไปในแนวทางที่ต้องการ สำหรับการได้มาของข้อมูลต่างๆ ได้มาจากสมการการทำงานของกระบวนการซึ่งจะมีค่าตัวแปรกระบวนการประกอบอยู่ด้วยและข้อมูลบางส่วนได้มีการประมาณการ ตลอดจนเลือกมาจากข้อมูลที่มีการใช้งานจริงบางส่วน ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในที่นี้ได้เน้นไปที่การทำงานของสมการกระบวนการและการตอบสนองของตัวควบคุมกับตัวแปรที่อยู่ในกระบวนการ นั่นคือเมื่อกระบวนการทำงานไปตามข้อมูลที่มีอยู่ การควบคุมจะพยายามรักษาตัวแปรกระบวนการที่สนใจให้อยู่ในค่าที่กำหนด ซึ่งผลการทดสอบโปรแกรมเป็นดังนี้

5.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของสมการกระบวนการ

สมการการไหลเข้าและไหลออกของน้ำ หรือคอนเดินเสท หลังการคำนวณจะมีการให้ผลลัพธ์เป็นค่าระดับน้ำหรือคอนเดินเสทในเวลาปัจจุบันออกมา ซึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำหรือคอนเดินเสทที่ไหลเข้าและออก หากอัตราการไหลเข้าและไหลออกเท่ากัน จะทำให้ระดับน้ำหรือคอนเดินเสทคงที่ที่ค่าหนึ่งได้

สำหรับสมการการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในถังเมื่อมีการเปิด - ปิดวาล์วระบายด้านบนของถัง หากให้วาล์วทางออกปิด แรงดันในถังจะมีค่าเท่ากับที่จ่ายเข้ามา ในกรณีที่มีการเปิดวาล์วไปเท่าใดก็ตาม อัตราความหนาแน่นของก๊าซที่ถูกปล่อยออกไป ความหนาแน่นที่คงเหลือจะถูกนำมาคำนวณกลับเป็นแรงดันภายในถัง ซึ่งการทำงานของสมการก็ให้ผลออกมาชัดเจน และสังเกตเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในทางนั้นจริง

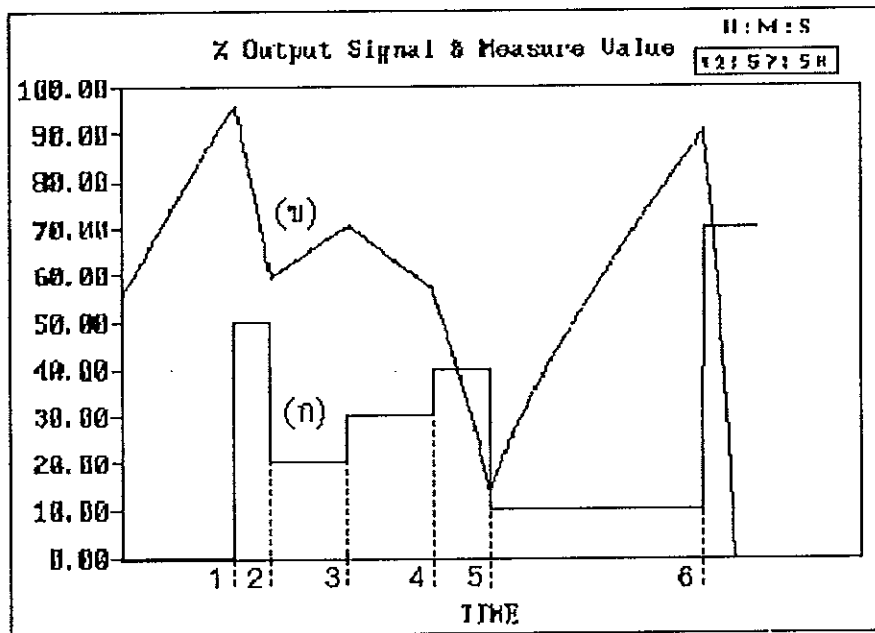
การทำงานของสมการกระบวนการของน้ำ แรงดัน และคอนเดินเสท ได้อธิบายประกอบการควบคุมด้วยมือและมีผลตอบสนองจากสมการดังแสดงในภาพประกอบ 5.9 ภาพประกอบ 5.10 และภาพประกอบ 5.11 ตามลำดับ

5.2.2 ผลการทดสอบการทำงานของสมการควบคุม

ในการควบคุมจะมีตัวควบคุม 3 ตัว ซึ่งจะทำหน้าที่ในการควบคุมระดับของน้ำ แรงดัน และระดับของคอนกรีตเสทตามลำดับ

5.2.2.1 การควบคุมด้วยมือ

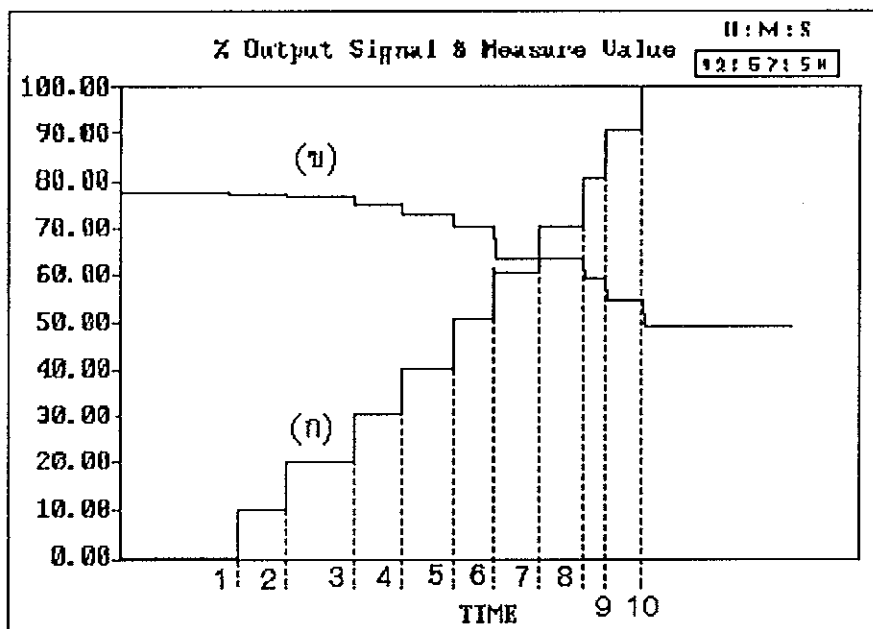
ตัวควบคุมทั้ง 3 ตัวนี้สามารถที่จะปรับการควบคุมเป็นแบบการควบคุมด้วยมือได้นั้นคือผู้ควบคุมจะเลือกปรับวาล์วทางออกเพื่อปรับค่าระดับน้ำหรือคอนกรีตเสทหรือแรงดันได้โดยตรง ซึ่งผลการทดสอบปรากฏว่าสามารถควบคุมวาล์วทางออกให้เปิดได้เป็นลำดับขั้น ตั้งแต่ปิดวาล์ว 0% เปิด 10% , 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% ได้และการทำงานของสมการกระบวนการก็ขึ้นอยู่กับการควบคุมวาล์วทางออกที่ได้เปิดหรือปิดไป ซึ่งสามารถปรับการควบคุมด้วยมือจากตัวควบคุมแต่ละตัวได้ และสามารถสังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 5.9 ภาพประกอบ 5.10 และภาพประกอบ 5.11



ภาพประกอบ 5.9 การปรับด้วยมือและผลของสัญญาณควบคุม (ก) กับค่าตัวแปรจากกระบวนการควบคุมระดับน้ำ (ข)

ภาพประกอบ 5.9 เป็นการปรับตัวควบคุมด้วยมือกับกระบวนการระดับน้ำ นั่นคือสามารถควบคุมขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วทางออกได้โดยปรับตัวควบคุมเป็นแบบควบคุมด้วยมือและเลือกขนาดวาล์วเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ ในที่นี้ขนาดวาล์วสูงสุดที่จะปรับได้คือ \varnothing 0.0762 เมตร หรือ 3 นิ้ว จะพบว่า

ก่อนจะถึงตำแหน่ง 1 วาล์วถูกปรับไปที่ 0 % วาล์วจะปิดเต็มที่ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นตลอด ที่ตำแหน่ง 1 ได้ทำการปรับขนาดวาล์วไปที่ 50 % (\varnothing 0.0381 เมตร) ระดับน้ำในถังจะลดลง ที่ตำแหน่ง 2 ปรับขนาดวาล์วไปที่ 20 % (\varnothing 0.0152 เมตร) ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้น ที่ตำแหน่ง 3 ปรับขนาดวาล์วไปที่ 30 % ระดับน้ำจะลดลง ตำแหน่งที่ 4 ได้ปรับไปที่ 40% ระดับน้ำยังคงลดยู่ ตำแหน่ง 5 ปรับไปที่ 10 % ระดับน้ำเพิ่มขึ้น และที่ตำแหน่ง 6 ปรับไปที่ 70 % ระดับน้ำจะตกลงอย่างรวดเร็วจนหมดถัง ซึ่งโดยสรุปสามารถควบคุมขนาดวาล์วทางออกด้วยมือผ่านทางตัวควบคุมได้ และสมการแสดงการทำงานของระดับน้ำในถังทำงานโดยระดับที่ได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของวาล์วทางออก ค่าของสัญญาณที่ได้จากตัวควบคุมที่ค่าต่าง ๆ แสดงไว้ในแนวเส้น (ก) และค่าของตัวแปรกระบวนการที่ควบคุมหรือระดับน้ำที่ขึ้นอยู่กับขนาดของวาล์วทางออกแสดงไว้ในแนวเส้น (ข)



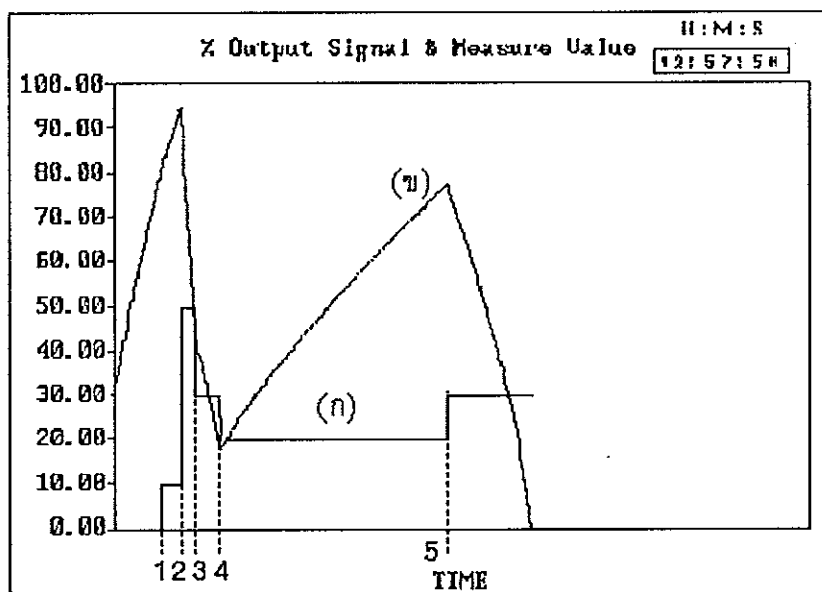
ภาพประกอบ 5.10 การปรับด้วยมือและผลของสัญญาณควบคุม (ก) กับค่าตัวแปรจากกระบวนการควบคุมแรงดัน (ข)

ภาพประกอบ 5.10 แสดงการปรับตัวควบคุมด้วยมือกับกระบวนการแรงดัน ขนาดวาล์วสูงสุดคือ \varnothing 0.2032 เมตร หรือ 8 นิ้ว ในการปรับสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 %-100% สำหรับในการทดสอบนี้ได้กำหนดค่าแรงดันที่จ่ายเข้ามาคือ 2320 kPa และการปรับขนาดวาล์วที่ค่าต่าง ๆ ได้ผลของค่าแรงดันที่ยังคงค้างอยู่แสดงในตาราง 5.1 ดังนี้

ตาราง 5.1 เปอร์เซนต์การปรับตัวควบคุมด้วยมือกับขนาดวาล์วและผลของแรงดันที่ขนาดวาล์วค่าต่างๆ

% การปรับ	ขนาดวาล์ว (เมตร)	แรงดันคงเหลือ (kPa)
0	0	2320
10	0.0203	2311
20	0.0406	2285
30	0.0610	2241
40	0.0813	2180
50	0.1016	2102
60	0.1219	2007
70	0.1422	1894
80	0.1626	1763
90	0.1829	1616
100	0.2032	1450

จากตารางจะพบว่า การปรับตัวควบคุมด้วยมือเพื่อควบคุมวาล์วสามารถทำได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 % โดยค่าของแรงดันในถังจะปรับค่าได้ตลอดช่วงของขนาดวาล์ว แนวเส้น (ก) แสดงสัญญาณทางออกของตัวควบคุม และค่าของตัวแปรกระบวนการที่ควบคุม หรือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับ การปรับขนาดของวาล์วทางออกแสดงไว้ในแนวเส้น (ข)



ภาพประกอบ 5.11 การปรับด้วยมือและ ผลของสัญญาณควบคุม (ก) กับค่าตัวแปรจากกระบวนการควบคุมระดับคอนเด็นเสท (ข)

ภาพประกอบ 5.11 เป็นการปรับตัวควบคุมด้วยมือกับกระบวนการระดับคอนเด้นเสท ในที่นี้ขนาดวาล์วสูงสุดที่จะปรับได้คือ \varnothing 0.0762 เมตร หรือ 3 นิ้ว ลักษณะการปรับการควบคุมทำในลักษณะเดียวกันกับการปรับตัวควบคุมด้วยมือของการควบคุมระดับน้ำได้ทำการปรับวาล์วระหว่าง 0-50% ตามแนวเส้น (ก) และมีผลการตอบสนองของระดับในแนวเส้น (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมระดับน้ำแล้ว ตัวแปรกระบวนการควบคุมระดับคอนเด้นเสทจะตอบสนองได้เร็วกว่า เนื่องจากขนาดของถังที่ใช้การควบคุมเพื่อรักษาระดับมีขนาดพื้นที่หน้าตัดที่เล็กกว่า

5.2.2.2 การควบคุมแบบอัตโนมัติ

ในการควบคุมแบบอัตโนมัติ จำเป็นต้องมีการปรับค่าต่างๆ ให้เหมาะสมกับกระบวนการ ในการนี้ได้เลือกวิธีการอัลติเมท (ultimate cycle method) มาเป็นวิธีการในการปรับแต่ง ซึ่งวิธีการนี้เป็นการปรับค่าการควบคุมอัตโนมัติในแบบวงปิดได้ โดยวิธีการจะเป็นดังนี้

1. ลดค่าผลของการควบคุมแบบรีเซตและแบบอัตราจนมีผลต่อระบบน้อยที่สุด
2. ปรับค่าอัตราขยายสัดส่วน (proportional gain) ขึ้นจนได้รอยแกว่งที่มีขนาดและเวลาคงที่น้อยที่สุด (เป็นการปรับให้ระบบเกิดการ oscillation)
3. เมื่อได้ค่าของการเกิดรอยแกว่งที่คงที่แล้วค่าอัตราขยายสัดส่วนที่ได้ในขณะนี้จะเรียกว่า อัตราขยายวิกฤติ (critical gain : K_C)
4. จะต้องทำการอ่านค่าคาบเวลาของรอยแกว่งที่เกิดขึ้น ค่าที่อ่านได้เรียกว่า คาบเวลาวิกฤติ (critical period : T_C - minutes)

วิธีการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้กับระบบกระบวนการใดๆ จากค่า K_C และ T_C ที่ได้ นำไปหาค่าของ control mode ต่างๆ ได้ดังนี้

proportional mode

$$K_P = 0.5 K_C$$

proportional Integral mode

$$K_P = 0.45 K_C$$

$$T_I = T_C / 1.2 \text{ หรือ } K_I = 1 / T_I \text{ หรือ } K_I = 1.2 / T_C$$

three mode

$$K_P = 0.6 K_C$$

$$T_I = T_C / 2.0 \text{ หรือ } K_I = 1 / T_I \text{ หรือ } K_I = 2.0 / T_C$$

$$T_D = T_C / 8 = K_D$$

ซึ่งในการทดสอบด้วยวิธีนี้กับกระบวนการรักษาระดับคอนเด้นเสท มีผลดังนี้

1. สามารถปรับการควบคุมตัวควบคุมจนได้รอยแกว่งของกระบวนการที่น้อยที่สุดได้ และสามารถนำค่า K_C ที่ได้ไปกำหนดในการควบคุมชนิดพือย่างเดี่ยวได้

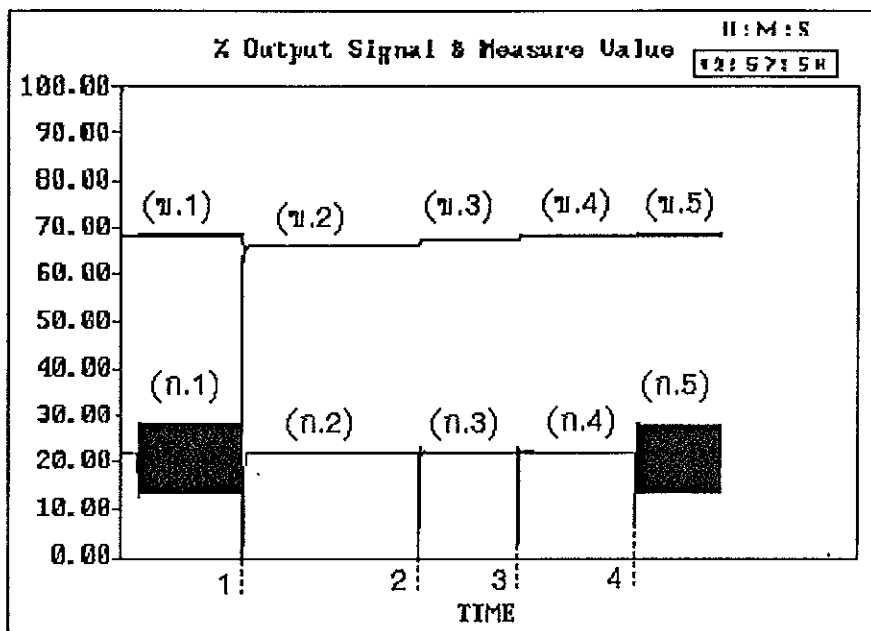
2. สำหรับในการปรับค่า K_I และ K_D จะต้องทราบเวลา T_c ก่อน แต่ในการหาค่าเวลา T_c ไม่สามารถหาได้ชัดเจนเนื่องจากเวลาที่เกิดการ oscillation มีค่าน้อยมาก ไม่สามารถอ่านค่าได้ แต่ในทางปฏิบัติ (TOTAL E&P Thailand, 1995) ได้มีขั้นตอนการปรับค่าต่างๆ ดังนี้

1. ปรับตัวควบคุมด้วยมือจนค่าที่วัดได้ ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ
 2. ปรับค่าปรับตั้งไปที่ค่าที่วัดได้
 3. ปรับค่า K_p ไปที่ค่าต่ำสุด เช่น 1 และปรับค่า K_I และ K_D ไปที่ค่าที่มีผลต่อระบบน้อยที่สุด (ในที่นี้เลือก $K_I = 0$ และ $K_D = 0$)
 4. ปรับตัวควบคุมไปเป็นแบบ AUTO
 5. ปรับค่า K_p จนได้การแกว่งของสัญญาณกระบวนการที่วัดได้เกิดขึ้น และให้มีขนาดที่คงที่และเกิดการแกว่งน้อยที่สุด ค่าที่ได้จะเรียกว่า ultimate gain
 6. หากเป็นการปรับการควบคุมชนิดพีอย่างเดียว ให้ลดค่า K_p ลงครึ่งหนึ่ง และจะถือว่าการปรับได้ค่าที่ถูกต้องแล้ว
 7. หากมีการปรับค่า K_I หรือการควบคุมชนิดพีไอ ให้ปรับค่า K_I ต่อจนเกิดการแกว่งของสัญญาณอีกครั้ง หลังจากนั้นให้ลดค่า K_I ลงครึ่งหนึ่ง และจะถือว่าการปรับการควบคุมชนิดพีไอได้ค่าที่ถูกต้องแล้ว
 8. หากประสงค์จะปรับเป็นแบบชนิดพีไอดีแล้ว ให้ปรับค่า K_D ประมาณ $1/6 - 1/4$ เท่าของค่า T_I ($T_I = 1 / K_I$) โดยจะต้องไม่ปรับค่า K_D มากกว่าหรือเท่ากับ T_I เพราะจะทำให้สูญเสียการควบคุม
- ผลการทดลองในทางปฏิบัติ

1. การปรับค่า K_p สามารถปรับจนได้ ultimate gain และลดค่า K_p ลงครึ่งหนึ่ง

สำหรับในการควบคุมชนิดพี การควบคุมสามารถทำงานได้ดังแสดงในภาพประกอบ 5.12

ข้อสังเกตเพิ่มเติม การควบคุมชนิดพี จะมี offset ปรากฏเสมอ การปรับค่า K_p มากขึ้นจะทำให้เข้าใกล้ SET POINT มากขึ้น แต่ไปถึงจุดหนึ่งจะเกิดการแกว่งของสัญญาณทั้งจากค่าที่ออกจากตัวควบคุมและค่าตัวแปรกระบวนการ หากยังคงปรับค่า K_p ต่อกไปอีกระบบควบคุมจะไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้



ภาพประกอบ 5.12 การปรับอัตโนมัติแบบพี ผลของสัญญาณควบคุม (ก.1 ก.2 และ ก.3) ultimate cycle ที่เกิดขึ้นจากการปรับค่า K_p (ข.1) และค่าตัวแปรกระบวนการหยุดนิ่งที่ต่ำกว่าค่าจุดปรับตั้ง (ข.2) และ (ข.3)

จากภาพประกอบ 5.12 เป็นการปรับตัวควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติพี ในการควบคุมระดับคอนกรีตเสท

- ค่าปรับตั้งกำหนดไว้ที่ 0.720 เมตร ปรับค่า K_p ไปที่ 18 $K_i = 0$ และ $K_D = 0$ ผลของสัญญาณทางออกตัวควบคุมเป็นดัง (ก.1) และค่าตัวแปรระดับคอนกรีตเสทเป็นดังช่วง (ข.1) จะสังเกตเห็นว่าเกิดการแกว่งของสัญญาณเป็นวัฏจักรที่มีขนาดความสูง และช่วงคาบเวลาค่อนข้างจะคงที่ซึ่งการแกว่งของสัญญาณอยู่รอบค่า 0.69 เมตร (ข.1) ซึ่งต่ำกว่าค่าปรับตั้ง

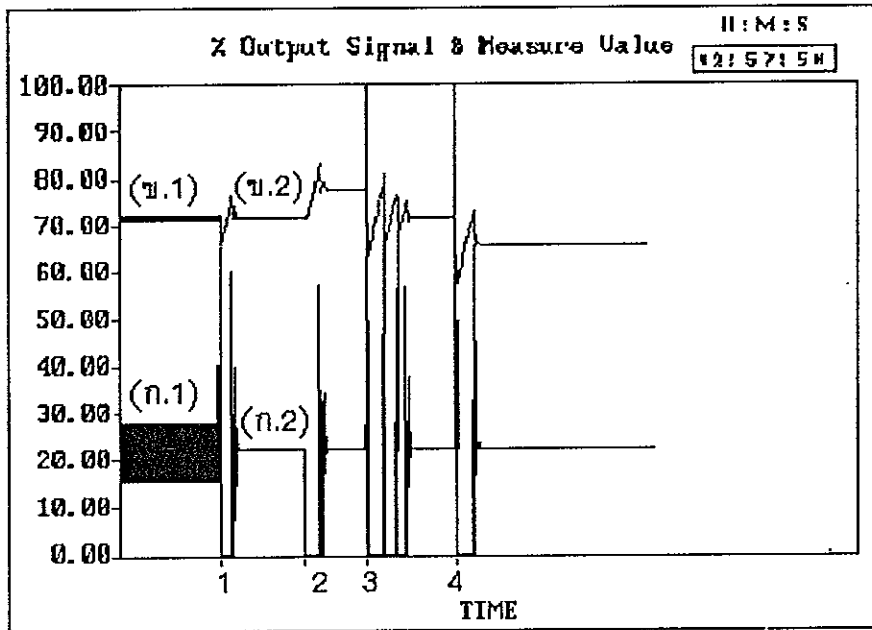
- จากตำแหน่ง 1 เป็นต้นไปเป็นการปรับลดค่า K_p ลงครึ่งหนึ่งเหลือเท่ากับ 9 โดยค่า K_i และ K_D ยังคงเท่ากับ 0 ระบบจะปรับตัวเองไปคงที่ที่ 0.668548 เมตร (ข.2) สัญญาณจากตัวควบคุมเป็นดัง (ก.2)

- จากตำแหน่ง 2 เป็นต้นไปเป็นการปรับค่า K_p จาก 9 ไปเป็น 12 โดยค่า K_i และ K_D ยังคงเท่ากับ 0 ระบบจะปรับตัวเองไปคงที่ที่ 0.681411 เมตร (ข.3) สัญญาณจากตัวควบคุมเป็นดัง(ก.3)

- จากตำแหน่ง 3 เป็นต้นไปเป็นการปรับค่า K_p จาก 12 ไปเป็น 15 โดยค่า K_i และ K_D ยังคงเท่ากับ 0 ระบบจะปรับตัวเองไปคงที่ที่ 0.689129 เมตร (ข.4) สัญญาณจากตัวควบคุมเป็นดัง(ก.4) และที่ (ข.5) (ก.5) ปรับค่า K_p ไปที่ 18 จะได้รอยแกว่งอีกครั้ง

2. การปรับค่า K_i สามารถปรับให้จนสังเกตเห็นว่าระบบควบคุมสามารถทำการปรับค่าตัวแปรของกระบวนการไปยังค่าปรับตั้งได้ดังแสดงในภาพประกอบ 5.13

ข้อสังเกตเพิ่มเติม การปรับค่า K_i ในโปรแกรมสามารถสังเกตผลที่มีต่อกระบวนการได้ชัดเจนในแง่ของการทำให้ค่าที่ต้องการควบคุมมาอยู่ที่ค่ากำหนดได้อย่างถูกต้อง



ภาพประกอบ 5.13 การปรับอัตโนมัติแบบพีไอ ผลของสัญญาณควบคุม (ก) และค่าตัวแปรกระบวนการ ณ จุดปรับตั้งค่าต่างๆ (ข)

ภาพประกอบ 5.13 เป็นการปรับตัวควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติพีไอ ในการควบคุมระดับคอนกรีตในขณะนี้ค่าปรับตั้งกำหนดที่ 0.720 เมตร

- ในช่วงแรกได้รับเป็นแบบอัตโนมัติ โดยตั้งค่า $K_p = 9$ ค่า K_i และค่า K_D เท่ากับ 0 ระดับคอนกรีตจะไปคงที่ที่ 0.668548 เมตร จากนั้นดำเนินการปรับค่า K_i ไปที่ค่าต่างๆ โดยที่ K_D เท่ากับ 0 ซึ่งในการปรับค่า K_i จะต้องเริ่มที่ค่าน้อยๆ ก่อน เช่น 0.01 ระบบควบคุมจะปรับค่าสัญญาณทางออกเพื่อที่จะนำค่าของตัวแปรกระบวนการมายังค่าปรับตั้ง หลังจากทีค่าตัวแปรกระบวนการมาใกล้กับค่าปรับตั้งแล้ว ก็ให้เพิ่มค่า K_i ไป แล้วรอการปรับค่าตัวแปรมายังค่าปรับตั้งอีก กระทำไปจนได้การแกว่งของสัญญาณของตัวควบคุม ซึ่งผลการทดสอบสัญญาณจากตัวควบคุมจะเป็นดังช่วง (ก.1) และสัญญาณตัวแปรกระบวนการหรือระดับคอนกรีตจะเป็นดังช่วง (ข.1) ซึ่งที่ตำแหน่งดังกล่าวค่า K_i เท่ากับ 24 จากนั้นลดค่า K_i ลงมาครั้งหนึ่ง (ตำแหน่ง 1) คือ 12 ระบบ

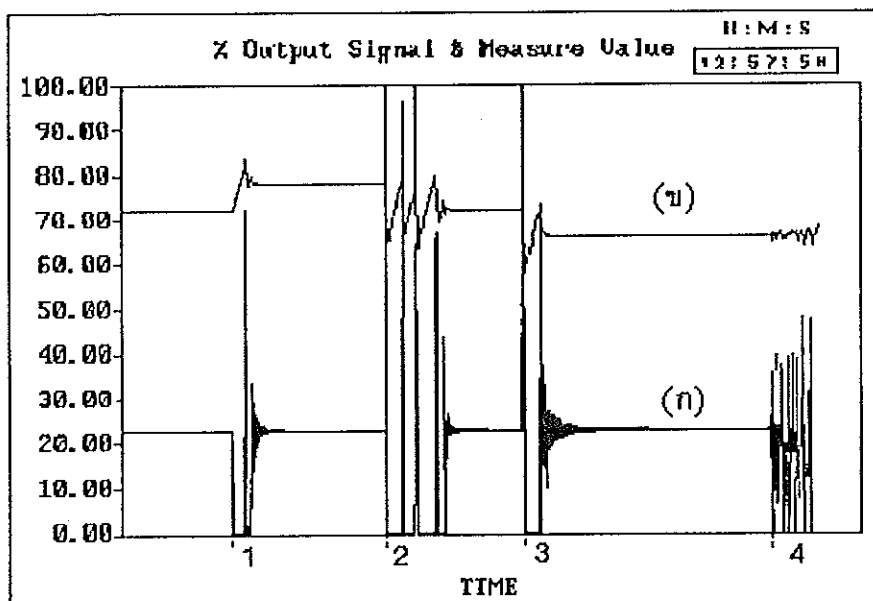
จะปรับตัวเองระยะหนึ่ง สัญญาณจากตัวควบคุมเป็นดังช่วง (ก.2) ในขณะที่สัญญาณของระดับเป็นดังช่วง (ข.2) ซึ่งจะไปคงที่ที่ค่าปรับตั้งคือ 0.720

- ที่ตำแหน่ง 2 ได้ทดลองปรับค่าปรับตั้งไปที่ 0.780 เมตร อย่างทันทีทันใดระบบจะปรับตัวเองระยะหนึ่งแล้วค่อยๆปรับเข้าไปคงที่ที่ค่า 0.780 เมตร

- การทดลองได้ต่อเนื่องไปเป็นการปรับค่าปรับตั้งกลับมาที่ค่า 0.720 เมตร (ตำแหน่ง 3) จนค่าคงที่ที่ 0.720 เมตร แล้วปรับต่อไปที่ 0.660 เมตร (ตำแหน่ง 4) ผลตอบสนองของค่าตัวแปรกระบวนการสามารถปรับไปคงที่ที่ค่าปรับตั้งได้

3. การปรับค่า K_p ในกรณีปรับให้น้อยกว่า T_i ตามข้อกำหนด ระบบสามารถควบคุมค่าตัวแปรกระบวนการได้ แต่ในกรณีปรับให้ค่า K_p ให้เท่ากับหรือมากกว่า T_i จะทำให้เกิดการสูญเสียการควบคุมไปได้ นั่นคือเกิดการแกว่งของสัญญาณ ทั้งจากของตัวควบคุมและกระบวนการ แสดงดังในภาพประกอบ 5.6

ข้อสังเกตเพิ่มเติม การตอบสนองของ K_p เมื่อปรับเพิ่มเข้าไปในการควบคุมแบบพีไอดี เปรียบเทียบกับแบบพีไอ จะพบว่าการควบคุมแบบพีไอดีผลของ K_p จะทำให้วาล์วปรับตัวเองมากขึ้นกว่าการควบคุมแบบพีไอในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าปรับตั้ง



ภาพประกอบ 5.14 การปรับอัตโนมัติแบบพีไอดี ผลของสัญญาณควบคุม (ก) ค่าตัวแปรกระบวนการ ณ จุดปรับตั้งค่าต่างๆ (ข) และการปรับค่า K_p ให้มากกว่า T_i ทำให้สูญเสียการควบคุม

ภาพประกอบ 5.14 เป็นการปรับตัวควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติพีไอดี ในการควบคุมระดับคอนกรีต โดยได้ดำเนินการดังนี้

- ในช่วงก่อนตำแหน่ง 1 ปรับเป็นแบบอัตโนมัติพีไอมาก่อน โดยตั้งค่า $K_p = 9$ $K_i = 12$ และ $K_D = 0$ ระดับคอนกรีตไปคงที่ที่ 0.720 เมตร จากนั้นปรับค่า K_D ไปที่ $1/6$ ของ T_i คือ 0.0138 ($T_i = 1/K_i = 0.0833$) ระดับก็ยังคงอยู่ที่ 0.720 เมตร ที่ตำแหน่ง 1 ปรับค่าปรับตั้งไปที่ 0.780 เมตร ตำแหน่ง 2 ปรับค่าปรับตั้งกลับไป 0.720 เมตร ตำแหน่ง 3 ปรับค่าปรับตั้งไปที่ 0.660 ผลที่ได้ระบบควบคุมสามารถปรับค่าตัวแปรกระบวนการหรือระดับคอนกรีตเข้าหาจุดปรับตั้งได้อย่างถูกต้อง

- ที่ตำแหน่ง 4 ปรับค่า K_D ไปที่ 0.0833 ซึ่งเท่ากับ T_i ระบบจะเกิดการแกว่งขึ้นทันที ทั้งจากสัญญาณจากตัวควบคุม (แนวเส้น ก.) และค่าตัวแปรกระบวนการ (แนวเส้น ข.)

5.3. บทสรุป

ผลการทำงานของโปรแกรมสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ นั่นคือสมการการทำงานของกระบวนการและสมการการควบคุมเป็นไปตามทฤษฎีและหลักการที่กำหนด นอกจากนี้ในแต่ละหน้าจอก็ให้การทำงานในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับชุดฝึกเครื่องจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซของบริษัทโททาลฯ ที่ได้ยึดเป็นแนวทางไว้

อย่างไรก็ตามในการพัฒนาในครั้งนี้ยังมีข้อสังเกตและเสนอแนะตลอดจนข้อวิจารณ์ดังนี้

1. การพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาวะการผลิตก๊าซเป็นการเลือกมาเพียง 1 หน่วยเท่านั้น หากจะพัฒนาให้ได้ทั้งระบบจะต้องออกแบบในแต่ละหน่วยให้ทำงานให้ได้เป็นหน่วยๆ ไป แล้วนำมารวมกันในภายหลัง

2. สมการที่เลือกใช้ในส่วนที่เป็นสมการทางเคมี ยังเป็นการประมาณค่าและสมมุติค่าในบางค่าไว้ หากเป็นค่าจริงความซับซ้อนต่างๆจะมีมากกว่านี้ และต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ในด้านสมการเคมีมากขึ้น

3. ข้อมูลในการใช้งานที่ได้มาส่วนหนึ่งมาจากข้อมูลที่มีการใช้งานจริง ทั้งในส่วนของ การปรับแต่งตัวควบคุมที่ใช้งาน พบว่าในสมการกระบวนการและสมการควบคุมสามารถที่จะให้รูปแบบของการทำงานของระบบได้ระดับหนึ่ง หากใช้โปรแกรมเพื่อการฝึกเบื้องต้นจะไปใช้งานจริงในการปรับแต่งตัวควบคุม ก็จะมีส่วนช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจหลักการพื้นฐานของระบบเครื่องมือวัดและควบคุมในอุตสาหกรรมได้เป็นเบื้องต้นก่อน

4. แนวทางในการพัฒนาต่อไปอาจจะใช้เฉพาะสมการควบคุมที่มีอยู่เป็นต้นแบบ แต่ข้อมูลที่ใช้แทนที่จะเป็นการใช้สมการแทนการทำงาน อาจจะเป็นการนำข้อมูลจากภายนอกที่มีการ

ทำงานจริงผ่านชุดเชื่อมต่อ (Interface) เข้ามายังคอมพิวเตอร์และให้มีการวัด,ควบคุมและแสดงผล

5. ในการคำนวณหาการแตกตัวของก๊าซและคอนเด็นเสท เนื่องจากต้องมีการคำนวณ โดยอ้างอิงกับฐานข้อมูลที่เป็นส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอน จำเป็นที่จะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะสุ่มใส่ค่าสัดส่วนของของเหลว แล้วให้ผลรวมของส่วนประกอบที่เป็นของเหลวและเป็นก๊าซให้ได้เท่ากับ 1 ในช่วงของแรงดันและอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Dbase III ในการคำนวณ เพราะไม่ต้องยุ่งยากในการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ นอกจากนี้การเขียนแฟ้ม .PRG เพื่อคำนวณยังสามารถช่วยให้การคำนวณต่างๆ ง่ายขึ้น สำหรับการแก้สมการนอร์เมลเพื่อหาผลเฉลยของเส้นโค้งกระชับแบบกำลังสองน้อยที่สุดก็ได้ใช้โปรแกรมที่เขียนในแฟ้ม .PRG แล้ว RUN บนโปรแกรม Dbase III เช่นกัน

6. สูตรและสมการที่ได้มาจากหนังสือและเอกสารหลายๆ แหล่ง จะมีปัญหาจากหน่วยที่ใช้มาก ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมที่ชื่อ SIPLUS ในการเปลี่ยนหน่วยดังกล่าว

7. โปรแกรม Lab Windows เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาในรูปแบบนี้ เนื่องจากมีความสะดวกในการที่จะเรียกใช้ชุดฟังก์ชันตลอดจนแบบโต้ตอบมาใช้งาน

8. โดยในภาพรวมของงานวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ได้แนวทางในการจัดทำสื่อการสอนประเภทโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งคงจะได้นำไปทดสอบและปรับปรุงเพื่อใช้ในการเรียนการสอนในสถานศึกษาสังกัดกรมอาชีวศึกษาหรือสถานศึกษาอื่นๆ ตลอดจนเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจต่อไป

บรรณานุกรม

- กิริติ ลีวัจนกุล. 2538. ชลศาสตร์ (HYDRAULICS). กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- จักรกริศน์ กนกกันตพงษ์. 2537. รวมศัพท์วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- นพดล อินนา. 2536. ทฤษฎีและการคำนวณกลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- นิตยา หวังวงศ์โรจน์. 2539. โจทย์ 2500 ข้อ: กลศาสตร์ของไหลและชลศาสตร์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล.
- ปิโตรเคมีแห่งชาติ, บริษัท. 2534. ศัพท์บัญญัติปิโตรเคมีและคำอธิบายย่อ. กรุงเทพฯ : ม.ป.พ.
- พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน , กรม. 2537. รายงานพลังงานของประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- มนตรี พจนารถลาวัฒน์. 2535. การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยเทอร์โบซี. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- มณฑนา ปราการสมุทร. 2534. การเขียนชุดคำสั่งภาษาซี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริพงษ์ ศรีพิพัฒน์. 2530. คณิตศาสตร์เชิงตัวเลข สำหรับคอมพิวเตอร์. สงขลา : ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมาน เจริญกิจพูนผล. 2539.มนตรี พิรุณเกษตร. กลศาสตร์ของไหล ฉบับเสริมประสบการณ์. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน).

สายสุนีย์ พุทธาคณเจริญ. 2539. ชลศาสตร์ HYDRAULICS. กรุงเทพฯ :
Library-Nine Publishing.

สุธีธร เกียรติสุนทร. 2536. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 1.
กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

สุธีธร เกียรติสุนทร. 2537. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 2.
กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

สุธีธร เกียรติสุนทร. 2539. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 3.
กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

หาดใหญ่, วิทยาลัยเทคนิค. กรมอาชีวศึกษา. ม.ป.ป. แผนกเทคโนโลยีปิโตรเลียม. สงขลา :
ม.ป.พ.

อาชีวศึกษา, กรม. 2537. สัญญาโครงการความร่วมมือทางวิชาการ กรมอาชีวศึกษา -
บริษัทโททาลเอ็กซ์โพรเรชันแอนดีโปรดักชัน ไทยแลนด์ : กรุงเทพฯ (สำเนา)

Anderson, Norman A. 1980. Instrumentation for Process Measurement and Control.
3d ed Radnor: Chilton Company.

Campbell, John M. 1992. Production/Processing Operations. Norman : GASCO.

Jacob, J. Michael. 1989. Industrial Control Electronics Application and Design.
New Jersey : Prentice-Hall International, Inc.

Jain, A.K. 1990. Fluid Mechanics. Delhi : Khanna Publishers.

Johnson, Curtis. 1993. Process Control Instrumentation Technology. 4th ed.
New Jersey : Prentice-Hall International, Inc.

Kirk, Franklyn W. and Rimboi, Nicholas R. 1982. Instrumentation. 3d ed Chicago :
American Technical Publishers, Inc.

National Instruments Corporation. 1993. Getting Started with Lab Windows Version 2.3 :
s.l.,s.n.

National Instruments Corporation. 1993. Lab Windows User Manual Version 2.3 : *s.l.,s.n.*

National Instruments Corporation. 1993. Lab Windows User Interface Library Reference
Manual Version 2.3 : *s.l.,s.n.*

National Instruments Corporation. 1993. Lab Windows Standard Library Reference
Manual Version 2.3 : *s.l.,s.n.*

National Instruments Corporation. 1993. Lab Windows Instrument Develop Guide
Version 2.3 : *s.l.,s.n.*

Perry, Robert H. & Green, Don. 1984. Perry's Chemical Engineers Handbook. 6th ed.
Singapore : McGraw-Hill Book Company.

Smith, Carlos A. and Corripio, Armando B. 1985. Principles and Practice of Automatic
Process Control. New York : John Wiley & Sons, Inc.

Szilas, A.P. 1975. Production and Transport of Oil and Gas : Elsevier Scientific Publishing.

Total Exploration & Production Thailand, 1995. Bongkot Field Development Project
Phase II : PP Platform Operation Manual.

Whalen, Bruce R. 1983. Basic Instrumentation. 3d ed. Petroleum Extension Service :
The University of Texas at Austin.

Yokogawa Electric Corporation, 1981. Model Y/130M Pneumatic Indicating Controller
3rd ed. Tokyo : Instruction Manual.

ภาคผนวก ก. คุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรคาร์บอน

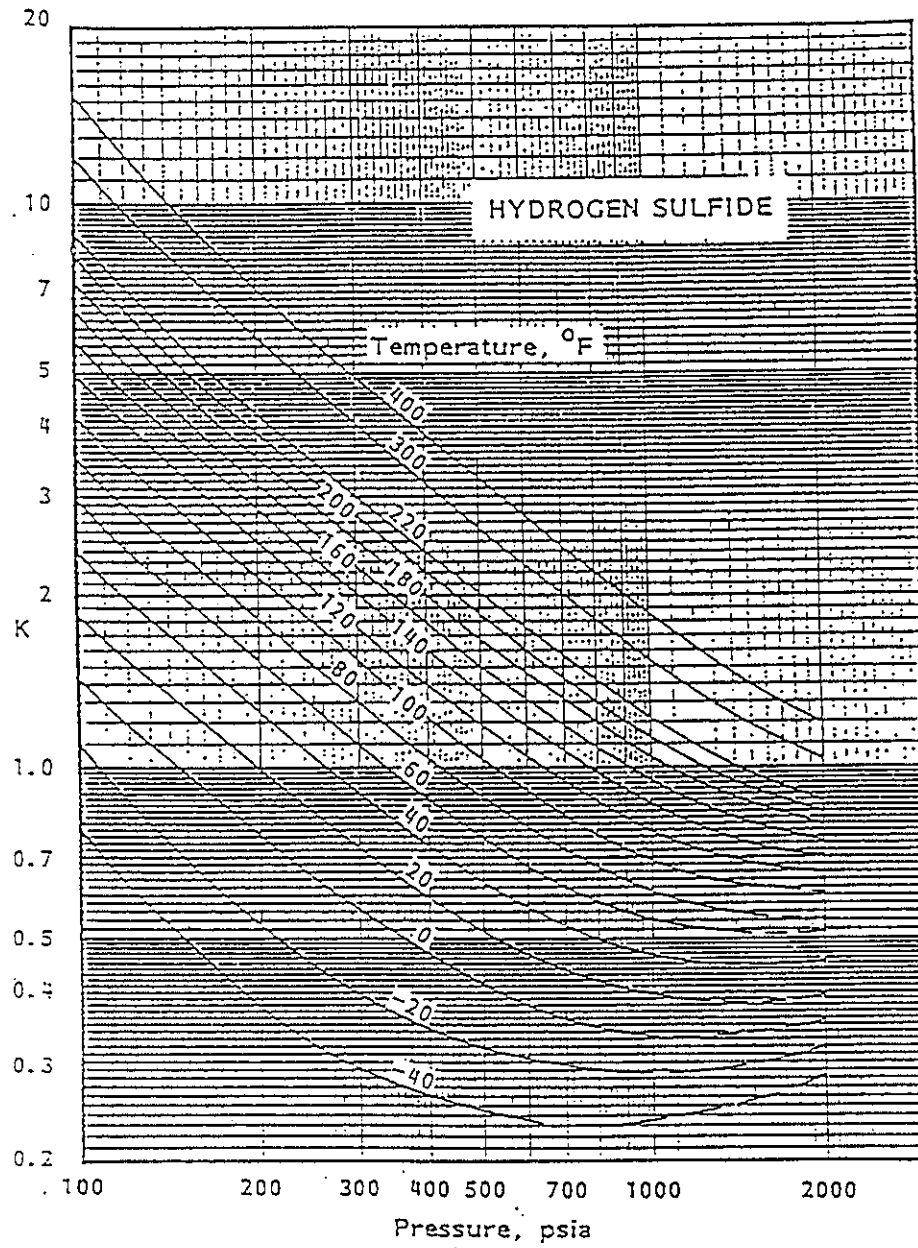
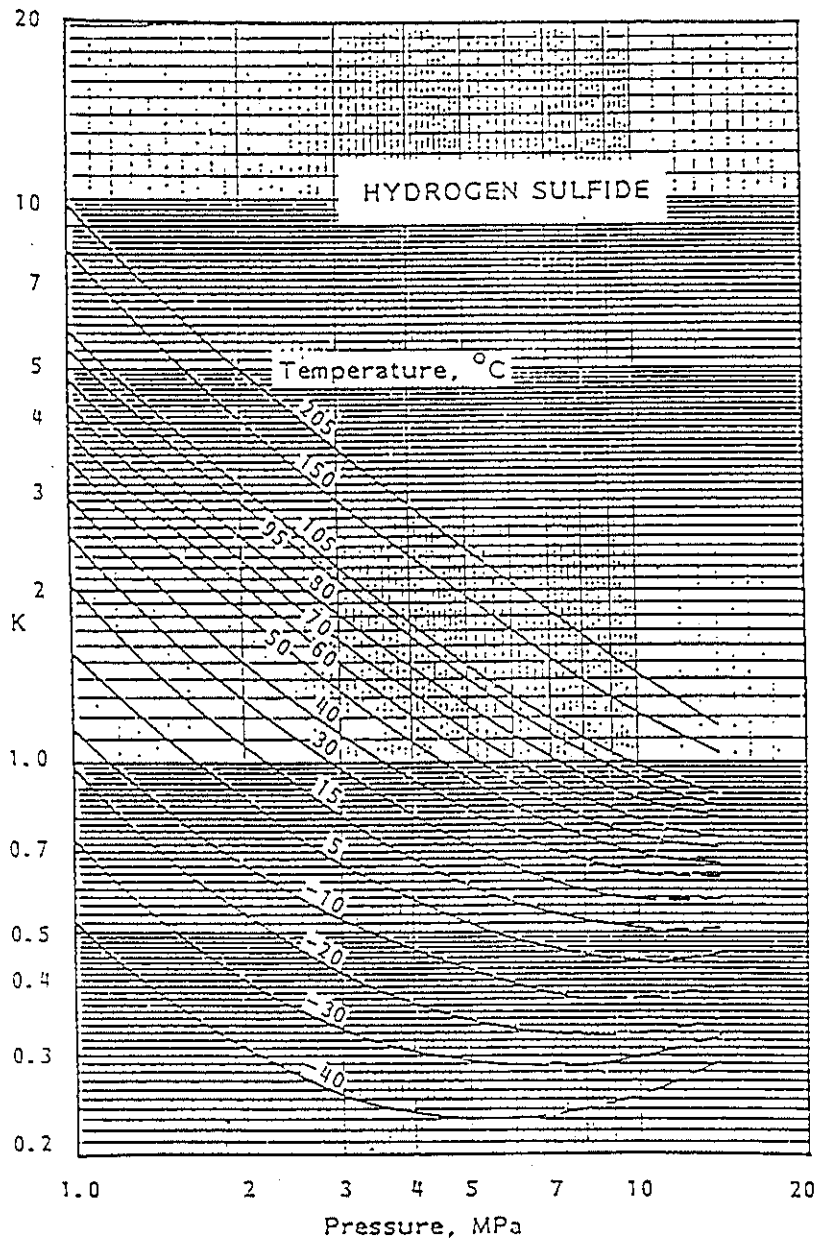
Properties of Paraffin Hydrocarbons

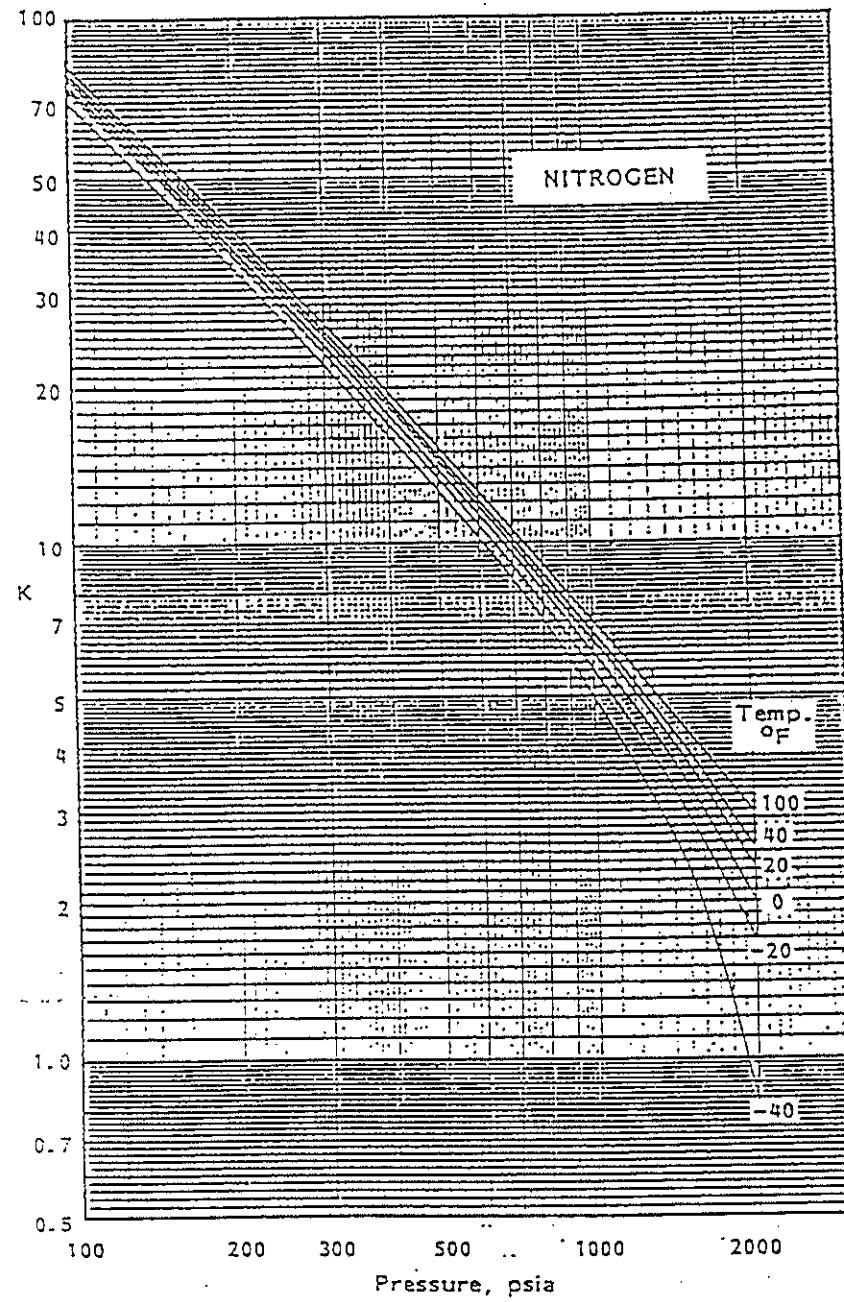
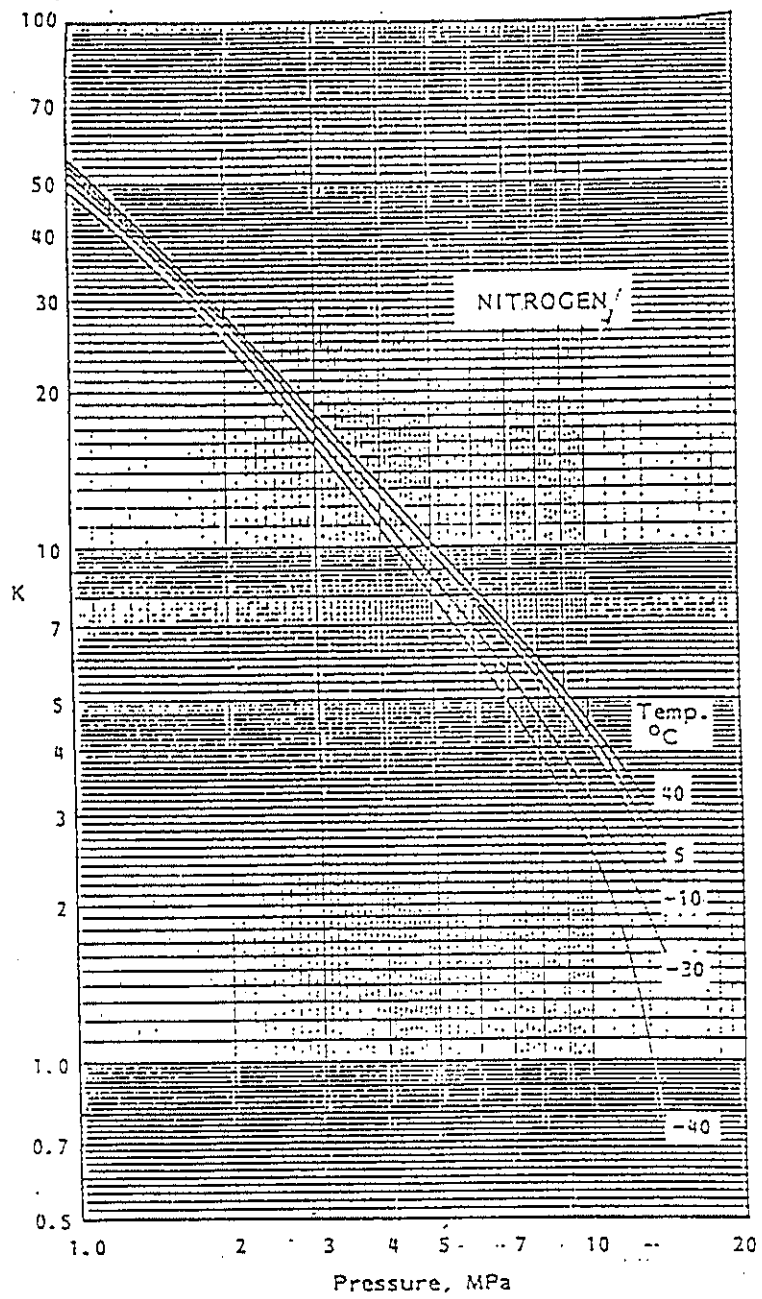
Component	Methane	Ethane	Propane	iso-Butane	n-Butane	iso-Pentane	n-Pentane	n-Hexane	n-Heptane	n-Octane	n-Nonane	n-Decane
Molecular Weight	16.043	30.070	44.097	58.124	58.124	72.151	72.151	86.178	100.205	114.232	128.259	142.286
Boiling Point @ 101.3250 kPa (abs), K	111.63(28)	184.57	231.08	261.34	272.66	300.99	309.21	341.89	371.57	398.82	423.97	447.31
Freezing Point @ 101.3250 kPa (abs), K	90.68	90.35	85.47	113.55	134.79	113.25	143.42	177.83	182.57	216.39	219.66	243.51
Vapor Pressure @ 313.15 K, kPa (abs)	(35 000.)	(6000.)	1341.	528.	377.	151.3	115.66	37.23	12.34	4.143	1.40	0.4732
Density of Liquid @ 288.15 K & 101.3250 kPa (abs)												
Relative density (water = 1)	(0.3)	0.3581	0.5083	0.5637	0.5847	0.6250	0.6316	0.6644	0.6886	0.7073	0.7224	0.7346
Absolute density, kg/m ³ (in vacuum)	(300.)	357.8	507.8	563.2	584.2	624.4	631.0	663.8	688.0	706.7	721.7	733.9
Apparent density, kg/m ³ (in air)	(300.)	356.6	506.7	562.1	583.1	623.3	629.9	662.7	696.9	705.6	720.6	732.8
Density of Gas @ 288.15 K & 101.3250 kPa (abs)												
Relative density (air = 1), ideal gas	0.5539	1.0382	1.5225	2.0069	2.0068	2.4911	2.4911	2.9753	3.4596	3.9439	4.4282	4.9125
Kilogram per cubic metre, kg/m ³ , ideal gas	0.6784	0.6784	1.218	1.3650	2.1582	2.1582	3.0516	3.0516	3.6443	4.2373	4.8309	5.4259
Volume @ 288.15 K & 1001.3250 kPa (abs)												
Liquid, cm ³ /mol	(20.)	84.04	86.84	103.2	99.49	115.6	114.3	129.8	145.6	161.6	177.7	193.9
Ratio, gas/(liquid in vacuum)	(442.)	281.3	272.3	229.1	237.6	204.6	206.8	182.1	162.4	146.3	133.0	122.0
Critical Conditions												
Temperature, K	190.55	305.43	369.82	408.13	425.16	460.39	469.6	507.4	540.2	568.76	594.56	617.4
Pressure, kPa (abs)	4604.	4880.	4249.	3648.	3797.	3381.	3369.	3012	2736.	2486.	2283.	2099.
Gross Calorific Value, Combustion @ 288.15 K & Constant Pressure												
Megajoule per kilogram, MJ/kg, liquid	-	51.586	50.008	49.044	49.158	48.579	48.667	48.344	48.104	47.919	47.793	47.670
Megajoule per kilogram, MJ/kg, ideal gas	55.563	51.920	50.387	49.396	49.540	48.931	49.041	48.722	48.482	49.290	48.137	48.043
Megajoule per cubic metre, MJ/m ³ , ideal gas	37.694	66.032	93.972	121.426	121.779	149.319	149.654	177.556	201.431	233.286	261.189	289.066
Megajoule per cubic metre, MJ/m ³ , liquid	-	18.458.	25.394.	27.621.	28.718.	30.333.	30.709.	32.091.	33.095	33.865.	34.485.	34.985.
Volume air to burn one volume gas, ideal gas	9.54	16.70	23.86	31.02	33.18	33.18	45.34	52.50	59.65	66.81	73.97	-
Flammability Limits @ 310.93 K & 101.3250 kPa (abs)												
Lower, volume % in air	5.0	2.9	2.1	1.8	1.8	1.4	1.4	1.2	1.0	0.96	0.98	0.78
Upper, volume % in air	15.0	13.0	9.5	8.4	8.4	(8.3)	8.3	7.7	7.0	-	2.9	2.6
Heat of Vaporization @ 101.3250 kPa (abs) kJ/kg @ boiling point	509.86	489.36	425.73	366.40	355.26	342.20	357.22	334.81	316.33	301.26	283.82	276.06
Specific Heat @ 288.15 K & 101.3250 kPa (abs)												
C _p gas, kJ/(kg·K), ideal gas	2.201	1.706	1.625	1.616	1.652	1.600	1.622	1.613	1.606	1.601	1.598	1.595
C _v gas, kJ/(kg·K), ideal gas	1.636	1.429	1.436	1.473	1.509	1.485	1.50	1.57	1.523	1.528	1.533	1.537
N = C _p /C _v , ideal gas	1.307	1.194	1.2132	1.097	1.095	1.077	1.076	1.063	1.054	1.048	1.042	1.038
C _p liquid, kJ/(kg·K)	-	3.807	2.476	2.366	2.366	2.239	2.292	2.231	2.209	2.191	2.184	2.179

Properties of Paraffin Hydrocarbons

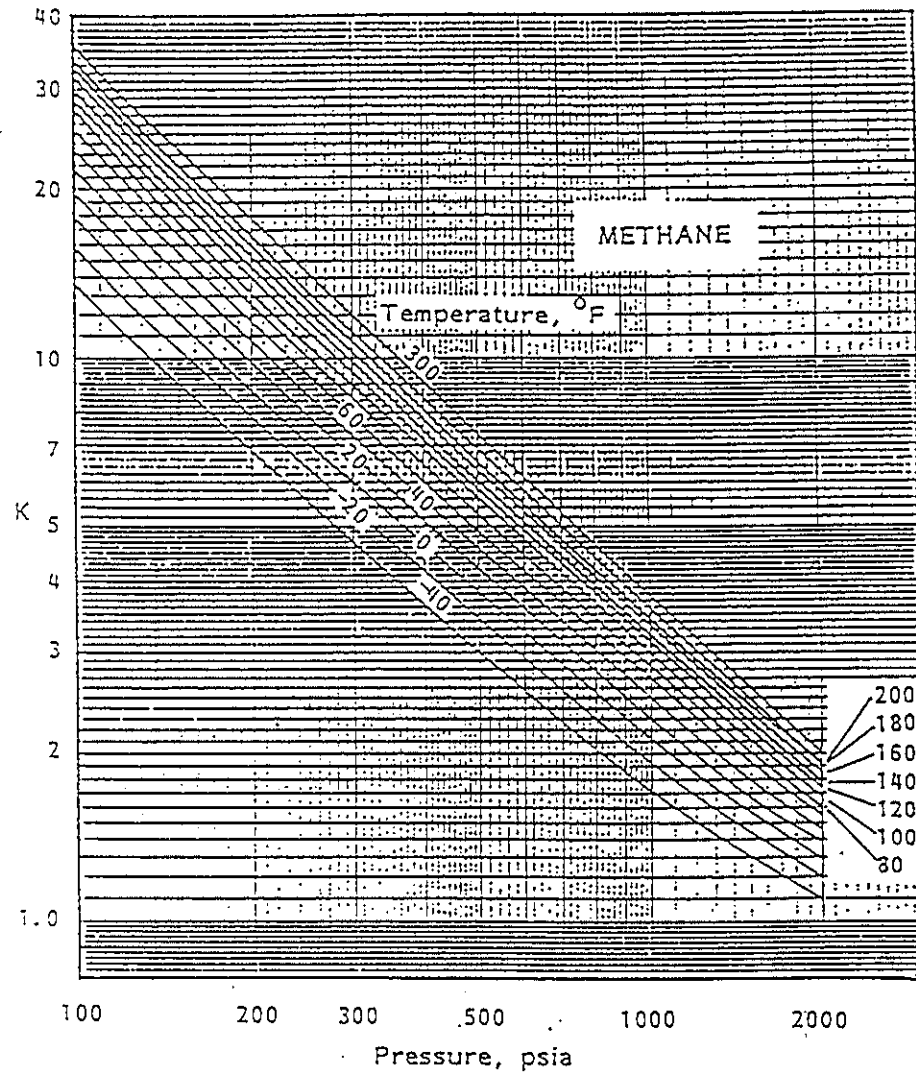
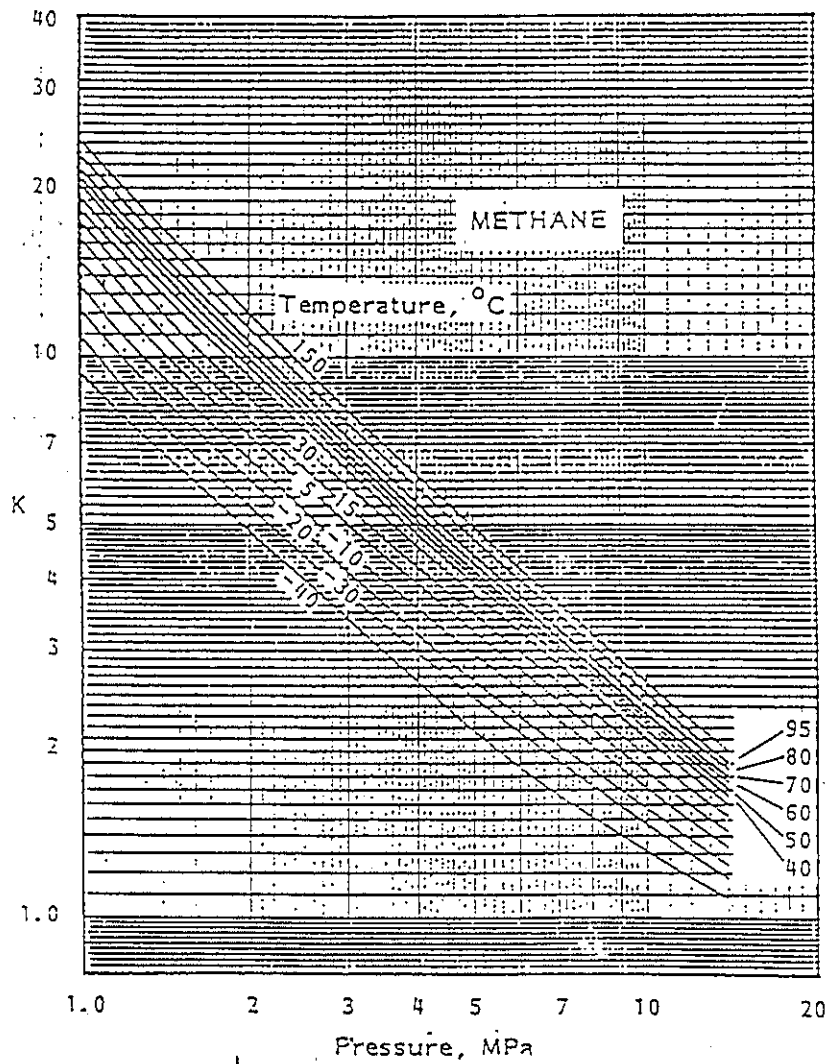
Component	Methane	Ethane	Propane	iso-Butane	n-Butane	iso-Pentane	n-Pentane	n-Hexane	n-Heptane	n-Octane	n-Nonane	n-Decane
Molecular Weight	16.043	30.070	44.097	58.124	58.124	72.151	72.151	86.178	100.205	114.232	128.259	142.286
Boiling Point @ 14.696 psia, °F	-258.74	-127.44	-43.73	10.74	31.12	82.11	96.91	155.73	207.16	258.21	303.48	345.49
Freezing Point @ 14.696 psia, °F	-296.45	-297.04	-305.82	-255.28	-217.05	-255.82	-201.51	-139.58	-131.05	-70.17	-64.28	-21.35
Vapor Pressure @ 100°F, psia	(5000.)	(800.)	188.0	72.39	51.54	20.444	15.575	4.960	1.6201	0.5370	0.1796	0.0609
Density of Liquid @ 60°F & 14.696 psia												
Relative density @ 60°F/60°F	(0.3)	0.3563	0.5075	0.5630	0.5842	0.6244	0.6311	0.6640	0.6883	0.7070	0.7219	0.7342
API	(340.)	265.6	147.3	119.8	110.7	95.1	92.7	81.60	74.08	68.64	64.51	61.23
Absolute density, lbm/gal (in vacuum)	(2.5)	2.970	4.231	4.694	4.870	5.206	5.261	5.536	5.738	5.894	6.019	6.121
Apparent density, lbm/gal (in air)	(2.5)	2.960	4.221	4.684	4.861	5.196	5.252	5.527	5.729	5.885	6.010	6.112
Density of Gas @ 60°F & 14.696 psia												
Relative density (air = 1), ideal gas	0.5539	1.0382	1.5225	2.0069	2.0068	2.4911	2.4911	2.9753	3.4596	3.9439	4.4282	4.9125
lb/ft ³ , ideal gas	42.28	79.24	116.20	153.16	153.16	190.11	190.11	227.07	264.06	301.02	337.95	374.95
Volume @ 60°F & 14.696 psia												
Liquid, gal/lb-mol	(6.4)	10.12	10.42	12.38	11.93	13.86	13.71	15.59	17.46	19.38	21.31	23.26
ft ³ gas/gal liquid, ideal gas	(59.1)	37.48	36.41	30.65	31.80	27.38	27.67	24.38	21.73	19.58	17.81	16.32
Ratio, gas/(liquid in vacuum)	(142.)	280.4	272.3	229.3	237.9	204.8	207.0	82.4	162.6	146.5	133.2	122.1
Critical Conditions												
Temperature, °F	-116.69	90.10	206.01	274.96	305.62	369.03	385.6	453.6	512.7	564.10	610.54	651.6
Pressure, kPa (abs)	667.8	707.8	616.3	329.1	550.7	490.4	488.6	436.9	396.8	360.6	331.8	304.4
Gross Calorific Value, Coinbustion @ 60°F												
Btu/lb, liquid	-	22,178.	21,499.	21,084.	21,133.	20,884.	20,922.	20,783.	20,680.	20,601.	20,542.	20,494.
Btu/lb, gas	23,881.	22,322.	21,662.	21,237.	21,298.	21,037.	21,84.	20,944.	20,840.	20,759.	20,700.	20,651.
Btu/ft ³ , ideal gas	1009.7	1768.7	2517.2	3252.6	3262.0	399.7	4008.7	4756.1	5502.8	6248.9	6996.3	7743.1
Btu/gal, liquid	-	65,889.	90,962.	98,968.	102,918.	108,722.	110,071.	115,055.	118,662.	121,422.	123,642.	125,444.
Volume air to burn one volume gas, ideal gas	9.54	16.70	23.86	31.02	33.18	38.18	45.34	52.50	59.65	66.81	73.97	
Flammability Limits @ 100°F & 14.696 psia												
Lower, volume % in air	5.0	2.9	2.1	1.8	1.8	1.4	1.4	1.2	1.0	0.96	0.98	0.78
Upper, volume % in air	15.0	13.0	9.5	8.4	8.4	(8.3)	8.3	7.7	7.0	-	2.9	2.6
Heat of Vaporization @ 14.696 psia												
Btu/lb @ boiling point	219.20	210.39	183.03	157.52	165.63	147.12	153.58	143.94	136.00	129.52	124.17	118.68
Specific Heat @ 60°F & 14.696 psia												
C _p gas, Btu/(lb-°F), ideal gas	0.5266	0.4080	0.3887	0.3867	0.3951	0.3829	0.3880	0.3857	0.3842	0.3831	0.3822	0.3816
C _v gas, Btu/(lb-°F), ideal gas	0.4027	0.3419	0.3436	0.3526	0.3609	0.3554	0.3605	0.3626	0.3644	0.3657	0.3667	0.3676
γ = C _p /C _v , ideal gas	1.308	1.193	1.131	1.097	1.095	1.077	1.076	1.064	1.054	1.048	1.042	1.038
C _p liquid, Btu/(lb-°F)	-	0.9256	0.5920	0.566	0.566	0.5353	0.548	0.5332	0.5280	0.52389	0.5220	0.5207

ภาคผนวก ข. ตารางการพหาค่า K ของส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอน

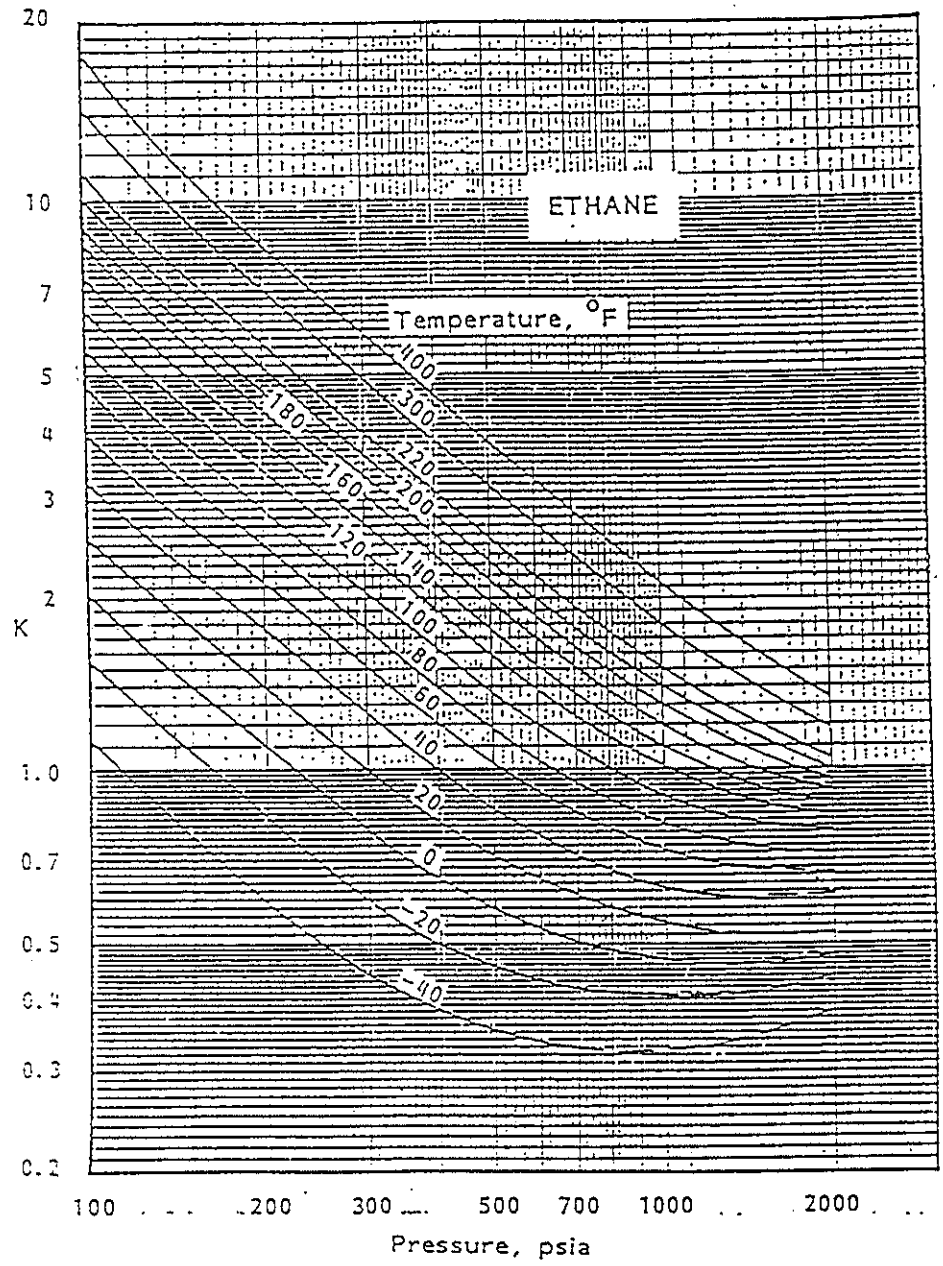
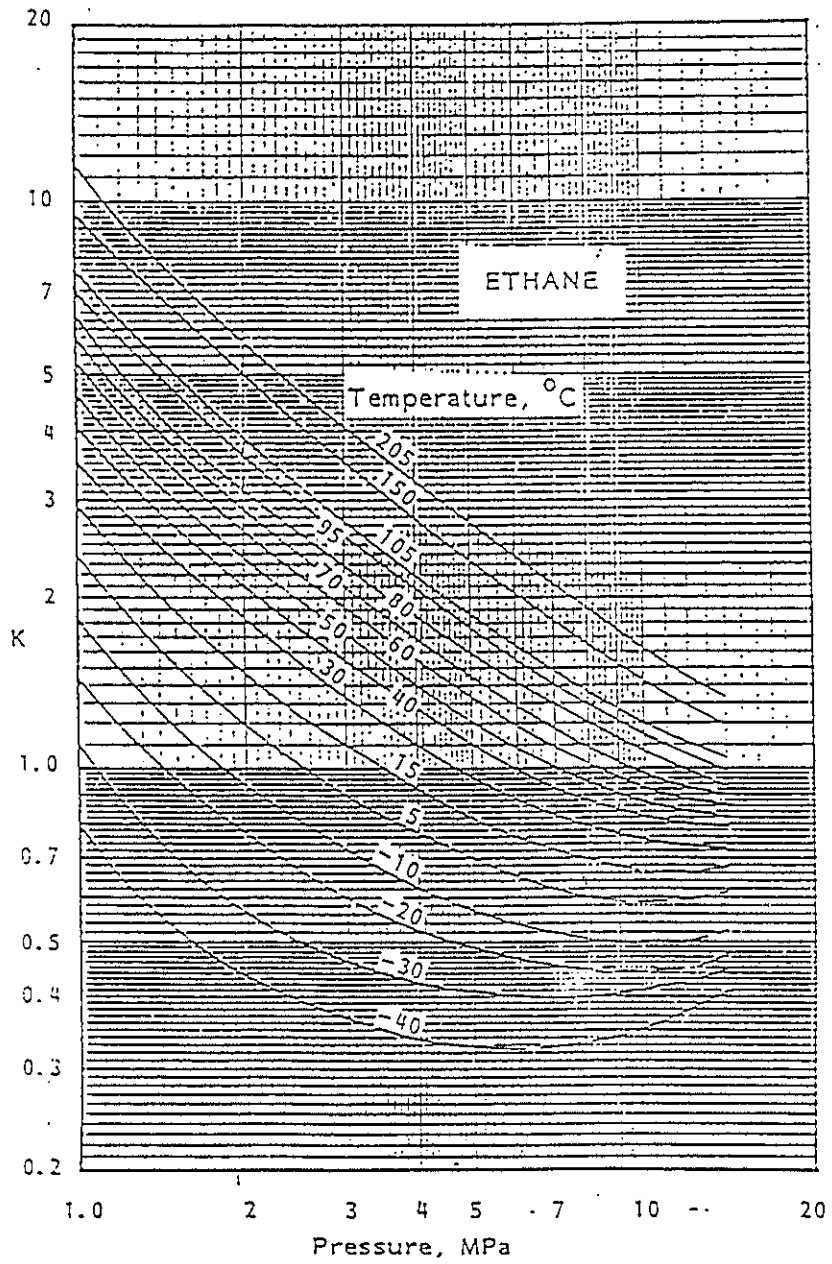


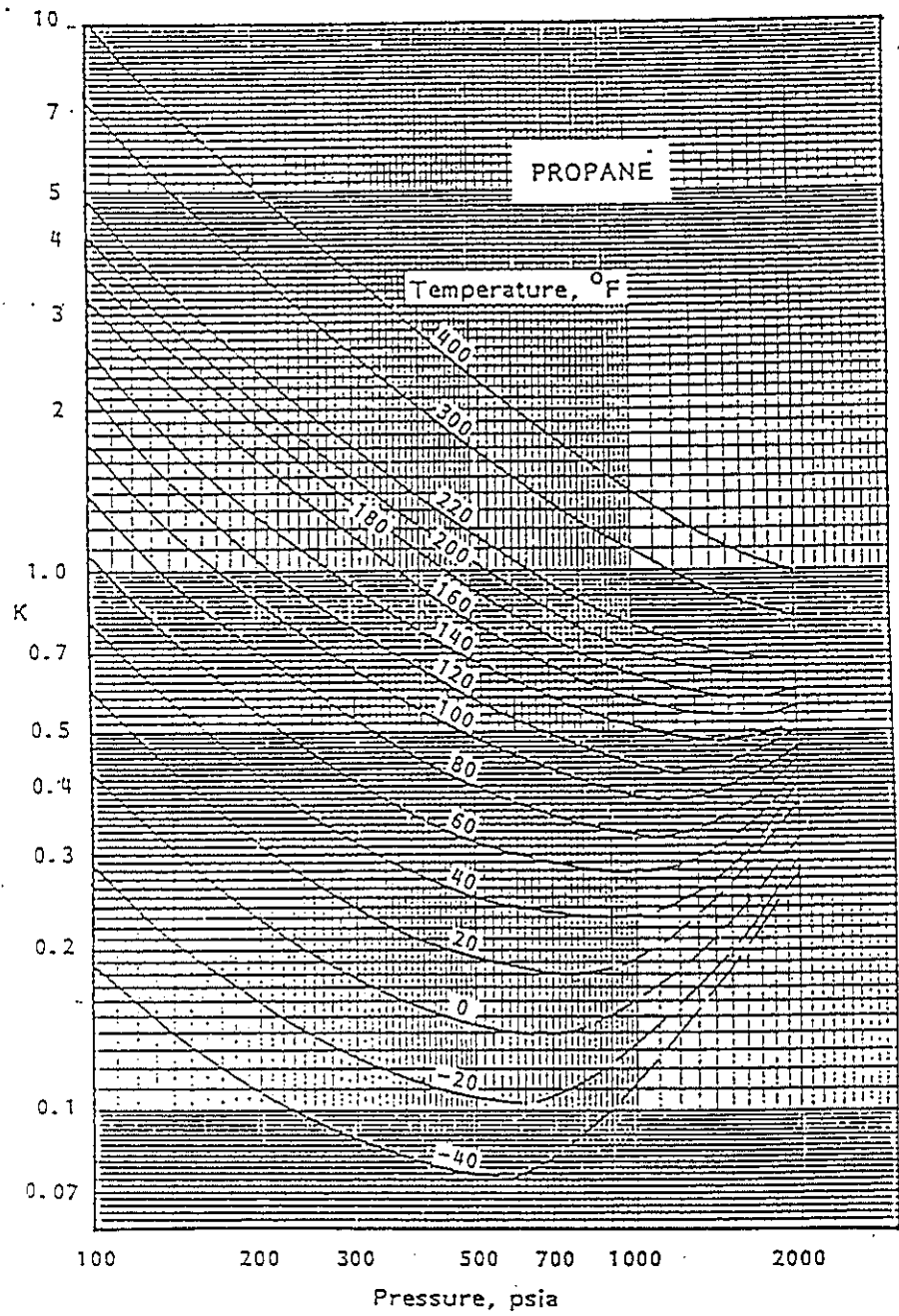
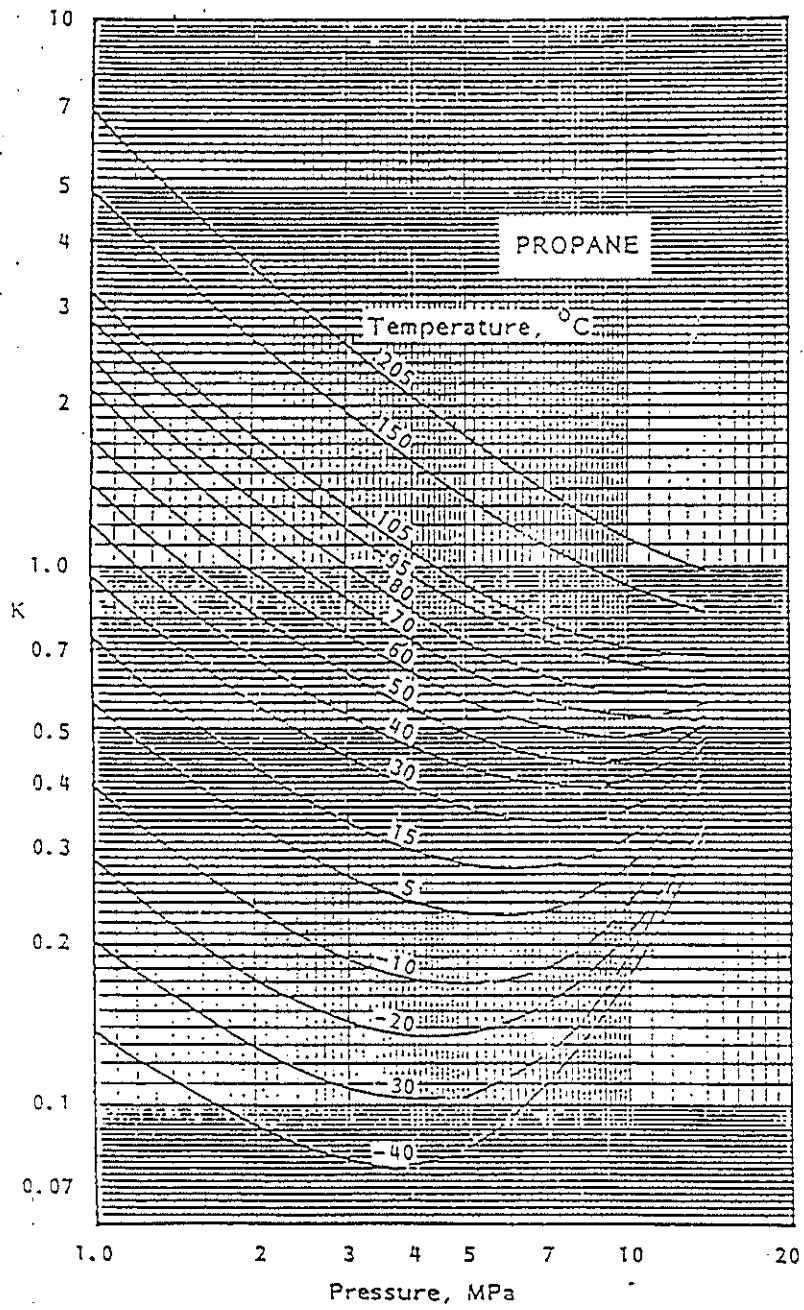


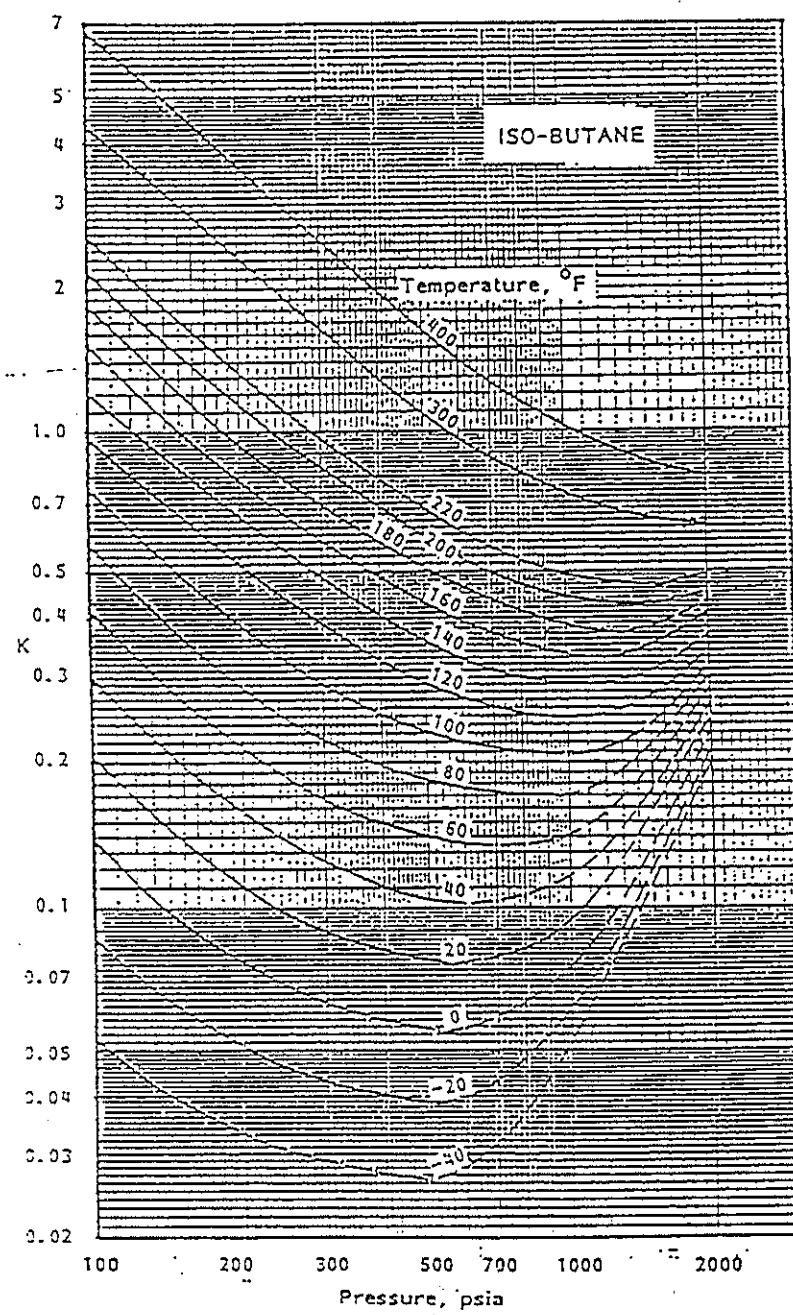
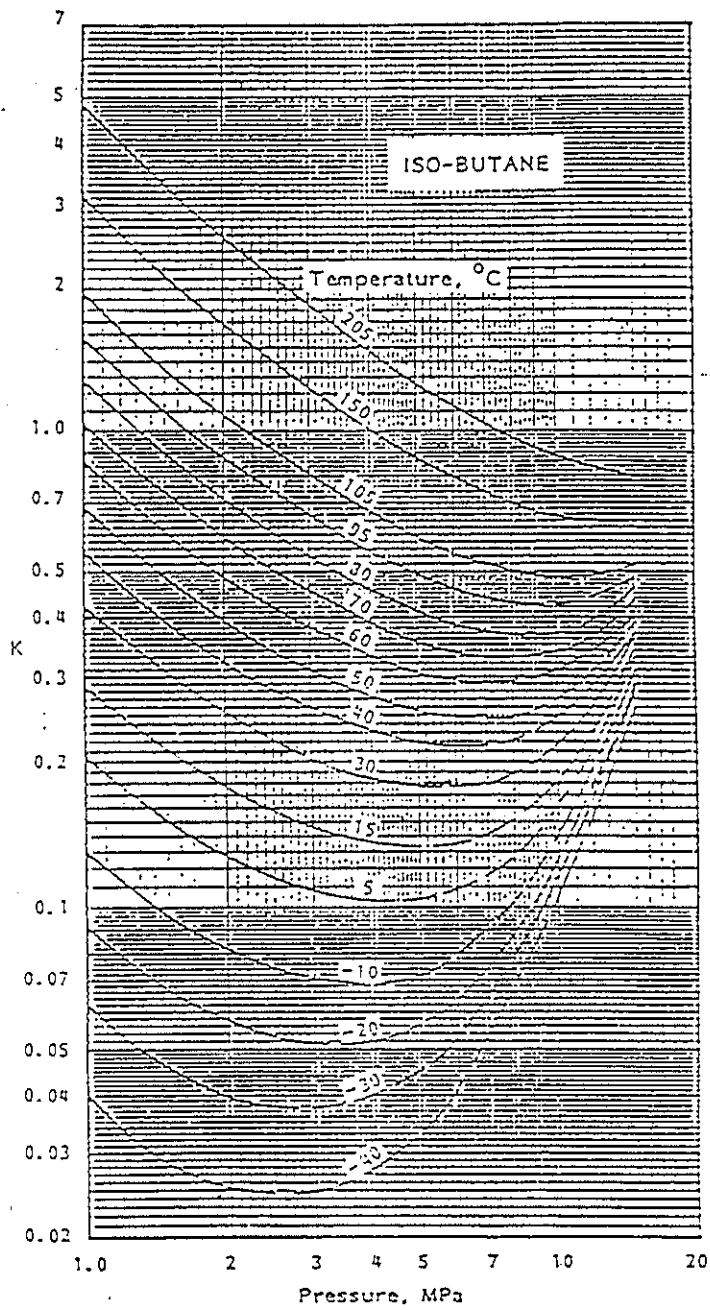
01779 912

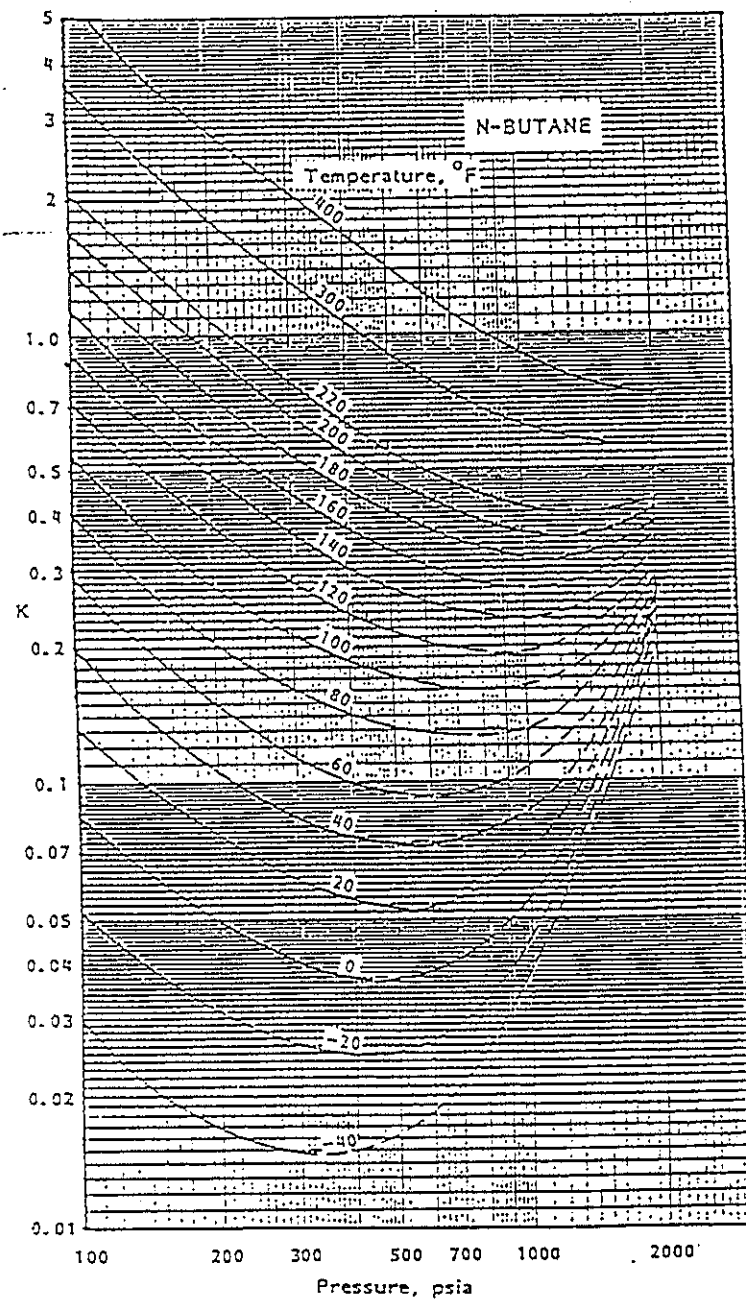
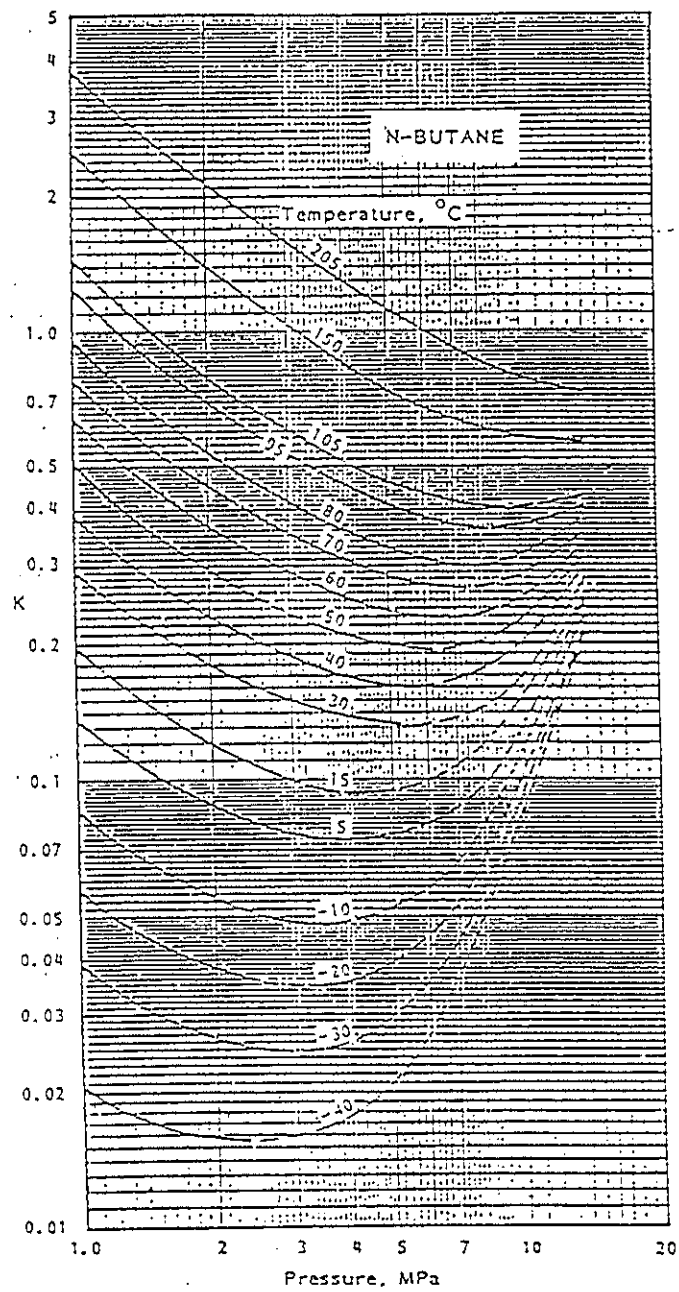


01773 93



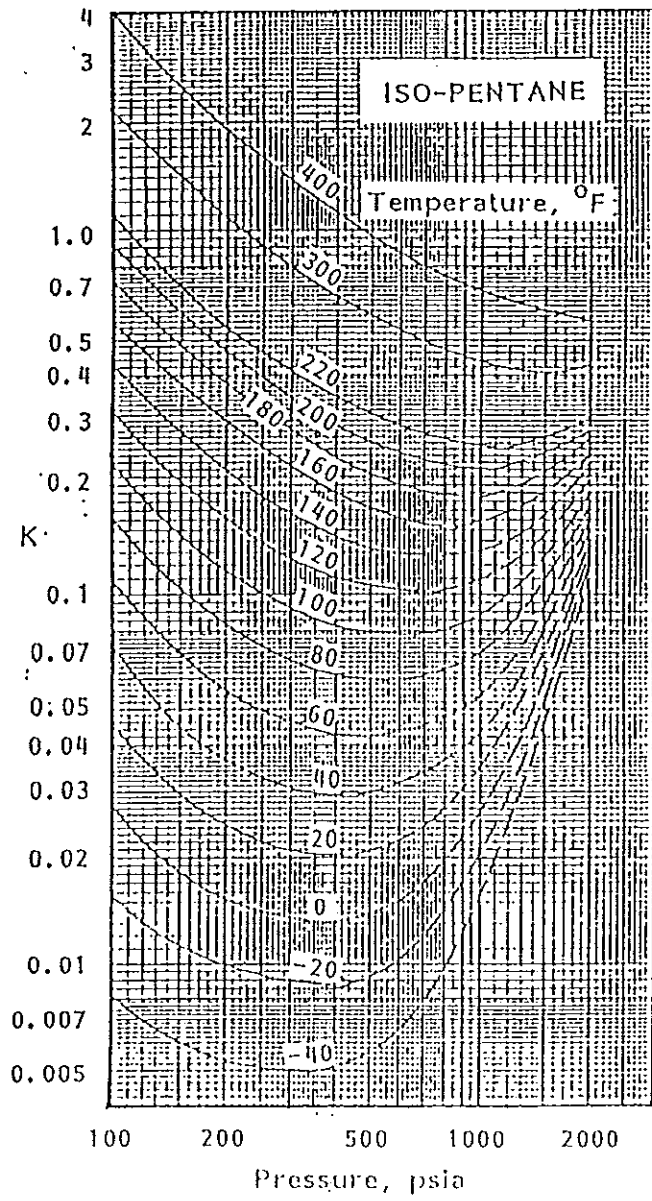
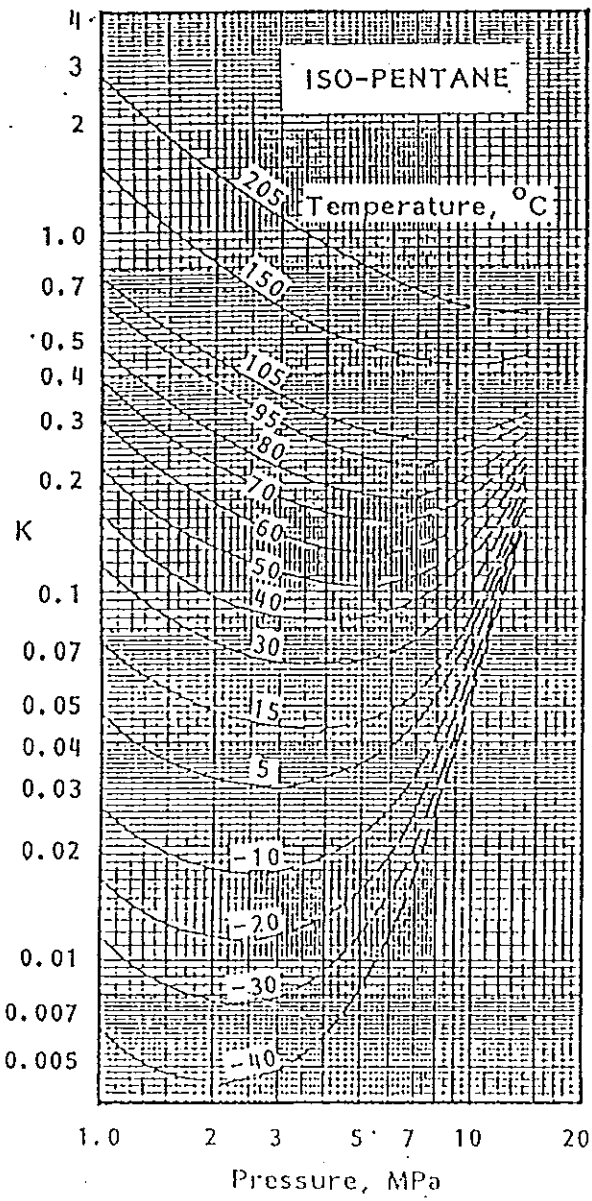




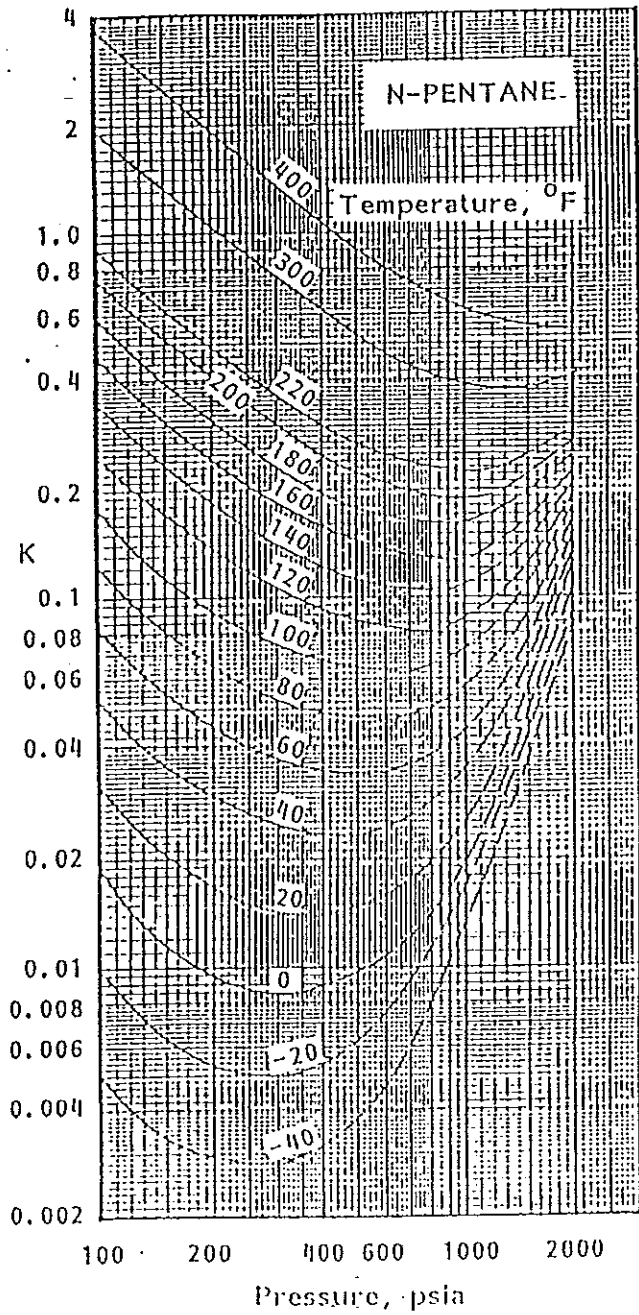
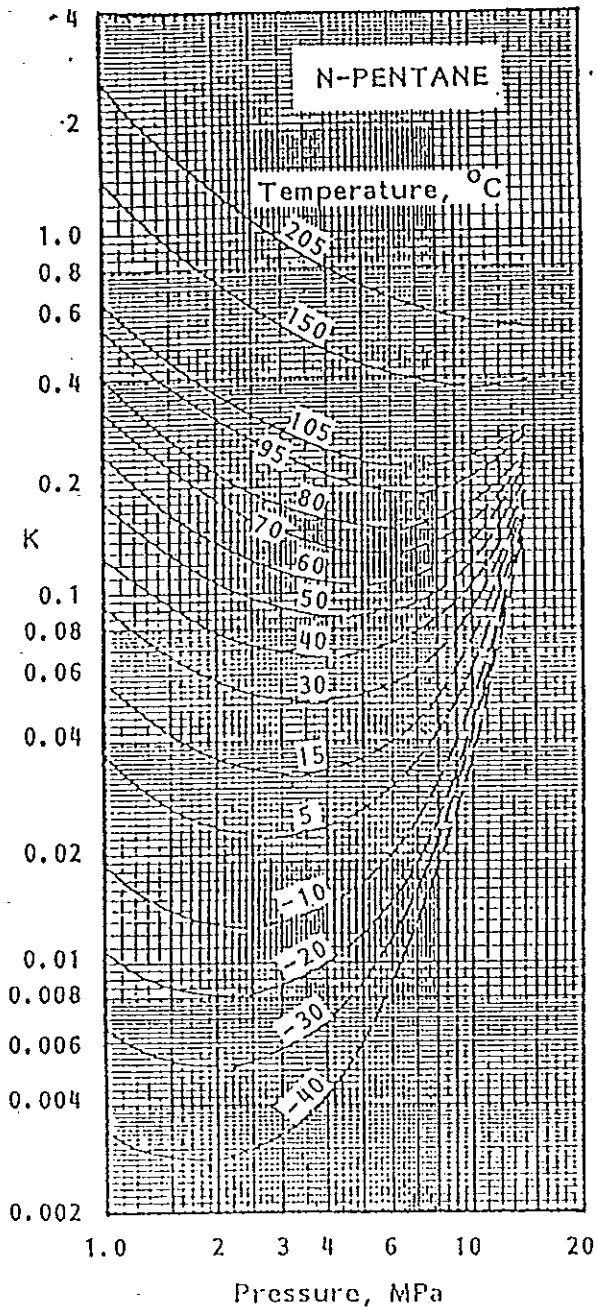


01773 917

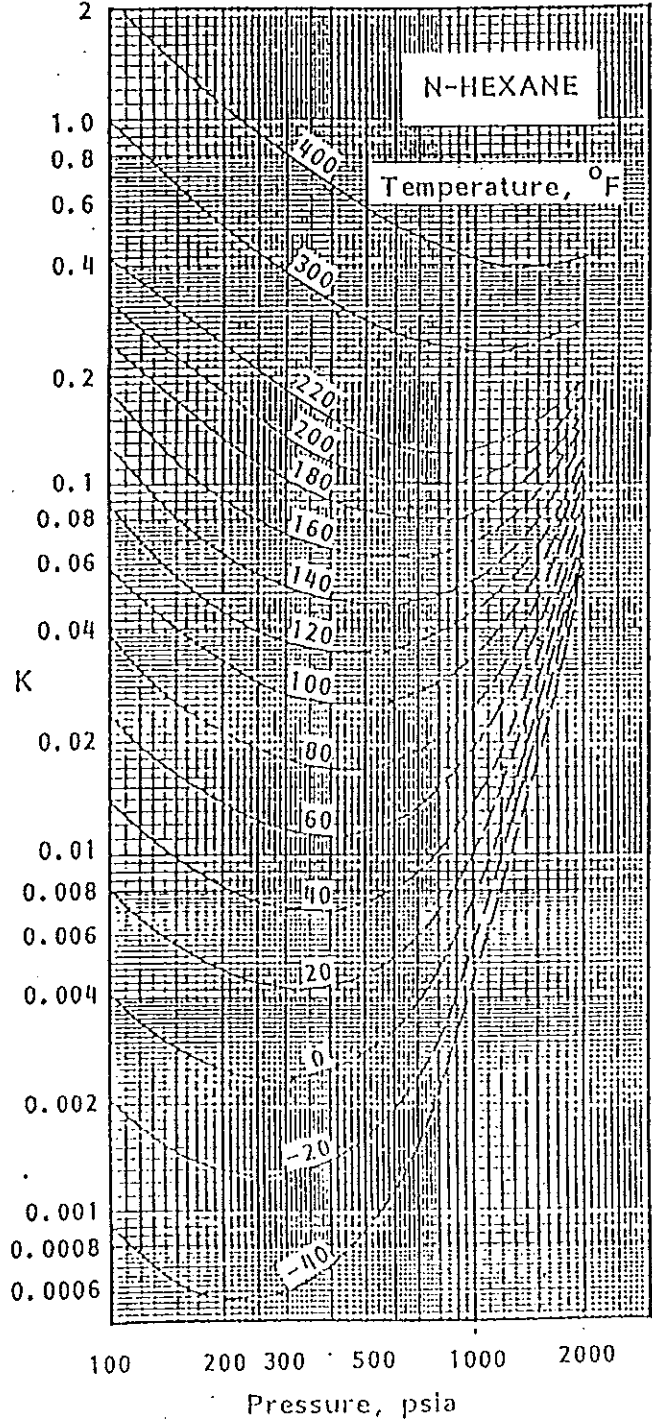
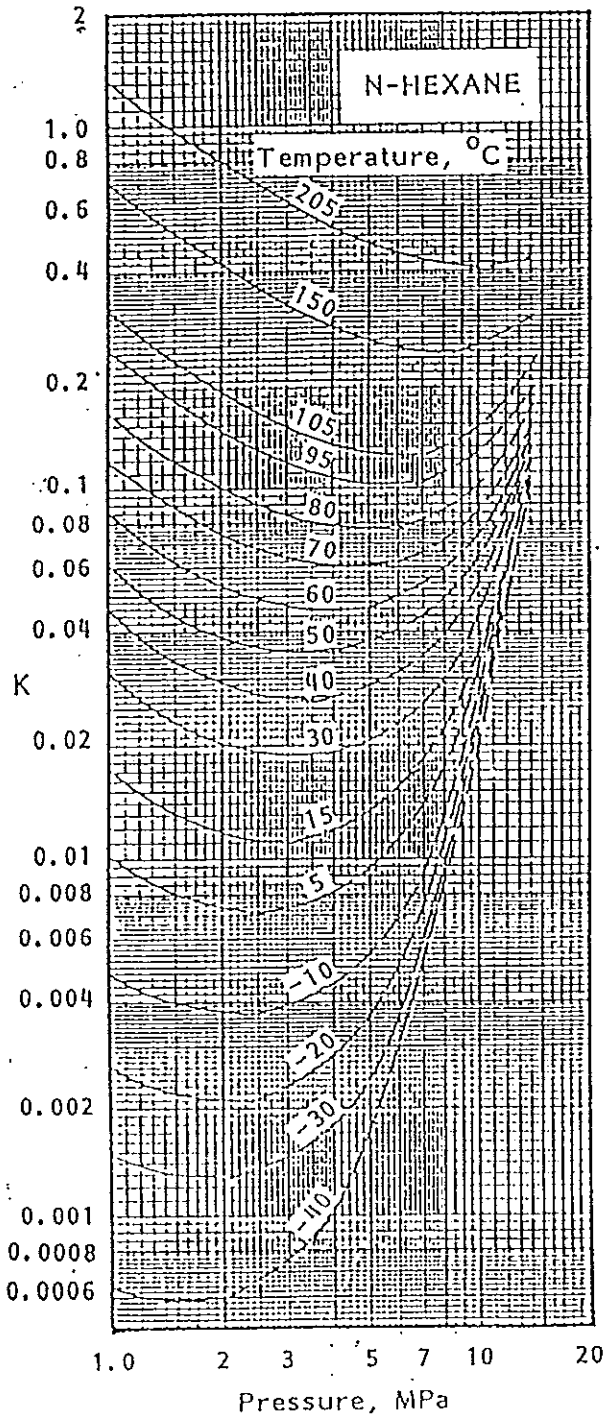
ตาราง ๗8



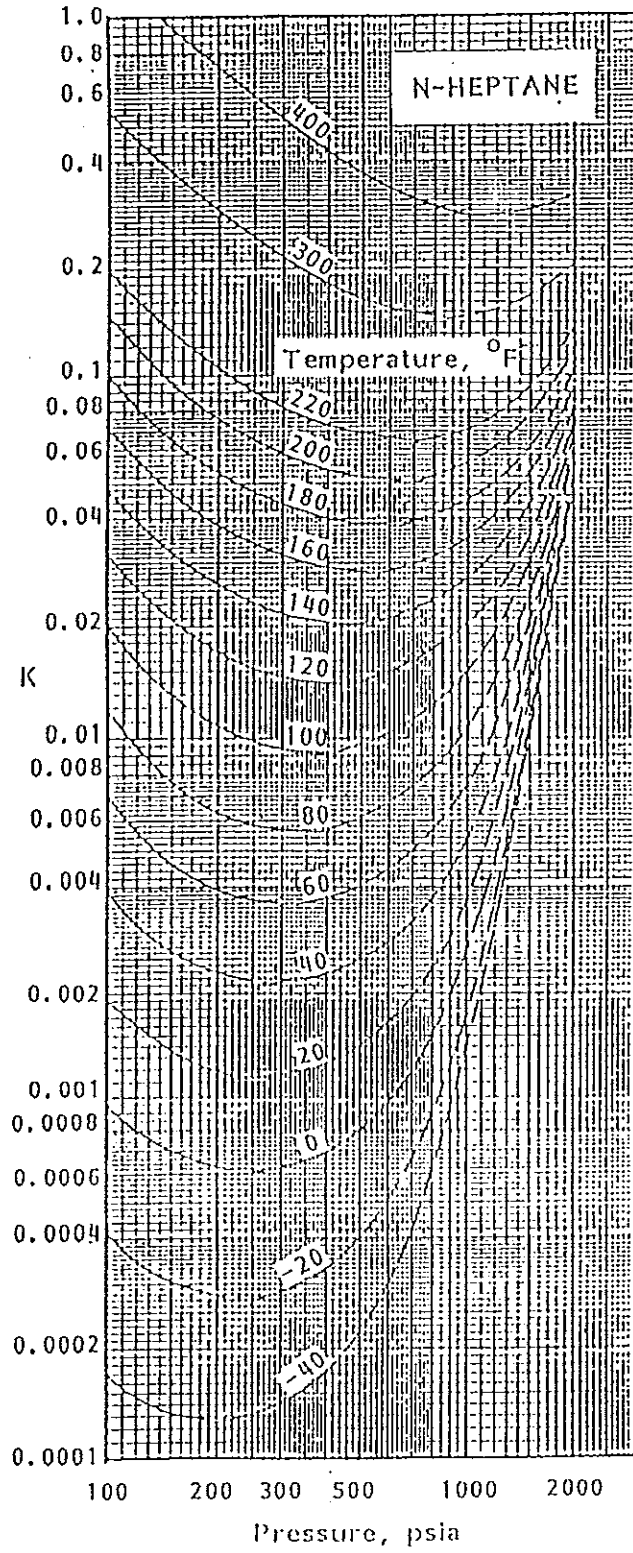
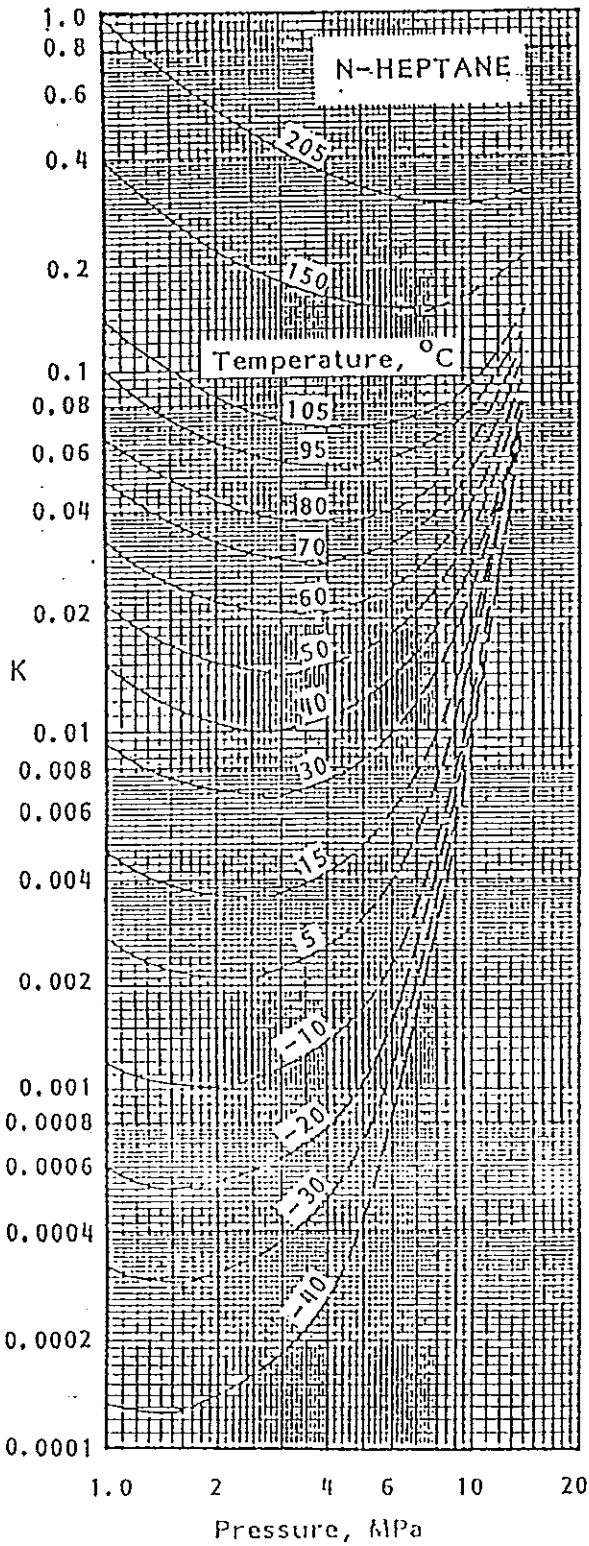
ตาราง ข9

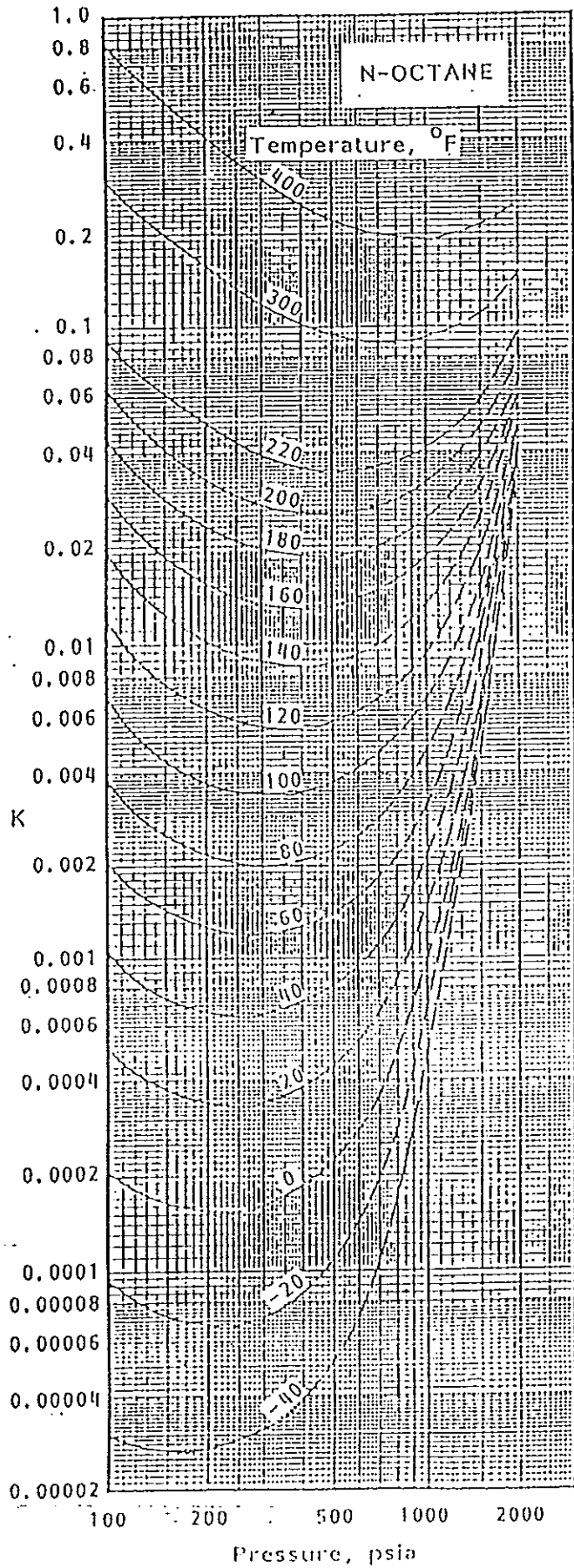
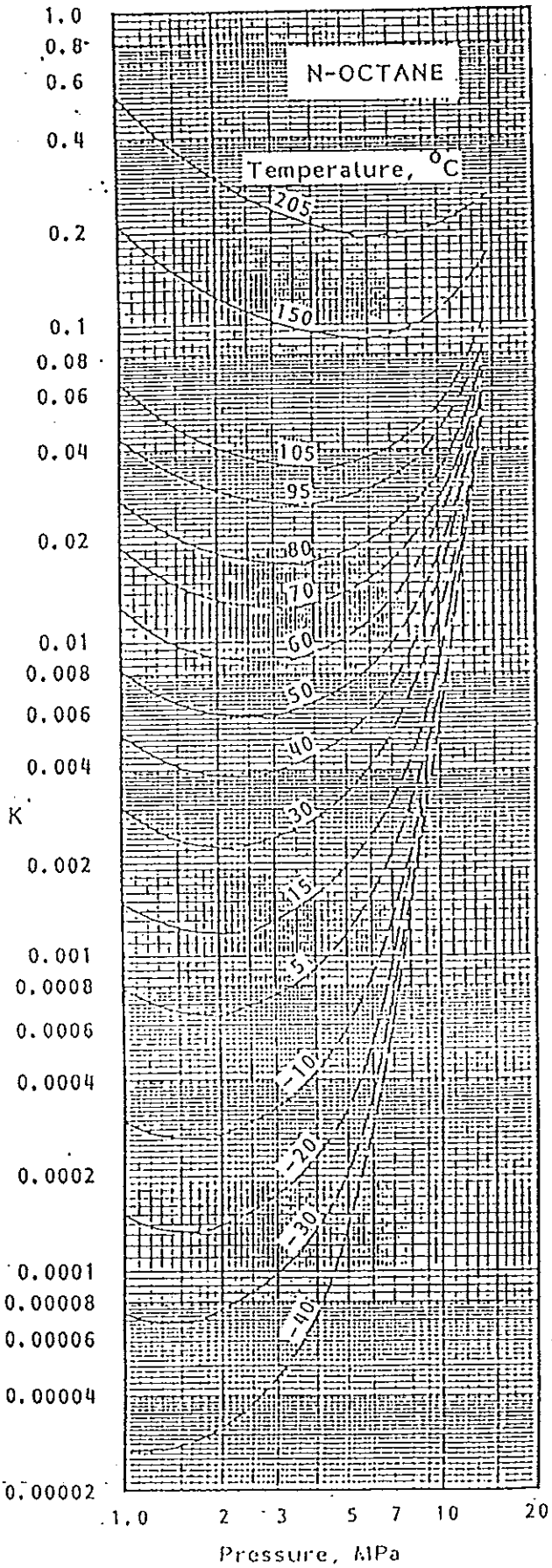


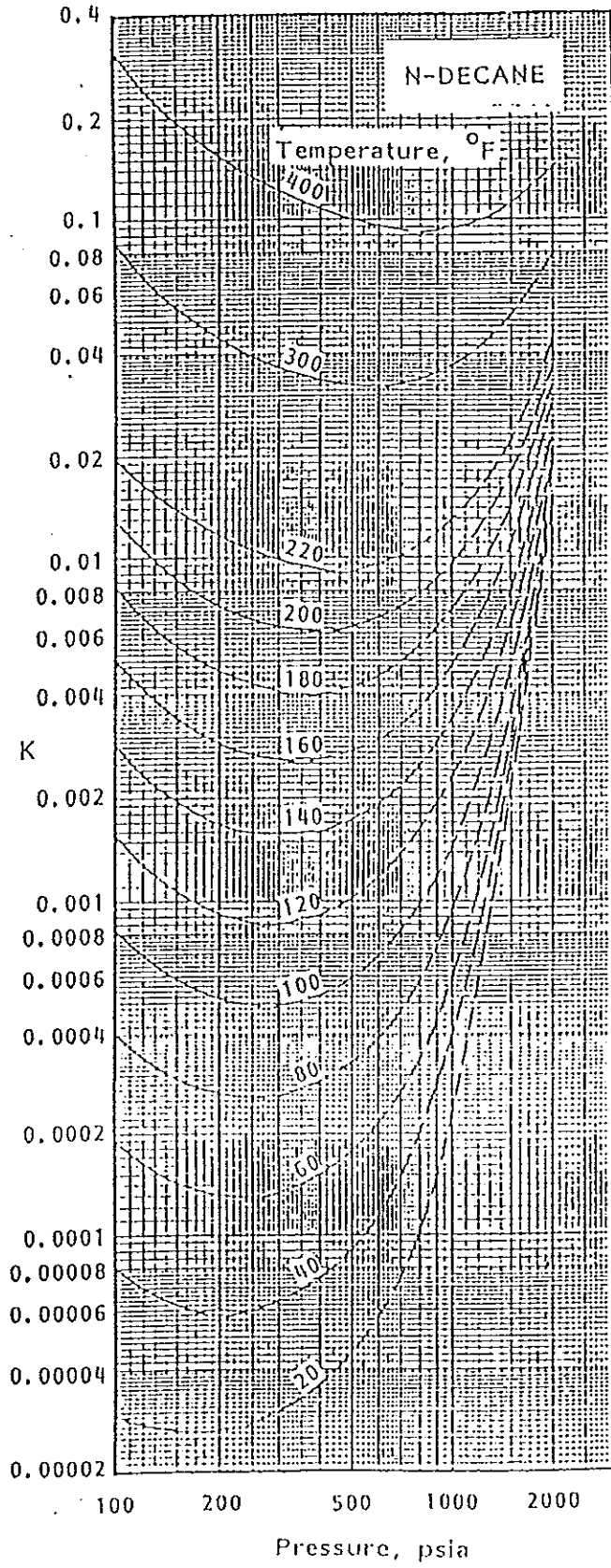
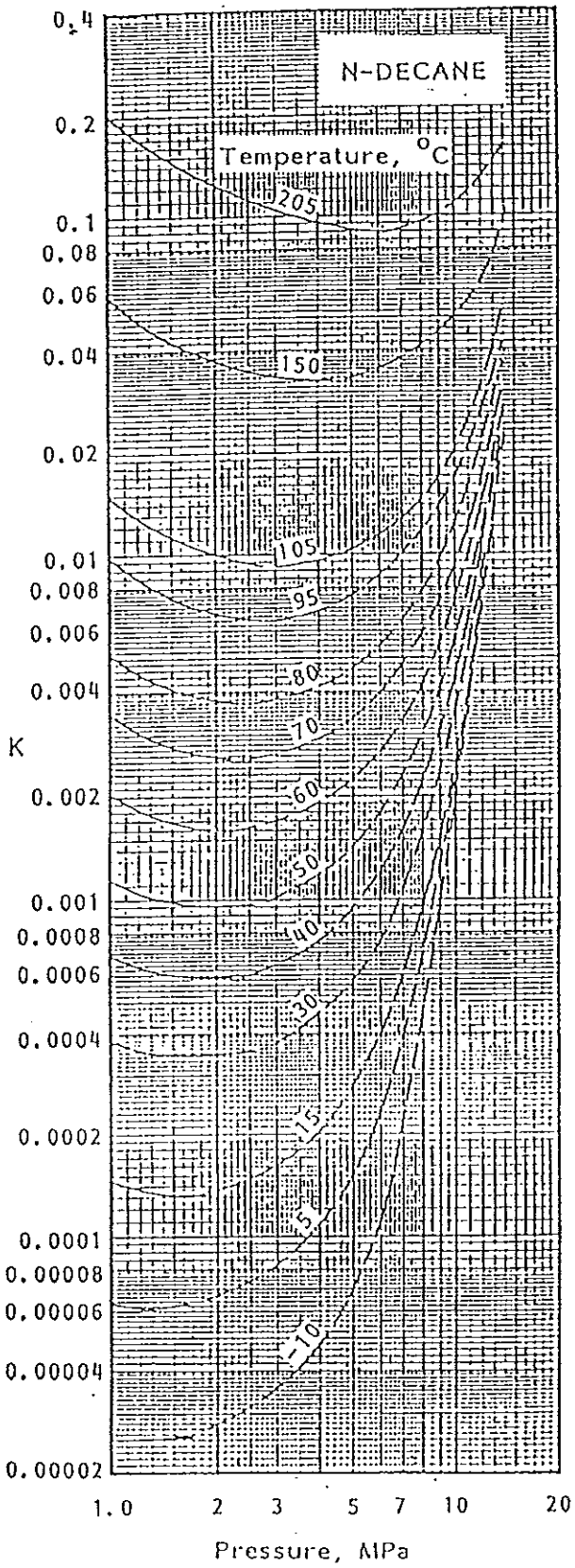
ตาราง ข10



ตาราง ข11



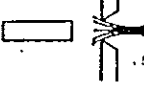
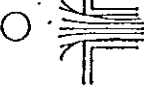

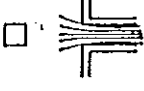
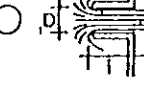








ภาคผนวก ค. ชนิดและสัมประสิทธิ์ของรูระบายชนิดต่างๆ

ตาราง ค1 ชนิดและสัมประสิทธิ์ของรูระบายชนิดต่างๆ

ชนิดของรูระบาย	ลักษณะ	C_d	หมายเหตุ
1. วงกลมตันกลม		0.60 - 0.65	-
2. สี่เหลี่ยมจัตุรัสตันกลม		0.80 - 0.81	-
3. สี่เหลี่ยมผืนผ้าตันกลม		0.62 - 0.68	อาจวางในแนวตั้ง คล้ายประตูในคลองหรือฝายน้ำล้น
4. ท่อวงกลมสั้น		0.80 - 0.83	ค่า C_d ใช้ในกรณีที่มีความยาวท่อสั้นพอที่จะไม่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทาน และทางออกต้องเป็นการไหลเต็มท่อ
5. ท่อวงกลมสั้น		0.60 - 0.65	ค่า C_d ใช้ในกรณีที่สำน้ำพุ่งออกโดยอิสระ และมีความเสียดทานบ้าง
6. ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสั้น		0.60 - 0.80	ค่า C_d ใช้ในกรณีที่สำน้ำพุ่งออกโดยอิสระ
7. ท่อวงกลมสั้น		0.60 - 0.53	เรียกว่า ท่อแบบรีเอนทรานท์ (reentrant tube) หรือแบบบอร์ดา (Borda) เมื่อ $l = D$
8. ท่อขยายขนาด		0.87 - 0.99	
9. ท่อลดขนาด		0.98 - 0.98	มักใช้ประกอบกับหัวฉีดน้ำ (nozzle)

ภาคผนวก ง.
ข้อมูลรายละเอียดการหาค่าอัตราส่วน
ก๊าซและคอนกรีตเสริมเหล็กที่ยานแรงดันและอุณหภูมิใช้งาน

ตาราง ง1 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 320 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.8000	0.057	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.6000	0.081	0.613
c2h6	0.0817	1.5600	0.053	0.083
c3	0.0505	0.4500	0.108	0.049
ic4	0.0115	0.1920	0.053	0.010
nc4	0.0121	0.1320	0.077	0.010
c5	0.0043	0.0570	0.051	0.003
nc5	0.0032	0.0440	0.044	0.002
nc6	0.0140	0.0150	0.319	0.005
c7	0.0053	0.0047	0.157	0.001
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.0293

ก๊าซ (V) = 0.9707

ตาราง ง2 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 320 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.0000	0.054	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.9000	0.077	0.611
c2h6	0.0817	1.7000	0.049	0.083
c3	0.0505	0.5100	0.097	0.049
ic4	0.0115	0.2200	0.048	0.011
nc4	0.0121	0.1560	0.069	0.011
c5	0.0043	0.0660	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0520	0.043	0.002
nc6	0.0140	0.0180	0.336	0.006
c7	0.0053	0.0058	0.178	0.001
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.0241

ก๊าซ (V) = 0.9759

ตาราง ง3 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 320 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.2000	0.051	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.2000	0.074	0.607
c2h6	0.0817	1.8000	0.046	0.082
c3	0.0505	0.5800	0.086	0.050
ic4	0.0115	0.2600	0.042	0.011
nc4	0.0121	0.1800	0.062	0.011
c5	0.0043	0.0800	0.044	0.004
nc5	0.0032	0.0640	0.039	0.003
nc6	0.0140	0.0220	0.351	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.206	0.002
	1.000		1.001	1.001

คอนเด็นเสท(L) = 0.01827

ก๊าซ (V) = 0.98173

ตาราง ง4 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 320 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.4000	0.049	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.4000	0.072	0.605
c2h6	0.0817	1.9200	0.043	0.082
c3	0.0505	0.6200	0.081	0.050
ic4	0.0115	0.2950	0.038	0.011
nc4	0.0121	0.2020	0.057	0.012
c5	0.0043	0.0900	0.042	0.004
nc5	0.0032	0.0740	0.037	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.360	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.235	0.002
	1.000		1.014	1.000

คอนเด็นเสท (L)= 0.0132

ก๊าซ (V) = 0.9868

ตาราง ง5 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 320 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.8000	0.044	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.6000	0.070	0.602
c2h6	0.0817	2.1200	0.039	0.082
c3	0.0505	0.7000	0.072	0.050
ic4	0.0115	0.3350	0.034	0.011
nc4	0.0121	0.2350	0.050	0.012
c5	0.0043	0.1090	0.037	0.004
nc5	0.0032	0.0900	0.033	0.003
nc6	0.0140	0.0330	0.349	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.274	0.003
	1.000		1.002	1.000

คอนเด็นเสท(L) = 0.00741

ก๊าซ (V) = 0.99259

ตาราง ง6 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 320 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.9000	0.043	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.8000	0.068	0.599
c2h6	0.0817	2.3000	0.036	0.082
c3	0.0505	0.7400	0.068	0.050
ic4	0.0115	0.3900	0.029	0.011
nc4	0.0121	0.2700	0.044	0.012
c5	0.0043	0.1220	0.035	0.004
nc5	0.0032	0.1020	0.031	0.003
nc6	0.0140	0.0370	0.351	0.013
c7	0.0053	0.0150	0.295	0.004
	1.000		1.000	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.003

ก๊าซ (V) = 0.997

ตาราง ง7 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 330 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.7000	0.059	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.5000	0.082	0.613
c2h6	0.0817	1.5000	0.055	0.082
c3	0.0505	0.4400	0.110	0.049
ic4	0.0115	0.1890	0.054	0.010
nc4	0.0121	0.1300	0.077	0.010
c5	0.0043	0.0560	0.051	0.003
nc5	0.0032	0.0440	0.044	0.002
nc6	0.0140	0.0150	0.314	0.005
c7	0.0053	0.0047	0.154	0.001
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.02996

ก๊าซ (V) = 0.97004

ตาราง ง8 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 330 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.9000	0.055	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	78.000	0.078	0.611
c2h6	0.0817	1.6200	0.051	0.082
c3	0.0505	0.4900	0.100	0.049
ic4	0.0115	0.2150	0.049	0.011
nc4	0.0121	0.1500	0.071	0.011
c5	0.0043	0.0650	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0520	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0180	0.331	0.006
c7	0.0053	0.0058	0.174	0.001
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท(L) = 0.02473

ก๊าซ (V) = 0.97527

ตาราง ง9 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 330 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.1000	0.052	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.0000	0.076	0.607
c2h6	0.0817	1.7800	0.046	0.082
c3	0.0505	0.5600	0.089	0.050
ic4	0.0115	0.2500	0.044	0.011
nc4	0.0121	0.1790	0.062	0.011
c5	0.0043	0.0780	0.045	0.004
nc5	0.0032	0.0640	0.039	0.003
nc6	0.0140	0.0220	0.346	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.201	0.002
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L)= 0.01892

ก๊าซ (V) = 0.98108

ตาราง ง10 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 330 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.3000	0.050	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.2000	0.074	0.605
c2h6	0.0817	1.9000	0.043	0.082
c3	0.0505	0.6100	0.082	0.050
ic4	0.0115	0.2800	0.040	0.011
nc4	0.0121	0.2000	0.058	0.012
c5	0.0043	0.0870	0.043	0.004
nc5	0.0032	0.0740	0.037	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.362	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.236	0.002
	1.000		1.025	1.000

คอนเด็นเสท (L)= 0.01307

ก๊าซ (V) = 0.98693

ตาราง ง11 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 330 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.6000	0.046	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.3000	0.072	0.602
c2h6	0.0817	2.0900	0.039	0.082
c3	0.0505	0.6800	0.074	0.050
ic4	0.0115	0.3300	0.034	0.011
nc4	0.0121	0.2300	0.051	0.012
c5	0.0043	0.1080	0.038	0.004
nc5	0.0032	0.0900	0.033	0.003
nc6	0.0140	0.0330	0.349	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.274	0.003
	1.000		1.010	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00741

ก๊าซ (V) = 0.99259

ตาราง ง12 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 330 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.8000	0.044	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.6000	0.070	0.599
c2h6	0.0817	2.2000	0.037	0.082
c3	0.0505	0.7200	0.070	0.050
ic4	0.0115	0.3750	0.031	0.011
nc4	0.0121	0.2600	0.046	0.012
c5	0.0043	0.1200	0.035	0.004
nc5	0.0032	0.1000	0.031	0.003
nc6	0.0140	0.0370	0.354	0.013
c7	0.0053	0.0145	0.310	0.005
	1.000		1.028	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00262

ก๊าซ (V) = 0.99738

ตาราง ง13 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 340 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.6000	0.059	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.3000	0.083	0.604
c2h6	0.0817	1.4500	0.057	0.082
c3	0.0505	0.4300	0.116	0.050
ic4	0.0115	0.1850	0.059	0.011
nc4	0.0121	0.1300	0.086	0.011
c5	0.0043	0.0560	0.064	0.004
nc5	0.0032	0.0430	0.059	0.003
nc6	0.0140	0.1500	0.088	0.013
c7	0.0053	0.0047	0.329	0.002
	1.000		1.000	1.002

คอนเด็นเสท (L) = 0.01148

ก๊าซ (V) = 0.98852

ตาราง ง14 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 340 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.7000	0.058	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.5000	0.081	0.611
c2h6	0.0817	1.5800	0.052	0.082
c3	0.0505	0.4800	0.102	0.049
ic4	0.0115	0.2100	0.050	0.011
nc4	0.0121	0.1500	0.071	0.011
c5	0.0043	0.0650	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0500	0.043	0.002
nc6	0.0140	0.0180	0.327	0.006
c7	0.0053	0.0058	0.171	0.001
	1.000		1.004	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.02525

ก๊าซ (V) = 0.97475

ตาราง ง15 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 340 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.0000	0.054	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.8000	0.078	0.608
c2h6	0.0817	1.7200	0.048	0.082
c3	0.0505	0.5560	0.089	0.050
ic4	0.0115	0.2400	0.045	0.011
nc4	0.0121	0.1760	0.063	0.011
c5	0.0043	0.0780	0.045	0.003
nc5	0.0032	0.0620	0.040	0.002
nc6	0.0140	0.0220	0.342	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.197	0.002
	1.000		1.001	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01939

ก๊าซ (V) = 0.98061

ตาราง ง16 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 340 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.2000	0.051	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.0000	0.076	0.605
c2h6	0.0817	1.8300	0.045	0.082
c3	0.0505	0.6000	0.083	0.050
ic4	0.0115	0.2700	0.041	0.011
nc4	0.0121	0.1980	0.058	0.011
c5	0.0043	0.0870	0.043	0.004
nc5	0.0032	0.0700	0.038	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.346	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.219	0.002
	1.000		1.000	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.01486

ก๊าซ (V) = 0.98514

ตาราง ง17 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 340 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.5000	0.047	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.2000	0.073	0.601
c2h6	0.0817	2.0000	0.041	0.082
c3	0.0505	0.6600	0.076	0.050
ic4	0.0115	0.3200	0.035	0.011
nc4	0.0121	0.2300	0.052	0.012
c5	0.0043	0.1080	0.038	0.004
nc5	0.0032	0.0880	0.034	0.003
nc6	0.0140	0.0330	0.359	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.293	0.004
	1.000		1.048	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00623

ก๊าซ (V) = 0.99377

ตาราง ง18 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 340 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.6000	0.046	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.4000	0.071	0.600
c2h6	0.0817	2.1800	0.038	0.082
c3	0.0505	0.7100	0.071	0.050
ic4	0.0115	0.3600	0.032	0.011
nc4	0.0121	0.2600	0.046	0.012
c5	0.0043	0.1200	0.035	0.004
nc5	0.0032	0.1000	0.031	0.003
nc6	0.0140	0.0370	0.343	0.013
c7	0.0053	0.0145	0.287	0.004
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.004

ก๊าซ (V) = 0.996

ตาราง ง19 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 350 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.5000	0.059	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.0000	0.088	0.615
c2h6	0.0817	1.4500	0.057	0.083
c3	0.0505	0.4200	0.115	0.048
ic4	0.0115	0.1800	0.056	0.010
nc4	0.0121	0.1300	0.077	0.010
c5	0.0043	0.0560	0.050	0.003
nc5	0.0032	0.0430	0.044	0.002
nc6	0.0140	0.0150	0.304	0.015
c7	0.0053	0.0047	0.147	0.001
	1.000		1.000	1.002

คอนเด็นเสท (L) = 0.03158

ก๊าซ (V) = 0.96842

ตาราง ง20 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 350 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.6500	0.059	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.2000	0.085	0.611
c2h6	0.0817	1.5300	0.054	0.082
c3	0.0505	0.4700	0.105	0.049
ic4	0.0115	0.2080	0.050	0.011
nc4	0.0121	0.1500	0.071	0.011
c5	0.0043	0.0650	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0500	0.043	0.002
nc6	0.0140	0.0180	0.329	0.006
c7	0.0053	0.0058	0.173	0.001
	1.000		1.018	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.025

ก๊าซ (V) = 0.975

ตาราง ง21 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 350 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.9000	0.055	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.5000	0.081	0.608
c2h6	0.0817	1.6900	0.049	0.082
c3	0.0505	0.5400	0.092	0.050
ic4	0.0115	0.2380	0.045	0.011
nc4	0.0121	0.1760	0.063	0.011
c5	0.0043	0.0760	0.046	0.003
nc5	0.0032	0.0600	0.041	0.002
nc6	0.0140	0.0220	0.342	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.197	0.002
	1.000		1.011	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01939

ก๊าซ (V) = 0.98061

ตาราง ง22 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 350 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.1000	0.052	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.8000	0.078	0.606
c2h6	0.0817	1.8000	0.046	0.082
c3	0.0505	0.6050	0.083	0.050
ic4	0.0115	0.2650	0.042	0.011
nc4	0.0121	0.1970	0.058	0.011
c5	0.0043	0.0850	0.043	0.004
nc5	0.0032	0.0680	0.039	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.344	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.216	0.002
	1.000		1.001	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01515

ก๊าซ (V) = 0.98485

ตาราง ง23 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 350 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.4500	0.048	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.0000	0.075	0.602
c2h6	0.0817	1.9800	0.041	0.082
c3	0.0505	0.6500	0.077	0.050
ic4	0.0115	0.3100	0.037	0.011
nc4	0.0121	0.2300	0.051	0.012
c5	0.0043	0.1050	0.039	0.004
nc5	0.0032	0.0850	0.035	0.003
nc6	0.0140	0.0320	0.363	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.283	0.003
	1.000		1.049	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00678

ก๊าซ (V) = 0.99322

ตาราง ง24 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 350 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.5500	0.047	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.2000	0.073	0.600
c2h6	0.0817	2.0800	0.039	0.082
c3	0.0505	0.7050	0.071	0.050
ic4	0.0115	0.3500	0.033	0.011
nc4	0.0121	0.2500	0.048	0.012
c5	0.0043	0.1190	0.035	0.004
nc5	0.0032	0.0980	0.031	0.003
nc6	0.0140	0.0370	0.340	0.013
c7	0.0053	0.0145	0.283	0.004
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00428

ก๊าซ (V) = 0.99572

ตาราง ง25 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 360 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.4500	0.063	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.9000	0.089	0.614
c2h6	0.0817	1.4000	0.059	0.082
c3	0.0505	0.4100	0.118	0.048
ic4	0.0115	0.1750	0.058	0.010
nc4	0.0121	0.1280	0.079	0.010
c5	0.0043	0.0540	0.052	0.003
nc5	0.0032	0.0430	0.045	0.002
nc6	0.0140	0.0140	0.321	0.005
c7	0.0053	0.0047	0.153	0.001
	1.000		1.037	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.02997

ก๊าซ (V) = 0.97003

ตาราง ง26 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 360 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.6000	0.060	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.0000	0.087	0.611
c2h6	0.0817	1.5000	0.055	0.082
c3	0.0505	0.4620	0.106	0.049
ic4	0.0115	0.2050	0.051	0.010
nc4	0.0121	0.1480	0.071	0.010
c5	0.0043	0.0620	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0500	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0170	0.319	0.005
c7	0.0053	0.0058	0.160	0.001
	1.000		1.000	0.997

คอนเด็นเสท (L) = 0.02738

ก๊าซ (V) = 0.97262

ตาราง ง27 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 360 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.8000	0.057	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.3000	0.083	0.608
c2h6	0.0817	1.6300	0.050	0.082
c3	0.0505	0.5300	0.094	0.050
ic4	0.0115	0.2300	0.047	0.011
nc4	0.0121	0.1700	0.065	0.011
c5	0.0043	0.0740	0.047	0.003
nc5	0.0032	0.0600	0.041	0.002
nc6	0.0140	0.0260	0.315	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.201	0.002
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01896

ก๊าซ (V) = 0.98104

ตาราง ง28 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 360 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.0000	0.054	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.5000	0.081	0.606
c2h6	0.0817	1.7600	0.047	0.082
c3	0.0505	0.6000	0.083	0.050
ic4	0.0115	0.2600	0.042	0.011
nc4	0.0121	0.1900	0.060	0.011
c5	0.0043	0.0850	0.043	0.004
nc5	0.0032	0.0680	0.039	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.339	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.212	0.002
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01563

ก๊าซ (V) = 0.98437

ตาราง ง29 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 360 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.4000	0.048	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.6000	0.079	0.601
c2h6	0.0817	1.9200	0.043	0.082
c3	0.0505	0.6400	0.079	0.050
ic4	0.0115	0.3000	0.038	0.011
nc4	0.0121	0.2200	0.054	0.012
c5	0.0043	0.1050	0.039	0.004
nc5	0.0032	0.0850	0.035	0.003
nc6	0.0140	0.0310	0.378	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.292	0.004
	1.000		1.085	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00624

ก๊าซ (V) = 0.99376

ตาราง ง30 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 360 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.5000	0.047	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	8.0000	0.075	0.600
c2h6	0.0817	2.0500	0.040	0.082
c3	0.0505	0.6900	0.073	0.050
ic4	0.0115	0.3400	0.034	0.011
nc4	0.0121	0.2500	0.048	0.012
c5	0.0043	0.1180	0.035	0.004
nc5	0.0032	0.0950	0.032	0.003
nc6	0.0140	0.0360	0.343	0.012
c7	0.0053	0.0145	0.273	0.004
	1.000		1.000	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.00497

ก๊าซ (V) = 0.99503

ตาราง ง31 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 370 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.35000	0.065	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.7000	0.092	0.615
c2h6	0.0817	1.3900	0.059	0.082
c3	0.0505	0.4050	0.119	0.048
ic4	0.0115	0.1740	0.057	0.010
nc4	0.0121	0.1280	0.077	0.010
c5	0.0043	0.0540	0.051	0.003
nc5	0.0032	0.0430	0.043	0.002
nc6	0.0140	0.0140	0.305	0.014
c7	0.0053	0.0047	0.144	0.001
	1.000		1.012	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.0323

ก๊าซ (V) = 0.9677

ตาราง ง32 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 370 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.5500	0.061	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.9000	0.089	0.612
c2h6	0.0817	1.4900	0.055	0.082
c3	0.0505	0.4600	0.106	0.049
ic4	0.0115	0.2000	0.052	0.010
nc4	0.0121	0.1450	0.072	0.010
c5	0.0043	0.0620	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0500	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0170	0.316	0.005
c7	0.0053	0.0058	0.158	0.001
	1.000		1.000	0.998

คอนเด็นเสท (L) = 0.02784

ก๊าซ (V) = 0.97216

ตาราง ง33 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 370 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.8000	0.057	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.2000	0.085	0.609
c2h6	0.0817	1.6200	0.051	0.082
c3	0.0505	0.5200	0.095	0.050
ic4	0.0115	0.2280	0.047	0.011
nc4	0.0121	0.1700	0.064	0.011
c5	0.0043	0.0740	0.046	0.003
nc5	0.0032	0.0600	0.040	0.002
nc6	0.0140	0.0210	0.334	0.007
c7	0.0053	0.0076	0.184	0.001
	1.000		1.003	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.02142

ก๊าซ (V) = 0.97858

ตาราง ง34 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 370 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.9500	0.054	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.3000	0.083	0.606
c2h6	0.0817	1.7000	0.048	0.082
c3	0.0505	0.5800	0.086	0.050
ic4	0.0115	0.2580	0.043	0.011
nc4	0.0121	0.1900	0.060	0.011
c5	0.0043	0.0850	0.043	0.004
nc5	0.0032	0.0680	0.039	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.336	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.208	0.002
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01608

ก๊าซ (V) = 0.98392

ตาราง ง35 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 370 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.2000	0.051	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.5000	0.080	0.601
c2h6	0.0817	1.9000	0.043	0.082
c3	0.0505	0.6300	0.080	0.050
ic4	0.0115	0.2980	0.038	0.011
nc4	0.0121	0.2200	0.054	0.012
c5	0.0043	0.1000	0.041	0.004
nc5	0.0032	0.0820	0.036	0.003
nc6	0.0140	0.0310	0.378	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.292	0.004
	1.000		1.093	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00624

ก๊าซ (V) = 0.99376

ตาราง ง36 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 370 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.5000	0.047	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.7000	0.078	0.600
c2h6	0.0817	2.0000	0.041	0.082
c3	0.0505	0.6800	0.074	0.050
ic4	0.0115	0.3400	0.033	0.011
nc4	0.0121	0.2500	0.048	0.012
c5	0.0043	0.1150	0.036	0.004
nc5	0.0032	0.0950	0.032	0.003
nc6	0.0140	0.0360	0.341	0.012
c7	0.0053	0.0145	0.270	0.004
	1.000		1.000	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.00523

ก๊าซ (V) = 0.99477

ตาราง ง37 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 380 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.3000	0.066	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.5000	0.095	0.615
c2h6	0.0817	1.3800	0.060	0.082
c3	0.0505	0.4000	0.120	0.048
ic4	0.0115	0.1700	0.058	0.010
nc4	0.0121	0.1280	0.077	0.010
c5	0.0043	0.0540	0.050	0.003
nc5	0.0032	0.0420	0.043	0.002
nc6	0.0140	0.0145	0.293	0.004
c7	0.0053	0.0047	0.138	0.001
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.03373

ก๊าซ (V) = 0.96627

ตาราง ง38 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 380 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.5000	0.062	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.7000	0.091	0.612
c2h6	0.0817	1.4500	0.057	0.082
c3	0.0505	0.4500	0.108	0.049
ic4	0.0115	0.1980	0.052	0.010
nc4	0.0121	0.1450	0.071	0.010
c5	0.0043	0.0610	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0500	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0170	0.312	0.005
c7	0.0053	0.0058	0.156	0.001
	1.000		1.000	0.998

คอนเด็นเสท (L) = 0.02841

ก๊าซ (V) = 0.97159

ตาราง ง39 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 380 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.7000	0.058	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.9000	0.088	0.609
c2h6	0.0817	1.5800	0.052	0.082
c3	0.0505	0.5100	0.097	0.049
ic4	0.0115	0.2270	0.047	0.011
nc4	0.0121	0.1700	0.064	0.011
c5	0.0043	0.0740	0.046	0.003
nc5	0.0032	0.0600	0.040	0.002
nc6	0.0140	0.0210	0.328	0.007
c7	0.0053	0.0076	0.180	0.001
	1.000		1.000	0.998

คอนเด็นเสท (L) = 0.02209

ก๊าซ (V) = 0.97791

ตาราง ง40 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 380 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.9000	0.055	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.2000	0.084	0.606
c2h6	0.0817	1.6800	0.049	0.082
c3	0.0505	0.5600	0.089	0.050
ic4	0.0115	0.2570	0.043	0.011
nc4	0.0121	0.1900	0.060	0.011
c5	0.0043	0.0840	0.043	0.004
nc5	0.0032	0.0680	0.038	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.333	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.206	0.002
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.01640

ก๊าซ (V) = 0.98360

ตาราง ง41 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 380 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.1000	0.052	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.3000	0.082	0.601
c2h6	0.0817	1.8300	0.045	0.082
c3	0.0505	0.6200	0.081	0.050
ic4	0.0115	0.2970	0.038	0.011
nc4	0.0121	0.2200	0.054	0.012
c5	0.0043	0.1000	0.041	0.004
nc5	0.0032	0.0820	0.036	0.003
nc6	0.0140	0.0310	0.378	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.292	0.004
	1.000		1.099	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00624

ก๊าซ (V) = 0.99376

ตาราง ง42 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 380 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.3000	0.049	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.4000	0.081	0.600
c2h6	0.0817	1.9700	0.042	0.082
c3	0.0505	0.6600	0.076	0.050
ic4	0.0115	0.3300	0.034	0.011
nc4	0.0121	0.2400	0.049	0.012
c5	0.0043	0.1150	0.036	0.004
nc5	0.0032	0.0950	0.032	0.003
nc6	0.0140	0.0360	0.337	0.012
c7	0.0053	0.0145	0.264	0.004
	1.000		1.000	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.00568

ก๊าซ (V) = 0.99432

ตาราง ง43 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 390 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.2000	0.067	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.3000	0.096	0.604
c2h6	0.0817	1.3500	0.061	0.082
c3	0.0505	0.3900	0.127	0.050
ic4	0.0115	0.1700	0.064	0.011
nc4	0.0121	0.1200	0.092	0.011
c5	0.0043	0.0540	0.065	0.004
nc5	0.0032	0.0420	0.059	0.002
nc6	0.0140	0.1450	0.090	0.013
c7	0.0053	0.0047	0.305	0.001
	1.000		1.026	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01275

ก๊าซ (V) = 0.98725

ตาราง ง44 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 390 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.4000	0.064	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.6000	0.093	0.612
c2h6	0.0817	1.4200	0.058	0.082
c3	0.0505	0.4400	0.111	0.049
ic4	0.0115	0.1950	0.053	0.010
nc4	0.0121	0.1400	0.073	0.010
c5	0.0043	0.0610	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0500	0.041	0.002
nc6	0.0140	0.0170	0.306	0.005
c7	0.0053	0.0058	0.152	0.001
	1.000		1.000	0.998

คอนเด็นเสท (L) = 0.02916

ก๊าซ (V) = 0.97084

ตาราง ง45 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 390 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.6000	0.060	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.7000	0.091	0.608
c2h6	0.0817	1.5500	0.053	0.082
c3	0.0505	0.5000	0.099	0.050
ic4	0.0115	0.2260	0.048	0.011
nc4	0.0121	0.1700	0.065	0.011
c5	0.0043	0.0740	0.047	0.003
nc5	0.0032	0.0600	0.041	0.002
nc6	0.0140	0.0220	0.342	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.197	0.002
	1.000		1.043	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.0194

ก๊าซ (V) = 0.9806

ตาราง ง46 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 390 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.8000	0.056	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.9000	0.088	0.606
c2h6	0.0817	1.6500	0.050	0.082
c3	0.0505	0.5500	0.091	0.050
ic4	0.0115	0.2500	0.044	0.011
nc4	0.0121	0.1900	0.059	0.011
c5	0.0043	0.0830	0.044	0.004
nc5	0.0032	0.0680	0.038	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.329	0.009
c7	0.0053	0.0095	0.201	0.002
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.01697

ก๊าซ (V) = 0.98303

ตาราง ง47 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 390 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.0000	0.053	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.2000	0.084	0.601
c2h6	0.0817	1.8000	0.046	0.082
c3	0.0505	0.6180	0.081	0.050
ic4	0.0115	0.2900	0.039	0.011
nc4	0.0121	0.2150	0.055	0.012
c5	0.0043	0.1000	0.040	0.004
nc5	0.0032	0.0820	0.036	0.003
nc6	0.0140	0.0310	0.371	0.012
c7	0.0053	0.0120	0.281	0.003
	1.000		1.086	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.00693

ก๊าซ (V) = 0.99307

ตาราง ง48 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 390 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.1000	0.052	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.3000	0.082	0.601
c2h6	0.0817	1.9000	0.043	0.082
c3	0.0505	0.6500	0.077	0.050
ic4	0.0115	0.3300	0.034	0.011
nc4	0.0121	0.2400	0.049	0.012
c5	0.0043	0.1150	0.036	0.004
nc5	0.0032	0.0950	0.032	0.003
nc6	0.0140	0.0360	0.335	0.012
c7	0.0053	0.0145	0.260	0.004
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00595

ก๊าซ (V) = 0.99405

ตาราง ง49 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 400 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.2000	0.068	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.2000	0.099	0.616
c2h6	0.0817	1.2900	0.064	0.082
c3	0.0505	0.3850	0.124	0.048
ic4	0.0115	0.1690	0.058	0.010
nc4	0.0121	0.1200	0.080	0.010
c5	0.0043	0.0540	0.049	0.003
nc5	0.0032	0.0420	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0145	0.283	0.014
c7	0.0053	0.0047	0.133	0.001
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.03540

ก๊าซ (V) = 0.96460

ตาราง ง50 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 400 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.3000	0.066	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.4000	0.096	0.613
c2h6	0.0817	1.3900	0.059	0.082
c3	0.0505	0.4400	0.111	0.049
ic4	0.0115	0.1950	0.052	0.010
nc4	0.0121	0.1400	0.073	0.010
c5	0.0043	0.0610	0.048	0.003
nc5	0.0032	0.0480	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0170	0.303	0.005
c7	0.0053	0.0058	0.150	0.001
	1.000		1.000	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.02972

ก๊าซ (V) = 0.97028

ตาราง ง51 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 400 Psla อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.5000	0.061	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.7000	0.091	0.608
c2h6	0.0817	1.5300	0.054	0.082
c3	0.0505	0.4900	0.101	0.050
ic4	0.0115	0.2200	0.049	0.011
nc4	0.0121	0.1700	0.065	0.011
c5	0.0043	0.0740	0.047	0.003
nc5	0.0032	0.0600	0.041	0.002
nc6	0.0140	0.0220	0.343	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.198	0.002
	1.000		1.050	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.01929

ก๊าซ (V) = 0.98071

ตาราง ง52 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
 แรงดัน = 400Psla อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.7000	0.058	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.8000	0.089	0.607
c2h6	0.0817	1.6300	0.050	0.082
c3	0.0505	0.5400	0.092	0.050
ic4	0.0115	0.2500	0.044	0.011
nc4	0.0121	0.1880	0.060	0.011
c5	0.0043	0.0830	0.043	0.004
nc5	0.0032	0.0680	0.038	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.327	0.008
c7	0.0053	0.0095	0.199	0.002
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.01728

ก๊าซ (V) = 0.98272

ตาราง ง53 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 400 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.9000	0.055	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.1000	0.085	0.604
c2h6	0.0817	1.7800	0.046	0.082
c3	0.0505	0.5900	0.085	0.050
ic4	0.0115	0.2900	0.039	0.011
nc4	0.0121	0.2120	0.055	0.012
c5	0.0043	0.0980	0.040	0.004
nc5	0.0032	0.0800	0.035	0.003
nc6	0.0140	0.0310	0.333	0.010
c7	0.0053	0.0120	0.227	0.003
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.01146

ก๊าซ (V) = 0.98854

ตาราง ง54 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 400 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.0000	0.053	0.213
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.2000	0.083	0.601
c2h6	0.0817	1.8700	0.044	0.082
c3	0.0505	0.6400	0.079	0.050
ic4	0.0115	0.3250	0.035	0.011
nc4	0.0121	0.2400	0.049	0.012
c5	0.0043	0.1100	0.037	0.004
nc5	0.0032	0.0920	0.033	0.003
nc6	0.0140	0.0350	0.337	0.012
c7	0.0053	0.0145	0.250	0.004
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00677

ก๊าซ (V) = 0.99323

ตาราง ง55 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 410 Psia อุณหภูมิ = 70 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.1000	0.070	0.217
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.1000	0.101	0.616
c2h6	0.0817	1.2600	0.065	0.082
c3	0.0505	0.3800	0.125	0.048
ic4	0.0115	0.1680	0.058	0.010
nc4	0.0121	0.1200	0.080	0.010
c5	0.0043	0.0520	0.050	0.003
nc5	0.0032	0.0420	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0145	0.279	0.014
c7	0.0053	0.0047	0.130	0.001
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.03613

ก๊าซ (V) = 0.96387

ตาราง ง56 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 410 Psia อุณหภูมิ = 80 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.2000	0.068	0.216
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.3000	0.097	0.613
c2h6	0.0817	1.3500	0.061	0.082
c3	0.0505	0.4300	0.113	0.049
ic4	0.0115	0.1920	0.053	0.010
nc4	0.0121	0.1380	0.074	0.010
c5	0.0043	0.0610	0.048	0.003
nc5	0.0032	0.0480	0.042	0.002
nc6	0.0140	0.0170	0.298	0.005
c7	0.0053	0.0059	0.146	0.001
	1.000		1.000	0.999

คอนเด็นเสท (L) = 0.03047

ก๊าซ (V) = 0.96953

ตาราง ง57 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 410 Psia อุณหภูมิ = 90 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.4500	0.062	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.5000	0.094	0.608
c2h6	0.0817	1.4800	0.056	0.082
c3	0.0505	0.4900	0.101	0.050
ic4	0.0115	0.2180	0.049	0.011
nc4	0.0121	0.1680	0.066	0.011
c5	0.0043	0.0720	0.048	0.003
nc5	0.0032	0.0600	0.041	0.002
nc6	0.0140	0.0220	0.342	0.008
c7	0.0053	0.0076	0.197	0.002
	1.000		1.056	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.0194

ก๊าซ (V) = 0.9806

ตาราง ง58 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1
แรงดัน = 410 Psia อุณหภูมิ = 100 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.6000	0.060	0.215
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.6000	0.092	0.607
c2h6	0.0817	1.5900	0.052	0.082
c3	0.0505	0.5300	0.094	0.050
ic4	0.0115	0.2490	0.044	0.011
nc4	0.0121	0.1850	0.061	0.011
c5	0.0043	0.0800	0.044	0.004
nc5	0.0032	0.0650	0.039	0.003
nc6	0.0140	0.0260	0.321	0.008
c7	0.0053	0.0095	0.193	0.002
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.01808

ก๊าซ (V) = 0.98192

ตาราง ง59 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 410 Psia อุณหภูมิ = 110 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	3.8000	0.056	0.214
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	6.9000	0.087	0.604
c2h6	0.0817	1.7200	0.048	0.082
c3	0.0505	0.5900	0.085	0.050
ic4	0.0115	0.2800	0.040	0.011
nc4	0.0121	0.2100	0.055	0.012
c5	0.0043	0.0980	0.040	0.004
nc5	0.0032	0.0800	0.035	0.003
nc6	0.0140	0.0310	0.330	0.010
c7	0.0053	0.0120	0.224	0.003
	1.000		1.000	1.001

คอนเด็นเสท (L) = 0.01176

ก๊าซ (V) = 0.98824

ตาราง ง60 อัตราส่วนคอนเด็นเสทและก๊าซของการแยกก๊าซธรรมชาติในหน่วยแยกที่ 1

แรงดัน = 410 Psia อุณหภูมิ = 120 °F

Component	Zi	Ki	Xi	Yi
co2	0.2120	4.0000	0.053	0.218
n2	0.0076	25.0000	0.000	0.008
ch4	0.5978	7.0000	0.086	0.601
c2h6	0.0817	1.8500	0.044	0.082
c3	0.0505	0.6400	0.079	0.050
ic4	0.0115	0.3200	0.035	0.011
nc4	0.0121	0.2350	0.050	0.012
c5	0.0043	0.1100	0.037	0.004
nc5	0.0032	0.0900	0.033	0.003
nc6	0.0140	0.0350	0.335	0.012
c7	0.0053	0.0145	0.248	0.004
	1.000		1.000	1.000

คอนเด็นเสท (L) = 0.00698

ก๊าซ (V) = 0.99302

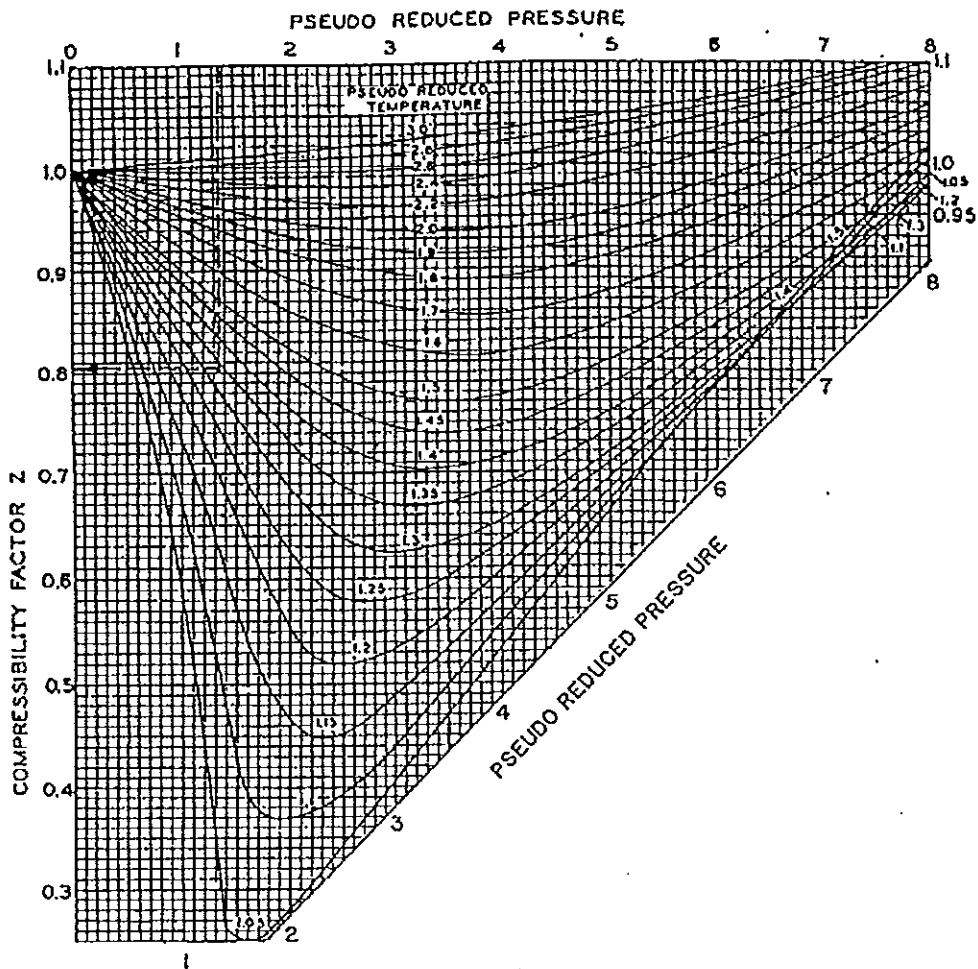
ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการอัดตัวได้ (Z),
น้ำหนักโมเลกุล (M.W), ความหนาแน่นจำเพาะ (ρ) ของก๊าซ
และน้ำหนักจำเพาะ (γ) ของคอนเดนเสทตามส่วนประกอบที่ใช้งาน

ตาราง จ1 คุณสมบัติวิกฤติของส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติ

Component	Molecular Weight	Z_c	Critical Temperature		Critical Pressure	
			$^{\circ}\text{R}$	K	psia	MPa
C_1	16.043	0.29	343	191	668	4.60
C_2	30.070	0.29	550	305	708	4.88
C_3	44.097	0.28	665	370	616	4.25
iC_4	58.124	0.28	735	408	529	3.65
nC_4	58.124	0.27	766	425	551	3.80
iC_5	72.151	0.27	829	460	490	3.38
nC_5	72.151	0.27	846	470	489	3.37
nC_6	86.178	0.26	914	507	437	3.01
nC_7	100.205	0.26	973	540	397	2.74
nC_8	114.232	0.26	1024	569	361	2.49
nC_9	128.259	0.25	1071	595	332	2.29
nC_{10}	142.286	0.25	1112	617	304	2.10
nC_{11}	156.302	0.24	1153	641	282	1.94
nC_{12}	170.378	0.24	1187	659	263	1.81
N_2	28.016	0.29	227	126	493	3.40
CO_2	44.010	0.28	548	304	1071	7.38
H_2S	34.076	0.28	673	374	1306	9.01
O_2	32.000	0.29	279	155	737	5.08
H_2	2.016	0.30	60	33	188	1.30

ตาราง จ2 Compressibility Factor Chart



1. การหาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวได้ของก๊าซธรรมชาติ (Z) และ น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ (M.W) ซึ่งเป็น gas mixtures ตามวิธีการที่ชื่อว่า Kay's rule มีดังนี้ (Campbell ,1992)

1. จากภาคผนวก ง. ได้แสดงการคำนวณสัดส่วนการแตกตัวของก๊าซและคอนเดินเสทจากส่วนประกอบที่กำหนดที่ค่าแรงดันและอุณหภูมิต่างๆ จะนำผลโมลส่วนย่อยของส่วนที่เป็นก๊าซมาพิจารณาในการหาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวได้ของก๊าซธรรมชาติ (Z) และน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ (M.W) ในครั้งนี้

2. ใช้ค่าจากตาราง จ1 มาคำนวณหาค่า reduce temperature (T_r) และ ค่า reduce pressure (P_r) เพื่อนำไปหาค่า Z จากตาราง จ2

3. เนื่องจากย่านการใช้งานจะมีการปรับค่าแรงดันในย่าน 320 -410 Psia อุณหภูมิ 70 - 120 °F หรือ 21.11-48.88 °C ดังนั้นในการทดสอบจะทดสอบที่ค่าขอบ คือ

ที่ค่าแรงดัน 320 Psia อุณหภูมิ 70 °F และ 120 °F

ที่ค่าแรงดัน 410 Psia อุณหภูมิ 70 °F และ 120 °F

แล้วดูผลการเปลี่ยนแปลงหากค่า Z ไม่ห่างกันมากนักก็นำค่าเฉลี่ยมาใช้แต่หากห่างกันมากอาจจะต้องพิจารณาสร้างสมการเส้นโค้งกระชับเพื่อเลือกค่า Z ที่ค่าแรงดันและอุณหภูมิต้องการ

4. นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าน้ำหนักโมเลกุล (MW) ของส่วนประกอบที่ค่าแรงดันและอุณหภูมิกำหนดได้เช่นกัน

5. วิธีการดังกล่าวนี้ ใช้คำนวณเฉพาะส่วนประกอบก๊าซธรรมชาติที่เป็นแบบลำดับพาราฟินเท่านั้น

6. แสดงผลการคำนวณดังในตาราง จ3 และ จ4

ตาราง จ3 ที่ค่าแรงดัน 320 Psia อุณหภูมิ 80 °F จากส่วนประกอบที่เป็นก๊าซ(Y_i)

(1)	(2) Y_i	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Component	Mol Fraction	T_c	$Y_i \times T_c$	P_c	$Y_i \times T_c$	MW	$Y_i \times MW$
CO ₂	0.216	304	65.664	1071	231.336	44.01	9.506
N ₂	0.008	126	1.008	493	3.944	28.01	0.224
C ₁	0.611	191	116.70	668	408.148	16.04	9.8004
C ₂	0.083	305	25.315	708	58.764	30.07	2.495
C ₃	0.049	370	18.13	616	30.184	44.09	2.160
iC ₄	0.011	408	4.488	529	5.819	58.12	0.639
nC ₄	0.011	425	4.675	551	6.061	58.12	0.639
iC ₅	0.003	460	1.38	490	1.47	72.15	0.216
nC ₅	0.002	470	0.94	489	0.978	72.15	0.144
nC ₆	0.006	507	3.042	437	2.622	86.17	0.517
nC ₇	0.001	540	0.54	397	0.397	100.2	0.1002
			241.88		749.72	100.21	26.441

$$P_r = P / P_c = 340 / 749.72 = 0.4535$$

$$T_r = T / T_c = (26.67 + 273.15) / 241.88 = 1.238$$

นำค่า P_r และ T_r ไปหาค่า Z จากตาราง จ2 ได้ค่า $Z = 0.91$
 ค่า M.W ของส่วนประกอบ = 26.441

ตาราง จ4 ผลการคำนวณโดยสรุป

อุณหภูมิ °F	แรงดัน 320 Psia					
	$\Sigma(YxP_c)$	$\Sigma(YxT_c)$	$\Sigma(YxM.W)$	P_r	T_r	Z
70	750.613	241.229	26.317	0.4263	1.2192	0.91
80	749.723	241.883	26.441	0.4268	1.2389	0.91
90	748.138	243.364	26.766	0.4277	1.2541	0.91
100	748.719	243.610	26.834	0.4285	1.2756	0.92
110	745.352	244.794	27.100	0.4293	1.2922	0.92
120	744.182	245.268	27.239	0.4300	1.3123	0.92
อุณหภูมิ °F	แรงดัน 410 Psia					
	$\Sigma(YxP_c)$	$\Sigma(YxT_c)$	$\Sigma(YxM.W)$	P_r	T_r	Z
70	755.226	245.690	27.0066	0.54288	1.1970	0.9
80	748.834	240.620	26.2431	0.54751	1.2453	0.9
90	747.827	242.625	26.6379	0.54825	1.2579	0.9
100	748.138	243.364	26.7612	0.54802	1.2769	0.9
110	746.334	244.041	26.9460	0.54935	1.2962	0.9
120	750.436	246.663	27.4051	0.54634	1.3049	0.91

จากผลของค่า Z มีค่าไม่ต่างกันมาก ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0.9-0.92 จึงเลือกค่าประมาณที่ 0.91 และค่า M.W เลือกประมาณ 27.00 สำหรับนำไปคำนวณหาค่า ρ ของก๊าซตามส่วนประกอบที่ได้กำหนดไว้ จากสูตร

$$\rho = \frac{(P)(M.W)}{ZRT} \quad (\text{Kg/m}^3) \quad (\text{จ.1})$$

2. การหาค่าน้ำหนักจำเพาะ (γ) ของคอนเดินเสท

(Perry, Robert H. and Green, Don., 1984)

$$\gamma = \rho g \quad (\text{N/m}^3) \quad (\text{จ.2})$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \rho &= \text{ความหนาแน่น} && (\text{kg/m}^3) \\ g &= \text{อัตราโน้มถ่วงของโลก} = 9.81 && \text{m/s}^3 \end{aligned}$$

สำหรับการหาค่า ρ ของคอนเดินเสทเนื่องจากการแยกเป็นก๊าซและคอนเดินเสท
ในหน่วยแยกจะเป็นสภาวะสมดุล ดังนั้นจะหาค่าของ ρ ได้จาก

$$\rho^{\text{BP}} = P_{\text{C,mix}} / RT_{\text{C,mix}} Z_{\text{RA,mix}}^{(1+(1-T_{\text{r,mix}})^{2/7})} \quad (\text{mol/cm}^2) \quad (\text{จ.3})$$

$$\rho^{\text{BP}} = \text{bubblepoint density of liquid mixture} \quad (\text{mol/cm}^2)$$

$$P_{\text{C,mix}} = \text{mixture critical pressure} = \sum_{i=1}^n X_i P_{ci} \quad (\text{atm})$$

$$R = \text{gas constant} = 82.05606 \quad \text{atm.cm}^2 / \text{mol.K}$$

$$T_{\text{C,mix}} = \text{mixture critical temperature} = \sum_{i=1}^n X_i T_{ci} \quad (\text{atm})$$

$$Z_{\text{RA,mix}} = \sum_{i=1}^n X_i Z_{\text{RA}i}$$

$$T_{\text{r,mix}} = \text{reduce temperature of mixture} = T / T_{\text{C,mix}}$$

$$X_i = \text{mol fraction of component } i$$

$$P_{ci} = \text{critical pressure of pure component } i$$

$$T_{ci} = \text{critical temperature of pure component } i$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{RA}} &= \text{constant determined from experimental data for pure} \\ &\text{component } i \text{ (If } Z_{\text{RA}} \text{ cannot be determined from experimental,} \\ &\text{then the critical compressibility factor (Zc) may be used in} \\ &\text{place of } Z_{\text{RA}} \text{, however, this will increase the possible error to} \\ &\text{3 or 4 percent.)} \end{aligned}$$

ตาราง จ5 การคำนวณหาค่า ρ^{BP}
ที่แรงดัน 320 Psia ที่ค่าอุณหภูมิ 70 °F จากส่วนประกอบที่เป็นของเหลว(X_i)

(1)	(2) X_i	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Component	Mol Fraction	T_c	$X_i \times T_c$	P_c	$X_i \times T_c$	Z_c	$X_i \times Z_c$
C ₀₂	0.057	304	17.328	72.88	4.154	0.28	0.0159
N ₂	0.000	126	0	33.55	0	0.29	0
C ₁	0.081	191	15.471	45.45	3.681	0.29	0.0234
C ₂	0.053	305	16.165	48.18	2.553	0.29	0.0152
C ₃	0.108	370	39.960	41.91	4.526	0.28	0.0302
iC ₄	0.053	408	21.624	35.99	1.907	0.28	0.0148
nC ₄	0.077	425	32.725	37.49	2.886	0.27	0.0207
iC ₅	0.051	460	23.460	33.34	1.700	0.27	0.0137
nC ₅	0.044	470	20.380	33.27	1.463	0.27	0.0118
nC ₆	0.319	507	161.73	29.73	9.483	0.26	0.0829
nC ₇	0.157	540	84.78	27.01	4.240	0.26	0.0408
			433.92		36.59		0.2702

$$P_{C,mix} = 36.59 \quad \text{atm}$$

$$R = 82.05606 \quad \text{atm.cm}^2 / \text{mol.K}$$

$$T_{C,mix} = 433.92 \quad ^\circ\text{K}$$

$$Z_{RA,mix} = 0.2702$$

$$T_{R,mix} = (26.67+273)/433.926 = 0.690601$$

แทนค่าในสมการ จ.3 จะได้ว่า

$$\rho^{BP} = 0.009705 \quad \text{mol/cm}^3$$

$$\text{average molecular weight of mixture} = \sum_{i=1}^n (M.W_i + X_i) = 67.7927$$

$$\rho^{BP} = (\text{Ave.MW})(\rho^{BP} - \text{mol/cm}^3) \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\rho^{BP} = 67.7927 \times 0.009705 = 0.657919 \quad \text{g/cm}^3$$

หรือ

$$\rho^{BP} = 657.919 \quad \text{g/m}^3$$

ตาราง จ6 ตารางสรุปค่า ρ^{BP}
ที่ค่าแรงดัน ค่าอุณหภูมิ ที่กำหนดจากส่วนประกอบที่เป็นของเหลว(X_i)

อุณหภูมิ °F	แรงดัน 320 Psia					
	$P_{C,mix}$	$T_{C,mix}$	$Z_{RA,mix}$	$T_{r,mix}$	Ave.M.W	$\rho^{BP} \text{ g/m}^3$
70	36.59	433.92	0.2702	0.6906	67.79	657
80	36.03	440.08	0.2690	0.6809	69.58	664
90	35.50	446.74	0.2680	0.6830	71.52	663
100	35.49	457.59	0.2718	0.6790	73.96	659
110	34.49	457.83	0.2670	0.6900	74.86	657
120	34.10	460.65	0.2670	0.6980	75.86	654
อุณหภูมิ °F	แรงดัน 410 Psia					
	$P_{C,mix}$	$T_{C,mix}$	$Z_{RA,mix}$	$T_{r,mix}$	Ave.M.W	$\rho^{BP} \text{ g/m}^3$
70	38.01	418.70	0.2717	0.7024	63.892	653
80	37.52	424.43	0.2710	0.7060	65.547	653
90	38.41	460.41	0.2848	0.6628	72.688	651
100	36.39	435.86	0.2697	0.7129	68.914	650
110	35.77	442.54	0.2689	0.7147	70.860	649
120	35.32	447.01	0.2684	0.7200	72.225	646

จากตาราง จ6 ค่าของ ρ^{BP} อยู่ระหว่าง 646-665 kg/m^3 ได้เลือกค่า ρ^{BP} ไปที่
670 kg/m^3 ซึ่งจะทำให้ได้ค่า γ มีค่าดังนี้

จากสมการ (จ.2)

$$\gamma = \rho g \quad (\text{N/m}^3)$$

แทน ρ ด้วย ρ^{BP} จะได้ว่า

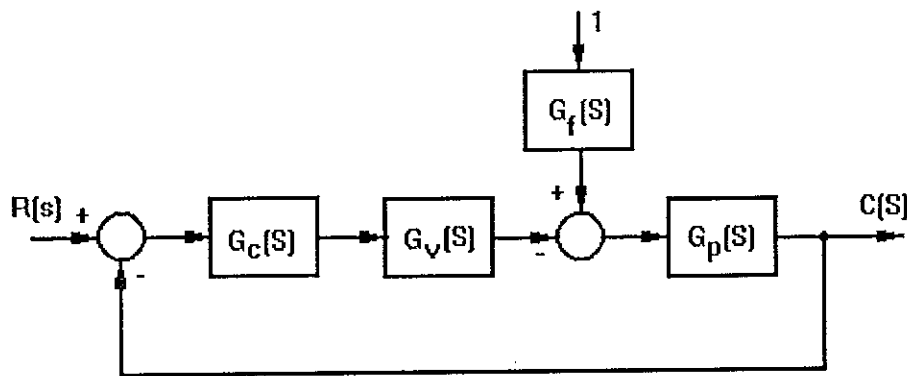
$$\gamma = 670 \times 9.81 = 6572.7 \quad \text{N/m}^3$$

$$\text{หรือ} \quad = 6.572 \times 10^3 \quad \text{N/m}^3$$

ภาคผนวก ฉ. การหาผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อฟังก์ชันโอนย้ายกระบวนการรักษา
ระดับของคอนเด็นเสทในถังเปิดจากโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติต่อ
ฟังก์ชันชั้นในการปรับค่าปรับตั้งโดยใช้วิธีการแปลงลาปลาซ

ภาคผนวก ฉ. การหาผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อฟังก์ชันโอนย้ายกระบวนการรักษาระดับของคอนเต็นเสทในถังเปิดจากโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติต่อฟังก์ชันขั้นในการปรับค่าปรับตั้งโดยใช้วิธีการแปลงลาปลาซ

เมื่อต่อเป็นการควบคุมแบบวงปิด โดยคำนึงถึงการทำงานแบบกลับข้างของวาล์ว ความสัมพันธ์ของขนาดวาล์วและสัญญาณทางออกของตัวควบคุมแสดงดังในสมการ 3.39 ซึ่งจะทำให้ได้ การควบคุมแบบวงปิดดังแสดงในภาพประกอบ ฉ.1 โดยฟังก์ชันโอนย้ายของแต่ละบล็อกจะเป็นดังนี้



ภาพประกอบ ฉ.1 ฟังก์ชันโอนย้ายการควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ทดสอบ

จากภาพประกอบ ฉ.1 ฟังก์ชันโอนย้ายของระบบควบคุมแบบป้อนกลับจากผลการปรับค่าปรับตั้งรวมจะเป็นดังนี้

$$C(s) = -\frac{G_f(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_v(s)G_p(s)} + \frac{G_c(s)G_v(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_v(s)G_p(s)} \times R(s) \quad (\text{ฉ.1})$$

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{K_I}{s} + K_D s\right) \quad (\text{ฉ.2})$$

เมื่อ $G_c(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของตัวควบคุมแบบพีไอดี

ทั้งนี้เนื่องจากว่าลัวที่ใช้จะเป็นการทำงานแบบกลับข้างจึงได้เพิ่มเติมบล็อกในส่วนของ G_v (s) และ $G_f(s)$ เข้ามา โดยที่

$$G_v(s) = 1 \quad (จ.3)$$

เมื่อ $G_v(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของการขยายสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 1

$$G_f(s) = 1/s \quad (จ.4)$$

เมื่อ $G_f(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของขนาดสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ 1

$$G_p(s) = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{3.952}{735s + 1} \quad (จ.5)$$

เมื่อ $G_p(s)$ = ฟังก์ชันโอนย้ายของกระบวนการควบคุมระดับของคอนเดินสเกทในถังเปิด

$$R(s) = K_{sp}/s \quad (จ.6)$$

เมื่อ $R(s)$ = ขนาดสัญญาณปรับตั้งที่มีค่าเท่ากับ K_{sp} ใน S-domain

$$C(s) = \text{ผลตอบสนองของสัญญาณการควบคุม} \quad (จ.7)$$

ใน S-domain

จาก สมการ (จ.1) เทอมที่ 1

$$\frac{G_f(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)} = \frac{\frac{K_f}{s} \frac{K}{\tau s + 1}}{1 + K_c \frac{(1 + K_f + K_d s)}{s} K_v \frac{K}{\tau s + 1}} \quad (จ.8)$$

$$= \frac{\frac{KK_f}{s(\tau s + 1)}}{1 + \frac{K_c(s + K_f + K_d s^2)}{s} K_v K} \quad (จ.9)$$

$$= \frac{\frac{KK_f}{s(\tau s + 1)}}{\frac{s(\tau s + 1) + K_c K_v K s + K_c K_v K K_f + K_c K_v K K_d s^2}{s(\tau s + 1)}} \quad (จ.10)$$

$$= \frac{KK_f}{\tau s^2 + K_c K_V K_S + K_c K_V K K_1 + K_c K_V K K_D s^2} \quad (9.11)$$

$$= \frac{KK_f}{(\tau + K_c K_V K K_D) s^2 + (1 + K_c K_V K) s + K_c K_V K K_1} \quad (9.12)$$

$$\begin{aligned} \text{ให้} \quad KK_f &= A_1 \\ (\tau + K_c K_V K K_D) &= B_1 \\ (1 + K_c K_V K) &= C_1 \\ (K_c K_V K K_1) &= D_1 \\ &= \frac{(A_1/B_1)}{s^2 + (C_1/B_1)s + (D_1/B_1)} \quad (9.13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ให้} \quad A_1/B_1 &= L_1 \\ C_1/B_1 &= M_1 \\ D_1/B_1 &= N_1 \\ &= \frac{L_1}{s^2 + M_1 s + N_1} \quad (9.14) \end{aligned}$$

$$\text{จัดให้อยู่ในรูป} \quad \frac{A\omega}{(s-a)^2 + \omega^2} \quad \text{เพื่อ Inverse Laplace}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่} \quad a &= M_1/2 \\ \omega^2 &= N_1 - (M_1/2)^2 \\ \omega &= \sqrt{\omega^2} \\ A &= \frac{L_1}{\sqrt{\omega^2}} \end{aligned}$$

$$\mathcal{L}^{-1} \frac{A\omega}{(s-a)^2 + \omega^2} = A (e^{-at} \text{Sine } \omega t) \quad (9.15)$$

จาก สมการ (9.1) เทอมที่ 2 ในกรณีที่ยังไม่นำ R(s) มาพิจารณา

$$\frac{G_c(s)G_v(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)} = \frac{K_c (1+K_I+K_D s) K_V \frac{K}{\tau s+1}}{1 + K_c (1+K_I+K_D s) K_V \frac{K}{\tau s+1}} \quad (9.16)$$

$$= \frac{\left(\frac{K_c S + K_c K_I + K_c K_D S^2}{S}\right) K_V \frac{K}{\tau S + 1}}{1 + \left(\frac{K_c S + K_c K_I + K_c K_D S^2}{S}\right) K_V \frac{K}{\tau S + 1}} \quad (\text{ฉ.17})$$

$$= \frac{K_c K_D K_V K S^2 + K_c K_V K S + K_c K_I K_V K}{(\tau + K_c K_D K_V K) S^2 + (1 + K_c K_V K) S + K_c K_V K_I K} \quad (\text{ฉ.18})$$

$$\begin{aligned} \text{ให้ } K_c K_D K_V K &= A_2 \\ K_c K_V K &= B_2 \\ K_c K_I K_V K &= C_2 \\ (\tau + K_c K_D K_V K) &= D_2 \\ (1 + K_c K_V K) &= E_2 \end{aligned}$$

และเมื่อนำ $R(S)$ มาพิจารณาหาร่วมในสมการ (ฉ.18)

$$\text{จะได้ว่า } \frac{A_2 S^2 + B_2 S + C_2}{D_2 S^2 + E_2 S + C_2} \cdot \frac{K_{sp}}{S} \quad (\text{ฉ.19})$$

$$\begin{aligned} \text{ให้ } L &= (A_2 K_{sp}) / D_2 \\ M &= (B_2 K_{sp}) / D_2 \\ N &= (C_2 K_{sp}) / D_2 \\ P &= E_2 / D_2 \\ N_1 &= C_2 / D_2 \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ว่า } \frac{L S^2 + M S + N}{(S^2 + P S + N_1)} \cdot \frac{1}{S} \quad (\text{ฉ.20})$$

$$\text{รากสมการ } (S^2 + P S + N_1) = -(P/2) \pm i[(\sqrt{4N_1 - P^2})/2] = F \pm iG$$

$$\text{เมื่อ } F = -(P/2)$$

$$G = [(\sqrt{4N_1 - P^2})/2]$$

จากสมการ (ฉ.20)

$$\frac{L S^2 + M S + N}{(S^2 + P S + N_1)} \cdot \frac{1}{S} = \frac{L S^2 + M S + N}{(S - F - iG)(S - F + iG) S} \quad (\text{ฉ.21})$$

แยก Partial Fractions สมการ (ฉ.21)

$$\frac{LS^2 + MS + N}{(S-F-iG)(S-F+iG)} \cdot \frac{1}{S} = \frac{A_1}{(S-F-iG)} + \frac{A_2}{(S-F+iG)} + \frac{A_3}{S} \quad (\text{ฉ.22})$$

$$A_1 = \lim_{S \rightarrow F+iG} (S-F-iG) \frac{LS^2 + MS + N}{(S-F-iG)(S-F+iG)} \cdot \frac{1}{S} \quad (\text{ฉ.23})$$

$$A_1 = -Q - iR$$

$$Q = \frac{(2G^2X_1 - 2GFY_1)}{(4G^2 + 4G^2F^2)} \quad \text{และ} \quad R = \frac{(2G^2Y_1 + 2GFX_1)}{(4G^2 + 4G^2F^2)}$$

$$X_1 = (LF^2GL + MF + N) \quad \text{และ} \quad Y_1 = (2GFL + GM)$$

$$A_2 = \lim_{S \rightarrow F-iG} (S-F+iG) \frac{LS^2 + MS + N}{(S-F-iG)(S-F+iG)} \cdot \frac{1}{S} \quad (\text{ฉ.24})$$

$$A_2 = -Q + iR$$

$$Q = \frac{(2G^2X_1 - 2GFY_1)}{(4G^2 + 4G^2F^2)} \quad \text{และ} \quad R = \frac{(2G^2Y_1 + 2GFX_1)}{(4G^2 + 4G^2F^2)}$$

$$X_1 = (LF^2GL + MF + N) \quad \text{และ} \quad Y_1 = (2GFL + GM)$$

$$A_3 = \lim_{S \rightarrow 0} S \cdot \frac{LS^2 + MS + N}{(S-F-iG)(S-F+iG)} \cdot \frac{1}{S} \quad (\text{ฉ.25})$$

$$A_3 = \frac{N}{F^2 + G^2} = St$$

$$\frac{LS^2 + MS + N}{(S^2 + PS + N_1)} \cdot \frac{1}{S} = \frac{(-Q-iR)}{(S-F-iG)} + \frac{(-Q+iR)}{(S-F+iG)} + \frac{St}{S} \quad (\text{ฉ.26})$$

$$\mathcal{L}^{-1} \left[\frac{(-Q-iR)}{(S-F-iG)} + \frac{(-Q+iR)}{(S-F+iG)} + \frac{St}{S} \right] = e^{Ft} [(-2Q)\cos Gt + (2R)\sin Gt] + St u(t) \quad (\text{ฉ.27})$$

รวมทั้งสองเทอมเข้าด้วยกันจะได้ว่า

$$C(t) = -A(e^{-at} \sin \omega t) + \{ e^{Ft} [(-2Q)\cos Gt + (2R)\sin Gt] + St u(t) \} \quad (\text{ฉ.28})$$

ภาคผนวก ข. คุณลักษณะและรายละเอียดการใช้งานเบื้องต้นของซอฟต์แวร์ Lab Windows

ภาคผนวก ข. คุณลักษณะและรายละเอียดการใช้งานเบื้องต้นของซอฟต์แวร์ Lab Windows (Lab Windows Getting Started, User manual, User Interface Library Reference Manual. 1991)

ซอฟต์แวร์ Lab Windows Version 2.3 ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซนี้เป็นของบริษัท National Instruments Corporation U.S.A. ใช้งานได้กับคอมพิวเตอร์ IBM PC AT, PS/2 หรือ IBM compatible DOS Version 3.0 ขึ้นไป หากต้องการใช้งาน Lab Windows Interactive Program LW.EXE ต้องมีหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 2 Mb ซึ่งจะประกอบด้วย Conventional Memory 640 Kilobytes และ Extend Memory 1.4 Megabytes

สำหรับการใช้งานเฉพาะ Lab Windows libraries ต้องมีหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 640 Kilobytes

การใช้งานเบื้องต้นจะต้องมีการติดตั้งโปรแกรมลงในฮาร์ดดิสก์ โดยนำแผ่นสำหรับติดตั้งแผ่นที่ 1 (โปรแกรมจะประกอบด้วยแผ่นดิสก์ขนาด 3.5" 1.44 Mb จำนวน 5 แผ่น) แล้วพิมพ์คำว่า setup ที่ DOS prompt:

Z:\setup

โดยที่ Z: คือชื่อของช่องขับที่ใส่แผ่นดิสก์สำหรับติดตั้ง จากนั้นก็จะมีให้ผู้ติดตั้งตอบคำถามในการติดตั้งต่าง ๆ พร้อมทั้งนำแผ่นถัดไปใส่ลงในช่องขับแผ่นดิสก์จนหมด เมื่อการติดตั้งเสร็จสิ้นแล้วจะได้สารบบย่อยของโปรแกรมหาดังตาราง ข 1

ตาราง ข 1

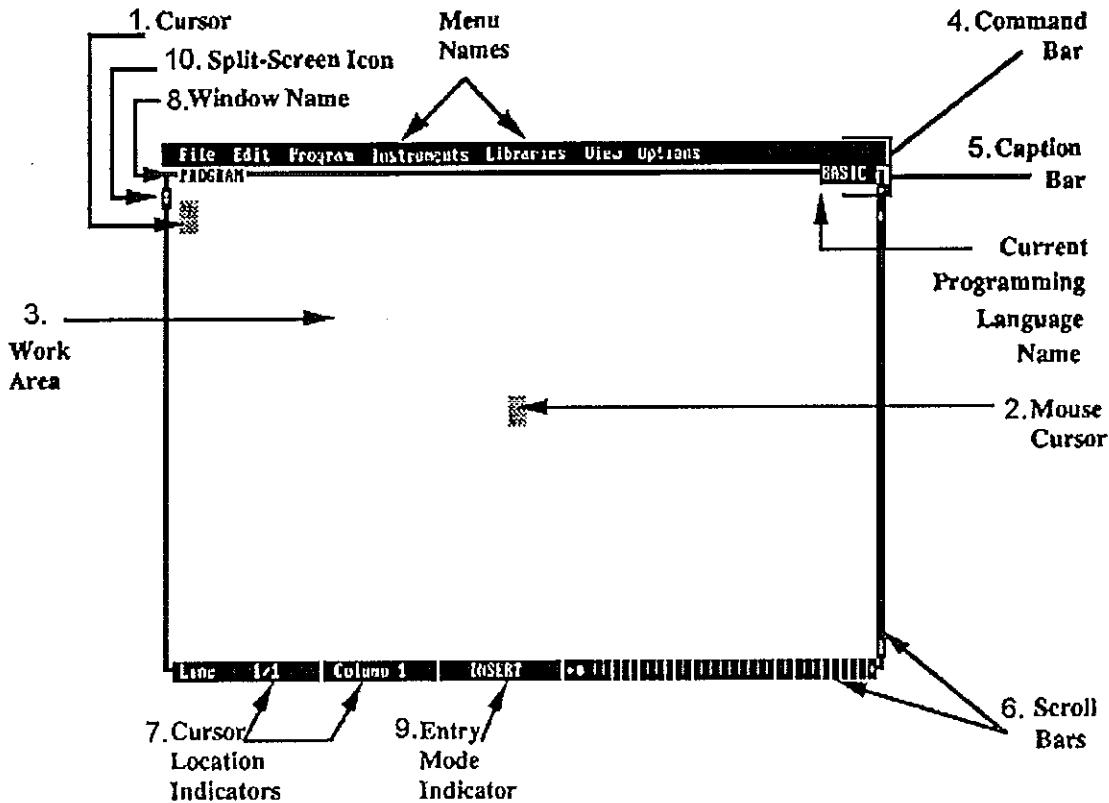
ชื่อสารบบย่อย	รายการ
FONTS	font files ในการใช้งานกราฟฟิค
LIBRARY	library files สำหรับใช้งานร่วมกับโปรแกรม Microsoft C หรือ BASIC
BORLAND	library files สำหรับใช้งานร่วมกับโปรแกรม Borland C
INCLUDE	Include files ที่ใช้งานร่วมกับ libraries
PROGRAMS	ตัวอย่างโปรแกรมใช้งาน
INSTR	ตัวแบบเครื่องมือที่ใช้งาน (Instrument models)
SWP	virtual memory manager (VMM) swap file directory (optional)

1. ส่วนประกอบของ Lab Windows

โปรแกรม Lab Windows เฉพาะในส่วนที่ได้นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการจำลองสภาวะกระบวนการผลิตก๊าซ เมื่อเรียกผ่านโปรแกรม LW.EXE จะได้นหน้าต่างของโปรแกรม 3 แบบ ซึ่งได้แก่ หน้าต่างโปรแกรม(program window) หน้าต่างอินเตอร์แอคทีฟ (interactive window) และหน้าต่างอินพุท/เอาต์พุทมาตรฐาน (standard I/O windows) ซึ่งจะมีการทำงานร่วมกันดังนี้

1.1 หน้าต่างโปรแกรม

เป็นส่วนที่ใช้เขียนรหัสต้นฉบับ(source code) ซึ่งจะสามารถเลือกเขียนโปรแกรมในรูปแบบภาษา C หรือ BASIC มีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ ช.1



ภาพประกอบ ช.1 หน้าต่างโปรแกรม

หน้าต่างโปรแกรมประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ตำแหน่งเคอร์เซอร์ (cursor) ซึ่งจะกระพริบแสดงตำแหน่งที่จะพิมพ์ตัวอักษรลงไป
หน้าจอ
2. ในกรณีที่มีการติดตั้งเมาส์จะปรากฏตำแหน่งเมาส์ (mouse cursor) ซึ่งจะเป็นแถบสี่เหลี่ยมที่ไม่กระพริบปรากฏบนหน้าจอที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง
3. พื้นที่ใช้งาน (work area) เป็นส่วนแสดงผลข้อความ
4. แถบคำสั่ง (command bar) ประกอบด้วยเมนูคำสั่งต่างๆ ได้แก่ File, Edit, Program, Instrument, Libraries, View และ Options
5. แถบหัวข้อ (caption bar) เป็นส่วนแสดงชื่อหน้าต่าง ชื่อแฟ้มใช้งาน ชื่อแบบภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม และสถานะการทำงานของโปรแกรม

6. แถบเลื่อน (scroll bar) ใช้เลือกตำแหน่งเพื่อดูข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอ
7. ตัวชี้ตำแหน่งของเคอร์เซอร์ (cursor location indicators) บอกตำแหน่งแถว (row) และสดมภ์ (column) ของเคอร์เซอร์ในหน้าต่าง
8. ชื่อหน้าต่าง (windows name) จะบอกชื่อของหน้าต่างที่ใช้งานปัจจุบัน และสามารถใช้เมาส์เลือกหน้าต่างจากตำแหน่งชื่อหน้าต่างนี้ได้
9. ตัวชี้สภาวะการป้อนตัวอักษร (entry mode indicator) บอกว่าเป็นการป้อนตัวอักษรทางแป้นพิมพ์ในแบบพิมพ์ทับหรือพิมพ์แทรก
10. ไอคอนแยกหน้าจอ (split-screen icon) ให้เลือกว่าต้องการให้หน้าต่างแสดงผลเป็นแบบเต็มจอ หรือแยกหน้าจอกับหน้าต่างอื่น

ในหน้าต่างโปรแกรมนี้จะให้ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมได้สูงสุด 9,999 บรรทัด ซึ่งจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของรูปแบบภาษาที่ได้เลือกไว้ เมื่อเขียนโปรแกรมเสร็จแล้วก็สามารถที่จะทดสอบการทำงานของโปรแกรมโดยการสั่ง RUN ในเมนูย่อยของเมนูหลัก Program หากไม่มีข้อผิดพลาดในรูปแบบการเขียนโปรแกรมก็จะทำงานไปตามคำสั่งที่ได้เขียนไว้

1.2 หน้าต่างอินเตอร์แอคทีฟ

กรณีการพัฒนาโปรแกรมที่มีจำนวนบรรทัดมากๆ หากต้องการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในส่วนย่อย โดยเฉพาะการเขียนเป็นฟังก์ชันย่อยไว้ หากต้องการทดสอบเป็นส่วนๆไป สามารถที่จะคัดลอกส่วนที่ต้องการทดสอบไปไว้ในหน้าต่างอินเตอร์แอคทีฟ แล้ว RUN โปรแกรมในส่วนย่อยนั้นในหน้าต่างอินเตอร์แอคทีฟ ซึ่ง Lab Windows ได้เอื้ออำนวยในส่วนนี้มาให้โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้อง RUN โปรแกรมทั้งหมด การเลือกสวิตช์หน้าต่างสามารถใช้เมาส์ไปคลิกที่แถบหัวข้อเลือกหน้าต่าง ซึ่งจะได้หน้าต่างออกมาดังแสดงในภาพประกอบ ข.4 โดยข้อความบอกชื่อหน้าต่างจะเปลี่ยนเป็น Interactive แทนคำว่า Program และการใช้งานก็จะเป็นไปตามข้อกำหนดในการใช้งานของหน้าต่าง interactive

1.3 หน้าต่างอินพุท/เอาต์พุตมาตรฐาน

นอกจากหน้าต่างสองแบบที่ได้กล่าวมาแล้ว Lab Windows ยังมีส่วนที่อำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ในกรณีที่ต้องการป้อนข้อมูลหรือขอข้อมูลการทำงานของโปรแกรมในระหว่างการทำงาน หรือเมื่อหยุดทำงานไปแล้วที่หน้าต่างอินพุท/เอาต์พุตมาตรฐาน ซึ่งสามารถเลือกมาที่หน้าต่างอินพุท/เอาต์พุตมาตรฐานโดยใช้เมาส์ไปคลิกที่ตำแหน่งชื่อหน้าต่าง ซึ่งจะได้หน้าต่างออกมาดังแสดงในภาพประกอบ ข.3

1.4 ตัวอย่างการใช้งานแบบทั่วไป

ในการใช้งาน Lab Windows ในตัวอย่างที่ 1 จะเป็นการใช้ในแบบการเขียนโปรแกรมในแบบทั่วไป

ตัวอย่าง ข.1 แสดงโปรแกรมการหาค่าจากฟังก์ชันคณิตศาสตร์ rand(); ซึ่งนำไปเขียนเป็นฟังก์ชันย่อย rand_value(); เรียกใช้โดย main(); ซึ่งวิธีการเขียนและใช้งานโปรแกรมหาดังนี้

1. เขียนรหัสต้นฉบับโปรแกรมในหน้าต่างโปรแกรม ดังแสดงในภาพประกอบ ข.2

```

1. double my_array[100];
2. double a;
3. double rand_value();
4. void main (void)
5. {
6.     int i;
7.     cls();
8.     for (i = 0;i < 100 ;i++)
9.     {
10.         my_array[i] = rand_value();
11.         /* นำค่าจากฟังก์ชัน rand_value(); ไปเก็บไว้ที่ my_array[i] */
12.         FmtOut(" %d\t %f\n", i,my_array[i]);
13.         /* แสดงผล my_array[i] ที่หน้าต่างอินพุต/เอาต์พุตมาตรฐาน*/
14.     }
15. }
16. double rand_value() /* ฟังก์ชันย่อย rand_value();*/
17. {
18.     a = rand()/32767.0;
19.     /* นำค่าที่ได้จากฟังก์ชัน rand()ไปหารด้วย 32767.0 แล้วเก็บค่าไว้ที่ a */
20.     FmtOut("Function rand_value a = %f\n",a);
21.     /* แสดงผล a ที่หน้าต่างอินพุต/เอาต์พุตมาตรฐาน*/
22.     return a;
23.     /* ส่งค่า a กลับไปยัง main(); */
24. }

```

```

File Edit Program Instruments Libraries View Options
PROGRAM
double my_array[100];
double x;
double rand_value();
void main (void)
{
    int i;
    do{
        for (i = 0; i < 100; i++)
        {
            my_array[i] = rand_value();
            FmtOut(" %d \t %f \n", i, my_array[i]);
        }
    }
    double rand_value()
    {
        x = rand()/32767.0;
        FmtOut("Function rand_value a = %f \n", x);
        return x;
    }
}
Line 1/1 Column 1 INSERT

```

ภาพประกอบ ข.2 เขียนรหัสต้นฉบับในหน้าต่างโปรแกรม

2. เลือกคอมไพล์และ RUN โปรแกรมในเมนูหลัก Program และเมนูย่อย RUN โปรแกรมจะทำงานตามคำสั่งคือ ฟังก์ชันย่อย rand_value(); จะเรียกใช้ฟังก์ชัน rand(); หากค่าตัวแปรสุ่มแล้วนำไปหารด้วยค่า 32767.0 แล้วส่งค่ากลับมาที่ตัวแปร my_array[i] ซึ่งค่า i มีได้ตั้งแต่ 1-100 เมื่อครบ 100 แล้วโปรแกรมก็จะหยุดทำงาน

3. สามารถสลับหน้าจอไปที่หน้าต่างอินพุท/เอาต์พุทมาตรฐาน เพื่อขอดูผลการทำงานของโปรแกรม จะพบการแสดงผลจากคำสั่ง FmtOut("Function rand_value a = %f \n", a); ของฟังก์ชันย่อย rand_value(); และคำสั่ง FmtOut (" %d \t %f \n", i, my_array[i]); ของฟังก์ชัน main (); ดังแสดงในภาพประกอบ ข.3

```

File Edit Program Instruments Libraries View Options
STANDARD I/O
Function rand_value a = 0.001251
0 0.001251
Function rand_value a = 0.563585
1 0.563585
Function rand_value a = 0.193304
2 0.193304
Function rand_value a = 0.808741
3 0.808741
Function rand_value a = 0.585009
4 0.585009
Function rand_value a = 0.479873
5 0.479873
Function rand_value a = 0.350291
6 0.350291
Function rand_value a = 0.895962
7 0.895962
Function rand_value a = 0.82284
Line 1/1 Column 1 INSERT

```

ภาพประกอบ ข.3 การแสดงผลในหน้าต่างอินพุท/เอาต์พุตมาตรฐานของฟังก์ชัน main():

4. หากต้องการทดสอบการทำงานของฟังก์ชันย่อย rand_value(); สามารถตัดลอกเฉพาะคำสั่งใน ฟังก์ชันย่อย rand_value(); ไปไว้ในหน้าต่างอินเตอร์แอคทีฟ แล้วสั่ง RUN ในเมนูหลัก Program และเมนูย่อย RUN ดังแสดงในภาพประกอบ ข.4 และมีผลที่หน้าต่างอินพุท/เอาต์พุตมาตรฐานดังแสดงในภาพประกอบ ข.5

```

File Edit Program Instruments Libraries View Options
INTERACTIVE
{
a = rand()/32767.0;
FmtOut("Function rand_value a = %f\n",a);
return a;
}
Line 1/1 Column 1 INSERT

```

ภาพประกอบ ข.4 การทดสอบฟังก์ชันย่อย rand_value(); ในหน้าต่างอินเตอร์แอคทีฟ

```

File Edit Program Instruments Libraries View Options
STANDARD I/O
Function rand_value a = 0.001251
Function rand_value a = 0.563585
Function rand_value a = 0.193304
Function rand_value a = 0.808741
Function rand_value a = 0.585009
Function rand_value a = 0.479873
Function rand_value a = 0.350291
Function rand_value a = 0.895962
Line 1/1 Column 1 INSERT

```

ภาพประกอบ ช.5 การแสดงผลในหน้าต่างอินพุท/เอาต์พุตมาตรฐานจากโปรแกรม
ย่อยในหน้าต่างอินเตอร์แอกทีฟในภาพประกอบ ช.4

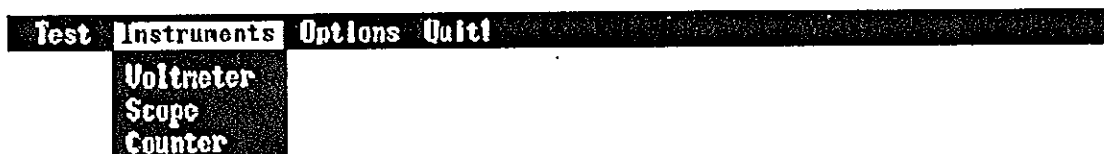
2. การใช้งานยูสเซอร์อินเตอร์เฟซไลบรารี (user Interface library)

ของ Lab Windows

Lab windows มีส่วนของการใช้งานที่เรียกว่ายูสเซอร์อินเตอร์เฟซไลบรารี จะประกอบไปด้วยออปเจ็ค (objects) ซึ่งได้แก่ เมนูบาร์ (menu bars), พาเนล (panels), คอนโทรล (controls), ป๊อปอัพพาเนล (pop-up panels) โดยผู้ใช้งานที่จะนำออปเจ็คต่างๆ เหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมเพื่อการควบคุมและแสดงผลการทำงานของโปรแกรมได้

2.1 เมนูบาร์

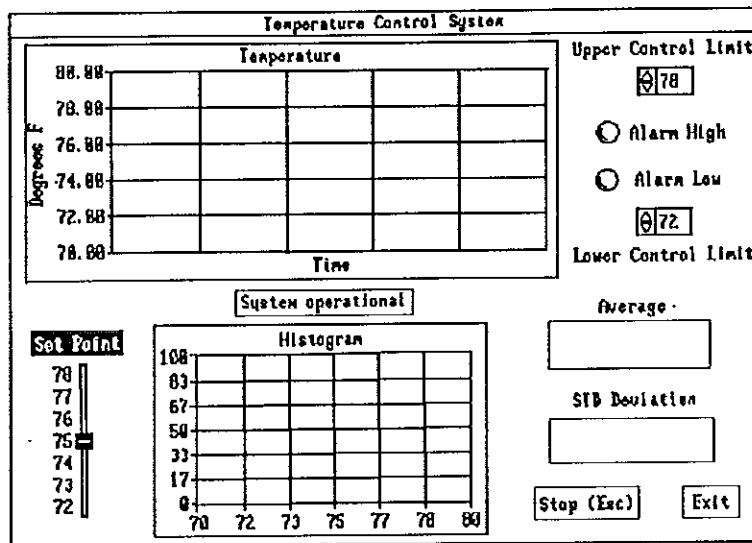
เป็นส่วนที่เก็บและแสดงคำสั่งที่ใช้งาน จะอยู่ด้านบนสุดของหน้าจอและประกอบด้วยกลุ่มของชื่อเมนู ดังภาพประกอบ ช.6



ภาพประกอบ ช.6 เมนูบาร์

2.2 พาเนล

คือกรอบที่ปรากฏเป็นหน้าจอการใช้งานของโปรแกรม ซึ่งจะประกอบไปด้วยกลุ่มของส่วนควบคุมต่างๆ ที่จะรับข้อมูลจากการป้อนเข้ามาทางแป้นพิมพ์ของผู้ใช้และแสดงผลออกมาที่จอภาพ ตัวอย่าง เช่น แสดงเป็นแผงหน้าปัทม์ของเครื่องมือวัด ดังแสดงในภาพประกอบ ช.7



ภาพประกอบ ช.7 พาเนล

สำหรับในส่วนของพาเนลนี้หากผู้ใช้งานประสงค์ที่จะแสดงภาพหรือไดอะแกรมบนพาเนลประกอบร่วมกับคอนโทรลอื่นๆ สามารถทำได้โดยการไปสร้างเพิ่มที่เป็น .PCX ไว้ก่อนแล้ว Import เข้ามาที่พาเนลได้ ซึ่งจะต้องไปเลือกใช้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซอิดิเตอร์ จากเมนูหลัก Options เมนูย่อย User Interface Editor ซึ่งผลของการใช้เมนูย่อยนี้จะได้เพิ่ม .UIR และ .H ขึ้นมาเอง โดยเพิ่ม.UIR จะเป็นที่เก็บพาเนลและคอนโทรลต่างๆ ส่วนเพิ่ม .H จะเป็น include file ที่ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงใดๆ ทั้งสิ้น

2.3 คอนโทรล

เป็นออปเจ็คซึ่งปรากฏบนพาเนลเพื่อรับข้อมูลเข้าหรือแสดงผลออกมา ในยูสเซอร์อินเตอร์เฟซไลบรารีจะประกอบด้วยคอนโทรลดังต่อไปนี้

2.3.1 คอนโทรลตัวเลข/ตัวอักษร (numeric/string controls)

ผู้ใช้สามารถใช้สำหรับรับหรือแสดงผลตัวเลขหรือตัวอักษรของข้อมูลในโปรแกรม ดังแสดงในภาพประกอบ ช.8

Voltage
18.88

ภาพประกอบ ช.8 คอนโทรลตัวเลข/ตัวอักษร

2.3.2 ไบนารีสวิตช์คอนโทรล (binary switch controls)

ใช้เป็นตัวเลือกสภาวะ ON-OFF ดังแสดงในภาพประกอบ ช.9



ภาพประกอบ ช.9 ไบนารีสวิตช์คอนโทรล

2.3.3 ปุ่มเรดิโอคอนโทรล (radio button controls)

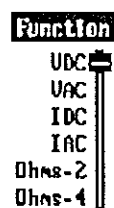
คล้ายกับไบนารีสวิตช์คอนโทรลที่ให้เลือกได้ระหว่างสองสภาวะที่แตกต่างกัน แต่เป็นแบบปุ่มกดที่จะมีสภาวะเป็นกดหรือปล่อยออกสองสภาวะ ดังแสดงในภาพประกอบ ช.10



ภาพประกอบ ช.10 ปุ่มเรดิโอคอนโทรล

2.3.4 สไลด์คอนโทรล (slide controls)

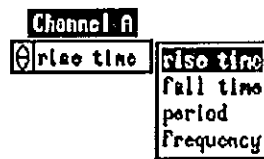
เป็นสวิตช์เลื่อนสำหรับเลือกการทำงานหรือค่าที่กำหนด จากกลุ่มของตัวเลขหรือข้อความ ซึ่งตำแหน่งที่สไลด์อยู่คือการเลือกในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพประกอบ ช.11



ภาพประกอบ ช.11 สไลด์คอนโทรล

2.3.5 ริงคอนโทรล (ring controls)

ใช้เลือกเช่นเดียวกับสไลด์คอนโทรลแต่จะแสดงออกมาเพียงตัวเลือกเดียวในสภาวะปกติ แต่เมื่อใช้เมาส์ไปคลิกที่ตำแหน่งริงคอนโทรลจะปรากฏตัวเลือกเพิ่มมาอีก ดังแสดงในภาพประกอบ ช.12



ภาพประกอบ ช.12 ริงคอนโทรล

2.3.6 สวิตช์ปุ่มกดคอนโทรล (push button switch controls)

ใช้สำหรับเป็นสวิตช์ปุ่มกดเพื่อเลือกการทำงาน โดยมีชื่อปรากฏอยู่ ดังแสดงในภาพประกอบ ช.13



ภาพประกอบ ช.13 สวิตช์ปุ่มกดคอนโทรล

2.3.7 แอลอีดีคอนโทรล (LED controls)

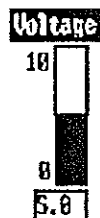
แสดงผลในสภาวะปิดหรือเปิดของ LED เช่น สว่างอยู่ในสภาวะ ON หรือ ดับในสภาวะ OFF ดังแสดงในภาพประกอบ ช.14



ภาพประกอบ ช.14 แอลอีดีคอนโทรล

2.3.8 สเกลคอนโทรล (scale controls)

เป็นการแสดงผลขนาดของค่าที่กำหนดไว้ในก่อนหน้าแล้ว ค่าที่ปรากฏจะอยู่ในกรอบของสเกลที่ได้ระบุค่าสูงสุดต่ำสุดไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ ช.15



ภาพประกอบ ช.15 สเกลคอนโทรล

2.3.9 ข้อความคอนโทรล (text controls)

ใช้สำหรับแสดงผลของข้อความให้ปรากฏมาบนหน้าจอ ดังแสดงในภาพประกอบ ช.16

GPB timeout error

ภาพประกอบ ช.16 ข้อความคอนโทรล

2.3.10 กรอบข้อความคอนโทรล (text box controls)

คล้ายกับข้อความคอนโทรล แต่ข้อความที่จะปรากฏจะอยู่ในกรอบที่ได้กำหนดไว้ก่อน หากมีข้อความใหม่เข้ามาอย่างต่อเนื่อง ข้อความที่อยู่บรรทัดบนสุดจะหายไปเมื่อข้อความดังกล่าวเต็มกรอบที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ ช.17

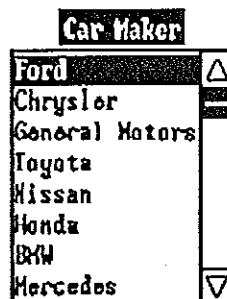
Error Log

GPB time out:
Device - voltmeter
Address - 5
Voltage value out of range:
Expected - 5.8
Read - 6.7

ภาพประกอบ ช.17 กรอบข้อความคอนโทรล

2.3.11 รายการเลือกคอนโทรล (selection list controls)

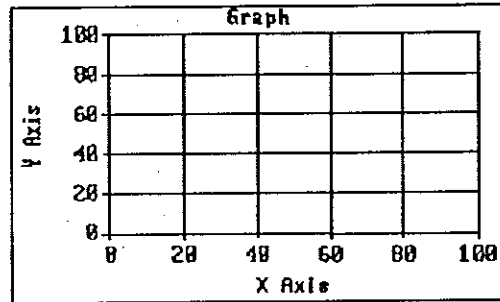
ใช้สำหรับเลือกรายการจากกลุ่มรายการที่กำหนด แสดงดังภาพประกอบ ช.18



ภาพประกอบ ช.18 รายการเลือกคอนโทรล

2.3.12 กราฟคอนโทรล (graph controls)

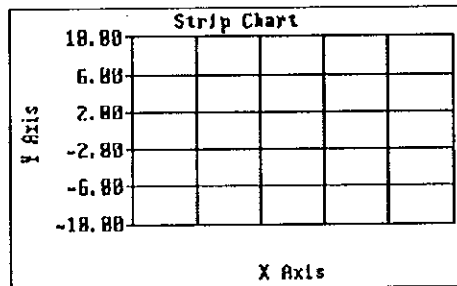
ใช้แสดงผลกราฟจากข้อมูลในโปรแกรม เส้นกราฟสามารถพล็อตได้มากกว่า 1 เส้น ในแบบเส้นโค้ง แบบจุด แสดงดังภาพประกอบ ข.19



ภาพประกอบ ข.19 กราฟคอนโทรล

2.3.13 สตริปชาร์ตคอนโทรล (strip chart controls)

เป็นการแสดงผลกราฟ ที่เวลาปัจจุบันออกมา โดยจะพล็อตค่าต่อเนื่องไปตลอด ดังแสดงในภาพประกอบ ข.20



ภาพประกอบ ข.20 สตริปชาร์ตคอนโทรล

2.4 ป็อบอัพพาด

เป็นพาดที่ปรากฏออกมารับการป้อนอินพุทจากผู้ใช้นั้นจะหายไป ซึ่งจะแตกต่างกับพาดปกติ โดยป็อบอัพพาดจะออกมาซ้อนทับจอจอต่างๆได้ เมื่อการใช้งานป็อบอัพพาดสิ้นสุดลงส่วนที่ถูกซ้อนทับอยู่ก็จะกลับคืนมา ประกอบด้วยป็อบอัพพาดดังนี้

2.4.1 ข่าวสารป๊อปอัพพาด (message pop-up panel)

จะแสดงข้อความออกมาได้ 1 บรรทัดไม่เกิน 50 ตัวอักษร ดังแสดงในภาพประกอบ

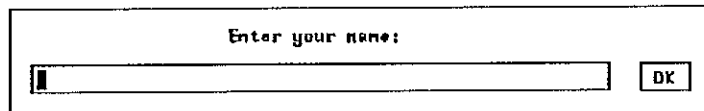
ช.21



ภาพประกอบ ช.21 ข่าวสารป๊อปอัพพาด

2.4.2 พร้อมต์ป๊อปอัพพาด (prompt pop-up panel)

ผู้ใช้ต้องป้อนอินพุตให้กับพร้อมต์ป๊อปอัพพาด ดังแสดงในภาพประกอบ ช.22



ภาพประกอบ ช.22 พร้อมต์ป๊อปอัพพาด

2.4.3 คอนเฟิร์มป๊อปอัพพาด (confirm pop-up panel)

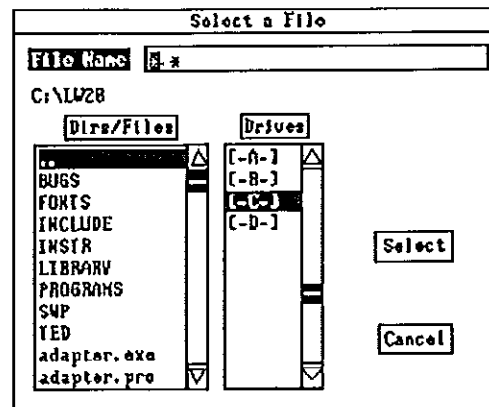
ใช้สำหรับยืนยันการทำงาน ดังแสดงในภาพประกอบ ช.23



ภาพประกอบ ช.23 คอนเฟิร์มป๊อปอัพพาด

2.4.4 ป๊อปอัพพาดเลือกแฟ้ม (file select pop-up panel)

จะแสดงรายการของแฟ้มในดิสก์ให้เลือก ดังแสดงในภาพประกอบ ช.24



ภาพประกอบ ข.24 ป้อนอัฒพANELเลือกแฟ้ม

3. ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมใช้งานยูสเซอร์อินเตอร์เฟซไลบรารี

ตัวอย่าง ข.2 เป็นโปรแกรมทดสอบการทำงานของตัวควบคุมโดยป้อนสัญญาณผิดพลาดเป็นแบบฟังก์ชันขั้น และตัวควบคุมกำหนดให้ทำงานในแบบพีไอดี สัญญาณทางเข้าเป็นดังกราฟในด้านซ้ายและสัญญาณทางออกเป็นดังกราฟด้านขวามือดังแสดงในภาพประกอบ ข.25

1. #include "pidtest.h" /* แฟ้ม pidtest.h ได้มาจากการขอใช้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซอีดีเตอร์*/
2. # define TRUE 1
3. # define FALSE 0
4. main()
5. {
6. double DE_I,DDE,DEO,SUM,PI;
7. double PD,KP,KI,KD,DT,PI;
8. double t;
9. double u_1;
10. Int panel_hdl,handle,id;
11. double avg[10],avg1[10];
12. KP = 0.5; /* กำหนด $K_p = 0.5$ */
13. KI = 20; /* กำหนด $K_i = 20$ */
14. KD = 0.05; /* กำหนด $K_D = 0.05$ */
15. DT = 0.0166; /* กำหนดคาบการสุ่ม = 1 s หรือ 1/60 Min */
16. u_1 = 0; /* กำหนดค่าผิดพลาดเริ่มต้น = 0 */
17. panel_hdl = LoadPanel("pidtest.ulr",VM2); /*เรียกใช้พANEL VM2 จากแฟ้ม pidtest.ulr

โดยพาเนล VM2 คือภาพของตัวควบคุมซึ่งไปเขียนมาโดยโปรแกรม Paintbrush เก็บเป็นแฟ้มที่มีส่วนขยาย . PCX หลังจากนั้น Import เข้ามาโดยผ่านยูสเซอร์อินเตอร์เฟสอิดีเตอร์ จากนั้นก็นำคอนโทรลต่างๆ มาประกอบเป็นภาพพาเนล ซึ่งจะต้องมีการตั้งชื่อให้กับทั้งส่วนที่เป็นพาเนลและคอนโทรล หลังจากนั้นเมื่อมีการเรียกใช้ก็เรียกใช้จากชื่อที่ได้กำหนดไว้ เช่นในที่นี้กำหนดชื่อพาเนลเป็น VM2 จึงไปปรากฏในคำสั่ง LoadPanel (pidtest.ulr,VM2);ในบรรทัดที่ 17 */

```

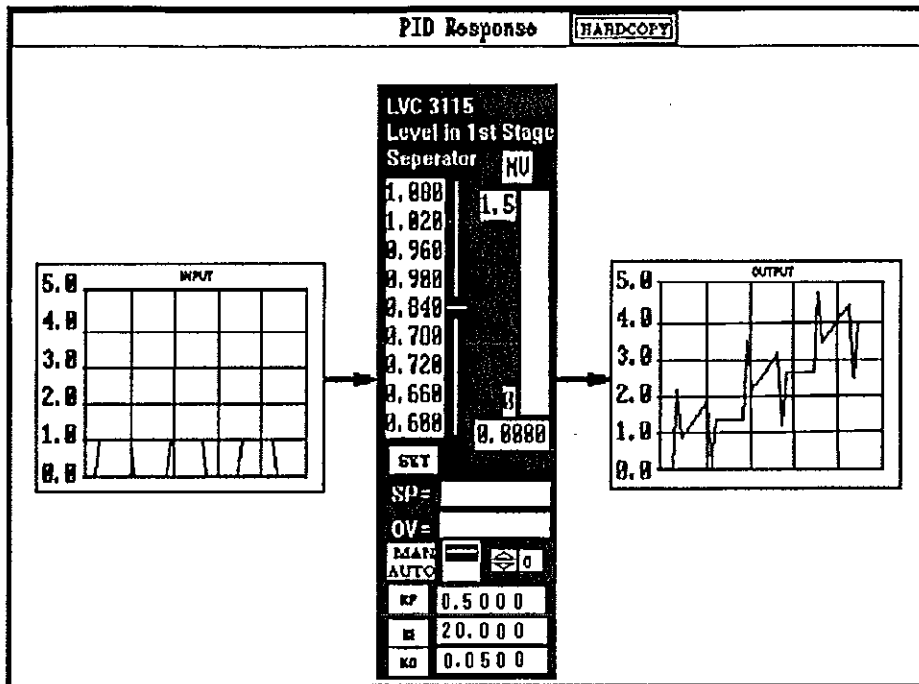
18. DisplayPanel(panel_hdl);
/* ให้แสดงหน้าจอด้วยพาเนล VM2 โดยกำหนดให้พาเนลเป็นตัวแปรที่ชื่อ panel_hdl */
19. while(TRUE)
20.     {
21.         GetUserEvent (FALSE,&handle,&id);
22.         switch (id)
23.             {
24.                 case VM2_PRINT: /* เมื่อกดปุ่ม hardcopy ที่หน้าจอ ให้พิมพ์กราฟ
พาเนล VM2 ด้าน INPUT และ กราฟพาเนล VM2 ด้าน OUTPUT */
25.                     OutputGraph(0,"",0,panel_hdl,VM2_INPUT);
26.                     OutputGraph(0,"",0,panel_hdl,VM2_OUTPUT);
27.                 break;
28.             }
29.         DE_i = u_1; /* บรรทัด 29-35 คำนวณค่าสัญญาณทางออกของ
ตัวควบคุมจากค่าผิดพลาดที่เข้ามา*/
30.         DDE = DE_i - DEO;
31.         DEO = DE_i;
32.         SUM = SUM + DE_i;
33.         PI = KP*KI*DT*SUM;
34.         PD = (KP*KD*(DDE/DT));
35.         PI = (KP*DE_i)+PI+PD;
36.         avg[0] = Pi; /* นำค่าสัญญาณทางออกของตัวควบคุมไปเก็บไว้ที่ avg[0]*/
37.         avg1[0] = u_1; /* นำค่าผิดพลาดที่จ่ายเข้าไปเก็บไว้ที่ avg1[0] */
38.         if(t<50) /* หากค่า t น้อยกว่า 50 s ให้พล็อตกราฟสตรีปชาร์ตใน
บรรทัดที่ 40 และบรรทัด 41 */

```

```

39.         {
40.             PlotStripChart(panel_hdl,VM2_INPUT,avg1,1,0,0,4);
41.             PlotStripChart(panel_hdl,VM2_OUTPUT,avg,1,0,0,4);
42.         }
        /* นำค่า  $K_p$ ,  $K_i$  และ  $K_d$  ไปแสดงที่คอนโทรลในพาเนล VM2 */
43.         SetCtrlVal(panel_hdl,VM2_k_p3,KP);
44.         SetCtrlVal(panel_hdl,VM2_k_i3,KI);
45.         SetCtrlVal(panel_hdl,VM2_k_d3,KD);
46.         t = t+1; /*ให้ค่า t เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 s */
        /* บรรทัด 47-59 กำหนดให้ค่าผิดพลาดสลับค่าเป็น 0 และ 1 ในเวลา
        ช่วงละ 8 s */
47.         if (t > 2)
48.             u_1 = 1;
49.             if (t > 10)
50.                 u_1 = 0;
51.                 if (t > 18)
52.                     u_1 = 1;
53.                     if (t > 26)
54.                         u_1 = 0;
55.                         if (t > 34)
56.                             u_1 = 1;
57.                             if (t > 42)
58.                                 u_1 = 0;
59.                                 if (t > 50)
60.                                     u_1 = 1;
        /* บรรทัด 61,62 ให้แสดงผลที่หน้าต่างอินพุท/เอาต์พุทมาตรฐาน*/
61.         FmtOut("Pi_out = %f \n",Pi);
62.         FmtOut("avg[1] = %f \n",avg[1]);
63.         delay(0.1); /* หน่วงการทำงานและการแสดงผลไป 0.1 s */
64.     }
65. }

```



ภาพประกอบ ข.25 การทำงานของตัวควบคุมโดยใช้ยูสเซอร์อินเตอร์เฟซไลบรารี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายเสริมศักดิ์ นิลวิสัย

วัน เดือน ปี เกิด 2 พฤศจิกายน 2503

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ	2529

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ 2 ระดับ 6 แผนกวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ