

## บทที่ 4

### การสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

#### 4.1 บทนำ

การสร้างแบบจำลองกระบวนการต้องอาศัยความเข้าใจกระบวนการ และกำหนดรายละเอียดตัวแปรที่สำคัญของอุปกรณ์ได้แก่ จำนวนเทรย์ของหอกลั่น และเส้นผ่านศูนย์กลางของหอกลั่น ทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ สามารถทำนายพฤติกรรมของกระบวนการที่เหมือนกระบวนการจริงได้ โดยทั่วไปแล้วการวัดของกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี จะไม่เป็นไปตามคุณมวลสาร และพลังงาน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในข้อมูลวัด การใช้เทคนิคการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลเป็นวิธีหนึ่งของการปรับความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มในการวัดด้วยแนวทางวิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักเพื่อแก้ปัญหาให้เป็นไปตามคุณมวลและพลังงาน แพคเกจการเขียนแบบกระบวนการที่สถานะคงตัวที่มีอัลกอริธึมออปติไมเซชันอยู่ในตัว สามารถใช้ทำการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล และประมาณพารามิเตอร์ด้วยแบบจำลองที่มีอยู่ ซึ่งซิมูเลเตอร์จะปรับให้เป็นไปตามคุณมวลสาร และพลังงานเอง การสร้างแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนจึงประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลการออกแบบ และส่วนที่ 2 จะนำแบบจำลองที่ได้นี้ มาทดสอบกับข้อมูลวัดที่ได้จากโรงงาน และกรณีที่แบบจำลองไม่สอดคล้องกับกระบวนการจริงสามจะใช้วิธีการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลวัดได้

#### 4.2 การสร้างแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนโดยใช้โปรแกรมซิมูเลเตอร์

ปัจจุบันการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปในการเขียนแบบกระบวนการก้าวหน้ามากสามารถนำมาใช้สร้างแบบจำลองกระบวนการที่มีความซับซ้อน โดยไม่จำเป็นต้องเขียนวิธีการแก้ปัญหาที่ยุ่งยาก ซอฟแวร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ แอสเพนพลัส ซึ่งเป็นซิมูเลเตอร์แบบซีควนเชียลมอดูลาร์ (Sequential Modular) หรือ ตัวจำลองกระบวนการแบบปิด (Closed form) ซึ่งมีกรแก้สมการของแบบจำลองในระบบปฏิบัติการหน่วยที่ละหน่วยตามลำดับ ถ้ามีสายรีไซเคิล (Recycle) ในกระบวนการ การหาคำตอบจะมีการทำซ้ำ (Iterative) และใช้วิธีการลู่อับหาคำตอบ (Convergence) ยกตัวอย่างเช่นวิธี Wegstein's Method ใช้เพื่อปรับให้เป็นไปตามคุณมวลและพลัง

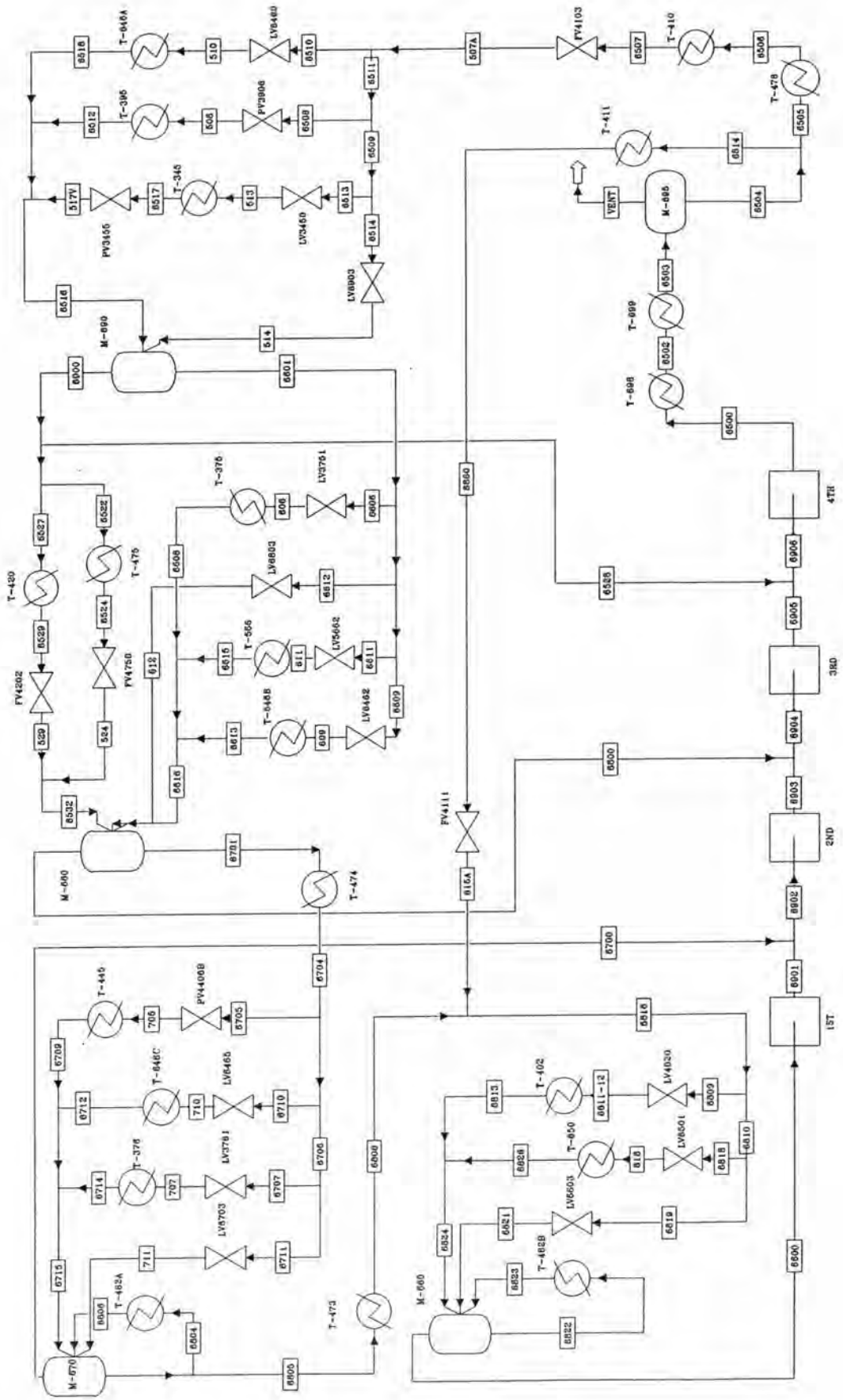
งาน นอกจากนี้ยังมีแนวทางการหาคำตอบอีกแบบหนึ่งโดยใช้วิธีแก้สมการทั้งหมดของกระบวนการพร้อมกัน ซิมูเลเตอร์ที่ใช้แนวทางนี้ได้แก่ SpeedUp, MassBal ซึ่งต้องเขียนสมการของแบบจำลองเองทั้งหมด ในกรณีนี้สมการของกระบวนการอยู่ในรูปแบบทั่วไป คือ  $f(x) = 0$  จึงมีชื่อเรียกว่า แบบเปิด (Open Equation Form) แนวทางนี้จะมีความยืดหยุ่นและ มีความสามารถ (powerful) กว่าแนวทางซีเควนเซียลมอดูลาร์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการใช้ซิมูเลเตอร์แบบซีเควนเซียลมอดูลาร์อย่างกว้างขวางมากกว่าในอุตสาหกรรม นอกจากโปรแกรมแอสเพนพลัสที่ใช้สร้างแบบจำลองที่สภาวะคงตัว และออปติไมซ์กระบวนการได้แล้วยังมีซิมูเลเตอร์แบบซีเควนเซียลมอดูลาร์อื่นๆ อีก ได้แก่ Pro-Vision, Hysim (Piccolo, Douglas และ Lee; 1996)

#### 4.2.1 การสร้างแบบจำลองระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนโดยข้อมูลออกแบบ

ความเข้าใจในกระบวนการ และการกำหนดรายละเอียดพารามิเตอร์ที่สำคัญ จะทำให้แบบจำลองกระบวนการมีความถูกต้องแม่นยำ และความน่าเชื่อถือ เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมของกระบวนการ คำอธิบายเกี่ยวกับระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนในหัวข้อ 3.3 ร่วมกับรายละเอียดของหน่วยกระบวนการ และอุปกรณ์ต่างๆ โดยทั้งหมดเป็นข้อมูลการออกแบบของโรงงาน ถูกนำมาใช้สร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน โดยใช้โปรแกรมแอสเพน พลัสสร้างแบบจำลองกระบวนการ

การสร้างแบบจำลองกระบวนการโดยการใช้ซิมูเลเตอร์ มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแบบจำลองของกระบวนการโดยการวาดโฟลชีทกระบวนการ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ คอมเพรสเซอร์ เครื่องทำความร้อน เครื่องทำความเย็น ตัวแยกสาย ตัวรวมสาย วาล์ว และถังเฟลช แล้วกำหนดสายการไหลของแต่ละหน่วยกระบวนการ และอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบ สำหรับแบบจำลองหน่วยหรืออุปกรณ์ในโปรแกรมแอสเพนพลัส ที่ใช้แทนหน่วยกระบวนการหรืออุปกรณ์ของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน แสดงดังตาราง 4.1 และแผนภาพระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนแสดงดังรูป 4.1
2. ระบุองค์ประกอบที่มีในกระบวนการ สามารถเลือกได้จากรายการที่มีอยู่ในโปรแกรมซิมูเลเตอร์ หรือถ้าไม่มีองค์ประกอบตัวที่ต้องการอยู่ ผู้ใช้สามารถกำหนดขึ้นเองได้ สำหรับระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนมีองค์ประกอบเพียงตัวเดียวคือ โพรพิลีน ซึ่งมีอยู่แล้วในรายการของโปรแกรมแอสเพนพลัส



รูป 4.1 แผนภาพของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

3. เลือกสมการสถานะ (Equation of State) ที่สอดคล้องกับองค์ประกอบ จากเมนูรายการที่มีอยู่ในโปรแกรมซิมูลเตเตอร์ โดยเลือกให้เหมาะกับองค์ประกอบ และกระบวนการนั้นๆ สำหรับการทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเลือกใช้สมการ Redlich Kwong Soave ซึ่งแบบจำลองในโปรแกรมแอสเพนพลัสคือ RK-SOAVE เซตตัวเลือกนี้ใช้กับกระบวนการทางปิโตรเคมี โรงกลั่นน้ำมัน เป็นต้น
4. กำหนดสถานะปฏิบัติการของสายป้อนกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหล เป็นต้น สำหรับระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเป็นระบบปิดไม่มีสายป้อน เป็นสายรีไซเคิล ต้องกำหนดสายตัด (Tear Stream) และระบุค่าพารามิเตอร์ที่สายตัดนี้
5. กำหนดพารามิเตอร์การดำเนินงานของหน่วยกระบวนการ และอุปกรณ์ ส่วนรายละเอียดวิธีการกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองหน่วยกระบวนการ และอุปกรณ์ต่างๆ ในโปรแกรมแอสเพนพลัสแสดงในภาคผนวก ก สำหรับลักษณะเฉพาะของวาล์ว และเส้นโค้งลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์แสดงในภาคผนวก ข และ ภาคผนวก ง ตามลำดับ

ตาราง 4.1 แบบจำลองอุปกรณ์ที่ใช้แทนหน่วยกระบวนการของระบบ

หน่วยกระบวนการ (UNIT)	แบบจำลองอุปกรณ์
T-698 (C3 Refrigeration Desuperheater)	HEATER
T-699 (C3 Refrigeration Condenser)	HEATER
M-695 (Propylene Refrigerant Surge Drum)	FLASH
T-411 (Propylene Refrigerant Subcooler)	HEATER
FV-4111	VALVE
T-478 (Ethylene Product Superheater)	HEATER
T-410 (Demethanizer Prefractionator Reboiler)	HEATER
LV6460	VALVE
PV3906	VALVE
LV3450	VALVE
LV6903	VALVE
T-646A (C2 Refrigeration Desuperheater)	HEATER
T-395 (Low Pressure Depropanizer Condenser)	HEATER
T-345 (Cracked Gas 4 <sup>th</sup> Stage Subcooler)	HEATER

ตาราง 4.1 (ต่อ) แบบจำลองอุปกรณ์ที่ใช้แทนหน่วยกระบวนการของระบบ

หน่วยกระบวนการ (UNIT)	แบบจำลองอุปกรณ์
M-690 (Propylene Refrigerant 4 <sup>th</sup> Stage Suction Drum)	FLASH
T-420 (Demethanizer Reboiler)	HEATER
T-475 (Ethylene Product Vaporizer No.4)	HEATER
FV4202	VALVE
FV4750	VALVE
LV3751	VALVE
LV6803	VALVE
LV5662	VALVE
LV6462	VALVE
T-375 (High Pressure Depropanizer Condenser)	HEATER
T-566 (C4 Product Chiller)	HEATER
T-646B (C2 Refrigeration Desuperheater)	HEATER
M-680 (Propylene Refrigerant 3 <sup>rd</sup> Stage Suction Drum)	FLASH
T-474 (Ethylene Product Vaporizer No.3)	HEATER
PV4406B	VALVE
LV6465	VALVE
LV3761	VALVE
LV6703	VALVE
T-445 (Demethanizer Condenser)	HEATER
T-646C (C2 Refrigeration Desuperheater)	HEATER
T-376 (High Pressure Depropanizer Condenser)	HEATER
T-482A (C2 Refrigeration Sidedraw Desuperheater)	HEATER
M-670 (Propylene Refrigerant 2 <sup>nd</sup> Stage Suction Drum)	FLASH
T-473 (Ethylene Product Vaporizer No.2)	HEATER
LV4020	VALVE
LV6501	VALVE
LV6603	VALVE
T-402 (Demethanizer Prefractionator Feed Chiller)	HEATER



ตาราง 4.1 (ต่อ) แบบจำลองอุปกรณ์ที่ใช้แทนหน่วยกระบวนการของระบบ

หน่วยกระบวนการ (UNIT)	แบบจำลองอุปกรณ์
T-650 (C2 Refrigeration Condenser)	HEATER
T-482B (C2 Refrigeration Sidedraw Desuperheater)	HEATER
M-660 (Propylene Refrigerant 1 <sup>st</sup> Stage Suction Drum)	FLASH
R-650 : 1ST (Propylene Refrigerant Compressor 1 <sup>st</sup> Stage)	COMPR
R-650 : 2ND (Propylene Refrigerant Compressor 2 <sup>nd</sup> Stage)	COMPR
R-650 : 3RD (Propylene Refrigerant Compressor 3 <sup>rd</sup> Stage)	COMPR
R-650 : 4TH (Propylene Refrigerant Compressor 4 <sup>th</sup> Stage)	COMPR

#### 4.2.2 ระดับความเป็นอิสระในการสร้างแบบจำลอง (Degrees of Freedom in Modeling)

$$N_F = N_V - N_E$$

โดยที่  $N_F$  = Degrees of Freedom

$N_V$  = จำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้งหมด

$N_E$  = จำนวนสมการทั้งหมด

จากสมการข้างต้นสามารถแบ่งกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

- (1)  $N_F = 0$ ; Exactly Determined คือจำนวนตัวแปรเท่ากับจำนวนสมการ ดังนั้นจะสามารถหาคำตอบที่ถูกต้องได้แน่นอน
- (2)  $N_F > 0$ ; Underdetermined คือจำนวนตัวแปรมีมากกว่าจำนวนสมการ ดังนั้นสามารถหาคำตอบได้จำนวนมากมาแล้วแต่จะสมมติค่าตัวแปรขึ้น
- (3)  $N_F < 0$ ; Overdetermined คือจำนวนตัวแปรมีน้อยกว่าจำนวนสมการ ดังนั้นจึงไม่สามารถหาคำตอบที่แน่นอนได้ ตัวอย่างของแบบจำลองลักษณะนี้อาจจะเป็นการปรับให้สอดคล้องของการวัดกระบวนการ

แบบจำลองอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน ประกอบด้วย HEATER, VALVE, FLASH2, COMPR, MIXER และ FSPLIT สำหรับ FLASH2,

MIXER และ FSPLIT เป็นเพียงอุปกรณ์แยกสถานะขององค์ประกอบ, อุปกรณ์รวมสาย และ อุปกรณ์แยกสาย จึงไม่แสดงฟังก์ชันของหน่วยกระบวนการ ส่วนแบบจำลองอุปกรณ์ HEATER, VALVE และ COMPR ได้แสดงฟังก์ชันของหน่วยกระบวนการดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ระดับความเป็นอิสระในการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองอุปกรณ์	ฟังก์ชันของหน่วยกระบวนการ	ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า	Degree of Freedom
HEATER	$fn(Q, m, h)$ $fn(P, T_{out}, h)$ $fn(h, T_{in}, T_{out}, C_p, \lambda, y)$ เมื่อ $Q =$ ปริมาณความร้อน (MMKcal/hr) $m =$ อัตราการไหล (kg/hr) $T =$ อุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ ) $C_p =$ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ( $J/kg^{\circ}C$ ) $\lambda =$ ค่าความร้อนแฝง ( $J/kg$ ) $y =$ สัดส่วนของการเกิดไอ $h =$ เอนทาลปี ( $J/kg$ ) $P =$ ความดัน ( $kg/cm^2 a$ )	$h, T_{out}, y$	$3 - 3 = 0$
VALVE	$fn(C_v, P_{in}, P_{out}, \text{constant})$ $fn(h, T, P)$ $fn(C_v, \%P)$ เมื่อ $C_v =$ สัมประสิทธิ์การไหลของวาล์ว $P =$ ความดัน ( $kg/cm^2 a$ ) $\%P =$ เปอร์เซนต์การเปิดวาล์ว	$P_{out}, C_v, T$	$3 - 3 = 0$

ตาราง 4.2 (ต่อ) ระดับความเป็นอิสระในการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองอุปกรณ์	ฟังก์ชันของหน่วยกระบวนการ	ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า	Degree of Freedom
COMPR	$fn(h, P_{in}, P_{out}, V, n, n_p)$ $fn(P_{out}, Rpm, V)$ $fn(n_p, Rpm, V)$ $fn(HP, h, F)$ เมื่อ $h$ = เอนทาลปี (J/kg) $P$ = ความดัน (kg/cm <sup>2</sup> a) $V$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m <sup>3</sup> /hr) $Rpm$ = ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (rpm) $n$ = สัมประสิทธิ์โพลีโทรปิก $n_p$ = ประสิทธิภาพโพลีโทรปิก $F$ = อัตราการไหล (kg/hr) $HP$ = กำลังของคอมเพรสเซอร์ (hp)	$n_p, P, h, HP$	$4 - 4 = 0$

#### 4.2.3 ผลการจำลอง และวิจารณ์

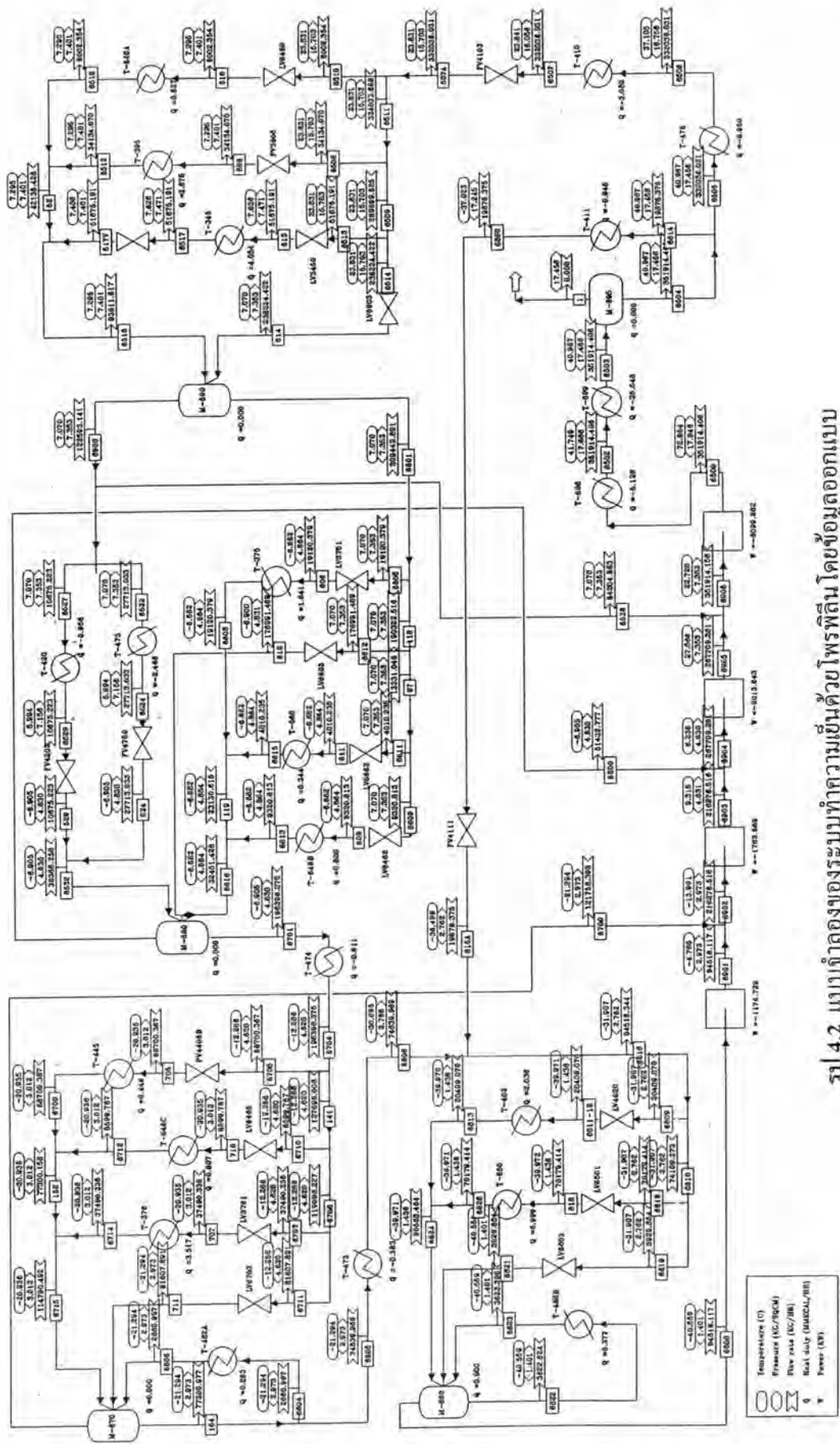
เมื่อสร้างแบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วย โพรพิลีน โดยใช้โปรแกรมแอสเพนพลัส ได้ผลการจำลองระบบดังรูป 4.2 และแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของแบบจำลองกับข้อมูลการออกแบบดังตาราง 4.3 โดยข้อมูลการออกแบบกับผลการคำนวณของแบบจำลองถูกเปรียบเทียบเป็น

$$\% \text{ ความแตกต่าง} = (\text{ค่าออกแบบ} - \text{ผลแบบจำลอง}) / \text{ค่าออกแบบ} * 100$$

ผลที่คำนวณได้จากแอสเพนพลัสจะเห็นได้ว่า เปรอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแต่ละสายกระบวนการโดยรวมแล้วมีน้อยมาก และมีเพียงสายกระบวนการของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากถังแพลตฟอร์มที่ 2 เท่านั้นที่เกิน 1 % คือมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดเท่ากับ 1.357 สาเหตุเกิดจากการคำนวณแบบจำลองแล้วได้ผลอุณหภูมิไม่ตรงกับค่าการออกแบบ แต่ความแตกต่างนี้ถือได้ว่าน้อย และค่อนข้างใกล้เคียงกับการออกแบบ ผลการจำลองกระบวนการด้วยโพลีซิทฮอดคล้องกับการออกแบบดี เนื่องจากกระบวนการซับซ้อนไม่มากนัก และสารทำความเย็นมีเพียง



หนึ่งองค์ประกอบซึ่งพิจารณาได้ว่ากระบวนการนี้เป็นกระบวนการทางกล นอกจากนี้ข้อมูลที่ใช้เพื่อจำลองกระบวนการมีค่อนข้างครบถ้วนสมบูรณ์ แต่ก็มี ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านเส้นโค้ง ลักษณะเฉพาะของคอมเพรสเซอร์เล็กน้อยด้วย



รูป 4.2 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยพรพิลินโดยข้อมูลออกแบบ

	Temperature (T)
	Pressure (PC/PSCM)
	Flow rate (FC/SM)
	Heat duty (HRCG/LPH)
	Power (KW)

ตาราง 4.3 การเปรียบเทียบข้อมูลการออกแบบกับผลของแบบจำลองที่คำนวณด้วยเอสเพนพลัส

สาย	ข้อมูลการออกแบบ				ผลของแบบจำลองด้วยเอสเพนพลัส				% ความแตกต่าง		
	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ	ความดัน	อัตราการไหล
6500	72.854	17.946	351914.98	ไอ	72.854	17.946	351914.41	ไอ	0.000	0.000	0.000
6600	-40.582	1.401	94518.14	ไอ	-40.559	1.401	94518.12	ไอ	0.057	0.000	0.000
6700	-21.326	2.977	121765.59	ไอ	-21.294	2.973	121758.40	ไอ	0.150	0.134	0.006
6800	-7.000	4.830	51427.19	ไอ	-6.905	4.830	51432.78	ไอ	1.357	0.000	0.011
6528	7.000	7.366	84204.08	ไอ	7.070	7.353	84204.88	ไอ	1.000	0.177	0.001
6502	41.530	17.666	351914.98	ไอ	41.749	17.666	351914.41	ไอ	0.527	0.000	0.000
6503	41.000	17.456	351914.98	ของเหลว	40.967	17.456	351914.41	ของเหลว	0.081	0.000	0.000
6504	41.000	17.456	351914.98	ของเหลว	40.967	17.456	351914.41	ของเหลว	0.081	0.000	0.000
6814	41.000	17.456	19878.22	ของเหลว	40.967	17.456	19878.38	ของเหลว	0.081	0.000	0.001
6860	-37.024	17.245	19878.22	ของเหลว	-37.023	17.245	19878.38	ของเหลว	0.003	0.000	0.001
6505	41.000	17.456	332035.92	ของเหลว	40.967	17.456	332036.03	ของเหลว	0.081	0.000	0.000
6506	37.126	16.756	332035.92	ของเหลว	37.105	16.756	332036.03	ของเหลว	0.057	0.000	0.000
6507	23.840	16.056	332035.92	ของเหลว	23.841	16.056	332036.03	ของเหลว	0.004	0.000	0.000

ตาราง 4.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อมูลการออกแบบกับผลของแบบจำลองที่คำนวณด้วยเอสเพนพลัส

สาย	ข้อมูลการออกแบบ				ผลของแบบจำลองด้วยเอสเพนพลัส				% ความแตกต่าง		
	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ	ความดัน	อัตราการไหล
507A	23.831	15.705	332035.92	ของเหลว	23.831	15.703	332036.03	ของเหลว	0.000	0.013	0.000
6508	23.831	15.705	34134.00	ของเหลว	23.831	15.703	34134.07	ของเหลว	0.000	0.013	0.000
6510	23.831	15.705	8002.54	ของเหลว	23.831	15.703	8002.35	ของเหลว	0.000	0.013	0.002
6513	23.831	15.705	51675.47	ของเหลว	23.831	15.703	51675.19	ของเหลว	0.000	0.013	0.001
6514	23.831	15.705	238224.75	ของเหลว	23.831	15.703	238224.42	ของเหลว	0.000	0.013	0.000
6516	7.271	7.401	93811.17	ไอ	7.295	7.401	93811.62	ไอ	0.330	0.000	0.001
6900	7.000	7.366	122594.58	ไอ	7.070	7.353	122593.14	ไอ	1.000	0.177	0.001
6601	7.000	7.366	209441.35	ของเหลว	7.070	7.353	209442.89	ของเหลว	1.000	0.177	0.001
6529	5.991	7.156	10675.53	ของเหลว	5.994	7.156	10675.22	ของเหลว	0.050	0.000	0.003
6524	5.991	7.156	27713.28	ของเหลว	5.994	7.156	27713.03	ของเหลว	0.050	0.000	0.001
6532	-7.000	4.830	38388.81	2 สถานะ	-6.905	4.830	38388.26	2 สถานะ	1.357	0.000	0.001
6606	7.000	7.366	19120.34	ของเหลว	7.070	7.353	19120.38	ของเหลว	1.000	0.177	0.000
6612	7.000	7.366	176992.69	ของเหลว	7.070	7.353	176991.47	ของเหลว	1.000	0.177	0.001

ตาราง 4.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อมูลการออกแบบกับผลของแบบจำลองที่คำนวณด้วยเอสเพนพลัส

สาย	ข้อมูลการออกแบบ				ผลของแบบจำลองด้วยเอสเพนพลัส				% ความแตกต่าง		
	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ	ความดัน	อัตราการไหล
6611	7.000	7.366	4010.07	ของเหลว	7.070	7.353	4010.24	ของเหลว	1.000	0.177	0.004
6609	7.000	7.366	9320.94	ของเหลว	7.070	7.353	9320.81	ของเหลว	1.000	0.177	0.001
6616	-6.771	4.865	32451.18	ไอ	-6.682	4.864	32451.43	ไอ	1.314	0.021	0.001
6701	-7.000	4.830	196404.64	ของเหลว	-6.905	4.830	196398.38	ของเหลว	1.357	0.000	0.003
6704	-12.279	4.620	196404.64	ของเหลว	-12.286	4.620	196398.38	ของเหลว	0.057	0.000	0.003
6705	-12.279	4.620	68701.44	ของเหลว	-12.286	4.620	68700.37	ของเหลว	0.057	0.000	0.002
6710	-12.279	4.620	8600.09	ของเหลว	-12.286	4.620	8599.79	ของเหลว	0.057	0.000	0.004
6707	-12.279	4.620	37491.23	ของเหลว	-12.286	4.620	37490.34	ของเหลว	0.057	0.000	0.002
6711	-12.279	4.620	81607.68	ของเหลว	-12.286	4.620	81607.89	ของเหลว	0.057	0.000	0.000
6715	-21.000	3.012	114792.76	ไอ	-20.936	3.012	114790.49	ไอ	0.305	0.000	0.002
6804	-21.327	2.9767	2660.95	ของเหลว	-21.294	2.973	2661.00	ของเหลว	0.155	0.124	0.002
6808	-30.665	2.766	74639.07	ของเหลว	-30.695	2.766	74639.97	ของเหลว	0.098	0.000	0.001
6816	-31.884	2.766	94518.14	ของเหลว	-31.907	2.762	94518.34	ของเหลว	0.072	0.145	0.000

ตาราง 4.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อมูลการออกแบบกับผลของแบบจำลองที่คำนวณด้วยเอสเพนพลัส

สาย	ข้อมูลการออกแบบ				ผลของแบบจำลองด้วยเอสเพนพลัส				% ความแตกต่าง		
	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ °C	ความดัน kg/cm <sup>2</sup> a	อัตราการไหล kg/hr	สถานะ	อุณหภูมิ	ความดัน	อัตราการไหล
6809	-31.884	2.766	20408.86	ของเหลว	-31.907	2.762	20409.07	ของเหลว	0.072	0.145	0.001
6818	-31.884	2.766	70178.48	ของเหลว	-31.907	2.762	70179.41	ของเหลว	0.072	0.145	0.001
6819	-31.884	2.766	3929.78	ของเหลว	-31.907	2.762	3929.85	ของเหลว	0.072	0.145	0.002
6813	-40.000	1.436	20408.86	ไอ	-39.970	1.436	20409.07	ไอ	0.075	0.000	0.001
6821	-40.582	1.401	3929.78	2 สถานะ	-40.556	1.401	3929.85	2 สถานะ	0.064	0.000	0.002
6822	-40.582	1.401	3621.83	ของเหลว	-40.559	1.401	3622.62	ของเหลว	0.057	0.000	0.022



### 4.3 การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลจริง

เมื่อแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยข้อมูลการออกแบบ (Design Data) ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ผลการคำนวณจากโปรแกรมแอสเพนพลัสใกล้เคียงกับข้อมูลการออกแบบนั้นแสดงว่าแบบจำลองยอมรับได้ตามการออกแบบ จากนั้นทำการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลจริงจากโรงงาน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไปคือ 4.3.2 เมื่อทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงพบว่าไม่สอดคล้องกัน อาจเนื่องจากทางโรงงานได้มีการปรับสภาวะการปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลการออกแบบเดิม เพื่อเป็นไปตามความต้องการของหน่วยกระบวนการผู้รับความชื้น (Users) และเนื่องจากตัวแปรที่สำคัญบางตัวไม่ได้วัด และข้อมูลที่วัดได้อาจมีความผิดพลาด การแก้ปัญหานี้จะใช้วิธีการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล โดยดำเนินการปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลเป็นวิธีการปรับค่าตัวแปรเพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลวัด และอีกแง่หนึ่งอาจใช้เพื่อประมาณค่าตัวแปรที่ไม่สามารถวัดได้ ให้เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวลสารและพลังงาน ในรูปแบบของปัญหาออปติไมเซชัน ซึ่งเป็นวิธีในแนวทางกำลังสองน้อยที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก (Weighted Least Squares) โดยตัวแปรปรับต้องเป็นตัวแปรขาเข้าหรือพารามิเตอร์หน่วยกระบวนการเท่านั้น จะปรับตัวแปรขาออกไม่ได้ การปรับนี้เพื่อให้เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่ำสุด ทั้งหมดนี้ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเกี่ยวกับกระบวนการ และอุปกรณ์ ที่มีผลกระทบต่อระบบ และความปลอดภัย

#### 4.3.1 การกำหนดสูตรปัญหา (Problem Formulation)

การกำหนดสูตรปัญหาสำหรับกรณีปัญหาวิธีปรับให้สอดคล้องกับข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Data Reconciliation Problems) เขียนได้เป็น

$$\text{มินิไมซ์} \quad \min_x \left[ \sum_{i=1}^n w_i \left( \frac{y_i - x_i}{s_i} \right)^2 \right] \quad (4.2)$$

$$\text{ประกอบด้วย} \quad h(x) = 0 \quad (4.3)$$

$$g(x) \geq 0 \quad (4.4)$$

ซึ่ง  $w$  = แฟคเตอร์การถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor) เกี่ยวเนื่องกับตัวแปรวัดแต่ละตัว  
 $y$  = ตัวแปรที่ได้จากการวัด

$x$  = ค่าตัวแปรที่ได้จากการปรับ

$s$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัด ซึ่งปกติเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเครื่องส่งสัญญาณของระบบการวัด

การเขียนสูตรปัญหาการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล การถ่วงน้ำหนักแก่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์กำลังน้อยที่สุด เพื่อให้ความสำคัญกับตัวแปรวัด การให้แฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักแก่ตัวแปรตัวใดมากย่อมจะผลักดันการอพติไมซ์ เพื่อจะลดองศาของการปรับสำหรับตัวแปรนั้น โดยทั่วไปแล้วการให้ความสำคัญหรือการถ่วงน้ำหนักอ้างอิงประสบการณ์การทำงาน

$h(x)$  และ  $g(x)$  เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่ง  $h(x)$  แสดงแบบจำลองของกระบวนการที่ซับซ้อน เป็นลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ข้อดีของการใช้ตัวจำลองกระบวนการคือมีไลบรารี (Library) ของโมเดลพร้อมอยู่แล้วเพื่อแสดงข้อจำกัดที่เป็นสมการ (Equality Constraints),  $h(x) = 0$  ส่วนอพติไมเซชันรูปแบบแก้ปัญหาวีธีการปรับแบบจำลองให้สอดคล้องกับข้อมูลวัด และสอดคล้องกับข้อจำกัดที่เป็นอสมการ (Inequality Constraints),  $g(x) = 0$  ด้วย

#### 4.3.2 ข้อมูลของโรงงาน

ข้อมูลจริงจากโรงงานเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด ข้อมูลที่นำมาใช้ต้องมีการตรวจสอบว่าเป็นข้อมูลที่สภาวะคงตัวหรือไม่ (Steady State Detection) ถ้าข้อมูลคืบเป็นข้อมูลที่เก็บ ณ เวลาหนึ่งหรือไม่มีสภาวะคงตัว ผลที่ปรับได้อาจไม่ตรงกับสภาวะที่ปฏิบัติการจริง ดังนั้นข้อมูลเหล่านั้นต้องเป็นข้อมูลที่มีสภาวะคงตัว (Naysmith และ Douglas, 1995) ในปี 1981 Mah ได้สรุปลักษณะที่สำคัญของปัญหาข้อมูลจริงดังนี้

1. การวัดทุกตัวมีความผิดพลาดได้ ซึ่งความผิดพลาดของข้อมูลวัดนี้ ทำให้เกิดความไม่ลงตัว ไม่คู่ในทางมวลสารและพลังงาน ความผิดพลาดมี 2 ชนิดคือ แบบสุ่ม (Random Errors) ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวน และแบบรวม (Gross Errors) ซึ่งเกิดโดยเหตุการณ์จากความเอนเอียงของเครื่องมือวัด เครื่องมือวัดที่ไม่ถูกต้อง หรือแบบจำลองกระบวนการผิด
2. ตัวแปรกระบวนการไม่ได้วัดทุกตัว เนื่องจากความไม่สะดวกในการวัด หรือความเป็นไปไม่ได้ที่จะวัดเกี่ยวกับเทคนิค หรือเหตุผลทางค่าใช้จ่าย
3. ความซ้ำซากของข้อมูล (Data Redundancy) ถ้าการวัดไม่มีความผิดพลาดแต่มีการวัดหรือข้อมูลมากเกินไปจนเกินความจำเป็นที่จะวัดซึ่งเกี่ยวกับการเชื่อมโยงของเน็ตเวิร์กกระบวนการ

การ ลักษณะปัญหานี้เรียกว่า ความมากเกินไปของข้อมูลเกี่ยวกับระยะ หรือตำแหน่ง ที่วัด (Spatial Redundancy)

4. เทคนิคการบันทึกและการเก็บตัวอย่างข้อมูล ลักษณะปัญหาเกี่ยวกับการวัดเกินไป เรียกว่าความมากเกินไปของข้อมูลเกี่ยวกับเวลา (Temporal Redundancy)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลจริงของโรงงานไทยโอเลฟินส์ ระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนเป็นระบบปิดไม่มีสายป้อนเป็นลักษณะสารรีไซเคิล ซึ่งในกระบวนการจริงจะมีการเติมสารทำความเย็นบ้างเป็นครั้งเป็นคราว เนื่องจากเกิดการสูญเสีย (Loss) ในระบบบ้าง โดยควบคุมปริมาณของโพรพิลีนเหลวจากระดับของสารทำความเย็นในถัง M-695 แต่แบบจำลองจะไม่มี การเติมสารทำความเย็น เนื่องจากการเกิดสูญเสียนี้น้อยมาก แต่เมื่อเกิดเรื่อยๆจะทำให้ปริมาณสารลดน้อยลงจึงต้องมีการควบคุมปริมาณของสารทำความเย็น เพื่อให้มีปริมาณโพรพิลีนไหลเวียนใน ระบบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเติมโพรพิลีนเหลวบ้างนี้ ได้เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ข้อมูลวัด ที่จะใช้ทดสอบแบบจำลองนี้ได้เก็บเป็นระยะเวลา 34 วัน โดยที่ไม่ได้มีการวัดตัวแปรทุกตัวที่จำเป็น และข้อมูลวัดบางตัวมีลักษณะที่ไม่น่าจะเป็นไปได้ ข้อมูลเหล่านี้จะไม่ถูกนำมาใช้ ดังนั้นข้อมูลวัดที่ได้นำมาใช้จากกระบวนการจริงมีดังนี้

- อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน T-478, T-411, T-473 และ T-474
- อุณหภูมิที่ออกจากถัง M-695
- อุณหภูมิที่ออกจากถังแฟลช M-690
- อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลถังแฟลชทั้ง 4 สาย ได้แก่ 6528, 6700, 6800, 6900
- อัตราการไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน T-411
- อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลที่ออกจากคอมเพรสเซอร์คือสาย 6500
- ความเร็วรอบเพลลาของคอมเพรสเซอร์ (Shaft Speed)

### 4.3.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การปรับด้วยวิธีปรับให้สอดคล้องของข้อมูล เพื่อประมาณพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ด้วยข้อมูลที่วัดได้จากโรงงาน เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สอดคล้องกับกระบวนการจริง โดยทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลวัดทั้งหมด 2 ชุด ได้เก็บข้อมูลวัดจากโรงงานไทยโอเลฟินส์ในส่วนจากระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาคือ ผลรวมของกำลังสองน้อยสุดของความแตกต่างระหว่างค่าตัวแปรของข้อมูลวัดกับค่าตัวแปรที่ประมาณได้หารด้วยความแปรปรวน (Variances) ของข้อมูลวัด และคูณด้วยแฟกเตอร์ที่แสดงถึงความสำคัญของตัวแปรโดยเฉพาะ ซึ่งความแปรปรวนหมายถึง กำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 5% ของตัวแปรวัด ตัวแปรของระบบที่วัดได้จากโรงงานที่สำคัญๆ และส่งผลกระทบต่อระบบรวมมี 14 ตัวได้แก่

- อุณหภูมิของสาย 6500,  $T_{6500}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
- ความดันของสาย 6500,  $P_{6500}$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{a}$ )
- อัตราการไหลของสาย 6500,  $F_{6500}$  ( $\text{kg}/\text{hr}$ )
- อุณหภูมิของสาย 6600 ที่ออกจากถัง M-660,  $T_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
- ความดันของสาย 6600 ที่ออกจากถัง M-660,  $P_1$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{a}$ )
- อัตราการไหลของสาย 6600 ที่ออกจากถัง M-660,  $F_1$  ( $\text{kg}/\text{hr}$ )
- อุณหภูมิของสาย 6700 ที่ออกจากถัง M-670,  $T_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
- ความดันของสาย 6700 ที่ออกจากถัง M-670,  $P_2$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{a}$ )
- อัตราการไหลของสาย 6700 ที่ออกจากถัง M-670,  $F_2$  ( $\text{kg}/\text{hr}$ )
- อุณหภูมิของสาย 6800 ที่ออกจากถัง M-680,  $T_3$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
- ความดันของสาย 6800 ที่ออกจากถัง M-680,  $P_3$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{a}$ )
- อัตราการไหลของสาย 6800 ที่ออกจากถัง M-680,  $F_3$  ( $\text{kg}/\text{hr}$ )

- อุณหภูมิของสาย 6528 ที่ออกจากถัง M-690,  $T_4$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
- ความดันของสาย 6528 ที่ออกจากถัง M-690,  $P_4$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2\text{a}$ )

ได้นำตัวแปรที่สำคัญเหล่านี้ มาใช้แก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ ได้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นสมการที่ (4.5) ตัวแปรที่พิจารณาให้มีความสำคัญมากที่สุดคือ ความเร็วรอบเพลลาของคอมเพรสเซอร์ และความสำคัญถัดไปได้แก่ ความดัน และอุณหภูมิ

$$\begin{aligned}
 \text{มินิไมซ์} \quad \text{OF} = & 2 * ((69.772 - T_{6500}) / 3.489))^2 + 3 * ((16.906 - P_{6500}) / 0.8453))^2 \\
 & + 1 * ((347616.766 - F_{6500}) / 17380.84))^2 + 2 * ((-39.82 - T_1) / 1.991))^2 \\
 & + 3 * ((1.365 - P_1) / 0.068))^2 + 1 * ((95147.114 - F_1) / 4757.356))^2 \\
 & + 2 * ((-21.053 - T_2) / 1.053))^2 + 3 * ((2.96 - P_2) / 0.148))^2 \\
 & + 1 * ((116365.847 - F_2) / 5818.292))^2 + 2 * ((-7.923 - T_3) / 0.396))^2 \\
 & + 3 * ((4.586 - P_3) / 0.229))^2 + 1 * ((49982.4 - F_3) / 2499.12))^2 \\
 & + 2 * ((6.61 - T_4) / 0.331))^2 + 3 * ((7.034 - P_4) / 0.352))^2 \quad (4.5)
 \end{aligned}$$

ซึ่ง  $h(x) = 0$  คือชุดของข้อจำกัดที่เป็นสมการ แสดงแบบจำลองของกระบวนการ เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ซับซ้อนมาก ซึ่งเกี่ยวข้องกับสมการดุลมวลสารและพลังงาน, ความสมดุล, สมการการเกิดปฏิกิริยา และเทอร์โมไดนามิกส์ นอกจากนี้เป็นกระบวนการที่มีองค์ประกอบหลายตัวหลายสถานะ หน่วยกระบวนการจำนวนมาก และสายรีไซเคิล ข้อดีการใช้ของซิมูเลเตอร์เลียนแบบกระบวนการคือ ซิมูเลเตอร์มีไลบรารี (Library) ของโมดูลกระบวนการพร้อมอยู่แล้ว และแก้ปัญหาข้อจำกัดที่เป็นสมการ (Equality Constraints),  $h(x) = 0$  โดยอัตโนมัติแก่ช่วงกว้าง (Tolerance) ที่กำหนด โดยชุดเลียนแบบเชิงการทำให้ความสะดวกในการกำหนดปัญหาการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล เพราะแบบจำลองของการปฏิบัติการหน่วย เทอร์โมไดนามิกส์ ออปติไมเซชัน และการถ่วงน้ำหนักคำตอบ มีพร้อมอยู่แล้วในระบบการเลียนแบบ

สำหรับระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนมีหน่วยกระบวนการ และอุปกรณ์ แสดงเป็นแบบจำลองกระบวนการ คอมเพรสเซอร์ เครื่องทำความร้อน เครื่องทำความเย็น ตัวแยกสาย และตัวรวมสาย วาล์ว และถังแฟลช เลือกสมการสถานะ Redlich Kwong Soave มีองค์ประกอบเดียวคือโพรพิลีน

$g(x) \geq 0$  คือสมการที่เป็นอสมการมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สำหรับรูปออปติไมเซชัน เพื่อแก้ปัญหาวិธีการปรับแบบจำลองให้สอดคล้องของข้อมูลวัด ประกอบด้วยข้อจำกัดที่เป็นอสมการ (Inequality Constraints),  $g(x) \geq 0$  ซึ่งเป็นข้อจำกัดต่างๆ แสดงในหัวข้อถัดไป

#### 4.3.4 ข้อจำกัดในระบบ

โรงงานมีขอบเขตการดำเนินงานที่กระทำนการ (Feasible path) ซึ่งคำนึงถึงผลกระทบต่างๆ รวมทั้งความปลอดภัยด้วย เกี่ยวกับความสามารถของแต่ละอุปกรณ์ยอมรับได้, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์, อัตราการไหลของไอสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์ในแต่ละชั้นการอัด เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ โดยข้อจำกัดของแบบจำลองนี้ได้แก่

- ขอบเขตต่ำสุดสำหรับการทำงานของคอมเพรสเซอร์เรียกว่าขอบเขตของการเกิดเซิร์จ (Surging Limit) โดยดูได้จากเปอร์เซ็นต์เหนือเซิร์จ นิยามว่า

$$\% > \text{Surge} = (\text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าคอมเพรสเซอร์} - \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าคอมเพรสเซอร์ ณ จุดเซิร์จ}) / \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าคอมเพรสเซอร์ ณ จุดเซิร์จ}$$

- ขอบเขตสูงสุดสำหรับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เรียกว่าไช้ค (Choke) หรือ สโตนวอลล์ (Stonewall) โดยดูได้จากเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่าสโตนวอลล์ นิยามว่า

$$\% < \text{Stonewall} = (\text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าคอมเพรสเซอร์ ณ จุดสโตนวอลล์} - \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าคอมเพรสเซอร์}) / \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เข้าคอมเพรสเซอร์ ณ จุดสโตนวอลล์}$$

- ความเร็วรอบวิกฤติของคอมเพรสเซอร์ (Critical Speed) คอมเพรสเซอร์ไม่ควรที่จะใช้ความเร็วรอบในช่วง +10% ของความเร็วรอบวิกฤติของคอมเพรสเซอร์ เพื่อป้องกันปัญหาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน
- อุณหภูมิ และความดัน ที่อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถทนได้
- ขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดของการไหลผ่านวาล์วแต่ละตัว โดยไม่เกินค่าสัมประสิทธิ์การเปิดวาล์วที่มากที่สุดที่วาล์วรับได้ ซึ่งผู้ผลิตวาล์วกำหนดไว้



#### 4.3.5 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ถูกหาโดยการปรับตัวแปรของระบบ ตัวแปรเหล่านี้อาจเป็นขนาดของอุปกรณ์ หรือสถานะปฏิบัติการของระบบ ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหล การป้อน และตัวแปรปรับต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของการปฏิบัติการของกระบวนการ และความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่นๆ การเลือกตัวแปรปรับ ต้องเลือกตัวแปรที่ส่งผลให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลง ถ้าตัวแปรตัดสินใจยังมีจำนวนมากเท่าไร จะใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นด้วย สำหรับแบบจำลองนี้ได้เลือกปรับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วในการทำความเย็นระดับที่ 4, 3 และ 2 โดยมีตัวแปรปรับคือ

- เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วของวาล์วของการทำความเย็นระดับสี่ ซึ่งผลที่ได้คือ ความดันที่ออกจากถัง M-690 เปลี่ยนแปลง
- เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วของวาล์วของการทำความเย็นระดับสาม ซึ่งผลที่ได้คือ ความดันที่ออกจากถัง M-680 เปลี่ยนแปลง
- เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วของวาล์วของการทำความเย็นระดับสอง ซึ่งผลที่ได้คือ ความดันที่ออกจากถัง M-670 เปลี่ยนแปลง

ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลในระดับการทำความเย็นที่ 4, 3 และ 2 เป็นผลให้อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลของการทำความเย็นระดับ 1 เปลี่ยนแปลงไปด้วย สำหรับการคำนวณแก้ปัญหาออปติไมเซชันด้วยโปรแกรมแอสเพนพลัส เนื่องจากตัวแปรตัดสินใจมีหลายตัวจึงเลือกปรับวาล์วในระดับการทำความเย็นที่สี่ก่อน แล้วจึงเลือกปรับวาล์วในระดับการทำความเย็นที่สาม และสุดท้ายได้ปรับวาล์วในระดับการทำความเย็นที่สอง จนกระทั่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลดต่ำลงที่สุด

#### 4.3.6 ผลการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล และวิจารณ์

เมื่อทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงพบว่ามีค่าความไม่สอดคล้องกัน อาจเนื่องมาจากความผิดพลาดของระบบการวัด หรือทางโรงงานมีการปรับสถานะปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลการออกแบบเดิมให้เป็นที่ไปตามความต้องการของหน่วยกระบวนการผู้รับความเย็น จึงดำเนินการปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยวิธีการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลได้ผลดังรูป 4.3 และตาราง 4.4 เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลวัดกับผลของแบบจำลองหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล ส่วนตาราง 4.5 แสดงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เริ่มต้นและสุดท้าย หลังจากการใช้เทคนิคการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลพบว่า โดยรวมแล้วผลต่างของข้อมูลวัดกับผลการคำนวณของแบบจำลอง มีค่าอยู่ในช่วงพิกัดของค่าผิดพลาด (ที่มาของค่าพิกัดของค่าผิดพลาดแสดงในภาพผนวก ข

มีเพียงสายวัด PI6501A เท่านั้นที่มีค่าผลต่าง ไม่อยู่ในช่วงพิสัยของค่าผิดพลาด ซึ่งผลต่างของข้อมูลวัดกับผลการคำนวณของแบบจำลองเป็น 0.035 และพิสัยของค่าผิดพลาดเท่ากับ  $\pm 0.03$  ซึ่งแตกต่างกันเล็กน้อย และผลของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปรียบเทียบเป็น

$$\text{เปอร์เซ็นต์คลาด} = (\text{ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เริ่มต้น} - \text{ฟังก์ชันสุดท้าย}) / \text{ฟังก์ชันเริ่มต้น} \times 100$$

ได้ผลฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลดลงจาก 425.83 เป็น 4.95 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ลดลงเท่ากับ 98.84

เมื่อทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลวัดชุดที่สองได้ผลแสดงในรูป 4.4 และตาราง 4.6 เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลวัดชุดที่สองกับผลของแบบจำลอง ส่วนตาราง 4.7 แสดงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เริ่มต้นและค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สุดท้าย จากตารางผลของแบบจำลองจะเห็นได้ว่ามีเพียงบางสายวัดเท่านั้นที่ผลต่างของข้อมูลวัดกับผลการคำนวณของแบบจำลอง ไม่อยู่ในช่วงพิสัยของค่าผิดพลาด ได้แก่ PI6501A และ PI6504A และผลได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ลดลงจาก 455.55 เป็น 7.99 ให้ผลลดลง 98.24 %

ตาราง 4.4 การเปรียบเทียบข้อมูลวัดกับผลของแบบจำลองหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล

สาย กระบวนการ (Stream No.)	สายวัด (Tag No.)	ลักษณะข้อมูล	ข้อมูลวัด	ผลของแบบ จำลอง	ผลต่าง	พิสัยของ ค่าผิดพลาด
6500 : สายขา ออกจาก คอมเพรสเซอร์	TI6505A	อุณหภูมิ, °C	69.772	69.772	0.000	$\pm 1.700$
	PI6505A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	16.906	16.906	0.000	$\pm 0.250$
	FI6502	อัตราการ ไหล, kg/hr	347616.766	347780.094	163.33	$\pm 550.000$
6600 : สายไอ ออกจากรัง แฟลชขั้นที่ 1 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ขั้นที่ 1	TI6501A	อุณหภูมิ, °C	-39.820	-40.573	0.753	$\pm 1.700$
	PI6501A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	1.365	1.400	0.035	$\pm 0.030$
	FI6503	อัตราการ ไหล, kg/hr	95147.114	95141.508	5.606	$\pm 150.000$

ตาราง 4.4 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อมูลวัดกับผลของแบบจำลองหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล

สาย กระบวนการ (Stream No.)	สายวัด (Tag No.)	ลักษณะข้อมูล	ข้อมูลวัด	ผลของแบบ จำลอง	ผลต่าง	พิกัดของ ค่าผิดพลาด
6700 : สายไอ ออกจากถัง แฟลชชั้นที่2 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ชั้นที่ 2	TI6502A	อุณหภูมิ, °C	-21.053	-21.399	0.346	± 1.700
	PI6502A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	2.960	2.962	0.002	± 0.040
	FI6504	อัตราการ ไหล, kg/hr	116365.847	116492.875	127.03	± 180.000
6800 : สายไอ ออกจากถัง แฟลชชั้นที่3 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ชั้นที่ 3	TI6503A	อุณหภูมิ, °C	-7.923	-7.997	0.074	± 1.700
	PI6503A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	4.586	4.665	0.079	± 0.100
	FI6505	อัตราการ ไหล, kg/hr	49982.400	50024.316	41.916	± 90.000
6528 : สายไอ ออกจากถัง แฟลชชั้นที่4 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ชั้นที่ 4	TI6504A	อุณหภูมิ, °C	6.610	6.224	0.386	± 1.700
	PI6504A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	7.034	7.178	0.144	± 0.150
6704 : อุณหภูมิ ขาออกจาก T-474	TI6801	อุณหภูมิ, °C	-9.447	-9.447	0.000	± 1.700
6808 : อุณหภูมิ ขาออกจาก T-473	TI6701	อุณหภูมิ, °C	-28.350	-28.350	0.000	± 1.700

ตาราง 4.4 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อมูลวัดกับผลของแบบจำลองหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล

สาย กระบวนการ (Stream No.)	สายวัด (Tag No.)	ลักษณะข้อมูล	ข้อมูลวัด	ผลของแบบ จำลอง	ผลต่าง	พิกัดของ ค่าผิดพลาด
6860 : สายออก จาก T-411 แล้ว เข้าสู่วาล์ว FV4111	TI4122	อุณหภูมิ, °C	-35.082	-35.082	0.0000	± 1.700
	FC4750	อัตราการ ไหล, kg/hr	24983.507	24983.508	0.001	± 40.000
คอมเพรสเซอร์	SI6500D	ความเร็ว รอบ	5129.589	5129.589	0.000	

ตาราง 4.5 ผลของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ก่อนและหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เริ่มต้น	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สุดท้าย	เปอร์เซ็นต์ลดลง
425.83	4.95	98.84

ตาราง 4.6 การเปรียบเทียบข้อมูลจริงชุดที่ 2 กับผลของแบบจำลอง

สายกระบวน การ (Stream No.)	สายวัด (Tag No.)	ลักษณะข้อ มูล	ข้อมูลวัด	ผลของแบบ จำลอง	ผลต่าง	พิสัยของ ค่าผิด พลาด
6500 : สายขา ออกจาก คอมเพรสเซอร์	TI6505A	อุณหภูมิ, °C	69.962	69.962	0.000	± 1.700
	PI6505A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	16.866	16.866	0.000	± 0.250
	FI6502	อัตราการ ไหล, kg/hr	354194.800	354194.813	0.013	± 550.000
6600 : สายไอ ออกจากถัง แฟลชชั้นที่1 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ชั้นที่ 1	TI6501A	อุณหภูมิ, °C	-39.543	-40.716	1.173	± 1.700
	PI6501A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	1.360	1.391	0.031	± 0.030
	FI6503	อัตราการ ไหล, kg/hr	96215.805	96193.883	21.970	± 150.000
6700 : สายไอ ออกจากถัง แฟลชชั้นที่2 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ชั้นที่ 2	TI6502A	อุณหภูมิ, °C	-21.113	-21.461	0.348	± 1.700
	PI6502A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	2.955	2.956	0.001	± 0.040
	FI6504	อัตราการ ไหล, kg/hr	123001.958	123037.195	35.237	± 180.000
6800 : สายไอ ออกจากถัง แฟลชชั้นที่3 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ชั้นที่ 3	TI6503A	อุณหภูมิ, °C	-8.177	-8.426	0.249	± 1.700
	PI6503A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	4.572	4.601	0.029	± 0.100
	FI6505	อัตราการ ไหล, kg/hr	53957.900	53944.484	13.416	± 90.000

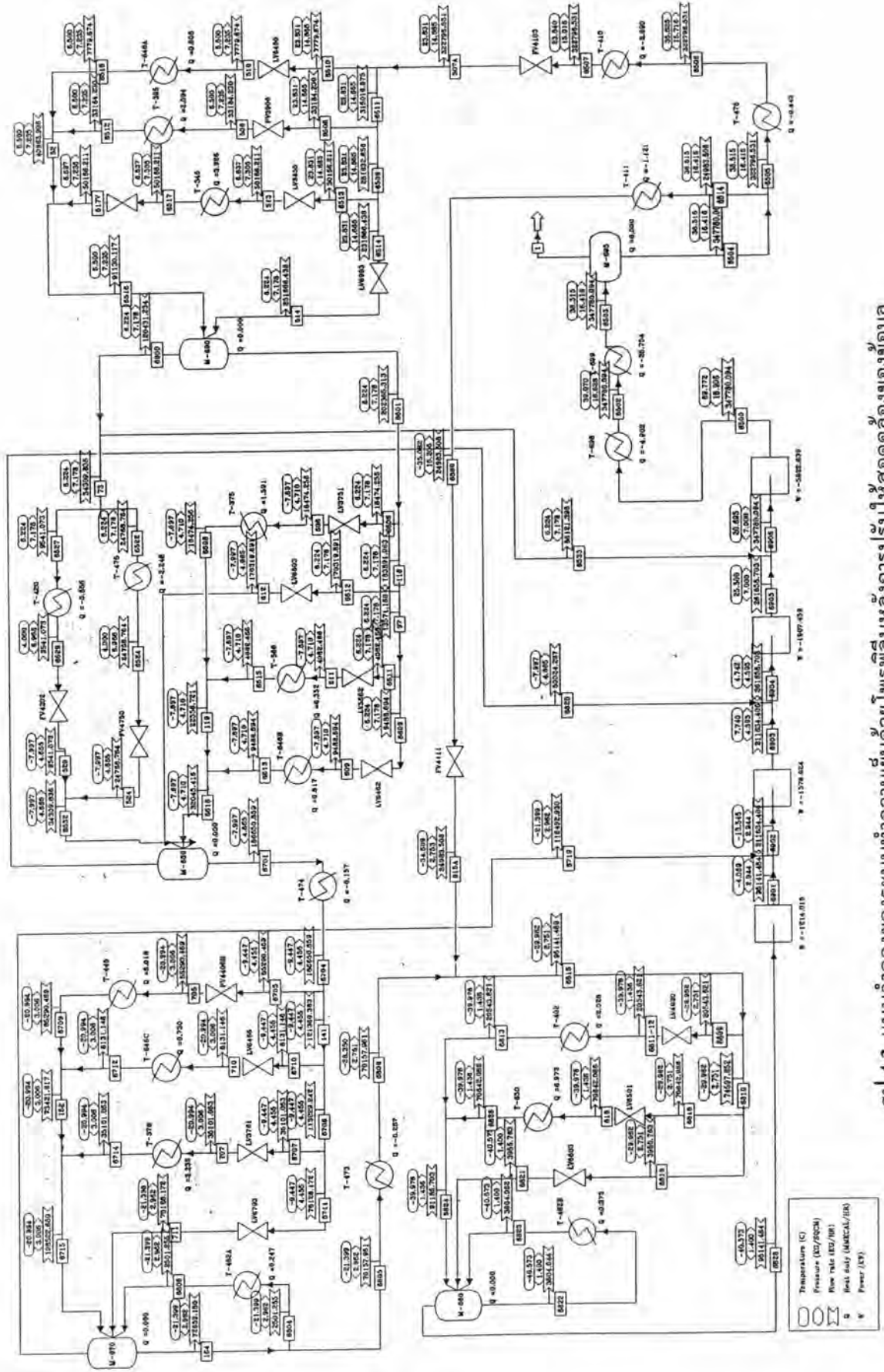
ตาราง 4.6 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อมูลจริงชุดที่ 2 กับผลของแบบจำลอง

สายกระบวน การ (Stream No.)	สายวัด (Tag No.)	ลักษณะข้อ มูล	ข้อมูลวัด	ผลของแบบ จำลอง	ผลต่าง	พิสัยของ ค่าผิดพลาด
6528 : สายไอ ออกจากถัง แฟลชชั้นที่ 4 แล้วเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์ ชั้นที่ 4	TI6504A	อุณหภูมิ, °C	6.776	6.264	0.512	± 1.700
	PI6504A	ความดัน, kg/cm <sup>2</sup> a	6.975	7.186	0.211	± 0.150
6704 : อุณหภูมิ ขาออกจาก T-474	TI6801	อุณหภูมิ, °C	-10.158	-10.150	0.008	± 1.700
6808 : อุณหภูมิ ขาออกจาก T-473	TI6701	อุณหภูมิ, °C	-29.521	-29.561	0.040	± 1.700
6860 : สายออก จาก T-411 แล้ว เข้าสู่วาล์ว FV4111	TI4122	อุณหภูมิ, °C	-34.584	-34.585	0.001	± 1.700
	FC4750	อัตราการ ไหล, kg/hr	27344.550	27344.264	0.286	± 40.000
คอมเพรสเซอร์	SI6500D	ความเร็ว รอบ	5142.989	5142.989	0.000	

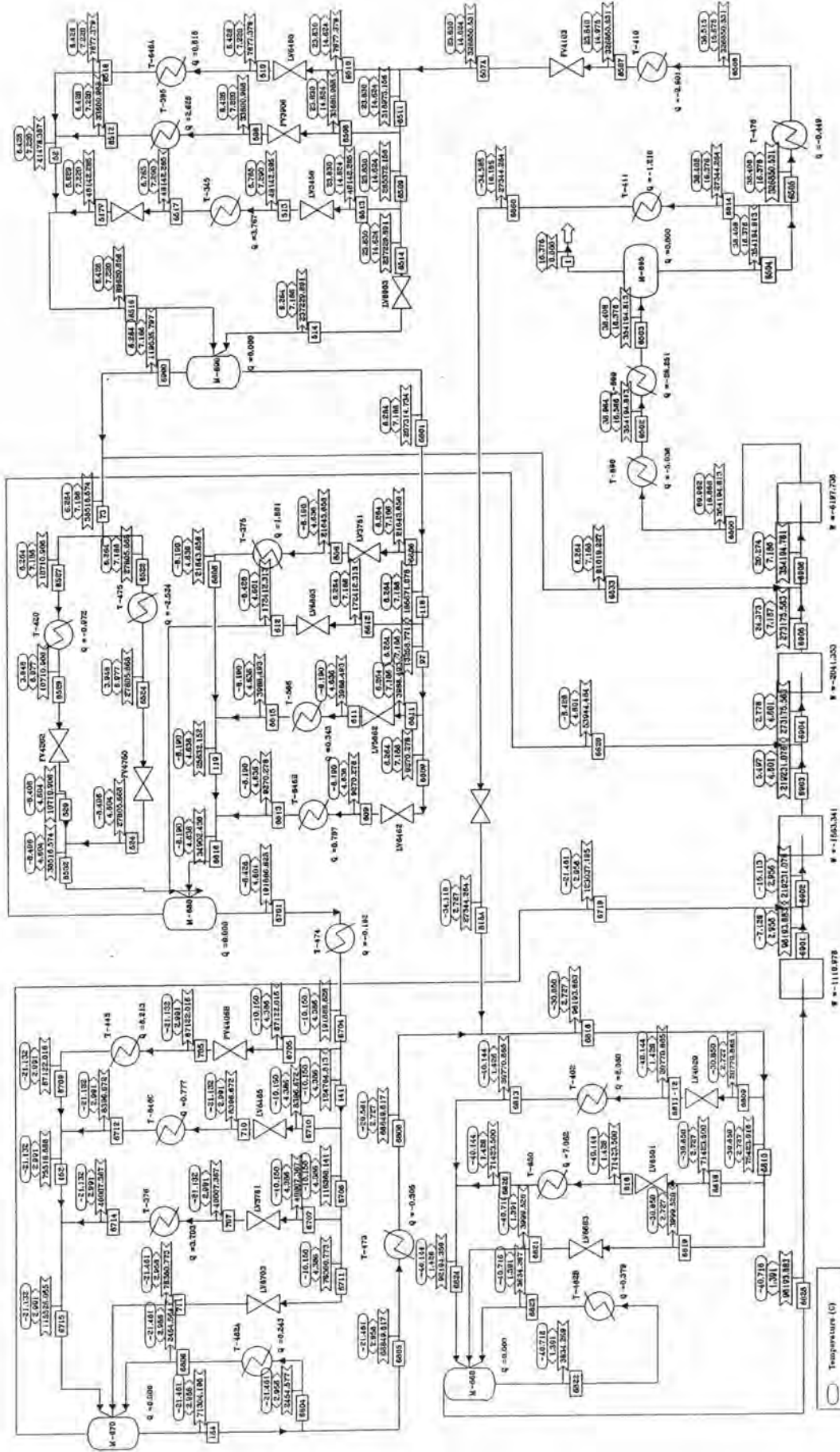
ตาราง 4.7 ผลของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เริ่มต้นและสุดท้ายของข้อมูลชุดที่สอง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เริ่มต้น	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สุดท้าย	เปอร์เซ็นต์ลดลง
455.55	8.00	98.24





รูป 4.3 แบบจำลองของระบบทำความเย็นด้วยโพรพิลีนหลังการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล



รูป 4.4 แบบจำลองของระบบที่ความเย็นด้วยโพธิ์ดินเมื่อทดสอบด้วยข้อมูลจริงชุดที่สอง

Temperature (C)  
 Pressure (kg/200cm)  
 Flow rate (kg/100)  
 Heat duty (Mkcal/100)  
 Flow direction