บทที่ 5

ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผล สรุปเปรียบเทียบกับแบบจำลอง และการทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น

5.1 ข้อมูลจากปฏิบัติการกลั่น

ก. ข้อมูลจากปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 1

จากอุปกรณ์และขั้นตอนการปฏิบัติ และการเก็บข้อมูล (ดูบทที่ 4) ข้อมูลจากปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 1 แสดงได้ดังนี้

ปริมาณของผสมไกลออกซอลเรซินก่อนกลั่นทั้งหมด = 4,830 กิโลกรัม

ปริมาณของผสมไกลออกซอลในถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้น = 2,130 กิโลกรัม

ปริมาณของผสมไกลออกซอลในถังปฏิกรณ์เคมีสุดท้าย = 2,100 กิโลกรัม

อัตราการป้อน (F_f) = 900 กิโลกรัม/ชั่วโมง

อุณหภูมิของสายป้อน = 308 เคลวิน

ระยะเวลาการป้อน = 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (เคลวิน)		ความดันถังปฏิกรณ์เคมี (บรรยากาศ)	ปริมาณเมทานอลควบแน่นสะสม (ลิตร)
	Jacket	ถังปฏิกรณ์เคมี		
0.0	380.00	323.000	0.2763	-
0.5	388.00	324.000	0.2763	-
1.0	391.00	325.000	0.2763	730
1.5	393.00	325.000	0.2763	1,100
2.0	395.00	325.000	0.2763	1,400
2.5	395.00	326.000	0.2763	1,700
3.0	398.00	327.000	0.2368	2,000
3.5	398.00	329.000	0.2368	2,500
4.0	403.00	330.000	0.2105	2,800
4.5	403.00	332.000	0.1974	3,000

หมายเหตุ เครื่องหมาย "-" อ่านค่าไม่ได้

สำหรับตัวอย่างของผสมไกลออกซอลเรซิน และของผสมเมทานอลควบแน่นวิเคราะห์หาปริมาณ เมทานอล และฟอร์มาลดีไฮด์โดยแก๊สโครมาโตรกราฟ ซึ่งผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่างวิเคราะห์โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยโดยใช้Column ชนิด Carbowax 20 m ความยาวของ Column เท่ากับ 210 เซ็นติเมตร อัตราการไหลเท่ากับ 1.2 ลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิของ Column เท่ากับ 343 เคลวิน อุณหภูมิของ Injector และ Detector เท่ากับ 473 เคลวิน โดยใช้ Detector ชนิด FID และการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำ ผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่างวิเคราะห์หาปริมาณน้ำโดยศูนย์บริการเทคโนโลยีเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์โดย Karl Fischer และเครื่องมือที่ใช้คือ 658 KF Processor, Metrohm แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ น้ำ เมทานอล ฟอร์มาลดีไฮด์และไกลออกซอลเรซิน

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสารในของผสมไกลออกซอลเรซิน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)				ปริมาณสารในของผสมเมทานอลควบแน่น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)		
	น้ำ	เมทานอล	ฟอร์มาล-ดีไฮด์	ไกลออกซอลเรซินและองค์ประกอบที่เหลือ	เมทานอล	ฟอร์มาล-ดีไฮด์	น้ำและองค์ประกอบที่เหลือ
0.0	34.69	35.82	0.85	28.64	-	-	-
0.5	36.77	30.59	0.78	31.86	79.85	0.62	19.53
1.5	-	-	-	-	75.21	0.65	24.14
2.5	-	-	-	-	63.90	0.83	35.27
3.5	-	-	-	-	46.96	**	53.04
4.0	-	-	-	-	35.46	**	64.54
4.5	29.07	6.27	0.15	64.51	21.94	**	78.06

หมายเหตุ เครื่องหมาย "-" ไม่ได้ส่งวิเคราะห์

เครื่องหมาย "**" ตรวจไม่พบโดยแก๊สโครมาโตรกราฟ

ข. ข้อมูลปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 2

อุณหภูมิของของผสมในสายป้อน = 308 เคลวิน

อัตราการป้อน = 900 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ระยะเวลาการป้อน = 3 ชั่วโมง

ระยะเวลาการกลั่น = 5.5 ชั่วโมง

ปริมาณของผสมไกลออกซอลเรซินในถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้น = 2,130 กิโลกรัม

ปริมาณของผสมไกลออกซอลเรซินในถังปฏิกรณ์เคมีสุดท้าย = 2,080 กิโลกรัม

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (เคลวิน)		ความดันถังปฏิกรณ์เคมี (บรรยากาศ)	ปริมาณเมทานอลควบแน่น (ลิตร)
	Jacket	ถังปฏิกรณ์เคมี		
0.0	375	318	0.2368	-
0.5	375	318	0.2368	-
1.0	371	318	0.2330	650
1.5	373	318	0.2105	870
2.0	373	318	0.2105	1,130
2.5	373	319	0.2105	1,350
3.0	373	320	0.2105	1,580
3.5	375	321	0.1974	-
4.0	375	323	0.1974	1,950
4.5	377	326	0.2105	2,350
5.0	385	330	0.1974	2,500
5.5	393	336	0.1974	3,000

หมายเหตุ เครื่องหมาย "-" อ่านค่าไม่ได้

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ น้ำ เมทานอล ฟอร์มาลดีไฮด์ และไกลอกซอลเรซิน

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณสารในของผสมไกลอกซอลเรซิน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)				ปริมาณสารในของผสมเมทานอลควบแน่น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)		
	น้ำ	เมทานอล	ฟอร์มาล-ดีไฮด์	ไกลอกซอลเรซินและองค์ประกอบที่เหลือ	เมทานอล	ฟอร์มาล-ดีไฮด์	น้ำและองค์ประกอบที่เหลือ
0.0	34.10	36.30	1.51	28.09	-	-	-
0.5	-	-	-	-	82.10	0.80	17.1
1.5	-	-	-	-	78.05	0.61	21.34
2.5	-	-	-	-	70.32	0.44	29.24
3.5	-	-	-	-	61.25	0.48	38.27
4.5	-	-	-	-	35.01	**	64.99
5.5	37.40	1.92	0.15	60.68	9.21	**	90.79

หมายเหตุ เครื่องหมาย "-" ไม่ได้ส่งวิเคราะห์

เครื่องหมาย "**" ตรวจไม่พบโดยแก๊สโครมาโตกราฟ

5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง สรุป และเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

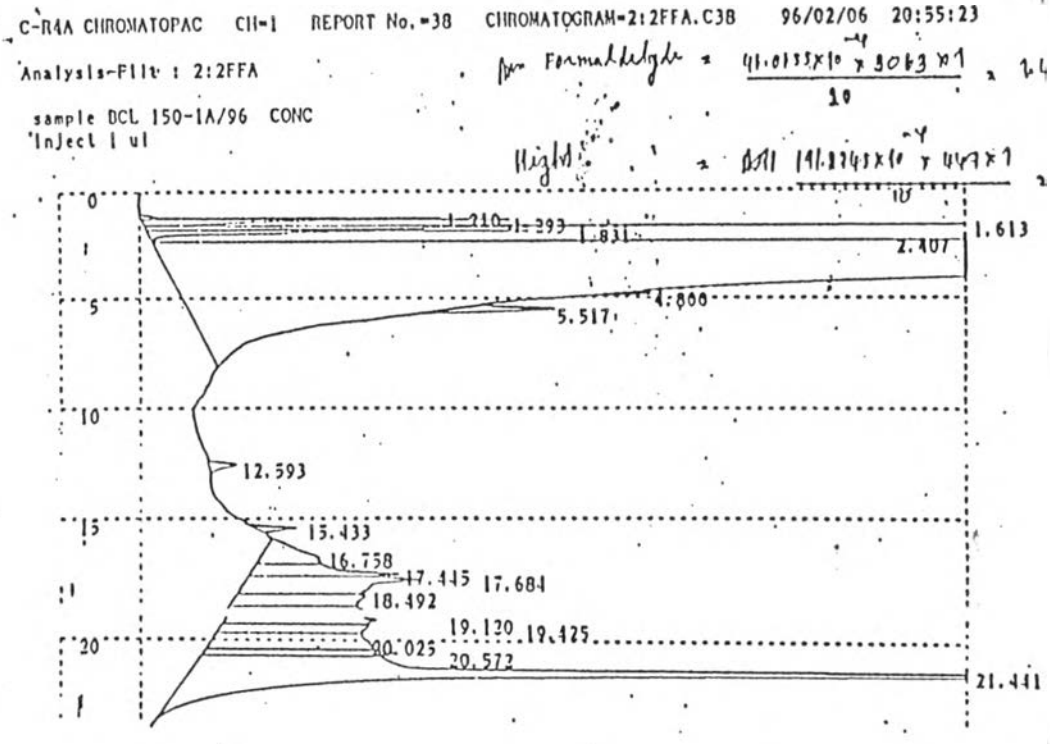
ก. การคำนวณหาค่าเศษส่วนโมลองค์ประกอบ น้ำ เมทานอล ฟอร์มาลดีไฮด์ และไกลออกซอลเรซิน ในของผสมไกลออกซอลเรซิน (วัฏภาคของเหลว)

เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณไกลออกซอลในของผสมไกลออกซอลเรซินได้โดยตรง แต่จากการประเมินจากกลไกลการเกิดปฏิกริยาเคมี ซึ่งเมื่อสิ้นสุดปฏิกริยาเคมีของการผลิตของผสมไกลออกซอลเรซิน จะได้องค์ประกอบต่าง ๆ คือ น้ำ เมทานอล ไกลออกซิลเรซิน และมีฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกริยาไม่สมบูรณ์ และอาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกิดจากการเกิดปฏิกริยาข้างเคียง โดยความเป็นจริงในของผสมไกลออกซอลเรซินมีองค์ประกอบมากกว่า 4 องค์ประกอบ จากข้อมูลที่ตรวจพบโดยแก๊สโครมาโตรกราฟ (รูปที่ 5.1) พบว่านอกจากเมทานอล (Peak No. 6) และฟอร์มาลดีไฮด์ (Peak No. 3) ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีกหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีปริมาณน้อย ๆ ดังนั้นแบบจำลองเบื้องต้นจึงพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาหลักได้แก่ น้ำ เมทานอล และฟอร์มาลดีไฮด์ และให้องค์ประกอบอื่น ๆ เป็นไกลออก-ซอลเรซิน

ข. การคำนวณค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบ น้ำ เมทานอล และฟอร์มาลดีไฮด์ ในของผสมเมทานอลควบแน่น (วัฏภาคไอ)

ในของผสมเมทานอลควบแน่นหรือวัฏภาคไอจากข้อมูลที่ตรวจพบโดยแก๊สโครมาโตรกราฟ (รูปที่ 5.2) พบว่านอกจากเมทานอล (Peak No. 6) ฟอร์มาลดีไฮด์ (Peak No. 3) แล้วยังมีองค์ประกอบอื่นที่มีอยู่ในของผสมเมทานอลควบแน่น และจากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำโดย Karl Fischer พบว่ามีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญอีกองค์ประกอบหนึ่ง เมื่อนำของผสมเมทานอลควบแน่นไปอบที่ตู้อบอุณหภูมิ 378 เคลวิน โดยชั่งปริมาณ ปริมาณสาร 1.5 กรัม อบเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าไม่ปริมาณสารเหลือจากการอบ และจากการคำนวณค่าความดันไอขององค์ประกอบไกลออกซอลเรซินพบว่ามีค่าความดันไอต่ำมาก แสดงว่าไม่มีองค์ประกอบไกลออกซอลอยู่ใน

ของผสมเมทานอลควรแน่น ดังนั้นในการคำนวณหาค่าเศษส่วนโมลกำหนดให้องค์ประกอบ อื่น ๆ นอกจากเมทานอลและฟอร์มาลดีไฮด์เป็นน้ำ



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	2	1.21	1542	366			0.044	
	3	1.293	3063	447	V		0.0873	
	4	1.613	8325	1419	V		0.2373	
	5	1.831	3188	465	V		0.0909	
	6	2.107	3407205	247403	SV		97.1435	
	7	4.8	553	40	T		0.0158	
	8	5.517	1807	127	T		0.0515	
	9	12.593	540	33			0.0154	
	11	15.433	571	50			0.0163	
	12	16.758	3062	71			0.0873	
	13	17.445	3979	183	V		0.1134	
	14	17.684	7730	215	V		0.2204	
	15	18.492	5158	160	V		0.1471	
	16	19.12	4339	185	V		0.1237	
	17	19.425	4288	181	V		0.1223	
	18	20.025	8215	192	V		0.2342	
	19	20.572	4234	236	V		0.1207	
	20	21.441	39600	1472	V		1.129	
		TOTAL	3507477	253245			100	

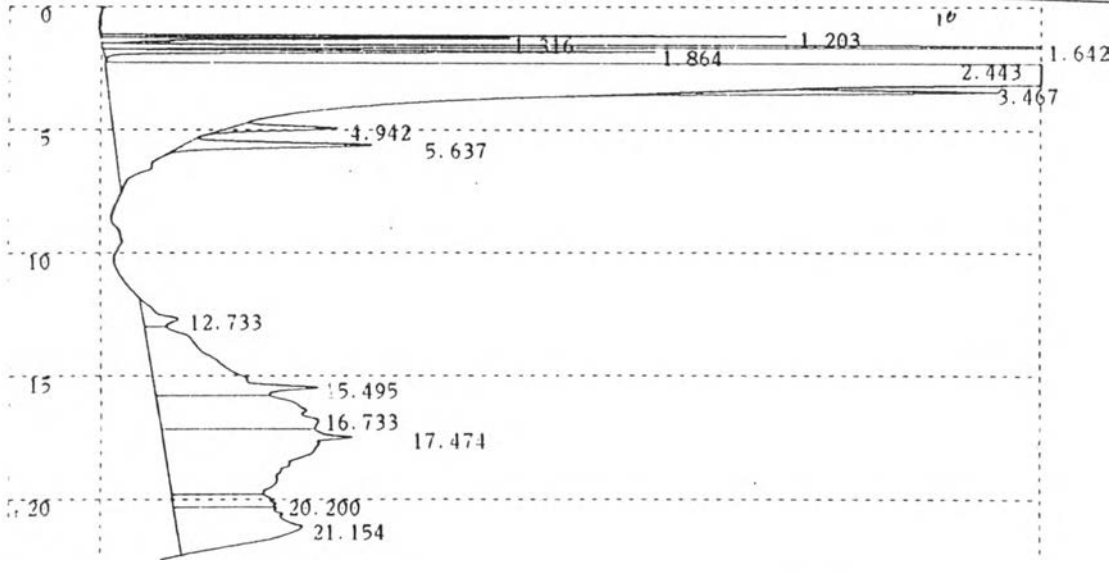
5.1 แสดงโครมาโตรแกรมของของผสมไกลออกซอลเรซิน

จากรูปที่ 5.1 แสดงโครมาโตรแกรมของของผสมไกลออกซอลเรซิน จากโครมาโตรแกรมพบว่าองค์ประกอบที่ตรวจพบโดยแก๊สโครมาโตรกราฟมีทั้งหมด 20 ชนิด แต่มี 2 องค์ประกอบที่ทราบชนิด คือ องค์ประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ (Peak No.3) และองค์ประกอบเมทานอล (Peak No. 6) และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ทราบชนิด ซึ่งอาจเกิดปฏิกริยาข้างเคียงหรือเกิดจากผลของ Impurity และจากข้อมูลของ Peak Area พบว่าในองค์ประกอบที่ตรวจพบโดยแก๊สโครมาโตรกราฟมีปริมาณของเมทานอลอยู่เป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือมีเปอร์เซ็นต์ของเมทานอลเท่ากับ 97.14 เปอร์เซ็นต์

C-R4A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=25 CHROMATOGRAM=2:2FFA.C25 96/02/06 16:19:25

Analysis File : 2:2FFA

sample .B BCL 150-3B /96
inject 1 ul



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	2	1.203	3098	731			0.0655	
	3	1.316	2336	435	V		0.0494	Formaldehyde
	4	1.642	12521	2373	V		0.2648	
	5	1.864	3390	588	V		0.0717	
	6	2.443	4636024	336508	S		98.0534	Methanol
	7	3.467	3242	319	T		0.0686	
	8	4.942	1560	118	T		0.033	
	9	5.637	3090	202	T		0.0654	
	11	12.733	1186	36			0.0251	
	12	15.495	12761	173	V		0.2699	
	13	16.733	12270	169	V		0.2595	
	14	17.474	22155	199	V		0.4686	
	15	20.2	3330	108	V		0.0704	
	16	21.154	11098	133	V		0.2347	
		TOTAL	4728059	342091			100	

5.2 แสดงโครมาโตรแกรมของของผสมเมทานอลควบแน่น

จากรูปที่ 5.2 แสดงโครมาโตรแกรมของของผสมเมทานอล จากโครมาโตรแกรมพบว่าองค์ประกอบที่ตรวจพบโดยแก๊สโครมาโตรกราฟมีทั้งหมด 16 ชนิด แต่มี 2 องค์ประกอบที่ทราบชนิด คือ องค์ประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ (Peak No.3) และองค์ประกอบเมทานอล (Peak No. 6) และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ทราบชนิด และจากข้อมูลของ Peak Area พบว่าในองค์ประกอบที่ตรวจพบโดยแก๊สโครมาโตรกราฟ มีปริมาณของเมทานอลอยู่เป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือมีเปอร์เซ็นต์ของเมทานอลเท่ากับ 98.05 เปอร์เซ็นต์

ค. การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณอุณหภูมิจุดเดือด และเศษส่วนโมลขององค์ประกอบของวัฏภาคไอ

ค.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณอุณหภูมิจุดเดือด และค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลในวัฏภาคไอ ในระบบของผสมที่ประกอบด้วยเมทานอล และน้ำ ที่สภาวะความดัน 1 บรรยากาศ

ในการคำนวณของแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลว โดยการป้อนค่าความดันของระบบเท่ากับ 1 บรรยากาศ และทำการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลของเมทานอลในวัฏภาคของของเหลว บันทึกค่าอุณหภูมิจุดเดือดและเศษส่วนโมลของเมทานอลในวัฏภาคไอเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและเศษส่วนโมลที่ได้จากการคำนวณกับผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบผลจากข้อมูลอ้างอิงกับผลคำนวณอุณหภูมิจุดเดือด และค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลในวัฏภาคไอ

เศษส่วนโมลของเมทานอล				อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
วัฏภาคของของเหลว	วัฏภาคของไอ			ข้อมูลอ้างอิง	การคำนวณ	ความแตกต่าง
	ข้อมูลอ้างอิง	การคำนวณ	ความแตกต่าง			
0.100	0.418	0.424	0.006	87.7	87.9	0.2
0.150	0.517	0.517	0.000	84.4	84.6	0.2
0.200	0.579	0.582	0.003	81.7	82.1	0.4
0.300	0.665	0.672	0.007	78.0	78.4	0.4
4.000	0.729	0.737	0.008	75.3	75.7	0.4
0.500	0.779	0.790	0.011	73.1	73.4	0.3
0.600	0.825	0.836	0.011	71.2	71.4	0.2
0.700	0.870	0.880	0.010	69.3	69.5	0.2
0.800	0.915	0.921	0.006	67.5	67.8	0.3
0.900	0.958	0.961	0.003	66.0	66.1	0.1
0.950	0.979	0.981	0.002	65.0	65.3	0.3

หมายเหตุ ความแตกต่าง = การคำนวณ - ข้อมูลอ้างอิง

ข้อมูลอ้างอิง H.Perry, R.; W. Green, D.; Perry's Chemical Engineer's Hand Book, McGraw-Hill, New York (1984)

จากตารางที่ 5.5 สรุปผลการคำนวณเศษส่วนโมลของเมทานอลในวัฏภาคไอได้มากกว่าค่าจากข้อมูลอ้างอิงเฉลี่ยเท่ากับ 0.006 และผลการคำนวณค่าของอุณหภูมิได้มากกว่าค่าอุณหภูมิจากข้อมูลอ้างอิงเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 องศาเซลเซียส หาค่าความคาดเคลื่อนของการคำนวณค่าเศษส่วนโมลเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 เปอร์เซ็นต์ และหาค่าความคาดเคลื่อนของการคำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความคลาดเคลื่อนหาได้จากสมการ (70) และค่าความเคลื่อนเฉลี่ยหาได้จากสมการ (71)

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = \left(\frac{\text{ค่าจากการคำนวณ} - \text{ค่าจากข้อมูลอ้างอิง}}{\text{ค่าจากข้อมูลอ้างอิง}} \right) \times 100 \quad (70)$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย} = \frac{\text{ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อน}}{\text{จำนวนข้อมูลจากการทดลอง}} \quad (71)$$

ค.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณอุณหภูมิจุดเดือด และค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอขององค์ประกอบ น้ำ เมทานอล ฟอร์มาลดีไฮด์และไกลออกซอลเรซิน

แบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวของผสมไกลออกซอลเรซินในขั้นแรก ได้จำลองให้ของผสมไกลออกซอลเรซินประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ คือ น้ำ เมทานอล ฟอร์มาลดีไฮด์ และไกลออกซอลเรซิน ในการคำนวณโดยเศษส่วนโมลในวัฏภาคของเหลวของแต่ละองค์ประกอบและค่าความดันเพื่อคำนวณหาค่าอุณหภูมิจุดเดือด และเศษส่วนโมลในวัฏภาคไอของแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งแสดงตัวอย่างผลการเปรียบเทียบจากข้อมูลการทดลองที่ 1 (ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง) แสดงได้ดังนี้

ความดัน = 0.2763 บรรยากาศ

อุณหภูมิถังปฏิกรณ์ (การทดลอง) = 324.0 เคลวิน

อุณหภูมิถังปฏิกรณ์ (คำนวณ) = 316.3 เคลวิน

ค่าความแตกต่าง (ΔT) = 7.7 เคลวิน

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบการคำนวณจุดเดือด และเศษส่วนโมลวัฏภาคไอขององค์ประกอบ น้ำ เมทานอล ฟอร์มาลดีไฮด์ และไกลออกซอลเรซิน

สาร		เศษส่วนโมลของสาร			
ลำดับที่	ชื่อสาร	วัฏภาค ของเหลว($x_{b,i}$)	วัฏภาค ไอ ($y_{b,i}$)		
			จากการทดลอง	จากการคำนวณ	ค่าความแตกต่าง
1	น้ำ	0.6426	0.3014	0.2700	-0.0314
2	เมทานอล	0.3006	0.6929	0.4707	-0.2222
3	ฟอร์มาลดีไฮด์	0.0082	0.0057	0.2592	0.2535
4	ไกลออกซอลเรซิน	0.0486	0.0000	0.0000	0.0000

จากตัวอย่างการคำนวณ ตารางที่ 5.6 และเปรียบเทียบการคำนวณกับการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลในวัฏภาคของเหลว แสดงว่าแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวไม่สามารถทำนายค่าเศษส่วนในวัฏภาคไอขององค์ประกอบ ฟอร์มาลดีไฮด์ และเมทานอล ให้ผลการคำนวณค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าการทดลองค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นผลจากการไม่คำนึงถึงองค์ประกอบย่อยอื่นๆ ที่ไม่ทราบปริมาณ และเจือปนอยู่ในสารละลายไกลออกซอลเรซินมาพิจารณาดังตัวอย่างโคร มาโตรแกรมในรูปที่ 5.1 ซึ่งจากโครมาโตรแกรมพบว่า Peak Area ของฟอร์มาลดีไฮด์มีค่า

น้อยกว่าองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่พิจารณา และจากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในของผสมไกลออกซอลเรซินพบว่าในการทดลองที่ 1 มีปริมาณเท่ากับ 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 1.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในการทดลองที่ 2 ซึ่งมีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของน้ำ เมทานอล และไกลออกซอลเรซิน และโดยเป้าหมายในงานวิจัยซึ่งต้องการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ คือ แนวทางในการนำของผสมเมทานอลที่ได้จากการกลั่นนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทดลองไม่พิจารณาองค์ประกอบของฟอร์มาลดีไฮด์ โดยสมมุติให้สารละลายไกลออกซอลเรซิน ประกอบขึ้นด้วยองค์ประกอบ 3 ชนิด คือ น้ำ เมธานอล และไกลออกซอลเรซิน และในการคำนวณค่าเศษส่วนโมลย่อยในของผสมไกลออกซอลเรซิน กำหนดให้องค์ประกอบอื่นๆ นอกจากน้ำ และเมทานอล เป็นองค์ประกอบของไกลออกซอลเรซิน

ค.3 การคำนวณค่าอุณหภูมิจุดเดือดและหาค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอ ขององค์ประกอบ น้ำ เมทานอล และไกลออกซอลเรซิน เมื่อไม่พิจารณาองค์ประกอบฟอร์มาลดีไฮด์

สมมุติให้วัฏภาคของของเหลวประกอบด้วย น้ำ เมทานอล และไกลออกซอลเรซิน เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณ โดยป้อนค่าเศษส่วนโมลในวัฏภาคของของเหลวขององค์ประกอบ น้ำ เมทานอล และไกลออกซอลเรซิน และป้อนค่าความดันเท่ากับ 0.2763 บรรยากาศ เปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลจากการทดลองที่ 1 แสดงได้ดังนี้

ความดัน = 0.2763 บรรยากาศ

อุณหภูมิ (การทดลอง) = 324.0 เคลวิน

อุณหภูมิ (คำนวณ) = 322.4 เคลวิน

ค่าความแตกต่าง (ΔT) = -1.6 เคลวิน

ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบการคำนวณค่าอุณหภูมิจุดเดือด และเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอ ของของค์ประกอบ น้ำ เมทานอล และไกลออกซอลเรซิน

สาร		เศษส่วนโมลของสาร			
ลำดับที่	ชื่อสาร	วัฏภาค ของเหลว ($x_{b,i}$)	วัฏภาคไอ($x_{b,i}$)		
			จากการทดลอง	จากการคำนวณ	ค่าความแตกต่าง
1	น้ำ	0.6471	0.3014	0.3759	-0.0745
2	เมทานอล	0.3027	0.6929	0.6241	0.0688
3	ไกลออกซอลเรซิน	0.0520	0.0000	0.0000	0.0000

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณของตารางที่ 5.6 และ ตารางที่ 5.7 แสดงว่าเมื่อแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวไม่คำนึงถึงองค์ประกอบของฟอร์มาลดีไฮด์ในวัฏภาคของเหลว ให้ผลการทำนายค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของเมทานอลได้ดีกว่า และทำนายค่าอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิจากการทดลอง โดยผลการทำนายค่าเศษส่วนโมลของน้ำในวัฏภาคไอของน้ำได้ค่ามากกว่าค่าจากการทดลองเท่ากับ 0.0745 ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 24.71 % และการทำนายค่าเศษส่วนโมลของเมทานอลในวัฏภาคไอได้ค่าน้อยกว่าค่าจากการทดลองเท่ากับ 0.0688 ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 9.93 เปอร์เซ็นต์ และค่าอุณหภูมิจุดเดือดจากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิจากการทดลองเท่ากับ 1.6 เคลวิน ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.49 เปอร์เซ็นต์

ง. การเปรียบเทียบผลปฏิบัติการกลั่นการทดลองกับการคำนวณค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคของไอ ขององค์ประกอบ น้ำ เมทานอล และไกลออกซอลเรซิน ที่ได้จากการกลั่นที่เวลาใด ๆ

ง.1 เปรียบเทียบผลปฏิบัติการกลั่นการทดลองที่ 1 จากข้อมูลของตารางที่ 5.2 นำไปคำนวณหาค่าเศษส่วนโมลในวัฏภาคของของเหลว โดยวิธีการในหัวข้อ 5.2.ก. โดยไม่คำนึงถึงองค์ประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ และคำนวณหาค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอ โดยวิธีการในหัวข้อ 5.2.ข. เปรียบเทียบผลที่ได้กับโปรแกรมการคำนวณการกลั่นด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเงื่อนไขของการใช้โปรแกรมการคำนวณดังนี้

1. ความดันของระบบคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 0.2763 บรรยากาศ
2. อุณหภูมิของ Jacket คงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 394.4 เคลวิน
3. พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 39,700 ตารางเซ็นติเมตร
4. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคงที่ตลอดการทดลอง (ได้จากการคำนวณภาคผนวก ข.) เท่ากับ 84.4 $\frac{\text{แคลอรี่}}{(\text{ซม.})(\text{ซม.}^2)(\text{เคลวิน})}$
5. อุณหภูมิของสายป้อนคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 308 เคลวิน และอัตราการไหลของผสมในสายป้อนคงที่เท่ากับ 28,681 โมล/ชั่วโมง และระยะเวลาการป้อนเท่ากับ 3 ชั่วโมง ค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบของสายป้อน ($x_{f,i}$) มีดังนี้

องค์ประกอบน้ำ ($x_{f,1}$) = 0.6050

องค์ประกอบเมทานอล ($x_{f,2}$) = 0.3513

องค์ประกอบไกลออกซอลเรซิน ($x_{f,3}$) = 0.0437

6. จำนวนโมลเริ่มต้นของผสมในถังปฏิกรณ์เคมี (M_b) เท่ากับ 67,878 โมล ระยะเวลาการกลั่นเท่ากับ 4.5 ชั่วโมง ค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบของสารละลายในถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้นมีดังนี้

องค์ประกอบน้ำ ($x_{b,1}$) = 0.6050

องค์ประกอบเมทานอล ($x_{b,2}$) = 0.3513

องค์ประกอบไกลออกซอลเรซิน ($x_{b,3}$) = 0.0437

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการทดลองกับการคำนวณค่าอุณหภูมิจุดเดือด และการคำนวณค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคไอของข้อมูลปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่1

เวลา (ชั่วโมง)	ผลการทดลอง							การคำนวณ						
	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว ($x_{b,j}$)			เศษส่วนโมลของวัฏภาคไอ ($y_{b,j}$)			อุณหภูมิ (เคลวิน)	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว ($x_{b,j}$)			เศษส่วนโมลของ วัฏภาคไอ ($y_{b,j}$)			อุณหภูมิ (เคลวิน)
	($x_{b,1}$)	($x_{b,2}$)	($x_{b,3}$)	($y_{b,1}$)	($y_{b,2}$)	($y_{b,3}$)		($x_{b,1}$)	($x_{b,2}$)	($x_{b,3}$)	($y_{b,1}$)	($y_{b,2}$)	($y_{b,3}$)	
0.0	0.6050	0.3513	0.0437	-	-	-	323	0.6050	0.3513	0.0437	0.3202	0.6798	0.0000	320.7
0.5	0.6471	0.3027	0.0502	0.3014	0.6929	0.0000	324	0.6534	0.2945	.0521	0.3872	0.6128	0.0000	322.7
1.5	-	-	-	0.3613	0.6329	0.0000	325	0.7067	0.2226	0.0666	0.54913	0.5087	0.0000	325.5
2.5	-	-	-	0.4919	0.5011	0.0000	326	0.7249	0.1966	0.0785	0.5506	0.4494	0.0000	326.8
3.5	-	-	-	0.6676	0.3324	0.0000	329	0.7485	0.1533	0.0981	0.6438	0.3562	0.0000	328.7
4.0	-	-	-	0.7645	0.2355	0.0000	330	0.7622	0.1194	0.1184	0.7229	0.2771	0.0000	330.0
4.5	0.7595	0.0923	0.1482	0.8636	0.1364	0.0000	332	0.7627	0.0890	0.1483	0.7980	0.2020	0.0000	331.9

จากตารางที่ 5.8 สรุปผลการคำนวณค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบน้ำในวัฏภาคของ ไอ ให้ค่าแตกต่างการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 0.0676 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 15.50 เปอร์เซ็นต์ และการคำนวณค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลในวัฏภาคไอให้ค่าแตกต่างจากการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 0.0645 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 19.07 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการคำนวณค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบไกลออกซอลเรซินในวัฏภาคไอ ไม่มีค่าความแตกต่างจากการทดลอง และการคำนวณค่าอุณหภูมิมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณอุณหภูมิจุดเดือด และค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบ น้ำ และเมทานอล ในวัฏภาคไอของข้อมูลปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 1

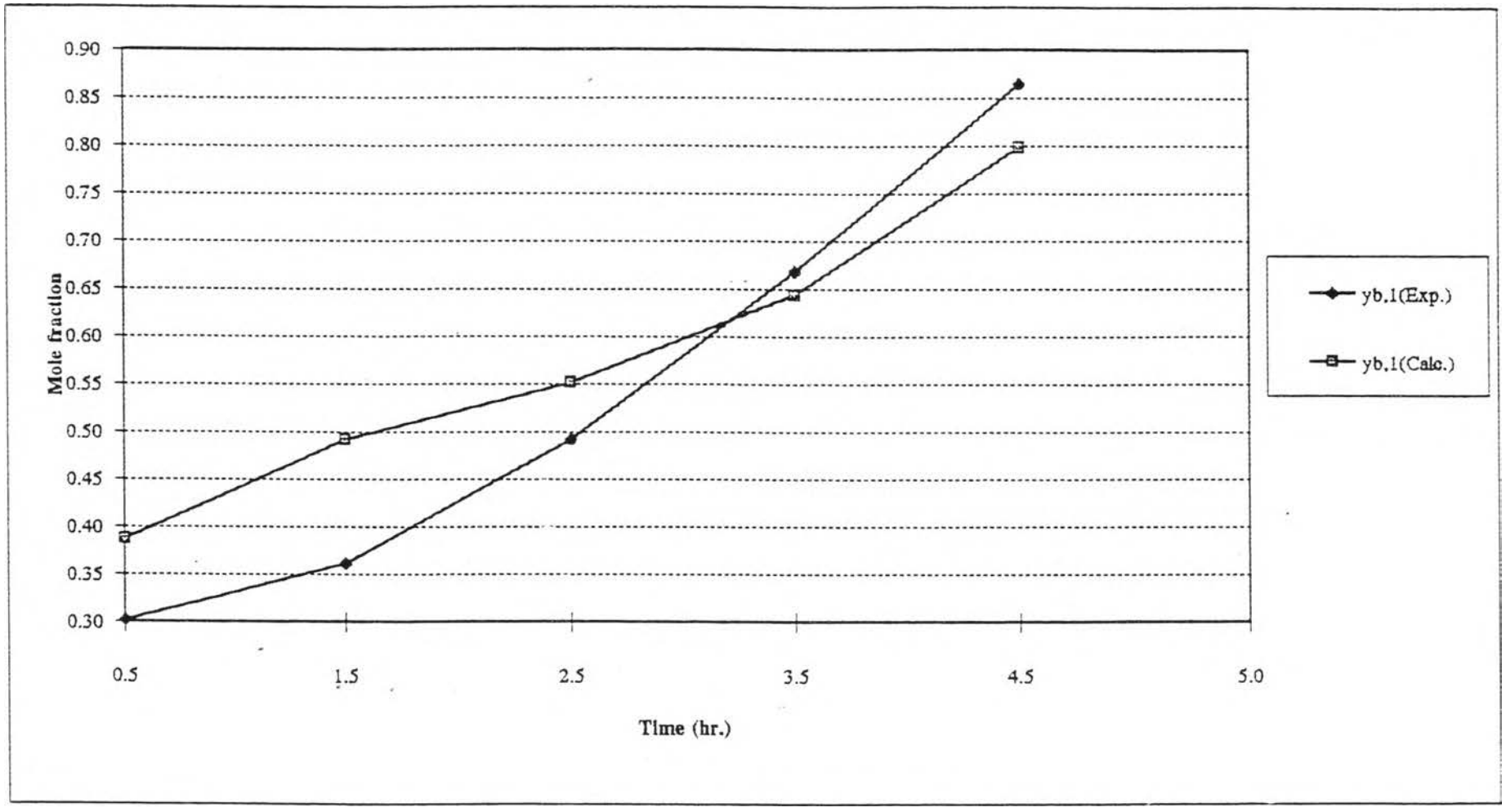
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความแตกต่างของเศษส่วนโมลของสาร($y_{b,i\,(Calc.)} - y_{b,i(Exp.)}$)		ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (เคลวิน)	ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)		
	น้ำ	เมทานอล	$(T_{(Calc.)} - T_{(Exp.)}$	น้ำ	เมทานอล	อุณหภูมิ
0.5	0.0858	-0.0801	-1.3	28.47	11.56	0.40
1.5	0.1300	-0.1242	0.5	35.98	19.62	0.15
2.5	0.0587	-0.0517	0.8	11.93	10.32	0.25
3.5	-0.0238	0.0238	-0.3	3.57	7.16	0.09
4.0	-0.0416	0.0416	0.0	5.44	17.66	0.00
4.5	-0.0656	0.0656	-0.1	7.60	48.09	0.03

เฉลี่ย = 0.0676 เฉลี่ย = 0.0645 เฉลี่ย = 0.37 เฉลี่ย=19.15 เฉลี่ย=19.07 เฉลี่ย=0.15

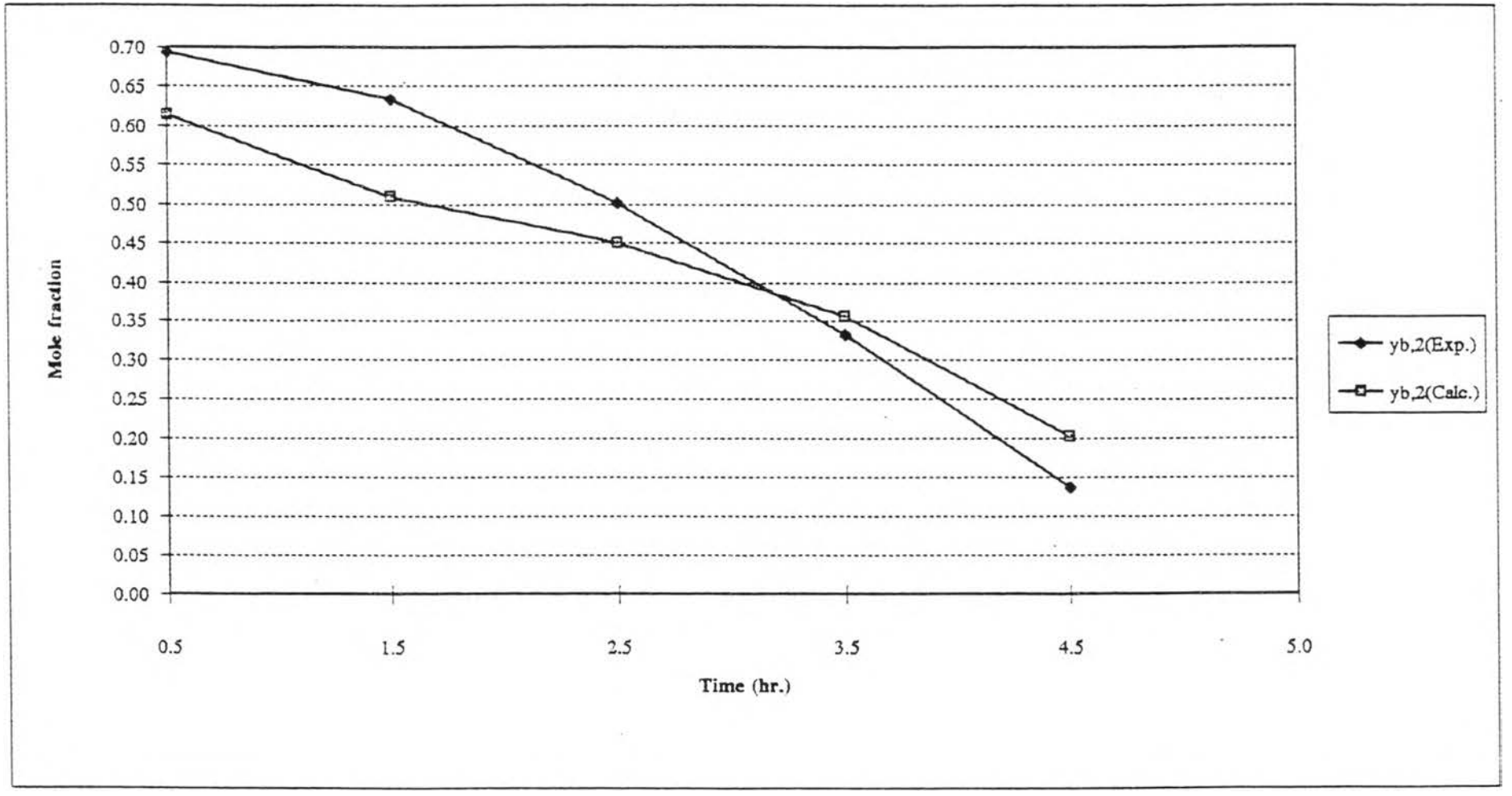
หมายเหตุ Exp. = ค่าจากการทดลอง

Calc. = ค่าจากการคำนวณ

จากตารางที่ 5.8 นำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าของเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลของวัฏภาคไอกับเวลาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองได้กราฟดังรูปที่ 5.3 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบน้ำของวัฏภาคไอกับเวลา เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองได้ ดังกราฟรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบน้ำในวัฏภาคไอกับเวลา



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลในวัฏภาคไอกับเวลา

ง.2 เปรียบเทียบผลปฏิบัติการกลั่นการทดลองที่ 2 จากข้อมูลของตารางที่ 5.4 นำไปคำนวณหาค่าเศษส่วนโมลในวัฏภาคของของเหลว โดยวิธีการในหัวข้อ 5.2.ก. โดยไม่คำนึงถึงองค์ประกอบฟอร์มาลดีไฮด์ และคำนวณหาค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอ โดยวิธีการในหัวข้อ 5.2.ข. เปรียบเทียบผลที่ได้กับโปรแกรมการคำนวณการกลั่นด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเงื่อนไขของการใช้โปรแกรมการคำนวณดังนี้

1. ความดันของระบบคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 0.2105 บรรยากาศ

2. อุณหภูมิของ Jacket คงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 376.5 เคลวิน

3. พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 39,700 ตารางเซ็นติเมตร

4. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมคงที่ตลอดการทดลอง (ได้จากการคำนวณภาคผนวก ข.) เท่ากับ 81.55 $\frac{\text{แคลอรี่}}{(\text{ซม.ซม.}^2\ \text{เคลวิน})}$

5. อุณหภูมิของสายป้อนคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 308 เคลวิน และอัตราการไหลของผสมในสายป้อนคงที่เท่ากับ 28,526 โมล/ชั่วโมง และระยะเวลาการป้อนเท่ากับ 3 ชั่วโมง ค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบของสายป้อน ($x_{f,i}$) มีดังนี้

องค์ประกอบน้ำ ($x_{f,1}$) = 0.5972

องค์ประกอบเมทานอล ($x_{f,2}$) = 0.3575

องค์ประกอบไกลออกซอลเรซิน ($x_{f,3}$) = 0.0453

6. จำนวนโมลเริ่มต้นของผสมในถังปฏิกรณ์เคมี (M_b) เท่ากับ 67,511 โมล ระยะเวลาการกลั่นเท่ากับ 5.5 ชั่วโมง ค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบของสารละลายในถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้นมีดังนี้

องค์ประกอบน้ำ ($x_{b,1}$) = 0.5972

องค์ประกอบเมทานอล ($x_{b,2}$) = 0.3575

องค์ประกอบไกลออกซอลเรซิน ($x_{b,3}$) = 0.0453

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการทดลองกับการคำนวณค่าอุณหภูมิจุดเดือด และการคำนวณค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคไอของข้อมูลปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	ผลการทดลอง							การคำนวณ						
	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว ($x_{b,i}$)			เศษส่วนโมลของวัฏภาคไอ ($y_{b,i}$)			อุณหภูมิ (เคลวิน)	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว ($x_{b,i}$)			เศษส่วนโมลของ วัฏภาคไอ ($y_{b,i}$)			อุณหภูมิ (เคลวิน)
	($x_{b,1}$)	($x_{b,2}$)	($x_{b,3}$)	($y_{b,1}$)	($y_{b,2}$)	($y_{b,3}$)		($x_{b,1}$)	($x_{b,2}$)	($x_{b,3}$)	($y_{b,1}$)	($y_{b,2}$)	($y_{b,3}$)	
0.0	0.5972	0.3575	0.0453	-	-	-	318	0.5972	0.3575	0.0453	0.3080	0.6920	0.0000	314.9
0.5	-	-	-	0.2682	0.7242	0.0000	318	0.6371	0.3108	0.0522	0.3611	0.6389	0.0000	316.5
1.5	-	-	-	0.3254	0.6691	0.0000	318	0.6829	0.2539	0.0631	0.4412	0.5588	0.0000	318.8
2.5	-	-	-	0.4235	0.5727	0.0000	319	0.7027	0.2260	0.0713	0.4894	0.5106	0.0000	319.9
3.5	-	-	-	0.5243	0.4718	0.0000	321	0.7278	0.1890	0.0832	0.5602	0.4398	0.0000	321.5
4.5	-	-	-	0.7675	0.2325	0.0000	330	0.7592	0.1335	0.1073	0.6818	0.3182	0.0000	323.8
5.5	0.8542	0.0247	0.1212	0.9460	0.0540	0.0000	336	0.7662	0.0861	0.1478	0.7995	0.2005	0.0000	325.7

จากตารางที่ 5.10 สรุปผลการคำนวณค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบน้ำในวัฏภาคของไอ ให้ค่าแตกต่างการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 0.0905 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 19.80 เปอร์เซ็นต์ และการคำนวณค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลในวัฏภาคไอให้ค่าแตกต่างจากการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 0.0870 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 59.01 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการคำนวณค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบไกลออกซอลเรซินในวัฏภาคไอ ไม่มีค่าความแตกต่างจากการทดลอง และการคำนวณค่าอุณหภูมิมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณอุณหภูมิจุดเดือด และค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบน้ำ และเมทานอล ในวัฏภาคไอของข้อมูลปฏิบัติการกลั่นของการทดลองที่ 2

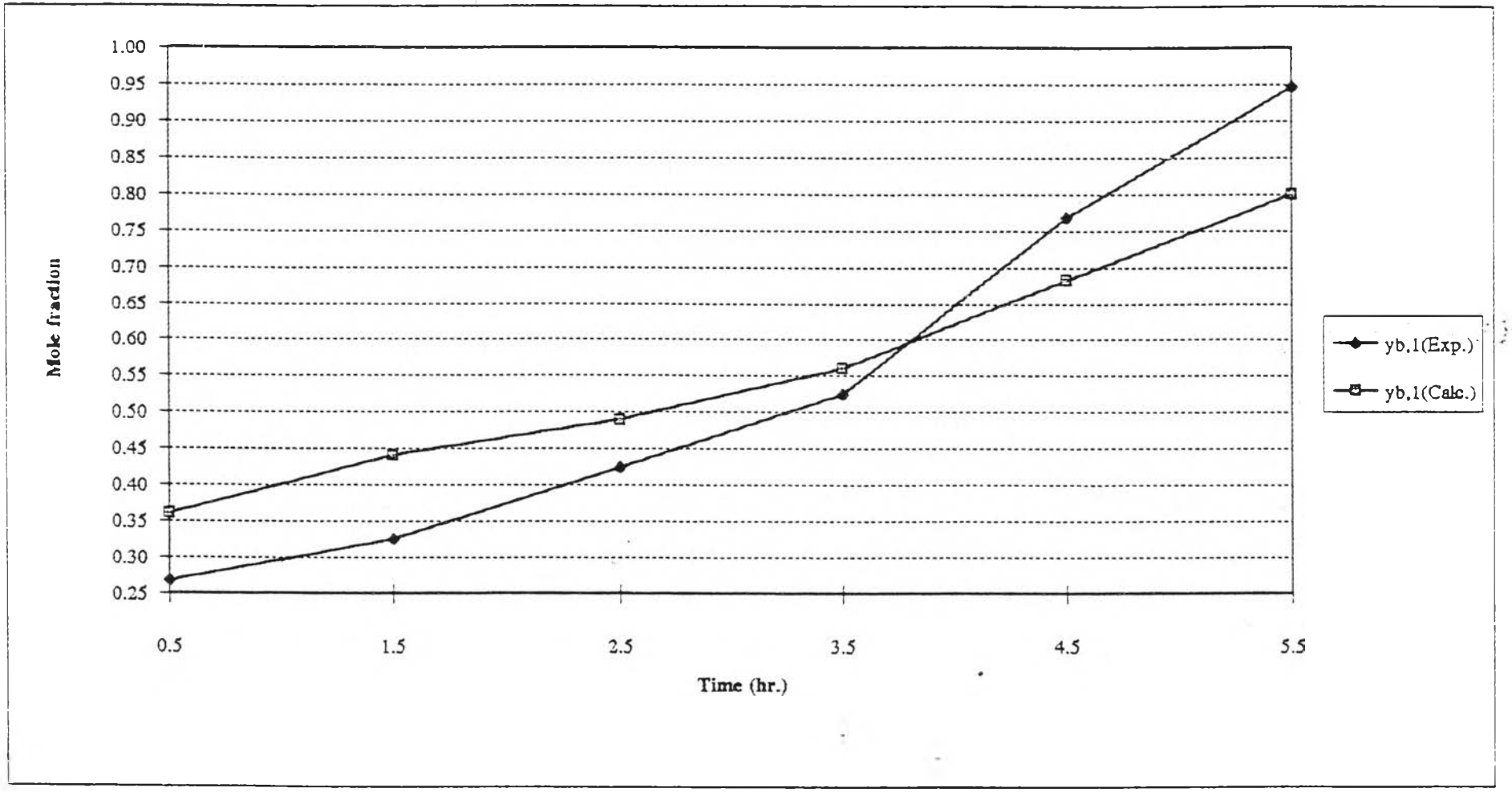
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความแตกต่างของเศษส่วนโมลของสาร($y_{b,i\,(Calc.)}-y_{b,i\,(Exp.)}$)		ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (เคลวิน)	ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)		
	น้ำ	เมทานอล	($T_{(Calc.)}-T_{(Exp.)}$)	น้ำ	เมทานอล	อุณหภูมิ
0.5	0.0929	-0.0853	-1.5	34.64	11.78	0.47
1.5	0.1158	-0.1103	0.8	35.59	16.48	0.25
2.5	0.0659	-0.0621	0.9	15.56	10.84	0.28
3.5	0.0359	-0.0320	0.5	6.85	6.78	0.16
4.5	-0.0857	0.0857	-6.2	11.17	36.86	1.88
5.5	-0.1465	0.1465	-10.3	15.49	271.30	3.07

เฉลี่ย = 0.0905 เฉลี่ย = 0.0870 เฉลี่ย = 3.37 เฉลี่ย = 19.80 เฉลี่ย = 59.01 เฉลี่ย = 1.02

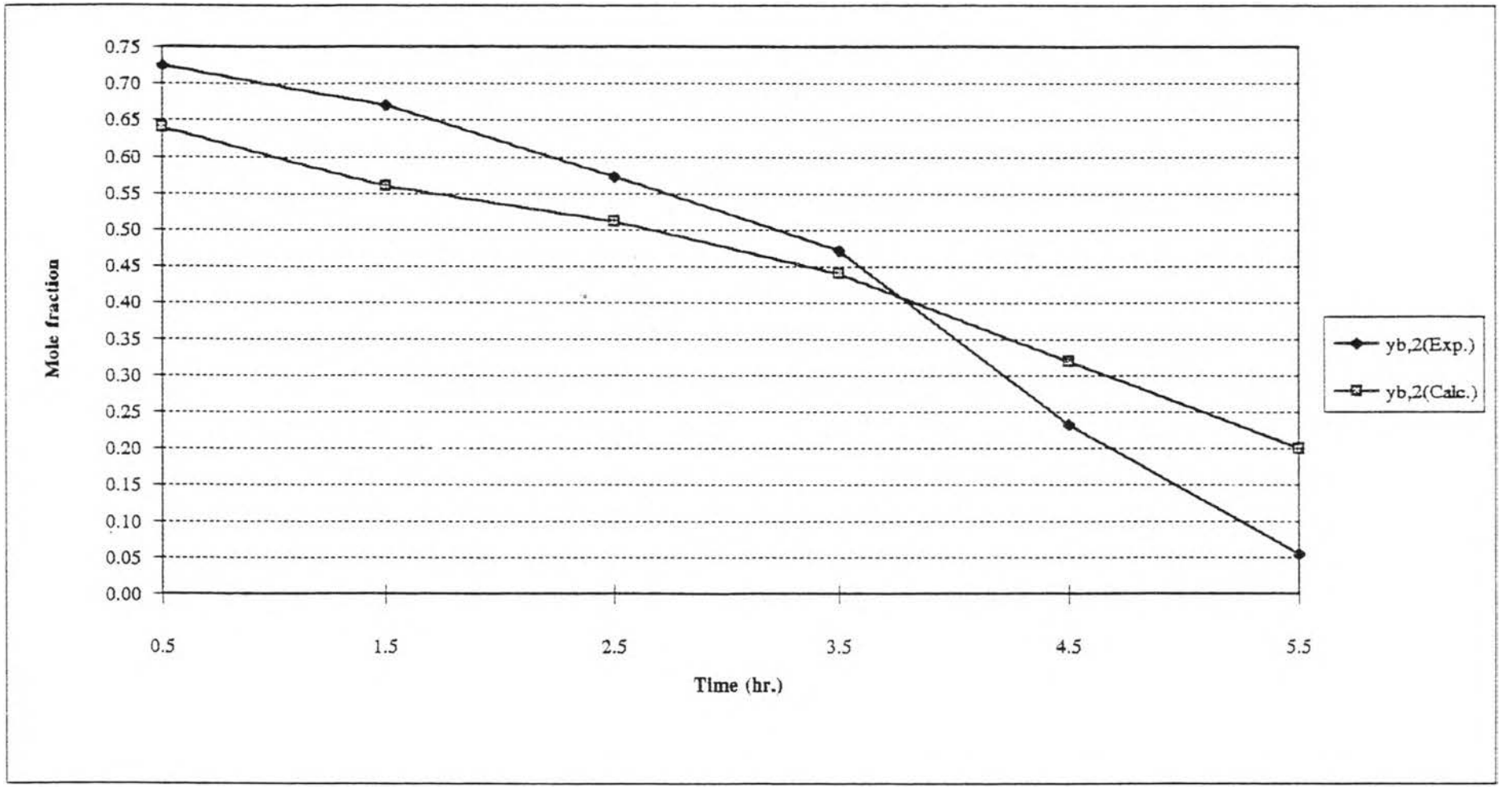
หมายเหตุ Exp. = ค่าจากการทดลอง

Calc. = ค่าจากการคำนวณ

จากตารางที่ 5.10 นำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าของเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลของวัฏภาคไอกับเวลาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองได้กราฟดังรูปที่ 5.5 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบน้ำของวัฏภาคไอกับเวลา เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองได้ ดังกราฟรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบน้ำในวัฏภาคไอกับเวลา



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลในวัฏภาคไอกับเวลา

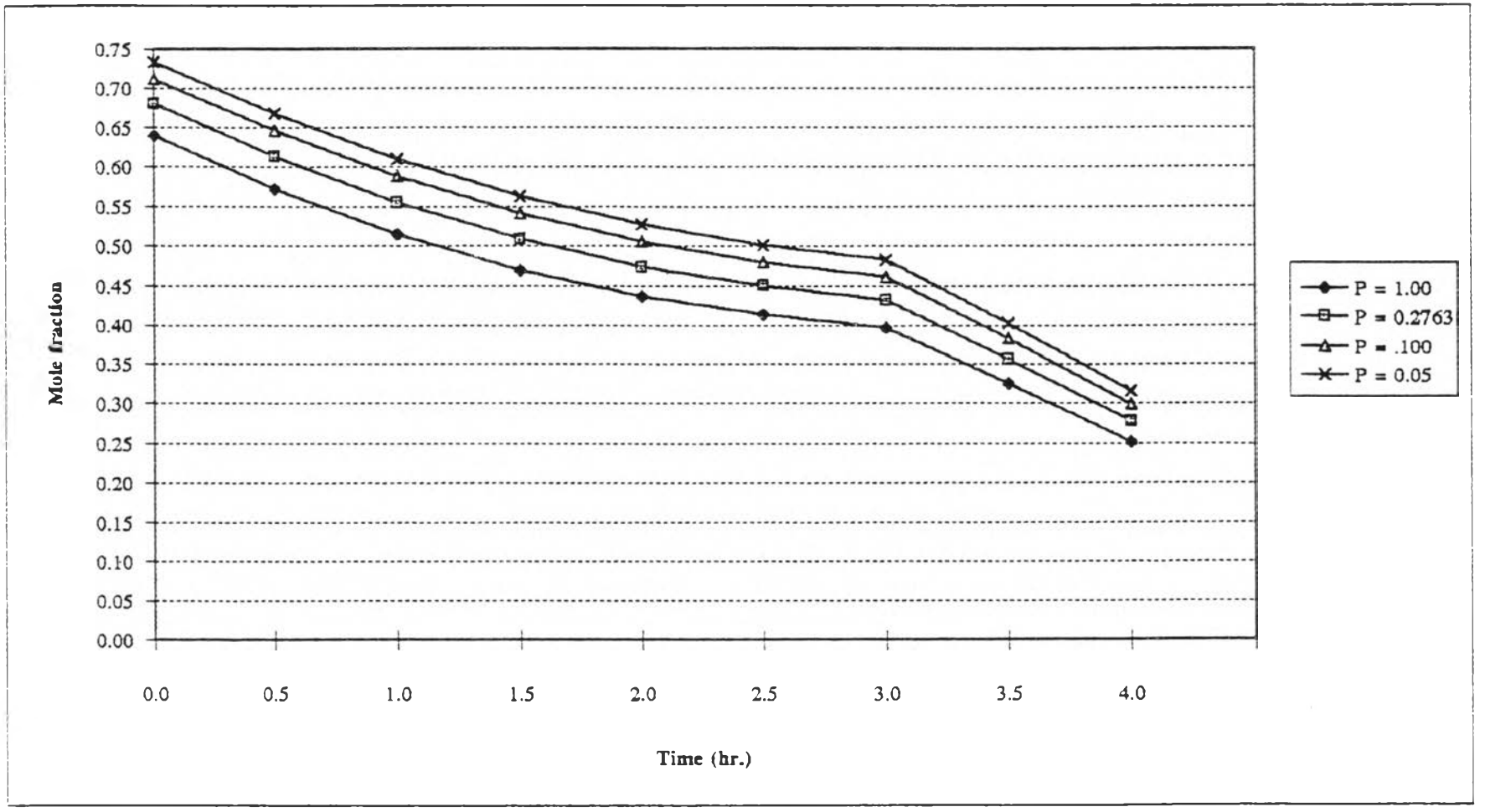
5.3 การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของระบบ และปริมาณความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอ

ก. การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของระบบ ผู้วิจัยใช้โปรแกรมการคำนวณการกลั่นด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการศึกษา โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของระบบที่ 1.000 0.1000 และ 0.050 บรรยากาศ และใช้ค่าความเข้มข้นของวัฏภาคของของเหลวที่ระยะเวลา 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 4.0 ชั่วโมง จากการคำนวณโดยโปรแกรมการคำนวณการกลั่นของหัวข้อ 5.2.ง.1 เป็นค่าอ้างอิงแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบเมทานอลในวัฏภาคของไอเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันของระบบ

เวลา (ชั่วโมง)	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว			เศษส่วนโมลของวัฏภาคของไอเมทานอล ($y_{b,2}$)			
	($x_{b,1}$)	($x_{b,2}$)	($x_{b,3}$)	P = 1.00	P = 0.2763	P = .100	P = 0.05
0.0	0.6050	0.6513	0.0370	0.6392	0.6798	0.7114	0.7325
0.5	0.6534	0.2945	0.0521	0.5716	0.6128	0.6456	0.6678
1.0	0.6861	0.2541	0.0597	0.5144	0.5548	0.5875	0.6101
1.5	0.7067	0.2206	0.0666	0.4697	0.5087	0.5408	0.5632
2.0	0.7149	0.2084	0.0729	0.4365	0.4742	0.5054	0.5274
2.5	0.7249	0.1966	0.7850	0.4128	0.4494	0.4799	0.5015
3.0	0.7273	0.1891	0.0836	0.3960	0.4318	0.4617	0.4830
3.5	0.7485	0.1533	0.0981	0.3249	0.3562	0.3829	0.4022
4.0	0.7622	0.1194	0.1184	0.2515	0.2771	0.2996	0.3160

จากตารางที่ 5.12 แสดงว่าเมื่อค่าความดันของระบบลดลงให้ผลในการคำนวณค่าเศษส่วนโมลในวัฏภาคไอของเมทานอลเพิ่มขึ้น และเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับเศษส่วนโมลในวัฏภาคไอของเมทานอล ที่ค่าความดันของระบบต่างกันกับเวลา ได้กราฟดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลขององค์ประกอบ เมทานอลในวัฏภาคไอ ที่ความดันของระบบต่างกัน

ข. การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนที่ใช้ระบบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอตามเวลา

จากการศึกษาแบบจำลองกระบวนการกลั่นแบบแบตช์ พบว่าปริมาณความร้อนให้กับระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากคุณหภูมิของระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา จากการศึกษาพบว่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการกลั่น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคของไอ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคของไอขึ้นกับค่าเศษส่วนโมลในวัฏภาคของของเหลว ค่าความดันของระบบ ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตี้ และค่าความดันไอของสาร ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ (61)

$$y_i = \frac{x_i \gamma_i P_i^{VP}}{P}$$

การเพิ่มปริมาณความร้อนที่ใช้กับระบบจะมีผลต่อการเพิ่มอัตราการระเหย หรือลดระยะเวลาที่ใช้ในการกลั่น

5.4 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น เพื่อเพิ่มคุณค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น

จากเป้าหมายของงานวิจัยต้องการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น โดยมีเงื่อนไขคือ ของผสมเมทานอลที่ได้จากการกลั่น (ของผสมเมทานอลควบแน่น) มีปริมาณของเมทานอลสูงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าได้ ขั้นแรกผู้วิจัยได้กำหนดความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเมทานอลให้มีปริมาณเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าได้ และใช้โปรแกรมการคำนวณการกลั่นแบบแบตช์พิจารณาเงื่อนไขที่ไม่มีการป้อน ($F_f = 0$) และกำหนดให้ปริมาณของผสมไกลออกซอลเรซินในถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้นเท่ากับ 2.415 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 76.961 โมล และเงื่อนไขการ

คำนวณการกลั่นด้วยคอมพิวเตอร์ ค่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (A_b) ค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนรวม (U_b) และค่าเศษส่วนโมลของผสมไกลออกซอลเรซินเริ่มต้น (X_{bi}) ใช้ค่าเดียวกันกรณีในหัวข้อ 5.2.ง.1 โดยเปรียบเทียบผลเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันระบบที่ 1.000,0.2763,0.2105 และ 0.1000 บรรยากาศ และกำหนดอัตราปริมาณความร้อนที่ให้กับระบบที่สภาวะความดันของระบบที่ 1.0000, 0.2105 และ 0.1000 บรรยากาศ มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการให้ปริมาณความร้อนกับระบบที่สภาวะความดัน 0.2763 บรรยากาศ แสดงการคำนวณค่าอุณหภูมิ Jacket ที่สภาวะความดันของระบบที่ 1.0000, 0.2105 และ 0.1000 บรรยากาศ แลดงได้ดังนี้

จากสมการ (52)

$$Q_b = U_b A_b (T_j - T)$$

สำหรับการทดลองที่ 1

$$P = 0.2763 \text{ บรรยากาศ}$$

$$T_j = 394.4 \text{ เคลวิน}$$

$$U_b = 84.482 \ \frac{\text{แคลอรี่}}{(\text{ซม.ซม.}^2 \text{ เคลวิน})}$$

$$A_b = 39,700 \text{ ตารางเซ็นติเมตร}$$

และที่สภาวะเริ่มต้นคำนวณค่าอุณหภูมิถังปฏิกรณ์ (T) ได้เท่ากับ 320.67 เคลวิน แทนค่าลงในสมการ (54)

$$Q_b = 84.482 \times 3.97 \times (394.4 - 320.67)$$

$$= 2.473 \times 10^8 \ \frac{\text{แคลอรี่}}{\text{ชั่วโมง}}$$

ที่สภาวะ P = 1.000 บรรยากาศ คำนวณค่าอุณหภูมิถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้นได้เท่ากับ 350.75 เคลวิน หาค่า T_j ได้ดังนี้

จากสมการ (54) แทนค่า

$$Q_b = 2.473 \times 10^8 \quad \frac{\text{แคลอรี่}}{\text{ชั่วโมง}}$$

$$T_j - T = \frac{2.473 \times 10^8}{UA}$$

แทนค่า

$$T_j = \frac{2.473 \times 10^8}{84.482 \times 39,700} + T$$

$$T_j = 73.73 + T$$

ดังนั้น

$$T_j = 424.5 \text{ เคลวิน}$$

และที่ P = 0.2105 บรรยากาศ คำนวณค่า T = 315.05 เคลวิน หาค่า T_j = 388.78 เคลวิน และที่ P = 0.1000 บรรยากาศ คำนวณค่า T = 300.77 เคลวิน หาค่า T_j = 388.78 เคลวิน

จากโปรแกรมการคำนวณการกลั่นด้วยคอมพิวเตอร์ ที่สภาวะความดันของระบบ 1 บรรยากาศ ป้อนค่า T_j = 424.5 เคลวิน และที่สภาวะความดันของระบบ 0.1000 บรรยากาศ ป้อนค่า T_j = 374.5 เคลวิน แสดงการคำนวณหาปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นและความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเมทานอลควบแน่น ที่สภาวะความดันของระบบเท่ากับ 1.0000 0.2763,0.2105 และ 0.1000 บรรยากาศ ได้ดังตารางที่ 5.13 5.14 5.15 และ 5.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.13 แสดงปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม และความเข้มข้นของเมทานอลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อสภาวะความดันของระบบเท่ากับ 1.0000 บรรยากาศ

เวลา (ชั่วโมง)	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว		จำนวนโมลรวมในถังปฏิกรณ์แคมี (โมล)	ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (โมล)	ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
	$x_{b,1}$	$x_{b,2}$			
0.00	0.6050	0.3513	76,961	-	-
0.25	0.6287	0.3230	69,948	193,200	74.74
0.50	0.6533	0.2930	62,692	379,100	73.31
0.75	0.6783	0.2614	55,746	556,900	71.70
1.00	0.7027	0.2286	48,983	699,000	68.70
1.25	0.7252	0.1953	42,389	885,800	67.85
1.50	0.7438	0.1624	35,961	1,036,200	65.50
1.75	0.7556	0.1309	29,675	1,176,600	63.04
2.00	0.7548	0.1014	23,487	1,309,300	60.32

ตารางที่ 5.14 แสดงปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม และความเข้มข้นของเมทานอลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อสภาวะความดันของระบบเท่ากับ 0.2763 บรรยากาศ

เวลา (ชั่วโมง)	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว		จำนวนโมลรวมในถังปฏิกรณ์เคมี (โมล)	ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (โมล)	ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
	$x_{b,1}$	$x_{b,2}$			
0.00	0.6050	0.3513	76,961	-	-
0.25	0.6317	0.3202	70,005	190,100	77.85
0.50	0.6595	0.2872	63,202	372,500	76.40
0.75	0.6877	0.2528	56,569	546,000	74.73
1.00	0.7153	0.2176	50,124	709,600	72.82
1.25	0.7408	0.1824	43,876	863,100	70.65
1.50	0.7624	0.1485	37,827	1,005,500	68.24
1.75	0.7776	0.1169	31,962	1,137,600	65.62
2.00	0.7828	0.0887	26,249	1,260,200	62.80

ตารางที่ 5.15 แสดงปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม และความเข้มข้นของเมทานอลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อสภาวะความดันของระบบเท่ากับ 0.2105 บรรยากาศ

เวลา (ชั่วโมง)	เศษส่วนโมลของวิฏภาคของเหลว		จำนวนโมลรวมในถังปฏิกรณ์เคมี (โมล)	ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (โมล)	ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
	$x_{b,1}$	$x_{b,2}$			
0.00	0.6050	0.3513	76,961	-	-
0.25	0.6324	0.3196	70,048	189,700	78.49
0.50	0.6608	0.2860	63,241	371,600	77.02
0.75	0.6897	0.2510	56,708	544,400	75.35
1.00	0.7179	0.2152	50,317	707,400	73.41
1.25	0.7441	0.1796	44,129	859,600	71.23
1.50	0.7663	0.1454	38,146	1,000,700	68.80
1.75	0.7820	0.1139	32,351	1,131,100	66.14
2.00	0.7879	0.0859	26,716	1,252,300	63.30

ตารางที่ 5.16 แสดงปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม และความเข้มข้นของเมทานอลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อสภาวะความดันของระบบเท่ากับ 0.1000 บรรยากาศ

เวลา (ชั่วโมง)	เศษส่วนโมลของวัฏภาคของเหลว		จำนวนโมลรวมในถังปฏิกรณ์เคมี (โมล)	ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (โมล)	ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเมทานอลควบแน่นสะสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
	$x_{b,1}$	$x_{b,2}$			
0.00	0.6050	0.3513	76,961	-	-
0.25	0.6341	0.3179	70,152	189,100	80.22
0.50	0.6645	0.2826	63,506	396,800	78.75
0.75	0.6952	0.2458	57,044	514,000	77.02
1.00	0.7253	0.2085	50,785	702,100	75.05
1.25	0.7531	0.1719	44,741	851,900	72.79
1.50	0.7766	0.1369	38,918	989,800	70.27
1.75	0.7935	0.1053	33,297	1,116,700	67.51
2.00	0.8010	0.0780	267,851	1,233,500	64.58

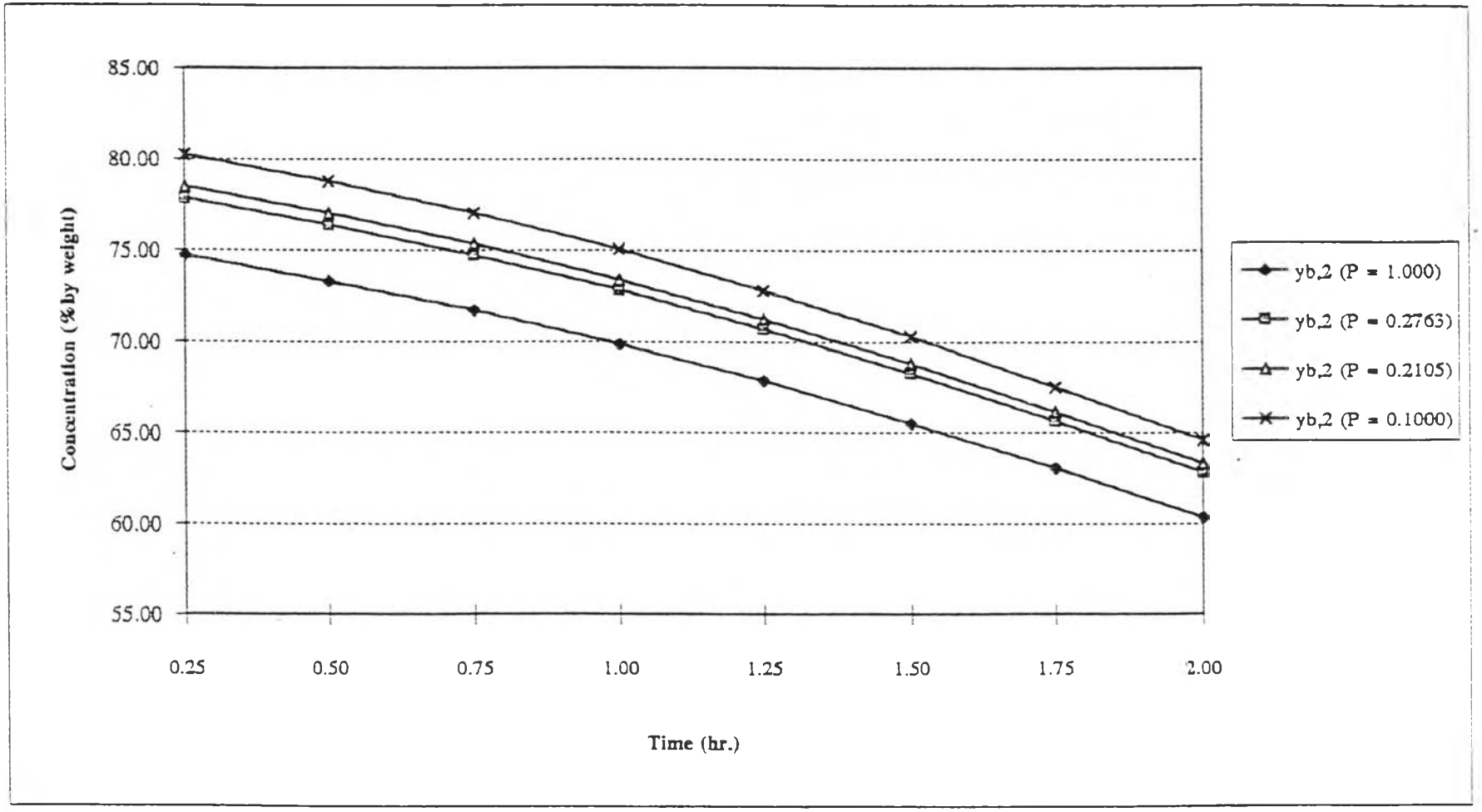
จากการทดลองหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกลั่น พบว่าเมื่อลดค่าความดันของระบบจะให้ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสมที่ได้จากการกลั่น มีความเข้มข้นของเมทานอลสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่น ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความดันของระบบ

ความดันของระบบ (บรรยากาศ)	ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นสะสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ (กิโลกรัม)	ระยะเวลาในการกลั่น (ชั่วโมง)
1.0000	0.00	-
0.2763	372.50	0.50
0.2105	544.40	0.75
0.1000	720.10	1.00

จากการทดลองหาภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น ซึ่งสามารถนำไปปฏิบัติจริงในกระบวนการกลั่น ที่สภาวะความดันของระบบเท่ากับ 0.2105 บรรยากาศ ระยะเวลาในการกลั่นเท่ากับ 0.75 ชั่วโมง ได้ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าเท่ากับ 544.4 กิโลกรัม ต่อปริมาณของผสมไกลออกซอลเรซินเริ่มต้น 2,415 กิโลกรัม

จากตารางที่ 5.13 ถึงตารางที่ 5.16 นำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่ความดันของระบบต่างกันได้กราฟดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลเปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อความดันของระบบต่างกัน

5.5 สรุปวิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

ก. สรุปวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวที่สภาวะความดันต่ำ จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น สามารถทำนายสมดุลไอ-ของเหลวในระบบ 2 องค์ประกอบของน้ำกับเมทานอล ให้ผลการทำนายอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกล่าวคือ ทำนายเศษค่าส่วนโมลของเมทานอลในวัฏภาคไอได้ค่าความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลอ้างอิงเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 เปอร์เซ็นต์ และทำนายค่าอุณหภูมิได้ค่าความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลอ้างอิงเฉลี่ยเท่ากัน 0.37 เปอร์เซ็นต์ การจำลองสมดุลไอ-ของเหลวของของผสมไกลออกซอลเรซิน เป็นระบบ 4 องค์ประกอบของ น้ำ เมทานอล ไกลออกซอลเรซิน และฟอร์มาลดีไฮด์ พบว่าแบบจำลองไม่สามารถทำนายค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอได้ และคำนวณค่าอุณหภูมิได้ต่ำกว่าการทดลองค่อนข้างมาก ซึ่งมีสาเหตุจากองค์ประกอบของฟอร์มาลดีไฮด์มีปริมาณน้อยมากในของผสมไกลออกซอลเรซิน ประกอบกับไม่คำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ทราบปริมาณและเจือปนอยู่ในสารละลาย และเมื่อแบบจำลองสมดุลไอ-ของเหลวของของผสมไกลออกซอลเรซินเป็นระบบ 3 องค์ประกอบของ น้ำ เมทานอล และไกลออกซอลเรซิน พบว่าสามารถทำนายค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของเมทานอล ให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเท่ากับ 9.93 เปอร์เซ็นต์ ทำนายค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของน้ำให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเท่ากับ 24.71 เปอร์เซ็นต์ ทำนายค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของไกลออกซอลเรซินได้ค่าไม่แตกต่างจากการทดลอง และทำนายค่าอุณหภูมิคลาดเคลื่อนจากการทดลองเท่ากับ 0.49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทำนายค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของน้ำและเมทานอลค่อนข้างแตกต่างจากการทดลอง มีสาเหตุมาจากการไม่คำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ทราบปริมาณและเจือปนอยู่ในของผสม และประกอบกับขาดข้อมูลทางด้านอุณหพลศาสตร์ของของค์ประกอบไกลออกซอล ทำให้ผลการทำนายคลาดเคลื่อนจากการทดลอง และในการทำนายค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของเม-

ทานอลที่เปลี่ยนตามเวลาของการปฏิบัติการกลั่น สำหรับปฏิบัติการกลั่นจากการทดลองที่ 1 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 19.07 เปอร์เซ็นต์ และปฏิบัติการกลั่นจากการทดลองที่ 2 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 59.01 เปอร์เซ็นต์ การทำนายเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของน้ำที่เปลี่ยนตามเวลา สำหรับการปฏิบัติการกลั่นจากการทดลองที่ 1 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 19.15 เปอร์เซ็นต์ และการปฏิบัติการกลั่นจากการทดลองที่ 2 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 19.88 เปอร์เซ็นต์ การทำนายค่าอุณหภูมิตลอดเวลาปฏิบัติการกลั่น สำหรับการปฏิบัติการกลั่นจากการทดลองที่ 1 ให้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ และปฏิบัติการกลั่นจากการทดลองที่ 2 ให้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทำนายเศษส่วนโมลวัฏภาคไอของเมทานอลจากการทดลองที่ 1 และปฏิบัติการกลั่นการจากทดลองที่ 2 ค่อนข้างแตกต่างกันมาก มีสาเหตุจากปฏิบัติการกลั่นจากการทดลองที่ 2 ที่ระยะเวลา 5.0 ถึง 5.5 ชั่วโมง ขณะทำการปฏิบัติการกลั่นได้เพิ่มค่าอุณหภูมิ Jacket ค่อนข้างมาก ซึ่งแตกต่างจากเงื่อนไขของแบบจำลอง (แบบจำลองกำหนดให้อุณหภูมิของ Jacket คงที่ตลอดการทดลอง) ทำให้การทำนายค่าเศษส่วนโมลในวัฏภาคของเหลวคลาดเคลื่อน เป็นผลให้การคำนวณค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอคลาดเคลื่อนจากการทดลองมาก

การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าของความดันของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเศษส่วนโมลของวัฏภาคไอของเมทานอล พบว่าเมื่อค่าความดันของระบบลดลง ให้ผลการคำนวณค่าเศษส่วนโมลของเมทานอลเพิ่มขึ้น และสำหรับการทดลองเมื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นโดยมีเงื่อนไข คือ ของผสมเมทานอลควบแน่นที่ได้มีค่าความเข้มข้นของเมทานอลอยู่ในของผสมมากกว่า 75.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุในการผลิตสินค้าได้ พบว่าเมื่อลดค่าความดันของระบบ ทำให้ได้ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นที่มีค่าความเข้มข้นของเมทานอลสูงเพิ่มขึ้น และภาวะที่เหมาะสมในการกลั่น ซึ่งสามารถนำไปปฏิบัติจริงในกระบวนการกลั่น คือที่สภาวะ

ความดันของระบบเท่ากับ 0.2105 บรรยากาศ ระยะเวลาการกลั่นเท่ากับ 0.75 ชั่วโมง ปริมาณของผสมเมทานอลควบแน่นที่ได้เท่ากับ 544.4 กิโลกรัมต่อปริมาณของผสมไกลออกซอลเรซิน เริ่มต้น 2,415 กิโลกรัม ได้สารผสมเมทานอลมีค่าความเข้มข้นของเมทานอเท่ากับ 75.35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และในกรณีเปรียบเทียบกับกรณีแบ่งของผสมไกลออกซอลเรซินออกเป็น 2 ส่วน เมื่อนำป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ขณะทำการกลั่น โดยกำหนดให้ของผสมไกลออกซอลเรซินในถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้นเท่ากับ 1,207 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 38,480 โมล และกำหนดอัตราการไหลของสายป้อนเท่ากับ 402 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ระยะเวลาการป้อนเท่ากับ 3 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเมทานอลควบแน่นที่ได้ในชั่วโมงแรกของการกลั่นมีค่าน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลจากการลดปริมาณของผสมไกลออกซอลเรซินในถังปฏิกรณ์เคมีเริ่มต้น

ข. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษากระบวนการกลั่นจากระบบของผสมไกลออกซอลเรซิน ยังขาดข้อมูลทางด้านอุณหพลศาสตร์ขององค์ประกอบไกลออกซอลเรซินกล่าวคือ ข้อมูลสมดุลไอ-ของเหลว และข้อมูลจากการทำนายค่าความดันไอ เนื่องจากองค์ประกอบไกลออกซอลเรซินในสภาวะปกติเป็นของผสมเนื้อเดียวกันกับน้ำ เมทานอล และองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งผู้วิจัยยังขาดเทคนิคในการแยกองค์ประกอบไกลออกซอลเรซินออกจากของผสมดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถหาข้อมูลสมดุลไอ-ของเหลวจากการทดลองได้โดยตรง ซึ่งอาจเป็นผลให้การทำนายความเข้มข้นในวัฏภาคไอคลาดเคลื่อน หากสามารถแยกองค์ประกอบไกลออกซอลเรซินให้ได้ความบริสุทธิ์สูง อาจให้ประโยชน์ในด้านการศึกษาและวิจัย