ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรน

ตาราง ก.1 การทดลองหาขนาดรูพรุนที่ใหญ่ที่สุด

ชนิดของเมมเบรน	ความดัน(บาร์)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
No PVP	1.4	1.6	1.8
PVP 1	0.8	0.7	0.7
PVP 3	0.4	0.5	0.5
PVP 5	0.3	0.4	0.3

ตาราง ก.2 ข้อมูลการทดลอง Gas permeation Test ของเมมเบรน No-PVP

เมมเบรน	ความดัน (bar)	ปริมาตร (cm^2)	เวลา (s) 1	เวลา (s) 2
No-PVP	0.1	20	972	1087
	0.2	20	950	1070
	0.3	20	913	939
	0.4	20	873	897
	0.5	20	810	822
	0.6	20	758	731
	0.7	20	669	707
	0.8	20	624	660
	0.9	20	570	600
	1.0	20	520	9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดลอง Gas permeation Test ของเมมเบรน PVP 1 (ต่อ)

เมมเบรน	ความดัน (bar)	ปริมาตร (cm2)	เวลา (s) 1	เวลา (s) 2
PVP 1	0.1	20	912	928
	0.2	20	879	881
	0.3	20	835	791
	0.4	20	780	759
	0.5	20	709	689
	0.6	20	660	663
	0.7	20	611	631
	0.8	20	570	622
	0.9	20	518	518
	1.0	20	475	440

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดลอง Gas permeation Test ของเมมเบรน PVP 3 (ต่อ)

เมมเบรน	ความดัน (bar)	ปริมาตร (cm2)	เวลา (s) 1	เวลา (s) 2
PVP 3	0.1	20	924	921
	0.2	20	892	890
	0.3	20	836	838
	0.4	20	755	757
	0.5	20	710	700
	0.6	20	643	648
	0.7	20	585	575
	0.8	20	528	522
	0.9	20	469	429
	1.0	20	400	390

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดลอง Gas permeation Test ของเมมเบรน PVP 5 (ต่อ)

เมมเบรน	ความดัน (bar)	ปริมาตร (cm2)	เวลา (s) 1	เวลา (s) 2
PVP 5	0.1	20	908	853
	0.2	20	799	715
	0.3	20	769	684
	0.4	20	739	653
	0.5	20	675	572
	0.6	20	622	530
	0.7	20	540	458
	0.8	20	510	409
	0.9	20	447	357
	1.0	20	374	283

ตาราง ก.3 ผลการทดลองหาค่าความพรุนของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง

ค่า น้ำหนัก Pycnometer+Alcohol	53.0644	g
ค่า Pycnometer +H_2O	58.4516	g
G ของน้ำ ที่ 23 °C	997.538	g/ml
G ของแอลกอฮอล์ที่ 20 °C	786	g/cm^3
ค่าความหนาแน่นของอากาศ	1.205	kg/m^3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูล	เมมเบรน			
	No PVP	PVP 1	PVP 3	PVP 5
น้ำหนักขวด Pycnometer (g)	33.633	33.6331	33.6329	33.6329
น้ำหนัก membrane (g)	0.613	0.7925	0.4999	0.6754
น้ำหนักขวด Pycnometer ,membrane และAlcohol (g) 20 นาที	52.9344	52.1213	52.1394	53.009
น้ำหนักขวด Pycnometer ,membrane และ น้ำ (g)	54.778	53.3234	54.4412	57.0039

ตาราง ก.3 ผลการทดลองหาค่าความพรุนของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง(ต่อ)

ค่า น้ำหนัก Pycnometer+Alcohol	53.6856	g
ค่า Pycnometer +H_2O	55.8562	g
G ของน้ำ ที่ 23 °C	0.997538	g/ml
G ของแอลกอฮอล์ที่ 20 °C	0.786	g/cm^3
ค่าความหนาแน่นของอากาศ	1.205	kg/m^3

ข้อมูล	เมมเบรน			
	No PVP	PVP 1	PVP 3	PVP 5
น้ำหนักขวด Pycnometer (g)	33.6328	33.6331	33.633	33.6331
น้ำหนัก membrane (g)	0.6650	0.6812	0.7023	0.6860
น้ำหนักขวด Pycnometer ,membrane และAlcohol (g) 20 นาที	52.8383	52.8800	53.0003	53.0229
น้ำหนักขวด Pycnometer ,membrane และ น้ำ (g)	56.6300	56.8872	56.7600	57.5961

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก.4 ข้อมูลการทดลองค่าฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรน PVP 1

เมมเบรน	ความดัน (kPa)	พื้นที่เมมเบรน (m^2)	ค่าฟลักซ์น้ำ สะอาด 1 (LHM)	ค่าฟลักซ์น้ำ สะอาด 2 (LHM)	ค่าฟลักซ์น้ำสะอาด เฉลี่ย(LHM)
PVP 1	13.33	0.002121	10.05	10.10	10.08
	20.00	0.002121	10.28	10.46	10.37
	26.66	0.002121	11.93	12.50	12.21
	33.33	0.002121	13.72	13.72	13.72
	40.00	0.002121	15.70	16.88	16.29

ตาราง ก.4 ข้อมูลการทดลองค่าฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรน PVP 3(ต่อ)

เมมเบรน	ควาดัน (kPa)	พื้นที่เมมเบรน (m^2)	ค่าฟลักซ์น้ำ สะอาด 1 (LHM)	ค่าฟลักซ์น้ำ สะอาด 2 (LHM)	ค่าฟลักซ์น้ำสะอาด เฉลี่ย(LHM)
PVP 3	13.33	0.002121	10.43	11.13	10.78
	20.00	0.002121	10.02	11.08	10.55
	26.66	0.002121	12.54	12.31	12.43
	33.33	0.002121	13.58	14.48	14.03
	40.00	0.002121	18.06	17.17	17.61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก.4 ข้อมูลการทดลองค่าฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรน PVP 5(ต่อ)

เมมเบรน	ความดัน (kPa)	พื้นที่เมมเบรน (m^2)	ค่าฟลักซ์น้ำสะอาด 1 (LHM)	ค่าฟลักซ์น้ำสะอาด 2 (LHM)	ค่าฟลักซ์น้ำสะอาดเฉลี่ย(LHM)
PVP 5	13.33	0.002121	11.60	10.61	11.11
	20.00	0.002121	11.79	12.03	11.91
	26.66	0.002121	14.05	13.44	13.75
	33.33	0.002121	14.62	15.80	15.21
	40.00	0.002121	19.00	18.39	18.70

ตาราง ก.5 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำที่ผ่านการกรอง

พารามิเตอร์	น้ำดิบ			PVP 1			PVP 3			PVP 5		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ความขุ่น (NTU)	900	901.5	900.75	0.6	0.55	0.58	0.71	0.63	0.67	0.68	0.47	0.58
ของแข็งแขวนลอย (มก/ล.)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
สีในน้ำ (หน่วยแพลตตินัมโคบอลล์)	7.88	7.87	7.875	0.23	0.23	0.23	0.28	0.27	0.275	0.36	0.39	0.375

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก.6 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่ผ่านการกรอง

พารามิเตอร์	น้ำดิบ			PVP 1			PVP 3			PVP 5		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ซีโอดี(มก./ล.)	37	32.1	34.55	6.9	9.88	8.39	9.4	10.26	9.83	7.8	8.36	8.08
เอฟซีโอดี (มก./ล.)	3.96	6.46	5.21	3.08	3.04	3.06	1.76	1.52	1.64	1.32	2.27	1.795
ทีโอซี (มก./ล.)	7.10	7.34	7.22	1.89	1.49	1.69	1.57	2.00	1.78	2.03	1.82	1.93
พีเอช	7.11	7.12	7.12	7.0	7.01	7.01	6.98	7.0	6.99	7.14	7.10	7.12
แคลเซียมไอออน (มก./ล.ในรูปของหินปูน)	16.03	12.02	14.03	14.70	8.02	11.36	10.69	7.37	9.03	10.69	7.21	8.95
คลอไรด์ไอออน (มก./ล.)	7.5	5.998	6.75	3.06	1.999	2.53	2.499	1.749	2.12	2.00	1.00	1.50

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก.7 คุณสมบัติทางชีวภาพของน้ำที่ผ่านการกรอง

พารามิเตอร์	น้ำดิบ			PVP 1			PVP 3			PVP 5		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
โคลิฟอร์มทั้งหมด (ดัชนีเอ็มพีเอ็นต่อ100 มล.)	920	1600	1260	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ฟีคอลล์โคลิฟอร์ม (ดัชนีเอ็มพีเอ็นต่อ100 มล.)	280	350	315	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ก.8 มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก 2006

Standard of Dinking Water (WHO)		
Toxic Substance	**Maximum Allowable (**mg/l)	
Lead (as Pb)	0.05	
Selenium (as Se)	0.01	
Arsenic (as As)	0.05	
Chromium (as Cr hexavalent)	0.05	
Cyanide (as CN)	0.2	
Cadmium	0.01	
Substance	**Substances Affecting the Potability of Water Max.Acceptable**	**Max.Allowable** 1,500 mg/l
Total Solids	500 mg/l	50 Units
Color	5 Units	25 Units
Turbidity	5 Units	-
Taste	Unobjectionable	-
Odor	Unobjectionable	1.0 mg/l
Iron (Fe)	0.3 mg/l	0.5 mg/l
Manganese (Mn)	0.1 mg/l	1.5 mg/l
Copper (Cu)	1.0 mg/l	15 mg/l
Zinc (Zn)	5.0 mg/l	200 mg/l
Calcium (Ca)	75 mg/l	150 mg/l
Magnesium (Mg)	50 mg/l	400 mg/l
Sul fate (SO_4)	20 mg/l	600 mg/l
Chloride (Cl)	200 mg/l	
pH range	7.0-8.5	1,000 mg/l
Magnesium + Sodium Sulfate	500 mg/l	0.002 mg/l
Phenolic Substances (as Phenol)	0.001 mg/l	0.5 mg/l
Carbon Chloroform Extract	0.2 mg/l	1.0 mg/l
Alkyl Benzyl Sulfonates	0.5 mg/l	
Standard of Bacteriological Quality	90% of Samples in year negative for coli forms i.e.	
	90% of Samples MPN < 1.0	
	No Samples MPN>10	
	MPN 8-10 not to occur in Consecutive Sample	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

รายการคำนวณประกอบการทดลอง

ข.1 รายการคำนวณหาค่า Effective Porosity, ε/Lp (การทดสอบ Gas permeation test **)**

เมื่อได้ค่าเวลาความเร็วของฟองน้ำสบู่ที่ลอยตัวอยู่ภายในบิวเรทในระยะทางที่กำหนดแล้ว สามารถนำไปคำนวณหาค่ารัศมีรูพรุนเฉลี่ยได้ดังสมการ (Khayet and Matsuura,2001)

$$B = \frac{4}{3}\left(\frac{2}{\pi MRT}\right) 0.5 \times \frac{r\varepsilon}{Lp} + \frac{Pm}{8\mu RT}\frac{r2\,\varepsilon}{Lp} = \mathrm{Io} + \mathrm{SoPm}$$

โดยที่ B = ค่าการซึมผ่านของก๊าซ

S_0= ความชันของกราฟของค่าการซึมผ่านของก๊าซกับค่าความดันเฉลี่ย

I_0 = ค่าจุดตัดแกน Y

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = ค่าอุณหภูมิ

M = ค่ามวลโมเลกุล

P_m= ค่าความดันเฉลี่ย

Lp = ค่าความคดเคี้ยวของเมมเบรน

μ= ค่าความหนืดของก๊าซ

เมื่อคำนวณหาค่าการซึมผ่านของก๊าซได้แล้วนำค่าการซึมผ่านของก๊าซกับค่าความดันเฉลี่ยไปพล๊อตกราฟเพื่อหาค่าความชันของกราฟของค่าการซึมผ่านของก๊าซกับค่าความดันเฉลี่ย(S_0) และค่าจุดตัดแกน Y (I_0) ค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาค่ารัศมีรูพรุนเฉลี่ยดังสมการ (Khayet and Matsuura,2001)

$$\mathrm{r} = \frac{16}{3} \times \frac{\mathrm{So}}{\mathrm{Io}} \times \left(\frac{8RT}{\pi M}\right)^{0.5} \times \mu$$

ในกรณีความพรุนประสิทธิผลสามารถคำนวณได้ดังสมการ (Khayet and Matsuura,2001)

$$\varepsilon/\mathrm{Lp} = \frac{8\mu RT}{r^2} \times S_0$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

No-PVP :

สามารถคำนวณหารัศมีรูพรุนเฉลี่ยและความพรุนประสิทธิผลได้

$$r = \frac{16}{3} \times \frac{So}{Io} \times \left(\frac{8RT}{\pi M}\right)^{0.5} \times \mu$$

$$= \frac{16}{3} \times \frac{1\times10^{-13}}{2\times10^{-9}} \times \left(\frac{8\times8.314\times298}{\pi\times28}\right)^{0.5} \times 1.785\times10^{-5}$$

$$= 7.145\times10^{-8}\ \text{m}$$

$$\varepsilon/Lp = \frac{8\mu RT}{r^2} \times S_0$$

$$= \frac{8\times1.785\times10^{-5}\times8.314\times298}{(7.145\times10^{-8})^2} \times 1\times10^{-13}$$

$$= 6.930\ \text{m}^{-1}$$

ข.2 รายการคำนวณหาค่าฟลักซ์(LHM)

เมมเบรนPVP3 ที่ความดัน 33.33 kPa :

$$\text{Flux} = \frac{\text{flow rate}}{area} \quad ; \text{ area} = 2\pi rh \times \text{จำนวนเส้นเมมเบรน}$$

$$= \frac{2\pi\times0.25\times150\times9}{1\times10^{6}} = 0.002121\ \text{m}^2$$

$$\text{Flux} = \frac{19.8\times10^{-3}}{0.002121}$$

$$= 9.34\ \ \text{L/m}^2\,\text{h}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข.3 รายการคำนวณหาค่าความพรุนที่ใหญ่ที่สุด

กำหนดให้ ผลต่างความดัน 1.4 bar ความถ่วงจำเพาะของน้ำ ที่อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส มีค่า 72.3×10^{-3} N/m^2 มุมของหยดน้ำ มีค่า 0 องศา (1 bar = 10^5 N/m^2)

จากสูตร $\Delta P = \frac{2\gamma cos\theta}{r}$ กำหนดให้ ΔP =ค่าผลต่างความดัน

γ = ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

θ = มุมของหยดน้ำ

r =ค่าความพรุน

$$r = \frac{2 \times 72.3 \times 10^{-3} \times 10^5 \times cos0^\circ}{1.4} = 1.0329 \ \mu m$$

ข.4 รายการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความพรุนของเมมเบรน

กำหนดให้

ค่า น้ำหนัก Pycnometer+Alcohol	53.6856	g
ค่า Pycnometer +น้ำ	55.8562	g
G ของน้ำ ที่ 23 °C	0.997538	g/ml
G ของแอลกอฮอล์ ที่ 20 °C	786	g/cm^3
ค่าความหนาแน่นของอากาศ	1.205	kg/m^3
น้ำหนักขวด Pycnometer	33.6328	g
น้ำหนัก membrane	0.6473	g
น้ำหนักขวด Pycnometer ,membrane และAlcohol 20 นาที	53.4831	g
น้ำหนักขวด Pycnometer ,membrane และ น้ำ	52.1831	g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสูตร $G = \frac{(W-P)}{(W_1-P)-(W_2-W)}$ กำหนด G= ความถ่วงจำเพาะ

P = น้ำหนักขวด Pycnometer

W = น้ำหนักขวด Pycnometer กับเมมเบรน

W_1= น้ำหนักขวด Pycnometer กับน้ำ

W_2= น้ำหนักขวด Pycnomete เมมเบรนและน้ำ

ซึ่งจะได้ ค่า G ของเมมเบรนที่แช่ในน้ำ = 0.1498 g/ml

ค่า G ของเมมเบรนที่แช่ในAlcohol = 0.7617 g/cm^3

คำนวณหาค่าสัมบูรณ์ของความหนาแน่นของเมมเบรน

ค่าสัมบูรณ์ของความหนาแน่นของเมมเบรน = [G×(W_1-ความหนาแน่นของอากาศ)]+ความหนาแน่นของอากาศ

ซึ่งได้ค่า ค่าสัมบูรณ์ของความหนาแน่นของเมมเบรนที่แช่ในน้ำ = 150.4797

ค่าสัมบูรณ์ของความหนาแน่นของเมมเบรนที่แช่ใน Alcohol = 598.9901

คำนวณหาค่าค่าความพรุนของเมมเบรน (Porosity)

ค่าความพรุนของเมมเบรน (Porosity) = $\frac{\text{ค่าสัมบูรณ์ของความหนาแน่นของเมมเบรนที่แช่ในน้ำ}}{\text{ค่าสัมบูรณ์ของความหนาแน่นของเมมเบรนที่แช่ในแอลกอฮอล์}}$

ซึ่งได้ค่า ค่าความพรุนของเมมเบรน (Porosity) = 0.2512

ค่าเปอร์เซ็นความพรุน = 0.2512x100 = 25.12 %

การคำนวณหาค่าความต้านทานเมมเบรน (R_m) และ ความต้านทานฟาล์วลิ่ง (R_f) ที่ P=33.33 kPa

จาก

$$J_V = \frac{\Delta P}{\mu v R t} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ

J_v = ค่าฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านการกรอง ($m^3/m^2.s$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

P = ผลต่างความดันที่ผิวเมมเบรนด้านสารละลายป้อนกับน้ำที่ผ่านการกรอง (Pa)

μ_v = ความหนืดของสารละลาย (Pa.s)

R_t = ความต้านทานรวม (m^{-1})

ข.5 การคำนวณหาค่าความต้านทานเมมเบรน (R_m)

กำหนดให้

เมมเบรน PVP1 มีค่าฟลักซ์น้ำสะอาดเท่ากับ 12.21 LMH

คำนวณ ค่า R_t ของเมมเบรน PVP1 ได้ว่า

แทนค่า $\frac{12.21 \times 10^{-3}\ m^3}{3600\ m^2.s} = \frac{33.33 \times 10^3\ Pa}{0.001\ Pa.s\ R_t}$

$\frac{3.39 \times 10^{-6}\ m}{s} = \frac{33.33 \times 10^6}{s\ R_t}$

ได้ค่า $R_t = 9.83 \times 10^{12}\ m^{-1}$ ซึ่งในการกรองน้ำสะอาดค่า $R_t = R_m$

ดังนั้น ค่า R_t ของเมมเบรน

เมมเบรน PVP1 มีค่า $R_t = 9.83 \times 10^{12}\ m^{-1}$

การคำนวณหาค่าความต้านทานฟาล์วลิ่ง (R_f)

กำหนดให้

PVP1 มีค่าฟลักซ์น้ำดิบเท่ากับ 0.23 $m^3/m^2.day$

คำนวณ ค่า R_t ของเมมเบรน PVP1 ได้ว่า

$\frac{0.23\ m^3}{86400\ m^2.s} = \frac{33.33 \times 10^3\ Pa}{0.001\ Pa.s\ R_t}$

$\frac{2.66 \times 10^{-6}\ m}{s} = \frac{33.33 \times 10^6}{s\ R_t}$

$R_t = 12.53 \times 10^{12}\ m^{-1}$

จากฟลักซ์น้ำสะอาดค่า $R_t = R_m$

ดังนั้นค่า R_f (R fouling) สามารถคำนวณได้

$R_f = R_t - R_m$

ดังนั้น เมมเบรน PVP1 มีค่า $R_f = 12.53 - 9.83 = 2.70 \times 10^{12}\ m^{-1}$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายจักรพงษ์ ทองพิทักษ์
วัน เดือน ปี เกิด	20 สิงหาคม 2528
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมตอนต้น
	โรงเรียนเบญจะมะมหาราช จังหวัดอุบลราชธานี
	ปีการศึกษา 2533
	สำเร็จการศึกษามัธยมตอนปลาย
	โรงเรียนเบญจะมะมหาราช จังหวัดอุบลราชธานี
	ปีการศึกษา 2546
	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาชีวเคมีและชีวเคมีเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์
	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved