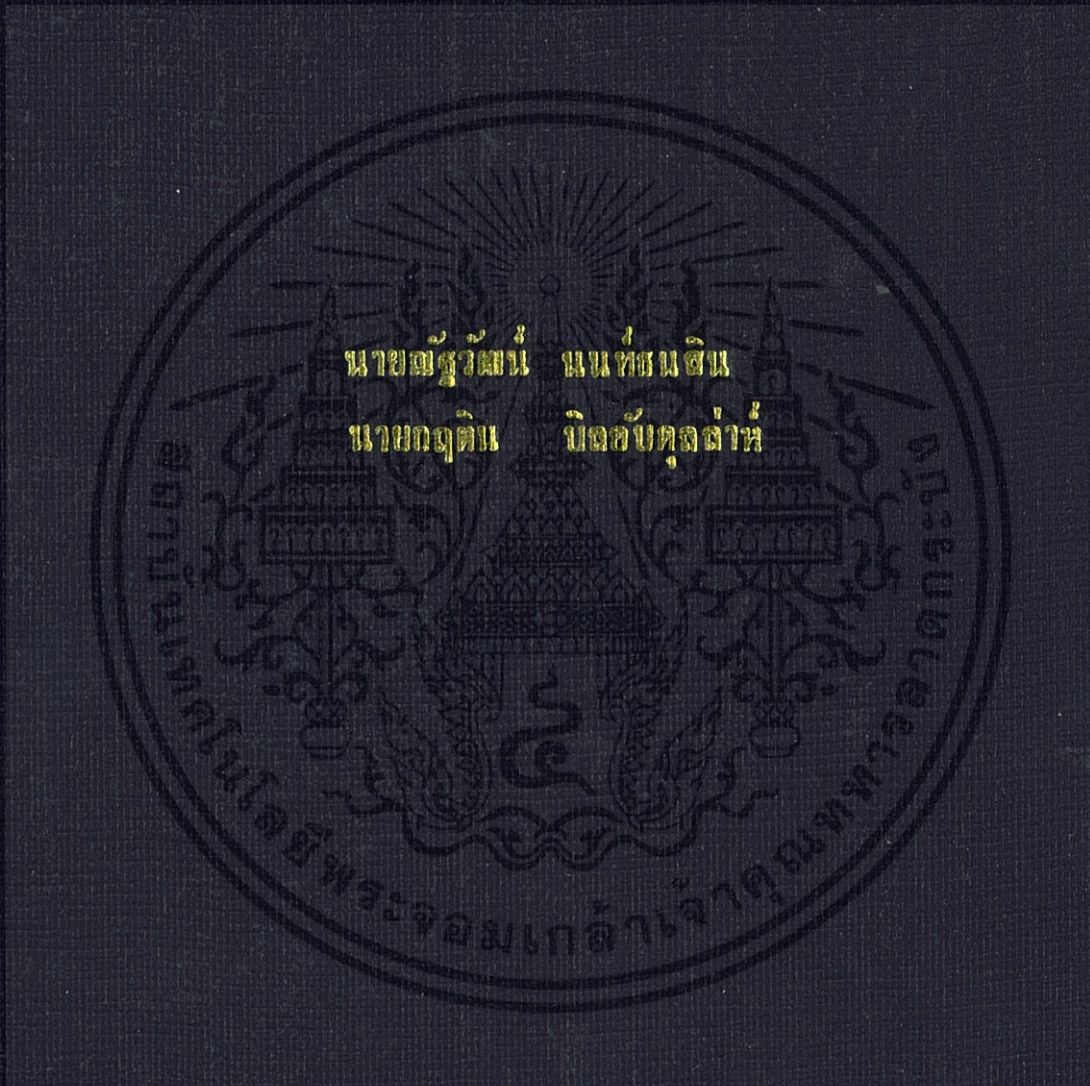


การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอร์รอด



ปริญญาโท เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

## การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอร์อล



นายณัฐวัฒน์ นนท์ธนสิน

นายกฤติน บิลอับดุลลาห์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SYNTHESIS OF STIGMASTEROL IMPRINTED POLYMERS



MR. NATTAWAT NONTANASIN

MR. KRITTIN BINABDULLAH

THIS REPORT IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอรอล

โดย

นายณัฐวัฒน์ นนธ์ธนสิน

นายกฤติน บิลอัปเดตล่ำห้

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง)

.....กรรมการ

(ดร. วลัยรัตน์ จันทระอำพร)

.....กรรมการ

(ดร. ธีรพร สุธีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง	การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอรอล
โดย	นายณัฐวัฒน์ นนธ์ธนสิน นายกฤติน บิลอับดุลลาห์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอรอลและการดูดซับไฟโตสเตอรอลจากสารละลายสเตอรอลผสมในเฮปแทน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำกลับไฟโตสเตอรอลจากของเสียจากกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมในอนาคต โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ และการประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับไฟโตสเตอรอลของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น ในส่วนของการสังเคราะห์จะเลือกสังเคราะห์ poly(acrylamide-co-ethylene glycol dimethacrylate) (PAM) และ poly(2-(trifluoromethyl)acrylic acid-co-trimethylolpropane trimethacrylate) (PMAA) โดยจะใช้ central composite design method (CCD) เพื่อกำหนดขอบเขตของสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ จากการศึกษาผลของการลอกแบบและผลของตัวแปรในการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยพิจารณาจากร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลและอัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเทียบกับสติกมาสเตอรอล พบว่า อัตราส่วนของสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (crosslink) มีผลต่อร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลมากที่สุด โดย PAM ลอกแบบสติกมาสเตอรอลมีร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเท่ากับ 37 ซึ่งสูงกว่า PAM ไม่ลอกแบบที่มีร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเท่ากับ 33 หรือคิดเป็น 1.13 เท่า ในขณะที่ PMAA ลอกแบบสติกมาสเตอรอลมีร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเท่ากับ 55 ซึ่งสูงกว่า PMAA ไม่ลอกแบบที่มีร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเท่ากับ 42 หรือคิดเป็น 1.31 เท่า

Report title	Synthesis of stigmasterol imprinted polymers
By	Mr. Nattawat Nonthanasin Mr. Krittin Binabdullah
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Academic Year	2013
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

### Abstract

This study emphasized on synthesis of stigmasterol imprinted polymer and adsorption of phytosterols from a solution of sterol mix in heptane which will be used as a pilot study for recovery of phytosterol from industrial wastes. The experiment is separated into two parts including, firstly, the synthesis of polymers and, secondly, the evaluation of phytosterol adsorption efficiency of synthesized polymers which percentage of phytosterol adsorption and adsorption ratio of phytosterol with respect to stigmasterol will be considered. In this study, poly(acrylamide-co-ethylene glycol dimethacrylate) (PAM) and poly(2-(trifluoromethyl)acrylic acid-co-trimethylolpropane trimethacrylate) (PMAA) were fabricated under conditions bounded by means of central composite design method (CCD). The study indicated that the variation of crosslink ratio gave the greatest impact on percentage of phytosterol adsorption. The imprinted PAM delivered a 37 percent of phytosterol adsorption which was more than that of non-imprinted PAM, at 33 percent, approximately 1.13 times. While the imprinted PMAA showed a 55 percent of phytosterol adsorption which was higher than that of non-imprinted PMAA, at 42 percent, roughly 1.31 times.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ในการดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท สำหรับคำแนะนำ ข้อแก้ไข ข้อปฏิบัติ ในระหว่างการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนางสาวกษมาวรรณ เตารัตน์ นายทฤษฎ์ ไทยกรรม และนายชินกฤต ละดาดก สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคุณพิสันต์ ผลโพธิ์ สำหรับความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง

ท้ายสุดนี้ ความรู้และประโยชน์ใด ๆ ที่ได้รับจากปริญญาโทฉบับนี้ขอมอบแต่บิดา มารดา ครอบครัว ผู้มีพระคุณ และคณาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดแต่เพียงประการใด คณะผู้ศึกษาขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐวัฒน์ นนทธสิน  
กฤติน บิลอับลล่ำห์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	x
รายการสัญลักษณ์	xi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2. วัตถุประสงค์	2
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1. ไฟโตสเตอรอล (phytosterol)	3
2.2. พอลิเมอร์	5
2.2.1. NIPs	4
2.2.2. MIPs	4
2.2.3. ประเภทของการเตรียมพอลิเมอร์	6
2.2.4. ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะของพอลิเมอร์	7
2.3. การดูดซับ (adsorption)	8
2.3.1. ประเภทของการดูดซับ	8
2.3.2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับ	9
2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	12
3.1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอร์อล	12
3.1.1. การเตรียมอุปกรณ์	12
3.1.2. การสังเคราะห์	14
3.1.3. วิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวพอลิเมอร์	18
3.1.4. วิเคราะห์คุณลักษณะของพอลิเมอร์	18
3.2. การดูดซับ	19
3.2.1. การเตรียมอุปกรณ์	19
3.2.2. การทดลอง	20
3.2.3. การวิเคราะห์	20
3.2.4. การประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับ	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	22
4.1. Poly(AM-co-EGDMA); PAM	22
4.1.1. คุณลักษณะของพอลิเมอร์	22
4.1.2. ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์	27
4.1.3. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่อการดูดซับ	29
4.1.4. การวิเคราะห์และทำนายผลการทดลองเชิงสถิติ	30
4.1.5. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่ออัตราส่วนการดูดซับ	36
4.2. Poly(TFMAA-co-TRIM); PMAA	37
4.2.1. คุณลักษณะของพอลิเมอร์	37
4.2.2. ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์	42
4.2.3. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่อการดูดซับ	44
4.2.4. การวิเคราะห์และทำนายผลการทดลองเชิงสถิติ	45
4.2.5. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่ออัตราส่วนการดูดซับ	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	52

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก.	54
ภาคผนวก ข.	62
เอกสารอ้างอิง	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2-1	โครงสร้างของไฟโตสเตอรอลแต่ละประเภท	3
รูปที่ 2-2	ขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบ	5
รูปที่ 3-1	อุปกรณ์สำหรับล้างสารตั้งต้นที่หลงเหลือจากการสังเคราะห์	17
รูปที่ 4-1	อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PAM ไม่ลอกแบบสติกมาสเตอร์รอล (ข) EGDMA และ (ค) acrylamide monomer	20
รูปที่ 4-2	โครงสร้างของ acrylamide monomer (ซ้าย) และ EGDMA (ขวา)	24
รูปที่ 4-3	โครงสร้างของ PAM	24
รูปที่ 4-4	อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PAM ไม่ลอกแบบสติกมาสเตอร์รอล และ (ข) PAM ลอกแบบสติกมาสเตอร์รอล	26
รูปที่ 4-5	พื้นผิวของพอลิเมอร์ที่กำลังขยายต่างๆ (ก) NIP-A กำลังขยาย 500 เท่า (ข) NIP-A กำลังขยาย 20,000 เท่า (ค) MIP-A-STD กำลังขยาย 500 เท่า (ง) MIP-A-STD กำลังขยาย 20,000 เท่า (EHT = 15.00 kV)	28
รูปที่ 4-6	ร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลของ PAM ลอกแบบสติกมาสเตอร์รอล ที่สภาวะต่าง ๆ เทียบกับ PAM ไม่ลอกแบบ (เส้นประสีแดง)	29
รูปที่ 4-7	ระนาบของร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่ เท่ากับ (ก) 5 ml (ข) 6 ml และ (ค) 7 ml	31
รูปที่ 4-8	ระนาบของร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ template คงที่เท่ากับ (ก) 0.15 mmol (ข) 0.20 mmol และ (ค) 0.25 mmol	33
รูปที่ 4-9	ระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ template และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยที่ปริมาณของ crosslink คงที่ เท่ากับ (ก) 2.5 mmol (ข) 3.0 mmol และ (ค) 3.5 mmol	35
รูปที่ 4-10	อัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเทียบกับการดูดซับสติกมาสเตอร์รอล ของ MIP-A-STD	36
รูปที่ 4-11	อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PMAA ไม่ลอกแบบสติกมาสเตอร์รอล (ข) MAA และ (ค) EGDMA	38

## สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4-12	โครงสร้างของ TFMAA (ซ้าย) และ EGDMA (ขวา)	39
รูปที่ 4-13	โครงสร้างของ PMAA	39
รูปที่ 4-14	อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PMAA ไม่ลอกแบบสติกมาสเตอรอล และ (ข) PMAA ลอกแบบสติกมาสเตอรอล	41
รูปที่ 4-15	พื้นผิวของพอลิเมอร์ที่กำลังขยายต่าง ๆ (ก) NIP-T กำลังขยาย 500 เท่า (ข) NIP-T กำลังขยาย 20,000 เท่า (ค) MIP-T-STD กำลังขยาย 500 เท่า (ง) MIP-T-STD กำลังขยาย 20,000 เท่า (EHT = 15.00 kV)	43
รูปที่ 4-16	ร้อยละการดูดซับของโฟโตสเตอรอลของ PAM ลอกแบบสติกมาสเตอรอล ที่สภาวะต่าง ๆ เทียบกับ PAM ไม่ลอกแบบ (เส้นประสีแดง)	44
รูปที่ 4-17	ระนาบของร้อยละการดูดซับของโฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่ เท่ากับ (ก) 12.5 ml (ข) 15 ml และ (ค) 17.5 ml	46
รูปที่ 4-18	ระนาบของร้อยละการดูดซับของโฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ template คงที่เท่ากับ (ก) 0.1125 mmol (ข) 0.125 mmol และ (ค) 0.1375 mmol	48
รูปที่ 4-19	ระนาบของร้อยละการลดลงของโฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ template และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยที่ปริมาณของ crosslink คงที่ เท่ากับ (ก) 0.75 mmol (ข) 1.0 mmol และ (ค) 1.25 mmol	50
รูปที่ 4-20	อัตราส่วนการดูดซับของโฟโตสเตอรอลเทียบกับการดูดซับสติกมาสเตอรอล ของ MIP-T-STD	51
รูปที่ ข-1	กราฟมาตรฐานสำหรับ campesterol	62
รูปที่ ข-2	กราฟมาตรฐานสำหรับ stigmasterol	62
รูปที่ ข-3	กราฟมาตรฐานสำหรับ $\beta$ -sitosterol	63
รูปที่ ข-4	กราฟมาตรฐานสำหรับสเตอรอลผสม	63

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2-1	คุณสมบัติของไฟโตสเตอรอลที่สภาวะมาตรฐาน	4
ตารางที่ 3-1	องค์ประกอบของพอลิเมอร์จำแนกตามชนิด	14
ตารางที่ 3-2	อัตราส่วนที่ใช้สังเคราะห์ PAM แต่ละสภาวะ	15
ตารางที่ 3-3	อัตราส่วนที่ใช้สังเคราะห์ PMAA แต่ละสภาวะ	16
ตารางที่ ก-1	ข้อมูลดิบ	54
ตารางที่ ก-2	องค์ประกอบของสเตอรอลผสมที่ใช้เป็นสารละลายการดูดซับ	56
ตารางที่ ก-3	องค์ประกอบของสเตอรอลผสมที่ถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง	56



## รายการสัญลักษณ์

$q$	ความจุของตัวดูดซับ	$g/g_{\text{adsorbent}}$
$W_{A0}$	น้ำหนักของสาร A ในสารละลายที่เวลาเริ่มต้น	$g$
$W_A$	น้ำหนักของสาร A ในสารละลายที่เวลา $t$ ใดๆ	$g$
$W_{\text{adsorbent}}$	น้ำหนักของตัวดูดซับ	$g$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สารประกอบสเตียรอยด์จำพวกไฟโตสเตอรอลเป็นสารที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเสริมและการแพทย์ ซึ่งสามารถนำกลับได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีของกรดไขมันพืชหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันพืช อาทิ กรดไขมันปาล์ม กรดไขมันถั่วเหลือง น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกำจัดกลิ่นน้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น

วิธีการดูดซับเป็นวิธีการแยกสารองค์ประกอบที่มีความเข้มข้นต่ำออกจากสารละลายผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ราคาถูกกว่าวิธีการอื่น และทำได้ง่าย ทั้งนี้การคายซับเพื่อนำสารที่ถูกดูดซับออกมายังทำได้โดยใช้ความร้อนหรือสารละลายในการชะสารออกจากรูพรุนของตัวดูดซับ ตัวดูดซับที่ใช้แล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้งหลังการคายซับ

ในปัจจุบันพอลิเมอร์สังเคราะห์นับว่ามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมแทบทุกชนิดเนื่องจากความต้องการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวดูดซับมีมากขึ้น คุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นตัวดูดซับโดยทั่วไปแล้วเป็นของแข็งที่มีรูพรุน ซึ่งสามารถดูดซับสารที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนได้ นิยมขึ้นรูปเป็นลักษณะของเรซินเพื่อง่ายต่อการขนถ่าย ตัวดูดซับที่ใช้ในกระบวนการผลิตสามารถจับองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารละลายไว้กับพื้นผิวตัวดูดซับได้ แต่ไม่สามารถเจาะจงดูดซับโมเลกุลที่ต้องการได้ ทำให้การแยกองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งออกจากสารป้อนผสม (feedstock) เป็นไปได้ยาก งานวิจัยนี้จึงเสนอตัวดูดซับชนิดใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกดูดซับให้ดียิ่งขึ้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของพอลิเมอร์สองประเภท ได้แก่ พอลิเมอร์ไม่ลอกแบบ (Non-imprinted polymers; NIPs) และพอลิเมอร์ลอกแบบ (Molecularly Imprinted Polymers; MIPs) ของ poly(acrylamide-co-ethylene glycol dimethacrylate) (PAM) และ poly(2-(trifluoromethyl)acrylic acid-co-trimethylolpropane trimethacrylate) (PMAA) ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เป็นเพราะหมู่ฟังก์ชันของ monomer ทั้งสองชนิดสามารถเกิดอันตรกิริยากับสเตกมาสเตอรอลได้เนื่องจากมีความเป็นขั้วอยู่

งานวิจัยนี้จึงเริ่มศึกษาความสามารถในการดูดซับสเตกมาสเตอรอลจากสารละลายจำลองของสเตอรอลผสมในเฮปแทนเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ตัวดูดซับแยกไฟโตสเตอรอลจากของเสียจากอุตสาหกรรม

## 1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์พอลิเมอร์ไม่ลอกแบบและพอลิเมอร์ลอกแบบ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับด้วยพอลิเมอร์ไม่ลอกแบบและพอลิเมอร์ลอกแบบ
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไฟโตสเตอรอลของตัวดูดซับ

## 1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. สังเคราะห์ PAM และ PMAA ลอกแบบสติกมาสเตอร์อลด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชันแบบตกตะกอน
2. ทดลองดูดซับแบบกะ ใช้ผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างพอลิเมอร์ไม่ลอกแบบและพอลิเมอร์ลอกแบบ
3. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไฟโตสเตอรอล
4. ประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับด้วยค่าการลดลงของสเตอรอลและอัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเทียบกับการดูดซับสติกมาสเตอร์อล

## 1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางได้การสังเคราะห์พอลิเมอร์เพื่อแยกไฟโตสเตอรอลออกจากกรดไขมันปาล์ม
2. สามารถใช้ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมที่ไม่มีมูลค่าทางการค้าให้เกิดประโยชน์สูงสุด

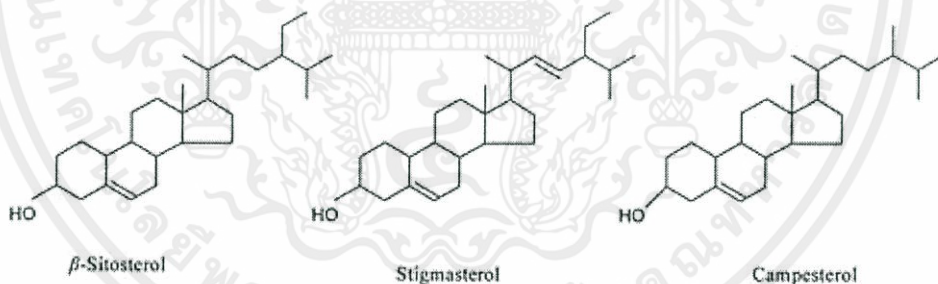
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1. ไฟโตสเตอรอล (phytosterols)

ไฟโตสเตอรอลเป็นสารประกอบสเตียรอยด์ประเภทที่เห็นได้ในพืชไขมัน มีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับคอเลสเตอรอลที่เป็นสารประกอบสเตียรอยด์ประเภทซุสเตอรอล (zoosterols) ซึ่งเห็นได้ในสัตว์ โครงสร้างหลักประกอบด้วยวงคาร์บอน 4 วงเชื่อมต่อกัน มีหมู่ฟังก์ชัน (functional group) คือ หมู่ไฮดรอกซิล เกาะอยู่ที่ตำแหน่ง 3 บีตา (3 $\beta$ -hydroxyl group)

ไฟโตสเตอรอลที่เห็นได้ในธรรมชาติมีหลายชนิด ซึ่งอาจเห็นได้เป็นสเตอรอลอิสระ (free sterols) หรือสารประกอบเอสเทอร์ของสเตอรอล (sterol esters หรือ steryl esters) แต่ชนิดที่มีอยู่มากและนิยมนำมาใช้ประโยชน์มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ บีตา-ซิโทสเตอรอล ( $\beta$ -sitosterol) สติกมาสเตอรอล (stigmasterol) และแคมเปสเตอรอล (campesterol) ไฟโตสเตอรอลทั้ง 3 ประเภทมีโครงสร้างหลักเหมือนกันทุกประการ แต่หมู่อัลคิลที่มาเกาะกับวงคาร์บอนจะแตกต่างกันไปดังแสดงในรูปที่ 2-1 และมีความสมบัติแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2-1



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของไฟโตสเตอรอลแต่ละประเภท [1]

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติของไฟโตสเตอรอลที่สภาวะมาตรฐาน [2], [3], [4]

ชนิด	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล (mg/mmol)	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )
$\beta$ -sitosterol	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub> O	414.71	501.9	139-142	0.970
stigmasterol	C <sub>29</sub> H <sub>48</sub> O	412.69	490.4	161-170	0.953
campesterol	C <sub>28</sub> H <sub>48</sub> O	400.68	489.5	156-160	0.980



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2. พอลิเมอร์

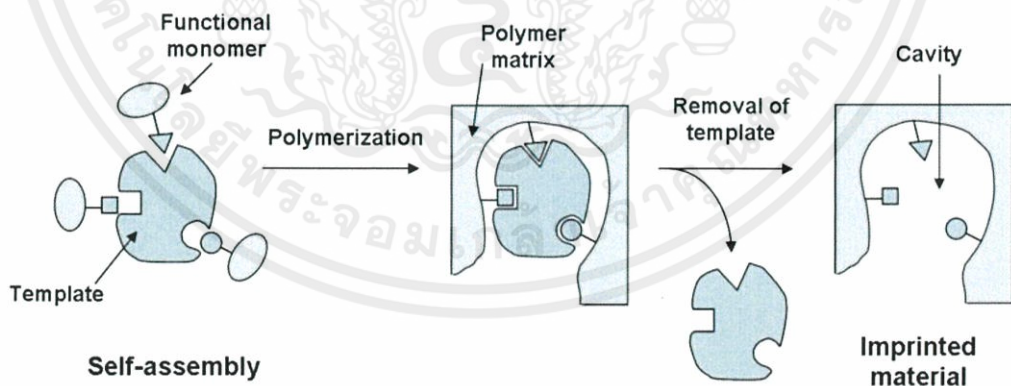
พอลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยของมอนอเมอร์ (monomer) เชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมาก ในกรณีที่มีการเติมสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (crosslink) จะทำให้พอลิเมอร์มีคุณสมบัติและโครงสร้างที่เปลี่ยนไปทั้งทางกายภาพและเคมี

### 2.2.1. NIPs

พอลิเมอร์ไม่ลอกแบบที่สังเคราะห์ได้จะมีรูพรุนซึ่งสามารถดูดซับโมเลกุลของสารที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนได้ ทั้งนี้การดูดซับที่เกิดขึ้นจะไม่จำเพาะเจาะจงต่อสารใดสารหนึ่ง กล่าวคือการดูดซับจะเป็นกลไกการคัดขนาดเท่านั้น

### 2.2.2. MIPs

พอลิเมอร์ลอกแบบเป็นพอลิเมอร์ที่มีช่องว่าง (cavities) ภายในพอลิเมอร์ใกล้เคียงกับโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับ ทั้งในด้านรูปร่างหรือขนาด ลักษณะของช่องว่างจะขึ้นอยู่กับพันธะระหว่างโมเลกุลของ monomer และ โมเลกุลลอกแบบ (template) การเตรียมพอลิเมอร์ลอกแบบโดยทั่วไปทำได้โดยผสมระหว่าง monomer crosslink template และตัวเริ่มปฏิกิริยา (initiator) เข้าด้วยกัน หลังจากนั้นให้ความร้อนจนเกิดเป็นพอลิเมอร์ ต่อมา template จะถูกแยกออก ได้เป็นพอลิเมอร์ลอกแบบ วิธีการเตรียมแสดงดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบ [5]

สำหรับการแยก template ออก ส่วนใหญ่ใช้วิธีการดูดซับผ่านตัวทำละลาย เช่น คลอโรเบนซีน (chlorobenzene) คลอโรโทลูอีน (chlorotoluene) แอนิซอล (anisole) เบนซิล แอลกอฮอล์ (benzyl alcohol) เฮปเทน (heptane) เป็นต้น หลักเกณฑ์ในการเลือกทำละลาย คือ ตัวทำละลายต้องเหมาะสมกับตัวดูดซับและสารที่ต้องการดูดซับ ในที่นี้ คือ พอลิเมอร์ลอกแบบและ template ตามลำดับ อีกทั้งตัวทำละลายต้องไม่ส่งผลให้ค่าการเลือกของพอลิเมอร์ลอกแบบลดลง

### 2.2.3. ประเภทของการเตรียมพอลิเมอร์

#### 2.2.3.1. แบบสารละลาย (solution polymerization)

กระบวนการเตรียมจะผสม monomer และ initiator ลงในตัวทำละลายเฉื่อย (non-reactive solvent) ซึ่งตัวทำละลายจะช่วยระบายความร้อนและลดความหนืดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น หากความร้อนมีปริมาณมากอาจทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ หลังจากเกิดพอลิเมอร์ขึ้น จะต้องแยก monomer ที่ไม่ทำปฏิกิริยาและตัวทำละลายออก ซึ่งเป็นสิ่งที่กระทำได้โดยยาก ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งคือ สารละลายอาจมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

#### 2.2.3.2. แบบแขวนลอย (suspension polymerization)

กระบวนการเตรียมจะผสม monomer กับน้ำ และ initiator ที่ใช้จะต้องละลายใน monomer เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้น ตัวเริ่มปฏิกิริยาจะกระจายอยู่ในน้ำมีลักษณะเป็นรูปหยดน้ำ ตัวอย่างของตัวเริ่มปฏิกิริยา คือ สารประกอบเปอร์ออกไซด์อะโซบิสไอโซบิวทีโรไนไตรล์ (AIBN) เป็นต้น การเตรียมพอลิเมอร์ลักษณะนี้จะต้องเติมสารเพิ่มความเสถียร (stabilizer) เพื่อป้องกันการรวมตัว โดยขนาดของพอลิเมอร์ถูกจำกัดโดยสมดุลระหว่างการรวมตัวของ monomer กับการแยกกันของ monomer รูปแบบของพอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ การแยกทำได้โดยใช้วิธีการกรอง ข้อดีของเตรียมด้วยวิธีการนี้ คือ ควบคุมการเกิดพอลิเมอร์ได้ง่าย ส่วนข้อเสีย คือ ไม่สามารถใช้วิธีนี้กับการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น

#### 2.2.3.3. แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization)

การเตรียมพอลิเมอร์แบบอิมัลชันใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตพอลิเมอร์ชนิดพิเศษ เช่น กาว สี เทปกาว วัสดุสิ่งทอ วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ขั้นตอนการเตรียมจะผสม monomer กับตัวเริ่มปฏิกิริยา ลงในน้ำ โดย monomer ที่ใช้ส่วนใหญ่ คือ บิวตาไดอีน (butadiene) สไตรีน (styrene) อะคริโลไนไตรล์ (acrylonitrile) ซึ่งมอนอเมอร์เหล่านี้จะไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อช่วยลดแรงตึงผิวของ monomer และการเติมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณมากจะทำให้เกิดไมเซลล์ (micelle) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นตัวเริ่มปฏิกิริยาจะแพร่เข้าสู่ไมเซลล์เพื่อ

เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน รูปแบบพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของลาเทกซ์ ข้อดีของการเตรียมด้วยวิธีนี้ คือ อัตราเร็วในการเกิดพอลิเมอร์มีค่าสูงเพราะอนุภาคมีการกระจายหลายขนาด และสามารถเตรียมพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงได้ ข้อเสียเหมือนกับการเตรียมพอลิเมอร์แบบแขวนลอย

#### 2.2.3.4. แบบตกตะกอน (precipitation polymerization)

การเตรียมจะคล้ายกับการเตรียมแบบสารละลาย ในเวลาเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดเป็นสถานะของเหลว (เฟสเดียว) หลังจากนั้นเมื่อ monomer ทำปฏิกิริยากับตัวเริ่มปฏิกิริยาเกิดเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้จะไม่สามารถละลายในตัวกลางที่ทำปฏิกิริยาส่งผลให้สารละลายมีทั้งหมด 2 สถานะ คือ ของเหลว (สารละลาย) ของแข็ง (พอลิเมอร์) รูปแบบของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของผงแป้ง หรือ เม็ดเล็ก ๆ

### 2.2.4. ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะของพอลิเมอร์

#### 2.2.4.1. Monomer

Monomer ที่ใช้ต้องเหมาะสมทั้งกับชนิดและจำนวนโมลของ template เพื่อให้พอลิเมอร์ลอกแบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ตัวอย่าง monomer ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ เมทิลอะคริลิกแอซิด (methylacrylic acid;  $\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$ ) เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลิกทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยาได้หลายรูปแบบ เช่น เป็นตัวให้ไฮโดรเจน หรือ เป็นตัวรับไฮโดรเจน เป็นต้น จำนวน monomer ในปฏิกิริยาควรมีจำนวนมากเกินพอเมื่อเทียบกับ template เพื่อให้เกิดแม่แบบพอลิเมอร์มากที่สุด

#### 2.2.4.2. Crosslink

ค่าการเลือกสำหรับพอลิเมอร์ลอกแบบเป็นสิ่งสำคัญ การเพิ่มค่าการเลือกของพอลิเมอร์ลอกแบบทำได้โดยเพิ่มปริมาณของ crosslink ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของรูพรุนแม่แบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของพอลิเมอร์ ตัวอย่าง crosslink คือ เอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต (ethylene glycol dimethacrylate; EGDMA) ไดไวนิลเบนซีน (divinylbenzene; DVB) ไตรเมทิลโพรเพนไตรเมทาคริเลต (trimethylolpropane trimethylacrylate; TRIM) และเพนทาอริลโททอลเตตระคริเลต (pentaerythritol tetracrylate; PETEA)

#### 2.2.4.3. ตัวทำละลาย (solvent)

ตัวทำละลายเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เนื่องจากสารทุกตัวจะทำปฏิกิริยากันในตัวทำละลาย อีกทั้งตัวทำละลายยังช่วยสร้างรูพรุนแม่แบบพอลิเมอร์ลอกแบบ ตัวทำละลายที่ดีควรเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาและไม่มีขั้ว เพราะขั้วของตัวทำละลายจะทำให้อันตรกิริยาระหว่าง monomer และ crosslink ลดลง ทำปฏิกิริยากับ monomer ส่งผลให้พอลิเมอร์ไม่เกิดขึ้น

### 2.3. การดูดซับ (adsorption)

กระบวนการดูดซับ คือ กระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลของสารประกอบอย่างน้อยหนึ่งชนิด เกาะยึดอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง 2 ภูมิภาคใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ของเหลวกับก๊าซ ของเหลวกับของแข็ง หรือก๊าซกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรืออะตอมที่ถูกดูดติดกับพื้นผิวเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) และสารที่เป็นพื้นผิวดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งส่วนมากตัวดูดซับจะเป็นของแข็ง

#### 2.3.1. ประเภทของการดูดซับ

กระบวนการดูดซับเป็นกลไกที่เกิดจากแรงระหว่างโมเลกุลของโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ เป็นหลัก ดังนั้นชนิดของการดูดซับจะขึ้นกับลักษณะของแรงดังกล่าว ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพ (intermolecular attractive force) และ แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี (chemical bonding) โดยแรงทั้งสองชนิดมีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

##### 2.3.1.1. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption)

เป็นการดูดตัวถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพ ซึ่งแรงดังกล่าวมีหลายประเภท ได้แก่ แรงดึงดูดระหว่างขั้ว (dipole-dipole force) แรงดึงดูดระหว่างประจุ (interionic force) และแรงดึงดูดระหว่างมวล (gravitational force between masses) การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศเนื่องจากปฏิกิริยาการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน แรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพเป็นแรงที่สามารถส่งต่อผ่านโมเลกุลหรืออะตอมไปยังโมเลกุลหรืออะตอมชั้นต่อ ๆ ไปได้ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพจะสามารถเกิดได้ทั้งบนพื้นผิวของตัวดูดซับโดยตรง และบนชั้นของโมเลกุลหรืออะตอมที่สะสมบนพื้นผิวของตัวดูดซับอยู่แล้วได้ ซึ่งถ้าหากเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียวจะเรียกว่า monolayer adsorption ในขณะที่การดูดซับหลายชั้นจะเรียกว่า multilayer adsorption

##### 2.3.1.2. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

เป็นการสร้างพันธะทางเคมีระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับซึ่งมีพลังงานกระตุ้น (activation energy) เข้ามาเกี่ยวข้องเช่นเดียวกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไป ดังนั้นการเกิดพันธะเคมีจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง การดูดซับประเภทนี้จะเกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเท่านั้น เพราะฉะนั้นการดูดซับทางเคมีจะเกิดได้เพียงการดูดซับชั้นเดียวเท่านั้น

### 2.3.2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับ

การดูดซับทั้งทางกายภาพและทางเคมีจะมีประสิทธิภาพได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านดังนี้

#### 2.3.2.1. ลักษณะของตัวดูดซับ (*characteristics of adsorbent*)

ก) พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากก็จะมี ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการที่ตัวถูกดูดซับจะถูกจับไว้ในรูพรุนได้ และ รูพรุนจะต้องมีขนาดเพียงพอต่อโมเลกุลหรืออะตอมของตัวถูกดูดซับ

ข) ขนาดของตัวดูดซับ

ขนาดของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิว กล่าวคือ ยิ่งตัวดูดซับมีขนาดเล็กลง ปริมาตร ช่องว่างระหว่างชั้นของตัวดูดซับจะมีขนาดน้อยลงเท่านั้น ซึ่งหมายถึงพื้นที่ผิวดูดซับที่เพิ่มมากขึ้น

ค) ค่าการเลือกดูดซับ (*selectivity*)

ตัวดูดซับที่เลือกใช้ต้องมีความสามารถในการดูดซับสารที่ต้องการดูดซับได้มากกว่าองค์ประกอบ อื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายตั้งต้น

ง) การเกิดปฏิกิริยา

ตัวดูดซับที่เลือกใช้จะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารใด ๆ ในของผสม ณ อุณหภูมิที่ดูดซับ

#### 2.3.2.2. ลักษณะของตัวถูกดูดซับ (*characteristics of adsorbate*)

ก) ความสามารถในการละลาย (*solubility*)

การดูดซับเป็นการดูดตัวถูกละลายในสารละลายมาติดที่ผิวของตัวดูดซับ ถ้าความสามารถในการ ละลายของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น แนวนอนที่ตัวถูกละลายจะละลายกลับไปในสารละลายก็มีมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับลดลง

ข) สภาพขั้วของโมเลกุลหรืออะตอม (*polarity*)

สภาพขั้วของโมเลกุลหรืออะตอมมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลาย ตัวถูกละลายที่ไม่มี ขั้วจะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่นเดียวกับกรณีของสารที่มีขั้ว เช่น ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้วสามารถละลายได้ในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ซึ่งไม่มีขั้วได้ดี แต่ไม่ละลายในน้ำ เป็นต้น

ค) น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล

ความสามารถในการละลายของโมเลกุลขนาดใหญ่จะน้อยกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก เนื่องจากตัวทำ ละลายจะล้อมรอบตัวถูกละลายได้ยากกว่า เมื่อความสามารถในการละลายลดลงความสามารถ ในการถูกดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น

### 2.3.2.3. อุณหภูมิ

การแพร่ของโมเลกุลเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการดูดซับ ซึ่งอัตราเร็วในการแพร่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคืออุณหภูมิ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โมเลกุลก็จะสามารถแพร่ได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้การดูดซับมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิมักเกินไปอาจส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลงได้

### 2.3.2.4. เวลาในการสัมผัส

ตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะต้องสัมผัสกันนานเพียงพอให้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เวลาในการสัมผัสจะขึ้นกับชนิดของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ ซึ่งเวลาในการสัมผัสสามารถทราบได้จากผลการทดลอง



## 2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Jin Y. และคณะ [6] กล่าวถึงการเตรียมพอลิเมอร์ลอกแบบด้วยวิธีการเตรียมแบบตกตะกอน โดย monomer และสารเชื่อมโยงที่ใช้คือ TFMAA และ TRIM ตามลำดับ ขั้นตอนแรกจะผสม monomer และสารเชื่อมโยงเข้าด้วยกันในอะซิโตไนโตรลซึ่งเป็นตัวทำละลาย หลังจากนั้นจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป ในที่นี้คือ AIBN ขั้นตอนต่อมาสารละลายจะถูกทำให้อิ่มตัวโดยป้อนก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านเป็นเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันออกซิเจนที่อาจทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ได้ หลังจากนั้นจะให้ความร้อนกับสารละลายผ่านอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 °C ความเร็วรอบเท่ากับ 190 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจะแขวนลอยอยู่ในสารละลาย จากนั้นจะแยกเก็บพอลิเมอร์ออก ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำ Template ออก โดยนำพอลิเมอร์ลอกแบบมาล้างด้วยสารละลายเมทานอลที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติกร้อยละ 10 โดยปริมาตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยอะซิโตไนโตรลบริสุทธิ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. Nor Azah Yusof [7] และคณะ รายงานถึงการเตรียมพอลิเมอร์แบบบล็อก ขั้นตอนแรกคือละลายโมเลกุล 2,4-ไดไนโตรฟีนิล (2,4-dinitrophenyl) ซึ่งเป็น template ลงในบีกเกอร์ หลังจากนั้นเติม monomer สารเชื่อมโยง และตัวเริ่มปฏิกิริยา คือ acrylamide EGDMA และ benzoyl peroxide ลงในบีกเกอร์ หลังจากนั้นนำไปไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นก้อน ขั้นตอนต่อมาบดพอลิเมอร์แล้วนำ template ออกโดยการล้างพอลิเมอร์ด้วยสารละลายเมทานอล-กรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 1 : 2 จนกว่า template จะถูกล้างออกจนหมด

3. Duan และคณะ [8] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบโอลิโกเมอร์ โพรไซยานิดิน (oligomeric procyanidins; OPCs) ที่มีการรายงานว่าสามารถใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ เห็นได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของพอลิเมอร์ลอกแบบ OPCs ที่สุดคือการสร้างพันธะระหว่าง template และ monomer ดังนั้นการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบจำเป็นที่จะต้องใช้ template ให้มีอัตราส่วนมากเกินไปในการสังเคราะห์ เพื่อให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นเกิดการลอกแบบให้มาก crosslink นับเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของช่องว่างที่เกิดจากการลอกแบบ เป็นตัวแปรที่กำหนดสัดส่วนวิทยาของพอลิเมอร์ และมีส่วนช่วยในการเพิ่มความทนทานเชิงกลและความเสถียรของโครงสร้างพอลิเมอร์ ตัวทำละลายที่ใช้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ให้สารตั้งต้นทุกชนิดมาทำปฏิกิริยากัน และยังมีหน้าที่ในการสร้างรูพรุนของพอลิเมอร์อีกด้วย อย่างไรก็ตามตัวทำละลายที่ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบโมเลกุลควรจะเป็นสารที่มีขั้วน้อย เช่น โทลูอิน เนื่องจากความเป็นขั้วของตัวทำละลายอาจไปทำลายอันตรกิริยาระหว่าง template และ monomer เป็นผลทำให้ความสามารถในการเลือกดูดซับของพอลิเมอร์ลอกแบบลดลง

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงาน

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอรอลสำหรับใช้แยก สติกมาสเตอรอลจากสารละลายสเตอรอลผสม การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

#### 3.1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอรอล

##### 3.1.1. การเตรียมอุปกรณ์

สารเคมี

1. สติกมาสเตอรอล
2. acrylamide monomer
3. TFMAA
4. EGDMA
5. TRIM
6. benzoyl peroxide
7. acetone
8. ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen gas)
9. น้ำกลั่น (distilled water)
10. น้ำประปา (tap water)
11. น้ำมันซิลิโคน (silicone oil)
12. เฮปเทน (heptane)
13. เมทานอล (methanol)
14. กรดอะซิติก (acetic acid)
15. อะซิโตไนไตรล์ (acetonitrile)
16. น้ำเกรด HPLC (water, HPLC grade)
17. ซิลิกาเจล (silica gel)

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดแก้วพร้อมจุกและฝาขนาด 60 ml
2. ขวดแก้วพร้อมฝาขนาด 30 ml
3. ขวดแก้วพร้อมฝาขนาด 5 ml
4. ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml
5. ขวด Vial ขนาด 2 ml พร้อมฝาและ Septum
6. soxhlet extractor
7. soxhlet extraction thimble
8. ไมโครปิเปตขนาด 100-1000  $\mu$ l
9. ซ้อนตักสาร
10. กระจดาชั่งสาร
11. เครื่องชั่งสารขนาดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
12. shaker incubator
13. ชุดไล่อากาศด้วยก๊าซเฉื่อย
14. เครื่องอบ
15. ตู้ดูดความชื้น
16. ครกและสากบดสาร
17. หลอดเหยียงชนิด PTFE ขนาด 50 ml
18. เครื่องเซนตริฟิวจ์
19. hot plate
20. ถังพลาสติก
21. อะลูมิเนียมฟอยล์
22. ถุงซิปล็อค

### 3.1.2. การสังเคราะห์

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ใช้อัตราส่วนตามตารางที่ 3-1 ตารางที่ 3-2 และตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-1 องค์ประกอบของพอลิเมอร์จำแนกตามชนิด

Component	Types of polymer	
	PAM	PMAA
template	stigmaterol	
monomer	acrylamide	TFMAA
crosslink	EGDMA	TRIM
initiator	benzoyl peroxide	
solvent	acetone	

ตารางที่ 3-2 อัตราส่วนที่ใช้ในการสังเคราะห์ PAM แต่ละสถานะ

MIP-A					
Order	monomer (mmol)	crosslink (mmol)	template (mmol)	solvent (ml)	initiator (mmol)
1	1	2.5	0.15	5	0.32
2	1	3.5	0.15	5	0.32
3	1	2.5	0.25	5	0.32
4	1	3.5	0.25	5	0.32
5	1	2.5	0.15	7	0.32
6	1	3.5	0.15	7	0.32
7	1	2.5	0.25	7	0.32
8	1	3.5	0.25	7	0.32
9	1	2	0.2	6	0.32
10	1	4	0.2	6	0.32
11	1	3	0.1	6	0.32
12	1	3	0.3	6	0.32
13	1	3	0.2	4	0.32
14	1	3	0.2	8	0.32
Std	1	3	0.2	6	0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

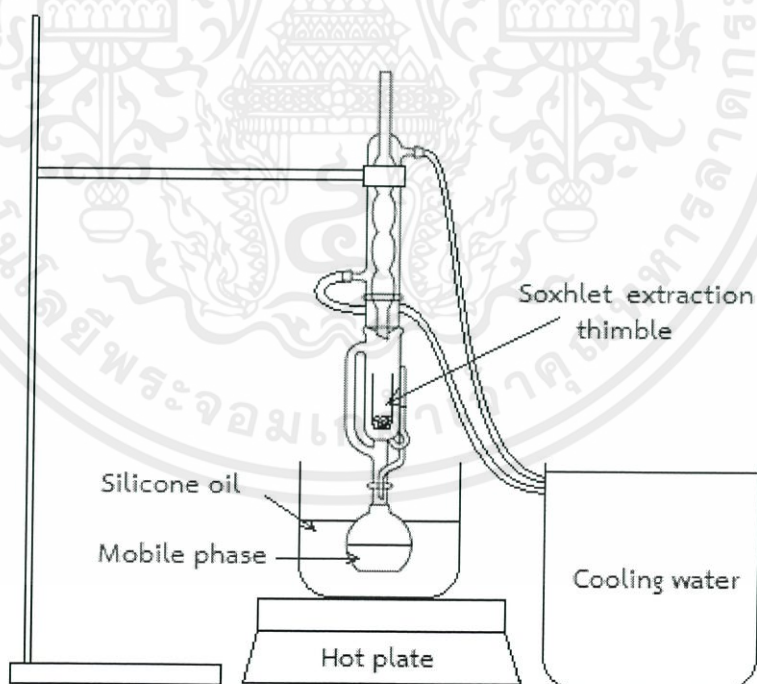
ตารางที่ 3-3 อัตราส่วนที่ใช้ในการสังเคราะห์ PMAA แต่ละสภาวะ

MIP-T					
Order	monomer (mmol)	crosslink (mmol)	template (mmol)	solvent (ml)	initiator (mmol)
1	1	0.75	0.1125	12.5	0.0852
2	1	1.25	0.1125	12.5	0.0852
3	1	0.75	0.1375	12.5	0.0852
4	1	1.25	0.1375	12.5	0.0852
5	1	0.75	0.1125	17.5	0.0852
6	1	1.25	0.1125	17.5	0.0852
7	1	0.75	0.1375	17.5	0.0852
8	1	1.25	0.1375	17.5	0.0852
9	1	0.5	0.125	15	0.0852
10	1	1.5	0.125	15	0.0852
11	1	1	0.1	15	0.0852
12	1	1	0.15	15	0.0852
13	1	1	0.125	10	0.0852
14	1	1	0.125	20	0.0852
Std	1	1	0.125	15	0.0852

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการสังเคราะห์

1. ละลาย template monomer crosslink และ initiator ลงในตัวทำละลาย
2. ไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที
3. เขย่าสารละลายด้วยความเร็วรอบ 220 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชันใน shaker incubator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 220 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. บดพอลิเมอร์ที่ได้ด้วยครกและสากบดสาร
6. ล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 250 ml
7. แยกน้ำกลั่นออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (ความเร็วรอบ 4000 rpm เป็นเวลา 20 นาที)
8. ทำข้อ 6. และ 7. ซ้ำอีก 4 ครั้ง
9. นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
10. ล้างพอลิเมอร์ด้วยสารละลาย acetonitrile : water (HPLC) : methanol : acetic acid ด้วยอัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 85 : 9.9 : 5 : 0.1 ใน thimble (ดังรูป 3-1)



รูปที่ 3-1 อุปกรณ์สำหรับล้างสารตั้งต้นที่หลงเหลือจากการสังเคราะห์

### 3.1.3. วิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวของพอลิเมอร์

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 20000 เท่า โดยใช้กำลังไฟฟ้า (extra high tension voltage level; EHT) เท่ากับ 15.00 kV

### 3.1.4. วิเคราะห์คุณลักษณะของพอลิเมอร์

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2. การดูดซับ

#### 3.2.1. การเตรียมอุปกรณ์

##### สารเคมี

1. สเตอรอลผสม (sterol mix)
2. เฮปเทน (heptane)
3. พอลิเมอรัลลอกแบบสติกมาสเตอรอล

##### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องเขย่าพร้อมให้ความร้อน
2. ขวดแก้วขนาด 5 ml
3. ขวด vial ขนาด 2 ml พร้อมฝาและ septa
4. ปีกเกอร์ขนาด 50 ml
5. กระบวยตวงขนาด 25 ml
6. ไมโครปิเปตขนาด 100-1000  $\mu$ l
7. กระจบอกรองสาร
8. ซ้อนตักสาร
9. กระจดาชั่งสาร

### 3.2.2. การทดลอง

สภาวะที่ใช้

1. อุณหภูมิขณะทำการทดลอง : 30 องศาเซลเซียส
2. เวลาที่ใช้ทำการทดลอง : 6 ชั่วโมง
3. ความเข้มข้นเริ่มต้น : 140 ppm
4. ปริมาตรของสารละลาย : 2 ml
5. น้ำหนักของตัวดูดซับ : ร้อยละ 1 ของน้ำหนักสารละลาย

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสเตอรอลผสมในเฮปแทน
2. เติมพอลิเมอร์ลอกแบบสติกมาสเตอร์อล
3. เขย่าใน shaker incubator พร้อมให้ความร้อน
4. เก็บตัวอย่างสารละลายหลังการดูดซับเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง

### 3.2.3. การวิเคราะห์

ทำปริมาณวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีแบบเปลวไอออไนเซชัน (gas chromatography flame ionization detector ; GC-FID)

### 3.2.4. การประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับ

3.2.4.1. การคำนวณปริมาณร้อยละของไฟโตสเตอรอลที่ถูกดูดซับเมื่อเวลาผ่านไป ร้อยละของไฟโตสเตอรอลที่ถูกดูดซับคำนวณได้จาก

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{W_{A0} - W_A}{W_{A0}} \times 100\% \quad (3-1)$$

### 3.2.4.2. ความจุของตัวดูดซับ (Adsorption capacity)

ความจุของตัวดูดซับคำนวณได้จาก

$$q = \frac{W_{A0} - W_A}{W_{\text{adsorbent}}} \quad (3-2)$$

3.2.4.3. อัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อเทียบกับการดูดซับสตีกมาสเตอร์อล (*Adsorption ratio of phytosterol with respect to stigmasterol*)

อัตราส่วนคำนวณได้จาก

$$\text{Adsorption ratio} = \frac{\% \text{ Adsorption of phytosterol}}{\% \text{ Adsorption of stigmasterol}} \quad (3-3)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

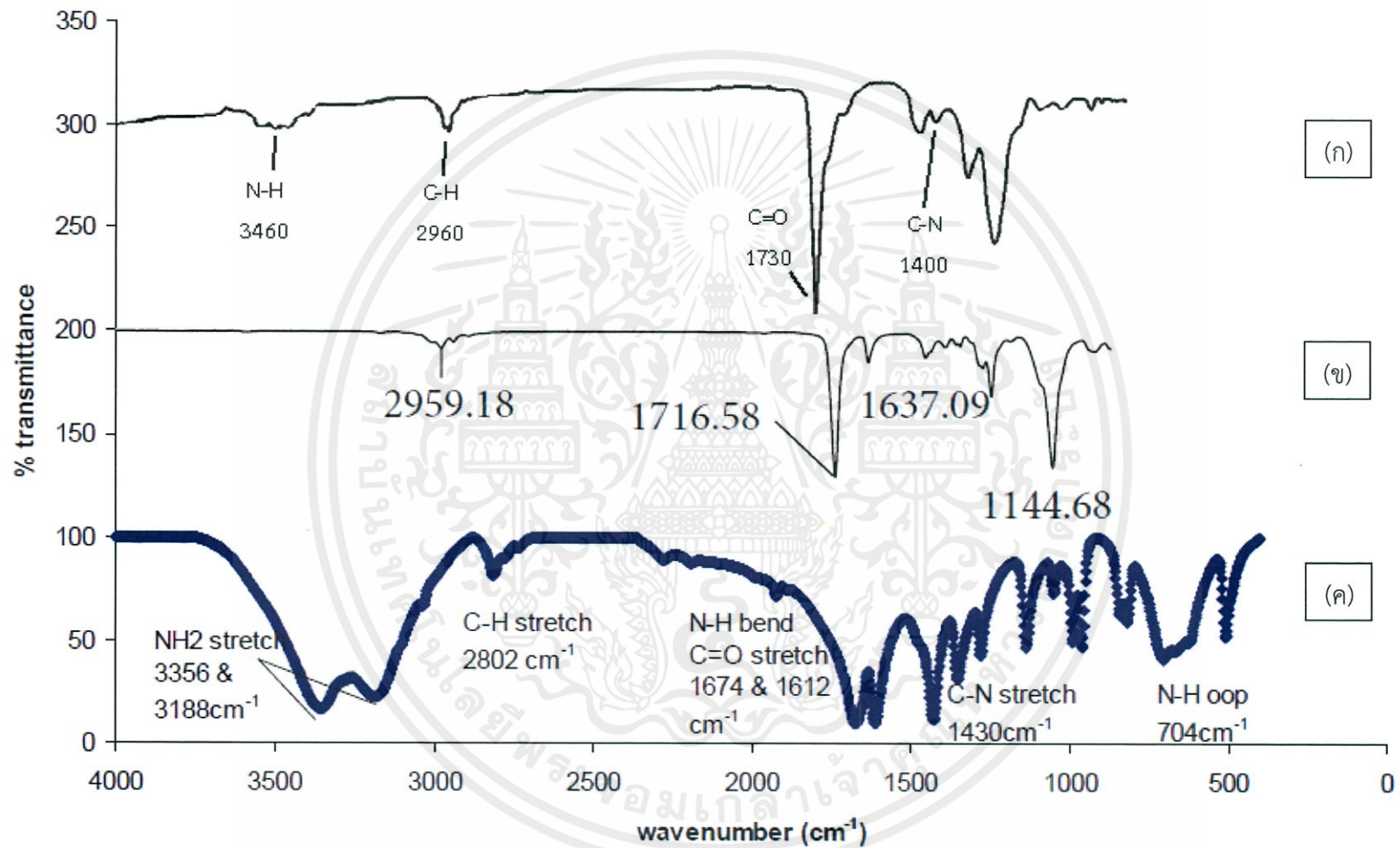
#### 4.1. Poly(AM-co-EGDMA); PAM

PAM ที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติเป็นของแข็งสีขาว มีลักษณะเป็นผงแป้ง ไม่ละลายในน้ำหรือเฮปแทน มีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้มาก หากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือสัมผัสกับความชื้นจะจับตัวเป็นก้อน

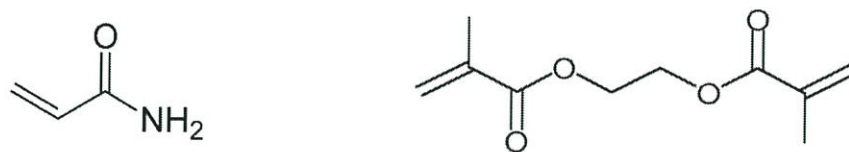
##### 4.1.1. คุณลักษณะของพอลิเมอร์

จากรูปที่ 4-1 (ก) แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ PAM ที่ไม่ลอกแบบ จะเห็นได้ว่า มีพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่  $3460\text{ cm}^{-1}$ ,  $1730\text{ cm}^{-1}$ ,  $1400\text{ cm}^{-1}$  และ  $2960\text{ cm}^{-1}$  [9] ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะในหมู่เอไมด์ คือ พันธะ N-H พันธะ C=O พันธะ C-N และพันธะในหมู่เอทิล ได้แก่ พันธะ C-H ตามลำดับ ซึ่งสามารถอนุมานว่าเกิด PAM ขึ้นแล้ว เนื่องจาก Nor Azah Yusof และคณะ [7] รายงานว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของ acrylamide monomer จะปรากฏพีคของพันธะ C=C ที่ตำแหน่ง  $1600\text{ cm}^{-1}$  ดังรูปที่ 4-1 (ค) เช่นเดียวกับ Jin Y. และคณะ [6] ที่รายงานว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของ EGDMA จะปรากฏพีคของพันธะ C=C ที่ตำแหน่ง  $1637\text{ cm}^{-1}$  ดังรูปที่ 4-1 (ข)

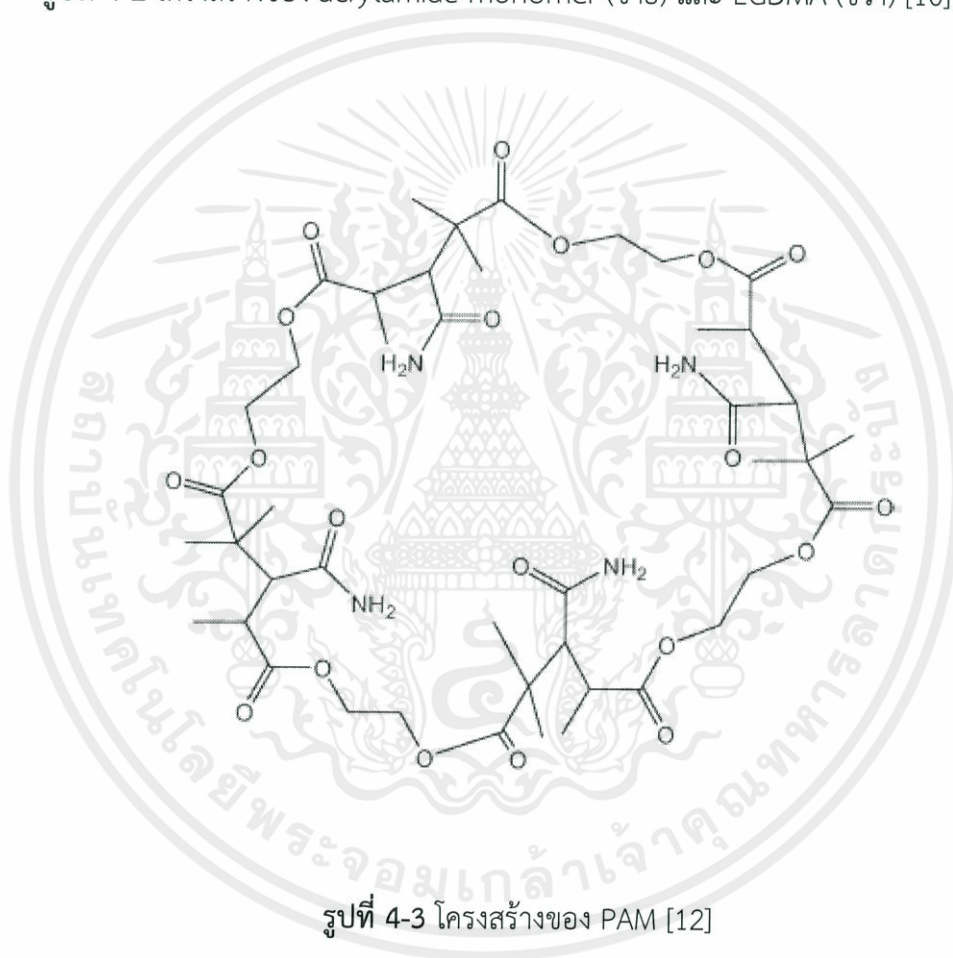
เมื่อ acrylamide monomer และ EGDMA ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 4-2 เกิดพันธะกันเป็นพอลิเมอร์แล้ว พันธะคู่ที่ปลายด้านซ้ายของ acrylamide monomer และที่ปลายทั้งสองด้านของ EGDMA จะรวมกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหดังรูปที่ 4-3 ทำให้พันธะคู่หายไป เป็นผลให้ไม่สามารถระบุพีคของพันธะ C=C ที่ตำแหน่ง  $1600\text{ cm}^{-1}$  ในรูปที่ 4-1 (ก) ได้นั่นเอง



รูปที่ 4-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PAM ไม้ลอกแบบสติกมาสเตอร์อล (ข) EGDMA [6] และ (ค) acrylamide monomer [7]



รูปที่ 4-2 โครงสร้างของ acrylamide monomer (ซ้าย) และ EGDMA (ขวา) [10], [11]

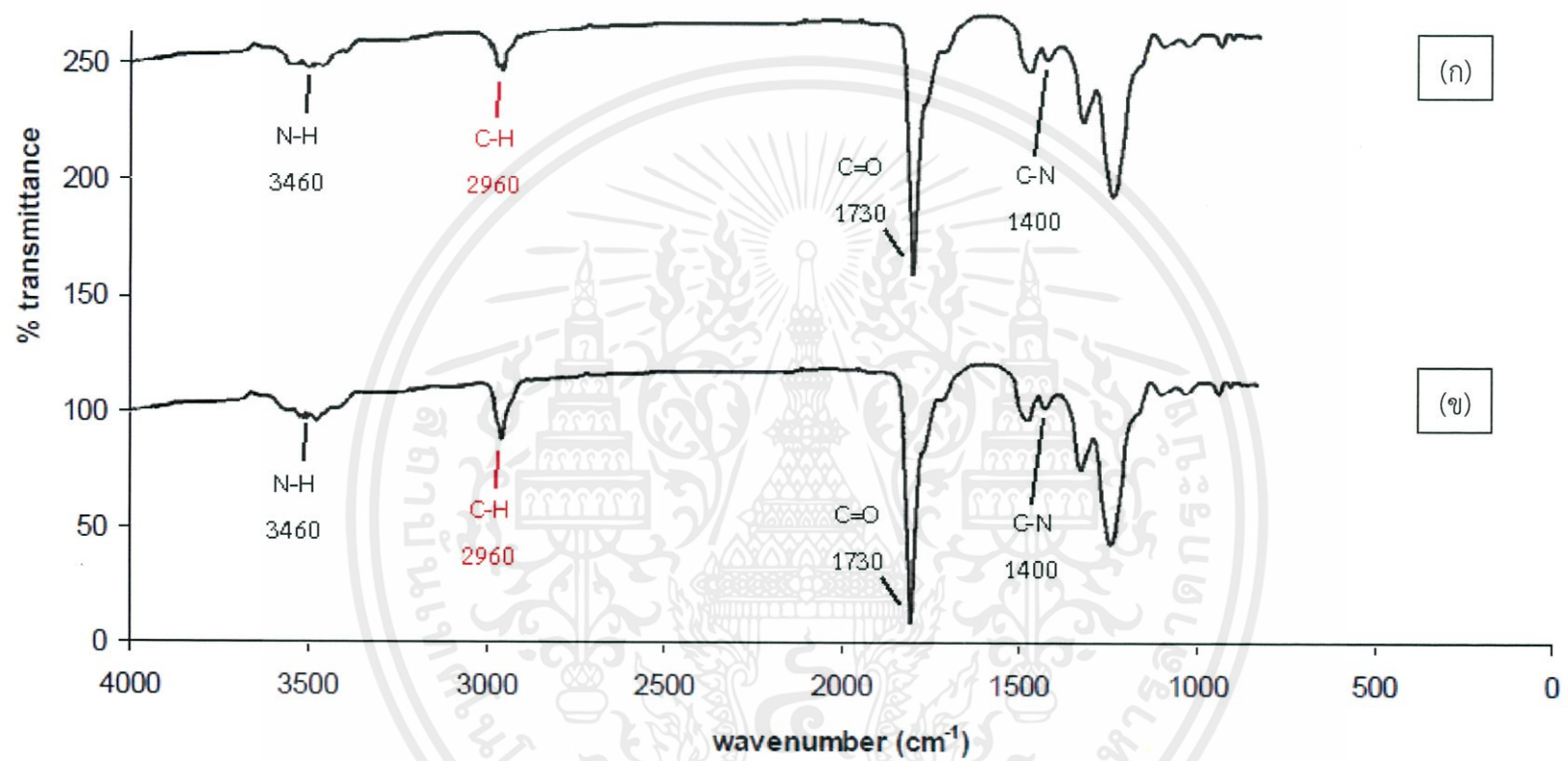


รูปที่ 4-3 โครงสร้างของ PAM [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-4 (ข) แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ PAM ลอกแบบสติกมาสเตอรอล จะเห็นได้ว่า มีพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่  $3460\text{ cm}^{-1}$ ,  $1730\text{ cm}^{-1}$ ,  $1400\text{ cm}^{-1}$  และ  $2960\text{ cm}^{-1}$  [9] ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะ ในหมู่เอไมด์ คือ พันธะ N-H พันธะ C=O พันธะ C-N และพันธะในหมู่เอทิล ได้แก่ พันธะ C-H ตามลำดับ แต่จะมีความแตกต่างจาก PAM ที่ไม่ลอกแบบในขอบเขตความยาวคลื่นที่  $2960\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นบริเวณที่มี พีคที่แสดงถึงพันธะ C-H เด่นชัดขึ้นกว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของ PAM ไม่ลอกแบบในรูปที่ 4-4 (ก) เนื่องจากมีอันตรกิริยาของสติกมาสเตอรอลกับพอลิเมอร์เกิดขึ้น ทำให้พบพันธะ C-H มากขึ้น





รูปที่ 4-4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PAM ไม่ลอกแบบสติกมาสเตอร์อล (ข) PAM ลอกแบบสติกมาสเตอร์อล

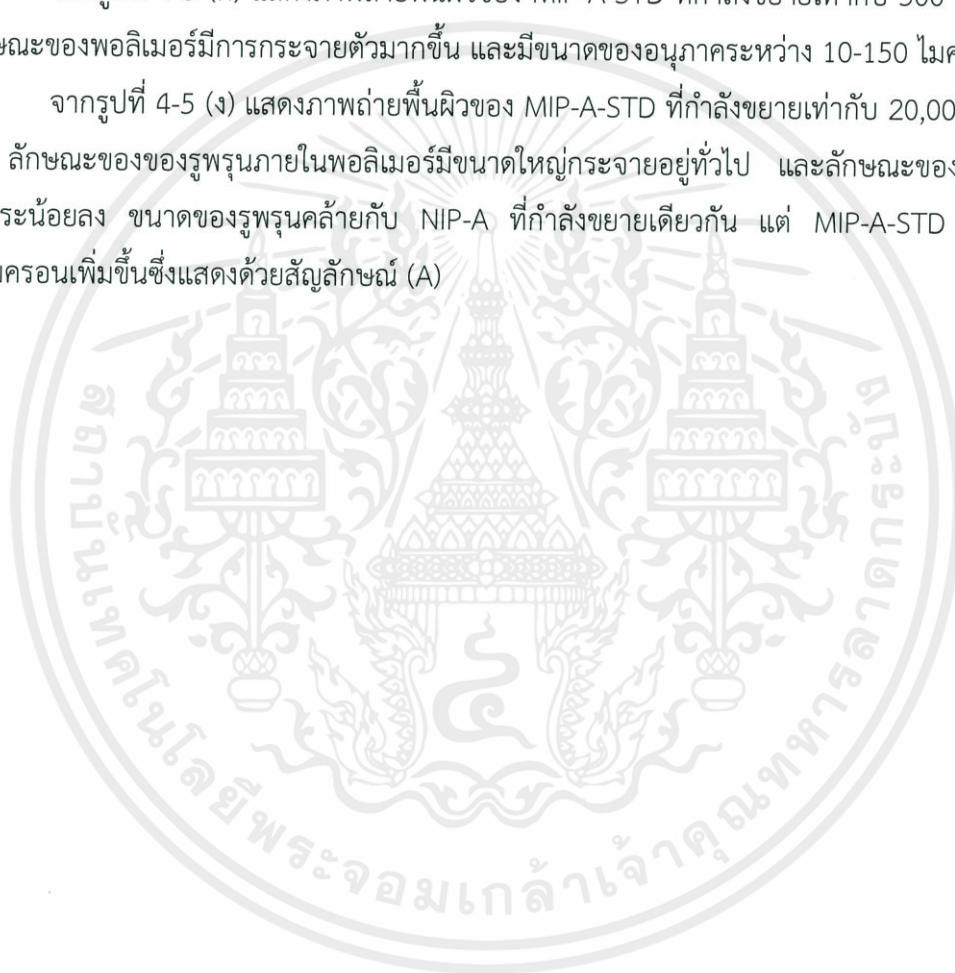
#### 4.1.2. ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์

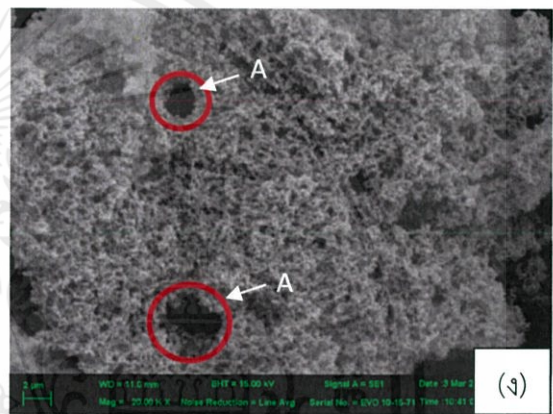
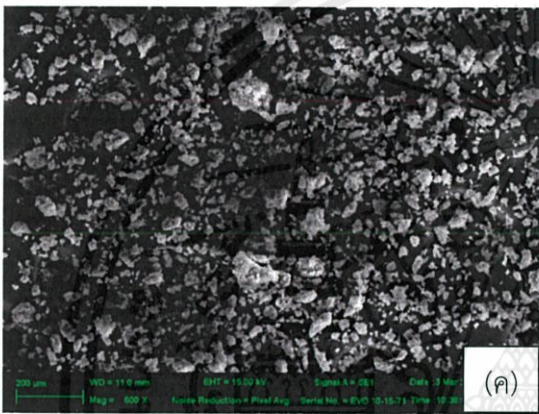
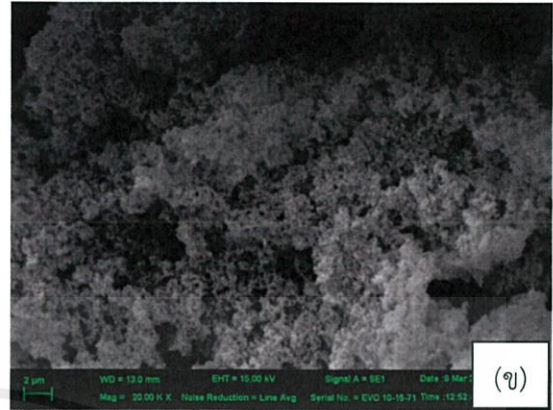
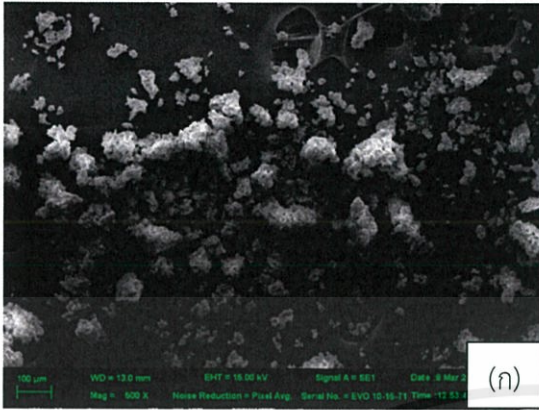
จากรูปที่ 4-5 (ก) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ NIP-A ที่กำลังขยายเท่ากับ 500 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของพอลิเมอร์เป็นกลุ่มก้อน ไม่กระจายตัวมาก และมีขนาดของอนุภาคระหว่าง 10-150 ไมครอน

จากรูปที่ 4-5 (ข) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ NIP-A ที่กำลังขยายเท่ากับ 20,000 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของรูพรุนภายในพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป ขนาดของรูพรุนน้อยกว่า 0.5 ไมครอน ซึ่งตามเกณฑ์ของระบบ IUPAC [13] แล้วพิจารณาว่าเป็นรูพรุนแบบ macropore

จากรูปที่ 4-5 (ค) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ MIP-A-STD ที่กำลังขยายเท่ากับ 500 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของพอลิเมอร์มีการกระจายตัวมากขึ้น และมีขนาดของอนุภาคระหว่าง 10-150 ไมครอน

จากรูปที่ 4-5 (ง) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ MIP-A-STD ที่กำลังขยายเท่ากับ 20,000 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของรูพรุนภายในพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป และลักษณะของรูพรุนมีความขรุขระน้อยลง ขนาดของรูพรุนคล้ายกับ NIP-A ที่กำลังขยายเดียวกัน แต่ MIP-A-STD มีโพรงขนาด 2 ไมครอนเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ (A)



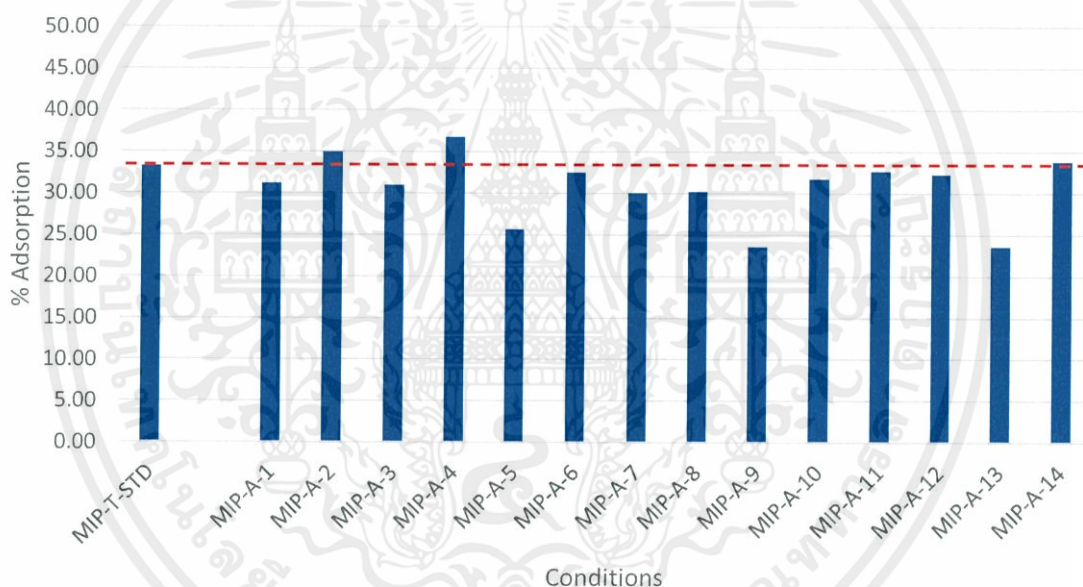


รูปที่ 4-5 พื้นผิวของพอลิเมอร์ที่กำลังขยายต่างๆ (ก) NIP-A กำลังขยาย 500 เท่า (ข) NIP-A กำลังขยาย 20,000 เท่า (ค) MIP-A-STD กำลังขยาย 500 เท่า (ง) MIP-A-STD กำลังขยาย 20,000 เท่า (EHT = 15.00 kV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่อการดูดซับ

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในขั้นตอนสังเคราะห์ที่ส่งผลต่อการดูดซับของ PAM ได้ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลและชนิดของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นในแต่ละสภาวะ แสดงดังรูปที่ 4-6 พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่มาก (เช่น MIP-A-4) จะส่งผลให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลสูงขึ้น เนื่องจาก crosslink ในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้พอลิเมอร์มีความเสถียรและแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่ม template (MIP-A-12) ไม่ส่งผลต่อร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลมากนัก ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะปริมาณ template ที่ใช้ในการสังเคราะห์สูงเกินกว่าขีดความสามารถในการลอกแบบลงบนพอลิเมอร์แล้ว



รูปที่ 4-6 ร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลของ PAM ลอกแบบสติกมาสเตอรอลที่สภาวะต่าง ๆ เทียบกับ PAM ไม่ลอกแบบ (เส้นประสีแดง)

#### 4.1.4. การวิเคราะห์และทำนายผลการทดลองเชิงสถิติ

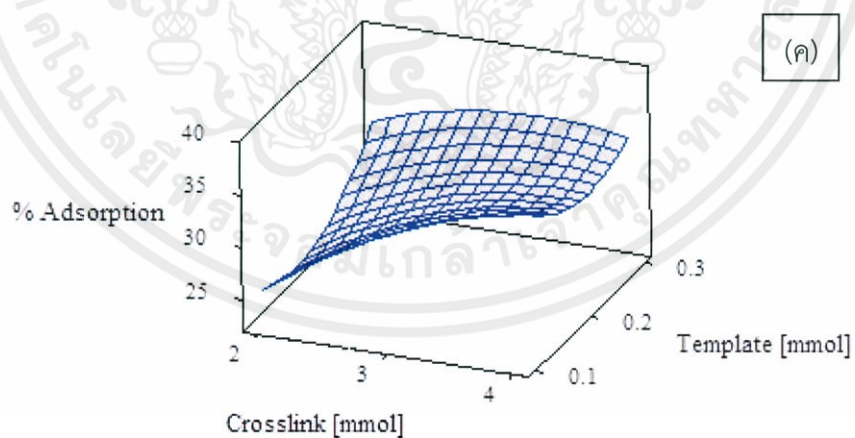
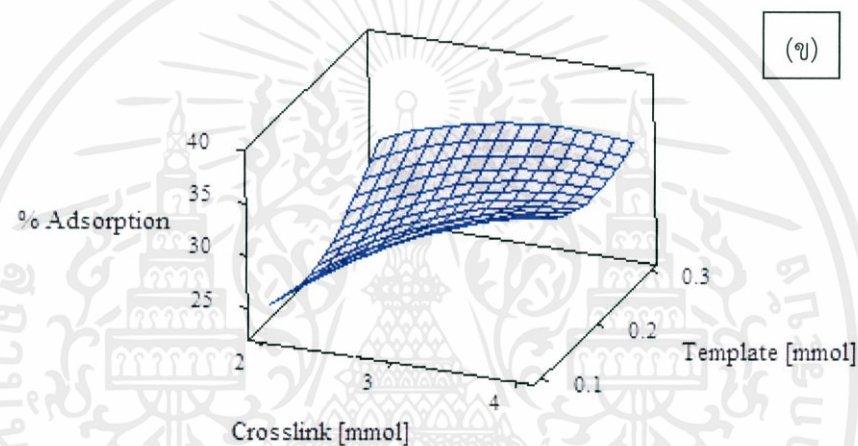
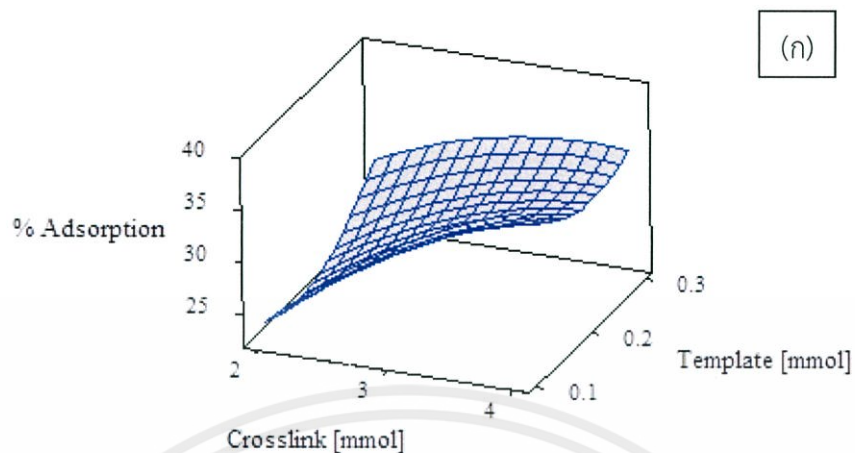
ผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาพล็อตระนาบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรได้ โดยใช้ โปรแกรม MiniTab เพื่อศึกษาผลของตัวแปรทั้งสองต่อร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลดังนี้

##### 4.1.4.1. ปริมาณของ crosslink และ template

จากรูปที่ 4-7 (ก) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่เท่ากับ 5 ml พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของ template ที่น้อยลงจะทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4-7 (ข) และ (ค) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอล เมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่เท่ากับ 6 ml และ 7 ml ตามลำดับ พบว่าปริมาณของตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น





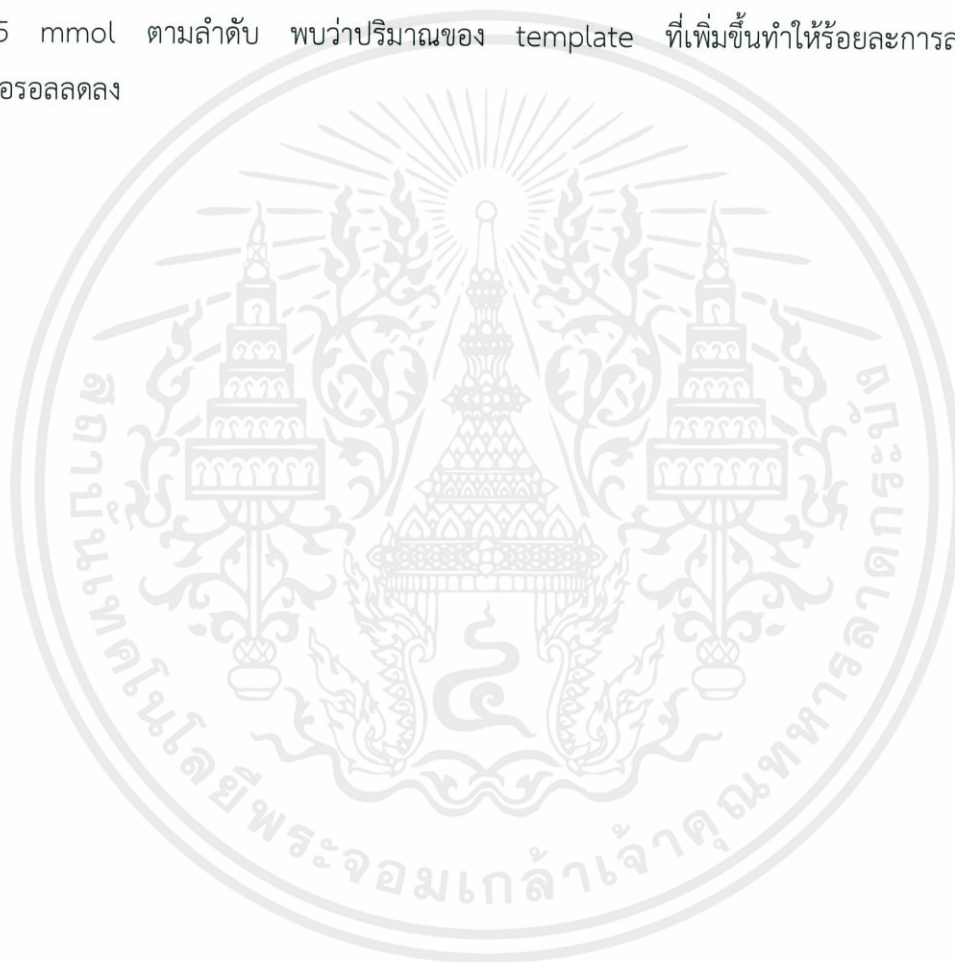
รูปที่ 4-7 ระบายของค่าการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่ เท่ากับ (ก) 5 ml (ข) 6 ml (ค) 7 ml

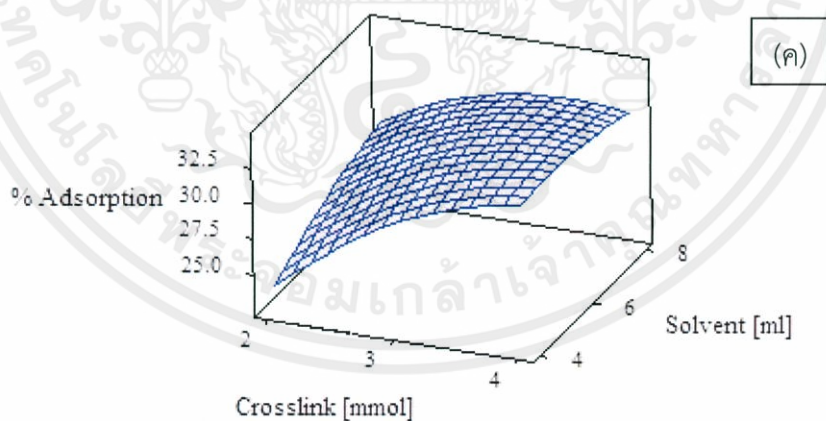
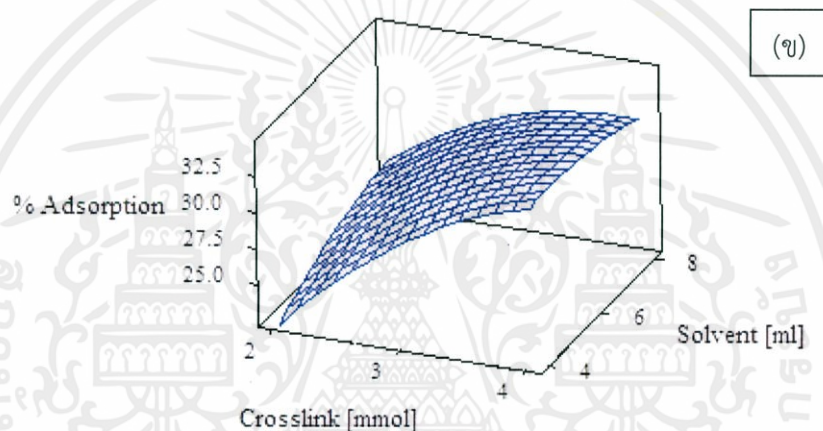
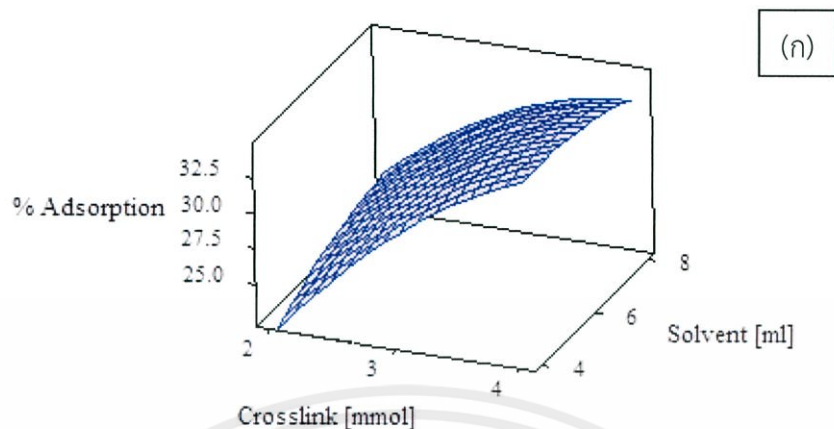
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4.2. ปริมาณ crosslink และตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4-8 (ก) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ template คงที่เท่ากับ 0.15 mmol พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่เพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของตัวทำละลายมีผลต่อร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเล็กน้อย

จากรูปที่ 4-8 (ข) และ (ค) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณ template คงที่เท่ากับ 0.20 mmol และ 0.25 mmol ตามลำดับ พบว่าปริมาณของ template ที่เพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลลดลง





รูปที่ 4-8 ระบุว่าค่าการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนแปลงไป โดยปริมาณของ template คงที่ เท่ากับ (ก) 0.15 mmol (ข) 0.20 mmol (ค) 0.25 mmol

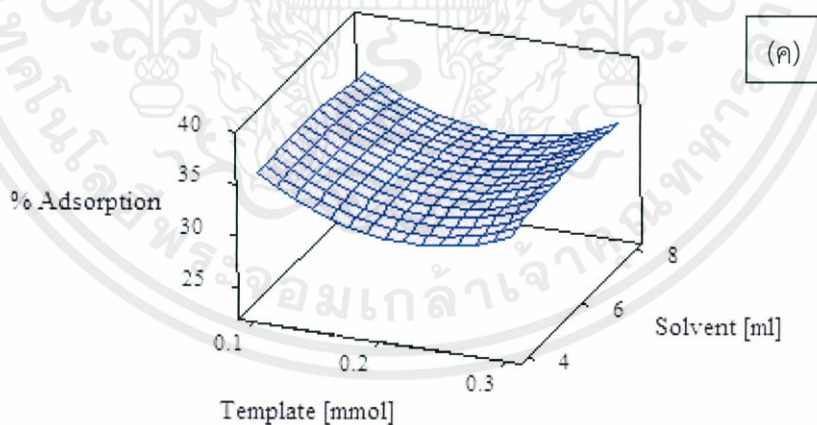
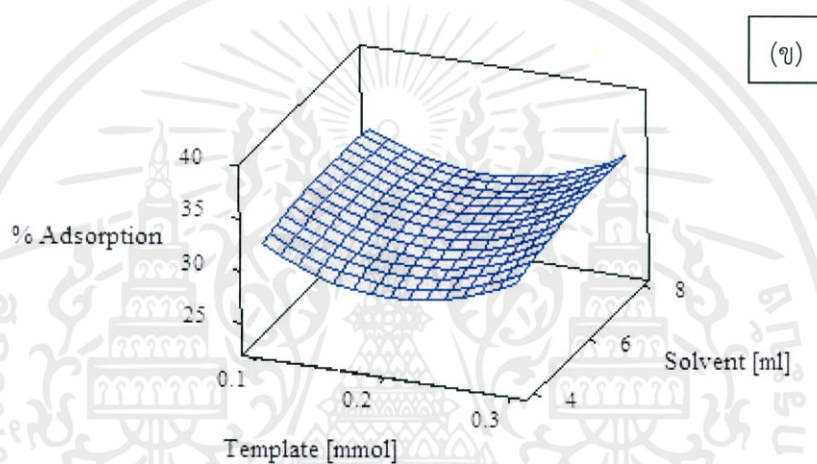
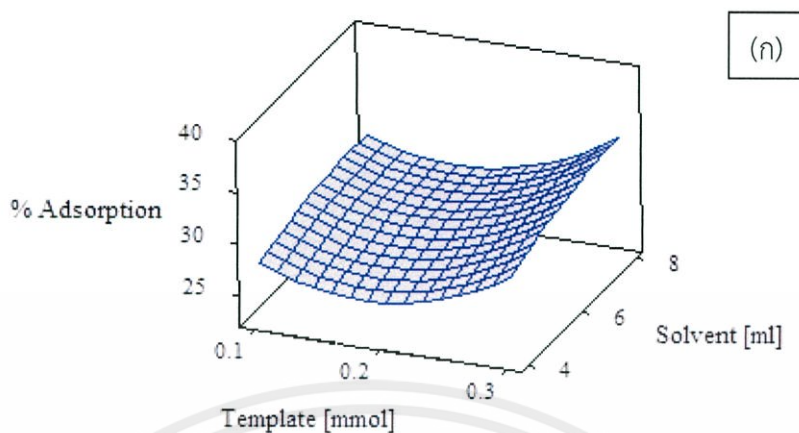
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4.3. ปริมาณ template และตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4-9 (ก) แสดงถึงระนาบของค่าการดูดซับเมื่อปริมาณของ template และ ตัวทำละลาย เปลี่ยนไป โดยปริมาณของ crosslink คงที่เท่ากับ 2.5 mmol พบว่า ปริมาณของ template ที่น้อยลงหรือเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น โดยจะแปรผันกับตัวแปรสังเคราะห์อื่นๆ ส่วนปริมาณของตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4-9 (ข) และ (ค) แสดงถึงระนาบของค่าการดูดซับเมื่อปริมาณของ template และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ crosslink คงที่เท่ากับ 3 mmol และ 3.5 mmol ตามลำดับ พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น



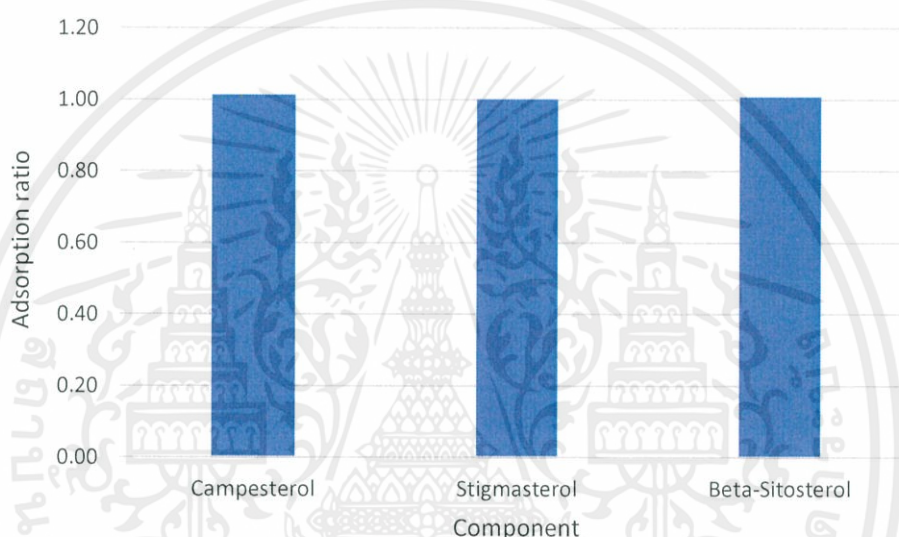


รูปที่ 4-9 ระบุว่าค่าการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ template และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยที่ปริมาณของ crosslink คงที่ เท่ากับ (ก) 2.5 mmol (ข) 3 mmol (ค) 3.5 mmol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่ออัตราส่วนการดูดซับ

จากรูปที่ 4-10 แสดงอัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเทียบกับการดูดซับสตีกลมาสเตอร์รอลของ MIP-A-STD พบว่า การเลือกดูดซับสารใดสารหนึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะโครงสร้างของสารที่ถูกดูดซับแตกต่างกันน้อยมาก สำหรับพอลิเมอร์ที่สภาวะในการสังเคราะห์อื่นๆ มีผลการทดลองแนวโน้มแบบเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่แสดงผลการทดลอง



รูปที่ 4-10 อัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเทียบกับการดูดซับสตีกลมาสเตอร์รอลของ MIP-A-STD

จากการทำนายผลการทดลองเชิงสถิติจะเห็นได้ว่า PAM ลอกแบบสตีกลมาสเตอร์รอลที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้อัตราส่วนของ monomer : crosslink : template : solvent เท่ากับ 1 mmol : 3.5 mmol : 0.3 mmol : 7 ml ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด (optimum) จะให้ผลร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลมากที่สุดที่ 37 คิดเป็น 1.13 เท่าของ PAM ไม่ลอกแบบ

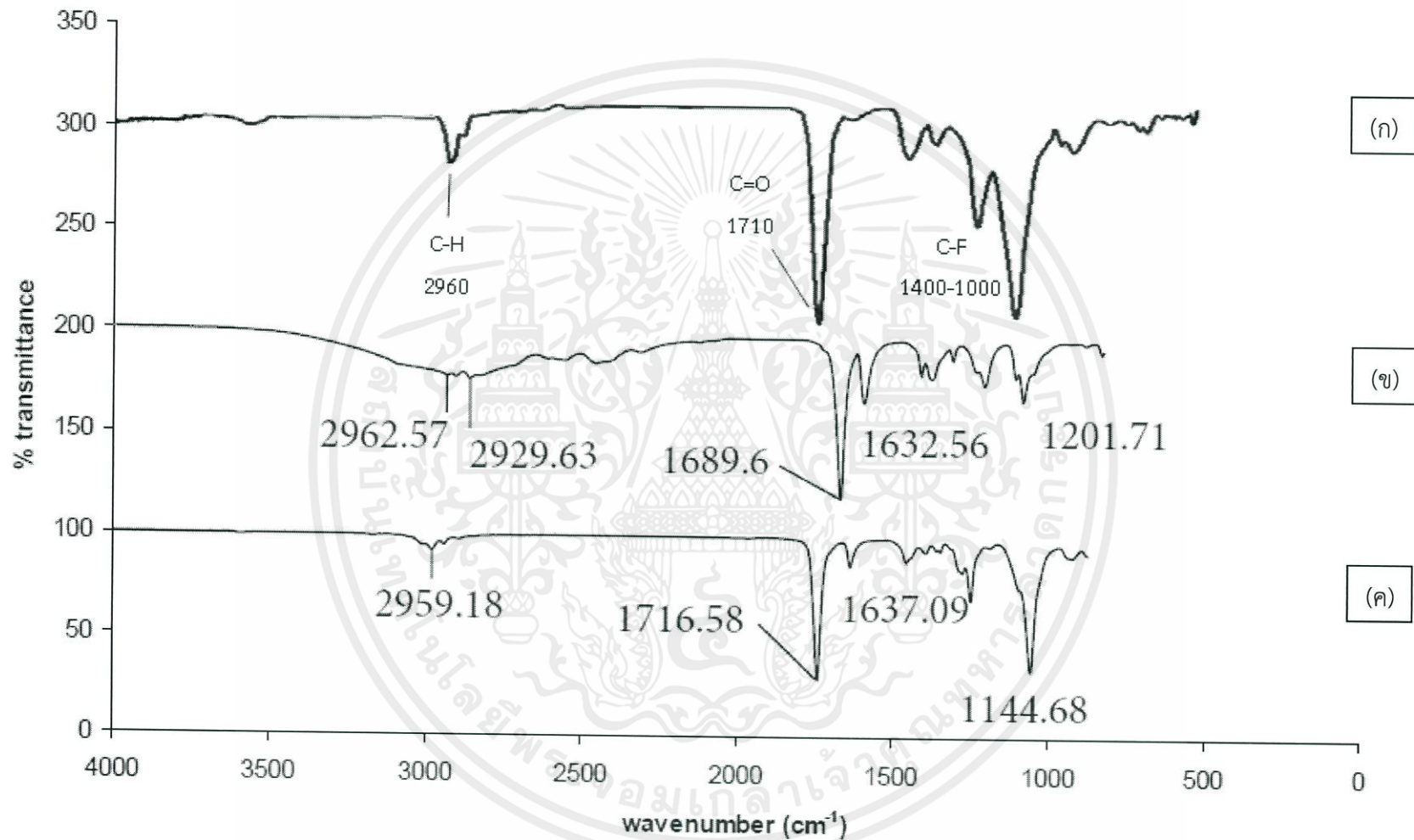
## 4.2. Poly(TFMAA-co-TRIM); PMAA

PMAA ที่สังเคราะห์ที่ได้มีคุณสมบัติเป็นของแข็งสีขาว มีลักษณะเป็นผงแป้ง ไม่ละลายในน้ำหรือเฮปแทน ดูดซับน้ำได้น้อย เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือสัมผัสความชื้นจะจับตัวเป็นก้อนบ้าง แต่น้อยกว่า PAM

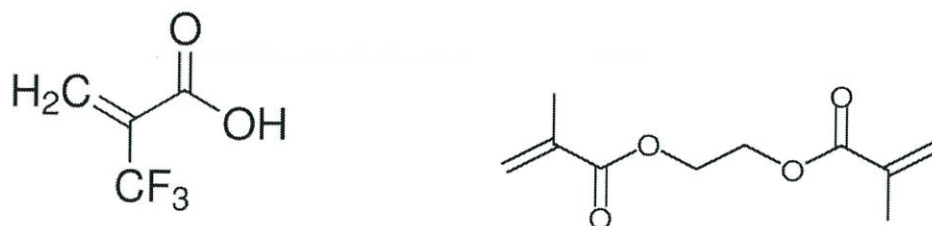
### 4.2.1. คุณลักษณะของพอลิเมอร์

จากรูปที่ 4-11 (ก) แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ PMAA ที่ไม่ลอกแบบ จะเห็นได้ว่าพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่  $1710\text{ cm}^{-1}$   $2960\text{ cm}^{-1}$  และช่วง  $1400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$  [9] ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะ C=O ในหมู่คาร์บอกซิลิก และพันธะในหมู่เอทิล ได้แก่ พันธะ C-H และพันธะ C-F ซึ่งเป็นสารประกอบฟลูออไรด์ตามลำดับ ซึ่งสามารถอนุมานว่าเกิด PMAA ขึ้นแล้ว เนื่องจาก Jin Y. และคณะ [6] รายงานว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของ MAA จะปรากฏพีคของพันธะ C=C ที่ตำแหน่ง  $1632\text{ cm}^{-1}$  และ อินฟราเรดสเปกตรัมของ EGDMA จะปรากฏพีคของพันธะ C=C ที่ตำแหน่ง  $1637\text{ cm}^{-1}$  ดังรูปที่ 4-11 (ข) และ (ค) ตามลำดับ

เมื่อ MAA และ EGDMA ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 4-12 เกิดเป็นพอลิเมอร์แล้ว พันธะคู่ที่ปลายด้านซ้ายของ MAA และที่ปลายทั้งสองด้านของ EGDMA จะรวมกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหดังรูปที่ 4-13 ทำให้พันธะคู่หายไป เป็นผลให้ไม่สามารถระบุพีคของพันธะ C=C ที่ตำแหน่ง  $1600\text{ cm}^{-1}$  ในรูปที่ 4-11 (ก) ได้นั่นเอง



รูปที่ 4-11 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PMAA ไม้ลอกแบบสติกมาสเตอรอล (ข) MAA [6] และ (ค) EGDMA [6]



รูปที่ 4-12 โครงสร้างของ TFMAA (ซ้าย) และ EGDMA (ขวา) [14], [11]



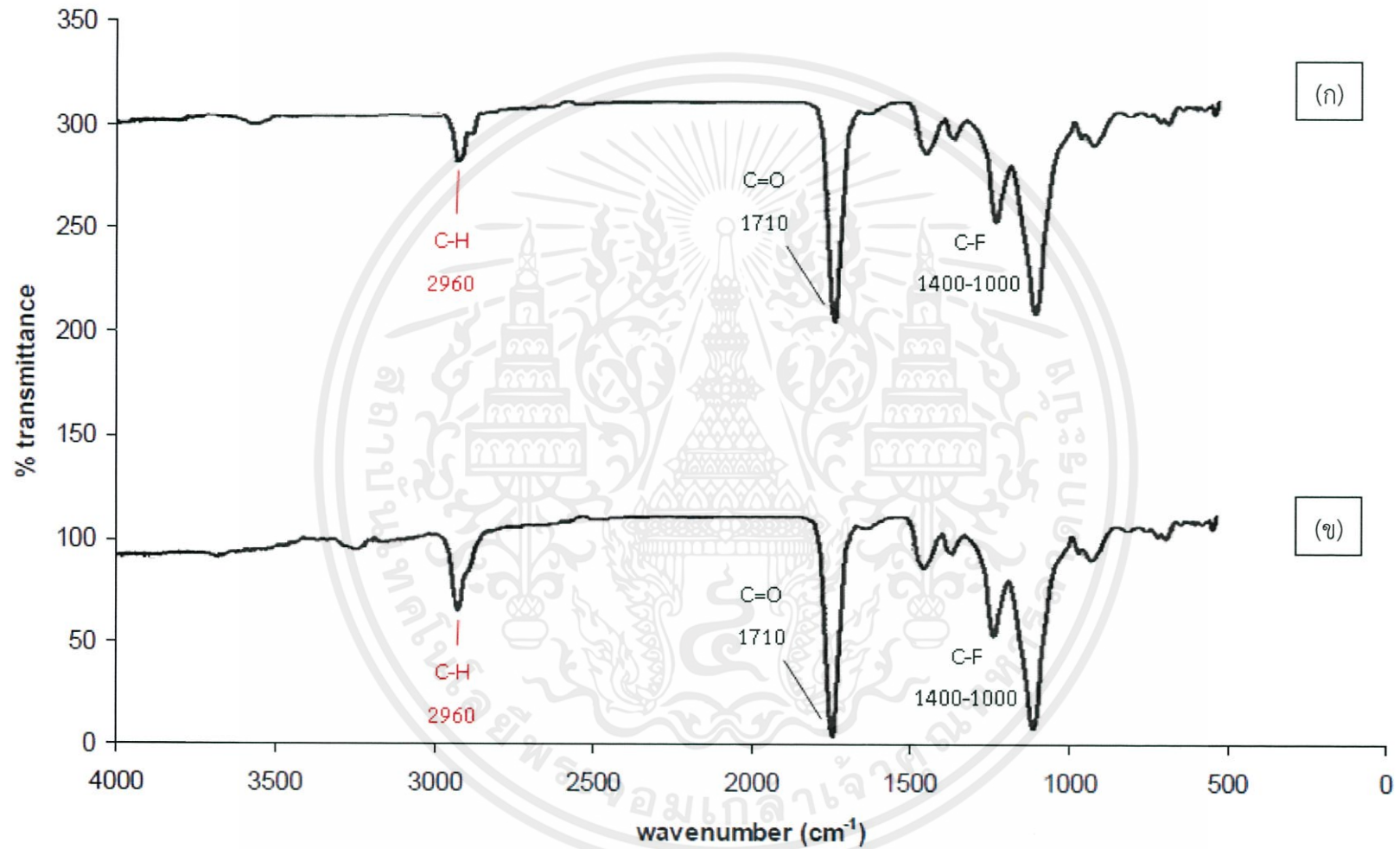
รูปที่ 4-13 โครงสร้างของ PMAA [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-14 (ข) แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ PMAA ลอกแบบสติกมาสเตอรอล จะเห็นได้ว่า พิคเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่  $1710\text{ cm}^{-1}$   $2960\text{ cm}^{-1}$  และช่วง  $1400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$  [9] ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะ C=O และพันธะในหมู่เอทิล ได้แก่ พันธะ C-H และพันธะ C-F ซึ่งเป็นสารประกอบฟลูออไรด์ตามลำดับ จะมีความแตกต่างจาก PMAA ในขอบเขตความยาวคลื่นที่  $2960\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นบริเวณที่มีพิคที่แสดงถึงพันธะ C-H เด่นชัดขึ้นกว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของ PMAA ไม่ลอกแบบสติกมาสเตอรอลในรูปที่ 4-14 (ก) เนื่องจากมีอันตรกิริยาของสติกมาสเตอรอลกับพอลิเมอร์เกิดขึ้น ทำให้พบพันธะ C-H มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PMAA ไม่วกแบบสติกมาสเตอร์อล (ข) PMAA ลกแบบสติกมาสเตอร์อล

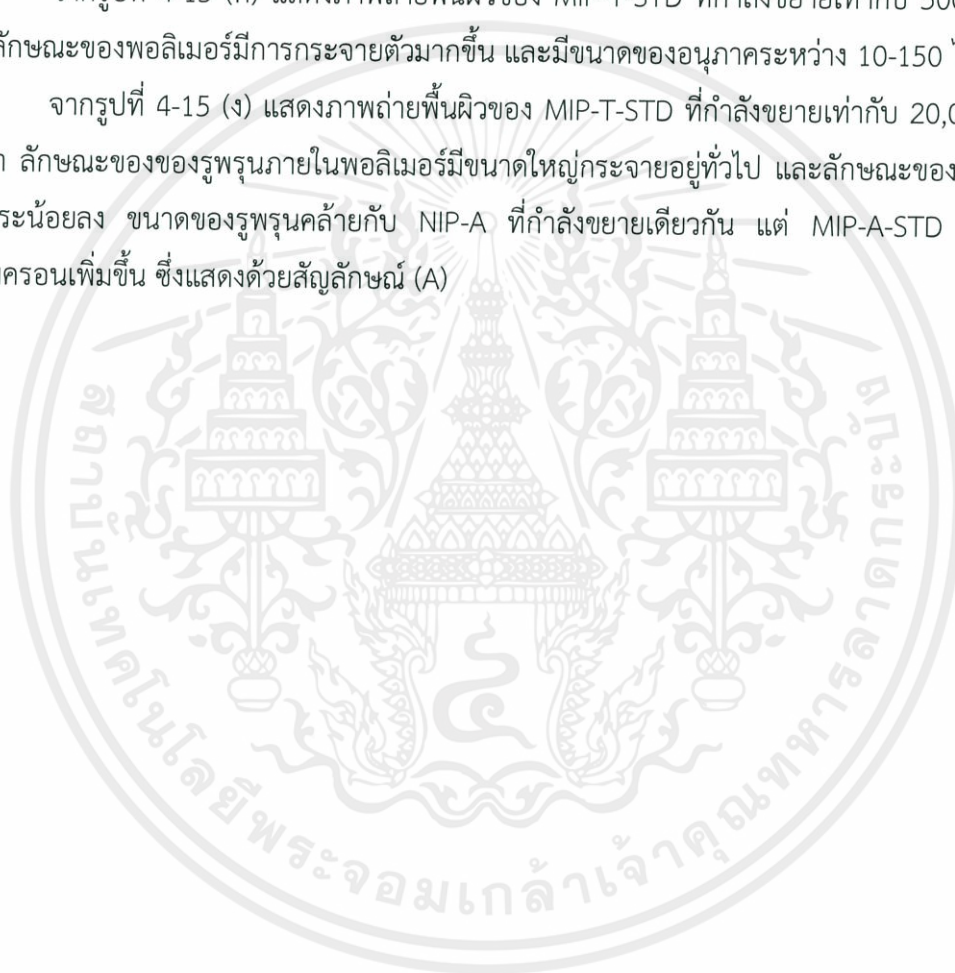
#### 4.2.2. ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์

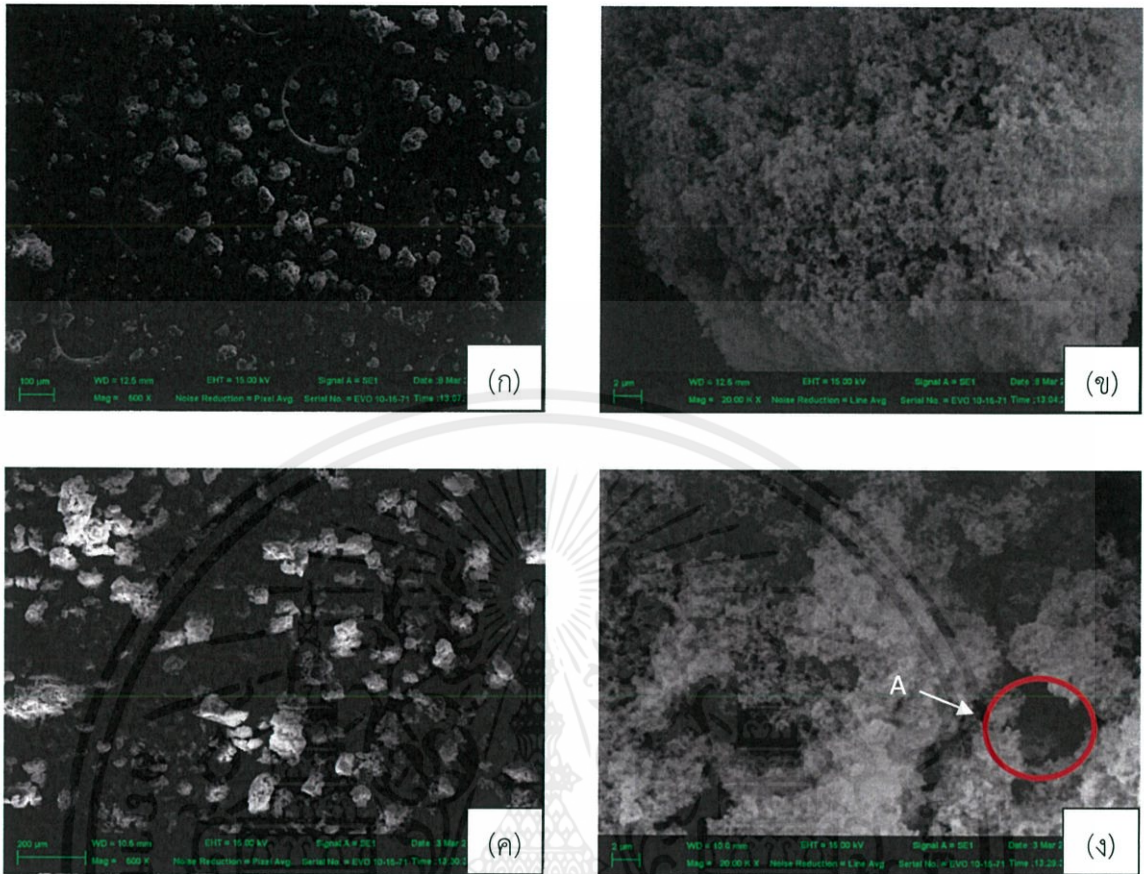
จากรูปที่ 4-15 (ก) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ NIP-T ที่กำลังขยายเท่ากับ 500 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของพอลิเมอร์มีการกระจายตัว และมีขนาดของอนุภาคระหว่าง 10-100 ไมครอน

จากรูปที่ 4-15 (ข) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ NIP-T ที่กำลังขยายเท่ากับ 20,000 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของรูพรุนภายในพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป ขนาดของรูพรุนน้อยกว่า 0.5 ไมครอน ซึ่งตามเกณฑ์ของระบบ IUPAC [13] แล้วพิจารณาว่าเป็นรูพรุนแบบ macropore

จากรูปที่ 4-15 (ค) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ MIP-T-STD ที่กำลังขยายเท่ากับ 500 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของพอลิเมอร์มีการกระจายตัวมากขึ้น และมีขนาดของอนุภาคระหว่าง 10-150 ไมครอน

จากรูปที่ 4-15 (ง) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของ MIP-T-STD ที่กำลังขยายเท่ากับ 20,000 เท่า เห็นได้ว่าลักษณะของรูพรุนภายในพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป และลักษณะของรูพรุนมีความขรุขระน้อยลง ขนาดของรูพรุนคล้ายกับ NIP-A ที่กำลังขยายเดียวกัน แต่ MIP-A-STD มีโพรงขนาด 4 ไมครอนเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ (A)

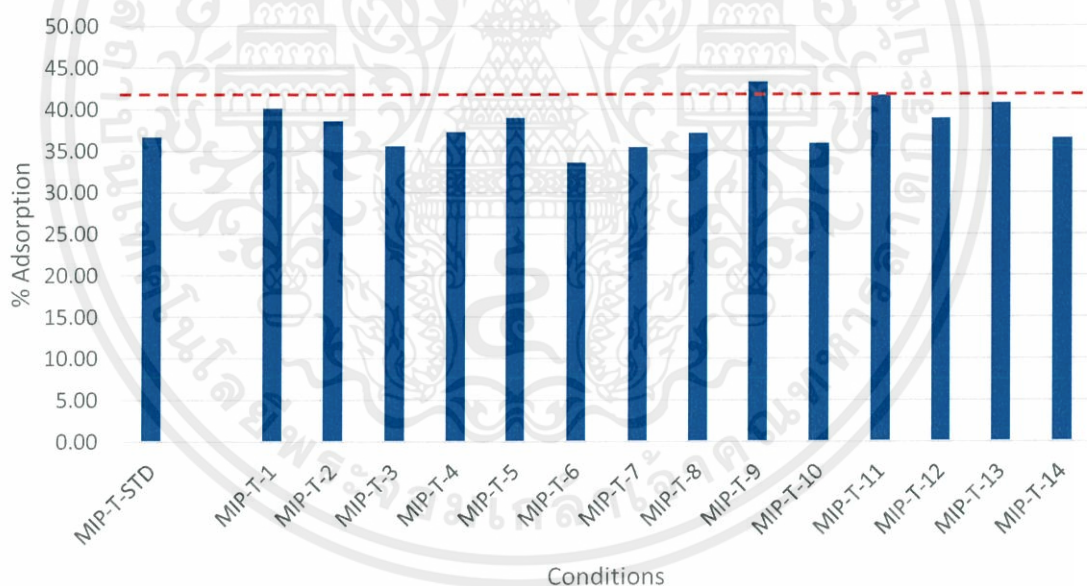




รูปที่ 4-15 พื้นผิวของพอลิเมอร์ที่กำลังขยายต่าง ๆ (ก) NIP-T กำลังขยาย 500 เท่า (ข) NIP-T กำลังขยาย 20,000 เท่า (ค) MIP-T-STD กำลังขยาย 500 เท่า (ง) MIP-T-STD กำลังขยาย 20,000 เท่า (EHT = 15.00 kV)

#### 4.2.3. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่อการดูดซับ

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในขั้นตอนสังเคราะห์ที่ส่งผลต่อการดูดซับของ PMAA ได้ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลและชนิดของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นในแต่ละสถานะ แสดงดังรูปที่ 4-16 พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่น้อยลง (เช่น MIP-T-9) ส่งผลให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น เพราะการมีโมเลกุลของ crosslink ที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง monomer และ template ส่งผลให้การลอกแบบเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ เช่นเดียวกับการลดปริมาณตัวทำละลายลง (เช่น เทียบ MIP-T-1 กับ MIP-T-5) จะส่งผลให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวทำละลายมีผลต่อการขนาดของรูพรุนของพอลิเมอร์ ซึ่งคาดว่าสถานะมาตรฐานที่ใช้สังเคราะห์ PMAA อาจมีปริมาณของตัวทำละลายมากเกินไป ส่งผลให้รูพรุนมีขนาดไม่เหมาะสมกับโมเลกุลของไฟโตสเตอรอล เมื่อลดปริมาณตัวทำละลายจึงเห็นว่าพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น



รูปที่ 4-16 ร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลของ PMAA ลอกแบบสติกมาสเตอรอลที่สถานะต่าง ๆ เทียบกับ PMAA ไม่ลอกแบบ (เส้นประสีแดง)

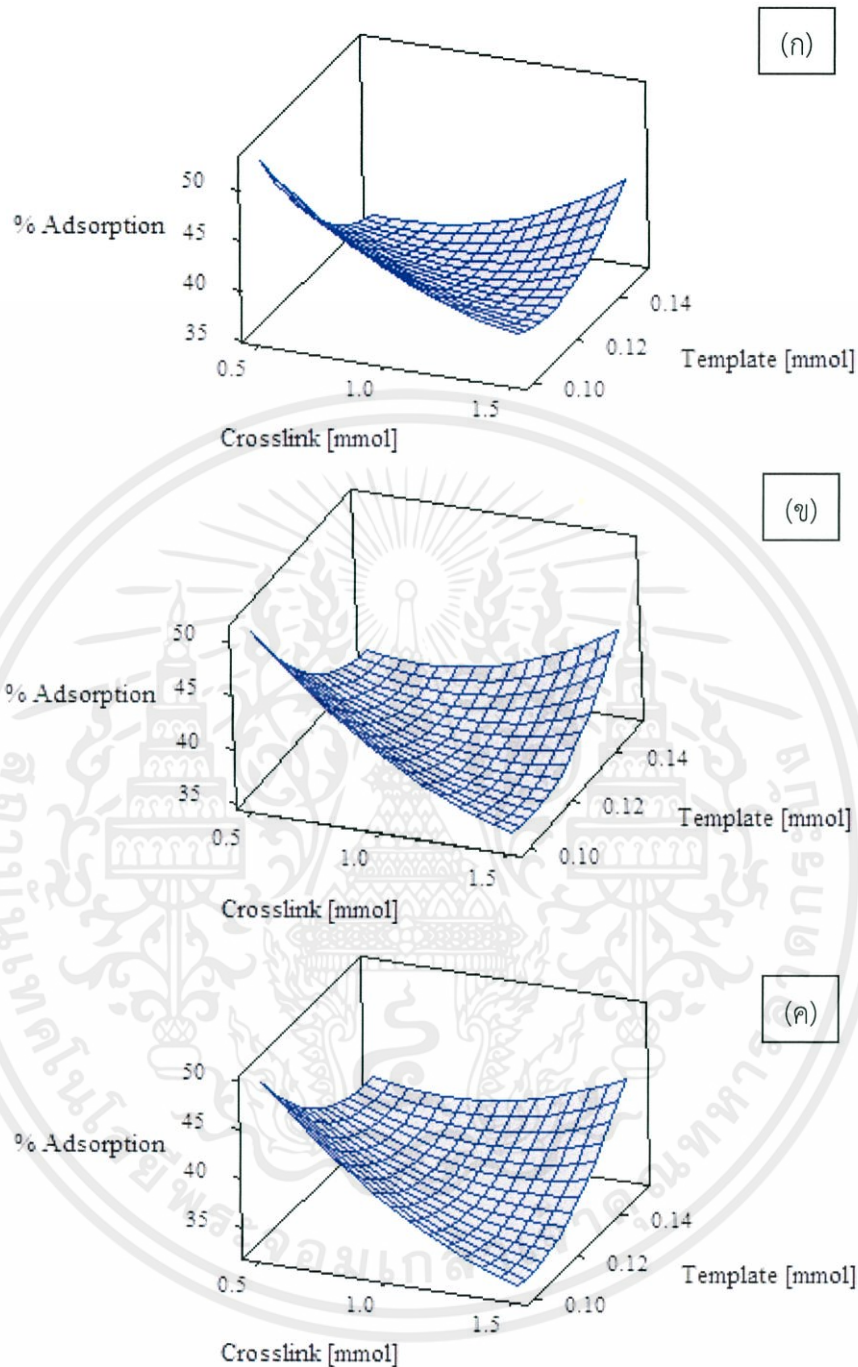
#### 4.2.4. การวิเคราะห์และทำนายผลการทดลองเชิงสถิติ

ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาพล็อตระนาบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรได้โดยใช้โปรแกรม MiniTab เพื่อศึกษาผลของตัวแปรทั้งสองต่อร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลดังนี้

##### 4.2.4.1. ปริมาณของ crosslink และ template

จากรูปที่ 4-17 (ก) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่เท่ากับ 12.5 ml พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลลดลง ส่วนปริมาณของ template ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4-17 (ข) และ (ค) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่เท่ากับ 15 ml และ 17.5 ml ตามลำดับ พบว่า ปริมาณของตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น เฉพาะอัตราส่วนที่ปริมาณของ crosslink น้อยและปริมาณของ template เพิ่ม



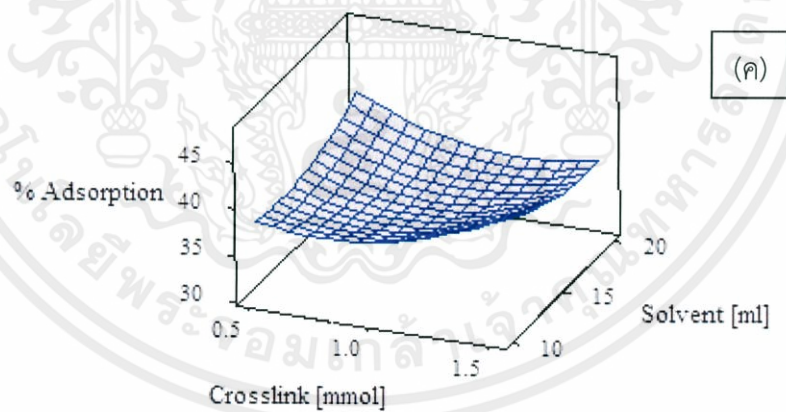
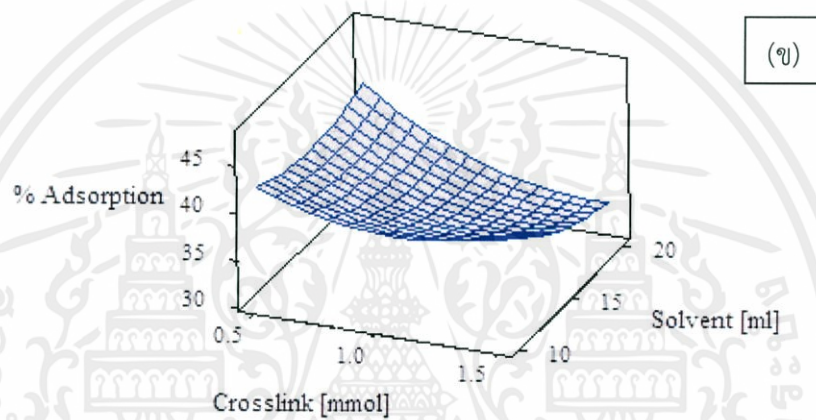
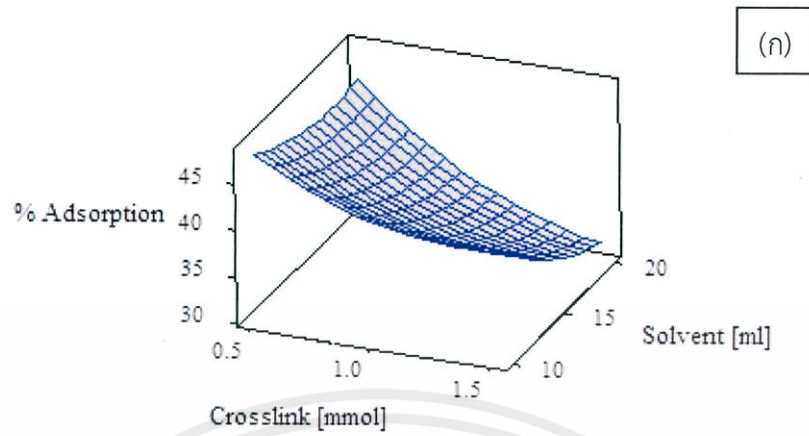
รูปที่ 4-17 ระบายของค่าการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และ template เปลี่ยนไป โดยปริมาณของตัวทำละลายคงที่ เท่ากับ (ก) 12.5 ml (ข) 15 ml (ค) 17.5 ml

#### 4.2.4.2. ปริมาณ crosslink และตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4-18 (ก) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ template คงที่เท่ากับ 0.1125 mmol พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่ลดลง ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของตัวทำละลายที่มากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้นมากกว่าปริมาณของตัวทำละลายที่น้อยลง

จากรูปที่ 4-18 (ข) และ (ค) แสดงถึงระนาบของร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ template คงที่เท่ากับ 0.125 mmol และ 0.1375 mmol ตามลำดับ พบว่า ปริมาณของ template ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการลดลงของไฟโตสเตอรอลลดลงอย่างเห็นได้ชัดในอัตราส่วนของปริมาณ crosslink น้อย แต่ส่งผลให้ค่าการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในอัตราส่วนของปริมาณ crosslink มาก





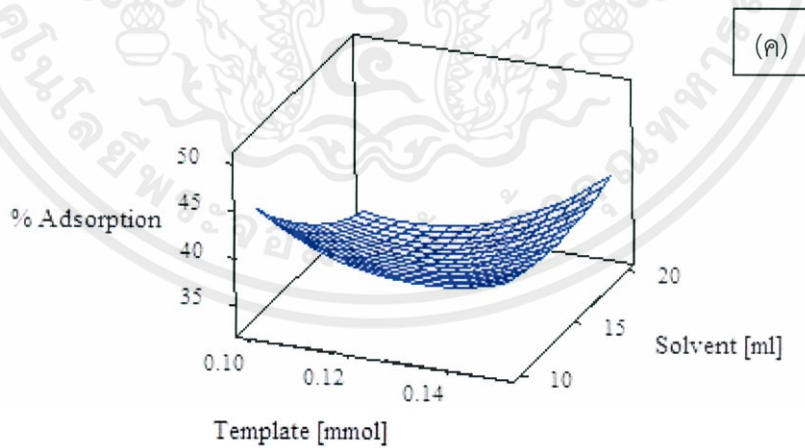
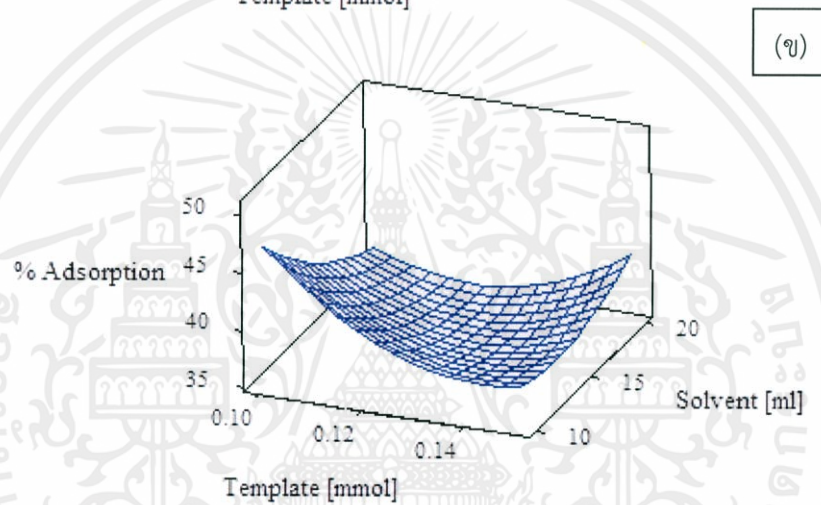
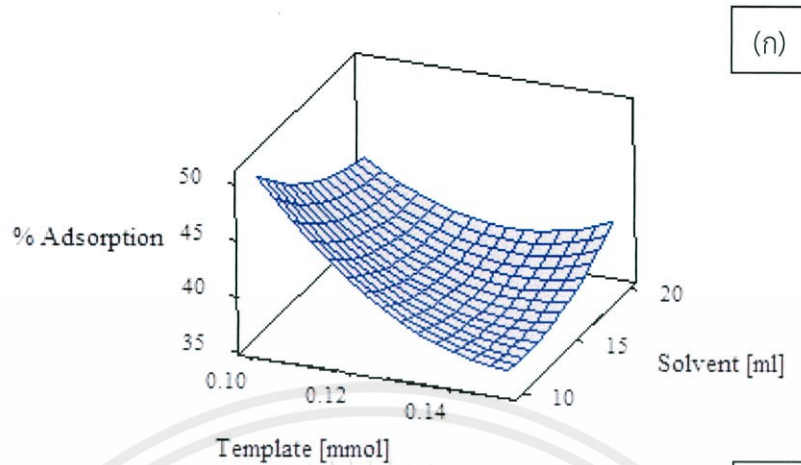
รูปที่ 4-18 ระนาบของค่าการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ crosslink และตัวทำละลายเปลี่ยนแปลง โดยปริมาณของ template คงที่ เท่ากับ (ก) 0.1125 mmol (ข) 0.125 mmol (ค) 0.1375 mmol

#### 4.2.4.3. ปริมาณ template และตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4-19 (ก) แสดงถึงระนาบของค่าการดูดซับเมื่อปริมาณของ template และ ตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ crosslink คงที่เท่ากับ 0.75 mmol พบว่า ปริมาณของ template ที่น้อยลงหรือเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น โดยจะแปรผันกับตัวแปรสังเคราะห์อื่นๆ ส่วนปริมาณของตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4-19 (ข) และ (ค) แสดงถึงระนาบของค่าการดูดซับเมื่อปริมาณของ template และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยปริมาณของ crosslink คงที่เท่ากับ 1 mmol และ 1.25 mmol ตามลำดับ พบว่า ปริมาณของ crosslink ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลเพิ่มขึ้น



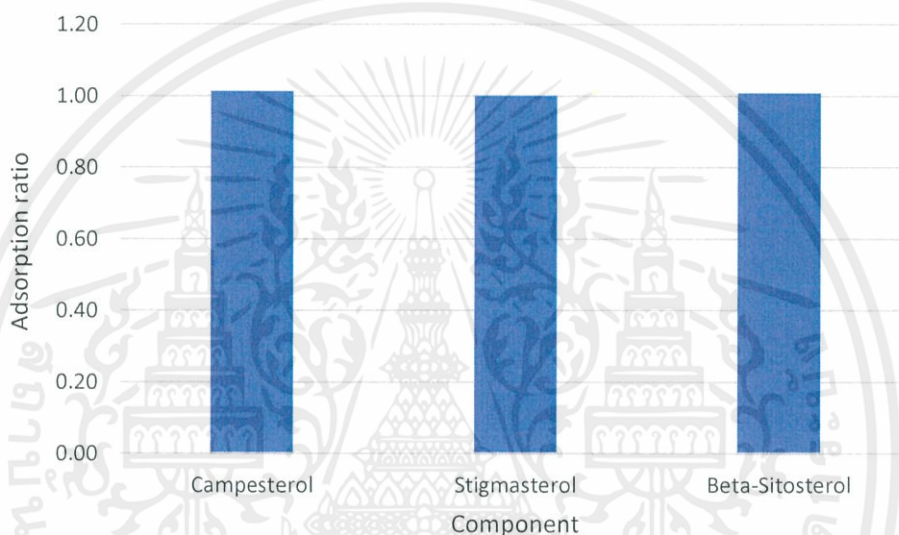


รูปที่ 4-19 ระบายของค่าการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเมื่อปริมาณของ template และตัวทำละลายเปลี่ยนไป โดยที่ปริมาณของ crosslink คงที่ เท่ากับ (ก) 0.75 mmol (ข) 1 mmol (ค) 1.25 mmol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5. อิทธิพลของตัวแปรในการสังเคราะห์ที่ส่งผลต่ออัตราส่วนการดูดซับ

จากรูปที่ 4-20 แสดงอัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเทียบกับการดูดซับสตีกลมาสเตอร์อลของ MIP-A-STD พบว่า การเลือกดูดซับสารใดสารหนึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะโครงสร้างของสารที่ถูกดูดซับแตกต่างกันน้อยมาก สำหรับพอลิเมอร์ที่สภาวะในการสังเคราะห์อื่นๆ มีผลการทดลองแนวโน้มแบบเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่แสดงผลการทดลอง



รูปที่ 4-20 อัตราส่วนการดูดซับของไฟโตสเตอรอลเทียบกับการดูดซับสตีกลมาสเตอร์อลของ MIP-T-STD

จากการทำนายผลการทดลองเชิงสถิติจะเห็นได้ว่า PMAA ลอกแบบสตีกลมาสเตอร์อลที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้อัตราส่วนของ monomer : crosslink : template : solvent เท่ากับ 1 mmol : 0.5 mmol : 0.1 mmol : 12.5 ml ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด (optimum) จะให้ผลร้อยละการดูดซับของไฟโตสเตอรอลมากที่สุดที่ 55 คิดเป็น 1.31 เท่าของ PMAA ไม่ลอกแบบ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ คุณลักษณะ สภาพพื้นผิว และประสิทธิภาพในการดูดซับไฟโตสเตอรอลของ poly(acrylamide-co-ethylene glycol dimethacrylate) (PAM) และ poly(2-(trifluoromethyl)acrylic acid-co-trimethylolpropane trimethacrylate) (PMAA) ทั้งลอกแบบและไม่ลอกแบบสติกมาสเตอรอล พบว่า พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งสองชนิดมีลักษณะภายนอกเป็นของแข็งสีขาว เป็นผงคล้ายแป้ง สามารถดูดซับน้ำได้โดยที่ PAM จะดูดซับน้ำได้มากกว่า PMAA พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่ละลายในน้ำหรือตัวทำละลายที่ใช้ในการศึกษา การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดด้วยเครื่อง FT-IR ให้เหตุผลที่สามารถอนุมานได้ว่าของแข็งที่ได้เป็น PAM และ PMAA จริง ลักษณะของอนุภาคและสภาพพื้นผิวสามารถตรวจได้โดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM) ขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ กล่าวคือ อนุภาคของ PAM หลังจากลอกแบบแล้วมีการกระจายตัวมากขึ้น ส่วนอนุภาคของ PMAA หลังจากลอกแบบจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่า PAM และรูพรุนของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดหลังจากถูกลอกแบบแล้วมีโพรงขนาด 1-2 ไมครอนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาตัวแปรในการสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไฟโตสเตอรอลของพอลิเมอร์ พบว่า อัตราส่วนของ crosslink ที่เติมลงในขั้นตอนการสังเคราะห์มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไฟโตสเตอรอลของพอลิเมอร์มากที่สุด เนื่องจาก crosslink เป็นส่วนสำคัญในการรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างและรูพรุนหรือโพรงภายในพอลิเมอร์

โดยสรุปแล้วพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถดูดซับไฟโตสเตอรอลในสารละลายสเตอรอลผสมในเฮปแทนได้ แต่พอลิเมอร์ที่มีผลร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลมากที่สุด คือ PMAA ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้อัตราส่วนของ monomer : crosslink : template : solvent เป็น 1 mmol : 0.5 mmol : 0.125 mmol : 15 ml สามารถดูดซับไฟโตสเตอรอลในสารละลายได้เท่ากับร้อยละ 43

อย่างไรก็ตามจากการทำนายผลการทดลองเชิงสถิติด้วยโปรแกรม MiniTab แสดงให้เห็นว่า PAM ลอกแบบสติกมาสเตอรอลสามารถให้ผลร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลได้สูงสุดที่ประมาณ 37 เมื่อสังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วน monomer : crosslink : template : solvent เท่ากับ 1 mmol : 3.5 mmol : 0.3 mmol : 7 ml ซึ่งมากกว่า PAM ไม่ลอกแบบประมาณร้อยละ 15 ในขณะที่ PMAA ลอกแบบสติกมาสเตอรอลสามารถให้ผลร้อยละการลดลงของไฟโตสเตอรอลได้สูงสุดที่ประมาณ 55 เมื่อสังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วน monomer : crosslink : template : solvent เท่ากับ 1 mmol : 0.5 mmol : 0.1 mmol : 12.5 ml ซึ่งมากกว่า PMAA ไม่ลอกแบบร้อยละ 31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลดิบ

- PAM

ชื่อสาร	น้ำหนักของสารละลาย (g)	น้ำหนักของตัวดูดซับ (g)
NIP-A	1.3599	0.0143
MIP-A-STD	1.3645	0.0142
MIP-A-1	1.3750	0.0141
MIP-A-2	1.3601	0.0141
MIP-A-3	1.3601	0.0141
MIP-A-4	1.3638	0.0142
MIP-A-5	1.3686	0.0142
MIP-A-6	1.3665	0.0141
MIP-A-7	1.3661	0.0140
MIP-A-8	1.3733	0.0140
MIP-A-9	1.3663	0.0141
MIP-A-10	1.3635	0.0142
MIP-A-11	1.3805	0.0141
MIP-A-12	1.3615	0.0141
MIP-A-13	1.3600	0.0140
MIP-A-14	1.3663	0.0141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- PMAA

ชื่อสาร	น้ำหนักของสารละลาย (g)	น้ำหนักของตัวดูดซับ (g)
NIP-T	1.3738	0.0141
MIP-T-STD	1.3992	0.0141
MIP-T-1	1.3585	0.0141
MIP-T-2	1.3574	0.0141
MIP-T-3	1.3745	0.0140
MIP-T-4	1.3596	0.0141
MIP-T-5	1.3695	0.0140
MIP-T-6	1.3685	0.0142
MIP-T-7	1.3577	0.0140
MIP-T-8	1.3650	0.0140
MIP-T-9	1.3649	0.0142
MIP-T-10	1.3593	0.0140
MIP-T-11	1.3708	0.0142
MIP-T-12	1.3651	0.0140
MIP-T-13	1.3615	0.0141
MIP-T-14	1.3666	0.0142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 องค์ประกอบของสเตอรอลผสมที่ใช้เป็นสารละลายการดูดซับ

Component	Sterol-mix			
	Concentration	Area ratio	µg	ppm
campesterol	0.2363	0.3304	4.4273	34.06
stigmasterol	0.2822	0.3828	5.2342	40.26
β-sitoserol	0.4815	0.6594	8.8872	68.36
Total	1.0000	1.3726	18.5440	142.65

ตารางที่ ก-3 องค์ประกอบของสเตอรอลผสมที่ถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง

- PAM

Component	NIP-A			MIP-A-STD		
	Area ratio	µg	ppm	Area ratio	µg	ppm
campesterol	0.3141	4.2192	22.34	0.3300	4.4217	22.65
stigmasterol	0.3725	5.0939	26.97	0.3850	5.2637	26.97
β-sitoserol	0.6400	8.6366	45.72	0.6604	8.9005	45.60
Total	1.3266	17.9429	94.99	1.3754	18.5801	95.18

Component	MIP-A-1			MIP-A-2		
	Area ratio	µg	ppm	Area ratio	µg	ppm
campesterol	0.2921	3.9384	23.18	0.3104	4.1712	21.93
stigmasterol	0.3422	4.6844	27.57	0.3616	4.9472	26.01
β-sitoserol	0.5953	8.0574	47.42	0.6313	8.5230	44.81
Total	1.2297	16.6761	98.15	1.3033	17.6376	92.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Component	MIP-A-3			MIP-A-4		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.3261	4.3715	23.17	0.2689	3.6419	21.34
stigmasterol	0.3838	5.2472	27.81	0.3135	4.2946	25.16
$\beta$ -sitosterol	0.6656	8.9685	47.53	0.5506	7.4769	43.80
Total	1.3755	18.5814	98.47	1.1329	15.4112	90.28

Component	MIP-A-5			MIP-A-6		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.3440	4.5998	24.51	0.2781	3.7602	22.82
stigmasterol	0.4299	5.8724	31.29	0.3278	4.4890	27.24
$\beta$ -sitosterol	0.7026	9.4476	50.33	0.5626	7.6330	46.32
Total	1.4765	19.9012	106.03	1.1686	15.8772	96.34

Component	MIP-A-7			MIP-A-8		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.3253	4.3618	23.38	0.2795	4.9888	30.48
stigmasterol	0.3901	5.3326	28.58	0.3501	6.4976	39.69
$\beta$ -sitosterol	0.6632	8.936	47.89	0.5712	10.2675	62.72
Total	1.3786	18.6220	99.80	1.2008	21.7325	132.76

Component	MIP-A-9			MIP-A-10		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.3304	4.4273	34.06	0.2841	3.8359	23.05
stigmasterol	0.3828	5.2342	40.26	0.3305	4.5250	27.19
$\beta$ -sitosterol	0.6594	8.8872	68.36	0.5786	7.8409	47.12
Total	1.3726	18.5440	142.65	1.1932	16.1991	97.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Component	MIP-A-11			MIP-A-12		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.3253	3.8359	22.50	0.3180	4.2681	22.14
stigmasterol	0.3901	4.5250	27.50	0.4110	5.6160	29.13
$\beta$ -sitosterol	0.6632	7.8409	46.09	0.6497	8.7613	45.44
Total	1.3786	16.1991	96.04	1.3786	18.6221	96.59

Component	MIP-A-13			MIP-A-14		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.3287	4.4051	23.98	0.3055	4.1087	22.21
stigmasterol	0.4854	6.6251	36.06	0.3637	4.9755	26.89
$\beta$ -sitosterol	0.6724	9.0557	49.30	0.6203	8.3813	45.30
Total	1.4865	20.0323	109.05	1.2895	17.4580	94.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- PMAA

Component	NIP-T			MIP-T-STD		
	Area ratio	µg	ppm	Area ratio	µg	ppm
campesterol	0.2666	3.6135	19.48	0.2989	4.0245	21.29
stigmaterol	0.3126	4.2832	23.09	0.3561	4.8724	25.78
β-sitosterol	0.5462	7.4207	40.00	0.6062	8.1987	43.38
Total	1.1255	15.3144	82.56	1.2612	17.0882	90.41

Component	MIP-T-1			MIP-T-2		
	Area ratio	µg	ppm	Area ratio	µg	ppm
campesterol	0.3304	3.6097	19.79	0.2616	3.5496	20.48
stigmaterol	0.3828	4.3176	23.67	0.3213	4.4003	25.39
β-sitosterol	0.6594	7.6482	41.93	0.5331	7.2510	41.84
Total	1.3726	15.5731	85.38	1.1161	15.1908	87.66

Component	MIP-T-3			MIP-T-4		
	Area ratio	µg	ppm	Area ratio	µg	ppm
campesterol	0.2719	3.6808	20.22	0.2284	3.1251	20.99
stigmaterol	0.4056	5.5430	30.46	0.2759	3.7851	25.42
β-sitosterol	0.5557	7.5437	41.45	0.4692	6.4220	43.13
Total	1.2332	16.7222	91.88	0.9734	13.3266	89.50

Component	MIP-T-5			MIP-T-6		
	Area ratio	µg	ppm	Area ratio	µg	ppm
campesterol	0.2856	3.8547	19.96	0.2771	3.7472	22.30
stigmaterol	0.3732	5.1045	26.43	0.3303	4.5230	26.92
β-sitosterol	0.5814	7.8773	40.79	0.5639	7.6499	45.54
Total	1.2402	16.8139	87.07	1.1714	15.9138	94.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Component	MIP-T-7			MIP-T-8		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.2799	3.7822	21.58	0.2948	3.9724	21.08
stigmasterol	0.3403	4.6576	26.57	0.3525	4.8240	25.60
$\beta$ -sitosterol	0.5694	7.7218	44.05	0.5995	8.1113	43.05
Total	1.1896	16.1519	92.14	1.2468	16.9000	89.70

Component	MIP-T-9			MIP-T-10		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.2365	3.2288	19.24	0.3073	4.1324	21.60
stigmasterol	0.2805	3.8470	22.93	0.3631	4.9673	25.97
$\beta$ -sitosterol	0.4759	6.5098	38.79	0.6222	8.4061	43.94
Total	0.9929	13.5811	80.94	1.2927	17.4994	91.48

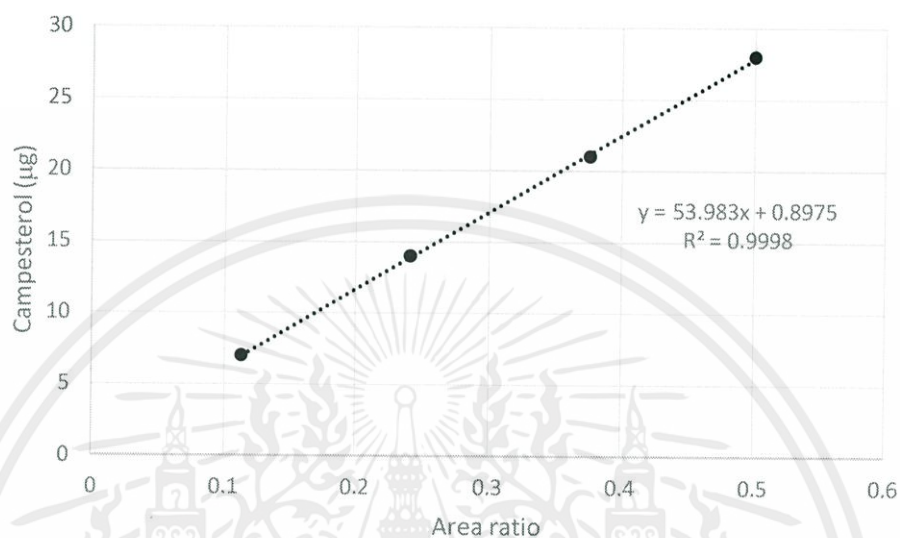
Component	MIP-T-11			MIP-T-12		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.2282	3.1235	19.64	0.2923	3.9413	20.38
stigmasterol	0.2693	3.6951	23.24	0.3549	4.8557	25.11
$\beta$ -sitosterol	0.4685	6.4138	40.34	0.5972	8.0821	41.79
Total	0.9660	13.2299	83.21	1.2445	16.8693	87.22

Component	MIP-T-13			MIP-T-14		
	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm	Area ratio	$\mu\text{g}$	ppm
campesterol	0.3304	4.4273	34.06	0.2892	3.9016	21.33
stigmasterol	0.3828	5.2342	40.26	0.3426	4.6895	25.64
$\beta$ -sitosterol	0.6594	8.8872	68.36	0.5895	7.9821	43.64
Total	1.3726	18.5440	142.65	1.2214	16.5675	90.58

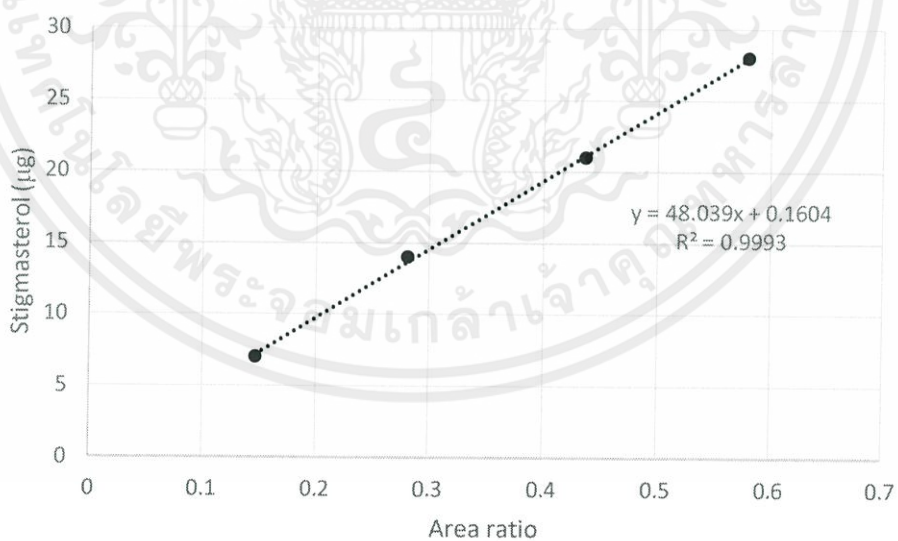
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

กราฟมาตรฐานสำหรับปริมาณวิเคราะห์ (Standard calibration curve)

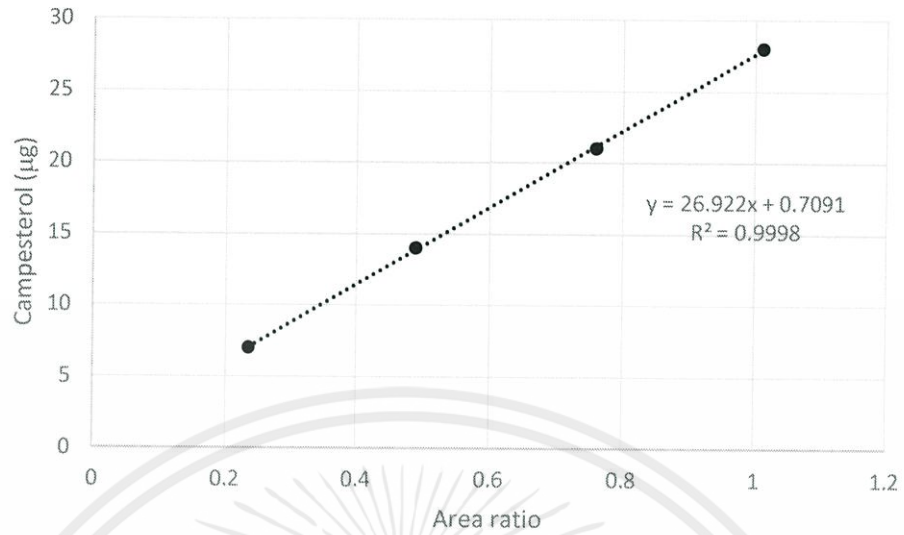


รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานสำหรับ campesterol

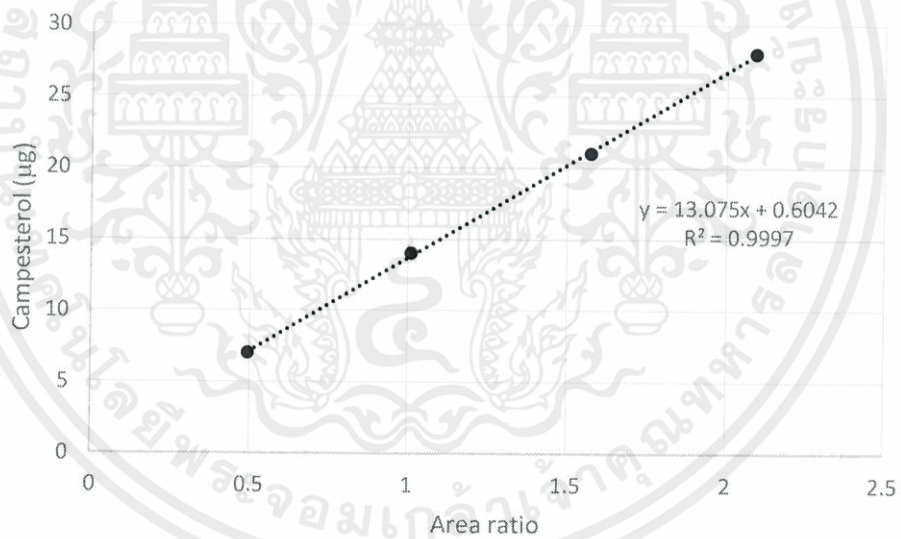


รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานสำหรับ stigmasterol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานสำหรับ  $\beta$ -sitosterol



รูปที่ ข-4 กราฟมาตรฐานสำหรับสเตอรอลผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชณัฐตา เอี่ยมอุสาหะ, ชิตชนก ประเสริฐวิทยา. 2555. “การแยกสารกลุ่มไฟโตสเตอรอลจากกรดไขมันปาล์ม.” ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] Antonietta R., Sara V., Nedda B., Silvana B., Marcello I. “Phytosterols in grapes and wine, and effects of agrochemicals on their levels.” *Food Chemistry*. 141. 3473-3479. 2013.
- [3] “83-46-5  $\beta$ -Sitosterol.” [Online]. Available:<http://www.chemnet.com/cas/es/83-46-5/beta-Sitosterol.html>. 2013.
- [4] “83-48-7 Stigmasterol.” [Online]. Available:<http://www.chemnet.com/cas/en/83-48-7/stigmasterol.html>. 2013.
- [5] “Molecular Imprinting.” [Online]. Available:[http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Molecular\\_imprinting.png](http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Molecular_imprinting.png). 2013.
- [6] Jin Y., Zhang Y. P., Zhang Y. J., Chen J., Zhou X., Bai L. “Synthesis and Evaluation of Molecularly Imprinted Polymer for the Determination of the Phthalate Esters in the Bottled Beverages by HPLC.” *Hindawi Journal of Chemistry*. Volume 2013. 1-9. 2013.
- [7] Nor D. Z., Nor A. Y., Jelas H., Abdul Halim Abdullah. “Synthesis and Evaluation of a Molecularly Imprinted Polymer for 2,4-Dinitrophenol.” *International Journal of Molecular Sciences*. 10. 354-365. 2009.
- [8] Yuqing D., Yu Q., Feifei X., Haihui Z., Yongsheng Y., Can Z., Haile M. 2010. “Optimization of the process parameters of synthesis of oligomeric procyanidins imprinted polymer.” 5(19). 2953-2964.
- [9] “บทที่ 10 อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf> (สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2556)
- [10] Czuppon T., Kemeny Z., Kovari E., Recseg K. “Process for recovery of plant sterols from by-product of vegetable oil refining.” *European patent*. no. 2004000979. 2003.

- [11] “STEROLS.” [Online]. Available:<http://www.cyberlipid.org/sterols/ster0003.htm>. 2013.
- [12] “การแปรรูปปาล์มน้ำมัน.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html> (สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2556)
- [13] Posada R.L., Shi J., Kakuda Y., Xue S.J. “Extraction of tocotrienols from palm fatty acid distillates using molecular distillation.” Separation and Purification Technology. 57. pp. 220-229. 2007.
- [14] เตชา ฉัตรศิริเวช. 2552. กระบวนการดูดซับ: Adsorption Process. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [15] Zhu Q., Wang L., Wu S., Joseph W., Gu X., Tang J. “Selectivity of molecularly imprinted solid phase extraction for sterol compounds” Food chemistry. 113. 608-615. 2009.
- [16] Harry O., Fred L., Joseph S., Kenneth S., Aaron T. “Synthesis and characterization of molecularly imprinted polymers and their application in preconcentrators for gas phase sensors.” Department of Chemistry. 2003.
- [17] ผศ.ดร.สุภาสินี ลิ้มปานภาพ. “บทที่ 9 พอลิเมอร์.” [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.physics.kku.ac.th/315205/sites/default/files/chapter09.pdf> (สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2556)
- [18] “Polymerization Techniques – Dispersed system.” [Online]. Available: <http://www.stanford.edu/class/cheme160/lectures/lecture13.pdf>. 2013.
- [19] กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/Chapter%203%20Polymerization%20method.pdf> (สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2556)
- [20] Peter J. D. Brian Vincent. School of Chemistry. University of Bristol. “Suspension polymerization to form polymer beads.” 161. 259-269. 2000.
- [21] JOSE’ M. A. “Emulsion Polymerization: From fundamental Mechanisms to Process Developments.” 2003.
- [22] C.S. Chern. Department of Chemical engineering. National Taiwan University of science and Technology. “Emulsion polymerization mechanisms and kinetics.” 31. 443-486. 2006.

- [23] George O. "Principles of polymerization". 4<sup>th</sup> edition. 10. United State of America. Wiley-interscience. 2004.
- [24] Timothy J., Addlison. "Purification of sterol with activated carbon as adsorbent and chlorobenzene as desorbent." 4,882,065. 1989.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้