



การเตรียม β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอ

โดย

นางสาวปิยาณี ลิ้มโสภารธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเตรียม BETA-cyclodextrin ที่เชื่อมกับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอ

โดย

นางสาวปิยาณี ลิ้มโสภารธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**PREPARATION OF β -CYCLODEXTRIN BOUND ONTO COTTON FABRICS FOR
TEXTILE APPLICATION**

By

Piyanee Limsophathum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ENGINEERING

Department of Materials Science and Engineering

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2007

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การเตรียม β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอ” เสนอโดย นางสาวปิยาณี ลิ้มโสภาธรรม เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะดังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.วันชัย เลิศวิจิตรจรัส
2. อาจารย์ ดร.อำนาจ สิทธีตระกูล

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ชัยยุตต์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วันชัย เลิศวิจิตรจรัส)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อำนาจ สิทธีตระกูล)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกุล)

...../...../.....

48402212 : สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

คำสำคัญ : เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน / ผ้าฝ้าย / สิ่งทอ

ปิยาณี ลิ้มโสภารธรรม : การเตรียม β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอ. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และ อ.ดร.อำนาจ สิทธิตระกูล. 126 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียม Functional textile โดยการเชื่อมต่อผ้าฝ้ายกับ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ด้วย spacer arm เพื่อใช้ควบคุมการปลดปล่อยยาไล่แมลง (DEET) และมีการศึกษาอิทธิพลของความยาว spacer arm ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างผ้าฝ้ายกับ β -cyclodextrin จากผลการทดลองพบว่าผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด คือ $(\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH})$ จะมีประสิทธิภาพควบคุมการปลดปล่อยของ DEET ได้ดีที่สุด เมื่อเวลาผ่านไป 15 วันผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุดจะมี DEET คงเหลืออยู่มากกว่าผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง คือ $(\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH})$ และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด คือ $(\text{BrCH}_2\text{COOH})$ ตามลำดับ รวมทั้งมีความคงทนต่อการกระบวนกรซักได้ดีกว่า

นอกจากนี้ยังศึกษาถึงอิทธิพลของความเป็นขั้วของ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด คือ $(\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH})$ พบว่า ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ benzylated β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด คือ $(\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH})$ จะมีการควบคุมการระเหยของ DEET ได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin ด้วย spacer arm เดียวกันเมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน และเมื่อผ่านกระบวนการซักผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ benzylated β -cyclodextrin จะมีความทนทานต่อการซักมากกว่า

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2550
ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (1)..... (2).....

48402212 : MAJOR : POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING

KEYWORDS : β -CYCLODEXTRIN/ COTTON/ TEXTILE

PIYANEE LIMSOPHATHUM : PREPARATION OF β -CYCLODEXTRIN BOUND
ONTO COTTON FABRICS FOR TEXTILE APPLICATION. THESIS ADVISOR : WANCHAI
LERDWIJITJARUD, Ph.D. AND AMNARD SITTATTRAKUL, Ph.D.126 pp.

This research involves the preparation of functional textile by binding β -cyclodextrin and benzylated β -cyclodextrin onto cotton fabrics via spacer arm for controlled release of insect repellent (DEET). The effect of the length of spacer arms which bind β -cyclodextrin onto the cotton fabrics is also investigated. The results indicate that the cotton fabric bound β -cyclodextrin via the longest spacer arm, $(\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH})$ is the most efficient for controlled release of DEET. For a period of 15 days on standing, the cotton fabric bound with β -cyclodextrin via the longest spacer arm has more DEET left than the corresponding cotton fabric bound with β -cyclodextrin via the middle spacer arm, $(\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH})$ and the cotton fabric bound with β -cyclodextrin via the shortest spacer arm, $(\text{BrCH}_2\text{COOH})$ respectively. Furthermore, the cotton fabric bound with β -cyclodextrin via the longest spacer arm is more resistant to washing than the other two β -cyclodextrin bound cotton fabric.

In addition, the effect of polarity of β -cyclodextrin and benzylated β -cyclodextrin which bound onto cotton fabrics via the longest spacer arm, $(\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH})$ is also investigated. The result indicates that the cotton fabric bound with benzylated β -cyclodextrin via the longest spacer arm can release DEET slower than the cotton fabric bound with β -cyclodextrin via the same spacer arm after leaving it for 15 days and the cotton fabric bound with benzylated β -cyclodextrin is also more durable wash fastness.

Department of Materials Science and Engineering, Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007

Student's signature.....

Thesis Advisors' signature (1)..... (2).....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์เรื่อง การเตรียม β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอนี้ สำเร็จลุล่วงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความช่วยเหลือเพื่อการสนับสนุนจากอาจารย์ ดร.วันชัย เลิศวิจิตรจรัส อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยและอาจารย์ ดร.อำนาจ สิทธิตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัยที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยรวมถึงข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขเนื้อหาและรูปแบบของวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคุณพินิจ เจียนระลึก นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุที่อำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงการให้คำแนะนำสำหรับการใช้เครื่องมือต่างๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกคนในภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องขอใช้ห้องทดลองนอกเวลาราชการและการเบิกจ่ายเงินต่างๆ

ขอขอบคุณป้า แม่และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนการเรียนปริญญาโทนี้ ช่วยเหลือค่าใช้จ่ายในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้เป็นผลสำเร็จ ขอขอบใจเพื่อนๆ (ฝน, โอ๊ต, นก) ที่ให้กำลังใจรวมถึงคอยอยู่เป็นเพื่อนกันตลอดการทำงานวิจัยตอนดึกๆ ดื่นๆ และเพื่อนร่วมห้องวิจัยเดียวกัน (เบนซ์, จั้ม, ฝน และบ๊อค) ที่บางครั้งพูดคุยและปรึกษางานวิจัยซึ่งกันและกัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
แนวคิดของงานวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	5
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
Cyclodextrins	7
สมบัติของ Cyclodextrins	8
ประโยชน์ของ Cyclodextrins ในด้านต่างๆ	11
ด้านอุตสาหกรรมอาหาร	12
ด้านอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง.....	12
ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ	13
ฝ้าย (Cotton)	13
การผลิตเส้นใยฝ้าย.....	15
โครงสร้างทางกายภาพ	16
สมบัติทางกายภาพ.....	17
สมบัติทางเคมี	18
การใช้งานของฝ้าย.....	19

บทที่	หน้า
ยุง (Mosquitoes)	20
สารไล่แมลงและสารฆ่าแมลง (Insecticide and insect repellent).....	23
สมบัติโดยทั่วไปของ N,N-diethyl-3-methylbenzamide (DEET)	24
ปฏิกิริยาต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง	26
Phase Transfer Catalysis (PTC)	26
Steglich Esterification	27
Williamson Ether Synthesis	28
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	 31
สารเคมีใช้ในการทดลอง	31
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	35
วิธีการทดลอง	36
การสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivative (Benzylated β -Cyclodextrin) ด้วย	
วิธี phase transfer catalysis	36
การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin กับ spacer arm	37
การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin derivative (Benzylated β -Cyclodextrin) กับ	
spacer arm.....	38
การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับฟ้าย้ายด้วย	
spacer arm.....	39
การพิสูจน์เอกลักษณ์.....	40
การศึกษสมบัติทางความร้อน.....	40
การจุ่มฟ้าย้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin	
และ ฟ้าย้ายที่ไม่ได้ดัดแปรแล้วในสารละลายยาไล่แมลง	40
การสกัดยาไล่แมลงด้วยตัวทำละลาย	41
การทำ Calibration curve	41
การศึกษความยาวของ spacer arm ที่เชื่อม β -Cyclodextrin กับฟ้าย้ายที่มีผล	
ต่อการระเหยของสารไล่แมลง	42

บทที่	หน้า
การศึกษาความเป็นขั้วของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อการระเหยของสารไล่แมลง	42
การศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β - Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง.....	43
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	44
การสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivatives (Benzylated β -Cyclodextrin) โดย อาศัยกระบวนการ phase transfer catalysis	44
การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm กับ spacer arm.....	47
การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm.....	54
การศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยยาไล่แมลง (DEET) ของผ้าฝ้ายที่ดัด แปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่ ไม่ได้ดัดแปรที่มีผลต่อการระเหยของยาไล่แมลง (DEET)	60
การศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β - Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง (DEET).....	65
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	76
สรุปผลการทดลอง.....	76
ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก.....	84

ภาคผนวก ข	93
ภาคผนวก ค	104
ภาคผนวก ง.....	110
ประวัติผู้ทำวิจัย.....	126

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ α -, β - และ γ -Cyclodextrin	9
2.2 ค่าการละลายของ β -Cyclodextrin กับตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ	10
2.3 ความสามารถในการละลายของ Cyclodextrins ในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	11
2.4 ข้อมูลทั่วไปของ N, N-diethyl-3-methylbenzamide (DEET)	25
4.1 แสดงจำนวนการติดของ spacer arm ชนิดต่าง ๆ ที่ต่อเชื่อมกับ β -cyclodextrin 1 unit.....	53
4.2 แสดงช่วงอุณหภูมิของน้ำหนัที่เปลี่ยนแปลงไปของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)	56
4.3 แสดงปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ดัดแปรเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)	59
4.4 แสดงจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร	60
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร	65
4.6 แสดงจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร	66
4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร	67

ตารางที่	หน้า
4.8 แสดงปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ ดัดแปรที่ผ่านกระบวนการชักแล้วเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)	73
4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β - Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ดัดแปรก่อนผ่านกระบวนการชักและผ้าฝ้ายที่ดัด แปรที่ผ่านกระบวนการชักแล้วเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)	74
ก.1 แสดงความเข้มข้นของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol/l) ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร จากการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลง โดยเทียบกับ Calibration curve แล้ว	86
ก.2 แสดงจำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol) ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรจาก การทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลง	88
ก.3 แสดงจำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมที่สกัด ได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรจากการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อย ยาไล่แมลง.....	90
ก.4 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมที่สกัด ได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรจากการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อย ยาไล่แมลง.....	92
ข.1 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัด แปร คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	94
ข.2 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัด แปร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้าย น้ำหนัก 1 กรัม.....	95

ตารางที่	หน้า
ข.3 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	96
ข.4 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	97
ข.5 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	98
ข.6 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	99
ข.7 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) คิดเป็นจำนวนโมล ของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	100
ข.8 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน โมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	101
ข.9 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	102
ข.10 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน โมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	103

ก.1	ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	105
ก.2	ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	105
ก.3	ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	106
ก.4	ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	106
ก.5	ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	107
ก.6	ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	107
ก.7	ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	108

ตารางที่	หน้า
ค.8 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ที่หุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมล ของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	108
ค.9 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ที่หุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม.....	109
ค.10 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ที่หุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน โมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม	109

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปฏิกริยาการสังเคราะห์ Benzylated β -Cyclodextrin โดยปฏิกิริยา “Phase transfer catalysis”	2
1.2 การทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm โดยปฏิกิริยา “Steglish Esterification”	3
1.3 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับฟ้ายาวด้วย spacer arm โดยปฏิกิริยา “Williamson Ether Synthesis”	4
1.4 ฟ้ายาวที่นำไปหุบสารไอล่แมลง (Guest molecule)	4
2.1 โครงสร้างของ α -, β - และ γ -Cyclodextrin	8
2.2 โมเดล Stuart ของ α -, β - และ γ -Cyclodextrin	8
2.3 เมล็ดผลฝ้าย	14
2.4 ดอกฝ้าย	14
2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส	14
2.6 แผนภาพของเส้นใยฝ้าย	16
2.7 ภาพ micrograph ของโครงสร้างเส้นใยฝ้าย	17
2.8 วงจรชีวิตของยุง	20
2.9 ยุงลาย หรือ Yellow fever mosquito	22
2.10 สูตรโครงสร้างของ DEET	26
2.11 ปฏิกริยา “Phase transfer catalysis”	26
2.12 ปฏิกริยา “Steglish Esterification”	27
2.13 ปฏิกริยา “Williamson Ether Synthesis”	28
3.1 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Bruker Optic, Vertex70)	35
3.2 เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) (Bruker, 300 Ultrasheild)	35
3.3 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) (Perkin Elmer, TGA7HT)	35

รูปที่	หน้า
3.4 เครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer (Jasco, V530)	35
3.5 เครื่อง Washing fastness tester (Penta Rapid-12)	35
3.6 การสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivatives (Benzylated β -Cyclodextrin)	37
3.7 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin, Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm	38
3.8 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin, Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm	39
3.9 การจุ่มผ้าฝ้ายที่ดัดแปรและผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรในสารละลายยาไโลแมลง	41
4.1 กลไกการสังเคราะห์ Benzylated β -cyclodextrin โดยปฏิกิริยา “Phase transfer catalysis”	44
4.2 FTIR spectra ของ ก) β -Cyclodextrin และ ข) Benzylated β -Cyclodextrin.....	46
4.3 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ Benzylated β -cyclodextrin.....	46
4.4 FTIR spectra ของ ก) Benzylated β -Cyclodextrin และ ข) Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$).....	47
4.5 FTIR spectra ของ ก) β -Cyclodextrin ข) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) และ ง) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	49
4.6 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ Benzylated β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$).....	50
4.7 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$).....	51
4.8 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	51
4.9 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH).....	52

- 4.10 เทอร์โมแกรม TGA ของ ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) 54
- 4.11 เทอร์โมแกรม DTG ของ ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) 57
- 4.12 กราฟจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้จาก ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมเมื่อเวลาผ่านไป 63
- 4.13 กราฟเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้จาก ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมเมื่อเวลาผ่านไป 64

รูปที่	หน้า
4.14 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	69
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	69
4.15 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	69
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	69
4.16 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	70
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	70
4.17 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	70
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	70
4.18 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	71
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	71
4.19 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	71
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	71
4.20 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	72
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	72

รูปที่	หน้า
4.21 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	
ก) ก่อนผ่านกระบวนการซัก	72
ข) หลังผ่านกระบวนการซัก	72
ก.1 กราฟ Calibration curve.....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไซโคลเดกซ์ทริน(Cyclodextrins) เป็น cyclic oligosaccharides ที่ได้จากการย่อยสลาย แป้งด้วยเอนไซม์ Cyclodextrins Glucanotransferase (CGTase) โดยในวงของ oligosaccharides นี้ จะประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคไพราโนส (Glucopyranose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - (1, 4) glucosidic linkage ไซโคลเดกซ์ทรินจะมีอยู่ 3 ชนิด คือ α -Cyclodextrin β -Cyclodextrin และ γ -Cyclodextrin ซึ่งมีหน่วยของกลูโคไพราโนส 6 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ ลักษณะเด่นของไซโคลเดกซ์ทริน (CDs) คือ มีลักษณะคล้ายโดนัท (doughnut – like) และจะยอมให้โมเลกุลของสารอื่นที่ไม่มีขั้วไปจับอยู่ในช่องแคบตรงกลางที่มีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนด้านนอกของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophilic กระบวนการ encapsulation จะทำให้โมเลกุลที่จับอยู่ในช่องแคบตรงกลางมีสมบัติที่ต้านทานการเกิดออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิสและต้านทานการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมี อัตราการระเหยกลายเป็นไอของสารที่ถูกดูดซับในช่องแคบตรงกลางจะลดลง ทำให้สามารถนำไซโคลเดกซ์ทรินไปใช้ดัดแปรผ้าเพื่อใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เช่น ใช้ในการปลดปล่อยกลิ่นหอม ใช้ไล่แมลงและใช้กำจัดกลิ่นเหม็น เป็นต้น โมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทรินที่ได้รับความสนใจนำไปดัดแปรพื้นผิวของผ้าฝ้ายเพื่อใช้เป็น functional textile คือ β -Cyclodextrin เนื่องจากราคาถูก ใช้งานง่ายและมีขนาดวงที่เหมาะสมสำหรับ encapsulation กับสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งมีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ทำการดัดแปรผ้าโดยการเชื่อม β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายด้วย linking group เช่น Monochlorotriazinyl (MCT) N-methylol-acrylamide (NMA) และ Polycarboxylic acids เป็นต้น จากนั้นก็ทำให้เกิด encapsulation กับสารเคมีบางประเภท เช่น สารพวงกลิ่นหอม สารป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา สารไล่แมลง เป็นต้น ต่อจากนั้นสารเหล่านี้ก็จะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมาจาก β -Cyclodextrin อย่างช้า ๆ และทำให้สารเหล่านี้คงอยู่กับผ้าได้นานกว่าเดิม

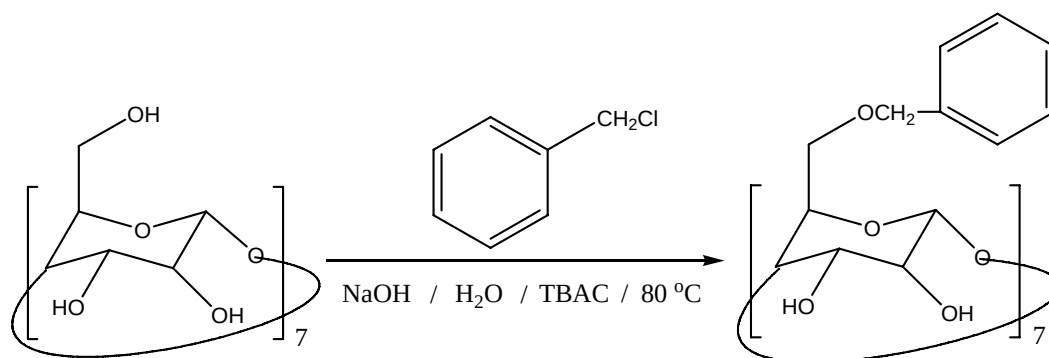
ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายโดยใช้ linking molecule เพื่อให้ β -Cyclodextrin อยู่ห่างจากผิวผ้าฝ้ายและใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยสารที่มีคุณสมบัติระเหยง่ายและสามารถป้องกันหรือไล่ยุงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivative (Benzylated β -Cyclodextrin)
- 1.2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายโดยใช้ spacer arm
- 1.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรได้
- 1.2.4 ศึกษาความคงทนต่อการซัก (wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรได้

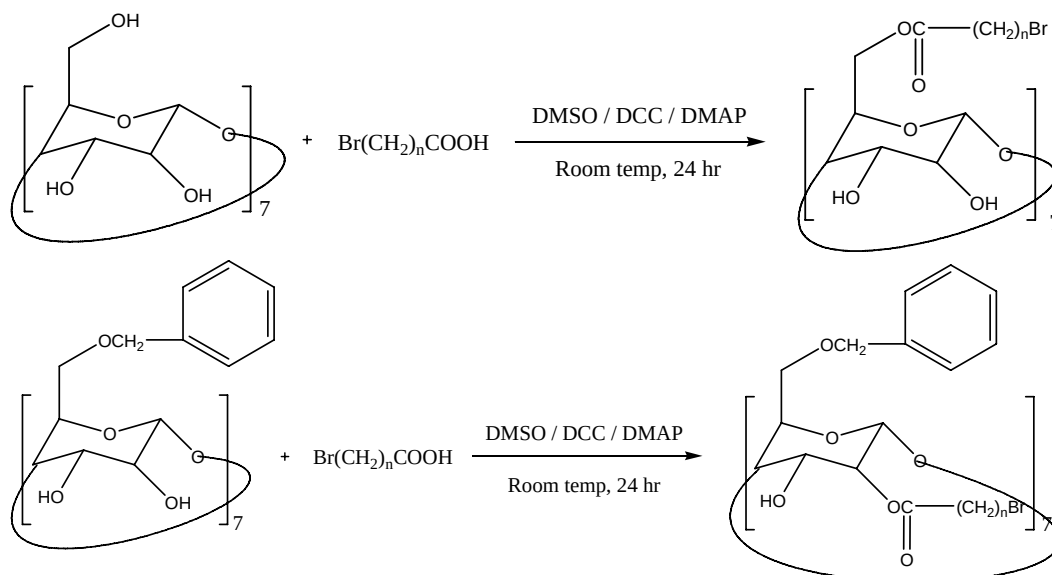
1.3 แนวคิดของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำไซโคลเดกซ์ทริน (CDs) มาใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยสารที่มีสมบัติระเหยง่ายและสามารถป้องกันหรือไล่ยุงได้ เนื่องจาก β -Cyclodextrin มีลักษณะคล้ายโดนัท แม้ว่าด้านในช่องแคบของ β -Cyclodextrin จะมีลักษณะเป็น hydrophobic แต่ด้านนอกของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophilic เพราะมีหมู่ $-OH$ เป็นจำนวนมากจึงมีขั้วสูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการดัดแปร β -Cyclodextrin ให้มีหมู่ $-OH$ ลดลงเพื่อลดความเป็นขั้วสูง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการจับ guest molecule ได้มากขึ้น การดัดแปร β -Cyclodextrin ให้กลายเป็น β -Cyclodextrin derivatives ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง β -Cyclodextrin กับ Benzyl Chloride ภายใต้สภาวะปฏิกิริยา “Phase transfer catalysis” [1-4] ทำให้ Benzylated β -Cyclodextrin ที่ได้เป็นอนุพันธ์ของ β -Cyclodextrin ที่มีหมู่เบนซิลแทนหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งทำให้มีความเป็นขั้วลดลง โดยการสังเคราะห์ Benzylated β -Cyclodextrin จะเป็นดังรูปที่ 1.1



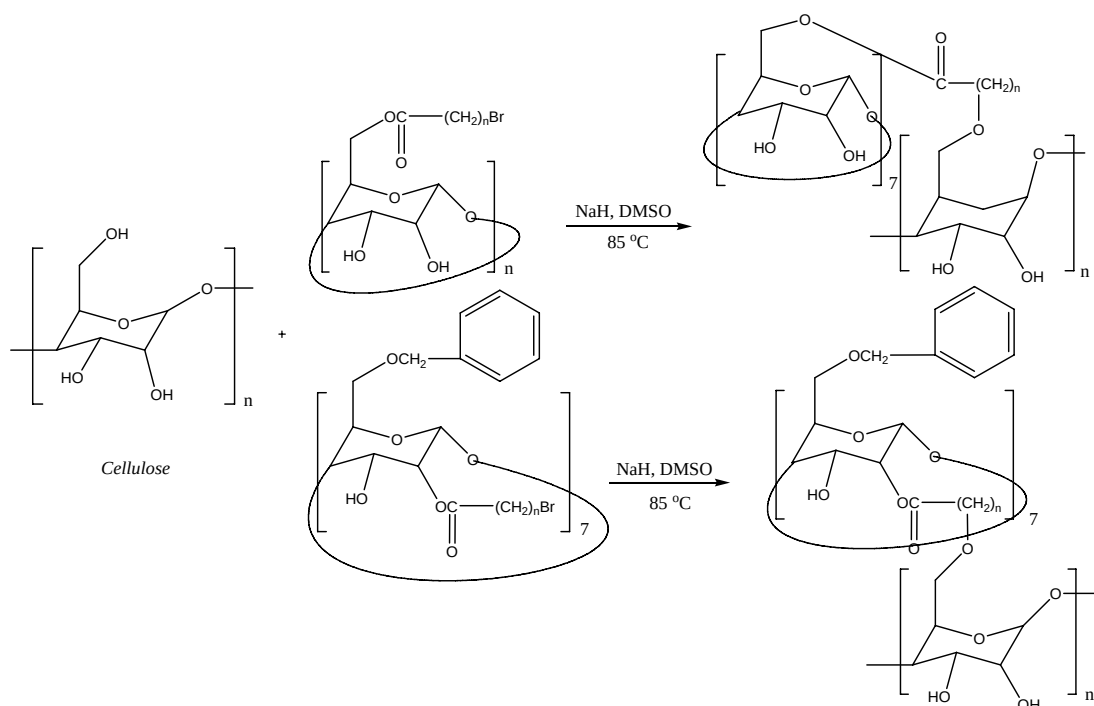
รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ Benzylated β -Cyclodextrin
โดยปฏิกิริยา “Phase transfer catalysis”

จากนั้นก็นำ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ไปทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกับ spacer arm โดยอาศัยปฏิกิริยา “Steglich Esterification” [5, 6] ซึ่งการสังเคราะห์ในขั้นตอนนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.2



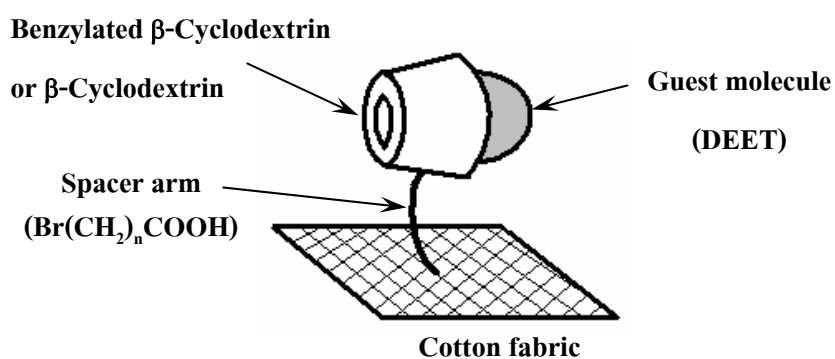
รูปที่ 1.2 การทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm โดยปฏิกิริยา “Steglich Esterification”

เมื่อได้ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm แล้ว จากนั้นจึงนำไปเชื่อมต่อกับผ้าฝ้าย ด้วยปฏิกิริยาที่เรียกว่า “Williamson Ether Synthesis” [7-9] ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้าย ด้วย spacer arm โดยปฏิกิริยา “Williamson Ether Synthesis”

ต่อจากนั้นจึงนำผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin แล้วไปชุบด้วยสารไล่แมลง เช่น N,N -diethyl- m -toluamide (DEET) แล้วเกิดกระบวนการ encapsulation ขึ้น ซึ่งจะได้ผ้าฝ้ายที่สามารถไล่ยุงได้ (ดังรูปที่ 1.4)



รูปที่ 1.4 ผ้าฝ้ายที่นำไปชุบสารไล่แมลง (Guest molecule) [10]

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1.4.1 ศึกษาอิทธิพลของความเป็นขั้วของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่มีผลต่อการปลดปล่อยของสารไล่แมลง
- 1.4.2 ศึกษาอิทธิพลของความยาวของ spacer arm ที่เชื่อม β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อการปลดปล่อยของสารไล่แมลง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ออกแบบวิธีการทดลองและวางแผนการทดลอง
- 1.5.3 ดำเนินงานวิจัย
 - 1.5.3.1 สังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivative (Benzylated β -Cyclodextrin)
 - 1.5.3.2 ทำการเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm
 - 1.5.3.3 ทำการเชื่อมต่อผ้าฝ้ายกับ β -Cyclodextrin Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm
 - 1.5.3.4 ทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรได้
 - 1.5.3.5 ทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกันด้วย spacer arm ที่มีความยาวต่างกันเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรได้
 - 1.5.3.6 ทดสอบความคงทนต่อการซัก (wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรได้
- 1.5.4 รายงานผลงานวิจัย
- 1.5.5 วิเคราะห์ผลงานวิจัย
- 1.5.6 สรุปผลงานวิจัย
 - 1.5.6.1 เสนอผลงานวิจัยในรูปแบบรายงาน
 - 1.5.6.2 เสนอผลงานวิจัยในรูปแบบเผยแพร่ในที่สาธารณะ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1.6.1 สามารถสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivative (Benzylated β -Cyclodextrin) ได้
- 1.6.2 สามารถเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm ได้
- 1.6.3 สามารถเชื่อมต่อผ้าฝ้ายกับ β -Cyclodextrin และกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ได้
- 1.6.4 สามารถเปรียบเทียบอิทธิพลของความเป็นขั้วของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อการปลดปล่อยของสารไล่แมลงได้
- 1.6.5 สามารถเปรียบเทียบอิทธิพลของความยาวของ spacer arm ที่เชื่อม β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อการปลดปล่อยของสารไล่แมลงได้
- 1.6.6 สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการปลดปล่อยยาไล่แมลงและความคงทนต่อการซัก (wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรได้

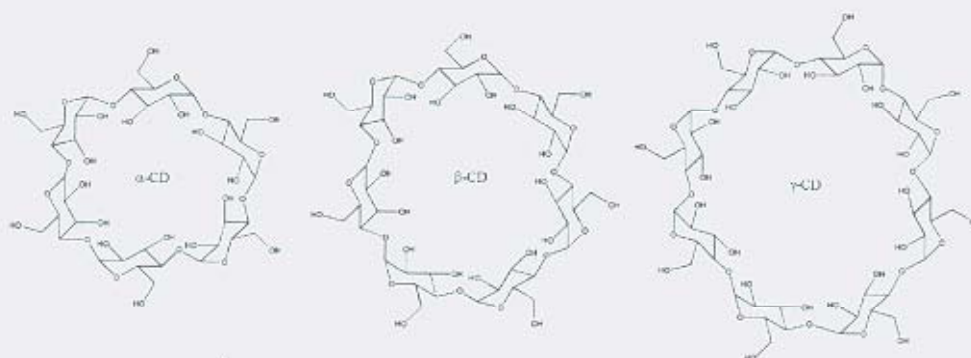
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

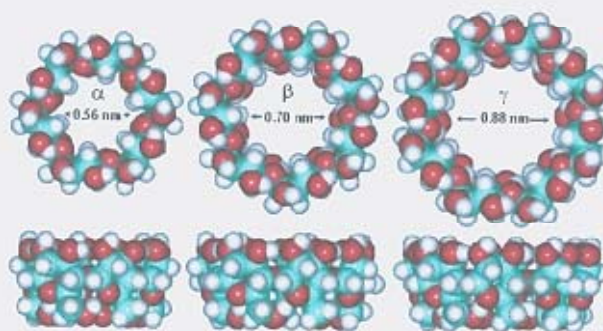
งานวิจัยนี้จะศึกษาการเชื่อม β -Cyclodextrin และอนุพันธ์ คือ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอเพื่อป้องกันยุง ซึ่งในการเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายจะใช้ $\text{Br}(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ เป็นสารเชื่อมต่อ (Spacer arm) โดยทั่วไปแล้ว β -Cyclodextrin จะมีลักษณะโครงสร้างคล้ายโค้นัทที่เหมาะสมในการตรึงโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic molecule) เช่น สารไล่แมลง น้ำหอมและสารเคมีอื่นๆ โดยเฉพาะอนุพันธ์ของ β -Cyclodextrin คือ Benzylated β -Cyclodextrin ซึ่งมีความเป็นขั้วน้อยกว่า β -Cyclodextrin จะสามารถตรึงสารโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำเหล่านั้นได้มากขึ้น รวมทั้งการใช้สารเชื่อมต่อ ($\text{Br}(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$) จะมีผลทำให้ระยะห่างระหว่างผิวของผ้าฝ้าย (ที่มีความเป็นขั้วมากเนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ของ $-\text{OH}$ มาก) กับ β -Cyclodextrin และอนุพันธ์ที่ตรึงกับโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำมีค่ามากขึ้น ซึ่งโดยวิธีนี้จะเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้โมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำเข้ามาจับกับ β -Cyclodextrin และอนุพันธ์มากยิ่งขึ้น โดยจะมีการทดสอบยืนยันการเกาะติดของ β -Cyclodextrin และอนุพันธ์ของ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมติดกับผ้าฝ้าย เมื่อได้ผ้าฝ้ายที่ดัดแปรแล้วจะทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงและความคงทนต่อการซัก (wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร

2.1 Cyclodextrins

Cyclodextrins เป็น cyclic oligosaccharides ที่ประกอบด้วย หน่วยของ glucopyranose ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1, 4) glucosidic linkage และเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Cycloamyloses และ Schrödinger dextrin Cyclodextrins เกิดจากปฏิกิริยา Transglycosylation ของการย่อยสลายแป้งโดยเอนไซม์ Cyclodextrins Glucanotransferase (CGTase) [11] Cyclodextrins ค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1891 โดย Villiers ซึ่งให้ชื่อว่า “Cellulosine” และต่อมาในปีค.ศ. 1903 Schrödinger สามารถแยก Cellulosine ได้เป็น dextrin A และ dextrin B และในปีค.ศ. 1904 Schrödinger จึงได้ตั้งชื่อว่า “Crystallized dextrin α และ Crystallized dextrin β ” จนกระทั่งปีค.ศ. 1905 ก็ได้ค้นพบ “Crystallized dextrin γ ”



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ α - β - และ γ -Cyclodextrin [12]



รูปที่ 2.2 โมเดล Stuart ของ α - β - และ γ -Cyclodextrin [13]

2.1.1 สมบัติของ Cyclodextrins

หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของ Cyclodextrins ประกอบไปด้วยหมู่ hydroxyl ของหมู่ glucose โดยหมู่ hydroxyl ซึ่งอยู่ที่ C-2 C-3 และ C-6 จะอยู่ด้านนอกวงแหวนและจะมีเพียงไฮโดรเจนและออกซิเจนอะตอม ซึ่งเชื่อมระหว่างโมเลกุลของกลูโคสอยู่ด้านในวงแหวนทำให้สภาพภายนอกโพรงช่องว่างของ Cyclodextrin มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ในขณะที่สภาพภายในโพรงช่องว่างของวงแหวนมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เนื่องจากโมเลกุลของ Cyclodextrin มีสูตรโครงสร้างเป็นวงแหวนคล้ายรูปโดนัทดังรูปที่ 2.1 และมีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ α -Cyclodextrin β -Cyclodextrin และ γ -Cyclodextrin และมีจำนวน glucose units 6 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ จำนวนหน่วยของกลูโคสที่เพิ่มขึ้นในวงแหวน จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่างมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยขนาดของช่องว่างนี้ จะมีความสำคัญในการกำหนดความสามารถของการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ Cyclodextrins ลักษณะพิเศษของ Cyclodextrins คือ สามารถจับโมเลกุลของสารแปลกปลอมที่มีความเป็นขั้วต่ำกว่าน้ำหรือไม่ขั้วได้ โดย β -Cyclodextrin เป็น Cyclodextrin ที่นิยมนำไปใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก

และมีขนาดของช่องว่างที่พอเหมาะ สมบัติหลักๆ ของ Cyclodextrins ประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ α -, β - และ γ -Cyclodextrin [14]

คุณสมบัติ	α -Cyclodextrin	β -Cyclodextrin	γ -Cyclodextrin
สูตรเคมี	$C_{36}H_{60}O_{30}$	$C_{42}H_{70}O_{35} \cdot H_2O$	$C_{48}H_{80}O_{40} \cdot H_2O$
จำนวน glucose units	6	7	8
น้ำหนักโมเลกุล	972	1135	1297
จุดหลอมเหลว(m.p.)	$> 278^\circ C$	$290^\circ C - 300^\circ C$	$\geq 300^\circ C$
ความสามารถในการละลายน้ำ (g/100 ml ที่ $25^\circ C$)	14.5	1.85	23.2
เส้นผ่านศูนย์กลางโพรง (Å)	4.7 – 5.3	6.0 – 6.5	7.5 – 8.3
ความลึกของโพรง (Å)	7.9 ± 0.1	7.9 ± 0.1	7.9 ± 0.1
ปริมาตรของโพรง (Å ³)	174	262	472
pK _a	12.33	12.20	12.08
$[\alpha]_D^{25}$	150 ± 0.5	162.5 ± 0.5	177.4 ± 0.5
Crystal form (from water)	Hexagonal plates	Monoclinic parallelograms	Quadratic prisms

ส่วนสมบัติทางความร้อนของ Cyclodextrins จะค่อนข้างเสถียรต่อความร้อน และมีค่า glass transition temperature ที่สูง โดย β -Cyclodextrin จะสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ $300^\circ C$ ซึ่งความร้อนที่ถูกดูดพาไปจะทำให้เกิดการสลายตัวขึ้น ปฏิกิริยา hydrolysis ของ Cyclodextrins สามารถเร่งได้ด้วยกรดแก่ เช่น HCl และ H_2SO_4 เป็นต้น

ในตารางที่ 2.2 จะแสดงค่าการละลายของ β -Cyclodextrin ในตัวละลายอินทรีย์ต่างๆ ซึ่ง β -Cyclodextrin จะไม่ละลายในตัวละลายที่มีขั้วต่ำมากๆ แต่จะละลายเฉพาะบางตัวทำละลายเท่านั้น

ตารางที่ 2.2 ค่าการละลายของ β -Cyclodextrin กับตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ [14]

ตัวทำละลาย	ความสามารถในการละลาย (%)
Ethylene glycol	7.0
Propylene glycol	0.5
Dimethyl sulfoxide	41.0
Dimethyl formamide	28.3
N-Methylpyrrolidone	14.8
Pyridine	3.5
Tetrahydrofuran	0.0
Methyl isobutyl ketone	0.0
Acetone	0.0
Alcohols	0.0

ในตารางที่ 2.3 แสดงความสามารถในการละลายของ Cyclodextrins ในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จะสังเกตได้ว่าค่าการละลายของ Cyclodextrins จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนการละลายของ β -Cyclodextrin มีค่าการละลายต่ำสุดและ γ -Cyclodextrin จะมีค่าการละลายสูงสุด ส่วน α -Cyclodextrin จะมีค่าการละลายน้อยกว่าของ γ -Cyclodextrin แต่มากกว่า β -Cyclodextrin ความสามารถในการละลายจะขึ้นอยู่กับความเครียดในวงแหวนที่เป็นเหตุให้หมู่ hydroxyl เกิดพันธะ hydrogen ที่ตำแหน่ง 2- และ 3-hydroxyl ของหมู่ glucose ของโมเลกุล β -Cyclodextrin ที่อยู่ใกล้กัน จึงทำให้มีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่า สามารถเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของ β -Cyclodextrin ได้มากกว่าของ α -Cyclodextrin และของ γ -Cyclodextrin ผลที่ตามมา คือ β -Cyclodextrin เกิดแรงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำลดลง ดังนั้นค่าการละลายของ β -Cyclodextrin ในน้ำจึงมีค่าน้อยที่สุดทำให้สามารถในการจับกับสารแปลกปลอมที่มีสภาพความเป็นขั้วต่ำ เช่น คอเลสเตอรอล ได้ดีกว่า Cyclodextrins จะมีค่าการละลายลดลงเมื่อเกิดการเชื่อมต่อกับ crosslinking agent บางชนิด เช่น epichlorohydrin

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของ Cyclodextrins ในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ [14]

อุณหภูมิ (°C)	ความสามารถในการละลายของ Cyclodextrins (mg) / น้ำ (g)		
	α -Cyclodextrin	β -Cyclodextrin	γ -Cyclodextrin
20	90	16.4	185
25	127	18.8	256
30	165	22.8	320
35	204	28.3	390
40	242	34.9	460
45	285	44.0	585
50	347	52.6	-
55	-	60.5	-
60	-	74.9	-
65	-	101.8	-
70	-	120.3	-
75	-	148.0	-
80	-	196.6	-

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ Cyclodextrins กับ Microencapsulation จะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ สามารถให้โมเลกุลอื่นมาจับได้ ดังนั้นกระบวนการ inclusion บางทีจะเรียกว่า “molecular encapsulation” [15, 16] โดย Cyclodextrins นั้นถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในหลายด้าน เช่น ทางด้านอาหาร เครื่องสำอาง เกษษกรรม การวิเคราะห์ทางเคมีและเทคนิค chromatography เป็นต้น

2.1.2 ประโยชน์ของ Cyclodextrins ในด้านต่างๆ

Cyclodextrins สามารถดักจับโมเลกุลต่างๆ ของสารประกอบบางประเภทและเกิดเป็น inclusion complex ซึ่งจะมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป เช่น การละลาย การระเหย และความเสถียรทางเคมี เป็นต้น ในการจับกันของ Cyclodextrins กับสารโมเลกุลอื่นจะเกิด

ในส่วนที่เป็นช่องว่างในโมเลกุลของ Cyclodextrins โดยที่ไม่มีการเกิด covalent bond จึงทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ [17] ดังนี้

2.1.2.1 ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

เนื่องจาก Cyclodextrins ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันเกิดเป็นวงแหวน จึงไม่มีพิษและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปรวมทั้งมีสมบัติในการกักเก็บรักษาสี กลิ่น และรสชาติของเครื่องปรุง เครื่องเทศต่างๆ ให้คงอยู่ในอาหาร หรือการกำจัดสมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการ เช่น การกำจัดกลิ่นเหม็นหืนของข้าวที่เก็บไว้นานๆ ซึ่งเกิดจากวิตามิน B1 ที่ทำให้มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ จึงขจัดโดยใช้ Cyclodextrins ในปริมาณ 0.01 % - 0.4 % การกำจัดสารที่ทำให้รสขมของน้ำผลไม้ เช่น น้ำมะนาว น้ำส้มและน้ำองุ่น เป็นต้น กรณีรัฐฟลอริดา นั้น กระบวนการผลิตน้ำผลไม้จะมีการกำหนดปริมาณองค์ประกอบที่ทำให้เกิดรสขมอยู่ 2 ชนิดหลัก ๆ คือ limonin (0.5 ppm) และ naringin (600 ppm) ดังนั้นการใช้ Cyclodextrins ลงไปจำนวนเล็กน้อยจะช่วยกำจัดรสขมได้แต่ยังคงกลิ่น สี รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้อยู่ นอกจากนี้ยังมีการนำ Cyclodextrins มาใช้ในการกำจัดคาเฟอีนจากใบชาและกาแฟอีกด้วย หรือกำจัดคอเลสเตอรอล เช่น ในน้ำมันหมูและไข่ไก่ เป็นต้น รวมถึงการกำจัดโปรตีนจากสัตว์และพืชบางชนิด ส่วนถั่วเหลืองจะมีรสชาติและกลิ่นที่แปลกเนื่องมาจากองค์ประกอบของ aliphatic carbonyl compounds และ volatile aliphatic alcohols ซึ่งการใช้ Cyclodextrins ก็จะช่วยขจัดกลิ่นดังกล่าวได้ จึงมีการเสนอทฤษฎีที่เป็นไปได้ของการใช้ Cyclodextrins ในการกำจัดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์อยู่ 2 ทฤษฎี [18] คือ

1. Cyclodextrins จะไป form complex กับโมเลกุลที่ทำให้เกิดรสชาติที่ไม่ดี ซึ่งจะขัดขวางไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับต่อมรับรส
2. Cyclodextrins ทำปฏิกิริยากับโปรตีนของต่อมรับรส แล้วทำให้ต่อมรับรสหยุดชะงักการรับรสได้

2.1.2.2 ด้านอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา จะใช้ Cyclodextrins เป็นสารที่ใช้ถนอมรักษากลิ่นของเครื่องสำอางต่างๆ และยังใช้เป็นสารลดการระคายเคืองของผิว คล้ายด้วยในเครื่องสำอางบำรุงผิวต่างๆ ด้านอุตสาหกรรมยาจะนำ Cyclodextrins ไปช่วยในการปลดปล่อยปริมาณยาเพื่อให้ร่างกายค่อยๆ ดูดซึมและทำให้ยาออกฤทธิ์อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเกิดโมเลกุลเชิงซ้อนของยาจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของยา ทำให้ยาไม่เกิด

oxidation ด้วยอากาศ และช่วยเพิ่มความเสถียร หรือบดบังรสชาติและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของยา พร้อมทั้งช่วยป้องกันการระเหยง่ายขององค์ประกอบของยา [15]

2.1.2.3 ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Cyclodextrins ได้รับความนิยมในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมากขึ้น เนื่องจากมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น ใช้ในกระบวนการ textile-finishing เพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิว (surfactants) จากกระบวนการซักล้างเส้นใย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่างๆ จำนวนมากที่ทดลองเกี่ยวกับการใช้ Cyclodextrins เพื่อใช้ในการปลดปล่อยกลิ่นอะโรมาหรือสารต้านแบคทีเรีย จุลินทรีย์ สารกันแดด เป็นต้น เช่น การใช้ Monochlorotriazinyl (MCT) N-methylol-acrylamide (NMA) และ Polycarboxylic acids ให้ทำหน้าที่เป็น crosslinking agent เพื่อช่วยเชื่อม Cyclodextrins กับผ้าฝ้าย ซึ่งผลการทดลองก็เป็นที่น่าพอใจว่าสามารถคงสารเคมีดังกล่าวไว้กับผ้าได้นานขึ้น [19]

2.2 ฝ้าย (Cotton)

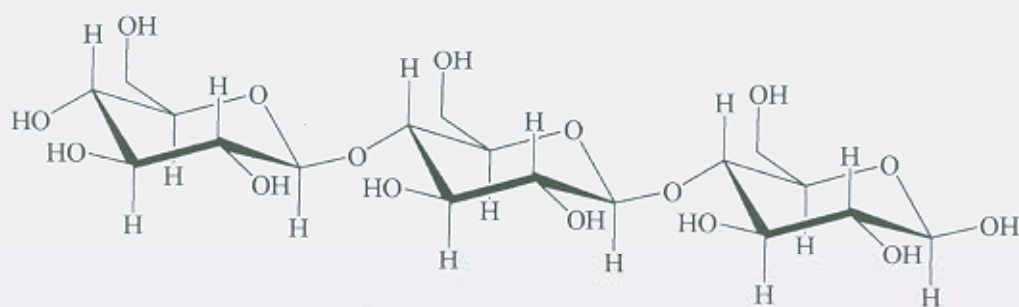
ฝ้าย หรือ Cotton มาจากภาษาอาหรับว่า “qutun” หลักฐานทางโบราณคดีที่เก่าแก่ที่สุดเกี่ยวกับฝ้าย คือ ผ้าฝ้ายมีอายุประมาณ 5000 ปีก่อนคริสตกาลซึ่งพบที่ประเทศเม็กซิโก ส่วนในทวีปเอเชียพบหลักฐานเกี่ยวกับผ้าฝ้ายว่ามีอายุประมาณ 3000 ปีก่อนคริสตกาลที่บริเวณลุ่มแม่น้ำสินธุ ซึ่งปัจจุบันอยู่ในเขตประเทศปากีสถาน ส่วนในประเทศไทยพบหลักฐานทางโบราณคดีที่เป็นดินเผาที่ใช้ปั่นฝ้ายสมัยก่อนประวัติศาสตร์อายุประมาณ 3000 ปี ที่บ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี ฝ้ายเป็นเส้นใยพืชที่มีความสำคัญและมีการใช้งานกว้างขวางมากที่สุด สามารถใช้งานได้หลากหลาย อาจใช้เป็นฝ้าย 100 % หรือฝ้ายผสมกับเส้นใยอื่นๆ ได้แทบทุกชนิด ในประวัติศาสตร์ที่ผ่านมามนุษย์ได้รู้จักการใช้ประโยชน์จากฝ้ายมานานกว่า 5,000 ปี มีการเพาะปลูกฝ้ายเกือบทั่วทุกแห่งในโลก ยกเว้นบางประเทศที่มีอากาศหนาวเนื่องจากฝ้ายจะไม่เจริญเติบโตในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 70°F (21°C) ฝ้ายเป็นไม้พุ่มในสกุล *Gossypium* วงศ์ Malvaceae โดยจะนำปุยหุ้มเมล็ดมาปั่นเป็นเส้นใยทอผ้าได้ มีเมล็ดฝ้ายนำไปสกัดทำน้ำมันได้ ต้นฝ้ายเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งเพาะปลูกขึ้นมากในภูมิภาคที่อากาศร้อน เป็นไม้พุ่มที่มีความสูงประมาณ 3 - 6 ฟุต (0.9 เมตร – 1.8 เมตร) ให้เส้นใยจากเมล็ดหรือปุยฝ้าย เส้นใยที่นำไปปั่นเป็นเส้นด้ายต้องมีความยาวเหมาะสม คือ ไม่สั้นจนเกินไป โดยเฉพาะบริเวณที่ติดปลายเมล็ดค่อนข้างสั้นมาก เรียกว่า “cotton linter” สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ประเภทเซลลูโลส เช่น เรยอน [20]



รูปที่ 2.3 เมล็ดผลฝ้าย [21]



รูปที่ 2.4 ดอกฝ้าย [21]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส

ฝ้ายสามารถเจริญเติบโตได้ในหลายพื้นที่ของโลก ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมากทั้งพันธุ์ฝ้าย สภาพภูมิอากาศ ทั้งอาหารในดิน ตลอดจนศัตรูพืช โดยคุณภาพของเส้นใยฝ้ายขึ้นกับความยาว ความยาวของเส้นใย ความละเอียดตลอดจนความแข็งแรง โดยปกติเส้นใยยิ่งยาวมากยิ่งมีความละเอียดสูงและความแข็งแรงมากด้วย การแบ่งชนิดของเส้นใยฝ้ายส่วนมากมักเรียกตามชื่อ

ของประเทศที่ปลูกหรือตามภูมิศาสตร์และยังมีการเรียกชื่อให้ละเอียดขึ้นอีกถึงประเทศที่ผลิต เช่น ฝ้ายสายพันธุ์บราซิล แซฮีย์ กริช ปากีสถาน รัสเซีย ซีเรีย เป็นต้น

พันธุ์ฝ้ายพื้นเมืองที่ปลูกกันโดยทั่วไปในประเทศไทยจะแยกตามสีของปุยฝ้าย ดังนั้นจึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ พันธุ์สีดุ่น ปุยฝ้ายมีสีดุ่นคือสีน้ำตาลอ่อนๆ และ พันธุ์สีขาว มีปุยฝ้ายสีขาว ฤดูกาลปลูกฝ้ายในประเทศไทย คือ ประมาณช่วงเดือนพฤษภาคมเพื่อให้ต้นฝ้ายได้รับน้ำฝนในฤดูฝนช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคมได้เต็มที่ เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูหนาวฝ้ายจะแก่และแตกปุย ซึ่งนับเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมเพราะอากาศในฤดูหนาวจะแห้ง มีความชื้นน้อย ช่วยให้ปุยฝ้ายแห้งดี ขึ้น ปุยฝ้ายที่นำมาทำเส้นใยนี้เป็นพัฒนาการขั้นสุดท้ายจากดอกฝ้าย เมื่อดอกฝ้ายผสมเกสรแล้ว เติบโตเป็นลูกฝ้ายหรือเรียกกันทั่วไปว่า “สมอฝ้าย” เมื่อต้นฝ้ายแก่เต็มที่แล้วสมอฝ้ายจะแตกออกเป็น “ปุยฝ้าย” เก็บปุยฝ้ายมาปั่นเป็นเส้นใยฝ้าย

2.2.1 การผลิตเส้นใยฝ้าย

การปลูกฝ้ายสามารถทำได้ในพื้นที่ที่มีอากาศอุ่นติดต่อกันเป็นเวลายาวนาน เพียงพอ มีความชื้น และแสงแดด ตลอดจนมีลักษณะดินที่เหมาะสม เมื่อต้นฝ้ายเจริญเติบโตเต็มที่ ได้ความสูงประมาณ 3 - 6 ฟุต (1 - 2 เมตร) หลังจากที่ยอดกิ่งบานและร่วงไปแล้วก็จะเริ่มปรากฏเป็นปุยฝ้ายเจริญเติบโตขึ้น ภายในปุยฝ้ายมีเมล็ดฝ้ายอยู่ โดยเส้นใยฝ้ายเจริญขึ้นจากเมล็ด เมื่อปุยฝ้ายสุกอมก็จะบาน และเปิดออกมองเห็นเส้นใยเป็นปุยพร้อมที่จะทำการเก็บเกี่ยวได้

การเก็บปุยฝ้าย เมื่อสมอฝ้ายแก่แตกเป็นปุยและแห้งเต็มที่โดยจะเลือกเฉพาะปุยฝ้ายที่แก่เต็มที่ ดึงปุยฝ้ายออกจากก้านสมอระว่างไม่ให้เศษใบไม้ติดปนมาด้วย โดยคัดเลือกเก็บปุยฝ้ายที่สะอาด ไม่ขึ้นหรือมีเชื้อรา ค่อยจากนั้นนำปุยฝ้ายมาตรวจคัดเศษใบไม้หรือก้านสมอที่หักร่วงปนมากับปุยฝ้ายออกให้เหลือแต่ปุยฝ้ายที่สะอาด

การตากปุยฝ้าย เพื่อให้ปุยฝ้ายแห้งสนิทและป้องกันเชื้อราจึงต้องตากปุยฝ้าย โดยใส่ปุยฝ้ายในกระด้งขนาดใหญ่เกลี่ยให้พอเหมาะ ไม่ซ้อนทับกันหนาจนแสงแดดส่องไม่ถึงทั่วถึงและต้องหมั่นพลิกปุยฝ้ายเป็นระยะๆ เพื่อให้ถูกแดดทั่วถึงกันจนแห้งสนิทดีและฟู

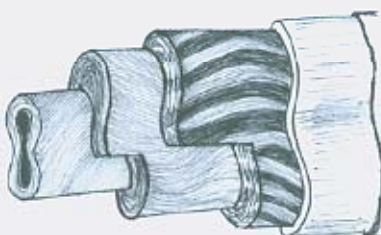
การคัดแยกเมล็ดออกจากปุยฝ้าย ปุยฝ้ายที่สะอาดและแห้งสนิทดีนั้น ยังมีเมล็ดฝ้ายอยู่ข้างในจึงต้องคัดแยกเมล็ดออกจากปุยฝ้าย

ส่วนที่เป็นเปลือกของเมล็ดฝ้าย ก็สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนสูง หรือทำเป็นอาหารสัตว์ได้ เนื้อในของเมล็ดฝ้ายเป็นส่วนของเมล็ดที่สามารถสกัดเอาน้ำมันไปใช้ประโยชน์เป็นน้ำมันพืชหรือใช้ในการทำสบู่และเหลือจากการสกัดน้ำมันแล้วยังเป็นอาหารสัตว์

ได้อีก ในส่วนของเส้นใยที่ติดปลายเมล็ดเป็นเส้นใยสั้นมากเรียก “Cotton linter” ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของการทำเส้นใยประดิษฐ์ทั้งเรยอนและแอซีเทต [22]

2.2.2 โครงสร้างทางกายภาพ

โครงสร้างของฝ้ายหูกมองในรายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมี ฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่ง มีอัตราส่วนความเป็นผลึกต่อความเป็นอสัณฐานสูงถึงประมาณ 2 ต่อ 1 ทำให้มีความสามารถในการยึดตัวดีและดูดซึมความชื้นสูง โดยทางกายภาพของฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นมีลักษณะภายนอกที่หยาบเป็นหลอดแบน ขว้นกันเป็นเกลียว และจากกล้องจุลทรรศน์ภาพตัดขวางมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่วที่มีช่องกลางเป็นช่องส่งน้ำ (lumen) รูกกลางที่เป็นท่อส่งน้ำจะหดเล็กลงและผิวนอกคล้ายมีฟิล์มมันเคลือบอยู่ ผนังชั้นแรกหรือ primary wall เป็นผนังชั้นที่เกิดก่อนเป็นชั้นบาง ขณะที่ท่อส่งน้ำตรงกลางใหญ่ดูคล้ายท่อ ต่อมาเมื่อเจริญเติบโตมากขึ้นผนังชั้นแรกจะมีความหนาเพิ่มขึ้นขยายจากผิวเข้าสู่ส่วนกลาง การเจริญเติบโตเป็นชั้น ๆ คล้ายวงปีในลำต้น ทำให้ท่อส่งน้ำส่วนกลางถูกบีบคั้นเล็กลง แต่ละชั้นของผนังที่ขยายเข้าไปมีความหนาแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ อาหารและน้ำ เปลือกที่หนาเพิ่มขึ้นนี้รวมเรียกว่า “ผนังชั้นสอง หรือ secondary wall” แต่ละชั้นที่เจริญเติบโตขึ้นนี้ประกอบไปด้วย เส้นใยละเอียดอันเกิดจากการต่อกันยาวของลูกโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสจัดเรียงต่อกันและลักษณะของการจัดเรียงตัวกันนี้เองที่ทำให้ในบางครั้งมีทิศทางการเรียงที่สลับทิศสวนทาง นอกจากนี้ฝ้ายยังมีเกลียวหรือการบิดตัวคล้ายริบบิ้น เป็นลักษณะที่แสดงถึงการเจริญเติบโตตามธรรมชาติอย่างเต็มที่แล้วของฝ้าย เมื่อปุยฝ้ายเปิดออกทำให้เส้นใยแห้งตัวลง ส่งผลให้รูส่งน้ำตรงกลางหดตัว ผนังของเส้นใยที่เกิดจากการเจริญเติบโตของลูกโซ่โมเลกุลมีการบิดเปลี่ยนทิศทาง การบิดงอนี้เป็นการเกิดเกลียวแบบธรรมชาติทำให้เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการเกาะเกี่ยวกัน ปั่นเป็นด้ายได้ง่ายและมีความสามารถในการยึดตัวสูง ในขณะเดียวกันอาจมีผลเสียเกิดขึ้นในบริเวณของการบิดเกลียวบ้าง เช่น เกิดการจับฝุ่นหรือสิ่งสกปรกได้ ความแข็งแรงลดลงประมาณ 15-30 % เมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ เชื่อกันว่าถ้าหากสามารถดึงยึดเส้นใยให้เหยียดตรงออกแล้วจะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยเพิ่มขึ้นได้ [23]



รูปที่ 2.6 แผนภาพของเส้นใยฝ้าย [24]



รูปที่ 2.7 ภาพ micrograph ของโครงสร้างเส้นใย [24]

2.2.3 สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะคล้ายหลอดแบบบิด ขั้วกันเป็นเกลียว พื้นที่หน้าตัดเป็นเมื่อดูตรงกลางเป็นรูซึ่งเกิดจากท่อส่งน้ำตามแกนกลางของเส้นใยนั่นเอง ผิวของเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง

ความยาวเส้นใย เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง $1/8 - 2 \frac{1}{2}$ นิ้ว (3 - 63 มิลลิเมตร) โดยทั่วไปฝ้ายยาวมีความแข็งแรงดีกว่าฝ้ายสั้น

สี ปกติฝ้ายมีสีขาว บางชนิดอาจพบเป็นสีครีมหรือสีน้ำตาล

ความมัน โดยธรรมชาติฝ้ายมีความมันน้อย ต้องเพิ่มความมันด้วยการตกแต่ง เช่น ฝ้ายเมอร์เซโร

ความเหนียว ฝ้ายจะมีความเหนียวปานกลาง คือจะเหนียวประมาณ 3.0-5.0 กรัมต่อเดนเยอร์ ความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปียก ความเหนียวเมื่อเส้นใยเปียกจะมากกว่าความเหนียวเมื่อแห้งประมาณ 25 - 40 %

ความแข็งแรง ฝ้ายเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงปานกลาง ความทนแรงดึง ณ จุดขาดมีค่าประมาณ 3.0 - 5.0 gpd เมื่อเปียกน้ำฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 10 - 20 % ฝ้ายที่ผ่านกระบวนการทำเมอร์เซโรแล้วความแข็งแรงจะสูง โดยทั่วไปความแข็งแรงของฝ้ายแปรโดยตรงไปตามความยาวของเส้นใยเมื่อนำมาตีเกลียวเป็นด้าย เส้นใยยาวจะมีจุดสัมผัสของเส้นใยมากกว่าเส้นใยสั้นจึงทำให้เกิดแรงเสียดทานได้มากกว่า ซึ่งส่งผลให้การทนต่อแรงดึงสูงขึ้น

การยืดตัว เป็นเส้นใยที่มีการยืดตัวดีกว่าลินิน แต่ต่ำกว่าไหมและขนสัตว์ เกลียวฝ้ายที่เกิดตามธรรมชาติทำให้มีการยืดตัวที่ดีและนำมาปั่นเป็นด้ายได้ง่าย สามารถยืดตัวได้ประมาณ 3 - 7 %

การคืนตัวจากแรงอัด ฝ้ายมีความสามารถในการคืนตัวภายหลังที่ถูกกดทับได้ต่ำและง่ายมาก ในปัจจุบันมีการตกแต่งสำเร็จหลายวิธีที่จะช่วยให้ปัญหาของการยับลดลงในลักษณะที่เรียกกันว่า “Wrinkle – free”

การดูดซึมความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานอุณหภูมิ 70 °F (21 °C) และความชื้นสัมพัทธ์ 65 % ฝ้ายมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้สูงถึง 7 - 10 % และความแข็งแรงของฝ้ายสูงขึ้นเมื่อเปียก

ความถ่วงจำเพาะ ใยฝ้ายมีความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ 1.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ความคงรูป โดยปกติผ้าฝ้ายจะคงรูป ไม่ยืดและไม่หดมาก ความยืดและหดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตเป็นผืนผ้าด้วย ถ้าต้องการไม่ให้หด จะต้องทำการตกแต่งให้ทนหด เช่น ฝ้ายชันฟอไรซ์

การติดไฟและการทนต่อความร้อน ฝ้ายติดไฟง่ายและเร็ว เมื่อเผาจะมีกลิ่นเหมือนเผากะดาษ มีจี๊ดเล็กน้อย และมีสีเทานุ่น ผ้าฝ้ายถ้าถูกความร้อนที่สูงกว่า 149 °C เป็นเวลานาน ๆ จะทำให้ใยเสื่อมคุณภาพ ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดความร้อนและระยะเวลาที่ถูกความร้อนนั้น ถ้าเป็นความร้อนปกติที่ใช้ในการดูแลรักษาประจำวันจะไม่ทำให้ใยเสื่อมคุณภาพ แต่จะไหม้เกรียมถ้ารีดด้วยความร้อนสูงและการตกแต่ง เช่น การลงแป้งจะช่วยให้เกิดการไหม้เกรียมง่ายขึ้น

2.2.4 สมบัติทางเคมี

ผลของกรด ฝ้ายจะไม่ทนต่อกรด โดยเฉพาะกรดชนิดเข้มข้นประเภทกรดอินทรีย์ เพราะกรดจะไปทำลายเส้นใยฝ้าย ส่วนกรดอินทรีย์ เช่น กรดน้ำส้มไม่เป็นอันตรายต่อฝ้าย แต่ถ้าเป็นกรดประเภทกรดกำมะถัน หรือกรดไฮโดรคลอริกจะละลายฝ้ายเป็นยางเหนียว และถ้าถูกกรดในดริค จะเกิดปฏิกิริยาให้เซลลูโลสในดริค ซึ่งมีสมบัติเป็นวัตถุระเบิด

ผลของด่าง ฝ้ายทนต่อสารละลายด่างได้ดี ซึ่งในกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายต้องใช้ด่างมาก เช่น การฟอกขาวและการชุบมัน สารซักฟอกและสารฟอกขาวทุกชนิดล้วนมีส่วนประกอบของด่างทั้งสิ้นจึงสามารถใช้สารเหล่านี้กับฝ้ายได้อย่างปลอดภัย แม้ด่างแก่ที่ใช้เป็นสบูในการซักล้างก็ไม่มีผลต่อสมบัติของฝ้าย นอกจากนั้นแล้วด่างที่เป็นสารเคมีหลักในการทำเมอร์เซอไรส์กลับทำให้ฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

ผลของตัวละลายอินทรีย์ ฝ้ายจะทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการซักรีดประจำวันและการลบรอยเปื้อนได้อย่างดีและฝ้ายสามารถซักแห้งได้ เนื่องจากมีความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้ดีมาก

ผลของสารซักฟอก สารซักฟอกโดยทั่วไปที่มีขายในตลาดชนิดที่ไม่แ่ก่มากนักสามารถใช้ซักฟอกฝ้ายได้ แต่ต้องระวังเรื่องของความเข้มข้นและระยะเวลาประกอบกัน ภายหลังการซักฟอกแล้วควรทำการล้างด้วยน้ำสะอาดออกให้หมด สารซักฟอกประเภทออกซิไดซ์ที่แ่ก เช่น ไปเดทเซียมเปอร์แมงกาเนต และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีผลทำให้ฝ้ายเกิดปฏิกิริยาทางเคมี กลายสภาพเป็นสารที่เรียกว่า “ออกซีเซลลูโลส (Oxycellulose)” ที่มีสมบัติอ่อนแ่กว่าฝ้ายปกติ ขาดง่ายเมื่อเปียก และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

ผลของราและแมลง ปกติฝ้ายเกิดราได้ง่าย เนื่องจากเป้งที่ตกค้างมาจากการลงเป้งทำให้เป็นปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของรา ปัญหานี้แก้ได้โดยการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายภายหลังสำหรับแมลงก็เช่นเดียวกันเป็นปัญหาสืบเนื่องจากเป้งที่ตกค้างในฝ้ายมากกว่าสืบเนื่องจากเส้นใยฝ้ายเอง

ผลของแสงแดด ฝ้ายที่ถูกแสงแดดทำให้เกิดการออกซิไดส์เป็นออกซีเซลลูโลส เปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเสื่อมคุณภาพลงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นและการข้อมด้วยสัซัลเฟอร์บางชนิด ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้งานของฝ้ายไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง

ผลของการข้อมสี สามารถติดสีข้อมได้หลายชนิด เช่น สีรีแอทีฟ สีแวท นอกจากนั้นอาจใช้สีไคเร็คและสีเบสิกก็ได้

2.2.5 การใช้งานของฝ้าย

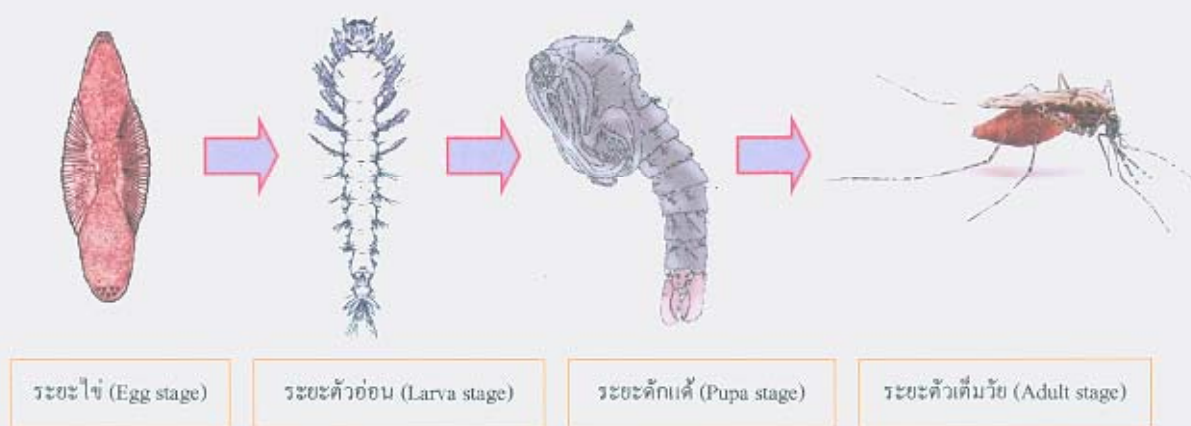
ฝ้ายใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากและมีราคาไม่แพง ซึ่งสามารถทำเป็นเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มได้ทุกชนิด เพราะมีคุณสมบัติหลายประการ เช่น สวมใส่สบาย ไม่ร้อน ซักได้ง่าย และดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดี นอกจากนี้ผ้าฝ้ายยังข้อมสีได้ง่าย จึงสามารถใช้งานได้หลากหลาย สามารถปั่นเป็นด้ายได้แทบทุกระดับของความละเอียด ทอเป็นผ้าได้ทุกโครงสร้าง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฝ้ายเป็นที่นิยมและใช้กันมาตลอด ผ้าฝ้าย 100 % ที่นิยมทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น กางเกงยีนส์ ผ้าปลอกหมอนและผ้าคลุมเตียง เป็นต้น นอกจากนั้นเส้นใยฝ้ายยังสามารถใช้ผสมร่วมกับเส้นใยชนิดอื่นทั้งใยธรรมชาติและใยสังเคราะห์ได้ด้วยและมีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางมาก คือ ใช้ร่วมกับเส้นใยพอลิเอสเตอร์ เช่น กรณิผ้า T/C คือ การผสมแบบมาตรฐานระหว่างพอลิเอสเตอร์กับฝ้าย เป็นต้น [25]

2.3 ยุง (Mosquitoes)

ยุงจัดเป็นสัตว์ใน Phylum Arthropoda จัดอยู่ใน Class Insecta, Family Culicidae และ Order Diptera ยุงเป็นแมลงขนาดเล็กลำตัวยาว 3 - 6 มิลลิเมตร มีปีก 1 คู่ หนวดยาวมีจำนวน 13 ปล้อง ขนที่หนวดของตัวเมียสั้นกว่าตัวผู้ ปากเป็นชนิดเจาะดูด โดยทั่วไปแล้วยุงมี 3000 species 140 family และแบ่งออกเป็น 3 subfamily คือ Anophelinae Culicinae Toxorhynchitinae ยุงที่เป็นพาหะนำโรค ได้แก่ ยุงรำคาญ (Genus *Culex*) เป็นพาหะนำโรคไข้สมองอักเสบเจดี ยุงก้นปล่อง (Genus *Anopheles*) เป็นพาหะนำโรคมาลาเรียและยุงเสือ (Genus *Mansonia*) เป็นพาหะนำโรคเท้าช้าง ยุงลาย (Genus *Aedes*) เป็นพาหะนำโรคไข้เลือดออก ยุงลายในประเทศไทยมีทั้งสิ้น 113 ชนิด แต่ที่เป็นพาหะนำโรคไข้เลือดออกมีเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ ยุงลายบ้าน และ ยุงลายสวน [26]

วงจรของยุงจะมีอยู่ 4 ระยะ คือ

- ระยะไข่ (egg stage)
- ระยะตัวอ่อน (larva stage)
- ระยะดักแด้ (pupa stage)
- ระยะตัวเต็มวัย (adult stage)



รูปที่ 2.8 วงจรชีวิตของยุง [26]

- ระยะไข่ (egg stage)

ยุงอาจวางไข่ที่ละฟอง (*Aedes* และ *Anopheles*) หรือเป็นแพ (*Culex Coquillettia* และ *Culiseta*) เป็นกลุ่มคล้ายดอกไม้ Cluster (*Mansonia*) ส่วนมากจะวางที่ละใบ ตัวอย่างเช่น ไข่ของยุงก้นปล่อง (*Anopheles*) และยุงลาย (*Aedes*) จะวางไข่เป็นแพ ส่วนยุง

รำคาญจะวางไข่เป็นแพ (raft) ยุงแต่ละตัววางไข่ได้ 3-4 ครั้ง จำนวน 50-200 ฟองต่อครั้ง ไข่ของยุงบางชนิดอาจมีชีวิตรอดได้เป็นระยะเวลานานโดยปราศจากน้ำ ถึงแม้ว่าไข่จะชอบเจริญในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูงก็ตาม แต่พบว่าไข่ของยุงพวก *Aedes vexans* และ *Aedes sticticus* สามารถมีชีวิตรอดได้นานถึง 3 ปีในสภาวะขาดแคลนน้ำ ส่วนมากยุงมักวางไข่บนพื้นผิวน้ำหรือตามขอบของสระที่มีน้ำขังนิ่ง ไข่เจริญเป็นตัวอ่อนอย่างสมบูรณ์ภายใน 2 – 3 วัน และการฟักของไข่จะเกิดหลังจากนี้ในไม่ช้า

- ระยะตัวอ่อน (larva stage)

ตัวอ่อนหรือลูกน้ำที่วางในน้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของยุง คือ พวก Culicinae จะแขวนตัวเป็นมุกกับผิวของน้ำโดยใช้ท่อหายใจที่เรียกว่า “siphon” ส่วนพวก Anophelinae จะนอนทอดตัวตามแนวนอนใต้ผิวน้ำเล็กน้อย ตัวอ่อนยุงส่วนมากกินพวกจุลชีพและวัตถุอื่น ๆ ในน้ำ ตัวอ่อนจะลอกคราบ 4 ครั้ง การลอกคราบครั้งสุดท้ายจะเกิดการสร้างดักแด้ ระยะเวลาซึ่งใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนอย่างสมบูรณ์นานประมาณ 7 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย

- ระยะดักแด้ (pupa stage)

เมื่อลอกคราบครั้งที่ 4 แล้วดักแด้จะถูกสร้างขึ้น ดักแด้เป็นระยะที่ไม่มีการกินอาหาร ระยะดักแด้จะสั้นมากประมาณ 2 – 3 วัน ดักแด้จะมีท่ออากาศ 1 คู่ตั้งอยู่ด้านบน

- ระยะตัวเต็มวัย (adult stage)

ยุงจะมีวงจรชีวิต 9 - 14 วัน ตัวเมียอายุประมาณ 1 เดือนแต่อาจมีชีวิตนานถึง 4 – 5 เดือนภายใต้สภาวะของการจำศีลและถ้ายุงมีการเคลื่อนไหวมากหรืออยู่ในช่วงอากาศร้อน ยุงตัวเมียอาจมีชีวิตรอดนานเพียงแค่ 2 สัปดาห์ ส่วนตัวผู้มักจะอายุสั้นประมาณ 6-7 วัน

ยุงจะแบ่งได้หลายชนิด ดังนี้

1. ยุงรำคาญ (*Culex*)



ยุงรำคาญหรือยุงบ้านเป็นยุงที่จัดอยู่ในกลุ่ม Culicini ในสกุลคิวแลกซ์ (*Culex*) ยุงรำคาญกัดดูดกินเลือดคนในเวลาากลางคืนและภายในบ้าน ซึ่งเป็นพาหะนำโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ (Encephalitis) และเป็นพาหะที่สำคัญมากที่สุดของไวรัสที่ทำให้เกิด

Japanese encephalitis ใน Oriental region รวมทั้งเป็นโฮสต์กึ่งกลางที่สำคัญของพยาธิฟิลาเรียที่ทำให้เกิดโรคเท้าช้าง ยุงรำคาญถ้าตัวจะมีสีดำหรือสีน้ำตาลอ่อน ปีกดำตัวหรือขาหรือส่วนอื่น ๆ ของร่างกายไม่มีจุดหรือแต้มที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นอกจากมองเห็นผ่านแว่นขยาย ในขณะที่คุณเลียดจะมีส่วนของลำตัวขนานกับพื้นผิว ส่วนใหญ่อยู่ออกหากินในเวลากลางคืนเพราะไม่ชอบแสงสว่าง

2. ยุงลาย (*Aedes*)

เป็นยุงที่อยู่ในกลุ่ม Culicine ในสกุล *Aedes* เป็นพาหะที่สำคัญมากที่สุดของเชื้อไวรัสที่ทำให้เกิดโรคหลายอย่าง เช่น โรคไข้เลือดออก โรคไข้เหลือง โรคเท้าช้าง เป็นต้น [27]



รูปที่ 2.9 ยุงลาย หรือ Yellow fever mosquito [27]

ยุงลาย จะมีลำตัว ท้อง และขา มีลายดำสลับขาวขยงเว้นที่ปีก นอกจากนี้มีขา 6 ขาจะมีแถบสีขาวและปล้องสุดท้ายของขาหลัง มีลำตัวยาวประมาณ 4-6 มม. ออกหากินในเวลากลางวัน มีปากยาวมาก ลักษณะปากเป็นแบบแทงดูด มีปีกบางใสที่เห็นได้ชัดเจน 2 ปีกอยู่บริเวณส่วนอก มีเส้นหนวดในยุงตัวผู้สั้นขนเหล่านี้ยาวมาก (ใช้รับคลื่นเสียงที่เกิดจากการขยับปีกของยุงตัวเมีย) ส่วนในยุงตัวเมียสั้นขนที่สั้นกว่าและมีจำนวนน้อยกว่า

3. ยุงก้นปล่อง (*Anopheles*)



ยุงก้นปล่องอยู่ในกลุ่ม Anophelini สกุล *Anopheles* เป็นยุงที่นำเชื้อโรคมาลาเรียมาสู่คน โดยการกัดคนที่ป่วยเป็นโรคมาลาเรีย ซึ่งมีปรสิตอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดงของคนเข้าสู่กระเพาะของยุง แล้วทำให้ปรสิตเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน แล้วเคลื่อนที่ไปยังต่อมน้ำลายของยุง ยุงก้นปล่องจะมีจุดสีดำแต้มอยู่บนปีกเป็นหย่อมๆ ส่วนใหญ่จะออกหากินในเวลากลางคืน [28]

ปัจจัยที่จะทำให้ยุงกัดคนมีดังนี้ ความชื้น ความร้อนจากร่างกาย คาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่น แสงสว่างและฮอร์โมน ซึ่งมีอยู่รอบๆ ผิวหนังร่างกายมนุษย์ ซึ่งการควบคุมยุงพาหะเพื่อป้องกันโรคต่างๆ ที่เกิดจากยุงเหล่านี้ มีหลายวิธี [29] คือ

1. ควบคุมโดยจัดการทางสภาพแวดล้อม

เช่น การที่ป้องกันไม่ให้มีแหล่งเพาะพันธุ์ของยุงภายในตัวที่พักอาศัย ซึ่งแหล่งที่มักพบการเพาะพันธุ์ของยุง ได้แก่ ถังเก็บน้ำ โอ่งน้ำ ขวดน้ำ แจกัน ขารองตู้กับข้าวและถาดรองกระถางต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งจะไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. ควบคุมโดยใช้สารเคมี

เช่น การใช้สารกำจัดแมลงที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะใช้ง่ายและสะดวก รวมทั้งมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดแมลง

3. ควบคุมโดยใช้สิ่งมีชีวิตควบคุมวัฏจักร

เช่น การปล่อยปลาในแหล่งที่มักมีการเพาะพันธุ์ยุงเพื่อให้ปลาได้กินลูกน้ำของยุง เป็นต้น

2.4 สารไล่แมลงและสารฆ่าแมลง (Insect repellent and insecticide)

สารเคมีกำจัดแมลง คือ สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าแมลง เมื่อแมลงสัมผัสแล้วอาจตายทันที (Quick knock down) หรือสัมผัสแล้วยังไม่ตายทันทีแต่จะค่อย ๆ ตายอย่างช้า ๆ (Slow knock down) ซึ่งสารไล่แมลงที่วางจำหน่ายในตลาดจะมีรูปแบบต่าง ๆ เช่น กระป๋องสเปรย์ ครีม โลชั่น น้ำมันกันแดด ผงและสารผสมในกระบวนการซักผ้า นอกจากนี้ยังมีเป็นโฟมอีกด้วย ระยะเวลาในการป้องกันขึ้นอยู่กับสารเคมี บุคคล สิ่งแวดล้อม ชนิดของแมลงและภูมิสถานของแมลงนั้น

สารไล่แมลงจะต้องระเหยได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งอาจไม่สามารถป้องกันการกัด ต่อยของแมลงชนิดที่มีขาเป็นปล้อง ๆ เช่น ผีเสื้อและตัวต่อ เป็นต้น รวมทั้งอาจไม่สามารถฆ่ายุงหรือแมลงอื่น ๆ แต่อาจมีผลกระทบต่อแมลงเพียงชนิดขางเท่านั้น ดังนั้นแนวความคิดของการใช้สารไล่แมลงควรมีสมบัติดังนี้

1. มีประสิทธิภาพในการต้านทานยาวนานและป้องกันแมลงหลาย ๆ ชนิด
2. ไม่ควรสร้างความระคายเคืองต่อผิวหนังหลังจากการใช้งานตามลักษณะงานนั้นๆ หรือใช้งานด้านเสื้อผ้า
3. ควรมีกลิ่นน้อยหรือมีกลิ่นอันพึงประสงค์
4. ไม่มีผลกระทบต่อเสื้อผ้า เช่น การปนเปื้อน (สีตก ฟอกสีผ้า หรือทำให้เส้นใยอ่อนแอ) แต่สามารถคงอยู่ได้นานกลับไปซักหลายครั้งได้

5. การใช้งานนั้นจะต้องไม่มีการหลุดออกของสารคล้ายกับน้ำมันปรากฏออกมา หรือสัมผัสกับผิวหนังและด้านทานการหลุดออกโดยเช็ดออก การซักล้างหรือด้วยเหงื่อ
6. ไม่เกิดปฏิกิริยากับพลาสติกที่ใช้ (เช่น เครื่องใช้ในครัวเรือน)
7. สารเคมีต้องมีความเสถียร ง่าย ราคากถูกและสามารถใช้ได้อย่างแพร่หลาย

สารฆ่าแมลง สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มตามองค์ประกอบทางเคมี คือ สารประกอบอนินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์

- สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic compounds)

สารประกอบอนินทรีย์เป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่มีองค์ประกอบของคาร์บอน(C) มีคุณสมบัติไม่ระเหย มีความเสถียร และส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ สารอนินทรีย์หลายชนิดมีความคงทน (Persistent) ในสิ่งแวดล้อมนาน และหลายชนิดมีพิษสูงต่อมนุษย์และสัตว์ เช่น สารหนู ไซยาไนด์ สารประกอบของปรอทและรัลเลียม จากสาเหตุดังกล่าวปัจจุบันสารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ถูกห้ามใช้และเปลี่ยนมาใช้สารฆ่าแมลงอินทรีย์แทน ตัวอย่างสารฆ่าแมลงอนินทรีย์ได้แก่ สาร boric acid, mercuric oxide, copper hydroxide, mercurous chloride, copper oxychloride, sodium fluoaluminate, copper sulfate, sodium fluoroacetate, sodium arsenite, thallium sulphate, sodium chlorate, silica aerogel และสาร sodium fluoride

- สารประกอบอินทรีย์ (Organic compounds)

สารประกอบอินทรีย์เป็นสารที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมา มีธาตุองค์ประกอบที่สำคัญคือคาร์บอน ไฮโดรเจน และธาตุอื่นๆ ได้แก่ คลอรีน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน

สารไล่แมลงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับป้องกันการกัดของยุง แมลงตัวเล็ก ๆ ในตระกูล Chironomidae หมัด เห็บและแมลงวัน คือ DEET ส่วน Permethrin ก็ยังคงเป็นสารไล่หมัดเห็บที่ดีที่สุด ซึ่งการใช้งานจะต้องสอดคล้องกับการรักษาสังแวดล้อม

2.4.1 สมบัติโดยทั่วไปของ N,N-diethyl-3-methylbenzamide (DEET)

สำหรับ N,N-diethyl-3-methylbenzamide (DEET) จัดเป็นสารไล่แมลงประเภท aromatic amide มีประสิทธิภาพในการไล่ยุงรวมถึงแมลงรบกวนต่าง ๆ เช่น ริ้น เห็บ หรือ หมัด ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย U.S. Department of Agriculture และถูกนำมาใช้ทางด้านการทหารในปี

ค.ศ.1957 โดยเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของ DEET ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 4 – 100 % [29] ซึ่งสมบัติโดยทั่วไปของ DEET แสดงอยู่ในตารางที่ 2.4

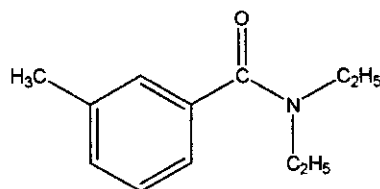
ตารางที่ 2.4 ข้อมูลทั่วไปของ N,N-diethyl-3-methylbenzamide (DEET) [30]

ประเภทของสารเคมี	Aromatic amide (N, N-dialkylaryamides); repellent
ชื่อทางเคมี	N,N-diethyl-3-methylbenzamide
ชื่อทางการค้า	N,N-diethyl-m-toluamide DEET, OFF, delphene, MGK diethyltoluamide, detamine, metadelphene, chemform, chigger-wash, muskol, Cutter และ Old time woodsman
สูตรเคมี	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{CON}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ หรือ $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{NO}$
น้ำหนักโมเลกุล	191.27
สี	ไม่มีสีจนถึงสีเหลืองอ่อน
ความดันไอ	5.6×10^{-3} mmHg ที่ 20 °C 1.9×10^{-3} mmHg ที่ 160 °C
ความหนาแน่นของไอ	0.996-0.998
ตัวทำละลายที่สามารถละลายได้	ethanol, isopropanol, propylene glycol และตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ และละลายเล็กน้อยใน Glycerol
ความสามารถในการละลายน้ำ	สามารถละลายได้บางส่วน
จุดเดือด	111 °C ที่ 1 mmHg 165 °C ที่ 20 mmHg 288-292 °C ที่ 760 mmHg (1 atm)
จุดหลอมเหลว	- 45°C ที่ 1 mmHg
ความถ่วงจำเพาะ	0.996 - 0.998 g/cm ³

ข้อพึงระวังในการใช้ DEET กับวัสดุต่าง ๆ คือ DEET จะก่อให้เกิดความเสียหายกับวัสดุบางชนิด เช่น พลาสติก เรยอน สปันเดกซ์ ผ้าใยสังเคราะห์ เครื่องหนัง เป็นต้น แต่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับฝ้าย ขนสัตว์ และไนลอน โดยทั่วไป DEET จะเกิดอยู่ในรูปของ

isomer หลายตัว คือ *m*-DEET *o*-DEET และ *p*-DEET ดังรูปที่ 2.10
m-DEET เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่สูงถึง 95 % และมีความเป็นพิษต่ำ

แต่ที่นิยมแพร่หลาย คือ

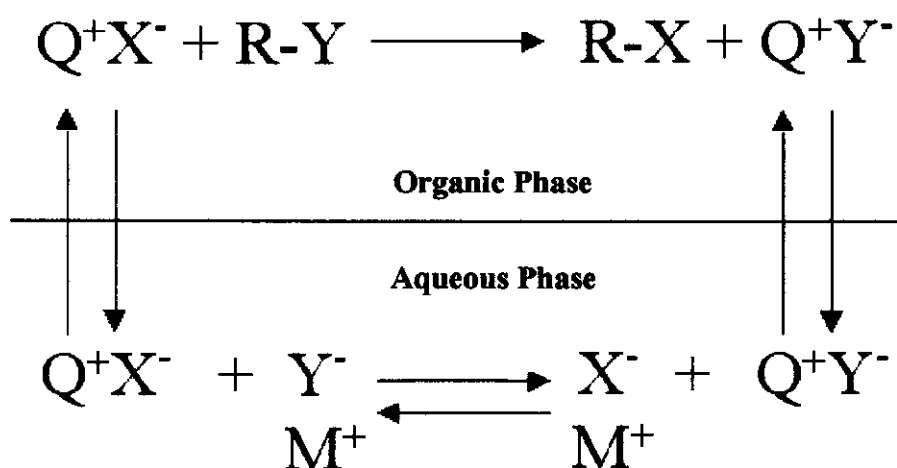


รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของ DEET

2.5 ปฏิริยาเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

2.5.1 Phase Transfer Catalysis (PTC)

PTC มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น มอนอเมอร์ พอลิเมอร์ สี ยาง สารเติมแต่ง สารเคมีที่ใช้ในเภสัชกรรม รวมทั้งกับปิโตรเคมี PTC เป็นปฏิกิริยาระหว่าง anions ที่มักละลายในน้ำแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์กับ organic substrates ที่มักจะไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ จึงจำเป็นต้องมีตัวเร่ง (catalyst) ที่สามารถละลายได้ทั้งชั้นน้ำและชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งมักใช้ quaternary ammonium salt (เช่น Tetra-*n*-butylammonium chloride, $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3]_4\text{N}^+\text{Cl}^-$) [1-4]



Q^+ เป็น Cation ที่ละลายได้ทั้งชั้นน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์

X^- เป็น Anion ที่อยู่ในชั้นน้ำ

R-Y เป็น Organic substrates ที่อยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์

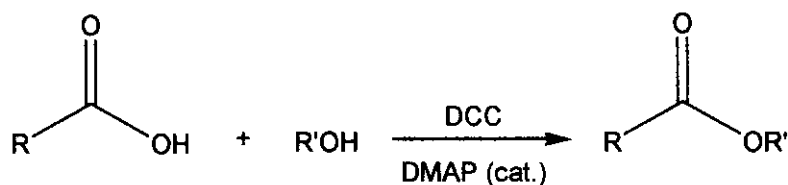
รูปที่ 2.11 ปฏิริยา “Phase transfer catalysis” [4]

ข้อดีของ Phase Transfer Catalysis คือ

- เพิ่มผลผลิต หรือ ลดผลผลิตที่ไม่ต้องการ
- ปรับปรุงความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยา (Selectivity)
- ลด cycle time
- ลดการใช้ตัวทำละลาย
- ลดมลพิษสิ่งแวดล้อม
- ลดค่าใช้จ่าย

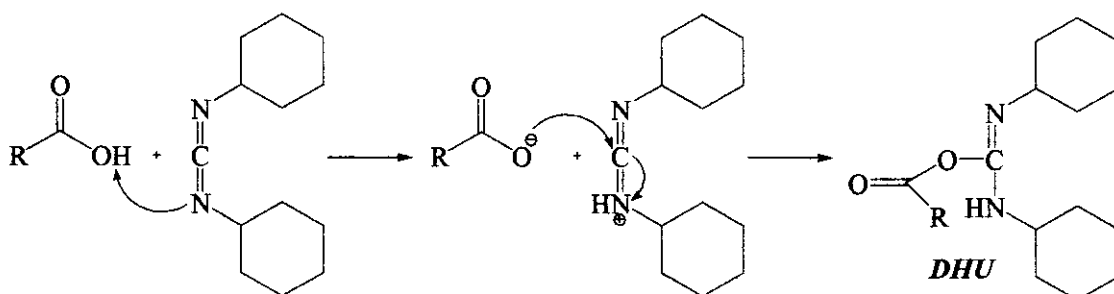
2.5.2 Steglich Esterification

Steglich Esterification เป็นปฏิกิริยาสังเคราะห์เอสเทอร์ (ester) ระหว่าง carboxylic acid กับ alcohol โดยมีการใช้ DCC (Dicyclohexylcarbodiimide) ทำหน้าที่เป็น coupling agent และ DMAP (4-Dimethylaminopyridine) ทำหน้าที่เป็น ตัวเร่ง (catalyst) [5, 6]

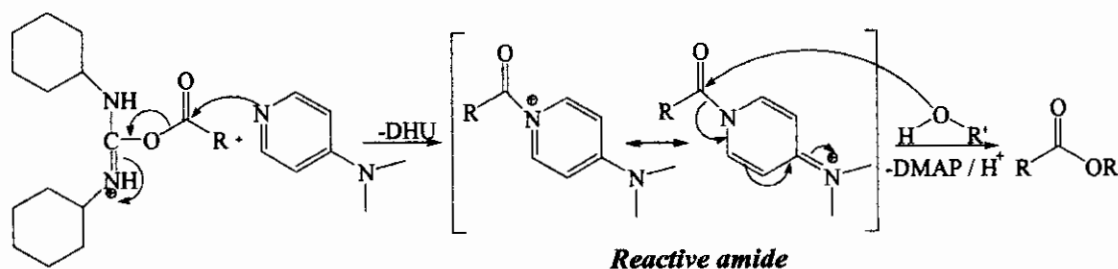


รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยา “Steglich Esterification”

โดย DCC และ carboxylic acid จะทำปฏิกิริยา *O*-acylisourea intermediate

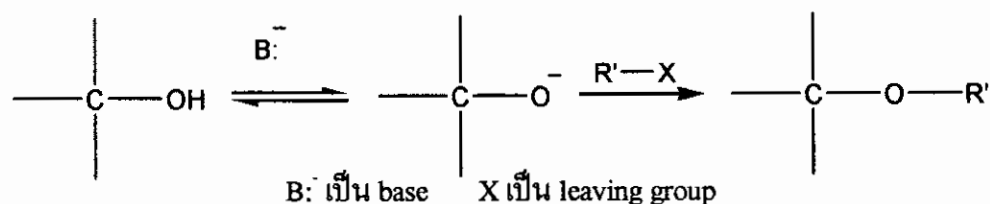


จากนั้น DMAP จะเข้าทำปฏิกิริยากับ *O*-acylisourea intermediate และ carboxylic acid ได้เป็นเอสเทอร์ เนื่องจาก DMAP เป็น nucleophile ที่ดีกว่า alcohol จึงทำปฏิกิริยากับ *O*-acylisourea intermediate กลายเป็น “reactive amide” ซึ่ง intermediate นี้จะทำปฏิกิริยากับ alcohol ได้อย่างรวดเร็ว



2.5.3 Williamson Ether Synthesis

ปฏิกิริยา Williamson Ether Synthesis ถูกพัฒนาขึ้นโดย Alexander Williamson ในปี ค.ศ. 1850 โดย alkoxide ion จะเข้าทำปฏิกิริยากับ primary alkyl halides ผ่านปฏิกิริยา Nucleophilic Substitution (S_N2) ปฏิกิริยา Williamson Ether นี้เป็นปฏิกิริยาพื้นฐานในการสังเคราะห์ทางเคมีอินทรีย์เพื่อให้ได้สารที่เป็นอีเธอร์ [7-9] ซึ่งจะได้อีเธอร์ทั้งชนิดมีสมมาตรและไม่มีสมมาตร ลักษณะการทำปฏิกิริยาของ Williamson Ether Synthesis คือ



รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยา “Williamson Ether Synthesis” [9]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ β -Cyclodextrin ที่ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น József Szejtli [19] กล่าวว่า β -Cyclodextrin มีความสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอและถูกใช้หลากหลายด้าน เช่น ใช้ในการกำจัดสารลดแรงตึงผิว (surfactants) จากกระบวนการซักล้างเส้นใย การใช้ β -Cyclodextrin แทนสารลดแรงตึงผิว โดย β -Cyclodextrin จะรวมตัวกับโมเลกุลของสารซักล้างแล้วจะทำหน้าที่เสมือนสารป้องกันการเกิดฟอง (Defoaming agent) ซึ่งจะช่วยลดการใช้น้ำซักล้างได้ ใช้ในกระบวนการย้อมสี เช่น ปรับปรุงการดูดซับสีของเส้นใยและความคงทนต่อแสงของผ้าโดยใช้ UV-filter กับ β -Cyclodextrin ในกระบวนการ finishing และใช้ในการสร้างพันธะเคมีกับเส้นใย แล้วรวมตัวกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กลิ่นหอม สารไล่แมลง สารป้องกันเชื้อโรค แล้วจะสามารถค่อย ๆ ปลดปล่อยสารเหล่านั้นออกมา

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่กล่าวถึงการนำ β -Cyclodextrin ไปใช้ในงานด้านสิ่งทอ เช่น Pierandrea Lo Nostro และคณะ [31-33] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำ β -Cyclodextrin ไป

เชื่อมต่อกับผ้าเซลลูโลสโดยใช้ Monochlorotriazinyl (MCT) N-methylol-acrylamide (NMA) เป็นตัวเชื่อม จากนั้นก็ใส่สารป้องกันแดด สารไล่แมลงและกลิ่นหอม จากผลการทดลองพบว่า กรณีสายเซลลูโลสกับ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมเชื่อมกันด้วย Monochlorotriazinyl (MCT) แล้วใส่สารป้องกันแดดจะแสดงคุณสมบัติป้องกันแดดมากกว่าผ้าทั่วไปเนื่องจากการคงอยู่ของสารป้องกันแดดสูงกว่า ส่วนกรณีที่ใส่สารไล่แมลงจะมีการทดสอบกับยุง 2 สายพันธุ์ คือ ยุงลายและยุงก้นปล่อง ซึ่งพบว่าผ้าเซลลูโลสที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย Monochlorotriazinyl (MCT) แล้วใส่สารไล่แมลงประเภท permethrin จะมีการคงอยู่ของสารได้นานกว่าและมีประสิทธิภาพในการฆ่า ไล่แมลงมากกว่าสารไล่แมลงประเภท DEET โดยผ้าเซลลูโลสที่เชื่อมกับ β -Cyclodextrin ผ่าน Monochlorotriazinyl (MCT) ที่รวมตัวกับสารไล่แมลงทั้ง 2 ชนิดนั้นจะมีความคงทนของสารไล่แมลงและมีประสิทธิภาพในการไล่แมลงมากกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร และกรณีที่ทำการทดลองใช้ทั้ง Monochlorotriazinyl (MCT) และ N-methylol-acrylamide (NMA) เป็นตัวเชื่อมนั้นพบว่าผ้าเซลลูโลสที่เชื่อมกับ β -Cyclodextrin ผ่าน Monochlorotriazinyl (MCT) และ N-methylol-acrylamide (NMA) มีความสามารถคงทนทั้งสารไล่แมลง สารมีกลิ่นหอมและสารต้านเชื้อโรคได้ดีกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร

ส่วน Myung Hak Lee และคณะ [34, 35] ได้กล่าวถึงการสังเคราะห์ Acrylamidomethyl CD (CD-NMA) ซึ่งเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง β -Cyclodextrin กับ N-methylolacrylamide (NMA) โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วจึงนำไปสร้างพันธะกับเส้นใยเซลลูโลสโดยอาศัยกระบวนการ grafting ซึ่งได้ทำการศึกษานิตของกรดที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสม สัดส่วนโมลระหว่าง β -Cyclodextrin กับ N-methylolacrylamide (NMA) ที่เหมาะสม ระยะเวลา และช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ Acrylamidomethyl CD (CD-NMA) จากนั้นก็นำ Acrylamidomethyl CD (CD-NMA) ที่สังเคราะห์ในสภาวะที่ดีที่สุดไป grafting กับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยเทคนิค FTIR ว่าสามารถเชื่อมต่อ Acrylamidomethyl CD (CD-NMA) กับเส้นใยเซลลูโลสได้ นอกจากนี้ Myung Hak Lee และคณะยังได้ทำวิจัยต่อในเรื่องของการนำ Acrylamidomethyl CD (CD-NMA) ที่ grafting กับเซลลูโลสไปใช้ในทดสอบการปลดปล่อยของสารเคมีประเภทต่าง ๆ คือ สารต้านทานเชื้อแบคทีเรีย สารอะโรมา เป็นต้น ซึ่งพบว่าผ้าเซลลูโลสที่เชื่อมต่อกับ Acrylamidomethyl CD (CD-NMA) แล้วรวมตัวกับสารเคมีดังกล่าวแม้จะผ่านกระบวนการซัก 10 ครั้งก็ยังมีการเกาะติดของสารเคมีดังกล่าวเหล่านั้นอยู่ จึงมีการเสนอแนะว่าควรจะมีการนำ Acrylamidomethyl CD (CD-NMA) ไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการ textile finishing ต่อไป

นอกจากนี้ B. Martel และคณะ [36] กับ B. Vancina และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาการนำ β -Cyclodextrin ไปเชื่อมกับผ้าฝ้ายโดยใช้ polycarboxylic acids จากผลการทดลองพบว่า การใช้ polycarboxylic acids เป็นตัวเชื่อมผ้าฝ้ายกับ β -Cyclodextrin จะสามารถคงสารโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่รวมตัวโดยมีอันตรกิริยาทางกายภาพระหว่างสารโมเลกุลที่ไม่มีขั้วกับ β -Cyclodextrin ได้ยาวนานขึ้นและมีประสิทธิภาพกว่าการใช้กระบวนการ pad-dry-cure

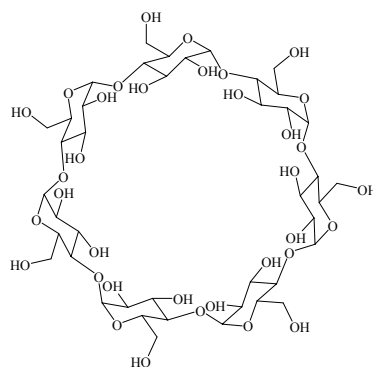
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีใช้ในการทดลอง

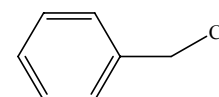
1. Cotton fabric หรือ ผ้าฝ้าย
2. β -Cyclodextrin (Fluka, analysis reagent (purum; $\geq 99\%$))

หรือ Beta-Cycloamylose ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $C_{42}H_{70}O_{35} \cdot H_2O$ น้ำหนักโมเลกุล 1134.99 g/mol จุดหลอมเหลว $290\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความสามารถในการละลายน้ำ 1.85 g/100 ml (ที่อุณหภูมิ 25°C) และมีสูตรโครงสร้างเป็น



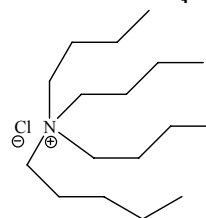
3. Benzyl chloride (PANREAC, analysis reagent)

หรือ Chloromethylbenzene ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $C_6H_5CH_2Cl$ น้ำหนักโมเลกุล 126.59 g/mol ความหนาแน่น 1.10 g/cm^3 จุดเดือด $179\text{ }^{\circ}\text{C}$ จุดหลอมเหลว $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีสูตรโครงสร้างเป็น



4. Tetra-*n*-butylammonium chloride (Fluka, analysis reagent (purum; $\geq 97\%$))

หรือ TBAC ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $[CH_3(CH_2)_3]_4NCl$ น้ำหนักโมเลกุล 277.92 g/mol จุดหลอมเหลว $80\text{ }^{\circ}\text{C} - 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีสูตรโครงสร้างเป็น

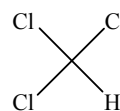


5. Sodium hydroxide (Univar, analysis reagent)

หรือ Caustic Soda ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $NaOH$ น้ำหนักโมเลกุล 39.99 g/mol ความหนาแน่น 2.10 g/cm^3 จุดเดือด $1390\text{ }^{\circ}\text{C}$ จุดหลอมเหลว $318\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีความสามารถในการละลายน้ำ 111 g/100 ml (ที่อุณหภูมิ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

6. Chloroform (Lab – Scan, analysis reagent)

หรือ Trichloromethane ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น CHCl_3 น้ำหนักโมเลกุล 119.40 g/mol ความหนาแน่น 1.48 g/cm³ จุดเดือด 62 °C จุดหลอมเหลว – 64 °C มีความสามารถในการละลายน้ำ 0.8 g/100 ml (ที่อุณหภูมิ 20 °C) และมีสูตรโครงสร้างเป็น

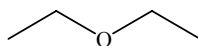


7. Sodium chloride (Univar, analysis reagent)

หรือ Common salt ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น NaCl น้ำหนักโมเลกุล 58.44 g/mol ความหนาแน่น 2.16 g/cm³ จุดเดือด 1465 °C จุดหลอมเหลว 801 °C และมีความสามารถในการละลายน้ำ 35.9 g/100 ml (ที่อุณหภูมิ 25 °C)

8. Diethyl Ether (Scharlau, analysis reagent)

มีสูตรเคมีเป็น $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ น้ำหนักโมเลกุล 74.12 g/mol ความหนาแน่น 0.71 g/cm³ จุดเดือด 34.6 °C จุดหลอมเหลว - 116.3 °C มีความสามารถในการละลายน้ำ 6.9 g/100 ml (ที่อุณหภูมิ 20 °C) และมีสูตรโครงสร้างเป็น

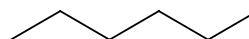


9. Magnesium sulfate (anhydrous) (Fluka, analysis reagent (puriss drying agent; ≥ 98%))

มีสูตรเคมีเป็น MgSO_4 น้ำหนักโมเลกุล 120.36 g/mol จุดหลอมเหลว 1124 °C และมีความสามารถในการละลายน้ำ 25.5 g/100 ml (ที่อุณหภูมิ 20 °C)

10. *n*-Hexane (J.T. Baker, actual reagent)

มีสูตรเคมีเป็น C_6H_{14} น้ำหนักโมเลกุล 86.18 g/mol ความหนาแน่น 0.65 g/cm³ จุดเดือด 69 °C จุดหลอมเหลว – 95 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น

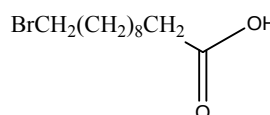


11. Water

มีสูตรเคมีเป็น H_2O น้ำหนักโมเลกุล 18.02 g/mol ความหนาแน่น 1.00 g/cm³ จุดเดือด 100 °C จุดหลอมเหลว 0 °C

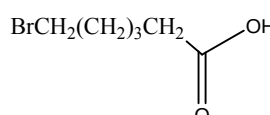
12. 11-Bromoundecanoic acid (Fluka, analysis reagent (purum; ≥ 98%))

มีสูตรเคมีเป็น $\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ น้ำหนักโมเลกุล 265.19 g/mol จุดเดือด 173 °C – 174 °C จุดหลอมเหลว 45 °C – 48 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



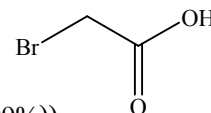
13. 6-Bromocaproic acid (Fluka, analysis reagent (purum; ≥ 97%))

มีสูตรเคมีเป็น $\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$ น้ำหนักโมเลกุล 195.05 g/mol จุดเดือด 165 °C – 170 °C จุดหลอมเหลว 32 °C – 34 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



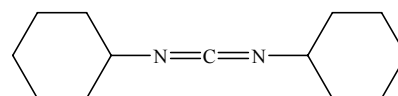
14. Bromoacetic Acid (Fluka, analysis reagent (puriss; $\geq 99\%$))

มีสูตรเคมีเป็น BrCH_2COOH น้ำหนักโมเลกุล 119.40 g/mol ความหนาแน่น 1.93 g/cm³ จุดเดือด 206 – 208 °C จุดหลอมเหลว 49 – 51 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



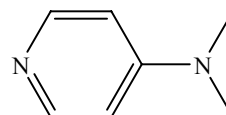
15. N,N'-Dicyclohexylcarbodiimide (Fluka, analysis reagent (puriss; $\geq 99\%$))

หรือ DCC ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $\text{C}_{13}\text{H}_{22}\text{N}_2$ น้ำหนักโมเลกุล 206.33 g/mol ความหนาแน่น 1.32 g/cm³ จุดเดือด 112 °C จุดหลอมเหลว 34 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



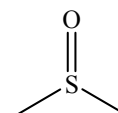
16. 4-Dimethylaminopyridine (Fluka, analysis reagent (puriss; $\geq 99\%$))

หรือ DMAP ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $\text{C}_7\text{H}_{10}\text{N}_2$ น้ำหนักโมเลกุล 122.17 g/mol จุดเดือด 162 °C จุดหลอมเหลว 110 °C – 113 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



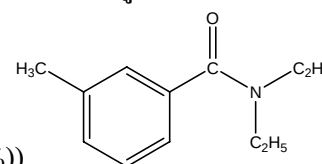
17. Dimethyl sulfoxide (Riedel – de Haën, analysis reagent)

หรือ DMSO ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $\text{C}_2\text{H}_6\text{OS}$ น้ำหนักโมเลกุล 78.13 g/mol ความหนาแน่น 1.10 g/cm³ จุดเดือด 189 °C จุดหลอมเหลว 18.5 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



18. N,N-diethyl-*m*-toluamide (Fluka, analysis reagent (purum; $\sim 97\%$))

หรือ DEET ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{CON}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ น้ำหนักโมเลกุล 191.27 g/mol ความหนาแน่น 0.996 g/cm³ จุดเดือด 160 °C จุดหลอมเหลว –45 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



19. Sodium Carbonate (Fluka, analysis reagent (purum; $> 99\%$))

หรือ Soda ash ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น Na_2CO_3 น้ำหนักโมเลกุล 122.17 g/mol ความหนาแน่น 2.5 g/cm³ จุดหลอมเหลว 851 °C และมีความสามารถในการละลายน้ำ 30 g/100 ml (ที่อุณหภูมิ 20 °C)

20. Sodium (Fluka, analysis reagent)

มีสูตรเคมีเป็น Na น้ำหนักโมเลกุล 22.99 g/mol ความหนาแน่น 0.97 g/cm³ จุดเดือด 883 °C จุดหลอมเหลว 97.72 °C และทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ

21. Sodium Hydride (Fluka, analysis reagent)

มีสูตรเคมีเป็น NaH น้ำหนักโมเลกุล 23.99 g/mol ความหนาแน่น 1.39 g/cm³ จุดหลอมเหลว 800 °C และทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ

22. Ethanol (Reagent Chemical, commercial reagent)

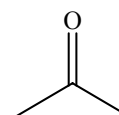
หรือ Ethyl alcohol ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น C₂H₅OH น้ำหนักโมเลกุล 46.07 g/mol ความหนาแน่น 0.79 g/cm³ จุดเดือด 78.4 °C จุดหลอมเหลว – 114.3 °C

23. Methanol (Reagent Chemical, commercial reagent)

หรือ methyl alcohol ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น CH₃OH น้ำหนักโมเลกุล 32.04 g/mol ความหนาแน่น 0.79 g/cm³ จุดเดือด 64.7 °C จุดหลอมเหลว – 97 °C

24. Acetone (Reagent Chemical, commercial reagent)

มีสูตรเคมีเป็น CH₃COCH₃ น้ำหนักโมเลกุล 58.09 g/mol ความหนาแน่น 0.79 g/cm³ จุดเดือด 56.3 °C จุดหลอมเหลว – 94.9 °C และมีสูตรโครงสร้างเป็น



25. ECE Colour Fastness Test Detergent 77

เป็น Detergent มาตรฐานในกระบวนการซัก (ISO 105 – C06)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) (EYELA, V03 – 300SD)
2. เครื่อง Rotavapor (R-114) กับ water bath (B-480)
3. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Bruker Optic, Vertex70)
4. เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) (Bruker, 300 UltraShield)
5. เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) (Perkin Elmer, TGA7HT)
6. เครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer (Jasco, V530)
7. เครื่อง Washing fastness tester (Penta Rapid-12)
8. Temperature controller



รูปที่ 3.1 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Bruker Optic, Vertex70)



รูปที่ 3.2 เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) (Bruker, 300 UltraShield)



รูปที่ 3.3 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) (Perkin Elmer, TGA7HT)



รูปที่ 3.4 เครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer (Jasco, V530)



รูปที่ 3.5 เครื่อง Washing fastness tester (Penta Rapid-12)

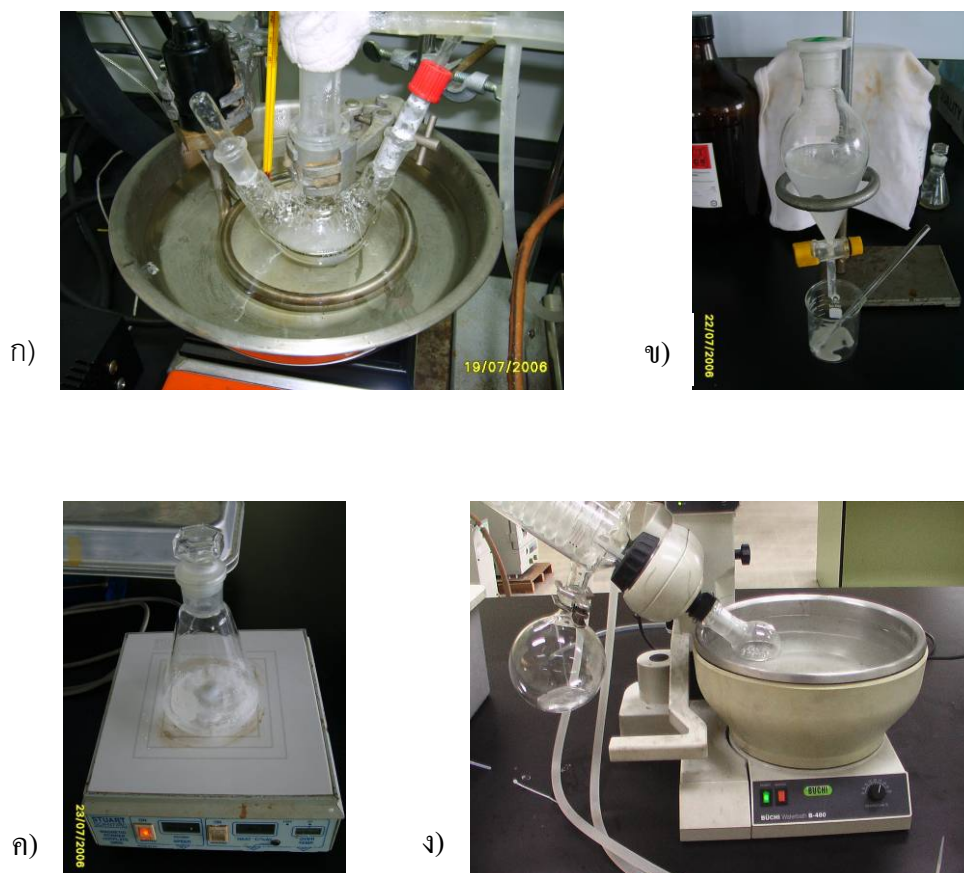
3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivative (*Benzylated β -Cyclodextrin*) ด้วยวิธี phase transfer catalysis

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40 mmol ละลายในน้ำกลั่น 10 ml ในขวดก้นกลม จากนั้นละลายเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (β -Cyclodextrin) 1 mmol ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้แล้วข้างต้น ที่อุณหภูมิ 80 °C แล้วตั้งกวนทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง และเติมเตตระ-เอทิลอะมิเนียมคลอไรด์ (TBAC) 3 mmol ลงไปตั้งกวนจนละลาย แล้วค่อยๆ หยดเบนซิลคลอไรด์ (C_7H_8Cl) ปริมาณ 30 mmol ลงไปอย่างช้าๆ ด้วย droplling funnel จนหมด ตั้งกวนทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง โดยสารละลายดังกล่าวจะเปลี่ยนจากสีใสกลายเป็นสีเหลืองอ่อนขึ้น เมื่อครบเวลาแล้วจึงหยุดปฏิกิริยาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ทำการสกัดแยกสารผสมที่แยกชั้นกันที่ได้จากการทำปฏิกิริยาดังกล่าวด้วยคลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$) โดยเติมคลอโรฟอร์ม 25 ml แล้วใช้กรวยแยกแยกชั้นคลอโรฟอร์มออก ส่วนชั้นน้ำทิ้งไป (ชั้นของน้ำอยู่บนและชั้นของคลอโรฟอร์มอยู่ล่าง) จากนั้นล้างชั้นของคลอโรฟอร์มด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ขึ้น 0.5 M เพื่อเอาเบสออก โดยล้างจนกระทั่งน้ำล้างมีค่า pH เป็นกลางแล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ครั้ง แล้วเติมแมกนีเซียมซัลเฟตที่แห้ง ($MgSO_4$ anhydrous) ลงในสารละลายผสม (ชั้นคลอโรฟอร์มที่ล้างเอาเบสออกแล้ว) เพื่อดูดน้ำออก โดยกวนทิ้งไว้ 1 คืนและกรองแยกเอาแมกนีเซียมซัลเฟตออก แล้วใส่ไดเอทิลอีเทอร์ ($CH_3CH_2OCH_2CH_3$) ลงในสารละลายผสม (ชั้นคลอโรฟอร์ม) เพื่อตกตะกอน TBAC ที่ยังเหลืออยู่ในชั้นของคลอโรฟอร์มกวนทิ้งไว้ 2 – 4 ชั่วโมงและกรองตะกอนออก นำสารละลายผสมมาระเหยเอาคลอโรฟอร์มและไดเอทิลอีเทอร์ออกด้วยเครื่อง Rotavapor R-114 กับ Water bath B-480 แล้วนำสารละลายที่เหลือจากการระเหยมาตกตะกอนด้วยเฮกเซน (C_6H_{14}) และทำการตกตะกอนซ้ำอีก 2 – 3 ครั้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น กรองตะกอนที่ได้ออกแล้วนำไปทำให้แห้งในตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) ที่อุณหภูมิ 60 °C จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารของแข็งสีเหลืองอ่อนขึ้น และนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Bruker Optic, Vertex70) และเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) (Bruker, 300 Ultrasheid) ตามวิธีการทดลองที่

3.3.5



รูปที่ 3.6 การสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivatives
(Benzylated β -Cyclodextrin)

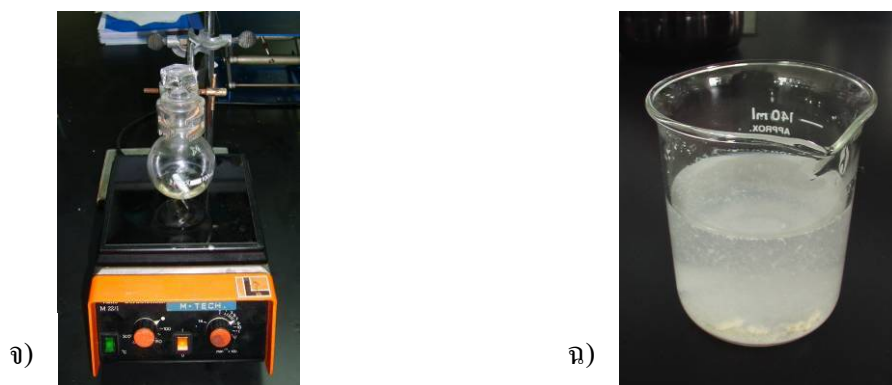
3.3.2 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin กับ spacer arm

ละลายเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (β -Cyclodextrin) 1 mmol ในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) ปริมาตร 10 ml แล้วกวน 30 นาที แล้วเติม 11 – โบรโมอโนเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) หรือ 6 – โบรโมเฮกซะไดรอก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) หรือโบรโมอะซิติก แอซิด (BrCH_2COOH) ที่ทำหน้าที่เป็น spacer arm 1.1 mmol ใส่ไดคลอโรเฮกซะคาร์โบไดอิมด์ (DCC) ที่ทำหน้าที่เป็น coupling agent 1.1 mmol และ 4 – ไดเมทิลอะมิโนไพริดีน (DMAP) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง 1.1 mmol ตามลำดับ แล้วตั้งกวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาแล้วค่อย ๆ หยดสารละลายดังกล่าวลงในคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) หรืออะซิโตน ($(\text{CH}_3)_2\text{CO}$) 100 ml จะได้ตะกอนขาวขุ่นเกิดขึ้น กรองตะกอนแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) ที่อุณหภูมิ 60°C จะได้สารของแข็งสีขาวขุ่นและนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง

Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Bruker Optic, Vertex70) และเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) (Bruker, 300 Ultrasheid) ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.5

3.3.3 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin derivative (*Benzylated β -Cyclodextrin*) กับ spacer arm

ละลายเบนซิลเลทเตด-เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (Benzylated β -Cyclodextrin) 1 mmol ในไดเมทิลซัลโฟไซด์ (DMSO) ปริมาตร 10 ml และกวน 30 นาที จากนั้นเติม 11 – โบโรอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ทำหน้าที่เป็น spacer arm 1.1 mmol ใส่ไดคลอโรโรเฮกซิลคาร์โบไดอิมด์ (DCC) ที่ทำหน้าที่เป็น coupling agent 1.1 mmol และ 4 – ไดเมทิลอะมีโนไพริดีน (DMAP) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง 1.1 mmol ตามลำดับ แล้วตั้งกวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาแล้วกรองตะกอนออก สารละลายที่ได้จากการกรองตะกอนออกแล้วจะตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนต่ออีกประมาณ 2 สัปดาห์แล้วจึงกรองตะกอนที่เกิดขึ้นออกอีกครั้ง ค่อย ๆ หยดสารละลายดังกล่าวลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ข้น 1M ปริมาตร 100 ml จะได้ตะกอนเหลืองอ่อนขึ้นเกิดขึ้น กรองตะกอนแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นให้ pH เป็นกลาง จากนั้นนำไปอบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) ที่อุณหภูมิ 60 °C จะได้สารของแข็งสีเหลืองอ่อนขึ้นและนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Bruker Optic, Vertex70) และเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) (Bruker, 300 Ultrasheid) ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.5

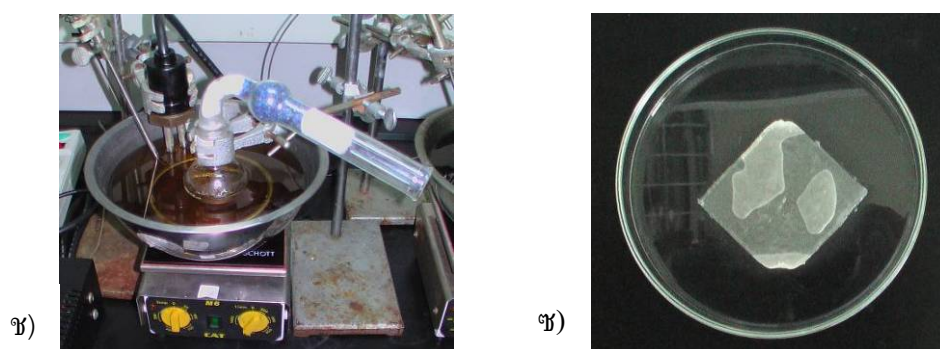


รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin, Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm

3.3.4 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm

ตัดผ้าฝ้ายขนาด 4 ซม. x 4 ซม. แล้วนำไปทำความสะอาดโดยต้มในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ขึ้น 2% w/w โดยให้ความร้อนเล็กน้อย จากนั้นนำผ้าฝ้ายมาล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดและเป่าให้แห้ง เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

นำโซเดียมใส่ลงในไดเมทิลซัลโฟไซด์ (DMSO) เพื่อกำจัดความชื้นหรือน้ำออกก่อนจะนำมาใช้งาน เช้ผ้าฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วขนาด 4 ซม. x 4 ซม. หนักประมาณ 0.2 กรัม ในไดเมทิลซัลโฟไซด์ที่กำจัดความชื้นแล้ว 15 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 85 °C และตั้งกวนทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ในขวดก้นกลม 100 ml ที่ต่อกับ drying tube จากนั้นใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaH) 3 mmol และตั้งกวนทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง ละลายเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (β -Cyclodextrin) หรือ เบนซิลเลทเตด-เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (Benzylated β -Cyclodextrin) ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm แล้ว 1 mmol ในไดเมทิลซัลโฟไซด์ที่อุณหภูมิ 5 มิลลิลิตร แล้วค่อย ๆ หยดสารละลายดังกล่าวเพื่อทำปฏิกิริยากับผ้าฝ้ายและตั้งกวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำผ้ามาล้างด้วยเอทานอล เอทานอลผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 3 และน้ำกลั่น ตามลำดับ เป่าให้แห้งด้วยไดร์เป่าผมและเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์และนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์และหาอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) (Perkin Elmer, TGA7HT) ตามวิธีการทดลองที่ 3.3.6



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin, Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm

3.3.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์

การพิสูจน์เอกลักษณ์เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Bruker Optic, Vertex70) โดยทำการบดผสมสารที่ต้องการทดสอบกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) และอัดให้เป็นแผ่นแล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง FTIR และใช้เทคนิค transparent ช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ $4000-400\text{ cm}^{-1}$

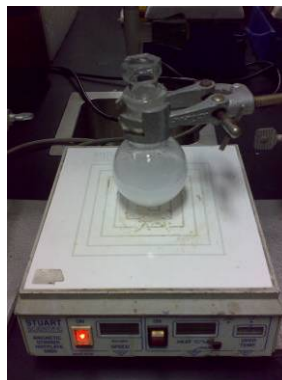
นอกจากนี้ยังมีการพิสูจน์เอกลักษณ์เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) (Bruker, 300 Ultrasheid) โดยทำการนำสารที่ต้องการทดสอบมาละลายใน deuterated chloroform (CDCl_3) เป็นตัวทำละลาย

3.3.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

นำผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรมาศึกษาความเสถียรทางความร้อนเพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) (Perkin Elmer, TGA7HT) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ $50 - 800^\circ\text{C}$ ภายใต้สภาวะบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตรา $10^\circ\text{C}/\text{min}$

3.3.7 การจุ่มผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin และผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรในสารละลายยาไล่แมลง

ซังยาไล่แมลงหรือเอ็น, เอ็น-ไดเอทิล-เอ็ม-โทลูเอมาย ($\text{N,N} - \text{diethyl-}m\text{-toluamide}$; DEET) 0.3826 กรัม ผสมกับสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเมทานอลในสัดส่วน 3 : 1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วตั้งกวนทิ้งไว้ซักครู่จนสังเกตว่าสารละลายไม่เป็นคอลลอยด์แล้ว แخذผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin หรือผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรขนาด 4×4 ซม. ลงในสารละลายยาไล่แมลงดังกล่าวที่อุณหภูมิห้องและตั้งกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำผ้าฝ้ายดังกล่าวไปตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.9 การจุ่มผ้าฝ้ายที่ดัดแปรและผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรในสารละลายยาไล่แมลง

หมายเหตุ กรณีการศึกษาความคงทนต่อการซักล้างจะชั่งยาไล่แมลงหรือ เอ็น, เอ็น-ไดเอทิล-เอ็ม-โทลูเอไมด์ (N,N – diethyl-*m*-toluamide ; DEET) 1.9128 กรัม ผสมกับสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเมทานอลในสัดส่วน 3 : 1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.3.8 การสกัดยาไล่แมลงด้วยตัวทำละลาย

ชั่งน้ำหนักผ้าขนาด 2 ซม. x 2 ซม. (จากผ้าที่จุ่มสารละลายยาไล่แมลง ขนาด 4 ซม. x 4 ซม.) แล้วใส่ลงในขวดก้นกลม จากนั้นเทเอทานอลปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วตั้งกวนที่วอร์ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นหยุดกวน และตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างผ้าด้วยเอทานอลและเทสารละลายผสมเอทานอลดังกล่าวในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.3.9 การทำ Calibration curve

ชั่ง DEET 0.1913 กรัม ละลายในเอทานอลและปรับปริมาตรในขวด Volumetric Flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 1×10^{-3} mol/l ซึ่งสารละลายที่เตรียมได้นี้ถือเป็น Stock solution

ทำการปิเปต Stock solution และปรับปริมาตรในขวด Volumetric Flask ขนาด 10 มิลลิลิตร เพื่อทำให้ความเข้มข้นของสารละลาย DEET เป็น 20×10^{-5} mol/l จนถึง 2×10^{-5} mol/l หลังจากนั้นนำสารละลาย DEET ที่เตรียมได้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่อง UV – Visible spectrophotometer (Jasco, V530) จะได้ข้อมูลความเข้มข้นของสารละลาย DEET ต่อค่า Absorbance ที่ทราบค่าแน่นอน เพื่อกราฟมาตรฐาน ซึ่งสามารถนำไปเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย DEET

ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายที่คัดแปรแล้วและผ้าฝ้ายที่ไม่ได้คัดแปรที่จุ่มในสารละลาย DEET ได้

3.3.10 การศึกษาอิทธิพลของความยาวของ spacer arm ที่เชื่อมต่อ β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อการระเหยของสารไล่แมลง

จุ่มผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่มีความยาวต่าง ๆ กัน คือ 11 - โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$), 6 - โบรโมคาโปรอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) และโบรโมอะซีติก แอซิด (BrCH_2COOH) ขนาด 4 x 4 ซม. ลงในสารละลายยาไล่แมลงตามวิธีการทดลองที่ 3.3.7

จากนั้นนำผ้ายดังกล่าวไปทำการสกัดยาไล่แมลงด้วยเอทานอลตามวิธีการทดลองที่ 3.3.8 นำสารละลายที่ได้จากการสกัดไปทดสอบหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer (Jasco, V530)

หมายเหตุ ทำการสกัดทุก ๆ 0, 5, 10 และ 15 วัน โดยทำการสกัดยาไล่แมลงด้วยเอทานอลซ้ำ 3 ครั้งต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น แต่ชิ้นงานในวันที่ 15 จะทำการสกัดซ้ำ 5 ครั้งต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น

3.3.11 การศึกษาอิทธิพลความเป็นขั้วของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อการระเหยของสารไล่แมลง

จุ่มผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่มีความยาวที่สุด คือ 11 - โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ขนาด 4 x 4 ซม. ลงในสารละลายยาไล่แมลงตามวิธีการทดลองที่ 3.3.7

จากนั้นนำผ้ายดังกล่าวไปทำการสกัดยาไล่แมลงด้วยเอทานอลตามวิธีการทดลองที่ 3.3.8 นำสารละลายที่ได้จากการสกัดไปทดสอบหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer (Jasco, V530)

หมายเหตุ ทำการสกัดทุก ๆ 0, 5, 10 และ 15 วัน โดยทำการสกัดยาไล่แมลงด้วยเอทานอลซ้ำ 3 ครั้งต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น แต่ชิ้นงานในวันที่ 15 จะทำการสกัดซ้ำ 5 ครั้งต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น

3.3.12 การศึกษาความคงทนต่อการซัก (wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่ชุบด้วยยาไล่แมลงเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง

นำผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin หรือผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรจุ่ม DEET ลงในสารละลายยาไล่แมลงตามวิธีการทดลองที่ 3.3.7 จากนั้นตัดผ้ายดัดแปรให้มีขนาด 2 ซม.x 2 ซม. (จากผ้าที่จุ่มสารละลายยาไล่แมลงขนาด 4 ซม.x 4 ซม.) และนำไปซักด้วยเครื่อง Washing fastness tester (Penta Rapid-12) เป็นเวลา 30 นาที ที่ 40 °C ในสารละลาย ECE Color Fastness Test Detergent 77 (ในสัดส่วนปริมาณ detergent 4 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตามมาตรฐาน ISO 105-C01 นำผ้าที่ผ่านกระบวนการซักมาล้างน้ำกลั่น 2 ครั้งแล้วนำไปตากให้แห้ง นำผ้ายดัดแปรไปทำการสกัดยาไล่แมลงด้วยเอทานอลตามวิธีการทดลองที่ 3.3.8 แล้วนำสารละลายที่ได้จากการสกัดไปทดสอบหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer (Jasco, V530)

หมายเหตุ ทำการสกัดยาไล่แมลงด้วยเอทานอลซ้ำ 3 ครั้งต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น

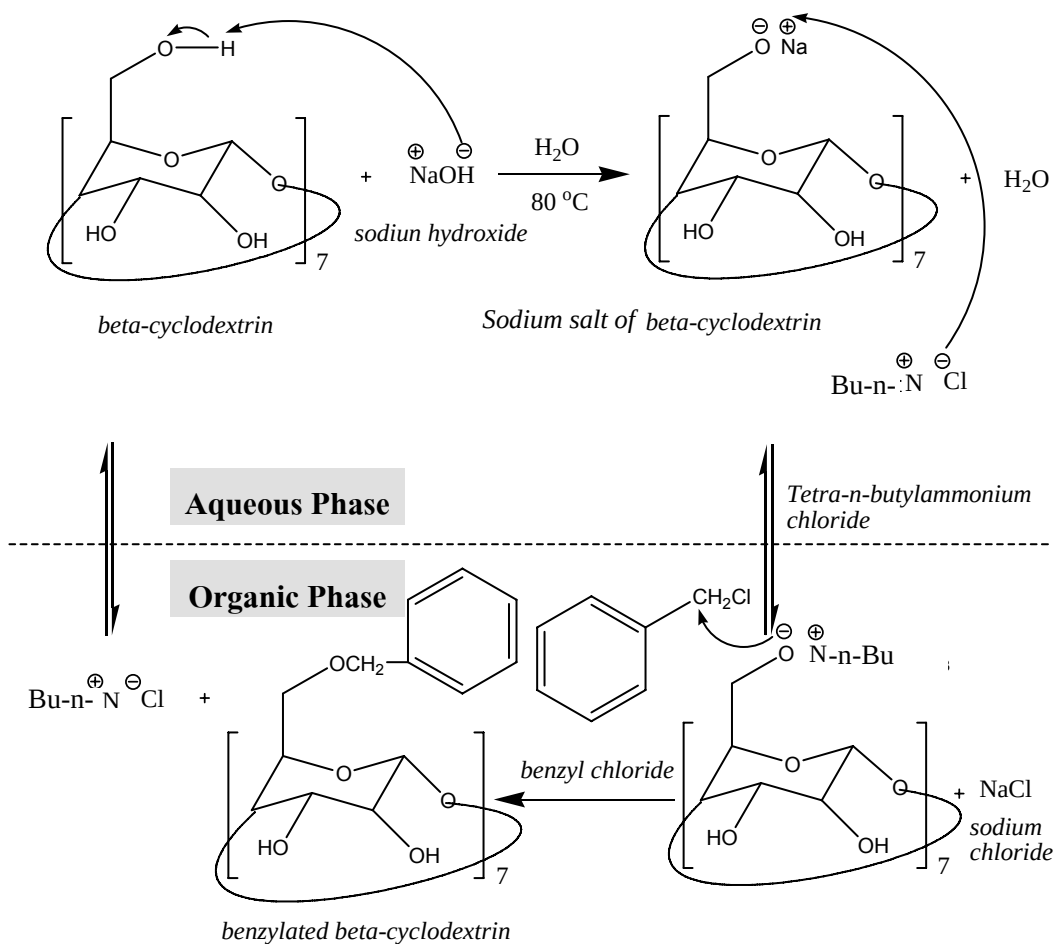
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivative (*Benzylated β -Cyclodextrin*) โดยอาศัย

กระบวนการ phase transfer catalysis

กลไกของปฏิกิริยาการตรึงหมู่ Benzylated group เข้ากับ β -Cyclodextrin เป็นดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กลไกการสังเคราะห์ Benzylated β -Cyclodextrin
โดยปฏิกิริยา “Phase transfer catalysis”

ในการสังเคราะห์ Benzylated β -Cyclodextrin โดยอาศัยกระบวนการ phase transfer catalysis [1, 2] ดังรูปที่ 4.1 ขั้นแรกหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) ของ β -Cyclodextrin จะทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กลายเป็นเกลือโซเดียมของ β -Cyclodextrin จากนั้นเตตระ-เอทิลอะมโมเนียมคลอไรด์ (TBAC) เข้าทำปฏิกิริยากับเกลือโซเดียมของ β -Cyclodextrin แล้วเกิดการย้ายวัฏภาคจากชั้น aqueous phase ไปยังวัฏภาคชั้น organic phase ซึ่งทำปฏิกิริยากับเบนซิลคลอไรด์ด้วยปฏิกิริยาการแทนที่แบบนิวคลีโอฟิลิก กลายเป็น Benzylated β -Cyclodextrin ซึ่งได้ผลผลิต (% yield) เท่ากับ 85.94 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) โดยบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) พบว่าให้ลักษณะของสเปกตรัม (ดังรูปที่ 4.2) ดังนี้

- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 3088 cm^{-1} 3063 cm^{-1} และ 3030 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $=\text{C}-\text{H}$ stretching ของหมู่เบนซีน (Aromatic ring)
- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 1605 cm^{-1} และ 1497 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $\text{C}=\text{C}$ ring stretching
- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 913 cm^{-1} และ 860 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $=\text{C}-\text{H}$ bending

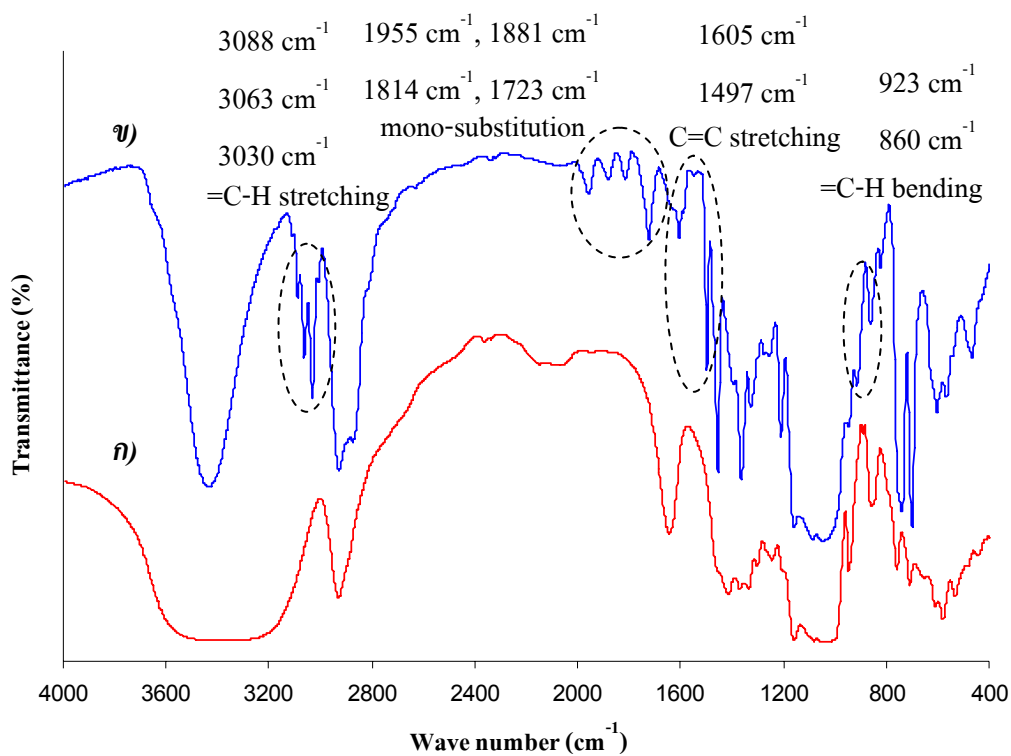
และสามารถพิสูจน์ได้ว่าอนุพันธ์ของ β -Cyclodextrin ที่สังเคราะห์ได้นั้นมีหมู่ของเบนซิลเกาะอยู่แบบ mono-substitution โดยพิกดังกล่าวจะไม่ปรากฏในสเปกตรัมของ β -Cyclodextrin (ดังรูปที่ 4.2) ซึ่งให้ลักษณะของสเปกตรัมเป็นดังนี้

- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 1955 cm^{-1} 1881 cm^{-1} 1814 cm^{-1} และ 1723 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของหมู่เบนซีนที่เกาะอยู่แบบ mono-substitution

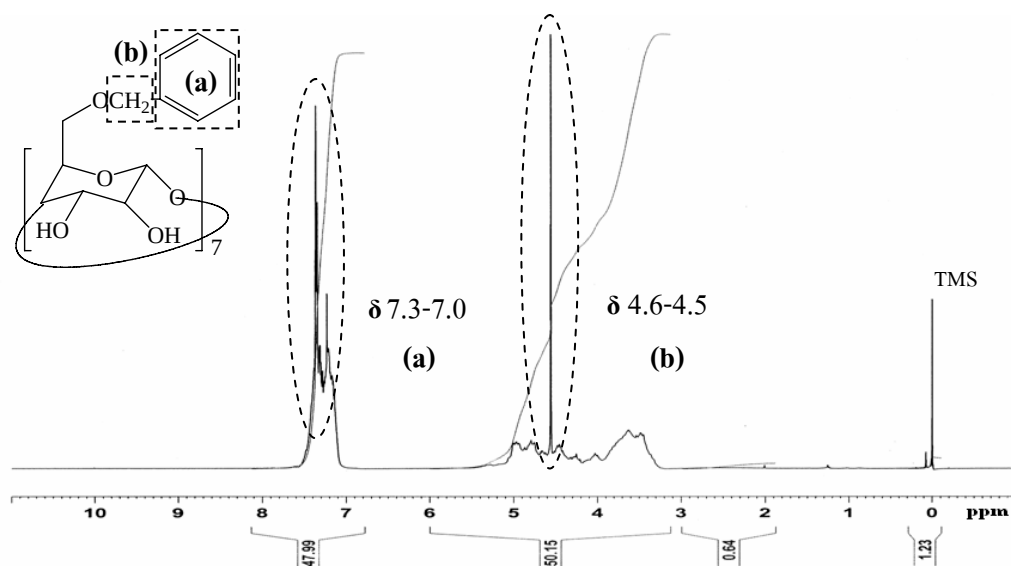
นอกจากนี้ผลการทดสอบด้วย $^1\text{H-NMR}$ ด้วยเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) ที่ใช้ CDCl_3 เป็นตัวทำละลายสามารถยืนยันผลดังกล่าวได้ (ดังรูปที่ 4.3) โดยพบว่าจะให้

- พิก. ณ.ตำแหน่ง δ ที่ $7.3 - 7.0\text{ ppm}$ ซึ่งเป็นพิกโปรตอนของวงแหวนเบนซีน
- พิก. ณ.ตำแหน่ง δ ที่ $4.6 - 4.5\text{ ppm}$ ซึ่งเป็นพิกโปรตอนของหมู่เมทิลีน (Methylene)

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถสังเคราะห์ Benzylated β -Cyclodextrin ได้



รูปที่ 4.2 FTIR spectra ของ **n)** β -Cyclodextrin และ **v)** Benzylated β -Cyclodextrin



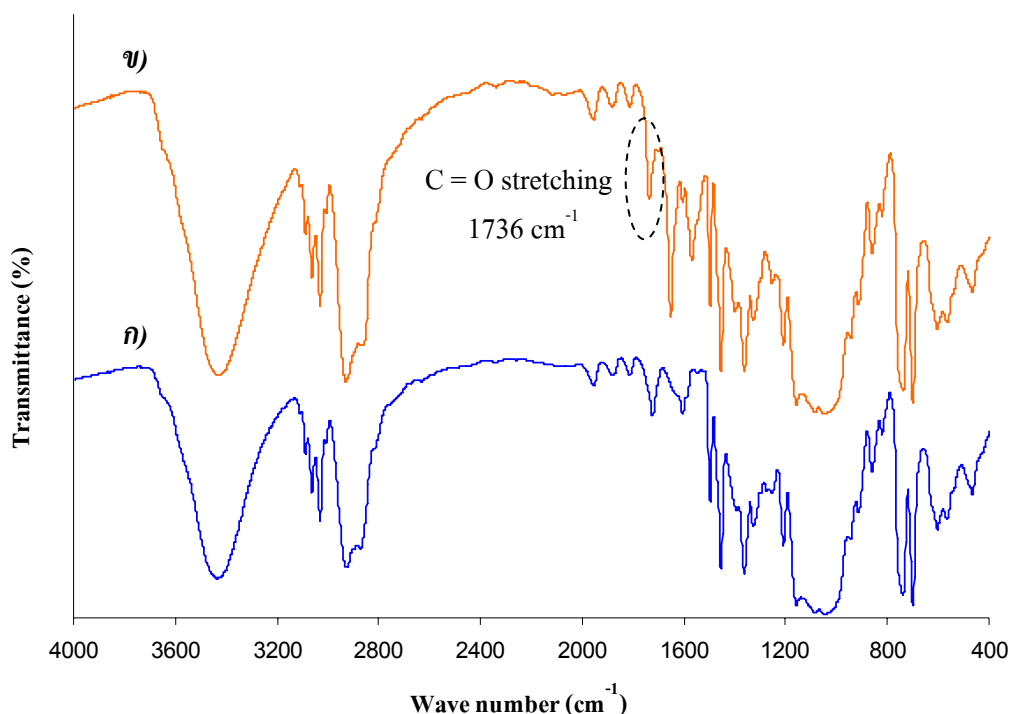
รูปที่ 4.3 ^1H -NMR spectrum ของ Benzylated β -Cyclodextrin

4.2 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm

การต่อเชื่อม β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับสารที่ใช้เป็น spacer arm คือ 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) หรือ 6-โบรโมคาโปรอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) หรือโบรโมอะซีติก แอซิด (BrCH_2COOH) โดยอาศัยปฏิกิริยา Steglich esterification [3] และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) และทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าให้ลักษณะของสเปกตรัม ดังนี้

Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่ยาวมากที่สุด จะได้ผลผลิต (% yield) เท่ากับ 67.91 เปอร์เซ็นต์ และพบสเปกตรัมที่สำคัญ (ดังรูปที่ 4.4) คือ

- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 3088 cm^{-1} 3063 cm^{-1} และ 3030 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิก.ของ $=\text{C}-\text{H}$ stretching ของวงแหวนเบนซีน
- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 1736 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิก.ของ $\text{C}=\text{O}$ stretching ของ ester group ซึ่งจะปรากฏในสเปกตรัมของ Benzylated β -Cyclodextrin



รูปที่ 4.4 FTIR spectra ของ ก) Benzylated β -Cyclodextrin และ ข) Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น *spacer arm* ที่ยาวมากที่สุด จะได้ผลผลิต (% yield) เท่ากับ 88.89 เปอร์เซ็นต์ และพบสเปกตรัมที่สำคัญ (ดังรูปที่ 4.5) คือ

- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 1733 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $\text{C}=\text{O}$ stretching ของ ester group ซึ่งจะไม่ปรากฏในสเปกตรัมของ β -Cyclodextrin

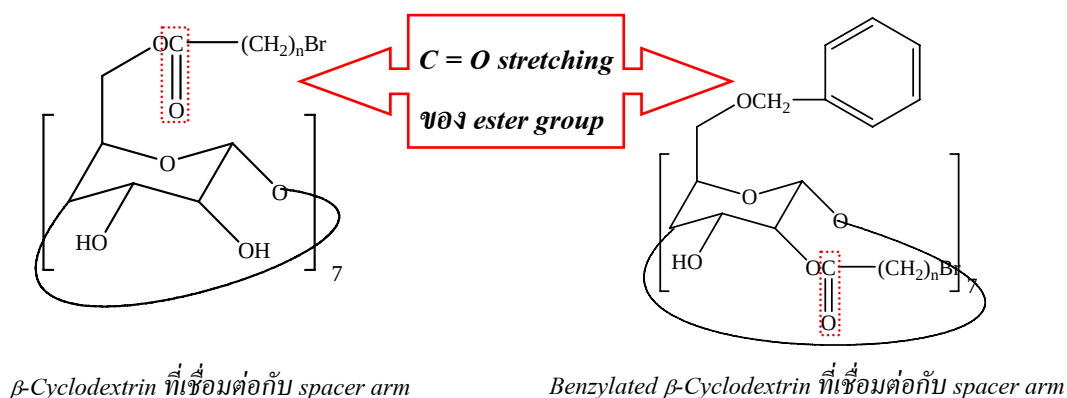
β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ 6-โบรโมคาโพรอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น *spacer arm* ที่ยาวปานกลาง จะได้ผลผลิต (% yield) เท่ากับ 82.16 เปอร์เซ็นต์ และพบสเปกตรัมที่สำคัญ (ดังรูปที่ 4.5) คือ

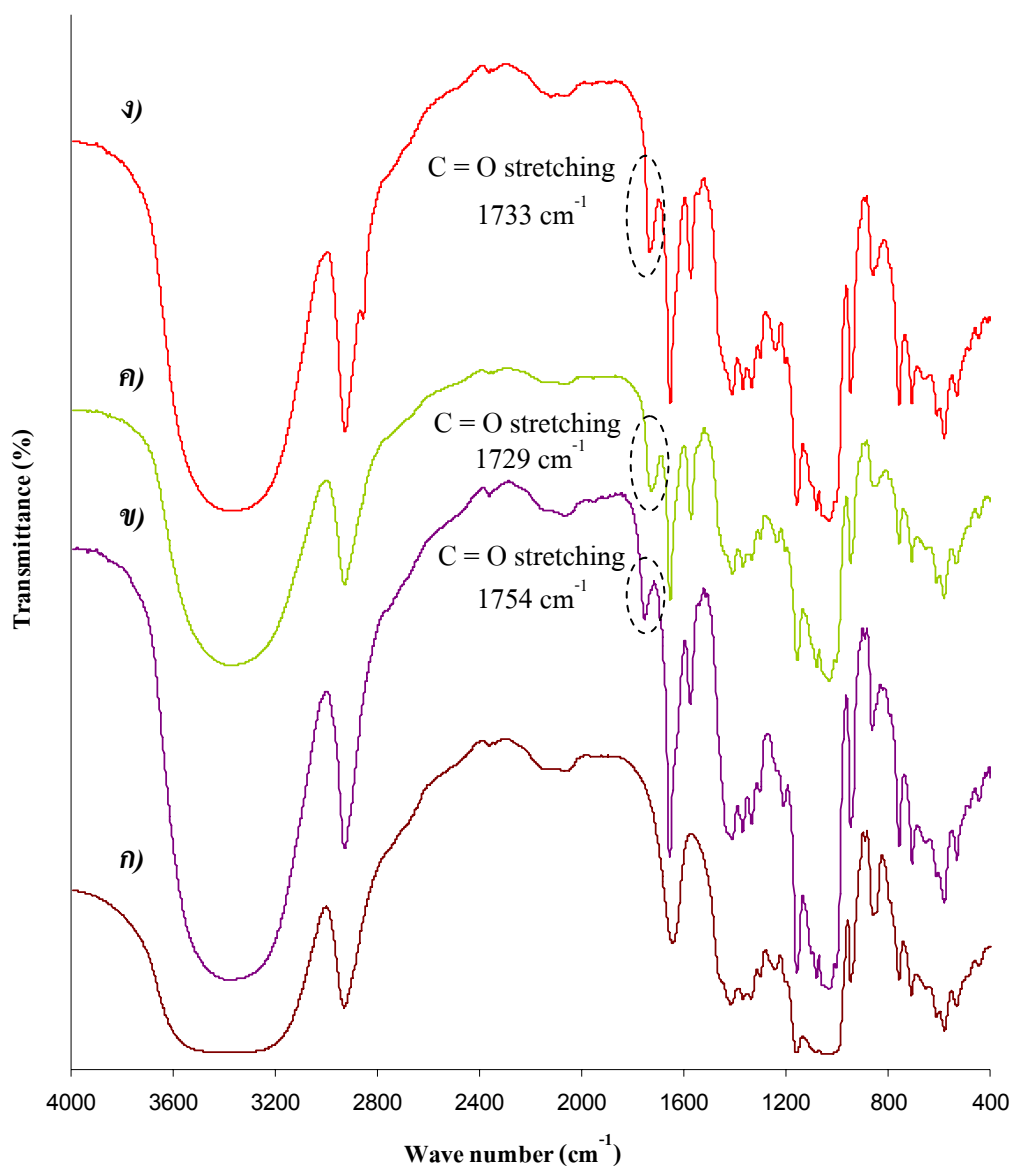
- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 1729 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $\text{C}=\text{O}$ stretching ของ ester group ซึ่งจะไม่ปรากฏในสเปกตรัมของ β -Cyclodextrin

ส่วน β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ โบรโมอะซิติก แอซิด (BrCH_2COOH) ซึ่งใช้เป็น *spacer arm* ที่สั้นที่สุด จะได้ผลผลิต (% yield) เท่ากับ 84.48 เปอร์เซ็นต์ และพบสเปกตรัมที่สำคัญ (ดังรูปที่ 4.5) คือ

- พิก. ณ.ตำแหน่ง wave number ที่ 1754 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $\text{C}=\text{O}$ stretching ของ ester group ซึ่งจะไม่ปรากฏในสเปกตรัมของ β -Cyclodextrin

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ *spacer arm* ได้



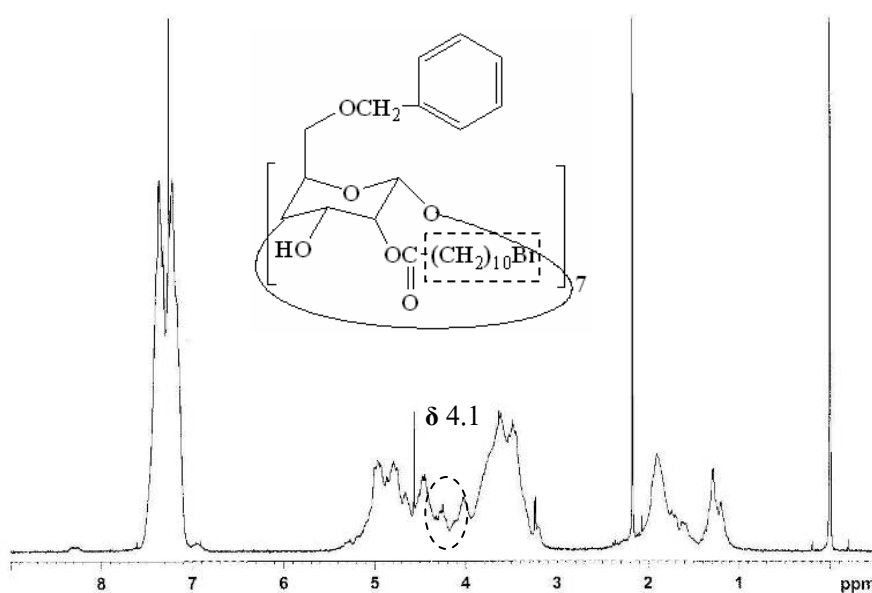


รูปที่ 4.5 FTIR spectra ของ ก) β -Cyclodextrin ข) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) และ ง) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

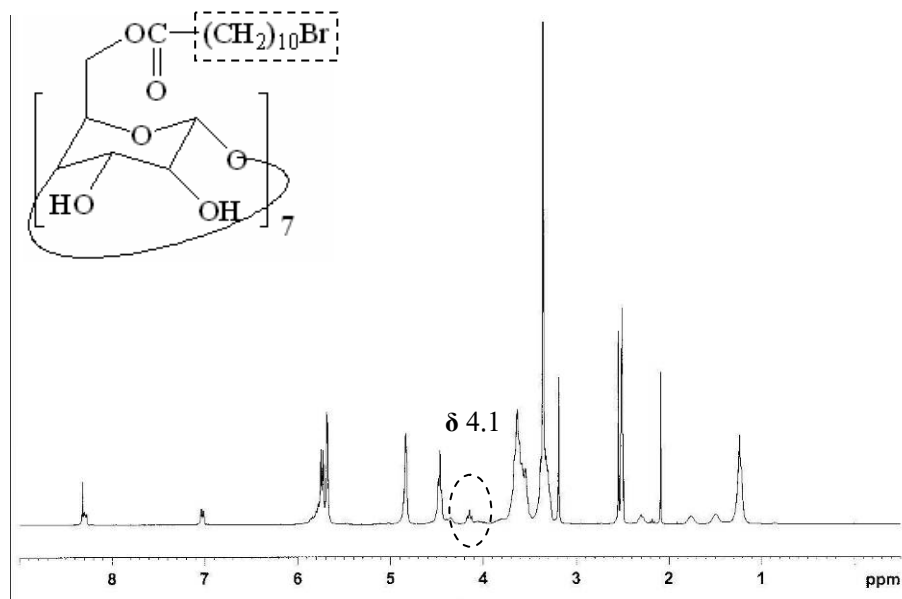
นอกจากนี้ยังได้ทำการพิสูจน์ผลึกพันธ์ดังกล่าวด้วย $^1\text{H-NMR}$ ด้วยเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) สามารถยืนยันผลดังกล่าวได้ (ดังรูปที่ 4.6 – 4.9) โดยพบว่า

Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่ยาวมากที่สุด (ดังรูปที่ 4.6) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่ยาวมากที่สุด (ดังรูปที่ 4.7) β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ 6-โบรโมคาโปรอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่ยาวปานกลาง (ดังรูปที่ 4.8) และ β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับโบรโมอะซิติก แอซิด (BrCH_2COOH) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่สั้นที่สุด (ดังรูปที่ 4.9) จะพบสเปคตรัมที่สำคัญ คือ

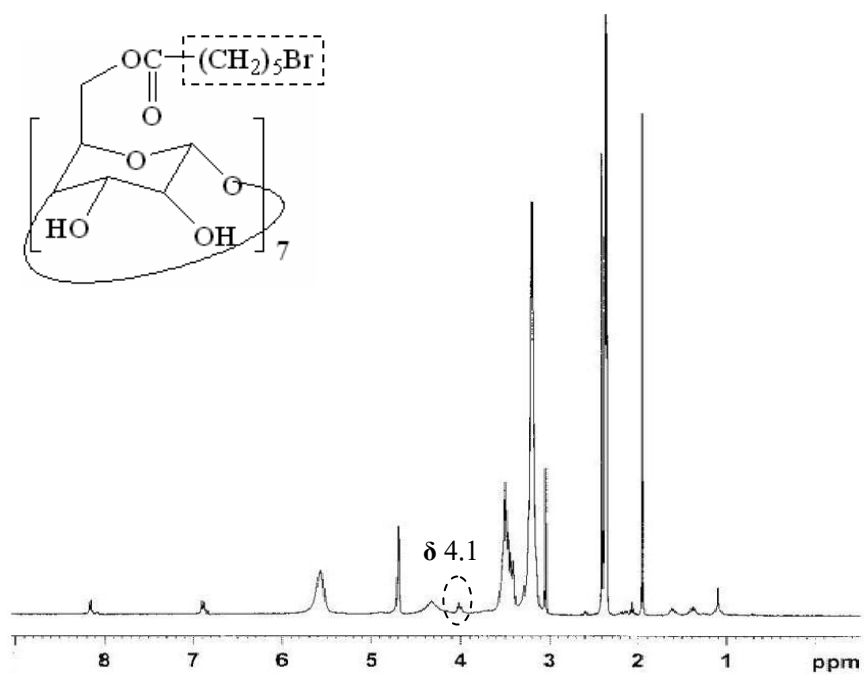
- พิก ฌ.ตำแหน่ง δ ที่ 4.1 ppm ซึ่งเป็นพิกโปรตรอนของ CH_2 ที่อยู่ติดกับ Br (Bromine)



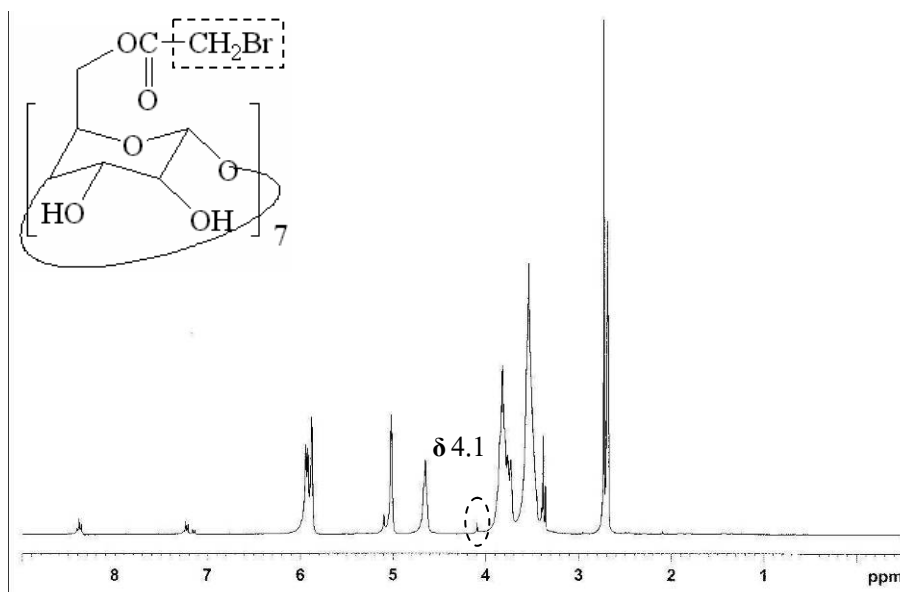
รูปที่ 4.6 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)



รูปที่ 4.7 1H -NMR spectrum ของ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($Br(CH_2)_{10}COOH$)



รูปที่ 4.8 1H -NMR spectrum ของ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($Br(CH_2)_5COOH$)



รูปที่ 4.9 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)

จากผลการทดสอบ $^1\text{H-NMR}$ สามารถคำนวณหาจำนวนการติดของ spacer arm ที่ต่อเชื่อมกับ β -cyclodextrin 1 unit ได้ (ดังตารางที่ 4.1) พบว่า β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) จะมีจำนวนโปรตอนของ spacer arm ติดอยู่ 0.58% หรือมีจำนวนของ spacer arm ติดอยู่น้อยกว่า 1 unit, β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) จะมีจำนวนโปรตอนของ spacer arm ติดอยู่ 1.62% หรือมีจำนวนของ spacer arm ติดอยู่น้อยกว่า 1 unit, β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) จะมีจำนวนโปรตอนของ spacer arm ติดอยู่ 2.00% หรือมีจำนวนของ spacer arm ติดอยู่น้อยกว่า 1 unit จากผลดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่สังเคราะห์ได้นั้นมีทั้ง β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm และ β -cyclodextrin ที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับ spacer arm เนื่องจากผลที่ได้จากการคำนวณหาจำนวนการติดของ spacer arm ชนิดต่าง ๆ 1 unit ที่ทำการต่อเชื่อมกับ β -cyclodextrin 1 unit ที่ได้จากการสังเคราะห์นั้นมีค่าน้อยกว่าจำนวนการติดของ spacer arm ชนิดต่าง ๆ 1 unit ที่ต่อเชื่อมกับ β -cyclodextrin 1 unit ที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกจำนวนที่แน่นอนของ spacer arm ชนิดต่าง ๆ ที่เข้าทำปฏิกิริยาต่อเชื่อมกับ β -cyclodextrin 1 unit ได้ ส่วน Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) นั้นไม่สามารถหาจำนวนการติดของ spacer arm ที่ต่อเชื่อมกับ Benzylated β -Cyclodextrin ได้ เนื่องจากฟิเค

โปรตอนของหมู่ $-OH$ และฟิคโปรตอนของหมู่ $-CH_2Br$ เกิดการ overlap กัน จึงไม่สามารถทำการคำนวณหาได้

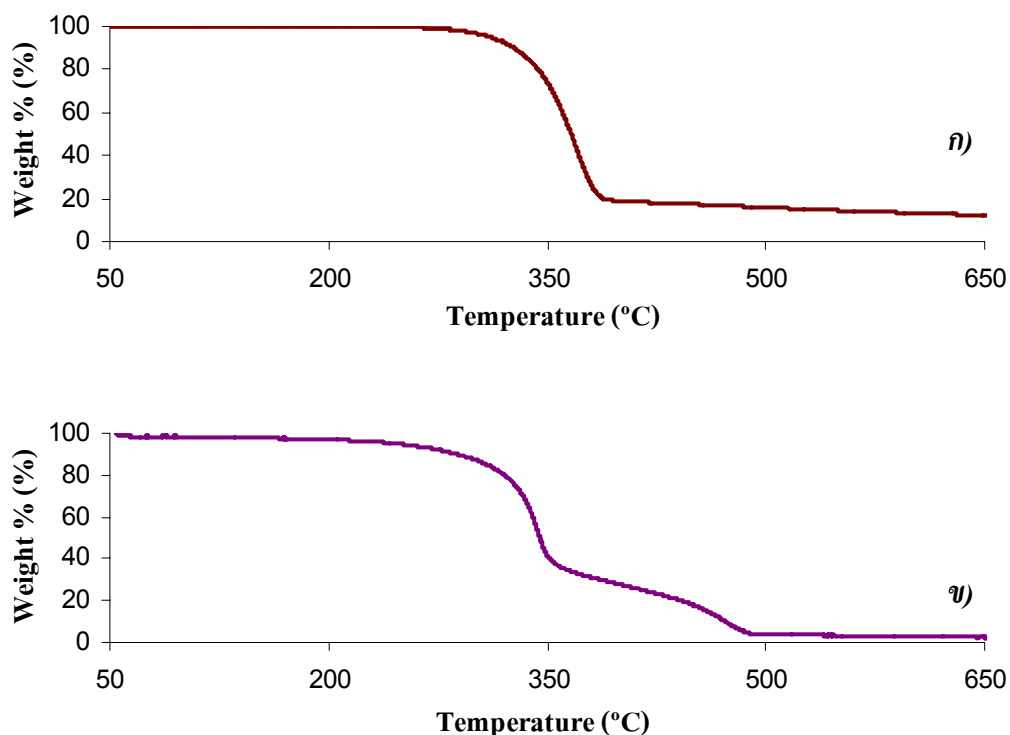
ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนการติดของ spacer arm ชนิดต่าง ๆ ที่ต่อเชื่อมกับ β -cyclodextrin 1 unit

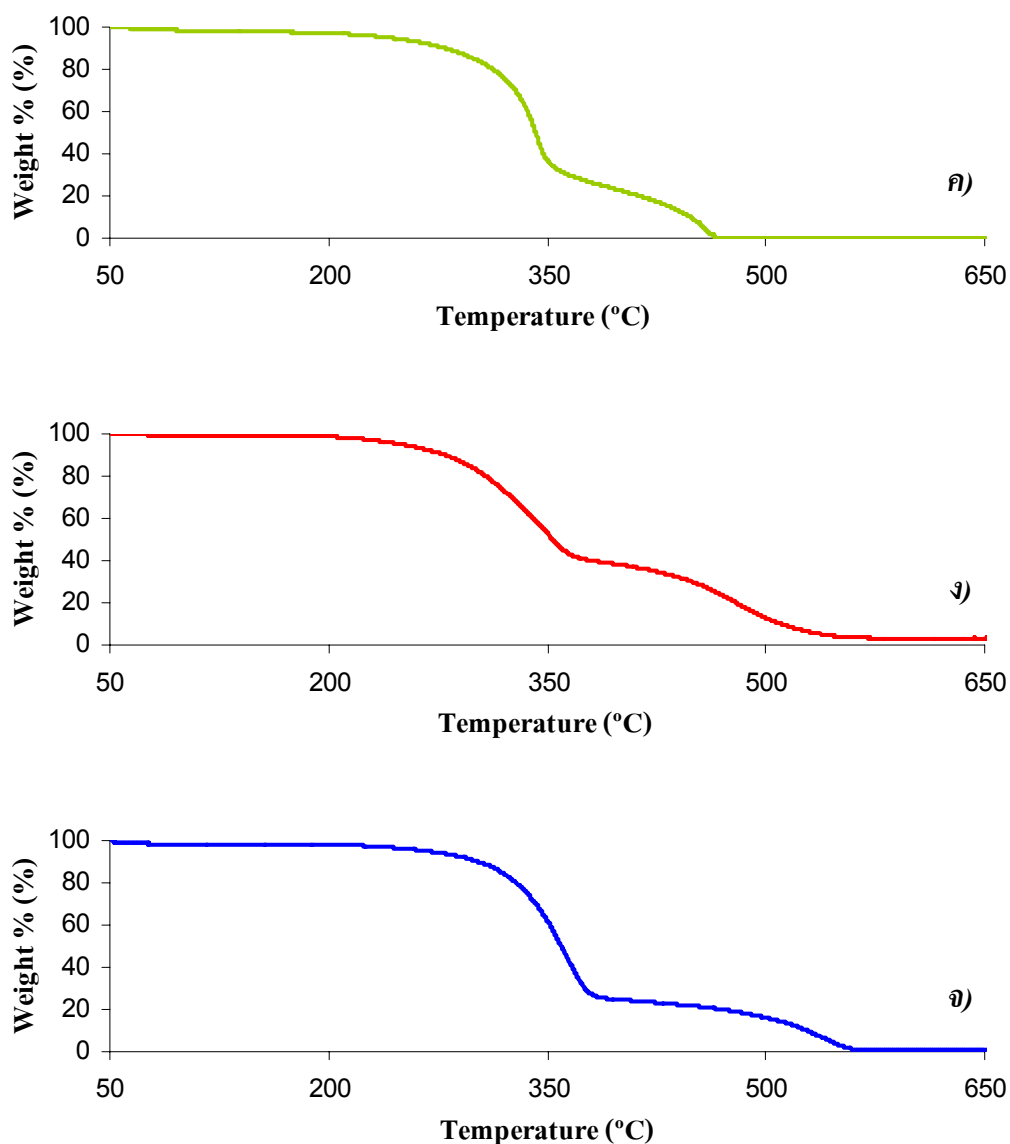
β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ชนิดต่าง ๆ	จำนวนโปรตอนของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin (%)	จำนวนโปรตอนของ Spacer arm (%)
β -Cyclodextrin 1 unit ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm 1 unit ที่คำนวณตามทฤษฎี	90.91	9.09
β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่สั้นที่สุด ($BrCH_2COOH$)	99.42	0.58
β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($Br(CH_2)_5COOH$)	98.38	1.62
β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($Br(CH_2)_{10}COOH$)	98.00	2.00
Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($Br(CH_2)_{10}COOH$)	N/A*	N/A*

* Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($Br(CH_2)_{10}COOH$) นั้นไม่สามารถหาจำนวนการติดของ spacer arm ที่ต่อเชื่อมกับ Benzylated β -Cyclodextrin ได้ เนื่องจากฟิคโปรตอนของหมู่ $-OH$ และฟิคโปรตอนของหมู่ $-CH_2Br$ เกิดการ overlap กัน

4.3 การเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm

หลังจากทำการเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm แล้ว จึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเชื่อมต่อกับผ้าฝ้าย โดยอาศัยปฏิกิริยา Williamson Ether Synthesis [4] จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าฝ้าย ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ซึ่งให้ผลดังรูปที่ 4.10





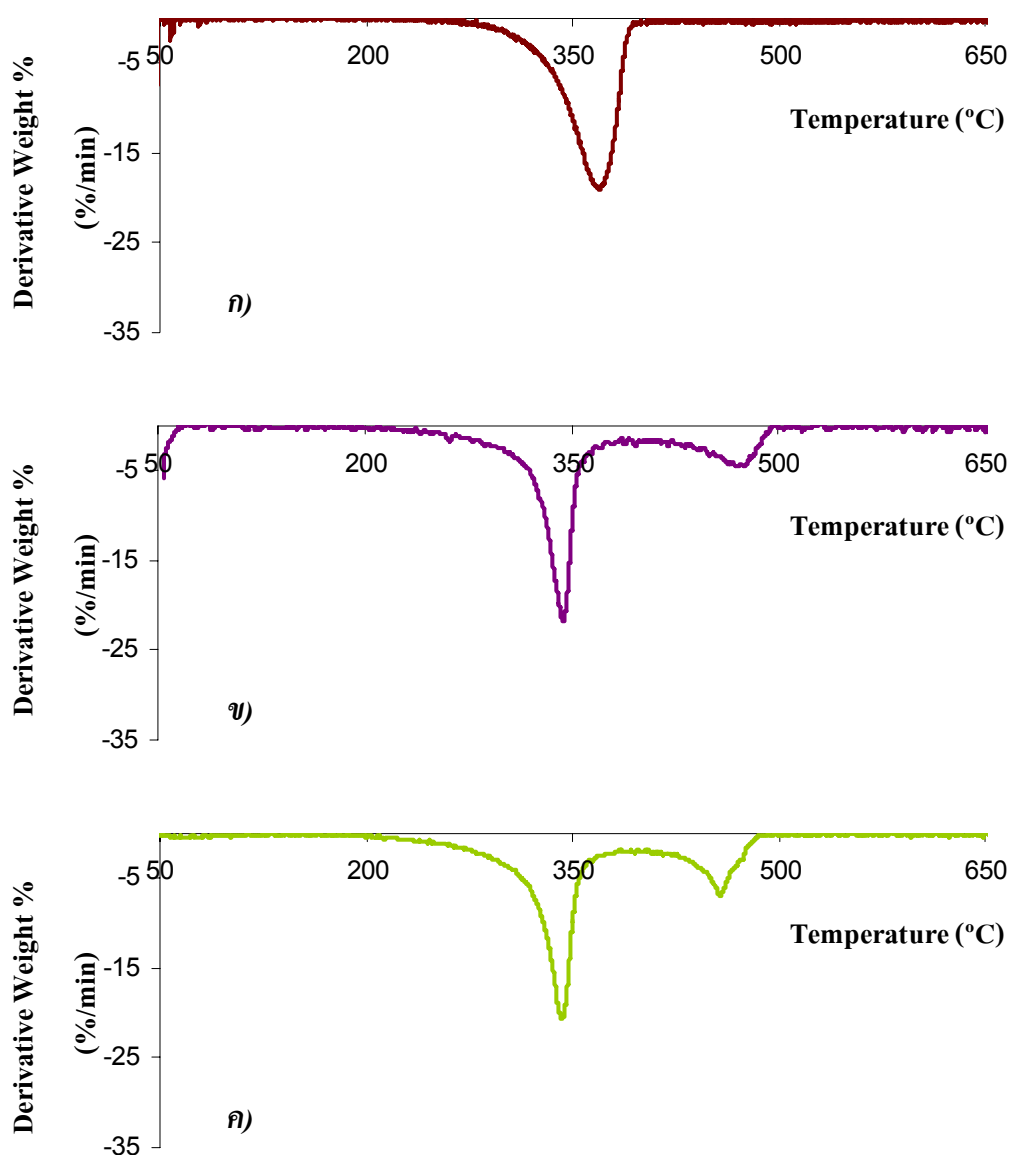
รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรม TGA ของ ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

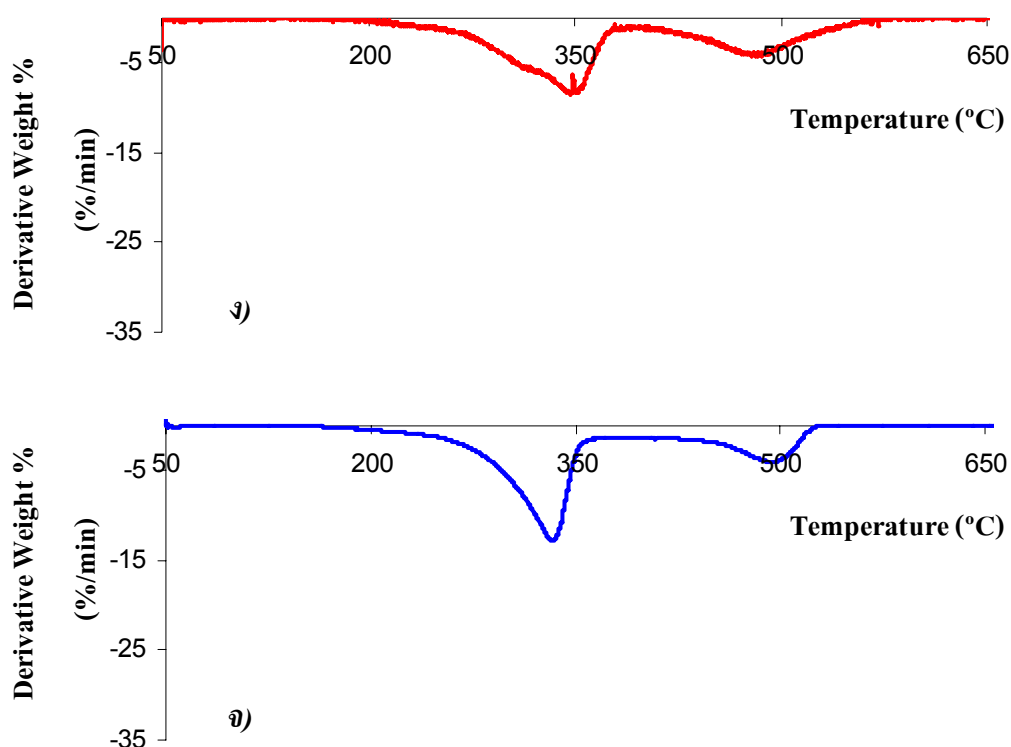
จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นเทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่มีการลดลงของน้ำหนัก (% weight) เพียง 1 ขั้นเท่านั้น คือ เริ่มลดลงที่อุณหภูมิ 340 °C แต่เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm จะมีการลดลงของน้ำหนักอยู่ 2 ขั้น โดยผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วยโบรโมอะซิติก แอซิด (BrCH_2COOH) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่สั้นที่สุด จะเริ่มลดลงที่อุณหภูมิ 325 °C และที่ 452 °C ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย 6-โบรโมคาโปรอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่ยาวปานกลาง มีการลดลงของน้ำหนักเริ่มที่อุณหภูมิ 320 °C และที่ 443 °C ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่ยาวที่สุด มีการลดลงของน้ำหนักที่อุณหภูมิ 309 °C และที่ 449 °C และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ซึ่งใช้เป็น spacer arm ที่ยาวที่สุดนั้นเริ่มมีการลดลงของน้ำหนักที่อุณหภูมิ 327 °C และที่ 513 °C (ดังตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงอุณหภูมิของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)

ชนิดของผ้า	อุณหภูมิ (°C)	
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
ผ้าฝ้าย	340 °C - 383 °C	-
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	325 °C - 353 °C	452 °C - 484 °C
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	320 °C - 353 °C	443 °C - 469 °C
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	309 °C - 366 °C	449 °C - 523 °C
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	327 °C - 378 °C	513 °C - 557 °C

ซึ่งสอดคล้องกับเทอร์โมแกรม DTG (น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลาและอุณหภูมิ) ของผ้าฝ้ายจะมีเพียง 1 ช่วงเท่านั้น ส่วนเทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) นั้น จะมีการน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดเป็น 2 ช่วง (ดังรูปที่ 4.11)





รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรม DTG ของ ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

ดังนั้นจึงสามารถหาปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ดัดแปรเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) โดยให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักในอุณหภูมิช่วงแรกจะเป็นส่วนของผ้าฝ้าย ส่วนเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักในอุณหภูมิช่วงที่ 2 จะเป็นส่วนของ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับ spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับ spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) β -Cyclodextrin ที่เชื่อมกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) (ดังตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ตัดแปรเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)

ชนิดของผ้า	ปริมาณของผ้าฝ้าย (%) (อุณหภูมิช่วงแรก)	ปริมาณของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm (%) (อุณหภูมิช่วงที่ 2)	ปริมาณของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin (%)
ผ้าฝ้าย	100	-	-
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	71.56	22.85	20.63
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	77.31	20.47	17.69
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	72.13	24.63	20.21
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	75.67	21.94	19.05

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถเชื่อมผ้าฝ้ายกับ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ได้

4.4 การศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยยาไล่แมลง (DEET) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin derivatives กับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่มีผลต่อการระเหยของยาไล่แมลง (DEET)

เมื่อนำผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin และผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรไปจุ่มในสารละลายผสมยาไล่แมลง (DEET) แล้วนำไปตากที่อุณหภูมิห้องและทำการสกัดทุก ๆ 0 5 10 และ 15 วัน ด้วยเอทานอล และนำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของสารละลายด้วยเครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer ให้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร

ชนิดของผ้า	ระยะเวลา	จำนวนโมลของ DEET x 10^{-5} (mol) ที่มีอยู่			
		วันเริ่มต้น	5 วันผ่านไป	10 วันผ่านไป	15 วันผ่านไป
ผ้าฝ้าย		21.73	10.30	4.51	1.88
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)		19.70	7.24	6.34	5.57
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)		20.76	7.98	7.01	6.32
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)		22.92	12.38	10.07	7.76
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)		25.68	14.81	11.88	10.50

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อวันเริ่มต้นผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) จะมีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้มากที่สุด คือ $25.67 \times 10^{-5} \text{ mol}$ ส่วนผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ผ้าฝ้าย ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) มีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้น้อยลงตามลำดับ คือ $22.92 \times 10^{-5} \text{ mol}$ $21.73 \times 10^{-5} \text{ mol}$ $20.76 \times 10^{-5} \text{ mol}$ และ $19.70 \times 10^{-5} \text{ mol}$ ตามลำดับ เนื่องจากผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุดนั้นมี Benzylated β -Cyclodextrin ที่มีความเป็นขั้วน้อย จึงสามารถจับโมเลกุลของ DEET ที่มีความเป็นขั้วน้อยได้ดี อีกทั้ง spacer arm ที่ใช้เชื่อม Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายนั้น คือ 11-โบรโมอโนเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ซึ่งความยาวของ spacer arm นี้จะทำให้ Benzylated β -Cyclodextrin มีระยะห่างจากผิวของผ้าฝ้ายที่มีความเป็นขั้วสูงมากขึ้น ดังนั้นผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุดจึงสามารถจับโมเลกุลของ DEET ที่มีความเป็นขั้วน้อยได้มากกว่าผ้าฝ้ายชนิดอื่นๆ และมีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้มากที่สุด

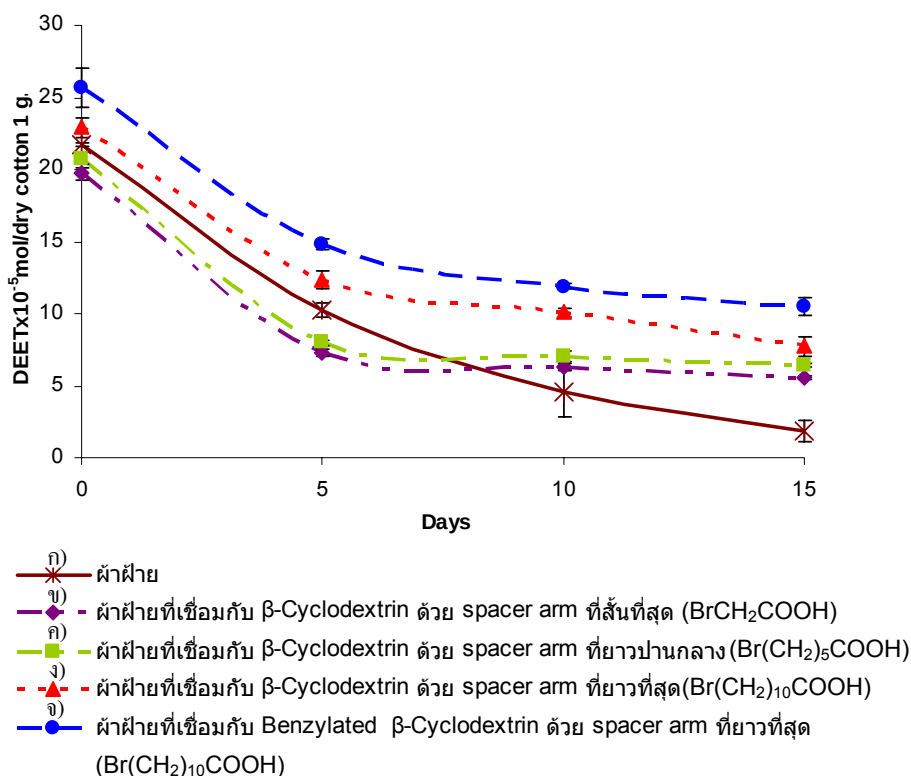
ส่วนผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุดถึงแม้ว่าด้านนอกของ β -Cyclodextrin จะมีลักษณะเป็น hydrophilic หรือมีความเป็นขั้ว แต่ β -Cyclodextrin มีลักษณะคล้ายโดนัท (doughnut – like) คือ มีช่องแคบตรงกลางที่มีลักษณะเป็น hydrophobic หรือมีความเป็นขั้วต่ำ จึงยอมให้โมเลกุลของ DEET ที่มีความเป็นขั้วน้อยเข้าไปอยู่ในช่องแคบดังกล่าว รวมทั้ง spacer arm ที่ใช้เชื่อม β -cyclodextrin กับผ้าฝ้ายนั้น คือ 11-โบรโมอโนเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่มีความยาวที่ทำให้ β -Cyclodextrin มีระยะห่างจากผิวของผ้าฝ้ายมากขึ้น ซึ่งทำให้ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุดมีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้มากกว่าผ้าฝ้าย ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลางและผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด

ถึงกระนั้นผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง คือ 6-โบรโมคาโปรอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุดคือ โบรโมอะซิติก แอซิด (BrCH_2COOH) แม้จะมี β -Cyclodextrin ช่วยจับโมเลกุลของ DEET แต่การใช้ spacer arm เพื่อเชื่อมผ้าฝ้ายกับ β -cyclodextrin ซึ่งมีความยาวสั้นนั้นทำให้มีระยะห่างระหว่างผิวหน้าของผ้าฝ้ายกับ β -Cyclodextrin มีค่าน้อยลง เป็นผลทำให้โมเลกุลของ β -Cyclodextrin ปกคลุมอยู่ที่ผิวหน้าของผ้าฝ้าย ทำให้ดูดจับ DEET ได้น้อยลง เหตุผลเนื่องจากการดูดซับโมเลกุลของ DEET ส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวหน้าของผ้าฝ้ายและอีกส่วนถูกดูดซับอยู่

ภายในช่องแคบของ β -Cyclodextrin ทำให้การดูดซับในส่วนผิวหน้าของผ้าฝ้ายถูกขัดขวางโดย β -cyclodextrin ที่มาปกคลุม ดังนั้นผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลางและผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุดจึงมีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้ในวันเริ่มต้นน้อยกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร

เมื่อเวลาผ่านไปผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin และไม่ได้ดัดแปรจะมีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้ลดลง โดยเมื่อ 5 วันผ่านไปผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรจะมีการปลดปล่อยหรือการระเหยของ DEET มาก เพราะโมเลกุลของ DEET จะอยู่ได้ทั้งที่ผิวหน้าของผ้าและภายในช่องว่างของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ดังนั้นการปลดปล่อย DEET ใน 5 วันแรกส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลของ DEET ที่อยู่ผิวหน้าของผ้าที่ระเหยออกมาได้โดยง่ายมากกว่าโมเลกุลของ DEET ที่ถูกตรึงอยู่ภายในช่องว่างของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ฉะนั้นเมื่อ 5 วันแรกผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin จึงมีอัตราการระเหยพอๆ กับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร แต่เมื่อ 10 วันผ่านไปผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin จะมีการปลดปล่อยของ DEET ที่ลดลง แตกต่างกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่มีระดับการปลดปล่อย DEET ที่มากคงเดิม เพราะโมเลกุลของ DEET ที่อยู่ผิวหน้าของผ้าส่วนใหญ่จะระเหยออกไปเป็นจำนวนมากภายใน 5 วันแรก ดังนั้นโมเลกุลของ DEET ที่เหลือส่วนใหญ่ก็คือโมเลกุลของ DEET ที่ถูกตรึงอยู่ภายในช่องว่างของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ทำให้ผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ใน 10 วันผ่านไปมีอัตราการระเหยของ DEET ลดลงอย่างมากต่างจากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ยังคงมีอัตราการระเหยของ DEET พอๆ กับ 5 วันแรก

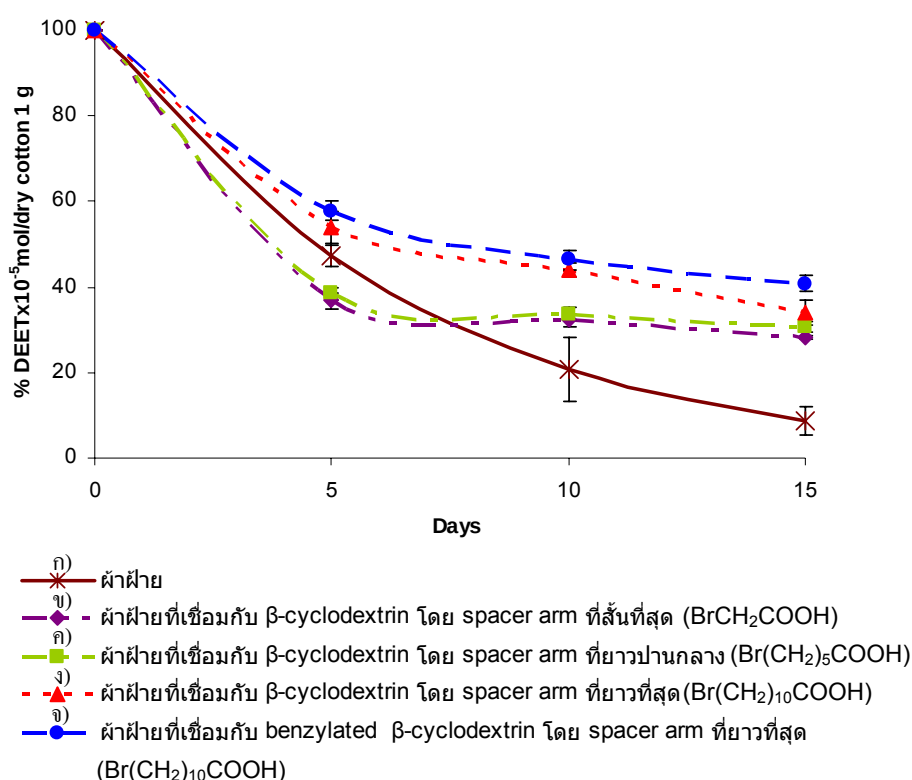
จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 15 วันผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) จะยังมีการจำนวนโมลของ DEET มากกว่าผ้าชนิดอื่นๆ นั่นคือ มีการปลดปล่อยของ DEET น้อยที่สุด เนื่องจาก Benzylated β -Cyclodextrin มีความเป็นขั้วน้อยจึงสามารถตรึง DEET ได้มากกว่าผ้าชนิดอื่น ๆ รวมทั้งยังลดความสามารถในการระเหยของ DEET ได้อีกด้วย ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้จากแนวโน้มจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เมื่อเวลาผ่านไปได้จากกราฟรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้จาก ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมเมื่อเวลาผ่านไป

เมื่อนำจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้ไปคิดให้เป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ดังกราฟรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าผ้าทุกชนิดในช่วง 5 วันแรกจะมีการปลดปล่อย DEET ออกมามาก ซึ่งสอดคล้องกับกราฟที่มีความชันมาก คือ มีการลดลงของจำนวนโมลของ DEET มากเพราะโมเลกุลของ DEET ที่มีการระเหยออกมาส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลของ DEET ที่อยู่ผิวหน้าของผ้าที่ระเหยได้โดยง่าย หลังจาก 5 วันผ่านไปผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin จะมีเส้นกราฟที่มีความชันน้อยลงและเริ่มคงที่ เมื่อ 15 วันผ่านไปโดยผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด

(Br(CH₂)₁₀COOH) จะมีเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้มากที่สุด คือ 40.86% ส่วนผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด (Br(CH₂)₁₀COOH) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง (Br(CH₂)₅COOH) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH₂COOH) และผ้าฝ้ายมีเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เท่ากับ 33.86% 30.80% 28.27% 8.65% ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 กราฟเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้จาก ก) ผ้าฝ้าย ข) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH₂COOH) ค) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง (Br(CH₂)₅COOH) ง) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด (Br(CH₂)₁₀COOH) และ จ) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด (Br(CH₂)₁₀COOH) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมเมื่อเวลาผ่านไป

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร

ชนิดของผ้า ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%) ที่มีอยู่			
	วันเริ่มต้น	5 วันผ่านไป	10 วันผ่านไป	15 วันผ่านไป
ผ้าฝ้าย	100.00	47.39	20.77	8.65
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	100.00	36.74	32.18	28.27
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	100.00	38.45	33.79	30.80
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	100.00	53.99	43.93	33.86
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	100.00	57.70	46.27	40.86

4.5 การศึกษาความทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin derivative ที่หุบด้วยยาไล่แมลงเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่หุบด้วยยาไล่แมลง (DEET)

เมื่อนำผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรจุ่มลงในสารละลายยาไล่แมลง (DEET) ไปผ่านกระบวนการซัก 1 ครั้งตามมาตรฐานในกระบวนการซัก ISO 105 – C06 ด้วยเครื่อง Washing fastness tester แล้วนำไปสกัดยาไล่แมลง (DEET) ด้วยเอทานอล พบว่า จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้ลดลงมาก เนื่องจากในกระบวนการซักได้ใช้สารละลาย ECE Color Fastness Test Detergent 77 ที่โมเลกุลมีทั้งส่วนที่เป็น hydrophilic และ hydrophobic โดยส่วนของ hydrophilic จะละลายในชั้นของสารที่มีขั้ว เช่น น้ำ และส่วนของ hydrophobic ที่ละลายในชั้นของสารไม่มีขั้ว

เช่น สิ่งสกปรกต่าง ๆ ไขมัน รวมทั้ง DEET ที่มีความเป็นขี้ด้า ซึ่ง ECE Color Fastness Test Detergent 77 สามารถชะหรือทำให้มีการหลุดออกของ DEET ทั้งที่อยู่บนผิวผ้าและที่ถูกจับอยู่ภายในช่องว่างของโมเลกุลของ Benzylated β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin

ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) จะมีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้มากที่สุดหลังผ่านกระบวนการซัก คือ $2.62 \times 10^{-5} \text{ mol}$ ส่วนผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) และผ้าฝ้ายจะมีจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เท่ากับ $2.41 \times 10^{-5} \text{ mol}$ $1.73 \times 10^{-5} \text{ mol}$ $1.41 \times 10^{-5} \text{ mol}$ และ $0.37 \times 10^{-5} \text{ mol}$ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 แสดงจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร

ชนิดของผ้า	กระบวนการซัก	
	ไม่ผ่านการซัก	ผ่านการซัก 1 ครั้ง
ผ้าฝ้าย	41.48	0.37
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	46.37	1.41
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	48.95	1.73
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	51.72	2.41
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	53.51	2.62

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร

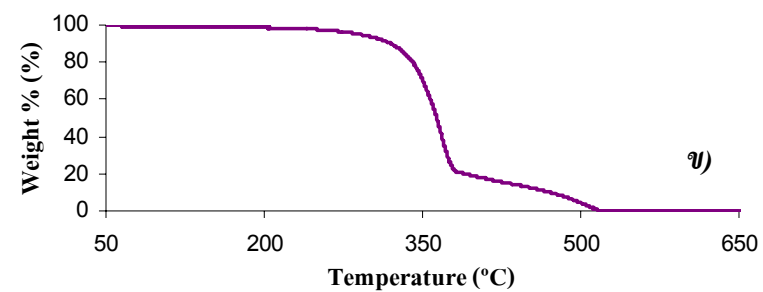
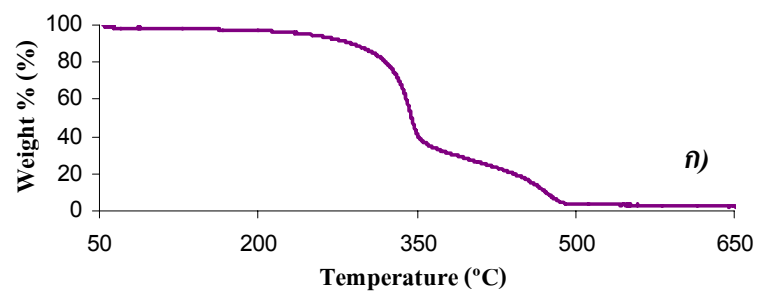
ชนิดของผ้า	กระบวนการซัก	
	ไม่ผ่านการซัก	ผ่านการซัก 1 ครั้ง
ผ้าฝ้าย	100.00	0.88
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	100.00	3.05
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	100.00	3.54
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	100.00	4.66
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	100.00	4.90

จากตารางที่ 4.7 เป็นการคิดให้จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้แปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์จากผ้าทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรหลังผ่านกระบวนการซัก โดยให้จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้ก่อนผ่านกระบวนการซักเทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมของผ้าแต่ละชนิดเทียบเท่าเป็น 100% ดังนั้นผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) และผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร จะมีเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เป็น 4.90% 4.66% 3.54% 3.05% 0.88% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.6 และ 4.7 แสดงให้เห็นว่าจำนวนโมลของ DEET และเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปร หลังผ่านกระบวนการซักจะมีค่าแตกต่างกันมากจากผ้าทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรก่อนผ่านกระบวนการซัก ทั้งนี้เพราะผ้าที่ผ่านกระบวนการซักรุนแรงจะเกิดความเสียหายระหว่างกระบวนการซัก เช่น ผ้าเป็นขุย ขาดและหลุดออก เป็นต้น โดยอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ Benzylated β -

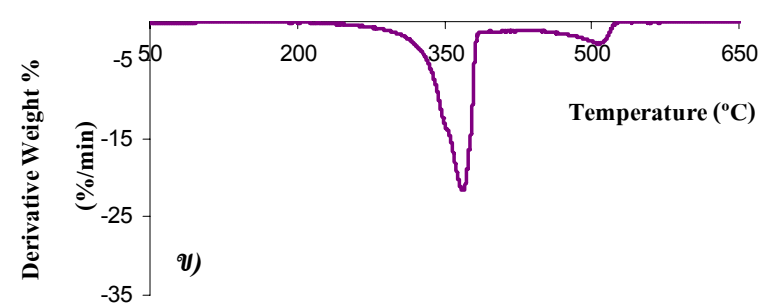
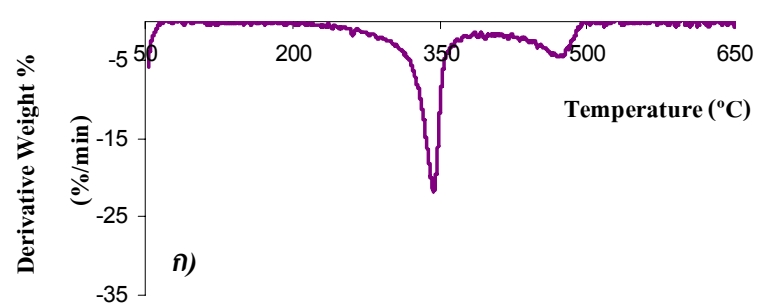
Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm ซึ่งมีการตรึงโมเลกุลของ DEET หลุดออกไปพร้อมกับผ้าที่เป็นขุย หรือขาดในกระบวนการซัก จึงทำให้จำนวนโมลของ DEET ลดลงอย่างมาก เมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงยืด (tensile strength) พบว่า ผ้าฝ้ายที่ดัดแปรจะมีค่า stress at break เท่ากับ 19.49 MPa แต่ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรจะมีค่า stress at break เท่ากับ 62.88 MPa จึงสนับสนุนเหตุผลดังกล่าวได้ว่า ผ้าที่ดัดแปรด้วย Benzylated β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin มีความแข็งแรงน้อยกว่าผ้าที่ไม่ได้ดัดแปร

นอกจากนี้จากการทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ดังรูปที่ 4.14 – 4.21 แสดงเทอร์โมแกรม TGA และเทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ผ้าก่อนผ่านกระบวนการซักและ (ข) ผ้าที่ผ่านกระบวนการซักแล้ว พบว่า ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) และผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ผ่านกระบวนการซักแล้ว จะมีช่วงการลดลงของน้ำหนัก (% weight) เหมือนกับผ้าก่อนผ่านกระบวนการซัก ซึ่งสอดคล้องกับเทอร์โมแกรม DTG (น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลาและอุณหภูมิ) แต่ทั้ง % weight และ % derivative weight ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิในช่วงที่ 2 จะมีความแตกต่างกันระหว่างผ้าก่อนผ่านกระบวนการซักและผ้าหลังผ่านกระบวนการซักแล้ว โดยผ้าก่อนผ่านกระบวนการซักจะมีค่า % weight และ % derivative weight ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิในช่วงที่ 2 มากกว่าผ้าที่ผ่านกระบวนการซักแล้ว



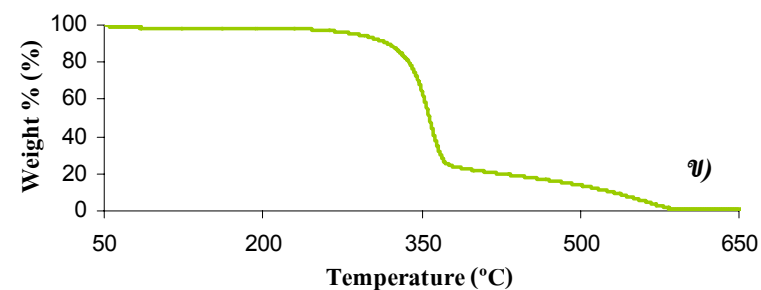
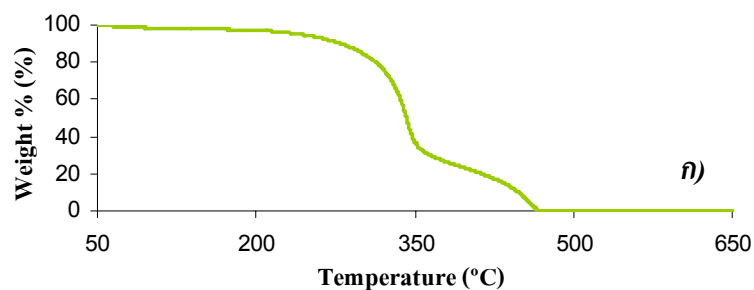
รูปที่ 4.14 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin
ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)

ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก



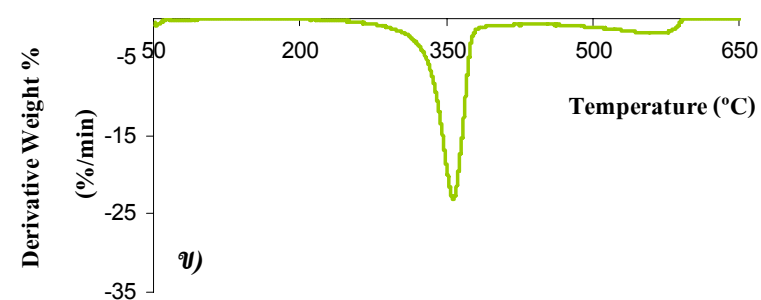
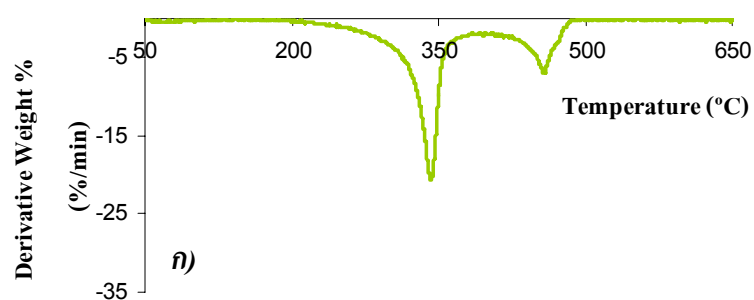
รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin
ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)

ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก



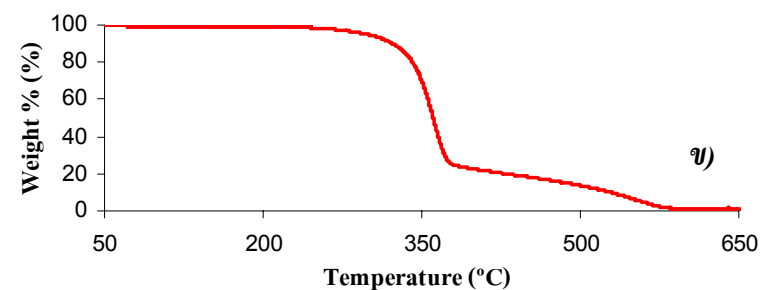
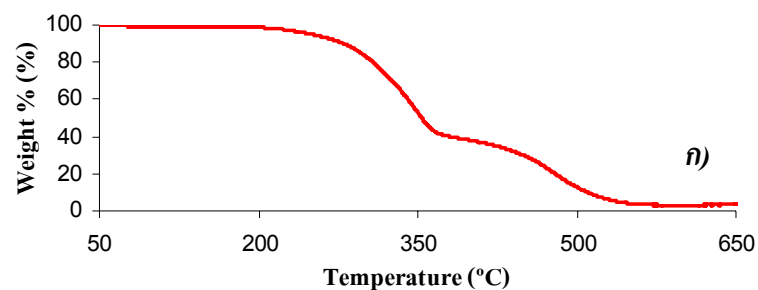
รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin
ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)

ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก



รูปที่ 4.17 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin
ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)

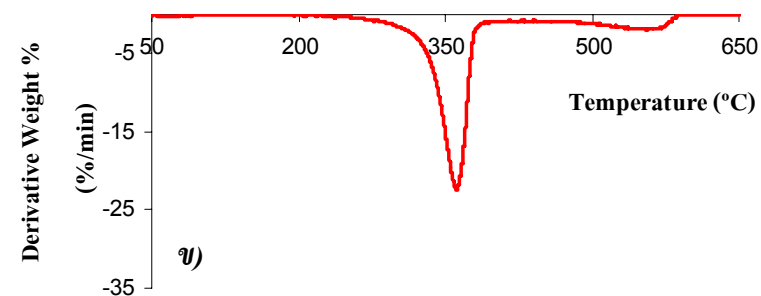
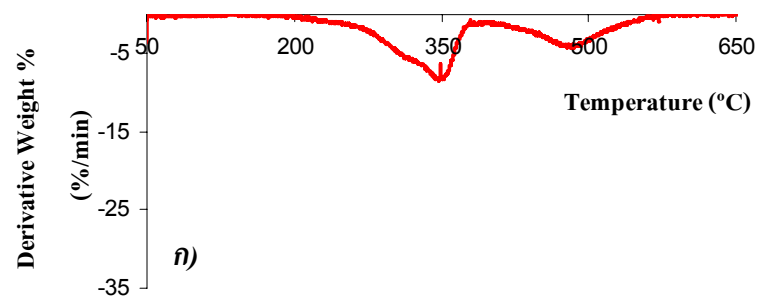
ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก



รูปที่ 4.18 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin

ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

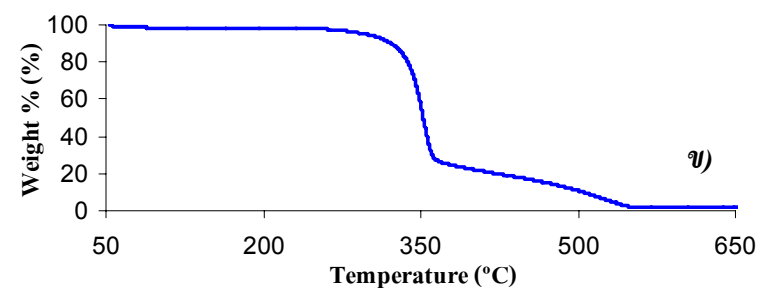
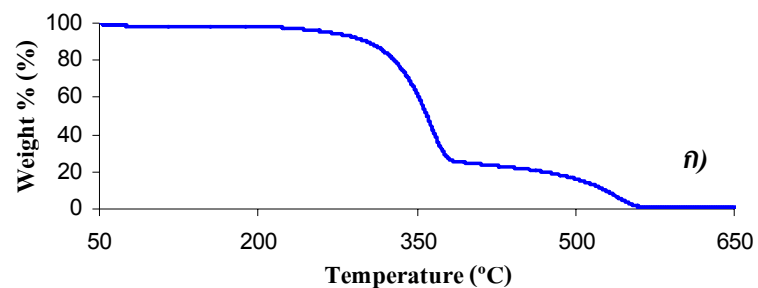
ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก



รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin

ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

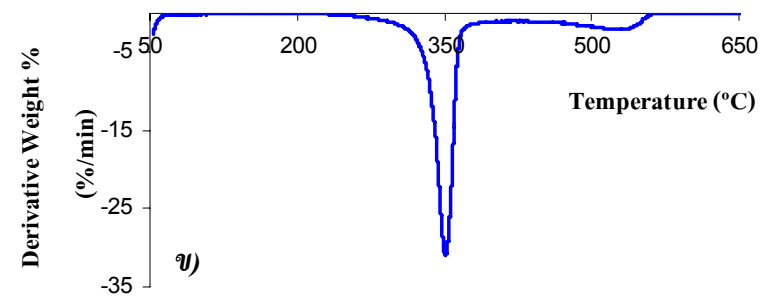
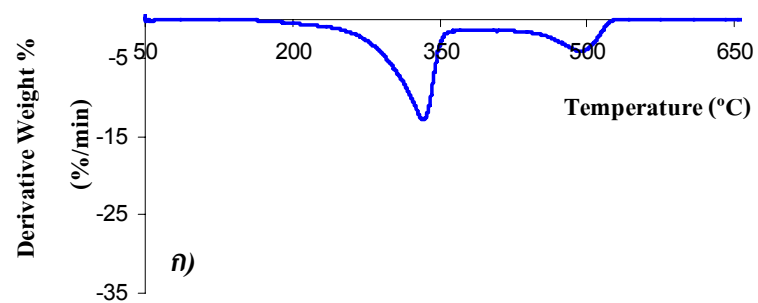
ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก



รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin

ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก



รูปที่ 4.21 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin

ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

ก) ก่อนผ่านกระบวนการชัก ข) หลังผ่านกระบวนการชัก

จากนั้นจึงหาปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ดัดแปรที่ผ่านกระบวนการชักเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรที่ผ่านกระบวนการชักแล้วในอุณหภูมิช่วงแรกจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของผ้าฝ้าย และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรที่ผ่านกระบวนการชักแล้วในอุณหภูมิช่วงที่ 2 จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm (ดังตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ดัดแปรที่ผ่านกระบวนการชักแล้วเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง

Thermogravimetric Analyzer (TGA)

ชนิดของผ้า	ปริมาณของผ้าฝ้าย(%) (อุณหภูมิช่วงแรก)	ปริมาณของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm (%) (อุณหภูมิช่วงที่ 2)	ปริมาณของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin (%)
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	84.64	14.08	12.71
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	80.42	17.10	14.78
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	82.09	15.73	12.90
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	79.70	17.01	14.77

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ดัดแปรก่อนผ่านกระบวนการชักและผ้าฝ้ายที่ดัดแปรที่ผ่านกระบวนการชักแล้วเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)

ชนิดของผ้า	ปริมาณของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin (%)	
	ก่อนผ่านกระบวนการชัก	หลังผ่านกระบวนการชัก
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH)	20.63	12.71
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$)	17.69	14.78
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	20.21	12.90
ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)	19.05	14.77

จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 พบว่า อุณหภูมิช่วงที่ 2 ที่เป็นส่วนของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับผ้าที่ดัดแปรด้วย β -cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ก่อนผ่านกระบวนการชัก ซึ่งทำให้ส่วนของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับผ้ามีจำนวนลดลง จึงคาดว่า β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin มีการหลุดไปในระหว่างกระบวนการชักพร้อมกับผ้าที่เป็นขุ่ยบางส่วน ซึ่งการหลุดออกของ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm ไม่ใช่การหลุดออกเพราะความไม่เสถียรของพันธะ แต่เป็นเพราะผลจากความเสียหายของผ้าที่ดัดแปรในระหว่างขั้นตอนการเชื่อมผ้าฝ้ายกับ β -Cyclodextrin หรือ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm เพราะในขั้นตอนดังกล่าวมีการใช้เบสแก่จึงให้ความแข็งแรงของเซลลูโลสลดลงและทำลายเส้นใยผ้า ซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสียหายแก่ผ้าที่ผ่านขั้นตอนการทำปฏิกิริยาดังกล่าวนี

จากข้อมูลข้างต้นสามารถพิสูจน์ได้ว่า Benzylated β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm ซึ่งมีการตรึงโมเลกุลของ DEET หลุดออกไปพร้อมกับกระบวนการซัก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเชื่อม β -Cyclodextrin และอนุพันธ์ คือ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายโดยผ่าน spacer arm สำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอเพื่อป้องกันยูง จากผลการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) และ $^1\text{H-NMR}$ ด้วยเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) พบว่าสามารถสังเคราะห์ β -Cyclodextrin derivative (Benzylated β -cyclodextrin) ได้โดยอาศัยปฏิกิริยา “Phase transfer catalysis”
2. สามารถเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับ spacer arm คือ 11-โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) หรือ 6-โบรโมคาโพรอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) หรือ โบรโมอะซิติก แอซิด (BrCH_2COOH) ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยา “Steglich esterification” ซึ่งสามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ได้ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)
3. จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) แสดงให้เห็นว่าสามารถเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายโดยผ่าน spacer arm โดยอาศัยปฏิกิริยา “Williamson Ether Synthesis” ได้
4. การศึกษาความสามารถในการปลดปล่อย DEET ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรพบว่ามีผลต่อการระเหยของยาไล่แมลง (DEET) สรุปได้ว่า ผ้าที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin สามารถลดการระเหยของ DEET ได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร

- 4.1 การศึกษาอิทธิพลของความยาวของ spacer arm ที่เชื่อม β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อการปลดปล่อยของสารไล่แมลง
สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) สามารถลดการระเหยของ DEET ได้ดีกว่า

ผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) และดีกว่าผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ตามลำดับ

- 4.2 การศึกษาอิทธิพลของความเป็นขั้วของ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่มีผลต่อการปลดปล่อยของสารไล่แมลง สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) สามารถลดการระเหยของ DEET ได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

5. การศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ที่ชุบด้วยยาไล่แมลงเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง สรุปได้ว่า ผ้าที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin มีความคงทนต่อการซักได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร

- 5.1 การศึกษาอิทธิพลของความยาวของ spacer arm ที่ต่อเชื่อม β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายที่มีผลต่อความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ได้ดี สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) มีความคงทนต่อการซักได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) และดีกว่าผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ตามลำดับ

- 5.2 การศึกษาอิทธิพลของความเป็นขั้วของ Benzylated β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin ที่มีผลต่อความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) สรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) มีความคงทนต่อการซักได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin หรือ β -Cyclodextrin derivative กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm โดยอาศัยปฏิกิริยา Williamson Ether Synthesis พบว่าผ้าที่ได้จากการสังเคราะห์นี้ จะมีความอ่อนแอกว่าขึ้น เช่น ผ้ามีความบางมากขึ้นและเกิดขุย เนื่องจากระหว่างการทำปฏิกิริยามีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaH) ที่เป็นเบสแก่และใช้ไดเมทิลซัลโฟไซด์ (DMSO) ที่มีการใส่โซเดียมลงไปเพื่อกำจัดความชื้น, น้ำออกก่อนจะนำมาใช้ ซึ่งทำให้ไดเมทิลซัลโฟไซด์ (DMSO) ที่มีความเป็นเบส จึงสร้างความเสียหายให้กับผ้าฝ้ายดังกล่าว ดังนั้นควรหาวิธีหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาที่มีการใช้เบสแก่หรือกรดแก่
2. เมื่อนำสารละลาย DEET ที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV พบว่าผลการทดลองที่ได้ค่อนข้างกว้าง ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย
3. ผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin และ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm นั้นมีความสามารถลดการระเหยของ DEET ได้ดี แต่จะไม่คงทนต่อการซัก (Wash fastness) ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการซักบ่อยครั้ง เช่น ผ้าปูที่นอน มุ้ง หรือเสื้อผ้าคนไข้ เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] M. Bouzitoun, R. Mlika, H. Gam, H. Ben Ouada, M. Majdoub, H. Sfihi, “A non-water-soluble modified β -cyclodextrin for sensitive electrode.” **Materials Science and Engineering**, C xx (2005) xxx – xxx.
- [2] Starks, C., Liotta, C. and Halpern, M., “**Phase-Transfer Catalysis: Fundamentals, Applications and Industrial Perspectives**” New York: Chapman & Hall, 1994, 256–300.
- [3] Robert Nouguier and Mohamed Mchich, “Alkylation of Pentaerythritol by Phase-Transfer Catalysis 2. Crucial Effect of the Aqueous Sodium Hydroxide Solution.” **Tetrahedron**, Vol.44 (1988), No. 9, 2477–2481.
- [4] S. N. Tana, R. A. Dryfe and Hubert H. Giraul, “Electrochemical Study of Phase-Transfer Catalysis Reactions: The Williamson Ether Synthesis” **Helvetica Chimica Acta**, Vol. 77 (1994), 231–244
- [5] Jinsong Guo, David W. Knapp and Stephanie Boegeman. “A practical preparation of enantiomerically pure (*R*)- and (*S*)-2-bromohexadecanoic acids.” **Tetrahedron: Asymmetry Pergamon**, Vol.11 (2000), 4105–4111.
- [6] ‘**Organic Chemistry Portal**’ [online]. Accessed 20 April 2006. Available from http://www.organic-chemistry.org/Steglich_Esterification.html
- [7] Jean-Louis Gras, Thierry Soto and Jacques Viala, “Chiral conformationally restricted arachidonic acid analogs based on a 1, 3-dioxane core.” **Tetrahedron: Asymmetry**, Vol. 10 (1999), 139–151.
- [8] ‘**Wikipedia, the free encyclopedia**’ [online]. Accessed 20 April 2006. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Williamson_ether_synthesis.html
- [9] ‘**Williamson Ether Synthesis**’ [online]. Accessed 20 April 2006. Available from <http://www.chem.ucalgary.ca/courses/351/Carey/Ch16.html>

- [10] Roberto Romi, Pierandrea Lo Nostro, Eugenio Bocci, Francesca Ridi, and Piero Baglioni, "Bioengineering of a Cellulosic Fabric for Insecticide Delivery via Grafted Cyclodextrin." **Biotechnol Prog**, Vol. 21 (2005), 1724–1730.
- [11] E.M. Martin Del Valle, "Cyclodextrins and their uses: a review." **Process Biochemistry**, Vol. 39 (2004), 1033–1046.
- [12] Martin Chaplin, **Cyclodextrins** [online]. Accessed 20 April 2006. Available from <http://www.lsbu.ac.uk/water/cyclodextrin.html>
- [13] The GNU Free Documentation License. **Cyclodextrin** [online]. Accessed 20 April 2006. Available from <http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclodextrins>
- [14] Szejtli J., **Cyclodextrin Technology**, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988, 319-331.
- [15] กิตติพัฒน์ เล่งเจริญ เฟื่องฉัตร ชรรมรักษ์เจริญ สิริวัฒน์ เลขะวัฒนะ, การศึกษาการพัฒนาพอลิเมอร์เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ตรินเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม, ปรินูญานิพนธ์ นักศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548
- [16] C.X. Wang and Sh.L. Chen, "Surface treatment of cotton using β -cyclodextrins sol-gel method" **Applied Surface Science**, Vol. 252 (2006), 6348–6352
- [17] József Szejtli, "Past, present, and future of cyclodextrin research" **Pure Appl. Chem.**, Vol. 76 (2004), No. 10, 1825–1845
- [18] J. Szejtli and L. Szenté, "Elimination of bitter, disgusting tastes of drugs and foods by cyclodextrins." **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, Vol. 61 (2005), 115–125.
- [19] József Szejtli, "Cyclodextrins in the textile industry." **Starch/Stärke**, Vol. 55 (2003), 191–196.
- [20] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, วิทยาศาสตร์เส้นใย, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ ฯ, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543, หน้า 96-107
- [21] คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [online]. Accessed 20 April 2006. Available from <http://www.pharm.chula.ac.th/vichien/morpho45/seed.htm>

- [22] Textile Museum, Naresuan University, **หนังสือผ้าไทย** [online]. Accessed 20 April 2006. Available from http://www.thaitextilemuseum.com/Thai/A_2/B_7/COTTON/cotton.html
- [23] กิตติคุณ จ๋อนเจริญ ปิยาณี ลัมโสภารธรรม ศันสนีย์ พันธุ์วิชัย, **การพัฒนาวัสดุแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับใช้ป้องกันเสื้อผ้าจากการเปื้อนสีในกระบวนการซัก**, ปรินญาณพนธ์ นักศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548.
- [24] **Dr. James E. Rodgers III**, Welcome to the Cotton Structure and Quality Research Unit Website [online]. Accessed 20 April 2006. Available from http://www.ars.usda.gov/main/site_main.html
- [25] Kennedy, J.F., **Cellulose and its derivatives: chemistry, biochemistry and application**, England: Ellis Horwood Limited, 1985, 273–280.
- [26] นายเพิ่มเกียรติ อ้นสา, น.ส. อมรรัตน์ เสนน้อย, น.ส. ทิพวรรณ เลิกนอก. **พื้นฐานวิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม (Basic Environmental Health Science)** [online]. Accessed 20 April 2006. Available from <http://www.sut.ac.th/e-texts/Medicine/behs/lesson6/lesson6-2.html>
- [27] สิวิกา แสงธาราทิพย์, **สำนักโรคติดต่อนำโดยแมลง. ยุงลายพาหะนำโรคไข้เลือดออก** [online]. Accessed 20 April 2006. Available from <http://dhf.ddc.moph.go.th/>
- [28] วรรณภา สุวรรณเกิด, **ยุงก้นปล่องพาหะของโรคมะเร็งเรื้อรัง, สำนักงานควบคุมโรคติดต่อ นำโดยแมลงที่ 2 เชิงใหม่ กรมควบคุมโรคติดต่อ.** [online]. Accessed 20 April 2006. Available from http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_nih/a_nihR_search.asp?info_id=123
- [29] Margaret Brown, MD, and Adelaide A. Hebert, MD., “CLINICAL REVIEW; Insect repellents: An overview.” **Journal of the American Academy of Dermatology**, Vol. 36, Number 2, Part 1, 243–249.
- [30] **'ChemicalLAND21.com'** [online]. Accessed 20 April 2006. Available from <http://www.chemicaland21.com/lifescience/agro/N,N-DIETHYL-M-TOLUAMIDE.html>
- [31] Santo Scalia, Rosanna Tursilli, Anna Bianchi, Pierandrea Lo Nostro, Eugenio Bocci, Francesca Ridi and Piero Baglioni, “Incorporation of the sunscreen agent, octyl

methoxycinnamate in a cellulosic fabric grafted with β -cyclodextrin.”

International Journal of Pharmaceutics, Vol. 308 (2006), 155–159.

- [32] Roberto Romi, Pierandrea Lo Nostro, Eugenio Bocci, Francesca Ridi, and Piero Baglioni, “Bioengineering of a Cellulosic Fabric for Insecticide Delivery via Grafted Cyclodextrin.” **Biotechnol Prog**, Vol. 21 (2005), 1724–1730.
- [33] Pierandrea Lo Nostro, Laura Fratoni, Francesca Ridi and Piero Baglioni, “Surface treatments on tencel fabric: Grafting with β -Cyclodextrin.” **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 88 (2003), 706–715.
- [34] Myung Hak Lee, Kee Jong Yoon and Sohk Won Ko, “Grafting onto cotton fiber with acrylamidomethylated β -Cyclodextrin and its Application.” **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 78 (2000), 1986–1991.
- [35] Myung Hak Lee, Kee Jong Yoon and Sohk Won Ko, “Synthesis of a vinyl monomer containing β -Cyclodextrin and grafting onto cotton fiber.” **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 80 (2001), 438–446.
- [36] B. Martel, M. Weltrowski, D. Ruffin and M. Morcellet, “Polycarboxylic Acids as crosslinking agents for grafting Cyclodextrins onto cotton and wool fabrics: Study of the process parameters.” **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 83 (2002), 1449–1456.
- [37] B. Voncina, A. Majcen and Le Marechal, “Grafting of cotton with β -Cyclodextrin via poly(carboxylic acid).” **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 96 (2005), 1323–1328.

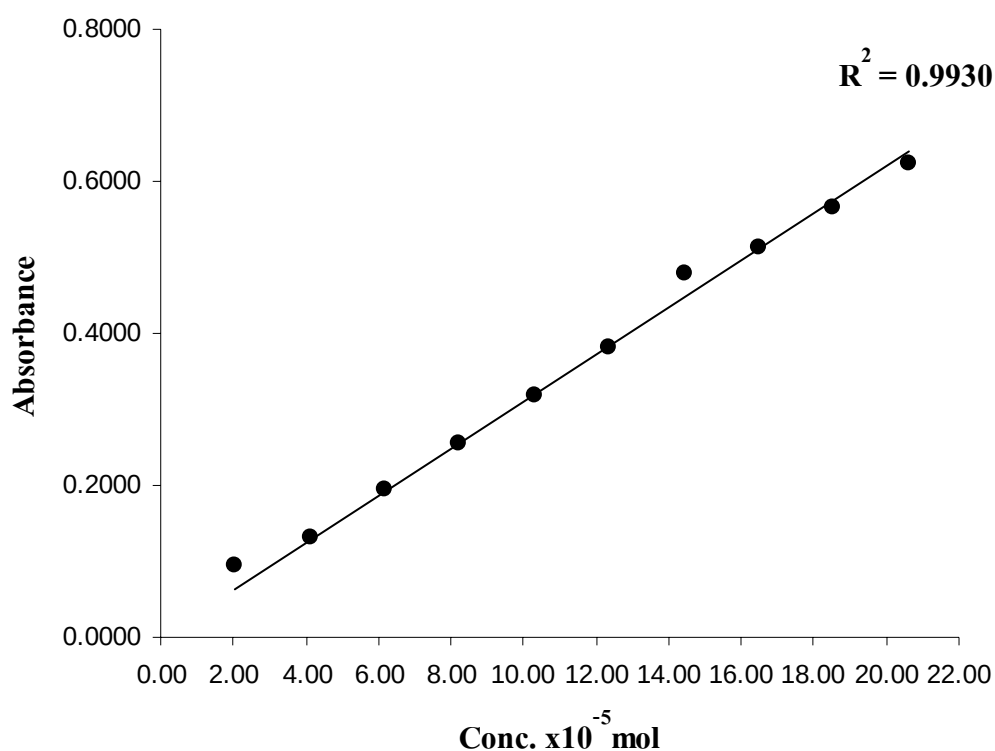
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

การศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงและความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin derivative เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรนั้น ต้องมีการสร้าง Calibration curve ของ DEET รวมถึงต้องทำ Calibration curve โดยจะต้องหา Absorbance ของ DEET ในตัวทำละลายเอทานอลก่อน จากนั้นจึงทำการปรับความเข้มข้นของสารละลาย DEET ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อนำกราฟที่ได้ไปเทียบกับสารละลาย DEET ที่สกัดด้วยเอทานอลจากผ้าทั้งที่ดัดแปรและไม่ได้ดัดแปรที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงและความคงทนต่อการซัก (wash fastness) แล้ว

ค่า Absorbance ของ DEET ในตัวทำละลายเอทานอลวัดที่ความยาวคลื่นที่ 238.00 nm



รูปที่ ก.1 กราฟ Calibration curve

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงและความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) จะใช้จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลอง แต่ค่าที่ได้จากเครื่อง UV/ Visible Spectrophotometer จะเป็นค่า Absorbance เทียบกับความเข้มข้น จึงมีการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตาราง ก.1 แสดงความเข้มข้นของ DEET x 10^{-5} (mol/l) ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตัดแปรจากการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลง โดยเทียบกับ Calibration curve แล้ว

ระยะเวลา	ความเข้มข้นของ DEET x 10^{-5} (mol/l)			
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	19.4804	19.5968	19.9212	19.6661
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.1895	0.0000	0.0000	0.0632
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
วันเริ่มต้น	19.6699	19.5968	19.9212	19.7293
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	8.4965	8.6664	9.7613	8.9747
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.4604	0.4285	0.2379	0.3756
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
5 วันผ่านไป	8.9569	9.0949	9.9992	9.3503
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	2.8129	3.6884	5.7938	4.0984
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
10 วันผ่านไป	2.8129	3.6884	5.7938	4.0984
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	1.1011	1.5862	2.4308	1.7060
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	-	-	-	-
15 วันผ่านไป	1.1011	1.5862	2.4308	1.7060

แต่การสกัด DEET ด้วยเอทานอลใช้ปริมาตร 30 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรให้กลายเป็น 50 มิลลิลิตร จึงต้องเปลี่ยนปริมาตรที่ใช้และแปลงความเข้มข้นให้กลายเป็นจำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol) คือ

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1

มีความเข้มข้นของ DEET = 19.4804×10^{-5} mol/l

ดังนั้น จะมีจำนวนโมลของ DEET

$$= \frac{19.4804 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 50 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 0.9740 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2

มีความเข้มข้นของ DEET = 0.1895×10^{-5} mol/l

จะมีจำนวนโมลของ DEET

$$= \frac{0.1895 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 50 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 0.0095 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น

ดังนั้น จะมีจำนวนโมลของ DEET

= จำนวนโมลของ DEET ของชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น
สกัดครั้งที่ 1 + จำนวนโมลของ DEET ของชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วัน
เริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2

$$= 0.9740 \times 10^{-5} \text{ mol} + 0.0095 \times 10^{-5} \text{ mol} = 0.9836 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

ตาราง ก.2 แสดงจำนวนโมลของ DEET x 10^{-5} (mol) ที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรจากการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลง

ระยะเวลา	จำนวน โมลของ DEET x 10^{-5} (mol)			
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	0.9740	0.9798	0.9961	0.9833
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.0095	0.0000	0.0000	0.0032
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
วันเริ่มต้น	0.9835	0.9798	0.9961	0.9865
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	0.4248	0.4333	0.4881	0.4487
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0230	0.0214	0.0119	0.0188
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
5 วันผ่านไป	0.4478	0.4547	0.5000	0.4675
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	0.1406	0.1844	0.2897	0.2049
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
10 วันผ่านไป	0.1406	0.1844	0.2897	0.2049
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	0.0551	0.0793	0.1215	0.0853
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	-	-	-	-
15 วันผ่านไป	0.0551	0.0793	0.1215	0.0853

จากนั้นนำจำนวนโมลของ DEET (mol) ที่ได้จากการสกัดผ้าที่มีน้ำหนักต่าง ๆ เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม เช่น

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1

มีน้ำหนัก = 0.045 กรัม มีจำนวนโมลของ DEET = 0.9740×10^{-5} mol

ดังนั้นถ้าชิ้นงานที่ 1 มีน้ำหนัก 1 กรัม จะมีจำนวนโมลของ DEET

$$= \frac{0.9740 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 1 \text{ g.}}{0.045 \text{ g.}} = 21.6449 \times 10^{-5} \text{ mol / ผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม}$$

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2

มีน้ำหนัก = 0.045 กรัม มีจำนวนโมลของ DEET = 0.9740×10^{-5} mol

ถ้าชิ้นงานที่ 1 มีน้ำหนัก 1 กรัม จะมีจำนวนโมลของ DEET

$$= \frac{0.0095 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 1 \text{ g.}}{0.045 \text{ g.}} = 0.2106 \times 10^{-5} \text{ mol / ผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม}$$

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น

ดังนั้นถ้าชิ้นงานที่ 1 มีน้ำหนัก 1 กรัม

จะมีจำนวนโมลของ DEET = จำนวนโมลของ DEET ของชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1 + จำนวนโมลของ DEET ของชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2

$$= 21.6449 \times 10^{-5} \text{ mol} + 0.2106 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$$= 21.8555 \times 10^{-5} \text{ mol / ผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม}$$

ตาราง ก.3 แสดงจำนวนโมลของ DEET x 10^{-5} (mol) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตัดแปรจากการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลง

ระยะเวลา	จำนวน โมลของ DEET x 10^{-5} (mol)			
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	21.6449	21.7139	21.6183	21.6587
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.2106	0.0000	0.0000	0.0696
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
วันเริ่มต้น	21.8555	21.7139	21.6183	21.7283
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	9.4405	9.6027	10.5928	9.8841
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.5116	0.4748	0.2582	0.4137
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
5 วันผ่านไป	9.9521	10.0775	10.8510	10.2977
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	3.1255	4.0869	6.2873	4.5136
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
10 วันผ่านไป	3.1255	4.0869	6.2873	4.5136
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	1.2234	1.7576	2.6379	1.8789
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	-	-	-	-
15 วันผ่านไป	1.2234	1.7576	2.6379	1.8789

แล้วนำจำนวนโมลของ DEET (mol) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม มาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยให้ผลรวมของจำนวนโมลของ DEET (mol) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมของวันเริ่มต้นเป็นค่าจำนวนโมลของ DEET (mol)

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1

มีจำนวนโมลของ DEET เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม = 21.6449×10^{-5} mol

ดังนั้น จะมีเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)

$$= \frac{21.6449 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 100 \%}{21.8555 \times 10^{-5} \text{ mol}} = 99.04 \%$$

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 2

จะมีเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)

$$= \frac{0.2106 \times 10^{-5} \text{ mol} \times 100 \%}{21.8555 \times 10^{-5} \text{ mol}} = 0.96 \%$$

ชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น

ดังนั้น จะมีเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)

= เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ของชิ้นงานที่ 1 ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร
วันเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 + เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ของชิ้นงานที่ 1 ของผ้า
ฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร วันเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 2

$$= 99.04 \% + 0.96 \% = 100 \%$$

ตาราง ก.4 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%) เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัมที่สกัดได้จากผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรจากการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลง

ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)			
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	99.04	100.00	100.00	99.68
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.96	0.00	0.00	0.32
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
วันเริ่มต้น	100.00	100.00	100.00	100.00
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	43.20	44.22	49.00	45.49
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.34	2.19	1.19	1.90
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
5 วันผ่านไป	45.54	46.41	50.19	47.39
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	14.30	18.82	29.08	20.77
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.00	0.00	0.00	0.00
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
10 วันผ่านไป	14.30	18.82	29.08	20.77
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	5.60	8.09	12.20	8.65
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.00	0.00	0.00	0.00
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	-	-	-	-
15 วันผ่านไป	5.60	8.09	12.20	8.65

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลองการศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยยาไล่แมลง (DEET)
ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin derivatives
กับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่มีผลต่อการระเหยของยาไล่แมลง (DEET)

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	จำนวนโมลของ DEET x 10 ⁻⁵ (mol)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	21.6449	21.7139	21.6183	21.6587	0.0494
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.2106	0.0000	0.0000	0.0696	0.1216
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
วันเริ่มต้น	21.8555	21.7139	21.6183	21.7283	0.1193
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	9.4405	9.6027	10.5928	9.8841	0.6238
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.5116	0.4748	0.2582	0.4137	0.1369
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
5 วันผ่านไป	9.9521	10.0775	10.8510	10.2977	0.4869
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	3.1255	4.0869	6.2873	4.5136	1.6209
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
10 วันผ่านไป	3.1255	4.0869	6.2873	4.5136	1.6209
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	1.2234	1.7576	2.6379	1.8789	0.7143
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	-	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	-	-	-	-	-
15 วันผ่านไป	1.2234	1.7576	2.6379	1.8789	0.7143

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวน โมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	99.04	100.00	100.00	99.68	0.56
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.96	0.00	0.00	0.32	0.56
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
วันเริ่มต้น	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	43.20	44.22	49.00	45.49	3.10
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.34	2.19	1.19	1.90	0.62
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
5 วันผ่านไป	45.54	46.41	50.19	47.39	2.48
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	14.30	18.82	29.08	20.77	7.57
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
10 วันผ่านไป	14.30	18.82	29.08	20.77	7.57
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	5.60	8.09	12.20	8.65	3.33
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	-	-	-	-	-
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	-	-	-	-	-
15 วันผ่านไป	5.60	8.09	12.20	8.65	3.33

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไโด้แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	จำนวน โมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	23.3731	22.3834	23.5499	23.0834	0.6286
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	1.7136	0.9309	1.2054	1.2727	0.3971
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	1.8938	0.9138	1.1778	1.3158	0.5071
วันเริ่มต้น	26.9804	24.2282	25.9330	25.6719	1.3891
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	10.8096	11.8397	10.7870	11.1638	0.6013
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.6457	1.8134	2.4261	2.2817	0.4313
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.7866	0.9708	1.3830	1.3683	0.4079
5 วันผ่านไป	15.2418	14.6239	14.5961	14.8139	0.3650
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	8.3301	9.9251	9.0165	9.1143	0.8001
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.0041	0.9580	1.8088	1.5730	0.5562
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.5535	0.8112	1.2437	1.1917	0.3729
10 วันผ่านไป	11.8877	11.6942	12.0690	11.8790	0.1874
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	3.3355	5.2163	5.1063	4.5744	1.0556
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.7094	1.7378	2.4460	2.2822	0.5025
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.8938	1.3814	1.5071	1.5875	0.2670
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	1.1993	0.8468	1.1196	1.0495	0.1849
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	1.3594	0.7042	0.9527	0.9965	0.3307
15 วันผ่านไป	10.4973	9.8866	11.1317	10.4902	0.6226

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไโลแมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จำนวน โมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	86.63	92.39	90.81	89.92	2.97
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	6.35	3.84	4.65	4.96	1.28
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	7.02	3.77	4.54	5.13	1.70
วันเริ่มต้น	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	40.06	48.87	41.60	43.49	4.70
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	9.81	7.48	9.36	8.89	1.23
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	6.62	4.01	5.33	5.33	1.31
5 วันผ่านไป	56.49	60.36	56.28	57.70	2.29
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	30.87	40.96	34.77	35.50	5.09
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	7.43	3.95	6.97	6.13	1.89
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	5.76	3.35	4.80	4.64	1.21
10 วันผ่านไป	44.06	48.27	46.54	46.27	2.11
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	12.36	21.53	19.69	17.82	4.85
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	10.04	7.17	9.43	8.89	1.51
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	7.02	5.70	5.81	6.18	0.73
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	4.45	3.50	4.32	4.09	0.52
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	5.04	2.91	3.67	3.88	1.08
15 วันผ่านไป	38.91	40.81	42.92	40.86	2.01

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไโด้แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	จำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	21.5325	22.2097	21.4406	21.7182	0.4200
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.8020	0.8990	0.5089	0.7324	0.2031
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	0.4575	0.5452	0.4160	0.4714	0.0660
วันเริ่มต้น	22.7920	23.6540	22.3655	22.9220	0.6564
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	8.6403	8.4269	11.6852	9.6187	1.8228
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	1.7506	2.0477	1.3138	1.6958	0.3692
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.3694	1.8762	0.0000	1.0612	0.9706
5 วันผ่านไป	11.7603	12.3508	12.9990	12.3757	0.6196
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	6.9498	6.3163	7.9598	7.0938	0.8289
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	1.5571	2.0477	1.3981	1.6599	0.3386
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.1861	1.8716	0.9206	1.3148	0.4907
10 วันผ่านไป	9.6930	10.2357	10.2786	10.0685	0.3264
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	4.3751	2.4797	4.4488	3.7921	1.1162
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	1.0762	1.8992	0.8134	1.2500	0.5665
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.1319	1.1487	0.5947	0.9526	0.3151
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	1.0674	1.3432	0.7777	1.0563	0.2828
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	0.8299	0.7796	0.5318	0.7112	0.1596
15 วันผ่านไป	8.4805	7.6503	7.1664	7.7622	0.6646

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	94.47	93.89	95.86	94.75	1.01
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	3.52	3.80	2.28	3.20	0.81
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	2.01	2.31	1.86	2.06	0.23
วันเริ่มต้น	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	37.91	35.63	52.25	41.96	9.01
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	7.68	8.66	5.87	7.40	1.41
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	6.01	7.93	0.00	4.63	4.14
5 วันผ่านไป	51.60	52.21	58.12	53.99	3.60
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	30.49	26.70	35.59	30.95	4.46
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	6.83	8.66	6.25	7.24	1.26
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	5.20	7.91	4.12	5.74	1.95
10 วันผ่านไป	42.53	43.27	45.96	43.93	1.80
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	19.20	10.48	19.89	16.54	5.24
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	4.72	8.03	3.64	5.45	2.29
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	4.97	4.86	2.66	4.16	1.30
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	4.68	5.68	3.48	4.61	1.10
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	3.64	3.30	2.38	3.10	0.65
15 วันผ่านไป	37.21	32.34	32.04	33.86	2.90

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไโม่แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	จำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	18.4828	18.4951	18.4979	18.4919	0.0080
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	2.0239	1.1611	1.3763	1.5197	0.4491
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	0.6686	0.6742	0.8970	0.7466	0.1303
วันเริ่มต้น	21.1752	20.3303	20.7713	20.7582	0.4226
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	3.2556	4.1245	4.0945	3.8256	0.4932
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.7391	2.1814	2.3575	2.4255	0.2851
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.8161	1.5866	1.7880	1.7300	0.1252
5 วันผ่านไป	7.8108	7.8924	8.2400	7.9811	0.2279
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	3.4258	3.5013	3.6662	3.5311	0.1230
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.4184	2.5469	2.1502	2.3720	0.2024
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.6519	0.6547	1.0277	1.1106	0.5038
10 วันผ่านไป	7.4961	6.7029	6.8441	7.0137	0.4231
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	2.3672	2.8046	2.3846	2.5192	0.2477
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	1.5149	1.4278	1.2636	1.4020	0.1276
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.2002	0.9498	1.1510	1.1001	0.1326
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	0.6023	0.8794	1.0142	0.8322	0.2100
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	0.6114	0.5049	0.5019	0.5393	0.0624
15 วันผ่านไป	6.2960	6.5665	6.3152	6.3928	0.1510

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไโด้แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	87.28	90.97	89.06	89.08	1.84
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	9.56	5.71	6.63	7.32	2.01
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	3.16	3.32	4.32	3.60	0.63
วันเริ่มต้น	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	15.37	20.29	19.71	18.43	2.69
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	12.94	10.73	11.35	11.68	1.14
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	8.58	7.80	8.61	8.33	0.46
5 วันผ่านไป	36.89	38.82	39.67	38.45	1.43
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	16.18	17.22	17.65	17.01	0.76
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	11.42	12.53	10.35	11.43	1.09
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	7.80	3.22	4.95	5.35	2.31
10 วันผ่านไป	35.40	32.97	32.95	33.79	1.41
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	11.18	13.80	11.48	12.14	1.43
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	7.15	7.02	6.08	6.75	0.58
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	5.67	4.67	5.54	5.30	0.54
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	2.84	4.33	4.88	4.01	1.05
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	2.89	2.48	2.42	2.60	0.25
15 วันผ่านไป	29.73	32.30	30.40	30.80	1.33

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไโด้แมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	จำนวน โมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	17.7652	17.6887	17.9328	17.7943	0.1248
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	0.9430	1.0490	1.3733	1.1187	0.2242
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	0.6383	0.8425	0.8951	0.7902	0.1357
วันเริ่มต้น	19.3465	19.5803	20.2012	19.7032	0.4417
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	3.5435	4.0878	3.5038	3.7122	0.3263
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.3173	1.8490	1.8171	1.9979	0.2800
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.4059	1.5194	1.6672	1.5290	0.1310
5 วันผ่านไป	7.2668	7.4561	6.9881	7.2391	0.2354
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	3.3020	3.0944	2.6987	3.0360	0.3065
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	2.2325	1.7670	2.1694	2.0566	0.2525
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	0.9574	1.1164	1.6867	1.2483	0.3835
10 วันผ่านไป	6.4919	5.9778	6.5548	6.3409	0.3166
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	2.2914	2.2798	2.2444	2.2722	0.0245
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	1.6029	1.6659	1.1904	1.4894	0.2582
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	1.1860	1.2263	1.0960	1.1701	0.0667
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	0.2329	0.2930	0.5427	0.3540	0.1643
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	0.1639	0.1744	0.5247	0.2851	0.2054
15 วันผ่านไป	5.4770	5.6394	5.5983	5.5708	0.0844

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาไโลแมลงของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

ระยะเวลา	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	เฉลี่ย	
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 1	91.83	90.34	88.77	90.31	1.53
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 2	4.87	5.36	6.80	5.68	1.00
วันเริ่มต้น สกัดครั้งที่ 3	3.30	4.30	4.43	4.01	0.62
วันเริ่มต้น	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	18.32	20.88	17.34	18.84	1.82
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	11.98	9.44	9.00	10.14	1.61
5 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	7.27	7.76	8.25	7.76	0.49
5 วันผ่านไป	37.56	38.08	34.59	36.74	1.88
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	17.07	15.80	13.36	15.41	1.89
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	11.54	9.02	10.74	10.44	1.29
10 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	4.95	5.70	8.35	6.34	1.79
10 วันผ่านไป	33.56	30.53	32.45	32.18	1.53
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 1	11.84	11.64	11.11	11.53	0.38
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 2	8.29	8.51	5.89	7.56	1.45
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 3	6.13	6.26	5.43	5.94	0.45
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 4	1.20	1.50	2.69	1.80	0.79
15 วันผ่านไป สกัดครั้งที่ 5	0.85	0.89	2.60	1.45	1.00
15 วันผ่านไป	28.31	28.80	27.71	28.27	0.55

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดลองการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness)
ของผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -Cyclodextrin และ β -Cyclodextrin derivatives ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง
เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง (DEET)

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	จำนวนโมลของ DEET x 10 ⁻⁵ (mol)				SD
	ซั้่งงานที่ 1	ซั้่งงานที่ 2	ซั้่งงานที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	41.4794	41.3556	41.4826	41.4391	0.0724
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.1238	0.0000	0.0413	0.0715
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
ไม่ผ่านการซัก	41.4794	41.4794	41.4826	41.4804	0.0019
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	0.4724	0.3191	0.3065	0.3661	0.0924
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	0.4724	0.3191	0.3065	0.3661	0.0924

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ซั้่งงานที่ 1	ซั้่งงานที่ 2	ซั้่งงานที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	100.00	99.70	100.00	99.90	0.17
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	0.00	0.30	0.00	0.10	0.17
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
ไม่ผ่านการซัก	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	1.14	0.77	0.74	0.88	0.22
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	-	-	-	-	-
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	1.14	0.77	0.74	0.88	0.22

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	จำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	48.4261	52.6060	53.1460	51.4066	2.5833
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	1.4564	1.2073	1.4339	1.3656	0.1378
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	0.9201	0.6558	0.6535	0.7423	0.1533
ไม่ผ่านการซัก	50.8026	54.4691	55.2334	53.5145	2.3685
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	1.2908	1.3116	1.3560	1.3196	0.0333
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	1.1267	0.9583	1.0545	1.0462	0.0845
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.0000	0.3576	0.4097	0.2570	0.2230
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	2.4175	2.6275	2.8202	2.6228	0.2014

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ Benzylated β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	95.32	96.58	96.22	96.06	0.65
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	2.87	2.22	2.60	2.55	0.33
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	1.81	1.20	1.18	1.39	0.36
ไม่ผ่านการซัก	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	2.54	2.41	2.46	2.47	0.07
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	2.22	1.76	1.91	1.96	0.23
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.00	0.66	0.74	0.48	0.41
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	4.76	4.82	5.11	4.90	0.18

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	จำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	50.7791	52.4110	49.8990	51.0320	1.2746
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	1.4871	0.2623	0.3293	0.6857	0.6886
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ไม่ผ่านการซัก	52.2663	52.6733	50.2284	51.7177	1.3100
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	1.4871	1.7506	1.6608	1.6342	0.1340
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	0.9069	0.5888	0.8368	0.7763	0.1672
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	2.3941	2.3394	2.4977	2.4105	0.0804

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวที่สุด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	97.15	99.50	99.34	98.67	1.31
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	2.85	0.50	0.66	1.33	1.31
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม่ผ่านการซัก	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	2.85	3.32	3.31	3.16	0.27
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	1.74	1.12	1.67	1.50	0.34
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	4.58	4.44	4.97	4.66	0.28

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	จำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	47.8575	47.2897	48.5398	47.8962	0.6259
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	0.9962	1.1584	0.9919	1.0495	0.0949
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ไม่ผ่านการซัก	48.8537	48.4481	49.5317	48.9457	0.5475
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	0.5319	1.6000	0.8762	1.0090	0.5452
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	0.5598	0.8550	0.7478	0.7230	0.1494
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	1.0917	2.4551	1.6240	1.7321	0.6871

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่ยาวปานกลาง ($\text{Br}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$) ที่ชุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมล ของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	97.96	97.61	98.00	97.86	0.21
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	2.04	2.39	2.00	2.14	0.21
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม่ผ่านการซัก	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	1.09	3.30	1.77	2.06	1.13
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	1.15	1.76	1.51	1.48	0.31
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	2.23	5.07	3.28	3.54	1.43

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ที่หุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นจำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	จำนวนโมลของ DEET $\times 10^{-5}$ (mol)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	44.9443	43.2086	46.0478	44.7488	1.4313
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	0.9829	1.5571	1.1132	1.2143	0.3011
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	0.5462	0.6700	0.0000	0.4028	0.3565
ไม่ผ่านการซัก	46.4734	45.4357	47.1610	46.3659	0.8685
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	1.0050	0.8700	1.0439	0.9740	0.0913
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	0.4727	0.3929	0.4547	0.4406	0.0419
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	1.4778	1.2629	1.4986	1.4146	0.1305

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลจากการศึกษาความคงทนต่อการซัก (Wash fastness) ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -Cyclodextrin ด้วย spacer arm ที่สั้นที่สุด (BrCH_2COOH) ที่หุบด้วยยาไล่แมลง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET ที่สกัดได้เทียบกับผ้าฝ้ายน้ำหนัก 1 กรัม

กระบวนการซัก	เปอร์เซ็นต์จำนวนโมลของ DEET (%)				SD
	ซักรุ่นที่ 1	ซักรุ่นที่ 2	ซักรุ่นที่ 3	เฉลี่ย	
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 1	96.71	95.10	97.64	96.51	1.29
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 2	2.11	3.43	2.36	2.62	0.70
ไม่ผ่านการซัก สกัดครั้งที่ 3	1.18	1.47	0.00	0.87	0.78
ไม่ผ่านการซัก	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 1	2.16	1.91	2.21	2.10	0.16
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 2	1.02	0.86	0.96	0.95	0.08
ผ่านการซัก 1 ครั้ง สกัดครั้งที่ 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ่านการซัก 1 ครั้ง	3.18	2.78	3.18	3.05	0.23

ภาคผนวก ง

การนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบเผยแพร่ในที่สาธารณะ

ผู้วิจัยได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการ ดังนี้

1. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1 เรื่อง “บัณฑิตศึกษาเพื่อการพัฒนาประเทศไทย” (1st Grad Research Symposium “Graduate Studies for Thailand Development”)

30 – 31 มกราคม 2550 อาคารบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลาชา
โดยนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์



P09 Binding of β -cyclodextrin, β -cyclodextrin derivative with cotton fabrics for textile application.
Piyanee Limsophathum^{*}, Wanchai Lerdwijitjarud, and Amnard Sittattrakul
 Department of Materials Science and Engineering
 Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Abstract
 The aim of this research is to bind β -cyclodextrin and benzylated β -cyclodextrin onto cotton fabrics via spacer arm. β -Cyclodextrins is interesting to modify the surface of cotton for functional textile. Encapsulation process helps to increase oxidation, hydrolysis, photochemical resistance and reduce rate of evaporation of molecule which is in the narrow cavity of cyclodextrin. β -Cyclodextrin is used in textile technology as a controlled release of perfume or insect repellent and eliminated sweat smell. In addition, modification of β -cyclodextrin may help to increase the ability of β -cyclodextrin to entrap hydrophobic molecules more strongly.

Introduction
 Cyclodextrins are cyclic oligosaccharides which are produced from degradation of starch by Cyclodextrins Glucanotransferase (CGTase). They consist of glucopyranose linked by α -(1,4) glucosidic bond. There are three types: α -cyclodextrin, β -cyclodextrin and γ -cyclodextrin, contained 6, 7 and 8 glucopyranose units respectively. The most important characteristic of cyclodextrins is its doughnut-like shape. Its inner narrow cavity is hydrophobic that can entrap hydrophobic molecules. [1], [2].

Methodology
 The benzylated β -cyclodextrin was obtained from the reaction between β -cyclodextrin and benzyl chloride by using phase transfer catalyst. Then β -cyclodextrin and β -cyclodextrin derivative were reacted with spacer reagent by using Steglich esterification reaction. The obtained β -cyclodextrin and β -cyclodextrin derivative products were bound onto cotton fabrics by using Williamson etherification reaction.

Results and Discussion
Synthesis of benzylated β -cyclodextrin
 The FTIR spectra of benzylated β -cyclodextrin indicated peaks at wave number 3030 cm^{-1} , 3063 cm^{-1} , 3088 cm^{-1} ($=\text{C}-\text{H}$ stretching), 1605 cm^{-1} ($\text{C}-\text{C}$ ring stretching) and 913 cm^{-1} , 860 cm^{-1} ($=\text{C}-\text{H}$ bending) (Figure 1). The $^1\text{H-NMR}$ spectrum of benzylated group appeared at δ 7.3-7.1 ppm as shown in Figure 2.

Binding of cotton fabrics and β -cyclodextrin, benzylated β -cyclodextrin with spacer arm
 The FTIR spectra of functionalized cotton fabrics in Figure 4 indicated the binding between β -cyclodextrin and cotton fabrics via spacer arm ($\text{Br}(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$) which showed the carbonyl ester group absorption at 1738 cm^{-1} that linked between β -cyclodextrin and cotton. In addition, thermal analysis confirmed that the decreased weight loss of fabric bound with β -cyclodextrin showed two step loss of weight at temperature 290°C-370°C and 445°C-525°C that was different from cotton fabric which had only one step loss of weight at 335°C-385°C (Figure 5). Thermal analysis of fabric bound benzylated β -cyclodextrin was similar to fabric bound β -cyclodextrin as two step weight loss at 330°C-380°C and 480°C-540°C (Figure 6). It showed that this modified fabric was more resistant to heat than the fabric bound β -cyclodextrin.

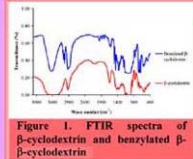


Figure 1. FTIR spectra of β -cyclodextrin and benzylated β -cyclodextrin

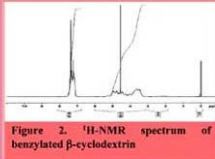


Figure 2. $^1\text{H-NMR}$ spectrum of benzylated β -cyclodextrin

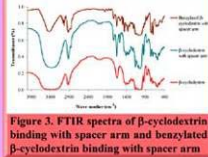


Figure 3. FTIR spectra of β -cyclodextrin binding with spacer arm and benzylated β -cyclodextrin binding with spacer arm

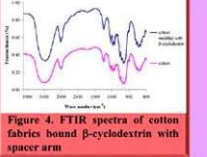


Figure 4. FTIR spectra of cotton fabrics bound β -cyclodextrin with spacer arm

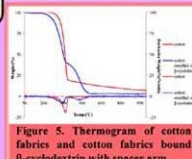


Figure 5. Thermogram of cotton fabrics and cotton fabrics bound β -cyclodextrin with spacer arm

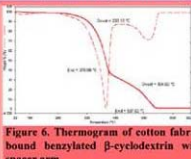


Figure 6. Thermogram of cotton fabrics bound benzylated β -cyclodextrin with spacer arm

Conclusions
 The results indicated that β -cyclodextrin and β -cyclodextrin derivative could be successfully bound onto cotton fabrics via spacer arm. These fabrics could be used to encapsulate some chemicals such as perfume or insect repellent and used for control release of fragrance smell or insecticide for a long period of time in textile application.

References
 [1] Szejtli J., *Cyclodextrin Technology*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1988, pp. 319-331.
 [2] József Szejtli, *Cyclodextrins in the Textile Industry*, *Search Science* 55 (2003) 191-196.

การเชื่อม β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอ

Binding of β -cyclodextrin, β -cyclodextrin derivative with cotton fabrics for textile application.

ปิยาณี ลิ้มโสภารธรรม*, วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และ อำนาจ สิทัตตตระกูล

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: งานวิจัยนี้จะศึกษาการเชื่อม β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin กับผ้าฝ้ายโดยใช้ spacer reagent **วิธีการวิจัย:** ทำการสังเคราะห์ benzylated β -cyclodextrin จาก β -cyclodextrin กับ benzyl chloride โดยทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่ใช้ phase transfer catalyst จากนั้นทำการเชื่อม β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับ spacer reagent โดยอาศัยปฏิกิริยา Steglich esterification ก่อนจะนำไปเชื่อมต่อกับผ้าฝ้าย **ผลการศึกษา:** จากผลการวิเคราะห์ด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และ Nuclear Magnetic Resonance (NMR) พบว่าสามารถสังเคราะห์ benzylated β -cyclodextrin ได้และพบว่าสามารถเชื่อม β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับ $\text{Br}(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ (spacer reagent) ได้ จากนั้นนำสารที่ได้ไปต่อเชื่อมกับผ้าฝ้าย ซึ่งจากผลของ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) พบว่าสามารถต่อเชื่อม β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายได้ **สรุป:** จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถเชื่อม β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายโดยใช้ spacer arm ได้ ซึ่งสามารถนำไปทำให้เกิด encapsulation กับสารเคมีบางประเภท เช่น น้ำหอมหรือสารไล่แมลง เพื่อใช้ในงานด้านสิ่งทอในการช่วยควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นหอมหรือสารฆ่าแมลงเป็นระยะเวลานาน ๆ ได้

บทนำ

ไซโคลเดกซ์ทริน(Cyclodextrins) เป็น Cyclic oligosaccharides ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งของจุลินทรีย์ Cyclodextrins Glucanotransferase (CGTase) โดยในวงของ oligosaccharides นี้จะประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคไพราโนส (Glucopyranose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha - (1, 4)$ glucosidic linkage ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ $\alpha -$ Cyclodextrin, $\beta -$ Cyclodextrin และ γ -Cyclodextrin ซึ่งมีกลูโคไพราโนส 6, 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ โมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทรินที่ได้รับความนิยมสนใจนำไปดัดแปรพื้นผิวของผ้าฝ้ายเพื่อใช้เป็น functional textile คือ β -Cyclodextrin [1], [2] ลักษณะเด่นของไซโคลเดกซ์ทริน (CDs) คือ มีลักษณะคล้ายโดนัท (doughnut – like) และจะยอมให้โมเลกุลของสารอื่นที่ไม่มีขั้วไปจับอยู่ในช่องแคบตรงกลางที่มีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วน

ด้านนอกของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophilic [3] กระบวนการ encapsulation จะทำให้โมเลกุลที่จับอยู่ในช่องแคบตรงกลางมีสมบัติที่ต้านทานการเกิดออกซิเดชัน, ไฮโดรไลซิสและต้านทานการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมี อัตราการระเหยกลายเป็นไอของสารที่ถูกดูดซับในช่องแคบตรงกลางจะลดลง ทำให้สามารถนำ β -Cyclodextrin และอนุพันธ์ไปใช้ดัดแปรผ้าเพื่อใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เช่น ใช้ในการปลดปล่อยกลิ่นหอม, ใช้ไล่แมลงและใช้กำจัดกลิ่นเหม็น เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมอนุพันธ์ของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินและการต่อเชื่อมเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินและอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ในงานด้านสิ่งทอ [4]

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการสังเคราะห์ Benzylated β -Cyclodextrin
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อ β -Cyclodextrin และ benzylated β -Cyclodextrin กับผ้าฝ้ายโดยใช้ spacer arm

วิธีการวิจัย

วัสดุและสารเคมี

ผ้าฝ้ายขนาด 4 ซม. x 4 ซม. ทำความสะอาดเอาสิ่งต่าง ๆ เช่น สารที่ใช้ในขั้นตอน finishing หรือสิ่งสกปรกออก โดยต้มในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ขึ้น 2% w/w เป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมง แล้วล้างผ้าด้วยน้ำกลั่น เป่าให้แห้งและเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ ส่วนเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินจะนำไปอบไล่ความชื้นในสภาวะสุญญากาศแล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

การสังเคราะห์ benzylated β -cyclodextrin

ละลายเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน(β -cyclodextrin) 1 mmol ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40 mmol ต่อจากนั้นใส่เตตระเอทิลอะมิโนโมเนียมคลอไรด์(TBAC)และเบนซิลคลอไรด์ ตามลำดับ กวนพร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงสกัดแยกสารผสมที่แยกชั้นกันด้วยคลอโรฟอร์ม(CHCl_3) 25 ml และนำชั้นคลอโรฟอร์มมาล้างด้วยน้ำเกลือขึ้น 0.5 M เพื่อเอาเบสออกจนกระทั่งน้ำล้างมี pH เป็นกลาง ใส่แมกนีเซียมซัลเฟตที่แห้ง (MgSO_4 anhydrous) กวนทิ้งไว้ 1 คืนและกรองแยกเอาแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) ออก ต่อมาใส่ไดเอทิลอีเทอร์($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$) เพื่อตกตะกอน TBAC ที่ยังเหลืออยู่ในชั้นของคลอโรฟอร์ม กวนทิ้งไว้ 2 – 4 ชั่วโมงและกรองตะกอนออก จากนั้นระเหยเอาคลอโรฟอร์มและไดเอทิลอีเทอร์ออก แล้วนำสารละลายที่เหลือมาตกตะกอนด้วยเฮกเซน ต่อจากนั้นทำการตกตะกอนซ้ำอีกครั้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยนำตะกอนที่

ได้มาละลายในคลอโรฟอร์มแล้วตกตะกอนซ้ำในเฮกเซน กรองตะกอนที่ได้ออกแล้วนำไปทำให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60°C นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น BRUKER Optics Vertex 70 และเครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) รุ่น BRUKER 300 Ultrashield

การต่อเชื่อม β -cyclodextrin กับ spacer arm

ละลายเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน(β -cyclodextrin) 1 mmol ในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) ปริมาตร 10 ml แล้วกวน 30 นาที จากนั้นใส่ 11 – โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ทำหน้าที่เป็น spacer arm, ไดคลอโรเฮกซิลคาร์โบไดอิมด์ (DCC) ที่ทำหน้าที่เป็น coupling agent และ 4 – ไดเมทิลอะมิโนไพริดีน (DMAP) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง ตามลำดับ แล้วตั้งกวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาแล้วค่อย ๆ หยดสารละลายดังกล่าวลงในคลอโรฟอร์ม(CHCl_3) 100 ml จะได้ตะกอนเกิดขึ้น นำสารที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงเพื่อให้ตะกอนนอนก้นเป็นเวลา 30 นาที กรองตะกอนแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60°C นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น BRUKER Optics Vertex 70

การต่อเชื่อม benzylated β -cyclodextrin กับ spacer arm

การต่อเชื่อมนี้จะคล้ายกับการต่อเชื่อม β -cyclodextrin กับ spacer arm 1 mmol โดยจะละลาย benzylated β -cyclodextrin ในไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) ปริมาตร 10 ml แล้วกวน 30 นาที จากนั้นใส่ 11 – โบรโมอันเดคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ทำหน้าที่เป็น spacer arm, ไดคลอโรเฮกซิลคาร์โบไดอิมด์ (DCC) ที่ทำหน้าที่เป็น coupling agent และ 4 – ไดเมทิลอะมิโนไพริดีน (DMAP) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง ตามลำดับ แล้วตั้งกวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาแล้วกรองตะกอนออก สารละลายที่ได้จากการกรองตะกอนออกแล้วจะตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนต่อแล้วจึงกรองตะกอนที่เกิดขึ้นออกอีกครั้ง ต่อมาจึงหยดสารละลายที่กรองได้ลงไปในการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ข้น 1M ปริมาณ 100 ml กรองตะกอนและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างมี pH เป็นกลาง ทำให้แห้งโดยอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60°C นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น BRUKER Optics Vertex 70

การต่อเชื่อม β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm

นำผ้าฝ้ายขนาด 4 ซม. x 4 ซม. ที่ทำความสะอาดแล้วมาแช่ในไดเมทิลซัลฟอกไซด์(DMSO) ในปริมาณที่ท่วมผ้าฝ้ายและให้ความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วใส่โซเดียมไฮไดรด์ (NaH) แล้วกวนตั้งทิ้งไว้ชั่วครู่ จึงใส่เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินหรืออนุพันธ์ของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน 1 mmol

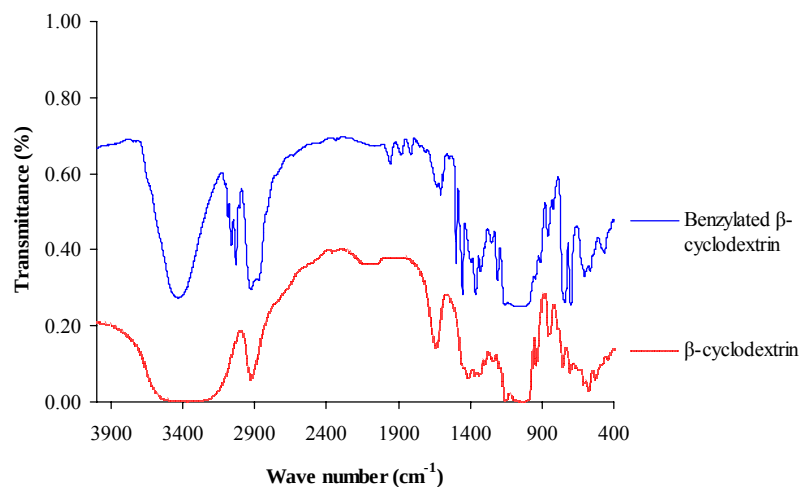
และตั้งกวนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงหยุดปฏิกิริยาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำผ้าที่ผ่านการทำปฏิกิริยาแล้วดังกล่าวมาล้างเอาสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกด้วยเอทานอล, สารละลายผสมเอทานอลกับน้ำและน้ำกลั่น ตามลำดับ จากนั้นทำให้แห้งโดยใช้ไคร้เป่าและเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ นำผ้าที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น BRUKER Optics Vertex 70 และเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) รุ่น PERKIN ELMER TGA7HT

ผลการศึกษาและบทวิจารณ์

การสังเคราะห์ benzylated β -cyclodextrin จากเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินกับเบนซิลคลอไรด์ โดยทำปฏิกิริยากันภายใต้สภาวะที่ใช้ phase transfer catalyst [5] จะได้สารของแข็งสีเหลืองอ่อน (ดังรูปที่ 1) จากผลการตรวจสอบด้วย FTIR โดยบดสารที่ได้กับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แสดงให้เห็นว่า พิกที่ wave number 3030 cm^{-1} , 3063 cm^{-1} และ 3088 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $=\text{C-H}$ stretching, 1605 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $\text{C}=\text{C}$ ring stretching และ 913 cm^{-1} , 860 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ $=\text{C-H}$ bending จึงเป็นการพิสูจน์ได้ว่าอนุพันธ์ของ β -cyclodextrin ที่ทำการสังเคราะห์ได้นั้นมีหมู่ของเบนซิลที่เกาะอยู่แบบ mono-substitution ซึ่งแสดงโดยพิก 1722 cm^{-1} , 1814 cm^{-1} , 1881 cm^{-1} และ 1955 cm^{-1} (ดังรูปที่ 2) โดยพิกดังกล่าวจะไม่ปรากฏใน spectrum ของ β -cyclodextrin

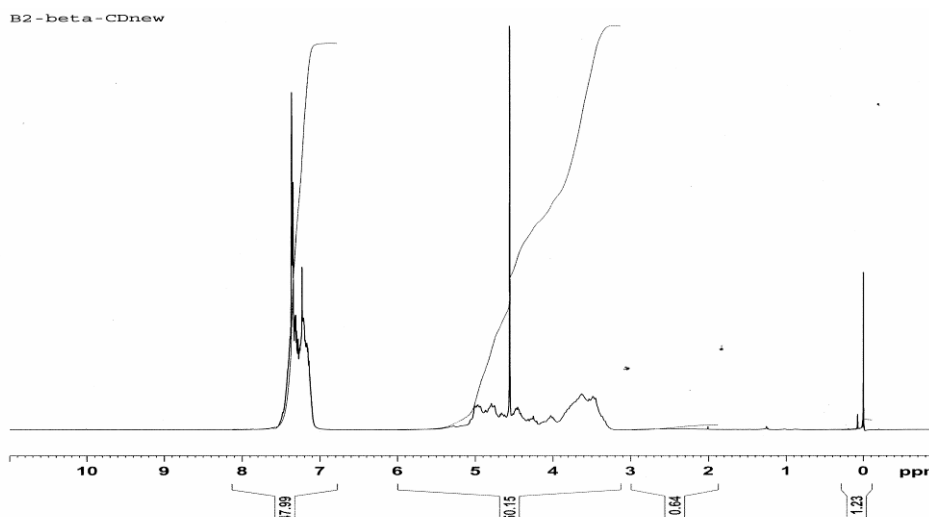


รูปที่ 1 Benzylated β -cyclodextrin ที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ 2 FTIR spectra ของ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin

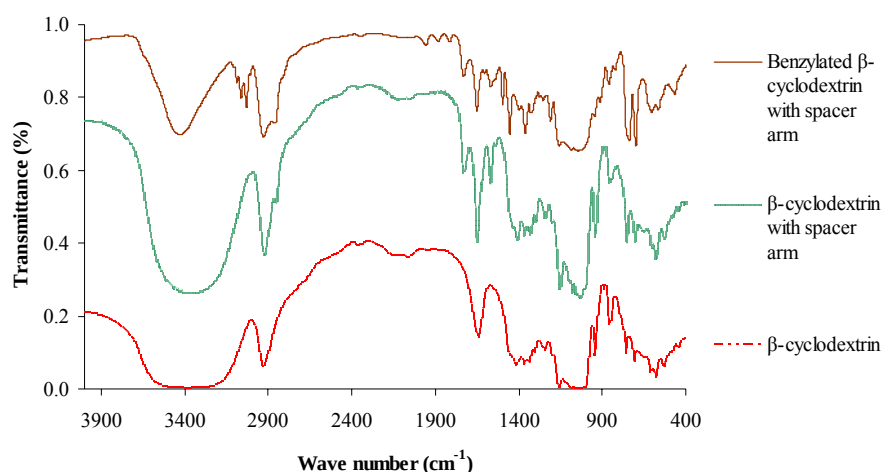
นอกจากนี้การทดสอบด้วย $^1\text{H-NMR}$ โดยใช้ CDCl_3 เป็นตัวทำละลาย พบว่า พีคที่ตำแหน่ง δ 7.3 – 7.0 ppm ซึ่งแสดงว่าเป็นโปรตอนของหมู่เอโรมาติก (ดังรูปที่ 3) การวิเคราะห์ด้วย FTIR และ $^1\text{H-NMR}$ จึงเป็นการยืนยันว่าสามารถสังเคราะห์ benzylated β -cyclodextrin ได้



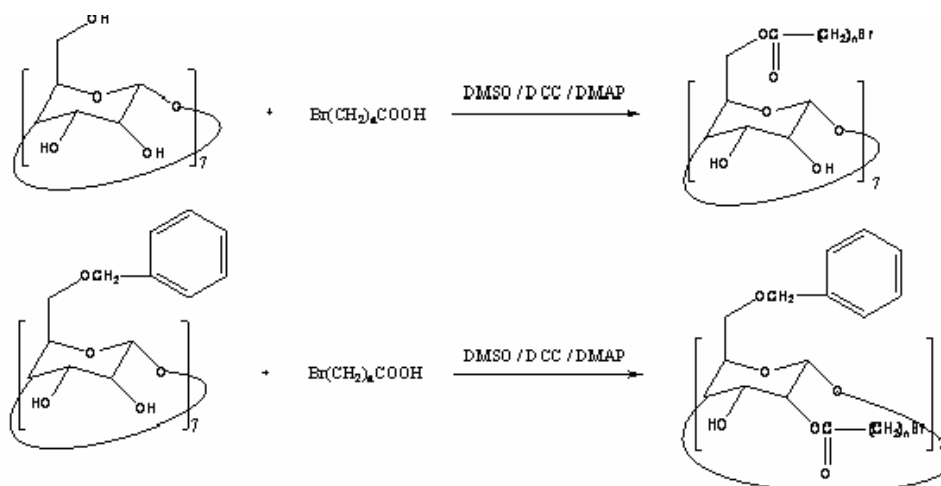
รูปที่ 3 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของ benzylated β -cyclodextrin

การต่อเชื่อม β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin กับสารที่ใช้เป็น spacer arm คือ $(\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH})$ ทำโดยอาศัยปฏิกิริยา Steglich esterification [6] เมื่อนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วย FTIR ด้วยการบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์(KBr) พบว่าทั้ง β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin จะมีพีคที่แสดงหมู่เอสเตอร์ ณ ตำแหน่ง wave number ที่ 1733 cm^{-1}

¹ และ 1730 cm^{-1} ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4) ซึ่งแสดงว่าหมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) ของสารที่ใช้เป็น spacer arm จะไปทำปฏิกิริยา esterification กับหมู่ไฮดรอกซิลของ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin จึงมีหมู่เอสเตอร์เกิดขึ้น (ดังรูปที่ 5)



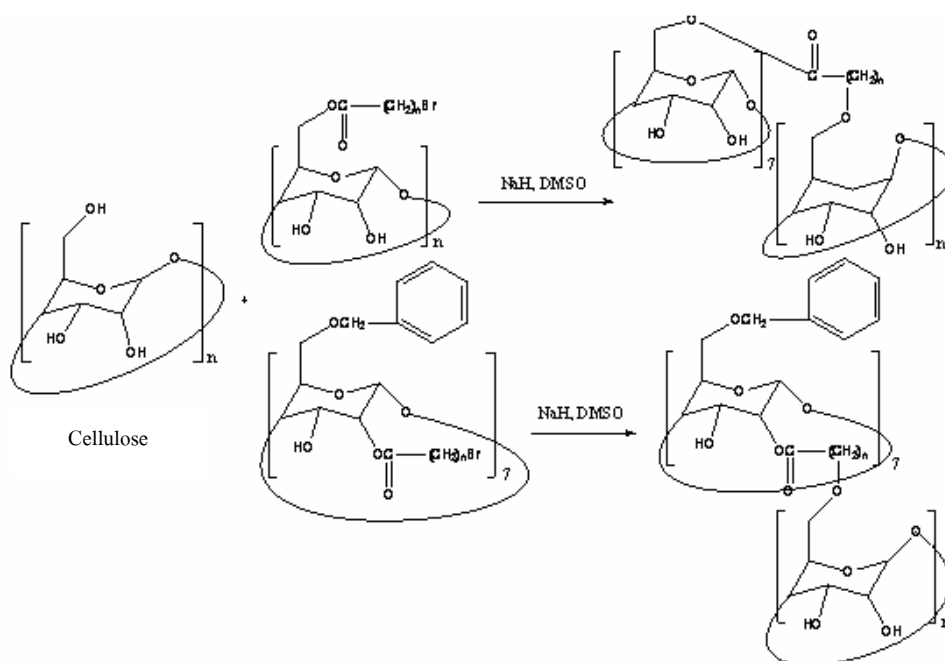
รูปที่ 4 FTIR spectra ของ β -cyclodextrin, β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm และ benzylated β -cyclodextrin ที่เชื่อมติดกับ spacer arm



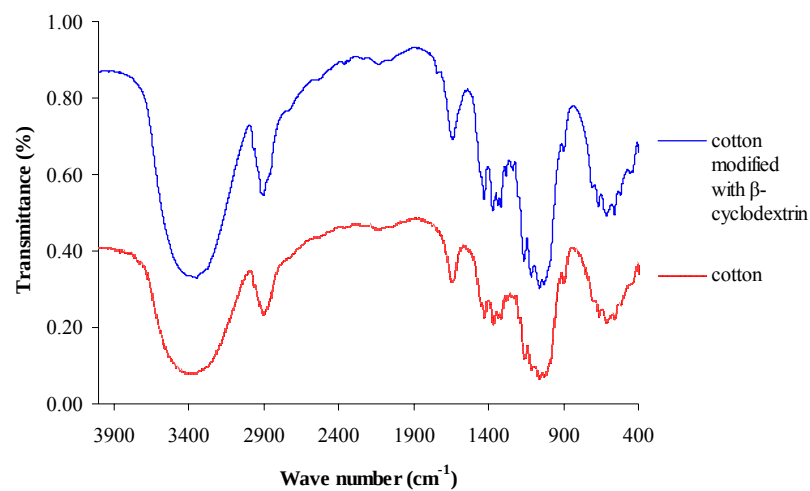
รูปที่ 5 ปฏิกิริยา Steglich esterification ของ β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับ spacer arm

หลังจากเชื่อมต่อ β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับ spacer arm แล้วจึงทำการเชื่อม β -cyclodextrin และอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายด้วย spacer arm โดยอาศัยปฏิกิริยา Williamson Ether Synthesis [7] (ดังรูปที่ 6) จากการตรวจสอบผลติดกันที่ได้ด้วย FTIR โดยการบดผสมกับโพแทสเซียมโบร

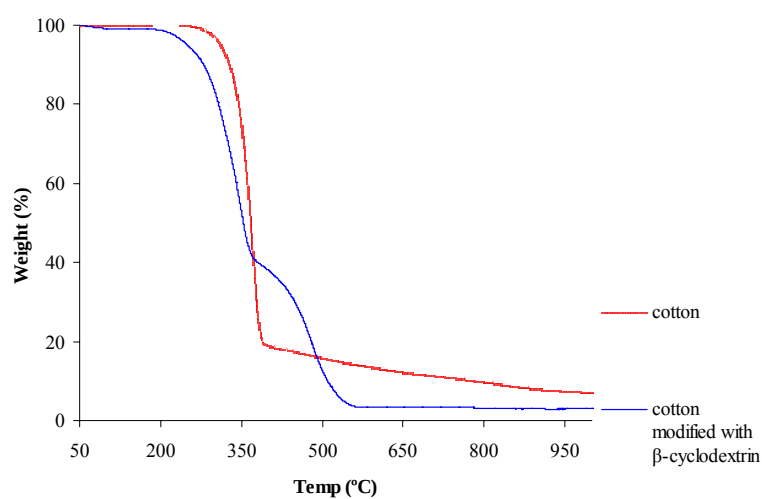
ไมด์(KBr) พบว่า spectrum ของผ้าฝ้ายกับ spectrum ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมกับ β -cyclodextrin จะมีพีคที่แตกต่างกันที่ตำแหน่ง 1738 cm^{-1} (ดังรูปที่ 7) ซึ่งเป็นพีคของหมู่เอสเทอร์ของ β -cyclodextrin ที่เชื่อมกับ spacer arm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถเชื่อมต่อผ้าฝ้ายกับ β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ได้และผลของการทดสอบด้วย TGA ให้ผลแสดงดังรูปที่ 8 และ 9 ซึ่งเป็น thermogram ของ TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin จะมีการลดลงของน้ำหนักอยู่ 2 ขั้น คือ เริ่มลดลงที่อุณหภูมิ $294.37\text{ }^{\circ}\text{C}$ และที่ $449.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ใน thermogram ของผ้าฝ้ายจะมีการลดลงของน้ำหนักเพียง 1 ขั้นเท่านั้นที่อุณหภูมิ $339.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ และน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลาและอุณหภูมิของผ้าฝ้ายที่เชื่อมกับ β -cyclodextrin จะมีอยู่ 2 ช่วง คือ $290\text{ }^{\circ}\text{C} - 370\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $445\text{ }^{\circ}\text{C} - 525\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนของผ้าฝ้ายจะมีเพียง 1 ช่วงเท่านั้นที่ $339.66\text{ }^{\circ}\text{C} - 384.41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ benzylated β -cyclodextrin จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก 2 ขั้น คือ เริ่มลดลงที่อุณหภูมิ $333.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ และที่ $484.60\text{ }^{\circ}\text{C}$ และน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปจะเกิดเป็น 2 ช่วง คือ $330\text{ }^{\circ}\text{C} - 380\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $480\text{ }^{\circ}\text{C} - 540\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ดังรูปที่ 10) ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าสามารถเชื่อมผ้าฝ้ายกับ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ได้และเมื่อเทียบความคงทนต่อความร้อนแล้วผ้าฝ้ายที่เชื่อมกับ benzylated β -cyclodextrin จะมีความคงทนต่อความร้อนได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่เชื่อมกับ β -cyclodextrin เนื่องจาก benzylated β -cyclodextrin มีหมู่เบนซิลที่ทนต่อความร้อนได้ดีอยู่ด้วย



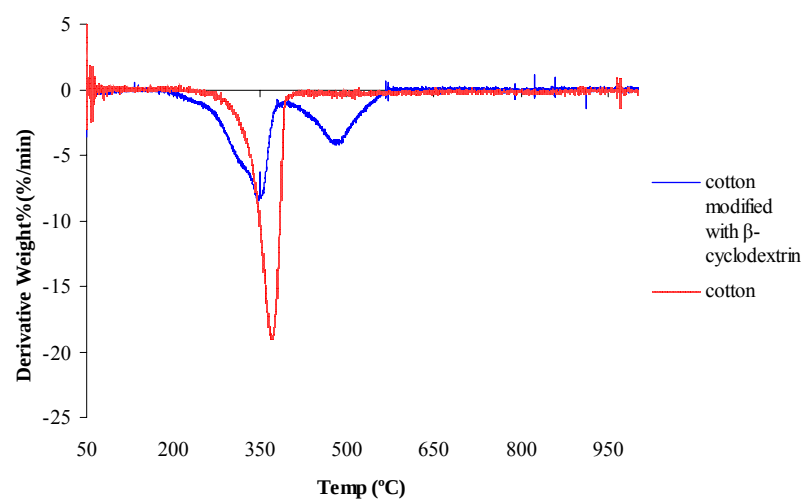
รูปที่ 6 ปฏิกิริยา Williamson Ether Synthesis ของผ้าฝ้ายกับ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ด้วย spacer arm



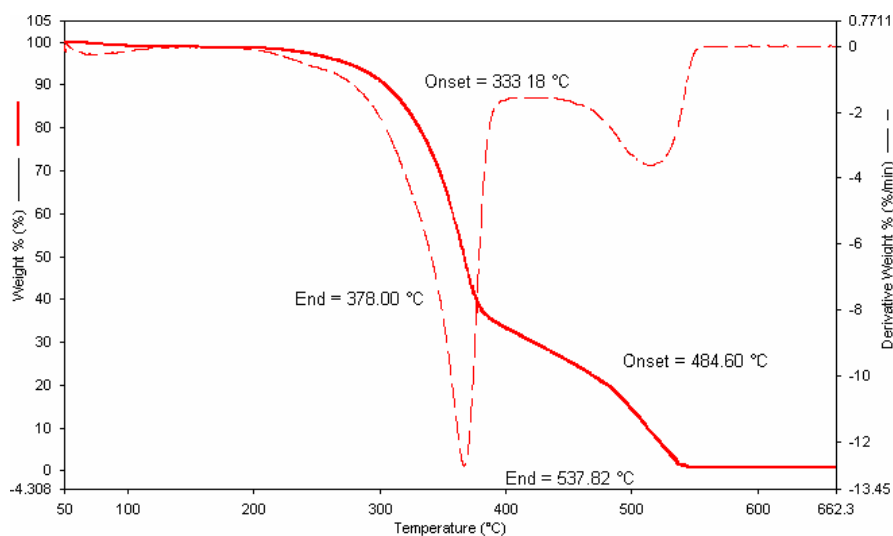
รูปที่ 7 FTIR spectra ของผ้าฝ้ายกับผ้าฝ้ายที่เชื่อมกับ β -cyclodextrin



รูปที่ 8 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin



รูปที่ 9 เทอร์โมแกรม DTG ของผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin



รูปที่ 10 เทอร์โมแกรม TGA ของผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ benzylated β -cyclodextrin

บทสรุป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองจาก Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer (NMR) และ Thermogravimetric Analyzer (TGA) แสดงให้เห็นว่าสามารถเชื่อมต่อ β -cyclodextrin และอนุพันธ์ของ β -cyclodextrin กับผ้าฝ้ายโดยใช้ spacer arm ได้ ซึ่งผ้าฝ้ายที่ได้ดังกล่าวสามารถนำไปทำให้เกิด encapsulation กับสารเคมีบางประเภท เช่น น้ำหอมหรือสารไล่แมลง เพื่อใช้ในงานด้านสิ่งทอในการช่วยควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นหอมหรือสารฆ่าแมลงเป็นระยะเวลานาน ๆ ได้ รวมทั้งอาจทนทานต่อการซักล้างอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนส่วนหนึ่งจากภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pierandrea Lo Nostro, Laura Fratoni, Francesca Ridi, Piero Baglioni. Surface Treatments on Tencel Fabric: Grafting with β -Cyclodextrin. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 88, 706–715 (2003) © 2003 Wiley Periodicals, Inc.

- [2] B. Voncina, A. Majcen Le Marechal. Grafting of Cotton with β -Cyclodextrin via Poly(carboxylic acid). Journal of Applied Polymer Science, Vol. 96, 1323–1328 (2005) © 2005 Wiley Periodicals, Inc.
- [3] Szejtli J., Cyclodextrin Technology, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1988, pp. 319-331.
- [4] József Szejtli. Cyclodextrins in the Textile Industry. Starch/Stärke 55 (2003) 191–196.
- [5] Robert Nouguiér, Mohamed Mchich, Alkylation of pent – ythiutol by phase-transfer; 2. Crucial Effect of the Aqueous Sodium Hydroxide Solution. Tetrahedron, Vol 44, No 9 (1988) 2477-2481.
- [6] Jinsong Guo, David W. Knapp and Stephanie Boegeman. A practical preparation of enantiomerically pure (*R*)- and (*S*)-2-bromohexadecanoic acids. Tetrahedron: Asymmetry 11 (2000) 4105–4111.
- [7] Jean-Louis Gras, Thierry Soto and Jacques Viala. Chiral conformationally restricted arachidonic acid analogs based on a 1,3-dioxane core. Tetrahedron: Asymmetry 10 (1999) 139–151.

2. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17
29-30 ตุลาคม พ.ศ. 2550 ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โดยนำเสนอผลงานในรูปแบบบรรยาย

การเชื่อมเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินและอนุพันธ์กับผ้าฝ้ายสำหรับใช้ควบคุมการปลดปล่อยยาไล่แมลง

Binding of β -cyclodextrin, β -cyclodextrin derivative with cotton fabrics for control release of insect repellent.

ปิยฉวี ลิ้มโสภารธรรม¹, วันชัย เลิศวิจิตรจรัส^{1*} และ อำนาจ สิริหัตถะกุล¹

¹ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร 73000

บทนำ

ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrins) เป็น cyclic oligosaccharides ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสไพราโนส (glucopyranose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - (1, 4) glucosidic linkage ไซโคลเดกซ์ทรินที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ α -, β - และ γ -cyclodextrin ซึ่งมีกลูโคสไพราโนส 6, 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีความสนใจนำไซโคลเดกซ์ทรินไปใช้ในงานด้านสิ่งทอโดยเฉพาะเพื่อใช้ผลิต functional textile [1], [5] เนื่องจากไซโคลเดกซ์ทรินมีลักษณะเด่นคือ มีรูปร่างคล้ายโดนัท (doughnut - like) และยอมให้โมเลกุลของสารอื่นที่ไม่มีขั้วไปจับอยู่ในช่องตรงกลางที่มีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนด้านนอกของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophilic [7] โดยกระบวนการ encapsulation นี้จะทำให้โมเลกุลที่ถูกจับอยู่ในช่องตรงกลางมีอัตราการปลดปล่อยออกมาสู่ภายนอกที่ช้าลง งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมอนุพันธ์ของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน แล้วนำเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน และอนุพันธ์ไปใช้เชื่อมต่อกับผ้าฝ้ายเพื่อใช้ในการปลดปล่อยยาไล่แมลง [4]

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ด้วย spacer arm
- ทำการสังเคราะห์อนุพันธ์ของเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน (Benzylated β -cyclodextrin) จากปฏิกิริยาระหว่างเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินกับเบนซิลคลอไรด์

โดยมีเตตระเออน-บิวทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (TBAC) เป็นตัวเร่งในกระบวนการ “phase transfer catalysis” จากนั้นนำเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน และอนุพันธ์ไปทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกับ spacer arm โดยปฏิกิริยา “Steglich esterification” ซึ่งทำโดยให้เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน และอนุพันธ์ทำปฏิกิริยากับ 11-โบรโมอโนแคะโนอิก แอซิด ($\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$) ที่ทำหน้าที่เป็น spacer arm, ไดคลอโรโรเฮกซิลคาร์โบไดอิมิด (DCC) ที่ทำหน้าที่เป็น coupling agent และ 4-ไดเมทิลอะมิโนไพริดีน (DMAP) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งตามลำดับ แล้วทำการเชื่อมต่อกับผ้าฝ้ายกับเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินและอนุพันธ์ผ่าน spacer arm โดยอาศัยปฏิกิริยา “Williamson Ether Synthesis” นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR รุ่น BRUKER Optics Vertex 70, เครื่อง NMR รุ่น BRUKER 300 Ultrashield และเครื่อง TGA รุ่น PERKIN ELMER TGA 7HT

2. การทดสอบการปลดปล่อยยาไล่แมลงของผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรด้วย β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin และผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร

แช่ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรและผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรด้วยเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินและอนุพันธ์ลงในสารละลายผสม N,N-diethyl-*m*-toluamide (DEET) ที่เตรียมจาก DEET ผสมกับสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเมทานอล ขึ้น 0.1M ตั้งกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการสกัด DEET ด้วยตัวทำละลาย โดยตัดผ้าขนาด 2

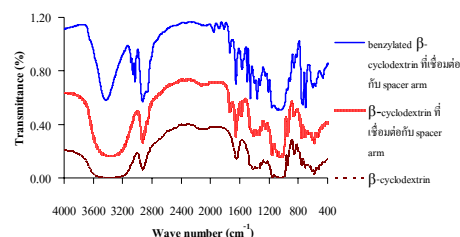
* corresponding author(s); wanchail@su.ac.th

x 2 ซม. (จากผ้าที่จุ่มสารละลายยาไล่แมลงขนาด 4 x 4 ซม.) แล้วสกัด DEET ด้วยเทอทานอลปริมาตร 30 มิลลิลิตร ตั้งกวนทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง UV Visible spectrophotometer รุ่น V530 โดยทำการสกัดทุก ๆ 0, 5, 10 และ 15 วัน

ผลการทดลอง

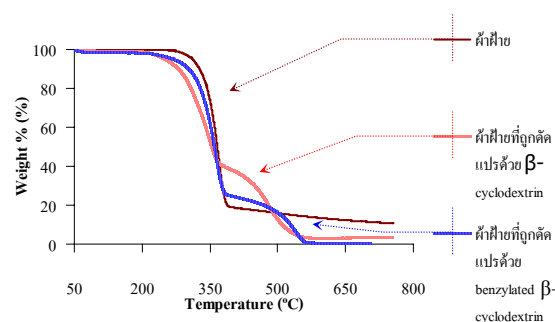
เมื่อนำ benzylated β -cyclodextrin ที่สังเคราะห์ได้ โดยอาศัยกระบวนการ phase transfer catalysis [6] มาบดกับ KBr และนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย FTIR พบว่าให้ พิกที่ wave number 3088 cm^{-1} , 3063 cm^{-1} และ 3030 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ =C-H stretching, 1605 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ C=C ring stretching และ 913 cm^{-1} , 860 cm^{-1} ซึ่งเป็นพิกของ =C-H bending ซึ่งแสดงว่าอนุพันธ์ของ β -cyclodextrin ที่สังเคราะห์ได้นั้นมีหมู่ของเบนซิลเกาะอยู่แบบ mono-substitution ซึ่งแสดงโดยพิกที่ 1955 cm^{-1} , 1881 cm^{-1} , 1814 cm^{-1} และ 1723 cm^{-1} โดยพิกดังกล่าวจะไม่ปรากฏใน spectrum ของ β -cyclodextrin นอกจากนี้ยังสามารถยืนยันผลได้ด้วย $^1\text{H-NMR}$ โดยใช้ CDCl_3 เป็นตัวทำละลาย พบว่ามีพิกที่ตำแหน่ง δ 7.3 – 7.0 ppm ซึ่งแสดงว่าเป็นโปรตรอนของหมู่อะโรมาติก

การต่อเชื่อม β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin กับสารที่ใช้เป็น spacer arm คือ $(\text{Br}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH})$ ทำโดยอาศัยปฏิกิริยา Steglich esterification [3] เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปบดผสมกับ KBr และทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย FTIR พบว่า ผลิตภัณฑ์ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ที่ได้จะมีพิกที่แสดงหมู่เอสเตอร์ ณ ตำแหน่ง wave number ที่ 1732 cm^{-1} และ 1736 cm^{-1} ตามลำดับ (ดังรูป 1)



รูป 1 FTIR spectra ของ β -cyclodextrin, β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm และ benzylated β -cyclodextrin ที่เชื่อมต่อกับ spacer arm

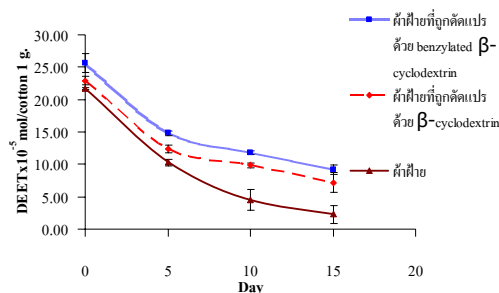
จากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin กับผ้าฝ้ายผ่าน spacer arm โดยอาศัยปฏิกิริยา Williamson Ether Synthesis [2] เมื่อนำผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายที่ต่อเชื่อมกับ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบด้วย TGA ซึ่งให้ผลแสดงดังรูป 2 จะเห็นว่า Thermogram ของ TGA ของผ้าฝ้ายจะมีการลดลงของน้ำหนักเพียง 1 ขั้นเท่านั้น ส่วนผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin จะมีการลดลงของน้ำหนักอยู่ 2 ขั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถเชื่อมผ้าฝ้ายกับ β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin ด้วย spacer arm ได้



รูป 2 Thermogram TGA ของผ้าฝ้ายและผ้าฝ้ายที่เชื่อมต่อกับ β -cyclodextrin และ Benzylated β -cyclodextrin

จากนั้นเมื่อนำผ้าฝ้ายทั้งที่ดัดแปรและผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรไปจุ่มในสารละลายผสมยาไล่แมลง (DEET) และทำการสกัดทุก ๆ 0, 5, 10 และ 15

วัน แล้ววิเคราะห์ผลของความเข้มข้นสารละลายที่สกัดได้ด้วยเครื่อง UV พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย β -cyclodextrin และ benzylated β -cyclodextrin จะยังมีการคงอยู่ของยาไล่แมลงมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ถูกดัดแปร โดยผ้าฝ้ายที่ถูกดัดแปรด้วย benzylated β -cyclodextrin จะมีการปลดปล่อยของยาไล่แมลงน้อยที่สุด เนื่องจาก benzylated β -cyclodextrin มีความเป็นขั้วน้อยจึงสามารถจับยาไล่แมลงที่มีความเป็นขั้วน้อยได้มากกว่าผ้าฝ้ายที่ถูกดัดแปรด้วย β -cyclodextrin และผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปรตามลำดับ รวมทั้งยังลดความสามารถในการระเหยของ DEET ได้อีกด้วย (ดังรูป 3) เมื่อพิจารณาการคงเหลือของยาไล่แมลงในผ้าฝ้ายเมื่อเวลาผ่านไป 15 วันพบว่า ผ้าฝ้ายที่ถูกดัดแปรด้วย benzylated β -cyclodextrin, ผ้าฝ้ายที่ถูกดัดแปรด้วย β -cyclodextrin และผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ถูกดัดแปรนั้นมีค่าของ DEET เหลืออยู่ 40.86%, 33.86% และ 8.65% ตามลำดับ



รูป 3 ระยะเวลากับสารละลาย DEET ($\times 10^{-5}$ mol) เทียบกับผ้าฝ้ายแห้งน้ำหนัก 1 กรัม

บทสรุป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองจาก FTIR, NMR และ TGA แสดงให้เห็นว่าสามารถเชื่อมต่อ β -cyclodextrin และอนุพันธ์ของ β -cyclodextrin กับผ้าฝ้ายโดยใช้ spacer arm ได้ แล้วเมื่อนำผ้าฝ้ายที่ได้ดังกล่าวไปทำให้เกิด encapsulation กับยาไล่แมลง (DEET) แล้วพบว่า ผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วย benzylated β -cyclodextrin และ β -cyclodextrin จะค่อย ๆ ปลดปล่อย

ยาไล่แมลงโดยเมื่อเวลาผ่านไปยังคงมียาไล่แมลงมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ดัดแปร

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Vancina, A. Majcen Le Marechal.(2005), *Grafting of Cotton with β -Cyclodextrin via Poly(carboxylic acid)*, J. Applied Polymer Science, 96, 1323–1328.
- [2] Jean-Louis Gras, Thierry Soto and Jacques Viala. (1999), *Chiral conformationally restricted arachidonic acid analogs based on a 1,3-dioxane core*, Tetrahedron: Asymmetry, 10, 139-151.
- [3] Jinsong Guo, David W. Knapp and Stephanie Boegeman.(2000), *A practical preparation of enantiomerically pure (R)- and (S)-2-bromohexadecanoic acids*, Tetrahedron: Asymmetry, 11, 4105–4111.
- [4] József Szejtli.(2003), *Cyclodextrins in the Textile Industry*, Starch/Stärke, 55, 191–196.
- [5] Pierandrea Lo Nostro, Laura Fratoni, Francesca Ridi, Piero Baglioni.(2003), *Surface Treatments on Tencel Fabric: Grafting with β -Cyclodextrin*, J. Applied Polymer Science, 88, 706–715.
- [6] Robert Nouguiér, Mohamed Mchich. (1988), *Alkylation of pent – ythiitol by phase-transfer; 2. Crucial Effect of the Aqueous Sodium Hydroxide Solution*, Tetrahedron, 44(9), 2477-2481.
- [7] Szejtli J.(1988), *Cyclodextrin Technology*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 319-331.

ประวัติผู้ทำวิจัย

ชื่อ-สกุล	(ภาษาไทย) นางสาวปิยาณี ลิมโสภธรรม
	(ภาษาอังกฤษ) Miss Piyanee Limsophathum
วันเดือนปีเกิด	20 ตุลาคม 2526
E-mail address	a_jung_kiku@hotmail.com
ที่อยู่ (ที่บ้าน)	14/10 ต.เหมืองใหม่ อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม 75110
โทรศัพท์	08-9165-4984, 0-3239-8493
ประวัติการศึกษา	ประถมศึกษา โรงเรียนนาวิวิทยา ราชบุรี
	มัธยมศึกษา โรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ ราชบุรี
	ปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ
	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
	มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม
ประสบการณ์ฝึกงาน	บริษัท กังวาลพอลิเอสเตอร์ จำกัด

ผลงานวิจัยและประวัติการทำงาน

กิตติคุณ น่อนเจริญ ปิยาณี ลิมโสภธรรม ศันสนีย์ พันธุ์วิชัย การพัฒนาวัสดุแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับใช้ป้องกันเสื้อผ้าจากการเปื้อนสีในกระบวนการซัก, วิทยานิพนธ์ นักศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548