



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

### การตรวจสอบบัตินาโนของวัสดุธรรมชาติ Nano-Characterization of Natural Materials

ดร. สิริพัฒน์ ประโชนเทพ

ศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

ดร.ทศยาภรณ์ ทิวาวงศ์

ดร.วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์ุ

ดร.ทศพล เมลืองนนท์

นางสาวกัลยกร เจริญกุล

ว่าที่ร้อยตรี ดิเรกฤทธิ์ จันทรวงษ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

### การตรวจสอบบัตินาโนของวัสดุธรรมชาติ Nano-Characterization of Natural Materials

ดร. สิริพัฒน์ ประโชนเทพ

ศ.ดร. จิติ หนูแก้ว

ดร. ทศยาภรณ์ ทิววงศ์

ดร. วินัดดา วงศ์วิริยะพันธุ์

ดร. ทศพล เมลืองนนท์

นางสาวกัลยกร เจริญกุล

ว่าที่ร้อยตรี ดิเรกฤทธิ์ จันทรวงษ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1269700X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจสอบดีเอ็นเอของวัสดุธรรมชาติ

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 110,700 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2556 ถึง 30 ก.ย. 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

1. ดร.สิรพัฒน์ ประโชนเทพ สังกัด วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (หัวหน้าโครงการ)
2. ศ.ดร.จิติ หนูแก้ว สังกัด วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (ที่ปรึกษาโครงการ)
3. ดร.หุติยาภรณ์ ทิววงศ์ สังกัด วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (ผู้ร่วมโครงการ)
4. ดร.วินิตดา วงศ์วิริยะพันธุ์ สังกัด วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (ผู้ร่วมโครงการ)
5. ดร.ทศพล เมลืองนนท์ สังกัด วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (ผู้ร่วมโครงการ)
6. นางสาวกัลยกร เจริญกุล สังกัด วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (ผู้ร่วมโครงการ)
7. ว่าที่ร้อยตรี ดิเรกฤทธิ์ จันทรวงษ์ สังกัด วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง (ผู้ร่วมโครงการ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ธรรมชาติเป็นแหล่งความรู้ไร้ขีดจำกัดที่เป็นแรงบันดาลใจในการสรรค์สร้างนวัตกรรมเทคโนโลยี โดยเฉพาะในด้านนาโนเทคโนโลยี การเคลือบกันน้ำเป็นตัวอย่างหนึ่งซึ่งโครงสร้างของใบบัวช่วยในการออกแบบโครงสร้างให้สมบัติไม่ชอบน้ำยอดเยี่ยมได้ดีที่สุด งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาโครงสร้างสัญญาณและสมบัติเคมีของวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่นของไทยที่ยังไม่มีการศึกษามากนัก โดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง เช่น กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม และ เทคนิคการวัดสเปกตรัมรามาน ผลที่ได้คือกระบวนการและวิธีการที่เหมาะสมกับการตรวจวัดตัวอย่างวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น ผลการวัดโครงสร้างสัญญาณยังแสดงให้เห็นโครงสร้างนาโนที่ซ่อนอยู่ในโครงสร้างเหล่านี้ ผลงานวิจัยรวมถึงการทดสอบวัสดุโครงสร้างนาโนเหล่านี้เพื่อพัฒนาการประยุกต์ใช้งาน งานวิจัยนี้จะช่วยออกแบบการทดลองสำหรับวิชาปฏิบัติการในระดับปริญญาตรีและเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการศึกษาเชิงลึกต่อไป

คำสำคัญ : นาโนเทคโนโลยีเลียนแบบธรรมชาติ จุลทรรศน์แรงอะตอม รามานสเปกโตรสโคปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Nano-Characterization of Natural Materials  
Researcher: Dr. Sirapat Pratontep  
Faculty: College of Nanotechnology  
Department: College of Nanotechnology

## ABSTRACT

Nature provides an unlimited source of inspiration for technological innovations, particularly in nanotechnology. Water-repellent coating is an example in which the natural structure of lotus leaf helps the design of the optimal superhydrophobic structure. This research is aimed to explore the structural and the chemical properties of unexplored natural and traditional materials in the Thai culture, by means of existing testing equipment at the College of Nanotechnology, e.g., atomic force microscopy and Raman spectrometer. Appropriate methods and procedures to characterize given natural and traditional materials are presented. The results reveal nanostructures on many of these materials. Preliminary tests to develop applications of these nanostructures are discussed. This work is expected to aid the design of undergraduate experiments and to be a starting point for more fundamental research.

Keyword: bio-inspired nanotechnology, atomic force microscopy, Raman spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือของคณะผู้วิจัย วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 ที่ได้รับการจัดสรรทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณอย่างวิทยาลัยชุมชน จ.มุกดาหาร หมู่บ้านภูไท อ.หนองสูง และ อ. ผ่าหมักโคลนได้รับความอนุเคราะห์จาก



ดร. สิริพัฒน์ ประโทนเทพ

ศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

ดร.หุติยาภรณ์ ทิววงศ์

ดร.วินัดดา วงศ์วิริยะพันธุ์

ดร.ทศพล เมลืองนนท์

นางสาวกัลยกร เจริญกุล

ว่าที่ร้อยตรี ดิเรกฤทธิ์ จันทรวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	6
บทที่ 4 ผลการวิจัย	8
4.1 การทดสอบดอกธูปฤๅษี	8
4.2 การทดสอบผ้าหมักโคลน	13
4.3 การทดสอบการผิววัสดุธรรมชาติอื่นๆ	18
4.4 การพัฒนาการประยุกต์ใช้งาน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	23
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย	24
เอกสารอ้างอิง	25
ประวัติคณะผู้วิจัย	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ผลการดำเนินงานของโครงการเมื่อเทียบกับแผนการดำเนินงานทั้งโครงการ .....	7
ตาราง 2 ผลการวัดการดูดซับน้ำมันของดอกกุญชี่ .....	20
ตาราง 3 การตรวจวัดแรงดึงของผ้าหมักโคลนแบบต่างๆ .....	21
ตาราง 4 สรุปผลผลิตหรือการนำไปใช้ประโยชน์จากงานวิจัยนี้ .....	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ภาพเส้นใยในดอกธูปฤๅษีจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (ซ้าย) และกล้อง AFM (ขวา).....	1
รูปที่ 2 ภาพโครงสร้างใบบัวในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรจากเอกสารอ้างอิง [2] .....	3
รูปที่ 3 เครื่อง Atomic Force Microscopy (TT-AFM Workshop).....	6
รูปที่ 4 เครื่อง Raman Spectrometer (Thermo Scientific DXR SmartRaman) .....	7
รูปที่ 5 ดอกธูปฤๅษี (ที่มาจาก wikipedia) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสงของเส้นใยในดอก และภาพ Atomic Force Microscopy ของเส้นใย จากซ้ายมาขวาตามลำดับ .....	8
รูปที่ 6 ภาพ AFM ของผิวเส้นใยดอกธูปฤๅษี ใน Topology Mode ที่แสดงความสูงต่ำของผิวด้อย่างใน 2 มิติ และ 3 มิติ.....	9
รูปที่ 7 ภาพ AFM ของผิวเส้นใยดอกธูปฤๅษี ใน Phase mode.....	10
รูปที่ 8 ผลการวัดรามานสเปกตรัมจากน้ำมันสกัดธรรมชาติ (สีม่วง เส้นบน) เทียบกับ Nonanoic acid (สีแดง เส้นล่าง) ซึ่งมีโครงสร้างเคมีดังรูปด้านบน .....	11
รูปที่ 9 ผลการวัดรามานสเปกตรัมจากเส้นใยดอกธูปฤๅษี .....	12
รูปที่ 10 ภาพ Atomic Force Microscopy ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่พบปัญหาเรื่องความสูงต่ำ (ซ้าย ภาพความสูงต่ำ ขวา ภาพเฟส).....	13
รูปที่ 11 ภาพ AFM) Phase mode, $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ ) แสดงเส้นใยขนาดระดับไมครอนผ้าฝ้ายหมักโคลน หลังจากการปรับการเตรียมตัวอย่าง ของผ้าที่หมักโคลนย้อมสีไคร้หนุ่นปกติ (ซ้าย) และแบบใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ขวา) .....	14
รูปที่ 12 ภาพ AFM (Phase-mode, $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ ) แสดงเส้นใยขนาดระดับไมครอนของผ้าที่หมักโคลนย้อมสีไคร้หนุ่นปกติ (ซ้าย) และแบบใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ขวา).....	15
รูปที่ 13 ภาพผ้าหมักโคลนขอมหมู่บ้านภูไท อ.หนองสูง จ.มุกดาหาร .....	16
รูปที่ 14 ผลการวัดรามานสเปกตรัมของเส้นใยฝ้ายของผ้าหมักโคลน (บน) เทียบกับเส้นใยฝ้ายสำลี (ล่าง) .....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 15 ผลการวัดรามานสเปกตรัมของเส้นใยฝ้ายของผ้าหมักโคลนโดยใช้วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมในกระบวนการย้อมหมักโคลนและย้อมสีธรรมชาติเทียบกับกระบวนการปกติ ได้แก่ a) ย้อมสีใบมะม่วงด้วยกระบวนการนาโน b) ย้อมสีไข่มุนด้วยกระบวนการปกติ และ c) ย้อมสีไข่มุนด้วยกระบวนการนาโน..... 17
- รูปที่ 16 ภาพ AFM ของยีสต์แสดงภาพความสูงต่ำ (ซ้ายและกลาง) และภาพเฟส (ขวา)..... 18
- รูปที่ 17 การสาธิตการดูดซับคราบน้ำมันในน้ำด้วยใยดอกธูปฤๅษี [1]..... 19
- รูปที่ 18 การทดลองวัดการดูดซับน้ำมันเครื่องของเส้นใยดอกธูปฤๅษีอย่างง่ายโดยใช้เครื่องชั่งสามตำแหน่ง ..... 19
- รูปที่ 19 การทดสอบแรงดึงของเส้นใยผ้าฝ้ายหมักโคลนโดยใช้เกจวัดแรง..... 21



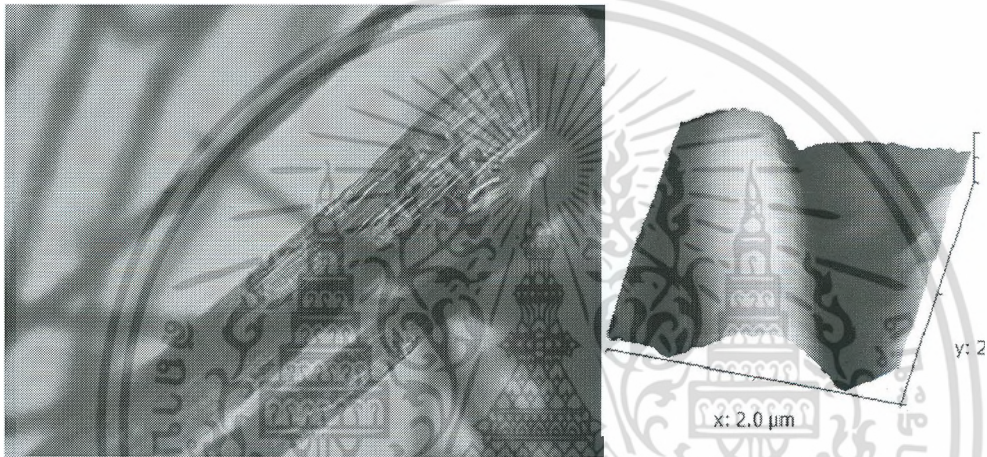
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากงานวิจัยด้านวัสดุนาโนในธรรมชาติ [1] เช่น ดอกธูปฤๅษี ซึ่งได้พบคุณสมบัติพิเศษที่สามารถดูดซับน้ำมันได้ดีและมีความเป็นโครงสร้างนาโนที่ผิวของวัสดุ ซึ่งเป็นสมบัติพิเศษที่ไม่คาดคิดมาก่อน การศึกษาวิจัยโครงสร้างนาโนและสมบัติทางเคมีต่างๆของวัสดุธรรมชาติอย่างจริงจังจึงมีจำนวนน้อยมาก โดยเฉพาะการศึกษาในวัสดุท้องถิ่นในประเทศ



รูปที่ 1 ภาพเส้นใยในดอกธูปฤๅษีจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้อง (ซ้าย) AFM (ขวา)

โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและโครงสร้างนาโนเพื่อศึกษาแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุธรรมชาติโดยเฉพาะสมบัติที่ผิว
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างนาโนของวัสดุธรรมชาติ
3. เพื่อพัฒนาการประยุกต์ใช้วัสดุนาโนจากธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและโครงสร้างนาโนเพื่อศึกษาแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ โดยเน้นเทคนิคจุลทรรศน์ และเทคนิคการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่ผิว รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้นต่างๆ

### 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. การรวบรวมข้อมูลและจัดหาวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น
2. การศึกษาการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น
3. การศึกษาการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างนาโนของวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น
4. การประยุกต์ใช้งานวัสดุนาโนในธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. พัฒนาคำความรู้เกี่ยวกับวัสดุนาโนในธรรมชาติ
2. พัฒนาความเชี่ยวชาญบุคลากรรวมทั้งนักศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดสมบัติวัสดุนาโนในธรรมชาติ
3. พัฒนาแนวทางในการนำวัสดุนาโนในธรรมชาติไปประยุกต์ใช้งาน
4. พัฒนาการทดลองในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

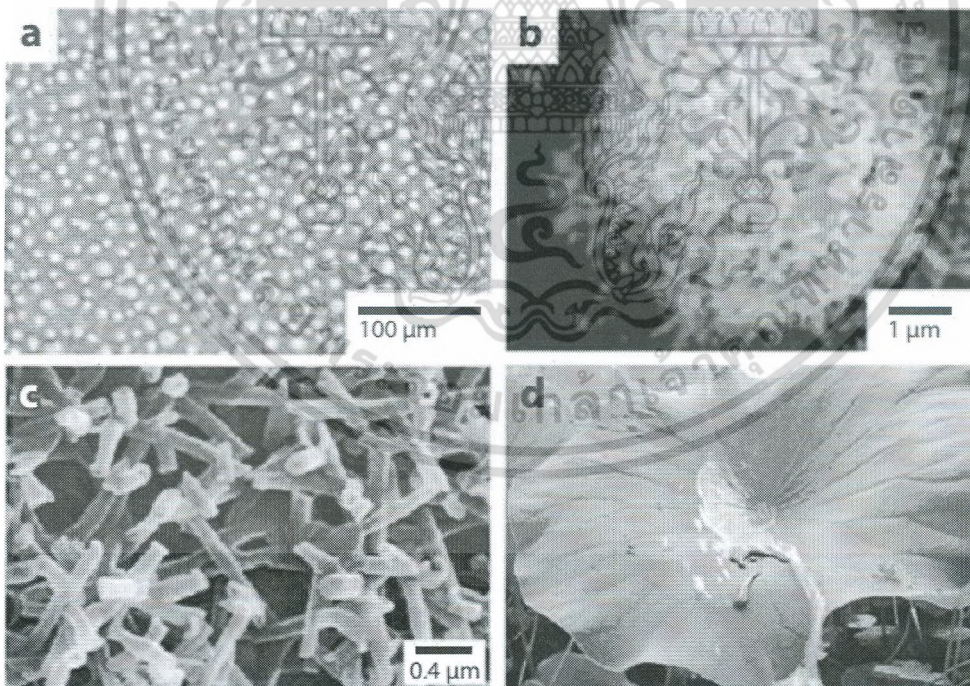
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 นวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ

ธรรมชาติเป็นแหล่งความรู้ที่ไม่มีขีดจำกัดสำหรับการค้นหาสิ่งใหม่ โครงสร้างในธรรมชาติหลายอย่างเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองแต่มีความสลับซับซ้อนจนราวกับว่างานฝีมือชั้นยอด ตัวอย่างหนึ่ง que แสดงให้เห็นการสร้างนวัตกรรมที่เลียนแบบโครงสร้างตามธรรมชาติ คือ การพัฒนาโครงสร้างนาโนเพื่อการใช้งานเป็นผิวไม่ชอบน้ำยอดเยี่ยม [2] โดยอาศัยโครงสร้างธรรมชาติที่เรารู้จักกันดี คือ ใบบัว ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นโครงสร้างใน 2 ระดับ คือ

- 1) โครงสร้างไมโครเมตรในภาพ a
- 2) โครงสร้างที่เล็กลงไประดับนาโนเมตรในภาพ c

การผสมผสานระหว่างโครงสร้างไมโครเมตรและนาโนเมตรเป็นจุดสำคัญที่จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากที่สุด เพื่อทำให้เกิดสมบัติไม่ชอบน้ำยอดเยี่ยม (superhydrophobicity) สมบัตินี้ยังต้องการอีกสมบัติหนึ่งที่สำคัญ คือ สมบัติเคมีที่ผิวที่ไม่ชอบน้ำ สำหรับใบบัว ผิวจะมีลักษณะคล้ายไขเคลือบอยู่ตามทั่วทั้งกัน



รูปที่ 2 ภาพโครงสร้างใบบัวในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรจากเอกสารอ้างอิง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การศึกษาวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น

งานวิจัยด้านวัสดุนาโนในธรรมชาติ เช่น ดอกธูปฤๅษี ซึ่งได้พบคุณสมบัติพิเศษที่สามารถดูดซับน้ำมันได้ดี และมีความเป็นโครงสร้างนาโนที่ผิวของวัสดุ [1] แม้ว่าโดยทั่วไปจะเป็นที่รู้กันว่าต้นและดอกธูปฤๅษีสามารถใช้ดูดซับสารพิษและน้ำเสียได้ แต่มีงานวิจัยในเรื่องโครงสร้างที่ระดับนาโนเมตรและสมบัติทางเคมีที่ผิวน้อยมาก โดยเฉพาะวัสดุท้องถิ่นในประเทศ การพัฒนาเทคโนโลยีเลียนแบบวัสดุธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งที่จะใช้ระบบตัวอย่างจากธรรมชาติเพื่อเป็นแนวคิดในการประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่าง เช่น สมบัติความไม่ชอบน้ำ [2, 3] หรือที่เรียกว่าน้ำกลิ้งบนใบบัว สมบัติเช่นนี้ได้ถูกนำไปใช้สร้างการประยุกต์ใช้มากมาย เช่น เสื้อผ้าไม่เปียกน้ำ และสเปรย์เคลือบกันน้ำ เป็นต้น ตัวอย่างหนึ่งของการศึกษาวัสดุจากธรรมชาติ คือ การศึกษาสมบัติพื้นผิวของเกล็ดปลา และสมบัติความชอบน้ำมัน (superoleophilic) นำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน [4] ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุธรรมชาติไปใช้งานหรือการผลิตวัสดุที่เลียนแบบธรรมชาติให้ได้สมบัติใหม่

ตัวอย่างงานวัสดุพื้นเมืองของประเทศที่จะเป็นจุดสนใจของโครงการนี้ คือ ผ้าหมักโคลนของหมู่บ้านภูไท อ.หนองสูง จ.มุกดาหาร มีรายงานวิจัยอยู่จำนวนน้อย โดยเฉพาะการใช้เครื่องมือขั้นสูง เช่น รามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman Spectrometer) สาเหตุอาจจะเป็นเนื่องจากเครื่องมือเหล่านี้มีราคาสูง และการวิจัยวัสดุธรรมชาติซึ่งราคาถูก มักนิยมใช้เทคนิคที่มีราคาต่ำกว่า ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์เส้นใยผ้าฝ้ายด้วยเทคนิครามาน มีเรื่องที่ค้นพบในฐานข้อมูลตั้งแต่ปี 2000 มีเพียง 2 เรื่อง ที่สำคัญ คือ The Discrimination of Colored Acrylic, Cotton, and Wool Textile Fibers Using Micro-Raman Spectroscopy [1] ซึ่งเป็นการตรวจวัดสเปกตรัมรามานจากเส้นใยผ้าชนิดต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางนิติวิทยาศาสตร์ การตรวจวัดผ้าฝ้ายนิยมทำด้วยเทคนิคดั้งเดิม คือ Fourier-Transform Infra-Red (FTIR) spectrometer ซึ่งเป็นการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ต่างจากเทคนิค Raman ที่ใช้การสะท้อนของเลเซอร์ ข้อมูลจาก FTIR สามารถนำไปใช้อ้างอิงในกระบวนการต่างๆ เกี่ยวกับเคมีของผ้า เช่น การย้อมสี เป็นต้น [5]

## 2.3 เทคนิคจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy)

จุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy หรือ AFM) [7] เป็นหนึ่งในเทคนิคจุลทรรศน์แบบใช้เข็มหรือหัวโพรบสแกนไปทั่วพื้นผิว คล้ายกับการใช้มือหรือนิ้วคลำเพื่อบอกลักษณะของวัตถุ แทนการใช้คลื่นหรือแสงส่องไปยังวัตถุโดยตรง เทคนิค AFM อาศัยการจับการเคลื่อนไหวของหัวเข็มด้วยลำเลเซอร์ที่ยิงสะท้อนจากหัวเข็มไปที่หัววัดแสงที่สามารถการเคลื่อนที่ของจุดสะท้อนเลเซอร์ได้ และมีกลไกที่สำคัญในการเคลื่อนสแกนตัวอย่างได้ในระดับอะตอม คือ ผลึกเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ซึ่งสามารถแปลงศักย์ไฟฟ้าไปเป็นการยืดหรือหดตัวของผลึกได้ละเอียดในระดับอะตอม เมื่อเข็มเคลื่อนไปค่าการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามผิวตัวอย่างจะถูกบันทึกไว้และไปเขียนเป็นข้อมูลความสูงต่ำของภาพ สำหรับ AFM ในโหมดแบบเฟส เป็นการใช้หัวเข็มที่มีการสั่นขึ้นลงตามความถี่ธรรมชาติ เฟสการสั่นของเข็มเทียบกับการสั่นของเลเซอร์จะตรงกันเมื่อเข็มสั่นที่มีความถี่ธรรมชาติโดยไม่มีแรงกระทำ หากมีแรงอื่น ๆ มากระทำก็จะทำให้ทั้งแอมพลิจูดและเฟสต่างไปจากเดิม การสแกน AFM ใน Phase mode จึงสามารถใช้บ่งบอกความแตกต่างของชนิดวัสดุบนผิวจากแรงกระทำที่ต่างไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 เทคนิครามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy)

เทคนิครามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy) [8] อาศัยการกระเจิงของแสงที่ แลกเปลี่ยนพลังงานกับการสั่นของพันธะเคมีที่ผิววัสดุ ซึ่งจะมีค่าเฉพาะตัวของพันธะเคมีแต่ละชนิด โหมด การวัดรามานส่วนใหญ่จะศึกษาสเปกตรัมของเลเซอร์ที่เสียพลังงานเป็นยอดกราฟต่างๆที่ตำแหน่งต่างตาม พันธะของสารที่ผิว โดยตำแหน่งนี้จะเขียนอยู่ในรูปเลขคลื่น  $q$  เมื่อแสงหรือโฟตอนโมเมนตัม  $\frac{h}{\lambda}$  เสีย พลังงานไปจนเหลือโมเมนตัม  $\frac{h}{\lambda_1}$  ซึ่งเมื่อบวกกับเลขคลื่นของพันธะจะได้ว่า

$$\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda_1} = hq \quad (1)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

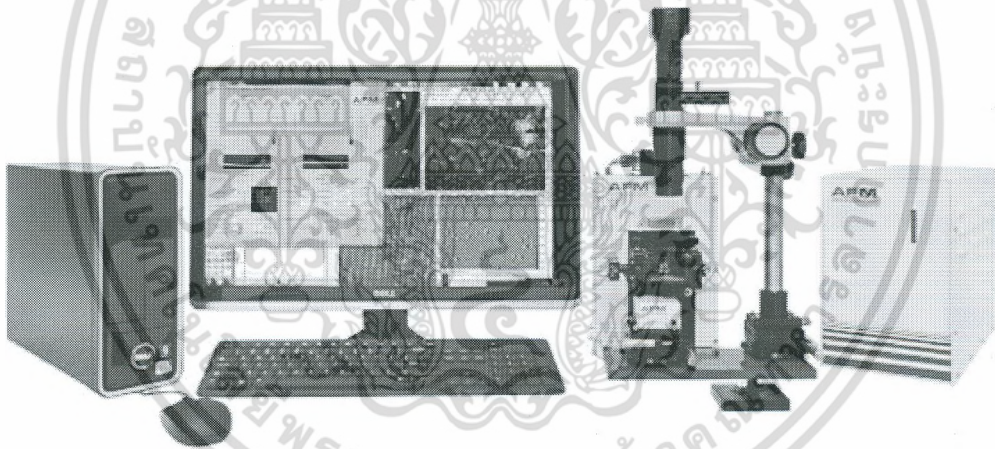
#### 3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การรวบรวมข้อมูลและจัดท้าวสตุธรรมชาตและวสตุทองถน
2. การศกษาการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของวสตุธรรมชาตและวสตุทองถน
3. การศกษาการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างนาโนของวสตุธรรมชาตและวสตุทองถน
4. การประกยุกตใชงานวสตุนาโนในธรรมชาติและวสตุทองถน

#### 3.2 เครื่องวิเคราะห์ทดสอบ

##### 3.2.1 เครื่อง Atomic Force Microscope

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบพื้นผิวด้วยการใช้เข็มขนาดเล็กสแกน เพื่อวัดความสูงต่ำของพื้นผิวในระดับนาโนเมตร เครื่องที่ใช้เป็นเครื่องยี่ห้อ AFM Workshop รุ่น TT-AFM การสแกนใช้โหมด non-contact (รูปที่ 2)

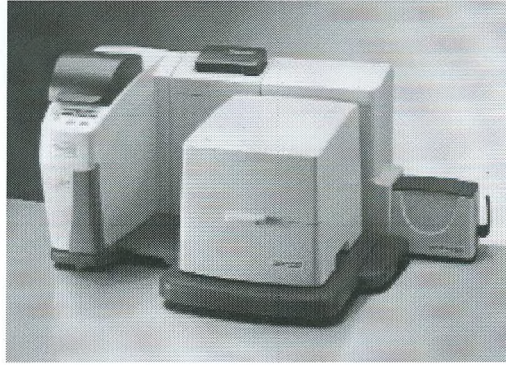


รูปที่ 3 เครื่อง Atomic Force Microscopy (TT-AFM Workshop)

##### 3.2.2 เครื่อง Raman Spectrometer

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การกระเจิงเลเซอร์เพื่อวัดพลังงานที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะเคมีที่ผิว เครื่องที่ใช้เป็นเครื่องยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น DXR SmartRaman (รูปที่ 3) ซึ่งใช้เลเซอร์สีเขียวความยาวคลื่นประมาณ 532 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 เครื่อง Raman Spectrometer (Thermo Scientific DXR SmartRaman)

แผนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังตาราง 1 โดยเทียบกับผลการปฏิบัติงานจริง

ตาราง 1 ผลการดำเนินงานของโครงการเมื่อเทียบกับแผนการดำเนินงานทั้งโครงการ

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											หมายเหตุ	
	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค		ก.ย
1. การรวบรวมข้อมูลและจัดหาวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น	✓	✓	✓	✓									
2. การศึกษาการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
3. การศึกษาการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างนาโนของวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
4. การประยุกต์ใช้งานวัสดุนาโนในธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น							✓	✓	✓	✓	✓	✓	

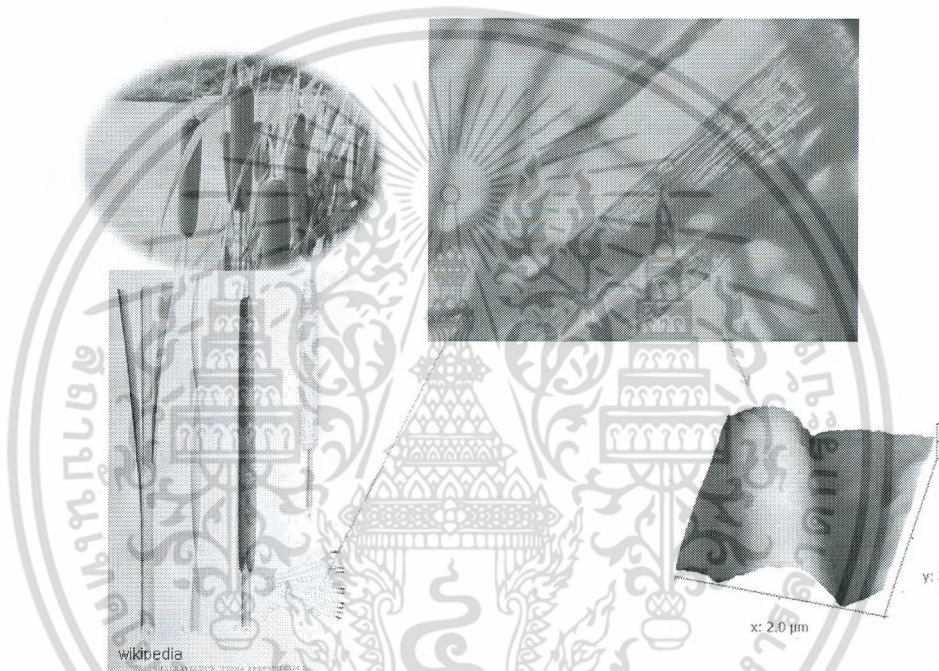
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 การทดสอบดอกธูปฤๅษี

- การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope  
วัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่นที่ได้อบรมรวมมามีหลายหลาย เช่น ใบบัว ยีสต์ เส้นใยผ้า เป็นต้น วัสดุหนึ่งที่น่าสนใจและได้มีการค้นพบประโยชน์ในการดูดซับคราบน้ำมัน คือ ดอกธูปฤๅษี ดังรูปที่ 4



รูปที่ 5 ดอกธูปฤๅษี (ที่มา wikipedia) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสงของเส้นใยในดอก และภาพ Atomic Force Microscopy ของเส้นใย จากซ้ายมาขวาตามลำดับ

การทดสอบพื้นผิวด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope (AFM) ใช้เครื่องของทางวิทยาลัยนาโนฯ ยี่ห้อ AFM Workshop ซึ่งมีศักยภาพในการวัดความสูงต่ำของตัวอย่างได้ ช่วงความสูงถึง 14 ไมครอน ทำให้สามารถวัดเส้นใยในดอกธูปฤๅษีได้

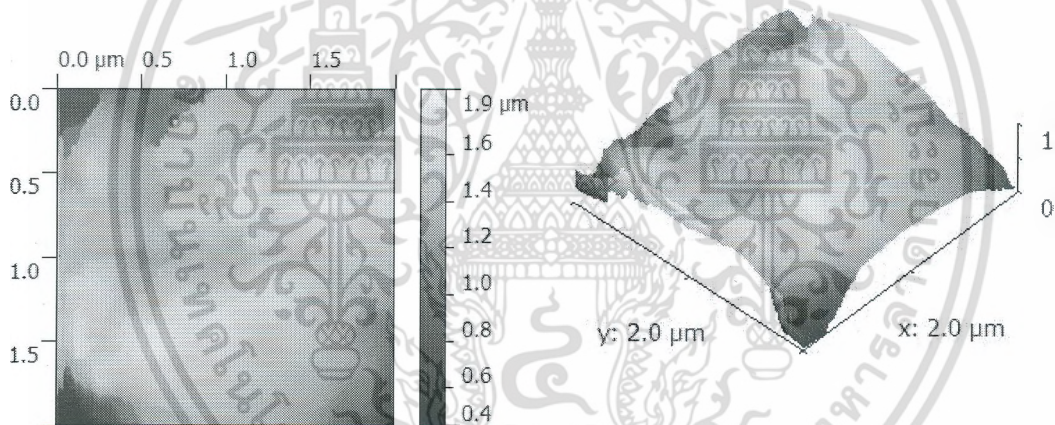
การเตรียมตัวอย่างสำหรับด้วยเครื่อง AFM มีขั้นตอนดังนี้

- นำเทปกาวสองหน้าติดบนฐานรองสำหรับตัวอย่าง AFM

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับเส้นใยดอกธูปฤๅษีให้กระจายเป็นแผ่นรพเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- iii. ลอกกระดาษด้านบนของเทปกาว แล้วนำไปคว่ำทับบนเส้นใยเพื่อให้ติดขึ้นมาโดยใช้มือกดพอประมาณ
- iv. ยกฐานรองตัวอย่างออก ใช้ปากคีบดึงเส้นใยส่วนที่ไม่เรียบหรือชี้ตั้งขึ้นมาออกไป
- v. นำไปเข้าเครื่อง AFM เพื่อทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของเครื่องในโหมด Vibrating (หรือเรียกว่า Tapping mode)

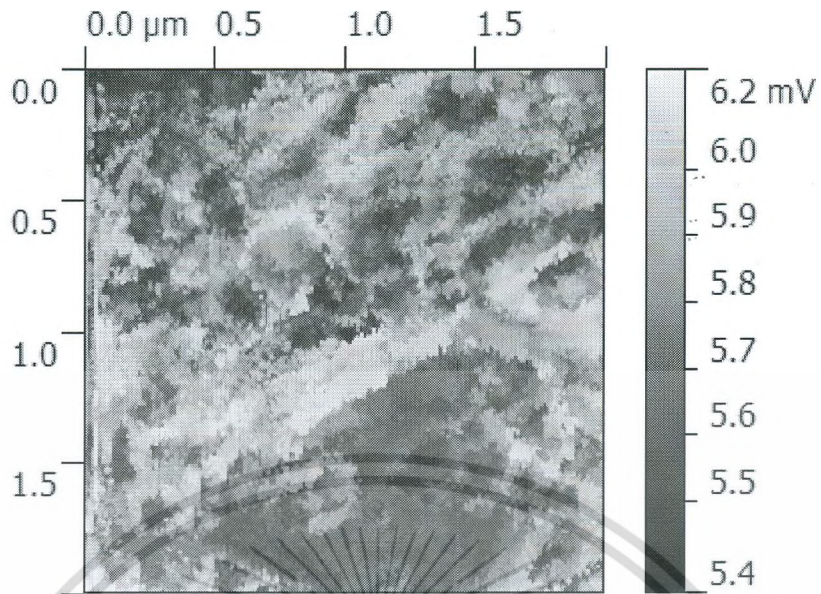
ผล AFM ที่ทำการส่องขยายลงไปบนพื้นผิวเส้นใยในระดับนาโนเมตร ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นภาพการวัดในโหมด Topology ที่แสดงความสูงต่ำของผิวตัวอย่างใน 2 มิติและ 3 มิติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผิวเส้นใยมีความขรุขระมาก แม้จะส่องขยายเข้าไปในในสเกลของภาพที่กว้างยาวเพียง 2 x 2 ตารางไมครอน พื้นผิวยังมีช่วงความสูงถึง 1 ไมครอน โครงสร้างที่สังเกตเห็นได้ในภาพจึงเป็นโครงสร้างระดับไมโครเมตร แต่ยังไม่พบโครงสร้างระดับนาโนเมตรที่จะสอดคล้องกับประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันแต่อย่างใด



รูปที่ 6 ภาพ AFM ของผิวเส้นใยดอกธูปฤๅษี ใน Topology Mode ที่แสดงความสูงต่ำของผิวตัวอย่างใน 2 มิติและ 3 มิติ

การวิเคราะห์พื้นผิวในระดับนาโนของเส้นใยดอกธูปฤๅษีอาจทำได้ยาก เนื่องจากผิวเส้นใยมีสมบัติไม่ชอบน้ำ ซึ่งจะเคลือบด้วยวัสดุที่มีลักษณะเป็นไข ทำให้บดบังโครงสร้างนาโนที่ซ่อนอยู่ เทคนิคการวัด AFM อีกอย่างที่จะช่วยให้เห็นโครงสร้างนั้นได้ คือ Phase mode ของ AFM ซึ่งเป็นการวัดเฟสที่เปลี่ยนไปของเครื่องจ่ายสัญญาณและหัววัดเลเซอร์ที่จับการสั่นของเข็ม ผลการวัดแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่แบ่งเป็นส่วนๆ โดยมีโครงสร้างขนาดประมาณ 100 นาโนเมตรเป็นเสมือนผนังกัน และยังมีโครงสร้างที่เล็กลงในระดับต่ำกว่า 100 นาโนเมตรที่เห็นได้เป็นจุดละเอียดเล็กๆภายในโครงที่คล้ายผนังกันนี้

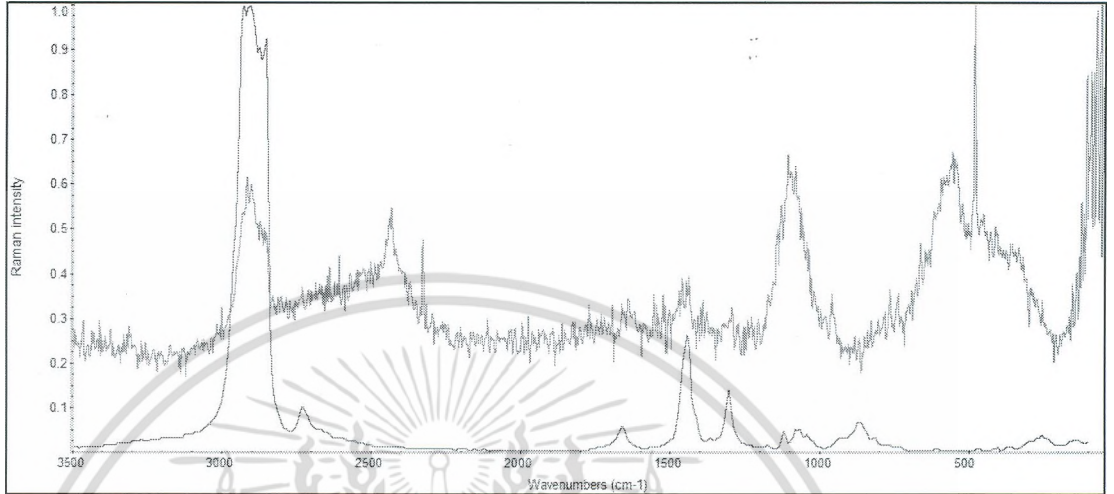
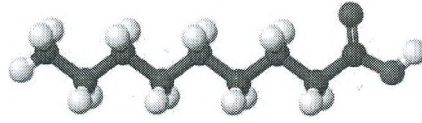
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ภาพ AFM ของผิวเส้นใยตอกรูปถูซี่ ใน Phase mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

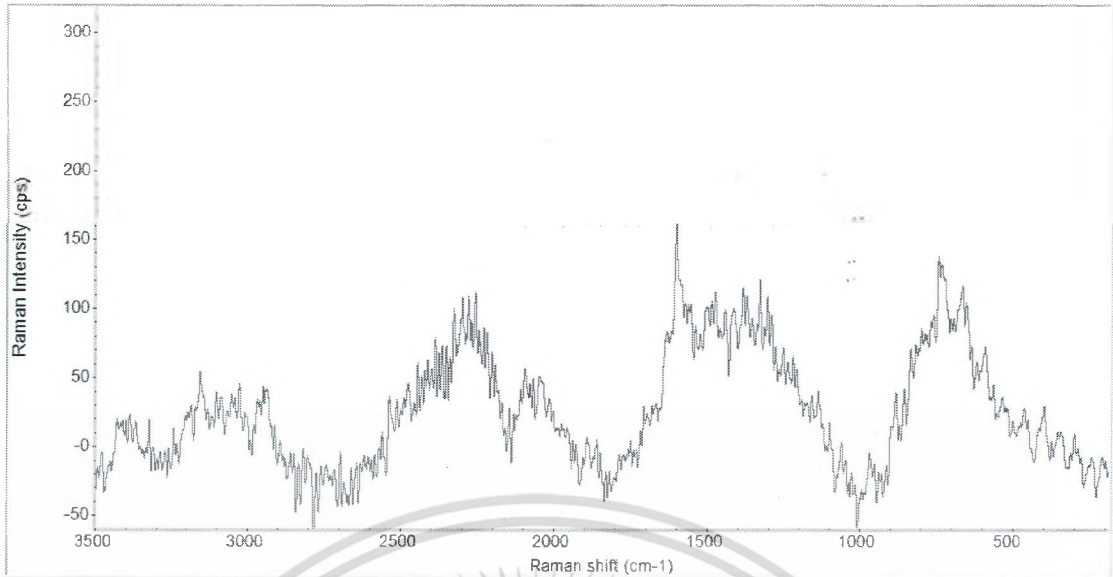
- การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy



รูปที่ 8 ผลการวัดรามานสเปกตรัมจากน้ำมันสกัดธรรมชาติ (สีม่วง เส้นบน) เทียบกับ Nonanoic acid (สีแดง เส้นล่าง) ซึ่งมีโครงสร้างเคมีดังรูปด้านบน

การวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีสามารถทำได้ด้วยเครื่อง Raman Spectrometer ที่วิทยาลัยนาโนฯ ซึ่งเป็นเครื่องยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น DXR SmartRaman Spectrometer การวิเคราะห์นั้นค่อนข้างจะมีความซับซ้อนเนื่องจากต้องมีการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลสเปกตรัมของสารต่างๆ ซึ่งยังไม่ได้มีการรวบรวมไว้มากนัก ตัวอย่างวิจัยนี้จึงได้ทดสอบกับน้ำมันสกัดจากธรรมชาติซึ่งเป็นตัวอย่างในห้องปฏิบัติการประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 8 และได้ทำการวัดเปรียบเทียบกับสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่พันธะเดี่ยวยาว โดยได้เลือกกรดโนนาโนอีกที่มีคาร์บอน 9 อะตอม ผลสเปกตรัมแสดงให้เห็นความคล้ายคลึงของทั้งสองสาร แต่ไม่เหมือนกันทีเดียว น้ำมันสกัดจึงน่าจะมีโครงสร้างที่คล้ายกันกับกรดที่สายโซ่โมเลกุลยาว พวกกรดไขมัน และอาจจะประกอบด้วยสารอื่น เช่น สารให้สีน้ำมัน ซึ่งสังเกตได้ด้วยตาเปล่าเป็นสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ผลการวัดรามานสเปกตรัมจากเส้นใยดอกธูปฤๅษี

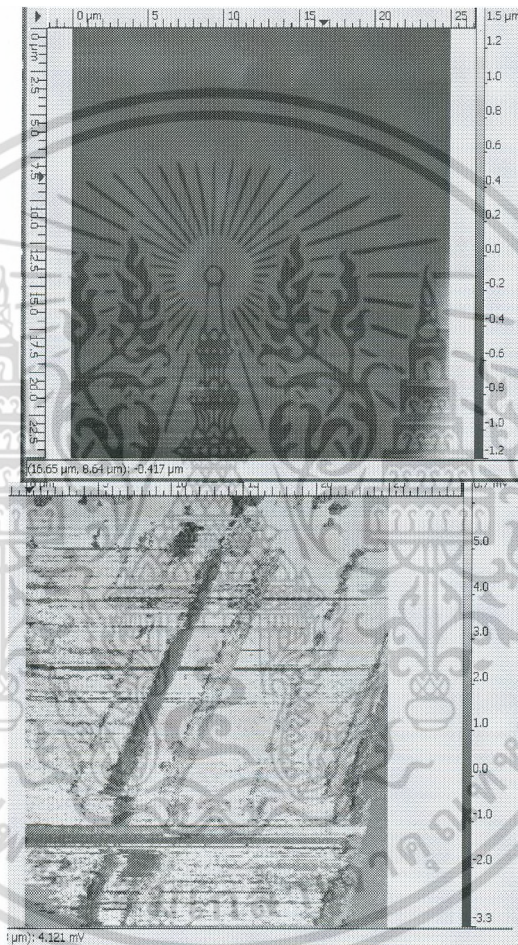
การศึกษารามานของเส้นใยดอกธูปฤๅษีด้วยเครื่องมือปัจจุบันต้องมีการพัฒนาการเตรียมตัวอย่างของเส้นใยที่มีลักษณะเบามากโดยแต่ไม่สามารถใช้การติดกาวเคลือบบนแผ่นตัวอย่างได้เพื่อลดผลรบกวนจากวัสดุอื่น การเตรียมตัวอย่างจึงต้องใช้การอัดเส้นใยให้แน่นแล้วทำการวัดผลเบื้องต้นที่แสดงในรูปที่ 9 แสดงสเปกตรัมของสารอินทรีย์ ผลนี้ยากที่จะระบุชนิดได้ชัดเจน แต่สามารถเทียบผลกับเส้นใยพืชอื่นๆจำพวกเซลลูโลสได้ [9, 10] ยอดกราฟที่ตำแหน่ง Raman shift ประมาณ  $1600 \text{ cm}^{-1}$  อาจจะเป็นสาร lignin ที่พบได้ในพืชทั่วไป ส่วนกราฟที่เหลือมีลักษณะฐานกว้างจึงไม่สามารถระบุได้ชัดเจน งานวิจัยที่สามารถพัฒนาต่อ เช่น การศึกษาสัณฐานวิทยาของสารเคลือบที่ช่วยดูดซับน้ำมันและกรรมวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซับ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดสอบผ้าหมักโคลน

- การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)

ตัวอย่างการวัดผล AFM สำหรับเส้นใยผ้าในเบื้องต้นพบว่า เส้นใยมีความขรุขระมากทำให้ยากต่อการวัดตรวจสอบพื้นผิวด้วยเครื่องที่มีการจำกัดความสูงต่ำในการสแกนผิวตัวอย่างได้เพียง 10 ไมโครเมตร การสแกนผิวนี้นี้ต้องพัฒนาความเชี่ยวชาญต่อไป ตัวอย่างรูป AFM สำหรับการวัดผิวใยผ้าฝ้ายที่พบปัญหาแสดงไว้ในรูปที่ 8 การเตรียมตัวอย่างทำโดยการนำเส้นใยมาติดกับเทปกาวคล้ายกับการสแกนสำหรับเส้นใยดอกธูปฤษีที่ได้รายงานไปแล้ว

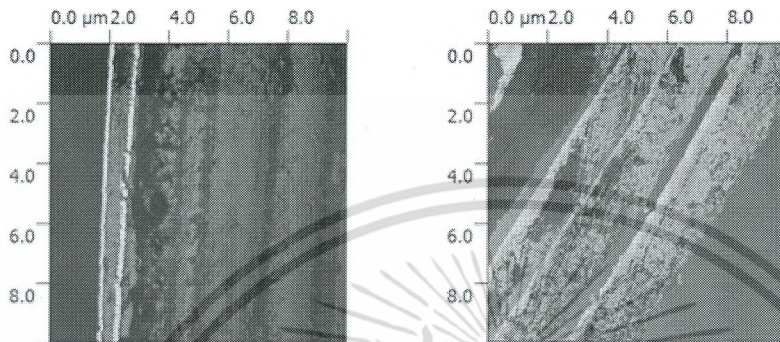


รูปที่ 10 ภาพ Atomic Force Microscopy ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่พบปัญหาเรื่องความสูงต่ำ (ซ้าย ภาพความสูงต่ำ ขวา ภาพเฟส)

แนวทางการแก้ไข (ทดสอบใหม่) คือ การพัฒนาความเชี่ยวชาญในการเลือกบริเวณที่จะทำการสแกนพื้นผิว และการพัฒนาเทคนิคการเริ่มนำเข็มสแกนเข้าไปที่ผิว (Approach technique) ที่เริ่มต้นจากบริเวณที่เล็กกว่า รวมทั้งปรับปรุงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ตัดฝ้ายเป็นเส้นใยเล็กๆ
- 2) ตัดอัดไปบนเทปขาวสองที่ติดอยู่บนฐานรองตัวอย่างโลหะสำหรับเครื่อง AFM
- 3) เคลือบให้มีเส้นใยเพียงชั้นบางๆติดอยู่บนเทปโดยไม่ให้เป็นขุย
- 4) ภาพ Phase-mode AFM

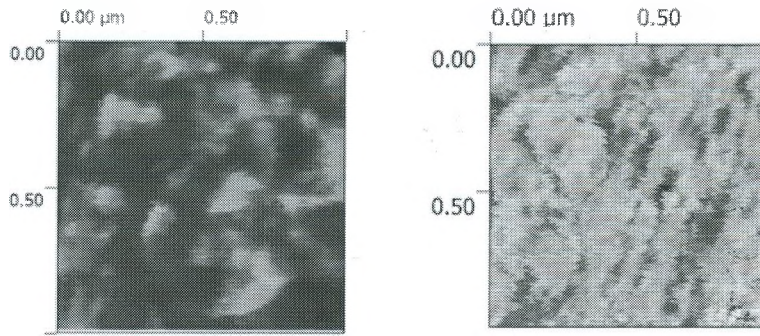


รูปที่ 11 ภาพ AFM (Phase mode,  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ ) แสดงเส้นใยขนาดระดับไมครอนผ้าฝ้ายหมักโคลน หลังจากการปรับการเตรียมตัวอย่าง ของผ้าที่หมักโคลนย้อมสีไคร้รุ่นปกติ (ซ้าย (และแบบใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์(ขวา)

จากภาพในรูปที่ 11 ของเส้นใยของผ้าหมักโคลนย้อมสีไคร้รุ่นปกติ และแบบที่ใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ภาพเฟสของ AFM (Phase mode) มีคุณภาพและความคมชัดมากขึ้น หลังจากได้ปรับวิธีการเตรียมตัวอย่างและเทคนิคการวัด AFM เส้นใยทั้งสองมีขนาดอยู่ในระดับ 1 – 3 ไมโครเมตร และอาจจะมีการรวมตัวกันเป็นเส้นใยที่ใหญ่ขึ้น ภาพ AFM ไม่ได้แสดงโครงสร้างนาโนที่ชัดเจนเหมือนกับเส้นใยดอกกุญชี่ แต่มีลักษณะของพื้นผิวที่ละเอียดในระดับ 100 นาโนเมตรปรากฏเป็นย้อมบริเวณที่มีสีย้อมเคลือบอยู่เป็นรอยต่อกันขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร

ผ้าหมักโคลนย้อมสีไคร้รุ่นแบบที่ใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นกระบวนการหมักโคลนที่ทำโดยหมู่บ้านผ้าไหมภูไท และใช้วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์จากวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ผสมไปในกระบวนการต้มหมักโคลนและกระบวนการย้อมสี ภาพ AFM ในรูปที่ 11 แสดงลักษณะของพื้นผิวที่สังเกตได้คล้ายกันในตัวอย่างผ้าทั้งสอง คือ ลักษณะคล้ายสารเคลือบซึ่งปรากฏเป็นสีจางกว่าบนภาพเฟสของ AFM สารนี้เคลือบอยู่บนเส้นใยฝ้ายที่ปรากฏเข้มกว่าในภาพเฟสของ AFM ชั้นสารเคลือบนี้จึงน่าจะเป็นสีย้อมที่เคลือบเส้นใยฝ้าย แต่ภาพนี้ยากที่จะบอกได้ว่ามีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใส่ลงไปเคลือบอยู่หรือไม่

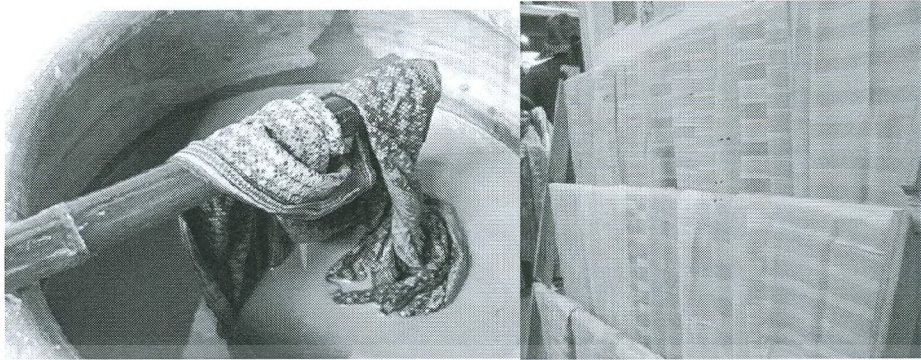
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 ภาพ AFM (Phase-mode,  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ ) แสดงเส้นใยขนาดระดับไมครอนของผ้าที่หมักโคลน ย้อมสีครามนุ่นปกติ (ซ้าย) และแบบใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ขวา)

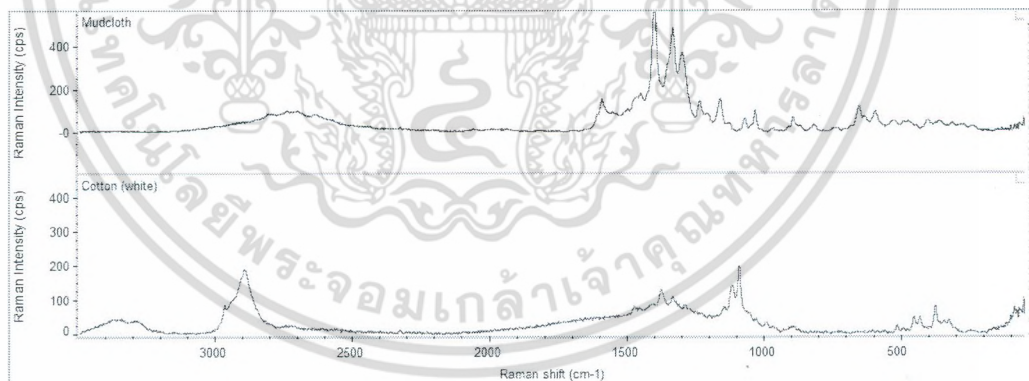
ภาพเฟสของ AFM ในสเกลที่ละเอียดมากขึ้นแสดงไว้ในรูปที่ 12 ภาพแสดงความแตกต่างของลักษณะพื้นผิวที่มีความละเอียดต่างกันเล็กน้อยสำหรับผ้าหมักโคลนย้อมสีครามนุ่นปกติ (ซ้าย) และแบบใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ขวา) ซึ่งให้ความละเอียดของเนื้อมากกว่า การหมักโคลนด้วยซิงค์ออกไซด์ อาจจะทำให้ความแตกต่างของพื้นผิวโดยเพิ่มความละเอียดของผิวได้เล็กน้อย การพิสูจน์ต้องมีการวัดซ้ำหลายจุดเพื่อยืนยันผลรวมกับเทคนิครามาน แต่การวัดรามานด้วยเครื่องมือที่วิทยาลัยนาโนฯ ไม่สามารถให้รายละเอียดของพันธะเคมีในสเกลที่ต่ำมาก โดยเลเซอร์จะมีความละเอียดได้เพียงประมาณ 100 – 300 นาโนเมตร ดังนั้นจึงยากที่จะบอกได้อย่างชัดเจนว่าผิวมีโครงสร้างเปลี่ยนหรือไม่เมื่อมีการเติมอนุภาคนาโนในกระบวนการย้อมหมักโคลน

- การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy



รูปที่ 13 ภาพผ้าหมักโคลนของหมู่บ้านภูไท อ.หนองสูง จ.มุกดาหาร  
(iBiz Manager Online 23 พ.ย. 55)

ตัวอย่างผ้าหมักโคลนได้รับความอนุเคราะห์จากหมู่บ้านภูไท อ.หนองสูง และวิทยาลัยชุมชน จ.มุกดาหาร กระบวนการหมักโคลนนี้นับได้ในวัฒนธรรมชุมชนเก่าแก่ เช่น ผ้า bogolanfini ของประเทศมาลี ซึ่งกระบวนการหมักโคลนจะแตกต่างกันไปตามชุมชน และมักจะมีบ่อน้ำเก่าที่ใช้เป็นของโคลนพิเศษ ด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่นการหมักโคลนได้ถูกค้นพบว่าจะทำให้ผ้านุ่มและย้อมสีติดได้ดีกว่าผ้าฝ้ายปกติที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักโคลน

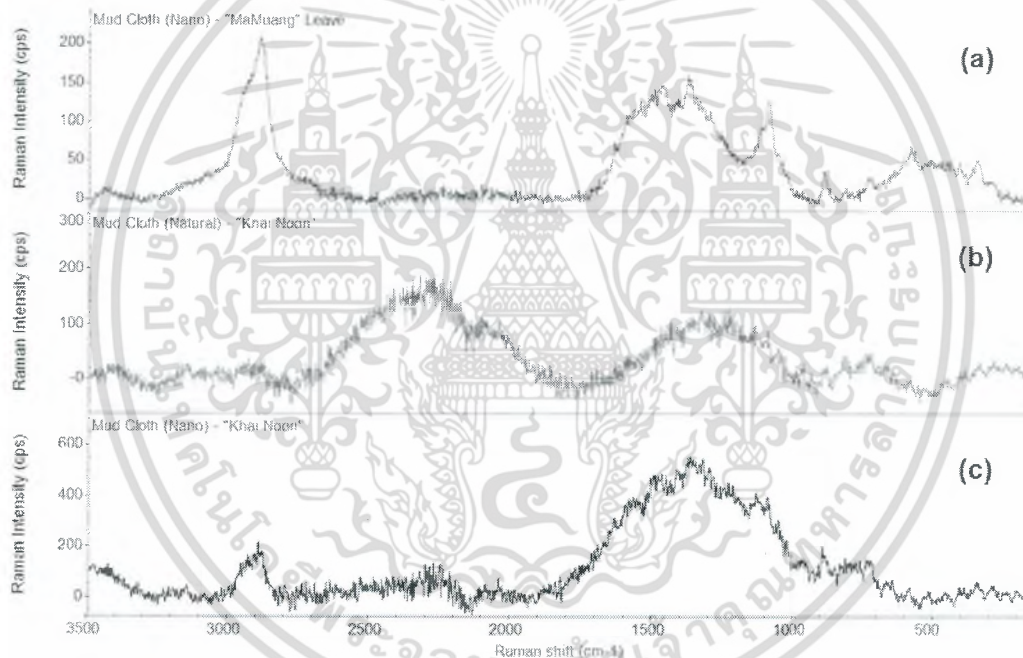


รูปที่ 14 ผลการวัดรามานสเปกตรัมของเส้นใยฝ้ายของผ้าหมักโคลน (บน) เทียบกับเส้นใยฝ้าย – สำลี) ล่าง(

ผลการวัดรามานสเปกตรัมในรูปที่ 10 แสดงสเปกตรัมของเส้นใยฝ้ายของผ้าหมักโคลน เปรียบเทียบกับเส้นใยฝ้าย (สำลี) แต่สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบที่สมบูรณ์ จะต้องนำผลไปเปรียบเทียบผ้าหมักโคลนที่ยังไม่ได้ทำการย้อมสีซึ่งจะดำเนินการต่อไป และอาจจะต้องทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อล้างสีย้อมออก

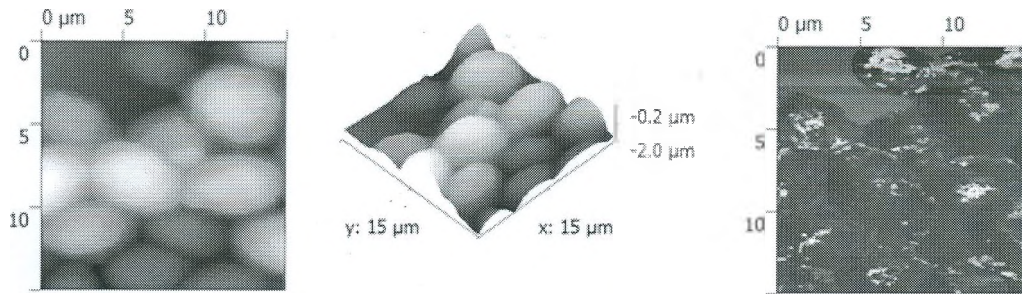
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเบื้องต้นแสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของเส้นใยฝ้าย และผลของสีย้อม จากงานวิจัย P. Buzzini และ G. Massonet [2] สีย้อมอาจทำให้สเปกตรัมรามานแตกต่างกันไป ได้มากกว่าตัวเส้นใยเอง เนื่องจากสำหรับตัวอย่างที่ทึบแสง รามานจะเป็นเทคนิคที่จำกัดอยู่ที่ บริเวณผิว ผลการวัดในรูปที่ 11 เป็นการเทียบผลของผ้าหมักโคลนโดยใช้วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ ผสมในกระบวนการย้อมหมักโคลนและย้อมสีธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบสีย้อม 2 ชนิดคือสีโบ มะม่วงและสีไข่มุน และมิตัวอย่างที่ย้อมหมักโคลนแบบธรรมชาติที่ย้อมสีไข่มุนเปรียบเทียบ ผล การทดลองแสดงให้เห็นว่าลักษณะของสีย้อมมีผลต่อสเปกตรัม แต่ผลที่น่าสนใจ คือ การย้อมแบบ นาโนและแบบธรรมชาติให้ผลสเปกตรัมที่มีเอกลักษณ์แตกต่างกัน โดยการย้อมด้วยนาโนซิงค์ออก ไซด์ให้ตำแหน่งกราฟที่เป็นเอกลักษณ์ที่ประมาณ 900, 1100 และ 2900  $\text{cm}^{-1}$  ตำแหน่งกราฟนี้ไม่ สัมพันธ์กับสเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์ และผลนี้ยังมีลักษณะคล้ายใยสาลีพอกขาว ซิงค์ออกไซด์นา โนว่าจะกระตุ้นให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนบางอย่างบนผ้าซึ่งต้องมีการพิสูจน์อย่างละเอียดต่อไป



รูปที่ 15 ผลการวัดรามานสเปกตรัมของเส้นใยฝ้ายของผ้าหมักโคลนโดยใช้วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมใน กระบวนการย้อมหมักโคลนและย้อมสีธรรมชาติเทียบกับกระบวนการปกติ ได้แก่ a) ย้อมสีโบมะม่วงด้วย กระบวนการนาโน b) ย้อมสีไข่มุนด้วยกระบวนการปกติ และ c) ย้อมสีไข่มุนด้วยกระบวนการนาโน

### 4.3 การทดสอบการผิววัสดุธรรมชาติอื่นๆ



รูปที่ 16 ภาพ AFM ของยีสต์แสดงภาพความสูงต่ำ (ซ้ายและกลาง) และภาพเฟส (ขวา)

การงานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อวัดผิววัสดุธรรมชาติอื่นๆ ด้วยเทคนิค AFM มีจุดมุ่งหมายเพื่อทดลองหาวัสดุที่จะเหมาะสมกับการทดลองในวิชาปฏิบัติการในระดับปริญญาตรีซึ่งจะต้องมีกระบวนการเตรียมตัวอย่างและการวัดภาพ AFM ได้ไม่ยุ่งยากนัก การเตรียมตัวอย่างยีสต์เพื่อทำการวัดด้วยเทคนิค AFM ทำได้ดังนี้

- 1) นำยีสต์ผงมาละลายน้ำประมาณ 0.1 กรัมต่อน้ำ 100 ml (ประมาณ ½ ช้อนชาต่อน้ำ 1 ถ้วย)
- 2) หยดยีสต์ลงบนแผ่นแก้วแก้วที่สะอาด
- 3) รอให้แห้งประมาณ 5-10 นาที
- 4) นำแผ่นแก้วไปติดด้วยเทปกาวบนฐานรองตัวอย่างโลหะสำหรับเครื่อง AFM

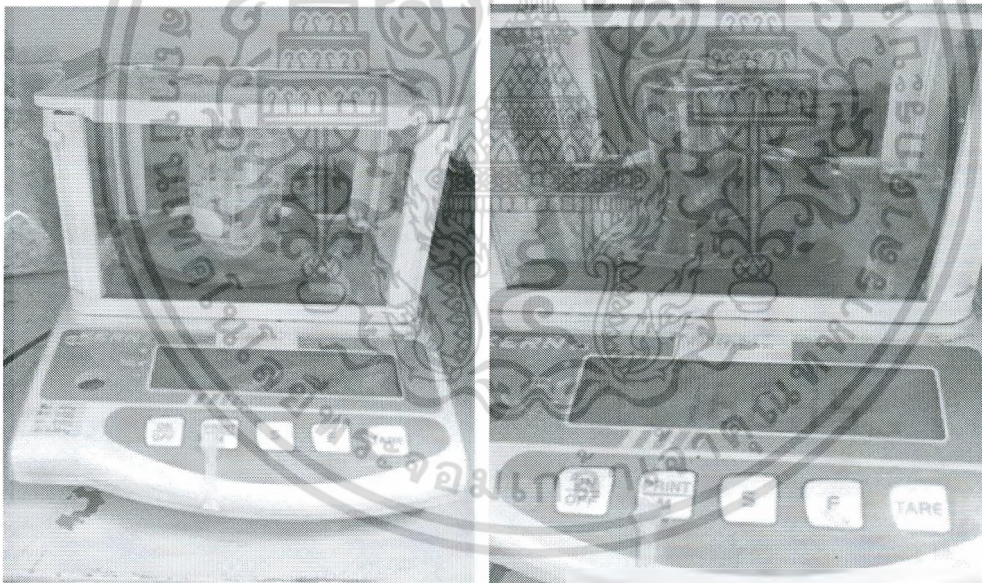
ผลการวัด AFM ของยีสต์ในรูปที่ 16 ซึ่งมีการเตรียมตัวอย่างได้ง่ายกว่าของเส้นใยดอกกุญชี่และเส้นใยผ้าฝ้ายและมีขนาดอนุภาคไม่ใหญ่เกินไป โดยมีขนาดประมาณ 3 – 5 ไมครอน ตัวอย่างยีสต์จึงเหมาะกับการเรียนการสอน โดยเราเตรียมได้โดยนำยีสต์ผงผสมน้ำ รอจนยีสต์เริ่มฟองตัว คนให้เข้ากัน และนำมาหยดลงบนแผ่น ในภาพแสดงลักษณะยีสต์สังเกตได้เป็นทรงกลม และบางส่วนมีการแตกหน่อ ยีสต์ยังสามารถให้รายละเอียดได้ทั้งภาพความสูงต่ำ (ซ้ายและกลาง) และภาพเฟส (ขวา) นอกจากนั้นภาพเฟสยังแสดงความแตกต่างของผิวยีสต์บางส่วนที่เป็นจุดสว่าง ซึ่งบ่งบอกความแตกต่างทางเคมีที่บริเวณนี้และอาจจะเป็นช่องทางสำหรับกระบวนการชีวเคมีบางอย่าง เช่น การแตกหน่อ หรือ การเข้าออกของสาร

#### 4.4 การพัฒนาการประยุกต์ใช้งาน

- การวิเคราะห์การดูดซับน้ำมันของเส้นใยดอกธูปฤๅษี



รูปที่ 17 การสาธิตการดูดซับคราบน้ำมันในน้ำด้วยใยดอกธูปฤๅษี [1]



รูปที่ 18 การทดลองวัดการดูดซับน้ำมันเครื่องของเส้นใยดอกธูปฤๅษีอย่างง่ายโดยใช้เครื่องชั่งสามตำแหน่ง

สมบัติโครงสร้างนาโนที่ตรวจพบในเส้นใยดอกธูปฤๅษี ได้แสดงให้เห็นการดูดซับน้ำมันในเบื้องต้น ซึ่งมากกว่าวัสดุธรรมชาติชนิดอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน ดังการสาธิตในเบื้องต้นในรูปที่ 17 [1] ซึ่งพัฒนาเป็นต้นแบบวัสดุซับน้ำมันเบื้องต้น ซึ่งบรรจุเป็นถุงเพื่อสะดวกในการใช้งาน แต่การพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้งานควรมีการวัดค่ามาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีอยู่ทั่วไปซึ่งสามารถดูดซับน้ำมันได้ประมาณ 10 เท่าของน้ำหนักตัว และวัสดุพอลิเมอร์พิเศษที่ดูดซับได้มากกว่า 40 เท่าของน้ำหนักตัว [9] วัสดุที่ดีที่สุดในการดูดซับน้ำมันในปัจจุบัน คือ คาร์บอนแอโรเจล ซึ่งมีลักษณะคล้ายถ่านที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรปริมาณมาก จึงทำให้มีน้ำหนักเบาเป็นพิเศษ และสามารถดูดซับน้ำมันได้มากกว่า 190 เท่าของน้ำหนักตัว [10] การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

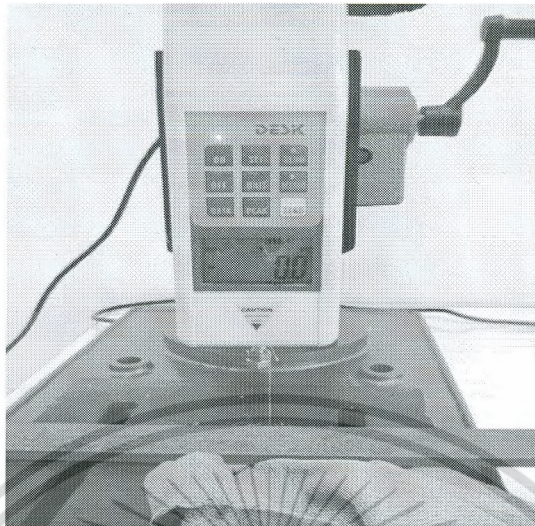
การทดลองการดูดซับน้ำมันทำได้โดยการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบก่อนและหลังการจุ่มน้ำมัน โดยใช้น้ำมันเครื่องรถยนต์เป็นตัวแทนน้ำมัน ดังรูปที่ 18 ผลการทดลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยแสดงไว้ในตาราง 2 โดยได้ค่าการดูดซับน้ำมันต่อน้ำหนักเส้นใยเป็น  $16.4 \pm 0.1$  เมื่อเปรียบเทียบการค่าการดูดซับของวัสดุอื่นๆแล้ว โยดอกรูปฤๅษีที่ยังไม่ผ่านกระบวนการใดๆมีค่าการดูดซับดีกว่าวัสดุเชิงการค้า แต่ยังคงน้อยกว่าวัสดุพอลิเมอร์ชนิดพิเศษและวัสดุคาร์บอนแอโรเจล ดังนั้นการพัฒนาสู่ต้นแบบเชิงพาณิชย์จึงต้องมีวิจัยหาวิธีการในการปรับปรุงประสิทธิภาพ เช่น การเผา

ตาราง 2 ผลการวัดการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤๅษี

ครั้งที่	น้ำหนักเส้นใยก่อนดูดซับ (g)	น้ำหนักรวมหลังดูดซับน้ำมัน (g)	น้ำหนักน้ำมันที่ดูดซับไว้ (g)	ปริมาณการดูดซับต่อน้ำหนักเส้นใย
1	1.026	17.615	16.589	16.169
2	1.012	17.779	16.767	16.568
3	1.017	17.645	16.628	16.350
			เฉลี่ย	16.36
			S.D.	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเส้นใยผ้าฝ้ายหมักโคลน



รูปที่ 19 การทดสอบแรงดึงของเส้นใยผ้าฝ้ายหมักโคลนโดยใช้เกจวัดแรง

ตาราง 3 การตรวจวัดแรงดึงของผ้าหมักโคลนแบบต่างๆ

	1.ผ้าหมักโคลนนาโน+ไบมะม่วง	2.ผ้าหมักโคลนธรรมดา+ไคร์นูน	3.ผ้าหมักโคลนนาโน+ไคร์นูน	4 ผ้าหมักโคลนที่ว่างจำหน่าย
ครั้งที่1	49.1	54.8	55.9	55.9
ครั้งที่2	47.3	55.2	57.7	57.7
ครั้งที่3	48.9	56.7	59.3	58.3
เฉลี่ย	48.4	55.6	57.6	57.3
ความคลาดเคลื่อนค่าเฉลี่ย	0.6	0.6	1.0	0.7

การตรวจสอบวิเคราะห์ผ้าหมักโคลนที่ใส่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในกระบวนการย้อมหมัก บ่งชี้ว่ามีความเป็นไปได้ที่วัสดุนาโนมีผลปรับเปลี่ยนโครงสร้างผิวเส้นใยหรือเคลือบติดเส้นใย แนวทางหนึ่งในการศึกษาวัสดุคือการวัดผลที่เกิดขึ้นโดยรอบกับเส้นใยเพื่อสังเกตผลความแตกต่าง ในเบื้องต้นความแตกต่างหนึ่งที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่าคือลักษณะสีเส้นใยที่มีโทนสีเข้มกว่าเล็กน้อยเมื่อใส่อนุภาคนาโน การทดสอบสมบัติความแข็งแรงของเส้นใยเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะแสดงของผลรวมจากโครงสร้างเส้นใยได้ ผลการวัดแรงดึงสูงสุดของเส้นใยก่อนขาดโดยเลือกเส้นใยขนาดใกล้เคียงกันแสดงไว้ในตาราง 3 ผลที่ได้แสดงความแตกต่างของแรงดึงสูงสุดเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าหมักโคลนย้อมสีไคร์นูนที่เต็มและไม่เต็ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโน แต่ความแตกต่างนี้ยังไม่เพียงพอที่จะบอกความต่างได้ชัดเจนในเชิงสถิติ นอกจากนั้นการเคลือบสีแบบอื่น คือ สีโบมะม่วง และผ้าที่วางจำหน่าย (ไม่ทราบชนิดสี) พบว่ามีค่าความแตกต่างที่มากกว่าผลของการเติมอนุภาคนาโน ผลทั้งหมดนี้อาจจะสรุปได้ว่าอนุภาคนาโนที่เติมลงไปยังไม่มีผลที่ชัดเจนต่อโครงสร้างเส้นใยฝ้าย การพัฒนาเชิงผลิตภัณฑ์จึงยังต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการต่อไป แม้จะตรวจพบความแตกต่างในเชิงโครงสร้างและสมบัติเคมีผิวแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาโครงสร้างนาโนของวัสดุธรรมชาติและวัสดุท้องถิ่น แสดงให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างนาโนในวัสดุต่างๆ เส้นใยดอกกุญชี่มีโครงสร้างระดับนาโนและเส้นใยระดับไมโครเมตร ซึ่งเป็นผลให้ความพิเศษในการดูดซับน้ำมันด้วยประสิทธิภาพสูง ผลนี้แตกต่างจากเส้นใยฝ้ายที่มีเส้นใยระดับไมโครเมตร แต่ไม่ปรากฏโครงสร้างระดับนาโนที่ชัดเจน ผลการศึกษานี้คล้ายกับวัสดุธรรมชาติอื่นๆ เช่น ผิวยีสต์ ที่มีโครงสร้างนาโนที่ผิวไม่ชัดเจนเหมือนกับเส้นใยดอกกุญชี่

ตัวอย่างแนวทางการพัฒนาวิจัยในการประยุกต์ใช้วัสดุนาโนเบื้องต้น คือ การใช้อนุภาคนาโนในกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยการหมักโคลน ซึ่งปกติทำให้ได้คุณภาพสีและความนุ่มของเส้นใยที่ดีกว่าเดิม แต่การเติมอนุภาคนาโนอาจจะสามารถเพิ่มสมบัติการใช้งานอื่นๆ เช่น ความคงทน และสมบัติการต้านเชื้อที่ต้องมีการศึกษาต่อไป ผลการทดสอบเบื้องต้นของการเพิ่มอนุภาคนาโนซึ่งค้อออกไซด์ในกระบวนการย้อมหมักโคลนแสดงถึงความแตกต่างโครงสร้างผิวและสมบัติเคมี ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นโครงการวิจัยเชิงลึกต่อไป

งานวิจัยแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเครื่องมือในวิทยาลัยนาโนฯ ในการตรวจวิเคราะห์วัสดุธรรมชาติ และควรนำไปใช้ศึกษาในเชิงลึก และศึกษาวัสดุท้องถิ่นอื่นๆ ต่อไป รวมทั้งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเรียนการสอนปฏิบัติการและการพัฒนาความเชี่ยวชาญของบุคลากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

## สรุปผลผลิตงานวิจัย

## ต้นแบบการประยุกต์ใช้ผลลัพธ์จากโครงการ

1. วัสดุนาโนจากเส้นใยดอกรูปฤๅษีสำหรับดูดซับน้ำมัน
2. กระบวนการปรับปรุงเส้นใยฝ้ายย้อมหมักโคลนด้วยอนุภาคนาโน
3. กระบวนการวิเคราะห์ทดสอบวัสดุธรรมชาติสำหรับการเรียนการสอนวิชา Nanomaterials Laboratory

ตาราง 4 สรุปผลผลิตหรือการนำไปใช้ประโยชน์จากงานวิจัยนี้

แผนงาน	ผลงาน
ต้นแบบกระบวนการการนำวัสดุนาโนในธรรมชาติไปประยุกต์ใช้งานอย่างน้อย 1 เรื่อง	ต้นแบบการประยุกต์ใช้งานระดับห้องปฏิบัติการ 2 เรื่อง การประยุกต์เป็นตัวอย่างการเรียนการสอน 1 เรื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, “งานวิจัย,” [ออนไลน์]. Available: <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/reserch.html>.
- [2] K. Liu and L. Jiang, "Bio-Inspired Self-Cleaning Surfaces," *Annual Review of Materials Research*, vol. 42, pp. 231-263, 2012.
- [3] C. R. Crick and I. P. Parkin, "Preparation and Characterisation of Super-Hydrophobic Surfaces," *Chemistry: European Journal*, vol. 16, p. 3568 – 3588, 2010.
- [4] M. Liu and e. al., "Bioinspired Design of a Superoleophobic and Low Adhesive Water/Solid Interface," *Advanced Materials*, vol. 21, pp. 663-669, 2009.
- [5] P. Buzzini and G. Massonet , "The Discrimination of Colored Acrylic, Cotton, and Wool Textile Fibers Using Micro-Raman Spectroscopy. Part 1: In situ Detection and Characterization of Dyes," *Journal of Forensic Sciences* , 2013.
- [6] J. Zhuo and G. Sun, "Light-induced surface graft polymerizations initiated by an anthraquinone dye on cotton fibers," *Carbohydrate Polymers*, vol. 112, p. 158-164, 2014.
- [7] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, นาโนเทคโนโลยี: งานวิจัยนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย, ปทุมธานี: สวทช, 2008.
- [8] G. Gouadec and P. Colombar, "Raman Spectroscopy of nanomaterials: How spectra relate to disorder, particle size and mechanical properties," *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, vol. 53, pp. 1-56, 2007.
- [9] S. M. Mortazavi and M. K. Moghaddam, "An analysis of structure and properties of a natural cellulosic fiber (Leafiran)," *Fibers and Polymers*, vol. 11, no. 6, pp. 877-882, 2010.
- [10] T. Röder and H. Sixta, "Confocal Raman spectroscopy - Applications on wood, pulp, and cellulose fibres," *Macromolecular Symposia*, vol. 223, pp. 57-66, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] N. Scientist, "Super-sponge polymer turns oil spill into floating gel," *New Scientist*, 2012. [Online]. Available: <http://www.newscientist.com/blogs/nstv/2012/10/super-sponge-turns-oil-spill-into-floating-gel.html>. [Accessed October 2014].
- [12] H. Bi, Z. Yin, X. Cao, X. Xie, C. Tan, X. Huang, B. Chen, F. Chen, Q. Yang, X. Bu, X. Lu, L. Sun and H. Zhang, "Carbon fiber aerogel made from raw cotton: A novel, efficient and recyclable sorbent for oils and organic solvents," *Advanced Materials*, vol. 25, no. 4, pp. 5916-5921, 2013.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ดร. สิริพัฒน์ ประโทนเทพ

Mr. Sirapat PRATONTEP, Ph.D.

เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 1201 01886 45 8

ตำแหน่ง อาจารย์

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

หมายเลขติดต่อ 02-326-4111 ต่อ 3034

โทรสาร 02-3264733

Email kpsirapat@gmail.com, kpsirapa@kmitl.ac.th

วุฒิการศึกษา Ph.D. สาขา Nanoscale Physics จาก The University of Birmingham ประเทศอังกฤษ

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

- เซ็นเซอร์ฟิล์มบางนาโนจากโมเลกุลอินทรีย์ ศูนย์นาโนฯ หัวหน้าโครงการ
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง สวทช. หัวหน้ากิจกรรม
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (ความร่วมมือไทย-ฝรั่งเศส) สกอ./รัฐบาลฝรั่งเศส

ศ.ดร. จิติ หนูแก้ว

Assoc. Prof. Jiti Nukaew, Ph.D.

เลขหมายประจำตัวประชาชน 3800600202825

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

หมายเลขติดต่อ 02-326-4111 ต่อ 3034

โทรสาร 02-3264733

Email knjiit@kmitl.ac.th

วุฒิการศึกษา Ph.D. สาขา D.Eng. (Material Science and Engineering), Nagoya University, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดร. ทศติยาภรณ์ ทิววงศ์

Miss Thutiyaporn Thiwawong, Ph.D.

เลขหมายประจำตัวประชาชน 3100200720060

ตำแหน่ง อาจารย์

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

หมายเลขติดต่อ 02-329-8000 ต่อ 3034

โทรสาร 02-3298265

Email ktthutiy@kmitl.ac.th

วุฒิการศึกษา Ph.D. สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดร. วินัดดา วงศ์วิริยะพันธุ์

Ms. Winadda Wongwiriyan, Ph.D.

ตำแหน่ง อาจารย์

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

หมายเลขติดต่อ 02-329-8000 ต่อ 3133

โทรสาร 02-3298265

Email ksdarine@kmitl.ac.th

วุฒิการศึกษา Ph.D. Osaka University, Japan

ดร. ทศพล เมลืองนนท์

Mr. Tosapol Malungnont, Ph.D.

ตำแหน่ง อาจารย์

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

หมายเลขติดต่อ 02-329-8000 ต่อ 2134

โทรสาร 02-3298265

Email kmtosapo@kmitl.ac.th

วุฒิการศึกษา Ph.D. Oregon State University, USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวกัลยกร เจริญกุล

Ms. Kalyakorn Charoenkul

ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

หมายเลขติดต่อ 02-329-8000 ต่อ 3121

โทรสาร 02-3298265

Email kckalyak@kmitl.ac.th

วุฒิการศึกษา B.Sc. (เคมีสิ่งแวดล้อม), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ว่าที่ร้อยตรี ดิเรกฤทธิ์ จันทรวงษ์

Mr. Direklit Jantarawong

ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

หมายเลขติดต่อ 02-329-8000 ต่อ 3108

โทรสาร 02-3298265

Email direklit@gmail.com

วุฒิการศึกษา B.Sc. , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้