

## การเตรียมและสมบัติของโฟมพอลิยูรีเทนผสมปุ๋ยยูเรีย

### Preparation and Properties of Polyurethane Foam Mixed with Urea

ศิวรจน์ คงหนู<sup>1</sup> และ วราภรณ์ ตันรัตนกุล<sup>2\*</sup>

Siwan Khongnoo<sup>1</sup> and Varaporn Tanrattanakul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

<sup>2\*</sup>อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

<sup>1</sup>Graduate student in Master of Science (Polymer Science and Technology) of Faculty of Science,  
Prince of Songkla University, Hadyai, Songkla, 90110

<sup>2\*</sup>Associate Professor in Master of Science (Polymer Science and Technology) of Faculty of Science,  
Prince of Songkla University, Hadyai, Songkla, 90110

\*Corresponding author, E-mail: varaporn.t@psu.ac.th

#### บทคัดย่อ

ยางธรรมชาติถูกดัดแปรทางเคมีให้มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายสายโซ่โมเลกุลและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วย เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทน โดยมีวัตถุประสงค์ใช้งานด้านเกษตรกรรมสำหรับการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรีย หรือที่เรียกว่าปุ๋ยละลายช้า ปุ๋ยยูเรียถูกผสมลงไปพร้อมกับสารเคมีต่างๆ ในระหว่างการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทน ผลการทดลองพบว่าปริมาณปุ๋ยที่เติมได้มากที่สุดคือ 1:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโฟมและปุ๋ย ทำการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของโฟมด้วย FTIR และลักษณะสัณฐานวิทยาด้วย SEM โฟมมีลักษณะเป็นกึ่งเซลล์เปิดและเซลล์ปิดผสมกัน การเพิ่มปริมาณสารฟู (น้ำ) ทำให้โฟมมีเซลล์ใหญ่ขึ้นและเป็นเซลล์เปิดมากขึ้น ฟองปุ๋ยกระจายอยู่ในเนื้อโฟม

**คำสำคัญ:** ยางธรรมชาติ โฟมพอลิยูรีเทน ปุ๋ยละลายช้า

#### Abstract

Natural rubber was chemically modified to obtain low molecular weight hydroxyl terminated molecules. They were used as a starting material for synthesis of polyurethane foam (PUF) which will be used as an agricultural application in terms of controlled release of fertilizer. Urea fertilizer was mixed with other chemicals during polymerization of PUF. It was found that the maximum content of the fertilizer was 1:1 (PUF:fertilizer, wt/wt). The chemical structure of the derived PUF with Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and its morphology were determined with scanning electron microscopy (SEM). The cellular structure of the PUF

was both open and closed cells. An increase in the blowing agent (water) enlarged the cell size and more open cells were observed. The fertilizer powders were distributed in the PUF matrix.

**Keywords:** natural rubber, polyurethane foam, slow-released fertilizers

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้ปุ๋ยในการเพิ่มผลผลิตทางเกษตรกรรมมีความนิยมมาก แต่ด้วยการใช้ปุ๋ยธรรมดาทั่วไปมีข้อจำกัดคือ ปุ๋ยธรรมดาทั่วไปจะละลายน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่สัมผัสน้ำหรือความชื้นในดิน และสลายธาตุอาหารออกมาอย่างสูงใน 2-3 วันแรก ดังนั้นปริมาณปุ๋ยจะลดลงอย่างรวดเร็วและหมดไปในเวลาอันสั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจเตรียมปุ๋ยที่มีสมบัติละลายช้า ซึ่งเป็นปุ๋ยที่บรรจุอยู่ในโฟมพอลิเมอร์ คาดว่าน้ำจะซึมเข้าไปละลายธาตุอาหารในโฟม แล้วธาตุอาหารจะค่อยๆ ละลายออกมาให้แก่พืช

โฟมพอลิยูรีเทน(polyurethane foam) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความคงตัวแข็งแรง น้ำหนักเบา น้ำซึมผ่านได้ (Wood, 1990) พอลิยูรีเทนเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างไดออล (diol) และไดไอโซไซยาเนต (diisocyanate) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ส่วนการทำเป็นโฟมเกิดจากการเติมสารฟู (blowing agent) Panwiriyarat *et al.* (2011) รายงานการตัดแปรยางธรรมชาติ (natural rubber) และนำไปใช้เป็นไดออลในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน โดยยางธรรมชาติถูกลดน้ำหนักโมเลกุลอย่างมากเพื่อให้มีหมู่ไฮดรอกซิลปริมาณมาก เรียกยางธรรมชาติที่ตัดแปรแล้วนี้ว่า ยางธรรมชาติน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีหมู่ปลายสายไฮดรอกซิลเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl telechelic natural rubber, HTNR) และนำไปทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนต ได้เป็นพอลิยูรีเทน

การสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนโดยใช้ HTNR แทนที่สารไดออลจากปิโตรเลียม ได้รายงานครั้งแรก

โดย Rattanapan *et al.* (2014) โครงการวิจัยนี้เป็นการวิจัยต่อยอด โดยมีวัตถุประสงค์นำโฟมพอลิยูรีเทนดังกล่าวนี้มาเตรียมเป็นเมทริกซ์ (matrix) ให้กับปุ๋ยเรียวเพื่อทำเป็นปุ๋ยละลายช้า โดยเติมผงปุ๋ยเรียวผสมลงไป ในกระบวนการขึ้นรูปโฟม สูตรการขึ้นรูปโฟมอ้างอิงตาม Saetung (2009)

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 คัดแปรยางธรรมชาติเป็นไดออล ใช้แทนไดออลจากปิโตรเลียม

2.2 สังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนเพื่อการปลดปล่อยปุ๋ยเรียวโดยใช้ยางธรรมชาติที่ถูกตัดแปรเป็นสารไดออล

2.3 ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของโฟมที่ได้

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

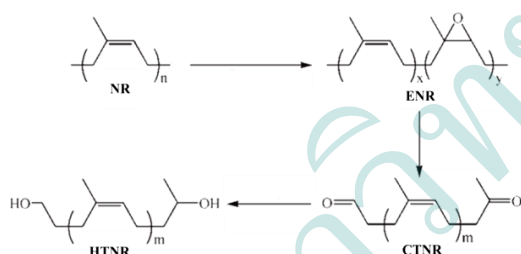
### 3.1 สารเคมี

น้ำยางข้น แอมโมเนียสูง (60%DRC) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(hydrogenperoxide,  $H_2O_2$ ) กรดฟอร์มิก (formic acid,  $CH_2O_2$ ) เทอริก16A29 (Terric® 16A29) เมทานอล (methanol, MeOH) เดตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran, THF) กรดเปอร์ไอออดิก (periodic acid,  $H_5IO_6$ ) ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane,  $CH_2Cl_2$ ) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (sodium hydrogen carbonate,  $Na_2HCO_3$ ) โซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate,  $Na_2S_2O_3$ )

โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate,  $\text{Mg}_2\text{SO}_4$ ) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride,  $\text{NaBH}_4$ ) 1,4-บิวเทนไดโอด (1,4-butanediol, BDO) สารลดแรงตึงผิว (Tegostab<sup>®</sup> B 8110) 1,4-ไดอะซาไบโอสเตน (1,4-diazabicyclo[2.2.2] octane,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_2$  หรือ Dabco<sup>®</sup> 33-LV) ไดบูทิลดีลาอูเรต (dibutyltin dilaurate,  $\text{C}_{32}\text{H}_{64}\text{O}_4\text{Sn}$  หรือ Dabco<sup>®</sup> T-12) พอลิเมธิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยานาต (polymeric methylene diphenyl diisocyanate, P-MDI หรือ Lupranate<sup>®</sup> M20S) และปฏิกิริยาการดัดแปร สูตร 46-0-0

### 3.2 การเตรียมยางธรรมชาติดัดแปร

ทำการดัดแปรยางธรรมชาติตามวิธีการทดลองของ Panwiriya et al. (2011) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมยางธรรมชาติดัดแปร

(Panwiriya et al., 2011)

#### 3.2.1 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber, ENR)

เจือจางน้ำยางข้นด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 20% DRC เดิมเทอริก 16A29 (3 phr) กวนในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 min หยดกรดฟอร์มิค (0.3 mol) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (0.3 mol) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4.30 hr หยุดปฏิกิริยาด้วยการลดอุณหภูมิ ตักตะกอนยางด้วยเมทานอล

ล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง อบให้แห้ง วิเคราะห์หาปริมาณอีพอกไซด์ (epoxide content) ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  จากสมการที่ 1 (Saetung, 2009)

$$\text{Epoxide content (\%)} = \frac{I_{2.70}}{I_{2.70} + I_{5.12}} \times 100 \quad (1)$$

#### 3.2.2 การเตรียมยางธรรมชาติน้ำหนักรีดแลคทูมที่มีหมู่ปลายสายโซ่เป็นหมู่คาร์บอนิล (carbonyl telechelic natural rubber, CTNR)

นำยาง ENR ละลายใน THF ที่ความเข้มข้น 0.4 mol/l ละลายกรดเปอร์ออกไซด์ใน THF ความเข้มข้น 0.4 mol/l แล้วหยดลงในสารละลาย ENR กวนเป็นเวลา 6 hr ที่อุณหภูมิ 30 °C หยุดปฏิกิริยาด้วยการหล่อเย็น กรองสารละลายที่ได้และระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุน ละลายสารที่ได้ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนอีกครั้ง ล้างด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัว 3 ชนิด คือ  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  และ  $\text{NaCl}$  กำจัดน้ำที่ตกค้างโดยเติมแมกนีเซียมซัลเฟต กรองสารด้วยกระดาษกรอง ระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุน อบสารที่อุณหภูมิ 40 °C ภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 24 hr คำนวณหาน้ำหนักรีดแลคทูม (Mn) ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ตามสมการที่ 2 (Sadaka et al., 2012)

$$\text{Mn of CTNR} = \frac{8I_{5.12}}{I_{2.2} - 2.6} \times 68 + 100 \quad (2)$$

#### 3.2.3 การเตรียมยางธรรมชาติน้ำหนักรีดแลคทูมที่มีหมู่ปลายสายโซ่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl telechelic natural rubber, HTNR)

นำยาง CTNR ละลายด้วย THF ที่ความเข้มข้นของ CTNR ใน THF เท่ากับ 0.07 mol/l หยดลงในสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ใน THF ความเข้มข้นของ  $\text{NaBH}_4$  ใน THF เท่ากับ 0.3 mol/l ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากหยดสารละลาย CTNR ปรับ

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 °C ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 6 hr หยุดปฏิกิริยาโดยการลดอุณหภูมิ แล้วค่อยๆ หยดน้ำเย็นลงในหม้อปฏิกิริยาเพื่อกำจัดโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เหลือ หลังจากนั้นล้างสารที่ได้ด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัวชนิด NaCl กำจัดน้ำที่ตกค้างโดยเติมเมกนีเซียมซัลเฟต กรองด้วยกระดาษกรอง ระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุนอบสารที่อุณหภูมิ 40 °C ภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 24 hr คำนวณหาน้ำหนักโมเลกุล (Mn) ด้วยเทคนิค <sup>1</sup>H-NMR ตามสมการที่ 3 (Kébir *et al.*, 2005)

$$Mn \text{ of HTNR} = \frac{2I_{5.12}}{I_{3.6}} \times 68 + 104 \quad (3)$$

### 3.3 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนผสมปุ๋ยยูเรีย

ทำการเตรียมโฟมแบบ One-shot คือใส่สารเคมีทุกตัว (ยกเว้น Lupranate<sup>®</sup> M20S) และผงปุ๋ยผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมสารความเร็วสูง (homogenizer) แล้วเติม Lupranate<sup>®</sup> M20S ลงไปในของผสม กวนต่อเนื่องจนปฏิกิริยาเริ่มเกิดฟอง หยุดการกวน ปล่อยให้โฟมฟูตัวอย่างอิสระ นำไปอบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 12 hr สูตรโฟมพอลิยูรีเทนแสดงในตารางที่ 1 ทำการแปรปริมาณของน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นสารฟู (blowing agent) ปุ๋ยยูเรียถูกบดให้เป็นผงละเอียด และผ่านการอบ 70 °C เป็นเวลา 12 hr ก่อนนำมาใช้อัตราส่วนของพอลิยูรีเทนต่อปุ๋ยเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ปฏิกิริยาของโฟม พอลิยูรีเทน แสดงในรูปที่ 2

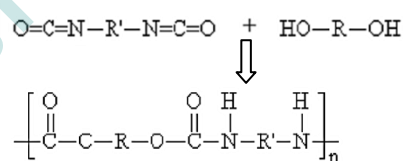
### 3.4 การศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของโฟมพอลิยูรีเทน

ตัดชิ้นตัวอย่างโฟมให้มีความหนาประมาณ 4-5 mm วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR) รุ่น TENSOR 27 ATR mode วิเคราะห์ในช่วงแถบการดูดกลืน (Wave number) 600-4000 cm<sup>-1</sup>

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน (Saetung, 2009)

| สารเคมี                                    | ปริมาณ (g) |
|--------------------------------------------|------------|
| Diol (HTNR diol)                           | 100        |
| Blowing agent (น้ำ)                        | 4, 6, 8    |
| chain extender (BDO)                       | 0.475      |
| silicone surfactant (B 8110)               | 1.75       |
| amine catalyst (Dabco 33-LV)               | 0.75       |
| tin catalyst (Dabco T-12)                  | 0.5        |
| solvent (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ) | 25         |
| Isocyanate (Lupranate M20S)                | *          |

\* ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของไดออล



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาเคมีการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

### 3.5 การศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทน

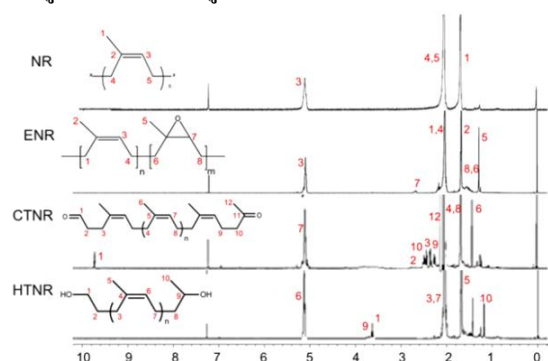
ตัดชิ้นตัวอย่างให้มีความหนาประมาณ 2 mm ติดบนแผ่นอะลูมิเนียม เคลือบทองคำก่อนส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) รุ่น FEI Quanta 400

## 4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

### 4.1 การเตรียมยางธรรมชาติดัดแปร HTNR

การสังเคราะห์ ENR ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4.30 hr ได้ค่า epoxide content เท่ากับ 3.85% แล้วนำไปสังเคราะห์เป็น CTNR และ HTNR จะได้ค่าน้ำหนักโมเลกุล (Mn) เท่ากับ 2370 g/mol การสังเคราะห์แต่ละครั้งต้องมีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค <sup>1</sup>H-NMR เพื่อยืนยัน

โครงสร้างทางเคมีและคำนวณน้ำหนักโมเลกุล โดย  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของ NR ENR CTNR และ HTNR แสดงในรูปที่ 3 ค่าเคมีคอลชิฟท์ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงในตารางที่ 2 แล้วนำ HTNR ไปใช้เป็นไดออลในการขึ้นรูปเป็นโพลิเมอร์ต่อไป



รูปที่ 3 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ของ NR ENR CTNR และ HTNR

ตารางที่ 2 ค่าเคมีคอลชิฟท์ของโปรตอนหมู่ต่างๆ

| $\delta$<br>(ppm) | Assignment<br>(H)                                    | NR | ENR | CTNR | HTNR |
|-------------------|------------------------------------------------------|----|-----|------|------|
| 9.77              | -CH=O                                                |    |     | ✓    |      |
| 5.10              | -C=CH-                                               | ✓  | ✓   | ✓    | ✓    |
| 3.80              | -CHOH                                                |    |     |      | ✓    |
| 3.65              | -CH <sub>2</sub> OH                                  |    |     |      | ✓    |
| 2.70              | -CH-O-                                               |    | ✓   |      |      |
| 2.49              | -CH <sub>2</sub> CH=O                                |    |     | ✓    |      |
| 2.43              | CH <sub>3</sub> C=OCH <sub>2</sub> -                 |    |     | ✓    |      |
| 2.34              | -CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH=O                |    |     | ✓    |      |
| 2.25              | CH <sub>3</sub> C=OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> - |    |     | ✓    |      |
| 2.13              | CH <sub>3</sub> C=OCH <sub>2</sub> -                 |    |     | ✓    |      |
| 2.04              | -CH <sub>2</sub> -                                   | ✓  | ✓   | ✓    | ✓    |
| 1.67              | -CH <sub>3</sub>                                     | ✓  | ✓   | ✓    | ✓    |
| 1.29              | CH <sub>3</sub> COCH-                                |    | ✓   |      |      |
| 1.20              | -CH <sub>3</sub> CHOH                                |    |     |      | ✓    |

#### 4.2 การเตรียมโพลิเมอร์จากพอลิเมอร์ผสม

การเติมปฏิกิริยาทำให้โพลิเมอร์ตัว เนื่องจากปฏิกิริยาขัดขวางการฟิวส์ของโพลิเมอร์ พบว่าปริมาณปฏิกิริยาที่ได้มากที่สุดคือ 1:1 โดยน้ำหนัก (PU:urea) หากเติมในปริมาณมากกว่านี้จะทำให้โพลิเมอร์ตัวมากเกินไป เซลล์ต้น ไม่เป็นโพลิเมอร์ ปริมาณปฏิกิริยาที่มากเกินไป ลักษณะทางกายภาพของโพลิเมอร์ที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 3

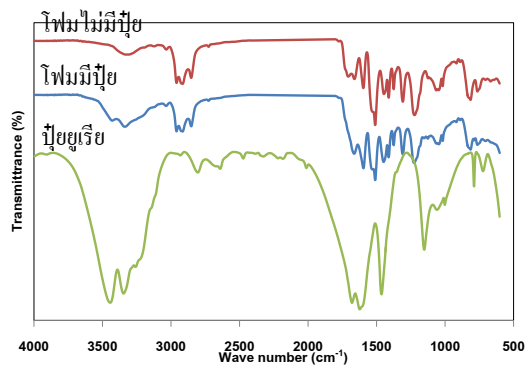
ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของโพลิเมอร์ที่เตรียม

| น้ำ : HTNR      | โพลิเมอร์ไม่มีปฏิกิริยา | โพลิเมอร์มีปฏิกิริยา |
|-----------------|-------------------------|----------------------|
| 4 : 100<br>(W4) |                         |                      |
| 6 : 100<br>(W6) |                         |                      |
| 8 : 100<br>(W8) |                         |                      |

#### 4.3 การศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของโพลิเมอร์ที่เตรียม

โครงสร้างโมเลกุลของโพลิเมอร์ไม่มีปฏิกิริยา โพลิเมอร์มีปฏิกิริยา และปฏิกิริยาจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR แสดงในรูปที่ 4 และแถบการดูดกลืนต่างๆ แสดงในตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบโพลิเมอร์ไม่มีปฏิกิริยากับโพลิเมอร์มีปฏิกิริยา พบว่าจะปรากฏพีคตำแหน่งเดียวกันคือที่  $2850 - 2960 \text{ cm}^{-1}$  เป็น C-H stretching ของ NR และการเติมปฏิกิริยาทำให้มีพีคต่างกัน 2 ตำแหน่ง คือ  $1600-1750 \text{ cm}^{-1}$  และ  $3300-3500 \text{ cm}^{-1}$  เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโพลิเมอร์มีปฏิกิริยากับปฏิกิริยา

พบว่า ปรากฏพีคตำแหน่งเดียวกันในช่วงประมาณ 3410 – 3450  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็น Free N-H และช่วงประมาณ 1600-1750  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็น Free urea ของปุ๋ย



รูปที่ 4 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ของโพลีเมอร์และปุ๋ยยูเรีย

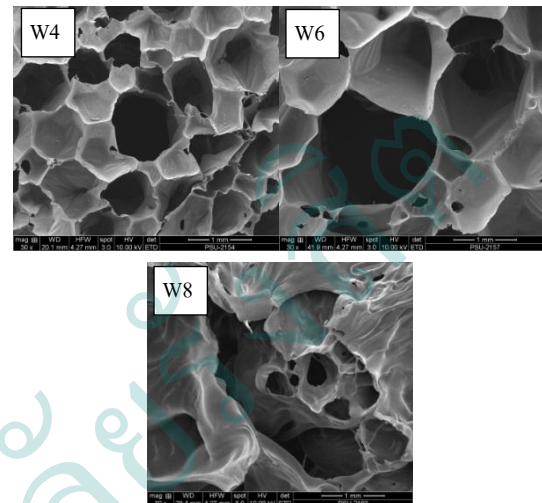
ตารางที่ 4 แถบการดูดกลืนต่างๆ

| แถบการดูดกลืน<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | หมู่ฟังก์ชัน           | โพลีเมอร์<br>ไม่มีปุ๋ย | โพลีเมอร์<br>มีปุ๋ย | ปุ๋ย<br>ยูเรีย |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| 1640 - 1660                           | urea carbonyl          | ✓                      | ✓                   | ✓              |
| 1600 - 1750                           | Free urea              |                        | ✓                   | ✓              |
| 1700 - 1775                           | urethane carbonyl      | ✓                      | ✓                   |                |
| 2850 - 2960                           | C-H stretching of NR   | ✓                      | ✓                   |                |
| 3300 - 3365                           | NH stretching urethane | ✓                      | ✓                   | ✓              |
| 3330 - 3380                           | -HNCONH- of polyurea   |                        | ✓                   | ✓              |
| 3410 - 3450                           | Free N-H               |                        | ✓                   | ✓              |

#### 4.4 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของโพลีเอธิรีเทนผสมปุ๋ยยูเรีย

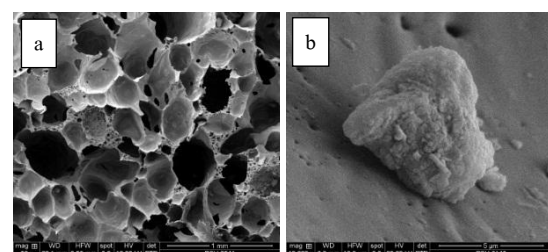
โพลีเอธิรีเทนมีลักษณะเป็นทั้งเซลล์เปิดและเซลล์ปิดผสมกันดังแสดงในรูปที่ 5 การแปรปรวนของน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารฟลู พบว่า โพลีเมอร์เซลล์ขนาดใหญ่ขึ้น และมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดมากขึ้น ซึ่งคาดว่าเมื่อโพลีเมอร์มีลักษณะเป็นเซลล์เปิด จะส่งผลให้น้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปนำพาธาตุอาหารภายในโพลีเมอร์ออกมาให้พืชมากขึ้น

น้ำ W6 มีลักษณะเป็นเซลล์เปิดมากที่สุด คาดว่าน่าจะเป็นผลดีต่อการนำไปประยุกต์สำหรับการปลดปล่อยปุ๋ยทางการเกษตร



รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของโพลีเอธิรีเทนไม่มีปุ๋ยที่ปริมาณน้ำต่างกัน (กำลังขยาย 15X)

โพลีเมอร์ผสมปุ๋ยมีลักษณะของเซลล์เป็นทั้งเซลล์เปิดและเซลล์ปิดเช่นเดียวกัน (รูปที่ 6a) ส่วนผงปุ๋ยที่เติมลงไป พบว่าไม่ได้ละลายอยู่ในเนื้อโพลีเมอร์ แต่มีลักษณะเป็นผงกระจายอยู่และบางส่วนมีการจับตัวกันเป็นก้อน ดังแสดงในรูปที่ 6b



รูปที่ 6 ภาพถ่าย SEM (a) โพลีเมอร์ และ (b) ผงปุ๋ยในโพลีเมอร์

## 5. การอภิปรายผล

การสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนโดยใช้ยางธรรมชาติคัดแปร HTNR แทนที่สารไดออกไซด์จากปิโตรเลียมที่นับวันยิ่งลดปริมาณลง และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าและการนำไปประยุกต์ใช้ของยางพารา ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของไทย โฟมที่เตรียมจาก HTNR จะมีลักษณะนุ่ม และยืดหยุ่นได้ดี

จากผลการทดลองการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนเติมปุ๋ย พบว่าโฟมที่เตรียมได้เกิดการยุบตัวลงประมาณครึ่งหนึ่งของโฟมที่ไม่มีปุ๋ย เนื่องจากน้ำหนักของปุ๋ยส่วนลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า โฟมมีลักษณะเซลล์แบบกึ่งปิดกึ่งเปิด ส่วนผงปุ๋ยที่เติมลงไปนั้น พบว่าไม่ได้ละลายอยู่ในเนื้อโฟม แต่มีลักษณะกระจายตัวและมีบางส่วนที่จับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ เกาะอยู่บนเนื้อของโฟม

การเพิ่มปริมาณของสารฟู ทำให้โฟมมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดมากขึ้นซึ่งคาดว่าเมื่อโฟมมีลักษณะเป็นเซลล์เปิด จะส่งผลให้น้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปนำพาธาตุอาหารภายในโฟมออกมาให้พืชมากขึ้น ทำให้เป็นผลดีต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตร

## 6. บทสรุป

ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนโดยนำยางธรรมชาติซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจในประเทศมาเป็นสารตั้งต้น ทำการคัดแปรโครงสร้างโมเลกุลให้มีหมู่ปลายสายโซ่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (HTNR) และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 2370 g/mol เพื่อใช้แทนไดออกไซด์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานต ขึ้นรูปเป็นโฟมพอลิยูรีเทนเติมปุ๋ยยูเรียเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตรต่อไป

จากผลการทดลองการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนเติมปุ๋ย พบว่าโฟมที่เตรียมได้เกิดการยุบตัวลงประมาณครึ่งหนึ่งของโฟมที่ไม่มีปุ๋ย ส่วนลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า โฟมมีลักษณะเซลล์แบบกึ่งปิดกึ่งเปิด ส่วนผงปุ๋ยที่เติมลงไปนั้น พบว่า ไม่ได้ละลายอยู่ในเนื้อโฟม แต่มีลักษณะกระจายตัวและมีบางส่วนที่จับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ เกาะอยู่บนเนื้อของโฟม ส่วนการเพิ่มปริมาณของสารฟูทำให้เกิดฟอง (น้ำ) พบว่า เซลล์จะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดมากขึ้น เมื่อมีปริมาณสารฟูมากขึ้น งานวิจัยต่อไปคือการตรวจสอบความสามารถในการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียเมื่อโฟมอยู่ในน้ำและฝังอยู่ในดิน

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สัญญาเลขที่ RDG5650088 และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Kebir, N., Campistron, I., Laguerre, A., Pilard, J.F., Bunel, C., Couvercelle, J.P. and Gondard, C. (2005). Use of hydroxytelechelic cis-1,4-polyisoprene (HTPI) in the synthesis of polyurethanes (PUs). Part 1. Influence of molecular weight and chemical modification of HTPI on the mechanical and thermal properties of PUs. *Polymer*. 46: 6869-6877.
- Panwiriyarat, W., Tanrattanakul, V., Pilard, J.F. and Khaokong, C. (2011). Synthesis and Characterization of Block Copolymer from Natural Rubber, Toluene-2,4-diisocyanate and Poly( $\epsilon$ -caprolactone) Diol - based

Polyurethane. Material science forum. 695:  
316-319.

Rattanapan, S., Pasetto P., Pilard, J.F. and  
Tanrattanakul, V. (2014). Preparation and  
properties of bio-based polyurethane foams  
from polycaprolactone diol and natural  
rubber. The 2014 IUPAC World Polymer  
Congress(MACRO 2014), Chiang Mai,  
Thailand, 6-11 July 2014.

Sadaka, F., Campistron, I., Laguerre, A., Pilard, J.F.  
(2012). Controlled chemical degradation of  
natural rubber using periodic acid:  
application for recycling wasted tyre rubber,  
Polymer Degradation and Stability, 97: 816-  
828.

Saetung, A. (2009). Preparation of polyurethane  
foams from hydroxyltelechelicoligo-  
isoprenes obtained by controlled degradation  
of natural rubber: Study of their physic-  
mechanical, thermal and acoustic properties.  
Ph.D. thesis, Prince of Songkla University.

Wood, G. (1990). The ICI Polyurethane Handbook,  
2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons. 2: 27-54.