

## สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติเชิงไฟฟ้าของ LLDPE ที่เติมพอลิไพร์โรลและคาร์บอนแบล็ก Mechanical, Thermal and Electrical Properties of LLDPE Filled with Polypyrrole and Carbon Black

คุณาลยา สathanสทิต<sup>1</sup> ศศิโรจน์ ชูสกุล<sup>1</sup> วลัยพร ปฤษณารุณ เอื้อใจ<sup>2\*</sup> และ ศิริศาส เอื้อใจ<sup>3</sup>  
Kunalaya Sathansatit<sup>1</sup> Sasiroj Chousakul<sup>1</sup> Walaiporn Prissanaroon Ouajai<sup>2\*</sup> and Sirisart Ouajai<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

วัสดุที่มีสมบัติกระจายไฟฟ้าสถิตเป็นสิ่งที่ต้องการในงานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดผลกระทบของการประทุของไฟฟ้าสถิตต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบผลของการเติมสารเติมนำไฟฟ้าสองชนิดได้แก่ คาร์บอนแบล็กและพอลิไพร์โรลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติเชิงไฟฟ้าของพอลิเมอร์เชิงประกอบซึ่งเตรียมจากการผสมสารเติมแต่ละชนิดลงใน LLDPE เมทริกซ์ด้วยเครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่และขึ้นรูปด้วยการอัดลงแม่พิมพ์ปิดด้วยความร้อน สมบัติเชิงกลและค่าการนำไฟฟ้าของ LLDPE ที่เติมพอลิไพร์โรล (LLDPE-PPy) และ LLDPE ที่เติมคาร์บอนแบล็ก (LLDPE-CB) สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเติม ค่าการนำไฟฟ้าของ LLDPE-PPy และ LLDPE-CB เพิ่มขึ้นถึง  $10^{-9}$  S/cm เมื่อเติมปริมาณพอลิไพร์โรล 1 phr และคาร์บอนแบล็ก 5 phr ตามลำดับ พอลิเมอร์เชิงประกอบนี้มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่

เหมาะสมสำหรับการป้องกันการประทุของไฟฟ้าสถิต ซึ่งต้องการวัสดุที่มีค่าการนำไฟฟ้าในช่วง  $10^{-9}$  S/cm ถึง  $10^{-6}$  S/cm ดังนั้น พอลิเมอร์เชิงประกอบจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

**คำสำคัญ:** พอลิไพร์โรล คาร์บอนแบล็ก สมบัติกระจายไฟฟ้าสถิต

### Abstract

Static dissipative materials are required for electronic packaging in order to minimize the effects of electrostatic discharge (ESD) of the sensitive electronic devices during handling and transportation. This research has focused on comparative effects of two conducting additives including carbon black and polypyrrole on the mechanical, thermal and electrical properties of the

- <sup>1</sup> นักศึกษา ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- <sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- <sup>3</sup> อาจารย์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- \* Corresponding Author, Tel. 0-2913-2500 Ext. 4810, E-mail: pwalaip@hotmail.com

polymer composites. The polymer composites were prepared by mixing either PPy or CB in linear low-density polyethylene (LLDPE) matrix using a twin-screw extruder and then subjected into a hydraulic compression molding. Mechanical properties and conductivity of the LLDPE filled with polypyrrole (LLDPE-PPy) and the LLDPE filled with carbon black (LLDPE-CB) composites increased with the increase in loading levels of the conducting additives. The conductivity of the LLDPE-PPy and LLDPE-CB composites reached  $10^{-9}$  S/cm when PPy 1 phr and carbon black 5 phr were incorporated, respectively. The polymer composites have shown the optimal conductivity for electrostatic discharge protection which the materials having the conductivity of  $10^{-9}$  S/cm to  $10^{-6}$  S/cm are required. Therefore, these polymer composites are possible to be used in electronic packaging applications.

**Keywords:** Polypyrrole, Carbon Black, Static Dissipative

## 1. บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในงานบรรจุภัณฑ์เนื่องจากราคาถูก น้ำหนักเบาและขึ้นรูปได้ง่าย อย่างไรก็ตามสำหรับงานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า  $10^{12}$   $\Omega$ /Square เพื่อลดการประทุของไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge, ESD) ของอุปกรณ์ระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง ESD ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทประจุระหว่างวัสดุที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) จากการรายงานพบว่าความเสียหายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากการประทุของไฟฟ้าสถิตมีประมาณ 8-33% ซึ่งมีมูลค่า

อยู่ในช่วงพันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี [1], [2] ดังนั้นในการนำพลาสติกซึ่งโดยปกติมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า (ความต้านทานไฟฟ้าของพื้นผิว  $>10^{12}$   $\Omega$ /Square) มาใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของพลาสติกโดยการผสมสารเติมนำไฟฟ้า (Conducting Filler) เช่น ผงโลหะหรือคาร์บอนแบล็ก (Carbon Black) เพื่อให้ได้พอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีสมบัติกระจายไฟฟ้าสถิต (Static Dissipative) ซึ่งมีสภาพความต้านทานไฟฟ้าของพื้นผิวอยู่ในช่วง  $10^6$  ถึง  $10^{12}$   $\Omega$ /Square [3] อย่างไรก็ตามการผสมโลหะหรือคาร์บอนแบล็กลงในพลาสติกยังมีข้อจำกัดในเรื่องการกระจายตัวและความสม่ำเสมอของสมบัติทางไฟฟ้าในชิ้นงานเนื่องจากสารเติมดังกล่าวไม่เข้ากันกับเนื้อพลาสติก โดยเฉพาะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วมักจะมีคราบน้ำมันของสารเติมค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้มีความต้านไฟฟ้าที่ผิวมากขึ้น [4]

พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Intrinsically Conducting Polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่แสดงพฤติกรรมทางไฟฟ้าคล้ายกับสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือสามารถนำไฟฟ้าเมื่อผ่านการโด๊ป (Doping) และเป็นฉนวนเมื่อผ่านการดีโด๊ป (Dedoping) พอลิเมอร์นำไฟฟ้ามีค่าการนำไฟฟ้าในช่วงกว้างตั้งแต่  $10^{-10}$  ถึง  $10^6$  S/cm ขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า ชนิดของสารโด๊ป (Dopant) และระดับการโด๊ป (Doping Level) [5] ปัจจุบันได้มีการนำพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาเป็นสารเติมแทนผงโลหะหรือคาร์บอนแบล็กเพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของพลาสติกทั่วไป เช่น พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) พอลิเอทิลีน (Polyethylene) [6], [7] ข้อดีของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่เหนือกว่าผงโลหะหรือผงเขม่าดำในการนำมาผสมกับพลาสติกคือพอลิเมอร์นำไฟฟ้าสามารถนำมาพัฒนาสมบัติให้เป็นไปตามต้องการได้โดยการควบคุมสภาวะในการสังเคราะห์ ชนิดของสารโด๊ปและระดับการโด๊ป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์จะเตรียมพอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีสมบัติกระจายไฟฟ้าสถิตจากพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรง (Linear

Low Density Polyethylene, LLDPE) โดยมีสารเติม  
นำไฟฟ้า 2 ชนิด คือพอลิไพร์โรล (Polypyrrole, PPy)  
และคาร์บอนแบล็ก PPy เป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้า  
ชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจศึกษาและพัฒนาอย่าง  
แพร่หลาย เนื่องจากวิธีสังเคราะห์ไม่ซับซ้อน ค่าการนำ  
ไฟฟ้าสูงและมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีเมื่อเทียบ  
กับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดอื่น รวมทั้งสามารถประยุกต์  
ใช้งานได้หลากหลาย [8] LLDPE ที่เติมคาร์บอนแบล็ก  
(LLDPE-CB) และ LLDPE ที่เติม PPy (LLDPE-PPy)  
ที่เตรียมได้จะถูกนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติ  
เชิงความร้อนและสมบัติเชิงไฟฟ้า โดยข้อมูลที่ได้จาก  
งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาวัสดุเพื่อนำไป  
ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

## 2. สารเคมี และวิธีการทดลอง

### 2.1 สารเคมี

ไพร์โรล (Pyrrole) และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต  
(Sodium Dodecyl Sulfate, SDS) จาก Fluka แอมโมเนียม  
เปอร์ออกไซด์ซัลเฟต (Ammonium Peroxydisulfate,  
APS) จาก Sigma-Aldrich เมทานอล (Methanol)  
จาก Fisher Scientific คาร์บอนแบล็ก เกรด N 220 จาก  
บริษัทโพลีเคมี จำกัด และ LLDPE เกรด Polene1100 NK  
บริษัท IRPC จำกัด

### 2.2 วิธีการทดลอง

#### 2.2.1 การสังเคราะห์และวิเคราะห์ PPy

PPy ถูกเตรียมด้วยเทคนิคพอลิเมอร์ไรเซชันแบบ  
ไมโครอิมัลชัน (Micro-emulsion Polymerization) [9]  
โดยทำการเตรียมสารละลายผสมของไพร์โรล SDS และ  
APS ที่มีความเข้มข้นอย่างละ 80 mM โดยใช้ น้ำกลั่น  
เป็นตัวทำละลาย กวนสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ณ  
อุณหภูมิห้อง (30°C) จากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการเติม  
เมทานอลมากเกินไป ล้างตะกอนด้วยเมทานอล น้ำกลั่น  
และอะซิโตนตามลำดับโดยใช้เครื่องมือหมุนเหวี่ยงช่วย  
ในการแยกตะกอนออกจากสารละลาย จากนั้นกรอง  
ตะกอนด้วยชุดกรองสุญญากาศแล้วนำไปเก็บไว้ใน

โถดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง

PPy ที่เตรียมได้จะถูกนำมาวิเคราะห์โครงสร้าง  
ทางเคมีและสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค X-ray Photoelectron  
Spectroscopy, XPS (Kratos Axis Ultra Instrument)  
และ Scanning Electron Microscopy, SEM (JEOL-  
JSM-6480LV Instrument) ตามลำดับ การวัดค่า  
การนำไฟฟ้าของ PPy ทำโดยการนำผง PPy ประมาณ  
125 mg มาบดให้ละเอียดและอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดแบบ  
ไฮดรอลิก จากนั้นและนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วย  
เทคนิค Four-point Probe ด้วยเครื่องวัดความต้านทาน  
รุ่น 2400-C (KEITHLEY)

#### 2.2.2 การเตรียม LLDPE-CB และ LLDPE-PPy

ก่อนนำมาผสมกับ LLDPE นำคาร์บอนแบล็ก  
มาอบที่อุณหภูมิ 100 °C อย่างน้อย 3 ชั่วโมงเพื่อให้  
ความชื้นและคัดแยกอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนขนาด  
mesh 325 เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคต่ำกว่า 45  $\mu\text{m}$   
ทำการเตรียม LLDPE-CB และ LLDPE-PPy โดย  
การผสม LLDPE กับคาร์บอนแบล็ก และ LLDPE กับ  
PPy ตามลำดับด้วยเครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่  
(TSE 16 TC, PRISM) โดยตั้งอุณหภูมิทั้งสามส่วน  
เป็น 180°C 190°C และ 200°C และความเร็รรอบของ  
เกลียวหนอน 25 rpm และตัดเม็ดด้วยความเร็ว 4 rpm  
จากนั้นนำไปขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดลง  
แม่พิมพ์ปิดด้วยความร้อน (Lab Tech Engineering) โดย  
ใช้อุณหภูมิบนและล่างเท่ากับ 180°C และความดัน 130  
 $\text{kg/cm}^2$  และมีการให้ความร้อนก่อนอัดประมาณ 5 นาที

#### 2.2.3 การทดสอบสมบัติของ LLDPE-CB และ LLDPE-PPy

นำ LLDPE-CB และ LLDPE-PPy ไปทดสอบ  
สมบัติเชิงกลโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine  
(100 RC, Hounsfield) ตามมาตรฐาน ASTM D-882  
โดยใช้ชิ้นงาน 8 ชิ้นในการทดสอบ สมบัติเชิงความร้อน  
ทดสอบโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter  
(DSC) (DSC 2910, TA Instruments) โดยทดสอบที่

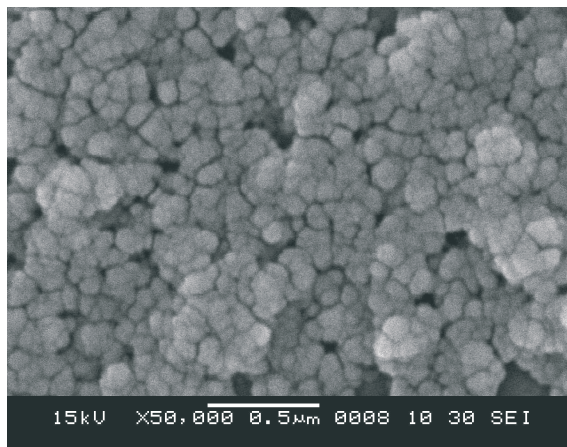
อุณหภูมิ 20°C ถึง 180°C และใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 35°C/min ในบรรยากาศของ N<sub>2</sub> อัตราการไหล 100 ml/min ค่าการนำไฟฟ้าของ LLDPE-CB และ LLDPE-PPy วัดตามมาตรฐาน ASTM D-257 โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานสำหรับวัสดุที่มีความต้านทานสูง (6517A Electrometer, KEITHLEY)

### 3. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 3.1 สมบัติและโครงสร้างทางเคมีของ PPy

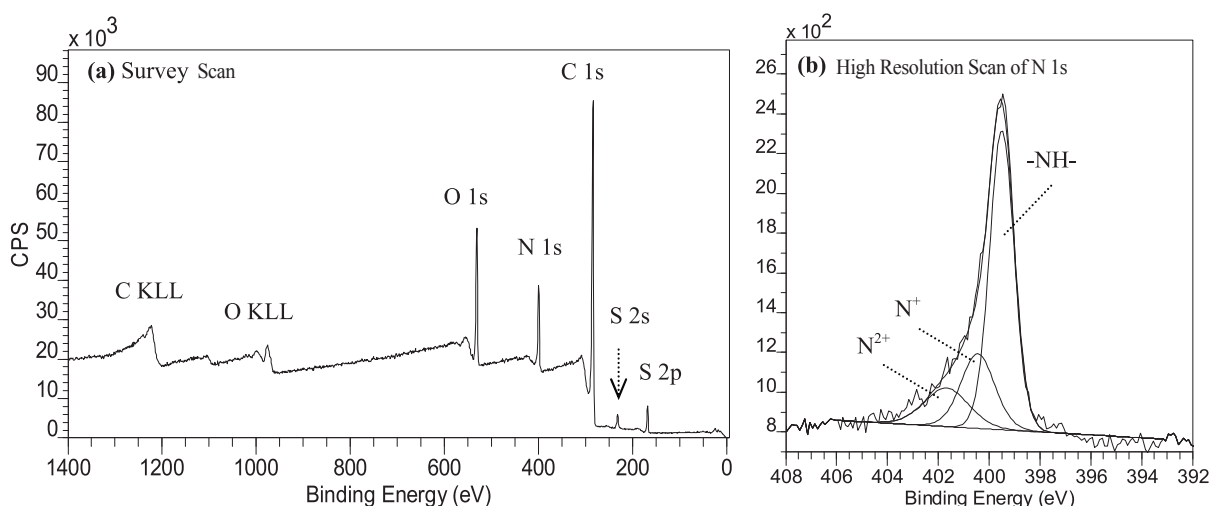
PPy ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคสีดำแขวนลอยอยู่ในน้ำ หลังจากที่ทำให้แห้งจะมีลักษณะเป็นผงสีดำ รวมกันเป็นกลุ่มก้อน ดังแสดงในภาพ SEM (รูปที่ 1) อนุภาคของ PPy มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60-100 nm

รูปที่ 2a แสดงสเปกตรัม XPS ของ PPy พบว่า PPy ที่สังเคราะห์ได้ประกอบด้วยคาร์บอน ไนโตรเจนออกซิเจน และซัลเฟอร์ การปรากฏของฟิคออกซิเจนและซัลเฟอร์แสดงให้เห็นว่ามีไอออนลบของสารเติม SDS อยู่ในโครงสร้างของ PPy สอดคล้องกับร้อยละผลผลิตของ PPy ที่สูงถึง 107% [9] เมื่อพิจารณาสเปกตรัม XPS แบบความละเอียดสูงของฟิค N1s ดังแสดงในรูปที่ 2b พบว่าสามารถแยกได้เป็น 3 ฟิคย่อยของ -NH- (399.5 eV),

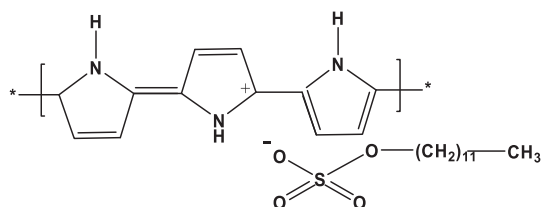


รูปที่ 1 ภาพ SEM ของอนุภาค PPy ที่เติมด้วย SDS

N<sup>+</sup> (400.5 eV) และ N<sup>2+</sup> (401.6 eV) ในโตรเจนที่มีประจุบวกนี้แสดงการถูกดึงอิเล็กตรอนออกจากโครงสร้าง PPy ส่งผลให้ PPy ที่สังเคราะห์ได้อยู่ในสภาวะนำไฟฟ้า [10] ดังแสดงในรูปที่ 3 ระดับการเติม ของ PPy ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของปริมาณไนโตรเจนที่มีประจุบวกต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ( $[N^+ + N^{2+}] / [N_{total}]$ ) เท่ากับ 35% [10] และค่าการนำไฟฟ้าของ PPy วัดได้ 0.75 S/cm



รูปที่ 2 สเปกตรัม XPS ของ PPy ที่เติมด้วย SDS (a) Survey Scan และ (b) High Resolution Scan ของ N 1s



รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีที่เป็นไปได้ของ PPy ที่ได้ปด้วย SDS

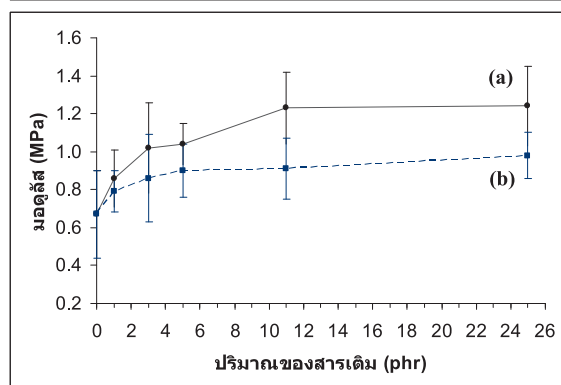
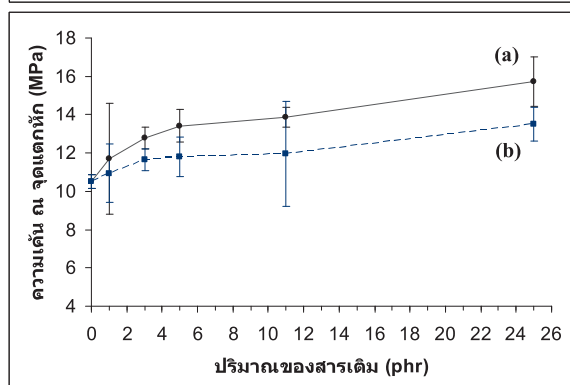
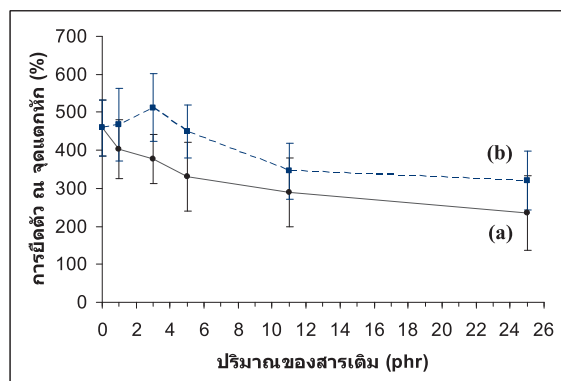
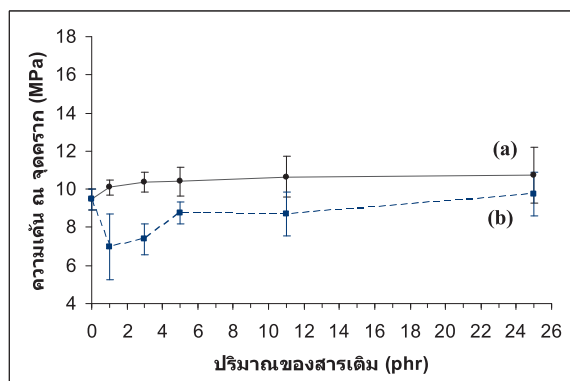
ตารางที่ 1 สมบัติของคาร์บอนแบล็กและ PPy

| สมบัติ        | คาร์บอนแบล็ก       | PPy       |
|---------------|--------------------|-----------|
| ลักษณะภายนอก  | ผงสีดำ ฟุ้งกระจาย  | ผงสีดำ    |
| ขนาดอนุภาค    | < 45 $\mu\text{m}$ | 60-100 nm |
| ค่าการนำไฟฟ้า | 0.05 S/cm          | 0.75 S/cm |

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของคาร์บอนแบล็กและ PPy ที่ใช้เป็นสารเติมนำไฟฟ้าในการผสมกับ LLDPE เพื่อเตรียม LLDPE-CB และ LLDPE-PPy ตามลำดับ

### 3.2 สมบัติเชิงกลของ LLDPE-CB และ LLDPE-PPy

เนื่องจากในเบื้องต้นมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้พอลิเมอร์เชิงประกอบที่เตรียมได้ในงานบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาสมบัติเชิงกลในเรื่องการทนต่อแรงยึดดึงเมื่อมีปริมาณของสารเติมแตกต่างกัน จากรูปที่ 4 พบว่า LLDPE-CB และ LLDPE-PPy มีแนวโน้มที่มีความแข็งแรงมากขึ้นตามปริมาณของสารเติมที่เพิ่มขึ้นกล่าวคือมีความเค้น ณ จุดคราก (Yield Stress) ความเค้น ณ จุดแตกหัก (Stress at Break) และ โมดูลัส (Modulus) เพิ่มขึ้น แสดงว่า



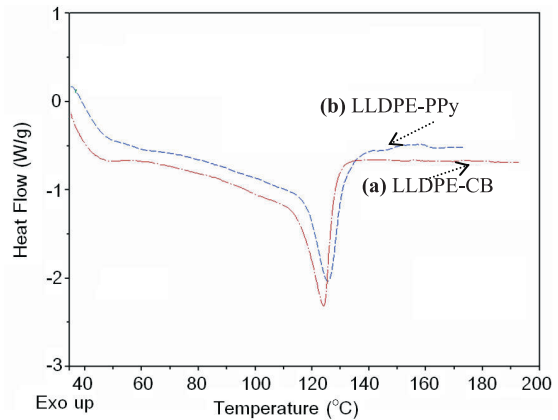
รูปที่ 4 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เชิงประกอบ (a) LLDPE-CB (—) และ (b) LLDPE-PPy (-----) ที่มีปริมาณสารเติมต่างกัน และความหนาของพอลิเมอร์เชิงประกอบเท่ากับ 1.0 mm



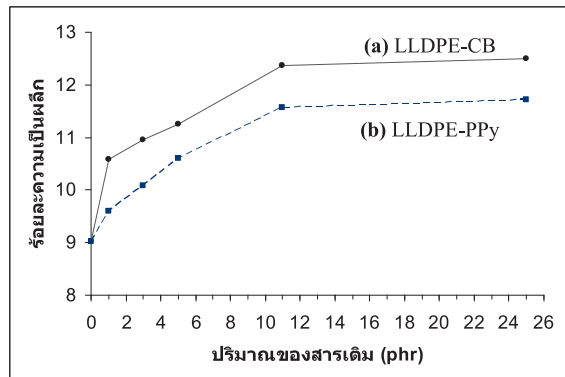
ทั้งคาร์บอนแบล็กและ PPy มีคุณสมบัติในการทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงและต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนการยืดตัว ณ จุดแตกหัก (Elongation at Break) ของพอลิเมอร์เชิงประกอบทั้งสองมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเติม เมื่อพิจารณาชนิดของสารเติมทั้งสองชนิดที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เชิงประกอบพบว่า LLDPE-CB มีความเค้น ณ จุดคราก ความเค้น ณ จุดแตกหัก และมอดูลัสสูงกว่าและมีค่าการยืดตัว ณ จุดแตกหักต่ำกว่า LLDPE-PPy เมื่อมีปริมาณของสารเติมเท่ากัน ถึงแม้ว่า PPy จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าคาร์บอนแบล็กแต่เมื่อทำการอบ PPy ให้แห้งพบว่าอนุภาค PPy เกิดการรวมกลุ่มก้อน (Aggregation) กลายเป็นอนุภาคที่ใหญ่และแข็งขึ้นซึ่งสังเกตได้จากภาพ SEM ของ PPy (รูปที่ 1) ดังนั้นอนุภาคของ PPy จึงอาจจะกระจายตัวในเนื้อ LLDPE ได้ไม่ดีเท่ากับคาร์บอนแบล็ก

### 3.3 สมบัติเชิงความร้อนของ LLDPE-CB และ LLDPE-PPy

รูปที่ 5 แสดงเทอร์โมแกรม DSC ของ LLDPE-CB และ LLDPE-PPy พบว่า พอลิเมอร์เชิงประกอบทั้งสองมีอุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก ( $T_m$ ) ไม่เปลี่ยนแปลงไปจาก LLDPE มากนัก ( $T_m$  ของ LLDPE = 116.7 °C และ  $\Delta H_m$  ของ LLDPE = 26.4 J/g) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาองศาความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity) ซึ่งคำนวณจาก  $\Delta H_m$  ซึ่งประมาณได้จากพื้นที่ใต้กราฟ [11] พบว่าเมื่อผสมสารเติมทั้งคาร์บอนแบล็กและ PPy ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณความเป็นผลึกในพอลิเมอร์เชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 ทั้งนี้สารเติมทั้งสองอาจทำหน้าที่คล้ายกับสารก่อผลึก (Nucleating Agent) และเหนี่ยวนำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวได้ดีขึ้น เป็นผลให้ปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้มีความแข็งแรงมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาแล้ว เมื่อทำการเปรียบเทียบชนิดของสารเติมที่มีผลต่อปริมาณความเป็นผลึก พบว่า



รูปที่ 5 เทอร์โมแกรม DSC ของ LLDPE-CB 10 phr และ LLDPE-PPy 10 phr

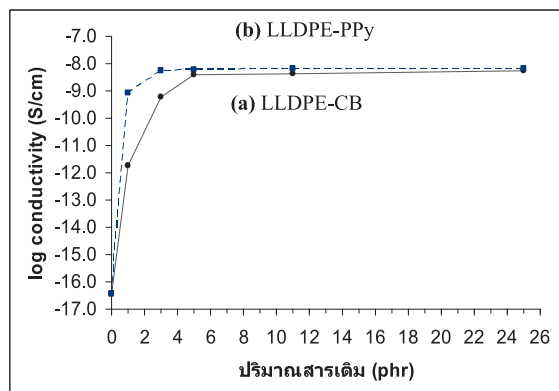


รูปที่ 6 ร้อยละความเป็นผลึกของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีปริมาณสารเติมต่างกัน

LLDPE-CB มีปริมาณความเป็นผลึกมากกว่า LLDPE-PPy เมื่อมีปริมาณสารเติมเท่ากัน

### 3.4 สมบัติเชิงไฟฟ้าของ LLDPE-CB และ LLDPE-PPy

จากรูปที่ 7 พบว่าการเติมคาร์บอนแบล็กและ PPy ลงใน LLDPE มีผลทำให้การนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์เชิงประกอบสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับ LLDPE เนื่องจากสารเติมทั้งสองต่างมีโครงสร้างที่สามารถนำไฟฟ้าได้ทั้งคู่ นอกจากนั้นปริมาณสารเติมที่เพิ่มขึ้นมีผลให้การนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์เชิงประกอบสูงขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้าของ LLDPE เพิ่มขึ้นจาก  $10^{-16}$  S/cm เป็นประมาณ



รูปที่ 7 ค่าการนำไฟฟ้าของ (a) LLDPE-CB (—) และ (b) LLDPE-PPy (----) ที่มีปริมาณสารเติมต่างกัน

$10^{-9}$  S/cm ซึ่งเป็นค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่มีสมบัติกระจายไฟฟ้าสถิต เมื่อเติมคาร์บอนแบล็ก 5 phr สำหรับ LLDPE-CB และเมื่อเติม PPy 1 phr เท่านั้น สำหรับ LLDPE-PPy

จากรูปที่ 7 ยังพบว่าการเติมคาร์บอนแบล็กและอนุภาค PPy มีผลต่อการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์เชิงประกอบแตกต่างกัน กล่าวคือ LLDPE-PPy มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่า LLDPE-CB เมื่อมีสารเติมในปริมาณที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจาก PPy สามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าคาร์บอนแบล็ก (ดูตารางที่ 1)

#### 4. สรุป

งานวิจัยมุ่งเน้นการศึกษาผลของการเติมสารเติมนำไฟฟ้าสองชนิด คือคาร์บอนแบล็กและ PPy ลงในพลาสติก LLDPE ต่อสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติเชิงไฟฟ้าของพอลิเมอร์เชิงประกอบ โดยพบว่า LLDPE-PPy และ LLDPE-CB มีความแข็งแรงมากขึ้น ร้อยละความเป็นผลึกและค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเติม LLDPE-CB มีความแข็งแรงและมีร้อยละความเป็นผลึกสูงกว่า LLDPE-PPy เมื่อมีปริมาณของสารเติมเท่ากัน สมบัติทางไฟฟ้าของ LLDPE เปลี่ยนจากฉนวนไฟฟ้าเป็นวัสดุกระจายไฟฟ้า

สถิตเมื่อมีการเติม PPy เพียง 1 phr ในขณะที่ต้องเติมคาร์บอนแบล็กถึง 5 phr วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้อาจนำไปประยุกต์ใช้งานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมในการป้องกันการการประทุของไฟฟ้าสถิต

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (ทุนวิจัยทั่วไปปี 2550) และได้รับความอนุเคราะห์การใช้เครื่อง XPS จาก Assoc.Prof. Paul Pigram จาก Centre for Materials and Surface Science, La Trobe University ประเทศออสเตรเลีย

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Halpein, *Guidelines for Static Control Management*, Eumstatm, 1990.
- [2] S.P. Singh and H. El-Khateeb, "Evaluation of proposed test method to measure surface and volume resistance of static dissipative packaging materials," *Packaging Tech. and Sci.*, vol.7, pp.283-289, 1994.
- [3] Electronic Industries Association Standard 541 (EIA-541).
- [4] Y. Wang and X. Jing, "Intrinsically conducting polymers for electromagnetic interference shielding," *Polym. Adv. Technol.*, vol. 16, pp.344-351, 2005.
- [5] J. L. Bredas, K. Cornil, and F. Meyers, *Handbook of Conducting Polymers*, ed. 2<sup>nd</sup>, New York: Marcel Dekker Inc., 1998.
- [6] R. Strümler and J. Glatz-Reichenbach, "Conducting polymer composites," *J. Electroceramics*, vol.3, no.4, pp. 329-346, 1999.
- [7] J-C Huang, "Carbon black filled conducting polymers and polymer blends," *Adv. Polym.*



- Technol.*, vol. 21, no.4. pp. 299-313, 2002.
- [8] L.X. Wang, X.G. Li, and Y.L. Yang, "Preparation, properties and applications of polypyrroles," *Reactive & Functional Polymers*, vol. 47, pp. 125-139, 2001.
- [9] A. Reung-u-rai, A. Promjun, W. Prissanaroon-Ouajai, and S. Ouajai, "Synthesis of highly conductive polypyrrole nanoparticles via microemulsion polymerization," *J. Met. Mater. Miner. (Special issue MSAT 5)*, vol. 18, no.2, pp. 27-31, 2008.
- [10] W. Prissanaroon, N. Brack, P.J. Pigram, J. Liesegang, and T. Cardwell, "Surface and electrochemical study of DBSA-doped polypyrrole films grown on stainless steel," *Surf. Interface Anal.*, vol. 33, pp. 653-662, 2002.
- [11] F.W. Bikkmeier, Jr., *Textbook of Polymer Science*, ed. 3<sup>rd</sup>, New York: John Wiley & Sons., 1984.