

## วัสดุป้องกันการคายประจุจากไฟฟ้าสถิต ที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม โคลโทซาน/พอลิ(เอทิลีนไกลคอล)

วีรชน ศรีหاتا และ สุปราณี แก้วภิมย์\*

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผสมโคลโทซาน/(พอลิเอทิลีนไกลคอล) ในอัตราส่วนต่างกัน ทั้งแบบที่เติม และไม่เติมสารเชื่อมขวางกลูตารัลดีไฮด์ เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาในการประยุกต์ใช้งาน เป็น วัสดุป้องกันการคายประจุจากไฟฟ้าสถิต ศึกษาสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สมบัติเชิงกล ด้วยวิธีทดสอบแบบดึง (Tensile testing) สมบัติทางไฟฟ้า โดยการวัดความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว และสุดท้ายได้ศึกษามุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมดังกล่าวไม่สามารถรวมตัวกัน เป็นของผสมเฟสเดียวได้ค่าร้อยละการยึด ฉ จุดขาด ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมแปรผัน โดยตรง กับปริมาณของพอลิ(เอทิลีนไกลคอล) การเติมสารเชื่อมขวางกลูตารัลดีไฮด์ลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่มีความยืดหยุ่นน้อยลง พอลิเมอร์ผสมแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวเปลี่ยนไปตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ การเชื่อมขวาง และปริมาณของพอลิ(เอทิลีนไกลคอล) นั่นคือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณ พอลิ(เอทิลีนไกลคอล) เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวของแผ่นฟิล์มลดลง และค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวที่มีค่าต่ำลงไปอีก เมื่อพอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล การวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณ พอลิ(เอทิลีนไกลคอล) เพิ่มขึ้น พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติชอบน้ำมากขึ้น จึงให้ค่ามุมสัมผัสที่ต่ำลง อย่างไรก็ตาม ค่ามุมสัมผัสจะมากขึ้น เมื่อพอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล และมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากขึ้นตามดัชนีการเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ :** วัสดุป้องกันการคายประจุจากไฟฟ้าสถิต, ความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว, ค่ามุมสัมผัสของน้ำ, ดัชนีการเชื่อมขวาง

## **Anti-electrostatic Discharge Materials from Chitosan/poly(ethylene glycol) Blends**

**Weerachon Srihata and Supranee Kaewpirom\***

### **Abstract**

In this study, various compositions of chitosan/poly(ethylene glycol) blends, with and without crosslinking by glutaraldehyde, were prepared and their potential for use as anti-electrostatic discharge materials was evaluated. Morphology, tensile, and electrical properties of the blends were examined using scanning electron microscopy (SEM), tensile testing, and surface resistivity measurement, respectively. Finally, water contact angle of the blend surface was disclosed. The experimental results showed that chitosan/poly(ethylene glycol) blends were immiscible. Elongation at break of the blends depended on poly(ethylene glycol) content. Introduction of glutaraldehyde crosslinker resulted in higher stiffness and lower flexibility of the blends. Surface resistivity measurements revealed that the blends exhibited the reduction in surface resistivity when poly(ethylene glycol) content and relative humidity increased. Further reduction in surface resistivity of the blends was observed when the blends were crosslinked. The lower water contact angle values reflected the increase in hydrophilicity of blends when poly(ethylene glycol) content increased. In contrast, the polymer blends with higher degree of crosslink showed higher values of water contact angle implying more hydrophobicity.

**Keywords :** Anti-electrostatic discharge materials, Surface resistivity, Water contact angle, Degree of crosslink

## 1. บทนำ

พอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก มีสมบัติเด่น คือ ราคาถูกหนักเบาขึ้นรูปได้ง่าย มีความยืดหยุ่น เป็นฉนวน ไม่นำความร้อน ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี จัดเป็นวัสดุ ประเภทพาสซีฟ (passive materials) นิยมนำไปใช้ เป็นสารเคลือบบรรจุภัณฑ์และ ชิ้นส่วนในงานโครงสร้าง เป็นต้น [1] สำหรับงานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า  $10^{12} \Omega/\text{square}$  เพื่อลดการคายประจุจากไฟฟ้าสถิต (electrostatic discharge; ESD) ของอุปกรณ์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการคายประจุ จากไฟฟ้าสถิต อาจก่อให้เกิดปัญหาและความผิดปกติในการทำงานของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งเกิดอันตรายจากประกายไฟได้ ดังนั้นในการนำพอลิเมอร์ มาใช้งานบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์และงานเคลือบจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ โดยการผสมสารตัวเติมนำไฟฟ้า (conducting filler) เพื่อให้ได้พอลิเมอร์เชิงประกอบหรือพอลิเมอร์ผสม ที่มีสมบัติกระจายไฟฟ้าสถิต [2] ซึ่งมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงอย่างไรก็ตามความสามารถในการป้องกัน ไฟฟ้าสถิต ของสารเหล่านี้จะขึ้นกับความชื้นในอากาศด้วย

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ราคาถูก ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและการแพทย์ [3] ฟิล์มไคโตซานจะมีการนำไฟฟ้าค่อนข้างต่ำมากเนื่องจากอะตอมไฮโดรเจนในหน่วยซ้ำของไคโตซานจะสร้างพันธะที่แข็งแรงต่อกันทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าได้ [4] เพื่อให้ไคโตซาน สามารถนำไฟฟ้าได้ จึงต้องละลายไคโตซานในกรดอะซิติก และหล่อ ให้อยู่ในรูปของฟิล์มและการผสมกับ พอลิเมอร์ชนิดอื่น การเติมสารเติมแต่งหรือเติมสารเชื่อมขวาง เป็นต้น [5-7]

พอลิ(เอทิลีนไกลคอล) เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีพิษ มีสมบัติชอบน้ำ และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ นิยมนำมาประยุกต์

ใช้ในการทางการแพทย์ [8-9] พอลิ (เอทิลีนไกลคอล) สามารถนำไฟฟ้าได้ และกลไกการนำไฟฟ้าของพอลิ (เอทิลีนไกลคอล) ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลง ความชื้นสัมพัทธ์ แสดงให้เห็นว่า กระแสไฟฟ้า ไหลผ่านฟิล์มบาง ของพอลิ (เอทิลีนไกลคอล) เพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น [10]

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ผสมไคโตซาน/พอลิ (เอทิลีนไกลคอล) ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งไม่เชื่อมขวาง และเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของไคโตซานโดยใช้ กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิ เมอร์ที่มีสมบัติแข็งเปราะ การเติมพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ซึ่งมีสมบัติเป็นพลาสติกไซเซออร์ จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไคโตซานให้เหนียว และยืดหยุ่นได้มากขึ้น ส่วนการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล นอกจากจะช่วยให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรง หรือมีค่ามอดูลัสเพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังช่วยให้ทนทานต่อความร้อน และตัวทำละลายต่างๆ เช่น น้ำ กรดอินทรีย์ และน้ำมัน ได้ดีขึ้นอีกด้วย จากนั้นจะได้ศึกษาสัณฐานวิทยาและ สมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ ผสม เช่น ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และมอดูลัสของยัง สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว และค่ามอดูลัสของนำบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือปริมาณของพอลิ (เอทิลีนไกลคอล) ปริมาณสารเชื่อมขวาง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวล้วนมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า และสมบัติอื่นๆ ของพอลิเมอร์ผสมทั้งสิ้นสุดท้ายจะได้ประเมินศักยภาพในการพัฒนาพอลิเมอร์ผสม ให้มีสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารป้องกันการคายประจุ จากไฟฟ้าสถิต

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีทดลอง

### 2.1 สารเคมี

ไคโตซาน ชนิดความหนืดปานกลาง จากบริษัท Fluka พอลิ (เอทิลีนไกลคอล) น้ำหนักโมเลกุล 8000 g/mol จากบริษัท Sigma-Aldrich โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดงานวิเคราะห์ บริษัท Rankem กรดไฮโดรคลอริก เกรดงาน

วิเคราะห์ บริษัท J.T. Beaker สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ เข้มข้น 1.25 %w/v บริษัท Fluka กรดอะซิติก เกรดงานวิเคราะห์ บริษัท J.T. Beaker เมทานอล เกรดงาน HPLC บริษัท Fisher Chemical โซเดียมคลอไรด์ เกรดงานวิเคราะห์ บริษัท Asia Pacific แคลเซียมคลอไรด์ ไดไฮเดรต เกรดงานวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

## 2.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน วิเคราะห์โดยวิธี ความหนืดแท้จริง (Intrinsic viscosity) ใช้สารละลายอ้างอิง คือ ตัวทำละลายผสม ประกอบด้วย สารละลายกรดอะซิติก 0.1 โมลาร์ ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลาร์ ใช้ สารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นต่างกัน 5 ค่า คือ  $2.00 \times 10^{-3}$  g/mL  $4.00 \times 10^{-3}$  g/mL  $6.00 \times 10^{-3}$  g/mL  $8.00 \times 10^{-3}$  g/mL และ 0.01 g/mL คำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน จากสมการของ Mark-Houwink [11]

$$[\eta] = KM_v^a \quad (1)$$

โดยที่  $\eta$  และ  $M_v$  คือ ความหนืดแท้จริง และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของไคโตซานตามลำดับค่า K และ a เป็นค่าคงที่ขึ้นกับตัวทำละลายอุณหภูมิ และชนิด ของพอลิเมอร์ สำหรับ ไคโตซานซึ่งละลายในตัวทำละลายผสมของ สารละลาย กรดอะซิติก 0.1 โมลาร์ ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 °C [11] มีค่า

$$K = 1.8 \times 10^{-3} \text{ mL/g (g/mol)}^{-a} \text{ และ } a = 0.93$$

## 2.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ผสม

นำสารละลาย ไคโตซาน (1%w/v) ในสารละลายกรดอะซิติก (2% w/v) และสารละลายพอลิ (เอทิลีน ไกลคอล) (10%w/v) ผสมกันในสัดส่วนที่กำหนด (ตารางที่ 1) คนด้วย เครื่องคนแม่เหล็กเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสม ไปขึ้นรูปโดยการหล่อ (casting) ในงานเพาะเชื้อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ที่รองด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ อบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและอบในตู้อบ

สุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับการเตรียมไฮโดรเจลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ไคโตซานและ พอลิ(เอทิลีนไกลคอล) จะทำการทดลองเหมือนกระบวนการข้างต้นแต่มีการเติม สารละลาย เชื่อมขวางกลูตารัลดีไฮด์ (ตารางที่ 2) หลังจากสารละลาย ผสมของไคโตซานและ พอลิเอทิลีนไกลคอล เข้ากันดี แล้วคนด้วยเครื่องคนแม่เหล็ก เป็นเวลา 10 นาที ก่อนที่จะ นำไปขึ้นรูปโดยการหล่อในงานเพาะเชื้อ

ตารางที่ 1 ปริมาณของแต่ละส่วนประกอบในพอลิเมอร์ผสม

Chitosan/PEG (w/w)	1%w/v Chitosan (mL)	10%w/v PEG (mL)	Total dry weight (g)
100/0	40.0	0.0	0.4
75/25	30.0	1.0	0.4
50/50	20.0	2.0	0.4
25/75	10.0	3.0	0.4
0/100	0.0	4.0	0.4

ตารางที่ 2 ปริมาณของสารเชื่อมขวางกลูตารัลดีไฮด์ในพอลิเมอร์ผสม

Chitosan/PEG (w/w)	Chitosan (g)	PEG (g)	1.25%(w/v) Glutaraldehyde (mL)			
			%w/w (by weight of chitosan)			
			0	0.5	1	2
100/0	0.40	0.00	0.0	0.16	0.32	0.64
75/25	0.30	0.10	0.0	0.12	0.24	0.48
50/50	0.20	0.20	0.0	0.08	0.16	0.32
25/75	0.10	0.30	0.0	0.04	0.08	0.16
0/100	0.00	0.40	0.0	0.00	0.00	0.00

## 2.4 การทดสอบสมบัติ

วิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่เคลือบด้วยทองคำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) LEO โมเดล 1450 VP โดยใช้หัวตรวจวัดการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (back-scattered detector)

ทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้ เครื่องทดสอบแรงดึง (tensile tester) Testometric Micro 350 โดยลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ทำการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความยาว 50 mm กว้าง 0.5 mm และหนา 50

ไมครอน กำหนดความยาวพิกัด (gauge length) 30 mm อัตราเร็ว ในการดึง 10 mm/min ส่วนวัดแรง (load cell) 50 N และดึงด้วยอัตราเร็วคงที่จนกระทั่งชิ้นงานขาด

วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (surface resistivity) ของแผ่นกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ผสม ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ปกติที่อุณหภูมิห้อง (~80%), 0% (silica gel) และ 50% (สารละลาย CaCl<sub>2</sub> อิ่มตัว) ตามมาตรฐาน ASTM E 104-02 ด้วยเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าชนิด 4 โพรบ ใช้โอห์มมิเตอร์ทองแดง ขนาด 0.5 x 2.1 cm<sup>2</sup> และใช้หัววัดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 cm ระยะห่าง ระหว่างหัววัดเท่ากับ 1.3 cm และระยะห่างของอิเล็กโทรด เท่ากับ 1.5 cm ดังแสดงในรูปที่ 1 ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้นำมาคำนวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างโดยใช้สมการ ที่ 2 ตามมาตรฐาน ASTM D 257-07

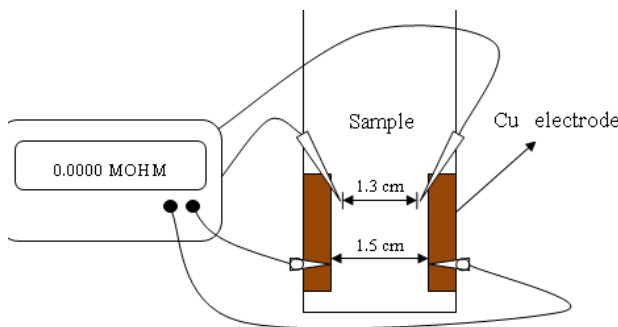
$$P_s = (P/g) R_s \quad \text{เมื่อ } P = 2(a+b+2g) \quad (2)$$

โดย  $P_s$  คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว ในหน่วย  $\Omega/\text{square}$

$R_s$  คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง ในหน่วย  $\Omega$

$a$  และ  $b$  คือ ความยาวและความกว้างของอิเล็กโทรด ตามลำดับ ในหน่วย cm

$g$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของปลายเข็มวัด ในหน่วย cm



รูปที่ 1 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

วัดค่ามุมสัมผัสของน้ำบนแผ่นกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ผสม โดยเริ่มจากหยดน้ำ ปราศจากไอออน ด้วยไมโครไซริงจ์ ลงบนแผ่นกระจกสไลด์ ที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ผสม ถ่ายรูปหยดของเหลวบนพื้นผิว และคำนวณหา ค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรม three point method ด้วยเครื่อง วัดค่ามุมสัมผัส (contact angle goniometer) โมเดล JYSP-180 ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 5 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 3.1 น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานด้วยวิธีความหนืดแท้จริง ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\eta_{sp}/C$  และ  $C$  (เมื่อ  $\eta_{sp}$  คือความหนืดจำเพาะของ สารละลายไคโตซาน และ  $C$  คือความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน) ดังสมการ

$$\eta_{sp}/C = 116156 C + 186.61 \quad \text{โดยมีค่า } R^2 = 0.9927$$

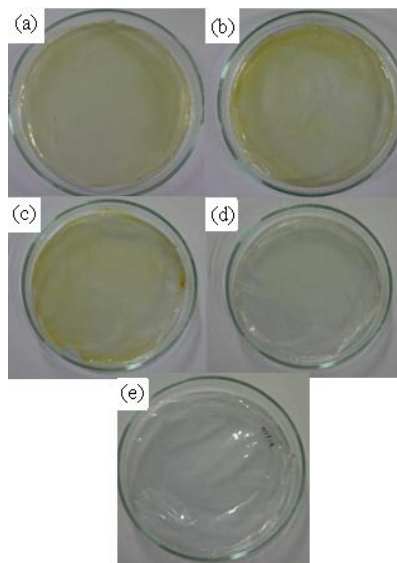
ได้ค่าจุดตัดแกน  $Y$  หรือค่า  $[\eta]$  เท่ากับ 186.6 mL/g เมื่อนำมาแทนค่าในสมการของ Mark-Houwink ได้ค่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเท่ากับ  $2.47 \times 10^5$  g/mol ซึ่งอยู่ในช่วงน้ำหนักโมเลกุลปกติของไคโตซานสังเคราะห์ [12]

#### 3.2 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

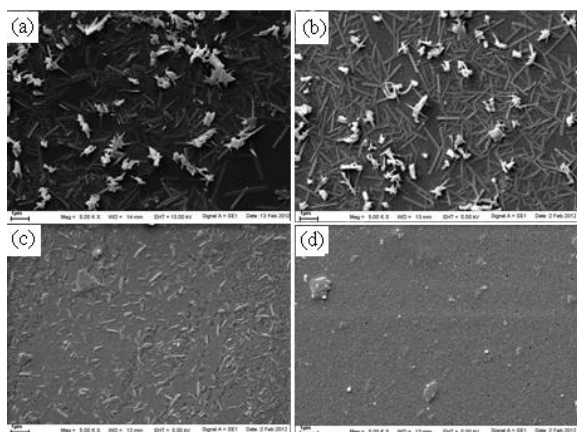
เมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของ फिल्मไคโตซาน พอลิ (เอทิลีน ไกลคอล) และ พอลิเมอร์ผสมไคโตซาน/พอลิ (เอทิลีน ไกลคอล) พบว่าฟิล์มไคโตซาน มีสีเหลืองอ่อน และ สีของฟิล์มจะจางลงเมื่อปริมาณของพอลิ (เอทิลีน ไกลคอล) เพิ่มขึ้น จนกระทั่งใส เมื่อฟิล์มมีส่วนประกอบเป็นพอลิ (เอทิลีน ไกลคอล) เพียงชนิดเดียวและฟิล์มที่ได้มีความหนาประมาณ 0.05 mm ดังรูปที่ 2

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถรวมตัวกันเป็นของผสมเฟสเดียวได้ (immiscible blend) นอกจากนี้ยังพบการเกิดผลึกของไคโตซานซึ่งกระจายตัว ค่อนข้างสม่ำเสมอใน

พอลิเมอร์ผสม ดังรูปที่ 3 จากรูป จะเห็นว่า ปริมาณของ พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ที่มากขึ้น ไปขัดขวางการเกิดผลึก ของไคโตซานทำให้ไคโตซานมีผลึกน้อยลง จึงมีความ เหนียวมากขึ้น [13] ซึ่งผลดังกล่าว จะแสดง ในส่วนของการ วัดสมบัติเชิงกลต่อไป



รูปที่ 2 พิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซาน/พอลิ (เอทิลีน ไกลคอล) ที่อัตราส่วน (a) 100/0 (b) 75/25 (c) 50/50 (d) 25/75 และ (e) 0/100 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของพอลิเมอร์ผสม ไคโตซาน/ พอลิ (เอทิลีน ไกลคอล) ที่อัตราส่วน (a) 100/0 (b) 50/50 (c) 25/75 และ (d) 0/100 โดยน้ำหนัก

### 3.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

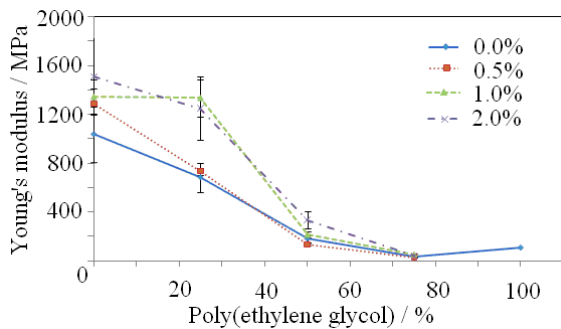
#### 3.3.1 มอดูลัสของยัง

ค่ามอดูลัสของยังสำหรับไคโตซาน และ พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) มีค่าเท่ากับ  $1038 \pm 227$  และ  $104 \pm 11$  MPa ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่ แข็งกว่าพอลิ(เอ-ทิลีน ไกลคอล) และเมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ ผสมโดยอาศัยข้อมูลจากรูปที่ 4 พบว่า ค่ามอดูลัสของยังของ พิล์มพอลิเมอร์ผสมลดลงอย่างเห็น ได้ชัด เมื่อปริมาณ พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) เพิ่มขึ้น และเมื่อเติมสารเชื่อมขวาง ลงในพอลิเมอร์ผสม พบว่า ค่ามอดูลัสของยัง สำหรับฟิล์ม ไคโตซานมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเท่ากับ  $1510 \pm 315$  MPa เมื่อใช้สารเชื่อมขวาง 2% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Subramanian และ Lin [14] ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา เชื่อมขวางทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ มีการเคลื่อนที่ได้ ยากขึ้นจึงมีสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากขึ้น

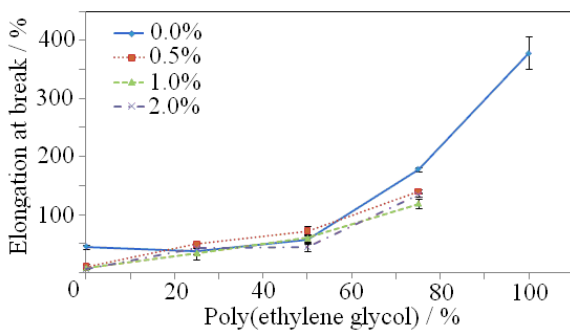
#### 3.3.2 ร้อยละการยืด ณ จุดขาด

การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของ ไคโตซาน และ พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) มีค่าเท่ากับ  $45 \pm 2$  และ  $378 \pm 28\%$  ซึ่งอยู่ในช่วงปกติ ไคโตซานจัดเป็นวัสดุ ประเภทแข็ง เพราะมี โครงสร้างเป็นรูปผลึก (crystalline structure) [15-16] ส่วน พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) จัดเป็น วัสดุประเภทยืดหยุ่น ดังนั้น เมื่อปริมาณของ พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละ การยืดตัว ณ จุดขาดของ พอลิเมอร์ผสมจึงเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5 เนื่องจากโครงสร้างผลึก ที่แข็งแรง (rigid structure) ของไคโตซาน เกิดจาก แรงยึดเหนี่ยวภายใน โมเลกุล (intramolecular) ที่แข็งแรง ดังนั้นเมื่อเติม พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ลงไปโครงสร้างผลึก เดิมของ ไคโตซานจะถูกทำลายทำให้ฟิล์ม พอลิเมอร์ ผสมมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมากขึ้น [17] จึงมีช่องว่างระหว่าง โมเลกุลมากกว่าโครงสร้าง แบบผลึกสายโซ่พอลิเมอร์ จึงเคลื่อนที่ได้อิสระมากขึ้น ส่งผลให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเติมสารเชื่อมขวางกลูตารัลดีไฮด์

ลงในพอลิเมอร์ผสม พบว่า ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมน้อยกว่า กรณีที่ไม่เติมสารเชื่อมขวาง ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมขวาง มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความต้านทานแรงดึงของฟิล์ม พอลิเมอร์ผสมโดยสารเชื่อมขวางทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่าย [18] ส่งผลให้ฟิล์ม พอลิเมอร์ผสม มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่มีความยืดหยุ่นน้อยลง



รูปที่ 4 ผลของปริมาณพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ต่อค่ามอดูลัส- ของยัง ของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารเชื่อมขวางเท่ากับ 0, 0.5, 1 และ 2% เทียบกับน้ำหนักของไคโตซาน

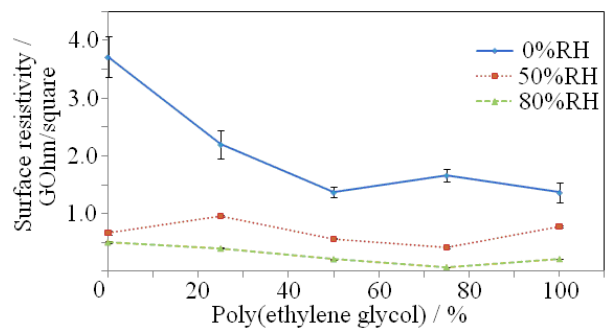


รูปที่ 5 ผลของปริมาณพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ต่อค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารเชื่อมขวาง เท่ากับ 0 0.5 1 และ 2% เทียบกับน้ำหนักของไคโตซาน

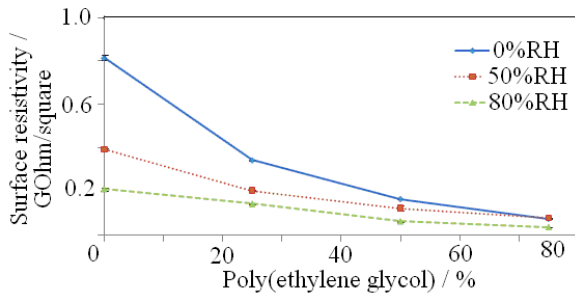
เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่มีไคโตซานเป็นองค์ประกอบ สำหรับใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์และเมมเบรน ซึ่งมีผู้ศึกษาไว้แล้ว [19-21] พบว่าพอลิเมอร์ผสมของไคโตซานที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้ มีสมบัติอยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ได้

### 3.4 สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว

รูปที่ 6 และ 7 แสดงผลของปริมาณ พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน จากรูปพบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว ของพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่อปริมาณพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ดี และมีสมบัติชอบน้ำ [17] จึงดูดซับโมเลกุลของน้ำ ซึ่งมีความเป็นขั้วคู่ (dipolar) สูง [10] ทำให้มีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีโดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของพอลิเมอร์ผสมอยู่ในช่วง  $3.71 \times 10^9$  ถึง  $4.00 \times 10^7 \Omega/\text{square}$  ซึ่งอยู่ในช่วงของวัสดุกระจายไฟฟ้าสถิต (Electrostatic discharge, ESD) [1]



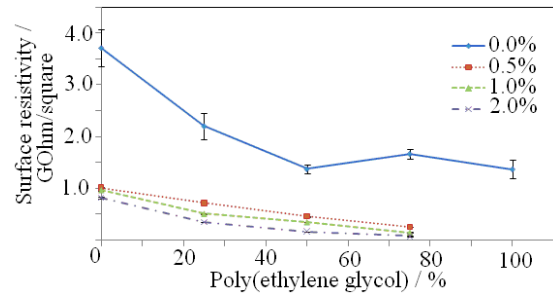
รูปที่ 6 ผลของปริมาณ พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 50 และ 80%



**รูปที่ 7** ผลของปริมาณพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ต่อค่าสภาพต้านทานค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล (2.0%) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 50 และ 80%

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้พอลิเมอร์ผสมนำไฟฟ้าได้มากขึ้นจึงมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำหรือความชื้นในอากาศซึ่งเป็นตัวนำอิเล็กตรอน มีมากขึ้น การเดินทางของอิเล็กตรอน จากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่ง จึงเกิดได้ง่าย

ผลของการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของไคโตซาน ต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของพอลิเมอร์ผสม แสดงในรูปที่ 8 จากรูป พบว่าการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลในโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม พอลิเมอร์ผสมลดลง เนื่องจาก การเชื่อมขวางทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมเชื่อม โยงกันเป็นโครงร่างตาข่ายอิเล็กตรอนจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านร่างตาข่ายนั้นได้ดีขึ้น ลดการสะสมของ ประจุไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน จึงลดการเกิด ไฟฟ้าสถิตได้ และ ยังพบอีกว่าเมื่อดัชนีการเชื่อมตามขวางเพิ่มขึ้นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าก็ลดลงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังทำให้การดูดซับน้ำ (water uptake) ของพอลิเมอร์ผสมลดลง ส่งผลให้ความชอบน้ำของพอลิเมอร์ผสมลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่ามอดูลัสของน้ำบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 9

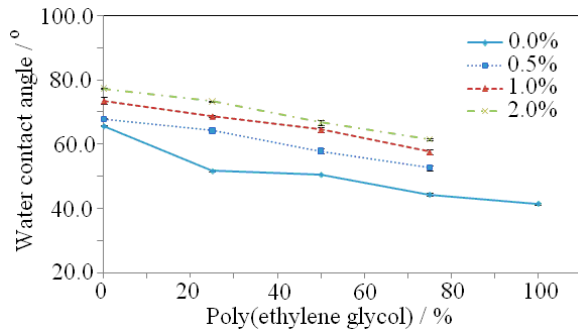


**รูปที่ 8** ผลของปริมาณพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล (ก) 0 (ข) 0.5 (ค) 1.0 และ (ง) 2.0% ตามลำดับที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80%

**3.5 ค่ามอดูลัสของน้ำ**

การศึกษาค่ามอดูลัสของน้ำบนพื้นผิวที่เคลือบด้วยฟิล์ม ของพอลิเมอร์ผสม (รูปที่ 9) พบว่าค่ามอดูลัสของน้ำสำหรับฟิล์มพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) (42 องศา)มีค่าน้อยกว่าค่ามอดูลัสของน้ำสำหรับฟิล์มไคโตซาน (66 องศา)แสดงให้เห็นว่าพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) มีความชอบน้ำมากกว่าไคโตซาน จึงดูดซับน้ำได้มากกว่า สำหรับพอลิเมอร์ผสม พบว่าค่ามอดูลัสของน้ำสำหรับฟิล์มพอลิเมอร์ผสม ลดต่ำลงเมื่อปริมาณของ(เอทิลีน ไกลคอล) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก (เอทิลีน ไกลคอล) เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วสูง และ ละลายน้ำได้ดีเพราะมีหมู่ไฮดรอกซิล เป็นองค์ประกอบ จึงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำได้ดีทำให้มอดูลัสลดลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลของการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล ของพอลิเมอร์ผสม พบว่าพอลิเมอร์ผสม มีค่ามอดูลัสเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการเชื่อมขวาง ระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลทำให้จำนวนของหมู่ชอบน้ำ ภายในพอลิเมอร์ผสมลดลง เนื่องจากโมเลกุลส่วนหนึ่งได้ทำปฏิกิริยากับกลูคาร์ลดีไฮด์ เกิดเป็นโมเลกุลโครงตาข่ายขึ้น ดังนั้น เมื่อหมู่ฟังก์ชันที่ ชอบน้ำลดน้อยลง พอลิเมอร์ผสมจึงมีสมบัติชอบน้ำน้อยลง มอดูลัสของน้ำจึงมีค่าสูงขึ้น





**รูปที่ 9** ผลของปริมาณพอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) ต่อค่ามุมสัมผัสของน้ำ สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล (ก) 0 (ข) 0.5 (ค) 1.0 และ (ง) 2.0% ตามลำดับ

#### 4. สรุปผล

พอลิเมอร์ผสมไคโตซาน/พอลิ(เอทิลีน ไกลคอล) สามารถสังเคราะห์ขึ้น และใช้เป็นวัสดุป้องกันการคายประจุจากไฟฟ้าสถิตได้ เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความยืดหยุ่น และมีค่ามอดูลัส อยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ แม้ว่าพอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบจะแยกเป็นสองเฟสก็ตาม สิ่งที่สำคัญยิ่งคือค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วงของวัสดุประเภทกระจายไฟฟ้าสถิตจึงใช้เป็นวัสดุลดการคายประจุเนื่องจากไฟฟ้าสถิตได้ ส่วนการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์นอกจากทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงมากขึ้นแล้วยังช่วยให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมลดลงด้วย

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนขอขอบคุณวิทยาลัยการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง สำหรับการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Pornpatkul, "Conductive Polyaniline Synthesized by Dispersion Polymerization", The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok 21(1), 2011, pp. 221-229. (in Thai)
- [2] Y. Wang, and X. Jing, "Intrinsically Conducting Polymers for Electromagnetic Interference Shielding", Polymers for Advanced Technologies 16, 2005, pp. 344-351.
- [3] A.S.A. Khair, R. Puteh, and A.K. Arof, "Conductivity Studies of a Chitosan-based Polymer Electrolyte", Physica B 373, 2006, pp. 23-27.
- [4] R.A.A. Muzzarelli, "Natural Chelating Polymers: Alginate, Chitin and Chitosan", Pergamon Press, Oxford, 1973.
- [5] S. Kaewpirom and S. Boonsang, "Electrical response characterization of poly(ethylene glycol) macromer (PEGM) / chitosan hydrogels in NaCl solution", European Polymer Journal 42(7), 2006, pp. 1609-1616.
- [6] A. Bouvree, J.-F. Feller, M. Castro, Y. Grohens, M. Rinando, "Conductive polymers nano-biocomposites (CPC): chitosan-carbon nanoparticle, a good candidate to design polar vapor sensors", Sensors and Actuators B: Chemical 138(1), 2009, pp. 138-147.
- [7] A.M. Sajjan, B.K. Jeevan Kumar, A.A. Kittur, M.Y. Kariduraganavar, "Novel approach for the development of pervaporation membranes using sodiumalginate and chitosan-wrapped multiwalled carbon nanotubes for the dehydration of isopropanol", Journal of Membrane Science,

- article in press DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2012.08.042>.
- [8] A. Nikolova, N. Manolova, and I. Rashkov, “Rheological Characteristics of Aqueous Solutions of Mixtures of Chitosan and Polyoxyethylene”, *Polymer Bulletin* 41, 1998, pp. 115–121.
- [9] T. Ouchi, H. Nishizawa, and Y. Ohya, “Aggregation Phenomenon of PEG-grafted Chitosan in Aqueous Solution”, *Polymer* 39, 1998, pp. 5171–5175.
- [10] O. Erdamar, Y. Skarlatos, G. Aktas, and M.N. Inci, “Experimental Investigation of the Humidity Induced Change in the Conduction Mechanism of PEG”, *Applied Physics A* 83, 2006, pp. 159-162.
- [11] R.J. Young, and P.A. Lovell, “*Introduction to Polymers*”, Chapman & Hall, London, 1991.
- [12] P. Methakanon, A. Fuongfuchat, and K. Kongsuwan, “*Chitin-chitosan Technical Note*”, MTEC, Bangkok, 2000. (in Thai)
- [13] P. Kolhe and R.M. Kannan, “Improvement in Ductility of Chitosan Through Blending and Copolymerization with PEG: FTIR Investigation of Molecular Interaction”, *Biomacromolecules* 4, 2003, pp. 173-180.
- [14] A. Subramanian, and H.Y. Lin, “Crosslinked Chitosan: Its Physical Properties and the Effects of Matrix Stiffness on Chondrocyte Cell Morphology and Proliferation. *Journal of Biomedical Materials Research A*. 75(3), 2005, pp.742-53.
- [15] K. Ogawa, “Effect of Heating an Aqueous Suspension of Chitosan on the Crystallinity and Polymorphs”, *Agricultural Biological Chemistry* 55, 1991, pp. 2375–2377.
- [16] K. Okuyama, K. Nioguchi, T. Miyazawa, T. Yui, and K. Ogawa, “Molecular and Crystal Structure of Hydrated chitosan”, *Macromolecules* 30, 1997, pp. 5849–5855.
- [17] M. Zhang, X.H. Li, Y.D. Gong, N.M. Zhao, and X.F. Zhang, “Properties and Biocompatibility of Chitosan Films Modified by Blending with PEG”, *Biomaterials* 23, 2002, pp. 2641–2648.
- [18] M. Zeng, and Z. Fang, “Preparation of Sub-micrometer Porous Membrane from Chitosan/polyethylene Glycol Semi-IPN”, *Journal of Membrane Science* 245, 2004, pp. 95–102.
- [19] T. Sirilert and A. Boonya, “Properties studies of chitosan incorporated with biopolymers for packaging forming”, *Journal of Science and Technology MSU* 27(2), 2008, pp. 110-119. (in Thai)
- [20] M. Gällsted and M.S. Hederqvist, “Packaging-related mechanical and barrier properties of pulp-free-fiber-chitosan sheets, *Carbohydrate Polymers* 63, 2006, pp.46-53.
- [21] B. Ma, X. Li, A. Qin and C. He, “A comparative study on the chitosan membranes prepared from glycine hydrochloride and acetic”, *Carbohydrate Polymers* 91, 2013, pp. 477-482.