

---

สมบัติทางความร้อนของซัลโฟเนตเต็ด พอลิสไตรีน  
Thermal Properties of Sulfonated Polystyrene

กนกวรรณ ประมวล<sup>1</sup> พัทธ์ชานันท์ ไชยวรรณ<sup>1</sup> เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ<sup>2</sup> และ พรเพ็ญ อาทกรกิจวัฒน์<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Kanokwan Pramual<sup>1</sup>, Patchanun Chaiyawan<sup>1</sup>, Kasame Pipatpanyanugoon<sup>2</sup> and Pornpen Atorngitjawat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

---

### บทคัดย่อ

ซัลโฟเนตเต็ด พอลิสไตรีน (SPS) ที่มีปริมาณหมู่กรด 1, 2, 4, 7 และ 10 โมลเปอร์เซ็นต์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาซัลโฟเนชันระหว่างพอลิสไตรีนและพรอไพโอนิลซัลเฟต ศึกษาโครงสร้างทางเคมีและการเกิดพันธะไฮโดรเจนของ SPS ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีพบว่า ซัลโฟเนตเต็ด พอลิสไตรีนที่มีปริมาณหมู่กรด 4, 7 และ 10 โมลเปอร์เซ็นต์แสดงโครงสร้างของซัลโฟเนต และการเกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างชัดเจน สมบัติทางความร้อนของ SPS ศึกษาด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลลอรี่เมทรี และเทคนิคเทอร์โมแกรมเมทริก แอนาไลซิสพบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของซัลโฟเนตเต็ด พอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่ซัลโฟเนตที่เพิ่มขึ้น และความสามารถในการทนความร้อนสูงขึ้นอย่างมากเมื่อมีการตัดแปรรูปโครงสร้างของพอลิสไตรีนด้วยหมู่กรดปริมาณ 4 ถึง 7 โมลเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพอลิสไตรีนที่ไม่มีการตัดแปรรูปโครงสร้าง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าพอลิสไตรีนที่ตัดแปรรูปโครงสร้างด้วยหมู่กรดสามารถย่อยสลายด้วยความร้อนเกือบสมบูรณ์

คำสำคัญ : พอลิสไตรีน ซัลโฟเนตเต็ด พอลิสไตรีน สมบัติทางความร้อน พันธะไฮโดรเจน

### Abstract

Sulfonated polystyrenes (SPS) containing 1, 2, 4, 7 and 10 mole% of sulfonic acid groups were prepared by sulfonation reaction of polystyrene and propionyl sulfate. Chemical structure and hydrogen bonding were examined by Fourier Transform Infrared spectroscopy technique. The finding shows that SPS samples containing 4, 7 and 10 mole% clearly exhibit the sulfonated structure and hydrogen bond peaks. Thermal properties were characterized by Differential Scanning Calorimetry and Thermogravimetric Analysis techniques. It was found that the glass transition temperature increases with increasing sulfonation levels and the thermal stability was significantly enhanced for 4 to 7 mole% acid-modified polystyrenes, respective to neat polystyrene. Furthermore the finding also shows that the acid-modified polystyrene is almost completely thermal degradable.

**Keywords :** Polystyrene, Sulfonated polystyrene, Thermal property, Hydrogen bond

---

\*Corresponding author. E-mail: pornpena@buu.ac.th

ในปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากโดยเฉพาะพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน พอลิสไตรีนเป็นหนึ่งในพอลิโอเลฟินที่ถูกใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากพอลิสไตรีนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น กล่องโฟมใส่อาหาร อุปกรณ์เครื่องเขียน กระดุม ตลับเครื่องสำอาง เฟอร์นิเจอร์ของเด็กเล่น และดิสก์ซีดี เป็นต้น พอลิสไตรีนมีลักษณะออสถุณฐานและมีคุณสมบัติที่เด่นคือ แข็ง ทนต่อสารเคมี ทนต่อการกัดและเบส อีกทั้งยังสามารถขึ้นรูปได้ง่าย แต่พอลิสไตรีนยังมีข้อด้อยหลายประการ เช่น เปราะแตกหักง่าย และทนต่อความร้อนได้ต่ำ จึงได้มีการปรับปรุงสมบัติของพอลิสไตรีนในรูปแบบต่างๆ โดยการสังเคราะห์ร่วมกับพอลิเมอร์ตัวอื่นๆ ที่เรียกว่า สไตรีนโคพอลิเมอร์ (Scheirs & Priddy, 2003)

นอกจากนี้การปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิสไตรีนให้ทนต่อความร้อนได้มากขึ้น สามารถทำได้โดยการดัดแปรโครงสร้างบางส่วนของพอลิสไตรีน หมู่ซัลโฟนิคเป็นโครงสร้างหนึ่งที่น่าสนใจในการปรับปรุงโครงสร้างของพอลิสไตรีน พอลิสไตรีนที่ดัดแปรโครงสร้างแล้วจะอยู่ในรูปของซัลโฟเนเตด พอลิสไตรีน ซึ่งมีคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อนที่ดี ทนต่อสารเคมี และยังทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนโปรตอนได้อีกด้วย (Amarilla *et al.*, 2000; Ayhan, 2004; Cristiane, *et al.*, 2003) จากคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนโปรตอนนี้เองทำให้ซัลโฟเนเตดพอลิสไตรีนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำแผ่นเยื่อพอลิเมอร์ อิเล็กโตรไลต์ สำหรับประยุกต์ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Amarilla *et al.*, 2000; Ayhan, 2004; Mokriani & Acosta, 2001) นอกจากนี้ยังมีการนำซัลโฟเนเตดพอลิสไตรีนมาเป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ต่างๆ เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์ผสมต่างๆ มีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีขึ้น (Cristiane *et al.*, 2003)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา ซัลโฟเนเตด พอลิสไตรีนที่มีปริมาณหมู่กรดซัลโฟนิค ในปริมาณต่างๆ กัน ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างพรอไพโอนิลซัลเฟตและพอลิสไตรีน พร้อมทั้งศึกษาโครงสร้างทางเคมีของซัลโฟเนเตด พอลิสไตรีน และความสัมพันธ์ของปริมาณหมู่ซัลโฟนิคและพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น กับสมบัติทางความร้อนของซัลโฟเนเตด พอลิสไตรีน เพื่อพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้น

**สารเคมีและวัตถุดิบที่ใช้**

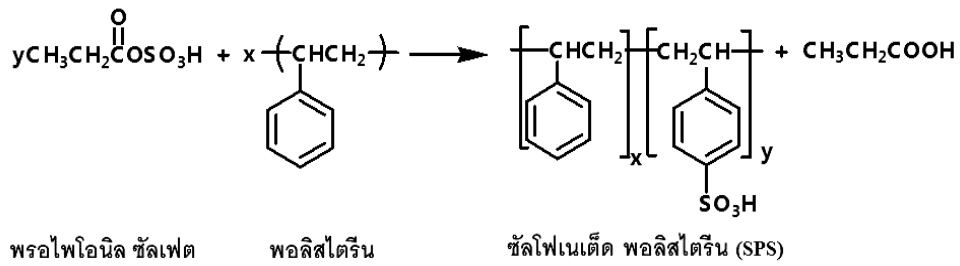
พอลิสไตรีน (Polystyrene:  $M_w = 300,000$  g/mol และ  $M_n = 130,000$  g/mol; จาก Dow Chemical) ไดคลอโรมีเทน ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  จาก QRèC™) คลอโรฟอร์ม ( $\text{CHCl}_3$  จาก QRèC™) เมทานอล ( $\text{CH}_3\text{OH}$  จาก QRèC™) ไอโซพโรพิล แอลกอฮอล์ ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$  จาก QRèC™) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$  จาก QRèC™) พรอไพโอนิล ซัลเฟต ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2\text{S}$  จาก Fluka) และไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF จาก QRèC™)

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

เครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometer รุ่น PerkinElmer system 2000 โดยใช้จำนวนสแกน 128 ครั้ง และความละเอียด  $2\text{ cm}^{-1}$  เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น PerkinElmer PYRIS Diamond DSC โดยให้ความร้อนจาก 40 จนถึง 150 องศาเซลเซียส ที่อัตราการความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) รุ่น Mettler Toledo TGA 285 โดยให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้อง (~40 องศาเซลเซียส) จนถึง 700 องศาเซลเซียส ที่อัตราการความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ชวดสามคอกขนาด 1000 มิลลิลิตร และจานเพาะเชื้อ

**การสังเคราะห์ ซัลโฟเนเตด พอลิสไตรีน (Sulfonated Polystyrene, SPS)**

ละลายพอลิสไตรีน (PS) น้ำหนัก 10 กรัมด้วยไดคลอโรมีเทนในชวดสามคอก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เติมพรอไพโอนิลซัลเฟต (ในไดคลอโรมีเทน) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ โดยใช้ปริมาตรพรอไพโอนิลซัลเฟต ดังแสดงในตารางที่ 1 ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง (กวนตลอดเวลา) เติมไอโซพโรพิลแอลกอฮอล์ เพื่อหยุดปฏิกิริยา และตกตะกอนสาร กรองสารและล้างด้วยน้ำกลั่นและ เมทานอล ทำสารที่เตรียมได้ (SPS) (ภาพที่ 1) ให้แห้งโดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 วัน หลังจากนั้นนำไปอบในตู้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ละลายสารตัวอย่างในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ แล้วไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลผสมกับไดเมทิลฟอร์มาไมด์ เข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์เพื่อหาปริมาณกรดที่แน่นอนของ SPS ((พารักษ์ พิบูลศาสนกุล และ จตุพร วุฒิกนกกาญจน์, 2550; Atomgitjawat *et al.*, 2006) และจากการไทเทรต ทำให้ทราบว่าปริมาณจำนวนโมลของกรดที่ได้ของสาร SPS1, SPS2, SPS4, SPS7 และ SPS10 เท่ากับ 1, 2, 4, 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับจำนวนโมลของพอลิสไตรีน ตามลำดับ



ภาพที่ 1 โครงสร้างของซัลโฟเนเต็ด พอลิสไตรีน

ตารางที่ 1 ปริมาณพอร์ไพโอนิล ซัลเฟตที่ใช้เตรียม SPS1, SPS2, SPS4, SPS7 และ SPS10

ลำดับที่	สาร	พอร์ไพโอนิล ซัลเฟต (mL)
1	SPS1	0.3
2	SPS2	0.6
3	SPS4	1.2
4	SPS7	2.1
5	SPS10	3.0

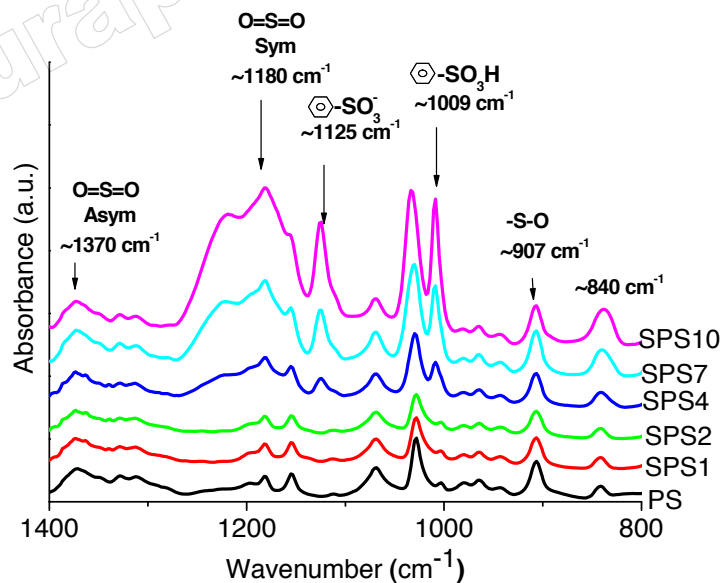
### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

#### การศึกษาโครงสร้างทางเคมีที่สำคัญของ SPS

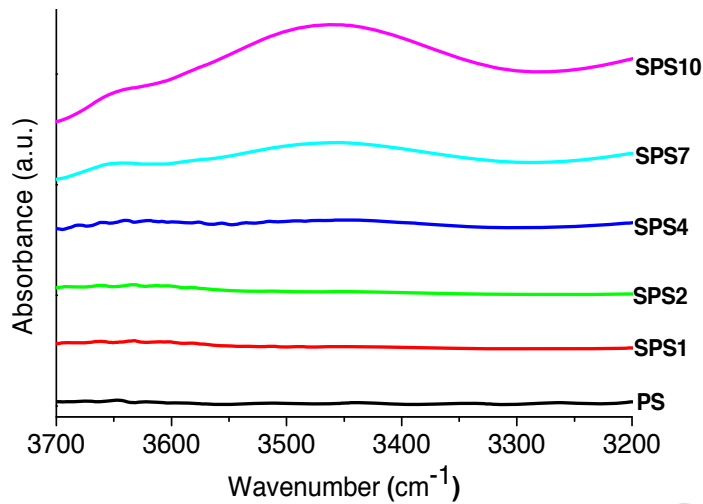
เมื่อเทียบผลจากเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของ SPS และ PS กับเอกสารอ้างอิง (Atorngitjawat *et al.*, 2006;

Cristiane *et al.*, 2003) แสดงให้เห็นว่า SPS มีโครงสร้างของหมู่ซัลโฟเนตในช่วงเลขคลื่น 800 ถึง 1600  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งจะปรากฏพีกที่สำคัญแสดงดังภาพที่ 2

จากภาพที่ 2 ตำแหน่งที่เลขคลื่นประมาณ 1370  $\text{cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งการสั่นตามแนวแกนของ O=S=O (asymmetric stretching) ที่เลขคลื่นประมาณ 1180  $\text{cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งการสั่นตามแนวแกนของ O=S=O (symmetric stretching) ที่เลขคลื่นประมาณ 1125  $\text{cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งการสั่นของวงเบนซีน (in-plane skeletal) ที่แทนที่ด้วยซัลโฟเนตไอออน ที่เลขคลื่นประมาณ 1009  $\text{cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งการสั่นของวงเบนซีน (in-plane skeletal) ที่แทนที่ด้วยหมู่กรดซัลโฟนิก และที่เลขคลื่นประมาณ 907  $\text{cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งการสั่นตามแนวแกนของ -S-O (Atorngitjawat *et al.*, 2006; Cristiane *et al.*, 2003; Zundel, 1969) ที่ช่วงเลขคลื่น 3200-3700  $\text{cm}^{-1}$  จะปรากฏพีกของหมู่ไฮดรอกซี (-OH) อิสระ และไฮดรอกซีที่เกิดพันธะไฮโดรเจน แต่เนื่องจาก



ภาพที่ 2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PS, SPS1, SPS2, SPS4, SPS7 และ SPS10 ที่ช่วงเลขคลื่น 800-1400  $\text{cm}^{-1}$



ภาพที่ 3 สเปกตรัมของหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ของ PS, SPS1, SPS2, SPS4, SPS7 และ SPS10

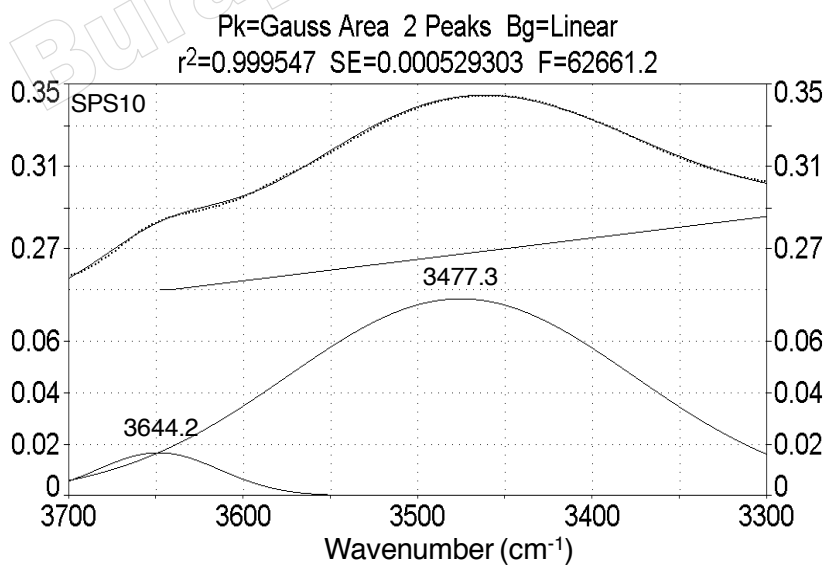
SPS1 และ SPS2 มีปริมาณหมู่กรดอยู่น้อยมากและกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้สัญญาณพีคของพันธะไฮดรอกซีไม่ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน แต่เมื่อหมู่กรดเพิ่มมากขึ้นจะเริ่มปรากฏเล็กน้อยในตัวอย่าง SPS4 และจะเห็นพีคชัดเจนมากขึ้นเมื่อมีหมู่กรดเพิ่มมากขึ้นใน SPS7 และ SPS10 ดังแสดงในภาพที่ 3 การศึกษาปริมาณการเกิดพันธะไฮดรอกซีของ SPS4, SPS7 และ SPS10

พื้นที่ใต้กราฟของ normalized spectrum จากเทคนิค FT-IR ที่เลขคลื่น 3300-3700 cm<sup>-1</sup> ด้วยสมการของเกาส์เซียน (Gaussian equation) (Dym & McKean, 1976) โดยใช้โปรแกรม Jandel's Peak fit และใช้ linear baseline แบบ 2 จุดในช่วงเลขคลื่น

3300-3700 cm<sup>-1</sup> (ภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างของผลจากการฟิตกราฟของ SPS10) จะได้ค่าพื้นที่ใต้กราฟดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พื้นที่ใต้กราฟของหมู่ -OH ของ SPS4, SPS7 และ SPS10

สารตัวอย่าง เลขคลื่น	~3477 cm <sup>-1</sup>	~3644 cm <sup>-1</sup>
SPS4	1.24	0.56
SPS7	5.45	0.83
SPS10	16.10	1.58



ภาพที่ 4 ผลที่ได้จากการฟิตกราฟโดยใช้โปรแกรม Jandel's Peak fit ของ SPS10

จากการหาพื้นที่ใต้กราฟจะปรากฏพีค 2 พีค คือ พีคเลขคลื่น ประมาณ  $3477\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคที่แสดงตำแหน่งของการเกิดพันธะไฮโดรเจน และเลขคลื่นประมาณ  $3644\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคแสดงตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ (Donald, *et al.*, 2001) ซึ่งการหาพื้นที่ใต้กราฟนั้นทำให้ทราบว่า การเกิดพันธะไฮโดรเจนของ SPS4, SPS7 และ SPS10 นั้นมีมากกว่าหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ และเมื่อปริมาณหมู่กรดเพิ่มมากขึ้นการเกิดพันธะไฮโดรเจนก็เพิ่มมากขึ้นด้วย ยกเว้น SPS1 และ SPS2 ที่ไม่พบการเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งสอดคล้องกับการพิสูจน์โครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR ที่ไม่พบหมู่ไฮดรอกซิลโมเลกุล การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค DSC

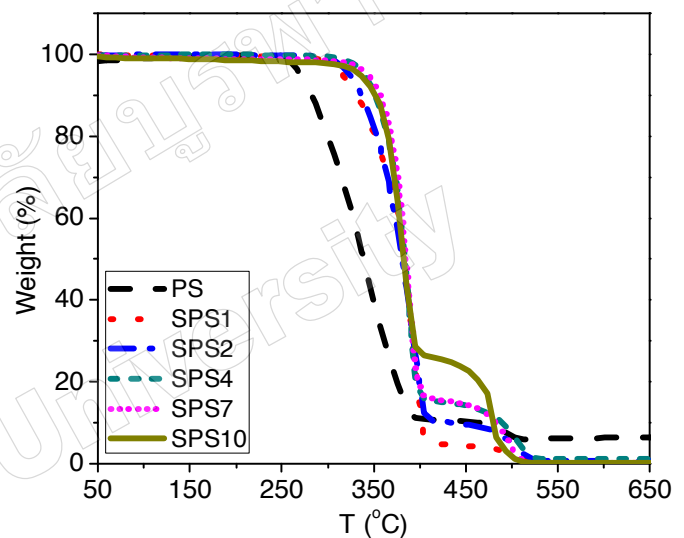
ตารางที่ 3 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของ PS, SPS1, SPS2, SPS4, SPS7 และ SPS10

สารตัวอย่าง	$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
PS	105
SPS1	106
SPS2	106
SPS4	108
SPS7	114
SPS10	118

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ SPS เทียบกับ PS ซึ่งจะเห็นว่า SPS1 และ SPS2 มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่เท่ากัน และเพิ่มขึ้นจาก PS เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจาก SPS1 และ SPS2 มีปริมาณหมู่กรดที่น้อยมาก ส่วน SPS4, SPS7 และ SPS10 มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับพอลิสไตรีน ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณหมู่กรดมากขึ้น จากการเปรียบเทียบผลทางความร้อนของ SPS กับ PS ทำให้ทราบว่า นอกจากปริมาณหมู่กรดที่สร้างความลำบากในการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์แล้ว (Weiss & Lefelar, 1986) การเกิดพันธะไฮโดรเจนอาจยังส่งผลต่อการทนความร้อนของ SPS กล่าวคือ SPS1 และ SPS2 นั้นเป็นสารที่ไม่เกิดพันธะไฮโดรเจน เนื่องจากปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่น้อยมาก ๆ กระจายอย่างสม่ำเสมอ ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจึงไม่เปลี่ยนจาก PS มากนัก แต่ SPS4, SPS7 และ SPS10 นั้น ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว นอกจากจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่ซัลโฟนิคแล้วยังเพิ่มขึ้นตาม

ปริมาณการเกิดพันธะไฮโดรเจนอีกด้วย ก่อนหน้านี้มีการพบว่า ซัลโฟเนตเตด พอลิสไตรีนที่เปลี่ยนจากหมู่กรดเป็นโซเดียมไอออน จะให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่สูงกว่าซัลโฟเนตเตด พอลิสไตรีนที่มีแต่หมู่กรดอย่างเดียวเนื่องจากพันธะระหว่างโซเดียมไอออนแข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจน (Weiss, *et al.*, 1991; Atongitjawat & Runt, 2007) ดังนั้นอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่เพิ่มขึ้นอย่างมากของ SPS4, SPS7 และ SPS10 เมื่อเทียบกับพอลิสไตรีน จึงน่าจะสรุปได้ว่าเนื่องจากทั้งมีปริมาณหมู่ซัลโฟนิคและปริมาณพันธะไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น

การศึกษากาการทนความร้อนด้วยเทคนิค TGA



ภาพที่ 5 อุณหภูมิการสลายตัวของ PS, SPS1, SPS2, SPS4, SPS7 และ SPS10

ภาพที่ 5 พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของ PS ประมาณ 250 องศาเซลเซียส ซึ่ง ต่ำกว่าของ SPS อย่างชัดเจน สำหรับ SPS1 และ SPS2 อุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ประมาณ 350 องศาเซลเซียส และสำหรับ SPS4, SPS7 และ SPS10 อุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ประมาณ 400 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ช่วงการสลายตัวของ PS ก็มีเพียงช่วงเดียวแต่การสลายตัวของ SPS มี 2 ช่วงคือ ช่วงแรกเป็นการสลายตัวของสายโซ่หลักของ SPS เมื่อโซ่หลักสลายตัวหมดแล้ว เราจะพบน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่ประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์สำหรับ SPS4, SPS7 และ SPS10 และจะเกิดการสลายตัวอีกครั้งจนมีน้ำหนักเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นการสลายตัวของหมู่กรดที่เชื่อมอยู่กับสายโซ่พอลิเมอร์ (Weiss *et al.*, 1991) แสดงว่า หมู่กรดซัลโฟนิคนั้นสามารถทำให้ SPS มีความสามารถในการทนต่อ



ความร้อนได้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของ PS และ SPS พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ทั้งหมดแบ่งออกเป็นสองกลุ่มที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ SPS1 และ SPS2 มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของ PS เล็กน้อยเนื่องจากมีปริมาณหมู่กรดที่น้อยและใกล้เคียงกันจึงทำให้ไม่สามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิได้ แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวของ SPS4, SPS7 และ SPS10 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแต่มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับ SPS1 และ SPS2 ทั้งนี้เป็นเพราะว่ามีปริมาณหมู่กรดที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้การทนความร้อนของ SPS เพิ่มขึ้น (Cristiane *et al.*, 2003) แต่ความสามารถในการทนความร้อนจะคงที่เมื่อปริมาณกรดสูงระดับหนึ่ง ดังเช่นในงานวิจัยนี้ปริมาณหมู่กรดในช่วง 4 ถึง 10 โมลเปอร์เซ็นต์จะให้ค่าของการทนความร้อนที่ไม่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า พอลิไอสไตรีนเมื่อมีการปรับปรุงโครงสร้างด้วยหมู่กรดยังสามารถย่อยสลายด้วยความร้อนได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องปัญหาขยะพลาสติก

### สรุปผลการวิจัย

ซิลิโพนเต็ด พอลิไอสไตรีน สามารถสังเคราะห์ได้โดยอาศัยปฏิกิริยา ซิลิโพนชั้นระหว่างพอลิไอสไตรีนและพรอโพนไอนิลซิลิเพต โครงสร้างทางเคมีที่สำคัญของ SPS ศึกษาโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี พบพีคที่สามารถยืนยันโครงสร้างของซิลิโพนเต็ดพอลิไอสไตรีน และพบพีคของหมู่ไฮดรอกซีที่ชัดเจนใน SPS4, SPS7 และ SPS10 ส่วน SPS1 และ SPS2 ไม่ปรากฏพีคของหมู่ไฮดรอกซีนอกจากนี้ SPS4, SPS7 และ SPS10 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนอย่างชัดเจน ในขณะที่ SPS1 และ SPS2 ไม่แสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจน และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ SPS สูงขึ้นตามปริมาณหมู่ซิลิโพนิกที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการสลายตัวของ SPS มีค่าสูงกว่า PS อย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าปริมาณหมู่กรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การทนความร้อนของ SPS เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การปรับปรุงโครงสร้างของพอลิไอสไตรีนโดยหมู่กรดยังส่งผลให้พอลิไอสไตรีนสามารถย่อยสลายด้วยความร้อนเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการเลขที่ 28/2552 และได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากเงินสนับสนุนโครงการวิจัยสำหรับนิตปี 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

### เอกสารอ้างอิง

- พารักษ์ พิบูลศาสนกุล และจตุพร วุฒิกนกกาญจน์ (2550) การเตรียมและศึกษาโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างซิลิโพนเตดพอลิไอสไตรีนกับพอลิไอนิลลิทินฟลูออไรด์ ใน *การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1 วันที่ 31 สิงหาคม 2550* โรงแรมเดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ
- Amarilla, J. M., Rojas, R. M., Rojo, J. M., Cubillo, M. J., Linares, A., & Acosta, J. L. (2000). Antimonic acid and sulfonated polystyrene proton-conducting polymeric composite. *Solid State Ionics*, 127, 133-139.
- Atongitjawat, P., Klein, R. J., & Runt, J. (2006). Dynamics of Sulfonated Polystyrene Copolymers Using Broadband Dielectric Spectroscopy. *Macromolecules*, 39, 1815-1820.
- Atongitjawat, P., & Runt, J. (2007). Dynamics of Sulfonated Polystyrene Ionomers Using Broadband Dielectric Spectroscopy. *Macromolecules*, 40, 991-996.
- Ayhan, B. (2004). Anhydrous proton conductive polystyrene sulfonated membranes. *Turkish Journal of Biology*, 29, 117-123.
- Cristiane, R. M., Giacommo, R., & Macro-A, D. P. (2003). Synthesis in pilot plant scale and physical properties of sulfonated polystyrene. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 14(5), 797-802.
- Donald, L. P., Gray, M. L., & George, S. K. (2001). *Introduction to spectroscopy* (3<sup>rd</sup> ed). United State of America: Harcourt College Publishers.
- Dym, H., & McKean, H. P. (1976). *Gaussian processes, function theory and the inverse spectral problem*. New York, USA: Academic Press.
- Mokrini, A., & Acosta, J. L. (2001). Studies of sulfonated block copolymer and its bends. *Polymer*, 42, 9-15.
- Scheirs, J., & Priddy, D. B. (2003). *Modern styrenic polymers: polystyrenes and styrenic copolymers*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

- Weiss, R. A., Fitzgerald, J.J., & Kim, D. (1991). Viscoelastic Behavior of Lightly Sulfonated Polystyrene Ionomers. *Macromolecules*, 32, 1071-1076.
- Weiss, R. A., & Lefelar, J. A. (1986). The influence of thermal history on the small-angle X-ray scattering of sulfonated polystyrene ionomers. *Polymer*, 27, 3-10.
- Weiss, R. A., Sen, A., Willis, C.L. & Pottick, L. A. (1991). Block copolymer ionomers: 1. Synthesis and physical properties of sulfonated poly(styrene-ethylene/butylene-styrene). *Polymer*, 32, 1867-1874.
- Zundel, G. (1969). *Hydration and intermolecular interaction: infrared investigations with polyelectrolyte membranes*. New York, USA: Academic Press.

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University