

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. บทนำ

เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (Thermoplastic vulcanizates, TPVs) เป็นวัสดุกลุ่มหนึ่งของวัสดุเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers, TPEs) ที่เริ่มเป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 เป็นต้นมา (Abdou-Sabet and Datta., 1996) โดย TPVs เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบของเทอร์โมพลาสติกทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ และยางที่เกิดการเชื่อมโยงทำหน้าที่เป็นเฟสกระจาย ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ มีสมบัติคล้ายยางวัลคาไนซ์แต่สามารถหลอมเพื่อแปรรูปและนำมารีไซเคิลได้เหมือนพลาสติก (l'Abée *et al.*, 2010) ปัจจุบันการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ยังคงได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรด้านวัสดุศาสตร์ ส่วนใหญ่การศึกษาและวิจัยเน้นการใช้ประโยชน์จากยางสังเคราะห์ที่มีสมบัติโดดเด่นด้านการทนทานต่อน้ำมัน ตัวทำละลาย ความร้อน ออกซิเจน และโอโซน

ยางอีพิตีเอ็ม หรือ โคพอลิเมอร์ของเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอินมอโนเมอร์ (Ethylene - polypropylene- diene monomer: EPDM) และ ยางไนไตรล์ (Acrylonitrile-butadiene rubber: NBR) จัดเป็นยางที่มีสมบัติเด่นตามที่กล่าวมาข้างต้น จึงนิยมนำมาเตรียมเป็นเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ โดยผสมกับเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลปานกลางถึงดีสามารถทนความร้อน น้ำมัน และมีอุณหภูมิหลอมไม่สูงมาก การแปรรูปทำได้ง่าย เทอร์โมพลาสติกที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจะอยู่ในกลุ่มของพอลิโอเลฟิน เช่น พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) เป็นต้น ในปัจจุบันเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ระหว่างยางอีพิตีเอ็มกับพอลิโพรพิลีนที่รู้จักในชื่อทางการค้า Santoprene® เป็นวัสดุที่นำมาประยุกต์ใช้แทนยางวัลคาไนซ์ในงานด้านต่างๆ เช่น ปลอกหุ้มสายเคเบิล ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า ส่วนประกอบในรถยนต์ เป็นต้น

แต่เนื่องจากยางสังเคราะห์ที่มีสมบัติเชิงกลและการคืนรูปเดิมค่อนข้างต่ำ ผลิตขึ้นจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่ใช้แล้วหมดไป โดยไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ทดแทนได้ อีกทั้งในกระบวนการผลิตต้องอาศัยพลังงานปริมาณมาก ในขณะที่ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ และมีสมบัติเด่นหลายด้าน เช่น สมบัติความยืดหยุ่น สมบัติพลวัตเชิงกล มีความร้อนสะสมต่ำ รวมถึงสมบัติการคืนรูปเดิม เป็นต้น แต่ยางธรรมชาติยังมีข้อด้อยในด้านสมบัติเชิงความร้อน มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ ทนทานต่อน้ำมันและตัวทำละลายได้น้อย ทั้งนี้เกิดจากโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนล้วนและมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน

ในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ได้เริ่มมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาและพัฒนาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติ (Thermoplastic natural Rubber: TPNR) จากรายงานวิจัยพบว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ชนิดนี้สามารถปรับเปลี่ยนให้มีสมบัติเชิงกล เชิงความร้อน และการทนน้ำมันได้จากการแปรอัตราส่วนเบลนด์ระหว่างยางและพลาสติก (Nakason *et al.*, 2006a) การดัดแปลงโมเลกุลอย่างเป็นยางธรรมชาติมาลิเอต (Nakason *et al.*, 2004) ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ (Nakason *et al.*, 2005) การปรับเปลี่ยนระบบวัลคาไนซ์ในเฟสยางธรรมชาติ (Thitithammawong *et al.*, 2007) รวมถึงการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ (Nakason *et al.*, 2006a; Nantala *et al.*, 2009) เพื่อปรับปรุงเรื่องความเข้ากันได้ของยางและเทอร์โมพลาสติก

ดังนั้น งานวิจัยและพัฒนาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติจึงถือเป็นยุทธวิธีในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการขยายขอบเขตการใช้งานของยางธรรมชาติและทดแทนการใช้ยางสังเคราะห์ได้ เนื่องจากงานวิจัยและพัฒนาส่วนมากมักจะเป็นการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มพอลิโอเลฟินที่มีอุณหภูมิการหลอมผลึกไม่สูงมากนัก เช่น พอลิโพรไพลีน (อุณหภูมิการหลอมผลึก 165°C) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปสำหรับการเบลนด์ยางธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใช้กันทั่วไปและมีราคาไม่สูง เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลปานกลาง มีการทนต่อความร้อน ทนต่อออกซิเจนและโอโซนดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ อย่างไรก็ตาม ทั้งพอลิโอเลฟินและยางธรรมชาติมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอน ส่งผลให้จุดติดไฟได้ง่าย ลามไฟได้เร็ว ทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ได้มีข้อด้อยในเรื่องการทนไฟ ซึ่งเป็นสมบัติที่มีความสำคัญสำหรับวัสดุเชิงการค้าในปัจจุบัน เช่น ในกลุ่มงานก่อสร้าง ซึ่งได้แก่ วัสดุก่อสร้าง อุปกรณ์ตกแต่งภายใน กลุ่มงานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟ สายเคเบิล เป็นต้น รวมถึงกลุ่มงานเกี่ยวกับการขนส่ง เช่น วัสดุที่ใช้ในการผลิตรถยนต์ รถไฟและ เครื่องบิน (Lu and Hamerton, 2002) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการทนไฟของวัสดุเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติและพอลิโพรไพลีน เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานข้างต้นได้

โดยทั่วไปการปรับปรุงสมบัติการทนไฟในวัสดุพอลิเมอร์สามารถทำได้โดยการดัดแปลงโมเลกุลพอลิเมอร์ด้วยการกราฟต์สารประกอบที่มีสมบัติหน่วงไฟ เช่น สารประกอบที่มีหมู่ฟอสฟอรัสลงบนสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ (Joseph and Tretsiakova-Mcnally, 2011) หรือการเติมสารหน่วงไฟเข้าไปปรับปรุงสมบัติการทนไฟในพอลิเมอร์ในระหว่างกระบวนการผสมหรือแปรรูป ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและใช้ต้นทุนต่ำกว่าวิธีการดัดแปลงโมเลกุลพอลิเมอร์ สารหน่วงไฟที่นิยมใช้ในพอลิเมอร์โดยทั่วไปได้แก่ สารหน่วงไฟประเภทแอนติโมนีไตรออกไซด์ที่ใช้ร่วมกับสารประกอบที่มีฮาโลเจน สารหน่วงไฟประเภทนี้จะช่วยปรับปรุงสมบัติทนไฟรวมถึงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้นในระดับที่น่าพอใจ (Touré *et al.*, 1996) แต่มีข้อเสีย คือ เกิดควันพิษระหว่างการเผาไหม้ ซึ่งเป็นผลเสียต่อชีวิต

ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม ต่อมาได้มีการเปลี่ยนไปใช้สารหน่วงไฟประเภทสารตัวเติมอนินทรีย์ที่ปราศจากฮาโลเจนกันมากขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาคันพิษที่กล่าวมาข้างต้น โดยสารตัวเติมอนินทรีย์ที่ปราศจากฮาโลเจนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ ได้แก่ อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารหน่วงไฟชนิดที่ไม่เป็นพิษ แต่การใช้สารตัวเติมดังกล่าวจะต้องใช้ปริมาณมากกว่า 60 wt% จึงจะให้ระดับการทนไฟที่พอเหมาะ ซึ่งการใช้สารตัวเติมปริมาณมากนั้นจะส่งผลให้ความยืดหยุ่นและสมบัติเชิงกลลดลง รวมถึงเป็นปัญหาต่อการแปรรูปอีกด้วย (Jiao and Chen, 2010 : Cárdenas *et al.*, 2008 : Bagheri *et al.*, 2008 : Haurie *et al.*, 2007 : Laoutid *et al.*, 2006) จึงมีการศึกษาถึงการใช้สารตัวเติมอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารหน่วงไฟปราศจากฮาโลเจนตัวอื่น เพื่อเพิ่มการทนไฟในพอลิเมอร์และลดปริมาณการใช้อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ในเวลาเดียวกัน (Jiao and Chen, 2010)

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาวิจัยเรื่องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยใช้สารตัวเติมจากกลุ่มวัสดุนาโน และพบว่าสารตัวเติมนาโนเคลย์สามารถใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนาโนเคลย์ช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรง การทนต่อความร้อน เพิ่มการหน่วงไฟ และช่วยป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง (เขม่าดำ/ซิลิกา) (Liu *et al.*, 2008) และการเติมนาโนเคลย์ยังไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล การแปรรูปและน้ำหนักของพอลิเมอร์ เนื่องจากปริมาณการเติมที่เหมาะสมมักน้อยกว่า 10 wt% นอกจากนี้ยังพบว่านาโนเคลย์ยังเป็นสารเสริมแรงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Lui *et al.*, 2009) ดังนั้นสารตัวเติมนาโนเคลย์จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ร่วมกับอะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับปรุงสมบัติการทนไฟของพอลิเมอร์

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ปรับปรุงสมบัติการทนไฟให้กับเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ใช้ยางธรรมชาติเบลนด์กับพอลิโพรพิลีน พร้อมกับปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน สมบัติด้านการแปรรูปโดยการใช้นาโนเคลย์ควบคู่กับการใช้สารตัวเติมทนไฟปราศจากฮาโลเจน (อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์) และหาปริมาณการใช้ร่วมของสารตัวเติมทั้งสองที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

## 1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของวิธีการผสม ต่อสมบัติเชิงกล การทนความร้อนและการทนไฟของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากเบลนด์ของยางธรรมชาติและพอลิโพรพิลีน

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของสภาวะการผสม (เวลาการผสมสารทนไฟในพอลิเมอร์เบลนด์ และความเร็วโรเตอร์ในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์) ต่อสมบัติเชิงกล การทนไฟของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากเบลนด์ของยางธรรมชาติและพอลิโพรไพลีน

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณสารวัลคาไนซ์ฟีนอลิกต่อสมบัติเชิงกล การทนไฟของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากเบลนด์ของยางธรรมชาติและพอลิโพรไพลีน

1.2.4 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณสารทนไฟปราศจากฮาโลเจนต่อสมบัติเชิงกล และการทนไฟของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากเบลนด์ของยางธรรมชาติและพอลิโพรไพลีน

1.2.5 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการใช้สารทนไฟปราศจากฮาโลเจนร่วมกับนาโนเคลย์ ต่อสมบัติเชิงกล การทนความร้อนและการทนไฟของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ทนไฟปราศจากฮาโลเจนจากเบลนด์ของยางธรรมชาติและพอลิโพรไพลีน