

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย โดยมีผลผลิตรวมคิดเป็นร้อยละ 42.11 ของผลผลิตรวมของโลก (สถิติเมื่อปี 2547) โดยทำรายได้เข้าประเทศ 245,000 ล้านบาท ในจำนวนนี้ประมาณ 55% ของรายได้เข้าประเทศได้จากการขายวัตถุดิบยาง และประมาณ 30% มาจากผลิตภัณฑ์ยาง ที่เหลือเป็นรายได้จากผลิตภัณฑ์ไม้ยาง จากตัวเลขของข้อมูลรายได้จากยางพารา นี้ จะเห็นได้ว่ายังมีการใช้ยางธรรมชาติแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้อยมาก ผลิตภัณฑ์พวกชิ้นส่วนรถยนต์ที่ต้องการความแข็งแรงและต้านทานการเปลี่ยนรูปที่ดี หรือชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าในรถยนต์ซึ่งต้องการวัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิสูงๆ จะทำมาจากยางสังเคราะห์ เนื่องจากยางธรรมชาติมีความแข็งแรงและการคงรูปต่ำเมื่อได้รับความร้อน ทำให้ไม่สามารถนำยางธรรมชาติไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายดังเช่นยางสังเคราะห์มากนัก การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติภายในประเทศ เช่น พื้นรองเท้า ยางรองกันกระแทกและดูดซับแรงสั่นสะเทือน ท่อและแผ่นยางชนิดต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป และยางรถยนต์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่บริโภคยางธรรมชาติมากที่สุด การปรับปรุงสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของยางในอุตสาหกรรมเหล่านี้ ทำได้โดยการเสริมแรง (reinforcement) ด้วยสารตัวเติม (fillers)

โดยทั่วไปการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้ 3 วิธี คือ การทำยางวัลคาไนซ์ (vulcanized rubber) การทำยางผสมจากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ (rubber blends) และการทำยางคอมพอสิตจากยางคอมปาวด์ (rubber compound) โดยใส่สารเคมีและสารตัวเติมลงไป ในยาง การผลิตยางวัลคาไนซ์จะทำให้ยางธรรมชาติคงรูปมากขึ้น เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลหรือโซ่ของพอลิเมอร์ด้วยซัลเฟอร์ อย่างไรก็ตามยางวัลคาไนซ์ที่ได้ยังมีข้อด้อยในด้านสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนอยู่ จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น การเตรียมยางคอมพอสิตจากยางธรรมชาติด้วยการเติมถั่วลียกไนต์ ซึ่งหาได้ง่าย ราคาถูก และใช้กระบวนการผสมกับยางธรรมชาติที่ใช้กันทั่วไป จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มความแข็งแรงและการคงรูปได้ดีมากขึ้นเมื่อโดนความร้อน โดยผลที่ได้จากการศึกษา ทำให้ทราบศักยภาพในการนำถั่วลียกไนต์มาใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อทดแทนสารตัวเติมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันซึ่งมีราคาแพง และเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติได้อีกทางหนึ่ง จากการที่สามารถเลือกใช้สมบัติของยางคอมพอสิตมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แพร่หลายมากขึ้น

## 1.2 การตรวจเอกสาร

ยางธรรมชาติ (natural rubber) ได้มีการค้นพบครั้งแรกในแถบกลุ่มแม่น้ำอเมซอน จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1820 โทมัส แฮนค็อก (Thomas Hancock) พบว่า เมื่อยางธรรมชาติถูกแรงกระทำในลักษณะเฉือนจะเกิดการเปลี่ยนรูปได้ง่าย ต่อมาในปี ค.ศ. 1839 ชาร์ล กู๊ดเยียร์ (Charles Goodyear) พบว่า ความยืดหยุ่นของยางลดลงเมื่อเผาด้วยกำมะถัน ต่อมารู้จักกันทั่วไปว่า ยางวัลคาไนซ์ (vulcanized rubber) ข้อดีของยางธรรมชาติคือ มีความแข็งแรงและการคงรูปต่ำเมื่อได้รับความร้อน ทำให้ไม่สามารถใช้ยางธรรมชาติรับภาระและความร้อนสูงๆ ได้ ช่วงศตวรรษที่ผ่านมา ได้มีการปรับปรุงยางวัลคาไนซ์ให้มีสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนที่ดีขึ้น การเสริมแรงยางธรรมชาติโดยการทำยางคอมพอสิตก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งทำได้โดยผสมยางหรือพอลิเมอร์ด้วยวัสดุเสริมแรง (reinforcing agents or fillers) ที่แข็งแรงกว่าประเภทต่างๆ เช่น เขม่าดำ (carbon black) ซิลิกา (silica) ผงโลหะ (metals) และเส้นใย (fibers) ชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่าทำให้สมบัติเชิงกลของยางดีขึ้น

### 1.2.1 การใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม

เขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ การผสมยางกับเขม่าดำจะต้องบดขยี้ให้ نرم ก่อน การที่ขยี้ نرم ทำให้ความหนืดลดลงและความเป็นพลาสติกเพิ่มขึ้น การใส่เขม่าดำจะทำให้ยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น สมบัติของยางที่วัลคาไนซ์ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอ จะขึ้นกับขนาดของอนุภาคของเขม่าดำ ส่วนความแข็งของยางจะขึ้นกับโครงสร้างมากกว่าขนาดอนุภาค เขม่าดำส่วนใหญ่จะทำให้ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึงจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้เขม่าดำปริมาณ 40-50 phr (part per hundred rubber) ความต้านทานต่อการสึกหรอและความต้านทานต่อการฉีกขาดจะคล้ายกันคือ จะขึ้นกับขนาดอนุภาคของเขม่าดำ ถ้าขนาดอนุภาคเล็ก ความต้านทานต่อการสึกหรอและความต้านทานต่อการฉีกขาดก็จะสูง ความต้านทานต่อการสึกหรอจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้เขม่าดำประมาณ 60 phr ความแข็งของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเขม่าดำ (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528) จากการศึกษาของ Bandyopadhyay, et al. พบว่า เขม่าดำมีผลต่อการคลายความเค้น (stress relaxation) ของยางและทำให้ตัวประกอบของการสูญเสีย (loss factor,  $\tan \delta$ ) สูงสุดลดลง รวมทั้งมีการขยับตำแหน่งของ  $\tan \delta$  สูงสุดไปยังอุณหภูมิที่สูงกว่าซึ่งแสดงว่าการคงรูปของยางดีขึ้น (เมื่อ  $\delta = \text{loss angle}$  และ  $\tan \delta = G''/G'$ ;  $G'' = \text{loss modulus}$ ,  $G' = \text{storage modulus}$ ) อย่างไรก็ตาม การวัลคาไนซ์ยางที่เติมเขม่าดำที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิบ่มปกติ (high temperature curing) และการทำให้ยางสุกเกินไป (over cure) จะทำให้ความแข็ง โมดูลัส และความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง แต่

จะทำให้อุณหภูมิสภาพแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) เพิ่มขึ้น เนื่องจากลักษณะและปริมาณของการเชื่อมขวางมีการเปลี่ยนแปลง (Fan, et al. , 2001)

### 1.2.2 การใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ไม่ใช่สีดำที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด ซิลิกามีขนาดพื้นที่ผิวเล็กมาก การผสมกับยางทำได้ไม่ถนัด การผสมจะใช้เวลานานกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการแตกได้ ทำให้คุณสมบัติของยางตกลง ดังนั้นการผสมยางกับซิลิกาจึงควรใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ผิวของซิลิกามีพันธะไฮโดรเจน จะเกิดการดูดสารตัวเร่งที่ผิวของซิลิกาได้ ทำให้ยางวัลคาไนซ์ช้าลง โดยทั่วไปแล้วซิลิกาจะมีขนาดอนุภาคเล็ก จึงทำให้ความแข็งแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาดมีค่าใกล้เคียงกับเขม่าดำ แต่ความต้านทานการสึกหรอและมอดูลัสต่ำกว่ากรณีที่ใช้เขม่าดำ เพราะซิลิกามีผิวเป็นสารอนินทรีย์มาก ทำให้มีแรงยึดกับยางไม่ถนัด (พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528) จึงได้มีการค้นคว้าพบว่า การเติมสารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) จะช่วยให้การยึดกันระหว่างสารตัวเติมกับยางดีขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นด้วย (Soo-Jin and Ki-Sook, 2003) วิธีใช้สารคู่ควบไซเลนทำโดยผสมสารตัวเติมกับสารคู่ควบไซเลนแล้วจึงค่อยผสมกับยาง หรืออาจเอาสารคู่ควบไซเลนใส่เข้าไปในยางขณะผสมกับสารตัวเติมก็ได้

### 1.2.3 การใช้เส้นใยเป็นสารตัวเติม

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการนำเส้นใยมาใช้เป็นสารตัวเติมหลายชนิดด้วยกัน เช่น เส้นใยไผ่ (bamboo fiber) เส้นใยจากมะพร้าว (coir fiber) เส้นใยจากปะเก็นที่ไม่ใช่แล้ว (recycled gasket fiber) พบว่า ระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (scorch time) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (cure time) ของยางลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น (Ismail, Edyham, and Wirjosentono, 2002) สมบัติเชิงกลของยาง เช่น ความแข็งแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าลดลง แต่ความแข็งแรงและมอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น (เล็ก สีคง, ชนินทร์ คำรัสการ และเฉลิมรัฐ จุพัฒน์กุล, 2546; Ismail, Edyham and Wirjosentono, 2002) แต่การใช้เส้นใยเป็นสารตัวเติมก็มีข้อเสียคือ ยางคอมโพสิตที่ได้จะไม่สามารถรับแรงได้เท่ากันทุกทิศทาง (anisotropic) โดยยางคอมโพสิตจะรับแรงได้มากขึ้น ถ้าทิศทางของเส้นใยอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางของแรง ที่มากกระทำ (Geethamma, et al. , 1998) นอกจากนี้การเติมสารคู่ควบไซเลนจะช่วยปรับปรุงพันธะระหว่างเส้นใยและยาง ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น (Ismail, Shuhelmy and Edyham, 2002)

#### 1.2.4 การใช้เส้นใยแก้วเป็นสารตัวเติม

การศึกษาสมบัติของยางที่ใช้เส้นใยแก้วเป็นสารตัวเติมมีมากพอสมควร เนื่องจากเส้นใยแก้วมีองค์ประกอบหลักคือซิลิกา ซึ่งใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบัน การใช้เส้นใยแก้วเป็นสารตัวเติมจะทำให้ระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูปและระยะเวลาในการวัลคาไนซ์สั้นลง (Da Costa, et al. , 2002; Sae-oui, Rakdee and Thanmathorn, 2002) ความแข็งแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอมีค่าลดลง แต่มอดุลัสและความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น (Sae-oui, Rakdee and Thanmathorn, 2002; Ismail, Mega and Abdul Khalil, 2001; Da Costa, et al. , 2000) นอกจากนี้การเติมสารตัวเติมซิลิโคนจะช่วยทำให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย (Ismail, Nasaruddin and Ishiaku, 1999; Da Costa, et al. , 2000; Ismail, Mega and Abdul Khalil, 2001)

#### 1.2.5 การใช้วัสดุอื่นๆ เป็นสารตัวเติม

มีการศึกษาการนำวัสดุอื่นๆ มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางกันอย่างหลากหลาย เช่น ผงยางรีไซเคิล (recycled rubber powder) พบว่า จะช่วยลดระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูปและระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ มอดุลัสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ระยะยืดเมื่อขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณผงยางรีไซเคิลเพิ่มขึ้น ขณะที่ความแข็งแรงดึงจะมีค่าสูงสุดเมื่อเติมผงยางรีไซเคิลลงไป 10 phr (Ismail, Nordin and Noor, 2002) ผงไม้ปาล์มจะทำให้มอดุลัสและความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า fatigue life ลดลงเมื่อความเครียดและปริมาณของผงไม้ปาล์มเพิ่มขึ้น (Ismail and Jaffri, 1999) การใช้ organo-montmorillonite ซึ่งเป็นสารเติมสีขาว ปริมาณเพียง 10 phr จะทำให้ยางคอมโพสิต มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับยางคอมโพสิตที่เติมเขม่าดำ 40 phr (Arroyo, López-Manchado and Herrero, 2003)

### 1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมโพสิต
- 1.3.2 ศึกษาผลของขนาด และปริมาณเส้นใยแก้วต่อสมบัติเชิงกล และเชิงพลวัตของยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยแก้ว
- 1.3.3 ศึกษาผลของสารตัวเติมซิลิโคน ต่อสมบัติเชิงกลและเชิงพลวัตของยางคอมโพสิต

1.3.4 หางงค์ประกอบที่เหมาะสมของยางคอมโพสิต และเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและเชิงพลวัตกับยางที่เติมด้วยเขม่าดำในปริมาณ 30 phr

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถปรับปรุงยางธรรมชาติให้มีความแข็งแรงและคงรูปมากขึ้น โดยมีถ้ำลอยลิกไนต์เป็นวัสดุเสริมแรงที่มีราคาถูก

1.4.2 ได้ข้อมูลสมบัติของยางคอมโพสิตเพื่อการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับประเภทของการใช้งานหรือผลิตภัณฑ์มากขึ้น

#### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ สมบัติเชิงกลและเชิงพลวัตของยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติเติมด้วยถ้ำลอยลิกไนต์ แล้วหาสูตรยางคอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลในภาพรวมเด่น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเน้นถึงสมบัติความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปหรือมอดูลัสเป็นสำคัญ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบสมบัติกับยางคอมโพสิตเติมด้วยเขม่าดำในปริมาณ 30 phr ซึ่งการเติมเขม่าดำในปริมาณ 30 phr จะทำให้เขม่าดำแสดงประสิทธิภาพของการเสริมแรงออกมาอย่างเด่นชัด โดยจะทำให้ความแข็งแรงดึง มอดูลัส และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น (**พรพรรณ นิธิอุทัย, 2528**) นอกจากนี้การผสมยางกับเขม่าดำในปริมาณมากกว่า 30 phr ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งจะกระทำได้ยาก จึงเลือกยางคอมโพสิตที่เติมด้วยเขม่าดำในปริมาณ 30 phr มาใช้ในการเปรียบเทียบ ยางธรรมชาติที่ใช้คือ ยางแท่ง STR 5L ส่วนน้ำยางขี้ผึ้งนำมาทำยางคอมโพสิตเพื่อใช้ในการศึกษาเรื่องการกระจายตัวของอนุภาคถ้ำลอยลิกไนต์ในเนื้อยางเทียบกับกรณีของยางแท่งถ้ำลอยลิกไนต์ที่ใช้มีขนาดอนุภาคต่างกัน 4 ขนาดคือ ถ้ำลอยลิกไนต์ที่รับมา (As-received fly ash, AF) ถ้ำลอยลิกไนต์หยาบ (Large size fly ash, LF) ถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดปานกลาง (Medium size fly ash, MF) และถ้ำลอยลิกไนต์ละเอียดมาก (Small size fly ash, SF) ยางคอมโพสิต ที่ได้จะนำมาทำการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงพลวัต และวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคถ้ำลอยในเนื้อยาง ซึ่งสมบัติที่ศึกษา มีดังต่อไปนี้

1.5.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ ทำการศึกษาด้วยเครื่อง Moving Disc Rheometer (MDR) โดยศึกษาระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (Scorch time) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (Cure time)

1.5.2 สมบัติเกี่ยวกับการดึง (Tensile properties) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412-80 โดยสมบัติที่ศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ระยะยืดเมื่อขาด (Elongation at break) และมอดูลัสที่ระยะยืด 300% และ 500% (moduli at 300% and 500% elongation)

1.5.3 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624-81

1.5.4 ความแข็ง (Hardness) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240-81

1.5.5 ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน B.S. 903 Part A 9, Method C

1.5.6 สมบัติเชิงพลวัต ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA) สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ มอดูลัสสะสม (Storage modulus) ตัวประกอบของการสูญเสีย (Loss factor,  $\tan \delta$ ) และอุณหภูมิสภาพแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ )

1.5.7 การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเข้าลอยลึกในตั้ในเนื้อเยื่อ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)