

## บทที่ 2

### วารสารปริทรรศน์

#### 2.1 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin, UPE Resin) [7]

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวหรือยูพีอีเรซินเป็นเรซินที่อยู่ในสภาพของเหลวมีสีเหลืองอ่อนซึ่งภายหลังจากการผสมกับตัวเร่งแล้ว จะได้พลาสติกแข็งที่ไม่สามารถแปรสภาพเป็นพลาสติกเหลวหรือคืนรูปได้อีก เรียกพลาสติกชนิดนี้ว่า เทอร์โมเซต และสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนอยู่ระหว่าง 1,800 ถึง 2,500 ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์โดยใช้ปฏิกิริยาควบแน่นเป็นเอสเทอร์ของสารประกอบ 2 ชนิด ได้แก่ ไกลคอล และกรดไดเบสิก ซึ่งกรดไดเบสิกที่ใช้โดยทั่วไปเป็นสารผสมของกรดอินทรีย์ที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่อิ่มตัว เช่น สไตรีนมอนอเมอร์ ในสภาพของเหลว และทำให้แข็งตัวด้วยความร้อนหรือเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

##### 2.1.1 สารเคมีที่ใช้สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่

1. ไดออล (diol) การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว จะใช้ไกลคอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ เป็นสารตั้งต้น และใช้แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ในการหยุดปฏิกิริยา สำหรับแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 2 หมู่ จะทำให้โมเลกุลของพอลิเอสเทอร์ที่ได้มีกิ่งหรือมีการเชื่อมขวาง ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มอย่างรวดเร็วจนยากต่อการควบคุม โดยไกลคอลที่นิยมใช้ คือ เอทิลีนไกลคอล (EG) โพรพิลีนไกลคอล (PG) ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) และไดโพรพิลีนไกลคอล (DPG) เป็นต้น ไกลคอลแต่ละชนิดมีผลต่อสมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวต่างกัน เช่น ความเหนียว ความยืดหยุ่น ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความทนทานต่อสารเคมี เป็นต้น สำหรับ EG จะให้พอลิเมอร์ที่ขุ่น และเกิดผลึกได้ดี ส่วน PG จะให้พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกเล็กน้อย และเรซินที่ได้สามารถละลายเข้ากับสไตรีนมอนอเมอร์ได้ดี

2. กรดไม่อิ่มตัว (unsaturated acid) ที่นิยมใช้มากคือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) และกรดฟูมาริก (fumaric acid) สาเหตุที่นิยมใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากความว่องไวต่อปฏิกิริยาดี และให้น้ำออกมาน้อย ขณะที่เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

3. กรดอิ่มตัว (saturated acid) เพื่อให้พอลิเอสเทอร์ที่ได้มีสมบัติดีขึ้น ไม่แข็งและเปราะมาก จึงมีการใส่ฟทาสิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) ลงไป เพื่อลดการกระตุ้น (activity) ของพันธะคู่มืออยู่ในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

4. มอนอเมอร์ไม่อิ่มตัว (unsaturated monomer) ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่มีความหนืดสูงในช่วงก่อนการทำให้แข็งตัว ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนหรือภายหลังการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปแล้ว มอนอเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์ ได้โครงสร้างเป็นแบบร่างแห ส่งผลให้เรซินแข็งตัว ถึงแม้ว่าพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวอาจเกิดการเชื่อมโยงกันเองระหว่างสายโซ่ได้ แต่จะเกิดอย่างช้า ๆ และได้ระดับของการเชื่อมโยงต่ำ ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีระดับของการเชื่อมโยงสูงขึ้นและรวดเร็วขึ้น จึงนิยมใช้สารที่มีพันธะคู่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเติมลงไป เช่น สไตรีน หรือพวกไวโนลอื่น ๆ สารเหล่านี้จะช่วยให้เกิดการเชื่อมโยง และยังช่วยลดความหนืดเพื่อเตรียมเป็นแผ่นไฟเบอร์กลาสได้สะดวกขึ้น ปกตินิยมใช้สไตรีนเป็นสารช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงมากที่สุด เนื่องจากราคาถูกและเข้ากับมอนอเมอร์ตัวอื่น ๆ ได้ดี ความหนืดต่ำ ส่วนสารชนิดอื่น ๆ ที่นิยมใช้บ้าง เช่น เมทิลเมทาคริเลต

5. ตัวยับยั้ง (inhibitor) เนื่องจากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง เมื่อได้รับความร้อน แสง หรือปัจจัยอื่น ๆ จะสามารถเกิดอนุมูลอิสระ และทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นเจล ดังนั้น จึงต้องใช้ตัวยับยั้งปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเรซิน และทำให้สามารถเก็บพอลิเอสเทอร์เรซินไว้ได้นาน ช่วยการปรับเวลาการแข็งตัว และลดความร้อนที่เกิดขึ้นขณะพอลิเอสเทอร์เรซินแข็งตัวอีกด้วย ซึ่งตัวยับยั้งปฏิกิริยาที่นิยมใช้เป็นสารประเภทควิโนน (quinone) คือ เบนโซควิโนน (benzoquinone) หรือไฮโดรควิโนน (hydroquinone) เป็นต้น

การผลิตพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวในทางการค้า นิยมใช้สารตั้งต้นแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวในทางการค้า [8]

ไกลคอล	กรดไดเบสิกหรือ แอนไฮไดรด์	กรดไม่อิ่มตัวหรือ แอนไฮไดรด์	มอนอเมอร์ไม่อิ่มตัว
โพรพิลีนไกลคอล	ฟทาลิกแอนไฮไดรด์	มาเลอิกแอนไฮไดรด์	สไตรีน
เอทิลีนไกลคอล	กรดไอโซฟทาลิก	กรดฟูมาริก	ไวนิลโทลูอีน
ไดเอทิลีนไกลคอล	กรดอะดิปิก	กรดเมทาไครลิก	เมทิลเมทาไครเลต
ไดโพรพิลีนไกลคอล	คลอแรนดิก	กรดอะคริลิก	ไดอัลลิลฟทาเลต
ไดโบรโมนีโอเพนทิล ไกลคอล	แอนไฮไดรด์ <sup>1</sup> เตตระโบรโมฟทาลิก	กรดอิทานิก	$\alpha$ -เมทิลสไตรีน
บิสฟีนอลดีโพรพอซี อีเทอร์	แอนไฮไดรด์ เตตระไฮโดรฟทาลิก		ไตรอัลลิลไซยานูเลต
โพรพิลีนออกไซด์	แอนไฮไดรด์		ไดไวนิลเบนซีน
2,2,4 ไตรเมทิลเพนเทน 1,3-ไดออล	กรดเทรฟทาลิก		
เตตระโบรโมบิสฟีนอล	เตตระคลอโรฟทาลิก		
ไดโพรพอซีอีเทอร์	แอนไฮไดรด์		
1,4-บิวเทนไดออล	กรดกลูตาริก		
ไดไซโคลเพนตะไดอิน กลุ่มไฮดรอกซิล	ไซโคลเพนตะไดอิน- มาเลอิกแอนไฮไดรด์ <sup>2</sup>		

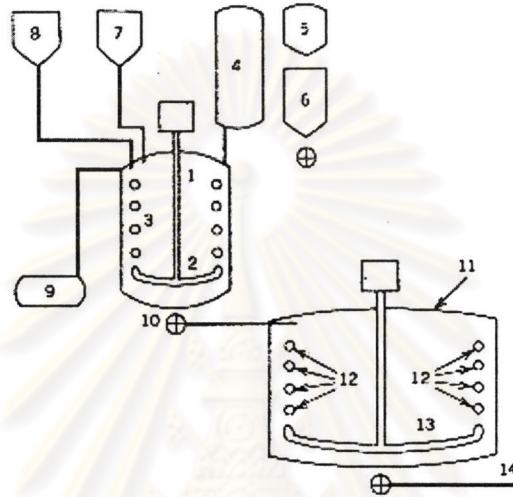
<sup>1</sup> 1,4,5,6,7,7-เฮกซะคลอโรไบไซโคล (2,2,1)-5-เฮปทีน-2,3-ไดคาร์บอกซิลิกแอนไฮไดรด์

<sup>2</sup> กลุ่มดีลด์-อัลเดอร์

### 2.1.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

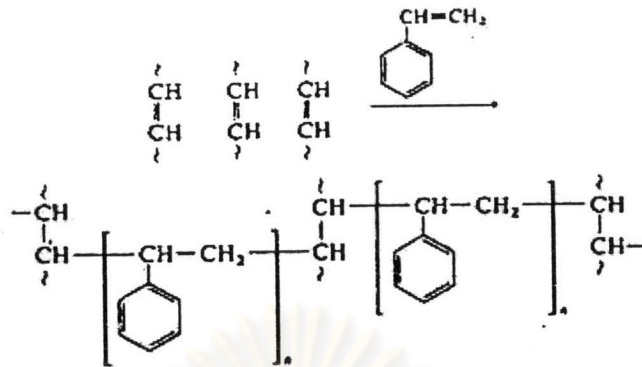
วัตถุดิบที่เป็นกรดส่วนใหญ่จะเป็นของแข็ง ส่วนไกลคอลเป็นของเหลว ให้เติมวัตถุดิบทั้งสองลงในถังปฏิกรณ์ (reactor) ดังรูปที่ 2.1 ที่มีอุณหภูมิประมาณ 200-220 องศาเซลเซียส ถ้าต้องการให้ได้สีของเรซินที่ดี ควรให้ปฏิกิริยาอยู่ในบรรยากาศของไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังนิยมใส่โซลีนเพื่อช่วยขจัดน้ำออกโดยการกลั่น และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดพารา-โทลูอีนซัลโฟนิค (*p*-toluenesulphonic acid) เพื่อลดเวลาในการทำปฏิกิริยาลง นอกจากนี้ อัตราการกวนและความเร็วของแก๊สเฉื่อยที่เข้าไป ยังมีส่วนช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไป จะมีการวัดขนาดของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อได้ขนาดตามต้องการก็หยุดปฏิกิริยาและลดอุณหภูมิลง

จะได้พอลิเอสเตอร์ที่มีลักษณะแข็งหรือเกือบแข็ง ซึ่งถูกเทลงในภาชนะสำหรับผสม (blending tank) ที่มีสไตรีนบรรจุอยู่และมีไฮโดรควิโนนเป็นตัวยับยั้ง (inhibitor) ในขณะที่ละลายพอลิเอสเตอร์ด้วยสไตรีนต้องไม่ให้อุณหภูมิในถังเกิน 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันพอลิเอสเตอร์เรซินแข็งตัวก่อนที่จะนำไปขึ้นรูป

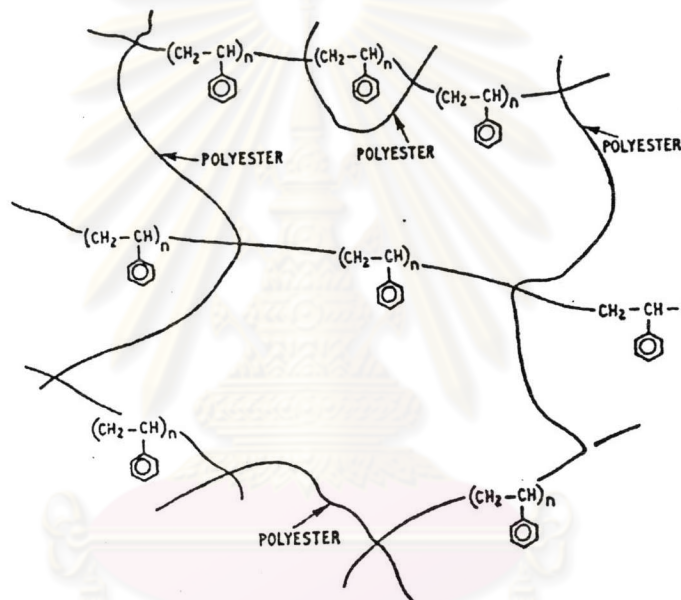


รูปที่ 2.1 การผลิตพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัวโดยใช้ถังปฏิกรณ์: 1. ถังปฏิกรณ์ความดัน 2. ใบพัดกวน 3. ขดลวดให้ความร้อนและความเย็น 4. คอลัมน์สำหรับแยกส่วน 5. คอนเดนเซอร์ 6. เครื่องเก็บการกลั่น 7. ถังกลั่นคอลล 8. ถังกรด 9. ถังเก็บก๊าซเฉื่อย 10. วาล์วหยุด 11. ภาชนะสำหรับผสม 12. ขดลวดเย็น 13. ใบพัดกวน 14. ทางออกผลิตภัณฑ์ [8]

การขึ้นรูปต้องทำในขั้นตอนเดียวกับการเชื่อมโยง การเชื่อมโยงทำได้โดยการอบหรือบ่มให้ร้อนขึ้น (curing) ประมาณ 100 องศาเซลเซียส กระทำในขณะที่ขึ้นรูป โดยเติมตัวริเริ่มลงไปด้วย เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ การเชื่อมโยงจะเกิดตรงพันธะคู่ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเชื่อมโยงในพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว [7]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบเชื่อมโยงของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว [7]

### 2.1.3 การแข็งตัวของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว [9]

พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวสามารถแข็งตัวได้หลายวิธี คือ

1. โดยใช้ตัวริเริ่ม (initiator) และความร้อน
2. โดยใช้ตัวริเริ่มและตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) ที่อุณหภูมิห้อง
3. โดยแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet)
4. โดยลำอิเล็กตรอน (electron beam)

วิธีที่ง่าย สะดวก และนิยมใช้กันมาก ได้แก่ การใช้ตัวริเริ่มและตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะที่พอลิเอสเทอร์เรซินแข็งตัว คือปฏิกิริยาการเชื่อมขวางโมเลกุลระหว่างสไตรีนมอนอเมอร์และพอลิเอสเทอร์ โดยมีตัวริเริ่มและตัวเร่งปฏิกิริยาคอยกระตุ้นและเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสำหรับตัวริเริ่มเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิห้องจะไม่เกิดปฏิกิริยาต้องอาศัยความร้อนช่วย โดยทั่วไป การแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์สามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงแรก เป็นช่วงที่ได้เติมตัวริเริ่มและตัวเร่งปฏิกิริยาจนพอลิเอสเทอร์เรซินเริ่มแข็งตัวเป็นเจล และเวลาของการเกิดเจล เรียกว่า เจลไทม์ (gel time)

ช่วงสอง เป็นช่วงหลังจากที่เกิดเป็นเจลจนเรซินแข็งตัวเต็มที่ และเรียกเวลานี้ว่า เคียวไทม์ (cure time)

สารเคมีที่ใช้ทำให้พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวแข็งตัว ได้แก่

1. ตัวริเริ่ม (initiator) ช่วยให้พอลิเอสเทอร์แข็งตัวเร็วขึ้น สารที่นิยมใช้ คือ เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (methyl ethyl ketone peroxide) ไซโคลเฮกซะโนเปอร์ออกไซด์ (cyclohexanoperoxide) และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide)

2. ตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) เป็นสารที่ช่วยเร่งให้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะ เช่น โคบอลต์โอคเตต (cobalt octoate) โคบอลต์แนฟทีเนต (cobalt naphthenate) จากกลุ่มตัวเร่งโคบอลต์ และจากกลุ่มตัวเร่งเอมีน ได้แก่ ไดเมทิลพาราโทลูอิดีน (dimethyl paratoluidine) ไดเมทิลอะนิลีน (dimethyl aniline) และไดเอทิลอะนิลีน (diethyl aniline)

ปฏิกิริยาการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซินนี้ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ขณะที่ปฏิกิริยาการแข็งตัวดำเนินไป ความแข็งของพอลิเอสเทอร์เรซินจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยา ซึ่งเรซินแข็งตัวได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น เรซินจะแข็งตัวต่อไปเรื่อยๆ และเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากแข็งตัวไม่เต็มที่ ในกระบวนการผลิตจึงมักนำผลิตภัณฑ์ไปทำ post cure เสียก่อน โดยการอบที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-6 ชั่วโมง

องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่

1. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง เรซินจะแข็งตัวเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ
2. ปริมาณตัวริเริ่มและตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าปริมาณมากจะแข็งตัวได้เร็ว

3. ความชื้นหรือน้ำ ถ้าความชื้นสูง การแข็งตัวของเรซินจะช้า โดยปกติปริมาณที่มีอยู่ในพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวต้องมีค่าไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์

4. ปริมาณออกซิเจน เนื่องจากออกซิเจนเป็นตัวยับยั้ง ดังนั้น ถ้ามีอยู่ในเรซินปริมาณมาก เช่น การกวนมากๆ จะทำให้การแข็งตัวช้าลง

#### 2.1.4 สมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว [7]

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว มีสมบัติใส แข็ง ไม่หลอมเหลว และไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ โดยทั่วไปจะทนความร้อนได้ดี แม้กระทั่งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งมีน้ำหนักลดลงเป็นส่วนน้อย ปกติใช้ในรูปไฟเบอร์กลาสทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียส ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี สมบัติเชิงกลขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง และความแข็งแรงของสายโซ่โมเลกุลที่ถูกเชื่อมโยง สมบัติทางด้านเคมี มีความต้านทานตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี ยกเว้นพวกคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน เช่น คลอโรฟอร์ม เอทิลีนไดคลอไรด์ และไตรคลอโรเอทิลีน พวกเอสเทอร์ เช่น เอทิลอะซิเตต คีโตน เช่น อะซิโตน เมทิลเอทิลคีโตน สารเหล่านี้อาจเกิดการกัดกร่อนได้ แต่ความต้านทานกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ดีมาก ยกเว้นกรดที่เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง ๆ เท่านั้น

#### 2.1.5 การใช้งานของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

ลักษณะการใช้งานของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

1. การหล่อ (casting) ผลิตภัณฑ์พลาสติกหล่อชนิดต่าง ๆ ได้แก่ การหล่อกระจกเทียม หล่อพระ หล่อหินอ่อนเทียม หล่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ทำกระดุม และอื่น ๆ
2. การลามิเนต (laminating) หรือการเคลือบ (coating) นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์เคลือบรูปวิทยาศาสตร์ การเคลือบหน้าไม้อัด เคลือบถัง และอื่น ๆ
3. การขึ้นรูปด้วยแบบต่าง ๆ (molding) ส่วนใหญ่ใช้ทำไฟเบอร์กลาส เช่น การทำถังขนาดใหญ่ ส่วนประกอบของเครื่องบิน ตัวถังรถยนต์ ชั้นวางของ เรือ อ่างอาบน้ำ และอื่น ๆ
4. การพัน (winding) เช่น การทำท่อ ท่อทนแรงอัด

โดยทั่วไปแล้ว 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเรซินทั้งหมด จะใช้งานในด้านไฟเบอร์กลาส ส่วนที่เหลือก็ใช้ในด้านกรหล่อและการลามิเนต

## 2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [10,11]

ยางธรรมชาติในทางการค้าได้มาจากต้นยางพาราซึ่งมีชื่อเรียกทางพฤกษศาสตร์ว่า "*Hevea brasiliensis*" ซึ่งแต่เดิมมีอยู่เฉพาะในทวีปอเมริกาใต้เท่านั้น และได้มีผู้นำมาปลูกในทวีปเอเชียและแอฟริกา ภูมิภาคแบบร้อนชื้นจะเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของต้นยางพารา เช่น ในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตยางธรรมชาติได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติที่ใช้ในโลกที่เหลือได้มาจากแถบแอฟริกากลาง สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกยางพาราได้ดีทางภาคใต้และภาคตะวันออก

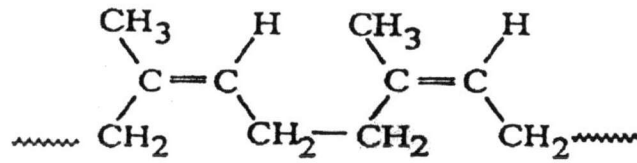
เมื่อต้นยางโตเต็มที่แล้ว ชาวสวนจะเก็บน้ำยางโดยการกรีดเปลือก (tapping) ของลำต้นให้น้ำยางไหลซึมออกมา นำน้ำยางที่ได้ไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ กัน ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของน้ำยางข้น (concentrated latex) หรือยางดิบแห้งชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (ribb smoked sheet) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (air dried sheet) ยางแท่งเอสทีอาร์ (standard Thai rubber, STR) ยางเครพ (crepe) หรือยางแท่ง (block rubber) เป็นต้น เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบป้อนโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทต่าง ๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ยางรัดของ ท่อยาง เบาะที่นั่งนอนฟองน้ำ รองเท้ายาง ถุงยางอนามัย และลูกโป่ง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากยางมีสมบัติพิเศษแตกต่างจากวัสดุอื่น ๆ คือ มีความยืดหยุ่นดี นอกจากนี้ ยังมีเนื้อที่บ สามารถกั้นน้ำและอากาศไม่ให้ผ่านได้โดยง่าย อีกทั้งไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังนั้น ยางจึงเป็นวัสดุที่มีประโยชน์และมีคุณค่ามาก

ยางธรรมชาติเป็นยางที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตวัสดุสำเร็จรูปทั่วไปที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษ เช่น ความทนทานต่อน้ำมัน หรือความทนทานต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันมีการผลิตยางสังเคราะห์ขึ้นหลายชนิด แต่ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเพื่อผลิตวัสดุสำเร็จรูปยังคงสูงอยู่ เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีความทนแรงดึง (tensile strength) และความทนต่อการฉีกขาด (tear strength) ดีมาก มีความสามารถในการกระดอน (resilience) สูง มีสมบัติเหนียวติดกันเองดีมาก การเกิดความร้อนสะสมต่ำ และมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซดี

### 2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า พอลิไอโซพรีน (polyisoprene,  $(C_5H_8)_n$ ) ซึ่งได้จากหน่วยของไอโซพรีนต่อกันแบบหัวต่อหาง (head to tail) ในลักษณะของ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน ดังรูปที่ 2.4





รูปที่ 2.4 ลักษณะของซิส-คอนฟอริเมชันของยางธรรมชาติ [12]

ยางฮีเวีย (hevea rubber) มีโครงสร้างเป็น ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน ยางกัตตาเปอริชา (gutta-percha) และยางบาลาตา (balata) มีโครงสร้างเป็นทรานส์-1,4-พอลิไอโซพรีน ซึ่งต้นกัตตามีอยู่ในประเทศมาเลเซีย ส่วนบาลาตามีอยู่บริเวณชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ และในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งไม่ค่อยมีความสำคัญในทางการค้ามากนัก มีการใช้น้อย แต่เดิมใช้ทำฉนวนหุ้มสายเคเบิลใต้น้ำ ปัจจุบันใช้ทำที่หุ้มลูกกอล์ฟและกาวพิเศษบางชนิดเท่านั้น ทั้งนี้เพราะน้ำยางเกิดการแข็งตัวได้เร็วมากในอากาศ

### 2.2.2 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex)

น้ำยางที่ได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นหรือสีครีมคล้ายน้ำนม มีกลิ่นหอมเล็กน้อย ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6.5-7.0 น้ำยางมีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันแขวนลอยหรือกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (disperse medium) โดยอนุภาคเหล่านี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 5 ไมครอน และมีประจุลบซึ่งผลกักันตลอดเวลา จึงทำให้อนุภาคเหล่านี้สามารถแขวนลอยและคงสภาพเป็นยางเหลวอยู่ได้นานจนกว่าจะมีภาวะแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ มารบกวนจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

น้ำยางมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (colloid) ชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (hydrosol) แต่มีลักษณะพิเศษ คือ น้ำยางมีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างสารที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) แต่ลักษณะที่ไม่ชอบน้ำจะเด่นชัดกว่า นอกจากนี้ น้ำยางยังประกอบไปด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยาง ได้แก่ สารพวกโปรตีนและกรดอะมิโน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และอนุมูลของโลหะ ดังตารางที่

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [12]

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
สารพวกโปรตีน	1-1.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

ส่วนประกอบของน้ำยาง แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

- |   |    |             |
|---|----|-------------|
| 1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง                  | 35 | เปอร์เซ็นต์ |
| 2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง                     | 65 | เปอร์เซ็นต์ |
| 2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ                      | 55 | เปอร์เซ็นต์ |
| 2.2 ส่วนของลูทอยด์ (lutoid) และสารอื่นๆ | 10 | เปอร์เซ็นต์ |

เนื้อยาง เป็นอนุภาคของสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากหน่วยของไอโซพรีนเชื่อมต่อกัน (ยาง 1 โมเลกุล ประกอบด้วยไอโซพรีน 2,000-5,000 หน่วย) แขนงลอยอยู่ในเซรัม น้ำยางที่ได้มีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร อนุภาคของยางมีรูปร่างทั้งทรงกลมและทรงรีคล้ายลูกแพร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02-0.03 ไมครอน โมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่ละลายน้ำ และเมื่ออยู่ในสภาพน้ำยางสด ผิวรอบอนุภาคจะห่อหุ้มด้วยชั้นของสารพวกไขมันและโปรตีน นอกจากนี้ ยังมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดง ปนอยู่ในส่วนของยางประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์

#### ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

วัฏภาคน้ำ (aqueous phase) หรือที่เรียกว่า "เซรัม" มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารต่าง ๆ ดังนี้

คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ แป้งและน้ำตาล ซึ่งจะถูกแบคทีเรีย หรือจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมัน เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซีติก และกรดไพรูวอิก ทำให้น้ำยางเสียความคงตัวและจับตัวเป็นก้อน

โปรตีนและกรดอะมิโนที่สำคัญ ได้แก่ แอลฟาไกลูบูลิน และฮีวิน ซึ่งแอลฟาไกลูบูลินเป็นส่วนที่พบมากในน้ำยางสด มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารละลายของเกลือ กรด และด่าง ส่วนฮีวิน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพียงประมาณ 10,000 และสามารถละลายน้ำได้

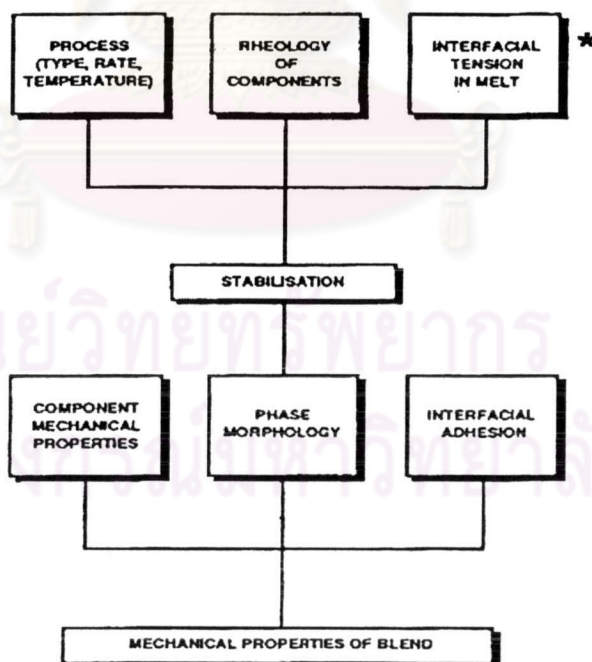
ลูทอยด์ หรือที่เรียกว่า "วิสคอยด์" เป็นส่วนประกอบของน้ำยางสด เมื่อนำน้ำยางสดไปทำการหมุนเหวี่ยง (centrifuge) น้ำยางแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งมีสีขาวประกอบด้วยอนุภาคของยางเป็นส่วนมาก อีกส่วนมีสีเหลืองแยกอยู่ชั้นล่าง ซึ่งมีประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมด ส่วนชั้นล่างเป็นอนุภาคที่ไม่เกาะกันแน่น เรียกว่า ลูทอยด์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 ไมครอน ปริมาณลูทอยด์ในน้ำยางจะมีผลต่อความหนืดและเสถียรภาพของน้ำยางสดลูทอยด์มีสมบัติการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ดังนั้น การเติมน้ำลงไปให้น้ำยางมีผลทำให้ลูทอยด์เกิดการบวมตัวแล้วแตกออกของเหลวที่อยู่ในลูทอยด์จะออกมาอยู่ในส่วนของเซรัม ทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น

### 2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [13,14]

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (solution) หรือสารหลอมเหลว (molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (polymer blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (defects) ของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีเงื่อนไขทางพลังงาน (energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือพลังงานที่ใช้ในการผสมผสานโมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต่างกัน

### 2.3.1 กลไกของการเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะสมบัติเชิงกล ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำและแรงเค้นสะสม (stress concentration) จากดิสเพอร์ชันในเมทริกซ์ ดังนั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม จึงนิยมใช้สารช่วยผสมหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (in-situ chemical reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้โครงสร้างสัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.5 มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม เช่น สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม หรืออัลลอยด์ขึ้นอยู่กับสมบัติเชิงกลของแต่ละองค์ประกอบ สัณฐานวิทยาาระหว่างผิวสัมผัส (phase morphology) และแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัส (interfacial adhesion) โดยทั้งสัณฐานวิทยาและแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสมีความสำคัญมากในการช่วยถ่ายโอนแรงในระหว่างการใช้งาน สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่กับภาวะที่ได้รับในระหว่างกระบวนการผสม เช่น ชนิดของเครื่องผสม อัตราการผสม อุณหภูมิในการผสม นอกจากนี้ ยังขึ้นกับสมบัติการไหลของแต่ละองค์ประกอบใน การผสม และแรงดึงผิวขององค์ประกอบในขณะหลอมเหลว (interfacial tension)



รูปที่ 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม [15]

### 2.3.2 วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้ (Method of Compatibilization)

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมียูอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การเลือกใช้ขึ้นกับผู้ผลิตเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญ เทคนิคเหล่านี้คือ

#### 2.3.2.1 การพิจารณาความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Miscibility)

ความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ เป็นหลักการที่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางการค้า เช่น การผสมระหว่างพอลิฟีนิลีนออกไซด์ (polyphenylene oxide) กับพอลิสไตรีน (polystyrene) โดยหลักการดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างเอนทัลปีและเอนโทรปีของการผสมที่มีต่อพลังงานเสรีของการผสม (free energy of mixing) โดยที่เอนโทรปีเป็นการวัดความไม่เป็นระเบียบ (degree of freedom) ของโมเลกุลเมื่อมีการผสมเกิดขึ้น โดยในการผสมจะทำให้เอนโทรปีมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี ( $\Delta S$ ) มีค่าเป็นบวกเสมอ ( $S_2 > S_1$ ) สำหรับโมเลกุลใหญ่ ๆ เอนโทรปีจะมีค่าเกือบเป็นศูนย์ ดังนั้น การเข้ากันได้จึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี ( $\Delta H$ ) การเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีของการผสมสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.1)$$

โดยที่

$$\Delta G = \text{การเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีของการผสม}$$

$$\Delta H = \text{การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการผสม}$$

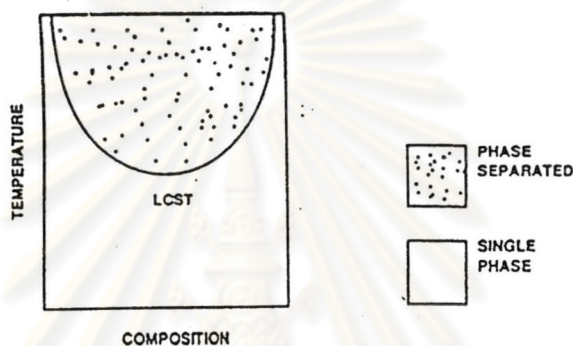
$$\Delta S = \text{การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการผสม}$$

$$T = \text{อุณหภูมิ (K)}$$

ในการผสมที่สามารถเข้ากันได้  $\Delta G$  ต้องมีค่าเป็นลบ จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2.2 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

$$\Delta H - T\Delta S < 0 \quad (2.2)$$

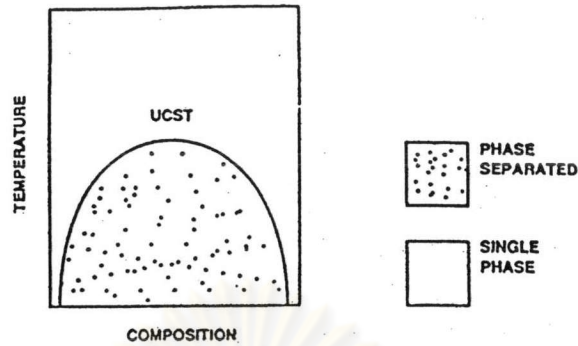
ก. การผสมที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic mixture) คือภายในระบบจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน เช่น การที่โมเลกุล A กับ โมเลกุล B ดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จากลักษณะดังกล่าวส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีมีค่าเป็นลบ ( $\Delta H < 0$ ) นั่นคือการผสมสามารถเข้ากันได้ และเมื่อสร้างเป็นแผนภาพเฟส ดังรูปที่ 2.6 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบทำให้ของผสมมีแนวโน้มที่เกิดการแยกเฟสขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้โมเลกุลมีการสั่นมากขึ้น ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลง จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่พอลิเมอร์ผสมเริ่มเกิดการแยกเฟส หรือที่เรียกกันว่า lower critical solution temperature (LCST)



รูปที่ 2.6 เฟสไดอะแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่แสดง LCST [15]

ข. การผสมที่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic mixture) คือ ภายในระบบจะไม่มีแรงดึงดูดต่อกัน ซึ่งมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีมีค่าเป็นบวก ( $\Delta H > 0$ ) ดังนั้น การผสมจะสามารถเข้ากันได้เมื่อ  $T\Delta S$  มีค่ามากกว่า  $\Delta H$  เพื่อให้  $\Delta G$  มีค่าเป็นลบ นั่นคือ การผสมที่เข้ากันได้สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิสูง หรือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ ดังรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิสูงสุดที่พอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกเฟส หรือที่เรียกกันว่า upper critical solution temperature (UCST)

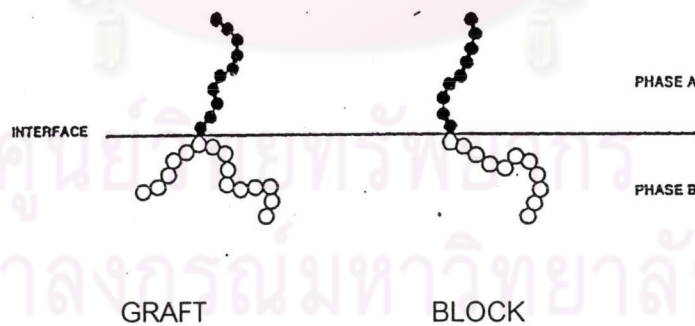
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 เฟสไดอะแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่แสดง UCST [15]

### 2.3.2.1 การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of Block or Graft Copolymers)

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคานิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งของบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อยู่ระหว่างเฟสของ A และ B [15]

โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสม จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม โดยการทดสอบสมบัติความทนแรงดึง สามารถสรุปผลได้ดังนี้ [15]

1. บล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์
2. ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์
3. ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวลดหลั่นลงมามีประสิทธิภาพสูงกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวเท่ากัน

หลักในการเลือกใช้โคพอลิเมอร์มาทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. สารช่วยผสมต้องมีน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมโดยแต่ละส่วนของบล็อกโคพอลิเมอร์ต้องมีความยาวเพียงพอที่จะแทรกไปอยู่ในแต่ละเฟสของโฮโมพอลิเมอร์ และต้องสั้นเพียงพอเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุน

2. น้ำหนักโมเลกุลของสารช่วยผสมต้องสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการผสม โดยโคพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะใช้เวลาในการผสมนานกว่า เพื่อให้โคพอลิเมอร์เคลื่อนที่ไปอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของแต่ละเฟส ซึ่งตรงกันข้ามกับสารช่วยผสมที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังนั้น ในกระบวนการผลิตต้องเลือกภาวะในการผสมให้สัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลของสารช่วยผสม

3. บล็อกโคพอลิเมอร์ที่มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกับโฮโมพอลิเมอร์จะมีราคาแพง เนื่องจากหาได้ยากในทางการค้าและใช้ได้เฉพาะบางระบบ ดังนั้น ปัจจุบันจึงได้มีการผลิตโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหลายองค์ประกอบ (multicomponent copolymer) เช่น สไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีนไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ (SEBS) โดยใช้ในการผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง กับ พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต เป็นต้น

โดยในระบบการผสมที่สามารถเข้ากันได้ บ่อยครั้งขึ้นกับความสามารถของสารช่วยผสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสารช่วยผสมมีหน้าที่ดังนี้คือ

1. ลดแรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัสในภาวะหลอมเหลว ทำให้ดิสเพอร์สเฟสมีขนาดเล็กและกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์
2. ช่วยเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัส ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนแรงระหว่างเฟส
3. เพิ่มเสถียรภาพทางขนาดของดิสเพอร์สเฟสภายใต้สภาวะการอบเหนียว (annealing)



### 2.3.2.3 การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of Functional/Reactive Polymers)

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม บ่อยครั้งเป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไฮโดรเจน กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ กระบวนการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด ตัวอย่างเช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอฟีนส์ โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโนของพอลิเอไมด์ได้ ทั้งนี้พอลิโอฟีนส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จัดเป็นสารช่วยผสม ที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

### 2.3.2.4 การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม (In-situ Grafting Polymerization)

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม หรือ reactive blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปรเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอนเนตกับพอลิเอสเทอร์ แม้ว่าในบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบ reactive blending ได้ แต่การใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง เช่น การอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (single-screw extruder) และการอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin-screw extruder) ก็ได้รับความนิยมเช่นกัน เพราะกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิ และสิ่งที่ไม่ต้องการจากดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ดีกว่า

กลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสม อาจมีได้ดังนี้

1. เกิดกราฟต์หรือบล็อกโคพอลิเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ ซึ่งอาจกระตุ้นได้โดยการเติมตัวริเริ่ม (initiator) ในระหว่างการผสม
2. เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน (interchange reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับพอลิเมอร์ชนิดควบแน่น

3. เกิดการขาดและรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุล เพื่อสร้างบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้ภาวะที่แรงเฉือนสูง

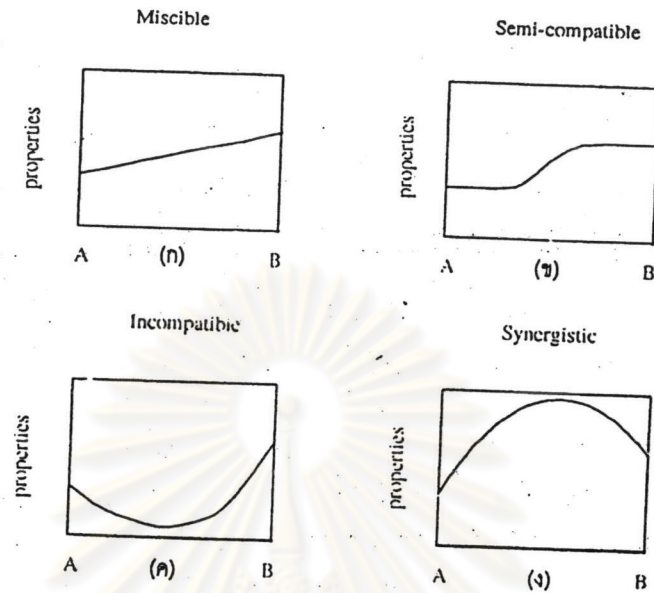
4. ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

### 2.3.3 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม (Properties of Polymer Blends)

โดยทั่วไปแล้ว สมบัติของพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบที่นำมาผสม อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบกับสมบัติของพอลิเมอร์ผสมยังขึ้นกับปัจจัยอื่นด้วย เช่น สมบัติของแต่ละองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละองค์ประกอบ (ลักษณะคล้ายแก้ว หรือยาง หรือลักษณะเป็นพอลิเมอร์กิ่งผลึก) สถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสม (การผสมที่สามารถเข้ากันได้หรือไม่เข้ากัน) และการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในทิศทางทดสอบ

สำหรับระบบการผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนการผสมจะแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้ว โดยเฉพาะสมบัติเชิงกลด้านความเหนียวจะไม่สัมพันธ์กับลักษณะของแต่ละเฟส แต่จะสัมพันธ์กับระดับของแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสของแต่ละเฟสมากกว่า จากความซับซ้อนทั้งหลายเหล่านี้ ทำให้ไม่สามารถใช้กฎการผสมแต่เพียงอย่างเดียวในการอธิบายสมบัติของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดได้ ระบบการผสมที่มีแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัสมีแนวโน้มทำให้การผสมสามารถเข้ากันได้ ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิฟีนีลีนออกไซด์ (poly(phenyleneoxide)) และ พอลิสไตรีน หรือการผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ กับ พอลิบิวตะไดอีน-โค-อะครีโลไนไตรล์ (poly(butadiene-co-acrylonitrile)) การผสมที่เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์จะแสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาเพียงเฟสเดียวซึ่งเป็นการง่ายที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนผสม ดังรูปที่ 2.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



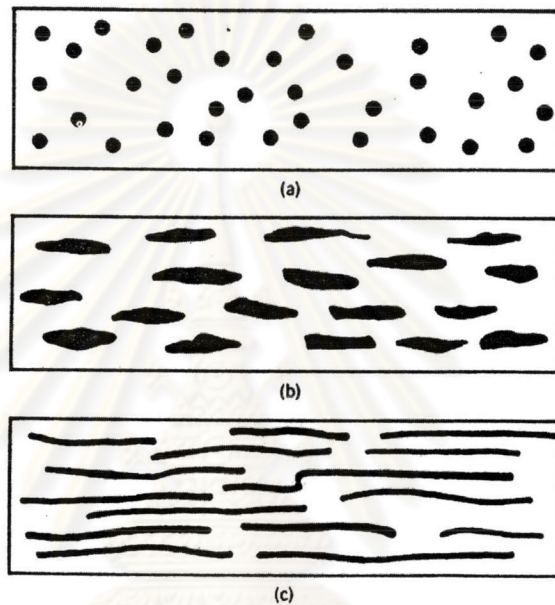
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติและอัตราส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสม [15]

จากรูปที่ 2.9 ในระบบการผสมที่สามารถเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ อัตราส่วนการผสมกับสมบัติของพอลิเมอร์ผสม มีความสัมพันธ์กันเป็นฟังก์ชันเพิ่ม ดังรูปที่ 2.9 (ก) แต่ในการผสมส่วนใหญ่ไม่ต้องการความเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ โดยในการผสมที่มีความเข้ากันได้บางส่วน ระบบมีลักษณะเป็นสารละลายของแข็ง โดยอนุภาคของดีสเฟสซึ่งมีขนาดเล็กจะกระจายอยู่ในเฟสหลัก โดยในระหว่างเฟสมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน และเมื่อนำไปพล็อตกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนการผสม จะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส ดังรูปที่ 2.9 (ข) โดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนผสมมากกว่ามีแนวโน้มเป็นเฟสหลัก และควบคุมสมบัติทางกายภาพของชิ้นตัวอย่าง ส่วนบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกราฟมีสาเหตุมาจากการกลับเฟสของของผสม

ในระบบที่มีความเข้ากันได้น้อยมากหรือไม่เข้ากันเป็นผลให้การแยกเฟสเกิดขึ้น โดยดีสเฟสเฟสจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กระจายอยู่ในเฟสหลักและระหว่างผิวสัมผัสจะมีแรงดึงดูดกันอย่างอ่อนๆ หรือไม่มีเลย จากลักษณะดังกล่าวสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะต่ำกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ ทำให้ไม่นิยมนำไปใช้งาน และเมื่อนำไปพล็อตกราฟ จะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นรูปตัวยู ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ค) ส่วนในระบบสุดท้ายซึ่งพบได้น้อย โดยในการผสมจะพัฒนาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้มากกว่าระบบอื่นๆ กล่าวคือ สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมากกว่า หรือเท่ากับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ดังรูปที่ 2.9 (ง)

### 2.3.4 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม (Morphology of Blends)

ลักษณะโครงสร้างหรือสัณฐานวิทยาของแต่ละเฟสในพอลิเมอร์ผสมจะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง สัณฐานวิทยาอาจมีลักษณะของดิสเพอร์สเฟสกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง โดยดิสเพอร์สเฟสมีลักษณะเป็นทรงกลม แผ่น หรือเส้นใย ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะต่างๆของดิสเพอร์สเฟสที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม [16]

สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสม จะขึ้นกับอัตราส่วนของการผสม อัตราส่วนของความหนืดในแต่ละองค์ประกอบ แรงตึงผิว และภาวะของการผสม โดยองค์ประกอบที่มีเป็นจำนวนมากกว่ามีแนวโน้มเป็นเมทริกซ์หรือเป็นเฟสหลัก โดยขนาดของดิสเพอร์สเฟสจะถูกควบคุมจากการแตกตัวเป็นหยด และการรวมกลุ่ม (coalescence) ของดิสเพอร์สเฟส โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นกับชนิดของเครื่องผสม แรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัส และลักษณะการไหลของแต่ละองค์ประกอบ นอกจากนี้ รูปร่างของดิสเพอร์สเฟสอาจถูกเปลี่ยนแปลงจากทรงกลมเป็นเส้นใยจากการไหลแบบยืดดึงที่บริเวณหัวตาย หรือจากทรงกลมเป็นแผ่นจากการยืดดึง 2 ทิศทาง ในกระบวนการเป่า เป็นต้น

ในการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้าด้วยกันนั้น ส่วนใหญ่แล้วพอลิเมอร์ดังกล่าวมักไม่เข้ากัน โดยจะแยกเป็น 2 เฟส ตามหลักของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งสถานการณ์วิทยาของพอลิเมอร์ผสมนั้นขึ้นกับอัตราส่วนการผสม สมบัติการไหลของแต่ละองค์ประกอบ และภาวะในการผสม กล่าวคือ เมื่อทำการผสมดิสเพอร์สเฟสในอัตราส่วนน้อย ดิสเพอร์สเฟสจะกระจายอยู่ในเฟสหลักโดยอาจมีรูปร่างเป็นทรงกลม เส้นใย หรือแผ่น ทั้งนี้ขึ้นกับภาวะของการขึ้นรูป และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมขึ้น ดิสเพอร์สเฟสมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอและมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการรวมกลุ่มกันเองของดิสเพอร์สเฟส และถ้าเพิ่มอัตราส่วนผสมต่อไปดิสเพอร์สเฟสจะเกิดการกลับเฟส (phase inversion) เปลี่ยนเป็นเฟสหลัก โดยก่อนถึงจุดนี้สถานการณ์วิทยาของพอลิเมอร์ผสมจะเกิดการกลับเฟสทั้ง 2 เฟส เรียกการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ว่า co-continuous ตัวอย่างของการกลับเฟสนี้สามารถเห็นได้จากการสังเคราะห์พอลิสไตรีนที่มีความ ทนแรงกระแทกสูง (high impact polystyrene (HIPS)) ซึ่งมีการกลับเฟสเกิดขึ้น โดยในช่วงแรกเฟสของยางจะเป็นเฟสหลักแต่เมื่อสิ้นสุดการสังเคราะห์แล้วพอลิสไตรีนจะเป็นเฟสหลัก

### 2.3.5 การกระจายตัว (Dispersion)

จากโครงสร้างที่กล่าวไว้ในเบื้องต้นในการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยธรรมชาติแล้วเป็นไปได้ยาก เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ทั้งสองทำให้เกิดการไม่เข้ากัน เช่น การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัวกับน้ำยางธรรมชาติ [2] เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนและการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของน้ำยางธรรมชาติในพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัว จึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสม เพื่อช่วยให้น้ำยางธรรมชาติสามารถกระจายตัวในพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัวได้ดีขึ้น

#### 2.3.5.1 ลักษณะการกระจายตัว [17]

สามารถจำแนกตามลักษณะและขนาดของอนุภาคที่ละลายหรือแพร่กระจายอยู่ในตัวทำละลายได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของสารละลายที่พิจารณาตามขนาดของอนุภาคที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลาง [17]

ลักษณะการแพร่กระจาย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค
การกระจายอนุภาคขนาดใหญ่ (สารแขวนลอยหรืออิมัลชัน)	50-100 นาโนเมตร
การกระจายอนุภาคขนาดเล็ก (สารละลายคอลลอยด์)	1-100 นาโนเมตร
สารละลายที่แท้จริง (สารละลายโมเลกุล)	0.1-1 นาโนเมตร
สารละลายบริสุทธิ์ (สารละลายไอออนิก)	$\leq 1$ นาโนเมตร

การกระจายอนุภาคขนาดใหญ่ (coarse dispersion) เป็นการแพร่กระจายของอนุภาคของสารใดๆในของเหลวหรือตัวทำละลาย ซึ่งการแพร่กระจายแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารแขวนลอยและอิมัลชัน

สารแขวนลอย (suspension) เป็นการแพร่กระจายของอนุภาคของสารที่เป็นของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลว ซึ่งจะมีแรงดึงดูดของโลกเกิดขึ้นต่ออนุภาค ทำให้อนุภาคจมลงอยู่ด้านล่างหรือลอยตัวอยู่บนผิวของของเหลว ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลางที่เป็นของเหลวนั้น ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่จะมีแรงดึงดูดของโลกเกิดขึ้นมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคต่ออนุภาค หรือระหว่างอนุภาคกับตัวกลาง ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กแรงดึงดูดของโลกจะเกิดขึ้นน้อย ทำให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กแพร่กระจายอยู่ในตัวกลางและคงตัวได้ดีกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

อิมัลชัน (emulsion) เป็นการผสมกันของของเหลวสองชนิดที่ไม่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ อยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ของเหลวทั้งสองชนิดไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นจะไม่ค่อยคงตัว ต้องอาศัยอิมัลซิฟายเออร์ เป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกัน ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สามารถกระจายตัวและคงตัวอยู่ในตัวกลางได้

การกระจายอนุภาคขนาดเล็ก (fine dispersion) หรือสารละลายคอลลอยด์ เป็นสารละลายที่อนุภาคแพร่กระจายอยู่ในตัวกลางได้อย่างอิสระ ข้อแตกต่างระหว่างสารละลายคอลลอยด์และสารแขวนลอย ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคในสารละลายคอลลอยด์จะมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่าในสารแขวนลอย ดังนั้น สารละลายคอลลอยด์จะคงตัวกว่าสารแขวนลอย

### 2.3.5.2 สารช่วยกระจายตัว

ของเหลวทุกชนิดมีแรงตึงผิวต่อตัวเอง เมื่อนำของเหลว 2 ชนิดที่ไม่เข้ากันมาผสมกัน ทำให้เกิดอิมัลชัน แรงตึงผิวทำให้อนุภาคของของเหลวรวมตัวเข้าหากันเอง และแยกตัวออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เพื่อลดให้มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด เพราะเมื่อของเหลวมีอนุภาคใหญ่ขึ้นจะมีพื้นที่ผิวดลดลง ในการทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวและคงตัวอยู่ได้ ทำได้โดยการเติมอิมัลซิฟายเออร์ หรือ สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว คือกลุ่มของสารที่เติมลงไปในระบบคอลลอยด์เพื่อช่วยทำให้คอลลอยด์มีความคงตัวมากขึ้น โดยส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิว ส่วนใหญ่เป็นหมู่ไอออนละลายในน้ำ ไอออนเหล่านี้มีสัมพรรคภาพกับน้ำสูงมาก ทำให้เกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์กับโมเลกุลของน้ำ ซึ่งเป็นไดโพล ทำให้สามารถที่จะดึงส่วนที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอน และเป็นไฮโดรโฟบิกมาอยู่ในสารละลายได้

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

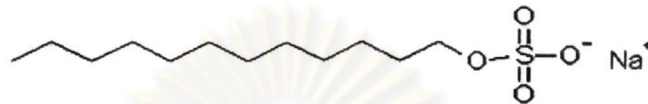
1. สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ (anionic surfactants)
2. สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก (cationic surfactants)
3. สารลดแรงตึงผิวปราศจากไอออน (non-ionic surfactants)
4. สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก-ลบ (ampholytic surfactants)

สารลดแรงตึงผิวได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมมากมายในชื่อที่แตกต่างกันไป เช่น สารซักฟอก (detergents) อิมัลซิฟายเออร์ และสารช่วยในการแตกตัวให้เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (dispersant) เป็นต้น สารลดแรงตึงผิว ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้ดี

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โซเดียมลอริลซัลเฟตเป็นสารช่วยกระจายตัว เนื่องจากโซเดียมลอริลซัลเฟตเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไอออนลบ ซึ่งมีทั้งหมู่ที่มีขั้วและหมู่ที่ไม่มีขั้วอยู่ในโมเลกุลจึงน่าจะเข้ากันได้กับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและน้ำยางธรรมชาติ

### โซเดียมลอริลซัลเฟต [6,18]

โซเดียมลอริลซัลเฟตเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ มีชื่อเรียกหลายชนิด เช่น โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต, ซัลฟูริกแอซิดโมโนโดเดซิลเอสเทอร์โซเดียม น้ำหนักโมเลกุล 288.38 มีแอกทีฟเกรเดียน (active gradient) 90 เปอร์เซ็นต์ มีสูตรโครงสร้างดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างโซเดียมลอริลซัลเฟต [5]

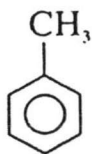
นิยมใช้โซเดียมลอริลซัลเฟตในลักษณะต่าง ๆ เช่น

1. เป็นสารลดแรงตึงผิว (surface active agent) สำหรับกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (emulsion polymerization) กระบวนการผลิตโลหะ (metal processing)
2. เป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) สารช่วยให้เกิดฟอง (foaming agent) สารทำให้เปียก (wetting agent) ในสารซักฟอกและแชมพู
3. สารช่วยกระจายตัว (dispersing agent) ในครีมและโลชั่น
4. ใช้เป็นสารช่วยเกิดฟอง (foaming agent) สารทำให้เปียก (wetting agent) ในการเตรียมยา
5. สารช่วยกระจายตัว (dispersing agent) ในยาสีฟัน
6. เป็นอิมัลซิฟายเออร์ สารทำให้เป็นครีม (whipping agent) และสารลดแรงตึงผิวในอาหาร
7. ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเลือด กระบวนการแยกอเล็กโทรโฟเรติก และหาน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน
8. เป็นสารทำความสะอาด (cleaning agent) ในเครื่องสำอาง

นอกจากโซเดียมลอริลซัลเฟตที่ใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวแล้ว ยังใช้โกลูอินเป็นสารช่วยกระจายตัวอีกด้วย ถึงแม้ว่าโกลูอินไม่ได้มีสมบัติเป็นสารช่วยกระจายตัวโดยตรง แต่โกลูอินเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เข้ากันได้กับน้ำอย่างธรรมชาติและสไตรีนที่อยู่ในพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้โกลูอินเป็นสารช่วยกระจายตัว



## โทลูอิน [19]



รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างโทลูอิน [20]

โทลูอิน เป็นสารเคมีที่จัดอยู่ในประเภทของตัวทำละลายอินทรีย์ ในกลุ่มของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่เป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นเหมือนเบนซีน ระเหยง่าย และติดไฟได้ สูตรทางเคมี คือ  $C_7H_8$  น้ำหนักโมเลกุล 92.13

กรรมวิธีในการผลิตโทลูอิน เป็นผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมถ่านหินและอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในอุตสาหกรรมถ่านหินจะได้โทลูอินจากแก๊สและโคลทาร์ ส่วนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะได้โทลูอินโดยการดีไฮโดรจีเนชัน พวกแนฟทีน หรือโดยการไซโคลเซชัน และอะโรมาไทเซชันสารพวกพาราฟินไฮโดรคาร์บอน

มีการใช้โทลูอินอย่างแพร่หลายในกิจการหลายประเภท เช่น

1. ใช้เป็นสารทำละลาย ในอุตสาหกรรม ยา เคมี ยาง และพลาสติก
2. ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นและเป็นอินเตอมีเดียตในอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมีและอุตสาหกรรมสารสังเคราะห์เคมี
3. ใช้ในอุตสาหกรรมหนังเทียม เส้นใย การเคลือบกระดาษและหมึกพิมพ์
4. ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรผสมน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์
5. ใช้เป็นทินเนอร์โนสี แล็กเกอร์และน้ำมันชักเงา
6. ใช้เป็นสารขจัดหรือล้างสี

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M.L.L. MASPOCH และ A.B. MARTINEZ [2] ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาของน้ำยางธรรมชาติสังเคราะห์ที่ดัดแปรผสมกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว โดยใช้ น้ำยาง BF Goodrich Hycar และ น้ำยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง พบว่าน้ำยาง BF Goodrich Hycar มีหมู่ไวนิลที่สามารถผสมเข้ากับพอลิ

เอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว โดยเป็นการเชื่อมติดกันระหว่างผิวของอนุภาคซึ่งเมื่อปริมาณของน้ำยางธรรมชาติมีมากขึ้น ความแข็ง (rigidity) ลดลง

KYUNG-EUN MIN, YEONG-GEUN และคณะ [3] ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (UPE resin) โดยการผสมกับพอลิยูรีเทน (PU) เพื่อให้พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวมีความเหนียวดีขึ้น โดยการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิออลในพอลิยูรีเทน และปริมาณพอลิยูรีเทน พอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวกับพอลิยูรีเทน เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในเมทิลไดไฮดรอกซีทานและหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ปริมาณพอลิยูรีเทน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ความเหนียวมากที่สุด ผลที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าพอลิยูรีเทนเสมือนเป็นยางที่เข้าไปอยู่ในส่วนที่เปราะของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

Z.G. SHAKER, R.M. BROWNE และคณะ [21] ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์แบบโครงร่างตาข่าย โดยใช้อีลาสโตเมอร์ชนิดเส้นตรง และชนิดกึ่ง โดยแปรผันตามน้ำหนักโมเลกุล ผสมกับพอลิเอสเทอร์เรซินไม่อิ่มตัว (15:85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ผลของ DSC แสดงค่าภายหลังจากการบ่มโดยใช้เวลา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ผลของ DMTA แสดงอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) เมื่ออีลาสโตเมอร์ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายมีค่าลดลงพร้อมกับอีลาสโตเมอร์ ระหว่าง 16 ถึง 114 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า ซึ่งชนิดที่ลดลงมากที่สุดเป็นอีลาสโตเมอร์ชนิดกึ่งสูตร T-5000 ความทนแรงกระแทกแบบไอซอดเพิ่มขึ้น 28-44 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีผลต่อโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุล สำหรับการทดสอบความทนแรงดัดโค้งซึ่งเป็นแบบชนิด 3 จุด พบว่าสูตรที่ให้มอดุลัสแรงดัดโค้งสูงสุดได้จากสูตร D-2000 ซึ่งลดลงเพียง 22 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ส่วนผสมอื่นลดลงถึง 55 เปอร์เซ็นต์ พอลิเมอร์ที่แข็งแรงที่สุดคืออีลาสโตเมอร์ชนิด D-2000 ซึ่งมีความทนแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น 65 เปอร์เซ็นต์ 2 ใน 3 ของอีลาสโตเมอร์ชนิดกึ่งมีความทนแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีเพียงชนิดเดียวที่ค่าเท่ากับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ผล TGA ของพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายได้นำมาเปรียบเทียบกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ยกเว้นอีลาสโตเมอร์ชนิด T-403 มีค่าลดลง 20 องศาเซลเซียส และ D-2000 ลดลง 10 องศาเซลเซียส

พันธิตรา เลิศประเสริฐพงศ์ และ ภรณ์ ภาสภิญญา [5] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางความทนแรงกระแทกของพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวด้วยการเติมน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งทำได้โดยการนำ

พอลิเมอร์ทั้งสองมาผสมกันโดยใช้ปริมาณน้ำยางธรรมชาติตั้งแต่ 5 ถึง 15 phr และมีการใช้สารช่วยการกระจายตัว (dispersing aids) เปรียบเทียบกันสามชนิด ได้แก่ โซเดียมลอริลซัลเฟต โทลูอิน และ แอมโมเนีย โดยใช้ปริมาณตั้งแต่ 10 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติที่ใช้ จากการทดลองพบว่าน้ำยางธรรมชาติสามารถช่วยเพิ่มความทนแรงกระแทกให้กับพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเมื่อใช้ปริมาณของโทลูอินเป็น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำยาง 15 phr จะให้ค่าความทนแรงกระแทกสูงที่สุด แต่มีผลข้างเคียงคือทำให้ความทนแรงดึงและความทนแรงดัดโค้งลดลง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย