

## บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

เริ่มแรกการไฮโดรจิเนชันของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ได้ถูกศึกษาโดย Schulz และคณะ [1] และ Burfield D.R และคณะ [2] การไฮโดรจิเนชันทำในสารละลายไซโคลเฮกเซนโดยใช้เกลือของโลหะนิกเกิลและโคบอลต์ ( $\text{Ni}^{2+}$  and  $\text{Co}^{2+}$  salts) ร่วมกับสารประกอบ trialkyl aluminium เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิห้องและใช้ความดันต่ำ การทดลองพบว่าอัตราการไฮโดรจิเนชันเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและความดัน ซึ่งต่อมาได้มีการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น palladium catalyst, calcium carbonate เป็นต้น เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการไฮโดรจิเนชันในสภาวะสารละลายของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ [3-4]

ต่อมา Roy และคณะ [5] ได้ศึกษาการไฮโดรจิเนชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 50 mol% ในสภาวะสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้ homogenous catalyst พบว่าสมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ดีขึ้น แต่พบว่าไม่มีการรายงานถึงประสิทธิภาพของการไฮโดรจิเนชัน รวมถึงโครงสร้างของยางธรรมชาติดังกล่าว ที่สำคัญคือยางธรรมชาติที่ได้รายงานในการทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันไม่ได้มีการกำจัดโปรตีน ซึ่งเป็นไปได้ว่าโปรตีนเป็น radical scavenger ในยางธรรมชาติ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาลดต่ำลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาประสิทธิภาพของการไฮโดรจิเนชันในยางธรรมชาติโปรตีนต่ำเพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ดีขึ้น โดยเฉพาะการใช้งานของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

Gelling ได้พยายามคิดแปลงโครงสร้างของยางธรรมชาติโดยการนำยางธรรมชาติมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ ซึ่งผลผลิตที่ได้จะมีวงแหวนอีพอกไซด์ (epoxide ring) กระจายอยู่ในพอลิเมอร์

การเปิดวงแหวนที่ศึกษาโดย Rosowsky , swern และ Witnauer ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันอย่างรวดเร็วและการแทนที่ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันบนพันธะในช่วงเวลาอันรวดเร็วของการอีพอกซิเดชันยางธรรมชาติ (epoxidation Natural Rubber) และ Polydiene Rubber ซึ่งถูกผลิตออกมาในรูปสารละลาย (Solution) โดยสภาวะที่เหมาะสมจะอยู่ในรูปของลาเทกซ์ (Latex) ซึ่งจะมีความสะดวกและปลอดภัย การปรับโครงสร้างทางเคมีขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันกรุปที่คล้ายกับ หมู่อีพอกไซด์กรุป ผลจากการปรับปรุงยางที่ไม่อิมตัว ทำให้มีการยกระดับการทนต่อน้ำมันและตัวทำละลาย ทำให้การซึมผ่านของอากาศต่ำ การเกาะติดกับโลหะ, เซรามิก, และเส้นใยดี, ความต้านทานต่อการฉีก โกลดจากบนหน้าข้างดัน อีพอกไซด์กรุป เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งที่สุด จึงเป็นวิธีที่จะปรับปรุง โพลีได

อินและพอลิเมอร์อื่นทางธรรมชาติได้มีการปรับปรุงครั้งแรกโดย Pummer และ Burkhand ในปี 1922 โดยทางเคมี ด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันอย่างไม่อิ่มตัว และปฏิกิริยา

Jang และคณะ [6] ศึกษากระบวนการประสานระหว่างพลาสติกที่เติมเส้นใยกับยางโดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติ โดยศึกษาตัวแปรที่ใช้ในสถานะใช้งานจริงในการผลิตกาวประเภท Pressure Sensitive Adhesive ในตัวระบบของพลาสติกที่เสริมเส้นใยจะเลือกใช้ คาร์บอนไฟเบอร์ทำคอมโพสิตกับอีพอกซี เป็น Fiber Rubber Plastic (FRP) และใช้เอทิลีนโพรพิลีนไดเอมีนโมโนเมอร์ (Ethylene Propylene Diene Monomer, EPDM) เป็นส่วนของยาง และสารประสานที่ใช้ในการทดลองคือ Chemlok ซึ่งจากบริษัท Lord Chemical จำกัด จากการทดลองพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการประสานกัน ได้แก่ ความดันที่ผลิตกาวมาจากโรงงาน สภาวะแวดล้อม และชนิดของสารประสาน

Duncan และคณะ [7] ศึกษาการตรวจวัดและโมเดลการออกแบบที่ใช้กับสารประสานชนิดใหม่ๆ ในการศึกษาจะเลือกใช้วัสดุสองประเภทคือ Toughened Structural Adhesive และ Flexible Adhesive จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า Toughened Structural Adhesive นั้นจัดเป็นวัสดุประเภทอีลาสติคพลาสติก สามารถอธิบายพฤติกรรมที่ความเครียดสูงๆ ได้โดยใช้ Plasticity Theory ส่วนกรณีของ Flexible Adhesive จะใช้โมเดล Hyperelastic Materials ในการอธิบายเนื่องจากมีความเป็นอีลาสติคสูงมาก

## 2.2 กาวและการยึดติด (Adhesives)

### 2.2.1 กาวหรือวัสดุประสาน

กาว หมายถึง สารที่สามารถยึดเหนี่ยววัสดุระหว่างวัสดุต่างๆ ผ่านการยึดเกาะบนพื้นผิว กาวที่ดีต้องช่วยรับ โหลดใช้งานและต้องมีอายุทนทานเท่าๆช่วงอายุผลิตภัณฑ์ มี 2 ประเภท คือ กาวธรรมชาติ (Natural Adhesives) และกาวสังเคราะห์ (Synthetic Resin Adhesives) ประโยชน์ของการใช้วัสดุประสาน คือ

1. การยึดประสานจะทำให้ผิวของวัสดุเรียบ สวยงาม เช่น กาวติด ไม้ ไม้
2. สามารถยึดประสานวัสดุต่างชนิดกันได้ เช่น หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง
3. สามารถทำหารยึดประสานวัสดุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ได้ เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
4. วัสดุบางชนิด ไม่สามารถยึดประสานด้วยวิธีอื่นได้ เช่น พลาสติก แก้ว ยาง

2.2.2 กาวธรรมชาติ (Natural Adhesives) หมายถึง กาวที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งอาจจะได้จาก พืช หรือสัตว์ เช่น

1. กาวพืช (Vegetable Glue) เป็นกาวที่ผลิตจากแป้ง มีราคาถูก มีความแข็งแรงในการประสานไม่มากนัก โดยทั่วไปแล้วนำมาใช้ในงานติดประสานกระดาษ

2. กาวยาง (Rubber Cement) เป็นกาวที่ผลิตจากยางธรรมชาติกับสารละลาย (น้ำมันเบนซิน) มีความแข็งแรงในการยึดประสานดี นำมาใช้ในการติดกระดาษ ยาง

3. กาวเคซีน (Caesin Glue) เป็นกาวที่ได้จากโปรตีนจากกากถั่ว มีความแข็งแรงในการประสานได้ดี นำมาใช้ติดประสานไม้ในอาคารที่ไม่ถูกความชื้น และงานกระดาษ

4. กาวหนัง (Animal Glue) เป็นกาวที่ผลิตจากกระดูกและหนังสัตว์ โดยนำมาล้างทำความสะอาด แล้วนำมาเคี่ยวจนกาวข้น นำมาใช้ทำกระดาษทราย ในปัจจุบันกาวหนังไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งาน เนื่องจากมีกลิ่นเหม็น และติดประสานไม่ดี

### 2.2.3. กาวสังเคราะห์ (Synthetic Adhesives)

#### 2.2.3.1 กาวสังเคราะห์พวกเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Type)

1. กาวอีพอกซี (Epoxy) โดยทั่วไปแล้วกาวชนิดนี้จะผลิตมา 2 ส่วน คือเนื้อกาวที่ใช้ติดประสานและตัวทำปฏิกิริยาให้แข็งตัว โดยแต่ละส่วนจะบรรจุอยู่ในหลอด กาวอีพอกซีเป็นกาวที่มีสมบัติในการติดประสานดีเยี่ยม มีความแข็งแรงในการยึดประสานสูงมากนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมอากาศยาน และอุตสาหกรรมทั่วไป เรซินอีพอกซี (Epoxy - EP) ได้ชื่อมาจากกลุ่มอีพอกไซด์ (cyclic-CH<sub>2</sub>OCH คำว่า cyclic หมายถึงกลุ่มนี้เป็นโมเลกุลรูปห่วงสามเหลี่ยม) ที่ต่ออยู่ท้ายโมเลกุล ออกซิเจนที่อยู่ในโซ่คาร์บอนและ กลุ่มอีพอกไซด์ที่อยู่ปลายโซ่คาร์บอนทำให้เรซินอีพอกซีมีสมบัติที่เป็นประโยชน์มากมาย อีพอกซีเหนียว ทนต่อการสึกกร่อนมาก และไม่หดตัวระหว่างที่แห้งตัวพันธะที่เชื่อมกันระหว่างโมเลกุลของอีพอกซีจะเกิดขึ้นเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้แข็งได้ใส่ลงไปทำให้ได้เป็นโครงร่างคาข่ายโมเลกุลสามมิติ เพราะความแข็งแรงของพันธะ เรซินอีพอกซีจึงใช้เป็นที่เคลือบผิว และวัสดุประสาน อีพอกซีมีการใช้งานที่สำคัญในอุตสาหกรรมยานอวกาศ ส่วนประกอบอากาศยานทั้งหมดทำจากอีพอกซี อีพอกซีใช้ทำผิวปีกของเครื่องบินรบเอฟ-18 และเอฟ-22 รวมทั้งเป็น horizontal stabilizer ของเครื่องบินรบเอฟ-16 และเครื่องบินทิ้งระเบิดบี-1 นอกจากนั้นแล้ว เกือบยี่สิบเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเครื่องบินเจ็ทแฮร์ริเออร์มีการเสริมรอบตัวถังด้วยกาวอีพอกซี เนื่องจากความสามารถในการทนต่อสารเคมีของอีพอกซีและสมบัติในการเป็นฉนวนที่เยี่ยมยอด ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์เช่น เครื่องถ่ายทอดภาวะกระแสไฟฟ้า (relay) คอยล์ รวมทั้งหม้อแปลงก็มีฉนวนเป็นอีพอกซี

2. กาวฟีนอลิก (Phenolic Adhesives) กาวชนิดนี้จะผสมอยู่ในสารละลาย เมื่อเรานำกาวฟีนอลิกไปติดบนวัสดุที่ทาแล้วนี้มาติดเข้าด้วยกัน กาวชนิดนี้นำมาใช้กันมากในอุตสาหกรรมไม้อัด ฟีนอลิก (Phenolic) หรือ ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ หรือเบกาไลต์ เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติงชนิดแรกที่อยู่กันมานาน มีสีน้ำตาลคล้ายขมบั้ง มีความแข็งและอยู่ตัว เรซินชนิดนี้มีทั้งที่เป็นของเหลวใส เหมาะสำหรับหล่อในพิมพ์ และแบบที่เป็นผงสำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งชนิดหลังนี้มีสีน้ำตาลดำเพียงอย่างเดียว สมบัติทั่วไป เนื้อแข็งคงตัว แต่เปราะ ทนทานต่อการสึกกร่อน เป็นฉนวนไฟฟ้า ทนความร้อนได้สูง (๒๖๐ องศาเซลเซียส) ไม่ดูดความชื้น ราคาถูก ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฟีนอล

พอร์มาลดีไฮด์ ใช้ทำปลอกหุ้มคอกอลด์รอนต์ แกนคอกอลในเครื่องรับวิทยุและโทรทัศน์ เปลือกเครื่องโทรศัพท์สมัยโบราณ ค้ำเครื่องมือช่าง หนุ้มือ หูกระโถน ค้ำมิมืด ลูกบิลเลียด แผงวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กาว สารเคลือบผิว ตลอดจนใช้เป็นสารเติมแต่ง ในอุตสาหกรรมยาง

2. กาวฟีนอลิก (Phenolic) กาวชนิดนี้จะผสมอยู่ในสารละลาย เมื่อเรานำกาวฟีนอลิกไปติดบนวัสดุที่ทาแล้วนี้มาติดเข้าด้วยกัน กาวชนิดนี้นำมาใช้กันมากในอุตสาหกรรมไม้อัด

3. กาวซิลิโคน (Silicone) เป็นกาวที่ทนต่อความชื้น และอุณหภูมิได้ดีใช้ในอุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้า

4. กาวเรซินอร์นัลเรซิน (Resorcinal Resin) เป็นกาวที่ใช้ในการผลิตไม้ที่ดองทนต่ออุณหภูมิและความชื้น

5. กาวสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) มีสมบัติทนความชื้นได้ดี มีความแข็งแรงในการยึดประสานพอสมควร ใช้ในงานอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์

#### 2.2.3.2 กาวสังเคราะห์พวกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Type)

1. เซลลูโลสดีริเวทีฟ (Cellulose Derivatives) มีคุณสมบัติทนความชื้นได้ดี เหมาะสำหรับใช้งานทั่วไปในงานบ้าน ใช้ติดไม้ กระดาษ

2. อะคริลิก (Acrylics) เป็นกาวโปร่งใส เหมาะสำหรับใช้งานติดกระจกและเซรามิก

#### 2.2.3.3 กาวสังเคราะห์ที่ขายตามท้องตลาด

1. กาวตราช้างหรือซูเปอร์กลู (Cyanoacrylate) กาวมีกลิ่นและต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง หากถูกนิ้วหรือเข้าตาอาจทำให้อวัยวะเหล่านั้นติดกันจนแกะไม่ออกได้ ส่วนการใช้กาวชนิดนี้ติดชิ้นส่วนเครื่องบินหากติดผิดก็จะไม่สามารถขยับเปลี่ยนที่ได้

2. กาวแท่ง เช่น กาวยูยู สติค (UHU Stic) หรือกาวสก๊อตช์ (Scotch 3M) ใช้สำหรับติดกระดาษกับโครงลำตัวหรือปีก หากเป็นชนิดสีม่วงก็จะดีเพราะจะได้มองเห็นว่าตรงไหนทาแล้ว เมื่อกาวแท่งสีม่วงนี้จะหายไปกาวยูยู [UHU] หลอดสีเหลือง และชนิดหลอดสีฟ้าสำหรับติดไม้บัลซ่าโดยเฉพาะ กาวเหล่านี้แห้งเร็ว แต่มักมีกลิ่นแรงและติดไฟได้จึงควรใช้ในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกและต้องระวังไม่ใช้ใกล้ความร้อนหรือเปลวไฟ

3. ไทท์บอนด์ (Tite-bond) กาวอีกชนิดหนึ่งที่ตีมากแต่ไม่ค่อยมีขายในประเทศไทย เป็นกาวสำหรับงานไม้โดยเฉพาะ (Wood glue) มีชื่อ ไทท์บอนด์ หรือเอลเมอร์ (Elmer's glue) กาวพวกนี้ทำจากสารที่เรียกว่า อลิฟาติก เรซิน (Aliphatic resin) กาวนี้มีคุณสมบัติคล้ายกาวลาเท็กซ์แต่แห้งเร็วกว่าและให้ความแข็งแรงมาก เมื่อแห้งแล้วทนน้ำได้ การทาเราจะไม่ใช้เกินความจำเป็นเพราะนอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วยังเป็นการเพิ่มน้ำหนักเครื่องบินโดยไม่จำเป็น ควรใช้ไม้แหลมๆ ตะกั่วมาทาบริเวณ

ที่จะติด ไม่ควรใช้ไม้ชิ้นส่วนจุ่มลงไปในขวดกาว ชิ้นส่วนที่จะเอามาติดควรเข้าไม้ให้สนิทกันเพื่อให้กาวมีพื้นที่ยึดกันได้ดี

### ข้อควรปฏิบัติในการใช้กาว

1. ผิวหน้าที่จะติดกาวต้องเรียบ สะอาด และแห้ง
2. การทา กาวควรทาให้เรียบ และทาบาง ๆ
3. การใช้กาวชนิดแห้งเร็ว ควรทดลองทาบริเวณที่จะติดก่อนเพื่อความแน่ใจ
4. กาวชนิดแห้งช้าควรมีอุปกรณ์ช่วยให้ความชื้นให้ติดแน่นตลอดเวลาที่กาวยังไม่แห้ง
5. ต้องเลือกชนิดของกาวให้เหมาะสมกับวัสดุ
6. กาวบางชนิดเป็นอันตราย ไม่ควรใช้มือจับหรือสูดดมกลิ่น

### 2.2.4 เงื่อนไขในการสร้างการยึดเกาะที่ดี

1. ความสะอาดผิวงาน ต้องปราศจาก ฝุ่น คราบน้ำมัน ความชื้น ฟิล์มออกไซด์ โลหะ มิฉะนั้นกาวจะติดเกาะกับสนิทโลหะแทนที่จะเป็นเนื้อโลหะ และแรงดึงดูระหว่างสนิทโลหะกับเนื้อโลหะ มีค่าต่ำ บางกรณีอาจต้องใช้ วิธีทำความสะอาดทางเคมีร่วมกับกายภาพ (Cleanliness)
2. การแพร่เกาะผิวงาน อย่างกว้าง ทั่วถึง (Wetting)
3. การแข็งตัวของเนื้อกาว หลังจากการใช้เนื้อกาวในรูปของเหลวต้องเริ่มแข็งตัว และกลายเป็นของแข็งในที่สุด (Solidification) อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมี จากความร้อน ความดัน หรือสารช่วยแข็งตัว (Curing agent) การระบายความร้อนเกิดการเปลี่ยนสถานะ หรือแข็งตัวจากการระเหยของสารละลายในเนื้อกาว
4. การเลือกชนิดกาว (Adhesive choice) มีมากมายให้เลือก คำนึงถึงพันธะที่ต้องการ สภาพแวดล้อม งานการเปลี่ยนแปลงผลผลิต และค่าใช้จ่าย
5. รูปแบบรอยต่อ (Joint design) ให้เกิดแรงยึดเกาะมากที่สุด รวมไปถึงการประกอบต่อ (assembly) ที่จะเชื่อมให้กาวได้ผลดีที่สุด

### ปัจจัยสำคัญในการใช้กาวอย่างได้ผล

1. การเลือกชนิดของกาว
2. อุณหภูมิเวลาการกอดอัดให้เกิดการแข็งตัวและจับตัว
3. การเตรียมพื้นผิวงาน (substrate-surface treatment)
4. การออกแบบรอยต่อ ที่เกิดการยึดเหนี่ยวทนทานต่อความเค้นอันจะทำให้เกิดการแตกร้าว แยก

หลุด

## 5. เสถียรภาพทางกายภาพ เกม็ของรอยต่อในการใช้งาน

### ข้อดีของการต่อยึดด้วยกาว

1. ให้พื้นที่รับความเค้นกว้างใหญ่และรับแรงเฉือนได้สูง (อาจถึง 7,000 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup>)
2. ลดการสั่นสะเทือน และการกระทบกระเทือน
3. ให้ความแข็งแรงที่ลดปัญหาด้านความเปลี่ยน
4. สามารถต่อยึดพื้นผิวรูปร่างและความหนาต่าง ๆ ได้
5. ปรับระดับผิวงานตามความต้องการ
6. ให้รอยต่อที่กันรั่วซึม
7. ต่อวัสดุต่างชนิด หรือชนิดเดียวกันได้
8. เปรียบเทียบกับการต่อทางกลไกแล้ว ราคาถูก และรวดเร็วกว่า
9. ทนทานต่อความร้อนพอสมควร
10. ให้ความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่ใช้สูงมาก

### ข้อด้อยของการต่อยึดด้วยกาว

1. พื้นผิวงานต้องสะอาด เรียบร้อยจริง ๆ
2. ต้องใช้เวลาแข็งตัวเข้าสู่รูปใช้งานได้ จัดว่านาน
3. ใช้กับสภาพแวดล้อมอุณหภูมิไม่สูงนัก ประมาณไม่เกิน 350° F
4. ในการแข็งตัวบางครั้ง ต้องใช้ความร้อน และแรงอัดช่วย
5. บางกรณีต้องขึ้นแบบเข้าต่อวัสดุทางกลไกช่วยอย่างระมัดระวัง
6. ตรวจสอบรอยต่อโดยตรงยาก
7. สภาพแวดล้อมมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน เช่น ความชื้น-สารละลาย
8. ต้องควบคุมขั้นตอนการใช้อย่างพิถีพิถัน

### ขีดจำกัดในการออกแบบงานใช้กาว

1. หารูปแบบรอยต่อที่จะให้แรงยึดเหนี่ยวเหมาะสมกับการใช้งานที่สุด (Top performance) ต้องคำนึงถึงความเค้น สภาพแวดล้อม ชนิดกาวต่าง ๆ ที่เลือก กระบวนการยึดเหนี่ยวบุคลากร
2. ราคาอาจจะถูก แต่เมื่อใช้งานต้องรวมค่าใช้จ่ายที่แอบแฝง (hidden cost) เช่น เครื่องมือ เตาอบ เครื่องอัด
3. อายุการเก็บ และวิธีการเก็บที่เหมาะสม (Storage life) อาจเก็บในที่เย็น
4. ช่วงเวลาการแข็งตัวของกาวอาจเร็วกว่า ช่วงเวลาต่อปรับใช้ขึ้นงานเข้าที่
5. ค่าเตรียมพื้นผิวและการลงทับหน้า

6. คำนึงการขนย้าย คุณภาพการใช้งานที่เชื่อถือได้ การสิ้นเปลืองสูญเปล่า
7. เมื่อตัดสินใจแล้ว อาจจะแกะออกเพื่อแก้ไข คงยาก

### 2.2.5 วิธีการหาเนื้อกาว

ชั่งตัวอย่างที่กวนดีแล้วประมาณ 5 กรัมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.001 กรัม ใส่ใน ภาชนะแบน และปากกว้าง นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 2$  องศาเซลเซียส อย่างน้อย 2 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในเดสิกเกตเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

#### วิธีคำนวณ

$$\text{เนื้อกาว ร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

### 2.2.6 ส่วนประกอบของกาว (Adhesive composition)

ในสมัยใหม่ จัดว่าซับซ้อนมาก เนื่องจากมีส่วนประกอบหลายอย่าง ทำหน้าที่เฉพาะ พอดีแบ่งส่วนผสมพื้นฐานได้

1. สารยึดเหนี่ยว (Binder หรือ Base) เป็นส่วนประกอบหลักของกาว ที่ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวกับแผ่นพื้นงาน เช่น กาวอีพอกซี มีส่วนประกอบหลัก คือ เรซินอีพอกซี
2. ตัวทำให้เกิดการแข็งตัว (Hardener) ทำหน้าที่ให้เกิดปฏิกิริยา curing (แข็งตัว เกี่ยว โยง) กาว 2 หลอดมักจะเป็นตัวเนื้อกาวยึด (Base หรือ Binder) กับตัวสร้างความแข็งตัว (hardener) อาจมีการเพิ่ม catalyst ช่วยเร่งปฏิกิริยาระหว่างสารทั้งสอง
3. สารละลาย (Solvent) ช่วยให้เนื้อกาวแพร่กระจายกันพื้นที่มากขึ้น โดยทั่วไป ใช้สารละลายอินทรีย์ในธรรมชาติ และมักใช้แบบลูกผสมตามต้องการ
4. ตัวลดปรับคุณสมบัติ (Diluents) ช่วยลดความเข้มข้นของ binder ลดความหนืด และทำให้เข้ากระบวนการผลิตสะดวก ไม่ระเหยหนีไป เหมือนสารละลาย (Solvent)
5. วัสดุเสริมเติม (Filler) ช่วยปรับคุณสมบัติทางการทำงาน เช่น ความแข็งแรง การใช้งาน ลดต้นทุนได้ปริมาณมากขึ้น มีผลต่อคุณสมบัติทางการขยายตัว ทางไฟฟ้า การหดตัว ฯลฯ
6. วัสดุลำเลียง (Carrier) หรือ วัสดุเสริมความแข็งแรง (Reinforcement) ช่วยรองรับเนื้อกาวที่กำลัง curing โดยทำหน้าที่คล้าย ๆ ฟิล์มและทำให้เกิดแนวแบ่งชั้น

## 2.2.7 ทฤษฎีการติดกาว (Theory of adhesion)

### 2.2.7.1 ทฤษฎีทางกล (Mechanical theory)

เนื้อกาวแทรกช่องว่างเล็กใหญ่ ระหว่างผิวงาน (substrate) ต่อให้ขัดอย่างไร ผิวงานจะไม่เรียบ เกิด micro cavities (โพรงเล็กจิ๋ว) ที่ผิวมากมายเมื่อกาวแข็งตัว จะเกิดแรงเกี่ยวระหว่างโพรงเล็ก ๆ ผ่านเนื้อกาว (mechanical interlocking)

### 2.2.7.2 ทฤษฎีการดูดกลืนระหว่างของแข็งกับของเหลว (Adsorption theory)

โดยที่เกิดการแพร่เกาะผิว (wetting) ของเนื้อกาวเหลว (adhesive) กับพื้นงาน (adhesion) ที่เป็นของแข็งได้ เนื่องจากเนื้อกาว ความตึงผิวต่ำกว่าความตึงผิวของผิวชิ้นงาน

ยิ่งแรงตึงผิว (Surface tension) ของเนื้อกาวเหลวน้อยกว่าความตึงผิววิกฤติ (Critical Surface Tension = CST) ของผิวงาน จะยิ่งมีการแผ่กระจายเนื้อกาวเหลวให้กับพื้นที่บนผิวงานมากแทรกผิวขรุขระไล่อากาศตามโพรงจิ๋ว ๆ ออกไปได้ เกิดการแพร่เกาะผิว (Wetting) ที่สูงขึ้น

หลักการ คือ ควรใช้ กาวที่มีแรงตึงผิวต่ำ ๆ แตกต่างจากแรงตึงผิววิกฤติของผิวงานที่มีค่าสูง กาวอินทรีย์ทั่ว ๆ เกาะติดผิวงานโลหะ แต่ไม่เกาะติดผิวงานอินทรีย์ เช่น สารโพลีเมอร์ พวกลิโพลิเอทิลีน โพลีโพรพิลีน เนื่องจากค่า CST ของสารโพลีเมอร์ ค่าความตึงผิวของพลาสติก เช่น ไซ อีพอกซีกับงานโลหะได้ แต่ใช้กับพลาสติกไม่ได้ผล

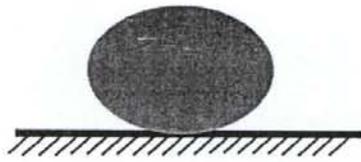
หลังจาก เกิดการแพร่เกาะดีแล้ว อธิบายด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารผ่าน พันธะทางเคมี แรง Van der Waal แรงระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน และต่างชนิดกัน

### 2.2.7.3 แรงตึงผิว (Surface Tension)

คือแรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่ผิวของของไหลสัมผัสกับของไหลอื่นหรือกับผิวของแข็งโดยมีพลังงานเพียงพอต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับแรงยึดติดและแรงเกาะติดทำให้เกิดเป็นลักษณะคล้ายๆ กับแผ่นบางๆ ที่สามารถต้านแรงดึงได้เล็กน้อย การเกิดแรงตึงผิวนี้นี้สืบเนื่องมาจาก แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. แรง Cohesive คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิดเดียวกันหรือ แรงที่ของเหลวดึงดูด โมเลกุลของตัวมันเองเข้าไว้ด้วยกัน ถ้าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวสูง ของเหลวนั้นๆ จะยังคงรักษารูปร่างเป็นหยดไว้ได้

2. แรง Adhesive คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน หรือ แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของเหลวกับพื้นผิวของสารอื่นๆ ถ้าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวต่ำ จะทำให้หยดของเหลวนั้นแผ่ออกมาเป็นฟิล์มบางๆ กล่าวได้ว่าของเหลวนั้นเปียกผิวภาชนะ



Cohesive Forces > Adhesive Forces



Adhesive Forces > Cohesive Forces

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง Adhesive และ แรง Cohesive

การใช้กาวแล้วไม่ได้ผล ไม่สามารถต่อติดชิ้นงานได้ มี 2 รูปแบบ คือ

Cohesive Failure มีกาวเกาะติดที่ผิวงานทั้งสอง และ Adhesive Failure มีกาวติดผิวงานเดียวเท่านั้นและอาจเพิ่มรูปแบบที่ 3 cohesive และ Adhesive failure บางส่วนมีกาวเกาะหน้าเดียว บางส่วนมีเกาะสอง หน้า

### 2.2.7.3 ทฤษฎีไฟฟ้าสถิตและการแพร่กระจาย (Electrostatic and Diffusion Theory)

เกิดแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างกันขึ้นตั้งแต่ผิวงาน-กาว ต่อต้านการถูกดึงแยกออก ทฤษฎีส่วนนี้ใช้น้อย ส่วนการแพร่ หมายถึง มีการแทรกคละเคล้าระหว่าง โมเลกุล เนื้อกาวกับงาน ใช้อธิบายพวกโพลีเมอร์มาก รวมทั้งการเชื่อมไฟฟ้า ความร้อน และสารละลาย เช่น พีวีซีกับน้ำยาประสานจากคีโตน (Ketone) ทำให้เกิดการแพร่กระจายคละเคล้าระหว่าง โมเลกุลพีวีซี และคีโตน (Ketone)

### 2.2.7.4 ทฤษฎีชั้นผิวอ่อนแรงดึงดูด (Weak-boundary-Layer Theory) ของ Bikerman

เป็นเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างผิว (Interface) อาจเกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น ฟิม์ออกไซด์บนแผ่นอลูมิเนียม ทำให้เชื่อมติดยาก กว่ากาวที่ไม่มีฟิล์มออกไซด์ หรือ ชั้นฟิล์มเคลือบอาจจะเกิดจากสารไม่บริสุทธิ์ ทำให้ผิวหน้างานอ่อนทางแรงดึงดูด หรืออาจจะเกิดจาก ส่วนประกอบ เช่น โพลีเอธิลีนมีส่วนประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ อยู่กระจายตามผิว กลายเป็นชั้นผิวที่อ่อนทางแรงดึงดูด บางอย่างมีแรงดึงดูดกับวัสดุเดิมสูง เช่น อลูมิเนียม และอลูมิเนียมออกไซด์ แต่โพลีเอธิลีน และโลหะและออกไซด์มักจะมีแรงดึงดูดต่ำ ๆ พอลจะขัดหรือแต่งแก้ผิวได้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความตึงผิวของของสารประสานและของเหลว[10]

Material	Surface tension (dynes/cm)
Epoxy resin	47
Fluorinated epoxy resin	33
Glycerol	63
Petroleum lubricating oil	29
Silicone oils	21
Water	73

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความตึงผิววิกฤตของพลาสติกและวัสดุ [10]

Material	Critical surface tension (dynes/cm)
Acetal	47
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene	35
Cellulose	45
Epoxy	47
Fluoroethylene propylene	16
Polyamide	46
Polycarbonate	46
Polyethylene	31
Polyethylene terephthalate	43
Polyimide	40
Polymethylmethacrylate	39
Polyphenylene sulfide	38
Polystyrene	33
Polysulfone	41
Polytetrafluoroethylene	18
Polyvinyl chloride	39
Silicone	24
Aluminium	500 (approx.)
Copper	1000 (approx.)

### 2.2.8 กระบวนการยึดเหนี่ยวด้วยกาว (Adhesive-bonding process)

ความสำคัญของกระบวนการใช้กาวมีความสำคัญพอกับการเลือกกาวซึ่งมีภาระการรับแรงเค้น (Loading stress) ที่รอยต่อกาว (adhesive joint) เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ

1. แรงดึงแยกจากกัน (tensile stress) ตั้งฉากกับพื้นผิวงาน
2. แรงดึงเฉือนกับผิวหน้า (shear stress)
3. แรงฉีก และ (cleavage stress)
4. แรงดึงออก (peel stress)

กาวแรงเฉือน ต้องการลักษณะ แข็งแกร่งสูง (Rigid) ในขณะที่กาวงานดึงลอกต้องการความยืดหยุ่น เพราะช่วยกระจาย แรงไปทั่วแนวพันธะ และวิ่งเข้าไปตามขยวในขณะที่ กาวแข็งจะกระจาย ความเค้นแนวเส้นหน้าของรอยต่อมาก มีโอกาสเปราะแตก คำนึงถึงความกว้างแนวต่อกาว และความลึกของชั้นงานที่จะใช้กาว

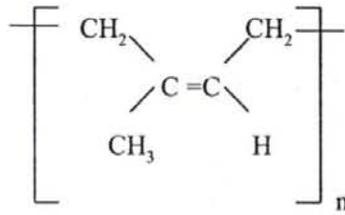
#### รูปแบบรอยต่อ (Joint design)

คำนึงถึงความกว้างแนวต่อกาว และความลึกของชั้นงานที่จะใช้กาว

1. การต่อแบบหัวชนกัน (Butt connections) Plain butt มีความหนาสม่ำเสมอ เป็นแบบง่ายที่สุด ไม่เหมาะสม bending (โก่งงอ) จะเกิดความเค้นแบบฉีกแฉะอาจดัดแปลงการชนที่ดีขึ้นเป็น  $45^{\circ}\text{C}$  หรือ ช้อนชนหัวท้าย (bouble butt tap) หรือแบบลิ้นเสียบ scarf butt tongue and groove ที่ดีที่สุด
2. การต่อแบบซ้อน (lap joint) ใช้ในงานกาวมากที่สุดใช้กาวน้อย ให้รับแรงเฉือน แต่ระวังแรงและฉีกแฉะ (clearage)
3. การต่อแบบประกบ (Strap joints) อยู่ในแนวเดียวกันและเมื่อไม่สามารถใช้วิธี (overlap) ได้แก่ peel, cleavage

### 2.3 ยางธรรมชาติ (NR) [10-17]

ยางธรรมชาติจะประกอบด้วย ธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน ในอัตราส่วน 5 : 8 ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า โพลีไอโซพรีน (Polyisoprene,  $(\text{C}_5\text{H}_8)_n$ ) ซึ่งได้จากหน่วยของไอโซพรีนต่อกันแบบ หัวต่อหาง (head to tail) โดยโพลีไอโซพรีนสามารถเกิดเป็น isomers ได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ ยางธรรมชาติ(*cis*- 1,4 polyisoprene) [4]

ในการศึกษาด้วย x-ray พบว่ายางธรรมชาติประกอบด้วยโพลิเมอร์ซึ่งมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็น Cis 1,4 ดังนั้นชื่อทางเคมีที่แท้จริงของโพลิเมอร์นี้คือ Cis-1,4-polyisoprene ซึ่งจากการค้นคว้าด้วย IR ก็ยืนยันว่าในยางธรรมชาตินั้นประมาณ 97% เป็น Cis-1,4-polyisoprene และถ้าโมเลกุลประกอบด้วย isomer เดียวกันหมด เรียกว่าเป็น stereo regular จะทำให้โครงสร้างมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นยางธรรมชาติที่มีความสม่ำเสมอที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถูกนำไปดึง ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึก(crystallize)ได้ก็จะทำให้มี gum tensile strength ที่สูง ยางธรรมชาติเมื่อถูกวัลคาไนซ์ด้วยสารประกอบของกำมะถัน ก็จะเกิดการเชื่อมขวาง (crosslink) ระหว่างโมเลกุล เนื่องจากมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาอยู่ในโมเลกุลนั่นเอง

การนำผลผลิตจากต้นยางมาใช้ประโยชน์แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ ในรูปของยางแห้ง(Dry rubber) และในรูปของน้ำยางข้น (Concentrated latex)

### 2.3.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยาง มีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์(Colloid) ชนิดไฮโดรโซล (hydrosol, สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) และจะมีลักษณะพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไปคือ น้ำยางจะมีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างไฮโดรฟิลิก (hydrophilic : ลักษณะที่เป็นสารละลายได้ง่าย เมื่อน้ำเป็นตัวทำละลาย) กับไฮโดรโฟบิก (hydrophobic : ลักษณะที่ไม่ยอมรวมกับน้ำ จึงเกิดเป็นสารละลายได้ยาก เมื่อน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่ลักษณะไฮโดรโฟบิกจะเด่นชัดกว่า

ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยาง

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

### 2.3.2 สมบัติของยางธรรมชาติ (Nature Rubber)

เนื้อยางแห้ง (ปกติในน้ำยาง จะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 20 - 45 % โดยน้ำหนัก) ก็คือสารไฮโดรคาร์บอน (rubber hydrocarbon) ที่มีไฮโดรคาร์บอนประมาณ 92 % อีกประมาณ 8 % เป็นสารอื่นที่มีโซ่ยาง (non-rubber constituents) ปนอยู่สารที่ไม่ใช่ยางดังกล่าวนี้ ได้แก่ protein, glycosides, lipids, mineral, salts และ enzymes สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้ แม้มีจำนวนเล็กน้อย แต่ก็มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการวัลคาไนซ์ และต่อสมบัติของยางเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ น้ำยางที่ได้จากต้นยางจะเปลี่ยนแปลงไปตาม ฤดูกาล สภาพดินฟ้าอากาศ ชนิดของดิน สภาพแวดล้อมของแปลงปลูกยาง พันธุ์ของยาง อายุของต้นยาง การกรีด ความยาวของรอยกรีด ความถี่ของการกรีด ช่วงเวลาของการกรีดยาง การใช้สารเคมีเร่งน้ำยางและปัจจัยอื่น ๆ (เช่น การทำความสะอาดถังใส่น้ำยาง การกรีดยางในฤดูฝน ซึ่งจะมีน้ำฝนหลงเหลือในตัวยาง เป็นต้น)

เนื่องจากโมเลกุลของยางไม่อิ่มตัว(unsaturation)จึงมีพันธะคู่ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive double bonds) อยู่ด้วย ซึ่งจะมีทั้งข้อดี และข้อเสีย ข้อดีที่ได้รับคือสามารถทำปฏิกิริยากับกำมะถันในกระบวนการวัลคาไนซ์เช่นดังที่ได้กล่าวไปแล้วสำหรับข้อเสียคือ สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน และ โอโซน โดยมีโลหะ (ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และ โคบอลต์ เป็นต้น) ความร้อน แสงและความเครียดภายในเนื้อยาง (เกิดจากการหักงอของไปมา) เป็นตัวเร่งให้ยางเสื่อมสภาพเร็วขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ หรือในขณะที่ใช้งาน ดังนั้นสารเคมีที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(antioxidant)และสารเคมีที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน(antiozonant) จึงต้องถูกผสมลงไปในยาง เพื่อยืดอายุการใช้งาน หรือเก็บรักษา

สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ จะเปลี่ยนแปลงไปได้บ้างเล็กน้อยเนื่องจาก การมีสารที่ไม่ใช่ยางปนอยู่ และความสามารถในการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) ซึ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้ มีผลทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนจาก 0.92 เป็นประมาณ 0.95

ยางธรรมชาติจะมี 2 เฟส ได้แก่ ของแข็งและ gel ความแตกต่างคือ ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด อันเนื่องมาจากมีปริมาณที่แตกต่างกันของโมเลกุลที่มีกิ่งก้านสาขา มาก ๆ จากการเชื่อมโยงโมเลกุลที่เกิดขึ้นในยางซึ่งการทำให้เกิด แรงเฉือนทางกล (mechanical shear) กับยาง เช่น การบด (milling) หรือการเกิดออกซิเดชันด้วยความร้อน และออกซิเจนจะทำให้ gel phase แยกออก มีผลทำให้การละลายเพิ่มขึ้น ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพของยางธรรมชาติ ได้แก่ aliphatic และ aromatic hydrocarbons, chlorinated hydrocarbons, ethers, carbon disulfide ส่วนที่ไม่เป็นตัวทำละลายได้แก่ lower ketones, alcohol และ lower esters

ยางธรรมชาติจะมีสมบัติด้าน resilience ที่สูงกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ การเติม ฟิลเลอร์ (filler) เช่น คาร์บอนแบล็ค (carbon black) จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของยางให้ดีขึ้น ยางธรรมชาติจะมีความถ่วงจำเพาะ 0.915 - 0.930 และตัวทำละลายของยางธรรมชาติ ได้แก่ แนฟทา โทลูอิน เบนซิน

น้ำมัน คาร์บอนไดซัลไฟด์ เป็นต้น การมีจุดอ่อนตัว (softening point) ประมาณ 120 องศาเซลเซียส มีความทนทานต่อน้ำ กรดเจือจาง ค่าง และเกลือได้ดี แต่กับ ออกซิเจน โอโซนแสงแดด และแสงอัลตราไวโอเล็ต จะสามารถทำลายยางธรรมชาติ ให้เกิดรอยแยก รอยแตก หรือเกิดการแตกหักได้ ปริมาณ โอโซน 100 ppm สามารถทำลายยางได้ภายใน 2 นาที ถ้าจุ่มยางธรรมชาติในกรดไนตริก กรดซัลฟูริก กรดโครมิก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ก็จะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว ความต้านทานต่อน้ำมันของยางธรรมชาติมีค่าต่ำมาก

### 2.3.3 การนำยางธรรมชาติไปใช้งาน

ยางรถยนต์ ยางในของล้อยานพาหนะเช่นล้อรถยนต์ เครื่องบิน รถจักรยานยนต์และรถจักรยานยนต์ ขอบกระจกรยนต์ อาคารต่างๆ อะไหล่ในห้องเครื่องยนต์ พื้นรองเท้ายางที่ใช้ในโรงงาน ท่อลำเลียงน้ำมัน อะไหล่ยางอื่นๆที่มีโอกาสสัมผัสกับน้ำมัน เป็นต้น

## 2.4 การผสมยาง (Mixing)

### 2.4.1 จุดประสงค์ของการผสม

เพื่อให้ส่วนประกอบ (สารตัวเติมและสารเคมีต่าง ๆ ) ผสมเข้าไปในเนื้อยางได้อย่างทั่วถึง มีการกระจายตัว (distribution) และการแตกตัวที่ดี (dispersion) ที่ดี กลไกของการผสมสารตัวเติมและสารเคมีต่าง ๆ ให้เข้ากับยางเกิดผ่านกลไก 3 ขั้นตอนคือ การเข้าไปในเนื้อยางของสารเคมี การแตกตัวของสารเคมีโดยเฉพาะสารตัวเติม และการกระตัวของสารเคมี การบดขย้างให้ نرم เพื่อให้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก เช่น ยางธรรมชาติที่มีความหนืดสูงเกินไป ทำให้สารเคมีเข้าไปในเนื้อยางได้ยากจึงจำเป็นต้องบดขย้างให้ نرم (ลดความหนืดของยางให้พอเหมาะ) ก่อนที่จะทำการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไป

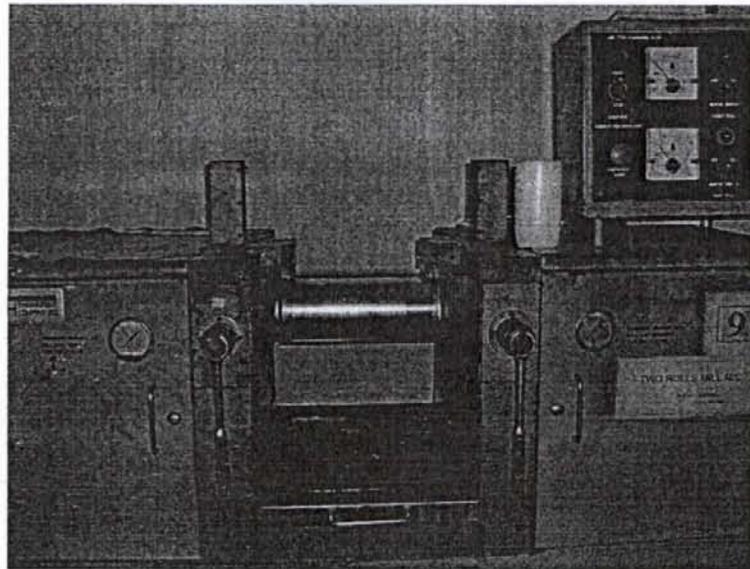
### 2.4.2 เครื่องผสมยาง (Machinery)

เนื่องจากสารเคมีจะถูกผสมให้เข้ากับยางในขณะที่ยางยังอยู่ในสถานะของแข็งที่มีความหนืดสูง ดังนั้นการผสมสารตัวเติมหรือสารเคมีอื่น ๆ ลงไปยางจำเป็นต้องใช้เครื่องผสมที่ให้แรงเฉือนสูง โดยทั่วไปเครื่องผสมยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ

#### 1. เครื่องผสมระบบเปิด ได้แก่ เครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two roll mill)

ความเร็วของการหมุนของลูกกลิ้ง หน้า : หลัง เท่ากับ 1 : 1.25 ซึ่งก่อให้เกิดแรงเฉือน ภายในลูกกลิ้งมีการติดตั้งระบบหล่อเย็นหรือให้ความร้อน มีเทคนิคการผสม เริ่มต้นด้วยการบดขย้างให้ نرم โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นยางธรรมชาติ เมื่อยางเริ่มอ่อนตัวและพันรอบลูกกลิ้ง (form) แล้วจึงเริ่มทำการ

เติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปบน bank ในระหว่างการผสม ต้องมีการกรีดยางด้วยมีดและทำการพับไขว้ตลอดเวลาเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวในยางได้อย่างทั่วถึงและทำให้ยางมีคุณภาพเสมอทั่วทั้งก้อน



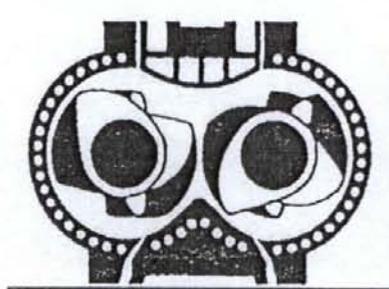
รูปที่ 2.3 เครื่อง two roll mill

## 2. เครื่องผสมระบบปิด (internal)

เครื่องผสม internal mixing เป็นเครื่องผสมที่นิยมใช้มากที่สุดแบ่งออกเป็น

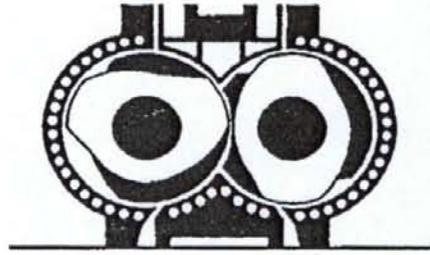
### 1) เครื่องแบนบูรี (Banbury-type Internal Mixing)

แรงเฉือนส่วนใหญ่จะเกิดระหว่างปีกของโรเตอร์กับผนังของห้องผสมโรเตอร์มีขนาดเล็ก ๆ



รูปที่ 2.4 เครื่องแบนบูรี (Banbury-type Internal Mixing) [10]

2) เครื่องผสมอินเทอร์มิก (Intermix – type Internal Mixing)  
แรงเฉือนส่วนใหญ่เกิดระหว่างปีกของโรเตอร์ทั้งสอง และสามารถควบคุมอุณหภูมิของยาง  
ได้



รูปที่ 2.5 เครื่องผสมอินเทอร์มิก (Intermix – type Internal Mixing) [10]

## 2.5 สารเคมีที่ใช้ผสมในยาง

### 2.5.1 สารทำให้ยางเหนียวติดกัน (Tackifier)

นิยมใช้กับยางสังเคราะห์ที่ต้องการสมบัติความเหนียวติดกัน ช่วยลดความเหนียวของยางในระหว่างกระบวนการผลิต ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ ปีโตรเลียมเรซิน ฟีนอลิกเรซิน

#### ฟีนอลิกเรซิน

เป็นเรซินที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ เรซินดังกล่าวนี้ใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ตัวอย่างเรซินในทางการค้า ได้แก่ cellobond H.830

เรซินเหล่านี้เมื่อใส่เข้าไปในยางในขณะที่ยังไม่วัลคาไนซ์จะมีสมบัติเป็นแบบเทอร์โมพลาสติก แต่เมื่อให้ความร้อนและมีสารที่ให้อัลดีไฮด์เช่นเฮกซามีนเป็นต้น เรซินนี้ก็จะทำให้ยางแข็งขึ้น การจัดอัตราส่วนระหว่างยางกับเรซินที่เหมาะสมจะทำให้ยางมีความแข็งแรงตั้งแต่มีกรรมาดจนถึงแข็งขนาดโอไบไนต์ได้

เนื่องจากสมบัติของเรซินนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกขณะยังไม่ cure เรซินนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยแปรรูป (processing aid) ในขณะที่ยังไม่ cure และจะทำให้ยางแข็งเมื่อ cure แล้ว ในบางครั้งการใช้เรซินนี้มีประโยชน์เมื่อต้องการให้ยางแข็งแต่ขณะเดียวกันมีน้ำหนักเบาด้วย

#### ยางสน

ผลิตภัณฑ์ของยางสนในรูปของน้ำมัน ได้จากการดัดกลั่นไม้สนได้น้ำมันที่มีความเหนียวต่างจาก ใช้เป็นสารผสมเข้าไปในยางทำให้ยางมีความเหนียวติดกันเพิ่มขึ้น (tack) ความเหนียวนี้จะคง

อยู่ในขาง แม้ตั้งทิ้งไว้ก็ตาม จึงเหมาะในการทำผลิตภัณฑ์ที่จะต้องนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกัน เช่น การทำขางรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนั้นขางสนยังช่วยให้การกระจายของเขม่าดำในขางดีขึ้น และสารฟีนอลิกในขางสนจะทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ในขางได้ แต่เนื่องจากมีสีเป็นสีน้ำตาลทำให้ไม่เหมาะกับการใช้ขางที่ต้องการสีสด

#### การใช้เรซินกับขางธรรมชาติ

เรซินสามารถเข้าไปในขางธรรมชาติได้ทุกปริมาณ การเพิ่มปริมาณเรซินจะทำให้ขางแข็งขึ้นเรื่อยๆ

ผลของเรซินต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของขาง

เรซินมีผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงให้กับขาง เพิ่มความต้านทานต่อน้ำมัน ทำให้สามารถใส่สารตัวเติมได้มากขึ้น เพิ่มความสามารถในการติดของเส้นใย (addition textile) ลดความด่างจำเพาะของขาง เมื่อเพิ่มความแข็ง เพิ่มความกระด้างตัวของขาง เพิ่มความต้านทานต่อการแตกเนื่องจากการหักงอไปมา

#### 2.5.2 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antioxidant)

สารป้องกันการเสื่อมสภาพ คือ สารเคมีที่เติมลงไปเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของขางจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความร้อนแสงแดด และโอโซน จำเป็นต้องใช้ในขางที่มีพันธะคู่อยู่ในสายโซ่โมเลกุล ปริมาณที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 1-3 phr

#### 2.5.3 สารทำให้ขางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (Plasticizer softener and Processing)

สารทำให้ขางนิ่มสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ

1. สารทำให้ขางอ่อน (softener) วัสดุที่เติมลงไปปริมาณเล็กน้อยแล้วทำให้ขางคงรูปอ่อนลงหรือทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น
2. พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) วัสดุที่เติมลงไปแล้วทำให้ขางเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดียิ่งขึ้น

สารทำให้ขางนิ่มเป็นองค์ประกอบที่เติมลงไปในขางเพื่อช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิต ช่วยปรับปรุงสมบัติความเหนียวติดกันของขางคอมพาวด์ ช่วยลดสัดส่วนของขาง ทำให้สารตัวเติมกระจายได้ดีขึ้น ชนิดของสารทำให้ขางนิ่มมี น้ำมันมิเนอรัล (mineral oil) ไชพาราฟิน (paraffin) สารทำให้ขางนิ่มสังเคราะห์ (synthetic plasticizer)

#### ประเภทของพลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของการทำงานคือ

1. Chemical plasticizers คือสารเคมีที่เมื่อใส่เข้าไปในขางปริมาณน้อยจะทำให้ขางนิ่มและลดเวลาของการบดขางลง สารเคมีดังกล่าวบางทีเรียก "peptizers" สารเคมีเหล่านี้จะเป็นสารรับอนุมูล

(radical acceptor) และช่วยให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันมีประสิทธิภาพ Peptizers เหล่านี้มักจะใส่ในยางเมื่อเริ่มต้นการผสมหรืออบในเครื่องอบ 2 ลูกกลิ้ง และปล่อยให้สารเคมีนั้นทำปฏิกิริยากับยางเป็นระยะเวลาสั้นๆ ก่อนที่จะใส่สารอื่นๆ ไป การทำเช่นนี้เพื่อให้ประสิทธิภาพของ peptizers สูงสุด เพราะถ้าใส่สารอื่นๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ หรือสารตัวเติม เป็นต้น สารเหล่านี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ peptizers จะทำให้ประสิทธิภาพของ peptizers ค่อยลงไป

2. Physical plasticizers เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่ใส่เข้าไปแล้วจะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย ยางจะนิ่มลง แปรรูปได้ง่ายขึ้น พลาสติกไซเซออร์บางชนิดมีสมบัติที่สามารถละลายในยางได้ เช่น ยางมะตอย (mineral rubber หรือ bitumen) และ pine tar เป็นต้น แต่พลาสติกไซเซออร์บางชนิดละลายในยางได้ไม่ดีเมื่อผสมเข้าไปในยาง จะเพียงแต่เข้าไปทำหน้าที่หล่อลื่นเท่านั้น แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จะค่อยๆ ซึมออกมาที่ผิวของยาง ตัวอย่างพลาสติกไซเซออร์ชนิดนี้ได้แก่ ขี้ผึ้งพาราฟินและกรดสเตียริก เป็นต้น

สรุปการเลือกใช้พลาสติกไซเซออร์ให้เหมาะกับชนิดของยางคือ การเลือกพลาสติกไซเซออร์ให้มี solubility parameter ใกล้เคียงกับยางมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่การใช้งานจริงนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยอีกหลายประการเช่น ราคา การระเหย ความเป็นพิษ สี และการตกสี (staining) เป็นต้น

## 2.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับตัวทำละลาย

### 2.6.1 เบนซีน (Benzene)

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติต่างๆของเบนซีน [12]

ชื่อเรียกอื่น	Benzol; Cyclohexatriene; Phenyl hydride
สูตร โมเลกุล	$C_6H_6$
น้ำหนักโมเลกุล	78.11
จุดเดือด	80.1 องศาเซลเซียส
คุณสมบัติ	ของเหลวใส ไม่มีสี-สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะ (aromatic odor) ติดไฟได้
การใช้ที่ผิดกฎหมาย	ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับเปลี่ยน โคลเคนเบสให้เป็น โคลเคนไฮโดรคลอไรด์ และใช้ในขบวนการทำ PCP
การใช้ที่ถูกกฎหมาย	ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทางเคมี เช่น ผงซักฟอก ขาฆ่าแมลง สีย้อมผ้า พลาสติก เรซิน เป็นตัวทำละลายสำหรับ waxes เรซิน น้ำมัน ขงธรรมชาติ ใช้เติมลงในน้ำมันเครื่องยนต์

## 2.6.2 โทลูอิน (Toluene)

ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติต่างๆของโทลูอิน [12]

ชื่อเรียกอื่น	Methylbenzene; toluol; phenylmethane; methacide.
สูตร โมเลกุล	$C_7H_8$
น้ำหนัก โมเลกุล	92.13
จุดเดือด	110.6 องศาเซลเซียส
คุณสมบัติ	เป็นของเหลวไม่มีสี ติดไฟง่าย มีกลิ่นคล้าย benzene
การใช้ที่ผิดกฎหมาย	ใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิต amphetamine, cocaine, methaqualone, mecloqualone, phencyclidine, psilocin
การใช้ที่ถูกกฎหมาย	ใช้เป็นตัวทำละลายในภาคอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์กระเบิด สีข้อม สารเคลือบ ใช้ผสมน้ำมันเชื้อเพลิง ฯลฯ

## 2.6.3 คลอโรฟอร์ม (Chloroform)

ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติต่างๆของคลอโรฟอร์ม [12]

ชื่อเรียกอื่น	Formyl trichloride; Freon 20; Trichloromethane.
สูตร โมเลกุล	$CHCl_3$
น้ำหนัก โมเลกุล	119.38
จุดเดือด	61-62 องศาเซลเซียส
คุณสมบัติ	เป็นของเหลวไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นหอมหวาน
การใช้ที่ผิดกฎหมาย	ใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิต heroin, cocaine
การใช้ที่ถูกกฎหมาย	ใช้ในการผลิต Fluorocarbon-22 เป็นตัวทำละลายน้ำมัน ไขมัน ขางสารอัลคาลอยด์ ขี้ผึ้ง เรซิน และสารทำความสะอาด ใช้ในเครื่องดับเพลิงเพื่อลดจุดเยือกแข็ง

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าการละลายของโพลิเมอร์ [13]

Polymer	Solubility parameter ( $\delta$ )
Natural rubber	8.3
HDPE	8.4
PP	8.4
PS	9.2
PMMA	9.2
PVC	9.4
PET	10.5
Epoxy resin	10.9
Nylon-66	12.0

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าการละลายของตัวทำละลาย [13]

Solvent	Solubility parameter ( $\delta$ )
Carbon tetrachloride	8.6
Toluene	8.9
Benzene	9.2
Chloroform	9.3
Tetrahydronaphthalene	9.5
Methylene chloride	9.7
Acetone	10.0
Carbon disulfide	10.0
Nitrobenzene	10.0
Nitroethane	11.1
Acetonitrile	11.9
Nitromethane	12.7

## 2.7 หลักการของเครื่องมือการทดสอบ

### 2.7.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile testing)

การวัด Tensile elongation และ Tensile modulus เป็นตัวชี้ความแข็งแรงของวัสดุพลาสติก Tensile test คือ การวัดความสามารถของวัสดุที่จะต่อต้านแรงดึง และหาค่าการยืดของวัสดุก่อนการแตกหัก Tensile modulus ซึ่งความสัมพันธ์ของความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุโดยพิจารณาจาก stress-strain diagram เปรียบเทียบความแตกต่างของพลาสติกโดยพิจารณาจากข้อมูลของ Tensile strength, elongation และ Tensile modulus แต่จะไม่สามารถพิจารณาข้อมูลเหล่านี้ได้ในกรณีที่พลาสติกรับ Load เป็นเวลานานๆ ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ข้อมูลที่ได้จะมีประโยชน์ในการเลือกชนิดของพลาสติกจากพลาสติกกลุ่มใหญ่ มีขีดจำกัดในการใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์จริงๆ เพราะการทดสอบนี้ไม่ได้ทดสอบเทียบเวลาที่ใช้นานๆ นั้นเอง

วิธีการทดสอบแบ่งตามมาตรฐานการทดสอบ และชนิดของพลาสติกได้แก่

ก) ASTM D368-84 ใช้ทดสอบวัสดุในรูปแบบของคัมเบลภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิ ความเร็ว Testing machine speed และ ความหนาสูงสุด 14 mm

ข) ASTM D882 ใช้ทดสอบพลาสติกที่มีความบางหรือฟิล์ม หนาน้อยกว่า 1.0 mm รูปร่างชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวอย่างน้อย 50 mm กว้างไม่เกิน 5 mm หรือไม่เกิน 25.4 mm

### 2.7.2 การทดสอบการดึงลอก (Peel test)

การทดสอบโดยการดึงลอกเป็นการทดสอบที่บอกถึงการยึดเกาะ การทดสอบการดึงลอก จะบอกถึงความยึดหยุ่นหรือความแข็งของสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ปกติจะใช้มุมในการรับแรงเพื่อการดึงที่ 90 องศา หรือ 180 องศา อัตราการรับน้ำหนักไม่สำคัญเหมือนการทดสอบอื่น ความหนาของสายโซ่เป็นสิ่งสำคัญในเรื่อง Peel strength โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่มีความยึดหยุ่นมากหรือเป็นยางค่า Peel ที่ได้ก็จะมีค่าต้านทานการดึงลอกมากกว่าสารตัวอย่างที่มีความยึดหยุ่นน้อย

#### 1. Climbing-drum Peel test

เป็นการทดสอบ Honeycomb-sandwiches Peel test (รวงผึ้ง) สำหรับการทดสอบการติดโลหะ เป็นวิธีที่ทดสอบมาตรฐาน โดยชิ้นงานจะประกอบด้วยโพรงที่มีน้ำหนักเบา คล้ายหลอดด้าย เส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็ก (ประมาณ 4 นิ้ว) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า (ประมาณ 4.50 หรือ 5 นิ้ว) หมุนทวนเข็มนาฬิกาและมีสายรัดโลหะที่มีผิวหน้าเป็นตัวดึงลอก แกนหมุนจะเคลื่อนที่ขึ้น และเรียกว่า Climbing - drum peel Tester

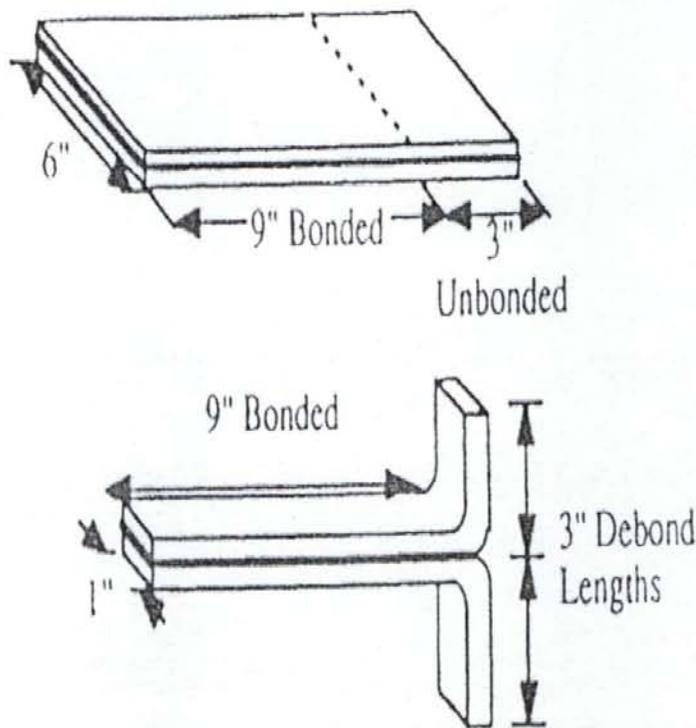
#### 2. Impact Peel Test

ใช้แรงกระแทกและวัดความเหนียวของกาว โดยทำให้เป็นรูป T โดยส่วนบนจะติดในส่วนที่ถาวร ส่วนแท่งเหล็กจะอยู่ส่วนล่าง (90 องศา) มีการหยุดระยะห่างตามที่ต้องการ และเมื่อมีการใส่

น้ำหนักที่เครื่อง ระยะห่างก็จะเพิ่มขึ้น โดยการที่แขนที่จับด้านที่เคลื่อนที่ได้จะเคลื่อนที่ลงมา ผลก็จะบันทึกตามน้ำหนักที่ใส่มา

### 3. T - Peel Test

T - Peel Test จะเหมาะกับการวัดผลึกภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพ ในการทดสอบการยึดเกาะของสาร ตัวอย่างกับอุปกรณ์โดยการทำให้ชิ้นงานเป็นรูปตัว T และ การทดสอบ T - Peel Test นี้จะไม่เหมาะกับการที่เปราะมีความทนต่อแรงดึงลอกต่ำซึ่งโดยความจริงแล้วจะไม่มีลักษณะของกาวที่เปราะ แต่กาวที่มีพื้นฐานเป็นยางจะมีความทนต่อแรงดึงลอกที่ต่ำ



รูปที่ 2.6 T - Peel Test [11]

### 2.6.3 การทดสอบหาค่าความหนืด (Viscosity Testing)

มาตรฐานความหนืดแบบบรูคฟิลด์ เป็นมาตรฐานความหนืดที่มีหน่วยการวัดเป็นเซนติพอยส์ เครื่องประกอบด้วยแท่งโลหะทรงกระบอก (Spindle) จะหมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด โลหะทรงกระบอกนี้ต่อกับมอเตอร์เพื่อช่วยให้โลหะทรงกระบอกหมุนได้ และวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็น

องศาการหมุน (Degree of Twist) ซึ่งค่านี้สามารถนำมาคำนวณเปลี่ยนค่าเป็นเซนติพอยส์ โดยการคูณค่าคงที่ตามที่กำหนดมาอยู่กับเครื่อง (Factor) หรือสามารถอ่านค่าเป็นเซนติพอยส์ได้เลยจากเครื่อง หรือเครื่องสามารถนำมาต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รายงานผลการทดสอบ

มาตรฐานความหนืดแบบบรูคฟิลด์แต่ละรุ่นจะมีรายละเอียดเฉพาะในการใช้งานที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสิ่งที่จะต้องควรพิจารณาก่อนคือ การเลือกขนาดของหัวทดสอบให้เหมาะสมกับช่วงความหนืดของสารที่ต้องการวัด โดยพิจารณาประกอบกับคู่มือ ซึ่งหัวทดสอบที่ใช้สำหรับวัดความหนืดทางเซรามิกส์ส่วนมากจะมีจำนวน 7 หัวทดสอบ คือหมายเลข 01 ถึง 07 โดยหมายเลข 01 เหมาะสำหรับวัดน้ำเคลือบซึ่งมีความหนืดไม่สูงมาก นอกจากนี้การเลือกหัวทดสอบต้องคำนึงถึงเกณฑ์มาตรฐานเดิมของแต่ละสถานที่ที่ทดสอบ เช่น สามารถวัดค่าความหนืดของน้ำดินได้โดยการใช้หัวทดสอบหมายเลข 03 หรือ 04 แต่หากต้องการปรับสมบัติของน้ำดินสูตรเดิมให้มีสมบัติตามที่กำหนดไว้ก็จะต้องเลือกใช้หัวทดสอบเพียงขนาดเดียวตลอดไป นอกจากการเลือกหัวเข็มทดสอบแล้ว การกำหนดความเร็วรอบก็จำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับความหนืดของสาร เหมาะสมกับหัวทดสอบ รวมทั้งเป็นไปตามมาตรฐานเดิมที่เคยปฏิบัติ หากความเร็วรอบไม่เหมาะสมกับหัวทดสอบแล้วเครื่องจะไม่ทำงาน (Error) หลังจากนั้นจึงทำการวัดค่าความหนืดตามวิธีการเฉพาะของแต่ละเครื่อง

#### เครื่องมือ

1. Brookfield DV II + digital viscometer, Thermosel, programmable digital temperature controller, disposable sample chamber and #27 spindle.

2. เครื่องตั้งเวลา 0-30 นาที อาจจะสามารถเคลื่อนได้ 2 %

สิ่งที่ต้องระวัง เครื่องมือ Thermosel สารตัวอย่างอาจจะร้อนมากพอที่จะทำให้เกิดการไหม้ผิวได้ ถ้าหากไม่มีการป้องกัน ต้องมั่นใจว่าต้องปลอดภัยโดยการสวมชุดป้องกัน และสวมแว่นป้องกันทุกครั้ง ที่ทำงานอยู่รอบๆ เครื่องนี้

#### วิธีการ

1. ทำความสะอาด sample chamber ให้ปราศจากวัสดุอื่นเจือปน

2. ตั้งค่าอุณหภูมิของ sample chamber ที่ 250C

3. รอให้อุณหภูมิคงที่ที่ 250C อย่างน้อย 15 นาที

4. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง

5. นำชิ้นงานตัวอย่างใส่ที่ heating block

6. ปรับขาตั้ง Viscometer ให้ขาตั้งทั้ง 3 ขาอยู่ในแนวเดียวกัน

7. ให้ตำแหน่งของ heat block และขาตั้งเครื่องอยู่ในแนวเดียวกัน โดยปรับที่ขาตั้ง

8. นำ spindle เบอร์ 27 ไปติดตั้งที่ได้เครื่อง Viscometer

9. เอาที่ครอบความร้อน (Insulating cap) มาติดตั้งไว้บน Thermosel heating block

10. เริ่มเดินเครื่อง Viscometer โดยให้เครื่องที่หัวเริ่มทำการปั่น และตั้งค่าสำหรับการทำงาน 15 นาที

11. เปลี่ยนแปลงค่า RPM (round per minute) ของ Viscometer ให้อยู่ที่ 50 RPM แม้ว่าจะไม่จำเป็นแต่ควรปรับความเร็วรอบในขณะที่เครื่องยังเดินอยู่

12. หลังจาก 15 นาที (+/- 30 วินาที) แล้วจึงอ่านค่าและบันทึกค่าความหนืด

A. ถ้าอุปกรณ์แสดงค่าความหนืดเป็นตัวเลขดิจิทัลให้บันทึก

B. ถ้าอุปกรณ์แสดงตัวเลขที่อ่านได้ 0-100 ให้บันทึกตัวเลขของ spindle, RPM, และอ่านค่าที่อุปกรณ์นั้นแสดงออกมา

13. ทำความสะอาด spindle

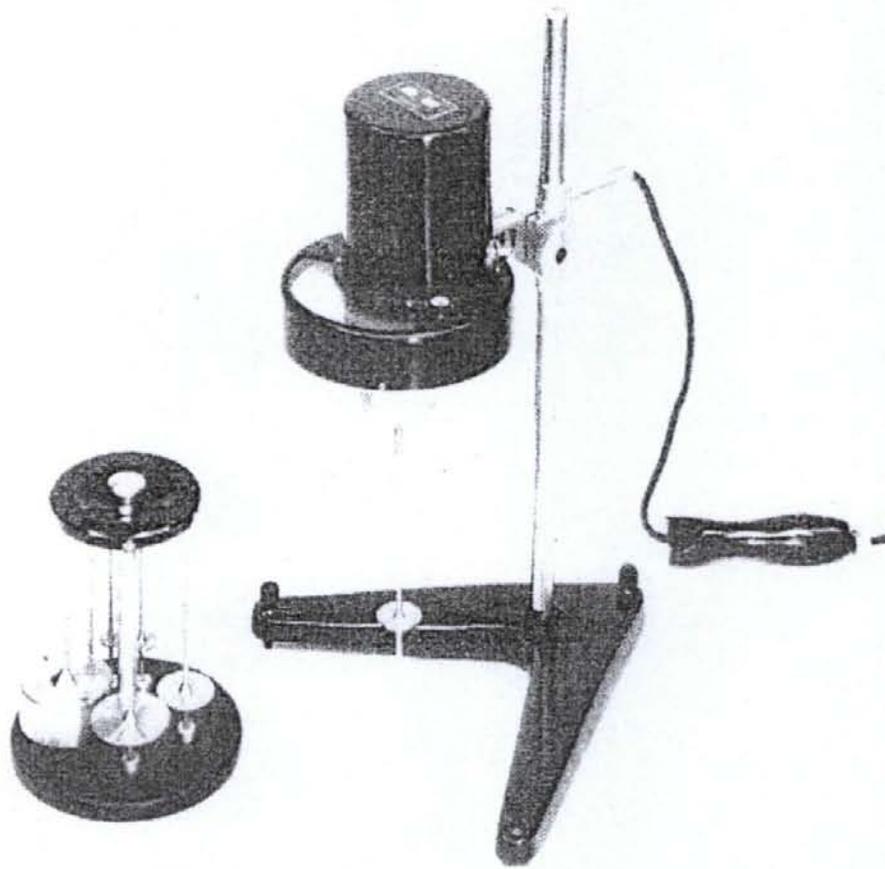
A. เอา spindle test ออกจากช่องที่ใส่เพื่อทำความสะอาด

B. เอาที่ใส่สารตัวอย่างออกจากเครื่อง

ความหนืดมีความสำคัญกับสมบัติของกาว ซึ่งวิธีการทดสอบนี้จะใช้กับการทดสอบสมบัติที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งาน โดยความสัมพันธ์นี้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทดสอบ โดยการวัดสมบัติการไหล ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกที่สุด ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับ ความหนาแน่น ความคงทน และน้ำหนักโมเลกุล โดยในการทดสอบจะนิยมใช้ เครื่อง Brookfield Viscometer (ภาพที่ 2-7 แสดงเครื่อง Brookfield Viscometer) โดยเครื่อง Brookfield Viscometer นี้จะประกอบด้วยขาค้าง มอเตอร์ไฟฟ้า และเพลลาหมุนที่เรียกว่า spindle โดย spindle ที่จะเลือกใช้มีหลายขนาด และต้องติดตั้งให้ spindle อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่อง พื้นฐานในการวัดความหนืดนี้ เครื่องวัดจะวัดความหนืดโดยเปรียบเทียบกับน้ำหรือสารละลายมาตรฐานแต่จะไม่ใช่ silicone oil ในการเปรียบเทียบ



กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



รูปที่ 2.7 แสดงเครื่อง Brookfield Viscometer [10]

#### 2.7.4 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy มีประโยชน์มากสำหรับการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส FTIR ได้เข้ามาแทนที่ Dispersive Infrared Spectrometer เมื่อไม่นานมานี้ เพื่อใช้ในงานที่ต้องการความรวดเร็วและความไวสูง นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์สารในช่วงที่ Dispersive วิเคราะห์ได้ยากหรือเกือบจะเป็นไปไม่ได้

ส่วนประกอบ

ในระบบ FTIR มีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดรังสี Interferometer และเครื่องตรวจวัด

FTIR จะใช้แหล่งกำเนิดรังสีชนิดเดียวกับแบบ Dispersive อย่างไรก็ดี แหล่งกำเนิดรังสีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะให้กำลังและความเสถียรมากกว่าแหล่งกำเนิดทั่วไป

แต่สำหรับตัวแยกรังสีของ FTIR จะเป็น Interferometer แทนที่โมโนโครเมเตอร์ใน Dispersive

โดย Interferometer จะแยกลำรังสีออก ทำให้เกิด Path difference ระหว่างลำแสง แล้วทำการรวมสัญญาณการแทรกสอดซึ่งเป็นฟังก์ชันกับ Path difference โดยเครื่องตรวจวัด

เครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับ FTIR คือ Deuterated Triglycine Sulfate (DTGS) และ Mercury Cadmium Telluride (MCT) เวลาในการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดโดยส่วนใหญ่ที่ใช้ใน Dispersive Infrared Spectrometer เช่น Thermocouple หรือ Thermistor จะช้ากว่าเวลาที่ Interferometer ทำการสแกนมาก DTGS เป็นเครื่องตรวจวัดประเภท Pyroelectric ที่สามารถส่งสัญญาณการตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว เพราะอุปกรณ์ตัวนี้ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สำหรับ MCT เป็นเครื่องตรวจวัดโฟตอนซึ่งขึ้นกับ quantum nature ของรังสี และให้ผลการตอบสนองที่รวดเร็วมาก ขณะที่ DTGS ทำงานที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว (77 เคลวิน) MCT จะทำงานได้ดี โดยทั่วไป MCT จะเร็วกว่าและมีความไวมากกว่า DTGS