

## บทที่ 2

### การทบทวนทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

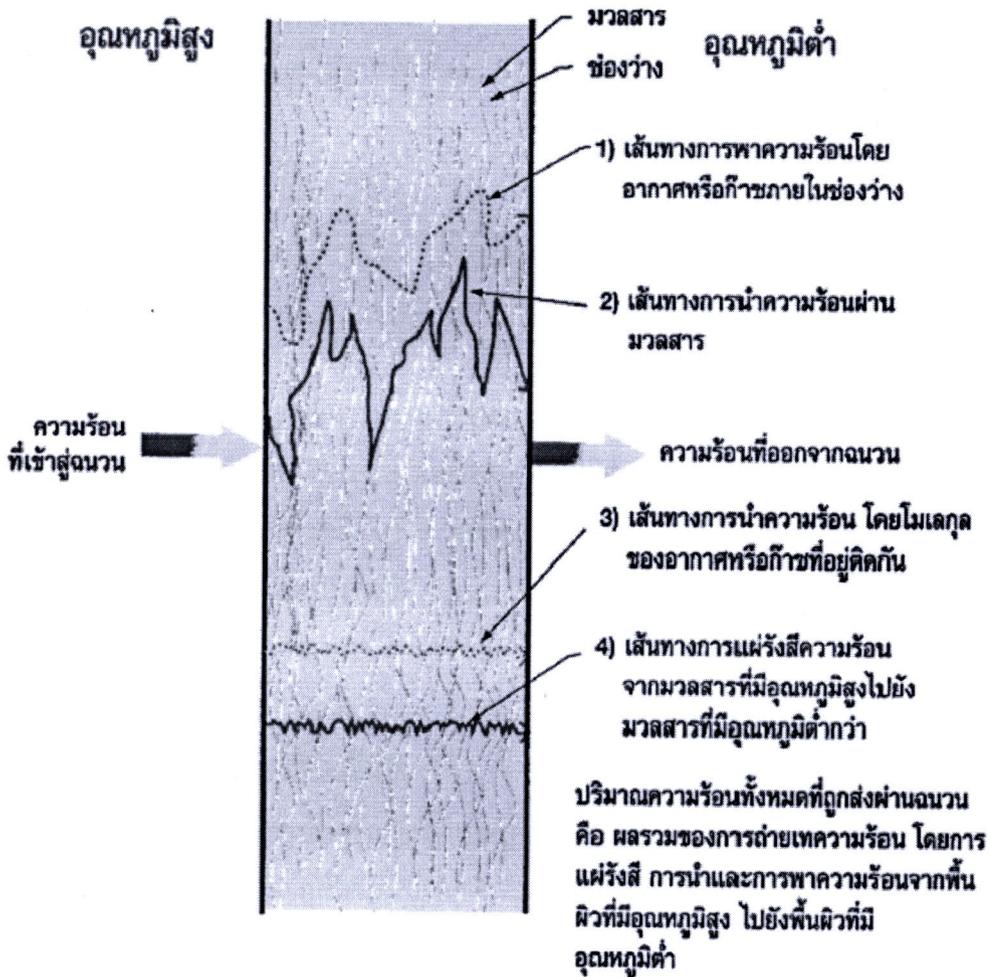
การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาจนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยการวิจัยนี้ได้เลือกเส้นใยใบสับประรด เนื่องจากยังไม่ม้งานวิจัยที่ศึกษามาก่อนเลย โดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยใบสับประรดมาผลิตเป็นจนวนความร้อน และศึกษาสมบัติทางกายภาพ โดยกระบวนการศึกษาจะเริ่มจาก กระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่นจนวนความร้อน และทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น การนำความร้อน การซึมน้ำและการพองตัว ความหนาแน่น และการลามติดไฟ ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการทดลองจำเป็นจะต้องศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเบื้องต้นก่อน ดังนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับจนวนความร้อน

#### 2.1 จนวนความร้อน (Thermal Insulation)

วัสดุที่ใช้เพื่อประหยัดพลังงานที่สำคัญปัจจัยเกือบทุกอาคารใช้จนวนความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ จนวนกันความร้อนมีสมบัติในการสกัดกั้นการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ในการใช้งานอาจใช้รักษาความร้อน และความเย็น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของจนวน และลักษณะการใช้งานจนวนนั้น ๆ เช่น จนวนกันความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ตลอดจนการขนส่งอาหารต้องใช้จนวนในการรักษาความเย็นของห้องบรรจุอาหาร สำหรับอุณหภูมิอาคาร สิ่งก่อสร้างอาจทำหน้าที่หลาย ๆ อย่าง เช่น ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ป้องกันไฟ สภาวะอุณหภูมิอากาศของประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นเพื่อให้ภายในอาคารมีสภาพเหมาะสมต่อการอยู่อาศัย จึงต้องลดความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร การใช้จนวนกันความร้อนสำหรับประเทศไทยจึงมีจุดประสงค์หลักคือ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในอาคารเป็นสำคัญ (กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน. 2533: 7-30)

กระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่าน (Heat transfer) ระหว่างวัตถุ สามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีค่าแตกต่างกัน สำหรับวัสดุอาคารที่สัมผัสกับอุณหภูมิ อากาศภายนอก และรังสีดวงอาทิตย์นั้น ผิวสัมผัสด้านนอกจะดูดซับความร้อนไว้ ทำให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นกว่าพื้นผิวที่อยู่ใกล้เคียงกัน จึงเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอก และพื้นผิวสัมผัสของวัสดุอาคารด้านนอก พลังงานความร้อนบางส่วนจึงเกิดการสูญเสียให้กับอากาศภายนอก

โดยเกิดการพาความร้อน (Convection) และพื้นผิวนอบข้าง โดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) และขณะเดียวกันพลังงานความร้อนบางส่วนจะถ่ายเทให้กับผิวสัมผัสที่อยู่ติดกันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยการนำความร้อน (Conductivity) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทไปในแต่ละทิศทางนั้นขึ้นอยู่กับความต้านทานความร้อน และมวลของวัสดุอาคาร อุณหภูมิอากาศภายนอก และรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน จะส่งผลให้อุณหภูมิด้านนอก ของวัสดุอาคารร้อน และเกิดความไม่คงที่ของการถ่ายเทความร้อนผ่าน โครงสร้าง จากกระบวนการนี้จึงทำให้เกิดฉนวนชนิดต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้านทานความร้อน และค่าความจุความร้อนของวัสดุอาคารชนิดนั้น ๆ การสร้างความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนแบบ periodic ที่ผ่านวัสดุอาคารนั้น คือการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนของสิ่งแวดล้อม และโครงสร้างภายในของวัสดุอาคาร กลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนมวลสารเกิดขึ้นได้โดยช่องเล็ก ๆ ที่อยู่ภายในวัสดุ และลักษณะเป็นโพรงอากาศที่ทำหน้าที่ต้านทานการไหลของอากาศ หรือก๊าซ ทำให้มีความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุด้านหนึ่งไปยังด้านหนึ่ง โดยกระบวนการพาความร้อนได้ เมื่อพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวนที่ค่าความหนาแน่นของฉนวนกันความร้อนเป็นสัดส่วนกับความพรุน (porosity) (มนตรี. 2537 : 94) ค่าหนึ่งของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนใด ๆ นั้น สภาพการนำความร้อนปรากฏ (Apparent thermal conductivity) ที่เกิดขึ้นจะลดลงเนื่องจากการพาความร้อน โดยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง เพราะการลดขนาดของช่องอากาศ ระหว่างเซลล์ของเส้นใยที่ทำให้อากาศภายในฉนวนกันความร้อนหยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่ จึงมีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดีถึงแม้ว่าภายในเซลล์บางส่วนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้นภายในฉนวนนั้นก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้น (เส้นใยแต่ละเส้นชิดกัน) การแผ่รังสีตามทิศทางเคลื่อนที่ของความร้อนจะลดลงเนื่องจากผลของอุณหภูมิที่เส้นใยติดกันมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อความหนาแน่นของวัสดุหรือฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยสู่เส้นใย และพื้นผิวสู่พื้นผิวจะลดลงทำให้สภาพการนำความร้อนปรากฏลดลงด้วย จนกระทั่งเส้นใยหรือเซลล์ต่อเชื่อมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จะเกิดการนำความร้อนขึ้นภายในวัสดุ จนถึงจุดที่มีการแผ่รังสีความร้อนที่ลดลงมีค่าน้อยกว่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น (จากผลของความหนาแน่นของวัสดุที่ทำให้เส้นใยชิดกันมากขึ้น) สภาพการนำความร้อนปรากฏจะเริ่มดีขึ้น ดังภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า ในการใช้ฉนวนมวลสารนั้นจะมีค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ผลิตฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภทที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น ฉนวนกันความร้อนที่ดีควรเป็นฉนวนความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนปรากฏรวมต่ำสุด



ภาพที่ 2.1 การไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร

ที่มา : นรา เทื่อใหม่ (2550)

## 2.2 การนำความร้อน (Thermal conductivity)

การนำความร้อนในกระบวนการเกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาคพบว่าในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ ในขณะที่ของเหลว และของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ การสั่นของโมเลกุลข้างเคียง เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการนำความร้อนขึ้น ส่วนก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นระหว่างโมเลกุลส่งผลการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนตรงกับผลต่างของอุณหภูมิด้านสูง

และด้านต่ำ และพื้นที่ผิวความร้อนไหลผ่านตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน แต่จะเป็นสัดส่วนกับความหนา หรือระยะทางที่ความร้อนถ่ายเท การถ่ายเทของวัสดุนั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ ดังนี้ (ตระการ. 2537 : 6-18)

$$Q = \frac{KA(T_1 - T_2)}{x} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $Q$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อ 1 วินาที (W)

$k$  = สภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity, W/m.K)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน ( $m^2$ )

$x$  = ความหนา (m)

$T_1, T_2$  = อุณหภูมิสูง และต่ำที่ผิวแต่ละด้านตามลำดับ (K)

## 2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใย

ในปัจจุบันจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้มนุษย์สามารถสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมาใช้เองได้นอกเหนือจากเส้นใยที่มีอยู่เดิมในธรรมชาติ ดังนั้นอาจแบ่งแหล่งที่มาของเส้นใยได้ดังนี้

### 2.3.1 ประเภทของเส้นใย

1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) แบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

- เส้นใยสัตว์ (Animal Fiber) เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ แหล่งเส้นใยได้แก่ ขนสัตว์ และนม เป็นเส้นใยที่ได้จากขน และนมของสัตว์ เช่น ขนแกะ และนมอูฐ เป็นต้น เส้นใยไหม เช่น เส้นไหมที่ได้จากตัวไหม

- เส้นใยไม้ (Wood Fiber) เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารพอลิเมอร์เป็นส่วนใหญ่ ได้จากไม้ยืนต้น และพวกที่ไม่ใช่ไม้ (Non-Wood) เช่น ไม้สน ไม้ยูคาลิปตัส และฟางข้าว เป็นต้น

- เส้นใยจากแร่ (Mineral Fiber) เป็นเส้นใยแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

2. เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic or Man-made Fiber) เกิดขึ้นจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มนุษย์นำมาผลิตเส้นใย เส้นใยที่ได้มีทั้งที่ทำจากวัตถุดิบพวกสารอินทรีย์ และ อนินทรีย์ เส้นใยในกลุ่มนี้มีมากมาย และใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เช่น เส้นใยเรยอน ไนลอน เป็นต้น

### 2.3.2 แหล่งกำเนิดเส้นใย

1. ไม้ยืนต้น (Wood) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ไม้ใบแคบ (Softwood) เป็นไม้จำพวก จิโนสเปิร์ม (Gymnosperm) มีใบเป็นรูปเข็ม ไม้ผลัดใบ เช่น สน ในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ เส้นใยมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 mm เยื่อที่ได้จากไม้ใบแคบเรียกว่า เยื่อใยยาว และการเรียกชื่อทางการค้าที่ใช้เยื่อสำหรับทำกระดาษมักมีอักษร “N” (Needle) นำหน้า เช่น NBKP (Needle Bleached Kraft Pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเยื่อใยยาว

- ไม้ใบกว้าง (Hardwood) โดยทั่วไปมีใบกว้าง ยกเว้น ไม้ยางบางชนิด เช่น สนทะเล และสนประดิพัทธ์ ในเขตอบอุ่นไม้พวกนี้จะผลัดใบ เส้นใยของไม้ใบกว้างมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 mm การเรียกชื่อทางการค้าที่ใช้เยื่อสำหรับทำกระดาษมักมีอักษร “L” (Leaved) นำหน้า เช่น LBKP (Leaved Bleached Kraft Pulp) เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นเยื่อไม้ใบกว้าง

2. พวกที่ไม่ใช่ไม้ยืนต้น (Non-Wood) เส้นใยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้จาก

- ส่วนที่เหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว และชานอ้อย
- พืชตระกูลหญ้า เช่น ไม้ไผ่ และหญ้าขจรจบ
- พืชเส้นใยต่าง ๆ (Crop Fibers) เช่น เส้นใยที่จากส่วนเปลือก และต้น เช่น ปอกระเจา ปอแก้ว และปอกระสา เป็นต้น
- เส้นใยที่ได้จากส่วนของใบ (Leaf Fiber) เช่น สับประรด และป่านศรนารายณ์ เป็นต้น
- เส้นใยที่ได้จากเมล็ด (Seed Fiber) เช่น ฝ้าย

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบกว้าง และไม้ใบแคบ

| องค์ประกอบทางเคมี<br>หน่วย : ร้อยละ | ไม้ใบแคบ<br>(Softwood) | ไม้ใบกว้าง<br>(Hardwood) |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| เซลลูโลส                            | ~45                    | ~43                      |
| เฮมิเซลลูโลส                        | 15-20                  | 15-30                    |
| ลิกนิน                              | 24-32                  | 17-25                    |
| สารแทรก                             | ~34                    | ~20                      |

ที่มา: รุ่งอรุณ (2541)

### 2.3.3 องค์ประกอบทางเคมีของพืชที่ให้เส้นใย

ต้นพืชที่ได้กล่าวมาตามที่ได้แยกประเภทข้างต้นล้วนแล้วแต่ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. เซลลูโลส คือ โฮโมโพลิเมอร์ (Homopolymer) ของ ดี-กลูโคส (D-Glucose) เกาะกันด้วย 1,4- $\beta$ -Glucosidic Bond
2. เฮมิเซลลูโลส คือ เฮเทอโรโพลิเมอร์ (Heteropolymer) ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส (Glucose) แมนโนส (Mannose) ไซโลส (Xylose) และอราบินโนส (Arabinose)
3. ลิกนิน (Lignin) ประกอบด้วย Phenyl Propane Unit เฉลี่ยประมาณ 2,500 หน่วย เป็นอสัณฐาน (Amorphous) จับตัวเป็นโครงร่างสามมิติด้วย Ether Bond และ C-C Bond ส่วนใหญ่เป็น Phenyl-O-Aryl Ether Bond ลิกนินพบมากในส่วนที่เรียกว่า Middle Lamella ทำหน้าที่เป็นกาวยึดต่อระหว่างเส้นใย เป็นสารซึ่งไม่ชอบน้ำ
4. สารแทรก (Extractives) หมายถึง ส่วนประกอบในไม้ หรือพืชที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) เช่น อะซิโตน แอลกอฮอล์ ไดคลอโรมีเทน และคลอโรฟอร์ม เป็นต้น

## 2.4 ข้อมูลทั่วไปของสับปะรด

### คุณสมบัติทั่วไปของสับปะรด

- ชื่อท้องถิ่น : สับปะรด (กลาง) ขนนทอง ยานัด ย่าหนด (ใต้) บ่อนัด มะชะนัด มะนัด (เหนือ) บักนัด (อีสาน) มาเนื้อ (เขมร)
- ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Ananas comosus* (L.) Merr.
- วงศ์ : BROMELIACEAE
- ชื่อสามัญ : Pineapple
- ลักษณะ : เป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี สูง 90-100 cm มีลำต้นอยู่ใต้ดิน ใบเดี่ยว เรียงสลับซ้อนกันถี่มาก รอบทั้งลำต้น ลำต้นกว้าง 6.5 cm ยาวได้ถึง 1 m ไม่มีก้านใบ ดอกออกเป็นช่อขนาดใหญ่ ออกจากกลางลำต้น มีดอกย่อยจำนวนมาก ผลเป็นผลรวม รูปทรงกระบอก มีตาขอบผล มีใบเป็นกระจุกที่ปลายผล
- การขยายพันธุ์ : ใช้หน่อ และยอดผลที่เป็นจุก เรียกว่าตะเกียง ชอบแสงจัด ดินร่วนปนทราย น้ำไม่ขัง

สับปะรดที่ปลูกเป็นการค้า แบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม โดยแบ่งตามรูปร่างลักษณะของใบและผล คือ Cayenne, Queen, Pernambuco, Spanish, และ Mordilona สำหรับพันธุ์สับปะรดที่อยู่ในประเทศไทยจะพบเพียง 3 กลุ่มคือ

1. กลุ่ม Cayenne เป็นกลุ่มที่นิยมปลูกมากที่สุด ทั้งเพื่อใช้บริโภคผลสด และใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์ Smooth Cayenne หรือ ปีตดาเวีย
2. กลุ่ม Queen ได้แก่พันธุ์ ภูเก็ต
3. กลุ่ม Spanish ได้แก่ พันธุ์อิทรชิต และพันธุ์ขาว ซึ่งมีการปลูกปริมาณน้อย และในกลุ่มนี้ประเทศฟิลิปปินส์ได้ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผ้าบารอง

### 2.4.1 องค์ประกอบทางด้านเคมีของเส้นใยสับปะรด

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากใบสับปะรด โดยองค์ประกอบที่สำคัญของเส้นใยสับปะรด (แสดงในตารางที่ 2.2 ) คือ เซลลูโลส องค์ประกอบที่สำคัญของส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลส เช่น สารเพคติน เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ไกมัน ซี และอื่น ๆ เป็นต้น เซลลูโลสมักติดกับสาร

ลิกนิน หรือเพคติน ทำให้เส้นใยที่ได้จากกระบวนการแยกเส้นใยมีลักษณะค่อนข้างใหญ่ และหยาบ กระจาย เส้นใยคิดเป็นแพ 2-8 เส้น (อัจฉราพร. 2525)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากใบสับปะรด (สกัดไขมันแล้ว) คิดจากน้ำหนักแห้ง

| องค์ประกอบ                     | เปอร์เซ็นต์ |
|--------------------------------|-------------|
| แอลฟา-เซลลูโลส                 | 68.50       |
| เฮมิเซลลูโลส                   | 18.80       |
| ลิกนิน                         | 6.04        |
| เพคติน                         | 1.10        |
| ไขมัน และขี้ผึ้ง               | 3.20        |
| เถ้า                           | 0.90        |
| อื่น ๆ (โปรตีน และสารอินทรีย์) | 1.46        |

ที่มา : ทนง (2549)

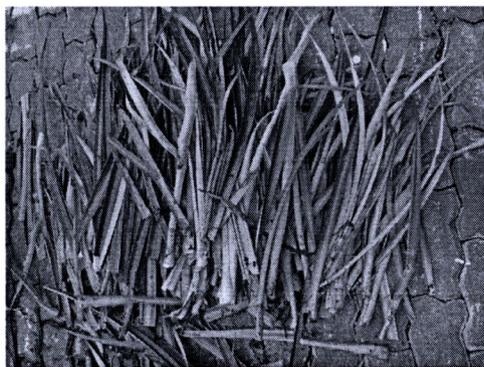
#### 2.4.2 โครงสร้างของเส้นใยจากใบสับปะรด

ขนาด และการจัดเรียงตัวของเซลล์เดี่ยวในเส้นใยจะนำมาพิจารณาถึงโครงสร้างของเส้นใย ซึ่งมีผลต่อสมบัติของเส้นใยโดยโครงสร้างของเส้นใยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความอ่อน แก่ของพืช ตำแหน่งของเส้นใยในพืช และสภาวะในการสกัดเส้นใย ลักษณะของโครงสร้างของเส้นใยสับปะรด และพืชชนิดอื่น แสดงในตารางที่ 2.3 และภาพที่ 2.2 พบว่าโครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของผลึกในเส้นใยสับปะรด มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงของเส้นใยสูงด้วย

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยสับปะรด

|                |                                    | สมบัติ |             |
|----------------|------------------------------------|--------|-------------|
| 1. เซลล์เดี่ยว | ความยาว                            |        | 3-9 mm      |
|                | ความกว้าง                          |        | 4-8 $\mu$ m |
|                | อัตราส่วน L/B                      |        | 450         |
|                | ความเป็นผลึก                       |        | 44-60 %     |
| 2. ไฟลาเมนต์   | ความละเอียด                        |        | 1.54 tex    |
|                | ความแข็งแรงจำเพาะ                  |        | 50 gf/tex   |
|                | การยืดตัวขณะขาด                    |        | 2-6%        |
|                | การพองตัวใน ความแข็งแรงจำเพาะ      |        | 18-20%      |
| 3. กลุ่มเส้นใย | ความแข็งแรงจำเพาะ                  |        | 26 gf/tex   |
|                | ความหนาแน่น                        |        | 1.48 g/cc   |
|                | ความพรุน                           |        | 9.0%        |
|                | ความชื้น (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65%) |        | 11.8%       |

ที่มา : วิจัย และคณะ (2547)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของใบสับปะรด

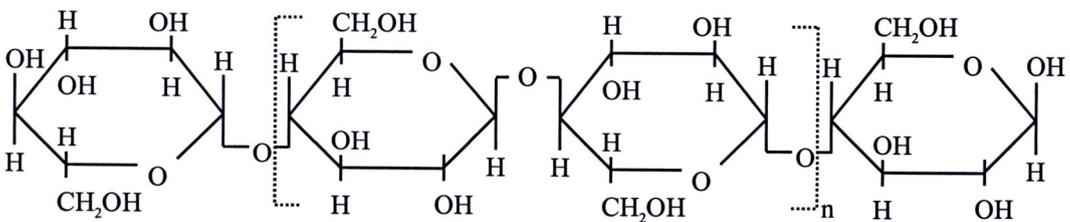
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
 ห้องสมุดงานวิจัย  
 วันที่..... 1.9. ๒๕๕๕  
 เลขทะเบียน..... 249944  
 เลขเรียกหนังสือ.....

## 2.5 ทฤษฎีเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ

วีระศักดิ์ (2543) เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมีด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอน 44.4 % ไฮโดรเจน 6.2 % และออกซิเจน 49.4 % มีโครงสร้างประกอบด้วยขั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า Anhydro-d-glucose ( $C_6H_{10}O_5$ ) ต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว ดังแสดงในภาพที่ 2.3 แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันเป็นลูกโซ่ทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนที่เกิดกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนับว่ามีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถดูดซึมความชื้นได้ดีอีกทั้งยังเป็นจุดก่อให้เกิดปฏิกิริยากับกรดแอซิดริกได้เป็นเซลลูโลสแอซิดเทต หรือเส้นใยประดิษฐ์ชนิดแอซิดเทต

### 2.5.1 คุณสมบัติเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ (Natural Cellulose Fibers)

ลักษณะการเรียงโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสจะเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวที่มีความแข็งแรงสูง ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส  
ที่มา: วีระศักดิ์ (2543)

ภาพที่ 2.3 เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบรวมกับลิกนิน เพนโตแซนกัน แทนนิน ไบมัน และสารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล ถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญ

ต่อสมบัติทางกลส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงลดลง

ลูกโซ่โมเลกุลยาวของกลูโคสที่กล่าวมา สามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้โดยดูจากค่าของน้ำหนักโมเลกุล ในกรณีของฝ้ายมีค่าตั้งแต่ 100,000 จนถึง 1-2 ล้าน น้ำหนักโมเลกุลของลินิน ป่าน ปอ อาจมีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 6 ล้าน เส้นใยเรยอนที่เป็นเส้นใยประดิษฐ์อยู่ในช่วง 20,000 – 230,000 หรือเยื่อกระดาษมีน้ำหนักโมเลกุลเพียงประมาณ 4,000 เท่านั้น น้ำหนักโมเลกุลนี้โดยทั่วไปคำนวณในลักษณะของค่าเฉลี่ยจากหน่วยย่อยที่เป็นกลูโคสแล้วคูณด้วยจำนวนหน่วยย่อยที่ซ้ำกัน ทำให้เขียนสูตรทางเคมีทั่วไปของเซลลูโลสได้เป็น  $(C_6H_{10}O_5)_n$  โดย  $n$  คือค่าระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์ค่า  $n$  ยิ่งมากน้ำหนักโมเลกุลยิ่งสูง ถึงแม้เส้นใยเซลลูโลสมีอยู่หลายชนิดก็ตาม แต่เนื่องจากทุกชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีในหน่วยย่อยที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงทำให้สมบัติของกลุ่มนี้มีความคล้ายกัน ส่งผลสะท้อนไปยังสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อผู้ใช้ ดังสรุปในตารางที่ 2.4

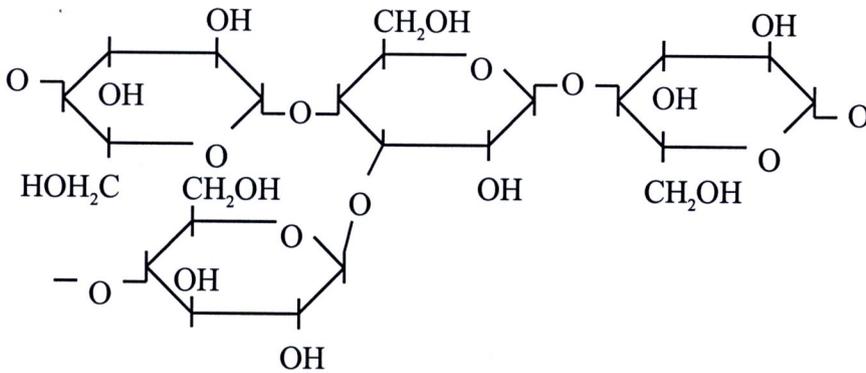
ตารางที่ 2.4 สมบัติที่เหมือนกันของเซลลูโลสธรรมชาติ

| สมบัติ   | ความสำคัญต่อผู้ใช้  |
|--|---|
| การดูดซึมความชื้นดี  | ใส่สบาย เหมาะกับการทำเป็นผ้าเช็ดตัว ผ้าอ้อม                               |
| นำความร้อนได้ดี  | ทำให้ผู้ใส่เย็นสบายในหน้าร้อน   |
| ความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิสูง  | ดัมผ้าในหม้ออบได้ เพื่อการทำความสะอาดฆ่าเชื้อโรค รีดผ้าด้วยความร้อนสูงได้ |
| การคืนตัวจากแรงอัดต่ำ  | ฝ้ายบ่งาย   |
| เส้นใยสามารถเกาะกันแน่นในขณะที่ปั่นด้าย  | สามารถทอเป็นผ้าที่มีโครงสร้างแน่น ถี กั้นลมดี                             |
| เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดัด   | ไม่สะสมประจุไฟฟ้า   |
| ความหนาแน่นสูง (1.5+ ,1.5-)  | ผ้าทอน้ำหนักดี เทียบกับที่ทอด้วยเส้นใยอื่น ๆ                              |
| ถูกทำลายได้ด้วยกรด จำพวกกรดแร่ (Mineral acid) แต่มีผลเล็กน้อย เนื่องจากกรดอินทรีย์ | รอยเปื้อนจากผล ไม้จะต้องรีบกำจัดทิ้งทันที ก่อนที่จะติดผ่านานจนล้างไม่ออก  |
| ทนต่อแมลง  | ง่ายต่อการเก็บรักษา   |
| ถูกทำลายด้วยรา   | ผ้าสกปรกควรจะระวังอย่าให้ขึ้น   |
| จุดติดไฟ   | เส้นใยเซลลูโลสติดไฟได้รวดเร็ว   |

ที่มา : ทนง (2549)

### 2.5.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากใน แกลบ ชังข้าวโพด เป็นต้น มีสูตรโมเลกุลคือ  $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$  และมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส  
ที่มา : วีระศักดิ์ (2543)

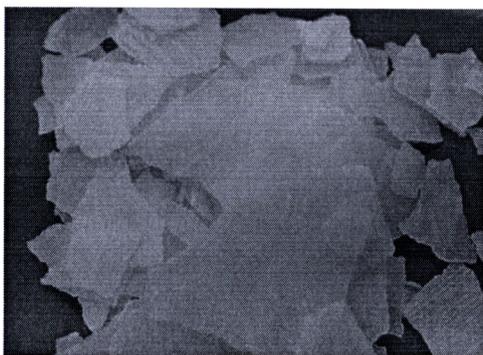
พืชแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิด และอายุของพืช โดยพืชที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงสูง และในพืชชนิดเดียวกับต้นที่มีอายุน้อยจะมีปริมาณลิกนินมากตามไปด้วย

ในการเตรียมเส้นใยที่ได้จากใบสับปะรดนั้นจำเป็นต้องผ่านการปั่นกวนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเป็นการกำจัดลิกนิน (Delignification) ทำให้ได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์ และความอ่อนนุ่มมากขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสทำให้สามารถเกาะเกี่ยวกับตัวประสานได้ดีขึ้น

### 2.5.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซดาไฟ (NaOH) เป็นของแข็งสีขาว อาจขายในรูปแบบเม็ด ก้อน หรือแท่ง แสดงดังภาพที่ 2.5 โซดาไฟละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังละลายในแอลกอฮอล์ และกลีเซอรินด้วย โซดาไฟใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ใช้ทำกระดาษให้เป็นกลาง ผลิตเกลือโซเดียม

ชนิดต่าง ๆ ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยเรนอน กระดาษ แก้ว ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก และผลิตยาง โซดาไฟใช้ทำปฏิกิริยากับไขมันจะได้สบู่ ใช้ในการตกผลึกสารแอลคาล และแยกโลหะจากเกลือ ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ วัตถุระเบิด สีข้อม ใช้ล้างโลหะ ใช้ในอุตสาหกรรมสกัดสังกะสี ใช้ในการชุบโลหะ ชักผ้า ฟอกสี ล้างภาชนะ และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ โซดาไฟมีฤทธิ์กัดกร่อน หากหายใจหรือสัมผัสต้องรีบทำการล้างออกด้วยน้ำจำนวนมาก ๆ ทันทีมิฉะนั้นจะทำให้ระคายเคืองได้ หากผิวหนังสัมผัสกับโซดาไฟบ่อย ๆ และขาดการทำความสะอาด อาจเกิดโรคผิวหนัง และหายใจเอาฝุ่นหรือละอองของโซดาไฟเข้าไป จะเกิดความระคายเคืองต่อเยื่อต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจได้



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด

## 2.6 งานวิจัยที่ใช้เส้นใยธรรมชาติในการประยุกต์ด้านต่าง ๆ

อัญชลี เบญจโลหพันธ์ (2546) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยใช้เปลือกทุเรียน เป็นส่วนประกอบในการผลิตแผ่นยิปซัมที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ศึกษาสมบัติเชิงความร้อน และเชิงกลของแผ่นยิปซัมและประเมินราคาต้นทุนของแผ่นยิปซัมจากเปลือกทุเรียน โดยทำการศึกษาตัวแปร 3 ตัวแปร คือ ความหนาที่ 1 2 และ 3 เท่าของความหนาของแผ่นยิปซัมมาตรฐาน ปริมาณกาวที่ใช้ 1.3 1.5 และ 1.7 เท่าของน้ำหนักเส้นใยเปลือกทุเรียนแห้ง และรูปแบบของแผ่นยิปซัม 2 แบบ คือ แบบแผ่นยิปซัมเดี่ยว และแบบแผ่นยิปซัมคู่ จากผลการทดสอบพบว่า ความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.519- 0.680  $\text{g/cm}^3$  ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 7.53 % - 11.37 % มอดูลัสแตกร้าว 0.201-0.348  $\text{kg/cm}^2$  มอดูลัสยืดหยุ่น 0.083 -1.428  $\text{kg/cm}^2$  และค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนมีค่า 0.028-0.060  $\text{W/mK}$  แผ่นยิปซัมจากเปลือกทุเรียนนับได้ว่าเป็น

ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ โดยสามารถนำมาใช้เป็นฉนวนภายในอาคาร และผนังในอาคาร เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ และมีราคาต่ำกว่าฉนวนสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ ในท้องตลาด อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะ รวมถึงการช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้

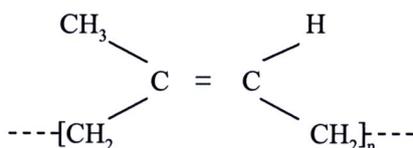
ประยูร สุรินทร์ (2544) ได้ศึกษากระบวนการผลิต และสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย พบว่า การนำความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0724-0.0925 W/mK ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และปริมาณกาบที่ใช้ ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นและปริมาณกาบเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำ การขยายตัวทางความหนา และความยาว ลดลง ส่วนความต้านทานแรงกระแทก ค่ามอดูลัสแตกร้าว และมอดูลัสยืดหยุ่น ค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงขึ้น แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ใช้ปริมาณกาบ 25% และ 33% มีความหนาแน่นระหว่าง 600-700 kg/m<sup>3</sup> สามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีและยังใช้เป็นแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง

กิตติศักดิ์ บัวศรี (2544) ศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้ฟางข้าว เป็นวัตถุดิบและจัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง ซึ่งพิจารณาจากค่าการนำความร้อนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0564 และ 0.0957 W/mK ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และปริมาณกาบสังเคราะห์ ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่น และปริมาณกาบสังเคราะห์ลดลง นอกจากนี้ผลการทดสอบ ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ค่าความต้านทานทนแรงกระแทก ค่ามอดูลัสแตกร้าว ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ซึ่งให้เห็นว่า แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตโดยใช้ปริมาณกาบสังเคราะห์ 12% และ 16% ที่ความหนาแน่นระหว่าง 600-700 Kg/m<sup>3</sup> นอกจากสามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแผ่นฉนวนไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ที่มีสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 876-2532

## 2.7 ทฤษฎีน้ำยางธรรมชาติ

### 2.7.1 ยางธรรมชาติ และชนิดของน้ำยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) (วารสารณ. 2541 : 2) ยางธรรมชาติโดยทั่วไปจะหมายถึงยางที่ได้จากต้นยางพารา ในทางเคมียางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) 5 อะตอม และไฮโดรเจน (H) 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรทางเคมี คือ C<sub>5</sub>H<sub>8</sub> ซึ่งเรียกว่า ไอโซพรีน (Isoprene) แต่ละหน่วยของไอโซพรีนจะต่อกันเป็นพอลิไอโซพรีน (Polyisoprene) ในลักษณะของ cis - configuration ดังนี้ คือ



ภาพที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติ  
ที่มา : วีรศักดิ์ (2543)

จากสูตรโครงสร้าง พบว่าจะประกอบด้วยโมเลกุลของไอโซพรีน (Isoprene Unit) ที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ทำให้ยางธรรมชาติสามารถแสดงสมบัติความยืดหยุ่น และจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของต้นยาง โดยที่น้ำหนักโมเลกุลนั้นจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงสมบัติของยางธรรมชาติ น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยน้ำหนักทั่วไปอยู่ในช่วง  $1.0 - 2.5 \times 10^6$  น้ำหนักโมเลกุลนั้นจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ โดยทั่วไปยางธรรมชาติเหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติทางกายภาพทั่วไปไปดี เช่น ความทนต่อการสึกหรอ ทนต่อสภาพอุณหภูมิต่ำ แต่สมบัติทนต่อพวงน้ำมันปิโตรเลียม และทนต่อการเสื่อมสภาพ เนื่องจากสภาพแวดล้อมได้ไม่ดีเนื่องจากการมีพันธะคู่ในโครงสร้างแต่สามารถยืดอายุการใช้งานได้โดยการใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพ

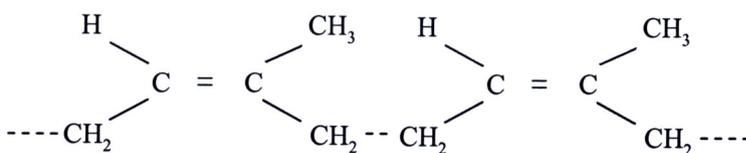
น้ำยาง (Latex) เป็นของเหลวที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นยางพารา มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (Rubber Content) และส่วนที่เป็นตัวกลางหรือส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง (Non Rubber Content) โดยส่วนที่เป็นเนื้อยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.92 g/ml มีรูปร่างของเม็ดยางเป็นรูปกลมและรูปกลมรีคล้ายลูกแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.02-3.0  $\mu\text{m}$  ไม่ละลายน้ำฝักรอบนอกห่อหุ้มด้วยชั้นของสารพวก โปรตีน และไขมัน มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ จึงมีผลให้เม็ดยางเกิดการผลักกันแขวนลอยกระจายคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางธรรมชาติในสภาพน้ำยางสดไม่แน่นอนอนคือตั้งแต่ 20 ถึง 45 % แต่ถ้าน้ำยางสดผ่านกรรมวิธีการปั่นเหวี่ยงจะได้น้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้งเป็น 60 % จะเรียกว่าน้ำยางข้นสำหรับส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางเป็นส่วนที่มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 g/ml ซึ่งเรียกว่า "Serum" ส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำยางมีอัตราส่วน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบภายในน้ำยาง

| ส่วนประกอบ                                      | เปอร์เซ็นต์  |
|---|--------------|
| ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC) | 22-48        |
| ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)    | 20-45        |
| สารพวกโปรตีน                                    | 1.8          |
| สารพวกเรซิน                                     | 2            |
| อินทรีย์สาร                                     | 1            |
| น้ำ   | ส่วนที่เหลือ |

ที่มา : วีระศักดิ์ (2543)

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า Cis-1, 4 Polyisoprene มีสูตรโมเลกุลคือ  $(C_5H_8)_n$  โดยมีอะตอมของไอโซพรีนที่มีสูตรเคมีเป็น  $C_5H_8$  ต่อกันเป็นจำนวนมากดังที่แสดงในภาพที่ 2.7 โดยปกติยางธรรมชาติจะมีค่า n ตั้งแต่ 15 ถึง 20,000 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000 มีการเชื่อมต่อแบบ Cis-Configuration อนุภาคของยางมีลักษณะรูปร่างกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.02 - 3.0 ไมครอน เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในสารละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน และเฮกเซน เป็นต้น ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติดังแสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ Cis-1, 4 Polyisoprene

ที่มา : วีระศักดิ์ (2543)

การที่ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นเนื่องจากยางธรรมชาติมีการเรียงตัวแบบอสัณฐาน (Amorphous) โดยมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุลไอโซพรีน เมื่อมีการให้แรงดึงก็จะทำให้สายโซ่

โมเลกุลเกิดการยึดตัว และเมื่อปลดแรงดึงออกสายโซ่โมเลกุลของยางก็จะพยายามปรับตัวให้กลับสู่สภาพเดิมทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติในการยืดหยุ่นที่ดีเมื่อใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นตัวประสานในฉนวนกันความร้อนจะได้ฉนวนกันความร้อนที่มีสมบัติในการยืดหยุ่นและการคงรูปที่ดี

### 2.7.2 น้ำยางข้น

วารากรณ์ (2545) น้ำยางสดจากต้นยางมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 20 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ หรือโดยเฉลี่ย 35 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การผสมสารเคมีเพื่อทำการปรับเปลี่ยนสมบัติของน้ำยางเพื่อใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนให้น้ำยางมีความเข้มข้นที่เพียงพอ และยังเป็น การลดการสิ้นเปลืองในการขนถ่ายน้ำยางสดไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ วิธีการที่สำคัญสำหรับการผลิตยางข้นมีด้วยกันทั้งสิ้น 4 วิธี คือ วิธีการระเหยน้ำ วิธีการทำให้เกิดคริม วิธีการปั่น และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า ซึ่งวิธีการที่สำคัญและใช้การอย่างแพร่หลายในกว่า 90% ในการผลิตน้ำยางข้นคือวิธีการปั่น ซึ่งมีหลักการและกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้

โดยปกติน้ำยางธรรมชาติไม่ว่าจะอยู่ในสถานะสด (Fresh Latex) หรือในสถานะที่มีการใส่สารเคมีรักษาน้ำยาง (Preserved Latex) ประกอบด้วยระบบของสารคอลลอยด์แบบอิมัลชัน (Colloidal Emulsion) ของอนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรัม (Serum) อนุภาคของยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรัมจะเคลื่อนไหวแบบ บราวเนียน (Brownian) คือการเคลื่อนที่ในทุกทิศทางอย่างไม่เป็นระเบียบ การเคลื่อนของอนุภาคในน้ำยางสดจะเร็วกว่าของน้ำยางที่ใส่น้ำยารักษาสภาพ เนื่องจากอนุภาคของยางเบาบางกว่าของเซรัม ดังนั้นอนุภาคเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะลอยขึ้นมาสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ โดยสามารถคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคตามกฎของ Stoke ตามสมการได้ดังนี้

$$V = \frac{2g[d-d_1]r^2}{9\eta} \quad (2.2)$$

- เมื่อ  $V$  = อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง (mm/s)  
 $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (cm/s<sup>2</sup>)  
 $d$  = ความหนาแน่นของเซรัม (1.012 g/cm<sup>3</sup>)  
 $d_1$  = ความหนาแน่นของอนุภาคยาง (0.91 g/cm<sup>3</sup>)  
 $r$  = รัศมีอนุภาคยาง (เฉลี่ย 0.5  $\mu$ m)  
 $\eta$  = ความหนืดของเซรัม (ประมาณ 0.02 Poise)

จากสูตรคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง จะเห็นได้ว่าอัตราการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงดึงของยาง ดังนั้นการปั่นซึ่งจะสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงได้เป็น 2,000 - 3,000 เท่าของความแข็งแรงดึงของยาง จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการดังกล่าวนี้จึงถูกนำมาใช้สร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น หรือเพื่อเป็นการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากขบวนการปั่นด้วยความเร็วสูงน้ำยางจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของเนื้อยางจะลอยตัวไหลออกตามทางออก ซึ่งอยู่ด้านบนสู่ถังเก็บน้ำยางข้นซึ่งน้ำยางที่ได้มีความเข้มข้นประมาณ 60 % อีกส่วนหนึ่งของน้ำยางจะถูกแยกเป็นทางน้ำยางไหลสู่ถังเก็บทางน้ำยาง

### 2.7.3 สารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยาง

เสาวนีย์ (2543) สารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยางให้อยู่ในสภาพของเหลว หรือคอลลอยด์ มีผู้คิดค้นมานานแล้ว กล่าวคือ

พ.ศ. 2314 A.F. Foureroy ได้ค้นพบว่าสารประเภทด่างสามารถเก็บรักษาน้ำยางได้

พ.ศ. 2347 Foureroy และ Nicholson ได้เสนอให้มีการเก็บรักษาน้ำยางด้วยด่าง โดยให้มีการจัดส่งน้ำยางซึ่งเก็บรักษาด้วยด่างในระยะทางไกล คือ ประเทศฝรั่งเศส แต่ด่างที่ใช้ในระยะแรกนี้เป็นด่างแก่ (KOH) จึงไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

พ.ศ. 2396 W. Johnson ได้พบการเก็บรักษาน้ำยางด้วยแอมโมเนีย และเริ่มมีการใช้สารเคมีนี้เก็บรักษาน้ำยางอย่างจริงจังในปี พ.ศ. 2443 จนถึงปัจจุบัน

พ.ศ. 2393 – 2518 มีการคิดค้นสารเคมีเก็บรักษาน้ำยางมากกว่า 160 ชนิด โดยมีการรวบรวมไว้ในหนังสือ “Review and Classification of Rubber Latex Preservatives” แต่สารเคมีที่นำมาใช้เก็บรักษาน้ำยางจริง ๆ มีเพียงไม่กี่ชนิด เนื่องจากว่าสารเคมีที่ค้นพบส่วนใหญ่มีราคาแพง หาได้ยาก เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ และไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เป็นต้น

น้ำยางสดที่ได้มาจากต้นยางพารานั้น มีส่วนที่ไม่ใช่ยางหลายชนิดที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์อันได้แก่ กลูโคส และ ฟรุคโทส เมื่อกรดน้ำยางจากต้นยางจุลินทรีย์ในอากาศจะปะปนในน้ำยางเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดการทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางเป็นเหตุให้ยางจับตัวกันเป็นก้อนเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า “การจับตัวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ” (Natural or Spontaneous Coagulation) โดยที่เกิดในลักษณะนี้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความเสถียรของน้ำยาง พันธุ์ยาง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อป้องกันการจับตัวของน้ำยางก่อนเวลาที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยาง

สารเคมีที่นิยมในการใช้เพื่อการรักษาสภาพน้ำยางข้นคือแอมโมเนีย เนื่องจากแอมโมเนีย

เป็นตัวทำลายแบคทีเรีย และแอมโมเนียสามารถรวมตัวกับแมกนีเซียมอออนที่อยู่ในน้ำยาง แมกนีเซียมอออนนี้เป็นตัวกลางทำให้น้ำยางเสียสถานะ การเป็นน้ำยาง เมื่อแอมโมเนียรวมตัวกับ แมกนีเซียมอออนแล้วจะกลายเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟส ตกตะกอนออกจากน้ำยาง ได้ดังสมการ



แอมโมเนียเป็นสารที่สามารถที่จะกำจัดได้ง่าย จึงเป็นข้อได้เปรียบในกระบวนการผลิตที่ จำเป็นต้องกำจัดแอมโมเนียออกก่อนการใช้งาน ข้อดีอีกประการหนึ่ง คือ เมื่อแอมโมเนียระเหยออก จากน้ำยางแล้วจะไม่มีอะไรตกค้างอยู่ในเนื้อยาง เมื่อเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

อย่างไรก็ตามแอมโมเนียก็มีข้อเสีย คือ การที่มีกลิ่นฉุนและในบางกระบวนการมีความ จำเป็นต้องลดปริมาณของแอมโมเนีย เช่น การผลิตยางพองน้ำจำเป็นต้องลดแอมโมเนียให้เหลือ ประมาณ 0.2 % ของน้ำยางเพื่อช่วยในการเกิดเจล (Gelation) จนทำให้เกิดการติดคั้นที่จะลดปริมาณ ของแอมโมเนียในการรักษาสภาพยาง (จากปริมาณปกติ 0.7% ของน้ำยาง) ให้น้อยลงพร้อมกับหา สารเคมีอื่น ๆ ช่วยรักษาสภาพน้ำยางขึ้น น้ำยางขึ้นที่รักษาสภาพไว้โดยใช้ปริมาณแอมโมเนียสูง (0.7%) เรียกว่า High Ammonia Latex Concentrate (HA) ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียน้อย ๆ (0.2%) เรียกว่า Low Ammonia Latex Concentrate (LA) การใช้ปริมาณแอมโมเนียน้อย มักใช้ร่วมกับ สารเคมีอื่น ๆ ซึ่งเรียกสารเคมีเหล่านี้ว่า Secondary Conservative ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ คือ โซเดียม เพนตะคลอโรโรฟีนีต (Sodium Pentachlorophenate, SPP) กรดบอริก (Boric Acid) กรดลูริก (Luric Acid) และเตตระเมทิลไทอูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram Disulphide) เป็นต้น

## 2.8 สมบัติของยางธรรมชาติ

คุณลักษณะที่สำคัญที่สุด 2 ประการ คือ ยางเป็นวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปได้มาก (Large Deformation) โดยไม่ถูกทำลาย หรือฉีกขาด จึงมีสมบัติด้านความหนืด (Viscosity) เหมือนกับว่ามันเป็นของเหลว ในขณะที่เดียวกันก็มีความสามารถในการคืนตัวสู่รูปร่างเดิมได้ในทันทีที่มีการหยุดแรง กระทำ นั่นคือมีความยืดหยุ่น (Elasticity) นอกจากนี้ยางยังมีสมบัติเด่นหลายประการพอสรุปได้ดังนี้ คือ

2.8.1 เป็นวัตถุที่สามารถปรับปรุงสมบัติทางการใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางโดยการ นำยางดิบมาผสมตัวเติมต่าง ๆ เช่น กำมะถัน สารตัวเร่ง หรือสารเสริมแรง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ข้างที่ได้นี้เรียกว่ายางผสมสารเคมี (Compound Rubber) แล้วทำให้วัลคาไนซ์ด้วยความร้อน โดยกระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanization) เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยวิธีการย่อยๆ ดังกล่าวนี้ และสามารถออกแบบให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติอื่นๆ ได้อย่างกว้างขวาง ตามข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เช่น ข้างที่ไม่มีสารตัวเติม นำมาผสมกับกำมะถันประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักยาง แล้วนำไปวัลคาไนซ์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100 ถึง 140 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่เหมาะสมค่าหนึ่งจะได้ยางยืดที่มีความยืดหยุ่นสูง อ่อนนุ่ม สามารถยืดตัวได้ 5 ถึง 9 เท่าของความยาวเดิมและหดกลับสู่ขนาดเดิมได้ทันที เป็นยางที่ทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ได้สูงถึง 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่เมื่อเติมกำมะถันในเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้น ๆ จะได้ยางแข็ง (Ebonite) ที่แข็งเหนียว มีความทนทานแรงดึงสูงเหมือนของแข็งทั่วไป คือมีความทนทาน ต่อแรงดึงเพิ่มเป็น 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นอกจากนี้การผสมสารตัวเติม เช่น เขม่าดำหรือซิลิกา ซึ่งจัดว่าเป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรง (Reinforcing Filler) จะทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงของยางเปลี่ยนแปลงไปดังตัวอย่างในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลของเขม่าดำ และซิลิกาต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ

| สมบัติ                                | ยางดิบ | ยางผสมซิลิกา | ยางผสมเขม่าดำ |
|---------------------------------------|--------|--------------|---------------|
| ความทนแรงดึง (Tensile Strength, psi)  | 200    | 3640         | 3740          |
| ระยะยืดจนขาด (Ultimate Elongation, %) | -      | 690          | 500           |

ที่มา : พรพรรณ (2528)

2.8.2 เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก ซึ่งสมบัติด้านการยืดหยุ่นถือว่าเป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดของยาง ยางดิบมีสมบัติเป็นวัสดุประเภทวิสโคอีลาสติกที่อ่อนตัว เพราะเกิดการไหลของโมเลกุลขึ้นได้ เมื่อถูกแรงกระทำอย่างต่อเนื่องกับเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง สมบัติด้อยข้อนี้ของยางดิบกลับกลายเป็นข้อดีในกระบวนการแปรรูปยาง เพราะช่วยให้สามารถนำสารเคมีอื่นๆ ผสมเข้าไปในเนื้อยางได้ง่าย วิธีการนี้เรียกว่าการบด หรือการนวด (Mastication) ยาง ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้โมเลกุลของยางมีขนาดเล็กลงๆ โดยความร้อนและแรงกลจะทำให้ยางอยู่ในสถานะพลาสติก

(Plastic State) ที่อ่อนนุ่ม เย็นและไหลได้ สามารถขึ้นรูปตามต้องการได้ง่าย แล้วจึงนำไปวัลคาไนซ์ ยางจะวัลคาไนซ์เป็นวัสดุยืดหยุ่น มีคุณลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

- สามารถเปลี่ยนรูปร่าง คือ สามารถยืดตัว หดตัว บิดเบี้ยว หรือโค้งงอได้อย่างมากมาย และอย่างรวดเร็วเมื่อถูกแรงกระทำ เช่น อาจยืดตัวได้สูงถึง 500 -100% เมื่อเปรียบเทียบกับ การยืดตัวของเหล็กกล้าที่มีเพียง เพียง 0.5% เท่านั้น ตัวอย่างเช่นลวดเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm ต้องออกแรงดึงถึง 1,600 N เพื่อดึงให้ยืดตัว 1 % แต่ยางที่ขนาดเท่ากันต้องการแรงดึงเพียง 0.01 N เท่านั้น จากสมบัติข้อนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์จากยางไม่ถูกทำลายเมื่อนำไปใช้งานที่มีแรงกระทำ

- มีความแข็งแรงสูง คือยางเป็นวัสดุที่มีความทนแรงดึงสูง และมีโมดูลัสสูงและมีความแข็งเหนียวสูง (High Stiffness) เมื่อยืดหรือหดตัวเต็มที่ สามารถคืนตัวได้อย่างรวดเร็วมาก ซึ่งแสดงสมบัติด้านการรัศตัวและการกระเด็น (Rebound) ของยาง ทำให้ยางเป็นวัสดุที่เป็นสปริงอยู่ในตัวสามารถกลับสู่รูปร่างเดิมได้เกือบสมบูรณ์ เมื่อแรงภายนอกหยุดกระทำ ดังนั้นยางจึงเป็นวัสดุที่เสีรูปต่ำ (Low Permanent Set) ทำให้มีความเหมาะสมในการใช้งานที่มีแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอแบบมีคาบ

2.8.3 สามารถรับพลังงานได้สูงมาก ซึ่งนอกจากสมบัติยืดหยุ่นแล้วยังแสดงความแข็งแรงทนทานเป็นอย่างมากเมื่อนำไปใช้งานที่ต้องมีการรับแรงกระทำจากภายนอก กล่าวคือยางเป็นวัสดุที่สามารถรับพลังงานเอาไว้ในตัวได้สูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำหนักของยาง เราจะเห็นสมบัติข้อนี้ได้จากค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy) หรือความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density) ซึ่งเป็นค่าพลังงานจากการยืดหรือหดตัวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของยาง และพบว่ายางเป็นวัสดุที่มีค่าพลังงานจำเพาะสูงมาก และสูงกว่าวัสดุอื่น ๆ ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 พลังงานจำเพาะที่เก็บสะสมในตัวของวัตถุ

| ชนิดวัตถุ     | พลังงานจำเพาะ (ฟุต-ปอนด์/ปอนด์) |
|---------------|---------------------------------|
| เหล็กหล่อ     | 0.37                            |
| เหล็กกล้า     | 3.07                            |
| อลูมิเนียมรีด | 7.56                            |
| เหล็กสปริง    | 95.30                           |
| ยางวัลคาไนซ์  | 14,600.00                       |

ที่มา: บุญธรรม และคณะ (2530)

2.8.4 มีความสามารถต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion Resistance) และความสามารถต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) ได้ดี

2.8.5 มีความอ่อนนุ่มในภาวะปกติ แต่มีความแข็งแรงมากเมื่ออยู่ในภาวะยืดหรือหดตัวเต็มที่

2.8.6 มีความสามารถป้องกันการซึมผ่านของของเหลวและก๊าซได้ดี จึงใช้เก็บและบรรจุหรือกั้นของเหลวและก๊าซได้เป็นอย่างดี

2.8.7 เป็นตัวประสาน หรือกาว (Adhesives)

2.8.8 มีความทนทานต่อการละลายหรือกัดกร่อนของสารเคมี

2.8.9 มีสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง จึงเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

จากสมบัติที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถสรุปสมบัติต่างๆของยางธรรมชาติได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

| สมบัติ   | ค่า       |
|--|-----------|
| 1. ความถ่วงจำเพาะ                              | 0.92-0.93 |
| 2. อุณหภูมิที่ยางแข็งตัว (°C)                  | -72       |
| 3. Solubility Parameter                        | 8.25      |
| 4. ความแข็งของยางปกติ (IRHD)                   | 25-95     |
| 5. การนำความร้อน (Btu/hr/ft <sup>2</sup> /Ftt) | 0.082     |

|  |     |
|--|-----|
| 6. สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน ( $10^{-5}/^{\circ}\text{F}$ ) | 37  |
| 7. การใช้งานสูงสุด ( $^{\circ}\text{C}$ )                            | 100 |
| 8. ความทนทานต่อน้ำที่ $100^{\circ}\text{C}$                          | 2   |
| 9. ความทนทานต่ออากาศร้อนที่ $70^{\circ}\text{C}$                     | 2   |
| 10. ความกระด้างตัวที่ $20^{\circ}\text{C}$                           | 4   |
| 11. ความกระด้างตัวที่ $100^{\circ}\text{C}$                          | 4   |
| 12. Tensile Strength (gum)   | 3   |
| 13. T.S (มีสารตัวเติม)   | 4   |
| 14. ความต้านทานต่อการผ่านของก๊าซ                                     | 2   |
| 15. ความต้านทานต่อการสึกหรอ  | 3-4 |
| 16. ความต้านทานต่อการฉีกขาด  | 3   |
| 17. ความต้านทานต่อการหักงอ   | 3   |
| 18. ความต้านทานต่อความร้อน   | 2-3 |
| 19. ความต้านทานต่อเปลวไฟ   | 2   |
| 20. ความต้านทานต่อโอโซน  | 1   |

0 = แย่, 1 = พอใช้, 2 = ปานกลาง, 3 = ดี, 4 = ดีมาก

ที่มา: พงศธร (2547)

## 2.9 น้ำยางกงรูป หรือน้ำยางวัลคาไนซ์ (Vulcanize)

วิภา (2545) การใช้น้ำยางธรรมชาติในการผลิตฉนวนกันความร้อนจำเป็นต้องใช้น้ำยางที่ผ่านการผสมสารเคมี เมื่อผ่านการอบให้ความร้อนแก่น้ำยางจะเกิดพันธะเคมี (Chemical Crosslink) เรียกว่า ยางวัลคาไนซ์ ส่วนน้ำยางที่ได้ผ่านการผสมสารเคมีที่จำเป็นเพื่อให้เกิดยางวัลคาไนซ์ เรียกว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

น้ำยางผสมสารเคมี (Compounded Latex) หมายถึง น้ำยางที่ได้ผสมสารเคมีต่าง ๆ โดยส่วนมากจะใช้สารเคมีช่วยให้ยางกงรูป (Accelerator) พวกไดทีโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamate) อยู่ด้วย โดยปกติจะทำบ่มหรือเก็บน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว (Maturation) ก่อนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากที่น้ำยางผสมสารเคมีส่วนใหญ่จะผสมสารทำให้ยางกงรูปไว้แล้ว ดังนั้นขณะการ

บ่มหรือเก็บน้ำยางจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาของรูปในยาง ซึ่งการเกิดยางคงรูปจะมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะการเก็บน้ำยางและความว่องไวของสารช่วยเร่งน้ำยางคงรูป สำหรับการทำน้ำยางให้คงรูป หรือน้ำยางวัลคาไนซ์มีบทบาทสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่มแบบพิมพ์ (Dipping) และประเภทหล่อเบ้าพิมพ์ (Casting) เพราะน้ำยางคงรูปมีข้อได้เปรียบ สามารถมีการจับตัวกันโดยไม่ต้องใช้ความร้อนที่สูงเข้าช่วย และยังสามารถมีการเติมสารเคมีได้อีกเล็กน้อย เช่น สารป้องกันยางเสื่อม หรือพวกสีต่าง ๆ

วิธีการผลิตน้ำยางคงรูปมีหลักการที่สำคัญ คือ ผสมสารเคมีที่จำเป็นในการเกิดยางคงรูปกับน้ำยางที่ได้ผ่านการเติมสารช่วยความคงตัวที่เป็นของเหลว แล้วให้ความร้อนประมาณ 50 – 70 °C หรืออาจทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้สารซัลเฟอร์ ดังส่วนผสมในตารางที่ 2.9 และ 2.10

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยใช้ซัลเฟอร์

| ส่วนผสม   | น้ำหนัก (กรัม) |
|---|----------------|
| น้ำยางชั้น 60% รักษาด้วยแอมโมเนียความเข้มข้นสูง   | 167            |
| ซิงค์ออกไซด์+ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต+ซัลเฟอร์ | 8              |
| โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10%)                        | 3              |
| สารช่วยคงตัว (10%)                                | 2              |

ที่มา: วิภา (2545)

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้ซัลเฟอร์

| ส่วนผสม  | น้ำหนัก (กรัม) |
|--|----------------|
| น้ำยางชั้น 60 % รักษาด้วยแอมโมเนียความเข้มข้นสูง | 167            |
| สารละลายเคซีน (Casein) (10 %)                    | 5              |
| สารช่วยความคงตัว (25 %)                          | 2              |
| โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (10 %)                      | 2.5            |
| ซิงค์ออกไซด์ (50 %)                              | 2              |
| เตตระเมทิลไทูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD) (33 %)          | 9              |
| ซิงค์ไดบิลไทลไดไทโอคาร์บาเมต (50 %)              | 2              |
| สารละลายไทโอยูเรีย (10 %)                        | 10             |

ที่มา: วิภา (2545)

## 2.10 การนำน้ำยางธรรมชาติมาเป็นตัวประสานในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน

ศกุนธิ และรุ่งอรุณ (2545) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกคอน และน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้เส้นใยหญ้าแฝกคอน ผ่านการปั่นกวนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และพบว่าสภาวะในการเตรียมเส้นใยหญ้าแฝกที่เหมาะสมคือ ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 100 °C และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยใช้เส้นใยหญ้าแฝกที่ได้จะมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) เท่ากับ 58.48 ที่มีความอ่อนนุ่มเหมาะสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนกับน้ำยางธรรมชาติ อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) จะส่งผลต่อการเกาะเกี่ยวกันของเส้นใยในการขึ้นรูปแผ่นฉนวน

อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเส้นใยหญ้าแฝกจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. อุณหภูมิในการปั่นกวน
3. เวลาที่ใช้ในการปั่นกวนเส้นใย
4. อุณหภูมิที่อบ
5. เวลาที่ใช้ในการอบ

โดยใช้น้ำยางธรรมชาติสูตรเบ้ายางที่มีส่วนประกอบของสารเคมีดังนี้

|                                 |     |      |
|---------------------------------|-----|------|
| 1. โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์         | 3   | กรัม |
| 2. โปแตสเซียมลอเรท              | 1   | กรัม |
| 3. ซัลเฟอร์                     | 4   | กรัม |
| 4. ซิงค์ไดเอทิลไดทิลโอคาร์บอเนท | 2   | กรัม |
| 5. วิงสเตย์แอล                  | 2   | กรัม |
| 6. ซิงค์ออกไซด์                 | 1.5 | กรัม |
| 7. น้ำยางธรรมชาติ               | 167 | กรัม |

โดยการปั่นไล่แอมโมเนียในน้ำยางที่ใช้รักษาน้ำยางชั้นให้ระเหยออกไป ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 นาที โดยความเร็วรอบในการกวนประมาณ 30 รอบต่อนาที จากนั้นจึงใส่สารเคมี

ดังกล่าวลงในน้ำยางธรรมชาติตามลำดับ และทำการปั่นกวนน้ำยางธรรมชาติต่อไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อให้สารเคมีกระจายน้ำยางได้ทั่วถึง

ทง บัญมีมาพาสูช (2549) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนห่อหุ้มไฟจากเส้นใยผักตบชวา และน้ำยางธรรมชาติ โดยผลการวิจัยพบว่า การนำเส้นใยผักตบชวา และน้ำยางธรรมชาติมาทำเป็นแผ่นฉนวนความร้อนห่อหุ้มไฟได้นั้น จะต้องเตรียมเส้นใยผักตบชวาแห้งด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 15 % โดยน้ำหนัก แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายบอแรกซ์ที่มีความเข้มข้น 10 % โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำยางธรรมชาติต้องนำไปเจือจางด้วยน้ำที่อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำ 1 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก แล้วนำน้ำยางที่เจือจางแล้วไปทำปฏิกิริยากับสารละลายซิงค์บอแรกซ์เข้มข้น 40 % โดยน้ำหนัก จากนั้นจะได้เส้นใยผักตบชวาห่อหุ้มไฟ และน้ำยางห่อหุ้มไฟ แล้วนำไปขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนห่อหุ้มไฟด้วยการพ่นฝอยที่อัตราส่วนเส้นใยและน้ำยางที่ 1 : 3 โดยน้ำหนัก

จากข้อมูลดังกล่าวมาทั้งหมดข้างต้นเมื่อพิจารณาทั้งด้านสมบัติ ของเส้นใยจากใบสับปะรด สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ และจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่าเส้นใยจากใบสับปะรด และยางธรรมชาตินั้นมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนได้ และอีกทั้งยังไม่มียางานการวิจัยการเตรียมฉนวนความร้อนจากเส้นใยใบสับปะรดอีกด้วย