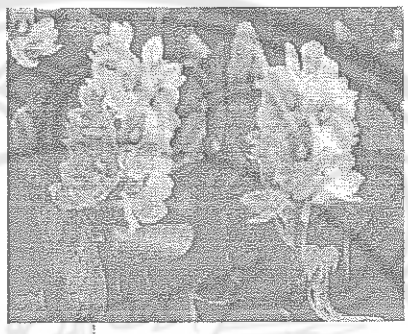
# บทที่ 2
# ทฤษฎีและเหตุผล

## 2.1 ผักตบชวา

### 2.1.1 ถิ่นกำเนิด



รูปที่ 2.1 ผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพืชพื้นเมืองของทวีอเมริกาใต้ เข้าใจว่ามีการกำเนิดอยู่ในประเทศ บราซิล แม้ว่าในปัจจุบันผักตบชวาจะเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายทั่วโลก แต่เอกสารทางพฤกษศาสตร์ไม่ได้เคยมีบันทึกเรื่องผักตบชวาเลย จนกระทั่งถึงปี พ.ศ.2367 เมื่อนักพฤกษศาสตร์และนายแพทย์ชาวเยอรมันชื่อ Karl von Martius ได้ไปพบเข้าในขณะที่ทำการสำรวจพันธุ์พืชในบราซิล ในประเทศต่างๆ ในทวีปอเมริกาใต้ ผักตบชวาไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาใดๆ ให้แก่วงการต่างๆ เลย ทั้งนี้ก็เพราะว่าในถิ่นกำเนิดของมัน มีศัตรูธรรมชาติเช่น แมลง โรค และศัตรูอื่นๆ คอยควบคุมการระบาดอยู่แล้ว แต่เมื่อถูกนำไปจากถิ่นกำเนิดซึ่งปราศจากศัตรูธรรมชาติ ผักตบชวาจึงเจริญเติบโตออย่างรวดเร็วและถึงขั้นทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ได้ ประวัติการแพร่กระจายของผักตบชวา จากถิ่นเดิมในอเมริกาใต้ไปยังส่วนต่างๆ ของโลก ในชั่วระยะเวลาไม่ถึง 100 ปีนี้เป็นเรื่องที่น่าสนใจ ควรแก่การศึกษาเป็นอย่างยิ่ง เท่าที่มีการบันทึกไว้เป็นหลักฐาน ผักตบชวาได้ถูกนักธุรกิจชาวญี่ปุ่น นำไปแสดงในงานนิทรรศการฝ้าย (Cotton State Exposition) ณ เมืองนิวออร์ลีนส์ รัฐหลุยเซียนา สหรัฐอเมริกาเมื่อปี 2427 โดยการไปเก็บมาจากแม่น้ำโอริโนโกในประเทศเวนีซูเอลาในทวีปอเมริกาใต้ แล้วแจกเป็นของที่ละลึกแกบุคคลสำคัญที่มาเที่ยวชมคนละต้น หลังจากงานนั้น 11 ปี แม่น้ำเซ็นต์จอห์น ในรัฐฟลอริดาซึ่งอยู่ห่างจากเมืองนิวออร์ลีนส์ไปทางใต้ถึง 600 ไมล์ เกิดมีแพผักตบชวายาวถึง 100 ไมล์ และคลุมบริเวณห่างจากฝั่งไป 200 ฟุต แพผักตบชวาเหล่านี้เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของโรงเลื่อย เพราะซุงไม่สามารถจะลอยเข้าไปยังโรงเลื่อยได้ จนในที่สุด รัฐ

ฟลอริดาได้ร้องเรียงไปยังรัฐสภาเพื่อขอความช่วยเหลือในด้านการป้องกันกำจัดผักตบชวา ในปี 2424 ชาวดัทช์ที่ปกครองประเทศอินโดนีเซียได้นำผักตบชวา ซึ่งขณะนั้นมีปลูกกันเฉพาะในสวนพฤกษชาติในหลายประเทศในทวีปยุโรป เข้ามายังประเทศอินโดนีเซียเพราะผักตบชวามีดอกสีฟ้าเป็นช่อตั้งสวยงามคล้ายคลึงกับดอก hyacinth ซึ่งเป็นไม้ประดับของประเทศในเขตอบอุ่น คำว่า water hyacinth อันเป็นชื่อสามัญภาษาอังกฤษของผักตบชวา ก็ถือกำเนิดมาจากคำนี้เอง เมื่อแรกนำเข้าก็ได้ปลูกเลี้ยงไว้อย่างดีในสวนพฤกษชาติที่เมืองโบกอร์ แต่ต่อจากนั้นไม่นาน ก็แพร่กระจายไปตามลำน้ำต่างๆ อย่างรวดเร็ว

ในปี 2444 ได้มีการนำผักตบชวาจากประเทศอินโดนีเซียเข้ามาลูกในวังสระประทุมเพราะเห็นว่าดอกผักตบชวาสวยงามสามารถใช้ประดับสระน้ำได้ดี แต่ภายหลังเกิดน้ำท่วมวังสระปทุม ผักตบชวาหลุดลอยออกไปสู่ลำคลองภายนอก แล้วเริ่มระบาดไปตามที่ต่างๆ อย่างรวดเร็ว จนถึงปี 2456 จึงได้มีพระราชบัญญัติสำหรับกำจัดผักตบชวาออกมา

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ผักตบชวา (Eichhornia crassipes) เป็นพืชที่เจริญอยู่บนผิวน้ำ จัดเป็นประเภทลอยน้ำ (floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน จึงถูกกระแสลมหรือน้ำพัดพาไปได้ไกลๆ แต่ถ้าน้ำตื้นแล้ว รากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะทรงต้น ประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ในต้นหนึ่งๆ จะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบ (sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบางๆ สีขาวแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บริเวณของกาบใบ เป็นสีน้ำตาลแกมม่วง จะเชื่อมติดต่อกันโดยมีไหล (Stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น ต้นหนึ่งๆ ของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้ว ก็จะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่ แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่และเกิดเป็นกอขึ้น พร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น รากของผักตบชวาเป็นแบบรากฝอย (fibrous root) คือ มีรากย่อยๆ เป็นกระจุก รากที่แทงออก จะมีลักษณะอวบ สีขาว เมื่อมีอายุมาขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อน (root hair) ที่มีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อแก่ รากขนอ่อนนี้จะเป็นสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ความยาวของรากจะแตกต่างกันไป บางเส้นก็ยาวเกือบถึงหนึ่งเมตร (60-90 ซม.)

ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย แผ่นใบ (blade) และก้านใบ (petiole) แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปไต (reniform) หรือคล้ายรูปหัวใจ (cordate) มักมีความกว้างมากกว่ายาว หรือเกือบจะเท่าๆ กัน เมื่อยังอ่อน ปลายใบมักจะมน แต่เมื่อมีอายุมากขึ้น ปลายใบจะแหลม มีสีเข้มขึ้น ขอบใบเรียบ ระบบเส้นใบ (venation) ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหาร เป็นแบบเส้นใบขนาน ก้านใบมีลักษณะกลม เรียบ อวบน้ำถ้าต้นผักตบชวาเจริญอยู่ห่างๆ กัน ลำต้นจะเล็กและ

ก้านใบมักจะพองออกเป็นทุ่นลอยน้ำ (ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า buoyancy leaf) แต่ถ้าผักตบชวาเจริญอยู่ในที่เบียดชิดกันมาก โดยเฉพาะในน้ำนิ่ง ก้านใบจะไม่พอง นอกจากนั้น ก้านใบยังยาวมาก บางแห่งพบว่ายาถึงหนึ่งเมตรก็มี การเกิดใบอ่อน จะเกิดตรงกลางกอ โดยแผ่นใบของใบอ่อนจะม้วนหุ้มรอบโคนก้านใบใกล้เคียง และมีกาบใบบางหุ้มรอบอีกทีหนึ่ง ปลายกาบใบนี้ จะมีลักษณะคอดแล้วบาน ขอบหยักเล็กน้อย เป็นเยื่อบางๆ เมื่อใบอ่อนโตขึ้น ก้านใบก็จะยายขึ้น ดันกาบใบที่ห่อหุ้มนั้นออก แผ่นใบก็จะค่อยคลี่เป็นอิสระจากโคนก้านใบเดิม ในระยะแรกใบจะมีสีเขียวอ่อน ต่อไปจะมีสีเขียวเข้มขึ้น กาบใบนั้นก็จะคงติดอยู่ตรงโคนก้านใบ

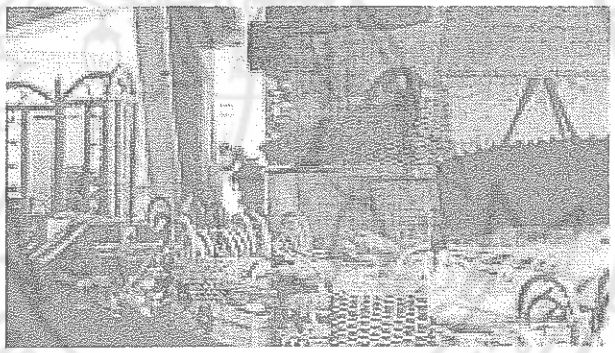
ดอก ผักตบชวามีดอกสีฟ้าสวยงามมาก ดอกออกเป็นช่อ ไม่มีก้านดอก (spike) ในช่อหนึ่งๆ จะมีจำนวนดอกแตกต่างกันไป ถ้าช่อดอกเล็ก ก็จะมีดอกประมาณ 4-5 ดอก ถ้าช่อดอกใหญ่ อาจจะมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้นจนถึง 60 ดอก ช่อดอกจะเกิดบริเวณกลางๆ ต้นการเกิดของช่อดอก มีลักษณะคล้ายกับการเกิดใบ คือที่โคนก้านจะมีกาบใบบางๆ หุ้มไว้และที่ปลายก้านมีแผ่นใบเล็กๆ เกิดขึ้นด้วย ช่อดอกจะเจริญมาจากโคน ก้านใบเล็กๆ นี้ โดยที่ใบครึ่งแรกจะมีกาบใบบางๆ หุ้มช่อดอกไว้ที่หนึ่ง และมีกาบใบอีกอันหุ้มโคนก้านใบไว้ เมื่อช่อดอกเจริญขึ้น ก้านช่อดอกจะค่อยๆ ยาว พองใหญ่ขึ้น ทำให้ภายในที่หุ้มก้านช่อดอกกับก้านใบขาดออก และเมื่อก้านช่อดอกเจริญมากขึ้น ก็จะดันกาบใบด้านในขาด ก้านช่อดอก (peduncle) ก็แทงชูช่อดอกเจริญโผล่ขึ้นมา โดยมีใบเล็กๆ ที่ปลายก้านใบ และภายในทำหน้าที่เป็นใบประดับ (bract) รองรับช่อดอกอีกทีหนึ่ง เมื่อเจริญเต็มที่แล้วดอกมักจะบานพร้อมกันหมดทั้งช่อ โดยจะค่อยๆ บานตั้งแต่แสงอาทิตย์เริ่มส่องแสง แล้วก็จะบานเต็มที่เมื่อแสงแดดส่องจ้า ดอกจะบานเพียง 1 วัน หลังจากนั้น กลีบดอกก็จะหุบเหี่ยวขดเป็นเกลียว แล้วก้านช่อดอกก็จะโค้งงอลงสู่พื้นน้ำ ผักตบชวาต้นหนึ่งๆ จะมีดอกได้หลายช่อ โดยจะทยอยกันออกดอก ดอกแต่ละดอก ประกอบด้วยกลีบดอก 9perianth) 6 กลีบ ปลายกลีบแยกเป็นแฉก มีขนาดแตกต่างกัน ส่วนโคนกลีบจะติดกันเป็นหลอด (tube) มีสีเขียว หลอดนี้จะติดไปถึงก้านช่อดอก ส่วนกลีบรวมนั้น จะเป็นสีม่วงอ่อน มีกลีบอันหนึ่งซึ่งอยู่ตรงกาลขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่น มีแต้มสีเหลืองทับอยู่บนสีม่วง ทำให้ดอกมีสีสันสวยงามมาก นอกจากนี้ ยังมีเกสรตัวผู้ (stamen) 6 อัน สั้น 3 ยาว 3 ติดอยู่ที่ตอนล่างของกลีบดอก อับเกสรตัวผู้ (anther) มีสีเหลือ ส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) มีส่วนตรงปลายเรียกว่า stigma มีสีม่วงอ่อน อยู่บนก้าน (style) ต่อมากจากรังไข่ (ovary) ซึ่งอยู่เหนือกลีบดอก (superior ovary) รังไข่นี้เมื่อได้รับการผสมแล้ว จะเจริญขึ้นเป็นผล แต่ตามปกติแล้วในสภาพแวดล้อมในประเทศไทยมักจะไม่ค่อยพบว่า มีการผสมของดอกผักตบชวา จึงไม่ค่อยพบเมล็ด (seed) ผักตบชวา ในกรณีที่มีการผสม เมล็ดมีขนาดเล็กมาก สีน้ำตาลเข้ม

หลังจากที่ดอกบานได้ 48 ชั่วโมง และไม่มีแมลงมาช่วยผสมเกสร จะเกิดการผสมตัวเอง หลังจากนั้น 3 สัปดาห์ เมล็ดเล็กๆ สีดำจะแก่ และก้านช่อดอกจะโค้งงอลงเบื้องล่าง เมื่อกระเปาะผลแตก เมล็ดก็จะหลุดลงสู่พื้นท้องน้ำ ในเนื้อที่ 1 ไร่ จะมีเมล็ดตกในโคลนตมใต้พื้นน้ำถึง 18 ล้านเมล็ด และสามารถรักษาความงอกอยู่ได้นานถึง 15 ปี เพราะฉะนั้น ภายใต้พื้นน้ำของดินแดนต่างๆ ที่เคยมีผักตบชวาขึ้นอยู่อาจจะมีเมล็ดผักตบชวาสะสมอยู่นับเป็นพันล้านเมล็ด รอคอยที่จะงอกจากเมล็ดเป็นต้นอ่อนเมื่อถึงคราวจำเป็น

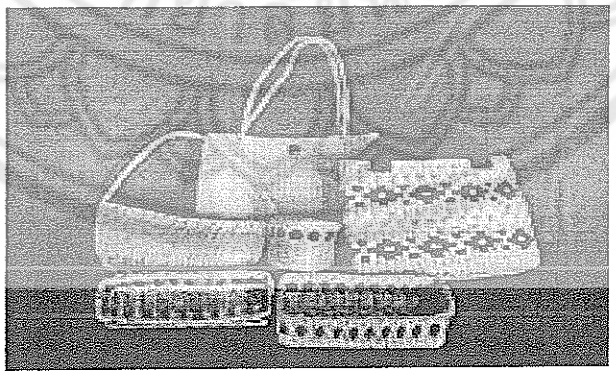
## 2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปลรูปผักตบชวา และการเก็บผักตบชวาเพื่อนำมาจักสาน

### 2.2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผักตบชวา

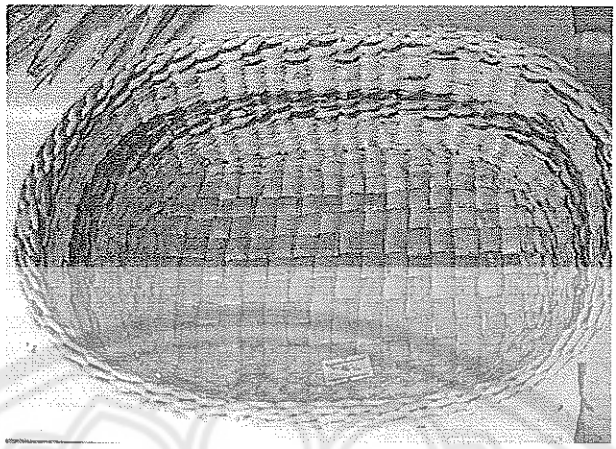
ผักตบชวาสามารถนำมาแปลรูปเป็นกระเป๋าถือ กระเป๋าสะพาย ตะกร้า กระบุง รองลงมาเป็นที่ใส่ปากกา ที่ใส่ขวดไวน์ แจกัน เป็นต้น



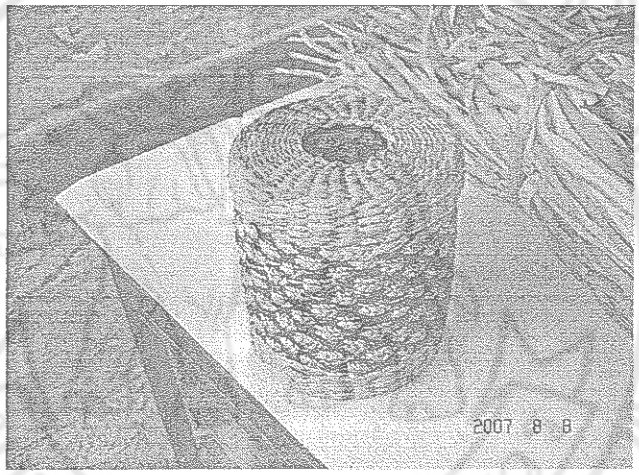
รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์จากผักตบชวา (1)



รูปที่ 2.3 ผลิตภัณฑ์จากผักตบชวา (2)



รูปที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์จากผักตบชวา (3)



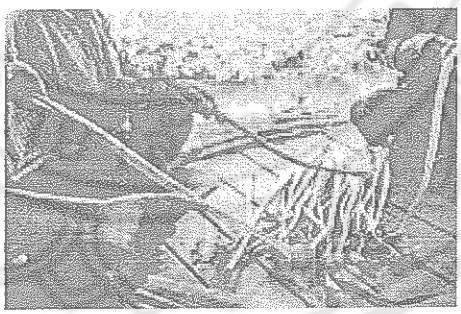

รูปที่ 2.5 ผลิตภัณฑ์จากผักตบชวา (4)

2.2.2 **ขั้นตอนการเก็บผักตบชวา, ตากแห้ง, และเตรียมผักตบชวาเพื่อแปลรูป**

- การคัดเลือกลำต้น ควรเลือกลำต้นที่มีคุณภาพ ขนาดความยาวตั้งแต่ 60 ซม. ขึ้นไป ความอ่อนแก่ของลำต้นจะมีผลต่อสีผิวของผลิตภัณฑ์ ถ้าเป็นต้นแก่เมื่อตากแห้งแล้วจะเป็นสีน้ำตาลแก่ ถ้าต้นอ่อนเมื่อตากแห้งแล้วจะเป็นสีขาวนวล

รูปที่ 2.6 การเก็บและคัดเลือกผักตบชวา

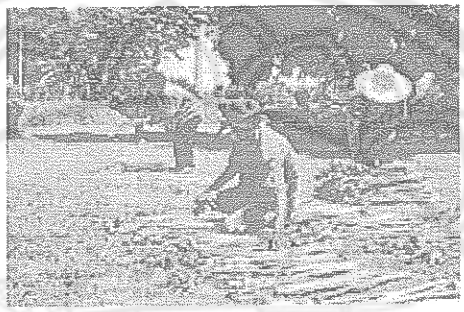
○ การตัด การตัดลำต้นมาใช้ควรตัดถึงปลายโคนและตัดให้ถึงปลายใบเพื่อจะได้ก้านของผักตบชวายาวเต็มที่



รูปที่ 2.7 การตัดแต่งผักตบชวา

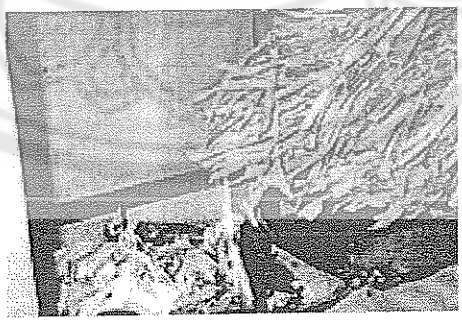
○ การล้าง ใช้การล้างน้ำหรือใช้น้ำฉีดเพื่อให้ผิวสะอาด เวลานำเอามาทำผลิตภัณฑ์จะได้สวยงาม

- การผ่าซีก ผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจใช้ได้ทั้งต้น บางชนิดควรผ่าซีก การผ่าซีกนี้จะผ่าหรือไม่ผ่าก็ได้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน วิธีผ่าใช้มีดคมๆ ผ่าเป็น 2 ซีก หรือ 4 ซีก แล้วแต่การใช้งาน
- การทำให้แห้ง มี 2 วิธี คือ
    - การตากแดด มีเทคนิคในการตาก คือเมื่อตากเส้นผักตบชวาแห้งดีแล้วให้เก็บไว้อย่าตากแช่ทิ้งไว้นานๆ เพราะจะทำให้กรอบได้



รูปที่ 2.8 การตากแดดผักตบชวา

    - การอบแห้ง ในกรณีที่ไม่มีแสงแดด ใช้การอบด้วยไอน้ำ ซึ่งจะช่วยให้ผักตบชวามีสีเขียวนวลสวยงาม
- การป้องกันเชื้อราในเส้นใยผักตบชวา ใช้วิธีการอบด้วยกำมะถันการทาแลคเกอร์และการใช้สารเคมีที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้ศึกษาวิจัยแล้วว่าสามารถป้องกันเชื้อราในเส้นใยผักตบชวาซึ่งมีความปลอดภัยในการใช้และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.9 การป้องกันเชื้อรา

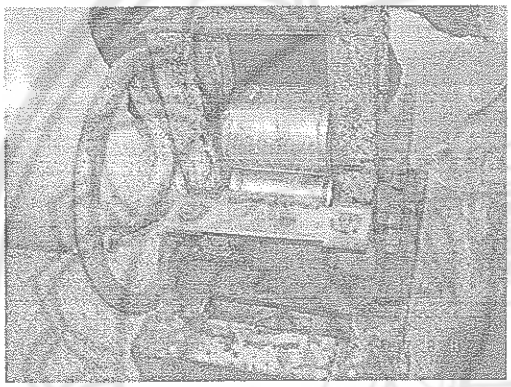
- การรีดผักตบชวา ใช้เครื่องรีดผักตบชวาให้แบนเรียบ

- การตัดผักตบชวา ใช้เครื่องตัดผักตบชวาเพื่อทำเส้นผักตบชวาให้มีขนาดเล็กสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นงานละเอียด

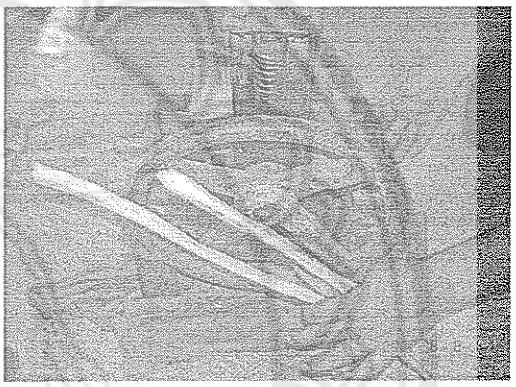
## 2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์แบบเดิมในการรีดและตัดผักตบชวา

อุปกรณ์ที่ใช้คือ

2.3.1 **เครื่องรีดผักตบชวา** หลักการทำงานคือใช้แรงในการหมุนแล้วใส่เส้นผักตบชวาเข้าไปตรงลูกรีดเพื่อรีดเส้นผักตบชวา ความเร็วในการทำงานขึ้นอยู่กับความชำนาญของบุคคลที่ทำการรีด

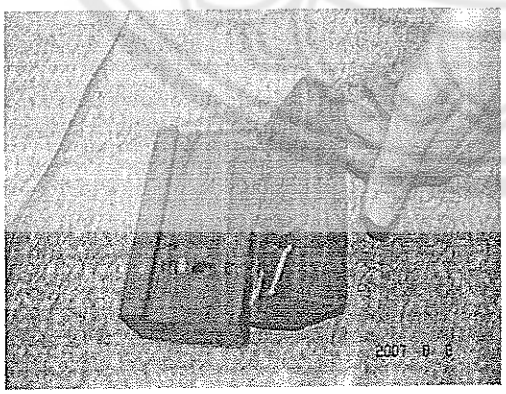


รูปที่ 2.10 เครื่องรีด (1)

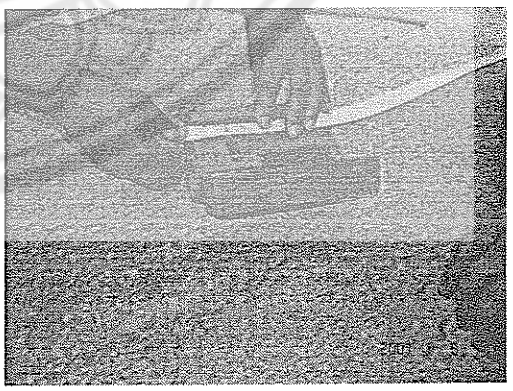


รูปที่ 2.11 เครื่องรีด (2)

2.3.2 **ตลับตัดผักตบชวา** หลักการทำงานคือใส่เส้นผักตบที่ทำการรีดจนเรียบแล้วเข้าไปที่ละ 1 เส้น จากนั้นปิดฝา แล้วใช้แรงดึงเส้นผักตบชวา



รูปที่ 2.12 ตลับตัดผักตบชวา (1)



รูปที่ 2.13 ตลับตัดผักตบชวา (2)

## 2.4 หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์

### 2.4.1 หน้าที่ใช้สอย

หน้าที่ใช้สอยถือเป็นหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดเป็นอันดับแรกที่ต้องคำนึง ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกสบาย ผลิตภัณฑ์นั้นถือว่ามีประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) แต่ถ้าหากผลิตภัณฑ์ใดไม่สามารถสนองความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์นั้นก็จะถือว่ามีประโยชน์ใช้สอยไม่ดีเท่าที่ควร (LOW FUNTION) สำหรับคำว่าประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) นั้น ดลต์ รัตนทัศนีย์ ( 2528 : 1) ได้กล่าวไว้ว่า เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจขอให้ดูตัวอย่างการออกแบบมีดหั่นผักแม้ว่ามีดหั่นผักจะมีประสิทธิภาพในการหั่นผักให้ขาดได้ตามความต้องการ แต่จะกล่าวว่า มีดนั้นมีประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) ยังไม่ได้ จะต้องมีองค์ประกอบอย่างอื่นร่วมอีกเช่น ด้ามจับของมีดนั้นจะต้องมีความโค้งเว้าที่สัมพันธ์กับขนาดของมือผู้ใช้ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการหั่นผักด้วย และภายหลังจากการใช้งานแล้วยังสามารถทำความสะอาดได้ง่าย การเก็บและบำรุงรักษาจะต้องง่ายสะดวกด้วย ประโยชน์ใช้สอยของมีดจึงจะครบถ้วนและสมบูรณ์ เรื่องหน้าที่ใช้สอยนับว่าเป็นสิ่งที่ละเอียดอ่อนซับซ้อนมาก ผลิตภัณฑ์บางอย่างมีประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้คนทั่วๆ ไปทราบเบื้องต้นว่า มีหน้าที่ใช้สอยแบบนี้ แต่ความละเอียดอ่อนที่นักออกแบบได้คิดออกมานั้นได้ตอบสนองความสะดวกสบายอย่างเต็มที่ เช่น มีดในครัวมีหน้าที่หลักคือใช้ความคมช่วยในการหั่น สับ แต่เราจะเห็นได้ว่ามีการออกแบบมีดที่ใช้ในครัวอยู่มากมายหลายแบบหลายชนิดตามความละเอียดในการใช้ประโยชน์เป็นการเฉพาะที่แตกต่างเช่น มีดสำหรับปอกผลไม้ มีดแล่เนื้อสัตว์ มีดสับกระดูก มีดบะซ่อ มีดหั่นผัก เป็นต้น ซึ่งก็ได้มีการออกแบบลักษณะแตกต่างกันออกไปตามการใช้งาน ถ้าหากมีการใช้มีดอยู่ชนิดเดียวแล้วใช้กันทุกอย่างตั้งแต่แล่เนื้อ สับบะซ่อ สับกระดูก หั่นผัก ก็อาจจะใช้ได้ แต่จะไม่ได้ความสะดวกเท่าที่ควร หรืออาจได้รับอุบัติเหตุขณะที่ใช้ได้ เพราะไม่ใช่ประโยชน์ใช้สอยที่ได้รับการออกแบบมาให้ใช้เป็นการเฉพาะอย่าง การออกแบบเก้าอี้ก็เหมือนกัน หน้าที่ใช้สอยเบื้องต้นของเก้าอี้ คือใช้สำหรับนั่ง แต่นั่งในกิจกรรมใด นั่งในห้องรับแขก ขนาดลักษณะรูปแบบเก้าอี้ก็เป็นความสะดวกในการนั่งรับแขก พูดคุยกัน นั่งรับประทานอาหาร ขนาดลักษณะเก้าอี้ก็เป็นความเหมาะสมกับโต๊ะอาหาร นั่งเขียนแบบบนโต๊ะเขียนแบบ เก้าอี้ก็จะมีขนาดลักษณะที่ใช้สำหรับการนั่งทำงานเขียนแบบ ถ้าจะเอาเก้าอี้รับแขกมาใช้นั่งเขียนแบบ ก็คงจะเกิดการเมื่อยล้า ปวดหลัง ปวดคอ แล้วนั่งทำงานได้ไม่นาน ตัวอย่างดังกล่าวต้องการที่จะพูดถึงเรื่องของหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญและละเอียดอ่อนมาก ซึ่งนักออกแบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาข้อมูลอย่างละเอียด

2.4.2 ความปลอดภัย

สิ่งที่อำนวยประโยชน์ได้มากเพียงใด ย่อมจะมีโทษเพียงนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ให้ความสะดวกต่างๆ มักจะเกิดจากเครื่องจักรกลและเครื่องใช้ไฟฟ้า การออกแบบควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ต้องแสดงเครื่องหมายไว้ให้ชัดเจนหรือมีคำอธิบายไว้ ผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก ต้องคำนึงถึงวัสดุที่เป็นพิษเวลาเด็กเอาเข้าปากกัดหรืออม นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้เป็นสำคัญ มีการออกแบบบางอย่าง ต้องใช้เทคนิคที่เรียกว่าแบบธรรมดา แต่คาดไม่ถึงช่วยในการให้ความปลอดภัย เช่น การออกแบบหัวเกลียววาล์ว ถังแก๊ส หรือปุ่มเกลียวล็อกใบพัดของพัดลม จะมีการทำเกลียวเปิดให้ย้อนศรตรงกันข้ามกับเกลียวทั่วๆ ไป เพื่อความปลอดภัย สำหรับคนที่ไม่ทรายหรือเคยมือไปหมุนเล่นคือ ยิ่งหมุนก็ยิ่งขันแน่น เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้

2.4.3 ความแข็งแรง

ผลิตภัณฑ์จะต้องมีความแข็งแรงในตัวของผลิตภัณฑ์หรือโครงสร้างเป็นความเหมาะสมในการที่นักออกแบบรู้จักใช้คุณสมบัติของวัสดุและจำนวน หรือปริมาณของโครงสร้าง ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะต้องมีการรับน้ำหนัก เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ต้องเข้าใจหลักโครงสร้างและการรับน้ำหนัก อีกทั้งต้องไม่ทิ้งเรื่องของความสวยงามทางศิลปะ เพราะมีปัญหาว่า ถ้าใช้โครงสร้างให้มากเพื่อความแข็งแรง จะเกิดสวนทางกับความงาม นักออกแบบจะต้องเป็นผู้ดึงเอาสิ่งสองสิ่งนี้เข้ามาอยู่ในความพอดีให้ได้ ส่วนความแข็งแรงของตัวผลิตภัณฑ์เองนั้นก็ขึ้นอยู่ที่การออกแบบรูปร่างและการเลือกใช้วัสดุ และประกอบกับการศึกษาข้อมูลการใช้ผลิตภัณฑ์ว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องรับน้ำหนักหรือกระทบกระแทกอะไรหรือไม่ในขณะใช้งานก็คงต้องทดลองประกอบการออกแบบไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงของโครงสร้างหรือตัวผลิตภัณฑ์ นอกจากเลือกใช้ประเภทของวัสดุ โครงสร้างที่เหมาะสมแล้วยังต้องคำนึงถึงความประหยัดควบคู่กันไปด้วย

2.4.4 ความสะดวกสบายในการใช้

นักออกแบบต้องศึกษาวิชากายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับสัดส่วน ขนาด และขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายของมนุษย์ทุกเพศ ทุกวัย ซึ่งจะประกอบด้วยความรู้ทางด้านขนาดสัดส่วนมนุษย์ (ANTHROPOMETRY) ด้านสรีรศาสตร์ (PHYSIOLOGY) จะทำให้ทราบ ขีดจำกัด ความสามารถของอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบ หรือศึกษาด้านจิตวิทยา (PSYCHOLOGY) ซึ่งความรู้ในด้านต่างๆ ที่กล่าวมานี้ จะทำให้นักออกแบบ ออกแบบและกำหนดขนาด (DIMENSIONS) ส่วนโค้ง ส่วนเว้า ส่วนตรง ส่วนแคบ

ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างพอเหมาะกับร่างกายหรืออวัยวะของมนุษย์ที่ใช้ ก็จะเกิดความสะดวกสบายในการใช้การไม่เมื่อยมือหรือเกิดการล้าในขณะที่ใช้ไปนานๆ ผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาวิชาดังกล่าว ก็จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้ต้องใช้อวัยวะร่างกายไปสัมผัสเป็นเวลานาน เช่น เก้าอี้ ด้าม เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ การออกแบบภายในห้องโดยสารรถยนต์ ที่มือจับรถจักรยาน ปุ่มสัมผัสต่างๆ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ยกตัวอย่างมานี้ถ้าผู้ใช้ผู้ใดได้เคยใช้มาแล้วเกิดความไม่สบายร่างกายขึ้น ก็แสดงว่าศึกษากายวิภาคเชิงกลไม่ดีพอแต่ทั้งนี้ก็ต้องศึกษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้ดีก่อน จะไปเหมาว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่ดี เพราะผลิตภัณฑ์บางชนิดผลิตมาจากประเทศตะวันตก ซึ่งออกแบบโดยใช้มาตรฐานผู้ใช้ของชาวตะวันตก ที่มีรูปร่างใหญ่โตกว่าชาวเอเชีย เมื่อชาวเอเชียนำมาใช้อาจจะไม่พอดีหรือหลวม ไม่สะดวกในการใช้งาน นักออกแบบจึงจำเป็นต้องศึกษาสัดส่วนร่างกายของชนชาติหรือเผ่าพันธุ์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์

2.4.5 ความสวยงาม

ผลิตภัณฑ์ในยุคปัจจุบันนี้ความสวยงามนับว่ามีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าหน้าที่ใช้สอยเลย ความสวยงามจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการตัดสินใจซื้อเพราะประทับใจ ส่วนหน้าที่ใช้สอยจะดีหรือไม่ต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งคือใช้ไปเรื่อยๆ ก็จะเกิดข้อบกพร่องในหน้าที่ใช้สอยให้เห็นภายหลัง ผลิตภัณฑ์บางอย่างความสวยงามก็คือ หน้าที่ใช้สอยนั่นเอง เช่น ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกของโชว์ตกแต่งต่างๆ ซึ่งผู้ซื้อเกิดความประทับใจในความสวยงามของผลิตภัณฑ์ ความสวยงามจะเกิดมาจากสิ่งสองสิ่งด้วยกันคือ รูปร่าง (FORM) และสี (COLOR) การกำหนดรูปร่างและสี ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนกับการกำหนด รูปร่าง สี ได้ตามความนึกคิดของจิตรกรที่ต้องการ แต่ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นในลักษณะศิลปะอุตสาหกรรมจะทำตามความชอบ ความรู้สึกนึกคิดของนักออกแบบแต่เพียงผู้เดียวไม่ได้จำเป็นต้องยึดข้อมูลและกฎเกณฑ์ผสมผสานรูปร่างและสีสันให้เหมาะสม ด้วยเหตุของความสำคัญของรูปร่างและสีที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ นักออกแบบจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาวิชา ทฤษฎีหรือหลักการออกแบบและวิชาทฤษฎีสี ซึ่งเป็นวิชาทางด้านของศิลปะแล้วนำมาประยุกต์ผสานใช้กับศิลปะทางด้านอุตสาหกรรมให้เกิดความกลมกลืน

2.4.6 ราคาพอสมควร

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาขายนั้นย่อมต้องมีข้อมูลด้านผู้บริโภคและการตลาดที่ได้ค้นคว้าและสำรวจแล้ว ผลิตภัณฑ์ย่อมจะต้องมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ว่าเป็นคนกลุ่มใด อาชีพ ฐานะเป็นอย่างไร มีความต้องการใช้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์นี้เพียงใด นักออกแบบก็จะเป็นผู้กำหนด

แบบผลิตภัณฑ์ ประมาณราคาขายให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่จะซื้อได้การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมกับผู้ซื้อนั้น ก็อยู่ที่การเลือกใช้ชนิดหรือเกรดของวัสดุ และเลือกวิธีการผลิตที่ง่ายรวดเร็ว เหมาะสม อย่างไรก็ดี ถ้าประมาณการออกมาแล้ว ปรากฏว่า ราคาค่อนข้างจะสูงกว่าที่กำหนดไว้ ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาองค์ประกอบด้านต่างๆ กันใหม่ แต่ก็ยังต้องคงไว้ซึ่งคุณค่าของผลิตภัณฑ์นั้น เรียกว่าเป็นวิธีการลดค่าใช้จ่าย

2.4.7 การซ่อมแซมง่าย

หลักการนี้คงจะใช้กับผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่มีกลไกภายในซับซ้อน อะไหล่บางชิ้นย่อมต้องมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานหรือการใช้งานในทางที่ผิด นักออกแบบย่อมที่จะต้องศึกษาถึงตำแหน่งในการจัดวางกลไกแต่ละชิ้นตลอดจนนอตสกรู เพื่อที่จะได้ออกแบบส่วนของฝาครอบบริเวณต่างๆ ให้สะดวก ในการถอดซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ง่าย

2.4.8 วัสดุและวิธีการผลิต

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ผลิตด้วยวัสดุสังเคราะห์ อาจมีกรรมวิธีการเลือกใช้วัสดุและวิธีผลิตได้หลายแบบ แต่แบบหรือวิธีใดถึงจะเหมาะสมที่สุด ที่จะไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าที่ประมาณ ฉะนั้น นักออกแบบคงจะต้องศึกษาเรื่องวัสดุและวิธีผลิตให้ลึกซึ้ง โดยเฉพาะวัสดุจำพวกพลาสติกในแต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันออกไป เช่น มีความใส ทนความร้อน ผิวมันวาว ทนกรดด่างได้ดี ไม่ลื่น เป็นต้น ก็ต้องเลือกให้คุณสมบัติดังกล่าวให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่พึงมียิ่งในยุคสมัยนี้ มีการรณรงค์ช่วยกันพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการใช้วัสดุที่นำกลับหมุนเวียนมาใช้ใหม่ ก็ยิ่งทำให้นักออกแบบย่อมต้องมีบทบาทเพิ่มขึ้นอีกคือ เป็นผู้ช่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการเลือกใช้วัสดุที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ ที่เรียกว่า รีไซเคิล

2.4.9 การขนส่ง

นักออกแบบต้องคำนึงถึงการประหยัดค่าขนส่ง การขนส่งสะดวกหรือไม่ ระยะใกล้หรือระยะไกลกินเนื้อที่ในการขนส่งมากน้อยเพียงใด การขนส่งทางบกทางน้ำหรือทางอากาศต้องทำการบรรจุหีบห่ออย่างไร ถึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเสียหายชำรุด ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์บรรทุกสินค้าหรือเนื้อที่ที่ใช้ในการขนส่งมีขนาด กว้าง ยาว สูง เท่าไหร่ เป็นต้น หรือในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบมีขนาดใหญ่โตยาวมาก เช่น เตียง หรือพัดลมแบบตั้งพื้น นักออกแบบก็ควรที่จะคำนึงถึงเรื่องการขนส่ง ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบกันเลย คือ ออกแบบให้มีชิ้นส่วน

สามารถถอดประกอบได้ง่าย สะดวก เพื่อทำให้หีบห่อมีขนาดเล็กสุดสามารถบรรจุได้ในลังที่เป็นขนาดมาตรฐาน เพื่อการประหยัดค่าขนส่ง เมื่อผู้ซื้อซื้อไปก็สามารถที่จะขนส่งได้ด้วยตนเองนำกลับไปบ้านก็สามารถประกอบชิ้นส่วนให้เข้ารูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยสะดวกด้วยตนเอง

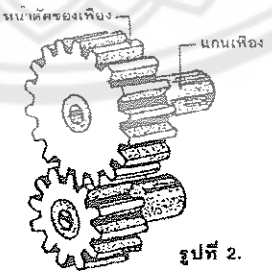
เรื่องหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้กล่าวมาทั้ง 9 ข้อนี้เป็นหลักการที่นักออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงเป็นหลักการทางสากลที่ได้กล่าวไว้ในขอบเขตอย่างกว้าง ครอบคลุมผลิตภัณฑ์ไว้ทั่วทุกกลุ่มทุกประเภทในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้น อาจจะไม่ต้องคำนึงหลักการดังกล่าวครบทุกข้อก็ได้ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์บางชนิดก็อาจจะต้องคำนึงถึงหลักการดังกล่าวครบถ้วนทุกข้อ เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์ไว้แขวนเสื้อ ก็คงจะเน้นหลักการด้านประโยชน์ใช้สอย ความสะดวกในการใช้และความสวยงามเป็นหลัก คงจะไม่ต้องไปคำนึงถึงด้านการซ่อมแซม เพราะไม่มีกลไกซับซ้อนอะไร หรือการขนส่ง เพราะขนาดจำกัดตามประโยชน์ใช้สอยบังคับ เป็นต้น ในขณะที่ผลิตภัณฑ์บางอย่าง เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์รถยนต์ ก็จำเป็นที่นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ครบทั้ง 9 ข้อ เป็นต้น

## 2.5 หลักการ วัสดุอุปกรณ์ และทฤษฎีที่นำมาใช้ในการจัดสร้างเครื่องรีดตักผักตบชะวาตากแห้ง

### 2.5.1 เฟือง (Gear)

เฟือง คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังระหว่างเพลากับเพลา โดยอาศัยฟันเฟืองทั้งสองขบกัน นอกจากนี้เฟืองยังสามารถใช้ในการทดรอบเพื่อเพิ่มหรือลดความเร็วเฟืองตัวที่ใช้ขับได้ ซึ่งชนิดของเฟืองที่นำมาใช้คือ

เฟืองตรง (Spur gear) เป็นเฟืองซึ่งมีลักษณะฟันตรงและมีทิศขนานกับแกนเพลา เฟืองชนิดนี้เป็นแบบธรรมดา ทำง่าย ราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ใช้ถ่ายทอดกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน เช่น ชุดเฟืองทดในเครื่องจักร เป็นต้น



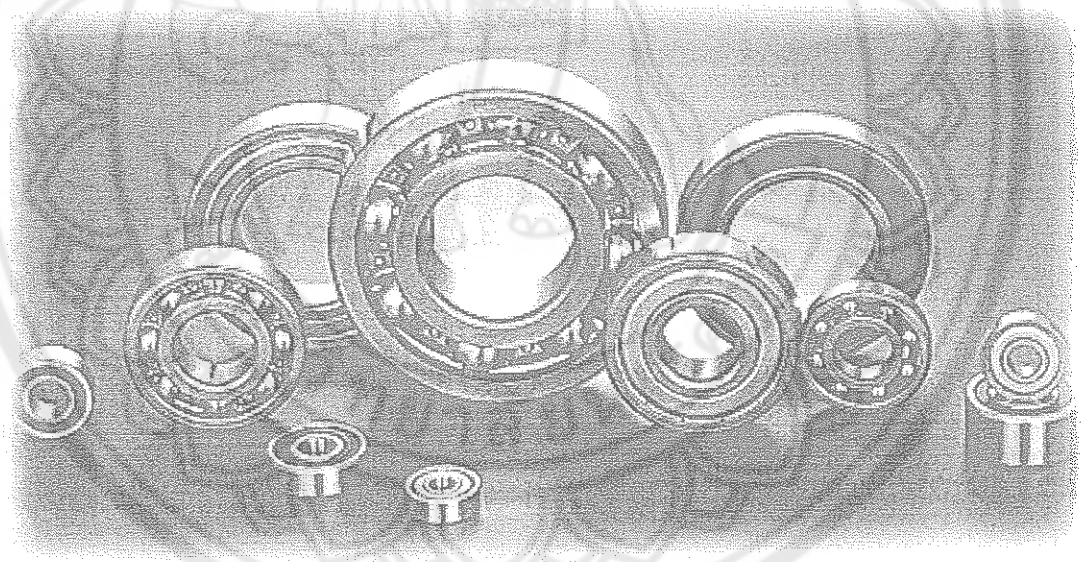
รูปที่ 2.

รูปที่ 2.14 เฟืองตรง (Spur gear)

นอกจากนี้ยังมี เฟืองแรกซ์หรือเฟืองสะพาน (Rack) เป็นเฟืองตรงชนิดที่มีรัศมีแบบไม่สิ้นสุด กล่าวคือ ฟันของเฟืองอยู่ในแนวเส้นตรงบนระนาบ ลักษณะฟันอาจตรงหรือเฉียงก็ได้

### 2.5.2 แบริงแบบกลิ้ง (Rolling bearing)

แบริงแบบกลิ้ง (Rolling bearing) หรือตลับลูกปืน เป็นชิ้นส่วนที่ใช้รองรับเพลาและส่งถ่ายโหลดจากเพลาผ่านลูกกลิ้ง (Rolling element) ซึ่งอยู่ระหว่างวงแหวนในและวงแหวนนอก แบริงแบบกลิ้ง ประกอบด้วยวงแหวนในและวงแหวนนอก (วงแหวนในใช้สวมเข้ากับเพลาและวงแหวนนอกยึดอยู่ในตัวเรือนแบริง) มีลูกกลิ้งแบบเม็ดกลมหรือเม็ดทรงกระบอกอยู่ระหว่างวงแหวนในและวงแหวนนอกโดยมีกรงหรือรัง (cage) ยึดคั่นแยกลูกกลิ้งให้มีระยะห่างคงที่ เมื่อวงแหวนใดวงแหวนหนึ่งหมุน ลูกกลิ้งแบบเม็ดกลมหรือแบบเม็ดทรงกระบอกจะกลิ้งอยู่ในรางของวงแหวนซึ่งทำให้ความเสียดทานระหว่างลดลงมาก แต่เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรางและลูกกลิ้งน้อย (โหลดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่าสูง) ลูกกลิ้งและวงแหวนจึงต้องทำจากเหล็กกล้าที่มีความแข็งและความต้านแรงสูง



รูปที่ 2.15 แบริงแบบกลิ้ง (Rolling bearing) แบบต่างๆ

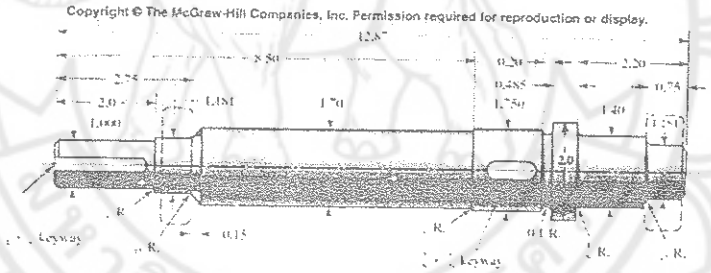
คุณสมบัติทั่วไปของแบริงแบบกลิ้ง มีดังนี้

- ความเสียดทานขณะเริ่มต้นหมุนและเมื่อหมุนแล้วเกือบเท่ากัน ความเสียดทานต่ำกว่าเจอร์นัลแบริง ยกเว้นที่ความเร็วรอบสูง
- ต้องการการหล่อลื่นและการบำรุงรักษาน้อย

- ใช้เนื้อที่ตามแนวแกนน้อย แต่ตามแนวรัศมีใช้เนื้อที่มากกว่าเจอร์นัลแบริง (Journal bearing)
- มีเสียงดังและราคาแพงกว่าเจอร์นัลแบริง
- อายุใช้งานจำกัด (รางหรือลูกกลิ้งมักเสียหายเนื่องจากการสึกหรอหรือความล้าที่ผิว)

2.5.3 เพลา

กล่าวว่าเพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้การส่งกำลังบางครั้งเพลาอาจต้องรับแรงดึงแรงกด แรงบิด แรงดัน หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงต่อแรงที่มากระทำ นอกจากนี้เพลายังมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาเพราะถ้าหากเพลาโก่งมากก็จะทำให้เกิดการแกว่งในขณะที่หมุนทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการแกว่งอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตได้ระยะโก่งยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลาด้วย




รูปที่ 2.16 เพลา

ที่มา : วริทธิ์ อึ้งภาภรณ์ และชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,(2521)

2.5.3.1 วัสดุเพลา วัสดุที่ใช้ทำเพลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าหากต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษ ต้องใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร ต้องกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบควรเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนชนิดอื่น ดังแสดงลักษณะเพลาดังภาพ

2.5.3.2 ขนาดของเพลาเพื่อให้เพลาขนาดมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ จึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Normal Size) ใน ISO/775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อสามารถหาซื้อได้ทั่วไปนอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของตลับลูกปืนที่ใช้รองรับเพลา แสดงดังตาราง

ตาราง 2.1 แสดงขนาดเพลาตามมาตรฐานนานาชาติ ISO/R 775-1969

| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา (มิลลิเมตร) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 12 | 30 | 55 | 80 |
| 7 | 14 | 35 | 60 | 85 |
| 8 | 18 | 40 | 65 | 90 |
| 9 | 20 | 45 | 70 | 95 |
| 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| 110 | 150 | 190 | 260 | 360 |
| 120 | 160 | 200 | 280 | 380 |
| 130 | 170 | 220 | 300 | 400 |

ที่มา : วริทธิ์ อึ้งภาภรณ์ และชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,(2521)

2.5.3.3 การคำนวณขนาดเพลาสามารถคำนวณได้จากวิธีการของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (American Standard Mechanic Engineering ASME) ดังนั้น จึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d = \frac{16}{\pi \tau_d}\left[(C_t \times T)^2 + (C_m \times M)^2\right]^{1/2} \qquad (2.1)$$

เมื่อ d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$\tau_d$ คือ ค่าความเค้นเฉือนในงานของเพลา มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อตารางมิลลิเมตร

T คือ แรงบิด มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

M คือ โมเมนต์ดัด มีหน่วยนิวตัน-เมตร

$C_t$ คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากบิด หาได้จากตาราง 2.1

$C_m$ คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากดัด หาได้จากตาราง 2.1

2.5.3.4 ความเค้นในการออกแบบวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วยภายในเครื่องจักรต้องออกแบบให้อยู่ภายใต้แรงกระทำที่มีความเค้นไม่เกินความเค้นเฉือนที่จุดครากของวัสดุ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau_d = \frac{\tau_y}{N} \qquad (2.2)$$

เมื่อ $\tau_d$ คือ ความเค้นเฉือนในการออกแบบมีหน่วยเป็นนิวตันเมตร/ตารางมิลลิเมตร

$\tau_y$ คือ ค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก มีหน่วยเป็นนิวตัน/เมตร

N คือ ค่าความปลอดภัย

2.5.3.5 ค่าความปลอดภัย เป็นตัวเลขที่นำมาหาค่าความเค้นต้านทานแรงดึงครากเพื่อให้ได้ความเค้นออกแบบ ค่าความปลอกภัย แสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 แสดงค่าความปลอดภัยของเพลา

| ชนิดของแรง | เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว | | เหล็กเหนียวและโลหะเปราะ |
|---|---|---|---|
| | $N_y$ | $N_u$ | $N_u$ |
| แรงอยู่นิ่ง | 1.5-2.0 | 3.0-4.0 | 5.0-6.0 |
| แรงซ้ำทิศทางเดียวกันหรือแรงกระแทกเล็กน้อย | 3.0 | 6.0 | 7.0-8.0 |
| แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรงกระแทกเล็กน้อย | 4.0 | 8 | 10.0-12.0 |
| แรงกระแทกอย่างหนัก | 5.0-7.0 | 10.0-15.0 | 15.0-20.0 |

ที่มา : วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, (2521)

ตาราง 2.3 แสดงตัวประกอบความล้าของเพลา

| ชนิดของแรง | ค่าประกอบความล้าดัด ($C_m$) | ค่าประกอบความล้าบิด ($C_t$) |
|---|---|---|
| เพลาอยู่นิ่ง | | |
| แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ | 1.0 | 1.0 |
| แรงกระตุก | 1.5-2.0 | 1.5-2.0 |
| เพลาหมุน | | |
| แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ | 1.5 | 1.0 |
| แรงกระตุกอย่างเบา | 1.5-2.0 | 1.0-1.5 |
| แรงกระตุกอย่างแรง | 2.0-3.0 | 1.5-3.0 |

ที่มา : วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, (2521)

2.5.3.6 การคำนวณแรงที่กระทำในแนวแรง คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมของวัตถุที่เป็นสัดส่วนที่กระทำกับแนวแรงที่กระทำในแนวแรง ซึ่งสามารถหาแนวแรงได้จากสมการ

$$F = mg \qquad (2.3)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำในแนวแรง มีหน่วยเป็น นิวตัน

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/วินาที

2.5.3.7 แรงบิดโมเมนต์ของแรงที่กระทำกับเพลา ซึ่งพยายามบิดเพลาหรือทำให้เพลาหมุนเรียกว่า แรงบิด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$T = F \times R \qquad (2.4)$$

เมื่อ T คือ แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

F คือ แรงที่กระทำในแนวแรงมีหน่วยเป็น นิวตัน

R คือ รัศมี มีหน่วยเป็น มิลิเมตร

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะที่เลือกใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau_d = 0.3 \times \sigma_t \qquad (2.5)$$

เมื่อ $\tau_d$ คือ ความเค้นเฉือนใช้งานของเพลา มีหน่วยเป็นนิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

$\sigma_t$ คือ ความเค้นดึง มีหน่วยเป็นนิวตัน/ตารางเมตร

หมายเหตุ ถ้าเพลามีร่องลิ่มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ค่าความต้านทานแรงดึงคราก (Yield Strength) แสดงดังตาราง 2.4

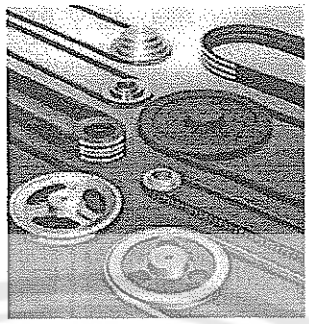
ตาราง 2.4 แสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าตามมาตรฐานเยอรมัน (Din)

| วัสดุ | ยังโมดูลัส (นิวตันต่อตารางเมตร) | ความต้านทานแรงดึง (นิวตันต่อตารางเมตร) | ความต้านแรงดึงคราก (นิวตันต่อตารางเมตร) | ความต้านแรงเฉือนคราก (นิวตันต่อตารางเมตร) | โมดูลัสความแข็งเกร่ง (นิวตันต่อตารางเมตร) |
|---|---|---|---|---|---|
| St 37 | 210000 | 370 | 240 | 140 | 80000 |
| St 42 | 210000 | 420 | 250 | 160 | 80000 |
| St 50 | 210000 | 500 | 300 | 200 | 80000 |
| St 52 | 210000 | 520 | 320 | 200 | 80000 |
| St 60 | 210000 | 600 | 360 | 220 | 80000 |
| St 70 | 210000 | 700 | 420 | 260 | 80000 |
| 37 Mn si5 | 210000 | 1000 | 750 | 280 | 80000 |
| Al Cu Mg | 72000 | 420 | 280 | 130 | 28000 |

ที่มา : วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, (2521)

2.5.4 สายพานส่งกำลัง

การส่งกำลังด้วยสายพาน จะประกอบด้วยสายพานที่หยุ่นตัวได้ติดตั้งรอบพุลเลย์ (pulley)ตั้งแต่สองอันขึ้นไป ซึ่งเป็นการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน แรงในแนวสัมผัสจะถูกส่งถ่ายจากพุลเลย์ขับไปยังพุลเลย์ตาม โดยอาศัยความเสียดทานระหว่างสายพานและพุลเลย์



รูปที่ 2.17 สายพานส่งกำลัง

ในการส่งกำลังด้วยสายพาน สามารถติดตั้งสายพานขับได้หลายแบบ ได้แก่ สายพานแบบเปิด (Open belt) สำหรับขับเพลาที่ขนานกันให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน สายพานแบบไขว้ (cross belt) สำหรับเพลาที่ขนานกันให้หมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม สายพานแบบกึ่งไขว้ (half-crossed belt) สำหรับเพลาที่ข้ามกัน สายพานแบบทำมุมกัน (angular belt) สำหรับเพลาที่ตัดกัน

การแบ่งประเภทของสายพานตามลักษณะของภาคตัดขวาง ได้แก่ สายพานแบน (Flat belt) มีภาพตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานวี (V belt) มีภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และสายพานหลายวี มีภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูหลายรูปวางขนานกันและยึดปิดด้านบนร่วมกัน สายพานกลมหรือสายพานเชือก มีภาคตัดขวางกลม

**ข้อดีของสายพานส่งกำลัง** เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เฟืองและโซ่กำลัง ซึ่งทำให้มีการใช้สายพานส่งกำลังอย่างกว้างขวาง ได้แก่

- การทำงานค่อนข้างเงียบกว่า (ยกเว้นเสียงกระแทกจากรอบต่อของสายพานแบน)
- สามารถดูดซับการกระแทกและการสั่นสะเทือนได้ดีกว่า
- การติดตั้งง่ายไม่ต้องการเรือนเฟืองและการหล่อลื่น
- ราคาถูกกว่ามากโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเพลาห่างกันมาก และการติดตั้งพุลเลย์ทำได้ง่าย
- การต่อกำลังทำได้ง่ายเช่นการเลื่อนสายพานแบบไปอยู่บนไอเดิลพุลเลย์(idler pulley)

**ข้อเสียของสายพานส่งกำลัง** ได้แก่

- ใช้เนื้อที่มากกว่า
- เกิดการลื่น (slip) 1 ถึง 2% การลื่นจะแปรเปลี่ยนตามแรงในแนวสัมผัส แรงดึงเบื้องต้นส่วนยืดถาวร และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
- ส่วนยืดถาวรในสายพานเพิ่มขึ้นแบบก้าวหน้าตามเวลาและโหลด ทำให้เกิดการลื่นและสายพานหลุดออกจากพุลเลย์ จึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยปรับความตึง

คุณสมบัติทั่วๆ ไปของสายพานในทางทฤษฎีคือ ต้องทนแรงดึงได้สูง ฟื้นตัวจากการเปลี่ยนรูปถาวรได้ดี สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง (เกิดการคือ (Creep) น้อย) สามารถบิดตัวได้ดี (เกิดความเค้นดันต่ำ) และน้ำหนักจำเพาะต่ำ (แรงหนีศูนย์กลางน้อย)

**กลศาสตร์ของสายพาน**

การขับเคลื่อนด้วยสายพานซึ่งได้รับแรงดึงเบื้องต้น Fi สมมุติว่าเมื่อพุลเลย์ไม่หมุนหรือหมุนตัวเปล่าไม่มีการส่งกำลัง สายพานด้านบนและด้านล่างจะเกิดแรงดึงเท่ากันคือ เท่ากับ Fi เมื่อมีการส่งกำลัง โมเมนต์บิด T1 กระทำต่อเพลาขับและโมเมนต์บิดต้าน T2 กระทำต่อเพลาตามในทิศทางตรงกันข้าม จะเกิดแรงดึงในสายพานด้านขับ (ด้านตึง) สูงกว่าสายพานด้านตาม (ด้านหย่อน) F1>F2 ดังรูปที่ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงทั้งสองด้านของสายพานสามารถหาได้เช่นเดียวกับในเบรกสายพานแบนคือ

$$\frac{F1}{F2} = e^{f\theta} \qquad (2.6)$$

เมื่อ f = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างพุลเลย์กับสายพาน

$\theta$ = มุมโอบหรือมุมสัมผัสระหว่างสายพานกับพุลเลย์ขับ

เมื่อสายพานส่งกำลังจะได้ว่า F1>F2และF2<F1 แสดงว่าด้านตึงจะเกิดการยืดตัว ขณะที่ด้านหย่อนจะเกิดการหดตัว จุดบนสายพานซึ่งตรงกับจุด A ของพุลเลย์ขับจะเคลื่อนไปถึงตำแหน่ง B ช้ากว่าจุด A ของพุลเลย์ ความเร็วของสายพานจะน้อยกว่าความเร็วขอบของพุลเลย์ขับในทางตรงกันข้ามจุด C ของพุลเลย์ตามจะถึงตำแหน่ง D ช้ากว่าสายพาน (ในช่วงโค้ง CD) ดังนั้นความเร็วขอบของพูลเลอร์ตามจะน้อยกว่าความเร็วขอบของพูลเลอร์ขับ การสูญเสียความเร็วในสายพานเรียกว่า การคืบยืดหยุ่น (elastic creep)

เนื่องจากแรงในสายพานรอบพุลเลย์ขับเปลี่ยนจาก F1 เป็น F2 ความเครียด $\varepsilon$ ในสายพานก็จะเปลี่ยนจาก $\varepsilon_1$ เป็น $\varepsilon_2$ ด้วย ผลต่างของความเครียดเรียกว่า การลื่นของสายพาน (belt slip) แทนด้วย s ดังนั้น

ปี TJ
230
ท237ก
2550

i442637x c.2
16 ส.ค. 2552

25
สำนักหอสมุด

$$S = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

ให้ w เป็นน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายพาน ถ้าสมมุติว่าการเปลี่ยนรูปของสายพานด้านตึงและด้านหย่อนไม่ทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลง ดังนั้นอัตราของมวลที่เข้าพุลเลย์และออกจากพุลเลย์จะต้องเท่ากัน

$w_2 > w_i > w_1$ และ $v_2 > v_i > v_1$

$$w_i = w(1+\varepsilon) = \text{คงที่}$$

$$v/(1+\varepsilon) = \text{คงที่} \qquad (2.7)$$

จากสมการ (2.2)
$$\frac{v_1}{(1+\varepsilon_1)} = \frac{v_2}{(1+\varepsilon_2)}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} \approx 1+(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = 1+s \qquad (2.8)$$

ถ้าให้ความเร็วเชิงมุมของพุลเลย์ขับและของพุลเลย์ตาม คือ $\omega_1$ และ $\omega_2$ ตามลำดับจะได้ว่า

$$v_1 = \omega_1 d/2; v_2 = \omega_2 D/2$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v_1}{v_2} \times \frac{D}{d} = (1+s)\frac{D}{d} \qquad (2.9)$$

สมการ (2.4) ให้อัตราทด i ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ และสัมพันธ์กับการลื่นของสายพานซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานและไม่คงที่ จากการทดลองพบว่าการลื่นของสายพานอยู่ในช่วง 1% ถึง 2% อัตราทดสำหรับสายพานแบนใช้ได้สูงถึง 5 และสายพานวีสามารถใช้ได้กับอัตราทดสูงถึง 15 (ปกติไม่เกิน7)

ถ้าปริมาตรคงที่ จะได้ว่าส่วนยืดในสายพานด้านตึงจะต้องเท่ากับส่วนที่หดในสายพานด้านหย่อน ดังนั้น

$$(\varepsilon_1 - \varepsilon_i)L = (\varepsilon_i - \varepsilon_2)L$$

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 2\varepsilon_i \qquad (2.10)$$

จากกฎของฮุคในช่วงสัดส่วนตรง $\varepsilon = F/AE$ จะได้ว่า

$$F_1 + F_2 = 2F_i \qquad (2.11)$$

ถ้าให้แรงขับที่ขอบพุลเลย์คือ $F_t$ ความเร็วของขอบ v และกำลังที่สายพานส่งได้คือ P

$$P = F_t v \qquad (2.12)$$

$$F_t = F_1 - F_2 \qquad (2.13)$$

จากสมการ (2.6) ให้ $a = e^{f\theta}$ และสมการ (2.11) จะได้ว่า

$$F_2 = F_t/(a-1); F_1 = F_1 a/(a-1)$$

$$F_i = F_t \frac{(a+1)}{2(a-1)} \quad (2.14)$$

$$r_p = \frac{F_t}{2F_i} = \frac{a-1}{a+1} \quad (2.15)$$

$r_p$ เรียกว่า อัตราส่วนการดึง (pull ratio) และประสิทธิภาพของสายพานหาได้จาก

$$\eta = \text{กำลังขาออก/กำลังขาเข้า}$$

$$\eta = \frac{(F_1 - F_2)v_2}{(F_1 - F_2)v_1} \times 100 = (1-s)100 \quad (2.16)$$

อัตราส่วนการดึงเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญมากของการใช้สายพาน แฟคเตอร์การลื่นและประสิทธิภาพของสายพานขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการดึง ประสิทธิภาพของสายพานทั่วๆ ไปจะสูงประมาณ 95% ใกล้ๆ กับจุดที่แฟคเตอร์การลื่นเริ่มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนั้น (ที่จุด C) ประสิทธิภาพของสายพานจะมีค่าสูงสุดโดยประมาณ ก่อนจุดดังกล่าวอัตราส่วนการดึงมีค่าต่ำ สายพานจะหนักและมีการสูญเสียมากซึ่งทำให้ประสิทธิภาพต่ำ หลักจากจุดที่ดีที่สุดความเสียดทานไถลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเกิดการสูญเสียและทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าอัตราส่วนการดึงที่ดีที่สุดคือ 0.6 สำหรับสายพานยืดหยุ่น และสายพานหนัง 0.5 สำหรับสายพานผ้าฝ้าย 0.4 สำหรับสายพานผ้าขนสัตว์ และ 0.5 สำหรับสายพานพลาสติก ใช้อัตราส่วนการดึงระหว่าง 0.4-0.6 สำหรับสายพานแบน และ 0.7-0.9 สำหรับสายพานตัววี

**ความเค้นในสายพาน**

เมื่อสายพานทำงานที่ความเร็วสูง จะต้องพิจารณาถึงแรงเฉื่อยจากการหมุนด้วย สมมุติว่าช่วงเล็กๆ ของสายพาน เกิดแรงดึง $F_c$ ในสายพานเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางย่อย ๆ

$$(dm)r\omega^2$$

เมื่อ w = น้ำหนักของสายพานต่อหนึ่งหน่วยความยาว แรงหนีศูนย์กลางย่อย ๆ

$= w(rd\theta)v^2/gr$ สำหรับมุมเอียง $d\theta$ น้อย ๆ $\sin(d\theta/2) \approx d\theta/2$ และจากสภาวะสมดุลของสายพานช่วงเล็กๆ จะได้ว่า

$$2F_c(2d\theta/2) = (dm)r\omega^2 = \frac{w}{g} rd\theta \frac{v^2}{r}$$

$$F_c = \frac{w}{g} v^2 \quad (2.17)$$

ความเค้นเนื่องจากแรงดึงสูงสุด $F_1$ ในสายพานซึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวาง A คือ

$$\sigma_1 = F_1 A = F_t / A(a-1) \quad (2.18)$$

ความเค้นเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง $F_c$ หาได้จาก

$$\sigma_v = \frac{w}{g} \cdot \frac{v^2}{A} = \frac{\gamma}{g} v^2 \quad (2.19)$$

เมื่อ $\gamma$ = น้ำหนักจำเพาะ $N/m^3$

v = ความเร็วสายพาน m/s

g = 9.81 $m/s^2$

w = น้ำหนักสายพานต่อความยาวหนึ่งเมตร N/m

ความเค้นเนื่องจากการดัด $M = 2EI/d; \sigma_b = Et/D$ (2.20)

ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์แตกต่างกัน ความเค้นดัดในสายพานที่คล้องพุลเลย์ทุกตัว จะมีค่าแตกต่างกัน

จากการรวมสมการ (e),(f) และ (g) จะได้ว่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในสายพานความเค้นดึงและเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเริ่มสัมผัสกับพุลเลย์ขับ มีค่าดังนี้

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_v + \sigma_b = F_t a / A(a-1) + w^2/g + Et/d_{1,2} \quad (2.21)$$

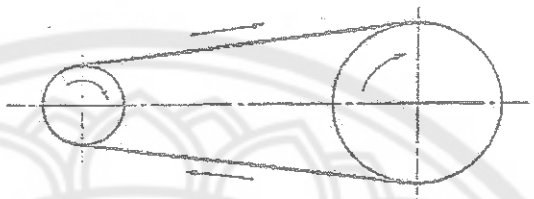
จะเห็นได้ว่า ความเค้นทั้งหมดเป็นความเค้นสถิต ยกเว้นความเค้นดัดจะเป็นความเค้นเปลี่ยนแปลงแบบซ้ำ ความเค้นดัดสูงสุดจะเกิดขึ้นที่พุลเลย์ขนาดเล็กสุด สำหรับวิเคราะห์ความล้าจะได้ว่าความเค้นเฉลี่ยและความเค้นแอมพลิจูดในสายพาน[1] คือ

$$\sigma_m = F_t a / A(a-1) + w^2/g + (Et/d_{min})/2 \quad (2.22)$$

$$\sigma_a = (Et/d_{min})/2 \quad (2.23)$$

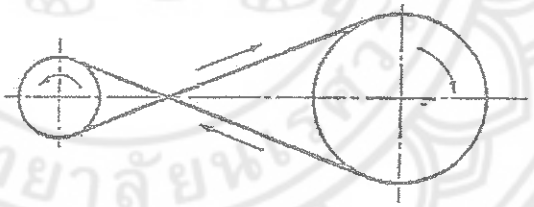
**ลักษณะการขับสายพาน**

- เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพานจึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่างๆกัน ลักษณะทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานเมื่อต้องการขับเพลาที่ขนานกัน และต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ก็จะทำได้ซึ่งเกรียกว่า โอเพ่นไดรว์ (Open drive)



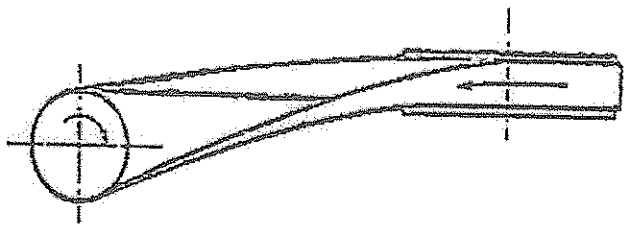
รูปที่ 2.18 การขับเพลาแบบโอเพ่นไดรว์

- ถ้าเพลาอยู่ห่างกันมากควรจะให้สายพานด้านล่างตึง (Tight) และด้านบนหย่อน (Slack) แต่ถ้าต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนสวนทางกันก็จะทำได้โดยการใช้แบบครอสไดรว์ (Crossed drive) แต่การขับแบบนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานถูกัน ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมากเพื่อเป็นการป้องกันจึงควรให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่ายี่สิบเท่าของความกว้างสายพานและทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15 รอบ/นาที



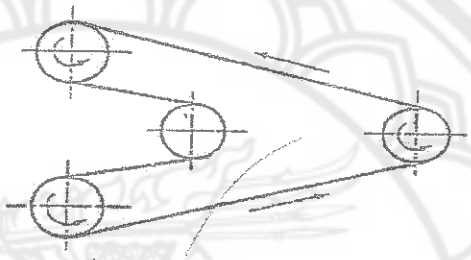
รูปที่ 2.19 การขับเพลาแบบครอสไดรว์

- การขับแบบควอเตอร์เทอนไดรว์ (Quarter turn drive) เมื่อเพลาทั้งสองตั้งฉากและเพื่อป้องกันไม่ให้สานพานหลุดออกจากล้อสายพานในขณะที่ทำงาน จึงต้องใช้ล้อสายพานที่กว้างเพียงพอ โดยทั่วไปจะต้องกว้างมากกว่าความกว้างของสายพานไม่น้อยกว่า 1.4 เท่า และก่อนใช้งานจะต้องทดสอบก่อนเสมอ



รูปที่ 2.20 การขับแบบควอเตอร์เทอนไดรว์

○ ส่วนการขับแบบ ริเวอสไดรว์ (Reverse drive) จะใช้เมื่อต้องการส่งกำลังไปยังเพลาหลายๆอันพร้อมกัน

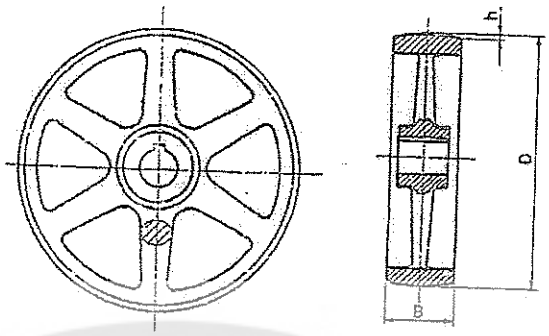


รูปที่ 2.21 การขับแบบ ริเวอสไดรว์

จากการศึกษาลักษณะการขับด้วยสายพานได้กล่าวมาข้างต้น ผู้ศึกษาค้นคว้าได้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของสายพาน โดนคำนึงถึงชนิดของสายพาน เช่น สายพานแบน สายพานตัววี สายพานกลม และวัสดุที่ใช้ทำสายพาน เช่น ยาง หนัง รวมถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเล่ย์และความกว้างของพุลเล่ย์ เมื่อต้องการการทำงานในการส่งกำลังที่เหมาะสมกับงานที่ทำการศึกษา จึงเลือกใช้สายพานตัววีทำจากยาง เป็นตัวส่งกำลัง

2.5.5 ล้อสายพาน

วริทธิ์ อึ้งภาภรณ์ และชาญ ถนัดงาน (2521) การใช้สายพานในการส่งกำลังขึ้นอยู่กับขนากและการจัดวางล้อสายพานเป็นอย่างมาก ดังนั้นการเลือกใช้สายพานอย่างเหมาะสมจึงเกี่ยวข้องกับขนาด ชนิด และผิวหน้าของล้อสายพาน




รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะล้อสายพาน

ผิวโค้งบนหน้าล้อสายพาน (Pulley crown, h) คือ ผลต่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานตรงกึ่งกลางกับตรงขอบ ดังแสดงในรูปที่..... ล้อสายพานที่ดีจะต้องมีผิวโค้งบนหน้าล้อสายพาน แต่ถ้ามีมากเกินไปก็จะทำให้กึ่งกลางสายพานเกิดแรงดึงมากเกินไปทำให้สายพานเสียหายเร็วยิ่งขึ้น ถ้าผิวโค้งบนหน้าล้อสายพาน มีค่ามากจนกระทั่งขอบของสายพานไม่สัมผัสกับล้อสายพาน จะทำให้ควบคุมการเคลื่อนที่ของสายพานได้ไม่สะดวก สายพานสึกหรอเร็ว และยังทำให้สายพานขัดสีกับล้อสายพานจนเป็นมัน อันเป็นผลให้การเสียดทานระหว่างสายพานกับล้อสายพานลดลง ดังนั้นการทำให้ผิวโค้งบนหน้าล้อสายพานจึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานดังแสดงในตาราง 2.5 และเมื่อเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานมีขนาด 400-2000 มม.ผิวโค้งบนหน้าล้อสายพานจะเปลี่ยนแปลงไปตามความกว้างของล้อสายพาน

ตาราง 2.5 แสดงผิวโค้งบนหน้าล้อสายพานแบบมาตรฐาน ISO 100-1975(E)

| เส้นผ่านศูนย์กลาง D มิลลิเมตร | H มิลลิเมตร | เส้นผ่านศูนย์กลาง D มิลลิเมตร | h มิลลิเมตร |
|---|---|---|---|
| 40-112 | 0.3 | 200-224 | 0.6 |
| 125-140 | 0.4 | 250-280 | 0.8 |
| 160-180 | 0.5 | 315-355 | 1 |

ที่มา : วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, (2521)

ล้อสายพานแบบขนาดเล็กมักจะทำจากเหล็กหล่อสีเทา โลหะเบา พลาสติก ไม้ กระดาษ ส่วนล้อแบบขนาดใหญ่มักจะโดยการหล่อ หรือขึ้นรูปโดยใช้เหล็กกล้าโดยมีแขนยื่นออกมาจากดุมล้อ ผิวหน้าของล้อสายพานจะต้องตัดกลึงให้เรียบเพื่อเพิ่มความเสียดทานและลดการสึกหรอของสายพานเนื่องจากการ ครีพ

ความหนาของขอบล้อสายพาน ควรมีค่าประมาณ

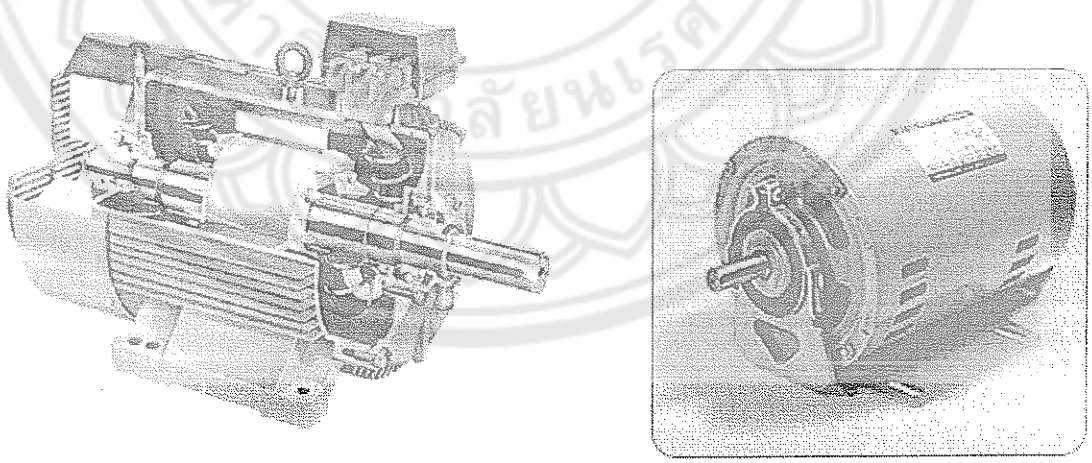
(d/300)+2 mm. ถึง (d/300)+3 mm.

โดยที่ d เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพาน และจำนวนแขนของล้อสายพานควรมีประมาณ

$$1.7\sqrt{\frac{d}{100}} \geq 4 \qquad (2.24)$$

ซึ่งมักจะเป็นเลขคี่ ถ้าล้อสายพานแยกออกเป็นสองซีกไม่ได้ แต่เป็นล้อสายพานขนาดใหญ่ อาจทำเป็นสองซีกแล้วยึดติดกันโดยใช้สลักเกลียว ก็จะมีจำนวนแขนเป็นเลขคู่ พื้นที่หน้าตัดของแขนที่เป็นวงรีจะมีอัตราส่วนของด้านประมาณ ½ ถึง ½.5 และอัตราเรียวมีค่าประมาณ 5: 4 สิ่งสำคัญก็คือจะต้องให้ล้อสายพานสมดุล เพื่อใช้งานได้ตามความเร็วรอบที่เหมาะสม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมาก เมื่อความเร็วรอบสูง ความเค้นที่ขอบล้อสายพานเนื่องมาจากการหมุนจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของขอบล้อสายพาน

2.5.6 มอเตอร์



รูปที่ 2.23 มอเตอร์

หลักในการเลือกมอเตอร์จะต้องพิจารณาจากสภาพต่าง ๆ ของเครื่องจักร จะต้องหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ด้วย

- สภาพแวดล้อมของสถานที่ที่จะติดตั้งเครื่องจักรโหลด (ว่ามีลักษณะของก๊าซไวระเบิด ก๊าซหรือของเหลวที่เป็นกรดกัด หรือมีความชื้นสูง หรือจะต้องคำนึงถึงเสียงดังหรือมีน้ำหยด หรือฝุ่นละอองมากหรือว่าจะติดตั้งภายในหรือภายนอกอาคาร)
- กรรมวิธีการต่อประกับของมอเตอร์ (ต่อประกับเพลาโดยตรง, ใช้เกียร์, หรือใช้สายพาน)
- วิธีการติดตั้งจะต้องพิจารณาถึง
  - ชนิดของโครงครอบป้องกัน
  - ขนาดของเพลา
  - ชนิดติดตั้งตามแนวนอนหรือตามแนวตั้งหรือต้องการหน้าประกับยึดหรือเปล่า
  - อุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ (เช่น ฐานและพุลเลย์)

2.5.6.1 **ทฤษฎีการคำนวณขนาดของมอเตอร์**

คิเนเมติกส์ (Kinemetics)

เวลาเร่ง (Acceleration time)

$$t_{acc} = \frac{V_{\max}}{a_{cc}} \tag{2.25}$$

ระยะทางของการเร่ง (Travel for acceleration)

$$S_{acc} = \frac{1}{2} a * t_{acc}^{\ 2} \tag{2.26}$$

ระยะทางเมื่อหมุนด้วยความเร็วสูงสุด (Travel with max speed)

$$S_{\max} = s - 2 * s_{acc} \tag{2.27}$$

2.5.6.2 **ความจำเป็นในการใช้โครงครอบป้องกัน**

โดยที่ขนาดกำลังของมอเตอร์ทั่วไปถูกจำกัดขนาดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเป็นการประหยัดและได้เปรียบที่จะพยายามทำให้การหมุนเวียนของอากาศเพื่อระบายความร้อนเป็นไปอย่างสะดวกที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการระบายความร้อนของมอเตอร์ แต่อย่างไรก็ดีสภาพการติดตั้งของมอเตอร์ใช้งานประเภทต่าง ๆ อาจมีฝุ่นละออง, มีน้ำหยด, มี

ความชื้นสูง, มีก๊าซไวระเบิด, ก๊าซกัดกร่อนสูง, น้ำฝน ฯลฯ ซึ่งอาจทำอันตรายแต่มอเตอร์ โดยการทำให้ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมลงเร็วกว่าวันเวลาอันสมควร ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลง อาจทำให้มอเตอร์เกิดเสียหายขึ้นได้ ดังนั้นถ้าจะป้องกันสภาพการเสียหายดังกล่าว จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ชนิดของโครงครอบป้องกันมอเตอร์อย่างละเอียด สำหรับใช้งานแต่ละประเภท

2.5.7 สปริง

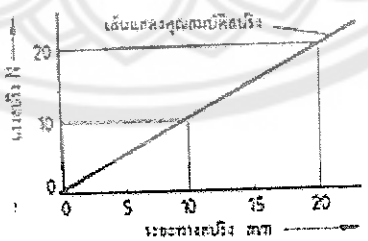
สปริงเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่รับภาระแล้วจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น งานที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปนี้จะเป็น พลังงานศักย์ที่สะสมในสปริง เมื่อคลานภาระที่กระทำต่อสปริงออก พลังงานนี้ก็จะสูญหายไป

**บทบาทหน้าที่ของสปริง**

ตัวอย่างหน้าที่การทำงานของสปริงก็คือ การรับแรงกระแทก แรงสั่นสะเทือน (ระบบกันสะเทือนของยานยนต์, ยางสปริงในคลัตช์, สปริงคลัตช์) ในกระบอกสูบนิวแมติกส์จะมีสปริงช่วยดันให้ลูกสูบกลับสู่ตำแหน่งเดิม, เป็นพลังงานกดอัดสะสมช่วยในการพาชิ้นส่วนเครื่องจักรกลให้หมุนตาม

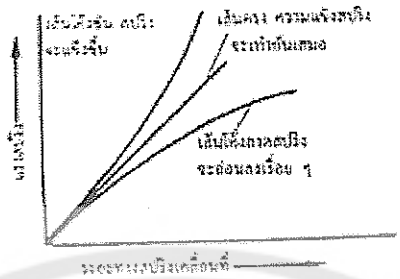
**คุณสมบัติของสปริง**

ในการทำให้สปริงเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นได้ จะต้องใช้แรงมากระทำ แรงกระทำยิ่งมากก็ยิ่งทำให้ระยะทางเคลื่อนที่ของสปริงมากขึ้นไปด้วย ความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางเคลื่อนที่ของสปริง จะสามารถแสดงให้เห็นด้วยเส้นโค้ง ดังรูปที่ 2.23 เส้นโค้งแสดงคุณสมบัติ สามารถเป็นเส้นตรง, เส้นโค้ง (ชัน) (Progressive) หรือเส้นโค้ง (ลาดลง) (Degressive) ได้ดังรูปที่ 2.24



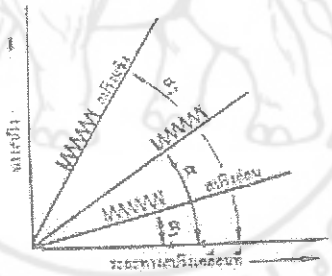

รูปที่ 2.24

ความสัมพันธ์ของแรงสปริงและระยะทางเคลื่อนที่สปริง



รูปที่ 2.25
แผนภาพแสดงแนวเส้นโค้งของสปริงต่างๆ

เส้นแสดงคุณสมบัติที่เป็นเส้นตรงแสดงว่า แรงกระทำและระยะทางเคลื่อนที่สปริงเป็นสัดส่วนต่อกัน นั่นแสดงว่า ถ้าแรงกระทำเป็นสองเท่า ระยะทางเคลื่อนที่สปริงก็จะเป็นสองเท่าเช่นกัน (ดูรูปที่ 2.23) เส้นแสดงคุณสมบัติยิ่งชันก็จะต้องใช้แรงกระทำมากขึ้น ในการทำให้สปริงเปลี่ยนรูป สปริงที่มีมุมเส้นแสดงคุณสมบัติน้อย ($a_1$) จะบอกให้รู้ว่าเป็น สปริงอ่อน ส่วนสปริงที่มีมุมเส้นแสดงคุณสมบัติมาก ($a_2$) แสดงว่าเป็น สปริงแข็ง (ดูรูปที่ 2.25)



รูปที่ 2.26
ความแข็งสปริงและเส้นโค้งแสดงคุณสมบัติสปริง

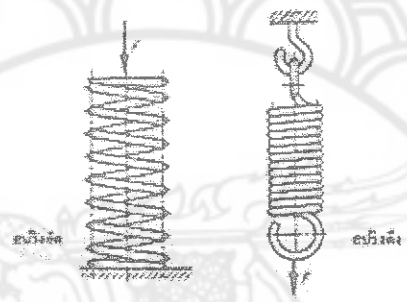
สัดส่วนของแรงสปริง (F) ต่อระยะทางเคลื่อนที่สปริง (S) จะเรียกว่า ค่าคงที่สปริง ค่าคงที่สปริงจะบอกให้ทราบว่า จะต้องใช้แรงเท่าใดจึงจะได้ระยะทางเคลื่อนที่สปริงเป็น mm ตามที่ต้องการ เช่น เมื่อทำการกดสปริงด้วยค่าคงที่สปริง (R) = 60 N/mm ให้สปริงยุบลงไป 3 mm จะต้องใช้แรงกดสปริง (F) = 3 mm x 60 N/mm = 180 N

**ประเภทของสปริง**

สปริงหากแบ่งตามชนิดของภาระ จะแบ่งได้เป็น สปริงอัด, สปริงดึง, สปริงดัด และสปริงหมุนบิด แต่หากพิจารณาถึงรูปร่างภายนอกของสปริง จะแบ่งได้เป็นสปริงขด, สปริงขดก้นหอย, สปริงแผ่น, สปริงแบบเพลาบิด (Torsion Bar), สปริงจาน, สปริงวงแหวน และสปริงนิวแมติกส์

**สปริงขด**

ส่วนใหญ่จะมีรูปร่างทรงกระบอก จะนำมาใช้งานเป็นสปริงดึงและสปริงกด (ดูรูปที่ 2.26) ที่มีเส้นโค้งแสดงคุณสมบัติที่ส่วนใหญ่เป็น เส้นตรง และนำมาใช้งาน ให้ยืดหดที่ระยะทางเคลื่อนที่ได้มาก สปริงขดส่วนมากจะได้จากการม้วนขึ้นรูปลวดเหล็กกล้าสปริง



รูปที่ 2.26
สปริงขด

สปริงขดแบบบิด (แบบมีขายื่น)

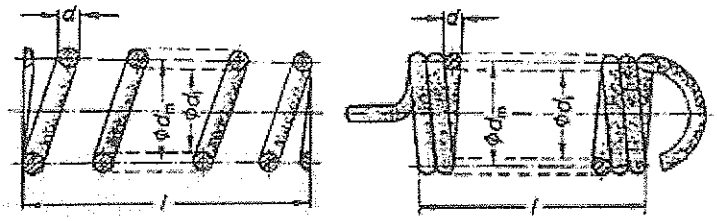
ตาม DIN 2088 เป็นสปริงที่มีรูปร่าง (ส่วนใหญ่) เป็นขดทรงกระบอก ลวดเหล็กกล้าสปริงจะทำการม้วนขึ้นรูปบนแท่งเหล็ก กลมทรงกระบอก โดยที่ปลายจะดัดขึ้นรูปเป็นขายื่นออกมาตามแต่จุกประสงค์จะใช้งาน เช่น ใช้ทำหน้าที่เป็นสปริงดึงชิ้นส่วนให้กลับมาที่เดิมในกลไกต่าง ๆ, เป็นขาหนีบบรัดตะกร้าหรือกระเป๋าบนรถจักรยานเป็นต้น

**การคำนวณความยาวลวดเพื่อม้วนลวดสปริงอัด**

ขนาดความยาวของลวดสปริงที่จะต้องใช้ในการม้วนสปริงดึงและสปริงอัดจะ ใช้สูตรสมการคำนวณเหมือนกัน สำหรับสปริงอัดจะกำหนดให้มีขดตายเพิ่ม 1 ขด เพื่อจะได้เจียระไนปลายขดสปริงให้เรียบ ส่วนสปริงดึงจะต้องเพิ่มขดสปริงอีก 2 ขด เพื่อที่จะทำการดัดปลายห่วงทั้ง 2 ข้าง สูตรที่ใช้คำนวณความยาวลวดสำหรับสปริงอัดและสปริงดึงมีดังนี้

$$L = d_m * \P * (n + 2\ *) \text{ หน่วย mm} \qquad (2.28)$$

* ขดสปริงม้วนเพิ่มเติมสำหรับขดตาย 2 ขด หรือสำหรับห่วงดึง 2 ห่วง




รูปที่ 2.27

โดยที่ :

L = ความยาวของลวดสปริงที่ยังไม่รับภาระ mm

$d_i$ = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดสปริง mm

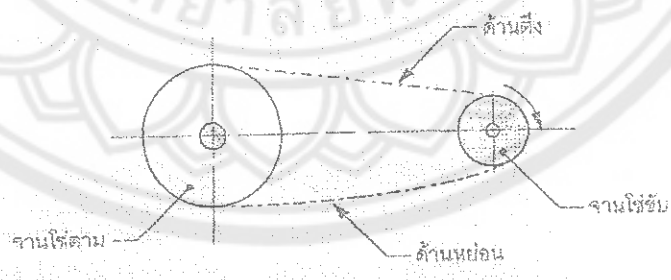
$d_m$ = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง mm

n = จำนวนขดสปริง

L = ความยาวลวดสปริงที่ใช้ mm

2.5.8 โซ่ส่งกำลัง (Transmission Chain)

การขับส่งกำลังด้วยโซ่ดังแสดงในรูป ประกอบด้วยโซ่ที่คล้องรอบจานโซ่ตั้งแต่ 2 อันขึ้นไป จานโซ่เป็นล้อที่มีฟันรูปร่างพิเศษ ในการขับด้วยโซ่นั้นข้อโซ่จะขบกับฟันของจานโซ่จึงไม่มีการลื่นไถล ทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดคงที่เช่นเดียวกับการทดด้วยเฟือง โซ่จะทำหน้าที่ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกันเท่านั้น การขับด้วยโซ่ใช้กันอย่างกว้างขวางในเครื่องจักรต่างๆ




รูปที่ 2.28 การขับด้วยโซ่ส่งกำลัง

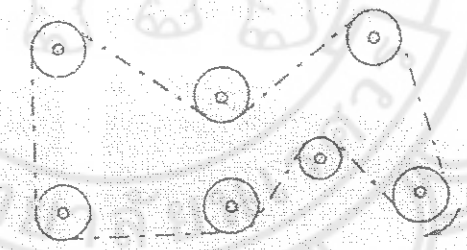
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล2,จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

**ข้อดีของการส่งกำลังด้วยโซ่**

- สามารถส่งกำลังในระยะที่ห่างระหว่างเพลาขับกับเพลาตามได้ไกล
- การติดตั้งสะดวก ไม่ต้องกังวลเรื่องการเยื้องศูนย์มากนัก
- สามารถส่งกำลังได้สูง และประสิทธิภาพค่อนข้างสูง
- ไม่เกิดการลื่นไถล ทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดที่คงที่
- สามารถส่งกำลังในที่ที่มีความชื้นและฝุ่นละอองได้
- สามารถส่งกำลังจากตัวส่งกำลังขับตั้งต้นไปขับเพลาได้หลายตัวในเวลาเดียวกัน (รูปที่ 2.29)
- ราคาถูกกว่าการส่งกำลังแบบอื่น

**ข้อเสียของการส่งกำลังด้วยโซ่**

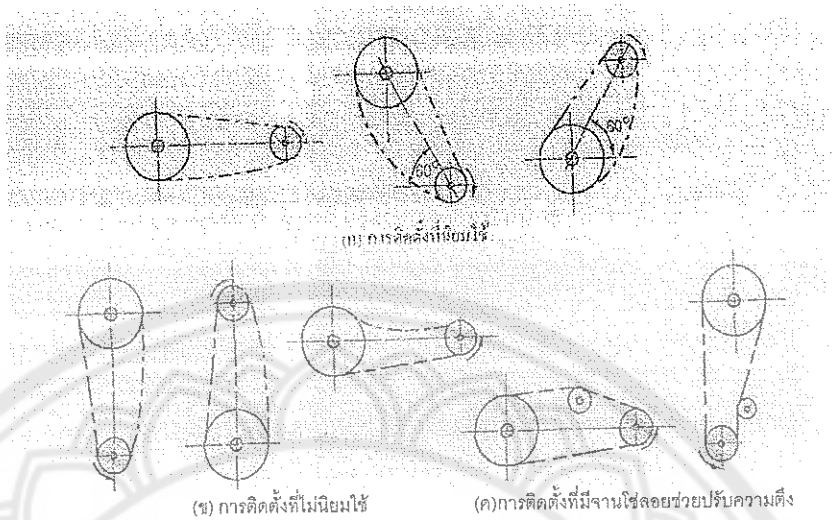
- ระยะพิตช์ของโซ่เพิ่มขึ้น (โซ่ยืดออก) เนื่องจากการสึกหรอของข้อต่อซึ่งทำให้ต้องใช้ตัวปรับความตึง เพื่อป้องกันไม่ให้โซ่หลุดจากจานโซ่
- การบำรุงรักษายุ่งยากกว่าสายพาน ต้องคอยใส่น้ำมันหล่อลื่นระหว่างการใช้งาน
- เกิดเสียงดังและการสั่นในระหว่างการทำงานเนื่องจากการกระแทกระหว่างโซ่กับโคนฟันของจานโซ่และความเร็วไม่คงที่



รูปที่ 2.29 โซ่เส้นเดียวขับหลายเพลา

(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

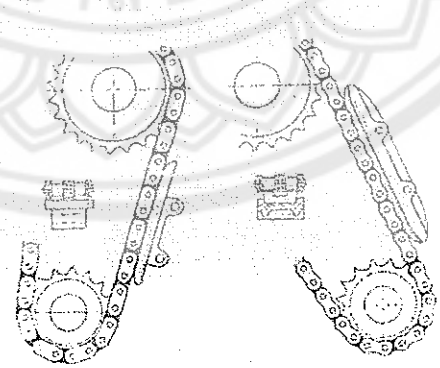
การติดตั้งโซ่โดยปกตินิยมติดตั้งให้แนวจุดศูนย์กลางของจานโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวระดับเดียวกัน หรือทำมุมกับแนวระดับไม่เกิน 60 องศา และจะต้องให้ด้านล่างเป็นด้านหย่อน ดังรูปที่ 2.30(ก) ไม่นิยมการติดตั้งให้แนวศูนย์กลางของจานโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวดิ่ง หรือด้านบนเป็นด้านหย่อน ดังรูปที่ 2.30(ข) เนื่องจากโซ่มักจะหลุดจากจานโซ่ได้ง่ายเมื่อโซ่เกิดการยืดเพียงเล็กน้อย ถ้าจำเป็นอาจติดตั้งจานโซ่ไอเดิล(Idle sprocket) ช่วยลองรับด้านหย่อนดังรูปที่ 2.30(ค)




รูปที่ 2.30 การติดตั้งโซ่ขับสองจาน

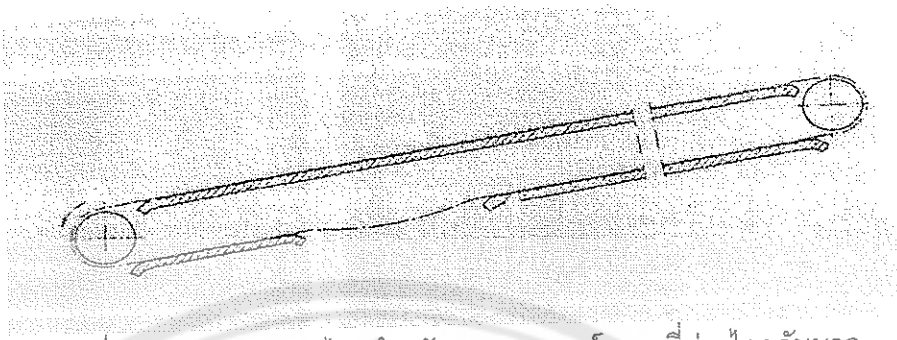
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

เราสามารถขยายขอบเขตของการใช้งานโซ่ขับ โดยการใช้อุปกรณ์ช่วยพิเศษ ได้แก่ ตัวหน่วงการสั่นสะเทือน(Vibration damper) ดังรูปที่ 2.31 เพื่อจำกัดการสั่นของโซ่เมื่อมีการกระแทกอย่างแรงเป็นระยะๆและความเร็วสูงๆการติดตั้งล้อช่วยรองรับหรือรางรับการไถล (Sliding rail) เมื่อระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของจานโซ่ห่างกันมาก ดังรูปที่ 2.32 เพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของโซ่ หรือการใช้อุปกรณ์ปรับความตึงของโซ่ด้านหย่อน เมื่อจานโซ่ตัวตามอยู่เหนือจานโซ่ตัวขับ ดังรูปที่ 2.33 และรูปที่ 2.34 เพื่อให้เกิดความตึงเบื้องต้นที่จำเป็นในด้านหย่อนของโซ่

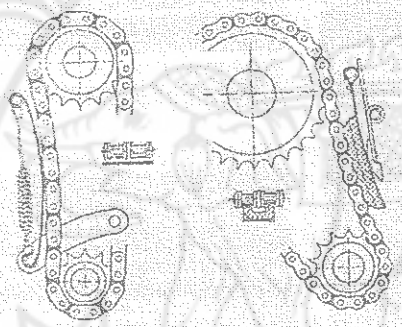


รูปที่ 2.31 ใช้ยางเป็นตัวหน่วงการสั่นสะเทือน

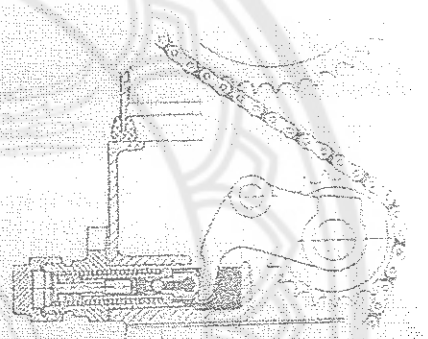
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญตันติพิศาลกุล)



รูปที่ 2.32 ใช้รางรับการไถลสำหรับระยะจุดศูนย์กลางที่ห่างไกลกันมาก
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2 , จำรูญ ตันติพิศาลกุล)



รูปที่ 2.33 สปริงปรับความตึงของโซ่สั้น

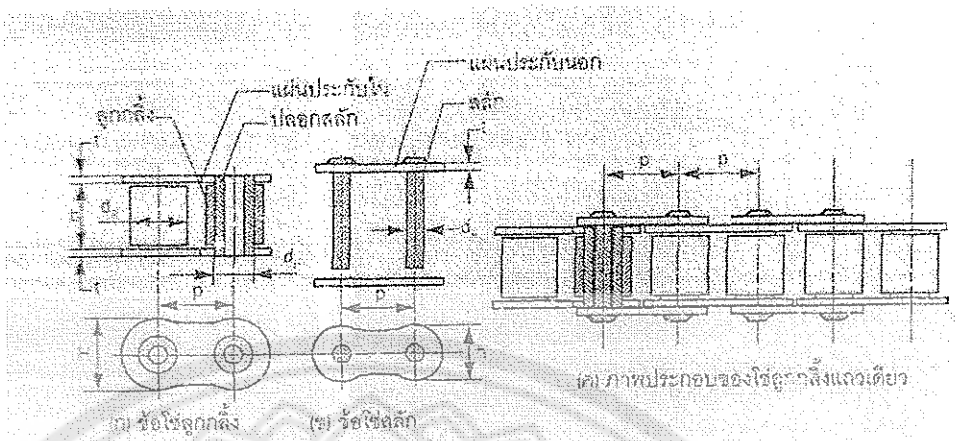


รูปที่ 2.34 ไฮดรอลิคปรับความตึงของโซ่
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

เราสามารถแบ่งชนิดของโซ่ตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือโซ่ขับหรือโซ่ส่งกำลัง โซ่ลำเลียง (Conveyor chain) และโซ่ดึง แต่ระกลุ่มยังแบ่งย่อยออกเป็นประเภท ตามรายละเอียดของการออกแบบในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะโซ่ส่งกำลังเท่านั้น

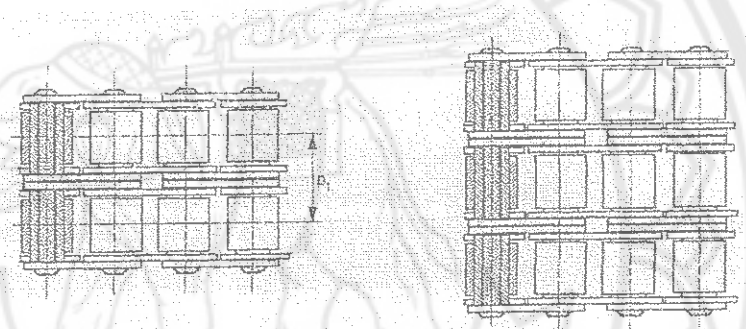
ประเภทของโซ่ส่งกำลัง

- โซ่ลูกกลิ้ง (Rolling chain) ประกอบด้วยสลัก ปอกสลัก ลูกกลิ้ง แผ่นประกับใน (Inner plate) และแผ่นประกับนอก (Outer plate) ปลอกสลัก (Bush) จะสวมอัดแน่นกับแผ่นประกับใน มีลูกกลิ้ง (Roller) กลวงหมุนได้อิสระสวมอยู่ด้านนอกของปลอกสลัก แผ่นประกับนอกยึดอยู่กับสลัก (Pin) ดังรูปที่ 2.35 แสดงโครงสร้างโซ่ลูกกลิ้งแถวเดียว รูปที่ 2.36 แสดงโซ่ลูกกลิ้งสองแถวและสามแถว




รูปที่ 2.35 โซ่ลูกกลิ้งแถวเดียว

(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)



รูปที่ 2.36 โซ่ลูกกลิ้งสองแถวและสามแถว

(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

2.5.9 **ทฤษฎีการหาอัตราทดรอบของพุลเลย์**

การทดรอบ หมายถึง การทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ หรือการส่งกำลังจากต้นกำลังช้าลง ซึ่งการคำนวณหาอัตราทดสามารถหาได้จากสมการ

$$D_p = m_w \times d_p \qquad (2.29)$$

เมื่อ $D_p$ = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ใหญ่ (mm)

$d_p$ = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์เล็ก (mm)

$m_w$ = ขนาดของอัตราทด

สมการที่ใช้หาความเร็วรอบที่ทดรอบแล้ว

$$V_w = \frac{V}{m_w} \tag{2.30}$$

เมื่อ $V_w$ = ความเร็วรอบที่ทดรอบแล้ว (rpm/min)

V = ความเร็วรอบก่อนทดรอบ (rpm/min)

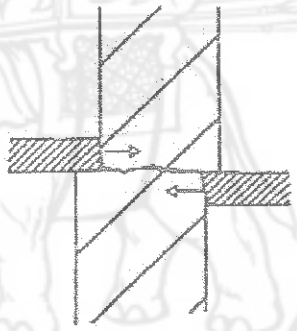
$M_w$ = ขนาดของอัตราทด

2.6 ลักษณะการตัด

ลักษณะการตัดมีหลายชนิดดังนี้

2.6.1 Solid cut

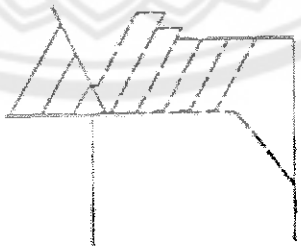
เป็นการตัดที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในการรับแรงกดสูง ความต้านแรงเฉือนเท่ากันทุกทิศทางและความเร็วสัมพันธ์ของพืชกับมีดมีค่าน้อย



รูปที่ 2.37 แสดงการตัดแบบ Solid cut

2.6.2 Chip-forming, brittle material, in shear

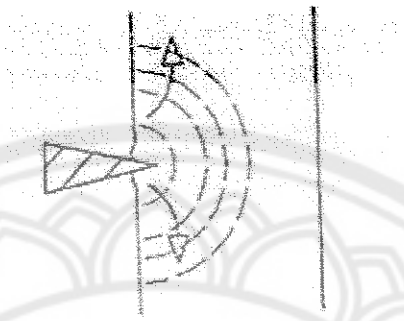
คล้ายกับการตัด Solid cut ความเสียหายของพืชเกิดตามแนวโค้งและความลาดเอียงของผิวที่ ประมาณ 45 องศา กับระนาบของการตัด



รูปที่ 2.38 แสดงการตัดแบบ Chip-forming, brittle material, in shear

2.6.3 Plastic cut

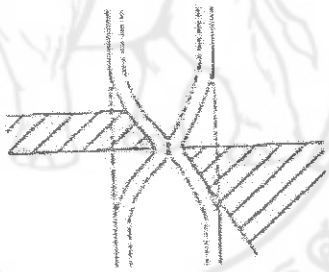
เมื่อปลายมีดออกแรงกดต้นพืช จะก่อรูปร่างเป็นคลื่นภายในต้นพืชขยายรัศมีเป็นวงกว้าง จากจุดที่มีดกระทำกับการตัด เกิดเมื่อวัสดุมีความชื้นมากและใบมีดมีความคมมาก



รูปที่ 2.39 แสดงการตัดแบบ Plastic cut

2.6.4 Solid cut after compression

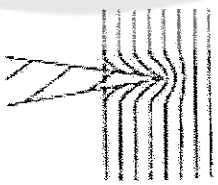
พืชซึ่งมีลักษณะคล้ายท่อ หรือพืชมีแกนอ่อน เกิดการอัดก่อนที่โครงสร้างพืชจะเสียหาย แรงตัดจะเพิ่มขึ้นระหว่างเลื่อนมีด



รูปที่ 2.40 แสดงการตัดแบบ Solid cut after compression

2.6.5 Cut in local tension

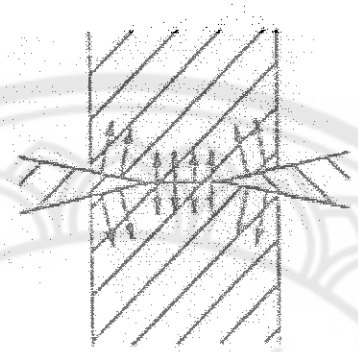
เกิดกับโครงสร้างพืชที่มีโครงสร้างพืชเป็นเส้นใย



รูปที่ 2.41 แสดงการตัดแบบ Cut in local tension

2.6.6 Wedging cut

ถ้าใบมีดสร้างให้มีรูปร่างเหมือนลิ่มบางๆและความเสียดทานบนใบมีดมีน้อย แรงตั้งฉากกับการเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในพืช ทำให้มีดฉีกพืชออกในแนวตั้งฉากกับกับการเคลื่อนที่ของใบมีด



รูปที่ 2.42 แสดงการตัดแบบ Wedging cut

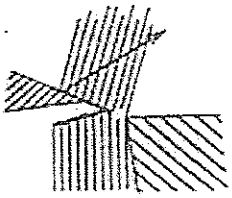
2.6.7 Chip Forming cut, Ductile material

การตัดที่ทำให้พืชมีการม้วน เกิดกับพืชที่มีความยืดหยุ่นของโครงสร้างผนังเซลล์มาก

รูปที่ 2.43 แสดงการตัดแบบ Chip Forming cut, Ductile material

2.6.8 Bending cut

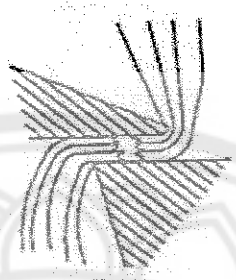
เมื่อมีช่องว่างระหว่างมีดกับแท่นรองตัดมาก ใบมีดจะออกแรงตัดพืช ทำให้เกิดการตัดของพืชด้วยโมเมนต์



รูปที่ 2.44 แสดงการตัดแบบ Bending cut

2.6.9 Tearing cut

การตัดเกิดในกรณีที่มีช่องว่างระหว่างมีดกับแท่นรองตัดมาก และก้านพืชที่ตัดมีขนาดบาง ใบมีดจะดันใบพืชขาดออกจากกัน



รูปที่ 2.45 แสดงการตัดแบบ Tearing cut

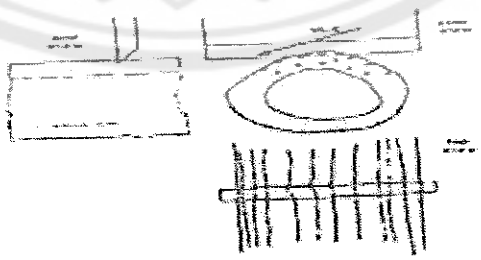
2.6.10 Scraping cut

เป็นการตัดที่ใบมีดเลื่อนเฉียงไปตามผิวโดยผิวเพิ่มแรงตัดในแนวตั้งฉากกับพืช

รูปที่ 2.46 แสดงการตัดแบบ Scraping cut

2.6.11 Slicing cut

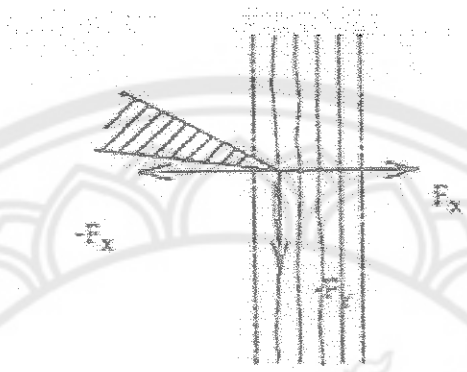
เป็นการตัดที่เกิดในขณะที่ใบมีดตัดเฉียงตามระนาบมุมที่ใช้ในการตัดอยู่ที่ 45-90 องศา



รูปที่ 2.47 แสดงการตัดแบบ Slicing cut

## 2.7 แนวการคิดแรงความเค้นที่เกิดจากการตัด

แรงตัด Cutting Force เป็นผลคูณของความเค้นบนพืชที่ทำโดยใบมีดกับพื้นที่ที่ความชื้นกระทำอยู่ แรงตัดคือ $F_x$ และต้นพืชก็จะมีแรงปฏิกิริยากระทำกับใบมีดในทิศทางตรงกันข้าม




รูปที่ 2.48 แสดงการตัดแบบ Cutting Force