

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าว

2.1.1 ข้าว

ข้าว คือธัญญาหารที่สำคัญมาก และเป็นอาหารในการเลี้ยงชีพ ข้าวคืออาหารสำคัญก่อนที่จะมีการบันทึกลงในประวัติศาสตร์ และยังคงเป็นอาหารประจำวันของประชากร 1.5 พันล้านคน แหล่งกำเนิดที่เพาะปลูกข้าว คาดว่าจะอยู่ในเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ (อินเดียตะวันออกเฉียงใต้ อินโดจีน และจีนใต้) และน่าจะอยู่ในแอฟริกาอีกด้วย การเพาะปลูกข้าวเมื่อพิจารณาโดยทั่วไปจะเหมาะสมสำหรับเขตร้อน อย่างไรก็ตามการเพาะปลูกที่สำคัญในบริเวณแถบอบอุ่นของโลก ผลผลิตจะสูงกว่าในบริเวณเขตร้อน พืชข้าวต้องการการชลประทาน (การเพาะปลูกดั้งเดิมจะเพาะปลูกบนพื้นที่ที่มีฝนมาก) แต่ การเพาะปลูกในพื้นที่ที่แห้งแล้งก็เป็นไปได้

2.1.2 มาตรฐานข้าวไทย

ไทยเป็นประเทศขายข้าว จึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานข้าวเพื่อแสดงถึงชนิดและคุณภาพของข้าวที่จะจำหน่ายเช่นเดียวกับสินค้าอื่นๆ ข้าวไทยที่ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศมี 4 ประเภท คือ ข้าวขาวหรือข้าวสารเจ้า (white rice) ข้าวกล้อง (brown rice) ข้าวเหนียว (white glutinous rice) และข้าวต้ม (boiled rice)

การที่จะกำหนดว่าข้าวขาวนั้นเป็นชนิด 100% 5% หรือ 45% ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนผสม พันข้าว และการสี โดยข้าวแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบของทั้ง 3 ส่วนแตกต่างกัน

2.1.2.1 ส่วนผสม ประกอบด้วยข้าวเต็มเมล็ด ข้าวหัก ต้นข้าว ข้าวเมล็ดยาว และสิ่งเจือปน (รวมแล้วเป็น 100%) ข้าวมาตรฐานสูงกับต่ำจะมีส่วนผสมแตกต่างกันอย่างชัดเจนกล่าวคือข้าวมาตรฐานสูง 100% หรือ 5% จะมีเปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ด และข้าวเมล็ดยาวอยู่มากกว่า เปอร์เซ็นต์ของข้าวหักและสิ่งเจือปน ส่วนข้าวมาตรฐานต่ำๆ (35% หรือ 45%) จะมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดต่ำลง แต่จะมีพวกข้าวเมล็ดสั้น ข้าวหัก และสิ่งเจือปนมากขึ้น

2.1.2.2 พันข้าว หมายถึง ส่วนผสมของข้าวเต็มเมล็ด ได้แก่ เมล็ดยาวชั้น 1 เมล็ดยาวชั้น 2 เมล็ดยาวชั้น 3 และเมล็ดสั้น ข้าวมาตรฐานสูงหรือข้าวคุณภาพสูง จะมีปริมาณข้าวเมล็ดยาว ชั้น 1 และ ข้าว

เมล็ดข้าว ชั้น 2 สูง ปริมาณเมล็ดสั้นน้อย ในทางกลับกัน ข้าวคุณภาพต่ำจะมีปริมาณข้าวเมล็ดสั้นสูง และเมล็ดข้าวชั้น 1 และ 2 น้อย เป็นต้น

2.1.2.3 การสี ข้าวมาตรฐานสูงๆ ต้องได้จากการสีหนักๆ เช่นสีดีพิเศษ หรือสีดี ส่วนพวกข้าว มาตรฐานต่ำๆ ก็สีเบาหน่อย คือ สีปานกลาง หรือสีธรรมดา

2.1.3 ขนาดข้าวเปลือก

พันธุ์ข้าวเปลือกที่ปลูกในประเทศไทยส่วนมากจะเป็น พันธุ์ชัยนาท 1 , พันธุ์พิษณุโลก 2 , พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในการศึกษาเครื่องทำความสะอาดเมล็ดข้าวเปลือกจึงได้ทำการวัดขนาด ข้าวเปลือกที่ความชื้นต่างๆกันซึ่งได้ข้าวเปลือกมีขนาดโดยเฉลี่ยเป็นดังต่อไปนี้

2.1.3.1 พันธุ์ชัยนาท 1

ตารางที่ 2.1 ขนาดของข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความชื้นเปียกต่างๆ

พันธุ์ชัยนาท 1	ขนาดของข้าวเปลือก (mm)		
	ยาว	กว้าง	หนา
ที่ความชื้น 11 %	10.6	2.4	2.0
ที่ความชื้น 18 %	10.5	2.6	2.1
ที่ความชื้น 23 %	10.9	2.9	2.2
เฉลี่ย	10.7	2.6	2.1

(ที่มา : ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม. อี.ดี.วิศวกรรม)

2.1.3.2 พันธุ์พิษณุโลก 2

ตารางที่ 2.2 ขนาดของข้าวเปลือกพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่ความชื้นเปียกต่างๆ

พันธุ์พิษณุโลก 2	ขนาดของข้าวเปลือก (mm)		
	ยาว	กว้าง	หนา
ที่ความชื้น 11 %	10.4	2.4	1.9
ที่ความชื้น 18 %	10.7	2.6	2.2
ที่ความชื้น 23 %	10.7	2.6	2.2
เฉลี่ย	10.6	2.5	2.1

(ที่มา : ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม. อี.ดี.วิศวกรรม)

2.1.3.3 พันธุ์สุพรรณบุรี 1

ตารางที่ 2.3 ขนาดของข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ความชื้นเปียกต่างๆ

พันธุ์สุพรรณบุรี 1	ขนาดของข้าวเปลือก (mm)		
	ยาว	กว้าง	หนา
ที่ความชื้น 11 %	10.2	2.4	2.0
ที่ความชื้น 18 %	10.5	2.5	2.1
ที่ความชื้น 23 %	10.4	2.5	2.1
เฉลี่ย	10.4	2.5	2.1

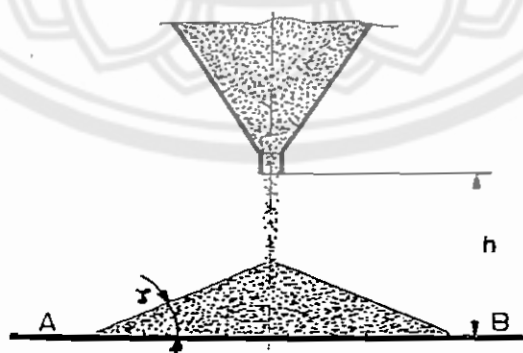
(ที่มา : ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม. อี.ดี.วิสาหกรรรม)

2.2 ทฤษฎีการทำความสะอาดข้าวเปลือกแบบตระแกรงโยก

2.2.1 มุมเอียง

เมื่อผลิตภัณฑ์ชนิดที่เป็นเมล็ดเล็ก ๆ ถูกเทกองผ่านช่องที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่มากลงสู่พื้นราบผลิตภัณฑ์จะกองขึ้นในรูปร่างของกรวยกลับหัว มุมระหว่างพื้นราบกับความชันของกองผลิตภัณฑ์(รูปที่ 2.1) เรียกว่ามุมเอียงธรรมชาติ(ดังรูปที่ 2.1) ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีมุมเอียงธรรมชาติต่างกันไป เป็นต้นว่า ข้าวสาลี (25°) ข้าวโอต (27°) ข้าวโพด (27°) ข้าวบาร์เลย์ (28°)

มุมเอียง คือตัววัดการเคลื่อนตัวของผลิตภัณฑ์ (flowability) โดยทั่วไป มุมเอียงที่ต่ำกว่ามุมเอียงธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนตัวได้ง่าย เราควรให้ความสำคัญกับมุมเอียง ถึงแม้ว่ามุมเอียงจะไม่ได้เป็นปัจจัยหลักในการออกแบบ แต่ก็เป็นตัวที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ในการออกแบบระบบถ้าเราคำนึงถึงมุมเอียงของผลิตภัณฑ์ จะสามารถทำให้ลดปัญหาการอุดตันของผลิตภัณฑ์ได้



รูปที่ 2.1 แสดงมุมเอียงธรรมชาติ

(ที่มา : Grain handling and storage, 1985)

- เคลื่อนตัวอิสระมาก $25^\circ - 30^\circ$
- เคลื่อนตัวอิสระ $30^\circ - 38^\circ$
- เคลื่อนตัวพอใช้ $38^\circ - 45^\circ$
- เหนียว หรือเคลื่อนตัวได้ยาก $45^\circ - 55^\circ$
- เคลื่อนตัวได้ยากมาก มากกว่า 55°

ในทางปฏิบัติตามความเป็นจริง เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุในภาชนะจนเต็ม มุมเอียงธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับจากความสูงของการตก (h) ปริมาตรที่ใส่เข้าไป (v_h) และความเร็วที่ใส่เข้าไป (v) แต่มุมเอียงธรรมชาติของผลิตภัณฑ์มีผลน้อย เมื่อเทียบกับการเสียดทานภายในของผลิตภัณฑ์นั้น

2.2.2 การเสียดทานผลิตภัณฑ์ (ภายใน-ภายนอก)

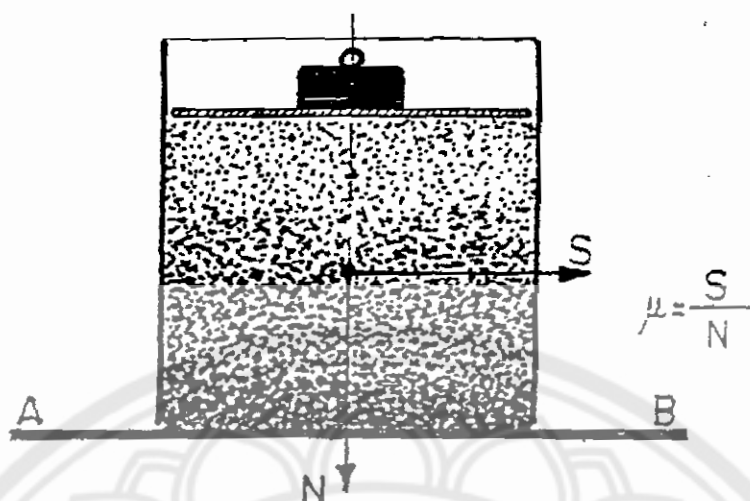
ชนิดของการเสียดทานสามารถแยกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. การเสียดทานผนัง หรือการเสียดทานภายนอก คือการเสียดทานของเมล็ดที่ปะทะผนังของถัง
2. การเสียดทานภายใน คือการเสียดทานของเมล็ดที่ปะทะกันระหว่าง เมล็ดกับเมล็ดด้วยกันเอง หรือ ระหว่างเมล็ดกับสิ่งเจือปน

รูปภาพที่ 2.2 แสดงๆ ผลิตภัณฑ์เมล็ดเล็กที่เต็มข้างใต้ของทรงกระบอก ที่ไหลระดับพื้นราบ แนวนอน AB ถ้า S คือแรงในแนวนอนของการเลื่อนไถล หรือการเสียดทานไถล และ N คือแรงในแนวตั้ง (น้ำหนักของผลิตภัณฑ์, แรงกดในแนวตั้งด้านบนสุดของทรงกระบอก และน้ำหนักของกระบอก) โดย สัมประสิทธิ์การเสียดทาน $\mu = S/N$

มุมที่ทำให้การเสียดทาน ต่อหนึ่งหน่วยพื้นผิวของผลิตภัณฑ์เมล็ดเล็ก ๆ ที่ปะทะผนังนี้ เรียกว่ามุมของการเสียดทานผนัง γ'

มุมของการเสียดทานผนังจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานโดยมุมของการเสียดทานผนัง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ และลักษณะพื้นผิวของผนัง



รูปที่ 2.2 แสดงการทดสอบความเสียดทานไถล

(ที่มา : Grain handling and storage, 1985)

ตารางที่ 2.4 แสดงมุมของการเสียดทานระหว่างผนังกับผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	มุมของการเสียดทาน (deg)	
	สูงสุด	น้อยสุด
ข้าวสาลี	20.0	25.0
ข้าวโพด	17.0	22.5
ข้าวบาร์เลย์	18.0	24.5
ข้าว	21.5	31.0

(ที่มา : Grain handling and storage, 1985)

ตารางที่ 2.5 แสดงมุมของการเสียดทานของผนังที่ทำจากวัสดุต่างๆ

วัสดุที่ใช้ทำผนังที่เก็บข้าว	มุมของการเสียดทาน (deg)
แผ่นโลหะ Oxidised	38
คอนกรีต	25
แผ่นโลหะเรียบ	15
แผ่นโลหะทาสี Epoxy -Resin	12
เหล็กไม่มีสนิม	8

(ที่มา : Grain handling and storage, 1985)

ผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุเรียบร้อยแล้วในทรงกระบอก เราสามารถวัดค่าความเสียดทานภายในของผลิตภัณฑ์ได้ โดยความเสียดทานภายใน จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ของแต่ละอย่าง โดยขึ้นอยู่กับ

1. ชนิด และความขรุขระของพื้นผิวระนาบ AB
2. แรงดันจากน้ำหนักด้านบนสุดของทรงกระบอก (การอัด)
3. ความชื้นของผลิตภัณฑ์ และ ความชื้นของพื้นผิว

ตารางที่ 2.6 แสดงความเสียดทานภายในของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ผลิตภัณฑ์	มุมของการเสียดทานภายใน (deg)	
	สูงสุด	น้อยสุด
ข้าวสาลี	24	26
ข้าวโพด	26	29
ข้าวบาร์เลย์	25	29
ข้าว	24	26

(ที่มา : Grain handling and storage, 1985)

การทดสอบค่าของการเสียดทานภายนอก (γ') และการเสียดทานภายใน (γ'') ของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ สามารถทดลองเฉพาะห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ทดสอบเกี่ยวกับความเสียดทานโดยเฉพาะ สำหรับผลิตภัณฑ์ธรรมชาติส่วนมาก ข้อมูลเหล่านี้อาจจะถูกค้นพบอยู่ในสื่อพิมพ์ของผู้เชี่ยวชาญ และรายชื่อมาตรฐาน หากว่าไม่เป็นผลิตภัณฑ์ที่หาได้ยาก ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ขั้นต้นก็สามารถทดสอบได้

2.2.3 ความชื้นภายใน

ความชื้นภายในของผลิตภัณฑ์สามารถกระทบต่อการเคลื่อนตัว (flowability) ของผลิตภัณฑ์ กับผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นสามารถซึมเข้าไปได้ ความชื้นใด ๆ จะถูกดูดซับเข้าไปในอนุภาค จนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่ง ความชื้นจะไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปได้ (อิ่มตัว) เมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการอัดตัวมากขึ้นส่งผลให้ความเสียดทานภายในเพิ่มขึ้น

ความชื้นยังส่งผลกับการเคลื่อนตัว กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ โดยความชื้น จะขัดเกาะอนุภาคด้านพื้นผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการขัดเกาะกัน การเคลื่อนตัวของผลิตภัณฑ์จึงเป็นไปด้วยความยากลำบาก

2.2.4 ไฟฟ้าสถิต

การเสียดสีของผลิตภัณฑ์กับผลิตภัณฑ์ หรือเครื่องจักร เป็นไปได้ที่อนุภาคของผลิตภัณฑ์ จะเกิดไฟฟ้าสถิต อนุภาคของผลิตภัณฑ์จะเกิดประจุที่ต่างกันทำให้เกิดการขัดเกาะกันของผลิตภัณฑ์ ได้ ส่งผลไปยังการเคลื่อนตัวของผลิตภัณฑ์

2.2.5 การแปรรูปข้าว

เมล็ดข้าวเป็น Caryopsis ส่วนที่รับประทานได้ถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกเมล็ด 2 อันที่รับประทานไม่ได้แต่สามารถแกะออกได้ ในสมัยโบราณเครื่องมือสำหรับกะเทาะเปลือกข้าวสร้าง ขึ้นง่ายๆ ใช้วิธีตำด้วยครกกับสาก หรือเครื่องที่ทำด้วยไม้ หรือใช้โมฆขนาดใหญ่ทำด้วยดินเหนียว จากนั้นก็ใส่เอาแกลบและรำออกด้วยกระด้ง ข้าวที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าวเรียกว่า ข้าวซ้อมมือ ลักษณะเมล็ดข้าวสารยังคงมีเชื้อชั้นนอกๆของเมล็ดติดอยู่ ซึ่งคงคุณค่าอาหารและรสชาติอยู่มาก โดยเฉพาะ วิตามินบี ที่รักษาโรคเหน็บชา แต่ความต้องการบริโภคข้าวของคนยุคใหม่ต้องการ ลักษณะเมล็ดที่มองเห็นสวยและขาวงามโดยไม่ต้องคำนึงถึงคุณค่าทางอาหารและรสชาติที่จะเสีย ไปเพื่อให้ได้มาซึ่งความต้องการดังกล่าว การสีข้าวด้วยเครื่องจักรกลจึง ได้กำเนิดขึ้นและพัฒนา มาเรื่อยๆ โดยมีวัตถุประสงค์ของการสีข้าว คือ เพื่อขจัดเปลือก รำ กัษะออก และให้ข้าวสารมีปริมาณ ข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุด หรือมีข้าวหักน้อยที่สุดนั่นเอง

การแปรรูปข้าวประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอนตามลำดับ

1. การทำความสะอาด (cleaning) เพื่อกำจัด ใบข้าว เมล็ดลีบ กรวด หิน ดิน ทราย เมล็ด วัชพืช และสิ่งสกปรกอื่นๆ ออกจากข้าวเปลือก
2. การกะเทาะ (shelling หรือ husking) เพื่อให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ ได้รับในขั้นตอนนี้คือ แกลบ และข้าวกล้อง
3. การขัดขาว (whitening , scouring or pearling) เพื่อให้รำหลุดออกจากเมล็ดข้าว กล้อง สิ่งที่ได้รับในขั้นตอนนี้คือ รำ และข้าวสาร
4. การคัดแยก (grading or separation) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหักขนาด ต่างๆ ออกจากกัน

2.2.5.1 การทำความสะอาด (Cleaning)

มีชุดกระพ้อดักข้าวไถ่ถึงพักเพื่อป้อนลงเครื่องทำความสะอาด ซึ่งได้แก่ชุดแยกสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ตะแกรงคัดแยก พัดลมดูด แม่เหล็กแยกเศษเหล็ก และเครื่องแยกหิน (2 วิธีหลังบางโรงสีอาจไม่นิยมใช้)

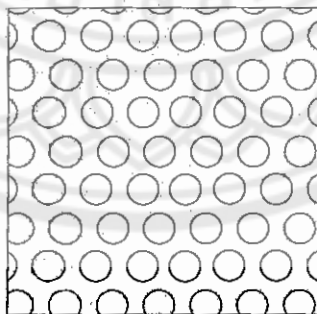
ชุดตะแกรงโยกประกอบด้วยตะแกรง 2 ชั้นหรือมากกว่านั้น โดยที่ขนาดรูตะแกรงแต่ละชั้นจะแตกต่างกัน ขนาดรูใหญ่อยู่ชั้นบนขนาดรูเล็กลงมาอยู่ชั้นล่างตามลำดับ ตะแกรงควรวางตัวในแนวเอียงทำมุม 3-5 องศา ตะแกรงแต่ละชั้นเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน สลับกันไปมา ขนาดของรูตะแกรงชั้นบน เมล็ดข้าวเปลือกต้องสามารถลอดผ่านได้ สิ่งเจือปนขนาดใหญ่กว่าเมล็ดข้าวเช่น เศษฟาง หนุ่ย ก้อนดิน หิน และอื่นๆ จะติดอยู่บนตะแกรงและถูกกำจัดออกไป พวกที่มีน้ำหนักเบาจะถูกพัดลมดูดออกไป ตะแกรงชั้นที่ 2 รูตะแกรงจะเล็กลงข้าวเปลือกลอดผ่านไม่ได้ สิ่งเจือปนหนักขนาดเล็ก เช่น ทราย หิน และฝุ่นผงต่างๆจะลอดผ่านรูตะแกรง และถูกกำจัดออกจากเครื่อง ข้าวเปลือกบนตะแกรงจะไหลไปออกอีกทางหนึ่ง ซึ่งทางออกนี้บางครั้งจะมีพัดลมดูดพวกเมล็ดข้าวตายและฝุ่นผงเล็กๆที่หลงเหลืออยู่ไปด้วย

2.2.5.2 ลักษณะตะแกรงคัดแยกข้าวเปลือก

แบบของตะแกรงที่ใช้ในเครื่องทำความสะอาดส่วนใหญ่มีอยู่ 3 แบบคือ

1. แบบ circular

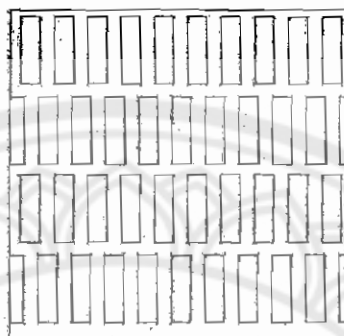
เหมาะที่จะใช้คัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเมล็ดกลม เช่น พวงเมล็ดถั่ว เมล็ดข้าวโพด



รูปที่ 2.3 แสดงรูตะแกรงแบบ circular

2. แบบ rectangular

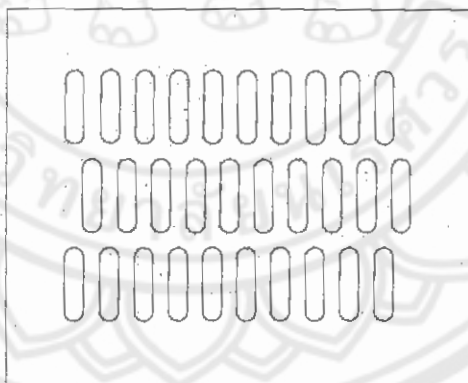
เหมาะที่จะใช้คัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแบน



รูปที่ 2.4 แสดงรูตะแกรงแบบ rectangular

3. แบบ oblong

เหมาะที่จะใช้คัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ยาว เช่น พวกเมล็ดข้าว



รูปที่ 2.5 แสดงรูตะแกรงแบบ oblong

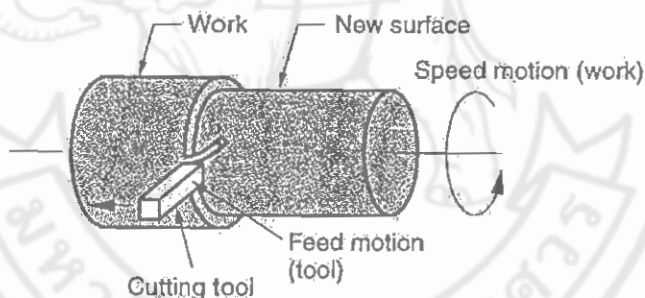
จากการวัดขนาดข้าวเปลือกจะเห็นได้ว่าข้าวเปลือกมีลักษณะเป็นทรงกระบอกปลายแหลม ทางโรงงานจึงได้ออกแบบให้รูตะแกรงมีลักษณะเป็นรูสล็อตแบบ oblong เพราะ คล้ายกับลักษณะของข้าวเปลือกซึ่งแบบของตะแกรงแบบ oblong จะเหมาะสมที่สุด

โดยตะแกรงของเครื่องทำความสะอาดที่ศึกษานั้นมีตะแกรงคัดแยก 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีตะแกรง 2 ตะแกรงแต่ละตะแกรงมีขนาด 1370×1220 มิลลิเมตร โดยตะแกรงแต่ละชั้นมีขนาดของรูตะแกรงต่างกันโดยเรียงจาก หยาบ – ปานกลาง – เล็กเรียงตามลำดับ ซึ่งตะแกรงชั้นบนจะรับเมล็ดข้าวเปลือกจากช่องรับเมล็ดข้าวเปลือก

2.3 ทฤษฎีการ Machining

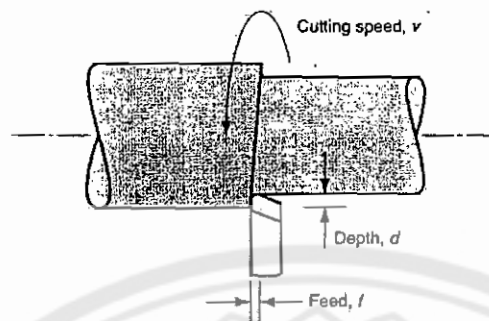
งาน Machining เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการกำจัดโลหะส่วนที่ไม่ต้องการออกจากชิ้นงาน

2.3.1 การกลึง เป็นกระบวนการกำจัดส่วนของชิ้นงานที่ไม่ต้องการออกจากผิวชิ้นงานทรงกระบอกที่กำลังหมุนด้วยมีดกลึงหรือทุล (Tool) โดยมีดกลึงจะเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นขนานกับแกนหมุนของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7



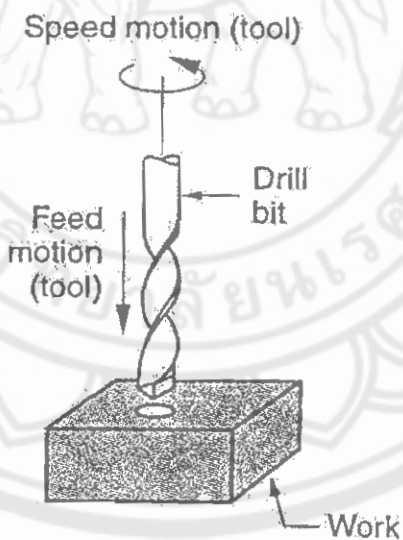
รูปที่ 2.6 แสดงการกลึง

(ที่มา: Techniques of press working sheet Metal, 1990)



รูปที่ 2.7 แสดงความเร็วตัด ระยะป้อน ความลึกตัด
(ที่มา: Techniques of press working sheet Metal, 1990)

2.3.2 การเจาะ เป็นการทำให้เกิดรูกลมบนชิ้นงาน โดยเครื่องมือทรงกระบอกที่มีคมตัด 2 คม เรียกว่า ดอกสว่าน (Drill or Drill bit) โดยดอกสว่านจะหมุนเจาะลงบนชิ้นงานที่อยู่กับที่ โดยรูเจาะที่ได้จะมีขนาดเท่ากับดอกสว่าน รูปที่ 2.8



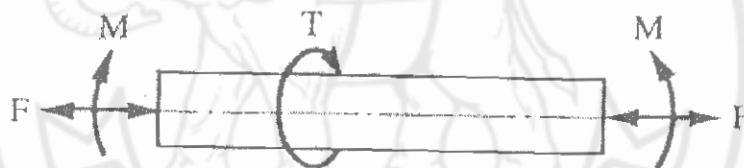
รูปที่ 2.8 แสดงการเจาะ
(ที่มา: Techniques of press working sheet Metal, 1990)

2.4 ทฤษฎีเพลลา

เพลลา เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องจักรกลที่ใช้ในการถ่ายทอดกำลัง เพลลาปกติโดยทั่วไปจะมีลักษณะพื้นที่เป็นวงกลม เพลลาจะยึดอยู่กับส่วนอื่น เช่น sheaves , cam , sprockets , gear , couplings , หรือ cranks ดังนั้นนอกจากภาระบิด (torsional load) ที่เกิดจากการหมุนแล้วแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากส่วนยึดเหล่านี้ทำให้เกิดภาระดัด (bending load) ขึ้นในเพลลาด้วย

2.4.1 การคำนวณความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นกับเพลลา

ได้มีการยอมรับวิธีการหาขนาดของเพลลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา(ASME) ใช้ทฤษฎีความเค้นสูงสุดและจะไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นกับเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการจะพิจารณาเพลลาในรูปที่ 2.9 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นกับเพลลามีดังนี้



รูปที่ 2.9 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

(ที่มา: การออกแบบเครื่องจักรกล 1, ดร.วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ฤกษ์งาน)

$$\text{ความเค้นดึงหรือกด} \quad \sigma_d = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.1)$$

$$\text{ความเค้นดัด} \quad \sigma_b = \frac{32 \cdot C_m \cdot M \cdot d}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.2)$$

$$\text{ความเค้นเฉือน} \quad \tau_{xy} = \frac{16 \cdot C_t \cdot T \cdot d}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.3)$$

โดยที่ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการค้ำ (ดูได้จากตารางที่ 15 ภาคผนวก ข)
 C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด (ดูได้จากตารางที่ 15 ภาคผนวก ข)
 M = โมเมนต์ค้ำ
 T = โมเมนต์บิด

ความเค้นรวม $\sigma = \sigma_a + \sigma_b$ (2.4)

ความเค้นเฉือนรวม $\tau = \left(\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ (2.5)

จากสมการ 2.2, 2.3 และ 2.4 จะได้

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau (1 - K^4)} \left((C_t \cdot T)^2 + (C_m \cdot M)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

โดยที่ $K = d_i / d$

กรณีเพลาดันจะได้

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau} \left((C_t \cdot T)^2 + (C_m \cdot M)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

ตารางที่ 2.7 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R775-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

(ที่มา: การออกแบบเครื่องจักรกล 1, ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน)

2.4.2 ความเร็ววิกฤตของเพล

ในทางปฏิบัติแล้ว จุดศูนย์กลางถ่วงของมวลของเพลจะอยู่เยื้องไปจากจุดศูนย์กลางการหมุนของเพล ทั้งนี้เนื่องจาก

1. ในการผลิตเพลามวลเพลามีได้กระจายออกอย่างสม่ำเสมอ
2. น้ำหนักของเพล เพื่ออง วงล้อสายพาน และอื่นๆ ทำให้เกิดระยะ โกงในขณะที่ยังไม่

หมุน

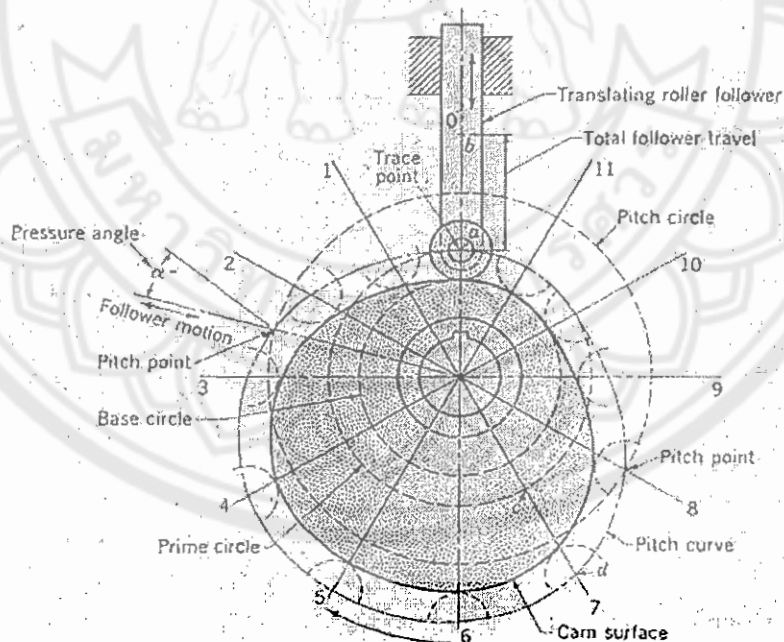
เมื่อเพลารับเริ่มหมุนเร็วขึ้น พลังงานจลน์ของมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับพลังงานศักย์ของเพลที่ทำให้เกิดระยะ โกงตัวของเพลในขณะอยู่นิ่ง ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง ความเร็วของเพลในขณะที่เกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ เรียกว่า ความเร็ววิกฤต (critical speed)

2.5 ทฤษฎีลูกเบี้ยว

ชุดลูกเบี้ยวจะประกอบด้วยลูกเบี้ยว (cam) และก้านลูกเบี้ยว (follower) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายทอดการเคลื่อนที่หมุนหรือแกว่งไปมาให้เป็นการเคลื่อนที่ซ้ำแบบเชิงเส้นหรือเชิงมุม

2.5.1 ส่วนประกอบต่างๆของลูกเบี้ยว

1. Base Circle คือวงกลมที่เล็กที่สุดที่สามารถเขียนไปสัมผัสผิวของลูกเบี้ยว โดยใช้จุดศูนย์กลางลูกเบี้ยวเป็นจุดศูนย์กลาง ดังรูปที่ 2.10
2. Trace Point คือจุดที่ทางเดินจะทำให้เกิดเป็น Pitch Curve
3. Pressure Angle คือมุมระหว่างแนวทางการเคลื่อนที่ของตัวตาม กับเส้นตั้งฉาก กับ Pitch Curve ที่จุดนั้นๆ
4. Pitch Point คือจุดบน Pitch Curve ซึ่งเป็นจุดที่มีค่ามุม Pressure Angle มากที่สุด
5. Pitch Circle คือวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะจากจุดศูนย์กลางลูกเบี้ยวถึงจุด Pitch Point
6. Prime Circle คือวงกลมที่เล็กที่สุดที่สามารถเขียนไปสัมผัสผิวของ Pitch Circle โดยใช้จุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยวเป็นจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆของลูกเบี้ยว

(ที่มา: กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล, รศ.วุฒิชัย กปิลกาญจน์)

2.5.2 Displacement Diagram

Displacement Diagram เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจัดของตัวตามที่เคลื่อนที่กับจำนวนองศาที่ถูกหมุนไปหรือเวลาที่ใช้ในการหมุน โดยจำนวนองศาของลูกเบี้ยวจะอยู่ในแกนราบ และการจัดของตัวตามอยู่ในแนวดิ่ง Diagram นี้จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างลูกเบี้ยว ลูกเบี้ยวแต่ละลูกจะมีแบบการเคลื่อนที่ของตัวตามที่แตกต่างกันไป เช่น เคลื่อนที่แบบความเร่งคงที่ เคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ เคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic Motion เคลื่อนที่แบบ Cycloidal Cycloid

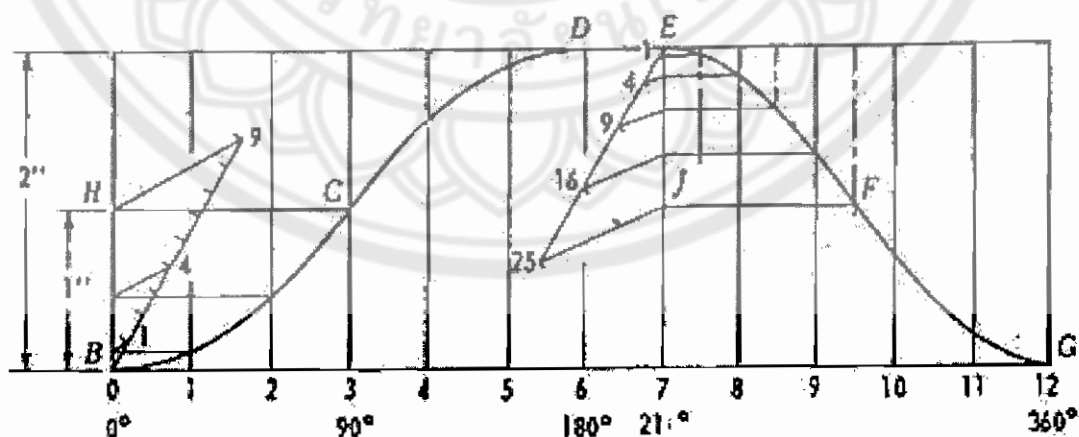
2.5.2.1 เคลื่อนที่แบบความเร่งคงที่ (Constant Acceleration)

ความเร่งคงที่เป็นการเคลื่อนที่ที่มีสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร่ง การจัด และ เวลา คือ

$$S = \frac{1}{2}at^2 \quad (2.8)$$

โดยที่ S = การจัด ,
a = ความเร่ง , m/s^2
t = เวลา , s

เนื่องจากกราฟที่ได้จากสมการที่(2.8) เป็นเส้นโค้งแบบ Parabola ดังนั้นบางครั้งการเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า Parabolic Motion จะได้ Displacement Diagram ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 Displacement Diagram เคลื่อนที่แบบความเร่งคงที่
(ที่มา: กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล, รศ. วุฒิชัย กปิลกาญจน์)

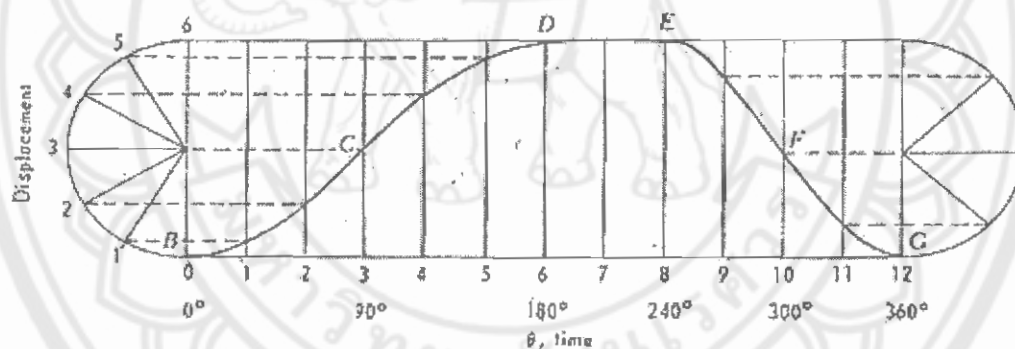
การขจัดของจุด B คือ $x = R \cos \omega t$ (2.9)

$$V = \frac{ds}{dt} = -R\omega \sin \omega t \quad (2.10)$$

$$a = \frac{d^2s}{dt^2} = -R\omega^2 \cos \omega t \quad (2.11)$$

โดยที่ S = การขจัด , m
a = ความเร่ง , m/s²
t = เวลา , s
R = รัศมีการเคลื่อนที่ , m
V = ความเร็ว , m/s
 ω = ความเร็วเชิงมุม , rad/s

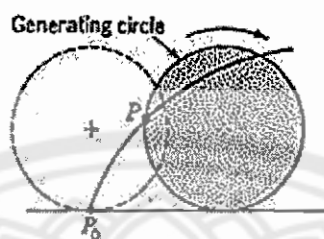
นำความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.9) , (2.10) , (2.11) เขียน Displacement Diagram ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 Displacement Diagram เคลื่อนแบบ S.H.M
(ที่มา: กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล, รศ. วุฒิชัย กปิตกาญจน์)

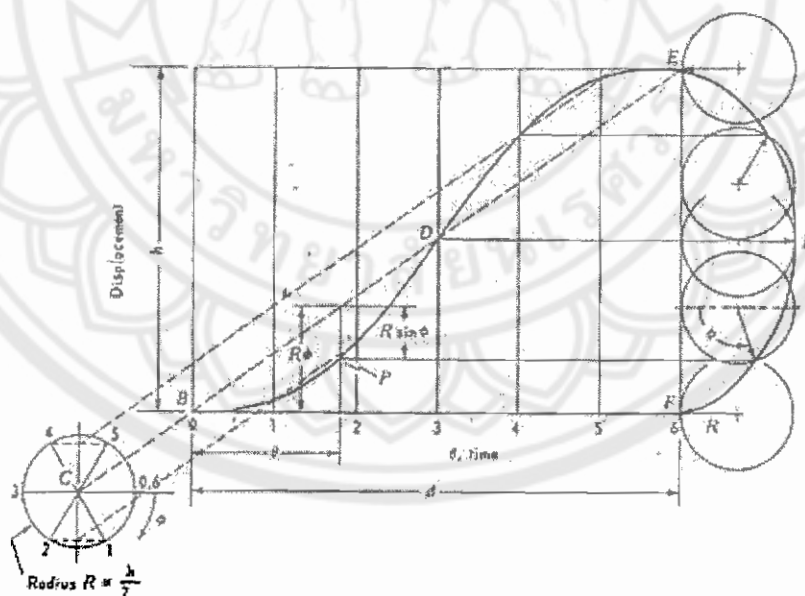
2.5.2.4 Cycloidal Cycloid

Cycloidal Cycloid คือเส้นโค้งที่เป็นทางเดินของจุดที่อยู่บนเส้นรอบของวงกลมในขณะที่วงกลมนั้นกลิ้งไปบนเส้นตรงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การเคลื่อนที่แบบ Cycloidal Cycloid
(ที่มา: กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล, รศ. วุฒิชัย กปิลกาญจน์)

กราฟของการจัดสำหรับ Cycloidal Motion ก็ได้มาจาก Cycloid ซึ่งเป็นทางเดินของจุดบนเส้นรอบวงของวงกลมในขณะที่วงกลมกลิ้งไปบนเส้นตรงนั่นเอง ซึ่ง Displacement Diagram แสดง ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Displacement Diagram เคลื่อนแบบ Cycloidal Motion
(ที่มา: กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล, รศ. วุฒิชัย กปิลกาญจน์)

2.6 ทฤษฎีของสายพาน

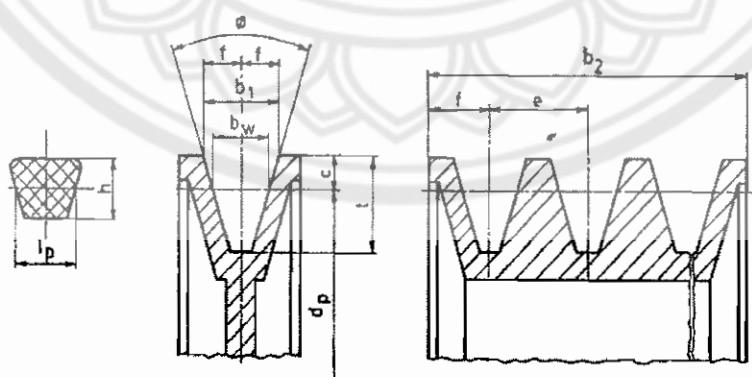
2.6.1 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขั้นต่ำในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียบกับร่องรูปลิ่มของ วงล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลทำให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสเล็กน้อย และมีแรงดึงขั้นต่ำค่อนข้างต่ำ และเหมาะกับการใช้งานใน กรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มิมีเหตุฉุกเฉิน ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย

การขับเคลื่อนด้วยสายพานลิ่มมีข้อดี คือเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระชุกได้ นอกจากนี้ยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแรงของเพลาลังไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับเคลื่อนด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10:1

2.6.2 ขนาดสายพานและวงล้อสายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม มีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ ความกว้างพิทช์ (pitch width) และความหนาสายพาน โดยใช้ตัวอักษรแทนซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (narrow V-belts) มีขนาด SPZ, SPA, SPB และ SPC และสายพานลิ่มธรรมดา มีขนาด Y, Z, A, B, C, D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อสายพาน ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หน้าตัดสายพานลิ่มและวงล้อสายพาน

(ที่มา: การออกแบบเครื่องจักรกล 2, ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน)

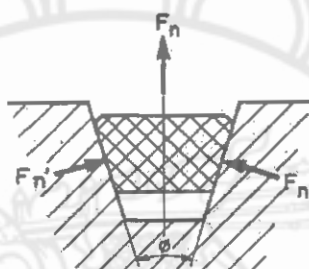
2.6.3 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม

ในการจับด้วยสายพานลิ่ม แรงปฏิกิริยาระหว่างสายพานกับวงล้อสายพานจะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส ดังรูปที่ 2.18 ให้ F_n เป็นแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของสายพานกับร่องบนวงล้อสายพาน มีสมการเป็น

$$2fF_n = dF \quad (2.12)$$

แรงปฏิกิริยารวมของแรง F_n ทั้งสองแรงคือ

$$W_p = z(F_1 - F_2)v \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.18 แสดงแรงบนสายพานลิ่ม

(ที่มา: การออกแบบเครื่องจักรกล 2, ดร.วิฑูรย์ อึ้งภากรณ์ และชาญ อดุลงาน)

และกำลังที่ส่งได้โดยสายพานลิ่มหาค่าได้จากสมการ

$$W_p = z(F_1 - F_2)v \quad (2.14)$$

โดยที่ v = ความเร็วของสายพานเป็น m/s

z = จำนวนสายพาน

F_1 = แรงดึงในด้านตึง

F_2 = แรงดึงในด้านหย่อน

ความยาวพิตช์โดยประมาณของสายพานลิ่มหาค่าได้จากสมการ

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p + d_p)^2}{4C} \quad (2.15)$$

โดยที่ D_p = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของวงล้อสายพานตาม

d_p = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของวงล้อสายพานขับ

C = ระยะห่างศูนย์กลางของวงล้อสายพาน

ในกรณีที่ทราบความยาวพิชต์แล้วต้องการหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางก็ทำได้โดยใช้สมการ

$$C = p + \sqrt{p^2 + q} \quad (2.16)$$

โดยที่ $p = 0.25L_p - 0.393(D_p - d_p)$

$$q = 0.125(D_p - d_p)^2$$

2.6.4 การทำให้เกิดแรงดึงขั้นต้นในสายพานลิม

การทำให้เกิดแรงดึงขั้นต้นจะช่วยทำให้การขับเคลื่อนด้วยสายพานมีประสิทธิภาพดี และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงขั้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลง ประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลงเนื่องจากการสลิป แต่ถ้าออกแรงดึงขั้นต้นมากเกินไปจะทำให้ขอบสายพานยึดตัวมากเกินไป เกิดความเค้นในสายพานมากแบร้งที่รองรับวงล้อสายพานจะรับแรงมากเกินไป ด้วยเหตุนี้เองจึงต้องออกแรงดึงขั้นต้นให้เหมาะสมกับแรงภายนอกที่กระทำกับสายพาน จากสมการแรงดึงขั้นต้นในสายพานขณะส่งกำลังคือ

$$F_i = (k_1 F + z k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.17)$$

โดยที่

$$F = F_1 - F_2$$

$$k_1, k_2 = \text{ตัวประกอบใช้งาน}$$

$$z = \text{จำนวนสายพาน}$$

$$\alpha = \text{มุมสัมผัส}$$

2.6.5 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิม

ในการเลือกขนาดของวงล้อสายพาน บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้เลือกขนาดของล้อสายพานให้โตที่สุดเท่าที่จะทำได้ ขนาดของล้อสายพานไม่ควรจะเล็กกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 (ภาคผนวก ข) แต่ข้อควรระวังคือ ขณะใช้งานปกติความเร็วของสายพานไม่ควรสูงกว่า 30 m/s

การหาขนาดหน้าตัดโดยประมาณของสายพานลิมสำหรับการส่งกำลัง อาจทำได้โดยใช้รูปที่ 2.19 แต่กำลังที่ส่งได้จริงของสายพานจะต้องตรวจสอบจากตารางการกำหนดสมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิม



๑.๖๘๖๒๕๑๓
การเลือกขนาดของสายพานลิ่มจะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลิ่มที่ต้องใช้
การใช้งานจากกำลังงานที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่าง ๆ จำนวนเส้นของสายพาน
ลิ่มได้จากสมการ

สำนักหอสมุด

(2.18)

$$z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_l}$$

- โดยที่ z = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม
 W_p = กำลังงานที่ต้องการส่ง
 N_s = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตารางที่ 3 (ภาคผนวก ข)
 N_a = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัสหาค่าได้จากตารางที่ 4 (ภาคผนวก ข)
 N_l = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน (belt length correction factor) หาค่าได้จากตารางที่ 5 - 10 (ภาคผนวก ก)
 P_R = กำลังที่สายพานลิ่มเส้นหนึ่งเส้นส่งได้ หาค่าได้จากตารางที่ 5 - 10 (ภาคผนวก ข)