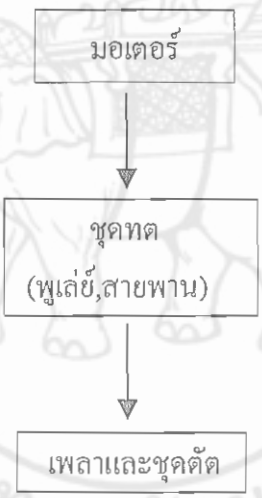
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการทำงานของเครื่องฝานกล้วยแผ่น

การทำงานของเครื่องโดยเริ่มจากมอเตอร์ส่งกำลังไปยังชุดทดซึ่งประกอบด้วย พูเล่ย์และสายพานเพื่อลดความเร็วที่ใช้ในการฝานกล้วย จากนั้นจะส่งกำลังต่อไปยังเพลาและชุดดัดตามลำดับเพื่อทำการฝานกล้วยตามต้องการ



2.2 การคำนวณหาอัตราการผลิต

จากชุดใบมีดของชุดตัดกล้วย 1 ชุด กำหนดให้

a = จำนวนใบมีดของชุดตัดกล้วย

b = จำนวนตำแหน่งที่ใส่กล้วย

N = ความเร็วรอบของชุดใบมีดตัดกล้วย (rpm)

ρ = ความหนาแน่นของกล้วย (kg/m^3)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของกล้วย (m.)

X = ความหนาของชิ้นกล้วย (m)

เมื่อชุดใบมีดตัดหมุนรอบจะตัดกล้วยได้จำนวน a x b ชิ้น

และให้กล้วย 1 ชิ้นจะมีน้ำหนักเท่ากับ $(\rho\pi d^2X)/4$

อัตราการผลิตต่อชั่วโมง = (a x b) x (N x60) x($\rho\pi d^2X$)/4 (kg/hr)

อัตราการผลิตต่อวัน = (a x b) x (N x60) x8 x($\rho\pi d^2X$)/4 (kg/day)

2.3 ความเร็วรอบของชุดตัด

ความเร็วรอบที่เหมาะสมของชุดตัดคือสามารถทำให้กล้วยตกลงมาสัมผัสกับตัวจานของชุดตัดทันเวลาที่ใบมีดอีกใบจะทำการฝานชิ้นกล้วยต่อไป ดังนั้นการหาความเร็วรอบของชุดตัดสามารถคำนวณได้จาก

ให้กล้วยตกลงมาใช้สมการ

$$X = ut_1 + \frac{1}{2}gt_1^2 \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดยกำหนดให้ไม่มีความฝืด ความเร็วต้นเป็นศูนย์

X = ความหนาของชิ้นกล้วย

u = ความเร็วต้น = 0 (m/s)

g = ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2

t_1 = เวลา (s)

a = จำนวนใบมีดของชุดตัด

จากสมการที่ (2.1) จะได้ $X = 4.905t_1^2$

$$t_1 = \sqrt{\frac{X}{4.905}}$$

เมื่อให้ใบมีดเคลื่อนที่ในระยะทางจากสมการ

$$S = vt_2 \qquad \text{.....(2.2)}$$

โดยกำหนดให้ความเร็วรอบคงที่

S = ระยะทางการเคลื่อนที่ของใบมีด (m)

v = ความเร็วในแนวตั้งฉากกับใบมีด (m/s)

t_2 = ระยะเวลาที่ใบมีดเคลื่อนที่ (s)

R = ระยะเฉลี่ยระหว่างแกนหมุนกับตำแหน่งกล้วยตก (m)

เมื่อ $S = \frac{2\pi R}{a}$

$$v = \frac{2\pi NR}{60}$$

แทนค่า S และ v ลงในสมการที่ (2.2)

$$\frac{2\pi R}{a} = \frac{2\pi NRt_1}{60}$$

$$t_2 = \frac{60}{aN} \quad \text{(s)}$$

เมื่อกำหนดให้ $t_2 \geq t_1$ จะได้

$$\frac{60}{aN} \geq \sqrt{\frac{X}{4.905}}$$

$$N \leq \frac{60}{(2\sqrt{\frac{X}{4.905}})} \quad \text{(rpm)} \qquad \text{.....(2.3)}$$

2.4 พูเล่ย์และสายพาน

2.4.1 ชนิดและวัสดุสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน (Flat Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ่ม (V – Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม(ropes) มีหน้าตัดกลม และไทม์มิงเบ็ลท์ (Timing Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเฟืองตลอดความยาวของสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน

วัสดุที่ใช้ทำสายพาน จะต้องมีค่าความต้านทานแรงสูง (Strength) สามารถบิดตัวได้ดี และจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสูง

วัสดุที่ใช้ทำสายพานซึ่งใช้งานกันมากก็คือ หนัง (Oak – tanned Leather) แต่ถ้าเป็นการใช้งานเป็นพิเศษ เช่น อยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้น มีไอของสารเคมี หรือมีน้ำมันอยู่ด้วย ก็มักใช้

สายพานแบบ Chrome Leather เพื่อให้สายพานมีอายุการใช้งานได้นานพอสมควร จึงมักใช้ค่าความเค้นในการออกแบบสายพานต่ำกว่าความต้านแรงดึงสูงสุดของสายพานมาก โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนังจะมีค่าประมาณ 0.40–0.50 ความเร็วที่ใช้งานของสายพานควรจะอยู่ประมาณช่วง 1000–2000 m/min

สายพานอีกชนิดหนึ่ง คือ สายพานยาง (Rubber Belts) สายพานประเภทนี้จะมีฝ้ายหรือผ้าใบเป็นเส้นภายใน และมียางหุ้มอยู่ภายนอก ยางที่ใช้หุ้มจะเป็นยางที่อบด้วยกำมะถันในอุณหภูมิสูง (Vulcanised) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความต้านแรง สายพานยางเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีน้ำมันหรือแสงแดด เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานหนังแล้ว สายพานยางจะมีราคาถูกกว่า แต่อายุใช้งานสั้นกว่า สายพานยางทนต่อสภาพบรรยากาศในการใช้งานได้ดีกว่าสายพานหนัง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานยางจะมีค่าประมาณ 0.30 – 0.40 และสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 20 N ต่อชั้น ต่อความกว้างสะพาน 1 mm

สายพานบาลาตา (Balata Belts) เป็นยางคล้ายสายพานยาง แต่ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีอบด้วยกำมะถัน ทนต่อกรดและความชื้นได้ดี แต่อุณหภูมิใช้งานไม่ควรเกิน 40 ° C สายพานชนิดนี้มีความด้านทางแรงมากกว่าสายพานยางประมาณ 25%

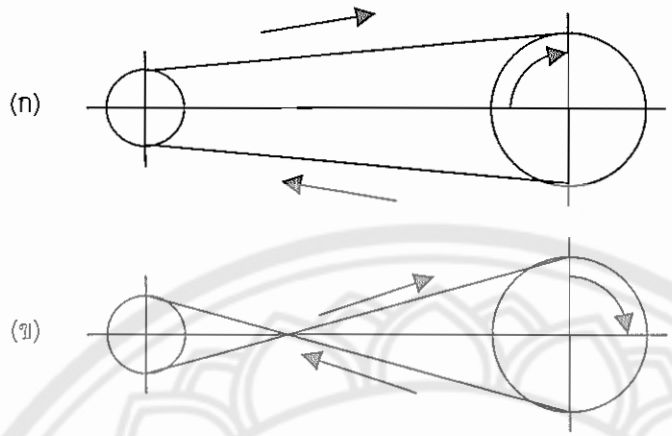
สายพานผ้าถัก (Textile Belts) ทำจากฝ้ายหรือผ้าใบซ้อนกันเป็นชั้นๆ แล้วยึดติดกัน จากนั้นจึงเคลือบด้วยน้ำมันลินซีด(Linseed)เพื่อทำให้สายพานกันน้ำได้มักใช้กับงานประเภทชั่วคราว

สายพานทุกชนิดที่กล่าวมานี้จะยืดตัวได้ดี ดังนั้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึง จะยืดตัวทำให้เกิดการสลิปบนล้อสายพาน (Pulley) ในทางปฏิบัติจึงมักจะยืดสายพานให้ตึงไว้ก่อนใช้งาน ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการสลิปของสายพาน

2.4.2 ลักษณะการขับด้วยสายพาน

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่าง ๆ กัน ลักษณะทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานดูได้จากรูปที่ 2.1

เมื่อต้องการขับเพลาที่อยู่ขนานกัน และต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ก็จะทำได้ในลักษณะดังรูปที่ 2.1 (ก) เรียกว่า โอเพนไดรว์ (Open Drive) และถ้าเพลาอยู่ห่างกันมากควรจะให้สายพานด้านล่างตึง (tight) และด้านบนหย่อน (Slack) แต่ถ้าต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนสวนทางกัน ก็ทำได้โดยวิธีดังรูปที่ 2.1 (ข) เรียกว่า ครอสไดรว์ (Crossed drive) แต่การขับในลักษณะนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานถูกัน ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันมิให้สายพานสึกหรอมากเกินไป จึงควรจะให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่ายี่สิบเท่าของความกว้างสายพาน และทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15 m/s



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการขับด้วยสายพาน (ก) โอเพนไดรว์ (ข) ครอสไดรว์ [3]

2.4.3 การครีพและการสลิป

ความแตกต่างระหว่างการครีพและการสลิปของสายพานจะเห็นได้อย่างชัดเจน โดยการพิจารณาการขับด้วยสานพาน เมื่อสายพานส่วนหนึ่งเคลื่อนที่เข้าหาล้อขับ สายพานจะเคลื่อนที่ไปตามส่วนโค้งสัมผัสบนล้อสายพาน ด้วยความเร็วที่เท่ากับความเร็วรอบของล้อสายพาน (ถ้าแรงดึงในสายพานมากเพียงพอที่จะเอาชนะแรงภายนอกได้) เมื่อสายพานส่วนนี้ใกล้จะออกจากล้อสายพาน แรงดึงในสายพานจะลดลงเท่ากับแรงดึงในด้านหย่อน เป็นผลให้สายพานหดสั้นลง ในขณะที่สายพานที่เคลื่อนที่ตามออกไปก็จะหดสั้นลงด้วย ดังนั้นความเร็วจริงของสายพานที่เคลื่อนที่ออกจากล้อขับจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วขณะเข้าสู่ล้อสายพาน ในทำนองเดียวกัน ความเร็วของสายพานจะเพิ่มขึ้นในช่วงส่วนโค้งสัมผัสของล้อตามเมื่อแรงดึงในสายพานเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดึงในด้านดึง และสายพานที่เคลื่อนที่ตามออกมาก็จะยืดตัวจนมีความยามเท่าเดิม ปรากฏการณ์ที่สายพานเปลี่ยนความเร็วเป็นความเร็วที่ช้าลงบนล้อขับ และเพิ่มความเร็วบนล้อตาม เรียกว่า การครีพ (Creep)

เมื่อแรงภายนอกเพิ่มขึ้นโดยไม่เพิ่มแรงดึงชั้นต้นในสายพาน สายพานทุกส่วนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดึงในตัวสานพานเมื่อเริ่มเข้าสู่โค้งสัมผัส ถ้าแรงภายนอกมากเพียงพอ ส่วนโค้งที่เกิดการครีพอาจจะเท่ากับส่วนโค้งสัมผัส ดังนั้นจึงเกิดการสลิป (Slip) ขึ้น การสลิปอาจเกิดขึ้นบนล้อบนล้อสายพานเพียงล้อเดียว ส่วนการเกิดการครีพจำเป็นจะต้องเกิดขึ้นเท่ากันบนล้อสายพานทั้งสองล้อ

การออกแบบการขับด้วยสายพานที่ดี เมื่อทำงานในสภาวะปกติไม่ควรมีการสลิป แต่การครีพจะเกิดขึ้นเสมอไม่ว่าจะเป็นสายพานชนิดใด การเกิดครีพและการสลิปทำให้สูญเสียกำลังงานและความเร็ว แต่การสูญเสียที่เกิดจากการครีพมีค่าน้อยมาก การสลิปอาจทำให้เกิดความร้อนมาก

เพียงพอที่จะทำให้ผิวหน้าของสายพานเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ให้เกิดการสลิป ด้วยวิธีการดึงสายพานให้ตึงเพียงพอก่อนการใช้งาน เพื่อการกำจัดการสลิป

เมื่อให้ d และ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับและล้อตาม n_1 และ n_2 เป็นความเร็วรอบของล้อขับและล้อตามแล้ว

ความเร็วขอบของล้อขับ v_1 มีค่าเท่ากับ

$$v_1 = \pi d n_1$$

ความเร็วขอบของล้อขับ v_2 มีค่าเท่ากับ

$$v_2 = \pi D n_2$$

เมื่อไม่มีการสลิป สายพานบางมากและไม่มีการยืดตัวแล้ว $v_1 = v_2$ อัตราทด m_ω เท่ากับ

$$m_\omega = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D}{d}$$

สายพานลิ่มที่ใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงชั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะว่าผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียว กับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดึงชั้นต้นค่อนข้างต่ำ และเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุด เมื่อผิวด้านข้างสายพานอัดแน่นกับร่องสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉิน ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรคได้ด้วย

การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือ เงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนั้นยังมีขนาดกระทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริ่งของเพลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับทางอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานซึ่งมีอัตราทดสูงประมาณ 7:1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10:1

กำลังที่ส่งโดยสายพานลิ่มหาค่าได้จาก

$$W_p = z(F_1 - F_2)v$$

โดยที่ v = ความเร็วของสายพาน เป็น เมตรต่อวินาที

z = จำนวนสายพาน

ความยาวพิตช์โดยประมาณของสายพานลิ่มหาค่าได้จากสมการ

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

ฉะนั้นคำนวณหาจำนวนสายพานได้โดย

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

โดยที่ z = จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม

W_p = กำลังงานที่ต้องการส่ง

N_s = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตารางที่ ค.1

N_a = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัสหาค่าได้จากตารางที่ ค.2

N_l = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพานหาค่าได้จากตารางที่ ค.3

P_R = กำลังสายพานลิ่มเส้นหนึ่งส่งได้ หาค่าได้จากตารางที่ ค.3

2.5 การคำนวณหาขนาดเพลา

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณเพลาจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนี้เพลายังจะต้องมีความแข็งเกร็ง(Rigidity)เพียงพอ เพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง(Deflection)ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต(Critical Speed) ของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลแบริ่ง(Ball Bearing) ก็ต้องมีความเยื้องแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

2.5.1 วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้ทำเพลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ต้องการให้มีความเหนียวและทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น

2.5.2 ขนาดเพลา

เพื่อให้เพลามีขนาดมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลาดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R 775 – 1969[2]

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	

2.5.3 การพิจารณาในการออกแบบเพลา

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศาต่อความยาวเพลา 1 m สำหรับเพลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1 องศาต่อความยาวเพลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา สำหรับเพลาเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบริ่งควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m

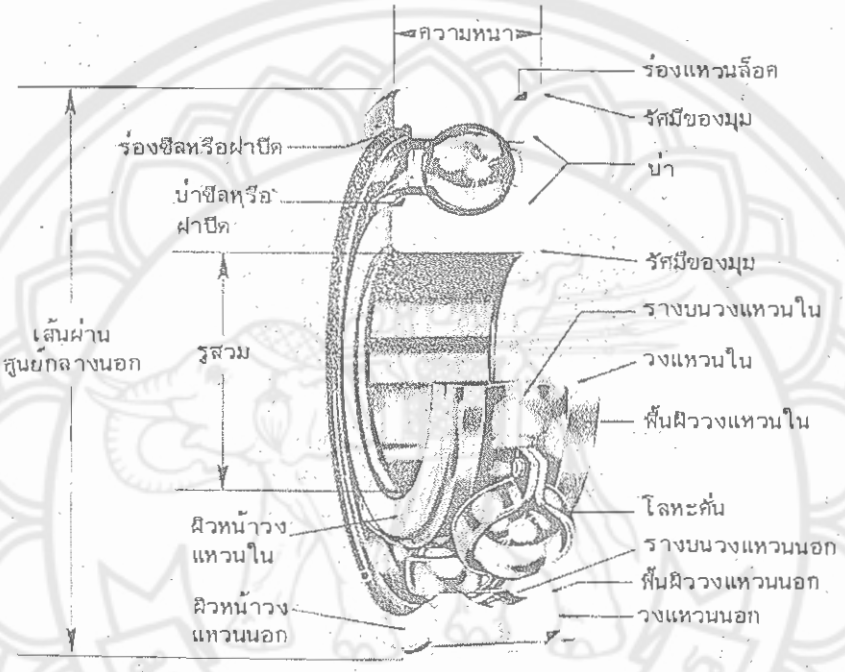
2.5.4 การออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

2.6 โรลลิ่งแบริ่ง (ตลับลูกปืน)

ตลับลูกปืนเป็นลักษณะของแบริ่งที่รับแรง โดยอาศัยลักษณะที่แบริ่งที่มีผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling contact) ประกอบด้วยร่องลึกเป็นทางกลิ้งสำหรับลูกกลิ้งทรงกลม เป็นลักษณะแบริ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย ติดตั้งง่ายและสามารถหาเปลี่ยนเมื่อเกิดชำรุดได้

สะดวก สามารถที่จะรับแรงได้ทั้งแรงรุน(Thrust Load) กับแรงในแนวรัศมี (Radail Load) ได้พร้อมกัน ข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้ตลับลูกปืนก็คือ ใช้พื้นที่ในแนวแกน(Axial Space) น้อย เหมาะสมกับชุดตัด ที่ค่อนข้างจะพื้นที่ในการใช้สอยน้อยอยู่แล้ว และยังรวมข้อดีในเรื่องค่าความเสียดทานในการเริ่มสตาร์ทน้อย (Low Starting Friction Torque) ถึงแม้อายุการใช้งานของตลับลูกปืนเองค่อนข้างสั้นแต่หากพิจารณาในด้านความปลอดภัยก็ถือว่าเหมาะสม



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนต่าง ๆ ของบอลแบริ่ง[3]

2.7 ประสิทธิภาพการฝาน

ประสิทธิภาพการฝานเป็นค่าที่จะใช้วัดความสามารถที่เครื่องฝานกล้วยแผ่นสามารถฝานกล้วยได้เมื่อทำงานภายใต้ตัวแปรต่างเช่น ความเร็วรอบ ลักษณะของใบมีด

$$\text{ประสิทธิภาพการผลิต(\%)} = \frac{\text{กล้วยที่ใช้ได้(g)}}{\text{กล้วยที่ใช้ฝานทั้งหมด(g)}}$$

2.8 อัตราการผลิตจากการทดสอบ

อัตราการผลิดของเครื่องฝานกล้วยแผ่น จากการทดสอบสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราการผลิต (kg/hr)} = \frac{\text{กล้วยที่ใช้ได้(g)} \times 60}{1000}$$