บทที่ 2

การสำรวจงานวิจัย และหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิทยานิพนธ์ จำเป็นที่จะต้องมีหลักการ และทฤษฎีที่ยอมรับโดยทั่วไป เพื่อใช้ในการอ้างอิงถึงการทำวิจัย ทำให้ผลการวิจัยถูกต้อง และน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น ดังนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงผลงานวิจัยและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัย โดยสังเขป ดังนี้

2.1 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย จากหนังสือ ผลงานวิจัย และเอกสารต่าง ๆ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งรายละเอียดของงานวิจัยต่าง ๆ ที่สืบค้น มีเนื้อหาและรายละเอียดมาก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่าง ๆ โดยสังเขป ดังนี้

Kurozumi, S. และ Yoshizawa. K. (พ.ศ. 2530)

ได้กล่าวถึงหลักเบื้องต้นของการออกแบบแม่พิมพ์, อุปกรณ์ป้อนอัตโนมัติ, ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Heat Treatment และ Die Problem

Smith. D. A. และ Bakerjiam. R. (ค.ศ. 1990)

ได้ศึกษาลักษณะของแม่พิมพ์ชนิดต่างๆ, การออกแบบแม่พิมพ์ Progressive Die, ลักษณะที่เกิดขึ้นในการตัดโลหะ, การซ่อมบำรุงและการติดตั้งแม่พิมพ์ และได้กล่าวถึงวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์โดยใช้วัสดุ Ferrous, Nonferrous และ Nonmetallic

Earg. D. F. และ Reed. E. A. (ค.ศ. 1974)

ได้อธิบายถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการตัดโลหะแผ่น และแรงที่เกิดขึ้นในการตัดลักษณะของแม่พิมพ์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สำหรับแม่พิมพ์ชนิดต่าง ๆ, เทคนิคการออกแบบแม่พิมพ์, การเขียนแบบ การ layout และได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์

จุลศิริ ศรีงามผ่อง (พ.ศ. 2532)

ได้รวบรวมทฤษฎีการตัดโลหะแผ่น การคำนวณแรงที่ใช้ตัดโลหะแผ่น ขบวนการตัดรูปโลหะแผ่น ทฤษฎีการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยการดัดงอ การคำนวณการขึ้นรูปโดยการดัดงอ ขบวนการดัดงอโลหะแผ่น การวิเคราะห์การลากขึ้นรูปถ้วย การวางแผนสำหรับขบวนการลากขึ้นรูปถ้วย และการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม

ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ (พ.ศ. 2530)

ได้รวบรวมประเภทของงานปั๊ม ทฤษฎีเกี่ยวกับงานตัด ทฤษฎีเกี่ยวกับงานพับ ประเภทของงานขึ้นรูป ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัด การออกแบบแม่พิมพ์ แม่พิมพ์พับ และปั๊มเข้ารูปแม่พิมพ์ขึ้นรูป

ชูเวช ชาญสง่าเวช (พ.ศ. 2537)

ได้รวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลกำไร โดยการวิเคราะห์ภายใต้ความแน่นอนและภายใต้ความไม่แน่นอน

วันชัย ริจิรวนิช และ ชอุ่ม พลอยมีค่า (พ.ศ. 2536)

ได้อธิบายถึงวิธีการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของโครงการทางวิศวกรรม โดยแบ่งเป็นการศึกษาด้านต้นทุน และค่าใช้จ่าย การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ค่าเงินต้นเทียบเท่าปีปัจจุบัน ค่าเทียบเท่าเงินจ่ายเท่ากันรายปี การหาอัตราผลตอบแทน ค่าเสื่อมราคา การศึกษา การทดแทนทรัพย์สิน และการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการทางวิศวกรรม

วิชา เสรีวัฒนนุกูล (พ.ศ. 2536)

เป็นงานวิจัย เพื่อเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจ สำหรับการตัดสินใจทดแทนเครื่องจักร และอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในธุรกิจด้านอื่น ๆ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้พัฒนาขึ้น โดยใช้ภาษา Microsoft Foxpro 2.0 บนไมโครคอมพิวเตอร์โปรแกรม

ชาญ ถนัดงาน และคณะ (พ.ศ. 2538)

ได้รวบรวมพื้นฐานของงานอัดขึ้นรูป, แนวคิดในการออกแบบ และทำแม่พิมพ์, การวางแผนการผลิตแม่พิมพ์, โพรเซสแพลนนิ่ง, โพรเซสเลย์เอาต์, การคิดราคาแม่พิมพ์ ข้อควรรู้เกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องจักรเครื่องมือในการทำแม่พิมพ์, วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์, ความรู้เบื้องต้น

เกี่ยวกับกรรมวิธีทางความร้อน, การออกแบบดรอว์ดาย, การออกแบบแบลงค์ดาย และทริมเพียซดาย, การสร้างโมเดลสำหรับการทำแม่พิมพ์, การทำพันซ์และดาย, การตรวจสอบแม่พิมพ์, การทดลองแม่พิมพ์, วัสดุชิ้นงาน และการใช้และบำรุงรักษาแม่พิมพ์

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ จันทนา จันทโร (พ.ศ. 2536)

ได้เรียบเรียงหลักการพื้นฐานของความน่าจะเป็นและสถิติ, การตัดสินใจ, การทดสอบสมมุติฐาน, การประมาณค่า, การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการพยากรณ์

2.2 หลักการออกแบบแม่พิมพ์

โดยทั่วไปการใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปชิ้นงานจากโลหะแผ่น มีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับรูปแบบของชิ้นงานที่ต้องการ หรือลักษณะการทำงานของแม่พิมพ์ ตัวอย่างเช่น

- Blanking Die เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ตัดแผ่นโลหะ เพื่อนำส่วนที่ตัดออกไปใช้งานต่อไป
- Piercing Die เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการเจาะรูแผ่นโลหะ ให้ได้รูตามที่กำหนด
- Trimming Die เป็นแม่พิมพ์ตัดขอบส่วนที่ไม่ต้องการออกของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปมาแล้ว
- Bending Die เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการพับโลหะ ซึ่งอาจจะเป็นรูปตัว V หรือ U ก็ได้
- Forming Die เป็นแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นเรียบ ให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยที่ชิ้นงานจะมีรูปร่าง และขนาดตามรูปร่าง และขนาดของ Punch และ Die
- Drawing Die เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยที่ Punch จะกดโลหะแผ่นเรียบเข้าไปในช่องว่างของ Die เพื่อทำให้เกิดเป็นภาชนะรูปถ้วยกลวง และไม่มีตะเข็บ
- Single Die เป็นแม่พิมพ์ที่มีการทำงานเพียงขั้นตอนเดียว
- Compound Die เป็นแม่พิมพ์ที่ทำการ Pierce และ Blank พร้อม ๆ กันที่ตำแหน่งเดียวกัน แม่พิมพ์แบบนี้จะใช้ สำหรับชิ้นส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงมาก
- Progressive Die หรือแม่พิมพ์ต่อเนื่อง เป็นแม่พิมพ์ที่รวมเอาขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ไว้ในแม่พิมพ์เดียวกัน เช่น Piercing , Trimming , Forming หรือ Bending เป็นต้น โดยแต่ละขั้นตอนจะถูกวางเรียงอย่างต่อเนื่องกัน โดยรูปแบบการวางขั้นตอนจะขึ้นอยู่กับชิ้นงานที่จะทำการขึ้นรูป การทำงานของแม่พิมพ์ Progressive Die คือ แผ่น Strip จะผ่านขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ และจะถูกตัดออกมาในขั้นตอนการทำงานสุดท้ายทำให้ได้ชิ้นงานสำเร็จ

จากตัวอย่าง แม่พิมพ์ชนิดต่าง ๆ ข้างต้นจะเห็นได้ว่า ลักษณะการทำงานจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งในการออกแบบแม่พิมพ์แต่ละชนิด จะใช้การคำนวณและหลักการที่แตกต่างกันไป ดังนั้นในบทนี้ จะกล่าวถึงหลักการออกแบบแม่พิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้เท่านั้น

2.2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับงานตัด

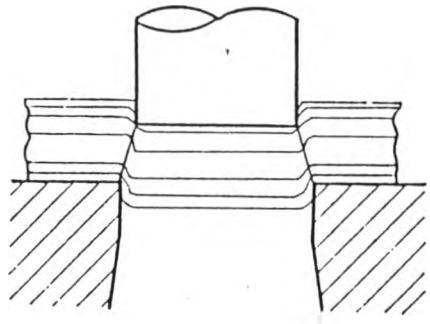
ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานตัดในที่นี้ ได้แก่ กระบวนการตัดเฉือน (Shearing Frocess) ช่องว่างสำหรับงานตัด (Clearance) การคำนวณหาแรงตัด (Cutting Force Calculation) ซึ่งมีรายละเอียดพอสังเขป ดังนี้

2.2.1.1 กระบวนการตัดเฉือน (Shearing Process)

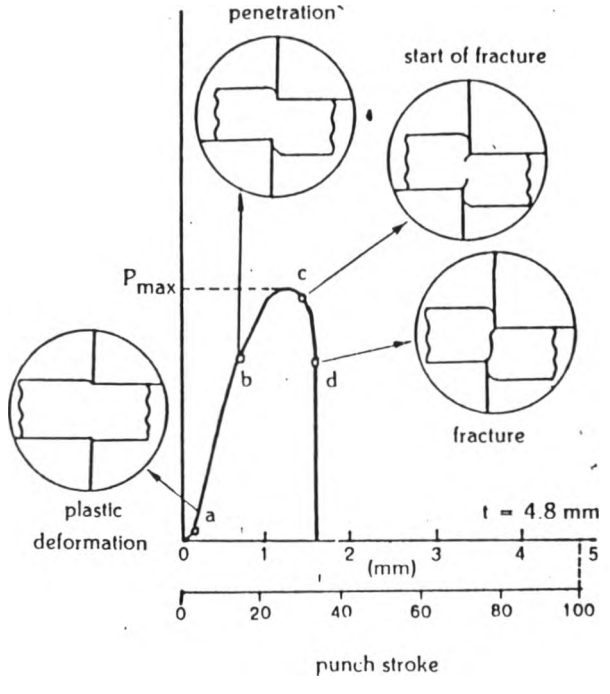
คือ การตัดโลหะออกจากันโดยใช้คมตัดของ Punch และ Die กดโลหะจนเลยจุด Ultimate strength ซึ่งจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน แสดงในรูปที่ 2.1

ขั้นตอนในการตัดเริ่มจาก การที่ Punch กดลงบนโลหะ และพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องว่างของ Die จนเลยจุด Elastic Limit ของโลหะ ช่วงนี้ทางผิวด้านล่างของโลหะจะเริ่มย้อยเข้าไปใน Die และทางผิวด้านบนก็จะถูก Punch กดลง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น Punch จะเจาะเข้าไปในเนื้อโลหะ โดยความลึกของส่วนที่ถูกกดทางผิวด้านบนจะเท่ากับส่วนที่ถูกกดลงใน Die ทางผิวด้านล่าง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจนเลยจุด Ultimate Strength ของโลหะแล้ว โลหะจะฉีกขาดออกจากกัน รายละเอียดของขั้นตอนในการตัดดูได้จาก รูปที่ 2.2 โดย จุด a แสดง punch เริ่มกดลงบนเนื้อโลหะ จุด b แสดง punch เพิ่มแรงกดลงบนเนื้อโลหะ จุด c แสดงโลหะเริ่มฉีกตัว และ จุด d แสดงการฉีกของโลหะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

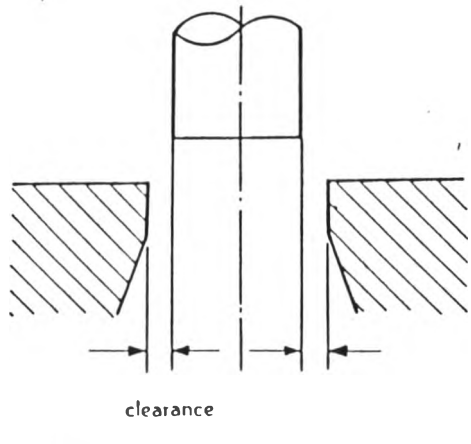
การฉีกของโลหะจะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับ Clearance ระหว่าง Punch กับ Die ถ้า Clearance มากไปหรือน้อยไป จะทำให้เพิ่มแรงที่มากระทำต่อ Punch และ Die ทำให้สึกเร็ว นอกจากนั้น ยังทำให้รอยฉีกไม่เรียบอีกด้วย



รูปที่ 2.1 แสดงการตัด



รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นของการตัดโลหะ



รูปที่ 2.3 ช่องห่างระหว่าง Punch กับ Die

2.2.1.2 ช่องว่างสำหรับงานตัด (Clearance)

คือ ช่องห่างระหว่าง Punch กับ Die ซึ่งจะบอกเป็นค่าของผลต่างของรัศมีของ Punch กับ Die ดังแสดงในรูปที่ 2.3

Clearance จะแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะ, ความหนาและรูปร่างของชิ้นงานก็มีส่วนสำคัญในการกำหนดขนาดของ Clearance โดยชิ้นงานยิ่งมีความหนามากขึ้นค่า Clearance ก็จะมากขึ้น มาตรฐานของค่า Clearance ของวัสดุชนิดต่างๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของวัสดุ ซึ่งถูกรวบรวมโดย ชาญชัย ทรัพยากร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ค่าของ Clearance ระหว่าง Punch และ Die จะมีค่ามาก น้อย หรือ เหมาะสมนั้น สามารถตรวจสอบได้จากรอยตัดของชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.4 ดังนี้คือ

1. กรณีที่ Clearance พอดี หรือ เหมาะสม Cut Band จะมีความกว้างประมาณ 1/3 ของความหนาของโละหะ และ Burr จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.4 (a)
2. กรณีที่ Clearance มากเกินไป ที่ Edge Radius จะมีความโค้งมาก Cut Band จะแคบ รอยฉีกจะไม่เป็นระเบียบ และมี Burr มาก ดังรูปที่ 2.4 (b)
3. กรณีที่ Clearance น้อย ที่ Cut Band จะมีบริเวณกว้างและอาจมีมากกว่า 2 แห่ง

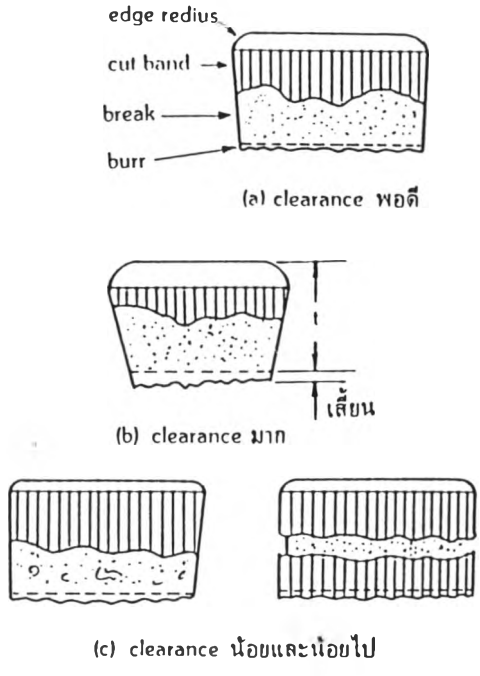
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการตรวจดูสภาพของรอยตัดโดยดูจาก Cut Band และส่วนอื่นประกอบกันนี้ จะทำให้เราสามารถทราบว่า ตำแหน่งศูนย์กลางของ Punch และ Die นั้นอยู่ในแนวเดียวกันหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ในกรณีที่ Punch และ Die เยื้องศูนย์กันแล้ว Punch และ Die จะได้รับแรงกระทำไม่เท่ากันทุกจุด ทำให้อายุการทำงานของ Punch และ Die สั้นลง

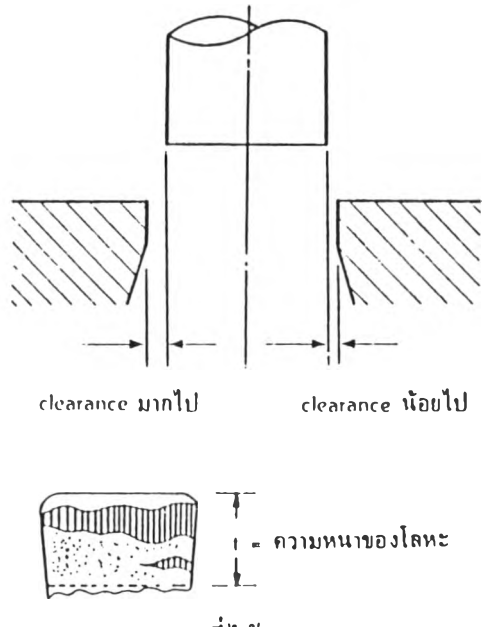
ในการกำหนดขนาดของ Punch และ Die ว่าควรจะมีขนาดเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ เช่น ถ้าต้องการใช้รู ก็กำหนดขนาดของ Punch ให้เท่ากับขนาดของรู แล้วไปเพิ่มขนาดของ Die ตาม Clearance ที่หาได้ ดังรูปที่ 2.6 (a) ถ้าต้องการ ใช้ Blank ให้ให้กำหนดขนาดของ Die ตามขนาดของ Blank แล้วลดขนาดของ Punch ลงตาม Clearance ดังรูปที่ 2.6 (b)

CUTTING CLERANCE PER SIDE PERCENTAGE OF STOCK THICKNESS		
MATERIAL	IRREGULAR CONTOUR	ROUND
ALUMINUM		
SOFT LESS THAN 3/64 " THK	3%	2%
SOFT MORE THAN 3/64 " THK	5%	3%
HARD	5-8%	4-6%
BRASS & STEEL		
SOFT	3%	2%
1/2 HARD	4%	3%
HARD	5-6%	4%
STEEL		
LOW CARBON SOFT	3%	2%
1/2 HARD	4%	2%
HARD	5%	3%
SILICON STEEL	4.5%	3%
STAINLESS STEEL	5-8%	4-6%

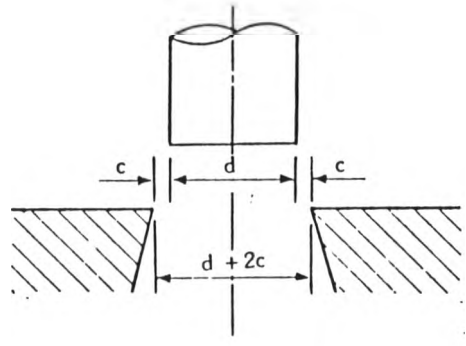
ตารางที่ 2.1 ขนาดของ Clearance ของโลหะชนิดต่าง ๆ



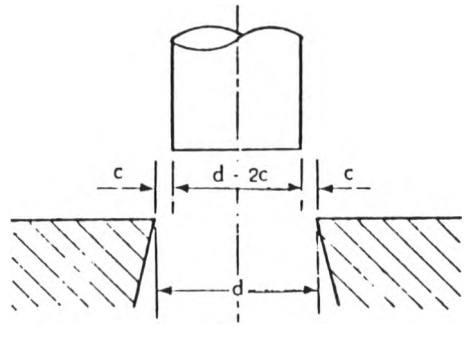
รูปที่ 2.4 สภาพของรอยตัดจากการตัดด้วย Clearance ต่างกัน



รูปที่ 2.5 สภาพของ Slug ที่ได้จากการเจาะของ Punch กับ Die ที่เยื้องศูนย์



(a) กรณีที่ต้องการใช้รู



(b) กรณีที่ต้องใช้ blank

รูปที่ 2.6 การกำหนดขนาดของ Punch และ Die ตามประเภทของการใช้งาน

2.2.1.3 การคำนวณหาแรงตัด (Cutting Force Calculation)

การกำหนดขนาดของเครื่องอัด (Press) นั้นจะต้องคำนวณหาแรงต่างๆ แล้วเผื่อแรงของเครื่องอัดไว้ไม่ต่ำกว่า 20-30 % แรงทั้งหมดซึ่งจะแปรผันไปตามปัจจัยต่างๆ ดังนี้คือ แรงเสียดทาน การใช้หรือไม่ใช้สารหล่อลื่น ขนาดใหญ่เล็กของช่องว่าง (Clearance) การเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่นวัสดุ ขนาดความหนาที่เพิ่มขึ้นหลังจากการรีดอัด การแข็งตัวเพิ่มขึ้นหลังจากถูกแรงกระทำ (Strain hardening) เป็นต้น

การคำนวณหาแรงตัด สูตรที่ใช้ในการคำนวณ จากการรวบรวมของ Kurozumi, S. และ และ Yoshizawa, K. มีดังนี้

1. ในกรณีไม่มีคมเฉือน

$$p = l.t.K_s\ (1/1000) \qquad (2.1)$$

p = แรงที่จำเป็นในการเจาะ (ตัน)
l = เส้นรอบรูปของส่วนที่เจาะออก (มม.)
t = ความหนาของแผ่นวัสดุ (มม.)
K_s = แรงต้านทานการตัดขาดของแผ่นวัสดุ (กก./มม^2)

ในการเจาะแผ่นเหล็กเหนียว (mild steel) ถ้าให้ค่า K = 35 กก./ มม.^{2} จะได้ว่า

$$p = 35l.t.(1/1000) \qquad (2.2)$$

2. ในกรณีที่มีคมเฉือน

$$p_s = l.t.K_sK(1/1000) \qquad (2.3)$$

p_s = แรงที่จำเป็นในการเจาะ (ตัน)
l = เส้นรอบรูปส่วนที่เจาะออก (ตัน)
K_s = แรงต้านทานการตัดขาดของแผ่นวัสดุ (กก./มม^2)

S = ความหนาของคมเฉือน (มม.)

K = สัมประสิทธิ์ของการตัดขาด

ในกรณี S = t K = 0.4 - 0.6

ในกรณี S = 2t K = 0.2 - 0.6

ถ้าแรงในการเฉือนเกินกว่า 50 % ของสมรรถนะของเครื่องแล้ว จะต้องกำหนดให้มีการเฉือนเกิดขึ้น หรือ ต้องการลดแรงในการตัดลงก็สามารถทำได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และมีรายละเอียด ดังนี้

1. คมเฉือนในกรณีตัดออก (Blanking) ให้อยู่ที่แม่พิมพ์ตัวเมีย (Die) ในการเจาะรู (Piercing) ให้อยู่ที่แม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch)

2. ในการตัดออกแบบต่อเนื่องให้เว้นช่องว่างระหว่างชิ้นงานเท่ากับ 1/2 - 1/3 ของความหนาของแผ่นวัสดุ (ถ้าเว้นไว้แคบเกินไปจะทำให้เกิดความเครียดที่ชิ้นงานซึ่งอยู่ติดกันได้ (Strain Hardenning))

3. ในการทำ Blanking แผ่นหนา ถ้าทำให้คมตัดมีความสูง (S) ประมาณ 1/2 - 1/3 ของความหนาแล้ว จะทำให้เกิดความเครียดน้อยลง

แรงที่ใช้ในการกดแผ่นวัสดุขณะขึ้นรูป (Stripping Force) โดยทั่วไปจะกำหนดไว้ประมาณ 4 - 20 % ของแรงในการขึ้นรูป ค่าประมาณการของแรงกดแผ่นวัสดุ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 จากการรวบรวมของ Kurozumi, S. และ Yoshizawa, K.

$$P_s = K.l.t.K_s \qquad (2.4)$$

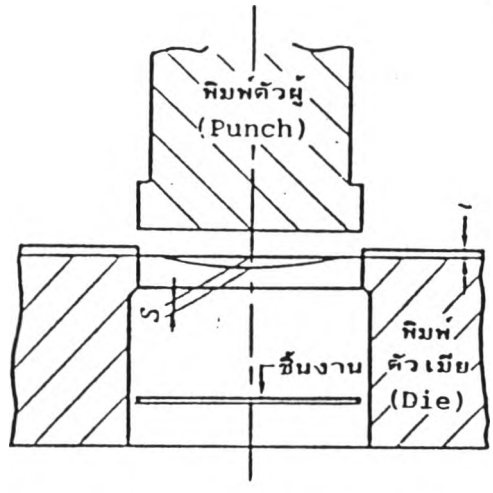
P_s = Stripping force (กก.)

l = เส้นรอบรูปของการเจาะออก (มม.)

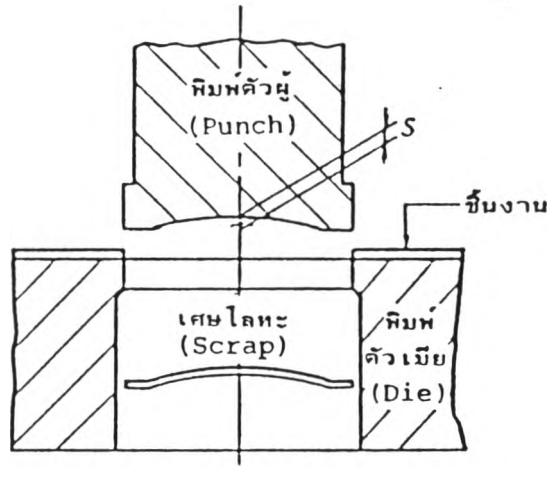
t = ความหนาของแผ่นวัสดุ (มม.)

K = สัมประสิทธิ์ (0.025-0.2)

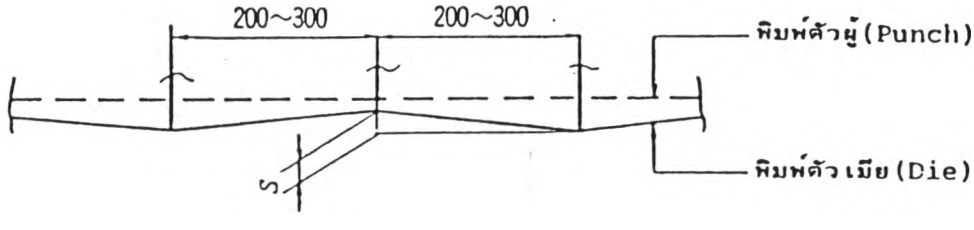
K_s = แรงต้านทานการตัดออก (กก./มม^2.)



การตัดเอาชิ้นงานออก



การเจาะรู



มม.

ความหนาของแผ่นวัสดุ	~3.2	4.5	6	8
S	3	4	8	9

ความหนาของคมตัดในการผึคมตัดยาว

รูปที่ 2.7 แสดงการเลือกการใส่มุมสำหรับการเถือนแบบต่าง ๆ

MATERIAL	SHEAR STRENGTH (Kg/mm^2)		TENSILE STRENGTH (Kg/mm^2)		PENETRATION %
	SOFT	HARD	SOFT	HARD	
LEAD	2 - 3	-	2.5 - 4		50
TIN	3 - 4	-	4 - 5	-	40
ALUMINUM	7 - 11	13 - 16	8 - 12	17 - 22	60 - 30
DURALUMIN	22	38	26	48	-
ZINC	12	20	15	25	50 - 25
COPPER	18 - 22	25 - 30	22 - 28	30 - 40	30 - 55
NICKEL	28 - 36	45 - 56	35 - 45	55 - 70	-
SILVER	19	-	26	-	-
MILD STEEL, DEEP DRAWING	30 -35	-	32 - 28	-	60 - 38
SS 34	27 - 36		33 - 44		40 - 28
SS 41	33 -42		41 - 52		40 - 28
STEEL 0.1%C	25	32	32	40	50 - 38
STEEL 0.2%C	32	40	40	50	40 - 28
STEEL 0.3%C	36	48	45	60	33 - 22
STEEL 0.4%C	45	56	56	72	27 - 17
STEEL 0.6%C	56	72	72	90	20 - 9
STEEL 0.8%C	72	90	90	110	15 - 5
STEEL 1.0%C	80	105	100	130	10 - 2
STAINLESS STEEL	52	56	65 - 70	-	-
NICKEL	25	-	44 - 50	57 - 63	55
MICA t = 0.5 mm	8		-		-
t = 2	5		-		-
FIBRE	9 - 18		-		-

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของโลหะชนิดต่าง ๆ

แรงในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Working Force) คือแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งในแม่พิมพ์ Progressive Die จะมีการทำงานหลายขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน แต่ละขั้นตอนจะมีแรงเกิดขึ้นต่างกัน ดังนั้นในการหาแรงในการขึ้นรูปชิ้นงาน สามารถหาได้โดยการนำแรงในแต่ละขั้นตอนมารวมกัน

แรงรุนด้านข้าง (Side Force) คือแรงที่เกิดขึ้นด้านข้าง หรือ แนวตั้งฉากกับ Working Force ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมาการที่ 2.5

$$\text{Side Force} = \frac{\text{Cutting Force x Clearance}}{\text{t - \% Penetration}} \qquad (2.5)$$

t = ความหนาของแผ่นวัสดุ

ในการเจาะออกนั้นตามทฤษฎีแล้วควรจะให้จุดศูนย์ของแรงกระทำเป็นจุดเดียวกับจุดศูนย์ของเครื่องอัดถ้าไม่เป็นจุดเดียวกันจะทำให้เกิดแรงบิดหรือแรงเหวี่ยงขึ้น ดังนั้นถ้าเกิดมีแรงบิดหรือแรงเหวี่ยงขึ้น จะต้องมีการติดตั้งเสา หรืออุปกรณ์ต้านแรงเพิ่มขึ้น หรือใช้เครื่องอัดที่มีกำลังสูงขึ้น ดังนั้น ในการหาจุดศูนย์ของแรงในการตัด สามารถหาได้โดยวิธีการคำนวณทางทฤษฎีกลศาสตร์

2.2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับงานพับ

การพับ (Bending) เป็นการออกแรงกดเพื่อทำให้โลหะแผ่นเรียบหมุนรอบแนวแกนซึ่งอยู่ในระนาบที่ขนานกับแผ่นโลหะ โลหะจะเกิดการไหลตัวจนอยู่ในช่วงของ Plastic Range และคงสภาพอยู่เช่นนั้น แม้จะเอาแรงที่มากระทำออกไปแล้วก็ตาม

ในการพับผิวด้านในจะได้รับแรงกด (compression) จึงหดตัวส่วนผิวด้านนอกได้รับแรงดึง (tension) จึงยืดตัวออก ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดย α คือ มุมพับ (Bend Angle) r_i คือ รัศมีของการพับ(Bend Radius) w คือ ความยาวของการพับ(Bend Length) t คือ ความหนาโลหะ

รัศมีของการพับ (Bend Radius) การออกแบบแม่พิมพ์พับโลหะ จะต้องทราบค่าจำกัดของรัศมีของการพับโลหะ เพราะโลหะแต่ละชนิดมีค่าจำกัดของรัศมีการพับที่น้อยที่สุดต่างกัน ค่ารัศมีของการพับจะบอกเป็นค่ารัศมีทางด้านในของส่วนโค้ง ดังรูปที่ 2.8 โดยทั่วๆไปรัศมีของการ

พับไม่ควรต่ำกว่า 1 เท่าของความหนาของโลหะที่จะพับ ค่ารัศมีของการพับที่น้อยที่สุดของโลหะชนิดต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 จากการรวบรวมของ ชาญชัย ทรัพยากร โดยค่า St คือ Tensile Strength A คือ แนวในการพับตั้งฉากกับทิศทางของgrain ของโลหะ B คือ แนวในการพับขนานกับทิศทางของgrain ของโลหะ I คือ โลหะที่ผ่านการอบอ่อน II คือ โลหะที่ไม่ผ่านการอบอ่อน

การเลือกแนวในการพับ ควรจะให้สัมพันธ์กับทิศทางของ grain ในการรีดแผ่นโลหะ ในการออกแบบแม่พิมพ์พับโลหะควรให้แนวในการพับตั้งฉากกับทิศทางของ grain ถ้าแนวในการพับขนานกับทิศทางของ grain อาจจะทำให้แนวการพับด้านนอกแตกได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

แรงกดของ Punch ในการพับโลหะ คำนวณได้จากสมาการที่ 2.6 โดย ชาญชัย ทรัพยากร

$$P_{bu} = k_c.\delta_c .t.w. \qquad (2.6)$$

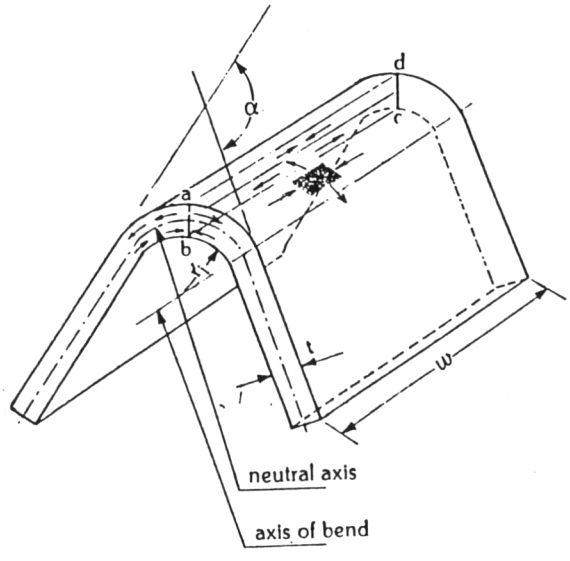
P_{bu} = แรงกดของ punch ตัน

k_c = ค่าคงที่ อยู่ระหว่าง 0.2-0.4

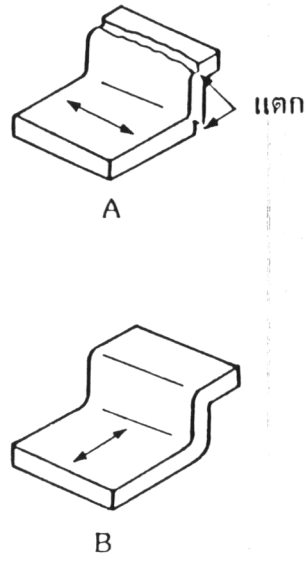
δ_b = tensile strength ของโลหะ kg/mm^2

t = ความหนาของโลหะ mm

w = ความยาวของการพับ mm



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของการพับ



รูปที่ 2.9 ทิศทางของ grain

	คุณสมบัติของโลหะ		ชนิดของโลหะ	I		II	
				r_{min}		r_{min}	
				A	B	A	B
เหล็ก	สำหรับการขึ้นรูปลึกๆ		SPCE	0	0.2t	0.2	0.5t
	0.06 - 0.12%C หรือ St = 28 kg/mm^2		SPCC,SPCD	0	0.4t	0.4t	0.8t
	0.12 - 0.22%C หรือ St = 37 - 42 kg/mm^2			0.1t	0.5t	0.5t	1.0t
	0.22 - 0.32%C หรือ St = 42 - 50 kg/mm^2			0.2t	0.6t	0.6t	1.2t
	0.32 - 0.42%C หรือ St = 50 - 60 kg/mm^2		S35C	0.3t	0.8t	0.8t	1.5t
	0.42 - 0.52%C หรือ St = 60 - 72 kg/mm^2		S45C,S50C	0.5t	1.0t	1.0t	1.7t
	0.52 - 0.60%C หรือ St = 70 - 82 kg/mm^2		S55C,S60C	0.7t	1.3t	1.3t	2.0t
	0.8 - 1.0%C		SK4	1.2t	2.0t	2.0t	3.0t
สเตนเลส	18Cr - 8Ni	temper	SUS304	0.5t	1.0t	1.0t	1.8t
	St = 67 kg/mm^2	(1/2H)		3.0t	4.5t	4.5t	_
	13Cr - 0.1C	temper	SUS410	0.7t	1.5t	1.5t	2.5t
	St = 52 kg/mm^2	(1/2H)		3.0t	5.0t	5.0t	_
อลูมิเนียม	อลูมิเนียม St = 8 - 15 kg/mm^2		A1100	0	0.2t	0.3t	0.8t
	อลูมิเนียม St = 20 - 25 kg/mm^2		A2024	t<3 0 t>3 0.5t	t<3 0.2t t>3 1.0t	1.5t	2.5t
	อลูมิเนียม St = 25 - 50 kg/mm^2		A2024,A7035	2.0t	3.0t	3.0t	4.0t

ตารางที่ 2.3 ค่ารัศมีในการพับที่น้อยที่สุด (r_{min}) ของโลหะชนิดต่าง ๆ

2.3 การวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ (Equipment Replacement Analysis)

ในการพิจารณาทดแทนต้องคำนึงถึง เครื่องจักรและอุปกรณ์ใดสามารถใช้งานและให้ประโยชน์ได้มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวเอง เครื่องจักรและอุปกรณ์เอง รวมทั้งลักษณะการใช้งานของผู้ใช้ด้วย โดยอายุการใช้งาน และปริมาณงานที่ได้จากเครื่องจักรและอุปกรณ์นี้เป็นส่วนกำหนดว่า เครื่องจักรและอุปกรณ์นั้น มีคุณค่าที่คุ้มกับการลงทุนหรือไม่ ซึ่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ให้ผลผลิตมากกว่า ให้คุณภาพของชิ้นงานที่ดีกว่าและที่มีอายุการใช้งานที่มากกว่า ก็ย่อมมีคุณค่ามากกว่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ให้ผลผลิตน้อย ของเสียมากและอายุการใช้งานสั้นกว่า

ในกรณีการพิจารณาลงทุนในเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยไม่พิจารณาถึงความสะดวกสบายของการใช้งานหรือความง่ายในการใช้งานแล้ว ก็มักจะมุ่งเน้นเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีอัตราการผลิตที่สูงกว่าและคงทนกว่าแต่เมื่อนำมาใช้งานอย่างเต็มที่แล้วเครื่องจักรและอุปกรณ์ก็ย่อมจะมีการชำรุด สึกหรอจนอายุการใช้งานสั้นลง ซึ่งจุดนี้จึงได้มีการถอนทุนคืนจากการใช้เครื่องจักรนั้นแล้ว การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมก็สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อถึงระยะเวลาที่ควรเปลี่ยนเครื่องจักรและอุปกรณ์นี้

การตัดสินใจทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ (Replacement) เกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมเริ่มเสื่อมคุณค่า ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะทางกายภาพ เช่นการชำรุดเสียหาย หรือเป็นลักษณะการใช้งาน เช่นมีประสิทธิภาพและคุณภาพลดลง ทำให้มีผลให้ค่าซ่อมบำรุงสูงขึ้น รวมทั้งลักษณะความก้าวหน้าทางวิทยาการอันก่อให้เครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมเริ่มใช้งานไม่สะดวก หรือเริ่มไม่เหมาะสมกับการทำงานแบบใหม่แล้ว

ซึ่งการตัดสินใจ มักจะทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และการลงทุนระหว่างเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิม และเครื่องจักรและอุปกรณ์ใหม่ โดยรวมถึงการคาดการณ์ในอนาคตว่าเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมจะเป็นอย่างไรและถ้ามีการทดแทนด้วยเครื่องจักรตัวใหม่ แล้วจะมีผลให้การทำงานในอนาคตเป็นอย่างไรด้วยซึ่งการคาดการณ์ในอนาคตนี้จะเป็นปัญหาที่สำคัญ อันจะเป็นผลต่อการตัดสินใจว่าจะถูกต้องมากน้อยแค่ไหน

ในการเปรียบเทียบเครื่องจักร และ อุปกรณ์เดิม กับเครื่องจักร และ อุปกรณ์ใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบคำตอบเกี่ยวกับระยะเวลาในการทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

ปัจจัยที่ต้องคาดการณ์ให้ถูกต้องในอนาคต ได้แก่ อายุการใช้งานที่เหลือของเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิม สำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ใหม่ที่จะนำมาทดแทน ราคา มูลค่าซาก และค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในอนาคตภายใต้อายุการใช้งาน รวมทั้งสภาวะดอกเบี้ยที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงอายุการใช้งานนั้น

การพิจารณาบางครั้งพบว่าเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิม ยังคงใช้ได้โดยไม่ต้องทดแทนโดยที่พิจารณาว่าเครื่องจักรและอุปกรณ์นั้น ยังไม่ถึงการชำรุดจนใช้งานไม่ได้ ประกอบกับความคุ้นเคยที่ใช้งานมานาน ความมั่นใจในการใช้งาน และความเสียดายที่ต้องขายทิ้งไปในราคาที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะตัดสินใจทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมนั้น

สรุปได้ว่า ถ้าเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิม ยังมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่ใช้ได้ โดยที่ต้นทุนการผลิตก็ยอมรับได้ การซ่อมบำรุงไม่มากนักก็ไม่จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์แต่อย่างไร แต่ถ้าพบว่ามีเครื่องจักรและอุปกรณ์ใหม่ ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าใช้ต้นทุนการผลิตแบบเดียวกัน โดยมีเงื่อนไขในอนาคตที่แน่นอน มีค่าซ่อมบำรุงไม่มากและความสะดวกสบาย อันเนื่องมาจากความทันสมัยของเทคโนโลยีใหม่ ๆ ก็อาจจะสามารถทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ใหม่ได้เลย โดยไม่ต้องไปเสียดายเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิม

2.3.1 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาการทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

โดยปกติเป้าหมายของความสำเร็จ ในการดำเนินการทางธุรกิจนั้น จะขึ้นอยู่กับผลตอบแทนที่จะได้รับ ในการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและ อุปกรณ์ก็เช่นกัน โดยจะเป็นการมองถึงผลตอบแทนที่จะได้รับจากการเปลี่ยนแปลง ณ เวลาที่ทำการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยยึดถือความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ณ เวลาที่เปลี่ยนแปลงเป็นรากฐานในการพิจารณา นั้นคือใช้ค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่มี ณ เวลานั้นของตัวเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมและตัวใหม่ต่าง ๆ ที่จะมาทดแทน

ค่าที่จะต้องนำมาพิจารณา สำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ใหม่ก็คือ ราคาของการซื้อขาย (First cost) ส่วนของเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมคือ มูลค่าที่สามารถขายได้หรือมูลค่าตลาด(Market value or Trade-in value) ของเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมในขณะนั้น ซึ่งก็ไม่ควรใช้ มูลค่าคงเหลือตามบัญชี (Book value) ในขณะนั้น เพราะค่าของมูลค่าตามบัญชีนี้ไม่ใช่มูลค่าจริงและก็ไม่นำราคาซื้อขายเริ่มต้นของเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมมาพิจารณาด้วย เพราะถือว่าเป็นมูลค่าในอดีต มีการใช้หาผลตอบแทนไปหมดแล้ว ซึ่งจะกำไร หรือ ขาดทุนก็ไม่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาเปรียบเทียบใน

ปัจจุบัน

หลักในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์นี้ จะใช้หลักข้อเสนอที่มีว่าจะคงใช้ของเดิมต่อไป หรือจะยอมเลือกตามข้อเสนอใหม่ โดยที่จะพิจารณาจากมุมมองของบุคคลภายนอก ซึ่งจะพิจารณาโดยมุมมองของเจ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ แล้วอาจจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ อันเนื่องมาจาก

1. การคิดระยะเวลาของการลงทุนที่ผิดพลาด

เช่น เครื่องจักรเดิมได้ซื้อมาเมื่อ 4 ปีที่แล้วในราคา 20,000 บาท โดยได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 10 ปี แต่ถ้าขายในขณะนี้จะได้ราคา 6,000 บาท ซึ่งเงิน 6,000 บาท ที่ได้จากการขายตัวเดิม กรณียอมซื้อตัวใหม่ที่มีอายุการใช้งาน 10 ปี เจ้าของจะจำมาคิดที่ระยะเวลา 10 ปี ไม่ได้เพราะว่าเงิน 6,000 บาทนี้ มีค่าอยู่ในช่วงอายุการใช้งานที่เหลือของตัวเดิมคือ 6 ปี เท่านั้นและต้องคิดเปรียบเทียบที่ 6 ปี ด้วย

2. มีการนำต้นทุนจม (Sunk cost) มาร่วมพิจารณาในการลงทุนใหม่ด้วย

ในการพิจารณาทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ใหม่ห้ามนำต้นทุนจมมาคิดร่วมด้วย เนื่องจากเป็นต้นทุนที่ได้ลงทุนไปแล้ว จะนำมาคิดอีกไม่ได้ซึ่งต้นทุนจมนี้เป็นเงินที่ลงไว้ส่วนของเงินขาดบัญชี ไม่นำมาเกี่ยวข้องกับการลงทุนใหม่ แต่ก็อาจจะมีผลในการคิดหักภาษีตอนสิ้นปีได้

2.3.2 การพิจารณาอายุการใช้งานที่เหมาะสมของเครื่องจักรและอุปกรณ์

ปกติเครื่องจักรและอุปกรณ์จะหมดสภาพการใช้งาน ก็ต่อเมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์นั้นไม่สามารถใช้งานได้แล้ว เป็นการกล่าวโดยการดูจากสภาพภายนอก และประสิทธิภาพการทำงาน แต่ถ้ากล่าวกันในแง่ของทางเศรษฐศาสตร์แล้ว เครื่องจักรและอุปกรณ์จะหมดสภาพการใช้งานเมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาโดยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ต้นทุนเพิ่มมากขึ้น

สรุปได้ว่าอายุการใช้งานที่เหมาะสมของเครื่องจักรและอุปกรณ์ก็คือช่วงระยะเวลาของการ

ใช้งานที่มี ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยรายปีทั้งหมดของเครื่องจักรและอุปกรณ์มีค่าต่ำสุด การหาอายุการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์นั้น เป็นข้อมูลตัวหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ แต่ในบางกรณีก็ไม่จำเป็นที่จะทำการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์เมื่อหมดอายุการใช้งานเสมอไปซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงก่อนหมดอายุการใช้งานก็ได้ถ้าสามารถพิสูจน์ได้ว่า เมื่อเปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ประหยัดหรือให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า

2.3.3 สาเหตุของการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์

นอกเหนือจากการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ เมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์นั้นหมดอายุการใช้งานแล้ว ยังมีสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อนอายุการใช้งาน โดยแบ่งสาเหตุดังกล่าวออกเป็นสี่ประการ ดังนี้

1. เนื่องจากเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ อันเนื่องมาจากความต้องการผลผลิตมีมากขึ้น โดยเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมสามารถให้ผลผลิตในขีดจำกัดหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ ข้อเสนอที่สามารถทำได้ คือ

ก. เพิ่มเครื่องจักรแบบเดิมเข้ามาเสริมกับตัวเดิม

ข. เปลี่ยนเครื่องจักรเดิมแล้วซื้อเครื่องจักรใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาแทน

2. เนื่องจากความล้าสมัย ผลจากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีสามารถทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ใหม่มีประสิทธิภาพที่จะให้ผลผลิตที่เหมาะสมและสะดวกกว่าเช่นเมื่อเทียบปริมาณการผลิตที่เท่ากัน เครื่องจักรชนิดใหม่เสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า ทำให้ผลผลิตมีต้นทุนถูกลง หรือเครื่องจักรใหม่สามารถผลิตได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากขึ้น ปริมาณของเสียลดลงในต้นทุนการผลิตที่เท่ากันก็ช่วยประหยัดเวลาและลดการสูญเสียได้

3. เนื่องจากการเสื่อมประสิทธิภาพการใช้งานทางกายภาพ ซึ่งทำให้ต้องซ่อมแซม และเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามากขึ้น เป็นสัญญาณแสดงให้เห็นถึงการหมดสมรรถภาพการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ว่าถึงกำหนดอายุการใช้งานแล้วนั่นเองลักษณะนี้เราสามารถหาค่าใช้จ่ายที่แท้จริงในแต่ละปี มาเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่จะนำมาทดแทนได้ ซึ่งเมื่อค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรและอุปกรณ์เดิมมีมากกว่าในปีใด ก็แสดงว่าเป็นปีที่สมควรเปลี่ยนแล้ว

4. ความเป็นไปได้ของการเช่าหรือการเช่าซื้อ เนื่องมาจากความทันสมัยในการให้บริการที่ทำให้เกิดความสะดวก โดยเราไม่จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์มาครอบครองไว้เอง อีกทั้งยังไม่ต้องรับภาระการซ่อมบำรุง และความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้มากจนเกินไปด้วย เช่น การเช่าโกดังเก็บของ การเช่ารถยนต์ เป็นต้น