



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

เครื่องตัดเฉาถ้วยแบบเส้นกึ่งอัตโนมัติ

ผู้วิจัย

อาจารย์ไทร คระระนันท์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

การสนับสนุน เงินทุนวิจัยงบประมาณรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ปี 2554

เลขที่สัญญา 213/2554

621.93
ด911ค
ร.2

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องจักรกลกึ่งอัตโนมัติสำหรับการใช้ในการตัดก่อนเนกัวให้เป็นเส้น เพื่อให้ได้มีความสะดวก รวดเร็ว เพิ่มการผลิตได้มากขึ้น และต้องการให้เป็นเครื่องจักรกลต้นแบบที่มีมาตรฐานการผลิตที่สะอาดตามหลัก อาหารปลอดภัย

โครงการวิจัยนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ชุดแรกเป็นชุดตัวกดเนกัวจะใช้มอเตอร์ส่งแรงผ่านชุดเกียร์ทดรอบ และส่งแรงไปขับเพลลา เพื่อทำการกดเนกัว ลงบนเส้นลวดที่ขึงให้เป็นรูปดาวยาคะแครงลวดสแตนเลส โดยมีชุดขึงลวด 2 ตัว ในแต่ละตัวจะขึงลวดไปทางเดียวกันโดยตารางแต่ละช่องนั้นมีขนาด 3 มม. x 3 มม.

ในชุดที่สองเป็นชุดป้อนเนกัวเข้ามายังแท่นกด โดยอาศัยสกรูส่งกำลังผ่านการทำงานของชุดทดเกียร์ โดยที่เนกัวจะถูกซ้อนทับไว้หลายชั้นและส่งก่อนเนกัวออกมาทีละก้อน

จากการทดสอบกดก่อนเนกัวด้วยเครื่องมีความเร็วเฉลี่ย 2.44 ซม. / วินาที ต่อครั้ง และชุดป้อนมีความเร็วเฉลี่ย 6-7 วินาทีต่อก้อน เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานด้วยคนแล้วจะเร็วกว่า 3 เท่า

ABSTRACT

This research report is about study and design then machine is use for cutting and seperating black jelly. It is quickly convenient and increase product and purpose to be a semi-auto machine to produce good and food safty.

The structure of machine have 2 state. First state is drive it have motor for delivery force throught reducer gear to shaft. Equipment in this state made by stainless steel sieve. This sieve have 2 wire group,which is crossed. Each group stretch one direction. A size mesh is $3 \times 3 \text{ mm}^2$.

The second state is drive by gaer focee to delivery the pieces of jelly to the cutting station.

Result from semi-auto black jelly cutting machine testing,the machine velocity is 2.42 cm/s and the push station can be deliver in 6-7 sec/piece. This velocity is less than man power,which is 3 time.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ นิสิตช่วยงานวิจัย ที่เป็นผู้ช่วยจัดทำงานวิจัย ช่วยหาอุปกรณ์ ช่วยประกอบโครงสร้างตลอดจน ช่วยทดสอบโครงสร้างจนแล้วเสร็จสิ้น ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่อนุญาติงบประมาณการวิจัย และให้คำปรึกษาในการเขียนร่างรายงานการวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ช่วยจัดทำเอกสารและช่วยแก้ไขเอกสารตลอดจนดูแลงาน ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการจัดสร้างโครงสร้างและประกอบเครื่องจักรกลจนเสร็จสิ้น จนทำให้โครงการวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งเปรียบเสมือนบูรพาจารย์ของลูก คณาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ผู้วิจัยตั้งแต่ต้น ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีได้ปรากฏนาม ณ ที่นี้ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจจนกระทั่งทำให้ผู้วิจัยมีโอกาสเขียนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ฅ
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย	2
2. วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
การทบทวนวรรณกรรม	3
กรอบแนวความคิด	3
GMP	4
ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	8
การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล	8
ลำดับขั้นในการออกแบบ	8
ข้อที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ	11
ตัวประกอบของความปลอดภัย (Factor of Safety)	12
มาตรฐานและรหัส (Standard and code)	15
เพลลา	20
หลักการพื้นฐานของฟันเฟือง	24
ชุดเฟืองทด	26
วัสดุเฟือง	32
ชุดเฟืองหนอน	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ (ต่อ)	
3. การคำนวณและออกแบบ	42
การคำนวณหาทอร์ก	42
การคำนวณหาขนาดมอเตอร์	43
การคำนวณหาลำโพงที่เพลลา	44
การออกแบบวงจรไฟฟ้า	45
4. การทดสอบ	46
วิธีการทดสอบการกีดกันภัย	46
ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกีดกันภัย	46
ผลการทดสอบเครื่องกีดกันภัย	47
5. สรุปผล วิเคราะห์ผลการทดสอบ	48
สรุปผล	48
วิเคราะห์ผลการทดสอบ	48
ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	
ภาคผนวกที่ 1 ตารางแสดงค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ	51
ภาคผนวกที่ 2 ตารางแสดงค่าคงที่ทางกายภาพของวัสดุวิศวกรรมบางชนิด	54
ภาคผนวกที่ 3 ตารางหลักจากฐานเท่ากัน	58
ภาคผนวกที่ 4 แสดงแบบเครื่องกีดกันภัยอัตโนมัติ	60
ประวัติผู้วิจัย	67

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนการออกแบบ	9
2.2 เพลากลวงอยู่ภายใต้แรงต่างๆ	21
2.3 เพลอยู่ภายใต้แรงต่างๆ	23
2.4 การสร้างโค้งอินโวลูท	24
2.5 การสัมผัสของฟันเฟือง	26
2.6 รูปเขียนแยกส่วนของแรงที่กระทำต่อเฟืองทั้งสอง	28
2.7 การเขียนส่วนแยกของเฟือง	27
2.8 ชุดเฟืองหนอน	34
2.9 เกลิยวตัหนอนแบบตรง (ก) หนึ่งปาก (ข) สองปาก (ค) การคลี่เกลิยวออก	35
2.10 ขอบเฟืองหนอนชนิดต่างๆ	36
2.11 ชุดเฟืองหนอนฟันโอบหนึ่งด้าน	36
2.12 เกลิยวตัหนอนแบบลำตัวโค้ง	37
2.13 ชุดเฟืองหนอนฟันโอบสองด้าน	37
2.14 เกลิยวตัหนอนสวมติดเพลลา	40
3.1 แสดง Screw jack ลักษณะต่าง ๆ	42
4.1 แสดงเครื่องทดเกาท์ยั้งอัตโนมัติสถานีกด	48
4.2 แสดงการวางเกาท์ยั้งบนเครื่องทดสอบ	48
4.3 แสดงสถานีผลักร่วมกับสถานีกดเกาท์ยั้ง	49
4.4 แสดงชุดขับด้วยเฟืองทดและมอเตอร์ส่งกำลัง	49
4.5 แสดงเกาท์ยั้งที่ทดผ่านตะแกรง	50

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ	15
2.2 หน่วยมูลฐาน SI Units	18
2.3 ระบบหน่วย SI และสัญลักษณ์	19
2.4 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO/R775-1969	21
2.5 ค่าประกอบความล้า	23
2.6 ขนาดของเกลียวตัวหนอนที่แนะนำให้ใช้	38
2.7 จำนวนปากของเกลียวที่เหมาะสมกับอัตราทด	39
4.1 ผลการทดสอบโดยใช้เครื่องกด	47
4.2 ผลการทดสอบโดยใช้คนกด	47
ตารางภาคผนวกที่	
1. แสดง Standard Sizes of Power Screw Threads	52
2. แสดงค่าคงที่ทางกายภาพของวัสดุวิศวกรรมบางชนิด	56
3. แสดงตารางเหล็กลูกฐานเท่ากัน	59

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
W	น้ำหนัก	N
W_p	กำลังงาน	W
σ	ความเค้น	N/mm^2
σ_d	ความเค้นออกแบบ	N/mm^2
σ_u	ความเค้นดึงต่ำสุด	N/mm^2
σ_y	ความเค้นจุดคราก	N/mm^2
ϵ	ความเครียด	N/mm^2
τ	ความเค้นเฉือน	N/mm^2
τ_d	ความเค้นเฉือนออกแบบ	N/mm^2
τ_s	ความเค้นเฉือนเชิงตัว	N/mm^2
τ_y	ความเค้นเฉือนจุดคราก	N/mm^2
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad./sec
θ	มุมบิด	rad
L	ความยาว	m
m	มวล	kg
t	เวลา	s
v	ความเร็ว	m/s
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	mm
n	ความเร็วรอบ	rpm
L_b	ความยาวเกลียว	mm
d_w	ขนาดเกลียวตัวหนอน	mm

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

เนื่องจากขั้นตอนการผลิตเนก้าก้วยแบบดั้งเดิมจำเป็นต้องใช้มีดเป็นอุปกรณ์ในการแปรรูปเนก้าก้วยให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภคซึ่งก่อให้เกิดปัญหาความล่าช้าในการแปรรูปและไม่ได้ขนาดที่แน่นอนทำให้เป็นอุปสรรคในการเพิ่มกำลังผลิตเพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภค จากปัญหาดังกล่าวนี้ จึงได้มีการคิดค้นเพื่อสร้างเครื่องตัดเนก้าก้วยเป็นเส้นขึ้นมาให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ พร้อมทั้งมีการเตรียมสถานที่เพื่อนำไปบรรจุขวดแบบกึ่งอัตโนมัติต่อไป

จากการศึกษากระบวนการผลิตเนก้าก้วยนั้นพบว่า เนก้าก้วยก่อนที่จะมีการบรรจุขวด ต้องมีการตัดออกให้เป็นเส้น ทั้งขนาดและความยาว สิ่งที่เกี่ยวข้องหรือชุมชนอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้ประดิษฐ์ขึ้นมานั้น จะออกแบบโดยการใช้ตัวเหล็กแบบเส้นซึ่งเป็นตาข่าย แล้วใช้มือกดลงบนก้อนเนก้าก้วยให้ไหลลงไปในถาดตามความยาวที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นว่ากระบวนการผลิตในรูปแบบนี้เป็นกระบวนการที่ไม่สะอาดและอาจเกิดอันตรายต่อผู้บริโภคเมื่อเหล็กเกิดสนิม

ดังนั้นในการแก้ปัญหาเหล่านี้จึงต้องออกแบบเครื่องกลขนาดเล็กเพื่อช่วยผ่อนแรงการทำงานและต้องเป็นเครื่องกลที่สะอาดไม่เป็นสนิม รวมทั้งวัสดุทุกชนิดที่ประกอบกันขึ้นมาต้องเป็นวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคเพื่อให้ได้มาตรฐานการผลิตแบบปลอดภัย(GMP) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การสร้างเครื่องผลิตเนก้าก้วย ที่ได้มาตรฐานเครื่องจักรผลิตอาหารเพื่อให้กลุ่มวิสาหกิจขนาดเล็กนำไปใช้ผลิตเนก้าก้วยได้อย่างปลอดภัย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตเนก้าก้วยกึ่งอัตโนมัติแบบเส้นเตรียมพร้อมบรรจุขวด
2. สร้างมาตรฐานการผลิตเนก้าก้วยแบบปลอดภัย(GMP)

ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1 เป็นเครื่องตัดเนกัวแบบ Semi-Automatic
- 2 มีวงจรควบคุมการทำงานในการกำหนดความยาวของเนกัวและปริมาณที่พร้อมจะบรรจุ
- 3 มีกำลังการผลิตไม่เกิน 200 กก.ต่อชั่วโมง
- 4 ใช้ในอุตสาหกรรมวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็ก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำ ผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ได้ต้นแบบของเครื่องผลิตเนกัวแบบเส้น
2. สามารถนำไปเพิ่มผลผลิตของชุมชนเพื่อผลิตอาหารสะอาด
3. สามารถส่งต่อไปยังหน่วยงานที่ต้องการนำไปพัฒนาต่อเพื่อพร้อมสำหรับการบรรจุ
4. เผยแพร่ผลงานผ่านวารสารการวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์

บทที่ 2

วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มแม่บ้าน ต.สวนดอกไม้ อ.เสนาห์ จ.สระบุรี ได้ทำการสร้างเครื่องผลิตเงี้ยวแบบมือกดขึ้นมาโดยอาศัยหลักการจึงกดเป็นตาข่ายแล้วทำก้อนเงี้ยวเป็นแบบลูกบาศก์ จากนั้นจึงใส่ก้อนเงี้ยวลงในกล่องลูกบาศก์ไม้เปิดหัวท้าย แล้วกดก้อนเงี้ยวด้วยมือพบว่าเงี้ยวออกมาเป็นเส้นตามความยาวที่ต้องการแต่เมื่อผ่านไปไ้ระยะหนึ่งกดหักงอพบว่าจะเกิดเป็นสนิมและตัวกล่องไม้เกิดเชื้อราทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการบริโภค

กรอบแนวความคิด

ในการผลิตเงี้ยวโดยปกติทั่วไปแล้วโดยภูมิปัญญาท้องถิ่นจะอาศัยหลักการง่ายๆคือนำเงี้ยวมาต้มให้ได้ที่จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลง และตัดออกมาเป็นก้อนๆและนำไปใส่ในกล่องลูกเต๋าซึ่งใต้ท้องลูกเต๋านั้นจะมีเส้นลวดนำมาจึงและสานกันไว้ให้มีหน้าที่เสมือนใบมีดตัด และในการตัดนั้นจะอาศัยแรงคนเป็นตัวกดลงไปจากนั้นก็คอยใช้มีดปาดด้านล่างเพื่อให้ได้เส้นตามความยาวที่ต้องการ

ในหลักการตรงนี้ผู้วิจัยจะยังคงใช้หลักการเดิมแต่ตัวผนังของกล่องตัดเราจะเปลี่ยนเป็นสแตนเลสที่เป็นเกรดสำหรับอาหารและการกดลงไปในแต่ละครั้งจะใช้ สกรูที่มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ในการขับ หลังจากนั้นจะมีใบมีดตัดด้านล่างเพื่อควบคุมความยาวของเส้นเงี้ยว

เมื่อเงี้ยวไหลไปสู่ถังพักจะมีบริเวณด้านล่างซึ่งจะมีวาล์วคอยเปิดและปิดเพื่อปล่อยเส้นเงี้ยวลงสู่ขวดตามปริมาณที่เราตั้งไว้ เมื่อเสร็จกระบวนการก็นำไปบรรจุโดยการส่งต่อไปยังสถานีบรรจุขวดต่อไป

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในการผลิตนั้นคือการประกอบหรือยึดติดของสแตนเลส โดยส่วนมากจะทำการเชื่อมโดยไม่ได้คำนึงถึง รอยเชื่อมหรือการหลบมุม ซึ่งมาตรฐานรอยเชื่อมที่สำคัญของ

เครื่องจักรผลิตอาหารก็คือ ต้องเป็นรอยเชื่อมที่ ไม่มีการคั่งค้างของเชื้อโรค ดังนั้นการสร้าง
ต้องอาศัยมาตรฐานตาม GMP และคนเชื่อมหรือประกอบต้องมีใบประกาศนียบัตรการเชื่อม
เครื่องจักรผลิตอาหารเป็นสำคัญ

ข้อกำหนดมาตรฐานการผลิตอาหารปลอดภัย

Good Manufacturing Practice

GMP คืออะไร

Good Manufacturing Practice (GMP) หมายถึง หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหารเป็นเกณฑ์
หรือข้อกำหนดขั้นพื้นฐานที่จำเป็นในการผลิตและควบคุมเพื่อให้ผู้ผลิตปฏิบัติตามและทำให้
สามารถผลิตอาหาร ได้อย่างปลอดภัย โดยเน้นการป้องกันและขจัดความเสี่ยงที่อาจทำให้อาหาร
เป็นพิษเป็นอันตราย หรือเกิดความไม่ปลอดภัยแก่ผู้บริโภค GMP มี 2 ประเภทดังนี้

- GMP สุลักษณะทั่วไป หรือ General GMP เป็นหลักเกณฑ์ที่นำไปใช้ปฏิบัติสำหรับอาหารทุก
ประเภท
- GMP เฉพาะผลิตภัณฑ์ หรือ Specific GMP เป็นข้อกำหนดที่เพิ่มเติมจาก GMP ทั่วไปเพื่อบ่งเน้น
ในเรื่องความเสี่ยง และความปลอดภัยของแต่ละผลิตภัณฑ์อาหารเฉพาะมากยิ่งขึ้น

หลักการของระบบ GMP

หลักการของ GMP จะครอบคลุมตั้งแต่สถานที่ตั้งของสถานประกอบการ โครงสร้างอาคารระบบ
การผลิตที่ดีมีความปลอดภัย และมีคุณภาพได้มาตรฐานทุกขั้นตอน นับตั้งแต่เริ่มต้นวางแผนการ
ผลิตระบบควบคุมตั้งแต่วัตถุดิบระหว่างการผลิต ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปการจับเก็บการควบคุมคุณภาพ
และการขนส่งจนถึงผู้บริโภค มีระบบบันทึกข้อมูล ตรวจสอบและติดตามผลคุณภาพผลิตภัณฑ์
รวมถึงระบบการจัดการที่ดีในเรื่อง สุขอนามัย (Sanitation และ Hygiene) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ขั้น
สุดท้ายมีคุณภาพและความปลอดภัยเป็นที่มั่นใจเมื่อถึง มือผู้บริโภค ทั้งนี้ GMP ยังเป็นระบบ
ประกันคุณภาพขั้นพื้นฐานก่อนที่จะพัฒนาไปสู่ระบบประกันคุณภาพ อื่นๆต่อไปเช่นระบบ
HACCP (Hazards Analysis and Critical Control Points) และ ISO 9000 อีกด้วย

GMP ในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) นับเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ใน
การตรวจรับรองระบบ GMP อาหารในประเทศไทย รวมทั้งมีหน้าที่ในการตรวจติดตามการปฏิบัติ

ของผู้ประกอบการอาหารและน้ำดื่มไทย ให้มีการปฏิบัติให้สอดคล้องกับ GMP ที่บังคับใช้ตามกฎหมาย

ระบบ GMP อาหารเข้ามาในประเทศไทย และเป็นที่รู้จักครั้งแรกในปี พ.ศ. 2529 ภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 6 และตลอดระยะเวลาเกือบ 20 ปีที่ผ่านมาสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้ดำเนินการเกี่ยวกับระบบ GMP ดังนี้ เริ่มจากการอบรมทั้งกับผู้ประกอบการและเจ้าหน้าที่ภาครัฐให้เข้าใจหลักการ ของระบบ จัดทำโครงการยกระดับมาตรฐานการผลิตอาหารประเภทต่างๆสำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยาได้นำระบบ GMP มาใช้พัฒนาสถานที่ผลิตอาหารของประเทศเป็นครั้งแรกในลักษณะส่งเสริมและยก ระดับมาตรฐานการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแก่ผู้ประกอบการแบบสมัครใจภายใต้แผน พัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 และตลอดระยะเวลาเกือบ 20 ปีที่ผ่านมาสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้ ดำเนินการในเรื่องนี้เป็นขั้น ตอนตามลำดับกล่าวคือ เริ่มจากจัดทำโครงการฯเสนอเพื่อให้สภาวิชาชีพ ให้ความเห็นชอบร่างหลักเกณฑ์ GMP ของประเทศต่างๆโดยจัดลำดับความสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่มี ต่อการบริโภคและต่อ เศรษฐกิจของประเทศเช่นน้ำบริโภค เครื่องดื่มนมพร้อมดื่มและอาหาร กระป๋องเป็น ต้น จัดการฝึกอบรมให้กับผู้ประกอบการ และเจ้าหน้าที่ภาครัฐให้เข้าใจในหลักการ ของระบบ นอกจากนั้นมีการตรวจสอบก่อนและหลังการอบรมให้ความรู้พร้อมทั้งมีการประเมิน ผลและออกไปเก็บตัวอย่างเพื่อเป็นแรงจูงใจซึ่งการดำเนินการครั้งนั้นทั้ง หมดเพื่อประเมินและ กระตุ้นผู้ประกอบการให้มีความสนใจที่จะพัฒนาสถานที่ผลิต เป็นระยะอย่างต่อเนื่อง

หลังจากนั้นในปี 2535 เป็นต้นมาสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา โดยกองควบคุมอาหารได้มี มาตรการให้การรับรองระบบ GMP (Certificate GMP) แก่ผู้ประกอบการในลักษณะสมัครใจ

การบังคับใช้ GMP ตามกฎหมาย

GMP ที่นำมาเป็นมาตรการบังคับใช้เป็นกฎหมายนั้น ได้นำแนวทางข้อกำหนดของ Codex มา ประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นที่ยอมรับของสากล แต่มีการปรับในรายละเอียดบางประเด็นหรือปรับให้ง่ายขึ้น (Simplify) เพื่อให้เหมาะสมกับศักยภาพของผู้ผลิตอาหารภายในประเทศให้สามารถปฏิบัติได้ จริง แต่ยังมีข้อกำหนดที่เป็นหลักการที่สำคัญเหมือนกับของ Codex แต่สามารถนำไปใช้ได้กับสถาน ประกอบการทุกขนาดทุกประเภททุกผลิตภัณฑ์ตามสภาพ การณ์ของประเทศไทย นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนามาตรฐานสูงขึ้นมาจากหลักเกณฑ์ขั้นพื้นฐาน (Minimum Requirement) ที่สำนักงาน คณะกรรมการอาหารและยาใช้ในการพิจารณาอนุญาตผลิตจึงเป็นเกณฑ์ซึ่ง ทั้งผู้ประกอบการและ เจ้าหน้าที่รู้จักคุ้นเคยกันดีและปฏิบัติกันอยู่แล้ว เพียงแต่ต้องมีการปฏิบัติในรายละเอียดบางประเด็น

ที่เคร่งครัดและจริงจังมากขึ้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า GMP สู่ลักษณะทั่วไปนี้ผู้ประกอบการสามารถนำไปปฏิบัติตามได้จริงในทางปฏิบัติ ในขณะที่กฎระเบียบข้อบังคับหลักการสำคัญยังมีความน่าเชื่อถือในระดับสากล

สำหรับ GMP เฉพาะผลิตภัณฑ์ (Specific GMP) นั้น สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้กำหนดให้น้ำบริโภคเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่ผู้ประกอบการจะต้องปฏิบัติตาม GMP เฉพาะ เนื่องจากการผลิตมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและลงทุนไม่สูง รวมทั้งผู้ประกอบการน้ำดื่มในปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จากการตรวจสอบจำนวนผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาและสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดทั่วประเทศในปี 2546 มีประมาณ 4,000 รายทั่วประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ประกอบการรายย่อยมีการผลิตโดยไม่คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภคทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงเห็นว่าจำเป็นที่จะต้องมีมาตรการและหาวิธี การแก้ไขและป้องกันในเรื่องนี้อย่างจริงจังมากขึ้น ทั้งนี้จะเน้นการควบคุมสถานที่และกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการ GMP เฉพาะผลิตภัณฑ์เข้ามาเป็นหลักเกณฑ์บังคับทางกฎหมาย เพื่อให้ผู้ผลิตน้ำบริโภคมีความตระหนัก มีการควบคุมตรวจสอบและเห็นความสำคัญในเรื่องคุณภาพมาตรฐานและความปลอดภัยของ ผลิตภัณฑ์ หลักการของ GMP น้ำบริโภคที่ไทยบังคับใช้เป็นกฎหมายนั้นจะใช้แนวทางของกฎหมายอเมริกาที่กำหนดอยู่ใน Code of Federal Regulation title ที่ 21 Part 129 Processing and bottling of bottled drinking water และมาตรฐานสากล Codex (Code of Hygiene for Bottled/Packaged Drinking Waters) ซึ่งสอดคล้องกับ GMP สู่ลักษณะทั่วไป โดยมีการขยายเนื้อหาในหมวดที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามขั้นตอนที่ ถูกต้องของผลิตภัณฑ์น้ำบริโภค เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถควบคุมได้ครบถ้วนทุกจุด ของการผลิตมากยิ่งขึ้น

GMP ที่เป็นกฎหมายบังคับใช้ของประเทศไทยมีด้วยกัน 2 ฉบับคือ

1. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข(ฉบับที่ ๑๙) พ.ศ. 2543 และ(ฉบับที่ 239) พ.ศ. 2544 เรื่องวิธีการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหาร(GMP สู่ลักษณะทั่วไป)
2. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข(ฉบับที่ 220) พ.ศ. 2544 เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท(ฉบับที่ 3) (GMP น้ำบริโภค)

GMP กฎหมายดังกล่าวมีผลบังคับใช้สำหรับผู้ผลิตอาหารรายใหม่ตั้งแต่วันที่ 24 กรกฎาคม 2544 ส่วนรายเก่ามีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 24 กรกฎาคม 2546

ข้อกำหนด GMP สุขลักษณะทั่วไป

ข้อกำหนด GMP สุขลักษณะทั่วไปมี 6 ข้อกำหนดดังนี้

1. สถานที่ตั้งและอาคารผลิต
2. เครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต
3. การควบคุมกระบวนการผลิต
4. การสุขาภิบาล
5. การบำรุงรักษาและการทำความสะอาด
6. บุคลากรและสุขลักษณะ

ในแต่ละข้อกำหนดมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ผู้ผลิตมีมาตรการป้องกันการปนเปื้อนอันตรายทั้งทางด้านจุลินทรีย์เคมีและกายภาพ ลงสู่ผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจมาจากสิ่งแวดล้อมตัวอาคารเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ การดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตรวมถึงการจัดการในด้านสุขอนามัยทั้งในส่วนของความสะอาดการบำรุงรักษาและผู้ปฏิบัติงาน

ข้อกำหนด GMP น้ำบริโภค

ข้อกำหนด GMP น้ำบริโภคมี 11 ข้อกำหนด ดังนี้

1. สถานที่ตั้งและอาคารผลิต
2. เครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต
3. แหล่งน้ำ
4. การปรับปรุงคุณภาพน้ำ
5. ภาชนะบรรจุ
6. สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
7. การบรรจุ
8. การควบคุมคุณภาพมาตรฐาน
9. การสุขาภิบาล
10. บุคลากรและสุขลักษณะผู้ปฏิบัติงาน
11. บันทึกและรายงาน

สำหรับวัตถุประสงค์ในแต่ละข้อกำหนดนั้นเช่นเดียวกับ GMP ของสุขลักษณะทั่วไป แต่ GMP น้ำบริโภคนั้นจะเน้นประเด็นการควบคุมกระบวนการการผลิตน้ำบริโภคโดยขยายรายละเอียดในการควบคุมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนชัดเจนยิ่งขึ้น ตั้งแต่ข้อ 3-8 ซึ่งเป็นขั้นตอนในการผลิตและมีการ

เพิ่มเติมในส่วนของบันทึกและรายงานเพื่อให้ผู้ผลิตเห็นความสำคัญและประโยชน์ในการเก็บข้อมูลรายงานบันทึกที่เกี่ยวข้อง ชั่งเช่นผลวิเคราะห์แหล่งน้ำและผลิตภัณฑ์เป็นต้นซึ่งจะช่วยป้องกันหรือแก้ไข เมื่อเกิดปัญหากับผลิตภัณฑ์ได้

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล

การออกแบบเครื่องกลหมายถึง การออกแบบสิ่งต่าง ๆ ระบบต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล ผลิตภัณฑ์ โครงสร้าง อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกลส่วนใหญ่แล้วจะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์วัสดุ (materials sciences) และวิทยาศาสตร์ทางวิศวกรรมเครื่องกล (engineering mechanics sciences)

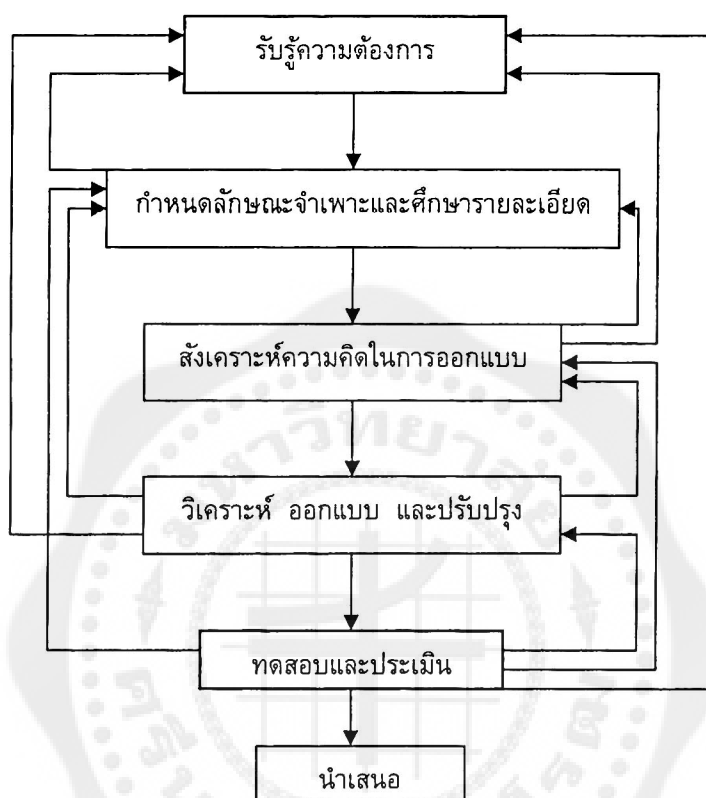
การออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องรู้ เข้าใจเกี่ยวกับการจำแนกชิ้นส่วนเครื่องจักรกล (Machine elements) ต่าง ๆ ตั้งแต่การคำนวณจากข้อมูลที่ทราบ เช่น งานที่ทำได้ กำลังงานที่ใช้ แล้วคำนวณหาแรงในแต่ละส่วน ตามลำดับหน้าที่ของการทำงานของเครื่อง โดยใช้หลักการของกลศาสตร์ แล้วทำการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้ ตามหน้าที่โดยไม่พังหรือเสียหาย

เราจำเป็นจะต้องใช้หลักการของความแข็งแรงของวัสดุนำมาช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะให้ขนาดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความถูกต้องเหมาะสมในวิธีการนั้นผู้ออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์ความเค้น (stress) เพื่อตัดสินใจที่จะให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ สามารถรับความเค้นสูงสุด (maximum stress) แต่ละชนิดได้

ลำดับขั้นในการออกแบบ

การออกแบบเป็นขบวนการที่น่าสนใจมาก จะเริ่มต้นอย่างไร วิศวกรจะเริ่มต้นจากการแสดงความคิดลงไปในกระดาษเปล่าหรือ ต่อไปอะไรจะเกิดขึ้น มีองค์ประกอบหรือตัว

ควบคุมที่มีผลต่อการตัดสินใจในการทำอะไรบ้าง และสุดท้ายการออกแบบจะสิ้นสุดลงอย่างไร ขบวนการออกแบบที่สมบูรณ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จ จะเป็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการออกแบบ

1. **รับรู้ความต้องการ** การออกแบบจะเริ่มต้นจากวิศวกรได้รับรู้ความต้องการของลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในด้านการใช้งาน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความแข็งแรง ทนทาน ที่สูงขึ้นจึงเป็นแรงผลักดันให้มีการออกแบบ พัฒนา ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้น บางครั้งการรับรู้อาจจะไม่ชัดเจน คลุมเครือ บางสิ่งบางอย่างยังไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจนทั้งหมด และมีความขัดแย้งกันและมักจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันได้เสมอ วิศวกรจึงจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ความสามารถที่มีอยู่ทำความเข้าใจกับความต้องการและปัญหานั้น ๆ ให้ถูกต้อง

2. กำหนดลักษณะจำเพาะและศึกษารายละเอียด รวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุด เช่น คุณลักษณะ ขนาด อายุการใช้งาน จำนวนที่ผลิต ราคาและสิ่งที่คาดว่าจะสามารถจะมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้างอันเนื่องมาจากการออกแบบ เช่น กรรมวิธีการผลิต การเลือกใช้วัสดุ การแข่งขันทางการตลาด

เมื่อได้ลักษณะจำเพาะของสิ่งที่จะออกแบบแล้ว ต่อไปก็ทำการศึกษารายละเอียดโดยวิศวกรที่มีประสบการณ์ ผ่านงานการออกแบบมามาก รู้วิธีการเลือกใช้วัสดุ วิธีการผลิต ความต้องการของฝ่ายขาย บ่อยครั้งที่ผลการศึกษา รายละเอียดออกมาแล้วทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะจำเพาะ เพื่อความสำเร็จของโครงการ

3. สังเคราะห์ความคิดในการออกแบบ หลังจากทำการศึกษารายละเอียดของสิ่งที่จะออกแบบแล้ว ก็จะเป็นขั้นการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์สำหรับการออกแบบ คือ การวิเคราะห์และหล่อหลอมความคิดเก่าและใหม่เข้าด้วยกัน จะทำให้เกิดสิ่งใหม่ขึ้น ซึ่งดีกว่า มีคุณค่ากว่า และอำนวยความสะดวกได้มากที่สุด

4. วิเคราะห์ ออกแบบ และปรับปรุง เมื่อผ่านขั้นตอนมา 3 ขั้นตอนแล้ว ก็ทำการวิเคราะห์รายละเอียดของสิ่งที่จะออกแบบ ส่วนประกอบ หน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน วิธีการผลิตที่ทำให้เป็นไปได้ในการทำการผลิตจำนวนมาก ความสะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ แล้วจึงทำการออกแบบส่วนประกอบใหญ่ ๆ และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนให้มีความสัมพันธ์กันและสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ขนาด ลักษณะรูปร่าง ที่เหมาะสม ซึ่งจะย้อนกลับไปพิจารณาให้เป็นไปตามลักษณะจำเพาะ และทำการปรับปรุงเป็นไปตามความต้องการและการใช้งานให้มากที่สุด

ขั้นการออกแบบจะแบ่งออกเป็น ออกแบบเบื้องต้น ซึ่งกล่าวไว้แล้วในย่อหน้าแรกและการออกแบบรายละเอียด การออกแบบรายละเอียด คือการกำหนดรายละเอียด ขนาดจริงของชิ้นส่วน ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จะต้องผลิตขึ้นเอง หรือที่เป็นชิ้นส่วนมาตรฐาน (Standard part) มีการแสดงรายละเอียดและขนาดต่าง ๆ ของชิ้นส่วนด้วยแบบ (Drawing) ซึ่งมีทั้งแบบแยกชิ้น (Detail drawing) และแบบประกอบ (Assembly drawing) แสดงรายการวัสดุ จำนวนชิ้นส่วน ชื่อชิ้นส่วน วัสดุที่ใช้ ความละเอียดของผิว ค่าพิถีความเผื่อ ความแข็งแรงที่ต้องการ และอาจจะระบุกรรมวิธีทางความร้อนด้วย (ถ้ามี) หลังจากนั้นก็สร้างต้นแบบตามรายละเอียดที่ได้ออกแบบขึ้นทั้งหมด

5. ทดสอบและประเมิน เมื่อสร้างต้นแบบเสร็จก็ทำการทดลองหรือทดสอบ ซึ่งจะต้องมีการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างทดสอบและผลการทดสอบด้วย ผลจากการทดสอบ อาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลง หรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้นหรือแบบรายละเอียดบางประการดังวงจรย้อนกลับในรูป 2.1 เมื่อเปลี่ยนแปลง ปรับปรุงแล้วก็ต้องทำการทดสอบใหม่ จนกระทั่งสิ่งออกแบบนั้นมีคุณภาพ หรือมีสมรรถนะ สามารถทำงานได้ตามความต้องการ

6. นำเสนอ ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบ คือการนำเสนอผลงานการออกแบบ ซึ่งจะเป็นสิ่งประดิษฐ์หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่จัดเป็นสินค้าต่อลูกค้า หรือผู้ต้องการใช้ โดยอาศัยสื่อต่าง ๆ เช่น รายงาน (report) การประกาศที่ชุมชน สิ่งพิมพ์และอื่น ๆ ที่จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ออกแบบ

ข้อที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบ คือ ความแข็งแรง (Strength) ซึ่งจัดว่าเป็นองค์ประกอบหลักในการกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นส่วน จึงกล่าวได้ว่าความแข็งแรงจึงเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่สำคัญอย่างหนึ่ง และสิ่งอื่น ๆ อีกหลายอย่าง ที่จะต้องพิจารณาซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดกระทบกระเทือนต่อการออกแบบชิ้นส่วนหรือต่อทุกระบบ และในสภาพการออกแบบที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนด ข้อพิจารณาบางอย่างในการออกแบบ อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวิกฤตขึ้นได้ ซึ่งนั่นก็หมายถึงชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกล หรือระบบที่ได้ออกแบบมีความเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ หรือใช้งานได้ไม่ถึงขีดความสามารถตามที่ออกแบบไว้

ข้อพิจารณาในการออกแบบที่ใช้อยู่บ่อย ๆ ได้แก่

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1. ความแข็งแรง | 12. เสี่ยง |
| 2. ความเชื่อมั่น | 13. รูปร่าง |
| 3. การพิจารณาที่เกี่ยวกับความร้อน | 14. รูปทรง |
| 4. การกัดกร่อน | 15. ขนาด |
| 5. การสั่นหรือ | 16. ความยืดหยุ่น |
| 6. ความเสียดทาน | 17. การควบคุม |
| 7. กระบวนการ | 18. ความแข็งตึง (Stiffness) |
| 8. ประโยชน์ | 19. ความสำเร็จ |

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 9. ราคา | 20. การหล่อลื่น |
| 10. ความปลอดภัย | 21. การบำรุงรักษา |
| 11. น้ำหนัก | 22. จำนวน |

ข้อพิจารณาในการออกแบบดังกล่าวนี้จะเป็นแนวทางในการกำหนดชนิดวัสดุ ขบวนการทำและการประกอบชิ้นส่วนในระบบ

ตัวประกอบของความปลอดภัย (Factor of Safety)

กล่าวโดยทั่วไป Factor of Safety คือตัวเลขที่ใช้หารค่า Strength ของวัสดุ ที่จะให้ได้ค่า Design stress ที่จะใช้ออกแบบ ในความหมายที่แท้จริงของคำว่า Factor of Safety หมายถึงตัวประกอบที่จะทำให้การออกแบบเกิดความปลอดภัย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่ง Design factor ซึ่งจะถูกต้องกว่าคำว่า Factor of Safety

ให้ค่า Design factor เขียนแทนด้วย n Design stress เขียนแทนด้วย σ_d สำหรับ Ultimate Strength เขียนแทนด้วย S_u และ Yield Strength เขียนแทนด้วย S_y จะได้สมการ Design Stress คือ

$$\sigma_d = \frac{S_u}{n_u} \quad \sigma_d = \frac{S_y}{n_y} \quad (2.1)$$

สำหรับค่า Shear ถ้าให้ค่า Design Stress เขียนแทนด้วย τ_d Ultimate Shear Strength เขียนแทนด้วย S_{su} และ Yield Shear Strength เขียนแทนด้วย S_{sy} จะได้สมการ Design Stress คือ

$$\tau_d = \frac{S_{su}}{n_u} \quad \tau_d = \frac{S_{sy}}{n_y} \quad (2.2)$$

ค่า σ_d และ τ_d ที่ได้จากสมการ 2.1 และ 2.2 เป็นค่า Design Stress ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย

เมื่อผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งหมายถึงเราทราบ Strength ของวัสดุที่ทำชิ้นส่วนและขนาดของ Load ที่ชิ้นส่วนต้องรับแล้ว เราสามารถคำนวณหา Design factor ที่จะระบุว่าชิ้นส่วนนั้นมีค่าความปลอดภัยเท่าใด โดยใช้สมการ 2.1 และ 2.2

$$n_u = \frac{S_u}{\sigma_d} \quad n_y = \frac{S_y}{\sigma_d} \quad (2.3)$$

สำหรับค่า Shear

$$n_u = \frac{S_{su}}{\tau_d} \quad n_y = \frac{S_{sy}}{\tau_d} \quad (2.4)$$

ในการใช้ Factor of Safety กับ Load หรือ Stresses ที่เกิดขึ้นจาก load นั้น ถ้าให้ F_p เป็น permissible หรือ allowable load และ σ_p เป็น permissible หรือ allowable stress เมื่อ Stress ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ load แล้ว สมการหาค่า F_p และ σ_p ก็จะเป็นดังนี้

$$F_p = nF \quad \text{และ} \quad \sigma_p = n\sigma \quad (2.5)$$

สมการ 2.5 นี้จะใช้สำหรับการออกแบบและคำนวณหาขนาด รูปร่างของ ชิ้นส่วน ซึ่งค่า σ_p นี้จะต้องมีค่าไม่เกิน Strength S_u หรือ S_y ของวัสดุ

Total Factor หรือ Overall Factor คือ ตัวประกอบของส่วนประกอบต่าง ๆ และเป็นการแยกตัวประกอบที่ใช้สำหรับ Strength และ Load หรือ Stresses ที่เกิดจาก Load ต่าง ๆ นั้น ถ้ามี load กระทำอยู่ 2 loads Total Factor of Safety ก็จะเป็นดังนี้

$$n = n_s n_1 n_2 \quad (2.6)$$

เมื่อ n_s คือ ตัวประกอบสำหรับค่าที่ไม่แน่นอนของ Strength n_1 และ n_2 คือตัวประกอบสำหรับค่าที่ไม่แน่นอนของ load ที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ

การเลือกใช้ค่าความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน ซึ่งจัดอยู่ในประเภทอยู่หนึ่งหรือเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขณะที่ใช้งาน
2. ลักษณะการใช้งานที่จะก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นสูญเสียชีวิตหรือไม่
3. น้ำหนักของชิ้นงานมีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่
4. เนื้อวัสดุที่นำมาออกแบบชิ้นส่วนอาจไม่สม่ำเสมอ กัน ทำให้สามารถรับแรงได้ต่างกัน

ค่าความปลอดภัยที่ยึดถือเป็นแนวทั่ว ๆ ไปในการออกแบบได้แสดงไว้ดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ

	เหล็กกล้าและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ	ไม้
ชนิดของแข็ง	คิดจาก S_u	คิดจาก S_y	คิดจาก S_u	คิดจาก S_u
แรงอยู่นิ่ง	3-4	1.5-2	5-6	7
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรง				
กระแทกเล็กน้อย	6	3	7-8	10
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรง				
กระแทกเล็กน้อย	8	4	10-12	15
แรงกระแทกอย่างหนัก	10-15	5-7	15-20	20

ที่มา : หนังสือ Design of machine elements, หน้า 20

มาตรฐานและรหัส (Standard and code)

มาตรฐาน หมายถึง การจัดหรือกำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วนวัสดุ หรือ ขบวนการต่าง ๆ ที่ให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ประสิทธิภาพและรายละเอียดทางด้านคุณภาพ ของชิ้นส่วน ความมุ่งหมายที่สำคัญอันหนึ่งของมาตรฐาน ก็คือ การกำหนดรายละเอียดต่าง ๆ ของชิ้นส่วน เครื่องมือแต่ละอย่างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการจัดของ เตรียม สำรอง ทำให้เกิด ความสะดวกรวดเร็วในการทำงาน

รหัส หมายถึง การจัดรายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ การออกแบบ การผลิต และการสร้างสิ่งต่าง ๆ จุดมุ่งหมายของรหัสก็เพื่อให้ได้มาซึ่งระดับของความปลอดภัย ประสิทธิภาพ สมรรถนะหรือคุณภาพของสิ่งนั้น ๆ

รายละเอียดของมาตรฐาน รหัสความปลอดภัยหรือรหัสการออกแบบ ได้จัด ตั้งขึ้นโดยองค์การหรือสมาคมต่าง ๆ และการตั้งชื่อขององค์การ สมาคมนั้นตั้งขึ้นตามลักษณะ ประเภท ชนิดของมาตรฐานและรหัสนั้น ๆ องค์การและสมาคมต่าง ๆ ที่ควรทราบในทาง วิศวกรรมเครื่อง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบ มีดังนี้

1. Aluminium Association (AA)
2. American Gear Manufacturer Association (AGMA)
3. American Institute of Steel Construction (AISC)
4. American Iron and Steel Institute (AISI)
5. American National Standard Institute (ANSI)
6. American Society of Mechanical Engineering (ASME)
7. American Society of Metal (ASM)
8. American Society of Testing and Materials (ASTM)
9. American Welding Society (AWS)
10. British Standard Institute (BSI)
11. International Standards Organization (ISO)
12. Society of Automotive Engineers (SAE)
13. Japanese Industrial Standards (JIS)
14. Deutoche Industrie Norm (DIN)

หน่วย SI (SI UNITS)

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน ซึ่งแสดงออกมาในรูปของสมการได้ คือ

$$F = mLT^{-2} \quad (2.7)$$

เมื่อ F เป็นแรง m เป็นมวล L เป็นระยะทางหรือความยาว และ T เป็นเวลา

สมการ 2.7 เป็นสมการที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของแรง มวล ความยาวและเวลา การเลือกหน่วยสามหน่วยจะเลือกอย่างไรก็ได้ แต่หน่วยที่สี่จะขึ้นอยู่กับหน่วยสามหน่วย หน่วยสามหน่วยที่เลือกจะเรียกว่าหน่วยมูลฐาน (base units) ส่วนหน่วยที่สี่จะเรียกว่าหน่วยอนุพันธ์ (derived unit)

ถ้าเลือกหน่วยแรง ความยาว และเวลาเป็นหน่วยมูลฐาน มวลก็จะเป็นหน่วยอนุพันธ์ระบบของหน่วยที่ได้จากการเลือกเช่นนี้เรียกว่า Gravitational system ถ้าเลือกหน่วยมวลความยาว และเวลาเป็นหน่วยมูลฐาน แรงก็จะเป็นหน่วยอนุพันธ์ ระบบของหน่วยที่ได้จากการเลือกเช่นนี้ว่า absolute system of unite

หน่วย SI (SI Units) ซึ่งเป็นหน่วยที่นิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบันนี้ เป็นหน่วย absolute system หน่วยมูลฐาน คือ ความยาวเป็นเมตร (m) มวลเป็นกิโลกรัม (kg) เวลาเป็นวินาที (s) หน่วยของแรงก็เป็นหน่วยอนุพันธ์ ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน และใช้เรียกว่า newton เขียนแทนด้วย N ซึ่งได้จากสมการดังนี้

$$F = \frac{mL}{T^2} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N} \quad (2.8)$$

น้ำหนัก (weight) ของวัตถุ คือแรงที่ถูกกระทำด้วยความดึงดูดของโลก (gravity) กำหนดให้ w และอัตราเร่งที่เกิดจากความดึงดูดของโลก ให้เป็น g เราจะได้สมการคือ

$$W = mg \quad (2.9)$$

ในหน่วย SI ค่ามาตรฐานของ gravity (g) คือ 9.806 หรือเราใช้ค่า $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ดังนั้นน้ำหนักของมวล 1 กิโลกรัมจะมีค่าเป็น

$$W = (1\text{kg}) (9.81 \text{ m/s}^2) = 9.81 \text{ N}$$

ตารางที่ 2.2 หน่วยมูลฐาน SI Units

ปริมาณการวัด	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
ความยาว	เมตร	m
มวลสาร	กิโลกรัม	kg
เวลา	วินาที	s
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	A
อุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิกส์	เคลวิน	K
ความเข้มข้นแห่งการส่องสว่าง	แคนเดลา	cd

ตารางที่ 2.3 ระบบหน่วย SI และสัญลักษณ์

ปริมาณการวัด	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	นิยาม
ความเร่ง	เมตรต่อวินาทีกำลังสอง	-	$m.s^{-2}$
ความเร่งเชิงมุม	เรเดียนต่อวินาทีกำลังสอง	-	$rad.s^{-2}$
ความเร็วเชิงมุม	เรเดียนต่อวินาที	-	$rad.s^{-1}$
พื้นที่	ตารางเมตร	-	m^2
ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	-	$kg.m^{-3}$
พลังงาน	จูล	J	N.m
แรง	นิวตัน	N	$kg.m.s^{-2}$
โมเมนต์	นิวตัน-เมตร	-	N.m
ความถี่	เฮิรท์	H_g	s^{-1}
กำลังงาน	วัตต์	W	$J.s^{-1}$
ความดัน	ปาสคาล	Pa	$N.m^{-2}$
ปริมาณความร้อน	จูล	J	N.m

ตารางที่ 2.3 ระบบหน่วย SI และสัญลักษณ์ (ต่อ)

ปริมาณการวัด	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	นิยาม
ความเค้น	ปาสคาล	P_a	$N.m^{-2}$
โมเมนต์บิด	นิวตัน-เมตร	-	$N.m$
ความเร็ว	เมตรต่อวินาที	-	$m.s^{-1}$
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร	-	m^3
งาน	จูล	J	$N.m$

เพลลา (Shaft)

เพลลาเป็นชิ้นส่วนประกอบหนึ่งที่มีอยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลลาโดยเฉพาะ

เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือตัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณ จึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้ารวมแรงเหล่านี้ ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไป คือเหล็กกล้าอะลูมิเนียม (mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น

อย่างไรก็ตามก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลลา ซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME)

ขนาดของเพลลา

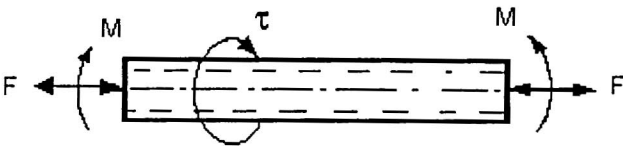
เพื่อให้เพลามีขนาดมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ใน ISO/R เอาไว้สำหรับให้ผู้ใช้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป และยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแปรงให้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลา ดูได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO/R775-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (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	

การออกแบบเพลลา

ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น บนเพลลาแสดงดังรูปที่ 2.2 ให้เพลลาเป็นแกนกลมและกลวงโดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_1 และ d ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 เพลากลวงอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นหรือความเค้นดึง

$$\sigma_a = [(4F)/\pi(d^2 - d_1^4)] \quad (2.10)$$

ความเค้นดัด

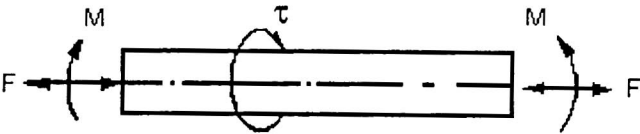
$$\sigma_b = MC/I = (32M)/\pi(d^4 - d_1^4) \quad (2.11)$$

ความเค้นเฉือน

$$\tau_{xy} = (16Td)/\pi(d^4 - d_1^4) \quad (2.12)$$

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักรเพราะหมุนตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาให้ C_m คือตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัดและ C_1 คือตัวประกอบความล้าต่อเนื่องจากการบิดจากรูปที่ 2.3 ในกรณีที่แกน F กระทำอยู่ด้วย และเพลาคือเพลาดันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาคือ

$$d^3 = (16\pi\tau)[(C_1T)^2 + (C_mM)^2]^{1/2} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.3 เพลาดันอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ตารางที่ 2.5 ค่าประกอบความล้า

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายู่หนึ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาม้วน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา ๆ	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

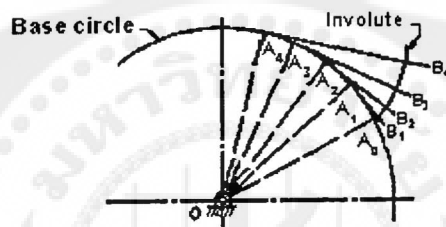
ค่าประกอบความล้า จะขึ้นอยู่กับลักษณะการรับแรงของเพลาลักษณะการหมุนซึ่งสามารถหาได้จากตารางที่ 2.5 และถ้าวัสดุเพลาลให้ค่าความเค้นเฉือนออกแบบจากสมการที่ 2.14 โดยเลือกค่าน้อยมาคำนวณและถ้ามีเพลามีร่องลิ่มให้ลดค่าความเค้นเฉือนออกแบบโดยใช้เพียง 75%

$$\tau = 0.577\sigma_y$$

(2.14)

หลักการพื้นฐานของฟันเฟือง

หลักการสร้างโค้งอินโวลูทดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 เริ่มต้นจากการแบ่งวงกลมหลักออกเป็นส่วน ๆ เท่า ๆ กัน ด้วยเส้นรัศมี (radial line) OA_0 , OA_1 , OA_2 เป็นต้น จากจุดเริ่มต้นที่ ลากเส้นตั้งฉาก เป็นต้น จากจุดเริ่มต้นที่ A_1 ลากเส้นตั้งฉาก A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3 เป็นต้น โดยให้มีความยาวเท่ากับ A_1A_0 , A_2A_0 , A_3A_0 เป็นต้น ต่อจุด A_0 , B_1 , B_2 , B_3 เส้นโค้งที่เกิดขึ้น จะเป็นเส้นโค้งอินโวลูท



รูปที่ 2.4 การสร้างโค้งอินโวลูท

เมื่อเฟืองสองตัวขบกันและหมุนไปโดยจะสัมผัสกันที่เส้นรอบวงของวงกลมพิตซ์ ถ้ากำหนดให้รัศมีวงกลมพิตซ์เป็น r_1 และ r_2 และความเร็วเชิงมุมเป็น ω_1 และ ω_2 ตามลำดับ ดังนั้นความเร็วเชิงเส้นบนวงกลมพิตซ์ คือ

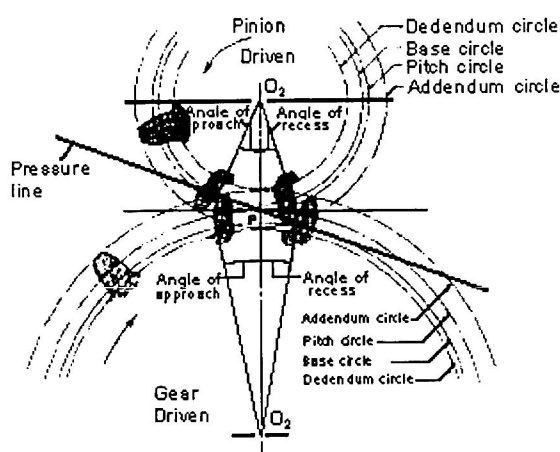
$$V = r_1\omega_1 = r_2\omega_2$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีและความเร็วเชิงมุมคือ

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad (2.15)$$

สมมติว่าเราต้องการออกแบบ ชุดเฟืองลดความเร็ว เช่น ความเร็วที่ใส่เข้าไป 1800 รอบต่อนาที ความเร็วที่ออกมาใช้ 1200 รอบต่อนาที อัตราทดเท่ากับ 3 : 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ก็จะมีอัตราส่วนเท่ากัน คืออาจจะใช้เฟืองขับโต 10 mm และเฟืองตามโต 150 mm และค่าอื่นของเฟืองก็จะขึ้นอยู่กับค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง วงกลมพิตช์หรือถ้าระบุจะใช้เฟืองขับขนาด 18 ฟัน เฟืองตามขนาด 30 ฟัน และใช้ขนาด โมดูลของชุดเฟืองเท่ากับ 12 mm จากสมการ $m = \frac{d}{z}$ จะได้ค่าขนาดความโตผ่านศูนย์กลาง วงกลมพิตช์ของเฟืองขับและเฟืองตาม คือ

$$\begin{aligned} d_1 &= mz_1 = 12(18) = 216 \text{ mm} \\ d_2 &= mz_2 = 12(30) = 360 \text{ mm} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.5 การสัมผัสของฟันเฟือง

เมื่อฟันเฟืองเคลื่อนเข้าไปชนกัน จุดสัมผัสจะเคลื่อนไปตามขอบด้านข้างของฟันตัวขับ เพื่อให้ปลายของฟันเฟืองฟันที่เข้ามาสัมผัสใหม่ สัมผัสเสียก่อน ก่อนที่การสัมผัสด้านข้างจะผ่านไป จุดสัมผัสจุดสุดท้ายจะเกิดขึ้นที่วงกลมยอดฟันของเฟืองตัวขับตัดกับ pressure line คือจุด b ในรูปที่ 2.5 ถ้าลากเส้นไปจุดศูนย์กลางของเฟืองเช่นเดียวกับครั้งแรก จะได้มุมอีกมุมหนึ่งเราเรียกว่า มุมถอยจาก (angles of recess) มุมรวมของมุมเข้าชนกับมุมถอยจากเรียกมุมกระทำ (angle of action)

ชุดเฟืองทด

การส่งกำลังระหว่างเฟืองตัวขับ z_2 กับเฟืองตัวตาม z_3 คำนวณหาความเร็วของเฟืองตาม n_3 ได้ คือ

$$n_3 = \frac{z_2}{z_3} n_2 = \frac{d_2}{d_3} n_2 \quad (2.16)$$

สำหรับเฟืองตรงทิศทางการหมุนจะเป็นไปตามกฎของมือขวา (right – hand rule) และจะเป็นเครื่องหมายบวกหรือลบก็จะขึ้นอยู่กับทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา

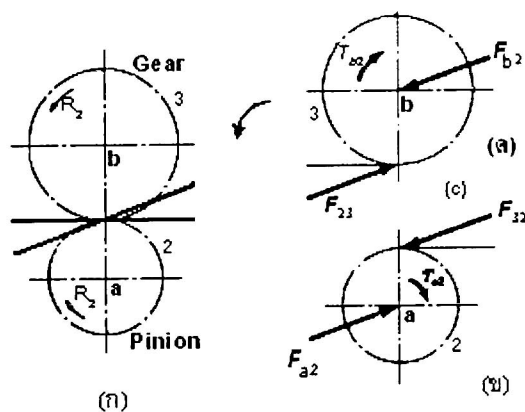
การวิเคราะห์แรง

ก่อนเริ่มต้นวิเคราะห์แรงของชุดเฟืองทดจะต้องให้ชื่อของส่วนต่าง ๆ เสียก่อน โดยเริ่มจากหมายเลข 1 สำหรับโครงของเครื่อง กำหนดให้เฟืองตัวขับเป็นเฟือง 2 แล้วเรียงลำดับชื่อเฟืองด้วยเลข 3, 4 เป็นต้น จนถึงเฟืองตัวสุดท้าย ต่อไปอาจจะมีเพลลาที่เกี่ยวข้องหลายเพลลา ซึ่งปกติเพลลาหนึ่ง ๆ จะมีเฟืองยึดอยู่ 2 ตัว เช่นเดียวกับชิ้นส่วนอื่น ๆ เราอาจจะกำหนดชื่อเพลลาด้วยอักษรตัวเล็ก คือ a, b, c เป็นต้น

สำหรับแรงที่กระทำต่อเฟืองและเพลลาจะให้ชื่อดังนี้ เช่น แรงที่เกิดจากฟันเฟือง 2 กระทำต่อเฟือง 3 ให้ชื่อเป็น F_{23} และแรงในฟันเฟือง 3 ที่ต้านแรงจากฟันเฟือง 2 ให้ชื่อเป็น F_{32} และแรงในเพลลาที่ต้านจากฟันเฟือง 2 ให้ชื่อเป็น F_{a2}

การระบุทิศทางของแรงก็มีความจำเป็นเช่นเดียวกัน แรงกระทำตามแนวแกนก็ให้เขียนระบุตามด้วย x, y หรือ z ทิศทางในแนวรัศมีและเส้นรอบวงจะระบุไว้ด้วยอักษร r และ t ตามลำดับ เช่น แรง F_{t43} หมายถึงแรงในแนวเส้นรอบวงจากฟันเฟือง 4 กระทำต่อฟันเฟือง 3

รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นเฟืองขับ 2 ยึดอยู่บนเพลลา a หมุนตามเข็มนาฬิกาด้วยความ n_2 ไปขับเฟืองตามที 3 ซึ่งยึดอยู่บนเพลลา b ให้หมุนด้วยความเร็ว n_3 แรงต้านระหว่างเฟืองขับทั้งคู่จะเกิดขึ้นในแนว pressure line ในรูป 2.6 (ข) เป็นการเขียนแยกส่วนให้เห็นผลของแรง F_{a2} และโมเมนต์บิด T_{a2} กระทำต่อเฟือง 2 และแรง F_{32} คือ แรงที่กระทำต่อฟันเฟือง 2 เกิดจากแรงต้านในฟันเฟือง 3 รูปที่ 2.6 (ค) ก็เป็นการเขียนแยกส่วนให้เห็นผลของแรงที่กระทำต่อเฟือง 3



รูปที่ 2.6 รูปเขียนแยกส่วนของแรงที่กระทำต่อเฟืองทั้งสอง

ในรูปที่ 2.7 เขียนแยกส่วนของเฟือง 2 วิเคราะห์ผลของแรงกระทำให้อยู่ในรูปของแรงประกอบในแนวเส้นสัมผัสวงกลมและแนวรัศมีจะได้ว่า

$$W_t = F_{t32}$$

W_t เป็นแรงที่ใช้ในการส่งกำลัง ส่วนแรง F_{t32} นั้นไม่ได้ใช้เป็นแรงในการส่งกำลังจึงไม่ต้องพิจารณาแรงนี้ในการคำนวณ การนำเอาค่าโมเมนต์บิดและแรงแนวเส้นสัมผัสวงกลมไปใช้โดยจากความสัมพันธ์ดังนี้

$$T = \frac{d}{2} W_t \quad (2.17)$$

เมื่อ T เป็น T_{a2} ของเฟืองขับ

$$p = W_t V \quad (2.19)$$

เมื่อ P เป็นกำลังขับ Watts

การประมาณของเฟือง

การออกแบบและวิเคราะห์ชุดเฟือง จุดมุ่งหมายก็เพื่อหาค่าเชื่อมั่นตามอายุการใช้งานที่ต้องการหรือหาค่าประกอบความปลอดภัย เพื่อป้องกันมิให้เกิดความเสียหายจากสาเหตุต่าง ๆ การออกแบบจำเป็นจะต้องทราบขนาดของเฟืองและวัสดุที่ใช้ทำเฟืองนั้น

การออกแบบเฟืองจะต้องพิจารณาถึงความกว้างของหน้าฟันเฟือง ซึ่งจะเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงในการส่งกำลังอีกส่วนหนึ่ง ขนาดความกว้างของหน้าฟันเฟือง ที่มีค่ามากกว่า 5 เท่าของระยะพิตช์ จะทำให้การกระจายของแรงที่กระทำผ่านความกว้างของฟันไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดการบิดตัวของเฟืองและเพลลาที่เกิดจากโมเมนต์บิด การดัดฟันเฟืองขาดความละเอียดเที่ยงตรง ดังนั้นความกว้างของหน้าฟันเฟืองที่สูงสุดไม่ควรเกิน 5 เท่าของระยะพิตช์

ส่วนความกว้างของหน้าฟันเฟืองที่มีค่าน้อยกว่า 3 เท่าของระยะพิตช์นั้น เพื่อต้องการให้เฟืองมีความแข็งแรง ก็จะต้องทำฟันเฟืองให้โตขึ้น เพื่อที่จะให้รับแรงต่อหน่วยของความกว้างของหน้าฟันได้มากขึ้น และต้องการเนื้อที่ในการติดตั้งประกอบเฟืองมาก ทำให้เครื่องจักรมีขนาดใหญ่ ราคาแพง และเฟืองที่มีขนาดโตขึ้นจะต้องใช้เครื่องสำหรับผลิตมีขนาดใหญ่ ทำให้การทำฟันเฟืองมีราคาแพงมาก ดังนั้นความกว้างของหน้าฟันเฟืองที่ต่ำสุดไม่ควรน้อยกว่า 3 เท่าของระยะพิตช์

อย่างไรก็ตาม การออกแบบจะต้องพิจารณาถึงสิ่ง ๆ อื่น ที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะให้การกำหนดความกว้างของหน้าฟันเฟืองต่างไปจากค่าที่แนะนำไว้ในข้างต้น

การหาขนาดของเฟืองที่เนื่องจากความเร็วและแรงที่ใช้ส่งกำลังไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม จะต้องรู้สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

1. กำลังข้าง P
2. ความเร็วรอบ n ที่กำหนดให้
3. ตัวประกอบ Y ของเฟือง
4. ค่าความเค้นอัดที่อนุญาตให้ใช้ได้

ตัวประกอบความปลอดภัย n สำหรับการออกแบบเฟืองควรใช้เท่ากับ 3 หรือมากกว่าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุทำเฟืองและการใช้งาน

วิธีที่สะดวกในการคำนวณ ควรใช้วิธีการทดลองเลือกค่าโมดูล แล้วคำนวณตามลำดับดังนี้

- 1) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ d จากสมการ

$$d = mz$$

- 2) ความเร็วที่เส้นพิตช์ V เป็น m/s จากสมการ

$$V = \frac{\pi dn}{60}$$

- 3) แรงที่ใช้ส่งกำลัง W_t เป็น N จากสมการ

$$W_t = \frac{P}{v} \quad \text{เมื่อ } P \text{ เป็น watts}$$

- 4) ตัวประกอบความเร็ว

$$K_v = \frac{6}{6 + V}$$

5) ความกว้างของพื้นเฟือง b

$$b = \frac{W_t}{K_v m Y \sigma_p}$$

เมื่อ σ_p คือ ค่าความเค้นดัดที่อนุญาตให้เป็น Mpa

6) ขนาดความกว้างของพื้นเฟืองต่ำสุด 3 p สูงสุด 5 p เป็น mm

จาก
$$n_G = \frac{W_{tp}}{W_t} = \frac{13.02}{11.84} = 1.10$$

$$n_G = 2.125 n$$

$$n = \frac{1.10}{2.125} = 0.518$$

Ans

จากค่า $n = 0.518$ เฟืองจะไม่มีความปลอดภัยในการที่จะต้านความเสียหายของผิว เนื่องจากความล้า ดังนั้นเฟืองที่คาดหวังก็จะมีอายุใช้งานต่อเนื่องสั้นกว่า 10^6 cycle

วัสดุเฟือง

เฟืองโดยทั่วไปจะทำด้วยเหล็กกล้า เหล็กหล่อ บรอนซ์ เรซินและเมื่อไม่นานมานี้ในลอน เทฟลอน ทิตาเนียมและเหล็กชินเตอร์ ได้ถูกนำมาใช้ทำเฟืองและใช้งานได้ดีในการออกแบบเฟืองผู้ออกแบบจะต้องจัดเตรียมวัสดุต่าง ๆ หลายชนิดเพื่อให้เหมาะแก่การ

เลือกใช้ทำชิ้นส่วนตามที่ต้องการ มีความแข็งแรงสูงทนต่อการสึกหรอได้เป็นเวลายาวนาน เสียง่ียงบขณะทำงานและทำให้เกิดความเชื่อมั่นสูง

เหล็กกล้าเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการทำเฟืองมากเพราะเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงและราคาถูก เหล็กกล้าที่ใช้จะมีทั้งเหล็กกล้าคาร์บอน (plain carbon steel) และเหล็กกล้าผสม (alloy steel) ในหลาย ๆ กรณีการเลือกเหล็กกล้าจะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการชุบแข็งและชุบผิวแข็งได้ด้วยเพื่อให้ฟันเฟืองมีความแข็งแรง ทนต่อแรงกระทำและด้านการสึกหรอ เมื่อเฟืองจะต้องทำการชุบแข็ง (quenched) และอบเพิ่มความเหนียว (tempered) จะต้องใช้เหล็กกล้าที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนปานกลางตั้งแต่ 0.40 ถึง 0.60 เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ถ้าต้องการชุบผิวแข็งอย่างเดียวก็ใช้เหล็กกล้าที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ คือ 0.20 เปอร์เซ็นต์คาร์บอนลงไป

เหล็กหล่อ ใช้ทำเฟืองกันมากเพราะเป็นเหล็กที่ด้านการสึกหรอได้ดีมากและง่ายต่อการหล่อหรือแปรรูปด้วยการตัดเฉือน ขณะส่งกำลังเสียงดังน้อยกว่าเหล็กกล้าแต่จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเหล็กกล้า

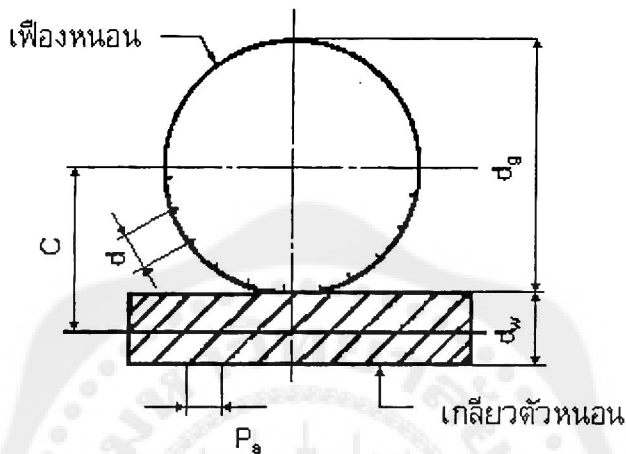
บรอนซ์ ใช้ทำเฟืองที่ต้องการด้านการกัดกร่อน (corrosion) ลดแรงเสียดทาน และการสึกหรอที่มีความเร็วสูง เช่นในเฟืองหนอนเป็นต้น บรอนซ์ที่ผสมด้วยนิเกิล ตะกั่วหรือสังกะสีจะเหมาะใช้ทำเฟืองมากและให้ความแข็งตั้งแต่ 70 ถึง 85 Bhn

อลูมิเนียม เฟืองที่ทำจากอลูมิเนียมจะสามารถรับภาระในการส่งกำลังได้สูงพอ ๆ กับเฟืองที่ทำจากเหล็กกล้าหรือเหล็กหล่อ ด้านการสึกหรอได้ดีแต่โดยปกติจะใช้งานที่มีภาระต่ำที่ไม่ต้อง มีการหล่อลื่น ฟันเฟือง ที่ทำจากอลูมิเนียมจะอ่อนตัวได้ง่ายกว่าฟันเฟืองที่ทำจากโลหะ จึงทำให้ฟันเฟืองสัมผัสได้เต็มหน้าฟัน เมื่อเฟืองหมุนด้วยความเร็วสูง จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น เนื่องจากอลูมิเนียมเป็นตัวนำความร้อนที่เลว จึงต้องมีการจัดเตรียมวิธีการระบายความร้อนไว้เป็นพิเศษ อีกทั้งเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงในการติดตั้งเฟืองจะต้องให้มี ช่องว่างระหว่างฟันเฟืองมากกว่าเฟืองที่เป็นโลหะ

พลาสติกแข็ง วัสดุชนิดนี้ก็นิยมใช้ทำเฟืองอย่างกว้างขวาง โดยนำเอาพลาสติกแข็งที่เป็นแผ่นซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัสดุเส้นใยมาทำให้ติดกันโดยใช้เรซินเป็นตัวประสานหรือนำมาหล่อเป็นรูปเฟือง เฟืองที่ทำจากไนลอนและเทฟลอนสามารถใช้งานได้ดีเลิศ

ชุดเฟืองหนอน

ชุดเฟืองหนอน (worm gear set) ใช้สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลาคี่ไม่ขนานกันและไม่ตัดกัน ซึ่งต้องการให้มีอัตราทดสูง ชุดเฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (worm) และเฟืองหนอน (worm gear) โดยปกติแล้วมักจะใช้ชุดเฟืองหนอนส่งกำลังระหว่างเพลาคี่ทำมุมกัน 90° ดังรูปที่ 2.8



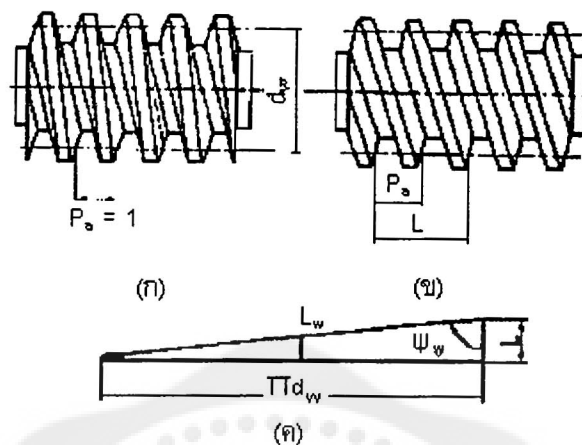
รูปที่ 2.8 ชุดเฟืองหนอน

แม้ว่าจะสามารถใช้เฟืองเฉียงส่งกำลังในลักษณะเดียวกันนี้ได้ แต่ก็ไม่สามารถจะส่งกำลังได้มากเท่ากับชุดเฟืองหนอน นอกจากนี้ชุดเฟืองหนอนยังสามารถทำงานด้วยอัตราทดสูงถึง 300 โดยที่ใช้การทดเพียงครั้งเดียว แต่ถ้าใช้เฟืองเฉียงจะเกิดปัญหาขึ้นในทางปฏิบัติ เช่น จะต้องใช้เฟืองที่มีจำนวนฟัน 10 ฟัน ขับเฟืองที่มีฟัน 3000 ฟัน เป็นต้น การทำงานของชุดเฟืองหนอนจะเรียบกว่าเฟืองเฉียง แต่ข้อเสียของชุดเฟืองหนอน ก็คือประสิทธิภาพของการส่งกำลังจะต่ำและมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสี (sliding) ระหว่างฟันมากกว่า ทำให้ต้องคำนึงถึงเรื่องการระบายความร้อนที่เหมาะสมด้วย ในบทนี้จะกล่าวถึงการส่งกำลังระหว่างเพลาคี่ทำมุมกัน 90° เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่จะกล่าวต่อไปนี้ก็ยังสามารถใช้กับเพลาคี่ทำมุมอื่น ๆ ได้

ลักษณะทั่วไปของชุดเฟืองหนอน

เกลียวตัวหนอนมีลักษณะคล้ายคลึงกับสกรูส่งกำลัง ประกอบด้วยเกลียวหรือฟัน ซึ่งมีจำนวนปากตั้งแต่หนึ่งถึงหกปาก หรืออาจจะมากกว่านี้ก็ได้ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือสกรูหลายปาก (multiple threaded screw) นั่นเอง ลักษณะทั่วไปก็เกลียวตัวหนอนแบบหนึ่งปากและสองปาก ดูได้จากรูป 2.9 (ก) และ (ข) การเรียกชื่อต่าง ๆ ก็ยังคงเหมือนกับสกรู

ส่งกำลัง คือ พิตช์หรือแอคเซียลพิตช์ (axial pitch) p_a เป็นระยะระหว่างเกลียว ในกรณีที่เพลาทำมุมกัน 90° ดังรูปที่ 2.8 จะมีค่าเท่ากับเชอคิวลาพิตช์ p ของเฟืองหนอน



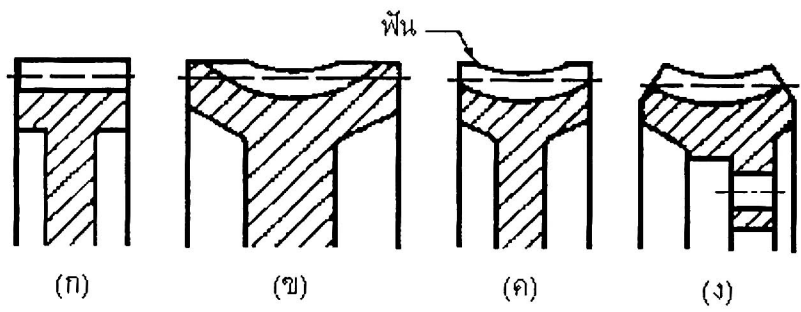
รูปที่ 2.9 เกลียวตัวหนอนแบบตรง (ก) หนึ่งปาก (ข) สองปาก
(ค) การคลี่เกลียวออก

หลีด (lead) L คือระยะที่แกนเกลียวตัวหนอนสามารถเคลื่อนที่ไปได้ต่อการหมุนหนึ่งรอบ ถ้าเกลียวตัวหนอนมี N_w ปาก $L = N_w P_a$

มุมหลีด (lead angle) λ_w มีค่าเช่นเดียวกับสกรูส่งกำลัง โดยพิจารณาจากรูป 2.9 (ค) คือ

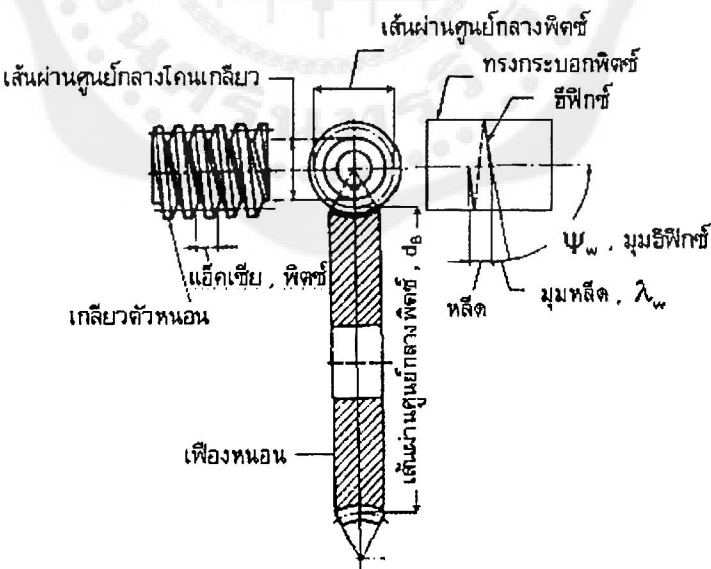
$$\tan \lambda_w = L / \pi d_w$$

สำหรับตัวหนอนจะมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับเฟืองเฉียง แต่ขอบของฟันอาจจะ มีลักษณะต่าง ๆ กัน ดังรูป 2.10 ถ้าฟันมีลักษณะสูงสม่ำเสมอ ดังรูป 2.10 (ก) เฟือง หนอนก็คือเฟืองเฉียงนั่นเอง ในการใช้งานส่วนมากมักจะใช้เฟืองหนอนที่มีฟันโค้งเว้าเข้าดังรูป 2.10 (ข) และ (ค) ส่วนโค้งของฟันนี้จะเข้ากับความโค้งของเกลียวตัวหนอนทั้งนี้ก็เพื่อที่จะให้ มีเนื้อที่สัมผัสระหว่างการขบกันเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วชุดเฟืองหนอนอาจจะแบ่งออกตาม ลักษณะฟันที่สัมผัสได้เป็นสองชนิดคือ ชนิดฟันโอบหนึ่งด้าน (single enveloping) และชนิด ฟันโอบสองด้าน (double enveloping)

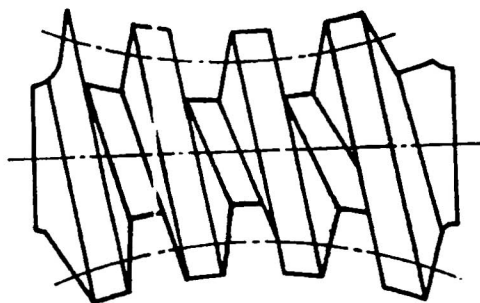


รูปที่ 2.10 ขอบเฟืองหนอนชนิดต่าง ๆ

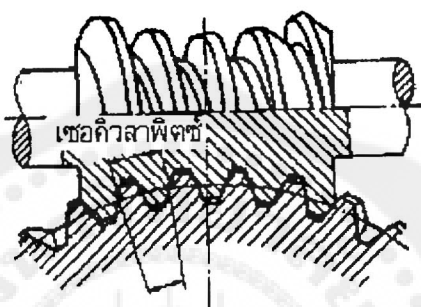
ลักษณะของชุดเฟืองหนอนชนิดฟันโอบหนึ่งด้านจะดูได้จากรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบด้วยเฟืองหนอนที่มีฟันโค้งเว้าเข้าโอบเกลียวตัวหนอนที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.9 ส่วนชุดตัวหนอนชนิดฟันโอบสองด้านนั้น นอกจากจะมีฟันของเฟืองหนอนโค้งเว้าเข้ามาโอบเกลียวตัวหนอนแล้ว เกลียวตัวหนอนเองก็จะมีลำตัวโค้งเว้าเข้ากับความโค้งของวงกลมพิตช์ของเฟืองหนอนด้วย ดังรูปที่ 2.12 เกลียวตัวหนอนชนิดนี้ มีชื่อเรียกว่าเกลียวตัวหนอนฮินลีย์ (Hindley worm) ซึ่งเมื่อนำมาประกอบกันเข้าแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 ดังนั้นทั้งเฟืองหนอนและเกลียวตัวหนอนจะโอบซึ่งกันและกันในขณะที่ทำงาน เป็นผลให้เฟืองมีพื้นที่ซึ่งขบกันเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถส่งกำลังได้สูงขึ้น แต่ต้องใช้ความระมัดระวังในการติดตั้งให้ได้ศูนย์มากขึ้น



รูปที่ 2.11 ชุดเฟืองหนอนฟันโอบหนึ่งด้าน



รูปที่ 2.12 เกลียวตัวหนอนแบบลำตัวโค้ง



รูปที่ 2.13 ชุดเฟืองหนอนฟันโอบสองด้าน

ขนาดเกลียวตัวหนอน

โดยทั่วไปแล้วเกลียวตัวหนอนจะมีความแข็งแรงมากกว่าเฟืองหนอนเสมอ ดังนั้นการกำหนดสัดส่วนของเกลียวตัวหนอนจึงขึ้นอยู่กับความชำนาญในการออกแบบ เพื่อให้ชุดเฟืองหนอนมีขนาดที่เหมาะสม ซึ่งหมายถึงการกำหนดมุมหลิตร ระยะระหว่างศูนย์กลาง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกลียวหนอน ในที่นี้จะพูดถึงเฉพาะกรณีที่เพลาทำมุมกัน 90° ซึ่งมีใช้งานกันอยู่ทั่วไป เนื่องจากยังไม่มีขนาดมาตรฐาน ดังนั้นการกำหนดสัดส่วนต่าง ๆ จึงต้องอาศัยข้อมูลจากการใช้งานที่ได้ผลดีมาแล้ว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกลียวตัวหนอนควรเลือกให้มีค่าระหว่าง

$$0.50 C^{0.875} \leq d_w \leq 0.88 C^{0.875} \text{ mm} \quad (2.20)$$

สมาคมผู้ผลิตเฟืองแนะนำขนาดที่จะส่งกำลังได้ดี คือ

$$d_w = 0.68 C^{0.875} \text{ mm} \quad (2.21)$$

สมการอีกสมการหนึ่งที่เราจะใช้ประกอบในการเลือกขนาดได้ซึ่งจะดูรายละเอียดได้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 1 คือ

$$C = L/2\pi (\cot \lambda_w + M_\omega) \quad (2.22)$$

สัดส่วนอื่น ๆ ที่แนะนำให้ใช้จากเอกสารอ่านประกอบหมายเลข 2 จะดูได้จากตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ขนาดของเกลียวตัวหนอนที่แนะนำให้ใช้

มุมหีสิต, λ_w	มุมกดนมัล, ϕ_n	แอตเดนดั้ม	ดีเดนดั้ม
องศา	องศา	mm	mm
0-15	14.5	0.3683 P_a	0.3683 P_a
15-30	20	0.3683 P_a	0.3683 P_a
30-35	25	0.2865 P_a	0.3314 P_a
35-40	25	0.2546 P_a	0.2947 P_a
40-45	30	0.2228 P_a	0.2578 P_a

ค่ามุมหีสิตของเกลียวแต่ละเกลียวบนเกลียวตัวหนอน ควรจะมีค่าประมาณ 6 องศา ดังนั้นถ้าต้องการเกลียวตัวหนอนที่มีมุมหีสิต 30 องศา ก็จะต้องใช้เกลียวที่มี 5 ปากเป็นต้น แต่ถ้ามีจำนวนปากน้อย มุมหีสิตของแต่ละเกลียวก็ควรจะเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพที่พอเหมาะ

ในการออกแบบอาจจะกำหนดจำนวนปากขึ้นมาก่อนมุมหีสิตก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ออกแบบ จากชุดเฟืองหนอนที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่าจำนวนปากที่พอเหมาะของเกลียวตัวหนอนขึ้นอยู่กับอัตราทด ซึ่งจะดูค่าที่เคยมีใช้กันอยู่ได้จากตาราง 2.7 แต่ก็ไม่มีกฎการเลือกใช้ที่แน่นอนเป็นมาตรฐาน

ตารางที่ 2.7 จำนวนปากของเกลียวที่เหมาะสมกับอัตราทด

M_w	จำนวนปาก	M_w	จำนวนปาก
≥ 20	≥ 1	6-12	≥ 4
12-36	≥ 2	4-10	≥ 6
8-12.1	≥ 3		

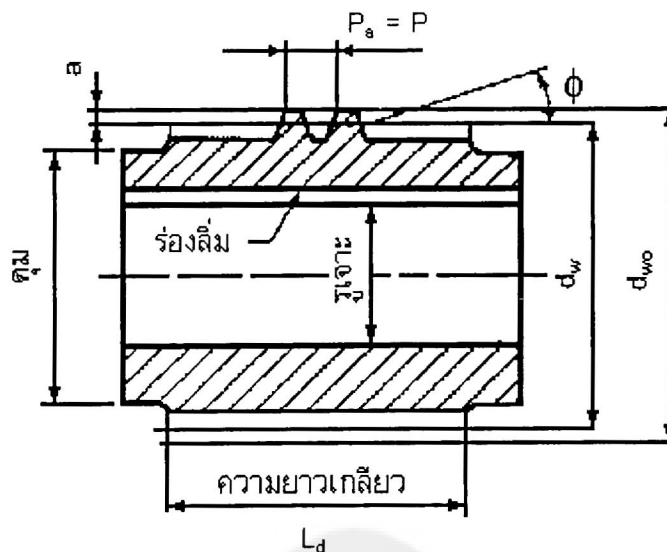
ข้อคิดทั่วไปในการคำนวณออกแบบ

เนื่องจากข้อจำกัดสำหรับการออกแบบชุดเฟืองหนอนของงานแต่ละประเภทจะแตกต่างกันไป จึงเป็นการยากที่จะกำหนดวิธีการออกแบบที่แน่นอนได้ ถ้ามีเนื้อที่จำกัดก็จะต้องกำหนดขนาดของเฟืองและระยะระหว่างศูนย์กลางเสียก่อน ในกรณีเช่นนี้ควรจะเริ่มต้นด้วยการประมาณขนาดของเกลียวตัวหนอน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเพลลาที่มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับรับแรงภายนอกโดยที่ระยะโก่ง (deflection) ของเพลลาจะต้องอยู่ในขีดจำกัดที่เหมาะสม ถ้าเกลียวตัวหนอนเป็นแบบกลิ้งติดมากับเพลลา (integral worm) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียวของเกลียวตัวหนอนจะต้องโตกว่าขนาดของเพลลาเล็กน้อย หรือควรมีค่าประมาณ

$$d_w = 2.35 p + 10 \text{ mm} \tag{2.23}$$

ถ้าเกลียวตัวหนอนเป็นแบบสวมติดเพลลา (shell worm) ดังรูป 2.23 เส้นผ่านศูนย์กลางของดุม (hub) ควรมีค่าประมาณ 1.8 เท่าของรูเจาะ (bore) เพื่อให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียวโตกว่าเพลลาเล็กน้อย หรืออาจหาค่าประมาณของเกลียวตัวหนอนได้จากสมการ

$$d_w = 2.40 p + 28 \text{ mm} \tag{2.24}$$



รูปที่ 2.14 เกลียวตัวหนอนสวมติดเพลลา

ถ้ารู้ระยะระหว่างศูนย์กลาง ก็สามารถที่จะประมาณค่า d_w จากสมการ $d_w = 0.68c^{0.875}$ mm ได้

ความยาวเกลียว (face length) ของเกลียวตัวหนอนอาจหาค่าโดยประมาณได้จากสมการ

$$L_b = P_a (4.5 + N_g / 50) \quad (2.25)$$

การเลือกมุมหีดควรจะให้มุมมีขนาดอยู่ในช่วงที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณความร้อนที่ต้องระบายออกจากชุดเฟืองทด แต่การที่จะได้ประสิทธิภาพสูง จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้เกลียวตัวหนอนที่มีหลายปาก ซึ่งจะทำให้เฟืองหนอนมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่นเมื่อกำหนดอัตราทดและพิตซ์เฟืองหนอนสำหรับเกลียวตัวหนอน 3 ปาก จะมีขนาดใหญ่กว่าเฟืองหนอนสำหรับเกลียวตัวหนอน 1 ปาก เป็น 3 เท่า เป็นต้น

อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบมักจะหลีกเลี่ยงการคำนวณซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งไม่พันทิ้งนี้ก็เพื่อที่จะให้ได้ขนาดของชุดเฟืองหนอนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน ซึ่งจะต้องทราบขนาด

โดยประมาณของเกลียวตัวหนอนก่อน ถ้ากำหนดกำลังที่ต้องการส่งและความเร็วของเกลียวตัวหนอนให้การออกแบบอาจจะกระทำได้ตามขั้นตอนดังนี้ คือ

1. เลือกจำนวนปากของเกลียวตัวหนอน และจากอัตราทดที่ต้องการจะสามารถหาจำนวนฟันของเฟืองหนอน N_g ได้
2. เขียนสมการของ F_b และ F_d ในเทอมของ p_n โดยให้ประมาณความหนาของฟันน้อยกว่าหรือเท่ากับ $2p$ หรือโดยการทดลองเลือกพิตช์ p มาคำนวณโดยตรง
3. คำนวณหาค่า b โดยที่ $F_b \geq F_w$ ความหนาที่ได้ไม่ควรมากกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ (หรือเส้นผ่านศูนย์กลางยอดเกลียว) ของเกลียวตัวหนอน
4. ถ้าต้องการใช้งานหนักตลอดเวลา ให้เขียนสมการของ F_w แล้วตรวจสอบ $F_w \geq F_d$
5. ถ้า F_w น้อยกว่า F_d อาจจะเปลี่ยนวัสดุใหม่ แล้วเริ่มจากข้อ 1 ซ้ำอีก หรืออาจจะใช้วัสดุเดิมโดยหาค่า b ใหม่จาก $F_d = F_w$ แล้วตรวจดูสัดส่วนต่าง ๆ ของชุดเฟืองทดให้พอเหมาะ
6. หาพลังงานที่สูญเสียไปเป็นความร้อน แล้วคำนวณหาพื้นที่สำหรับการระบายความร้อนที่ต้องการ
7. จากผลที่ได้ ให้ปรับปรุงขนาดต่าง ๆ ให้เหมาะสม

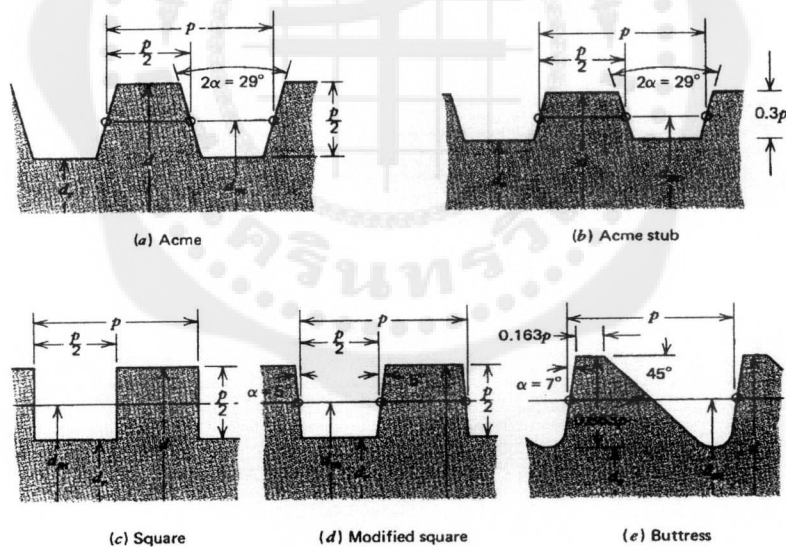
บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

เครื่องกวดเจกัวต้องการแรงในการกวดสูงสุด 10 kg หรือ 352.74 lb และ
กวดด้วยความเร็วสูงสุด 2 cm / s หรือ 47.24 in / min

การคำนวณหาทอร์ก

เลือกใช้ Screw jack ขนาด 1 in แบบ double-thread Acme screw
จากตารางภาคผนวกที่ 1.1 ที่ Major diameter 5 thread / in ได้ค่า $p = 0.2$ in
จากการเลือกแบบ double-thread มีค่า $L = 2p$
ดังนั้น L มีค่าเท่ากับ 0.4 in



รูปที่ 3.1 แสดง Screw jack ลักษณะต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.1a thread depth = $p / 2 = 0.1$ in

$$d_m = d - \frac{p}{2} = 1 - 0.1 = 0.9 \text{ in}$$

จากสมการ $\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_m}$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{0.4}{0.9\pi}$$

$$\lambda = 8.05^\circ$$

จากสมการ $\tan \alpha_n = \tan \alpha \cos \lambda$

จากรูปที่ 3.1a $\alpha = \frac{29^\circ}{2}$

$$\therefore \alpha_n = \tan^{-1} \left[\tan \left(\frac{29^\circ}{2} \right) \cos 8.05^\circ \right] = 14.36^\circ$$

นำค่าทั้งหมดที่ได้แทนในสมการ $T = \frac{Wd_m}{2} \frac{f\pi d_m + L \cos \alpha_n}{\pi d_m \cos \alpha_n - fL} + \frac{Wf_c d_c}{2}$ ได้

$$T = \frac{352.74(0.9)}{2} \frac{(0.16\pi)(0.9) + 0.4 \cos 14.36^\circ}{(0.9\pi) \cos 14.36^\circ - 0.16(0.4)} + \frac{352.74(0.12)(1.5)}{2}$$

$$T = 35.6 \text{ lb.in}$$

$$T = 4.0228 \text{ N.m}$$

การคำนวณหาขนาดมอเตอร์

จากความเร็วในการกดสูงสุด 2 cm / s หรือ 47.24 in / min

และค่า $L = 0.4$ in

เพราะฉะนั้น ทำให้ทราบว่าเฟืองหมุน 1 รอบ จะได้ระยะกด 0.4 in

ถ้าต้องการความเร็วในการกดเท่ากับ 47.24 in / min

ต้องใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 118 rpm

เลือกใช้ขนาดฟันเฟืองมาตรฐานอัตราส่วนระหว่างเฟืองขับ : เฟืองตาม = 18 : 21

จากสมการอัตราทด

$$m_{\omega} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

แทนค่า $N_1 = 18$ และ $N_2 = 21$ จะได้

$$m_{\omega} = \frac{21}{18} = 1.17$$

ทราบ $n_2 = 118 \text{ rpm}$

$$\therefore n_1 = 118 \times 1.17 = 137.67 \text{ rpm}$$

จากความเร็วเฟืองขับเท่ากับความเร็วมอเตอร์

เพราะฉะนั้นได้ความเร็วมอเตอร์ 137.67 rpm

หาคำลังงานที่เพลลา

จากสูตร

$$W_p = \frac{2\pi n T}{60}$$

ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ $n = 137.67 \text{ rpm}$

โมเมนต์บิดที่เพลลา $T = 4.0228 \text{ N.m}$

$$\therefore W_p = \frac{2\pi(137.67)(4.0228)}{60}$$

$$W_p = 57.995 \approx 58 \text{ W}$$

$746 \text{ W} = 1 \text{ Hp}$

จะได้กำลังงานที่เพลลา 0.08 Hp

จากประสิทธิภาพในการส่งกำลังด้วยเกียร์เท่ากับ 90%

$$\therefore \text{Hp} = \frac{0.08}{0.9}$$

$$\text{Hp} = 0.0864$$

ใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.5 เพื่อความเหมาะสมกับงานและความปลอดภัย

$$\text{Hp} = 0.0864 \times 2.5$$

$$= 0.216$$

ดังนั้นเลือกใช้มอเตอร์ขนาด $1/4 \text{ Hp}$

บทที่ 4

การทดสอบ

วิธีการทดสอบการกด

1. นำก้อนเฌอกล้วยก้อนที่ 1 วางลงบนตะแกรงสแตนเลส
2. เปิดเครื่องเพื่อกดเฌอกล้วยผ่านตะแกรงสแตนเลส
3. จับเวลาในการกดก้อนเฌอกล้วยบันทึกผลและสังเกตลักษณะของเส้นเฌอกล้วย
4. นำก้อนเฌอกล้วยก้อนที่ 2,3,4,5 ทำตามขั้นตอนที่ 1 – 3

วิธีการทดสอบการดัน

1. ช้อนทับก้อนเฌอกล้วย 4 ก้อน
2. เปิดเครื่องทำงาน
3. จับเวลาการผลักก้อนเฌอกล้วย สังเกตลักษณะ การดันแรงดันด้าน

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องสองขั้นตอน

1. เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน
2. มอเตอร์จะหมุนเพื่อดันสกรูผลักก้อนเฌอกล้วยไปยังสถานีกด
3. ลิมิตสวิตช์ทำงาน แกนสกรูเคลื่อนที่กลับและสวิตช์เพื่อส่งให้สถานีกดทำงาน
4. มอเตอร์จะหมุนให้แกนเพลากดก้อนเฌอกล้วยผ่านตะแกรง
5. -เมื่อถึงจุดจุดหนึ่งแป้นกดจะไปโดนลิมิตสวิตช์ตัวที่ 1
6. มอเตอร์จะหมุนกลับทำให้แป้นกดเลื่อนขึ้นจนโดนลิมิตสวิตช์ตัวที่ 2
7. มอเตอร์จะหยุดการทำงานเพื่อรอการใส่เฌอกล้วยก้อนใหม่
8. กดสวิตช์บนตัวเครื่องมอเตอร์จะทำงานอีกครั้งหนึ่ง
9. เมื่อเลิกการทำงานแล้วกดปิดการทำงานของเครื่อง

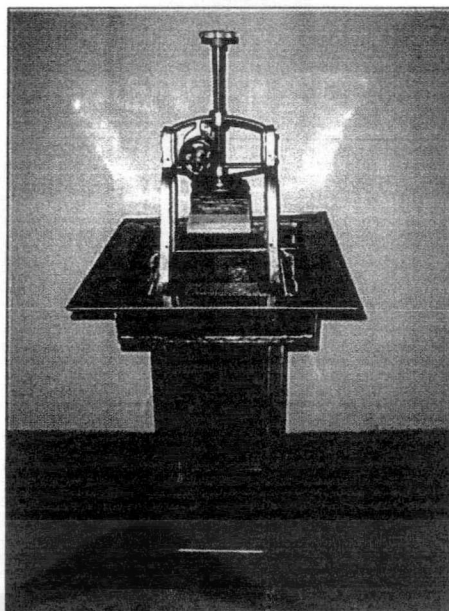
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบโดยใช้เครื่องกด

เงาถ้วยก้นที่	ความหนา (cm)	เวลาที่กด (s)	ความเร็วในการกด (cm/s)
1	5.5	2.33	2.36
2	5.5	2.54	2.17
3	5.5	2.21	2.49
4	5.5	2.05	2.68
5	5.5	2.20	2.50
		เฉลี่ย	2.44

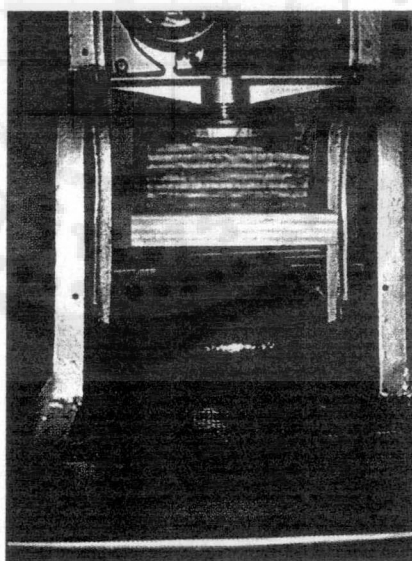
หมายเหตุ เวลาที่เครื่องป้อนทำงานเฉลี่ย 6-7 วินาทีต่อรอบ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบโดยใช้คนกด

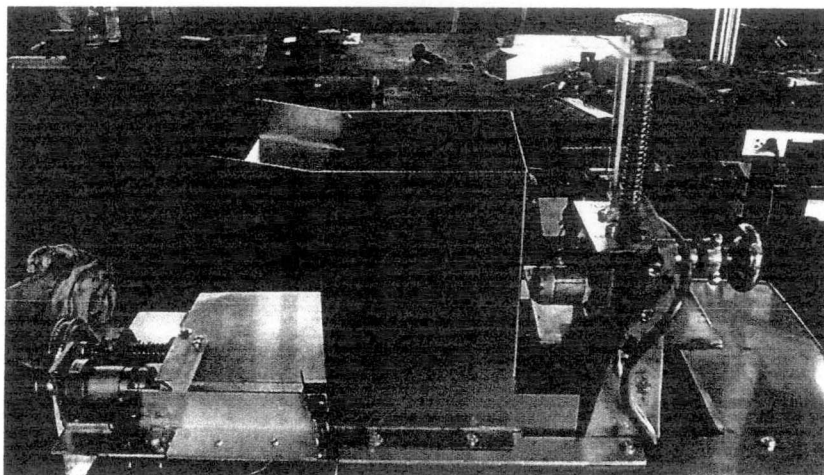
เงาถ้วยก้นที่	ความหนา (cm)	เวลาที่กด (s)	ความเร็วในการกด (cm/s)
1	5.5	7.56	0.73
2	5.5	8.11	0.68
3	5.5	7.59	0.72
4	5.5	7.40	0.74
5	5.5	7.32	0.75
		เฉลี่ย	0.66



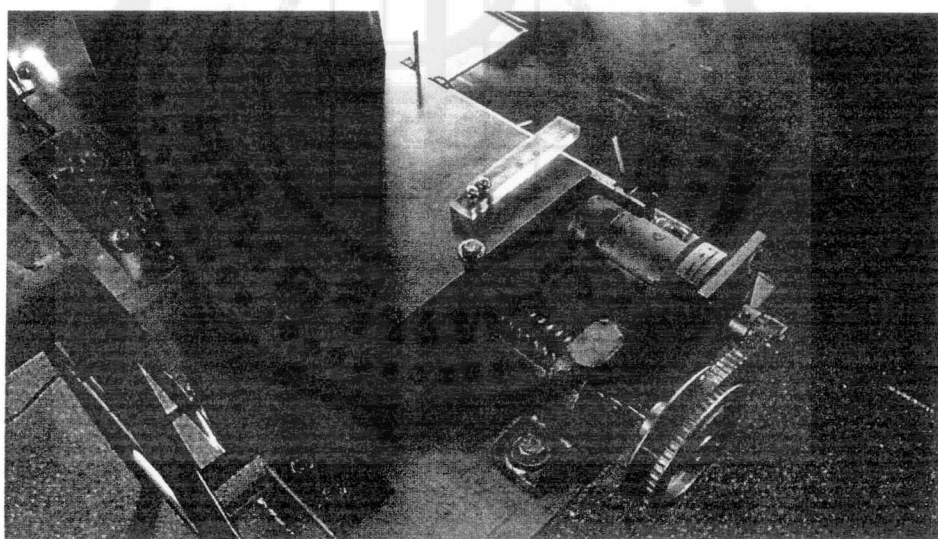
รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องทดสอบแรงดึงอัตโนมัติ



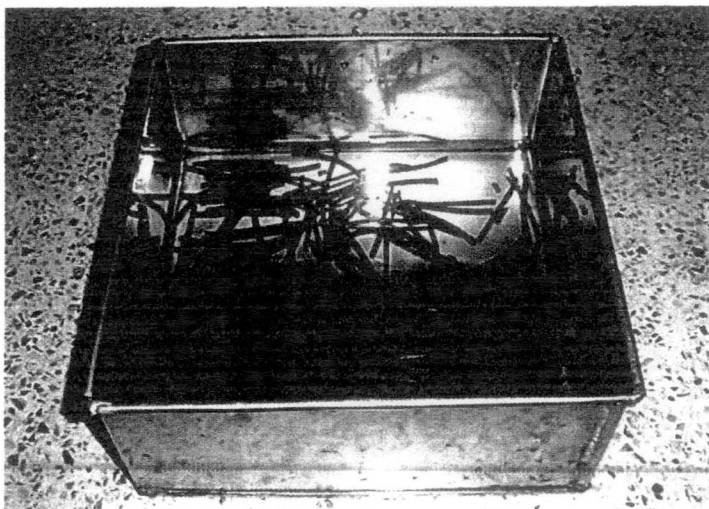
รูปที่ 4.2 แสดงการวางแนวของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4.3 แสดงสถานีผลักร่วมกับสถานีกดเงาถ้วย



รูปที่ 4.4 แสดงชุดขับด้วยเฟืองทดและมอเตอร์ส่งกำลัง



รูปที่ 4.5 แสดงเนากัวยที่กุดผ่านตะแกรง



บทที่ 5

สรุปผล วิจารณ์ผลการทดสอบ

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการกดก่อนเจาก๊วยนั้นขนาดของก้อนเจาก๊วยต้องมีความหนา 5.5 cm เมื่อขนาดของก้อนเจาก๊วยหนาขึ้นเวลาที่ใช้ในการกดจะมากขึ้นผลที่ได้จากการทดสอบกดก่อนเจาก๊วยโดยการจับเวลาในการกดโดยเฉลี่ย 2.44 วินาที / ก้อน จะเห็นว่าได้ใช้เวลาน้อยกว่า 3 เท่า จากการใช้มือกดในขนาดเจาก๊วยที่มีขนาดเท่ากัน

ในสถานการณ์ผลักก้อนเจาก๊วยสามารถผลักก้อนเจาก๊วยเพื่อป้อนเข้าสู่สถานีกด โดยสามารถผลักได้ในอัตรา 6-7 วินาทีต่อก้อน เมื่อบรรจุ เจาก๊วย 4 ก้อนพร้อมกัน

วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบผลเป็นที่น่าพอใจ ในแง่ของเวลาที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากสามารถทดแทนแรงงานมนุษย์ได้ และช่วยลดเวลาในขั้นตอนนี้ลง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นบางส่วน เช่นเสียงการทำงานของสกรูส่งกำลัง และชุดทดในสถานีผลักยังมีเสียงดังค่อนข้างมาก และเจาก๊วยบางเส้น อาจเกิดการขาดบ้างประมาณร้อยละ 5-10

ข้อเสนอแนะ

1. การวางก้อนเจาก๊วยต้องวางในตำแหน่งที่มีแรงกดมากที่สุด
2. ควรมีน้ำหล่อลื่นตลอดเวลาในสถานีผลักเพื่อป้องกันก้อนบนและล่างติดกัน
3. ควรใช้มอเตอร์แบบ silence เพื่อลดเสียงในการทำงานลง

บรรณานุกรม

- 1.บรรเลง ศรีนิล และ ประเสริฐ ก้วยสมบูรณ์ “ตารางโลหะ” สถาบันเทคโนโลยีพระ
พระนครเหนือ
- 2.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ อดงาน “การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1” พิมพ์ครั้งที่ 10 บริษัท
ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด พ.ศ. 2534 .
- 3.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ อดงาน “การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 2” พิมพ์ครั้งที่ 6 บริษัท ซี
เอ็ดยูเคชั่น จำกัด พ.ศ. 2536 .
- 4.สมาน เจริญกิจพูลผล “กลศาสตร์วิศวกรรม” พิมพ์ครั้งที่ 1 พีซีเอสเซ็นเตอร์การพิมพ์
พ.ศ. 2527
5. มาตรฐานการผลิตเครื่องจักรสำหรับผลิตอาหารแบบปลอดภัย(GMP) ข้อกำหนดตาม
ประกาศ กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 193 พ.ศ. 2543



ภาคผนวกที่ 1
ตารางแสดงค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ



ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดง Standard Sizes of Power Screw Threads

Major Diameter	Threads per Inch		
	Acme and Acme Stub ^a	Square and Modified Square	Buttress ^b
1/4	16	10	
5/16	14		
3/8	12		
3/8	10	8	
7/16	12		
7/16	10		
1/2	10	$6\frac{1}{2}$	16
5/8	8	$5\frac{1}{2}$	16
3/4	6	5	16
7/8	6	$4\frac{1}{2}$	12
1	5	4	12
$1\frac{1}{2}$	5		
$1\frac{1}{2}$	5	$3\frac{1}{2}$	10
$1\frac{1}{2}$	4		10
$1\frac{1}{2}$	4	3	10
$1\frac{1}{2}$	4	$2\frac{1}{2}$	8
2	4	$2\frac{1}{2}$	8
$2\frac{1}{2}$	3	$2\frac{1}{2}$	8
$2\frac{1}{2}$	3	2	8
$2\frac{3}{4}$	3	2	6
3	2	$1\frac{3}{4}$	6

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดง Standard Sizes of Power Screw Threads (ต่อ)

Major Diameter	Threads per Inch		
	Acme and Acme Stub ^a	Square and Modified Square	Buttress ^b
$3\frac{1}{2}$	2	$5\frac{1}{8}$	6
4	2	$1\frac{1}{2}$	6
$4\frac{1}{2}$	2		5
5	2		5



ภาคผนวกที่ 2
ตารางแสดงค่าคงที่ทางกายภาพของวัสดุวิศวกรรมบางชนิด



ตารางภาคผนวกที่ 2 ตารางแสดงค่าคงที่ทางกายภาพของวัสดุวิศวกรรมบางชนิด

วัสดุ	โมดูลัสความยืดหยุ่น E		โมดูลัสความแข็งแรง G		อัตราส่วน ปัวซอง	น้ำหนักจำเพาะ		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminum	10.3	71.0	3.80	26.20	0.334	0.098	169	26.6
Beryllium copper	18.0	124.0	7.00	48.30	0.285	0.297	513	80.6
Brass	15.4	106.0	5.82	40.10	0.324	0.309	534	83.8
Carbon steel	30.0	207.0	11.50	79.30	0.292	0.282	487	76.5
Cast iron.gray	14.5	100.0	6.00	41.40	0.211	0.260	450	70.6
Copper	17.2	119.0	6.49	44.70	0.326	0.322	556	87.3
Dougias fir	1.6	11.0	0.60	4.10	0.330	0.016	28	4.3
Glass	6.7	46.2	2.7	18.60	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.00	75.80	0.290	0.307	530	83.3
Lead	5.3	36.0	1.90	13.10	0.425	0.411	710	111.5
Magnesium	6.5	44.8	2.40	16.50	0.350	0.063	112	17.6
Molybdenum	48.0	331.0	17.00	117.00	0.307	0.368	636	100
Monel metal	26.0	179.0	9.50	65.50	0.320	0.319	551	86.6
Nickel silver	18.5	127.0	7.00	48.30	0.322	0.316	546	85.8
Nickel steel	30.0	207.0	11.50	79.30	0.291	0.28	484	76
Phosphor bronze	16.1	111.0	6.00	41.40	0.349	0.295	510	80.1
Stainless steel	27.6	190.0	10.60	73.10	0.305	0.28	484	76



ตารางภาคผนวกที่ 3 ตารางเหล็กรากฐานเท่ากัน

เหล็กรากฐานเท่ากัน

DIN 1028 (11. 76) และ 997 (11. 70)

S พื้นที่หน้าตัดเป็น cm^2
 I โมเมนต์เฉื่อย (Moment of Inertia) cm^4
 W โมเมนต์ต้านของพื้นที่ (section modulus) cm^3
 mL น้ำหนักต่อความยาว kg/m
 I, W ขึ้นอยู่กับแกนหัก (Bending axis)

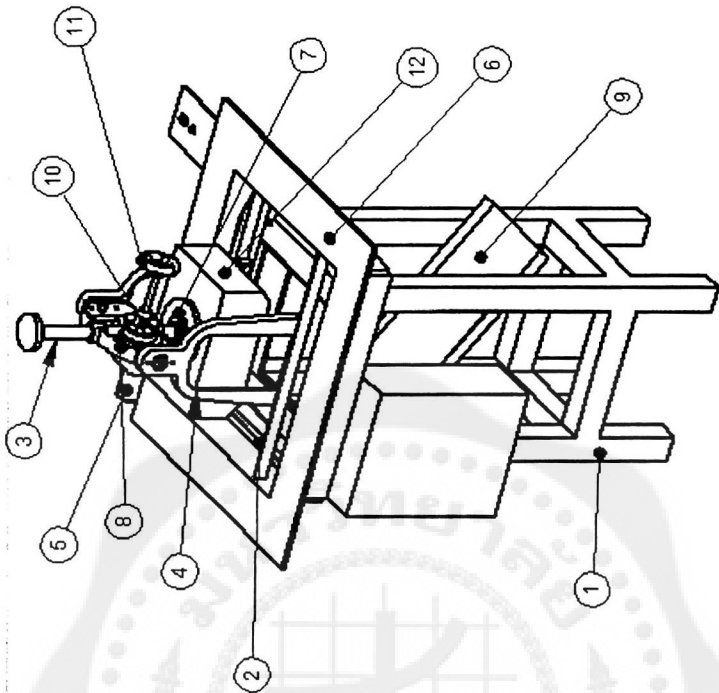
สัญลักษณ์ : สำหรับเหล็กรากฐานที่มีฐานกว้าง 45 มม. หน้า 5 มม.
 เป็น Unkilled steel มีความแข็ง เกจ 2 370N/ mm^2
 L 45 x 5 DIN 1028 - U st 37-2
 ความยาวที่ผลิต : 3 ถึง 12 ม.

ขนาด, ระยะและขนาดรูโหว่ที่ขอยอมได้เป็น มม.	พื้นที่หน้าตัด	มวล	ชื่อย่อ	ระยะแกน	สำหรับแกนหัก	ขนาด, ระยะและขนาดรูโหว่ที่ขอยอมได้เป็น มม.	พท. หน้าตัด	มวล	ชื่อย่อ	ระยะห่างจากแกน e	สำหรับแกนหัก																									
a	s	r1	r2	w1	d1	S	mL	L	e	I	W	a	s	r1	r2	w1	d1	S	mL	L	e	I	W	a	s	r1	r2	w1	d1	S	mL	L	e	I	W	
20	3				12	4.3	1.12	0.88	20x3	0.60	0.39	0.28	60	6				17	6.91	5.42	60x6	1.69	22.8	5.29												
25	3	3.5	2		15	6.4	1.42	1.12	25x3	0.73	0.79	0.45	60	8			35	9.03	7.09	60x8	1.77	29.1	6.88													
25	4						1.85	1.45	25x4	0.76	1.01	0.58	65	7	9	4.5	21	8.7	6.83	65x7	1.85	33.4	7.18													
30	3				17	8.4	1.74	1.36	30x3	0.84	1.41	0.65	70	7				21	9.4	7.38	70x7	1.97	42.4	8.43												
30	4						2.27	1.78	30x4	0.89	1.81	0.86	70	9			40	11.9	9.34	70x9	2.05	52.6	10.6													
35	4	5	2.5				2.67	2.10	35x4	1.00	2.96	1.18	75	7				22	10.1	7.94	75x7	2.09	52.4	9.67												
35	5				18	11	3.28	2.57	35x5	1.04	3.56	1.45	75	8			5	11.5	9.03	75x8	2.13	58.9	11.0													
40	4						3.08	2.42	40x4	1.12	4.38	1.56	80	6				23	9.35	7.34	80x6	2.17	55.8	9.57												
40	5	6	3		22	11	3.79	2.97	40x5	1.16	5.43	1.91	80	8			10	12.3	9.66	80x8	2.26	72.3	12.6													
45	4						3.49	2.74	45x4	1.23	6.43	1.97	80	10				15.1	11.9	80x10	2.34	87.5	15.5													
45	5	7	3.5		25	13	4.3	3.38	45x5	1.28	7.83	2.43	90	7				12.2	9.61	90x7	2.45	92.6	14.1													
50	5						4.8	3.77	50x5	1.40	11.0	3.05	90	9			11	15.5	12.2	90x9	2.54	116	18.0													
50	6	7	3.5		30	13	5.69	4.47	50x6	1.45	12.8	3.61	100	8				15.5	12.2	100x8	2.74	145	19.9													
50	7						6.56	5.15	50x7	1.49	14.6	4.15	100	10	12	6	55	19.2	15.1	100x10	2.82	177	24.7													
60	5	8	4		35	17	5.82	4.57	60x5	1.64	19.4	4.45	100	12				22.7	17.8	100x12	2.90	207	29.2													

เหล็กรากฐานที่อยู่ในเครื่องหมายนี้ ให้เลือกใช้กัน

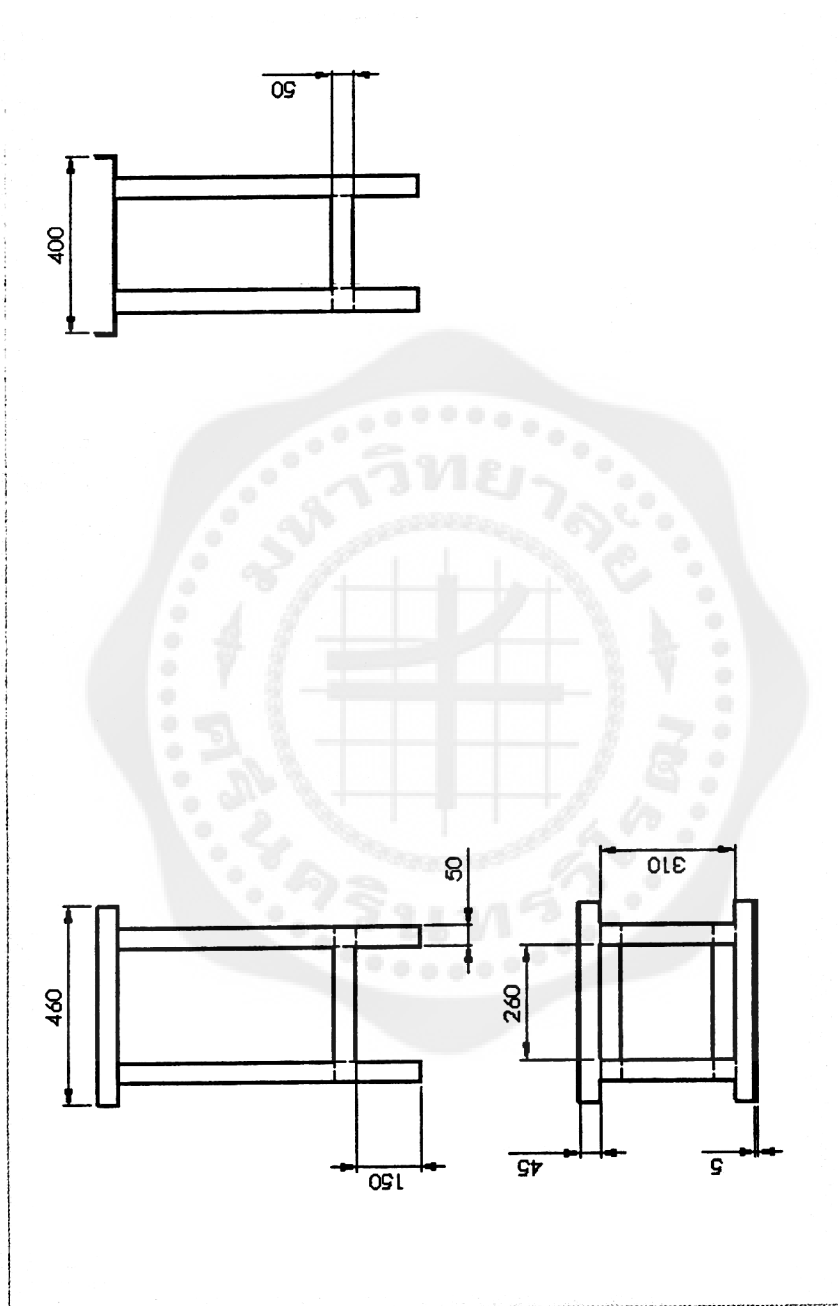
ที่แนะนำให้ : เลือกใช้ขึ้นกับต่อไปคือ 110x10, 120x12, 150x15, 180x18 และ 200x20.



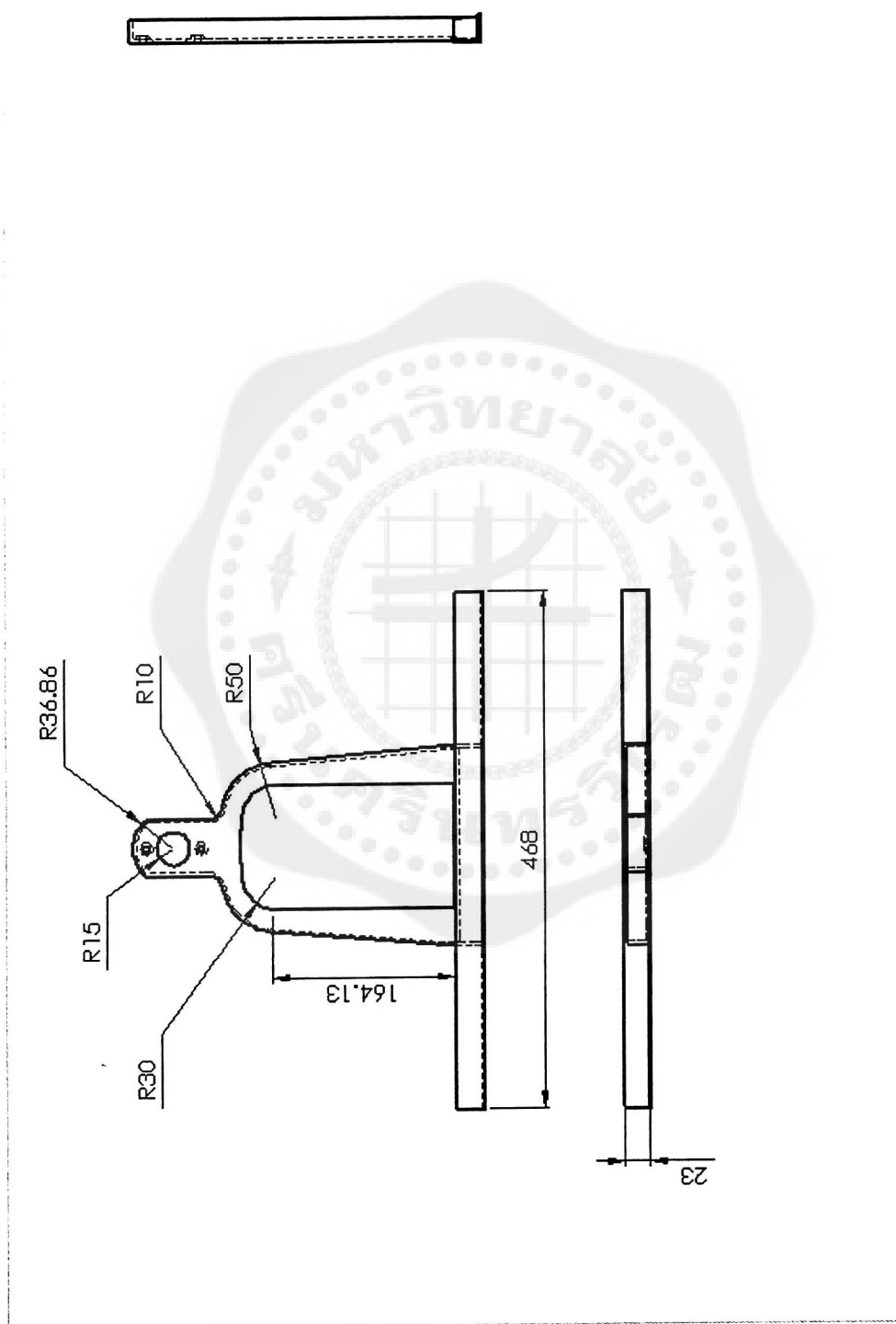


ITEM NO.	QTY.	PART NO.
1	1	ขาโต๊ะ
2	1	ประกอบตะแกรงกรองน้ำ
3	1	ก้านเพื่อง
4	2	ขั้วต่อมอเตอร์
5	1	ชุดเพื่องมอเตอร์
6	1	ฐาน
7	1	ตัวยึดแป้นกดกักน้ำ
8	1	ตัวลิ้นชักกักน้ำ
9	1	รางรับน้ำ
10	1	หัวกดสปริง
11	1	หัวปรับหมุน
12	1	แป้นกดกักน้ำ

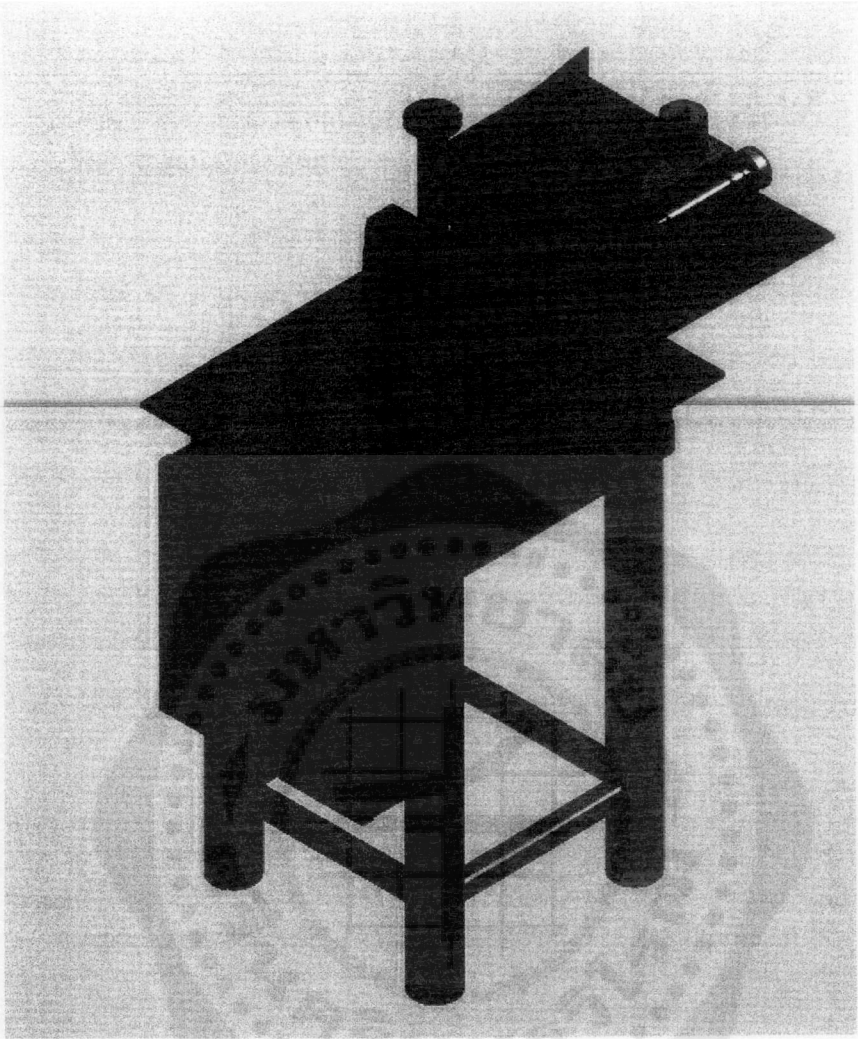
ภาพรวมสถานีกดน้ำ



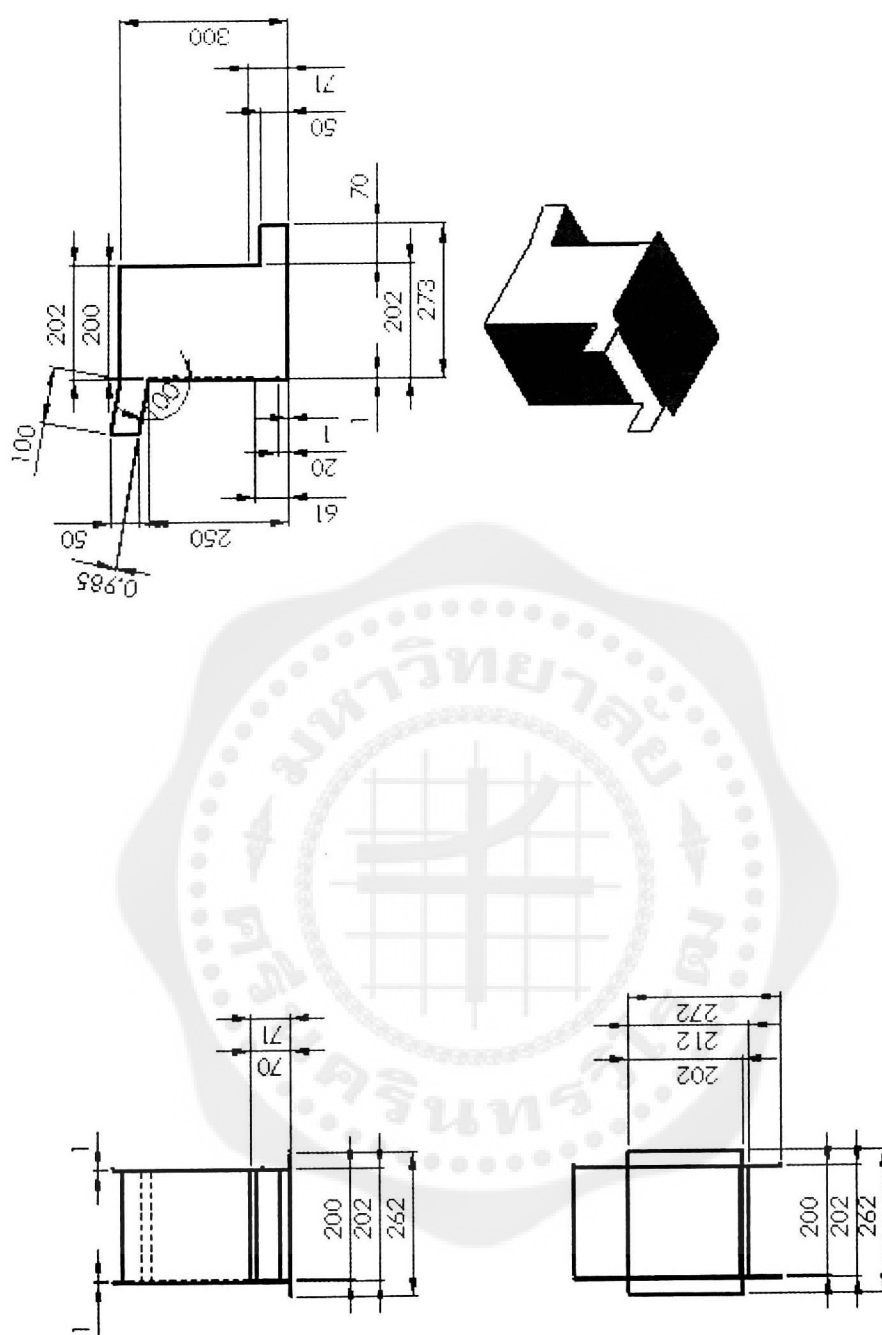
ภาพแสดงขนาดขาโต๊ะ



ภาพแสดงตัวยึดมอเตอร์



ภาพแสดงสถานีกดและผลัก



ภาพแสดงถาดป้อน

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นายไตร กระจะนันท์

(ภาษาอังกฤษ) Mr Tri Kharanan

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-6601-00842-789

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
องครักษ์ ถนนรังสิต-นครนายก อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

โทรศัพท์ 02- 6641000 ต่อ 2055 โทรสาร 037-322609

E-mail samruay@swu.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2540 ปริญญาตรี

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ. 2545 ปริญญาโท

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

วิทยานิพนธ์ที่ทำ

กระบวนการม้วนขึ้นรูปท่อกลม

Roll forming Process

6. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาการออกแบบเครื่องจักรกล ออกแบบโครงสร้าง การทำงานระบบอัตโนมัติ การผลิต
พลังงานทางเลือก