



เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ
NATURE FERTILIZER PRESS MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....50173

วัน,เดือน,ปี 21 เม.ย. 2547

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

NATURE FERTILIZER PRESS MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นายไกรสร	อินต๊ะยศ	รหัสประจำตัว	43015408
2. นายพิเชษ	แก้วกระจ่าง	รหัสประจำตัว	43015428
3. นายอำนาจ	คงใหญ่	รหัสประจำตัว	43015453



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ประสิทธิ์ คำพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

นายไกรสร	อินตะยศ	43015408
นายพิเชษ	แก้วระจ่าง	43015428
นายอำนาจ	กงใหญ่	43015453
อาจารย์ประสิทธิ์	คำพันธ์	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการที่จะเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยชีวภาพซึ่งได้มาจากเศษพืชและมูลสัตว์ต่าง ๆ ซึ่งย่อยสลายตัวดีแล้ว นำมาผ่านขบวนการทำการอัดเม็ด โดยให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการนำไปใช้งาน และยังเป็นการเพิ่มค่านิยมให้เกษตรกรและผู้คนหันมาใช้ปุ๋ยที่ได้จากธรรมชาติแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งอันจะเป็นการลดปัญหาผลกระทบอันเกิดจากสารเคมีที่ตกค้างได้อีกทางหนึ่ง โดยปกติแล้วปุ๋ยชีวภาพก่อนจะทำการอัดนั้นจะมีปัญหาเรื่องกลิ่นที่รุนแรง แต่หลังจากทำการอัดเม็ดแล้วปัญหาจะเบาบางลงทำให้มีความสะดวกในการนำไปใช้งานมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nature Fertilizer Press Machine

Kraisorn intahyos

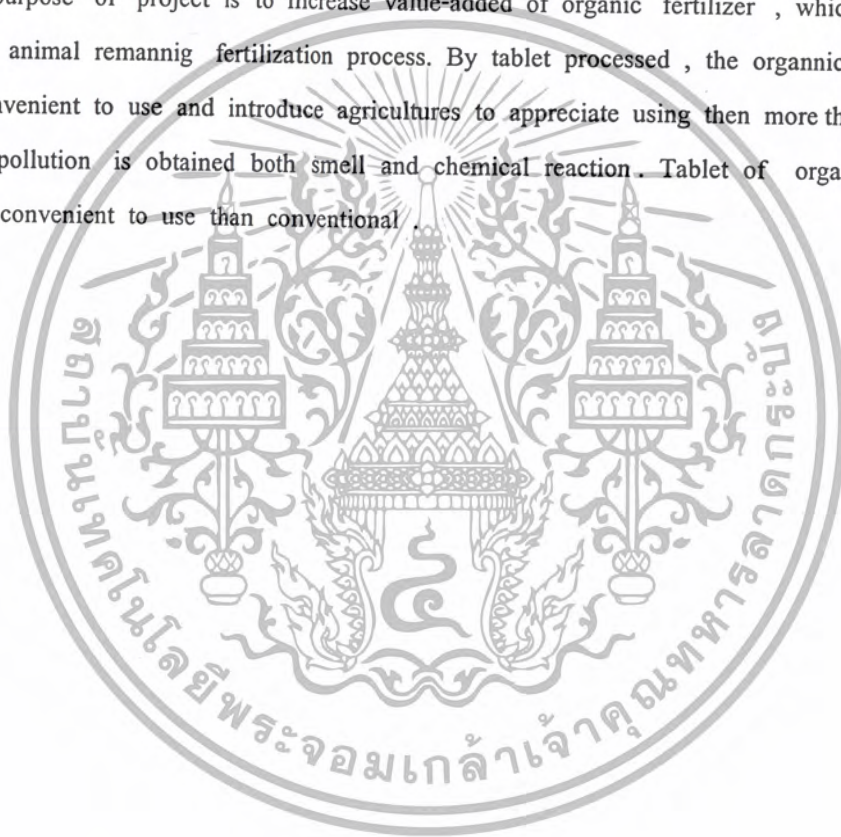
Pichet keawkajang

Amnath khongyai

Mr.Prasit Campanyim Advisor

ABSTRACT

The purpose of project is to increase value-added of organic fertilizer , which come from plant or animal remannig fertilization process. By tablet processed , the organnic substance is more convenient to use and introduce agricultures to appreciate using then more than chemical . Less of pollution is obtained both smell and chemical reaction . Tablet of organic substance is more convenient to use than conventional .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ประสิทธิ์ คำพันธ์ ที่ให้แนวทางในการดำเนินงานรวมทั้งข้อมูลต่าง ๆ และเป็น อาจารย์ที่ปรึกษาของกลุ่ม ดร.ชินรักษ์ เขียวหงส์ ที่ช่วยในด้านการติดต่อกับสถานประกอบการโดยช่วยออกแบบหนังสือเยี่ยมชมและเซ็นรับรองให้, ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ที่ช่วยในเรื่องของข้อมูลใบเกิลียว, ข้อมูลในด้านต่าง ๆ ของเครื่องและให้ยืมเครื่องชั่งน้ำหนัก และ บริษัท นำเฮงคอนสตรัคชั่น จำกัด ที่ให้เข้าเยี่ยมชมและให้ข้อมูลของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ข้อมูลของปั๊มชีวภาพ	3
2.1 ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์	3
2.1.1 ประเภทที่ผลิตแล้วนำมาใส่ในไรนา	3
2.1.2 ประเภทที่ปลูกในพื้นที่ไรนา	7
2.2 การประยุกต์ใช้ EM - T	10
2.2.1 การใช้ EM-T แบบน้ำ	11
2.2.2 การใช้ EM - T แบบแห้ง	12
2.3 การหาปริมาณความชื้น (Measurement of Moisture Content)	18
บทที่ 3 บอลแบริ่ง (Ball Bearing)	20
3.1 เจอร์นัลแบริ่ง	20
3.2 โรลลิ่งแบริ่ง หรือ บอลแบริ่ง	20
3.2.1 ชนิดของบอลแบริ่ง	21
3.2.2 การบรรจุลูกกลิ้ง	23
3.3 มิติมาตรฐานของโรลลิ่งแบริ่ง	23
3.4 ความเสียดทานของโรลลิ่งแบริ่ง	24
3.5 การประเมินค่าอายุการใช้งานและแรง	24
3.6 แรงสมมูล	29
3.7 ตัวประกอบใช้งาน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.8 อาชุกรใช้งานโดยสังเขป	37
บทที่ 4 สายพาน	38
4.1 ชนิดและวัสดุสายพาน	38
4.2 ลักษณะการจับด้วยสายพาน	39
4.3 สายพานลิ่ม	41
4.4 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานลิ่ม	41
4.5 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม	43
4.6 การทำให้เกิดแรงดึงขึ้นคั้นในสายพานลิ่ม	46
4.7 การคำนวณหาขนาดของสายพานลิ่ม	47
บทที่ 5 เฟืองตรง	59
5.1 คำจำกัดความในการให้คำจำกัดความเรียกชื่อส่วนต่าง ๆ ของเฟือง	59
5.2 มาตรฐานการบอกขนาดของฟัน	60
5.3 กฎการจับของเฟืองและการทำงานของฟันเฟือง	61
5.4 ระยะเวลาขบและอัตราส่วนการขบ	62
5.5 การขัดกัน	62
5.6 วิธีการตัดเฟือง	63
5.7 ความเค้นในฟันของเฟืองตรง	65
5.8 ความเค้นหนาแน่น	67
5.9 แรงพลวัต	68
5.10 ความคงทนของผิวหน้าฟันเฟืองตรง	69
บทที่ 6 การออกแบบและการคำนวณ	73
6.1 การออกแบบ	73
6.2 หลักการทำงาน	74
6.3 ไบมีดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	74
6.4 ชุดเกียร์ BOX	76
6.5 ชุดควบคุมการทำงาน	76
6.6 รายละเอียดของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ	77
6.7 การคำนวณต่างๆของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ	78
6.7.1 การคำนวณหาความยาวสายพานที่ใช้ (L_p)	80
6.7.2 การคำนวณหาแรงที่กระทำกับล้อสายพาน	82
6.7.3 การออกแบบเฟืองเกียร์	83

สารบัญ (ต่อ)

6.7.4 การคำนวณหาขนาดเพลลาในชุดเกียร์	86
6.7.5 การคำนวณสลักยึดเพลลา	87
6.7.6 การคำนวณแบร็ง	88
6.7.7 การคำนวณเกลียวอัด (Extruder)	89
6.7.8 ความเค้นที่เกิดขึ้นกับฟันเกลียว	90
6.7.9 ความเค้นเฉือนที่โคนฟันเกลียว	91
บทที่ 7 ผลการทดลองและการทดสอบ	92
7.1 วิธีการทดสอบและสมรรถนะของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ	92
7.2 ผลการทดลอง	93
บทที่ 8 บทวิจารณ์และสรุป	109
8.1 สรุปผลการทดลองของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ	109
8.2 ผลการทดลองใบมีดตัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ	109
8.3 บทวิจารณ์	109
8.4 ปัญหาที่พบในการทำงาน	110
8.5 แนวทางการพัฒนา	110
บรรณานุกรม	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของ EM โดยทั่วไป	9
รูปที่ 2.2 แสดงน็ูชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะเตาอบ	19
รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องชั่งแบบดิจิทัล	19
รูปที่ 3.1 ส่วนต่างๆของบอลแบร์ริง	20
รูปที่ 3.2 บอลแบร์ริงชนิดต่างๆ	22
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนในการประกอบบอลแบร์ริงชนิดมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก	23
รูปที่ 3.4 ขอบเขตของมิติ สำหรับอนุกรมมิติของแบร์ริงต่างๆ	23
รูปที่ 4.1 ลักษณะการจับด้วยสายพาน	40
รูปที่ 4.2 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน	41
รูปที่ 4.3 แรงบนสายพานลิ่ม	43
รูปที่ 4.4 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ่ม	49
รูปที่ 6.1 แสดงภาพโดยรวมของเครื่อง	73
รูปที่ 6.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดเม็ดน็ูชีวภาพ	73
รูปที่ 6.3 แสดงใบมีดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	74
รูปที่ 6.4 แสดงใบมีดขั้บดิน	75
รูปที่ 6.5 แสดงแบบสำหรับรีดส่วนผสม	75
รูปที่ 6.6 แสดงลักษณะ ใบเกลียว (EXTRUDER)	75
รูปที่ 6.7 แสดงชุดเฟืองทด	76
รูปที่ 6.8 แสดงตัวขับเคลื่อนและวงจรควบคุมการทำงาน	76
รูปที่ 6.9 แสดงการส่งกำลังของเครื่องอัดเม็ดน็ูชีวภาพ	78
รูปที่ 6.10 แสดง Free Body Diagram	86
รูปที่ 6.11 แสดงเกลียวอัด (Extruder)	89
รูปที่ 6.12 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นกับฟันเกลียว	90
รูปที่ 6.13 แสดงความเค้นเฉือนที่โคนฟันเกลียว	91
รูปที่ 7.1 แสดงส่วนผสมก่อนทำการอัด	92
รูปที่ 7.2 แสดงขณะทำการอัดส่วนผสม	92
รูปที่ 7.3 แสดงขณะทำการตัด	92
รูปที่ 7.4 แสดงเม็ดน็ูที่ได้	92

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของปุ๋ยและวัสดุอินทรีย์บางชนิด	6
ตาราง 2.2 แสดงวิธีการใช้ EM-T แบบน้ำ	11
ตาราง 3.1 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหาย	24
ตาราง 3.2 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิงแบร์ริง (c_0, c เป็น KN)	26
ตาราง 3.3 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิงแบร์ริง (c_0, c เป็น KN)	27
ตาราง 3.4 มิติมาตรฐานและแรงประเมินของโรลลิงแบร์ริง (c_0, c เป็น KN)	28
ตาราง 3.5 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์แบร์ริง	30
ตาราง 3.6 แรงประเมินและตัวประกอบ X และ Y สำหรับ single-row	33
ตาราง 3.7 ค่าตัวประกอบ Y สำหรับ double-row , spherical roller bearings *	34
ตาราง 3.8 ตัวประกอบของการกระแทก	36
ตาราง 3.9 ตัวประกอบของสายพาน	37
ตาราง 3.10 ตัวประกอบของเฟือง	37
ตาราง 3.11 แนวทางในการเลือกอายุใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ	38
ตาราง 4.1 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานลิ่ม ตามมาตรฐาน ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R 256/1962 (E)	42
ตาราง 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ d_p ของล้อสายพานลิ่มตามมาตรฐาน ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R 256/1962 (E)	43
ตาราง 4.3 ตัวประกอบการใช้งาน	46
ตาราง 4.4 ค่าตัวประกอบ k_2	47
ตาราง 4.5 ตัวประกอบใช้งาน N_1 สำหรับสายพานลิ่ม	50
ตาราง 4.6 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_2 สำหรับสายพานลิ่ม*	51
ตาราง 4.7 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “ Y ”	52
ตาราง 4.8 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “ Z ”	53
ตาราง 4.9 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “ A ”	54
ตาราง 4.10 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “ B ”	55
ตาราง 4.11 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “ C ”	56
ตาราง 4.12 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “ D ”	57
ตาราง 4.13 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “ E ”	58
ตาราง 6.6 รายละเอียดของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ	77
ตาราง 7.2 ผลการทดลอง	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันพื้นที่การเกษตรกรรมของประเทศไทยมีประมาณ 250 ล้านไร่ จากเนื้อที่ประเทศไทยทั้งหมด 320.7 ล้านไร่ ในจำนวนพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่การเกษตรที่อาศัยน้ำฝนถึง 90 % จากรายงานการสำรวจและจำแนกดินในพื้นที่ดังกล่าวนี้ปรากฏเป็นพื้นที่ที่มีความเสื่อมโทรมของดินประมาณ 224.9 ล้านไร่ และพบว่าเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำถึง 191 ล้านไร่ ปัญหาของดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำของประเทศไทยมีอิทธิพลต่อสภาพทางการเกษตรต่ำเป็นอย่างมาก สาเหตุอันเนื่องมาจากปัญหาการเพิ่มของประชากรและการบุกรุกทำลายป่า จึงมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์วิทยาของประเทศโดยส่วนรวมทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

มาตรการการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมมีความจำเป็นอย่างมากในสถานการณ์ปัจจุบัน ในด้านงานวิจัยของการปรับปรุงบำรุงดิน ได้ตระหนักถึงแนวทางการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญวิธีการหนึ่ง เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบที่สำคัญซึ่งควบคุมความสมดุลขององค์ประกอบอื่น ๆ ของดิน ได้แก่ ธาตุอาหาร อากาศและน้ำ การรักษาระดับของปริมาณอินทรีย์วัตถุให้เหมาะสมต่อการเกษตรกรรม การศึกษาวิจัยการปรับปรุงบำรุงดิน ในขั้นพื้นฐานจะเป็นแนวทางในการจัดการอินทรีย์วัตถุให้เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร อาทิ การวิจัยชนิดและคุณภาพของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและภาคอุตสาหกรรม เพื่อที่จะนำมาแปรสภาพหรือนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงต่อการเพิ่มผลผลิตพืช

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. สร้างและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ ให้สามารถอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพได้
2. นำปุ๋ยชีวภาพหรืออินทรีย์วัตถุที่ทิ้งไว้เปล่าประโยชน์ มาใช้ประโยชน์เพิ่มคุณค่าของปุ๋ย
3. ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน และเพิ่มค่านิยมให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยที่ได้จากธรรมชาติทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีที่ทำให้ดินเสื่อมโทรม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น
2. ออกแบบอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพและความสะดวกในการทำงานมากยิ่งขึ้น
3. ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน
4. หาความชื้นที่เหมาะสมของปุ๋ยชีวภาพแต่ละประเภทที่จะทำการอัดเม็ดปุ๋ย

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- การทำงานในโครงการนี้เริ่มต้นจากการทำการศึกษาหาข้อมูลของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยชีวภาพในแต่ละชนิดที่จะนำมาทำการทดลองในโครงการนี้
- ทำการออกแบบชุดอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพและนำไปทำการทดลองหาแรงบิดที่ใช้ในการอัดส่วนผสมเพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปเป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณชิ้นส่วนอื่น ๆ ต่อไป
- ทำการคำนวณและออกแบบขนาดชิ้นส่วนจริง เมื่อเราทราบแรงที่ใช้ในการอัดส่วนผสมเราก็นำแรงนี้ไปย้อกำหนดหาขนาดของชิ้นส่วนอัตราทดต้นกำลังและออกแบบโครงสร้างได้
- ทำการจัดสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ
- ทำการทดลองเก็บผลการทดลองต่าง ๆ และทำการสรุป, วิเคราะห์ผลการทดลอง, ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาต่อไป



บทที่ 2

ข้อมูลของปุ๋ยชีวภาพ

2.1 ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์

มีวัสดุอินทรีย์หลายชนิดที่ถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ย แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน แต่ล้วนมีจุดประสงค์อย่างเดียวกัน คือ ต้องการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มผลผลิตพืช อย่างไรก็ตามวัสดุอินทรีย์ทั้งหลายมีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำ จึงต้องใส่จำนวนมากและใส่ต่อเนื่องกันในระยะยาว ทำให้เกิดผลตกค้างทั้งทางเคมีและกายภาพเป็นเวลานาน วัสดุอินทรีย์ที่ใส่เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน อาจแบ่งได้อย่างกว้าง ๆ เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทที่ผลิตแล้วนำมาใส่ในไร่นา ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดบางชนิด ผลพลอยได้จากการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม ของเสียจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัย หรือในเขตชุมชน
2. ประเภทที่ปลูกในพื้นที่ไร่นา แล้วไถกลบหรือใช้เป็นวัสดุคลุมดิน ได้แก่ ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยชีวภาพ ดอกซัง พืชที่เหลือภายหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ในระบบการปลูกพืชร่วมกัน (Inter Cropping) วนเกษตร (Agroforestry)

2.1.1 ประเภทที่ผลิตแล้วนำมาใส่ในไร่นา

กองการกสิกรรมเคมี กรมกสิกรรม (2514) ได้รายงานคุณค่าของปุ๋ยอินทรีย์หลายชนิด ในรูปที่เป็นธาตุอาหารพืช คือ N P K ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

1. ปุ๋ยคอก ได้แก่ มูลสัตว์ต่าง ๆ เช่น มูลโค กระบือ ม้า สุกร เป็ด ไก่ แพะ และ ฯลฯ ปุ๋ยมูลสัตว์หรือปุ๋ยคอกมีธาตุอาหารที่สำคัญ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อยู่ครบมากบ้างน้อยบ้างแตกต่างกันไป จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปรากฏว่า มูลเป็ดและมูลไก่ มีธาตุไนโตรเจนสูงกว่ามูลสัตว์อย่างอื่น มูลสัตว์ดังกล่าวนี้บางอย่างก็มีอยู่ตามครอบครัวของกสิกรทั่วไปโดยไม่ได้ใช้ทำประโยชน์

จากผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับปุ๋ยคอก ปรากฏว่า ปุ๋ยคอก 1000 กิโลกรัม มีธาตุอาหารไนโตรเจนประมาณ 5 กิโลกรัม มีฟอสเฟต 2.5 กิโลกรัม และ โพแทสเซียม 5 กิโลกรัม ถึงแม้ว่าจะไม่สูงนักในด้านธาตุอาหารพืช แต่ปุ๋ยคอกก็ให้ประโยชน์ในทางการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินได้ดีกว่าปุ๋ยวิทยาศาสตร์

จากการทดลองเพิ่มผลผลิตข้าว โดยใช้ปุ๋ยคอกในสถานีทดลองข้าว 6 แห่ง คือ รังสิต โลก ตำโรง พิมาย สุรินทร์ พาน และนครศรีธรรมราช เมื่อ พ.ศ. 2504-2507 รวม 4 ปี พอสรุปผลโดยเฉลี่ยของข้าวเปลือกได้ดังนี้

แปลงไม่ใส่ปุ๋ยได้ผลผลิตไร่ละ 312.9 กิโลกรัม

แปลงใส่ปุ๋ยคอกในอัตราไร่ละ 300 กิโลกรัม ได้ผลผลิตไร่ละ 364.5 กิโลกรัม

แปลงใส่ปุ๋ยคอกในอัตราไร่ละ 500 กิโลกรัม ได้ผลผลิตไร่ละ 375.7 กิโลกรัม

แปลงใส่ปุ๋ยคอกในอัตราไร่ละ 1000 กิโลกรัม ได้ผลผลิตไร่ละ 385.7 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่ปุ๋ยคอกในนาเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว นอกจากจะได้ผลผลิตเพิ่มตามตัวเลขการทดลอง โดยเฉลี่ยดังกล่าวแล้ว ปุ๋ยคอกยังช่วยให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้น คือ ทำให้ดินร่วนซุยขึ้น อุ้มน้ำได้ดี อากาศในดินถ่ายเทสะดวก ปรับอุณหภูมิของดินให้พอเหมาะ และช่วยเสริมสร้างกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินให้ดีขึ้นด้วย

2. ปุ๋ยมูลค่างควา เป็นปุ๋ยประเภทมูลสัตว์ ได้จากค่างควา ซึ่งค่อนข้างหายาก มักจะอยู่ตามถ้ำที่ค่างควาชอบอาศัยตามภูเขาสูง ๆ เช่น ในท้องที่อำเภอเขาไชยสน จังหวัดพัทลุง ซึ่งเป็นแหล่งหนึ่งที่มีมูลค่างความาก ปุ๋ยมูลค่างความีธาตุอาหารที่สำคัญ ๆ สูงกว่าของสัตว์อื่น ๆ มาก เหมาะสำหรับข้าว และพืชผักต่าง ๆ ปุ๋ยมูลค่างควาแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีสีดำ ซึ่งเป็นชนิดที่มีคุณภาพดี มีธาตุอาหารสูงเพราะเป็นมูลใหม่ อีกชนิดหนึ่งมีลักษณะสีขาว ซึ่งเป็นมูลค่อนข้างเก่า มีธาตุอาหารน้อยกว่าชนิดแรก ปุ๋ยค่างความีธาตุอาหารเฉลี่ย โดยประมาณ คือ ไนโตรเจน 1.06 % ฟอสฟอรัส 21.7 % และโพแทสเซียม 0.009 %

อย่างไรก็ตามปุ๋ยมูลค่างควาก็มีส่วนเสียอยู่บ้าง ปรากฏจากการใส่ในนาข้าว ทำให้ดินเหนียวแข็ง ซึ่งทำให้การไถเตรียมดินยากยิ่งขึ้น เพราะกากมูลค่างควาที่เหลือเป็นต้นเหตุ วิธีแก้ไขอาจทำได้ โดยการใส่ปุ๋ยคอกอย่างอื่นหรือปลูกพืชปุ๋ยสด

3. ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยที่ได้จากการแปรสภาพเน่าเปื่อย ผุพังของพืช หรือเศษของพืชจนถึงที่สุด อาจเกิดขึ้นได้โดยธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ก็ได้ เช่น จากฟางข้าว ตอซัง หญ้าแห้ง ใบไม้ กิ่งไม้เล็ก ๆ ตลอดจนทั้งเศษขยะต่าง ๆ ฯลฯ

จากการทดลองการใส่ปุ๋ยหมักในนาข้าว ในสถานีทดลอง 6 แห่ง คือ รังสิต โคกสำโรง พิมายพาน สุรินทร์และนครศรีธรรมราช เมื่อปี พ.ศ. 2504-2507 รวม 4 ปี ปรากฏผลผลิตข้าวเปลือกโดยเฉลี่ยพอสรุปได้ดังนี้

แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย	ได้ผลผลิตไร่ละ 312.9 กิโลกรัม
แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่	ได้ผลผลิตไร่ละ 355.5 กิโลกรัม
แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่	ได้ผลผลิตไร่ละ 398.5 กิโลกรัม
แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่	ได้ผลผลิตไร่ละ 426.5 กิโลกรัม

4. ปุ๋ยที่ได้จากการหมักขยะมูลฝอยและอุจจาระ ในการปลูกพืชประเภทผักและพืชล้มลุกต่าง ๆ กลีกรชาวจีน ญี่ปุ่น เกาหลี นิยมใช้อุจจาระ ปัสสาวะของมนุษย์ใส่เป็นปุ๋ย ดังจะเห็นกลีกรชาวนาของประเทศดังกล่าวนิยมใช้ส้วมหลุม หลังจากถ่ายสะสมไว้หลาย ๆ วัน พอเต็มส้วมก็จะกักเก็บรวมไว้ในภาชนะ เช่น โอ่ง หรือถังเก็บด้วยซีเมนต์ ผสมน้ำตามอัตราส่วนที่เหมาะสม หมักเก็บไว้ใช้รดพืชผัก ปรากฏว่าพืชผักเจริญเติบโตดีมาก ชาวสวนผักที่เป็นคนจีนในประเทศไทยก็ใช้ปุ๋ยนี้เช่นเดียวกัน ทำให้สามารถประหยัดค่าปุ๋ยวิทยาศาสตร์ได้มาก ทั้งนี้เพราะปุ๋ยอุจจาระมีคุณค่าทางอาหารของพืชสูง แต่คนไทยโดยทั่วไปไม่นิยม เพราะมีความรู้สึกว่าเป็นสิ่งสกปรกน่ารังเกียจ

เพื่อให้ปั๊พอูจจาระมีลักษณะไม่น่ารังเกียจ ได้มีผู้ทำเป็นปั๊พแห้ง โดยใช้ขยะมูลฝอย ผสมทำให้แห้งเป็นผงแล้วนำไปใช้ได้ ใช้อุจจาระปัสสาวะประมาณ 1.4 ลูกบาศก์เมตร ผสมกับขยะมูลฝอย 30 ลูกบาศก์เมตร วางสลับเป็นชั้นบาง ๆ ในหลุมขนาด 4.5 0.6 13.0 เมตร แล้วกลุกสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง ในที่สุดขยะก็จะเน่าเปื่อยและแห้ง นำมาร่อน และเลือกเศษขยะ เช่น เศษไม้ เศษแก้วทิ้ง นำปั๊พผงไปใช้ต่อไป นับว่าเป็นลู่วางที่จะแก้ปัญหามลพิษทางอากาศแกลนปั๊พวิทยาศาสตร์ได้อีกทางหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของปุ๋ยและวัสดุอินทรีย์บางชนิด

วัสดุอินทรีย์	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	N	P	O
ปุ๋ยหมักขยะ	1.38	0.57	0.90
ปุ๋ยหมักฟางข้าว	1.37	0.62	0.75
ปุ๋ยหมักคอกขี้วัวโพดผสมมูลสัตว์	2.05	2.24	0.90
มูลควาย	0.97	0.68	1.66
มูลไก่	2.52	5.70	1.96
มูลเป็ด	1.04	1.98	0.56
มูลหมู	4.70	7.40	2.95
มูลค้างคาว	1.05	14.82	1.84
อุจจาระหมัก	2.22	2.11	0.74
ถั่วพุ่ม	2.89	0.58	3.51
โสน	2.40	0.37	2.45
ปอเทือง	2.51	0.62	3.45
ถั่วเขียว	2.74	0.66	3.46
กากสาเหล้ม้า	2.06	0.17	1.07
ละอองข้าว	1.66	0.55	0.57
กากตะกอนอ้อย	1.92	4.57	0.34
กากเมล็ดละหุ่ง	6.72	2.87	1.06
กากถั่วลิสง	7.71	1.51	1.23
กากถั่วเหลือง	8.61	0.40	2.30
ขี้ข้าวโพด	1.78	0.25	1.53

ที่มา: กองกสิกรรมเคมี กรมกสิกรรม (2514)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ประเภทที่ปลูกในพื้นที่ไร่นา แล้วไถกลบหรือใช้เป็นวัสดุคลุมดินเป็นวิธีการที่ใช้พืชตระกูลถั่วปลูกบำรุงดิน โดยการปลูกก่อนหรือหลังพืชหลักแล้วไถกลบลงในดินเป็นปุ๋ยพืชสด หรืออาจปลูกรวมกันกับพืชหลักแล้วไถกลบ หรือวางไว้บนผิวดินเป็นวัสดุคลุมดิน

Rathert และ คณะ (1988) ได้ศึกษาการใช้พืชตระกูลถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดหลายชนิด ใต้นาข้าว โดยได้ระบบการปลูกพืชตระกูลถั่วที่เป็น ไม้ยืนต้นมาปลูกเป็นพืชต่างระดับแล้วใช้ใบและกิ่งของพืชตระกูลถั่วเป็นปุ๋ยพืชสด พบว่ามีพืชตระกูลถั่ว ไม้ยืนต้นหลายชนิดที่เหมาะสม ได้แก่ *Leucaena leucocephala* , *Gliricidia sepium* , *Cassia* , *Siamsea* , *Calliandra calothyrsus* *Cajanus cajan* , *Sesbania grandiflora* , *Sesbania sesban* และ *Sesbania javanica* (Gutteridge and Akkasaeng 1985 Yanthasarth et al 1987, Nair 1987)

ในบรรดาพืชตระกูลถั่วที่ไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าว ที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ *Sesbania rostrata* แหนแดง (*Azolla pinnata*) ได้รับการยอมรับว่าเป็นพืชน้ำที่มีสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (*Anabaena azolla*) ซึ่งเป็นเฟิร์นน้ำอาศัยอยู่ร่วมกับแหนแดงสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ โดยเฉพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ในนาข้าวแล้วคลุกกับดินเป็นแหล่งให้ปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งประมาณกันว่า แหนแดง 1 ตัน สามารถตรึงไนโตรเจนได้เท่ากับ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 15 กิโลกรัม (วสุรัตน์ 2530)

1. ปุ๋ยพืชสด คือปุ๋ยที่ได้จากการนำเมื่อสลายตัวของพืชประเภทตระกูลถั่ว แล้วไถกลบลงในดินในขณะที่พืชดังกล่าวกำลังอยู่ในระยะออกดอก หมักในดินทิ้งไว้ประมาณ 3-4 สัปดาห์ก็ปลูกพืชหรือข้าวได้ ปุ๋ยพืชสดพวกพืชตระกูลถั่วมีคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนสูงเพราะมีแบคทีเรียในปมราก สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาเก็บไว้ในดินได้ เมื่อไถกลบลงในดินที่จะปลูกพืชก็จะช่วยเพิ่มพูนความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ดียิ่งขึ้น โดยไม่ต้องใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ คุณประโยชน์โดยทั่วไปก็คล้ายคลึงกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักที่กล่าวแล้ว

ลักษณะของพืชที่เหมาะสมในการปลูกทำปุ๋ยพืชสด คือ

1. มีอายุสั้น เจริญเติบโตดีและเร็ว มีน้ำหนักพืชสดไม่ต่ำกว่าไร่ละ 16,000 กิโลกรัม
2. ทนความแห้งแล้งได้ดี เพราะส่วนมากจะปลูกหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวหรือพืชอื่นก่อนปลูกครั้งต่อไป
3. ปลูกง่าย มีความต้านทานโรคแมลงได้ดี
4. สามารถปลูกได้และเติบโตดีระหว่างแถวพืชหลักที่ปลูกเพื่อเก็บผล ทำให้เกิดประโยชน์หลายด้านในเวลาเดียวกัน ชนิดของพืชที่เหมาะสมในการปลูกเป็นปุ๋ยพืชสด มีดังนี้คือ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว โสน ปอเทือง และถั่วแระ

จากการทดลองที่สถานีทดลองข้าวรังสิต บางเขน สุรินทร์ ชุมแพ และในท้องถิ่นอำเภอ
ดอยสะเก็ด ระหว่างปี 2504- 2507 ปรากฏว่าได้ผลผลิตของข้าวเปลือกโดยเฉลี่ย ดังนี้

แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย	ได้ผลผลิตไร่ละ 315.4 กิโลกรัม
แปลงที่ใช้ปุ๋ยพืชสด	ได้ผลผลิตไร่ละ 394.6 กิโลกรัม
แปลงที่ใช้ปุ๋ยพืชสด + ปุ๋ยเคมีสูตร 2-4-4 กก./ไร่	ได้ผลผลิตไร่ละ 484.2 กิโลกรัม
แปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 2-4-4 กก./ไร่	ได้ผลผลิตไร่ละ 371.4 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศไทยมีการนำ EM มาเผยแพร่โดยมูลนิธิ บำเพ็ญประโยชน์ด้วยกิจกรรม ทางศาสนา โดยใช้ชื่อว่า เกษตรธรรมชาติวิเศษ เมื่อ ปี พ.ศ. 2529 โดยแรกเริ่มตั้งเป็นโรงเรียนศูนย์ฝึกอาชีพ เกษตรสงเคราะห์ผาง ที่ จ.เชียงใหม่ ต่อมาได้ย้ายมาอยู่ที่ อ.แก่งคอย จ.สระบุรี ตั้งศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติวิเศษขึ้นด้วย เริ่มเผยแพร่แก่เกษตรกรเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2531 จนถึงปัจจุบัน มีการอบรม ณ ศูนย์ฝึกอบรมฯ ไปแล้ว 180 รุ่น นอกจากนี้ ยังมีการอบรมแก่ชาวต่างประเทศ อีกเป็นประจำ



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของ EM โดยทั่วไป

ซึ่งการเผยแพร่ในประเทศไทย ยังคิดไปในรูปแบบของการเผยแพร่ศาสนาของญี่ปุ่นไป ด้วยในด้านการอบรมที่ผ่านมา 12 ปี การขยายผลเป็นไปได้ค่อนข้างช้ามากซึ่งคิดขัดในรูปของการที่มีการฝึกอบรม แต่ในขณะเดียวกันไม่ได้มีการติดตามผลของการฝึกอบรมมากนัก การหาซื้อ EM นั้นยาก ถ้าเทียบกับจำนวนประชากรในประเทศไทยเรียกได้ว่า ยังไม่ถึง 1 % ของการเผยแพร่ ในขณะเดียวกัน องค์กรที่เผยแพร่เป็นองค์กรต่างประเทศ ทำให้ไม่ได้รับความช่วยเหลือหรือสนับสนุนเท่าที่ควรจากภาครัฐบาล และหน่วยงานกรมการเกษตร เพราะจะมองว่าเป็นการเข้าไปช่วยเผยแพร่ศาสนาของญี่ปุ่น ซึ่งเป็นกรมมองมุมแคบ

ขณะเดียวกัน EM ไม่ได้มีการจำหน่ายเพื่อเป็นผลประโยชน์ทางการค้า ทำให้ไม่มีผลประโยชน์กับผู้ที่มีอำนาจ ถึงแม้ว่าจะมีการใช้ก็ไม่ถึงกับแพร่หลายเท่าที่ควร เพราะจะโดนโจมตีต่อต้านตลอด เพราะว่า ถ้า EM แพร่หลาย ก็กลายเป็นการตัดช่องทางหากินของเปอร์เซ็นต์หัวคิวของพวกเคมี ซึ่งทุกวันนี้กลายเป็นปัญหาระดับ ประเทศเกษตรกรจึงต้องก้มหน้ารับกรรมเพราะเลือกผู้บริหารประเทศที่ไม่มิมโนธรรม จนกระทั่งในหลวงทรงมีพระราชดำริถึงการห้วงไยราษฎรในเรื่องความเสื่อมโทรมของพื้นดินทำกิน มีโครงการต่าง ๆ อันเนื่องมาจากพระราชดำริเข้ามา ถ้าสังเกตให้ดีแล้วในหลวงท่านทรงให้มีทำการเกษตรแบบปลอดสารพิษมาตลอด ดังนั้นจึงเกิดกระแสเรื่องปลอด

สารพิษเป็นที่พูดถึงกันอย่างแพร่หลายกรมส่งเสริมการเกษตรก็มีคำแนะนำแนวทฤษฎีใหม่มาเผยแพร่ แต่

ในขณะเดียวกัน มีผู้ที่รัฐบาลแจกจ่ายให้เกษตรกรก็ยังมีเป็นจำนวนมาก ขยายไปทั่วประเทศ เคมีกำจัดแมลงอยู่ ซึ่ง

ทุก ๆ สหกรณ์หรือร้านค้าที่ขังขายในรูปของเคมีอยู่นั้นเองเกิดช่องว่างของกระแสปลอดสารขึ้นก็มี พ่อค้าหัวใสอาศัยจุดโหว่นี้ ผลิตรายชีวภาพ สารกำจัดแมลงแบบปลอดสาร ออกมาจำหน่ายให้กับ เกษตรกร แต่ราคาค่อนข้างสูง ทำให้ต้นทุนของเกษตรกรสูงขึ้น เป็นเหตุให้พืชผักปลอดสารพิษขาย ในตลาดราคาสูง ขายได้เฉพาะคนกลุ่มชั้นสูง ชั้นกลางชั้นล่างไม่มีโอกาสได้ซื้อไปบริโภค ดังกล่าวมา นี้ชี้ให้เห็นถึงความต้องการของอุปสงค์ทางการเกษตรที่เป็นไปใน ลักษณะปลอดสารพิษนั้น หาได้ ค่อนข้างยาก ทำให้การที่จะเผยแพร่ โครงการปลอดสารพิษนั้น ทำได้ยาก แม้กระทั่งเจ้าหน้าที่ของกรม วิชาการเกษตรหรือกรมส่งเสริมการเกษตรที่ดี ก็ยังแนะนำเกษตรกรในรูปแบบปลอดภัย แค่นั้นเอง เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของภาครัฐไม่ค่อยจะยอมรับ หรือ ไม่เคยศึกษาถึงผลสำเร็จของการใช้สารชีวภาพ เท่าที่ควร การทำงานแบบระบบราชการไม่เข้าถึงเกษตรกรผู้เดือดร้อนในพื้นที่โดยตรง ทำให้ เกษตรกรไม่มีความรู้ ความเข้าใจ ใครแนะนำแบบคิด ๆ ก็ทำตามกันไปเกษตรกรจึงไม่สามารถล้มตา อ้าปากได้ โรงเรียนเกษตรทฤษฎีใหม่ถาวรพัฒนา จึงได้นำเทคนิคใช้จุลินทรีย์ (EM) มาต่อยอด มีการ นำมาทดลองใช้ และคิดค้นเพิ่มเติมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยใช้ศรัทธา

มาเป็นที่ตั้ง จึงมีการเติมสัญลักษณ์ เป็น EM - T เพื่อให้เกษตรกรที่มีศรัทธาต่อหลวงพ่อบ นำ มาปฏิบัติใช้ โดยเน้นให้เกษตรกรมีส่วนร่วม นำแนวทฤษฎีใหม่ของในหลวงมาเผยแพร่ให้เกษตรกร สามารถนำไปปฏิบัติจริงได้ง่ายยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันมีการจัดการวางแผนเรื่องการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับตลาด โดยจัดหาตลาดมารับผลผลิตให้แก่กลุ่มเกษตรกร ที่ปลอดสารพิษ เพื่อเป็นการ สนองแนวทางตาม โครงการพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง ให้เกษตรกรมีความกินดีอยู่ดี ทุกวันนี้มี หลายบริษัทให้การสนับสนุน โครงการฯ อยู่หลายบริษัทและหลายหน่วยงาน

อาทิเช่น โครงการเมืองสหกรณ์ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ , KTK UNION GROUP CO. LTD , บริษัทอุตสาหกรรมชีววัฒน์ จำกัด บริษัทนครหลวงค้าข้าวจำกัด โรงสีข้าวพระราชทาน โดย พระพิศาลพัฒนาร (ถาวรจิตตถาวร โร) บริษัทสยามเฮลท์ฟู๊ดส์ โปรดักส์ , กลุ่มในเครือห้างเดอะมอลล์ ฯลฯ ซึ่งบริษัททั้งหลายเหล่านี้ พร้อมให้การสนับสนุน และรับซื้อผลิตภัณฑ์ทางเกษตรปลอดสารอยู่ แล้ว ขณะเดียวกัน โครงการนี้เป็นการคืนกำไรและสร้างโอกาสให้แก่เกษตรกร

2.2 การประยุกต์ใช้ EM - T

EM - T เป็นจุลินทรีย์สังขสิทธิ์มีชีวิตในธรรมชาติ ซึ่งคัดเลือกสายพันธุ์เฉพาะกลุ่มสร้างสรรค์ หรือ กลุ่มที่มีประโยชน์มาใช้ในการ เกษตร , ประมง , ปศุสัตว์ , สิ่งแวดล้อม

การประยุกต์ใช้ เพื่อให้เกิดประโยชน์และวิธีใช้มี 2 แบบคือ

1. การใช้ EM-T แบบน้ำ
2. การใช้ EM-T แบบแห้ง

2.2.1 การใช้ EM-T แบบน้ำ

EM-T ขยาย

การขยาย EM-T1 คือการทำให้จุลินทรีย์มีความแข็งแรง และเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยการจัดสภาพแวดล้อมให้อาหารจึงมีวิธีการขยายดังนี้

ส่วนผสม

EM-T 1 ส่วน
กากน้ำตาล 1 ส่วน
น้ำสะอาด 20 ส่วน

บรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดเพื่อหมักประมาณ 7 วัน จึงนำมาใช้ ในช่วงการหมัก ช่องว่างในภาชนะที่ใช้หมักควรมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตาราง 2.2 แสดงวิธีการใช้ EM-T แบบน้ำ

การประยุกต์ใช้ EM-T	อัตราส่วนและวิธีการใช้
ใช้กับพืช, ดิน, ปุ๋ย	EM-T 1 ส่วน : น้ำ 1000 ส่วน ผิดพัน, รดต้นไม้พืชผักทุกวันเว้นวัน หรือสัปดาห์ 2-3 ครั้งหรือใช้ผสมกับปุ๋ยคอก
ใช้กับสัตว์เลี้ยง การปศุสัตว์, ประมง	EM- 1 ส่วน : น้ำ 1000-10000 ส่วนผสมน้ำให้สัตว์กิน EM- T1 ส่วน : น้ำ 100 ส่วน ล้าง, รด, พัน, ราดคอกสัตว์บำบัดน้ำเสียในฟาร์ม EM 1 ช้อนโต๊ะ : อาหารสัตว์ 1 กก. ผสมในอาหารให้สัตว์กิน เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและรักษาเกี่ยวกับโรคทางเดินอาหาร
ใช้บำบัดน้ำเสีย, บำบัดกลิ่นเหม็นและกำจัดแมลงวันจากขยะ	EM - T 1 ส่วน : น้ำ 100 ส่วน ผิดพันให้ทั่วทุก ๆ 7 วัน จะลดกลิ่นเหม็นภายใน 24 ชม.
ใช้กำจัดกลิ่นในส้วม, ขจัดคาบ ไขมันเกาะติดหรือราดในท่อน้ำทิ้งดับกลิ่น	EM - T 1 ส่วน : น้ำ 100 ส่วน ราดส้วมหรือท่อน้ำทิ้งทุก ๆ 7-15 วัน จะช่วยกำจัดกลิ่นและลดปัญหาส้วมเต็ม

2.2.2 การใช้ EM - T แบบแห้ง

การใช้ EM - T แบบแห้งเป็นการนำเอาอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เช่น หญ้า ฟาง ใบไม้ ผักตบชวา ชี้อ่อน มูลสัตว์ต่าง ๆ ดินที่แห้งแล้วมาหมักกับ EM-T โดยมีส่วนผสมของกากน้ำตาล (อาหารจุลินทรีย์) และรำละเอียด โดยมีแกลบที่เป็นแกลบดิบหรือถ่านแกลบ แล้วแต่วัตถุประสงค์ มาผสมด้วยนำไปใช้ลักษณะคล้าย "ปุ๋ย" มีหลายชนิดเพื่อสะดวกต่อการเรียนรู้ และการนำไปใช้ขอเรียกว่า "ปุ๋ย" แต่จริง ๆ มิใช่ปุ๋ย แต่เป็นการหมักเพื่อให้เกิดการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในอินทรีย์วัตถุนั้น ๆ มี 4 ประเภทคือ

1. ปุ๋ยชีวภาพฟาง
2. ปุ๋ยคอกหมัก
3. ปุ๋ยหมักดิน
4. ปุ๋ย 24 ชั่วโมง

1. ปุ๋ยชีวภาพ แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

- 1.1 ปุ๋ยชีวภาพฟาง
- 1.2 ปุ๋ยชีวภาพมูลสัตว์
- 1.3 ปุ๋ยชีวภาพชนิดพิเศษ

ปุ๋ยชีวภาพฟาง

จะใช้ฟางหรืออื่น ๆ เช่นหญ้า ผักตบชวา ใบไม้ ชี้อ่อน ชานอ้อย เปลือกถั่ว ฯลฯ มาผสมกับแกลบดิบและรำละเอียด เป็นวัสดุหลักผสมด้วย EM - T กากน้ำตาล และน้ำ ดังนี้

ส่วนผสม

1. ฟางแห้ง 1 ส่วน
2. แกลบดิบ 1 ส่วน
3. รำละเอียด 1 ส่วน

EM-T + กากน้ำตาล + น้ำ อัตราส่วน 1:1: 500 ความชื้น 50 % หรือ

EM - T + กากน้ำตาลอย่างละ 1 ช้อนแกง ต่อน้ำ 5 ลิตร หรือใช้ EM-T 1 ฝา กากน้ำตาล 2 ฝา ผสมน้ำ 1 บัวรดน้ำ (ประมาณ 10 ลิตร)

วิธีทำ

- ใช้ฟางหรือวัสดุอื่น ๆ ที่แห้ง ตัดให้สั้น ๆ ประมาณ 2 เซนติเมตร เมื่อปริมาณพอก็นำมาผสมกับแกลบที่เตรียมไว้
- นำ EM-T + กากน้ำตาล + น้ำที่ผสมไว้ใส่บัวรดน้ำให้ชุ่ม คลุกให้ทั่วพอเปียก ไม่แฉะเกินไปหรือแห้งเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- นำรำละเอียดมาผสมคลุกให้ทั่ว แล้วทดสอบความชื้นด้วยการกำวัสดุหมักแล้วบีบให้แน่น ถ้ามีน้ำไม่ว่ากรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลแสดงว่าน้ำมาก ถ้าไม่มีน้ำแบมือแล้วเป็นก้อนปล่อยลงพื้นแตกกระจายนั้น หมายถึงว่าความชื้นพอดีประมาณ 50 %

วิธีหมัก

เมื่อผสมและตรวจสอบความชื้น โดยพอเหมาะแล้ว ก็นำไปหมักดังนี้

1. ใช้ฟางแห้ง - หญ้าแห้ง รองพื้น สูงประมาณ 15 เซนติเมตร คลุมด้วยกระสอบ
2. นำปุ๋ยชีวภาพฟางกองบนกระสอบ สูงประมาณ 30 เซนติเมตร
3. คลุมด้วยกระสอบป่าน หลังจากหมักได้ 5 ชั่วโมง ต้องตรวจสอบอุณหภูมิโดยใช้ปรอทวัด หากอุณหภูมิโดยใช้ปรอทวัด หากอุณหภูมิเกิน 45°C ต้องกลับกอง โดยเปิดกระสอบคลุมออกกระจายกองให้เตี๋ย กลับส่วนล่างขึ้นมา นำส่วนบนลงล่าง ถ้าตรวจสอบได้ทุกชั่วโมง ปุ๋ยจะมีคุณภาพดีมาก หมายเหตุ

1. วัสดุที่นำมาทำปุ๋ยชีวภาพต้องสะอาด
2. EM-T + กากน้ำตาล + น้ำสะอาด อัตราส่วน 1:1 : 500 หากไม่พอก็ผสมเพิ่มใหม่ หากเหลือก็นำไปรดพืชผัก
3. การทำปุ๋ยชีวภาพ ฟาง ควบคุมอุณหภูมิยาก ถ้าร้อนมากจะไหม้เป็นสีแดง ทำให้คุณภาพต่ำ
4. ถ้ามีฟางหรือวัสดุอื่นมาก จะนำไปทำปุ๋ย 24 ชั่วโมงจะดีกว่า

ประโยชน์ของปุ๋ยชีวภาพฟาง

ปุ๋ยชีวภาพมีคุณภาพในการปรับปรุงดินสูง และเหมาะสมกับพืชใบ ขณะนี้ก็มีผู้นำไปผสมเป็นอาหารเห็ดในกระบวนการหมักก่อนนำขึ้นชั้น

ปุ๋ยชีวภาพมูลสัตว์

มูลสัตว์ที่นิยมคือ มูลไก่ สุกร นกกระทา ค้างคาว ส่วนสัตว์กินหญ้า เช่น วัว ควาย ม้า ฯลฯ จะนำมามูลไปทำปุ๋ยคอกหมัก จะทำปุ๋ยชีวภาพก็ได้แต่ต้องหมักให้มีความร้อนสูงหน่อย เช่นการกองกับพื้น

ส่วนผสม

1. มูลสัตว์ 1 ส่วน (ป็นละเอียด)
2. แกลบ 1 ส่วน
3. รำละเอียด 1 ส่วน

EM-T1 + กากน้ำตาล + น้ำเหมือนที่อธิบายมาแล้วในปุ๋ยชีวภาพฟาง

วิธีทำ

นำมูลสัตว์ผสมแกลบ EM-T + กากน้ำตาล+น้ำ (1:1:500) ใส่บัวรดให้ทั่ว คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตรวจสอบความชื้นพอเหมาะ บีบดู น้ำไม่ไหล นำรำละเอียดมาผสม ตรวจสอบความชื้นและหมัก

วิธีหมัก

ทำได้หลายวิธี เช่น

- กองกับพื้นมีฟาง - กระสอบรอง

กองกับพื้น

- ใส่ภาชนะ

- ใส่ถุง-กระสอบ

1. กองกับพื้นมีฟาง-กระสอบรองเหมือนปุ๋ยชีวภาพฟาง คลุมด้วยกระสอบป่าน ใช้
ปรอทวัดอุณหภูมิ หากเกิน 50 ° ให้กลับกอง

2. กองกับพื้นคอนกรีตหรือดินแข็ง ในร่มเงา กันแดดฝนได้ กองให้หนา
ประมาณ 10-15 เซนติเมตร แล้วคลุมด้วยกระสอบป่าน หรือสแลนก็ได้ กลับกองวันละ 1-2 ครั้ง หรือ
ไม่กลับเลยก็ได้ แต่จะเป็นก้อนแข็ง ต้องบดละเอียดก่อนนำไปใช้

หากกลับเสมอ ๆ จะช่วยให้การหมักทั่วถึง และปุ๋ยมีคุณภาพดีกว่าไม่กลับกองเลย และแห้งช้าด้วย

3. ภาชนะหมัก เช่น ตะกร้า เข่ง

- ใส่ประมาณ ? ของตะกร้าหรือเข่งแล้วคลุมด้วยกระสอบป่านหรือสแลน

4. ถุงหรือกระสอบ เป็นประเภทกระสอบป่านก็ได้ หรือกระสอบปุ๋ยวิทยาศาสตร์หรือกระสอบอาหารสัตว์ที่ใช้อาหารหมดแล้วนำมาบรรจุ 2 แบบคือ

- บรรจุครั้งเดียว วางตั้ง เปิดปากทิ้งไว้เลย ๆ

จะหมักวิธีใดก็ตาม ก่อนนำไปใช้ควรคลุกเคล้าให้เข้ากัน หรือบดให้ละเอียด ไม่
เป็นก้อน หรือพัฒนาต่อเป็นปุ๋ยเม็ด เพื่อสะดวกต่อการใช้

การทำปุ๋ยเม็ด

1. บดให้ละเอียด

2. นำแป้งเปียกมาผสมให้ทั่ว

3. นำเข้าเครื่องอัดเม็ด

4. ผึ่งลมให้แห้ง แล้วเก็บใส่ถุงเก็บ หรือจำหน่าย หรือนำไปใช้

ประโยชน์ของปุ๋ยชีวภาพมูลสัตว์

1. ใช้กับพืช ทั้งรองก้นหลุมและคลุมดิน

- รองก้นหลุม คือใส่ร่วมกับอินทรีย์วัตถุที่ใช้รองก้นหลุม

- คลุมดิน คือ โรยผิวดินบนแปลงผัก หรือใต้ทรงพุ่มของต้นไม้ โดยไม่ต้องไถพรวน

2. ใช้กับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

- เพื่อการบำบัดบ่อเลี้ยงก่อนปล่อยน้ำ

- เพื่อบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยง

3. ใช้กับสิ่งแวดล้อม

- บำบัดกลิ่นร่วมกับ EM -T ขยาย

- บำบัดน้ำเสียร่วมกับ EM -T ขยาย

- ใช้ในการหมักเศษอาหาร หรือขยะเปียกเพื่อนำมาใช้ประโยชน์

4. ผลิตเป็นสินค้า เพราะสามารถเก็บได้นาน ประมาณ 5-6 เดือน

การทำนา ทำไร จะหว่านปุ๋ยชีวภาพมูลสัตว์ พร้อม ผิด EM-T ขยายผสมน้ำ 1:1,000 เท่า ก่อนไถ-คราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เพื่อปลูกหรือค้ากำไร หรือใส่ภายหลังการเก็บเกี่ยว แล้วกลบฟางไว้ หรือใส่เพื่อการปราบวัชพืชด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยชีวภาพสูตรพิเศษ

ปุ๋ยชีวภาพสูตรพิเศษ มีเป้าหมายเพื่อนำไปผสมอาหารสัตว์ หรือจะ ใช้กับการเพาะปลูกก็ได้ผลดีมาก แต่การลงทุนสูง จึงขอแนะนำเสนอเพื่อการเลี้ยงสัตว์

ส่วนผสม

เปลือกหอย, กระจกปูล, กระจก (ปูน) และถ่านแกลบ อย่างละ 0.2 กิโลกรัม ปลาป่น, กากถั่ว อย่างละ 6.0 กิโลกรัม รำอ่อน 20.0 กิโลกรัม EM-T1 + กากน้ำตาล+น้ำ (1:1:500)

วิธีทำ

1. ผสมวัสดุทั้งหมดเข้าด้วยกัน
2. นำ EM-T + กากน้ำตาล ผสมน้ำฉีดพ่น ฝอย คลุกให้เข้ากันความชื้น 40 %

วิธีหมัก

1. หมักในกระสอบ

นำปุ๋ยบรรจุกระสอบป่าน มัดปากให้แน่น แล้วนำลงถุงพลาสติกดำที่บดแสงอีกครั้งหนึ่ง มัดปากถุงดำให้แน่น ไม่ให้อากาศเข้าออกได้

หมักไว้ 3 วัน นำออกจากถุงดำ วางไว้ในร่มอีก 3 วัน โดยกลับกระสอบทุกวัน จะมีความร้อนและเย็นลง

2. หมักในถังพลาสติก

ปิดฝาแน่นไม่ให้อากาศเข้าออก 3 วัน แล้วนำมาหมักนอกถัง เหมือนหมักปุ๋ยชีวภาพ กลับเสมอ ๆ 3 วัน ก็นำไปใช้ได้

ประโยชน์

1. ใช้ผสมอาหารสัตว์ 1-2 % เพื่อเลี้ยงไก่ สุกร ปลา กุ้ง กบ ตะพาบ ปลาดุก
2. ใช้กับแปลงผัก 50-100 กรัม ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร
3. ใส่ลงแช่น้ำ 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 200 ลิตร (เป็นปุ๋ยชีวภาพน้ำ) หมักไว้ 12-24 ชั่วโมง นำไปรดพืชผัก โดยเฉพาะผักปลูกใหม่ด้วยกล้าจะฟื้นเร็ว
4. ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

2. ปุ๋ยคอกหมัก

ใช้ประโยชน์ใกล้เคียงปุ๋ยชีวภาพมูลสัตว์ แต่คุณภาพจะด้อยกว่า เพราะส่วนผสมเป็นปุ๋ยคอก(มูลสัตว์ กินพืช) เช่น วัว ควาย แพะ แกะ ม้า เป็นต้น

ส่วนผสม

ปุ๋ยคอก 1 ส่วน

ถ่านแกลบ (แกลบดำ) 1 ส่วน

รำละเอียด 1 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดย (EM-T + กากน้ำตาล+น้ำ (1:1:500) เหมือนการหมักปุ๋ยชีวภาพ) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

1. ผสมปุ๋ยคอกกับถ่านแกลบก่อน แล้ว รด EM-T ให้ชุ่ม ความชื้น 50 %
2. นำรำเข้าผสม

วิธีหมัก นิยมกองกับพื้น เพราะต้องกลับกองทุกวัน

หมายเหตุ

1. การหมักปุ๋ยคอกหมัก ต้องหมักกับพื้นให้มีความร้อนสูงเพื่อฆ่าเมล็ดพันธุ์พืชที่ปนอยู่กับมูลสัตว์ หากเป็นมูลสัตว์เลี้ยงแบบขุน ก็นำมาทำ ปุ๋ยชีวภาพ ได้เช่นกัน
2. ปุ๋ยคอกหมักสามารถนำอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ มาผสมอีกก็ได้ เช่น กากมะพร้าว กากถั่วเหลือง เปลือกไข่ (ป่น) กระดองปู (ป่น) หรือdungเพาะเห็ด หลังเก็บผลผลิตแล้ว

ปุ๋ยหมักดิน

เพื่อประโยชน์ในการเพาะกล้า ชำกิ่ง

ส่วนผสม

ดินแห้งละเอียด 5 ส่วน

ปุ๋ยคอก 2 ส่วน

ถ่านแกลบ 2 ส่วน

รำละเอียด 2 ส่วน

EM-T + กากน้ำตาล+น้ำ (1:1:500) ความชื้น 50 %

วิธีทำ

1. ปั้นดินให้ละเอียด ผสม มูลสัตว์และถ่านแกลบ
2. รด EM-T ให้เปียก คลุกให้ทั่ว
3. นำรำละเอียดเข้าผสม ตรวจสอบความชื้น 50 %
4. หากดินละเอียดและปนมาก ลักษณะเป็นฝุ่น ควรผสมปุ๋ยคอกกับแกลบก่อนแล้วรด EM-T ให้เปียก จึงนำดินและรำมาผสม หากใส่ดินละเอียดก่อนจะเป็นก้อน ผสมยาก

วิธีหมัก

1. กองบนพื้นคอนกรีต หรือพื้นดินแข็ง
2. กลับทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง

หากไม่กลับเลยจะเป็นก้อนแข็ง เวลาจะใช้ต้องป่นอีกครั้ง

วิธีใช้

ต้องนำไปผสมกับดิน ถ่านแกลบ และอื่น ๆ อีก

เพื่อการเพาะกล้าส่วนผสม

ปุ๋ยหมักดิน 1 ส่วน

ดินดี ๆ 1 ส่วน

ถ่านแกลบ 1 ส่วน

หากดินที่นำมาผสมมีคุณภาพดี จะเพิ่มเป็น 2-4 ส่วนก็ได้ และเพิ่มถ่านแกลบตามให้ได้ปริมาณ ? ของปุ๋ยหมักและดินที่นำมาผสมเช่นถ้าปุ๋ยหมักดิน 1 ส่วน ดิน 3 ส่วน ก็ใช้ถ่านแกลบ 2 ส่วน เป็นต้นเพื่อจำกัด

ส่วนผสมเหมือนกับการเพาะกล้าแต่ให้เพิ่มขุยมะพร้าวหรือขี้เลื่อยเข้าไปอีก 1 ส่วน (ถ้าเป็นขุยมะพร้าวหรือขี้เลื่อยเข้าไปอีก 1 ส่วน (ถ้าเป็นขุยมะพร้าวจะดีกว่า) และถ้าหากเพิ่มส่วนของดินมากขึ้น ก็เพิ่มตามจำนวนถ่านแกลบ

ปุ๋ยหมัก 24 ชั่วโมง

เป็นการนำปุ๋ยชีวภาพขยายให้สามารถนำไปใช้ได้จำนวนมาก ๆ หากมีวัชพืชมาก หมักได้ทั้งสดและแห้งแต่ควรตัดทอนให้สั้น ๆ ประมาณ 2-3 นิ้ว หรือแล้วแต่ขนาดของพืช เช่น

- ฟาง ตัดยาวประมาณ 3-4 นิ้ว

- ต้นหญ้าจรจบ 2-3 นิ้ว

- ต้นข้าวโพด 1-2 นิ้ว ฯลฯ

ส่วนผสม

ฟาง 10 ส่วน

รำละเอียด ? ส่วน

ปุ๋ยชีวภาพ ? ส่วน

EM-T กากน้ำตาล + น้ำตาล + น้ำ (1:1:500) ใส่บัวรดน้ำหรือเครื่องฉีดพ่น

วิธีทำ

1. นำฟางหรือวัสดุที่นำมาทำให้เปียกด้วยการพ่นหรือแช่น้ำผสม EM-T ก่อนแล้วนำขึ้น

2. นำรำละเอียดกับปุ๋ยชีวภาพผสมกันแล้วนำไปผสมกับฟาง

วิธีหมัก

กองกับพื้นสูงประมาณ 1 ฟุต คลุมด้วยกระสอบป่าน หรือสแลน หรือคลุม

ด้วยหญ้าฟางหรือใบไม้ 18 ชั่วโมง กลับกอง 1 ครั้ง หลังจากนั้นอีก 6 ชั่วโมง ก็นำไปใช้ได้

หากเป็นวัสดุ เพิ่ม EM-TI และกากน้ำตาล ตามสมควร เมื่อหมักครบ 24 ชั่วโมง แล้วควรนำไปใช้ทันที

2.3 การหาปริมาณความชื้น (Measurement of Moisture Content)

การหาปริมาณความชื้นโดยหลักการแล้ว สามารถทำได้โดยนำวัตถุที่ต้องการหาความชื้นมาชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกค่าไว้เป็นมวลวัตถุเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 – 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นบันทึกค่าไว้เป็นมวลวัตถุที่แห้ง แล้วนำมาคำนวณตามสูตร

% ความชื้น (ต่อน้ำหนักเปียก) = (มวลวัตถุเริ่มต้น – มวลวัตถุที่แห้ง) x 100 / มวลวัตถุเริ่มต้น

% ความชื้น (ต่อน้ำหนักแห้ง) = (มวลวัตถุเริ่มต้น – มวลวัตถุที่แห้ง) x 100 / มวลวัตถุแห้ง

ตัวอย่างการคำนวณหา % ความชื้น (Percentage Moisture)

สมมติว่ามีตัวอย่างดิน 100 กรัม หลังจากอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

ชั่งน้ำหนักได้ 80 กรัม % ความชื้นมีค่าเท่าไร (ให้ขึ้นกับน้ำหนักเริ่มต้น)

น้ำหนักความชื้น = $100 - 87 = 13$ กรัม

% ความชื้น (เปียก) = $(100 - 87) \times 100 / 100 = 13\%$

% ความชื้นขึ้นกับน้ำหนักแห้ง $(100 - 87) \times 87 / 100 = 14.94\%$ แต่การใช้ตู้อบนี้นั้นจะใช้เวลานาน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เวลานานกว่า 4 ชั่วโมง ในการอบ

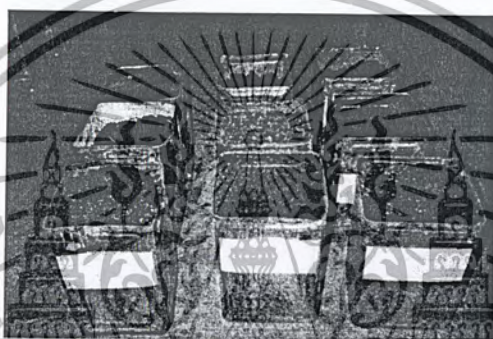
โดยปัจจุบันนี้มีเครื่องมือในการหาปริมาณความชื้นมากมาย เช่น

1. The Sauter Infra-red Moisture Bance เครื่องมือนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ให้ความร้อน (Infrared Lamp) และส่วนที่วัดน้ำหนัก (Balance Weight) ดังรูปข้างล่าง

วิธีใช้ ใส่วัตถุที่ต้องการหาความชื้นลงในจาน (plate) กดปุ่มเริ่มทำงาน (start) แล้วรอประมาณ 5-15 นาที (ขึ้นอยู่กับแต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่น) เครื่องก็จะอ่านค่าความชื้นให้อัตโนมัติเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักการทํางาน

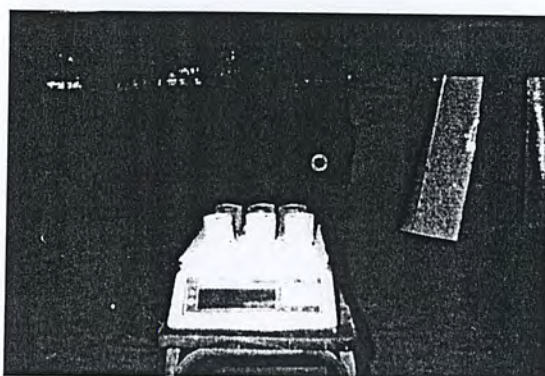
เมื่อนําวัตถุคืบใส่ไว้ในจานประมาณ 10 กรัม แล้วกดปุ่มเริ่มทํางาน (start) เครื่องจะทํากการวัดน้ำหนักที่ชั่งไว้ แล้วเก็บข้อมูลเป็น w_1 แล้วเครื่องก็จะทํากการให้ความร้อนจาก Infrared lamp เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา t_1 เครื่องก็จะทํากการวัดน้ำหนักเป็น w_2 จากนั้นก็จะให้ความร้อนอีกครั้งเป็นเวลา t_2 แล้วจึงวัดน้ำหนักเป็น w_3 โดยตัวเครื่องจะนําค่า w_3 นี้ไปเปรียบเทียบกับ w_2 ว่ามีค่าน้อยกว่าหรือไม่ หาก w_3 มีค่าน้อยกว่า w_2 เครื่องก็จะทํากการต่อไปจนกระทั่งถึงเวลาที่ t_3 ใด ๆ หรือน้ำหนักไม่ลดลงอีกแล้วเครื่องก็จะทํากการยุติการให้ความร้อนแล้วคำนวณปริมาณความชื้นออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ที่หน้าปัด การรายงานผล ควรทํากการทดสอบ อย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วจึงนำผลที่ได้แต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 2.2 แสดงไปยชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะเตาอบ



รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องชั่งแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกํารองงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 บอลแบร์ริง (Ball Bearing)

3.0 บทนำ

แบร์ริงมีหน้าที่ รับแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกน และเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการส่งกำลัง ทำได้โดยการให้แบร์ริงมีความเสียดทานน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียพลังงานกลหายไปเป็นความร้อนในน้ำมันให้น้อยที่สุด



รูป 3.1 ส่วนต่างๆของบอลแบร์ริง

แบร์ริงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. เจอร์นัลแบร์ริง
2. บอลแบร์ริง

3.1 เจอร์นัลแบร์ริง

เจอร์นัลแบร์ริงประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ เฟลาหมุนซึ่งเรียกว่า เจอร์นัล และส่วนที่รองรับเฟลา เรียกว่าแบร์ริง

3.2 โรลลิงแบร์ริง หรือ บอลแบร์ริง

หมายถึง แบร์ริงชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบร์ริงที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบบกลิ้ง (rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (sliding contact) เนื่องจากแบร์ริงชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริกชันแบร์ริง (antifriction bearings) ตัวอย่างเช่น บอลแบร์ริง (ball bearings) หรือตลับลูกปืน ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับรับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน

ข้อดีของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัล

1. มีความเสียดทานขณะสตาร์ทน้อย (low starting friction torque) จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง
2. ง่ายต่อการหล่อลื่นและดูแลรักษา โดยเฉพาะชนิดที่อัดด้วยไขมันหรือจาระบี มาจากโรงงานด้วยแล้วเกือบจะไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
3. ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
4. ใช้เนื้อที่ทางด้านแกน (axial space) น้อย
5. สามารถรับแรงรูน (thrust load) และแรงในแนวรัศมี (radial load) ได้พร้อมกัน ยกเว้นโรลลิงแบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (straight roller bearing) สำหรับเจอร์นัลรับแรงได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
6. สามารถที่จะทราบได้ว่าแบร์ริงกำลังจะเสีย โดยการสังเกตจากเสียงดังซึ่งผิดไปจากปกติ
7. มีเคลียร์รันซ์น้อยมาก จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
8. สามารถใช้รองรับเพลลาในตำแหน่งใดๆ เช่น ใช้รองรับเพลลา ซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
9. ทำการติดตั้งได้เปรียบ

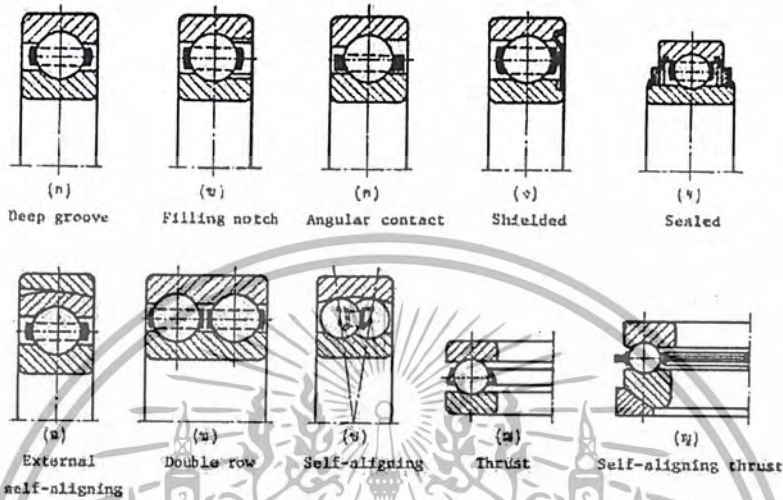
ข้อเสียของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

1. ใช้เนื้อที่ทางด้านรัศมี (radial space) มากกว่า
2. โดยปกติแล้วราคาแพงกว่า
3. ขณะทำงานจะมีเสียงดังกว่า เนื่องจากการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและวงแหวนบ้างในบางขณะ
4. อายุการใช้งานสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูงและกระทำซ้ำกัน (repeated load) จึงทำให้วัสดุเกิดความล้า
5. เมื่อมีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานลดลงได้มาก

3.2.1 ชนิดของบอลแบร์ริง

โดยทั่วไปแล้วโรลลิงแบร์ริงจะแบ่งออกเป็นสองพวกใหญ่ๆ คือ บอลแบร์ริงซึ่งมีลูกกลิ้ง (rolling element) เป็นรูปทรงกลม และโรลเลอร์แบร์ริง (rolling bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง (straight roller) หรือเป็นรูปทรงกระบอกเรียวก็ได้ (tapered roller) โดยปกติแล้วแบร์ริงเหล่านี้จะรับแรงได้ทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรูน ยกเว้นโรลเลอร์แบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก

ตรงเท่านั้นแบร์ริงทั้งสองพวกนี้ยังแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังที่ได้แสดงไว้ในรูป 3.2 ซึ่งจะกล่าวถึงคุณลักษณะของแบร์ริงแต่ละชนิดโดยสังเขป ดังต่อไปนี้



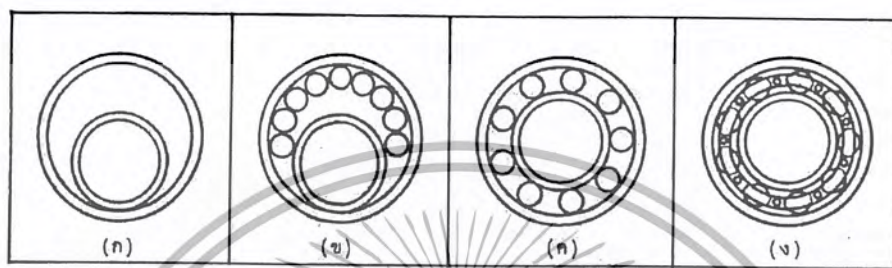
รูป 3.2 บอลแบร์ริงชนิดต่างๆ

บอลแบร์ริงชนิดมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (single-row deep-groove) เป็นแบร์ริงชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุด ประกอบด้วยร่องลึกเป็นทางกลิ้งสำหรับลูกกลิ้งทรงกลม ดังรูป 3.2 (ก) สามารถรับแรงได้ทั้งในแนวรัศมีและในแนวแกน (แรงรุน)

บอลแบร์ริงชนิด angular contact ดังรูป 3.2 (ค) เป็นแบร์ริงที่ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกนซึ่งมีค่าสูงๆ โดยมีมุมสัมผัส (contact angle) ต่างๆกัน เมื่อนุมสัมผัสเพิ่มขึ้น แบร์ริงก็สามารถที่จะรับแรงในแนวแกนเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะรับแรงในแนวรัศมีได้น้อยลงในกรณีที่ต้องการใช้รับแรงในแนวแกนสองทิศทางก็ให้ใช้แบบมีลูกกลิ้งสองแถว (double row) ดังรูป 3.2 (ข) หรือใช้แบร์ริงสองอันหันหน้าเข้าหากันเป็นแบบปรับแนวได้เอง (self-aligning) ออกแบบสำหรับใช้ในกรณีที่เพลอาจจะมีการเอียงแนวเป็นมุมค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูป 3.2 (ฉ) และ 3.2 (ช) เป็นแบบปรับแนวได้เองภายในซึ่งอาศัยผิวทรงกลมของวงแหวนนอกในการช่วยปรับมุม ส่วนแบร์ริงในรูปที่ 3.2 (ฉ) เป็นแบบปรับแนวได้เองภายนอก สามารถปรับมุมได้สูงมากโดยการเอียงระนาบผิวด้านนอกของวงแหวนนอกให้รับกับผิวหน้าของตัวรับแบร์ริง (bearing housing) บอลแบร์ริงกันรุนปรับแนวเองได้ (self-aligning thrust) ดังรูปที่ 3.2 (ฉ) ออกแบบสำหรับใช้รับแรงในแนวแกน ในกรณีที่เพลอาจมีการเอียงแนวเกิดขึ้น

3.2.2 การบรรจุลูกกอล์ฟ

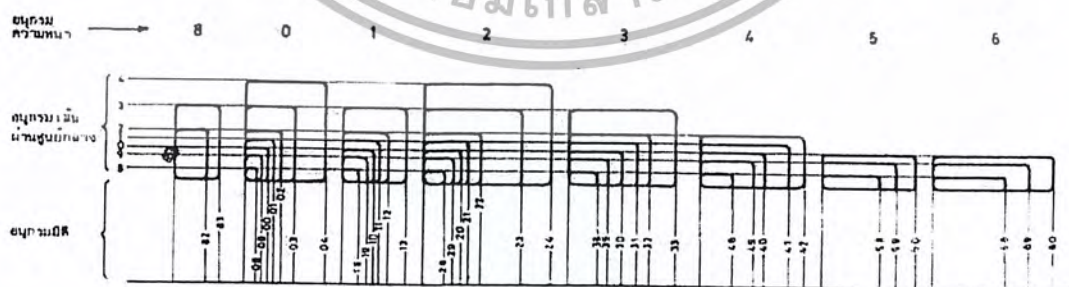
การบรรจุลูกกอล์ฟลงในรางของวงแหวนทำได้ 4 ขั้นตอน ดังรูป 3.3 โดยเริ่มต้นจากการใส่วงแหวนในลงไปในวงแหวนนอก ดังรูป 3.3 (ก) จากนั้นจึงใส่ลูกกอล์ฟลงในช่องว่าง



รูป 3.3 ขั้นตอนในการประกอบบอลเบริงชนิดมีลูกกอล์ฟหนึ่งแถวร่องลึก

ดังรูป 3.3 (ข) แล้วจึงเลื่อนวงแหวนในให้อยู่ในตำแหน่งดังรูป 3.3 (ค) สุดท้ายจึงใส่โลหะคั่นลงไป ช่องว่างระหว่างวงแหวนครอบลูกกอล์ฟทุกลูกไว้ เพื่อให้ตำแหน่งของลูกกอล์ฟอยู่ห่างกันสม่ำเสมอ ดังรูป 3.3 (ง) แต่เมื่อต้องการจะให้บอลเบริงรับแรงได้มากขึ้นก็จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนลูกกอล์ฟให้ได้มากกว่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตัดผิวหน้าของวงแหวนด้านหนึ่งให้เป็นช่องเพื่อใส่ลูกกอล์ฟเพิ่มขึ้นอีก ดังในรูป 3.3 (ข)

3.3 มิติมาตรฐานของโรลลิงเบริง



รูป 3.4 ขอบเขตของมิติ สำหรับอนุกรมมิติของเบริงต่างๆ

การกำหนดมาตรฐานของเบริงทำให้ผู้ผลิตสามารถที่จะผลิตเบริงได้ราคาถูกลงทำให้ผู้ออก

เอกสารนี้เป็นแบบสามารถเลือกใช้ได้สะดวก และทำให้การดูแลรักษาตลอดจนการเก็บแบริงสำรองสามารถไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้เองสมาคม AFBMA ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์มาตรฐานของแบร์ริงชนิดต่างๆ จึงร่วมกับสมาคมเกี่ยวกับโรลลิ่งแบร์ริงอื่นๆ จัดทำมาตรฐานให้เข้ากับขององค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) มาตรฐานนี้จะบอกถึงมิติภายนอกของแบร์ริง คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก-ภายใน และความหนา ส่วนมิติภายในแบร์ริงให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตจะออกแบบ

3.4 ความเสียหายของโรลลิ่งแบร์ริง

ความเสียหายของโรลลิ่งแบร์ริงส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างลูกกลิ้งและรางบนวงแหวนค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหายสำหรับแบร์ริงบางชนิด ดูได้จากตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

ชนิดของแบร์ริง	ขณะเริ่มทำงาน		ขณะทำงาน	
	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน	ในแนวรัศมี	ในแนวแกน
บอลแบร์ริง	0.0025	0.0060	0.0015	0.0040
spherical roller bearing	0.0030	0.1200	0.0018	0.0080
cylindrical roller bearing	0.0020	-	0.0011	-

3.5 การประเมินค่าอายุการใช้งานและแรง

ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการผลิตและควบคุมคุณภาพของโรลเลอร์แบร์ริงอย่างทันสมัยแต่ก็ปรากฏว่าแบร์ริงชนิดเดียวกันที่ผลิตออกมาภายใต้วิธีการและเครื่องมือขึ้นเดียวกันจะมีอายุการใช้งานแตกต่างกันไปมาก ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากความยากลำบากในการควบคุมความกลมของลูกกลิ้งและความเรียบของผิวหน้าลูกกลิ้ง เป็นต้น ดังนั้นอายุใช้งานที่ทางผู้ผลิตอ้างถึงจึงมีรากฐานมาจากการใช้หลักวิชาการทางด้านสถิติเข้าช่วย ทางสมาคม AFBMA จึงได้ตั้งนิยามและวิธีการการเลือกแบร์ริงขึ้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้ คือ

3.5.1 อายุการใช้งานของโรลเลอร์แบร์ริง หมายถึงจำนวนรอบ หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่ ซึ่งแบร์ริงหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง

3.5.2 แรงสถิตย์ประเมิน (basic static load rating) หมายถึงแรงในแนวรัศมีที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้งและวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง และใช้แทนด้วย C_0 ค่าของ C_0 สำหรับแบร์ริงอนุกรมต่างๆ ดูได้จากตาราง 11, 12 และ 13 ค่า C_0 นี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแบร์ริง จำนวนแถวของลูกกลิ้งในแบร์ริง จำนวนลูกกลิ้งต่อแถว มุมสัมผัสตลอดจนขนาดของลูกกลิ้งและวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 แรงพลวัตประเมิน (basic dynamic load rating) แรงพลวัตประเมิน C นี้เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดแบริ่งเพื่อให้รับแรง และมีอายุการใช้งานได้ตามความต้องการ

$$L_1 = L_{10} \quad P_1 = P$$

$$L_2 = l_{mr} \quad P_2 = C$$

ดังนั้น

$$L_{10} = (C/P)K$$

ให้ L_{10} เป็นอายุการใช้งานจริงซึ่งมีหน่วยเป็นล้านรอบ (mr) และ P เป็นแรงในแนวรัศมีที่แบริ่งจะต้องรับขณะใช้งานจริงจากสมการ 3.1 ทำให้ทราบว่าแบริ่งที่เลือกมาจากอายุประเมินจำนวนหนึ่งล้านรอบนั้น จะสามารถทำงานได้กี่ล้านรอบขณะใช้งานจริง



Diameter d mm	O.D. D mm	Radial clearance r mm	Table 01										Table 02				Table 03						
			Number B mm	Self-aligning Ball Bearing		Single-Row Deep-Groove Ball Bearing		Angular Contact Steep Angle Ball Bearing		Cylindrical Roller Bearing		Spherical Roller Bearing		Number B mm	Self-aligning Ball Bearing		Spherical Roller Bearing		Number B mm	Single-Row Deep-Groove Ball Bearing		Double-Row Nonfilling- Notch Ball Bearing	
				C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C		C ₀	C	C ₀	C		C ₀	C	C ₀	C
4	16	0.50	5																				
5	19	0.50	6																				
6																							
7																							
8																							
9																							
10	35	0.61	11	-	-	3.76	6.23																
12	37	1	12	2.36	7.25	4.61	7.48																
15	42	1	13	2.63	7.34	5.43	8.72																
17	47	1	14	3.65	9.66	6.54	10.41																
20	52	1	15	4.00	9.57	7.79	12.24	3.54	13.35	-	-	-	-	19	3.98	11.12	-	-	22.2	-	-	11.97	16.15
25	62	1	17	6.01	13.84	10.64	16.29	12.77	18.78	12.77	22.83	26.70	29.81	24	5.30	14.28	-	-	22.2	7.79	12.24	14.24	19.00
30	72	1	19	7.74	16.46	14.86	21.58	17.09	23.90	17.53	30.08	37.82	42.27	27	10.01	24.12	-	-	25.4	10.64	16.29	19.40	25.19
35	80	1.50	21	9.83	19.36	17.89	25.59	20.56	28.21	23.90	39.29	43.61	48.06	31	12.77	30.35	-	-	30.2	14.86	21.58	27.14	33.33
40	90	1.50	23	12.19	22.74	22.34	31.33	25.68	34.44	28.21	45.83	57.40	60.96	33	15.71	34.49	71.64	90.78	34.9	17.89	25.59	32.66	39.43
45	100	1.50	25	15.92	29.37	29.95	40.58	34.40	44.94	40.18	63.19	76.98	75.65	36	19.89	41.96	91.67	111.25	36.5	22.34	31.33	40.81	48.06
50	110	2	27	17.49	33.42	35.64	47.61	40.94	52.51	49.39	75.65	81.43	85.88	40	23.50	49.39	117.92	140.62	44.4	35.64	47.61	64.97	73.42
55	120	2	29	22.52	39.16	41.83	55.18	48.06	60.52	60.52	92.11	96.12	101.46	43	28.03	57.85	145.07	168.21	49.2	41.83	55.18	76.54	84.55
60	130	2	31	26.61	43.88	48.50	62.74	55.62	69.42	68.97	103.68	111.25	115.70	46	32.93	67.19	171.77	197.13	54.0	48.50	62.74	88.55	97.01
65	140	2	33	29.37	47.61	55.62	71.20	64.08	78.32	76.09	113.92	135.72	137.95	48	38.63	73.87	187.34	214.04	58.7	-	-	101.90	109.47
70	150	2	35	35.51	57.40	63.19	80.10	72.98	88.11	92.56	133.94	151.30	153.52	51	44.50	84.10	220.27	248.31	63.5	-	-	115.70	123.36
75	160	2	37	38.36	60.96	71.64	87.22	82.32	95.67	113.92	162.42	169.10	173.55	55	46.72	87.22	250.09	277.68	68.3	-	-	130.83	134.39
80	170	2	39	42.23	68.08	80.10	94.78	92.11	103.68	113.92	162.42	191.35	191.35	58	57.85	106.35	286.58	317.73	68.3	-	-	146.40	145.51
85	180	2.50	41	48.50	75.20	89.44	101.90	102.79	112.14	135.72	190.90	-	-	60	61.41	108.13	306.16	339.98	73.0	-	-	142.40	142.84
90	190	2.50	43	56.07	89.89	99.23	109.91	113.92	120.15	148.18	206.92	-	-	64	68.53	117.48	379.14	403.17	73.0	-	-	158.42	153.97

ตาราง 3.4 มิติมาตรฐานและแรงประมิมินของโรลลิ่งแบร์ริง (C₀, C เป็น KN)

ขนาด d mm	ขนาดมาตรฐานกลุ่มที่ 0										ขนาดมาตรฐานกลุ่มที่ 1						
	O.D. D mm	ชนิด รหัส mm	ขนาด 10				ขนาด 30				O.D. D mm	ชนิด รหัส mm	ขนาด 31				
			ความหนา B mm	Single-Row Deep-Groove Ball Bearing		Angular Contact Small-Angle Ball Bearing		ความหนา B mm	Double-Row Cylindrical Roller Bearing				Spherical [*] Roller Bearing				
				C ₀	C	C ₀	C		C ₀	C			C ₀	C			
4																	
5																	
6																	
7	19	0.30	6	-	1.51												
8	22	0.30	7	-	2.51												
9	24	0.30	7	-	2.60												
10	26	0.30	8	1.96	3.51												
12	28	0.30	8	2.22	3.92												
15	32	0.30	9	2.51	4.29												
17	35	0.30	10	2.78	4.63												
20	42	0.60	12	4.45	7.21												
25	47	0.60	12	4.94	7.74					16	10.86	16.42					
30	55	1	13	6.90	10.19	-	-			19	14.06	20.51					
35	62	1	14	8.50	12.28	10.90	14.46			20	19.62	27.01					
40	68	1	15	9.30	12.90	12.37	15.53			21	24.07	32.31					
45	75	1	16	12.15	16.15	14.95	18.42			23	28.97	37.96					
50	80	1	16	13.08	16.78	16.73	19.62			23	31.86	40.27					
55	90	1	18	17.00	21.76	22.12	25.81			26	42.45	52.51					
60	95	1	18	18.29	22.65	23.36	26.43			26	46.28	55.62					
65	100	1	18	19.62	23.50	25.81	27.99			26	50.28	58.74					
70	110	1	20	24.39	29.28	31.06	34.18			30	66.75	75.65					
75	115	1	20	26.12	30.39	34.35	36.22			30	66.75	75.20					
80	125	1	22	31.28	36.67	42.01	44.28			34	82.77	92.56					
85	130	1	22	33.55	38.09	44.10	45.39			34	89.44	97.01					
90	140	1.50	24	39.11	44.50	52.51	54.29			37	103.68	113.03					
95	145	1.50	24	41.87	46.72	55.18	55.62			37	111.25	118.81					
100	150	1.50	24	41.87	46.28	57.85	56.96			37	119.26	124.15					

* แบร์ริงแบบ spherical roller สำหรับขนาด 30 มีขนาดเป็นจากรวม 120 mm
 + แบร์ริงแบบ spherical roller สำหรับขนาด 31 มีขนาดเป็นจากรวม 110 mm
 † มุมสัมผัส α น้อยกว่า 20° ให้ถือว่าเป็นแบบ small angle

3.6 แรงสมมูล

ในการใช้งานจริง โรลลิ่งเบียร์ริงอาจรับทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกน และวงแหวนในหรือนอกจะเป็นอันที่หมุนก็ได้ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อีกประการหนึ่งเค็ดตาลีออกของผู้ผลิตจะกำหนดให้เฉพาะอายุประเมินในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนแรงและเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริงๆ มาให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่า แรงสมมูล (equivalent force) เพื่อที่จะได้ใช้ในการเลือกเบียร์ริงจากเค็ดตาลีออกได้สมาคม AFBMA ได้กำหนดนิยามของแรงสมมูลไว้ดังนี้

แรงสมมูลหมายถึง แรงในแนวรัศมีซึ่งให้กระทำต่อ โรลลิ่งเบียร์ริงโดยที่วงแหวนวงในหมุนและวงแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้เบียร์ริงมีอายุการใช้งานเท่ากับอายุการใช้งานของเบียร์ริงที่รับแรงจริงซึ่งอาจจะมีทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกนพร้อมกัน และให้คำนวณได้จากสมการ

$$P = XVFr + Yfa \quad (3.2)$$

หรือ

$$P = VFr \quad (3.3)$$

โดยที่

P = แรงสมมูล

Fr = แรงในแนวรัศมี

Fa = แรงในแนวแกนหรือแรงรุน

V = ตัวประกอบการหมุน (rotation factor) มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวงแหวนในหมุน และ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุน ถ้าเป็นบอลเบียร์ริงชนิด self aligning ให้ใช้ค่าเท่ากับ 1 เสมอ

X = ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี (radial load factor)

Y = ตัวประกอบแรงรุน (thrust load factor)

ค่าแรงสมมูลที่ใช้ในการเลือกขนาดเบียร์ริง ให้ใช้ค่าที่ได้จากสมการ 3.2 และ 3.3 แล้วแต่ค่าไหนจะมากกว่า สำหรับบอลเบียร์ริงกันรุนและโรลเลอร์เบียร์ริงกันรุนแล้วให้คำนวณค่าแรงสมมูลจากสมการ 3.2 โดยให้ $V = 1$ ส่วน straight roller bearing นั้นจะใช้รับเฉพาะแรงในแนวรัศมีเท่านั้น จึงให้คำนวณแรงสมมูลจากสมการ 3.3 ค่า X และ Y สำหรับเบียร์ริงบางชนิดแสดงอยู่ในตาราง 3.4 และ

3.5

ตาราง 3.5 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง

Contact Angle α , deg	$\frac{fF_a^1}{C_o}$	Single-Row Bearing ² $Fa/VF_r > e$		Double-Row Bearing ³				e
		X	Y	$Fa/VF_r \leq e$		$Fa/VF_r > e$		
				X	Y	X	Y	
Deep groove ball bearing ⁴								
	0.014		2.30				2.30	0.19
	0.028		1.99				1.99	0.22
	0.056		1.71				1.71	0.26
	0.084		1.55				1.55	0.28
	0.11	0.56	1.45	1.0	0	0.56	1.45	0.30
	0.17		1.31				1.31	0.34
	0.28		1.15				1.15	0.38
	0.42		1.04				1.04	0.42
	0.56		1.00				1.00	0.44
Angular-Contact groove ball bearing ⁴								
	0.014		Use X, Y			2.78	3.74	0.23
	0.028		and e			2.40	3.23	0.26
	0.056		values			2.07	2.78	0.30
	0.085		appli-			1.87	2.52	0.34
5	0.11	0.56	cable	1.0	1.75	0.78	2.36	0.36
	0.17		to sin-		1.58		2.13	0.40
	0.28		gle-row		1.39		1.87	0.45
	0.42		deep		1.26		1.69	0.50
	0.56		groove		1.21		1.63	0.52
			bear-					
			ings					
	0.014		1.88		2.18		3.06	0.29
	0.029		1.71		1.98		2.78	0.32
	0.057		1.52		1.76		2.47	0.36
10	0.086	0.46	1.41	1.0	1.63	0.75	2.29	0.38
	0.11		1.34		1.55		2.18	0.40
	0.17		1.23		1.42		2.00	0.44
	0.29		1.10		1.27		1.79	0.49
	0.43		1.01		1.17		1.64	0.54
	0.57		1.00		1.16		1.63	0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.5 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง (ต่อ)

Contact Angle α , deg	$\frac{1.1F_a}{C_0}$	Single-Row Bearing ² $F_a/VF_r > e$		Double-Row Bearing ³				e
				$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$		
		X	Y	X	Y	X	Y	
Angular-Contact groove ball bearing ⁴								
15	0.015		1.47		1.65		2.39	0.38
	0.029		1.40		1.57		2.28	0.40
	0.058		1.30		1.46		2.11	0.43
	0.087		1.23		1.38		2.00	0.46
	0.12	0.44	1.19	1.0	1.34	0.72	1.93	0.47
	0.17		1.12		1.26		1.82	0.50
	0.29		1.02		1.14		1.66	0.55
	0.44		1.00		1.12		1.63	0.56
	0.58		1.00		1.12		1.63	0.56
20		0.43	1.00	1.0	1.09	0.70	1.63	0.57
25		0.41	0.87	1.0	0.92	0.67	1.41	0.68
30		0.39	0.76	1.0	0.78	0.63	1.24	0.80
35		0.37	0.66	1.0	0.66	0.60	1.07	0.95
40		0.35	0.57	1.0	0.55	0.57	0.93	1.14
Self-aligning ball bearings								
		0.40	0.4 $\cot \alpha$	1.0	0.42 $\cot \alpha$	0.65	0.65 $\cot \alpha$	1.5 $\tan \alpha$
Roller-bearings, self-aligning, tapered ⁵								
$\alpha \neq 90$		0.4	0.4 $\cot \alpha$	1.0	0.45 $\cot \alpha$	0.67	0.67 $\cot \alpha$	1.5 $\tan \alpha$

ที่มา : Frank W.Wilson : Tool Engineers Handbook, 2nd, ed. McGraw-Hill Book Co.

ข้อสังเกต ค่าของ X, Y และ e สำหรับแรงหรือ contact angle นอกเหนือจากตารางให้หาค่าโดยการประมาณแบบเชิงเส้น

1. C_o เป็นแรงสถิตย์ประเมน ; เป็นจำนวนแถวของลูกกลิ้ง สำหรับ deep groove bearing ให้ I เท่ากับ 1 เสมอ

2. สำหรับ single row bearing เมื่อ $F_a / VFr < e$ ใช้ $X = 1$ และ $Y = 0$ เมื่อคำนวณหาแรงสมมูลของแบริ่งคู่ซึ่งเป็น single-row angular contact ball ติดตั้งแบบหันหน้าชนกันและหันหลังชนกัน ให้ถือว่าเป็น double-row angular contact ball ถ้าติดตั้งแบบเรียงตสมกันให้ถือว่าเป็นแต่ละอันเป็น single-row angular contact ball

3. ให้ถือว่าเป็น double-row angular contact ball มีความสมมาตร (symmetry)

4. ค่า F_a / C_o สูงสุดขึ้นอยู่กับการออกแบบแบริ่ง

5. สำหรับ $e = 0$; $F_a = 0$ และ $X = 1$

ตาราง 3.6 แรงประเมนและตัวประกอบ X และ Y สำหรับ single-row , spherical roller bearings*

รูปร่าง mm	O.D mm	ความหนา mm	e	$\frac{F_a}{VFr} > e$		C_o kN	C kN
				X	Y		
25	60	19	0.51	0.40	1.17	20	27
30	67	21	0.48		1.25	25	32
35	72	17	0.44		1.37	28	34
40	80	21	0.47		1.27	33	41
45	85	21	0.45		1.34	38	47
50	90	20	0.40		1.49	43	49
50	100	21	0.45		1.34	60	70
50	110	27	0.48		1.24	75	85
55	100	21	0.40		1.49	57	61
60	110	22	0.38		1.60	69	73
65	113	24	0.37		1.61	79	83
65	127	28	0.42		1.44	90	101

ตาราง 3.6 แรงประเมนและตัวประกอบ X และ Y สำหรับ single-row , spherical roller bearings*(ต่อ)

รูสวน mm	O.D mm	ความหนา mm	e	$\frac{F_a}{\sqrt{F_r}} > e^*$		C _o kN	C kN
				X	Y		
70	150	30	0.40	0.40	1.49	116	133
75	130	27	0.38		1.59	92	97
80	150	28	0.38		1.57	115	117
85	150	28	0.38		1.57	115	117
90	190	36	0.38		1.60	225	214
95	180	34	0.36		1.67	177	181
100	180	38	0.36		1.67	177	181
105	190	36	0.38		1.60	225	214
120	215	44	0.37		1.63	274	265

* สำหรับ $F_a / \sqrt{F_r} \leq e$, X = 1 และ Y = 0

3.7 ตัวประกอบใช้งาน

แรงที่กระทำต่อแบริ่งจะได้รับการส่งทอดมาจากชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ซึ่งอาจจะมี ความตั่นสะเทือนมากน้อยต่างกันไป อันอาจจะเป็นเหตุให้แบริ่งเสียหายเร็วขึ้นดังนั้นในการเลือกแบริ่งจึงควรที่จะเพิ่มค่าแรงสมมูลเสียก่อน ตัวประกอบเหล่านี้ได้มาจากประสบการณ์อันยาวนานของผู้ ออกแบบเครื่องจักรกลเป็นจำนวนมาก เรียกว่า ตัวประกอบใช้งาน (service factor) และได้แสดงไว้ในตารางที่ 16 ซึ่งประกอบด้วยตัวประกอบของการกระแทก (impact factor) ตัวประกอบของสายพาน (belt factor) และตัวประกอบของเฟือง (gear factor) ซึ่งรวมเรียกว่า ตัวประกอบใช้งาน N_s

รูปร่าง mm	อนุกรมชนิด 22			อนุกรมชนิด 23			อนุกรมชนิด 30			อนุกรมชนิด 31			อนุกรมชนิด 32		
	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$
		Y	Y		Y	Y		Y	Y		Y	Y		Y	Y
40	-	-	-	0.40	1.70	2.53									
45	0.28	2.39	3.56	0.39	1.74	2.59									
50	0.26	2.57	3.83	0.39	1.73	2.57									
55	0.26	2.64	3.93	0.38	1.76	2.62									
60	0.26	2.58	3.84	0.38	1.79	2.66									
65	0.26	2.55	3.80	0.37	1.84	2.74									
70	0.25	2.69	4.00	0.36	1.86	2.77									
75	0.24	2.82	4.20	0.38	1.79	2.67									
80	0.24	2.84	4.24	0.36	1.86	2.76									
85	0.24	2.80	4.17	0.36	1.86	2.77									
90	0.25	2.69	4.00	0.36	1.89	2.82									
95	0.26	2.57	3.83	0.36	1.86	2.77									
100	0.27	2.54	3.79	0.37	1.83	2.72									
110	0.27	2.46	3.66	0.36	1.90	2.82	-	-	-	0.31	2.15	3.20	0.34	1.98	2.95
120	0.27	2.50	3.72	0.35	1.92	2.85	0.24	2.80	4.16	0.31	2.16	3.22	0.35	1.91	2.84

ตาราง 3.7 ค่าตัวประกอบ Y สำหรับ double-row , spherical roller bearings *

ตาราง 3.7 ค่าตัวประกอบ Y สำหรับ double-row, spherical roller bearings * (ต่อ)

รูสวน mm	อนุกรมมิติ 22			อนุกรมมิติ 23			อนุกรมมิติ 30			อนุกรมมิติ 31			อนุกรมมิติ 32		
	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$	e	$\frac{F_a}{VF_r} \leq e$	$\frac{F_a}{VF_r} > e$
		Y	Y		Y	Y		Y	Y		Y	Y		Y	Y
130	0.28	2.44	3.63	0.35	1.91	2.84	0.25	2.76	4.11	0.30	2.25	3.35	0.36	1.89	2.81
140	0.27	2.48	3.69	0.36	1.87	2.79	0.24	2.82	4.20	0.30	2.28	3.40	0.35	1.93	2.87
150	0.27	2.48	3.71	0.36	1.89	2.81	0.24	2.86	4.26	0.32	2.13	3.17	0.36	1.90	2.83
160	0.28	2.44	3.63	0.35	1.90	2.83	0.24	2.84	4.22	0.32	2.14	3.19	0.36	1.89	2.81
170	0.28	2.42	3.60	0.35	1.93	2.87	0.25	2.75	4.09	0.31	2.19	3.26	0.36	1.89	2.81
180	0.27	2.51	3.73	0.35	1.95	2.91	0.25	2.66	3.96	0.31	2.15	3.20	0.36	1.88	2.80
190	0.27	2.48	3.70	0.34	1.96	2.91	0.25	2.74	4.08	0.32	2.10	3.13	0.35	1.92	2.85
200	0.27	2.46	3.67	0.35	1.95	2.90	0.25	2.67	3.98	0.32	2.11	3.14	0.36	1.90	2.83
220	0.27	2.48	3.70	0.33	2.03	3.02	0.25	2.67	3.97	0.32	2.13	3.17	0.36	1.88	2.80
240	0.27	2.47	3.68	-	-	-	0.24	2.78	4.13	0.31	2.17	3.24			
260							0.25	2.74	4.08						
280							0.24	2.81	4.17						
300							0.24	2.79	4.15						

* สำหรับอนุกรมมิติทั้งหมด $F_a/VF_r \leq e$, X = 1.00 และ $F_a/VF_r > e$, X = 0.67

ที่มา : Bearing Technical Journal. FMC Corp., Link-Belt Bearing Division, Indianapolis, Ind., 1970.

ตาราง 3.8 ตัวประกอบของการกระแทก

ชนิดของแรง	N _s		
	บอลแบร์ริง	โรลเลอร์แบร์ริง	ตัวอย่าง
แรง เรียบสม่ำเสมอ	1.0	1.0	มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องอัดอากาศ
แรงกระแทกเล็กน้อย	1.5	1.0	เครื่องตัดโลหะ ปืนจั่น
แรงกระแทกอย่างหนัก	2.0-3.0	1.3-2.0	เครื่องบดแร่ เครื่องเขย่า

ตาราง 3.9 ตัวประกอบของสายพาน

ชนิดของสายพาน	N _s
สายพานลิ่ม (V-belts)	1.5-2.0
สายพานแบน	2.0-4.0

ตาราง 3.10 ตัวประกอบของเฟือง

คุณภาพของเฟือง	N _s
เฟืองซึ่งตัดฟันอย่างดีมาก	1.05 1.10
เฟืองที่ไขหัวไป	1.10 1.30

3.8 อายุการใช้งานโดยสังเขป

ในการเลือกใช้แบร์ริงผู้ออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องทราบว่า แรงที่กระทำต่อแบร์ริงมีค่าเท่าไรและอายุการใช้งานของแบร์ริงควรจะเป็นเท่าไร ตาราง 3.11 แสดงถึงอายุการใช้งานของแบร์ริง

เอกสารนี้เป็นในเครื่องจักรกลชนิดต่างๆเพื่อเป็นแนวทางให้แก่ผู้เลือกใช้แบร์ริงนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.11 แนวทางในการเลือกอายุใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ

ชนิดของเครื่องจักรกล	อายุเป็นชั่วโมงทำงาน
เครื่องมือวัดและเครื่องมือที่ใช้ไม่บ่อยนัก ตัวอย่างเช่น เครื่องมือสำหรับห้องทดลอง อุปกรณ์สำหรับประตูเลื่อน	500
เครื่องยนต์เครื่องบิน	500-2,000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานช่วงเวลาลั้น ๆ หรือทำงานเป็นพัก ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องมือต่าง ๆ รอกยกของในโรงงาน เครื่องจักรที่ทำงานโดยใช้มือจับ เครื่องจักรกล การเกษตร ปั่นจั่นที่ใช้ในงานประกอบ เครื่องขนถ่าย ปั่นจั่นที่ใช้ในงานหล่อ เครื่องจักรกลที่ใช้ในบ้าน	4000-8000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานเป็นพัก ๆ แต่มีความสำคัญต่องานที่ทำมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรสำรองของโรงต้นกำลัง อุปกรณ์ลำเลียงในสายงานผลิต ลิฟท์ ปั่นจั่นยกสินค้าทั่วไป เครื่องมือกลที่ใช้ไม่บ่อยนัก	8000-12 000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเฟืองทดสำหรับงานทั่วไป	12 000-20 000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ปั่นจั่นที่ใช้ยกของตลอดเวลา เครื่องเป่าลม เพลาส่งกำลัง	20 000-30 000
เครื่องจักรที่ใช้งานต่อเนื่อง (ทำงาน 24 ชั่วโมง) ตัวอย่างเช่น เครื่องแยกของ เครื่องอัดอากาศ บีม เพลาส่งกำลัง ลูกกลิ้งของสายพานลำเลียง รอกในเหมืองแร่ มอเตอร์ไฟฟ้า	40 000-60 000
เครื่องจักรที่ใช้งานตลอด ชั่วโมง ละการทำงานมีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงไฟฟ้า บีมในเหมืองแร่ สถานีส่งน้ำประปา เครื่องจักรในเรือเดินสมุทร	100 000-200 000

ที่มา : แค็ตตาล็อกและข้อมูลทางวิศวกรรมทั่วไปของ SKF Industries, Phila., Pa.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สายพาน

4.0 บทนำ

การส่งกำลังทางกลจากเพลลาอันหนึ่งไปยังเพลลาอีกอันหนึ่ง อาจทำได้สามวิธี คือ โดยใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (flexible) ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอนนักเนื่องจากการสลิป (slip) และการครีพ (creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลาหรือปรับแรงตึงในสายพานระหว่างใช้งาน นอกจากนี้ยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้ ซึ่งมักใช้กับอัตราทดไม่เกิน 5

4.1 ชนิดและวัสดุสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน (flat belt) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า, สายพานลิ้ม (V-belt) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู, สายพานกลม (ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลมและ ไทม์มิงเบลท์ (timing belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่ละชนิดจะทำเป็นร่องคล้ายฟันเพื่อลดความยาวของสายพาน สายพานแต่ละชนิดมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน

วัสดุที่ใช้ทำสายพานต้องมีความต้านแรงสูง (strength) สามารถบิดตัวได้ดี และต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสูง

วัสดุที่ใช้ทำสายพานซึ่งใช้งานกันมากก็คือหนัง (oak-tanned leather) แต่ถ้าเป็นการใช้งานเป็นพิเศษ เช่นอยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้น มีไอของสารเคมี หรือมีน้ำมันอยู่ด้วย ก็มักใช้สายพานแบบ chrome leather เพื่อให้สายพานมีอายุการใช้งานได้นานพอสมควร จึงมักใช้ค่าความเค้นในการออกแบบสายพานต่ำกว่าความต้านแรงดึงสูงสุดของสายพานมาก โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนังมีค่าประมาณ 0.40-0.50 และความเร็วใช้งานของสายพานควรจะอยู่ในช่วง 1000-2000 m/min

สายพานอีกชนิดหนึ่ง คือ สายพานยาง (rubber belts) สายพานประเภทนี้จะมีฝ้ายหรือผ้าใบเป็นไส้ภายใน และมียางหุ้มอยู่ภายนอก ยางที่ใช้หุ้มเป็นยางที่มีการอบด้วยกำมะถันในอุณหภูมิสูง (vulcanised) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความต้านแรง สายพานเหมาะสำหรับใช้งานที่มีน้ำมันหรือแสงแดด เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานหนังแล้วสายพานยางจะมีราคาถูกกว่าแต่อายุการใช้งานสั้นกว่า สายพานยางทนต่อสภาพบรรยากาศในการใช้งานได้ดีกว่าสายพานหนัง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานจะมีค่าต่ำประมาณ 0.30-0.40 และสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 20 N ต่อชั้นต่อความกว้างสายพาน 1 mm

สายพานบาลลาตา (balata belts) เป็นยางคล้ายสายพานยาง แต่ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการอบด้วยกำมะถัน ทนต่อกรดและความชื้นได้ดีแต่อุณหภูมิใช้งานไม่ควรเกิน 40 °C สายพานชนิดนี้มีความต้านแรงมากกว่าสายพานยางประมาณ 25 %

สายพานผ้าถัก (textile belts) ทำจากผ้าหรือผ้าใบซ้อนกันเป็นชั้นๆ แล้วยึดติดกัน จากนั้นจึงเคลือบด้วยน้ำมันลินซีด (linseed) เพื่อให้สายพานกันน้ำได้ มักใช้งานประเภทชั่วคราว

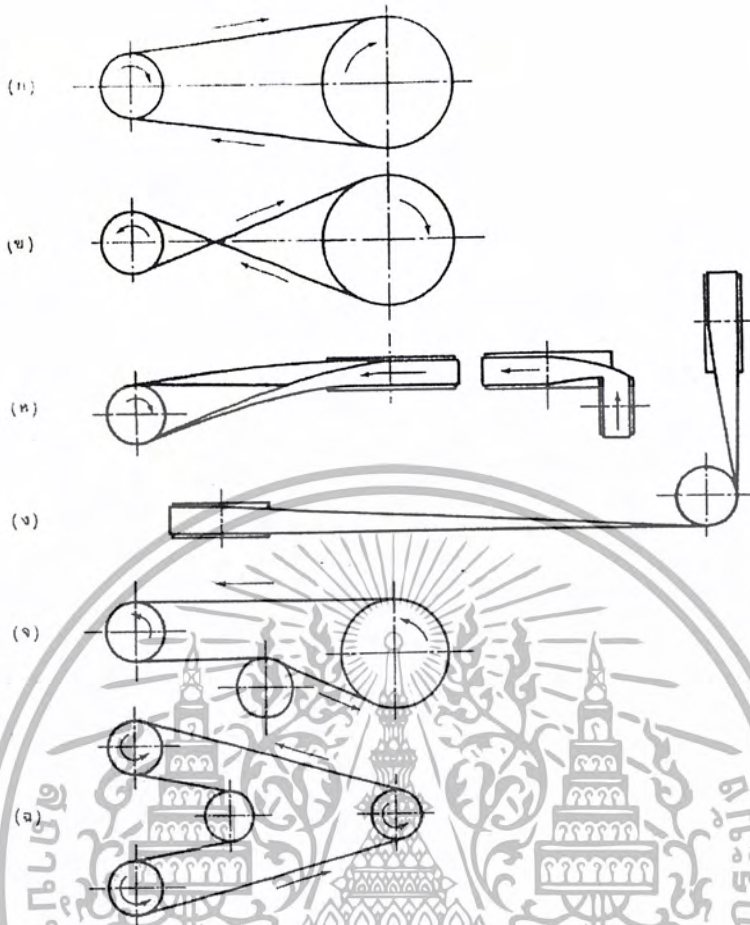
สายพานทุกชนิดที่กล่าวมานี้จะยึดตัวได้ดี ดังนั้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงจะยึดตัวทำให้เกิดการสลีบบนล้อสายพาน (pulley) ในทางปฏิบัติจึงมักจะยึดสายพานให้ตึงไว้ก่อนใช้งานทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการสลีบของสายพาน

4.2 ลักษณะการขับด้วยสายพาน

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่าง ๆ กัน ลักษณะทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานดูได้จากรูป 4.1

เมื่อต้องการขับเพลลาที่อยู่ขนานกัน และต้องการให้เพลลาทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ก็จะทำให้ได้ในลักษณะดังรูป 4.1 (ก) ซึ่งเรียกว่า โอเพินไดรฟ์ (open drive) และถ้าเพลลาอยู่ห่างกันมากควรจะให้สายพานด้านล่างตึง (tight) และด้านบนหย่อน (slack) แต่ถ้าต้องการให้เพลลาทั้งสองหมุนสวนทางก็ทำได้โดยใช้วิธีดังรูป 4.1 (ข) ซึ่งเรียกว่า ครอสไดรฟ์ (crossed drive) แต่การขับในลักษณะนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานตึง ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันมิให้สายพานสึกหรอมากเกินไป จึงควรจะให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่าสี่สิบเท่าของความกว้างสายพาน และทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15 m/s

การขับแบบควอเตอร์ไดรฟ์ (quarter turn drive) ดังรูปที่ 4.1 (ค) ใช้เมื่อเพลลาทั้งสองตั้งฉากกัน และเพื่อป้องกันมิให้สายพานหลุดออกจากล้อสายพานในขณะที่ใช้งาน จึงต้องใช้ล้อสายพานที่กว้างเพียงพอ โดยทั่วไปมันจะต้องมากกว่าความกว้างสายพานไม่น้อยกว่า 1.4 เท่า และก่อนใช้งานจะต้องทดสอบก่อนเสมอ ส่วนการขับแบบมูล์ไดรฟ์ (mule drive) ดังในรูป 4.1 (จ) ใช้เมื่อเพลลาทั้งสองตั้งฉากกัน แต่ไม่อาจจัดในลักษณะควอเตอร์เทอนไดรฟ์ได้ หรือเมื่อต้องการให้หมุนกลับทิศทางได้



รูป 4.1 ลักษณะการขับด้วยสายพาน

- ก) โอฟินไครว์
- ข) ครอสไครว์
- ค) ควอเตอร์เทอนไครว์
- ง) มิวส์ไครว์
- จ) แสดงการขับโดยใช้ล้อช่วย
- ฉ) ริเวสไครว์

เมื่อไม่สามารถใช้ขับในลักษณะโอฟินไครว์ได้เพราะส่วนโค้งสัมผัส (arc of contact) บนล้อยานสายพานเล็กมีค่าน้อยเกินไป (เพราะอัตราทดสูง และล้อยานสายพานอยู่ใกล้กันมาก) หรือเมื่อไม่อาจทำให้สายพานตึงโดยวิธีอื่นก็อาจทำได้โดยใช้ล้อช่วย (idler) ดังรูป 4.1 (จ) เป็นการช่วยให้สายพานสัมผัสกับล้อยานมากขึ้นซึ่งเพิ่มกำลังที่ส่งได้ด้วย ส่วนการขับแบบริเวสไครว์ (reverse drive) ใช้เมื่อ

ต้องการส่งกำลังไปยังเพลาหลายอันพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีลิขสิทธิ์ภายใต้การศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

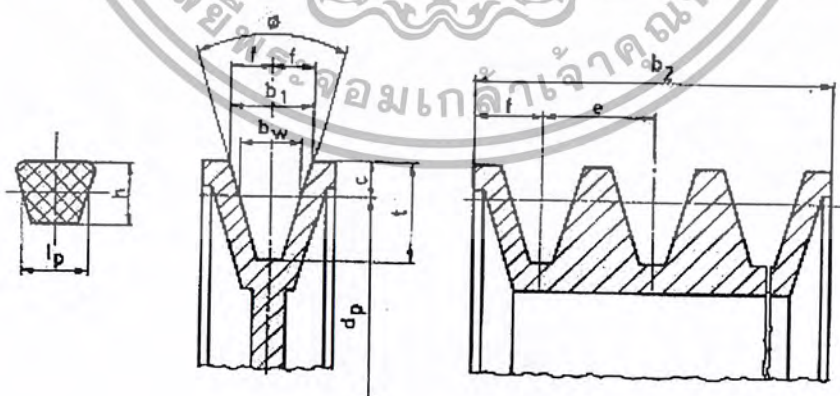
4.3 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังค่อนข้างมากโดยต้องการแรงดึงขั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เร็ว กับร่องรูปลิ่มของสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสเล็กน้อย และมีแรงดึงขั้นต้นค่อนข้างต่ำ และเหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุด เมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่ไม่มีเหตุฉุกเฉิน ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย

การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนี้ยังมีขนาดกระทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริงของเพลลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10 : 1

4.4 ขนาดสายพานลิ่มและล้อสายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม มีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิตซ์ (pitch width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (narrow V-belts) มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อสายพาน ดูได้จากรูป 4.2 ส่วนขนาดต่าง ๆ ดูได้จากตาราง 4.1 และตาราง 4.2



รูป 4.2 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน

ตาราง 4.1 ขนาดสายพานลิ้มและล้อสายพานลิ้ม ตามมาตรฐาน
ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R 256/1962 (E)

ขนาดเป็น mm

ขนาดสายพาน	Y	Z	A	B	C	D	R		
l_p	5.3	8.5	11	14	19	27	32		
h	4	6	8	11	14	19	25		
b_w	5.3	8.5	11	14	19	27	32		
b_l	6.3	9.7	12.7	16.3	22	32	40		
c	1.6	2	2.8	3.5	4.8	8.1	12		
e	8 ± 0.3	12 ± 0.3	15 ± 0.3	19 ± 0.4	25.5 ± 0.5	37 ± 0.6	44.5 ± 0.7		
f	6 ± 0.5	8 ± 0.6	10 ± 0.6	12.5 ± 0.8	17 ± 1	24 ± 2	29 ± 2		
t_{min}	7	11	14	18	24	28	33		
32°	ϕ	≤ 63	-	-	-	-	-		
34°	สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง	-	63 - 80	90 - 118	140 - 190	224 - 315	-		
36°	ศูนย์กลาง	63	-	-	-	≤ 500	≤ 630		
38°	คัตซ์ d_p	-	> 80	> 118	> 190	> 315	> 500		
b_2	จำนวนร่องบน	1	12	16	20	25	34	48	58
		2	20	28	35	44	59.5	85	102.5
		3	28	40	50	63	85	122	147
		4	36	52	65	82	110.5	159	191.5
	ล้อสายพาน	5	44	64	80	101	136	196	236
	ทวน	6	52	76	95	120	161.5	233	280.5
		7	60	88	110	139	187	270	325
		8		100	125	158	212.5	307	369.5
		9		112	140	177	238	344	411
		10		124	155	196	263.5	381	458.5
		11		136	170	215	289	418	503
		12		148	185	234	314.5	455	547.5
d_{pmin}	28	50	80	125	200	355	500		

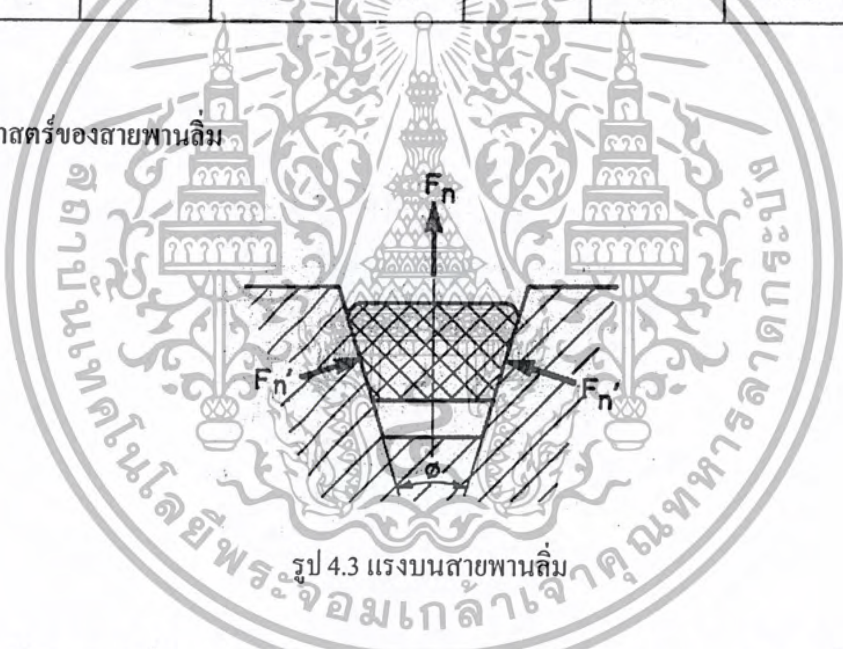
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ d_p ของล้อยาสายพานลิ้มตามมาตรฐาน ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R 256/1962 (E)

ขนาดเป็น mm

25	60	100	170	280	500	900	1900
28	63	106	180	300	530	1000	2000
31.5	67	112	190	315	560	1060	2240
35.5	71	118	200	355	600	1120	2500
40	75	125	212	375	630	1250	
45	80	132	224	400	670	1400	
50	85	140	236	425	710	1500	
53	90	150	250	450	750	1600	
56	95	160	265	475	800	1800	

4.5 กลศาสตร์ของสายพานลิ้ม



รูป 4.3 แรงบนสายพานลิ้ม

ในการขับเคลื่อนด้วยสายพานลิ้ม แรงปฏิกิริยาระหว่างสายพานกับล้อสายนพานจะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส ดังรูป 4.3 ให้ F_n เป็นแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของสายพานกับร่องบนล้อยาสายพาน ดังนั้นจากสมการ $\Sigma F_n = dF$ ของสายพานแบน ในกรณีของสายพานลิ้มจะกลายเป็น

$$2F_{n'} = dF$$

แรงปฏิกิริยารวมของแรง $F_{n'}$ ทั้งสองแรงคือ

$$F_n = 2F_{n'} \sin \frac{\phi}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$F_n' = \frac{F_n}{2 \sin \frac{\phi}{2}}$$

แทนค่า F_n' จะได้

$$\frac{f F_n}{\sin \frac{\phi}{2}} = dF$$

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 และรวมแรงในแนวดิ่ง จะได้

$$F_c + F_n = \left(F + \frac{1}{2} dF \right) d\theta$$

เมื่อกำจัด F_n ออกจากสมการทั้งสองนี้จะได้

$$\begin{aligned} dF &= \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}} \left(F + \frac{1}{2} dF \right) d\theta - \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}} F_c \\ &= \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}} \left(F + \frac{1}{2} dF - \frac{wAv^2}{g} \right) d\theta \\ \frac{dF}{F + \frac{1}{2} dF - \frac{wAv^2}{g}} &= \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}} d\theta \end{aligned}$$

อินทิเกรตสมการนี้จาก $\theta = 0$ ถึง α และจาก $F = F_2$ ถึง $F = F_1$ จะได้

$$\ln \frac{F - \frac{wAv^2}{g}}{F_2 - \frac{wAv^2}{g}} = e \frac{af}{\sin \frac{\phi}{2}}$$

หรือ

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = eaf' \tag{4.1}$$

โดยที่

$$f' = \frac{f}{\sin \frac{\phi}{2}}$$

และส่งกำลังได้โดยสายพานลิ้มหาค่าได้จากสมการ

$$W_p = z(F_1 - F_2)v \tag{4.2}$$

โดยที่ v = ความเร็วของสายพาน เป็น m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Z = จำนวนสายพาน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวพิศซ์โดยประมาณของสายพานลึ้มหาได้จากสมการ

$$L_p \approx 2c + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4c} \quad (4.3)$$

โดยสัญลักษณ์ต่างๆ ยังมีความหมายเช่นเดียวกับสายพานแบน แต่ในกรณีของสายพานลึ้ม จะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิศซ์แทนหรือในกรณีที่ทราบความยาวพิศซ์แล้วต้องการหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางก็ทำได้โดยใช้สมการ

$$c \approx p + \sqrt{p^2 - q} \quad (4.4)$$

โดยที่

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

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

4.6 การทำให้เกิดแรงดึงขึ้นต้นในสายพานลึ้ม

การทำให้เกิดแรงดึงขึ้นต้นจะช่วยทำให้การจับด้วยสายพานมีประสิทธิภาพมีประสิทธิภาพดี และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงขึ้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลง ประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลงเนื่องจากการสลิป แต่ถ้าออกแรงดึงขึ้นต้นมากเกินไปจะทำให้ขอบสายพานยึดตัวมากเกินไป เกิดความเค้นในสายพานมาก แบริ่งที่รองรับล้อสายพานจะรับแรงมากเกินไปด้วยเหตุนี้เองจึงต้องออกแรงดึงขึ้นต้นให้เหมาะสมกับแรงภายนอกที่กระทำกับสายพาน แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง คือ

$$F = F_1 - F_2 = \frac{W_p}{v}$$

ให้แรงดึงในแนวแกน

$$F_w = F_1 + F_2 = F \frac{e^{f'} + 1}{e^{f'} - 1}$$

แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากน้ำหนักสายพาน

$$F_c = \frac{wAv^2}{g}$$

แรงลัพธ์เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง คือ

$$F_R = 2 \cdot z \cdot F_c \sin \frac{\alpha}{2}$$

โดยที่ Z = จำนวนสายพาน

ดังนั้นแรงดึงขั้นต้นในสายพานจึงหาได้จากผลรวมแรงดึงในแนวแกนขณะส่งกำลัง กับแรงลัพธ์เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง นั่นคือ

$$F_t = F_w + F_R \quad (4.5)$$

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วิธีหาค่าประมาณของแรงดึงในแนวแกนจากสมการ

$$F_w = k_1 \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (4.6)$$

ตาราง 4.3 ตัวประกอบการใช้งาน

k_1	สภาวะการทำงาน
1.3	งานเบา ทำงานคงที่
1.5	งานปานกลาง
2.0	งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง

โดยที่ K_1 เป็นตัวประกอบใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานซึ่งหาค่าได้จากตาราง 4.3 แล้วใช้แรงนี้เป็นแรงดึงขั้นต้น

ในกรณีที่ขับโดยมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคงที่หรือไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงดึงในสายพานตลอดเวลา ก็จำเป็นจะต้องนำเอาแรงหนีศูนย์กลางมาคิดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ

$$\begin{aligned} F_R &= 2 \cdot z \cdot F_c \sin \frac{\alpha}{2} \\ &= 2 \cdot z \cdot \frac{wAv^2}{g} \sin \frac{\alpha}{2} \end{aligned}$$

ซึ่งเขียนใหม่ได้เป็น

$$F_R = k_2 \cdot z \cdot v^2 \sin \frac{\alpha}{2}$$

ค่า K_2 หาได้จากตาราง 4.4 ดังนั้นแรงดึงขึ้นต้นในสายพานจึงเท่ากับ

$$F_i = (k_1 F + z k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (4.7)$$

ตาราง 4.4 ค่าตัวประกอบ k_2

หน้าตักสายพาน	k_2
Y	0.049
Z	0.126
A	0.217
B	0.385
C	0.637
D	1.332

4.7 การคำนวณหาขนาดของสายพานลีม

การคำนวณทางด้านการส่งกำลังจากสายพานลีมจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพาน d_p เป็นพื้นฐาน และในที่นี้ก็จะแสดงวิธีการเลือกขนาดของสายพานลีมตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เช่นเดียวกับกรณีของสายพานแบน

ในการเลือกขนาดของล้อสายพาน บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้เลือกขนาดของล้อสายพานให้โตที่สุดเท่าที่จะทำได้ ขนาดของล้อสายพานไม่ควรเล็กกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตาราง 4.1 แต่ข้อควรระวังก็คือ ขณะใช้งานปกติความเร็วของสายพานไม่ควรเกิน 30 m/s

การหาขนาดหน้าตัดโดยประมาณของสายพานลีมสำหรับการส่งกำลัง อาจทำได้โดยใช้รูป 4.4 แต่กำลังที่ส่งได้จริงของสายพานจะต้องตรวจสอบจากตารางการกำหนดสมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลีม ซึ่งจะได้อีกกล่าวถึงต่อไป

การเลือกขนาดของสายพานลีมจะแตกต่างไปจากสายพานแบนเล็กน้อยคือ จะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลีมที่ต้องการใช้งานจากกำลังงานที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่างๆ จำนวนเส้นของสายพานลีมหาได้จากสมการ

$$Z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_1} \quad (4.8)$$

โดยที่ Z = จำนวนเส้นของสายพานลีม

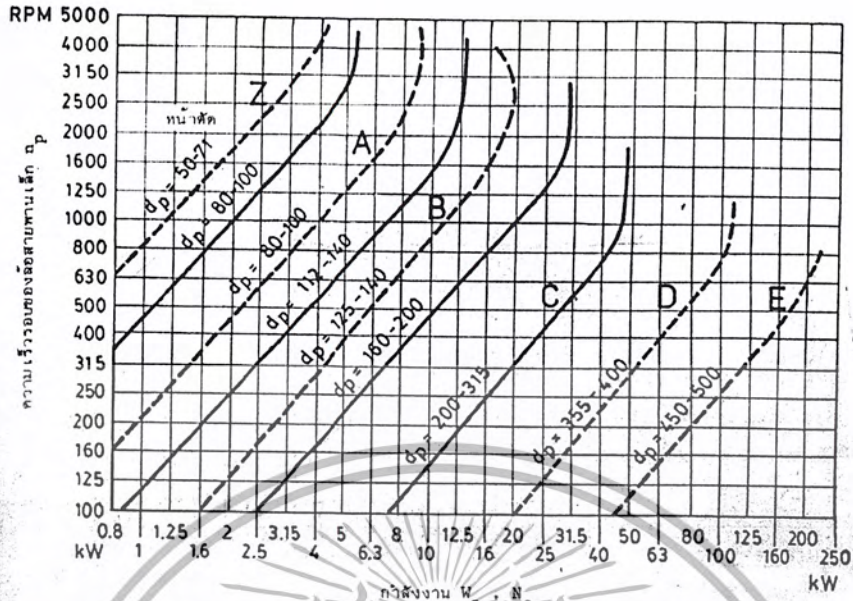
W_p = กำลังงานที่ต้องการส่ง

N_s = ตัวประกอบใช้งานหาค่าได้จากตาราง 4.5

N_a = ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส หาค่าได้จากตาราง 4.6

N_1 = ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน หาค่าได้จากตาราง 4.7 - 4.13

P_R = กำลังที่สายพานลีมหนึ่งเส้นส่งได้ หาค่าได้จากตาราง 4.7 - 4.13



รูป 4.4 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ้ม

ตาราง 4.5 ตัวประกอบใช้งาน N_s สำหรับสายพานลิ่ม

ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการใช้	ชนิดของอุปกรณ์					
	มอเตอร์กระแสเหนี่ยวนำ: normal torque, squirrel cage, synchronous and split phase.			มอเตอร์กระแสเหนี่ยวนำ: high torque, high slip, repulsion-induction, single phase, series wound and slip ring.		
	มอเตอร์กระแสเหนี่ยวนำ: shunt wound			มอเตอร์กระแสเหนี่ยวนำ: series wound และ compound wound.		
ชั่วโมงทำงานต่อวัน	เครื่องชนิดอื่นที่อาจใช้ในหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm			เครื่องชนิดอื่นที่อาจใช้ในหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm เพลาแบบ คลัตช์		
	≤ 10	10-16	> 16	≤ 10	10-16	> 16
งานเบา : เครื่องถลุงของเหลว, เครื่องเป่าลม, เครื่องอัดลมและเครื่องแบบหมอบ-ไฮดรอลิก, หุ่นยนต์ที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kW, สายพานลำเลียงจักรเป็น	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
งานปานกลาง : สายพานลำเลียงพลาสม่าหรือเมทัลลิกซ์, เครื่องผสมของอินทรีย์, หุ่นยนต์ที่มีกำลังสูงกว่า 7.5 kW, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เพลาแบบ, เครื่องชักน้ำ, เครื่องมือกล Punches Presses - shears, เครื่องพิมพ์, positive displacement rotary pumps, เครื่องเขย่า	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
งานหนัก : เครื่องทำอิฐ, bucket elevators, exciters, เครื่องอัดลมและเครื่องสูบแบบลูกสูบ, สายพานลำเลียง, hammer mill, paper mill beaters,	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.6 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_d สำหรับสายพานลิ่ม*

$\frac{D_p - d_p}{C}$	ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha =$	N_d
0	180	1
0.15	170	0.98
0.35	160	0.95
0.5	150	0.92
0.7	140	0.89
0.85	130	0.86
1.0	120	0.82
1.15	110	0.78
1.3	100	0.73
1.45	90	0.68

*ค่าที่อยู่ระหว่างค่าในตาราง อาจหาได้โดยประมาณ โดยใช้การประมาณแบบเชิงเส้น

ตาราง 4.7 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด "Y" ต่อเส้น p_r (เป็น KW) สำหรับสายพานยาว $L_p = 319$ mm และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

D ₂ mm	D ₁ mm	ความเร็วรอบของล้อจากพหุคูณ (rpm)										
		300	400	500	650	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200
สมรรถนะในการส่งกำลัง (P) (KW)												
25	1.00	0.02	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12
	1.05	0.02	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13
	1.20	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13
	1.50	0.03	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14
	23.00	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.15
28	1.00	0.03	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16
	1.05	0.03	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16
	1.20	0.03	0.05	0.06	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17
	1.50	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
	23.00	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.10	0.12	0.15	0.17	0.18
31.5	1.00	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20
	1.05	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.19	0.20
	1.20	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.17	0.19	0.21
	1.50	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.17	0.20	0.22
	23.00	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.18	0.20	0.22
35.5	1.00	0.04	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.17	0.19	0.22	0.24
	1.05	0.04	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.17	0.20	0.23	0.25
	1.20	0.04	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26
	1.50	0.04	0.07	0.08	0.09	0.12	0.14	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26
	23.00	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27
40	1.00	0.05	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.20	0.23	0.27	0.29
	1.05	0.05	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.21	0.23	0.27	0.30
	1.20	0.05	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31
	1.50	0.05	0.09	0.10	0.11	0.14	0.16	0.17	0.21	0.25	0.28	0.31
	23.00	0.05	0.09	0.10	0.11	0.14	0.16	0.18	0.21	0.25	0.29	0.32
45	1.00	0.06	0.10	0.11	0.12	0.15	0.18	0.19	0.24	0.27	0.32	0.35
	1.05	0.06	0.10	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.35
	1.20	0.06	0.10	0.11	0.13	0.16	0.19	0.20	0.24	0.28	0.33	0.36
	1.50	0.06	0.10	0.11	0.13	0.16	0.19	0.20	0.25	0.29	0.33	0.37
	23.00	0.06	0.10	0.11	0.13	0.16	0.19	0.21	0.25	0.29	0.34	0.37
50	1.00	0.07	0.11	0.12	0.14	0.17	0.21	0.22	0.27	0.32	0.36	0.40
	1.05	0.07	0.11	0.12	0.14	0.18	0.21	0.23	0.27	0.33	0.37	0.40
	1.20	0.07	0.11	0.13	0.15	0.19	0.21	0.23	0.28	0.33	0.38	0.41
	1.50	0.07	0.11	0.13	0.15	0.18	0.21	0.23	0.28	0.33	0.38	0.42
	23.00	0.07	0.11	0.13	0.15	0.18	0.22	0.24	0.29	0.33	0.39	0.42

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน K_1

L_p	284	299	319	354	399	377	419	466	469	519	559	669
K_1	0.97	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07	1.08	1.11	1.13	1.25

ความยาวค้ำยี่สิบสี่ $L_1 = L_p + 15$ mm

L_1	300	265	220	280	300	335	339	400	425	450	500	540
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด "Z" ต่อเส้น p_R (เป็น KW) สำหรับสายพานยาว $L_p = 824$ mm และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

D _p (mm)	m _ว (mm)	พหุคูณรวมของจุดความหนาแน่น (kg)										
		400	700	800	950	1200	1450	2000	2500	2850	3200	3600
50	1.00	0.13	0.20	0.22	0.25	0.30	0.35	0.44	0.50	0.56	0.60	0.65
	1.05	0.13	0.21	0.23	0.26	0.31	0.36	0.46	0.52	0.59	0.63	0.68
	1.20	0.14	0.22	0.24	0.28	0.34	0.39	0.49	0.56	0.64	0.69	0.74
	1.50	0.15	0.23	0.26	0.29	0.35	0.41	0.52	0.60	0.68	0.73	0.79
	23.00	0.15	0.24	0.26	0.30	0.36	0.42	0.54	0.62	0.71	0.77	0.83
56	1.00	0.16	0.25	0.28	0.33	0.39	0.45	0.58	0.66	0.75	0.81	0.87
	1.05	0.17	0.26	0.29	0.33	0.40	0.47	0.60	0.68	0.77	0.84	0.90
	1.20	0.17	0.27	0.31	0.35	0.42	0.49	0.63	0.73	0.82	0.89	0.97
	1.50	0.18	0.28	0.32	0.36	0.44	0.51	0.66	0.76	0.86	0.94	1.02
	23.00	0.18	0.29	0.32	0.37	0.45	0.53	0.68	0.78	0.89	0.97	1.05
63	1.00	0.20	0.32	0.35	0.41	0.48	0.57	0.74	0.84	0.96	1.04	1.12
	1.05	0.20	0.32	0.36	0.42	0.50	0.59	0.75	0.87	0.98	1.07	1.16
	1.20	0.21	0.34	0.38	0.43	0.52	0.61	0.78	0.91	1.03	1.12	1.22
	1.50	0.22	0.35	0.39	0.45	0.54	0.63	0.82	0.94	1.07	1.17	1.27
	23.00	0.22	0.35	0.39	0.46	0.55	0.65	0.84	0.97	1.10	1.20	1.31
71	1.00	0.24	0.39	0.43	0.50	0.61	0.71	0.91	1.05	1.19	1.30	1.40
	1.05	0.25	0.39	0.44	0.51	0.62	0.72	0.93	1.07	1.22	1.32	1.43
	1.20	0.25	0.41	0.45	0.52	0.64	0.75	0.97	1.12	1.27	1.38	1.50
	1.50	0.26	0.42	0.47	0.54	0.66	0.77	0.99	1.15	1.31	1.43	1.55
	23.00	0.26	0.42	0.47	0.55	0.67	0.78	1.01	1.17	1.34	1.46	1.58
80	1.00	0.29	0.46	0.52	0.60	0.73	0.85	1.11	1.28	1.45	1.57	1.70
	1.05	0.29	0.47	0.53	0.61	0.74	0.87	1.13	1.30	1.48	1.60	1.73
	1.20	0.30	0.48	0.54	0.62	0.76	0.89	1.16	1.34	1.53	1.66	1.80
	1.50	0.30	0.49	0.55	0.64	0.78	0.91	1.19	1.37	1.57	1.76	1.89
	23.00	0.31	0.50	0.58	0.65	0.79	0.93	1.21	1.40	1.59	1.74	1.88
90	1.00	0.34	0.55	0.62	0.71	0.87	1.02	1.31	1.52	1.75	1.87	2.01
	1.05	0.34	0.56	0.62	0.72	0.88	1.03	1.33	1.54	1.79	1.90	2.05
	1.20	0.35	0.57	0.64	0.74	0.90	1.06	1.37	1.58	1.80	1.95	2.11
	1.50	0.36	0.58	0.65	0.75	0.92	1.08	1.40	1.62	1.84	2.00	2.16
	23.00	0.36	0.59	0.66	0.76	0.93	1.09	1.42	1.64	1.87	2.03	2.20
100	1.00	0.39	0.63	0.71	0.82	1.01	1.18	1.53	1.76	1.99	2.15	2.31
	1.05	0.39	0.64	0.72	0.83	1.02	1.19	1.55	1.78	2.01	2.18	2.34
	1.20	0.40	0.65	0.73	0.85	1.04	1.22	1.58	1.82	2.04	2.23	2.40
	1.50	0.41	0.66	0.76	0.86	1.05	1.24	1.61	1.85	2.09	2.28	2.45
	23.00	0.41	0.67	0.75	0.87	1.07	1.25	1.63	1.88	2.13	2.31	2.49

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน K_L												
L_p	424	449	474	494	524	559	589	624	654	704	734	824
K_L	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01
L_p	924	1024	1144	1274	1424	1624						
K_L	1.03	1.06	1.08	1.11	1.14	1.17						

ความยาวการโค้งงอ $L_p = L_1 + 22(\text{mm})$												
L_1	375	390	400	425	450	475	500	520	560	575	600	600
	630	670	710	730	750	775	800	820	850	875	900	950
	960	1000	1060	1105	1120	1170	1180	1230	1250	1300	1320	1400
	1450	1500	1525	1580	1600	1680	1700	1730	1800	1830	1900	2000
	2080	2240	2480									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด "A" ต่อเส้น p_r (เป็น KW) สำหรับสายพานยาว $L_p = 1732$ และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	ความเร็วรอบของตัวพาด (rpm)										
		400	700	900	1150	1200	1450	1800	2400	2950	3700	3660
71	1.00	0.27	0.45	0.50	0.56	0.67	0.76	0.88	1.05	1.16	1.22	1.28
	1.05	0.30	0.46	0.51	0.59	0.69	0.80	0.92	1.11	1.22	1.30	1.36
	1.20	0.32	0.50	0.55	0.63	0.75	0.86	1.00	1.22	1.35	1.44	1.52
	1.50	0.33	0.52	0.58	0.66	0.79	0.93	1.07	1.30	1.45	1.55	1.65
	23.00	0.34	0.55	0.60	0.69	0.82	0.95	1.11	1.37	1.53	1.64	1.74
80	1.00	0.37	0.59	0.65	0.74	0.89	1.02	1.20	1.45	1.61	1.71	1.81
	1.05	0.38	0.60	0.67	0.77	0.92	1.06	1.24	1.51	1.68	1.79	1.89
	1.20	0.40	0.63	0.71	0.81	0.97	1.12	1.32	1.62	1.81	1.93	2.05
	1.50	0.42	0.66	0.73	0.84	1.01	1.17	1.38	1.70	1.91	2.05	2.19
	23.00	0.43	0.68	0.75	0.87	1.04	1.21	1.43	1.76	1.98	2.13	2.27
90	1.00	0.47	0.74	0.82	0.94	1.13	1.31	1.54	1.88	2.10	2.24	2.36
	1.05	0.47	0.73	0.84	0.96	1.16	1.34	1.58	1.94	2.16	2.31	2.45
	1.20	0.49	0.78	0.87	1.01	1.21	1.42	1.66	2.05	2.29	2.45	2.61
	1.50	0.51	0.81	0.90	1.06	1.26	1.46	1.73	2.13	2.39	2.57	2.74
	23.00	0.52	0.83	0.92	1.08	1.29	1.50	1.77	2.19	2.47	2.65	2.83
100	1.00	0.56	0.90	0.99	1.14	1.37	1.59	1.88	2.30	2.56	2.73	2.88
	1.05	0.56	0.90	1.01	1.16	1.40	1.62	1.92	2.36	2.63	2.80	2.97
	1.20	0.58	0.93	1.04	1.20	1.45	1.69	2.03	2.46	2.76	2.95	3.13
	1.50	0.61	0.96	1.07	1.24	1.50	1.74	2.08	2.55	2.86	3.06	3.26
	23.00	0.61	0.98	1.09	1.26	1.53	1.78	2.11	2.61	2.93	3.14	3.35
122	1.00	0.66	1.06	1.19	1.37	1.65	1.92	2.27	2.78	3.09	3.29	3.46
	1.05	0.67	1.08	1.20	1.39	1.68	1.96	2.31	2.84	3.16	3.36	3.54
	1.20	0.69	1.11	1.24	1.43	1.71	2.02	2.39	2.95	3.29	3.51	3.70
	1.50	0.70	1.13	1.27	1.47	1.78	2.07	2.46	3.03	3.39	3.62	3.83
	23.00	0.71	1.15	1.29	1.49	1.81	2.11	2.50	3.09	3.46	3.70	3.92
125	1.00	0.72	1.25	1.40	1.61	1.95	2.27	2.63	3.20	3.63	3.84	4.01
	1.05	0.73	1.27	1.42	1.64	1.98	2.31	2.73	3.34	3.79	3.99	4.19
	1.20	0.80	1.30	1.45	1.68	2.04	2.37	2.81	3.44	3.83	4.06	4.26
	1.50	0.82	1.32	1.48	1.71	2.08	2.42	2.87	3.53	3.93	4.18	4.39
	23.00	0.83	1.34	1.50	1.74	2.11	2.46	2.92	3.59	4.00	4.26	4.48
140	1.00	0.91	1.47	1.64	1.88	2.30	2.67	3.15	3.83	4.21	4.43	4.56
	1.05	0.92	1.48	1.66	1.92	2.32	2.70	3.19	3.89	4.27	4.49	4.64
	1.20	0.93	1.51	1.69	1.96	2.35	2.73	3.22	3.92	4.30	4.54	4.80
	1.50	0.95	1.54	1.72	1.99	2.42	2.82	3.33	4.08	4.50	4.75	4.93
	23.00	0.96	1.56	1.74	2.02	2.45	2.86	3.38	4.18	4.58	4.83	5.02

ตัวประกอบแก้ไขรวมยาวพาด K_1

D ₁	662	742	833	932	1032	1152	1282	1422	1632	1732	1832	2032
K_1	0.81	0.82	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.99	1.00	1.01	1.03
L_p	2272	2532	2812	3182	3622	4032						
K_2	1.06	1.09	1.11	1.13	1.20	1.25						

ตารางค่าคงที่ $K_3 = 1.1$ (mm)

L_L	480	525	560	580	600	630	655	670	690	710	730	750
	780	780	800	813	825	838	853	865	875	889	900	914
	925	950	965	975	1000	1016	1031	1046	1060	1075	1090	1103
	1168	1180	1203	1220	1250	1270	1300	1320	1346	1372	1400	1422
	1448	1475	1503	1525	1553	1575	1600	1625	1651	1676	1700	1725
	1750	1780	1800	1854	1900	1980	2000	2030	2057	2083	2100	2120
	2150	2200	2240	2295	2360	2430	2475	2500	2550	2630	2600	2840
	3000	3050	3150	3250	3350	3650	4000					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.10 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด "B" ต่อเส้น p_R (เป็น KW) สำหรับสายพานยาว $L_p = 2282$ และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

p (mm)	n (rpm)	ความเร็วรอบของล้อสายพานเล็ก n (rpm)										
		700	800	950	1000	1200	1450	1800	2000	2400	2850	3200
112	1.00	1.23	1.36	1.55	1.60	1.83	2.07	2.37	2.51	2.74	2.89	2.93
	1.05	1.27	1.41	1.60	1.66	1.90	2.16	2.48	2.63	2.88	3.06	3.12
	1.20	1.36	1.50	1.71	1.78	2.04	2.33	2.69	2.87	3.16	3.39	3.49
	1.50	1.42	1.58	1.80	1.87	2.15	2.46	2.85	3.05	3.38	3.65	3.78
	≥3.00	1.47	1.63	1.86	1.94	2.22	2.56	2.97	3.18	3.54	3.84	3.99
125	1.00	1.56	1.73	1.98	2.06	2.35	2.69	3.10	3.30	3.62	3.84	3.91
	1.05	1.60	1.78	2.03	2.11	2.42	2.77	3.20	3.41	3.76	4.01	4.10
	1.20	1.69	1.87	2.14	2.23	2.56	2.94	3.41	3.65	4.04	4.34	4.47
	1.50	1.75	1.95	2.23	2.32	2.67	3.08	3.58	3.83	4.26	4.60	4.76
	≥3.00	1.80	2.00	2.29	2.39	2.75	3.17	3.69	3.96	4.41	4.79	4.97
140	1.00	1.94	2.16	2.47	2.57	2.95	3.38	3.91	4.16	4.57	4.85	4.92
	1.05	1.98	2.20	2.52	2.63	3.02	3.47	4.01	4.28	4.71	5.02	5.11
	1.20	2.06	2.30	2.63	2.74	3.16	3.63	4.22	4.51	4.99	5.35	5.48
	1.50	2.13	2.37	2.72	2.83	3.27	3.77	4.39	4.70	5.21	5.61	5.78
	≥3.00	2.17	2.42	2.78	2.90	3.35	3.86	4.50	4.83	5.37	5.80	5.98
160	1.00	2.43	2.71	3.11	3.24	3.72	4.27	4.94	5.26	5.75	6.04	6.06
	1.05	2.47	2.76	3.16	3.29	3.79	4.36	5.04	5.37	5.89	6.21	6.25
	1.20	2.55	2.85	3.27	3.41	3.93	4.53	5.25	5.61	6.17	6.54	6.62
	1.50	2.62	2.92	3.36	3.50	4.04	4.66	5.42	5.79	6.39	6.80	6.91
	≥3.00	2.66	2.98	3.42	3.57	4.12	4.76	5.54	5.92	6.55	6.99	7.12
180	1.00	2.92	3.25	3.73	3.89	4.47	5.13	5.91	6.28	6.80	7.04	6.93
	1.05	2.96	3.30	3.79	3.95	4.54	5.22	6.02	6.39	6.94	7.21	7.12
	1.20	3.04	3.39	3.90	4.06	4.68	5.39	6.23	6.63	7.22	7.54	7.49
	1.50	3.10	3.47	3.99	4.16	4.79	5.52	6.39	6.81	7.44	7.80	7.78
	≥3.00	3.15	3.52	4.05	4.22	4.87	5.62	6.51	6.94	7.60	7.99	7.99
200	1.00	3.39	3.79	4.35	4.53	5.20	5.96	6.83	7.21	7.73	7.82	7.50
	1.05	3.44	3.83	4.40	4.59	5.27	6.04	6.93	7.33	7.87	7.99	7.69
	1.20	3.52	3.93	4.51	4.70	5.41	6.21	7.14	7.57	8.15	8.32	8.06
	1.50	3.58	4.00	4.60	4.79	5.52	6.35	7.31	7.75	8.37	8.58	8.36
	≥3.00	3.63	4.05	4.66	4.86	5.60	6.44	7.43	7.88	8.52	8.77	8.56
224	1.00	3.96	4.41	5.06	5.27	6.05	6.90	7.84	8.23	8.84		
	1.05	4.00	4.46	5.12	5.33	6.12	6.98	7.94	8.35	8.99		
	1.20	4.08	4.55	5.23	5.45	6.26	7.15	8.15	8.58	9.07		
	1.50	4.14	4.63	5.32	5.54	6.37	7.29	8.32	8.76	9.29		
	≥3.00	4.19	4.68	5.38	5.60	6.45	7.38	8.44	8.89	9.44		

หัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_1

L_p	942	1042	1142	1292	1442	1642	1842	2042	2282	2592	2842	3192
N_1	0.81	0.84	0.86	0.88	0.90	0.93	0.95	0.98	1.00	1.03	1.05	1.07
L_p	3592	4042	4542	5042	5642	6342						
N_1	1.10	1.13	1.15	1.18	1.20	1.23						

ความยาวคอร์ดที่ใช้ $L_p = L_1 + 43$ (mm)

L_1	615	650	670	710	725	750	762	775	800	825	838	850
	875	889	900	925	950	965	975	990	1000	1017	1030	1050
	1060	1075	1090	1120	1150	1175	1180	1200	1215	1225	1250	1300
	1320	1350	1372	1400	1422	1450	1500	1525	1550	1575	1600	1625
	1650	1676	1700	1725	1750	1761	1800	1850	1900	1950	1981	2000
	2030	2060	2083	2108	2120	2160	2200	2240	2286	2300	2360	2400
	2450	2465	2500	2540	2650	2667	2700	2800	2840	2950	3000	3050
	3150	3250	3350	3450	3550	3658	3750	4000	4200	4250	4394	4500
	4572	4750	5000	5300	5600	6000	6300	6700	7000	7100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.11 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด "C" ต่อเส้น p_R (เป็น KW) สำหรับ

สายพานยาว $L_p = 3811$ mm และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

ขนาด (mm)	อัตราเร็ว (m/s)	ความยาวของสายพาน (mm) (L_p)											
		700	800	900	1000	1100	1200	1300	1450	1600	2000	2400	
180	1.00	3.65	4.04	4.57	4.73	5.09	5.34	5.62	5.99	6.64	6.87	6.99	
	1.05	3.76	4.16	4.71	4.88	5.22	5.53	5.81	6.20	6.91	7.17	7.35	
	1.20	3.97	4.39	4.99	5.18	5.54	5.88	6.20	6.63	7.44	7.76	8.06	
	1.50	4.11	4.58	5.21	5.41	5.80	6.16	6.50	6.97	7.86	8.23	8.62	
	23.00	4.23	4.71	5.37	5.58	5.98	6.35	6.72	7.21	8.16	8.56	9.02	
200	1.00	4.50	4.98	5.65	5.86	6.27	6.64	6.99	7.45	8.27	8.55	8.67	
	1.05	4.60	5.10	5.80	6.01	6.45	6.82	7.18	7.67	8.54	8.86	9.03	
	1.20	4.81	5.34	6.08	6.31	6.76	7.16	7.57	8.10	9.08	9.45	9.74	
	1.50	4.98	5.52	6.30	6.54	7.01	7.46	7.87	8.44	9.50	9.92	10.20	
	23.00	5.09	5.64	6.44	6.71	7.20	7.66	8.09	8.68	9.80	10.25	10.70	
224	1.00	5.49	6.09	6.92	7.18	7.68	8.14	8.57	9.13	10.09	10.38	10.36	
	1.05	5.60	6.21	7.07	7.34	7.85	8.32	8.76	9.35	10.36	10.66	10.72	
	1.20	5.81	6.45	7.35	7.63	8.17	8.68	9.15	9.78	10.89	11.20	11.43	
	1.50	5.97	6.64	7.57	7.87	8.43	8.96	9.45	10.14	11.31	11.73	11.99	
	23.00	6.09	6.77	7.73	8.05	8.61	9.16	9.67	10.36	11.61	12.08	12.39	
250	1.00	6.55	7.27	8.26	8.57	9.16	9.70	10.19	10.84	11.86	12.10	11.76	
	1.05	6.66	7.39	8.41	8.72	9.32	9.88	10.39	11.06	12.13	12.41	12.12	
	1.20	6.88	7.62	8.69	9.02	9.63	10.24	10.77	11.49	12.66	13.00	12.83	
	1.50	7.03	7.81	8.91	9.25	9.91	10.52	11.08	11.82	13.08	13.47	13.39	
	23.00	7.14	7.94	9.07	9.42	10.09	10.72	11.29	12.07	13.38	13.80	13.79	
280	1.00	7.74	8.55	9.75	10.11	10.79	11.40	11.96	12.65	13.83	14.12	13.72	
	1.05	7.85	8.71	9.90	10.26	10.96	11.59	12.15	12.87	14.09	14.42	14.02	
	1.20	8.06	8.94	10.18	10.56	11.28	11.94	12.54	13.30	14.57	14.93	14.63	
	1.50	8.22	9.12	10.40	10.79	11.54	12.22	12.84	13.64	14.95	15.36	15.08	
	23.00	8.34	9.27	10.56	10.96	11.72	12.42	13.06	13.88	15.25	15.67	15.42	
315	1.00	9.10	10.08	11.42	11.81	12.58	13.26	13.89	14.65	15.99	16.36	16.06	
	1.05	9.21	10.20	11.56	11.96	12.75	13.44	14.08	14.87	16.26	16.65	16.37	
	1.20	9.41	10.46	11.84	12.27	13.08	13.80	14.45	15.26	16.69	17.09	16.83	
	1.50	9.58	10.63	12.06	12.51	13.33	14.08	14.73	15.54	16.99	17.41	17.13	
	23.00	9.69	10.76	12.12	12.67	13.52	14.28	14.95	15.78	17.27	17.69	17.46	
355	1.00	10.60	11.72	13.22	13.67	14.48	15.19	15.87	16.68	18.19	18.62	18.39	
	1.05	10.70	11.84	13.36	13.82	14.65	15.37	16.07	16.90	18.43	18.87	18.64	
	1.20	10.91	12.07	13.64	14.11	14.97	15.72	16.45	17.30	18.85	19.30	19.07	
	1.50	11.08	12.44	13.86	14.35	15.23	16.00	16.76	17.63	19.20	19.66	19.43	
	23.00	11.19	12.59	14.02	14.51	15.42	16.20	16.97	17.84	19.31	19.78	19.56	

ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_1

L_p	1461	1661	1861	2061	2301	2561	2861	3211	3611	4011	4661	4561
N_1	0.81	0.94	0.85	0.68	0.91	0.93	0.93	0.97	0.98	1.00	1.02	1.04
L_p	5061	5661	6361	7161	8061	10161						
N_1	1.07	1.09	1.12	1.15	1.16	1.23						

ความยาวสายพานที่ปรับ $L_p = L_2 + 52(\text{mm})$

L_2	1000	1090	1180	1270	1250	1295	1320	1400	1500	1520	1600	1700
	1727	1860	1980	2000	2057	2139	2286	2360	2450	2500	2560	2670
	2685	2860	2840	2965	3060	3050	3150	3250	3350	3450	3550	3650
	3750	4000	4020	4115	4300	4500	4572	5000	5300	5600	6000	6300
	6700	7100	7500	7650	8000	8500						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.12 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด "D" ต่อเส้น p_R (เป็น KW) สำหรับสายพานยาว $L_p = 6380$ mm และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

D (mm)	ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)											
	400	450	500	550	600	700	800	950	1100	1300	1500	
315	1.00	8.22	8.99	9.72	10.41	11.07	12.27	13.34	14.66	15.02	15.61	16.03
	1.05	8.45	9.24	10.00	10.72	11.40	12.67	13.78	15.19	15.58	16.23	16.70
	1.20	8.89	9.73	10.54	11.32	12.06	13.44	14.67	16.23	16.68	17.43	18.02
	1.50	9.24	10.13	10.98	11.80	12.58	14.05	15.36	17.06	17.55	18.39	19.06
	23.00	9.48	10.40	11.29	12.14	12.95	14.48	15.86	17.65	18.16	19.07	19.80
355	1.00	10.32	11.31	12.24	13.14	13.99	15.55	16.92	18.60	19.05	19.78	20.27
	1.05	10.55	11.56	12.52	13.45	14.32	15.94	17.37	19.13	19.61	20.40	20.94
	1.20	10.99	12.05	13.07	14.05	14.98	16.71	18.25	20.17	20.71	21.63	22.27
	1.50	11.34	12.44	13.51	14.53	15.50	17.32	18.94	21.00	21.58	22.57	23.31
	23.00	11.58	12.72	13.87	14.87	15.87	17.73	19.44	21.59	22.20	23.24	24.03
400	1.00	12.64	13.86	15.02	16.13	17.17	19.09	20.75	22.73	23.24	24.03	24.49
	1.05	12.87	14.11	15.30	16.43	17.51	19.48	21.20	23.26	23.80	24.65	25.16
	1.20	13.30	14.61	15.85	17.04	18.17	20.23	22.08	24.31	24.90	25.85	26.48
	1.50	13.65	15.00	16.28	17.52	18.69	20.86	22.77	25.13	25.77	26.82	27.53
	23.00	13.90	15.27	16.59	17.85	19.06	21.23	23.27	25.72	26.39	27.49	28.27
450	1.00	15.16	16.63	18.02	19.34	20.59	23.64	24.75	26.92	27.44	28.41	28.81
	1.05	15.39	16.98	18.39	19.75	20.92	24.23	25.26	27.45	28.00	28.77	29.08
	1.20	15.83	17.37	18.81	20.23	21.38	24.60	25.67	28.49	29.10	29.98	30.40
	1.50	16.17	17.77	19.25	20.73	22.10	24.61	26.77	29.32	29.97	30.94	31.45
	23.00	16.42	18.04	19.59	21.07	22.40	25.04	27.26	29.91	30.58	31.62	32.19
500	1.00	17.61	19.22	20.83	22.44	23.86	27.66	30.64	31.10	31.59	31.85	
	1.05	17.85	19.50	21.11	22.75	24.20	28.07	31.18	31.66	32.20	32.12	
	1.20	18.39	20.07	21.76	23.36	24.86	28.58	31.75	32.22	32.76	33.41	33.44
	1.50	18.64	20.46	22.26	23.84	25.30	28.85	32.05	33.63	34.37	34.48	
	23.00	18.89	20.74	22.50	24.18	25.75	28.86	30.97	33.63	34.25	35.05	35.22
560	1.00	20.51	22.46	24.50	26.01	27.59	30.34	32.69	34.45	34.74	34.70	
	1.05	20.73	22.72	24.78	26.32	27.93	30.74	32.94	34.99	35.30	35.32	
	1.20	21.17	23.21	25.13	26.92	28.59	31.51	33.82	36.03	36.40	36.53	
	1.50	21.52	23.61	25.54	27.40	29.11	32.12	34.52	36.66	37.12	37.49	
	23.00	21.77	23.81	25.87	27.78	29.48	32.55	35.01	37.43	37.89	38.17	
630	1.00	23.27	25.59	28.05	29.64	31.67	34.54	36.59	37.90	37.82		
	1.05	23.99	26.24	28.83	30.35	32.00	34.93	37.03	38.40	38.38		
	1.20	24.43	26.72	29.48	30.86	32.56	35.70	37.91	39.48	39.48		
	1.50	24.78	27.12	29.91	31.34	33.08	36.31	38.61	40.30	40.35		
	23.00	25.03	27.50	29.62	31.68	33.35	36.73	39.10	40.89	40.97		

สำหรับถนนในปริมาณการต่อสาย n_1

L_p	3230	3630	4080	4580	5080	5680	6380	7180	7580	8080	8500	9080
n_1	0.86	0.84	0.91	0.93	0.96	0.98	1.00	1.03	1.05	1.06	1.07	1.08
L_p	9280	10080	11280	12580	14080	16080						
n_1	1.10	1.11	1.14	1.17	1.20	1.22						

รวมขนาดที่เพิ่ม $L_p = L_1 + 75(\text{mm})$

L_1	2500	2850	2880	3000	3150	3250	3350	3550	3658	3750	4000	4500
	5000	5300	5310	5600	6000	6300	6700	7100	7500	8000	8500	9000
	9500	10000	11200	12500								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.13 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด "E" ต่อเส้น p_r (เป็น KW) สำหรับสายพานยาว $L_p = 7184$ mm และส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

ความเร็ว (ม/น)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายพาน (mm)	ความยาวของสายพาน (mm)										
		400	500	550	600	650	700	750	800	850	900	
450	1.00	17.54	19.09	20.35	21.91	23.16	24.30	25.32	26.22	27.00	27.64	28.52
	1.05	17.95	19.57	21.09	22.50	23.81	25.00	26.08	27.00	27.96	28.56	29.57
	1.20	18.80	20.52	22.15	23.66	25.07	26.37	27.55	28.61	29.55	30.35	31.55
	1.50	19.46	21.37	22.98	24.58	26.07	27.45	28.72	29.86	30.88	31.77	33.13
	2.00	19.94	21.81	23.37	25.23	26.70	28.22	29.55	30.75	31.83	32.78	34.26
500	1.00	21.74	23.05	24.83	26.48	27.99	29.35	30.56	31.61	32.50	33.21	34.09
	1.05	21.57	23.35	25.17	27.07	28.63	30.05	31.31	32.42	33.36	34.13	35.11
	1.20	22.42	24.49	26.43	28.73	29.90	31.42	32.79	34.00	35.04	35.92	37.12
	1.50	23.08	25.34	27.26	29.15	30.90	32.50	33.96	35.25	36.38	37.34	38.70
	2.00	23.00	25.56	27.77	29.89	31.61	33.27	34.78	36.14	37.23	38.34	39.83
560	1.00	25.38	27.67	29.79	31.74	33.50	35.07	36.43	37.58	38.51	39.20	39.84
	1.05	25.81	28.15	30.33	32.33	34.15	35.77	37.19	38.39	39.37	40.12	40.86
	1.20	26.65	29.10	31.38	33.69	35.41	37.14	38.66	39.87	41.06	41.91	42.88
	1.50	27.33	29.85	32.27	34.41	36.41	38.22	39.83	41.22	42.39	43.39	44.45
	2.00	27.79	30.39	32.81	35.06	37.12	38.99	40.66	42.11	43.34	44.33	45.57
620	1.00	30.17	32.89	35.32	37.55	39.53	41.24	42.68	43.82	44.65	45.15	45.12
	1.05	30.60	33.34	35.88	38.14	40.17	41.84	43.23	44.42	45.31	46.07	46.14
	1.20	31.44	34.39	36.91	39.20	41.44	43.31	44.90	46.20	47.13	47.86	48.14
	1.50	32.11	35.04	37.75	40.22	42.44	44.39	46.07	47.45	48.53	49.28	49.73
	2.00	32.59	35.57	38.34	40.87	43.15	45.16	46.80	48.34	49.78	50.26	50.85
710	1.00	33.44	36.51	41.28	43.72	45.84	47.58	49.93	51.38	52.39	53.43	
	1.05	33.87	37.00	41.82	44.32	46.48	48.28	50.69	52.09	53.26	54.37	
	1.20	34.71	38.10	42.87	45.48	47.72	49.69	51.75	53.27	54.34	55.16	
	1.50	35.39	40.20	43.71	46.90	48.73	50.79	52.73	54.22	55.28	56.58	
	2.00	35.89	41.33	44.30	47.35	49.66	51.50	53.16	54.61	55.22	56.58	
800	1.00	41.09	44.58	47.50	50.85	53.14	55.72	58.75	59.23			
	1.05	41.52	44.98	48.04	51.65	53.78	56.32	59.31	59.82			
	1.20	42.36	45.93	49.09	51.81	54.09	56.78	59.98	59.61			
	1.50	43.03	46.68	49.92	52.72	55.05	56.63	58.13	58.86			
	2.00	43.50	47.32	50.53	53.37	55.75	57.64	59.08	59.75			
900	1.00	47.00	50.45	53.23	56.73	58.05	59.18					
	1.05	47.43	51.15	54.28	58.82	58.70	59.88					
	1.20	48.27	52.09	55.34	59.93	59.96	61.25					
	1.50	48.94	52.84	56.17	58.99	60.97	62.33					
	2.00	49.41	53.77	56.78	59.55	61.68	63.10					

สัณฐานของเส้นใยตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

L_p	4334	5089	5364	5684	6084	6394	6784	7184	7585	8084	8584	9084
K_p	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05
L_p	9584	10084	11284	12584	14084	16084						
K_p	1.06	1.07	1.10	1.12	1.13	1.18						

หมายเหตุ: $L_p = L_1 + 82$ (mm)

L_p	3000	3350	4000	5000	6000	6300	7100	7500	8000	9000	10000
K_p	1.1200	1.2500									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 เฟืองตรง

เฟืองตรง (spur gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึงที่ขนานกันส่วนมากเฟืองขับ (driving gears) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (driven gears) และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พิเนียน (pinion) ส่วนเฟืองใหญ่เรียกว่าเฟือง แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ เนื่องจากว่าเฟืองที่ผลิตและใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ยังคงใช้ระบบหน่วยอังกฤษอยู่เป็นส่วนมาก ซึ่งก็จำเป็นต่อการเป็นเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลที่ชำรุดเสียหาย ฉะนั้นเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษก็ยังคงต้องผลิตออกมาอีกมาเป็นเวลานาน ดังนั้นในบทนี้จึงกล่าวถึงการออกแบบหรือการเลือกขนาดเฟือง ทั้งในระบบหน่วยอังกฤษ และในระบบหน่วยเอสไอ (SI) ควบคู่กันไป

5.1 คำจำกัดความในการให้คำจำกัดความเรียกชื่อส่วนต่างๆ ของเฟือง

1. วงกลมพิตช์ (pitch circle) เป็นมิตหลักในการเรียกขนาดของเฟือง โดยบอกขนาดของเฟืองด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ (pitch diameter) ในทางทฤษฎีแล้วเฟืองคู่ที่ขบกันจะต้องมีเส้นสัมผัสกัน ณ วงกลมพิตช์

2. เซอคิวลาพิตช์ (circular pitch) P เป็นระยะที่วัดบนวงกลมพิตช์ จากจุดหนึ่งบนพื้นเฟืองไปยังอีกจุดหนึ่ง ณ ตำแหน่งเดียวกันบนพื้นถัดไป จะเห็นได้ว่าระยะนี้มีค่าเท่ากับ ผลรวมของความกว้างฟันและความกว้างช่องว่างระหว่างฟัน

3. โมดูล (module) m เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ กับจำนวนฟันบนเฟือง หน่วยที่ใช้วัดโมดูล คือ มิลลิเมตร โมดูลนี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟือง ในระบบหน่วย เอสไอ

4. ไดอะมิทริคัลพิตช์ (diametral pitch) P เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันบนเฟืองกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ ฉะนั้นจึงเป็นส่วนกลับของโมดูล ไดอะมิทริคัลพิตช์ นี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษ ซึ่งกำลังได้รับการเปลี่ยนแปลงให้เป็นระบบหน่วยเอสไออยู่ ดังนั้นความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์จึงใช้บอกเป็นนิ้ว

5. แอดเดนดัม (addendum) a หรือช่วงสูงบน เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (top land) ถึงวงกลมพิตช์

6. ดีเดนดัม (dedendum) d เป็นช่วงสูงล่าง เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างโคนฟัน (bottom land) ถึงวงกลมพิตช์ ฉะนั้นความสูงของฟันเฟือง คือ ผลรวมระหว่าง a กับ d

7. เคลียร์รันซ์ (clearance) c ในการที่เฟือง 2 อัน ขบกัน ดีเดนดัมของเฟืองหนึ่งต้องมีค่ามากกว่าแอดเดนดัมของอีกเฟืองหนึ่ง เพื่อที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันขึ้น ผลต่างระหว่างค่าแอดเดนดัมและดีเดนดัมนี้ เรียกว่า เคลียร์รันซ์ c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. แบ็คแล็ช (backlash) คือผลต่างระหว่างความกว้างช่องว่างระหว่างฟันเฟืองหนึ่ง กับความกว้างของฟันเฟืองอีกอันหนึ่งที่ขบกัน โดยวัดตามแนวเส้นวงกลมพิตช์ ฉะนั้นในการขับด้วยฟันเฟืองที่มีแบ็คแล็ชเฟืองขับจะสามารถหมุนไปได้เป็นมุมเล็กน้อยก่อนที่เฟืองตามจะหมุนไป แบ็คแล็ชนี้จำเป็นต้องมีอยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อให้มีช่องว่างสำหรับน้ำมันหล่อลื่น และเพื่อให้เฟืองสามารถขยายตัวได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตลอดจนมีเผื่อเอาไว้ สำหรับความผิดพลาดในการตัดรูปร่างของฟันเฟือง

ความหนาของฟัน (face width) b คือความหนาของฟันเฟือง วัดในทิศทางเดียวกับแนวแกนของเฟือง ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าความหนาเฟือง

9. แฟล็งก์ (flank) คือ ผิวทางด้านข้างของฟันเฟือง ซึ่งอยู่ระหว่างวงกลมพิตช์กับวงกลมดีเดนคัม

10. อัตราทด (velocity ratio) m_w คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม ถ้าให้ "1" และ "2" แทนเฟืองขับและเฟืองตาม ตามลำดับ จากความรู้ทางด้านกลศาสตร์จะได้ว่า

$$m_w = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} \tag{5.1}$$

โดยที่ ω = ความเร็วเชิงมุม , rad/s
 n = ความเร็วรอบ , rpm
 d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ mm หรือ in.
 N = จำนวนฟัน

อัตราส่วนเฟือง (gear ratio) m_g คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองต่อจำนวนฟันของพิเนียน ถ้าพิเนียนเป็นตัวขับแล้ว

$$m_g = m_w = \frac{N_2}{N_1} \tag{5.2}$$

5.2 มาตรฐานการบอกขนาดของฟัน

ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่าดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟือง อาจจะบอกเป็นพิตช์ในระบบหน่วยอังกฤษ หรือบอกเป็นโมดูลในระบบหน่วย เอสไอ จากคำจำกัดความที่ผ่านมาจะได้ว่า

ไดอะมิทรีลพิตช์
$$P = \frac{N}{d}$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็น in.

โมดูล
$$m = \frac{d}{N}$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็น mm

และเชือกวัดพิตช์

$$P = \frac{\pi d}{N} \tag{5.3}$$

ดังนั้น

$$Pp = \pi$$

สำหรับเฟืองที่ผลิตโดยวิธีการหล่อ ควรจะใช้ค่าเชอคิวลาพิตซ์ ทั้งนี้เพราะจะทำให้สามารถทำแบบหล่อได้สะดวก ส่วนเฟืองที่ผลิตโดยวิธีการตัดกลึง มักจะเรียกเป็น ไดอะมิทริลพิตซ์ หรือ โมดูล เพราะมีอุปสรรคในการตัดฟันเฟืองเป็นมาตรฐานอยู่แล้ว ในการเลือกใช้เฟืองควรจะต้องเลือกให้ตรงกับอุปกรณ์ตัดฟันมาตรฐานที่มีอยู่แล้ว โปรดสังเกตด้วยว่าเมื่อขนาดโมดูลโตขึ้น ความหนาฟันเฟืองก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนขนาดของไดอะมิทริลพิตซ์ โตขึ้น ความหนาฟันเฟืองจะลดลง

5.3 กฎการขับของเฟืองและการทำงานของฟันเฟือง

เฟืองสองอันที่ขบกันจะให้อัตราทดคงที่ก็ต่อเมื่อเฟืองคู่กันเป็นไปตามกฎการขับของเฟือง ดังกล่าวได้ว่า รูปร่างของฟันเฟืองจะต้องทำให้เส้นตั้งฉากร่วม (common normal) ที่ลาก ณ จุดสัมผัสระหว่างฟันทั้งสองผ่านจุดคงที่จุดหนึ่ง ซึ่งอยู่บนเส้นที่โยงระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองทั้งสองและจุดนี้เรียกว่าจุดพิตซ์ (pitch point)

ในการทำความเข้าใจกับข้อความนี้ให้พิจารณา จุดคงที่ดังกล่าวนี้คือจุด P ซึ่งอยู่บนเส้นที่โยงระหว่างจุดศูนย์กลาง O_1 และ O_2 ของเฟืองทั้งสอง รูปร่างของฟันเฟืองที่เป็นไปตามกฎการขับนี้เรียกว่า คอนจูเกตเคฟ (conjugate curves) และที่นิยมใช้กันมากก็คืออินโวลูตเคฟ (involute curves) โดยเริ่มต้นจากวงกลมที่เรียกว่าวงกลมฐาน (base circle) เส้นตั้งฉากกับอินโวลูตเคฟ DE เป็นแนวเส้นที่แรงปฏิกิริยาที่ฟันเฟืองกระทำเรียกว่า แนวของการกระทำ (line of action) หรือ

แนวแรงกด (pressure line) และมุม ϕ ในรูปเรียกว่ามุมกด (pressure angle) เฟืองที่ผลิตขึ้นใช้กับเครื่องจักรกลในปัจจุบันนี้มุมกด 20 และ 25 องศา เป็นส่วนมากสำหรับเฟืองที่มีมุมกดเท่ากับ $14\frac{1}{2}$ องศา ก็ยังคงมีผลผลิตออกมาใช้บ้าง ทั้งนี้ก็เพื่อใช้สำหรับการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลเก่าที่ยังมีคนยังคงใช้อยู่ แสดงมาตรฐานของฟันเฟืองที่เป็น อินโวลูตเคฟ สำหรับมุมกด $14\frac{1}{2}$ องศา 20 องศา และ 25 องศา ซึ่งบอกทั้งในเทอมของไดอะมิทริลพิตซ์และโมดูล ในกรณีที่ป้องกันมิให้เกิดการขัดกันขึ้น (จะได้กล่าวถึงต่อไป) ผู้ผลิตก็อาจจะไม่ใช้ความยาวของฟันทั้งหมดตามมาตรฐาน full depth (FD) แต่จะตัดความสูงของฟันออกเล็กน้อยและเรียกมาตรฐานนี้ว่า stub teeth

* พิตละเอียด (fine pitch) ให้นับตั้งแต่ขนาด 20P (โมดูล 1.25 ลงมา) ขึ้นไป นอกนั้นให้ถือว่าเป็นพิตซ์หยาบ (coarse pitch)

จากการพิจารณารูปสามเหลี่ยม O_1FP และ O_2GP จะพบว่ารัศมีของวงกลมฐานคือ

$$r_{b1} = r1 \cos \phi$$

$$r_{b2} = r2 \cos \phi$$

หรือเขียนในรูปทั่วไป $r_b = r \cos \phi$

ระยะทางที่วัดบนวงกลมฐานจากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองหนึ่งไปยังจุดเดียวกันบนฟันเฟืองถัด

ไปเรียกว่า พิตซ์ฐาน (base pitch) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเชอคิวลาพิตซ์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในชมรมเพื่อใช้และเผยแพร่แก่สมาชิกชมรมโดยไม่แสวงหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_b = p \cos \phi \quad (5.4)$$

5.4 ระยะเวลาขบและอัตราส่วนการขบ

เมื่อเฟืองอันหนึ่งขับเฟืองอีกอันหนึ่ง จุดสัมผัสระหว่างฟันเฟืองเริ่มขึ้นเมื่อผิวด้านข้างของฟันเฟืองขับสัมผัสกับปลายฟันเฟืองของเฟืองตาม และการสัมผัสจะสิ้นสุดลงเมื่อปลายฟันเฟืองของเฟืองขับสัมผัสกับผิวด้านข้างของฟันเฟืองตาม

เนื่องจากปลายฟันเฟืองอยู่บนวงกลมแอดเดนดัม การสัมผัสระหว่างฟันเฟืองเริ่มขึ้นเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองตามตัดกับแนวแรงกด และการสัมผัสจะสิ้นสุดลงเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองขับตัดกับแนวแรงกดอีกครั้งหนึ่ง ดังจุด A และ B ที่ ระยะ AB นี้เรียกว่า ระยะเวลาขบซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$AB = \sqrt{(r_2 + a_2)^2 - (r_2 \cos \phi)^2} - r_2 \sin \phi + \sqrt{(r_1 + a_1)^2 - (r_1 \cos \phi)^2} - r_1 \sin \phi \quad (5.5)$$

โดยที่ r เป็นรัศมีของวงกลมพิตซ์ และ a เป็นแอดเดนดัม

ในขณะที่เฟืองขับกันควรจะมีฟันอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่ขบกันอยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วการขบกันมักจะมียาวกว่าหนึ่งคู่ วิธีการบอกจำนวนฟันที่ขบกันจะบอกเป็นอัตราส่วนการขบ (contact ratio) ซึ่งมีนิยามว่า เป็นอัตราส่วนระหว่างระยะเวลาขบ และพิตซ์ฐาน นั่นคือ อัตราส่วนการขบ

$$m_c = \frac{AB}{P_b} \quad (5.6)$$

เพื่อให้เฟืองทำงานได้อย่างราบรื่นดี อัตราส่วนการขบควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.5 การที่เฟืองคู่ใดมีอัตราส่วนการขบน้อยกว่าหนึ่ง หมายความว่าฟันของเฟืองคู่หนึ่งจะจากกันก่อนที่ฟันอีกคู่หนึ่งจะเข้ามาขบกัน ในกรณีเช่นนี้จะทำให้การให้การทำงานของเฟืองไม่ราบรื่น ทั้งนี้เพราะจะมีแรงเนื่องจากการกระแทก (impact) เกิดขึ้นมาก

5.5 การขัดกัน

ในการสร้างฟันเฟืองอินโวลูตเคอฟ จะเริ่มจากวงกลมฐาน ฉะนั้นส่วนของฟันเฟืองที่อยู่ต่ำกว่าวงกลมฐานจึงไม่เป็นอินโวลูตเคอฟ นั่นคือจะใช้กฎการขับของเฟืองกับฟันเฟืองส่วนนี้ไม่ได้ ดังนั้นถ้ามีการขบระหว่างฟันเฟืองที่ระยะต่ำกว่าวงกลมฐานก็อาจจะทำให้เกิดการขัดกัน

(interference) ได้ เป็นเฟืองที่มีการขัดกัน จุด A และ จุด B เรียกว่าจุดขัดกัน (interference point) ถ้ามี

การสัมผัสระหว่างฟันเฟืองนอกจุดนี้ (ถ้าวงกลมแอดเดนดัมตัดแนวแรงกดนอกจุดนี้) ก็จะเกิดการขัดกันขึ้น มีการขัดกันเพราะว่าจุด C และ D อยู่นอกจุด A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สูงวงไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจะดูว่าเฟืองคู่หนึ่งจะมีการขัดกันหรือไม่ให้คำนวณหาระยะรัศมีของวงกลมแอดเดนดัม r_a ของเฟือง ซึ่งจะได้

$$\begin{aligned} r_a &= \sqrt{(r \cos \phi)^2 - (c_o \sin \phi)^2} \\ &= \sqrt{r_b^2 + (c_o \sin \phi)^2} \end{aligned} \quad (5.7)$$

โดยที่ r = รัศมีวงกลมพิตซ์
 r_b = รัศมีของวงกลมแอดเดนดัม
 c_o = ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟือง

ถ้ารัศมีของวงกลมแอดเดนดัมที่หาได้จากการใช้ตาราง มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จากสมการ 5.10 แสดงว่ามีการขัดกันเกิดขึ้น ค่าการขัดกันนี้จะลดลงเมื่อขนาดของเฟืองทั้งสองแตกต่างกันน้อยลง

วิธีการที่จะป้องกันมิให้เกิดการขัดกันขึ้นทำให้หลายวิธีดังต่อไปนี้ คือ

1. ใช้วิธีตัดเนื้อโลหะส่วนที่อยู่ต่ำกว่าวงกลมฐานออกบ้าง (undercutting) ทั้งนี้เพื่อมิให้มีการสัมผัสระหว่างฟันเฟืองในบริเวณนี้ ข้อเสียในการทำเช่นนี้คือ ทำให้อัตราส่วนการขบลดลง และทำให้ฟันเฟืองบอบบางลง
2. ใช้วิธีตัดปลายฟันเฟืองให้สั้นลง (stubbed teeth) ข้อเสียที่ตามมาก็คือ ทำให้อัตราส่วนการขบลดลง
3. การเพิ่มมุมกด ϕ จะลดขนาดของวงกลมฐาน วิธีนี้ทำให้ส่วนที่เป็นอินโวลูตเคอฟของฟันเฟืองเพิ่มขึ้นจึงสามารถจัดการขัดกันได้ แต่การเพิ่มมุม ϕ จะทำให้แรงปฏิบัติการขบในแนวรัศมีของเฟือง (separating force) เพิ่มขึ้น ทำให้การขบกันระหว่างฟันเฟืองมีความราบเรียบน้อยลง
4. การใช้เฟืองที่ไม่เป็นมาตรฐาน (non-interchangeable) กล่าวคือ ให้เฟืองอันเล็กมีแอดเดนดัมเพิ่มขึ้น (โดยลดดิเคนดัมตามส่วนที่เพิ่มขึ้น) และให้เฟืองอันใหญ่มีแอดเดนดัมลดลง ซึ่งทำให้ราคาเฟืองแพงขึ้น และไม่สามารถใช้ขบเฟืองอื่น ๆ ที่เป็นมาตรฐานได้

5.6 วิธีการตัดเฟือง

การผลิตเฟืองนอกจากใช้การหล่อโดยวิธีต่าง ๆ เช่น หล่อด้วยแบบทราย เซลล์โมลดิ้ง(shell moulding) ดายคาสติง (die casting) แล้ว ยังมีวิธีการผลิตเฟืองที่ใช้กันมากคือ การตัดฟันเฟืองด้วย

วิธีต่าง ๆ กันดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มิลลิ่งคัตเตอร์ (milling cutter) ในวิธีการตัดฟันเฟืองมีชื่อเรียกว่า มิลลิ่งคัตเตอร์ ซึ่งเป็นเฟืองชนิดหนึ่งที่มีฟันเป็นรูปลักษณะของช่องว่างระหว่างฟันเฟืองที่จะตัด วิธีการก็คือ ให้คัตเตอร์หมุนเพื่อตัดโลหะ ซึ่งจะเป็นช่องว่างระหว่างฟันเฟืองออกหลักจากเสร็จหนึ่งช่องแล้ว ก็ให้เฟืองหมุนไปอีกหนึ่งช่อง แล้วคัตเตอร์จะตัดโลหะออกอีกหนึ่งช่องเรื่อยไป อุปกรณ์ที่ใช้หมุนเฟืองไปครั้งละหนึ่งช่อง เรียกว่า จานแบ่ง (indexing) ซึ่งปรับระยะในการหมุนให้สอดคล้องกับจำนวนฟันบนเฟืองได้ตามต้องการ ข้อเสียของการตัดฟันเฟืองโดยวิธีนี้คือ คัตเตอร์แต่ละอันจะตัดฟันเฟืองได้เฉพาะจำนวนฟันและพิตซ์ที่ต้องการเท่านั้น ถ้าจำนวนฟันเปลี่ยนไปก็ต้องใช้คัตเตอร์อันใหม่ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการตัดเฟืองสูง ในทางปฏิบัติจะไม่มีการเปลี่ยนคัตเตอร์ทุกครั้งทีจำนวนฟันเฟืองที่ต้องการตัดเปลี่ยนไป แต่จะใช้คัตเตอร์อันเดียวกันสำหรับตัดฟันเฟืองที่มี จำนวนฟันแตกต่างกันประมาณ 8 ฟัน โดยที่พิตซ์เท่ากัน ดังนั้นเฟืองที่ตัดโดยวิธีนี้จึงได้เพียงแต่รูปร่างของฟันโดยประมาณเท่านั้น ทั้งนี้เพราะในจำนวนเฟือง 8 อัน ที่มีพิตซ์เท่ากันแต่จำนวนฟันแตกต่างกันไปนี้ จะมีเพียงเฟืองเดียวที่รูปร่างของฟันเฟืองตัดได้อย่างถูกต้อง โภชน์ที่ต้องการใช้งานด้วยความแม่นยำมาก ก็จำเป็นต้องใช้คัตเตอร์ที่ถูกต้องในการตัดฟันเฟืองที่ต้องการจริงๆ

2. เร็คคัตเตอร์ (rack cutter) ในวิธีนี้ตัวตัดฟันเฟืองเป็นเร็คหรือเฟืองซึ่งไม่มีความโค้งนั่นเอง (อาจเรียกว่าเฟืองสะพานหรือเฟืองบันทึด) ในการทำงานคัตเตอร์จะเลื่อนไปกลับ (reciprocating) เพื่อค่อย ๆ ตัดเนื้อโลหะออกจากเฟืองเปล่า (gear blank) ซึ่งก็คือเฟืองที่ไม่มีฟัน จนกระทั่งวงกลมพิตซ์ของเฟืองและคัตเตอร์สัมผัสกัน (วงกลมพิตซ์ของเร็คเป็นเส้นตรง) จากนั้นเฟืองเปลื่อก็เลื่อนไปสู่ตำแหน่งถัดไปของฟันและวิธีการตัดก็กระทำซ้ำเช่นเดิม วิธีการนี้จะได้ฟันเฟืองที่เข้าใกล้รูปร่างที่ต้องการมาก ข้อเสียก็คือ ต้องใช้เวลาในการตัดเฟืองมาก เฟืองอันใหญ่ย่อมจะนิยมใช้ตัดด้วยเร็คคัตเตอร์ ทั้งนี้เพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการตัดด้วยวิธีอื่น ๆ

3. พินิออนคัตเตอร์ (pinion cutter) วิธีการก็เช่นเดียวกันกับเร็คคัตเตอร์แต่คัตเตอร์ที่ใช้เป็นเฟืองอีกอันหนึ่งแทนที่จะเป็นเร็ค วิธีการตัดเฟืองนี้จะให้เฟืองเปล่าค่อย ๆ หมุนไป ในขณะที่เดียวกันคัตเตอร์ก็จะเลื่อนไปกลับเพื่อตัดโลหะออกจากเฟืองเปล่า ในวิธีนี้จะตัดฟันเฟืองออกเท่านั้น เมื่อเฟืองหมุนครบหนึ่งรอบและเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่ง

4. ฮ็อบบิง (hobbing) วิธีการตัดฟันเฟืองที่เรียกว่า ฮ็อบบิง มีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีเร็คคัตเตอร์

ข้อแตกต่างก็คือ การใช้ฮ็อบซึ่งมีลักษณะเหมือนเฟืองตัวหนอน (worm gear) เป็นตัวตัดแทนเร็คเฟืองเปล่าและฮ็อบจะหมุนไปพร้อมกันรอบแกนหมุนของตัวเองอย่างเป็นจังหวะ เพื่อให้ตรงกับซี่ฟันที่ต้องการตัดพอดี ข้อดีของวิธีนี้คือ หลังจากการตั้งจังหวะให้เฟืองและฮ็อบหมุนได้ที่แล้วจะไม่ต้องตั้งฮ็อบใหม่อีก

5.7 ความเค้นในพื้นของเฟืองตรง

การออกแบบเฟืองเป็นปัญหาที่ค่อนข้างยาก ทั้งนี้เพราะการออกแบบขั้นต้นต้องกระทำแบบใช้การทดลองดู การออกแบบขนาดของพื้นเฟืองมีอยู่หลายวิธีที่จะกล่าวต่อไปนี้ก็คือ การใช้สมการของลูอิส (Lewis)

ลูอิสได้หาสมการสำหรับการคำนวณขนาดของพื้นเฟือง โดยสมมุติให้พื้นเฟืองมีลักษณะเป็นคานยื่น (cantilever beam) และรับแรงคั้น ถ้าคิดให้แรงกระทำที่ปลายพื้น แรง F_b จะตั้งฉากกับผิวของพื้นไปตามแนวแรงกด ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 แรง ตั้งฉากกันคือ F_b และ F_t สมมุติให้แรงนี้กระจายออกไปสม่ำเสมอตลอดความหนาของพื้น b และให้คำนวณหาความแข็งแรงของพื้นโดยที่ไม่คิดแรงกดในแนวรัศมี F_r

จากสมการความเค้นในคาน

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{(F_b L)(t/2)}{bt^3/12} \tag{5.8}$$

$$= \frac{6F_b L}{bt^2}$$

หรือ $F_b = \frac{\sigma bt^2}{6L}$

ในการออกแบบคานที่ความเค้นควรจะเท่ากันตลอดทุกหน้าตัดของคาน ถ้าให้พื้นเฟือง มีความเค้นคงที่ ($\sigma =$ ค่าคงที่) และเนื่องจากความหนาของเฟือง b เท่ากันตลอดดังนั้นสมการจะเขียนได้เป็น

$$L = (\text{ค่าคงที่})(t^2)$$

จะเห็นว่าพื้นเฟืองจะต้องมีรูปร่างเป็นพาราโบลา ดังเส้นปะ แต่ในเฟืองอินโวลูตเนื้อโลหะจะเพิ่มขึ้น จากรูปพาราโบลาดังในรูปดั่งนั้นในพื้นเฟืองที่ใช้งานอยู่จริง ความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้นที่หน้าตัด BED

จากรูปสามเหลี่ยมคล้าย ABE และ BCE จะได้ว่า

$$\frac{x}{t/2} = \frac{t/2}{L} \quad \text{หรือ} \quad L = \frac{t^2}{4x}$$

เมื่อแทนค่า L นี้ลงไปในสมการ 5.8 จะได้ว่า

$$F_b = \frac{\sigma b \left(\frac{2x}{3p}\right) p}{6 \left(\frac{t^2}{4x}\right)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา (3p) ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ p เป็นเซอร์คิวลาพิตช์ และค่า $\frac{2x}{3p}$ เรียกว่า ตัวประกอบรูปแบบลูอิส (Lewis form factor) ใช้แทนด้วย y จึงทำให้เขียนสมการได้เป็น

$$F_b = \sigma b y p$$

เนื่องจากเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษใช้บอกด้วยไดอะมิทรัลพิตช์ P ซึ่ง $p = \pi/P$ ดังนั้นสมการ จึงเขียนได้เป็น

$$F_b = \frac{\sigma b Y}{P} \quad (5.9)$$

โดยที่ $Y = \pi y$ เป็นตัวประกอบรูปแบบลูอิสเช่นกัน สำหรับในระบบหน่วย เอสไอ ใช้บอกขนาดของเฟืองด้วยโมดูล ดังนั้น

$$F_b = \sigma b Y m$$

ค่า y และ Y นี้สามารถหาได้โดยการคำนวณจากรูปร่างของฟันเฟืองและหาค่าได้จากตาราง เนื่องจากแรงที่กระทำกับฟันเฟืองแบบกระทำซ้ำกันและมีความถี่ตามความเร็วของเฟือง ดังนั้นเฟืองจึงแตกร้าวโดยผลจากความล้า (fatigue) เสียส่วนใหญ่

ในทางปฏิบัติมักจะออกแบบเฟืองให้มีอัตราส่วนการขบอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.6 ดังนั้นในขณะที่แรงกระทำอยู่ที่ปลายฟันเฟืองฟันหนึ่ง ฟันคู่ถัดไปก็ยังคงสัมผัสกันอยู่ ฉะนั้นแรงทั้งหมดจึงมีได้กระทำที่ปลายฟันเฟืองเพราะมีฟันคู่อื่นรับแรงอยู่ด้วย ในขณะที่เฟืองหมุนปลายแรงที่ปลายฟันจะค่อย ๆ เคลื่อนลงมาจนเกือบถึงกลางฟัน ฟันอีกคู่หนึ่งจึงผละออกจากกัน ด้วยเหตุนี้เองแรงทั้งหมดจึงกระทำต่อฟันเฟืองใกล้กับกลางฟัน (ยกเว้นในกรณีที่ $m_c \leq 1$) จากการทำงานของฟันเฟืองดังกล่าวมานี้ทำให้ไม่สามารถที่จะตัดสินลงไปได้ว่าเมื่อใดความเค้นในฟันเฟืองจึงมากที่สุด สำหรับการออกแบบเฟืองเพื่อใช้งานทั่วไปแล้วมักจะสมมุติให้แรงทั้งหมดกระทำที่ปลายฟัน ส่วนชิ้นงานที่ต้องคำนึงถึงขนาดและน้ำหนักเป็นสำคัญแล้วมักจะใช้การคำนวณโดยคิดให้แรงกระทำใกล้กับกลางฟันเฟือง

ตามทฤษฎีการคำนวณหาขนาดของฟันเฟืองดังกล่าวมาแล้วได้ละทิ้งแรง F_f ที่กดฟันอยู่แรงนี้จะทำให้เกิดความเค้นอัดเพิ่มขึ้นในฟันซึ่งเมื่อรวมกับความเค้นเนื่องจากแรง F_t แล้ว (แรง F_t ทำให้เกิดความเค้นดึงและความเค้นอัดในฟัน) จะเป็นผลให้ความเค้นในด้านหนึ่งของฟันลดลง และความเค้นอัดในอีกด้านหนึ่งของฟันเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุส่วนมากที่ใช้ทำเฟืองสามารถรับแรงอัดได้มากกว่าแรงดึง ฉะนั้นแรง F_f ที่ละทิ้งไปนี้จึงช่วยให้เฟืองสามารถรับแรงได้สูงขึ้นอีก อีกประการก็คือความล้าที่เกิดขึ้นมักจะเกิดในฟันด้านที่รับแรงดึง ดังนั้นการลดความเค้นดึงทางด้านนี้จึงทำให้ฟันแข็งแรงยิ่งขึ้นอีก

ในการคำนวณหาแรง F_b ที่ฟันเฟืองจะสามารถรับ ให้สังเกตสิ่งต่อไปนี้ สำหรับเฟืองอันที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รับแรงได้น้อยกว่าก็คืออันที่มีค่า σY น้อยกว่าถ้าพื้นผิวและเฟืองทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกันแล้วจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จะเห็นได้ว่าค่า Y ของพืเนียงจะน้อยกว่าของเฟือง (เฟืองมีจำนวนฟันมากกว่า) ดังนั้นพืเนียงจะรับแรงได้น้อยกว่าเฟือง เมื่อเป็นเช่นนี้ในการคำนวณหาขนาดของฟันจึงต้องคำนวณที่พืเนียง

5.8 ความเค้นหนาแน่น

ตัวประกอบที่สำคัญอีกค่าหนึ่งซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของฟันเฟืองมากและมีได้รวมอยู่ในสมการของลูอิส คือ ความเค้นหนาแน่น (stress concentration) ที่โคนฟันเฟือง ซึ่งเป็นบริเวณที่เชื่อมต่อกันระหว่างอินโวลูตเคอฟและวงกลมดีเคนคัมและจะมีฟิลเลต (fillet) รัศมี r การหาค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นทางทฤษฎี K_t (theoretical stress concentration factor) สำหรับฟันเฟืองเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมาก จึงมีเพียงแต่ผลที่ได้ จากการทดลองโดยใช้วัสดุยืดหยุ่นโปร่งแสง (photoelasticity material) ของ Dolan และ Broghamer ซึ่งได้สมการออกมาดังนี้คือ

$$K_t = 0.22 + \left(\frac{t}{r}\right)^{0.2} \left(\frac{t}{L}\right)^{0.4} \text{ สำหรับ } \phi = 14\frac{1}{2}^\circ$$

$$K_t = 0.18 + \left(\frac{t}{r}\right)^{0.15} \left(\frac{t}{L}\right)^{0.45} \text{ สำหรับ } \phi = 20^\circ$$

$$K_t = 0.14 + \left(\frac{t}{r}\right)^{0.11} \left(\frac{t}{L}\right)^{0.5} \text{ สำหรับ } \phi = 25^\circ$$

โดยที่ t เป็นความหนาของฟันเฟือง และ L เป็นระยะห่างของแรง F_t กับหน้าตัด BED ในทางปฏิบัติค่า t, L และ r เป็นค่าที่ไม่สามารถจะทราบได้ล่วงหน้าก่อนที่จะออกแบบฟันเฟือง นอกจากนี้ยังมีตัวประกอบความไวของรอยเจาะ q (notch sensitivity factor) มาเกี่ยวข้องในการหาค่าของความเค้นหนาแน่นอีกด้วย ดังนั้นในการคำนวณเกี่ยวกับฟันเฟืองจึงใช้ค่าประมาณดังนี้ คือ

$$1.2 \leq k_f \leq 1.7 \text{ เมื่อใช้แรงกระทำที่ปลายฟัน}$$

$$1.4 \leq k_f \leq 2.0 \text{ เมื่อใช้แรงกระทำใกล้กลางฟัน}$$

โดยที่ K_f เป็นตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจริง (actual stress concentration factor) ดังนั้นสมการ (5.7) (5.8) และ (5.9) จึงเขียนได้เป็น

$$F_b = \frac{\sigma_b p}{K_f}$$

$$F_b = \frac{\sigma_b Y}{K_f P}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $F_b = \frac{\sigma_b Y}{K_f P}$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป (5.10) โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพิชท์หรือ โมดูลที่ใช้ในการคำนวณออกแบบให้ใช้ตามมาตรฐาน สำหรับการออกแบบเฟืองทั่วไป อาจจะสมมุติให้ความหนาของฟันเฟืองมีค่าดังต่อไปนี้

$$\frac{8}{P} < b < \frac{12.5}{P} \quad \text{หรือ} \quad 8m < b < 12.5 m$$

ในกรณีที่เนื้อที่ในการติดตั้งเฟืองมีน้อย ก็อาจจะออกแบบให้ความหนาเฟืองน้อยกว่าค่าที่แนะนำเอาไว้ก็ได้ ถ้าความหนาเฟืองน้อยเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาในการตั้งศูนย์ (alignment) เฟืองที่ขบกัน แต่ถ้าความหนาเฟืองมากจนเกินไป อาจทำให้เฟืองบิด อันเนื่องมาจากการกระจายแรงไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาของฟันเฟือง

5.9 แรงพลวัต

จากที่ผ่านมาเป็นการคำนวณหาขนาดของเฟืองโดยให้แรง F_t อยู่หนึ่ง แล้วใช้ความรู้ทางด้านกลศาสตร์วัสดุหาสมการสำหรับแรงที่ฟันเฟืองควรจะได้รับเอาไว้ได้ ในทางด้านปฏิบัติเฟืองจะหมุนอยู่ในขณะใช้งาน และแรงที่ส่งผ่านมายังฟันเฟืองจะคำนวณได้จากสมการ

$$F_t = \frac{W_p}{V} \quad (5.11)$$

โดยที่ F_t = แรงเป็น N
 W_p = กำลังงานที่ส่งผ่านเป็น W
 V = ความเร็วพิชท์ (pitch line speed) เป็น m/s

หรือในระบบหน่วยอังกฤษ จะคำนวณหาแรงได้จากสมการ

$$F_t = \frac{33000hp}{V}$$

โดยที่ F_t = แรงเป็น lb
 V = ความเร็วพิชท์เป็น ft/min

ตามปกติแล้วแรงที่ส่งผ่านจะมีค่ามากกว่าแรงที่หาค่าได้ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากตัวประกอบต่าง ๆ เช่น ความผิดพลาดในการตัดรูปร่างของฟันเฟือง ค่าเบี่ยงเล็ชทำให้เกิดการกระแทกขึ้นเป็นต้น จากการทดลองพบว่า แรงที่ส่งผ่านมาที่แท้จริงขึ้นอยู่กับความเร็วพิชท์ เรียกว่าตัวประกอบความเร็ว ดังนั้นแรงที่กระทำต่อฟันเฟืองในขณะที่ใช้งานควรจะเป็น

$$F_d = K_v F_t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ค่า F_d นี้เรียกว่าแรงพลวัต (dynamic load)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน K_v สำหรับหน่วย เอสไอจะหาได้จากสมการ

$$K_v = \frac{3+V}{3} \quad \text{สำหรับเฟืองทั่วไป} \quad V \leq 10 \text{ m/s}$$

$$K_v = \frac{6+V}{6} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดี} \quad 5 < V < 20 \text{ m/s}$$

$$K_v = \frac{5.56 + \sqrt{V}}{5.56} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดีมาก} \quad V \geq 20 \text{ m/s}$$

ถ้า สำหรับระบบหน่วยอังกฤษ จะหาได้จากสมการ

$$K_v = \frac{600+V}{600} \quad \text{สำหรับเฟืองทั่วไป} \quad V \leq 2000 \text{ ft/min}$$

$$K_v = \frac{1200+V}{1200} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดี} \quad 1000 < V < 4000 \text{ ft/min}$$

$$K_v = \frac{78 + \sqrt{V}}{78} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดีมาก} \quad V \geq 4000 \text{ ft/min}$$

ในการคำนวณหาขนาดของฟันเฟือง ผู้ออกแบบจะต้องตรวจสอบว่าแรงพลวัตนี้มากกว่าแรงที่ฟันเฟืองจะรับได้หรือไม่ และให้ถือว่าฟันเฟืองแข็งแรงพอเมื่อ $F_b \geq F_d$ โดยที่สมมุติว่าแรง F_b กระทำที่ปลายฟัน การที่จะให้ F_b มากกว่า F_d เท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของแรงที่มากกว่า นั่นคือ

$$\frac{F_b}{F_d} = N_s$$

โดยที่ N_s เรียกว่า ตัวประกอบใช้งาน และให้ใช้ค่าโดยประมาณ

5.10 ความงทนของผิวหน้าฟันเฟืองตรง

การเสียหายของฟันเฟือง นอกจากจะเสียหายเนื่องจากการแตกหักแล้ว อาจเกิดความเสียหายเนื่องจากผิวหน้าสึกกร่อนจนใช้งานไม่ได้ดีก่อนเกิดการแตกหักขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะความเค้นที่ผิวหน้าของฟันเฟืองมีค่าสูงมาก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า พิตติง (pitting) หรือการเกิดหลุมบนฟันเฟือง ซึ่งเป็นความเสียหายเนื่องจากความล้า เพราะฟันเฟืองอยู่ภายใต้แรงกระทำซ้ำกันเป็นวัฏจักร บัคคิงแฮม (Buckingham) เป็นผู้นำเอาสมการของเฮิร์ตซ์ (Hertz)

มาคำนวณหาแรงใช้งานของฟันเฟือง เพื่อไม่ให้เกิดการเสียหายในลักษณะเช่นนี้โดยพิจารณาทรงกระบอกรัศมี r_1 และ r_2 ซึ่งอยู่ภายใต้แรงกด ความเค้นของเฮิร์ตซ์ (Hertzian stress) คือ

$$\sigma = \frac{F(1/r_1 + 1/r_2)}{\sqrt{\pi b \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}} \tag{5.12}$$

- โดยที่ b = ความยาวของทรงกระบอกที่สัมผัสกัน
- E = โมดูลความยืดหยุ่น
- ν = อัตราส่วนปัวซอง (Pois-son's ratio)
- σ = ความเค้นที่ผิวหน้า (surface stress)

ในการนำสมการ มาใช้กับฟันเฟืองที่ขบกัน ณ จุดพิคซ์ ให้แทน r_1 และ r_2 ด้วยรัศมีความโค้งของฟัน ณ จุดสัมผัสของฟันเฟืองและเฟือง คือ r_{cp} และ r_{cg} ตามลำดับ

$$r_1 = r_{cp} = r_p \sin \phi$$

$$r_2 = r_{cg} = r_g \sin \phi$$

นอกจากนี้ยังให้แรง F เป็น แรงสึกกร่อนใช้งาน (allowable wear load) F_w และ σ เป็นความต้านแรงทนทานผิวหน้า (surface endurance strength) σ_c เมื่อแทนค่าในสมการ 5.12 จะกลายเป็น

$$\sigma_c = \frac{F_w \left(\frac{1}{r_p \sin \phi} + \frac{1}{r_g \sin \phi} \right)}{\sqrt{\pi b \left(\frac{1-\nu_p^2}{E_p} + \frac{1-\nu_g^2}{E_g} \right)}} \tag{5.13}$$

แต่ $\frac{1}{\sin \phi} \left(\frac{1}{r_p} + \frac{1}{r_g} \right) = \frac{1}{\sin \phi} \left(\frac{r_p + r_g}{r_p r_g} \right) = \frac{2(d_p + d_g)}{d_p d_g \sin \phi}$

และสำหรับเหล็ก v มีค่าประมาณ 0.3 ซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \pi b \left(\frac{(1-v_p^2)}{E_p} + \frac{(1-v_g^2)}{E_g} \right) &= \pi b [1 - (0.3^2)] \left(\frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_g} \right) \\ &= 2.86 b \left(\frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_g} \right) \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงเขียนสมการ 5.10 ได้ใหม่เป็น

$$F_w = \frac{\sigma_e^2 b \sin \phi \left(\frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_g} \right)}{(0.35)(2) \left(\frac{d_p + d_g}{d_p d_g} \right)} \tag{5.14}$$

และถ้าให้

$$\begin{aligned} K &= \frac{\sigma_e^2 \sin \phi \left(\frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_g} \right)}{1.4} \\ Q &= \frac{2d_g}{d_p + d_g} = \frac{2N_g}{N_p + N_g} = \frac{2m\omega}{1+m\omega} \end{aligned}$$

สมการ 5.14 จึงเขียนได้ในรูปที่เหมาะสม คือ

$$F_w = d_p b Q K \tag{5.15}$$

ค่า K และ σ_e สำหรับวัสดุบางชนิดที่ใช้การทำเฟือง หาได้จากตาราง ส่วนวัสดุเหล็กกล้าที่ไม่มีอยู่ในตาราง ก็อาจจะหาค่าโดยประมาณได้ดังนี้คือ

$$\sigma_e = 2.76(HB) - 68.96 \text{ N/mm}^2 \tag{5.16 ก}$$

$$\sigma_e = 400(HB) - 10000 \text{ psi} \tag{5.17 ข}$$

โปรดสังเกตว่า แรง F_w ในที่นี้มีทิศทางตั้งฉากกับส่วนโค้งของฟันเฟือง ณ จุดสัมผัส ถ้าในการคำนวณปรากฏว่า F_w และ F_t มีค่ามากกว่า F_d แล้ว แสดงว่าฟันเฟืองจะไม่เกิดการแตกหักหรือสึกกร่อนมากเกินไปในระยะเวลาอันสมควร ในกรณีของฟันที่มีได้ทำงานหนักตลอดเวลา ก็มักออกแบบให้ F_t มากกว่า F_d แต่เพียงอย่างเดียวก็เป็นการเพียงพอแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีทีพิเนียงนจับเฟืองใน ค่า r_p จะเป็นบวก และ r_g จะเป็นลบ (รัศมีความโค้ง
กลับกัน) เมื่อคิดเครื่องหมายนี้ด้วยแล้ว ค่า ของสมการ 5.13 จะกลายเป็น

$$Q = \frac{2d_g}{d_g + d_p} = \frac{2N_g}{N_g + N_p} = \frac{2m_\omega}{m_\omega - 1} \quad (5.18)$$



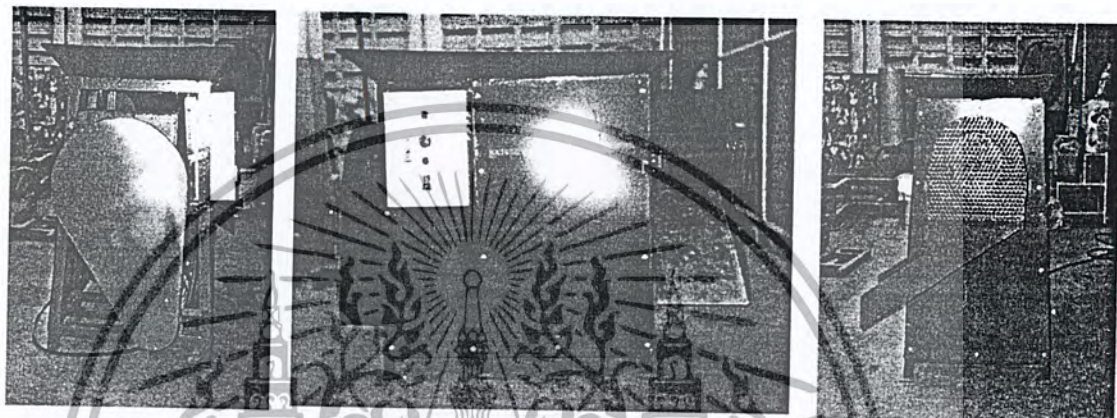
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

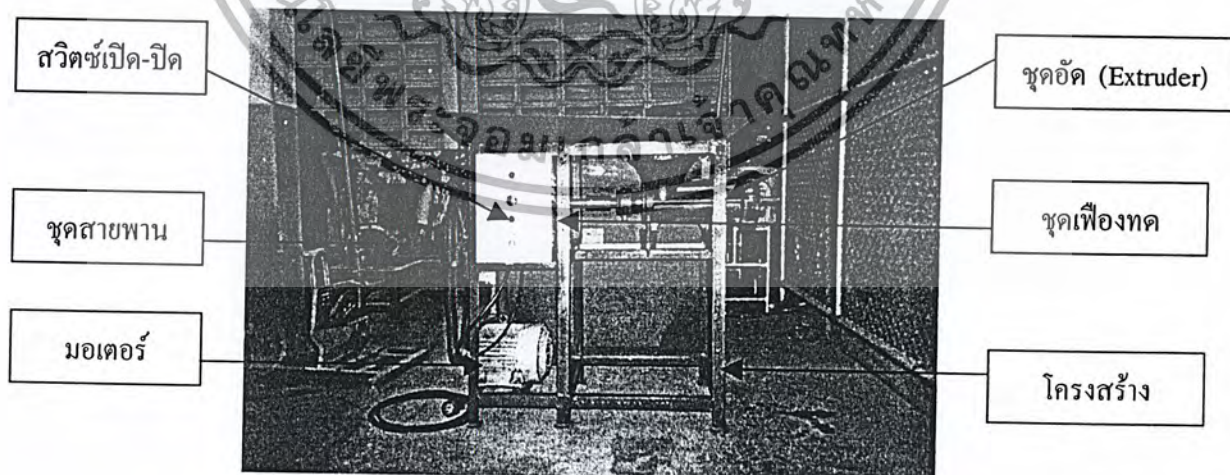
การออกแบบและการคำนวณ

6.1 การออกแบบ

จากการที่ได้ออกแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพและทำการศึกษาดังขั้นตอนต่างๆของเครื่อง เป็นอย่างถี่ถ้วนถึงการคำนวณเชิงทฤษฎีเพื่อที่จะสามารถนำมาออกแบบเครื่องได้จริงโดยใช้หลักทางวิศวกรรมเครื่องจักรกล



รูปที่ 6.1 แสดงภาพ โดยรวมของเครื่อง



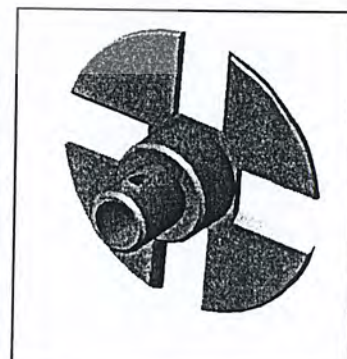
รูปที่ 6.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 หลักการทำงาน

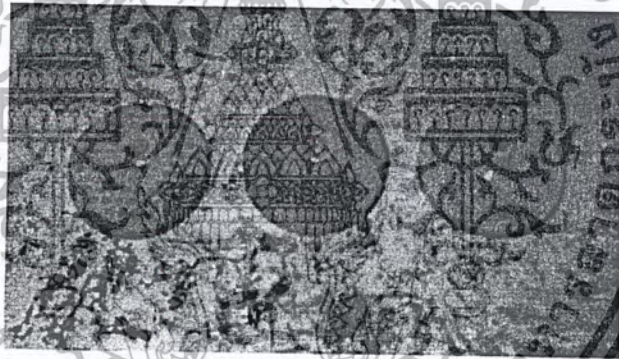
จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้าเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยจะส่งกำลังผ่านล้อยางพานส่งต่อไปยังชุดเกียร์ BOX ด้วยสายพานลิ่มจำนวน 2 เส้น ภายในชุดเกียร์ BOX จะประกอบด้วยชุดเฟืองตรง 2 คู่ เป็นตัวทดกำลัง ซึ่งกำลังหรือ (Output) ที่ถูกส่งออกมาจากชุดเกียร์ BOX จะนำไปใช้ขับเคลื่อนเพลาเกลียว (Extruder) การที่ใช้ชุดเกียร์ BOX ทดกำลังก็เพื่อให้ได้แรงบิดที่สูงพอที่จะนำไปขับเคลื่อนเพลาเกลียว (Extruder) ให้อัดหมุนส่วนผสมออกมาได้ ที่ปลายกระบอกล้อจะมีแบบสำหรับรีดส่วนผสม โดยส่วนผสมจะถูกอัดลำเลียงมาเมื่ออัดผ่านแบบจะได้เม็ดปุ๋ยที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเนื้อละเอียดแน่นรูปทรงกระบอกล้อซึ่งจะต้องทำการตัดแบ่งให้ได้ขนาดตามที่ต้องการต่อไป

6.3 ใบมีดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

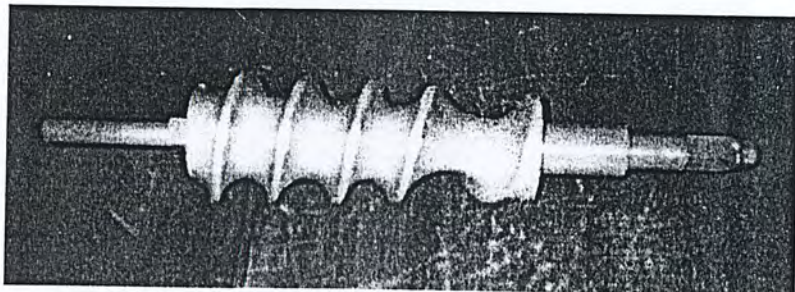




รูปที่ 6.4 แสดงใบมีดขบดิน



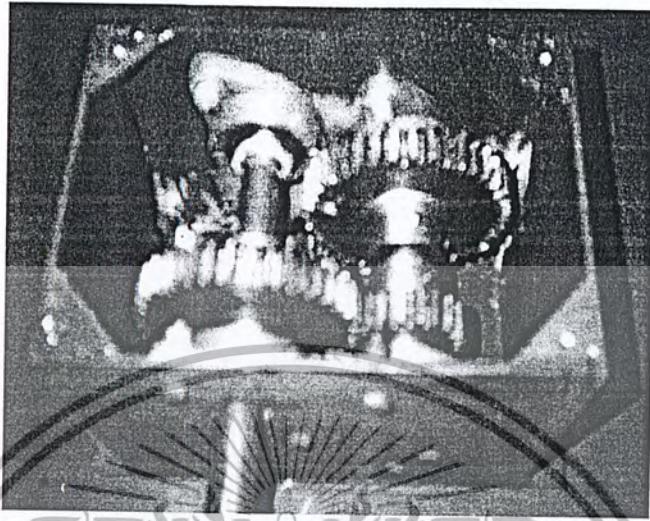
รูปที่ 6.5 แสดงแบบสำหรับรีดส่วนผสม



รูปที่ 6.6 แสดงลักษณะใบกลีบว (EXTRUDER)

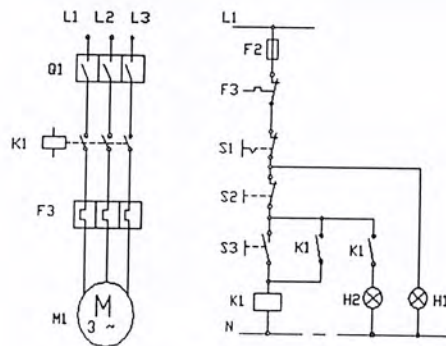
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ชุดเกียร์ BOX



รูปที่ 6.7 แสดงชุดเฟืองทด

6.5 ชุดควบคุมการทำงาน



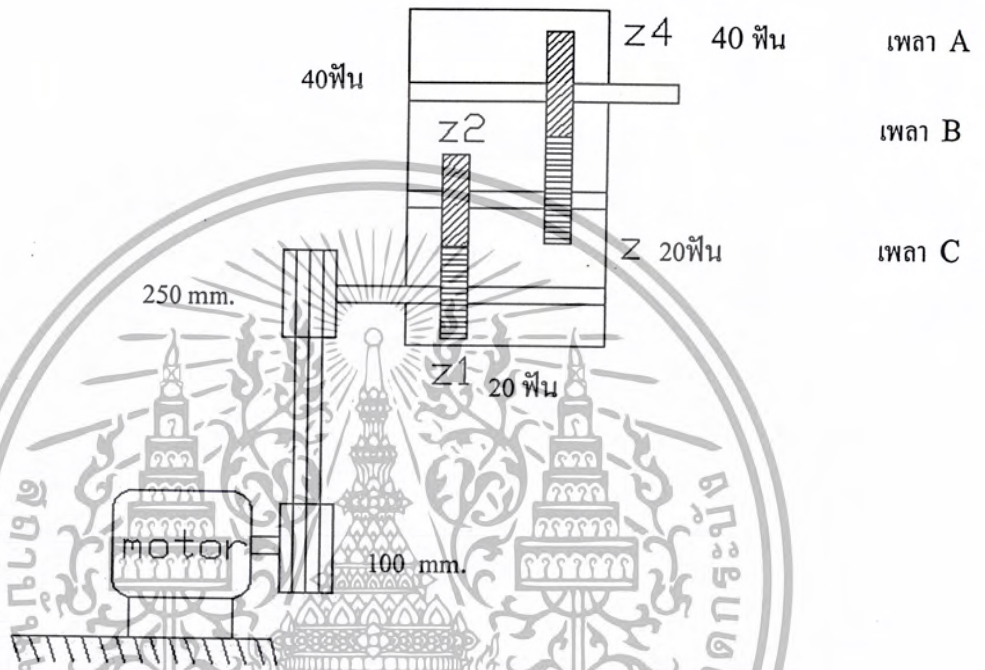
รูปที่ 6.8 แสดงสวิตซ์ปิด-เปิดและวงจรควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 รายละเอียดของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

ต้นกำลัง	มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า
โครงสร้าง	เหล็กฉากขนาด 40 x 40 หน้า 5 มม.
ล้อสายพานลิ้ม	ร่อง B สองร่อง ขนาด 14 นิ้ว และ ขนาด 3 นิ้ว
เพลลา	ขนาด 32 มม. ใช้เหล็ก AISI CD 1045
เฟือง	ขนาด 20 มม. 20 ฟัน โมดูล 4 , 2 ตัว ขนาด 160 มม. 40 ฟัน โมดูล 4 , 2 ตัว
แบร์ริง	บอลแบร์ริงอนุกรมมิติ 02
ชุดอัด (Extruder)	ขนาดมาตรฐานเบอร์ S2

6.7 การคำนวณต่างๆของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ



รูปที่ 6.9 แสดงการส่งกำลังของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

หาอัตราทดรวมหาจาก

$$m_w = \frac{D_2 \cdot Z_2 \cdot Z_4}{D_1 \cdot Z_1 \cdot Z_3}$$

$$m_w = \frac{350 \times 40 \times 40}{75 \times 20 \times 20}$$

$$m_w = 18.7 : 1$$

หาอัตราทดที่เพลลา C (m_{wc})

$$m_{wc} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

หาความเร็วรอบที่เพลา C (n_c)

$$\begin{aligned} \frac{D_2}{D_1} &= \frac{n_1}{n_2} \\ n_2 = n_c &= \frac{(n_1 \cdot D_1)}{D_2} \\ &= \frac{(1450 \times 75)}{350} \\ n_c &= 310.7 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

หาอัตราทดที่เพลา B (m_{WB})

$$\begin{aligned} m_{WB} &= \frac{m_{WC} \cdot Z_1}{Z_2} \\ &= \frac{4.7 \times 40}{20} \\ &= 9.4 : 1 \\ \text{หาความเร็วรอบที่เพลา B } (n_B) & \\ \frac{n_C}{n_B} &= \frac{Z_2}{Z_1} \\ n_B &= \frac{n_C \cdot Z_1}{Z_2} \\ &= \frac{(310.7 \times 20)}{40} \\ &= 155.35 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

หาอัตราทดที่เพลา A (m_{WA})

$$\begin{aligned} m_{WA} &= \frac{m_{WB} \cdot Z_4}{Z_3} \\ &= \frac{9.4 \times 40}{20} \\ &= 18.8 : 1 \end{aligned}$$

หาความเร็วรอบที่เฟลา A (n_A)

$$\frac{n_B}{n_A} = \frac{Z_4}{Z_3}$$

$$n_A = \frac{n_B \cdot Z_3}{Z_4}$$

$$= \frac{155.35 \times 20}{40}$$

$$= 78 \text{ rpm.}$$

6. 7.1 การคำนวณหาความยาวสายพานที่ใช้ (L_p)

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

$$\text{มอเตอร์ } 3 \text{ HP} = 3 \times 746 = 2238 \text{ W} = 2.238 \text{ KW}$$

$$\text{ตัวประกอบการใช้งานเลือก } N_s = 1.3 \text{ (ทำงานที่ } 10-16 \text{ ชั่วโมง/วัน)}$$

$$\text{กำลังงาน } W_p \cdot N_s = 2.238 \times 1.3 = 2.9094 \text{ KW}$$

จากแผนภูมิรูปที่ 5.21 เลือกสายพานลิ้มหน้าตัด A มาใช้งาน

$$C_{\max} = 2(D_p + d_p) = 2(350 + 75) = 850 \text{ mm.}$$

$$C_{\max} = 0.7(D_p + d_p) = 0.7(350 + 75) = 297.5 \text{ mm.}$$

ทดลองเลือกค่า $C = 600 \text{ mm.}$

$$L_p = 2(600) + 1.57(350 + 75) + \frac{(350 - 75)^2}{4(450)} = 1910 \text{ mm.}$$

$$\text{จากตาราง 5.24 } L_i = L_p + 30 = 1910 + 30 = 1940 \text{ mm.}$$

$$C = P + \sqrt{P^2 - q}$$

$$P = 0.25 L_p - 0.393(D_p + d_p) = 0.25(1940) - 0.393(350 + 75) = 318$$

$$q = 0.125(D_p - d_p)^2 = 0.125(350 - 75)^2 = 9453$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = 316 + \sqrt{318^2 - 9453} = 619 \text{ mm.}$$

$$\text{ส่วนสัมผัสโค้ง} \quad \frac{D_p - d_p}{C} = \frac{(350 - 75)}{619} = 0.444$$

จากตาราง 5.21 เลือกค่าตัวประกอบแก้ไขส่วนสัมผัส $N_s = 0.94$

จากตาราง 5.24 เลือกค่าตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน $N_1 = 0.96$

สำหรับล้อยาวขนาด 75 mm. อัตราทด 4.7 mm. และ $n = 1450 \text{ rpm.}$

จากตาราง 5.4 ได้ P_R ต่อเส้น = 1.78 KW / เส้น

$$\begin{aligned} \text{หาจำนวนเส้นของสายพานจาก} \quad z &= \frac{W_P \cdot N_S}{P_R \cdot N_a \cdot N_1} \\ &= \frac{2.238 \times 1.3}{1.78 \times 0.94 \times 0.96} \\ &= 1.8112 \text{ เส้น} \end{aligned}$$

ดังนั้นเลือกสายพานลิ้มหน้าตัด A x 1971 L₁ จำนวน 2 เส้น

หาความหนาของล้อยาว (b)

$$b = e(z-1) + 2f$$

จากตาราง 5.16 ได้ $e = 15$, $f = 10$, $z = 2$ เส้น

$$b = 15(2-1) + 2(10) = 35 \text{ mm.}$$

การคำนวณหาขนาดฟันเฟือง

เลือกใช้เฟืองตรง 2 คู่ มุมกด 20° FD และโมดูลทั้ง 2 คู่ = 4

$$\text{จากโมดูล} \quad m = \frac{d}{N}$$

เฟือง Z1 มี $N = 20$ ฟัน $\therefore d_1 = 4(20) = 80 \text{ mm.}$

เฟือง Z2 มี $N = 40$ ฟัน $\therefore d_2 = 4(40) = 160 \text{ mm.}$

เฟือง Z3 มี $N = 20$ ฟัน $\therefore d_3 = 4(20) = 80 \text{ mm.}$

เฟือง Z4 มี $N = 40$ ฟัน $\therefore d_4 = 4(40) = 160 \text{ mm.}$

6.7.2 การคำนวณหาแรงที่กระทำกับล้อยายพาน

กำลังงานที่ใช้ส่งขับ $W_p = 3 \times 746 = 2.238 \text{ KW}$

สมการ 4.3 มุมสัมผัสของล้อยายพาน (α_1)

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2C} \right) \text{ rad} \\ &= \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{350 - 100}{2 \times 620} \right) \text{ rad} \\ &= 156.7^\circ\end{aligned}$$

ความเร็วสายพาน $V = \pi d_p n = \frac{\pi(100)(1450)}{60 \times 1000} = 7.6 \text{ m/s}$

แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง $F = \frac{W_p}{V} = \frac{2238}{7.6} = 295 \text{ N}$

จากตาราง 4.18 เลือกใช้ $k_1 = 2$

จากตาราง 4.19 เลือกใช้ $k_2 = 0.217$

$\sin \frac{\alpha}{2} = 0.9865$; $V^2 = 57.76 \text{ m}^2/\text{s}^2$

สมการ 4.38 แรงดึงขึ้นต้นในสายพาน (F_i)

$$\begin{aligned}F_i &= (k_1 F + k_2 V^2) \sin \frac{\alpha}{2} \\ &= [(2 \times 295) + 2(0.217)(57.76)] (0.9865) \\ &= 606.76 \text{ N}\end{aligned}$$

สมการ 4.37 แรงดึงในแนวแกน

$$\begin{aligned}F_w &= k_1 \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \\ &= 2 \times 295 \times 0.9865 = 581.74 \text{ N}\end{aligned}$$

จาก $F = F_1 - F_2$ _____ (1)

$F = F_1 + F_2$ _____ (2)

แทนค่าจาก $295 = F_1 - F_2$

$581.74 = F_1 + F_2$

แก้สมการได้ค่า $F_1 = 438.37 \text{ N}$

$F_2 = 114.37 \text{ N}$

6.7.3 การออกแบบเฟืองเกียร์

เลือกใช้วัสดุ SEA 1030 ทำเฟืองซึ่งมี $\sigma = 138 \text{ N/mm}^2$

ตาราง 4.3 ได้ $Y_p = 0.320$, $Y_g = 0.389$

เนื่องจาก $\sigma Y_p < \sigma Y_g$ (คิดที่พีเนี่ยนเกียร์ตัวขับ)

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วพิตซ์ } V &= \pi D_p n_p = \pi m N_p n_p \\ &= 434 \text{ m mm/s} = 0.434 \text{ m m/s} \end{aligned}$$

จากสมการ 4.20

$$F_t = \frac{W_p}{V} = \frac{3 \times 746}{0.434 \text{ m}} = \frac{5156.7}{\text{m}} \text{ N}$$

สมมติว่าความเร็วพิตซ์ V น้อยกว่า 10 m/s ดังนั้น

$$K_v = \frac{3 + V}{3} = \frac{3 + 0.434 \text{ m}}{3}$$

จากสมการ 4.22

$$\begin{aligned} F_d &= K_v F_t = \left(\frac{3 + 0.434 \text{ m}}{3} \right) \left(\frac{5156.7}{\text{m}} \right) \\ F_d &= \frac{5156.7}{\text{m}} + 746 \text{ N} \end{aligned} \tag{1}$$

สมมติให้ $K_f = 1.5$ และ $b = 8 \text{ m}$ แทนในสมการ(2.19)

$$\begin{aligned} F_b &= \frac{\sigma Y_p m}{K_f} = \frac{138(8 \text{ m})(0.320) \text{ m}}{1.5} \\ F_b &= 235.52 \text{ m}^2 \text{ N} \end{aligned} \tag{2}$$

จากสมการ (1) และ (2) เมื่อแทนค่าโมดูล m ด้วย 2, 3, 4, 5 แก้สมการได้

	m	Fd	Fb
	2	2588	942
เลือกใช้	3	1974	2120
	4	1667	3768.32
	5	1483	5888

จากตารางจะเห็นได้ว่าเฟืองที่มีโมดูล 3 mm สามารถใช้งานได้

เนื่องจาก $F_b > F_d$

$$N_s = \frac{F_b}{F_d} = 1.074$$

ดังนั้นความหนาของฟันเฟืองคู่นี้คือ

$$b = 8m = 8 \times 3 = 24 \text{ mm}$$

เลือกความหนาของฟันเฟืองคู่นี้คือ 25 mm

$$\text{ความเร็วพิตช์ } V = 0.434(3) = 1.302 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่า $V < 10 \text{ m/s}$ ตามที่สมมุติไว้ในตอนแรก

ขนาดของวงกลมพิตช์ คือ

$$Z_1 \text{ หรือ } d_p = mN_p = 3(20) = 60 \text{ mm}$$

$$Z_2 \text{ หรือ } d_g = mN_g = 3(40) = 120 \text{ mm}$$

$$F_r = F_b \tan 20^\circ = 772 \text{ N}$$

เลือกใช้วัสดุ SEA 1030 ทำเฟืองซึ่งมี $\sigma = 138 \text{ N/mm}^2$

ตาราง 4.3 ได้ $Y_p = 0.320$, $Y_g = 0.389$

เนื่องจาก $\sigma Y_p < \sigma Y_g$ (คิดที่พินเนียนเกียร์ตัวขับ)

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วพิตช์ } V &= \pi D_p n_p = \pi m N_p n_p \\ &= 217 \text{ mm/s} = 0.217 \text{ m/s} \end{aligned}$$

จากสมการ 4.20

$$F_t = \frac{W_p}{V} = \frac{3 \times 746}{0.217 \text{ m}} = \frac{10313}{\text{m}} \text{ N}$$

สมมติว่าความเร็วพิตช์ V น้อยกว่า 10 m/s ดังนั้น

$$K_v = \frac{3 + V}{3} = \frac{3 + 0.217 \text{ m}}{3}$$

จากสมการ 4.22

$$F_d = K_v F_t = \left(\frac{3 + 0.217 \text{ m}}{3} \right) \left(\frac{10313}{\text{m}} \right)$$

$$F_d = \frac{10313}{\text{m}} + 746 \text{ N} \quad (1)$$

สมมุติให้ $K_f = 1.5$ และ $b = 8 \text{ m}$ แทนในสมการ(2.19)

$$F_b = \frac{\sigma_b Y_p m}{K_f} = \frac{138(8 \text{ m})(0.320) \text{ m}}{1.5}$$

$$F_b = 235.52 \text{ m}^2 \text{ N} \quad (2)$$

จากสมการ (1) และ (2) เมื่อแทนค่าโมดูล m ด้วย 2, 3, 4, 5 แก้สมการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m	Fd	Fb
2	4427	942
3	3200	2120
4	2586.5	3768
5	2218.4	5888

เลือกใช้

จากตารางจะเห็นได้ว่าเพียงที่มีโมดูล 4 mm สามารถใช้งานได้

เนื่องจาก $F_b > F_d$

$$N_s = \frac{F_b}{F_d} = 1.456$$

ดังนั้นความหนาของฟันเฟืองนี้คือ

$$b = 8m = 8 \times 4 = 32 \text{ mm}$$

เลือกความหนาของฟันเฟืองนี้คือ 32 mm

$$\text{ความเร็วพิตซ์ } V = 0.217(4) = 0.868 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่า $V < 10 \text{ m/s}$ ตามที่สมมุติไว้ในตอนแรก

ขนาดของวงกลมพิตซ์ คือ

$$Z1 \text{ หรือ } d_p = mN_p = 4(20) = 80 \text{ mm}$$

$$Z2 \text{ หรือ } d_g = mN_g = 4(40) = 160 \text{ mm}$$

$$F_r = F_b \tan 20^\circ = 1372 \text{ N}$$

6.7.4 การคำนวณหาขนาดเพลานในชุดเกียร์

พิจารณาแรงในแนวตั้ง (V)

$$\sum M_D = 0$$

$$R_{BV} = \frac{(603 \times 350) + (787 \times 70)}{230} = 1157.13 \text{ N}$$

ที่ x = 0 ได้ M = 0

ที่ x = 120 ได้ M = -72.36 Nm.

ที่ x = 280 ได้ M = 16.3 Nm.

ที่ x = 350 ได้ M = 0

พิจารณาแรงในแนวระดับ (H)

$$\sum M_D = 0$$

$$R_{BH} = \frac{2120 \times 70}{230} = 645.22 \text{ N}$$

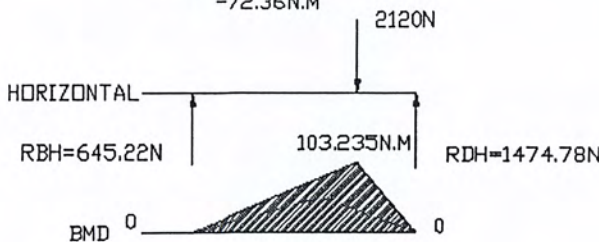
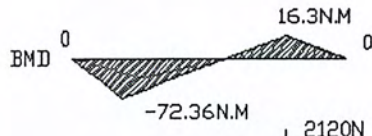
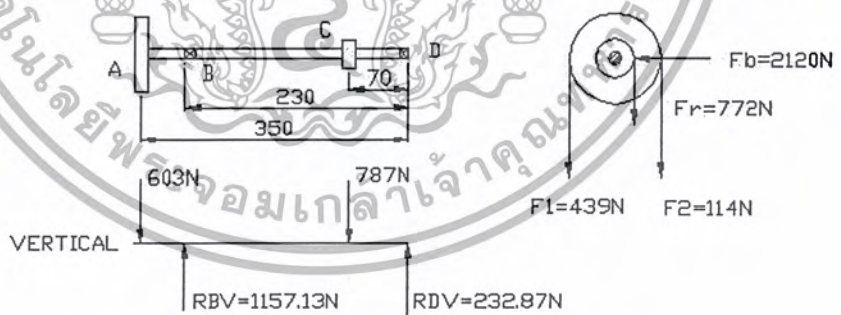
$$R_{DH} = 2120 - 645.22 = 1474.78 \text{ N}$$

ที่ x = 0 ได้ M = 0

ที่ x = 120 ได้ M = 0

ที่ x = 280 ได้ M = 103.235 Nm.

ที่ x = 350 ได้ M = 0



รูป 6.10 แสดง Free Body Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์สูงสุดเกิดขึ้นที่จุด C ได้ค่า M_c , M_{max}

$$M_{max} = \sqrt{103.235^2 + 16.3^2} = 104.514 \text{ Nm.}$$

โมเมนต์เนื่องจากการส่งกำลังจากสายพาน T

$$T = (439 - 144) \left(\frac{0.25}{2} \right) = 36.87 \text{ Nm.}$$

จากตาราง 4.2 $C_m = 2$, $C_t = 1.5$

ที่เพลามีร่องลิ้นยึดกับล้อสายพานความเค้นเฉือนใช้งาน $\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2$

สมการที่ 4.10 หาขนาดเพลาดันจาก

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau} \left[(1.5 \times 36870)^2 + (2 \times 104514)^2 \right]^{1/2}$$

$$d = 29.94 \text{ mm.}$$

ตารางที่ 4.1 เลือกใช้เพลาดันขนาด $\varnothing = 35 \text{ mm}$ ทำเพลาคัดกำลังซึ่งมีมาตรฐาน
เพลานี้ ISO/A 775-1969

6.7.5 การคำนวณสลักยึดเพลานี้

จากตารางที่ 6.1

เพลามีขนาด 35 mm

เลือกใช้ลิ้นสี่เหลี่ยมจตุรัส ISO/R 773

ขนาด $b \times h \times L$

10 x 10 x 70 mm

ความยาวลิ้นประมาณ 1.57 เท่าของขนาด \varnothing เพลานี้

$$L = 1.57 \times 35 = 55 \text{ mm}$$

$$\text{เลือก } L = 70 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7.6 การคำนวณแบร์ริง

เพลานขนาด 35 mm. , แรงตามแนวรัศมี $F_r = 1157$ N , แรงรุน $F_a = 645.22$ N
เลือกใช้ Single-row deep groove ball-bearing โดยแหวนวงในหมุน $v=1$ ที่ความเร็วรอบ

เพลาน 414.3 rpm. มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 8000 hr

เลือกอนุกรมมิติ 02 ขนาดรูสวน 35 mm

จากตาราง 7.2 ได้ $C_o = 13.66$ KN , $C = 19.76$ KN , $i = 1$

$$\frac{iF_a}{C_o} = \frac{(1)(645.22)}{13.66 \times 1000} = 0.0472$$

$$\frac{F_a}{vF_r} = \frac{645.22}{(1)(1157)} = 0.5576$$

จากตาราง 7.5 จะได้ค่า e จากการประมาณเชิงเส้น

0.028	0.22
0.0472	$e = 0.245$
0.056	0.26

ดังนั้น

$$\frac{F_a}{vF_r} > e$$

$$X = 0.56, Y = 1.85$$

สมการ 7.7 $P = XvF_r + Yf_a$
 $= (0.56)(1)(1157) + (1.85)(645.22) = 1.842$ KN

สมการ 7.8 $P = vF_r = (1)(1157) = 1.157$ KN

เนื่องจาก $1.842 > 1.157$ KN ดังนั้นใช้แรงสมมูล 1.842 ในการคำนวณหาอายุการใช้งาน
ซึ่ง $K = 3$ (Ball-Bearing)

ตาราง 7.8 ตัวประกอบการกระแทก $N_s = 2$

อายุการใช้งานจากสมการ (7.6) จึงควรจะเป็น

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^K = \left(\frac{19.76}{1.5 \times 1.842} \right)^3 = 365.778 \text{ mr}$$

$$L_{10} = \frac{365.778 \times 10^6}{60 \times 580} = 10510 \text{ hr}$$

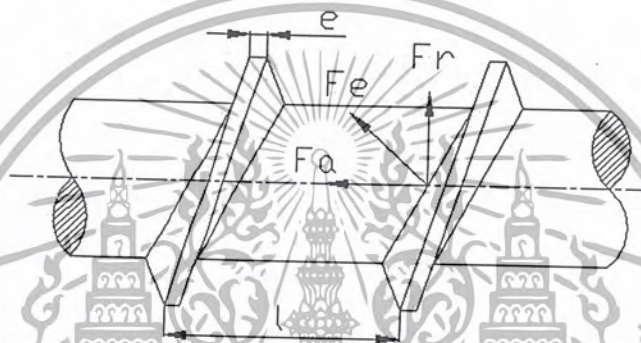
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก Single - row deep groove ball - Bearing

อนุกรมมิติ 02 ขนาดรูสวม 35 mm. , ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 mm. , ขนาดหนา 21 mm.

6.7.7 การคำนวณเกลียวอัด (Extruder)

ในการคำนวณเกลียวอัดนี้ จะพิจารณาถึงการรับแรงของแต่ละชิ้นส่วนว่าสามารถรับภาระได้สูงสุดที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ โดยจะนำเอาค่าจากขนาดของเกลียวที่มีขายทั่วไป มาเป็นหลักเกณฑ์ในการคำนวณ รวมถึงภาระของแรงที่ได้จากการทดลองอัดส่วนผสมด้วย



รูปที่ 6.11 แสดงเกลียวอัด (Extruder)

จากขนาดของเกลียวอัดที่ได้เลือกมาใช้สามารถวัดส่วนต่าง ๆ ของเพลาดังนี้

แรงที่ได้จากการทดสอบ 60 lb/ft

$l = 55 \text{ mm}$

$e = 7 \text{ mm}$

$N = 78 \text{ mm}$

$P = 2238 \text{ Nm/s , หรือ } 3 \text{ hp}$

จำนวนเกลียว = 6 รอบ

$\tan \theta = \frac{27.5}{55} , \theta = 26.5^\circ$

$P = \frac{2\pi TN}{60}$

$T_{max} = \frac{2238 \times 60}{2\pi \times 78} = 274 \text{ Nm}$

แต่แรงที่ทดสอบได้ $T = 81.4 \text{ Nm} = 60 \text{ lb/ft}$

ดังนั้นแรงที่เกลียวสามารถส่งกำลังได้เพียงพอที่จะอัดส่วนผสมได้

$F_r = \frac{T}{r} = \frac{274}{22.5 \times 1000} = 12 \text{ KN}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $r = 22.5$ คัดจากช่วงเพลาส่วนปลายที่มีขนาดเล็กที่สุด

$$\sin \theta = \frac{Fr}{Fe} \quad , \quad Fe = \frac{12}{\sin 26.5} = 27 \text{ KN}$$

เพลานี้เลือกใช้ทำจากเหล็กหล่อสีเทา Gray cast iron class 30 โดยมีคุณสมบัติความเค้นดังนี้

$$\begin{aligned} \sigma_u &= 115 \text{ ksi} = 793 \text{ MN/m}^2 \\ \tau &= 44 \text{ ksi} = 304 \text{ MN/m}^2 \end{aligned}$$

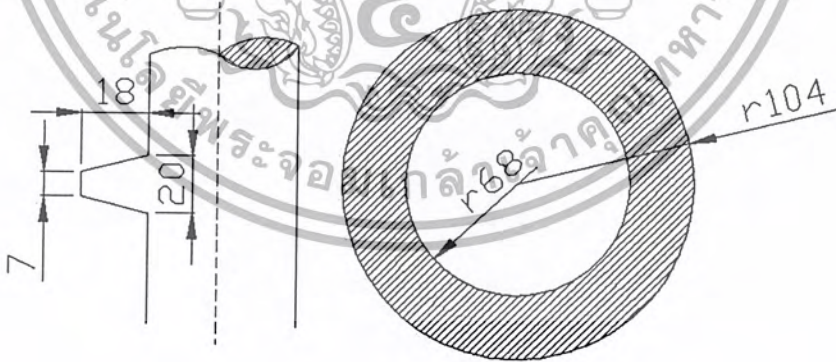
$$Fa = \frac{Fr}{\tan \theta} = \frac{12}{\tan 26.5} = 24 \text{ KN}$$

นำแรง Fe มาใช้ในการคำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นในพินเกลียว เพราะแรง Fe นั้น กระทำตั้งฉากกับพินเกลียว

6.7.8 ความเค้นที่เกิดขึ้นกับพินเกลียว

1. ความเค้นอัด σ_c

จากความเค้นอนุญาติ $\sigma_u = 793 \text{ MN/m}^2$



รูปที่ 6.12 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นกับพินเกลียว

$$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - dr^2)$$

$$\sigma_c = \frac{2Fe}{\pi(d^2 - dr^2)} = \frac{4 \times 27 \times 10^3}{\pi(0.104^2 - 0.068^2)} \text{ N/m}^2$$

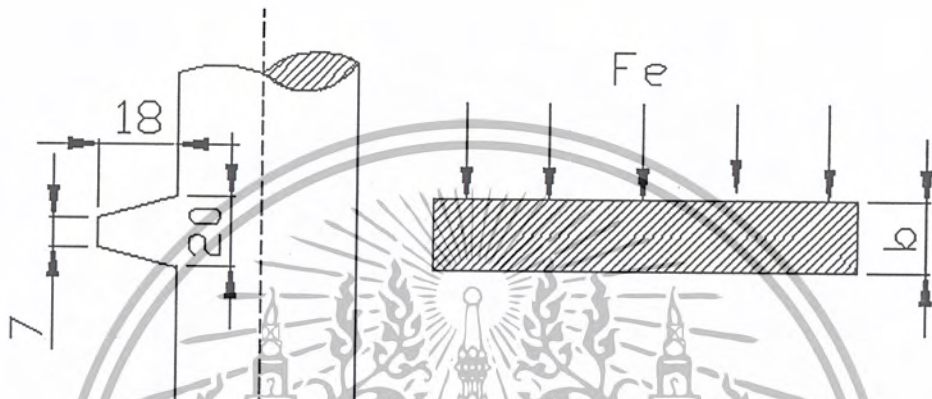
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดต่อเกลียวได้ $\sigma_c = 5.552 \text{ MN/m}^2$

เนื่องจาก $\sigma_u > \sigma_c$ ดังนั้นโบริกเกลียวที่ใช้สามารถรับแรงอัดได้

6.7.9 ความเค้นเฉือนที่โคนพืนเกลียว

จากความเค้นอนุญาต $\tau = 304 \text{ MN/m}^2$



รูปที่ 6.13 แสดงความเค้นเฉือนที่โคนพืนเกลียว

$$A = \pi d_m b$$

$$\tau = \frac{3F_e}{2\pi d_m b} = \frac{3 \times 27 \times 10^3}{2\pi \times 0.068 \times 0.020} \text{ N/m}^2$$

คิดต่อเกลียวได้ $\tau_u = 9.5 \text{ MN/m}^2$

เนื่องจาก $\tau > \tau_u$ ดังนั้นโบริกเกลียวที่ใช้สามารถรับแรงเฉือนที่โคนพืนเกลียวได้

บทที่ 7

ผลการทดลองและการทดสอบ

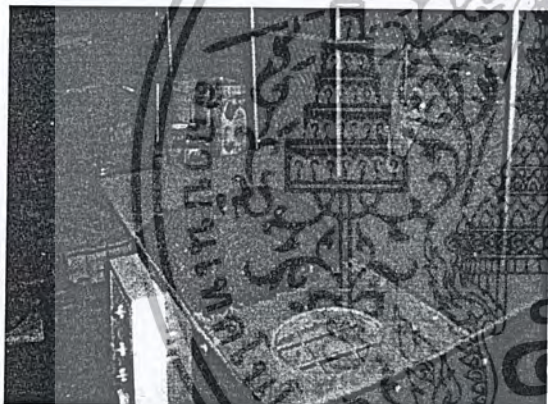
7.1 วิธีการทดสอบและสมรรถนะของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

ทำการอัดปุ๋ยด้วยความชื้นต่าง ๆ แล้วนำค่าความชื้นเก็บค่าข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดเป็นค่ามาตรฐานของปุ๋ยแต่ละชนิด โดยการเก็บค่าความชื้นนั้นจะเก็บที่ความเร็วรอบต่างกัน และทำการทดสอบ มีดตัดแต่ละแบบว่าแบบใดเหมาะสมกับการตัดมากที่สุด

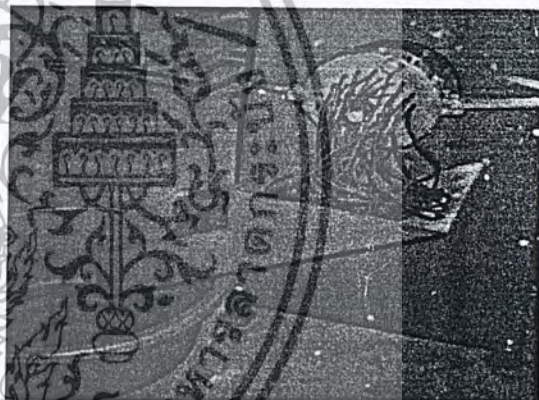
โดยเครื่องสามารถอัด

1. มูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ
2. ปุ๋ยหมักจากซากสัตว์หรือพืชผลทางการเกษตรที่ย่อยสลายแล้ว
3. วัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสิ่งที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

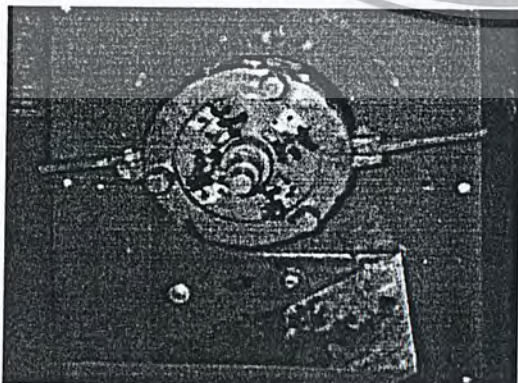
หมายเหตุ สิ่งเจือปนที่ผสมอยู่กับปุ๋ยหรือวัสดุที่นำมาอัดหากมีความแข็งไม่สามารถย่อยสลายได้อนุญาตให้มีขนาดได้ไม่เกิน 5 mm.



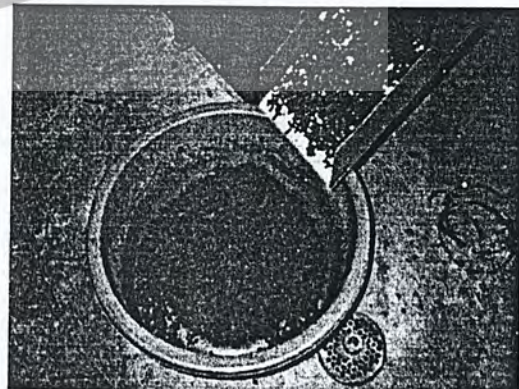
รูปที่ 7.1 แสดงส่วนผสมก่อนทำการอัด



รูปที่ 7.2 แสดงขณะทำการอัดส่วนผสม



รูปที่ 7.3 แสดงขณะทำการตัด



รูปที่ 7.4 แสดงเม็ดปุ๋ยที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ผลการทดลอง

เมื่อ มูเล่ 12" = 90.625 rpm = 16 : 1

มูเล่ 14" = 77.68 rpm = 18.7 : 1

มูเล่ 12" = 67.96 rpm = 21.3 : 1

อัตราส่วนผสมน้ำ

มูลเป็ดขึ้น 10.71 % คือ มูลเป็ดแห้ง 0.893 kg + น้ำ 0.107 kg

ความชื้นที่เหมาะสมที่ 20-26 % คือเติมน้ำ 9.29 - 15.29 %

EX 20 % คือ ปุ๋ย 0.9076 kg + น้ำใหม่ 0.0924 kg

ปุ๋ย X kg $\xrightarrow{\text{เติมน้ำ}}$

มูลวัวขึ้น 7.14 % คือ มูลวัวแห้ง 0.9286 kg + น้ำ 0.0714 kg

ความชื้นที่เหมาะสมที่ 20-26 % คือเติมน้ำ 12.86 - 18.86%

EX 20 % คือ ปุ๋ย 0.8714 kg + น้ำใหม่ 0.1286 kg

ปุ๋ย X kg $\xrightarrow{\text{เติมน้ำ}}$

ดินผสมขึ้น 10.71 % คือ ดินผสมแห้ง 0.833 kg + น้ำ 0.167 kg

ความชื้นที่เหมาะสมที่ 20-26 % คือเติมน้ำ 3.3 - 9.3 %

EX 20 % คือ ปุ๋ย 0.967 kg + น้ำใหม่ 0.033 kg

ปุ๋ย X kg $\xrightarrow{\text{เติมน้ำ}}$

7.2.1 ข้อมูลป้อนที่นำมาใช้ในการทดสอบ

	เปิด	ว้าว	ดินผสม	
อุณหภูมิ (°C)	28	29	28	
น้ำหนัก (kg)	0.028	0.014	0.024	
ก่อนอบ	ปริมาตร (cc)	50	50	50
	ความหนาแน่น (kg/m ³)	560	280	480
	ความชื้น (%)	10.71	7.14	16.7
	น้ำหนัก (kg)	0.025	0.013	0.020
หลังอบ	ปริมาตร (cc)	50	50	50
	ความหนาแน่น (kg/m ³)	500	260	400
	ความชื้น (%)	0	0	0

$$\% \text{ ความชื้น} = 100 - \left[\frac{100 \text{ kg} \times \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 ข้อมูลปุ๋ยก่อนทำการอัดจริงที่ความชื้น 20 % โดยการใส่ปุ๋ย 8 kg + น้ำ 2 kg

	เปิด	วัด	ดินผสม	
ก่อนอบ	อุณหภูมิ (°C)	28	29	28
	น้ำหนัก (kg)	0.046	0.047	0.044
	ปริมาตร (cc)	50	50	50
	ความหนาแน่น (kg/m ³)	920	940	980
	ความชื้น %	20	20	20
หลังอบ	น้ำหนัก (kg)	0.037	0.038	0.039
	ปริมาตร (cc)	50	50	50
	ความชื้น %	0	0	0
	ความหนาแน่น (kg/m ³)	740	760	780

7.2.3 ผลการทดลองอัดมูลเปิดที่ความชื้น 20 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	เครื่องไม่สามารถทำงานได้ที่รอบนี้	2.75	2.36
เวลา (นาที)	การอัดไม่ไหว	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)	หมุนฟรี	165	141.6
อุณหภูมิ (°C)		38	38
น้ำหนัก (kg)		0.046	0.047
ปริมาตร (cc)		50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)		920	940
ความชื้น %		17.4	17.02
น้ำหนัก (kg)		0.038	0.039
ปริมาตร (cc)		50	50
ความชื้น %		0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)		760	780

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.4 ข้อมูลนํ้าก่อนทำการอัดจริงที่ความชื้น 23 % โดยการใช้นํ้า 9.5 kg + นํ้า 0.5 kg

	เปิด	ว้	ดินผสม	
ก่อนอบ	อุณหภูมิ (°C)	29	29	29
	นํ้าหนัก (kg)	0.036	0.042	0.047
	ปริมาตร (cc)	50	50	50
	ความหนาแน่น (kg/m ³)	720	840	940
	ความชื้น %	23	23	23
หลังอบ	นํ้าหนัก (kg)	0.028	0.032	0.036
	ปริมาตร (cc)	50	50	50
	ความชื้น %	0	0	0
	ความหนาแน่น (kg/m ³)	560	640	720

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.5 ผลการทดลองอัดมูลเปิดที่ความชื้น 23 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	3.43	2.95	2.52
เวลา (นาที)	1	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)	205.8	177	151.2
อุณหภูมิ (°C)	36	37	37
น้ำหนัก (kg)	0.046	0.046	0.047
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)	920	920	940
ความชื้น %	19.56	19.56	19.15
น้ำหนัก (kg)	0.037	0.037	0.038
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความชื้น %	0	0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)	740	740	760

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.6 ข้อมูลปุ๋ยก่อนทำการอัดรีงที่ความชื้น 26 % โดยการใช้ปุ๋ย 9.5 kg + น้ำ 0.5 kg

	เปิด	วัว	ดินผสม
อุณหภูมิ (°C)	29	30	29
น้ำหนัก (kg)	0.045	0.044	0.058
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)	880	900	1160
ความชื้น %	26	26	26
น้ำหนัก (kg)	0.033	0.033	0.043
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความชื้น %	0	0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)	660	660	860

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.7 ผลการทดลองอัดมูลเปิดที่ความชื้น 26 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	3.51	3.12	2.81
เวลา (นาที)	1	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)	210.6	187.2	168.6
อุณหภูมิ (°C)	35	35	36
น้ำหนัก (kg)	0.046	0.045	0.046
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)	920	900	920
ความชื้น %	21.74	22.22	21.74
น้ำหนัก (kg)	0.036	0.035	0.036
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความชื้น %	0	0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)	720	700	720

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.8 ผลการทดลองอัดมูลวัวที่ความชื้น 20 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	เครื่องไม่สามารถทำงานได้ที่รอบนี้	3.03	2.56
เวลา (นาที)	การอัดไม่ไหว หมุนฟรี	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)		181.8	153.6
อุณหภูมิ (°C)		37	38
น้ำหนัก (kg)		0.045	0.046
ปริมาตร (cc)		50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)		900	920
ความชื้น %		17.78	17.4
น้ำหนัก (kg)		0.037	0.038
ปริมาตร (cc)		50	50
ความชื้น %		0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)		740	760

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.9 ผลการทดลองอัดมูลวัวที่ความชื้น 23 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	3.98	3.42	2.86
เวลา (นาที)	1	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)	238.8	205.2	171.6
อุณหภูมิ (°C)	35	36	36
น้ำหนัก (kg)	0.042	0.042	0.041
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)	840	840	800
ความชื้น %	19.05	19.05	19.15
น้ำหนัก (kg)	0.034	0.034	0.033
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความชื้น %	0	0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)	680	680	660

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.10 ผลการทดลองอัดมูลวัวที่ความชื้น 26 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	4.16	3.65	3.03
เวลา (นาที)	1	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)	249.6	219	181.8
อุณหภูมิ (°C)	34	35	35
น้ำหนัก (kg)	0.046	0.046	0.047
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)	920	920	940
ความชื้น %	21.74	23.91	23.4
น้ำหนัก (kg)	0.036	0.035	0.036
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความชื้น %	0	0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)	720	700	720

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.11 ผลการทดลองอัดดินผสมที่ความชื้น 20 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	เครื่องไม่สามารถทำงานได้ที่รอบนี้	2.96	2.52
เวลา (นาที)	การอัดไม่ไหว หมุนฟรี	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)		177.6	151.2
อุณหภูมิ (°C)		37	37
น้ำหนัก (kg)		0.048	0.049
ปริมาตร (cc)		50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)		960	980
ความชื้น %		18.75	18.36
น้ำหนัก (kg)		0.039	0.040
ปริมาตร (cc)		50	50
ความชื้น %		0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)		780	800

ก่อนอบ

หลังอบ

7.2.12 ผลการทดลองอัดดินผสมที่ความชื้น 23 %

		12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm	
ก่อนอบ		ผลผลิต (kg)	3.59	3.14	2.63
		เวลา (นาที)	1	1	1
		อัตราการผลิต (kg/hr)	215.4	188.4	157.8
		อุณหภูมิ (°C)	35	36	37
		น้ำหนัก (kg)	0.050	0.049	0.049
		ปริมาตร (cc)	50	50	50
		ความหนาแน่น (kg/m ³)	1000	980	980
		ความชื้น %	22	20.4	20.4
หลังอบ		น้ำหนัก (kg)	0.039	0.039	0.039
		ปริมาตร (cc)	50	50	50
		ความชื้น %	0	0	0
		ความหนาแน่น (kg/m ³)	780	800	800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.13 ผลการทดลองอัดดินผสมที่ความชื้น 26 %

	12" 90 rpm	14" 78 rpm	16" 68 rpm
ผลผลิต (kg)	3.72	3.48	2.97
เวลา (นาที)	1	1	1
อัตราการผลิต (kg/hr)	223.2	208.8	178.2
อุณหภูมิ (°C)	34	34	35
น้ำหนัก (kg)	0.048	0.050	0.051
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความหนาแน่น (kg/m ³)	960	1000	1020
ความชื้น %	22.91	22	21.56
น้ำหนัก (kg)	0.037	0.039	0.040
ปริมาตร (cc)	50	50	50
ความชื้น %	0	0	0
ความหนาแน่น (kg/m ³)	740	780	800

ก่อนอบ

หลังอบ

กราฟ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับอัตราการผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความหนาแน่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทวิจารณ์และสรุป

8.1 สรุปผลการทดลองของเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

จากการที่ได้ศึกษาค้นคว้าถึงขั้นตอนต่าง ๆ ตลอดจนได้จัดสร้างเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพจนเสร็จสมบูรณ์ และได้ทำการทดลองอัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย มูลวัว มูลเป็ด และดินผสม ที่ความเร็วรอบและความชื้นต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้ออกมาก็เป็นผลที่น่าพอใจดี คือ สามารถอัดและตัดออกมาเป็นเม็ดได้ ซึ่งจากผลการทดลองทางคณะผู้จัดทำพบว่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับอัดเม็ดคือ 20 – 26 % และความเร็วรอบที่ควรใช้งานคือ 68 – 78 rpm ซึ่งจะได้อัตราการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 ตัน / วัน ซึ่งเหมาะที่จะใช้กันในอุตสาหกรรมครัวเรือนเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งวัสดุและชิ้นส่วนต่าง ๆ ก็หาซื้อหรือจัดทำเองได้ง่าย ๆ และระบบที่ใช้ก็เป็นระบบเครื่องจักรกลง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนสามารถที่จะซ่อมบำรุงได้ด้วยตนเอง

8.2 ผลการทดลองใบมีดตัดเม็ดปุ๋ยชีวภาพ

จากการออกแบบและทดสอบเลือกใช้ใบมีดตัดแบบต่าง ๆ เราพบว่าใบมีดตัดแบบที่สัมพันธ์กับหน้าแปลนรีดส่วนผสมมีความเหมาะสมมากที่สุด สามารถตัดส่วนผสมได้เรียบดีกว่าแบบที่ใช้เส้นลวดในการตัดเพราะว่าแบบเส้นลวดตัดนั้นเม็ดที่ออกมาจะมีขนาดความยาวไม่สม่ำเสมอและการตัดก็จะไม่คมแบบใบมีดสัมพันธ์กับหน้าแปลนจำนวนใบมีดที่ใช้งานคือ 4 ใบ

8.3 บทวิจารณ์

1. ชนิดของส่วนผสมปุ๋ยที่นำมาใช้หากเป็นแบบที่มีเส้นใยมาก ๆ เช่น ขุยมะพร้าวเมื่อทำการอัด เส้นใยเหล่านี้ก็จะไปอุดตันที่หน้าแปลนรีดส่วนผสมและยังทำให้ผิวของเม็ดปุ๋ยที่ได้มีลักษณะไม่เรียบมีรอยเส้นใยและอัตราการผลิตจะลดลงด้วย
2. ระบบดันกำลังที่ใช้เป็นมอเตอร์ซึ่งไม่สามารถปรับความเร็วรอบและกำลังได้ หากเราเป็นมาใช้เครื่องยนต์ที่สามารถปรับความเร็วรอบและกำลังได้ จะทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น
3. หลักการและลักษณะการอัดเม็ดปุ๋ย โดยใช้เกลียวอัดนั้นจะออกมาในรูปของการเหวี่ยง ส่วนผสมซึ่งมีผลทำให้ลำของส่วนผสมออกมามีความเร็วไม่เท่ากัน ทำให้เม็ดปุ๋ยที่ได้จากการตัดมีขนาดความยาวไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร

8.4 ปัญหาที่พบในการทำงาน

1. ปั๊มที่ส่วนผสมของเส้นใยมาก ๆ เวลาทำการอัดจะไปอุดตันที่หน้าแปลนรีดส่วนผสมทำให้ อัตราการผลิตที่ได้ลดลงและผิวของเม็ดปั๊มจะไม่เรียบ
2. ลักษณะของการออกแบบกรวยป้อนส่วนผสม ไม่เอื้ออำนวยที่จะป้อนโดยอัตโนมัติต้องมีคน ค่อยทำการป้อน ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในงานในส่วนนี้ไป
3. ความชื้นที่ใช้ก่อนทำการอัดมีผลต่อการทำงาน และลักษณะของเม็ดปั๊มที่ได้ด้วยคือถ้าเราใช้ ความชื้นมากเกินไปจะทำให้เม็ดปั๊มที่ได้จะเกาะตัวเป็นก้อนไม่เป็นเม็ดเวลาตัดออกมาแต่หารเราใช้ ความชื้นน้อยเกินไป อาจจะทำให้เครื่องไม่สามารถทำงานได้หรือทำงานได้ แต่อัตราการ ผลิตจะลด ลงไปเกิดการสูญเสียรายได้ในส่วนนี้ไป
4. ลักษณะของการต่อเพลาส่งกำลังยังไม่ได้ระดับเท่าที่ ควรทำให้เวลาเดินเครื่องจะเกิดการสั่น และมีเสียงดังในบางจังหวะ
5. ใบมีดตัดที่ใช้แบบ 4 ใบ สัมผัสกับหน้าแปลนรีดส่วนผสมเวลาทำการติดตั้งต้องให้แนบสนิท จริง จะทำให้เม็ดปั๊มที่ออกมามีความเรียบหากติดตั้งไม่แนบสนิทก็จะทำให้เม็ดปั๊มที่ได้มีผิวที่ไม่เรียบ

8.5 แนวทางการพัฒนา

1. ควรทำการออกแบบและทดลองใช้เพลากลีวยอดแบบต่าง ๆ และทำการทดลองมาเปรียบเทียบว่าลักษณะของเกลียวอัดแบบไหนสามารถใช้งานได้ดีและเหมาะสมที่สุด
2. ควรทำการออกแบบให้เครื่องสามารถทำการป้อนส่วนผสมได้อย่างต่อเนื่องหรือแบบอัตโนมัติ
3. ควรทำการทดลองอัดส่วนผสมชนิดอื่น ๆ เพื่อให้การใช้งานของเครื่องมีขอบเขตการใช้งาน มากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม1 , ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, ชาญ อดุลงาน.
- [2] การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม2 , ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, ชาญ อดุลงาน
- [3] ตารางงานโลหะ รศ. บรรณเลข ศรีนิล , ผศ. ประเสริฐ ก้วยสมบุรณ์
- [4] กลศาสตร์ของแข็ง, บรรณจบ อรชร , บริษัท พิมพ์ดี จำกัด , กรุงเทพฯ , 2542
- [5] Mechanics of Materials , R.C.Hibbeler , Prentice Hall , New Jersey , 1990
- [6] Fenner , R.T. Extruder - Screw Design , London , The Butterworth Group , 1970
- [7] Fisher , E.G. Extruder of Plastics , London , Newnes Butterworths , 1976

