



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องกลึงกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

Design and Development of a Pull Type Compost Turner

นามผู้วิจัย นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธัญญา เกียรติวัฒน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ อินทวิชัย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องกลึงกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

Design and Development of a Pull Type Compost Turner

โดย

นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ.2552

ปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช 2552: การออกแบบและพัฒนาเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดึง
ด้วยรถแทรกเตอร์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ธัญญา เกียรติวัฒน์, Ph.D. 200 หน้า

การกลึงกึ่งอัตโนมัติเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติเชิงอุตสาหกรรม
เนื่องจากกึ่งอัตโนมัติมีขนาดใหญ่ การใช้แรงงานคนกลึงกึ่งอัตโนมัติมีความยากลำบากและมีค่าจ้าง
แรงงานสูง ดังนั้นในปัจจุบันการกลึงกึ่งอัตโนมัติจึงใช้เครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการกลึงกึ่ง
ซึ่งเครื่องจักรดังกล่าวยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง

จากผลของการทดสอบและประเมินผลการใช้งานเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติที่มีการใช้งานอยู่
ในปัจจุบัน ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่นพบว่า มีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน
คือ 1) สภาพพื้นที่ปฏิบัติงานของเครื่องจักรไม่เหมาะสม และ 2) เกิดความเสียหายทางกลของ
โครงสร้างกระโปรงกันกึ่งอัตโนมัติ ดังนั้นในการแก้ไขข้อบกพร่องจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนา
เครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติให้มีความแข็งแรง ตลอดจนสามารถใช้งานได้เหมาะสมและปลอดภัย
ในขณะปฏิบัติงาน

หลังจากได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดึงด้วยรถ
แทรกเตอร์ จึงได้แบบพิมพ์เขียวที่สามารถนำไปใช้สร้างเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติได้ โดยในการ
ออกแบบเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติจะเลือกใช้วัสดุในการผลิตที่เหมาะสม และสามารถผลิตขึ้นเองได้
ภายในประเทศ

Piyapong Sriwongras 2009: Design and Development of a Pull Type Compost Turner.
Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering,
Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor
Thanya Kiatiwat, Ph.D. 200 pages.

Compost turner process is one of the most important process of the commercial bio-compost production. Due to its costly and labor intensive task, a pull type compost turner attached to a 70-90 hp tractor is needed and imported to be employed in Thailand. However, the machine was found to be quite expensive.

Based upon the testing and evaluations of the imported pull type compost turner attached to a 70-90 hp tractor in the local field conditions, the major deficiencies can be summarized into 2 main categories. First, the local field conditions were not quite compatible with the utilization of the machine. Secondly, the hood structures and their associated parts were found to be damaged. Therefore, the design and development of this pull type compost turner were done in order to obtain the better machine effectiveness and efficiency.

The design and development of the pull type compost turner were done basically using the local machine components and materials. After the design and development of the pull type compost turner were done, the mechanical drawings, readily for fabrication have been developed.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาและ รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดา อินทวิชัย กรรมการที่ปรึกษาร่วมเป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการดำเนินงานและแนวทางการศึกษาวิจัย ตลอดจนการเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์ อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พนักงานและผู้ประกอบการของ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และทดสอบภาคสนามในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี และสุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ได้ให้โอกาส และความช่วยเหลือในทุกด้านจนผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงในที่สุด

ปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช

สิงหาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการดำเนินงานวิจัย	32
ผลและวิจารณ์ผล	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	128
สรุป	128
ข้อเสนอแนะ	129
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	131
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก ภาพผนวก	134
ภาคผนวก ข ตารางผนวก	142
ภาคผนวก ค แบบพิมพ์เขียวเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์	156

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆ ในประเทศไทย	5
2	ค่าความหนาแน่นและความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างปุ๋ยหมัก	43
3	ผลการทดสอบและประเมินผลเครื่องกลึงของปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติงาน	47
4	บริเวณความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมัก	53
ตารางผนวกที่		
ข1	ความต้านทานรวมต่อการเคลื่อนที่ของวัสดุในเครื่องขนถ่ายแบบเกลียว	143
ข2	ข้อมูลจำเพาะรายละเอียดของรถแทรกเตอร์นิวฮอลแลนด์ รุ่น 6610S	143
ข3	คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SS304	144
ข4	คุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล็ก Hot Rolled Steel (HR), Cold Drawn Steel (CD)	144
ข5	ขนาดของคัปปลิงแบบหน้าแปลนมาตรฐาน JIB B 1451 – 1975	145
ข6	ค่าตัวประกอบความด้า	146
ข7	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยประมาณ	146
ข8	คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตั๊ด	147
ข9	เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลียวธรรมดา	148
ข10	ขนาดลึ้มมาตรฐานที่ใช้กับเพลานขนาดต่างๆ	149
ข11	คุณสมบัติของ Deep groove ball bearing (DIN 625)	150
ข12	คุณสมบัติของ Thrust ball bearing (DIN 711)	150
ข13	ค่าแฟกเตอร์ของแรงในแนวรัศมี (X) และแนวแกน (Y) สำหรับแบร์ริง	151
ข14	ค่าแฟกเตอร์ความแข็ง อุณหภูมิใช้งานสำหรับแบร์ริง	151
ข15	ค่ากำหนดในการใช้งานสำหรับแบร์ริง	151
ข16	ค่าแฟกเตอร์ขนาดและชนิดของการหล่อลิ้น Z_s สำหรับแบร์ริง	151
ข17	ค่าความเร็วคงที่ของลูกปืนชนิดต่างๆ	152
ข18	อายุการใช้งานของแบร์ริง	152
ข19	ค่าความเค้นสถิตใช้งานสำหรับใช้กับสมการของลูอิส	153
ข20	ค่าตัวประกอบรูปแบบลูอิส	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข21 ขนาดมาตรฐานของเพลาล็ิม ISO/R14	155

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในกองปฏึกหมัก	8
2	แสดงการใช้แรงงานคนในการกลับกองปฏึก	9
3	แสดงการใช้รถดักในการกลับกองปฏึก	10
4	แสดงการใช้เครื่องกลับกองปฏึกหมักช่วยในการกลับกองปฏึก	10
5	การระบุขนาดก้อนวัสดุ	11
6	เครื่องขนถ่ายแบบเกลียวสำหรับแนวราบ	13
7	ลักษณะรูปร่างเกลียวชนิดต่างๆ	13
8	ลักษณะการเรียงใบมีดใต้ออบหมุนและลักษณะดินที่ถูกตัด	15
9	ลักษณะใบมีดออบหมุน	16
10	เอลิเมนต์คานถูกกระทำด้วยโมเมนต์ตัดและแรงเฉือน	18
11	คานตัด (a) ก่อนเสียรูป (b) หลังเสียรูป (c) มุมการหมุนหน้าตัด ABCD	20
12	คานที่มีโมเมนต์ m และแรงเฉือน V กระทำ ซึ่ง m และ V มีทิศทางเป็นบวก	21
13	คานเอลิเมนต์ทำมุม θ กับพิกัดรวม $x - y$	23
14	เอลิเมนต์คานในพิกัดเฉพาะที่ที่มีแรงและโมเมนต์ตัดกระทำ	24
15	โครงสร้างกริด	27
16	เอลิเมนต์คานที่รับโหลดแนวขวางและโมเมนต์บิด	27
17	เอลิเมนต์แบบกริดหมุนทำ θ บนระนาบ $x-z$	29
18	การเตรียมกองปฏึกหมัก	39
19	ขนาดของกองปฏึกหมัก	39
20	การเติมหัวเชื้อลงบนกองปฏึกหมัก	40
21	การสเปรย์น้ำส่ำลงบนกองปฏึกหมักขณะเครื่องกลับกองปฏึกหมักเคลื่อนที่กลับกองปฏึกหมัก	41
22	เครื่องกลับกองปฏึกหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในโรงงาน	44
23	ระบบส่งกำลังของเครื่องกลับกองปฏึกหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์	45
24	การทดสอบค่าความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปฏึกหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขณะปฏิบัติงาน	47
25	ขนาดกองปฏึกหมัก	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	สภาพพื้นผิวช่องทางการเคลื่อนที่ของเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลาก ดึงด้วยรถแทรกเตอร์	49
27	การติดหล่มของเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ ขณะปฏิบัติงาน	50
28	ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นทั้งหมดกับ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก	51
29	ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นบริเวณ โครงสร้างจุดยึดกระบอกลูกสูบ กับ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก	51
30	ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นบริเวณแกนค้ำยัน โครงสร้างกระโปรงกัน ฝุ่นหมักด้านหน้า	52
31	ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นบริเวณแกนค้ำยัน โครงสร้างกระโปรงกัน ฝุ่นหมักด้านหลัง	52
32	ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นทั้งหมดกับ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก	53
33	การถ่ายถอดกำลังด้วยชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก	58
34	ตำแหน่งการติดตั้งเบร็กรูปปืนและคู่เฟืองดอกจอกบนเพลลาขับและ เพลลาตามของชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก	61
35	ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนเพลลาขับชุดเกียร์ทด	62
36	ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเฟืองดอกจอกบนเพลลาขับชุดเกียร์ทด	63
37	ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลลาขับชุดเกียร์ในระนาบ X-Z	64
38	ไดอะแกรมแรงเฉือนและ โมเมนต์ค้ำบนเพลลาขับชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Z	65
39	ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลลาขับชุดเกียร์ในระนาบ X-Y	65
40	ไดอะแกรมแรงเฉือนและ โมเมนต์ค้ำบนเพลลาขับชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Y	67
41	ไดอะแกรมค่าแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับเพลลาขับชุดเกียร์ทด	67
42	ค่าแรงและค่าโมเมนต์ต่างๆ ที่กระทำเพลลาขับชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง C	68
43	ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนเพลลาตามชุดเกียร์ทด	76
44	ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองตามของเพลลาตามชุดเกียร์ทด	76
45	ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลลาตามชุดเกียร์ทบบนระนาบ X-Z	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
46	"ไดอะแกรมแรงเฉือนและ โมเมนต์คัตที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทด ในระนาบ X-Z	78
47	"ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Y	78
48	"ไดอะแกรมแรงเฉือนและ โมเมนต์คัตที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทด ในระนาบ X-Y	80
49	"ไดอะแกรมค่าแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทด	80
50	แรงและ โมเมนต์ต่างๆ ที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง B	81
51	ลักษณะรูปร่างชุดเพลากลับกงนั๊ย	88
52	"ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนชุดเพลากลับกงนั๊ย	89
53	แรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กงนั๊ยหมักกระทำกับ ใบมีดของชุดเพลากลับกงนั๊ย ขณะกลับกง	90
54	"ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนชุดเพลากลับกงนั๊ย	91
55	"ไดอะแกรมของแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อชุดเพลากลับกงนั๊ยบนระนาบ X-Z	91
56	"ไดอะแกรมแรงเฉือนและ โมเมนต์คัตที่เกิดบนชุดเพลากลับกงนั๊ยบนระนาบ X-Z	92
57	"ไดอะแกรมของแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อชุดเพลากลับกงนั๊ยหมักระนาบ X-Y	92
58	"ไดอะแกรมแรงเฉือนและ โมเมนต์คัตที่เกิดบนชุดเพลากลับกงนั๊ยบนระนาบ X-Y	93
59	ผลการวิเคราะห์ค่าแรงในแนวแกนแต่ละชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกััน นั๊ยหมักเมื่อกระโปรงกัันนั๊ยหมักเอียงทำมุมกับพื้น 1 องศา	102
60	แรงดึงภายนอกที่กระทำกับแกนกระบอกสูบไฮดรอลิก	102
61	แบบ โครงสร้างกระโปรงกัันนั๊ยหมักแบบเดิม	107
62	โครงสร้างกระโปรงกัันนั๊ยหมักแบบเดิมในรูปเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ	108
63	การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาในกรณีที 1	109
64	ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์ที่แทนชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกััน นั๊ยหมักแบบเดิม	111
65	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกัันนั๊ยหมักแบบเดิม	112
66	การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกัันนั๊ยหมักแบบเดิม	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
67	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง กระโปรงกันปยุหมักแบบเดิมที่ระดับค่ามุมเอียงต่างๆ	114
68	การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาในกรณีที่ 2	115
69	ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์ที่แทนชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกัน ปยุหมักแบบเดิม	116
70	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม	117
71	การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม	118
72	แบบโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบใหม่	120
73	ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดเอลิเมนต์ที่แทนชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกัน ปยุหมักแบบใหม่	121
74	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบใหม่	122
75	การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบใหม่	123
76	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบใหม่ ที่ถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขของแรงที่กระทำในกรณีที่ 1	124
77	แบบประกอบเครื่องกลึงของปยุหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่ได้ ทำการออกแบบและพัฒนา	125
ภาพผนวกที่		
ก1	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 5 องศา	135
ก2	การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 5 องศา	135
ก3	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 35 องศา	136
ก4	การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 35 องศา	136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก5	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 65 องศา	137
ก6	การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 65 องศา	137
ก7	การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 90 องศา	138
ก8	การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักแบบเดิม เมื่อโครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 90 องศา	138
ก9	ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 1	139
ก10	ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 2	139
ก11	ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 3	140
ก12	ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 4	140
ก13	แฟกเตอร์ของภาระ , Z_k	141
ก14	แฟกเตอร์เนื่องจากมุมเอียงจากแนวราบ	141

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

A	=	พื้นที่
A_f	=	พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ
A_p	=	พื้นที่ลูกสูบ
A_S	=	พื้นที่หน้าตัดรับความเค้นของเกลียว
b	=	ความหนาเฟืองคอกจอก, ความกว้างลิ้ม
B	=	ความหนาของตัวแบริง
c	=	ระยะห่างจากจุดพิจารณาถึงแกนสะเทิน
C	=	แฟกเตอร์เนื่องจากมุมเอียงจากแนวราบของเครื่องขนถ่ายเกลียวลำเลียง, ค่า Dynamic load rating ของแบริง
C_m	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากแรงบิด
C_0	=	ค่า Static load rating ของแบริง
C_t	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากโมเมนต์ดัด
d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
d_c	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบไฮดรอลิก
d_g	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์เฟืองตาม
d_i	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน
d_m	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลิมเฉลี่ย
d_o	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก
d_p	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์เฟืองขับ, เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบไฮดรอลิก
D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
f	=	ค่าความต้านทานรวม, สัมประสิทธิ์ความเสียหาย
f_H	=	แฟกเตอร์ความแข็ง ณ อุณหภูมิใช้งาน
f_S	=	ค่ากำหนดในการใช้งานสำหรับแบริง
$f_{S(\text{กำหนด})}$	=	ค่ากำหนดในการใช้งานสำหรับแบริง ที่ยอมให้ใช้งานได้
F	=	แรง, Dynamic Equivalent Load
F_a	=	แรงตามแนวแกน
F_b	=	แรงกระทำพื้นเฟือง
F_d	=	Dynamic Loading
F_i	=	แรงดึงขั้นต้น

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

F_r	=	แรงตามแนวรัศมี
F_S	=	แรงเฉือน
F_t	=	แรงตามแนวเส้นสัมผัส
F_T	=	แรงที่ใช้ในการตัดดินของไถจอบหมุน
F_Z	=	แรงกระทำในทิศทางตามแนวแกน Z
F_{aA}	=	แรงในแนวแกนที่จุด A
F_{aB}	=	แรงในแนวแกนที่จุด B
F_{rA}	=	แรงในแนวรัศมีที่จุด A
F_{rB}	=	แรงในแนวรัศมีที่จุด B
GPa	=	จิกะปาสกาล
h	=	ความสูงของฟันลิ้ม
I	=	ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย
J	=	ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงมุม
k	=	ประสิทธิภาพในการบรรจุวัสดุลงระหว่างเกลียว
kg/cc.	=	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
kN	=	กิโลนิวตัน
K_f	=	ค่าตัวประกอบความหนาแน่น
K_r	=	ค่าตัวประกอบความเร็ว
L	=	ความยาวเพลลา, ความยาวเพลลาลิ้ม, ระยะทรงกรวย, ประสิทธิภาพในการรับ Dynamic load, ความยาวลิ้ม, ระยะทาง
L_h	=	อายุการใช้งานกำหนดของแบร์ริง (ชั่วโมง)
$L_{h(\text{กำหนด})}$	=	อายุการใช้งานกำหนดของแบร์ริง ที่ยอมให้ใช้งานได้
M	=	ค่าโมเมนต์ตัด
m	=	โมดูล (มิลลิเมตร)
mm	=	มิลลิเมตร
m_f	=	มวลของปั๊มหมัก
m_g	=	Gear ratio
m_{sw}	=	มวลของน้ำสำ
MPa	=	เมกะปาสกาล

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

M_A	=	ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่จุด A
M_B	=	ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่จุด B
M_C	=	ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่จุด C
M_D	=	ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่จุด D
M_E	=	ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่จุด E
M_{X-Y}	=	ค่าโมเมนต์ดัดบนระนาบ X-Y
M_{X-Z}	=	ค่าโมเมนต์ดัดบนระนาบ X-Z
n	=	ความเร็วรอบทำงานของเพลลา
N	=	ขนาดต้นกำลังของการขนถ่ายผ่านเกลียว, ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ
N_e	=	แรงม้าออกเครื่องยนต์
N_g	=	จำนวนฟันเฟืองตาม, ความเร็วพิกัดของแบร์ริง
N_p	=	จำนวนฟันเฟืองขับ
N_S	=	ค่าตัวประกอบใช้งาน (Service Factor)
p	=	ระยะพิตช์เกลียวลำเลียง
P	=	กำลังงาน, ความดัน
P_e	=	ประสิทธิภาพการส่งกำลังจากเครื่องยนต์มายังเพลลาใบมีดจอบหมุน
Q	=	อัตราการขนถ่ายผ่านเกลียวลำเลียง
Q_p	=	อัตราการไหลของปั้มน้ำสำที่ต้องการ
r_g	=	รัศมีพิตช์เฟืองตาม
r_p	=	รัศมีพิตช์เฟืองขับ
R	=	รัศมีหมุนใบมีด
R_C	=	ค่าแรงปฏิกิริยารวมที่จุด C
R_{AZ}	=	แรงปฏิกิริยาที่จุด A ในทิศทางตามแนวแกน Z
R_{AY}	=	แรงปฏิกิริยาที่จุด A ในทิศทางตามแนวแกน Y
R_{BZ}	=	แรงปฏิกิริยาที่จุด B ในทิศทางตามแนวแกน Z
R_{CY}	=	แรงปฏิกิริยาที่จุด C ในทิศทางตามแนวแกน Y
R_{CZ}	=	แรงปฏิกิริยาที่จุด C ในทิศทางตามแนวแกน Z
R_{DY}	=	แรงปฏิกิริยาที่จุด D ในทิศทางตามแนวแกน Y
R_{DZ}	=	แรงปฏิกิริยาที่จุด D ในทิศทางตามแนวแกน Z

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

t	=	เวลา
T	=	โมเมนต์บิด
v	=	ความเร็ว
V	=	ความเร็วพิทช์ของเฟือง
V_f	=	ปริมาตรของปุ๋ยหมัก
V_{sw}	=	ปริมาตรของน้ำสำ
w	=	น้ำหนักกอง (bulk weight)
w_1	=	น้ำหนักกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิเมตร
w_2	=	น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยหมักกับน้ำหนักกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิเมตร
W	=	กำลังงาน
X	=	แฟกเตอร์แรงในแรวิตรี
Y	=	ค่าตัวประกอบลูอิส, แฟกเตอร์แรงในแนวแกน
Y_g	=	ค่าตัวประกอบลูอิสเฟืองตาม
Y_p	=	ค่าตัวประกอบลูอิสเฟืองขับ
z	=	จำนวนสลักเกลียว
Z	=	จำนวนฟันลิ้ม
Z_k	=	แฟกเตอร์ของภาระ
Z_s	=	แฟกเตอร์ขนาดและชนิดของการหล่อลิ้นแบริง
π	=	3.142857
σ	=	ค่าความเค้น, ค่าความเค้นสถิตใช้งาน
σ_a	=	ค่าความเค้นตั้งฉากเนื่องจากแรงในแนวแกน
σ_b	=	ค่าความเค้นตั้งฉากเนื่องจากโมเมนต์ตัด
σ_c	=	ค่าความเค้นแรงอัด
σ_d	=	ค่าความเค้นปกติออกแบบ
σ_t	=	ค่าความเค้นแรงดึง
σ_u	=	ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด
σ_y	=	ค่าความต้านแรงดึงคราก
τ	=	ค่าความเค้นเฉือน
τ_y	=	ค่าความเค้นเฉือนคราก

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

τ_T	=	ค่าโมเมนต์เฉือนเนื่องจากโมเมนต์บิด
β	=	มุมเอียงจากแนวนอนของเพลาลำเลียง, มุมพิตช์เฟืองขับ
α	=	มุมพิตช์เฟืองตาม
ϕ	=	Pressure Angle
ρ_f	=	ความหนาแน่นปุ๋ยหมัก
ρ_{sw}	=	ความหนาแน่นน้ำสำ
v	=	อัตราส่วนปัวของส
Σ	=	ค่ามุมระหว่างเพลาคับและเพลตาม
ΣF_X	=	ผลรวมแรงในแรงแกน X
ΣF_Y	=	ผลรวมแรงในแรงแกน Y
ΣF_Z	=	ผลรวมแรงในแรงแกน Z
ΣM_C	=	ผลรวมโมเมนต์ที่จุด C

การออกแบบและพัฒนาเครื่องกลักกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

Design and Development of a Pull Type Compost Turner

คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมด 320.72 ล้านไร่ เป็นพื้นที่การเกษตรเพียง 118.58 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 36.97 ซึ่งกระจายอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 45.22 ล้านไร่ ภาคเหนือ 28.54 ล้านไร่ ภาคกลาง 24.57 ล้านไร่ และภาคใต้ 20.25 ล้านไร่ ซึ่งพื้นที่ทำการเกษตรดังกล่าวนี้มีประมาณ 68.53 ล้านไร่ (ร้อยละ 57.79 ของพื้นที่ทั้งหมด) มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำกว่า 1.5 % จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตในการเพาะปลูกต่อไร่ต่ำ (ประภาศรี และคณะ, 2548) ดังนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน เพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่ทำการเพาะปลูกมีผลผลิตต่อไร่ที่สูงขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการที่เกษตรกรได้ใช้ปุ๋ยเคมีในการบำรุงดินเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้สภาพของดินเสื่อมลง เนื่องจากปุ๋ยเคมีไม่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดิน และยังทำให้สภาพดินมีความเป็นกรดสูงขึ้น อีกทั้งปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรนิยมใช้กันยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นทุกปี ในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนปุ๋ยเคมี ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์จะมีคุณสมบัติช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ถึงแม้จะมีการให้ธาตุอาหารน้อยกว่าปุ๋ยเคมีก็ตาม นอกจากนี้รัฐบาลยังมีนโยบายที่จะส่งเสริมการสร้างโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทุกอำเภอทั่วประเทศ ภายในระยะเวลา 4 ปี เริ่มตั้งแต่ปีงบประมาณ 2549 เป็นต้นไป เพื่อให้เกษตรกรได้มีโอกาสใช้ปุ๋ยอินทรีย์กันอย่างทั่วถึง และเพื่อเป็นการสนับสนุนวาระแห่งชาติเกษตรอินทรีย์

จากการส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนปุ๋ยเคมีของหน่วยงานต่างๆของรัฐ จึงทำให้ความต้องการการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ของเกษตรกรมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้ธุรกิจการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เชิงอุตสาหกรรมเกิดการขยายตัว ด้วยเหตุดังกล่าวผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่มีเศษวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต จึงมีความสนใจนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ด้วยการนำไปแปรรูปให้เป็นปุ๋ยหมักเพื่อจำหน่ายให้กับเกษตรกรนำไปใช้ในการบำรุงดินเพื่อการเพาะปลูกทางกสิกรรมต่อไป

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก โรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นอุตสาหกรรมที่มีเศษวัสดุเหลือทิ้งจากขั้นตอนกระบวนการผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก เศษวัสดุเหลือทิ้งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากพืชผลทางการเกษตร ซึ่งถ้าไม่นำไปแปรรูปให้เกิดประโยชน์ก็จะเกิดการย่อยสลายเป็นของเสียที่ไม่มีมูลค่า และยังคงเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งออกจากโรงงาน

ดังนั้นผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีความสนใจนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานมาแปรรูปให้เกิดมูลค่าเพิ่มด้วยวิธีการต่างๆ วิธีการหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปเศษวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม คือ การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งและยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการโรงงาน โดยการทำปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง ในขั้นตอนการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม การกลับกองปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากกองปุ๋ยหมักมีขนาดกองที่ใหญ่ การใช้แรงงานคนในการกลับกองปุ๋ยหมักพบว่าทำได้ยากลำบากและมีค่าจ้างแรงงานสูง ส่วนการใช้รถตักกลับกองปุ๋ยหมักก็เป็นการใช้งานที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นผู้ประกอบการโรงงานจึงเลือกใช้เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์เข้ามาช่วยในการกลับกองปุ๋ยหมักโดยเฉพาะ ซึ่งสามารถกลับกองปุ๋ยได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำให้ปุ๋ยหมักเกิดการเน่าเสียเนื่องจากการกลับกองปุ๋ยที่ไม่สมบูรณ์ แต่เครื่องจักรดังกล่าวจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงและเมื่อนำมาใช้งานยังมีข้อบกพร่องในการใช้งานของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมัก

จากข้อบกพร่องดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบทางวิศวกรรมให้เครื่องจักรมีความแข็งแรงและเลือกใช้วัสดุการผลิตอย่างเหมาะสมสามารถผลิตขึ้นเองได้ภายในประเทศ และนำไปสู่การผลิตการพึ่งพาเทคโนโลยีเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตปุ๋ยหมักด้วยเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นกรองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์

ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นกรองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การตรวจเอกสาร

ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์(organic fertilizers) หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งได้มาจากซากพืช ซากสัตว์ เศษเหลือทิ้งของสารอินทรีย์ต่างๆ หรือจากโรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น เซลล์จุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์ จะเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด หลักๆ คือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ

1. ปุ๋ยคอก (Animal manure)

ปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากมูลสัตว์ต่างๆ ได้แก่ มูลเป็ด มูลไก่ มูลสุกร มูลโค มูลค่างควา เป็นต้น เป็นผลพลอยได้จากการเลี้ยงสัตว์ที่มีการนำมาใช้งานทางด้านเกษตรของเกษตรกรเอง มูลสัตว์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของซากพืชซากสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจากระบบย่อยอาหารของสัตว์มาแล้วจึงเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช ไม่เพียงแต่จะให้อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชแก่ดิน แต่ยังช่วยป้องกันและรักษาดิน ตลอดจนช่วยปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช (จิรพงษ์ และคณะ, 2548)

2. ปุ๋ยพืชสด (Green manure)

ปุ๋ยพืชสดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการไถกลบพืชขณะที่สดอยู่ลงสู่ดิน โดยได้จากการไถกลบพืชหลักและการปลูกพืชบางชนิดที่ให้ปริมาณธาตุอาหารสูง เจริญเติบโตเร็ว พืชที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสดส่วนใหญ่เป็นพืชตระกูลถั่ว เพราะพืชเหล่านี้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศจึงเป็นการช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้แก่พืชหลักได้ในอีกรูปแบบหนึ่ง นอกจากนี้ปุ๋ยพืชสดช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารให้กับดินได้ด้วย (จิรพงษ์ และคณะ, 2548)

3. ปุ๋ยหมัก (Compost)

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืช กากของเสียต่างๆ และขยะจากชุมชนมาผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด ร่อน และผ่านกรรมวิธีหมักอย่างสมบูรณ์จน

แปรสภาพจากเดิม ซึ่งกระบวนการหมักเป็นการย่อยสลายทางชีววิทยา โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ที่เป็นประโยชน์บางชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์จนกระทั่งกลายเป็นวัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายที่มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม ที่เรียกว่า ฮิวมัส (humus) มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินโปร่งเพิ่มความพรุนให้แก่ดิน ทำให้การระบายน้ำและอากาศในดินได้ดีขึ้น ช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช ช่วยทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ได้ดีขึ้น (มุกดา, 2545)

วัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ส่วนใหญ่จะใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด และกากวัสดุต่างๆ หรือใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ เช่น เปลือกไม้จากโรงงานกระดาษ แกลบจากโรงสีข้าว และขี้ตะกรันหม้อกรองน้ำตาล (Filter cake) จากโรงงานน้ำตาล เป็นต้น โดยได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆต่อปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆ ในประเทศไทย

ชนิดของวัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณ (1,000 ตัน/ปี)
ฟางข้าว	43,000
ขังข้าวโพด	1,000
กากอ้อย	6,000
ขี้เลื่อย	30
เศษพืชชนิดอื่นๆ	1,000

ที่มา: คัดแปลงจาก วรรณลดา และฉวีวรรณ (2540)

การผลิตปุ๋ยหมักในปัจจุบันมีหลายวิธีการ ซึ่งโดยทั่วไปมีหลักการในการผลิตที่ค่อนข้างเหมือนกัน คือ จะนำเศษซากพืชหรืออินทรีย์วัตถุต่างๆมาองรวมกัน แล้วควบคุมความชื้น อุณหภูมิให้เหมาะสม แล้วปล่อยให้จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักช่วยย่อยสลายซากอินทรีย์วัตถุนั้น (อานันท์, 2549) จนสามารถนำปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายเรียบร้อยแล้ว นำไปใช้บำรุงดินได้ต่อไป

ขั้นตอนการผลิตปุ๋ยหมักจะขอกว่าวิธีการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขั้นตอนวิธีการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกอง

การผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองเป็นการผลิตปุ๋ยหมักแบบการหมักให้อากาศ กล่าวคือ ในระหว่างกระบวนการหมักกองปุ๋ยหมักจะต้องทำการกลับกองปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ กระบวนการหมัก ซึ่งเป็นการเติมออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักและลดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยไม่ให้สูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในกองปุ๋ย โดยที่การผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองมีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

1. เตรียมวัสดุอินทรีย์

การเตรียมวัสดุอินทรีย์สามารถจำแนกได้เป็นประเภทของวัสดุอินทรีย์ต่างๆ ได้ดังนี้

1.1 วัสดุสัตว์ เช่น มูลไก่ มูลเป็ด มูลห่าน มูลนกกกระทา มูลหมู มูลโค มูลกระบือ

1.2 เศษพืช เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ต้นมันสำปะหลัง ใบอ้อย

1.3 วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ชี้เลี้ยงจากโรงเลี้ยง กากและเปลือกมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง กากกะหล่ำจากโรงงานสกัดน้ำมันละหุ่ง เป็นต้น

1.4 ขยะปลอดภัยจากชุมชน เช่น เศษอาหารต่างๆ

2. สถานที่ผลิตปุ๋ยหมัก

การเลือกสถานที่หรือบริเวณที่จะผลิตปุ๋ยหมัก มีหลักในการพิจารณาดังนี้

2.1 ควรเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับแหล่งที่มีวัสดุอินทรีย์ที่ต้องการทำปุ๋ยหมัก เพื่อความสะดวกในการขนย้ายในการทำปุ๋ยหมัก

2.2 ควรเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการรดน้ำให้กิ่งปุยหมัก แต่ควรมีระยะห่างจากแหล่งน้ำสำหรับบริโภค

2.3 ควรเป็นบริเวณที่ดอน น้ำท่วมไม่ถึง และมีระดับพื้นราบเรียบเสมอกันมากที่สุด

2.4 บริเวณพื้นที่ที่ต้องการกิ่งปุยอาจจะเป็นบริเวณกลางแจ้งหรือในโรงเรือน ก็ได้ตามความเหมาะสมของขนาดของกิ่งปุยหมักที่ทำการรวมกอง

3. การเตรียมกิ่งปุยหมัก

นำวัสดุอินทรีย์ที่ต้องการทำปุยหมัก เช่น ฟางข้าว ใบพืช และกากของเสียต่างๆ มากองรวมกันเป็นกองบนพื้นราบ อาจจะเป็นพื้นดินธรรมดาหรือพื้นซีเมนต์ บริเวณที่จะตั้งกองปุยหมัก ควรเป็นบริเวณที่สามารถขนย้ายเศษวัสดุอินทรีย์มากองรวมกันได้ง่าย รวมทั้งการนำปุยหมักที่เสร็จแล้วไปใช้ได้สะดวก ลักษณะมิติของกิ่งปุยต่างๆ ไป ควรมีขนาดกอง กว้าง 3 เมตร สูง 1.2 เมตร ถึง 1.5 เมตร ยาว 4 เมตร แต่ถ้าต้องการหมักวัสดุอินทรีย์มากกว่านี้ ก็กิ่งปุยหมักให้มีความยาวกองมากขึ้นได้

4. การดูแลรักษากิ่งปุยหมัก

การดูแลรักษากิ่งปุยหมักมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

4.1 ควรรดน้ำลงบนกิ่งปุยหมักอย่างสม่ำเสมอ

4.2 ควรตรวจความชื้นในกิ่งปุย ใช้มือบีบเศษวัสดุจากกิ่งปุย ถ้าเศษวัสดุจับเป็นก้อนมีน้ำไหลออกเล็กน้อยแสดงว่ามีความชื้นพอเหมาะ แต่ถ้าเศษวัสดุแห้งแตกเป็นชิ้นส่วนควรรดน้ำให้ชุ่ม

4.3 ควรกลับกิ่งปุยหมักอย่างสม่ำเสมอ เพื่อระบายอากาศในกิ่งปุย และเป็นการเพิ่มก๊าซออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตเพื่อทำกิจกรรมต่างๆ ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้เร็วขึ้น และยังเป็นการลดปริมาณความร้อนภายในกิ่งปุยไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่จุลินทรีย์ไม่สามารถทนได้

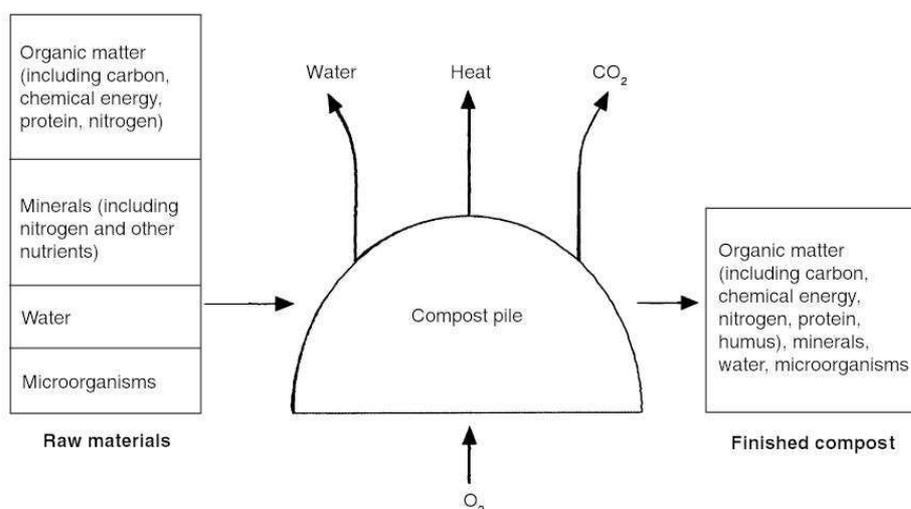
5. ลักษณะของกองปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

ลักษณะปุ๋ยหมักที่นำไปใช้งานได้แล้วมีดังนี้ คือ

- 5.1 สีของกองปุ๋ยหมักจะเข้มกว่าเมื่อแรกเริ่มกอง อาจเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ
- 5.2 อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลงเท่ากับอุณหภูมิภายนอกทุกๆ กองปุ๋ยหรือแตกต่างกัน น้อยมาก
- 5.3 พืชหรือวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักจะขาดออกจากกันได้ง่ายไม่แข็งกระด้าง
- 5.4 กลิ่นของปุ๋ยหมักจะคล้ายกับกลิ่นดินตามธรรมชาติ
- 5.5 ต้นพืชที่มีระบบรากลึกสามารถเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้

กระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ โดยมี จุลินทรีย์เป็นตัวกระทำ ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายจะต้องมีปริมาณออกซิเจนอย่างเพียงพอ โดยจุลินทรีย์จะทำการเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุบางส่วนให้อยู่ในรูปของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอ้ น้ำ และ ความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก

ที่มา: Sandeen and Gamroth (2003)

ภาพที่ 1 กองปุ๋ยหมักที่สุกแล้วจะมีปริมาณของ คาร์บอน โปรตีน น้ำ ลดลงจากเดิมก่อนการเริ่มกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณขนาดของกองปุ๋ยหมักที่สุกจะมีขนาดกองที่เล็กกว่าเดิมถึงร้อยละ 50 ของขนาดกองปุ๋ยหมักเดิม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุบางส่วนกลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ ความร้อน น้ำ แต่กองปุ๋ยหมักที่สุกแล้วจะมีจำนวนของชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น (Sandeem and Gamroth, 2003)

วิธีการต่างๆ ในการกลับกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการกลับกองปุ๋ยหมักเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก โดยสามารถจำแนกวิธีการกลับกองปุ๋ยได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1. การใช้แรงงานคนในการกลับกองปุ๋ยหมัก วิธีการกลับกองปุ๋ยด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับกองปุ๋ยหมักที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเกษตรกรสามารถทำขึ้นเองได้ เพื่อใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินเพื่อการเพาะปลูกพืชพันธุ์ทางการเกษตร ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงการใช้แรงงานคนในการกลับกองปุ๋ย

2. การใช้รถดัดในการกลับกองปุ๋ย วิธีการกลับกองปุ๋ยโดยใช้รถดัด เหมาะสำหรับกองปุ๋ยหมักที่มีขนาดกองปุ๋ยที่ใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะถูกใช้ในการกลับกองปุ๋ยเพื่อการผลิตปุ๋ยหมักเชิง

อุตสาหกรรม แต่มีข้อเสียคือในการกลับกองปุ๋ยแต่ละครั้งทำได้ช้า เพราะการใช้งานที่ไม่เหมาะสมของเครื่องจักร ลักษณะการกลับกองปุ๋ยหมักโดยใช้รถตักแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการใช้รถตักในการกลับกองปุ๋ย

3. การใช้เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักในการกลับกองปุ๋ย วิธีการกลับกองปุ๋ยหมักโดยใช้เครื่องกลับกองปุ๋ย มีความเหมาะสมมากที่สุดในการกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม เพราะมีความรวดเร็วในการกลับกองปุ๋ยมากกว่าการใช้รถตักช่วยในการกลับกองปุ๋ย โดยที่เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักโดยทั่วไปมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการใช้เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักช่วยในการกลับกองปุ๋ย

เครื่องขนถ่ายแบบเกลียว

การออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายและส่วนประกอบต่างๆ มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับประเภทของวัสดุขนถ่ายและสมบัติทางกายภาพของวัสดุขนถ่ายเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะรายละเอียดดังกล่าวทั้ง 2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องขนถ่าย ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. ประเภทของวัสดุขนถ่าย (สมยศ, 2541)

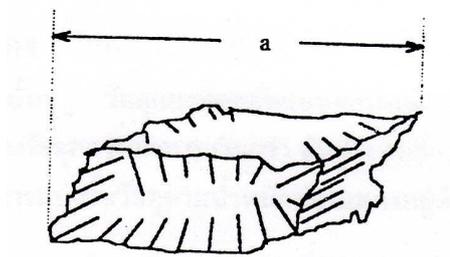
ประเภทของวัสดุขนถ่ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. วัสดุชิ้น (unit loads) หมายถึง วัสดุเป็นชิ้นๆ ที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักเบาได้ง่าย เช่น หีบ ห่อ กล่อง ถู กัง และชิ้นส่วนเครื่องจักร เป็นต้น

2. วัสดุกอง (bulk loads) หมายถึง วัสดุที่มีขนาดเล็กน้ำหนักเบาได้ง่ายหรือหนักไม่ได้เลย ต้องเคลื่อนย้ายเป็นกลุ่มก้อน เช่น กองเมล็ดพืช แป้งมัน เป็นต้น

2. สมบัติทางกายภาพของวัสดุขนถ่าย

1. ขนาดก้อนวัสดุ (lump-size) คือ ขนาดความยาวที่วัดตามเส้นทแยงมุมที่ยาวที่สุด ตามภาพที่ 5 ขนาดก้อนวัสดุ คือ a ซึ่งหลักการหาขนาดก้อนวัสดุนี้สามารถใช้ได้ทั้งกับวัสดุชิ้นและวัสดุกอง



ภาพที่ 5 การระบุขนาดก้อนวัสดุ

ที่มา: สมยศ (2541)

2. น้ำหนักกอง (bulk weight) หมายถึง น้ำหนักสุทธิของวัสดุกองหารด้วยปริมาตรของภาชนะที่บรรจุวัสดุนั้นอยู่ วัสดุกองที่ถูกอัดแน่นย่อมหนักกว่าวัสดุกองหลวมๆ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักวัสดุกองอัดแน่นกับวัสดุกองหลวมๆ เรียกว่า สัมประสิทธิ์การอัดตัว (packing coefficient) ซึ่งมีค่าประมาณ 1.05 ถึง 1.52

3. น้ำหนักจำเพาะ (specific weight) น้ำหนักของเนื้อวัสดุส่วนๆ ซึ่งหาค่าได้จากการนำน้ำหนักของวัสดุที่ถูกอบแห้ง 100 ถึง 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ หารด้วยปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ ดังนั้นน้ำหนักจำเพาะของวัสดุแต่ละชนิดจึงมีค่าคงที่

4. มุมกองพื้นตามธรรมชาติ (angle of repose) เมื่อเทกองวัสดุอย่างหลวมๆ ลงบนพื้นราบ มันจะเกาะตัวกันเป็นกอง มุมเอียงของกองวัสดุที่ทำกับพื้นราบเรียกว่า มุมกองพื้นตามธรรมชาติ ขนาดของมุมนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเลื่อนไถลได้ของวัสดุ

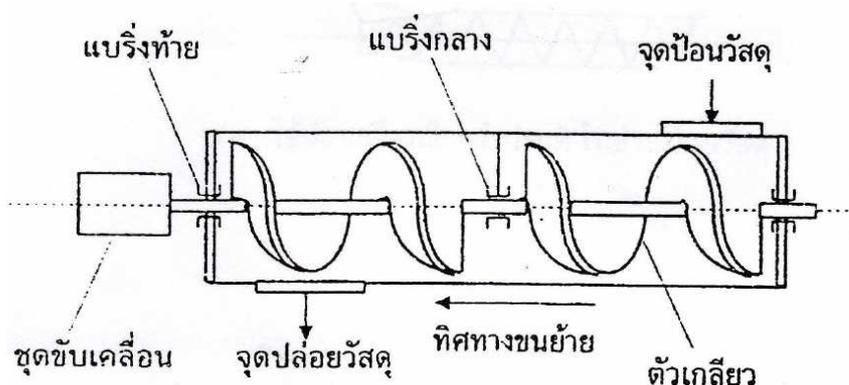
5. ความเสียดทาน (friction) เมื่อมีวัสดุวางอยู่บนพื้นเอียงจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นที่ผิวสัมผัส ระหว่างวัสดุกับพื้นเอียงนั้น โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของวัสดุ อัตราส่วนระหว่างแรงเสียดทานกับน้ำหนักวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียงเรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

6. ความคม (abrasivity) เป็นสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของวัสดุที่จะทำให้ผิวสัมผัสเกิดการสึกหรอขณะเคลื่อนที่เพราะมันจะขัดถูไปตลอดเวลาที่ทำการขนถ่าย วัสดุจำพวก ถ้ำแร่ ผงปูนซีเมนต์ ทราย ดินลูกรัง และถ่านหิน จะมีความคมที่ทำให้เกิดการสึกหรอสูง

7. สมบัติเฉพาะตัว ที่สำคัญต่อเครื่องขนถ่ายได้แก่ ความชื้น รูปแบบการบรรจุ ความเหนียว เหนอะหนะ ความแตกเปราะ การดูดซับน้ำ การมีพิษ การกัดกร่อนโลหะ และการระเบิดต่างๆ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ต้องนำมาประกอบการพิจารณาในการขนถ่ายวัสดุเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นได้

3. ลักษณะทั่วไปและการใช้งานเครื่องขนถ่ายแบบเกลียว (สมยศ, 2541)

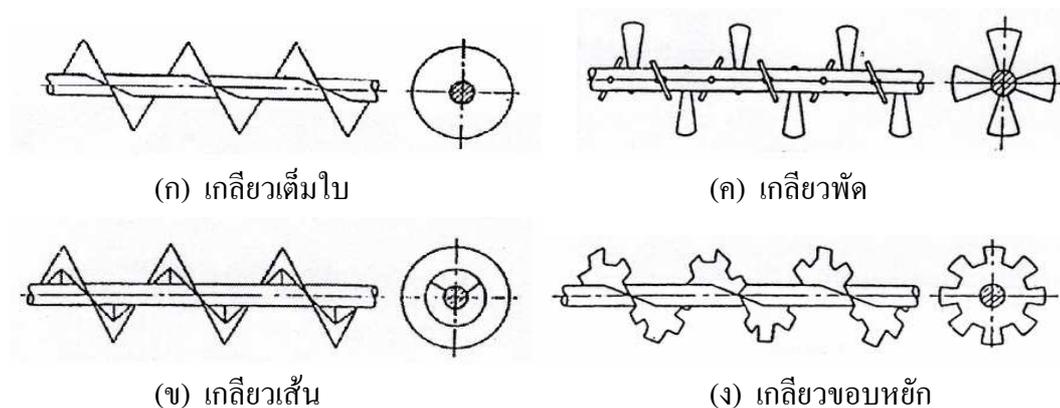
เครื่องขนถ่ายแบบเกลียว (Screw conveyors) ใช้ขนถ่ายวัสดุโดยไม่มีตัวจุด เครื่องขนถ่ายแบบเกลียว (ภาพที่ 6) ประกอบด้วยเพลามีแผ่นโลหะเชื่อมพันอยู่โดยรอบจนมีลักษณะคล้ายเกลียว ทั้งหมดนี้หมุนอยู่ในรางหรือท่อปิดและมีชุดขับเคลื่อนที่หัวเพลา เมื่อป้อนวัสดุเข้าสู่เพลาหมุน ปีกเกลียวจะดันวัสดุให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามแนวแกนเพลา



ภาพที่ 6 เครื่องขนถ่ายแบบเกลียวสำหรับแนวราบ

ที่มา: สมยศ (2541)

เกลียวของเครื่องขนถ่ายอาจเป็นแบบวนขวา หรือวนซ้าย และใบเกลียวอาจเป็นแบบชั้นเดียว สองชั้น หรือสามชั้นก็ได้ การออกแบบเกลียวต้องให้เหมาะสมกับวัสดุที่จะขนถ่าย ถ้าใช้ขนถ่ายวัสดุที่เป็นเมล็ดแห้งหรือฝุ่นผงซึ่งไม่มีการอัดตัวกันควรใช้เกลียวแบบเต็มใบ เกลียวแบบเส้นเหมาะกับวัสดุก้อนและเกาะตัวกันค่อนข้างแน่น และเกลียวแบบพัดหรือเกลียวแบบขอบหยักเหมาะกับวัสดุซึ่งอัดตัวกันแน่น รูปแบบของเกลียวต่างๆ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะรูปร่างเกลียวชนิดต่างๆ

ที่มา: สมยศ (2541)

4. การคำนวณออกแบบเครื่องขนถ่ายแบบเกลียว

อัตราการขนถ่ายของเครื่องขนถ่ายแบบเกลียวขึ้นอยู่กับ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของกองวัสดุที่เคลื่อนที่ผ่านเกลียว ความเร็วรอบ น้ำหนักของวัสดุ และมุมเอียงของการเคลื่อนที่จากแนวราบ ซึ่งการหาค่าอัตราการขนถ่าย (Q) ของเครื่องขนถ่ายแบบเกลียวสามารถแสดงดังได้สมการต่อไปนี้

$$Q = A.p.n.w.C \quad (1)$$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของกองวัสดุ

p = ระยะห่างระหว่างเกลียว

n = ความเร็วรอบทำงานของเพลลา

w = น้ำหนักกองของวัสดุ

C = แฟคเตอร์เนื่องจากมุมเอียงจากแนวราบ (ภาพผนวกที่ ก14)

พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของกองวัสดุที่เคลื่อนที่ผ่านเกลียวหาได้ดังนี้

$$A = k \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (2)$$

โดยที่ k = ประสิทธิภาพในการบรรจุวัสดุลงระหว่างเกลียว

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว

ดังนั้นอัตราการขนถ่ายของเครื่องขนถ่ายแบบเกลียว คือ

$$Q = k \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot p.n.w.C \quad (3)$$

โดยทั่วไปแล้วการกำหนดระยะห่างระหว่างเกลียวมักใช้ค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว แต่ถ้าเป็นวัสดุพวกไหลยากและมีผิวแข็งคมอาจลดระยะห่างระหว่างเกลียวเหลือเพียง 0.8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว

เมื่อสามารถหาค่าอัตราการขนถ่ายของเครื่องขนถ่ายแบบเกลียว จะสามารถหาขนาดของต้นกำลังของเครื่องขนถ่ายแบบเกลียวที่ใช้ขับเพลลาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$N = QL.(f + \sin \beta) \quad (4)$$

โดยที่ L = ความยาวของเครื่องขนถ่าย

f = ความต้านทานรวมต่อการเคลื่อนที่ (ตารางผนวกที่ ข1)

β = มุมเอียงจากแนวนอน, องศา

แรงบิดที่กระทำกับเพลลา สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$T = \frac{60.N}{2\pi n} \quad (5)$$

โดยที่ N = ค่ากำลังงานในการขับเพลลา, วัตต์

n = ความเร็วรอบทำงาน, รอบต่อนาที

แรงในแนวแกนที่กระทำต่อเกลียวหาได้จากสมการดังนี้

$$S = \frac{T}{r \cdot \tan(\alpha + \theta)} \quad (6)$$

โดยที่ r = รัศมีของแรง S มีค่าประมาณ 0.7 ถึง 0.8 เท่าของรัศมีของเกลียว

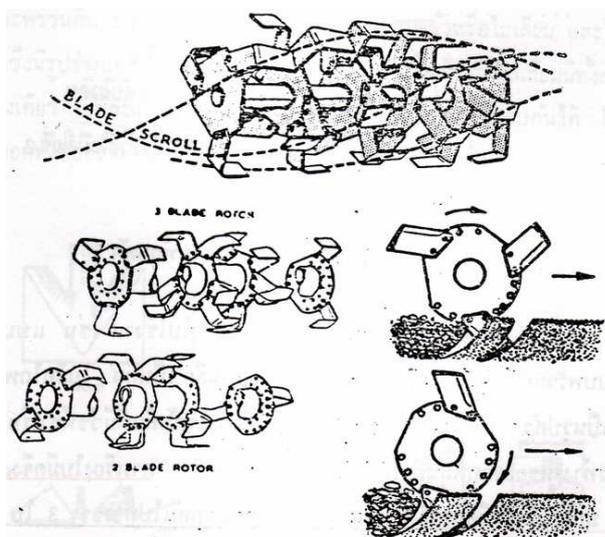
α = มุมเฮลิคซ์ (helix) ของเกลียว, องศา

θ = มุมเสียดทานระหว่างวัสดุขนถ่ายกับผิวเกลียว, องศา

$\tan^{-1} \mu$, μ คือ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

เครื่องไถจอบหมุน

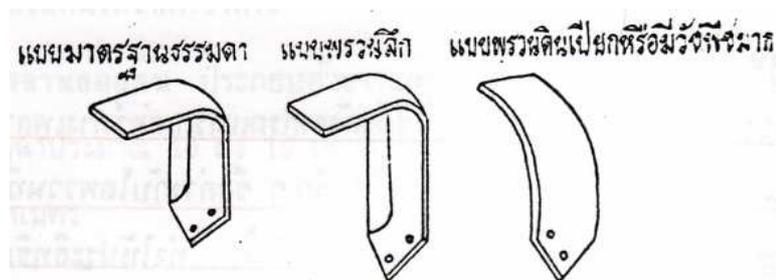
ไถจอบหมุน เป็นเครื่องไถพรวนดินที่ใช้กำลังจากรถแทรกเตอร์ทางเพลลาอำนาจกำลังไปขับเพลลาจอบหมุน เพื่อให้ใบมีดตัดดินออกเป็นก้อนเล็กๆ การใช้กำลังของรถแทรกเตอร์จากเพลลาอำนาจกำลังนี้ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้กำลังจากรถแทรกเตอร์มีมากกว่าการใช้กำลังทางการลากดึง ไถจอบหมุนนี้เหมาะสำหรับตัดกำจัดเศษพืชและผสมคลุกเคล้าเป็นปุ๋ยในดิน (สมชาย, 2521)



ภาพที่ 8 ลักษณะการเรียงใบมีดไถจอบหมุนและลักษณะดินที่ถูกตัด

ที่มา: สมชาย (2521)

ใบมีดของจอบหมุนมีหลายชนิด แล้วแต่การนำไปใช้งาน เช่น แบบไถพรวนดินธรรมดา แบบพรวนดินที่เปียกหรือมีวัชพืชมาก แบบพรวนลึก เป็นต้น แสดงในภาพที่ 9 ใบมีดไถพรวนดินธรรมดาส่วนใหญ่จะเป็นรูปตัว L สำหรับใบมีดที่มีลักษณะโค้งจะใช้กับดินที่มีวัชพืชหรือเป็นดินเปียก



ภาพที่ 9 ลักษณะใบมีดจอบหมุน

ที่มา: สมชาย (2521)

แรงที่ใช้ในการตัดดินของไถจอบหมุน คือ แรงในแนวสัมผัส (tangential force, F_T) มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kgf) กระทำที่ปลายใบมีดซึ่งเป็นแรงจินตภาพ (imaginary force) ที่เรียกว่า “แรงพรวนดิน” สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F_T = \frac{71620 \cdot N_c \cdot P_c}{n \cdot R}$$

โดยที่ N_c คือ แรงม้าออกเครื่องยนต์, แรงม้า PS

P_c คือ ประสิทธิภาพการส่งกำลังจากเครื่องยนต์มายังเพลลาใบมีดจอบหมุน, %

n คือ ความเร็วรอบของเพลลาใบมีดเครื่องพรวนจอบหมุน, รอบต่อนาที

R คือ รัศมีหมุนใบมีด, เซนติเมตร

จากสมการหาค่าแรงที่ใช้ในการตัดดินข้างต้น พบว่าถ้าค่าความเร็วรอบหมุนเพลลาใบมีด n มีค่ามาก แรงพรวนดินของเพลลาใบมีดจะมีค่าน้อย อย่างไรก็ตามความเร็วรอบที่เหมาะสมควรจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องเสถียรภาพการทำงาน (สุรินทร์, 2539) โดยจตุรวมแรงที่กระทำต่อใบมีดของเพลลาจอบหมุนคือ ระยะในแนวตั้งที่วัดจากผิวดินที่ยังไม่ถูกไถเป็นระยะเท่ากับ (2/3) ของความลึกของดินที่ถูกไถพรวน (Sakai, 1983)

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมไม่ว่าเป็นการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง หรือจะเป็นการวิเคราะห์ในส่วนของการถ่ายเทความร้อน หรือปัญหาอื่นๆ จากการที่ปัญหามีรูปร่าง ภาวะกระทำ และมีคุณสมบัติของวัสดุที่ซับซ้อนนั้นซึ่งยากต่อการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าผลเฉลยแม่นยำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีเชิงตัวเลขในการแก้ปัญหา โดยที่วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะสามารถหาค่าผลเฉลยโดยประมาณด้วยการแก้สมการเชิงพีชคณิตแทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ (ชงชัย, 2549)

หลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเริ่มต้นจากการแบ่งรูปร่างของปัญหาที่พิจารณาให้เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เรียกว่า เอลิเมนต์ (element) โดยที่แต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ เรียกว่า โหนด (node) โดยที่เอลิเมนต์แต่ละเอลิเมนต์จะถูกกำหนดด้วยสมการที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าสมการที่สร้างขึ้นมานั้นจะต้องสอดคล้องกับสมการของปัญหาที่ทำการพิจารณา จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบรวมกันทำให้เกิดระบบสมการชุดใหญ่หรือสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา แล้วทำการแก้สมการดังกล่าว ซึ่งจะได้ค่าผลเฉลยโดยประมาณที่จุดต่อ (node) ระหว่างเอลิเมนต์ โดยที่ความเที่ยงตรงของผลเฉลยโดยประมาณที่คำนวณได้จะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาและการกำหนดรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายใน กล่าวคือ ฟังก์ชันการประมาณภายในที่กำหนดขึ้นมานั้นมีความใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำของปัญหาที่ทำการพิจารณามากน้อยเพียงใด

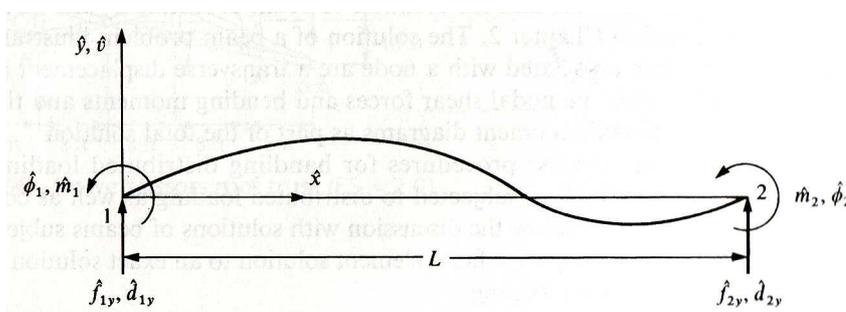
ในการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง คือ การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์รูปร่างปัญหาซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยที่รายละเอียดของแต่ละเอลิเมนต์จะมีฟังก์ชันการประมาณภายในที่แตกต่างกันสามารถศึกษาเพิ่มเติมจากหนังสือเรียนที่เกี่ยวข้องได้ ส่วนในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวเฉพาะทฤษฎีของเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ (3D - BEAM) ซึ่งเหมาะสมกับการวิเคราะห์ปัญหาความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้

1. การหาเมทริกซ์ความแข็งเกร็งของคาน (Beam stiffness matrix)

การพิจารณาเมทริกซ์ความแข็งเกร็งเอลิเมนต์แบบคานจะสมมุติให้คานอยู่ในสภาพตรงมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ตลอดความยาว ขณะที่ถูกโหลดกระทำตามแนวขวางหรือในกรณีที่มีโมเมนต์ดัด

กระทำ คานจะโก่งเพียงเล็กน้อย คือ คานจะโก่งอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (elastic) ความยาวของคานในแนวแกนสะเทินจะไม่เปลี่ยนแปลง และระนาบของหน้าตัดคานก่อน – หลัง ที่ถูกโหลดกระทำจะยังมีสภาพเหมือนเดิม

พิจารณาภาพที่ 10 แบบจำลองเอลิเมนต์คานยาว L ที่จุดต่อ 1 และ 2 มีโมเมนต์ m_1, m_2 และแรงเฉือน f_{1y}, f_{2y} กระทำตามลำดับ ส่วน d_{1y}, d_{2y} และ ϕ_1, ϕ_2 เป็นการกระจัดและมุมเอียงที่จุดต่อ 1 และ 2 ของเอลิเมนต์ตามลำดับ โมเมนต์ตัดจะมีค่าเป็นบวก ถ้ามีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา มุมเอียงจะมีค่าเป็นบวกถ้ามีทิศทวนเข็มนาฬิกา แรงเฉือนและการกระจัดมีค่าเป็นบวกถ้ามีทิศทางตาม \hat{y}



ภาพที่ 10 เอลิเมนต์คานถูกกระทำด้วยโมเมนต์ตัดและแรงเฉือน

ที่มา: Logan (2550)

จากทฤษฎีเบื้องต้นของคาน

$$EI \frac{d^2 \nu}{dx^2} = 0 \quad (7)$$

โดยที่ ν คือ การกระจัดหรือการโก่งของคาน, E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่นของคาน

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยพื้นที่หน้าตัดคาน

จากภาพที่ 10 เนื่องจากแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ของคานจะมีตัวแปร 2 ตัว คือ ν และ ϕ หนึ่งเอลิเมนต์ประกอบด้วย 2 จุดต่อ ซึ่งจะมีตัวแปร 4 ตัว ดังนั้น แบบจำลองการกระจัดหรือการโก่งของเอลิเมนต์คานตลอดความยาวคาน L ควรจะเป็นสมการพอลิโนเมียลกำลังสาม คือ

$$\nu(x) = a_1 x^3 + a_2 x^2 + a_3 x + a_4 \quad (8)$$

โดยที่ a_1, a_2, a_3, a_4 เป็นค่าคงที่ซึ่งจะสอดคล้องกับระดับขั้นความเสรีของเอลิเมนต์คาน เราสามารถหาค่าคงตัวได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จุดต่อที่ 1} \quad \dot{v}(0) &= \hat{d}_{1y} = a_4 \\ \frac{d\dot{v}(0)}{d\hat{x}} &= \hat{\phi}_1 = a_3 \\ \text{จุดต่อที่ 2} \quad \dot{v}(L) &= \hat{d}_{2y} = a_1L^3 + a_2L^2 + a_3L + a_4 \\ \frac{d\dot{v}(L)}{d\hat{x}} &= \hat{\phi}_2 = 3a_1L^2 + 2a_2L + a_3 \end{aligned} \quad (9)$$

ทำการแก้สมการ (9) เพื่อหาค่าคงที่ a_1, a_2, a_3 และ a_4 ได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned} a_4 &= \hat{d}_{1y} \\ a_3 &= \hat{\phi}_1 \\ a_2 &= \left[-\frac{3}{L^2}(\hat{d}_{1y} - \hat{d}_{2y}) - \frac{1}{L}(2\hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2) \right] \\ a_1 &= \left[\frac{2}{L^3}(\hat{d}_{1y} - \hat{d}_{2y}) + \frac{1}{L^2}(\hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

แทนค่า a_1, a_2, a_3 และ a_4 ลงในสมการ (8) จะได้

$$\begin{aligned} \dot{v} &= \left[\frac{2}{L^3}(\hat{d}_{1y} - \hat{d}_{2y}) + \frac{1}{L^2}(\hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2) \right] \hat{x}^3 + \left[-\frac{3}{L^2}(\hat{d}_{1y} - \hat{d}_{2y}) - \frac{1}{L}(2\hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2) \right] \hat{x}^2 \\ &\quad + \hat{\phi}_1 \hat{x} + \hat{d}_{1y} \end{aligned} \quad (11)$$

สมการ (11) สามารถเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\dot{v} = [N]\{\hat{d}\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } \{\hat{d}\} &= \left\{ \hat{d}_{1y} \quad \hat{\phi}_1 \quad \hat{d}_{2y} \quad \hat{\phi}_2 \right\}^T \\ [N] &= \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & N_4 \end{bmatrix}; \text{ ฟังก์ชันการประมาณภายใน} \end{aligned}$$

โดยมีค่าฟังก์ชันการประมาณภายใน (Shape functions) ของคานาดังนี้

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{L^3} \cdot (2\hat{x}^3 - 3\hat{x}^2L + L^3) & N_2 &= \frac{1}{L^3} (\hat{x}^3L - 2\hat{x}^2L^2 + \hat{x}L^3) \\ N_3 &= \frac{1}{L^3} \cdot (-2\hat{x}^3 + 3\hat{x}^2L) & N_4 &= \frac{1}{L^3} \cdot (\hat{x}^3L - \hat{x}^2L^2) \end{aligned} \quad (13)$$

ถ้าพิจารณาเฉพาะส่วน $d\hat{x}$ ของคานาในภาพที่ 11 จะเห็นว่าความเครียดตามแนวแกนของคานามีค่าดังนี้

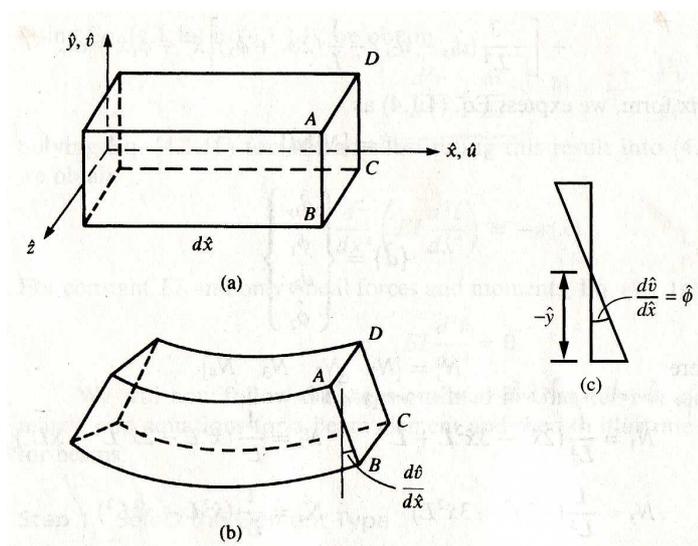
$$\varepsilon_x(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{d\hat{u}}{d\hat{x}} \quad (14)$$

เมื่อ \hat{u} คือ การกระจัดในแนวแกนจากภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวแกนและการกระจัดในแนวขวาง (การโก่ง) ของคานาคือ

$$\hat{u} = -\hat{y} \cdot \frac{d\hat{v}}{d\hat{x}} \quad (15)$$

เมื่อแทนค่า \hat{u} ในสมการ (14) ลงในสมการ (14) จะได้

$$\varepsilon_x = -\hat{y} \cdot \frac{d^2\hat{v}}{d\hat{x}^2} \quad (16)$$

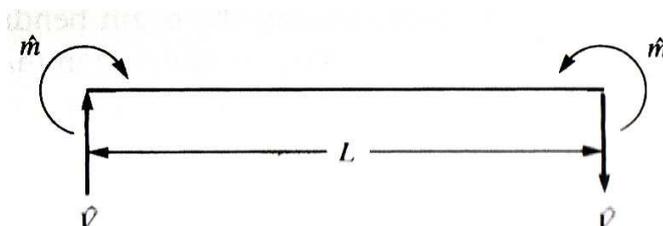


ภาพที่ 11 คานาคัด (a) ก่อนเสียรูป (b) หลังเสียรูป (c) มุมการหมุนหน้าตัด ABCD

ที่มา: Logan (2550)

จากทฤษฎีเบื้องต้นของคานตรง ค่าโมเมนต์ดัดและค่าแรงเฉือนที่มีความสัมพันธ์กับฟังก์ชันการกระจัดในแนวขวางแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\hat{m}(\hat{x}) = EI \frac{d^2 \hat{v}}{d\hat{x}^2} \quad \hat{V} = EI \frac{d^3 \hat{v}}{d\hat{x}^3} \quad (17)$$



ภาพที่ 12 คานที่มีโมเมนต์ m และแรงเฉือน V กระทำ ซึ่ง m และ V มีทิศทางเป็นบวก

ที่มา: Logan (2550)

แทนค่าฟังก์ชัน \hat{v} ในสมการ (11) ลงในสมการที่ (17) ทำการหาอนุพันธ์จะสามารถหาค่าแรงเฉือน \hat{f}_{1y} , \hat{f}_{2y} และโมเมนต์ดัด \hat{m}_1 , \hat{m}_2 ที่เกิดขึ้นบนเอลิเมนต์แบบคานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \hat{f}_{1y} &= \hat{V} = EI \frac{d^3 \hat{v}(0)}{d\hat{x}^3} = \frac{EI}{L^3} (12\hat{d}_{1y} + 6L\hat{\phi}_1 - 12\hat{d}_{2y} + 6L\hat{\phi}_2) \\ \hat{m}_1 &= -\hat{m} = -EI \frac{d^2 \hat{v}(0)}{d\hat{x}^2} = \frac{EI}{L^3} (6L\hat{d}_{1y} + 4L^2\hat{\phi}_1 - 6L\hat{d}_{2y} + 2L^2\hat{\phi}_2) \\ \hat{f}_{2y} &= -\hat{V} = -EI \frac{d^3 \hat{v}(L)}{d\hat{x}^3} = \frac{EI}{L^3} (-12\hat{d}_{1y} - 6L\hat{\phi}_1 + 12\hat{d}_{2y} - 6L\hat{\phi}_2) \\ \hat{m}_2 &= \hat{m} = EI \frac{d^2 \hat{v}(L)}{d\hat{x}^2} = \frac{EI}{L^3} (6L\hat{d}_{1y} + 2L^2\hat{\phi}_1 - 6L\hat{d}_{2y} + 4L^2\hat{\phi}_2) \quad (18) \end{aligned}$$

สมการ (18) เป็นสมการสมดุลของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด เหตุที่มีเครื่องหมายลบหน้าสมการแถวที่ 2 และสมการแถวที่ 3 เพราะทิศทางของโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในแบบจำลองเอลิเมนต์แบบคานดังภาพที่ 10 และภาพคานในภาพที่ 12 กำหนดทิศทางของโมเมนต์และแรงเฉือนต่างกัน โดยที่สมการ (18) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} \hat{f}_{1y} \\ \hat{m}_1 \\ \hat{f}_{2y} \\ \hat{m}_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1y} \\ \hat{\phi}_1 \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{\phi}_2 \end{Bmatrix} \quad (19)$$

สมการ (19) สามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$\underline{\hat{f}} = \underline{\hat{k}} \underline{\hat{d}} \quad (20)$$

โดยที่ $\underline{\hat{f}}$ คือ เมทริกซ์แรงกระทำที่จุดต่อ

$\underline{\hat{k}}$ คือ เมทริกซ์ความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์แบบคาน

$\underline{\hat{d}}$ คือ เมทริกซ์การเคลื่อนตัวที่จุดต่อ

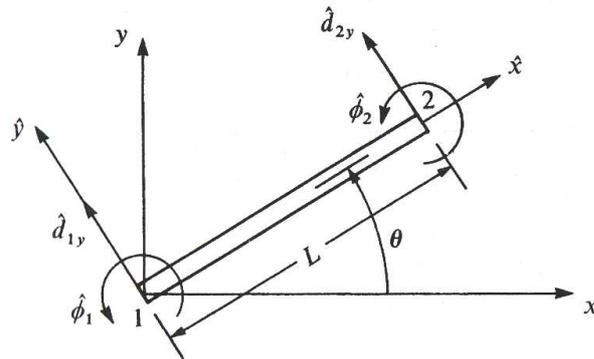
$$\underline{\hat{f}} = \left\{ \hat{f}_{1y} \quad \hat{m}_1 \quad \hat{f}_{2y} \quad \hat{m}_2 \right\}^T ; \underline{\hat{d}} = \left\{ \hat{d}_{1y} \quad \hat{\phi}_1 \quad \hat{d}_{2y} \quad \hat{\phi}_2 \right\}^T$$

$$\underline{\hat{k}} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

2. การแปลงพิกัดของเอลิเมนต์แบบคาน

โครงสร้างทั่วไป เช่น โครงสร้างอาคาร, สะพาน เป็นต้น จะประกอบด้วยคานที่อยู่ในพิกัดเป็นมุมต่างๆ กัน การวิเคราะห์โครงสร้างที่ประกอบด้วยคานดังกล่าวจำเป็นต้องแปลงพิกัดเฉพาะที่ของแต่ละคานให้อยู่ในพิกัดเดียวกัน เช่น พิกัดรวม หรือพิกัดอ้างอิง

พิจารณาเอลิเมนต์แบบคานแสดงในภาพที่ 13 ให้ $x-y$ เป็นพิกัดรวมของระบบ ส่วน $\hat{x}-\hat{y}$ เป็นพิกัดเฉพาะที่, \hat{x} เป็นพิกัดในแนวแกนของเอลิเมนต์แบบคาน, \hat{d}_{1y} , \hat{d}_{2y} เป็นการกระจัดหรือการโก่งในทิศทางของพิกัด \hat{y} ส่วน $\hat{\phi}_1$, $\hat{\phi}_2$ เป็นมุมเอียงที่จุดต่อ 1 และ 2 ตามลำดับ และ θ เป็นมุมระหว่างพิกัด



ภาพที่ 13 คานเอลิเมนต์ทำมุม θ กับพิกัดรวม $x-y$

ที่มา: Logan (2550)

จากความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในพิกัดเฉพาะที่ \hat{d}_{1y} , \hat{d}_{2y} , $\hat{\phi}_1$, $\hat{\phi}_2$ และพิกัดรวม d_{1x} , d_{1y} , ϕ_1 , d_{2x} , d_{2y} , ϕ_2 , ของเอลิเมนต์แบบคานสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} \hat{d}_{1y} \\ \hat{\phi}_1 \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{\phi}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -S & C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ \phi_1 \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \phi_2 \end{Bmatrix} \quad (22)$$

โดยที่ $S = \sin\theta$, $C = \cos\theta$

เมทริกซ์แรกทางขวามือของสมการ (22) เรียกว่า เมทริกซ์แปลงพิกัดของเอลิเมนต์แบบคาน (Transformation matrix, \underline{T}) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ที่นำไปใช้ในการแปลงเมทริกซ์ความแข็งแกร่งของเอลิเมนต์แบบคานที่อยู่ระบบพิกัดเฉพาะที่ (Local-coordinate) ให้เป็นเมทริกซ์ความแข็งแกร่งของเอลิเมนต์แบบคานให้อยู่ในระบบพิกัดรวม (Global-coordinate) สามารถแสดงสมการทั่วไปได้ดังนี้

$$\underline{k} = \underline{T}^T \hat{k} \underline{T} \quad (23)$$

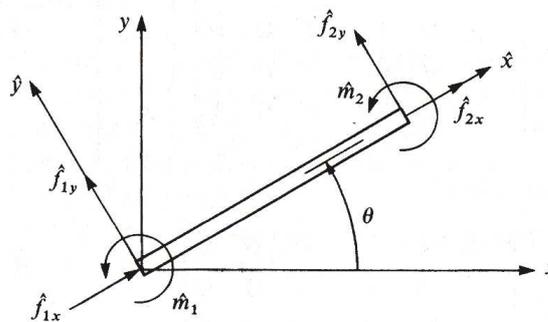
แทนค่า \hat{k} จากสมการ (21) และค่า \underline{T} , \underline{T}^T ลงในสมการ (23) ผลที่ได้คือ เมทริกซ์ความแข็งแกร่งของเอลิเมนต์แบบคานในระบบพิกัดรวมแสดงได้ดังนี้

$$\underline{k} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12S^2 & -12SC & -6LS & -12S^2 & 12SC & -6LS \\ & 12C^2 & 6LC & 12SC & -12C & 6LC \\ & & 4L^2 & 6LS & -6L & 2L^2 \\ & & & 12S^2 & -12SC & 6LS \\ & \text{Sym} & & & 12C^2 & 6LS \\ & & & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (24)$$

ในกรณีของโครงสร้างชนิดโครงข้อแข็ง(Frame) ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นคานจะรับแรงในแนวแกนด้วย เช่น คานเอลิเมนต์ในภาพที่ 14 ดังนั้นจึงต้องรวมเมทริกซ์ความแข็งเกร็งของท่อนโลหะ (truss) สมการ (26) เข้ากับสมการ (21) จากสมการ (25) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงแนวแกนกับภาระการกระทำคือ

$$\begin{Bmatrix} \hat{f}_{1x} \\ \hat{f}_{2x} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{2x} \end{Bmatrix} \quad (25)$$

$$\text{โดยที่ } \underline{\hat{k}} = \text{เมทริกซ์ความแข็งเกร็งของท่อนโลหะ} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$



ภาพที่ 14 เอลิเมนต์คานในพิกัดเฉพาะที่ที่มีแรงและโมเมนต์ค้ำกระทำ

ที่มา: Logan (2550)

จากภาพที่ 14 จุดต่อ 1 และ 2 ของเอลิเมนต์คานจะมีแรง \hat{f}_{1x} , \hat{f}_{2x} กระทำในแนวแกน \hat{x} และแรงเฉือน \hat{f}_{1y} , \hat{f}_{2y} กระทำในแนวแกน \hat{y} และโมเมนต์ค้ำ \hat{m}_1 , \hat{m}_2 ฉะนั้นสมการสมดุลของแรงและโมเมนต์ค้ำในเทอมของพิกัดเฉพาะที่ของเอลิเมนต์แบบคาน คือ

$$\begin{Bmatrix} \hat{f}_{1x} \\ \hat{f}_{1y} \\ \hat{m}_1 \\ \hat{f}_{2x} \\ \hat{f}_{2y} \\ \hat{m}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & -C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 12C_2 & 6C_2 & 0 & -12C_2 & 6C_2L \\ 0 & 6C_2L & 4C_2L^2 & 0 & -6C_2L & 2C_2L^2 \\ -C_1 & 0 & 0 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & -12C_2 & -6C_2L & 0 & 12C_2 & -6C_2L \\ 0 & 6C_2L & 2C_2L^2 & 0 & -6C_2L & 4C_2L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{1y} \\ \hat{\phi}_1 \\ \hat{d}_{2x} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{\phi}_2 \end{Bmatrix} \quad (27)$$

$$\text{โดยที่ } C_1 = \frac{AE}{L}, \quad C_2 = \frac{AE}{L^3}$$

ดังนั้นเอลิเมนต์เมทริกซ์ความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์คานที่รับโหลดตามแนวแกน และแนวขวางในทอมพิกัดเฉพาะที่

$$\hat{k} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & -C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 12C_2 & 6C_2 & 0 & -12C_2 & 6C_2L \\ 0 & 6C_2L & 4C_2L^2 & 0 & -6C_2L & 2C_2L^2 \\ -C_1 & 0 & 0 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & -12C_2 & -6C_2L & 0 & 12C_2 & -6C_2L \\ 0 & 6C_2L & 2C_2L^2 & 0 & -6C_2L & 4C_2L^2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

ค่า \hat{k} ในสมการ (28) ประกอบไปด้วยแรงในแนวแกน X แรงเฉือนในแนวแกน Y และโมเมนต์ค้ำครอบแกน Z จากความสัมพันธ์ของการกระจกระหว่างพิกัดเฉพาะที่และพิกัดรวม คือ

$$\begin{Bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{1y} \\ \hat{\phi}_1 \\ \hat{d}_{2x} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{\phi}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C & S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ \phi_1 \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \phi_2 \end{Bmatrix} \quad (29)$$

จากสมการ (29) จะได้ เมทริกซ์แปลงพิกัดของเอลิเมนต์คานได้ดังนี้

$$\underline{T} = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C & S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

แทนค่า \underline{T} สมการ (30) และค่า $\underline{\hat{k}}$ สมการที่ (28) ลงในสมการ $\underline{k} = \underline{T}^T \underline{\hat{k}} \underline{T}$ ผลที่ได้คือ สมการเมทริกซ์ความแข็งแกร่งในพิกัดรวม มีค่าดังนี้

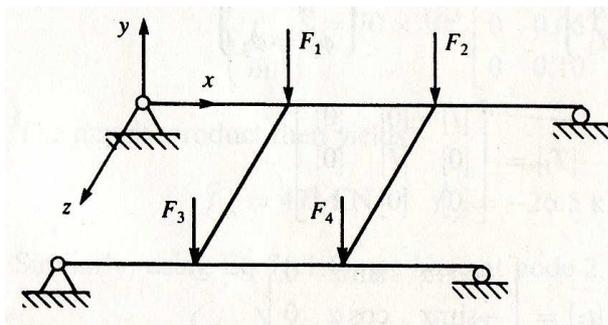
$$\underline{k} = \frac{E}{L} \underline{x} \begin{bmatrix} AC^2 + \frac{12I}{L^2}S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right)CS & -\frac{6I}{L}S & -\left(AC^2 + \frac{12I}{L^2}S^2\right) & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right)CS & -\frac{6I}{L}S \\ & AS^2 + \frac{12I}{L^2}C^2 & \frac{6I}{L}C & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right)CS & -\left(AS^2 + \frac{12I}{L^2}C^2\right) & \frac{6I}{L}C \\ & & 4I & \frac{6I}{L}S & -\frac{6I}{L}C & 2I \\ & & & AC^2 + \frac{12I}{L^2}S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right)CS & \frac{6I}{L}S \\ & & & & AS^2 + \frac{12I}{L^2}C^2 & -\frac{6I}{L}C \\ & & & & & 4I \end{bmatrix} \quad (31)$$

Symmetry

การวิเคราะห์โครงสร้างข้อแข็งระนาบจำเป็นต้องใช้เมทริกซ์ความแข็งแกร่งของคานในสมการ (31) ทั้งนี้เพราะโครงสร้างดังกล่าวจะประกอบขึ้นด้วยชิ้นส่วนของคานหลายๆ ชิ้น ยึดติดกันแน่น มุมตรงบริเวณที่ยึดติดกันไม่เปลี่ยนแปลงขณะที่ถูกโหลดกระทำ โมเมนต์ที่จุดต่อจะถูกส่งถ่ายจากเอลิเมนต์หนึ่งไปยังอีกเอลิเมนต์หนึ่ง จากสมการ (31) จะเห็นว่าค่าของเมทริกซ์ความแข็งแกร่งของเอลิเมนต์แบบคานจะเป็นฟังก์ชันกับค่า E, A, I, L และมุม θ ซึ่งเป็นมุมระหว่างพิกัดเฉพาะที่และพิกัดรวมของระบบ

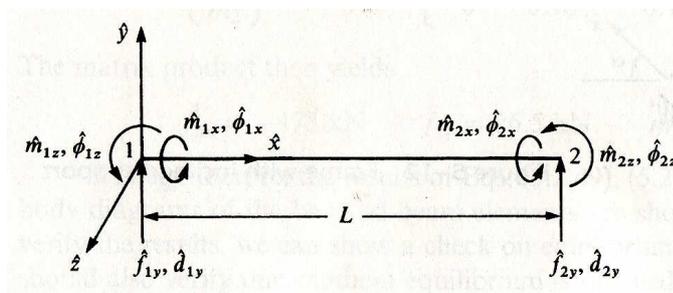
3. การหาเมทริกซ์ความแข็งแกร่งของคานที่รับแรงแนวขวางและโมเมนต์บิด

โครงสร้างที่เชื่อมโยงกันแน่นเป็นตาข่าย เรียกว่า โครงสร้างแบบกริด (grid) นั่นถือว่าเป็นโครงสร้างข้อแข็งชนิดหนึ่ง โหลดที่กระทำนอกจากจะทำให้คานโค้งแล้วยังทำให้เกิดการบิดตัวขึ้นในคาน ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 โครงสร้างกริด

ที่มา: Logan (2550)



ภาพที่ 16 เอลิเมนต์คานที่รับโหลดแนวขวางและโมเมนต์บิด

ที่มา: Logan (2550)

เพื่อที่จะหาค่าเมทริกซ์ความแข็งแกร่งของคานที่รับโหลดในลักษณะดังกล่าว เราจะพิจารณาเอลิเมนต์ในภาพที่ 16 ที่จุดต่อ 1 และ 2 ของเอลิเมนต์กริดจะมีโมเมนต์และแรงเฉือนดังนี้

เมื่อ m_{1x} , m_{2x} เป็นโมเมนต์บิดรอบแกน \hat{x} ที่จุดต่อ 1 และ 2 ซึ่งทำให้เกิดมุมบิด ϕ_{1x} , ϕ_{2x} ตามลำดับ ส่วน m_{1z} , m_{2z} เป็นโมเมนต์ดัดรอบแกน Z ซึ่งทำให้เกิดมุมเอียง ϕ_{1z} , ϕ_{2z} , f_{1y} , f_{2y} เป็นแรงเฉือนในทิศทางแกน \hat{y} และให้ d_{1y} , d_{2y} เป็นการโก่งหรือการกระจัดในทิศทาง \hat{y}

กรณีเอลิเมนต์ของคานรับโมเมนต์บิดตามแนวแกน \hat{x} สมดุลของโมเมนต์บิดสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} \hat{m}_{1x} \\ \hat{m}_{2x} \end{Bmatrix} = \frac{GJ}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_{1x} \\ \theta_{2x} \end{Bmatrix} \quad (32)$$

$$\text{โดยที่ } \underline{\hat{k}} = \text{เมทริกซ์ความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์คานถูกบิด} = \frac{GJ}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

G คือ โมดูลัสแรงเฉือน, J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว, L คือ ความยาวคาน

ดังนั้นในกรณีที่เอลิเมนต์ของคานรับแรงแนวขวางและโมเมนต์บิดพร้อมกันหรือเอลิเมนต์แบบกริด เราสามารถรวมสมการ (19) และสมการ (32) เข้าด้วยกัน คือ

$$\begin{Bmatrix} \hat{f}_{1y} \\ \hat{m}_{1x} \\ \hat{m}_{1z} \\ \hat{f}_{2y} \\ \hat{m}_{2x} \\ \hat{m}_{2z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{-12EI}{L^3} & 0 & \frac{6EI}{L^2} \\ & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & \frac{-GJ}{L} & 0 \\ & & \frac{4EI}{L} & \frac{-6EI}{L^2} & 0 & \frac{2EI}{L} \\ & & & \frac{12EI}{L^3} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} \\ & & & & \frac{GJ}{L} & 0 \\ & \text{Symm} & & & & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1y} \\ \hat{\phi}_{1x} \\ \hat{\phi}_{1z} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{\phi}_{2x} \\ \hat{\phi}_{2z} \end{Bmatrix} \quad (33)$$

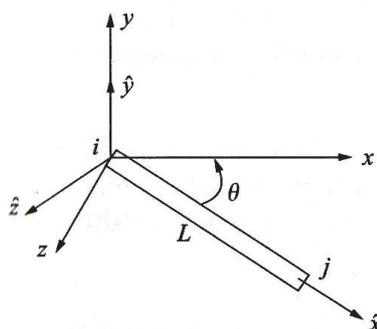
จากสมการ (33) ค่าเมทริกซ์ความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์คานแบบกริดในเทอมของพิกัดเฉพาะที่ คือ

$$\underline{\hat{k}}_G = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{-12EI}{L^3} & 0 & \frac{6EI}{L^2} \\ & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & \frac{-GJ}{L} & 0 \\ & & \frac{4EI}{L} & \frac{-6EI}{L^2} & 0 & \frac{2EI}{L} \\ & & & \frac{12EI}{L^3} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} \\ & & & & \frac{GJ}{L} & 0 \\ & \text{Symm} & & & & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (34)$$

ในกรณีที่เอลิเมนต์คานแบบกริดต่อ โยงหรือเชื่อมติดกันเป็นมุมต่างๆ จำเป็นจะต้องหาเมทริกซ์ความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์ในพิกัดรวม โดยอาศัยเมทริกซ์แปลงพิกัดจากความสัมพันธ์ของการกระจัดระหว่างพิกัดเฉพาะที่และพิกัดรวม ทำการหาค่าของเมทริกซ์แปลงพิกัดของกริดให้อยู่ในระบบพิกัดรวม ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\underline{\mathbf{T}}_G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C & S & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S & C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C & S \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -S & C \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$\text{โดยที่ } C = \cos\theta = \frac{x_j - x_i}{L}, \quad S = \sin\theta = \frac{z_j - z_i}{L}$$



ภาพที่ 17 เอลิเมนต์แบบกริดหมุนทำ θ บนระนาบ x-z

ที่มา: Logan (2550)

จากภาพที่ 17 มุม θ จะมีค่าเป็นบวกถ้าวัดทวนเข็มนาฬิกาจากพิกัด x ถึง \hat{x} บนระนาบ x-z, L คือ ความยาวของเอลิเมนต์คานที่วัดจากจุดต่อ i ไปยังจุดต่อ j ดังนั้นเมทริกซ์ความแข็งเกร็งเอลิเมนต์แบบกริดในเทอมของพิกัดรวม หรือพิกัดอ้างอิงบนระนาบ x-z หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\underline{\mathbf{k}}_G = \underline{\mathbf{T}}_G^T \hat{\underline{\mathbf{k}}}_G \underline{\mathbf{T}}_G \quad (36)$$

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในการหาค่าสมการเมทริกซ์ความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์แบบคานต่างๆในพิกัดรวม ค่าเมทริกซ์ที่หาได้จะถูกนำไปแทนลงในสมการรูปทั่วไปของปัญหาทางด้าน

โครงสร้างแสดงในสมการ (37) และทำการกำหนดค่าที่ทราบตัวแปร เช่น แรงที่กระทำและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง ตำแหน่งจุดจับยึดของโครงสร้าง

$$\underline{f} = \underline{k} \underline{d} \quad (37)$$

โดยที่ \underline{f} คือ เมทริกซ์ของแรงรวม

\underline{k} คือ เมทริกซ์ความแข็งเกร็งรวม

\underline{d} คือ เมทริกซ์ของค่าที่จุดต่อร่วม

ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้สมการเมทริกซ์ดังกล่าว จะอยู่ในรูปค่าของการกระจัดและค่ามุมเอียงของแต่ละจุดต่อเอลิเมนต์ทั้งหมด ซึ่งสามารถนำไปคำนวณย้อนกลับหาค่าต่างๆ ได้ตามความรู้พื้นฐานด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น ค่าความเค้นปกติ ค่าความเค้นคด และแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นบนเอลิเมนต์แบบคาน เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ มีดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติปุ๋ยหมักและน้ำสำ

- 1.1 พลั่วตักดิน
- 1.2 ภาชนะเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก, ภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำสำ
- 1.3 กระจกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
- 1.5 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่างดิจิทัล
- 1.6 ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.7 กระดาษกรอง
- 1.8 น้ำกลั่น
- 1.9 แ่งแก้วกวน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องกลบกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

- 2.1 ตลับเมตร
- 2.2 หลักรูปบอกตำแหน่ง 2 อัน
- 2.3 นาฬิกาจับเวลา

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องกลบกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

- 3.1 เวอร์เนียร์แคลิเปอร์และตลับเมตรวัดความยาว สำหรับวัด โครงสร้าง
- 3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์
- 3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยในการเขียนแบบเครื่องกล มีดังนี้
 - โปรแกรม Solidworks 2008
 - โปรแกรม Autocad 2007
- 3.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยในการออกแบบทางวิศวกรรมโดยวิธีไฟไนต์เอลิ

เมนต์

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตปุ๋ยหมักด้วยเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน
2. การศึกษาเครื่องกลั่นกรองปุ๋ยหมักแบบลากดิ่งด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน
3. พัฒนาเครื่องกลั่นกรองปุ๋ยหมักแบบลากดิ่งด้วยรถแทรกเตอร์
4. การประมาณราคาเครื่องกลั่นกรองปุ๋ยหมักแบบลากดิ่งด้วยรถแทรกเตอร์

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตปุ๋ยหมักด้วยเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน

วัตถุประสงค์ในการศึกษาขั้นตอนนี้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องกลั่นกรองปุ๋ยหมักแบบลากดิ่งด้วยรถแทรกเตอร์ มีรายละเอียดในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.1 การศึกษาวิธีการและขั้นตอนการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษารายละเอียดและขั้นตอนการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นกรองปุ๋ยหมักแบบลากดิ่งด้วยรถแทรกเตอร์ โดยทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ จากหนังสือที่เกี่ยวข้อง และหลังจากนั้นจึงได้ทำการศึกษาจากพื้นที่จริงที่มีการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น โดยมีหีตะกอนหม้อกรองกากน้ำตาลและน้ำสำเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน

1.2 การศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์เพื่อทำการทดลองศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การทดลองหาค่าความหนาแน่น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำสำที่ใช้สเปรย์ลงบนกองปุ๋ยหมัก โดยจะนำผลการทดลองที่ได้มาเป็นข้อมูลประกอบการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ต่อไป ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 การทดลองหาค่าความหนาแน่นของปุ๋ยหมัก

วิธีการทดลอง

1) เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจากบริเวณลานผลิตปุ๋ยหมัก โดยทำการชูดกองปุ๋ยหมักลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ตักเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักลงในภาชนะเก็บตัวอย่างให้เต็มแล้วปิดภาชนะให้สนิท ในการเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจากกองปุ๋ยหมัก 5 กอง

2) ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร บนเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล แล้วทำการบันทึกค่า (w_1)

3) นำตัวอย่างปุ๋ยหมักใส่ลงในกระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร (โดยไม่ต้องกดให้แน่น)

4) นำกระบอกตวงที่บรรจุปุ๋ยหมักแล้วไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่า (w_2)

5) คำนวณหาค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างปุ๋ยหมักจากสูตร

$$\text{ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density)} = \frac{(w_2 - w_1)}{1000}$$

1.2.2 การทดลองหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก

วิธีการทดลอง

- 1) ทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจากบริเวณลานผลิตปุ๋ยหมัก โดยทำการชุดกองปุ๋ยหมักกลิ้งไปประมาณ 30 เซนติเมตร ตักเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักใส่ลงในภาชนะเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักให้เต็ม แล้วปิดภาชนะให้สนิท ในการเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจากกองปุ๋ยหมัก 5 กอง
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยหมักประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิเมตร
- 3) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุตัวอย่างปุ๋ยหมักแล้วนำแท่งแก้วกวนคนให้เข้ากัน
- 4) ทิ้งบีกเกอร์ไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำของเหลวในบีกเกอร์เทรองด้วยกระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของเหลวที่ผ่านกระดาษกรองนำไปวัดหาค่า pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง

1.2.3 การทดลองหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำสำ

วิธีการทดลอง

- 1) เก็บตัวอย่างน้ำสำจากบ่อเก็บน้ำสำในบริเวณลานปุ๋ยหมัก
- 2) นำตัวอย่างน้ำสำเทลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3) นำเครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง วัดหาค่า pH ของตัวอย่างน้ำสำ

2. การศึกษาเครื่องกลั่นกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

เนื่องจากเครื่องกลั่นกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในลานผลิตปุ๋ยหมัก ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น เป็นเครื่องจักรที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการศึกษาเครื่องกลั่นกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการพัฒนาเครื่องกลั่นกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์

ขึ้นใหม่ ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานและสร้างชิ้นเองได้ภายในประเทศ โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักที่ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ สำหรับส่วนประกอบต่างๆ ที่จะทำการศึกษา คือ ดันกำลัง ระบบส่งกำลัง ชุดเพลากลบกองปุ๋ย กระบอกสูบลูไฮดรอลิก ระบบการสเปรย์น้ำสา ถังบรรจุน้ำสา โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมัก

2.2 การศึกษาทดสอบและประเมินผลเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขณะปฏิบัติงาน

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทดสอบและประเมินผลเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขณะปฏิบัติงาน โดยทำการทดสอบหาค่าความเร็วเคลื่อนที่และคำนวณหาค่าความสามารถในการทำงานของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลับกองปุ๋ยหมัก โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

วิธีการทดสอบ

1. นำหลักปักบอกตำแหน่ง 2 อัน ปักลงบนแนวกองปุ๋ยหมักโดยวางในแนวเดียวกัน ห่างกันเป็นระยะทาง 30 เมตร
2. นำเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักทำการกลับกองปุ๋ยหมักภายในช่วงระยะทางที่ได้กำหนดไว้ในข้อที่ 1 แล้วทำการจับเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติงาน
3. ทำการทดลองขั้นตอน 1 – 2 ซ้ำอีก 2 ครั้ง เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมัก

4. นำค่าความเร็วเคลื่อนที่เฉลี่ยของเครื่องกลึงทองปื้ยมักที่ได้จากผลการทดสอบ ไปคำนวณหาค่าความสามารถในการทำงานของเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

2.3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานในลานผลิตปื้ยมัก ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องกลึงทองปื้ยมักให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. พัฒนาเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

3.1 พัฒนาส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

จากการศึกษาส่วนประกอบต่างๆ และทดสอบเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันซึ่งเป็นเครื่องกลึงทองปื้ยมักที่ถูกนำเข้าจากต่างประเทศ จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาและทดสอบเครื่องกลึงทองปื้ยมักดังกล่าว จะถูกนำไปเป็นข้อมูลในการดำเนินการพัฒนาเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขึ้นมาใหม่ โดยออกแบบให้สามารถใช้ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถหาซื้อหรือผลิตขึ้นเองได้ภายในประเทศ

3.2 พัฒนาปรับปรุงข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องจะถูกนำไปพิจารณาเพื่อทำการพัฒนาปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับเครื่องกลึงทองปื้ยมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานภายในประเทศ

4. การประมาณราคาเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

วัตถุประสงค์เพื่อประมาณราคาเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา

สถานที่ดำเนินงาน

สถานที่ดำเนินงาน คือ บริษัท โรงงานน้ำตาลขอนแก่น อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น และภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตปุ๋ยหมักด้วยเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน

ในการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรมได้ทำการศึกษา ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น อ.น้ำพอง จ. ขอนแก่น ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตน้ำตาลแบบครบวงจร โดยวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำตาลขอนแก่นส่วนใหญ่ คือ จี๊ตระกรัน หม้อกรองกากน้ำตาล (Fiter cake) จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และน้ำสำของเหลวที่ได้จากกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากโรงงานน้ำตาล ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งทั้งสองชนิดทางผู้ประกอบการโรงงานน้ำตาลขอนแก่นได้นำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม

1.1 ผลการศึกษาวิธีการและขั้นตอนการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม

1) การเตรียมกองปุ๋ยหมัก

การเตรียมกองปุ๋ยหมัก เริ่มจากการนำจี๊ตระกรันหม้อกรองกากน้ำตาลซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำตาลขอนแก่นมากองรวมกันเป็นกองภายในพื้นที่ลานผลิตปุ๋ยหมัก โดยบริเวณพื้นที่ที่ทำการกองปุ๋ยหมักจะมีสภาพพื้นที่เป็นลานกว้างและน้ำท่วมไม่ถึง ไกลจากเขตชุมชนดังแสดงในภาพที่ 18 ลักษณะการกองปุ๋ยหมักจะจัดเรียงกองปุ๋ยหมักเป็นแถว โดยที่ 1 แถวจะมีกองปุ๋ยหมักกองติดคู่ขนานกัน 2 กอง และระยะห่างแต่ละแถวของกองปุ๋ยหมักมีระยะประมาณ 3 เมตร ซึ่งในหนึ่งลานผลิตปุ๋ยหมักจะมีจำนวนแถวของกองปุ๋ยหมักทั้งหมด 11 แถว ส่วนขนาดของกองปุ๋ยหมักแต่ละกองจะมีขนาดประมาณ กว้าง 3 เมตร สูง 1 ยาว 240 เมตร และมีค่ามุมกองวัสดุประมาณ 45 องศาับพื้นราบ ดังแสดงขนาดของกองปุ๋ยหมักไว้ในภาพที่ 19



ภาพที่ 18 การเตรียมกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 19 ขนาดของกองปุ๋ยหมัก

2) การเติมหัวเชื้อลงบนกองปุ๋ยหมัก

หลังจากการเตรียมกองปุ๋ยหมักเรียบร้อยแล้ว จะทำการเติมหัวเชื้อลงบนกองปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 1 ต่อ 1000 (หัวเชื้อ 1 ส่วน ต่อ ปุ๋ยหมัก 1000 ส่วน) คิดที่ปริมาณปุ๋ยหมักทั้งหมดใน 1 ลาน วัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในกองปุ๋ยหมักให้กับจุลินทรีย์ โดยที่การเติมหัวเชื้อจะทำการเติมลงบนกองปุ๋ยหมักในขณะที่เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักกำลังปฏิบัติงานดังแสดงในภาพที่ 20 ซึ่งเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักจะทำการผสมหัวเชื้อและปุ๋ยหมักให้ผสมคลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอ ในขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลาดำเนินงานประมาณ 5 วัน



ภาพที่ 20 การเติมหัวเชื้อลงบนกองปุ๋ยหมัก

3) การเติมน้ำสาลงบนกองปุ๋ยหมัก

ในขั้นตอนนี้การกลับกองปุ๋ยหมักของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักจะต้องทำการสเปรย์น้ำสาลงบนกองปุ๋ยหมักทุกครั้งดังแสดงในภาพที่ 21 เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักไม่ให้สูงเกินกว่าค่าที่จุลินทรีย์ไม่สามารถทนได้และยังเป็นการเร่งให้กองปุ๋ยหมักย่อยสลายเร็วขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับกองปุ๋ยหมัก โดยมีอัตราการสเปรย์น้ำสำที่ 2 ต่อ 1 (น้ำสำ 2 ส่วน ต่อ ปุ๋ยหมัก 1 ส่วน) คิดที่ปริมาณปุ๋ยหมักทั้งหมดใน 1 ลาน ลักษณะของกองปุ๋ยหมักจะเริ่มมี

การเปลี่ยนจากสื่อน้ำตาลจนกลายเป็นสีดำและขนาดของกองปุ๋ยหมักจะมีขนาดกองที่เล็กลงกว่าเดิม
ระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ประมาณ 45 วัน



ภาพที่ 21 การสเปรย์น้ำสาลงบนกองปุ๋ยหมักขณะเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักเคลื่อนที่กลับกองปุ๋ยหมัก

4) การลดความชื้นกองปุ๋ยหมักด้วยการกลับกองปุ๋ยหมัก

การกลับกองปุ๋ยหมักของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักในขั้นตอนนี้ จะไม่ทำการสเปรย์
น้ำสาลงบนกองปุ๋ยหมัก เพราะว่ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการกลับกองปุ๋ยหมัก ดังนั้นใน
การกลับกองปุ๋ยหมักก็เพื่อที่จะลดความชื้นของกองปุ๋ยให้เหลือน้อยที่สุด ลักษณะของกองปุ๋ยหมัก
ในช่วงนี้จะมีสีดำเข้ม ในขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลาดำเนินงานประมาณ 10 วัน

5) การลดความชื้นปุ๋ยหมักบนลานซีเมนต์และเครื่องอบลมร้อน

นำปุ๋ยหมักที่สามารถใช้งานได้แล้วจากลานกองปุ๋ยหมัก มาตากแห้งบนพื้นซีเมนต์
เพื่อเป็นการลดความชื้น หลังจากนั้นนำปุ๋ยหมักมาป็นเป็นเม็ดด้วยเครื่องบีบเม็ดปุ๋ยแล้วทำการอบ
เม็ดปุ๋ยด้วยเครื่องอบลมร้อนอีกครั้ง ขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 3 วัน

6) บรรจุใส่ถุงเพื่อการจำหน่าย

เมื่อทำการอบเม็ดปุ๋ยหมักด้วยเครื่องอบลมร้อนแล้ว ก็สามารถทำการบรรจุเม็ดปุ๋ยใส่ถุงเพื่อการจำหน่ายต่อไป

1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน

ผลจากการศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมของโรงงานน้ำตาลขอนแก่นในพื้นที่ลานผลิตปุ๋ยหมัก อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

1.2.1 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของปุ๋ยหมัก

จากการดำเนินการหาค่าความหนาแน่นของปุ๋ยหมัก โดยได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักในบริเวณลานผลิตปุ๋ยหมักจากกองปุ๋ยหมัก 5 กอง โดยการชูดกองปุ๋ยหมักลึกลงไป 30 เซนติเมตร เพื่อทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง ผลการทดลองพบว่า ค่าความหนาแน่นของปุ๋ยหมัก แต่ละกองมีค่าเท่ากับ 579.35, 582.24, 572.19, 564.94, 578.68 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

1.2.2 ผลการทดลองหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก

จากการดำเนินการทดลองหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก โดยได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักในบริเวณลานผลิตปุ๋ยหมักจากกองปุ๋ยหมัก 5 กอง โดยการชูดกองปุ๋ยหมักลึกลงไป 30 เซนติเมตร เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก ผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก แต่ละกองมีค่าเท่ากับ 6.77, 6.59, 6.68, 6.57, 6.77 ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

1.2.3 ผลการทดลองหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำสำ

จากการดำเนินการทดลองหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำสำ โดยได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำสำในบริเวณบ่อเก็บน้ำสำข้างๆ ลานผลิตปุ๋ยหมัก เพื่อทำการทดลองหาค่าความ

เป็นกรดเป็นด่างของน้ำส้ม ผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำส้ม มีค่าเท่ากับ 4.31 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำส้มที่นำมาสเปรย์ลงบนกองปุ๋ยหมักมีสภาพเป็นกรด

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นและความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างปุ๋ยหมัก

กองปุ๋ยหมักที่	ค่าความหนาแน่นปุ๋ยหมัก (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปุ๋ยหมัก
1	579.35	6.77
2	582.24	6.59
3	572.19	6.68
4	564.94	6.57
5	578.68	6.77
ค่าเฉลี่ย	575.48	6.68

2. ผลการศึกษาเครื่องกลึงกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

2.1 ผลการศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกลึงกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

จากการศึกษาเครื่องกลึงกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในลานผลิตปุ๋ยหมัก ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น ซึ่งเป็นเครื่องกลึงกองปุ๋ยหมักที่ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศดังแสดงในภาพที่ 22 สามารถแยกพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญได้ 7 ส่วน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 22 เครื่องกลัดกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในโรงงาน

1) ต้นกำลัง เครื่องกลัดกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์อาศัยกำลังงานในการกลัดกองปุ๋ยหมักจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ ที่ความเร็วรอบทำงานเพลลาอำนาจกำลังเท่ากับ 540 รอบต่อนาที ดังนั้นในการออกแบบขนาดของต้นกำลังจะต้องกำหนดขนาดต้นกำลังที่เหมาะสมเพื่อเลือกใช้ใช้รถแทรกเตอร์ที่มีขนาดแรงม้าของเพลลาอำนาจกำลังที่เพียงพอต่อการใช้งานกับเครื่องกลัดกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

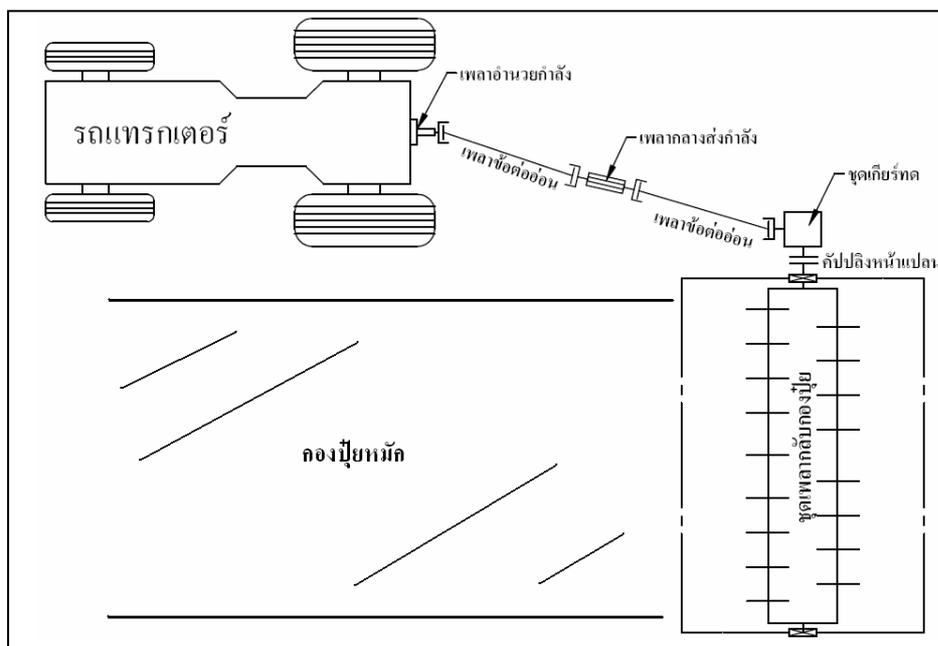
2) ระบบส่งกำลัง สามารถทำการพิจารณาระบบส่งกำลังได้เป็น 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

ระบบส่งกำลังช่วงแรก คือ การส่งกำลังจากต้นกำลัง (เพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์) ไปยังเพลลากลางส่งกำลังโดยเลือกใช้การส่งกำลังด้วยเพลลาข้อต่ออ่อน

ระบบส่งกำลังช่วงที่สอง คือ การส่งกำลังจากเพลลากลางส่งกำลังไปยังเพลลาขับของชุดเกียร์ทดโดยเลือกใช้การส่งกำลังด้วยเพลลาข้อต่ออ่อน

ระบบส่งกำลังช่วงที่สาม คือ การส่งกำลังจากเพลลาตามของชุดเกียร์ทดส่งกำลังไปยังชุดเพลลาถัดกองปุ๋ยเพื่อทำการกลัดกองปุ๋ยหมัก โดยเลือกใช้การส่งกำลังด้วยคัปปลิงหน้าแปลน

เนื่องจากชุดเพลากลับกองปู้ยจะมีความเร็วรอบในการทำงานเท่ากับ 270 รอบต่อนาที ดังนั้นในการออกแบบชุดเกียร์ทดจะต้องออกแบบให้มีอัตราทดที่เหมาะสมกับการทำงานของชุดเพลากลับกองปู้ย โดยรูปแบบของระบบส่งกำลังทั้งหมดสามารถแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ระบบส่งกำลังของเครื่องกลับกองปู้ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์

3) ชุดเพลากลับกองปู้ย ทำหน้าที่กลับกองปู้ยหมักด้วยการหมุน มีค่าความเร็วรอบการทำงานประมาณ 270 รอบต่อนาที ถูกติดตั้งอยู่บนโครงสร้างกระโปรงกันปู้ยหมัก โดยมีแบร์ริงลูกปืนรองรับทั้ง 2 ข้างที่ปลายเพลาคู่ ชุดเพลากลับกองปู้ยมีลักษณะเป็นเพลากลางเพื่อทำให้เพลามีน้ำหนักเบา ความยาวของชุดเพลากลับกองปู้ยจะต้องมีขนาดเท่ากับความกว้างของคองปู้ยหมัก ที่ผิวนอกเพลามีการติดตั้งใบมีดที่เรียงตัวกันเป็นเกลียวไปตามเส้นรอบวงของผิวนอกเพลาคู่ ในการออกแบบการจัดเรียงใบมีดบนผิวนอกชุดเพลากลับกองปู้ยจะต้องออกแบบให้สามารถรวมคองปู้ยหมักให้สูงขึ้น หลังจากทีคองปู้ยหมักถูกกลับกองด้วยชุดเพลากลับกองปู้ยแล้ว

4) กระบอกสูบไฮดรอลิก ทำหน้าที่ในการปรับมุมเอียงขึ้นลงของโครงสร้างกระโปรงกันปู้ยหมักกับพื้นในแนวระดับเพื่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปู้ยหมัก โดยกระบอกสูบไฮดรอลิกจะใช้ปั้มน้ำมันไฮดรอลิกจากรถแทรกเตอร์ที่ลากคิงเครื่องกลับกองปู้ยหมักเป็นตัวสร้างความดันภายในกระบอกสูบไฮดรอลิก การออกแบบกระบอกสูบไฮดรอลิกจะต้อง

เลือกใช้ขนาดกระบอกสูบไฮดรอลิกให้เหมาะสมกับความดันระบบน้ำมันไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์และแรงที่ต้องการใช้ในการปฏิบัติงาน

5) ระบบการสเปรย์น้ำสา ในขณะเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักทำการกลับกองปุ๋ยหมักจะต้องทำการสเปรย์น้ำสาลงบนกองปุ๋ยหมัก โดยมีอัตราส่วนผสมไม่น้อยกว่า 1 ต่อ 2 (ปุ๋ยหมัก 1 ส่วน น้ำสา 2 ส่วน) ดังนั้นในการออกแบบระบบสเปรย์น้ำสาจะต้องเลือกใช้ขนาดของปั๊มและความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติงานให้มีความสอดคล้องกัน

6) ถังบรรจุน้ำสา ทำหน้าที่บรรจุเก็บน้ำสาเพื่อรอการสเปรย์ลงบนกองปุ๋ยหมัก ดังนั้นในการเลือกใช้ถังบรรจุน้ำสาจึงควรพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารละลายที่ต้องการบรรจุ และขนาดของถังบรรจุที่เหมาะสมกับการใช้งาน

7) โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมัก ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างสำหรับติดตั้งชุดเพลากลับกองปุ๋ยและยังป้องกันปุ๋ยหมักกระเด็นออกจากกองในขณะที่ชุดเพลากลับกองปุ๋ยทำงาน โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักจะต้องออกแบบให้มีขนาดที่เหมาะสมกับมิติของกองปุ๋ยหมัก และมีความแข็งแรงเพียงพอในขณะปฏิบัติงาน

2.2 ผลการศึกษาทดสอบและประเมินผลเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ขณะปฏิบัติงาน

ได้ดำเนินการทดสอบและประเมินผลเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ขณะปฏิบัติงาน ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น โดยทำการทดสอบหาค่าความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติงานดังแสดงในภาพที่ 24 ผลที่ได้จากการทดสอบค่าความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักจะนำไปคำนวณหาค่าความสามารถในการทำงานของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมัก โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้



ภาพที่ 24 การทดสอบค่าความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์
ขณะปฏิบัติงาน

จากผลการทดสอบหาค่าความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขณะปฏิบัติงาน ผลการทดสอบพบว่า ค่าความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติที่ได้ทำการทดสอบแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 0.40, 0.41, 0.42 เมตร/วินาที ตามลำดับ โดยมีค่าความเร็วเคลื่อนที่เฉลี่ยของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติงานมีค่าเท่ากับ 0.41 เมตร/วินาที ดังแสดงในตารางที่ 3

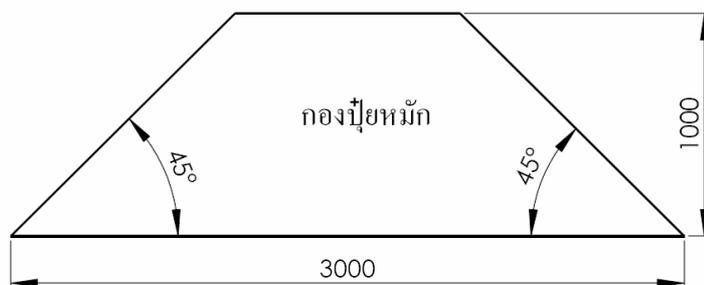
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบและประเมินผลเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติงาน

ครั้งที่	ระยะทาง (เมตร)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ความสามารถใน การทำงาน (ตัน/ช.ม.)
1	30	75.28	0.40	1657.382
2	30	73.26	0.41	1698.817
3	30	71.27	0.42	1740.252
ค่าเฉลี่ย	30	73.27	0.41	1698.817

จากตารางที่ 3 สามารถทราบค่าความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยมีวิธีการคำนวณหาความสามารถในการทำงานเฉลี่ยของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักได้ดังต่อไปนี้

กำหนดค่าที่ใช้ในการคำนวณหาความสามารถในการทำงาน มีดังต่อไปนี้

- ขนาดกองปุ๋ยหมัก กว้าง 3 เมตร สูง 1 เมตร และมีมุมกองวัสดุเท่ากับ 45 องศากับพื้นราบ ดังแสดงในภาพที่ 25 โดยที่มีค่าพื้นที่หน้าตัดของกองปุ๋ยหมักเท่ากับ 2 ตารางเมตร
- ค่าความหนาแน่นของปุ๋ยหมักมีค่าเท่ากับ 575.48 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- ค่าความเร็วเคลื่อนที่เฉลี่ยของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักเท่ากับ 0.41 เมตร/วินาที



ภาพที่ 25 ขนาดกองปุ๋ยหมัก

ดังนั้นค่าความสามารถในการทำงานของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 &= 0.41 \frac{\text{เมตร}}{\text{วินาที}} \times 3600 \frac{\text{วินาที}}{\text{ชม.}} \times 2 \text{ เมตร}^2 \times 575.48 \frac{\text{ก.ก.}}{\text{เมตร}^3} \\
 &= 1698.817 \text{ ตัน/ชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

ได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของการใช้งานเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในลานผลิตปุ๋ยหมัก ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น พบว่ามีข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักโดยสามารถพิจารณาแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

1) สภาพพื้นที่ในการปฏิบัติงานของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมัก

จากการสำรวจบริเวณพื้นที่ลานผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าสภาพพื้นผิวช่องทางการเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักขณะกลับกองปุ๋ยหมัก มีสภาพเป็นดินโคลนง่ายต่อการยุบตัว และพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 26 จากสภาพพื้นผิวดังกล่าว ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกลับกองปุ๋ยหมักของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักมีค่าลดลง เนื่องจากเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักไม่สามารถทำการกลับกองปุ๋ยหมักได้ทั้งกอง เพราะถ้าเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักทำการกลับกองปุ๋ยหมักทั้งกองจะทำให้เกิดการลื่นไถลของล้อรถแทรกเตอร์ที่ใช้ลากดึงเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักซึ่งอาจจะทำให้เกิดการติดหล่มของรถแทรกเตอร์และเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักได้ดังแสดงไว้ในภาพที่ 27 อีกทั้งความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวอาจจะทำให้โครงสร้างเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักเกิดความเสียหายได้

ในการแก้ปัญหาเบื้องต้นของสภาพพื้นผิวช่องทางการเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่จะใช้รถแทรกเตอร์ที่มีการติดตั้งใบมีดด้านหน้าของรถแทรกเตอร์ทำการวิ่งปาดผิวช่องทางให้เรียบร้อยเสียก่อน หลังจากนั้นจึงให้เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักเคลื่อนที่ผ่านในช่องทางนั้นได้ ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูงและยังเป็นการแก้ปัญหาที่ไม่ถาวร



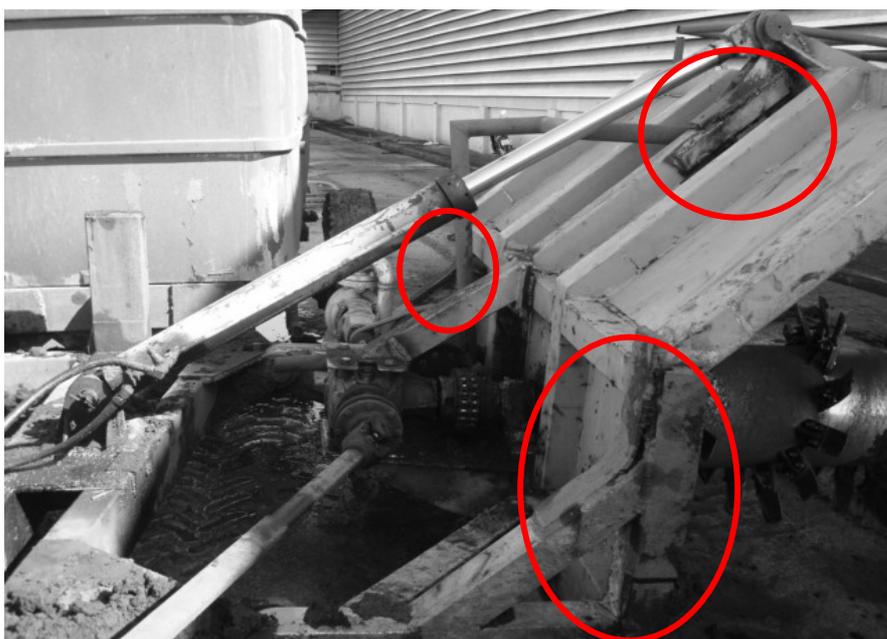
ภาพที่ 26 สภาพพื้นผิวช่องทางการเคลื่อนที่ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์



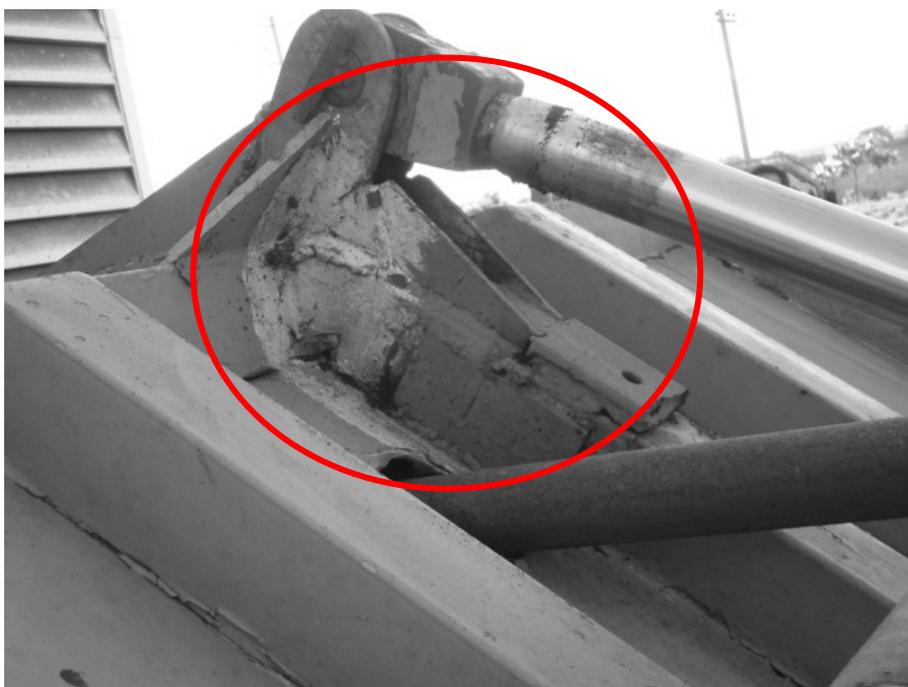
ภาพที่ 27 การติดหล่มของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขณะปฏิบัติงาน

2) ความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมัก

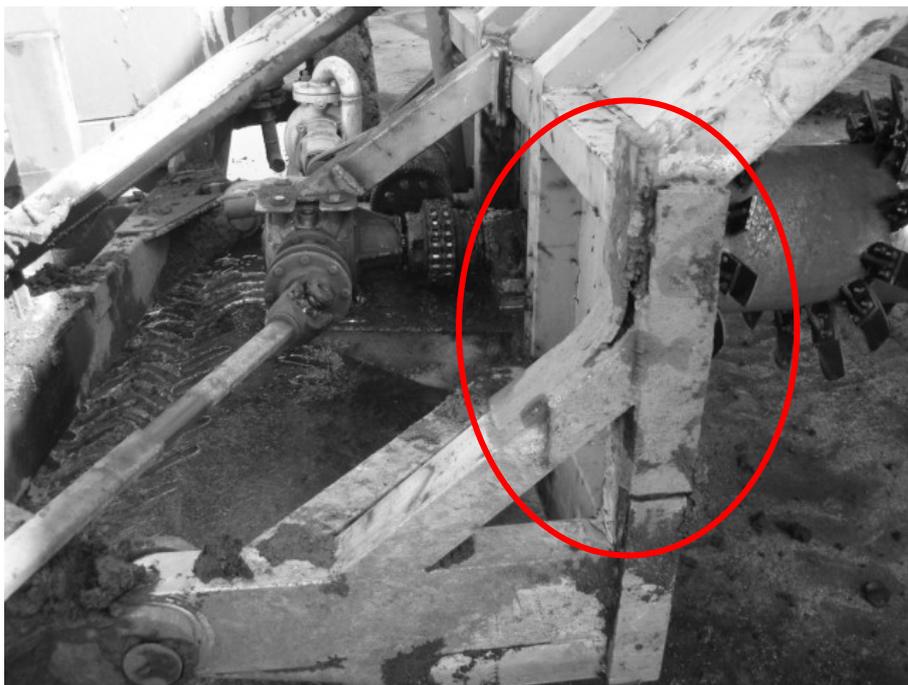
จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานในลานผลิตปุ๋ยหมักของโรงงานน้ำตาลขอนแก่น พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องกลับกองปุ๋ยหมัก คือ โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักเกิดความเสียหายทางกล ซึ่งโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักที่ถูกใช้อยู่ในโรงงานน้ำตาลขอนแก่น ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักสามารถแสดงดังภาพต่อไปนี้



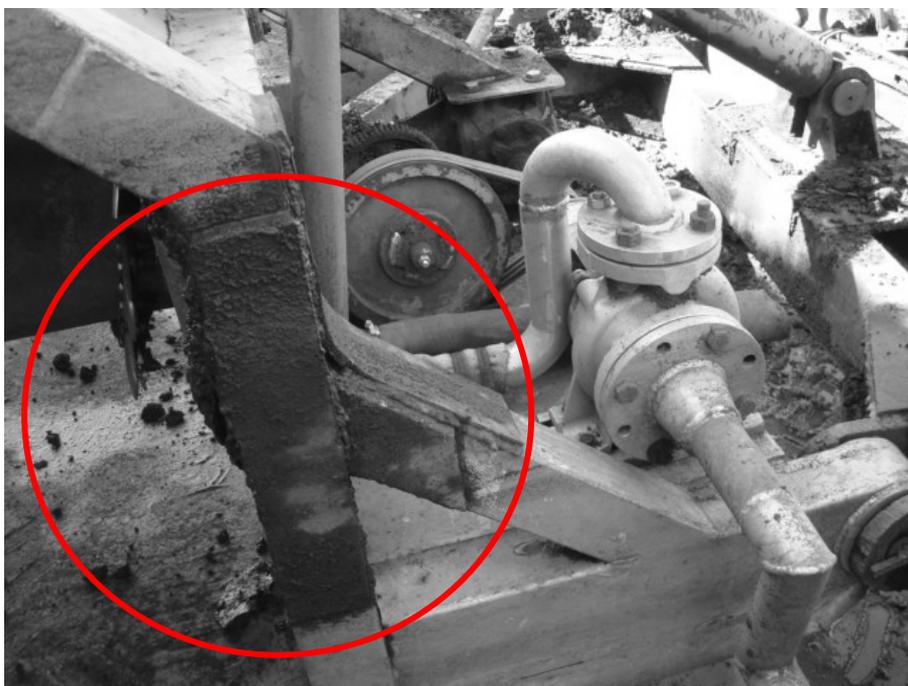
ภาพที่ 28 ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นทั้งหมดกับโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก



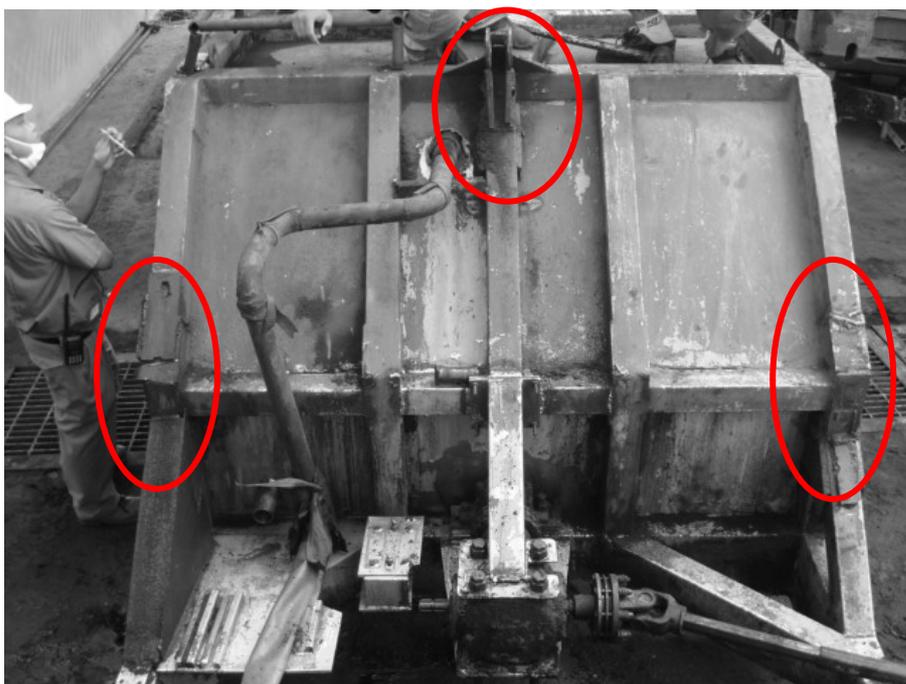
ภาพที่ 29 ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นบริเวณ โครงสร้างจุดยึดกระบอกไฮดรอลิกกับ โครงสร้าง
กระโปรงกันปูยหมัก



ภาพที่ 30 ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นบริเวณแกนค้ำยันโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักด้านหน้า



ภาพที่ 31 ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นบริเวณแกนค้ำยันโครงสร้างกระโปรงกันปยุหมักด้านหลัง



ภาพที่ 32 ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นทั้งหมดกับ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก

เมื่อพิจารณาความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นกับ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมักดังแสดง ในภาพที่ 28, 29, 30, 31, 32 จะเห็นได้ว่า เกิดความเสียหายทางกลที่บริเวณ โครงสร้างจุดยึดกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกกับ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก และบริเวณจุดต่อระหว่างแขนค้ำยันของตัว โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก ทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังของ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก โดยสามารถสรุปบริเวณความเสียหายทางกลของ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก ได้ดังตารางที่ 4 ส่วนบริเวณ โครงสร้างตำแหน่งอื่นๆ ไม่เกิดความเสียหายทางกลของ โครงสร้าง

ตารางที่ 4 บริเวณความเสียหายทางกลของ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก

บริเวณที่	บริเวณความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก
1	บริเวณ โครงสร้างจุดยึดกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกกับ โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก
2	บริเวณจุดต่อระหว่างแขนค้ำยันด้านหน้าของตัวโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก
3	บริเวณจุดต่อระหว่างแขนค้ำยันด้านหลังของตัวโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก

ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก พนักงานซ่อมบำรุงของโรงงานจะทำการเชื่อมเหล็กแผ่นเสริมติดบริเวณที่เกิดความเสียหายทางกลของโครงสร้าง ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาเบื้องต้น เมื่อนำเครื่องกลับกองปูยหมักที่มีแก้ปัญหาเบื้องต้นไปปฏิบัติงานอีกสักระยะหนึ่ง บริเวณที่เชื่อมเสริมด้วยเหล็กแผ่นก็จะเกิดความเสียหายซ้ำอีก

3. ผลการพัฒนาเครื่องกลับกองปูยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

จากการศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกลับกองปูยหมักและการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของการใช้งานเครื่องกลับกองปูยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งเป็นเครื่องกลับกองปูยหมักที่ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการพัฒนาเครื่องกลับกองปูยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขึ้นมาใหม่ ให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ และสามารถผลิตขึ้นเองได้ภายในประเทศ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ผลการพัฒนาส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกลับกองปูยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

1) กำหนดขนาดต้นกำลังที่ต้องการในการกลับกองปูยหมัก (Power Requirement)

ในการคำนวณหาขนาดต้นกำลังในการกลับกองปูยหมัก จะใช้วิธีการคำนวณหาขนาดต้นกำลังของเครื่องขนถ่ายแบบเกลียวลำเลียง เนื่องจากชุดเพลาลูกกลับกองปูยที่ได้ทำการออกแบบมีลักษณะเหมือนกับเพลของเครื่องขนถ่ายแบบเกลียวลำเลียง โดยการคำนวณจะกำหนดให้ชุดเพลลูกกลับกองปูย มีปูยหมักอยู่เต็มพื้นที่หน้าตัดของเกลียวลำเลียงตลอดความยาวชุดเพลลูกกลับกองปูย ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

1.1) หาอัตราการขนถ่ายผ่านเกลียวลำเลียง

$$Q = w.k.\left(\frac{\pi}{4}.D^2\right).p.n.C$$

ค่ากำหนดในการออกแบบ

- น้ำหนักกองปูยหมัก (w) เท่ากับ 5.75 กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร
- ระยะพิตซ์เกลียวลำเลียง (p) เท่ากับ 500 มิลลิเมตร
- เส้นผ่านศูนย์กลางวัดจากปลายใบมีดชุดเพลาลูกกลับกองปูย (D) เท่ากับ 900 มม.
- ความเร็วรอบทำงานชุดเพลาลูกกลับกองปูย (n) มีค่าเท่ากับ 270 รอบ/นาที
- ประสิทธิภาพในการบรรจุวัสดุลงระหว่างเกลียว (k) มีค่าเท่ากับ 0.31
- แพลคเตอร์เนื่องจากมุมเอียงจากแนวราบ (C) มีค่าเท่ากับ 1

$$Q = 575 \times 0.31 \times \frac{\pi}{4} \times 0.9^2 \times 0.5 \times 270 = 15308.696 \text{ กิโลกรัม/นาที}$$

$$Q = 918521.778 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

1.2) คำนวณหาขนาดต้นกำลังของการขนถ่ายผ่านเกลียว

$$N = QL(f + \sin \beta)$$

โดยที่ L = ความยาวของชุดเพลากลับกongป้อนเท่ากับ 3,000 มิลลิเมตร

Q = อัตราการขนถ่ายเท่ากับ 918,521.778 กิโลกรัม/ชั่วโมง

f = ค่าความต้านทานรวมจากตารางผนวกที่ ข1 เท่ากับ 4.0

β = ค่ามุมเอียงจากแนวนอน, องศา

$$N = 918,521.778 \times 3 \times (4 + 0)$$

$$N = 11,022,261.34 \text{ กิโลกรัม.เมตร/ชั่วโมง} = 30,035.662 \text{ จูล/วินาที}$$

$$N = 40.262 \text{ แรงม้า}$$

เพื่อภาระเกินกำลังอีกประมาณ 30%

$$N = 40.262 + (40.262 \times 0.3)$$

$$N = 52.341 \text{ แรงม้า}$$

กำหนดประสิทธิภาพชุดส่งกำลังมีค่าเท่ากับ 80%

$$N = \frac{52.341}{0.8} = 65.426 \text{ แรงม้า}$$

ดังนั้นต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนชุดเพลากลับกongป้อนควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 65.5 แรงม้า

เนื่องจากการปฏิบัติงานของเครื่องกลับกongป้อนหมักจะใช้รถแทรกเตอร์ในการลากดึง ดังนั้นต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนชุดเพลากลับกongป้อนให้หมุนเพื่อกลับกongป้อน จะมาจากเพลานำของรถแทรกเตอร์ (PTO) ของรถแทรกเตอร์ โดยรถแทรกเตอร์ที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้กับเครื่องกลับกongป้อนหมัก คือ รถแทรกเตอร์นิวฮอลแลนด์ รุ่น 6610S (ขับเคลื่อน 4 ล้อ) ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะรายละเอียดแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข2

2) การคำนวณออกแบบระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังช่วงแรก เลือกใช้เพลาคู่ต่ออ่อนที่สามารถส่งกำลังได้ไม่น้อยกว่า 65.5 แรงม้า เพื่อส่งกำลังระหว่างเพลานำของรถแทรกเตอร์ไปยังเพลากลางส่งกำลัง และในระบบส่งกำลังช่วงที่สอง การส่งกำลังจากเพลากลางส่งกำลังไปยังเพลากลับกongป้อนเลือกใช้

เพลาคือข้อต่ออ่อนที่สามารถส่งกำลังได้ไม่น้อยกว่า 65.5 แรงม้าเช่นเดียวกัน ส่วนในการคำนวณ ออกแบบเพลากลางส่งกำลังและชุดเกียร์ทรมีรายละเอียดการคำนวณออกแบบดังต่อไปนี้

2.1) การคำนวณออกแบบขนาดเพลากลางส่งกำลัง

เนื่องจากเพลากลางส่งกำลังรับภาระโมเมนต์บิดเพียงอย่างเดียว ซึ่งภาระในการถ่ายทอดกำลังสูงสุดของเพลากลางมีค่าเท่ากับ 65.5 แรงม้า ที่ความเร็วรอบการทำงาน 540 รอบ/วินาที ดังนั้นค่าโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลากลางส่งกำลังมีค่าดังนี้

$$T = \frac{60.P}{2\pi n} = \frac{60 \times 65.5 \times 746}{2 \times \pi \times 540}$$

$$T = 864.088 \times 10^3 \text{ นิวตัน.มิลลิเมตร}$$

กำหนดวัสดุผลิตเพลากลางส่งกำลัง คือ AISI 1020CD มีคุณสมบัติดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข4)

ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด, $\sigma_u = 470$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความต้านแรงดึงคราก, $\sigma_y = 390$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความเค้นเฉือน, $\tau = 0.18 \times 470 = 84.6$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

การคำนวณออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลากลางตามมาตรฐาน ASME Code

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

โดยที่ $C_t = 2.5$ (เพลามีการหมุน), (ตารางผนวกที่ ข6)

$M =$ โมเมนต์ตัด = 0

$T = 864.088 \times 10^3$ นิวตัน.มิลลิเมตร

$$D = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \times (84.6)} \left[(2.5 \times 864.088 \times 10^3)^2 + 0 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$D = 50.7$ มิลลิเมตร

ดังนั้นในการออกแบบขนาดเพลากลางส่งกำลังต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลากลางไม่น้อยกว่า 50.7 มิลลิเมตร ตลอดความยาวของเพลากลางส่งกำลัง โดยเลือกใช้ Deep Groove Ball Bearing เบอร์ 6013 ตามมาตรฐาน DIN625 (ตารางผนวกที่ ข11) จำนวน 2 ตัว เป็นตัวรองรับเพลากลางส่งกำลัง

2.1.1) การคำนวณออกแบบเพลาลิมของเพลากลางส่งกำลัง

เนื่องจากเพลากลางส่งกำลังจะต้องรับและส่งกำลังจากเพลาชั่ต่ออ่อน จึงจำเป็นต้องทำการเจาะรูทำเพลาลิมที่ปลายเพลาทั้งสองด้านของเพลากลางส่งกำลัง เพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ชั่ต่ออ่อน โดยมีรายละเอียดในการออกแบบเพลาลิมดังนี้

กำหนดวัสดุผลิตเพล่า AISI 1020CD มีคุณสมบัติดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข4)

ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด, $\sigma_u = 470$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความต้านแรงดึงคราก, $\sigma_y = 390$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

กำหนดเพลาลิมมีค่าความปลอดภัยในการออกแบบ $N = 6$ ดังนั้น

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{390}{6} = 65$$

เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล่ากลางส่งกำลังมีค่าไม่น้อยกว่า 50.7 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้เพลาลิมที่มีรหัส 8x52x58 ตามมาตรฐาน ISO/R14 ซึ่งมีค่ากำหนดต่างๆ ดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข21)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D) มีค่าเท่ากับ 58 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุด (d) มีค่าเท่ากับ 52 มิลลิเมตร
- จำนวนฟันลิม (Z) มีค่าเท่ากับ 8 ฟัน
- ความกว้างฟันลิม (B) มีค่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลิมเฉลี่ย

$$d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{58+52}{2} = 55 \text{ มิลลิเมตร}$$

ความสูงของฟันลิม

$$h = \frac{D-d}{2} = \frac{58-52}{2} = 3 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากสูตรคำนวณความยาวเพลาลิม

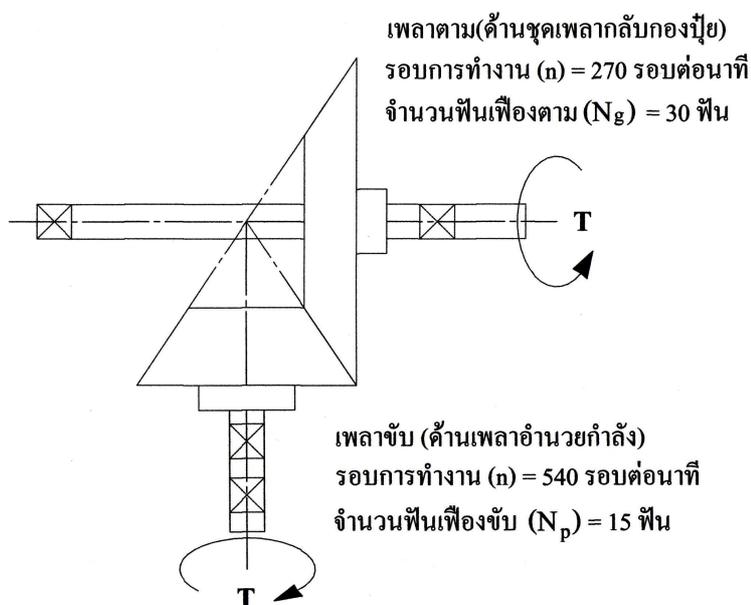
$$L \geq \frac{2.T}{d_m \cdot h \cdot (0.75) \cdot Z \cdot \sigma_d} = \frac{2 \times 864.088 \times 10^3}{55 \times 3 \times 0.75 \times 8 \times 65}$$

$$L \geq 26.86 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นในการออกแบบความยาวเพลาลิมที่ปลายทั้งสองข้างของเพลากลางส่งกำลัง จะออกแบบให้มีความยาวเพลาลิมมีค่าข้างละเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

2.2) การคำนวณออกแบบชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก

เนื่องจากการส่งกำลังของเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ไปยังชุดเพลลา กลับกอนปู่ย แนวแกนของเพลลาทั้งสองทำมุมซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ชุดเกียร์ทดเฟือง ดอกจอกช่วยในการถ่ายทอดกำลังให้กับชุดเพลลา กลับกอนปู่ย ดังแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การถ่ายทอดกำลังด้วยชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก

ค่ากำหนดในการออกแบบชุดเฟืองดอกจอก

- มุมระหว่างเพลลาขับและเพลลาตาม (Shaft Angle) มีค่าเท่ากับ 90 องศา
- มุมกดของฟันเฟือง (Pressure Angle) มีค่าเท่ากับ 20 องศา
- เฟืองขับและเฟืองตามทำจากวัสดุ SAE 3245 OQT มีค่า $\sigma = 448$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร จากตารางผนวกที่ ข19
- กำลังงานที่ส่งผ่านชุดเกียร์ทดมีค่าเท่ากับ 48.863 กิโลวัตต์ (65.5 แรงม้า)
- ความกว้างของฟันเฟืองมีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตร
- อัตราทดของชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก 2 ต่อ 1
- จำนวนฟันเฟืองขับ (N_p) มีค่าเท่ากับ 15 ฟัน
- จำนวนฟันเฟืองขับ (N_g) มีค่าเท่ากับ 30 ฟัน

2.2.1) คำนวณแรงที่เฟืองสามารถรับได้สูงสุด

$$F_b = \frac{\sigma \cdot b \cdot Y \cdot m}{K_f} \left(1 - \frac{b}{L}\right) \quad (38)$$

โดยที่ σ = ค่าความเค้นสถิตใช้งาน = 448 นิวตัน/มิลลิเมตร²

m = โมดูล (มิลลิเมตร)

K_f = ตัวประกอบความหนาแน่น

= $1.2 < K_f < 1.7$ แรงกระทำที่ปลายฟันเฟือง

$$K_f = \frac{1.2 + 1.7}{2} = 1.45$$

b = ความหนาเฟืองมีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตร

Y = ตัวประกอบลูอิส (ตารางผนวกที่ ข20), แรงกระทำที่ปลาย

ฟันเฟือง มีค่าเท่ากับ $Y_p = 0.289$, $Y_g = 0.358$

เนื่องจาก $\sigma_p Y_p < \sigma_g Y_g$ ดังนั้นเฟืองขับ (Pinion) มีความแข็งแรงน้อยกว่าเฟืองตาม (Gear) ในการคำนวณแรงที่เฟืองสามารถรับได้สูงสุดจึงต้องคิดที่เฟืองขับ

$$L = \sqrt{r_p^2 + r_g^2}$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{m \cdot N_p}{2}\right)^2 + \left(\frac{m \cdot N_g}{2}\right)^2}$$

$$L = \sqrt{(7.5m)^2 + (15m)^2}$$

$$L = 16.771m$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ (38) จะได้

$$F_b = \frac{448 \times 50 \times 0.289 \times m}{1.45} \times \left(1 - \frac{50}{16.77m}\right)$$

$$F_b = 4464.552m - 13313.294 \quad (39)$$

2.2.2) คำนวณแรงพลวัต

$$F_d = K_v \times F_t$$

$$F_t = \frac{W}{V} \quad (40)$$

โดยที่ F_t = แรงที่กระทำกับฟันเฟือง

W = กำลังงานที่ต้องการส่งมีค่าเท่ากับ 48.863 กิโลวัตต์

$$V = \pi \cdot d_p \cdot n = \pi \cdot m \cdot N_p \cdot n$$

$$= \frac{\pi \times m \times 15 \times 540}{60 \times 1000} = 0.424m \text{ เมตร/วินาที}$$

K_v = ค่าตัวประกอบความเร็ว

$$K_v = \frac{3+V}{3} \text{ สำหรับค่า } V < 10 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$K_v = \frac{3+0.424m}{3}$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (40) จะได้

$$F_t = \frac{48863}{0.424m}$$

ดังนั้น $F_d = \left(\frac{3+0.424m}{3} \right) \times \left(\frac{48863}{0.424m} \right)$

$$F_d = \frac{115242.925}{m} + 16249.252 \quad (41)$$

ทำการแทนค่าโมดูล (m) ตามมาตรฐานค่าโมดูล ลงในสมการ (39) และสมการ (41) ได้ผลตามตารางต่อไปนี้

m	F_b	F_d
3	80.362	54663.560
4	4544.914	45059.983
5	9009.466	39297.837
6	13474.018	35456.406
8	22403.122	30654.618
10	31332.226	27773.545

จากตารางเลือกใช้ $m = 10$ ซึ่งมีค่าตัวประกอบใช้งาน (Service factor) ดังนี้

$$N_s = \frac{F_b}{F_d} = \frac{31332.226}{27773.545}$$

$$N_s = 1.128 \quad (N_s > 1, \text{ สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย})$$

จากสมมติฐาน ความเร็วพิตช์ของเฟืองขับน้อยกว่า 10 เมตรต่อวินาที

$$V = 0.424m = 0.424 \times 10$$

$$V = 4.24 \text{ เมตรต่อวินาที (สมมติฐานถูกต้อง)}$$

2.2.3) ตรวจสอบความกว้างของฟันเฟือง (b)

จากข้อแนะนำความกว้างฟันเฟืองดอกจอกในการออกแบบควรมีค่าเท่ากับ

$$b < \frac{L}{3} \text{ ดังนั้น}$$

$$L = 16.771\text{m} = 16.77 \times 10 = 167.71 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\frac{L}{3} = 55.903 \text{ มิลลิเมตร}$$

เนื่องจากการออกแบบเลือกใช้ความกว้างฟันเฟือง(b) = 50 มิลลิเมตร

ดังนั้น $b < \frac{L}{3}$ ฟันเฟืองสามารถใช้งานได้ตามข้อแนะนำดังกล่าวข้างต้น

2.2.4) คำนวณหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเฟืองขับ (Pinion) และเฟืองตาม (Gear) ได้ดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์เฟืองขับ (Pinion)

$$d_p = m \cdot N_p = 10 \times 15$$

$$d_p = 150 \text{ มิลลิเมตร}$$

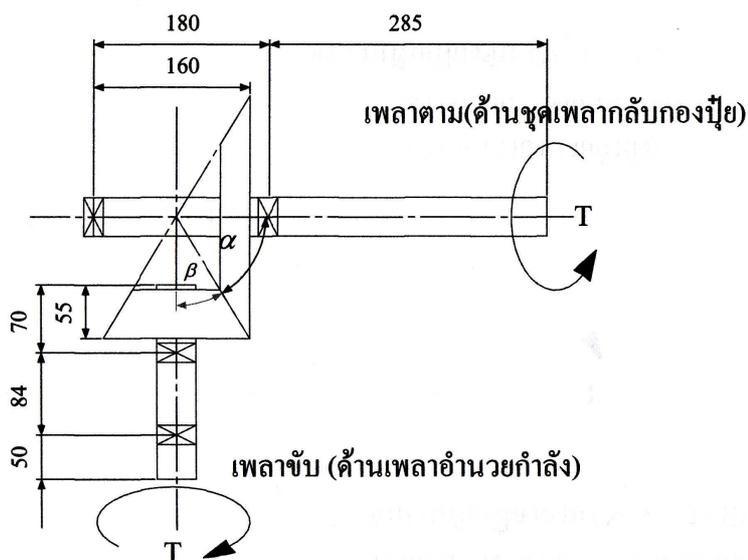
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์เฟืองตาม (Gear)

$$d_g = m \cdot N_g = 10 \times 30$$

$$d_g = 300 \text{ มิลลิเมตร}$$

2.3) การคำนวณออกแบบเพลลาขับชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก

ในการคำนวณออกแบบเพลลาขับและเพลลาตามชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก ได้ทำการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งแบร์ริงลูกปืนและคู่เฟืองดอกจอกบนเพลลาขับและเพลลาตามชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก ดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ตำแหน่งการติดตั้งแบร์ริงลูกปืนและคู่เฟืองดอกจอกบนเพลลาขับและเพลลาตามของชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก

2.3.1) พิจารณาค่าโมเมนต์บิดบนเพลาชัษชุดเกียร์ทด

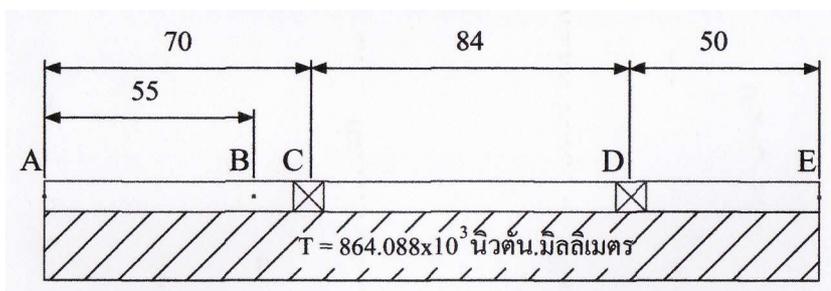
เนื่องจากเพลาชัษชุดเกียร์ทดเฟืองคอกจากรับกำลังมาจากเพลอำนาจกำลังสูงสุดด้วยขนาดเท่ากับ 65.5 แรงม้า ที่ความเร็วรอบทำงาน 540 รอบต่อนาที ดังนั้นโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลาชัษชุดเกียร์ทดสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$P = 65.5 \times 746 = 48863 \text{ วัตต์}$$

$$T = \frac{60 \cdot P}{2\pi n} = \frac{60 \times 48863}{2 \times \pi \times 540}$$

$$T = 864.088 \times 10^3 \text{ นิวตัน.มิลลิเมตร}$$

ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนเพลาชัษชุดเกียร์ทด แสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนเพลาชัษชุดเกียร์ทด

2.3.2) คำนวณแรงปฏิกิริยาของฟันเฟืองขับที่กระทำกับเพลาชัษชุดเกียร์ทด

จากภาพที่ 33 สามารถคำนวณหาค่ามุมพิช์เฟืองขับและเฟืองตามได้ดังนี้

(α , Pitch Angle of Gear/ β , Pitch Angle of Pinion)

$$\Sigma = \alpha + \beta$$

$$\alpha = \text{Pitch Angle of Gear}$$

$$\beta = \text{Pitch Angle of Pinion}$$

$$\text{สำหรับกรณี } \Sigma = 90 \text{ กล่าวได้ว่า } \tan \alpha = \frac{N_g}{N_p} \text{ และ } \tan \beta = \frac{1}{m_g}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{N_g}{N_p} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{30}{15} \right)$$

$$\alpha = 63.435 \text{ องศา}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{m_g} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{15}{30} \right)$$

$$\beta = 26.565 \text{ องศา}$$

คำนวณค่าความเร็วพิตซ์ของเฟืองขับเคลื่อน

$$V = \frac{\pi \cdot d_p \cdot n}{1000 \times 60} = \frac{\pi \times 150 \times 540}{1000 \times 60}$$

$$V = 4.241 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

คำนวณค่าแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองขับเคลื่อน

แรงตามแนวเส้นสัมผัสเฟืองขับ (F_t)

$$F_t = \frac{W}{V} = \frac{48863}{4.241}$$

$$F_t = 11.522 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แรงตามแนวรัศมีเฟืองขับ (F_r)

$$F_r = F_t \cdot \tan \phi \cdot \cos \alpha = 11.522 \times \tan(20) \times \cos(63.435)$$

$$F_r = 1.875 \text{ กิโลนิวตัน}$$

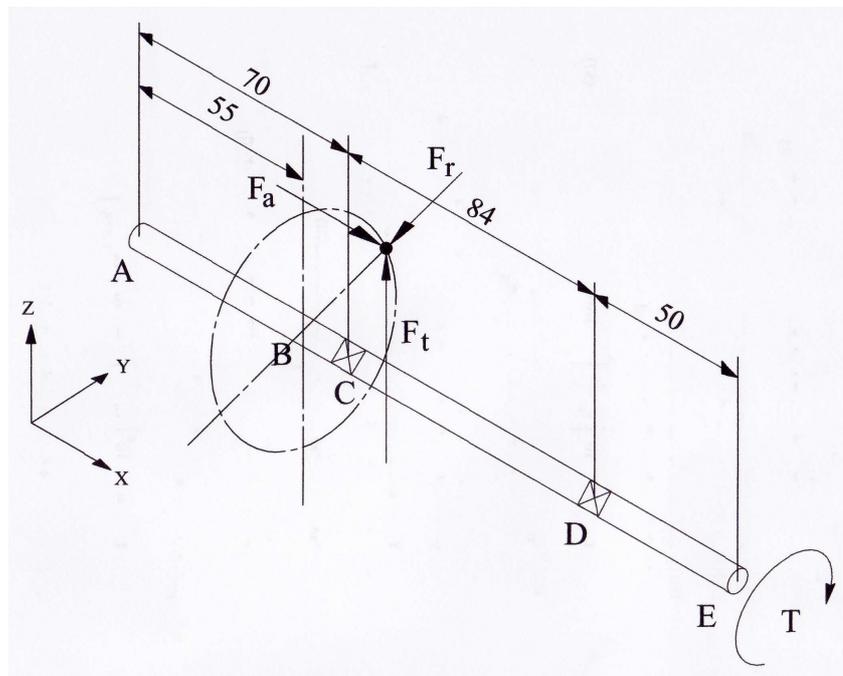
แรงตามแนวแกนเฟืองขับ (F_a)

$$F_a = F_t \cdot \tan \phi \cdot \sin \alpha = 11.522 \times \tan(20) \times \sin(63.435)$$

$$F_a = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน}$$

ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองดอกจอกบนเพลาดำเนิน

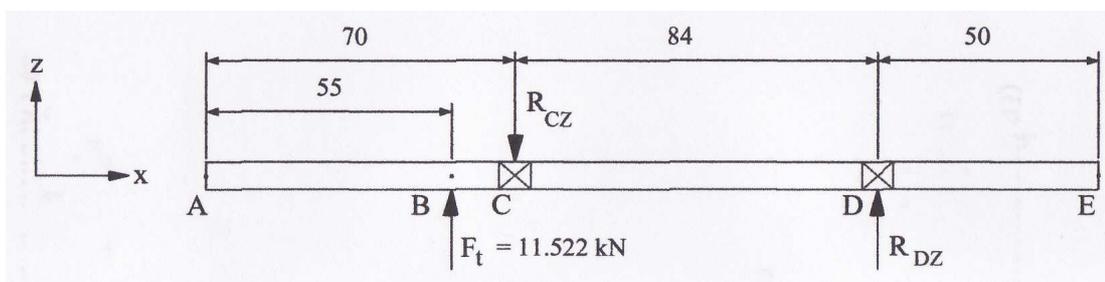
ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเฟืองดอกจอกบนเพลาดำเนิน

2.3.3) คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเพลาชับชุดเกียร์ทด

จากภาพที่ 36 สามารถสร้างไดอะแกรมของแรงที่เกิดขึ้นบนระนาบ X-Z ของเพลาชับชุดเกียร์ทด โดยที่ตำแหน่ง B คือ ตำแหน่งแรงปฏิกิริยาของเฟืองดอกจอกกระทำกับเพลาชับ และตำแหน่ง C, D เป็นตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเบร้งลูกปืน ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลาชับชุดเกียร์ในระนาบ X-Z

พิจารณาสมดุลแรงในแนวแกน Z

$$\sum F_Z = 0$$

$$R_{CZ} = R_{DZ} + F_t = R_{DZ} + 11.522$$

$$R_{CZ} - R_{DZ} = 11.522 \quad (42)$$

พิจารณาสมดุลโมเมนต์ ณ ตำแหน่ง C

$$\sum M_C = 0 \quad (\text{ทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก})$$

$$R_{DZ} = \frac{11.522 \times 15}{84} = 2.058 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า R_{DZ} ลงในสมการ (42) จะได้

$$R_{CZ} = 11.522 + 2.058$$

$$R_{CZ} = 13.58 \text{ กิโลนิวตัน}$$

พิจารณาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ บนเพลาชับชุดเกียร์ทด

$$M_A = 0$$

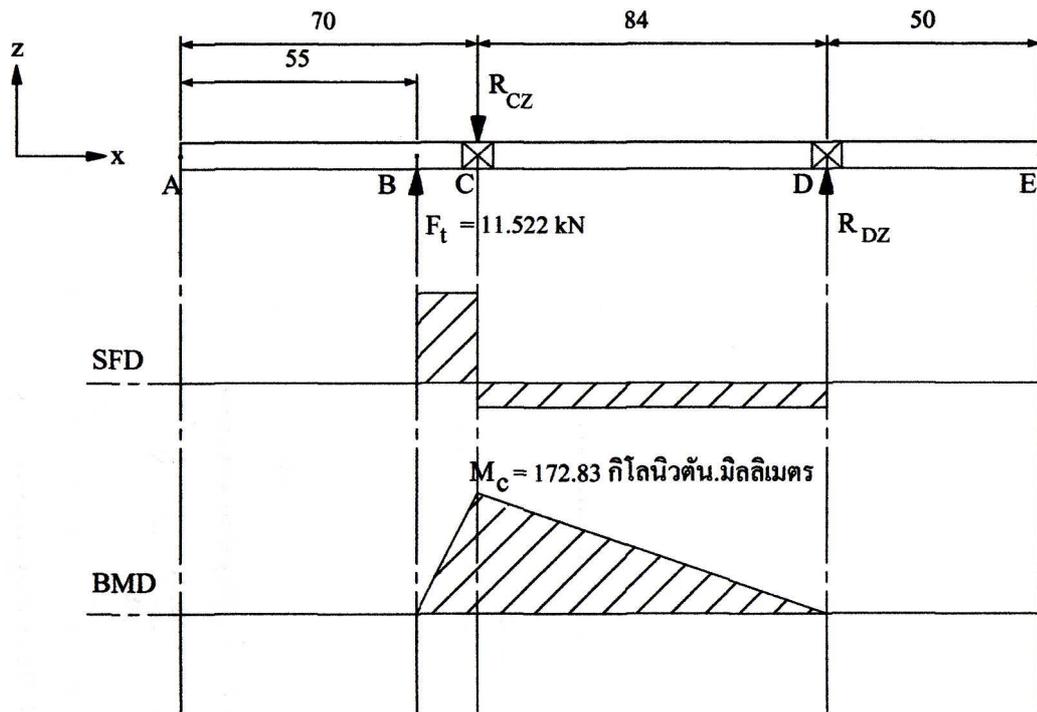
$$M_B = 0$$

$$M_C = 15 \times 11.522 = 172.83 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_D = 99 \times 11.522 - 84 \times 13.58 = 0$$

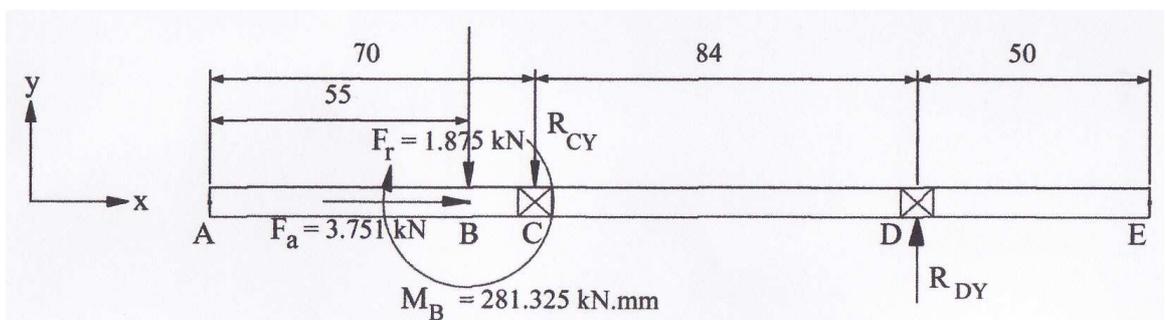
$$M_E = 149 \times 11.522 - 134 \times 13.58 + 2.058 \times 50 = 0$$

จากการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ค้ดที่กระทำกับเพลาชัษชุดเกียร์ทดบนระนาบ X-Z สามารถเขียนไดอะแกรมแรงเฉือน (Shear Force Diagram, SFD) และไดอะแกรมโมเมนต์ค้ด (Bending Moment Diagram, BMD) ของเพลาชัษชุดเกียร์ทดได้ ดังแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์ค้ดบนเพลาชัษชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Z

จากภาพที่ 36 ทำการสร้างไดอะแกรมของแรงที่เกิดขึ้นบนระนาบ X-Y ของเพลาชัษชุดเกียร์ทด ดังแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลาชัษชุดเกียร์ในระนาบ X-Y

พิจารณาค่าโมเมนต์คัต ณ ตำแหน่ง B เนื่องจากแรงในแนวแกน (F_a)

$$M_b = F_a \cdot \frac{d_p}{2} = 3.751 \times \frac{150}{2}$$

$$M_b = 281.325 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

พิจารณาสมดุลแรงในแนวแกน Y

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{DY} = R_{CY} + F_r = R_{CY} + 1.875$$

$$R_{DY} - R_{CY} = 1.875 \quad (43)$$

พิจารณาสมดุลโมเมนต์ ณ ตำแหน่ง C

$$\sum M_C = 0 \text{ (ทวนเข็มนาฬิกา)}$$

$$R_{DY} = \frac{(281.325) - (15 \times 1.875)}{84}$$

$$R_{DY} = 3.014 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า R_{DY} ลงในสมการ (43) จะได้

$$R_{CY} = 3.014 - 1.875$$

$$R_{CY} = 1.139 \text{ กิโลนิวตัน}$$

พิจารณาโมเมนต์คัตที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ บนเพลลาข้อต่อเกียร์ทด

$$M_A = 0$$

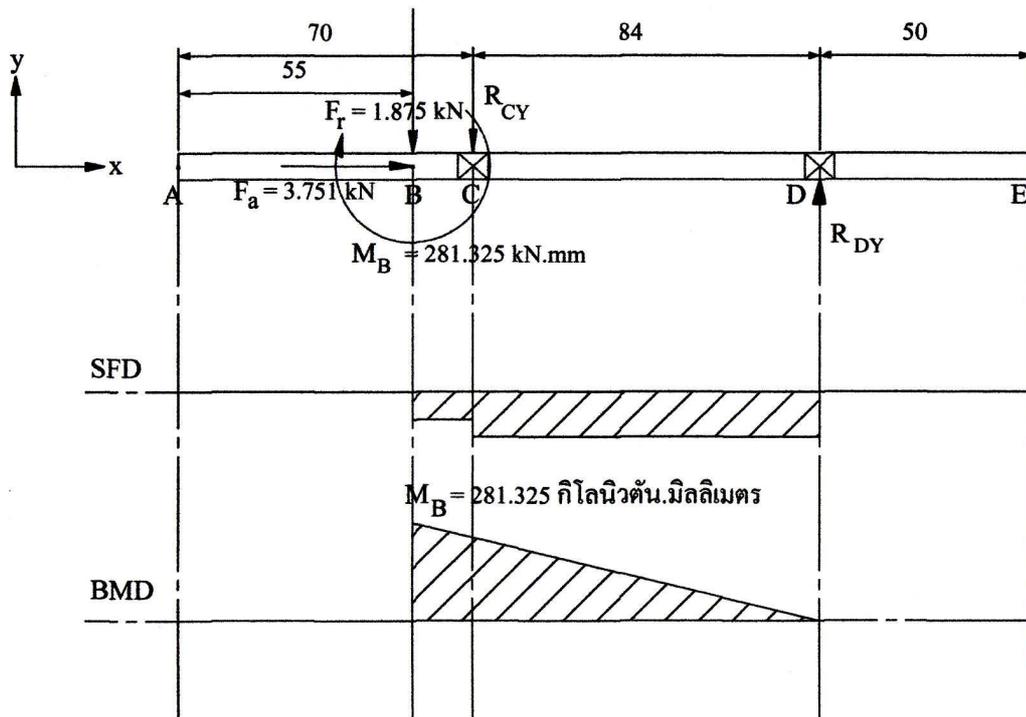
$$M_B = 281.325 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_C = 281.325 - 1.875 \times 15 = 253.2 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_D = 281.325 - 1.875 \times 99 - 1.139 \times 84 = 0$$

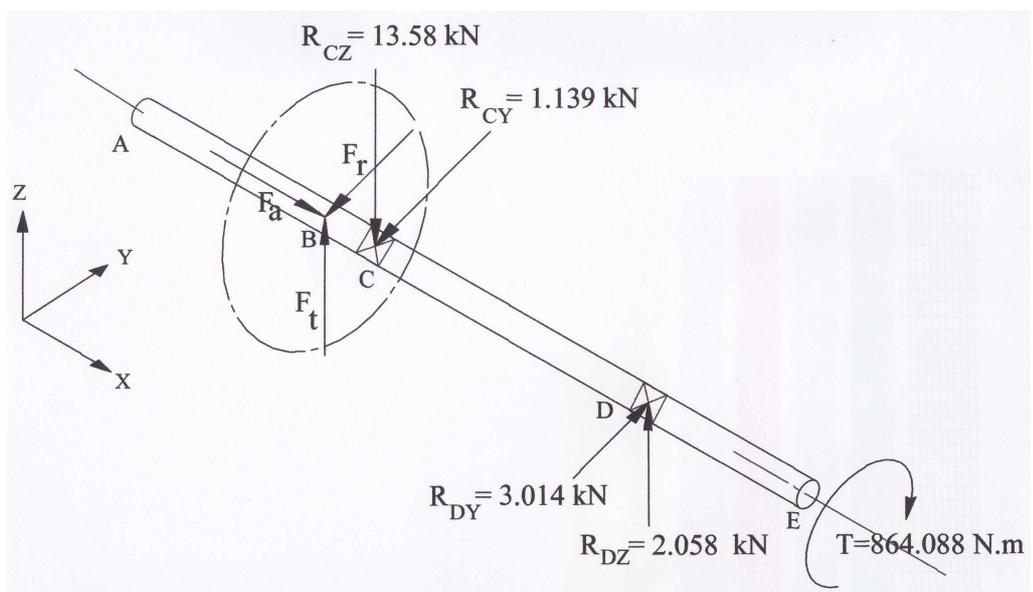
$$M_E = 281.325 - 1.875 \times 149 - 1.139 \times 134 + 3.014 \times 50 = 0$$

จากการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์คัตที่กระทำกับเพลลาข้อต่อเกียร์ทดบนระนาบ X-Y สามารถเขียนไดอะแกรมแรงเฉือน (Shear Force Diagram, SFD) และไดอะแกรมโมเมนต์คัต (Bending Moment Diagram, BMD) ของเพลลาข้อต่อเกียร์ทดได้ ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์คดบนเพลาชับชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Y

จากการพิจารณาแรงปฏิกิริยาทั้งสองระนาบที่กระทำกับเพลาชับชุดเกียร์ทดข้างต้น สามารถสรุปแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับเพลาชับชุดเกียร์ทด ดังแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ไดอะแกรมค่าแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับเพลาชับชุดเกียร์ทด

2.3.4) การคำนวณออกแบบขนาดเพลาชับชุดเกียร์ทด

พิจารณา โมเมนต์คัตสูงสุดที่เกิดขึ้นบนเพลาชับชุดเกียร์ทด

$$\text{ที่ตำแหน่ง B } M_B = \sqrt{M_{x-y}^2 + M_{x-z}^2} = \sqrt{(281.325)^2 + 0}$$

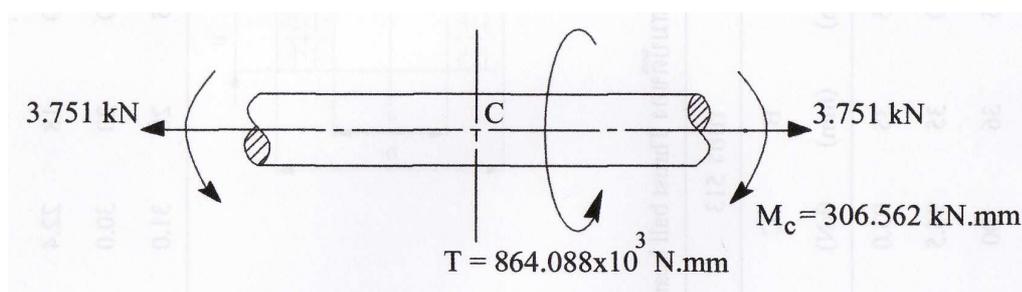
$$M_B = 281.325 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$\text{ที่ตำแหน่ง C } M_C = \sqrt{M_{x-y}^2 + M_{x-z}^2} = \sqrt{253.2^2 + 172.83^2}$$

$$M_C = 306.562 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

จากการคำนวณหาค่าโมเมนต์คัตสูงสุดที่เกิดขึ้นบนเพลาชับชุดเกียร์ทด พบว่าที่ตำแหน่ง C มีค่าของโมเมนต์คัตรวมสูงสุด ดังนั้นในการคำนวณออกแบบขนาดเพลาชับชุดเกียร์ทดจะพิจารณาที่ตำแหน่ง C เพียงตำแหน่งเดียว

พิจารณาค่าแรงและค่าโมเมนต์ต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลาชับชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง C ดังแสดงในภาพที่ 42



ภาพที่ 42 ค่าแรงและค่าโมเมนต์ต่างๆ ที่กระทำเพลาชับชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง C

การออกแบบเพลาชับชุดเกียร์ทดเลือกใช้วัสดุทำเพลาคือ เหล็กกล้า AISI 1020CD มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (ตารางผนวกที่ ข4)

$$\text{ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด } \sigma_u = 470 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\text{ค่าความต้านแรงดึงคราก } \sigma_y = 390 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ค่าความเค้นตึงฉากที่เกิดขึ้นบนเพลาชับชุดเกียร์ทด

$$\sigma_a = \frac{F}{A} = \frac{4 \times 3.751 \times 10^3}{\pi d^2}$$

$$\sigma_a = \frac{4.776 \times 10^3}{d^2} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นบนเพลาชัษชุดเกียร์ทดเนื่องจากโมเมนต์คัต

$$\sigma_b = \frac{M.c}{I} = \frac{32.M}{\pi d^3} = \frac{32 \times 306.562 \times 10^3}{\pi d^3}$$

$$\sigma_b = \frac{3.122 \times 10^6}{d^3} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ดังนั้นค่าความเค้นดึงจากรวม มีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b$$

$$\sigma = \frac{4.776 \times 10^3}{d^2} + \frac{3.122 \times 10^6}{d^3} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร} \quad (44)$$

ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนเพลาชัษชุดเกียร์ทดเนื่องจากโมเมนต์บิด

$$\tau = \frac{T.r}{J} = \frac{16.T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 864.088 \times 10^3}{\pi d^3}$$

$$\tau = \frac{4.4 \times 10^6}{d^3} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร} \quad (45)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (The maximum shear stress theory)

$$\frac{1}{N} = \sqrt{\left(\frac{\tau}{\tau_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right)^2} \quad (46)$$

$$\text{กำหนดให้ } \tau_y = 0.5\sigma_y = 0.5 \times 390 = 195$$

$$\text{ค่าความปลอดภัยออกแบบ } N = 4$$

แทนค่าสมการ (44) และสมการ (45) ลงในสมการ (46) จะได้

$$\frac{1}{4} = \sqrt{\left(\frac{4.4 \times 10^6}{195d^3}\right)^2 + \left[\frac{\left(\frac{4.776 \times 10^3}{d^2}\right) + \left(\frac{3.122 \times 10^6}{d^3}\right)}{390}\right]^2}$$

จากวิธีการ Trial and Error จะค่าได้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาชัษชุดเกียร์มีค่าเท่ากับ 45.87 มิลลิเมตร ดังนั้นในการออกแบบขนาดเพลาชัษชุดเกียร์ทด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดความยาวเพลาชัษจะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 45.87 มิลลิเมตร จึงจะสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

2.3.5) การคำนวณออกแบบเพลาลิ่มบนเพลาชัษชุดเกียร์ทด

เนื่องจากการส่งกำลังผ่านเพลาชัษชุดเกียร์ทด ผู้ออกแบบได้เลือกใช้การทำเพลาลิ่มที่บริเวณปลายทั้งสองข้างของเพลาชัษ เพื่อใช้ในการติดตั้งเฟืองขับดอกจอกและข้อต่ออ่อน จึงต้องมีการคำนวณออกแบบขนาดความยาวของการเซาะร่องเพลาลิ่มให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

เนื่องจากเพลาชัษชุดเกียร์ทดที่ได้ทำการคำนวณออกแบบต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 45.87 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้เพลาลิ่มที่มีรหัส 8x46x50 ตามมาตรฐาน ISO/R14 ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังนี้ (จากตารางผนวกที่ ข21)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D) มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุด (d) มีค่าเท่ากับ 46 มิลลิเมตร
- จำนวนฟันลิ่ม (Z) มีค่าเท่ากับ 8 มิลลิเมตร
- ความกว้างฟันลิ่ม (B) มีค่าเท่ากับ 9 มิลลิเมตร

ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ $N = 6$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{390}{6}$$

$$\sigma_d = 65 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลิ่มเฉลี่ย

$$d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{50+46}{2}$$

$$d_m = 48 \text{ มิลลิเมตร}$$

ความสูงของฟันลิ่ม

$$h = \frac{D-d}{2} = \frac{50-46}{2}$$

$$h = 2 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากสูตรคำนวณความยาวเพลาลิ่ม

$$L \geq \frac{2.T}{d_m \cdot h \cdot (0.75) \cdot Z \cdot \sigma_d}$$

$$L \geq \frac{2 \times 864.088 \times 10^3}{48 \times 2 \times 0.75 \times 8 \times 65}$$

$$L \geq 46.159$$

ดังนั้นในการออกแบบความยาวเพลาลิ่มที่ปลายทั้งสองข้างของเพลาชัษชุดเกียร์ทด จะออกแบบให้มีความยาวเพลาลิ่ม มีค่าความยาวข้างละเท่ากับ 50 มิลลิเมตร

2.3.6) การคำนวณออกแบบแบร์ริงรองรับที่ตำแหน่ง C ของเพลลาขับเคลื่อนเกียร์ทด

เนื่องจากการออกแบบเพลลาขับเคลื่อนเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง C ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาเท่ากับ 55 มิลลิเมตร (รายละเอียดแบบแสดงในภาคผนวก ก) ดังนั้นจึงเลือกใช้แบร์ริงลูกปืนชนิด Thrust Ball Bearing เบอร์ 51411 ตามมาตรฐาน (DIN711) ซึ่งมีค่ากำหนดต่างๆ ดังนี้ (จากตารางผนวกที่ ข12)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก (D) มีค่าเท่ากับ 120 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน (d) มีค่าเท่ากับ 55 มิลลิเมตร
- ความหนาของตัวแบร์ริง (B) มีค่าเท่ากับ 48 มิลลิเมตร
- ค่า Dynamic load rating, C มีค่าเท่ากับ 140 กิโลนิวตัน
- ค่า Static load rating, C_0 มีค่าเท่ากับ 285 กิโลนิวตัน

พิจารณาแรงปฏิกิริยารวมที่จุด C บนเพลลาขับเคลื่อนเกียร์ทด

$$R_C = \sqrt{R_{CZ}^2 + R_{CY}^2} = \sqrt{13.58^2 + 1.139^2}$$

$$F_r = R_C = 13.628 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวรัศมี)}$$

$$F_a = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวแกน)}$$

การตรวจสอบการใช้งานแบร์ริงที่เลือกใช้

1. ประสิทธิภาพในการรับ Dynamic Load

$$L = \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x \text{ รอบ} \quad (47)$$

โดย f_H = แฟกเตอร์ความแข็งแรง Temp 150 $C^0 = 1$ (ตารางผนวกที่ ข14)

$x = 3$ สำหรับ Ball Bearing ทุกชนิด

$$F = \text{Dynamic Equivalent Load} = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$X =$ แฟกเตอร์แรงในแนวรัศมี Ball Bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

$Y =$ แฟกเตอร์แรงในแนวแกน Ball bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

$$C = \text{Dynamic load rating} = 140 \text{ กิโลนิวตัน}$$

การคำนวณค่า X, Y (ตารางผนวกที่ ข13)

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{3.751}{285} = 0.013 \text{ จะได้ค่า } e = 0.19$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{3.751}{13.628} = 0.275$$

เนื่องจาก $\frac{F_a}{F_r} > e$ ดังนั้นค่า $X = 0.56$, $Y = 2.3$

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.56 \times 13.628 + 2.3 \times 3.751 = 16.26 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า F และค่าต่างๆ ลงในสมการ (47) จะได้

$$L = 10^6 \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x = 10^6 \left[1x \frac{140}{16.26} \right]^3$$

$$L = 638.297 \times 10^6 \text{ รอบ}$$

2. ตรวจสอบการใช้งานแบริงคิดเป็นชั่วโมงทำงาน

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60} = \frac{638.267 \times 10^6}{540 \times 60}$$

$$L_h = 19700.525 \text{ ชั่วโมง}$$

ชุดเฟืองทด $L_{h(\text{กำหนด})} = 8000 - 15000$ ชั่วโมง (ตารางผนวกที่ ข18)

\therefore ดังนั้น $L_h \geq L_{h(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

3. การรับภาระสถิต

$$f_s = \frac{C_o}{F_o}$$

โดยที่ f_s = ค่ากำหนดในการใช้งาน

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao}$$

$$F_{ro} = \text{แรงคงที่ในแนวรัศมี (กิโลนิวตัน)} = 13.628 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$F_{ao} = \text{แรงคงที่ในแนวแกน (กิโลนิวตัน)} = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$X_o = \text{แฟกเตอร์แรงในแนวรัศมี (ตารางผนวกที่ ข13)}$$

$$Y_o = \text{แฟกเตอร์แรงในแนวแกน (ตารางผนวกที่ ข13)}$$

$$C_o = \text{Static load rating} = 285 \text{ กิโลนิวตัน}$$

การคำนวณค่า X_o , Y_o (ตารางผนวกที่ ข13)

$$\frac{F_{ao}}{C_o} = \frac{3.751}{285} = 0.013 \text{ จะได้ค่า } e = 0.19$$

$$\frac{F_{ao}}{F_{ro}} = \frac{3.751}{13.628} = 0.275$$

เนื่องจาก $\frac{F_a}{F_r} > e$ ดังนั้นค่า $X = 0.56$, $Y = 2.3$

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao} = 0.56 \times 13.628 + 2.3 \times 3.751$$

$$F_o = 16.26 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$\text{ดังนั้น } f_s = \frac{285}{16.26} = 17.53$$

เมื่อรับภาระหนัก ($f_{s(\text{กำหนด})}$) มีค่าเท่ากับ 1.2-2.5 (จากตารางผนวกที่ ข15)

$\therefore f_s \geq f_{s(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

4. ตรวจสอบความเร็วพิกัดของแบร์ริง

$$N_g = \frac{Z_s \cdot Z_k \cdot N}{D - 10} \quad \text{รอบ/นาที}$$

โดยที่ N_g = ความเร็วพิกัดของแบร์ริงลูกปืน (รอบ/นาที)

$$Z_s = \text{แฟกเตอร์การหล่อลื่นด้วยจาระบี} = 1 \quad (\text{ตารางผนวกที่ ข16})$$

$$N = \text{ความเร็วคงที่ปกติ} = 140000 \quad (\text{ตารางผนวกที่ ข17})$$

$$Z_k = \text{แฟกเตอร์ของภาระ} = 1 \quad (\text{ภาพผนวกที่ ก13})$$

$$D = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของแบร์ริง} = 120 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$N_g = \frac{1 \times 1 \times 140000}{120 - 10} = 1272.73 \text{ รอบต่อนาที}$$

เนื่องจากความเร็วรอบทำงานของเพลาขับเคลื่อนเกียร์ทด (n) มีค่าเท่ากับ 540 รอบต่อนาที ดังนั้น

$$\therefore n < N_g \quad (\text{สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย})$$

2.3.6) การคำนวณออกแบบแบร์ริงรองรับที่ตำแหน่ง D ของเพลาขับเคลื่อนเกียร์ทด

เนื่องจากการออกแบบเพลาขับเคลื่อนเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง D ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาเท่ากับ 55 มิลลิเมตร (รายละเอียดแบบแสดงในภาพผนวก ค) ดังนั้นจึงเลือกใช้แบร์ริงลูกปืนชนิด Deep Groove Ball Bearing เบอร์ 6311 ตามมาตรฐาน (DIN625) ซึ่งมีค่ากำหนดต่างๆ ดังนี้ (จากตารางผนวกที่ ข11)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก (D) มีค่าเท่ากับ 120 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน (d) มีค่าเท่ากับ 55 มิลลิเมตร
- ความหนาของตัวแบร์ริง (B) มีค่าเท่ากับ 29 มิลลิเมตร
- ค่า Dynamic load rating, C มีค่าเท่ากับ 56 กิโลนิวตัน
- ค่า Static load rating, C_0 มีค่าเท่ากับ 42.5 กิโลนิวตัน

พิจารณาแรงปฏิกิริยารวมที่จุด D บนเพลาขับเคลื่อนเกียร์ทด

$$R_D = \sqrt{R_{DY}^2 + R_{DZ}^2} = \sqrt{3.014^2 + 2.058^2}$$

$$F_r = R_D = 3.65 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวรัศมี)}$$

$$F_a = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวแกน)}$$

การตรวจสอบการใช้งานแบร์ริงที่เลือกใช้

1. ประสิทธิภาพในการรับ Dynamic Load

$$L = 10^6 \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x \quad \text{รอบ} \quad (48)$$

โดย $f_H =$ แฟกเตอร์ความแข็งแรง Temp $150 \text{ C}^0 = 1$ (ตารางผนวกที่ ข14)

$x = 3$ สำหรับ Ball Bearing ทุกชนิด

$F =$ Dynamic Equivalent Load $= X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

$X =$ แฟกเตอร์แรงในแนวรัศมี Ball Bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

$Y =$ แฟกเตอร์แรงในแนวแกน Ball bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

$C =$ Dynamic load rating $= 56$ กิโลนิวตัน

การคำนวณค่า X, Y

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{3.751}{42.5} = 0.088 \quad \text{ทำการ Interpolate (ตารางผนวกที่ ข13)}$$

จะได้ค่า $e = 0.283$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{3.751}{3.65} = 1.028$$

เนื่องจาก $\frac{F_a}{F_r} > e$ ดังนั้นค่า $X = 0.56$ ทำการ Interpolate (ตารางผนวกที่

ข13) จะได้ค่า $Y = 1.535$

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.56 \times 3.65 + 1.535 \times 3.751$$

$$F = 7.8 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า F และค่าต่างๆ ลงในสมการ (48) จะได้

$$L = 10^6 \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x = 10^6 \left[1 \times \frac{56}{7.8} \right]^3$$

$$L = 370.067 \times 10^6 \text{ รอบ}$$

2. ตรวจสอบการใช้งานแบร์ริงคิดเป็นชั่วโมงทำงาน

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60} = \frac{370.067 \times 10^6}{540 \times 60}$$

$$L_h = 11421.821 \text{ ชั่วโมง}$$

ชุดเฟืองทด $L_{h(\text{กำหนด})} = 8000 - 15000$ ชั่วโมง (ตารางผนวกที่ ข18)

\therefore ดังนั้น $L_h \geq L_{h(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้)

3. การรับภาระสถิต

$$f_s = \frac{C_o}{F_o} \quad (49)$$

โดยที่ f_s = ค่ากำหนดในการใช้งาน

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao}$$

$$F_{ro} = \text{แรงคงที่ในแนวรัศมี (กิโลนิวตัน)} = 3.65 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$F_{ao} = \text{แรงคงที่ในแนวแกน (กิโลนิวตัน)} = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$X_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวรัศมี} = 0.6 \text{ (Deep groove ball bearing)}$$

$$Y_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวแกน} = 0.5 \text{ (Deep groove ball bearing)}$$

$$C_o = \text{Static load rating} = 42.5 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao} = 0.6 \times 3.65 + 0.5 \times 3.751 = 4.066 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า F_o , C_o ลงในสมการ (49)

$$f_s = \frac{42.5}{4.066} = 10.45$$

เมื่อรับภาระหนัก (f_s (กำหนด)) มีค่าเท่ากับ 1.2-2.5 (ตารางผนวกที่ ข15)

∴ ดังนั้น $f_s \geq f_s$ (กำหนด) (สามารถใช้งานได้)

4. ตรวจสอบความเร็วพิกัดของแบร์ริง

$$N_g = \frac{Z_s \cdot Z_k \cdot N}{D - 10} \quad \text{รอบต่อนาที}$$

โดยที่ N_g = ความเร็วพิกัดของแบร์ริงลูกปืน (รอบต่อนาที)

$$Z_s = \text{แฟกเตอร์การหล่อลื่นด้วยจาระบี} = 1 \text{ (ตารางผนวกที่ ข16)}$$

$$N = \text{ความเร็วคงที่ปกติ} = 500000 \text{ (ตารางผนวกที่ ข17)}$$

$$Z_k = \text{แฟกเตอร์ของภาระ} = 0.91 \text{ (ภาพผนวกที่ ก13)}$$

$$D = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแบร์ริง} = 120 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$N_g = \frac{1 \times 0.91 \times 500000}{120 - 10} = 4136.36 \text{ รอบต่อนาที}$$

เนื่องจากความเร็วรอบการทำงานของเพลาลูกปืน (n) มีค่าเท่ากับ 540 รอบต่อนาที ดังนั้น

∴ $n < N_g$ (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

2.4) การคำนวณออกแบบเพลาลูกปืนตามชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก

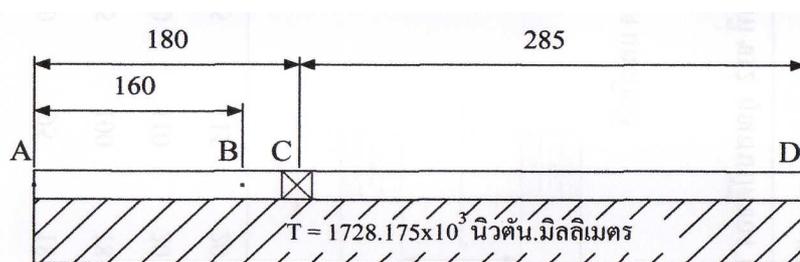
2.4.1) พิจารณาโมเมนต์บิดบนเพลาลูกปืนตามชุดเกียร์ทด

เนื่องจากเพลตามชุดเกียร์ได้รับกำลังต่อจากเพลาชั้ชุดเกียร์ด้วยขนาดกำลังสูงสุด 65.5 แรงม้า ที่ความเร็วรอบทำงาน 270 รอบต่อนาที ดังนั้นโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลตามชุดเกียร์สามารถคำนวณหาค่าได้ดังนี้

$$T = \frac{60.P}{2\pi n} = \frac{60 \times 65.5 \times 746}{2 \times \pi \times 270}$$

$$T = 1728.175 \times 10^3 \text{ นิวตัน.มิลลิเมตร}$$

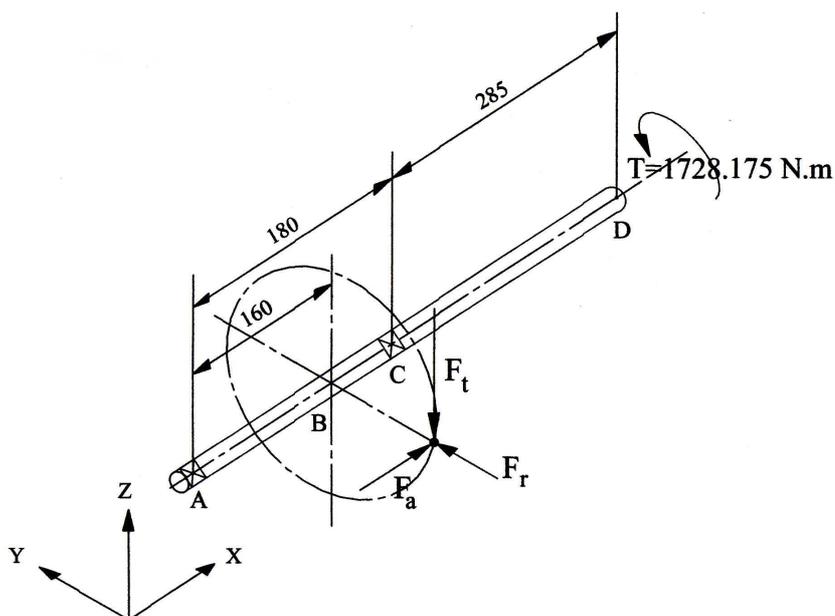
ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ แสดงในภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์

2.4.2) พิจารณาค่าแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองตามของเพลตามชุดเกียร์

เนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนเฟืองตามของเพลตามชุดเกียร์จะมีค่าเท่ากับแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองขับของเพลาชั้ชุดเกียร์ แต่มีทิศทางตรงกันข้าม โดยสามารถแสดงทิศทางของแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองตามของเพลตามชุดเกียร์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองตามของเพลตามชุดเกียร์

จากภาพที่ 44 ค่าของแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับเฟืองตามของเพลตามชุดเกียร์
 ทดมีค่าดังนี้

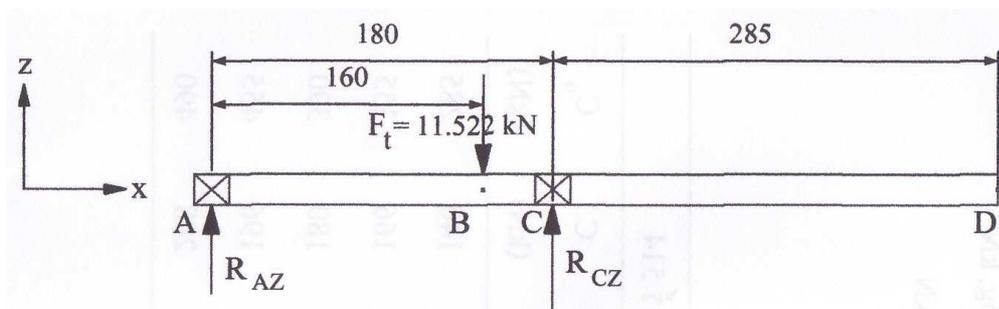
$$F_t = 11.522 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวเส้นสัมผัสเฟืองตาม)}$$

$$F_r = 1.875 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวรัศมีเฟืองตาม)}$$

$$F_a = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวแกนเฟืองตาม)}$$

2.4.3) คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทด

จากภาพที่ 44 สามารถสร้างไดอะแกรมของแรงที่เกิดขึ้นบนระนาบ X-Z ของเพลตามชุดเกียร์ทด โดยที่ตำแหน่ง B คือ ตำแหน่งแรงปฏิกิริยาของเฟืองดอกจอกกระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทด และตำแหน่ง A, C เป็นตำแหน่งที่ทำการติดตั้งแบร์ริงลูกปืน ดังแสดงในภาพที่ 45



ภาพที่ 45 ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทบบนระนาบ X-Z

พิจารณาสมดุลแรงในแนวแกน Z

$$\sum F_z = 0$$

$$R_{AZ} + R_{CZ} = 11.522 \quad (50)$$

พิจารณาสมดุลโมเมนต์ ณ ตำแหน่ง A

$$\sum M_A = 0 \text{ (ทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก)}$$

$$R_{CZ} = \frac{11.522 \times 160}{180} = 10.242 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า R_{CZ} ลงในสมการ (50) จะได้

$$R_{AZ} = 11.522 - 10.242$$

$$R_{AZ} = 1.28 \text{ กิโลนิวตัน}$$

พิจารณาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ บนเพลตามชุดเกียร์ทด

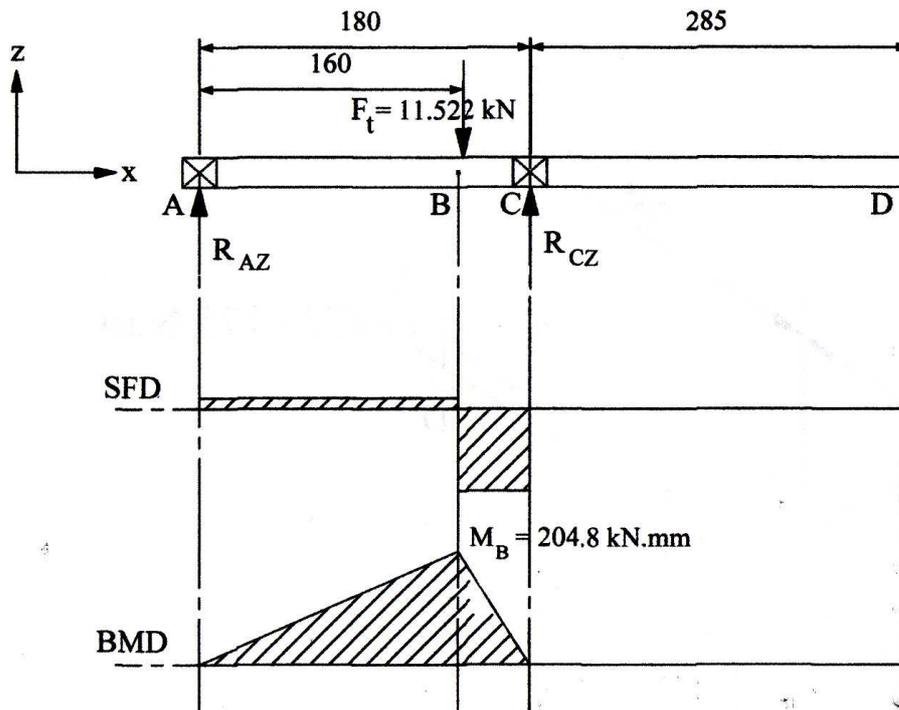
$$M_A = 0 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_B = 1.28 \times 160 = 204.8 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_C = 1.28 \times 180 - 11.522 \times 20 = 0 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

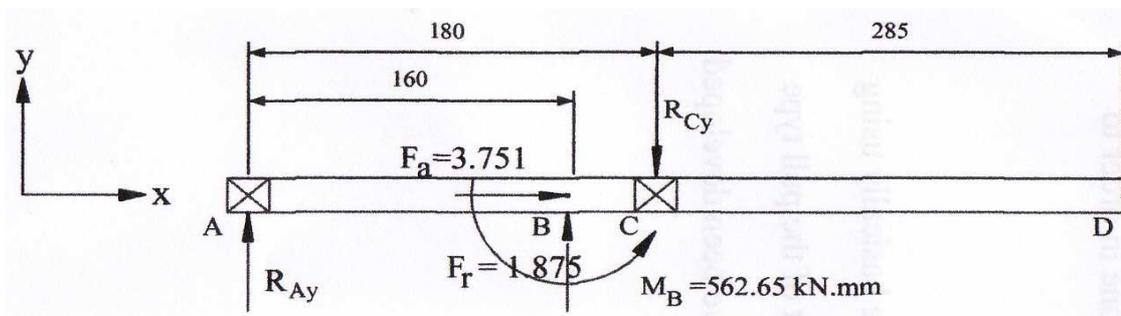
$$M_D = 99 \times 11.522 - 84 \times 13.58 = 0 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

จากการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์คัตที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทดบนระนาบ X-Z สามารถเขียนไดอะแกรมแรงเฉือน (Shear Force Diagram, SFD) และไดอะแกรมโมเมนต์คัต (Bending Moment Diagram, BMD) ของเพลตามชุดเกียร์ทดได้ ดังแสดงในภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์คัตที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Z

จากภาพที่ 44 ทำการสร้างไดอะแกรมของแรงที่เกิดขึ้นบนระนาบ X-Y ของเพลตามชุดเกียร์ทด ดังแสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 47 ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาต่างๆ ที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Y

พิจารณาค่าโมเมนต์คัต ณ ตำแหน่ง B เนื่องจากแรงในแนวแกน (F_a)

$$M_b = F_a \cdot \frac{d_g}{2} = 3.751 \times \frac{300}{2}$$

$$M_b = 562.65 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

พิจารณาสมดุลแรงในแนวแกน Y

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{CY} - R_{AY} = 1.875 \quad (51)$$

พิจารณาสมดุลโมเมนต์ ณ ตำแหน่ง A

$$\sum M_A = 0 \text{ (ทวนเข็มนาฬิกา)}$$

$$R_{CY} = \frac{(562.65) + (1.875 \times 160)}{180}$$

$$R_{CY} = 4.793 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า R_{CY} ลงในสมการ (51) จะได้

$$R_{AY} = 4.793 - 1.875$$

$$R_{AY} = 2.918 \text{ กิโลนิวตัน}$$

พิจารณาโมเมนต์คัตที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ บนเพลาตาม

$$M_A = 0$$

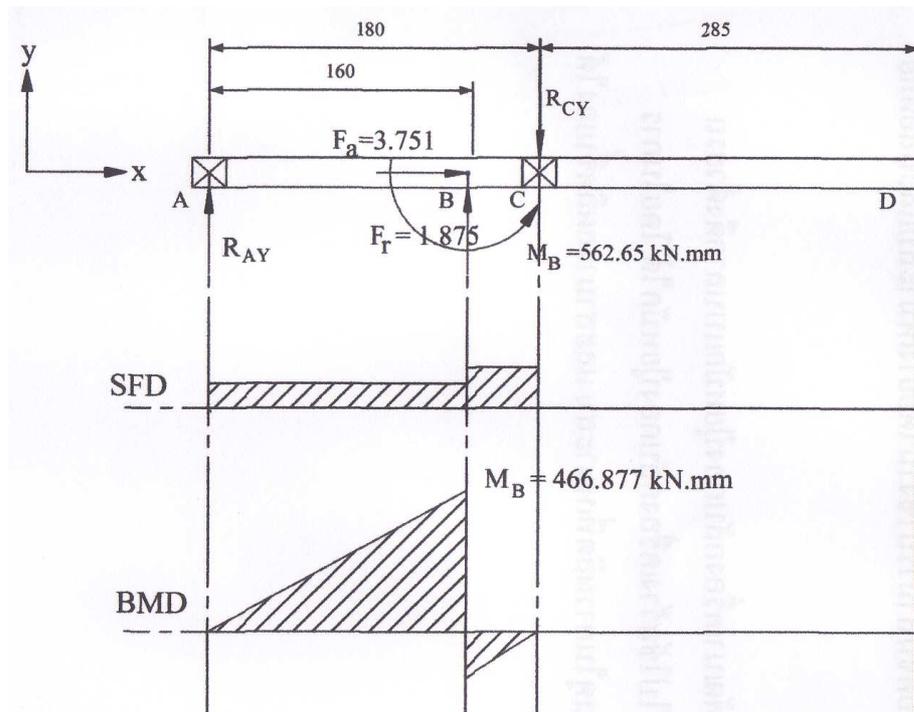
$$M_{B(A-B)} = 2.918 \times 159.999 = 466.877 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_{B(B-C)} = 2.918 \times 160 - 562.65 = -95.77 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_C = 2.918 \times 180 - 562.65 + 1.875 \times 20 = 0$$

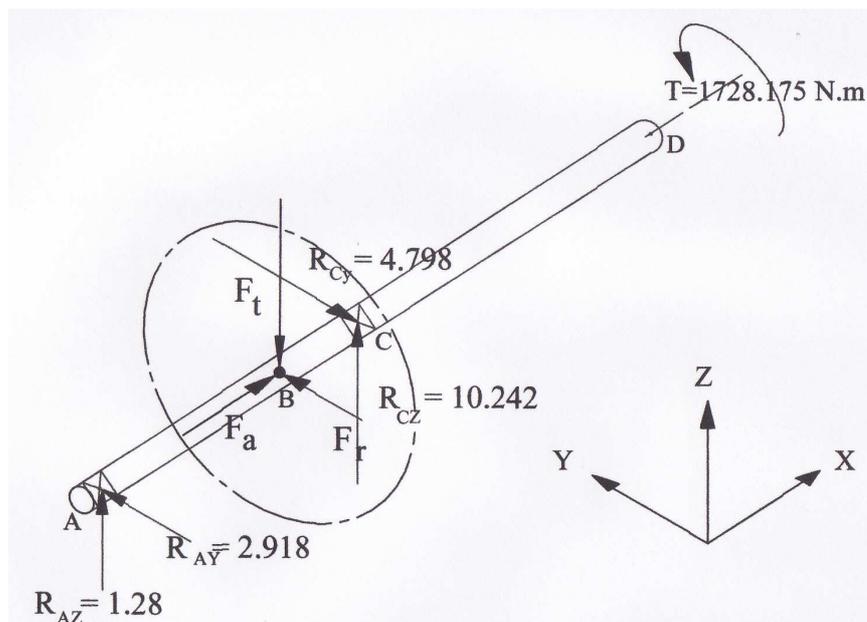
$$M_D = 0$$

จากการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์คัตที่กระทำกับเพลาตามชุดเกียร์ทดบนระนาบ X-Y สามารถเขียนไดอะแกรมแรงเฉือน (Shear Force Diagram, SFD) และไดอะแกรมโมเมนต์คัต (Bending Moment Diagram, BMD) ของเพลาตามชุดเกียร์ทดได้ ดังแสดงในภาพที่ 48



ภาพที่ 48 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์คัตที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทดในระนาบ X-Y

จากการพิจารณาแรงปฏิกิริยาทั้งสองระนาบที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทดข้างต้น สามารถสรุปแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทด ดังแสดงในภาพที่ 49



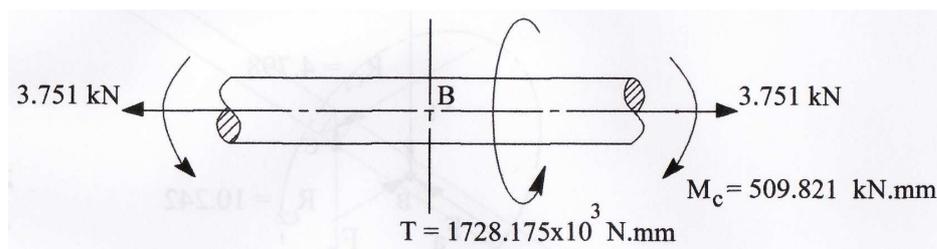
ภาพที่ 49 ไดอะแกรมค่าแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทด

2.4.4) การคำนวณออกแบบขนาดเพลตามชุดเกียร์ทด

จากการพิจารณาไดอะแกรมโมเมนต์คัตทั้งสองระนาบของเพลตามชุดเกียร์ทดข้างต้น พบว่าค่าโมเมนต์คัตสูงสุดที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง B ดังนั้นในการออกแบบขนาดเพลตามชุดเกียร์ทดจะทำการพิจารณาที่ตำแหน่ง B เพียงตำแหน่งเดียว โดยสามารถหาค่าโมเมนต์คัตรวมสูงสุดที่ตำแหน่ง B ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ที่ตำแหน่ง B} \quad M_B &= \sqrt{M_{x-y}^2 + M_{x-z}^2} \\ &= \sqrt{(466.877)^2 + (204.8)^2} \\ M_B &= 509.821 \text{ กิโลนิวตัน.มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

พิจารณาค่าแรงและค่าโมเมนต์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง B ดังแสดงในภาพที่ 50



ภาพที่ 50 แรงและโมเมนต์ต่างๆที่กระทำกับเพลตามชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง B

ในการออกแบบเพลตามชุดเกียร์ทดเลือกใช้วัสดุเพลลา คือ เหล็กกล้า AISI 1020CD มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (ตารางผนวกที่ ข4)

ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด, $\sigma_u = 470$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความต้านแรงดึงคราก, $\sigma_y = 390$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความเค้นดึงจากที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทด

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \frac{F}{A} = \frac{4 \times 3.751 \times 10^3}{\pi d^2} \\ \sigma_a &= \frac{4.776 \times 10^3}{d^2} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ค่าความเค้นดึงจากที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทดเนื่องจากโมเมนต์คัต

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M.c}{I} = \frac{32.M}{\pi d^3} = \frac{32 \times 509.821 \times 10^3}{\pi d^3} \\ \sigma_b &= \frac{5.193 \times 10^6}{d^3} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นความเค้นตั้งฉากรวม มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_a + \sigma_b \\ \sigma &= \frac{4.776 \times 10^3}{d^2} + \frac{5.193 \times 10^6}{d^3} \quad \text{นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร} \quad (52)\end{aligned}$$

ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทดเนื่องจากโมเมนต์บิด

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{T \cdot r}{J} = \frac{16 \cdot T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 1728.175 \times 10^3}{\pi d^3} \\ \tau &= \frac{8.802 \times 10^6}{d^3} \quad \text{นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร} \quad (53)\end{aligned}$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (The maximum shear stress theory)

$$\frac{1}{N} = \sqrt{\left(\frac{\tau}{\tau_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right)^2} \quad (54)$$

โดยที่ $\tau_y = 0.5 \times 390 = 195$

ค่าความปลอดภัยออกแบบ $N = 4$

แทนค่าสมการ (52) และสมการ (53) ลงในสมการ (54) จะได้

$$\frac{1}{4} = \sqrt{\left(\frac{8.802 \times 10^6}{195 d^3}\right)^2 + \left[\frac{\left(\frac{4.776 \times 10^3}{d^2}\right) + \left(\frac{5.193 \times 10^6}{d^3}\right)}{390}\right]^2}$$

จากวิธีการ Trial and Error จะค่าได้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลตามชุดเกียร์ทรมีค่าเท่ากับ 57.39 มิลลิเมตร ดังนั้นในการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลตามชุดเกียร์ทด จะต้องออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดความยาวเพลามีค่าไม่น้อยกว่า 57.39 มิลลิเมตร จึงจะสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

2.4.5) การคำนวณออกแบบเพลาล้อมและรื่องลุ่มบนเพลตามชุดเกียร์ทด

เนื่องจากการออกแบบเพลตามชุดเกียร์ทด จะมีการติดตั้งเฟืองคอกออกและคัปปลิงหน้าแปลนบนเพลตาม ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณออกแบบเพลาล้อมสำหรับติดตั้งเฟือง

ดอกจอกและการออกแบบร่องลิ้นสำหรับติดตั้งคัปปลิงหน้าแปลนให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ก. การคำนวณออกแบบเพลาลิ้น

เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลตามชุดเกียร์ทดมีขนาดไม่น้อยกว่า 57.39 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้เพลาลิ้นที่มีรหัส 10x72x68 ตามมาตรฐาน ISO/R14 ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข21)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด (D) มีค่าเท่ากับ 72 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุด (d) มีค่าเท่ากับ 68 มิลลิเมตร
- จำนวนฟันลิ้น (Z) มีค่าเท่ากับ 10 ฟัน
- ความกว้างฟันลิ้น (B) มีค่าเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

ค่าความปลอดภัยในการออกแบบเพลาลิ้น $N = 6$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{390}{6} = 65 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลิ้นเฉลี่ย

$$d_m = \frac{D+d}{2} = \frac{72+68}{2} = 70 \text{ มิลลิเมตร}$$

ความสูงของฟันลิ้น

$$h = \frac{D-d}{2} = \frac{72-68}{2} = 2 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากสูตรคำนวณความยาวเพลาลิ้น

$$L \geq \frac{2.T}{d_m \cdot h \cdot (0.75) \cdot Z \cdot \sigma_d} = \frac{2 \times 1728.175 \times 10^3}{70 \times 2 \times 0.75 \times 10 \times 65}$$

$$L \geq 50.642 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นในการออกแบบความยาวเพลาลิ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทด เพื่อทำการติดตั้งเฟืองดอกจอก จะออกแบบให้มีความยาวของเพลาลิ้นมีค่าเท่ากับ 55 มิลลิเมตร

ข. การออกแบบร่องลิ้นบนเพลตามชุดเกียร์ทดเพื่อติดตั้งคัปปลิงหน้าแปลน

เนื่องจากเพลตามชุดเกียร์ทดที่ทำการเซาะร่องลิ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 70 มิลลิเมตร จึงเลือกใช้ลิ้น Rectangular key (20x12) ตามมาตรฐาน ISO/R773 (ตารางผนวกที่ ข10) ในส่วนของความยาวร่องลิ้นจะออกแบบให้มีขนาดเท่ากับความยาวร่องลิ้นของคัปปลิงหน้าแปลนที่ทำการติดตั้งซึ่งมีขนาดความยาวร่องลิ้นเท่ากับ 90 มิลลิเมตร

2.4.6) การคำนวณออกแบบแบริ่งรองรับที่ตำแหน่ง A ของเพลตามชุดเกียร์ทด

เนื่องจากการออกแบบเพลตามชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง A ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้แบริ่งลูกปืนชนิด Deep Groove Ball Bearing เบอร์ 6312 ตามมาตรฐาน (DIN625) ซึ่งมีค่ากำหนดต่างๆ ดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข11)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก (D) มีค่าเท่ากับ 130 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน (d) มีค่าเท่ากับ 60 มิลลิเมตร
- ความหนาของตัวแบริ่ง (B) มีค่าเท่ากับ 31 มิลลิเมตร
- ค่า Dynamic load rating, C มีค่าเท่ากับ 64 กิโลนิวตัน
- ค่า Static load rating, C₀ มีค่าเท่ากับ 48 กิโลนิวตัน

พิจารณาแรงปฏิกิริยาที่จุด A บนเพลตามชุดเกียร์ทด

$$R_A = \sqrt{R_{AZ}^2 + R_{AY}^2} = \sqrt{1.28^2 + 2.918^2}$$

$$F_r = R_A = 3.186 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวรัศมี)}$$

$$F_a = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวแกน)}$$

การตรวจสอบการใช้งานแบริ่งที่เลือกใช้

1. ประสิทธิภาพในการรับ Dynamic Load

$$L = 10^6 \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x \text{ รอบ} \quad (55)$$

โดย f_H = แฟกเตอร์ความแข็งแรง Temp 150 C^o = 1 (ตารางผนวกที่ ข14)

$x = 3$ สำหรับ Ball Bearing ทุกชนิด

$$F = \text{Dynamic Equivalent Load} = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$X =$ แฟกเตอร์แรงในแนวรัศมี Ball Bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

$Y =$ แฟกเตอร์แรงในแนวแกน Ball bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

$$C = \text{Dynamic load rating} = 64 \text{ กิโลนิวตัน}$$

การคำนวณค่า X, Y (ตารางผนวกที่ ข13)

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{3.751}{48} = 0.078 \text{ ทำการ Interpolate (ตารางผนวกที่ ข13)}$$

จะได้ค่า $e = 0.276$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{3.751}{3.186} = 1.177$$

เนื่องจาก $\frac{F_a}{F_r} > e$ ดังนั้นค่า $X = 0.56$ ทำการ Interpolate (ตารางผนวกที่

ข13) จะได้ค่า $Y = 1.584$

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.56 \times 3.186 + 1.584 \times 3.751$$

$$F = 7.726 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า F และค่าต่างๆ ลงในสมการ (55) จะได้

$$L = 10^6 \left[1 \times \frac{64}{7.726} \right]^3 = 5.684 \times 10^8 \text{ รอบ}$$

2. ตรวจสอบการใช้งานแบร์ริงคิดเป็นชั่วโมงทำงาน

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60} = \frac{5.684 \times 10^8}{270 \times 60}$$

$$L_h = 35086.42 \text{ ชั่วโมง}$$

ชุดเฟืองทด $L_{h(\text{กำหนด})} = 8000 - 15000$ ชั่วโมง (ตารางผนวกที่ ข18)

\therefore ดังนั้น $L_h \geq L_{h(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

3. การรับภาระสถิต

$$f_s = \frac{C_o}{F_o}$$

โดยที่ $f_s =$ ค่ากำหนดในการใช้งาน

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao}$$

$$F_{ro} = \text{แรงคงที่ในแนวรัศมี (กิโลนิวตัน)} = 3.186 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$F_{ao} = \text{แรงคงที่ในแนวแกน (กิโลนิวตัน)} = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$X_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวรัศมี} = 0.6 \text{ (Deep groove ball bearing)}$$

$$Y_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวแกน} = 0.5 \text{ (Deep groove ball bearing)}$$

$$C_o = \text{Static load rating} = 48 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao} = 0.6 \times 3.186 + 0.5 \times 3.751$$

$$F_o = 3.787 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$f_s = \frac{C_o}{F_o} = \frac{48}{3.787} = 12.675$$

เมื่อรับภาระหนัก ($f_{s(\text{กำหนด})}$) มีค่าเท่ากับ 1.2-2.5 (ตารางผนวกที่ ข15)

\therefore ดังนั้น $f_s \geq f_{s(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

4. ตรวจสอบความเร็วพิกัดของแบร์ริง

$$N_g = \frac{Z_s \cdot Z_k \cdot N}{D - 10} \text{ รอบต่อนาที}$$

โดยที่ $Z_s =$ แฟกเตอร์การหล่อลื่นด้วยจาระบี = 1 (ตารางผนวกที่ ข16)

$$N = \text{ความเร็วคงที่ปกติ} = 500000 \text{ (ตารางผนวกที่ ข17)}$$

$$Z_k = \text{แฟกเตอร์ของภาระ} = 0.92 \text{ (ตารางผนวกที่ ข13)}$$

$$D = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแบริ่ง} = 130 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$N_g = \frac{1 \times 0.92 \times 500000}{130 - 10} = 3833.333 \text{ รอบต่อนาที}$$

เนื่องจากความเร็วรอบทำงานของเพลตามชุดเกียร์ทด (n) มีค่าเท่ากับ 540 รอบต่อนาที

$$\therefore \text{ดังนั้น } n < N_g \quad (\text{สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย})$$

2.4.7) การคำนวณออกแบบแบริ่งรองรับที่ตำแหน่ง C ของเพลตามชุดเกียร์ทด

เนื่องจากการออกแบบเพลตามชุดเกียร์ทด ณ ตำแหน่ง C ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลเท่ากับ 75 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้แบริ่งลูกปืนชนิด Thrust Ball Bearing เบอร์ 51315 ตามมาตรฐาน (DIN711) ซึ่งมีค่ากำหนดต่างๆ ดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข12)

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก (D) มีค่าเท่ากับ 135 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน (d) มีค่าเท่ากับ 75 มิลลิเมตร
- ความหนาของตัวแบริ่ง (B) มีค่าเท่ากับ 44 มิลลิเมตร
- ค่า Dynamic load rating, C มีค่าเท่ากับ 134 กิโลนิวตัน
- ค่า Static load rating, C₀ มีค่าเท่ากับ 315 กิโลนิวตัน

พิจารณาแรงปฏิกิริยาที่จุด C บนเพลตามชุดเกียร์ทด

$$R_C = \sqrt{R_{CZ}^2 + R_{CY}^2} = \sqrt{10.242^2 + 4.798^2}$$

$$F_T = R_C = 11.31 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวรัศมี)}$$

$$F_a = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน (แรงตามแนวแกน)}$$

การตรวจสอบการใช้งานแบริ่งที่เลือกใช้

1. ประสิทธิภาพในการรับ Dynamic Load

$$L = 10^6 \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x \text{ รอบ} \quad (56)$$

โดย $f_H = \text{แฟกเตอร์ความแข็งแรง Temp } 150 \text{ } C^0 = 1 \text{ (ตารางผนวกที่ ข14)}$

$x = 3$ สำหรับ Ball Bearing ทุกชนิด

$$F = \text{Dynamic Equivalent Load} = X \cdot F_T + Y \cdot F_a$$

$X = \text{แฟกเตอร์แรงในแนวรัศมี (ตารางผนวกที่ ข13)}$

$Y = \text{แฟกเตอร์แรงในแนวแกน (ตารางผนวกที่ ข13)}$

$$C = \text{Dynamic load rating} = 134 \text{ กิโลนิวตัน}$$

การคำนวณค่า X, Y (ตารางผนวกที่ ข13)

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{3.751}{315} = 0.012 \text{ จะได้ค่า } e = 0.19$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{3.751}{11.31} = 0.332$$

เนื่องจาก $\frac{F_a}{F_r} > e$ ดังนั้นค่า $X = 0.56$, $Y = 2.3$

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0.56 \times 11.31 + 2.3 \times 3.751$$

$$F = 14.961 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่า F และค่าต่างๆ ลงในสมการ (56) จะได้

$$L = 10^6 \left[1 \times \frac{134}{14.961} \right]^3 = 7.185 \times 10^8 \text{ รอบ}$$

2. ตรวจสอบการใช้งานแบร์ริงคิดเป็นชั่วโมงทำงาน

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60} = \frac{7.185 \times 10^8}{270 \times 60}$$

$$L_h = 44351.852 \text{ ชั่วโมง}$$

ชุดเฟืองทด $L_{h(\text{กำหนด})} = 8000 - 15000$ ชั่วโมง (ตารางผนวกที่ ข18)

∴ ดังนั้น $L_h \geq L_{h(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

3. การรับภาระสถิต

$$f = \frac{C_o}{F_o}$$

โดยที่ $f_s =$ ค่ากำหนดในการใช้งาน

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao}$$

$$F_{ro} = \text{แรงคงที่ในแนวรัศมี (กิโลนิวตัน)} = 11.31 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$F_{ao} = \text{แรงคงที่ในแนวแกน (กิโลนิวตัน)} = 3.751 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$X_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวรัศมี} = 0.56 \text{ (ตารางผนวกที่ ข13)}$$

$$Y_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวแกน} = 2.3 \text{ (ตารางผนวกที่ ข13)}$$

$$C_o = \text{Static load rating} = 315 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao} = 0.56 \times 11.31 + 2.3 \times 3.751$$

$$F_o = 14.961 \text{ กิโลนิวตัน}$$

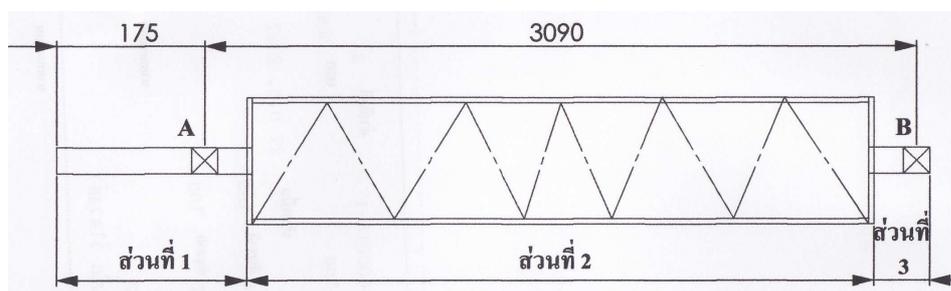
$$f_s = \frac{315}{14.961} = 21.055$$

เมื่อรับภาระหนัก (f_s (กำหนด)) มีค่าเท่ากับ 1.2-2.5 (ตารางผนวกที่ ข15)

\therefore ดังนั้น $f_s \geq f_s$ (กำหนด) (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

3) การคำนวณออกแบบชุดเพลากลັบกองปู้ย

ชุดเพลากลັบกองปู้ยที่ได้ทำการออกแบบมีลักษณะรูปร่าง ดังแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ลักษณะรูปร่างชุดเพลากลັบกองปู้ย

จากภาพที่ 51 แสดงลักษณะรูปร่างชุดเพลากลັบกองปู้ยที่ได้ทำการออกแบบ โดยวัสดุที่เลือกใช้ทำชุดเพลากลັบกองปู้ยผลิตจากวัสดุ เหล็กกล้าไร้สนิม SS304 เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของปู้ยหมักและน้ำสำ โดยที่ชุดเพลากลັบกองปู้ยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เพลามีลักษณะเป็นเพลาดันออกแบบให้สามารถติดตั้งคัปปลิงหน้าแปลนเพื่อรับกำลังจากชุดเกียร์ทด และสามารถติดตั้งเบร้งลูกป้อน ณ ตำแหน่ง A เพื่อรองรับน้ำหนักชุดเพลากลັบกองปู้ย ส่วนที่ 2 เพลามีลักษณะเป็นเพลากลางออกแบบให้มีความยาวเพลาท่ากับความกว้างกองปู้ยหมัก โดยที่ผิวนอกของเพลามีการติดตั้งใบมีดขนาด 250x70x5 มิลลิเมตร จำนวน 72 ใบ โดยที่การจัดเรียงใบมีด 36 ใบ เรียงตัวกันเป็นเกลียววนซ้ายจากทางด้านซ้ายของเพลากลาง และใบมีดอีก 36 ใบ เรียงตัวกันเป็นเกลียววนขวาจากทางด้านขวาของเพลากลาง โดยมีค่าระยะพิตซ์เกลียวเท่ากับ 500 มิลลิเมตร และในส่วนที่ 3 เพลามีลักษณะเป็นเพลาดันออกแบบให้สามารถติดตั้งเบร้งลูกป้อน ณ ตำแหน่ง B เพื่อรองรับน้ำหนักชุดเพลากลັบกองปู้ย โดยในการประกอบเพลาทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกันจะทำการประกอบด้วยการเชื่อม

เนื่องจากการออกแบบลักษณะการจัดเรียงของใบมีดบนชุดเพลากลັบกองปู้ยดังกล่าว มีลักษณะการจัดเรียงใบมีดเป็นเกลียวหันเข้าหากัน จึงทำให้สภาพกองปู้ยหมักหลังจากถูกกลັบกองแล้ว มีสภาพการรวมกองปู้ยที่สูงขึ้น และในการออกแบบลักษณะการจัดเรียงของใบมีดดังกล่าวยังเป็นการช่วยลดแรงดันในแนวแกนของชุดเพลากลັบกองปู้ยได้อีกด้วย

3.1) พิจารณาโมเมนต์บิดบนชุดเพลากลັบกองป้อน

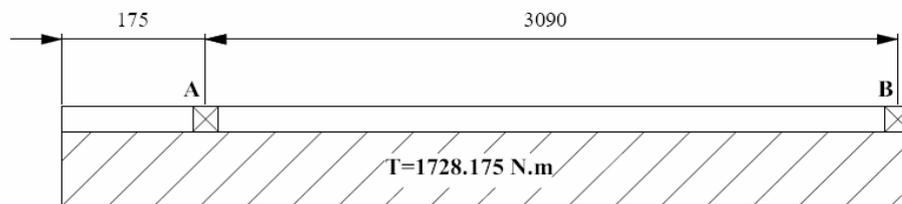
เนื่องจากชุดเพลากลັบกองป้อนรับกำลังงานสูงสุดในการกลັบกองป้อนมีค่าเท่ากับ 65.5 แรงม้า ที่ความเร็วรอบทำงานของชุดเพลากลັบกองป้อน 270 รอบต่อนาที ดังนั้น โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับชุดเพลากลັบกองป้อนสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

โมเมนต์บิดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชุดเพลากลັบกองป้อน

$$T = \frac{60.P}{2\pi n} = \frac{60 \times (65.5 \times 746)}{2 \times \pi \times 270}$$

$$T = 1728.175 \text{ นิวตัน.เมตร}$$

ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนชุดเพลากลັบกองป้อน ดังแสดงในภาพที่ 52

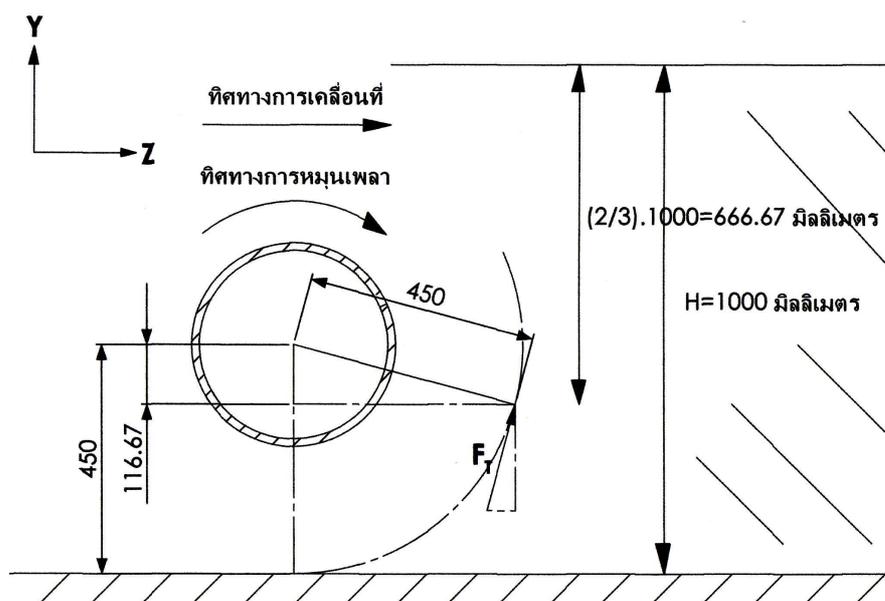


ภาพที่ 52 ไดอะแกรมโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนชุดเพลากลັบกองป้อน

3.2) พิจารณาค่าแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับชุดเพลากลັบกองป้อน

จากการสืบค้นข้อมูล ไม่มีทฤษฎีไดอะริบายแรงที่กระทำต่อใบมีดของชุดเพลากลັบกองป้อนที่ได้ทำการออกแบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ทฤษฎีแรงที่ใช้ในการตัดดินของใบมีดเครื่องไถพรวนจอบหมุนให้กระทำกับใบมีดเพียงใบเดียวบนชุดเพลากลັบกองป้อนที่ติดตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่าง แบริ่งลูกปืนทั้งสองบนชุดเพลากลັบกองป้อน เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดบนชุดเพลากลັบกองป้อน โดยมีจุดรวมแรงที่กระทำต่อใบมีดของชุดเพลากลັบกองป้อนเท่ากับระยะในแนวตั้งที่วัดจากผิวบนของป้อนที่ยังไม่ถูกกลັบกองเป็นระยะเท่ากับ $\frac{2}{3} \cdot H$ ดังแสดงใน

ภาพที่ 53



ภาพที่ 53 แรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่กองปู้ยหมักกระทำกับใบมีดของชุดเพลากลับกองปู้ยขณะกลับกอง

ดังนั้นแรงปฏิกิริยาที่กองปู้ยหมักกระทำกับชุดเพลากลับกองปู้ยมีค่าเท่ากับ
(แรงปฏิกิริยาที่กองปู้ยหมักกระทำกับชุดเพลากลับกองปู้ยมีค่าเท่ากับแรงที่ใช้ในการตัดดิน)

$$F_T = \frac{71620 \cdot N_c \cdot P_c}{n \cdot R}$$

โดยที่ N_c = แรงม้าเครื่องยนต์ = $65.5 \times 1.0139 = 66.41$ แรงม้า(PS)

P_c = ประสิทธิภาพในการส่งกำลัง = 80 %

n = ความเร็วรอบทำงานชุดเพลาลูก = 270 รอบต่อนาที

R = รัศมีหมุนของใบมีด = 45 เซนติเมตร

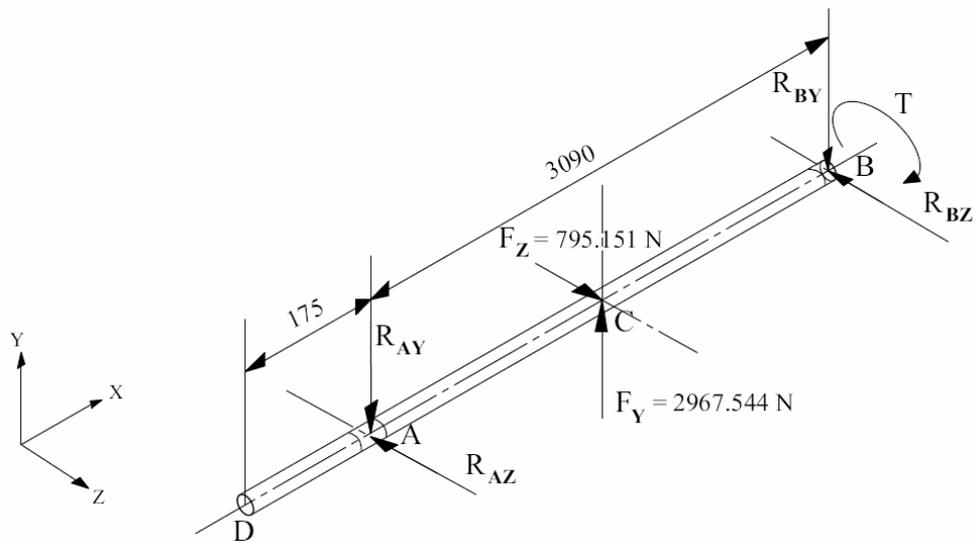
$$F_T = \frac{71620 \times (65.5 \times 1.0139) \times 0.8}{270 \times 45}$$

$$F_T = 313.173 \text{ กิโลกรัม} = 3072.228 \text{ นิวตัน}$$

พิจารณาแรง F_T ในภาพที่ 53 ให้อยู่ในแนวแกน Y และแนวแกน Z

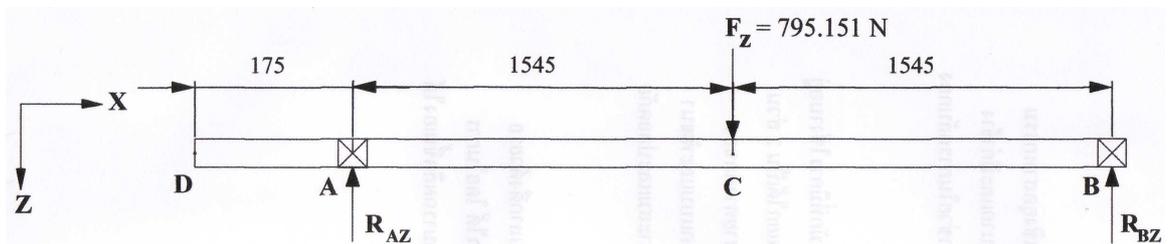
$$F_Y = 3072.228 \times \cos 15 = 2967.544 \text{ นิวตัน}$$

$$F_Z = 3072.228 \times \sin 15 = 795.151 \text{ นิวตัน}$$



ภาพที่ 54 ไดอะแกรมแรงปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนจุดเพลากลับกอนง์

จากภาพที่ 54 ทำการสร้างไดอะแกรมแรงที่กระทำกับจุดเพลากลับกอนง์บนระนาบ X-Z ดังแสดงในภาพที่ 55



ภาพที่ 55 ไดอะแกรมของแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อจุดเพลากลับกอนง์บนระนาบ X-Z

พิจารณาแรงปฏิกิริยากระทำกับจุดเพลากลับกอนง์

$$\sum F_z = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = F_z = 795.151 \text{ นิวตัน}$$

$$\sum M_A = 0 \text{ (ตามเข็มนาฬิกา)}$$

$$R_{BZ} = \frac{795.151 \times 1545}{3090} = 397.576 \text{ นิวตัน}$$

$$\therefore R_{AZ} = R_{BZ} = 397.576 \text{ นิวตัน}$$

พิจารณาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนจุดเพลากลีบกองปู้ย

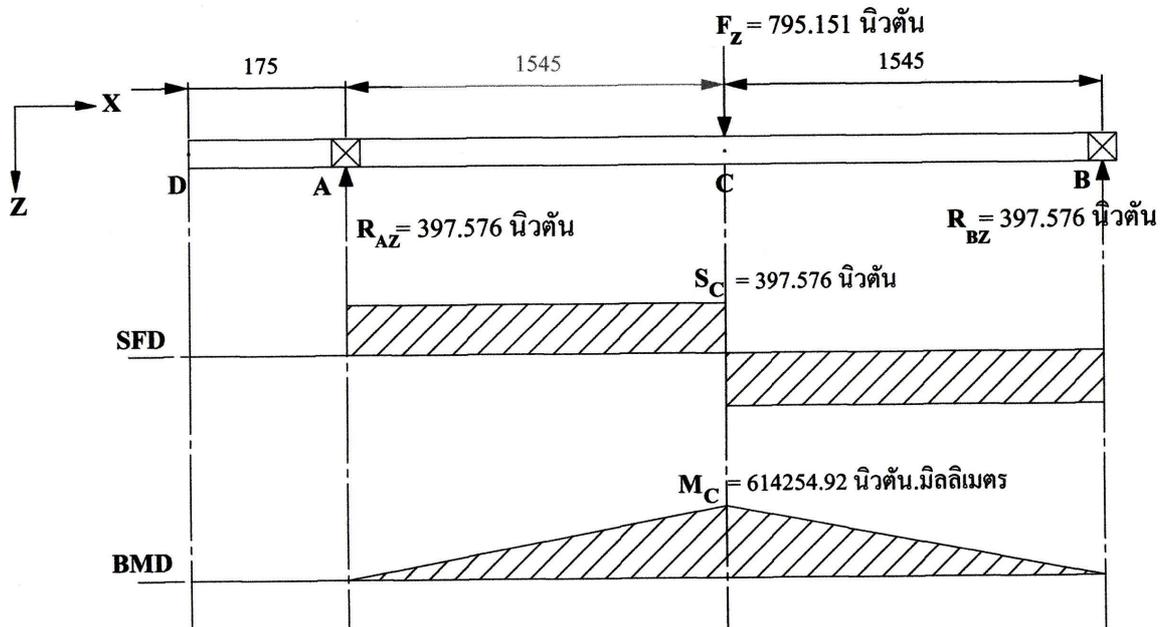
$$M_D = 0$$

$$M_A = 0$$

$$M_C = (397.576) \cdot (1545) = 614254.92 \text{ นิวตัน.มิลลิเมตร}$$

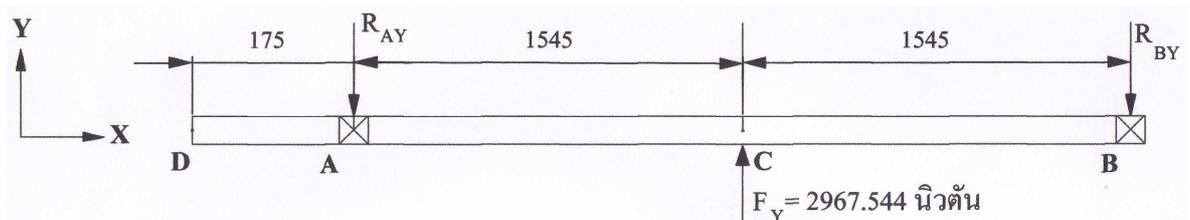
$$M_B = (397.576) \cdot (3090) - (795.151) \cdot (1545) \approx 0$$

จากการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ดัดที่กระทำกับจุดเพลากลีบกองปู้ยบนระนาบ X-Z สามารถเขียนไดอะแกรมของแรงเฉือน (Shear Force Diagram, SFD) และโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram, BMD) ดังแสดงในภาพที่ 56



ภาพที่ 56 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนจุดเพลากลีบกองปู้ยบนระนาบ X-Z

จากภาพที่ 54 ทำการสร้างไดอะแกรมแรงที่กระทำกับจุดเพลากลีบกองปู้ยบนระนาบ X-Y ดังแสดงในภาพที่ 57



ภาพที่ 57 ไดอะแกรมของแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อจุดเพลากลีบกองปู้ยบนระนาบ X-Y

พิจารณาแรงปฏิกิริยากระทำกับจุดเพลาถลบกงปู้

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} = F_Y = 2967.544 \text{ นิวตัน}$$

$$\sum M_A = 0 \text{ (ตามเข็มนาฬิกา)}$$

$$R_{BY} = \frac{2967.544 \times 1545}{3090} = 1483.772 \text{ นิวตัน}$$

$$\therefore R_{AY} = R_{BY} = 1483.772 \text{ นิวตัน}$$

พิจารณาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนจุดเพลาถลบกงปู้

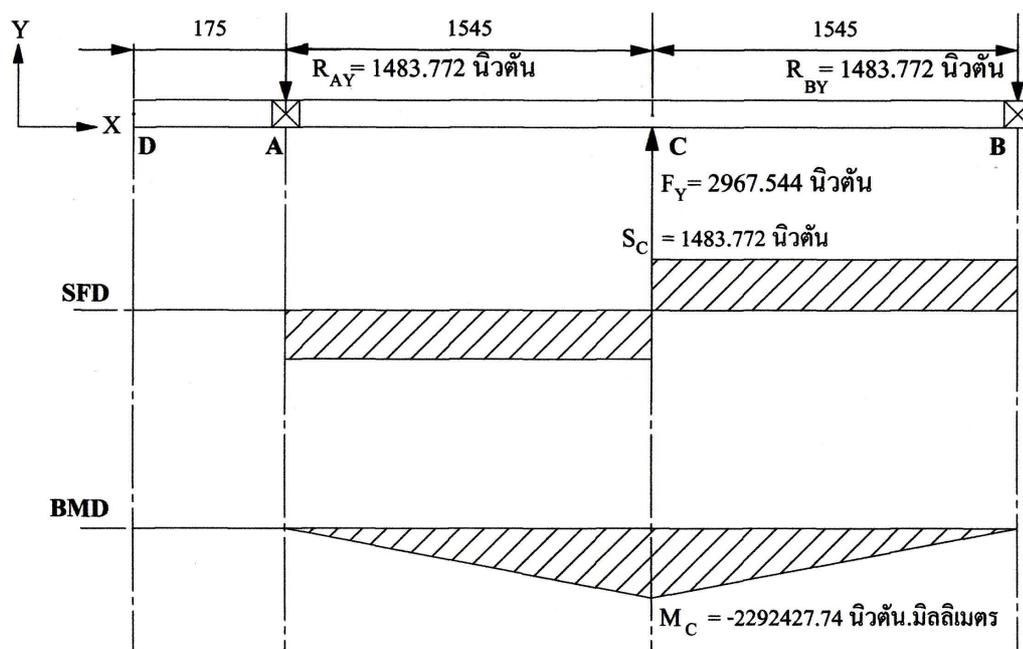
$$M_D = 0$$

$$M_A = 0$$

$$M_C = (-1483.772) \cdot (1545) = -2292427.74 \text{ นิวตัน.มิลลิเมตร}$$

$$M_B = (-1483.772) \cdot (3090) + (2967.544) \cdot (1545) \approx 0$$

จากการคำนวณหาค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์ดัดที่กระทำกับจุดเพลาถลบกงปู้บนระนาบ X-Y สามารถเขียนไดอะแกรมของแรงเฉือน (Shear Force Diagram, SFD) และโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram, BMD) ดังแสดงในภาพที่ 58



ภาพที่ 58 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนจุดเพลาถลบกงปู้บนระนาบ X-Y

3.3) คำนวณออกแบบขนาดชุดเพลากลັບกองปั๊

กำหนดวัสดุทำชุดเพลากลັบกองปั๊ผลิตจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีคุณสมบัติวัสดุดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข3)

- ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (σ_u) = 505 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร
- ค่าความต้านแรงดึงคราก (σ_y) = 215 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร
- ค่าความเค้นเฉือน $\tau = 0.18 \times 505 = 90.9$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

3.3.1) คำนวณขนาดเพลาดันที่ตำแหน่ง D จากสูตรการออกแบบเพล่า ASME Code

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

$$\text{โดยที่ } \tau_t = 90.9 \times 0.75 = 68.175 \text{ (เพล่าเซาระ่องลิ้ม)}$$

$$C_t = 2.5 \text{ (เพล่ามีการหมุน), (ตารางผนวกที่ 6)}$$

$$M_D = 0, T = 1728.175 \text{ นิวตัน.เมตร}$$

$$D_D = \sqrt[3]{\frac{16 \times C_t \times T}{\pi \cdot \tau_t}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 2.5 \times 1.728 \times 10^6}{\pi \times 68.175}}$$

$$D_D = 68.592 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นในการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาดันที่ตำแหน่ง D ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล่าไม่น้อยกว่า 68.592 มิลลิเมตร

3.3.2) คำนวณขนาดเพลาดันที่จุด A ตามการออกแบบเพล่า ASME Code.

$$D_A = \sqrt[3]{\frac{16 \times C_t \times T}{\pi \cdot \tau}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 2.5 \times 1.728 \times 10^6}{\pi \times 90.9}}$$

$$D_A = 62.32 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นในการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาดันที่ตำแหน่ง A ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล่าไม่น้อยกว่า 68.592 มิลลิเมตร

3.3.3) คำนวณออกแบบขนาดเพล่ากลวงที่ C

ในการออกแบบชุดเพล่ากลັบกองปั๊ในส่วนของเพล่ากลวง จะเลือกใช้เพล่ากลวงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมีค่าเท่ากับ 400 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร ความยาวเพล่ามีค่าเท่ากับ 3000 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการตรวจสอบค่าความปลอดภัยของเพล่ากลวงที่เลือกใช้ ว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ดังมีรายละเอียดการตรวจสอบดังต่อไปนี้

ก. พิจารณาค่าความเค้นเฉือนเนื่องจากโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนเพลากลวง

$$\tau_T = \frac{T \cdot r}{J}$$

โดยที่ - ค่าโมเมนต์บิด (T) มีค่าเท่ากับ 1728.175×10^3 นิวตัน.มิลลิเมตร

- รัศมีผิวนอกของเพลากลวง (r) มีค่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร

- ค่าโพลาไรซ์โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลากลวง

$$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)$$

- d_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในเพลากลวง

- d_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเพลากลวง

$$J = \frac{\pi}{32} (400^4 - 384^4) = 378633392.2 \text{ มิลลิเมตร}^4$$

$$\tau_T = \frac{1728.175 \times 10^3 \times 200}{378633392.2}$$

$$\tau_T = 0.913 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ข. พิจารณาค่าความเค้นดัดเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนเพลากลวง

$$\sigma_b = \frac{M \cdot c}{I}$$

โดยที่ - ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด ณ ตำแหน่งจุด C มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} M_C &= \sqrt{(614254.92)^2 + (-2292427.74)^2} \\ &= 2373296.031 \text{ นิวตัน.มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

- ระยะทางจากจุดพิจารณาถึงแกนสะเทิน (c) = 200 มิลลิเมตร

- ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I) สามารถหาได้ดังนี้

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (400^4 - 384^4) = 189316696.1 \text{ มิลลิเมตร}^4$$

$$\sigma_b = \frac{2373296.031 \times 200}{189316696.1}$$

$$\sigma_b = 2.507 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

สรุปค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนเพลากลวง

$$\tau_T = 0.913 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\sigma_b = 2.507 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

$$\frac{\sigma_y}{N} = \left[\sigma_b^2 + 3\tau_T^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{215}{N} = \left[(2.507)^2 + 3.(0.913)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$N = \frac{215}{2.969} = 72.415$$

ดังนั้นค่าความปลอดภัยที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 72.415 ดังนั้นชุดเพลากลับกองปู้ยในส่วนที่เป็นเพลางกลมที่ได้ทำการออกแบบสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

3.3.4) กำหนดขนาดเพลาดันที่จุด B ตามการออกแบบเพลา ASME Code.

$$D_B = \sqrt[3]{\frac{16xC_t \times T}{\pi \cdot \tau}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 2.5 \times 1.728 \times 10^6}{\pi \times 90.9}}$$

$$D_B = 62.32 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นในการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาดันที่ตำแหน่ง B ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาน้อยกว่า 62.32 มิลลิเมตร

3.4) การคำนวณออกแบบคัปปลิงหน้าแปลนที่ติดตั้งบนชุดเพลากลับกองปู้ย

เนื่องจากเพลาดันที่ตำแหน่ง D บนชุดเพลากลับกองปู้ยที่ทำติดตั้งคัปปลิงหน้าแปลนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 70 มิลลิเมตร ดังนั้นการเลือกใช้คัปปลิงหน้าแปลนจะเลือกใช้จากตารางมาตรฐาน JIS B 1451 – 1975 (ตารางผนวกที่ ข5) ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

- เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าแปลนเท่ากับ 250 มิลลิเมตร
- ระยะความยาวของหน้าแปลนเท่ากับ 90 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล๊อคคัม 125 มิลลิเมตร
- วงกลมพิตช์ของรูร้อยสลักเกลียว 180 มิลลิเมตร
- ความหนาของหน้าแปลน 28 มิลลิเมตร
- จำนวนสลักเกลียวร้อยหน้าแปลน 8 ตัว

กำหนดวัสดุคัปปลิงหน้าแปลน คือ AISI 1020CD มีคุณสมบัติวัสดุดังนี้ (ตารางผนวกที่ ข4)

ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด, $\sigma_u = 470$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความต้านแรงดึงคราก, $\sigma_y = 390$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

3.4.1) การคำนวณหาขนาดของสลักเกลียวยึดค้ำปลิงหน้าแปลน

เลือกใช้สลักเกลียวคุณสมบัติ 4.6 (ตารางผนวกที่ ข8) มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด $\sigma_u = 400$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความต้านแรงดึงครากต่ำสุด $\sigma_y = 240$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

พิจารณาค่าแรงเฉือนที่เกิดบนสลักเกลียว

$$T = F.r$$

$$1728.175 \times 10^3 = F \cdot \left(\frac{180}{2} \right)$$

$$F = \frac{1728.175 \times 10^3}{90}$$

$$F_s = 19201.944 \text{ นิวตัน (แรงเฉือนที่เกิดบนสลักเกลียว)}$$

พิจารณาค่าแรงดึงขั้นต้นของสลักเกลียว

$$F_i = \frac{F_s}{z.f}$$

โดยที่ f คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน = 0.15 (ตารางผนวกที่ ข7)

z คือ จำนวนสลักเกลียวทั้งหมด = 8 ตัว

$$F_i = \frac{19201.944}{8 \times 0.15}$$

$$F_i = 16001.62 \text{ นิวตัน (แรงดึงขั้นต้น)}$$

พิจารณาค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียว

$$\sigma_t = \frac{F_i}{A_s} = \frac{16001.62}{A_s}$$

$$\sigma_t = \frac{16001.62}{A_s} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

พิจารณาค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียว

$$\tau = \frac{F_s}{8.A_s} = \frac{19201.944}{8.A_s}$$

$$\tau = \frac{2400.243}{A_s} \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\frac{\tau_y}{N} = \left[\tau^2 + \left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

โดยที่ $\tau_y = 0.5 \times \sigma_y = 0.5 \times 240$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

กำหนดค่าความปลอดภัยในการออกแบบสลักเกลียว $N = 2$

$$\frac{120}{2} = \left[\left(\frac{2400.243}{A_s} \right)^2 + \left(\frac{16001.62}{2.A_s} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$A_s = \sqrt{\frac{1}{60^2} [2400.243^2 + 8000.81^2]}$$

$$A_s = 139.218 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

จากตารางผนวกที่ ข9 เหล็กวงมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เหล็กว
 ธรรมดา จากค่าพื้นที่รับความเค้น, $A_s (\text{mm}^2)$ เลือกใช้สลักเกลียวขนาด M16x2 จำนวน 8 ตัว

3.4.2) ตรวจสอบค่า Bearing Stress ระหว่างสลักเกลียวกับคัปปลิงหน้าแปลน
 พื้นที่ทั้งหมดที่สลักเกลียวรับความเค้นอัด (Bearing Stress)

$$A = n.a.F = 8 \times 16 \times 28 = 3584 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียว

$$T = F.r = F \cdot \frac{B}{2} = \sigma \cdot A \cdot \frac{B}{2}$$

$$\sigma = \frac{2.T}{A.B} = \frac{2 \times 1728.175 \times 10^3}{3584 \times 180}$$

$$\sigma = 5.358 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ค่าความปลอดภัยของสลักเกลียวเนื่องจากความเค้นอัด (Bearing Stress)

$$N = \frac{240}{5.358} = 44.793$$

ค่าความปลอดภัยของหน้าแปลนเนื่องจากความเค้นอัด (Bearing Stress)

$$N = \frac{390}{5.358} = 72.788$$

ค่าความปลอดภัยของสลักเกลียวและหน้าแปลนเนื่องจากความเค้นอัด
 (Bearing Stress) ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 ($N \geq 1$) ดังนั้นสลักเกลียวและหน้าแปลนที่เลือกใช้
 งาน สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

3.4.3) ตรวจสอบค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณคัมกับหน้าแปลน

พื้นที่ที่พิจารณา $A = \pi.C.F$

$$A = \pi \times 125 \times 28 = 10995.574 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

จากสมการ $\tau = \frac{F}{A} = \frac{T}{A.r}$

$$\tau = \frac{1728.175 \times 10^3}{10995.574 \times 90}$$

$$\tau = 1.746 \text{ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร}$$

ค่าความเค้นเฉือนคราก $\tau_y = 0.6 \times \sigma_y = 0.6 \times 390 = 234$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ดังนั้นค่าความปลอดภัยบริเวณคัมกับหน้าแปลนมีค่าเท่ากับ

$$N = \frac{234}{1.746} = 134.02$$

ค่าความปลอดภัยที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 ดังนั้นคัมปลิงหน้าแปลนสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

3.4.4) ตรวจสอบความแข็งแรงของลิ้มที่ใช้กับคัมปลิงหน้าแปลน

กำหนดให้ลิ้มมีความยาวเท่ากับความยาวของคัมของหน้าแปลน

$$L = 90 \text{ มิลลิเมตร}$$

เนื่องจากเพลลาที่ต้องการใส่ลิ้มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 70 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้ชนิดลิ้ม Rectangular key (20x12) ตามตารางผนวกที่ ข10

กำหนดวัสดุลิ้ม คือ SS304 มีคุณสมบัติวัสดุดังต่อไปนี้ (ตารางผนวกที่ ข3)

ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด, $\sigma_u = 505$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความต้านแรงดึงครากต่ำสุด, $\sigma_y = 215$ นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ค่าความปลอดภัยของลิ้มภายใต้ความเค้นเฉือน

$$\tau_y = 0.6 \times 215 = 129 \text{ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร}$$

$$N = \frac{129}{\tau} = \frac{129 \cdot b \cdot d \cdot L}{2 \cdot T}$$

$$N = \frac{129 \times 20 \times 70 \times 90}{2 \times 1728.175 \times 10^3}$$

$$N = 4.703 \quad (N \geq 1 \text{ สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย})$$

ค่าความปลอดภัยของลิ้มภายใต้ความเค้นอัด

$$N = \frac{215}{\sigma_c} = \frac{215 \cdot h \cdot d \cdot L}{4 \cdot T}$$

$$N = \frac{215 \times 12 \times 70 \times 90}{4 \times 1728.175 \times 10^3}$$

$$N = 2.351 \quad (N \geq 1 \text{ สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย})$$

3.5) จำนวนออกแบบเบร็กรองรับที่ตำแหน่ง A, B ของชุดเพลลาถลับกอนปู่

การเลือกใช้เบร็กรองรับชุดเพลลาถลับกอนปู่ที่ตำแหน่ง A, B ทั้งสองตัว จะเลือกใช้ตามมาตรฐาน (DIN 615) เนื่องจากขนาดเพลลาที่ต้องการสวมประกอบเบร็กรูปปืนมีขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 75 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้เบร้งชนิด Deep Groove Ball Bearing เบอร์ 6015 ซึ่งมีค่ากำหนดต่างๆ จากข้อมูลตารางผนวกที่ ข11 แสดงดังต่อไปนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก (D) มีค่าเท่ากับ 115 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน (d) มีค่าเท่ากับ 75 มิลลิเมตร
- ความหนาของตัวเบร้ง (B) มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร
- ค่า Dynamic load rating, C มีค่าเท่ากับ 31 กิโลนิวตัน
- ค่า Static load rating, C₀ มีค่าเท่ากับ 26.5 กิโลนิวตัน

การตรวจสอบการใช้งานเบร้งที่เลือกใช้

1. ประสิทธิภาพในการรับ Dynamic Load

$$L = 10^6 \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x \quad \text{รอบ} \quad (57)$$

โดย f_H = แฟกเตอร์ความแข็งแรง Temp 150 C° = 1 (ตารางผนวกที่ ข14)

$x = 3$ สำหรับ Ball Bearing ทุกชนิด

F = Dynamic Equivalent Load = $X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

X = แฟกเตอร์แรงในแนวรัศมี Ball Bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

Y = แฟกเตอร์แรงในแนวแกน Ball bearing (ตารางผนวกที่ ข13)

ณ ตำแหน่งจุดรองรับเบร้ง A , B บนชุดเพลาถลบกงปู้ยมีค่าแรงกระทำดังนี้

$$F_{aA} = F_{aB} = 0 \quad (\text{แรงในแนวแกน})$$

$$F_{rA} = F_{rB} = \sqrt{(1483.772)^2 + (397.576)^2}$$

$$F_{rA} = F_{rB} = 1.536 \text{ กิโลนิวตัน (แรงในแนวรัศมี)}$$

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \times 1.536 + 0 \times 0 = 1.536 \text{ กิโลนิวตัน}$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (57)

$$L = 10^6 \left[f_H \cdot \frac{C}{F} \right]^x = 10^6 \left[1 \times \frac{31}{1.536} \right]^3$$

$$L = 8.221 \times 10^9 \text{ รอบ}$$

2. ตรวจสอบการใช้งานของเบร้งคิดเป็นชั่วโมงทำงาน

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60}$$

โดยที่ L_h = อายุการใช้งานกำหนดของเบร้ง (ชั่วโมง)

L = อายุการใช้งานกำหนดของเบร้ง (รอบ)

n = ความเร็วรอบในการใช้งาน (รอบ/นาที)

$$L_h = \frac{8.221 \times 10^9}{270 \times 60} = 507469.136 \text{ ชั่วโมง}$$

$$L_h = 507469.136 \text{ ชั่วโมง}$$

อายุการใช้งานกำหนดมีค่าเท่ากับ 507469.136 ชั่วโมง

เครื่องจักรกลเกษตร $L_{h(\text{กำหนด})} = 3000 - 6000$ ชั่วโมง (ตารางผนวกที่ ข18)

ดังนั้น $L_h \geq L_{h(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้)

3. การรับภาระสถิต

$$f_s = \frac{C_o}{F_o}$$

โดยที่ f_s = ค่ากำหนดในการใช้งาน

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao}$$

$$F_{ro} = \text{แรงคงที่ในแนวรัศมี (กิโลนิวตัน)}$$

$$F_{ao} = \text{แรงคงที่ในแนวแกน (กิโลนิวตัน)}$$

$$X_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวรัศมี} = 0.6 \text{ (Deep groove ball bearing)}$$

$$Y_o = \text{แฟกเตอร์ในแนวแกน} = 0.5 \text{ (Deep groove ball bearing)}$$

$$F_o = X_o \cdot F_{ro} + Y_o \cdot F_{ao} = 0.6 \times 1.536 + 0.5 \times 0$$

$$F_o = 0.922 \text{ กิโลนิวตัน}$$

$$f_s = \frac{26.5}{0.922} = 28.742$$

ค่ากำหนดการใช้งานเมื่อรับภาระหนัก $f_{s(\text{กำหนด})} = 1.2 - 2.5$ (ตารางผนวกที่

ข15) ดังนั้น $f_s \geq f_{s(\text{กำหนด})}$ (สามารถใช้งานได้)

4. ตรวจสอบความเร็วพิกัดของเบร้ง

$$N_g = \frac{Z_s \cdot Z_k \cdot N}{D - 10} \text{ รอบ/นาที}$$

โดยที่ N_g = ความเร็วพิกัดของเบร้งลูกปืน (รอบต่อนาที)

$$Z_s = \text{แฟกเตอร์การหล่อลื่นด้วยจาระบี} = 1 \text{ (ตารางผนวกที่ ข16)}$$

$$N = \text{ความเร็วคงที่ปกติ} = 500000 \text{ (ตารางผนวกที่ ข17)}$$

$$Z_k = \text{แฟกเตอร์ของภาระ} = 1 \text{ (ภาพผนวกที่ ก13)}$$

$$D = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบร้ง} = 115 \text{ มิลลิเมตร}$$

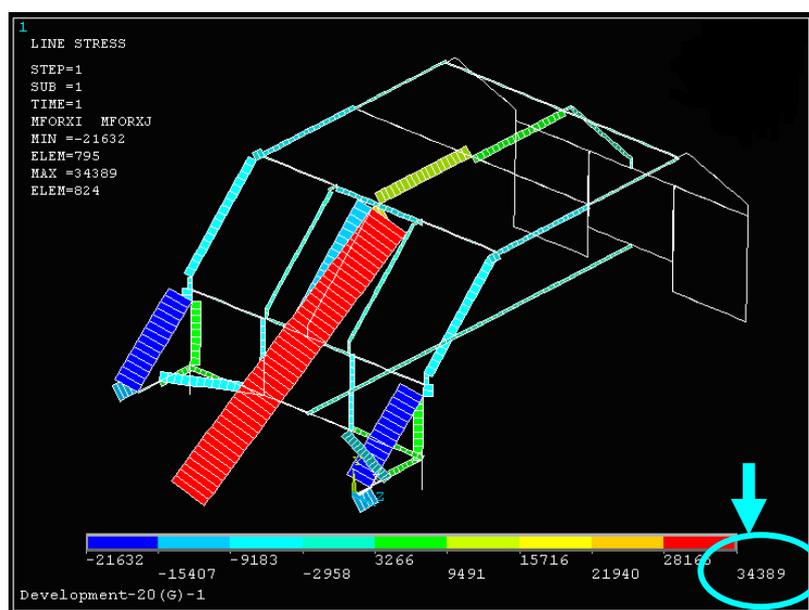
$$N_g = \frac{1 \times 1 \times 500000}{115 - 10} = \frac{500000}{105} = 4761.905 \text{ รอบ/นาที}$$

เนื่องจากความเร็วรอบทำงานชุดเพลลาสมบู้ย (n) มีค่าเท่ากับ 270 รอบต่อนาที

ดังนั้น $n < N_g$ (สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย)

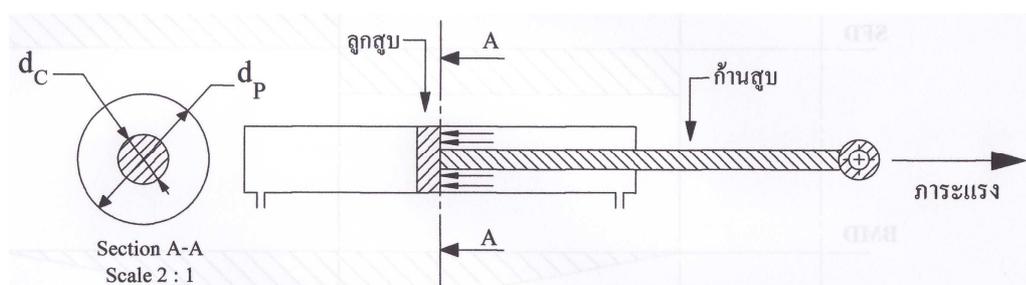
4) การคำนวณออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบไฮดรอลิก

ในการคำนวณออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบไฮดรอลิก จะทำการวิเคราะห์แรงในแนวแกนของกระบอกสูบไฮดรอลิกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยพิจารณาที่สภาวะโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักทำมุมกับพื้นในแนวระดับเท่ากับ 1 องศา ซึ่งจะทำให้เกิดแรงในแนวแกนของกระบอกสูบไฮดรอลิกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 34,389 นิวตัน ดังแสดงในภาพที่ 59



ภาพที่ 59 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงในแนวแกนแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักเมื่อกระโปรงกันปฎิหมักเอียงทำมุมกับพื้น 1 องศา

ไดอะแกรมแสดงภาระแรงดึงที่กระทำกับกระบอกไฮดรอลิก ดังแสดงในภาพที่ 60



ภาพที่ 60 แรงดึงภายนอกที่กระทำกับแกนกระบอกสูบไฮดรอลิก

ค่ากำหนดในการออกแบบกระบอกสูบไฮดรอลิก

- รถแทรกเตอร์ลากตึงมีค่าแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกเท่ากับ 2,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว
 - เพิ่มขนาดแรงกระทำในแนวแกนกระบอกสูบไฮดรอลิกเป็น 2 เท่า เพื่อการรับภาระเกินกำลัง ดังนั้นแรงกระทำที่ใช้ในการคำนวณออกแบบเท่ากับ 68,778 นิวตัน
 - พื้นที่หน้าตัดก้านสูบมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ
- พิจารณาแรงเนื่องจากความดันภายในกระบอกสูบไฮดรอลิก

$$F = P \cdot A_f$$

โดยที่ F = ภาระแรงดึงจากภายนอกกระทำกับกระบอกสูบไฮดรอลิก

P = แรงดันน้ำมันไฮดรอลิกในกระบอกสูบไฮดรอลิก

A_f = พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ

$$A_f = \frac{F}{P} = \frac{68778}{2500 \times 0.0069} = 3987.13 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

จากความเร็วถอยกลับของก้านสูบไฮดรอลิกมีค่าประมาณ 2 เท่า ของความเร็วเคลื่อนออกก้านสูบ ดังนั้นพื้นที่สุทธิของลูกสูบด้านมีก้านสูบจะเป็นครึ่งหนึ่งของพื้นที่ลูกสูบไม่มีก้านสูบ

$$2A_f = A_p$$

$$A_p = 2 \times 3987.13 = 7974.26 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ

$$A_p = \frac{\pi d_p^2}{4}$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot A_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 7974.26}{\pi}}$$

$$d_p = 100.763 \text{ มิลลิเมตร}$$

คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ

$$A_f = \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_c^2)$$

$$d_c = \sqrt{d_p^2 - \frac{4 \cdot A_f}{\pi}} = \sqrt{100.763^2 - \frac{4 \times 3987.13}{\pi}}$$

$$d_c = 71.25 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นในการออกแบบขนาดกระบอกสูบไฮดรอลิกที่ใช้งานกับเครื่องกลับกองปุ๋ยหมัก จะออกแบบให้กระบอกสูบไฮดรอลิกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบเท่ากับ 100 มิลลิเมตร ก้านสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 71.25 มิลลิเมตร และช่วงชักมีค่าเท่ากับ 973 มิลลิเมตร

5) การคำนวณออกแบบระบบสเปรย์น้ำสา

ในการคำนวณออกแบบระบบสเปรย์น้ำสาจะทำการคำนวณหาค่าอัตราการสเปรย์น้ำสาลงบนกองปุ๋ยหมักเพื่อทำการเลือกใช้ปั๊มน้ำสาที่มีค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยในการคำนวณออกแบบมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการออกแบบดังต่อไปนี้

- การจัดเรียงกองปุ๋ยหมักในพื้นที่ 1 ลานการผลิต มีลักษณะดังนี้

จำนวนกองของกองปุ๋ยหมัก 22 กอง

ความยาวของกองปุ๋ยหมักแต่ละแถว 240 เมตร

หน้ากว้างของกองปุ๋ยหมักแต่ละกอง 3 เมตร

ความสูงของกองปุ๋ยหมักแต่ละกอง 1 เมตร

- ความหนาแน่นของปุ๋ยหมัก (ρ_f) มีค่าเท่ากับ 0.575 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ปริมาณปุ๋ยหมัก 1 ส่วน จะต้องสเปรย์น้ำสาเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า 2 ส่วนของปุ๋ยหมัก ในการผลิตปุ๋ยหมัก 1 ลาน

- จำนวนวันที่ใช้ในการสเปรย์น้ำสาประมาณ 45 วัน

- ความเร็วเคลื่อนที่ของเครื่องกลึงกองปุ๋ยหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 เมตรต่อวินาที พิจารณาปริมาตรกองปุ๋ยหมักทั้งหมดในพื้นที่ 1 ลานการผลิต

$$V_f = 22 \times 240 \times 3 \times 1 = 15840 \text{ ลูกบาศก์เมตร/ลาน}$$

พิจารณามวลของปุ๋ยหมักทั้งหมดในพื้นที่ 1 ลานการผลิต

$$m_f = \rho_f \cdot V_f$$

$$m_f = 0.575 \times 10^3 \times 15840 = 9108 \times 10^3 \text{ กิโลกรัม/ลาน}$$

จากปริมาณปุ๋ยหมัก 1 ส่วน จะต้องใช้น้ำสาสเปรย์ลงบนกองปุ๋ยหมักไม่น้อยกว่า 2 ส่วน ดังนั้นปริมาตรน้ำสาทั้งหมดที่ใช้การผลิตปุ๋ยหมัก 1 ลาน มีค่าเท่ากับ (กำหนดให้ความหนาแน่นน้ำสา $\rho_{sw} = 1100$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$$m_{sw} = 9108 \times 10^3 \times 2 = 18216 \times 10^3 \text{ กิโลกรัม/ลาน}$$

$$V_{sw} = \frac{m_{sw}}{\rho_{sw}} = \frac{18216 \times 10^3}{11000} = 16560 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ในการสเปรย์น้ำสาลงบนกองปุ๋ยหมักใช้เวลาประมาณ 45 วัน ใช้ปริมาตรน้ำสาทั้งหมดไม่น้อยกว่า 16560 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นภายใน 1 วัน จะต้องสเปรย์น้ำสาไม่น้อยกว่าเท่ากับ

$$\frac{16560}{45} = 368 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วัน}$$

กำหนดภายใน 1 วัน เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักทำงาน 21 ชั่วโมง (3 กะ, กะละ 7 ชั่วโมง) อัตราการสเปรย์น้ำต่อชั่วโมงจึงเท่ากับ

$$Q_p = \frac{368}{21} = 17.524 \text{ ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง}$$

ดังนั้นจากการคำนวณหาอัตราการใช้ของน้ำสำหรับการสเปรย์ลงบนกองปุ๋ยหมัก จึงเลือกใช้ปั้มน้ำที่มีค่าอัตราการไหลของปั้มไม่น้อยกว่า 17.524 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

6) การออกแบบขนาดถังบรรจุน้ำ

ในการเลือกใช้ถังบรรจุน้ำจะเลือกใช้ถังที่ทำจากวัสดุ เหล็กกล้าไร้สนิม SS304 ซึ่งสามารถทนการกัดกร่อนจากสารละลายที่มีสภาพเป็น กรด-ด่าง ได้ เพราะว่าน้ำที่ใช้บรรจุในถังมีสภาพความเป็นกรดประมาณ 4.31 pH ส่วนขนาดของถังสามารถคำนวณออกแบบได้ดังนี้

กำหนดให้การสเปรย์น้ำลงบนกองปุ๋ยหมักหมด 1 แถว จะทำให้น้ำในถังบรรจุหมดพอดี ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการสเปรย์น้ำจำนวน 1 แถว มีค่าเท่ากับ

$$t = \frac{L}{v} = \frac{240}{0.41} = 585.366 \text{ วินาที}$$

$$t = 9.76 \text{ นาที}$$

ในการทำงานของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักจะใช้เวลาในกลับกองปุ๋ยหมัก 1 แถว ประมาณ 9 นาที 45.6 วินาที ดังนั้นปริมาตรน้ำที่ต้องสเปรย์ภายใน 1 แถวของกองปุ๋ยหมัก โดยที่มีอัตราการไหลไม่น้อยกว่า 17.905 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง มีค่าดังนี้

$$V_{sw} = \frac{17.524 \times 9.76}{60} = 2.85 \text{ ลูกบาศก์เมตร/แถว}$$

ดังนั้นในการออกแบบถังบรรจุน้ำจะออกแบบให้มีปริมาตรบรรจุมีค่าไม่น้อยกว่า 2.85 ลูกบาศก์เมตร โดยที่ตัวถังบรรจุน้ำทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 เพื่อป้องกันการกัดกร่อนเนื่องจากน้ำ

7) การออกแบบโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมัก

ในการออกแบบโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมัก เลือกใช้วัสดุโครงสร้างเป็นหลัก AISI 1030CD ซึ่งมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 525 MPa และค่าความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 440 MPa โดยเหล็กรูปพรรณที่นำมาสร้างเป็นโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักที่ใช้มีขนาด 90x90 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร และขนาด 90x170 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร โดยที่บริเวณภายในโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักจะมีการติดตั้งแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้าง

กระโปรงกันนํ้าหมักสัมผัสกับนํ้าหมักและนํ้าสำโดยตรงขณะเครื่องปฏิบัติงาน จากการวิเคราะห์ผลค่าความแข็งแรงของโครงสร้างกระโปรงกันนํ้าหมักที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าโครงสร้างกระโปรงกันนํ้าหมักสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

3.2 ผลการพัฒนาปรับปรุงข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลึงกองนํ้าหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

จากผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลึงกองนํ้าหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์สามารถแบ่งการพัฒนาปรับปรุงข้อบกพร่องในการใช้งานเครื่องกลึงกองนํ้าหมักได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 พัฒนาปรับปรุงสภาพพื้นที่ในการปฏิบัติงานของเครื่องกลึงกองนํ้าหมัก

เนื่องจากสภาพพื้นที่ในการปฏิบัติงานของเครื่องกลึงกองนํ้าหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์มีสภาพเป็นดินโคลนง่ายต่อการยุบตัวและสภาพพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ จึงส่งผลให้เครื่องกลึงกองนํ้าหมักไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังอาจทำให้เกิดความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องกลึงกองนํ้าหมักได้ ดังนั้นในการแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวควรทำการพัฒนาปรับปรุงสภาพพื้นที่ให้เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องกลึงกองนํ้าหมักโดยการปูพื้นซีเมนต์ในช่องทางการเคลื่อนที่ของเครื่องกลึงกองนํ้าหมักขณะกลึงกองนํ้าหมัก ซึ่งจะช่วยให้เครื่องกลึงกองนํ้าหมักสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและยังช่วยแก้ไขปัญหาการติดหล่มของรถแทรกเตอร์และเครื่องกลึงกองนํ้าหมักในขณะที่ปฏิบัติงานได้อีกด้วย

3.2.2 พัฒนาปรับปรุงความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันนํ้าหมัก

จากการศึกษาข้อบกพร่องของเครื่องกลึงกองนํ้าหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันพบว่าเกิดความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันนํ้าหมัก เนื่องจากความแข็งแรงของโครงสร้างไม่เพียงพอต่อการปฏิบัติงาน ดังนั้นในการแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว จึงได้ทำการพัฒนาปรับปรุงตลอดจนวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างกระโปรงกันนํ้าหมักโดยวิธีการคัดเลือกวัสดุ และการจัดเรียงรูปแบบโครงสร้างใหม่ โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบทางวิศวกรรมที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการ

วิเคราะห์ผล โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คือ ผลการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

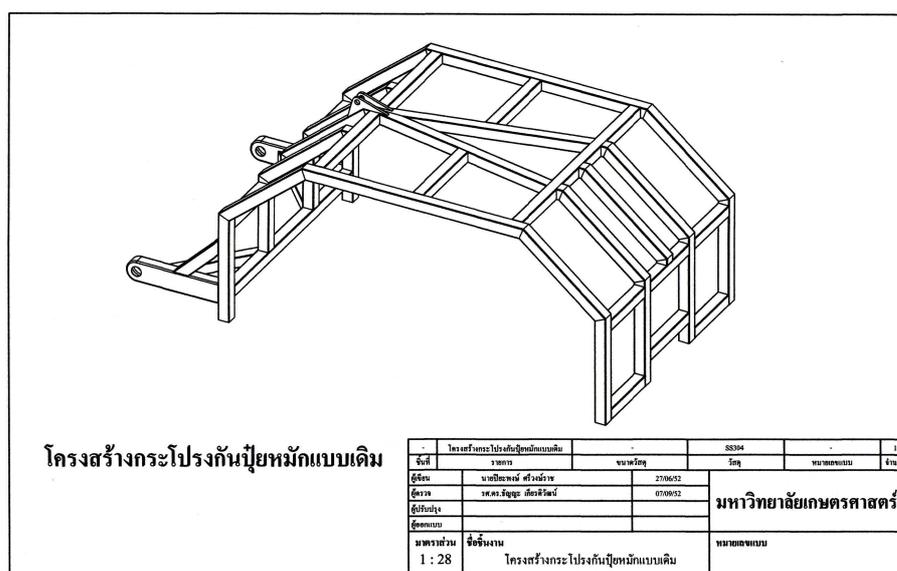
ก. การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิมเกิดความเสียหายทางกลโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิมเกิดความเสียหายทางกลนั้น ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิมเกิดความเสียหายทางกลเนื่องจากแรงปฏิกิริยาจากการกลับกองปูยหมักของชุดเพลากลบกองปูยในขณะที่ปฏิบัติงาน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1) การถอดแบบโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิมและการเขียนแบบโครงสร้างสามมิติด้วยโปรแกรมช่วยในการเขียนแบบเครื่องกล

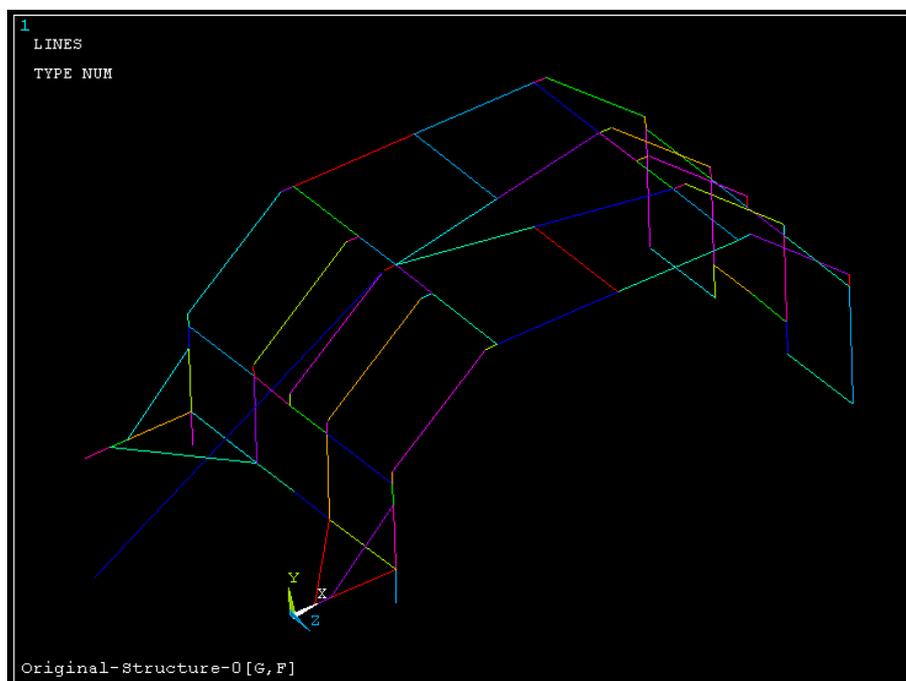
ในการถอดแบบโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิม ผู้วิจัยได้ทำการวัดมิติต่างๆ ของโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิม แล้วทำการเขียนแบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยในการเขียนแบบ คือ Solidworks 2008 แบบจำลอง 3 มิติ ของโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิมที่ได้จากการวัดมิติต่างๆ และทำการเขียนแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 61 โดยรายละเอียดของแบบอยู่ในภาคผนวก ก



ภาพที่ 61 แบบโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิม

2) การวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

ในการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปุยหมัก ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิม โดยกำหนดให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแต่ละชิ้นเป็นเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ ซึ่งในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์เรียกเอลิเมนต์นี้ว่า BEAM 4 ซึ่งเอลิเมนต์ดังกล่าวจะแสดงชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักให้อยู่ในรูปส่วนของเส้นตรงและต้องกำหนดค่าคงที่คุณสมบัติต่างๆ ของพื้นที่หน้าตัดแต่ละเอลิเมนต์ที่จะทำการวิเคราะห์ ดังนั้นในการสร้างรูปแบบโครงสร้างในการวิเคราะห์จะต้องกำหนดตำแหน่งต่างๆ ของจุดต่อชิ้นส่วน โครงสร้างของกระโปรงกันปุยหมักให้อยู่ในระบบพิกัดฉากเพื่อทำการสร้างเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ ของชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Autocad 2007 ช่วยในการหาค่าพิกัดฉากของจุดต่อต่างๆ ของโครงสร้าง เมื่อทราบค่าพิกัดฉากจุดต่อแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแล้ว จึงนำค่าพิกัดฉากของแต่ละจุดต่อมาสร้างเป็นโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยพิจารณาเลือกใช้เอลิเมนต์ BEAM 4 ดังแสดงผลที่ได้ในภาพที่ 62

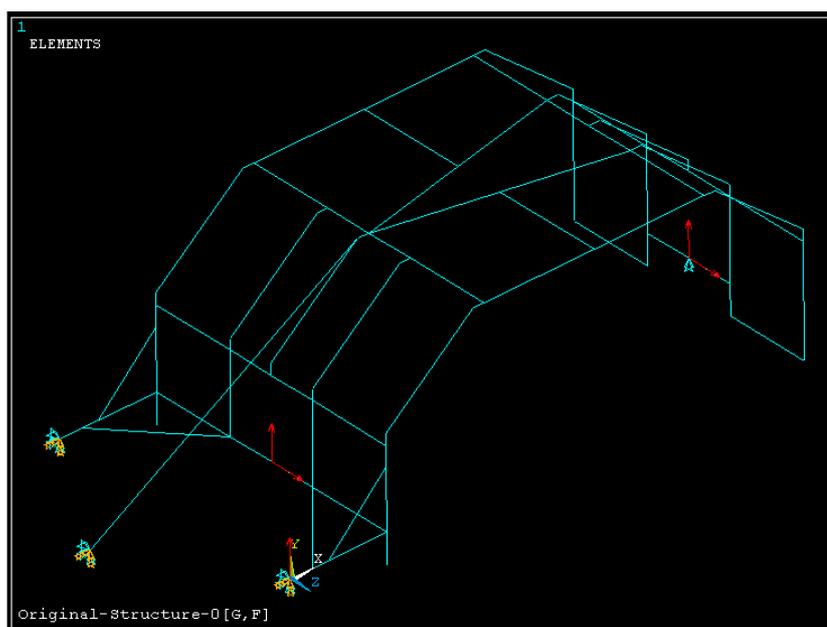


ภาพที่ 62 โครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิมในรูปเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ

2.1) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิมในกรณีที่ 1 จากการคำนวณค่าแรงปฏิกิริยาที่ชุดเพลากลักกองปูยกระทำกับโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักมีค่าเท่ากับ 397.576 นิวตัน มีทิศทางแรงในแนวระดับ และ 1483.772 นิวตัน มีทิศทางแรงในแนวตั้ง โดยตำแหน่งแรงที่กระทำที่จุดติดตั้งตุ้กตาแบริงลูกปืนทั้ง 2 ตัว บนโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก และกำหนดค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที² ส่วนการกำหนดจุดจับยึดโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก จะกำหนดให้จุดต่อระหว่างโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักกับโครงสร้างหลักเครื่องกลักกองปูยหมัก ซึ่งมีจุดต่ออยู่ 3 จุด ถูกจับยึดโดยไม่สามารถเคลื่อนที่ได้แต่จะสามารถหมุนรอบตามแกนอ้างอิงทิศทาง Z ได้เพียงแกนเดียว และจุดต่อของโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักที่มีการติดตั้งล้อรถ ซึ่งมีจุดต่ออยู่ 1 จุด กำหนดให้จุดต่อนี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกนอ้างอิงทิศทาง Y ได้เพียงอย่างเดียว ดังแสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในภาพที่ 63

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์ปัญหา ค่าแรงด้านทานการเคลื่อนที่ของชุดเพลากลักกองปูยขณะเคลื่อนที่ที่ลักกองปูยหมัก และค่าน้ำหนักของส่วนประกอบย่อยต่างๆ ที่ติดตั้งบนโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก เช่น ใบมีด ล้อรถ แผ่นสแตนเลสกันปูยหมัก และท่อสเปรย์น้ำสา จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิม



ภาพที่ 63 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาในกรณีที่ 1

2.2) การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.2.1) การกำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุแต่ละเอลิเมนต์

ชิ้นส่วนประกอบ โครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักแบบเดิมทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะถูกกำหนดให้วัสดุทั้งหมดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีคุณสมบัติวัสดุแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข3

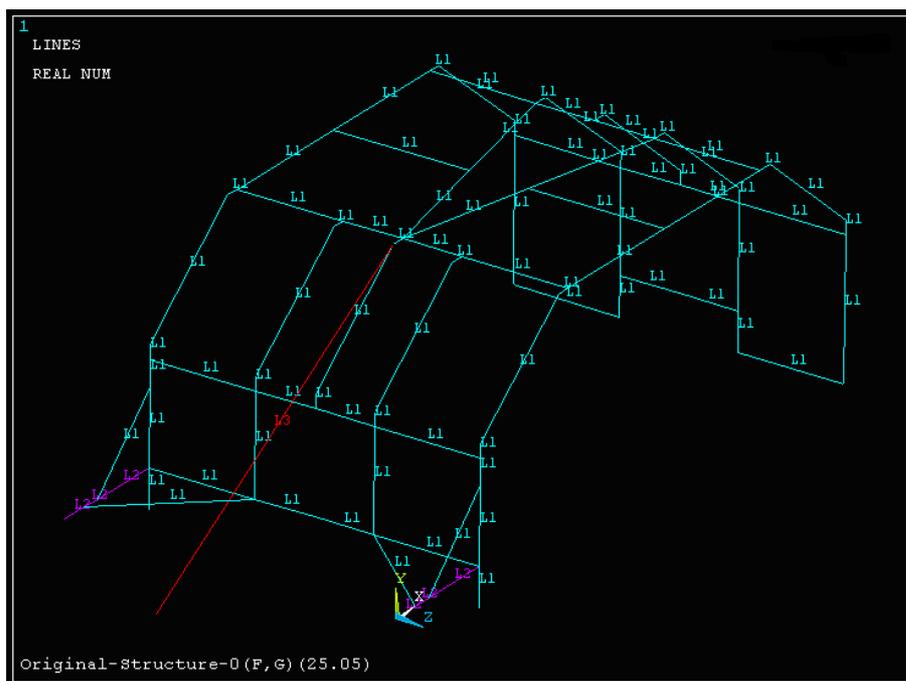
2.2.2) การกำหนดค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ มีดังนี้

1. เหล็กกล่องขนาด 90x90 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร กำหนดให้มียค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์เป็นแบบที่ 1 รายละเอียดค่าคงที่แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก9

2. เหล็กกล่องขนาด 170x90 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร กำหนดให้มียค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์เป็นแบบที่ 2 รายละเอียดค่าคงที่แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก10

3. กระจบอกลูบไฮดรอลิก กำหนดให้เป็นเพลตันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร โดยมีค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์เป็นแบบที่ 3 รายละเอียดค่าคงที่แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก11

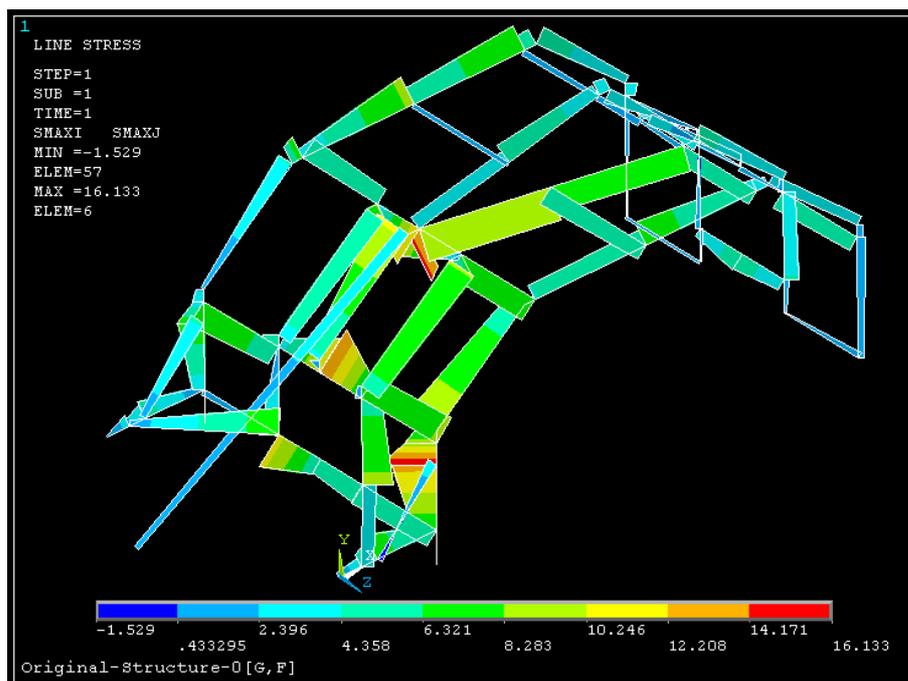
ในการกำหนดแทนชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักแบบเดิมด้วยค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 1, 2, 3 ให้กับแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักแบบเดิม สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 64



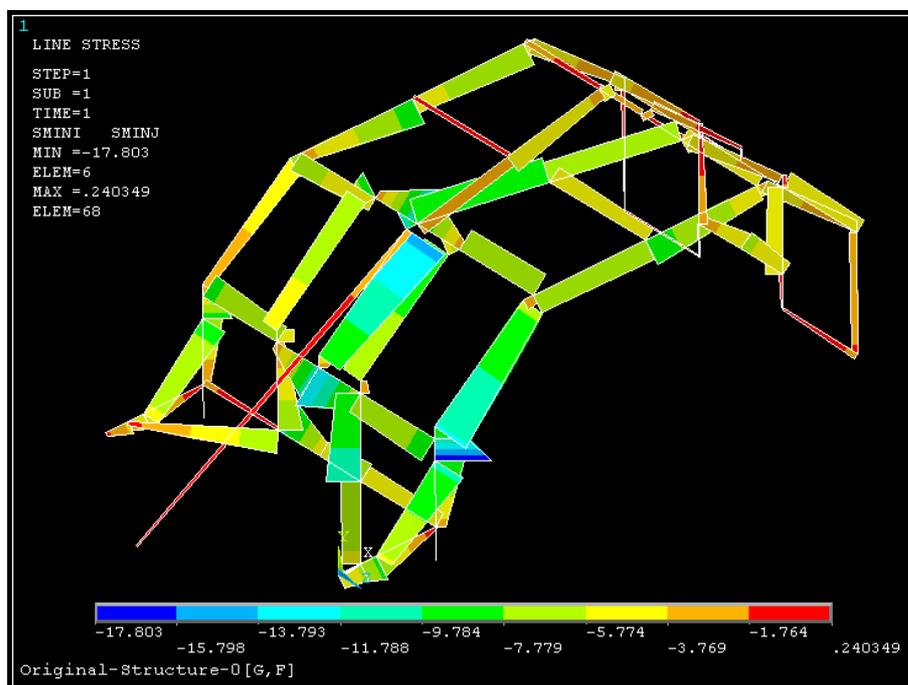
ภาพที่ 64 ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์ที่แทนชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักแบบเดิม

3) ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นบนโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักแบบเดิมด้วยสาเหตุในกรณีที่ 1 โดยทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นของโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักแบบเดิม จากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในกรณีที่ 1 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นทั้งหมด 67 จุดต่อ และมีจำนวนของเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 89 เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายความเค้นถึงสูงสุดและค่าการกระจายความเค้นอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างกระโปรงกันปฎิหมักแบบเดิมได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 65 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบเดิม



ภาพที่ 66 การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบเดิม

ภาพที่ 65, 66 แสดงให้เห็นถึงค่าการกระจายความเค้น (Stress Distribution) ดึงสูงสุดและค่าการกระจายความเค้นอัดสูงสุด ตามลำดับ ที่เกิดขึ้นกับ โครงสร้างกระโปรงกันพายุหมัก

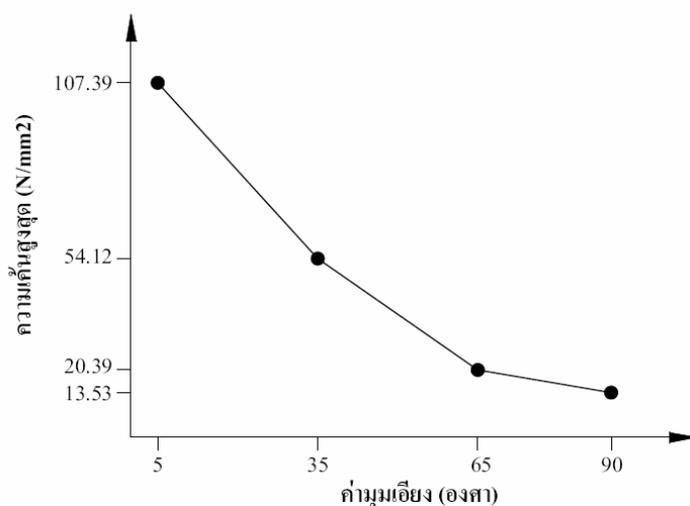
แบบเดิม จะสังเกตได้ว่าการกระจายความเค้นมีค่าค่อนข้างมากที่บริเวณเหล็กค้ำยันโครงสร้าง กระโปรงกันปฏิกิริยาด้านหน้า และบริเวณจุดต่อระหว่างโครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริยากับ กระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อพิจารณาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างกระโปรงกัน ปฏิกิริยแบบเดิม ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 17.803 MPa เป็นค่าความเค้นอัด

เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริยแบบเดิมทำจากเหล็กกล้า ไร้สนิม SS304 ซึ่งมีค่าความต้านแรงดึงคราก (Yield strength, σ_y) เท่ากับ 215 MPa เมื่อทำการ พิจารณาค่าความปลอดภัย (Safety Factor, N) ของโครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริยที่มีค่าน้อยที่สุดมี ค่าเท่ากับ 12.077 ซึ่งเป็นค่าความปลอดภัยที่สามารถยอมรับได้ในการออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร ทั่วไป ดังนั้นสาเหตุความเสียหายทางกลของโครงสร้างจากกรณีที่ 1 ไม่มีทางเป็นไปได้ที่จะทำให้ โครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริยเกิดความเสียหายทางกล

กรณีที่ 2 โครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริยแบบเดิมเกิดความเสียหายทางกลเนื่องจาก โครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริยแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ ดังมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง กระโปรงกันปฏิกิริยแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ ที่ค่ามุมเอียงเท่ากับ 5, 35, 65, 90 องศา ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังมีผลการ วิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ในการพิจารณาความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริย แบบเดิมเนื่องจากเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างกับระดับค่ามุมเอียงต่างๆของโครงสร้างกระโปรงกันปฏิกิริย แบบเดิมกับพื้นในแนวระดับ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ช่วยในการ วิเคราะห์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 67 ส่วนรายละเอียดผลการวิเคราะห์ แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก1-ก8



ภาพที่ 67 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างกระ โปรงกันปฎีหมักแบบเดิมที่ระดับค่ามุมเอียงต่างๆ

ภาพที่ 67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างกับระดับค่ามุมเอียงต่างๆ โดยในการวิเคราะห์ห้จะกำหนดค่ามุมเอียงมีค่าเท่ากับ 5, 35, 65, 90 องศา ตามลำดับ พบว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างที่ค่ามุมเอียงกำหนดมีค่าเท่ากับ 107.39, 54.12, 20.39, 13.53 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นทุกค่าเป็นความเค้นอัด (Compressive stress) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างกระ โปรงกันปฎีหมักแบบเดิมจะเกิดค่าความเค้นมากขึ้น เมื่อโครงสร้างกระ โปรงกันปฎีหมักทำมุมเอียงกับพื้นน้อยลง ดังนั้นในการวิเคราะห์ห้ความเสียหายทางกลของ โครงสร้างกระ โปรงกันปฎีหมักแบบเดิมที่เกิดจากโครงสร้างเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับจะถูกพิจารณาที่มุมเอียงเท่ากับ 1 องศา ให้เป็นค่ามุมเอียงกำหนดในการวิเคราะห์ต่อไป

2) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา

กำหนดให้โครงสร้างกระ โปรงกันปฎีหมักเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับเท่ากับ 1 องศา และกำหนดค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที² ส่วนในการกำหนดจุดจับยึด โครงสร้างกระ โปรงกันปฎีหมัก ให้จุดต่อระหว่าง โครงสร้างกระ โปรงกันปฎีหมักกับโครงสร้างหลักเครื่องกลึงกองปฎี ซึ่งมีจุดต่ออยู่ 3 จุด กำหนดให้ถูกจับยึดไม่สามารถเคลื่อนที่ได้แต่จะสามารถหมุนรอบตามแกนอ้างอิง Z ได้เพียงแกนเดียว ดังแสดงผลการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในภาพที่ 68

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว คำนวณน้ำหนักของส่วนประกอบย่อยต่างๆ ที่ติดตั้งบนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมัก เช่น ใบบิด ล้อรถ แผ่นสแตนเลสกันปุยหมัก และท่อสเปรย์น้ำสำ จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิม



ภาพที่ 68 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาในกรณีที่ 2

3) การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1) การกำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุแต่ละเอลิเมนต์

ชิ้นส่วนประกอบ โครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิมทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะถูกกำหนดให้วัสดุทั้งหมดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีคุณสมบัติวัสดุแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข3

3.2) การกำหนดค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ มีดังนี้

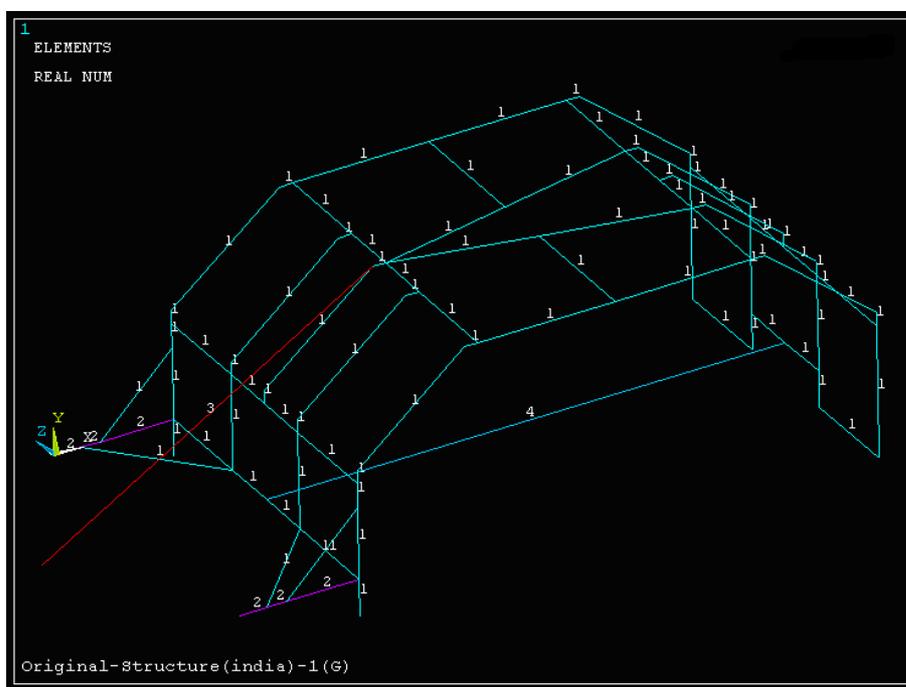
1. เหล็กกล่องขนาด 90x90 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร กำหนดให้มีค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์เป็นแบบที่ 1 รายละเอียดค่าคงที่แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก9

2. เหล็กกล่องขนาด 170x90 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร กำหนดให้มีค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์เป็นแบบที่ 2 รายละเอียดค่าคงที่แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก10

3. ครอบกึ่งรูปไฮดรอลิก กำหนดให้เป็นเพลาดันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร โดยมีค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์เป็นแบบที่ 3 รายละเอียดค่าคงที่แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก11

4. ชุดเพลากลัดกึ่งรูป กำหนดเป็นเพลากลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 400 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 384 มิลลิเมตร โดยมีค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์เป็นแบบที่ 4 รายละเอียดค่าคงที่แสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก12

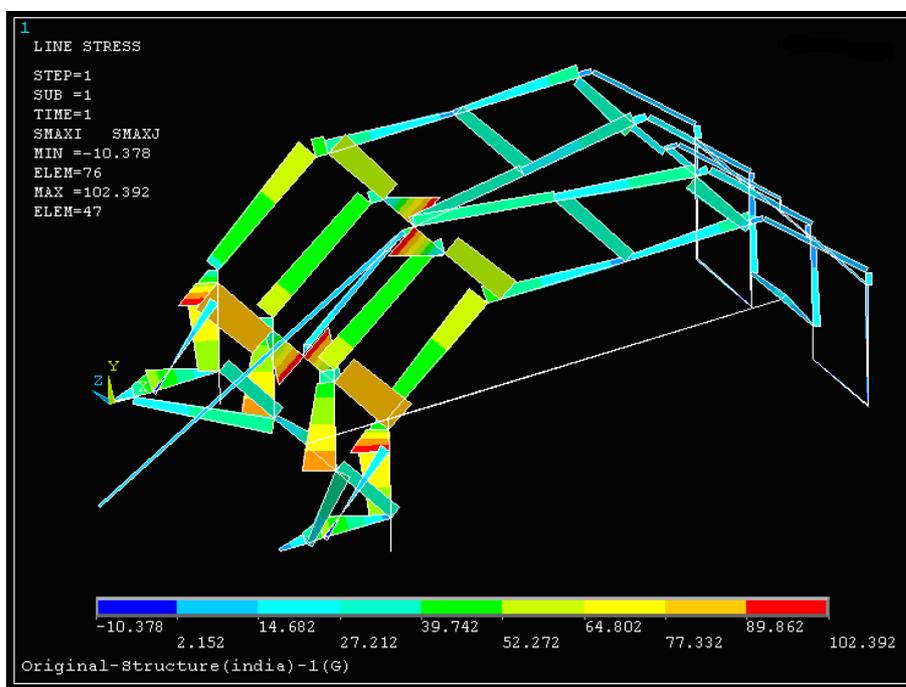
ในการกำหนดแทนชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมักแบบเดิมด้วยค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 1, 2, 3, 4 ให้กับแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมักแบบเดิม สามารถแสดงดังภาพที่ 69



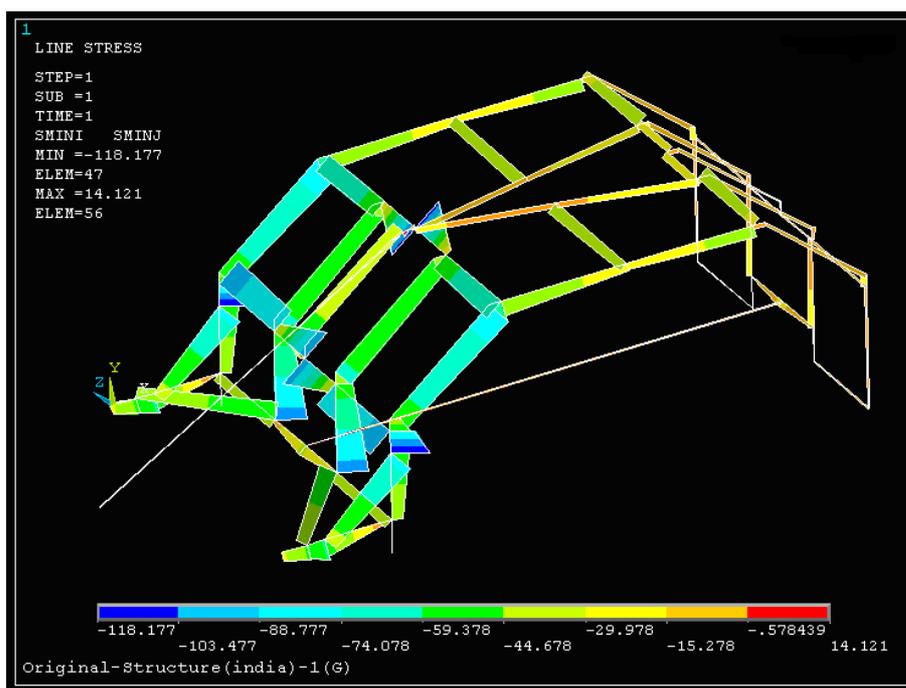
ภาพที่ 69 ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์ที่แทนชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมักแบบเดิม

4) ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นบนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิมด้วยสาเหตุในกรณีที่ 2 ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิม จากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในกรณีที่ 2 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์ที่กำหนดทั้งหมด 67 จุดต่อ และมีจำนวนเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 90 เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิมได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 70 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบเดิม



ภาพที่ 71 การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักแบบเดิม

ภาพที่ 70, 71 แสดงให้เห็นถึงค่าการกระจายความเค้น (Stress Distribution) ดึงสูงสุดและค่าการกระจายความเค้นอัดสูงสุด ตามลำดับ ที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักแบบเดิม จะสังเกตได้ว่าการกระจายความเค้นมีค่าค่อนข้างมากที่บริเวณเหล็กค้ำยัน โครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักด้านหน้าและด้านหลัง และบริเวณจุดต่อระหว่างโครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักกับกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อพิจารณาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่โครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมัก ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 118.177 MPa ซึ่งเป็นความเค้นอัด ดังแสดงในภาพที่ 71

เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 ซึ่งมีค่าความต้านแรงดึงคราก (Yield strength, σ_y) เท่ากับ 215 MPa เมื่อทำการพิจารณาค่าความปลอดภัย (Safety Factor, N) ของโครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักที่มีค่าน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.82 เนื่องจากในการวิเคราะห์ความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักอิงทำมุมกับพื้น 1 องศา ถูกวิเคราะห์ในสถานะเป็นแบบสถิตศาสตร์ ซึ่งในสภาพการทำงานจริงของโครงสร้างกระโปรงกันปฎีหมักในขณะที่ถูกยกเอียงทำมุมกับพื้นจะอยู่ในสภาวะพลศาสตร์ ซึ่งจะเกิดการกระแทก และสั่นสะเทือนของโครงสร้าง ดังนั้นค่าความปลอดภัยที่คำนวณได้จากผลการ

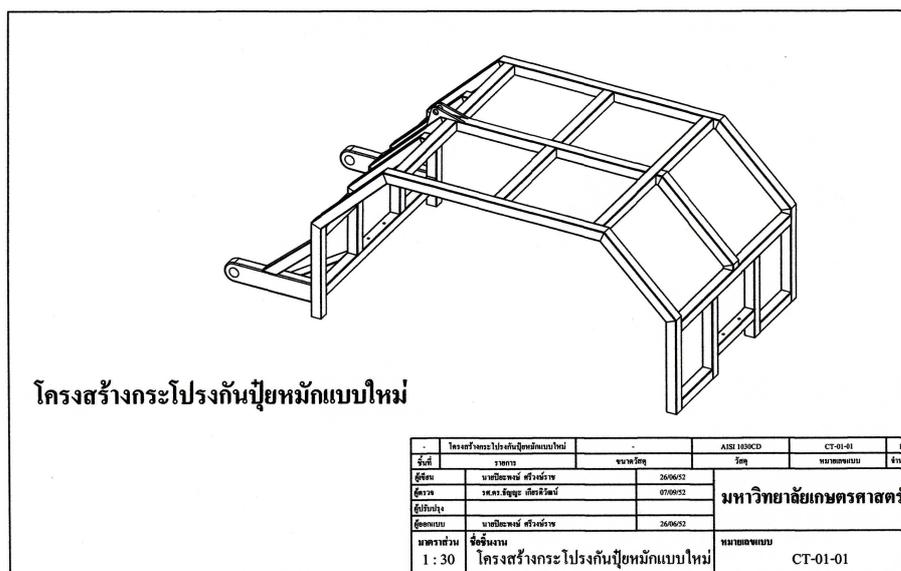
วิเคราะห์ที่มีค่าเท่ากับ 1.82 มีค่าน้อยเกินไป สำหรับการออกแบบโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักจึงอาจเป็นสาเหตุให้โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักเกิดความเสียหายทางกลได้

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างในกรณีที่ 2 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ จะเห็นได้ว่าบริเวณความเสียหายทางกลของโครงสร้างกับค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีรูปแบบที่เทียบเคียงกันได้ (Identical) และสอดคล้องกัน จึงกล่าวได้ว่าสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายทางกลเกิดจากการเอียงท่ามุมของโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักกับพื้นในขณะที่ปฏิบัติงาน ดังนั้นในการพัฒนาปรับปรุงโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่ จะใช้การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 เป็นแนวทางในการดำเนินการวิเคราะห์ โดยพิจารณาเลือกความแข็งแรงของวัสดุ และการจัดเรียงชิ้นส่วนโครงสร้างใหม่ ให้สามารถใช้งานได้ อย่างเหมาะสม

ข. การพัฒนาโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่

การพัฒนาปรับปรุงโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก จะกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์กรณีที่โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักท่ามุมเอียงกับพื้นในแนวระดับเป็นมุม 1 องศา ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในการพัฒนาปรับปรุงโครงสร้างจะพิจารณาเลือกประเภทของวัสดุที่มีความแข็งแรงและการจัดเรียงชิ้นส่วนหลักโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักใหม่ ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยมีขั้นตอนการพัฒนาดังนี้

1) การออกแบบโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการเขียนแบบเครื่องกล แสดงในภาพที่ 72



ภาพที่ 72 แบบ โครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบใหม่

ภาพที่ 72 แสดงแบบจำลอง 3 มิติ ของโครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบใหม่ ที่ได้ทำการพัฒนาปรับปรุงโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการเขียนแบบ Solidworks 2008 ซึ่งแบบโครงสร้างที่ได้ทำการพัฒนาปรับปรุง เลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่าเดิม โดยวัสดุโครงสร้างใหม่ที่พิจารณานำมาใช้ทดแทนวัสดุโครงสร้างเก่า คือ เหล็ก AISI 1030CD มีค่าความต้านแรงดึงคราก (Yield Strength, σ_y) เท่ากับ 440 MPa และมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, σ_u) เท่ากับ 520 MPa (ตารางผนวกที่ ข4) นอกจากนี้ในการจัดเรียงชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบใหม่ ได้ทำการลดจำนวนชิ้นส่วนเหล็กโครงสร้างที่ไม่จำเป็นออกไปเพื่อเป็นการลดน้ำหนักของโครงสร้างกระโปรงกันพายุหมัก โดยรายละเอียดของแบบโครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบใหม่แสดงไว้ในภาคผนวก ค

2) การวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบใหม่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบใหม่ จะกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาเหมือนกับการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบเดิมในกรณีที่ 2 ที่มีค่ามุมเอียงเท่ากับ 1 องศา

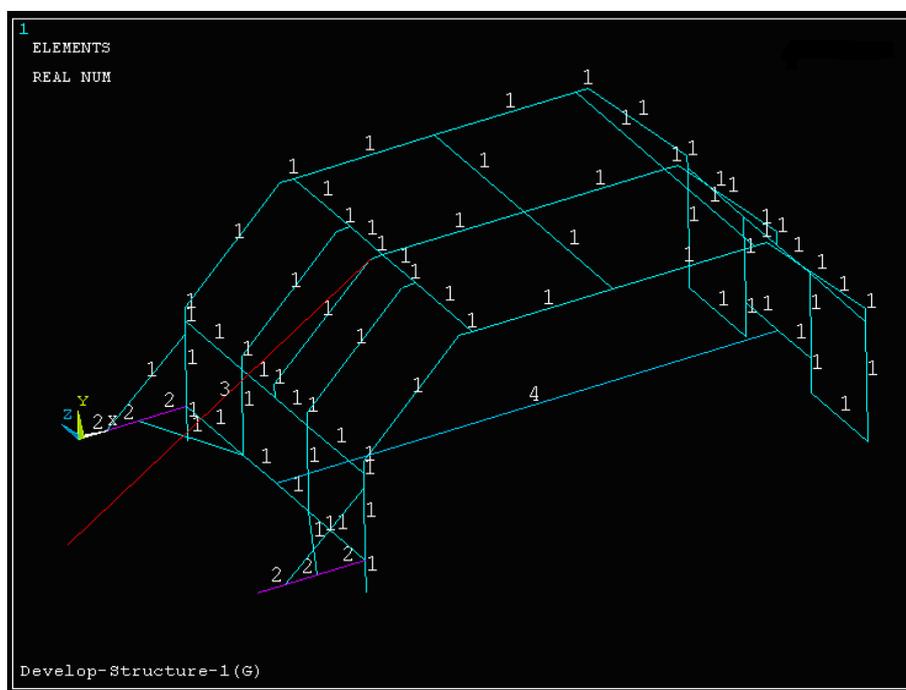
2.2) การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.2.1) การกำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุแต่ละเอลิเมนต์

กำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะกำหนดให้เอลิเมนต์แบบคานที่แทนชุดเพลากลักกองปู้ยมีค่าคุณสมบัติวัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (SS304) และในส่วนเอลิเมนต์แบบคานที่แทนชิ้นส่วนที่เหลือทั้งหมดจะกำหนดให้มีค่าคุณสมบัติวัสดุเป็นเหล็กกล้า AISI 1030CD โดยรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุทั้ง 2 ชนิด แสดงไว้ในตารางผนวกที่ ข3 และ ข4

2.2.2) การกำหนดค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ

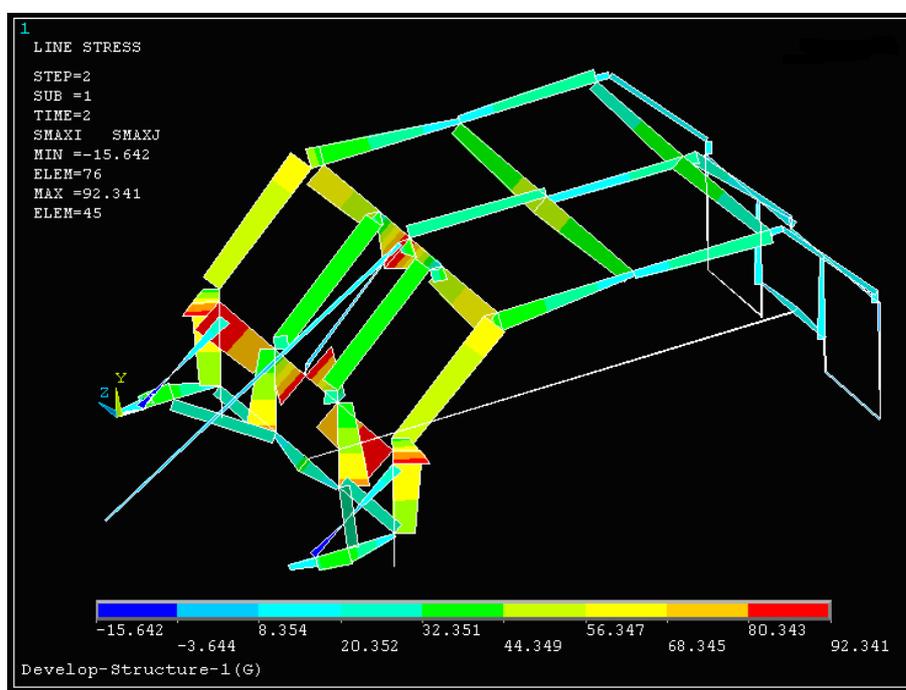
ในการกำหนดค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 1, 2, 3, 4 เพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปู้ยหมักแบบใหม่สามารถแสดงไว้ในภาพที่ 73 โดยที่ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 1, 2, 3, 4 มีรายละเอียดของค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดแสดงไว้ในภาพผนวกที่ ก9-ก12 ตามลำดับ



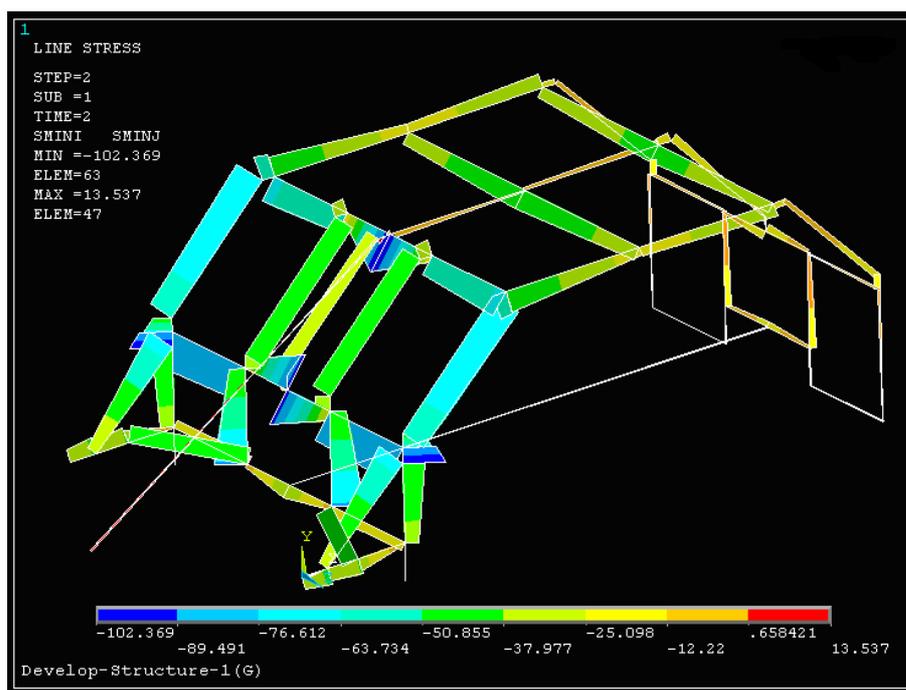
ภาพที่ 73 ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดเอลิเมนต์ที่แทนชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกันปู้ยหมักแบบใหม่

3) ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นบนโครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบใหม่ ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นบนโครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบใหม่ จากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในกรณีที่ 2 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์ทั้งหมด 60 จุดต่อ และมีจำนวนของเอลิเมนต์แบบคาน 3 มิติ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 80 เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถแสดงค่าการกระจายความเค้นความเค้นดึงสูงสุดและค่าการกระจายความเค้นอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบใหม่ได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 74 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบใหม่

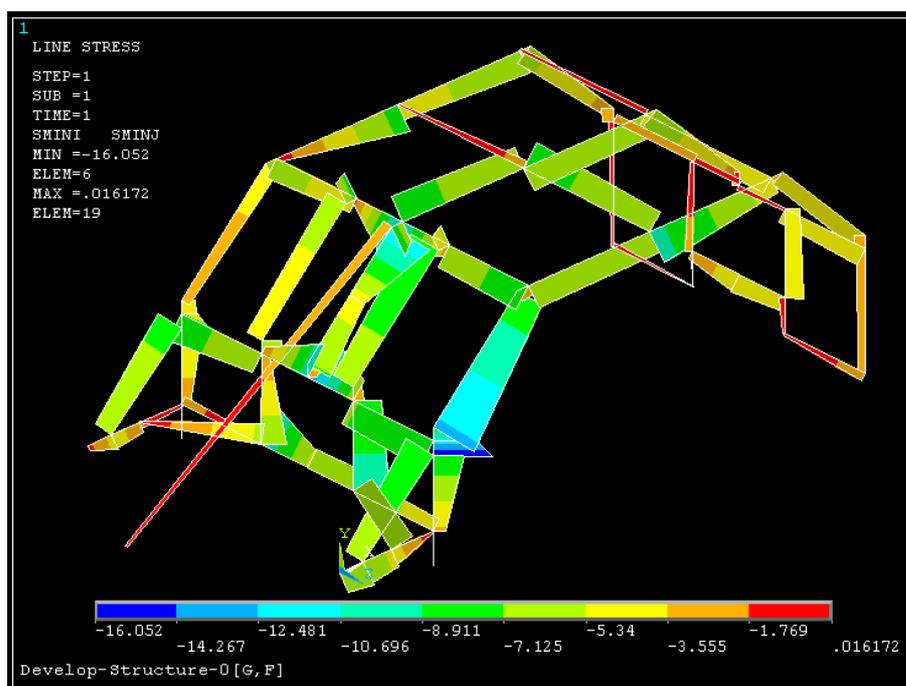


ภาพที่ 75 การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่

ภาพที่ 74, 75 แสดงให้เห็นถึงการกระจายความเค้น (Stress Distribution) ดึงสูงสุดและอัดสูงสุด ตามลำดับ ที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่ที่ได้ทำการพัฒนาปรับปรุง จะสังเกตได้ว่าการกระจายความเค้นมีค่อนข้างมากที่บริเวณเหล็กค้ำยัน โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักด้านหน้าและด้านหลัง และบริเวณจุดต่อระหว่าง โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักกับกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อพิจารณาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 102.369 MPa ซึ่งเป็นความเค้นอัด ดังแสดงในภาพที่ 75

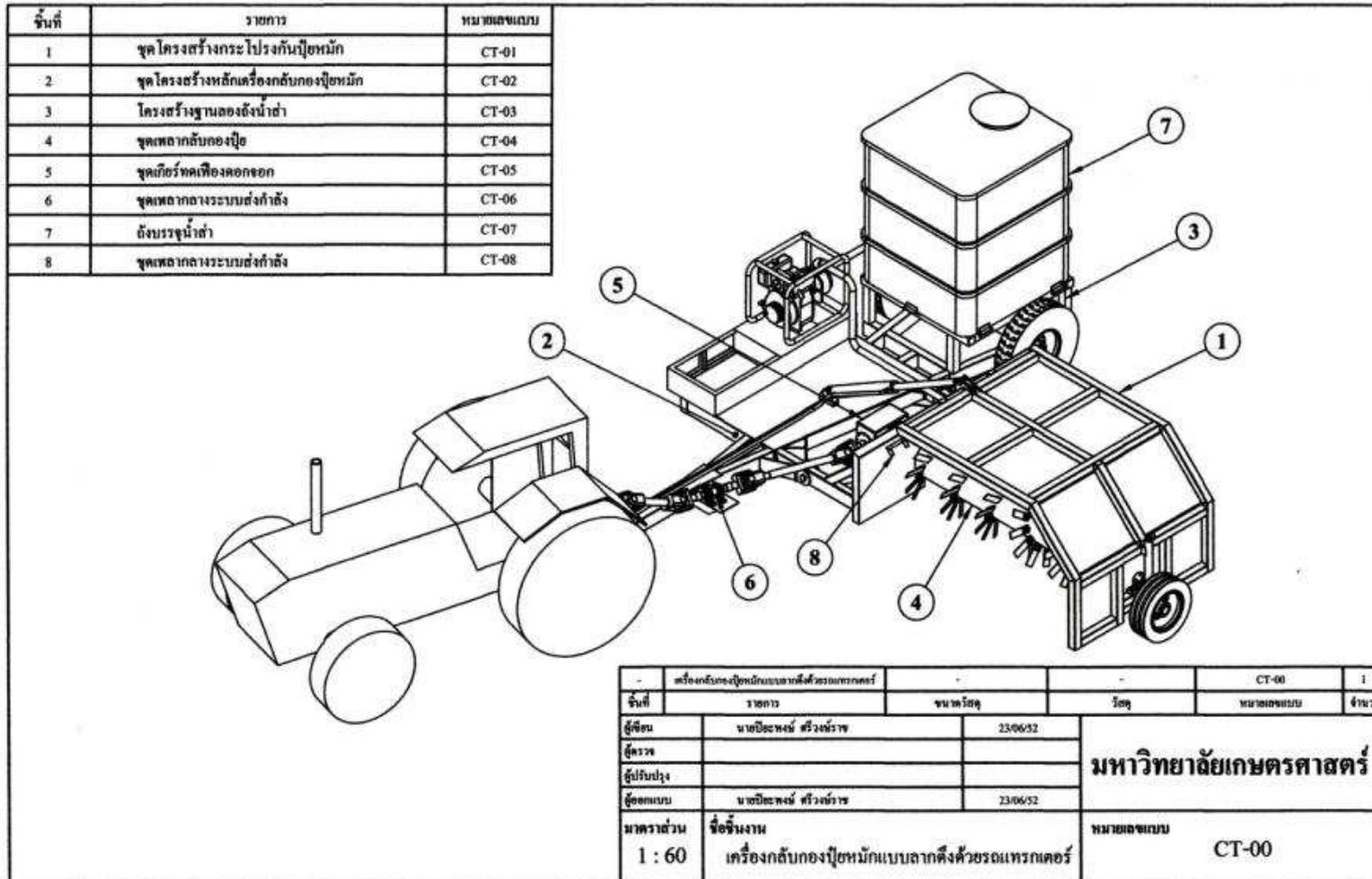
เนื่องจากวัสดุ โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่ทำจากเหล็ก AISI 1030 CD ซึ่งมีค่าความต้านแรงดึงคราก (Yield strength, σ_y) เท่ากับ 440 MPa เมื่อทำการพิจารณาค่าความปลอดภัย (Safety Factor, N) ของโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่ที่มีค่าน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.3 ซึ่งค่าความปลอดภัยที่คำนวณได้จากผลการวิเคราะห์มีค่าความปลอดภัยที่สามารถยอมรับได้ในการออกแบบ โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักของเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่มีสภาพการใช้งานทั่วไปที่หนัก

ส่วนในการวิเคราะห์การกระจายความเค้นของโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบใหม่ เนื่องจากแรงปฏิกิริยาของชุดเพลากลักกองปุยที่มีผลต่อโครงสร้างและภาระแรงจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง สามารถแสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นไว้ในภาพที่ 76 เมื่อทำการพิจารณาค่าความปลอดภัย (Safety Factor, N) ของโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบใหม่ที่มีค่าน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 27.411 ซึ่งค่าความปลอดภัยที่คำนวณได้จากผลการวิเคราะห์จะไม่ทำให้โครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบใหม่เกิดความเสียหายทางกลขึ้นในกรณีที่ 1 ได้



ภาพที่ 76 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบใหม่ที่ถูกระบุด้วยเงื่อนไขของแรงที่กระทำในกรณีที่ 1

หลังจากได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลักกองปุยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ขึ้นใหม่ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมกับการใช้งานภายในประเทศ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการเขียนแบบพิมพ์เขียวของเครื่องกลักกองปุยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา ดังแสดงในภาพที่ 77 (รายละเอียดแบบในภาคผนวก ก)



ภาพที่ 77 แบบประกอบเครื่องกลั่นกรองปุยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา

4. การประมาณราคาเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดิ่งด้วยรถแทรกเตอร์

ได้ดำเนินการประมาณราคาวัสดุและชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติแบบลากดิ่งด้วยรถแทรกเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา โดยไม่คิดรวมค่าแรงในการสร้างเครื่อง ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ชุดโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก

- โครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก (น.น.รวม 368 กิโลกรัม)	16,500 บาท
- แผ่นสแตนเลสกันฝุ่น 2000x1864x3 จำนวน 1 แผ่น (น.น.รวม 87 กิโลกรัม)	13,000 บาท
- แผ่นสแตนเลสกันฝุ่นหมัก 2000x810x3 จำนวน 2 แผ่น (น.น.รวม 38 กิโลกรัม)	10,700 บาท
- แผ่นสแตนเลสกันฝุ่นหมัก 2000x811x3 จำนวน 2 แผ่น (น.น.รวม 37 กิโลกรัม)	10,500 บาท

2. ชุดโครงสร้างหลักเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติ

- โครงสร้างหลักเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติ (น.น.รวม 840 กิโลกรัม)	38,000 บาท
- แผ่นเหล็กบนโครงสร้างหลักเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติ (น.น.รวม 92 กิโลกรัม)	4,100 บาท

3. โครงสร้างเหล็กรองรับบรรจุน้ำสำ (น.น.รวม 83 กิโลกรัม)

3,800 บาท

4. ถังสแตนเลสบรรจุน้ำสำ

65,000 บาท

5. กระบอกสูบไฮดรอลิก ขนาด

- เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรระยะช่วงชัก 870 มิลลิเมตร	23,000 บาท
--	------------

6. ล้อยาง ขนาด

- 600 X 16 จำนวน 1 เส้น	3,500 บาท
- 1000 X 20 จำนวน 2 เส้น	11,000 บาท

7. ระบบส่งกำลัง

- ชุดเพลาข้อต่ออ่อนจำนวน 2 อัน	38,000 บาท
- ชุดเกียร์ทดเฟืองดอกจอก	11,000 บาท
- เพลากลางส่งกำลัง	450 บาท
- ชุดคัปปลิงหน้าแปลน	1,300 บาท

8. ระบบสเปรย์น้ำสำ

- ปุ่มหอยโข่งฉีดเครื่องยนต์เบนซิน จำนวน 1 ชุด	11,000 บาท
- ท่อสแตนเลสสำหรับสเปรย์น้ำสำ (น.น.รวม 28 กิโลกรัม)	4,000 บาท

9. ชุดเพลากลັบกองปู้ย

- | | |
|--|------------|
| - เพลากลັบกองปู้ยหมัก (น.น.รวม 280 กิโลกรัม) | 39,700 บาท |
| - ไบมีด จำนวน 72 ใบ (น.น.รวม 50 กิโลกรัม) | 7,100 บาท |

งบประมาณราคาวัสดุและชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องรวมทั้งหมด 311,650 บาท

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาวิธีการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรมจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ณ โรงงานน้ำตาลขอนแก่น พบว่าขั้นตอนการกลับกองปุ๋ยหมักเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก ในการกลับกองปุ๋ยจะต้องอาศัยเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ช่วยในการกลับกองปุ๋ย ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาแพง และเมื่อนำมาใช้งานยังมีข้อบกพร่องการใช้งาน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักใหม่ โดยมีผลสรุปการออกแบบและพัฒนาดังต่อไปนี้

1. เครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากคิงด้วยรถแทรกเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเลือกใช้ต้นกำลังขับเคลื่อนเพลาลูกกลิ้งจากเพลาลำนำของรถแทรกเตอร์ที่มีขนาดแรงม้าของเพลาลำนำกำลังไม่น้อยกว่า 65.5 แรงม้า และในส่วนของชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ ออกแบบให้สามารถใช้วัสดุที่เหมาะสม สามารถผลิตขึ้นเองได้ภายในประเทศ และง่ายต่อการบำรุงรักษา

2. จากข้อบกพร่องของโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักแบบเดิมเกิดความเสียหายทางกลได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ผลที่ได้พบว่า โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับที่ค่ามุมเอียงน้อยที่สุดจะทำให้เกิดค่าความเค้นบนโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักแบบเดิมมากที่สุด เมื่อคำนวณหาค่าความปลอดภัยในกรณีนี้ที่โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักแบบเดิมทำมุมเอียง 1 องศา กับพื้นในแนวระดับ ค่าความปลอดภัยมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.82 ซึ่งมีค่าน้อยเกินไปในการออกแบบ จึงทำให้โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักแบบเดิมเกิดความเสียหายทางกลได้

3. เมื่อทำการเทียบเคียงบริเวณที่เกิดความเสียหายทางกลของโครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักแบบเดิมที่เกิดขึ้นจริงกับบริเวณที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดจากผลการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปุ๋ยหมักแบบเดิมทำมุมเอียง 1 องศา กับพื้นในแนวระดับด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าผลที่ได้จากการเทียบเคียงมีความสอดคล้องกัน

4. การพัฒนาโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่ ทำการเลือกใช้วัสดุใหม่ที่มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น จากวัสดุโครงสร้างเดิมใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (SS304) ได้เปลี่ยนวัสดุโครงสร้างใหม่เป็นเหล็ก AISI 1030CD และทำการลดจำนวนชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่จำเป็นลง เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดเงื่อนไขในกรณีที่โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักเอียงทำมุม 1 องศา กับพื้นในแนวระดับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถคำนวณหาค่าความปลอดภัยที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่มีค่าเท่ากับ 4.3 ซึ่งเป็นค่าความปลอดภัยที่สูงสามารถยอมรับได้ในการออกแบบ

5. หลังจากได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลึงกองปูยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์จึงได้แบบพิมพ์เขียวที่สามารถนำไปใช้สร้างเครื่องกลึงกองปูยหมักได้ โดยมีงบประมาณในการสร้างเครื่องรวมทั้งหมดประมาณ 311,650 บาท

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาการทำงานเครื่องกลึงกองปูยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์ เครื่องจักรควรปฏิบัติงานบนพื้นที่ที่ราบเรียบสม่ำเสมอ พื้นไม่อ่อนหรือยุบตัวได้ง่าย เพราะถ้าเครื่องกลึงกองปูยหมักปฏิบัติในพื้นที่ที่ยุบตัวได้ง่าย อาจทำให้เครื่องกลึงกองปูยหมักเกิดการติดหล่มได้

2. การออกแบบระบบส่งกำลังขับเคลื่อนเพลากลึงกองปูยหมักให้หมุนทำงาน อาจทำการออกแบบใหม่เป็นระบบไฮดรอลิกโดยใช้มอเตอร์ไฮดรอลิกช่วยในการขับเคลื่อนเพลากลึงกองปูย เพื่อเป็นการลดแรงกระตุกในขณะที่เริ่มขับเคลื่อนเพลากลึงกองปูย ซึ่งมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก

3. การวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาผลกระทบเนื่องจากน้ำหนักของส่วนประกอบย่อยต่างๆ ของโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมัก เช่น ใบมีด ล้อยาง แผ่นสแตนเลสกันปูย ท่อสเปร์ย์น้ำสา ซึ่งถ้าหากนำค่าน้ำหนักส่วนประกอบต่างๆ มาพิจารณาจะทำให้ค่าความปลอดภัยที่ได้มีค่าน้อยกว่านี้

4. การเลือกใช้อิเลเมนต์ในการวิเคราะห์โครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักครั้งนี้ ใช้อิเลเมนต์แบบคาน 3 มิติ ซึ่งมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ผล ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไป อาจเลือกใช้อิเล

เมเน็ตรูปแบบอื่นๆ ในการวิเคราะห์ เช่น เอลิเมนต์ทรงสี่หน้า (Tetrahedral Element) เอลิเมนต์ทรงหกเหลี่ยม (Hexahedral Element)

5. ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น หมายถึง พฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของแรงกระทำ ซึ่งในความเป็นจริง โครงสร้างจะไม่เป็นเชิงเส้น

6. วิธีการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเพียงการประมาณค่าของพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงเท่านั้น ดังนั้นในกรณีที่มีทุนวิจัยอาจสร้างชุดทดสอบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างกระโปรงกันบูยหมัก เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้ว่ามีความเชื่อถือได้หรือไม่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

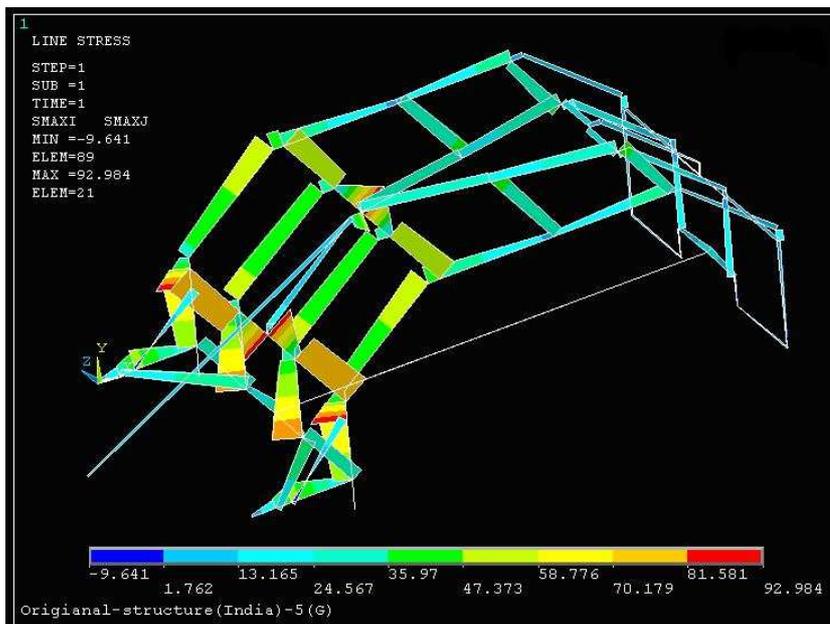
- ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร. 2544. ไฮดรอลิคอุตสาหกรรม. บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์. 2542. เครื่องจักรกลเกษตรเพื่อการเตรียมดิน เล่ม 1. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- บัณฑิต สุขสวัสดิ์. 2544. การออกแบบและพัฒนาไถจอบหมุนสำหรับเตรียมดินทำเทือกนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บรรเลง ศรีนิล และ ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. 2524. ตารางานโลหะ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- _____ และ กิตติ นิงสานนท์. 2530. การคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. ปู่อินทรี. สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ
- วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2541. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 10, บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- _____. 2531. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 6, บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- สุรินทร์ พงศ์สุกสมิทธิ์. 2530. ระบบรถแทรกเตอร์และการออกแบบเพื่อการเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สมชาย ปกรโณดม. 2522. เครื่องจักรกลเกษตรหลักการเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1, โครงการผลิตตำราภาษาไทย สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร โรงพิมพ์รุ่งเกียรติ, ขอนแก่น.

- สมปอง หมั่นแจ้ง. 2548. **ปฎิบัติจริง(ฉบับนักวิชาการ)**. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สมยศ เชิญอักษร. 2541. **การออกแบบเครื่องกลขนถ่ายวัสดุเกษตรและอาหาร**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- อานัฐ ตันโซ. 2549. **เกษตรธรรมชาติประยุกต์**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, ปทุมธานี.
- Daryl L. Logan. 2007. **A First Course in the Finite Element Method**. 4th ed. R.R. Donnelley, The United States
- Joseph, E.S. and C.R. Mischke. 2001. **Mechanical Engineering Design**. 6th ed. The McGraw-Hill, New York.
- Kiatiwat, T. 2006. **Handout Mechine Desing 1**. Mechanical Engineering Department of Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- _____. 2006. **Handout Mechine Desing 2**. Mechanical Engineering Department of Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Saeed, M. 2003. **Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS**. 2th ed. Peason Education International, The United States of America.
- Sandeen, A and M. Gamroth. **Composting An Alternative for Livestock Manure Management and Disposal of Dead Animals**. Oregon state university.

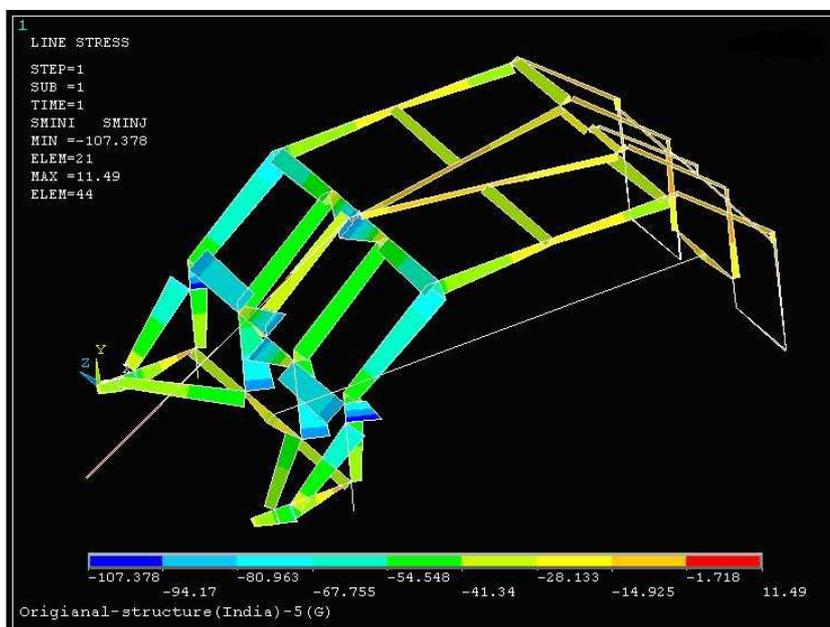
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

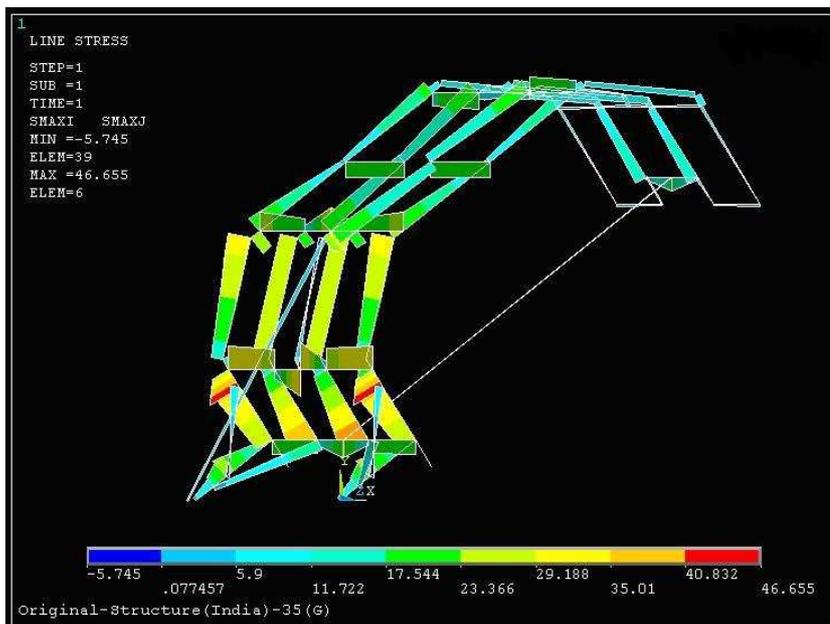
ภาพผนวก



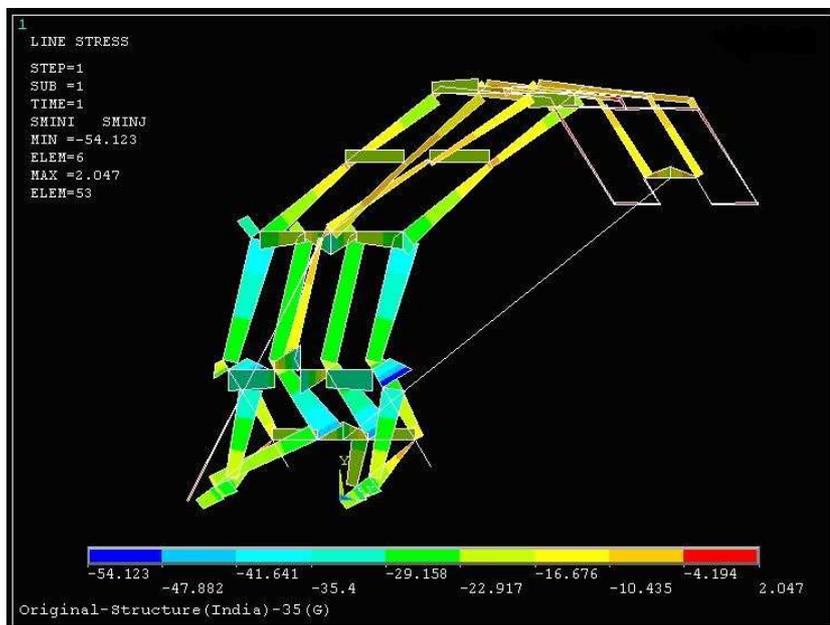
ภาพผนวกที่ ก1 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบเดิม เมื่อ โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 5 องศา



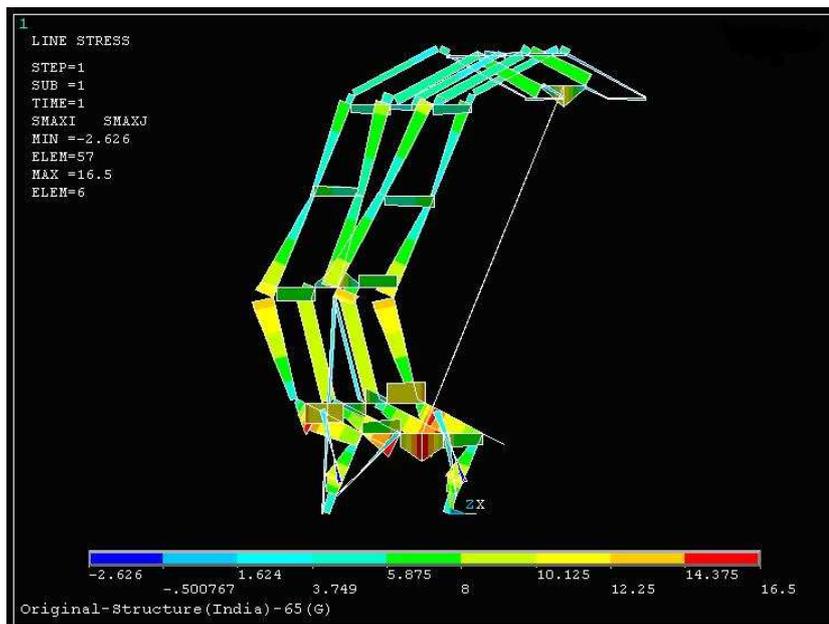
ภาพผนวกที่ ก2 การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบเดิม เมื่อ โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 5 องศา



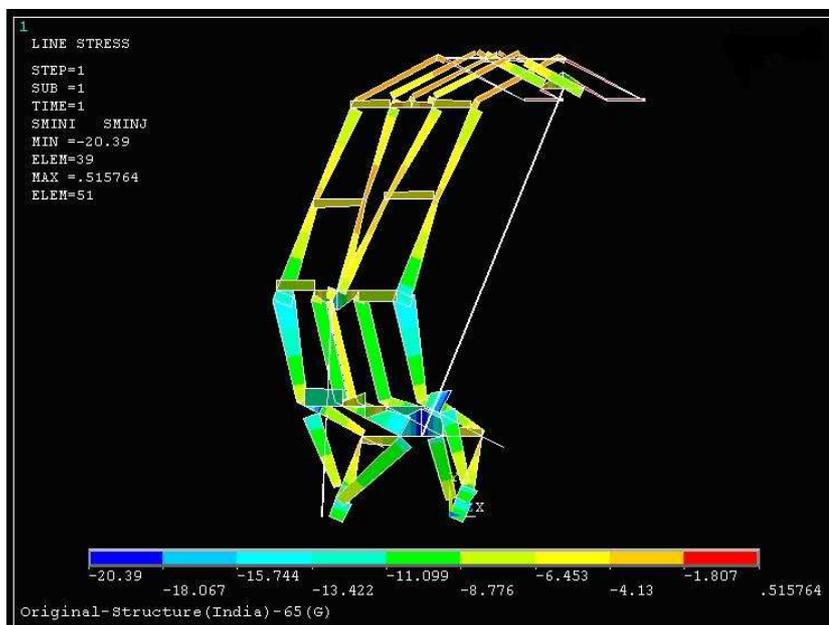
ภาพผนวกที่ ก3 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบเดิม เมื่อ โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 35 องศา



ภาพผนวกที่ ก4 การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันบู๊หมักแบบเดิม เมื่อ โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 35 องศา



ภาพผนวกที่ ก5 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกันปฎิภัยหมักแบบเดิม เมื่อ โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 65 องศา



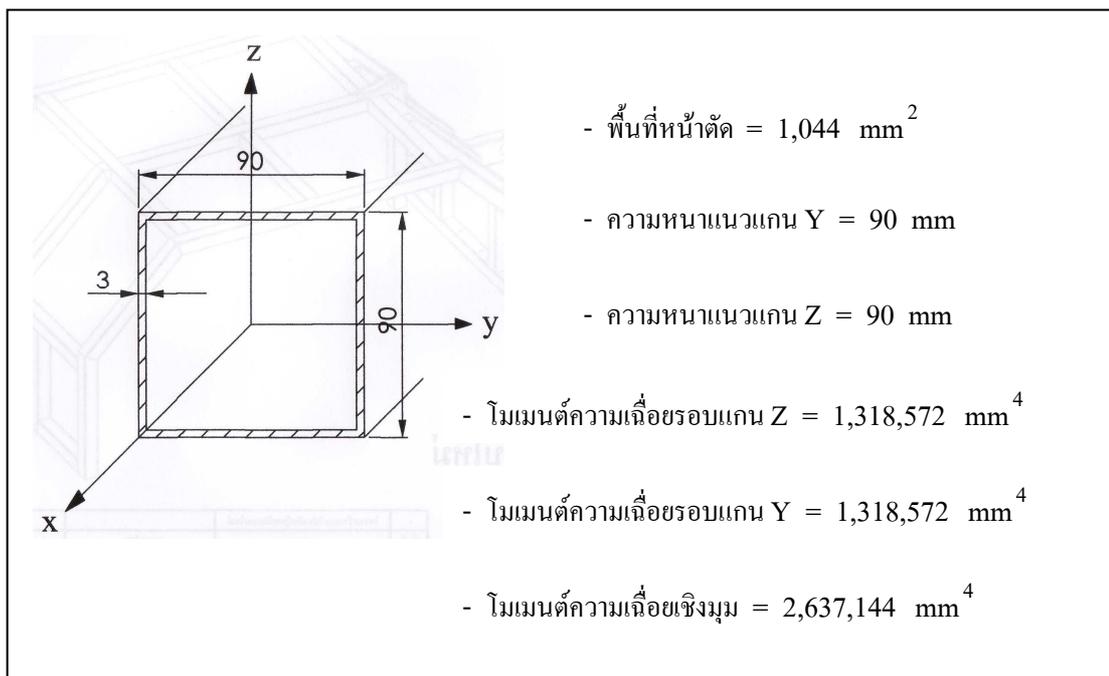
ภาพผนวกที่ ก6 การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบนโครงสร้างกระโปรงกันปฎิภัยหมักแบบเดิม เมื่อ โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 65 องศา



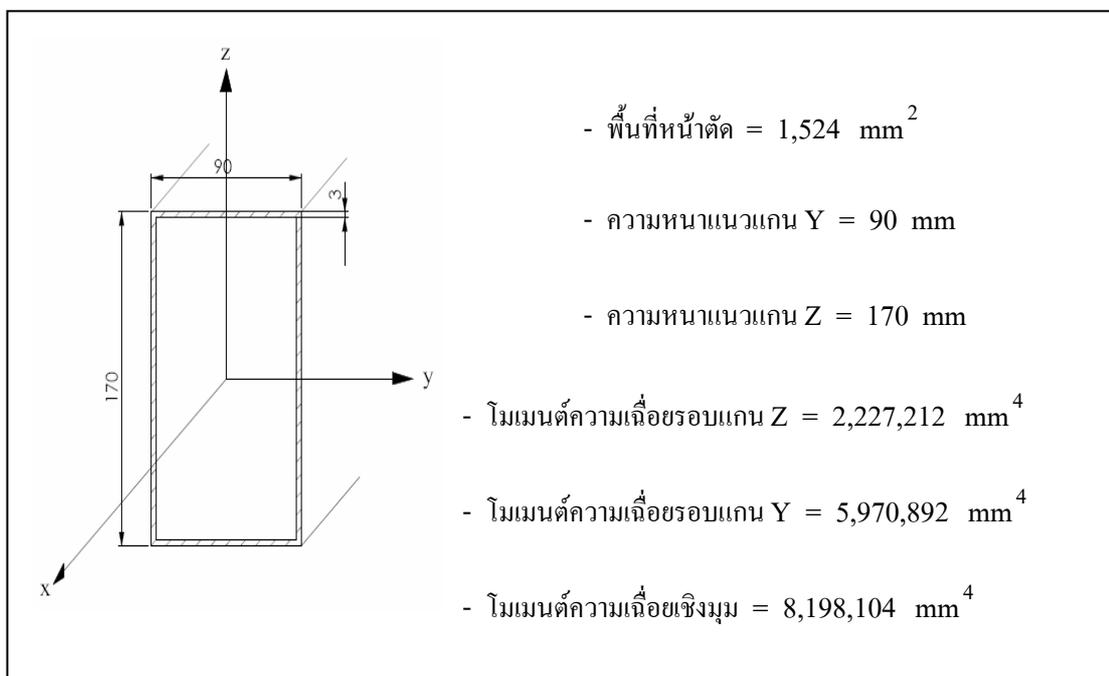
ภาพผนวกที่ ก7 การกระจายความเค้นดึงสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกันปฎิภัยหมักแบบเดิม เมื่อ
โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 90 องศา



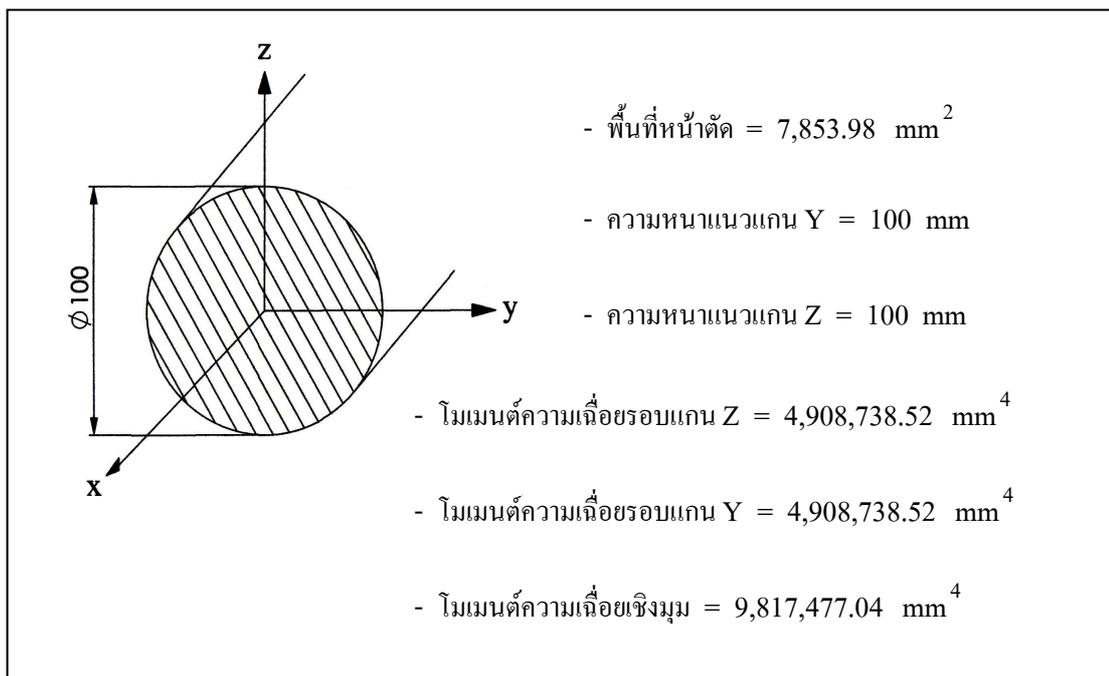
ภาพผนวกที่ ก8 การกระจายความเค้นอัดสูงสุดบน โครงสร้างกระโปรงกันปฎิภัยหมักแบบเดิม เมื่อ
โครงสร้างแบบเดิมเอียงทำมุมกับพื้นในแนวระดับ 90 องศา



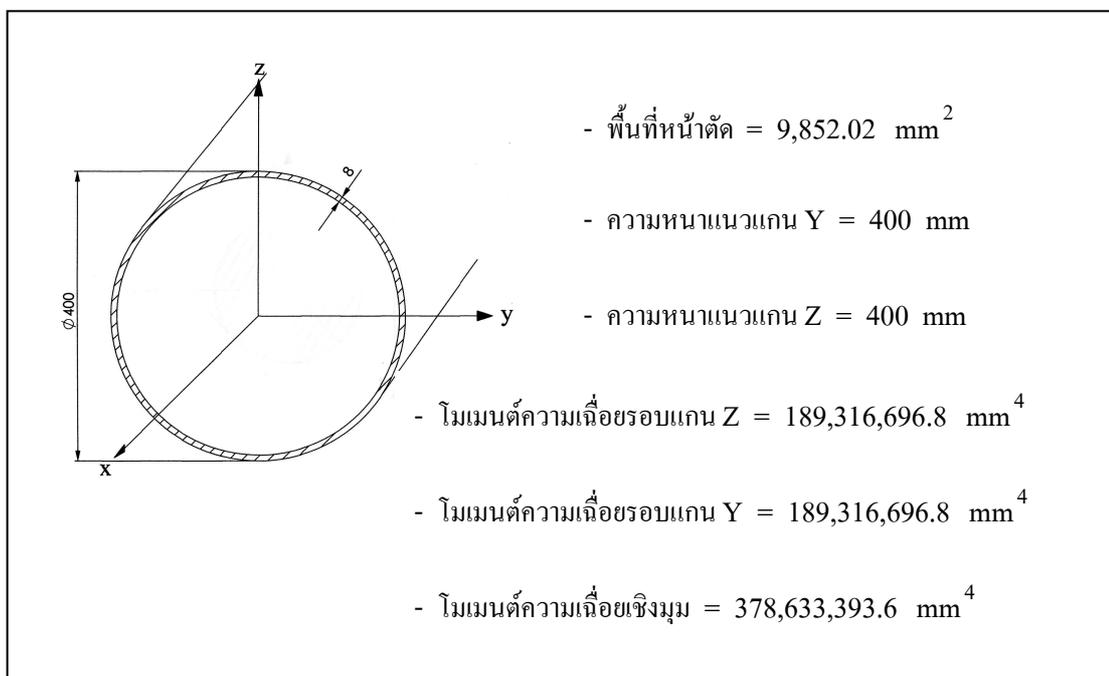
ภาพผนวกที่ ก9 ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 1



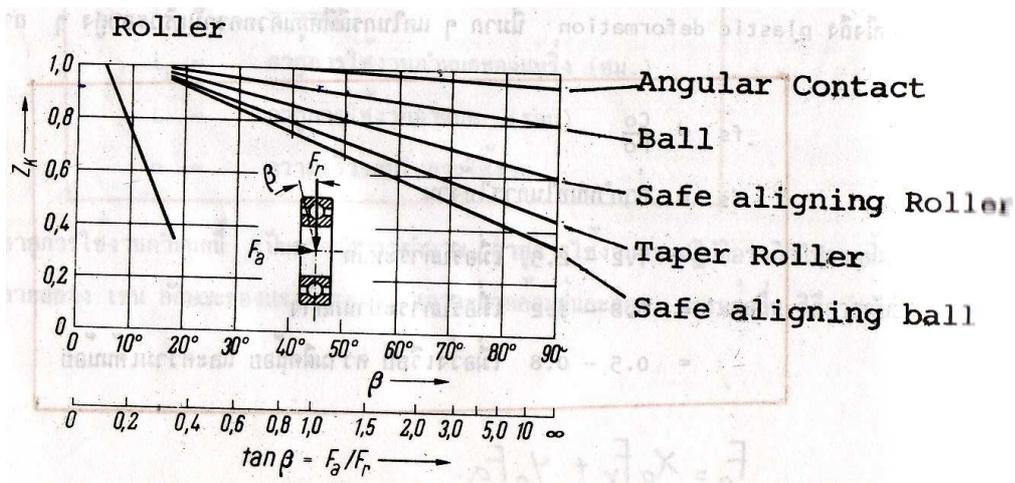
ภาพผนวกที่ ก10 ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 2



ภาพผนวกที่ ก11 ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 3

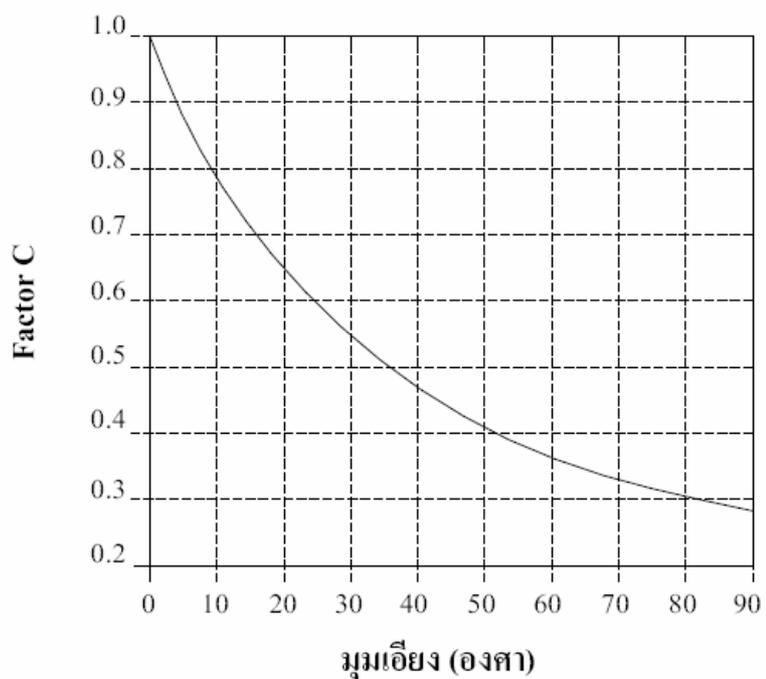


ภาพผนวกที่ ก12 ค่าคงที่พื้นที่หน้าตัดของเอลิเมนต์แบบที่ 4



ภาพผนวกที่ ก13 แฟกเตอร์ของภาระ , Z_k

ที่มา: บรรณานุกรม และกิตติ



ภาพผนวกที่ ก14 แฟกเตอร์เนื่องจากมุมเอียงจากแนวราบ

ที่มา: สมยศ (2541)

ภาคผนวก ข

ตารางผนวก

ตารางผนวกที่ ข1 ความต้านทานรวมต่อการเคลื่อนที่ของวัสดุในเครื่องขนถ่ายแบบเกลียว

มุมเอียง (องศา)	ความต้านทานรวม	ตัวอย่างวัสดุ
0 - 80	1.8	วัสดุไหลง่าย ผิวไม่คม เช่น เมล็ดพืช
	2.5	วัสดุไหลค่อนข้างยาก ผิวค่อนข้างคม เช่น เกลือ
	4.0	วัสดุไหลยาก ผิวคม เช่น ถ่าน ทราช กรวด
80 -90	5.5 – 7.5	วัสดุไหลง่าย ผิวไม่คม เช่น เมล็ดพืช
	6.5 - 8.5	วัสดุไหลยาก ผิวคม เช่น ถ่าน ทราช กรวด

ที่มา: สมยศ (2541)

ตารางผนวกที่ ข2 ข้อมูลจำเพาะรายละเอียดของรถแทรกเตอร์นิวฮอลแลนด์ รุ่น 6610S

รายละเอียด	นิวฮอลแลนด์ รุ่น 6610S
เครื่องยนต์	Direct Injection
แรงม้าเครื่องยนต์	90 แรงม้า
แรงม้าเพลลาอำนาจกำลัง	77 แรงม้า
ระบบเพลลาอำนาจกำลัง	แบบอิสระ, ความเร็วรอบทำงาน 540 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1890 รอบ/นาที
ระบบไฮดรอลิก	ปั๊มไฮดรอลิกแบบฟันเฟือง ความสามารถปั้มน้ำมัน 36.7 ลิตร/นาที แรงดันน้ำมันไฮดรอลิก 2500 ปอนด์/ตารางนิ้ว

ที่มา: มิตรอะไหล่แทรกเตอร์ (2551)

ตารางผนวกที่ ข3 คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SS304

ชนิดวัสดุ	ความหนาแน่น (g/cc.)	ค่าความต้าน แรงดึงสูงสุด (MPa)	ค่าความต้าน แรงดึงคราก (MPa)	โมดูลัส ยืดหยุ่น (GPa)	ค่าอัตราส่วน ปัวส์ซอง ν
SS304	8	505	215	200	0.29

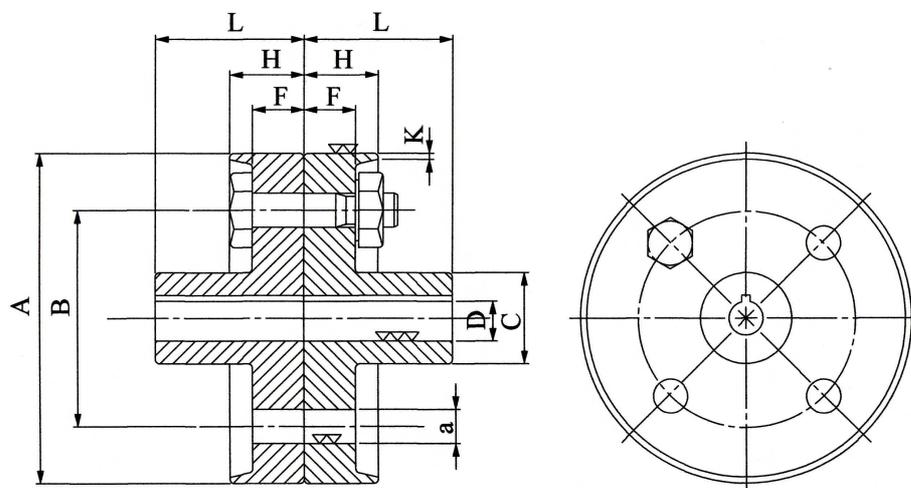
ที่มา: Automation Creations. Inc. (2551)

ตารางผนวกที่ ข4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล็ก Hot Rolled Steel (HR), Cold Drawn Steel (CD)

SAE AND OR AISI NO.	PROCESSING	TENSILE STRENGTH (MPa)	YIELD STRENGTH (MPa)	BRINELL HARDNESS (HB)
1015	HR	340	190	101
	CD	390	320	111
1018	HR	400	220	116
	CD	440	370	126
1020	HR	380	210	111
	CD	470	390	131
1030	HR	470	260	137
	CD	520	440	149
1035	HR	500	270	143
	CD	550	460	163

ที่มา: ชาญญะ (2548)

ตารางผนวกที่ ข5 ขนาดของคัปปลิงแบบหน้าแปลนมาตรฐาน JIB B 1451 – 1975



ขนาด A	ขนาดเพลาด D		L	C	B	F	H	K	a	จำนวน สลักเกลียว n
	โตสุด	เล็กสุด								
112	25	16	40	45	75	16	22.4	4	10	10
125	28	18	45	50	85	18	25	4	14	14
140	35	20	50	63	100	18	25	4	14	14
160	45	25	56	80	115	18	25	6	14	14
180	50	28	63	90	132	18	25	6	14	14
200	56	32	71	100	145	22.4	31.5	6	16	16
224	63	35	80	112	170	22.4	31.5	6	16	16
250	71	40	90	125	180	28	40	8	20	20
280	80	50	100	140	200	28	45	8	20	20
315	90	63	112	160	236	28	45	8	20	20
355	100	71	125	180	260	35.5	63	10	25	25

หน่วย : มิลลิเมตร

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าตัวประกอบความถี่

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายู่นึง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 – 2.0	1.5 – 2.0
เพลามุม :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 – 2.0	1.0 – 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 – 3.0	1.5 – 3.0

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2545)

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายโดยประมาณ

วัสดุ	สัมประสิทธิ์ความเสียหาย			
	สถิต f		เลื่อน f_0	
	แห้ง	เปียก	แห้ง	เปียก
เหล็กกล้ากับเหล็กกล้า	0.15 – 0.20	0.10	0.10 – 0.15	0.05
เหล็กกล้ากับเหล็กหล่อ ทองเหลืองหรือบรอนซ์	0.18 – 0.25	0.10	0.15 – 0.20	0.05
เหล็กหล่อกับเหล็กหล่อหรือ บรอนซ์	0.22 – 0.26	0.16	0.15 – 2.0	0.1
โลหะกับไม้	0.50 – 0.60	0.10	0.20 – 0.50	0.08
ไม้กับไม้	0.50 – 0.70	0.20	0.20 – 0.40	0.005 – 0.15

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2545)

ตารางผนวกที่ ข8 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตั๊ด

คุณสมบัติทางกล	ชั้นคุณสมบัติ								
	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8
ความต้านแรงดึงต่ำสุด (MPa)	340	400		500			600		800
ความต้านแรงดึงสูงสุด (MPa)	490	550		700			800		1000
ความต้านแรงดึงคราก ต่ำสุด (MPa)	200	240	320	300	400	360	480	-	-
ความเค้นพิสูจน์ 0.2% ต่ำสุด (MPa)	-	-	-	-	-	-	-	540	640
การยึดหลัง จากขาด %	25	25	14	20	10	16	8	12	12

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ข9 เกลี่ยวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลี่ยวธรรมดา

ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางระบู่	ระยะพิตช์ (P)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางพิตช์ d_2, D_2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลางน้อย		พื้นที่รับ ความเค้น (A_s, mm^2)
			d_2	D_2	
1.00	0.25	0.838	0.693	0.729	0.456
1.60	0.35	1.373	1.170	1.221	1.270
2.50	0.45	2.208	1.948	2.013	3.390
3.00	0.5	2.675	2.387	2.459	5.030
3.50	0.6	3.110	2.764	2.850	6.780
4.50	0.75	4.013	3.580	3.688	11.300
5.00	0.80	4.480	4.019	4.134	14.200
6.00	1.00	5.350	4.773	4.917	20.100
8.00	1.25	7.183	6.466	6.647	36.600
10.00	1.5	9.026	8.160	8.376	58.000
12.00	1.75	10.863	9.853	10.106	84.300
16.00	2.00	14.701	13.546	13.835	157.000
18.00	2.50	16.376	14.933	15.294	192.000
20.00	2.50	18.376	16.933	17.294	245.000
24.00	3.00	22.051	20.319	20.752	353.00

หน่วย : มิลลิเมตร

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ข10 ขนาดลิ้มมาตรฐานที่ใช้กับเพลานขนาดต่างๆ

ขนาดเพลาน (d) มิลลิเมตร	ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้า	ลิ้มแบน	แซดเดิลกี๊
	ลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัส ISO/R 773,ISO/R 774 b x h	ISO 2491 ISO 2492 b x h	DIN 6881 b x h
22 -25	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5
25 - 28	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5
28 - 32	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5
32 - 38	10 x 8	10 x 6	10 x 4.0
38 - 44	12 x 8	12 x 6	12 x 4.0
44 - 50	14 x 9	14 x 6	14 x 4.5
50 - 58	16 x 10	16 x 7	16 x 5.0
58 - 65	18 x 11	18 x 7	18 x 5.0
65 - 75	20 x 12	20 x 8	20 x 6.0
78 - 85	22 x 14	22 x 9	22 x 7.0
85 - 95	25 x 14	25 x 9	25 x 7.0
95 - 110	28 x 16	28 x 10	28 x 7.5

หมายเหตุ : b คือ ความกว้างลิ้ม (มิลลิเมตร)

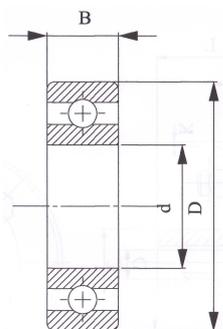
h คือ ความสูงลิ้ม (มิลลิเมตร)

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ข11 คุณสมบัติของ Deep groove ball bearing (DIN 625)

ขนาด	d (mm)	เบอร์ 60				เบอร์ 63			
		D (mm)	B (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)
11	55	90	18	22.0	17.3	120	29	56.0	42.5
12	60	95	18	21.6	17.6	130	31	64.0	48.0
13	65	100	18	22.4	18.6	140	33	72.0	55.0
14	70	110	20	30.0	25.0	150	35	81.5	63.0
15	75	115	20	31.0	26.5	160	37	83.0	72.0

หมายเหตุ :



- d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางในแบริ่ง, มม.
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางนอกแบริ่ง, มม.
 B คือ ความหนาแบริ่ง, มม.
 C คือ Dynamic load rating, kN
 C₀ คือ Static load rating, kN

ที่มา: บรรณเลข และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข12 คุณสมบัติของ Thrust ball bearing (DIN 711)

ขนาด	d _w (mm)	เบอร์ 513				เบอร์ 514			
		D (mm)	B (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)
11	55	105	35	93.0	200	120	48	140	285
12	60	110	35	96.5	216	130	51	166	355
13	65	115	36	100	232	140	56	180	390
14	70	125	40	116	275	150	60	196	455
15	75	135	44	134	315	160	65	208	490

ที่มา: บรรณเลข และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข13 ค่าแฟคเตอร์ของแรงในแนวรัศมี (X) และแนวแกน (Y) สำหรับแบร็ริง

F_a / C_o	0.014	0.028	0.056	0.084	0.11	0.17	0.28	0.42	0.56
e	0.19	0.22	0.26	0.28	0.30	0.34	0.38	0.42	0.44
$F_a / F_r > e, Y =$	2.3	1.99	1.71	1.55	1.45	1.31	1.15	1.04	1.00
เมื่อ $F_a / F_r > e, X=0.56$; $F_a / F_r \leq e, X=1$ และ $Y=0$									

ที่มา: บรรเลง และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข14 ค่าแฟคเตอร์ความแข็ง อุณหภูมิใช้งานสำหรับแบร็ริง

อุณหภูมิใช้งาน, C^o	150	200	250	300
ค่า f_H	1	0.9	0.75	0.6

ที่มา: บรรเลง และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข15 ค่ากำหนดในการใช้งานสำหรับแบร็ริง

สภาพการใช้งาน	ภาระเบา	ภาระปานกลาง	ภาระหนัก
ค่า f_s	0.5 – 0.8	0.8 – 1.2	1.2 – 2.5

ที่มา: บรรเลง และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข16 ค่าแฟคเตอร์ขนาดและชนิดของการหล่อลื่น Z_s สำหรับแบร็ริง

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกแบร็ริง	$D < 30$		$D \geq 30$	
	จาระบี	น้ำมัน	จาระบี	น้ำมัน
ค่า Z_s	3	3.75	1	1.25

ที่มา: บรรเลง และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข17 ค่าความเร็วคงที่ของลูกปืนชนิดต่างๆ

ชนิดของลูกปืน	N, รอบ/นาที
<u>Roller bearing</u>	
Deep groove ball bearing (แถวเดี่ยว)	500000
Angular contact bearing (แถวเดี่ยว)	500000
Cylindrical roller bearing (แถวเดี่ยว)	500000
Needle bearing (แถวเดี่ยว)	200000
<u>Axial bearing</u>	
Axial – Deep groove ball bearing	140000
Axial – Angular contact bearing	220000
Axial – Cylindrical roller bearing	90000

ที่มา: บรรณเลข และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข18 อายุการใช้งานของแบร็ง

ลักษณะงาน	จำนวนชั่วโมง
อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน	1000 – 2000
มอเตอร์ขนาดใหญ่	5000 ขึ้นไป
รถยนต์, รถบรรทุกเล็ก	1500 – 2500
แบร็งเครื่องกลการเกษตร	3000 – 6000
เครื่องยกของเล็ก	5000 – 10000
ชุดเฟืองทด	8000 – 15000
ชุดเฟืองเครื่องมือกล	20000
พัดลมขนาดใหญ่ๆ	40000 – 50000
เครื่องย่อยหิน	20000 - 30000

ที่มา: บรรณเลข และกิตติ

ตารางผนวกที่ ข19 ค่าความเค้นสถิตใช้งานสำหรับใช้กับสมการของลูอิส

วัสดุ	ค่าความเค้นสถิตใช้งาน, σ		HB
	ksi	$\frac{N}{mm^2}$	
เหล็กหล่อสีเทา			
ASTM 25	8	55	174
ASTM 35	12	82	212
เหล็กกล้าหล่อ (คาร์บอนต่ำ)			
0.2 % คาร์บอน ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	20	138	180
0.2 % คาร์บอน WQT	25	172	250
เหล็กกล้าคาร์บอนตีอัด (Forged)			
SAE 1020 case hardened และ WQT	18	124	156
SAE 1030 ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	20	138	180
SAE 1050 ชุบแข็งโดย OQT	35	241	223
เหล็กกล้าผสม			
SAE 2320 case hardened และ WQT	50	345	225
SAE 2345 ชุบแข็งโดย OQT	50	345	475
SAE 3145 ชุบแข็งโดย OQT	53	365	475
SAE 3245 ชุบแข็งโดย OQT	65	448	475
SAE 4640 ชุบแข็ง โดย OQT	55	379	475

หมายเหตุ : WQT หมายถึง ชุบแข็งด้วยน้ำแล้วเทมเปอร์

OQT หมายถึง ชุบแข็งด้วยน้ำมันแล้วเทมเปอร์

ที่มา: วริทธิ์ และชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ข20 ค่าตัวประกอบรูปแบบลูอิส

จำนวน ฟัน	แรงกระทำที่ปลาย			
	20° FD		20° Stub	
	Y	y	Y	y
10	0.201	0.064	0.261	0.083
12	0.245	0.078	0.311	0.099
15	0.289	0.092	0.349	0.111
18	0.308	0.098	0.377	0.120
21	0.326	0.104	0.399	0.127
24	0.337	0.107	0.411	0.132
27	0.348	0.111	0.426	0.136
30	0.358	0.114	0.437	0.139
33	0.367	0.117	0.445	0.142
36	0.377	0.120	0.451	0.144
39	0.386	0.123	0.457	0.146
43	0.397	0.126	0.467	0.147
45	0.399	0.127	0.468	0.149

ที่มา: วรสิทธิ์ และชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ข21 ขนาดมาตรฐานของเพลาลิม ISO/R14

ขนาดเพลาลิม	ขนาดเล็ก				ขนาดปานกลาง				
	D	การให้ชื่อ	Z	D	B	การให้ชื่อ	Z	D	B
32		8 x 32 x 36	8	36	6.0	8 x 32 x 38	8	38	6.0
36		8 x 36 x 40	8	40	7.0	8 x 36 x 42	8	42	7.0
42		8 x 42 x 46	8	46	8.0	8 x 42 x 48	8	48	8.0
46		8 x 46 x 50	8	50	9.0	8 x 46 x 54	8	54	9.0
52		8 x 52 x 58	8	58	10.0	8 x 52 x 60	8	60	10.0
56		8 x 56 x 62	8	62	10.0	8 x 56 x 65	8	65	10.0
62		8 x 62 x 68	8	68	12.0	8 x 62 x 72	8	72	12.0
72		10 x 72 x 68	10	78	12.0	10 x 72 x 82	10	82	12.0

หมายเหตุ : Z คือ จำนวนฟันเพลาลิม

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด

B คือ ความกว้างฟันเพลาลิม

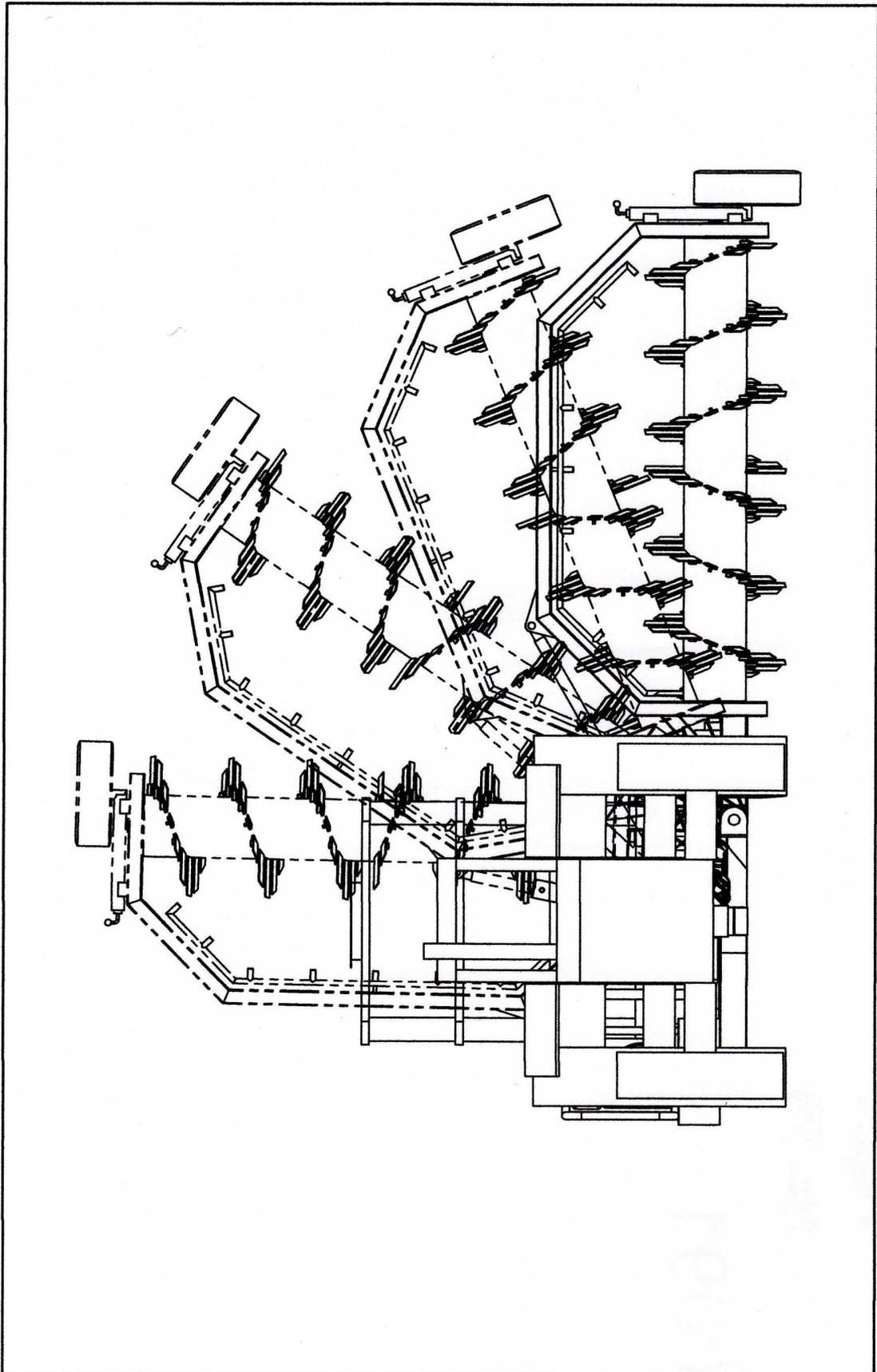
ที่มา: วริทธิ์ และชาญ (2545)

ภาคผนวก ค

แบบพิมพ์เขียวเครื่องกลับกองปุ๋ยหมักแบบลากดึงด้วยรถแทรกเตอร์

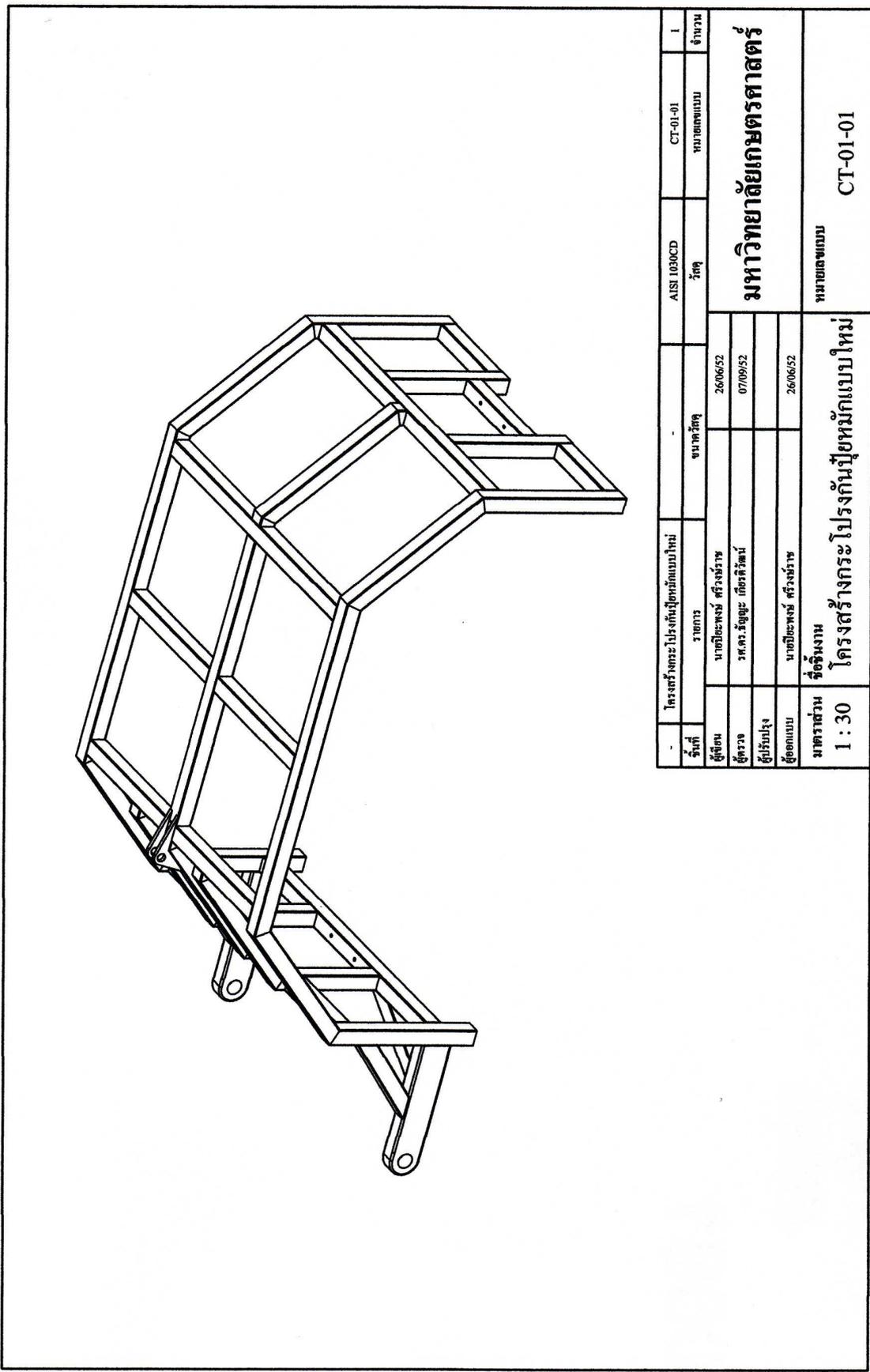
วันที่	รายการ	หมายเลขแบบ
1	ชุดโครงสร้างกระโปรงกันฝุ่นหมัก	CT-01
2	ชุดโครงสร้างหลักเครื่องกลึงฝุ่นหมัก	CT-02
3	โครงสร้างฐานรองรับน้ำเส้า	CT-03
4	ชุดเพลากลึงฝุ่น	CT-04
5	ชุดเกียร์ทดเพื่อเจดงออก	CT-05
6	ชุดเพลากลางระบบส่งกำลัง	CT-06
7	ถังบรรจุน้ำเส้า	CT-07
8	ชุดเพลากลางระบบส่งกำลัง	CT-08

วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	CT-00	จำนวน
	เครื่องกลึงฝุ่นหมักแบบลากคังด้วยรถแทรกเตอร์			หมายเลขแบบ	1
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	23/06/52		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หมายเลขแบบ CT-00	
ผู้ตรวจ	น.ศ.ร.ธัญชัช เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	23/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	เครื่องกลึงฝุ่นหมักแบบลากคังด้วยรถแทรกเตอร์		หมายเลขแบบ	
1 : 60				CT-00	

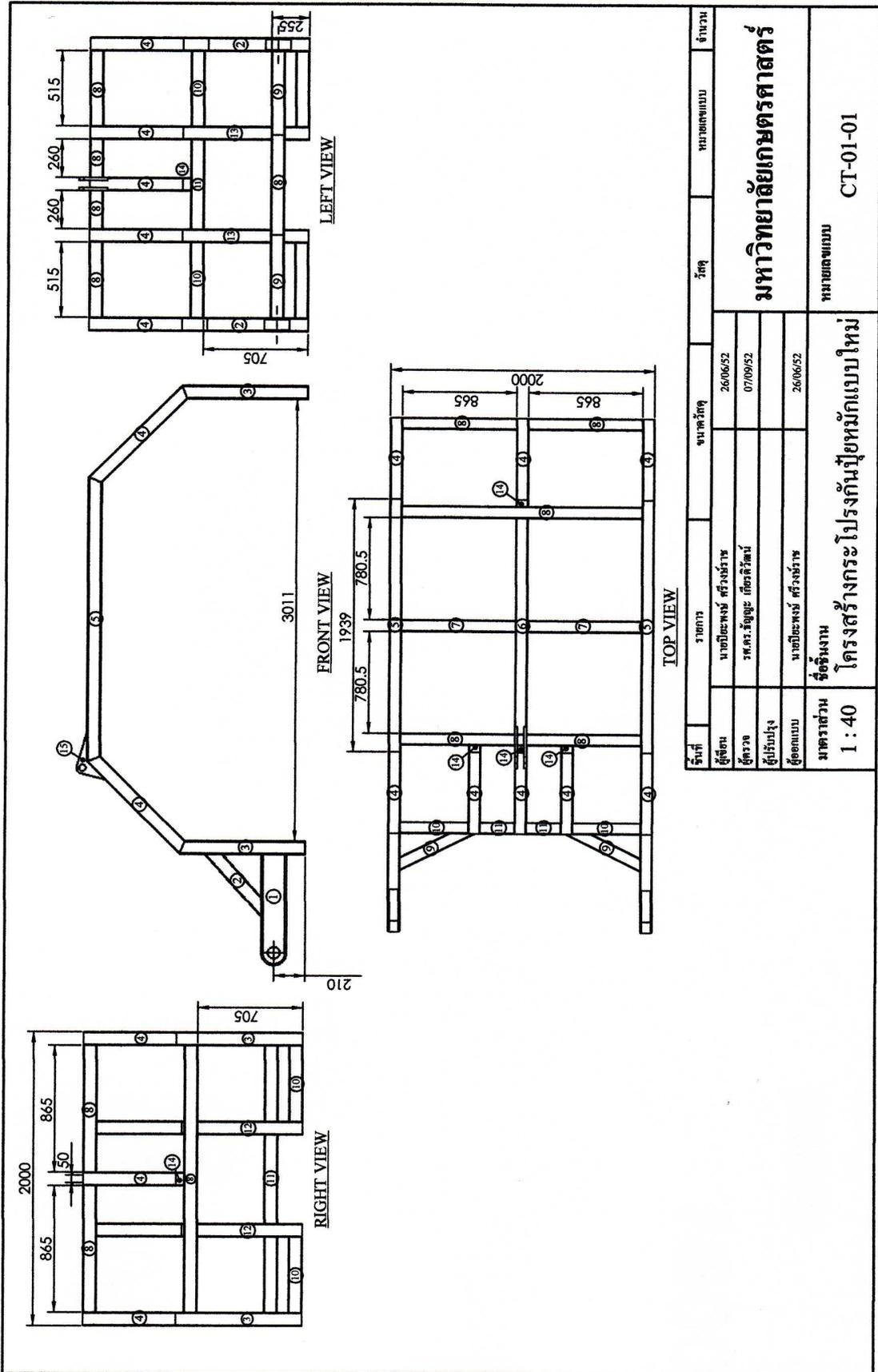


ชั้นที่	รายการ	หมายเลขแบบ
1	โครงสร้างกระโปรงกันปูยกแบบใหม่	CT-01-01
2	แผ่นสแตนเลสกันปู - 1	CT-01-02
3	แผ่นสแตนเลสกันปู - 2	CT-01-03
4	แผ่นสแตนเลสกันปู - 3	CT-01-04

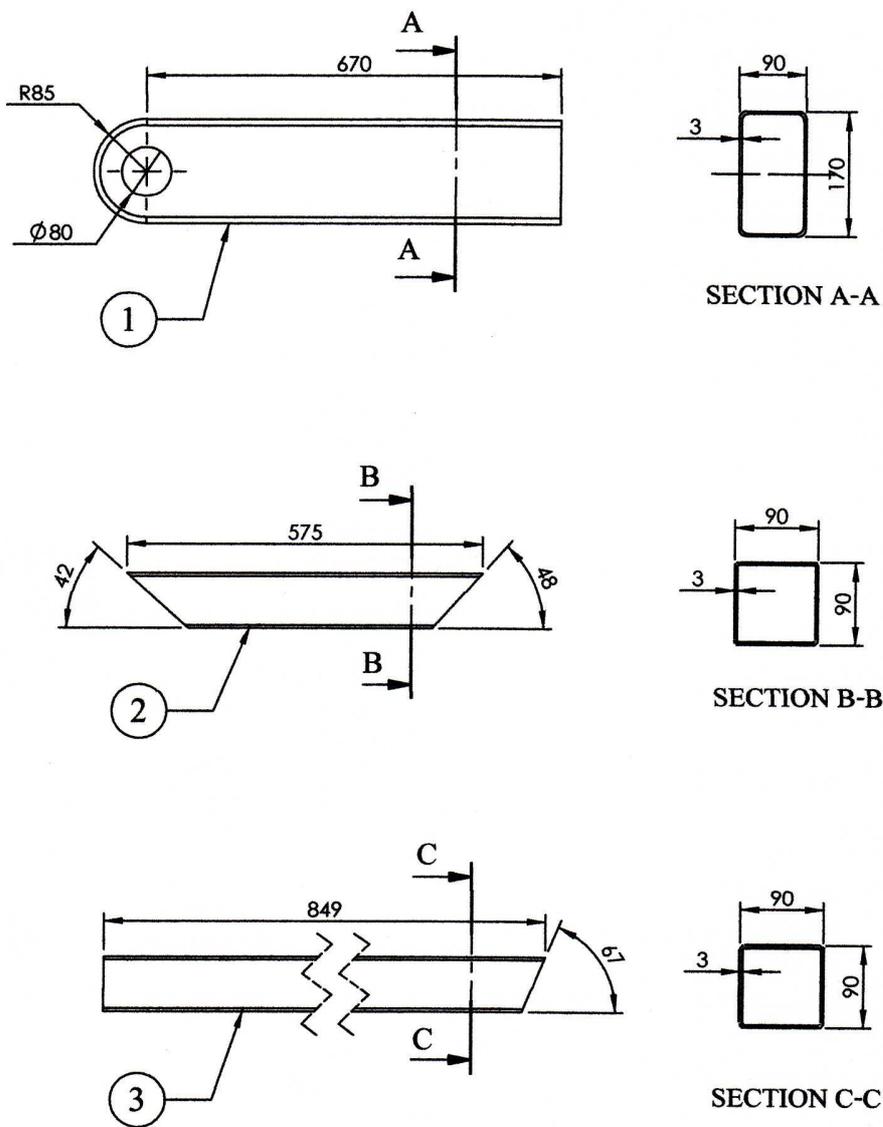
รูปที่	ชุดโครงสร้างกระโปรงกันปูยก	ขนาดวัตถุ	CT-01	1
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.รัชชชัช ธีระจิตต์น	07/09/52		
ผู้ปรับปรุง				
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52		
มาตรฐาน	จัดทำขึ้น			
1 : 35	ชุดโครงสร้างกระโปรงกันปูยก		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
			หมายเลขแบบ	CT-01



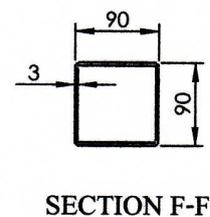
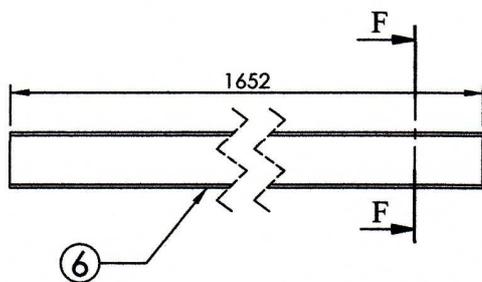
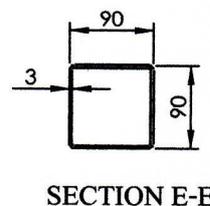
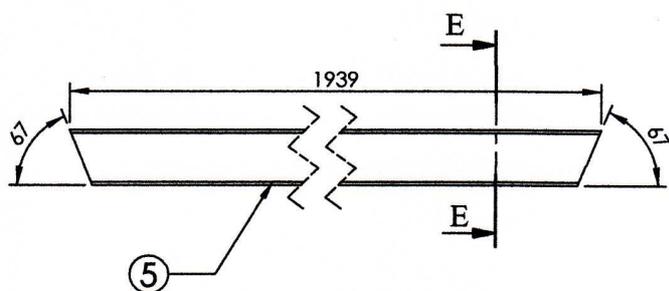
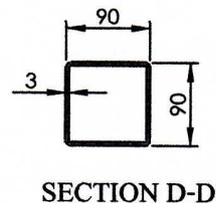
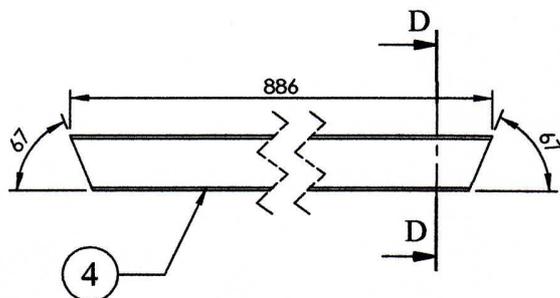
ชื่อโครงการ	โครงการประกอบโครงเหล็กแบบใหม่	ขนาดวัตถุ	-	AISI 1030CD	CT-01-01	จำนวน	1
ผู้เขียน	นายอภิเดช ศรีรัมย์ราช	วันที่	26/06/52	วัสดุ	ขนาดของแบบ	จำนวน	1
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิฑูระ เกษศิริวัฒน์	วันที่	07/09/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
ผู้ปรับปรุง	นายอภิเดช ศรีรัมย์ราช	วันที่	26/06/52				
ผู้ออกแบบ	นายอภิเดช ศรีรัมย์ราช	วันที่	26/06/52	หมายเหตุแบบ			
มาตรฐาน	ซีเอ็นงาน	โครงสร้างกระป๋องกันบูยเหล็กแบบใหม่					
1 : 30	โครงการ						



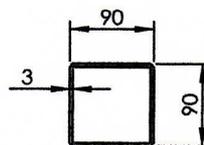
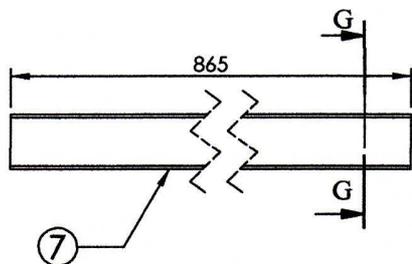
วันที่	รายการ	ขนาดวัตถุ	วัสดุ	ขนาดแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	2606/52			
ผู้ตรวจ	ทศ.ร.บัญชา เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	2606/52			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
1 : 40	โครงสร้างกระโปรงกันพุ่มหมักแบบใหม่				
	หมายเลขแบบ	CT-01-01			



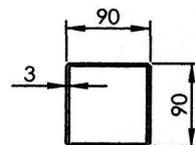
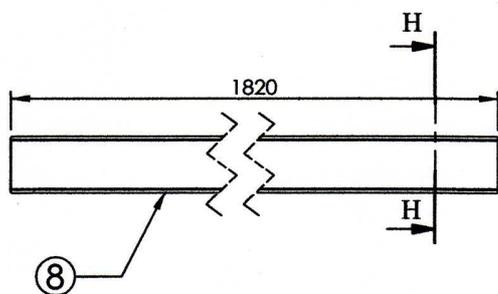
3	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 849LG.	AISI 1030CD	CT-01-01C	4
2	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 575LG.	AISI 1030CD	CT-01-01B	2
1	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมคี่นค้ำ	170 X 90 X 3 X 670LG.	AISI 1030CD	CT-01-01A	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร. รังษิญา เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 12	ชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกันน๊ยะหมักแบบใหม่				



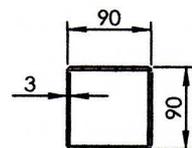
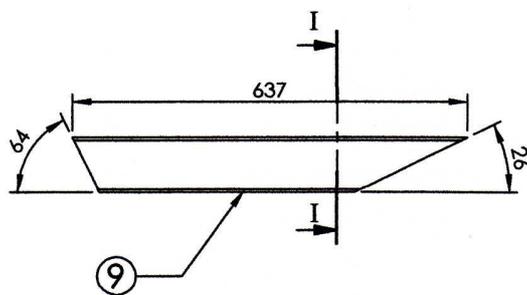
6	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 1652LG.	AISI 1030CD	CT-01-01F	1
5	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 1939LG.	AISI 1030CD	CT-01-01E	2
4	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 886LG.	AISI 1030CD	CT-01-01D	8
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 12	ชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันปูยหมักแบบใหม่				



SECTION G-G

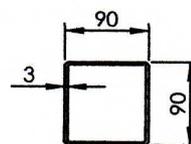
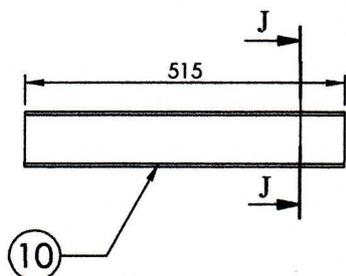


SECTION H-H

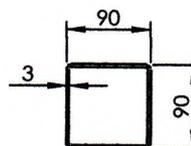
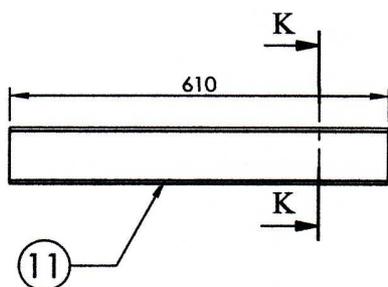


SECTION I-I

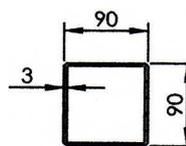
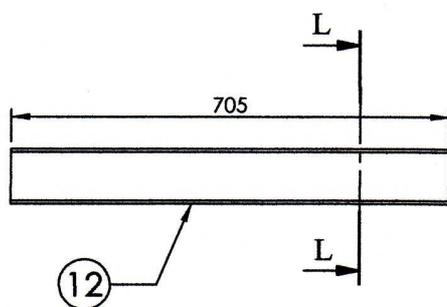
9	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 637LG.	AISI 1030CD	CT-01-01I	2
8	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 1820LG.	AISI 1030CD	CT-01-01H	4
7	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 865LG.	AISI 1030CD	CT-01-01G	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิญญู เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 12	ชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันพายุหมักแบบใหม่				



SECTION J-J

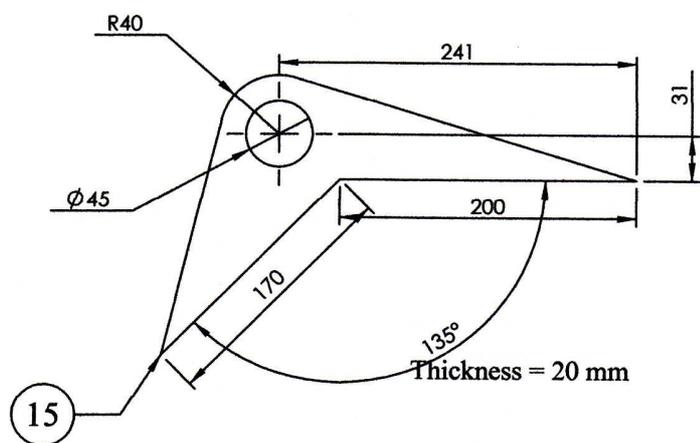
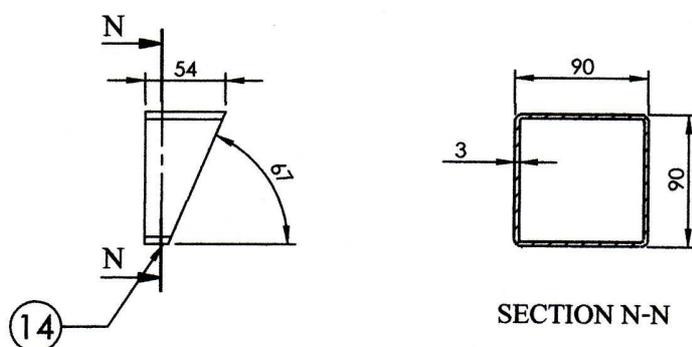
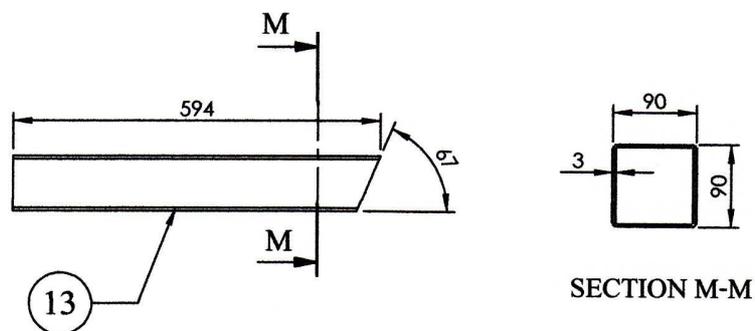


SECTION K-K

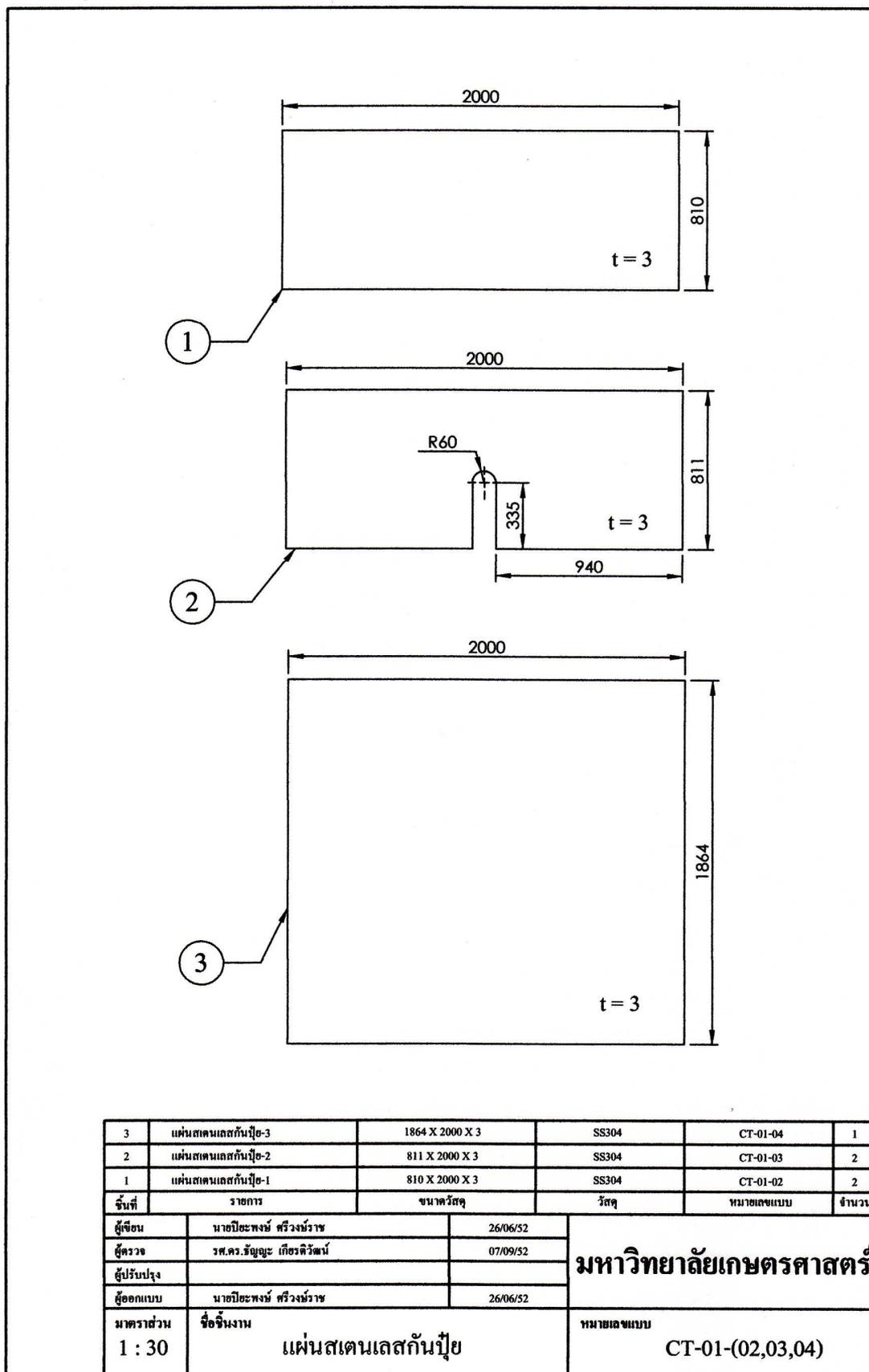


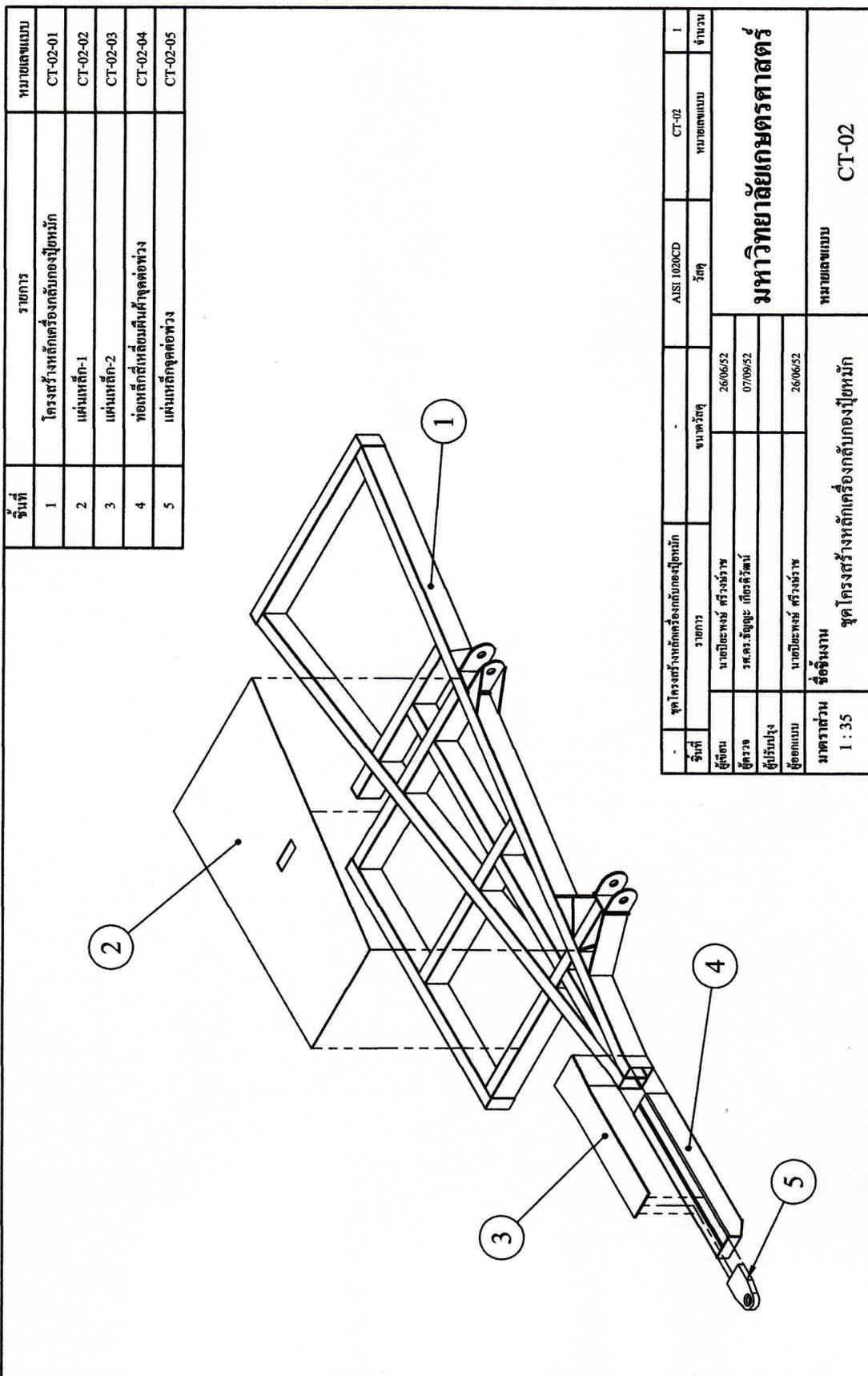
SECTION L-L

12	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 705LG.	AISI 1030CD	CT-01-01L	2
11	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 610LG.	AISI 1030CD	CT-01-01K	2
10	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 515LG.	AISI 1030CD	CT-01-01J	4
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.รัชฎา เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 12	ชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกันน๊อตหมักแบบใหม่				



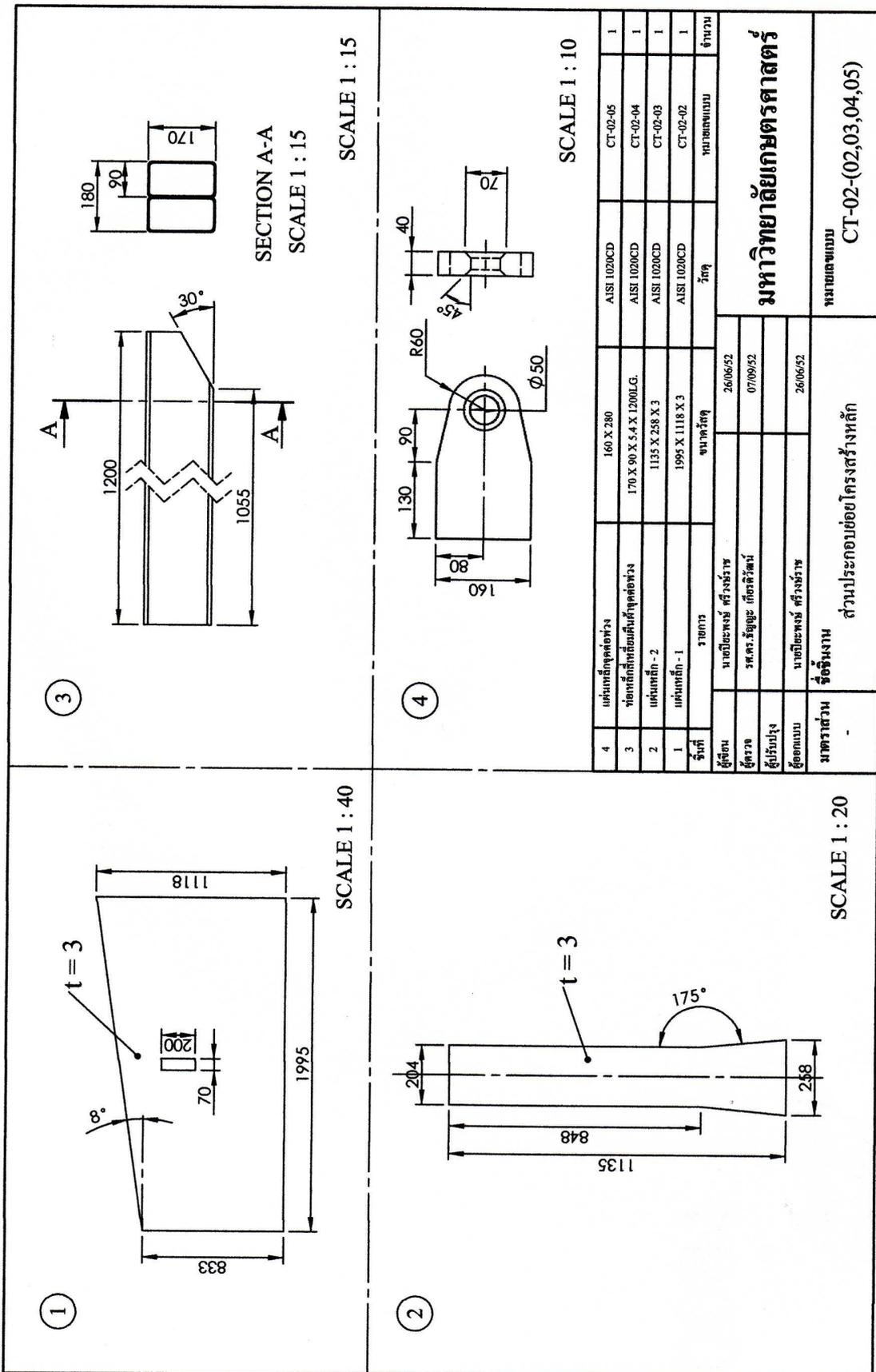
15	เหล็กแผ่น	-	AISI 1030CD	CT-01-01O	2
14	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 54LG.	AISI 1030CD	CT-01-01N	6
13	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 594LG.	AISI 1030CD	CT-01-01M	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิญญู เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน ชิ้นส่วนโครงสร้างกระโปรงกันปุยหมักแบบใหม่		หมายเลขแบบ		





รูปที่	รายการ	หมายเลขแบบ
1	โครงสร้างหลักเครื่องกลึงมือหนัก	CT-02-01
2	แผ่นเหล็ก-1	CT-02-02
3	แผ่นเหล็ก-2	CT-02-03
4	ท่อเหล็กสี่เหลี่ยมเส้นผ่าศูนย์กลาง	CT-02-04
5	แผ่นเหล็กจุดต่อฟวง	CT-02-05

จุดโครงสร้างหลักเครื่องกลึงมือหนัก		AISI 1020CD		CT-02	
รูปที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราช	26/06/52			1
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิญญู เกษศิริวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราช	26/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
1 : 35	ชุดโครงสร้างหลักเครื่องกลึงมือหนัก				
			หมายเลขแบบ CT-02		



SCALE 1 : 15

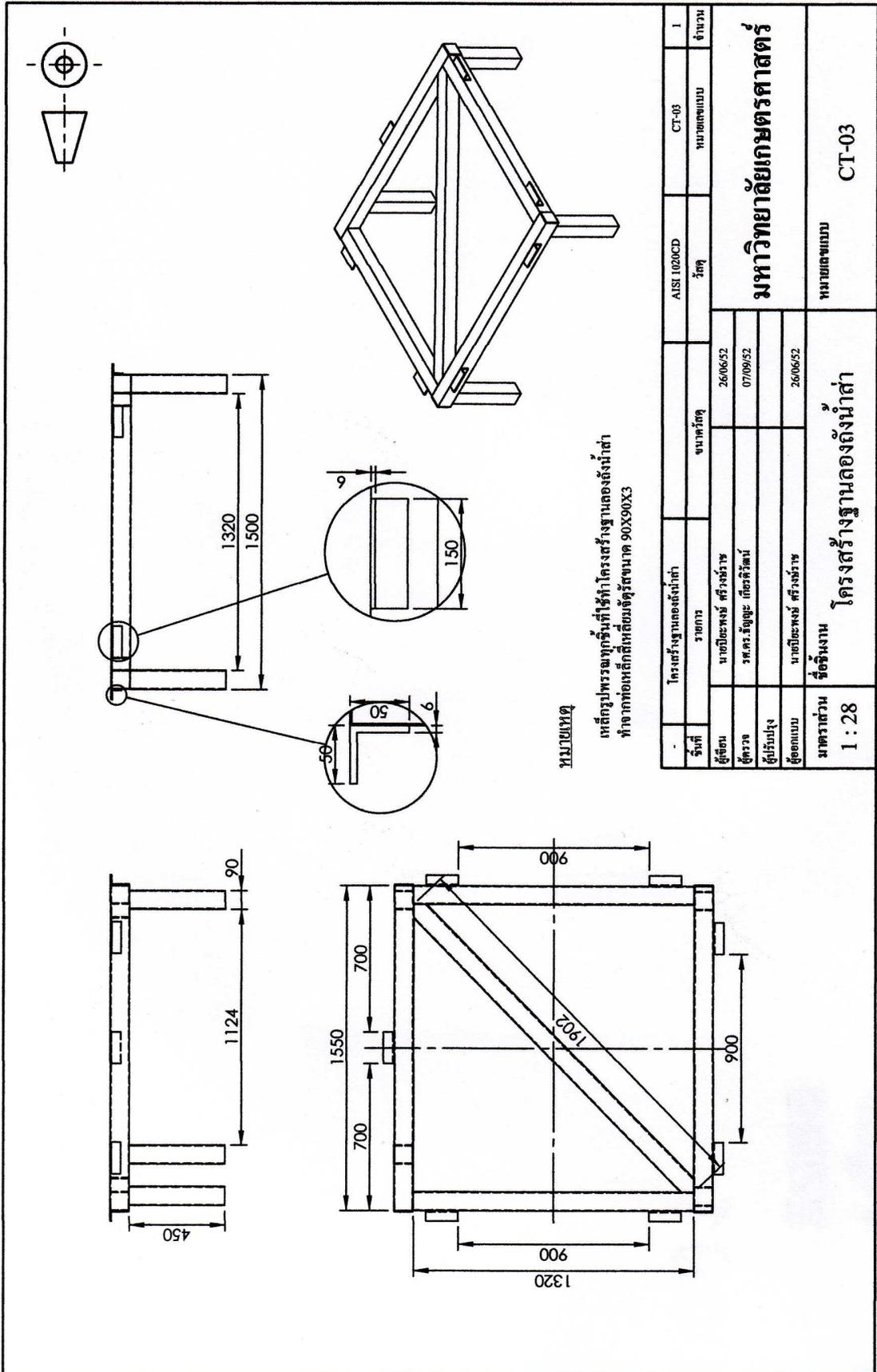
SCALE 1 : 10

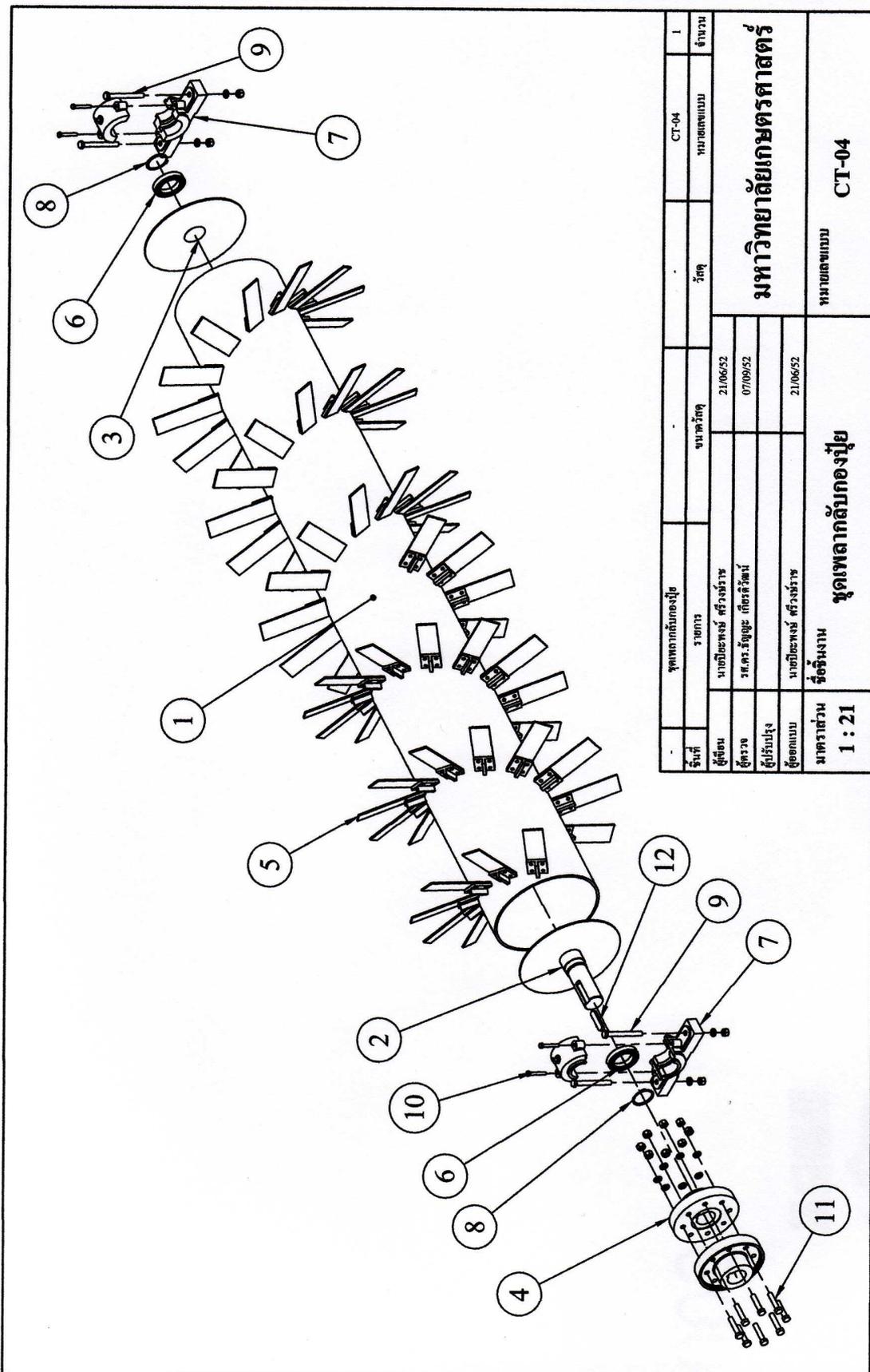
SCALE 1 : 40

SCALE 1 : 20

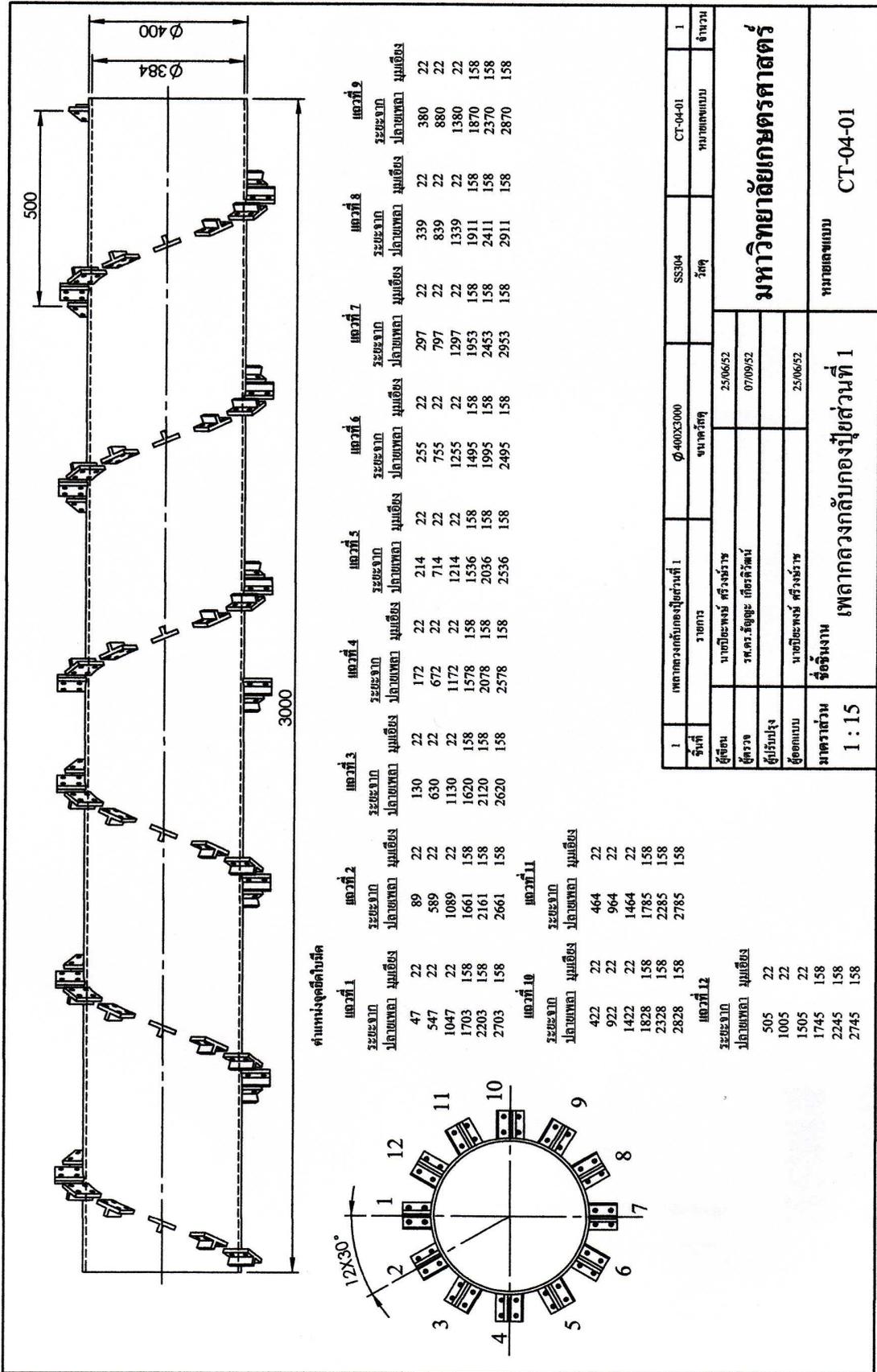
4	แผ่นเหล็กต่อฟาง	160 X 280	AISI 1020CD	CT-02-05	1
3	ข้อเหล็กที่เชื่อมเส้นที่จุดต่อฟาง	170 X 90 X 5.4 X 1200L.G.	AISI 1020CD	CT-02-04	1
2	แผ่นเหล็ก - 2	1135 X 258 X 3	AISI 1020CD	CT-02-03	1
1	แผ่นเหล็ก - 1	1995 X 1118 X 3	AISI 1020CD	CT-02-02	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราช			26/06/52	
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิญญู เกษศิริวัฒน์			07/09/52	
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราช			26/06/52	
มหาวิทยาลัย	ชื่อโรงงาน	ส่วนประกอบย่อยโครงสร้างหลัก			
		หมายเลขแบบ CT-02-(02,03,04,05)			

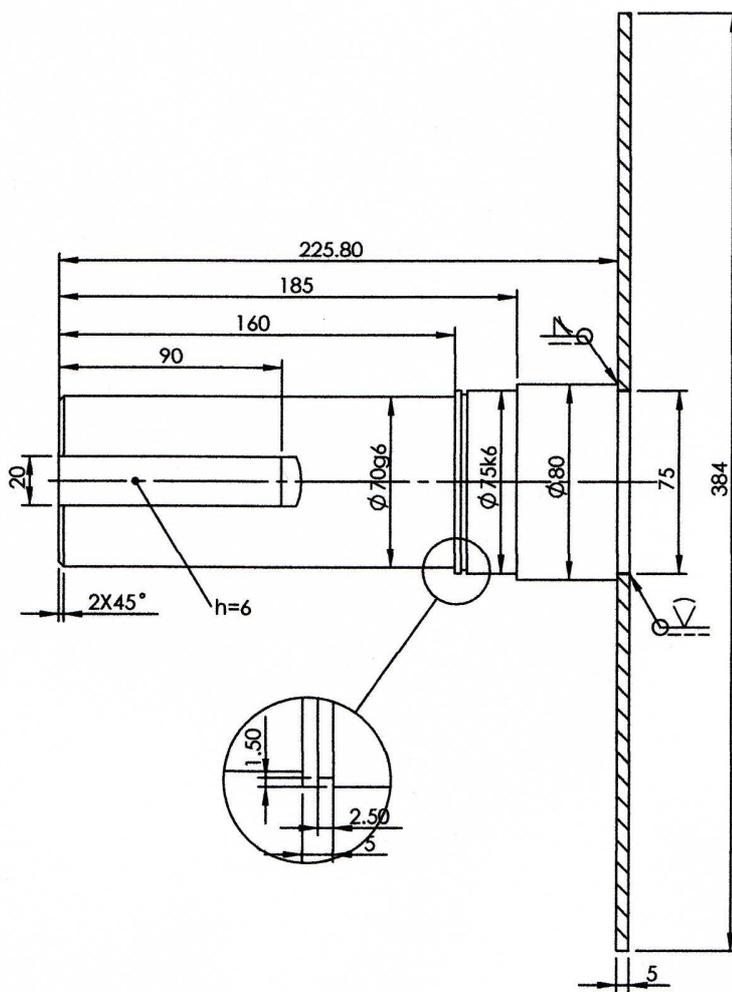
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



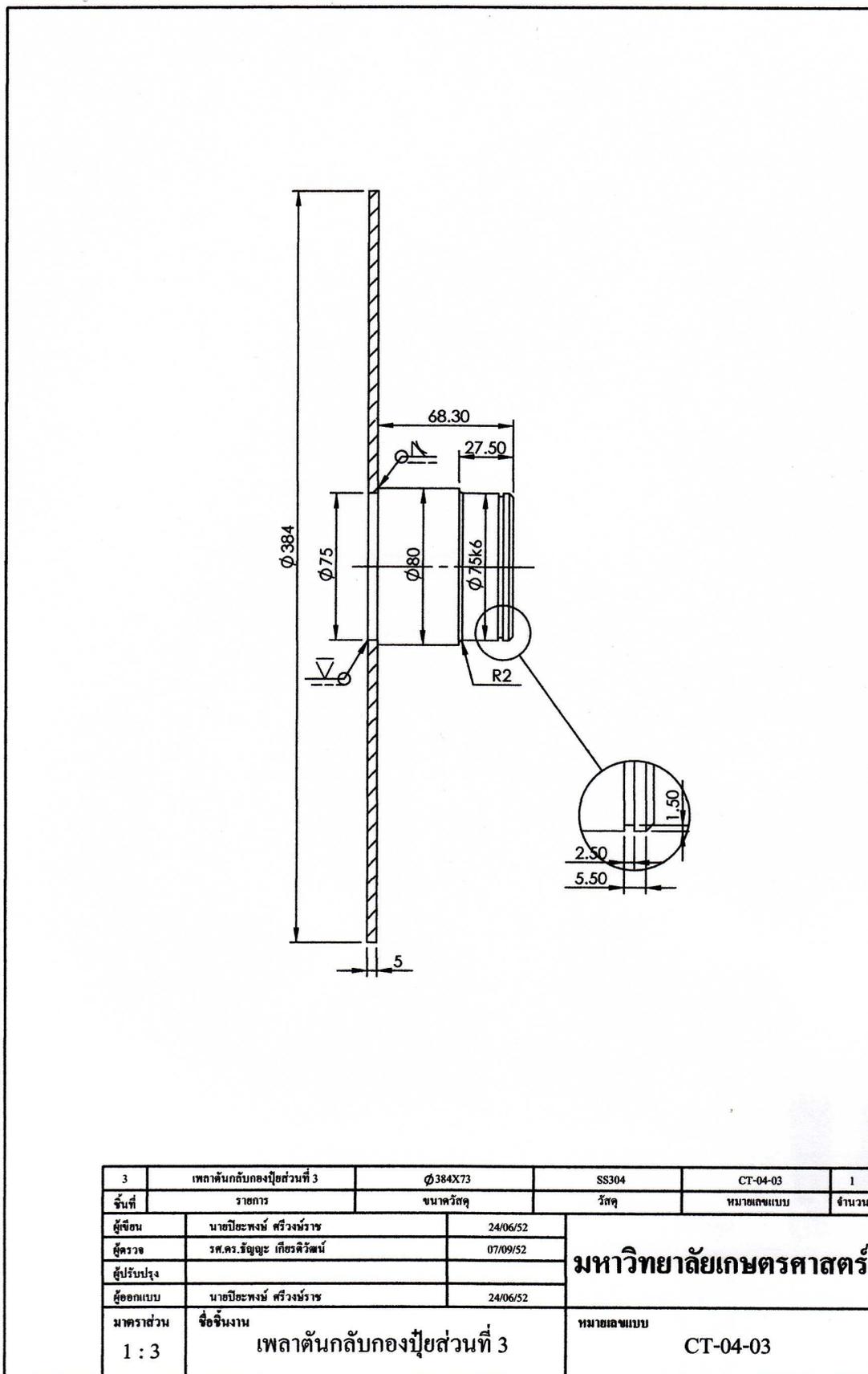


รูปแปลนกลึงของรูป	ชนิดวัสดุ	CT-04	1
รายการ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
น.ศ.รัชฎษา เกียรติวัฒน์	07/09/52		
นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52		
ชื่อคนแบบ	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ	CT-04
นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	รูปแปลนกลึงของรูป		
มาตราส่วน	1 : 21		

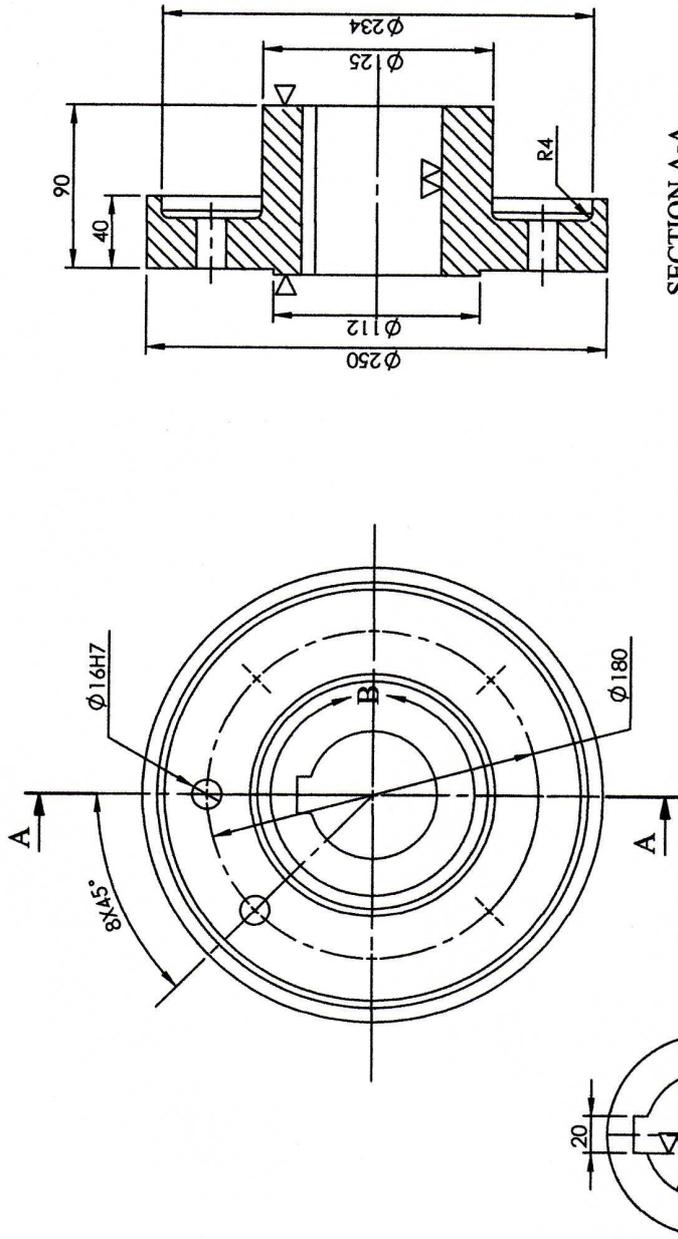




2	เพลาดันกลับกองปุยส่วนที่ 1	∅384X230	SS304	CT-04-02	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	24/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.ชัยฤกษ์ เกษรศิริวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	24/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 3	เพลาดันกลับกองปุยส่วนที่ 1	CT-04-02			



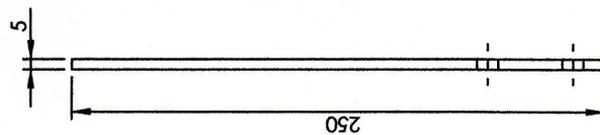
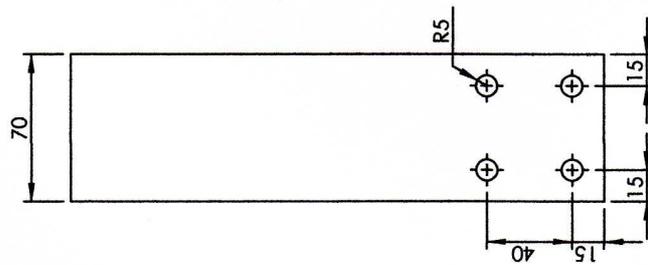
3	แผ่นตันกลับก่องนึ่งส่วนที่ 3	∅384X73	SS304	CT-04-03	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	24/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร. ร้อยฤๅษี เกียรติวิวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	24/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 3	แผ่นตันกลับก่องนึ่งส่วนที่ 3	CT-04-03			



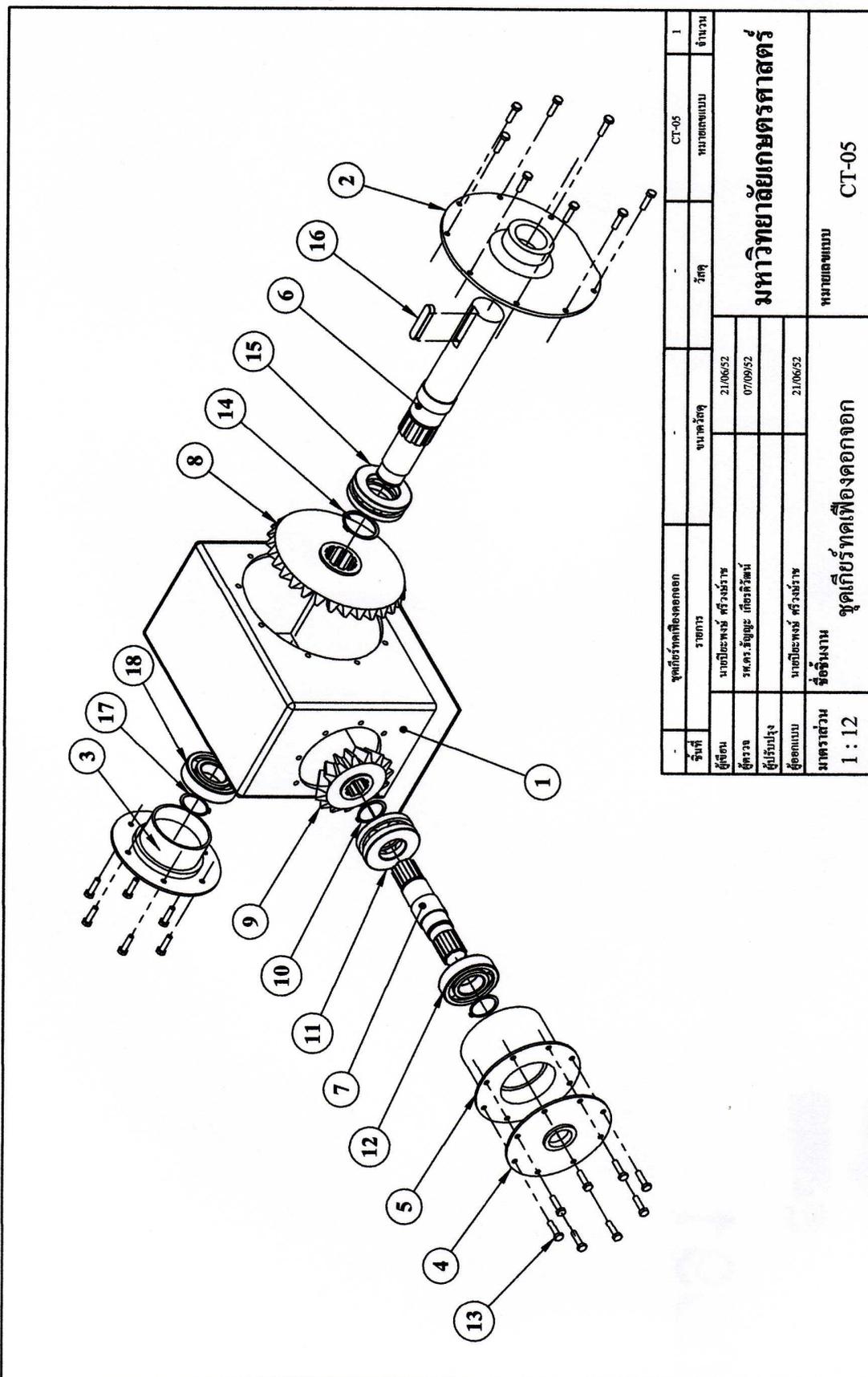
SECTION A-A

DETAIL B

4	คำปลิงหน้าแปลน	Ø250X90	AISI 1020CD	CT-04-04	2
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	24/06/52		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ผู้ตรวจสอบ	รศ.ดร.บุญชู เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	24/06/52			
ชื่อแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	24/06/52			
มาตรฐาน	ชื่อรุ่นงาน	คำปลิงหน้าแปลน		หมายเลขแบบ	CT-04-04
1:4					

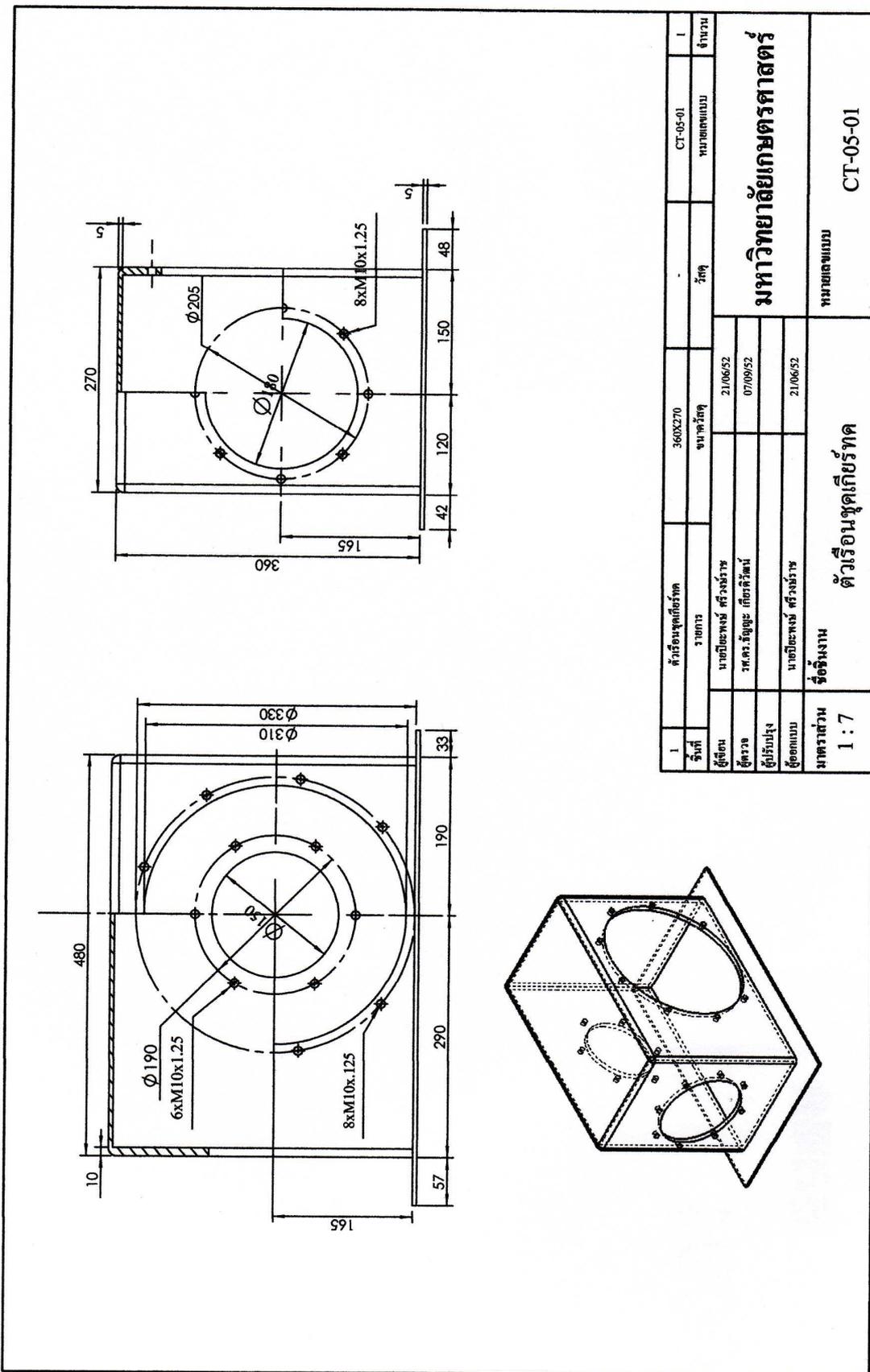


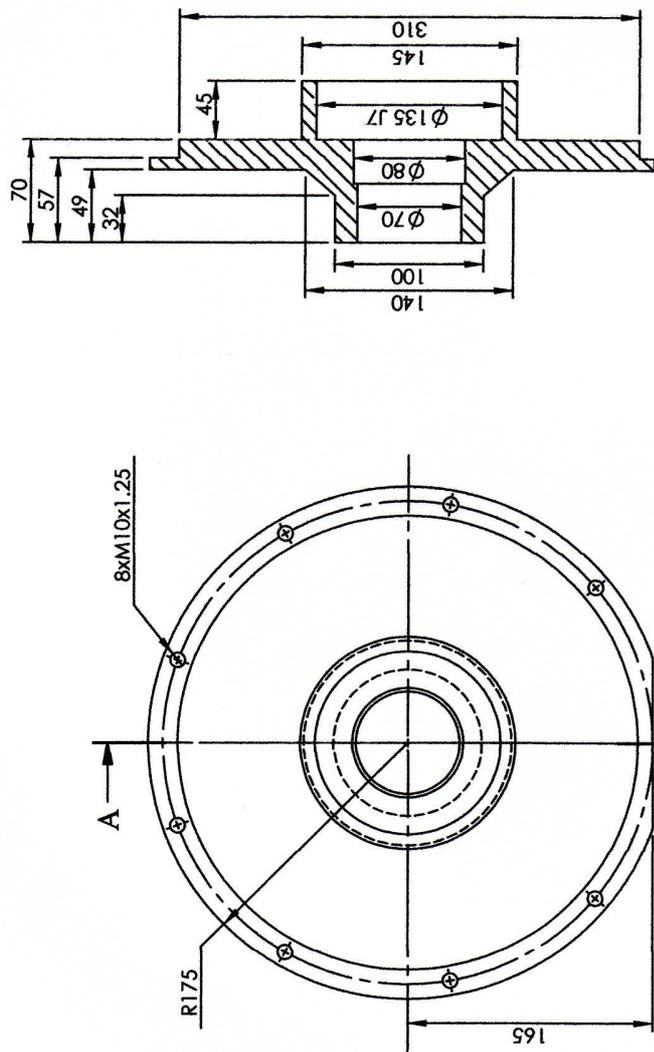
5	ใบมีด	250X70X5	SS304	CT-04-05	72
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราช	24/06/52		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิฑูษะ เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้รับปรุง	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราช	24/06/52			
ชื่อแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราช	24/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	ใบมีด	หมายเลขแบบ	CT-04-05	
1 : 3.5					



รูปที่	ชุดเกียร์ทดเฟืองคอกอก	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	CT-05	1
ผู้สอน	รชการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้ตรวจ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช				
ผู้ประเมินผล	รศ.ดร.สัญญา เกียรติวัฒน์				
ชื่อออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช				
ชื่อออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	ชุดเกียร์ทดเฟืองคอกอก		หมายเลขแบบ	CT-05
1 : 12					

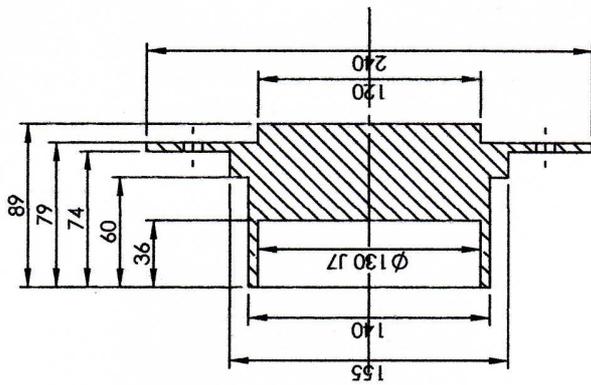
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



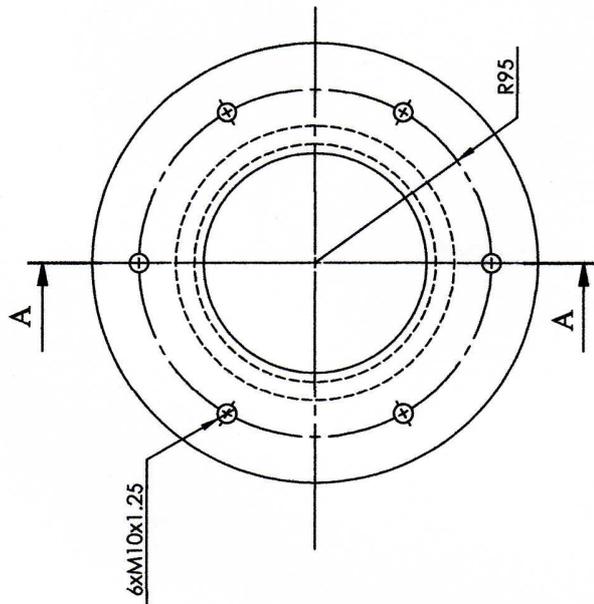


SECTION A-A

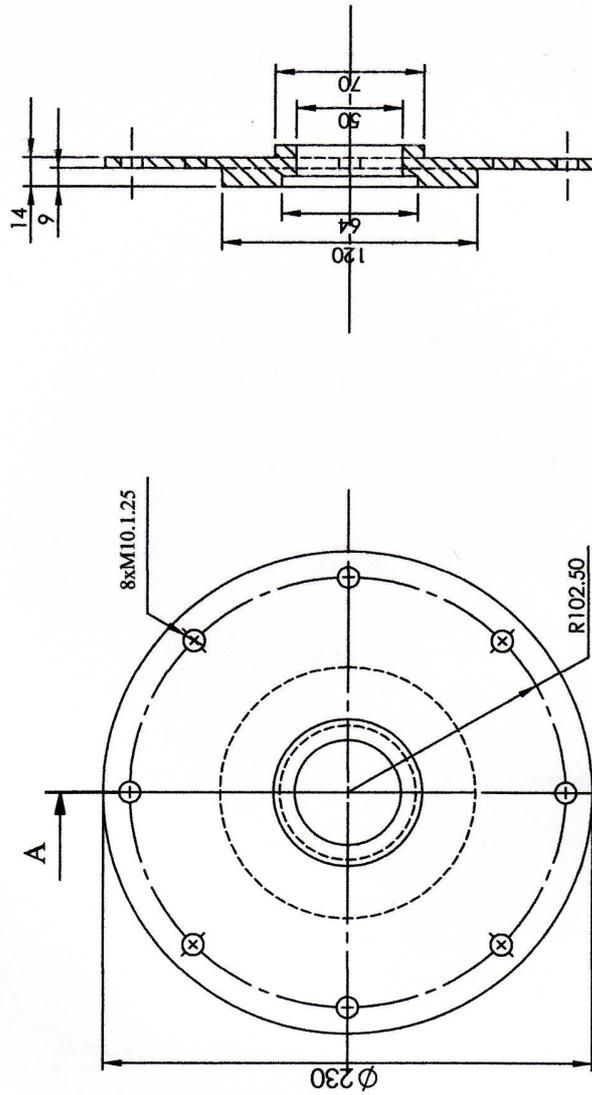
2	ฟ้ปีดเพลตาม-1	ชมดรีตดู	CT-05-02	1
ร้ที่	รชกกร	ร้ตดู	หมชดเชมเบ	ช้บรณ
ผู้ช้ด	นชปีดเชมเบ สร้จสรช	ชมดรีตดู	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ผู้สรช	ร.ศ.ศ. ร้ชชชช เกชชดรีตดู	21/06/52		
ผู้ร้บมร้จ	นชปีดเชมเบ สร้จสรช	07/09/52		
ผู้ชดเชมเบ	นชปีดเชมเบ สร้จสรช	21/06/52		
มชทรชวณ	ช้จ้ร้ชมรณ	ฟ้ปีดเพลตาม-1		หมชดเชมเบ
1 : 5				CT-05-02



SECTION A-A



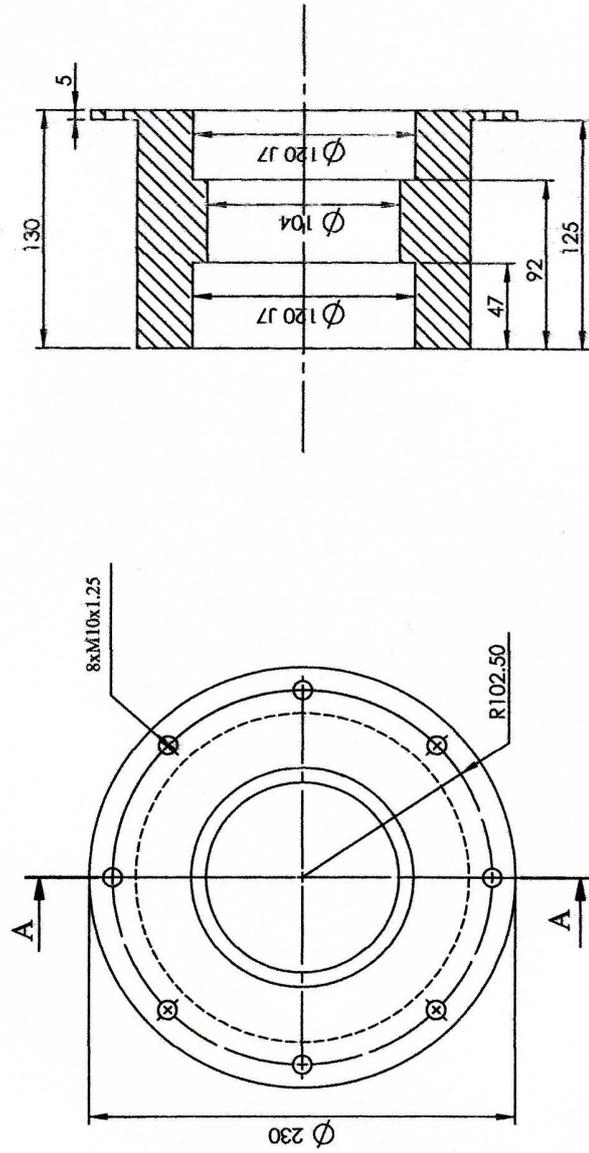
3	ฟัปัดเตลาดาม-2				CT-05-03	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน	
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/62		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิญญู เกียรติวัฒน์	07/09/62				
ผู้ปรับปรุง						
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/62				
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	ฟัปัดเตลาดาม-2		หมายเลขแบบ	CT-05-03	
1 : 4						



SECTION A-A

4	คำปิดเทอปปับ-1	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	CT-05-04	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	ขนาดแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52			
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิญญู เกษศิริวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	คำปิดเทอปปับ-1		ขนาดแบบ	
1 : 3.5				CT-05-04	

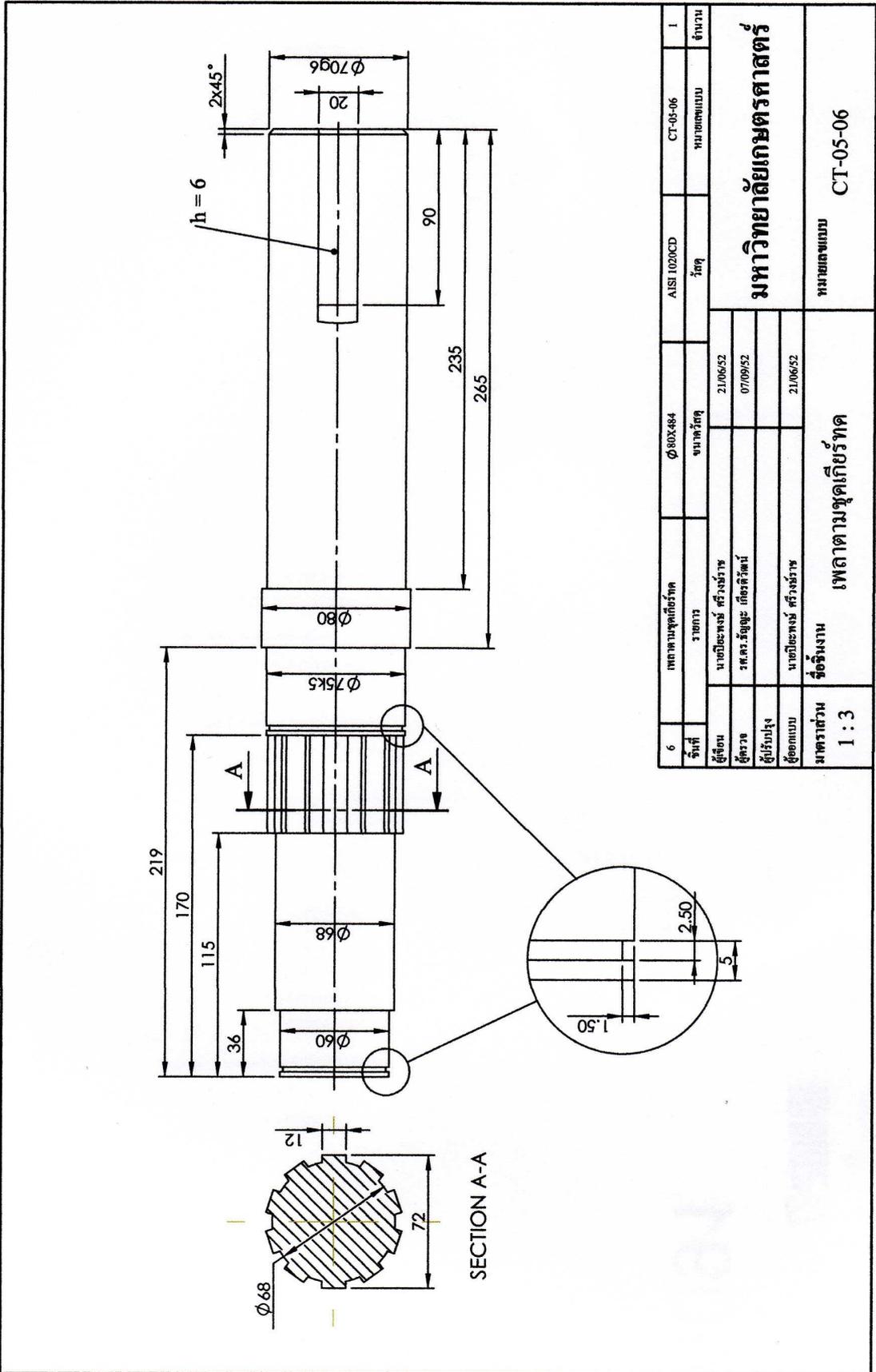
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



SECTION A-A

5	ฝาปิดเพล่าขับ-2	ช.นศ.วิศวะ	CT-05-05	1
ชื่อ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	ช.นศ.วิศวะ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้ร่าง	รศ.ดร.วิญญู เกียรติวัฒน์	วันที่		
ผู้ปรับปรุง	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช			
ชื่อคนแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช			
มาตรฐาน	ชื่อรุ่นงาน			
1 : 4	ฝาปิดเพล่าขับ-2			
			หมายเลขแบบ	CT-05-05

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

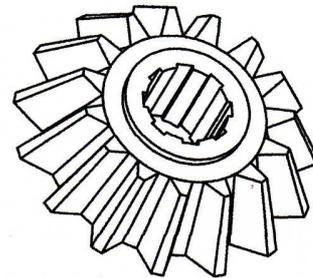
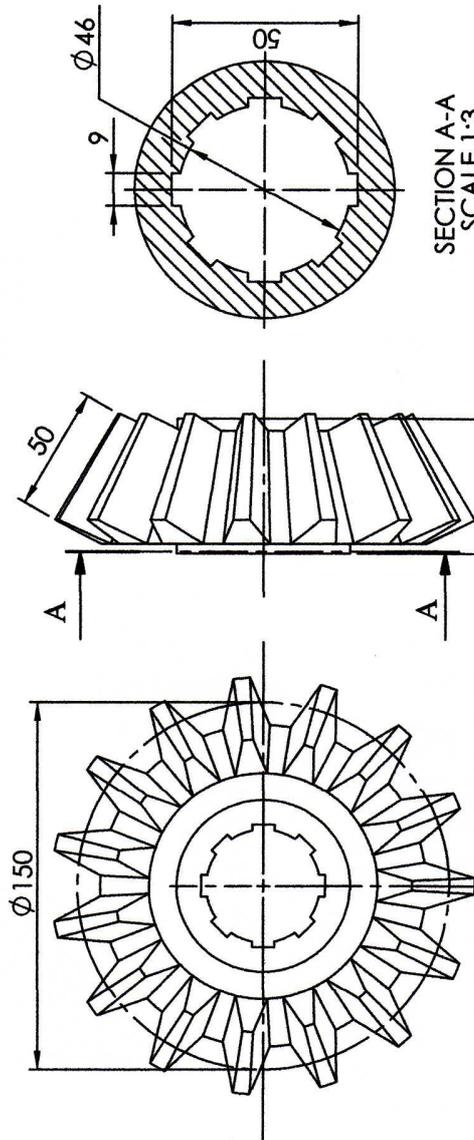


6	เพลาตามชุดเกียร์ทาด	Ø80X484	AISI 1020CD	CT-05-06	1
ชื่อที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52			
ผู้ตรวจสอบ	ร.ศ.ส.วิญญู เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ถอดแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	เพลาตามชุดเกียร์ทาด		หมายเลขแบบ	CT-05-06
1 : 3					

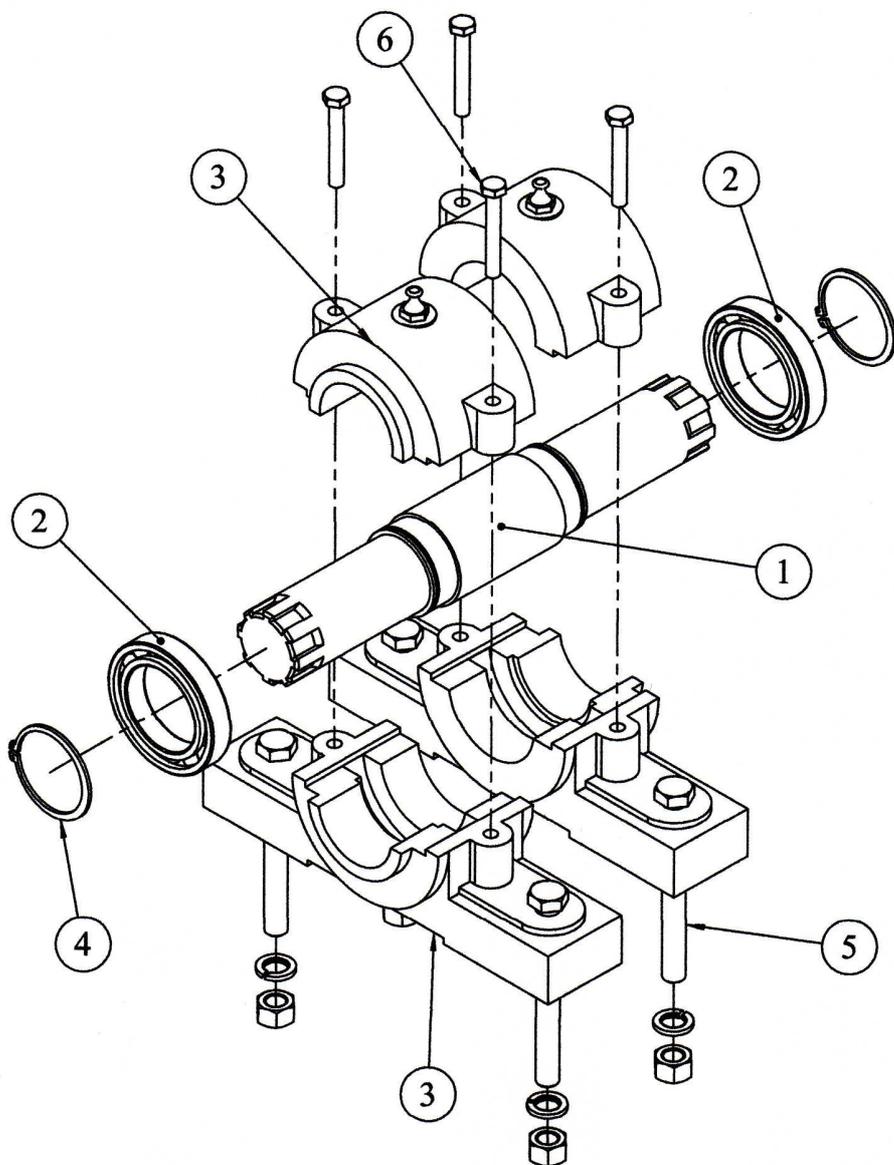
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bevel gear (Pinion)

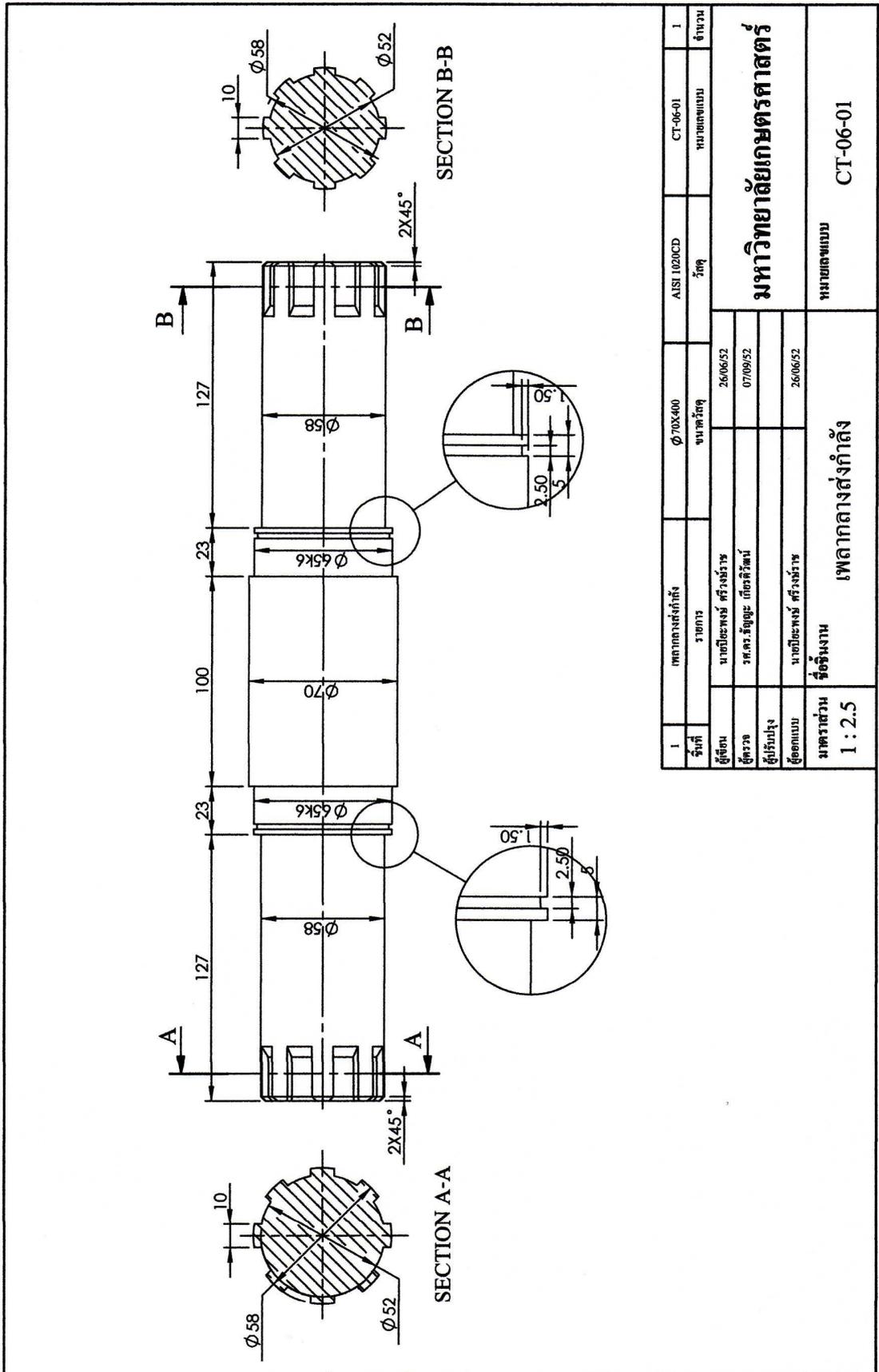
- Pressure angle = 20**
- Number of teeth = 15**
- Module = 10 mm**
- Pitch dimension = 150 mm**
- Shaft Angle = 90**
- Facewidth = 50 mm**
- Material = SAE 32450QT**



9	เครื่องประกอบ	SAE 32450QT	CT-05-09	1
วันที่	รายการ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้จัดทำ	นายประพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ผู้ตรวจ	ดร.ศุภฤช เกียรติวัฒน์	07/09/52		
ผู้ปรับปรุง	นายประพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52		
ผู้ออกแบบ	นายประพงษ์ ศรีวงษ์ราช	21/06/52		
มาตรฐาน	ชื่อรุ่นงาน	เฟืองขับดอกอก		หมายเลขแบบ
1:3				CT-05-09

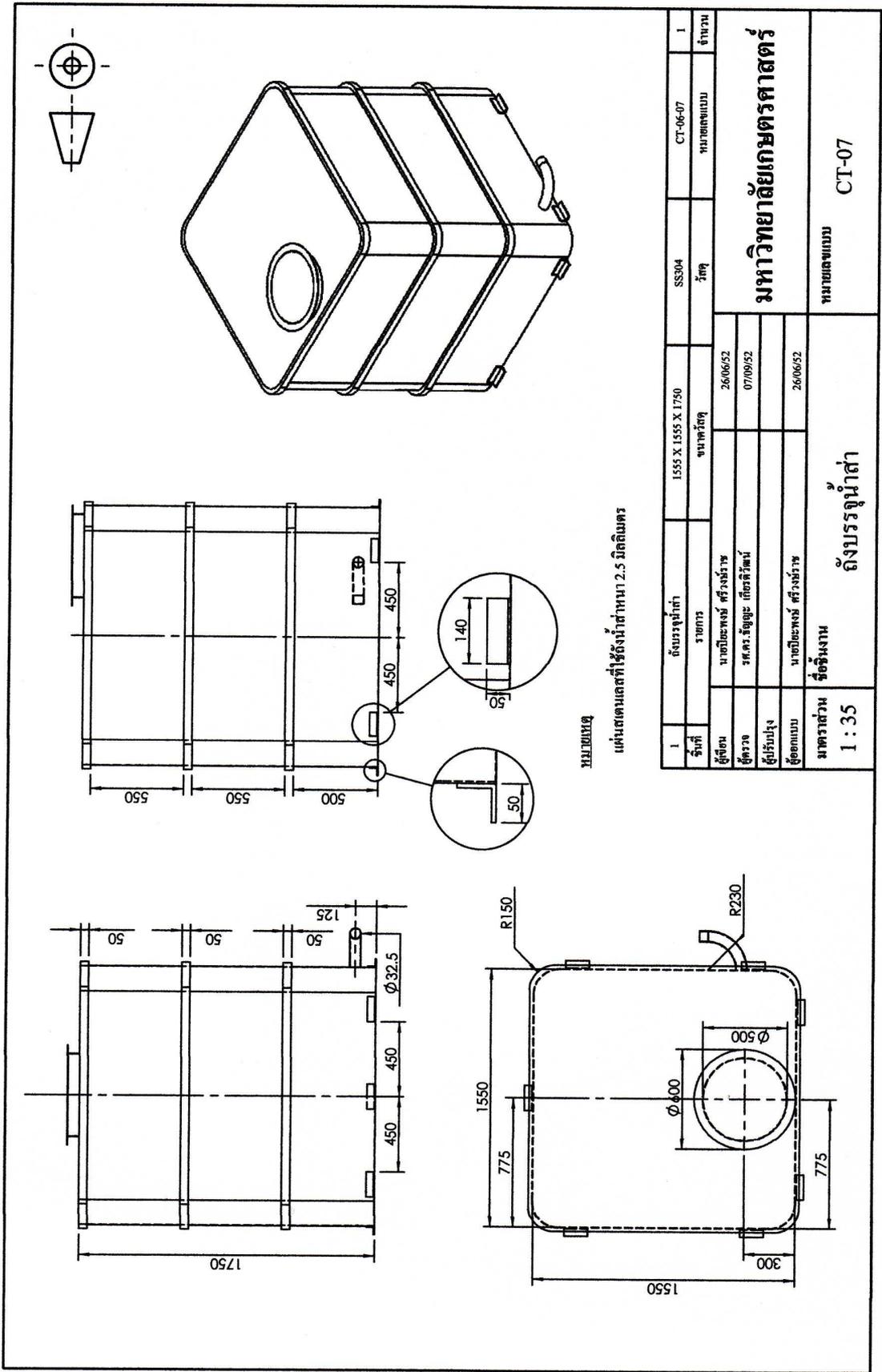


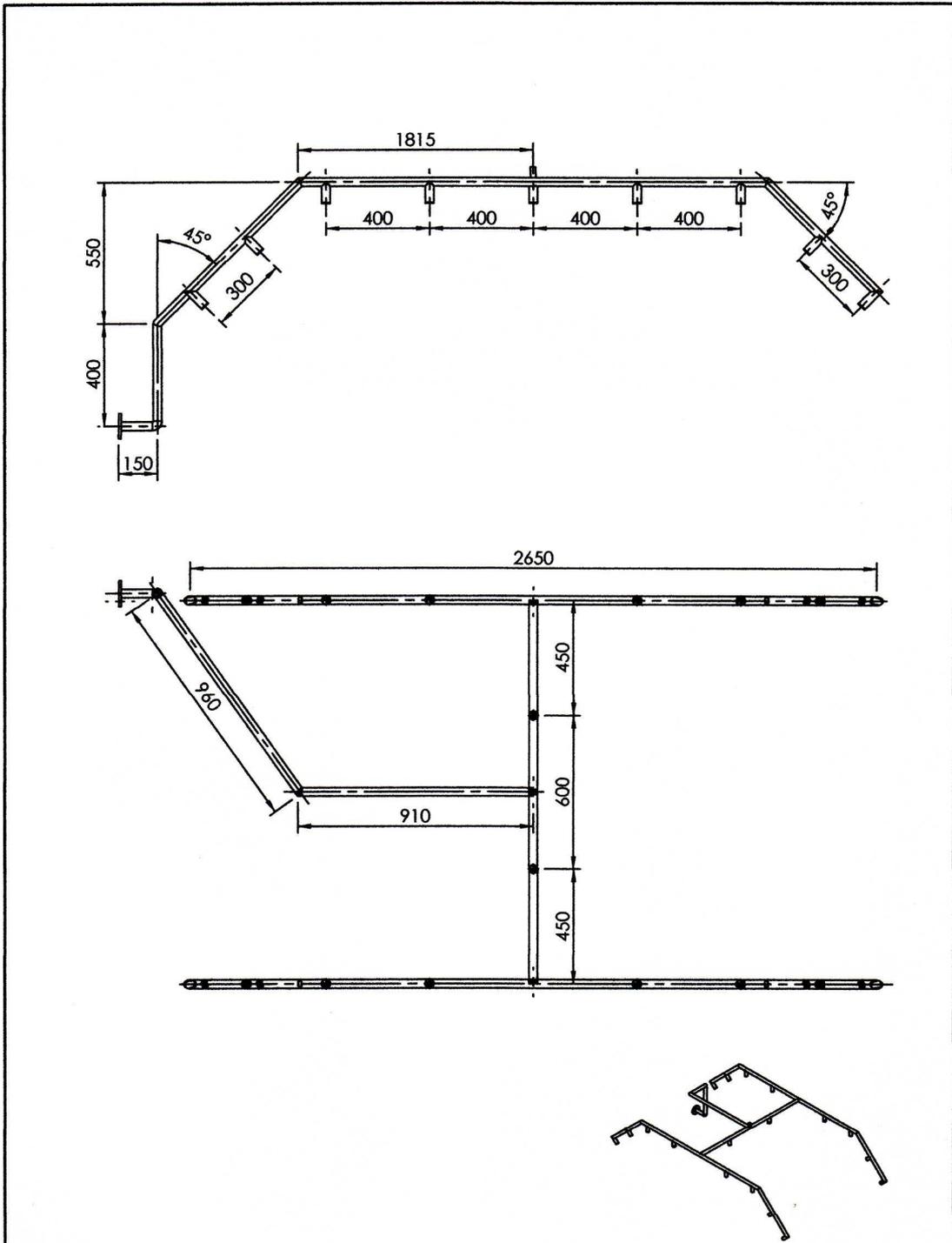
6	สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม	-	-	M10X70(ISO4014)	4
5	สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม	-	-	M16X150(ISO4014)	4
4	แหวนล็อกเพลลา	-	-	62X2.5(DIN471)	2
3	ตุ๊กตาเบร้ง	-	-	-	2
2	Deep Groove Ball Bearing	-	-	6013(DIN625)	2
1	เพลากลางส่งกำลัง	∅ 70X400	AISI 1020CD	CT-06-01	1
พื้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.วิญญู เกียรติวิวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	26/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 5	ชุดเพลากลางระบบส่งกำลัง	CT-06			



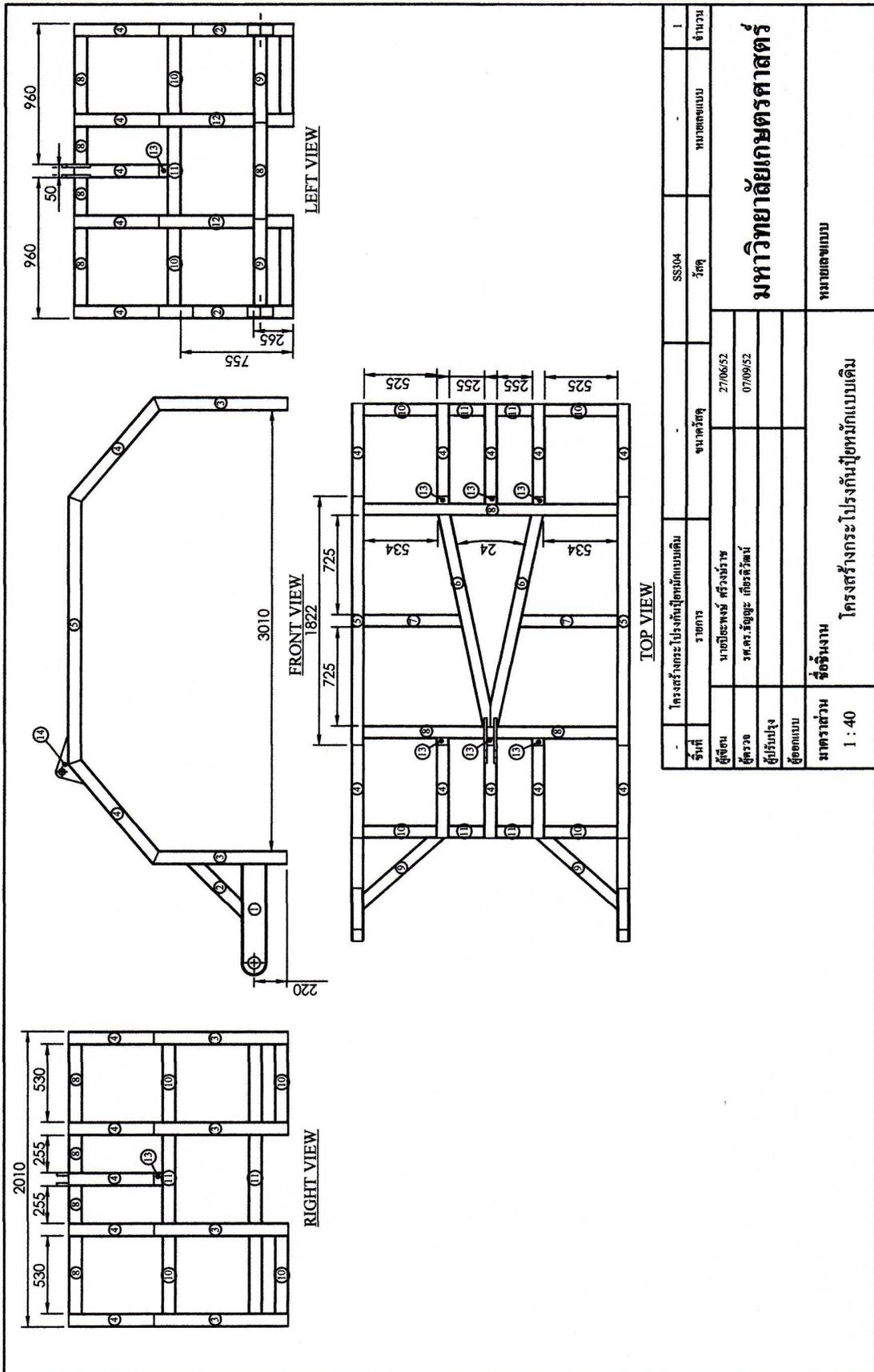
1	เพลากลางส่งกำลัง	Ø 70X400	AISI 1020CD	CT-06-01	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้จัดทำ	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราษฎร์	26/06/52			
ผู้ตรวจสอบ	ร.ศ.ดร.วิญญู เกียรติวิวัฒน์	07/09/52			
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีงษ์ราษฎร์	26/06/52			
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	เพลากลางส่งกำลัง		หมายเลขแบบ	CT-06-01
1 : 2.5					

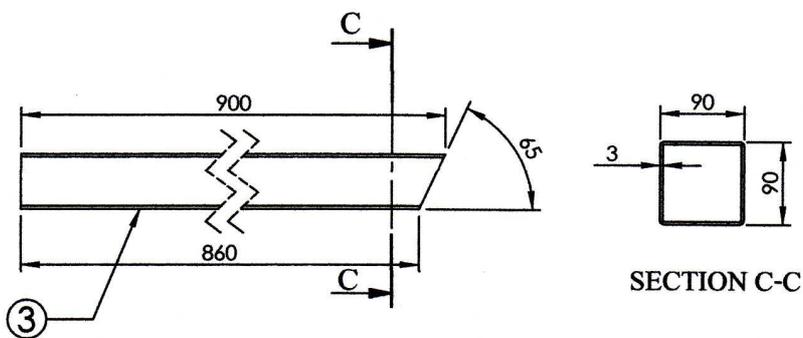
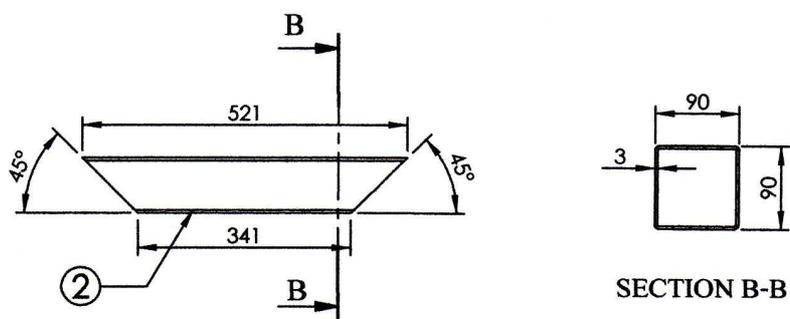
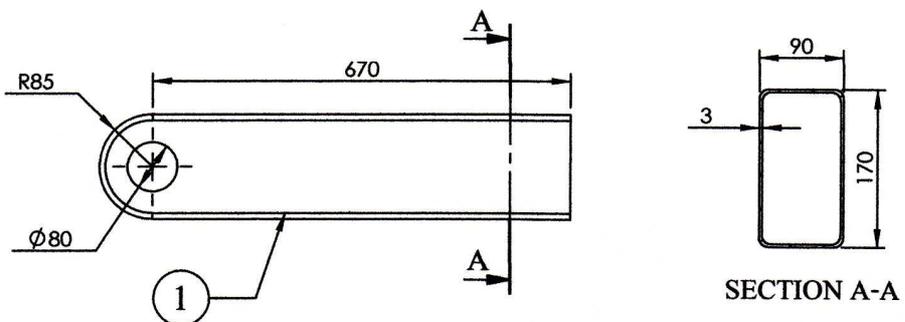
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



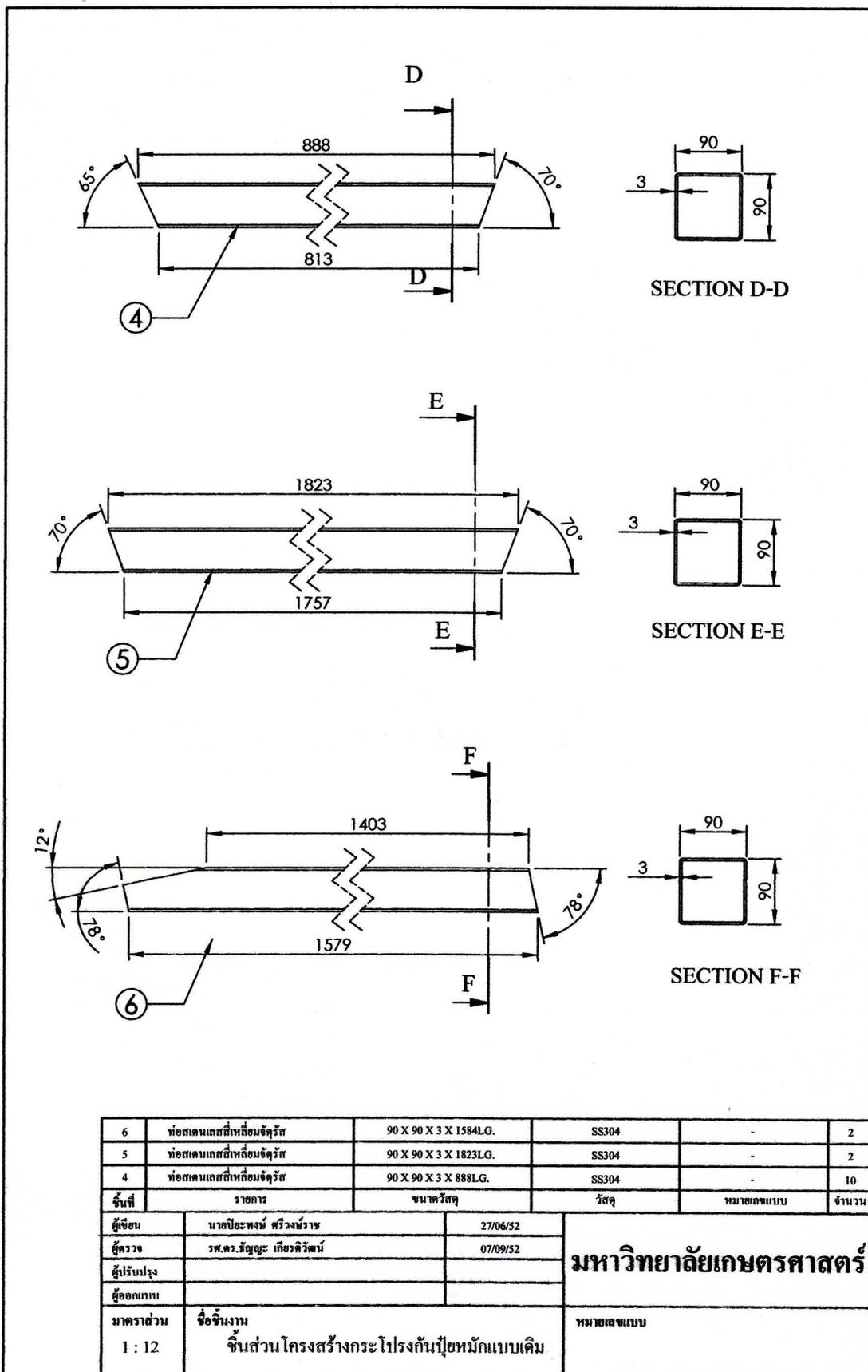


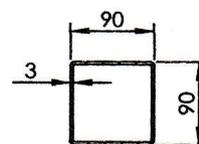
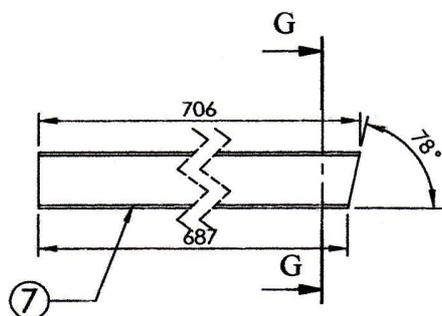
-	ท่อสปรีย์น้ำสำ	2650 X 950	SS304	CT-08	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	27/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.รัชฎะ เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	27/06/52			
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 25	ท่อสปรีย์น้ำสำ	CT-08			



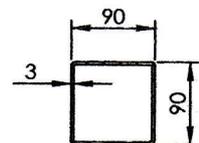
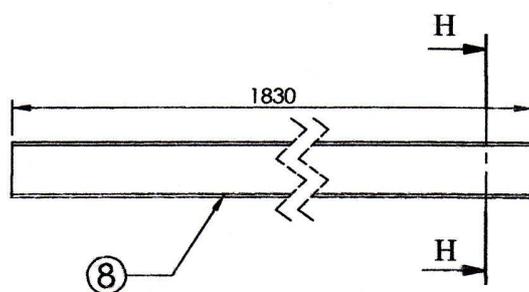


3	ท่อสเตนเลสที่เชื่อมจตุรัส	90 X 90 X 3 X 900LG.	SS304	-	6
2	ท่อสเตนเลสที่เชื่อมจตุรัส	90 X 90 X 3 X 521LG.	SS304	-	2
1	ท่อสเตนเลสที่เชื่อมพื้นค้ำ	170 X 90 X 3 X 670LG.	SS304	-	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	27/06/05	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.ธัญชัช เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 12	ชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกันน้ำหมักแบบเดิม				

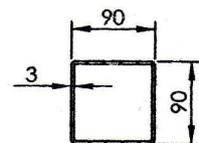
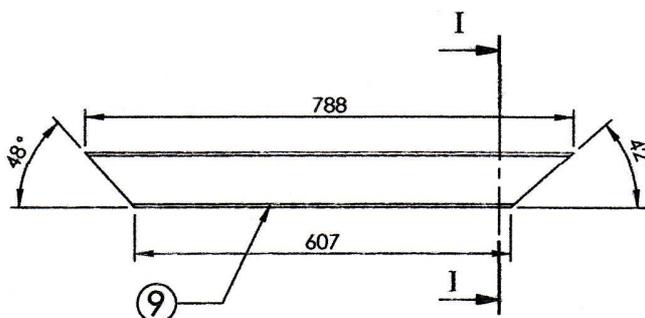




SECTION G-G

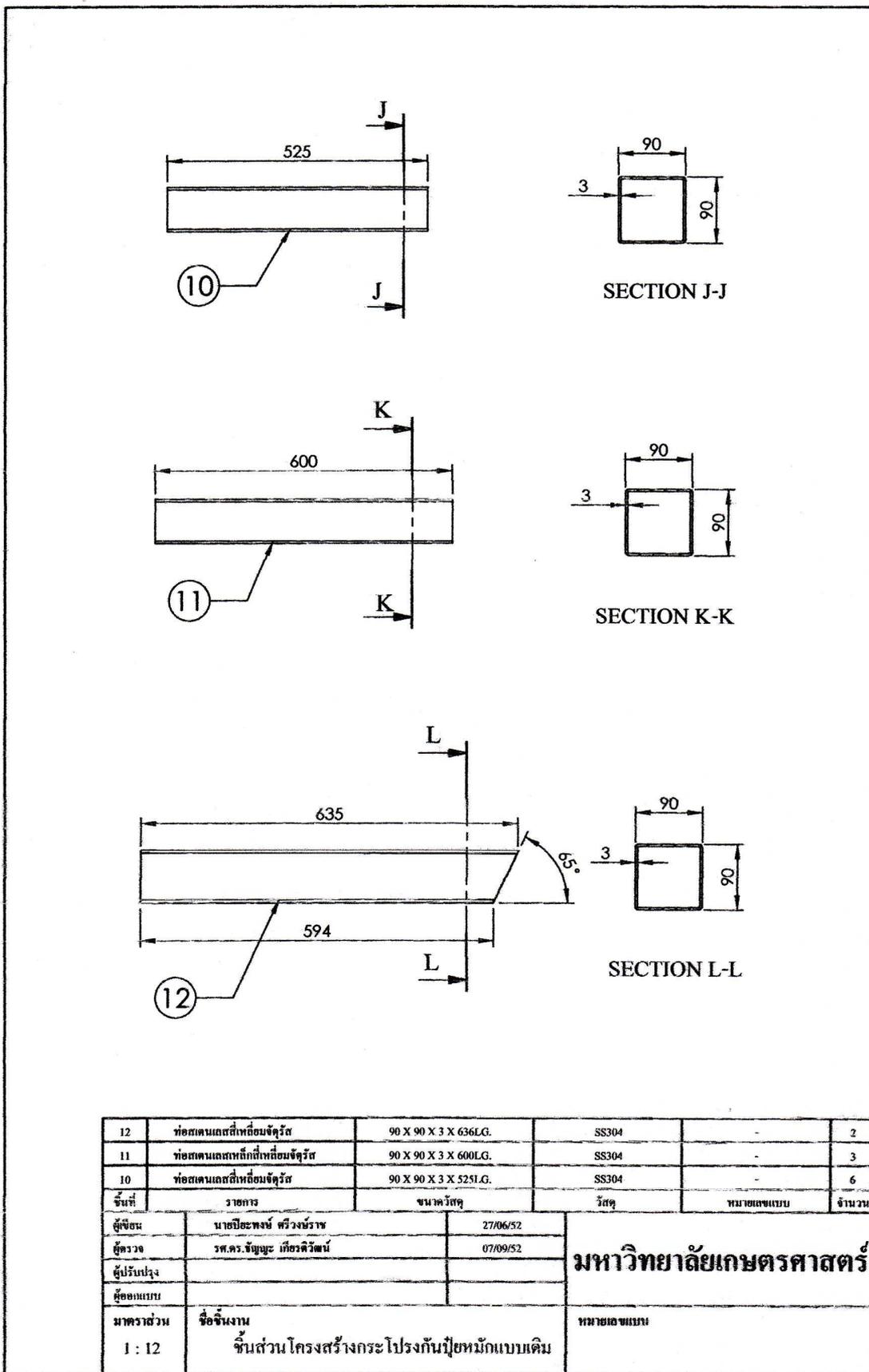


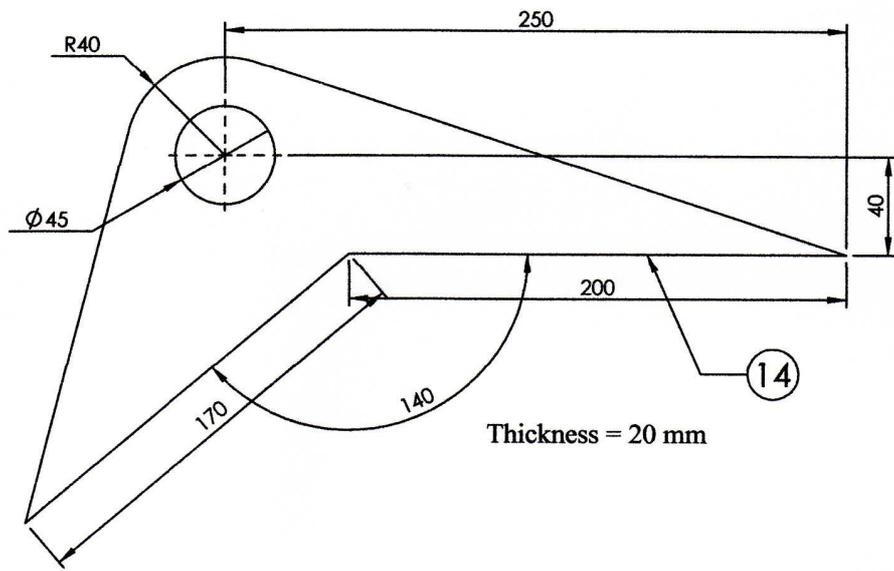
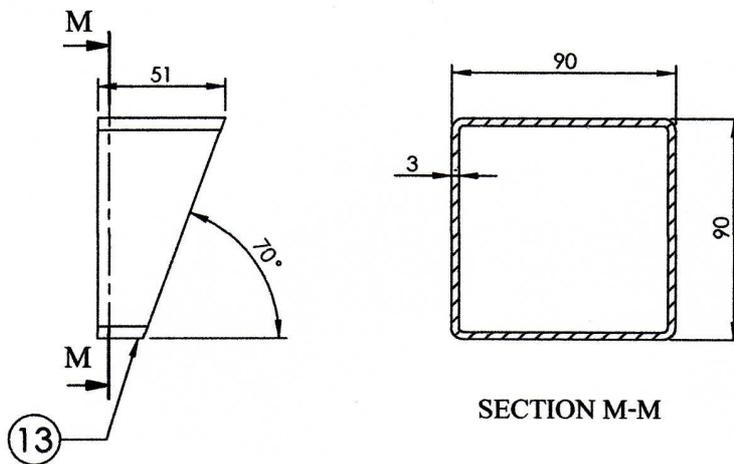
SECTION H-H



SECTION I-I

9	ท่อสแตนเลสตีเหล็กมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 788LG.	SS304	-	2
8	ท่อสแตนเลสตีเหล็กมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 1830LG.	SS304	-	3
7	ท่อสแตนเลสตีเหล็กมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 760LG.	SS304	-	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	27/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 12	ชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกันน้ำหมักแบบเดิม				





14	แผ่นสแตนเลส	-	SS304	-	1
13	ท่อสแตนเลสสี่เหลี่ยมจัตุรัส	90 X 90 X 3 X 51LG.	SS304	-	8
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช	27/06/52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
ผู้ตรวจ	รศ.ดร. รัญญะ เกียรติวัฒน์	07/09/52			
ผู้ปรับปรุง					
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
1 : 3	ชิ้นส่วน โครงสร้างกระโปรงกันน๊อยหมักแบบเดิม				