



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

Design and Development of an Industrial Washing Machine

นามผู้วิจัย นายสุชากร บุญเลิศไพศาล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธัญญา เกียรติวัฒน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนารธรรม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

Design and Development of an Industrial Washing Machine

โดย

นายสุธากร บุญเลิศไพศาล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุชากร บุญเลิศไพศาล 2553: การออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่น
หมาดในตัว ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ธัญญา เกียรติวัฒน์, Ph.D. 213 หน้า

เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิมนั้นเป็นเครื่องซักผ้า ที่สามารถบรรจุผ้าที่จะทำการซักได้
ในปริมาณมาก ๆ ผ้าที่จะทำการซักก็ได้แก่ ฟ้านวม, ผ้าปูเตียง, ผ้าเช็ดตัว, และผ้าปูโต๊ะ เป็นต้น ที่ซึ่ง
ใช้ในโรงแรม ห้องพัก และอาคารขนาดใหญ่ เมื่อเสร็จจากกระบวนการซักผ้าในแต่ละครั้ง ก็จะมี
ปัญหาต่อการขนย้ายผ้าออกจากตัวเครื่องซักผ้าฯ เพราะเนื่องจากผ้าที่เสร็จจากการซัก จะมีปริมาณ
น้ำอยู่ในเนื้อผ้าเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ผ้าที่ผ่านการซักมีมวลที่เพิ่มมากขึ้นจึงยากลำบากต่อการ
ขนย้าย และเมื่อเสร็จจากขั้นตอนการซักก็จะนำผ้าเปียกไปเข้าเครื่องปั่นผ้าอีกครั้งเพื่อทำให้ผ้า
หมาด จากนั้นจึงนำไปอบแห้งเพื่อให้ผ้าฟูคืนรูปเป็นขั้นตอนต่อไป

จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องซักผ้าฯ ขึ้นมาใหม่โดยทำการรวม
เครื่องซักผ้าฯ แบบเดิม และเครื่องปั่นผ้าให้อยู่ในเครื่องเดียวกัน เพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้อ
เครื่องจักร และลดขั้นตอนในการทำความสะอาดผ้าลง ซึ่งการออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้า
อุตสาหกรรมต้นแบบนั้น มีขนาดของตัวเครื่องเท่ากับ 1,250×1,930×2,000 มิลลิเมตร (กว้าง×ยาว×
สูง) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 แรงม้า เป็นเครื่องต้นกำลัง โดยสามารถบรรจุผ้าเพื่อทำการซักได้ใน
ปริมาณสูงสุด 60 กิโลกรัม และมีรอบการหมุนของถังตะกร้าซักในขณะที่ทำการซักผ้าอยู่ที่ 40-45
รอบต่อนาที รอบของการหมุนในขณะที่ทำการปั่นผ้าหมาดอยู่ในช่วง 400-450 รอบต่อนาที

หลังจากได้ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แล้ว จึงได้ทำการทดสอบการใช้งาน
จริงของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบดังกล่าว โดยให้พนักงานประจำโรงงานทดสอบการใช้งานจริง ผลที่
ได้จากการทดสอบพบว่า เครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้นใช้งานได้อย่าง
มีประสิทธิภาพ และเป็นที่น่าสนใจสำหรับผู้ประกอบการ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sutakorn Boonlerdpisan 2010: Design and Development of an Industrial Washing Machine. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Thanya Kiatiwat, Ph.D. 213 pages.

The industrial washing machine was originally designed to accommodate washing clothes of various capacities. Commonly washed clothes include bed linens, counterpanes, towels, tablecloths, etc., which are normally used in hotels, condominiums, and large building establishments. After washing however, transporting clothes out of the machine pose big problem as mass of soaked clothes is greatly increased.

Developing therefore an industrial washing machine that will combine the original industrial machine and a high speed spinning machine is therefore imperative to not only make it less laborious and time-consuming but also to reduce its overall capital costs. The new machine prototype with a dimension of 1,250×1,930×2,000 mm. (Width×Length×Height) and powered by a 10 hp electric motor was developed and tested in this study. The machine has a load capacity of 60 kg, wash bucket rotation of 40-45 rpm and a spin rotation of 400-450 rpm.

The prototype was modified and adjusted to correct all shortcomings. The results of the preliminary test operation revealed that by incorporating the spinner into the prototype, it's washing efficiently greatly improved. Furthermore, it can also provide a cost-effective option for laundry service entrepreneurs.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินงานวิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวทางในการศึกษาค้นคว้า ทำการวิจัย การออกแบบ การสร้างเครื่องต้นแบบ การทดสอบ ตลอดจนแนวทางการจัดทำวิทยานิพนธ์ และการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งอาจารย์ ดร.ประพจน์ ขุนทอง ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และอาจารย์ ดร.โอภาส โกมลวัฒนาพาณิชย์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านวิศวกรรม และขอขอบคุณ คุณพิรัชต์ หล่อโลหชาญ ผู้ประกอบการ บริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่ในการสร้างและการทดสอบการใช้งานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว และให้ความช่วยเหลือทางด้านการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์เพื่อการสร้างตัวเครื่องฯ ขอบคุณพนักงาน และช่างผู้ชำนาญการ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างตัวเครื่องดังกล่าว ขอบคุณ คุณนิกาล ขนานแก้ว ที่ได้ให้คำปรึกษาและดำเนินการปรับแก้เครื่องต้นแบบขั้นสุดท้ายจนเสร็จสมบูรณ์ ขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้องทุกคนที่ให้การกำลังใจและความช่วยเหลือ

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุรชัย บุญเลิศไพศาล และคุณแม่อักษร บุญเลิศไพศาล ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญและให้การสนับสนุนทางการศึกษามาเป็นอย่างดี ผู้ดำเนินงานวิจัยรู้สึกสำนึกในความเมตตา ความหวังดี และความเสียสละของท่านมาโดยตลอด

สุชากร บุญเลิศไพศาล

ตุลาคม 2553

สารบัญ

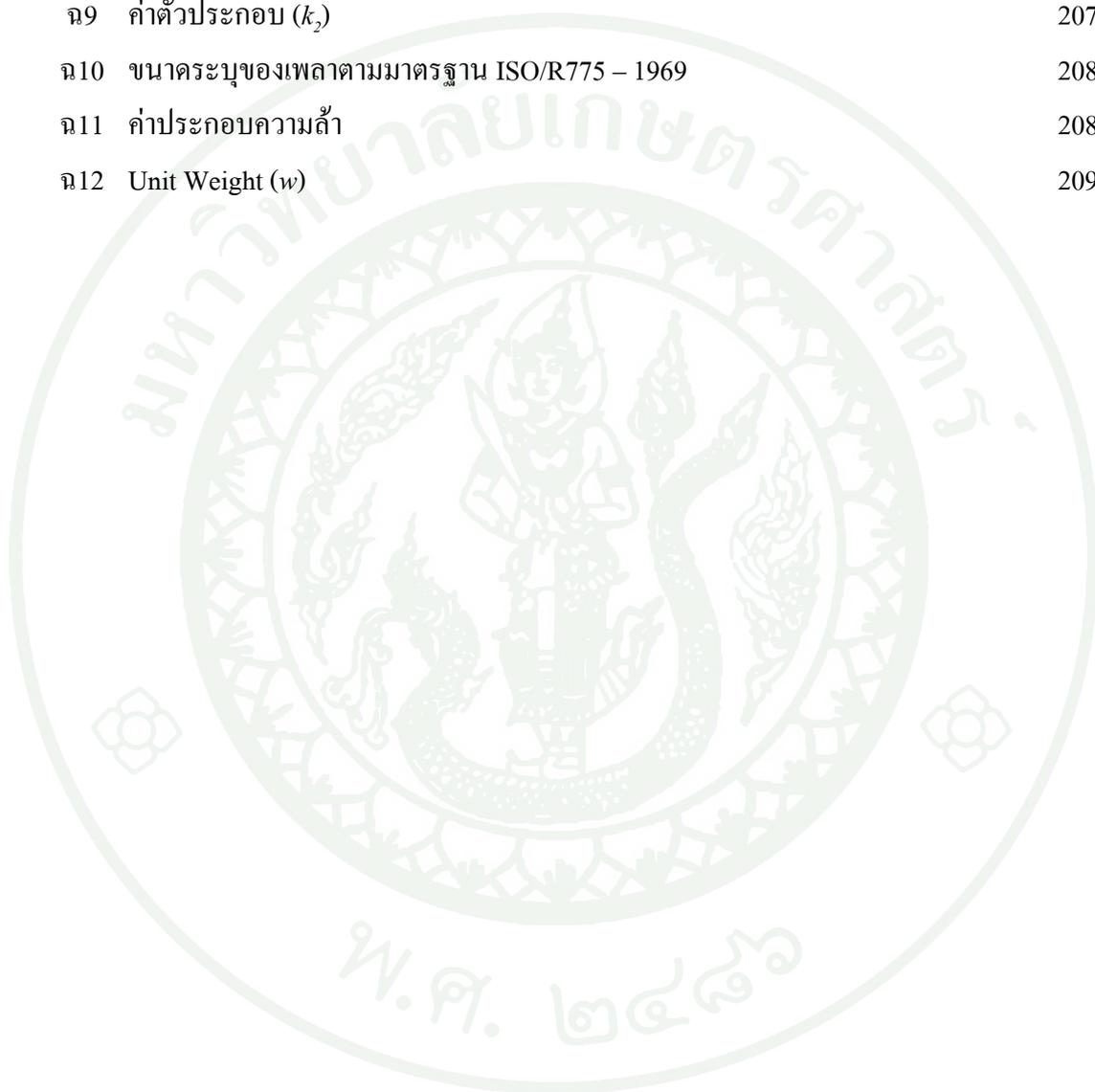
	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	48
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	139
สรุป	139
ข้อเสนอแนะ	140
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	142
ภาคผนวก	144
ภาคผนวก ก แบบพิมพ์เขียวของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม	145
ภาคผนวก ข แบบพิมพ์เขียวของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว	154
ภาคผนวก ค แบบวงจรไฟฟ้าและแบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า	182
ภาคผนวก ง ประเมินต้นทุนการผลิตเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว	190
ภาคผนวก จ การคำนวณหามวลของเครื่องซักผ้าแบบปั่นหมาดในตัว	194
ภาคผนวก ฉ ตารางผนวก	202
ภาคผนวก ช ภาพผนวก	210
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	213

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	สรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
	109
2	ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ
	123
3	การทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ครั้งที่ 1
	133
4	การทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ครั้งที่ 2
	134
5	การทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ครั้งที่ 3
	135
6	สรุปผลการทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ
	136
7	แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว, เครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม และเครื่องปั่นหมาดผ้าอุตสาหกรรม
	138
ตารางผนวกที่	
ง1	แสดงการประเมินต้นทุนด้านโครงสร้างของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ
	191
ง2	แสดงการประเมินต้นทุนด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องชักผ้าฯ ต้นแบบ
	192
ฉ1	ขนาดมาตรฐานของสายพานลิ่ม และล้อสายพานลิ่ม ISO/R 52-1975(E) และ ISO/R 253-1962(E)
	203
ฉ2	ตัวประกอบใช้งาน N_s สำหรับสายพานลิ่ม
	204
ฉ3	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ d_p ของล้อสายพานลิ่มตามมาตรฐาน ISO/R 52-1975(E) และ ISO/R 253-1962(E)
	204
ฉ4	สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ่มหน้าตัด “B” ต่อเส้น สำหรับส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$
	205
ฉ5	ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_f
	205
ฉ6	ความยาวพิตช์ของสายพานที่มีใช้ $L_p = L_f + 43 \text{ mm}$ สำหรับสายพานลิ่มหน้าตัด “B” ที่ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$
	206
ฉ7	ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_d สำหรับสายพานลิ่ม
	206
ฉ8	ตัวประกอบใช้งาน (k_f)
	207

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ฉ9 ค่าตัวประกอบ (k_2)	207
ฉ10 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO/R775 – 1969	208
ฉ11 ค่าประกอบความล้า	208
ฉ12 Unit Weight (w)	209



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม	1
2 เครื่องปั่นแยกทรายจากปลาหมึกแห้ง	4
3 แสดงเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง	5
4 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น XGP-210-460	6
5 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น XG-5	6
6 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น XGB300	7
7 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น IW-70	7
8 แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อแกนเพลลา	8
9 รากฐานของเกลียว	11
10 ชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียว	12
11 หมุดเกลียวจักรกลลักษณะต่าง ๆ	12
12 หมุดเกลียวปรับลักษณะต่าง ๆ	13
13 ส่วนต่าง ๆ ของบอลแบร์ริง	14
14 บอลแบร์ริงชนิดต่าง ๆ	15
15 โรลเลอร์แบร์ริงชนิดต่าง ๆ	16
16 ลักษณะการจับด้วยสายพาน	19
17 การส่งผ่านแรงจากการจับด้วยสายพาน	20
18 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน	21
19 แรงที่กระทำบนสายพานลิ่ม	21
20 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นสูงสุด	25
21 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด	26
22 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล	26
23 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นสูงสุด, ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล	27
24 การเชื่อมไฟฟ้า และการเชื่อมด้วยแก๊ส	28
25 การเชื่อมด้วยความดันทานไฟฟ้า	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	รอยเชื่อมชนิดต่าง ๆ	29
27	ลักษณะรอยเชื่อมมุม	30
28	การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่าง ๆ	31
29	เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ โดยมีตัวไม่ทราบค่าอยู่ ณ ตำแหน่งที่จุดต่อ	31
30	ภาพผังวัตถุอิสระที่ไม่สมดุลเนื่องจากการหมุน	34
31	ภาพผังวัตถุอิสระของระบบที่เกิดจากการสันแบบฮาร์โมนิกส์	37
32	เครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว	46
33	เครื่องเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า และเครื่องเชื่อมโลหะด้วยแก๊สอาร์กอน	47
34	ลวดเชื่อมโลหะชนิดต่าง ๆ	47
35	บริษัท คิว เทคโนโลยี จำกัด	48
36	เครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิมที่บริษัท คิว เทคโนโลยี ทำการผลิต	50
37	ขนาดมิติของโครงสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม	51
38	ขนาดมิติตัวถังด้านนอกและถังชักของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม	52
39	กลไกการขับเคลื่อนถังชักของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม	52
40	วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม	53
41	ระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	55
42	ลักษณะของโครงสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	56
43	ขนาดและมิติของโครงสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	56
44	ขนาดมิติของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)	57
45	โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง	58
46	ขนาดมิติของถังด้านนอก	58
47	ช่องทางนำผ้าเข้าและออกจากถังเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	59
48	ลักษณะของถังชัก	60
49	กลอนล้อคผ้าถังชัก	61
50	ท่อต่าง ๆ ที่ติดตั้งในเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	แสดง โมเมนต์ความเฉื่อยของถังชักจากโปรแกรม SolidWorks	66
52	แสดงระยะห่างของจุดกึ่งกลางล้อยายพานลิ้ม, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อยายพานเล็กและล้อยายพานใหญ่	71
53	ลักษณะทางกายภาพของถุงลม Style Number: 25	72
54	ตารางแสดงคุณสมบัติของถุงลมชนิดต่าง ๆ	73
55	การตอบสนองเนื่องจากการสั่น	75
56	การตอบสนองสัมพัทธ์เนื่องจากการหมุนไม่สมดุล	79
57	แสดงตำแหน่งการติดตั้งถุงลมและ โช้คอัพ	80
58	ตัวอย่างการหาปริมาตรของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยโปรแกรม SolidWorks	81
59	แรงที่กระทำต่อ โครงสร้างของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	84
60	แรงที่กระทำต่อแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกทั้ง 2 ด้าน (Plate-L and Plate-R)	85
61	ผังวัตถุอิสระของแรงที่กระทำต่อหุ้ยคิโอ้คทั้งด้านซ้ายและขวา	87
62	แรงที่กระทำต่อฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	87
63	แรงที่กระทำต่อ โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง	88
64	แรงที่กระทำต่อตัวถังด้านนอก	88
65	แรงที่กระทำต่อถังชัก	89
66	แสดงภาพผังวัตถุอิสระของ โครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	90
67	แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ โครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	90
68	แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (Stress Distribution) ของ โครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	92
69	แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว (Displacement) ของ โครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	93
70	แสดงผลการวิเคราะห์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ของ โครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	94
71	แสดงภาพผังวัตถุอิสระของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)	95
72	แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
73	ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)	97
74	แสดงภาพผังวัตถุอิสระของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)	98
75	แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)	98
76	ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)	99
77	แสดงภาพผังวัตถุอิสระของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง	100
78	แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	101
79	แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	102
80	แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว ของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	103
81	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	103
82	แสดงภาพผังวัตถุอิสระของตัวถังด้านนอก	104
83	แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังด้านนอก	104
84	ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังด้านนอก	105
85	แสดงภาพผังวัตถุอิสระของถังซัก	106
86	แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังซัก	106
87	ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังซัก	108
88	ภาพรวมของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว	110
89	วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	112
90	ชิ้นส่วนประกอบสำคัญบางชิ้นที่จะต้องจัดทำและตั้งชื่อ	112
91	แผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา และด้านซ้าย	115
92	ตัวถังด้านนอกที่ประกอบเข้ากับแผ่นเหล็กยึดทั้ง 2 ด้าน	115
93	ถังซักสำหรับเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	116
94	ถังซักเมื่อทำการประกอบเข้าไปยังภายในของตัวถังด้านนอก	118

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
95	การสร้างฐานรองรับและ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง	119
96	แสดง โครงสร้างเพิ่มเติมรอบนอกที่ทำการเชื่อมประกอบ	119
97	ตัวเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	120
98	แสดงความเร็วรอบของตัวถังชักที่วัดความเร็วรอบด้วยเครื่อง DIGITAL TACHO METER	121
99	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ	122
100	ตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้าออกระหว่างตัวถังนอก กับถังชักมีตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน (เมื่อเครื่องหยุดทำงาน)	124
101	ความเสียหายของฝาถังชักที่เกิดจากการทดสอบใช้งานเบื้องต้น	125
102	ฐานรับน้ำหนักตัวเครื่องชักผ้าฯ หลังการใช้งาน	125
103	ลักษณะของถุงลมเมื่อปล่อยลมออก เพื่อวางตัวเครื่องลงบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด	126
104	ปุ่มควบคุมการหมุนของถังชัก เพื่อหมุนหาตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้าออก	126
105	AIR FILTER และ AIR REGULATOR ควบคุมแรงดันลมให้เหมาะสม	127
106	Mechanical Seal ทั้งด้านซ้ายและขวาที่ทำการเปลี่ยน	128
107	ล้อยางพานลิ้มตัวขับเคลื่อนขนาด $\varnothing 3$ นิ้ว และมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 hp	128
108	การแก้ไขฝาถังชักที่เกิดความเสียหาย	129
109	กลอนล็อกฝาถังนอกที่ทำการเปลี่ยน	130
110	อุปกรณ์ควบคุมลมออกให้ช้าลง (Speed Control Valve)	130
111	อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งการวางตัวถังของเครื่อง	131
112	ลักษณะของถุงลมเมื่อปล่อยลมออกเพื่อวางตัวเครื่องลงบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด (หลังการปรับปรุงแก้ไข)	131
113	ผ้าขนหนูในถังชักเพื่อการชักทดลอง	132
114	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ประยุกต์เพื่อวัดระยะเวลาการสั้นสะเกเทียน	132
115	ระดับความสะอาดของผ้าที่ทำการชัก	137

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
จ1 การหามวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L) ด้วยโปรแกรม SolidWorks	196
จ2 การหามวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R) ด้วยโปรแกรม SolidWorks	197
จ3 การหามวลของฐานเครื่องและโครงสร้างปิดบังตัวเครื่องด้วยโปรแกรม SolidWorks	198
จ4 การหามวลของกานเหล็ก 1 กาน ด้วยโปรแกรม SolidWorks	199
จ5 การหามวลของเหล็กกล้าไร้สนิมแท่งกลม 1 เส้น ด้วยโปรแกรม SolidWorks	200
ช1 ตารางเลือกขนาดถุงลมชนิดต่างๆ	211
ช2 แผนภาพที่ใช้เลือกขนาดหน้าตัดสายพานลิ้ม	212
ช3 เครื่องปั้นผ้าหามาคอุตสาหกรรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวถัง 24 นิ้ว	212

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

α	=	ความเร่งเชิงมุม
ω	=	ความเร็วเชิงมุม
ω_n	=	ความถี่ธรรมชาติของระบบ
π	=	3.141592654
\emptyset	=	เส้นผ่านศูนย์กลาง
σ	=	ความเค้นหลัก
σ_u	=	ความต้านแรงดึงสูงสุด
σ_y	=	ความต้านแรงดึงคราก
ζ	=	อัตราส่วนความหน่วง
a	=	ความเร่ง
c	=	ค่าความหน่วงของโช้คอัพ
cm	=	เซนติเมตร
C	=	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน
C_m	=	ตัวประกอบความล่าเนื่องจากการตัด
C_t	=	ตัวประกอบความล่าเนื่องจากการบิด
d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา
d_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ล้อสายพานตัวจับ
D_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ล้อสายพานตัวตาม
F	=	แรงกระทำ
F_i	=	แรงดึงชั้นต้นของสายพานลิ้ม
F_w	=	แรงดึงในแนวแกน
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s^2)
hp	=	แรงม้า
k	=	ค่าความแข็งตึงของสปริง
kg	=	กิโลกรัม
lb	=	ปอนด์
m	=	เมตร
mm	=	มิลลิเมตร

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

M	=	โมเมนต์ค้ำ
MPa	=	เมกะปาสคาล (10^6 ปาสคาล)
n	=	ความเร็วรอบ
N	=	นิวตัน
N_a	=	ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส
N_l	=	ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน
N_s	=	ตัวประกอบใช้งานสำหรับสายพานลิ้ม
psi	=	ปอนด์/ตารางนิ้ว
PLC	=	Programmable Logic Controller
P_d	=	กำลังออกแบบ
P_R	=	กำลังที่สายพานลิ้มหนึ่งเส้นถ่ายทอดได้
r	=	รัศมี
rpm	=	รอบต่อนาที
s	=	วินาที
T	=	โมเมนต์บิด
v	=	ความเร็ว
W	=	วัตต์
W_p	=	กำลังที่ต้องการถ่ายทอด
z	=	จำนวนเส้นของสายพาน

การออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

Design and Development of an Industrial Washing Machine

คำนำ

ปัจจุบันธุรกิจการทำความสะอาดผ้า ไม่ว่าจะเป็น ผ้าเครื่องนุ่งห่ม ผ้าที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ได้มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง และมีผู้ที่ประกอบกิจการดังกล่าวอย่างแพร่หลาย แต่ผู้ประกอบการที่ทำความสะอาดผ้าในปริมาณที่มาก ๆ ยกตัวอย่างเช่น ฟ้านวม, ผ้าปูที่นอน, ผ้าขนหนู และผ้าอื่น ๆ ที่ใช้ตาม โรงพยาบาล, โรงแรม, โรงงานอุตสาหกรรม หรือ หอพัก อพาร์ทเมนท์ ยังมีจำนวนไม่มากนัก และไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยทั่วไปแล้ว การประกอบกิจการทำความสะอาดผ้าในปริมาณมาก ๆ แบบครบวงจรนั้น (อุตสาหกรรมการทำความสะอาดผ้า) จำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการทำความสะอาดผ้าอย่างเป็นระบบ กล่าวคือจะต้องมีเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดผ้าหลากหลายชนิด เพื่อจะได้แบ่งหน้าที่ในการทำความสะอาดผ้า ในแต่ละกระบวนการได้อย่างต่อเนื่อง และไม่เสียเวลา อาทิเช่น เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม, เครื่องปั่นผ้าหมาด, เครื่องอบผ้า, เครื่องรีดผ้า ฯลฯ เป็นต้น



ภาพที่ 1 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม

เนื่องจากภายในสถานประกอบการดังกล่าว จะต้องมีการซื้อเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดผ้าหลากหลายชนิด และเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะต้องสั่งซื้อในราคาที่สูง การใช้งานก็ค่อนข้างจำกัด ดังนั้น ทางผู้ประกอบการจึงมีความคิดที่จะสร้างและพัฒนาเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องขึ้นไว้ใช้งานเอง และจำหน่ายให้กับหน่วยงานอื่นที่ต้องการประกอบธุรกิจทำความสะอาดผ้า โดยนำเอาหน้าที่หลักในการทำงานที่มีความสอดคล้องรวมไว้ในเครื่องเดียวกัน เพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้อเครื่องจักร และลดขั้นตอนในการทำความสะอาดผ้าในปริมาณมาก ๆ

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมและความเป็นไปได้ที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ประกอบการ โดยการศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรแต่ละชนิด ซึ่งการศึกษาปัญหานั้นจะเกิดขึ้นกับตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมเป็นลำดับแรก กล่าวคือ เมื่อเสร็จจากกระบวนการซักผ้าในแต่ละครั้ง ก็จะมีปัญหาต่อการขนย้ายผ้าออกจากตัวเครื่องซักผ้า เพราะเนื่องจากผ้าที่เสร็จจากการซัก จะมีปริมาณน้ำอยู่ในเนื้อผ้าเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ผ้ามีมวลที่เพิ่มมากขึ้นจึงยากลำบากต่อการขนย้าย และทำให้สูญเสียเวลาการทำงานในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวผู้ดำเนินงานวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว คือสามารถซักผ้าและทำการปั่นผ้าให้หมาดได้อย่างต่อเนื่องในเครื่อง ๆ เดียว

วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรอุตสาหกรรมให้สามารถทำงาน ได้ 2 ระบบ อย่างต่อเนื่อง คือสามารถชักผ้าและทำการปั่นหมาดได้ในเครื่องเดียว อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรอุตสาหกรรมต้นแบบนั้นจะต้องอ้างอิงจากเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบเดิมให้มากที่สุด เพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจของช่างผู้ทำการผลิต
3. การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรอุตสาหกรรมต้นแบบจะต้องไม่มีความซับซ้อนมากจนเกินไป และเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดเพื่อใช้สำหรับสร้างตัวเครื่อง
4. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านอุตสาหกรรมการชักผ้า และเป็นการลดขั้นตอนในกระบวนการชักผ้า ที่มีปริมาณผ้าจำนวนมาก ๆ

การตรวจเอกสาร

ในการสืบค้นเอกสารงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมีความคล้ายคลึงกับการสร้างเครื่องชัก
ผ้าอุตสาหกรรมนั้น มีเนื้อหาสำคัญดังต่อไปนี้

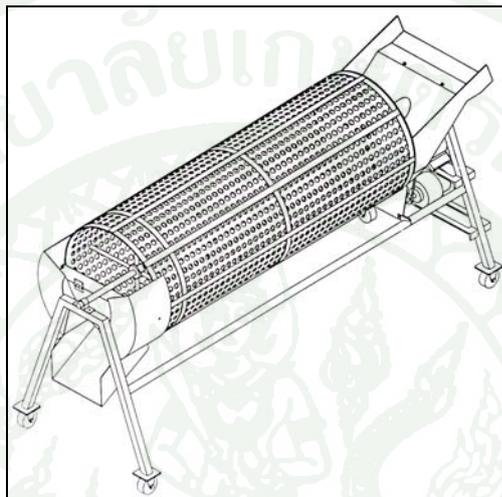
ซูเมธ (2545) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องปั่นแยกทรายจากปลาหมึกแห้ง ที่มี
ลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงยาววางในแนวนอนหุ้มด้วยตะแกรงที่มีรูกลมขนาด 15 mm ตลอดผิว
ทรงกระบอก ตะแกรงทรงกระบอกจะหมุน โดยมีมอเตอร์ขนาด 0.25 แรงม้าเป็นตัวขับเคลื่อน ขณะ
ทำการป้อนปลาหมึกแห้งจากทางด้านหน้าลงในตะแกรงทรงกระบอก การหมุนของตะแกรงจะทำ
ให้ปลาหมึกแห้งเคลื่อนที่ขึ้นไปภายในตะแกรงแล้วร่วงหล่นลงมา เกิดการสั่นสะเทือนให้ทรายหลุด
ออกมาตามรูตะแกรงลงสู่พื้น ปลาหมึกแห้งในตะแกรงจะถูกผลักดันด้วยครีบลัดดันไปออก
ทางด้านท้ายเครื่องปั่น ตกลงสู่ถาดรับปลาหมึกแห้งนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป



ภาพที่ 2 เครื่องปั่นแยกทรายจากปลาหมึกแห้ง

จากการทดลองเครื่องปั่นแยกทรายจากปลาหมึกแห้งนั้น สามารถทำการแยกทรายจาก
ปลาหมึกแห้งได้ดี มีความรวดเร็ว และประหยัดแรงงาน ปลาหมึกที่ได้จากการปั่นแยกทรายมี
คุณภาพที่ดี และสะอาด โดยสามารถทำงานได้ถึง 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ประดิษฐ์ (2545) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ชุดตะแกรงปอก, ชุดถ่ายทอดกำลังและต้นกำลัง และชุดโครงสร้างรองรับส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีรูปแบบการทำงานคือ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ½ แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ส่งกำลังผ่านเกียร์ทดรอบ 1:10 และสายพานลิ้มมาขับเคลื่อนตะแกรงปอกให้หมุนด้วยความเร็วรอบที่เหมาะสมประมาณ 40 รอบต่อนาที



ภาพที่ 3 แสดงเครื่องปอกเปลือกหัวมันสำปะหลัง

จากการทดสอบพบว่า ในการปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ใช้เวลาคร่าวๆ 15 นาที โดยแบ่งเป็นเวลาที่หัวมันฯ ถูกปอกเปลือก 13 นาที และเวลาที่รอให้หัวมันฯ ลำเลียงออกจากเครื่องจนหมด อีก 2 นาที สำหรับความสามารถในการปอกเปลือกของเครื่องฯ อยู่ที่ประมาณ 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หัวมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการปอกเปลือกแล้วมีคุณภาพดี

เครื่องจักรอุตสาหกรรมที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน

1. บริษัทผู้ผลิต Q I ANGYE MACHINERY.

รุ่น XGP-210-460

รายละเอียดที่เกี่ยวกับตัวเครื่อง

- | | |
|---------------------|----------------------|
| - ความจุของผ้า | 210 kg หรือ 450 lb |
| - กำลังมอเตอร์ไฟฟ้า | 5.5 kW |
| - ขนาดของเครื่อง | 3,250×1,820×1,950 mm |



ภาพที่ 4 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น XGP-210-460

รุ่น XG-5

รายละเอียดที่เกี่ยวกับตัวเครื่อง

- | | |
|---------------------|------------------|
| - ความจุของผ้า | 5 kg หรือ 10 lb |
| - กำลังมอเตอร์ไฟฟ้า | 0.75 kW |
| - ขนาดของเครื่อง | 1,060×800×980 mm |



ภาพที่ 5 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น XG-5

2. บริษัทที่ผลิต Wenzhou Saierda Clothes Washing Machines Co., Ltd.,

รุ่น XGB300

รายละเอียดที่เกี่ยวกับตัวเครื่อง

- | | |
|---------------------|----------------------|
| - ความจุของผ้า | 300 kg |
| - กำลังมอเตอร์ไฟฟ้า | 5.5 kW |
| - ขนาดของเครื่อง | 3,200×1,750×2,600 mm |



ภาพที่ 6 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น XGB300

3. บริษัทที่ผลิต SinBon Industrial Limited.

รุ่น IW-70

รายละเอียดที่เกี่ยวกับตัวเครื่อง

- ความจุของผ้า 70 kg
- กำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 1.5 kW
- ขนาดของเครื่อง 2,150×1,100×1,300 mm

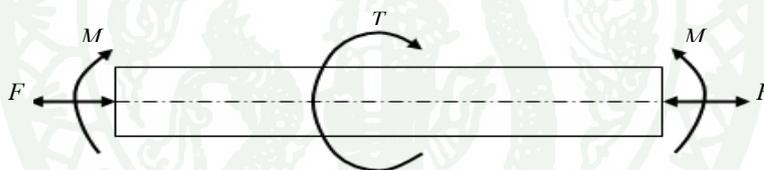


ภาพที่ 7 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม รุ่น IW-70

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การออกแบบเพลลา

เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงคด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหายเพราะความล้าได้ ดังนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ นอกจากนี้เพลลาจะต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลา ให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (Deflection) ของเพลลาที่เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลลาเช่นกัน เพราะถ้าเพลลา มีระยะโก่งตัวมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลลาลดลง ซึ่งจะทำให้เพลลา มีการสั่นอย่างรุนแรงในช่วงความเร็ววิกฤตนี้ได้ และจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีการทำงานสัมพันธ์กับเพลลา อย่างเช่น แบริ่ง, ล้อสายพาน เป็นต้น ให้มีอายุการใช้งานที่สั้นลง



ภาพที่ 8 แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อแกนเพลลา

ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาตามภาพที่ 8 ให้เพลลาเป็นแกนกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนเพลลามีดังต่อไปนี้คือ

$$\text{ความเค้นดึงหรือกด} \quad \sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (1)$$

$$\text{ความเค้นคด} \quad \sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2)$$

$$\text{ความเค้นเฉือน} \quad \tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการ โกงงอ (Buckling) ดังนั้นสมการที่ (1) จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (4)$$

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลามวนอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเพลาก็เกิดความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีคำนวณ จะต้องมีส่วนประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ (2) และสมการ (3) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32C_m Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16C_t Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (6)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (7)$$

จากทฤษฎีความเค้นสูงสุด

$$\tau = \left(\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (8)$$

แทนค่าสมการที่ (4), (5), (6) และสมการที่ (7) ลงในสมการที่ (8) แล้วทำการจัดรูปใหม่

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left((C_t T)^2 + \left(\frac{\alpha F d (1+K^2)}{8} + C_m M \right)^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

โดยที่ $K = d/d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (9) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left((C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right)^{1/2} \quad (10)$$

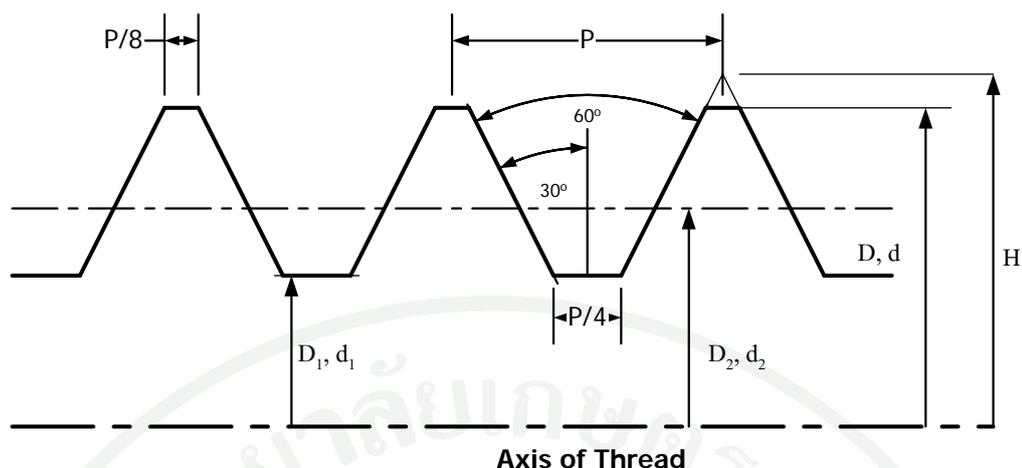
กรณีเพลาดัน $K = d/d = 0$

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left((C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right)^{1/2} \quad (11)$$

2. การยึดด้วยสลักเกลียว

การเลือกวิธีการยึดและตำแหน่งยึดมีความสำคัญมาก และการยึดจะต้องมิให้อุปกรณ์ยึดอยู่ภายใต้แรงดัด แต่ควรให้อยู่ภายใต้แรงดึงและแรงเฉือน หรือถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องอยู่ภายใต้แรงดัดก็ต้องพยายามทำให้แรงดัดกระทำน้อยที่สุด โดยใช้อุปกรณ์อื่นเข้ามาช่วยลดแรงกระทำ

2.1 แบบของเกลียว เพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนชิ้นส่วนของรอยต่อด้วยสลักเกลียว องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) จึงได้กำหนดมาตรฐานของสลักเกลียวเป็นหน่วยระหว่างประเทศขึ้น ลักษณะเกลียวสำหรับใช้งานทั่วไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO/R 68-1969 (E) มีแบบรากฐานของเกลียว ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 รากฐานของเกลียว

เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ (D, d) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตที่สุดของเกลียว การบอกขนาดเกลียวมักจะบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ของเกลียว สัญลักษณ์ที่ใช้ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่หมายถึงขนาดของเกลียวใน อักษรตัวพิมพ์เล็กหมายถึงขนาดของเกลียวนอก

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกลียว (D_2, d_2) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่อยู่กึ่งกลางระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กับเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลียว

เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย (D_1, d_1) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุดของเกลียว หรืออาจเรียกว่า เส้นผ่านศูนย์กลาง โคนเกลียว

ระยะพิตช์ (P) เป็นระยะที่วัดตามแนวแกนของเกลียวจากจุดจุดหนึ่งบนเกลียวหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่สมนัยกันบนอีกเกลียวหนึ่ง

ความสูงของสามเหลี่ยมมูลฐาน (H) เป็นระยะที่วัดตั้งฉากกับแกนของเกลียวจากโคนเกลียวถึงยอดเกลียว ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสามเหลี่ยมมูลฐานกับระยะพิตช์คือ

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} P = 0.8660254P$$

2.2 ชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียว การแบ่งชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียวแบ่งตามวิธีการที่ใช้จับยึด สามารถจำแนกได้ดังนี้

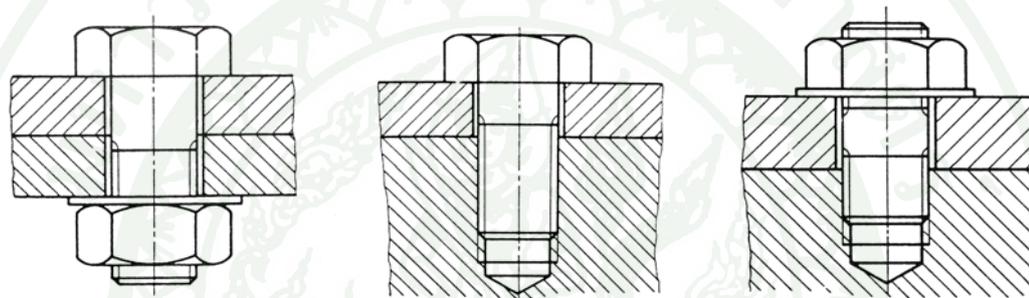
2.2.1 สลักเกลียวและแป้นเกลียว (Bolt and Nut)

2.2.2 หมุดเกลียว (Cap Screw)

2.2.3 สลักเกลียวสตัด (Stud Bolt)

2.2.4 หมุดเกลียวจักรกล (Machine Screw)

2.2.5 หมุดเกลียวปรับ (Set Screw)

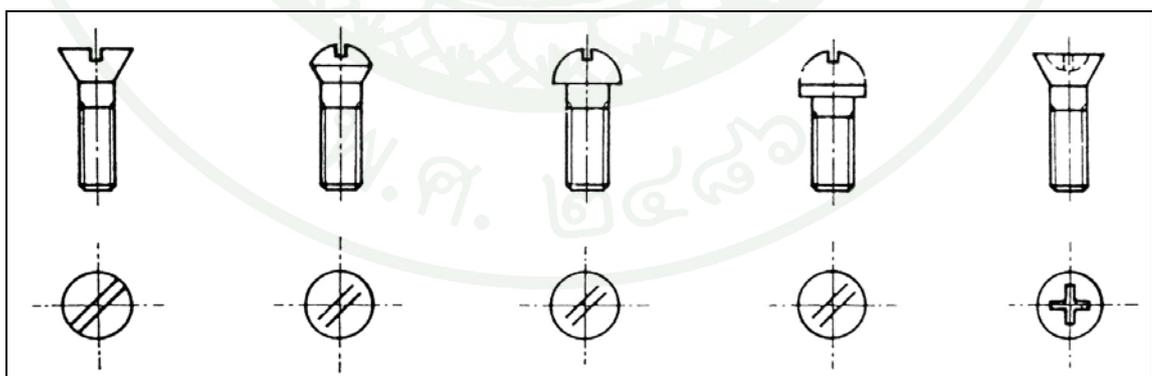


สลักเกลียวและแป้นเกลียว

หมุดเกลียว

สลักเกลียวสตัด

ภาพที่ 10 ชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียว



หัวแบน (หัวผึ้ง)

หัวมน

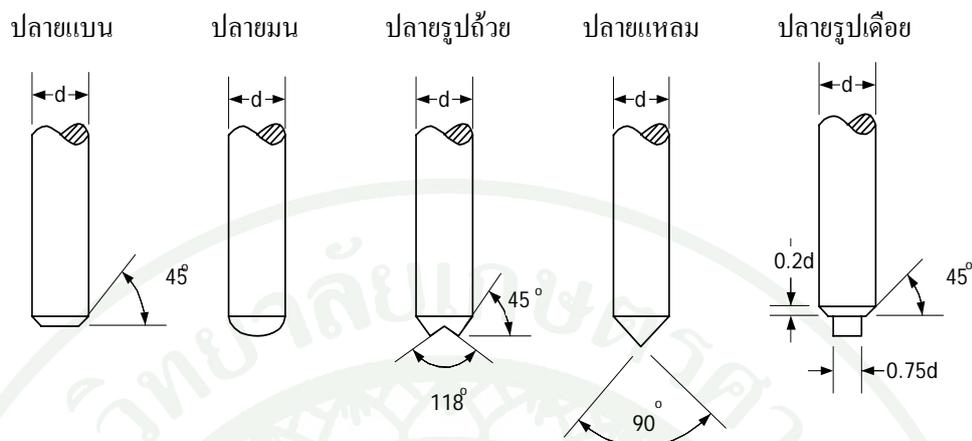
หัวโค้ง

หัวผึ้งเล็ก (Fillister)

หัวแฉก

ภาพที่ 11 หมุดเกลียวจักรกลลักษณะต่าง ๆ

$$d = 0.125D + 8 \text{ mm}$$

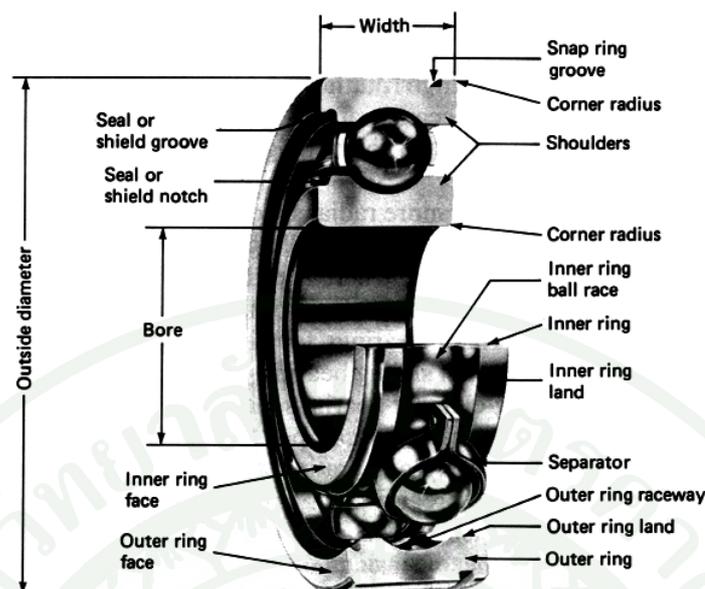


ภาพที่ 12 หมุดเกลียวปรับลักษณะต่างๆ

ส่วนใหญ่แล้วในงานวิจัยนี้จะใช้เกลียวยึดประเภท สลักเกลียวและแป้นเกลียว (Bolt and Nut) เป็นส่วนใหญ่ เพราะเนื่องจากมีความแข็งแรงสูง และเหมาะสมต่อลักษณะการใช้งาน ส่วนเกลียวยึดประเภทอื่นจะมีใช้อยู่บ้าง ตามลักษณะงานที่มีข้อจำกัด และเพื่อยึดชิ้นส่วนประกอบบางชิ้นที่ไม่ได้รองรับแรงกระทำมากจนเกินไป

3. โรลลิ่งเบริง

โรลลิ่งเบริง (Rolling Bearings) หมายถึง เบริงชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของเบริงที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding - Contact) เนื่องจากเบริงชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ตัวอย่างเช่น บอลเบริง (Ball Bearing) หรือดรัมลูกปืน ดังภาพที่ 13 ซึ่งประกอบไปด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



ภาพที่ 13 ส่วนต่าง ๆ ของบอลแบร์ริง

3.1 ข้อดีของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

- 3.1.1 มีความเสียดทานขณะเริ่มทำงานน้อย (Low Starting Friction Torque) จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง
- 3.1.2 ง่ายต่อการหล่อลื่นและดูแลรักษา โดยเฉพาะชนิดที่อัดด้วยไขมัน หรือจาระบีมาจากโรงงานด้วยแล้ว เกือบจะไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
- 3.1.3 ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
- 3.1.4 ใช้เนื้อที่ทางด้านแกน (Axial Space) น้อย
- 3.1.5 สามารถรับแรงรูน (Thrust Load) และแรงในแนวรัศมี (Radial-load) ได้พร้อมกัน ยกเว้นโรลลิงแบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (Straight Roller-bearing) สำหรับเจอร์นัลแบร์ริงรับแรงได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
- 3.1.6 สามารถทราบได้ว่าแบร์ริงกำลังจะเสีย โดยการสังเกตจากเสียงที่ดังผิดปกติ
- 3.1.7 มีเคลือบรันซ์น้อยมาก จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
- 3.1.8 สามารถใช้รองรับเพลลาในตำแหน่งใด ๆ ได้ เช่น ใช้รองรับเพลลาที่วางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
- 3.1.9 ทำการติดตั้งง่าย

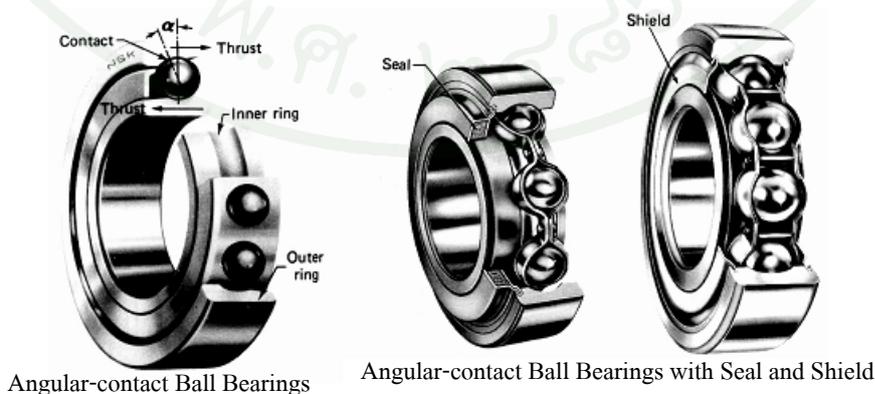
3.2 ข้อเสียของโรลลิ่งแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

- 3.2.1 ใช้น้ำที่ทางรัศมี (Radial Space) มากกว่า
- 3.2.2 โดยปกติราคาจะแพงกว่า
- 3.2.3 ขณะทำงานจะมีเสียงที่ดังกว่า เนื่องจากการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและวงแหวนข้างในบางขณะ
- 3.2.4 อายุการใช้งานสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูง และ กระทำซ้ำกัน (Repeated Load) จึงทำให้วัสดุเกิดความล้า
- 3.2.5 เมื่อมีแรงกระทำทำให้อายุการใช้งานลดลงได้มาก

3.3 ชนิดของแบร์ริง โดยทั่วไปแล้วโรลลิ่งแบร์ริงจะแบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ ๆ คือ บอลแบร์ริงซึ่งมีลูกกลิ้ง(Rolling Element) เป็นรูปทรงกลม และ โรลเลอร์แบร์ริง (Roller Bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง (Straight Roller) หรือรูปทรงกระบอกเรียว (Tapered Roller) ก็ได้ โดยปกติ แบร์ริงเหล่านี้จะสามารถรับแรงในแนวรัศมี และแรงรุนได้ ยกเว้นโรลเลอร์แบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น แบร์ริงทั้งสองพวกนี้ยังแยกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



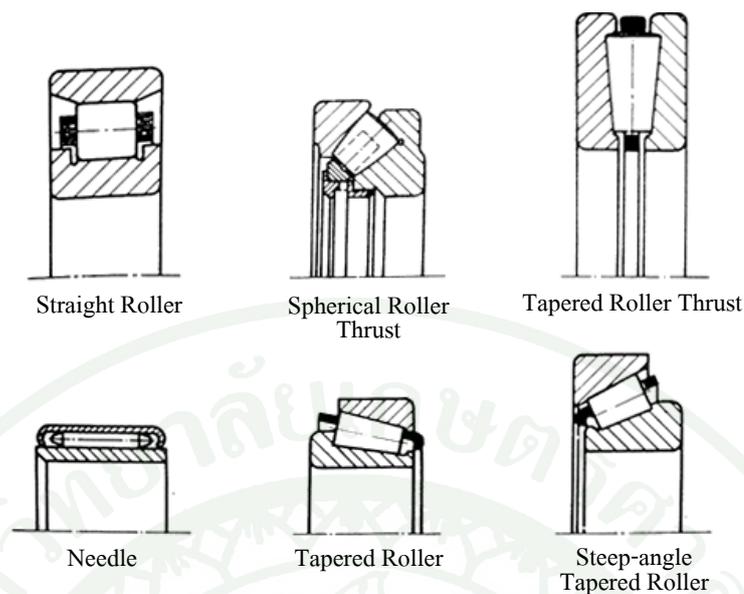
Thrust or Axial-contact Ball Bearings



Angular-contact Ball Bearings

Angular-contact Ball Bearings with Seal and Shield

ภาพที่ 14 บอลแบร์ริงชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 15 โรลเลอร์เบริงชนิดต่าง ๆ

3.4 ความเสียหายของโรลลิ่งเบริง ส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างลูกกลิ้งและรางบนวงแหวน และสามารถหาค่าพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียหายได้จากสมการ

$$W_p = \frac{2\pi n T}{60} = \frac{\pi f F_r d n}{60} \quad (12)$$

- W_p = กำลังงาน (W)
- T = โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียหาย ($N.m.$)
- n = ความเร็วรอบของเพลา (rpm)
- d = ขนาดรูสวม (Bore) ของเบริง (m)
- F_r = แรงที่กระทำกับเบริงในแนวรัศมี (N)
- F_a = แรงที่กระทำกับเบริงในแนวแกน (N)
- f = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

สำหรับกำลังงานที่มีหน่วยเป็นกำลังม้า สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$hp = \frac{Tn}{63,000} = \frac{fF_r d n}{126,000} \quad (13)$$

โดยที่ F_r มีหน่วยเป็น lb และ d มีหน่วยเป็นนิ้ว

3.5 อายุการใช้งานของแบริ่ง โดยที่อายุการใช้งาน L แปรผกผัน เป็นสัดส่วนกลับแรงในแนวรัศมี P ในกรณีที่ไม่มีทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน P จะเป็นแรงในแนวรัศมีสมมูล (Equivalent Radial Load)

$$L \propto \frac{1}{P^k} \quad (14)$$

โดยที่ค่าคงที่ $k = 3$ สำหรับบอลแบริ่ง

$k = 10/3 \approx 3.33$ สำหรับโรลเลอร์แบริ่ง

อายุการใช้งาน L นี้มักจะนับเป็นจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วรอบของเพลาอันหนึ่ง หรือ นับเป็นจำนวนล้านรอบ mr (Millions of Revolution) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้สมการดังนี้

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^k \quad (15)$$

อายุการใช้งานของบอลแบริ่งจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อแรงที่มากกระทำลดลงหนึ่งเท่า

$$\frac{L_1}{L_2} = 2^3 = 8 \text{ เท่า}$$

สำหรับโรลเลอร์แบริ่ง อายุการใช้งานจะเพิ่มขึ้นอีก

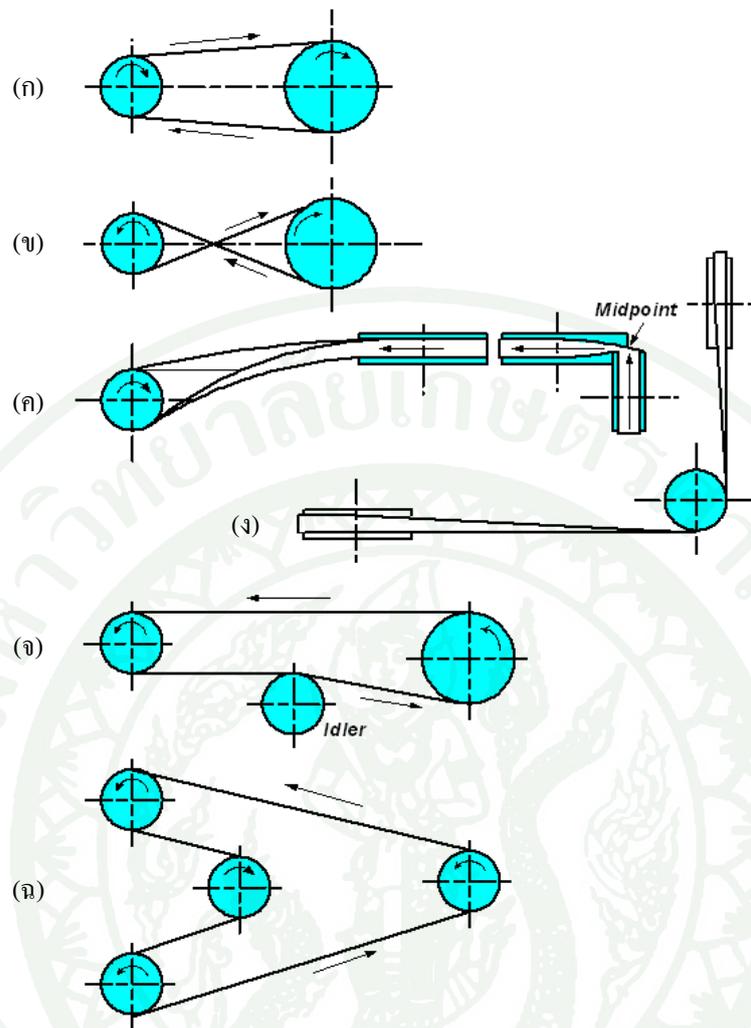
$$\frac{L_1}{L_2} = 2^{3.33} = 10.06 \text{ เท่า}$$

4. สายพาน

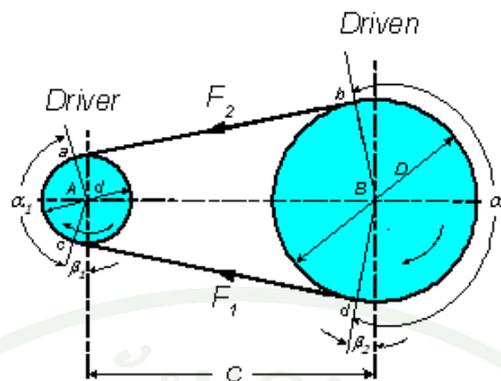
การส่งกำลังด้วยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (Flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบการส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาที่ถูกและใช้งาน รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมาก ๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอน เนื่องจากเกิดการสลิป (Slip) และการ (Creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลา หรือปรับแรงดึงในสายพานระหว่างใช้งาน ในงานที่ต้องการอัตราทดรอบสูง ๆ จะใช้งานได้ไม่ดีเท่าที่ควร

4.1 ชนิดและวัสดุสายพาน สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน (Flat Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า, สายพานลิ้ม (V-Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู, สายกลม (Ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และไทม์มิงเบิ้ลท์ (Timing Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำการร่องคล้ายฟันเพื่อตลอดความยาวของสายพาน

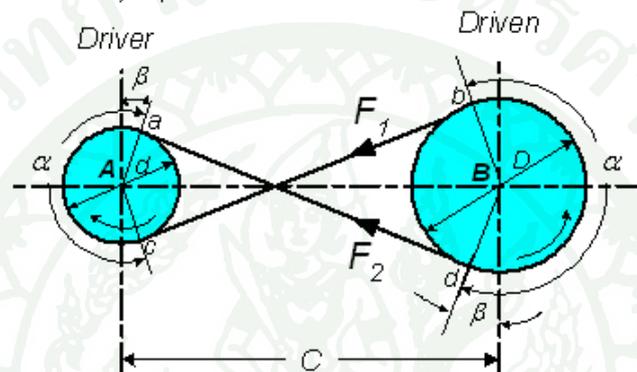
วัสดุที่ใช้ทำสายพานจะต้องมีค่าความต้านแรงสูง (Strength) สามารถบิดตัวได้ดี และจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสูง วัสดุที่ใช้ทำสายพานส่วนใหญ่ก็คือหนัง (Oak-tanned Leather) แต่ถ้าเป็นการใช้งานในกรณีพิเศษ เช่นอยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้น มีไอน้ำของสารเคมี หรือมีน้ำมันอยู่ด้วย ก็มักใช้สายพานแบบ Chrome Leather เพื่อให้สายพานมีอายุการใช้งานได้ยาวนานพอสมควร จึงมักใช้ค่าความเค้นในการออกแบบสายพานต่ำกว่า ความต้านแรงดึงสูงสุดของสายพานมาก โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนังจะมีค่าประมาณ 0.40 – 0.50 และความเร็วใช้งานของสายพานควรอยู่ในช่วง 1,000 – 2,000 m/min สายพานอีกชนิดหนึ่งคือสายพานยาง (Rubber Belts) สายพานประเภทนี้จะมีส่วนผิวหรือผ้าใบเป็นไส้ภายในและมียางหุ้มอยู่ภายนอก ยางที่ใช้หุ้มจะเป็นยางที่อบด้วยกำมะถันในอุณหภูมิสูง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความต้านแรง สายพานยางเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีน้ำมัน หรือแสงแดด เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานหนังแล้ว สายพานยางจะมีราคาถูกกว่า แต่อายุการใช้งานจะสั้น สายพานยางทนต่อสภาพบรรยากาศในการใช้งานได้ดีกว่าสายพานหนัง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานยางจะมีค่าประมาณ 0.30 – 0.40 และสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 20 N ต่อชั้น ต่อความกว้างของสายพาน 1 mm



ภาพที่ 16 ลักษณะการขับด้วยสายพาน (ก) โอเพ่นไครว์ (ข) ครอสไครว์ (ค) ควอเตอร์เทอนไครว์ (ง) มิวส์ไครว์ (จ) แสดงการขับโดยใช้ล้อช่วย (ฉ) ริเวสไครว์



a) Open Belt Drive Transmission



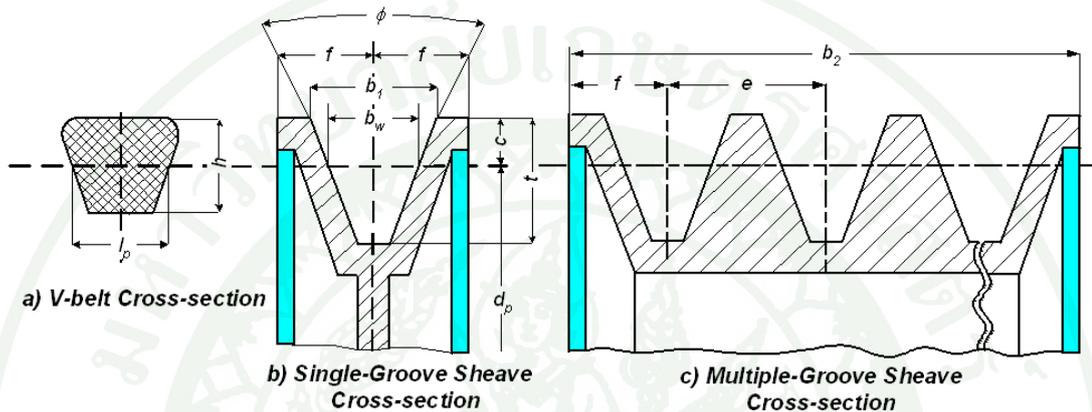
b) Crossed Belt Drive Transmission

ภาพที่ 17 การส่งผ่านแรงจากการขับด้วยสายพาน

4.2 สายพานลิ่ม สายพานชนิดนี้ใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขั้นต่ำในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างสายพานที่เรียวย กับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสสั้นๆ และมีแรงดึงขั้นต่ำค่อนข้างต่ำ และเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีเหตุนอกเค้น ก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย

การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบร์ริงของเพลลาไม่ต้องรับแรงมากจนเกินไป จึงมักใช้ในการขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานขับได้โดยอัตราทดสูงประมาณ 7:1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10:1

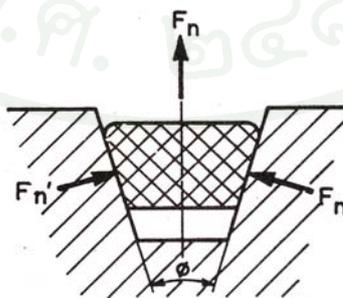
4.3 ขนาดสายพานและล้อสายพานลิ่ม สายพานลิ่ม มีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ ความกว้างพิทช์ (Pitch Width) และความหนาสายพาน โดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V-Belts) มีขนาด SPZ, SPA, SPB และ SPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดา มีขนาด Y, Z, A, B, C, D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 หน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน

4.4 กลศาสตร์ของสายพานลิ่ม ในการจับด้วยสายพานลิ่ม แรงปฏิกิริยาระหว่างสายพานกับล้อสายพานจะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส ดังภาพ ให้ F_n' เป็นแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสของสายพานกับร่องบนล้อสายพาน ดังนั้น สายพานลิ่มจะมีสมการดังนี้

$$2fF_n' = dF \tag{16}$$



ภาพที่ 19 แรงที่กระทำบนสายพานลิ่ม

แรงปฏิกิริยารวมของแรง F_n' ทั้งสองแรงคือ

$$F_n = 2F_n' \sin \frac{\phi}{2} \quad (17)$$

หรือ

$$F_n' = \frac{F_n}{2 \sin \frac{\phi}{2}} \quad (18)$$

แทนค่า F_n' จะได้

$$\frac{fF_n}{\sin \frac{\phi}{2}} = dF \quad (19)$$

รวมแรงในแนวตั้งจะได้

$$F_c + F_n = \left(F + \frac{1}{2} dF \right) d\theta \quad (20)$$

กำลังที่ส่งโดยสายพานลิม

$$W_p = z(F_1 - F_2)v \quad (21)$$

โดยที่ v = ความเร็วของสายพาน (m/s)

z = จำนวนสายพาน

ความยาวพิตช์โดยประมาณของสายพานลิมหาค่าได้จากสมการ

$$L_p \approx 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p + d_p)^2}{4C} \quad (22)$$

เมื่อทราบความยาวพิตช์แล้วต้องการหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางก็ทำได้โดยใช้สมการ

$$C \approx p + \sqrt{p^2 - q} \quad (23)$$

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

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

การทำให้เกิดแรงดึงขึ้นต้นจะทำให้การจับด้วยสายพานมีประสิทธิภาพดี และยืดอายุการใช้งานของสายพาน ถ้าออกแรงดึงขึ้นต้นไม่เพียงพอจะทำให้ส่งกำลังได้น้อยลงประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้สายพานมีอายุการใช้งานลดลง แต่ถ้าออกแรงดึงขึ้นต้นมากเกินไปจะทำให้ ขอบสายพานยืดตัวมาก เกิดความเค้นในสายพานสูง แบร็งที่รองรับล้อสายพานก็จะรับแรงมากตามไปด้วย

แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลังคือ

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

แรงในแนวแกน

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

แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากน้ำหนักสายพาน

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

แรงลัพธ์เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง คือ

$$F_R = 2 \cdot z \cdot F_c \sin \frac{\alpha}{2} \quad (24)$$

โดยที่ z = จำนวนสายพาน

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วิธีหาค่าประมาณของแรงดึงในแนวแกนจากสมการ

$$F_w = k_1 \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (25)$$

ในกรณีที่จับ โดยมีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคองที่ หรือไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงดึงในสายพานตลอดเวลา ก็จำเป็นที่จะต้องนำเอาแรงหนีศูนย์กลางมาคิดด้วย

$$F_R = z \cdot k_2 \cdot v^2 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (26)$$

ดังนั้นแรงดึงชั้นต้นในสายพานจึงเท่ากับ

$$F_i = (k_1 F + z k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2} \quad (27)$$

5. ค่าความปลอดภัยในการออกแบบเครื่องจักรกล (Safety Factor, N)

โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัย หมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าดึงความต้านแรงดึง, σ_u หรือ ความต้านแรงดึงคราก, σ_y ของวัสดุ เพื่อให้ความเค้นใช้งานที่ใช้ในการออกแบบ, σ_d

$$N_y = \frac{\text{Yield Stress}}{\text{Allowable Stress}} = \frac{\sigma_y}{\sigma_d}$$

$$N_u = \frac{\text{Ultimate Stress}}{\text{Allowable Stress}} = \frac{\sigma_u}{\sigma_d}$$

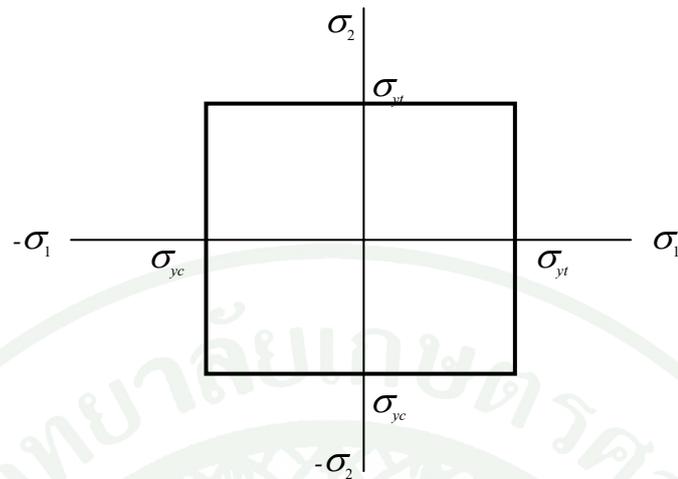
5.1 ทฤษฎีความเสียหาย (Failure Theories)

5.1.1 ทฤษฎีความเค้นสูงสุด (Maximum Normal Stress Theory) ทฤษฎีนี้เหมาะสำหรับวัสดุเปราะ เช่น เหล็กหล่อ “โดยความเสียหายนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของความเค้นหลักสูงสุดเท่านั้น” สำหรับระนาบความเค้น และให้ N เป็นค่าความปลอดภัย

$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma_y}{N} ; |\sigma_1| > |\sigma_2|$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} ; |\sigma_2| > |\sigma_1|$$

สมการข้างต้นสามารถเขียนเป็นกราฟขอบเขตความเค้นสูงสุด แสดงดังภาพที่ 20 โดยถ้าค่า σ_1, σ_2 อยู่บนเส้นขอบเขตหรืออยู่นอกเส้นขอบเขตก็จะเกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกล



ภาพที่ 20 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นสูงสุด

5.1.2 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress Theory) ทฤษฎีนี้เหมาะสำหรับวัสดุเหนียว โดยมีใจความสำคัญดังนี้ “วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดของวัสดุชนิดเดียวกัน ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุดคราก”

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N}$$

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลนั้น ระบายความเค้นส่วนใหญ่ถูกกระทำด้วยความเค้นตั้งฉาก 1 ทิศทางและความเค้นเฉือน กรณีที่ยอมให้ความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้น

$$\tau_{max} = \frac{\tau_y}{N} = \sqrt{\left[\frac{\sigma}{2}\right]^2 + \tau^2} \quad (28)$$

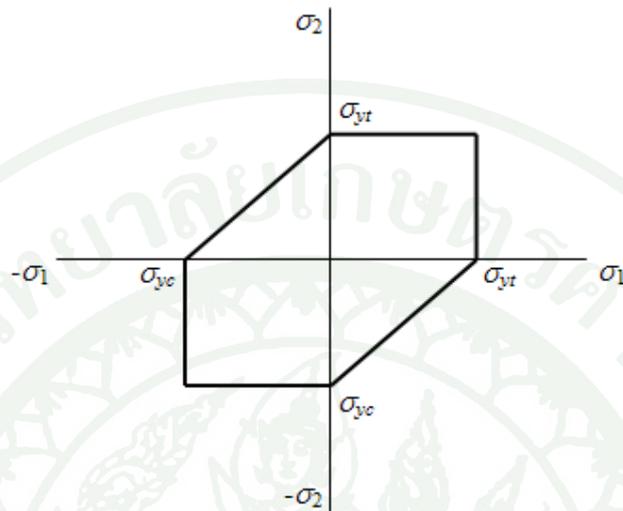
จัดรูปใหม่

$$\frac{1}{N} = \sqrt{\left[\frac{\tau}{\tau_y}\right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y}\right]^2} \quad (29)$$

โดยที่

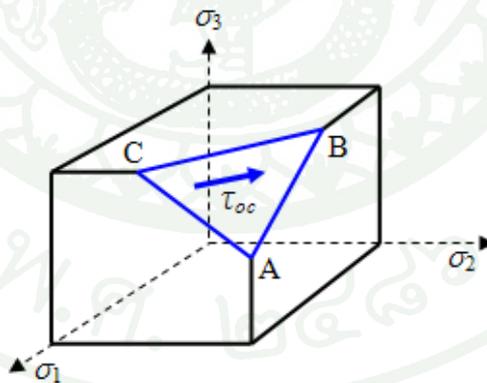
$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{2}$$

สมการข้างต้นสามารถเขียนเป็นกราฟขอบเขตความเค้นเฉือนสูงสุด แสดงดังภาพที่ 21 โดยถ้าค่า σ_1 , σ_2 อยู่บนเส้นขอบเขตหรืออยู่นอกเส้นขอบเขตก็จะเกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกล



ภาพที่ 21 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

5.1.3 ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล (Octahedral Shear Stress Theory)



ภาพที่ 22 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

ทฤษฎีนี้กล่าวว่า “วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลในวัสดุ มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบขณะถึงจุดคราก” สำหรับความเค้น 3 มิติ ค่าความเค้นออกตะฮีดรัล คือ

$$\tau_{oc} = \frac{1}{3} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \quad (30)$$

จากการทดสอบแรงดึง ความเค้นหลัก σ_2 และ σ_3 จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และความเค้นหลัก σ_1 มีค่าเท่ากับ σ_y จากสมการความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล τ_{oc} เมื่อนำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบแรงดึง จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

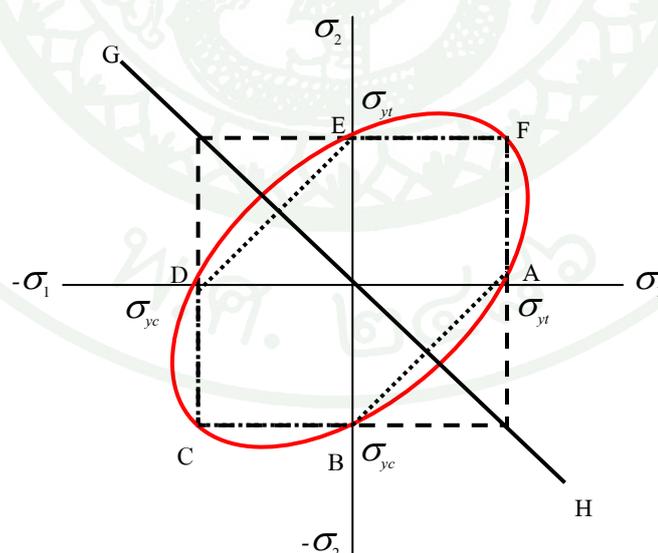
$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_y$$

ความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อ $\tau_{oc} = \tau$

$$2\sigma_y^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (31)$$

สำหรับระนาบความเค้นซึ่ง $\sigma_3 = 0$ จะได้ว่า

$$\left[\frac{\sigma_y}{N} \right]^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 \quad (32)$$

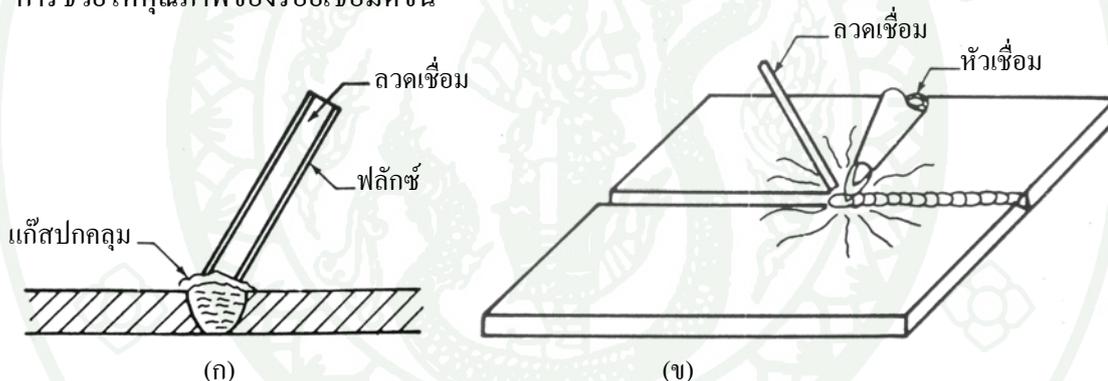


ภาพที่ 23 ขอบเขตทฤษฎีความเค้นสูงสุด, ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

6. การเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อ (Welded Joints) เป็นการจับยึดแบบถาวรชนิดหนึ่ง โดยวิธีการต่อชิ้นงานเข้าด้วยกัน ซึ่งนิยมใช้กันมากในงานทางด้านอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยปกติแล้วลวดเชื่อมจะมีความต้านทานแรงไม่น้อยกว่าความต้านทานแรงของแผ่นโลหะที่จะนำมาต่อกัน ดังนั้นประสิทธิภาพของรอยเชื่อมจึงอยู่ในระดับเข้าใกล้ 100% สำหรับรอยเชื่อมที่ต้องการรับแรงสูงนิยมใช้วิธีการเชื่อมดังต่อไปนี้

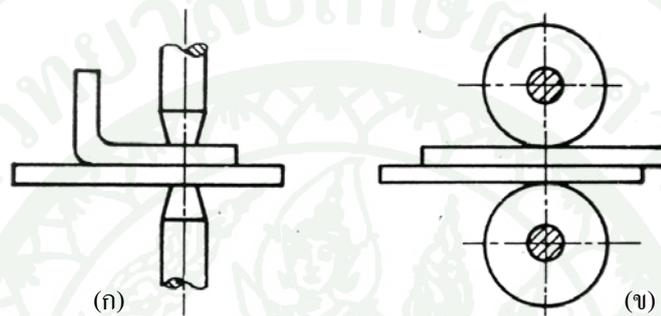
6.1 การเชื่อมด้วยไฟฟ้า การเชื่อมด้วยวิธีนี้เป็นการเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้ลวดเชื่อม (Electrode) เป็นตัวนำไฟฟ้าและในขณะเดียวกันโลหะลวดเชื่อมก็จะละลายลงไป ณ รอยที่ต้องการเชื่อมด้วย ดังภาพที่ 24 (ก) ลวดเชื่อมมักห่อหุ้มไว้ด้วยสารชนิดหนึ่ง เรียกว่า ฟลักซ์ (Flux) ซึ่งจะระเหยกกลายเป็นแก๊สในขณะทำการเชื่อม แก๊สนี้จะช่วยป้องกันมิให้เกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ที่รอยเชื่อม ซึ่งเป็นการช่วยให้คุณภาพของรอยเชื่อมดีขึ้น



ภาพที่ 24 การเชื่อมไฟฟ้า และการเชื่อมด้วยแก๊ส

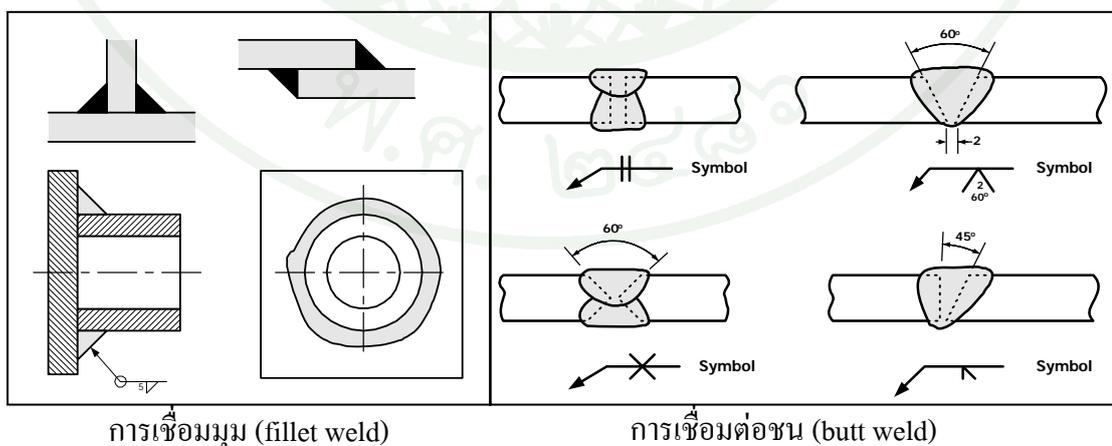
6.2 การเชื่อมด้วยแก๊ส เป็นวิธีการเผาไหม้ระหว่างส่วนผสมของแก๊สออกซิเจน กับ ไฮโดรเจน หรือ ออกซิเจนกับอะเซทิลีน (Acetylene) เป็นตัวให้ความร้อน แก๊สทั้งสองชนิดนี้จะผสมกันในหัวเชื่อม (Torch) ในการเชื่อมจะปรับส่วนผสมของแก๊สทั้งสองในอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง ซึ่งจะได้อุณหภูมิเพียงพอที่จะละลายโลหะได้ จากนั้นจึงทำการเผาชิ้นงานที่จะเชื่อมให้ร้อนแล้วจึงใช้เปลวไฟละลายลวดเชื่อมลงไป ในรอยเชื่อม ดังภาพที่ 24 (ข)

6.3 การเชื่อมด้วยความต้านไฟฟ้า การเชื่อมวิธีนี้จะใช้แรงกดชิ้นงานส่วนตรงที่ต้องการจะเชื่อมติดกัน แล้วจึงผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นงานตรงรอยที่ต้องการเชื่อม จนกระทั่งเนื้อโลหะละลายติดกัน ถ้าแรงกดนี้มาจากอิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าด้วย ดังภาพที่ 25 (ก) รอยเชื่อมจะเป็นจุดเรียกว่าการเชื่อมจุด (Spot Welding) แต่ใช้ลูกกลิ้งออกแรงกดและเป็นตัวนำไฟฟ้างดภาพที่ 25 (ข) รอยเชื่อมที่ได้จะเป็นเส้นแนวยาว เรียกว่า การเชื่อมแบบตะเข็บ (Seam Welding)

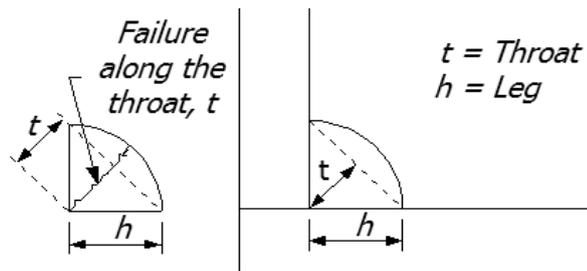


ภาพที่ 25 การเชื่อมด้วยความต้านทานไฟฟ้า

ชนิดของรอยเชื่อมที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ การเชื่อมมุม (Fillet Weld) และการเชื่อมต่อชน (Butt Weld) ดังภาพที่ 26 โดยการเชื่อมมุนั้นไม่จำเป็นจะต้องเท่ากับความหนาของแผ่นโลหะ และโดยปกติแล้วผิวบนของรอยเชื่อมมุม จะมีลักษณะดังเส้นประในภาพที่ 27 ส่วนเกินนี้เรียกว่าส่วนเสริม (Reinforcement)



ภาพที่ 26 รอยเชื่อมชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 27 ลักษณะรอยเชื่อมมุม

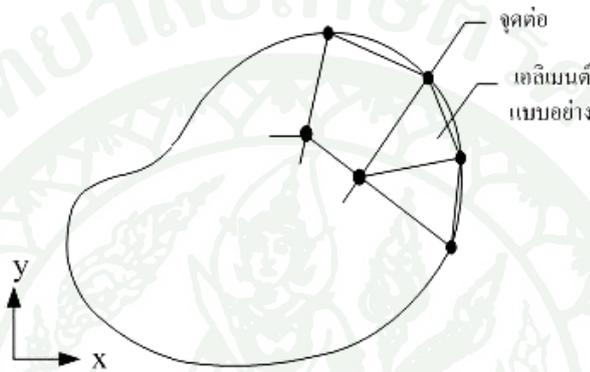
7. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไปที่ไม่ซับซ้อน เราสามารถจะหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการทราบ เช่น การกระจัดที่ตำแหน่งใด ๆ ของชิ้นส่วนได้โดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์ และผลเฉลยที่ได้รับจะเรียกว่าผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution) แต่มีชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และ โครงสร้างจำนวนมากที่มีรูปร่างลักษณะที่ซับซ้อนที่ประกอบด้วยส่วนเว้า ส่วนโค้งต่าง ๆ ทำให้พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนไม่สม่ำเสมอ และบางบริเวณอาจมีการเปลี่ยนแปลงของภาระอย่างฉับพลัน หรือใช้วัสดุต่างชนิดกันเหล่านี้เป็นต้น จึงมีผลทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงจากสมการอนุพันธ์ได้

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถจะประมาณหาค่าผลเฉลยโดยการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิต แทนการแก้สมการอนุพันธ์ ชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ อย่างต่อเนื่อง ตามรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วน ผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผลเฉลยที่จุดต่อ (node) ของแต่ละ element ด้วยหลักการดังกล่าวสามารถทำให้เราสามารถวิเคราะห์การกระจัด ความเค้น และความเครียดแต่ละจุดต่อของ element ที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างของชิ้นงาน การวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นที่นิยมมากทั้งในแวดวงวิชาการและอุตสาหกรรมในการวิเคราะห์ปัญหาด้านวิศวกรรมศาสตร์ เนื่องจากขีดความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ และ โปรแกรมวิเคราะห์ทางด้าน ไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่สูงขึ้น การใช้งานที่สะดวก รวดเร็ว ถูกต้องและแม่นยำสูง

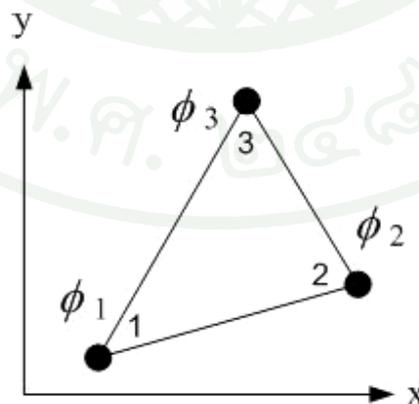
วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ ๆ ทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

7.1 การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการที่จะหาผลลัพธ์นั้นออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ดังแสดงในภาพที่ 28 ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่าง ๆ กัน เช่น ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง (Elasticity Problem) ปัญหาที่เกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อน (Thermal Problem) รวมทั้งปัญหาของการไหล (Fluid Problem)



ภาพที่ 28 การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่าง ๆ

7.2 การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Function) เช่น เอลิเมนต์สามเหลี่ยม (เอลิเมนต์แบบอย่างดังแสดงในภาพที่ 7) เอลิเมนต์ดังกล่าวประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ โดยมีตัวไม่ทราบค่าอยู่ ณ ตำแหน่งที่จุดต่อ

โดยที่จุดต่อเป็นตำแหน่งของตัวไม่ทราบค่า (Nodal Unknowns) ซึ่งคือ ϕ_1 , ϕ_2 , และ ϕ_3 ตามลำดับ ตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อเหล่านี้ อาจเป็นค่าการขยับหรือหดตัว (Displacement) หากเราทำปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง หรืออาจเป็นค่าอุณหภูมิหากเราทำปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน หรือไม่ก็อาจเป็นความเร็วของของเหลวหากเราทำปัญหาเกี่ยวกับการไหล เป็นต้น ลักษณะการกระจายของตัวไม่ทราบค่าบนเอลิเมนต์นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการประมาณภายใน และตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อได้ ดังนี้

$$\phi(x, y) = N(x, y)\phi_1 + N(x, y)\phi_2 + N(x, y)\phi_3 \quad (33)$$

โดย $N_i(x, y)$, $i = 1, 2, 3$ คือฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์

สมการ (33) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ได้ ดังนี้

$$\phi(x, y) = [N_1 \quad N_2 \quad N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (34)$$

โดย $[N]$ คือ เมทริกซ์ของฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์

$\{\phi\}$ คือ เวกเตอร์เมทริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

7.3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element Equations) ขั้นตอนที่ 3 นี้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ตัวอย่างการสร้างสมการของเอลิเมนต์ เช่น สมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างดังแสดงในภาพที่ 29 จะอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (35)$$

เขียนย่อได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (36)$$

7.4 การนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบกัน ก่อให้เกิดระบบสมการพร้อมกันขึ้น (System of Simultaneous Equations) ในรูปแบบดังนี้

$$\sum \text{Element Equation} \Rightarrow [K]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (37)$$

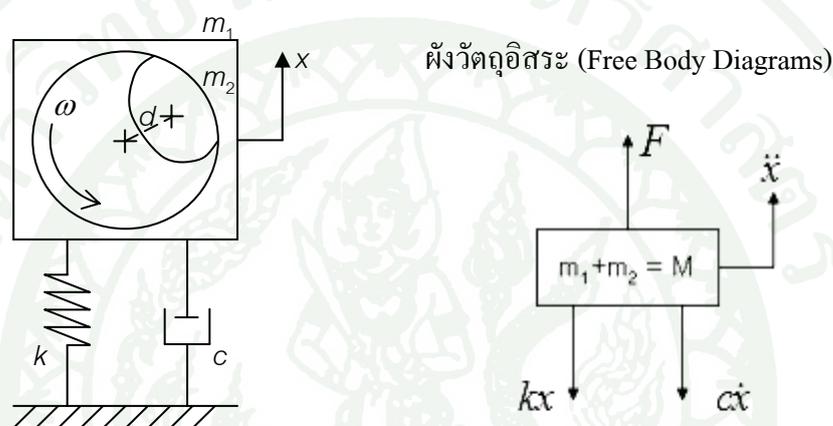
7.5 ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ลงในสมการ (37) แล้วจึงแก้สมการนั้นเพื่อหา $\{\phi\}_{\text{sys}}$ อันประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อ (Nodal Unknowns) ซึ่งอาจเป็นค่าของการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้าง หรือค่าของอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ หากเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน หรืออาจเป็นค่าของความเร็วของของไหลหากเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการไหล เป็นต้น

7.6 เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถทำการหาค่าอื่น ๆ ที่ต้องการทราบต่อไปได้ เช่นเมื่อทราบค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้างเราสามารถนำไปใช้ในการหาความเครียด (Strain) และความเค้น (Stress) ได้ต่อไป เป็นต้น

8. การสั่นของระบบหนึ่งลำดับขั้นความเป็นอิสระ

ในการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนนั้น จะมีทฤษฎีที่เกี่ยวกับการสั่นของระบบหนึ่งลำดับขั้นความเป็นอิสระ (One Degree of Freedom) เข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการพิจารณาระบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.1 การไม่สมดุลเนื่องจากการหมุน



ภาพที่ 30 ภาพผังวัตถุอิสระที่ไม่สมดุลเนื่องจากการหมุน

จากสมการการเคลื่อนที่และผังวัตถุอิสระในภาพที่ 30 จะได้

$$+\uparrow \Sigma F = M \ddot{x}$$

$$F - kx - c\dot{x} = M \ddot{x}$$

$$M \ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$$

โดยที่ $\Sigma F =$ แรงรวม

$F =$ แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ตามแนวโค้ง

$M =$ มวลรวมเท่ากับ $m_1 + m_2$

$m_1 =$ มวลของเครื่อง

$m_2 =$ มวลของวัตถุที่อยู่ในตัวเครื่อง

c = ค่าความหน่วงจากการเคลื่อนที่ของโช้คอัพ (Damping Coefficient)

k = ความแข็งตึงของสปริง (Spring Stiffness)

แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ตามแนวโค้ง, F สามารถหาได้จาก

$$F = m d \omega^2 \sin \omega t \quad (38)$$

โดยที่ m = มวลของตัวเครื่อง

d = ระยะของการเยื้องศูนย์กลางระหว่างจุดศูนย์กลางวัตถุ และจุดศูนย์กลางของถ่วง

ω = ความเร็วเชิงมุมของเครื่อง

แทนค่ากลับไปใน (38) จะได้

$$M \ddot{x} + c \dot{x} + kx = m d \omega^2 \sin \omega t \quad (39)$$

ผลเฉลยเอกพันธ์ :

$$x_h = X e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi) \quad (40)$$

โดยที่ X = ขนาดการสั่น (Amplitude of Vibration) ของมวล M

ζ = อัตราส่วนความหน่วง โดยที่ $\zeta = \frac{c}{c_c}$

c_c = ค่าความหน่วงวิกฤต (Critical Damped Coefficient)

ω_n = ความถี่ธรรมชาติของระบบ (Natural Frequency) โดยที่ $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}}$

ω_d = ความถี่ของการสั่นที่มีความหน่วง (Frequency of Damped Vibration)

โดยที่ $\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n$

ϕ = มุมเฟส (Phase Angle)

t = เวลา

ผลเฉลยของปริพันธ์เฉพาะ :

$$x_p = X \sin(\omega t - \phi) \quad (41)$$

และ X คือขนาดการสั่นของมวล M ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$X = \frac{m d \omega^2}{\left[(k - M \omega^2)^2 + (c \omega)^2 \right]^{1/2}} \quad (42)$$

หรือจัดรูปแบบให้อยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติจะได้

$$\frac{MX}{md} = \frac{r^2}{\left[(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2 \right]^{1/2}} \quad (43)$$

สำหรับมุมเฟสจะหาได้จาก

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{c \omega}{k - M \omega^2} \right) \quad (44)$$

หรือ

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta r}{1 - r^2} \right) \quad (45)$$

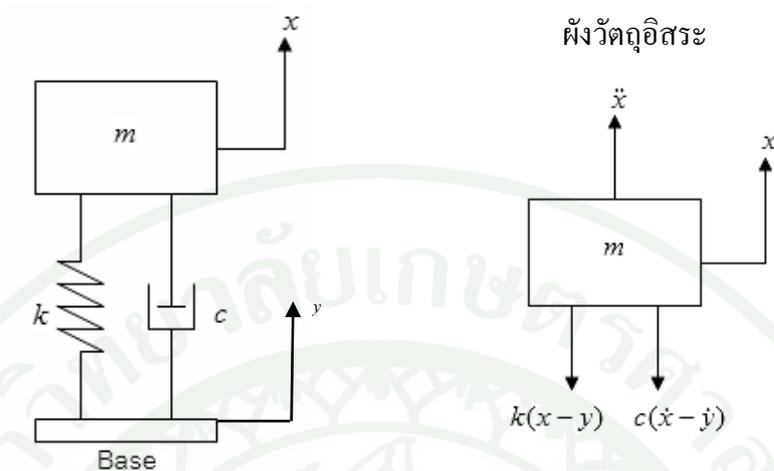
โดยที่ $r =$ ค่าอัตราส่วนความถี่, $r = \frac{\omega}{\omega_n}$

สมการของการตอบสนองต่อความถี่ของระบบสามารถจัดรูปได้เป็น

$$x(t) = x_h + x_p$$

$$\therefore x(t) = X e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi) + X \sin(\omega t - \phi) \quad (46)$$

8.2 การตอบสนองของระบบที่เกิดจากการสั่นแบบฮาร์โมนิกส์



ภาพที่ 31 ภาพผังวัตถุอิสระของระบบที่เกิดจากการสั่นแบบฮาร์โมนิกส์

จากสมการการเคลื่อนที่และผังวัตถุอิสระในภาพที่ 31 จะได้

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} + \dot{y}) + k(x + y) = 0$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky \quad (47)$$

โดยที่ x = การเคลื่อนที่ของมวล m

y = การเคลื่อนที่ของฐาน

โดยการเคลื่อนที่ของฐาน, y มักจะมีรูปแบบเป็น

$$y = Y \sin \omega t$$

โดยที่ Y = ขนาดการสั่น (Amplitude of Vibration) ของฐาน

แทนค่ากลับลงไปนสมการที่ (46) จะได้

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\omega Y \cos \omega t + kY \sin \omega t \quad (48)$$

จากความสัมพันธ์ของตรีโกณมิติ

$$c\omega Y \cos \omega t + kY \sin \omega t = A \sin(\omega t - \alpha) \quad (49)$$

โดยที่

$$A = Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2} \quad (49a)$$

และ

$$\alpha = \tan^{-1}\left[\frac{-c\omega}{k}\right] \quad (49b)$$

แทนค่ากลับไปในสมการที่ (47) จะได้

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = A \sin(\omega t - \alpha) \quad (50)$$

จากสมการของผลตอบสนองคงตัว

$$X_p(t) = \frac{Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \sin(\omega t - \phi_1 - \alpha) \quad (51)$$

โดยที่

$$\phi_1 = \tan^{-1}\left(\frac{c\omega}{k - m\omega^2}\right) \quad (52)$$

จากสมการ (41) และสมการ (52) จะได้

$$X = \frac{Y\sqrt{k^2 + (c\omega)^2}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (53)$$

หรือ

$$\frac{X}{Y} = \left\{ \frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right\}^{1/2} \quad (53a)$$

หรือ

$$\frac{X}{Y} = \left[\frac{1 + (2\zeta r)}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (53b)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (53b) จะพบว่า X เป็นขนาดของการสั่นของมวล m ส่วน Y จะเป็นขนาดการสั่นของฐาน และ $\frac{X}{Y}$ จะเป็นสัดส่วนของการสั่นของฐาน ซึ่งในการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนของฐานที่ใช้รองรับระบบอยู่นั้นอาจเกิดการเคลื่อนที่และมีการสั่นอยู่บ้าง แต่จุดมุ่งหมายของระบบกันสั่นก็คือต้องป้องกันให้ระบบมีการสั่นน้อยที่สุด

ดังนั้นในการออกแบบเราจึงจำเป็นต้องเลือกค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ และค่าอัตราส่วนความถี่ r ที่เหมาะสม เพื่อให้อัตราส่วนการเคลื่อนที่ $\frac{X}{Y}$ มีค่าต่ำที่สุดเพื่อให้ระบบเกิดการสั่นน้อยที่สุด

สำหรับค่าอัตราส่วนของการสั่น $\frac{X}{Y}$ นี้นิยมเรียกว่า การส่งผ่านการขจัด (Displacement Transmissibility, T_d)

$$T_d = \frac{X}{Y} = \left[\frac{1 + (2\zeta r)}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (53c)$$

9. คุณสมบัติทางโลหะวิทยาของเหล็กกล้าและเหล็กหล่อ

9.1 เหล็กกล้า แบ่งออกเป็น

- 1.) เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon Steel)
- 2.) เหล็กกล้าผสมต่ำ ความต้านแรงสูง (High-Strength, Low-Alloy Steel)
- 3.) เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำ (Low Alloy Structural Steel)
- 4.) เหล็กกล้าหล่อ (Cast Steel)
- 5.) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)
- 6.) เหล็กเครื่องมือ (Tool Steel)
- 7.) เหล็กกล้าพิเศษ (Special Purpose Steel)

โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเหล็กกล้าที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.05% ถึง 0.30% เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.30% ถึง 0.50% และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 0.50% ขึ้นไป

(ก) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีใช้งานมากทางด้านผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและในงานโครงสร้าง เช่น ใช้ทำท่อ โครงสร้าง ถัง รถไฟ ตัวถังรถยนต์ สลักเกลียว เป็นเกลียว เป็นต้น ถ้าเหล็กชนิดนี้มีกำมะถันผสมอยู่มาก จะเรียกว่า เหล็กกลึงเสรี (Free Cutting Steel) ซึ่งนิยมใช้อย่างมากในเครื่องทำเกลียวอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมส่วนมากใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ทั้งแบบรีดร้อนและแบบรีดเย็น เหล็กกล้าที่ผ่านการรีดเย็นจะมีความต้านแรงดี ตัดกลึงได้ดี และมีขนาดแน่นอน ถ้าต้องการให้ผิวเหล็กทนต่อการสึกหรอก็ทำได้โดยการชุบผิวแข็ง

(ข) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง สามารถนำมาชุบหรือเทมเปอร์ได้โดยกรรมวิธีทางความร้อนแบบทั่วไป ดังนั้นจึงมักใช้งานที่ต้องการความต้านแรง และทนต่อการสึกหรอ ผลิตภัณฑ์จากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางคือ เพลา แกน เพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความต้านแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

(ค) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง จะมีความแข็งและความต้านแรงสูง พร้อมกันนั้นก็ทนต่อการสึกหรอได้ดีด้วย เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจึงจะมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยปกติที่หาซื้อตามท้องตลาดจะอยู่ในสภาพที่ผ่านการแอนนิลมาแล้ว เหล็กกล้าชนิดนี้ใช้ทำเครื่องมือชนิดต่าง ๆ เช่น ดอกสว่าน อุปกรณ์ตัดเกลียวใน ดอกคว้านรู แบบพิมพ์ และมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคม เช่น มีด, สกัด และกรรไกร เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำลวดสปริงและลวดสลิงอีกด้วย

เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าไร้สนิมมีอยู่ 3 แบบคือ

(ก) ออสเทนิติก (Austenitic)

(ข) เฟอร์ริติก (Ferritic)

(ค) มาร์เทนซิติก (Martensitic)

เหล็กกล้าประเภทนี้มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมที่ผสมอยู่ ในการวิจัยครั้งนี้จะกล่าวถึงเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดที่มีส่วนเกี่ยวข้องมากที่สุดคือ

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสเทนิติก เป็นกลุ่มโครเมียม-นิกเกิล อยู่ในอนุกรม 300 กลุ่มของโครเมียม-นิกเกิล-แมงกานีส ประกอบด้วยชนิด 201 และ 202

อนุกรม 300 โดยทั่วไปแล้วมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าแบบมาร์เทนซิติกและเฟอร์ริติก มีความต้านแรงที่อุณหภูมิสูงได้เป็นอย่างดี ชนิด 302 เป็นชนิดที่ใช้งานทั่ว ๆ ไป และมักเรียกเหล็กไร้สนิม 18-8 ซึ่งใช้มากทางด้านอุตสาหกรรมทางด้านอาหาร อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ เครื่องใช้ในครัว และโรงทอผ้า เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ขึ้นรูปได้ดี มีความเหนียวที่อุณหภูมิสูงและต่ำ หาได้ง่ายและราคาพอสมควร ชนิดที่ใช้กันมากในอนุกรมนี้คือ 304, 316, 346 และ 347

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสเทนิติกชุบแข็งไม่ได้ แต่จะแข็งในขณะที่ขึ้นรูปเย็นแล้วตามด้วยการแอนนิลอย่างรวดเร็ว เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสเทนิติกตัดกลึงได้ยากเพราะจะแข็งขึ้นจากการขึ้นรูปเย็น ดังนั้นจึงมีอัตราการตัดกลึง 50% ของเหล็กกล้า B1112 ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ อนุกรม 300 นี้มีความเหนียวมากแต่จะแข็งเมื่อขึ้นรูปเย็น จึงมีคุณสมบัติทางด้านการขึ้นรูปได้ไม่ดัดนัก

9.2 เหล็กหล่อ (Cast Iron) ที่ใช้งานทั่วไปมีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 2.5% ถึง 4.0% เป็นที่ทราบกันว่าเมื่อมีคาร์บอนผสมอยู่มากเหล็กจะเปราะ และมีความเหนียวน้อยลง เพราะฉะนั้นเหล็กหล่อจึงขึ้นรูปเย็นไม่ได้ แต่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วจะไหลได้ง่ายจึงสามารถจะหล่อเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ดี เมื่อเย็นตัวลงแล้วทำการบ่มจะทำให้สามารถตัดกลึงได้ เหล็กหล่อมีความต้านแรงดึงต่ำกว่าความต้านแรงกดจึงเหมาะกับชิ้นงานที่รับแรงกด นอกจากนี้คุณสมบัติของเหล็กหล่อยังเปลี่ยนแปลงได้มากเมื่อผสมโลหะผสมชนิดต่าง ๆ และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนต่างกันเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน

เหล็กหล่อเดิมแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือเหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เหล็กหล่อเหนียว (Malleable Cast Iron) เหล็กหล่อเทา (Gray Cast Iron) และเหล็กหล่อเหนียวพิเศษ (Nodular Cast Iron) นอกจากนี้ยังมีอีกสองแบบ คือเหล็กหล่อเย็น (Chilled Cast Iron) และเหล็กหล่อผสม (Alloy Cast Iron)

9.2.1 เหล็กหล่อสีขาว เป็นเหล็กหล่อที่มีเนื้อละเอียดสีขาวเพราะไม่มีแกรไฟต์ ซึ่งมีความต้านแรงสูง และแข็งมาก แต่เปราะแตกง่ายจึงไม่นิยมนำมาใช้ตัดกลึง เหล็กหล่อสีขาวมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัด แม้ว่าจะมีใช้อยู่บ้างในงานที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการบด แบบผลัดคันโลหะ และผิวของถังผสมซีเมนต์ เป็นต้น

9.2.2 เหล็กหล่อเหนียว เป็นเหล็กหล่อสีขาวที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว เมื่อนำเอาเหล็กหล่อสีขาวไปเผาให้มีอุณหภูมิประมาณ 880 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่งแล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ จนมีอุณหภูมิปกติ เหล็กหล่อเหนียวมีคุณสมบัติดีกว่าเหล็กหล่อสีเทายกเว้นคุณสมบัติทางด้านการทนต่อการสึกหรอ เหล็กหล่อเหนียวตัดกลึงได้สะดวก หล่อเป็นชิ้นบางได้ จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ น้ำมัน การเกษตร และรถไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ทำห้องเฟือง งานเบรคในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถไฟ เป็นต้น

9.2.3 เหล็กหล่อสีเทา เป็นเหล็กหล่อที่ใช้งานกันมากที่สุด ดังนั้นจึงมักเรียกเหล็กหล่อสีเทาว่า “เหล็กหล่อ” เหล็กหล่อสีเทามีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 2.5% ถึง 4.0% ความแข็งและความต้านแรงของเหล็กหล่อสีเทาเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มคาร์บอน เหล็กหล่อสีเทามักนำมาใช้ทำฐานของเครื่องจักรกล และโครงสร้างที่ต้องการความต้านแรงกดสูงหรือมีการสั่นสะเทือนมาก เช่น เพลาช้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เนื่องจากหล่อได้ง่ายและทนต่อการสึกหรอได้ดี จึงนิยมใช้ในการผลิตเสื้อสูบ งานเบรค รางแทนไส เฟือง ห้องเฟือง เป็นต้น

9.2.4 เหล็กหล่อเหนียวพิเศษ จะมีความต้านแรง ความเหนียวสูงกว่าเหล็กหล่อสีเทา และมีรูปพรุนน้อยกว่า จึงมักใช้ในการขึ้นรูปเป็นเพลาช้อเหวี่ยง ลูกสูบ ฝาสูบ ลูกกลิ้ง ล้อสายพาน แบบขึ้นรูป เป็นต้น

9.2.5 เหล็กหล่อเย็น เป็นเหล็กหล่อที่มีผิวนอกเป็นเหล็กหล่อสีขาว แต่ผิวในจะมีเนื้อเป็นเหล็กหล่อสีเทา เหล็กหล่อเย็นตัดกลึงได้โดยการเจียรระโนอย่างเดียวกันนั้น และมักใช้ในการทำแบบตอก (Punching Die) ชิ้นส่วนสำหรับการบด ล้อรถไฟ เป็นต้น

9.2.6 เหล็กหล่อผสม เป็นเหล็กหล่อที่ผสมโลหะผสมต่าง ๆ เพื่อให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น การทนต่อความร้อนดีขึ้น ทนต่อการกัดกร่อนและสึกกร่อนดีขึ้น หรืออาจช่วยให้งานหล่อและงานตัดกลึงทำได้ง่ายขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องจักรผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม

เครื่องจักรผ้าอุตสาหกรรมที่จะนำมาศึกษารายละเอียดเพื่อการออกแบบและพัฒนานั้น เป็นเครื่องที่ผลิตจาก บริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด ซึ่งถึงซักรของตัวเครื่องจะเป็นแบบแนวนอน และมีฝาเปิดปิดอยู่ด้านข้างของตัวถัง ภายในถึงซักรจะมีปีกซักรทั้งหมด 4 ปีก มีไว้ในการทำงานทำความสะอาดผ้าใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า เป็นตัวขับเคลื่อน และส่งผ่านกำลังด้วยสายพานลิ้ม ถึงซักรจะทำงานโดยการหมุนกลับไปกลับมาด้วยความเร็วรอบประมาณ 35-40 รอบต่อนาที ระบบควบคุมการทำงานของตัวเครื่องจะเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อง่ายต่อการใช้งาน และบำรุงรักษา

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม

โปรแกรมที่ใช้ในการสนับสนุนการสร้างแบบจำลอง 3 มิตินั้น สามารถสร้างแบบจำลองและถ่ายทอดความคิดให้ออกมาเป็นภาพมิติที่เหมือนจริง พร้อมทั้งขนาดที่ถูกต้อง และสามารถสร้างแบบ (Drawing) ประกอบรายละเอียดต่าง ๆ ได้ในทันที สามารถแสดงภาพมิติเหมือนจริงในมุมมองต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณปริมาตรและน้ำหนักได้อย่างสะดวก ข้อดีคือสามารถสร้างแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยที่ไม่ต้องสร้างชิ้นงานจริง ซึ่งทำให้ประหยัดงบประมาณในการดำเนินงาน ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวเครื่องจักรผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบในงานวิจัยนี้คือ SolidWorks 2009 SP0.0

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองรูปทรงต่าง ๆ โดยลักษณะการคำนวณนั้นจะเป็นการแบ่งรูปทรง ของแบบจำลองให้เป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ โดยการใชจุดเป็นสิ่งที่ตำแหน่ง และใช้ระยะห่างระหว่างจุดในการกำหนดขนาดในการแบ่งเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณด้วยการประกอบรูปทรง หรือรูปร่างนั้นอีกครั้ง การคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าว เป็นการคำนวณค่าโดยประมาณที่ขอมรับกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ประโยชน์ของโปรแกรมนี้อาจสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของรูปทรงและรูปร่างต่าง

ๆ ที่มีผลกระทบจากความร้อน และภาระแรงที่กระทำต่อวัสดุ ซึ่งสามารถทำนายผลการเกิดความเค้น การเคลื่อนตัว และการกระจายตัวของอุณหภูมิ เป็นต้น โดยที่ไม่ต้องทำการทดสอบเพื่อการวิเคราะห์จริง สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะใช้โปรแกรมที่มีชื่อว่า COSMOSWorks 2009

4. เครื่องคอมพิวเตอร์

CPU AMD Turion™ 64×2 (2.0 GHz) หน่วยความจำสำรอง (RAM) ไม่ต่ำกว่า 2,048 เมกะไบต์ หน่วยความจำของการ์ดแสดงผล 256 เมกะไบต์ ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลทางด้านการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์

5. เครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

5.1 เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) เป็นเครื่องมือวัดแบบมีปากเลื่อนและมีขีดมาตรา ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการถอดแบบชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบเดิม และใช้ในการตรวจเช็คค่าระยะต่าง ๆ ที่ต้องการความละเอียดสูง โดยเวอร์เนียคาลิเปอร์ที่ใช้มีค่าความละเอียดสูงสุดเท่ากับ 0.01 mm และวัดได้สูงสุด 200 mm

5.2 ตลับเมตร ใช้ช่วยในการวัดค่าต่าง ๆ เช่นเดียวกับเวอร์เนียคาลิเปอร์ แต่ใช้กับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมากนัก โดยตลับเมตรที่ใช้มีค่าความละเอียดสูงสุดเท่ากับ 1 mm และวัดได้สูงสุดเท่ากับ $5,000 \text{ mm}$

5.3 ไม้บรรทัดเหล็ก เป็นเครื่องมือถ่ายทอดขนาดอีกชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นในงานวิจัยนี้ ซึ่งไม้บรรทัดที่ใช้มีขนาด เท่ากับ 600 mm

5.4 เหล็กฉาก เป็นเครื่องมือช่างประเภทหนึ่ง ซึ่งมีหน้าที่ในการถ่ายทอดขนาดที่ต้องมีส่วนอ้างอิง เพื่อให้สิ่งที่ถ่ายทอดขนาดมานั้น มีความเที่ยงตรงเชิงทิศทาง โดยส่วนที่มีมาตราจะมีความยาวมากกว่าด้านด้ามจับ และทั้งสองส่วนนี้จะวางตั้งฉากกัน



ภาพที่ 33 เครื่องเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า และเครื่องเชื่อมโลหะด้วยแก๊สอาร์กอน



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 34 ลวดเชื่อมโลหะชนิดต่าง ๆ (ก) ลวดเชื่อมโลหะสำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด \varnothing 3.2 mm (ข) ลวดเชื่อมโลหะสำหรับเชื่อมเหล็กกล้าขนาด \varnothing 3.2 mm (ค) ลวดเชื่อมโลหะสำหรับเชื่อมเหล็กกล้าขนาด \varnothing 2.6 mm

วิธีการ

1. ศึกษารายละเอียดของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม

ศึกษารายละเอียดและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทำวิจัยในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาตัวเครื่องต่อไป โดยใช้แหล่งข้อมูลจาก บริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด 55/5 ม.4 ถ.พุทธมณฑลสาย 7 ต.หอมเกร็ด อ.สามพราน จ.นครปฐม ซึ่งเป็นโรงงานผลิตเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมดังกล่าวโดยตรง ในการเก็บและรวบรวมข้อมูลนั้น จะทำการสอบถามจากผู้ประกอบการ และช่างผู้ชำนาญการ ประจำโรงงานเป็นส่วนใหญ่



ภาพที่ 35 บริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด

2. ออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ เป็นการออกแบบชิ้นส่วนประกอบของเครื่องซักผ้าต้นแบบ ที่สามารถปั่นผ้าให้หมาดได้ในตัว เช่น เพลา, กลไกขับเคลื่อน และโครงสร้างของตัวเครื่องโดยอาศัยหลักการการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ซึ่งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบ 3 มิติทำการเขียนแบบ

2.2 การออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ เนื่องจากเครื่องซักผ้า ต้นแบบนี้ ต้องทำงานในช่วงของการปั่นผ้าให้หมาด ซึ่งมีความเร็วรอบที่สูง จึงมีการสั่นสะเทือนเนื่องจากความถี่ธรรมชาติเข้ามามีเกี่ยวข้องในระบบ และเป็นปัจจัยสำคัญที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ดังนั้นจึงทำการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนเพื่อลดซับแรงวิบัติ โดยให้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยดังกล่าว

2.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ หลังจากทำการออกแบบชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักรกลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเพื่อให้มีความมั่นใจในความปลอดภัย ก่อนการสร้างจริง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วย ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3. สร้างตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

หลังจากทำการออกแบบและพัฒนาตัวเครื่องซักผ้า ต้นแบบ จนได้มาซึ่งแบบพิมพ์เขียวแล้ว จึงได้ทำความเข้าใจกับช่างประจำโรงงานในเรื่องรายละเอียดที่สำคัญ ๆ ของแบบ ก่อนการสร้างจริง เพื่อให้ได้มาซึ่งความถูกต้อง และให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ประกอบการ การสร้างตัวเครื่องซักผ้า ต้นแบบนี้ จะใช้ช่างชำนาญการเพียงคนเดียว เพื่อทำการสร้างชิ้นส่วนประกอบสำคัญทั้งหมดออกมาก่อน แล้วจึงทำการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้เป็นตัวเครื่องในภายหลัง ระหว่างขั้นตอนการสร้างตัวเครื่องนั้นผู้ดำเนินงานวิจัย จะเป็นผู้ช่วยช่างอยู่บริเวณหน้างาน โดยตลอด เพื่อให้ช่างสอบถามข้อสงสัยที่เกี่ยวกับแบบพิมพ์เขียว และสามารถปรึกษาหารือเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริงบนหน้างาน

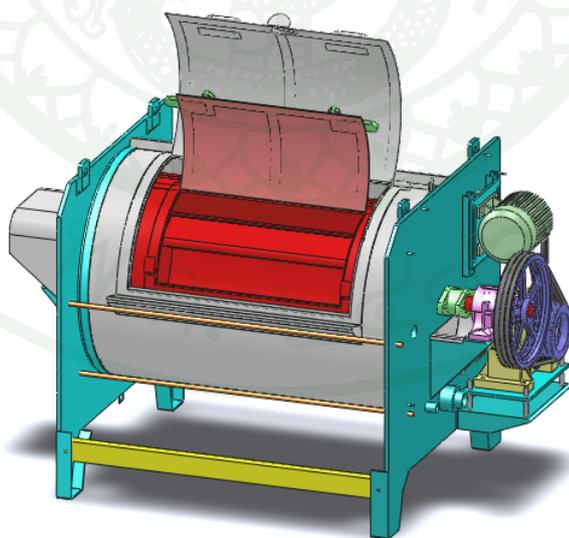
4. ทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการใช้งานจริงของตัวเครื่องซักผ้า ต้นแบบ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการซักผ้าว่ามีความสะอาด แลความหมาดของน้ำในเนื้อใยผ้ามากน้อยเพียงใด แล้วจึงทำการสรุปผลการทดสอบ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะจากผู้ดำเนินงานวิจัย เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงแก้ไขในส่วนต่าง ๆ ต่อไป

ผลและวิจารณ์

1. ผลจากการศึกษารายละเอียดของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ดำเนินการศึกษารวบรวมและค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม ที่บริษัท ศิวะ เทคโนโลยี จำกัด ได้ทำการผลิต เพื่อจำหน่าย และมีไว้ใช้งานเอง ดังแสดงในภาพที่ 36 หลักการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมนั้น เริ่มจากการนำเอาผ้าที่ต้องการทำความสะอาดใส่เข้าไปในถังซัก ซึ่งสามารถจุผ้าที่ต้องการทำความสะอาดได้มากถึง 70 kg โดยที่ถังซักจะอยู่ภายในตัวเครื่องฯ แล้วทำการปิดฝาของถังซักและฝาถังด้านบนทำให้เรียบร้อย จากนั้นทำการเติมน้ำสะอาด 180 ลิตร เดินเครื่องเพื่อทำการล้างผ้าก่อน 1 ครั้ง แล้วจึงใส่น้ำยาซักผ้าลงไปภายในถัง ต่อมาจึงเริ่มการทำงานของเครื่องซักผ้าฯ อีกครั้งจนเสร็จสิ้นขบวนการ โดยต้นกำลังของเครื่องซักผ้าฯ จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสขนาด 3 แรงม้า ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,420 rpm การถ่ายทอดกำลังนั้นจะมีชุดเฟืองทดความเร็วรอบการทำงาน เพื่อทำการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าลงให้ได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมต่อการซักผ้า กำลังจะถูกถ่ายทอดไปขับเพลาดังซัก ซึ่งมีรูปแบบเป็นถังในแนวนอน โดยถังซักจะหมุนไปกลับด้วยความเร็วรอบประมาณ 35-40 rpm และใช้เวลาในการซักผ้าทั้งสิ้นประมาณ 20 นาที

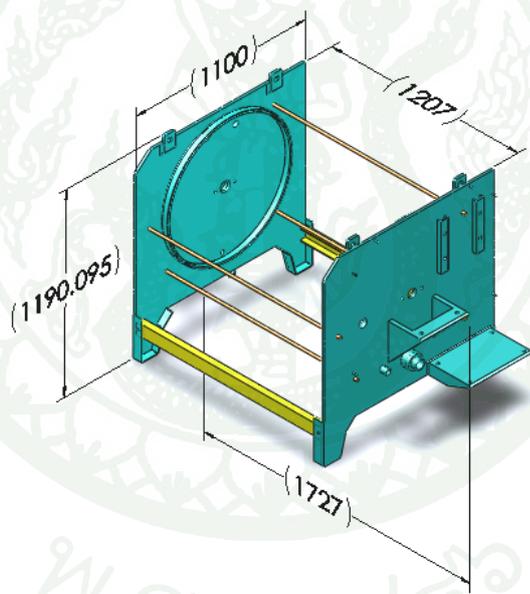


ภาพที่ 36 เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิมที่บริษัท ศิวะ เทคโนโลยี ทำการผลิต

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ เขียนแบบในรายละเอียดของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิมที่ บริษัท ศิวะ เทคโนโลยี จำกัด ได้ทำการผลิตเพื่อจำหน่าย และมีไว้ใช้เอง โดยมีรายละเอียดของแบบพิมพ์เขียว (Mechanical Drawings) แสดงไว้ในภาคผนวก ก เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม มีชิ้นส่วนอุปกรณ์ และมีรายละเอียดที่สำคัญ ๆ ดังต่อไปนี้

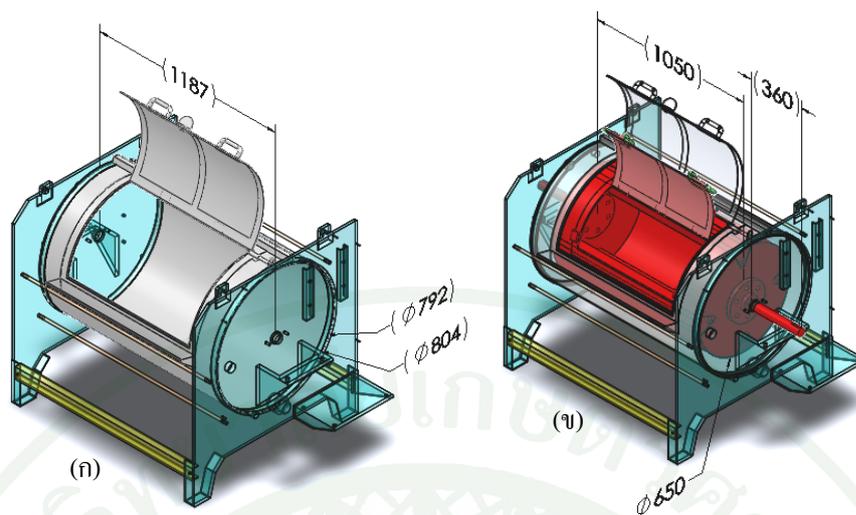
1.1 ชิ้นส่วนและอุปกรณ์สำคัญของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม ที่บริษัท ศิวะ เทคโนโลยี จำกัด ทำการผลิต สามารถแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนหลัก ๆ ได้ 4 ส่วน ดังนี้

1.1.1 โครงสร้างของเครื่อง มีหน้าที่รองรับถังซัก ตัวถังด้านนอก และกลไกต่าง ๆ ที่ช่วยในการขับเคลื่อนถังซัก โดยจะติดตั้งแผ่นเหล็กด้านข้างให้ห่างกันประมาณ 1,200 mm ขนาดมิติของโครงสร้างมีขนาดเท่ากับ 1,100×1,727×1,190.095 (กว้าง×ยาว×สูง) ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ขนาดมิติของโครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม

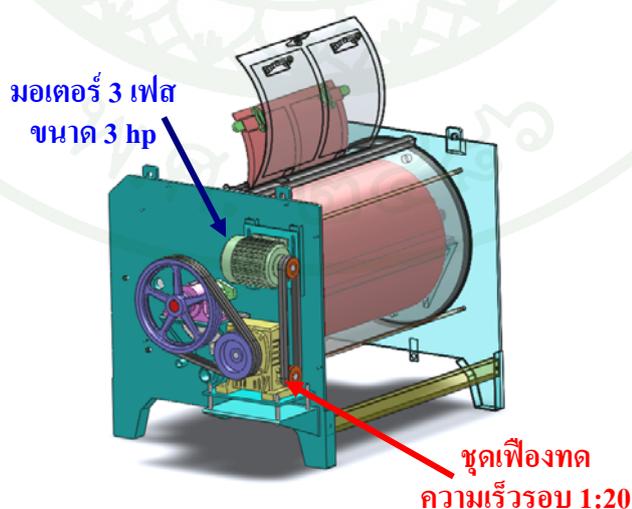
1.1.2 ตัวถังด้านนอก มีหน้าที่รองรับปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดผ้า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 804 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 792 mm และมีขนาดความยาวของถังด้านนอกเท่ากับ 1,187 mm ดังภาพที่ 38 (ก)



ภาพที่ 38 ขนาดมิติตัวถังด้านนอกและถังชักของเครื่องชักฝ้ายอุตสาหกรรมแบบเดิม

1.1.3 ถังชัก มีหน้าที่รองรับฝ้ายที่ต้องการทำความสะอาด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังชักเท่ากับ 650 mm ความยาวของถังชักเท่ากับ 1,050 mm และใช้เพลมาเป็นแกนกลาง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50.8 mm และเพลมีความยาวเท่ากับ 360 mm ดังภาพที่ 38 (ข)

1.1.4 กลไกต่าง ๆ ที่ใช้ขับเคลื่อน จะประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 3 hp ทำงานที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1,420 rpm ใช้ชุดเฟืองทดความเร็วรอบ (Gear Box) ให้มีความเร็วรอบที่ต่ำลง 20 เท่า และชุดล้อสายพานลิ้ม โดยมีสายพานลิ้มเป็นตัวส่งถ่ายกำลัง ดังแสดงในภาพที่ 39



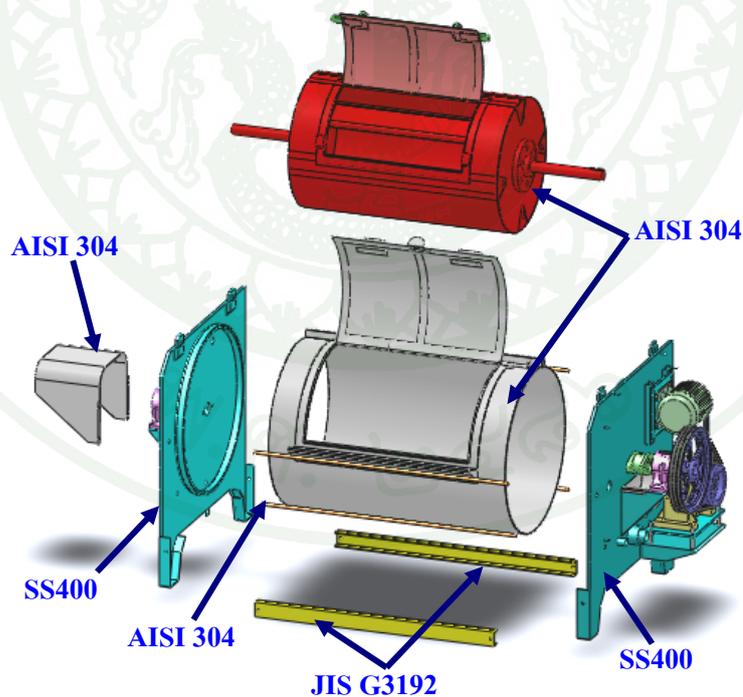
ภาพที่ 39 กลไกการขับเคลื่อนถังชักของเครื่องชักฝ้ายอุตสาหกรรมแบบเดิม

1.2 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม ที่บริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด ทำการผลิตขึ้นใช้เหล็กกล้า 3 ประเภทซึ่งได้แก่

1.2.1 เหล็กกล้า SS400 มีค่าความต้านแรงดึงคราก (Yield Strength) เท่ากับ 230 N/mm^2 และมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เท่ากับ 415 N/mm^2 ใช้ทำแผ่นยึดตัวถังด้านข้าง เหล็กแผ่นรองฐานชุดเฟืองทดความเร็วรอบ และเหล็กแผ่นรองฐานมอเตอร์ของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิมที่บริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด ทำการผลิต ดังภาพที่ 40

1.2.2 เหล็กกล้า JIS G3192 มีค่าความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 250 N/mm^2 และมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 400 N/mm^2 ใช้ทำคานเหล็กยึดโครงสร้างตัวเครื่องซักผ้าฯ ดังภาพที่ 40

1.2.3 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 มีค่าความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 206.807 N/mm^2 และมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 517.017 N/mm^2 ใช้ทำถังซัก ตัวถังนอก ฝาเปิดปิดทั้ง 2 บาน และเหล็กกลมยึดแผ่นเหล็กด้านข้างทั้งสองด้าน ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม

2. ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

ในการออกแบบเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบเพื่อทำการทดลองว่ามีประสิทธิภาพการใช้งานมากน้อยเพียงใดนั้น ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ดำเนินการศึกษารวบรวมและค้นคว้าหาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิมที่บริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด ทำการผลิตขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และผู้ดำเนินงานวิจัยได้ดำเนินการปรึกษาหารือร่วมกับผู้ประกอบการและช่างประจำโรงงานของบริษัท สีวะ เทคโนโลยี จำกัด แล้วมีความเห็นร่วมกันในการกำหนดเกณฑ์การออกแบบเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบใหม่ต้นแบบดังนี้

- เพิ่มความสามารถในการปั่นหมาดผ้าเข้าไปในเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ โดยจะใช้ความเร็วรอบในการปั่นหมาดผ้าที่ความเร็วรอบประมาณ 450-500 rpm เพราะในกระบวนการซักจริงนั้นเมื่อทำการซักด้วยเครื่องซักผ้าฯ แบบเดิม ผ้าที่ซักเสร็จแล้วจะอมน้ำในปริมาณมากกล่าวคือ มวลของผ้าก็เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีปัญหาในการเคลื่อนย้ายผ้าผืนใหญ่ ๆ ออกจากตัวเครื่องซักผ้าฯ ได้อย่างยากลำบาก

- ทำการออกแบบเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบให้สามารถนำผ้าที่ต้องการซักทำความสะอาดเข้าทางด้านหน้าของเครื่อง และเมื่อเสร็จจากกระบวนการซักทำความสะอาดแล้วก็ให้นำผ้าออกทางด้านหลังเครื่องเพื่อให้กระบวนการทำความสะอาดผ้ามีความต่อเนื่อง และไม่เสียเวลา

- ในการออกแบบเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบนี้จะพยายามปรับปรุงและดัดแปลงจากเครื่องซักผ้าฯ แบบเดิมเป็นหลักโดยพยายามใช้ชิ้นส่วนหรือกลไกการทำงานของเครื่องจักรแบบเดิมให้มากที่สุดทั้งนี้เพื่อจะทำการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และตลอดจนจะทำให้มีผลกระทบต่อราคาและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดตามไปด้วย

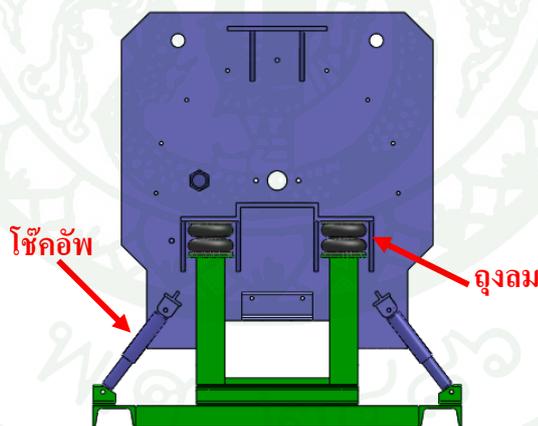
จากเหตุผลดังกล่าวผู้ดำเนินงานวิจัย จึงได้ดำเนินการออกแบบเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดได้ในตัว ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

- 2.1) การออกแบบตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ
- 2.2) การออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ
- 2.3) การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถจัดแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

2.1 ผลการออกแบบตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ในการออกแบบตัวเครื่องซักผ้า ต้นแบบนั้นจะเลือกใช้วัสดุชนิดเดียวกันกับตัวเครื่องซักผ้า แบบเดิมเป็นหลัก โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะขนาดมิติ และการเพิ่มจำนวนของชิ้นส่วนประกอบบางชิ้น ให้เหมาะสมกับการสร้างเครื่องซักผ้า ต้นแบบให้มากที่สุด ซึ่งในการออกแบบตัวเครื่องซักผ้า ต้นแบบนั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

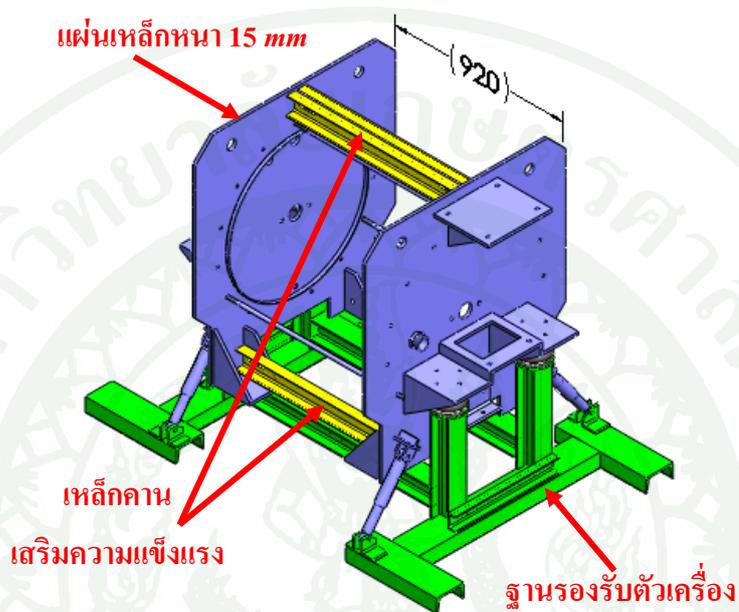
2.1.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ เนื่องจากเครื่องซักผ้า ต้นแบบ ทำงานด้วยความเร็วรอบที่สูง ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างจึงต้องคำนึงถึงแรงอันเนื่องมาจากการหมุนที่ไม่สมดุล แรงดังกล่าวจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในตัวโครงสร้างของเครื่องซักผ้า ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง และอุปกรณ์กลไกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยจึงต้องออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนไว้ภายในเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบด้วย ดังที่แสดงในภาพที่ 41 ทั้งนี้รายละเอียดในการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



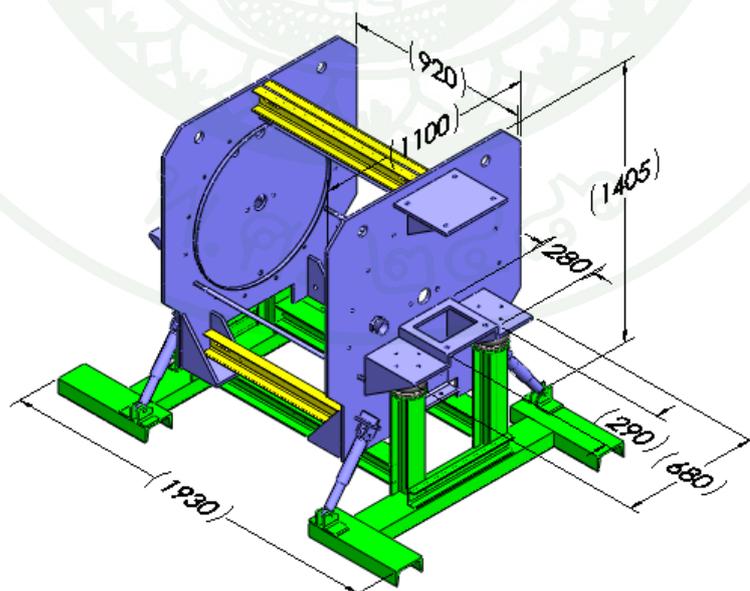
ภาพที่ 41 ระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

โครงสร้าง ที่ทำการออกแบบจะประกอบไปด้วยแผ่นเหล็กหนา 15 mm สองด้าน ตั้งขนานกันในแนวดิ่ง มีหน้าที่รองรับน้ำหนักถังด้านนอกและน้ำที่จะใช้ในการทำความสะอาดผ้า นอกจากนี้ยังมีเหล็กรูปพรรณมาช่วยยึดแผ่นเหล็กทั้งสอง เพื่อเสริมความแข็งแรง และเพื่อยึดแผ่นเหล็กดังกล่าวไม่ให้เกิดการเอียงศูนย์ โครงสร้างหลักของเครื่องซักผ้า ต้นแบบ จะวางอยู่บนฐาน

เครื่อง โดยจะมีถุงลม (Airmount) และ โช้คอัพ (Shock Absorber) ทำหน้าที่เพื่อกันแรงสั่นสะเทือนที่จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 41 และภาพที่ 42 นอกจากนี้ขนาดและมิติของโครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบได้ทำการออกแบบให้สอดคล้องกับการประกอบและติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 43

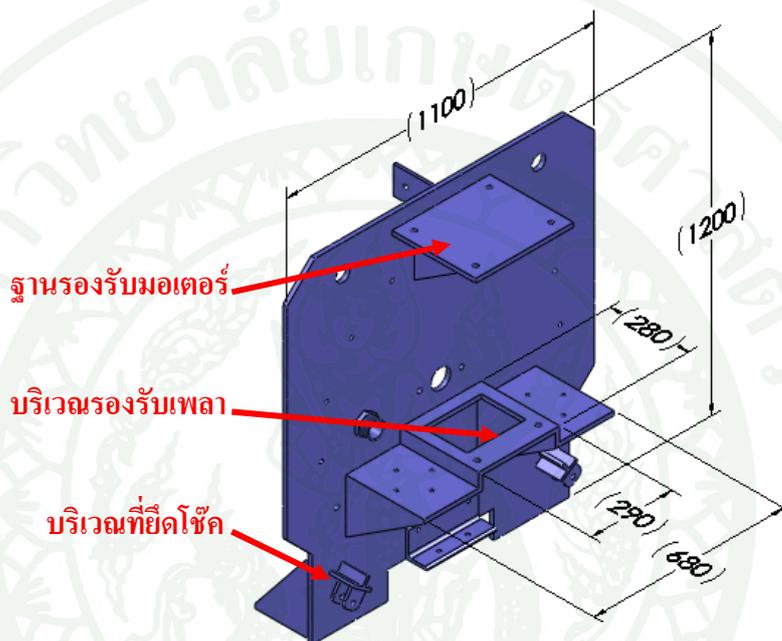


ภาพที่ 42 ลักษณะของโครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ



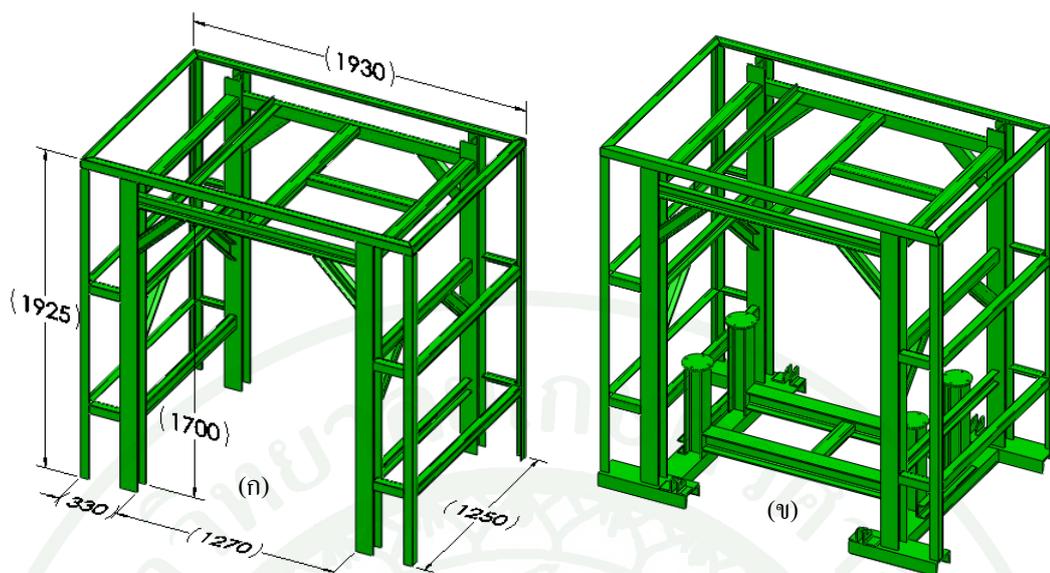
ภาพที่ 43 ขนาดและมิติของโครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

แผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้ายและด้านขวาของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ นั้นมีการออกแบบให้ไม่มีความซับซ้อนมากเกินไป ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการสร้างและผลิตที่ง่ายขึ้น เมื่อเปรียบเทียบแผ่นเหล็กดังกล่าวกับเครื่องแบบเดิม สังเกตได้ว่าขนาดของมิติจะมีความใกล้เคียงกัน จะแตกต่างกันตรงที่บริเวณการติดตั้งกลไกการขับเคลื่อน และบริเวณที่ติดตั้งระบบกันสั่น สะท้อนดังแสดงในภาพที่ 44



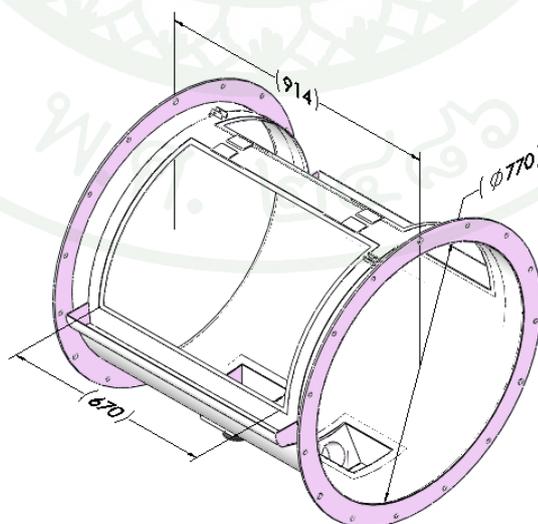
ภาพที่ 44 ขนาดมิติของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)

โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง มีหน้าที่ปิดบังชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน เช่น ปิดบังชุดกลไกส่งกำลังที่มีการเคลื่อนไหวอย่างรุนแรง และปิดบังท่อไอน้ำที่มีอุณหภูมิที่สูง เป็นต้น และยังมีหน้าที่ในการจัดเก็บอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ให้เป็นสัดส่วน ในการออกแบบเพื่อทำการทดสอบนั้นจะออกแบบโครงสร้างให้มีความเรียบง่าย สะดวกต่อการสร้างมากที่สุด โดยทุกชิ้นส่วนจะถูกเชื่อมให้ติดกันแบบตายตัว โดยเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างนั้นมีทั้งหมด 5 ชนิดดังนี้ เหล็กฉาก 50×50×5, เหล็กฉาก 75×75×9, เหล็กรูปตัว C 75×40×5, เหล็กรูปตัว C 150×75×9 และ เหล็กรูปตัว H 100×100×17, ดังแสดงในภาพที่ 45



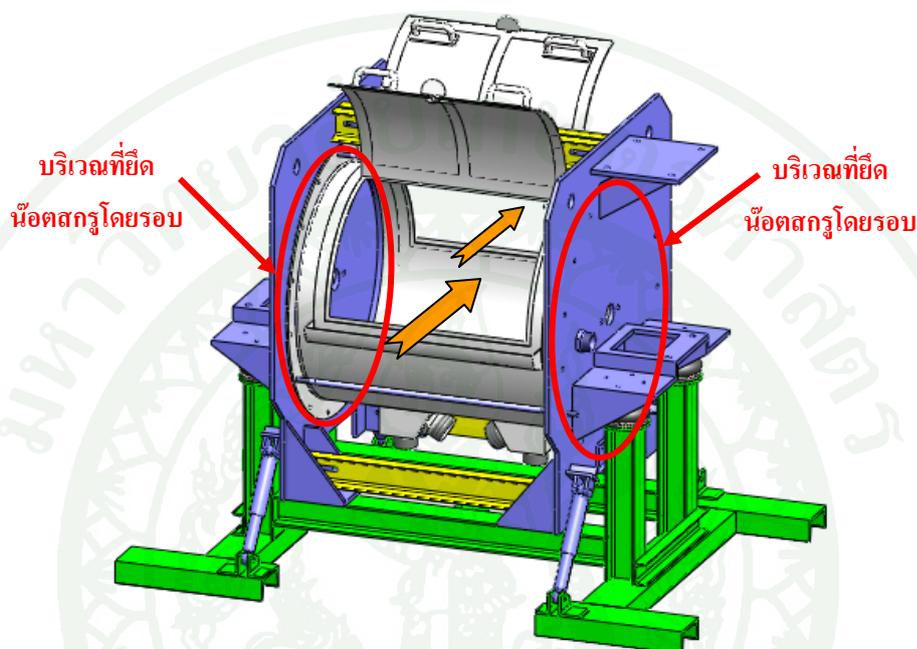
ภาพที่ 45 โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง (ก) ขนาดมิติของโครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง (ข) ลักษณะของโครงสร้างเหล็กเมื่อประกอบเข้ากับฐานรองรับตัวเครื่อง

2.1.2 การออกแบบตัวถังด้านนอก ตัวถังด้านนอกจะใช้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 แบบแผ่นขนาดมาตรฐาน 3 ฟุต×8 ฟุต ความหนา 2 mm ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 770 mm มีความยาวของตัวถังเท่ากับ 914 mm และทำการเจาะช่องทางนำไฟฟ้าเข้าออกสองทางคือด้านหน้าและด้านหลัง โดยช่องทางนำไฟฟ้าเข้าออกจะมีความกว้างเท่ากับ 670 mm ดังแสดงในภาพที่ 46



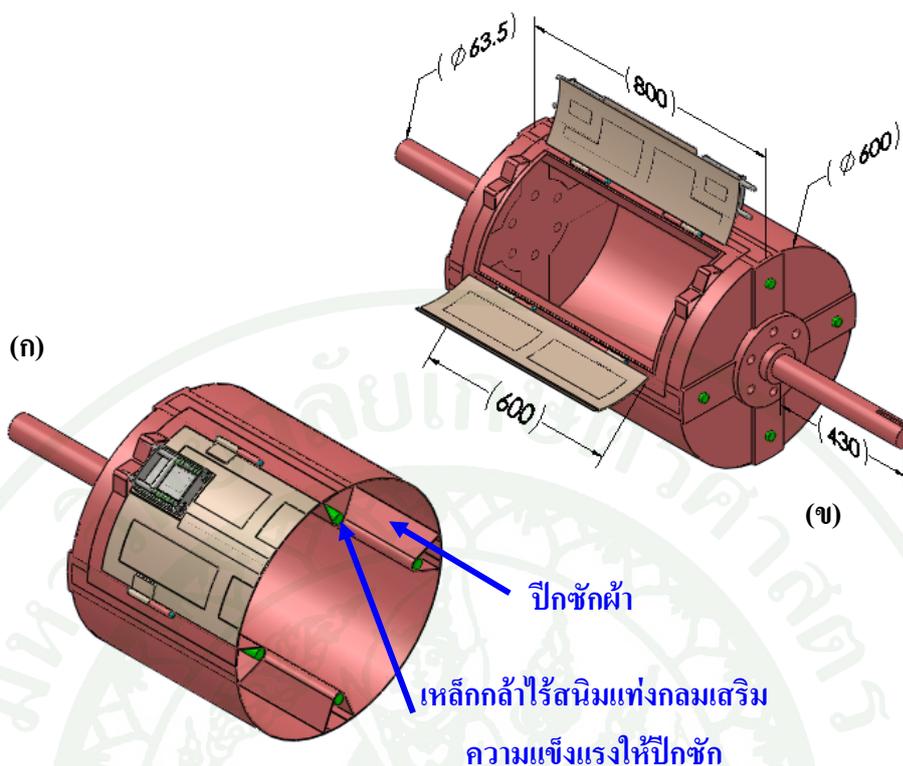
ภาพที่ 46 ขนาดมิติของถังด้านนอก

การยึดถังด้านนอกกับแผ่นเหล็กด้านข้าง จะใช้วิธีการขันน็อตสกรูยึดเป็นตัวถัง นอก กับแผ่นเหล็กให้ติดกันโดยรอบ ดังแสดงในภาพที่ 47 ระหว่างเป็นยึดตัวถังด้านนอกกับแผ่นเหล็กด้านข้างจะมีแผ่นประเก็นยาง (Gaskets) คอยทำหน้าที่กันไม่ให้น้ำรั่วออกจากตัวถัง นอกจากนี้การยึดน็อตสกรู โดยรอบนั้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับตัวถังอีกด้วย



ภาพที่ 47 ช่องทางนำผ้าเข้าและออกจากถังเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

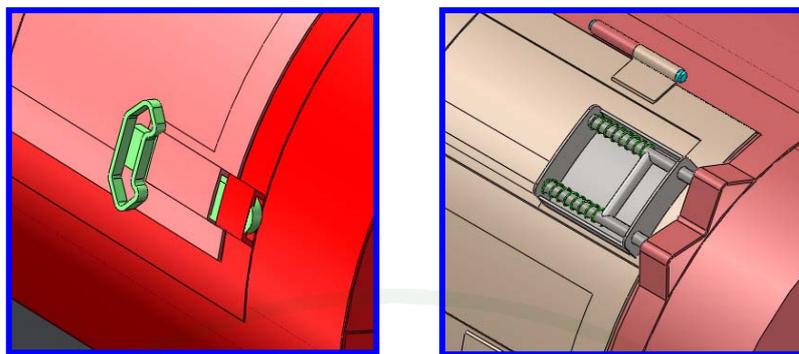
2.1.3 การออกแบบถังซัก โดยจะออกแบบให้มีลักษณะใกล้เคียงกับถังซักแบบเดิมคือ จะนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมทำการเจาะรู ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 mm ทัวทั้งแผ่น (แผ่นตะแกรงสเตนเลส) แล้วนำมาม้วนเป็นทรงกระบอก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกเท่ากับ 600 mm ซึ่งมีขนาดที่เล็กลงกว่าเดิม และมีความยาวของถังเท่ากับ 800 mm แต่ความสามารถในการจุผ้าอาจจะลดลงเหลือประมาณ 60 kg เพราะเนื่องจากการเลือกใช้วัสดุเพื่อนำมาผลิตตัวถังนั้น มีขนาดมาตรฐานที่เล็กลงกว่าเดิม คือมีความยาวของตัวถังนอกเท่ากับ 914 mm จึงส่งผลให้ ความยาวของถังซักที่อยู่ภายในต้องสั้นลงตามไปด้วย ภายในถังซักจะมีปีกซักผ้าอยู่ 4 ปีก มีช่องทางนำผ้าเข้าออก 1 ช่องทาง ขนาดของเพลลาที่ติดกับถังซัก จะใช้ขนาดที่ใหญ่ขึ้นเป็น 63.5 mm เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องซักผ้า และเพื่อให้ทนทานต่อความล้าที่จะเกิดขึ้นบนเพลลา ดังแสดงในภาพที่ 48



หมายเหตุ การเขียนแบบจำลอง 3 มิติของถึงชัก จะไม่แสดงรูปที่ทำการเจาะรอบตัวถึงชัก อันเนื่องมาจากศักยภาพของเครื่อง คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลมีไม่เพียงพอ

ภาพที่ 48 ลักษณะของถึงชัก (ก) แสดงภาพตัดขวางของถึงชัก (ข) ขนาดมิติของถึงชัก

ฝาเปิด-ปิด ของถึงชักจะมีอยู่ 2 บาน เพื่อการเปิดและปิดได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น เมื่อเครื่องชักผ้าฯ ทำงานในช่วงการปั่นหมาดฝ้างชักที่ลื้อคด้วยกลอนแบบเดิมจะมีโอกาสที่จะหลุดได้ซึ่งจะทำให้เครื่องชักผ้าฯ เกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบกลอนลื้อคฝ้างชักขึ้นใหม่ เพื่อให้ลื้อคฝ้างชักได้อย่างแน่นอนหนา และใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้นดังแสดงในภาพที่ 49



กลอนล็อกแบบเดิม

กลอนล็อกแบบใหม่

ภาพที่ 49 กลอนล็อกฝาถังซัก

2.1.4 การออกแบบระบบท่อต่าง ๆ ที่ติดตั้งในเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1. ท่อน้ำน้ำเข้า ซึ่งจะประกอบไปด้วยท่อน้ำปกติ และท่อน้ำร้อน

1.1) ท่อน้ำปกติ น้ำที่จ่ายไปตามท่อนั้นมีอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิห้อง คือ ประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส เลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 mm หรือ 2 นิ้ว

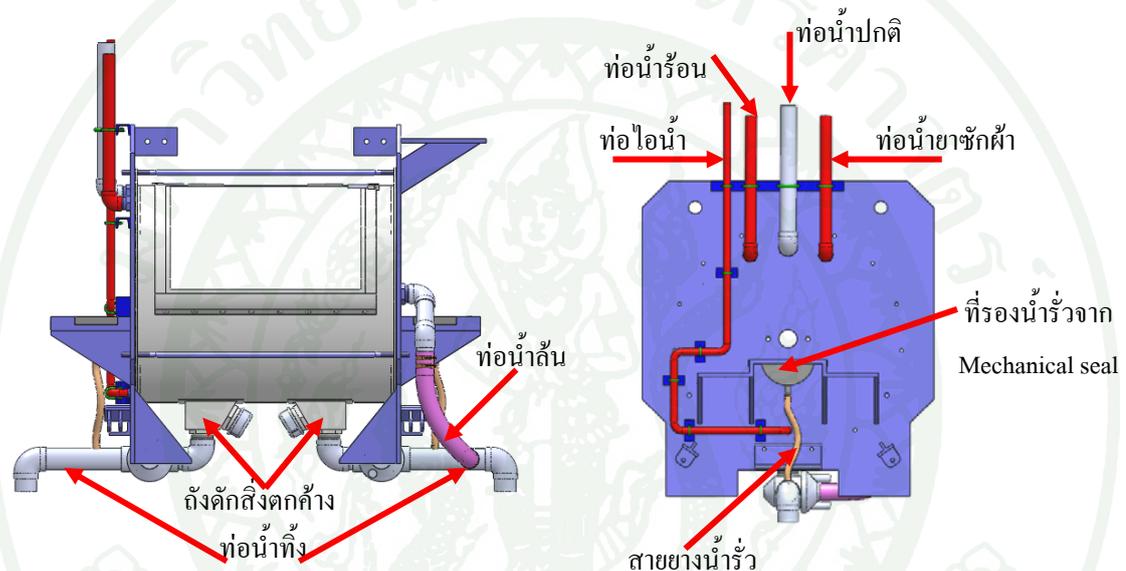
1.2) ท่อน้ำร้อน เนื่องจากท่อดังกล่าวต้องทนต่อความร้อนที่สูงถึง 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเลือกใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.75 mm หรือ 1.25 นิ้ว

2. ท่อน้ำยาซักผ้า เนื่องจากท่อดังกล่าวต้องสัมผัสสารเคมี ดังนั้นจึงเลือกใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 31.75 mm หรือ 1.25 นิ้ว

3. ท่อไอน้ำ เนื่องจากต้องทนต่อความร้อนสูงจากไอน้ำ จึงเลือกใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 19.05 mm หรือ $3/4$ นิ้ว ลักษณะการติดตั้งจะนำปลายของท่อให้อยู่ต่ำสุดของถัง เพื่อให้การส่งผ่านไอน้ำกระจายได้ทั่วทั้งบริเวณของถังซักที่อยู่ภายในตัวเครื่อง

4. ท่อน้ำทิ้ง เพื่อให้การระบายน้ำที่เสร็จจากกระบวนการทำความสะอาดผ้าได้อย่างรวดเร็ว จึงเลือกใช้ท่อ PVC ในการระบายน้ำทิ้งทั้งหมดสองทิศทาง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 63.5 mm หรือ 2.5 นิ้ว

5. ท่อน้ำล้น เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ใช้ในกระบวนการล้นออกจากเครื่อง หรือล้นออกตามรูแกนเพลลา จึงเลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 mm หรือ 2 นิ้ว และมีท่อเชื่อมต่อกันระหว่างท่อน้ำล้นกับท่อน้ำทิ้งเข้าไว้ด้วยกัน



ภาพที่ 50 ท่อต่าง ๆ ที่ติดตั้งในเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

2.1.5 การหาแรงบิดสูงสุดที่ใช้ในการหมุนถังซักและการเลือกขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบจะมีช่วงการทำงานของเครื่องซักผ้าที่มีความเร็วรอบที่แตกต่างกันมากกว่า 2 ช่วงความเร็วรอบ ดังนั้นระบบกลไกที่ใช้ในการขับเคลื่อนถังซัก จึงไม่จำเป็นที่จะใช้เฟืองทดรอบ แต่จะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสแทน ในการที่จะทำให้อัตราการหมุนได้นั้น จะต้องมีแรงบิดหรือ โมเมนต์บิด (Torque) กระทำต่อแกนเพลลาของถังซัก โดยที่แรงบิดดังกล่าวต้องเอาชนะแรงเนื่องจากน้ำหนักของถังซัก แรงเนื่องจากน้ำหนักของผ้าที่ทำการซัก และแรงต้านอื่น ๆ ภายในระบบ จึงจะทำให้ถังซักเริ่มหมุน และเมื่อทราบแรงบิดเริ่มต้น ก็จะสามารถพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนถังซักได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

การหาค่าที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบสามารถหาได้จาก

หาขนาดของโมเมนต์บิด, T

$$T = I\alpha$$

(54)

โดยที่ $T =$ โมเมนต์บิด

$I =$ โมเมนต์ความเฉื่อย

$\alpha =$ ความเร่งเชิงมุม

การหาความเร่งเชิงมุม, α สามารถดำเนินการหาได้จากสมการ

$$v = u + at$$

$$\omega_2 = \omega_1 + \alpha t$$

$$\therefore \alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

โดยที่ $v =$ ความเร็วปลาย (m/s)

$u =$ ความเร็วต้น (m/s)

$a =$ ความเร่ง (m/s^2)

$t =$ เวลา (s)

$\omega_1 =$ ความเร็วเชิงมุมเริ่มต้น (rad/s)

$\omega_2 =$ ความเร็วเชิงมุมสุดท้าย (rad/s)

$\alpha =$ ความเร่งเชิงมุม (rad/s^2)

ความเร็วรอบของเครื่องซักผ้าฯ ในช่วงปั่นหมาดโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าประมาณ 450-500 rpm ซึ่งในการคำนวณออกแบบนั้นจะใช้ความเร็วรอบสูงสุดของเครื่องซักผ้าฯ ที่ต้องการ คือ 500 rpm โดยใช้เวลาในการเร่งความเร็วของเครื่องซักผ้าฯ จาก 0-500 rpm ประมาณ 25 วินาที ดังนั้นความเร็วรอบสูงสุดในรูปแบบของความเร่งเชิงมุมสามารถหาได้จาก

$$\text{ความเร็วเชิงมุมสุดท้าย, } \omega_2 = 500 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60} = 52.36 \text{ rad/s}$$

ความเร็วเชิงมุมเริ่มต้น, $\omega_1 = 0$

เวลา, $t = 25 \text{ s}$

ดังนั้นความเร่งเชิงมุม, $\alpha = \frac{52.36}{25} = 2.0944 \text{ rad/s}^2$

การหาโมเมนต์ความเฉื่อย, I สามารถดำเนินการหาได้จากการเขียนแบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks ซึ่งได้ดำเนินการเขียนแบบไว้แล้วจึงทำให้สามารถที่จะหาโมเมนต์ความเฉื่อยของถังซัก, I_1 ได้จากภาพที่ 51 โดยโมเมนต์ความเฉื่อยของถังซักรอบแกน x มีค่า $I_1 = 4,796,693,749.67 \text{ kg.mm}^2$ หรือ 4.797 kg.m^2

นอกจากนี้โมเมนต์ความเฉื่อยอื่น ๆ, I_2 ที่เกิดขึ้นจากโมเมนต์ความเฉื่อยเนื่องจากมวลน้ำ, มวลผ้าที่ทำการซัก และมวลของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

มวลของผ้าสูงสุดที่ทำการซัก: $m_{\text{ผ้า}} = 60 \text{ kg}$

มวลของน้ำที่อยู่ภายในถังซักสูงสุด: $m_{\text{น้ำ}} = 50 \text{ kg}$

รัศมีภายในของถังซัก: $r = 0.298 \text{ m}$

มีมวลของค้อสายพานลุ่ม และน็อตสกรู เพิ่มขึ้นประมาณ 15%

โมเมนต์ความเฉื่อยอื่น ๆ, I_2 สามารถหาได้จาก

$$I_2 = mr^2(1.15) = (60+50)(0.298)^2(1.15) = 11.233 \text{ kg.m}^2$$

ดังนั้นโมเมนต์ความเฉื่อยรวม, I จึงหาได้โดย

$$I = I_1 + I_2 = 4.797 + 11.233 = 16.03 \text{ kg.m}^2$$

นำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณ แทนค่าลงในสมการที่ (54) จะได้โมเมนต์บิด, T ที่ต้องการใช้ในการขับเคลื่อนถังซัก

$$T = I\alpha = (16.03)(2.0944) = 33.573 \text{ N.m}$$

กำลังที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อน, P สามารถคำนวณหาได้จาก (โดยกำหนดให้มีการสูญเสียกำลังงานอันเนื่องมาจากมอเตอร์ 30% และสูญเสียกำลังงานเนื่องจากตลับลูกปืนและสายพานลิ้มประมาณ 25%)

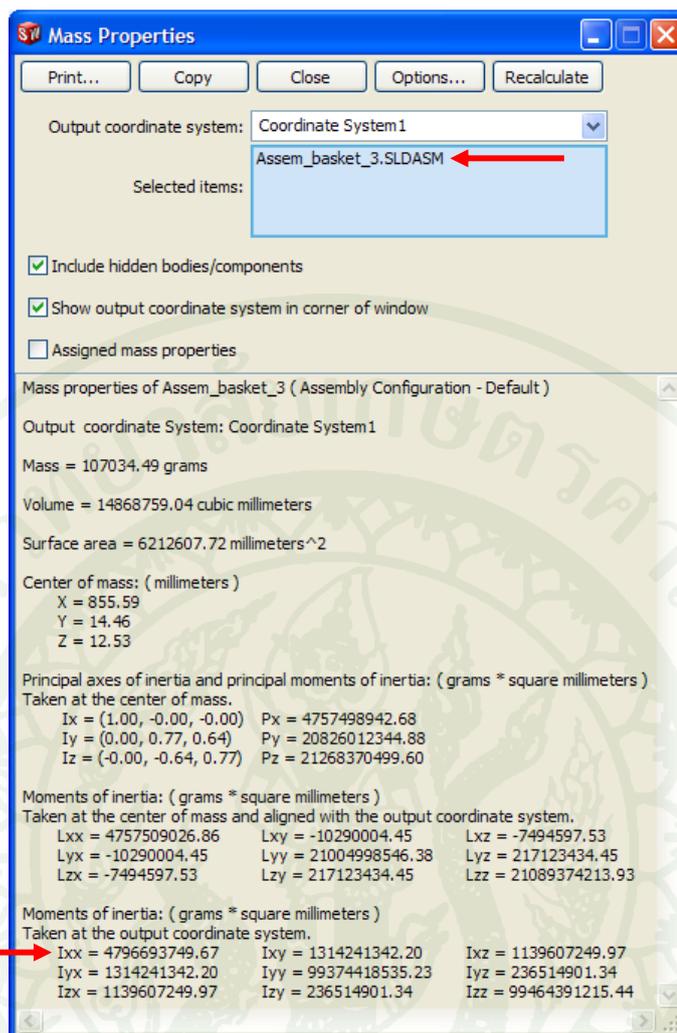
$$P = \frac{T\omega}{e_{motor} \times e_{bearing \& Vbelt}}$$

โดยที่ e = ประสิทธิภาพในการถ่ายทอดกำลัง

ดังนั้นจะได้กำลังที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อน, P

$$P = \frac{(33.573)(52.36)}{(0.70 \times 0.75)} = 3.348 \text{ kW} = \frac{3.348 \times 10^3}{746} \text{ hp} = 4.488 \text{ hp}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า หรือ 3,730 W ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 rpm



ภาพที่ 51 แสดงโมเมนต์ความเฉื่อยของถังชกจากโปรแกรม SolidWorks

2.1.6 การคำนวณหาขนาดของล้อสายพานลิ้ม และขนาดของสายพานลิ้มที่เหมาะสม เนื่องจากได้ทำการเลือกมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 5 hp หรือ 3,730 W ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 rpm เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในการขับเคลื่อนถังชกฯ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว กำลังจากมอเตอร์จะถูกถ่ายทอดไปยังล้อสายพานลิ้มที่ติดอยู่กับเฟลมอเตอร์ซึ่งเป็นล้อสายพานเล็ก (Small Pulley) ถ่ายทอดกำลังผ่านสายพานลิ้ม (V Belt) ต่ไปล้อสายพานลิ้มที่ติดอยู่กับเฟลของถังชกซึ่งเป็นล้อสายพานใหญ่ (Large Pulley) โดยล้อสายพานใหญ่จะต้องมีความเร็วรอบใกล้เคียงกับความเร็วรอบของถังชกที่ต้องการคือ 500 rpm ทั้งนี้กำหนดให้เครื่องชกผ้าฯ มีการใช้งานอย่างหนักประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน

การคำนวณหาขนาดของล้อสายพานลิ้ม และขนาดของสายพานลิ้มที่เหมาะสม สามารถดำเนินการได้โดย

กำลังที่ใช้ในการถ่ายทอด	$W_p = 3.730 \text{ kW}$	
ความเร็วรอบของล้อสายพานเล็ก	$N_1 = 1,450 \text{ rpm}$	
ความเร็วรอบของล้อสายพานใหญ่	$N_2 = 500 \text{ rpm}$	
ตัวประกอบใช้งาน, N_s	$N_s = 1.3$	(จากตารางผนวกที่ ๓2)

กำลังงานที่ปรับแก้ไข (Corrected Power) สามารถหาได้จาก

$$W_p \cdot N_s = 3.730(1.3) = 4.85 \text{ kW}$$

เลือกสายพานลิ้มหน้าตัด “B” เนื่องจากเป็นสายพานลิ้มที่นิยมใช้กันมากที่สุดและหาได้ง่าย

จากคุณสมบัติของสายพานลิ้มหน้าตัด “B” เลือกใช้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพานเล็ก, $d_p = 132 \text{ mm}$

อัตราส่วนความเร็วระหว่างล้อสายพานเล็กกับล้อสายพานใหญ่, m_w หาได้จาก

$$m_w = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1,450}{500} = 2.9$$

ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพานใหญ่, D_p หาได้จาก

$$D_p = m_w \cdot d_p = (2.9)(132) = 382.8 \text{ mm}$$

ดังนั้นจึงเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพานใหญ่, $D_p = 400 \text{ mm}$

ระยะห่างของจุดกึ่งกลางล้อสายพานลิ้ม, C

$$C_{max} = 2(d_p + D_p) = 2(132 + 400) = 1,064 \text{ mm}$$

$$C_{min} = 0.7(d_p + D_p) = 0.7(132 + 400) = 372.4 \text{ mm}$$

$$C = \frac{C_{max} + C_{min}}{2} = \frac{1,064 + 372.4}{2} = 718.2 \text{ mm}$$

ความยาวพิตช์ของสายพานลิ้ม, L_p

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

$$L_p = 2(718.2) + 1.57(400 + 132) + \frac{(400 - 132)^2}{4(718.2)}$$

$$L_p = 2,297 \text{ mm}$$

จากตารางผนวกที่ ๖ เลือกใช้ $L_I = 2,300 \text{ mm}$

จากสมการของสายพานลิ้มหน้าตัด "B" ดังนั้นความยาวพิตช์ของสายพานลิ้ม, L_p

$$L_p = L_I + 43 = 2,343 \text{ mm}$$

ดังนั้นระยะห่างจริงของจุดกึ่งกลางล้อสายพานลิ้ม, C สามารถหาได้จาก

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

$$p = 0.25(2,343) - 0.393(400 + 132) = 376.674 \text{ mm}$$

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

$$q = 0.125(400 - 132)^2 = 8,978 \text{ mm}$$

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

$$C = 376.674 + \sqrt{376.674^2 - 8,978} = 741.24 \text{ mm}$$

จากตารางผนวกที่ ๗ เมื่อคำนวณด้วยสมการ $\frac{D_p - d_p}{C}$ จะมีค่าเท่ากับ 0.361 ซึ่งค่าดังกล่าวจะอยู่ระหว่างค่าความโค้งสัมผัสสำหรับสายพานลิ้ม 150-160 องศา และอยู่ระหว่างค่าของ $N_a = 0.92-0.95$ จึงสามารถหาค่า N_a โดยใช้การประมาณแบบเชิงเส้นได้เท่ากับ 0.946

เมื่อได้ $L_p = 2,297 \text{ mm}$ จากการคำนวณ ก็จะสามารถเลือกค่า N_f ได้จากตารางผนวกที่ ๕ ซึ่งค่าของ N_f มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1.00

จากตารางผนวกที่ ๔ ที่ขนาดล้อสายพานขนาดเล็ก $d_p = 132 \text{ mm}$ อัตราทด $m_w = 2.9$ และความเร็รรอบ 500 rpm ซึ่งในตารางจะไม่มีช่วงความเร็วรอบดังกล่าว ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเร็วรอบ 700 rpm แทน แล้วทำการหาค่าสมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานโดยใช้การประมาณแบบเชิงเส้น $P_R = 1.97$

จำนวนเส้นของสายพานลิ้ม, z

$$z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_f} = \frac{4.85}{1.97(0.946)(1)} = 2.602$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้สายพานลิ้มหน้าตัด “B” จำนวนทั้งสิ้น 3 เส้น เมื่อพิจารณาในทางปฏิบัติแล้วจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างมาก เพราะเนื่องจากเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ จะมีช่วงการหมุนของถังซักด้วยความเร็วรอบที่ต่างกันมากกว่า 2 ช่วง และมีการใช้งานในการหมุนที่ความเร็วรอบสูง

มุมสัมผัสของล้อสายพานเล็ก, α

$$\alpha = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_p + d_p}{2C} \right)$$

$$\alpha = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{400 + 132}{2(741.24)} \right) = 2.778 \text{ radian}$$

ความเร็วของสายพานลีม, v

$$v = \pi d_p n = \frac{\pi(0.132)(1,450)}{60} = 10.02 \text{ m/s}$$

แรงดึงของสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = \frac{W_p}{v} = \frac{3.73 \times 10^3}{10.02} = 372.2 \text{ N}$$

จากตารางผนวกที่ ๑๘ กำหนดให้สภาวะการทำงานเป็นแบบงานหนัก, แรงกระตุก และเปิดปิดบ่อยครั้ง โดยที่ $k_1 = 2$

จากตารางผนวกที่ ๑๙ สายพานหน้าตัด "B" มีค่าตัวประกอบสายพาน $k_2 = 0.385$

แรงดึงขั้นต้นของสายพานลีม, F_i สามารถหาได้จาก

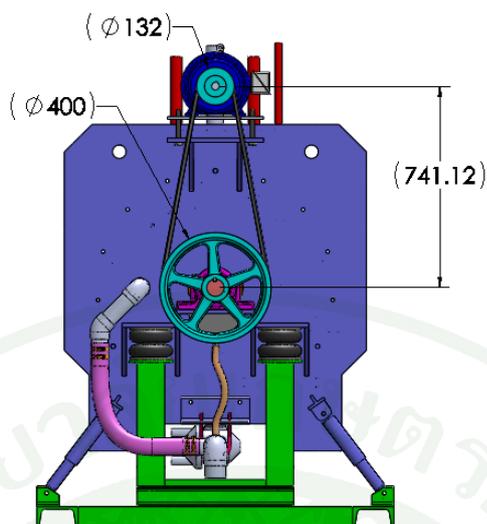
$$F_i = (k_1 F + k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F_i = (2(372.2) + 3(0.385)(10.02)^2) \sin \frac{2.778}{2} = 846.21 \text{ N}$$

แรงดึงในแนวแกน, F_w

$$F_w = k_1 F_i \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F_w = 2(846.21) \sin \frac{2.778}{2} = 1,664.54 \text{ N}$$



ภาพที่ 52 แสดงระยะห่างของจุดกึ่งกลางล้อยายพานลิ้ม, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ของล้อยายพานเล็กและล้อยายพานใหญ่

2.2 ผลการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ เนื่องจากเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบในช่วงของการซักสลัดน้ำมีช่วงในการทำงานที่ความเร็วรอบสูงถึง 500 rpm จึงทำให้เกิดแรงอันเนื่องมาจากการไม่สมดุลหรือการสั่นสะเทือน (Unbalanced or Driving Force) ได้ ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ทำการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดของการออกแบบดังต่อไปนี้

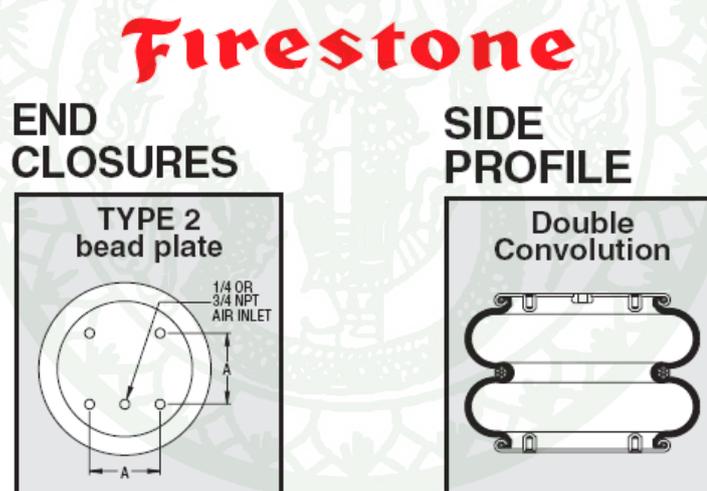
2.2.1 ระบบกันการสั่นสะเทือน (Suspension System) อุปกรณ์สำคัญของระบบกันการสั่นสะเทือนประกอบไปด้วย

1) ถูกลม (Airmount) ใช้แทนสปริง (Spring) เพราะสปริงจะมีเสียงที่เกิดจากการเสียดสีของตัวสปริงดังขึ้นในขณะที่เครื่องทำงาน และสปริงนั้นยังมีข้อจำกัดทางด้านขนาดการใช้งานที่ตายตัว โดยหน้าที่หลักของถูกลมนั้นจะทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของตัวเครื่องโดยตรง และช่วยไม่ให้ตัวเครื่องเกิดการกระทบกับพื้น ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายอันเนื่องจากการกระทบได้

2) โช้คอัพ (Shock Absorber) มีหน้าที่ดูดซับแรงเนื่องจากการสั่นสะเทือนของตัวเครื่องให้กลับเข้าสู่สภาวะการสั่นที่น้อยที่สุดในเวลาอันสั้น เพื่อไม่ให้ถูกลมรับภาระอันเนื่องมาจากแรงกระทำซ้ำที่เกิดจากการสั่นสะเทือนมากเกินไป และที่สำคัญเพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือน ที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างตัวเครื่อง และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.2.2 การเลือกใช้ถุงลม (Airmount) และ โช้คอัพ (Shock Absorber) ในการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนนั้นจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการสั่นพ้อง (Resonance) เพราะการสั่นในช่วงนี้จะเป็นการสั่นอย่างรุนแรงโดยความถี่ในการทำงานของเครื่องต้องไม่เท่ากับความถี่ธรรมชาติ ($\omega \neq \omega_n$) แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็จะต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าของ ζ และ T_d ให้เหมาะสมกับระบบ กล่าวคือให้ค่าของ ζ มีค่าที่เข้าใกล้ 1 ให้มากที่สุด เพราะถ้าในกรณีที่ ζ มีค่าเข้าใกล้ 0 และค่าอัตราส่วนความถี่, $r = \frac{\omega}{\omega_n} = 1$ หรือที่อัตราส่วนความถี่การสั่นพ้องก็จะส่งผลให้การส่งผ่านการขจัด (T_d) มีค่าเข้าใกล้อนันต์ (∞) ก็จะมีขนาดการสั่น (Amplitude of Vibration) สูง ระบบก็จะเกิดการสั่นพ้องอย่างรุนแรง

การเลือกใช้ถุงลม (Airmount) นั้นจะเลือกใช้ถุงลม Firestone แบบ Double Convolution คือแบบถุงลมสองชั้น Style Number: 25



ภาพที่ 53 ลักษณะทางกายภาพของถุงลม Style Number: 25

AIRMOUNT[®] ISOLATORS

Style Number	Design Height	Load (at Design Height) at 100 PSIG (pounds)	Natural Frequency (@ 80 PSIG) f_n (cpm)	% of Isolation at Forced Frequency	
				400 CPM %	800 CPM %

SHAPED SLEEVE

1M1A-0	2.5	570	220		91.8
1M1A-1	3.0	593	162	90.0	95.5
2M1A	DO NOT USE 2M1A AS AN AIRMOUNT ISOLATOR				
2M2A	2.0	198	232		90.8

SINGLE CONVOLUTION

16	3.0	1120	237		90.3
16ST	3.0	1000	240	87.0	97.0
131	3.5	1510	181	74.4	94.6
110	4.5	1790	162	80.2	95.7
116	4.5	2360	163	80.2	95.7
116-1	5.5	2530	139	86.3	96.9
115	4.5	3010	166	79.1	95.5
19	5.0	5680	156	82.1	96.0
19-.75	5.5	5260	156	82.0	96.0
113	5.0	8800	150	83.6	96.4
113-1	5.5	10,200	133	87.7	97.2
153-2	6.0	12,385	121	89.9	97.7
119**	5.0	14,520	138	86.5	96.9
121**	5.0	18,450	142	85.5	96.7
126**	5.0	28,290	133	87.5	97.1
138-1.5	6.0	41,620	124	89.3	97.5
148-1	5.5	85,200	118	90.5	97.8

DOUBLE CONVOLUTION

→ 25	5.5	1180	154	82.5	96.1
255-1.5	6.0	1524	129	87.6	97.2
224	6.5	1940	126	89.0	97.5
26	8.0	2140	111	91.6	98.0
20	8.5	2720	116	90.7	97.8
20-2	10.0	3238	97	93.7	98.5
22	9.5	5400	106	92.4	98.2
22-1.5	10.5	5310	106	92.4	98.2
21	9.5	8330	105	92.6	98.3
21-2	10.5	9210	95	94.1	98.6
233-2	11.25	9917	89	95.0	98.8
28**	9.5	12,120	101	93.2	98.4
203**	9.5	18,890	97	93.7	98.5
29**	9.5	25,350	92	94.4	98.7
200	9.5	34,620	93	94.2	98.6
215	10.5	40,980	86	95.1	98.8
248-2	11.0	79,730	83	95.5	98.9

ภาพที่ 54 ตารางแสดงคุณสมบัติของถุงลมชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Firestone Industrial Product Company (2009)

จากภาพที่ 54 ทำให้ทราบว่าถ่วงมวลที่เลือกใช้ 1 ลูกมีความถี่ธรรมชาติ, $\omega_n = 154$ rpm ในการออกแบบเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบนั้นจะเลือกใช้ถ่วงมวลทั้งหมด 4 ลูก เพื่อให้เกิดความสมดุลทั้งซ้ายและขวา โดยจะทำการวางถ่วงมวลไว้ทางด้านซ้ายและขวาข้างละ 2 ลูก

เนื่องจาก

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

เลือกใช้ถ่วงมวล 4 ลูก, ซึ่งมีลักษณะการติดตั้งแบบขนาน ดังนั้น

$$\omega_n = \sqrt{\frac{4k}{m}} = 2\sqrt{\frac{k}{m}}$$

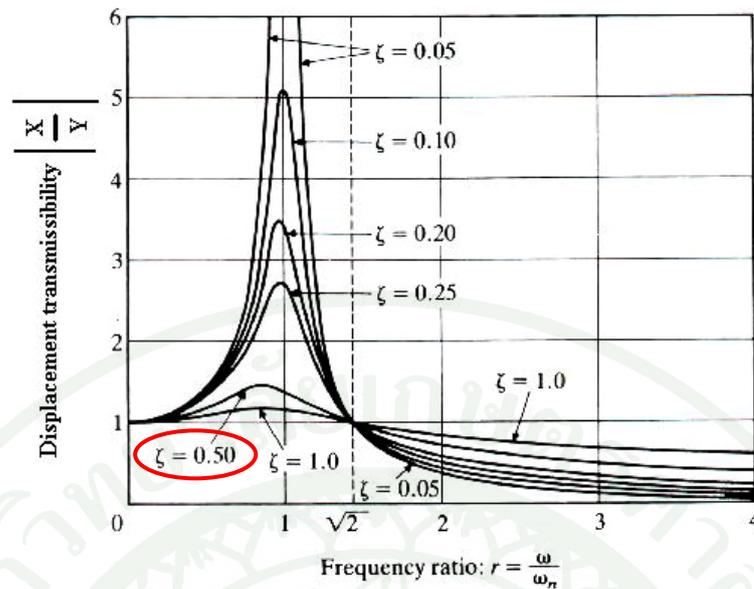
$$\omega_n = 2 \times 154 \left(\frac{2\pi}{60} \right) = 32.254 \text{ rad/s}$$

ความถี่เชิงมุมสูงสุดของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 500 rpm จะได้

$$\omega = 500 \left(\frac{2\pi}{60} \right) = 52.36 \text{ rad/s}$$

ดังนั้นอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio), r

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{52.36}{32.254} = 1.623$$



ภาพที่ 55 การตอบสนองเนื่องจากการสั่น

ที่มา: กนต์ธร (2545)

ในการออกแบบระบบกันสั่นสะท้อนของเครื่องจักรฟ้าๆ ต้นแบบนั้น จะทำการกำหนดอัตราส่วนความหน่วง, $\zeta = 0.5$ เพราะหากเมื่อตัวเครื่องทำงานอยู่ในช่วงใกล้การสั่นพ้อง กล่าวคือค่าอัตราส่วนความถี่, $r = \frac{\omega}{\omega_n} = 1$ เครื่องจักรฟ้าๆ ต้นแบบจะมีการส่งผ่านการขจัด, T_d ที่มีค่าค่อนข้างน้อย หรือสามารถกล่าวได้ว่ามีขนาดของการสั่นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 55 ถ้าทำการเลือกค่าอัตราส่วนความหน่วง, $\zeta < 0.5$ ระบบก็จะมีขนาดของการสั่นที่สูงและส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกล แต่ถ้าทำการเลือกค่าอัตราส่วนความหน่วง, $\zeta > 0.5$ สภาวะของการรับแรงของระบบค่อนข้างที่จะเป็นรูปวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ไม่นิ่มนวลและไม่ดูดซับการสั่นสะท้อน

มวลของโครงสร้างหลักรวมมวลฟ้า (ไม่รวมฐานเครื่องจักรฟ้าๆ, โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง และน้ำที่ใช้) วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก จ

$$m = 796.92 \text{ kg}$$

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในการออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบนั้นจะใช้อัตราส่วนความหน่วง, $\zeta = 0.5$ ดังนั้นค่าความหน่วงจากการเคลื่อนที่ของโช้คอัพ, c สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\text{สมการความหน่วงวิกฤต} \quad c_c = 2m\omega_n$$

$$\text{อัตราส่วนความหน่วง} \quad \zeta = \frac{c}{c_c}$$

$$c = 2m\zeta\omega_n = 2 \times 796.92 \times 0.5 \times 32.254 = 25,703.86 \text{ Ns/m}$$

ซึ่งในการออกแบบเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบนั้นต้องใช้โช้คอัพทั้งหมด 4 ตัวโดยค่าความหน่วงของโช้คอัพแต่ละตัวที่จะต้องรับภาระความหน่วงได้เท่ากับ $25,703.86/4 = 6,425.97 \text{ Ns/m}$

ดังนั้นจึงเลือกใช้โช้คอัพด้านหน้าของรถกระบะที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด เพราะเนื่องจากมีศักยภาพในการใช้งานเพียงพอต่อความต้องการของระบบ (โช้คอัพด้านหน้าของรถกระบะโดยทั่วไปจะมีค่าความหน่วงของโช้คอัพประมาณ 5,000-10,000 Ns/m)

นอกจากนี้การส่งผ่านการจัด, T_d สามารถหาได้โดยใช้สมการ (53c) จะได้

$$T_d = \frac{X}{Y} = \left[\frac{1 + (2\zeta r)}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$$

$$T_d = \left[\frac{1 + (2 \times 0.5 \times 1.623)}{(1 - 1.623^2)^2 + (2 \times 0.5 \times 1.623)^2} \right]^{1/2}$$

$$T_d = 0.827$$

เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 55 จะเห็นได้ว่า ค่าต่าง ๆ ที่ได้ทำการคำนวณมาทั้งสิ้น จะมีความสอดคล้องกับผลที่อ่านได้จากกราฟของอัตราส่วนความหน่วง, $\zeta = 0.5$

2.2.3 การหาขนาดของการสั่นของเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบเมื่อการหมุนไม่สมดุลจากสมการ (42) สามารถหาขนาดการสั่นของมวล M , X ได้โดย

$$X = \frac{md\omega^2}{\left[(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2 \right]^{1/2}}$$

- เมื่อ M = มวลของตัวเครื่องชักและมวลของผ้า (kg)
 m = มวลของผ้าที่ทำการชักสูงสุด (kg)
 d = ระยะเยื้องศูนย์กลางของผ้าที่ชัก (cm)
 ω = ความเร็วเชิงมุมของถังชักขณะทำงาน (rad/s)
 k = ค่าคงที่ของสปริง (N/m)
 c = ค่าความหน่วง (Damping Constant, Ns/m)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะได้

$$M = 796.92 \text{ kg}, m = 60 \text{ kg}, d = 6 \text{ cm}$$

เครื่องชักผ้าทำการปั่นหมาดผ้าด้วยความเร็วรอบ 500 rpm

$$\therefore \omega = 500 \times \frac{2\pi}{60} = 52.36 \text{ rad/s}$$

เนื่องจากระบบมีความถี่ธรรมชาติ, ω_n

$$\omega_n = 2 \times 154 \left(\frac{2\pi}{60} \right) = 32.254 \text{ rad/s}$$

ค่าคงที่ของสปริง, k

$$k = \omega_n^2 M = 8.29 \times 10^5 \text{ N/m}$$

ค่าความหน่วงรวม, c ที่ใช้คือ

$$c = 25,703.86 \text{ Ns/m}$$

นำค่าต่าง ๆ แทนลงในสมการ (42) หาขนาดการสั่นของมวล M , X

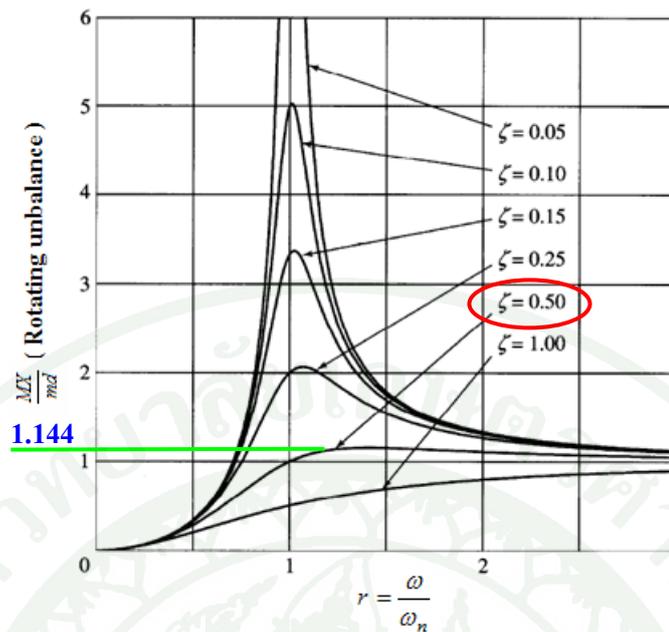
$$X = \frac{md\omega^2}{\left[(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2 \right]^{1/2}} = 5.166 \times 10^{-3} \text{ m หรือ } 5.166 \text{ mm}$$

จากทฤษฎีจะเห็นได้ว่าตัวเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบจะมีขนาดของการสั่นสูงสุดประมาณ 5 mm ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อยและเป็นค่าที่ยอมรับได้

จากสมการ (43) สมการการตอบสนองในรูปตัวแปรไร้มิติจะได้

$$\frac{MX}{md} = \frac{r^2}{\left[(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2 \right]^{1/2}} = \frac{1.623^2}{\left[(1 - 1.623^2)^2 + (2 \times 0.5 \times 1.623)^2 \right]^{1/2}} = 1.144$$

ผลที่ได้จากสมการการตอบสนองในรูปตัวแปรไร้มิติของการหมุนไม่สมดุลนั้น จะมีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันความสัมพันธ์ของกราฟในภาพที่ 56 กล่าวคือที่ อัตราส่วนความหน่วง, $\zeta = 0.5$ จะมีค่าของการหมุนไม่สมดุล (Rotating Unbalance) สูงสุดเท่ากับ 1.144



ภาพที่ 56 การตอบสนองสัมพัทธ์เนื่องจากการหมุนไม่สมดุล

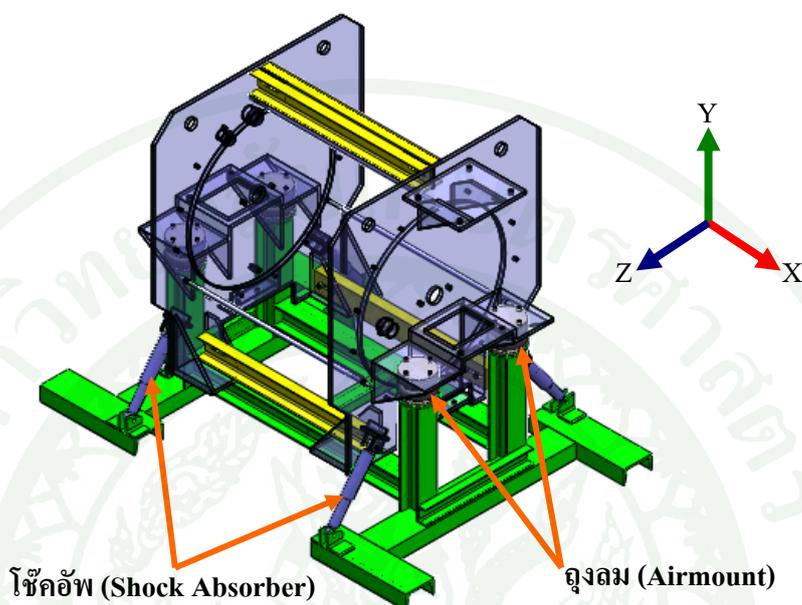
ที่มา: กนต์ธร (2545)

จากภาพที่ 56 จะเห็นได้ว่าที่ $r=0$ จะมีค่าของการหมุนไม่สมดุล $\frac{MX}{md} = 0$ นั้นหมายความว่า ถ้าเครื่องซักผ้าไม่มีการทำงานคือไม่หมุน ขนาดของการสั่น, X ของเครื่องซักผ้าซึ่งอยู่ในรูปของการหมุนไม่สมดุล $\frac{MX}{md}$ ก็จะไม่เกิดขึ้น

เนื่องจากเครื่องซักผ้า ต้นแบบได้ออกแบบให้ใช้อัตราส่วนความหน่วง, $\zeta = 0.5$ ดังนั้นเมื่อทำงานที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้น (ω มีค่าที่มาก) ค่าของการหมุนไม่สมดุล $\frac{MX}{md} \rightarrow 1$ ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อย หรือสามารถกล่าวได้ว่า ความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องซักผ้า ต้นแบบจะมีผลต่อการสั่นน้อยมาก

2.2.4 การติดตั้งถุงลม (Airmount) และ โช้คอัพ (Shock Absorber) เข้ากับตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ จะออกแบบการติดตั้งให้ใกล้เคียงกับแกนเพลลาของถังซักให้มากที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบอันเนื่องมาจากโมเมนต์บิด ส่วนการติดตั้งโช้คเพื่อดูดซับแรงสั่นสะเทือนนั้นจะติดตั้งตรงมุมด้านล่างทั้ง 4 ซึ่งการเรียงตัวของก้านโช้คจะกำหนดให้ขนานกับแนวระนาบของแผ่น

เหล็กยึดตัวถังด้านนอก โดยมีลักษณะเอียงทำมุมกับพื้นประมาณ 51.69° เพื่อดูดซับแรงสั่นสะเทือน
 ขึ้นลงตามแนวแกน Y และดูดซับแรงสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากโมเมนต์บิดรอบแกน X และรอบ
 แกน Z ดังแสดงในภาพที่ 57

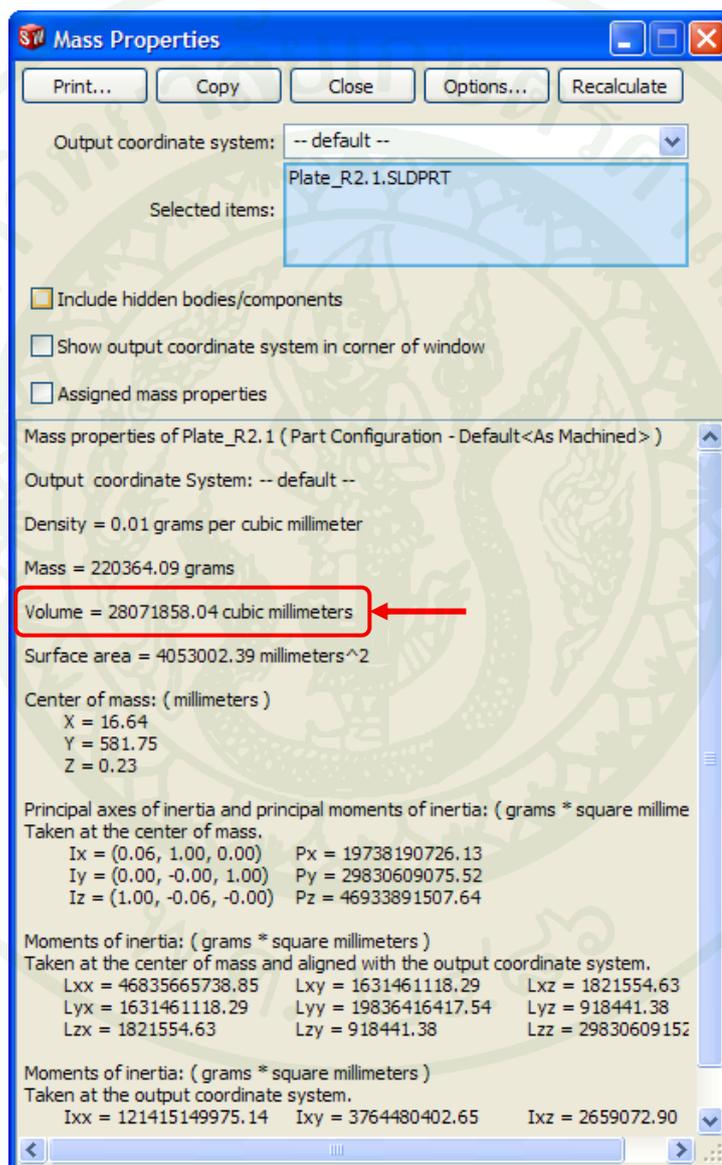


ภาพที่ 57 แสดงตำแหน่งการติดตั้งถุงลมและโช้คอัพ

2.3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรง ของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบโดยใช้เทคนิคการ
 วิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ หลังจากที่ได้ดำเนินการออกแบบ โครงสร้าง
 และระบบต่าง ๆ ของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบแล้ว ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์หาภาระ
 (Loading) หรือแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง และชิ้นส่วนประกอบหลัก ๆ ที่สำคัญของเครื่องซักผ้าฯ
 ต้นแบบ เพื่อใช้ในการดำเนินการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบโดยใช้เทคนิค
 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถแสดงการวิเคราะห์ได้
 ดังต่อไปนี้

2.3.1 แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง และชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องซักผ้าฯ
 ต้นแบบ การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์
 ภายใต้แรงที่กระทำต่อเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ แบบแรงสถิต (Static Loading) ภาระหรือแรงที่กระทำ
 ต่อโครงสร้าง และชิ้นส่วนประกอบหลัก ๆ ที่สำคัญของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบนั้นโดยส่วนใหญ่
 เป็นแรงที่เกิดจากน้ำหนักของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น การที่จะทราบแรงหรือน้ำหนักของชิ้นส่วนแต่ละ

ชิ้นที่กระทำต่อโครงสร้างว่ามีขนาดเท่าไรนั้น จะต้องทำการหาปริมาตร แล้วนำมาคูณกับค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า Unit Weight (ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าคงที่ดังกล่าวแตกต่างกัน) จึงจะทำให้สามารถหาขนาดของน้ำหนักแต่ละชิ้นส่วนที่กระทำต่อโครงสร้างได้ และในการหาปริมาตรของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล ต้นแบบนั้นจะสามารถหาได้จากการเขียนแบบแบบ 3 มิติโดยใช้โปรแกรมเขียนแบบ SolidWorks ซึ่งมีตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 58



ภาพที่ 58 ตัวอย่างการหาปริมาตรของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยโปรแกรม SolidWorks

จากตารางผนวกที่ 12 ทำให้ทราบค่า Unit Weight (kN/m^3) ของเหล็กชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องจักรกล ต้นแบบ สามารถรวบรวมได้ดังนี้:

เหล็กกล้า (Carbon Steel): 76.5 kN/m^3

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel): 76.0 kN/m^3

เหล็กหล่อ (Cast Iron): 70.6 kN/m^3

การคำนวณน้ำหนักของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบสามารถรวบรวมและจัดแสดงได้ดังนี้

1) ตัวถังด้านนอก ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

ปริมาตรของถังนอก	$6,836,858.7 \text{ mm}^3$	
ปริมาตรฝาถังนอก	$1,282,334.72 \text{ mm}^3$ จำนวน 2 ฝา	
ปริมาตรถังนอกสุทธิ	$6,836,858.7 + (1,282,334.72 \times 2) = 0.0094 \text{ m}^3$	
คั่งน้ำหนักถังด้านนอก	$0.0094 \text{ m}^3 \times 76.0 \text{ kN/m}^3 = 714.4 \text{ N}$	[1]

2) ถังซัก ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

ปริมาตรของถังซัก (ไม่เจาะรู)	$14,868,759.04 \text{ mm}^3$	
ขนาดของแผ่นสแตนเลสที่นำมาม้วนทำถังซัก	$1,885 \times 800 \text{ mm}$	
ขนาดของรูที่เจาะบนแผ่นสแตนเลส	$\varnothing = 6 \text{ mm}$	
จำนวนของรูที่เจาะ	$(40 \times 118) + (39 \times 117) + 19.5 = 9,302.5$ รู	
ปริมาตรรูเจาะ 1 รูมีพื้นที่เท่ากับ	56.55 mm^3	
ปริมาตรของรูเจาะทั้งหมด	$56.55 \times 9,302.5 = 526,056.38 \text{ mm}^3$	
ปริมาตรของถังซัก (เจาะรูแล้ว)	$14,868,759.04 - 526,056.38 = 0.014 \text{ m}^3$	
คั่งน้ำหนักถังซัก	$0.014 \text{ m}^3 \times 76.0 \text{ kN/m}^3 = 1,064 \text{ N}$	[2]

3) Mechanical Seal ทำจากเหล็กหล่อ (Cast Iron)

ปริมาตรของ Mechanical Seal	$1,018,297.86 \text{ mm}^3 = 0.001 \text{ m}^3$	
คั่งน้ำหนักของ Mechanical Seal	$0.001 \text{ m}^3 \times 70.6 \text{ kN/m}^3 = 71.9 \text{ N}$	[3]

4) สลักลือคล้อสายพานลิม ทำจากเหล็กกล้า (Carbon Steel)

ปริมาตรของสลักลือคล้อสายพาน	$13,885.20 \text{ mm}^3$ หรือ $1.389 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	
คั่งน้ำหนักสลักลือค	$1.389 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 76.5 \text{ kN/m}^3 = 1.0622 \text{ N}$	[4]

5) ฐานเหล็กรองรับมอเตอร์ ทำจากเหล็กกล้า (Carbon Steel)

ปริมาตรของฐานเหล็กรองรับมอเตอร์ $1,006,896.90 \text{ mm}^3$ หรือ 0.001007 m^3
 ดังนั้นน้ำหนักฐานเหล็กรองรับมอเตอร์ $0.001007 \text{ m}^3 \times 76.5 \text{ kN/m}^3 = 77 \text{ N}$ [5]

6) ตลับลูกปืน ทำจากเหล็กหล่อ (Cast Iron)

ปริมาตรของตลับลูกปืน $720,000 \text{ mm}^3$ หรือ $7.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
 ดังนั้นน้ำหนักจากตลับลูกปืน $7.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 70.6 \text{ kN/m}^3 = 50.8 \text{ N}$ [6]

7) ล้อสายพานลิ้ม ทำจากเหล็กหล่อ (Cast Iron)

ปริมาตรของล้อสายพานลิ้ม $2,184,071.85 \text{ mm}^3$ หรือ $2.184 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 ดังนั้นน้ำหนักล้อสายพานลิ้ม $2.184 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 70.6 \text{ kN/m}^3 = 154.2 \text{ N}$ [7]

8) มอเตอร์ 5 hp และอุปกรณ์ที่ต่อพ่วง

มวลของมอเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงประมาณ 40 kg
 ดังนั้นน้ำหนักมอเตอร์ทั้งหมด $40 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 392.4 \text{ N}$ [8]

9) น้ำที่บรรจุในถัง(เครื่องตัวถังเล็ก)

ปริมาณน้ำที่ใช้ 140 ลิตร ($1 \text{ ลิตร} = 0.997 \text{ kg}$)
 มวลของน้ำประมาณ $140 \text{ liter} \times 0.997 \text{ kg} = 139.58 \text{ kg}$
 ดังนั้นน้ำหนักน้ำที่ใช้ $139.58 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 1,369.28 \text{ N}$ [9]

10) ผ้าที่ทำการซัก

มวลผ้าที่บรรจุในถังซักสูงสุด 60 kg
 ดังนั้นน้ำหนักเนื่องจากผ้า $60 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 588.6 \text{ N}$ [10]

11) โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง ทำจากเหล็กกล้า (Carbon Steel)

ปริมาตรของโครงสร้าง $38,309,420.37 \text{ mm}^3 = 0.0383 \text{ m}^3$
 ดังนั้นน้ำหนักของโครงสร้าง $0.0383 \text{ m}^3 \times 76.5 \text{ kN/m}^3 = 2,930 \text{ N}$ [11]

2.3.1.1 แรงที่กระทำต่อโครงสร้างของเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ จะประกอบไปด้วยแรง $F1$, $F2$, $F3$, $F4$ และ $F5$ ซึ่งสามารถจัดแสดงภาพผังวัตถุอิสระของแรงได้ดังภาพที่ 59

$$F1 = [2]/2 + [6] + [10]/2 = 532 + 50.8 + 294.3 = 877.1 \text{ N}$$

$$F2 = [2]/2 + [6] + [4] + [7] + [10]/2$$

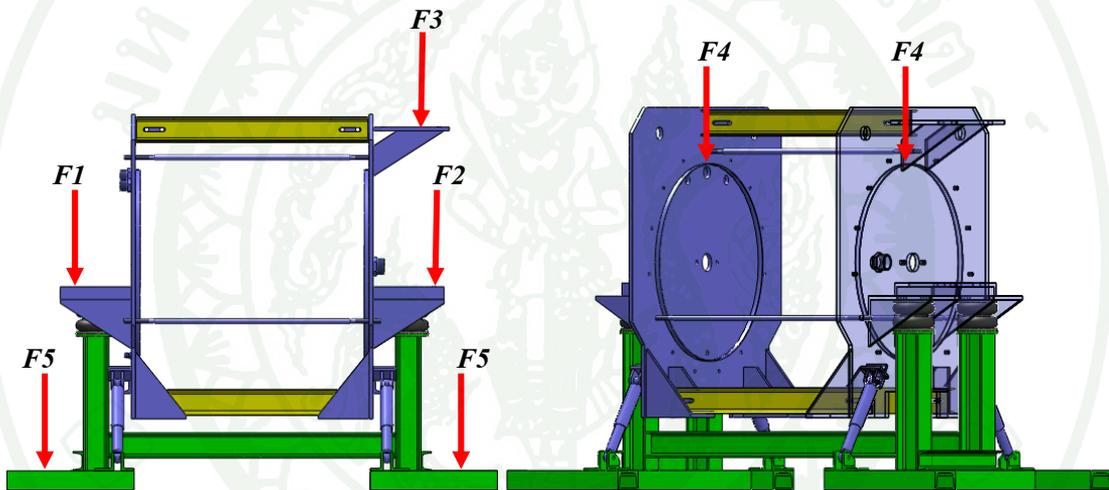
$$= 532 + 50.8 + 1.1 + 154.2 + 294.3 = 1,032.4 \text{ N}$$

$$F3 = [5] + [8] + \text{แรงดึงในแนวแกนของสายพาน} = 77 + 392.4 + 1,664.54 = 2,134 \text{ N}$$

$$F4 = [1]/2 + [9]/2 = 357.2 + 684.64 = 1,041.84 \text{ N}$$

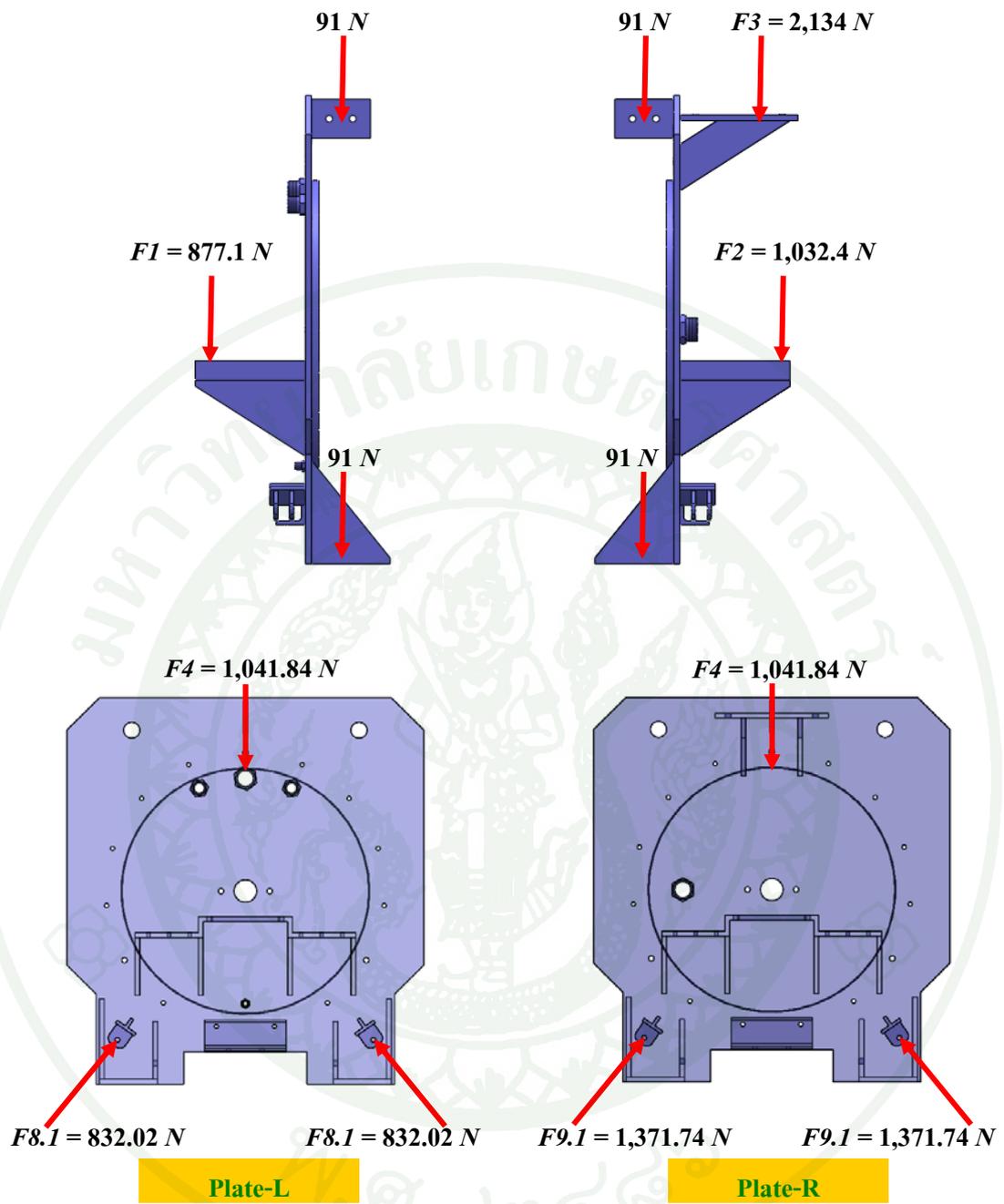
$$\text{แรงกระทำที่บริเวณรูสำหรับยึด Mechanical Seal } [3]/2 = 72/2 = 36 \text{ N}$$

$$F5 = [11]/2 = 1,465 \text{ N}$$



ภาพที่ 59 แรงที่กระทำต่อโครงสร้างของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

2.3.1.2 แรงที่กระทำต่อแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกทั้ง 2 ด้าน (Plate-R and Plate-L) จะเหมือนกับแรงที่กระทำต่อโครงสร้างเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ ได้แก่ แรงกระทำ $F1$, $F2$, $F3$ และ $F4$ แต่จะเพิ่มแรงเนื่องจากน้ำหนักของคานเหล็กด้านบน และคานเหล็กด้านล่างเข้าไปในระบบ ส่วนแรงปฏิกิริยา(Reaction) $F8.1$ และ $F9.1$ ที่กระทำต่อหูยึดโซ่คั้นนั้นเป็นผลสืบเนื่องจากการคำนวณหาแรงกิริยา(Action) ดังนั้นแรงที่กระทำต่อแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกทั้ง 2 ด้าน จึงสามารถจัดแสดงเป็นผังวัตถุอิสระของแรง ดังแสดงในภาพที่ 60



ภาพที่ 60 แรงที่กระทำต่อแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกทั้ง 2 ด้าน (Plate-L and Plate-R)

2.3.1.3 แรงที่กระทำต่อฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ได้แก่

$$F5 = [11]/2 = 1,465 \text{ N}$$

$$F6 = F1 + F4 + \text{แรงจากแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย} + \text{แรงจากคานด้านบน} \\ + \text{แรงจากคานด้านล่าง} + \text{แรงจากแท่งเหล็กไว้สนิมชนิดกลม} + \text{แรงจากตุลุม}$$

$$F6 = 877.1 + 1,041.84 + (203.3 \times 9.81) + 91 + 91 + 31.5 + 114.6$$

$$F6 = 4,241.41 \text{ N}$$

$$F7 = F2 + F3 + F4 + \text{แรงจากแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา} + \text{แรงจากคานด้านบน} \\ + \text{แรงจากคานด้านล่าง} + \text{แรงจากแท่งเหล็กไว้สนิมชนิดกลม} + \text{แรงจากตุลุม}$$

$$F7 = 1,032.4 + 2,134 + 1,041.84 + (220.4 \times 9.81) + 91 + 91 + 31.5 + 114.6$$

$$F7 = 6,698.46 \text{ N}$$

แรงที่กระทำต่อหูยึดโซ้คแต่ละด้านจะนำแรง $F6$ และ $F7$ มาคิดเพียงครึ่งเดียวเพราะเนื่องจากน้ำหนักส่วนใหญ่ของตัวเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบนั้น จะถูกรองรับด้วยเสาทั้ง 4 ต้น ที่ติดอยู่กับฐานเป็นหลัก ดังนั้นจึงสามารถทำการหาแรงกริยาและแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อหูยึดโซ้คได้ดังนี้

แรงกริยา(Action) กระทำต่อหูยึด โซ้คที่ติดอยู่กับฐานเครื่องด้านซ้าย

$$F8 = ((F6/2)/2 + \text{แรงจากโซ้คอัพ}) \cos 38.31$$

$$F8 = (4,241.41/4 + 19.82) \cos 38.31 = 847.58 \text{ N}$$

แรงปฏิกิริยา(Reaction) กระทำต่อหูยึด โซ้คที่ติดอยู่กับแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย

$$F8.I = (4,241.41/4) \cos 38.31 = 832.02 \text{ N}$$

แรงกริยา(Action) กระทำต่อหูยึด โซ้คที่ติดอยู่กับฐานเครื่องด้านขวา

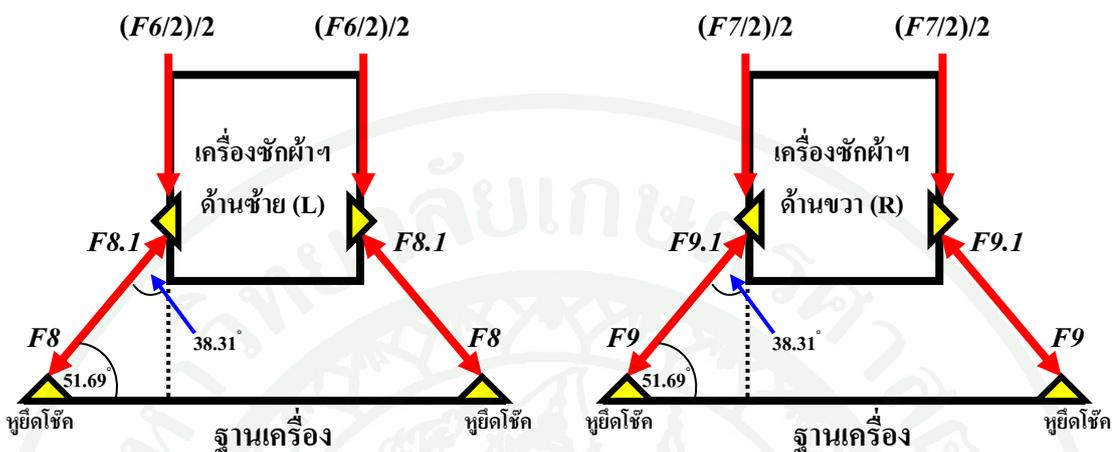
$$F9 = ((F7/2)/2 + \text{แรงจากโซ้คอัพ}) \cos 38.31$$

$$F9 = (6,698.46/4 + 19.82) \cos 38.31 = 1,387.98 \text{ N}$$

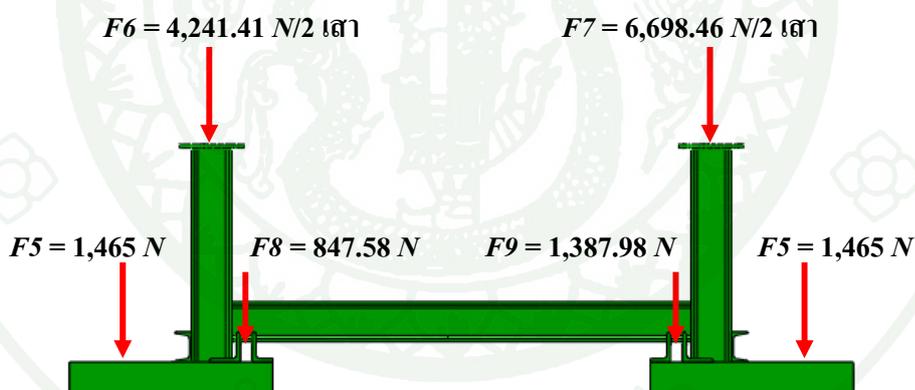
แรงปฏิกิริยา(Reaction) กระทำต่อหูยึด โซ้คที่ติดอยู่กับแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา

$$F9.I = (6,698.46/4) \cos 38.31 = 1,371.74 \text{ N}$$

ดังนั้นแรงที่กระทำต่อฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบนั้น สามารถจัดแสดงในภาพผังวัตถุอิสระของแรงได้ดังแสดงในภาพที่ 61 และภาพที่ 62

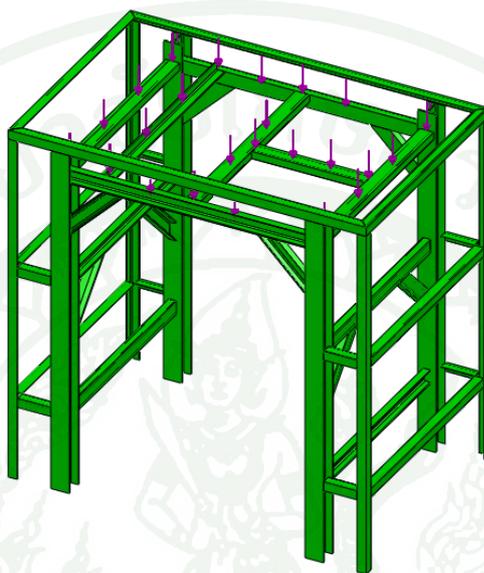


ภาพที่ 61 ผังวัตถุอิสระของแรงที่กระทำต่อหุ้ยค้ช้ค้ท้งด้้านซ้ายและขวา



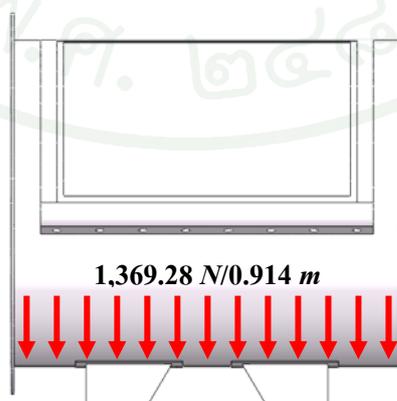
ภาพที่ 62 แรงที่กระทำต่อฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

2.3.1.4 แรงที่กระทำต่อ โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง จะถูกกระทำที่บริเวณ ด้านบนของ โครงสร้างเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีชิ้นส่วนของ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง มีมวล 16 kg และอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้าติดตั้งอยู่ด้านบน ซึ่งมีมวลประมาณ 20 kg ดังนั้น แรงที่กระทำต่อ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่องจึงมีค่าเท่ากับ $(20+16) \times 9.81 = 353.16 \text{ N}$



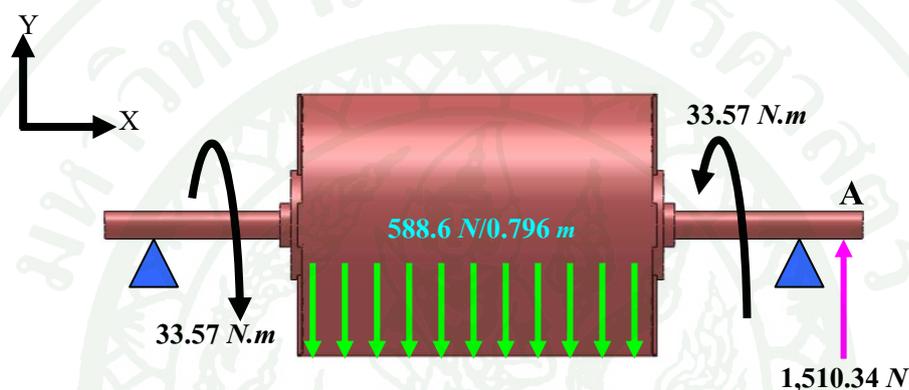
ภาพที่ 63 แรงที่กระทำต่อ โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง

2.3.1.5 แรงที่กระทำต่อตัวถังด้านนอก จะเป็นแรงอันเนื่องมาจากมวลของน้ำที่ใช้ ในกระบวนการซักผ้าโดยจะบรรจุน้ำได้สูงสุดประมาณ 140 ลิตร หรือ $1,369.28 \text{ N}$ โดยแรงดังกล่าว จะกระทำอยู่บริเวณด้านล่างของตัวถัง ดังแสดงในภาพที่ 64



ภาพที่ 64 แรงที่กระทำต่อตัวถังด้านนอก

2.3.1.6 แรงที่กระทำต่อถังซัก จะประกอบไปด้วย แรงอันเนื่องมาจากมวลของผ้าที่สามารถทำการซักได้สูงสุดคือ 60 kg หรือ 588.6 N และแรงอันเนื่องมาจากมวลของล้อสายพานลีมเท่ากับ 154.2 N กระทำ ณ จุด A โดยมีทิศลงตามแนวแกน Y นอกจากนี้ยังมีแรงอันเนื่องมาจากแรงดึงในแนวแกนของสายพานซึ่งมีค่าเท่ากับ $1,664.54\text{ N}$ กระทำ ณ ตำแหน่งเดียวกันของล้อสายพานลีมแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ทำการรวมแรงทั้งสองระหว่างแรงเนื่องจากล้อสายพานลีมกับแรงดึงในแนวแกนของสายพาน ก็จะได้แรงลัพธ์เท่ากับ $1,510.34\text{ N}$ ในทิศขึ้นตามแนวแกน Y และมีโมเมนต์บิดกระทำกับเพลาทิ้งสองด้านเท่ากับ 33.57 N.m ในทิศทางตรงกันข้าม ดังภาพที่ 65



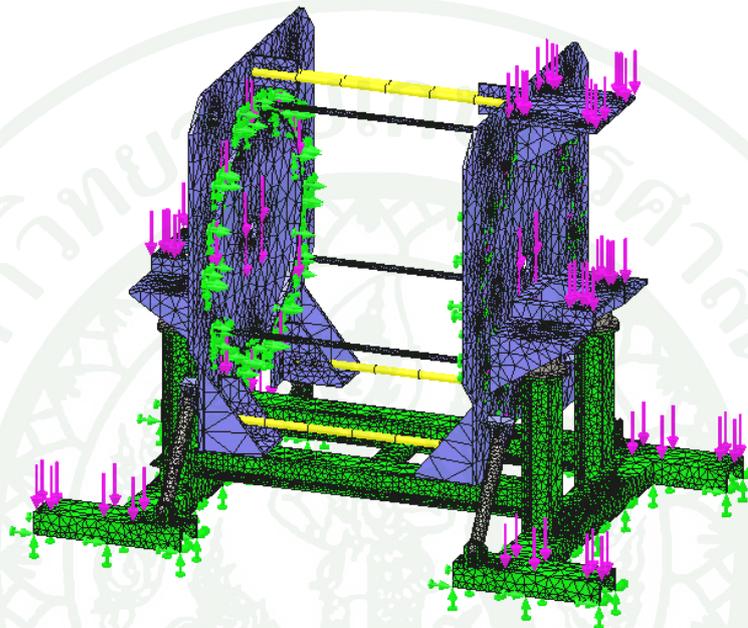
ภาพที่ 65 แรงที่กระทำต่อถังซัก

2.3.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ จะจำแนกผลเป็นหัวข้อหลัก ๆ คือ

- 1) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ
- 2) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังทั้ง 2 ด้าน
- 3) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่องพร้อมทั้งฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ
- 4) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังด้านนอก
- 5) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของถังซัก

โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์สามารถจัดแสดงได้ดังต่อไปนี้

1) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม
ต้นแบบ ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงนั้น จะทำการกำหนดจุดยึดบริเวณด้านล่างของฐาน
โครงสร้าง และบริเวณที่ยึดติดกับตัวถังด้านนอกทั้งสองด้าน และมีแรงกระทำต่อโครงสร้าง ดัง
แสดงในภาพที่ 66



ภาพที่ 66 แสดงภาพผังวัตถุอิสระของโครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

Material Properties			
Material name:	JIG G3192		
Description:			
Material Source:			
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic		
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress		
Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.26	NA	Constant
Shear modulus	7.93e+010	N/m ²	Constant
Mass density	7850	kg/m ³	Constant
Tensile strength	4e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.5e+008	N/m ²	Constant

ภาพที่ 67 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง
เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

Material Properties

Material name:	SS400
Description:	JIS G3101, ASTM A284 steel, grade D
Material Source:	www.matweb.com
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress
Application Data:	

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.26	NA	Constant
Shear modulus	8e+010	N/m ²	Constant
Mass density	7850	kg/m ³	Constant
Tensile strength	4.15e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.3e+008	N/m ²	Constant

Material Properties

Material name:	AISI 304
Description:	
Material Source:	
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	1.9e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.29	NA	Constant
Shear modulus	7.5e+010	N/m ²	Constant
Mass density	8000	kg/m ³	Constant
Tensile strength	5.1702e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.0681e+008	N/m ²	Constant
Thermal expansion coefficient	1.8e-005	/Kelvin	Constant
Thermal conductivity	16	W/(m.K)	Constant
Specific heat	500	J/(kg.K)	Constant

Mesh Information

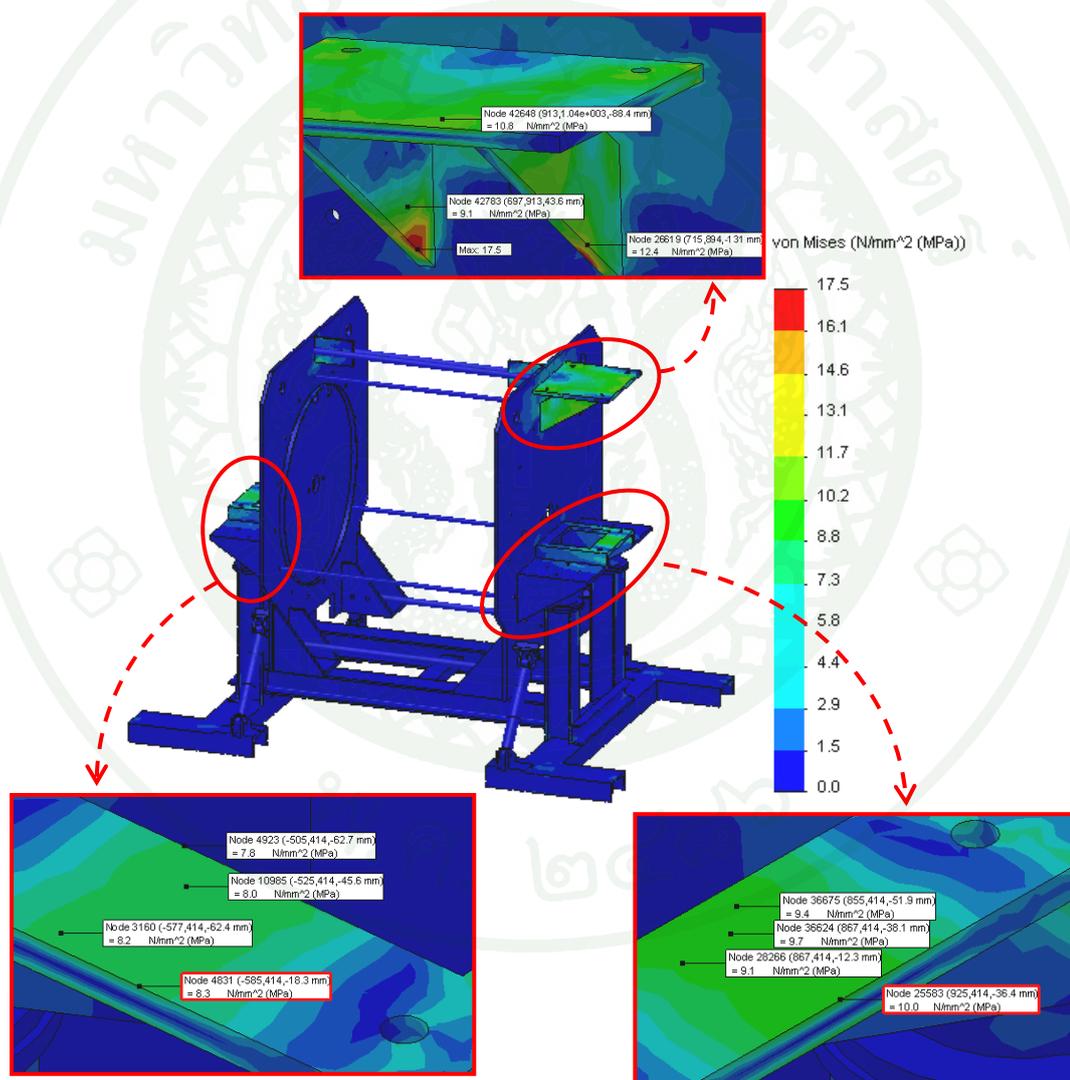
Mesh Type:	Mixed Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	0 mm
Tolerance:	0 mm
Quality:	High
Number of elements:	92640
Number of nodes:	188568
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:49
Computer name:	NHZG_XX

Study Results

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	0 N/mm ² (MPa) Node: 188537	(624.62 mm, 1034.41 mm, -16.3482 mm)	17.5114 N/mm ² (MPa) Node: 26801	(679.608 mm, 871.909 mm, 43.5489 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 247	(-290.39 mm, 549.859 mm, -493.095 mm)	0.121548 mm Node: 25057	(944.627 mm, 1044.29 mm, -211.456 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	0 Element: 92617	(422.394 mm, 1018.51 mm, -16.3482 mm)	5.72768e-005 Element: 21257	(695.721 mm, 892.9 mm, -120.194 mm)

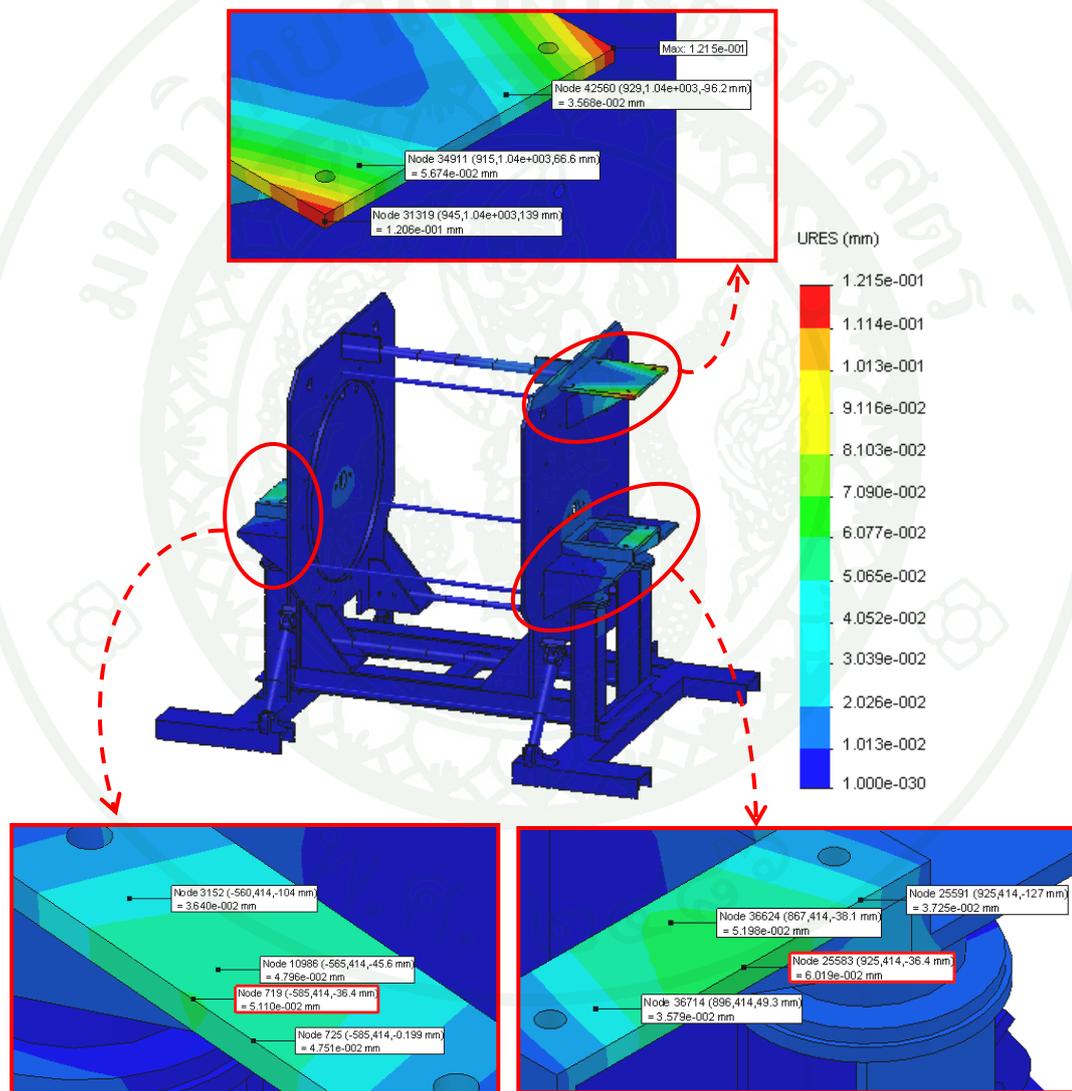
ภาพที่ 67 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์การกระจายของความเค้น (Stress Distribution) ภายในโครงสร้างเครื่องซักผ้าฯ ดันแบบได้จัดแสดงไว้ในภาพที่ 68 จะเห็นได้ว่าการกระจายของความเค้น Von Mises ที่มีค่ามากกว่า 7.5 MPa นั้น จะเกิดขึ้นอยู่สามบริเวณ ดังนี้คือ บริเวณที่รองรับแกนเพลลาของถังซักทั้งสองด้าน และบริเวณฐานรองรับตัวมอเตอร์ 3 เฟส โดยบริเวณฐานรองรับตัวมอเตอร์ 3 เฟส จะมีค่าของความเค้น Von Mises มากที่สุดเท่ากับ 17.5 MPa รองลงมาคือบริเวณที่รองรับแกนเพลลาของถังซักด้านขวา และด้านซ้ายตามลำดับ โดยค่าความเค้น Von Mises บริเวณที่รองรับแกนเพลลาของถังซักทั้งสองด้านนั้นจะมีค่าไม่เกิน 10.2 MPa



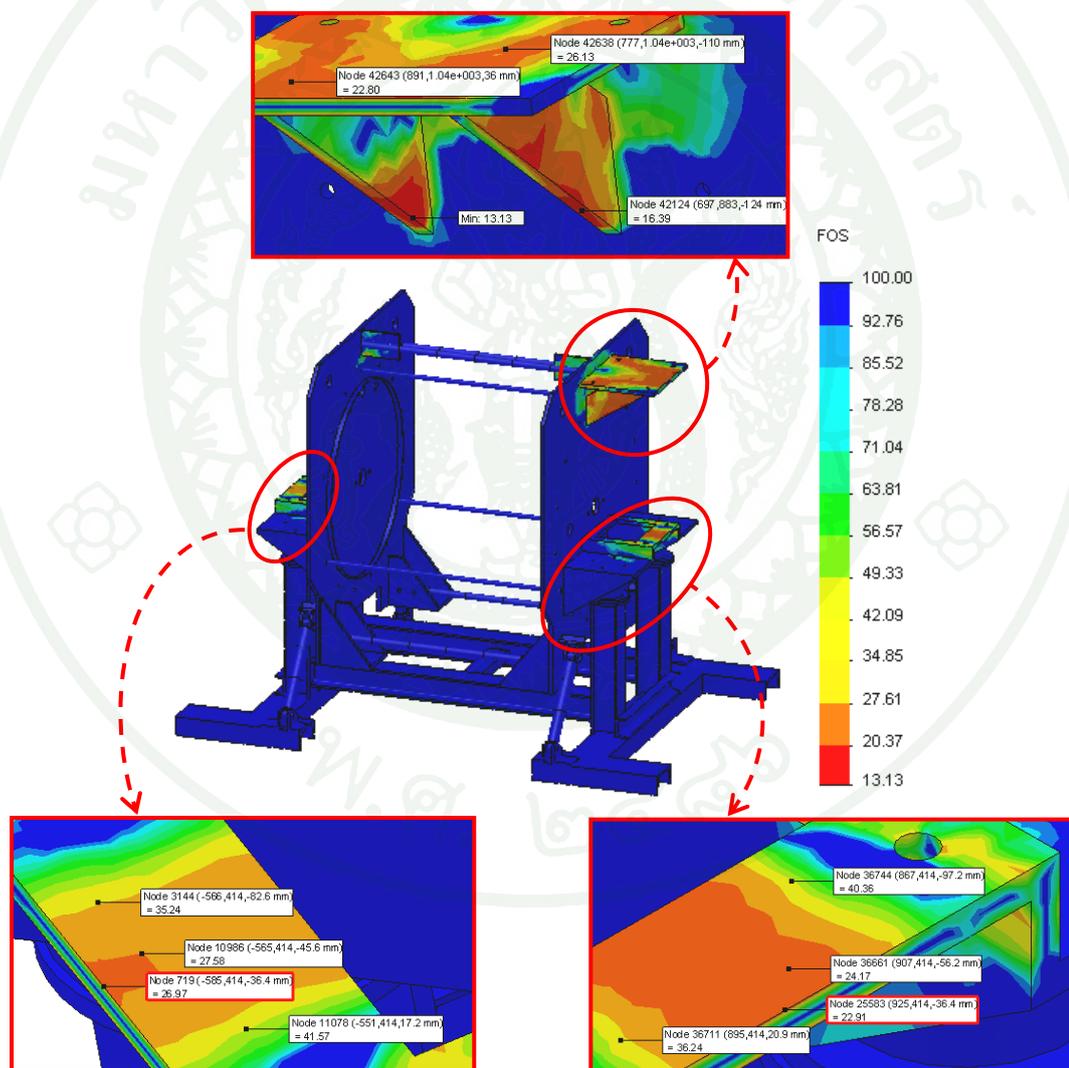
ภาพที่ 68 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (Stress Distribution) ของโครงสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมดันแบบ

ผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว (Displacement) ของโครงสร้างเครื่องชักผ้าฯ ต้นแบบได้จัดแสดงไว้ในภาพที่ 69 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดของโครงสร้างเครื่องชักผ้าฯ ต้นแบบนั้น เกิดขึ้นตรงบริเวณฐานรองรับตัวมอเตอร์ 3 เฟส โดยมีระยะการเคลื่อนตัวเท่ากับ 0.122 mm และบริเวณที่รองรับแกนเพลลาของถังชักทั้งสองด้าน มีค่าระยะการเคลื่อนตัวลดต่ำลงมาดังนี้ 0.0602 mm และ 0.0511 mm ตามลำดับ ซึ่งถือได้ว่ามีค่าระยะการเคลื่อนตัวที่น้อยมาก จึงเป็นผลดีต่อการออกแบบโครงสร้างเครื่องชักผ้าฯ ต้นแบบ



ภาพที่ 69 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว (Displacement) ของโครงสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

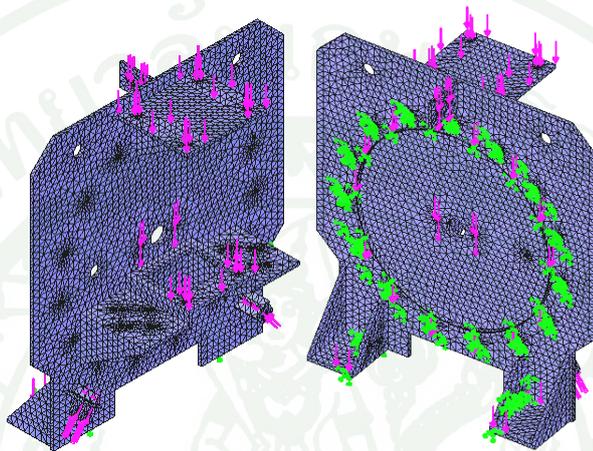
ผลการวิเคราะห์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบได้จัดแสดงไว้ในภาพที่ 70 โดยค่าความปลอดภัยของโครงสร้างเครื่องชักผ้าต้นแบบที่สามารถตรวจสอบความปลอดภัยในการออกแบบ (Design Check) มีค่าความปลอดภัยน้อยที่สุดเกิดขึ้นที่บริเวณฐานรองรับมอเตอร์ โดยมีค่าเท่ากับ 13.13 (ค่าความปลอดภัย, N สามารถคำนวณได้จากค่าความต้านแรงคราก (Yield Strength), σ_y ของวัสดุนั้น ๆ หากด้วยความเค้นที่เกิดขึ้นจริงในชิ้นงาน โดยค่าความปลอดภัยต้องมีค่ามากกว่า 1 เสมอ) ส่วนบริเวณที่รองรับแกนเพลลาของถังชักทั้งสองด้านมีค่าความปลอดภัยไม่ต่ำกว่า 22.91 แสดงให้เห็นว่ามีค่าความปลอดภัยที่สูงมาก ซึ่งเหมาะสมต่อการออกแบบเครื่องจักรกลในกรณีดังกล่าว



ภาพที่ 70 แสดงผลการวิเคราะห์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

2) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังทั้ง 2 ด้าน

ก) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R) ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวานั้น จะทำการวิเคราะห์โดยทำการกำหนดจุดยึดบริเวณที่ยึดคานเหล็กด้านล่าง, บริเวณที่ยึดติดกับตัวถังด้านนอก และบริเวณที่ติดตั้งถังลม โดยมีแรงกระทำต่อแผ่นเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 71



ภาพที่ 71 แสดงภาพผังวัตถุอิสระของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)

Material Properties			
Material name:	SS400		
Description:	JIS G3101, ASTM A284 steel, grade D		
Material Source:	www.matweb.com		
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic		
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress		
Application Data:			
Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.26	NA	Constant
Shear modulus	8e+010	N/m ²	Constant
Mass density	7850	kg/m ³	Constant
Tensile strength	4.15e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.3e+008	N/m ²	Constant

ภาพที่ 72 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)

Mesh Information	
Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	25 mm
Tolerance:	1.25 mm
Quality:	High
Number of elements:	26440
Number of nodes:	53332
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:36
Computer name:	NHZG_XX

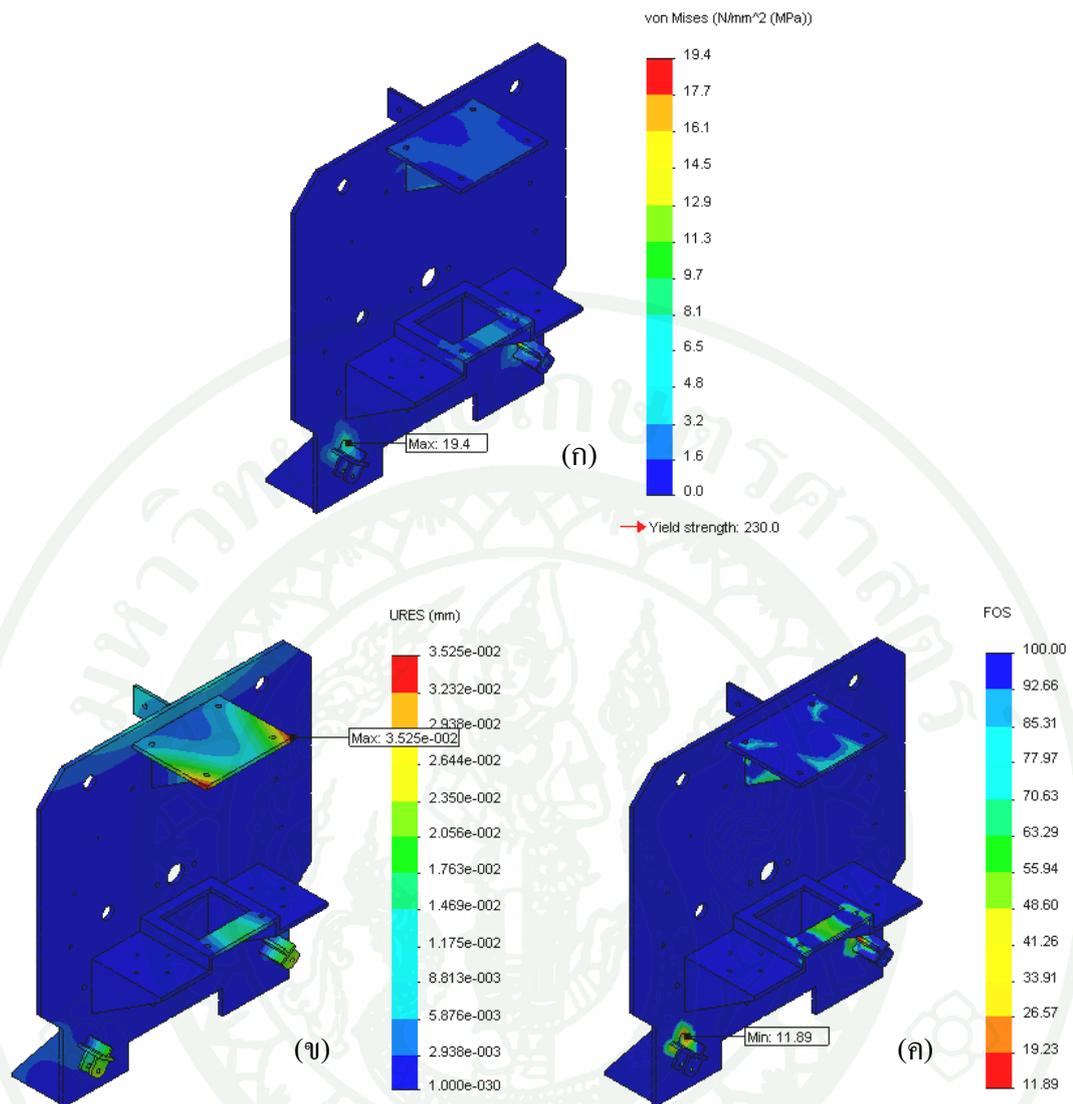
Study Results					
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	0.000187242 N/mm ² (MPa) Node: 49283	(-15 mm, 559.03 mm, 417.805 mm)	19.3518 N/mm ² (MPa) Node: 47464	(11.2474 mm, 199.976 mm, 344.289 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 141	(-15 mm, 931.688 mm, -191.5 mm)	0.0352537 mm Node: 3438	(300.006 mm, 1149.97 mm, -175.002 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	1.3363e-009 Element: 17231	(-11.25 mm, 561.184 mm, 417.023 mm)	5.78252e-005 Element: 24017	(-0.266498 mm, 204.899 mm, 346.257 mm)

ภาพที่ 72 (ต่อ)

การกระจายความเค้นภายในแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวามีค่าสูงสุดอยู่ตรงบริเวณหูยึด โช๊ค โดยมีค่าความเค้น Von Mises มากที่สุดเท่ากับ 19.4 MPa แต่มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านแรงคราก (Yield Strength), σ_y ของวัสดุ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 230 N/mm^2 ดังนั้นจึงไม่ทำให้แผ่นเหล็กดังกล่าวเกิดความเสียหายทางกล ดังแสดงในภาพที่ 73 (ก)

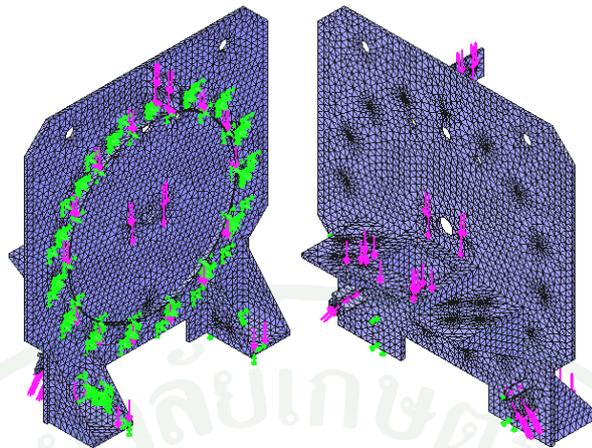
ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา ได้จัดแสดงไว้ในภาพที่ 73 (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวามีค่าเท่ากับ 0.0353 mm ซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณฐานรองรับมอเตอร์ 3 เฟส แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลง รูปของแผ่นเหล็กดังกล่าวนั้นมีน้อยมาก

ผลการวิเคราะห์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวาได้จัดแสดงไว้ใน ภาพที่ 73 (ค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความปลอดภัยน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นในแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวามีค่าเท่ากับ 11.89 ตรงบริเวณหูยึด โช๊ค ส่วนบริเวณฐานรองรับมอเตอร์ และบริเวณที่รองรับแกนเพลลาของถังซัก ก็จะมีค่าความปลอดภัยที่เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งมีค่าความปลอดภัยที่ค่อนข้างสูง เพื่อให้ทนต่อความล้าอันเนื่องมาจากแรงที่กระทำซ้ำไปซ้ำมาอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 73 ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)
 (ก) แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (ข) แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว (ค) แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)

ข) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L) ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้ายนั้น ทำการพิจารณากำหนดจุดยึดให้เหมือนกับแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวาดังนี้คือ บริเวณที่ยึดคานเหล็กด้านล่าง, บริเวณที่ยึดติดกับตัวถังด้านนอก และบริเวณที่ติดตั้งถุงลม ส่วนแรงที่มากกระทำต่อแผ่นเหล็กจะมีขนาดที่น้อยกว่าแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา โดยแสดงลักษณะของแรงที่มากกระทำดังแสดงในภาพที่ 74



ภาพที่ 74 แสดงภาพผังวัตถุอิสระของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)

Material Properties			
Material name:	SS400		
Description:	JIS G3101, ASTM A284 steel, grade D		
Material Source:	www.matweb.com		
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic		
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress		
Application Data:			
Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.26	NA	Constant
Shear modulus	8e+010	N/m ²	Constant
Mass density	7850	kg/m ³	Constant
Tensile strength	4.15e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.3e+008	N/m ²	Constant

Mesh Information	
Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	25 mm
Tolerance:	1.25 mm
Quality:	High
Number of elements:	24527
Number of nodes:	49476
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:33
Computer name:	NHZG_XX

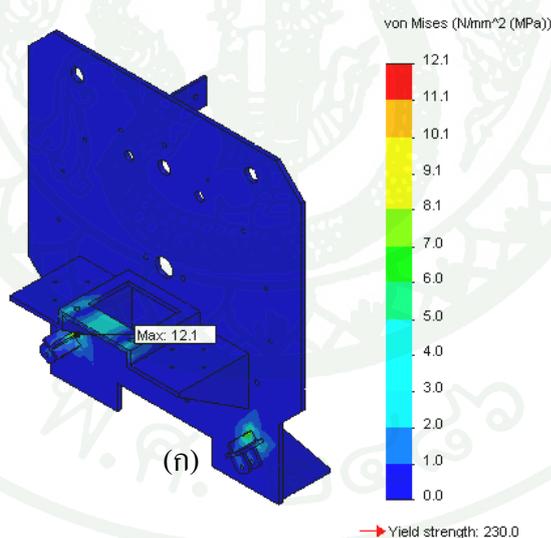
Study Results					
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	0.000163971 N/mm ² (MPa) Node: 30490	(7.5002 mm, 1150 mm, -475.125 mm)	12.0769 N/mm ² (MPa) Node: 40829	(-11.2484 mm, 199.975 mm, -344.29 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 144	(15 mm, 268.312 mm, -191.5 mm)	0.0168768 mm Node: 7989	(-80.0118 mm, 126.671 mm, -413.928 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	6.10382e-010 Element: 14581	(13.5189 mm, 739.867 mm, -416.417 mm)	3.61773e-005 Element: 22574	(3.72213 mm, 208.015 mm, -343.553 mm)

ภาพที่ 75 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)

การกระจายความเค้นภายในแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L) มีค่าสูงสุดอยู่ตรงบริเวณรูยึด โช๊ค โดยมีค่าความเค้น Von Mises มากที่สุดเท่ากับ 12.1 MPa แต่มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านแรงคราก (Yield Strength), σ_y ของวัสดุซึ่งมีค่าเท่ากับ 230 N/mm^2 ดังนั้นจึงไม่ทำให้แผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกดังกล่าวเกิดความเสียหายทางกล ดังแสดงในภาพที่ 76 (ก)

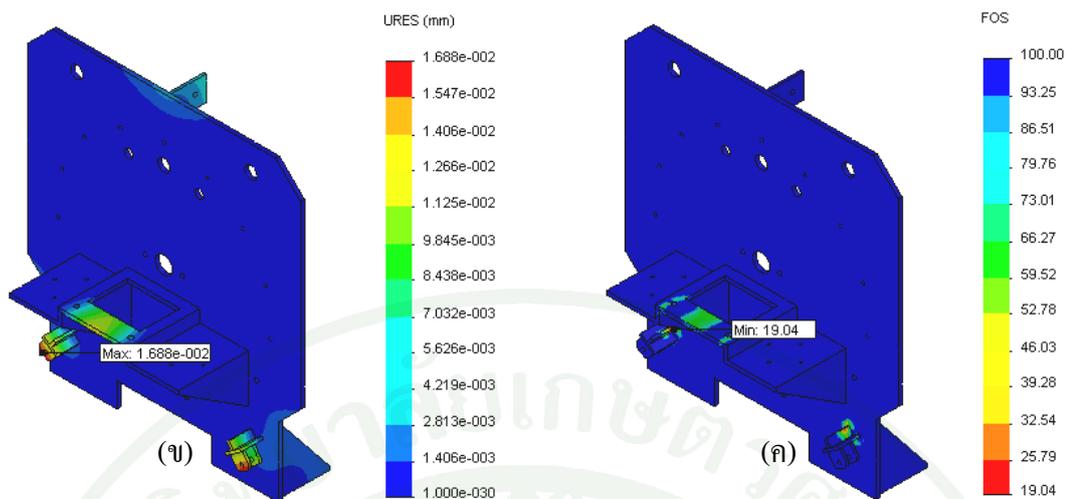
ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้ายมีค่าเท่ากับ 0.0169 mm ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณรูยึด โช๊ค แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นเหล็กเมื่อมีแรงสถิตมากระทำมีผลน้อยมาก ดังแสดงในภาพที่ 76 (ข) ส่วนบริเวณอื่น ๆ นั้นจะมีค่าของระยะการเคลื่อนตัวค่อนข้างสม่ำเสมอและน้อยมากเช่นกัน

ค่าความปลอดภัยของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้ายสามารถตรวจสอบความปลอดภัยในการออกแบบโดยพบว่ามีค่าความปลอดภัยน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นในแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้ายมีค่าเท่ากับ 19.04 ดังแสดงในภาพที่ 76 (ค) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความปลอดภัยเพียงพอต่อการออกแบบ



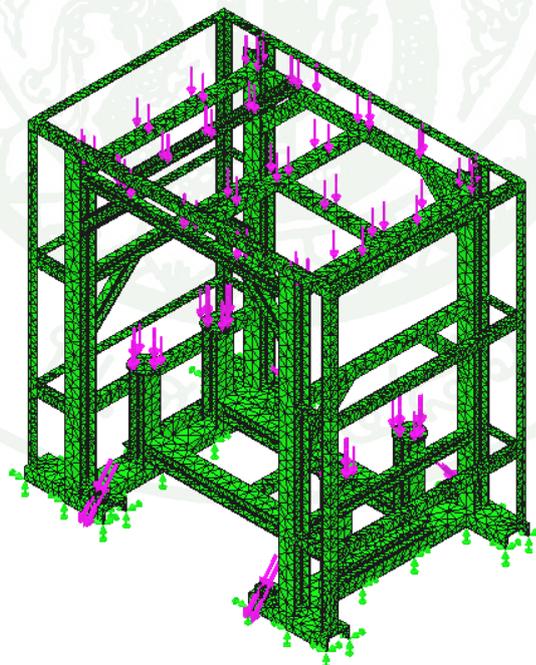
ภาพที่ 76 ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)

(ก) แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (ข) แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว (ค) แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)



ภาพที่ 76 (ต่อ)

3) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่องพร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ทำการกำหนดจุดยึดบริเวณด้านล่างของฐาน โดยมีแรงกระทำต่อโครงสร้างฐาน ดังแสดงในภาพที่ 77



ภาพที่ 77 แสดงภาพผังวัตถุอิสระของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่องพร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

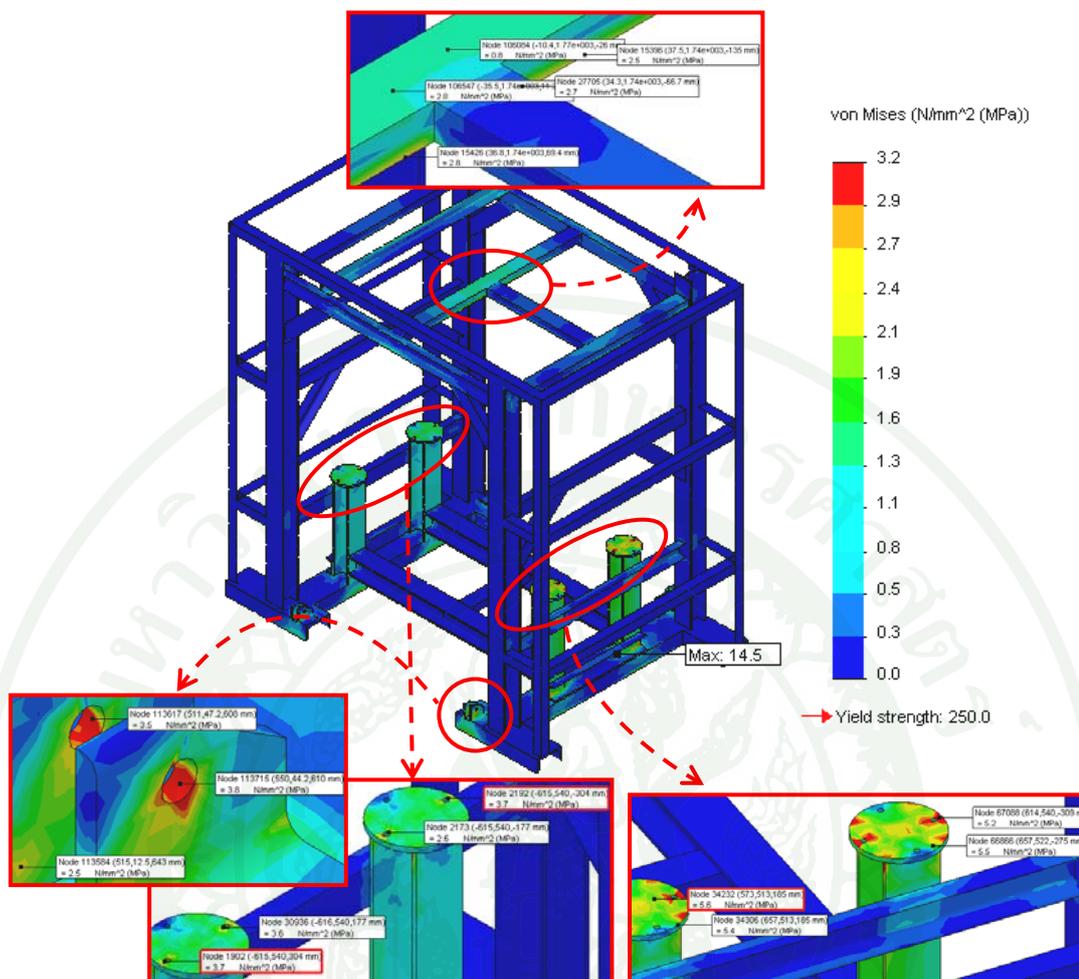
Material Properties			
Material name:	JIG G3192		
Description:			
Material Source:			
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic		
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress		
Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	2e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.26	NA	Constant
Shear modulus	7.93e+010	N/m ²	Constant
Mass density	7850	kg/m ³	Constant
Tensile strength	4e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.5e+008	N/m ²	Constant

Mesh Information	
Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	0 mm
Tolerance:	0 mm
Quality:	High
Number of elements:	85115
Number of nodes:	176591
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:01:11
Computer name:	NHZG_XX

Study Results					
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	2.25301e-005 N/mm ² (MPa) Node: 130589	(960.956 mm, 1172.02 mm, 79.0198 mm)	14.5026 N/mm ² (MPa) Node: 35278	(565.646 mm, -75 mm, -234.375 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 165	(-715 mm, -75 mm, -500 mm)	0.0663109 mm Node: 106674	(-37.4987 mm, 1754.93 mm, 5.12586e-005 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	8.98526e-011 Element: 4810	(970.723 mm, 1171.33 mm, 36.3398 mm)	3.06345e-005 Element: 19526	(566.746 mm, -74.7837 mm, -236.402 mm)

ภาพที่ 78 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

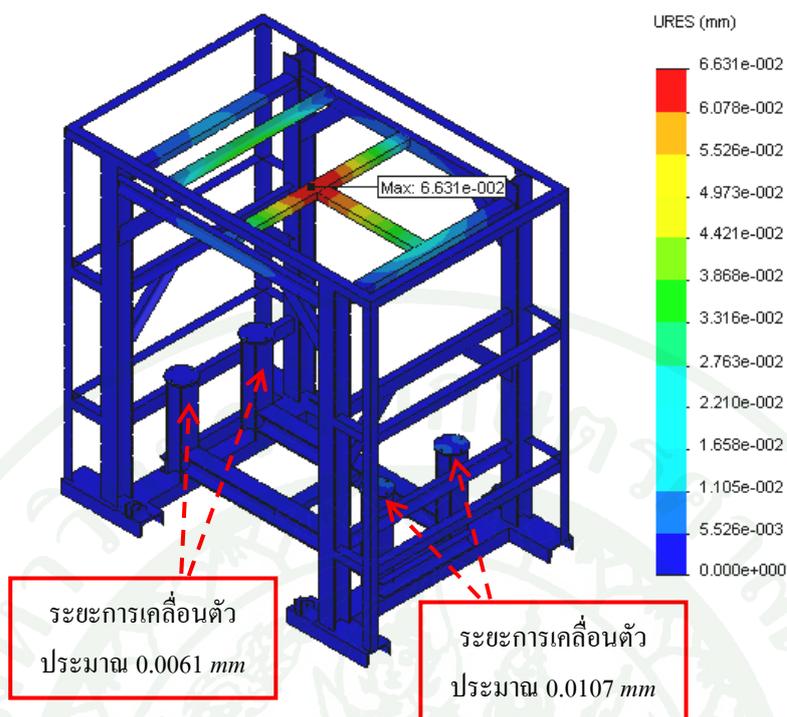
การกระจายความเค้นภายในโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่องพร้อมกับฐานเครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 79 จะเห็นได้ว่าการกระจายความเค้น Von Mises ที่มีค่ามากที่สุดอยู่ตรงบริเวณฐานรองรับตัวเครื่องด้านขวา โดยบริเวณดังกล่าวมีค่าความเค้น Von Mises เท่ากับ 14.5 MPa ส่วนเสาทั้ง 4 ต้น ที่มีหน้าที่รองรับน้ำหนักตัวเครื่องซักผ้า นั้น มีการกระจายตัวของความเค้น Von Mises ที่มีค่าเท่ากับ 5.6 MPa และ 3.7 MPa ตามลำดับ โดยเสาทางด้านขวาจะมีค่าความเค้น Von Mises สูงกว่าอีกด้าน และค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่บริเวณหุ้ยดโซ้คทั้ง 4 ด้าน มีค่าเท่ากับ 3.8 MPa ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความเค้นที่ได้จากผลการวิเคราะห์นั้น ล้วนแล้วแต่มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านแรงคราก, σ_y ของวัสดุ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 250 N/mm² ทั้งสิ้น



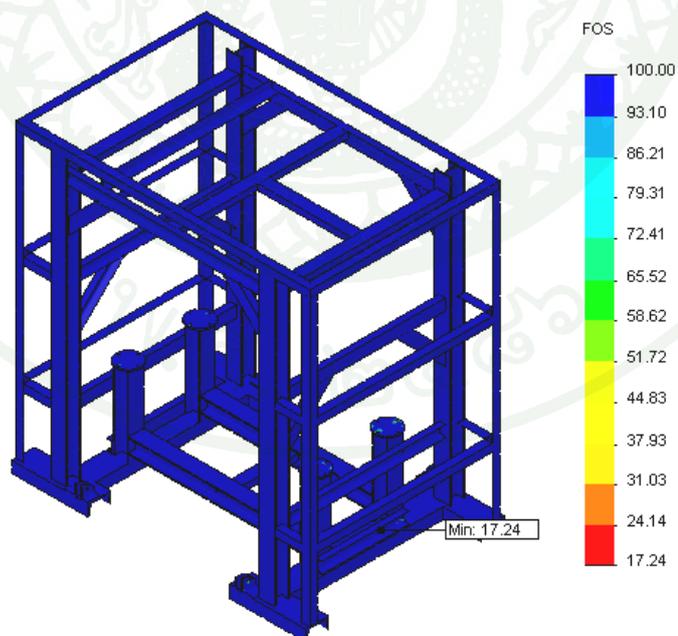
ภาพที่ 79 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นของ โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดของ โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่องพร้อมกับฐานเครื่องซักผ้า ต้นแบบ มีค่าเท่ากับ 0.663 mm ดังภาพที่ 80 ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณด้านบนของโครงเหล็ก ส่วนเสาทั้ง 4 ต้น ที่รองรับตัวเครื่องซักผ้า มีระยะเคลื่อนตัวที่น้อยมากเท่ากับ 0.0107 mm และ 0.0061 mm จึงแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนรูปโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่องพร้อมกับฐานเครื่องซักผ้า ต้นแบบ เมื่อมีแรงสถิตมากระทำมีน้อยมาก

ค่าความปลอดภัย โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่องพร้อมกับฐานเครื่องซักผ้า ต้นแบบ ที่มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 17.24 ส่วนบริเวณที่รองรับน้ำหนักตัวเครื่องนั้นจะแสดงผลเป็นสีน้ำเงินและสีฟ้าเป็นส่วนใหญ่ หมายความว่ามีความปลอดภัยที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 81 แสดงในภาพที่ 81

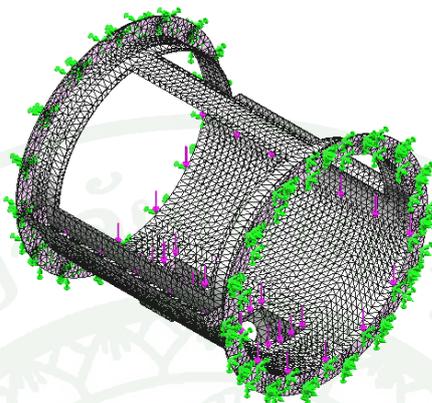


ภาพที่ 80 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง
พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ



ภาพที่ 81 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของโครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง
พร้อมกับฐานเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

4) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังด้านนอก ทำการกำหนดจุดยึดบริเวณด้านข้างของตัวถังนอก โดยมีแรงกระทำต่อโครงสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 82



ภาพที่ 82 แสดงภาพผังวัตถุอิสระของตัวถังด้านนอก

Material Properties			
Material name:	AISI 304		
Description:			
Material Source:			
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic		
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress		
Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	1.9e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.29	NA	Constant
Shear modulus	7.5e+010	N/m ²	Constant
Mass density	8000	kg/m ³	Constant
Tensile strength	5.1702e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.0681e+008	N/m ²	Constant
Thermal expansion coefficient	1.8e-005	/Kelvin	Constant
Thermal conductivity	16	W/(m.K)	Constant
Specific heat	500	J/(kg.K)	Constant

Mesh Information	
Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	24 mm
Tolerance:	1.2 mm
Quality:	High
Number of elements:	29022
Number of nodes:	60376
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:55
Computer name:	NHZG_XX

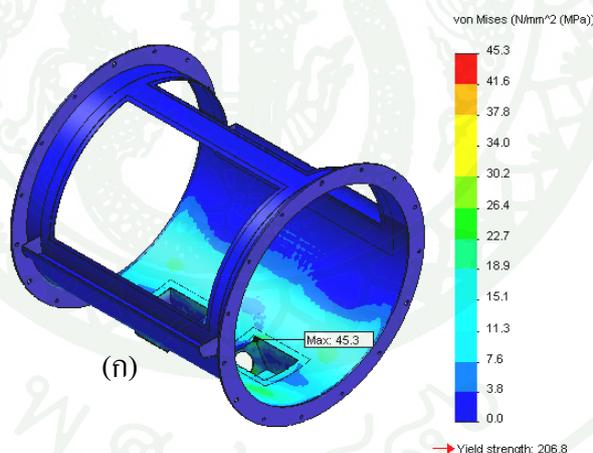
Study Results					
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	4.08344e-006 N/mm ² (MPa) Node: 22844	(457 mm, 430 mm, -31.7573 mm)	45.3322 N/mm ² (MPa) Node: 11891	(87.7933 mm, -389.333 mm, -77.0041 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 5	(157 mm, 422.639 mm, 4.25 mm)	0.277895 mm Node: 9903	(190.047 mm, -477.535 mm, 5.64207 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	2.04893e-011 Element: 18699	(452.237 mm, 341.55 mm, 247.537 mm)	0.000138153 Element: 9970	(92.0878 mm, -450.081 mm, -76.7559 mm)

ภาพที่ 83 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังด้านนอก

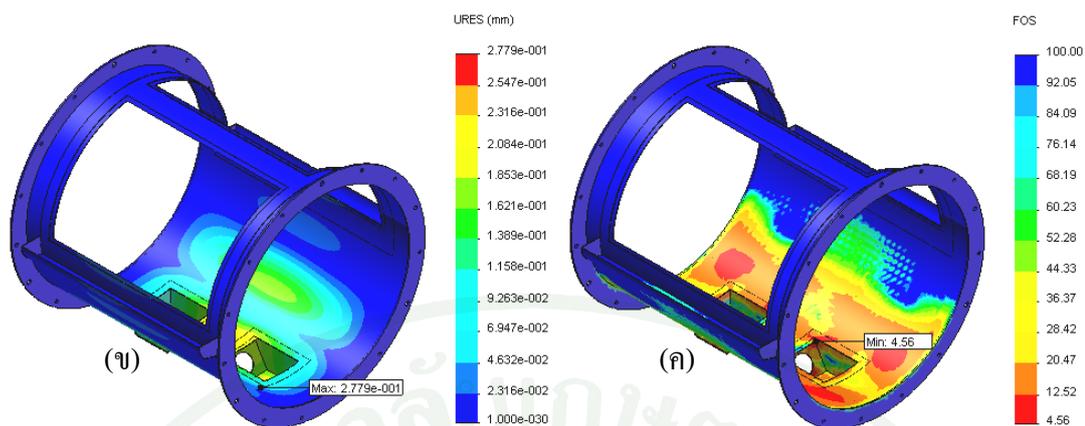
การกระจายของความเค้นภายในตัวถังด้านนอกดังแสดงในภาพที่ 84 (ก) จะเห็นได้ว่าการกระจายของความเค้น Von Mises มีค่ามากที่สุดตรงบริเวณด้านล่างของตัวถัง เพราะเนื่องจากแรงกระทำของน้ำที่ใช้ในการซักผ้า โดยบริเวณดังกล่าวมีค่าความเค้น Von Mises เท่ากับ 45.3 MPa แต่อย่างไรก็ตามยังมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านแรงคราก, σ_y ของวัสดุที่ใช้ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีค่าความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 206.807 N/mm^2 ดังนั้นจึงไม่ทำให้ตัวถังดังกล่าวเกิดความเสียหายทางกล

ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดของตัวถังด้านนอกมีค่าเท่ากับ 0.278 mm ดังแสดงในภาพที่ 84 (ข) ถือว่ามีค่าน้อย แสดงว่าเมื่อมีแรงสถิตมากระทำต่อตัวถัง การเปลี่ยนรูปของตัวถังด้านนอกมีค่าน้อยมาก

ค่าความปลอดภัยของตัวถังด้านนอกสามารถตรวจสอบความปลอดภัยในการออกแบบ ซึ่งพบว่ามีความปลอดภัยน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นในตัวถังด้านนอกมีค่าเท่ากับ 4.56 ดังแสดงในภาพที่ 84 (ค) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความปลอดภัยเพียงพอ

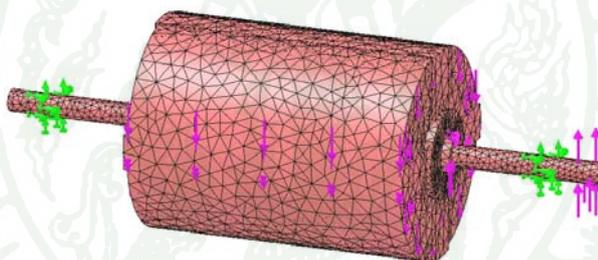


ภาพที่ 84 ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังด้านนอก (ก) แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (ข) แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว (ค) แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)



ภาพที่ 84 (ต่อ)

5) ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของถังซั๊ก ทำการกำหนดจุดยึดบริเวณจุดหมุนของแกนเพลาทิ้งสองด้าน โดยมีแรงกระทำต่อ โครงสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 85



ภาพที่ 85 แสดงภาพผังวัตถุอิสระของถังซั๊ก

Material Properties			
Material name:	AISI 304		
Description:			
Material Source:			
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic		
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress		
Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	1.9e+011	N/m ²	Constant
Poisson's ratio	0.29	NA	Constant
Shear modulus	7.5e+010	N/m ²	Constant
Mass density	8000	kg/m ³	Constant
Tensile strength	5.1702e+008	N/m ²	Constant
Yield strength	2.0681e+008	N/m ²	Constant
Thermal expansion coefficient	1.8e-005	/Kelvin	Constant
Thermal conductivity	16	W/(m.K)	Constant
Specific heat	500	J/(kg.K)	Constant

ภาพที่ 86 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังซั๊ก

Mesh Information	
Mesh Type:	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	20 mm
Tolerance:	1 mm
Quality:	High
Number of elements:	95367
Number of nodes:	176342
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:01:18
Computer name:	NHZG_XX

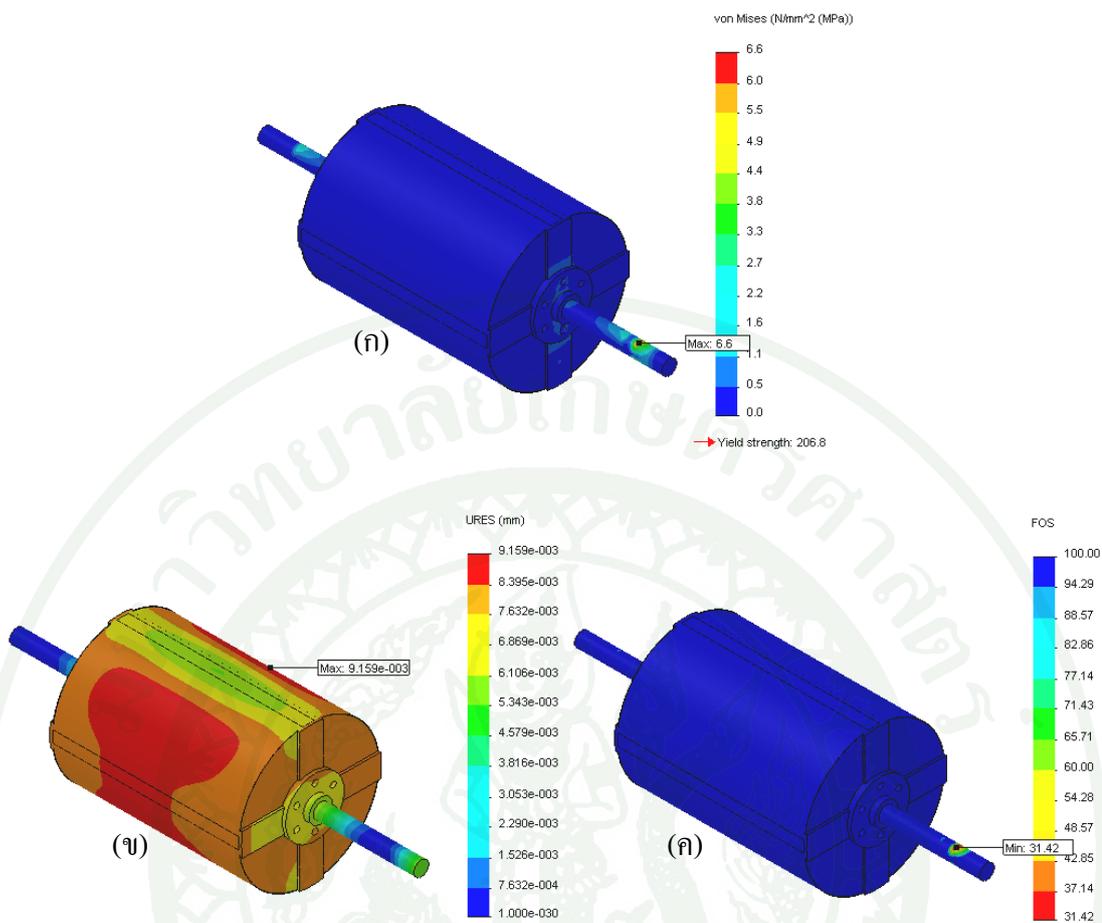
Study Results					
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	2.46301e-007 N/mm ² (MPa) Node: 39472	(-850 mm, -19.1674 mm, 6.0087 mm)	6.582 N/mm ² (MPa) Node: 35472	(753.75 mm, 31.3601 mm, 4.96187 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 193	(-745 mm, 7.59827 mm, 30.8274 mm)	0.0091586 mm Node: 38587	(8.69802 mm, 202.658 mm, -221.192 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	1.2358e-012 Element: 90267	(-846.313 mm, -20.8545 mm, 6.25886 mm)	2.47084e-005 Element: 28481	(751.624 mm, -27.5622 mm, -3.72348 mm)

ภาพที่ 86 (ต่อ)

การกระจายของความเค้นภายในถังแสดงในภาพที่ 87 (ก) จะเห็นได้ว่า การกระจายของความเค้น Von Mises ที่มีค่ามากจะอยู่ตรงบริเวณด้านข้างของเพลาทิ้งสองด้าน โดยบริเวณดังกล่าวมีค่าความเค้น Von Mises มากที่สุดเท่ากับ 6.6 MPa แต่มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านแรงคราก, σ_y ของวัสดุที่ใช้ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีค่าความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 206.807 N/mm^2 จึงไม่ทำให้ถังดังกล่าวเกิดความเสียหายทางกล

ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดของถัง มีค่าเท่ากับ 0.0092 mm ดังแสดงในภาพที่ 87 (ข) ถือว่ามีค่าน้อยมาก แสดงว่าการเปลี่ยนรูปของถังเมื่อมีแรงสถิต และ โมเมนต์บิดมากระทำมีค่าน้อยมาก

ค่าความปลอดภัยของถังสามารถตรวจสอบความปลอดภัยในการออกแบบพบว่ามีค่าความปลอดภัยน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นในถังมีค่าเท่ากับ 31.42 ดังแสดงในภาพที่ 87 (ค) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความปลอดภัยเพียงพอ



ภาพที่ 87 ลักษณะผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวถังชัก (ก) แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น (ข) แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนตัว (ค) แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)

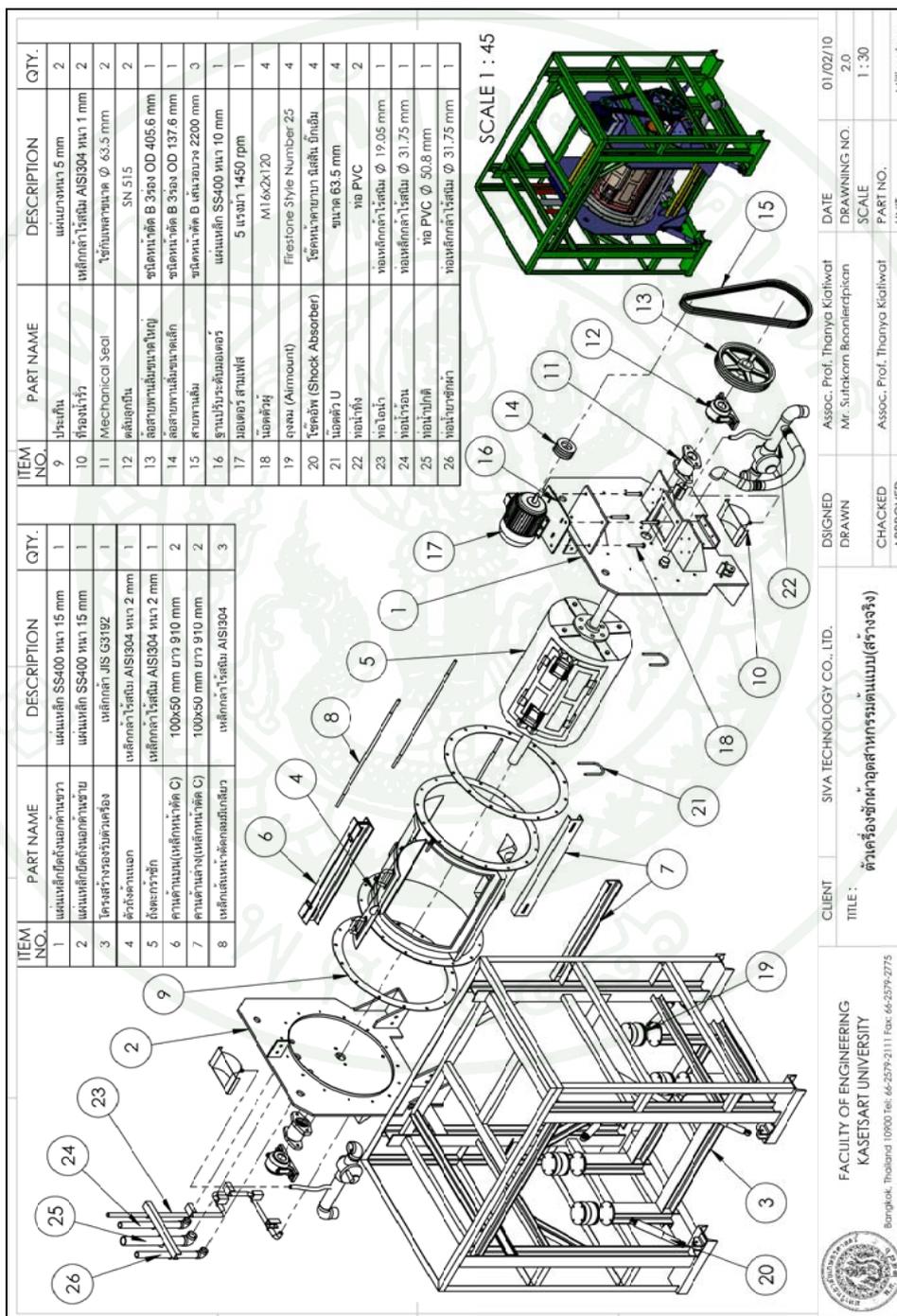
ตารางที่ 1 สรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วิเคราะห์ความแข็งแรง	วัสดุ	ค่าความต้านแรงคราก (MPa)	ค่าความเค้น Von Mises สูงสุด (MPa)	ระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด (mm)	ค่าความปลอดภัยต่ำสุด
โครงสร้างเครื่องฯ	3 ชนิดหลัก*	206.807 - 250	17.5	0.1220	13.13
Plate-R	SS400	230	19.4	0.0353	11.89
Plate-L	SS400	230	12.1	0.0169	19.04
โครงสร้างปิดบังฯ พร้อมฐานเครื่อง	JIS G3192	250	14.5	0.6630	17.24
ตัวถังด้านนอก	AISI 304	206.807	45.3	0.2780	4.56
ถังซัก	AISI 304	206.807	6.6	0.0092	31.42

หมายเหตุ * โครงสร้างของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ประกอบด้วยวัสดุ 3 ชนิดหลักที่สำคัญ ดังนี้ JIS G3192, SS400 และ AISI 304 โดยมีค่าความต้านแรงคราก (Yield Strength) ของวัสดุเรียงตามลำดับ คือ 250 MPa, 230 MPa และ 206.807 MPa

จากตารางสรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ โดยพิจารณาแรงที่กระทำเป็นแบบสถิต (Static Loading) จะเห็นได้ว่าค่าเคลื่อนตัวสูงสุด (Maximum Displacement) ของโครงสร้างเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ และชิ้นส่วนประกอบหลัก ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ มีค่าที่น้อยมาก ซึ่งเป็นผลดีต่อการออกแบบ กล่าวคือเมื่อเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบมีแรงมากระทำก็จะส่งผลให้โครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพียงเล็กน้อย หรือแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเลย และเมื่อพิจารณาถึงค่าความปลอดภัยทั้งหมดจะเห็นได้ว่าค่าความปลอดภัยต่ำสุด มีค่าค่อนข้างสูง เพราะในการออกแบบเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบนี้ ต้องคำนึงถึงการทำงานในสภาวะที่มีการเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอยู่ตลอด โดยมีแรงกระทำต่อโครงสร้างและชิ้นส่วนประกอบแบบซ้ำไป ซ้ำมา (Repeated Load) ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความล้าได้ ดังนั้นค่าความปลอดภัยที่ค่อนข้างสูงจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบเพื่อให้ความทนทานต่อแรงที่กระทำดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

หลังจากได้ทำการออกแบบเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ และทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างและชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ แล้ว ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการทบทวนแบบและจัดทำแบบพิมพ์เขียว (Mechanical Drawings) ในขั้นสุดท้าย ทั้งนี้ภาพรวมของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบสามารถจัดแสดงไว้ในภาพที่ 88 และมีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข



ภาพที่ 88 ภาพรวมของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั้นหยาในตัว

3. ผลการสร้างตัวเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

เนื่องจากการสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบนั้น จะต้องทำการสร้างเพื่อทำการทดสอบการทำงานของเครื่องว่ามีจุดบกพร่องตรงไหนบ้าง จะได้มีการปรับปรุงแก้ไขส่วนที่มีปัญหาก่อนการสร้างเพื่อจำหน่ายจริง หรือ ก่อนการสร้างเพื่อการใช้งานอย่างเต็มรูปแบบ ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ร่วมปรึกษาหารือกับผู้ประกอบการ และช่างประจำโรงงานเพื่อพิจารณาการสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องชักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ จะเลือกใช้วัสดุที่เหมือนกับการสร้างเครื่องชักผ้าฯ แบบเดิม จะต่างตรงที่มีจำนวนวัสดุที่มากขึ้น เพื่อการเสริมความแข็งแรงของเครื่อง เพราะเนื่องจากเครื่องชักผ้าฯ ต้นแบบ มีลักษณะการทำงานหลากหลายความถี่ของการสั่นสะเทือน และมีแรงที่ไม่คงที่กระทำต่อโครงสร้างอยู่ตลอด วัสดุหลักที่เลือกใช้ในการสร้างเครื่องชักผ้าฯ ต้นแบบ ประกอบไปด้วยเหล็กกล้า 3 ประเภท ดังนี้

1) แผ่นเหล็กเหล็กกล้า SS400 มีค่าความต้านแรงดึงคราก (Yield Strength) เท่ากับ 230 N/mm^2 และมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เท่ากับ 415 N/mm^2 ใช้ทำแผ่นยึดตัวถังด้านข้าง และฐานรองรับมอเตอร์

2) เหล็กกล้า JIS G3192 มีค่าความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 250 N/mm^2 และมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 400 N/mm^2 ใช้ทำคานเหล็กยึด โครงสร้างตัวเครื่องชักผ้าฯ โครงสร้างฐานเครื่อง และโครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง

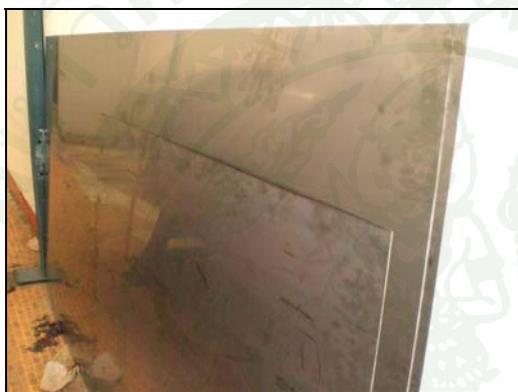
3) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 มีค่าความต้านแรงดึงครากเท่ากับ 206.807 N/mm^2 และมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 517.017 N/mm^2 ใช้ทำถังชัก ตัวถังนอก ฝาเปิดปิดทั้ง 2 บาน และเหล็กกล้าไร้สนิมหน้าตัดกลมยึดแผ่นเหล็กด้านข้างทั้งสองด้าน



แผ่นเหล็กกล้าที่ใช้ทำแผ่นยึดตัวถังด้านข้าง



เหล็กที่ใช้ทำฐานเครื่องซักผ้าฯ และ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง



เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ชนิดแผ่น, ชนิดหน้าตัดกลม และชนิดแบน



ภาพที่ 89 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ



มอเตอร์ไฟฟ้ามีตลับขี 5 hp มีเบรคด้านหลัง

เพลาลูกเหล็กกล้าไร้สนิมของถังซัก
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 mm หรือ 2.5 นิ้ว

ภาพที่ 90 ชิ้นส่วนประกอบสำคัญบางชิ้นที่จะต้องสั่งทำและสั่งซื้อ



MECHANICAL SEAL



ตลับดุกปืน SN 515



ล้อสายพานลิ่มแบบชันสกรูล็อก
(TAPER PULLEY) OD = 405.6 mm



โช้คอัพ (Shock Absorber) ดูกซับแรงสั่นสะเทือน



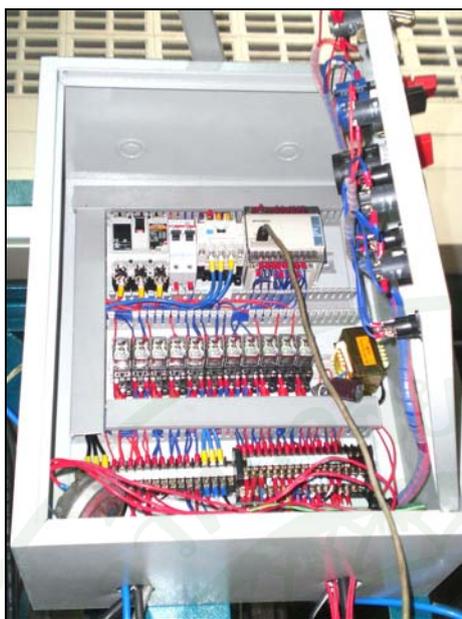
ดุกลม (Air Mount) รองรับน้ำหนัก



AIR FILTER และ AIR REGULATOR

ควบคุมแรงดันลมของดุกลม

ภาพที่ 90 (ต่อ)



อุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้า (PLC)



HITACHI Inverter SJ200 Series

ภาพที่ 90 (ต่อ)

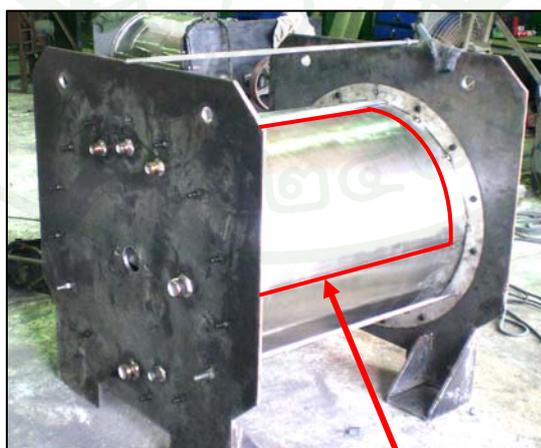
3.2 การสร้างเครื่องจักรอุตสาหกรรมต้นแบบ กระบวนการสร้างเครื่องจักรอุตสาหกรรมต้นแบบ เริ่มจากการสร้างชิ้นส่วนประกอบสำคัญเป็นส่วน ๆ แล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยเริ่มจากการสร้าง แผ่นเหล็กยึดตัวถังด้านนอกทั้ง 2 ด้านก่อน แล้วจึงสร้างตัวถังด้านนอก ต่อจากนั้นก็ทำการสร้างถังชัก สร้างฐานเครื่องชัก พร้อมกับการสร้างโครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง แล้วนำชิ้นส่วนปลีกย่อย, กลไกขับเคลื่อนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเข้ามาติดตั้งกับตัวเครื่อง โดยรายละเอียดการสร้างชิ้นส่วนประกอบสำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

3.2.1 การสร้างแผ่นเหล็กยึดตัวถังด้านนอกทั้ง 2 ด้าน เริ่มจากการนำแผ่นเหล็กกล้า ความหนา 15 mm มาตัดให้เป็นรูปทรงที่กำหนดไว้ตามแบบ หลังจากนั้นก็เริ่มทำส่วนประกอบปลีกย่อยตามบริเวณต่าง ๆ ดังนี้ บริเวณที่รองรับแกนเพลลาของถังชัก, บริเวณรองรับตุ้มลมเพื่อรับน้ำหนักตัวเครื่อง, บริเวณติดตั้งโซ่คอปเพื่อดูดซับแรงสั่นสะเทือน, บริเวณที่ยึดคานด้านล่าง, บริเวณที่ยึดคานด้านบน ส่วนฐานรองรับมอเตอร์ที่จะติดตั้งบริเวณด้านบนของแผ่นเหล็กด้านขวานั้นจะนำมาเชื่อมประกอบเข้าภายหลังจากการประกอบตัวเครื่องหลักเสร็จแล้ว โดยสัดส่วนและขนาดของแผ่นเหล็กด้านซ้ายและขวาจะมีขนาดที่เท่ากัน



ภาพที่ 91 แผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา และด้านซ้าย

3.2.2 การสร้างตัวถังด้านนอก นำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 3ฟุต×8ฟุต ความหนา 2 mm มาม้วนเป็นทรงกระบอก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 770 mm แล้วทำการประกอบเข้ากับแผ่นเหล็กยึดตัวถังทั้ง 2 ด้าน เพื่อทำการตัดเหล็กกล้าไร้สนิมออกเป็นช่องหน้าหลัง โดยมีขนาดความกว้างเท่ากับ 670 mm สำหรับทำเป็นช่องทางนำฟ้าเข้า-ออก ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมที่ถูกตัดออกไปก็นำมาทำเป็นฝาเปิดปิดตัวถังด้านนอก แล้วเชื่อมเพื่อเก็บรายละเอียดอีกครั้ง



บริเวณที่ทำการตัดออกสำหรับทำเป็นช่องทางนำฟ้าเข้า-ออก

ภาพที่ 92 ตัวถังด้านนอกที่ประกอบเข้ากับแผ่นเหล็กยึดทั้ง 2 ด้าน

3.2.3 การสร้างถังซัก วัสดุที่ใช้ทำถังซัคนั้นเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ทั้งหมด โดยเริ่มจากการตัดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 10 mm ให้เป็นวงกลมขนาด $\varnothing = 600$ mm จำนวน 2 แผ่น เพื่อทำเป็นแผ่นประกบด้านข้างของถังซัก แล้วนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ทำการเจาะรู ขนาด $\varnothing = 6$ mm ทั่วทั้งแผ่น มาม้วนเป็นทรงกระบอกขนาด $\varnothing = 600$ mm ความยาวของถังเท่ากับ 800 mm เชื่อมประกบกับแผ่นวงกลมที่เตรียมไว้เพียงด้านเดียว แล้วนำปิกซัทผ้าทั้ง 4 ปีก มาเชื่อมประกอบติดเข้าไปภายในถังซัก ระยะเวลาติดตั้งปิกซัทต้องมีระยะห่างที่เท่ากันเพื่อความสมดุล และภายในปิกซัทนั้นจะมีแท่งเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ภายในเพื่อเสริมความแข็งแรงของถังซัก หลังจากนั้นก็นำแผ่นวงกลมมาเชื่อมประกอบปิดเข้าไปอีกด้าน ทำการตัดให้เป็นช่องบนถังซัก เพื่อทำเป็นช่องทางนำผ้าเข้าออก โดยมีความกว้างของช่องเท่ากับ 600 mm ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมที่ถูกตัดออกก็จะนำไปทำเป็นฝาของถังซัก ต่อจากนั้นก็ทำการติดตั้งเพลาทัง 2 ด้าน โดยเพลามีขนาด $\varnothing = 63.5$ mm หรือ 2.5 นิ้ว นำถังซักขึ้นแท่นเพื่อปรับความเที่ยงตรงของเพลา เมื่อเพลามีความเที่ยงตรงแล้วจึงเชื่อมประกอบอีกครั้ง นอกจากนี้จะต้องทำการถ่วงน้ำหนักถังซักเพื่อให้ถังซักหมุนรอบแกนเพลอย่างสมดุล

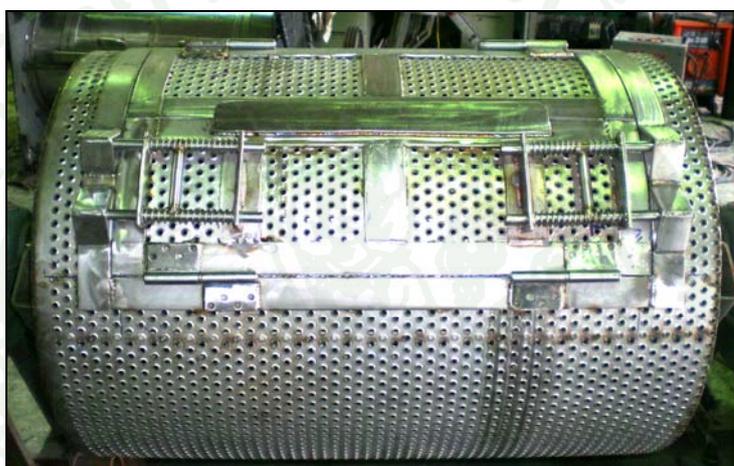


การปรับความเที่ยงตรงของเพลาดังซัก

ภาพที่ 93 ถังซักสำหรับเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ



การเชื่อมประกอบเพลาด้านซ้ายและขวา



ถังซักเมื่อติดตั้งฝาเปิดปิดอย่างสมบูรณ์



แสดงบริเวณที่ทำการถ่วงน้ำหนักถังซัก



ถังซักเมื่อสร้างเสร็จสมบูรณ์

ภาพที่ 93 (ต่อ)

เมื่อทำการสร้างถังเสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงนำถังดังกล่าวไปประกอบเข้ากับตัวถังด้านนอกที่มีแผ่นเหล็กยึดทั้ง 2 ด้านประกอบอยู่ แผ่นเหล็กยึดดังกล่าวจะต้องพ่นสีเพื่อป้องกันสนิมก่อนการประกอบ ตลับลูกปืน SN 515 จะเป็นตัวรองรับเพลาดังกล่าวทั้ง 2 ด้าน และมี Mechanical Seal เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำรั่วไหลออกจากตัวถังบริเวณรูเพลาด้านแผ่นเหล็กยึด ดังแสดงในภาพที่ 94

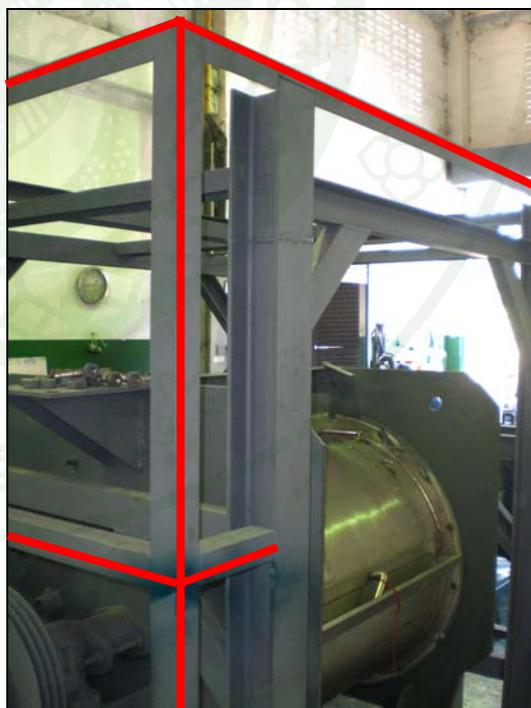


ภาพที่ 94 ถังซักเมื่อทำการประกอบเข้าไปยังภายในของตัวถังด้านนอก

3.2.4 การสร้างฐานรองรับ และ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง จะคำนึงถึงแรงกระทำอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนขณะทำงานของตัวเครื่อง โดยจะเริ่มเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเหล็กรูปพรรณที่ติดอยู่กับพื้นก่อน ต่อมาจึงทำการเชื่อมประกอบเสาทั้ง 4 ต้น เพื่อติดตั้งถุงลมและรองรับน้ำหนักของตัวเครื่อง หลังจากนั้นก็ทำการเชื่อมประกอบคานคู่ล่างเข้ากับเสาทั้ง 4 ต้น เมื่อสร้างฐานเครื่องเสร็จแล้ว จึงทำการสร้างโครงสร้างปิดบังตัวเครื่องต่อจากฐานเครื่อง โดยจะสร้างคร่อมตัวเครื่องหลัก ดังแสดงในภาพที่ 95 เมื่อทำโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการพ่นสีเพื่อป้องกันการเกิดสนิม



ภาพที่ 95 การสร้างฐานรองรับและโครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง

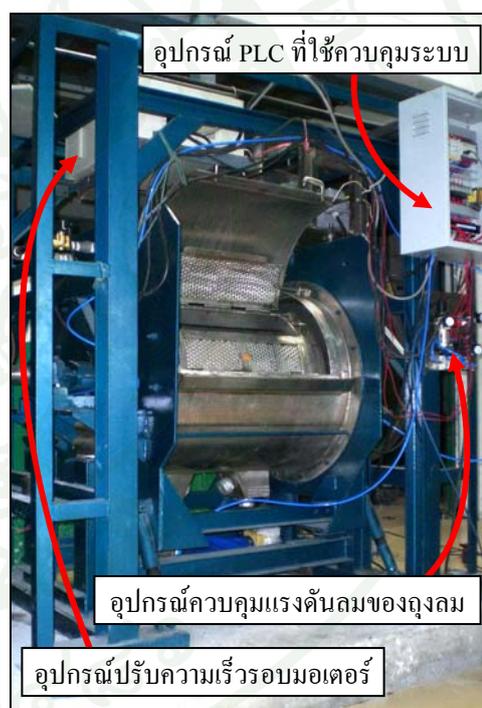


ภาพที่ 96 แสดงโครงสร้างเพิ่มเติมรอบนอกที่ทำการเชื่อมประกอบ

3.2.5 การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ เมื่อทำการสร้างฐานรองรับตัวเครื่องจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงทำการเคลื่อนย้ายตัวเครื่องไปติดตั้งยังแท่นปูน ดังแสดงในภาพที่ 97 (ก) หลังจากนั้นก็ทำการติดตั้งมอเตอร์ต้นกำลัง 5 hp เข้ากับฐานรองรับ วางระบบท่อน้ำเข้า-ออก ติดตั้งระบบควบคุมแรงดันลมเพื่อให้ถุงลมทั้ง 4 ลูกรับน้ำหนักตัวเครื่องซักผ้าฯ ได้อย่างเหมาะสม ติดตั้งอุปกรณ์ที่ไว้ใช้ปรับความถี่กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ (Inverter) เพื่อให้มอเตอร์สามารถเพิ่มและลดความเร็วรอบการทำงานตามความต้องการของระบบ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถใช้ร่วมกับมอเตอร์ที่มีแรงม้าสูงสุดถึง 10 hp และทำการติดตั้งระบบควบคุมทางไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์ PLC ดังภาพที่ 97 (ข) ซึ่งอุปกรณ์ PLC นี้มีหน้าที่ควบคุมระบบการทำงานของเครื่องซักผ้าฯ ทั้งหมด ส่วนแบบวงจรไฟฟ้า (Wiring Diagrams) และแบบขั้นตอนการทำงานของระบบ PLC ที่ใช้ในเครื่องซักผ้าฯ (PLC Ladder) มีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค



(ก)

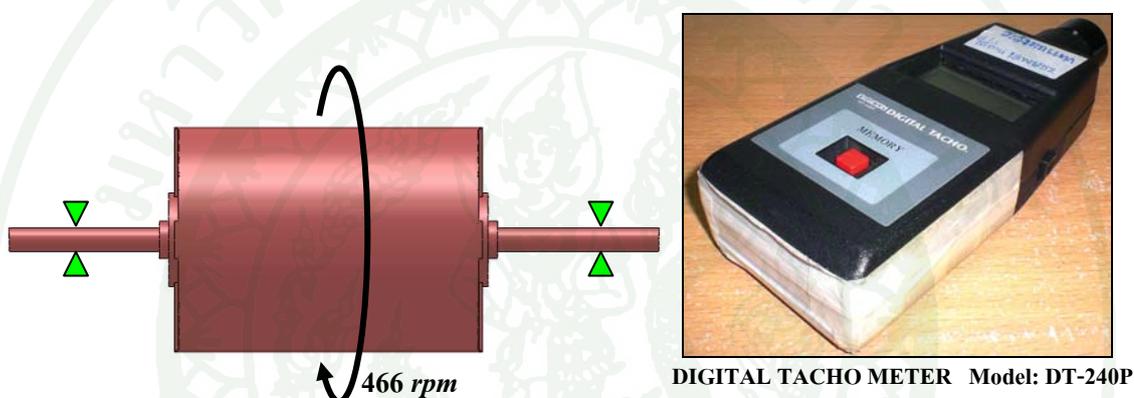


(ข)

ภาพที่ 97 ตัวเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ (ก) แสดงการติดตั้งตัวเครื่องลงบนแท่นปูนรองรับ (ข) แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อการทดสอบ

4. ผลทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

หลังจากที่ช่างผู้ชำนาญการประจำโรงงานได้ทำการสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบจนพร้อมที่จะทำการทดสอบในสภาวะการใช้งานจริงได้แล้ว ผู้ดำเนินงานวิจัย จึงได้ทำการเดินเครื่องเพื่อทดสอบวัดความเร็วรอบของถังซักก่อนการทดสอบจริง (โดยที่ถังซักไม่ได้บรรจุผ้า โดยทำการทดสอบด้วยความเร็วรอบสูงสุดของมอเตอร์ คือ 1,450 rpm) เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วรอบคือ เครื่อง DIGITAL TACHO METER โดยเครื่องดังกล่าวสามารถวัดความเร็วรอบของตัวถังซักได้เท่ากับ 466 rpm ดังแสดงในภาพที่ 98



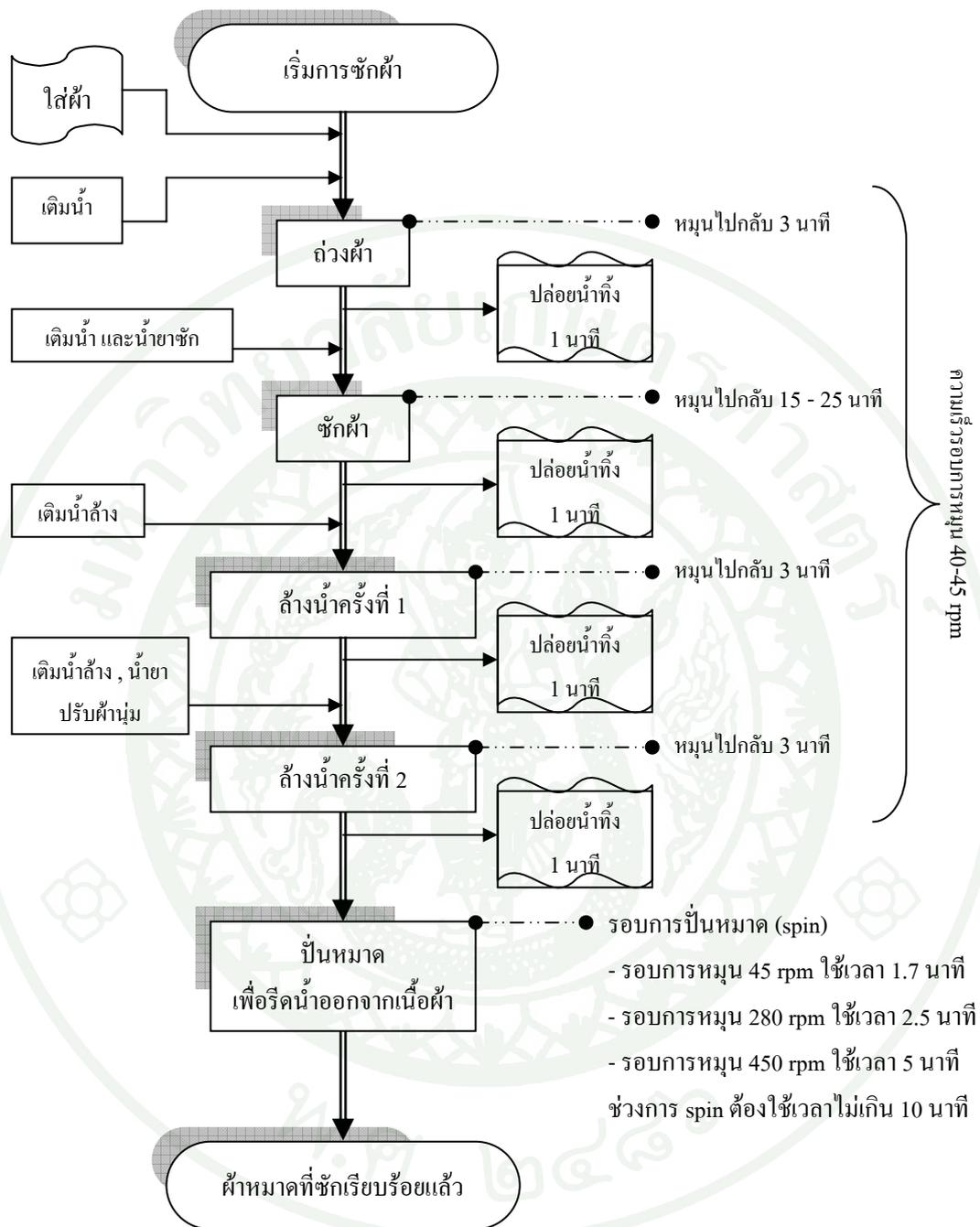
ภาพที่ 98 แสดงความเร็วรอบของตัวถังซักที่วัดความเร็วรอบด้วยเครื่อง DIGITAL TACHO METER

ในการทดสอบใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบนั้นจะใช้ผ้าขนหนูชนิดหนาขนาด 30×60 นิ้ว จำนวน 50 ผืน มวลทั้งหมด 50 kg เพื่อใช้ในการทดลองซัก และใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนทั้งสิ้น 140 ลิตร

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

การทำงานของเครื่องซักผ้าจนเสร็จสิ้นกระบวนการ ใช้เวลา 45-55 นาที

- ช่วงการซักผ้า ปรับเวลาได้ 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 นาที
- หมุนไปกลับใช้เวลาช่วงละ 50 วินาที
- ระหว่างการหมุนไปกลับจะหยุดหน่วงเวลา 10 วินาที



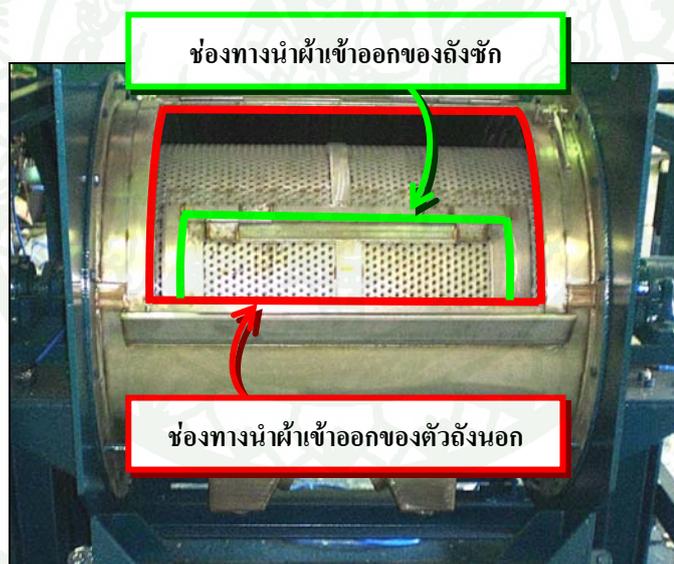
ภาพที่ 99 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

4.1 ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ หลังจากดำเนินการสร้างเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ จนพร้อมที่จะทำการทดสอบ ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบความเป็นไปได้ของการทำงาน โดยการนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบกับสภาพการทำงานจริง ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2

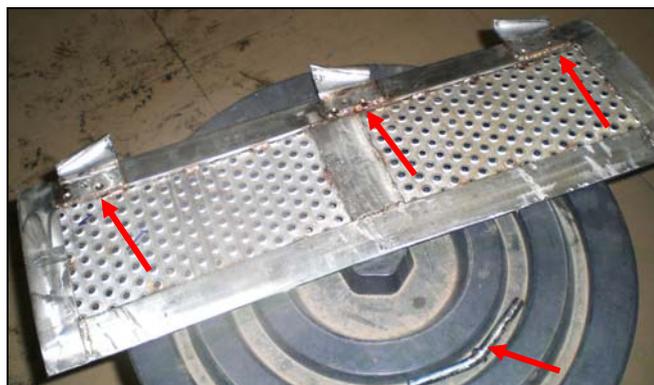
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	สิ่งที่ต้องแก้ไขและปรับปรุง
ความสะดวกในการนำผ้าเข้าและออกจากเครื่องซัก	ไม่สะดวกเนื่องจากการหยุดของถังซักไม่ตรงกับตำแหน่งที่จะนำผ้าเข้า-ออก	ติดตั้งระบบควบคุมตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้า-ออก
การสิ้นเสียด้านของเครื่อง	มีการสิ้นเสียด้านค่อนข้างมาก	ปรับความดันลมในถุงลมให้เหมาะสมทั้ง 2 ด้าน
ความผิดปกติขณะใช้งานของเครื่องซักผ้า	1. ความเร็วรอบต่ำ(รอบการซัก) มีแรงบิดไม่เพียงพอในบางจังหวะ 2. มีความร้อนสะสมมากที่มอเตอร์ 3. ฝาเปิดปิดของถังซักหลุดออกจากตัวเครื่อง	1. เปลี่ยน Mechanical Seal, เปลี่ยน Pulley ตัวขับให้มีขนาดเล็กกลง 2. เปลี่ยนมอเตอร์ให้มีกำลังแรงม้าที่สูงขึ้น 3. แก้ไขบานพับของฝาเปิดปิดให้มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น และเปลี่ยนตัวล็อกฝาดังนอกใหม่
การปล่อยลมออกจากถุงลมเมื่อเครื่องซักผ้าหยุดทำงาน	ตัวเครื่องวางตัวไม่ขนานกับฐานเครื่อง ทำให้ถุงลมรับน้ำหนักมีรูปทรงบิดเบี้ยว	ควบคุมการปล่อยลมให้เหมาะสม และสร้างตัวบังคับตำแหน่งการลงของตัวเครื่อง
ความสะอาดของเนื้อผ้าเมื่อเสร็จจากการซัก	ความสะอาดผ้าอยู่ในระดับที่ดี	-

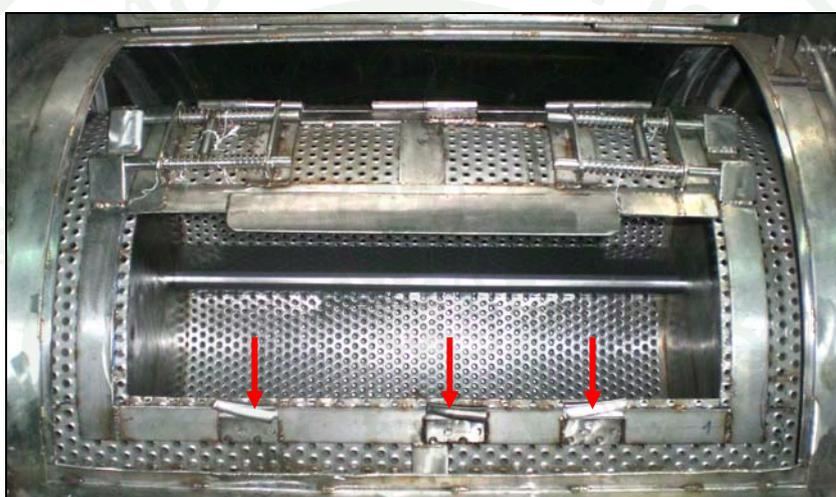
ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ แสดงให้เห็นว่า เครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ สามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง และยังพบปัญหาอยู่บ้างดังนี้ การนำผ้าเข้าออกจากเครื่องซักผ้าฯ มีความไม่สะดวกอันเนื่องมาจาก ตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้าออกระหว่างตัวถังนอก กับถังซักขณะที่เครื่องหยุดทำงาน มีตำแหน่งที่ไม่ตรงกันเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในภาพที่ 100 การสั่นสะเทือนของตัวเครื่องยังไม่มีความเสถียร ความผิดปกติของเครื่องซักผ้าฯ เมื่อเริ่มใช้งานบางช่วงมีแรงบิดที่ไม่เพียงพอ จึงส่งผลให้มอเตอร์มีความร้อนสะสมสูงตามไปด้วย ขณะการทดสอบปั่นผ้าโหมดที่ความเร็วรอบ 450 rpm ทำให้เกิดความเสียหายที่ฝาเปิดปิดของถังซัก 1 บาน สาเหตุเนื่องมาจากฝาถังซักกระทบเข้ากับสลักล็อกฝาถังนอกที่อยู่ภายใน ดังภาพที่ 101 เมื่อเสร็จจากขั้นตอนการซัก และไม่มีการใช้งานต่อ ตัวเครื่องก็จะต้องปล่อยลมออกจากถุงลมรับน้ำหนัก และให้ตัวเครื่องวางลงฐานรับน้ำหนักทั้ง 4 จุดแทน ดังแสดงในภาพที่ 102 หลังจากทำการปล่อยลมแล้ว สังเกตได้ว่าตัวเครื่องวางตัวไม่ขนานกับฐานเครื่องจึงส่งผลให้ถุงลมบิดเบี้ยว ดังแสดงในภาพที่ 103 ส่วนผ้าที่ทำการทดลองซักจากเครื่องซักผ้าดังกล่าวมีความสะอาดเป็นที่น่าพึงพอใจ



ภาพที่ 100 ตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้าออกระหว่างตัวถังนอก กับถังซัก มีตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน (เมื่อเครื่องหยุดทำงาน)



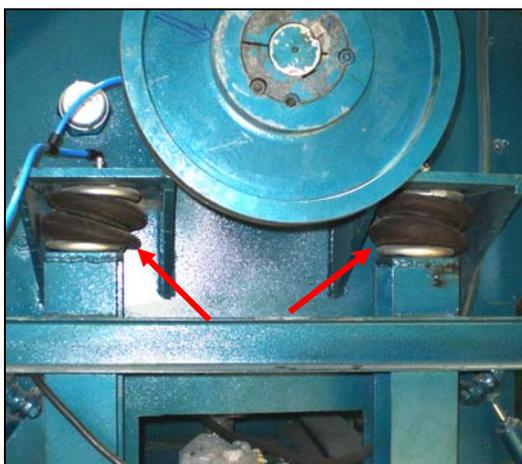
สลักลอคฝาถังนอกหลังจากการกระแทก



ภาพที่ 101 ความเสียหายของฝาถังชักที่เกิดจากการทดสอบใช้งานเบื้องต้น



ภาพที่ 102 ฐานรับน้ำหนักตัวเครื่องซักผ้าฯ หลังการใช้งาน



ภาพที่ 103 ลักษณะของตุ้มลมเมื่อปล่อยลมออก เพื่อวางตัวเครื่องลงบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด

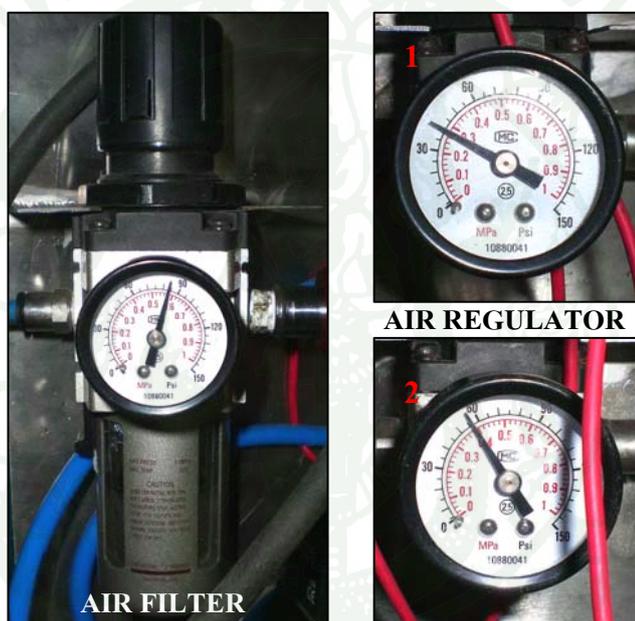
ผลการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาค้อบพร่อง

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบและประเมินผลเบื้องต้นพบว่า เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรม ต้นแบบ ที่ได้ออกแบบไว้มีปัญหาเกี่ยวกับตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้าออกระหว่างตัวถังนอกกับถัง ซัก มีตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน (เมื่อเครื่องหยุดทำงาน) จึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไข โดยการ เพิ่มระบบ ควบคุม PLC ให้ควบคุมการหมุนของถังซักแบบชั่วคราวทั้งไปและกลับ ดังภาพที่ 104 โดยใช้เบรก ของมอเตอร์หยุดการหมุนให้ได้ตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้าออกระหว่างตัวถังนอกกับถังซักให้ ตรงกัน เมื่อทดสอบใช้งานจะเห็นได้ว่าการหยุดถังซักให้ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการทำได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 104 ปุ่มควบคุมการหมุนของถังซัก เพื่อหมุนหาตำแหน่งช่องทางนำผ้าเข้าออก

ปัญหาที่เกิดจากการสั่นสะเทือนขณะทำงานของตัวเครื่องที่มากเกินไปในบางบริเวณ นั้น ปรับปรุงแก้ไขโดยการ ปรับระดับแรงดันลมภายในถุงลมที่รองรับน้ำหนักตัวเครื่อง ทั้ง 2 ด้าน ให้มีความเหมาะสม โดยปรับระดับความดันที่ตัวกรองอากาศ (Air Filter) ให้มีค่าความดันเท่ากับ 0.58 MPa หรือ ประมาณ 85 psi ส่วนระดับความดันของถุงลมของคู่ด้านซ้าย และคู่ด้านขวามีความดันเท่ากับ 0.28 MPa และ 0.39 MPa ตามลำดับ ดังภาพที่ 105 ส่วนความสูงของตัวเครื่องเมื่อจ่ายลมเข้าสู่ถุงลมทั้ง 4 ทำให้ตัวเครื่องยกตัวสูงขึ้น 5.8 cm และเมื่อทำการสังเกตผลจะเห็นได้ว่าตัวเครื่อง ชักผ้าฯ มีการกระจายการสั่นอย่างสม่ำเสมอ คือ การสั่นสะเทือนทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของตัวเครื่องมีความใกล้เคียงกัน

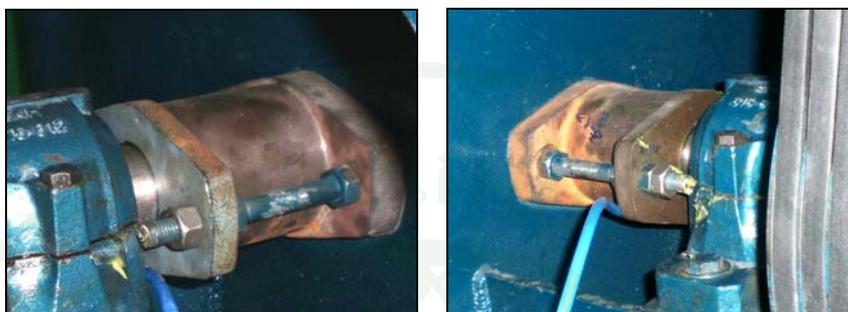


ภาพที่ 105 AIR FILTER และ AIR REGULATOR

ควบคุมแรงดันลมให้เหมาะสม

ความผิดปกติขณะใช้งานในความเร็วรอบต่ำประมาณ $40-45 \text{ rpm}$ (รอบการชักผ้า) ของเครื่องชักผ้าฯ มีแรงบิดไม่เพียงพอในบางจังหวะ แก้ไขโดยการเปลี่ยน Mechanical Seal ดังแสดงในภาพที่ 106 เพราะเนื่องจากอุปกรณ์ภายใน Mechanical Seal มีความเสียหาย และเป็นสาเหตุให้แกนเพลลาของถังชักมีแรงเสียดทานสูงส่งผลให้ถังชักหมุนไม่คล่องตัว ต่อจากนั้นทำการเปลี่ยนล้อยางพานลิ้มตัวขับให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงเป็น 3 นิ้ว เพื่อลดแรงบิด โดยไม่ให้ภาระแรงไปตกที่มอเตอร์มากเกินไป และเนื่องจากเครื่องชักผ้าฯ ดังกล่าวจะต้องทำงานในความเร็วของกระแสไฟฟ้าที่มีความแตกต่างกันอยู่โดยตลอด จึงส่งผลให้มอเตอร์ 5 hp เกิดความร้อนสะสมสูง

บางครั้งมีแรงบิดไม่เพียงพอในความเร็วรอบต่ำ ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวใหม่เป็น 10 hp ดังแสดงในภาพที่ 107 หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไข การหมุนของถังซักในความเร็วรอบต่ำนั้นมีความต่อเนื่อง และมีความเสถียรมากขึ้น

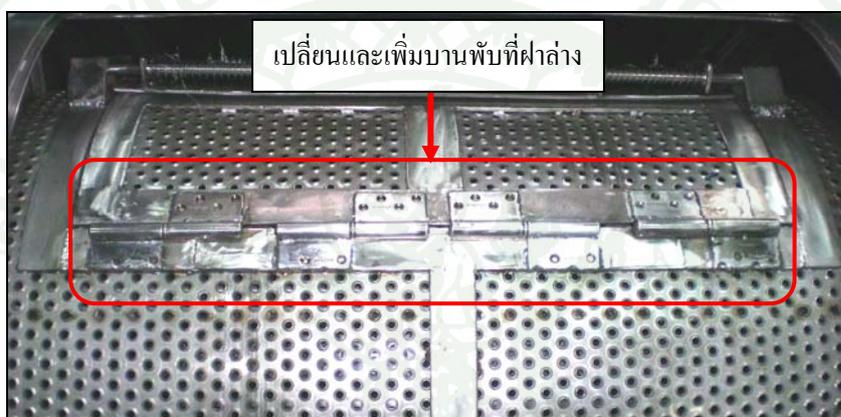
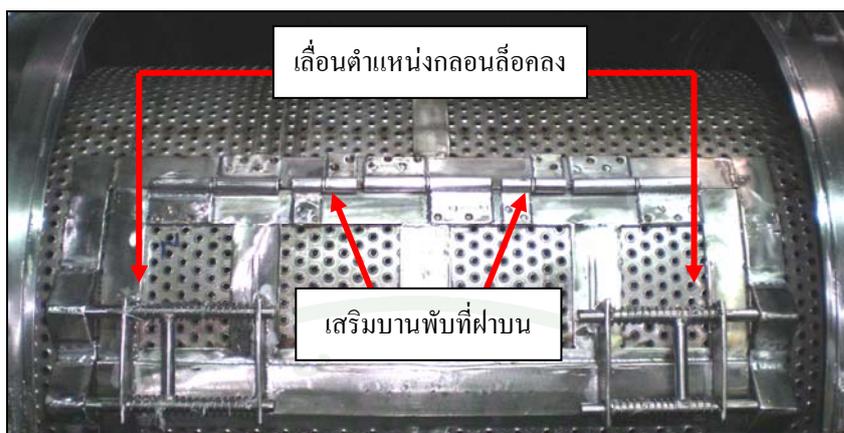


ภาพที่ 106 Mechanical Seal ทั้งด้านซ้ายและขวาที่ทำการเปลี่ยน

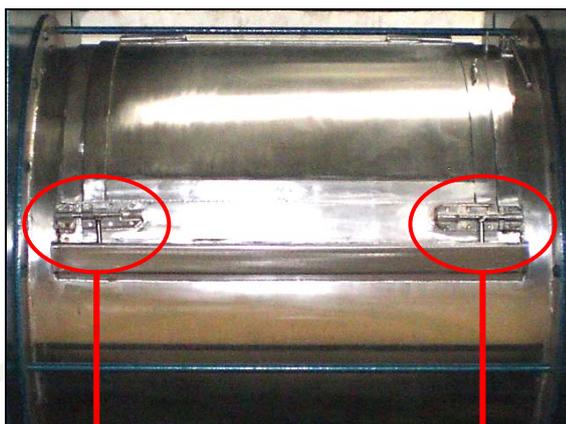


ภาพที่ 107 ล้อสายพานลิ้มตัวขับเคลื่อนขนาด $\varnothing 3$ นิ้ว และมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 hp

การแก้ไขของฝาถังซักที่หลุดออกมาจากตัวเครื่องนั้น จะทำการเปลี่ยนบานพับฝาใหม่ และเพิ่มจำนวนขึ้นเป็น 4 บานพับ ๆ แต่ละอันจะเชื่อมปิดระหว่างรอยต่อของบานพับ และทำการเปลี่ยนตำแหน่งของกลอนล็อกโดยการเลื่อนลงมาให้ทับอยู่บนลิ้นบังคับฝาล่าง ดังแสดงในภาพที่ 108 ส่วนกลอนล็อกฝาด้านนอก จะใช้กลอนล็อกที่ไม่มีสลักยึดอยู่ภายในถัง ดังแสดงในภาพที่ 109



ภาพที่ 108 การแก้ไขฝาถังซักที่เกิดความเสียหาย

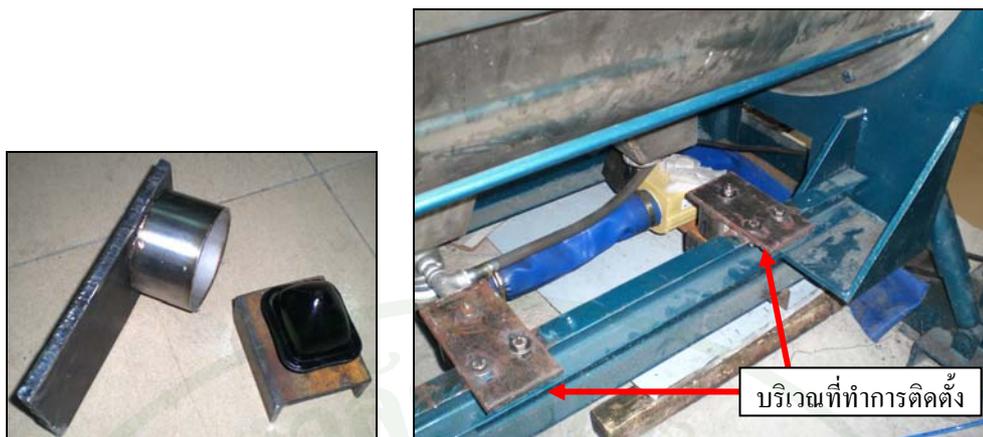


ภาพที่ 109 กลอนลีดคฝาดังนอกที่ทำการเปลี่ยน

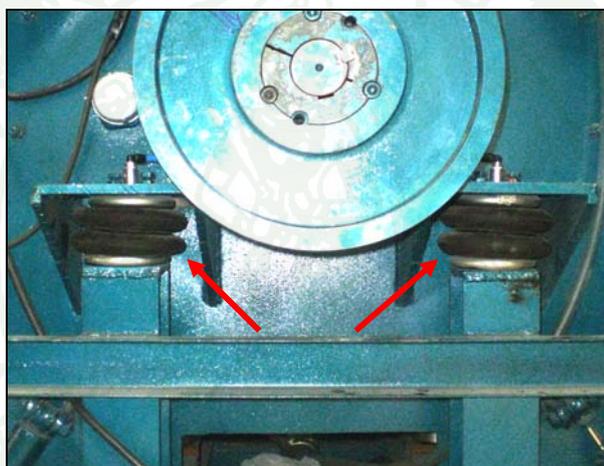
ส่วนปัญหาการวางตัวเครื่องไม่ขนานกับฐานเครื่องนั้น แก้ไขโดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมลมออกทั้ง 4 จุด ดังภาพที่ 110 โดยให้ลมที่อยู่ภายในถุงลมระบายออกข้าง และทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งการวางตัวของเครื่อง ดังภาพที่ 111 จากการแก้ไขทำให้ตัวเครื่องวางตัวลงบนฐานรองรับน้ำหนักทั้ง 4 จุด อย่างเป็นระเบียบ โดยไม่เบนไปด้านใดด้านหนึ่ง ดังภาพที่ 112 จึงส่งผลดีต่อถุงลม คือ ช่วยยืดอายุการใช้งานของถุงลมให้ยาวนานมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 110 อุปกรณ์ควบคุมลมออกให้ข้าง (Speed Control Valve)



ภาพที่ 111 อุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งการวางตัวลงของเครื่อง

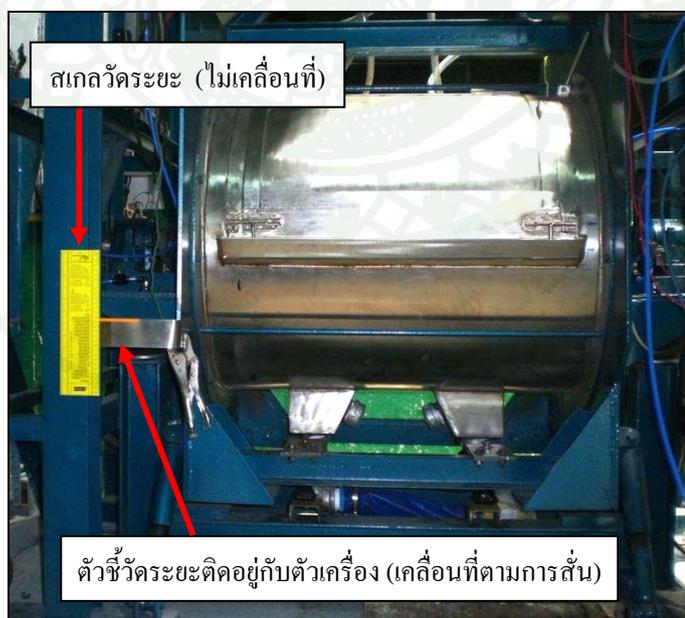


ภาพที่ 112 ลักษณะของตุ้มลมเมื่อปล่อยลมออกเพื่อวางตัวเครื่องลงบนฐานรองรับทั้ง 4 จุด (หลังการปรับปรุงแก้ไข)

4.2 ผลการทดสอบและการประเมินผลขั้นสุดท้าย หลังจากได้ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวแล้ว จึงได้ดำเนินการทดสอบการทำงานใหม่อีกครั้ง เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางดังต่อไปนี้



ภาพที่ 113 ผ้าขนหนูในถังซักเพื่อการซักทดลอง



ภาพที่ 114 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ประยุกต์เพื่อวัดระยะการสั่นสะเทือน

ตารางที่ 3 การทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ครั้งที่ 1

การทดสอบ	กระบวนการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ			
	นำผ้าเข้าเครื่อง	ช่วงการซักผ้า	ช่วงการปั่นผ้าหมาด	นำผ้าออกจากเครื่อง
มวลผ้า ก่อนกระบวนการ (kg)	50.00	50.00	153.75	72.00
มวลผ้า หลังกระบวนการ (kg)	50.00	153.75	72.00	72.00
เวลาทำงานในแต่ละช่วง (นาที)	1.30	40.00	9.00	2.00
ความเร็วรอบสูงสุด (rpm)	0	42	448	0
การสั่นสะเทือนของตัวเครื่อง (การกระจัดสูงสุด, mm)	0	4	7	0
ความสะอาดของผ้า (คะแนน)	0*	2	3	3

หมายเหตุ 0* ผ้าที่มีความสกปรกก่อนการทำความสะอาดด้วยเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ
ความสะอาดของเนื้อผ้าแบ่งเป็น 3 ระดับคะแนน คือ 1 = พอใช้, 2 = ดี, 3 = ดีมาก

ตารางที่ 4 การทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ครั้งที่ 2

การทดสอบ	กระบวนการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ			
	นำผ้าเข้าเครื่อง	ช่วงการซักผ้า	ช่วงการปั่นผ้าหมาด	นำผ้าออกจากเครื่อง
มวลผ้า ก่อนกระบวนการ (kg)	50.00	50.00	150.00	70.00
มวลผ้า หลังกระบวนการ (kg)	50.00	150.00	70.00	70.00
เวลาทำงานในแต่ละช่วง (นาท)	1.54	48.00	10.00	2.15
ความเร็วรอบสูงสุด (rpm)	0	44	448	0
การสั่นสะเทือนของตัวเครื่อง (การกระจัดสูงสุด, mm)	0	5	7	0
ความสะอาดของผ้า (คะแนน)	0*	3	3	3

หมายเหตุ 0* ผ้าที่มีความสกปรกก่อนการทำทำความสะอาดด้วยเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

ความสะอาดของเนื้อผ้าแบ่งเป็น 3 ระดับคะแนน คือ 1 = พอใช้, 2 = ดี, 3 = ดีมาก

ตารางที่ 5 การทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ครั้งที่ 3

การทดสอบ	กระบวนการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ			
	นำผ้าเข้าเครื่อง	ช่วงการซักผ้า	ช่วงการปั่นผ้าหมาด	นำผ้าออกจากเครื่อง
มวลผ้า ก่อนกระบวนการ (kg)	50.00	50.00	155.00	73.00
มวลผ้า หลังกระบวนการ (kg)	50.00	155.00	73.00	73.00
เวลาทำงานในแต่ละช่วง (นาท)	1.35	45.00	9.00	1.55
ความเร็วรอบสูงสุด (rpm)	0	44	448	0
การสั่นสะเทือนของตัวเครื่อง (การกระจัดสูงสุด, mm)	0	4	8	0
ความสะอาดของผ้า (คะแนน)	0*	3	3	3

หมายเหตุ 0* ผ้าที่มีความสกปรกก่อนการทำทำความสะอาดด้วยเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

ความสะอาดของเนื้อผ้าแบ่งเป็น 3 ระดับคะแนน คือ 1 = พอใช้, 2 = ดี, 3 = ดีมาก

ตารางที่ 6 สรุปผลการทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

การทดสอบ	กระบวนการทำงานของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ			
	นำผ้าเข้าเครื่อง	ช่วงการซักผ้า	ช่วงการปั่นผ้าหมาด	นำผ้าออกจากเครื่อง
มวลผ้าเฉลี่ย ก่อนกระบวนการ (kg)	50.00	50.00	152.92	71.67
มวลผ้าเฉลี่ย หลังกระบวนการ (kg)	50.00	152.92	71.67	71.67
เวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละช่วง (นาที)	1.397	44.30	9.30	2.06
ความเร็วรอบสูงสุด (rpm)	0	44	448	0
การสั่นสะเทือนของตัวเครื่อง (การกระจัดสูงสุด, mm)	0	5	8	0
ความสะอาดของผ้า (คะแนน)	0*	3	3	3

หมายเหตุ 0* ผ้าที่มีความสกปรกก่อนการทำทำความสะอาดด้วยเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

ความสะอาดของเนื้อผ้าแบ่งเป็น 3 ระดับคะแนน คือ 1 = พอใช้, 2 = ดี, 3 = ดีมาก

การแบ่งระดับความสะอาดของผ้าที่ทำารซัก



ระดับที่ 1 ความสะอาดพอใช้
สังเกตได้ว่าเนื้อผ้ามีคราบความสกปรก
กระจายอยู่เป็นบริเวณกว้าง



ระดับที่ 2 ความสะอาดดี
สังเกตได้ว่าเนื้อผ้าส่วนใหญ่มีความสะอาด
แต่ยังคงมีร่องรอยความสกปรกอยู่บ้างเป็นกลุ่มเล็ก ๆ
โดยไม่กระจายทั่วทั้งบริเวณเนื้อผ้าที่สนใจ



ระดับที่ 3 ความสะอาดดีมาก
จากการสังเกตจะพบร่องรอยความสกปรก
ตามบริเวณเนื้อผ้าที่สนใจน้อยมาก

ภาพที่ 115 ระดับความสะอาดของผ้าที่ทำารซัก

หมายเหตุ การทำความสะอาดผ้าให้มีประสิทธิภาพโดยใช้เครื่องซักผ้าานั้น จะต้องทำการคัดแยก
ผ้าก่อนเสมอ เพราะเนื่องจากผ้าที่จะนำมาซักมีความสกปรกแตกต่างกัน ผ้าที่มีความ
สกปรกไม่มากนักก็จะนำเข้าเครื่องซักผ้าฯ ได้เลย ส่วนผ้าที่มีความสกปรกมาก เช่น ผ้าที่
เปื้อนเลือด, น้ำมัน, สนิม และคราบฝังแน่นต่าง ๆ นั้นจะต้องผ่านกรรมวิธีกำจัดคราบ
เหล่านี้เสียก่อน แล้วจึงนำเข้าเครื่องซักผ้าฯ เพื่อทำความสะอาดในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว, เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม และเครื่องปั่นหมาดผ้าอุตสาหกรรม

รายการเปรียบเทียบ	เครื่องซักผ้า ต้นแบบ	เครื่องซักผ้า แบบเดิม	เครื่องปั่น หมาดผ้า
ความสามารถในการจุผ้าสูงสุด (kg)	60	70	-*
กำลังมอเตอร์ (hp)	10	3	3
ระบบควบคุม	อัตโนมัติ	กึ่งอัตโนมัติ	กึ่งอัตโนมัติ
ระบบกันสั่นสะเทือน	√	-	√
กระบวนการซักผ้า	√	√	-
กระบวนการปั่นหมาดผ้า	√	-	√
ความเร็วรอบการซักผ้า (rpm)	40-45	35-40	-
ความเร็วรอบการปั่นหมาด (rpm)	400-450	-	700
ความสามารถในการรีดน้ำ (%)	78.94	-	84
เวลาที่ใช้งานเสร็จกระบวนการ (นาที)	45-55	20	15

หมายเหตุ * เนื่องจากเครื่องปั่นหมาดผ้าอุตสาหกรรมนั้นมีหน้าที่ในการปั่นผ้าเปียกให้หมาดน้ำ ดังนั้นจึงทำให้ไม่ทราบถึงมวลของผ้าแห้งที่บรรจุในเครื่องได้อย่างแน่นอน โดยการใช้งานของเครื่องแต่ละครั้ง จะบรรจุผ้าเปียกอัดเข้าไปในเครื่องจนเต็ม แล้วจึงเริ่มการทำงาน ซึ่งตัวเครื่องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังเท่ากับ 24 นิ้ว ความสูงของตัวถังเท่ากับ 33 นิ้ว ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้วิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ โดยใช้ผ้าขนหนูชนิดหนาขนาด 30×60 นิ้ว จำนวน 50 ผืน มวลเท่ากับ 50 kg เพื่อใช้ในกระบวนการซักทดลอง ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการนำผ้าเข้าเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ เท่ากับ 1.397 นาที ส่วนเวลาเฉลี่ยที่นำผ้าออกจากตัวเครื่องเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ เท่ากับ 2.06 นาที ซึ่งเวลาในการนำผ้าออกจากตัวเครื่องจะใช้เวลามากกว่าเพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีความชื้นแทรกอยู่ในเนื้อผ้า จึงทำให้ผ้าที่เสร็จจากกระบวนการซักด้วยเครื่องมีมวลที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามการขนย้ายผ้าออกจากเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ จะมีความสะดวกรวดเร็วกว่าการขนย้ายผ้าออกจากเครื่องซักฯ แบบเดิมที่ไม่มีระบบปั่นผ้าหมาด

2. ผ้าที่ทำการซักมีมวลที่เพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าจากมวลเดิมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 152.92 kg เนื่องจากผ้าอมน้ำ และเมื่อเสร็จจากขั้นตอนการปั่นผ้าหมาด มวลของผ้าจะลดลง โดยเฉลี่ยเหลือ 71.67 kg ซึ่งสามารถรีดน้ำออกจากเนื้อผ้าได้ถึง 81.25 kg หรือประมาณ 81.5 ลิตร (1 ลิตร = 0.997 kg) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ประมาณ 78.94 % ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ช่วยลดภาระการขนย้ายผ้าออกจากตัวเครื่อง และส่งผลโดยตรงกับเวลาการขนย้ายผ้า ตามข้อที่ 1

3. ความเร็วรอบสูงสุดในการหมุนถังซักขณะอยู่ในช่วงการซักผ้าเท่ากับ 44 rpm โดยสามารถวัดการสั่นสะเทือนสูงสุด ในแนวการกระจัดขึ้นลงได้ 5 mm ส่วนในช่วงการปั่นผ้าหมาดวัดความเร็วรอบได้เท่ากับ 448 rpm และวัดการสั่นในแนวการกระจัดขึ้นลงได้เท่ากับ 8 mm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น การสั่นสะเทือนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่จะมีความเสถียรสูงกว่าการสั่นของการหมุนในรอบต่ำ เนื่องจากการสั่นในรอบความเร็วสูงนั้นผ้าที่ทำการซักจะหนีศูนย์เนื่องจากแรงเหวี่ยง และทำให้ผ้ากระจายอย่างเป็นระเบียบอัดติดอยู่บริเวณผนังด้านในของถังซัก เหตุนี้เองจึงทำให้ตัวเครื่องมีความสมดุลการหมุนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนสูงสุดจากการคำนวณตามทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 5 mm แล้ว จะเห็นได้ว่ามีค่าการสั่นที่แตกต่างกันไม่มากนัก

4. เวลาการทำงานแต่ละช่วงของการทดสอบการใช้งานจริง ก่อนข้างใกล้เคียงกันโดยเวลาการชักผ้าใช้เวลาเฉลี่ย 44.3 นาที และช่วงการปั่นผ้าให้หมาดใช้เวลาเฉลี่ย 9.3 นาที ส่วนความสะอาดของผ้าที่นำมาทดสอบการใช้งานจริงของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบนั้นอยู่ในระดับที่ดีมากเป็นส่วนใหญ่

จากตารางการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว, เครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม และเครื่องปั่นหมาดผ้าอุตสาหกรรมนั้น จะเห็นได้ว่าเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัวจะมีข้อได้เปรียบทางด้านความต่อเนื่องในการทำความสะดวกผ้า กล่าวคือ สามารถซักผ้า และทำการปั่นผ้าหมาดได้ในเครื่องเดียว โดยมีระบบการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติจนเสร็จสิ้นทั้งกระบวนการ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการทำความสะดวกผ้าลงได้ และมีระบบกันการสั่นสะเทือนที่ช่วยลดแรงที่กระทำได้ดีเป็นอย่างดี แต่จะมีข้อด้อยอยู่บ้างในเรื่องความเร็วรอบการปั่นหมาดที่มีความเร็วรอบที่ช้ากว่าเครื่องปั่นผ้าหมาดเฉพาะ จึงส่งผลให้ความสามารถในการรีดน้ำออกจากเนื้อผ้าลดลงตามไปด้วย แต่แตกต่างกันไม่มากนัก

ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องซักผ้าสามารถปั่นผ้าหมาดได้ แต่ยังไม่ถึงระดับที่แห่งสนิท อย่างไรก็ตามศักยภาพของเครื่องฯ ที่ได้ทำการออกแบบนั้นมีความต้านทานแรงสูง ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงมั่นใจได้ว่าจะสามารถเร่งความเร็วรอบของถังซัก ให้อยู่ในช่อง 500 rpm – 700 rpm เพื่อให้ผ้าที่ปั่นหมาดนั้นแห่งสนิท ได้โดยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อเร่งความเร็วรอบของถังซัก พร้อมกับปรับเปลี่ยนขนาดของล้อสายพานลิมิตตัวจับและตัวตามให้เหมาะสม

2. ควรมีอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยอัตโนมัติติดตั้งบนตัวเครื่อง เพื่อป้องกันภัยที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้ใช้งาน และลดความเสียหายของตัวเครื่องลง เช่น เซ็นเซอร์จับความสมดุลของตัวเครื่อง (Balance Safety) เซ็นเซอร์ฝ้าถังนอก (Door Safety) เซ็นเซอร์ตรวจจับระดับน้ำที่ใช้ในกระบวนการซักผ้า (Water Safety) และควรถัดตั้งปุ่มหยุดการทำงานเครื่องซักผ้าฯ แบบฉุกเฉิน (Emergency Switch) เป็นต้น

3. เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนประกอบ ควรมีความเป็นมาตรฐาน และใช้อย่างถูกต้องเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนประกอบที่มีความแม่นยำ จึงจะส่งผลให้ลดช่วงเวลาในการผลิต

4. จากการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบปั้นหามาในตัวนั้น ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการขนย้ายตัวเครื่องเพราะเนื่องจากใช้วัสดุในการสร้างที่มีความหนาจึงทำให้เครื่องมีมวลที่มากถึง 1,365.22 kg ดังแสดงในภาพผนวก จ ซึ่งถ้าผลิตในเชิงพาณิชย์ก็ควรทำการลดขนาดความหนาของวัสดุลง โดยใช้ทฤษฎีการเสริมแรงของวัสดุเข้ามาช่วยในการผลิต ก็จะส่งผลดีต่อการขนย้ายตัวเครื่อง โดยสามารถลดต้นทุนในการขนส่งและการผลิตลงได้

5. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างและชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบปั้นหามาในตัวนั้น ทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาแรงที่กระทำเป็นแบบสถิต (Static Loading) ซึ่งทำให้มีค่าความปลอดภัยที่ค่อนข้างสูง เพราะเนื่องจากเลือกใช้วัสดุที่โรงงานมีใช้อยู่แล้วค่อนข้างจำกัดในเรื่องขนาด แต่อย่างไรก็ตามควรทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงในเชิงลึกประกอบด้วย โดยจะต้องพิจารณาแรงกระทำเป็นแบบแรงจลน์ (Dynamic Loading) เพื่อจะได้เป็นสิ่งยืนยันในการออกแบบเครื่องจักรกลว่ามีความสอดคล้องและเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานจริงของเครื่องที่ทำการออกแบบมาน้อยเพียงใด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนต์ธร ชำนิประศาสน์. 2545. การสั่นทางกล. เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า จำกัด, กรุงเทพฯ.

แปลจาก S.S. Rao. **Mechanical Vibrations.** Pearson Prentice Hall, n.p..

ธัญญะ เกียรติวัฒน์. 2549. การออกแบบเครื่องจักรกล 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. การออกแบบเครื่องจักรกล 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประดิษฐ์ กิตติวรกุล. 2545. การออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2550. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พริยพงศ์ เส็งจีน. 2551. การออกแบบและพัฒนาห้องเครื่องแบบเหล็กหล่อของรถไถเดินตาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แมน อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา. 2546. วัสดุวิศวกรรม. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ. แปลจาก W.F. Smith. **Principles of Materials Science and Engineering.** 3rd ed. McGraw-Hill Companies, n.p..

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2535. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 10 บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

_____ และ _____. 2531. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 6 บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

สุเมธ ภิญโญศิริพันธุ์. 2545. การออกแบบและพัฒนาเครื่องปั้นแยกทรายจากปลาหมึกแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Firestone Industrial. 2009. **Airmount™ Isolator Selection Guide**. Available

Source: http://www.firestoneindustrial.com/europe/euro_industrial/selectionguides/airmount/sgairmount.shtml, September 19, 2009.

Lewis, P.E. and J.P. Ward. 1991. **The Finite Element Method, Principles and Applications**.

Addison-Wesley Publishing Company, Cornwall.

Rao, S.S. 2004. **Mechanical Vibrations**. 4th ed. Pearson Prentice Hall, United States of America.

Shigley, J.E., C.R. Mischke and R. G. Budynas. 2004. **Mechanical Engineering Design**.

7th ed. McGraw-Hill Companies, Singapore.

Waldron K.J. and G.L. Kinzel 2004. **Kinematics, Dynamics, and Design of Machinery**.

2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

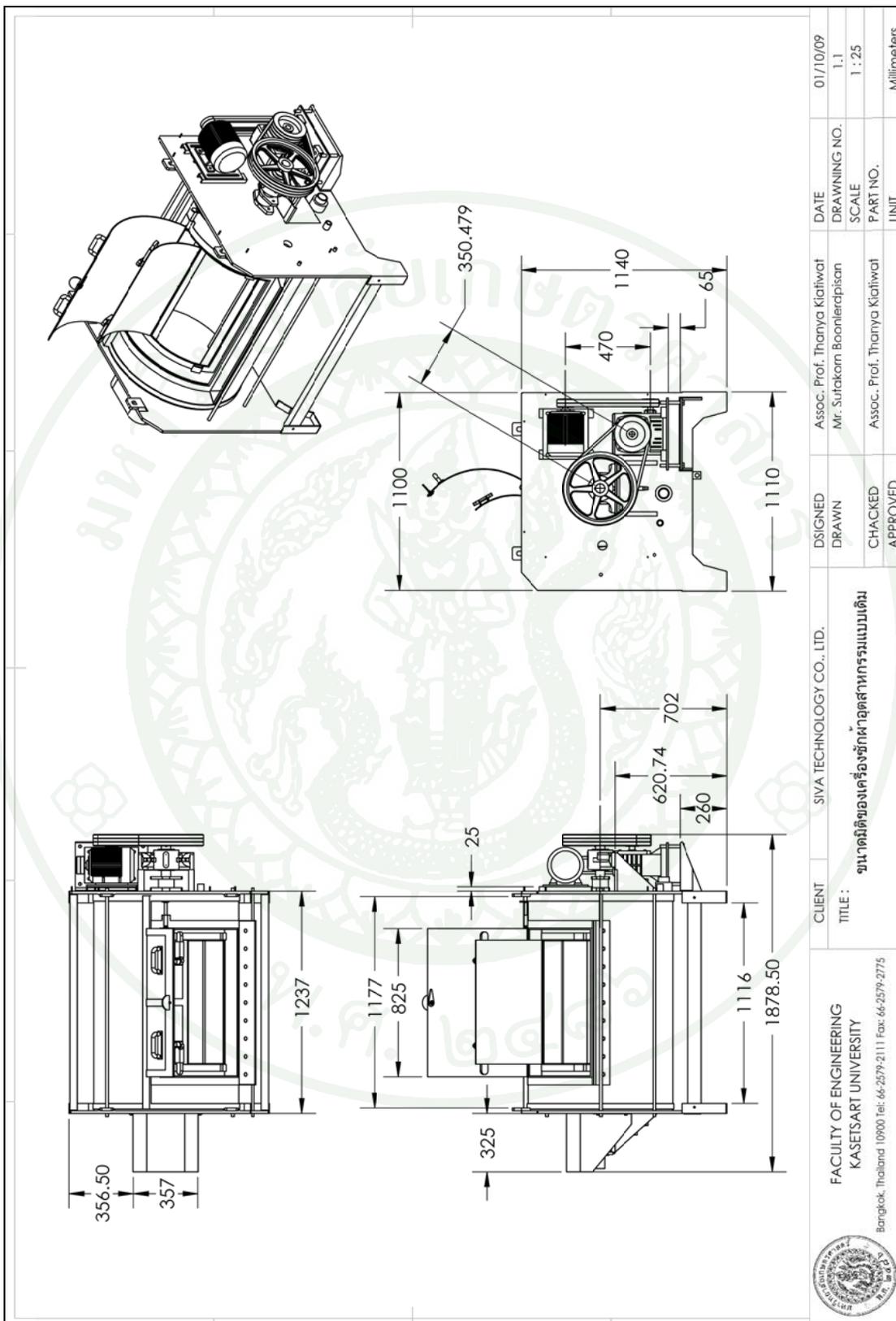


ภาคผนวก

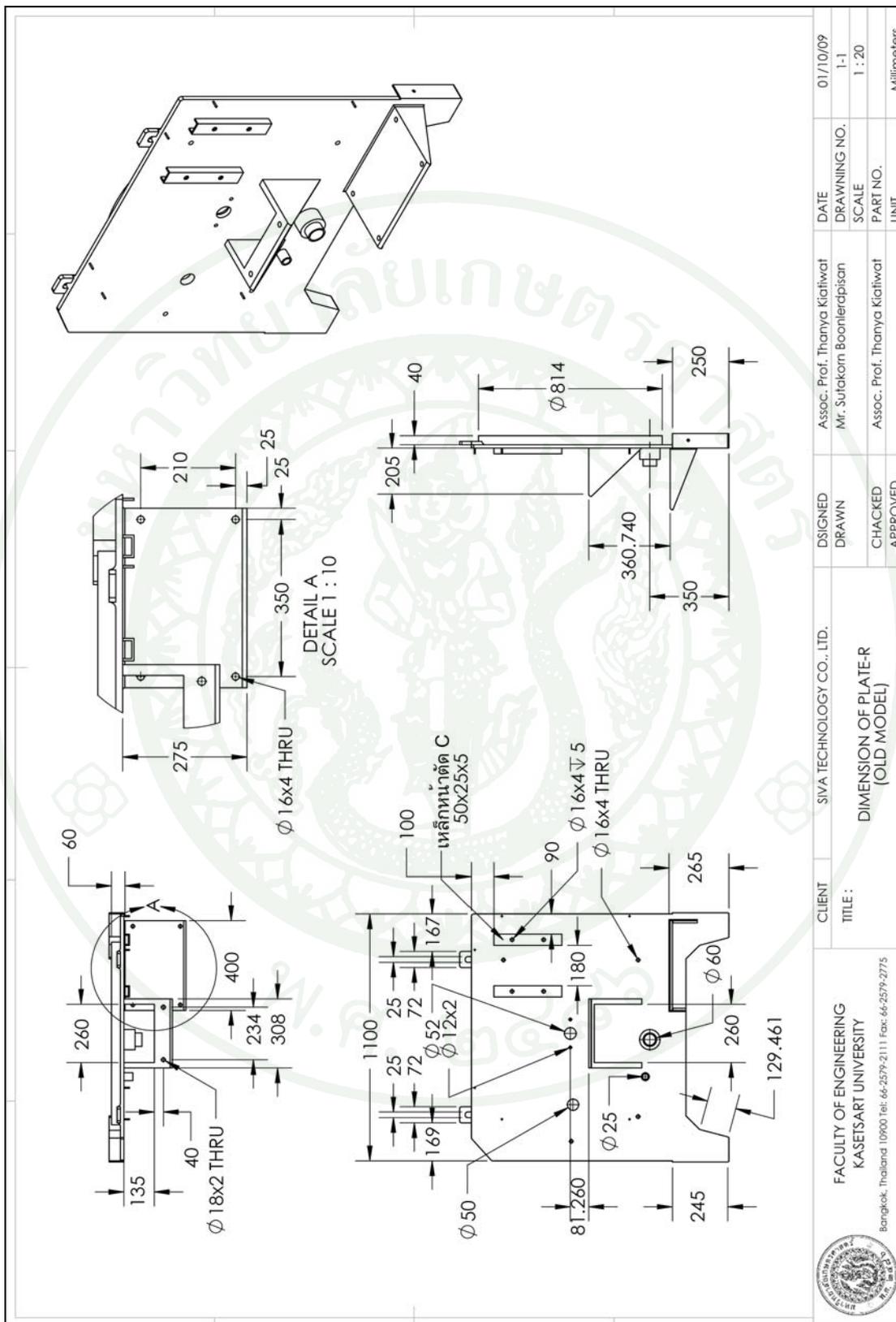


ITEM NO.	PART NAME	DESCRIPTION	QTY.
1	แผ่นเหล็กดัดงอคานขวาง	แผ่นเหล็ก SS400 ทน 15 มม.	1
2	แผ่นเหล็กดัดงอคานซ้าย	แผ่นเหล็ก SS400 ทน 15 มม.	1
3	ตัวงอคานนอก	เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ทน 2 มม.	1
4	ถังขยะพลาสติก	เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ทน 2 มม.	1
5	ที่รองนิ้ว	เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ทน 1 มม.	2
6	ที่ครอบอุปกรณ์	เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ทน 1 มม.	1
7	เหล็กแกนชุด C	เหล็กกล้า JIS G3192 70x40x6	2
8	เหล็กแกนชุดโรตัม AISI304	เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ϕ 16 มม.	4
9	ล้อสายพานเส้น 1	ชุดหน้าตัด B 3ร่อง ϕ 400 มม.	1
10	ล้อสายพานเส้น 2	ชุดหน้าตัด B 3ร่อง ϕ 200 มม.	1
11	ล้อสายพานเส้น 3	ชุดหน้าตัด B 2ร่อง ϕ 90 มม.	2
12	สายพานเส้น กุ่ม 1	ชุดหน้าตัด B เส้นรอบวง 1570 มม.	3
13	สายพานเส้น กุ่ม 2	ชุดหน้าตัด B เส้นรอบวง 1570 มม.	2
14	ตัลลูกบิดกดตา	มาตรฐาน ϕ 50.8 มม.	2
15	Mechanical Seal	มาตรฐาน ϕ 50.8 มม.	2
16	มอเตอร์ สามเฟส	5.5 แรงม้า 1420 rpm	1
17	เข็มนาฬิกา (Gearbox)	ทดรอบ 1:20	1

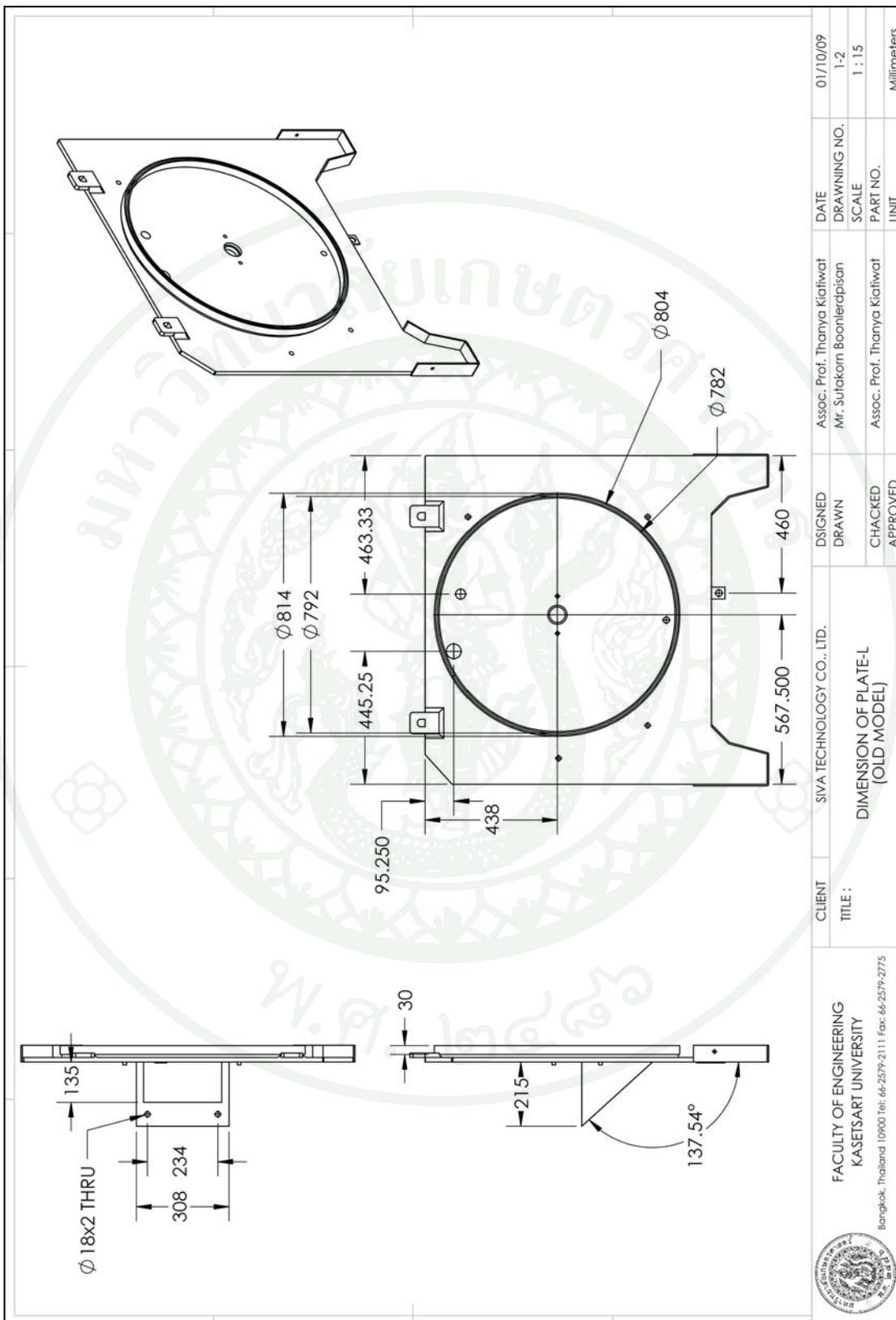
DESIGNED DRAWN	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat Mr. Sutakorn Boonlerdpisan	DATE	01/10/09
CHECKED APPROVED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DRAWING NO.	1
TITLE : ส่วนประกอบของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบเดิม		SCALE	1 : 25
CLIENT : SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.		PART NO.	
FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775		UNIT	Millimeters

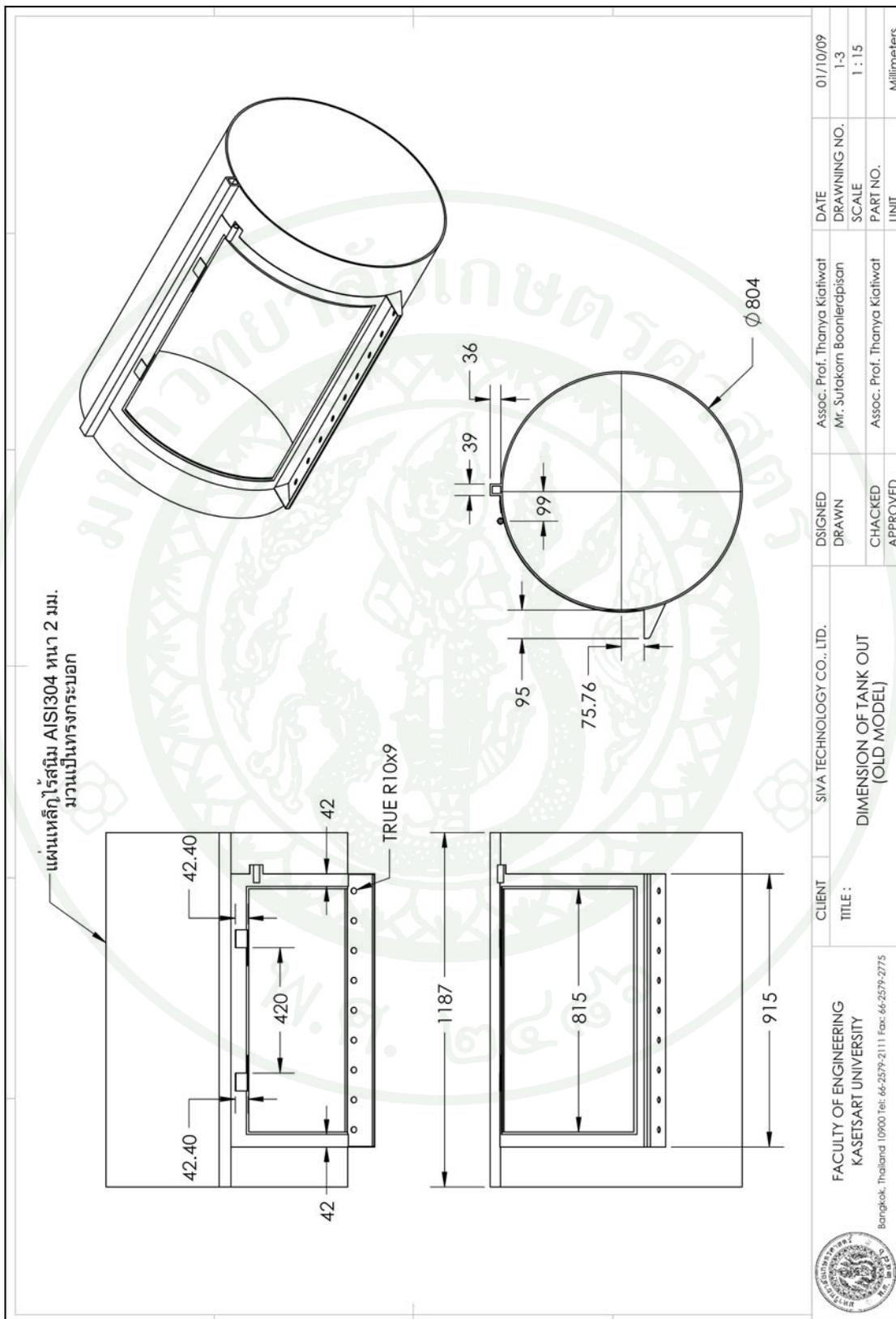


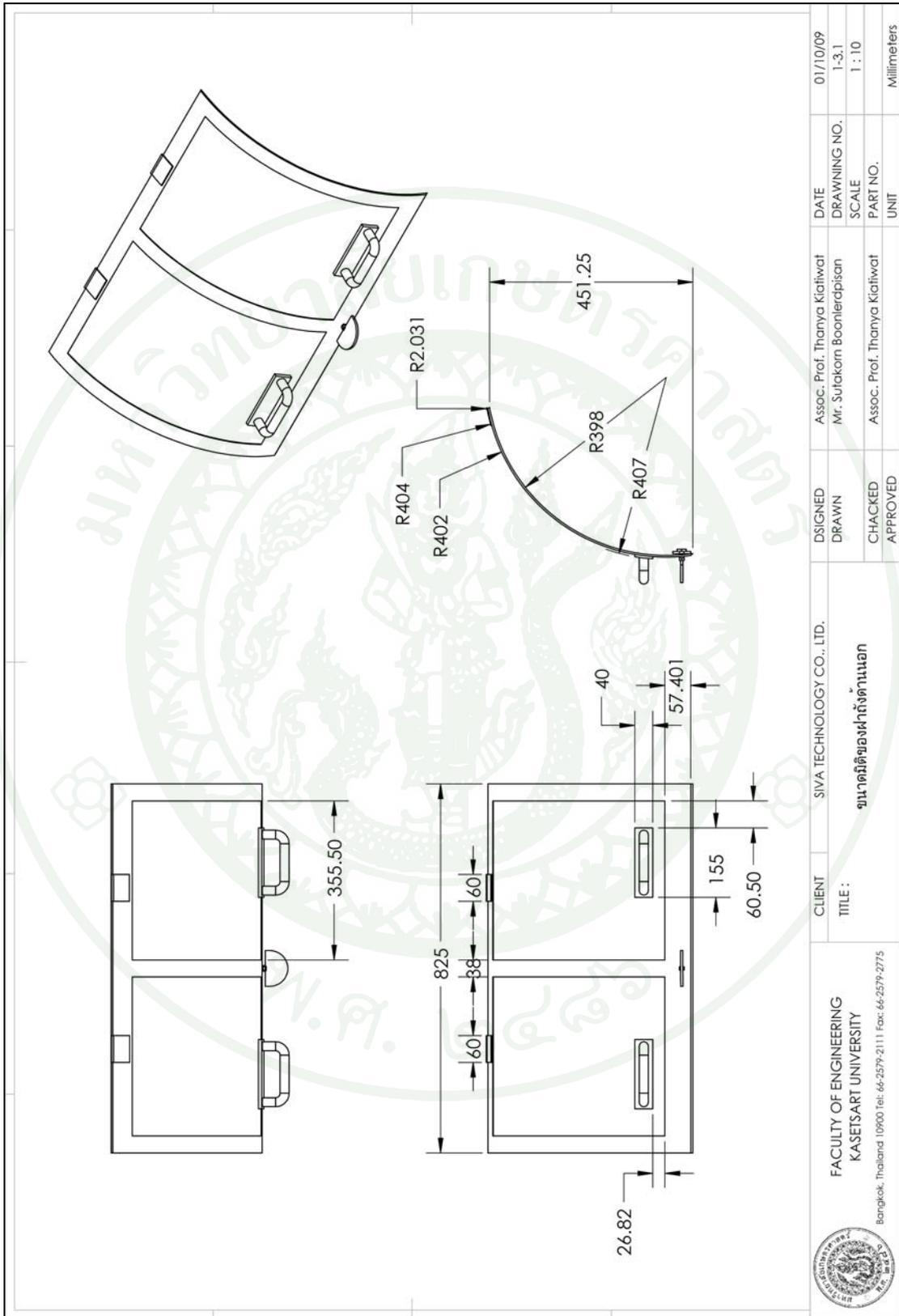
 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/10/09
	TITLE:	ขนาดเดิมของเครื่องชั่งน้ำหนักอุตสาหกรรมแบบเดิม	DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerapisan	DRAWING NO.	1.1
			CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE	1 : 25
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



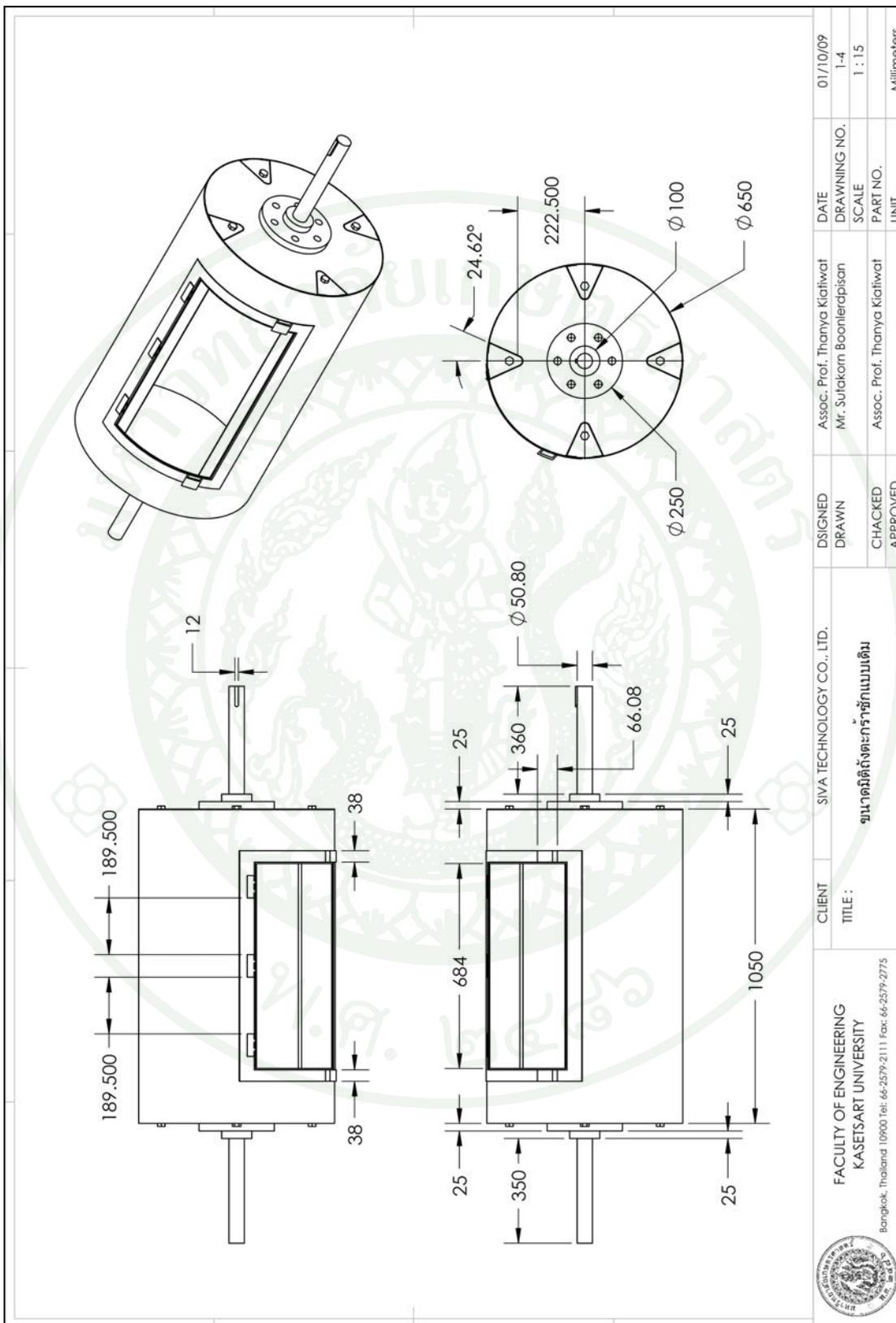
 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED DRAWN	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat Mr. Sutakorn Boonlerdpisan	DATE DRAWING NO.	01/10/09 1-1
	TITLE	DIMENSION OF PLATE-R (OLD MODEL)	CHECKED APPROVED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE PART NO. UNIT	1 : 20 PART NO. UNIT



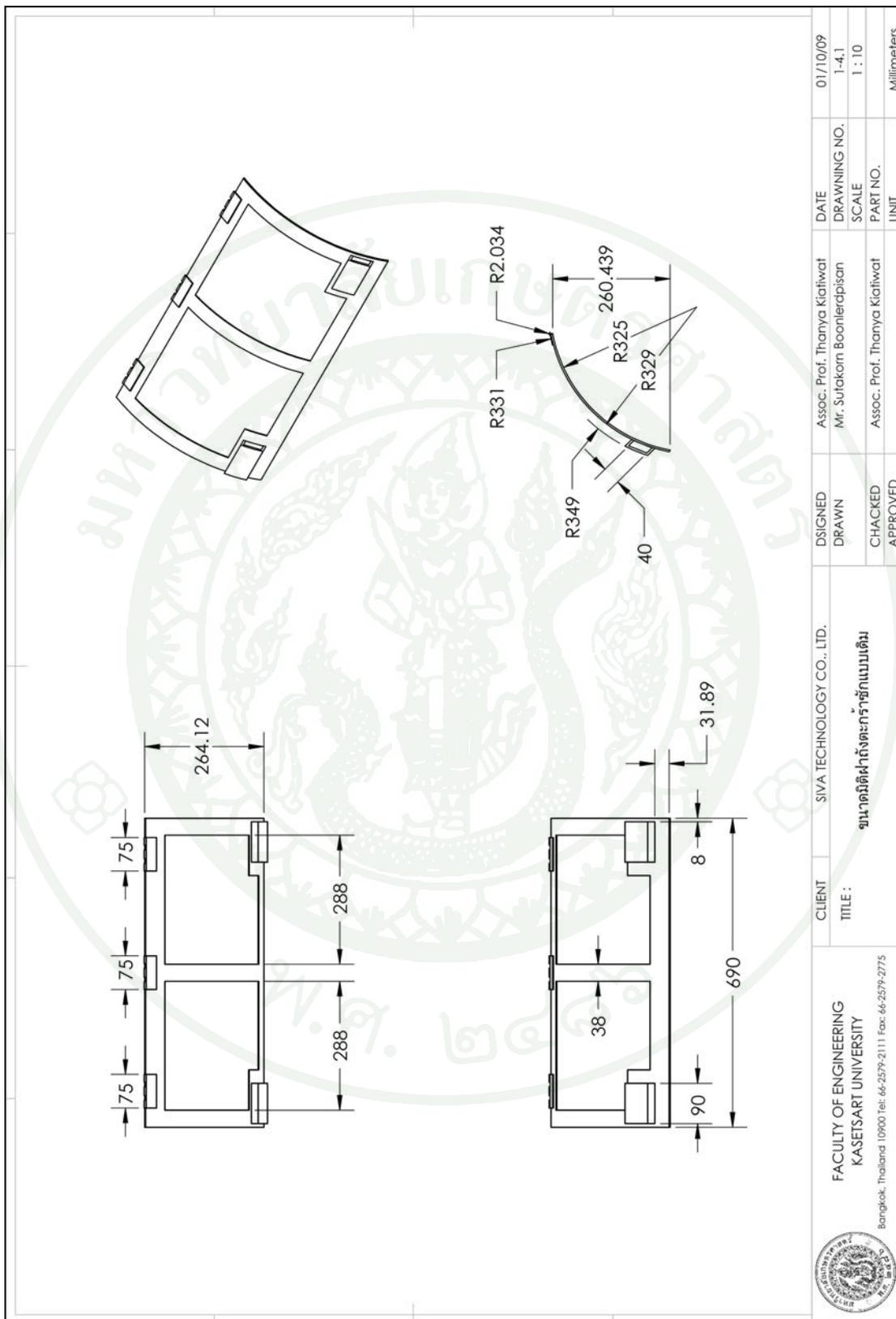




 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/10/09
	TITLE	ขนาดตู้ของช่างด้านนอก	DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerdpisan	DRAWING NO.	1-3.1
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE	1 : 10
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/10/09
	TITLE	ขนาดติดตั้งตะกร้าซักแบบเดิม	DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerdpisan	DRAWING NO.	1-4
			CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE	1 : 15
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

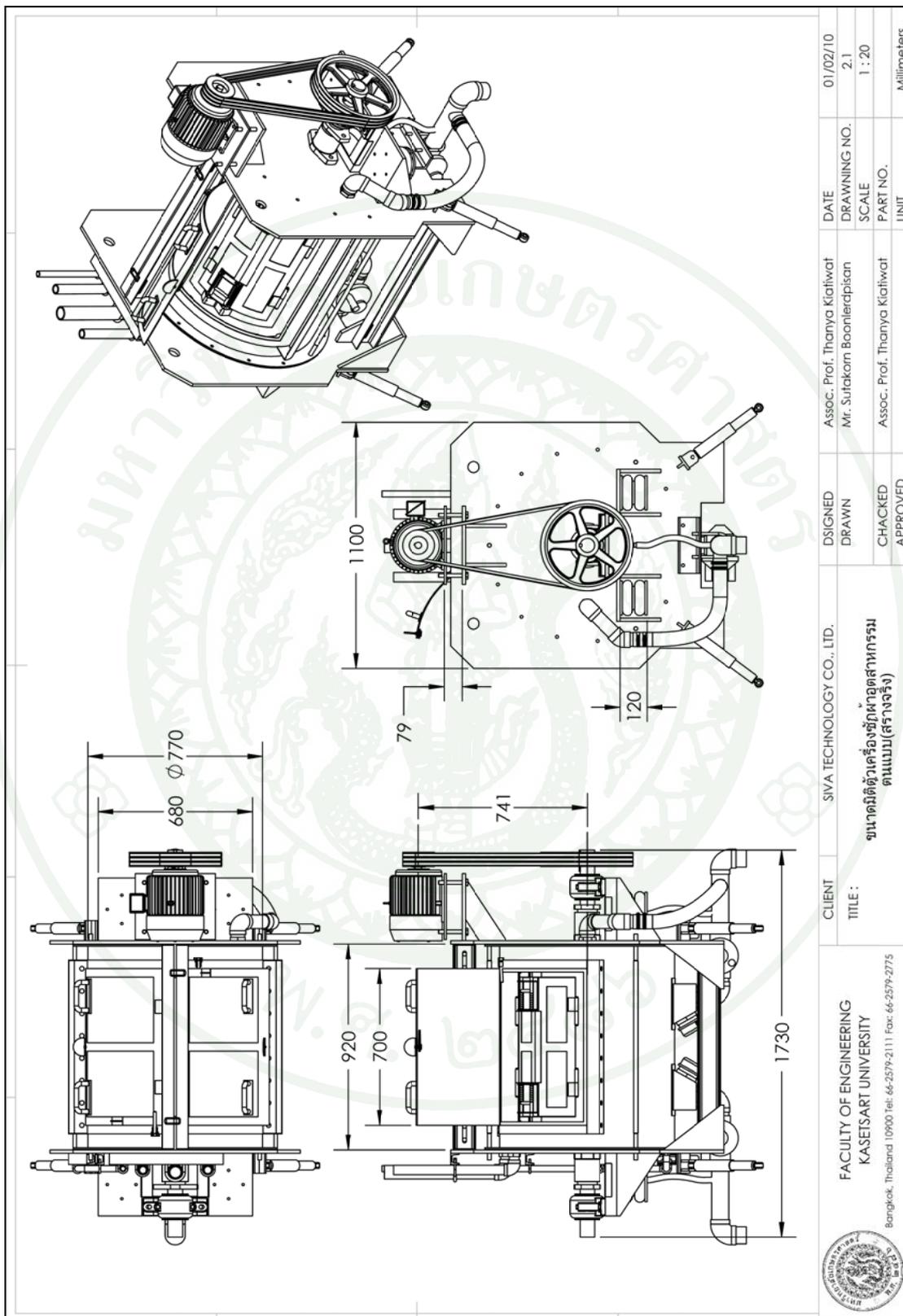


 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/10/09
	TITLE	ขนาดมิติฝ้าถังตะกร้าชุกแบบเดิม	DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerdpisan	DRAWING NO.	1-4.1
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE	1 : 10
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

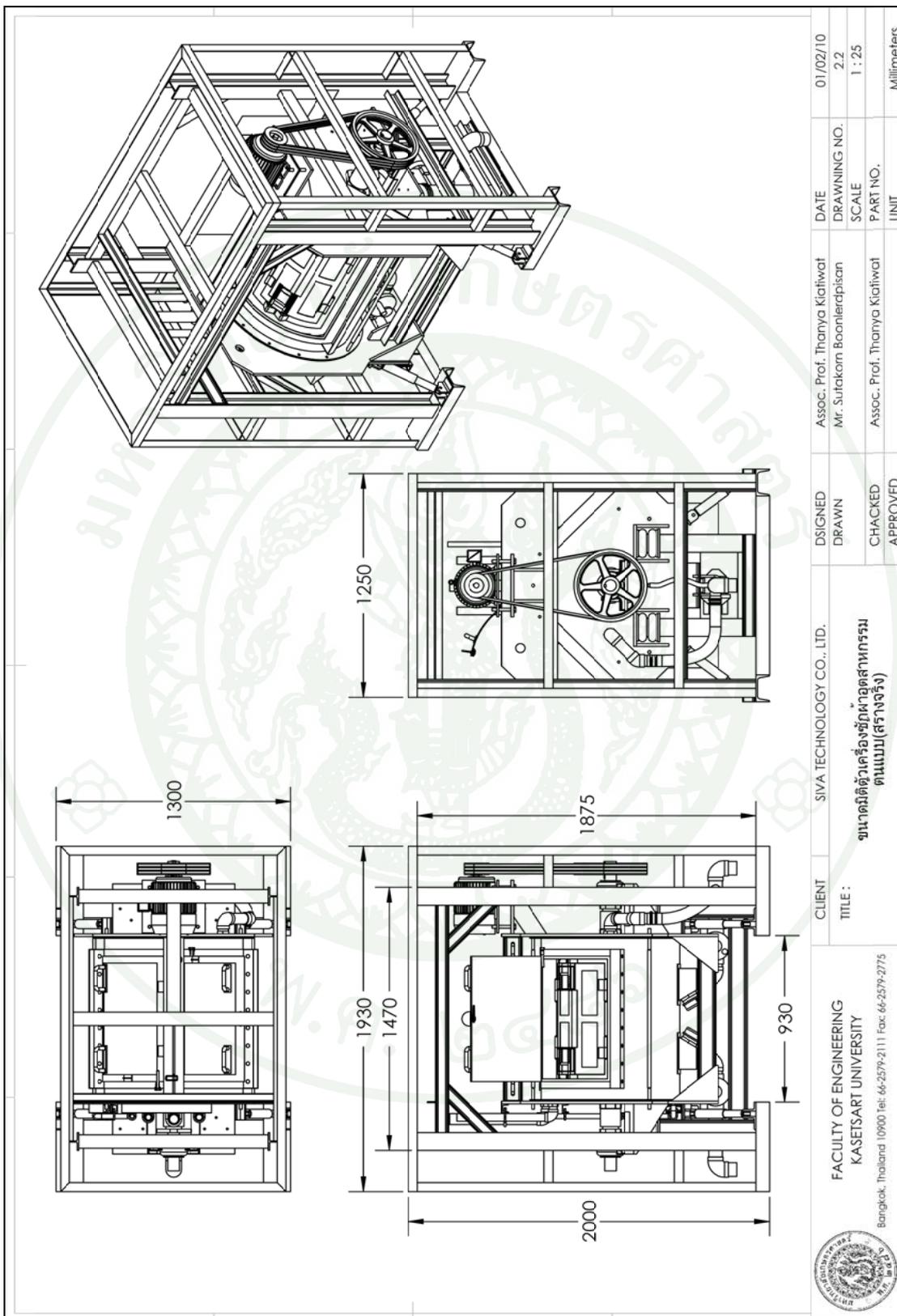


ภาคผนวก ข

แบบพิมพ์เขียวของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว



 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaitwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ขนาดมิติตัวเครื่องตู้กำจัดสาหร่าย ต้นแบบ(สร้างจริง)	DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerdprisan	DRAWING NO.	2.1
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Klaitwat	SCALE	1 : 20
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



FACULTY OF ENGINEERING
 KASETSART UNIVERSITY
 Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775

CLIENT : SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.
 TITLE : ขนาดมีตัวเครื่องซึ่งภาคอุตสาหกรรม
 ต้นแบบ(สร้างจริง)

DESIGNED DRAWN	Assoc. Prof. Thanyaya Kiatiwat Mr. Sutakorn Boonlerapisan	DATE DRAWING NO.	01/02/10 2.2
CHACKED APPROVED	Assoc. Prof. Thanyaya Kiatiwat	SCALE PART NO.	1 : 25 UNIT
		UNIT	Millimeters

ท่อน้ำร้อน (hot water pipe)

ท่อน้ำ (water pipe)

ท่อน้ำกลติ (water pipe)

ท่อน้ำยา (water pipe)

ท่อน้ำทิ้ง (drain water pipe)

ไชลิแอมยดวาลว (silicon valve)

สายลัดชนิดเหล็กแบบขนานเกลียว (parallel threaded steel shortening)

ท่อน้ำเข้า (inlet pipe)

ท่อน้ำกลติ

ท่อน้ำล้น

สายนางขนาดเล็ก

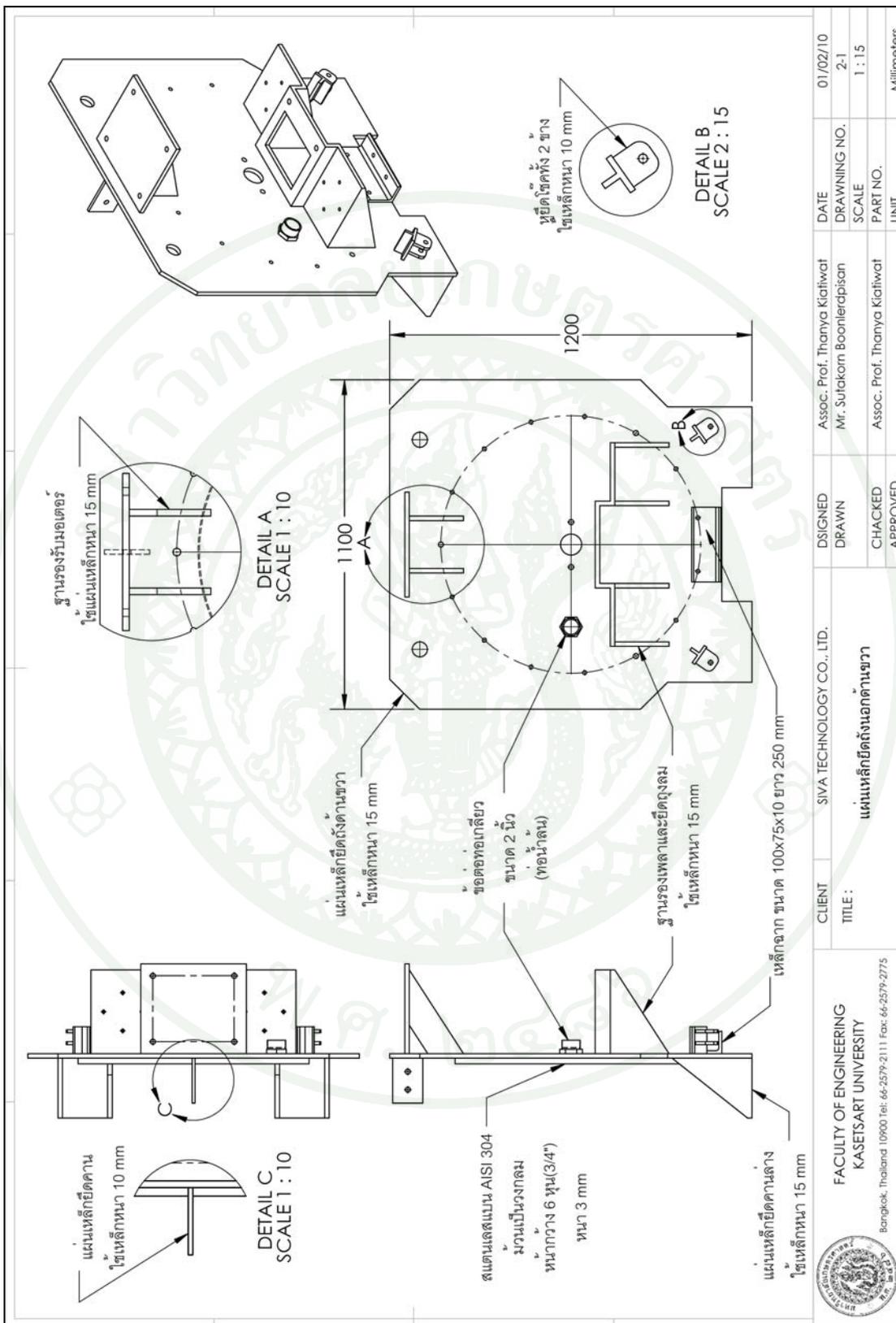
กอลงดักลิ่งค่าง

Nipple ขนาด 1/2 "

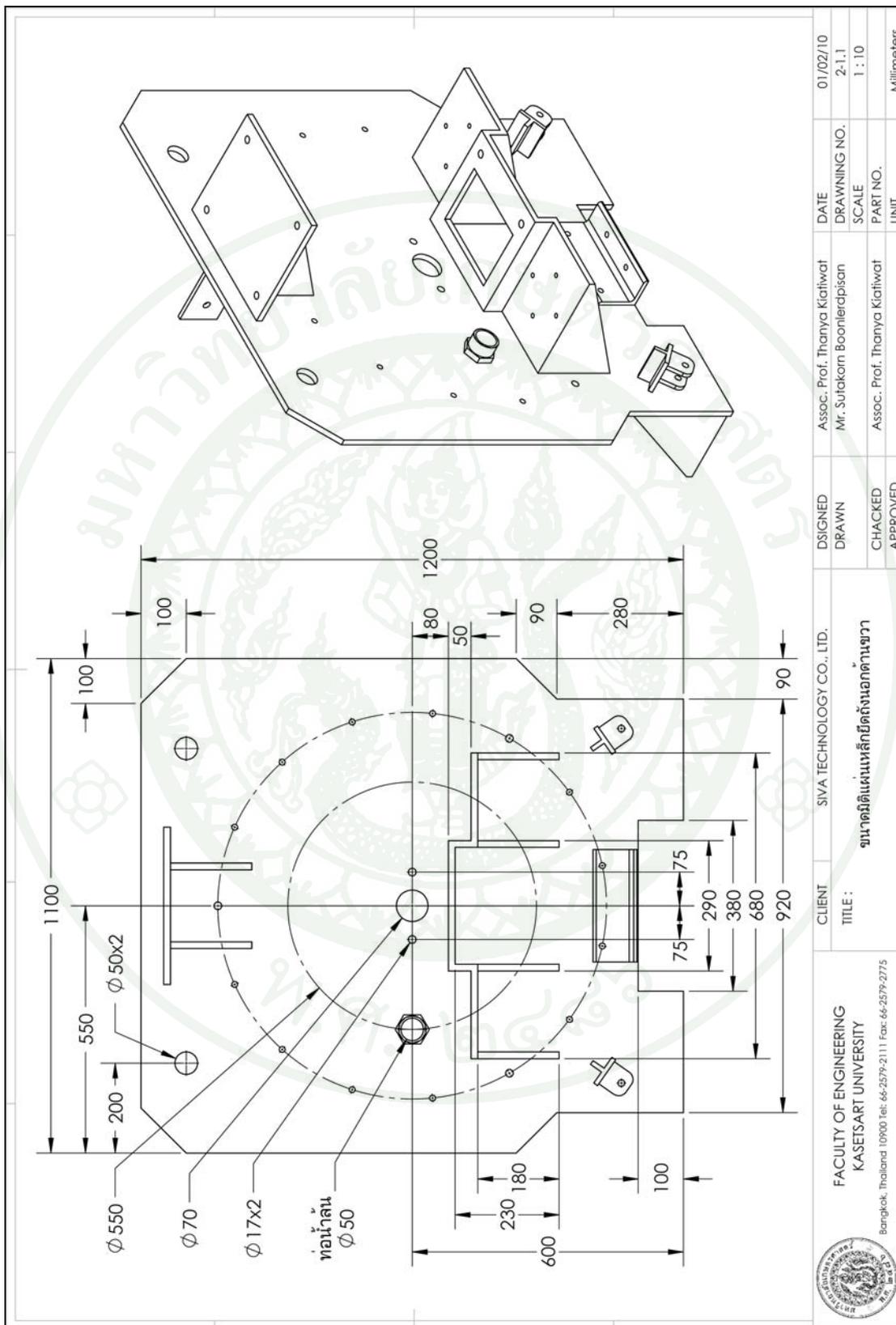
SCALE 1 : 8

SCALE 1 : 4

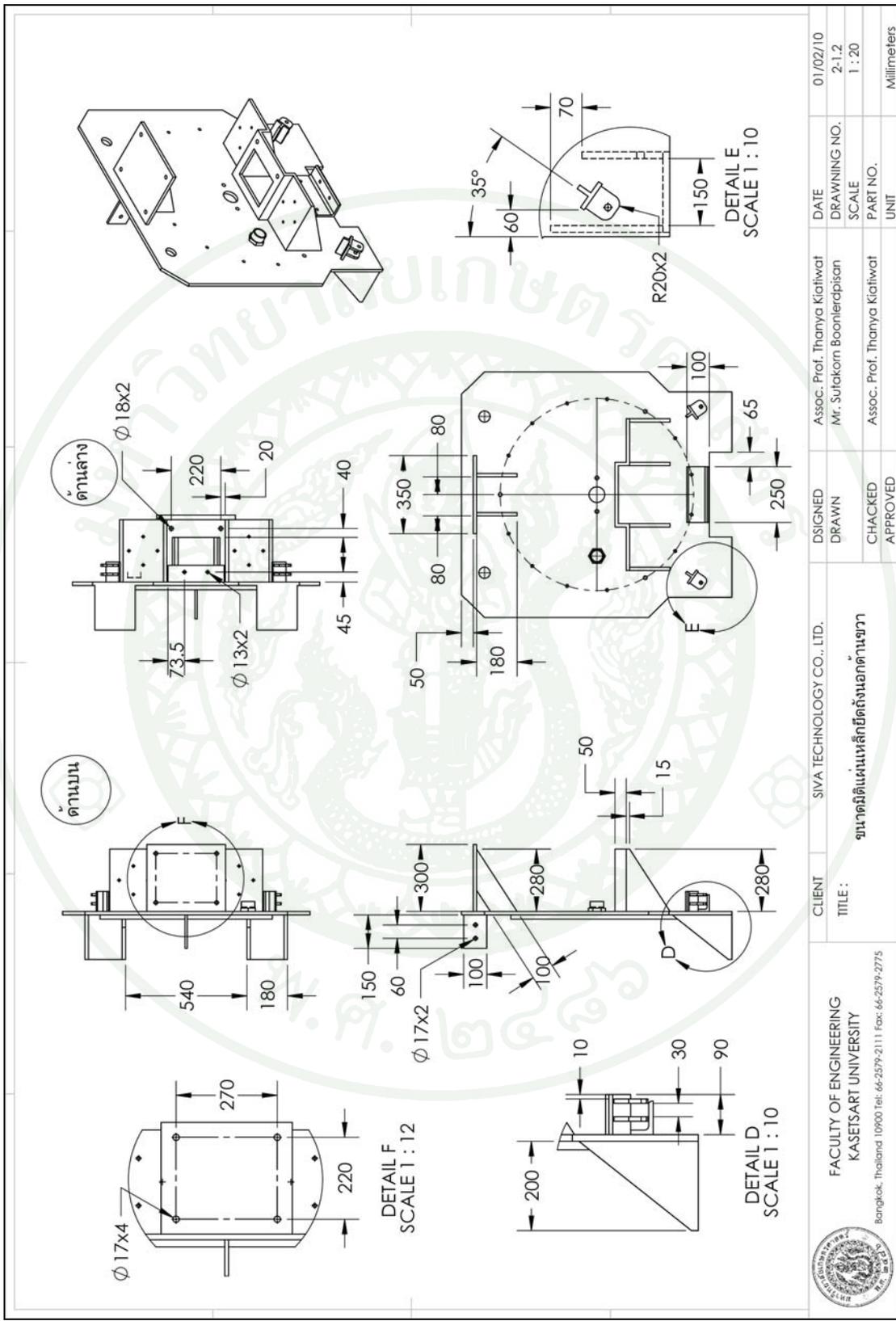
 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ท่อน้ำเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบ	DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerdipisan	DRAWING NO.	23
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE	1 : 20
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



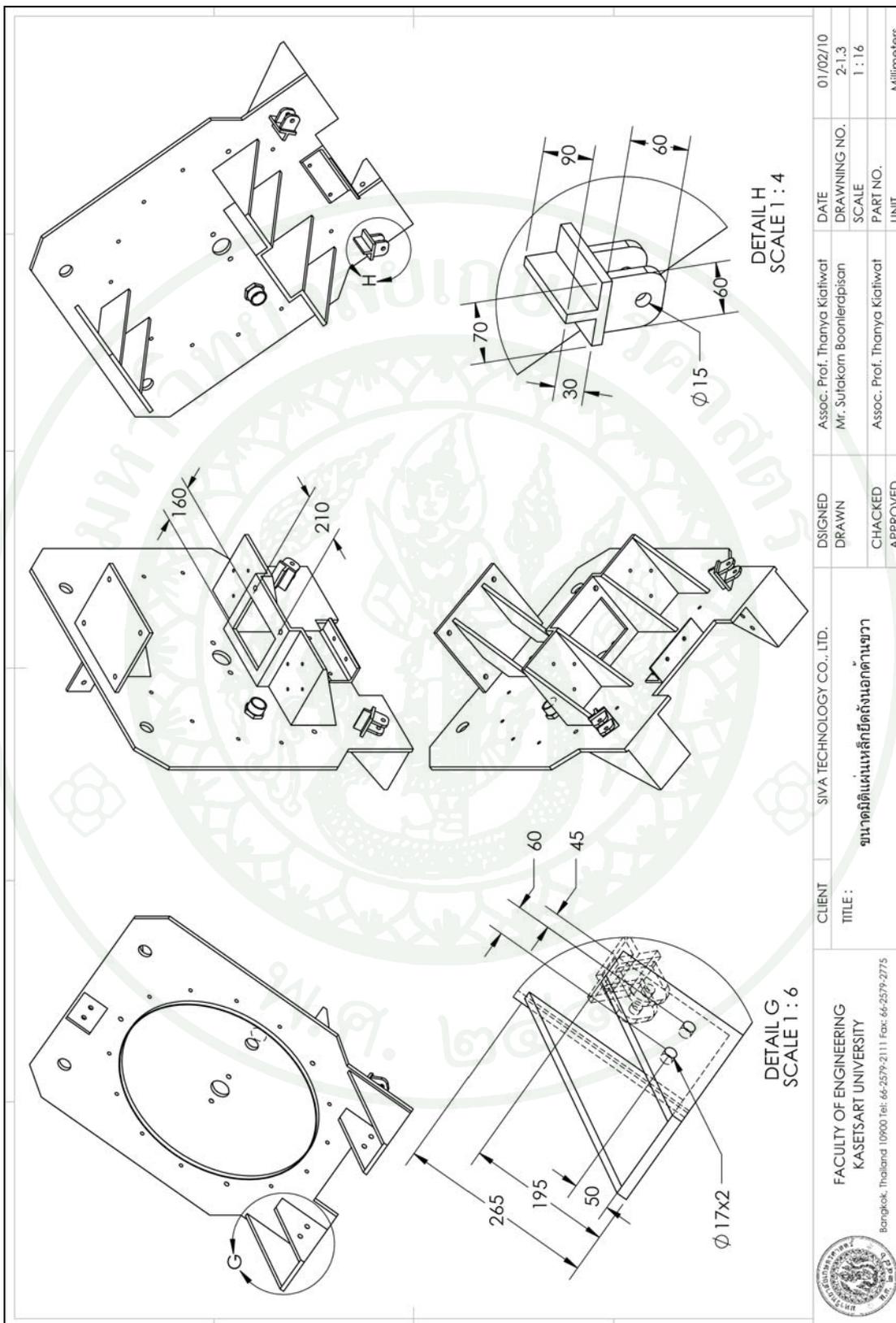
CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	DATE	01/02/10
TITLE	แผ่นเหล็กยึดตั้งเอกด้านขวา	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapisan	DRAWING NO.	2-1
FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775		CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	SCALE	1 : 15
		APPROVED		PART NO.	
				UNIT	Millimeters



<p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p> 	<p>CLIENT : SIVA TECHNOLOGY CO., LTD. TITLE : ขนาดมีดแม่เหล็กยึดกับอกด้านขวา</p>	<p>DESIGNED DRAWN</p>	<p>Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat Mr. Sutatorn Boonlerapisan</p>	<p>DATE DRAWING NO.</p>	<p>01/02/10 2-1.1</p>
		<p>CHACKED APPROVED</p>	<p>Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat</p>	<p>SCALE PART NO. UNIT</p>	<p>1 : 10 Part No. Millimeters</p>



 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ขนาดผลิตภัณฑ์ตั้งอกด้านขวา	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	2-1.2
			CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	SCALE	1 : 20
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



FACULTY OF ENGINEERING
KASETSART UNIVERSITY
Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775

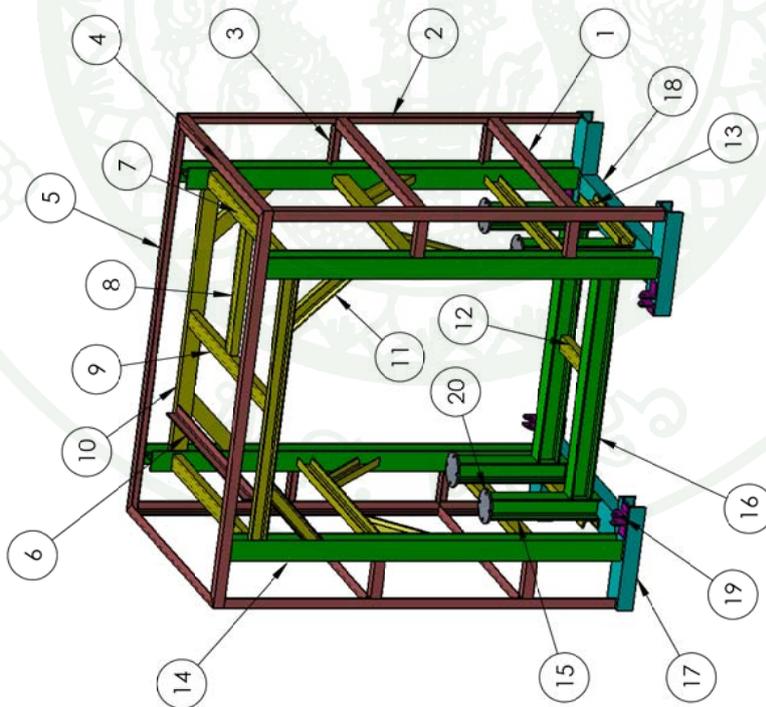
CLIENT : SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.
TITLE : ขบวนการต้นแบบผลิตภัณฑ์ถังแยกคานาชา

DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaitwat	DATE	01/02/10
DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	2-1.3
CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Klaitwat	SCALE	1 : 16
APPROVED		PART NO.	
		UNIT	Millimeters

ITEM NO.	DESCRIPTION	LENGTH/Pcs.	QTY.
1	เหล็กฉาก 50x50x5	1150	4
2	เหล็กฉาก 50x50x5	1875	4
3	เหล็กฉาก 50x50x5	180	8
4	เหล็กฉาก 50x50x5	1250	2
5	เหล็กฉาก 50x50x5	1930	2
6	เหล็กฉาก 50x50x5	1110	1
7	เหล็กรูปตัวC 75X40X5	1050	6
8	เหล็กรูปตัวC 75X40X5	610	1
9	เหล็กรูปตัวC 75X40X5	1110	1
10	เหล็กรูปตัวC 75X40X5	1364	2
11	เหล็กรูปตัวC 75X40X5	450	8
12	เหล็กรูปตัวC 75X40X5	464	1
13	เหล็กรูปตัวC 75X40X5	570	2
14	เหล็กรูปตัวH 100x100x17	1875	4
15	เหล็กรูปตัวH 100x100x17	530	4
16	เหล็กรูปตัวH 100x100x17	1130	2
17	เหล็กรูปตัวC 150X75X9	500	4
18	เหล็กรูปตัวC 150X75X9	1000	2
19	เหล็กฉาก 75x75x9	80	8
20	แผ่นเหล็กหนา 10 mm	-	4

เหล็กที่ใช้ทำโครงสร้าง

- 1) สีแดง คือ เหล็กฉาก 50x50x5 = 21010 mm
- 2) สีเหลือง คือ เหล็กรูปตัวC 75X40X5 = 15952 mm
- 3) สีเขียว คือ เหล็กรูปตัวH 100x100x17 = 11880 mm
- 4) สีฟ้า คือ เหล็กรูปตัวC 150X75X9 = 4000 mm
- 5) สีม่วง คือ เหล็กฉาก 75x75x9 = 640 mm



FACULTY OF ENGINEERING
KASETSART UNIVERSITY

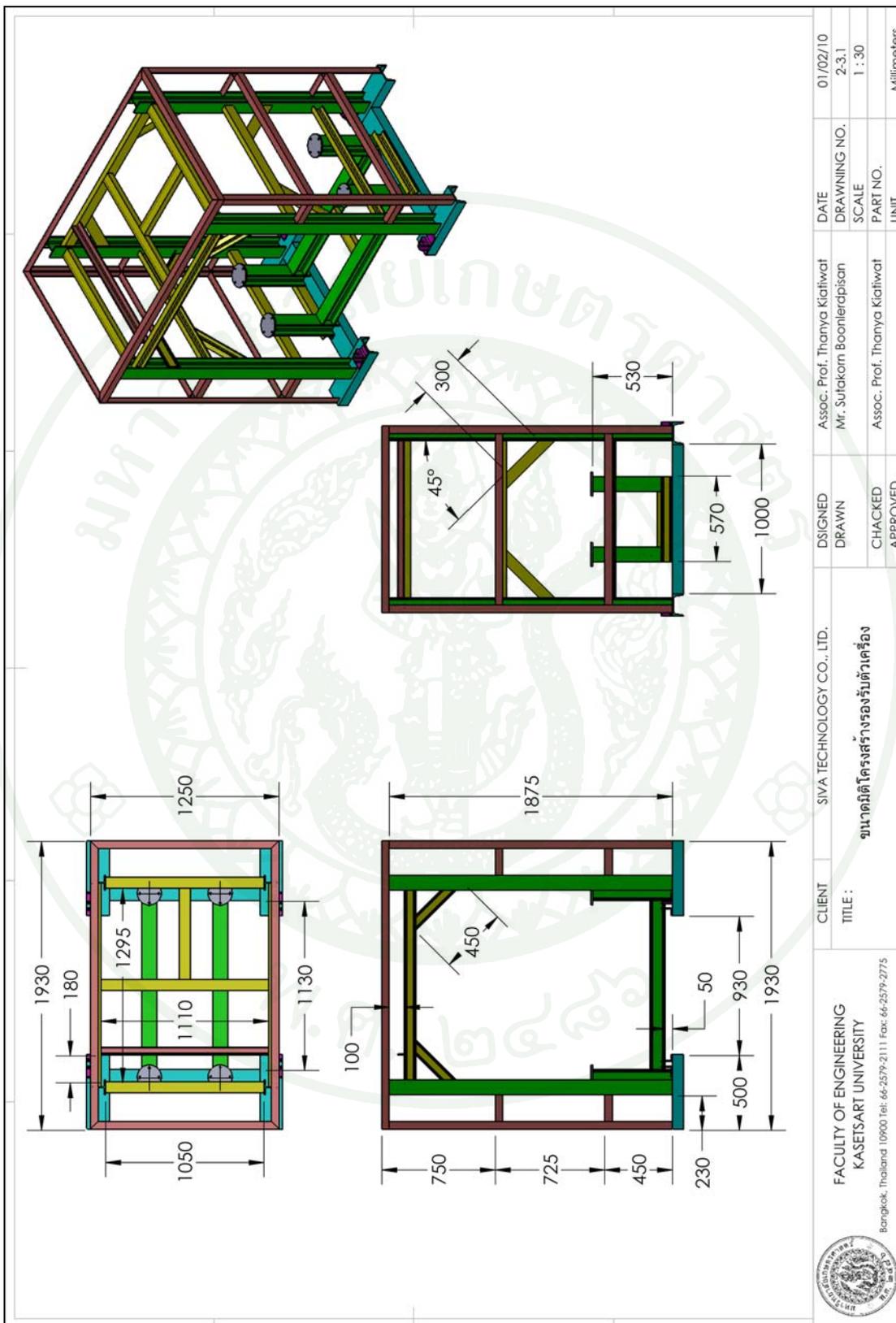
Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775

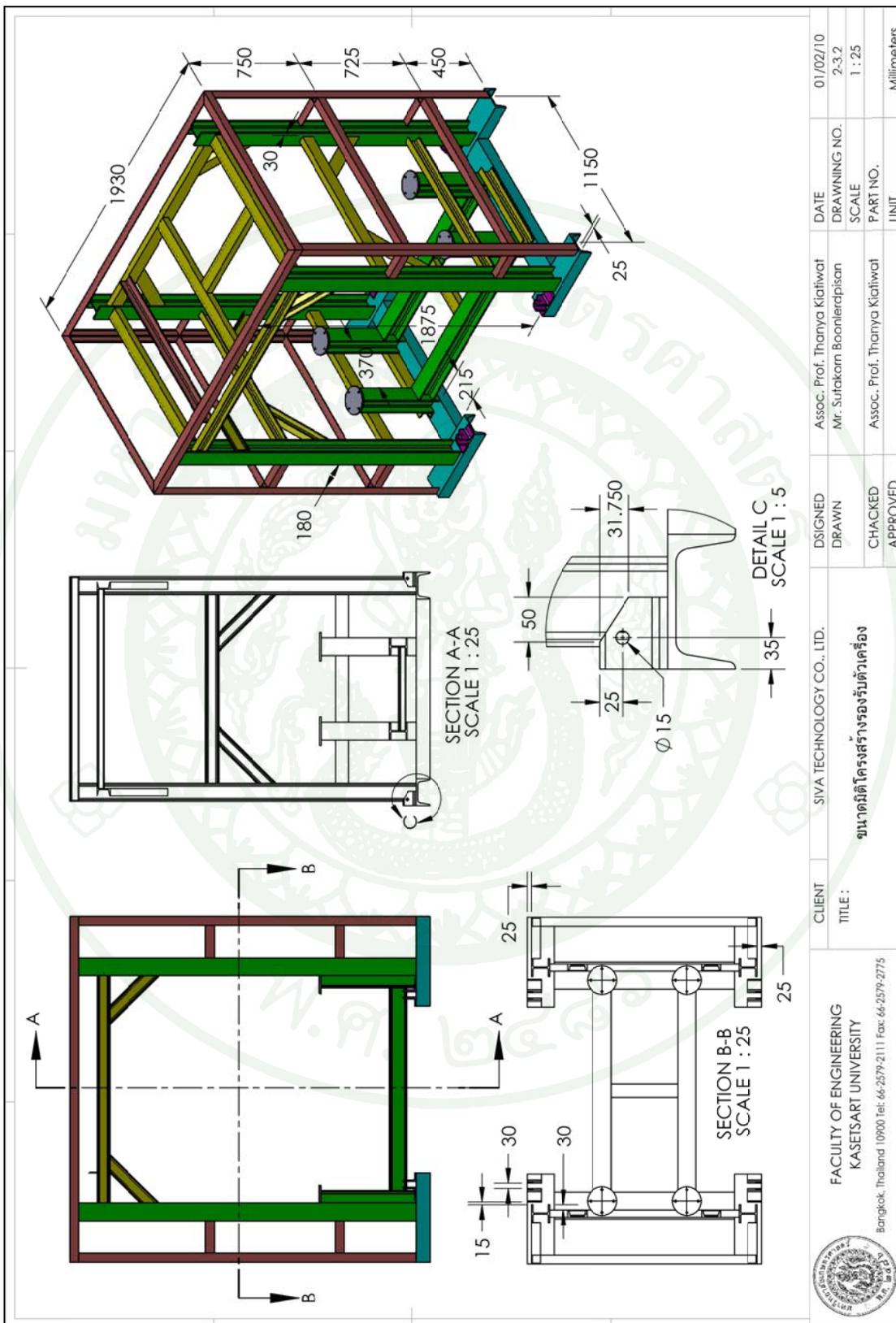
CLIENT SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.

TITLE :

โครงสร้างรองรับตัวเครื่อง

DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/02/10
DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerdipisan	DRAWING NO.	2-3
CHACKED		SCALE	1 : 25
APPROVED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	PART NO.	
		UNIT	Millimeters





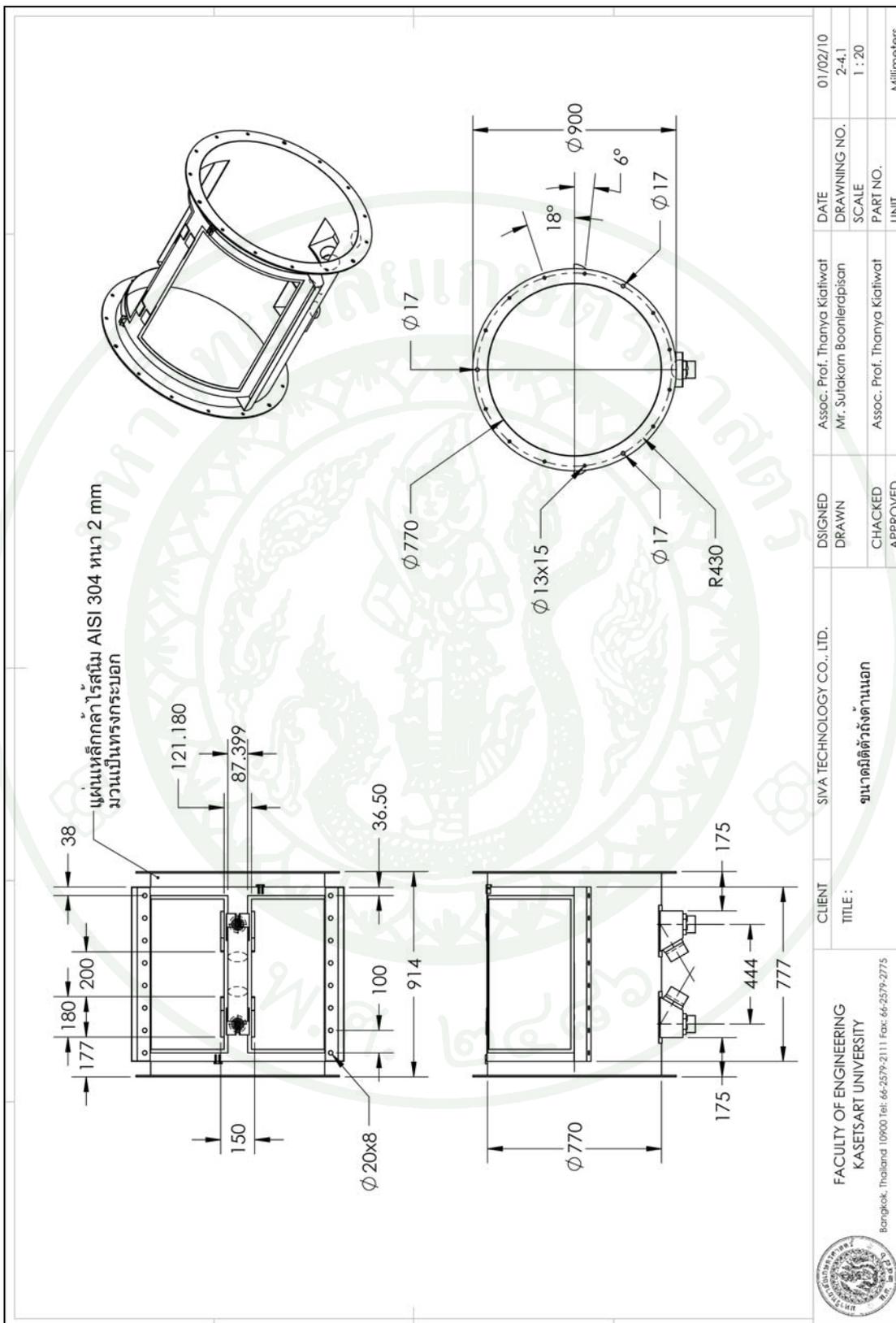
 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ขนาดมิติโครงสร้างรองรับตัวเครื่อง	DRAWN	Mr. Sutakorn Boonlerdipisan	DRAWING NO.	2-32
			CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE	1 : 25
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

ITEM NO.	PART NAME	DESCRIPTION	QTY.
1	ตัวถังด้านนอก	เหล็กกล้า ไร้สนิม AISI304	1
2	ฝาถังด้านนอก	เหล็กกล้า ไร้สนิม AISI304	2
3	สลักกันไฟถึงตะกั่วซึก	เหล็กกล้า ไร้สนิม AISI304	2
4	กล่องดักสิ่งตกค้าง	เหล็กกล้า ไร้สนิม AISI304	2

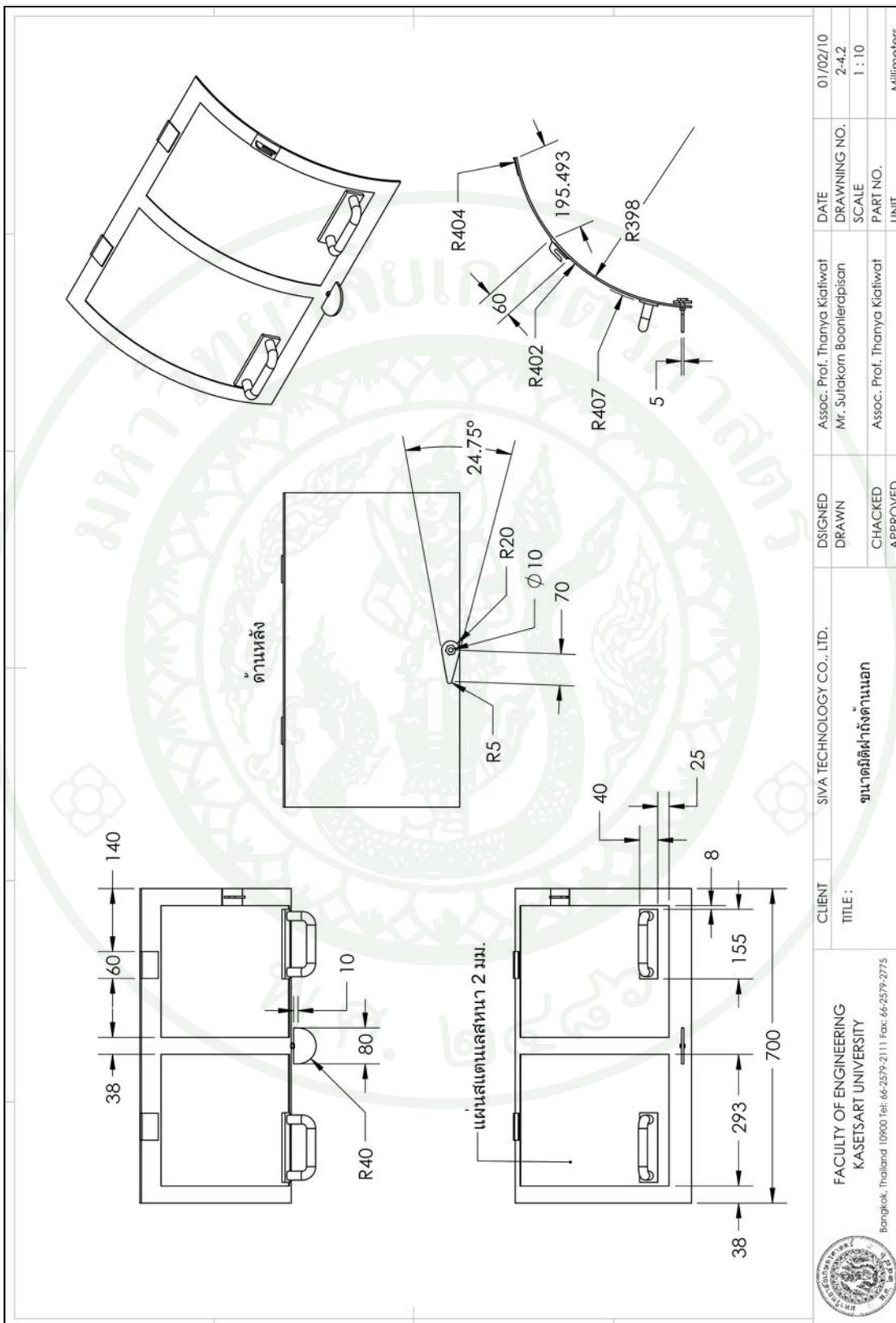
FRONT VIEW SCALE 1 : 20

CLIENT SIVA TECHNOLOGY CO., LTD. TITLE : ส่วนประกอบตัวถังด้านนอก	DESIGNED DRAWN	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat Mr. Sutakorn Boanlerapisan	DATE DRAWING NO.	01/02/10 2-4
	CHECKED APPROVED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	SCALE PART NO. UNIT	1 : 12 PART NO. UNIT Millimeters

FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775	
---	--



FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ขนาดติดตั้งถังดักไขมัน	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapisan	DRAWING NO.	2-4.1
			CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	SCALE	1 : 20
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

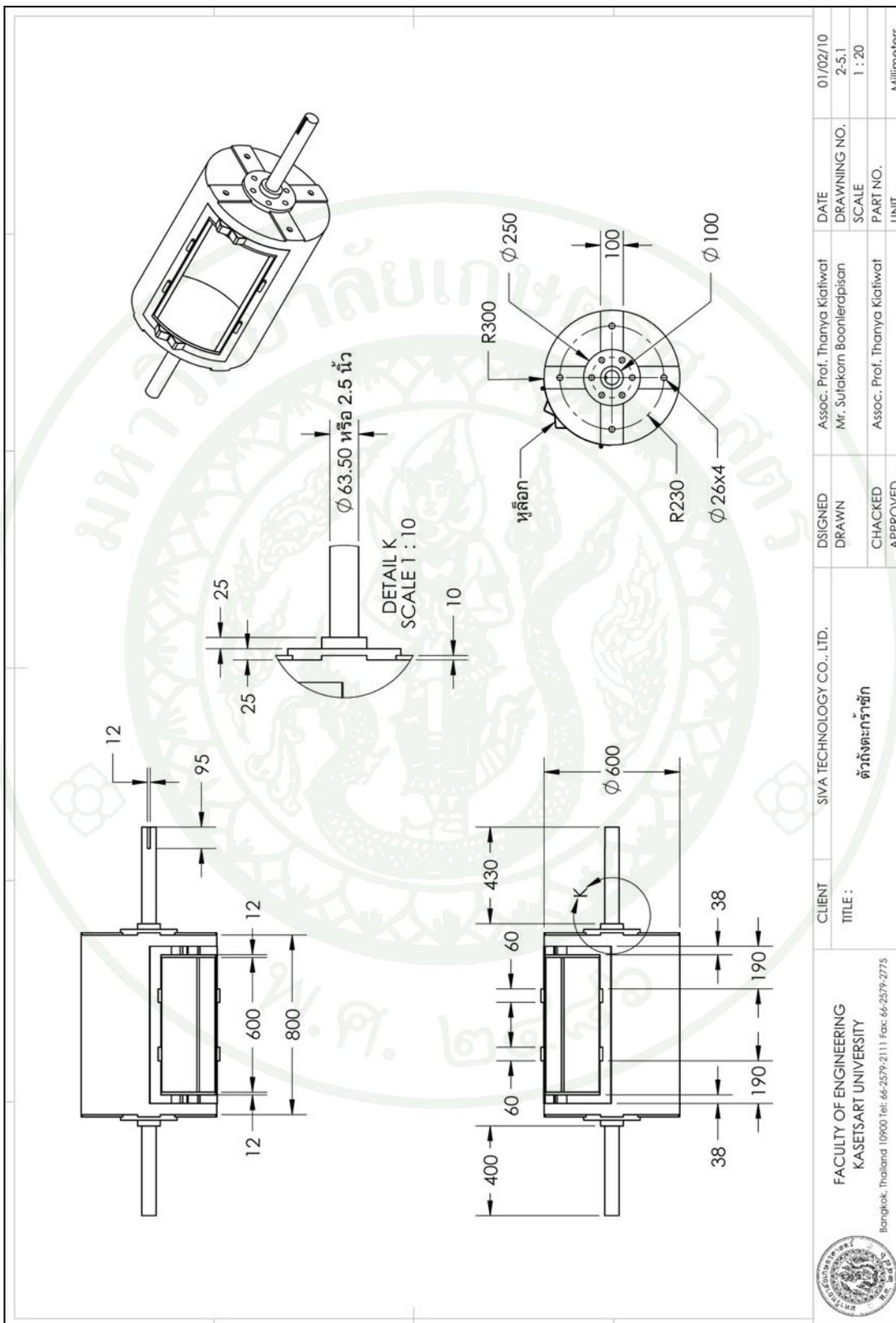


 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ขนาดตู้ฝ้าห้องด้านนอก	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	2-4-2
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	SCALE	1 : 10
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

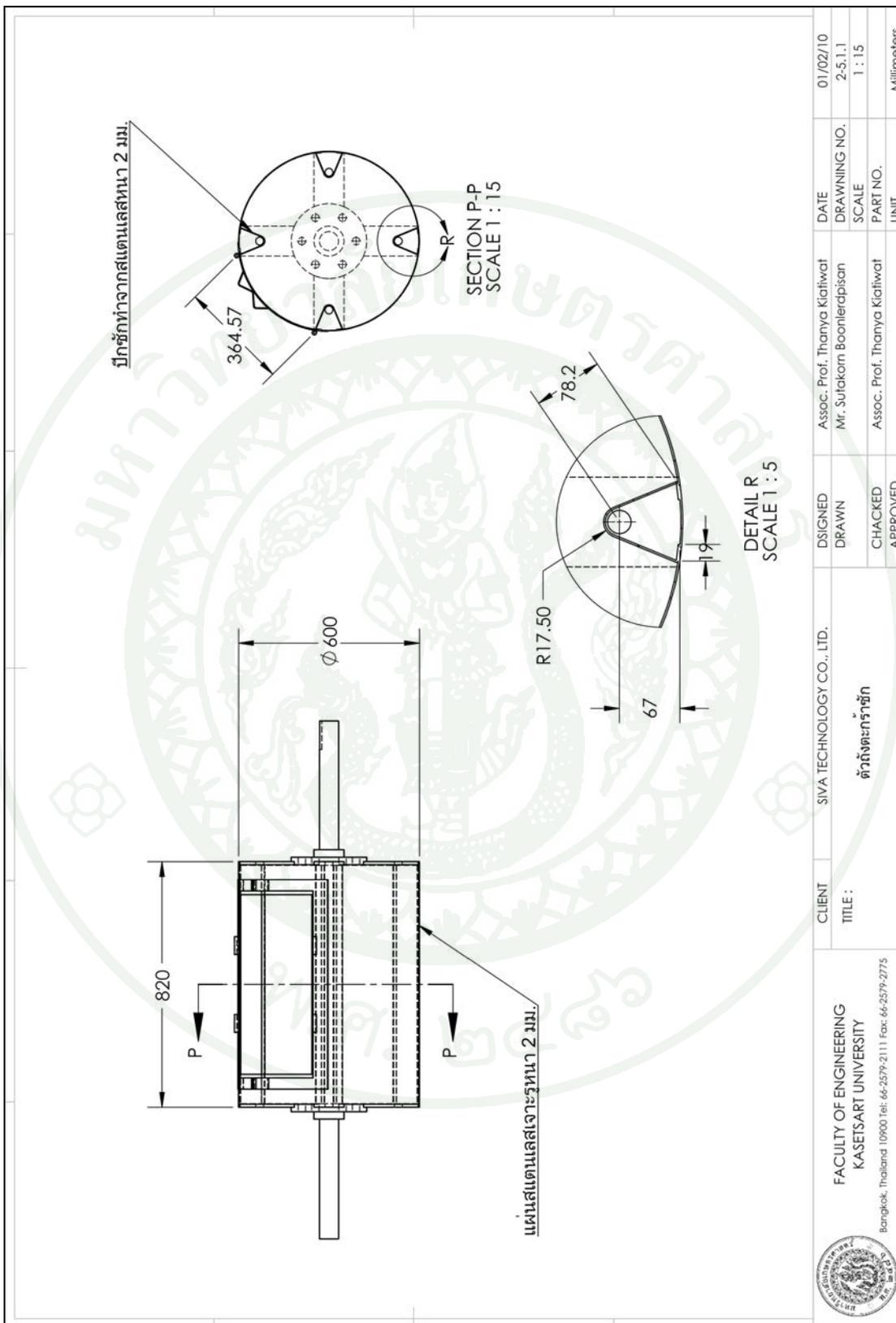
ITEM NO.	PART NAME	DESCRIPTION	QTY.
1	ตัวถังตะกร้าชั๊ก	แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ม้วนเจาะรู รอบตัวถัง	1
2	ฝาถังตะกร้าชั๊ก 1	แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เจาะรู	1
3	ฝาถังตะกร้าชั๊ก 2	แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เจาะรู	1
4	กลอนล็อคฝาถังตะกร้าชั๊ก	เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304	2
5	โลหะแบ่งกมลมีดถังชั๊ก	เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ϕ 1 นิ้ว ยาว 840 mm	4

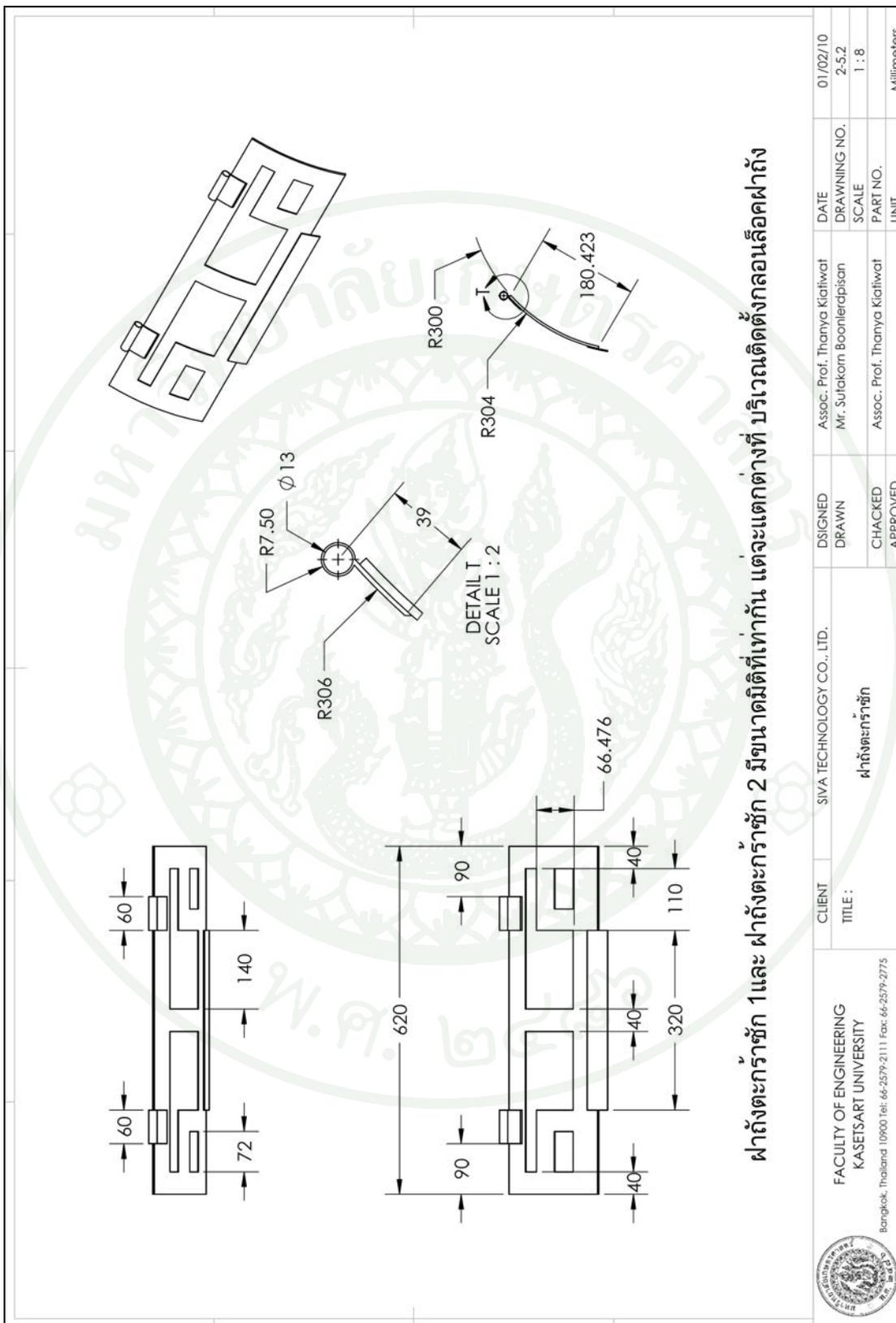
CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	DATE	01/02/10
TITLE	ส่วนประกอบถังตะกร้าชั๊ก	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	2-5
		CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Kiatiwat	SCALE	1 : 10
		APPROVED		PART NO.	
				UNIT	Millimeters

FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775	
---	--



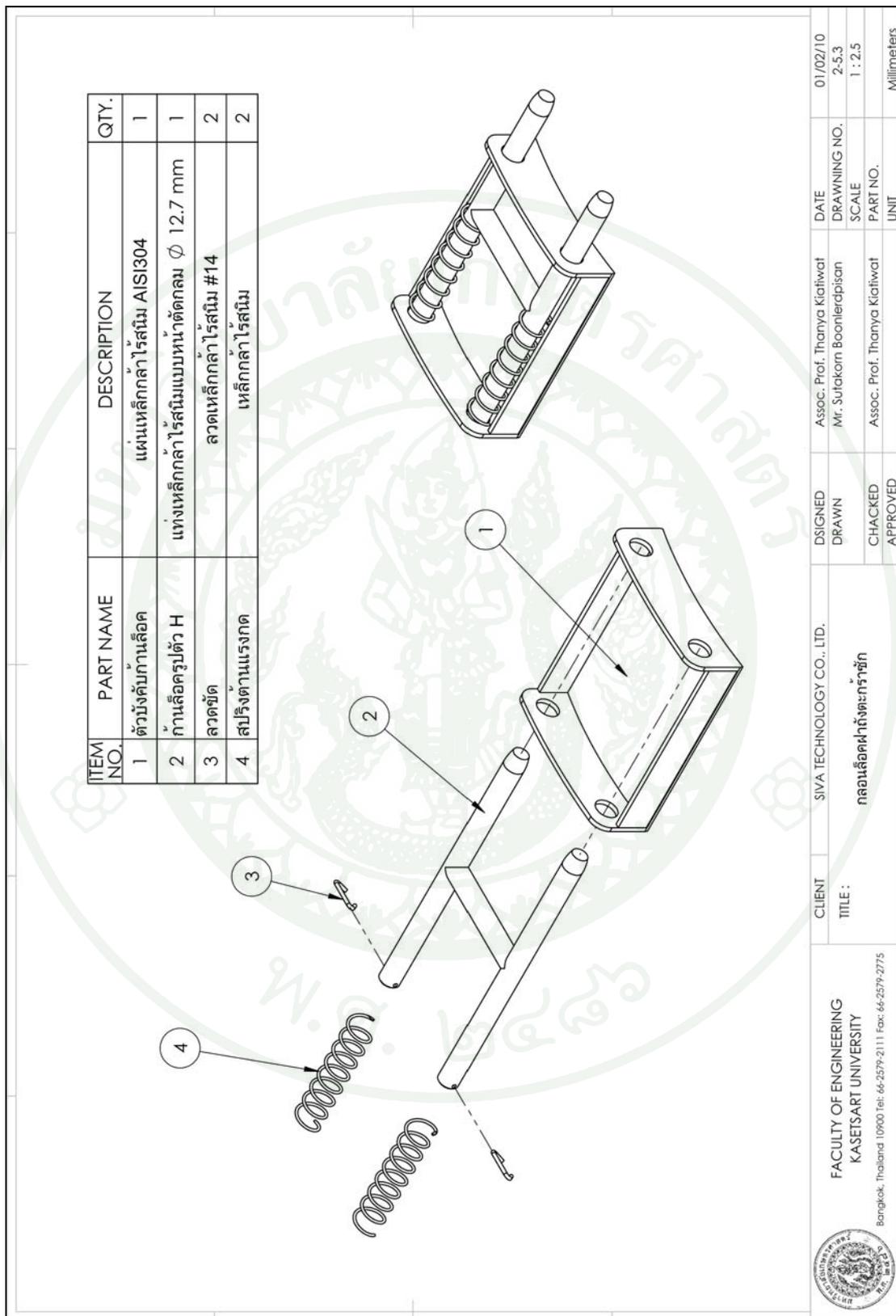
FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775	CLIENT SIVA TECHNOLOGY CO., LTD. TITLE : ตัวตั้งกระดาษชัก	DESIGNED Assoc. Prof. Thanya Klaitwat DRAWN Mr. Sutakorn Boanlerapison	DATE 01/02/10 DRAWING NO. 2-5.1
		CHACKED Assoc. Prof. Thanya Klaitwat APPROVED	SCALE 1 : 20 PART NO. UNIT Millimeters

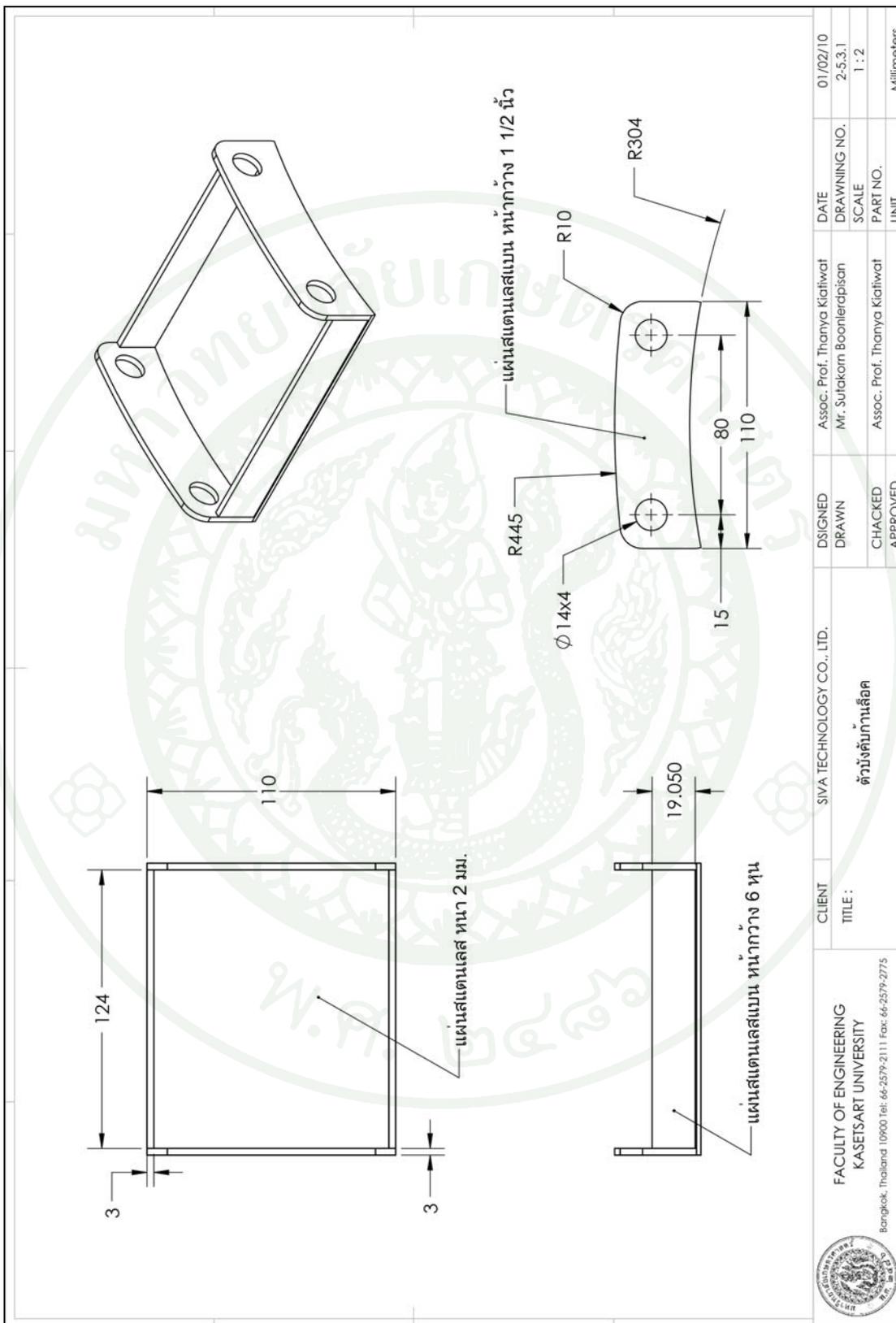




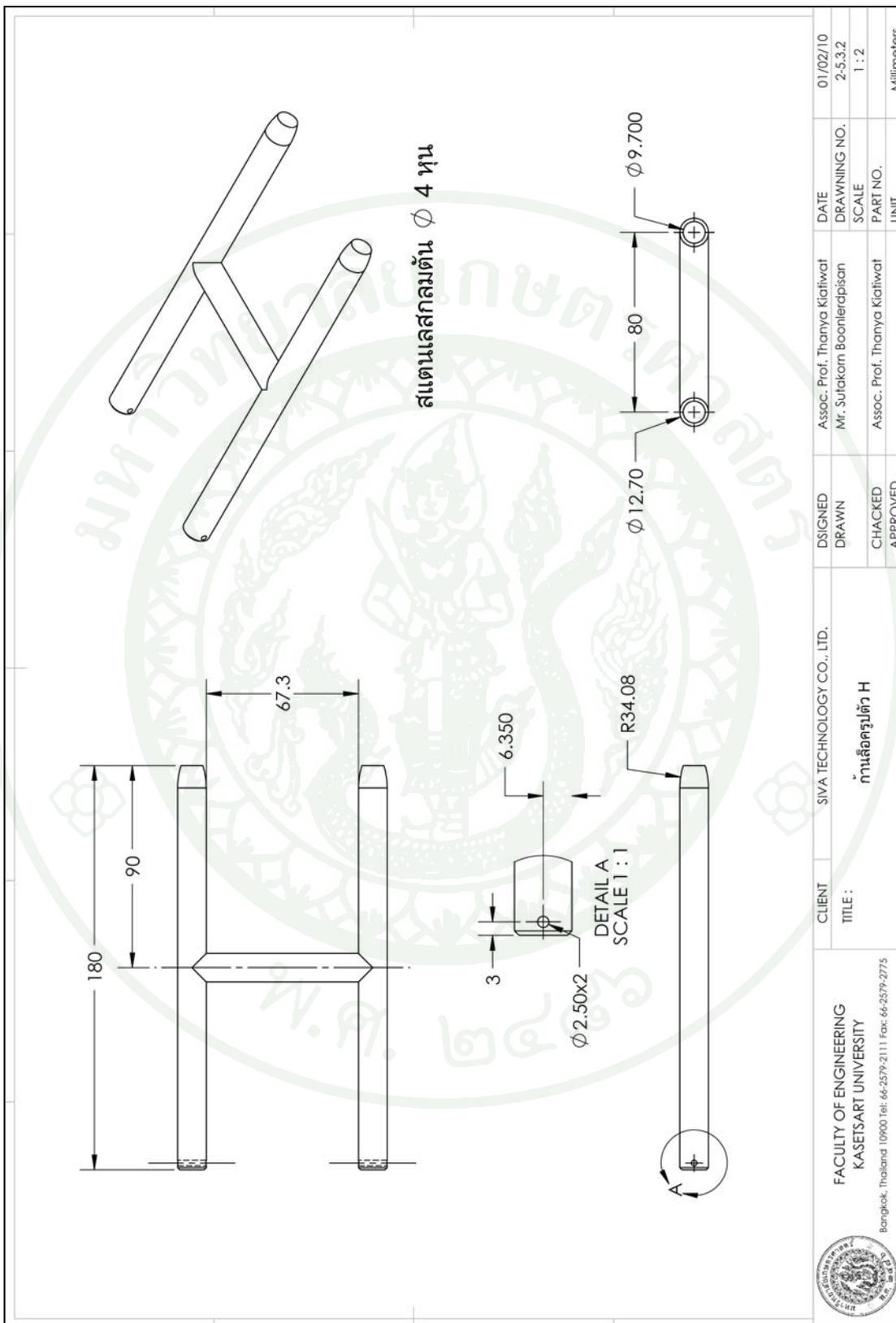
ฟ้างัดทะกะร่าซั๊ก 1 และ ฟ้างัดทะกะร่าซั๊ก 2 มีขนาดมิติที่เท่ากัน แต่จะแตกต่างกัน บริเวณติดตั้งกลอนล้อคฟ้างัด

 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ฟ้างัดทะกะร่าซั๊ก	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapisan	DRAWING NO.	2-5-2
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	SCALE	1 : 8
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

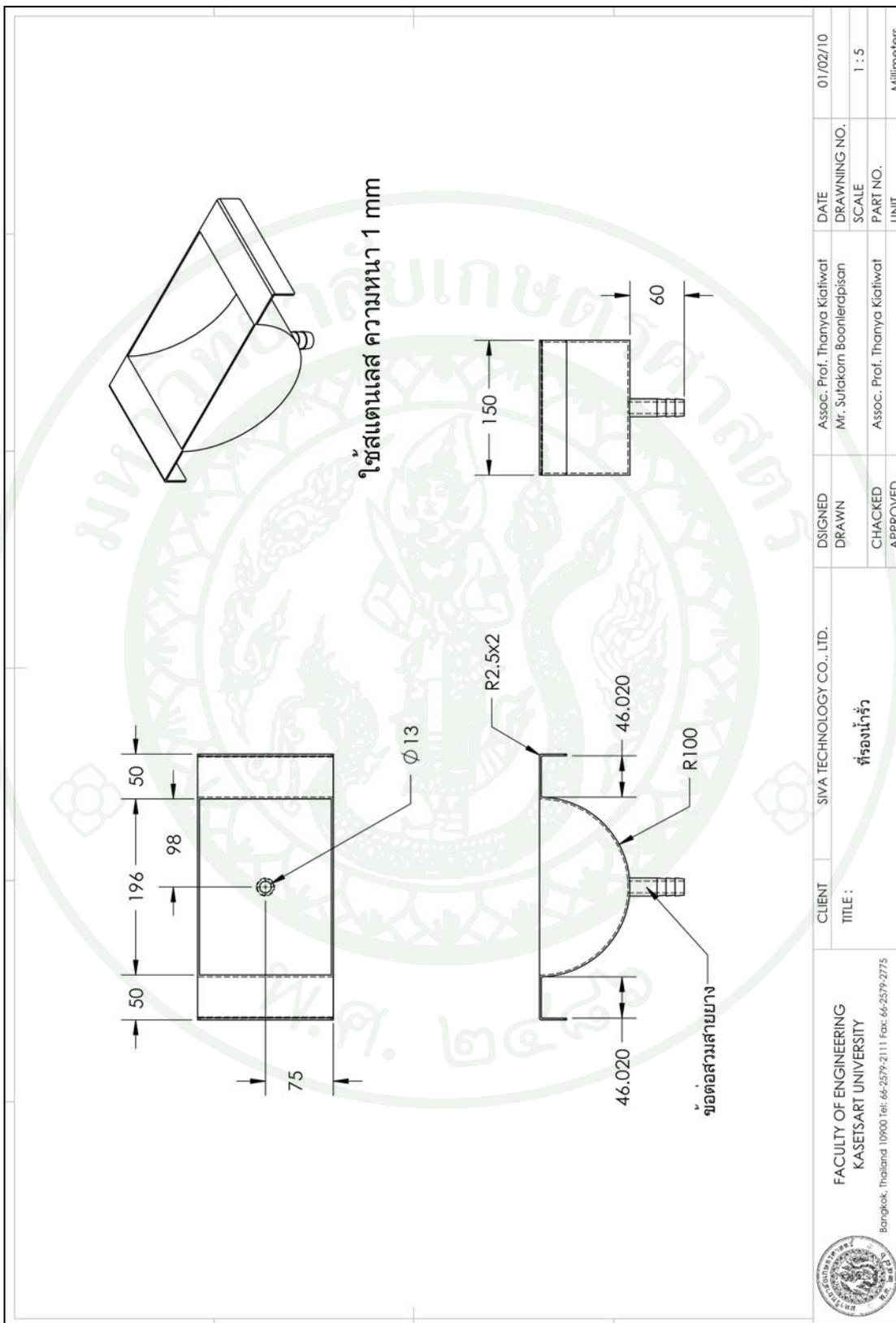




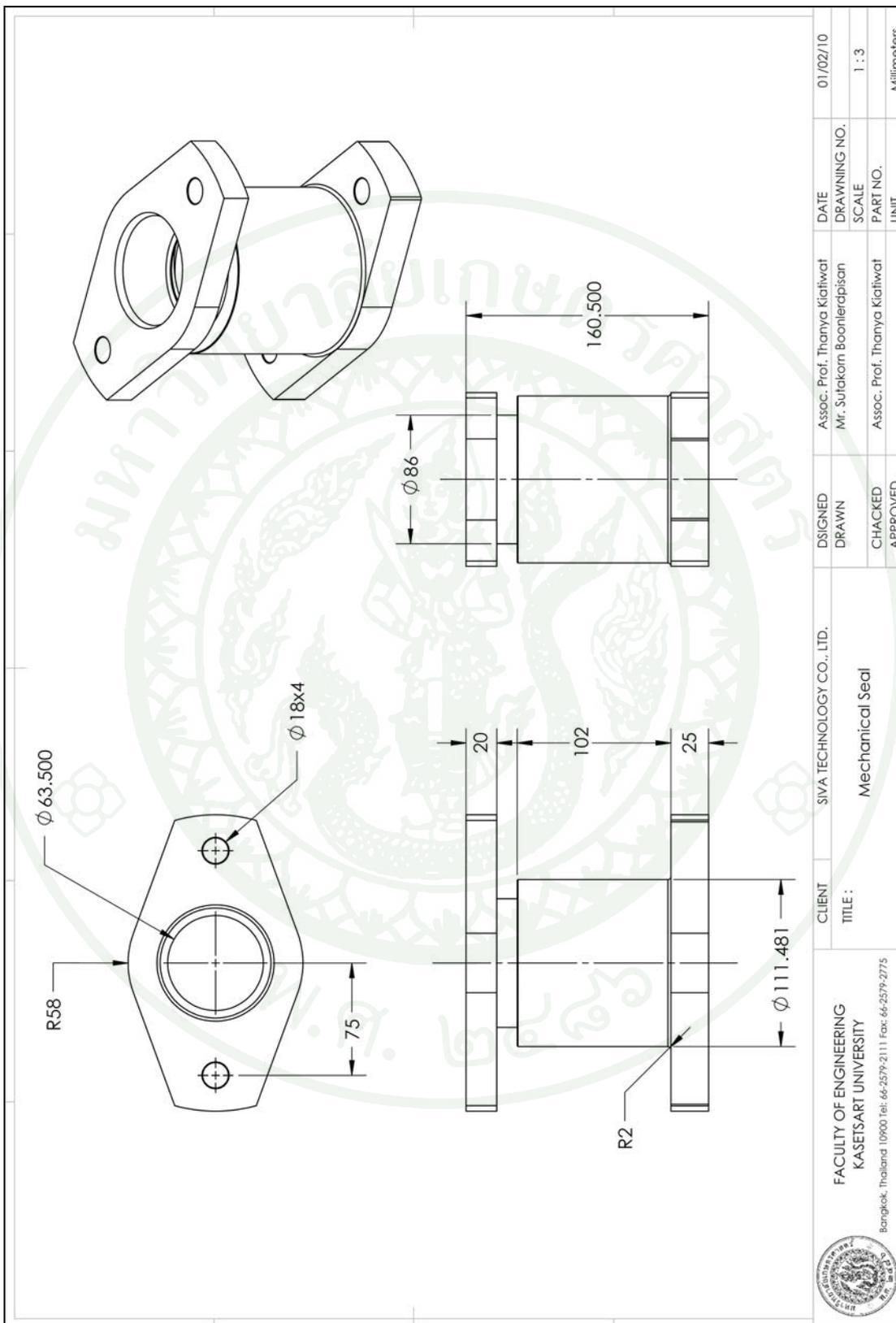
 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klitwatt	DATE	01/02/10
	TITLE	ตัวบังคับกำลังยึด	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	2-5.3.1
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Klitwatt	SCALE	1 : 2
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



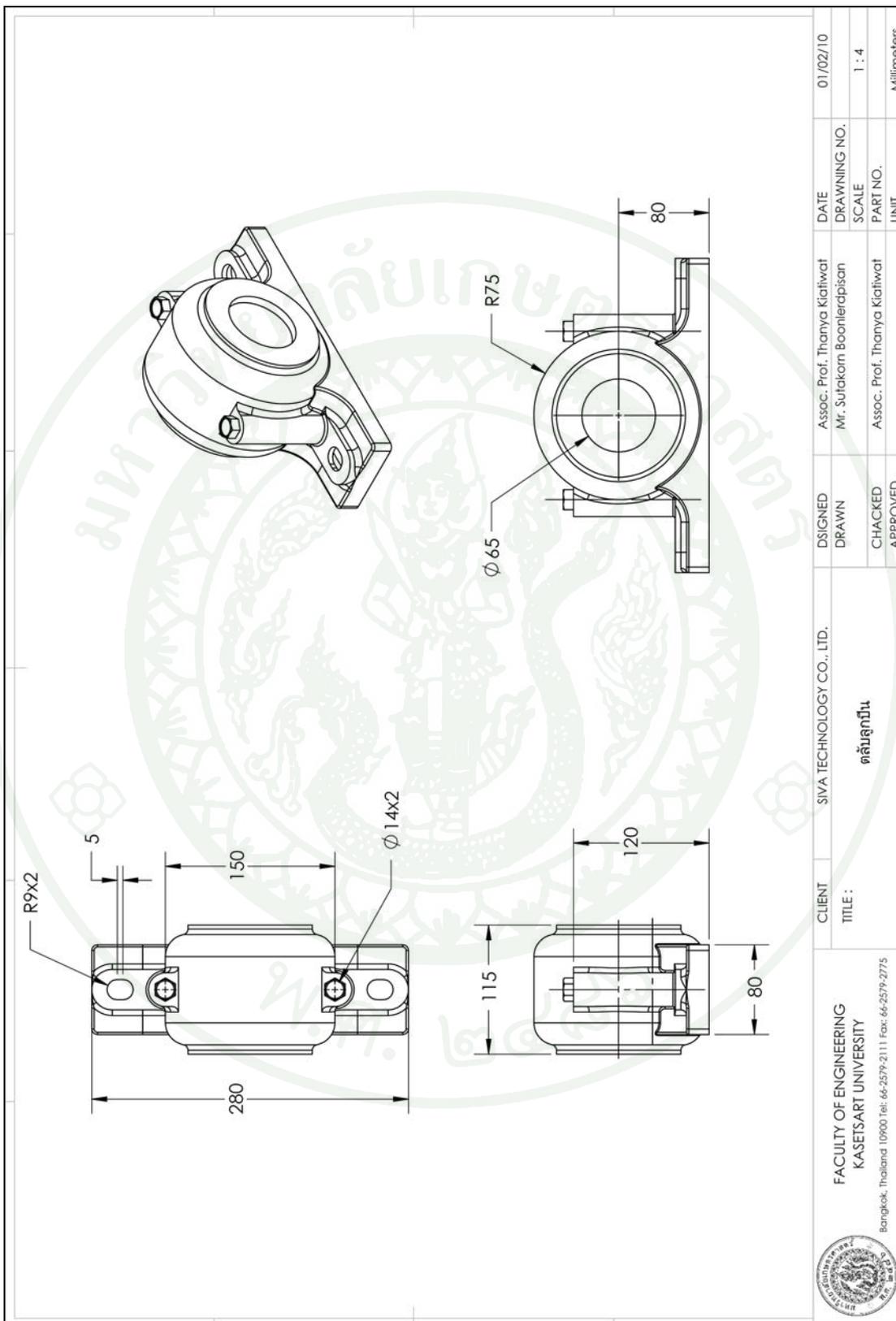
 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ก้านยึดครุภัณฑ์ H	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	2-53.2
			CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Klaiwat	SCALE	1 : 2
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



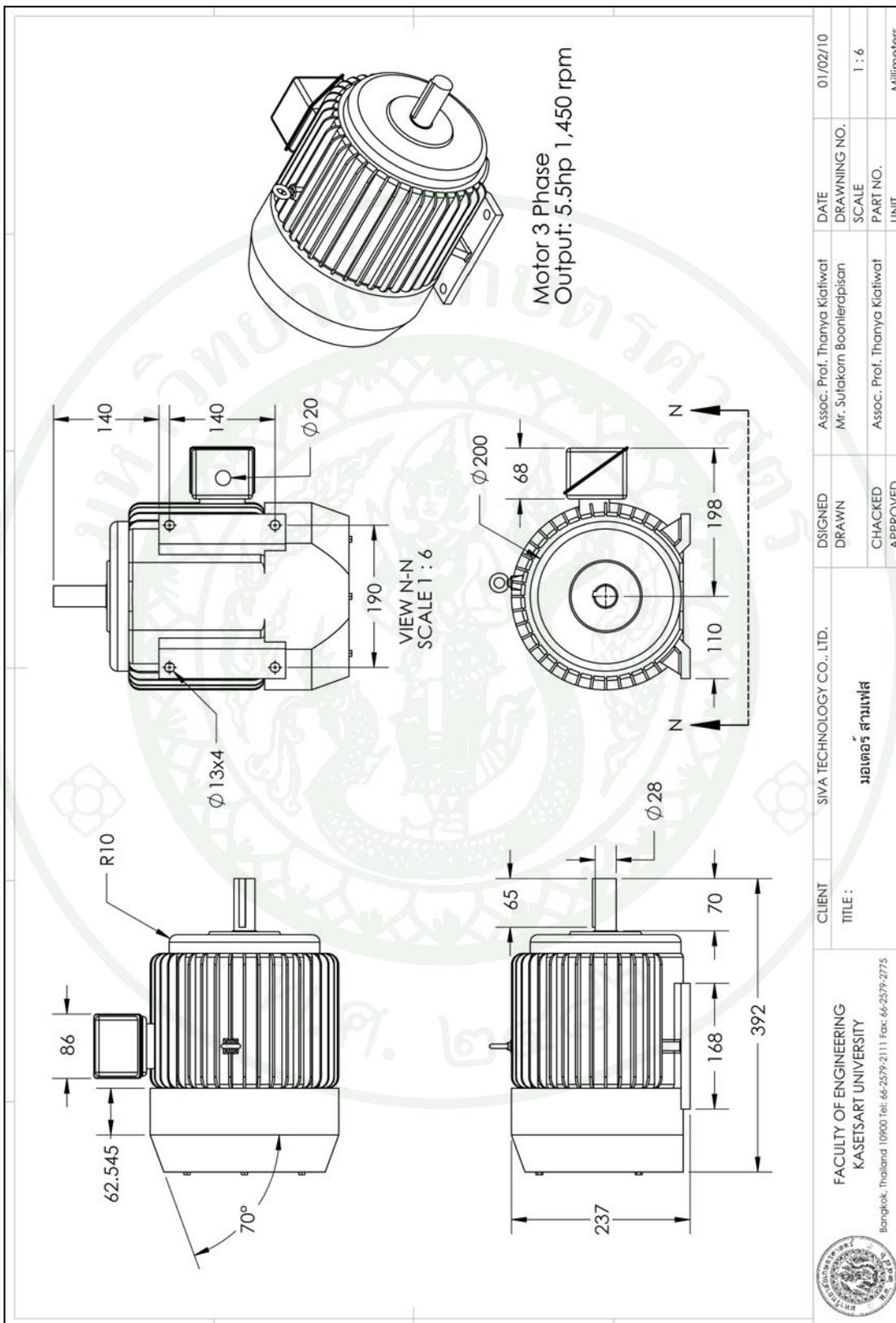
 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klitwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ที่รองน้ำรั้ว	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Klitwat	SCALE	1 : 5
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters



 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaitwat	DATE	01/02/10
	TITLE	Mechanical Seal	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	
			CHACKED	Assoc. Prof. Thanya Klaitwat	SCALE	1 : 3
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

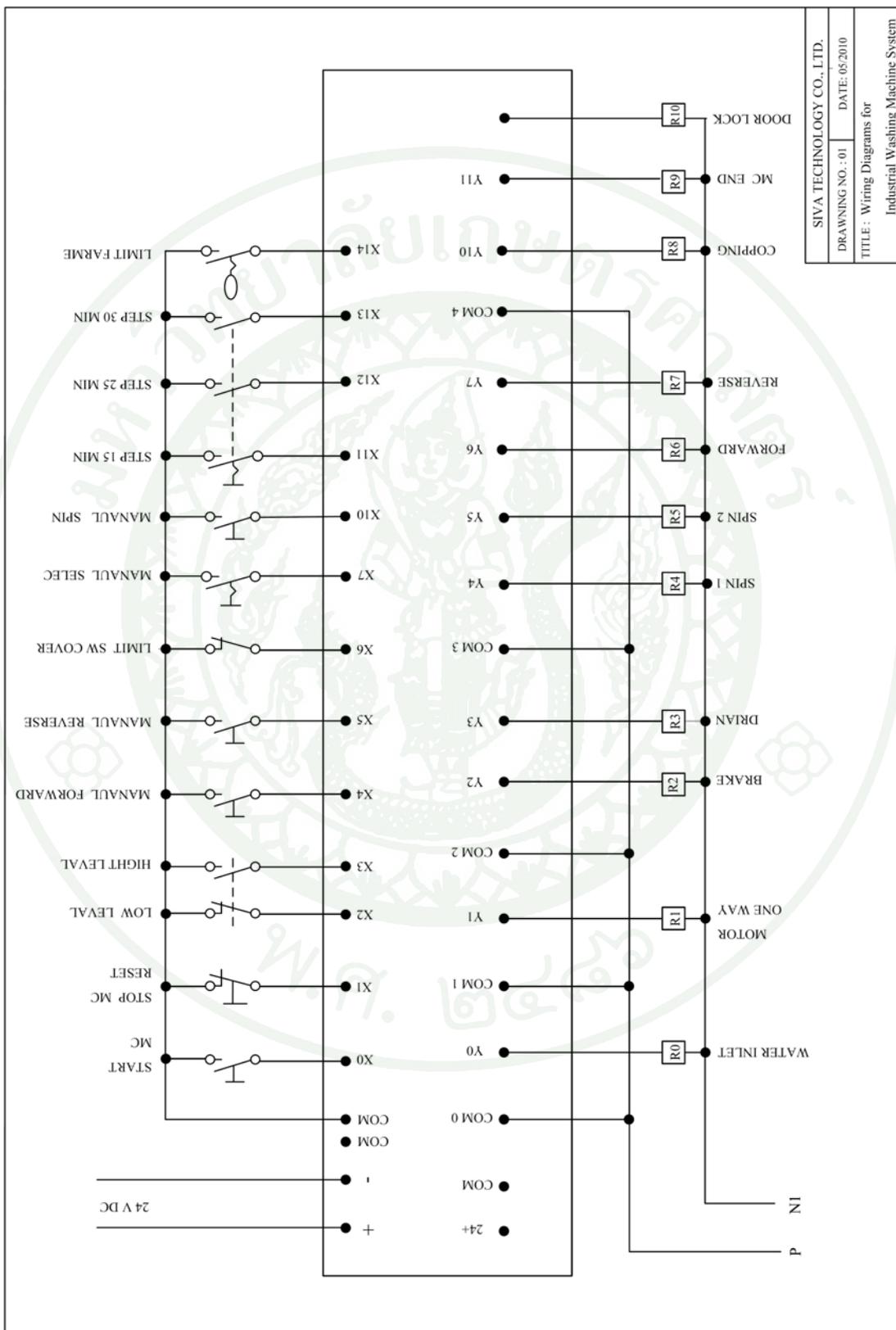


 <p>FACULTY OF ENGINEERING KASETSART UNIVERSITY Bangkok, Thailand 10900 Tel: 66-2579-2111 Fax: 66-2579-2775</p>	CLIENT	SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	DESIGNED	Assoc. Prof. Thanya Klaitiwat	DATE	01/02/10
	TITLE	ตุ้มลูกปืน	DRAWN	Mr. Sutakorn Boanlerapison	DRAWING NO.	
			CHECKED	Assoc. Prof. Thanya Klaitiwat	SCALE	1 : 4
			APPROVED		PART NO.	
					UNIT	Millimeters

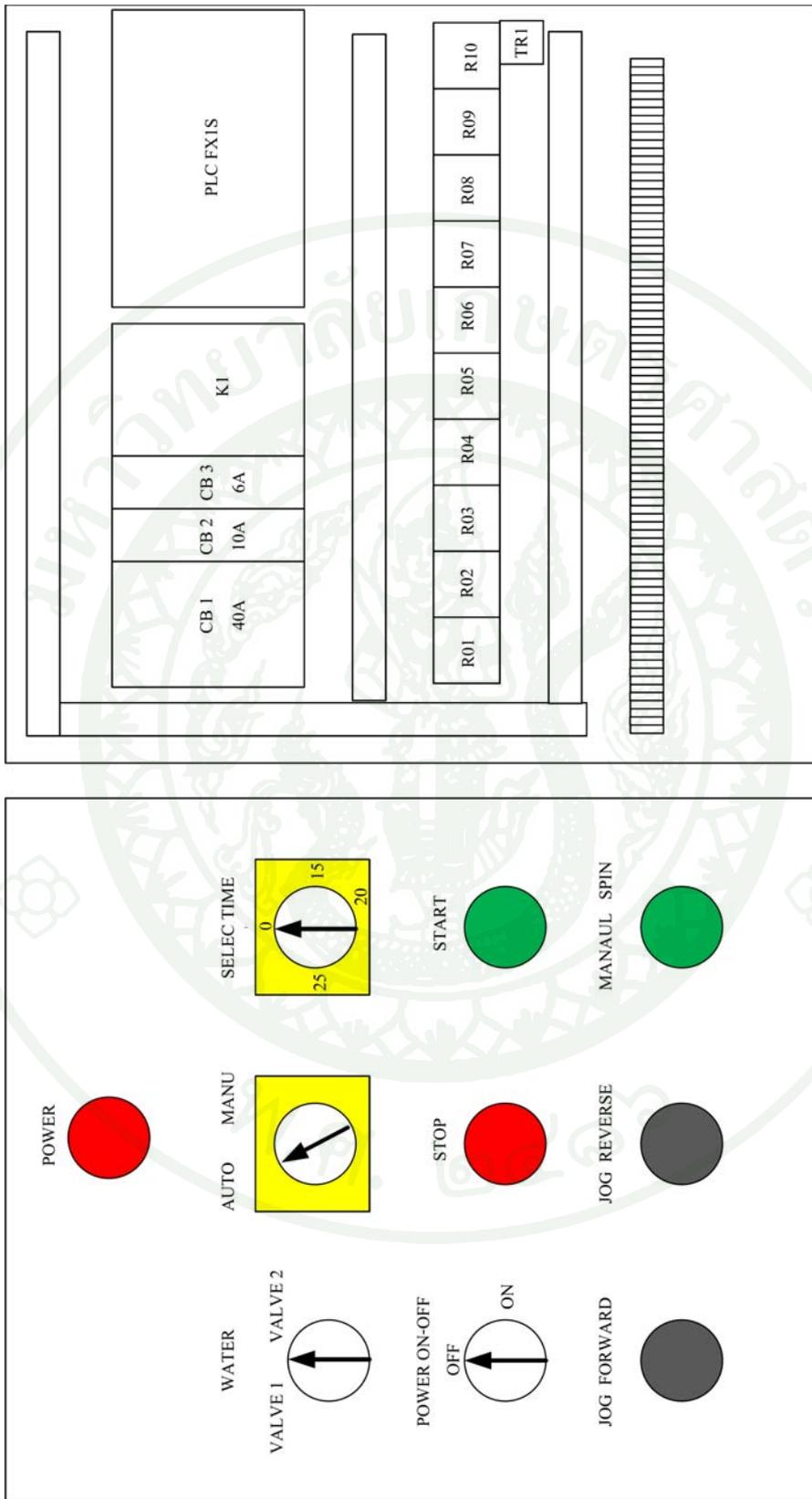




ภาคผนวก ค
แบบวงจรไฟฟ้าและแบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

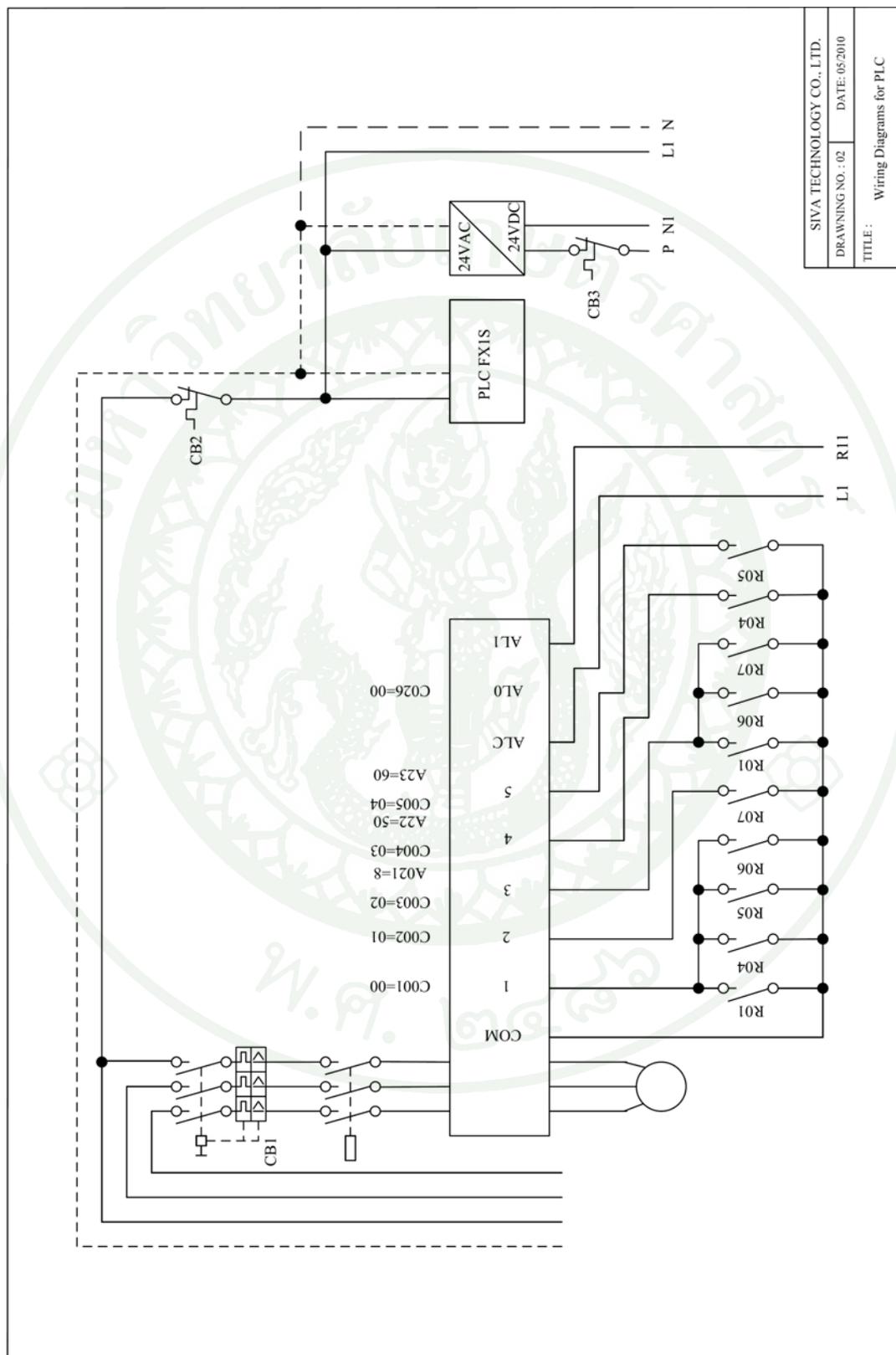


SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.
 DRAWING NO.: 01 DATE: 05/2010
 TITLE: Wiring Diagrams for
 Industrial Washing Machine System

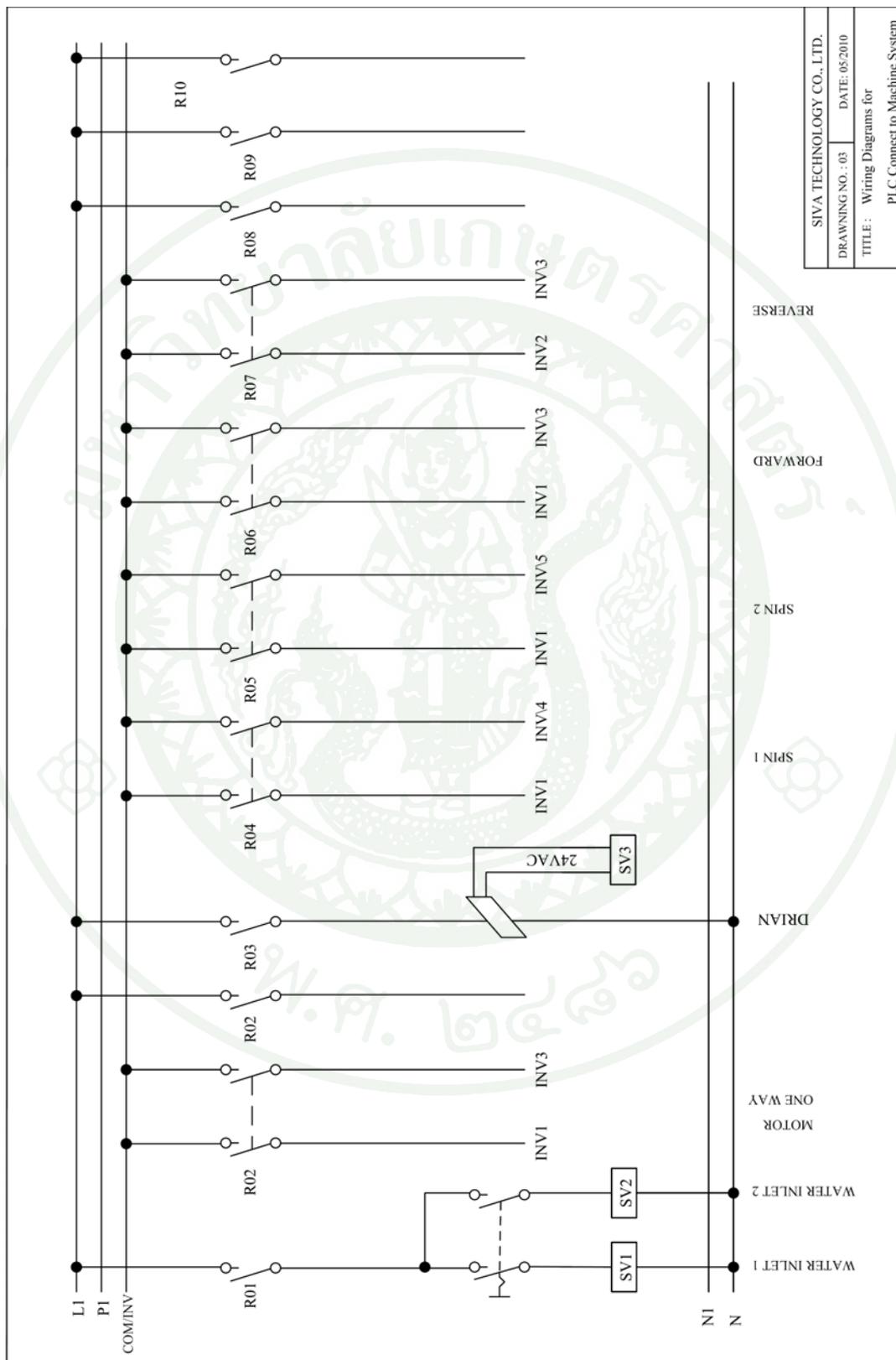


แผนผังตู้ควบคุมไฟฟ้าภายใน

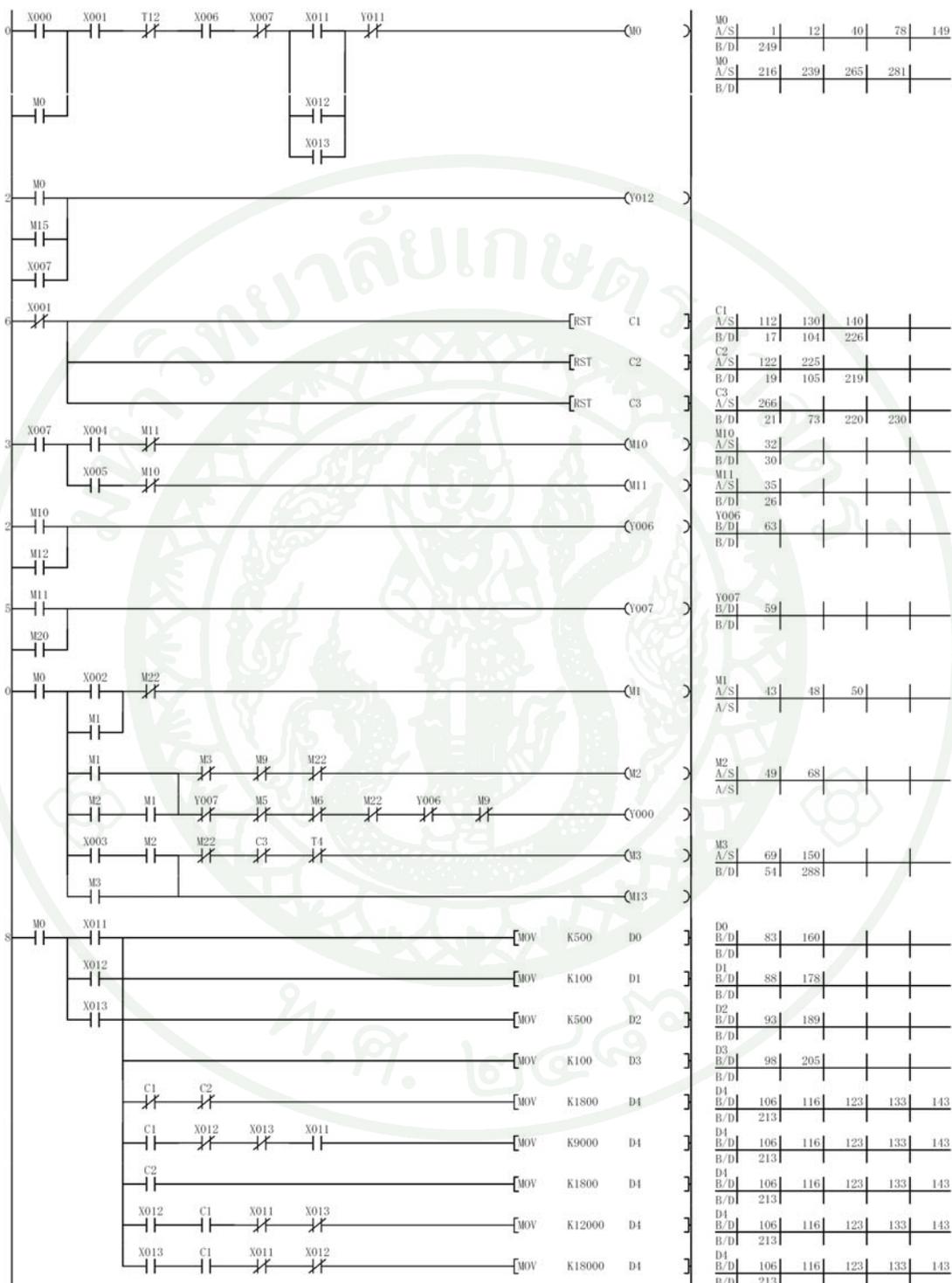
แผนผังตู้ควบคุมไฟฟ้าภายนอก



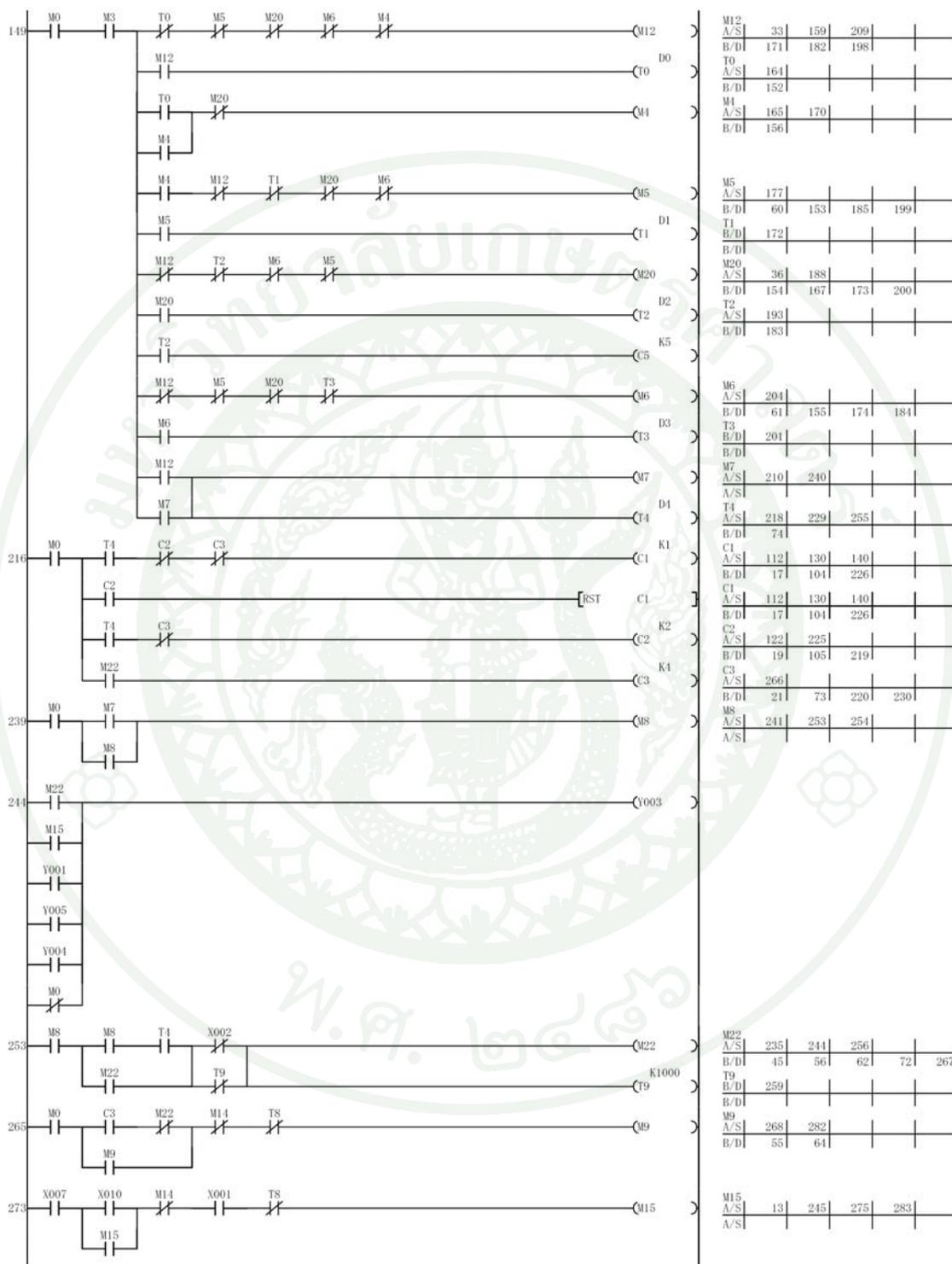
SIVA TECHNOLOGY CO., LTD.	
DRAWING NO. : 02	DATE: 05/2010
TITLE: Wiring Diagrams for PLC	



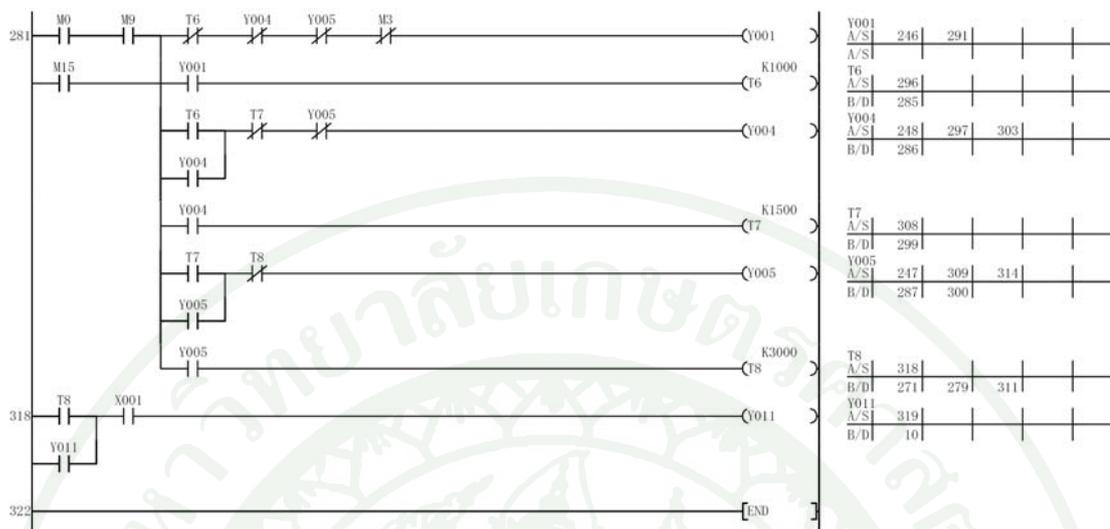
แบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า (PLC Ladder)



แบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า (PLC Ladder) (ต่อ)



แบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า (PLC Ladder) (ต่อ)





ภาคผนวก ง
ประเมินต้นทุนการผลิตเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

ประเมินต้นทุนการผลิตเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมแบบปั่นหมาดในตัว

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ดำเนินการประเมินต้นทุนในการผลิตเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ ดังแสดงในตารางแสดงผลด้านล่างดังต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ ๑ แสดงการประเมินต้นทุนด้านโครงสร้างของเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

รายการ	ชื่อชิ้นงาน	ชนิดของเหล็ก	ปริมาณ (kg)	ราคาต่อหน่วย บาท/kg	ราคารวม (บาท)
1	แผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา	SS400	220.4	50	11,020
2	แผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย	SS400	203.3	50	10,165
3	ฐานรองมอเตอร์	SS400	8	50	400
4	คานเหล็ก 4 ต้น	JIS G3192	36.92	50	1,846
5	ฐานเครื่องซักผ้า	JIS G3192	192.5	50	9,625
6	โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง	JIS G3192	298.68	50	14,934
7	สแตนเลสใช้ในโครงสร้างปิดบัง	AISI 304	135	150	20,250
8	สแตนเลสหน้าตัดกลม 3 เส้น	AISI 304	6.42	150	963
9	ตัวถังนอก	AISI 304	72.83	150	10,925
10	ถังซัก	AISI 304	108.5	150	16,275
รวม					96,403

ตารางผนวกที่ 2 แสดงการประเมินต้นทุนด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องซักผ้าฯ ต้นแบบ

รายการ	ชื่ออุปกรณ์	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	ถังลมรองรับน้ำหนักตัวเครื่อง	2,500	4	10,000
2	SLIP VALVE PT 1/4"	500	1	500
3	POLY TUBING 8mm (BL)	60	50 m	3,000
4	AIR FILTER & REG	1150	1	1,150
5	AIR REGULATOR	625	3	1,875
6	MALE ELBOW 1/4" x 8mm	85	4	340
7	EQUAL TEE 8mm	100	2	200
8	MALE STUD FITTING 1/4" x 8mm	65	8	520
9	น๊อปเปิดเกลียวนอก	25	1	25
10	PLC MITSUBICHI FX1S 30MR	8,000	1	8,000
11	ตู้ CONTROL	1,000	1	1,000
12	เบรกเกอร์	200	1	200
13	RELAY 24VDC OMRON	200	10	2,000
14	ราง PVC	120	1	120
15	TERMINAL	200	1 ชุด	200
16	สวิตช์	1,200	1 ชุด	1,200
17	อื่น ๆ สายไฟ	1,200	1 ชุด	1,200
18	โซ่คัท ดูดซับแรง	1,200	4	4,800
19	ตลับลูกปืน SN 515	4,500	2	9,000
20	Mechanical Seal	3,000	2	6,000
21	มอเตอร์ 3 เฟส 5 - 5.5 แรงม้า มีเบรก	23,000	1	23,000
22	อินเวอร์เตอร์ HITACHI SJ200	24,000	1	24,000
23	ล้อยางพานลิ้มขนาดเล็ก OD 6"	800	1	800

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

รายการ	ชื่ออุปกรณ์	ราคาต่อ หน่วย	จำนวน	ราคารวม (บาท)
24	ล้อยาสายพานลิ้มขนาดใหญ่ OD 16"	9,500	1	9,500
25	สายพาน หน้าตัด "B"	4	3	12
26	ลวดเชื่อมสแตนเลส 3.2x350mm 2kg	290	2.5	725
27	ลวดเชื่อมสแตนเลสด้วยอาร์กอน	1,450	1/2	725
28	ลวดเชื่อมโลหะ 3.2x350mm 5kg	240	2	480
29	ลวดเชื่อมโลหะ 2.6x350mm 2kg	100	1	100
รวม				110,672

หมายเหตุ เนื่องจากข้อมูลด้านต้นทุนในรายละเอียด และ Drawing บางชิ้นส่วน ทางบริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการเปิดเผย เนื่องจากสภาวะการแข่งขันทางการค้าที่สูงมาก

การประเมินต้นทุนในการผลิตเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ

1. ด้านโครงสร้าง 96,403 บาท
2. ด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องซักผ้าอุตสาหกรรมต้นแบบ 110,672 บาท

รวมเป็นต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมด 207,075 บาท โดยที่ไม่รวมค่าแรงงานในการผลิต



การคำนวณหามวลของเครื่องซักผ้าแบบปั่นหมาดในตัว

ในการคำนวณหามวลของตัวเครื่องนั้นจะใช้โปรแกรม SolidWorks ในการหามวลในแต่ละชิ้นส่วนประกอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. มวลของถังนอก

จาก [1] น้ำหนักของถังนอกเท่ากับ 714.4 N

$$\text{ดังนั้นมวลของถังนอก} \quad 714.4 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2 = 72.83 \text{ kg} \quad (\text{จ1})$$

2. มวลของถังซัก

จาก [2] น้ำหนักของถังซักเท่ากับ $1,064 \text{ N}$

$$\text{ดังนั้นมวลของถังซัก} \quad 1,064 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2 = 108.46 \text{ kg} \quad (\text{จ2})$$

3. มวลของ Mechanical Seal

จาก [3] น้ำหนักของ Mechanical Seal เท่ากับ 71.9 N

$$\text{ดังนั้นมวลของ Mechanical Seal} \quad 2(71.9 \text{ N}) / 9.81 \text{ m/s}^2 = 14.66 \text{ kg} \quad (\text{จ3})$$

4. มวลของฐานเหล็กรองรับมอเตอร์และมอเตอร์

จาก [5] น้ำหนักของฐานเหล็กรองรับมอเตอร์เท่ากับ 77 N

จาก [8] มวลของมอเตอร์เท่ากับ 40 kg

$$\text{ดังนั้นมวลของฐานเหล็กรองรับมอเตอร์และมอเตอร์} \\ (77 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2) + 40 \text{ kg} = 47.85 \text{ kg} \quad (\text{จ4})$$

5. มวลของตลับลูกปืน

จาก [6] น้ำหนักของตลับลูกปืนเท่ากับ 50.8 N

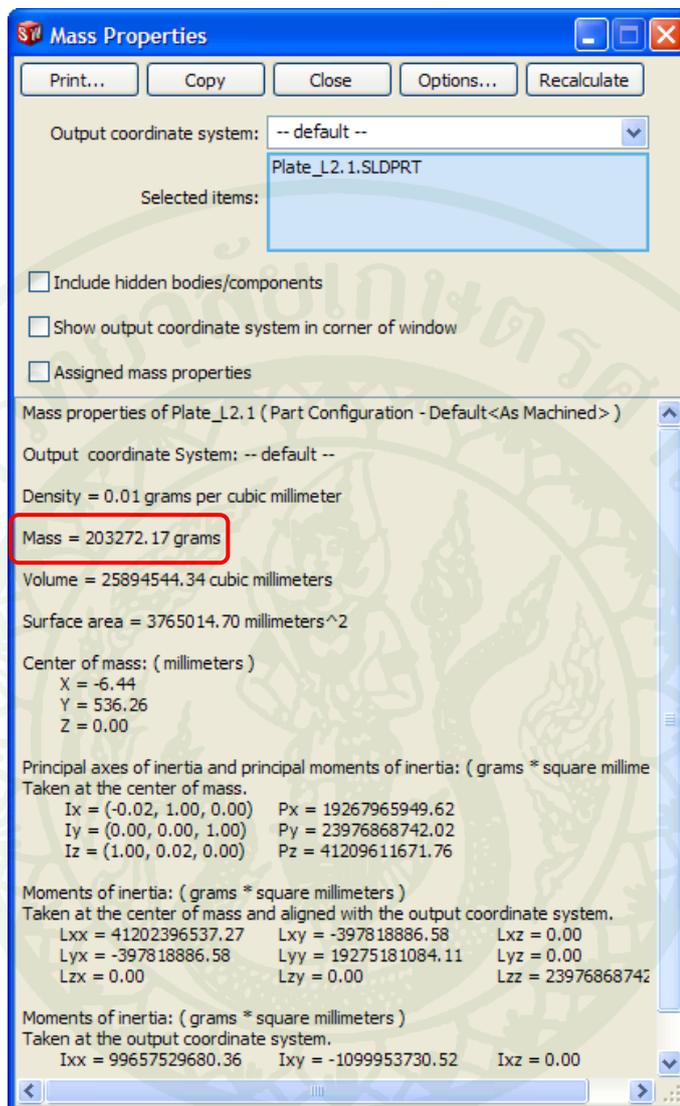
$$\text{ดังนั้นมวลของตลับลูกปืน} \quad 2(50.8 \text{ N}) / 9.81 \text{ m/s}^2 = 10.36 \text{ kg} \quad (\text{จ5})$$

6. มวลของล้อสายพานลุ่ม

จาก [7] น้ำหนักของล้อสายพานลุ่มเท่ากับ 154.2 N

$$\text{ดังนั้นมวลล้อสายพานลุ่ม} \quad 154.2 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2 = 15.72 \text{ kg} \quad (\text{จ6})$$

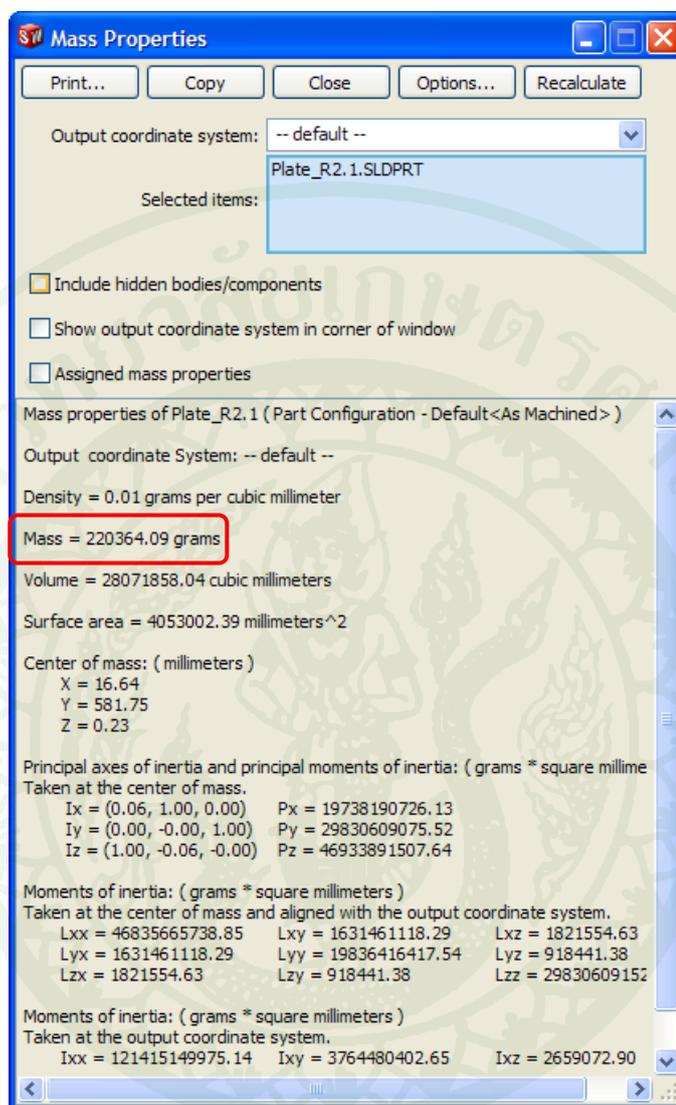
7. มวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)



ภาพผนวกที่ จ1 การหามวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านซ้าย (Plate-L)
ด้วยโปรแกรม SolidWorks

จากภาพผนวกที่ จ1 มวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังด้านซ้าย (Plate-L) เท่ากับ 203.3 kg (จ7)

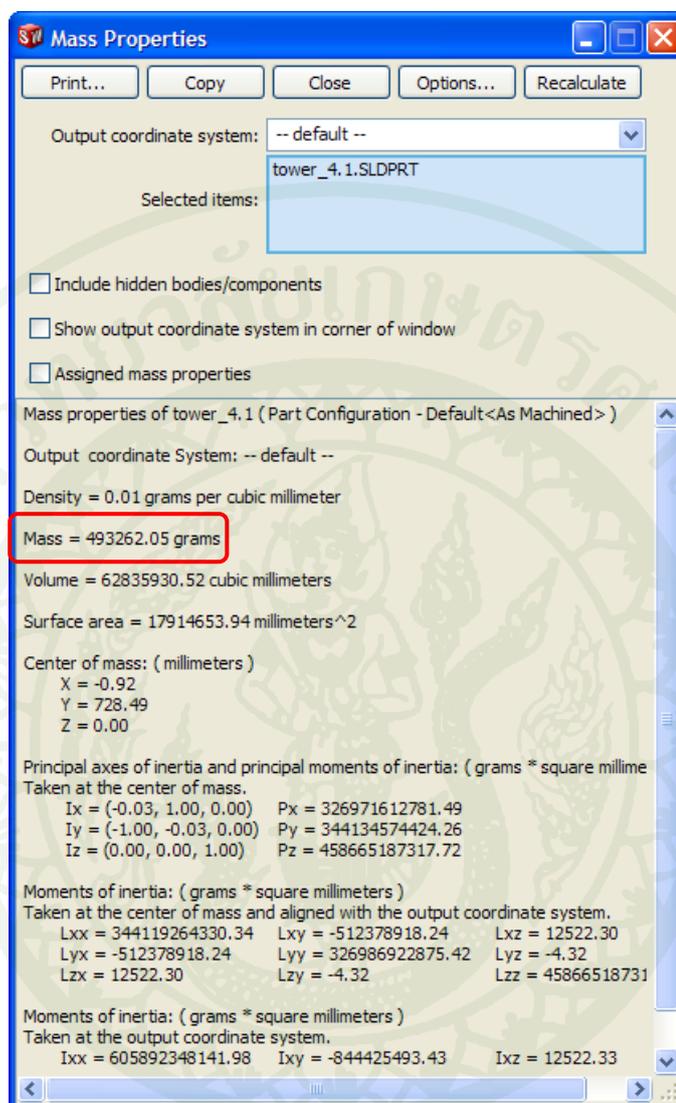
8. มวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)



ภาพผนวกที่ จ2 การหามวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังนอกด้านขวา (Plate-R)
ด้วยโปรแกรม SolidWorks

จากภาพผนวกที่ จ2 มวลของแผ่นเหล็กยึดตัวถังด้านขวา (Plate-R) เท่ากับ 220.4 kg (จ8)

9. มวลของฐานเครื่องและ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง



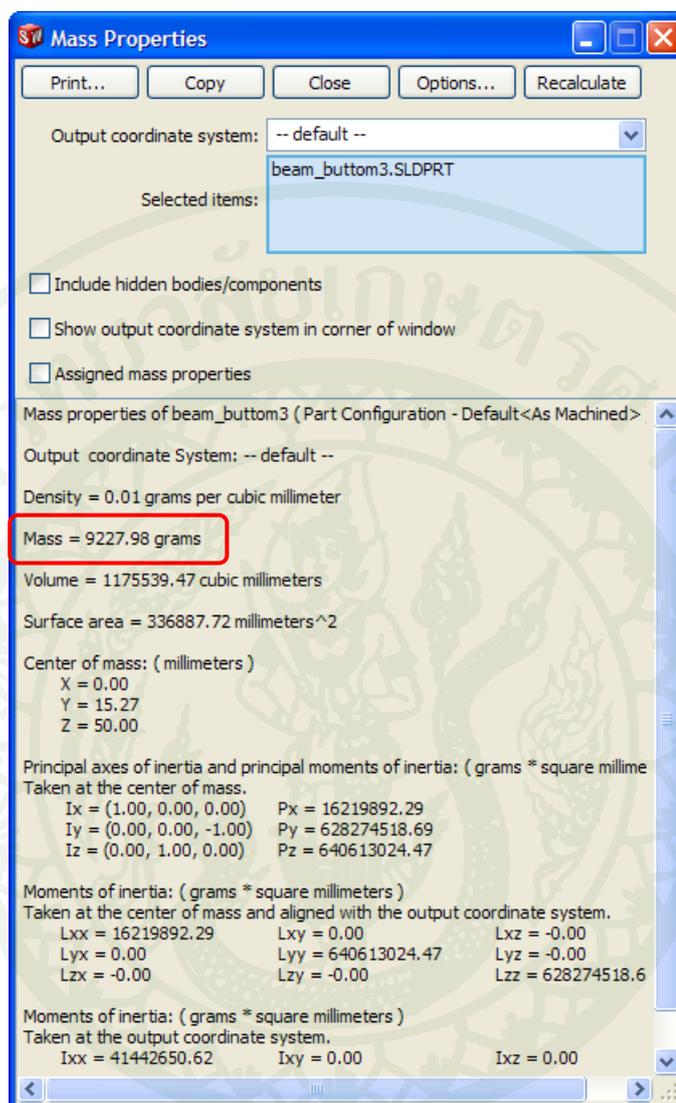
ภาพผนวกที่ จ3 การหามวลของฐานเครื่องและ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่อง
ด้วยโปรแกรม SolidWorks

จากภาพผนวกที่ จ3 มวลของฐานเครื่องและ โครงสร้างปิดบังตัวเครื่องเท่ากับ 493.3 kg
และมวลแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (แผ่นสแตนเลส) ที่ใช้ปิดบัง โครงสร้าง เท่ากับ 135 kg

ดังนั้นมวลของโครงสร้างเท่ากับ $493.3 \text{ kg} + 135 \text{ kg} = 628.3 \text{ kg}$

(จ9)

10. มวลของคานเหล็ก 4 คาน



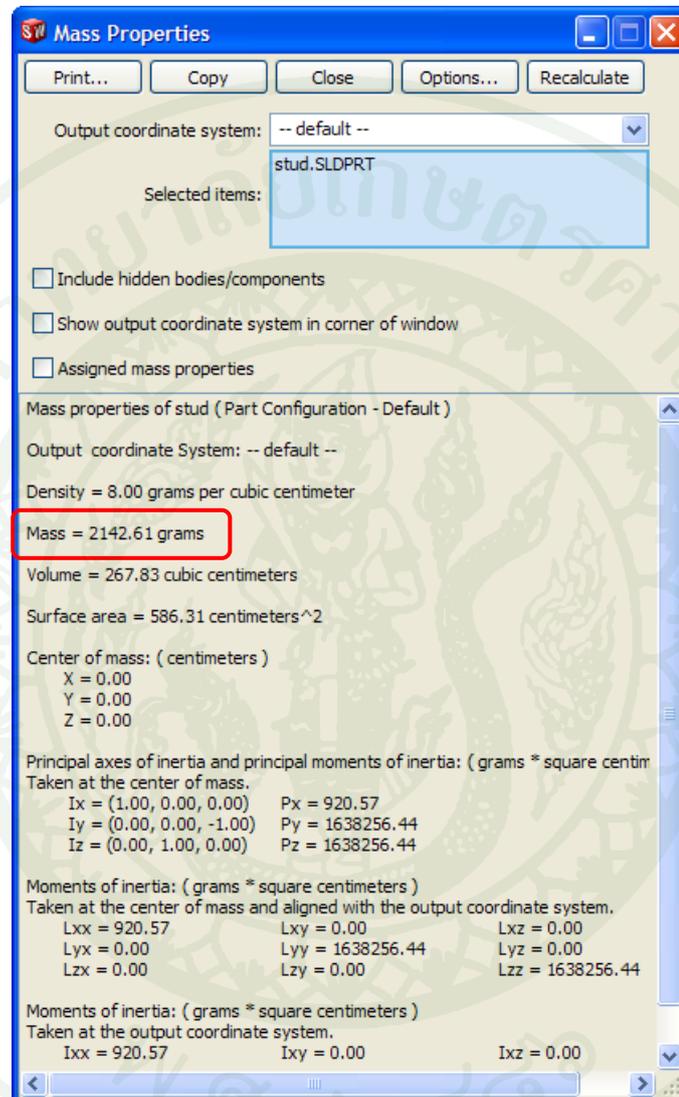
ภาพผนวกที่ ๑๔ การหามวลของคานเหล็ก 1 คาน ด้วยโปรแกรม SolidWorks

จากภาพผนวกที่ ๑๔ มวลของคานเหล็ก 1 คาน เท่ากับ 9.23 kg

มวลของคานเหล็ก 4 คาน เท่ากับ $4 \times 9.23 \text{ kg} = 36.92 \text{ kg}$

(๑10)

11. มวลของเหล็กกล้าไร้สนิมแท่งกลม 3 เส้น (Stud)



ภาพผนวกที่ ๑5 การหามวลของเหล็กกล้าไร้สนิมแท่งกลม 1 เส้น
ด้วยโปรแกรม SolidWorks

จากภาพผนวกที่ ๑5 มวลของเหล็กกล้าไร้สนิมแท่งกลม 1 เส้น เท่ากับ 2.14 kg

มวลของเหล็กกล้าไร้สนิมแท่งกลม 3 เส้น เท่ากับ $3 \times 2.14 \text{ kg} = 6.42 \text{ kg}$

(จ11)

มวลของเครื่องซักผ้าแบบปั่นหมาดในตัวเท่ากับ (จ1) + (จ2) + (จ3) + (จ4) + (จ5) + (จ6) + (จ7) + (จ8) + (จ9) + (จ10) + (จ11) = 72.83 + 108.46 + 14.66 + 47.85 + 10.36 + 15.72 + 203.3 + 220.4 + 628.3 + 36.92 + 6.42 = 1,365.22 kg

มวลของโครงสร้างหลักรวมมวลผ้าใช้ซัก 60 kg (ไม่รวมมวลฐานเครื่องซักผ้า, โครงสร้างเหล็กปิดบังตัวเครื่อง และน้ำ) ซึ่งใช้ในการคำนวณออกแบบระบบกันสั่นสะเทือนของเครื่องซักผ้าต้นแบบ เท่ากับ (จ1) + (จ2) + (จ3) + (จ4) + (จ5) + (จ6) + (จ7) + (จ8) + (จ10) + (จ11) + มวลผ้า = 72.83 + 108.46 + 14.66 + 47.85 + 10.36 + 15.72 + 203.3 + 220.4 + 36.92 + 6.42 + 60 = 796.92 kg



ตารางผนวกที่ ๑1 ขนาดมาตรฐานของสายพานลิ่ม และล้อสายพานลิ่ม ISO/R 52-1975(E) และ ISO/R 253-1962(E)

Dimension: mm

Standard Size	A	B	C	
l_p	11	14	19	
h	8	11	14	
b_w	11	14	19	
b_l	12.7	16.3	22	
c	2.8	3.5	4.8	
e	15±0.3	19±0.4	22.5±0.5	
F	10±0.3	12.5±0.8	17±1	
t_{min}	14	18	24	
32°	-	-	-	
34° \varnothing for a pitch	90-118	140-190	224-315	
36° diameter, d_p	-	-	-	
38°	>118	>190	>315	
b_2				
No. of Sheave	1	20	25	34
Groove on Pulley	2	35	44	59.5
	3	50	63	85
	4	65	82	110.5
$d_{p min}$	80	125	200	

ที่มา: รัญญะ (2549)

ตารางผนวกที่ ๓2 ตัวประกอบใช้งาน N_s สำหรับสายพานลิ่ม

รายละเอียดการ ทำงาน	ชั่วโมงการทำงานต่อวัน		
	ไม่เกิน 10	10-16	มากกว่า 16
งานเบา	1	1.1	1.2
งานปานกลาง	1.1	1.2	1.3
งานหนัก	1.2	1.3	1.4
งานหนักพิเศษ	1.3	1.4	1.5

ที่มา: รัญญะ (2549)

ตารางผนวกที่ ๓3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ d_p ของล้อสายพานลิ่มตามมาตรฐาน ISO/R 52-1975(E) และ ISO/R 253-1962(E)

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

ที่มา: รัญญะ (2549)

ตารางผนวกที่ ๓4 สมรรถนะในการส่งกำลังของสายพานลิ้มหน้าตัด “B” ต่อเส้น สำหรับส่วนโค้ง
สัมผัส $\alpha = 180^\circ$

d_p (mm)	m_w	Small Pulley Speed, (rpm)		
		700	800	950
Transmitted Power per Belt, P_R (kW)				
125	1.20	1.69	1.87	2.14
	1.50	1.75	1.95	2.23
	≥ 3.00	1.80	2.00	2.29
140	1.20	2.06	2.30	2.63
	1.50	2.13	2.37	2.72
	≥ 3.00	2.17	2.42	2.78

ที่มา: รัชญะ (2549)

ตารางผนวกที่ ๓5 ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_l

ความยาวพิตซ์ของสายพาน L_p	ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน N_l
1842	0.95
2042	0.98
2282	1.00
2592	1.03

ที่มา: รัชญะ (2549)

ตารางผนวกที่ ๖ ความยาวพิศของสายพานที่มีใช้ $L_p = L_l + 43 \text{ mm}$ สำหรับสายพานลิ่มหน้าตัด “B” ที่ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha = 180^\circ$

L_l	2108	2120	2160
	2200	2240	2286
	2300	2360	2400
	2450	2465	2500

ที่มา: ัญญะ (2549)

ตารางผนวกที่ ๗ ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_a สำหรับสายพานลิ่ม

$\frac{D_p - d_p}{C}$	ส่วนโค้งสัมผัส $\alpha \approx$	N_a
0	180	1.00
0.15	170	0.98
0.35	160	0.95
0.50	150	0.92
0.70	140	0.89
0.85	130	0.86
1.00	120	0.82
1.15	110	0.78
1.30	100	0.73
1.45	90	0.68

หมายเหตุ ค่าที่อยู่ระหว่างค่าในตาราง อาจหาค่าได้โดยประมาณ โดยใช้การประมาณแบบเชิงเส้น

ที่มา: วรวิทย์ และ ชาญ (2535)

ตารางผนวกที่ ๘ ตัวประกอบใช้งาน (k_1)

k_1	สภาวะการทำงาน
1.3	งานเบา ทำงานคงที่
1.5	งานปานกลาง
2.0	งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง

ที่มา: วริทธิ์ และ ชาญ (2535)

ตารางผนวกที่ ๙ ค่าตัวประกอบ (k_2)

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

ที่มา: วริทธิ์ และ ชาญ (2535)

ตารางผนวกที่ ๑๑๐ ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO/R775 - 1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

ที่มา: วรสิทธิ์ และ ชาญ (2535)

ตารางผนวกที่ ๑๑๑ ค่าประกอบความล้า

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

ที่มา: วรสิทธิ์ และ ชาญ (2535)

ตารางผนวกที่ ๑12 Unit Weight (w)

Material	Unit Weight (w)		
	lb/in^3	Lbf/ft^3	kN/m^3
Aluminum (all alloys)	0.098	169	26.6
Beryllium copper	0.297	513	80.6
Brass	0.309	534	83.8
Carbon steel	0.282	487	76.5
Cast iron (gray)	0.260	450	70.6
Copper	0.322	556	87.3
Douglas fir	0.016	28	4.3
Glass	0.094	162	25.4
Inconel	0.307	530	83.3
Lead	0.411	710	111.5
Magnesium	0.065	112	17.6
Molybdenum	0.368	636	100.0
Monel metal	0.319	551	86.6
Nickel silver	0.316	546	85.8
Nickel steel	0.280	484	76.0
Phosphor bronze	0.295	510	80.1
Stainless steel (18-8)	0.280	484	76.0
Titanium alloys	0.160	276	43.4

ที่มา: Joseph *et al.* (2004)



Firestone Selection Guide

END CLOSURE OPTIONS

Style Number	Maximum Diameter at 100 PSIG (inches)	High Strength Number
--------------	---------------------------------------	----------------------

SHAPED SLEEVE

1M1A-0	3.4	
1M1A-1	3.45	
2M1A	3.5	
2M2A	2.3	

Bead Plate Type	Dim. A (blind nut centers) (inches)	Dim. B (inches)	Bead Ring Type	Dim. C (bolt circle diameter) (inches)	Number of Bolts (each ring)
-----------------	-------------------------------------	-----------------	----------------	--	-----------------------------

SEE INDIVIDUAL DATA PAGE

SINGLE CONVOLUTION

16	6.0	
16ST	5.4	
131	6.5	
110	8.3	
116	9.1	117
116-1	9.6	
115	10.1	124
19	12.9	
19-75	13.5	
113	15.2	128
113-1	15.9	128-1
153-2	18.1	
119**	17.4	
121**	20.3	
126**	22.4	
138-1.5	27.9	
148-1	37.4	148-1 is 4Ply

1	1.75		4	4.50	6
1	1.75		N/A	N/A	N/A
1	1.75		4	4.50	6
1	1.75		4	4.50	6
1	2.75		4	5.31	6
1	2.75		4	5.31	6
3	3.50	1.75*	4	6.31	8
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
2	6.25		4	11.31	12
2	6.25		4	11.31	12
2	6.25		N/A	N/A	N/A
5	9.00	13.79	4	13.81	18
5	12.00	16.50	4	16.50	24
5	15.00	19.00	4	19.00	24
			4	23.50	32
			4	32.68	40

DOUBLE CONVOLUTION

25	6.4	
255-1.5	6.5	
224	8.0	
26	8.6	
20	9.9	202
20-2	10.4	
22	12.9	210
22-1.5	13.7	
21	15.1	205
21-2	16.0	
233-2	15.5	
28**	17.4	201
203**	20.0	218
29**	22.7	207
200	26.0	
215	27.9	
248-2	37.4	248-2 is 4Ply

1	1.75		4	4.50	6
1	1.75		4	4.50	6
1	2.75		4	5.31	6
1	2.75		4	5.31	6
3	3.50	1.75*	4	6.31	8
3	3.50	1.75	4	6.31	8
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
2	6.25		4	11.31	12
2	6.25		4	11.31	12
2	6.25		4	11.31	12
2	6.25		4	11.31	12
5	9.00	13.79	4	13.81	18
5	12.00	16.50	4	16.50	24
5	15.00	19.00	4	19.00	24
			4	22.00	24
			4	23.50	32
			4	32.68	40

TRIPLE CONVOLUTION

352	13.1	
313	15.1	39
333	15.2	
312**	18.2	314
323**	20.5	324
320**	22.4	328
321	27.9	
348-3	37.4	348-3 is 4Ply

3	6.20	2.88	N/A	N/A	N/A
2	6.25		4	11.31	12
2	6.25		4	11.31	12
5	9.00	13.79	4	13.81	18
5	12.00	16.50	4	16.50	24
5	15.00	19.00	4	19.00	24
			4	23.50	32
			4	32.68	40

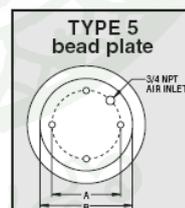
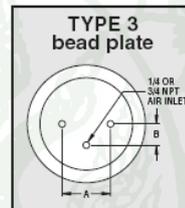
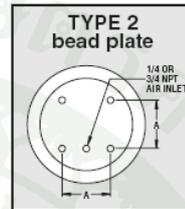
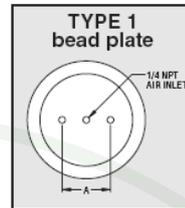
REVERSIBLE SLEEVE

1X84D-1	NOT AN AIRSTROKE ACTUATOR	
4001	3.1	
7002	4.2	
7010	4.0	
7012	5.0	
1T12E-3	5.0	
1T14C-1	9.1	
1T14C-3	9.0	
1T14C-7	9.0	1T28C-7
1T15T-1	11.2	
1T15S-6	11.1	
1T15L-4	11.7	
1T15M-0	12.8	
1T15M-2	12.6	
1T15M-4	12.6	
1T15M-6	12.6	
1T15M-9	12.7	
1T19L-7	14.2	
1T19L-11	14.2	

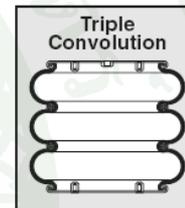
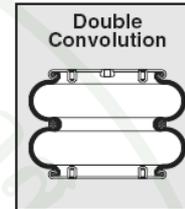
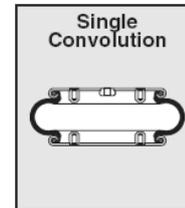
SEE INDIVIDUAL DATA PAGE

1	1.75		4	4.50	6
3	3.50	1.75*	4	6.31	8
3	3.50	1.75*	4	6.31	8
3	3.50	1.75*	4	6.31	8
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
3	6.20	2.88	4	9.00	12
2	6.25		4	11.31	12
2	6.25		4	11.31	12

END CLOSURES



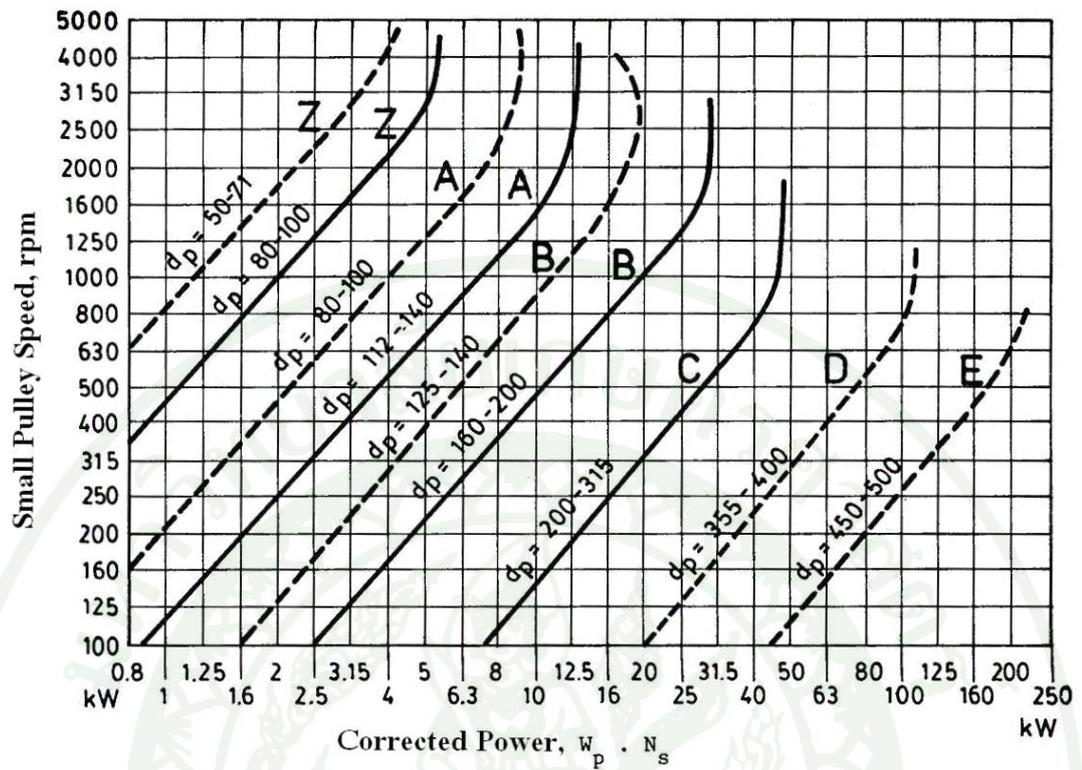
SIDE PROFILE



* On plates with a 3/4 inch NPT air inlet, B dimension is 1.50 inch.
 ** When using the rolled plate end closure option, add .7 inch to heights shown.

ภาพผนวกที่ ๑1 ตารางเลือกขนาดถุงลมชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Firestone Industrial Product Company (2009)



ภาพผนวกที่ ข2 แผนภาพที่ใช้เลือกขนาดหน้าตัดสายพานลิ้ม

ที่มา: รัชญะ (2549)



ภาพผนวกที่ ข3 เครื่องปั่นผ้าหามาอุตสาหกรรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวถัง 24 นิ้ว

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นายสุชากร บุญเลิศไพศาล
เกิดวันที่ 5 พฤศจิกายน 2527
สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมการผลิต) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ตำแหน่งปัจจุบัน -
สถานที่ทำงานปัจจุบัน -
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ -