



# วิทยานิพนธ์

การพัฒนาพื้นหมุนชมทิวทัศน์ของอาคารสูง

**Development of a Revolving Deck of a High-rise Building**

นายทัตยู จุฬสุคนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551





# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

## ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาพื้นหมุนชมทิวทัศน์ของอาคารสูง

Development of a Revolving Deck of a High-rise Building

นามผู้วิจัย นายทัศยุ จุลสุคนธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์ธัญญา เกียรติวัฒน์, Ph.D. )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุกสิทธิ์ รอดขวัญ, Ph.D. )

กรรมการ

( รองศาสตราจารย์ฉัตรดนัย จิระเดชะ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาพื้นหมุนชมทิวทัศน์ของอาคารสูง

Development of a Revolving Deck of a High-rise Building

โดย

นายทัศยุ จุลสุคนธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2551

ทัศย์ จุลสุคนธ์ 2551: การพัฒนาพื้นหมุนขมทิวทัศน์ของอาคารสูง ปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชา  
วิศวกรรมเครื่องกล ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ชญญะ เกียรติวัฒน์,  
Ph.D. 183 หน้า

พื้นหมุนสำหรับขมทิวทัศน์มักจะมีการประกอบติดตั้งบนอาคารสูงโดยทั่วไป การศึกษา  
ครั้งนี้จะทำการพัฒนาพื้นหมุนที่ใช้สำหรับขมทิวทัศน์ของอาคารสูงคืออาคารใบหยกสกายซึ่งมี  
สภาพทรุดโทรมจากอายุการใช้งานเป็นเวลานานประมาณ 7 ปี

การพัฒนาพื้นหมุนสำหรับขมทิวทัศน์ในครั้งนี้ได้ดำเนินการโดยทำการออกแบบอุปกรณ์  
ที่ใช้สำหรับรองรับน้ำหนักให้มีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าเดิมด้วยการ  
ออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ให้แข็งแรง พร้อมทั้งใช้คัลลูปปีนรหัส 6308 2Z ซึ่งมีขนาดใหญ่  
ขึ้น นอกจากนี้ยังได้ออกแบบระบบชุดขับเคลื่อนให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น  
กว่าเดิมโดยเพิ่มแรงเสียดทานของล้อขับเคลื่อนด้วยการใส่สปริงเพื่อเพิ่มแรงกด (Normal Force)  
ให้มีความมากขึ้น รวมถึงพัฒนาอุปกรณ์ที่เกิดความชำรุดและเสียหายในจุดต่าง ๆ ให้มีความแข็งแรง  
ทนทานมากกว่าเดิม

หลังจากได้ดำเนินการพัฒนาและ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่าง ๆ  
ของพื้นหมุนฯ แล้วได้ทำการทดสอบและประเมินผลพบว่า พื้นหมุนฯสามารถใช้งานในการ  
บรรทุกปริมาณผู้เข้าชมทิวทัศน์ได้สูงสุดประมาณ 200 คน หรือประมาณ 200 กิโลนิวตัน และ  
สามารถเคลื่อนที่หมุนได้ด้วยความเร็วคงที่ประมาณ 8 นาทีต่อรอบ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่  
น่าพอใจ

Thusayu Junsukon 2008: Development of a Revolving Deck of a High-rise Building.  
Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field:  
Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor:  
Associate Professor Thanya Kiatiwat, Ph.D. 183 pages.

Revolving deck is typically installed and facilitated in a high-rise building. Accordingly, this study is mainly to develop the existing revolving deck of the high-rise building, namely Baiyok Sky Hotel, due to its wear and tear. However, it should be noted that this existing revolving deck has been used for 7 years.

Redesign of suspension systems of the revolving deck such as frames and structures as well as rolling element bearings has been done in order to support more loads. Particularly, 6308 2Z ball bearings have been selected and replaced with all existing bearings. Driving systems have also been revised and improved by increasing the normal force between the driving polyethylene wheels and the revolving deck rails by the application of the compression coil springs. In addition, some wear and tear components have also been revised and replaced in proper manners in order to obtain more strength and durability.

After the design and fabrications of the revolving deck machine components were done, the developed revolving deck was tested and evaluated. Based on the results, it reveals that the revolving deck can be able to operate efficiently with a maximum carrying load of 200 passengers or about 200 kN at a traveling speed of about 8 minute per round.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

/ /

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤๅ เกียรติวัฒน์ ประธานกรรมการ  
ที่ปรึกษาที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา  
แนะนำและตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภสิทธิ์ รอด  
ขวัญ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรคนัย จิระเดชะ กรรมการที่ปรึกษาวิชา  
รอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑล ฐานุดตมวงษ์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้  
คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพันธ์เลิศ ไบหยก ประธานกรรมการและประธานของกลุ่มโรงแรมใน  
เครือไบหยก ที่ให้ความสนับสนุนในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณนิกาล ขนานแก้ว ที่ให้ความ  
สนับสนุนในการแก้ไขตัดแปลงสำหรับงานติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะ  
และสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ โดยเฉพาะคุณพ่อที่เป็นแรงบันดาลใจที่ทำให้ข้าพเจ้า  
ดำเนินงานได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ทัศยุ จุลสุคนธ์

มีนาคม 2551

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
ความเป็นมาของปัญหา	2
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกลย่อย	4
การเลือกขนาดของตลับลูกปืน	4
การออกแบบโซ่	6
การออกแบบสปริง	8
การออกแบบเฟลา	12
การออกแบบชิ้นงานด้วยกระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์	14
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์	19
เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างต้นแบบ	19
วิธีการ	21
รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการพัฒนา	21
ทำการออกแบบพื้นหมุนขมทิวทัศน์	21
ดำเนินการสร้างพื้นหมุนขมทิวทัศน์	22
ทำการทดสอบและประเมินผลพร้อมแก้ไขข้อบกพร่อง	22
สรุปผลและวิจารณ์	22
ผลและวิจารณ์	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการพัฒนา	23
ผลการพัฒนาพื้นหมุนชมทิวทัศน์	38
ผลการดำเนินการสร้างพื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์	96
ผลทำการทดสอบและประเมินผลพร้อมแก้ไขข้อบกพร่อง	103
สรุปและข้อเสนอแนะ	105
สรุป	105
ข้อเสนอแนะ	107
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	108
ภาคผนวก	110
ภาคผนวก ก ตารางผนวก	111
ภาคผนวก ข ภาพผนวก	125
ภาคผนวก ค แบบพิมพ์เขียวผนวก	134
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	183

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดอาคารสูงในไทย 5 อันดับ	25
2	รายละเอียดพื้นที่หมุนที่มีใช้งานทั่วโลกบางส่วน	26
3	ข้อมูลทั่วไปอาคารใบหยกสกาย	28
4	ผลการคำนวณหาค่าตัวประกอบของวาล์วที่ค่าดัชนีสปริงต่างๆ	70
5	ผลการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางลวดคำนวณและขนาดลวดที่เลือกใช้ที่ค่าดัชนีสปริงต่างๆ	71
6	ผลการคำนวณหาจำนวนขดทำการของสปริง,จำนวนขดทั้งหมด,ค่าความยาวแข็งตัว,ความยาวอิสระที่ค่าดัชนีสปริงต่างๆ	72
7	ค่าคุณสมบัติของสปริงที่เลือกใช้	74
8	คุณสมบัติของวัสดุทำเพลลา	77
9	ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์	79
10	การประเมินราคาสำหรับโครงสร้างและอุปกรณ์รองรับน้ำหนัก	90
11	การประเมินราคาลวดเชื่อม	91
12	การประเมินราคาสีกันสนิม	92
13	การประเมินราคาเหล็กสำหรับชุดขับเคลื่อน	93
14	การประเมินราคาพื้นสแตนเลส	93
15	ผลรวมของการประเมินราคาส่วนต่างๆ	95
16	ผลการทดสอบการทำงาน	103

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ตารางแนวทางในการเลือกอายุการใช้งานแบร์ริง	112
ก2	ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์แบร์ริง	113
ก3	โซ่โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976(E) ขนาดเป็นมิลลิเมตร	116
ก4	มวลของโซ่โรลเลอร์ต่อความยาว	118
ก5	ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำสม่ำเสมอ	119
ก6	ค่าตัวประกอบความล้า	120
ก7	ขนาดของขดลวดที่ใช้ทำสปริง	120
ก8	คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง	121
ก9	ค่าความเค้นเฉือนออกแบบสำหรับวัสดุสปริง	122
ก10	ค่าประมาณของความยาวอิสระและความยาวแข็งตัว	122
ก11	เงื่อนไขการจับยึดแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	123
ก12	ชนิดของแรงกระทำที่กำหนดในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	124

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเจียรระโนปลายสปริง	10
2	ระยะขุบของสปริง	11
3	กระบวนการจัดเตรียมแบบจำลอง	15
4	กระบวนการวิเคราะห์	15
5	การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ	16
6	กระบวนการและความผิดพลาด	18
7	อาคารสูงในไทย	24
8	ส่วนประกอบพื้นหมุนขมทิวทัศน์	29
9	แบบพิมพ์เขียวของอาคารชั้น 84	30
10	แผนการทำงานของกรออกแบบและพัฒนาพื้นหมุนชั้น 84 อาคารไอบหยกสกาย	32
11	การผูกกร่อนของพื้นทางเดิน	33
12	การผูกกร่อนของรายน้าตัดตัว C	34
13	การผูกกร่อนของอุปกรณ์	34
14	รื้อเหล็กกันที่ผูกกร่อน	35
15	ความเสียหายของเบริงรับน้าหนัก	36
16	ชุดขับเคลื่อน	37
17	ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ	39
18	พื้นและโครงสร้างพื้น	41
19	พื้น, โครงสร้างพื้นและราง	41
20	ชุดลูกปืนรองรับน้าหนักชุดที่ 1	42
21	ชุดลูกปืนรองรับน้าหนักชุดที่ 2	43
22	การรับน้าหนักของชุดลูกปืนรองรับน้าหนักชุดที่ 2	44
23	ชุดลูกปืนรองรับน้าหนักชุดที่ 3	45
24	การรับน้าหนักของชุดลูกปืนรองรับน้าหนักชุดที่ 3	46
25	ชุดขับเคลื่อน	47

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ชุดรองรับน้ำหนักที่พัฒนาใหม่	48
27	การหาคุณสมบัติต่างๆจากโปรแกรมออกแบบ	49
28	แรงกระทำกับเบริงในแนวรัศมี	51
29	แรงเข้าสู่ศูนย์กลางกระทำกับพื้นหมุน	53
30	แรงกระทำเบริงในแนวรัศมีและแนวแกน	53
31	การหาน้ำหนักของโรลเลอร์ด้วยโปรแกรมเขียนแบบ	54
32	การรับน้ำหนักของชุดรับน้ำหนัก	57
33	ขนาดของแป้นเกลียว สลักเกลียวและชิ้นงาน	58
34	ชุดขับเคลื่อนที่พัฒนา	60
35	ขนาดของล้อขับเคลื่อน	61
36	การขับเคลื่อนด้วยเฟืองโซ่	62
37	ความยาวพิตต์ของโซ่ที่เลือกใช้	66
38	อุปกรณ์ในการดันโซ่	66
39	ตำแหน่งของเฟืองโซ่ทุกชิ้น	67
40	ลักษณะของโซ่ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์อื่น	67
41	แบบพิมพ์เขียวโซ่ที่เลือกใช้	68
42	มุมมองด้านข้างของชุดขับเคลื่อน	69
43	สปริงที่สภาวะต่างๆ	69
44	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดสปริงที่ใช้	74
45	อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน	75
46	ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ	76
47	แบบแสดงขนาดเพลลา	76
48	แรงและการยึดเพลลา	77
49	การแบ่งเอลิเมนต์ย่อยของเพลลา	78
50	ผลการวิเคราะห์ความเค้น	79

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	ผลการวิเคราะห์ความเครียด	80
52	ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่	80
53	ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย	81
54	แบบพิมพ์เขียวพื้นและโครงสร้างพื้น	83
55	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1	85
56	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2	86
57	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3	87
58	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดขับเคลื่อนพื้นหมุน	89
59	วิธีหาจำนวนสแตนเลสแผ่น	94
60	การดามเหล็กหน้าตัดตัว C	96
61	อุปกรณ์ที่ซ่อมแซม	97
62	โครงสร้างพื้นด้านใต้ที่ได้ทำสีใหม่	97
63	รั้วเหล็กกั้นที่ได้ทำการซ่อมแซมแล้ว	98
64	พื้นทางเดินที่ปรับเปลี่ยน	99
65	ชุดรองรับน้ำหนักที่สร้างขึ้นใหม่	100
66	แหวนรองด้านข้างตลับลูกปืน	101
67	การติดตั้งชุดขับเคลื่อนที่สร้างขึ้นใหม่	102

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	ข้อมูลทางเทคนิคเบร้ง6203 2Z	126
ข2	ข้อมูลทางเทคนิคเบร้ง6308 2Z	127
ข3	ข้อมูลทางเทคนิคเบร้งSY15TR	128
ข4	ข้อมูลทางเทคนิคเบร้งSY35TR	129
ข5	รายละเอียดขนาดโซโรลเลอร์	130
ข6	แผนภูมิใช้เลือกโซโรลเลอร์แบบB (สำหรับพีเนียน 19 ฟัน)	131
ข7	แผนภูมิใช้เลือกโซโรลเลอร์แบบA (สำหรับพีเนียน 15 ฟัน)	132
ข8	แผนภูมิใช้เลือกโซโรลเลอร์แบบA(สำหรับพีเนียน 19 ฟัน)	133
ค1	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดพื้นหมุนแบบเลขที่RF00	135
ค2	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดพื้นและโครงสร้างพื้นแบบเลขที่F00	136
ค3	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักรุ่นที่1แบบเลขที่RF01	137
ค4	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักรุ่นที่2แบบเลขที่RF08	138
ค5	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักรุ่นที่3แบบเลขที่RF14	139
ค6	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดขับเคลื่อนแบบเลขที่RF20	140
ค7	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดขับเคลื่อนด้านบนแบบเลขที่RF21	141
ค8	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียด โครงสร้างพื้นแบบเลขที่F01	142
ค9	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดพื้นแบบเลขที่F02	143
ค10	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดรั้วกันด้านข้างแบบเลขที่F03	144
ค11	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดรางค้ำในแบบเลขที่F04	145
ค12	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดรางค้ำนอกแบบเลขที่F05	146
ค13	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดยึดโรลเลอร์แบบเลขที่RF02	147
ค14	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดโรลเลอร์แบบเลขที่RF03	148
ค15	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลาโรลเลอร์แบบเลขที่RF04	149
ค16	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดยึดเพลาโรลเลอร์แบบเลขที่RF05	150
ค17	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแทนลูกปืนรุ่นที่1แบบเลขที่RF06	151

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค18	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแหวนรองแบบเลขที่RF07	152
ค19	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแท่นรับน้ำหนักชุดที่2แบบเลขที่RF09	153
ค20	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับชั้นที่1แบบเลขที่RF10	154
ค21	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับชั้นที่2แบบเลขที่RF11	155
ค22	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแท่นยึด โรลเลอร์แบบเลขที่RF12	156
ค23	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเกลียวปรับระยะแบบเลขที่RF13	157
ค24	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแท่นยึดชุดรับน้ำหนักชุดที่3แบบเลขที่RF15	158
ค25	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับชั้นที่1แบบเลขที่RF16	159
ค26	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับชั้นที่2แบบเลขที่RF17	160
ค27	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแท่นยึด โรลเลอร์แบบเลขที่RF18	161
ค28	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแท่นยึด โรลเลอร์แบบเลขที่RF19	162
ค29	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบุชแบบเลขที่RF22	163
ค30	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลาแบบเลขที่RF23	164
ค31	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแท่นชุดขับเคลื่อนแบบเลขที่RF24	165
ค32	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเป็นสปริงแบบเลขที่RF25	166
ค33	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดสปริงแบบเลขที่RF26	167
ค34	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดล้อขับเคลื่อนแบบเลขที่RF27	168
ค35	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลาล้อขับเคลื่อนแบบเลขที่RF28	169
ค36	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดคัน โഴ้แบบเลขที่RF29	170
ค37	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดโครงสร้างชุดขับเคลื่อนแบบเลขที่RF30	171
ค38	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเลขที่RF31	172
ค39	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเฟือง โഴ้ตัวดัน โഴ้แบบเลขที่RF32	173
ค40	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเฟือง โഴ้ตัวตามแบบเลขที่RF33	174
ค41	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเฟือง โഴ้ตัวขับแบบเลขที่RF34	175
ค42	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียด โഴ้แบบเลขที่RF35	176

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค43	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดลิ้มแบบเลขที่RF36	177
ค44	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุด โรลเลอร์แบใหม่แบบเลขที่NR00	178
ค45	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียด โรลเลอร์แบใหม่แบบเลขที่NR01	179
ค46	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลา โรลเลอร์แบใหม่แบบเลขที่NR02	180
ค47	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแท่น โรลเลอร์แบใหม่แบบเลขที่NR03	181
ค48	แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดยึด โรลเลอร์แบใหม่แบบเลขที่NR04	182

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$C$	=	ดัชนีสปริง
$C_m$	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด
$C_t$	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
$d$	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของลวดสปริง
$D$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางการขดของสปริง
$E$	=	โมดูลัสความยืดหยุ่น
$F$	=	ค่าความแข็งดิ่งของสปริง
$F_a$	=	แรงกระทำในแนวแกน (หรือแรงรูน)
$F_b$	=	แรงแตกหักน้อยที่สุดของโซ่
$F_B$	=	น้ำหนักในแนวแกนที่กระทำเกลียวแต่ละเกลียว
$F_r$	=	แรงกระทำในแนวรัศมี
$F_t$	=	แรงในแนวเส้นสัมผัสของโซ่และเฟืองโซ่
$F_T$	=	น้ำหนักคนรวมโครงสร้าง
$F_y$	=	แรงกดจากน้ำหนักเหล็ก
$G$	=	โมดูลัสเฉือน
$k$	=	ความแข็งดิ่งของสปริง
$K$	=	ตัวประกอบของวาห์ล
$L_{10}$	=	อายุใช้งานประเมิน เป็น
$L_f$	=	ความยาวอิสระ
$L_s$	=	ความยาวแข็งตัว
$m_\omega$	=	อัตราทดเฟืองโซ่
$M$	=	โมเมนต์ค้ำ
$n$	=	ความเร็วรอบของเฟืองโซ่
$n$	=	จำนวนขดของสปริง
$n_t$	=	จำนวนขดของสปริงทั้งหมด
$N_b$	=	อัตราส่วนค่าความปลอดภัย
$p$	=	เลขยกกำลังของสมการอายุใช้งาน
$P$	=	แรงพลวัตสมมูลของตลับลูกปืน

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$r_c$	=	ค่าความเผื่อการกคคค
$T$	=	โมเมนต์บิด
$v$	=	ความเร็วขอบของเฟืองโซ่
$v_b$	=	ความเร็วที่จุดสัมผัสของ โรลเลอร์และพื้นหมุน
$W_p$	=	กำลังงาน
$x$	=	จำนวนข้อโซ่หรือจำนวนพิตช์ของโซ่
$X$	=	ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี
$Y$	=	ตัวประกอบแรงรุน
$z$	=	จำนวนฟันของเฟืองโซ่
$z_1$	=	ความเร็วรอบของเพลารอบต่ำ
$z_2$	=	ความเร็วรอบของเพลารอบสูง
$\sigma_u$	=	ค่าความต้านทานแรงดึงอัลติเมต
$\sigma_y$	=	ค่าความต้านทานแรงดึงคราก
$\tau$	=	ความเค้นเฉือน
$\tau_d$	=	ค่าความเค้นเฉือนออกแบบ
$\tau_n$	=	ความต้านแรงเฉือนทนทาน
$\tau_y$	=	แรงเฉือนคราก
$\delta$	=	ระยะยุบตัวของสปริงภายใต้แรงกด
$\delta_s$	=	ระยะยุบแข็งตัว
$\delta_w$	=	ระยะยุบตัวใช้งาน
$\pi$	=	3.142856

## การพัฒนาพื้นหมุนชมทิวทัศน์ของอาคารสูง

### Development of a Revolving Deck of a High-rise Building

#### คำนำ

โลกปัจจุบันมนุษย์มีความสามารถในการสร้างสิ่งปลูกสร้างมากขึ้นรวมถึงสภาพความแออัดของเมือง เพื่อให้มนุษย์ผู้อยู่อาศัยนั้นสามารถใช้งานพื้นที่ให้คุ้มค่าที่สุดจึงได้มีการออกแบบและสร้างอาคารที่เป็นลักษณะเป็นอาคารสูงขึ้นไปโดยมักจะอยู่ในเมืองใหญ่ ๆ ประเทศไทยเองนั้นก็ เป็นประเทศที่มีอาคารสูงติดอันดับหนึ่งในสามสิบของโลก จุดที่เป็นจุดดึงดูดของอาคารสูงเหล่านี้คือ วิวทิวทัศน์ของมหานครอันเป็นที่ตั้ง จึงมีความสำคัญในการสร้างอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่รอบอาคาร เพื่ออำนวยความสะดวก และทำให้นักท่องเที่ยวสามารถมองเห็นทัศนียภาพในทุกมุมมองของอาคาร โดยเรียกอุปกรณ์นั้นว่า พื้นหมุนสำหรับชมทิวทัศน์ของอาคารสูง

พื้นหมุนสำหรับชมทิวทัศน์โดยทั่วไปแล้ว มีลักษณะเป็นพื้นที่ใช้งานที่สามารถเคลื่อนที่ หมุนรอบอาคารหรือสถานที่ที่ตั้งได้ ซึ่งลักษณะของพื้นที่ใช้งานสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ พื้นที่ที่ใช้เป็นทางเดินชมทิวทัศน์รอบอาคาร และพื้นที่ที่ใช้งานเป็นห้องอาหาร ทั้งสองประเภทมีจุดประสงค์ในการสร้างเช่นเดียวกัน นั่นคือ เพื่อเพิ่มบรรยากาศให้นักท่องเที่ยวที่เข้ามาใช้บริการ แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบนั้นมีจุดที่แตกต่างกัน กล่าวได้ว่าสภาพการใช้งานที่อยู่กลางแจ้งต้องระมัดระวังในการออกแบบโดยเลือกใช้วัสดุที่ป้องกันการผุกร่อนให้มากกว่าการออกแบบที่มีการใช้งานภายในอาคาร

พื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ เป็นที่นิยมสำหรับอาคารสูงจำนวนมาก เนื่องจากเป็นจุดดึงดูดนักท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี เห็นได้ว่าในทวีปยุโรปและอเมริกา อาคารสูงจำนวนมากจะทำการติดตั้งพื้นหมุนฯ เพื่อสร้างจุดดึงดูดนักท่องเที่ยวให้เข้ามาใช้บริการ ถือว่าเป็นการสร้างความสนใจได้เป็นอย่างดี

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากอาคารใบหยกสกายมีการใช้งานพื้นหมุนสำหรับชมทิวทัศน์ติดตั้งบริเวณภายนอกอาคารตั้งแต่ พ.ศ. 2544 จนถึงปัจจุบัน จึงมีสภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกิดความเสียหายตามอายุการใช้งาน อีกทั้งต้องทำการซ่อมบำรุงบ่อยครั้งโดยเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก มีรายงานของวิศวกรผู้ดูแลพบว่า พื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ที่มีสภาพความเสียหาย ซึ่งเกิดจากการออกแบบที่ผิดพลาด และการสร้างชิ้นงานที่มีกระบวนการไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้การทำงานของบร็องจอนอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ จึงต้องเร่งทำการแก้ไข ซึ่งสามารถอธิบายถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้

1. ความเสียหายของโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ ในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้งานในสถานะที่อยู่กลางแจ้งตลอดเวลา ย่อมต้องคำนึงถึงความทนทานต่อการผุกร่อน กล่าวคือการเลือกใช้วัสดุต้องป้องกันการเกิดสนิม ซึ่งเป็นต้นเหตุของความเสียหาย
2. ความเสียหายของเบร้งที่ใช้งานรองรับน้ำหนัก ในการออกแบบและเลือกใช้งาน ควรคำนึงถึงลักษณะของการใช้งาน ซึ่งเบร้งแต่ละชนิดมีความสามารถในการรับภาระได้แตกต่างกันออกไป
3. ความผิดพลาดของระบบส่งกำลัง ในการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ในการส่งกำลัง ควรคำนึงถึงประสิทธิภาพที่ออกมา บางประเภทมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่บ้าง หากมีการออกแบบที่ดีจะทำให้เลือกใช้งานได้ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วทางฝ่ายบริหารอาคารจึงเห็นควรให้ทำการซ่อมบำรุงให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม และมีอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่ยาวนานขึ้น ผู้ทำการศึกษาจึงได้ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากฝ่ายวิศวกรและช่างเทคนิคผู้ดูแลพื้นหมุนฯ โดยมีความเห็นให้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาพื้นหมุนฯ ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบของการชมทิวทัศน์ของอาคารสูง
2. เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนต่าง ๆ ของพื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ที่อยู่บนอาคารสูงให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## การตรวจเอกสาร

### 1. ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย

#### 1.1 การเลือกขนาดของตลับลูกปืน

- การเลือกขนาดของตลับลูกปืน โดยการใช้สมการอายุใช้งาน

วิธีการคำนวณอายุใช้งานที่ง่ายที่สุด คือ การใช้สมการสำหรับอายุใช้งานประเมินของมาตรฐาน ISO

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

เมื่อ	$L_{10}$	=	อายุใช้งานประเมิน เป็น จำนวนล้านรอบ
	$C$	=	แรงพลวัตประเมิน เป็น นิวตัน
	$P$	=	แรงพลวัตสมมูลของตลับลูกปืน (equivalent dynamic Bearing load) เป็นนิวตัน
	$p$	=	เลขยกกำลังของสมการอายุใช้งาน
		=	3 สำหรับตลับลูกปืนบอลแบร์ริง
		=	3.333 สำหรับตลับลูกปืนโรลเลอร์แบร์ริง

วริทธิ์ และ ชาญ (2541) แรงพลวัตสมมูล (equivalent dynamic bearing load) หมายถึง แรงที่มีขนาดและทิศทางคงที่ ซึ่งกระทำต่อตลับลูกปืนรับแรงแนวรัศมี (radial bearing) หรือสมมาตรกับแกนกลางของตลับลูกปืนกันรุน แล้วจะทำให้อายุใช้งานของตลับลูกปืนนั้นมีค่าเท่ากับแรงที่กระทำต่อตลับลูกปืนจริงๆ (ซึ่งจะมีทั้งแรงในแนวรัศมีและในแนวแกนพร้อมกันก็ได้)

ตลับลูกปืนรับแรงแนวรัศมีมักจะถูกกระทำด้วยแรงทั้งในแนวรัศมี และแนวแกนพร้อมกัน ถ้าผลรวมของแรงมีค่าคงที่ทั้งขนาดและทิศทางแล้ว แรงสมมูลจะคำนวณได้จากสมการ

$$P = XVF_r + YF_a$$

เมื่อ	$P$	=	แรงสมมูลที่กระทำต่อตลับลูกปืน เป็น นิวตัน
	$F_r$	=	แรงกระทำในแนวรัศมี เป็น นิวตัน
	$F_a$	=	แรงกระทำในแนวแกน (หรือแรงรุน) เป็น นิวตัน
	$X$	=	ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ก2
	$Y$	=	ตัวประกอบแรงรุน หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ก2

- การเลือกขนาดตลับลูกปืน โดยใช้ความสามารถในการรับแรงสถิต

การเลือกขนาดตลับลูกปืน ควรที่จะใช้ค่าแรงสถิตประเมิน  $C_0$  แทนที่จะใช้อายุการใช้งานของตลับลูกปืน ถ้าการใช้งานของตลับลูกปืนเป็นไปตามเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งต่อไปนี้

- ตลับลูกปืนอยู่นิ่งและรับแรงที่กระทำอย่างต่อเนื่องหรือกระทำเป็นระยะๆ
- ตลับลูกปืนเคลื่อนที่กลับไปกลับมาอย่างช้า ๆ หรือมีการเคลื่อนเชิงแนวได้ในขณะรับ

แรง

- ตลับลูกปืนหมุนด้วยความเร็วรอบช้ามากในขณะรับแรง และต้องการให้มีอายุใช้งานสั้น ๆ เท่านั้น (ในกรณีเช่นนี้ สมการอายุใช้งานสำหรับแรงสมมูลที่ต้องการ  $P$  จะให้ค่าแรงพลวัตประเมิน  $C$  ต่ำมาก จนกระทั่งตลับลูกปืนที่เลือกโดยใช้พื้นฐานนี้จะถูกใช้งานเกินภาระที่ควรจะเป็น)

- ตลับลูกปืนหมุนรับแรงปกติ และยังคงต้องรับแรงกระแทกที่มีขนาดสูงมาก ซึ่งจะกระทำเพียงระยะสั้น ๆ ต่อหนึ่งรอบการหมุน

เมื่อทำการคำนวณหาขนาดของตลับลูกปืน โดยใช้ความสามารถในการรับแรงสถิต เราจะได้ค่าความปลอดภัย  $S_0$  ซึ่งแทนอัตราส่วนระหว่างแรงสถิตประเมิน  $C_0$  และแรงสถิตสมมูล  $P_0$  ที่กระทำต่อตลับลูกปืน

## 1.2 การออกแบบโซ่

การส่งกำลังด้วยโซ่มีลักษณะคล้ายกับการขับด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่และเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาชับและเพลาดาม อัตราทดของการขับจะขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับด้วยโซ่จะไม่มี การสลิป (slip) เกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟือง

### ■ การส่งกำลังด้วยโซ่

#### ● แรงในแนวเส้นสัมผัส

ในการส่งกำลัง ถ้าโซ่รับแรงสม่ำเสมอและเฟืองโซ่หมุนด้วยความเร็วคงที่ โซ่จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่  $v$  และมีแรงในแนวเส้นสัมผัส  $F_t$  ซึ่งจะหาค่าได้จากกำลังที่ส่ง  $W_p$  หรือ โมเมนต์บิดที่ต้องการส่ง  $T$

$$\text{ความเร็วของโซ่หาได้จาก} \quad v = pzn$$

$$\text{ดังนั้นแรงในแนวเส้นสัมผัส} \quad F_t = \frac{W_p}{v}$$

$$\text{หรือ} \quad F_t = \frac{2\pi nT}{v} = \frac{2\pi nT}{pzn} = \frac{2\pi T}{pz} = \frac{2T}{d}$$

เมื่อ	$F_t$	=	แรงในแนวเส้นสัมผัส
	$W_p$	=	กำลังงาน
	$T$	=	โมเมนต์บิด
	$v$	=	ความเร็วรอบของเฟืองโซ่
	$z$	=	จำนวนฟันของเฟืองโซ่
	$n$	=	ความเร็วรอบของเฟืองโซ่

- การคำนวณหาขนาดของโซ่

- หาจำนวนฟันของพีเนียน (คือจำนวนฟันบนเฟืองโซ่เล็ก)
- ตัวประกอบใช้งาน  $N_s$  สำหรับโซ่เพื่อใช้ประกอบในการเลือกขนาดโซ่แสดงในตารางผนวกที่ ก5
- คำนวณหาอัตราทดที่ต้องการได้จาก

$$\text{อัตราทด } m_\omega = \frac{z_1}{z_2}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } z_1 &= \text{ความเร็วรอบของเพลารอบต่ำ} \\ z_2 &= \text{ความเร็วรอบของเพลารอบสูง} \end{aligned}$$

- คำนวณหาจำนวนฟันบนเฟืองโซ่ใหญ่ โดยการคูณจำนวนฟันบนพีเนียนด้วยอัตราทด
- คำนวณหาคำสั่งที่ใช้เลือกโซ่ได้โดยการคูณคำสั่งที่ต้องการส่งด้วยตัวประกอบการใช้งาน

$$P = W_p \cdot N_s$$

$$\text{เมื่อ } P = \text{คำสั่งที่ใช้ในการเลือกโซ่}$$

- เลือกขนาดของโซ่ที่ต้องการใช้งานโดยพิจารณาจากภาพผนวกที่ ข5
- คำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ และความยาวโซ่

เมื่อทราบระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่โดยประมาณแล้ว ก็อาจหาจำนวนข้อโซ่ได้จากสมการ

$$x = \frac{2C}{P} + \frac{Z+z}{2} + \left( \frac{Z-z}{2\pi} \right)^2 \frac{P}{C}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } x &= \text{จำนวนข้อโซ่หรือจำนวนพิตช์ของโซ่} \\ C &= \text{ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองโซ่} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \text{ระยะพิตช์ของโซ่} \\
 z &= \text{จำนวนฟันบนพีเนียน} \\
 Z &= \text{จำนวนฟันบนเฟืองโซ่}
 \end{aligned}$$

หลังจากทราบจำนวนข้อโซ่ที่แน่นอนแล้วจึงคำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ที่แท้จริงได้จากสมการ

$$C = \frac{p}{4} \left( x - \left( \frac{Z+z}{2} \right) + \sqrt{\left( \left\{ x - \frac{Z+z}{2} \right\}^2 - 2 \left\{ \frac{Z-z}{\pi} \right\}^2 \right)} \right)$$

หลังจากที่เลือกขนาดโซ่ได้แล้ว อาจตรวจสอบว่าโซ่จะใช้งานได้หรือไม่ด้วยสมการ

$$F = \frac{F_b}{N_b}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } F_b &= \text{แรงแตกหักน้อยที่สุดของโซ่} \\
 N_b &= \text{ค่าความปลอดภัยซึ่งควรมีค่าระหว่าง 7 ถึง 15}
 \end{aligned}$$

### 1.3 การออกแบบสปริง

#### ■ คุณสมบัติทางกลของสปริง

ค่าความต้านแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของลวดสปริง ดังนั้นจึงอาจเขียนในรูปสมการที่ใช้หาค่าความต้านแรงของวัสดุลวดสปริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใดๆ ได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned}
 \sigma_u &= \frac{A}{d^x} \\
 \tau_n &= \frac{B}{d^y}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{โดยที่ } \sigma_u &= \text{ความต้านแรงดึงต่ำสุด} \\
 \tau_n &= \text{ความต้านแรงเฉือนทนทาน} \\
 d &= \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริงเป็น} \\
 &\quad \text{มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

ค่าคงที่  $x$  และ  $y$  โดยประมาณของสมการเป็นค่าที่เป็นคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทำสปริง ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ตารางผนวกที่ ก8 และค่าความเค้นเฉือนออกแบบสามารถหาได้จากตารางผนวกที่ ก9

สำหรับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและโมดูลัสเฉือนของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ใช้

$$\begin{aligned}
 \text{โมดูลัสความยืดหยุ่น} \quad E &= 180 \text{ kN/mm}^2 \\
 \text{โมดูลัสเฉือน} \quad G &= 70 \text{ kN/mm}^2
 \end{aligned}$$

สำหรับค่าแรงเฉือนครากของเหล็กกล้าไร้สนิมให้ใช้ค่าประมาณ

$$\tau_y = 0.47 \sigma_u$$

$$\text{โดยที่ } \tau_y = \text{แรงเฉือนคราก}$$

#### ■ ความแข็งดึงของสปริง

ความแข็งดึงของสปริง (Spring stiffness) หมายถึงปริมาณของแรงที่ใช้ในการทำให้สปริงยืดหดหนึ่งหน่วยความยาวในแนวแกนของสปริง ซึ่งยังมีชื่อเรียกหลายชื่อแตกต่างกันไป เช่น ค่าคงที่ของสปริง (Spring constant) อัตราสปริง (Spring rate) เป็นต้น สามารถหาค่าจากสมการได้ดังนี้

$$k = \frac{F}{\delta}$$

$$\text{เมื่อ } k = \text{ความแข็งดึงของสปริง}$$

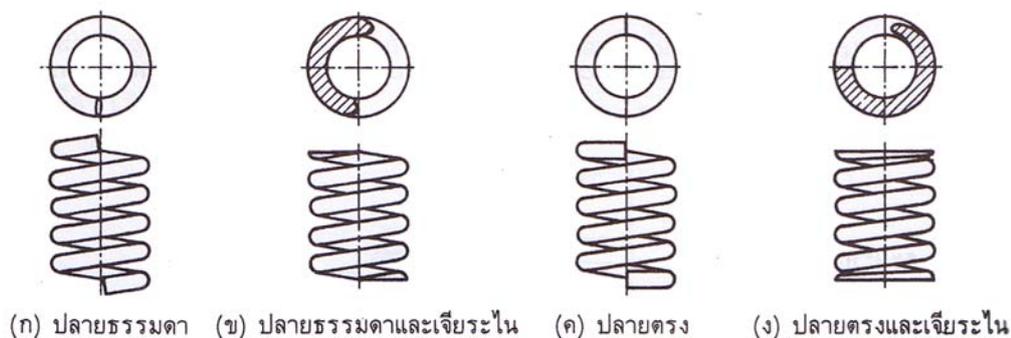
$\delta$  = ระยะยวบตัวของสปริงภายใต้แรงกด  
 $F$  = ค่าความแข็งดึงของสปริง

หรือ สามารถหาค่าความแข็งดึงของสปริงได้จากสมการ

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3n} = \frac{Gd}{8C^3n}$$

โดยที่  $D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางการขดของสปริง  
 $n$  = จำนวนขดของสปริง  
 $C$  = อัตราส่วนระหว่าง  $D/d$

สำหรับจำนวนขดของสปริงขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายของสปริงที่ผู้ออกแบบเป็นคน  
เลือก



ภาพที่ 1 การเจียรระไนปลายสปริง

ปลายธรรมดา (Plain ends)	$n$	=	$n_t$
ปลายธรรมดาและเจียรระไน (Ground end)	$n$	=	$n_t - 1$
ปลายตรง (Square ends)	$n$	=	$n_t - 1.5$
ปลายตรงและเจียรระไน	$n$	=	$n_t - 2$

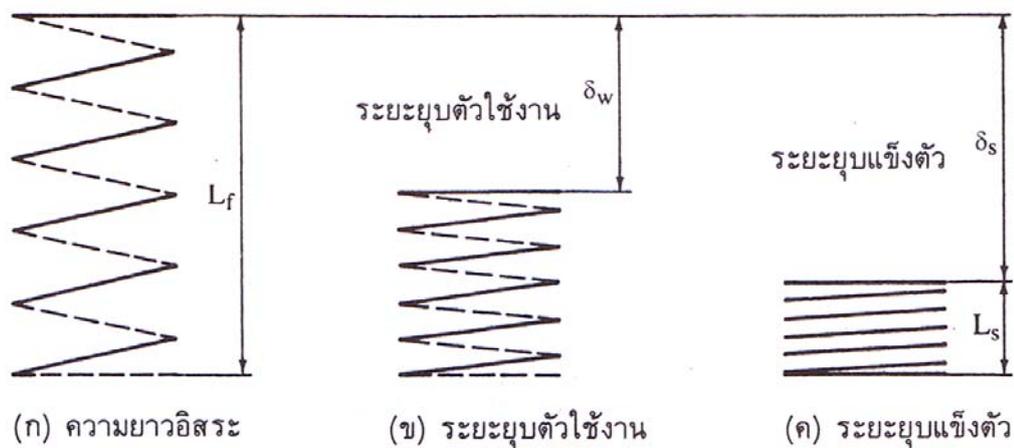
โดยที่  $n_t$  = จำนวนขดของสปริงทั้งหมด

■ ระยะยวบตัวใช้งาน

ความยาวของสปริงขดในขณะที่ยังไม่มีแรงภายนอกมากกระทำเรียกว่า ความยาวอิสระ เมื่อมีแรงมากกระทำจนทำให้ขดติดกันพอดีเรียกว่า ความยาวแข็งตัว ระยะยวบตัวที่อยู่ระหว่างความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวเรียกว่า ระยะยวบตัวใช้งาน ถ้าให้ระยะยวบ แข็งตัวเป็นผลต่างระหว่างความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวจะได้ว่า

$$\delta_s = L_f - L_s$$

โดยที่  $\delta_s$  = ระยะยวบแข็งตัว  
 $L_f$  = ความยาวอิสระ  
 $L_s$  = ความยาวแข็งตัว



ภาพที่ 2 ระยะยวบของสปริง

จะสามารถเผื่อการยวบตัวของสปริงให้มีการยวบตัวมากกว่าระยะยวบตัวใช้งานได้อย่างมีหลักเกณฑ์พอสมควร โดยใช้ค่าความเผื่อการกดติด (Clash allowance) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\text{ความเผื่อการกดติด } r_c = \frac{\delta_s - \delta_w}{\delta_w}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } r_c &= \text{ค่าความเผื่อการกดติด} \\ \delta_w &= \text{ระยะยุบตัวใช้งาน} \end{aligned}$$

ค่าความเผื่อที่เลือกใช้นั้นทั่วไปใช้ค่าเท่ากับ 0.2 หมายความว่าสปริงนี้สามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้นอีก 20 เปอร์เซ็นต์

ค่าความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวของสปริงขึ้นอยู่กับลักษณะปลายสปริงขด ซึ่งอาจจะหาค่าโดยประมาณได้จากตารางค่าประมาณของความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวในตารางผนวกที่ ก10

#### 1.4 การออกแบบเพลลา

สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society of Mechanical Engineering, ASME) ได้กำหนดวิธีการออกแบบเพลลาตามรหัสของ ASME ซึ่งวิธีการออกแบบวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วเพลลาจะรับภาระในลักษณะการบิดตัว เนื่องจากทอร์คที่ถ่ายทอด แต่เพลลาก็มักจะรับภาระในลักษณะของการดัดด้วย ซึ่งจะทำให้เพลลาเกิดการโก่งตัวน้อยมาก ซึ่งไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณ สำหรับวิธีการคำนวณการออกแบบหาขนาดของเพลลาตามวิธีการของ ASME นั้นทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากพื้นฐานของสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องกับค้ำย (วริทธิ และ ชาญ, 2541)

ในกรณีของเพลลาที่รับทอร์คและโมเมนต์ดัด และเป็นเพลลาทวง

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

เมื่อ	$C_m$	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด
	$C_t$	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
	$\tau$	=	ความเค้นเฉือน (นิวตันต่อตารางเมตร)
	$T$	=	โมเมนต์บิด (นิวตันเมตร)
	$M$	=	โมเมนต์ดัด (นิวตันเมตร)

ค่าตัวประกอบความถี่สามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งคูได้จากตาราง  
ผนวกที่ ก6

ถ้ากำหนดวัสดุของเพลลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่า  
ความเค้นเฉือนใช้งานจาก

$$\tau_d = 0.3 \sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18 \sigma_u$$

โดยที่	$\tau_d$	=	ค่าความเค้นเฉือนออกแบบ (นิวตันต่อตารางเมตร)
	$\sigma_y$	=	ค่าความต้านทานแรงดึงคราก (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)
	$\sigma_u$	=	ค่าความต้านทานแรงดึงอัลติเมต (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

โดยเลือกใช้น้อยมาคำนวณ และถ้าเพลลามีร่องลึ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้  
เพียง 75% ของค่าที่นำมาใช้ดังกล่าว

## 2. การออกแบบชิ้นงานด้วยกระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

### 2.1 การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์

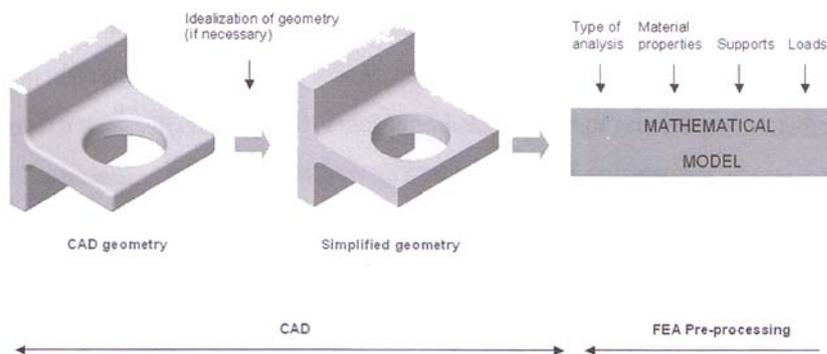
ศุภชัย และ สถาพร (2549) ในการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์คอสโมสเวิร์ก (COSMOSWorks) นั้นจะสามารถเชื่อมโยงชิ้นส่วนจากโปรแกรมออกแบบชิ้นงานสามมิติได้ (ในที่นี้ใช้ SolidWorks) ชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์นั้นจะถูกแบ่งออกเป็น เอลิเมนต์ย่อยเล็ก ที่มีจำนวนจำกัดสามารถนับได้ (Finite element mesh) ขนาดของเอลิเมนต์จะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ หรือ กำหนดโดยผู้ออกแบบเองก็ได้ สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบที่จะมีผลกับการแบ่งเอลิเมนต์ย่อยนั้น มีด้วยกันสามลำดับขั้น ดังนี้

Defeaturing เป็นการพิจารณาขั้นตอนในการสร้างชิ้นงาน โดยอาจต้องปรับปรุงรูปทรงของชิ้นส่วนเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ เช่น การแก้ไขลบมุมของชิ้นงาน การแก้ไขขนาดของรูปทรง เป็นต้น

Idealization เป็นการพิจารณารูปทรงของชิ้นงาน โดยลดความยุ่งยากในการคำนวณที่จะเกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนรูปแบบในการออกแบบชิ้นงานให้ง่ายขึ้น ไม่ซับซ้อน การปรับแต่งผิวชิ้นงาน เป็นต้น

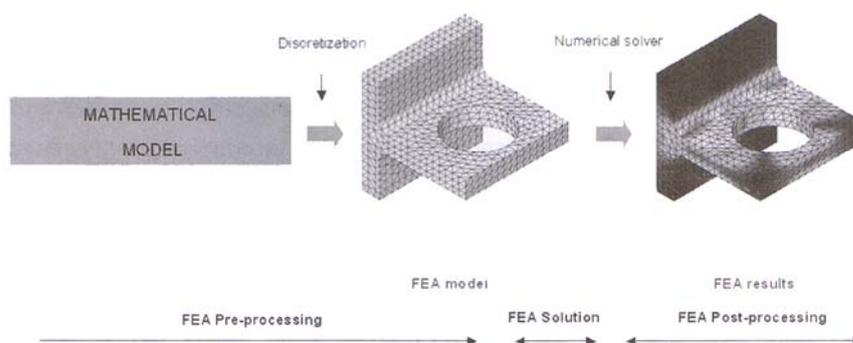
Clean-up เป็นการกำหนดบริเวณในการสร้างเอลิเมนต์ โดยบริเวณที่ไม่มีผลกระทบจากการกระทำของแรงเอลิเมนต์สามารถมีขนาดใหญ่ไม่หนาแน่น แต่บริเวณที่มีผลกระทบจะสร้างให้มีความหนาแน่นของเอลิเมนต์มากขึ้นได้

กระบวนการในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นสามารถอธิบายได้ง่ายๆดังนี้



ภาพที่ 3 กระบวนการจัดเตรียมแบบจำลอง  
ที่มา : ศุภชัย และ สถาพร (2549)

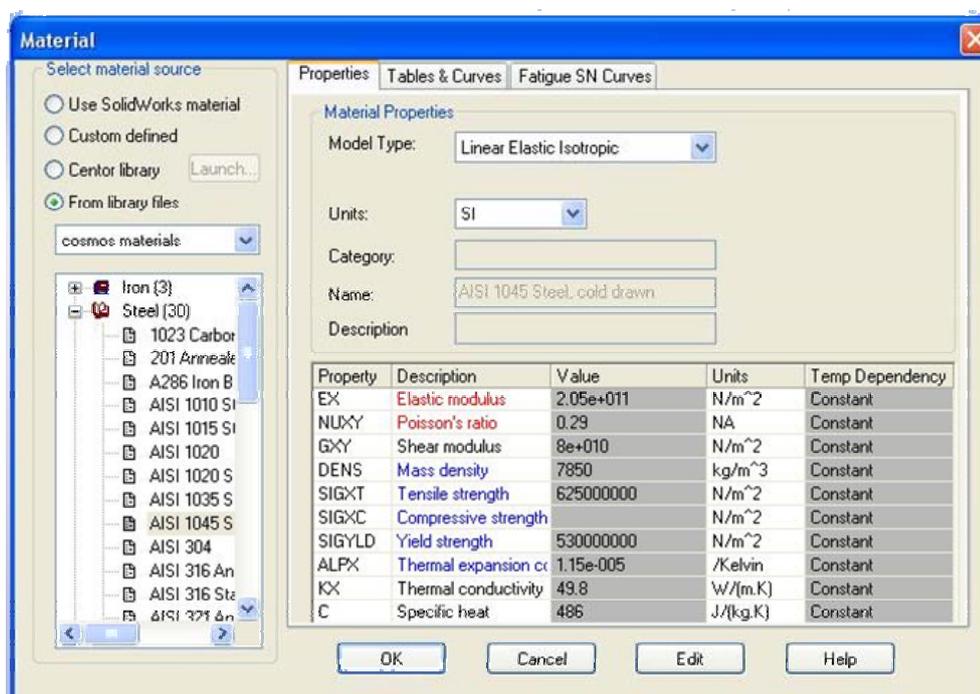
เมื่อทำการสร้างและจัดเตรียมแบบจำลองแล้ว กระบวนการที่สำคัญต่อไปคือการแบ่งเอลิเมนต์ย่อยของชิ้นงานเพื่อเตรียมพร้อมในการคำนวณต่อไป



ภาพที่ 4 กระบวนการวิเคราะห์  
ที่มา : ศุภชัย และ สถาพร (2549)

## 2.2 การกำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุของชิ้นงาน

ผู้ออกแบบสามารถกำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุของชิ้นงานที่ทำการออกแบบได้หลายอย่าง กว้าง ๆ สองวิธีคือการกำหนดด้วยค่าที่กำหนดเอง หรือการกำหนดค่าด้วยข้อมูลที่มีอยู่แล้วในโปรแกรมวิเคราะห์



ภาพที่ 5 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

## 2.3 การกำหนดการจับยึดชิ้นงาน

ขั้นตอนที่สำคัญส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ คือการกำหนดการจับยึดชิ้นงาน เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีผลกับการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ ผู้ออกแบบนั้นสามารถเลือกชนิดของการจับยึดจากโปรแกรมวิเคราะห์ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก11

## 2.4 การกำหนดแรงกระทำ

ผู้ออกแบบสามารถกำหนดลักษณะและทิศทางของแรงกระทำได้โดยพิจารณาให้ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากที่สุด ในโปรแกรมวิเคราะห์นั้นสามารถเลือกแรงกระทำต่าง ๆ ได้ เช่น การแรงกระทำแบบกระจาย การรับแรงกระทำแบบเป็นจุด โดยได้แสดงลักษณะของการกำหนดแรงกระทำไว้ในตารางผนวกที่ ก12

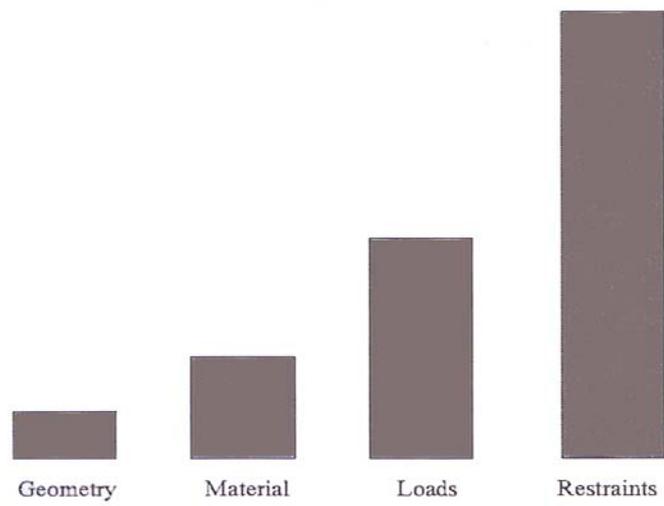
## 2.5 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าจอ จะมีการแสดงออกมาในรูปแบบของการรายงานในรูปแบบไฟล์ ตามที่ผู้ออกแบบต้องการพิจารณา ยกตัวอย่างเช่น ผลของค่าความเค้น ผลของค่าความเครียด ผลของค่าการเคลื่อนที่ ผลของค่าความปลอดภัยในการออกแบบ

ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ สามารถแบ่งชนิดของข้อผิดพลาดออกได้ 3 ชนิดคือ

- ผิดพลาดจากการใช้งาน หรือเลือกวิธีการที่ผิด
- ผิดพลาดจากการป้อนค่าไม่ถูกต้องในช่วงการทำโมเดลคณิตศาสตร์
- ผิดพลาดจากการหาค่าผลเฉลย

โดยจากการสำรวจผู้ใช้งานพบว่าปริมาณความเสี่ยงต่อความผิดพลาดมักจะเกิดจากขั้นตอนต่างดังแสดงในภาพที่ 6 ด้านล่าง



ภาพที่ 6 กระบวนการและความผิดพลาด  
ที่มา : สุภชัย และ สถาพร (2549)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

อุปกรณ์ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ เครื่องมือที่ใช้ในการ  
สร้างต้นแบบ

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์

ใช้ในการออกแบบแบบจำลองและวิเคราะห์รวมถึงการจัดทำเอกสาร

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ ASUS A8JM CPU Intel Centrino Duo Core 1.8 GHz Ram 1.0 GB
2. โปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลองสามมิติ SolidWorks
3. โปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ CosmosWorks
4. เครื่องพิมพ์ Inkjet Brother DCP-110C

### เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างต้นแบบ

ได้แก่อุปกรณ์ที่ใช้ต่างในการจัดสร้างดังนี้

1. ตลับเมตร เวอร์เนีย
2. ผู้เชื่อม ทวดเชื่อม
3. เครื่องกลึง
4. เครื่องเจาะ
5. เครื่องเจียรระโน
6. หัวตัดแก๊ส
7. เหล็กรูปประพันธ์ หน้าตัดตัว C หน้าตัดตัวH

8. เหล็กแผ่นความหนาต่างๆ
9. เหล็กเหลาขาว
10. แป้นเกลียว สลักเกี่ยวขนาดต่างๆ
11. บอลเบริง
12. มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 5 แรงม้า พร้อมห้องเกียร์
13. เฟืองโซ่ โซ่

## วิธีการ

### 1. รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการพัฒนา

เป็นการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาพื้นหมุนฯ ที่ใช้สำหรับชมทิวทัศน์ของอาคารสูงเพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการนำมาออกแบบรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ประกอบการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยมีการกำหนดขั้นตอนดังนี้คือ

- 1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลทั่วไป
- 1.2 วางแผนการทำงาน
- 1.3 ศึกษาลักษณะความเสียหายของส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

### 2. ทำการออกแบบพื้นหมุนชมทิวทัศน์

นำข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมข้างต้นนำมาพิจารณาแก้ไข ทำการออกแบบโดยแบ่งพื้นหมุนที่ใช้สำหรับชมทิวทัศน์ได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) โครงสร้างและพื้นทางเดิน 2) ชุดรองรับน้ำหนัก 3) ชุดขับเคลื่อน

โดยอ้างอิงกระบวนการออกแบบมาจากการออกแบบเครื่องจักรกลที่ได้กล่าวไปในส่วนนำโดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 2.1 วางเกณฑ์ในการออกแบบทั้งหมด
- 2.2 สร้างแบบจำลองและภาพการประกอบแบบจำลอง (Part and Assembly) ของชิ้นงานย่อยทุกชิ้น โดยใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติ SolidWorks
- 2.3 พัฒนาอุปกรณ์และกลไกต่าง ๆ ของพื้นหมุน ฯ โดยทำการออกแบบอุปกรณ์ย่อย ๆ ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 2.4 สร้างแบบพิมพ์เขียว (Drawing) จากแบบจำลองและภาพการประกอบแบบจำลองในข้อ 2.1 และข้อมูลที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อ 2.2 ประกอบกัน
- 2.5 ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นโดยพิจารณาราคาจากอุปกรณ์หลัก ๆ

### 3. ดำเนินการสร้างพื้นหมุนชมทิวทัศน์

ทำการสร้างพื้นหมุนสำหรับชมทิวทัศน์ ตามแบบพิมพ์เขียวที่ได้จัดทำไว้ในข้อ 2

### 4. ทำการทดสอบและประเมินผลพร้อมแก้ไขข้อบกพร่อง

หลังจากได้ดำเนินการพัฒนาพื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์แล้วทำการทดสอบและประเมินผลโดยเปิดใช้งานจริงและสังเกตการทำงานของอุปกรณ์ในส่วนต่าง ๆ ของพื้นหมุน ฯ พร้อมทั้งสำรวจและวิเคราะห์ข้อบกพร่องแล้วทำการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ไปพร้อมกัน

### 5. สรุปผลและวิจารณ์

ทำการสรุปผลและวิจารณ์การพัฒนาพื้นหมุนสำหรับชมทิวทัศน์ที่ได้ดำเนินการไปแล้วทั้งหมด

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ผลการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการพัฒนา

ได้ดำเนินการศึกษาในรายละเอียดของพื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ โดยการหาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงสอบถามถึงข้อมูลจากฝ่ายประชาสัมพันธ์ของอาคาร และปรึกษาทางฝ่ายช่างผู้ดูแลเพื่อวางแผนการทำงาน โดยมีการดำเนินงานหาข้อมูลเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไป
2. วางแผนการทำงาน
3. ศึกษาลักษณะความเสียหายของส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

##### 1.1 ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไป

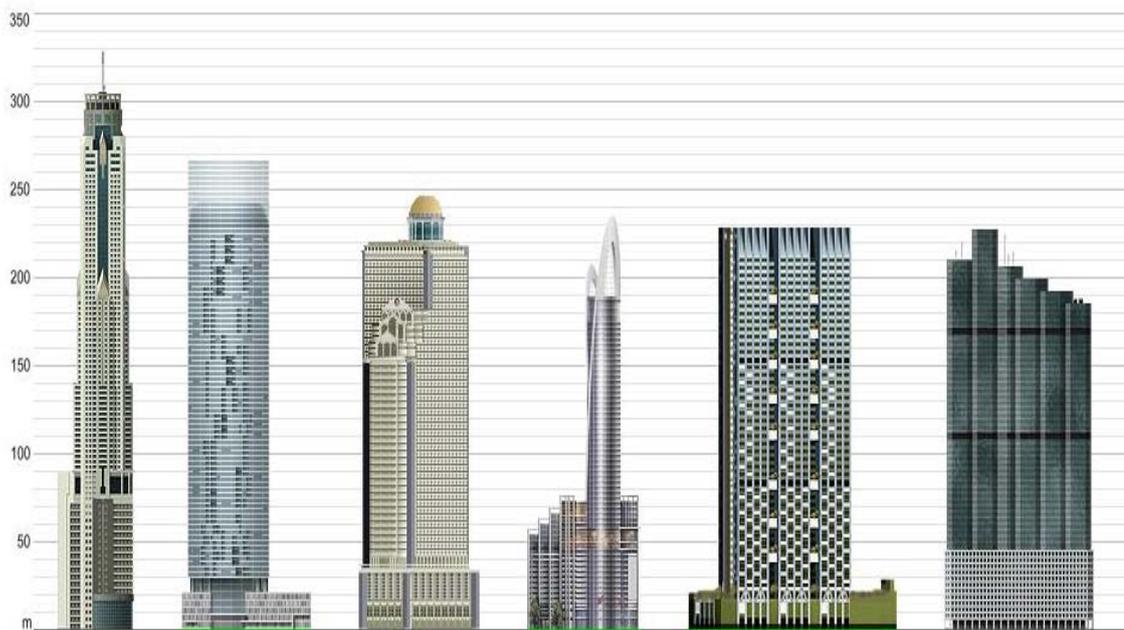
ในการศึกษาข้อมูลทั่วไปได้แบ่งการศึกษาออกเป็นส่วนย่อย โดยสามารถแยกข้อมูลออกได้ 4 ส่วนคือ

1. การศึกษาข้อมูลของอาคารสูงทั่วไป
2. การศึกษาข้อมูลของพื้นหมุนทั่วไป
3. การศึกษาข้อมูลทั่วไปของอาคารใบหยก
4. การศึกษาข้อมูลในรายละเอียดของแบบของอาคารใบหยกสกายในชั้นที่ติดตั้ง

ดังนั้นจึงแยกการเสนอผลการศึกษาข้อมูล ออกเป็น 4 หัวข้อ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1.1.1 ข้อมูลของอาคารสูงทั่วไป

ได้ทำการค้นคว้าหาข้อมูลอาคารสูงในประเทศไทย 5 อันดับแรก และสามารถจัดอันดับได้โดยใช้ภาพที่ 7 ดังนี้



ภาพที่ 7 อาคารสูงในไทย 5 อันดับ

ที่มา : Skyscraper (2005)

ภาพที่ได้มานี้เป็นภาพที่ได้จากเว็บไซต์ที่ทำการจัดอันดับอาคารสูงทั่วโลก และรวบรวมรูปถ่ายรวมถึงภาพวาดอาคารทั่วโลกเช่นกัน เว็บไซต์ดังกล่าวได้ทำการจัดอันดับความสูงของอาคาร 5 อันดับในไทยไว้ โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดอาคารสูงในไทย 5 อันดับ

ชื่อ	Baiyoke Tower II	The River Tower A	Maritus Suits States Tower	Central World Plaza Hotel	The MET
ที่ตั้ง	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ	กรุงเทพฯ
ปีที่สร้าง	1997	2010	2001	2008	2009
จำนวนชั้น	88	83	63	57	69
ความสูง	309	265.6	247	235	228

ที่มา : Skyscraper (2005)

### 1.1.2 ผลการศึกษาข้อมูลของพื้นที่หมุนทั่วไป

ได้ทำการค้นหาข้อมูลพื้นที่หมุนที่ติดตั้งทั่วโลก พบว่าส่วนใหญ่ติดตั้งบนอาคารสูงที่อยู่ในเมืองที่มีขนาดใหญ่ ในทวีปยุโรปและอเมริกาใช้เป็นจุดดึงดูดนักท่องเที่ยวให้เข้าชมบรรยากาศเมือง มีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น ใช้เป็นทางเดินสำหรับชมทิวทัศน์ ใช้เป็นห้องอาหาร เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดพื้นหมุนที่มีใช้งานทั่วโลกบางส่วน

ชื่อ	สถานที่ตั้ง	รายละเอียด
The Pearl	Iceland	บนแท่งค้ำน้ำ
The Rivue	Kentucky	ชั้น 25 ของอาคาร
Royal Crown	Manitoba,Canada	ชั้น 31 ของอาคาร
Hyatt Regency	Michican	สูง 90 เมตร ความเร็ว 60 นาทีต่อรอบ
Eyes over Texas	Texas	มอเตอร์ขับเคลื่อน 1 ชุด สูง 191 เมตร ความเร็ว 55 นาทีต่อรอบ
Top of the Riverfront	Missouri	ชั้น 28 สูง 80 เมตร ความเร็ว 90 นาทีต่อรอบ
Polaris Restaurant	Georgia	-
Compass Room	Arizona	ชั้น 24 ของอาคาร
Olympic Tower Munich	Germany	สูง 182 เมตร
Polaris	Wisconsin	สูง 110 เมตร
Antares Restaurant	Texas	-
Roma Revolving Restaurant	KwaZulu- Natal,South Africa	สูง 84 เมตร ความเร็ว 60 นาทีต่อรอบ
The 360 Restaurant	Ontario,Canada	ชั้นบนสุด C.N. Tower สูง 342 เมตร ความเร็ว 72 นาทีต่อรอบ
Sky City	Washington	-
Skies Hyatt Regency Crown Center	Missouri	ชั้นบนสุด Hyatt Regency Tower
View Restaurant	Newyork	-
Golden Sea View	ไห่หนาน,จีน	ชั้น 31 ของอาคาร
ห้องอาหารโรงแรม พัทยาพาร์ค	พัทยา	ชั้น 52 , 53 , 54 ของอาคาร
ไบหยกสกาย	กรุงเทพฯ	ชั้น 84 สูง 309 เมตร ความเร็ว 8 นาทีต่อรอบ

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นการใช้งานพื้นหมุน ๆ ทั่วโลก ซึ่งมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป จะเห็นได้ว่าในประเทศไทยมีพื้นหมุนที่ใช้สำหรับชมทิวทัศน์อยู่เช่นกัน ที่โรงแรมพัทยาพาร์คมีการติดตั้งพื้นหมุนทั้งหมด 3 ชั้น เป็นการติดตั้งพื้นหมุนภายในตัวอาคารใช้เป็นที่สำหรับรับประทานอาหารในห้องอาหาร และอาคารโอบหยกสกายติดตั้งพื้นหมุนภายนอกอาคารใช้สำหรับเป็นทางเดินรอบอาคาร

### 1.1.3 ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของอาคารโอบหยก

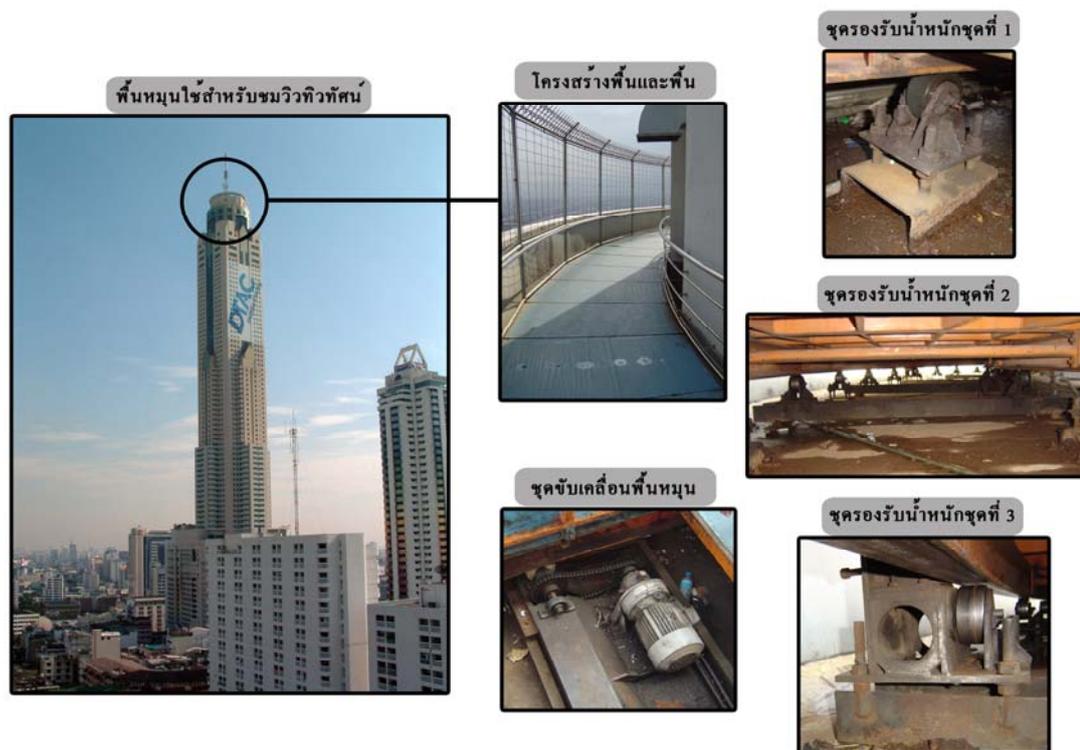
อาคารโอบหยกสกายเป็นอาคารที่สูงที่สุดในประเทศไทย ตั้งอยู่บนถนนราชปรารภ หรือบริเวณย่านการค้าประตูน้ำ โดยมี คุณพันธ์เลิศ โอบหยก เป็นประธานกรรมการบริหาร ได้ดำเนินการสร้างเมื่อปี พ.ศ.2533 ใช้เวลาในการสร้างทั้งสิ้น 8 ปี ด้วยงบประมาณโครงการทั้งสิ้นประมาณ 3,000 ล้านบาท เปิดดำเนินงานโดยให้เช่าพื้นที่ทำร้านค้า ธุรกิจโรงแรม ห้องอาหาร และสถานที่ท่องเที่ยว จากที่ได้สอบถามข้อมูลจากฝ่ายประชาสัมพันธ์โรงแรมโอบหยกสกาย ได้ข้อมูลบางส่วนที่แสดงในตารางที่ 3

### ตารางที่ 3 ข้อมูลทั่วไปอาคารใบหยกสกาย

เริ่มก่อสร้าง	(ตอกเสาเข็ม) เดือนพฤษภาคม 2533
เปิดดำเนินการ	วันที่ 14 มกราคม 2541
พื้นที่ตั้งอาคาร	ตั้งอยู่บนเนื้อที่ 4 ไร่ หรือ 6,400 ตารางเมตร
เนื้อที่ใช้สอย	เนื้อที่ภายในตัวอาคารรวม 179,400 ตารางเมตร หรือ เท่ากับสนามฟุตบอล 30 สนาม
ความสูง	309 เมตรจากพื้นดิน เทียบเท่ากับความสูงของคน 182 คน ยืนต่อกัน
ชั้นบันได	จำนวนรวมกันทั้งสิ้น 2,060 ชั้น ใช้เวลาในการเดินกว่า 1 ชั่วโมงเศษ
จำนวนชั้น	88 ชั้น
หน้าต่าง	ทั้งหมด 1,740 บาน หรือจำนวนเท่ากับหน้าต่างของอาคารพาณิชย์รวมกันกว่า 200 คูหา
ลิฟท์	ทั้งหมดกว่า 20 ตัว (เฉพาะลิฟท์แก้วจากชั้น 1 ถึงชั้น 77 ซึ่งเป็นลิฟท์ที่สูงที่สุดในประเทศไทย มีระยะทางวิ่ง 254.15 เมตร ความเร็ว 210 เมตร/นาที ใช้เวลาขึ้นลง 1.20 นาที )
เสาเข็ม	เสาเข็มฐานตึกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร จำนวน 306 ต้น เจาะลงใต้ดินที่ความลึก 65 เมตร หรือเทียบเท่ากับตึกสูง 22 ชั้น
พื้นที่จอดรถ	ทั้งหมด 10 ชั้น สามารถจอดรถได้กว่า 900 คัน

ที่มา : บริษัท ภูมิภาวัน จำกัด (2549)

จากที่ได้กล่าวในหัวข้อ 1.1.2 แล้วว่า อาคารใบหยกสกายได้ติดตั้งพื้นหมุนฯ ในชั้นที่ 84 จึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนประกอบต่าง ๆ ของพื้นหมุนฯ ด้วยการสอบถามจากทางวิศวกร และช่างผู้ดูแล รวมถึงเก็บข้อมูลโดยการถ่ายภาพ ซึ่งสามารถแสดงด้วยภาพที่ 8 ดังนี้



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบพื้นหมุนชมวิวิวทิวทัศน์

จากภาพที่ 8 แสดงถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของพื้นหมุนฯ ซึ่งมีส่วนประกอบทั้งหมด 5 ส่วนหลัก คือ 1) โครงสร้างพื้นและพื้นทางเดิน , 2) ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1 , 3) ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 , 4) ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3 และ 5) ชุดขับเคลื่อนพื้นหมุน คือ

1. โครงสร้างและพื้นทางเดินของพื้นหมุนฯ เป็นส่วนที่สร้างขึ้นจากโครงสร้างเหล็กรูปพรรณแบบต่าง ๆ โดยขึ้นรูปด้วยการเชื่อมไฟฟ้า ต่อกันเป็นทางเดินวงแหวนรอบตัวอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 8

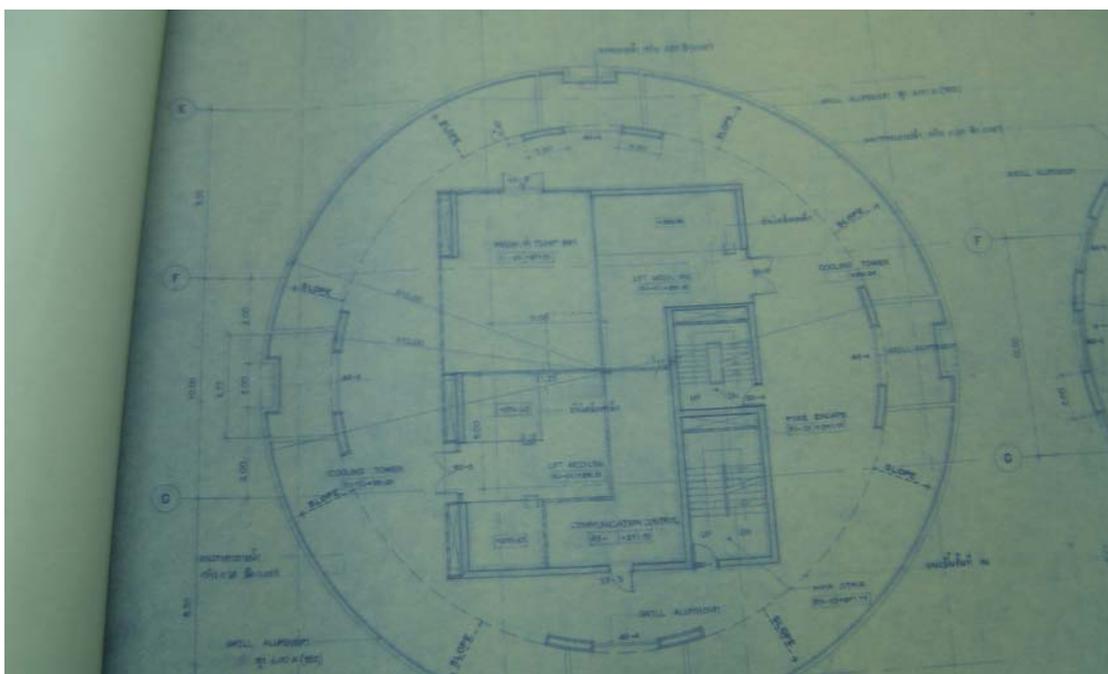
2. ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1 เป็นชุดรองรับน้ำหนักมีโครงสร้างของฐานเป็นเหล็กหน้าตัดรูปตัวซี ติดตั้งโดยมีโรลเลอร์จำนวน 1 ลูกในการรับน้ำหนักบรรทุก มีจำนวนทั้งหมด 60 ชุด ดังแสดงใน ภาพที่ 8

3. ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 เป็นชุดรองรับน้ำหนักมีโครงสร้างของฐานเป็นเหล็กหน้าตัดรูปตัวไอ ติดตั้งโดยมีโรลเลอร์จำนวน 2 ลูกในการรับน้ำหนักบรรทุก การติดตั้งมีลักษณะวางขวางการเคลื่อนที่ของพื้นหมุน ฯ มีจำนวนทั้งหมด 15 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 8

4. ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3 เป็นชุดรองรับน้ำหนักมีโครงสร้างของฐานเป็นเหล็กหน้าตัดรูปตัวไอ ติดตั้งโดยมีโรลเลอร์จำนวน 2 ลูกในการรับน้ำหนักบรรทุกและรับแรงที่กระทำเข้าสู่ศูนย์กลางของการหมุนด้วยโรลเลอร์อีก 2 ลูก การติดตั้งมีลักษณะวางขวางการเคลื่อนที่ของพื้นหมุน มีจำนวนทั้งหมด 15 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 8

#### 1.1.4 การศึกษาข้อมูลในรายละเอียดของแบบอาคารใบหยกสกายในชั้นมีการติดตั้ง

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นได้ทำการศึกษาแบบพิมพ์เขียวชั้นที่ 84 ของอาคารใบหยกสกายโดยความอนุเคราะห์จากวิศวกรและฝ่ายช่าง โดยแบบพิมพ์เขียวดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาพที่ 9 ดังนี้



ภาพที่ 9 แบบพิมพ์เขียวของอาคารชั้น 84

จากภาพที่ 9 มีรายละเอียดเบื้องต้นที่ควรทราบคือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทางเดินด้านในมีขนาด 24 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของทางเดินด้านนอกมีขนาด 32 เมตร และการแสดงรายละเอียดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ภายในอาคาร เช่น ท่อน้ำ ระบายน้ำ การเดินสายไฟ เป็นต้น

## 1.2 ผลการวางแผนการทำงาน

ผลการวางแผนการทำงานงานสำหรับการพัฒนาพื้นหมุนสำหรับชมวิวนั้นสามารถแสดงออกมาได้โดยภาพที่ 10 การทำงานทั้งหมดนั้นกินระยะเวลาประมาณ 13 เดือน มีหัวข้อและรายละเอียดเรื่องเวลาในการทำงานครบสมบูรณ์

สาเหตุที่ต้องทำการวางแผนโดยละเอียดในการทำงานนั้น เนื่องจากพื้นหมุนนั้นตั้งอยู่บนอาคารสูง ความปลอดภัยในการทำงานจึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก และเป็นการทำงานที่ต้องใช้ระยะเวลาในการปรับปรุงยาวนานพอสมควร อีกทั้งทางฝ่ายบริหารอาคารต้องการให้เปิดบริการได้บางส่วนในขณะที่ทำการปรับปรุงอยู่ (เปิดบริการได้ทุกวัน วันธรรมดา 10.30 - 22.30 น. วันเสาร์ - อาทิตย์ 09.30 - 22.30 น.) การทำงานบางส่วนต้องทำในเวลากลางคืน จึงต้องมี การวางแผนเพื่อจัดการเวลาล่วงหน้าดังแสดงในภาพ

การวางแผนงานนั้น ได้ทำการแบ่งหัวข้อการทำงานที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ

1. การศึกษาและสำรวจเบื้องต้น
2. การสำรวจและการออกแบบรายละเอียดของโครงสร้างชิ้นส่วน
3. วิเคราะห์ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นกับระบบต่างๆ
4. ประเมินราคาค่าวัสดุในการปรับปรุงพื้นหมุน
5. ทำการเสนอแนวทางแก้ไขและพัฒนา
6. แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เสียหาย
7. แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยปรับปรุงชุดอุปกรณ์ต่างๆ
8. การสำรวจความถูกต้องของงาน



### 1.3 ผลการศึกษาลักษณะความเสียหายของส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

จากที่ได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ทำให้ทราบถึงหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 1.1.3 นอกจากนั้นได้พบข้อบกพร่องในด้านการทำงานและความเสียหายของอุปกรณ์ พอที่จะสรุปออกเป็นหัวข้อได้ ดังต่อไปนี้

#### 1.3.1 การสึกกร่อนของโครงสร้างและอุปกรณ์

พื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ของอาคารไบฮอคสกายเป็นพื้นหมุนที่เปิดให้ใช้บริการมาแล้วเป็นระยะเวลานาน ถือว่าเป็น โครงสร้างขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณสถานที่กลางแจ้ง การใช้งานจึงถือว่าเป็นปกติ ที่จะเกิดการสึกกร่อนของโครงสร้างและอุปกรณ์



ภาพที่ 11 การสึกกร่อนของพื้นทางเดิน

จากภาพที่ 11 จะเห็นว่าบริเวณพื้นทางเดินจำนวนมาก เกิดสนิมและบางส่วนมีการสึกกร่อน วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กแผ่นหนา 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 12 การผุกร่อนของรางหน้าตัดตัว C

จากภาพที่ 12 แสดงถึงบริเวณรางขับเคลื่อนด้านในและด้านนอกเกิดสนิมและบางส่วนมีการผุกร่อนวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กโครงสร้างหน้าตัดตัว C ตัดโค้ง



ภาพที่ 13 การผุกร่อนของอุปกรณ์

จากภาพที่ 13 แสดงถึงบริเวณอุปกรณ์ต่อเชื่อมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของรางด้านในและด้านนอกที่สร้างขึ้นจากเหล็กท่อโครงสร้าง เกิดสนิมและบางส่วนขาดออกจากกัน



ภาพที่ 14 รื้อเหล็กกันที่ผุกร่อน

จากภาพที่ 14 แสดงถึงบริเวณรื้อเหล็กกันด้านข้าง เกิดสนิมและบางส่วนขาดออกจากกันวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กท่อโครงสร้าง

### 1.3.2 ความเสียหายของอุปกรณ์รองรับน้ำหนัก

ระบบรองรับน้ำหนักทั้ง 3 ชุด ซึ่งได้แก่ ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1 ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 และชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3 นั้นเกิดการเสียหายและชำรุด ระบบรองรับน้ำหนักทั้ง 3 ชุดมีตลับลูกปืนเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้รับน้ำหนักบรรทุก การใช้งานที่ยาวนาน พื้นที่ใช้งานบริเวณกลางแจ้งและการดูแลรักษาไม่ดีเท่าที่ควร รวมถึงการออกแบบที่ผิดพลาดทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าวลดลงได้

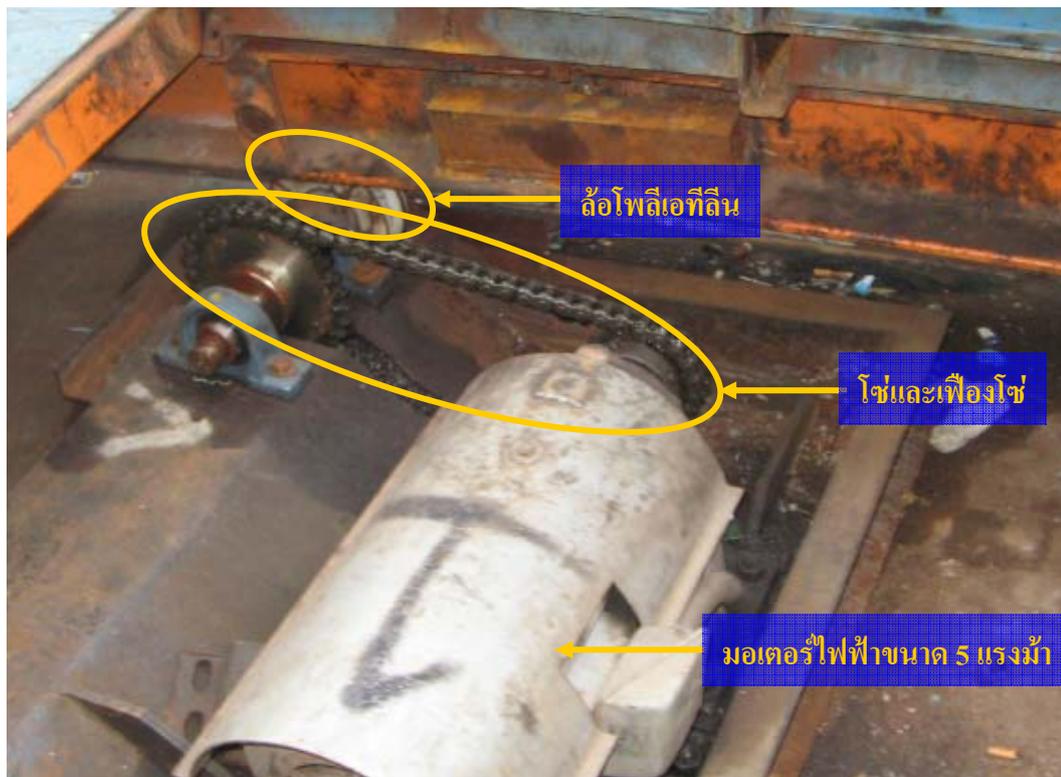


**ภาพที่ 15** ความเสียหายของแบร์ริงรองรับน้ำหนัก

จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นถึงตลับลูกปืนที่ใช้งานมีรหัส 6203 2Z เกิดความเสียหายที่บริเวณตัวเรือนของตลับลูกปืน (Bearing Housing) และมีร่องรอยการเสียดสีเกิดขึ้น โดยการสำรวจพบว่าเกิดขึ้นกับชุดรองรับน้ำหนักเกือบทุกชุด

### 1.3.3 ความสึกหรอและความผิดพลาดของระบบขับเคลื่อน

การทำงานของระบบขับเคลื่อนพื้นหมุนของอาคารใบหยกสกาย ทำงานจากต้นกำลังคือ มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 5 แรงม้าส่งกำลังผ่านเฟืองโซ่ และส่งกำลังโดยใช้แรงเสียดทานระหว่างล้อโพลีเอทิลีนกับรางเหล็ก ซึ่งต้องใช้ในการปรับตั้งให้พอดี หากปรับตั้งให้ระดับของล้อสูงเกินไปจะทำให้การสึกหรอของล้อมีมาก อายุการใช้งานออกมาต่ำ และหากปรับตั้งให้ระดับของล้อต่ำเกินไปจะทำให้ไม่สามารถขับเคลื่อนได้ ทั้งนี้การปรับตั้งความสูงของล้อให้พอดี ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากมาก ด้วยเหตุที่ว่า ต้องปรับตั้งความสูงให้มีความสัมพันธ์กับชุดรองรับน้ำหนักทั้งหมดด้วย ระบบขับเคลื่อนสามารถแสดงด้วยภาพที่ 16 ดังนี้



ภาพที่ 16 ชุดขับเคลื่อน

ภาพที่ 18 เป็นการแสดงให้เห็นถึงการขับเคลื่อนที่อาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า มีการส่งกำลังด้วยเฟืองโซ่และล้อขับเคลื่อนทำจากวัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีน

## 2. ผลการพัฒนาพื้นหมุนชมทิวทัศน์

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการศึกษาความเสียหายของพื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ที่ได้กล่าวไปแล้วในข้อที่ 1.3 จะเห็นได้ว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นใน 6 ชั้นส่วนหลัก โดยเกิดการชำรุดตามสภาพเวลาและการเสียหายจากการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งการก่อสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในครั้งแรกไม่มีแบบพิมพ์เขียวทำให้จำเป็นต้องออกแบบและพัฒนาใหม่

### 2.1 เกณฑ์ในการออกแบบ

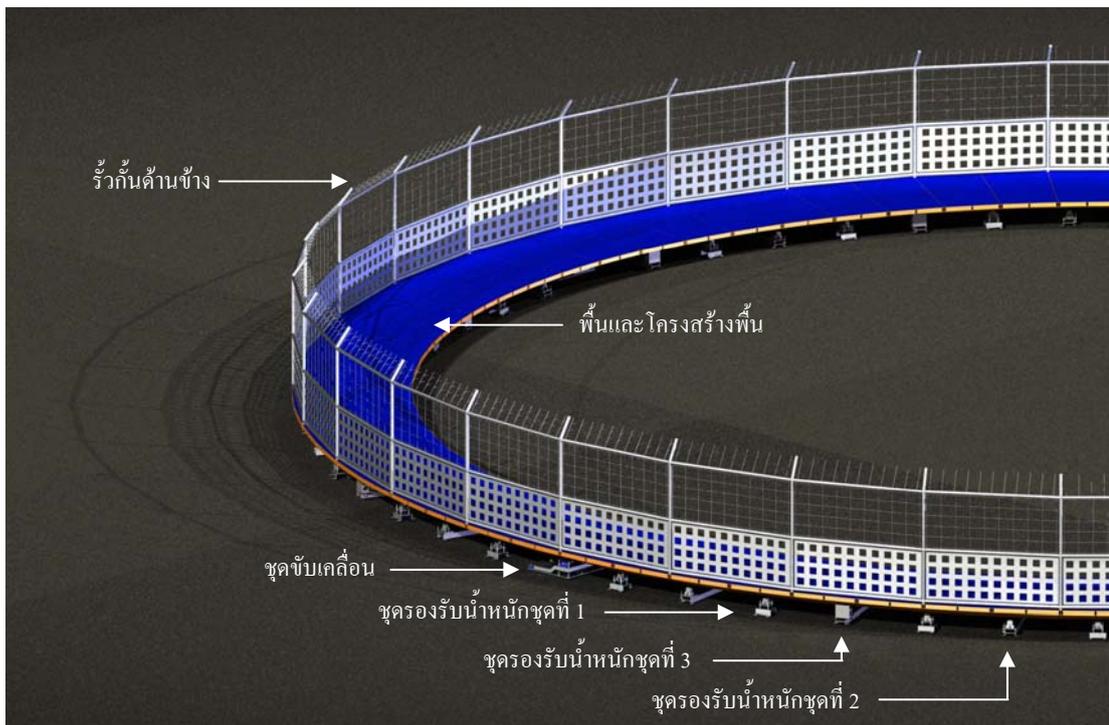
เกณฑ์ในการออกแบบพื้นหมุนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. ออกแบบพื้นหมุนโดยมีส่วนประกอบหลัก 6 ชั้นส่วน ดังต่อไปนี้

- รั้วกันด้านข้าง
- โครงสร้างและพื้นทางเดิน
- ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1
- ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2
- ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3
- ชุดขับเคลื่อน

ส่วนประกอบหลักของพื้นหมุนทั้ง 6 ส่วนสามารถอธิบายให้เห็นภาพมากขึ้นด้วย

ภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ

2. กลไกการทำงานของพื้นหมุนๆ สามารถทำงานง่าย ๆ ไม่ทำงานซับซ้อนเกินไป และผู้ปฏิบัติงานสามารถปฏิบัติงานได้สะดวก มีความปลอดภัย

3. การบำรุงรักษาต่ำ หากมีการชำรุดของอุปกรณ์สามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย และมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

4. ชิ้นส่วนไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการผลิต ต้นทุนไม่สูงมากนัก

ในรายละเอียดของการพัฒนาพื้นหมุนๆ สามารถอธิบายได้ดังหัวข้อที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

## 2.2 ผลการสร้างแบบจำลองและภาพการประกอบแบบจำลอง (Part and Assembly)

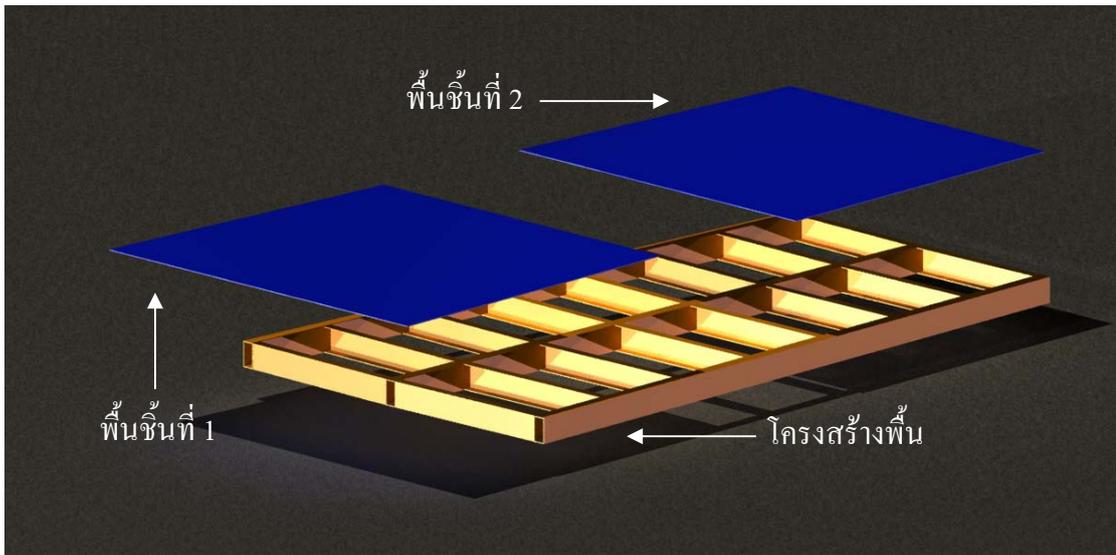
จากที่ผลการสำรวจเบื้องต้นสามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มาทำการสร้างแบบจำลองและภาพการประกอบแบบจำลอง โดยแยกหัวข้อให้เห็นชัดเจน 3 หัวข้อดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองของโครงสร้าง
2. แบบจำลองของชุดรองรับน้ำหนัก
3. แบบจำลองของชุดขับเคลื่อน

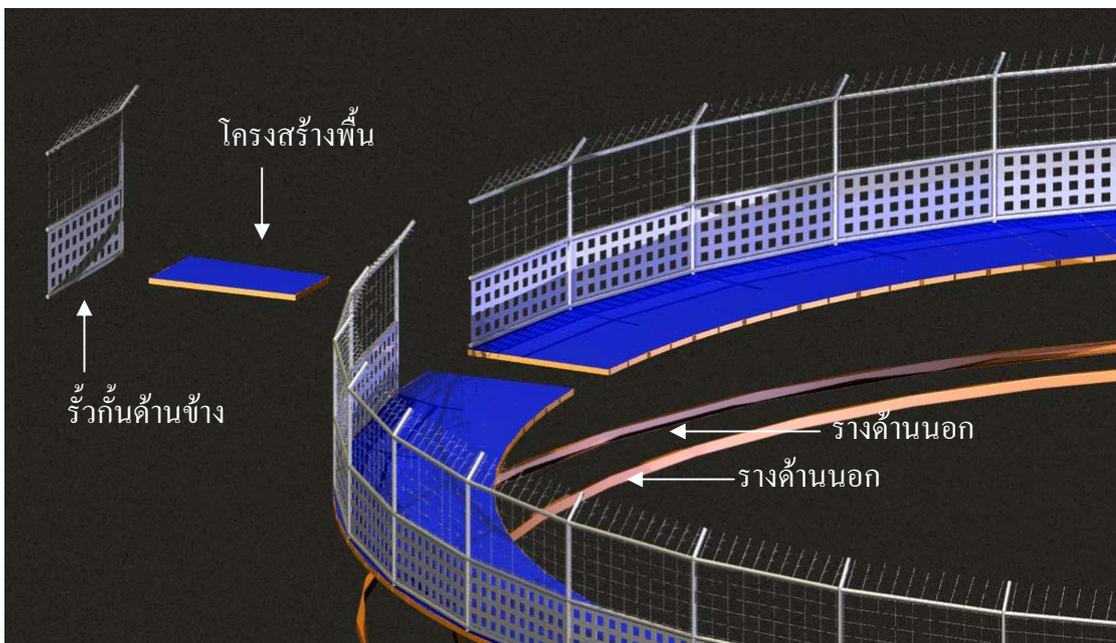
มีรายละเอียดของแต่ละส่วนในหัวข้อ ดังนี้

### 2.2.1 สร้างแบบจำลองของโครงสร้าง

การสร้างแบบจำลองส่วนโครงสร้างจัดทำโดยการหารายละเอียดของระยะต่าง ๆ จากการวัดขนาดจริงและอ้างอิงกับการใช้แบบพิมพ์เขียวของชั้น 84 ของอาคารที่ติดตั้ง เหล็กโครงสร้างที่ใช้เป็นหลัก โครงสร้างหน้าตัดตัวซีขนาด 3" x 1"หนา 3 มิลลิเมตร และเหล็กโครงสร้างหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 1.5" x 3"หนา 3 มิลลิเมตร ส่วนพื้นทางเดิน เป็นเหล็กแผ่นขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 18 รั้วเหล็กกั้นขนาดสูง 2 เมตร 50 เซนติเมตรประกอบเป็นรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 19 อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ คือ รางที่ใช้ขับเคลื่อนที่มี 2 ชั้นหลัก เป็นรางเหล็กโครงสร้างขนาด 2" x 1.5"หนา 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นรูปด้วยการดัดโค้งดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 18 พื้นทางเดินและโครงสร้างพื้น

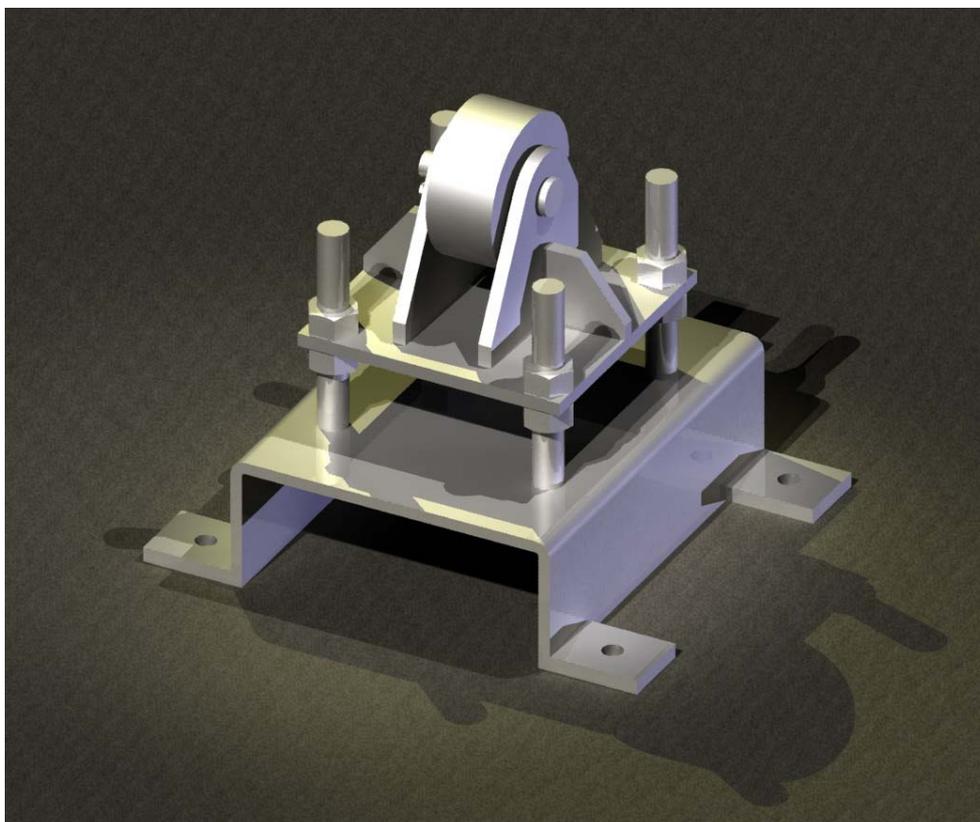


ภาพที่ 19 พื้นทางเดิน, โครงสร้างพื้นและรางที่ใช้จับเคลื่อน

### 2.2.2 การสร้างแบบจำลองชุดรองรับน้ำหนัก

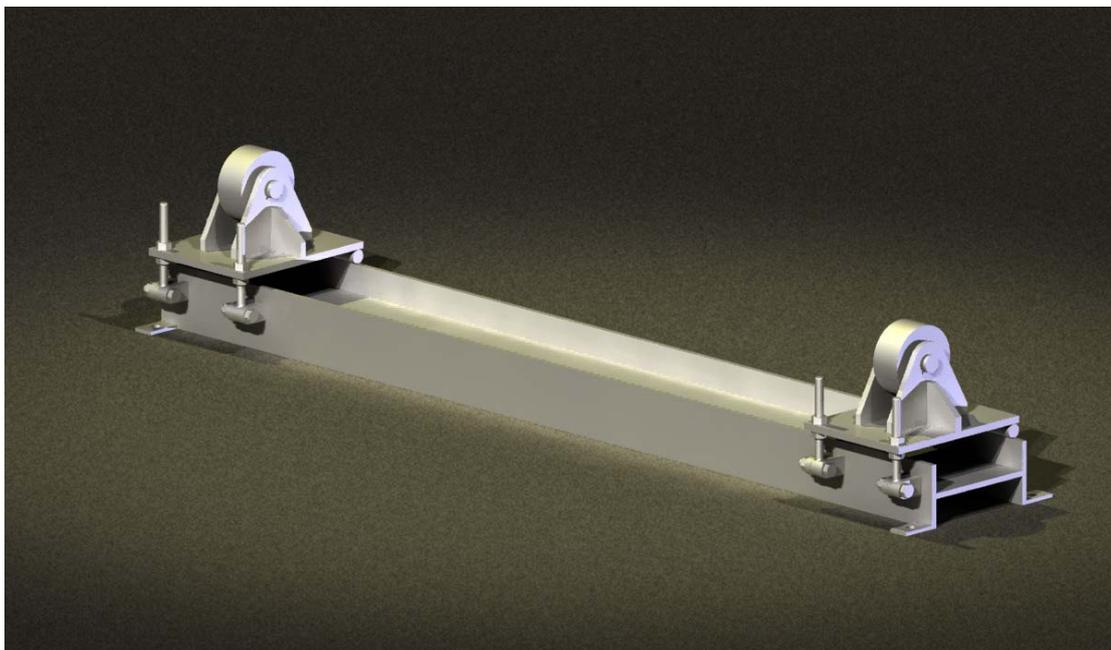
เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการรองรับน้ำหนักซึ่งได้กล่าวถึง ในการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น แบ่งย่อยได้ 3 ลักษณะคือ

ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1 สร้างแบบจำลองจากการวัดขนาดจริง มีส่วนประกอบเป็นหลักโครงสร้างและเหล็กแผ่นตัดตามรูปแล้ว ขึ้นรูปด้วยการเชื่อมสามารถปรับตั้งความสูงได้ด้วยการปรับแป้นเกลียว ดังแสดงในภาพที่ 20



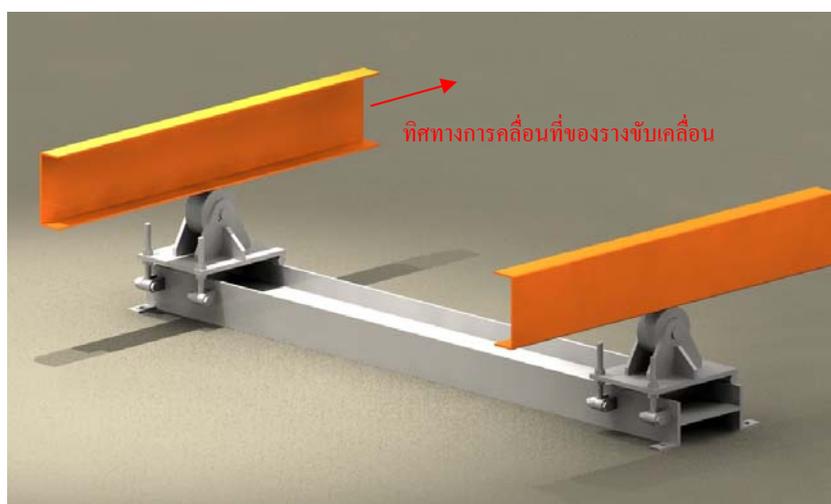
ภาพที่ 20 ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1

ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 สร้างแบบจำลองจากการวัดขนาดจริง มีส่วนประกอบเป็นเหล็กโครงสร้างและเหล็กแผ่นตัดตามรูป แล้วขึ้นรูปด้วยการเชื่อมสามารถปรับตั้งความสูงได้ด้วยการปรับเป็นเกลียว และมีบานพับเหล็กเป็นส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2

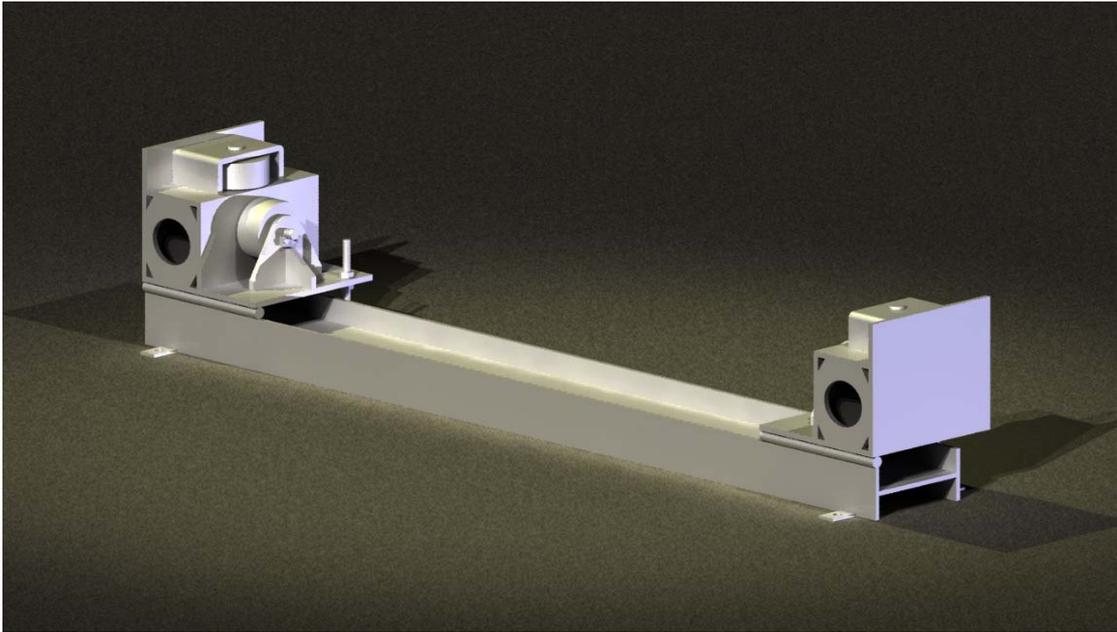
การทำงานของชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 รับน้ำหนักบรรทุกทุกจากรางขับเคลื่อนทั้งด้านในและด้านนอกดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การรับน้ำหนักของชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักชุดที่ 2

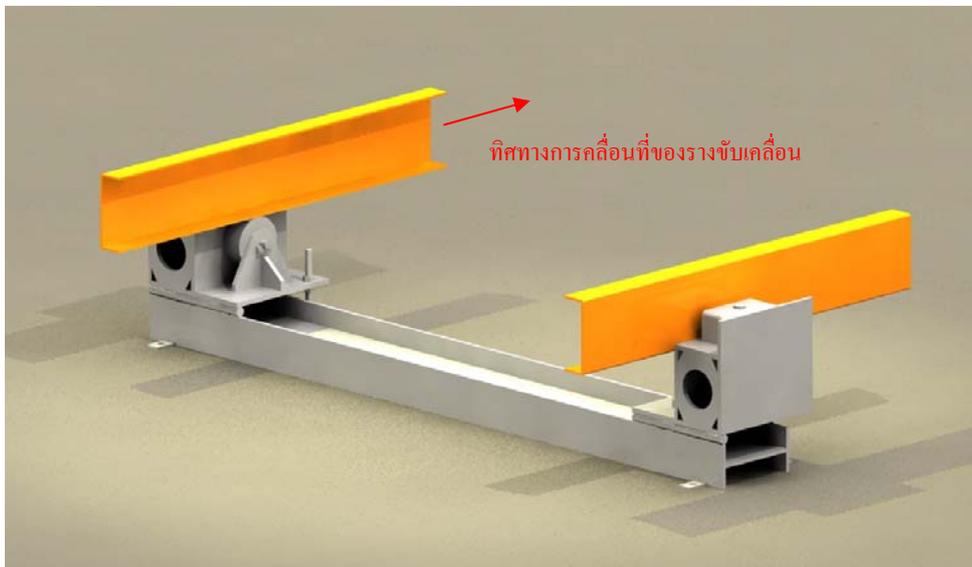
จากภาพที่ 22 แสดงการสร้างแบบจำลองชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 ให้มีลักษณะการทำงาน ที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากรางขับเคลื่อนด้านใน และรางขับเคลื่อนด้านนอกพร้อม ๆ กัน โดยแท่นด้านล่างเป็นแท่นเหล็กหน้าตัดรูปตัว I วางขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของรางขับเคลื่อน

ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3 สร้างแบบจำลองจากการวัดขนาดจริง มีส่วนประกอบเป็นเหล็กโครงสร้างและเหล็กแผ่นตัดตามรูป แล้วขึ้นรูปด้วยการเชื่อมสามารถปรับตั้งความสูงได้ด้วยการปรับเป็นเกลียว และมีชุดโรลเลอร์สำหรับรับแรงเข้าสู่จุดศูนย์กลางของพื้นหมุนๆ ทั้งด้านในและด้านนอก ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3

การทำงานของชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3 รับน้ำหนักบรรทุกทุกจากรางขับเคลื่อนทั้งด้านในและด้านนอก รวมถึงรับแรงด้านข้างดังแสดงในภาพที่ 24

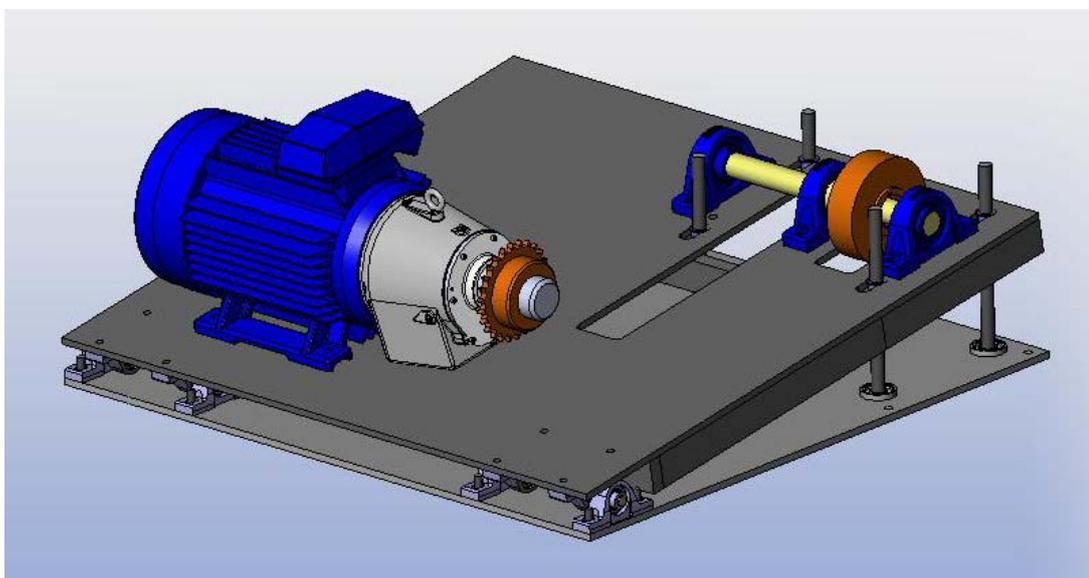


ภาพที่ 24 การรับน้ำหนักของชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักชุดที่ 3

จากภาพที่ 24 แสดงการสร้างแบบจำลองชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 ให้มีลักษณะการทำงาน ที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากรางขับเคลื่อนด้านใน และรางขับเคลื่อนด้านนอกพร้อม ๆ กัน และสามารถรับแรงด้านข้างจากเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่โดยแท่นด้านล่างเป็นแท่นเหล็กหน้าตัดรูปตัว I วางขวางทิศทางเคลื่อนที่ของรางขับเคลื่อน

### 2.2.3 การสร้างแบบจำลองชุดขับเคลื่อน

ชุดขับเคลื่อนพื้นหมุน ๆ ทำการสร้างแบบจำลองจากการวัดขนาดจริง มีส่วนประกอบเป็นหลักเหล็กแผ่นตัดตามรูป แล้วขึ้นรูปด้วยการเชื่อมทำงานจากต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมห้องเกียร์ ถ่ายทอดกำลังจากเฟืองโซ่ไปสู่เพลาลำดับเคลื่อนที่ยึดติดกับล้อขับเคลื่อนโพลีเอทิลีน สามารถปรับตั้งความสูงของล้อขับเคลื่อนได้ด้วยการปรับเป็นเกลียวด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ชุดขับเคลื่อน

จากภาพที่ 25 รายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของชุดขับเคลื่อนที่มีทั้งหมดจำนวน 4 ชุด คือ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนพื้นหมุน ใช้เกียร์ทดลดความเร็วรอบขนาด 1 ต่อ 50 ใช้เฟืองโซ่ทดเพิ่มอีกในขนาด 1 ต่อ 1.28 ขับเคลื่อนและใช้ล้อขับเคลื่อนโพลีเอทิลีนขนาด 150 มิลลิเมตร โครงสร้างโดยรวมมี 2 ส่วน ด้านบนและด้านล่างยึดติดกันมีลักษณะเป็นบานพับที่มีเป็นลูกปืนเป็นส่วนประกอบ

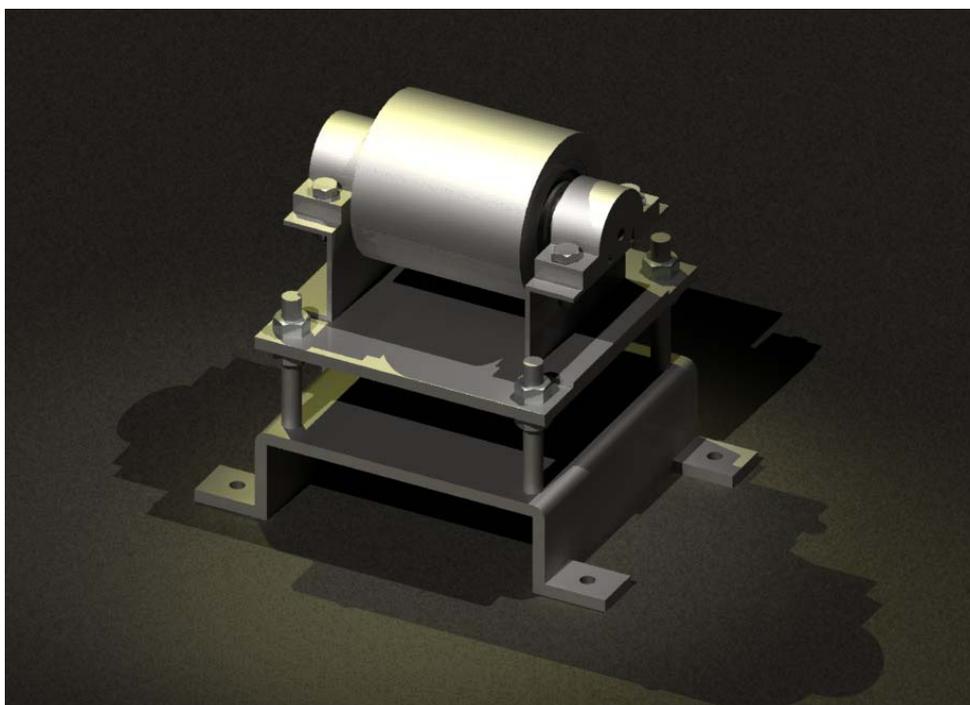
## 2.3 ผลการพัฒนาอุปกรณ์และกลไกต่าง ๆ ของพื้หมุน ฯ โดยการออกแบบอุปกรณ์ย่อย ๆ ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

การใช้งานของอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมมีความเสียหายเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเป็นจำนวนมาก ผู้ทำการศึกษาจึงได้ทำการการพัฒนาอุปกรณ์และกลไก โดยการออกแบบอุปกรณ์ย่อย ซึ่งส่วนที่นำมาพิจารณาเพื่อออกแบบใหม่ ได้แก่ ชุดรองรับน้ำหนัก และชุดขับเคลื่อน

เห็นได้ว่าอุปกรณ์หลัก ๆ ของชุดรองรับน้ำหนัก และชุดขับเคลื่อน ต้องนำมาพิจารณา โดยละเอียดซึ่งสามารถอธิบายด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

### 2.3.1 การพัฒนาชุดรองรับน้ำหนัก

ทำการพัฒนาชุดรองรับน้ำหนักให้มีความแข็งแรงและทนทาน โดยสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าของเดิม ภาพโดยรวมที่ได้ทำการพัฒนาแล้วสามารถแสดงด้วย ภาพที่ 26



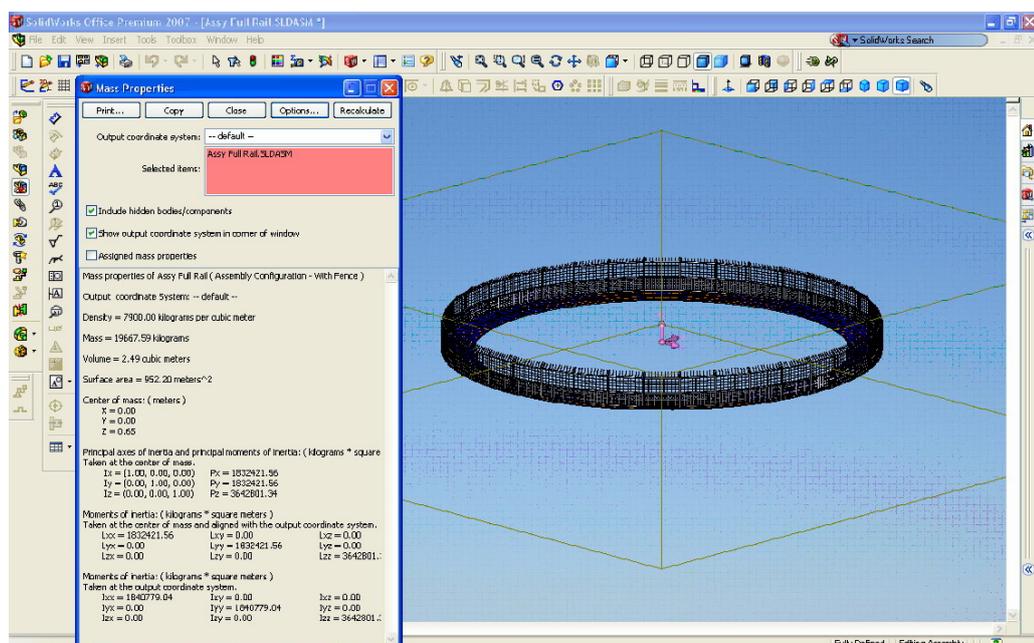
ภาพที่ 26 ชุดรองรับน้ำหนักที่พัฒนาใหม่

จากภาพที่ 26 แสดงให้เห็น โรลเลอร์ที่ได้ทำการออกแบบใหม่สามารถเปรียบเทียบกับแบบจำลองเก่าได้ด้วย ภาพที่ 20 ซึ่งในการออกแบบได้พิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ อย่างละเอียด โดยหัวข้อที่นำมาพิจารณาในการพัฒนาชุดรองรับน้ำหนักรับน้ำหนักมีดังต่อไปนี้

- ก. การหาน้ำหนักของโครงสร้าง
- ข. การเลือกเบร้งที่ใช้รับน้ำหนักโดยคำนวณหาอายุการใช้งานของเบร้ง
- ค. การเลือกเบร้งที่ใช้รับแรงในแนวรัศมีของพื้นหมุนโดยคำนวณหาอายุการใช้งานของเบร้ง
- ง. การหาแรงดึงขั้นต้นในการยึดเกลียวรับน้ำหนัก

### ก. ผลการหาน้ำหนักของโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างพื้นหมุนด้วยโปรแกรมออกแบบ สามารถหาน้ำหนัก , ปริมาตร , พื้นที่ผิว และจุดศูนย์กลางของ โครงสร้างพื้นด้านบนและรั้วเหล็กกันด้านข้าง ได้ โดยพิจารณา โครงสร้างทั้งหมดเป็นเหล็กมีความหนาแน่น 7,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ข้อมูลที่ออกมาจากโปรแกรมออกแบบสามารถแสดงได้ดังนี้



ภาพที่ 27 การหาคุณสมบัติต่างๆจากโปรแกรมออกแบบ

ข้อมูลที่ได้ออกมาจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมออกแบบมีดังต่อไปนี้

ค่าคุณสมบัติต่างๆของชิ้นงาน

-	ความหนาแน่น	=	7,900.00	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
-	มวล	=	19,667.59	กิโลกรัม
-	ปริมาตร	=	2.49	ลูกบาศก์เมตร
-	พื้นที่ผิว	=	952.20	ตารางเมตร
-	จุดศูนย์กลางมวล (เมตร)			
	X	=	0.00	
	Y	=	0.00	
	Z	=	0.65	
-	โมเมนต์ความเฉื่อย (กิโลกรัม×ตารางเมตร)			
	$I_x$	=	(1.00, 0.00, 0.00)	$P_x$ = 1832421.56
	$I_y$	=	(0.00, 1.00, 0.00)	$P_y$ = 1832421.56
	$I_z$	=	(0.00, 0.00, 1.00)	$P_z$ = 3642801.34

น้ำหนักของโครงสร้างด้านบนและรั้วด้านข้างรวมถึงรางหน้าตัดรูปตัวซี จำนวนออกมาได้เท่ากับ 19,667.59 กิโลกรัม ถ้าแรงกดจากน้ำหนักเหล็กเป็น  $F_y$  จะหาค่าแรงกดได้ ดังนี้

$$F_y = 19,667.59 \times 9.81 \quad (g = 9.81)$$

$$F_y = 192,939.06 \quad \text{นิวตัน}$$

หากพื้นหมุนสามารถบรรทุกทุกน้ำหนักคนได้ 150 คน น้ำหนักเฉลี่ยต่อคน 65 กิโลกรัม และถ้าน้ำหนักคนรวมโครงสร้างเป็น  $F_T$  จะหาค่าน้ำหนักได้ ดังนี้

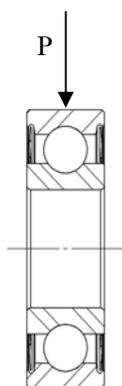
$$F_T = F_y + (65 \times 150 \times 9.81)$$

$$F_T = 192,939.06 + 95,647.50$$

$$F_T = 288,586.56 \quad \text{นิวตัน}$$

ข. ผลการเลือกเบร้งที่ใช้รับน้ำหนักโดยคำนวณหาอายุการใช้งานของเบร้ง

จำนวนโรลเลอร์ที่รับน้ำหนักของโครงสร้างในแนวดิ่ง 112 ลูก ใช้เบร้งจำนวน 2 ลูก สำหรับโรลเลอร์ 1 ลูก ฉะนั้นจำนวนเบร้งที่ใช้ทั้งหมดในการรับน้ำหนักในแนวดิ่ง ทั้งหมดเป็น 224 ลูก



ภาพที่ 28 แรงกระทำกับเบร้งในแนวดิ่ง

ถ้าน้ำหนักที่เบร้งหนึ่งลูกรับเป็น  $P$  หรือเรียกว่า แรงใช้งาน จะหาแรงใช้งานได้ ดังนี้

$$P = F_T \div 224$$

$$P = 288,586.56 \div 224$$

$$P = 1,288.33 \quad \text{นิวตัน}$$

เบร้งที่เลือกใช้มีรหัสมาตรฐานว่า 6208 2Z

จากข้อมูลคุณสมบัติเบร้งรหัส 6208 2Z ในภาพผนวกที่ ข1 มีค่าแรงพลวัตเป็น 24 กิโลนิวตัน แทนแรงพลวัตด้วย  $C_0$

สมมติให้พื้นหมุนเคลื่อนที่หมุนรอบแกนด้วยความเร็ว 8 นาทีต่อหนึ่งรอบ พื้นหมุนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 28.20 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 24.10 เมตร สามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยได้เป็น

$$D = \frac{28.20 + 24.10}{2}$$

$$D = 26.15 \quad \text{เมตร}$$

ถ้า  $v_b$  เป็นความเร็วที่จุดสัมผัสของโรลเลอร์และพื้นหมุน จะหาค่าได้เป็น

$$v_b = \frac{\pi D}{8}$$

$$v_b = 10.27 \quad \text{เมตรต่อนาที}$$

ถ้าให้ความเร็วรอบของเบร้งเป็น

$$n_b = \frac{10.27 \times 1,000}{2 \times \pi \times 51}$$

$$n_b = 32.05 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

สามารถหาอายุการใช้งานเบร้งได้เป็น

$$L_{10} = \left( \frac{24,000}{861.34} \right)^3$$

$$L_{10} = 21,632.65 \quad \text{ล้านรอบ}$$

หากคิดเป็นชั่วโมง จะหาค่าได้ดังนี้

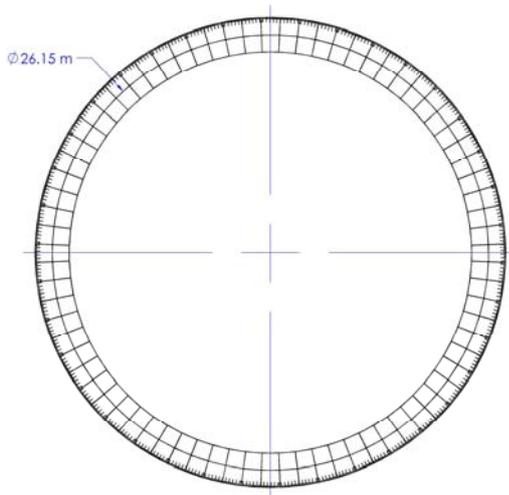
$$L_{10} = \frac{21,632.65 \times 10^6}{32.05 \times 60}$$

$$L_{10} = 11,249,431.65 \quad \text{ชั่วโมง}$$

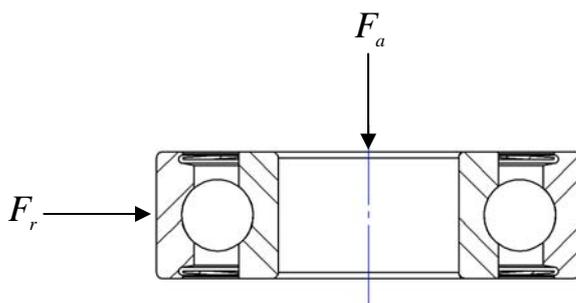
เมื่อเปรียบเทียบกับตารางอายุการใช้งานในตารางผนวกที่ ก1 เมื่อใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องจักรใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ จะเห็นได้ว่าเบร้ง 6208 2Z ที่เลือกใช้เหมาะสมดี

ค. ผลการเลือกเบริงที่ใช้รับแรงในแนวรัศมีของพื้นหมุนโดยคำนวณหาอายุการใช้งานของเบริง

พื้นหมุนมีมวล 19,667.59 กิโลกรัมหมุนด้วยความเร็ว 10.27 เมตรต่อนาที จึงมีแรงที่กระทำเข้าสู่จุดศูนย์กลาง ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้



ภาพที่ 29 แรงเข้าสู่ศูนย์กลางกระทำกับพื้นหมุน



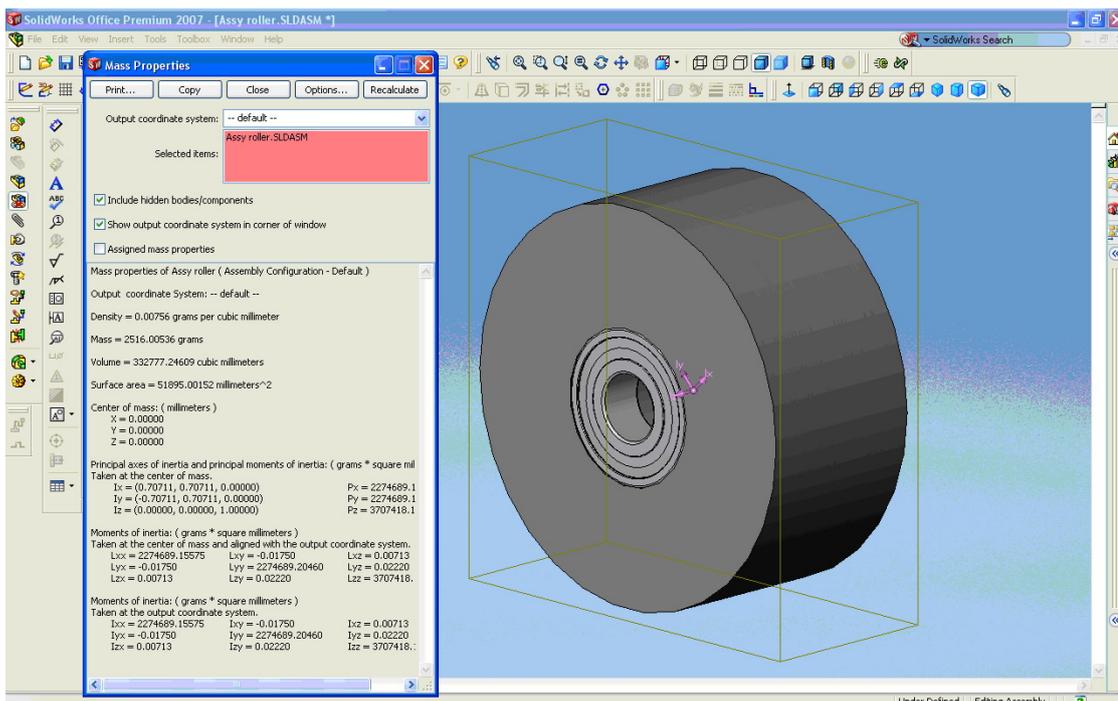
ภาพที่ 30 แรงกระทำเบริงในแนวรัศมีและแนวแกน

ให้  $F_r$  เป็นแรงในแนวรัศมีที่กระทำกับลูกปืนซึ่งมีค่าเท่ากับแรงเข้าสู่จุดศูนย์กลาง

$$F_r = \frac{mv^2}{r} = \frac{(19,667.59)(10.27)^2}{\left(\frac{26.15}{2}\right)(60)^2}$$

$$F_r = 44.07 \quad \text{นิวตัน}$$

ให้  $F_a$  เป็นแรงในแนวแกนที่กระทำกับลูกปืน แรงที่กระทำนั้นมาจากน้ำหนักของ โรลเลอร์เองโดยสามารถหาค่าด้วยโปรแกรมออกแบบได้ดังนี้



ภาพที่ 31 การหาน้ำหนักของโรลเลอร์ด้วยโปรแกรมเขียนแบบ

ได้ผลออกมาจากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบทั้งหมดดังนี้

- ความหนาแน่น = 7,560.62917 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- มวล = 2.516 กิโลกรัม
- ปริมาตร = 0.00033 ลูกบาศก์เมตร
- พื้นที่ผิว = 0.05190 ตารางเมตร
- จุดศูนย์กลางมวล (เมตร)
  - X = 0.00
  - Y = 0.00
  - Z = 0.00

จะทำให้สามารถหาค่าแรงกระทำในแนวแกนได้

$$F_a = mg$$

$$F_a = 2.516 \times 9.81$$

$$F_a = 24.68 \quad \text{นิวตัน}$$

จะสามารถทำการหาอายุการใช้งานของแบริ่งได้ จากข้อมูลคุณสมบัติแบริ่งรหัส 6208 2Z ในภาพผนวกที่ ข1 มีค่าแรงพลวัตเป็น 24 กิโลนิวตัน แทนแรงพลวัตด้วย  $C_0$

แรงสมมูลที่กระทำกับแบริ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$P = XVF_r + YF_a$$

โดยได้ค่า  $X$  และ  $Y$  จากตารางคุณสมบัติของ แบริ่งในตารางผนวกที่ ก2 ดังนี้

$$\frac{F_a}{VF_r} = \frac{24.68}{(1.2)(44.07)} = 0.47$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{24.68}{4,750} = 0.005$$

นำค่าที่ได้นี้ไปหาค่า  $X$  และ  $Y$  จากตารางคุณสมบัติของ แบริ่งในตารางผนวกที่ ก2 ได้ค่า  
ดังนี้

$$X = 0.56$$

$$Y = 2.60$$

จะได้ว่าสามารถหาแรงสมมูลได้ดังนี้

$$P = (0.56)(1.2)(44.07) + (2.6)(24.68)$$

$$P = 23.62 + 64.17$$

$$P = 93.79 \quad \text{นิวตัน}$$

อายุการใช้งานของเบร้งเป็นจำนวนล้านรอบ

$$L_{10} = \left( \frac{24,000}{93.79} \right)^3$$

$$L_{10} = 16,755,759.48 \quad \text{ล้านรอบ}$$

หากคิดเป็นชั่วโมง

$$L_{10} = \frac{16,755,759.48 \times 10^6}{32.05 \times 60}$$

$$L_{10} = 8713.34 \times 10^6 \quad \text{ชั่วโมง}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับตารางอายุการใช้งานในตารางผนวกที่ ก1 เมื่อใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องจักรใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่จะเห็นได้ว่าเบร้ง 6208 2Z ที่เลือกใช้เหมาะสมดี

#### ง. ผลการหาแรงดึงขั้นต้นในการยึดเกลียวรับน้ำหนัก

น้ำหนักที่ชุดรองรับน้ำหนัก 1 ชุดรองรับมีค่าเท่ากับ (จากการคำนวณหาน้ำหนักของโครงสร้าง)

$$P = 288,586.56 \div 112$$

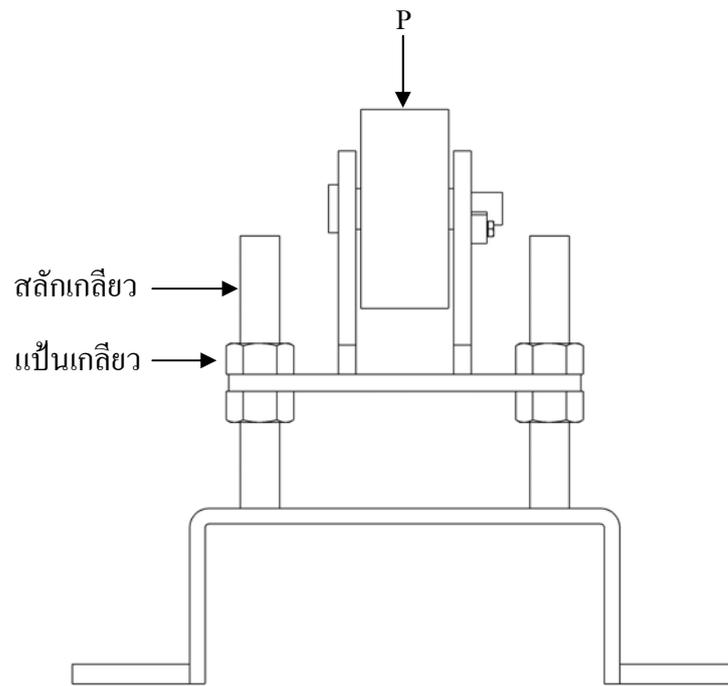
$$P = 2,576.67 \quad \text{นิวตัน}$$

ชุดรองรับน้ำหนัก 1 ชุดมี เกลียวรองรับทั้งหมด 4 เกลียว ฉะนั้นเกลียวแต่ละเกลียวจะรับน้ำหนักในแนวแกน ซึ่งแทนด้วย  $F_B$

$$F_B = \frac{P}{4}$$

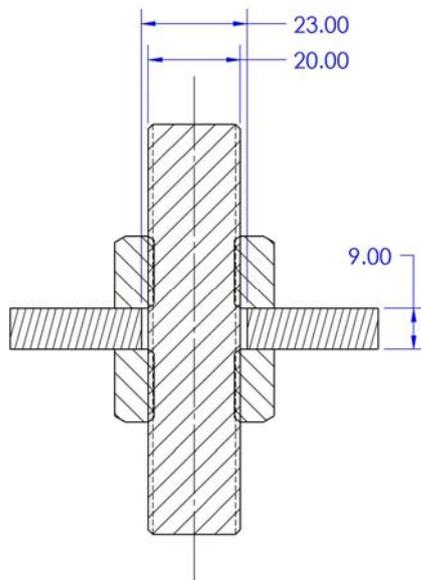
$$F_B = \frac{2,576.67}{4}$$

$$F_B = 644.17 \quad \text{นิวตัน}$$



ภาพที่ 32 การรับน้ำหนักของชุดรับน้ำหนัก

ทำการออกแบบโดยเลือกใช้สลักเกลียวขนาด M20 x 2



ภาพที่ 32 ขนาดของแป้นเกลียว สลักเกลียวและชิ้นงาน

สมการของสลักเกลียวและชิ้นงานคือ

$$\text{สลักเกลียว} \quad \tan \theta = k_b = \frac{F_i}{\delta_b}$$

$$\text{ชิ้นงาน} \quad \tan \alpha = k_c = \frac{F_i}{\delta_c} = \frac{A_c E_c}{l_c}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่} \quad A_c &= \frac{\pi}{4} \left( \left( d_a + \frac{l_c}{10} \right)^2 - D_B^2 \right) \\ &= \frac{\pi}{4} \left( \left( 30 + \frac{9}{10} \right)^2 - 23^2 \right) \\ &= 334.43 \end{aligned}$$

ตารางมิลลิเมตร

วัสดุที่ใช้ทำเกลียวเป็น AISI 1020 มีค่า  $E = 200$  กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

จากสมการข้างต้นเราสามารถหาค่า  $k_c$  และ  $k_b$  ได้ดังนี้

$$k_c = \frac{(334.43)(200)}{9}$$

$$k_c = 7,431.77 \quad \text{กิโลนิวตันต่อมิลลิเมตร}$$

และ

$$k_b = \frac{\left(\frac{\pi}{4} 20^2\right)(200)}{9}$$

$$k_b = 6,981.32 \quad \text{กิโลนิวตันต่อมิลลิเมตร}$$

หาค่าแรงดึงขั้นต้นจากสมการ

$$F_i = QF_e \left( \frac{k_c}{k_b + k_c} \right) \quad \text{โดยที่ } Q = 2$$

ดังนั้น

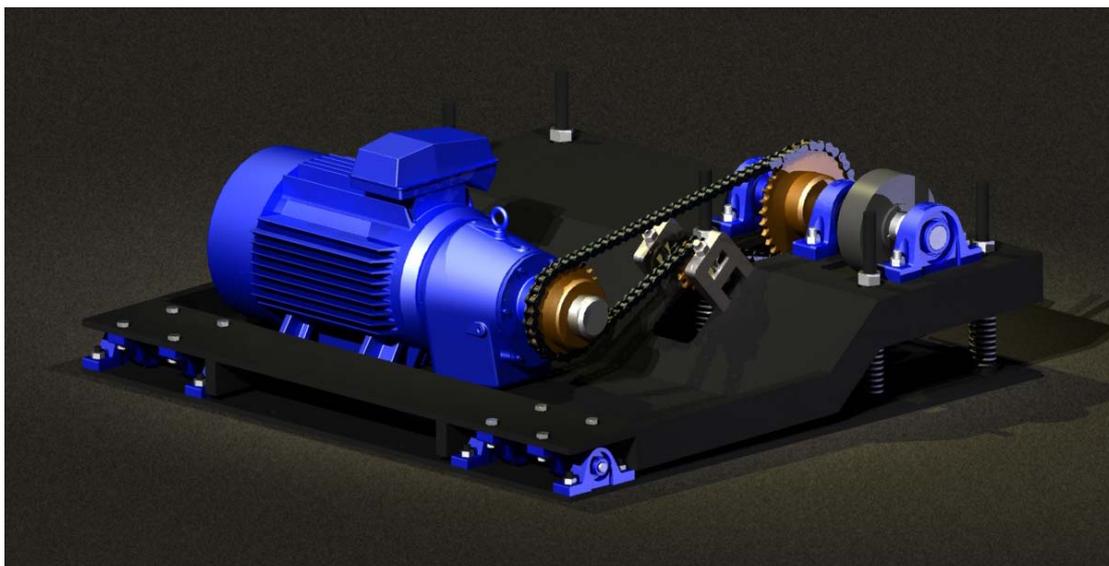
$$F_i = (2)(403.67) \left( \frac{7,431.77}{6,981.32 + 7,431.77} \right)$$

$$F_i = 416.29 \quad \text{นิวตัน}$$

จะได้แรงดึงขั้นต้นที่ใช้ในการยึดเป็นเกลียว เท่ากับ 416.29 นิวตัน

### 2.3.2 การพัฒนาชุดขับเคลื่อน

ทำการพัฒนาชุดขับเคลื่อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถขับเคลื่อนได้โดยล้อขับเคลื่อน โพลีเอทีลีน ไม่เกิดการลื่นไถลบริเวณหน้าสัมผัสที่สัมผัสกับรางเหล็ก และมีการสึกหรอของล้อขับเคลื่อนน้อยที่สุด ภาพโดยรวมที่ได้ทำการพัฒนาแล้วสามารถแสดงด้วย ภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ชุดขับเคลื่อนที่พัฒนา

จากภาพที่ 34 แสดงให้เห็นชุดขับเคลื่อนที่ได้ทำการออกแบบใหม่สามารถเปรียบเทียบกับแบบจำลองเก่าได้ด้วย ภาพที่ 25 ซึ่งในการออกแบบได้พิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ อย่างละเอียด โดยหัวข้อที่นำมาพิจารณาในการพัฒนาชุดรองรับน้ำหนักมีดังต่อไปนี้

หัวข้อที่นำมาพิจารณาในส่วนนี้คือ

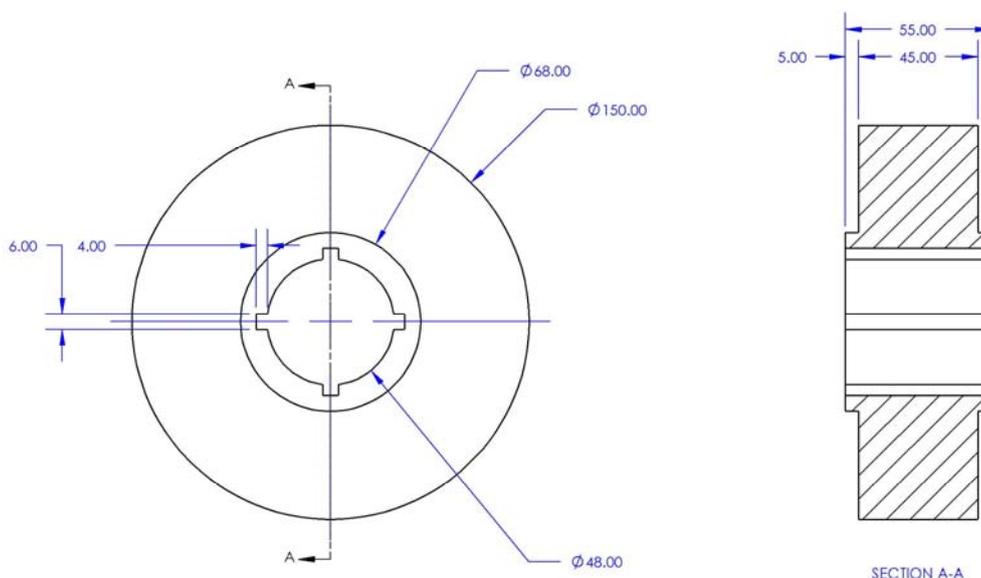
- ก. ผลการหาอัตราทดของระบบขับเคลื่อน
- ข. ผลการหาขนาดของโซ่ในการขับเคลื่อน
- ค. ผลการหาขนาดของสปริงในการเพิ่มแรงกดให้ล้อขับ
- ง. ผลการออกแบบเพลาล้อขับเคลื่อน

### ก. ผลการหาอัตราทดของระบบขับเคลื่อน

มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเลือกใช้เป็นมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที จำนวน 4 ชุด อัตราทดของชุดเฟืองทดมีค่า 1:50 ต้องการให้การหมุนของพื้นมีค่าประมาณ 8 นาทีต่อรอบ

ความเร็วที่จุดสัมผัสของโรลเลอร์กับพื้นหมุนมีค่า

$$v_b = 10.27 \quad \text{เมตรต่อนาที}$$



ภาพที่ 35 ขนาดของล้อขับเคลื่อน

ขนาดของล้อขับเคลื่อนมีค่ารัศมี  $r$  เท่ากับ 75.00 มิลลิเมตร

สามารถหาความเร็วรอบของล้อขับเคลื่อนได้

$$v = \omega r = 2\pi n r$$

$$n = \frac{v}{2\pi r}$$

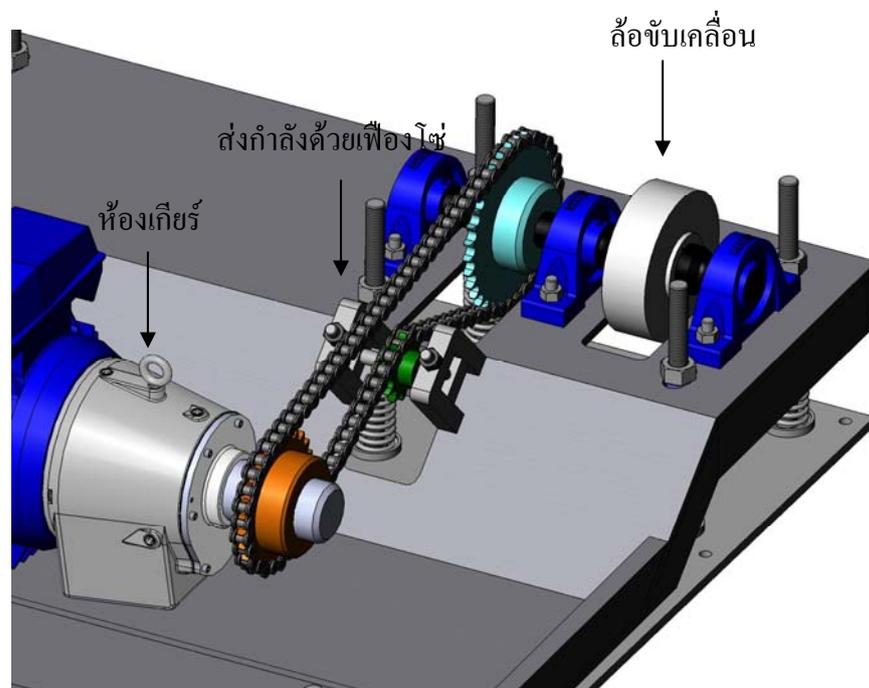
$$n = \frac{10,270}{2\pi(75)}$$

$$n = 21.79 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

ความเร็วรอบของเพลลาที่ออกจากชุดเฟืองทศมีค่า  $1,450/50 = 29$  รอบต่อนาที

การใช้เฟืองโซ่ใช้เฟืองโซ่ในการส่งกำลังเพิ่มอีกโดย เลือก เฟืองตัวขับมีจำนวนฟัน 25 ฟัน และ เฟืองตัวตาม ที่มีจำนวนฟัน 32 ฟัน ทำให้มีอัตราทดของการส่งกำลังด้วยโซ่เป็น

$$\text{อัตราทดของเฟืองโซ่} = 25 : 32 = 1 : 1.28$$



ภาพที่ 36 การขับเคลื่อนด้วยเฟืองโซ่

ดังนั้นจะได้ความเร็วของล้อขับเคลื่อนจริงๆซึ่งใกล้เคียงความเร็วรอบที่ต้องการ โดย ขับเคลื่อนด้วย มอเตอร์ทศรอบ และส่งกำลังต่อด้วยเฟืองโซ่ ดังนี้

$$29 \div 1.28 = 22.65 \quad \text{รอบต่อนาที}$$

และใช้เฟืองโซ่ตัวขับ 25 ฟัน ตัวตาม 32 ฟันตามที่เลือกไว้เพื่อขับเคลื่อนพื้นหมุน

#### ข. ผลการหาขนาดของโซ่ในการขับเคลื่อน

ขับเคลื่อนพื้นหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าทรงรอบขนาด 5 แรงม้า ความเร็วรอบที่ออกมาจากมอเตอร์ทรงรอบมีค่า 29 รอบต่อนาที อัตราทดที่เลือกใช้ได้จากการคำนวณหา ความเร็วรอบ คือ เฟืองโซ่ตัวขับ 25 ฟัน เฟืองโซ่ตัวตาม 32 ฟัน

$$\begin{aligned} \text{อัตราทดเฟืองโซ่} \quad m_\omega &= \frac{z_1}{z_2} \\ m_\omega &= \frac{32}{25} = 1.28 \end{aligned}$$

สามารถหาค่าที่จะนำไปใช้ในการเลือกโซ่โดยใช้สมการ

$$P = W_p N_s$$

พื้นหมุนจัดอยู่ในประเภทมีแรงกระทำสม่ำเสมอเลือกค่าตัวประกอบจาก ตารางตัวประกอบใช้งานในตารางผนวกที่ ก5 และ แผนภูมิใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบ (สำหรับพีเนียน 19 ฟัน) ในภาพผนวกที่ ข5 โดยได้ค่า ดังนี้

$$N_s = 0.76$$

ดังนั้นสามารถหาค่าได้

$$\begin{aligned} P &= (5 \times 746 \times 10^{-3})(0.76) \\ P &= 3.73 \quad \text{กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

เลือกโซ่โซ่ส่งกำลังหนึ่งชั้น ระยะพิตช์ 15.875 มิลลิเมตร มีชื่อมาตรฐานISO/R 606-10B-1 จากตารางโซ่โรลเลอร์มาตรฐานในตารางผนวกที่ ก3 มีแรงแตกหัก 22.27 กิโลนิวตัน

ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

หาความเร็วรอบของโซ่

$$v = pzn$$

$$v = (15.875 \times 10^{-3})(25)\left(\frac{29}{60}\right)$$

$$v = 0.1918 \quad \text{เมตรต่อวินาที}$$

แรงในแนวเส้นสัมผัสของโซ่และเฟืองโซ่

$$F_t = \frac{W_p}{v}$$

$$F_t = \frac{5 \times 746 \times 10^{-3}}{0.1918}$$

$$F_t = 19.45 \quad \text{กิโลนิวตัน}$$

แรงย่อยในแนวข้อต่อของโซ่ได้จากสมการ

$$F_{ct} = \frac{W}{g} v^2$$

โดยที่หาค่า  $\frac{W}{g}$  ได้จาก มวลของโซ่โรลเลอร์ต่อความยาวใน ตารางผนวกที่ ก4 ได้ค่าที่ออกมา ดังนี้

$$\frac{W}{g} = 0.85 \quad \text{กิโลกรัมต่อเมตร}$$

จะได้ค่าแรงย่อยในแนวข้อต่อโซ่

$$F_{ct} = (0.85)(0.1918)^2$$

$$F_{ct} = 0.0313 \quad \text{กิโลนิวตัน}$$

แรงดึงที่กระทำกับโซ่ทั้งหมด

$$F = F_t + F_{ct}$$

$$F = 19.45 + 0.0313$$

$$F = 19.4813 \quad \text{กิโลนิวตัน}$$

จากอัตราส่วนความปลอดภัย

$$F = \frac{F_b}{N_b}$$

$$N_b = \frac{F_b}{F}$$

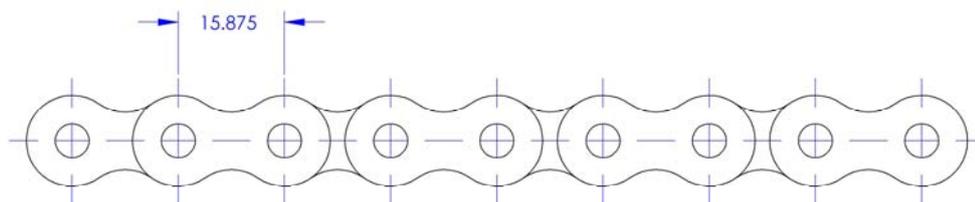
$$N_b = \frac{27.27}{19.4813}$$

$$N_b = 1.39$$

จากค่า  $N_b$  ที่ออกมาจะได้ว่าโซ่และเฟืองโซ่ที่เลือกใช้สามารถใช้งานได้ดี

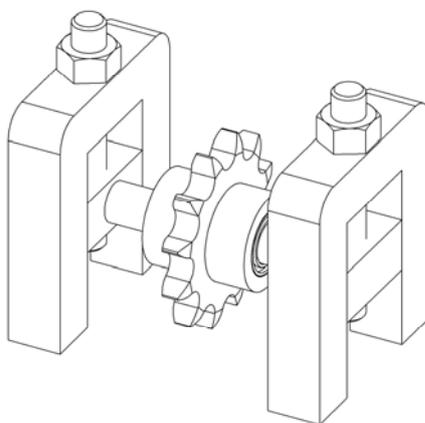
การหาความยาวโซ่และจำนวนข้อในการตัดโดยใช้โปรแกรมออกแบบ

จากที่ได้คำนวณหาขนาดโซ่ ทำการเลือกใช้ โซ่ ISO/R 606-10B-1 ขนาดพิตช์ 15.875 มิลลิเมตร นำค่าพิตช์ที่เลือกใช้ไปออกแบบในโปรแกรมออกแบบ

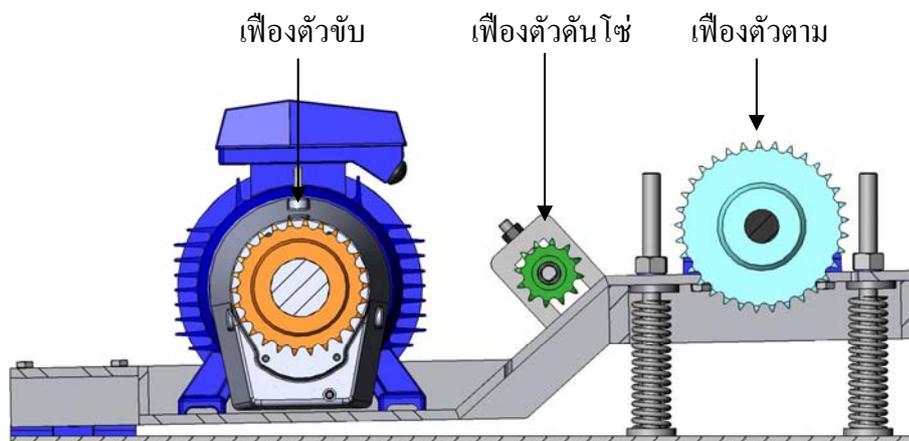


ภาพที่ 37 ความยาวพิตต์ของโซ่ที่เลือกใช้

ลักษณะการวางของโซ่ มีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ 1) เฟืองโซ่ตัวขับ 2) เฟืองโซ่ตัวตาม 3) อุปกรณ์ในการดันโซ่ ออกแบบอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ โดยการออกแบบอุปกรณ์ดันโซ่นั้นเลือกใช้เฟืองโซ่จำนวนฟัน 12 ฟัน และเบอร์รหัส 61802 2Z

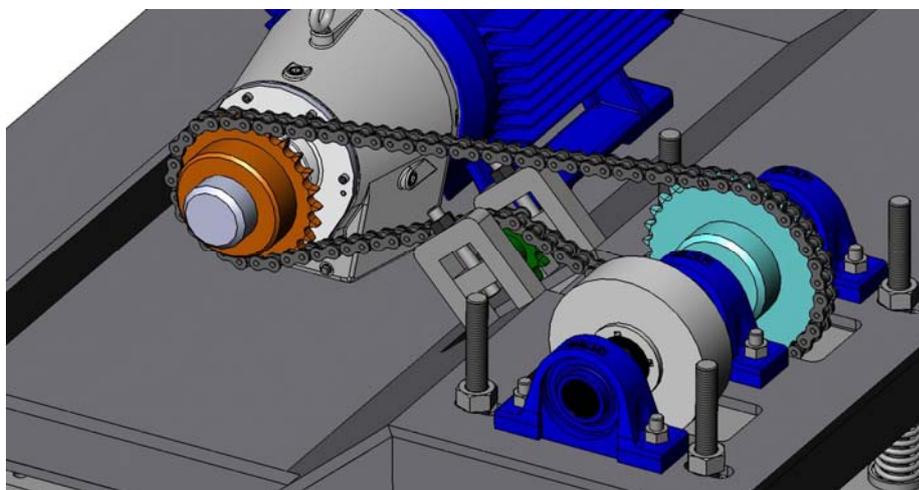


ภาพที่ 38 อุปกรณ์ในการดันโซ่

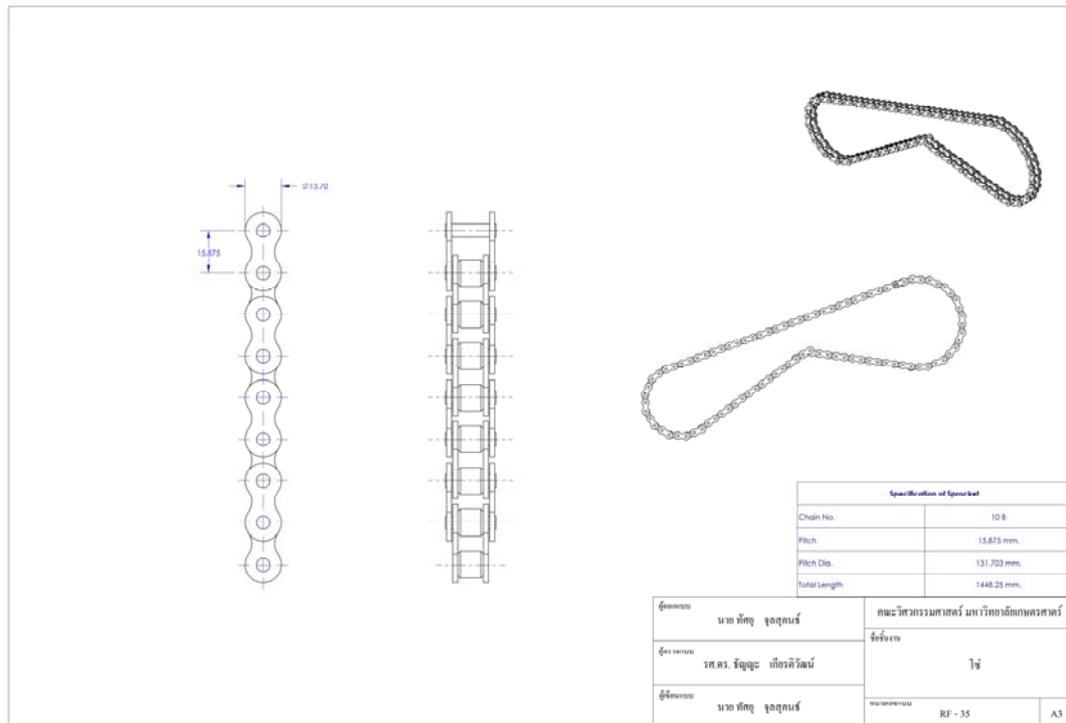


ภาพที่ 39 ตำแหน่งของเฟืองโซ่ทุกชิ้น

เมื่อทำการออกแบบอุปกรณ์ทั้งหมดแล้วจึงนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบกันใน โปรแกรม ออกแบบ และหาแนวการวางตัวของโซ่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 40



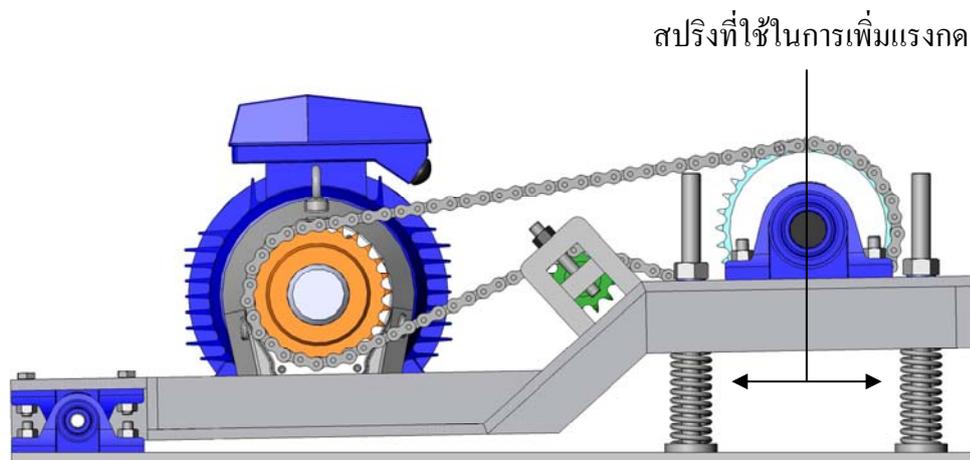
ภาพที่ 40 ลักษณะของโซ่ที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์อื่น



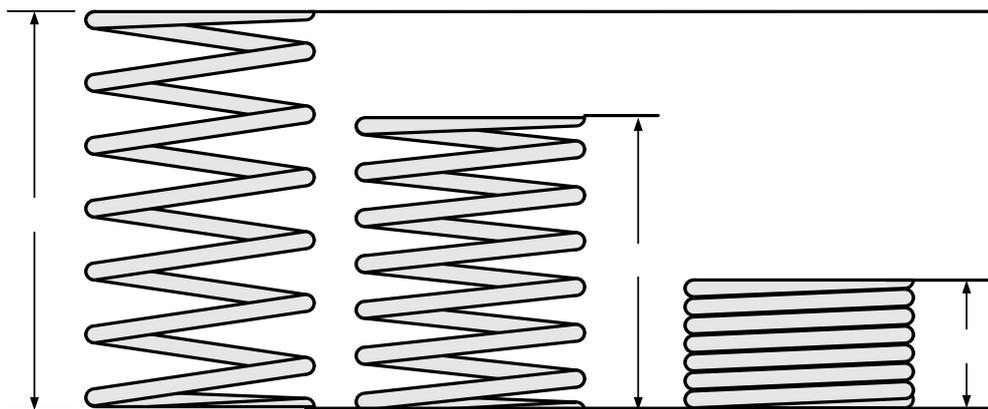
ภาพที่ 41 แบบพิมพ์เขียวโซ่ที่เลือกใช้

### ค. ผลการหาขนาดของสปริงในการเพิ่มแรงกดให้ล้อขับ

ต้องการแรงกดจากสปริง 330 นิวตันให้มีระยะยุบตัว 30 มิลลิเมตร ความถี่การกดติดกัน เป็น 20 เฮอร์เซ็นต์ สปริงเป็นแบบปลายตรงที่เจียรระโนปลาย เลือกวัสดุที่ใช้เป็น ASTM A 313 ซึ่งมีค่า  $G = 70$  กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และ  $E = 180$  กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ความยาวอิสระมีค่าอยู่ในช่วง 100 ถึง 150 มิลลิเมตร



ภาพที่ 42 มุมมองด้านข้างของชุดขับเคลื่อน



ภาพที่ 43 สปริงที่สภาวะต่างๆ

จากตารางคุณสมบัติทางกลในตารางผนวกที่ 8 ของลวดสปริง ASTM A 313 จะได้

$$A = 1,840 \text{ และ } x = 0.140$$

จะได้ ค่าความเค้นสูงสุด

$$\sigma_u = \frac{A}{d^x} = \frac{1,840}{d^{0.14}} \quad \text{นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร}$$

จากตารางค่าความเค้นออกแบบในตารางผนวกที่ ก9 สำหรับวัสดุสปริงรับภาระงานเป็นแบบงานหนักจะได้

$$\begin{aligned} \tau_d &= 0.21 \sigma_u \\ \tau_d &= \frac{386.4}{d^{0.14}} \quad \text{นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

และค่าความเค้นเฉือนครากมีค่าประมาณ

$$\begin{aligned} \tau_y &= 0.47 \sigma_u \\ \tau_y &= \frac{864.8}{d^{0.14}} \quad \text{นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

กำหนดให้ดัชนีสปริงมีค่า  $C = \frac{D}{d}$  เลือกค่า  $C$  ในการคำนวณในช่วง 5 ถึง 7

สมการตัวประกอบของวาล์ว

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณหาค่าตัวประกอบของวาล์วที่ค่าดัชนีสปริงต่างๆ

ดัชนีสปริง $C$	5	6	7
ตัวประกอบของวาล์ว $K$	1.3105	1.2525	1.2128

ค่าความเค้นเฉือน

$$\tau = K \frac{8FC}{\pi d^2}$$

$$\tau = KC \frac{8(330)}{\pi d^2}$$

$$\tau = \frac{KC}{d^2} 840.34$$

เมื่อค่า  $\tau = \tau_d$  จะได้

$$\frac{386.8}{d^{0.14}} = \frac{KC}{d^2} 840.34$$

$$d^{1.86} = KC(2.17)$$

นำค่า  $C$  และ  $K$  จากตารางที่ 1 ทำการคำนวณหาค่า  $d$  และเลือกขนาดลวดที่มีในท้องตลาดได้ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางลวดคำนวณและขนาดลวดที่เลือกใช้ที่ค่าดัชนีสปริงต่างๆ

ดัชนีสปริง $C$	5	6	7
เส้นผ่านศูนย์กลางลวด $d$ คำนวณ	4.17	4.49	4.80
ขนาดลวดที่เลือก $d$	4.0	4.5	5.0

ค่าความแข็งดิ่งของสปริง

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{330}{30} = 11 \text{ N/mm}$$

จำนวนขดทำการของสปริง

$$n = \frac{Gd}{8C^3k} = \frac{(70,000)d}{8C^3(11)}$$

จำนวนขดทั้งหมด

$$n_t = n + 2$$

ค่าความยาวแข็งตัว

$$L_s = d(n+2)$$

ระยะเพื่อการกด 20 %

$$r_c = \frac{\delta_s + \delta_w}{\delta_w}$$

$$0.2 = \frac{\delta_s + 30}{30}$$

$$\delta_s = 36 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

ความยาวอิสระ

$$L_f = L_s + \delta_s$$

สามารถหาค่าต่างๆได้ดังนี้

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณหาจำนวนขดทำการของสปริง,จำนวนขดทั้งหมด,ค่าความยาวแข็งตัว,ความยาวอิสระที่ค่าดัชนีสปริงต่างๆ

ดัชนีสปริง $C$	5	6	7
จำนวนขดทำการของสปริง $n$	25.45	16.571	11.594
จำนวนขดทั้งหมด $n_t$	27.45	18.571	13.594
ค่าความยาวแข็งตัว $L_s$	109.8	83.5185	67.97
ความยาวอิสระ $L_f$	145.8	119.52	103.97

เลือกใช้ค่าความยาวอิสระของสปริง 145.8 มิลลิเมตร

แรงกดจากสปริง

$$F_s = kd_s = 11 \times 36 = 396 \quad \text{นิวตัน}$$

ค่าความเค้นเฉือน

$$\tau_s = K \frac{8FC}{\pi d^2} = \frac{(1.3105)(8)(396)(5)}{\pi(4)^2}$$

$$\tau_s = 412.97 \quad \text{นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร}$$

ค่าความเค้นเฉือนคราก

$$\tau_y = \frac{864.8}{d^{0.14}} = \frac{864.8}{(4)^{0.14}} = 712.24 \quad \text{นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว

$$D = dc = 4 \times 5 = 20 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

จากตารางค่าประมาณความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวในตารางผนวกที่ ก10  
คำนวณหาค่าระยะห่างของขดลวด

$$L_f = Pn + 2d$$

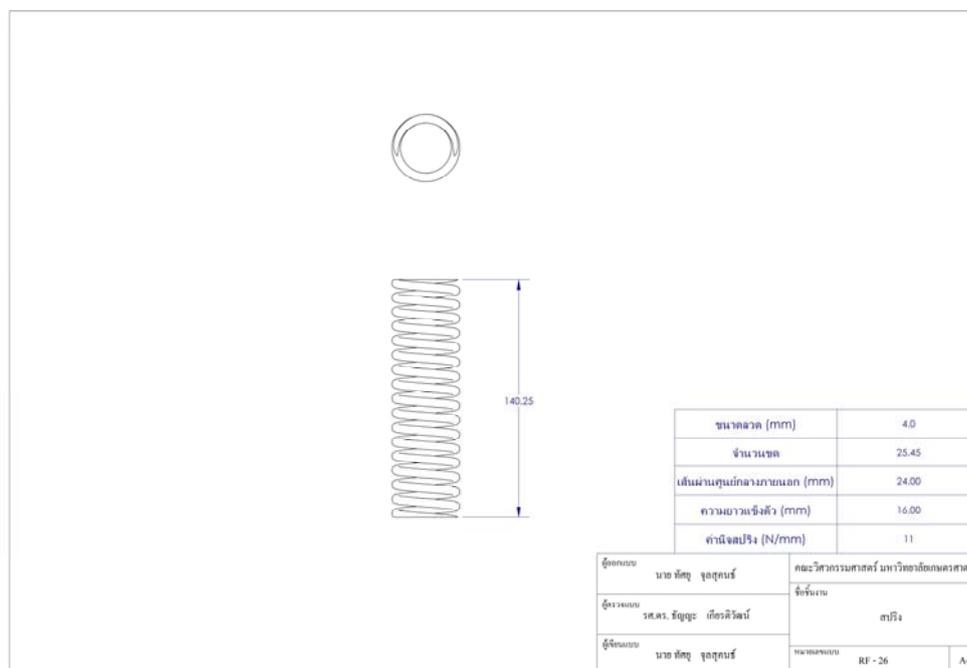
$$145.8 = P(25.45) + 2(4)$$

$$P = 5.41 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

ค่าสปริงที่ใช้งานมีค่าคุณสมบัติต่างๆดังนี้

ตารางที่ 7 ค่าคุณสมบัติของสปริงที่เลือกใช้

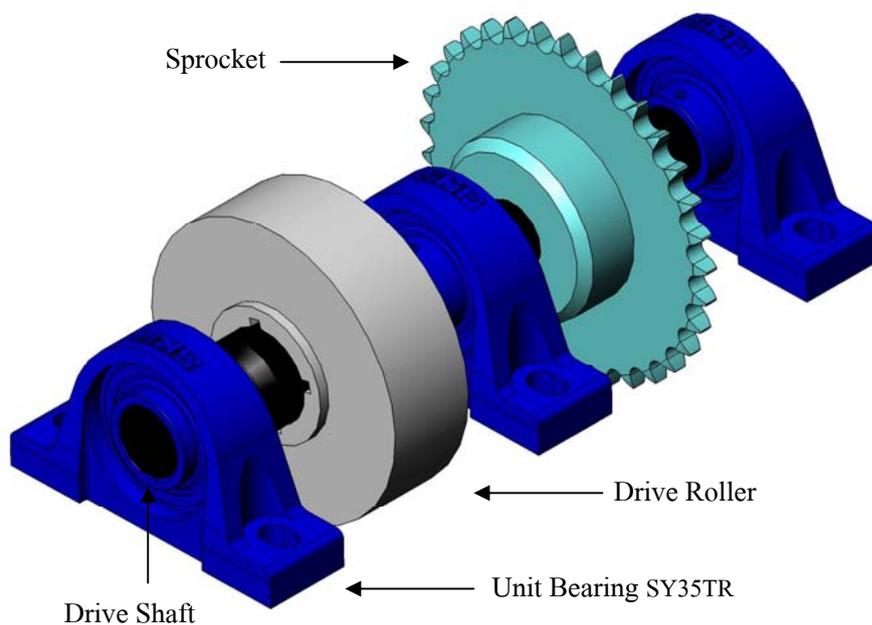
ขนาดของลวด $d$	4.0 มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด $D$	20 มิลลิเมตร
ความยาวอิสระ $L_f$	145.8 มิลลิเมตร
จำนวนขดทั้งหมด $n_t$	27.45 ขด
จำนวนขดทำการของสปริง $n$	25.45 ขด
ระยะห่างของขดลวด $P$	5.41 มิลลิเมตร



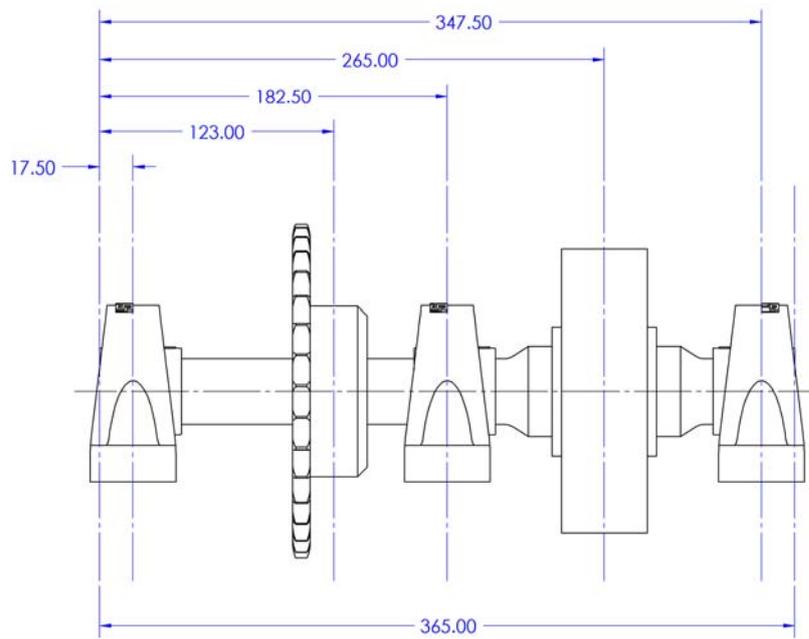
ภาพที่ 44 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดสปริงที่ใช้

### ง. ผลการออกแบบเพลาลับเคลื่อน

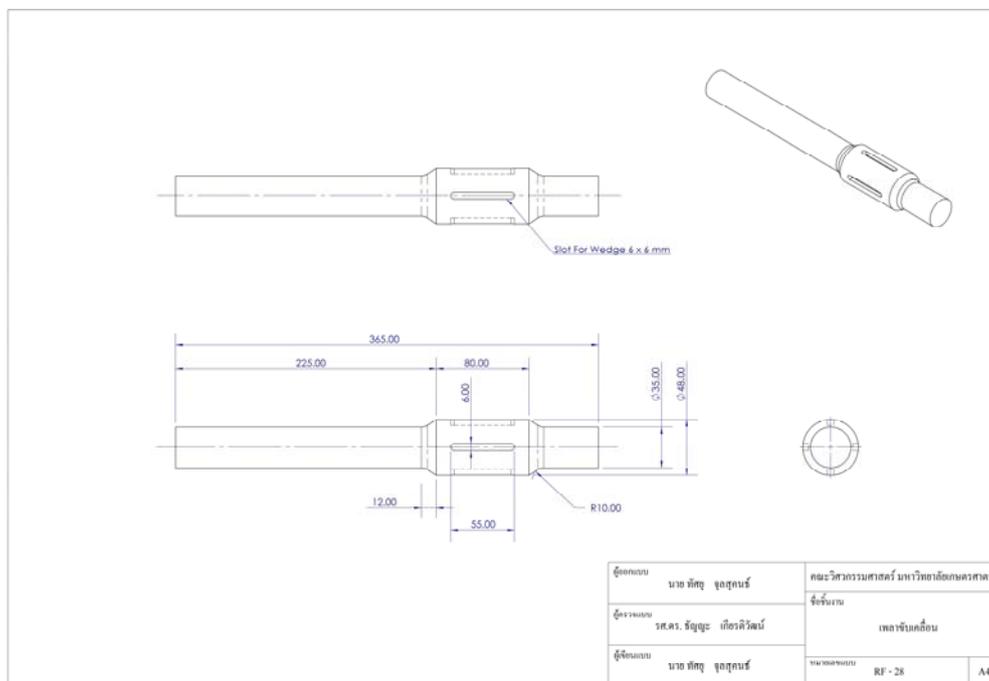
เพลาลับเคลื่อนมีขนาดลดระดับจากเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 มิลลิเมตร และ 35 มิลลิเมตร มีตำแหน่งที่รองรับด้วยชุดลูกปืนสามตำแหน่งรหัส SY35TR ถ่ายทอดการส่งกำลังจากเฟืองโซ่ขนาด 167 มิลลิเมตร ไปสู่ล้อขับเคลื่อนขนาด 150 มิลลิเมตร ที่ทำจากวัสดุโพลีเอทิลีน วัสดุที่ใช้ทำเพลาคือ AISI 1045 ทำการออกแบบเพลาดังกล่าวด้วยโปรแกรมออกแบบชิ้นงานสามมิติโซลิดเวิร์ก



ภาพที่ 45 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน



ภาพที่ 46 ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ



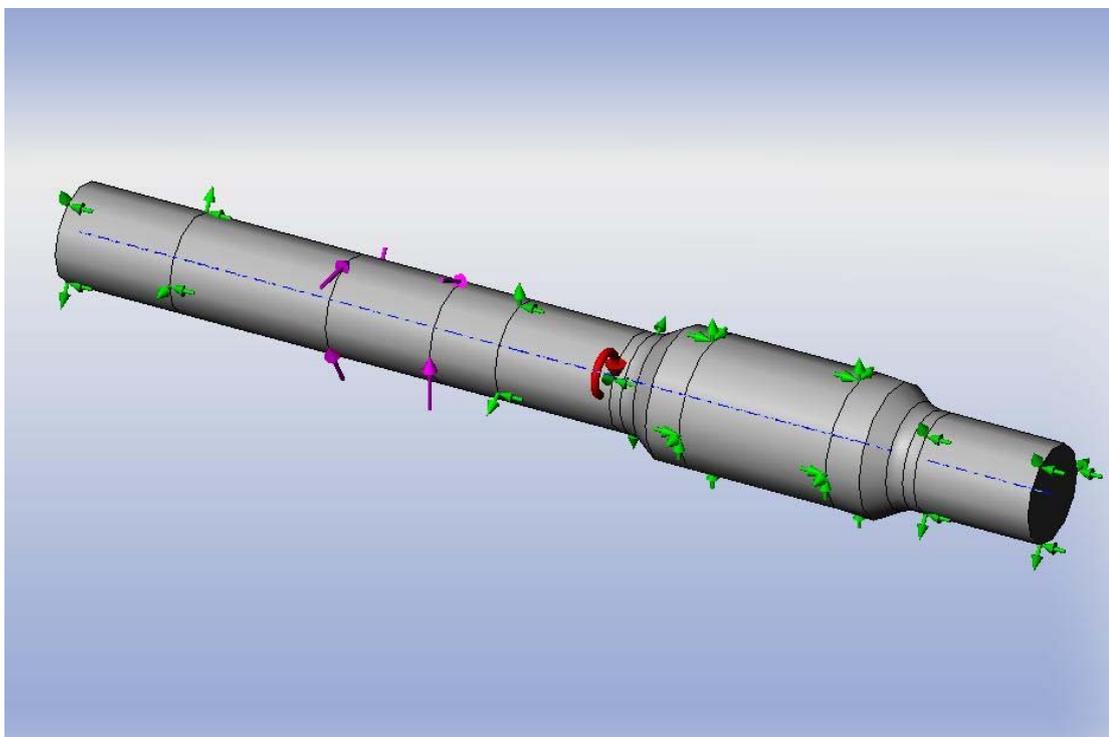
ภาพที่ 47 แบบแสดงขนาดเพลา

วัสดุที่ใช้ทำเพลลา AISI 1045 มีค่าคุณสมบัติทางกล ดังนี้

ตารางที่ 8 คุณสมบัติของวัสดุทำเพลลา

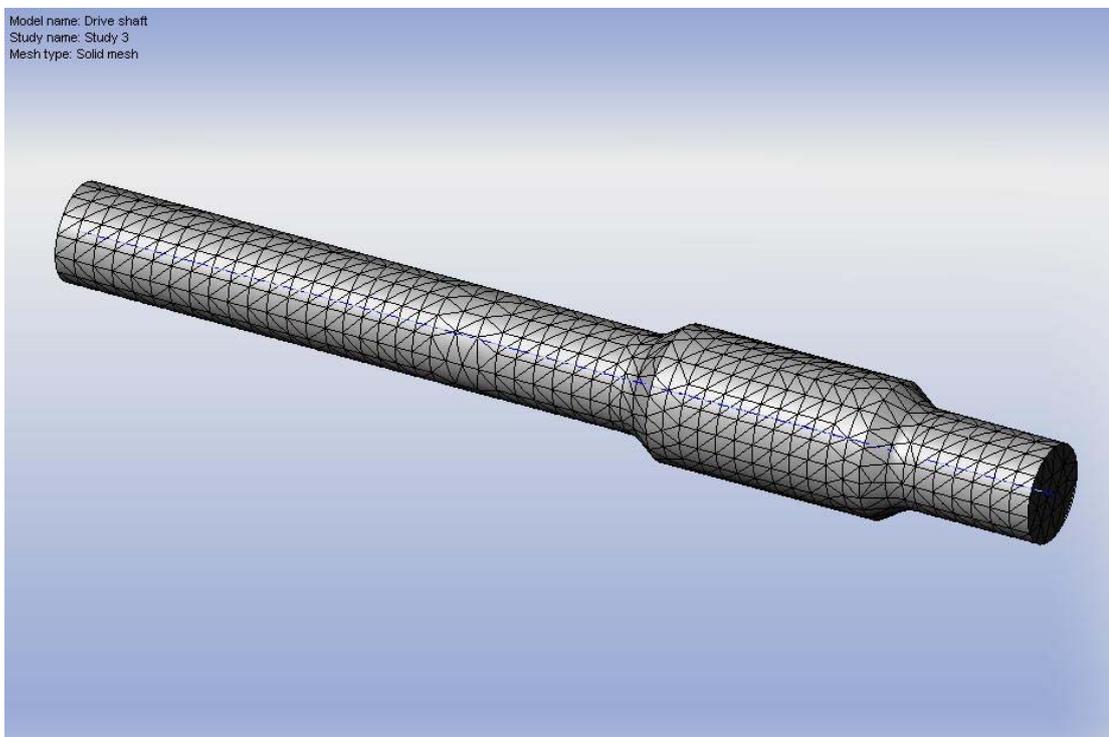
Elastic modulus	$2.05 \times 10^{11}$ นิวตันต่อตารางเมตร
Poisson's ratio	0.29
Shear modulus	$8 \times 10^{10}$ นิวตันต่อตารางเมตร
Mass density	7,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
Tensile strength	$6.25 \times 10^8$ นิวตันต่อตารางเมตร
Yield strength	$5.3 \times 10^8$ นิวตันต่อตารางเมตร

ขณะใช้งานเพลลามีการหมุนด้วยความเร็วรอบ 22.65 รอบต่อวินาที แรงบิดที่เกิดจากโซ่ที่ใช้ส่งกำลังนั้นมีค่า 340 นิวตันเมตร



ภาพที่ 48 แรงและการบิดเพลลา

ในการแบ่งเอลิเมนต์ย่อยนั้นสามารถแบ่งได้ 7,896 เอลิเมนต์ และจำนวน โหนด 12,440 โหนด  
ขนาดของเอลิเมนต์มีค่า 7.53 มิลลิเมตร

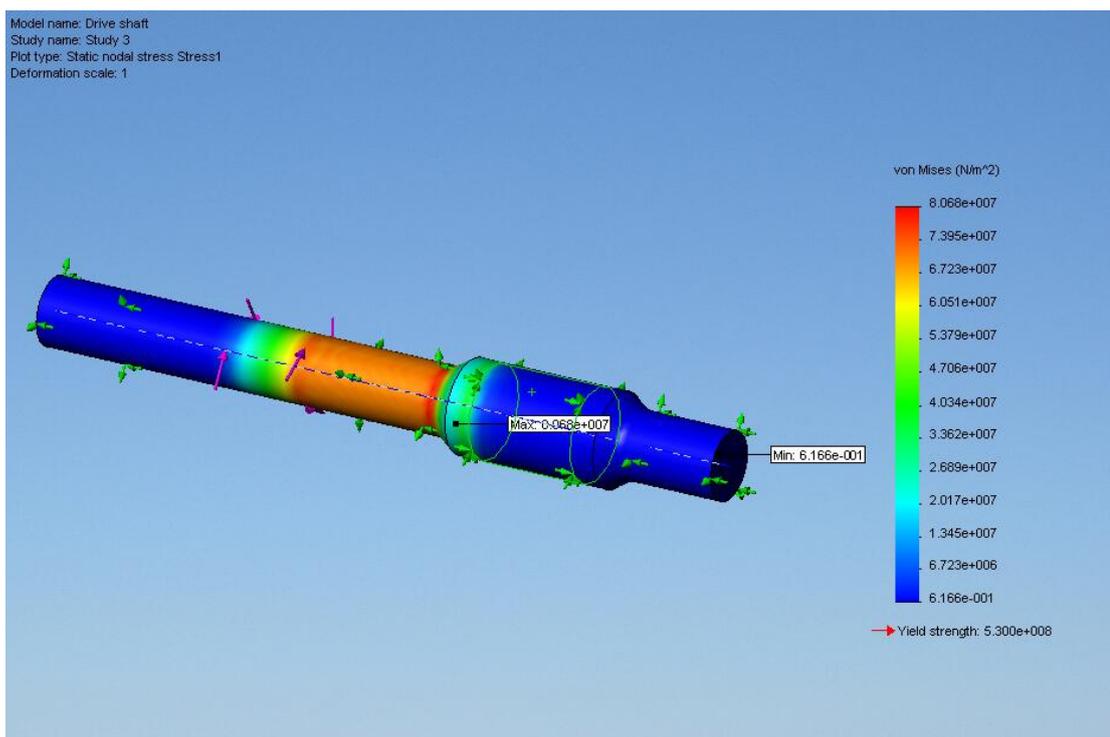


ภาพที่ 49 การแบ่งเอลิเมนต์ย่อยของเพลา

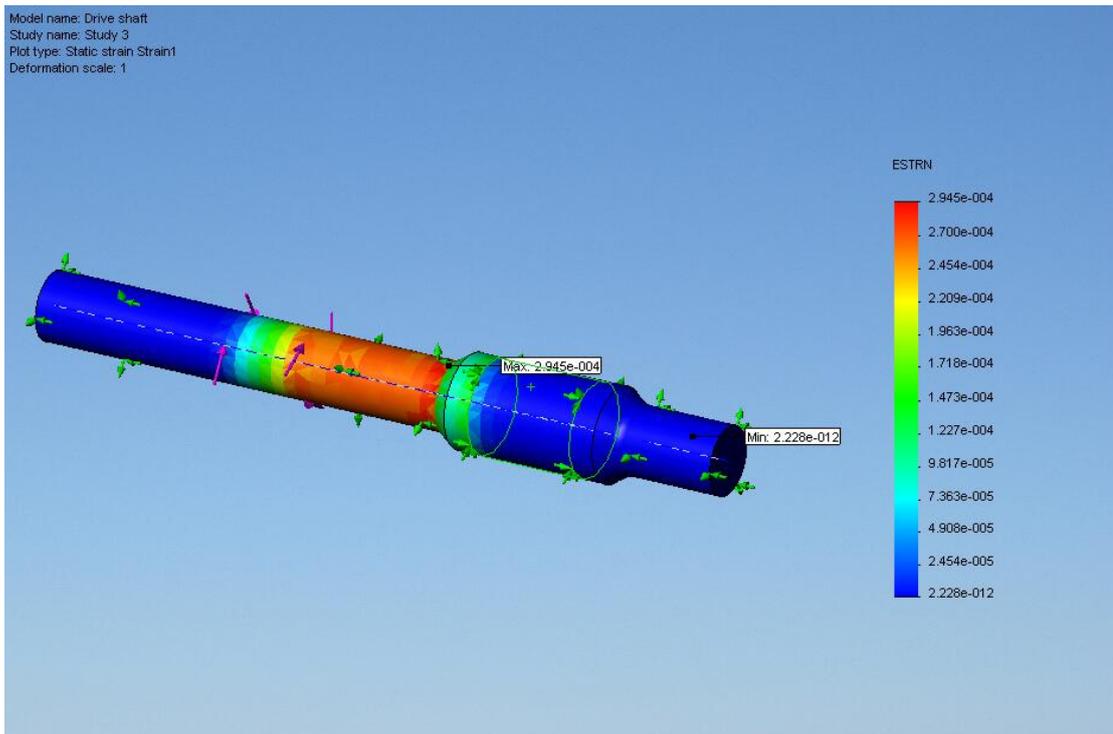
การคำนวณโดยใช้ ไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรมออกแบบแบบคอมพิวเตอร์ก็ได้ผลออกมา  
ดังนี้

### ตารางที่ 9 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์

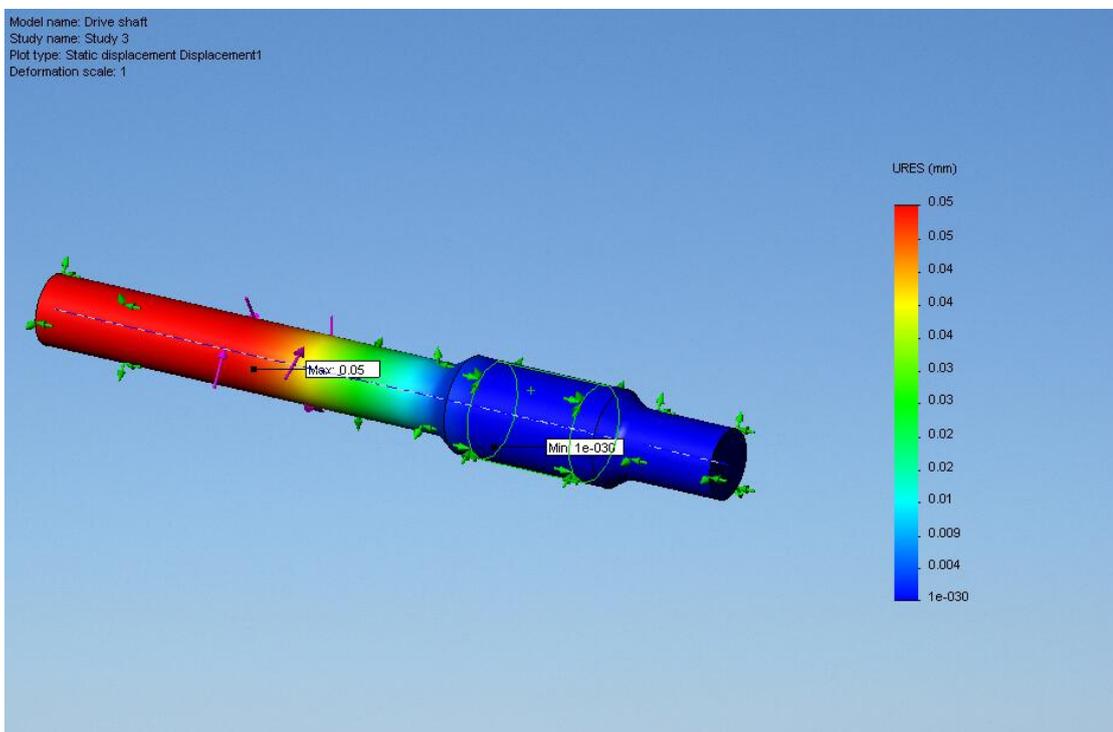
Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress	VON: von Mises stress	0.616552 $N/m^2$	Node : 6687	$8.0677 \times 10^7$ $N/m^2$	Node : 14
Displacement	URES: Resultant displacement	0 mm	Node : 253	0.0533938 mm	Node : 402
Strain	ESTRN: Equivalent strain	$2.228 \times 10^{12}$	Element : 3416	0.000294503	Element : 125



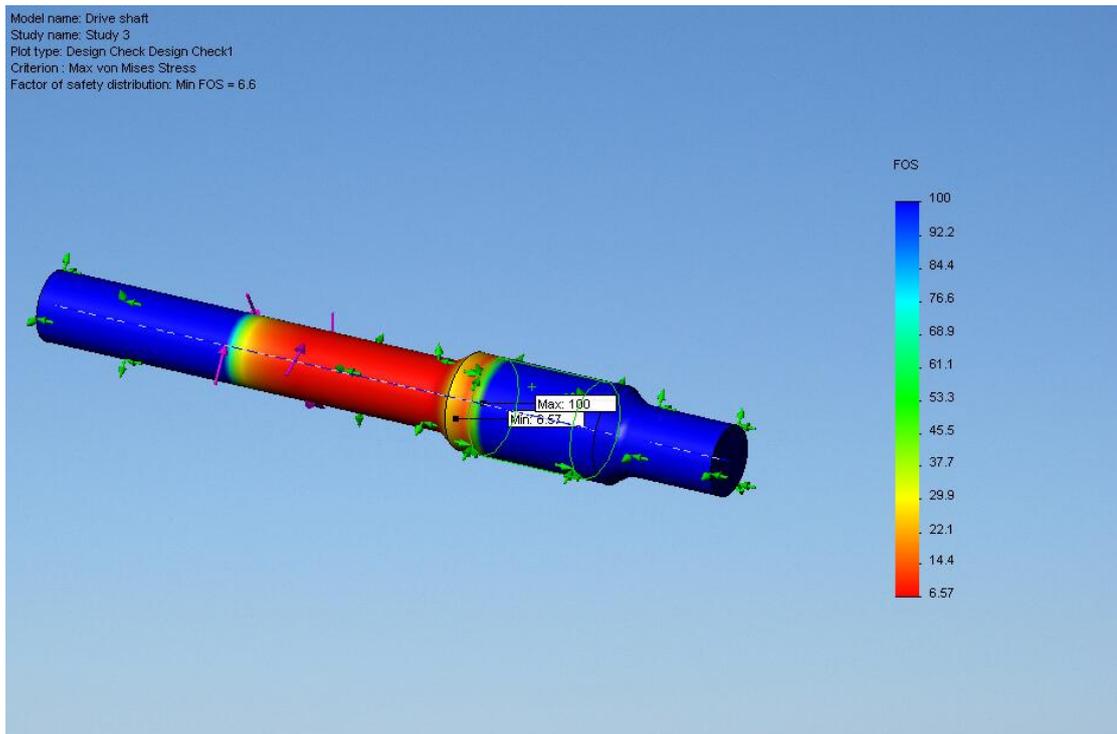
ภาพที่ 50 ผลการวิเคราะห์ความเค้น



ภาพที่ 51 ผลการวิเคราะห์ความเครียด



ภาพที่ 52 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่



ภาพที่ 53 ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย

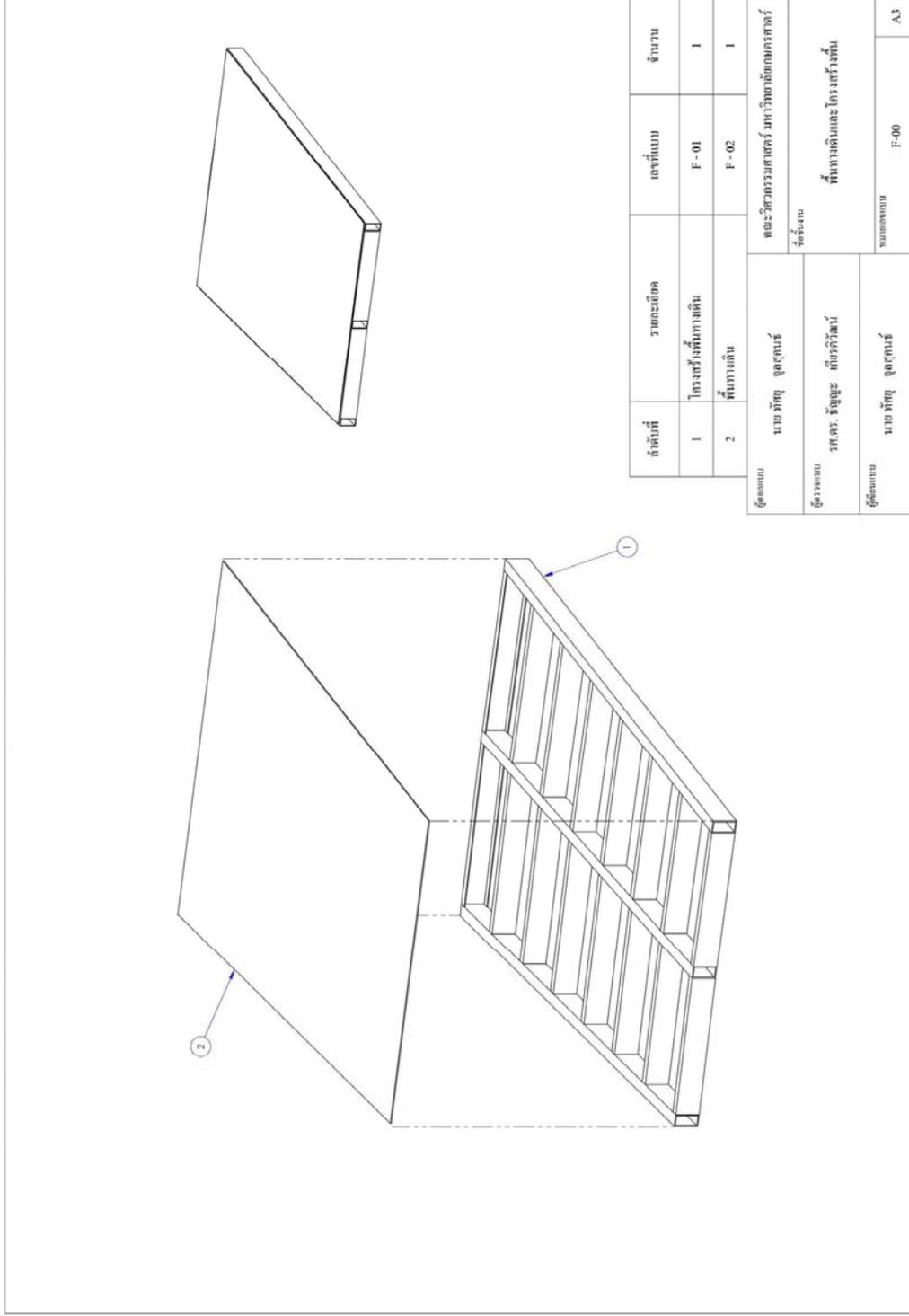
## 2.4 ผลการสร้างแบบพิมพ์เขียวจากแบบจำลอง ในข้อ 2.1 และข้อมูลจากข้อ 2.2

หลังจากได้ดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์และกลไกของพื้นหมุน ฯ ในข้อ 2.3 แล้ว ได้ทำการสร้างแบบพิมพ์เขียวจากข้อมูลดังกล่าว จึงทำการพิจารณาชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนโดยละเอียดเพื่อกำหนด เลขลำดับของแบบ ให้สอดคล้องและเข้าใจได้ง่าย โดยแบ่งส่วนหลักได้ 3 ส่วนหลัก คือ

1. ผลการสร้างแบบพิมพ์เขียวของพื้นทางเดินและโครงสร้างพื้น
2. ผลการสร้างแบบพิมพ์เขียวของชุดรองรับน้ำหนัก
3. ผลการสร้างแบบพิมพ์เขียวของชุดขับเคลื่อน

### 2.4.1 ผลการสร้างแบบพิมพ์เขียวของพื้นทางเดินและโครงสร้างพื้น

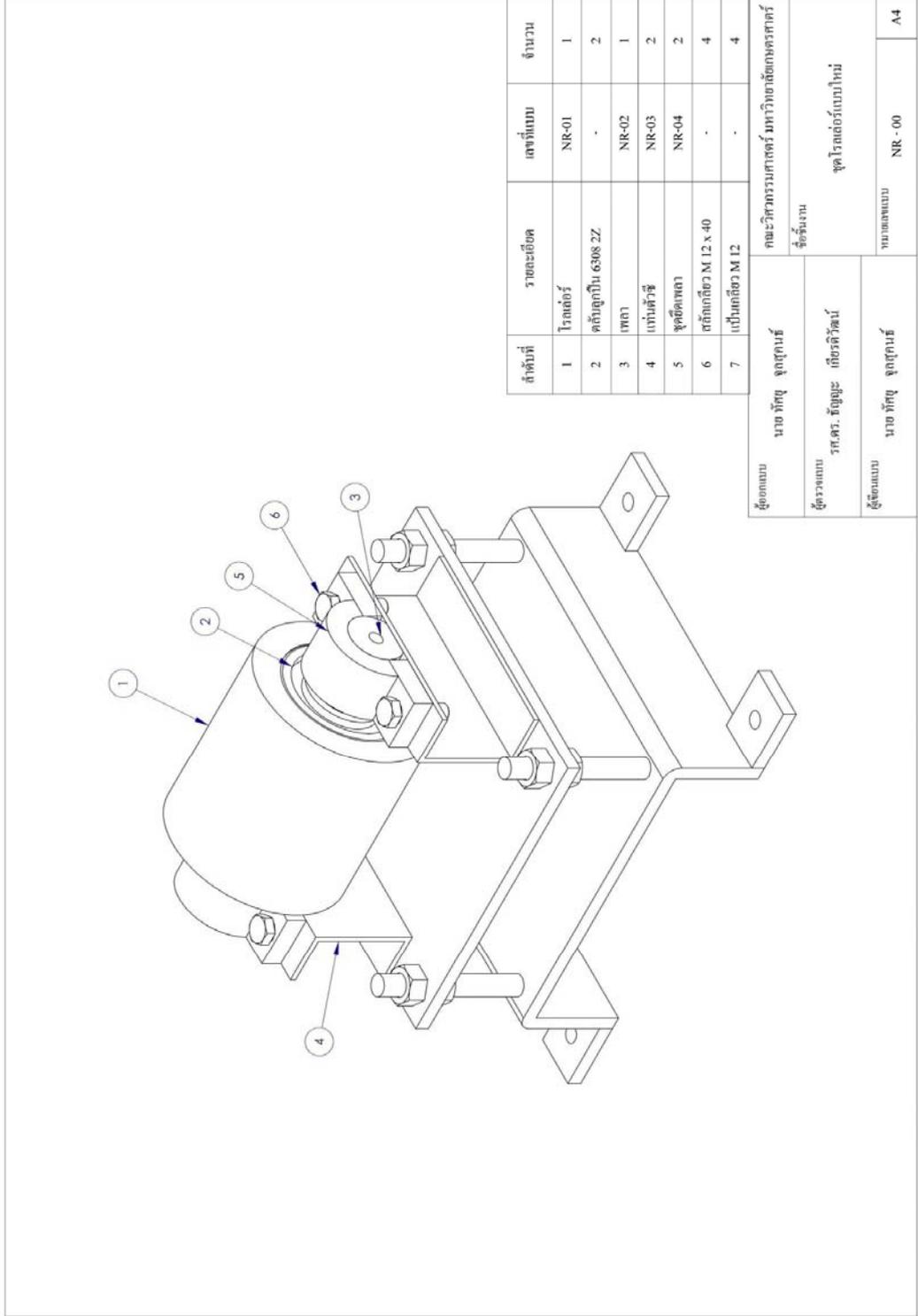
ผลการออกแบบโครงสร้างพื้นหมุน สามารถแสดงออกมาได้โดยภาพที่ 54 โดยมี ส่วนประกอบต่างๆ คือ ส่วนโครงสร้าง (Floor Structure) และแผ่นพื้นทางเดิน (Floor Sheet) โดยทำการเรียงเลขลำดับของแบบขึ้นต้นด้วยตัวอักษร F ตามด้วยลำดับของชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบ ซึ่งแสดงรายละเอียดในแบบพิมพ์เขียวลำดับที่ F-01 และ F-02 ซึ่งทำการเรียบเรียงไว้ในภาคผนวก



ภาพที่ 54 แบบพิมพ์เขียว พื้นและ โครงสร้างพื้น

#### 2.4.2 ผลการสร้างแบบพิมพ์เขียวชุดรองรับน้ำหนัก

ผลการออกแบบชุดรองรับน้ำหนักพื้นหมอนชุดที่ 1 ที่ออกแบบใหม่, ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 และชุดที่ 3 นั้นสามารถแสดงออกมาได้โดยภาพที่ 55 , ภาพที่ 56 และภาพที่ 57 ตามลำดับมีรายละเอียดครบถ้วนสามารถนำไปผลิตได้จริง โดยทำการเรียงเลขลำดับของแบบขึ้นต้นด้วยตัวอักษร NR และRF ตามด้วยลำดับของชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบ ซึ่งแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆได้ในแบบพิมพ์เขียว ที่แสดงในภาคผนวก

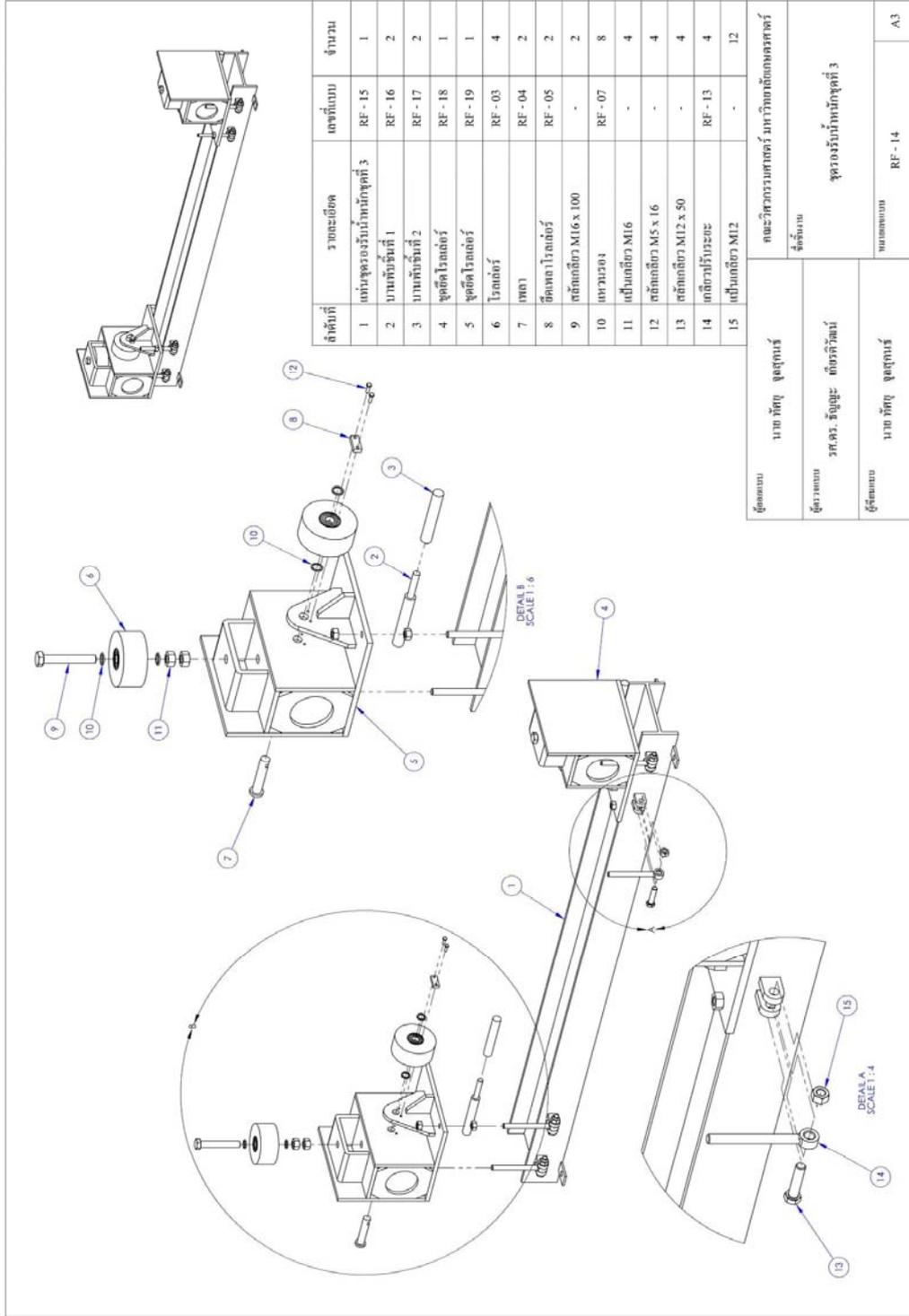


ลำดับที่	รายละเอียด	เลขที่แบบ	จำนวน
1	โรลเลอร์	NR-01	1
2	ค้ำลูกปืน 6308 ZL	-	2
3	เพลลา	NR-02	1
4	แป้นค้ำล้อ	NR-03	2
5	ชุดคั่นถา	NR-04	2
6	สลักเกลียว M 12 x 40	-	4
7	แป้นค้ำล้อ M 12	-	4

ผู้ออกแบบ	นาย ทัตย์ จุฑสุคนธ์	คณะกรรมการภาควิชา ภาควิชาสัตยศาสตร์
ผู้ตรวจสอบ	รศ.ดร. รัชฎงะ เกียรติวิวัฒน์	ผู้ดำเนินงาน
ผู้เขียนแบบ	นาย ทัตย์ จุฑสุคนธ์	ชุดโรลเลอร์แบบใหม่
		หมายเลขแบบ NR - 00
		A4

ภาพที่ 55 แบบพิมพ์เขียวโรลเลอร์แบบใหม่

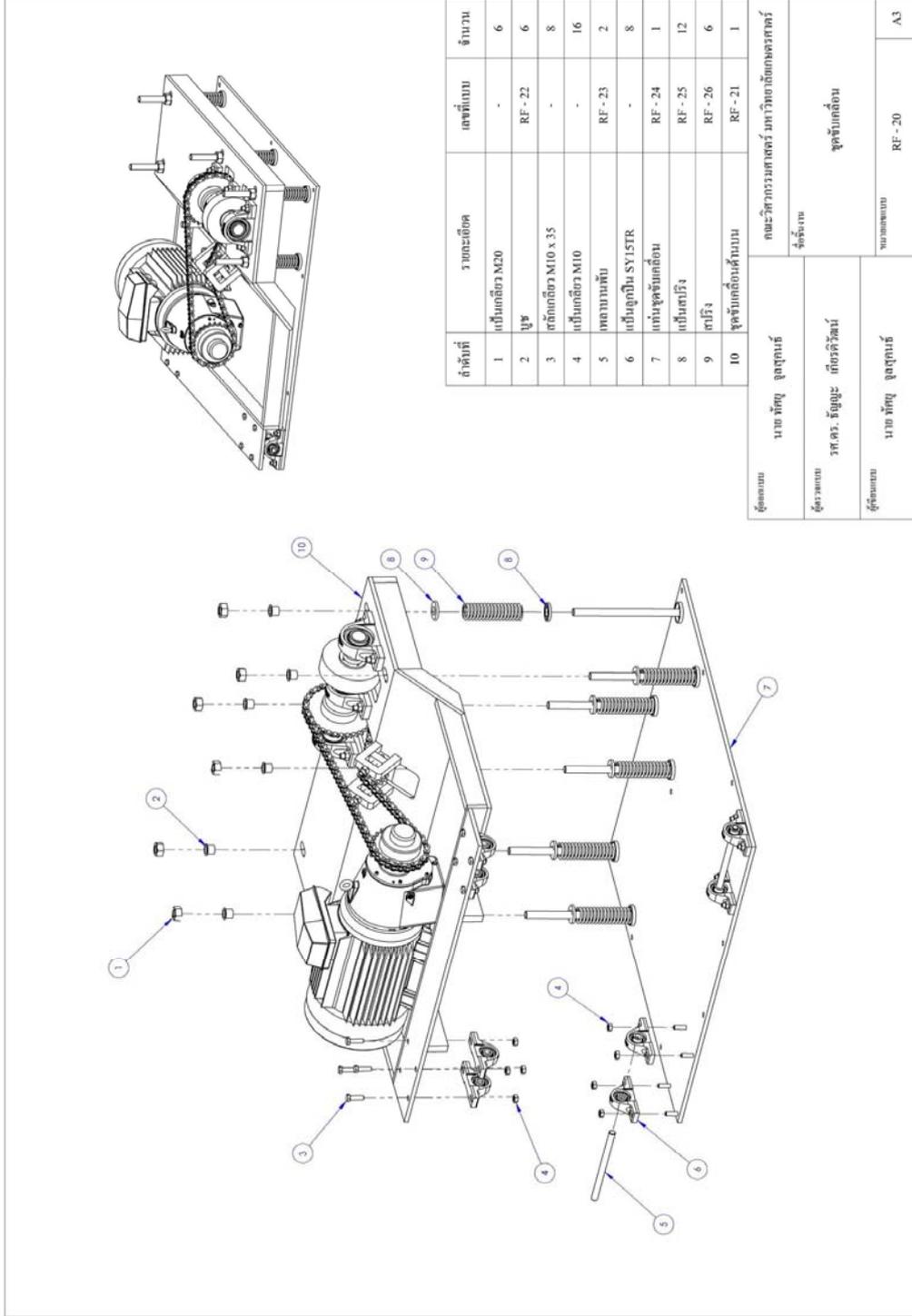




ภาพที่ 57 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3

### 2.4.3 ผลการสร้างแบบพิมพ์เขียวชุดขับเคลื่อน

ผลการออกแบบชุดขับเคลื่อนพื้นหมุนั้นสามารถแสดงออกมาได้โดยภาพที่ 58 โดยมีรายละเอียดครบถ้วนสามารถนำไปผลิตได้จริง โดยทำการเรียงเลขลำดับของแบบขึ้นต้นด้วยตัวอักษร RF ตามด้วยลำดับของชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบ ซึ่งแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆได้ในแบบพิมพ์เขียว ที่แสดงในภาคผนวก



ภาพที่ 58 แบบพิมพ์เขียว แสดงรายละเอียดชุดขับเคลื่อนฟันหมุน

## 2.5 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในเบื้องต้น

การประเมินค่าใช้จ่ายนั้นทำการประเมินจากราคาที่มีอยู่ในท้องตลาดทั่วไป และ แบ่งออกเป็นหัวข้อที่สำคัญสำหรับการประเมิน ดังนี้

### 2.5.1 ผลการประเมินราคาเหล็กโครงสร้าง

การประเมินราคาเหล็กสำหรับงาน โครงสร้างและอุปกรณ์รองรับน้ำหนัก สามารถแสดงได้โดยตารางที่ 10 ดังนี้

ตารางที่ 10 การประเมินราคาสำหรับโครงสร้างและอุปกรณ์รองรับน้ำหนัก

ชิ้นงาน	น้ำหนัก/ ชิ้น	ราคา/ชิ้น (บาท)	จำนวน	ราคา (บาท)
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 1	15	900	72	64,800
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 2	70	1,080	18	75,600
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 3	95	570	18	102,600
ลูกปืน SKF 6208ZZ	-	90	288	25,920
เหล็กตัว I (I-Beam)	-	4,270	36	153,720
ลูกปืนปรับระดับ	-	100	72	7,200
	<b>รวม</b>			<b><u>531,840</u></b>

การประเมินราคาในส่วนนี้ได้ทำการคิดราคาเหล็กตามน้ำหนักของเหล็กจริงแล้วทำการเทียบราคากันทางร้านค้าทั่วไปโดยสรุปราคาได้คร่าว ๆ โดยราคาเหล็กคิดที่ กิโลกรัมละ 60 บาท

## 2.5.2 ผลการประเมินราคาลวดเชื่อม

การประเมินราคาลวดเชื่อมในการเชื่อมอุปกรณ์ สามารถแสดงได้โดยตารางที่ 11 ดังนี้

ตารางที่ 11 การประเมินราคาลวดเชื่อม

ชิ้นงาน	จำนวน	ความยาวที่เชื่อม/ ชั้น(เมตร)	จำนวนลวด เชื่อม(กล่อง)	ราคา (บาท)
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 1	72	15	11	1,650
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 2	18	55	10	1,500
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 3	18	41	12	1,800
รางตัว C ด้านใน	-	38	8	1,200
รางตัว C ด้านนอก	-	41	12	1,800
เหล็กคตาม	-	72	15	2,250
	<b>รวม</b>			<b><u>10,200</u></b>

การประเมินราคาลวดเชื่อมใน ส่วนนี้ได้ทำการคิดราคาลวดเชื่อมจากปริมาณที่ใช้จริงดังนี้การเชื่อมใช้ลวดขนาด 3.2 มิลลิเมตร ราคา 150 บาท/กล่อง โดยที่ 1 เส้นเชื่อมได้ 10 เซนติเมตร 1 กล่อง มีลวด 100 เส้น

### 2.5.3 ผลการประเมินราคาสีกันสนิม

การประเมินราคาสีกันสนิมในการทาเหล็กสามารถแสดงได้โดยตารางที่ 12 ดังนี้

ตารางที่ 12 การประเมินราคาสีกันสนิม

ชิ้นงาน	จำนวน	พื้นที่ผิว (ตาราง เมตร)	พื้นที่ผิว ทั้งหมด(ตาราง เมตร)	จำนวนสี ที่ใช้ (กระป๋อง)	ราคา (บาท)
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 1	72	0.52	37.44	6.24	5,304.00
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 2	18	1.61	28.98	4.83	4,105.50
ลูกปืนปรับระดับชุดที่ 3	18	2.54	45.72	7.62	6,477.00
รางตัว C ด้านใน	-	37.78	37.78	6.29	5,346.50
รางตัว C ด้านนอก	-	41.55	41.55	6.93	5,890.50
เหล็กค้ำ	-	8.41	8.41	1.40	1,190.00
<b>รวม</b>					<b><u>28,313.5</u></b>

การประเมินราคาสีกันสนิม ส่วนนี้ได้คิดราคาจากพื้นที่จริงที่จะทำการพ่นกันสนิมโดยมีรายละเอียดดังนี้

- สีกันสนิม Captain ราคากระป๋องละ 850 บาท
- สี 1 กระป๋องสามารถทาได้ 6 ตารางเมตร

#### 2.5.4 ผลการประเมินราคาหลักสำหรับชุดขับเคลื่อน

การประเมินราคาหลักสำหรับชุดขับเคลื่อน สามารถแสดงได้โดยตารางที่ 13 ดังนี้

ตารางที่ 13 การประเมินราคาหลักสำหรับชุดขับเคลื่อน

วัสดุ	จำนวน	ราคา/ชิ้น	ราคา (บาท)
สปริง	24	1,000	24,000
เหล็กโครงสร้าง	4	20,000	80,000
<b>รวม</b>			<b><u>104,000</u></b>

การประเมินราคาส่วนนี้ทำการสอบถามจากโรงงานรับทำโครงสร้างเหล็กทั่วไป

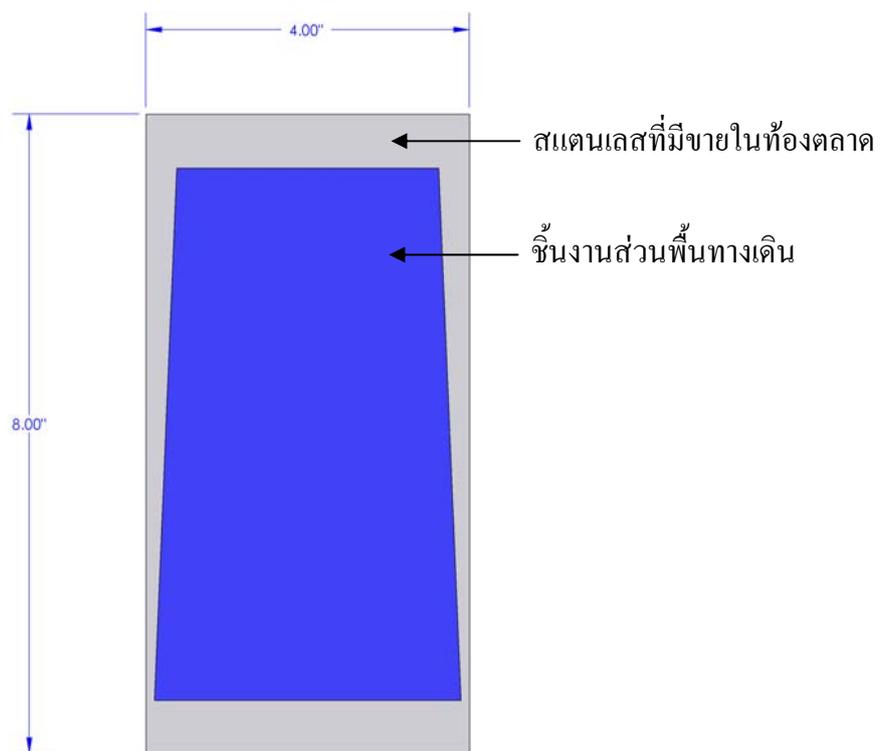
#### 2.5.5 ผลการประเมินราคาพื้นสแตนเลส

การประเมินราคาสแตนเลสแผ่นที่จะใช้ทำพื้นทางเดินสามารถรวบรวมออกมาได้ดังแสดงในตารางที่ 14 ดังนี้

ตารางที่ 14 การประเมินราคาพื้นสแตนเลส

วัสดุ	จำนวนที่ใช้	ราคาต่อชิ้น	รวม
สแตนเลส ลายกันลื่นขนาด 4 ฟุต × 8 ฟุต หนา 3 มิลลิเมตร	76	6,000	<b><u>456,000</u></b>

ราคาสแตนเลสที่เลือกใช้นั้นทำการตรวจสอบราคาในท้องตลาดทั่วไป และการหาปริมาณที่ใช้นั้นใช้โปรแกรมออกแบบในการช่วยโดยทำการสร้างแผ่นเหล็กขนาด 4 ฟุต × 8 ฟุต หนา 3 มิลลิเมตร แล้วนำเอาชิ้นงานทาบลงด้านบนดังแสดงในภาพที่ 59 ส่วนชิ้นงานพื้นทางเดินนั้นในการออกแบบที่ได้กล่าวไปแล้วใช้จำนวนพื้นทางเดินทั้งหมดจำนวน 76 ชิ้น ทำให้วัสดุที่ใช้นั้นมีจำนวนเท่ากับ 76 แผ่นเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 59 วิธีหาจำนวนสแตนเลสแผ่น

## 2.5.6 ผลรวมการประเมินราคา

ผลรวมของการประเมินราคาในส่วนต่าง ๆ จะสามารถรวบรวมได้เป็นตารางที่ 13  
ดังนี้

ตารางที่ 15 ผลรวมของการประเมินราคาส่วนต่างๆ

การประเมิน	ราคา
ราคาหลักสำหรับงาน โครงสร้าง	531,840
ราคาลวดเชื่อม	10,200
ราคาสีกันสนิม	28,313
ราคาหลักสำหรับชุดขับเคลื่อน	104,000
ราคาพื้นสแตนเลส	456,000
<b>รวม</b>	<b><u>1,130,354</u></b>

### 3. ผลการดำเนินการสร้างพื้นหมุนใช้สำหรับชมวิวิททัศน์

หลังจากได้ดำเนินการพัฒนาพื้นหมุนใช้สำหรับชมวิวิททัศน์ ตามแบบพิมพ์เขียวที่แสดงไว้ในภาพผนวกทั้งหมด จึงได้ดำเนินการสร้างพื้นหมุนในส่วนต่าง ๆ โดยให้สอดคล้องกับที่กล่าวในหัวข้อผลการสำรวจความเสียหายเบื้องต้น ซึ่งพอจะสรุปเป็นหัวข้อได้ ดังต่อไปนี้

#### 3.1 ผลการสร้างโครงสร้างพื้นและพื้นทางเดิน

การออกแบบพื้นทางเดินนั้นสามารถแสดงได้โดยแบบ พิมพ์เขียว แสดงรายละเอียดพื้นทางเดินและโครงสร้างพื้น รวมถึงรั้วเหล็กกั้นในภาพผนวก ซึ่งได้ทำการกำหนดจำนวนและวัสดุให้ผู้พัฒนาได้ทราบอย่างชัดเจน



ภาพที่ 60 การตามเหล็กหน้าตัดตัว C

จากภาพที่ 60 เป็นโครงสร้างรางขับเคลื่อนด้านนอกและด้านในที่ทำการเชื่อมตาม โดยใช้เหล็กโครงสร้างหน้าตัดรูปตัว C เชื่อมตามในตำแหน่งที่มีการผูกרוןหรือแตกร้าว หลังจากนั้นได้ทาสีกันสนิม ช่วยป้องกันการผูกרוןในอนาคต สามารถเปรียบเทียบภาพก่อนหน้าการสร้างได้ที่ภาพที่ 12



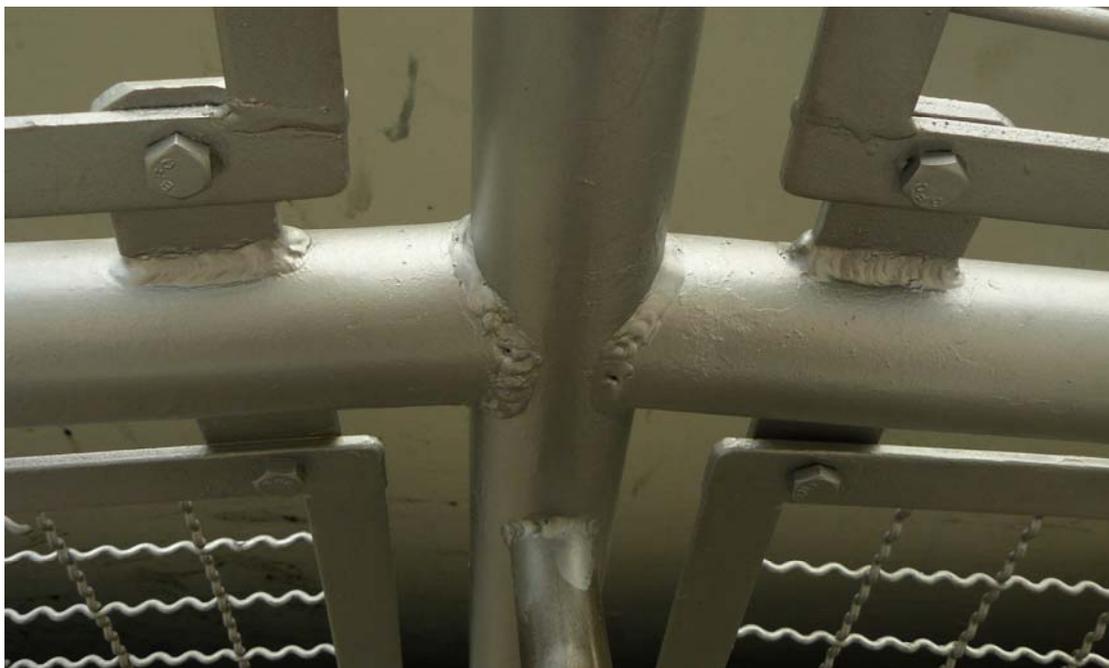
ภาพที่ 61 อุปกรณ์ที่ซ่อมแซม

จากภาพที่ 61 แสดงให้เห็นการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดรางด้านนอกและรางด้านใน โดยการจัดสร้างชิ้นใหม่ ซึ่งก่อนหน้านั้นมีการผุกร่อนและขาดหายไปสามารถเปรียบเทียบภาพก่อนหน้าการสร้างได้ที่ภาพที่ 13



ภาพที่ 62 โครงสร้างพื้นด้านใต้ที่ได้ทำสีใหม่

จากภาพที่ 62 นั้นแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงโครงสร้างพื้นด้านใต้โดยการทำความสะอาด ขัดผิวและทำสีกันสนิม ช่วยป้องกันการผุกร่อนในอนาคตสามารถเปรียบเทียบภาพก่อนหน้าการสร้างได้ที่ภาพที่ 11



ภาพที่ 63 ร้วเหล็กกันที่ทำการซ่อมแซมแล้ว

จากภาพที่ 63 นั้นแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงร้วเหล็กกันด้านข้างที่มีการผุกร่อนบางส่วน โดยการเชื่อมส่วนที่เสียหายและทำสีกันสนิม ช่วยป้องกันการผุกร่อนในอนาคต สามารถเปรียบเทียบภาพก่อนหน้าการสร้างได้ที่ภาพที่ 14



ภาพที่ 64 พื้นทางเดินที่ปรับเปลี่ยน

จากภาพที่ 64 แสดงให้เห็นพื้นทางเดินที่ทำการปรับเปลี่ยนจากเหล็กแผ่นทาสี เป็น สเตนเลสแผ่นที่มีลายกันลื่นขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร โดยยึดติดกับโครงสร้างด้วยการใช้หมุด ย้ำ สามารถเปรียบเทียบภาพก่อนหน้าการสร้างได้ที่ภาพที่ 11

### 3.2 ผลการสร้างชุดรองรับน้ำหนัก

จากหัวข้อการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นไปแล้ว สามารถชุดรองรับน้ำหนักออกเป็นชุดรองรับน้ำหนักแบบต่าง ๆ (ชุดที่ 1 ,ชุดที่ 2 ,ชุดที่ 3) ตามลักษณะการใช้งานนั้น ได้ทำการพัฒนาชุดรองรับน้ำหนักแล้ว มีผลดังต่อไปนี้

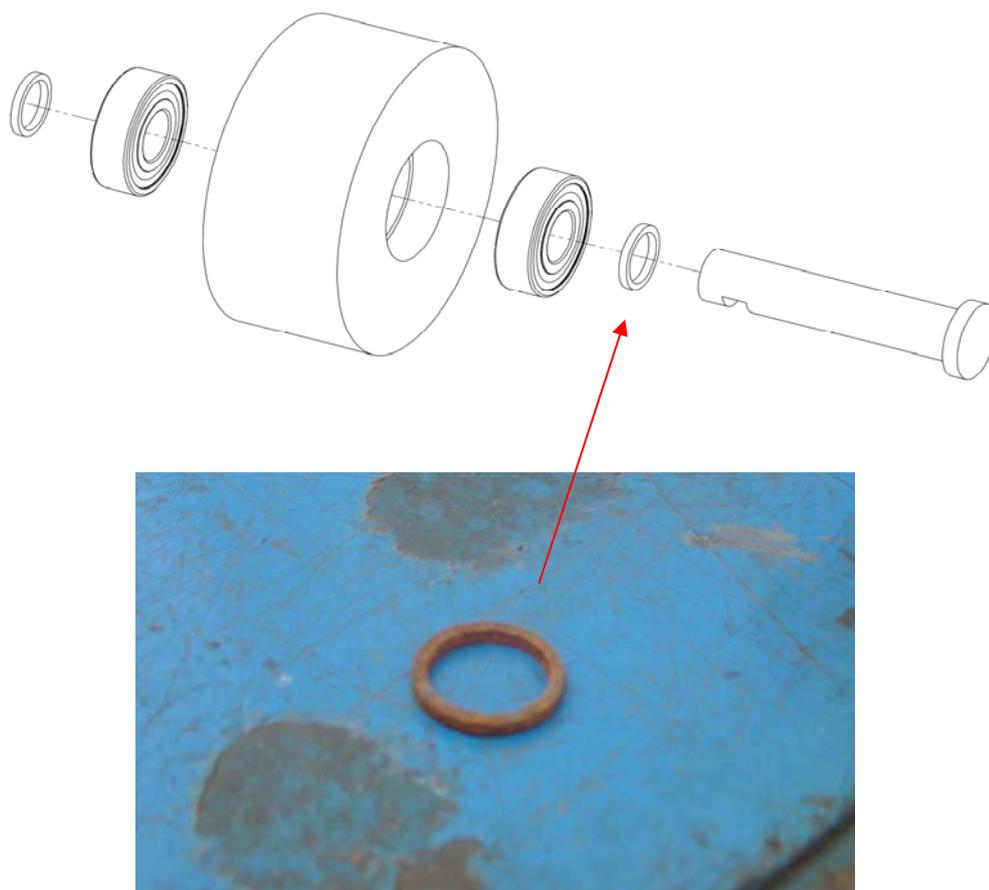
ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1 จากที่ได้ทำการพัฒนาชุดรองรับน้ำหนักที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.3.1 แล้วจึงได้ดำเนินการสร้างชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1 ตามแบบพิมพ์เขียวที่ได้เรียบเรียงไว้ในภาคผนวก โดยแบบพิมพ์เขียวของส่วนนี้มีเลขที่แบบเป็น NR00 สามารถแสดงการสร้างด้วยภาพที่ 65 ดังนี้



ภาพที่ 65 ชุดรองรับน้ำหนักที่สร้างขึ้นใหม่

จากภาพที่ 65 แสดงให้เห็นการสร้างชุดรองรับน้ำหนักแบบใหม่และทำการติดตั้งโดยสามารถเปรียบเทียบกับชุดรองรับน้ำหนักแบบเดิมได้ดังแสดงในภาพที่ 20

สำหรับชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ได้ทำการเปลี่ยนตลับลูกปืนใหม่ทั้งหมด และใส่แหวนรองด้านข้าง เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเสียดสีด้านข้าง ดังแสดงในภาพที่ 66



ภาพที่ 66 แหวนรองด้านข้างตลับลูกปืน

จากภาพที่ 66 แสดงให้เห็นการใส่แหวนรองด้านข้างตลับลูกปืน โดยจะใส่ทั้งสองข้างของโรลเลอร์ ชิ้นงานแหวนรองนี้ได้ขึ้นรูปตามข้อมูลของตลับลูกปืนที่ได้แสดงในภาคผนวก โดยการผลิตชิ้นงานได้ทำการตัดเหล็กแผ่นด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ ชิ้นงานที่ออกมาจึงมีขนาดเป็นไปตามที่แบบพิมพ์เขียวระบุ

### 3.3 ผลการสร้างชุดขับเคลื่อน

จากผลการพัฒนาชุดขับเคลื่อนได้ทำการสร้างชุดขับเคลื่อนโดยการสร้างชิ้นใหม่ให้มีลักษณะเป็นไปตาม แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดขับเคลื่อน เลขที่แบบ RF20 ที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก



ภาพที่ 67 การติดตั้งชุดขับเคลื่อนที่สร้างขึ้นใหม่

จากภาพที่ 67 เป็นการติดตั้งชุดอุปกรณ์ในการขับเคลื่อนพื้นหมุน โดยมีชุดสปริงที่สามารถเพิ่มแรงกดให้กับระบบการถ่ายทอดกำลังจากล้อขับไปสู่รางทำให้มีขับเคลื่อนอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถเปรียบเทียบภาพของเดิมก่อนหน้าการสร้างได้ที่ภาพที่ 25

#### 4. ผลทำการทดสอบและประเมินผลพร้อมแก้ไขข้อบกพร่อง

หลังจากดำเนินการสร้างพื้นหมุนใช้สำหรับชมวิวิวทิวทัศน์แล้ว ได้ทำการทดสอบการทำงานจริง โดยสังเกตการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบการทำงาน

รายงานการทดสอบ	ผลการทดสอบ	สิ่งที่ต้องแก้ไขและปรับปรุง
การปรับปรุงความเสียหายของ โครงสร้างส่วนต่างๆ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ รั้วกั้นด้านข้าง</li> <li>▪ โครงสร้าง</li> <li>▪ พื้นทางเดิน</li> <li>▪ รางขับเคลื่อน</li> </ul>	ไม่มีความเสียหายจากการผุ กร่อนและทาสีกันสนิมเพื่อ ป้องกันเรียบร้อยดี	-
การปรับปรุงความเสียหายของชุด รองรับน้ำหนัก <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 1</li> <li>▪ ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 2</li> <li>▪ ชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3</li> </ul>	ไม่มีความเสียหายของตลับ ลูกปืน และ โรลเลอร์ สามารถรับน้ำหนักได้เป็น อย่างดีแต่เนื่องจากยังไม่ได้ ปรับตั้งความสูงของโรล เลอร์จึงต้องปรับตั้งอีกครั้ง หนึ่ง	ปรับตั้งความสูงของโรลเลอร์ ให้ใกล้เคียงกัน
การพัฒนาชุดขับเคลื่อน	สามารถขับเคลื่อนพื้นได้ เป็นอย่างดีถึงแม้มีปริมาณ ผู้โดยสารมากก็สามารถ ขับเคลื่อนได้โดยไม่มี ปัญหาใดๆ	-
การทำงานของพื้นหมุนสำหรับชม วิวิวทิวทัศน์โดยรวม	สามารถทำงานออกมาได้ เป็นอย่างดี	-

ผลการทดสอบพื้นหมุนใช้สำหรับขมทิวทัศน์ ดังแสดงในตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่า พื้นหมุนสำหรับขมทิวทัศน์สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยโครงสร้างในส่วนต่างๆ ไม่เกิดความเสียหาย ชุดรองรับน้ำหนักชุดต่างๆ ทำงานได้เป็นอย่างดีโดยไม่มีความเสียหาย ชุดขับเคลื่อนทั้งหมดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้ทำการปรับตั้งความสูงของชุดรองรับน้ำหนักใหม่ และทำการทดสอบอีกครั้งได้ผลออกมาที่น่าพอใจ

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ในยุคปัจจุบันการก่อสร้างอาคารสูงในพื้นที่มหานครนั้นเป็นสิ่งปกติที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุผลที่ต้องการใช้พื้นที่ให้คุ้มค่าที่สุดกับการก่อสร้าง ซึ่งประโยชน์ที่ได้ตามมาของอาคารสูงเหล่านี้ นั่นคือเป็นสถานที่ที่สามารถเปิดให้นักท่องเที่ยวได้ชื่นชมบรรยากาศของมหานครอันเป็นที่ตั้งได้ และด้วยขนาดของพื้นที่ที่มีมาก จึงได้เกิดแนวคิดให้สร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการเที่ยวชมทิวทัศน์ให้ได้บรรยากาศยิ่งขึ้น พื้นหมูนสำหรับชมทิวทัศน์จึงเป็นจุดดึงดูดนักท่องเที่ยวได้มากยิ่งขึ้น

การพัฒนาพื้นหมูนสำหรับชมทิวทัศน์ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้กล่าวถึง การพัฒนาพื้นหมูน โดยการ ออกแบบชิ้นส่วนย่อยของพื้นหมูนใช้สำหรับชมทิวทัศน์ของอาคารที่ได้ชื่อว่าสูงที่สุดในประเทศไทย นั่นคือ อาคารไบฮกสกาย พื้นหมูนของอาคารไบฮกสนั้นได้ทำการจัดสร้างขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2544 การก่อสร้างในครั้งแรกยังมีข้อบกพร่องอยู่ในหลายส่วน ปัจจุบันจึงทำให้เกิดความเสียหายและความผิดปกติของการทำงานในส่วนต่าง ๆ ทางฝ่ายบริหารอาคารจึงมีความคิดที่จะแก้ไขข้อบกพร่องในส่วนต่าง ๆ นั้นให้หมดไป แนวคิดเริ่มต้นในครั้งแรกมีผู้เสนอให้ทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ทั้งหมดโดยใช้อุปกรณ์รับน้ำหนักเป็น รางสไลด์ที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง และขับเคลื่อนด้วยเฟืองสะพานเหล็กหล่อ โค้ง โดยชิ้นส่วนทั้งหมดต้องสั่งผลิตภายนอกประเทศ ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงถึง 20 ล้านบาท ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายสูงมากเกินความจำเป็น ผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจเบื้องต้น และพบว่า การแก้ไขข้อบกพร่องและพัฒนาจากอุปกรณ์เดิมนั้นจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก

ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการพัฒนาพื้นหมูนสำหรับชมทิวทัศน์ของอาคารสูงขึ้น โดยพัฒนาชิ้นส่วนย่อย คือ พัฒนาชุดรองรับน้ำหนักให้มีความแข็งแรงรวมถึงสามารถใช้งานรับน้ำหนักได้มากขึ้น พัฒนาชุดขับเคลื่อนให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยทำการเพิ่มแรงเสียดทานให้ล้อขับเคลื่อน โดยใช้สปริงเพิ่มแรงกดส่งผลให้ การสึกหรอของล้อขับเคลื่อนมีค่าน้อยลง อีกทั้งยังทำให้การเดิน ไกลของล้อขับเคลื่อนไปอีกด้วย นอกจากนี้ยังได้ทำการปรับปรุงซ่อมแซมในส่วนอื่น ๆ ให้สามารถใช้งานได้เป็นปกติ

หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบการใช้งานจริง ซึ่งสามารถจับเวลาการเคลื่อนที่ออกมาได้ 8 นาที 30 วินาที ในการหมุน 1 รอบ โดยรวมแล้วผลของการออกแบบและสร้างพื้นหมุนนั้นได้ทำการทดสอบในส่วนต่าง ๆ แล้วสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่น่าพอใจ

### ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการออกแบบชุดรองรับน้ำหนักนั้น จะเห็นได้ว่ามีการใช้เบริงเพื่อลดแรงเสียดทานของเพลลาและลูกล้อ ในการออกแบบต้องเลือกเบริงให้เหมาะสมกับการใช้งานด้วย และ การใช้งานของชุดรับน้ำหนักเป็นการใช้งานที่อยู่กลางแจ้ง การหล่อลื่นจึงมีผลกับอายุการใช้งานของเบริงด้วยในอนาคตควรออกแบบเพิ่มเติมเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ในการหล่อลื่น จะช่วยยืดอายุในการใช้งานให้ยาวนานขึ้นได้
2. ในการออกแบบเครื่องจักรกลผู้ออกแบบควรกระทำการวางแผนงานให้ครอบคลุมเป็นอันดับแรก เนื่องจากการวางแผนงานที่ดีนั้น จะทำให้ผู้ออกแบบสามารถควบคุมการทำงานไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดได้ในระหว่างปฏิบัติงานได้
3. แนวทางและขั้นตอนในการออกแบบตามวิธีการในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถนำไปประยุกต์ในการออกแบบเครื่องจักรกลอื่น ๆ ได้ในอนาคต

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- บริษัท เอส เค เอฟ (ประเทศไทย) จำกัด. 2542. คู่มือตลับลูกปืน. หจก.นิวไวเต็กการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- วิธีที่ อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2545. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- วิธีที่ อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2541. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. การออกแบบเครื่องกลและชิ้นส่วนเครื่องจักร 1. 2547. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ
- เดช พุทธเจริญทอง. 2541. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, กรุงเทพฯ
- สมยศ เชิญอักษร และ ศิโยคัตตี ชิงะ. 2532. การออกแบบเครื่องจักรกล. โรงพิมพ์คุรุสภา, กรุงเทพฯ.
- บรรเลง สรนิล และ ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. 2524. ตารางงานโลหะ. ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- ที กรุ๊ป ออฟ เอ็นจิเนียร์. ม.ป.ป.. ตารางเหล็กสำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกร. ที กรุ๊ป ออฟ เอ็นจิเนียร์, กรุงเทพฯ.
- Shigley, Mischke and H. Brown. 2004. **Standard Handbook of Machine Design**. 3rd ed .McGraw-Hill, United State
- Shigley, J.E. and J.J. Uicker. 1995. **Theory of Mechanisms**. 2nd ed . McGraw-Hill, Inc ., Singapore.

NCEES. 2001 . **Fundamentals of Engineering** . 5th ed .NCEES , United State

Avraham Harnoy. 2003. **Bearing Design in Machinery**. CRC Press, United State

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก  
ตารางผนวก

**ตารางผนวกที่ ก1 ตารางแนวทางในการเลือกอายุการใช้งานแบร็ง**

ชนิดของเครื่องกล	อายุเป็นชั่วโมงทำงาน
เครื่องมือวัดและเครื่องมือที่ใช้ไม่บ่อยนัก ตัวอย่างเช่น เครื่องมือสำหรับห้องทดลอง อุปกรณ์สำหรับประตูเลื่อน	500
เครื่องยนต์เครื่องบิน	500-2000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานช่วงเวลาสั้น ๆ หรือทำงานเป็นพัก ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องมือต่าง ๆ รอกยกของในโรงงาน เครื่องจักรที่ทำงานโดยใช้มือจับ	4000-8000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานเป็นพัก ๆ แต่มีความสำคัญต่องานที่ทำมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรสำรองของโรงงาน ต้นกำลัง อุปกรณ์ลำเลียงในสายงานผลิต ลิฟท์ ปั่นจันยกสินค้าทั่วไป เครื่องมือกลที่ใช้ไม่บ่อยนัก	8000-12000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ชุดเฟืองทดสำหรับงานทั่วไป	12000-20000
เครื่องจักรใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ปั่นจันที่ใช้ยกของตลอดเวลา เครื่องเป่าลม เพลาส่งกำลัง	20000-30000
เครื่องจักรที่ใช้งานต่อเนื่อง (ทำงาน 24 ชั่วโมง) ตัวอย่างเช่น เครื่องแยกของ เครื่องอัดอากาศ ปัม เพลาส่งกำลัง ลูกกลิ้งของสายพานลำเลียง รอกในเหมืองแร่ มอเตอร์ไฟฟ้า	40000-60000
เครื่องจักรที่ใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง แต่ละการทำงานมีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงไฟฟ้า ปัมในเหมืองแร่ สถานีสูบน้ำปะปา เครื่องจักรในเรือเดินสมุทร	100000-200000

ที่มา : วริทธิ และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ก2 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง

Contact	iF1a / Co	Double-Row Bearing				E	
		Single-Row $\frac{F_a}{VF_r} > e$	$\frac{F_a}{VF_r} < e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		
			X	Y	X		Y
Deep groove ball bearing							
	0.014	2.30			2.30	0.19	
	0.028	1.99			1.99	0.22	
	0.056	1.71			1.71	0.26	
	0.084	1.55			1.55	0.28	
	0.11	1.45			1.45	0.30	
	0.17	0.56 1.31	1	0	0.56 1.31	0.34	
	0.28	1.15			1.15	0.38	
	0.42	1.04			1.04	0.42	
	0.56	1.00			1.00	0.44	
	0.014	2.30			2.30	0.19	
	0.028	1.99			1.99	0.22	
Angular-Contact groove ball bearing							
	0.014	Use X			2.78	3.74	0.23
	0.028	,Y and e			2.40	3.23	0.26
	0.056	values			2.07	2.78	0.30
	0.085	appli-			1.87	2.52	0.34
5	0.11	0.56 cable	1.0		0.78 1.75	2.36	0.36
	0.17	to sin-			1.58	2.13	0.40
	0.28	gle-row			1.39	1.87	0.45
	0.42	deep			1.26	1.69	0.50
	0.56	groove			1.21	1.63	0.52

ตารางผนวกที่ ก2 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง (ต่อ)

Contact	iF1a / Co	Double-Row Bearing						E
		Single-Row $\frac{F_a}{VF_r} > e$	$\frac{F_a}{VF_r} < e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$			
			X	Y	X	Y		
Angular-Contact groove ball bearing								
10	0.014	1.88		2.18		3.06	0.29	
	0.029	1.71		1.98		2.78	0.32	
	0.057	1.52		1.76		2.47	0.36	
	0.086	1.41		1.63		2.29	0.38	
	0.11	0.46	1.34	1.00	1.55	0.75	2.18	0.4
	0.17		1.23		1.42		2.00	0.44
	0.29		1.10		1.27		1.79	0.49
	0.43		1.01		1.17		1.64	0.54
	0.57		1.00		1.16		1.63	0.54
	15	0.015	1.47		1.65		2.39	0.38
0.029		1.4		1.57		2.28	0.40	
0.058		1.3		1.46		2.11	0.43	
0.087		1.23		1.38		2.00	0.46	
0.12		0.44	1.19	1.00	1.34	0.72	1.93	0.47
0.17			1.12		1.26		1.82	0.50
0.29			1.02		1.14		1.66	0.55
20	0.44	1.00		1.12		1.63	0.56	
	0.58	1.00		1.12		1.63	0.56	
	0.43	1.00	1.00	1.09	0.70	1.63	0.57	
25	0.41	0.87	1.00	0.92	0.67	1.41	0.68	

ตารางผนวกที่ ก2 ตัวประกอบ X และ Y สำหรับบอลและโรลเลอร์เบริง (ต่อ)

Contact	iF1a / Co	Double-Row Bearing <sup>3</sup>						E
		Single-Row		$\frac{F_a}{VF_r} < e$		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		
		$\frac{F_a}{VF_r} > e$		X	Y	X	Y	
Angular-Contact groove ball bearing								
30		0.39	0.76	1.00	0.78	0.63	1.24	0.80
35		0.37	0.66	1.00	0.66	0.60	1.07	0.95
40		0.35	0.57	1.00	0.55	0.57	0.93	1.14
Self-aligning ball bearings								
		0.40	0.40		0.42	0.65	0.65	1.50
			cot	1.00	cot		cot	Tan
Roller-bearings , self-aligning, tapered								
90		0.40	0.4	1.00	0.45	0.67	0.67	1.50
			cot		cot		cot	Tan

ที่มา : วิธีทึ่ และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ก3 โഴ้โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976(E) ขนาดเป็นมิลลิเมตร (ใช้ร่วมกัน  
ภาพผนวกที่ ข4 )

โぞ้	พิตช์	$d_1$	$b_2$	$d_2$	$b_3$	แรงแตกหัก kN		
						หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น
ISO	p	max	min	max	min			
05B	8.00	5.00	3.00	2.31	4.90	4.51	7.85	11.18
06B	9.525	6.35	5.72	3.28	8.66	8.93	16.97	24.92
08A	12.70	7.95	7.95	3.96	11.31	13.83	27.66	41.50
08B	12.70	8.51	7.75	4.45	11.43	17.85	31.2	44.54
10A	15.875	10.16	9.53	5.08	13.97	21.78	43.56	65.33
10B	15.875	10.16	9.65	5.08	13.41	22.27	44.54	66.81
12A	19.05	11.91	12.7	5.94	17.88	31.2	62.39	93.59
12B	19.05	12.07	11.68	5.72	15.75	28.94	57.88	86.82
16A	25.40	15.88	15.88	7.92	22.74	55.62	111.25	166.87
16B	25.4	15.88	17.02	8.28	25.58	42.28	84.56	126.84
20A	31.75	19.05	19.05	9.53	27.59	86.82	173.64	260.46
20B	31.75	19.05	19.56	10.19	29.14	64.55	129.1	193.65
24A	38.1	22.23	25.4	11.1	35.59	124.59	249.17	373.76
24B	38.1	25.4	25.4	14.63	38.05	97.9	195.81	293.71

ที่มา : วริทธิ และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ก3 โഴ้โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976(E) ขนาดเป็นมิลลิเมตรและใช้  
ร่วมกันภาพผนวกที่ ข4 (ต่อ)

โぞ้	พิตช์	$d_1$	$b_2$	$d_2$	$b_3$	แรงแตกหัก kN		
						หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น
ISO	p	max	min	max	min			
28A	44.45	25.4	25.4	12.7	37.32	169.12	338.25	507.37
28B	44.45	27.94	30.99	15.9	46.71	129.1	258.2	387.3
32A	50.8	28.58	31.75	14.27	45.34	222.49	444.98	667.47
32B	50.8	29.21	30.99	17.81	45.7	169.12	338.25	507.37
40A	63.5	39.68	38.1	19.84	55.02	347.08	694.16	1041.23
40B	63.5	39.37	38.1	22.89	55.88	262.61	525.23	787.84
48A	76.2	47.63	47.63	23.8	67.95	500.6	1001.21	1501.81
48B	76.2	48.26	45.72	29.24	70.69	400.54	800.99	1201.43
56B	88.9	53.98	53.34	34.32	81.46	542.89	1085.77	-
64B	101.6	63.5	60.96	39.4	92.15	712.01	1423.92	-
72B	114.3	72.39	68.58	44.48	103.94	898.89	1797.78	-

ที่มา : วิธีพิธิ์ และ ซาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ก4 มวลของโซ่โรลเลอร์ต่อความยาว

โซ่ ISO	มวลโซ่,kg/m			โซ่ ISO	มวลโซ่,kg/m			
	หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น		หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น	สี่ชั้น
06B	0.39	0.74	1.10	06A	0.33	0.65	0.98	
08B	0.68	1.34	1.99	08A	0.61	1.22	1.83	2.44
10B	0.85	1.70	2.55	10A	0.98	1.96	2.95	3.93
12B	1.16	2.31	3.45	12A	1.59	3.05	4.54	6.10
16B	2.71	5.42	8.13	16A	2.50	5.00	7.50	10.00
20B	3.70	7.40	11.10	20A	3.68	7.35	11.03	14.70
24B	6.70	13.75	20.75	24A	5.54	11.07	16.61	22.14
28B	8.25	16.80	25.40	28A	7.52	15.00	22.60	30.10
32B	9.22	18.45	27.67	32A	9.67	19.34	29.02	38.69
40B	15.48	31.55	47.62	40A	15.48	30.95	46.43	61.90
48B	24.71	50.00	75.45	48A				
56B	33.20	67.60		56A				
64B	44.64	89.29		64A				
72B	59.50			72A				

ที่มา : วรวิทย์ และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ก5 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำสม่ำเสมอ

โซ่โรลเลอร์แบบ B				โซ่โรลเลอร์แบบ A			
จำนวน ฟันบนพี เนียน	อุปกรณ์ขับ			จำนวน ฟันบนพี เนียน	อุปกรณ์ขับ		
	สม่ำเสมอ	กระทุก ปานกลาง	กระทุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
ใช้กับภาพผนวกที่ ข5				ใช้กับภาพผนวกที่ ข6			
11	1.72	2.16	2.59	11	1.41	1.41	1.69
12	1.59	1.98	2.38	12	1.28	1.28	1.54
13	1.47	1.84	2.21	13	1.19	1.19	1.43
14	1.35	1.69	2.03	14	1.10	1.10	1.32
15	1.27	1.58	1.90	15	1.00	1.00	1.20
16	1.19	1.49	1.79	16	0.93	0.93	1.11
17	1.12	1.40	1.69	17	0.86	0.86	1.03
18	1.05	1.32	1.58	18	0.81	0.81	0.98
19	1.00	1.25	1.50	ใช้กับภาพผนวกที่ ข7			
20	0.95	1.19	1.43	19	1.00	1.00	1.20
21	0.91	1.14	1.36	20	0.93	0.93	1.12
22	0.86	1.08	1.29	21	0.88	0.88	1.06
23	0.83	1.03	1.24	22	0.84	0.84	1.01
24	0.79	0.99	1.19	23	0.80	0.80	0.96
25	0.76	0.95	1.14	24	0.75	0.78	0.93
				25	0.75	0.75	0.90

สม่ำเสมอ : มอเตอร์ไฟฟ้า

กระทุกมาก : เครื่องยนต์หนึ่งสูบ

ประเภท I : เครื่องยนต์ต่อผ่านไฮดรอลิกคัปปลิง

ประเภท III : เครื่องยนต์ต่อผ่านอุปกรณ์ทางกล

กระทุกปานกลาง: เครื่องยนต์หลายสูบ

ประเภท II : มอเตอร์ไฟฟ้าหรือกังหัน

ที่มา : วิธีวิธี และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ 6 ค่าตัวประกอบความถี่

ชนิดของแรง	$C_m$	$C_t$
เพลาอยู่นิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาหมุน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5

ที่มา : วรวิทย์ และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ 7 ขนาดของขดลวดที่ใช้ทำสปริง

1.00	1.25	1.50	1.80	2.00	2.25	2.50
2.80	3.20	3.60	4.00	4.50	5.00	5.50
6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.50
14.00	16.00	18.00	20.00	22.50	25.00	

ที่มา : วรวิทย์ และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ก8 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง

ชนิดของวัสดุ	ขนาดลวด (mm)	x	y	A	B
Hard drawn wire (ASTM A227)	0.50 - 16.00 0.50 - 16.01	0.190	0.340	1780	560
Music wire (ASTM A229)	0.10 - 6.35	0.154	0.154	2150	565
Oil tempered wire (ASTM A229)	0.50 - 16.00	0.190	0.340	1855	560
Valve spring steel (ASTM 230)	1.50 - 6.25	0.100	0.150	1730	515
Cr-V steel (ASTM 231)	0.50 - 12.50	0.166	0.150	1976	515
Cr-Si steel (ASTM A401)	0.80 - 12.00	0.107	0.150	1965	515
Stainless steel (ASTM A313)	0.20 - 12.50	0.140	1.170	1840	360

ที่มา : วรรณิธี และ ชาญ (2541)

**ตารางผนวกที่ ก9** ค่าความเค้นเฉือนออกแบบสำหรับวัสดุสปริง

วัสดุลวดสปริง	ความเค้นเฉือนออกแบบ $\tau_d$		
	งานเบา	งานปานกลาง	งานหนัก
Hard drawn wire (ASTM A227)	0.344	0.275	0.244
Stainless steel (ASTM A313)	0.320	0.260	0.210
วัสดุอื่น ๆ ในตารางผนวกที่ ก8	0.405	0.324	0.263

ที่มา : วรวิทย์ และ ชาญ (2541)

**ตารางผนวกที่ ก10** ค่าประมาณของความยาวอิสระและความยาวแข็งตัว

ลักษณะของปลายสปริงขด	ความยาวอิสระ ( $L_f$ )	$n_t$	ความยาวแข็งตัว ( $L_s$ )
ปลายธรรมดา	$Pn + d$	$n$	$d(n + 1)$
ปลายธรรมดาและเจียรไน	$Pn + d$	$n + 1$	$d(n + 1)$
ปลายตรง	$Pn + 2.5d$	$n + 1.5$	$d(n + 2.5)$
ปลายตรงและเจียรไน	$Pn + 2d$	$n + 2$	$d(n + 2)$

ที่มา : วรวิทย์ และ ชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ก11 เงื่อนไขการจับยึดแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ชนิดการจับยึด	คำอธิบายเงื่อนไขข้อกำหนด
Fixed (การจับยึดแน่น)	จับยึดแน่นหรือรองรับแบบแข็งเกร็ง ซึ่งจะมีตัวแปรที่ถูกบังคับครบทั้ง 6 ตัวแปรและเงื่อนไขจะไม่เปิดให้ผู้ออกแบบป้อนระยะเคลื่อนตัวหรือทิศทางเคลื่อนตัว
Immovable (No translations) (ระยะไม่เคลื่อน)	ตัวแปรจะถูกบังคับ 3 ตัวแปร เฉพาะตัวแปรระยะเคลื่อนตัว ถ้าเลือกใช้เอลิเมนต์ทรงตัน การเลือกชนิดการจับยึดแบบ Fixed และ Immovable จะได้ผลเฉดเหมือนกัน (จะมีเฉพาะตัวแปรเคลื่อนตัวที่ถูกบังคับ)
Symmetry (สมมาตร)	ความสมมาตรสามารถกำหนดได้ที่พื้นผิวเรียบที่เป็นระนาบแบ่งครึ่งชิ้นงาน (ระนาบสมมาตร) ตัวแปรจะถูกบังคับระยะเคลื่อนตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบที่สมมาตร
Roller/Sliding (ผิวกลิ้ง/ผิวไถล)	ตัวเลือกลูกกลิ้ง/ผิวไถลจะกำหนดบนระนาบหรือพื้นผิวโดยตัวแปรบังคับไม่ให้มีระยะเคลื่อนตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นผิว
Hinge (บานพับ)	เป็นตัวเลือกที่ใช้กับพื้นผิวทรงกระบอก เน้นการเคลื่อนที่รอบแกน โดยหลังจากรับภาระ แกนอ้างอิงจะไม่เคลื่อนตัว (ถูกบังคับ)
Use reference geometry (อ้างอิงรูปทรง)	เป็นตัวเลือกที่ใช้พื้นผิว ขอบ หรือมุมแหลม เพื่ออ้างอิงในการกำหนดตัวแปรบังคับ โดยโปรแกรมจะเปิดโอกาสให้ผู้ออกแบบปรับตั้งค่าการบังคับทิศทางและการอ้างอิงระนาบตามความต้องการของผู้ออกแบบ
On flat face (พื้นผิวเรียบ)	ตัวเลือกนี้เปิดโอกาสให้กำหนดทิศทางเคลื่อนตัวทั้งสามทิศทางหลัก เพื่อกำหนดบังคับระยะเคลื่อนตัวบนพื้นผิวเรียบ
On cylindrical face (พื้นผิวทรงกระบอก)	กำหนดตัวบังคับสามทิศทางหลัก โดยการอ้างอิงระบบพิกัดทรงกระบอก (รัศมี , มุมกวาด , ระยะแนวแกน) ตัวเลือกนี้จะเปิดโอกาสให้ปรับตั้งค่าตัวแปรมากกว่าตัวเลือกบานพับ (Hinge)
On spherical face (พื้นผิวทรงกลม)	กำหนดตัวบังคับการเคลื่อนที่ตัวอ้างอิงระบบพิกัดทรงกลม (รัศมี , มุมกวาดระนาบนอน , มุมกวาดระนาบแนวตั้ง)

ที่มา : สุภชัย และ สถาพร (2549)

ตารางผนวกที่ ก12 ชนิดของแรงกระทำที่กำหนดในโปรแกรมคอสมอส

ชนิดของแรงกระทำ	คำอธิบาย
แรงกระทำ/โมเมนต์	<p>ตัวเลือกในการนำไปใช้งานจะมีทั้งแรงกระทำและโมเมนต์ที่กระทำลงบนพื้นผิว (face) กระทำที่ขอบ (edge) หรือกระทำที่มุมแหลม ซึ่งสามารถกำหนดทิศทางด้วยการอ้างอิงที่ระนาบ, ขอบ, พื้นผิวและทิศทางแกน สำหรับโมเมนต์ที่กระทำจะใช้เฉพาะ shell elements (เอลิเมนต์แผ่นบาง) ซึ่งจะมี 6 ระดับชั้นความเสรีต่อโหนด ประกอบด้วย 3 รูปแบบแกนหมุน ส่วน solid elements (เอลิเมนต์ทรงตัน) จะมี 3 ระดับชั้นความเสรีเฉพาะตัวแปรการเสียดรูปเท่านั้น แต่ถ้าผู้ออกแบบต้องการประยุกต์ให้มีโมเมนต์ลงบนเอลิเมนต์ทรงตันจะใช้วิธีการกระจายแรงไปยังตำแหน่งอื่น แล้วส่งผลให้ตำแหน่งของแรงกระทำได้รับทั้งแรงและโมเมนต์ที่ต้องการ</p>
แรงกระทำตั้งฉาก (Normal force)	<p>เป็นการกำหนดแรงกระทำให้มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ที่ถูกเลือก</p>
แรงบิด (Torque)	<p>กรณีทรงกระบอกจะเหมาะสมกับการประยุกต์แรงบิดมาก โดยจะกำหนดทิศทางของแรงบิดเป็นไปตามกฏมือขวา</p>

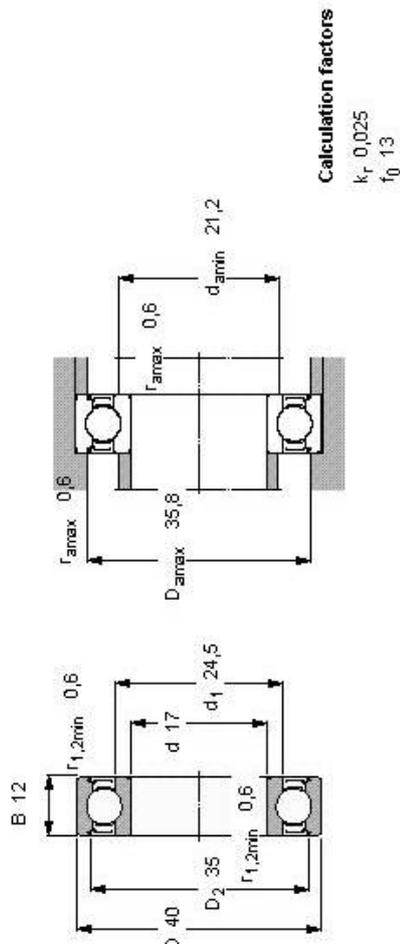
ที่มา : ศุภชัย และ สถาพร (2549)

ภาคผนวก ข

ภาพผนวก

### Deep groove ball bearings, single row

Principal dimensions		Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings	Mass	Designation
d	D	C	C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	Reference speed	Limiting speed	
mm		kN	kN	kN	r/min		
17	40	9,95	4,75	0,2	38000	19000	6203-2Z *
							kg
							0,065

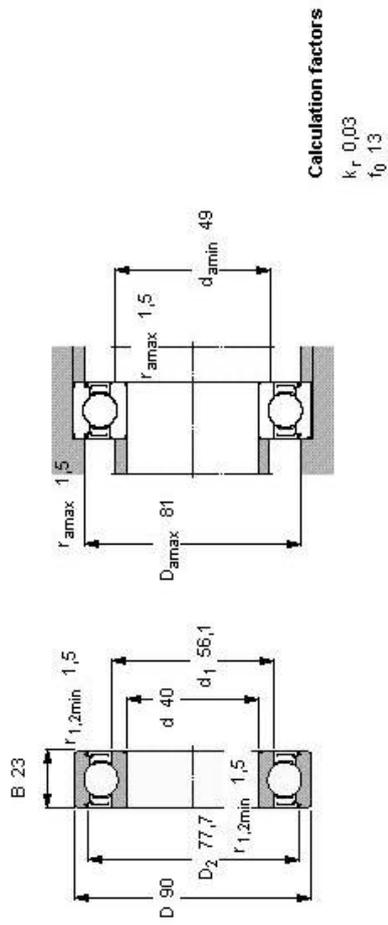


ภาพผนวกที่ ข1 ข้อมูลทางเทคนิคเบร้ง6203 2Z

ที่มา : บริษัท เอสเคเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (2549)

## Deep groove ball bearings, single row

Principal dimensions		Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings	Mass	Designation
d	D	B	C	$P_0$	Reference speed	Limiting speed	
mm			kN	kN	r/min		
40	90	23	42,3	1,02	17000	8500	* - SKF Explorer bearing
			static $C_0$				
			24				6308-2Z *

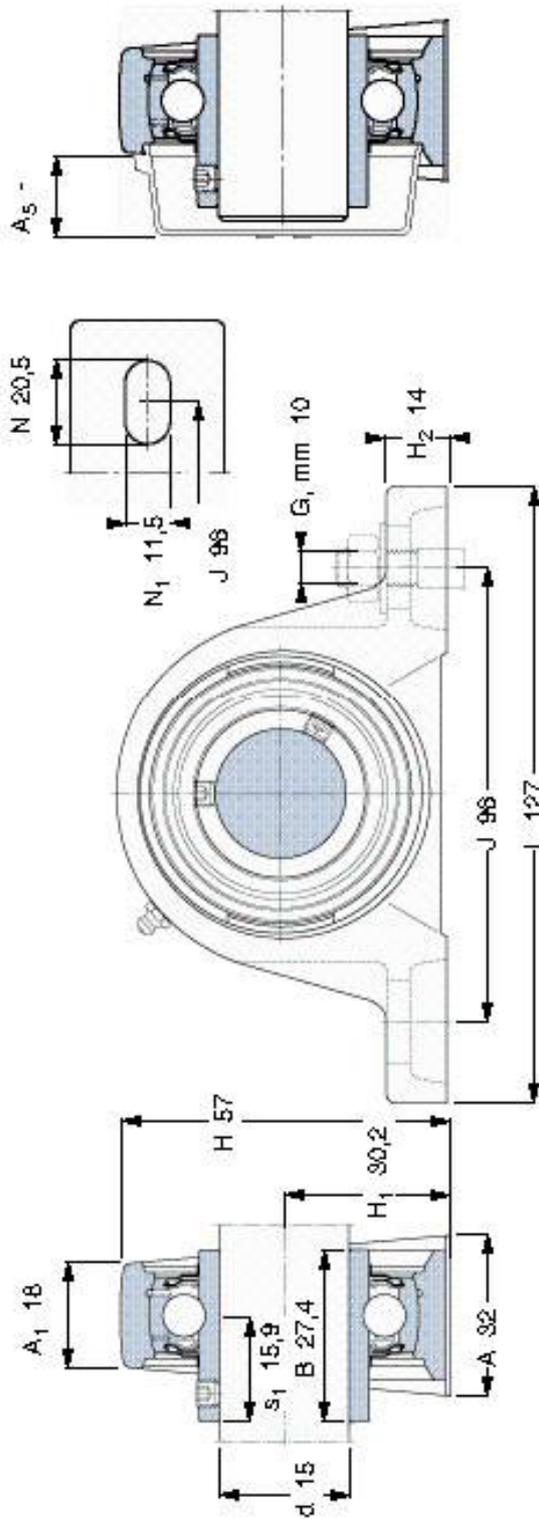


ภาพผนวกที่ ข2 ข้อมูลทางเทคนิคเบริ่ง 6308 2Z

ที่มา : บริษัท เอสเคเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (2549)

### Y-bearing plummer block units, cast housing, grub screw locking

Dimensions		Basic load ratings		Limiting speed with shaft tolerance h6	Mass	Designations								
d	A	H	H1	L	C	C0	dynamic	static	with shaft tolerance h6	rpm	kg	Bearing unit	Housing	Bearing
15	32	57	30,2	127	9,56	4,75	9500	0,51	SY 15 TF	SY 503 M	YAR 203/15-2F			



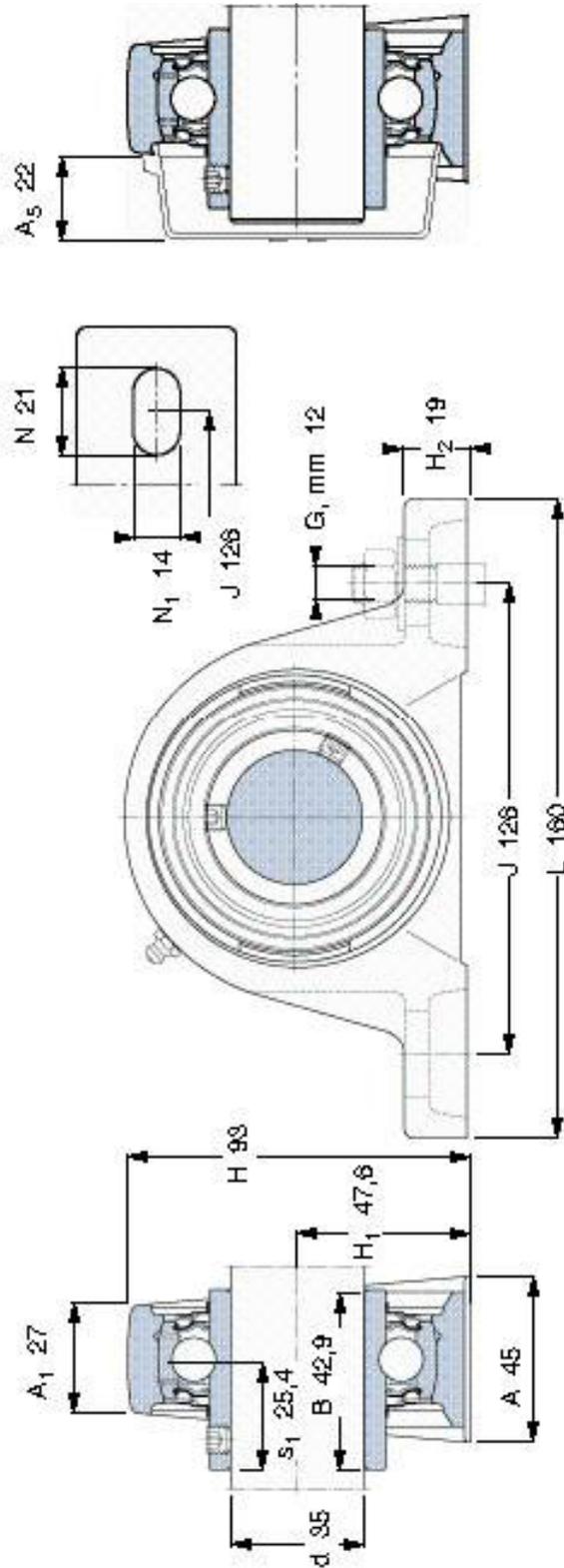
End cover  
 Recommended tightening torque, Nm  
 Hexagonal key size, mm

ภาพผนวกที่ ข3 ข้อมูลทางเทคนิคแบบร่างSY15TR

ที่มา : บริษัท เอสเคเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (2549)

### Y-bearing plummer block units, cast housing, grub screw locking

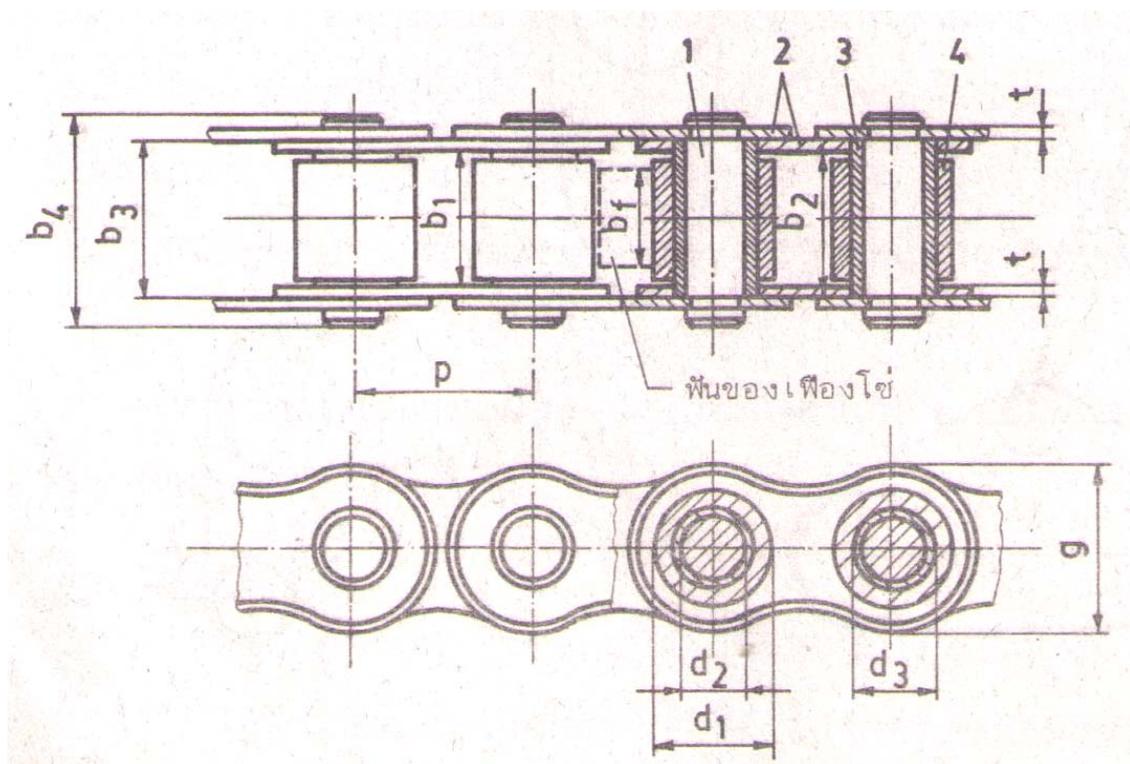
Dimensions		Basic load ratings		Limiting speed with shaft tolerance h6	Mass	Designations								
d	A	H	H1	L	C	C0	dynamic	static	speed	with shaft tolerance h6	kg	Bearing unit	Housing	Bearing
mm					kN				r/min					
35	45	93	47,6	160	25,5	15,3	3800	1,45	SY 35 TR	SY 507 M	YAR 207-2RF			



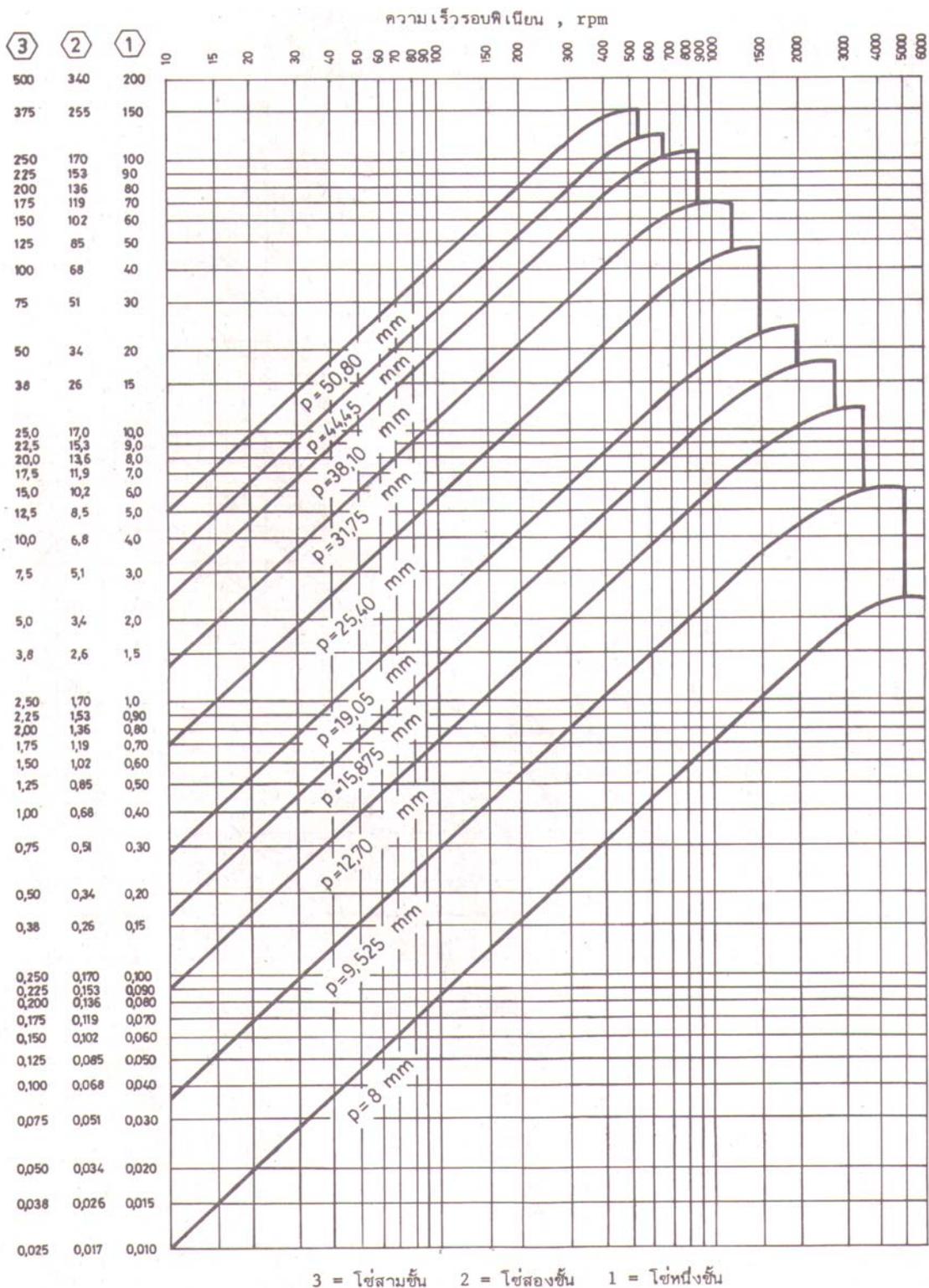
End cover  
 Recommended tightening torque, Nm  
 Hexagonal key size, mm

ภาพผนวกที่ ๓4 ข้อมูลทางเทคนิคแบบเรียงSY35TR

ที่มา : บริษัท เอสเคเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (2549)

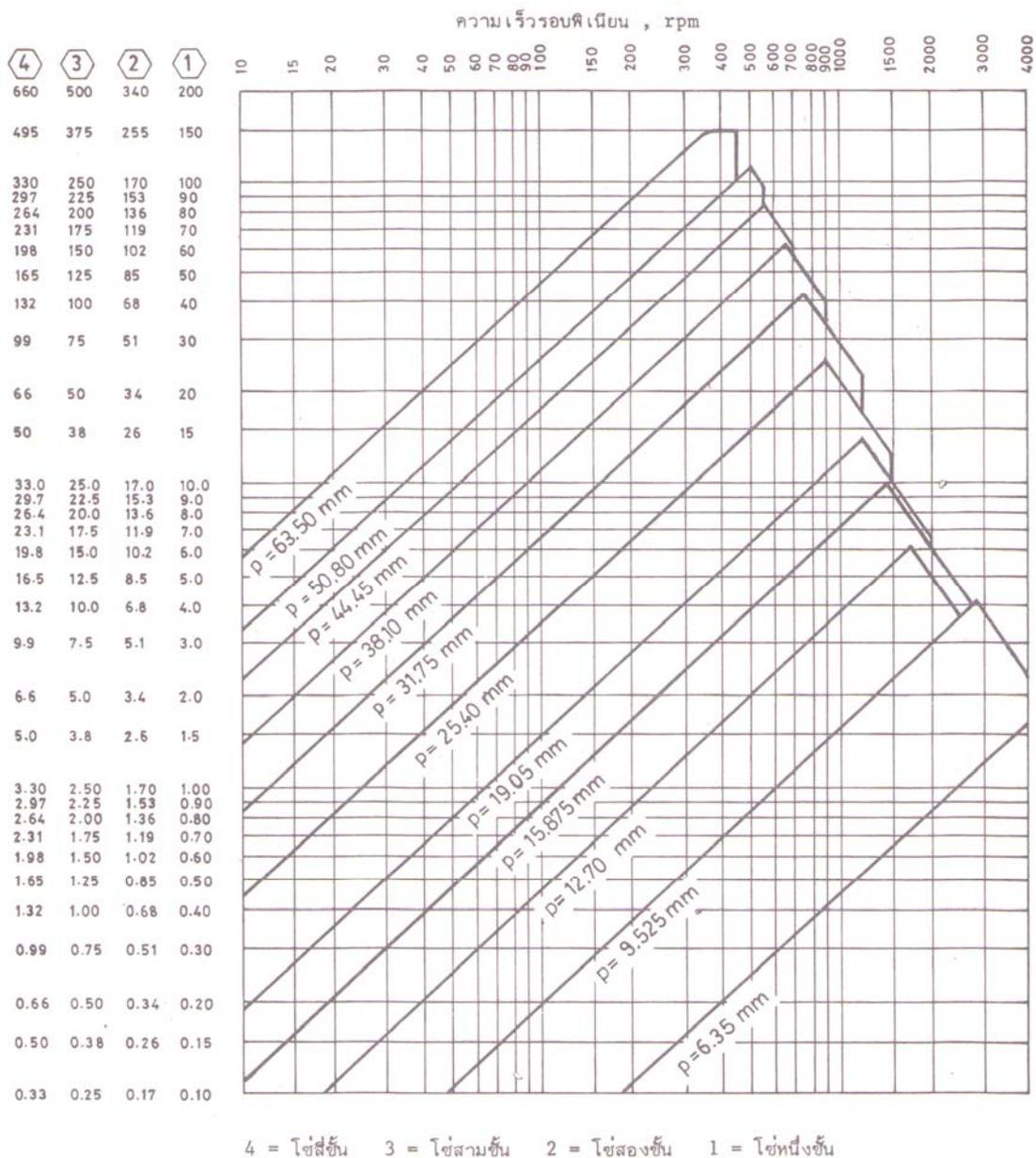


ภาพผนวกที่ ๖5 รายละเอียดขนาดโซ่โรลเลอร์  
ที่มา : วรวิทย์ และ ชาญ (2541)

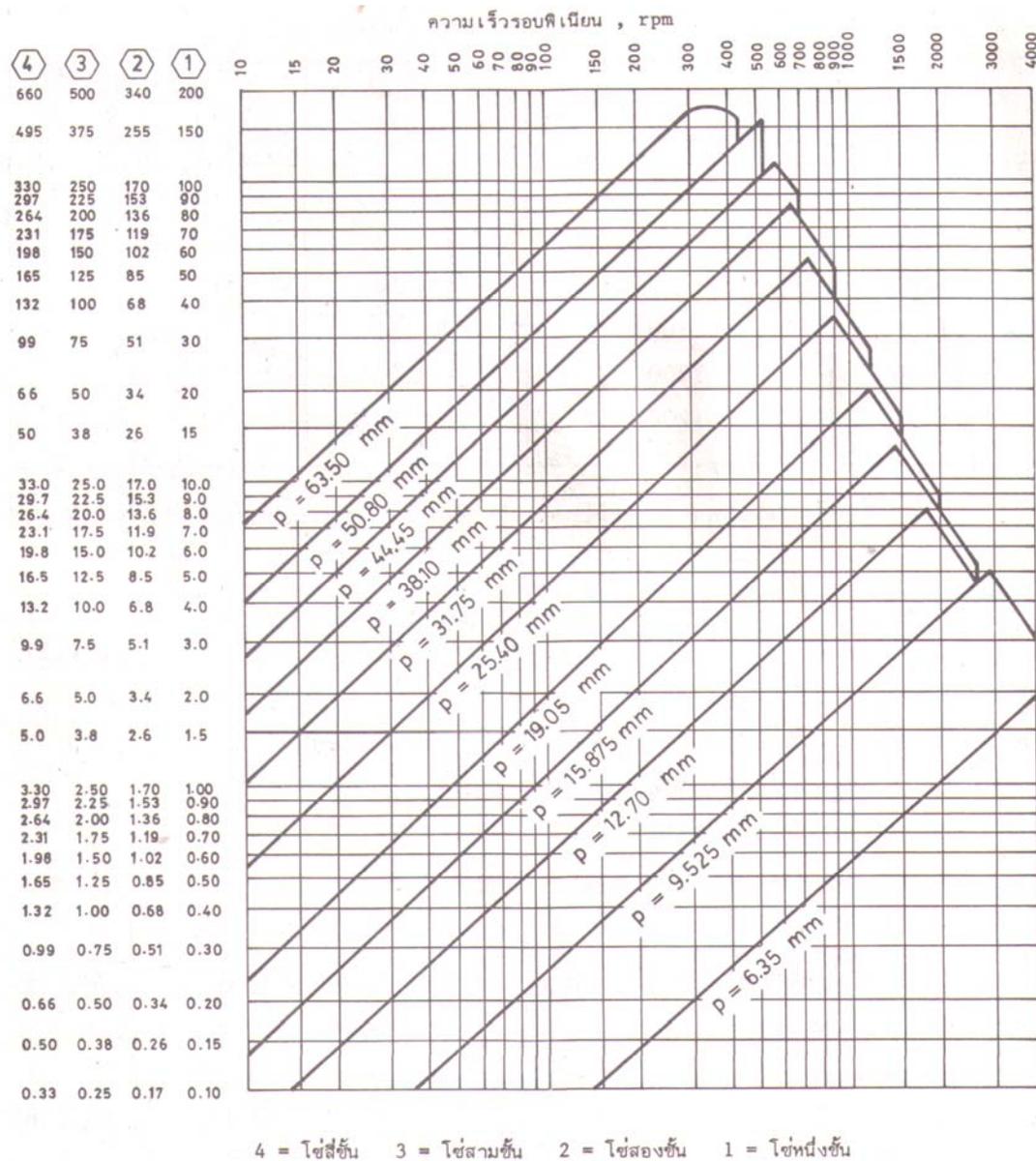


ภาพผนวกที่ ข6 แผนภูมิใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบB (สำหรับพินิยน 19 ฟัน)

ที่มา : วรรณิธิ และ ชาญ (2541)

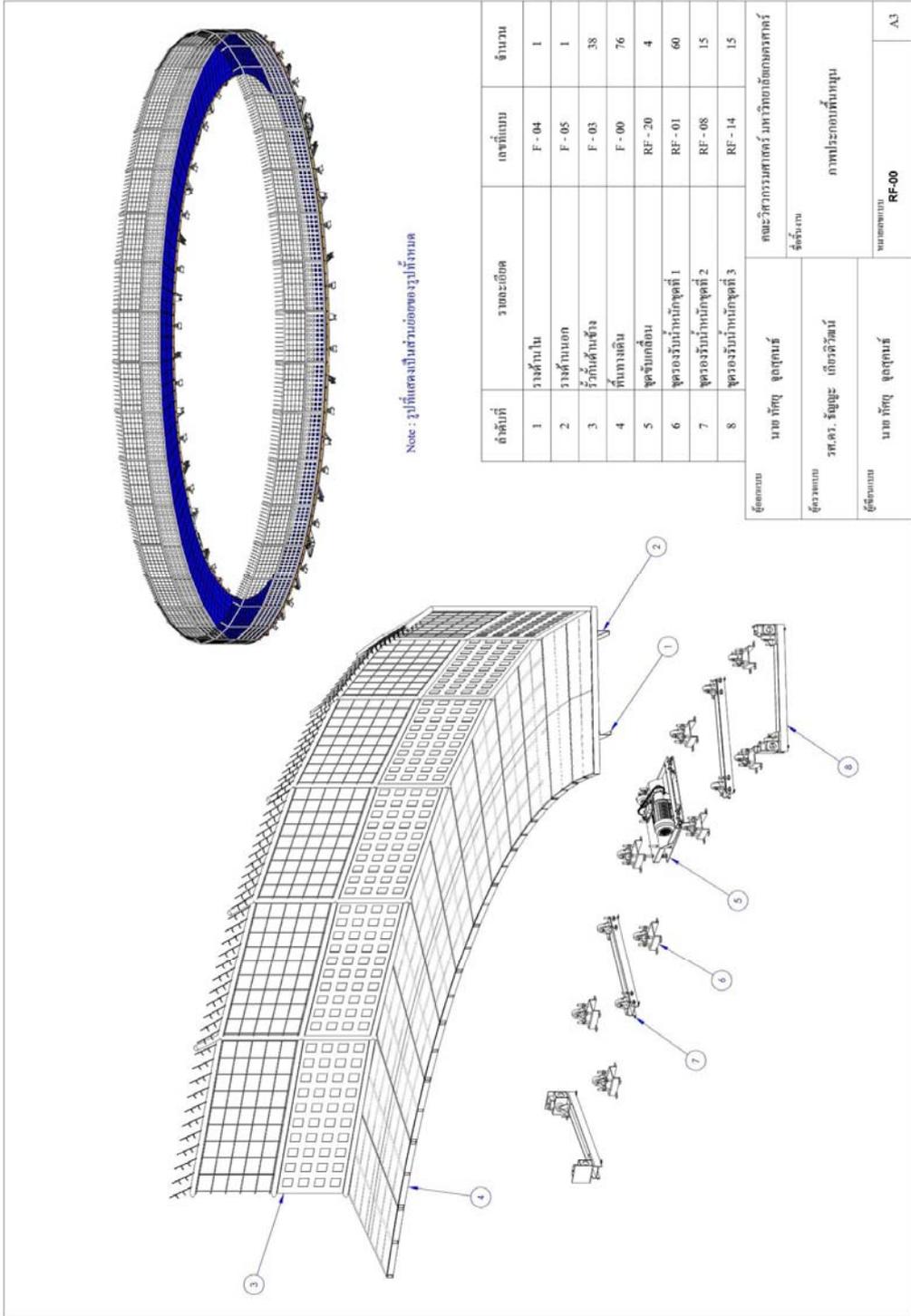


ภาพผนวกที่ ข7 แผนภูมิใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบA (สำหรับพีนีเยน 15 ฟัน)  
 ที่มา : วริทธิ และ ชาญ (2541)

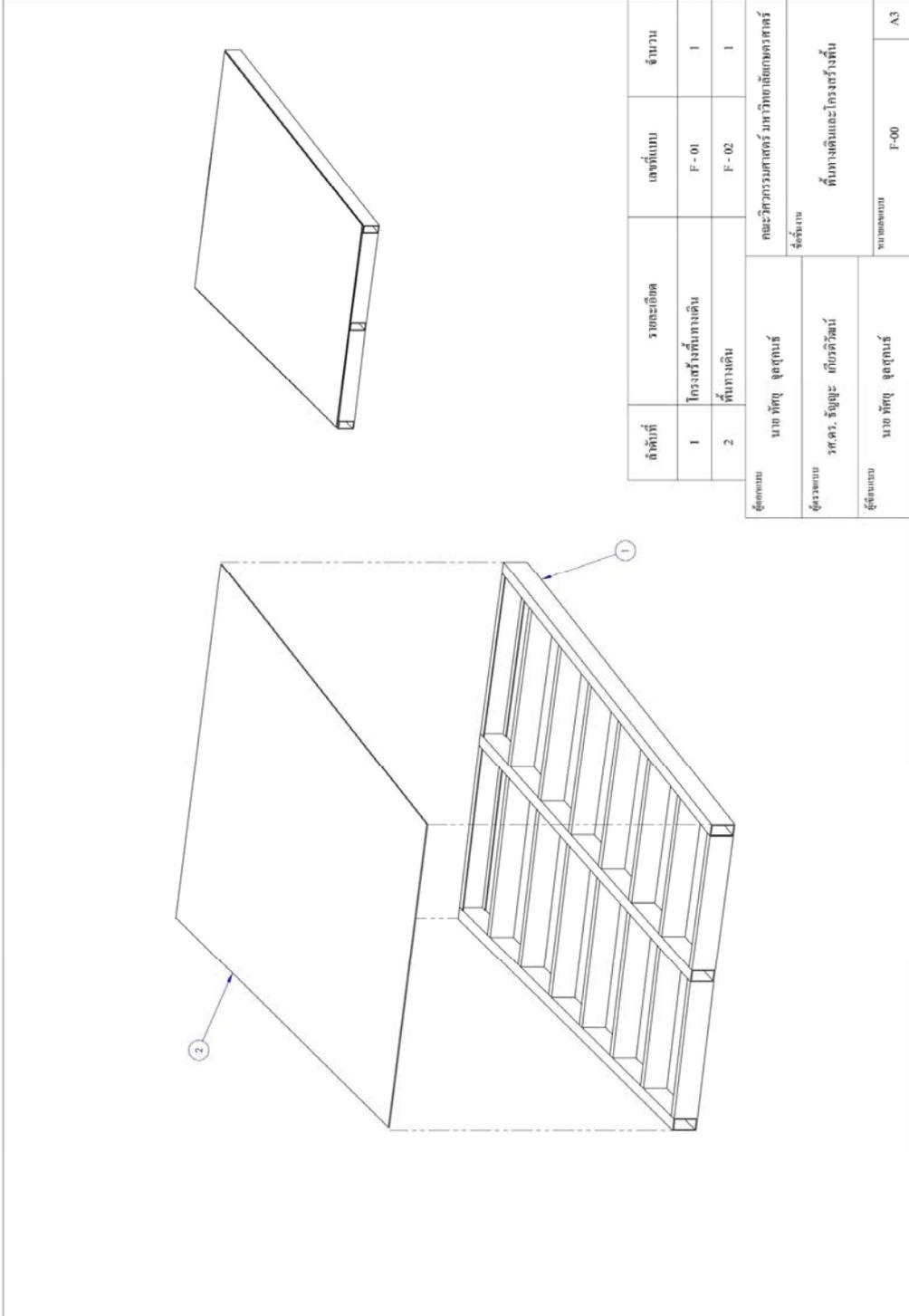


ภาพผนวกที่ ข8 แผนภูมิใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบA(สำหรับฟิเนียน 19 ฟัน)  
ที่มา : วรวิทย์ และ ชาญ (2541)

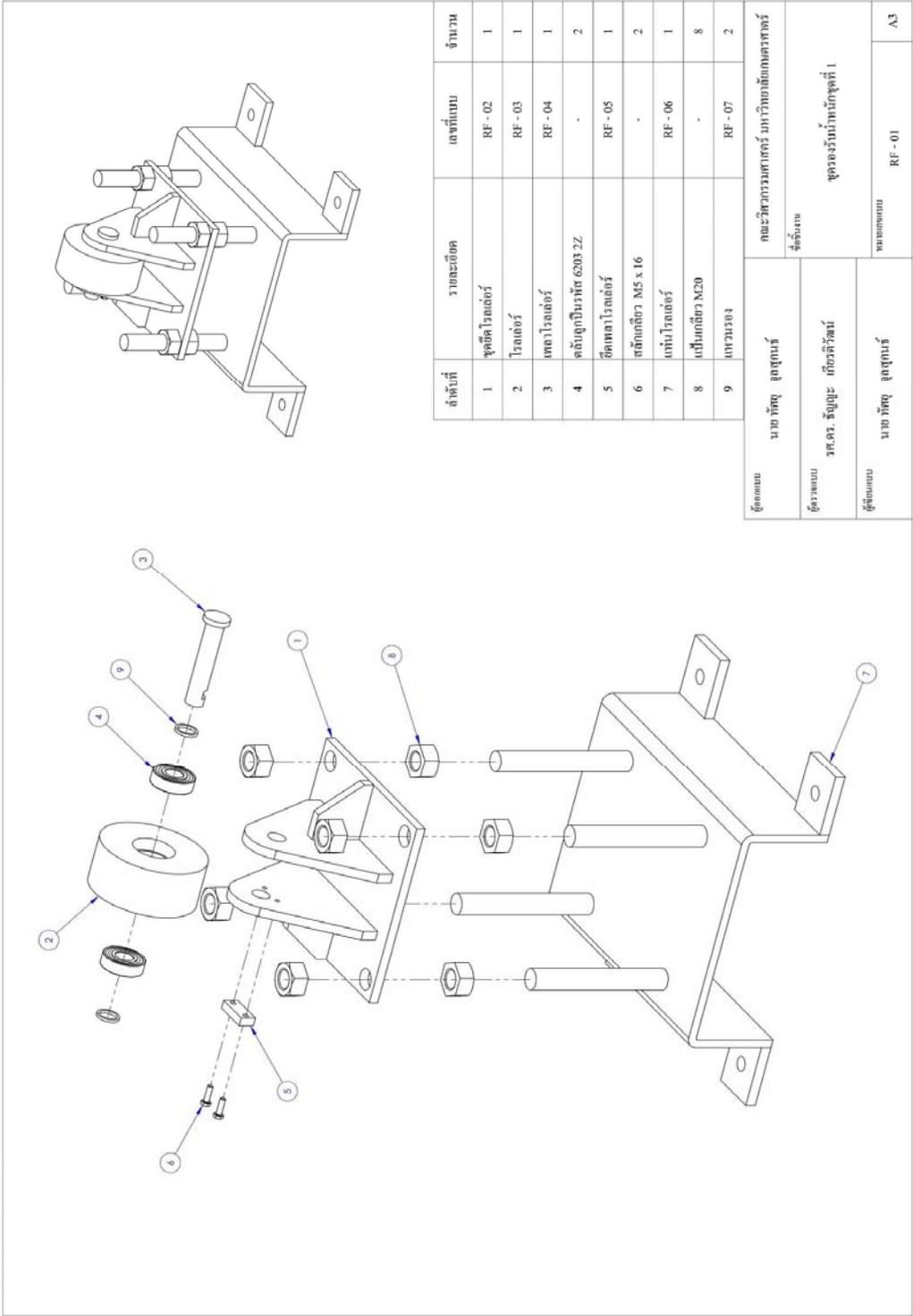
ภาคผนวก ค  
แบบพิมพ์เขียวผนวก



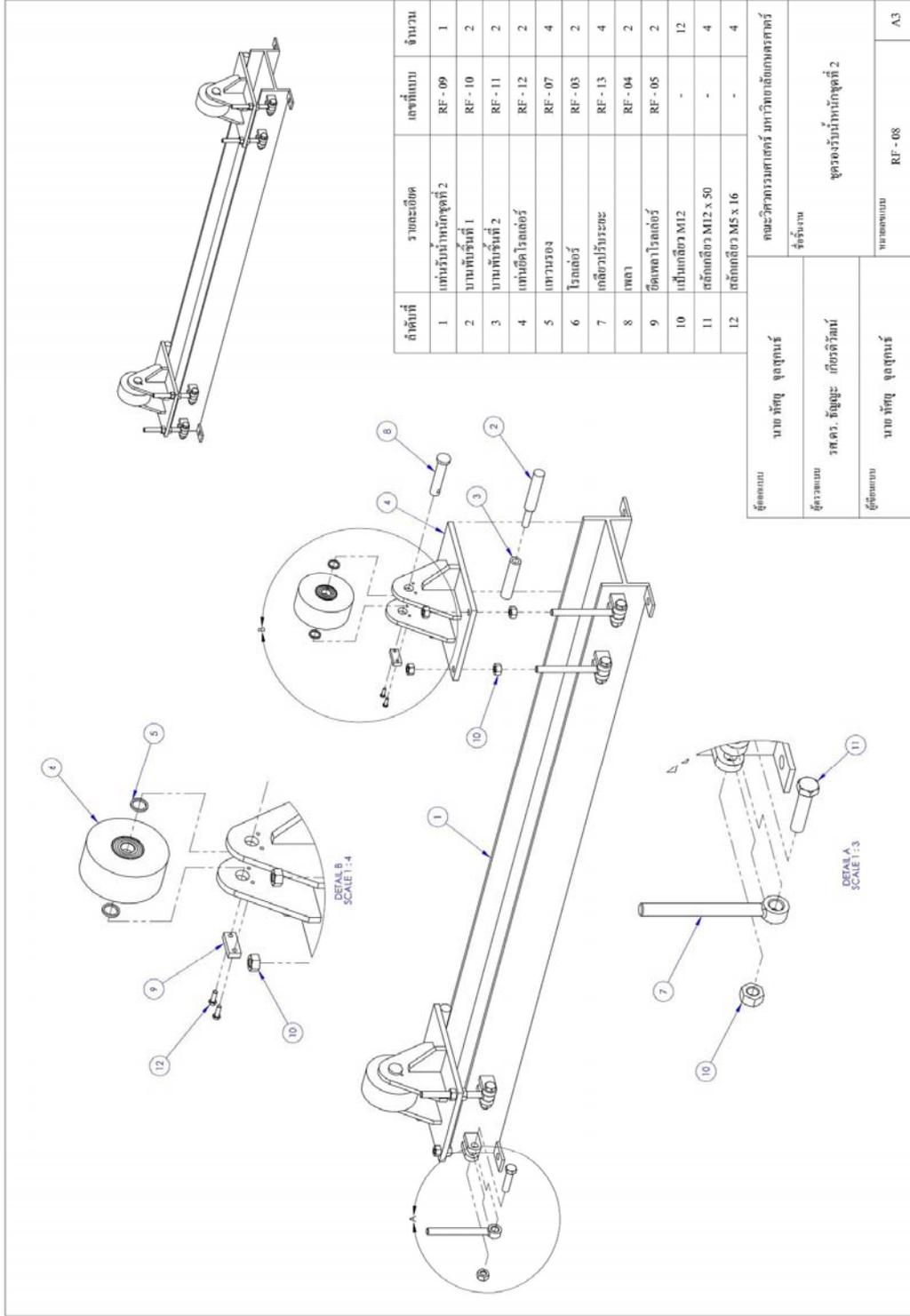
ภาพผนวกที่ ค1 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดพื้นหมุนแบบเลขที่RF00



ภาพผนวกที่ ค2 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดพื้นและโครงสร้างพื้นแบบเลขที่ F00



ภาพผนวกที่ ๓ แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักชุดที่ 1 แบบเลขที่ RF01

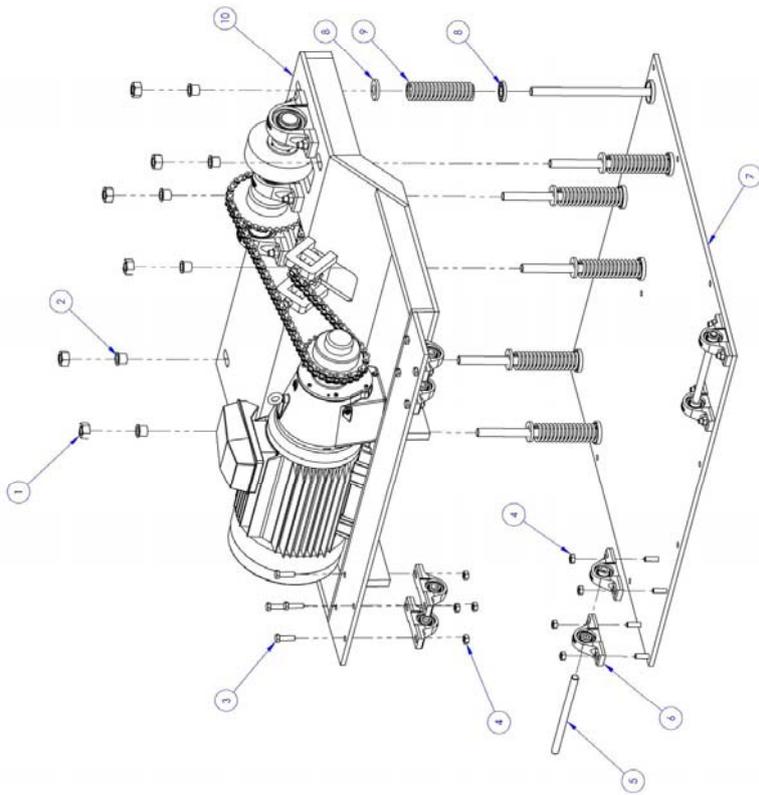
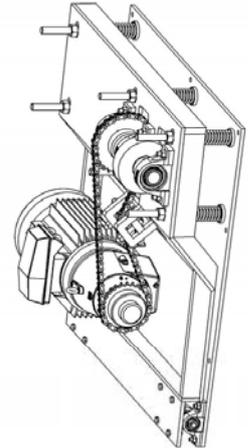


ภาพผนวกที่ ค4 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักชุดที่ 2 แบบเลขที่ RF08

ลำดับที่	รายละเอียด	เลขที่แบบ	จำนวน
1	แกนชุดรองรับน้ำหนักชุดที่ 3	RF - 15	1
2	บานพับรุ่นที่ 1	RF - 16	2
3	บานพับรุ่นที่ 2	RF - 17	2
4	ชุดยึด โรลเลอร์	RF - 18	1
5	ชุดยึด โรลเลอร์	RF - 19	1
6	โรลเลอร์	RF - 03	4
7	สกรู	RF - 04	2
8	ยึดตลับโรลเลอร์	RF - 05	2
9	สลักเกลียว M1.6 x 100	-	2
10	แหวนรอง	RF - 07	8
11	เส้นเคเบิล M1.6	-	4
12	สลักเกลียว M5 x 16	-	4
13	สลักเกลียว M12 x 50	-	4
14	เดือยปรับระยะ	RF - 13	4
15	เส้นเคเบิล M12	-	12

ผู้จัดทำ	นาย ทัชช ฤกษ์สุนันท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบ	รศ.ดร. ธัญญา เกียรติวัฒน์	ผู้อำนวยการสำนักชุดที่ 3
ผู้จัดพิมพ์	นาย ทัชช ฤกษ์สุนันท์	นามของแบบ RF - 14
		A3

ภาพผนวกที่ คร5 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดลูกปืนรองรับน้ำหนักชุดที่ 3 แบบเลขที่ RF14



ลำดับที่	รายละเอียด	เลขที่แบบ	จำนวน
1	แป้นกลีวง M20	-	6
2	นุ้ช	RF - 22	6
3	สลักเกลียว M10 x 35	-	8
4	แป้นกลีวง M10	-	16
5	เชอานนพูน	RF - 23	2
6	เป็นลูกลื่น SY15TR	-	8
7	แกนชุดขับเคลื่อน	RF - 24	1
8	แป้นสปริง	RF - 25	12
9	สปริง	RF - 26	6
10	ชุดขับเคลื่อนทั้งหมด	RF - 21	1

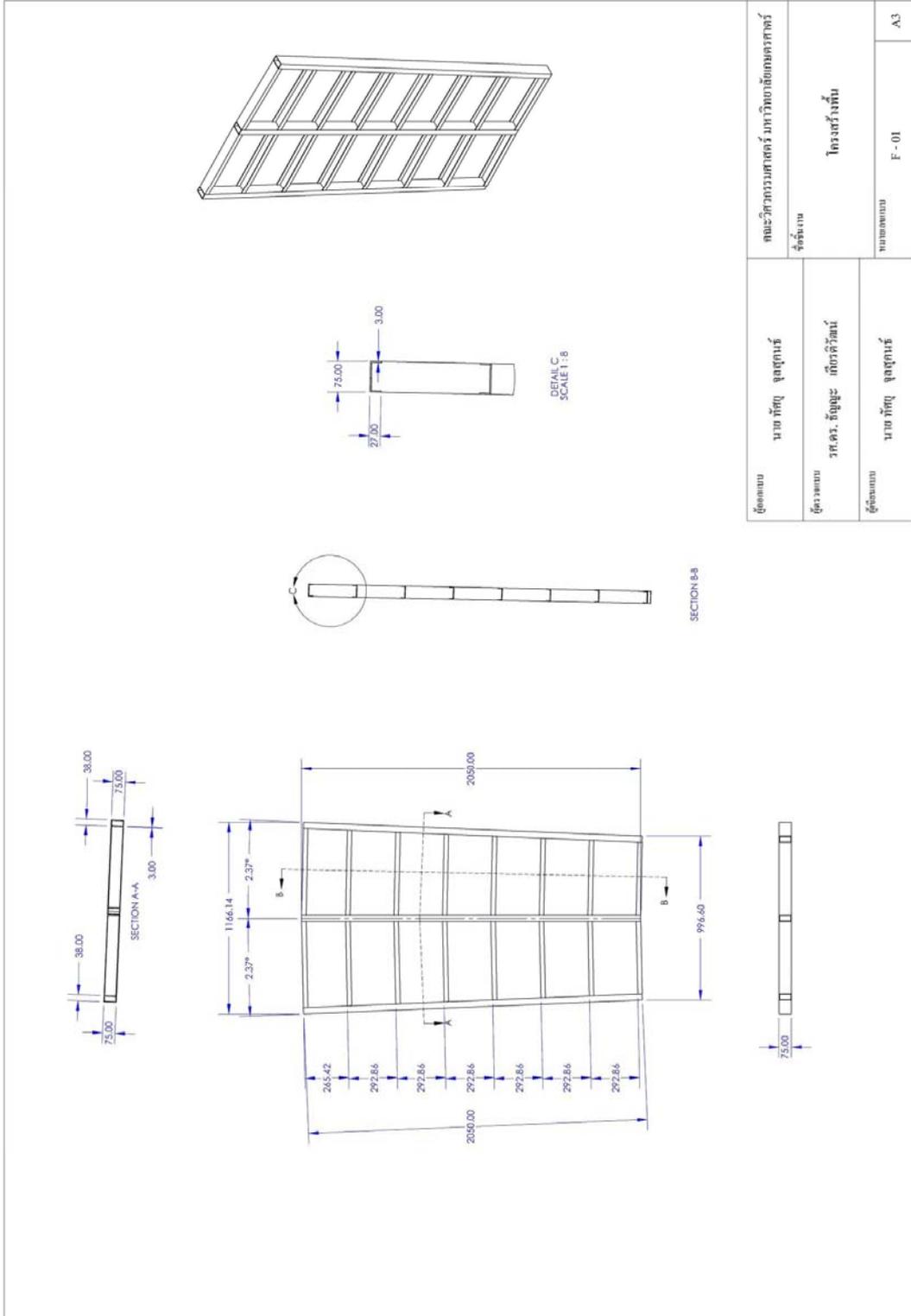
ผู้จัดทำแบบ	นาย ภัทก์ จุฑาคุณธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบแบบ	รศ.ดร. วัลลภุษา เกียรติวัฒน์	ผู้รับแบบ
ผู้จัดทำแบบ	นาย ภัทก์ จุฑาคุณธ์	จุดขับเคลื่อน
		แบบเลขแบบ
		RF - 20
		A3

ภาพผนวกที่ ค6 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดขับเคลื่อนแบบเลขที่ RF20

ลำดับที่	รายละเอียด	เลขที่แบบ	จำนวน
1	โซ่ขับเคลื่อน	RF - 27	1
2	พลาขับเคลื่อน	RF - 28	1
3	แป้นอุกมัน SY35STR	-	3
4	ชุดค้ำไว้	RF - 29	1
5	โครงสร้างชุดขับเคลื่อน	RF - 30	1
6	มอเตอร์ไฟฟ้า	RF - 31	1
7	เพ็องโซ่ 12 ฟัน	RF - 32	1
8	เพ็องโซ่ 33 ฟัน	RF - 33	1
9	เพ็องโซ่ 26 ฟัน	RF - 34	1
10	โซ่ขับเคลื่อน 10B	RF - 35	1
11	แป้นค้ำคิ้ว M12	-	8
12	ค้ำคิ้วค้ำคิ้ว M12 x 50	-	6
13	ค้ำคิ้ว	RF - 36	4

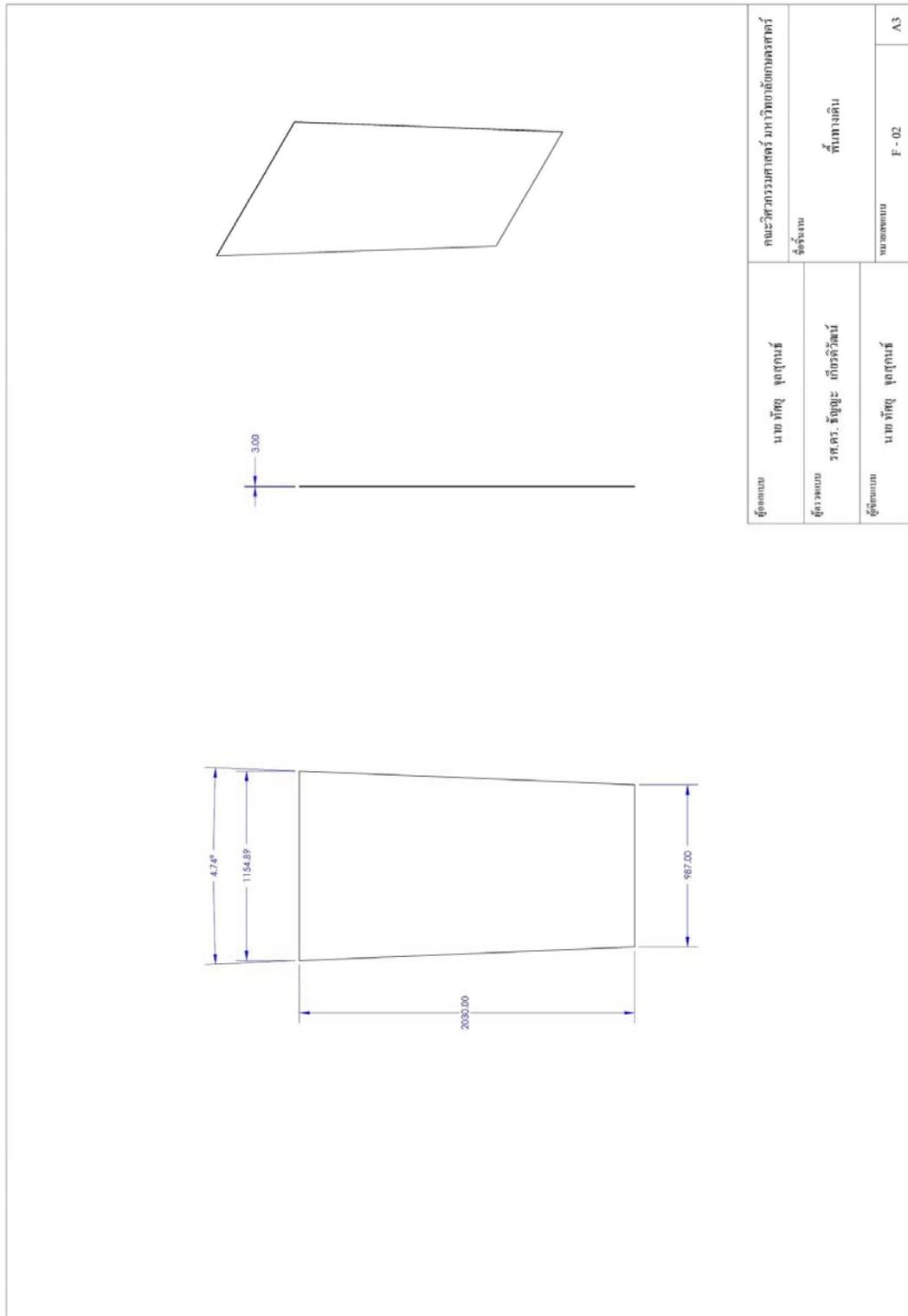
ผู้จัดทำ	นาย ทศยุ บุณสุภรณ์	ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบ	รศ.ดร. ธัญญา เกียรติวัฒน์	ผู้ช่วยงาน
ผู้พิมพ์	นาย ทศยุ บุณสุภรณ์	นายช่างพิมพ์
		จุดขับเคลื่อนด้านบน
		RF - 21
		A3

ภาพผนวกที่ ๓7 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดขับเคลื่อนด้านบนแบบเลขที่RF21

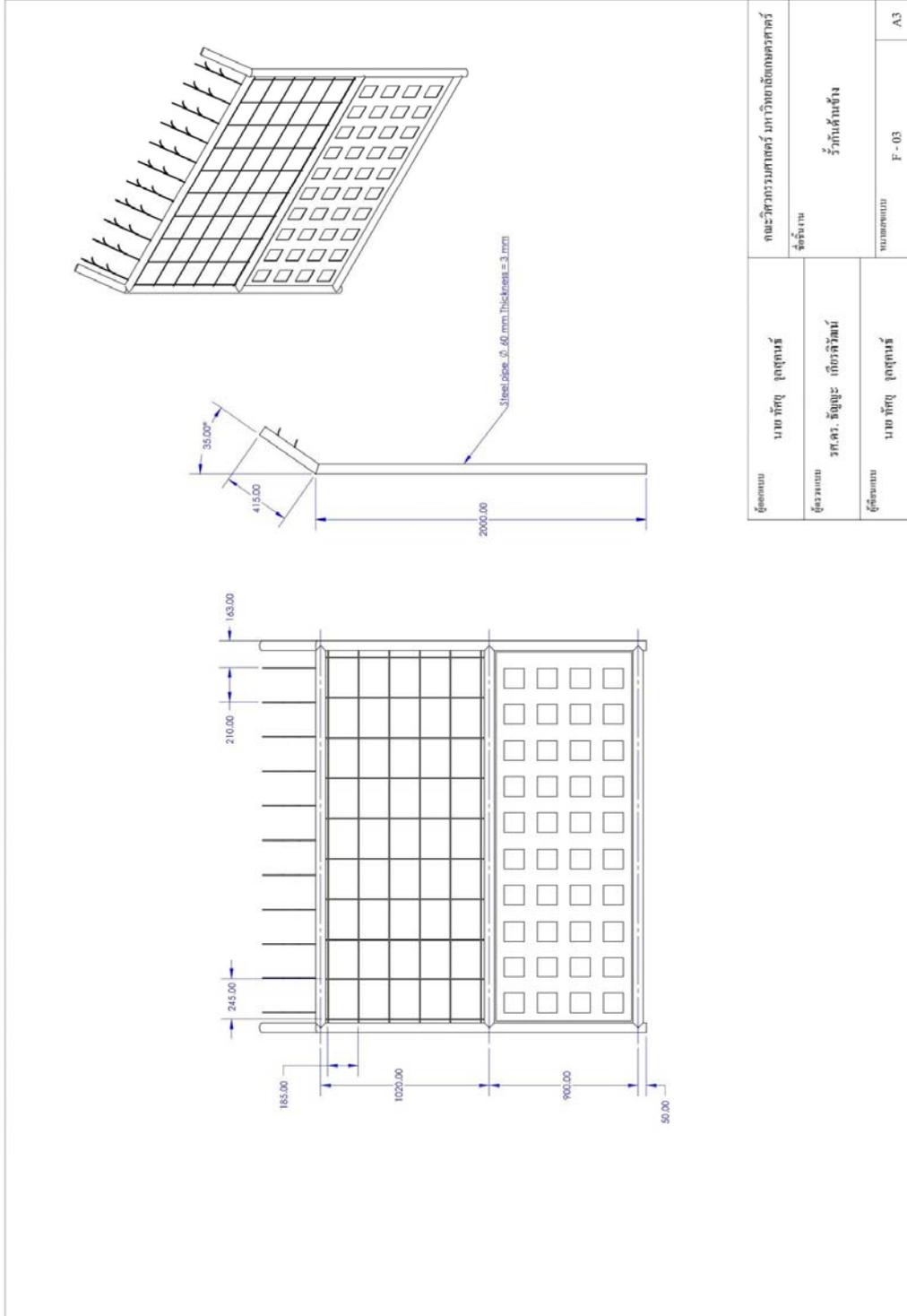


ผู้จัดทำ นายทศัญ ใจสุภากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ควบคุม รศ.ดร. ธัญญา เกียรติวัฒน์	ชื่อชั้นเรียน โครงสร้างพื้นฐาน
ผู้จัดพิมพ์ นายทศัญ ใจสุภากร	หมายเลขแบบ F-01
	A3

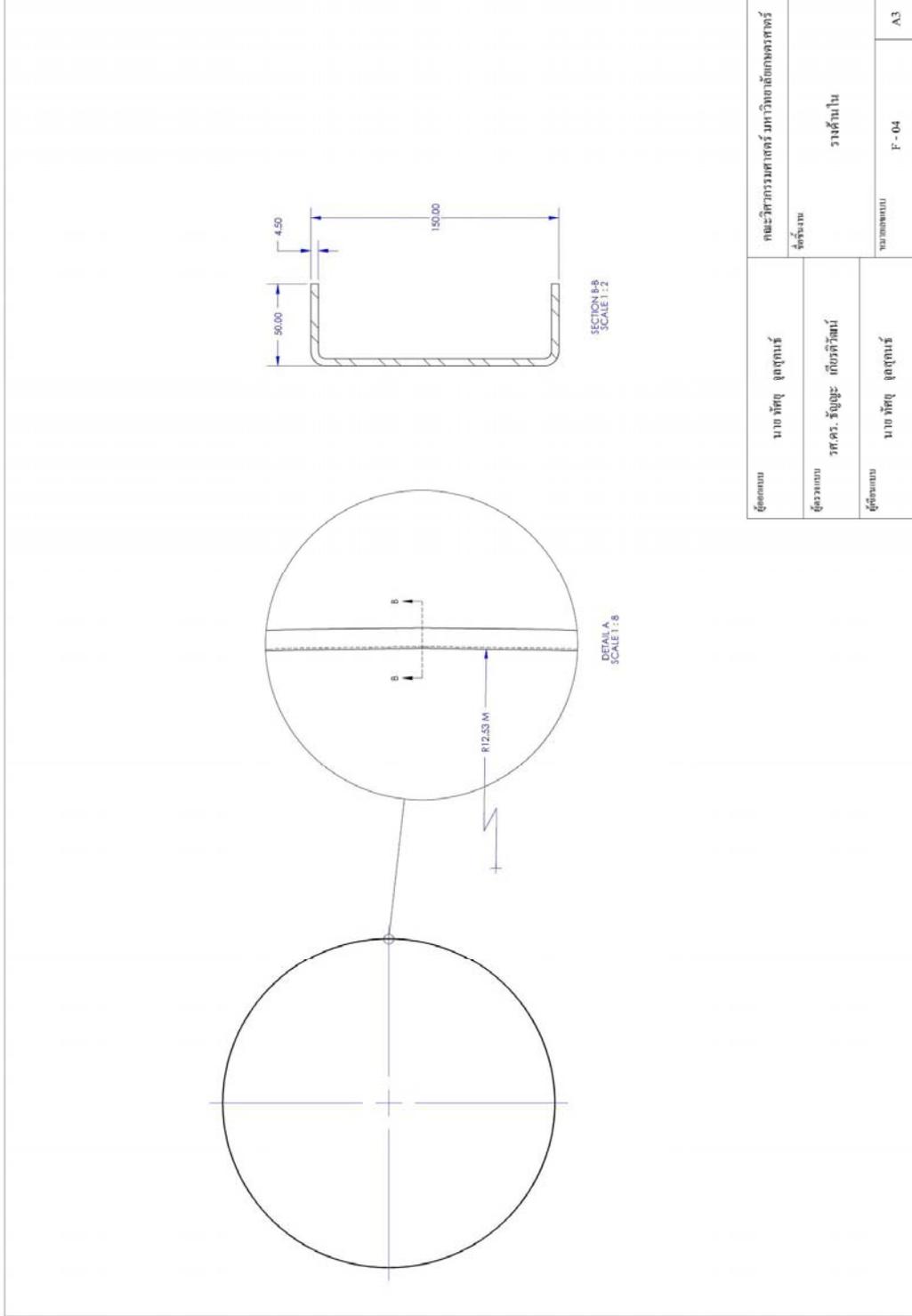
ภาพผนวกที่ ค8 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดโครงสร้างพื้นแบบเลขที่F01



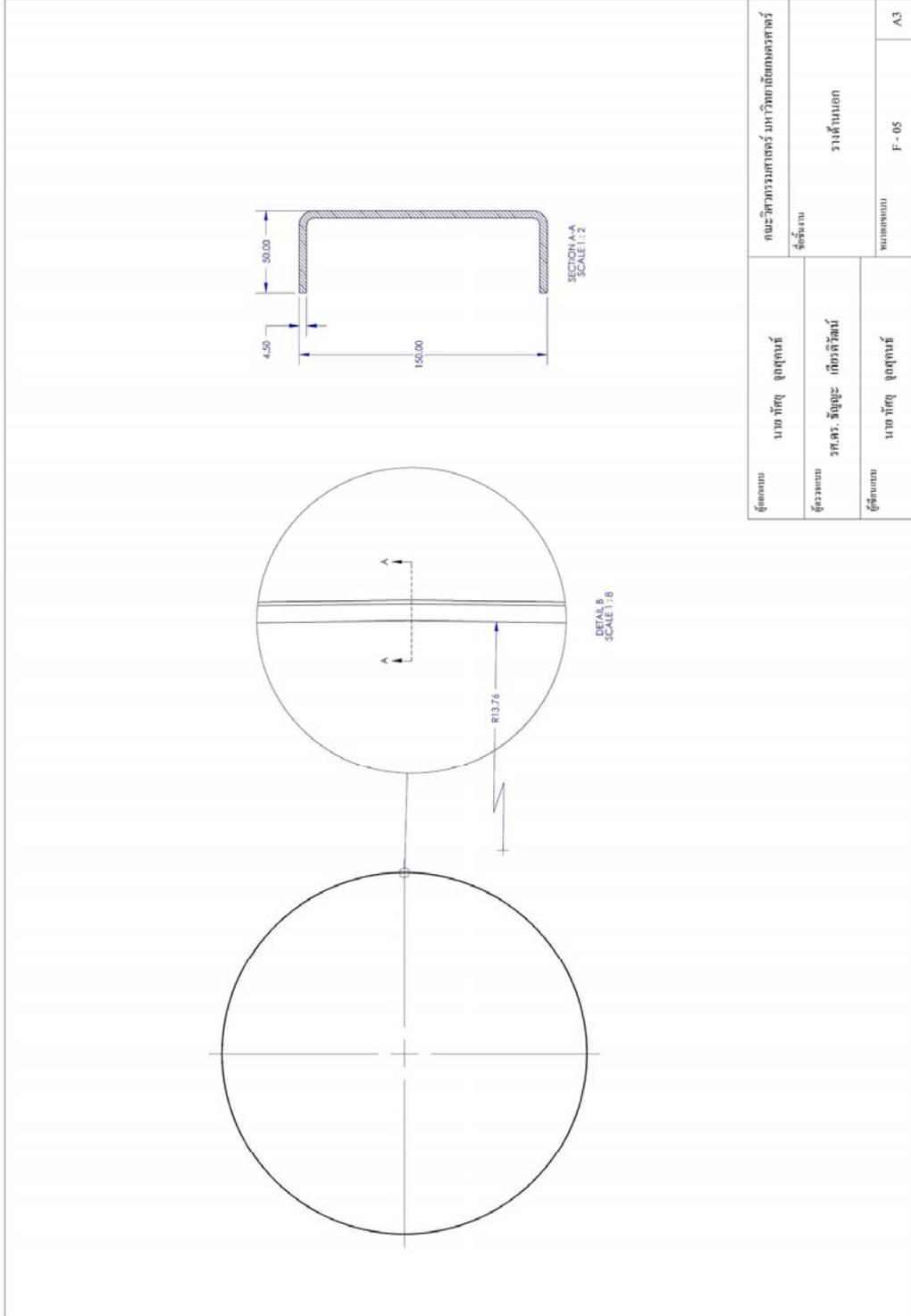
ภาพผนวกที่ คย แบบพิมพ์เดี่ยวแสดงรายละเอียดพื้นที่แบบเลขที่F02



ภาพผนวกที่ 10 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดตัวกันด้านข้างแบบเลขที่F03



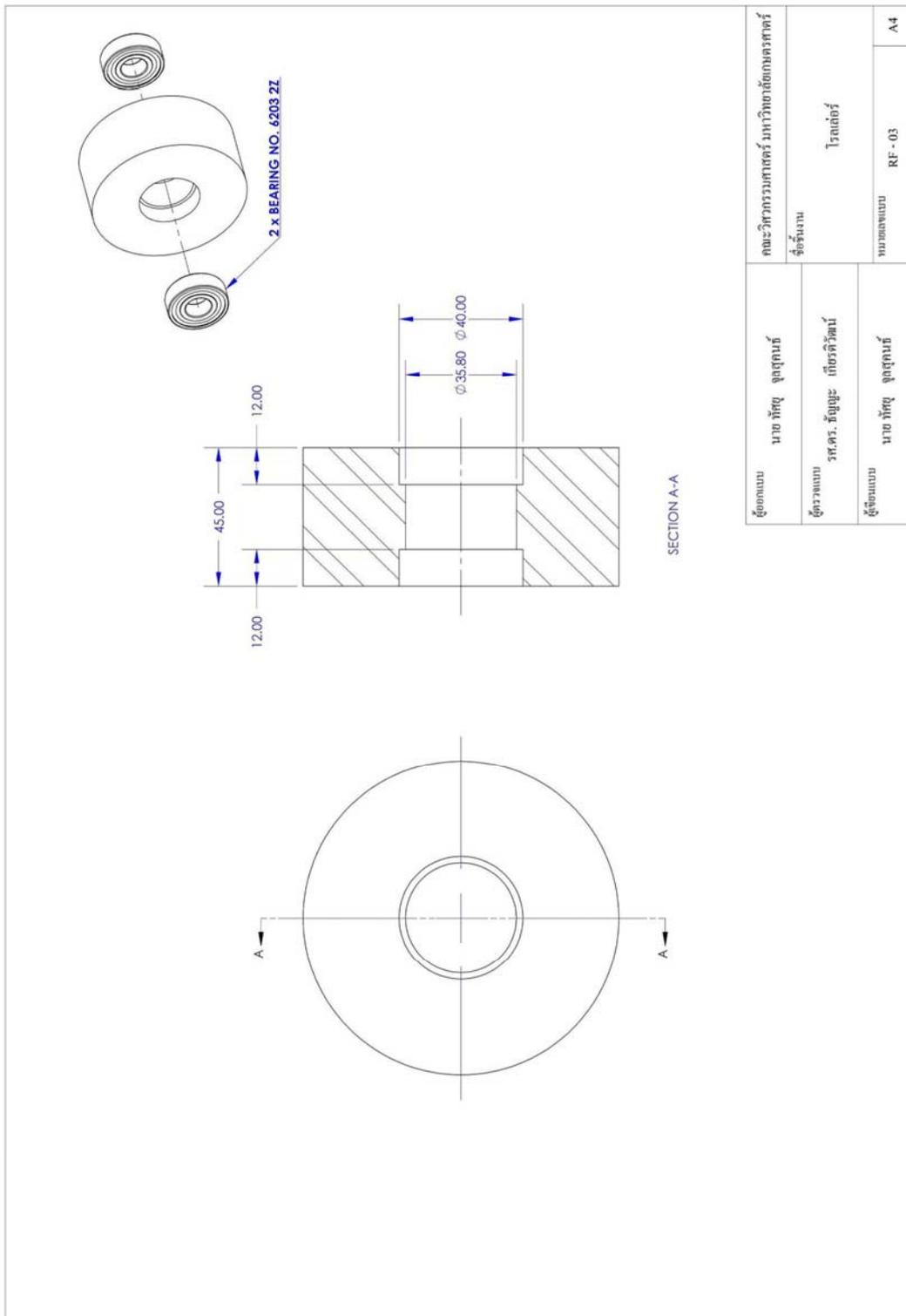
ภาพผนวกที่ ค11 แบบพิมพ์เดี่ยวแสดงรายละเอียดทางด้านในแบบเลขที่F04



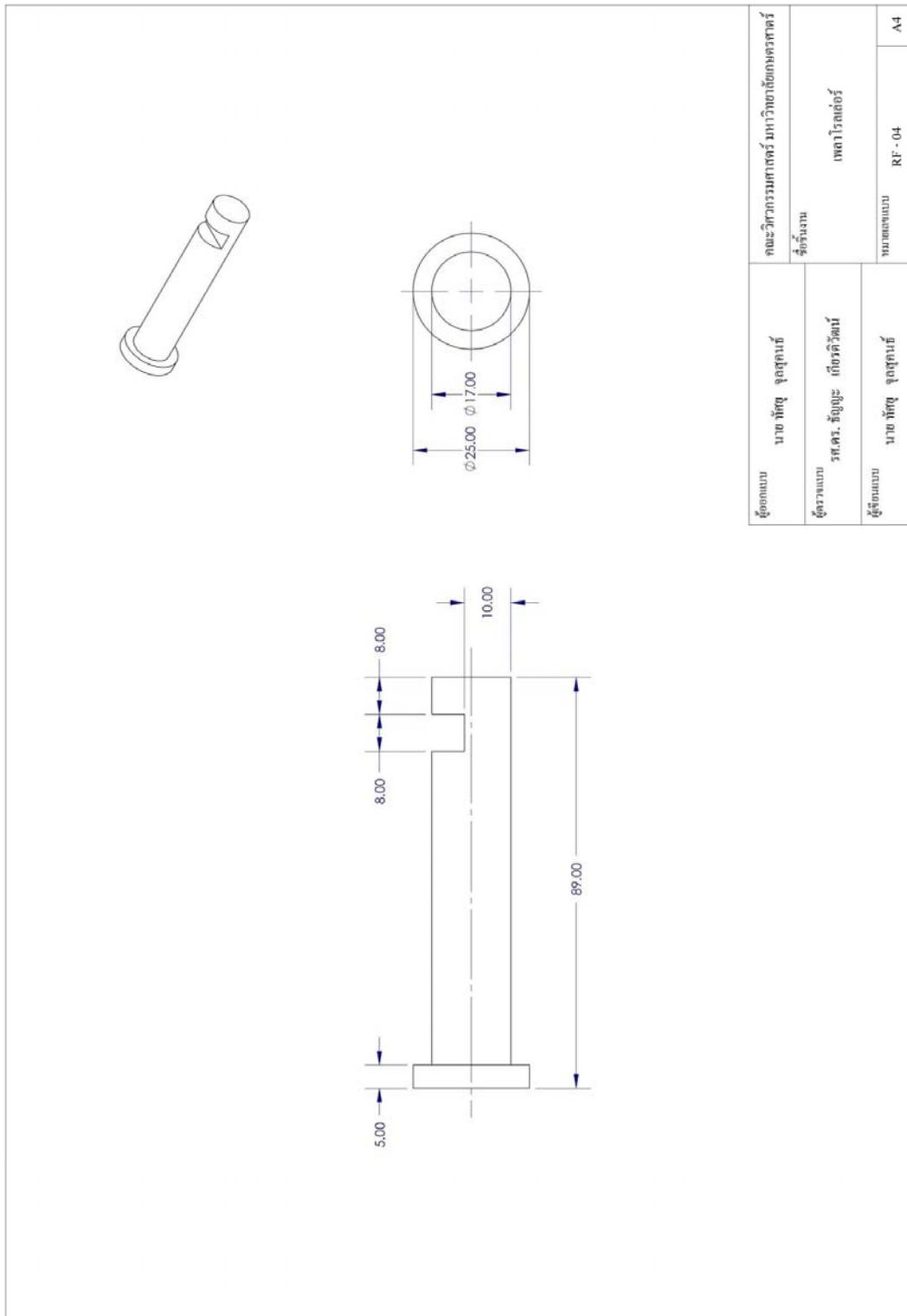
ผู้จัดทำ	นาย กัญญา ใจสุคนธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบ	รศ.ดร. รัชฎาธิ์ เกียรติวัฒน์	ชื่อชั้นเรียน ทางด้านนอก
ผู้เขียนแบบ	นาย กัญญา ใจสุคนธ์	หมายเลขแบบ F-05
		A3

ภาพผนวกที่ ค12 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดทางด้านนอกแบบเลขที่ F05



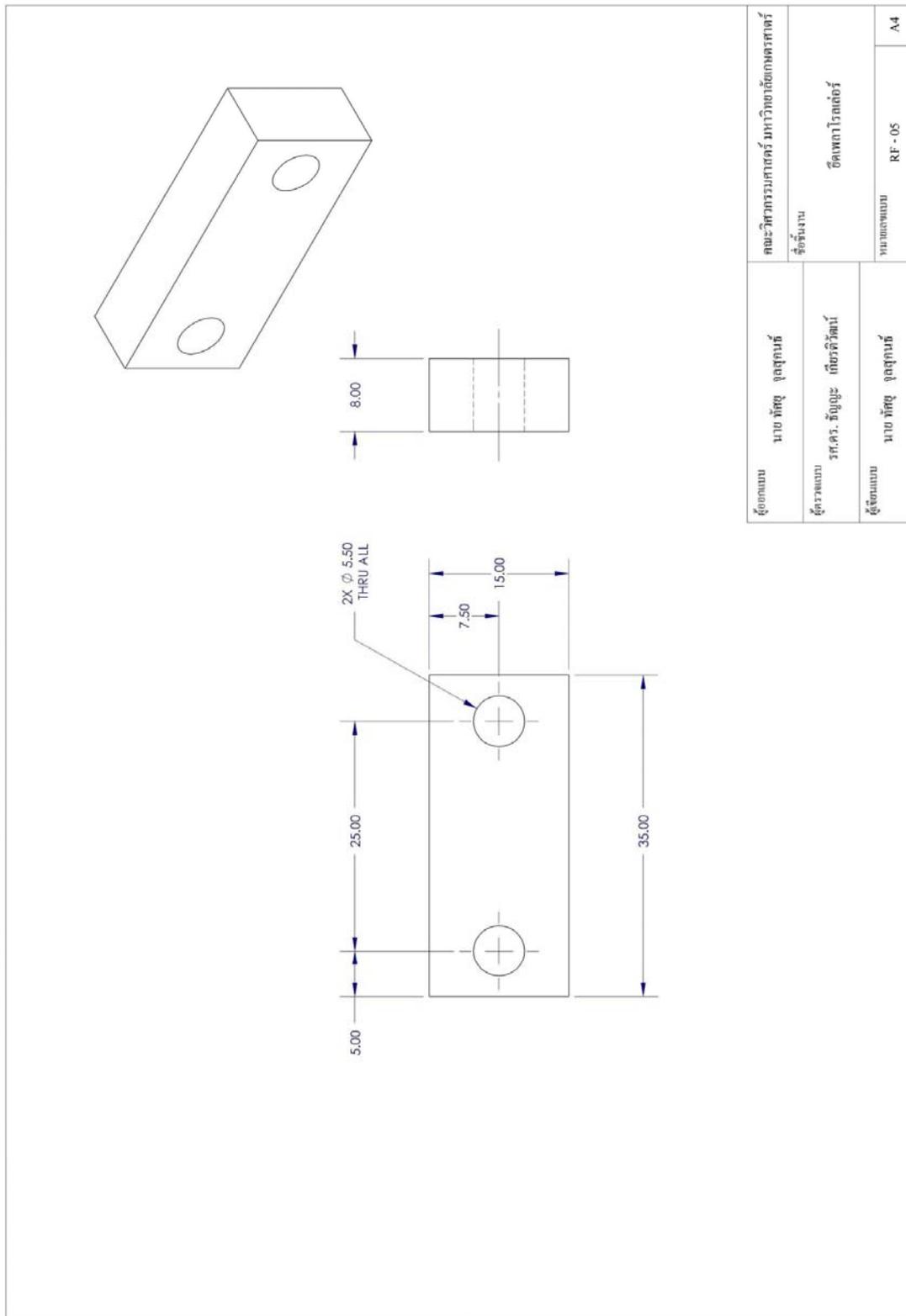


ภาพหน้าที่ ๑14 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดโรตเตอร์แบบเลขที่RF03

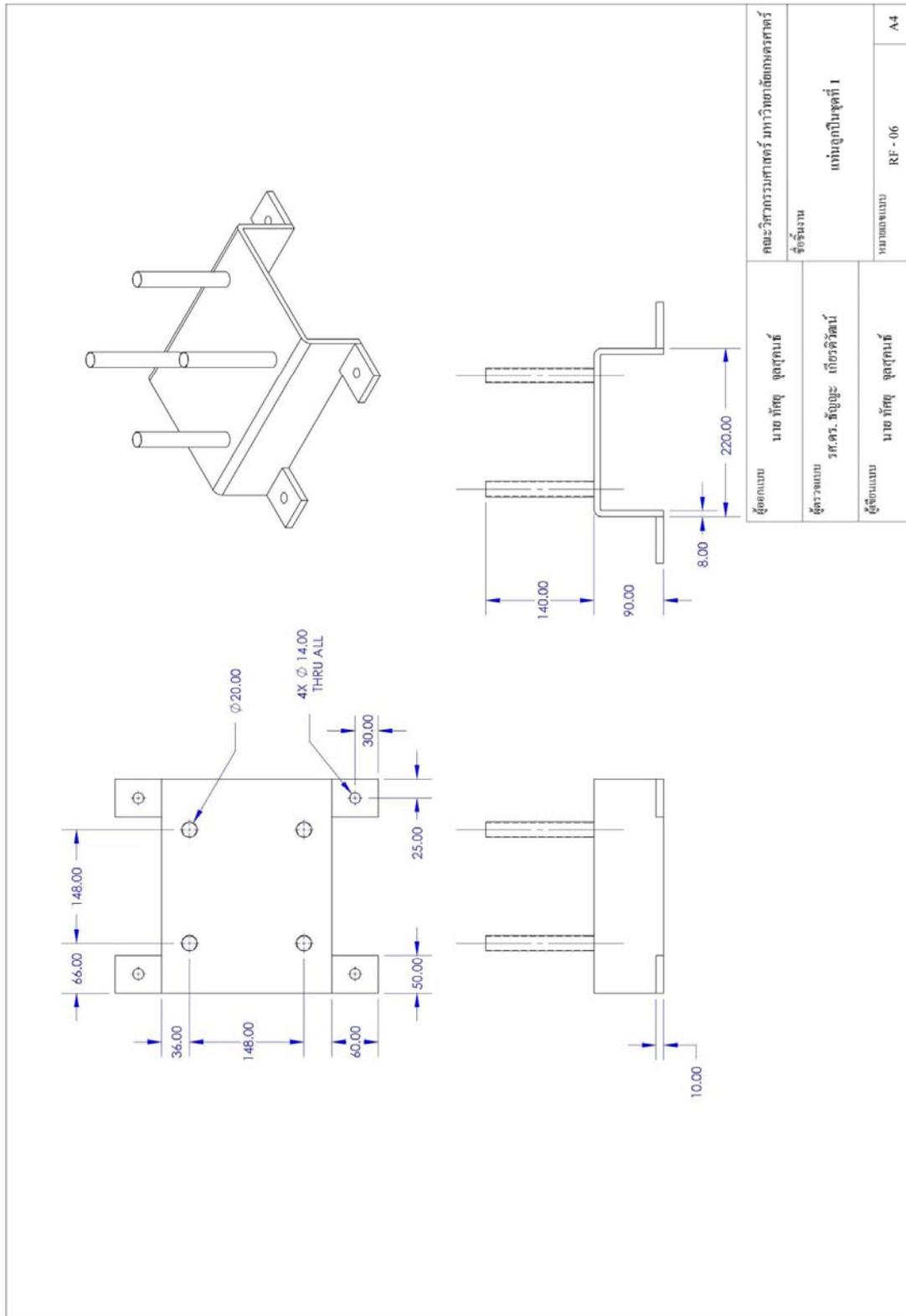


ผู้จัดทำ	นาย ทัช จตุสกรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ตรวจแบบ	รศ.ดร. ธัญญา เกียรติวัฒน์	จรัญเกษ
ผู้เขียนแบบ	นาย ทัช จตุสกรณ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
		RF - 04
		A4

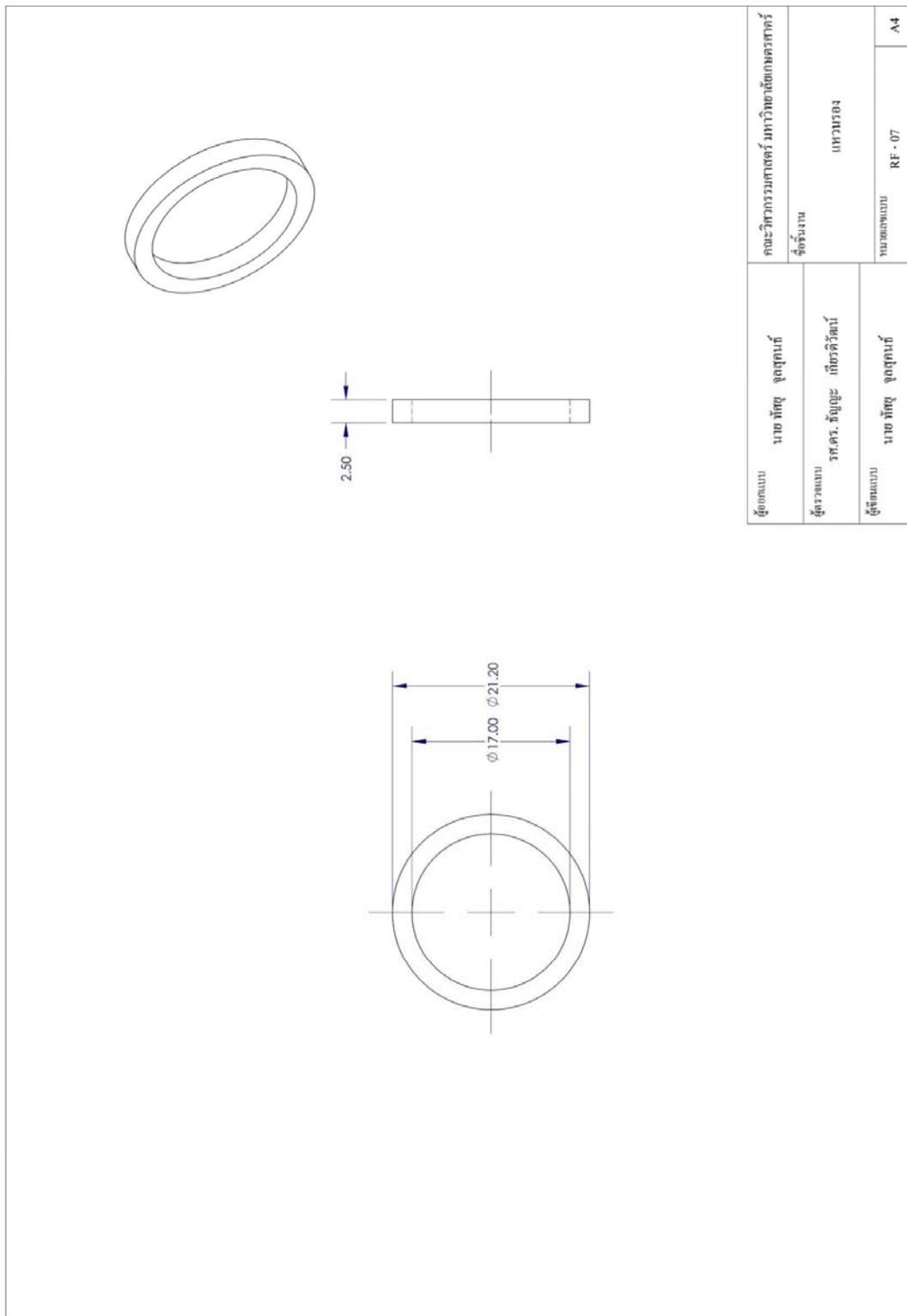
ภาพผนวกที่ ค15 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลาโรลเลอร์แบบดงที่RF04



ภาพผนวกที่ ค16 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลา โรตเตอร์แบบเลขที่RF05

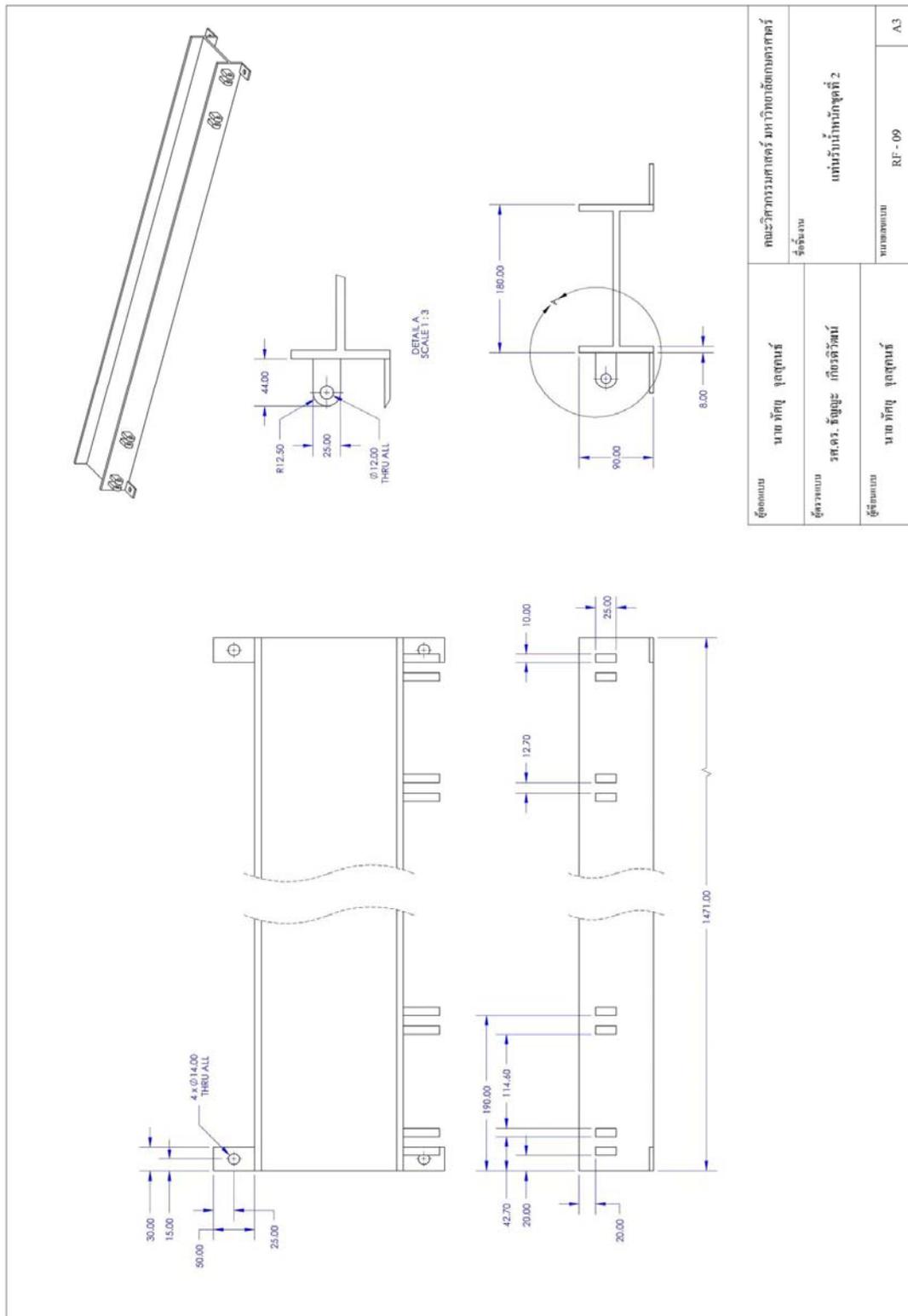


ภาพผนวกที่ ๑๗ แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแผ่นดูเป็นชุดที่ 1 แบบเลขที่ RF06



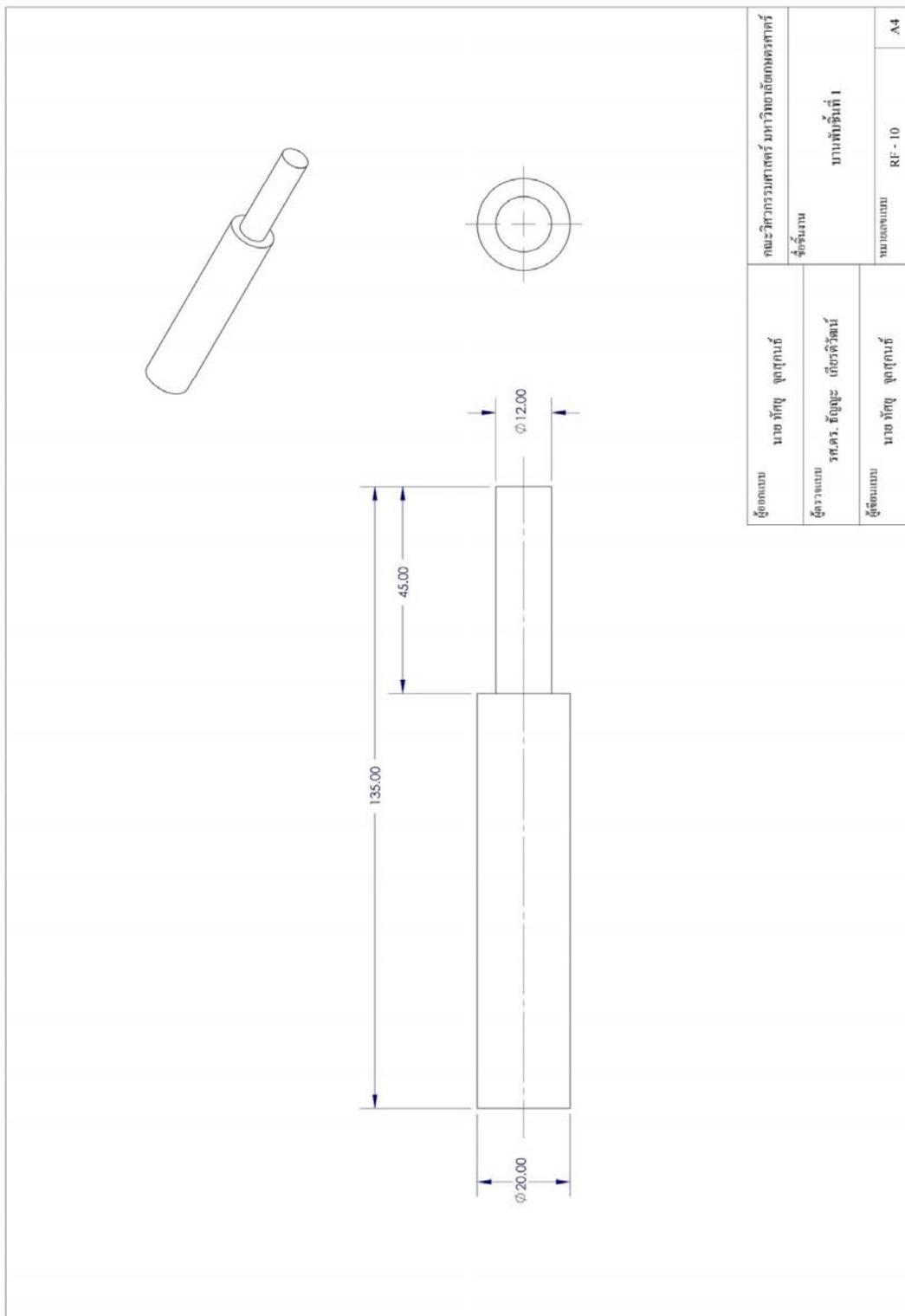
ผู้ออกแบบ	นายทัตย์ อดุลย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบ	รศ.ดร. รุ่งฤดี ภัทรวิวัฒน์	ชื่อรุ่นงาน
ผู้จัดทำแบบ	นายทัตย์ อดุลย์	นามของฉบับ
		RF - 07
		A4

ภาพนวกที่ ค18 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแหวนรองแบบเลขที่RF07

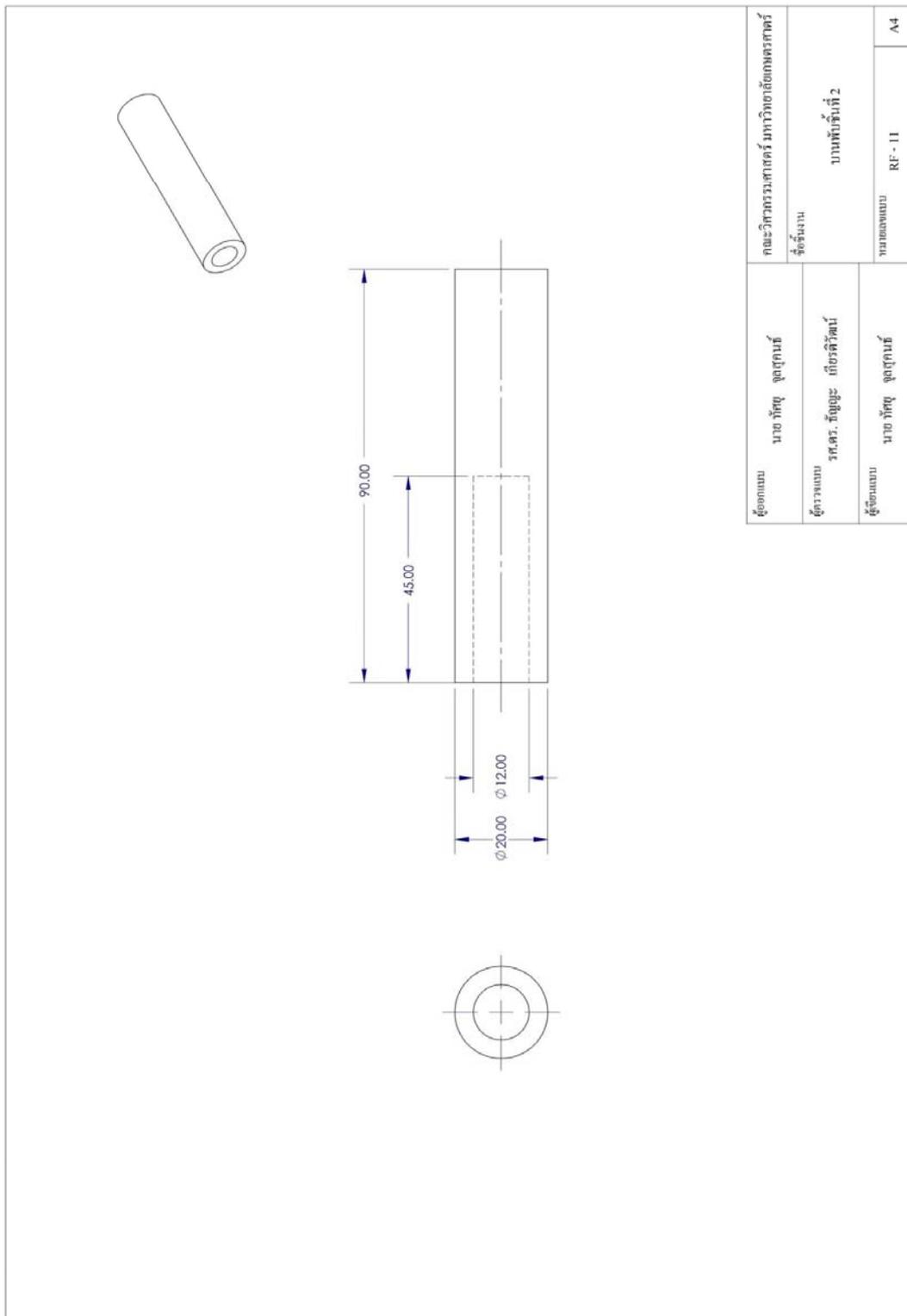


ผู้จัดทำแบบ	นาย ทัศนัย ขุนอุบลรัตน์	คณะกรรมการควบคุมอาคาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบแบบ	รศ.ดร. ธัญญาณี เกียรติวิวัฒน์	ชื่อเรื่อง	เกณฑ์รับน้ำหนักชุดที่ 2
ผู้เขียนแบบ	นาย ทัศนัย ขุนอุบลรัตน์	หมายเลขแบบ	RF-09
			A3

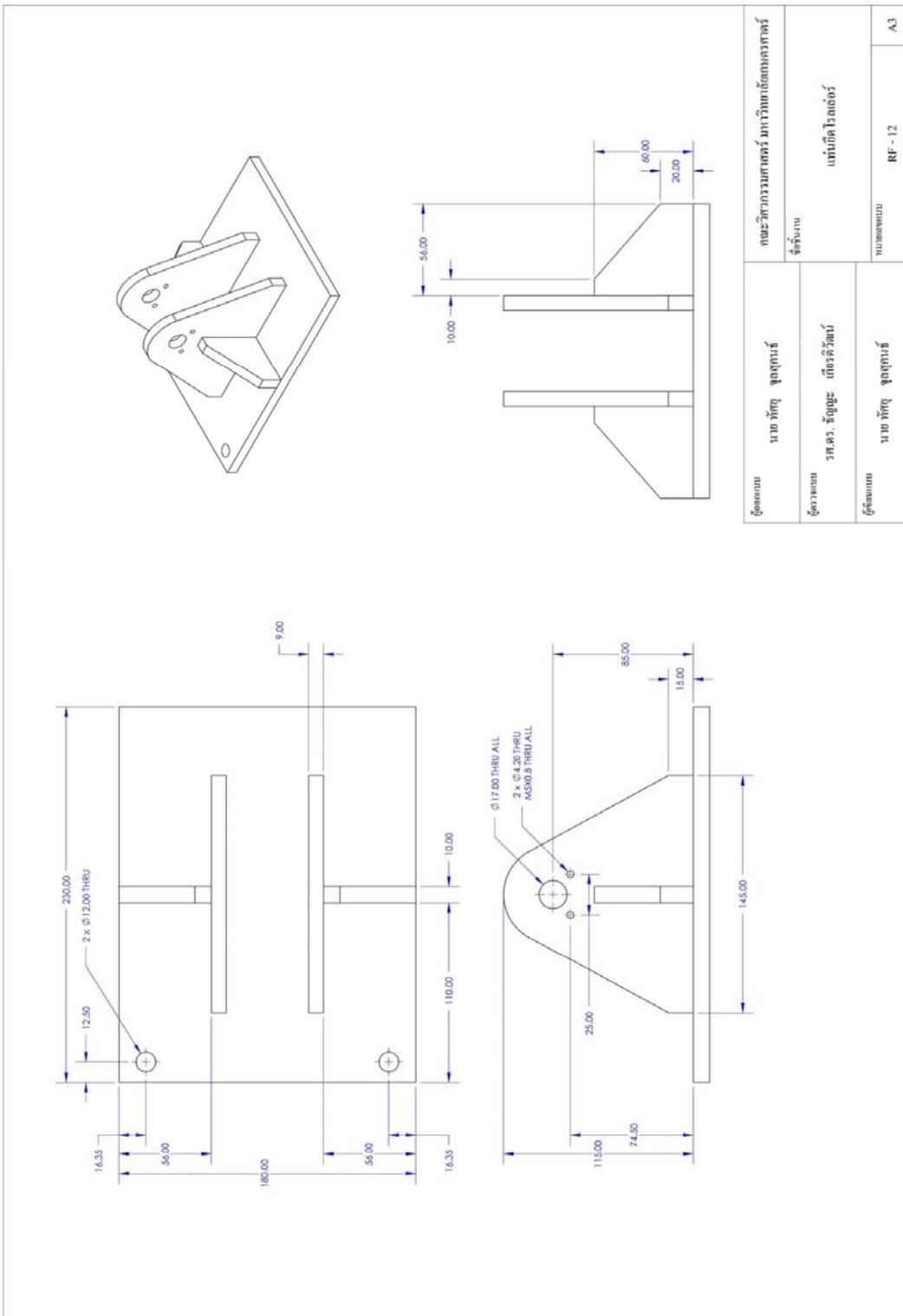
ภาพผนวกที่ ค19 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแผ่นรับน้ำหนักชุดที่ 2 แบบเลขที่ RF09



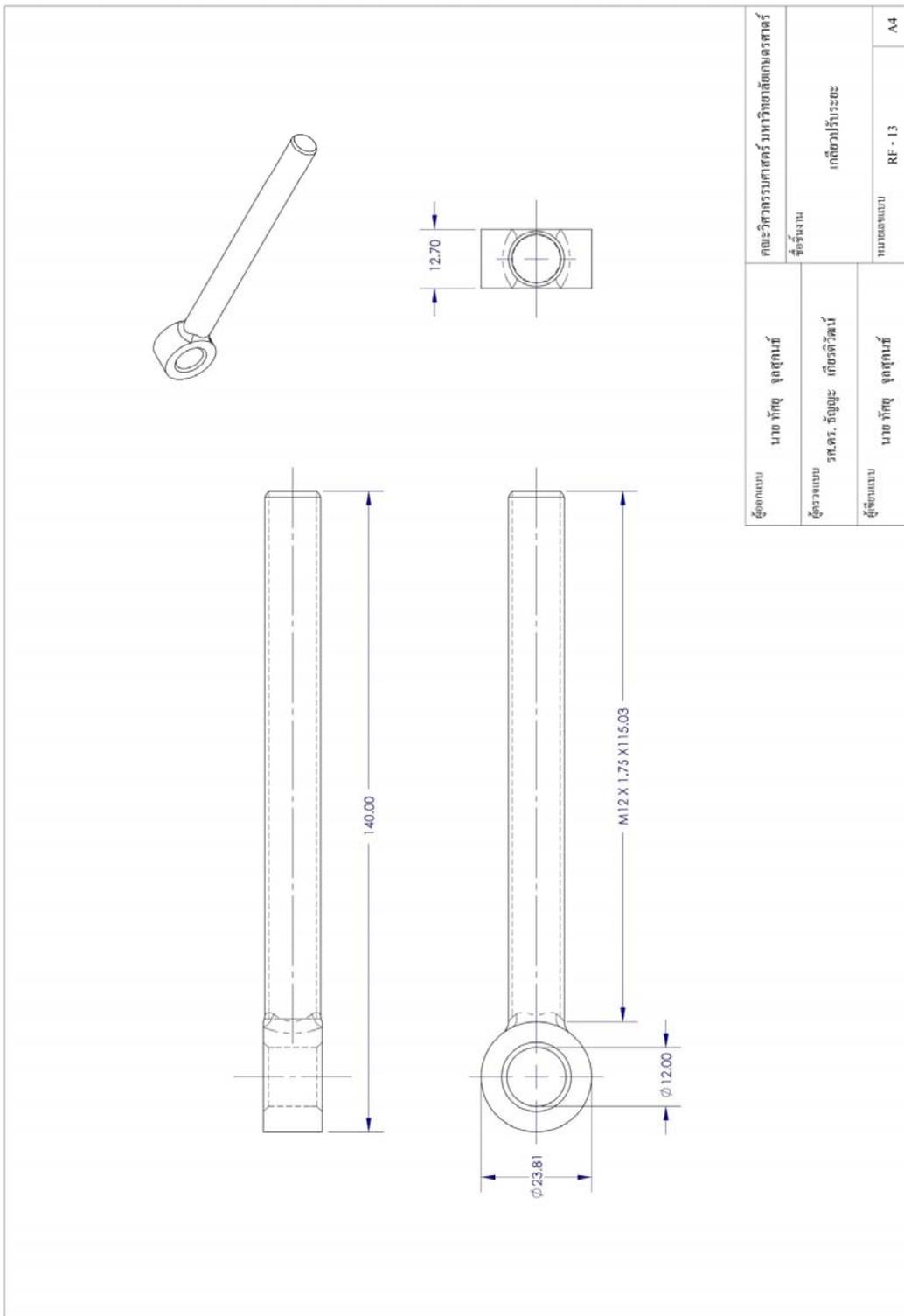
ภาพผนวกที่ ค20 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับขึ้นที่แบบเลขที่RF10



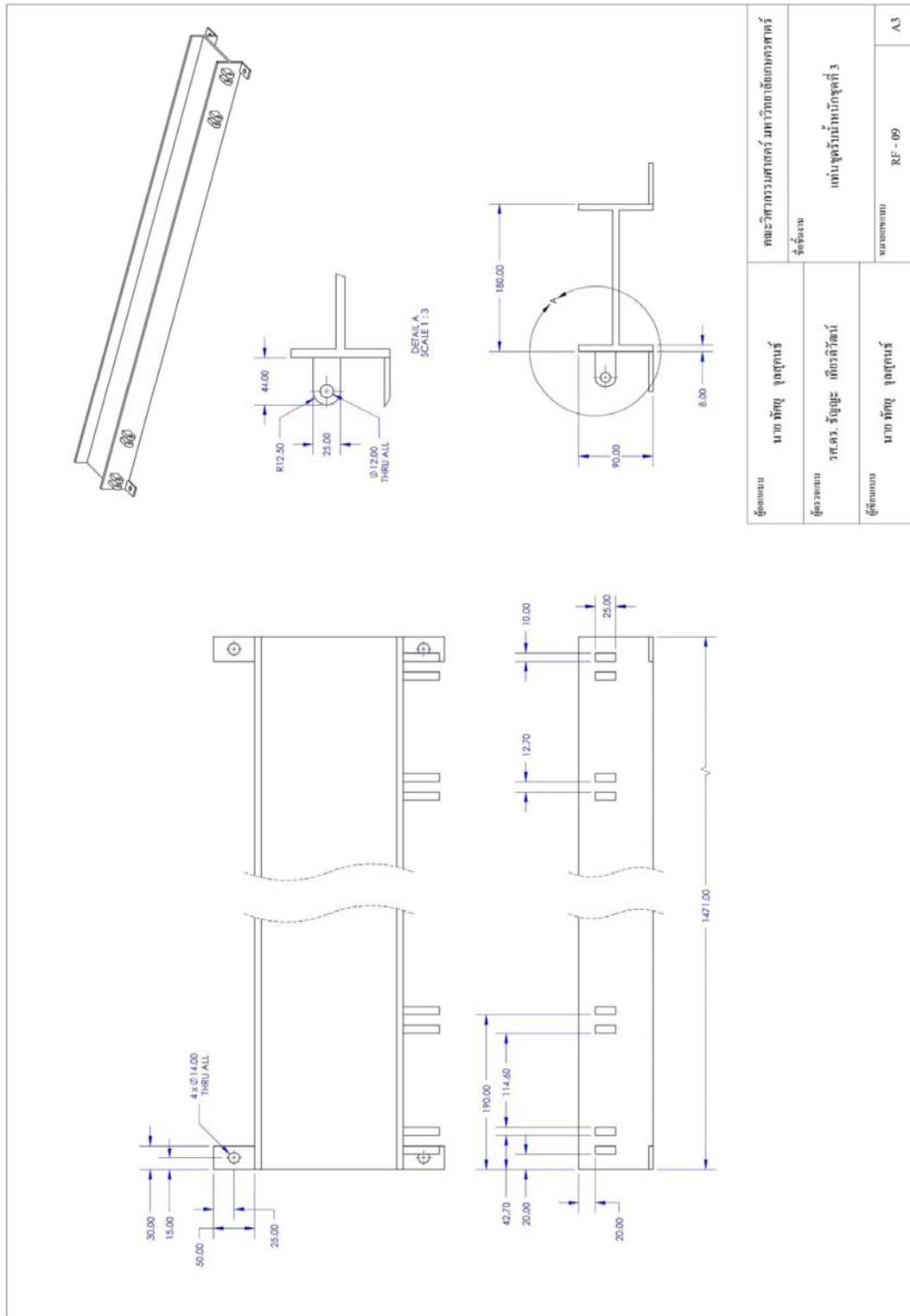
ภาพผนวกที่ ค21 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับชั้นที่2แบบเลขที่RF11



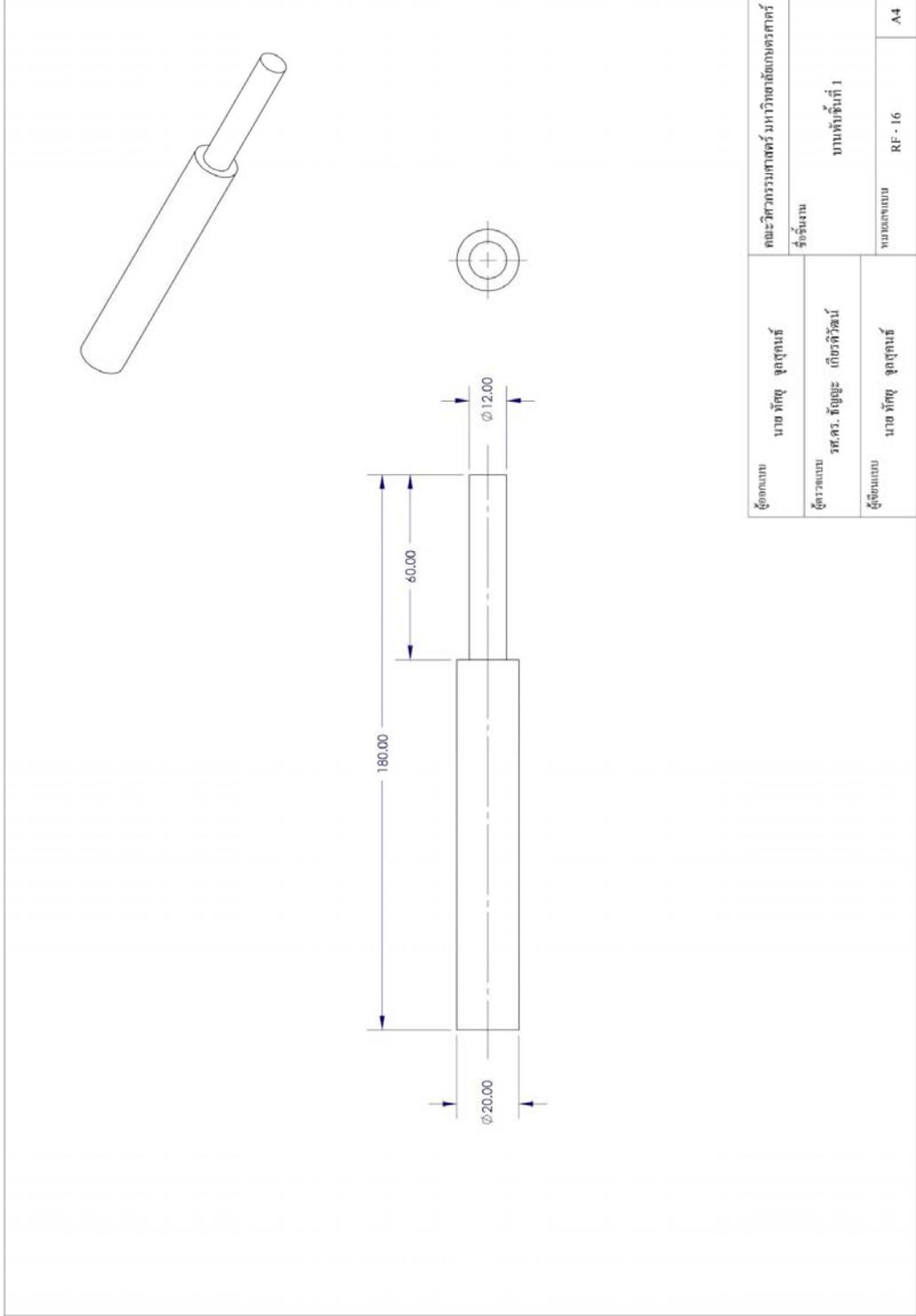
ภาพผนวกที่ ค22 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแผ่นยึดโรตเตอร์แบบเลขที่RF12



ภาพผนวกที่ ค23 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรายละเอียดแบบเลขที่RF13

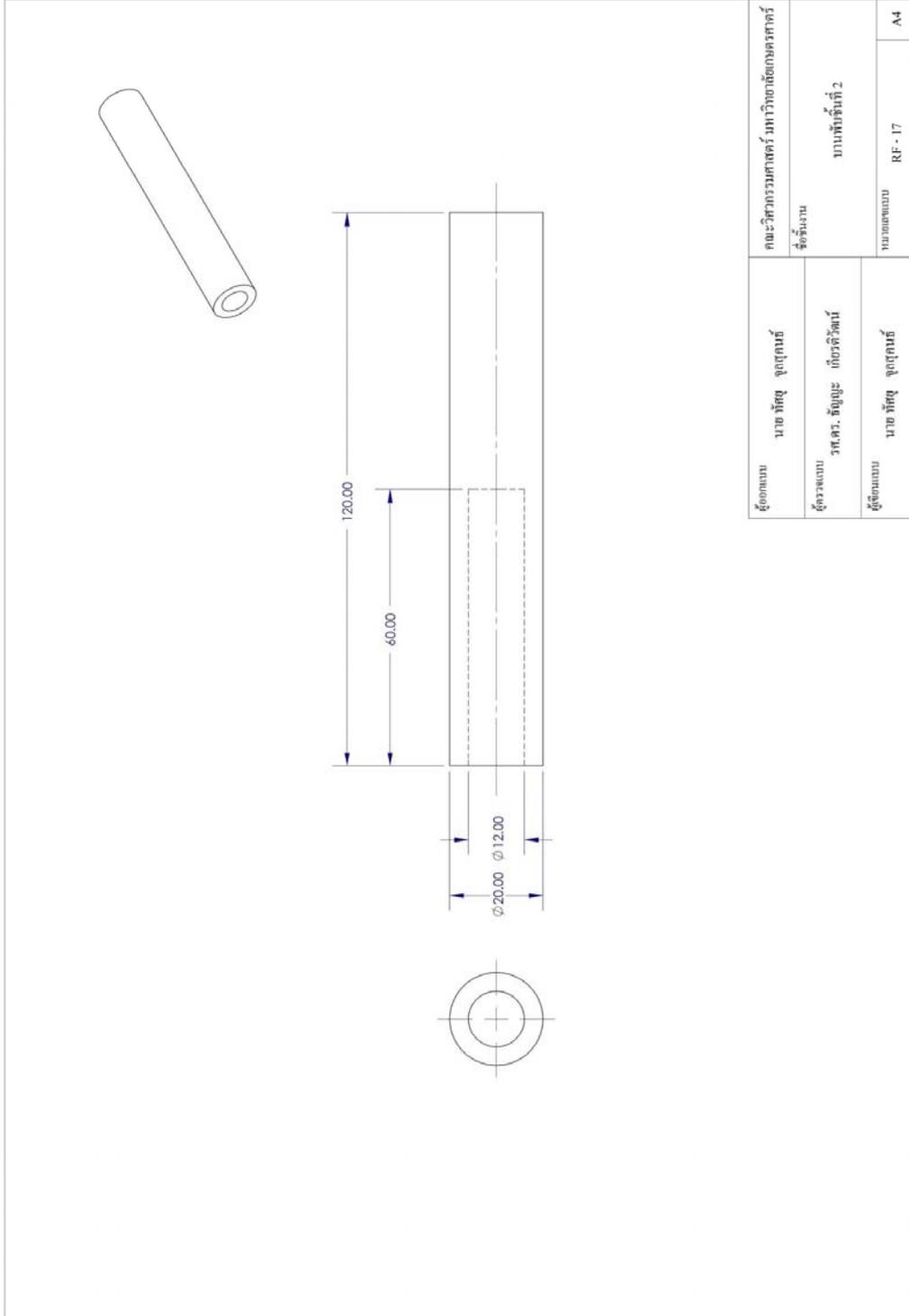


ภาพผนวกที่ ค24 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแผ่นยึดชุดรับน้ำหนักชุดที่3แบบเลขที่RF15

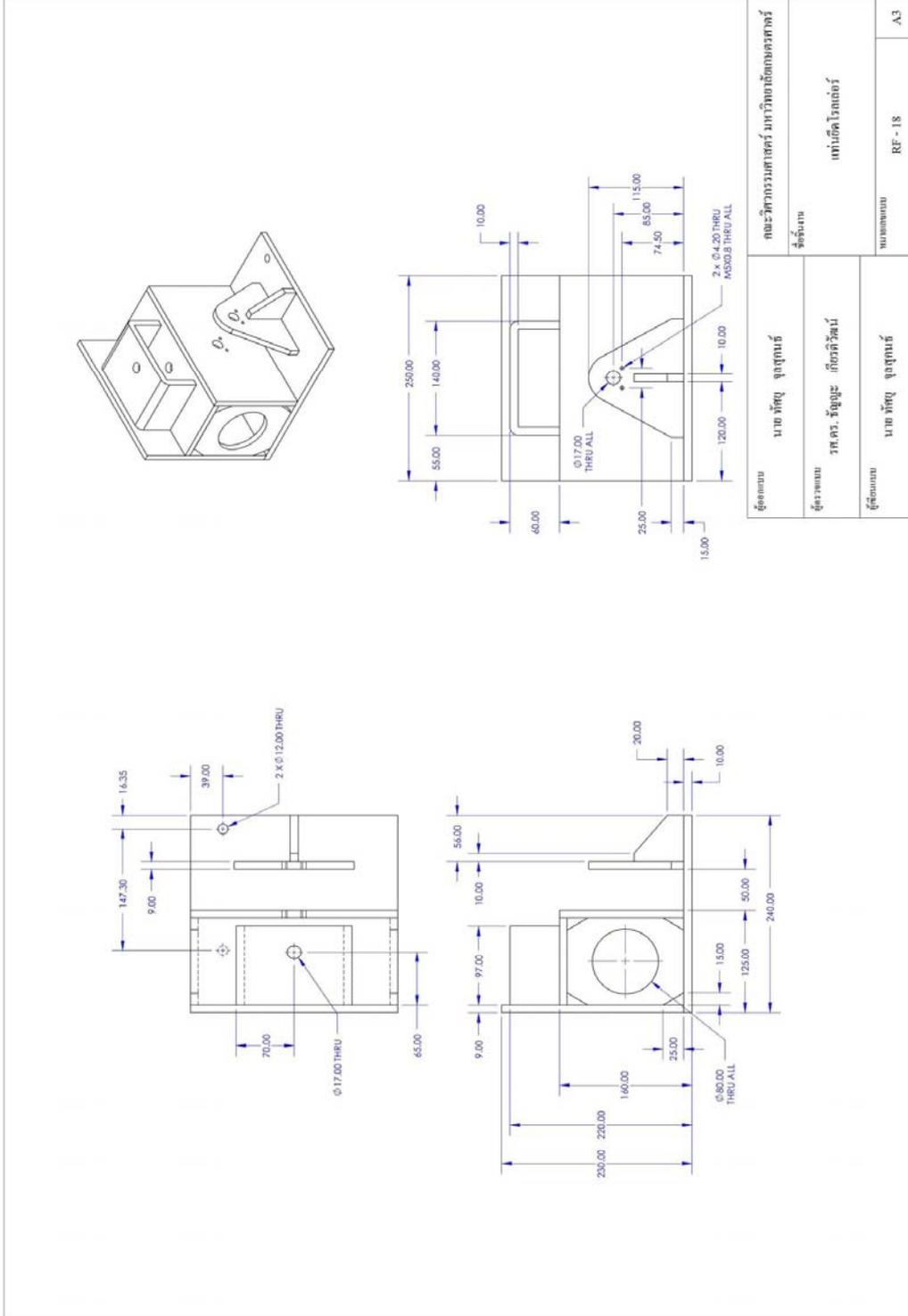


ผู้จัดทำแบบ นาย ทัตย์ ขุนสุคนธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบ รศ.ดร. รัชฎาธิศ เกียรติวิวัฒน์	ชื่อรุ่นงาน แบบทั้งหมดที่ 1
ผู้เขียนแบบ นาย ทัตย์ ขุนสุคนธ์	หมายเลขแบบ RF - 16
	A4

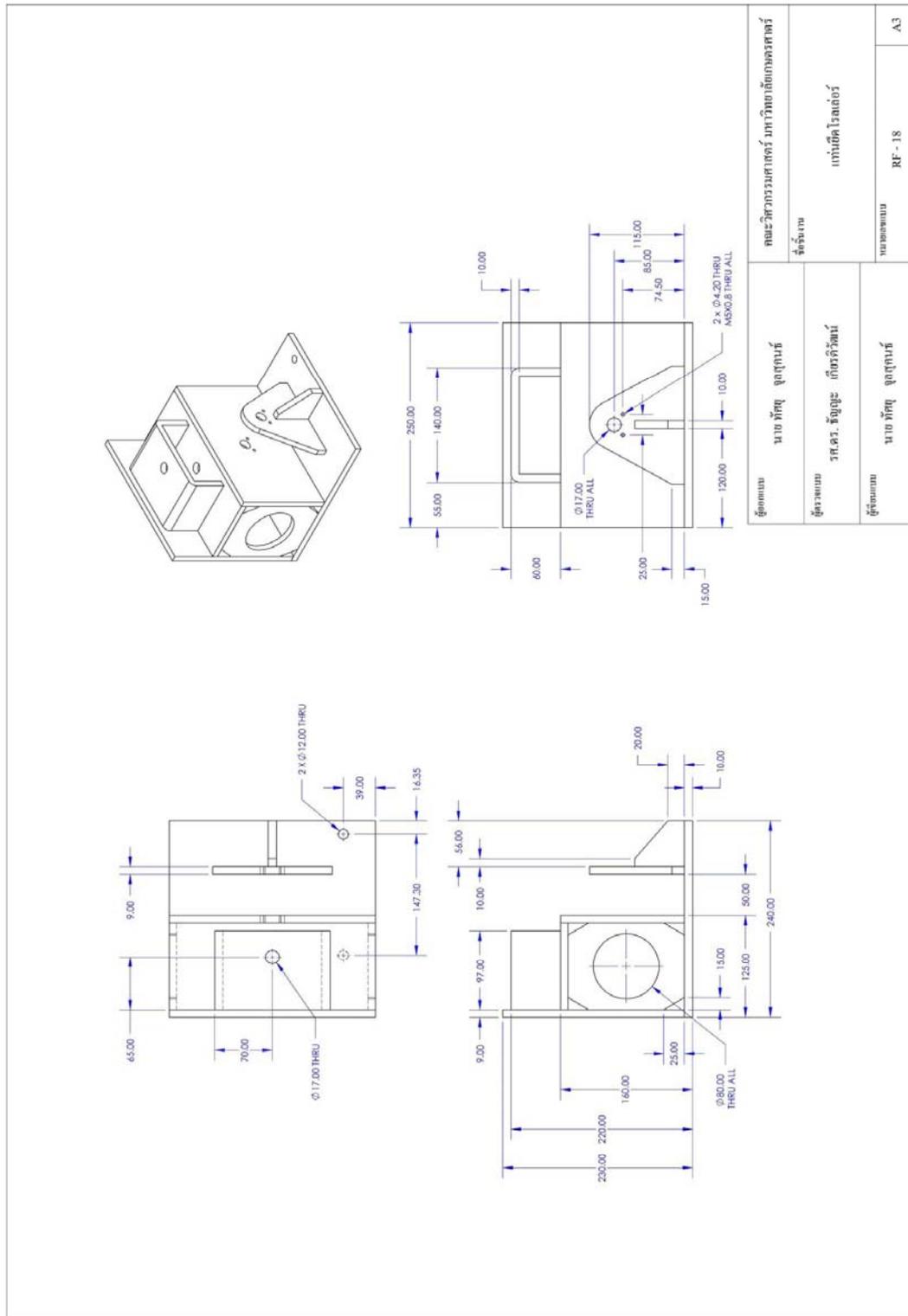
ภาพผนวกที่ ค25 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับชนิดที่ 1 แบบเลขที่ RF16



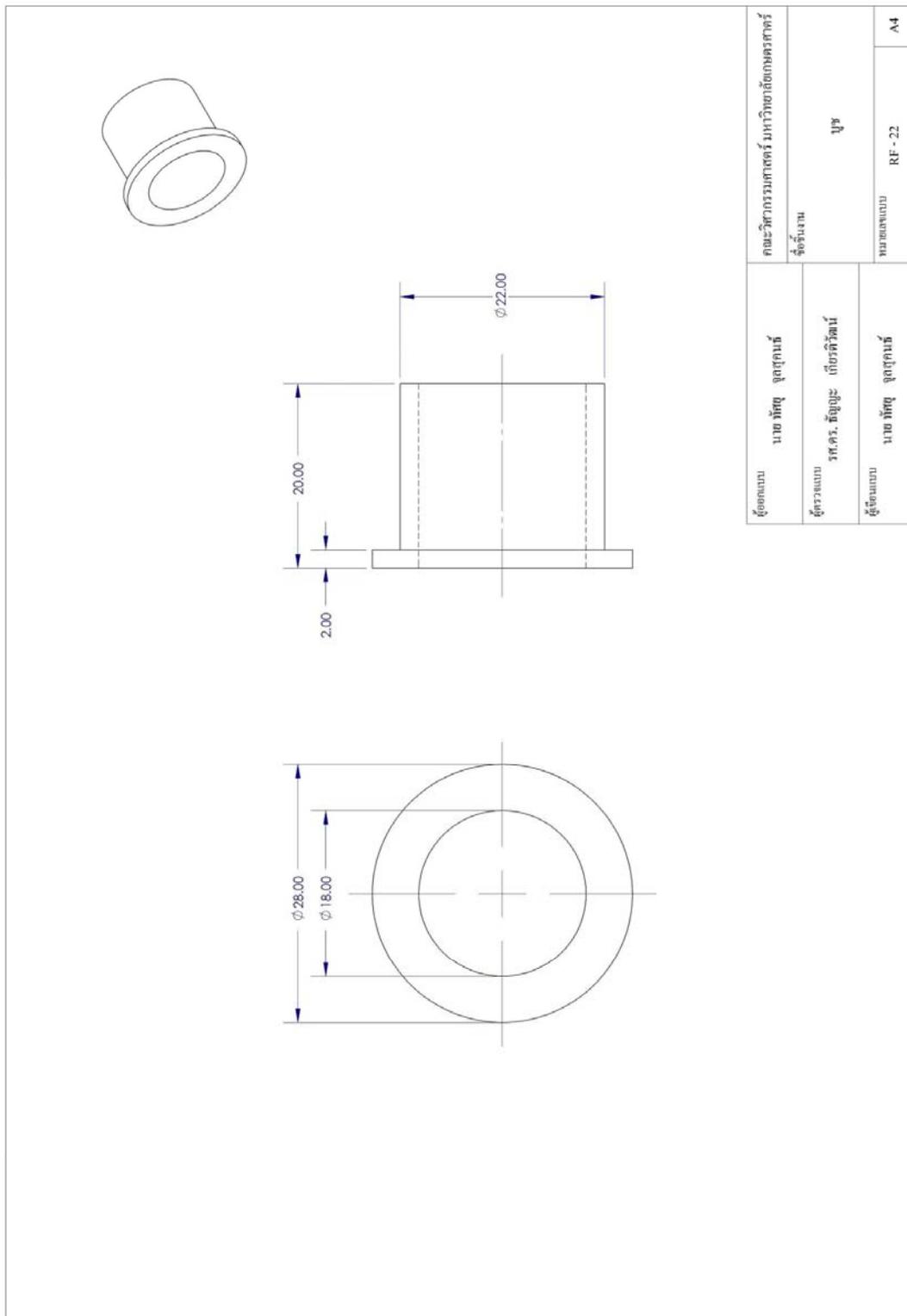
ภาพผนวกที่ ๓26 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดบานพับชิ้นที่ 2 แบบเลขที่ RF17



ภาพผนวกที่ ค27 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแผ่นยึดโรตเตอร์แบบเลขที่RF18

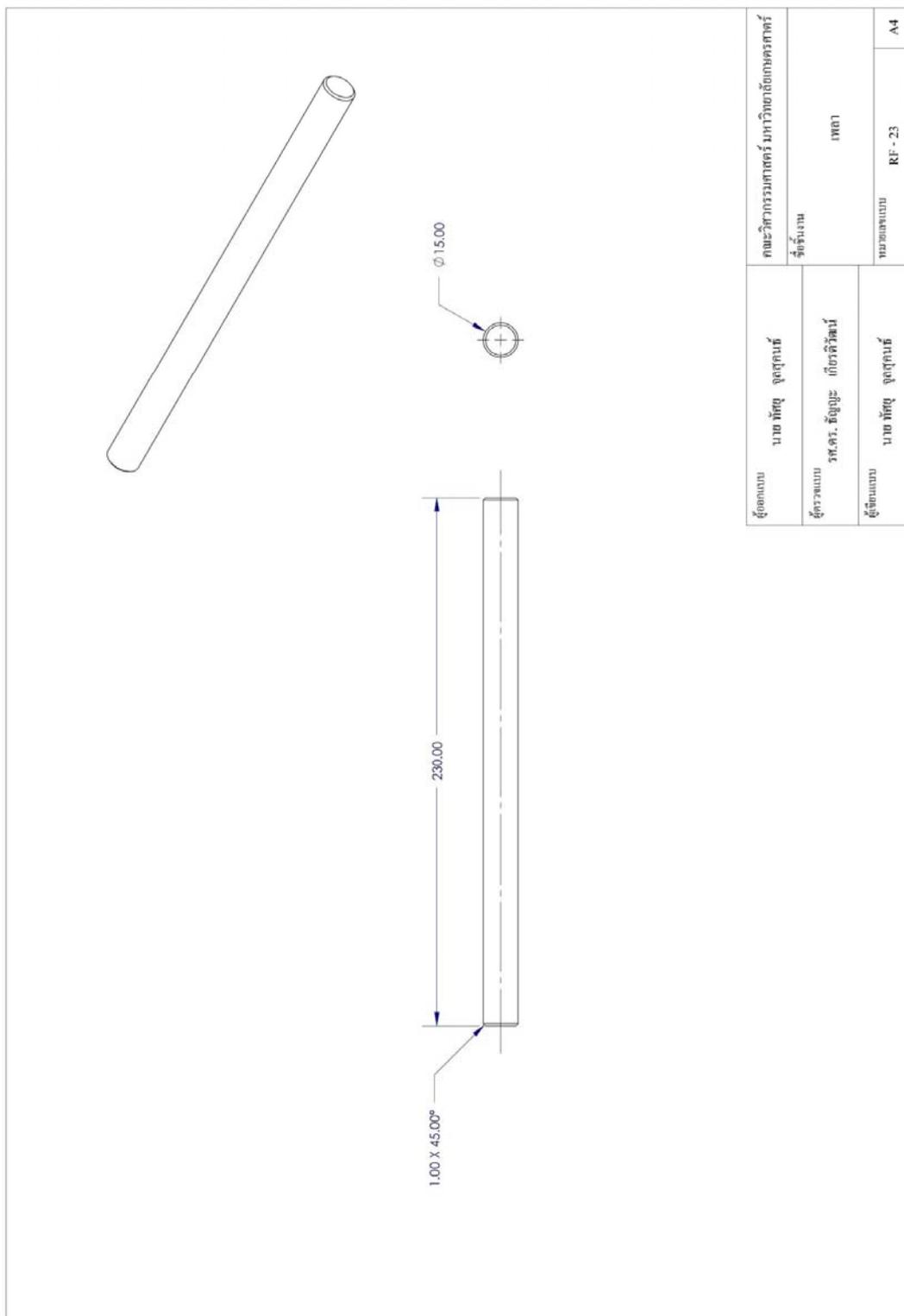


ภาพผนวกที่ ค28 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแทนชิ้น ไรต์เตอร์แบบเลขที่RF19



ผู้จัดทำแบบ	นาย ทัศย์ จุลสุคนธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
ผู้ตรวจแบบ	รศ.ดร. ธีญูระ เกียรติวัฒน์	ชื่อวิชา	
ผู้จัดทำแบบ	นาย ทัศย์ จุลสุคนธ์	หมายเลขแบบ	RF - 22
		ขนาดกระดาษ	A4

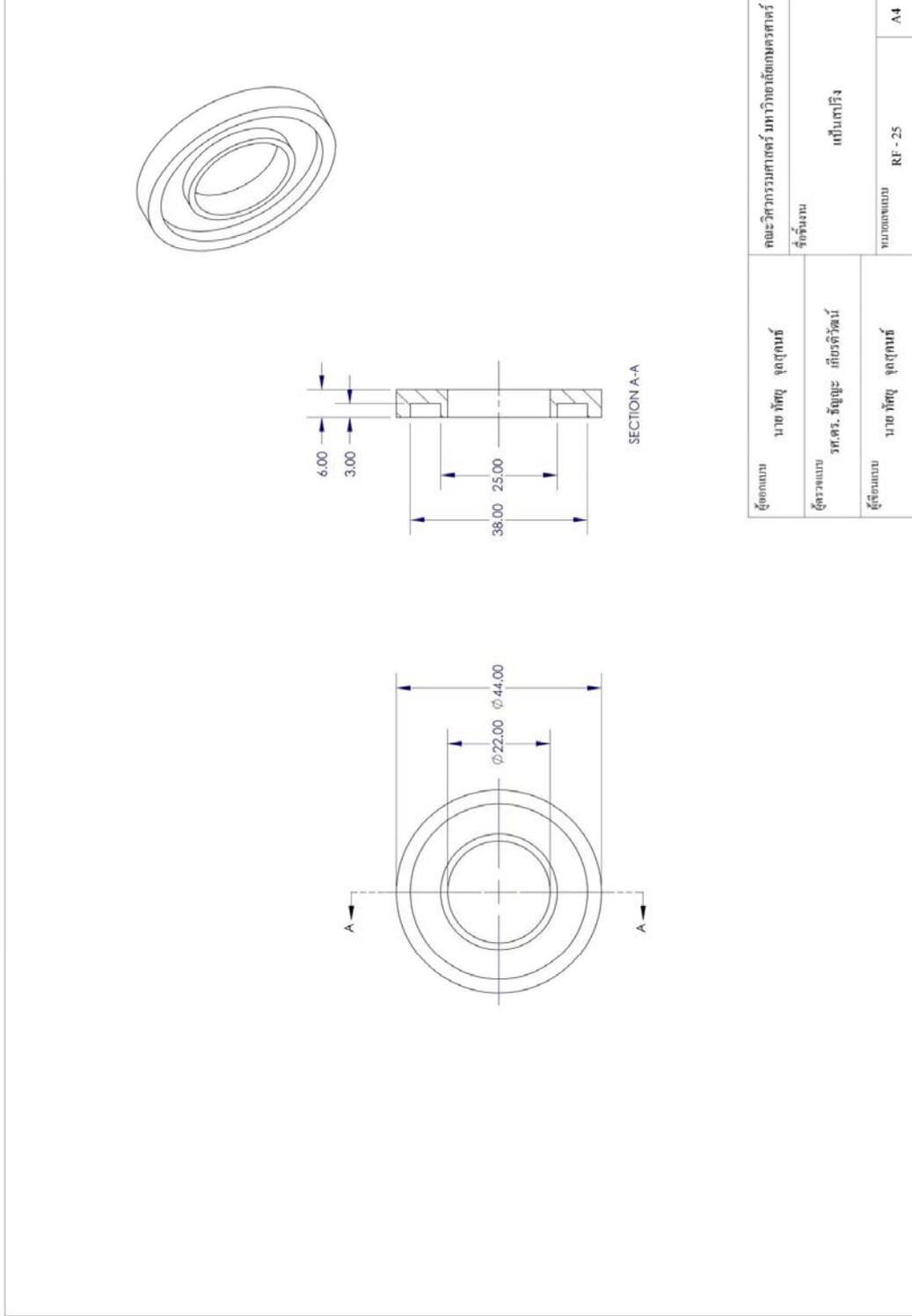
ภาพผนวกที่ ค29 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดของแบบเลขที่RF22



ผู้ออกแบบ	นาย พัทธ ใจสุคนธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ผู้ตรวจสอบ	รศ.ดร. อัญญา เกียรติวัฒน์	สีจันทน์
ผู้เขียนแบบ	นาย พัทธ ใจสุคนธ์	หมวดออกแบบ
		RF - 23
		A4

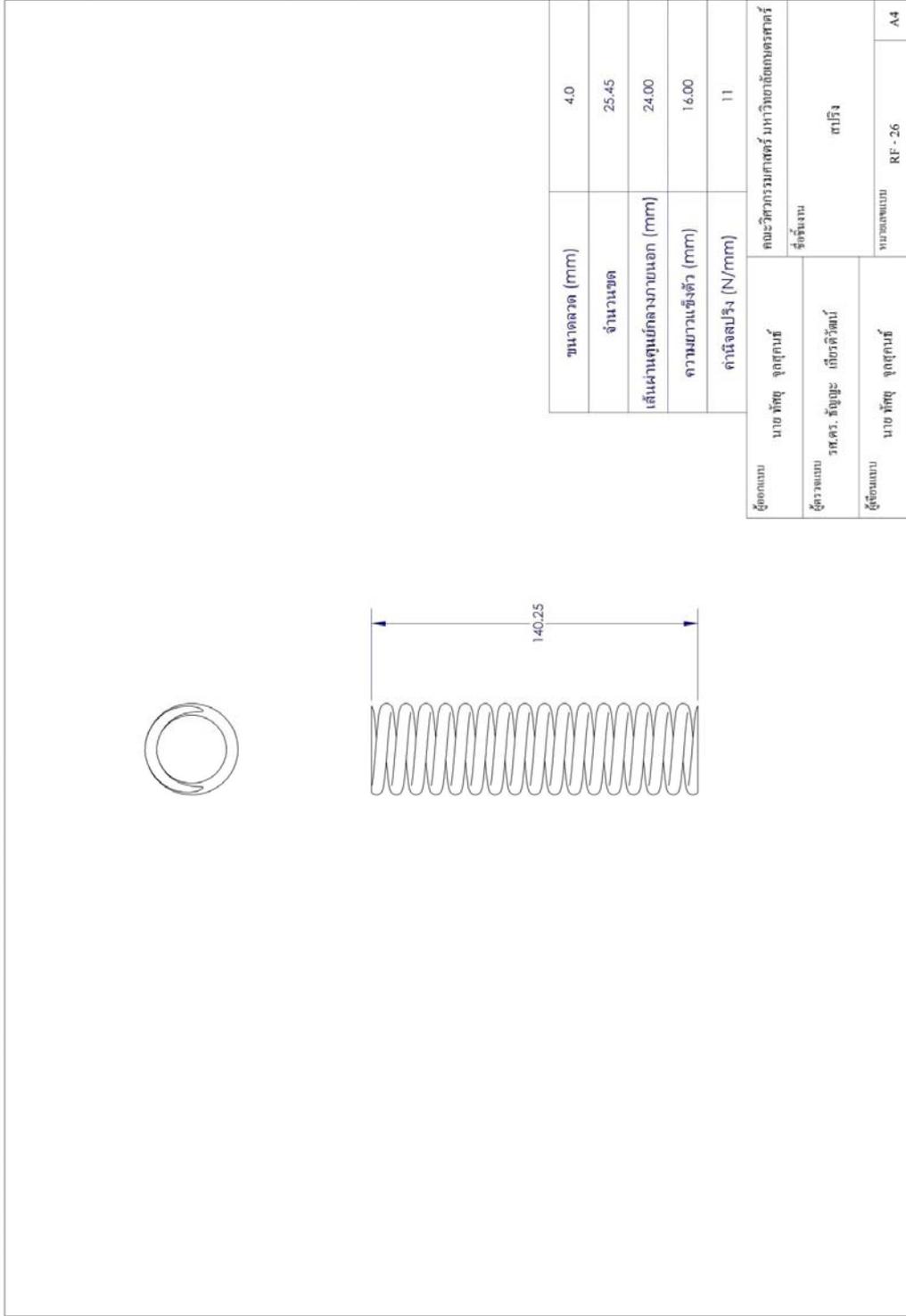
ภาพผนวกที่ ค30 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลานแบบเลขที่RF23



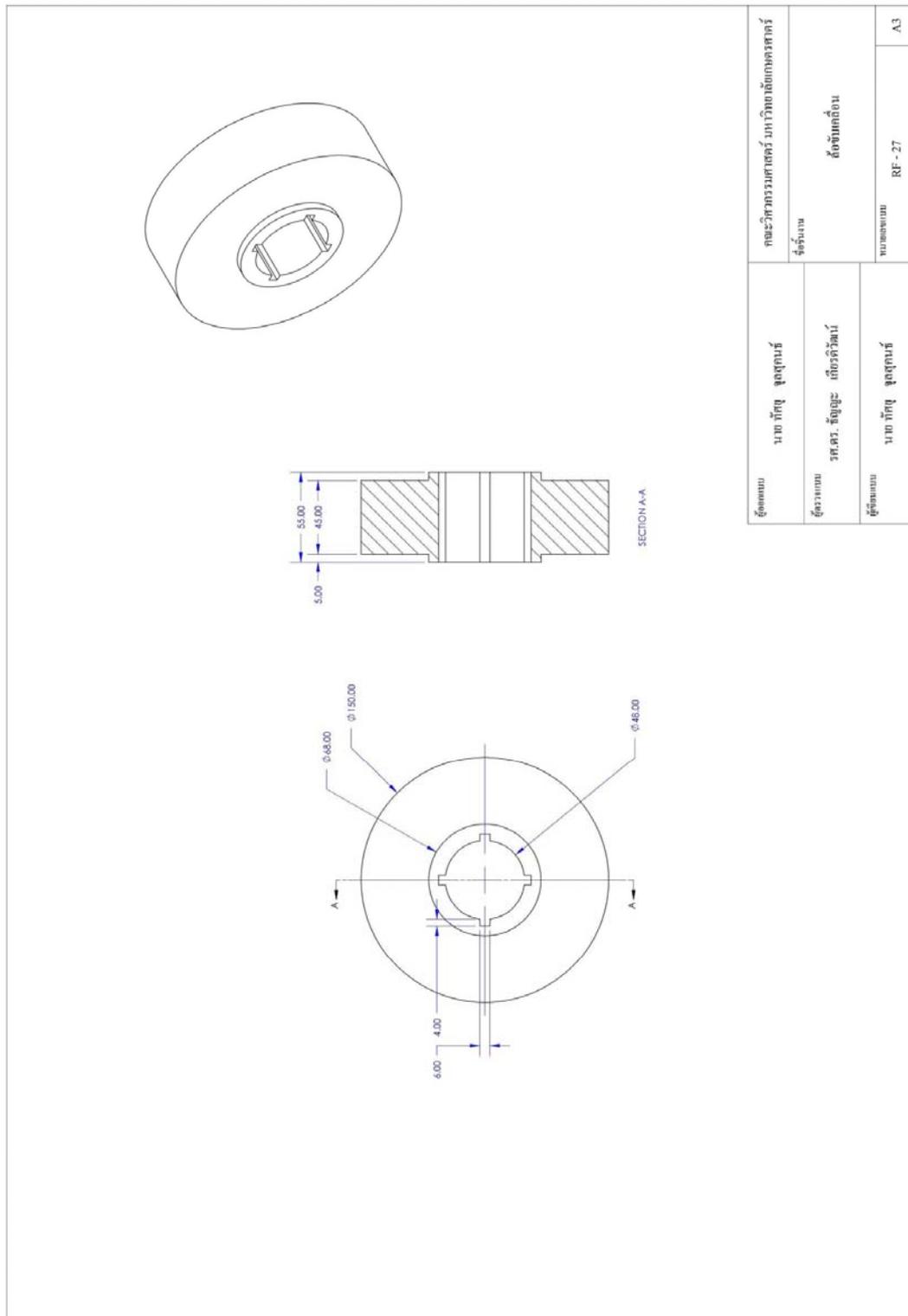


ผู้จัดทำแบบ	นาย กัทัญ จุฑาคุณธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจแบบ	รศ.ดร. ธัญญะ เกียรติวัฒน์	ชื่อชั้นงาน
ผู้เขียนแบบ	นาย กัทัญ จุฑาคุณธ์	ชื่อของผลงาน
		RF - 25
		A4

ภาพผนวกที่ ๓2 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเป็นสปรังแบบเลขที่RF25

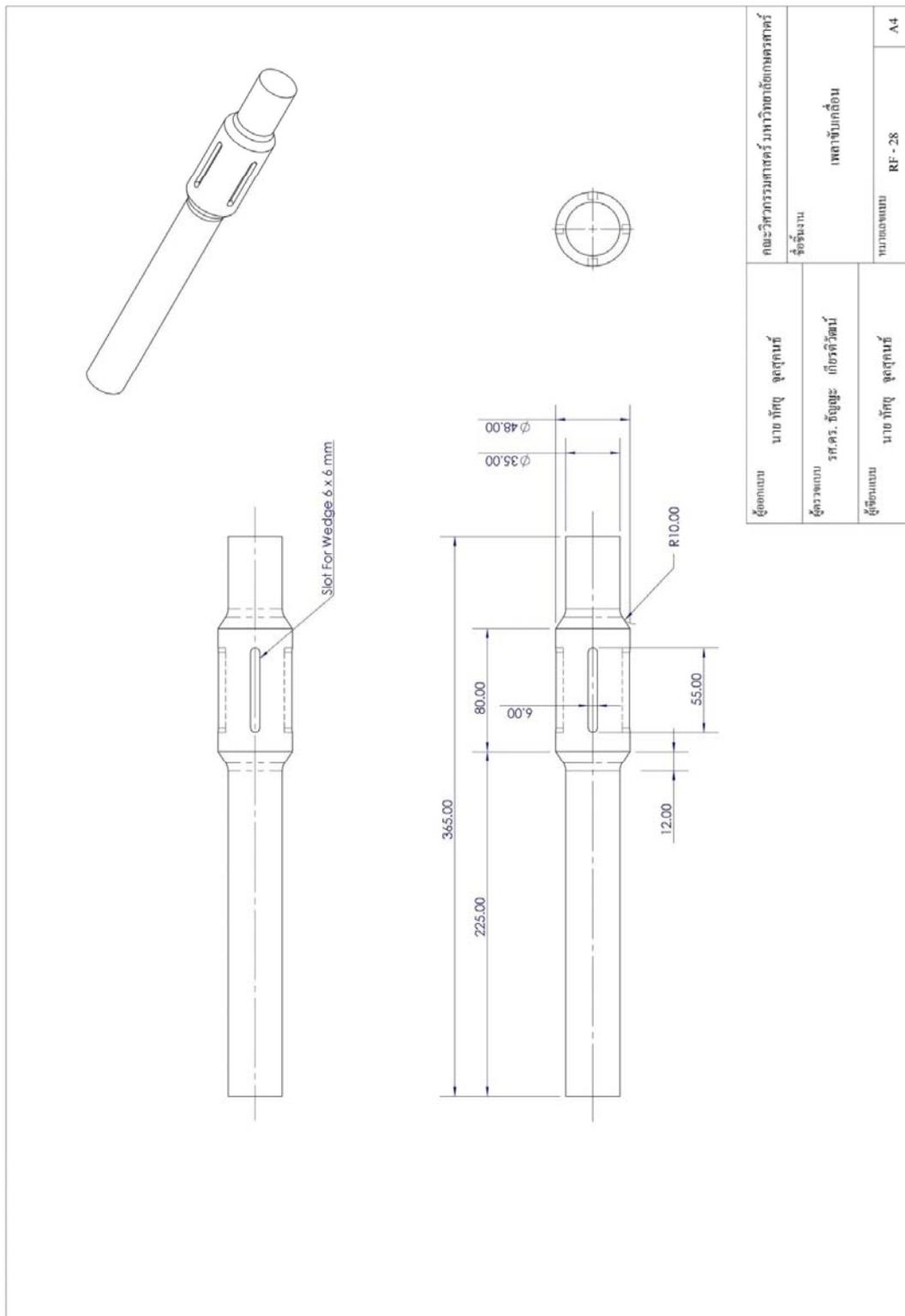


ภาพผนวกที่ ค33 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดสปริงแบบเลขที่RF26

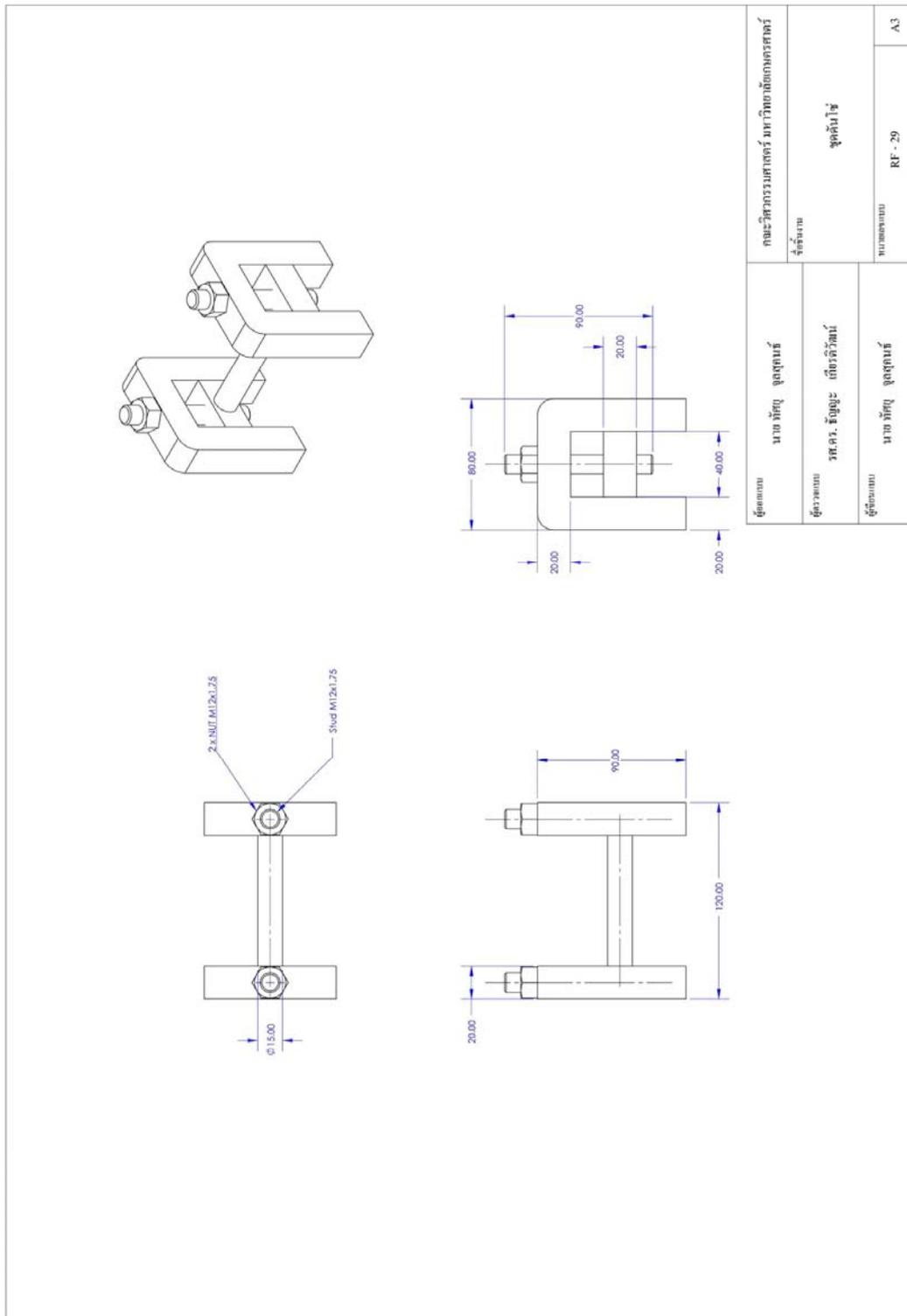


ผู้จัดทำแบบ นาย ทวีฤกษ์ จุฑาธุช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจสอบแบบ รศ.ดร. ธัญญะ เกียรติวัฒน์	ชื่อรุ่นงาน สิ่งขั้มเคลื่อน
ผู้จัดทำแบบ นาย ทวีฤกษ์ จุฑาธุช	หมายเลขแบบ RF - 27
	A3

ภาพผนวกที่ ค34 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดขั้มเคลื่อนแบบเลขที่RF27



ภาพผนวกที่ ค35 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลาขับเคลื่อนแบบเลขที่RF28



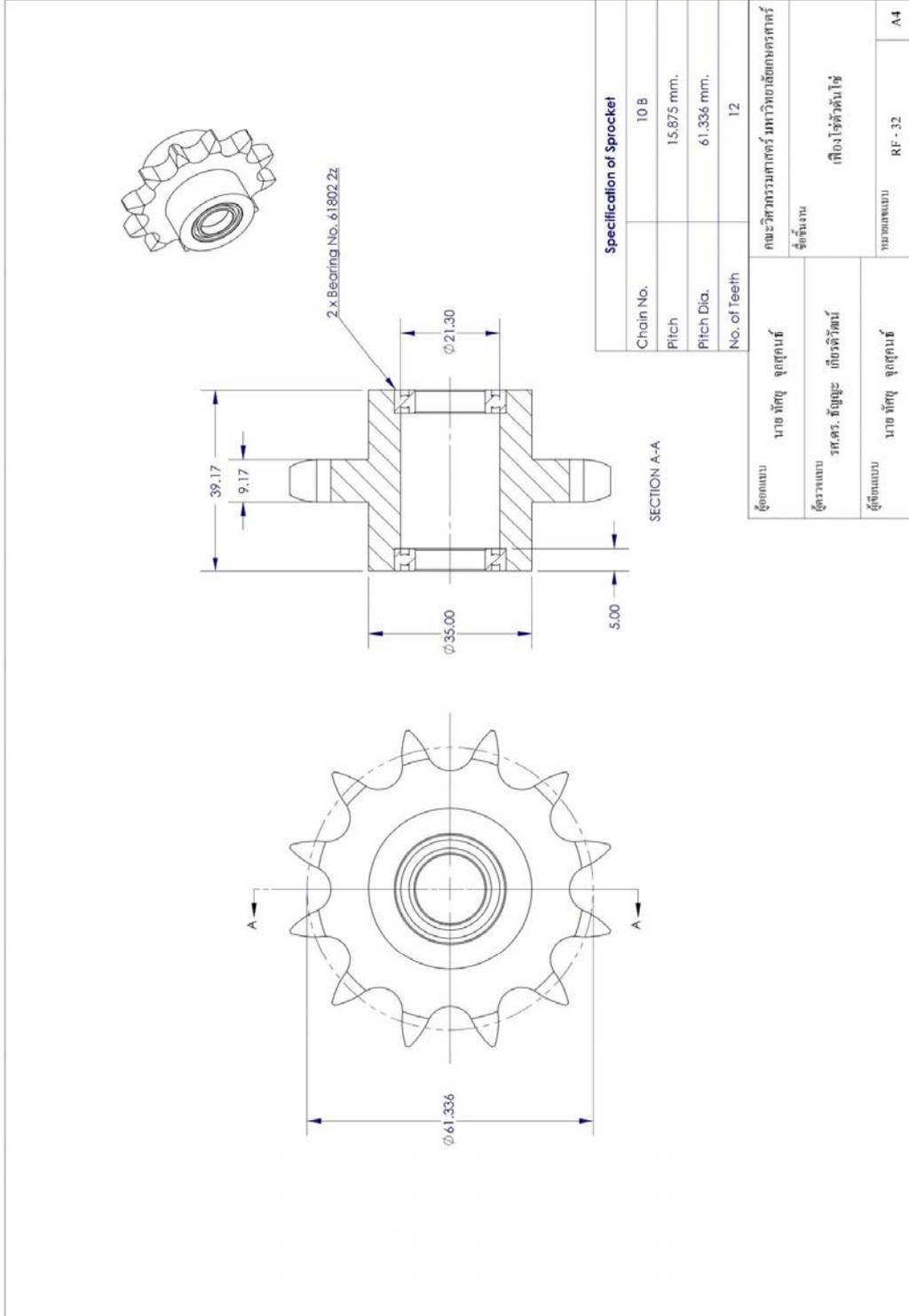
ภาพผนวกที่ ๓๖ แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดคัตินโซ่แบบเลขที่ RF29



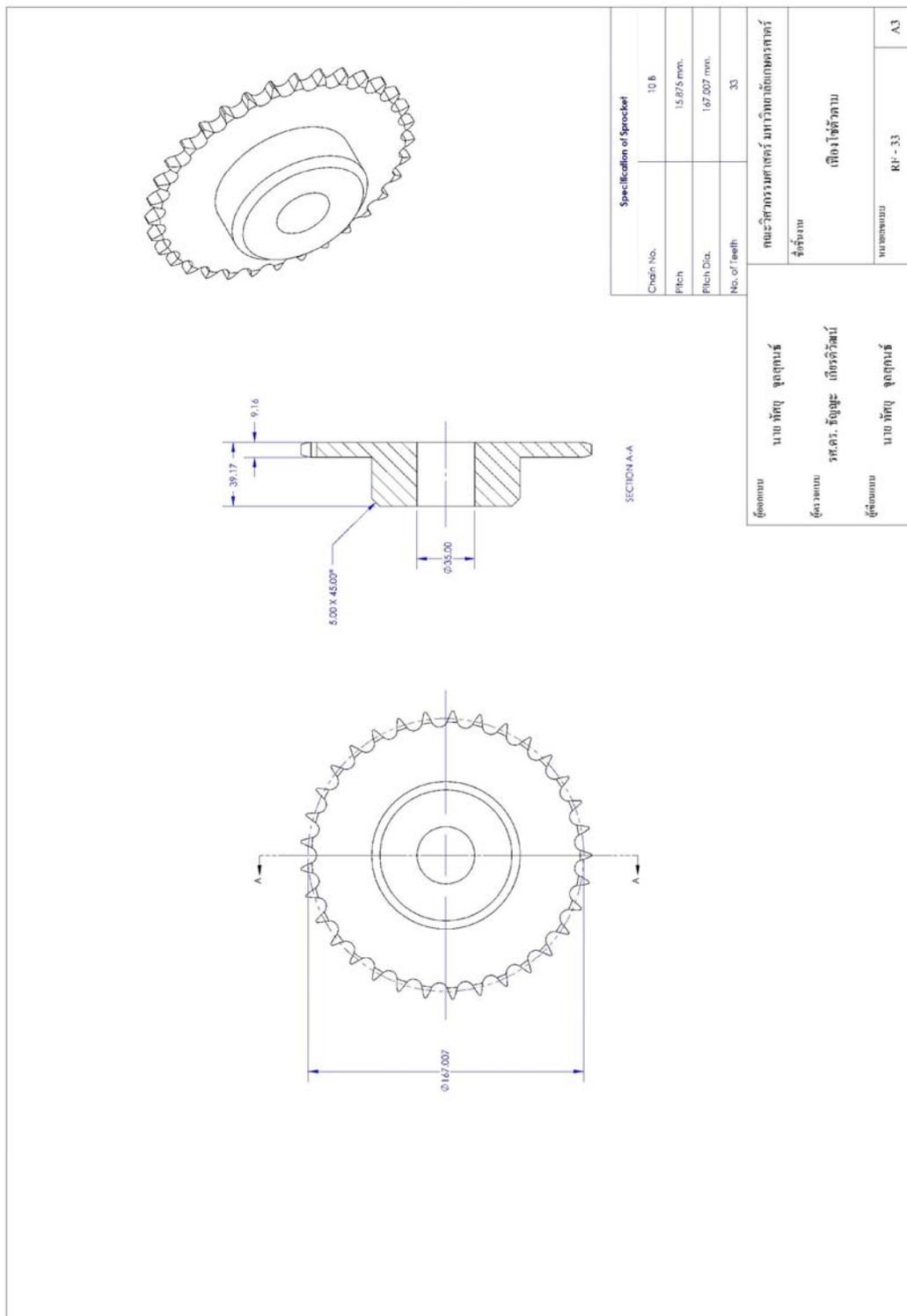
SPECIFICATION OF MOTOR	
TYPE	3 PHASE 4 POLE
OUTPUT	5 HP
GEAR RATIO	1:50
SUPPLY	220 V

ชื่อแบบ	ขนาด ทัชช จูตสูตนะ	คณะกรรมการศูนย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 4 ซัดรึนจน
ผู้ตรวจแบบ	รศ.ดร. ชัดชชชช กัดชชชชช	มอดกร้าไฟฟ้
ผู้เขียนแบบ	ขนาด ทัชช จูตสูตนะ	นมนชชชชช RF- 3I
		A4

ภาพนวกที่ ค38 แบบพมพีเจียแสดงรายละเอียชมอดกร้าไฟฟ้แบบนวกที่RF3I



ภาพผนวกที่ ค39 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพื่อองโซ่ตัวต้น โซ่แบบเลขที่ RF32

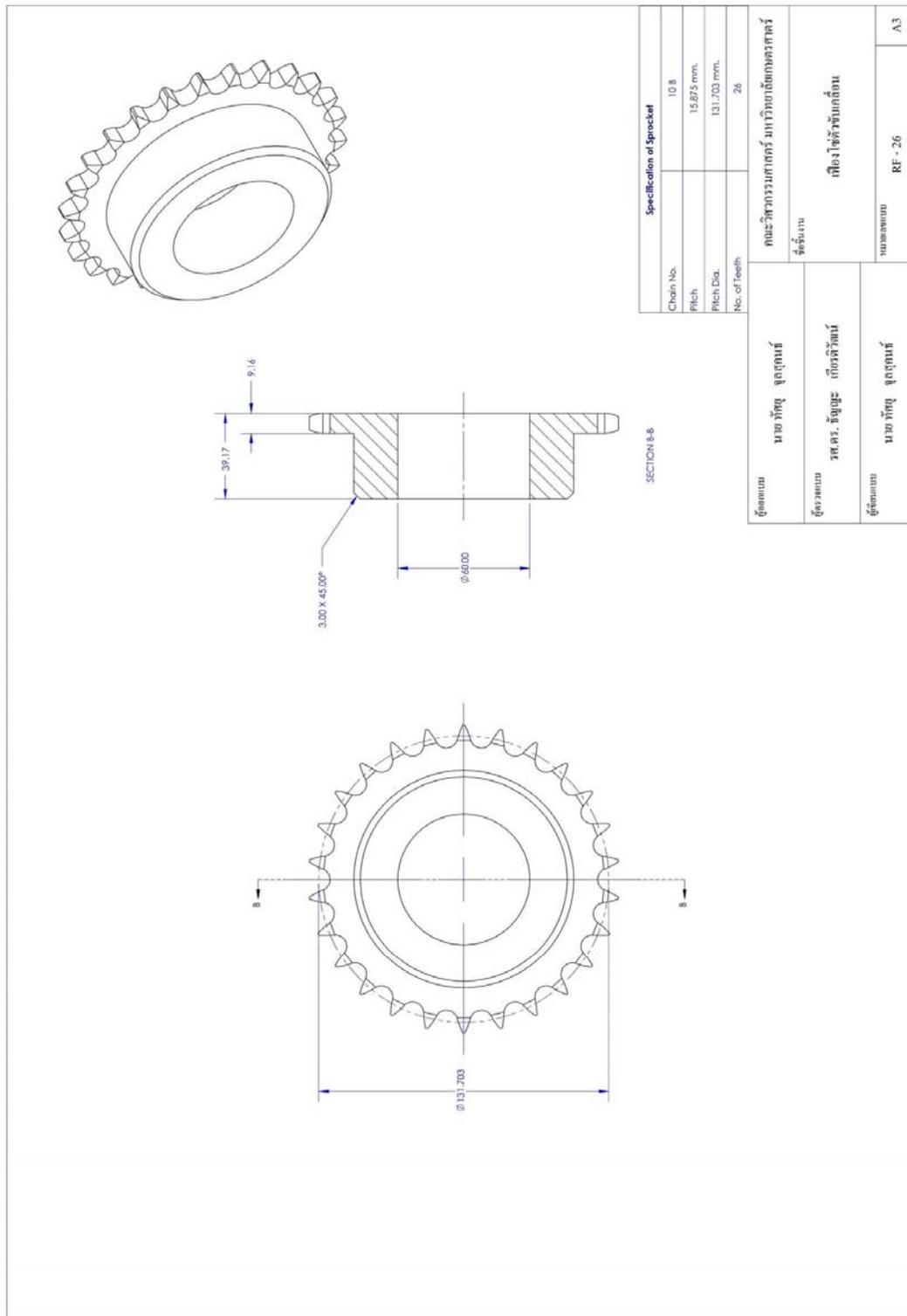


Specification of Sprocket	
Chain No.	10 B
Pitch	15.875 mm.
Pitch Dia.	167.007 mm.
No. of Teeth	33

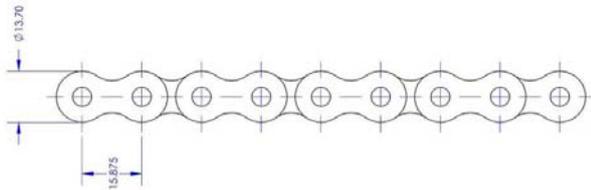
  

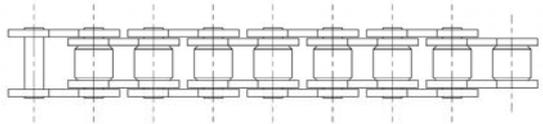
ผู้จัดทำ	นาย หัตถ์ จุลสุภณ์	คณะกรรมการมาตรฐาน	คณะกรรมการมาตรฐาน
ผู้ควบคุม	รศ.ดร. รุ่งฤดี เกียรติวัฒน์	ชื่อรับงาน	ไม่มีชื่อ
ผู้เขียน	นาย หัตถ์ จุลสุภณ์	หมายเลขแบบ	RF- 33
			A3

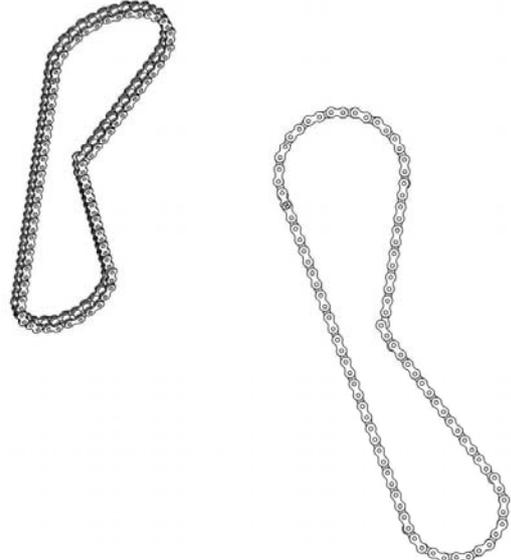
ภาพนวกที่ ค40 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพื่อจัดทำตามแบบเลขที่RF33



ภาพผนวกที่ ค41 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพื่อใช้ตัวจับแบบเลขที่ RF34





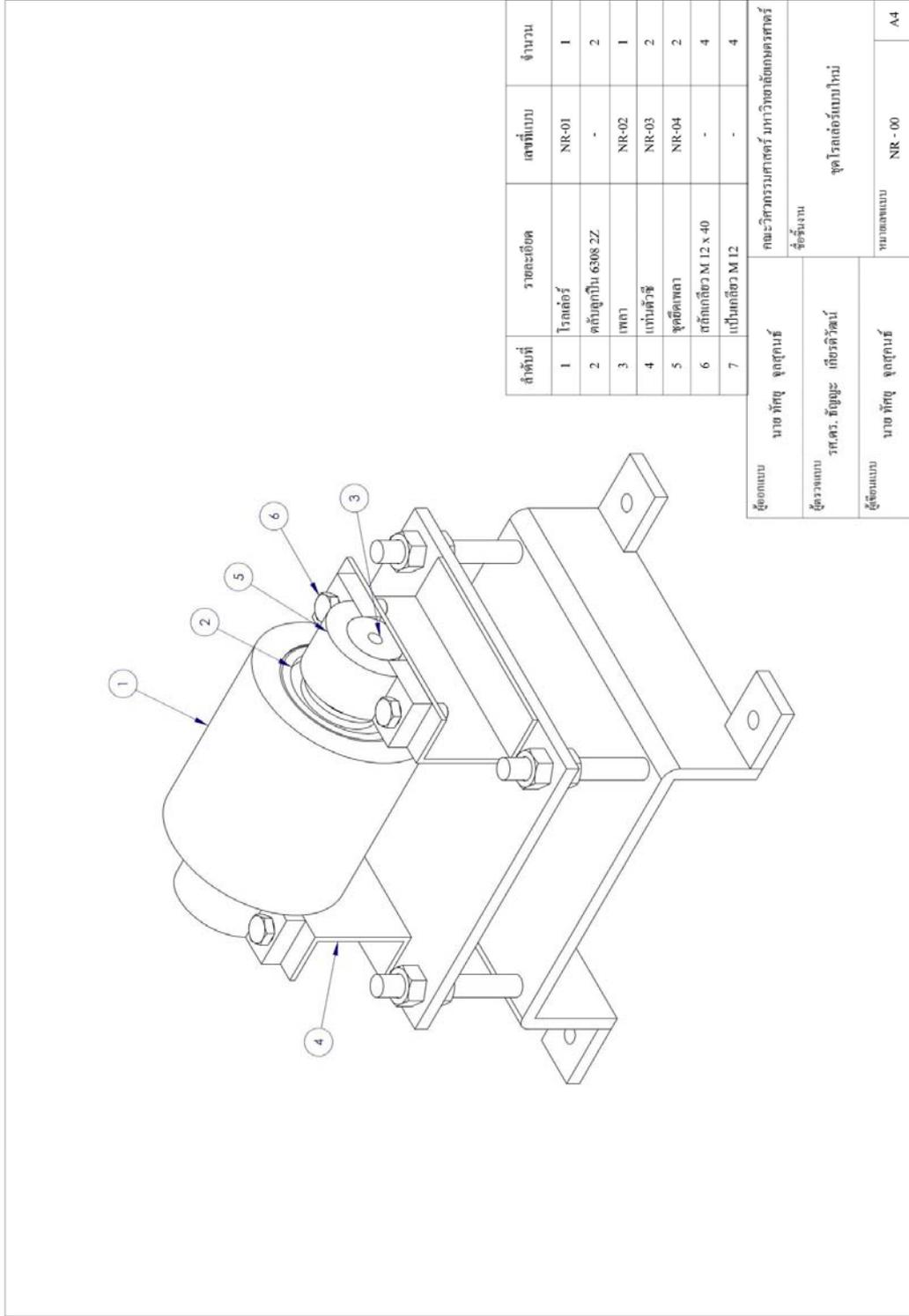


Specification of Sprocket	
Chain No.	10 B
Pitch	15.875 mm.
Pitch Dia.	131.703 mm.
Total Length	1448.25 mm.

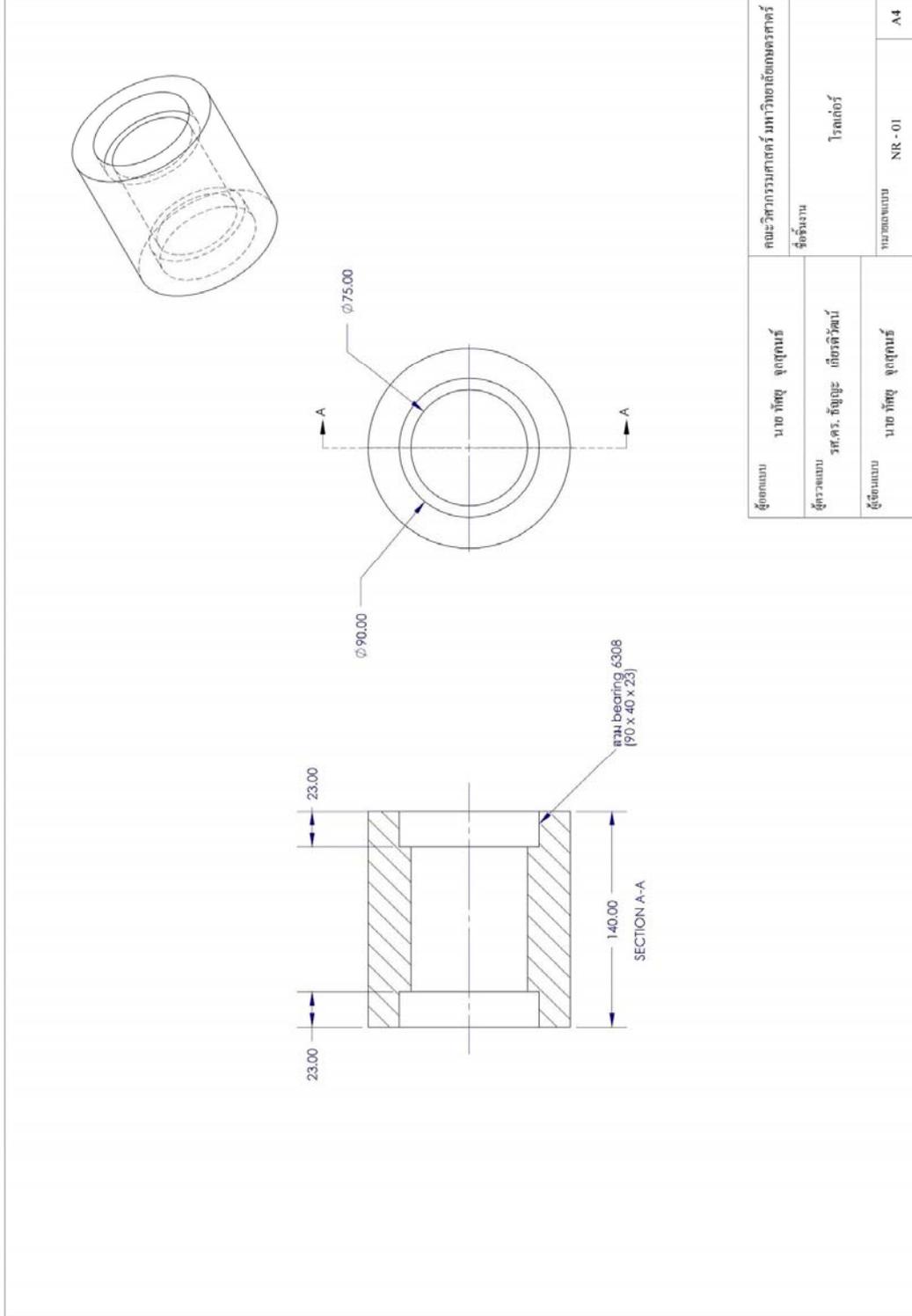
ชื่อแบบ	นาย รัชฎ์ จุลจันทน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ชื่อรุ่น
ชื่อวิชาแบบ	ทศ.ดร. รัชฎ์ จุลจันทน์		ชื่อ
ชื่อแบบ	นาย รัชฎ์ จุลจันทน์		แบบฉบับ
			RF - 35
			A3

ภาพผนวกที่ ค42 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดโซ่แบบเลขที่ RF35

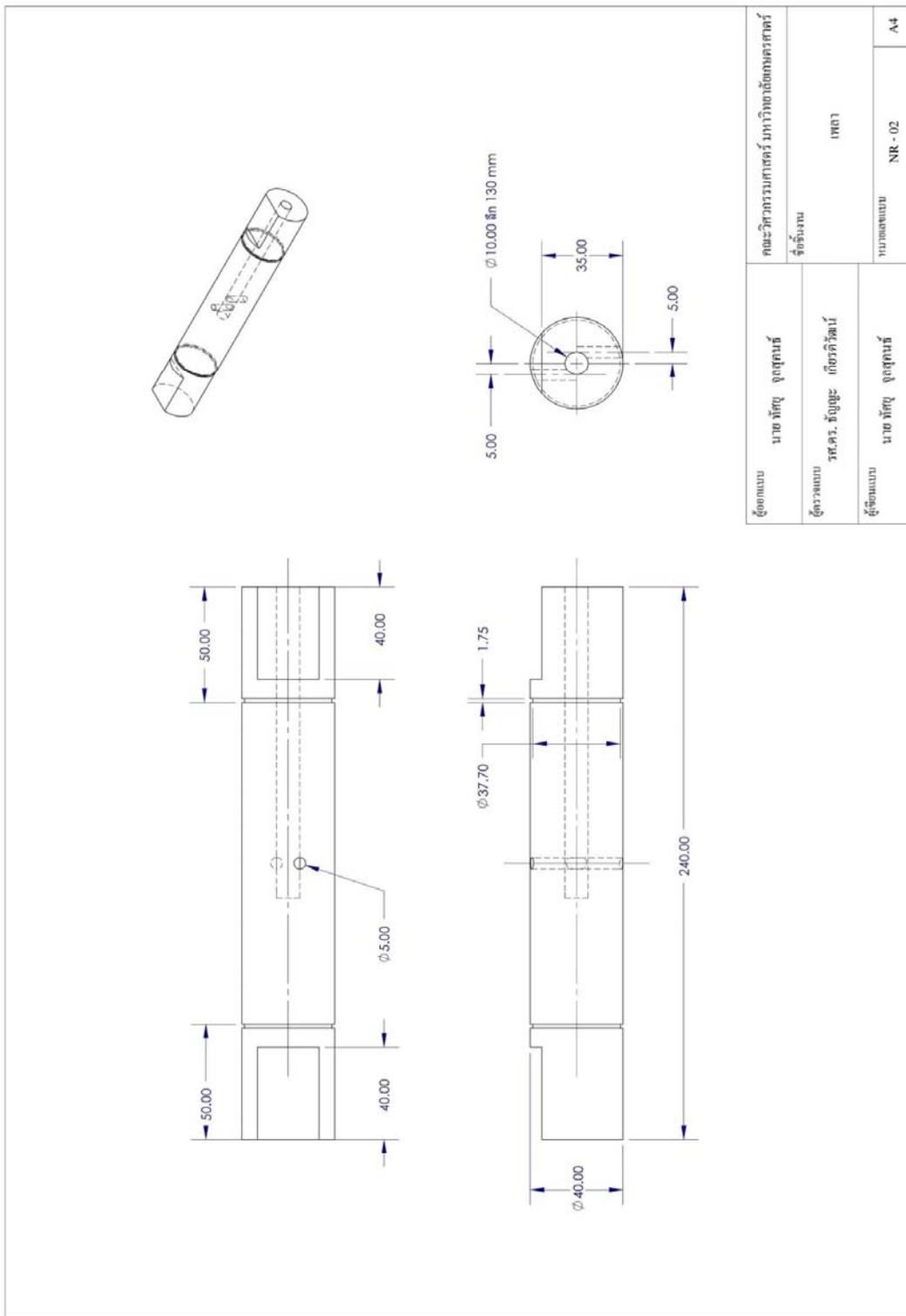




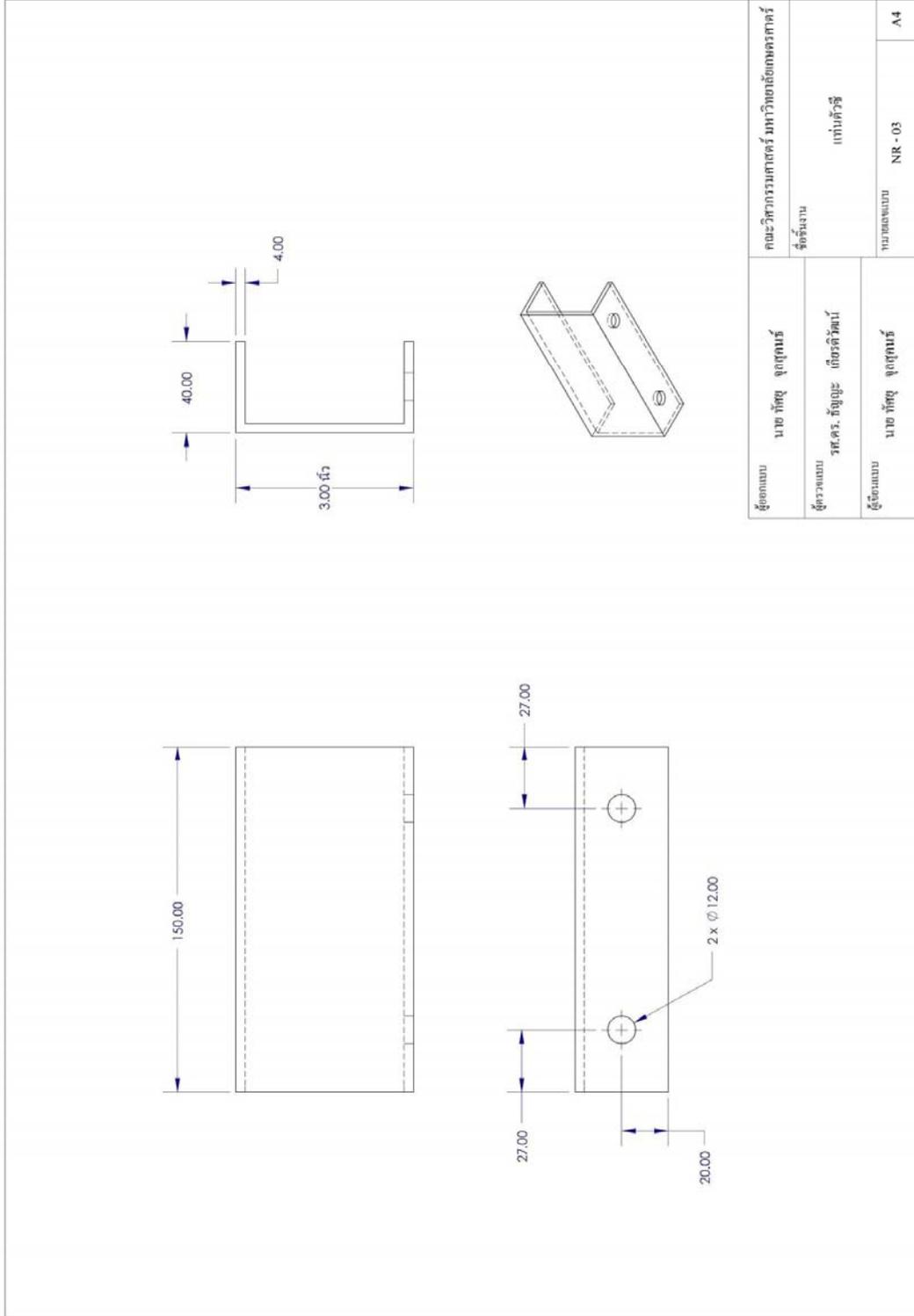
ภาพผนวกที่ ค44 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดโรเตอร์แบบใหม่แบบเลขที่NR00



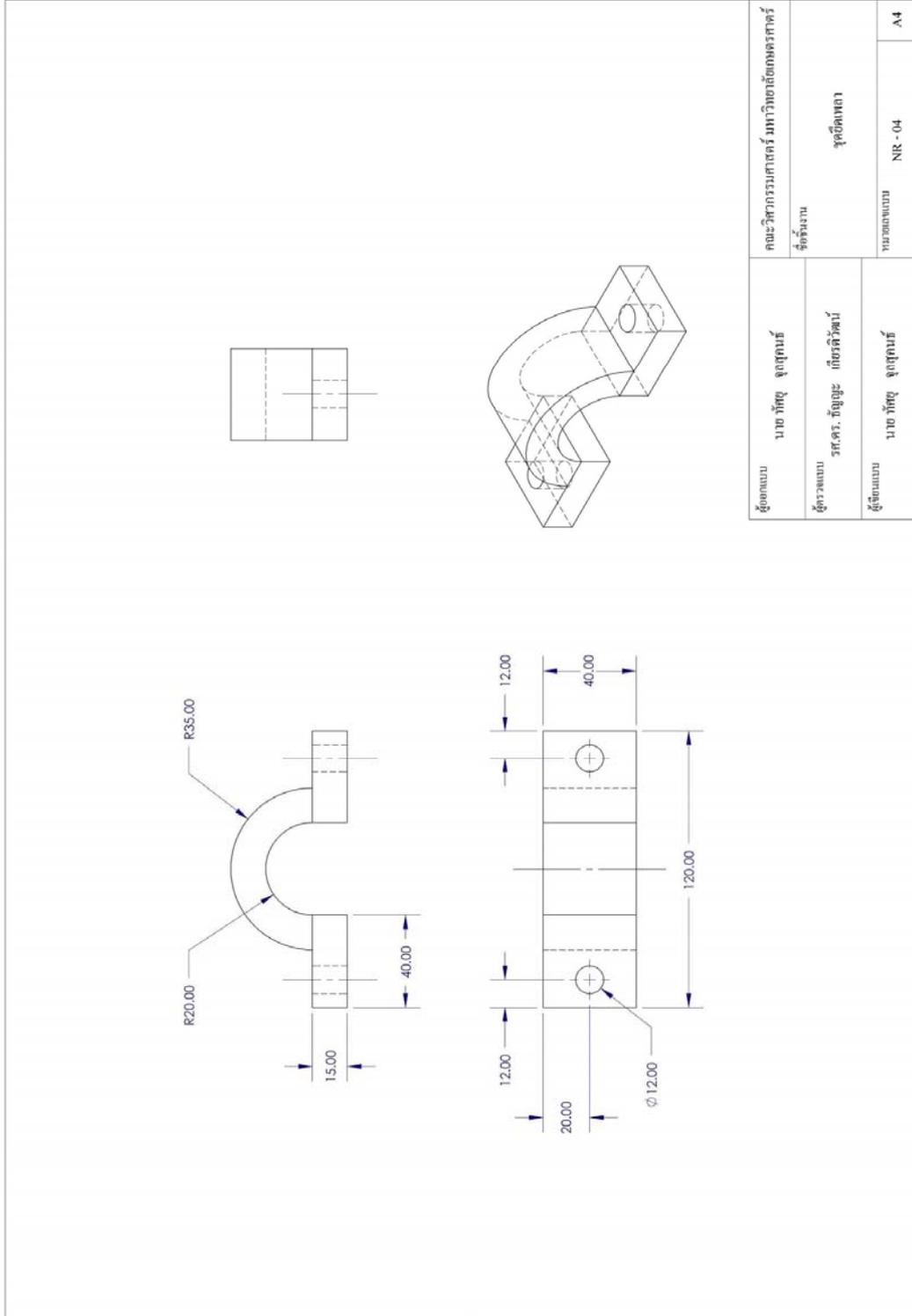
ภาพหน้าที่ ค45 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดโรลเลอร์แบบใหม่หมายเลขที่NR01



ภาพผนวกที่ ค46 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดเพลารอกเลอร์แบบใหม่แบบเลขที่NR02



ภาพผนวกที่ ค47 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดแทน โรตเตอร์ใบใหม่แบบเลขที่NR03



ชื่อคนแบบ	นาย ทัชช จุฑสุนันท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ตรวจแบบ	รศ.ดร. ธัญญา เกียรติวัฒน์	ชื่อรุ่นงาน
ผู้เขียนแบบ	นาย ทัชช จุฑสุนันท์	หมวดของแบบ
		NIR - 04
		A4

ภาพผนวกที่ ค48 แบบพิมพ์เขียวแสดงรายละเอียดชุดซีดโรลเลอร์แบบใหม่แบบเลขที่NR04

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายทัศยุ จุลสุคนธ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 9 กันยายน 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	Mechanical Engineer
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	Mixen Corporation Co.,Ltd
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	" Excellent Award " CadThai Mechanical Product Design # 2 (2002) " The Winner Award " CadThai Mechanical Product Design # 3 (2003) " The Winner Award " Honda Econo Power Contest # 6 (2003)