



วิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้หลักการของทากูชิเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สุด
ในการออกแบบตู้หนึ่งปาล์ม

AN APPLICATION OF TAGUCHI'S APPROACH IN
THE OPTIMIZATION DESIGN OF PALM'S STERILIZER

นายสำเริง เกษยา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์ใช้หลักการของทากูชิเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบตู้ขึ้นปาล์ม

An Application of Taguchi's Approach in the Optimization Design of Palm's Sterilizer

นามผู้วิจัย นายสำเริง เกษยา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชพล ชงษ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทวีเดช ศิริธนไพพัฒน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, D.Phil)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 26 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้หลักการของทากูชิเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบตู้ฆ่าเชื้อปาล์ม

An Application of Taguchi's Approach in the Optimization Design of Palm's Sterilizer

โดย

นายสำเริง เกษยา

เสนอ

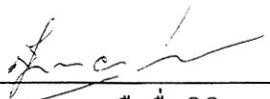
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2551

สำเร็จ เกษยา 2551: การประยุกต์ใช้หลักการของทากูชิเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สุด
ในการออกแบบตู้หนึ่งปาล์ม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชพล ชังชู, Ph.D. 151 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหลักการของทากูชิเพื่อประยุกต์ใช้ในการ
ออกแบบตู้หนึ่งปาล์ม โดยใช้ข้อมูลสถิติของเสียจากการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดย
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้คือ ± 0.020 มิลลิเมตร, ± 0.015 มิลลิเมตร และ ± 0.010
มิลลิเมตร ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับดังกล่าวได้แก่ 2 เปอร์เซ็นต์,
3 เปอร์เซ็นต์และ 8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จำนวนชิ้นงานที่ผลิต 12,000 ชิ้นต่อเดือน ในหนึ่งเดือน
จะคิดเวลาการทำงาน 26 วัน และใน 1 วันจะทำงาน 16 ชั่วโมง ขั้นตอนของการผลิตชิ้นงานทุกชิ้น
จะกำหนดให้มีกระบวนการผลิตและจำนวนพนักงานเหมือนกันทุกชิ้น โดยกระบวนการผลิต
จะเริ่มจากการนำเหล็กไปให้ความร้อนด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า จากนั้นนำไปตีขึ้นรูป และผ่าน
เครื่องจักรอัดโน้มตีอีกสองขั้นตอน ใช้พนักงานในการผลิตทั้งกระบวนการ 6 คน พนักงานทุกคน
มีเงินเดือน 6,300 บาทจากผลการทดลองของกรณีศึกษาพบว่าจากชิ้นงานที่เป็นไปตามหลักการ
ของทากูชิจะต้องมีราคาตั้งแต่ 6,500 บาท หรือชิ้นงานจะต้องมีราคาขายอย่างน้อย 1.6 เท่าเมื่อ
เปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิต


ลายมือชื่อนิสิต


ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

4 / 06 / 51

Sumret Gateya 2008: An Application of Taguchi's Approach in the Optimization Design of Palm's Sterilizer. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Chatchapol Chungchoo, Ph.D. 151 pages.

The objective of this thesis is to study the Taguchi's Approach applying to the Design of Palm's Sterilizer by using amount of statistical production waste from a factory which produces automotive components. Part geometrical tolerances for the design are ± 0.020 millimeter, ± 0.015 millimeter and ± 0.010 millimeter. Amount of production waste is directly generated by the set tolerances which are 2%, 3% and 8% respectively. The total production rate is 12,000 pieces a month. Working time for a month is 26 days and each day is 16 hours. The production line scenario is assumed to be running on the same production process and same labor work quantity. The production processes begin from heating iron element by an induction furnace. Consecutively, It is forged and processed by two automatic machines by using 6 operators for the whole production processes. Each single operator has 6,300 baht salary. The experimental in case study result shows that whichever part produced according to the Taguchi's Approach naturally has its selling price not less than 6,500 baht or 1.6 times of the production cost.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

4 / 0 6 / 0 8

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชพล ชังชู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งการตรวจสอบแก้ไขเพื่อความสมบูรณ์และถูกต้องจาก รองศาสตราจารย์สมาน เจริญกิจพูลผล ประธานการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์ ดร.โอภาส โกมลวัฒนาพาณิชย์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ภายนอก และขอขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกคนที่ได้กรุณาให้กำลังใจ พร้อมทั้งคำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ความสำเร็จในครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้มาจากความช่วยเหลือในส่วนของทุนในการทำวิจัยจาก สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย และ บริษัทไทยอินโดปาล์มออยล์ แพลทอรี่ จำกัด สำหรับความช่วยเหลือด้านข้อมูลในการทำวิจัย รวมทั้งบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี ขอขอบคุณสำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือที่ได้รับจากบุคคลที่เกี่ยวข้องทุกท่าน

ประโยชน์และความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเสริมสร้างกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สำเร็จ เกษยา

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	16
อุปกรณ์	16
วิธีการ	16
ผลและวิจารณ์	18
ผล	18
วิจารณ์	125
สรุปและข้อเสนอแนะ	126
สรุป	126
ข้อเสนอแนะ	126
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	127
ภาคผนวก	130
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	151

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดของแหวนล๊อคประตูดั้ง	24
2	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของแหวนล๊อคประตูดั้ง	26
3	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตแหวนล๊อคประตูดั้ง	27
4	ค่าไฟฟ้ารวมของแหวนล๊อคประตูดั้ง	27
5	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของแหวนล๊อคประตูดั้ง	30
6	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล๊อคประตูดั้ง	31
7	รายละเอียดของเฟืองประตูดั้ง	33
8	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของเฟืองประตูดั้ง	35
9	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตเฟืองประตูดั้ง	36
10	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของเฟืองประตูดั้ง	36
11	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของเฟืองประตูดั้ง	39
12	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของเฟืองประตูดั้ง	40
13	รายละเอียดของแขนประตูดั้ง	42
14	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของแขนประตูดั้ง	44
15	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตแขนประตูดั้ง	45
16	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของแขนประตูดั้ง	45
17	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของแขนประตูดั้ง	48
18	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแขนประตูดั้ง	49
19	รายละเอียดของบุทรวงเพลลา	51
20	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของบุทรวงเพลลา	53
21	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตบุทรวงเพลลา	54
22	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของบุทรวงเพลลา	54
23	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของบุทรวงเพลลา	57
24	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของบุทรวงเพลลา	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	รายละเอียดของฐานรองตู้หนึ่ง	60
26	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของฐานรองตู้หนึ่ง	62
27	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตฐานรองตู้หนึ่ง	63
28	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของฐานรองตู้หนึ่ง	63
29	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากุชิของฐานรองตู้หนึ่ง	66
30	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	67
31	รายละเอียดของโบกี้	69
32	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของโบกี้	71
33	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตโบกี้	72
34	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของโบกี้	72
35	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากุชิของโบกี้	75
36	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของโบกี้	76
37	รายละเอียดของ Body in	78
38	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Body in	80
39	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Body in	81
40	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Body in	81
41	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากุชิของ Body in	84
42	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	85
43	รายละเอียดของ Body out	87
44	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Body out	89
45	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Body out	90
46	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Body out	90
47	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากุชิของ Body out	93
48	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของ Body out	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
49	รายละเอียดของ Door in	96
50	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Door in	98
51	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Door in	99
52	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Door in	99
53	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Door in	102
54	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของ Door in	103
55	รายละเอียดของ Door out	105
56	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Door out	107
57	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Door out	108
58	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Door out	108
59	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Door out	111
60	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของ Door out	112
61	รายละเอียดของ Slide Wheel	114
62	ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Slide Wheel	116
63	ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Slide Wheel	117
64	ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Slide Wheel	117
65	ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Slide Wheel	120
66	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล้อกประตูดั้ง	121
67	ตารางเปรียบเทียบราคาขายกับต้นทุนการผลิต	125

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ค่าใช้จ่ายในการผลิตตามแนวคิดของทากูชิ	11
2	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของผลิตภัณฑ์กับต้นทุนในการผลิต	12
3	ตู้หนึ่งปาล์มแบบกึ่งต่อเนื่อง	19
4	ตู้หนึ่งปาล์มและฐานรองตู้หนึ่งปาล์มแยกส่วนประกอบ	20
5	แหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	23
6	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	25
7	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	25
8	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	31
9	กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตู	32
10	เฟืองประตูตู้หนึ่ง	32
11	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	34
12	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	34
13	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง	40
14	กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตู	41
15	แขนประตู	41
16	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของแขนประตู	43
17	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของแขนประตู	43
18	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของแขนประตู	49
19	กราฟเปรียบเทียบกำไรของแขนประตู	50
20	บุทรองเพลลา	50
21	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของบุทรองเพลลา	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของบุทองเพลลา	52
23	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากุชิของบุทองเพลลา	58
24	กราฟเปรียบเทียบกำไรของบุทองเพลลา	59
25	ฐานรองตู้หนึ่ง	59
26	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของฐานรองตู้หนึ่ง	61
27	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของฐานรองตู้หนึ่ง	61
28	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากุชิของฐานรองตู้หนึ่ง	67
29	กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตูปอกี้	68
30	ปอกี้	68
31	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของปอกี้	70
32	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของปอกี้	70
33	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากุชิของปอกี้	76
34	กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตู	77
35	Body in	77
36	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของ Body in	79
37	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Body in	79
38	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากุชิของ Body in	85
39	กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตู	86
40	Body out	86
41	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของ Body out	88
42	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Body out	88
43	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากุชิของ Body out	94
44	กราฟเปรียบเทียบกำไรของ Body out	95
45	Door in	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
46	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของ Door in	97
47	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Door in	97
48	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของ Door in	103
49	กราฟเปรียบเทียบกำไรของ Door in	104
50	Door out	104
51	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของ Door out	106
52	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Door out	106
53	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิ Door out	112
54	กราฟเปรียบเทียบกำไรของ Door out	113
55	Slide Wheel	113
56	กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมกับจำนวนของเสียของ Slide Wheel	115
57	กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Slide Wheel	115
58	กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของ Slide Wheel	121
59	กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวน Slide Wheel	122
60	เปรียบเทียบกำไรของชิ้นงาน	123
61	เปรียบเทียบราคาขายกับต้นทุนการผลิต	124

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

σ	=	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของวัตถุดิบ
n	=	จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง
x	=	ค่าของข้อมูลแต่ละตัวหรือจุดกลางชั้นแต่ละชั้น
$\bar{x}$	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง
A	=	ราคาของชิ้นส่วนเมื่อจัดให้เป็นของเสีย
C_p	=	ดัชนีความสามารถของกระบวนการ
K	=	ค่าสัมประสิทธิ์ค่าใช้จ่าย
$L[Y]$	=	ความสูญเสียต่อหน่วยผลิต
Q	=	อัตราการให้ความร้อน
T	=	ความคลาดเคลื่อนยินยอม, อุณหภูมิ
ΔT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิ
USL	=	ขนาดสูงสุดที่สามารถยอมรับได้
LSL	=	ขนาดต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้

การประยุกต์ใช้หลักการของทากูชิเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สุด ในการออกแบบตู้หนึ่งปาล์ม

An Application of Taguchi's Approach in the Optimization Design of Palm's Sterilizer

คำนำ

ปัจจุบันปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ความต้องการผลผลิตจากปาล์มน้ำมันก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้น้ำมันสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ประกอบกับปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้แทบทุกส่วนสามารถนำไปใช้ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าอุปโภคและบริโภคการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและรายได้โดยรวมของประเทศ จากปัญหาวิกฤติทางด้านพลังงานที่ทำให้ราคาน้ำมัน (ดีเซล) แพงขึ้นอย่างต่อเนื่องและไม่มีแนวโน้มว่าจะอ่อนตัวลง ทำให้ภาครัฐจึงมีความคิดเรื่องการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ โดยที่รัฐบาลจะให้การสนับสนุนเพื่อขยายพื้นที่ปลูกน้ำมันปาล์มออกไปอีก โดยมีมติคณะรัฐมนตรีให้ใช้น้ำมันไบโอดีเซลในปีพ.ศ.2555 ทั้งประเทศเมื่อถึงเวลานั้นประเทศไทยจำเป็นต้องใช้ไบโอดีเซล 8.5 ล้านลิตร/วัน โดยจะมีการทดแทนน้ำมันดีเซลได้ถึง 3,100 ล้านลิตร/ปี (พรชัย, 2549) แม้ว่าอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทยจะเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ภายใต้ข้อตกลงการค้าระหว่างประเทศที่ทุกประเทศกำลังพยายามให้มีการเปิดเสรีการค้าระหว่างประเทศนั้น หากพิจารณาอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของประเทศไทยแล้ว ประเทศไทย ยังมีความเสียเปรียบทางด้านต้นทุนการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่ง คือ มาเลเซียและอินโดนีเซีย ดังนั้นในระบบการค้าเสรีหากต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มของประเทศไทยยังสูงกว่าประเทศเพื่อนบ้านก็จะทำให้ไม่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพบว่าประเทศไทยยังต้องนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงส่งผลต่อเนื่องทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มมีราคาสูงตามไปด้วย

จากการศึกษาความต้องการใช้น้ำมันปาล์มของประเทศไทย [พรรณนิษฐ์, 2548] พบว่า ความต้องการใช้ภายในประเทศไม่ใช่ข้อจำกัดของการผลิตน้ำมันปาล์ม แต่ข้อจำกัดของการผลิตน้ำมันปาล์มในปัจจุบัน คือ ประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมันและการแปรรูปน้ำมันปาล์ม ซึ่งส่งผลให้เรา

อยู่ในสถานะที่ไม่สามารถแข่งขันทางด้านราคากับต่างประเทศได้ และจะได้รับผลกระทบมากขึ้นหากมีการเปิดเสรีทางการค้า เพราะฉะนั้นมาตรการหนึ่ง คือ การเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านการแปรรูปน้ำมันปาล์มที่ทำให้ผลผลิตสูงแต่ต้นทุนต่ำ

ในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านการแปรรูปหรือการลดต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางด้านราคานี้ มีแนวทางในการปฏิบัติเพื่อให้สามารถบรรลุตามเป้าหมายได้หลายวิธีการ การสร้างเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มก็เป็นแนวทางหนึ่งที่ควรสนับสนุนให้มีการพัฒนาอย่างจริงจังเพื่อให้สามารถลดต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มลงได้

ปัญหาทางด้านการผลิตที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมหลายๆประเภท หากทำการวิเคราะห์ไปย้งต้นเหตุของปัญหาแล้ว พบว่าสาเหตุสำคัญส่วนหนึ่ง เกิดจากการออกแบบกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ ดังนั้นหากทำการปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงกระบวนการผลิตที่ได้ออกแบบไว้ไม่เหมาะสมนั้นเสียใหม่ ทำให้กระบวนการในการผลิตต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นตามมาสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งย่อมส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตที่จะเกิดขึ้นตามมาได้อีกเป็นอย่างมาก

การออกแบบเพื่อการผลิตเป็นการพิจารณาความสำคัญในด้านของการผลิตตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นในการออกแบบ ซึ่งแนวคิดนี้จำเป็นต้องใช้การพิจารณา จุดประสงค์หลักของการออกแบบเพื่อการผลิตนี้ก็คือ เพื่อทำการออกแบบแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำการผลิตได้ง่าย จากการมุ่งเน้นการออกแบบในแต่ละชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ให้ง่ายในการผลิตและประกอบ รวมถึงการพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนของแนวคิดในการประสานการออกแบบกระบวนการผลิตไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ต้องมั่นใจได้ว่าการออกแบบนั้นได้ดำเนินไปอย่างถูกต้องและเหมาะสมกับศักยภาพการผลิตที่มี และความต้องการจากผลิตภัณฑ์นั้นๆ

การออกแบบเพื่อการผลิตจะมีการประยุกต์เทคนิควิธีการที่หลากหลายหลายเข้ามาช่วยพิจารณา เพื่อช่วยให้การออกแบบนั้นมีความเหมาะสมกับการผลิตมากที่สุด และใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อการผลิตพื้นฐานในการออกแบบที่สำคัญเกี่ยวข้องกับ การออกแบบระบบการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการมุ่งประเด็นการพิจารณาหลักไปที่ การลดค่าใช้จ่าย คุณรูปและ การเพิ่มผลผลิตโดยเทคนิคในแต่ละวิธีจะช่วยให้การออกแบบเพื่อการผลิตนั้นมีการพิจารณาไปอย่างเป็นระบบมากขึ้น เทคนิคที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถช่วยในการออกแบบการ

ผลิตได้เป็นอย่างดี รวมถึงเมื่อทำการประยุกต์ใช้แล้ว จะส่งผลอย่างมากกับต้นทุนการผลิตที่จะเกิดขึ้นภายหลัง ได้แก่ หลักการออกแบบเพื่อป้องกันความผิดพลาดของทากูชิ

เพราะฉะนั้นหากต้องการที่จะเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันในตลาด การศึกษาต้นทุนในการสร้างตู้แช่ปาล์มซึ่งเป็นเครื่องจักรที่สำคัญเครื่องหนึ่งในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเพื่อป้องกันความผิดพลาดของทากูชิในการวิเคราะห์ต้นทุนเมื่อต้องผลิตตู้แช่ปาล์มในลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดในภาพลักษณ์ของสินค้าที่มีมาตรฐานเทียบเท่ากันทั้งหมด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้นอกจากจะได้แบบการสร้างตู้แช่ปาล์มที่มีความเหมาะสมที่สุดทางด้านประสิทธิภาพและราคาในการผลิตแล้ว ยังสามารถนำหลักการวิเคราะห์และวิธีการออกแบบเพื่อการผลิตและการวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมของชิ้นส่วนไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบในงานทางวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมทางด้านราคามากที่สุดอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หลักการของทฤษฎีในการออกแบบตู้ตั้งปาล์ม
2. หาความเหมาะสมค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ใช้ในการผลิต
3. เปรียบเทียบความเหมาะสมของราคาชิ้นส่วนที่จะประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎี
4. เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องจักร โดยคำนึงถึงต้นทุนและคุณภาพ

การตรวจเอกสาร

ในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัย หนังสือ บทความ และเอกสารที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงปัญหาที่เกิดขึ้นกับโรงงานกรณีศึกษา โดยผู้ทำวิจัยได้ทำการสรุปเนื้อหาของงานวิจัย ทฤษฎี และหลักการจากที่ได้ศึกษา วิทยานิพนธ์ หนังสือ บทความ และเอกสารต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการใช้ในการจัดทำงานวิจัย

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Deterministic Tolerance Synthesis with a Consideration of Nominal Values (Teeravaraprug, 2002) จะมุ่งประเด็นการศึกษาขึ้นส่วนไปที่เรื่องของภาวะการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนยินยอมของส่วนประกอบและชิ้นส่วนจากมุมมองในมิติต่างๆ ในการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน โดยได้รวบรวมและวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมสะสมของการประกอบเครื่องจักรและได้แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเชิงตัวเลขเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง

Integration of Loss Function in Two-Dimensional Deterministic Tolerance Synthesis (Teeravaraprug, 2002) จะศึกษาปัญหาเกี่ยวข้องกับปัญหาของความคลาดเคลื่อนยินยอมแบบ 2 มิติ โดยการรวมเอาโปรแกรมการออกแบบการทดลองแบบต่างๆ และหลักการฟังก์ชันการสูญเสียของทฤษฎีเข้าด้วยกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตให้เหลือน้อยที่สุดและผลกระทบจากความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิตและสภาพแวดล้อมการใช้งานแบบจำลองที่ดีที่สุดเท่าที่ทำได้ที่สามารถแสดงในบทความนี้ 6 แบบจำลอง

การปรับปรุงคุณภาพงานหล่อ निकел-อลูมิเนียมบรอนซ์โดยวิธีการของทากูชิ (กิตติกร, 2546) เป็นการศึกษาการหล่อโลหะจำพวกบรอนซ์ผสมที่นำไปใช้ผลิตเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งปัญหาคือผลิตภัณฑ์มีความแข็งและเปราะ จึงทำให้ยากต่อการแปรรูป เช่น การกลึง และเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ เช่น งานหดตัว โพรงอากาศ งานไม่เต็ม เป็นต้น การพัฒนาและการปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อบรอนซ์ผสมดังกล่าวใช้วิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยหลักการของทากูชิ และใช้แผนการทดลอง Orthogonal Array L9 (3⁴)

ตามมาตรฐานของ Taguchi Method กำหนดตัวแปรที่มีผลต่องานหล่อ มี 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ เท ส่วนผสมทางเคมีของนิกเกิล ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม และส่วนผสมทางเคมีของสังกะสี การออกแบบการทดลองจะกำหนดระดับของตัวแปร 3 ระดับ ดังนี้ อุณหภูมิที่ 1150 °C, 1250 °C, และ 1350 °C, ส่วนผสมของนิกเกิลที่ 10%, 12% และ 14% ส่วนผสมของอลูมิเนียมที่ 10%, 12% และ 14% ส่วนผสมของสังกะสีที่ 6%, 8% และ 10% และทำการทดลอง 9 ครั้งตามแผนการทดลอง ซึ่งผลการทดลองทำให้ทราบสมบัติด้านความแข็งแรงที่เหมาะสมที่สุดคือปัจจัยอุณหภูมิที่ 1350 °C, นิกเกิล 14 เปอร์เซ็นต์, อลูมิเนียม 12 เปอร์เซ็นต์ และสังกะสี 8 เปอร์เซ็นต์

A New Tolerance Analysis Method for Designers and Manufacturers (Chase and Greenwood, 1987) การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการลดต้นทุนการผลิตโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งวิธีการออกแบบค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีด้วยกันหลายวิธีและวิธีการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมได้ถูกพัฒนาและนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธีทางวิศวกรรมพื้นฐาน เช่น สามารถใช้วิธีการทางสถิติควบคู่ไปกับการประกอบ worst case ในสายการผลิตเดียวกันได้ นอกจากนี้ยังมีการคำนึงถึงตัวแปรที่สำคัญในการผลิตซึ่งมักจะถูกละเลย เช่น ค่าเป้าหมายที่เลื่อนออกไป(nominal shifts) หรือ การกระจายที่มีอคติ(biased distributions)

การจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประกอบชิ้นส่วนประกอบเพลลาและเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ (รณชัย, 2541) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีหาค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่เหมาะสมที่สุดที่มีต้นทุนการประกอบต่อชิ้นที่ต่ำที่สุด พร้อมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนการประกอบของค่าความคลาดเคลื่อนเดิมที่ออกแบบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ทำการจัดสรรใหม่และวิเคราะห์ความไวในกรณีค่าความคลาดเคลื่อนกรณีต้นทุนแปรผันเปลี่ยนแปลงและความไวในกรณีค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงโดยการหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมที่สุดจากชิ้นส่วนเพลลาและชิ้นส่วนประกอบเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ ใช้รูปแบบฟังก์ชันต้นทุน-ค่าเผื่อในรูปแบบ reciprocal และทำการจัดสรรค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมโดยใช้วิธีลากรางจ์มัลติพลายเออร์

การวิเคราะห์การออกแบบแผนการทดลองโดยการรวมวิธีการทากูชิและวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชันเพื่อปรับปรุงการกำหนดค่าปัจจัยที่ดีที่สุดของกระบวนการ (ชลวศา, 2544) งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบแผนการทดลองโดยหลักการของทากูชิ โดยได้นำวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชันมาใช้ในการปรับปรุงปัจจัยที่ได้จากวิธีการทากูชิไปยังจุดที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดโดยการ

เปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรควบคุมและสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลในขณะที่กระบวนการยังดำเนินการอยู่โดยที่ไม่เป็นการรบกวนต่อระบบการผลิต ทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายจากการหยุดกระบวนการผลิตแต่ละครั้งเพื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูล ผลการทดลองที่ได้สามารถปรับปรุงคำตอบให้มีความใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดของกระบวนการมากขึ้น โดยพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์ที่วิธีอีโวลูชันนารีโอเปอร์เรชั่นสามารถปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีของทากูชิและจำนวนตัวอย่างที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วย พบว่าวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอร์เรชั่นสามารถปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีการของทากูชิ ในตัวแบบโพลิโนเมียลกำลัง 2, 3 และ 4 ได้ดีกว่าตัวแบบโพลิโนเมียลกำลัง 5 และ 6

การจัดสรรค่าเพื่อและขนาดสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของชิ้นงานแผ่นหัวอ่านเขียน(พิพัฒน์, 2545) งานวิจัยนี้ศึกษาค่าความหนาเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแผ่นหัวอ่านเขียนและแผ่นกาวที่ใช้ในการผลิต จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับของเสียโดยอาศัยหลักการของฟังก์ชันความสูญเสียของทากูชิเพื่อทำการทดลองหาระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง จัดสรรค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องมือ และวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมโดยเทคนิควิธี Worst Case Limits เทคนิควิธีทางสถิติ ได้แก่ วิธี Root sum square (RSS) และวิธี Dynamic sum of square (DRSS) และเทคนิควิธี Monte Carlo Simulation ด้วยโปรแกรมช่วยคอมพิวเตอร์ที่ชื่อ Crystal Ball ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าเพื่อและขนาดที่ถูกออกแบบใหม่สามารถลดของเสียอันเนื่องมาจากการมีระยะประกอบที่ไม่เหมาะสมนั้นลดลงเป็นร้อยละ 82 เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง และจากการพยากรณ์ของเสียที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานจริงพบว่าค่าความแปรปรวนของของเสียไม่แตกต่างกัน

การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการหมุนเคลือบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงบนกระจกต้นแบบขนาด 6x6 นิ้ว ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (รติพร, 2550) งานวิจัยนี้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับตัวแปร 8 ตัว ในการเคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก Shipley S1805 ด้วยวิธีการหมุนเคลือบบนกระจกต้นแบบขนาด 6x6 นิ้ว โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิแบบ L27 (38) เพื่อลดจำนวนการทดลองจาก 6561 การทดลอง เหลือเพียง 54 การทดลอง จากการวิเคราะห์แผนภูมิผลกระทบหลักของค่า signal-to-noise ratio (SNR หรือ S/N) พบว่าเงื่อนไขที่สามารถสร้างชั้นฟิล์มฯ น้ำยาไวแสงเบอร์ Shipley s1805 ที่มีความหนาและสม่ำเสมอตามที่ต้องการมากที่สุด คือ จ่ายน้ำยาไวแสงเป็นเวลา 4.5 วินาที จากนั้นหมุนชิ้นงานที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 วินาที แล้วใช้ความแรง 500 รอบต่อนาทีต่อวินาที ไปที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาทีหมุน

ต่อเนื่องเป็นเวลา 90 วินาที ที่อัตราการดูดไอลีเซีย 300 ปาสคาล แล้วอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงได้คือ 5311.256 อังสตรอมและจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า อัตราการจ่ายน้ำยาไวแสงความเร็วรอบสูง และความเร่งในการหมุนเคลือบเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อทั้งความหนาและความสม่ำเสมอของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา : โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์(เปมิกา, 2548) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการพ่นสีที่ทำให้เกิดของเสียสีเป็นผิวสี มนน้อยที่สุดโดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าปัจจัย 5 ปัจจัยคือความสูงของหัวปืนพ่นสี (ระยะห่างระหว่างงานกับหัวปืนพ่นสี) ความเร็วของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของสายพานแรงดันลมและความหนืดสี จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองของทากูชิ พบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของความหนืดสีคือ 10-10.5 วินาที และค่าแรงดันลมที่เหมาะสม คือ 4 บาร์ และจากการนำผลการวิจัยไปใช้ในการทำงานจริง พบว่าจำนวนของเสียสีเป็นผิวสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมมีงานเสียเฉลี่ย 532 ชิ้น/เดือน ลดลงเหลือ 210 ชิ้น/เดือน จากปริมาณการผลิตประมาณ 10,000 ชิ้น/เดือน คิดเป็นจำนวนงานเสียลดลง 60.49% และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานจากเดิม 306,432 บาท/ปี เหลือเพียง 120,960 บาท/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 185,472 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานลดลง 60.53%

การพัฒนาประสิทธิภาพงานหล่อเครื่องประดับด้วยการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองกรณีตัวอย่าง: โรงงานเครื่องประดับ(ปาณิกา, 2550) บทความนี้เป็นการศึกษาปัญหาการเกิดผื่นบนผิวชิ้นงานที่ผลิตจากกระบวนการหล่อของโรงงานเครื่องประดับ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดผื่นคือ อุณหภูมิการหล่อ เวลาอบเบ้า อุณหภูมิน้ำโลหะ มุมเอียงชิ้นงาน และขนาดทางเดินน้ำโลหะ โดยทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดผื่นอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธีทากูชิ โดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 32 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิการหล่อคือ 545°C และปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิน้ำโลหะคือ 900°C จึงนำระดับปัจจัยดังกล่าวไปหล่อชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 200 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานนี้ เคยเกิดผื่นสูงถึง 78.21% พบว่าสามารถลดจำนวนการเกิดผื่น ลงเหลือ 24.50% สรุปได้ว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อได้ถึง 53.71%

2. ทฤษฎีที่นำมาดำเนินการใช้ในการจัดทำงานวิจัย

จากที่ได้ทำการศึกษา วิทยานิพนธ์ หนังสือ บทความ และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กับหัวข้อการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทำวิจัยได้เลือกหลักการและทฤษฎีที่จะนำมาใช้ในการจัดทำงานวิจัยโดยแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

2.1 หลักการของทากูชิ

2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

2.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.1 หลักการของทากูชิ

เกนนิจิ ทากูชิ (Genichi Taguchi) เป็นผู้สร้างแนวคิดที่ว่า คุณภาพที่ดีต้องเริ่มต้นตั้งแต่การออกแบบ ซึ่งคือความจริงจังของคุณภาพ (Quality Robust) เป็นแนวคิดในการผลิตผลิตภัณฑ์อย่างเป็นแบบแผนเดียวกันภายใต้ระบบและสภาวะของการผลิตที่ไม่เหมาะสม เมื่อมีของเสียเกิดขึ้นจากเหตุดังกล่าว ควรแก้ไขโดยจัดผลเสียนั้นมากกว่าการจัดสาเหตุ เพราะค่าใช้จ่ายในการจัดผลต่ำกว่าค่าใช้จ่ายในการจัดสาเหตุ เนื่องจากข้อบกพร่องบางอย่างเล็กน้อยจนไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ

แนวคิดของทากูชิทางด้านคุณภาพนั้นมุ่งเน้นที่กระบวนการและผลิตผลสำหรับงานประจำปีมากกว่าการเน้นที่การพัฒนาคุณภาพโดยการตรวจสอบ โดยคุณภาพและความน่าเชื่อถือเกิดมาจากกระบวนการออกแบบ เพราะว่าการดำเนินการจัดหาและประสิทธิภาพของกระบวนการในการออกแบบรวมทั้งการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำคัญกว่ากระบวนการผลิต สิ่งที่ทากูชิแตกต่างจากนักคิดเรื่องคุณภาพท่านอื่นๆ คือเขาไม่คิดเรื่องคุณภาพของงานแต่จะคิดเรื่องคุณภาพของการสูญเสียเพราะการสูญเสียเกิดกับผลิตภัณฑ์และขยายผลออกไปสู่สังคม และการสูญเสียนี้หมายความว่ารวมถึงต้นทุน การทำงานใหม่ เศรษฐกิจ การบำรุงรักษา การเสื่อมสภาพของเครื่องมือเครื่องจักร และการเรียกร้องการประกัน อีกทั้งลดความเชื่อถือว่าไว้วางใจในผลิตภัณฑ์ของลูกค้าจนถึงส่วนแบ่งทางการตลาดลดลง (สุวรรณี , 2544)

คุณภาพของผลิตภัณฑ์คือเป้าหมายที่ต้องปฏิบัติโดยการดูแลเอาใจใส่ พิจารณาเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดและลดความไม่แน่นอนของเป้าหมาย เพราะจะช่วยลดความเสียหายและเพิ่มคุณภาพ ซึ่งความเสียหายตามแนวคิดของทากูชิจะเกิดขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกละเลยต่อข้อกำหนด และความเสียหายจะลดลงเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกกำหนดให้อยู่บนเป้าหมาย การสูญเสียจึงใช้ประเมินการตัดสินใจที่อยู่บนพื้นฐานของการเงินรวมทั้งต้นทุนในการผลิตและความคุ้มค่ากับการผลิตหรือจำหน่าย

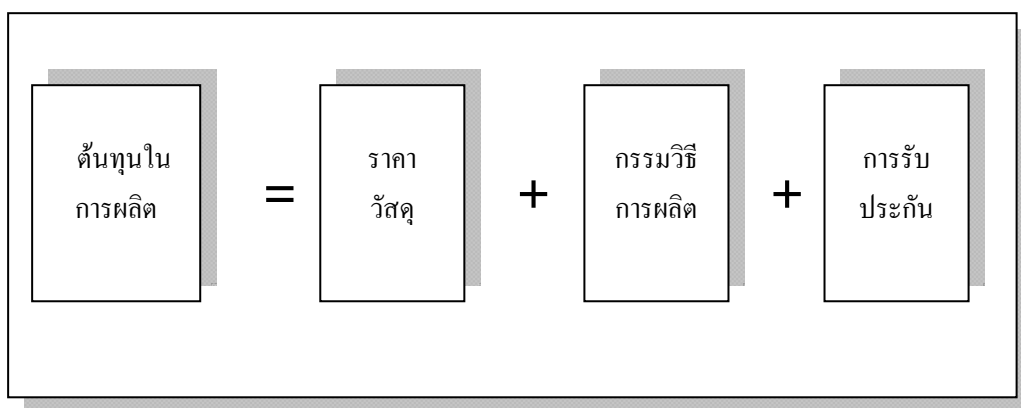
รากฐานของวิธีการทากูชิเกิดขึ้นมาจากเหตุผลที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. สังคมจะเกิดความสูญเสียทุก ๆ ครั้งที่คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามเป้าหมาย ดังนั้น Taguchi จึงให้เหตุผลว่าการเบี่ยงเบนออกไปจากเป้าหมายเป็นผลให้เกิดความสูญเสีย Taguchi จึงได้ให้คำจำกัดความ “คุณภาพ” ใหม่ ว่าเป็นความสูญเสียที่ ผลิตภัณฑ์สร้างขึ้นแก่สังคม
2. การออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตต้องการระบบที่พัฒนามีความก้าวหน้าในทุกขั้นตอนตั้งแต่การออกแบบระบบ (System design) การกำหนดพารามิเตอร์ (Parametric design) รวมไปถึงการออกแบบค่าเผื่อ (Tolerance design) ซึ่งวิธีการ Taguchi เป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพ ครอบคลุมในเรื่องต่าง ๆ เหล่านี้

ทากูชิได้นิยามความหมายของคุณภาพว่า “คุณภาพของผลิตภัณฑ์คือความสูญเสียทั้งหมด (Total Loss) ที่มีต่อสังคมอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์นั้น ทั้งนี้นับตั้งแต่เวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้นถูกส่งออกสู่ท้องตลาด” ได้แก่ ความสูญเสียเนื่องจากผลิตภัณฑ์นั้นไม่บรรลุตามการกระทำในอุดมคติ (Ideal Performance) และความสูญเสียที่มีต่อสังคมอันเนื่องมาจากการกระทำที่ไม่ดี (Poor Performance) ของผลิตภัณฑ์นี้จะเป็นตัวที่กำหนดลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ต้นทุนของคุณภาพที่เกิดขึ้นเมื่อคุณภาพแตกต่างจากสิ่งที่ลูกค้าต้องการ (Quality Loss Function) ซึ่งได้แก่ ต้นทุนค่าประกัน ต้นทุนการสูญเสียลูกค้า ต้นทุนการตรวจสอบภายในต้นทุนการซ่อมแซม รวมทั้งต้นทุนที่เกิดขึ้นกับสังคม ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นค่าใช้จ่ายที่ธุรกิจ ต้องจ่ายเมื่อคุณภาพไม่เป็นไปตามความคาดหวังของลูกค้า (อภิชาติ, 2549)

โดยค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งหมดตามแนวคิดของทากูชิ นั้นมีความแตกต่างจากแนวความคิดเดิมๆ ที่คิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตเป็น 2 ส่วน คือ ราคาของวัสดุ และ ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต แต่ทากูชิรวมเอาสินค้าที่ไม่มีคุณภาพแล้วถูกส่งกลับเป็นต้นทุนอีกส่วนหนึ่งในการผลิตด้วย ซึ่งสามารถได้ดังรูปที่ 1



ภาพที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการผลิตตามแนวคิดของทากูชิ

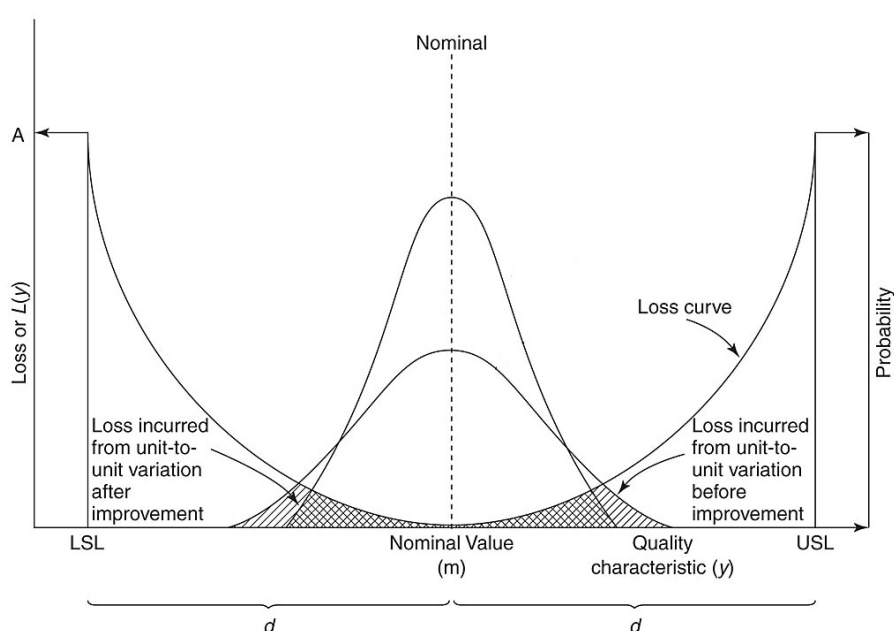
อาจสรุปได้ว่าหลักการในการจัดการคุณภาพของทากูชิ คือ วิธีการรวมงานวิศวกรรมและวิธีการทางสถิติเข้าด้วยกันในกระบวนการของการทำงาน เพื่อให้สามารถลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มคุณภาพในแนวทางของวิศวกรรมคุณภาพ (quality engineering) โดยการพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพสูงในลักษณะที่จะลดค่าใช้จ่ายลง มีการออกแบบเชิงทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล และใช้วิธีการทางสถิติเพื่อกำหนดปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพมากที่สุด ทากูชิมีความเชื่อว่าค่าใช้จ่ายที่ไม่พึงประสงค์มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากผลผลิตเบี่ยงเบนไปจากลักษณะของคุณภาพที่กำหนด(สุวรรณ, 2544); (วิฑูรย์, 2541) ; (วิฑูรย์, 2542)

โดยทากูชิเป็นผู้สร้างแนวความคิดที่ว่าคุณภาพที่ดีต้องเริ่มต้นตั้งแต่การออกแบบ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพจะต้องมีความเหมาะสมในการใช้งานตรงต่อความต้องการของผู้บริโภคมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดและทำงานได้อย่างมีคุณภาพ (อภิชาติ, 2547)

ภายใต้แนวความคิดของทากูชิที่กำหนดคุณภาพในรูปของฟังก์ชันความสูญเสียนี้ ถูกนำมากำหนดเป็นแนวทางของโปรแกรมพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง โดยการลดค่าความผันแปรรอบๆ

เป้าหมายให้มีค่าต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำงานได้ตามหน้าที่การทำงานที่กำหนดโดยไม่มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมากกว่าการทำให้ถูกต้องตามข้อกำหนดเฉพาะตามแนวความคิดเดิม โดยจะมุ่งพัฒนาคุณภาพจากการออกแบบพารามิเตอร์และกระบวนการการผลิตให้เหมาะสมที่สุด คือมีความสูญเสียทั้งหมดต่ำที่สุด(รัชดาพร, 2542); (กิตติศักดิ์, 2545)

โดยความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงเมื่อสามารถสร้างให้มีขนาดใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด สามารถแสดงให้เห็นได้จากรูปที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของผลิตภัณฑ์กับต้นทุนในการผลิต

ที่มา: Pearlstein (2549)

เทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการวางแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเปลี่ยนความต้องการของลูกค้ามาเป็นตัวผลิตภัณฑ์อย่างเป็นขั้นตอนและมีระบบ โดยอาศัยหลักการและเทคนิคทางวิศวกรรมเข้ามาเกี่ยวข้องในการทำและจากนั้นจะทำการเจาะลึกไปยังส่วนประกอบต่างๆของผลิตภัณฑ์ในด้านคุณภาพที่สามารถทำการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้หรือเป็นการเจาะลึกเข้าไปยังวิธีการตอบสนองความต้องการในแต่ละส่วนการผลิต โดยใช้การรวบรวมความต้องการของลูกค้ามา แล้วทำการจัดการกับความต้องการ

ของลูกค้านั้น โดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรม แล้วนำความต้องการนั้นมาระบุวิธีในการผลิตหรือเทคนิคทางวิศวกรรมที่จะช่วยตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ จากนั้นนำความต้องการของลูกค้าและเทคนิคในการผลิตมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกัน เพื่อทำการจัดเรียงลำดับความสำคัญของเทคนิคการผลิต แล้วทำการวิเคราะห์รายละเอียดของการผลิต เช่น ส่วนประกอบ ข้อจำกัดในการผลิต เพื่อให้เห็นภาพรวมในการพัฒนาและจัดทำแผนการผลิต (เสริมเกียรติ, 2546)

โดยทั่วไปการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพสามารถดำเนินการได้ 2 วิธี คือ

- 1) วิธีทางตรรกะ (Deductive) จะเป็นการตัดสินใจทางทฤษฎี กล่าวคือ เมื่อเผชิญกับปัญหาแล้วมีการพิจารณาจากเหตุและผลแล้วจึงทำการสรุปทันที
- 2) วิธีทางสารสนเทศ (Inductive) จะเป็นการแก้ปัญหาในเชิงปฏิบัติ กล่าวคือ เมื่อเผชิญกับปัญหาก็จะพยายามรวบรวมข้อมูลประกอบการสังเกตการณ์ แล้วจึงตั้งสมมติฐานและพิสูจน์สมมติฐานด้วยหลักฐานอ้างอิง (กิตติศักดิ์, 2546)

ดังนั้นในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลนั้นเมื่อต้องตัดสินใจในการแก้ปัญหาควรคำนึงถึงความซับซ้อนของปัญหาเป็นประการแรกเพื่อจะได้เป็นการเลือกแนวทางในการตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม กล่าวคือ ปัญหาไม่ซับซ้อนมากหรือมีมูลค่าการตัดสินใจผิดพลาดไม่สูงมากอาจใช้เพียงตรรกะ แต่หากปัญหาที่มีความซับซ้อนหรือมีมูลค่าของการตัดสินใจผิดพลาดสูงก็ควรใช้วิธีทางสารสนเทศเพราะมีความน่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากการนำกลวิธีทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

โดยการผลิตตามแนวความคิดของทากูชินั้นจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในกรรมวิธีการผลิตเพราะอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ต้องมีคุณภาพสูง แต่ของเสียที่ถูกส่งคืนกลับมาจะมีปริมาณที่น้อยลง ซึ่งการที่ของเสียลดลงเป็นการแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเมื่อนำต้นทุนทั้งหมดไปเปรียบเทียบกับต้นทุนในกระบวนการผลิตแบบเดิมจะมีต้นทุนที่ลดลง ซึ่งโดยภายใต้ฟังก์ชันความสูญเสียของทากูชิเมื่อสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดแล้วต้นทุนการสร้างหม้อหนึ่งปากต้มจะลดลงโดยสามารถคำนวณได้จาก(Creveling, 1997)

$$L[Y] = K\sigma^2 = \left[\frac{A}{(T/2)^2} \right] \cdot \left[\frac{USL - LSL}{6 \cdot C_p} \right]^2 \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่	L[Y] คือ ความสูญเสียต่อหน่วยผลิต
σ	คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ
T	คือ ความคลาดเคลื่อนยินยอม
K	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ค่าใช้จ่าย
A	คือ ราคาของชิ้นส่วนเมื่อจัดให้เป็นของเสีย
C_p	คือ ดัชนีความสามารถของกระบวนการ
USL	คือ ขนาดสูงสุดที่สามารถยอมรับได้
LSL	คือ ขนาดต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้

2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance)

ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นช่วงความแตกต่างระหว่างค่าขีดจำกัดสูงสุด (Maximum limit of size) และค่าขีดจำกัดต่ำสุด (Minimum limit of size) ที่สามารถยอมรับได้ของการขึ้นรูป เป็นค่าที่ยอมให้มีความแปรเปลี่ยนได้สูงสุด โดยเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความแปรปรวนเกิดขึ้นได้ใน ขนาดมีดังนี้ๆ

เนื่องจากการผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างอย่างใดเลิศที่สุดนั้นไม่สามารถกระทำได้จึงต้องมีการ กำหนดขอบเขตความเบี่ยงเบนของรูปร่างและตำแหน่ง โดยความคลาดเคลื่อนยินยอมสามารถแบ่ง ออกได้ 3 ชนิด

1. การกำหนดความคลาดเคลื่อนยินยอมตามความยาวจะบอกค่าเบี่ยงเบนอนุญาต เพียงด้านเดียว
2. การกำหนดความคลาดเคลื่อนยินยอมของรูปร่างจะบอกค่าความเบี่ยงเบน อนุญาตของรูปร่างชิ้นงานจากรูปร่างเรขาคณิตที่แท้จริงทางทฤษฎี
3. การกำหนดความคลาดเคลื่อนยินยอมตำแหน่งจะบอกค่าความเบี่ยงเบนอนุญาต ของตำแหน่งหรือแนวที่แท้จริงของรูปร่างชิ้นงาน

ผลของข้อกำหนดต่อการออกแบบเนื่องจากต้นทุนซึ่งบางครั้งความคลาดเคลื่อนยินยอมก็มีค่านัยสำคัญมาก ความคลาดเคลื่อนยินยอมก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่จะได้ความคลาดเคลื่อนยินยอมจะเป็นตัวทำให้ต้องเพิ่มขึ้นตอนในขบวนการผลิต ความคลาดเคลื่อนยินยอมครอบคลุมถึงการแปรของขนาดหรือขนาดความขรุขระของผิว และการเปลี่ยนแปลงผลของคุณสมบัติทางกล เนื่องจากการอบชุบและกรรมวิธีอื่นๆ โดยชิ้นส่วนที่มีความคลาดเคลื่อนยินยอมโต สามารถที่จะผลิตได้ด้วยเครื่องจักรที่ให้อัตราการผลิตสูง ค่าแรงงานจะถูกลง ถ้าหากว่าไม่ต้องใช้ความชำนาญมาก และในขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นส่วน ซึ่งไม่ได้ขนาดนั้นก็สามารถใช้เครื่องมือต่างๆ ไปตรวจสอบได้

2.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือรากที่สองของความแปรปรวน การวัดการกระจายโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นจะใช้ประกอบกับการวัดแนวโน้มเข้าสู่ ส่วนกลางโดยใช้ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

1.กรณีเป็นการรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มประชากรทั้งหมด สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x^2 - nx^2)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2)$$

2. กรณีเมื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

ในทางปฏิบัติการวิจัยส่วนใหญ่มักจะรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มประชากร ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากกลุ่มตัวอย่าง สูตรที่ใช้ในการคำนวณนั้นแตกต่างไปจากการคำนวณจากกลุ่มประชากรเล็กน้อย คือ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}} \dots \dots \dots (3)$$

เมื่อ σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

x = ค่าของข้อมูลแต่ละตัวหรือจุดกลางชั้นแต่ละชั้น

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการออกแบบ คำนวณ และจัดทำเอกสาร
 - 1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 1 ชุด CPU: Intel Pentium 4 2.66GHz , DDR RAM 512MB , 128 MB VGA Card
 - 1.2 โปรแกรมสำเร็จรูป Unigraphics NX2 จำนวน 1 ชุด
 - 1.3 โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Office Excel
 - 1.4 เครื่องพิมพ์ชนิดใช้แสงเลเซอร์ (Laser Printer)
2. อุปกรณ์ในการใช้ในการคำนวณ
 - 2.1 เครื่องคิดเลข CASIO ALGEBRA FX 2.0 PLUS

วิธีการ

1. วิเคราะห์แบบของตู้หนึ่งปาล์มเพื่อเลือกชิ้นส่วนที่ต้องให้ความสำคัญกับค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม
2. คำนวณหาหน้าหนักของชิ้นส่วนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Unigraphics NX2
3. นำน้ำหนักของชิ้นส่วนมาคิดเป็นราคาของชิ้นงาน
4. คำนวณหาของเสียในกรณีที่ต้องการชิ้นส่วนได้คุณภาพจำนวน 12,000 ชิ้น โดยใช้ค่าสถิติจากบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์รายหนึ่ง จากค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร, ± 0.015 มิลลิเมตร และ ± 0.010 มิลลิเมตร และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์, 3 เปอร์เซ็นต์ และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
5. คำนวณมูลค่าการขายชิ้นส่วน โดยคิดชิ้นงานเป็นสินค้าขายจำนวน 12,000 ชิ้น ลบปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น
6. สร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบของเสียที่เกิดขึ้นจากค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมทั้ง 3 ค่า
7. สร้างกราฟเปรียบเทียบมูลค่าการขายของชิ้นงาน

8. คำนวณหาค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงาน โดยคิดเป็น 2 ส่วนได้แก่ ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักร

9. คำนวณหาค่าแรงของคนงาน

10. คำนวณหาค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 3 ขนาด

11. คำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิ

12. สร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบความสูญเสียตามหลักการของทากูชิ

13. คิดค่าไรที่เกิดขึ้นจากการขายโดยคิดจากมูลค่าการขายรวมกับความสูญเสียตาม

หลักการของทากูชิลบด้วยค่าไฟฟ้าและค่าแรงงานในการผลิต

14. สร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าไร

15. ทำตามขั้นตอนที่ 2- 14 ในชิ้นส่วนที่เหลือ

16. นำกราฟเปรียบเทียบค่าไรของชิ้นงานทั้ง 11 ชิ้นมาวิเคราะห์

17. วิเคราะห์และสรุปผล

ผลและวิจารณ์

ผล

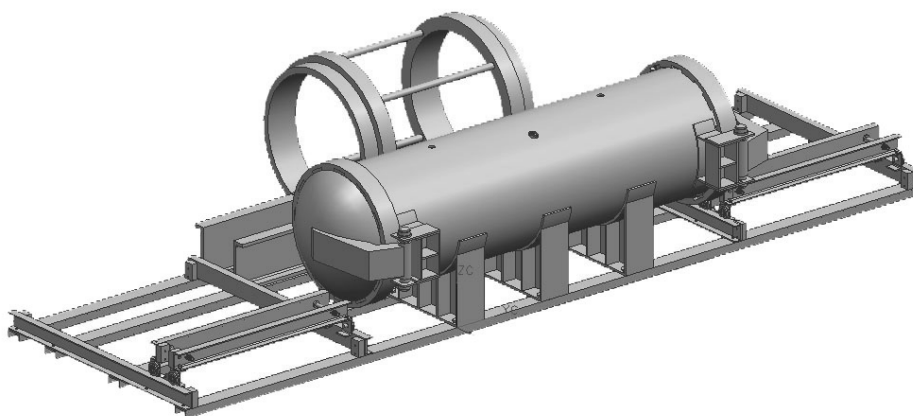
การออกแบบตู้แช่แข็งปลาแบบกึ่งต่อเนื่องนี้เป็นโครงการร่วมในการวิจัยและพัฒนาโรงงานต้นแบบสำหรับสกัดน้ำมันปลาลดขนาดย่อม โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. นายชินทร พรณกุล มีหน้าที่ออกแบบตู้แช่แข็งปลา
2. นายจิตติชัย จันทรินทร์ มีหน้าที่การออกแบบฐานรองตู้แช่แข็งปลา
3. นายสำเริง เกษยา มีหน้าที่วิเคราะห์หาความเหมาะสมในการออกแบบและสร้างตู้แช่แข็งปลาโดยมุ่งเน้นถึงความเหมาะสมทางด้านต้นทุนในการผลิต

ซึ่งหลักการทำงานโดยสรุปของตู้แช่แข็งปลาดังกล่าวมีดังนี้คือ บรรจุทะเลสาปปลาจำนวนไม่เกิน 15 กิโลกรัม (0.015 ตัน) ลงในโถ จากนั้นเคลื่อนโถที่บรรจุทะเลสาปปลาเรียบร้อยแล้ว เข้าไปในตู้แช่ (Sterilizer) จากนั้นปิดประตูตู้แช่ และเริ่มต้นแช่ทะเลสาปปลาโดยการปล่อยไอน้ำด้วยอัตรา 2 ตัน / ชั่วโมง จากหม้อไอน้ำ (Boiler) ผ่านเข้าไปทางท่อลำเลียงไอน้ำ ทั้งสองเข้าไปทางด้านบนของตู้แช่ โดยควบคุมสถานะที่ความดัน 3 บาร์ อุณหภูมิภายในตู้แช่ 150 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นจึงค่อยๆ ลดไอน้ำที่ปล่อยเข้ามาในตู้แช่ด้วยอัตรา 2 ตัน / ชั่วโมง เมื่อไม่มีการปล่อยไอน้ำเข้าสู่ตู้แช่แล้วจึงเปิดตู้แช่ และนำโถที่บรรจุปลาแช่เรียบร้อยแล้วออกมาจากตู้แช่เป็นอันเสร็จขั้นตอนของการแช่ทะเลสาปปลา ซึ่งหากต้องการแช่ทะเลสาปปลาในโถที่ถัดไป ให้ทำการเคลื่อนโถที่ถัดไปเข้ามาในตู้แช่และปฏิบัติตามขั้นตอนเดิมซ้ำ

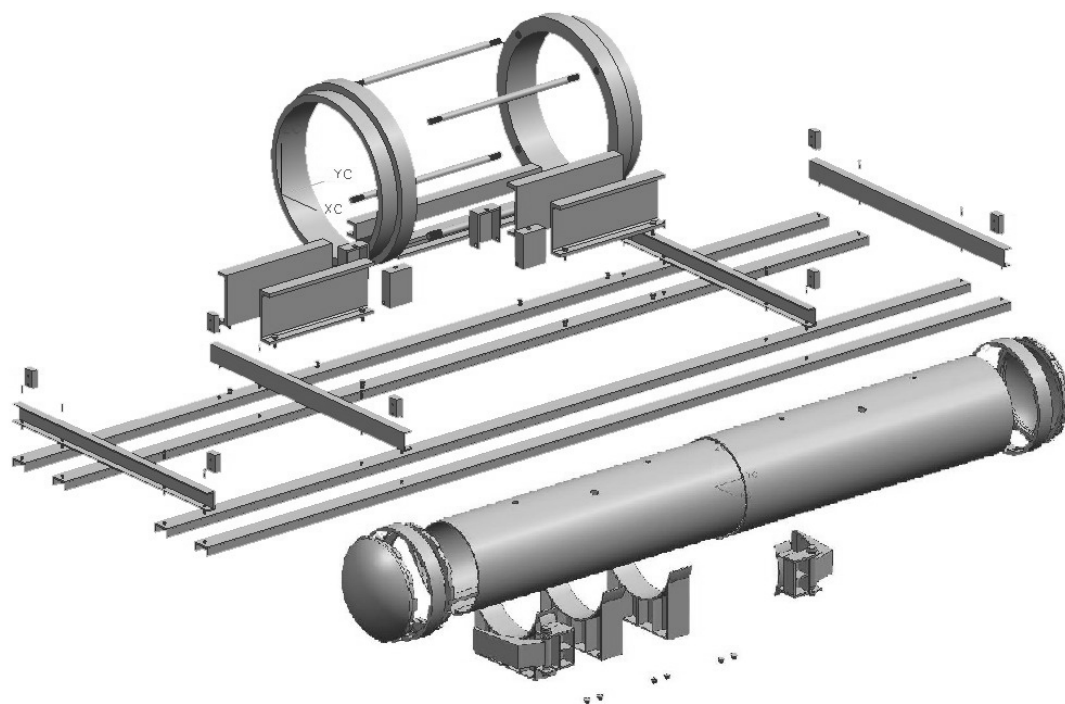
สำหรับโถที่บรรจุทะเลสาปปลาที่ผ่านการแช่เรียบร้อยแล้ว จะถูกเคลื่อนไปตามรางออกจากตู้แช่และเคลื่อนรางไปด้านข้างเพื่อไปยังทางเข้าตัวพลิกโถ (tipper) และเคลื่อนเข้าไปตามรางพลิกโถ และจะถูกพลิกคว่ำเพื่อเทปลาที่ผ่านการแช่แล้วออกจากโถ ซึ่งปลาที่ผ่านการแช่แล้วจะถูกลำเลียงไปยังกระบวนการถัดไปซึ่งเป็นการคัดแยกทะเลสาปปลาและเมล็ดปลาล้างออกจากกัน โดยเครื่องเหวี่ยงแยกทะเลสาปปลากับเมล็ดปลาล้างต่อไป ในส่วนของโถก็จะเคลื่อนที่ออกจากรางตัวพลิกโถ และไปยังรางเคลื่อน โถเพื่อเคลื่อนตัวรางไปทางด้านข้างพร้อมกันตัวโถก็เพื่อเข้าต่อกับรางทางเข้าตู้แช่ปลาและบรรจุปลาสดใหม่เพื่อรอการเข้ากระบวนการแช่ต่อไปเป็นวัฏจักรเช่นนี้

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการออกแบบและสร้างตู้ตั้งปาล์ม โดยมุ่งเน้นถึงความเหมาะสมทางด้านต้นทุนในการผลิตเพื่อจำหน่าย ซึ่งมีความมุ่งหวังให้ชิ้นงานทุกชิ้นมีมาตรฐานเทียบเท่ากันสามารถสับเปลี่ยนและสามารถใช้ทดแทนกันได้ โดยปัจจัยที่ใช้เป็นตัวกำหนดในการวิเคราะห์เพื่อผลิตชิ้นงานให้มีคุณภาพดังกล่าว คือ ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน, ชิ้นงานที่กำหนดให้เป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการควบคุมคุณภาพโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัวกำหนด และต้นทุนในการผลิตชิ้นงาน ซึ่งได้แก่ ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน



ภาพที่ 3 ตู้ตั้งปาล์มแบบกึ่งต่อเนื่อง

พิจารณาแยกส่วนประกอบเพื่อหาชิ้นส่วนที่มีความสำคัญต่อความคลาดเคลื่อนยินยอมในการคิดเพื่อเลือกชิ้นงานที่มีความสำคัญ โดยจากการพิจารณาพบว่าชิ้นส่วนที่มีความสำคัญในการนำมาคิดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีอยู่ 11 ชิ้น



ภาพที่ 4 ตู้ตั้งปาล์มและฐานรองตู้ตั้งปาล์มแยกส่วนประกอบ

สำหรับเนื้อหาที่นำเสนอเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตชิ้นงานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมแตกต่างกัน โดยต้นทุนในการผลิตในการทดลองนี้หมายถึง ราคาของวัตถุดิบรวมกับกรรมวิธีในการผลิต ซึ่งได้แก่ ค่าไฟฟ้ากับค่าแรงงาน และการรับประกันสินค้าเมื่อสินค้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 1

โดยในการทดลองจะกำหนดว่าค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่เป็นเงื่อนไขในการผลิตคือ ± 0.020 มิลลิเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ใช้เป็นตัวกำหนดในการผลิตเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตคือ ± 0.015 มิลลิเมตรและ ± 0.010 มิลลิเมตร

เนื่องจากไม่ได้มีการสร้างชิ้นงานขึ้นมาจริง ข้อมูลที่ใช้คำนวณเป็นข้อมูลที่มีการเทียบเคียงจากข้อมูลจริงจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต โดยค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่เกิดขึ้นที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ± 0.020 มิลลิเมตร, ± 0.015 มิลลิเมตรและ ± 0.010 มิลลิเมตร ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นคือ 2 เปอร์เซ็นต์ 3 เปอร์เซ็นต์ และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในการทดลองจะกำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้นต่อเดือน โดยใช้เครื่องจักรที่มีอยู่ในภาคอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพของเครื่องจักรจะเป็นดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้าทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าแตกต่างกันโดยจำนวนชิ้นงานที่ต้องผลิตในแต่ละเดือนจะมีจำนวน 12,245 ชิ้น, 12,372 ชิ้น และ 13,044 ชิ้น ตามลำดับ

กระบวนการผลิตของชิ้นงานต่างๆ ขึ้นในการทดลองจะกำหนดว่ามีกระบวนการผลิตที่เหมือนกันทุกขั้นตอน คือ นำเหล็กไปให้ความร้อนก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้า ขนาด 0.5 ตัน 500 kW จนอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชิ้นงานมาตีขึ้นรูป และนำชิ้นงานมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรอีก 2 ขั้นตอน โดยเครื่องจักรทั้ง 3 เครื่องมีขนาดมอเตอร์ 35 HP ใช้พนักงานในกระบวนการผลิตทั้งหมด 6 คน กำหนดให้พนักงานทุกคนมีเงินเดือน 6,300 บาท โดยกำหนดให้ในการผลิตจะคิดในการทำงาน 26 วัน/เดือน ใน 1 วันจะทำงาน 16 ชั่วโมง

ราคาขายของชิ้นงานจะคิดตามเงื่อนไขการคิดราคาการรับจ้างผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์คือจะคิดที่สามเท่าของราคาวัตถุดิบ โดยราคาของวัตถุดิบที่ใช้คิดคำนวณในการทดลองนี้จะคิดที่ราคาเหล็ก 30 บาทต่อกิโลกรัม

จากเงื่อนไขของการควบคุมคุณภาพที่ต่างกันทำให้ปริมาณในการผลิตชิ้นงานของมีค่าต่างกันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่งผลให้ปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ระยะเวลาการทำงานของพนักงานที่ใช้ในการผลิต และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการมีความแตกต่างกัน โดยเมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดเล็กลงเป็นตัวกำหนดคุณภาพทำให้เกิดของเสียเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการที่จะสามารถมีสินค้าเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าให้ได้ตามจำนวนที่กำหนดจะต้องผลิตสินค้าเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

จากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ โดยตามหลักการของทากูชิ หากสามารถผลิตชิ้นงานให้มีขนาดความคลาดเคลื่อนยินยอมเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด ต้นทุนที่เกิดจากการรับประกันสินค้าก็จะลดลงตามกัน ซึ่งในที่นี้จะเรียกต้นทุนการรับประกันว่าความสูญเสีย

จากเงื่อนไขการควบคุมคุณภาพโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ขนาดความคลาดเคลื่อนยินยอมมีขนาดเล็กลงเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตในส่วนของวัตถุดิบ ค่าแรงงาน และค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ต้นทุนความสูญเสียจะมีค่าลดลง นำค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบหาความเหมาะสมของเงื่อนไขกระบวนการผลิตที่กำหนดขึ้น

ในการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มประชากร โดยกำหนดให้ขนาดของชิ้นงานที่จัดว่าเป็นของเสียจะมีขนาดเป็นค่าลบและมีค่าเล็กกว่าค่าที่เป็นเงื่อนไข 0.001 มิลลิเมตรทั้งหมด และชิ้นงานที่อยู่ในข้อกำหนดจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายพอดี โดยจะคำนวณจากสมการที่ (3)

การคิดอัตราค่าไฟฟ้าจะแบ่งคิดเป็น 2 ส่วน คือ จากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้าจะคิดจากปริมาณของน้ำหนักรีดวัตถุดิบในการให้ความร้อน และจากการทำงานของเครื่องจักรทั้ง 3 เครื่อง โดยคิดที่เวลาในการทำงาน

ค่าแรงงานของพนักงานจะคิดจากการนำเงินเดือนของพนักงานทั้งหมดมารวมกัน และหารด้วยจำนวนชิ้นงานที่ต้องส่งให้ลูกค้าภายใน 1 เดือน ซึ่งจะได้ค่าแรงในการผลิตชิ้นงานต่อ 1 ชิ้น และนำค่าแรงส่วนนี้ไปคำนวณหาค่าแรงรวมในกรณีที่ต้องผลิตชิ้นงานจำนวนที่แตกต่างกัน

การคำนวณหาค่าความสูญเสียจะคำนวณจากสมการที่ (1) โดยปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดค่าความสูญเสียได้แก่ ราคาขายของชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงานที่เป็นเงื่อนไขข้อกำหนด และค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

เงื่อนไขในการทำงานที่นำมาคิดเป็นต้นทุน

เวลาที่ใช้ในการผลิต

- ในการผลิตจะคิดในการทำงาน 26 วัน/เดือน
- ใน 1 วันจะทำงาน 16 ชั่วโมง
- ∴ เวลาที่ใช้ในการผลิต = $\frac{26 \times 16 \times 60}{12,000} = 2.08$ นาที/ชิ้น

ค่าแรงที่ใช้ในการผลิต

- ใช้พนักงานในการผลิตตลอดกระบวนการ 6 คน
- เงินเดือนพนักงานแต่ละคน 6,300 บาท
- ∴ ค่าแรงที่ใช้ในการผลิต = $\frac{6,300 \times 6}{12,000} = 3.15$ บาท/ชิ้น

ค่าไฟฟ้าในการผลิต

- ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้า (Induction furnace) ขนาด 0.5 ตัน 500 kW
- เครื่องจักร CNC ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW
- อัตราค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท
- ∴ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น = $(500 + 26.027) \times 3(2.08/60) = 54.7$ บาท

การประเมินราคาของชิ้นงาน

- ในที่นี้จะคิดราคาของชิ้นงานตามเงื่อนไขของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดยใช้หลักการประเมินราคาที่ราคาขายของชิ้นงาน = (ราคาต่อหน่วยน้ำหนักวัสดุดิบ x น้ำหนักวัสดุดิบ x 3)
- การประเมินราคาของชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานจะคิดที่น้ำหนักของราคาวัสดุดิบ

1. แหวนล็อกประตูดึง (Ring)



ภาพที่ 5 แหวนล็อกประตูดึง

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า

$$\text{น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก} = 8.375 \quad \text{กิโลกรัม}$$

- คำนวณหาค่าขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (8.375) \times (30) \times (3)$$

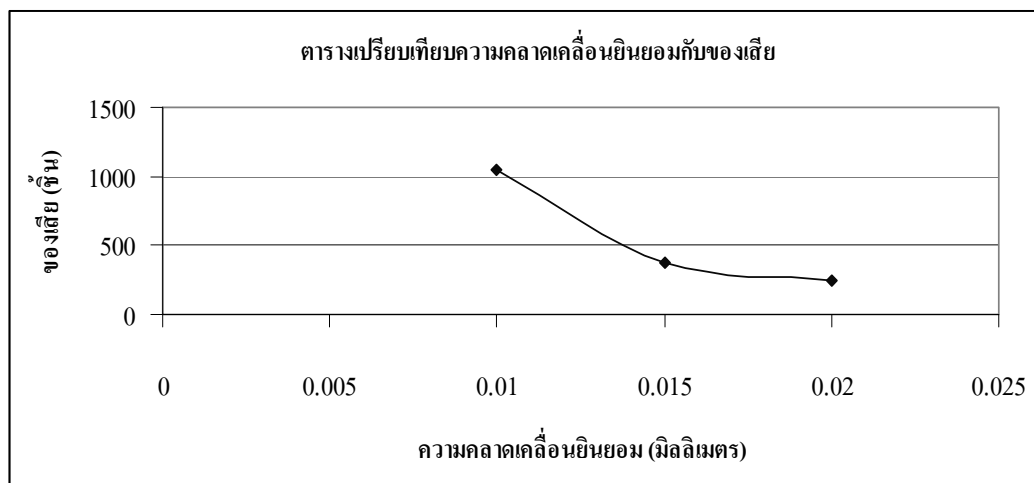
$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 754 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละ เดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม เมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของแวนสล็อตประตูตู้หนึ่ง

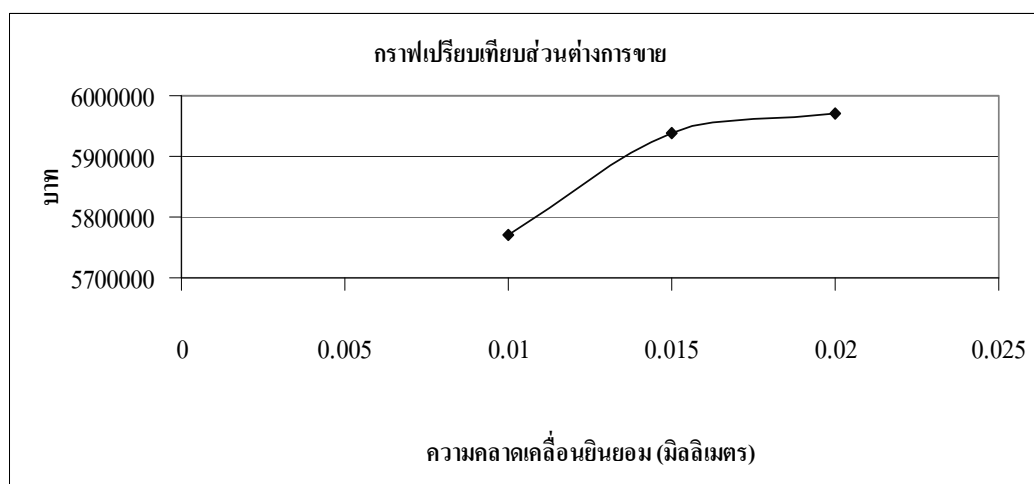
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	3,076,556	3,108,465	3,277,305
มูลค่าการขาย (บาท)	9,048,000	9,048,000	9,048,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	5,971,444	5,939,535	5,770,695

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 9,048,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะ

อยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore \dot{m} = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาท}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของแหวนล้อกประตูดั้ง

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวน ชิ้นงาน	น้ำหนัก รวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้าในการให้ ความร้อนรวม(บาท)
± 0.020	12,245	102,551.88	31.27	46,904.44
± 0.015	12,372	103,615.50	31.59	47,390.92
± 0.010	13,044	109,243.50	33.31	49,961.18

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

$$\text{ขนาดมอเตอร์ } 35 \text{ HP} = 26.027 \text{ kW}$$

- • ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตแหวนล็อกประตูดั้ง

Tolerance	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
± 0.020	12,245	99,429.40
± 0.015	12,372	100,460.64
± 0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 2 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 3 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิตแหวนล็อกประตูดั้งดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าไฟฟ้ารวมของแหวนล็อกประตูดั้ง

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
± 0.020	46,904.44	99,429.40	146,333.84
± 0.015	47,390.92	100,460.64	147,851.56
± 0.010	49,961.18	105,909.16	155,870.34

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาด

ชั้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{5,081,995.200}{12,245} = 423.4996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(2,152,222,934.094) - (12,000)(423.4996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{5,081,994.6}{12,372} = 423.49955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(2,152,222,426.078) - (12,000)(423.4996)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{5,081,990.4}{13,043} = 423.4992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(2,152,225,984.088) - (12,000)(423.4999)^2}{13,043 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{754}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{14.77955}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{754}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{12.34388}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{754}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

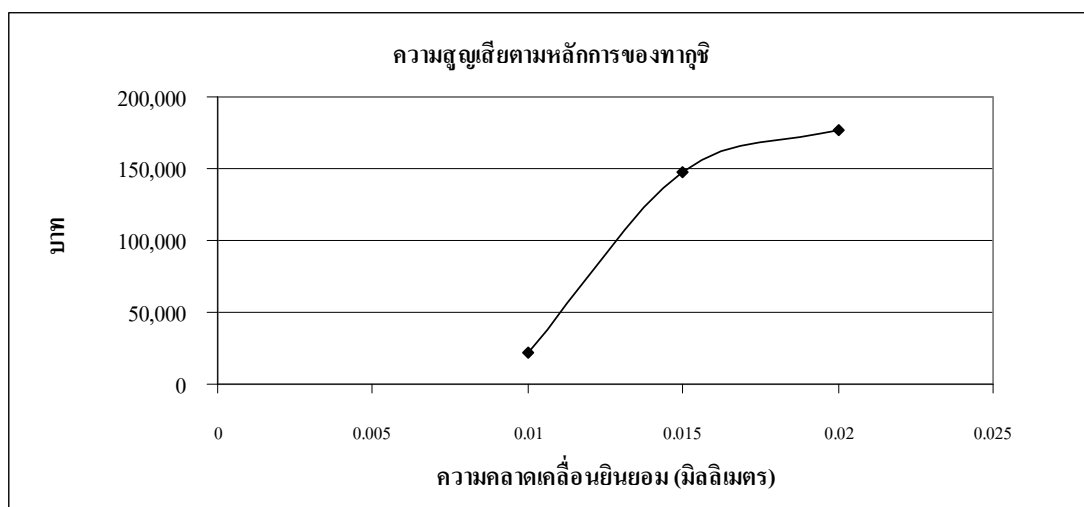
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{1.866197}} \quad \text{บาท}$$

จากการคำนวณหาค่าความสูญเสียพบว่าการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำกว่าค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของแหวนล้อกประตูดั้ง

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	14.77	176,870
± 0.015	12,000	12.34	148,126
± 0.010	12,000	1.86	22,397

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 8



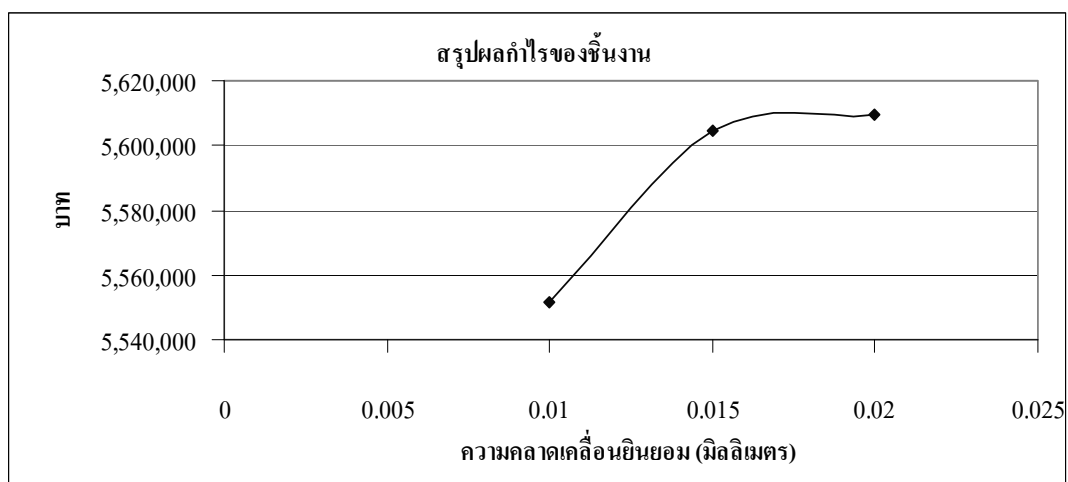
ภาพที่ 8 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของแหวนล้อรถตู้หนึ่ง

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหาว่าใครที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอม ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล้อรถตู้หนึ่ง

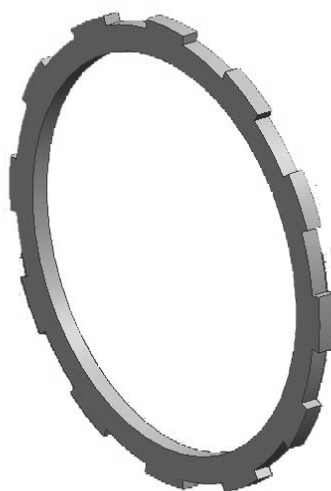
ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	5,971,444	176,870	146,333.84	38,571.75	5,609,665
± 0.015	5,939,535	126,148	147,851.56	38,971.80	5,604,587
± 0.010	5,770,695	22,394	155,870.34	41,085.45	5,551,346

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมนำมาสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตู่

2. เฟืองประตูตู้หนึ่ง



ภาพที่ 10 เฟืองประตูตู้หนึ่ง

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า
น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 3.510 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (3.510) \times (30) \times (3)$$

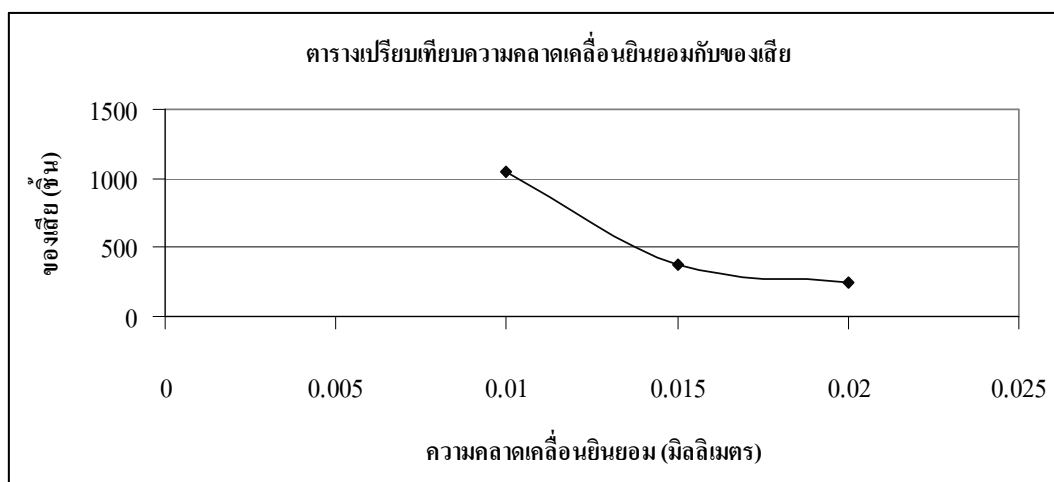
$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 315 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รายละเอียดของเฟืองประตูดั้ง

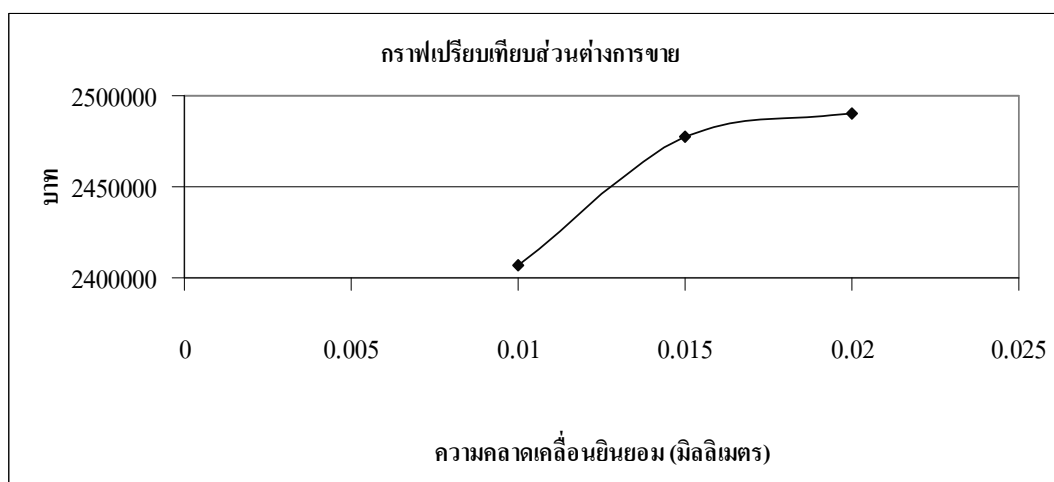
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	1,289,398	1,302,771	1,373,533
มูลค่าการขาย (บาท)	3,780,000	3,780,000	3,780,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	2,490,602	2,477,229	2,406,467

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่ต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของเฟืองประตูดั้ง

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 3,780,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของเฟืองประตูดั้ง

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$m = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore m = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาฬิกา}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 8 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของเฟืองประตูดั้ง

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	42,979.95	31.27	19,657.86
± 0.015	12,372	43,425.72	31.59	19,861.75
± 0.010	13,044	45,780.93	33.31	20,938.95

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

$$\text{ขนาดมอเตอร์ } 35 \text{ HP} = 26.027 \text{ kW}$$

∴ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 9 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตเฟืองประตูดั้ง

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
± 0.020	12,245	99,429.40
± 0.015	12,372	100,460.64
± 0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 8 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 9 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิตเฟืองประตูดั้งดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของเฟืองประตูดั้ง

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
± 0.020	19,657.86	99,429.40	119,087.26
± 0.015	19,861.75	100,460.64	120,322.39
± 0.010	20,938.95	105,909.16	126,848.11

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{4,799,995.2}{12,245} = 399.9996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(9,919,996,160.094) - (12,000)(399.9996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{4,799,994.6}{12,372} = 399.49955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(1,919,995,680.078) - (12,000)(399.49955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{4,799,990.4}{13,044} = 399.9992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(2,152,225,984.088) - (12,000)(399.9992)^2}{13,044 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{315}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{6.174}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{315}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{5.15692}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{315}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

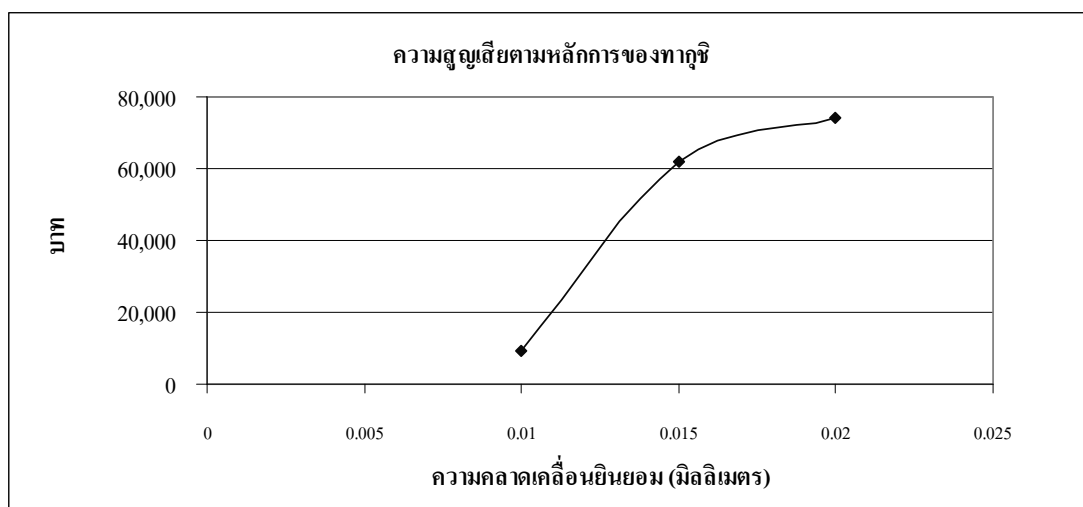
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{0.77964}} \quad \text{บาท}$$

จากการคำนวณหาค่าความสูญเสียพบว่าจากการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำกว่าค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของเฟื่องประดู่หนึ่ง

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	6.17	74,088
± 0.015	12,000	5.16	62,030
± 0.010	12,000	0.77	9,355

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 13



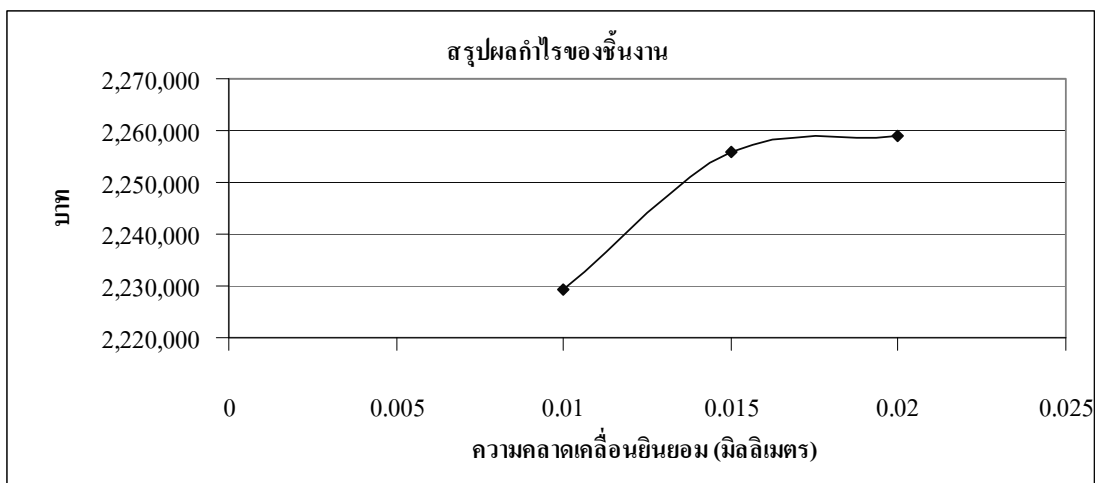
ภาพที่ 13 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของเฟืองประตูดั้ง

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอม ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของเฟืองประตูดั้ง

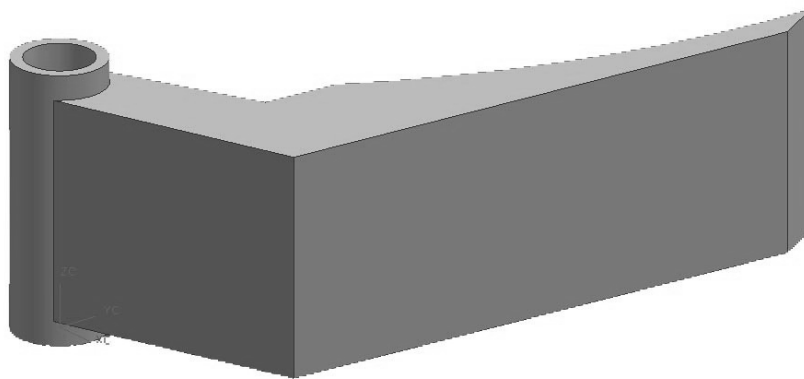
ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	2,490,602	74,088	119,087	38,571	2,258,856
± 0.015	2,477,229	62,030	120,322	38,971	2,255,906
± 0.010	2,406,467	9,355	126,848	41,085	2,229,179

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมนำมาสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 กราฟเปรียบเทียบกำไรของเฟืองประตูดั้ง

3. แขนประตู (Arm)



ภาพที่ 15 แขนประตู

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 2.535 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (2.535) \times (30) \times (3)$$

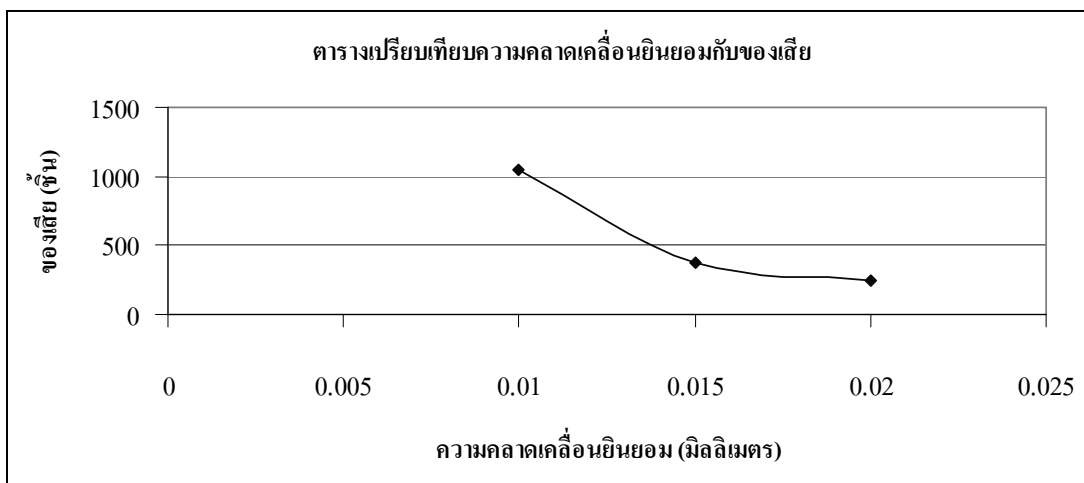
$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 228 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละ เดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม เมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 รายละเอียดของแขนประตู่

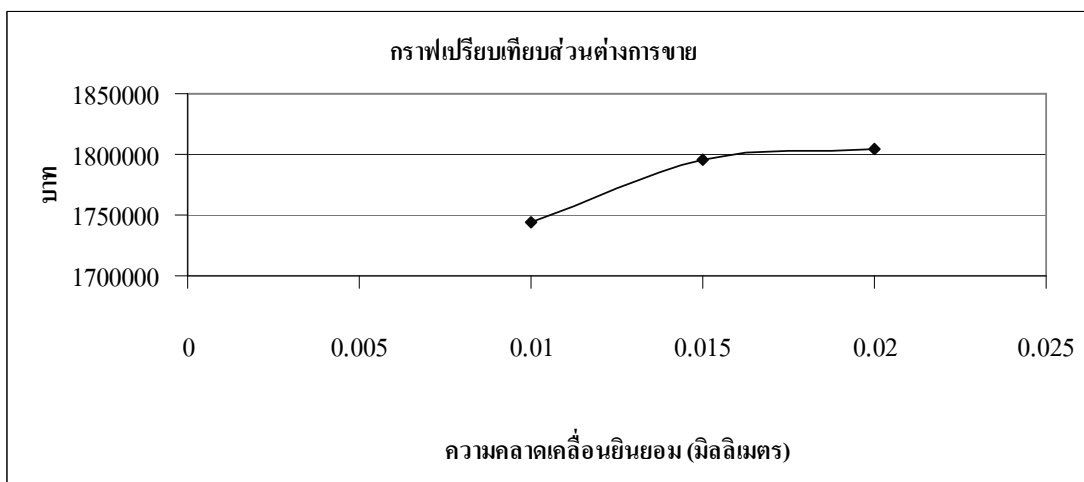
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	931,232	940,890	991,996
มูลค่าการขาย (บาท)	2,736,000	2,736,000	2,736,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	1,804,768	1,795,110	1,744,004

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัว ควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่ต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของแขนประตู่

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 2,736,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของแขนประตู่

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$m = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore m = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาฬิกา}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของแขนประตู่

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	31,041.08	9.460	14,197.34
± 0.015	12,372	31,363.02	9.560	14,344.59
± 0.010	13,044	33,064.01	10.080	15,122.58

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

$$\text{ขนาดมอเตอร์ 35 HP} = 26.027 \text{ kW}$$

- ∴ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตแขนประตู่

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
± 0.020	12,245	99,429.40
± 0.015	12,372	100,460.64
± 0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 14 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 15 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิตแขนประตู่ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของแขนประตู่

ความคลาดเคลื่อน ยินยอม	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	14,197.34	99,429.40	113,626.74
± 0.015	14,344.59	100,460.64	114,805.23
± 0.010	15,122.58	105,909.16	121,031.74

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{4,799,995.2}{12,245} = 27.9996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{9,407,731.3 - (12,000)(27.9996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{4,799,994.6}{12,372} = 27.99955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(9,407,697.68) - (12,000)(27.99955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{4,799,990.4}{13,044} = 27.9992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(9,407,462.5) - (12,000)(27.9992)^2}{13,044 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{228}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{4.4688}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{228}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{3.7326}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{228}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

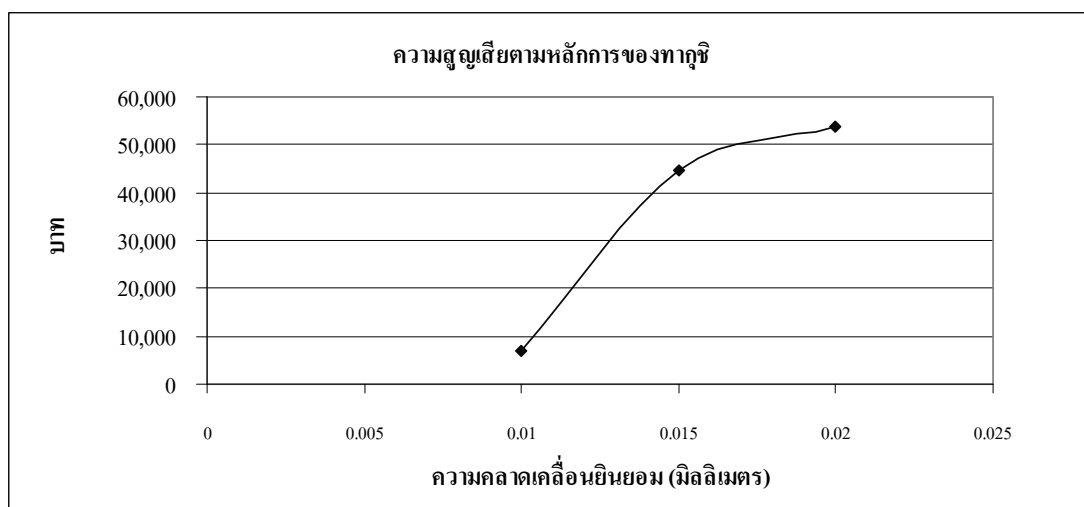
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{0.5643}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าจากการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำกว่าค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของเจนประดู่

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	4.46	53,625
± 0.015	12,000	3.73	44,791
± 0.010	12,000	0.56	6,771

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 18



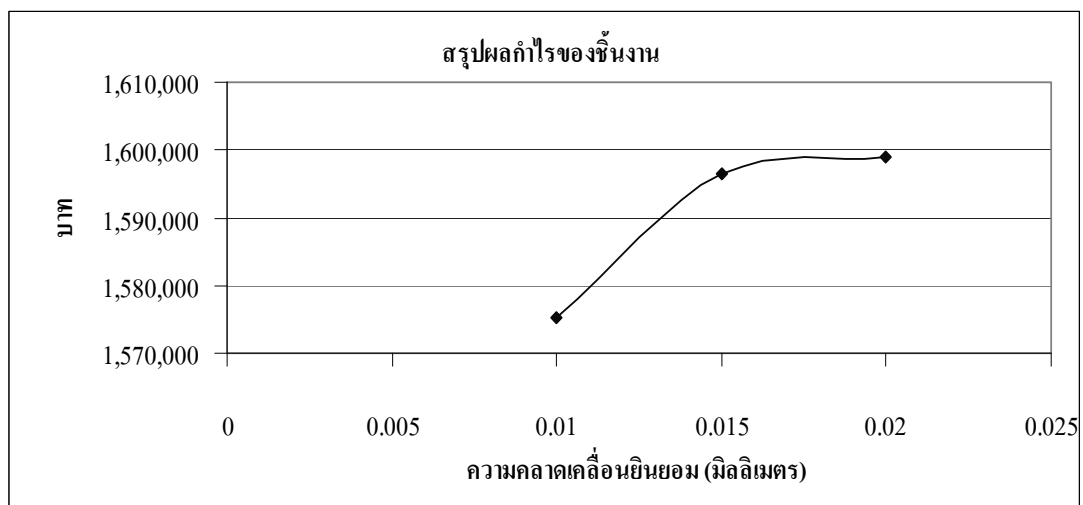
ภาพที่ 18 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของแขนประตู่

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหาว่าอะไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอม ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแขนประตู่

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	1,804,768	53,625	113,626	38,571	1,598,946
± 0.015	1,795,110	44,791	114,805	38,971	1,596,543
± 0.010	1,744,004	6,771	121,031	41,085	1,575,117

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมนำมาสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบกำไรของแขนประตู่

4. บุตรองเพลลา (Arm cap)



ภาพที่ 20 บุตรองเพลลา

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 0.047 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (0.047) \times (30) \times (3)$$

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 5 \text{ บาท}$$

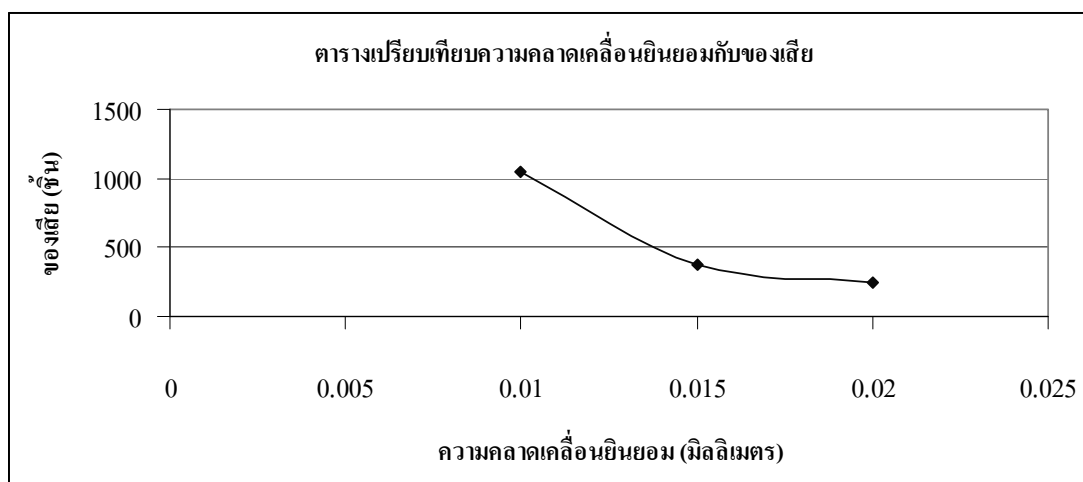
$$\text{เนื่องจากราคาไม่คุ้มกับต้นทุนจึงปรับขึ้นเป็น} = 10 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 รายละเอียดของบุทรองเพลลา

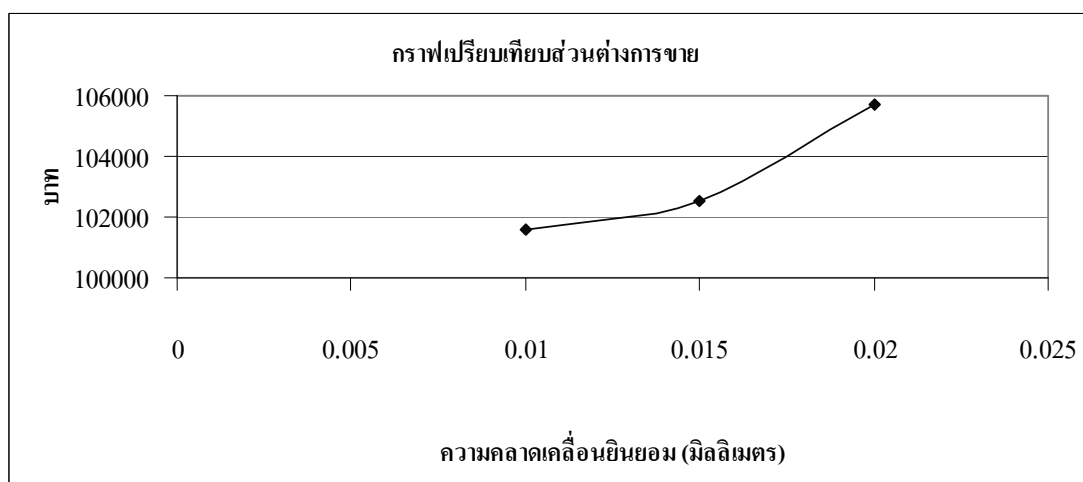
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	14,265	17,444	18,392
มูลค่าการขาย (บาท)	120,000	120,000	120,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	105,735	102,556	101,608

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของบุทองเพลลา

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 120,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของบุทองเพลลา

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$m = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore m = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาฬิกา}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของบูทรองเพลลา

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	587.41	0.18	268.67
± 0.015	12,372	593.50	0.18	271.45
± 0.010	13,044	625.69	0.19	286.17

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตบุทรองเพลลา

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
±0.020	12,245	99,429.40
±0.015	12,372	100,460.64
±0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 20 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 21 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิตบุทรองเพลลาดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของบุทรองเพลลา

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
±0.020	268.67	99,429.40	99,698.07
±0.015	271.45	100,460.64	100,732.09
±0.010	286.17	105,909.16	106,195.33

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{407,995.2}{12,245} = 33.9996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(13,871,673.7) - (12,000)(33.9996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{407,994.6}{12,372} = 33.99955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(13,871,632.9) - (12,000)(33.99955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{407,990.4}{13,044} = 33.9992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(13,871,347.3) - (12,000)(33.9992)^2}{12,044 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{10}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{0.1960}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{10}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{0.1637}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{10}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

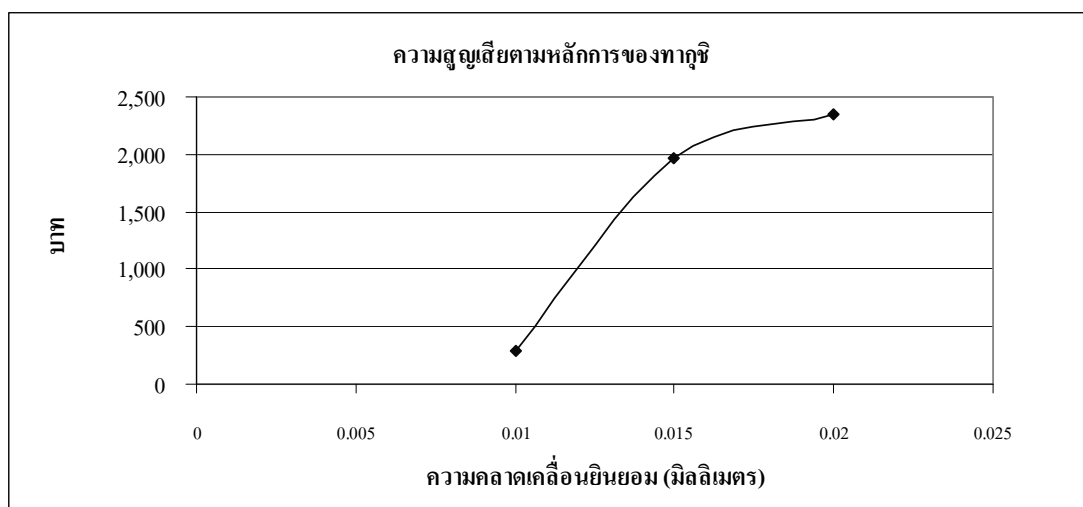
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{0.0247}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าจากการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำลงค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของบุทรองเพลลา

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	0.19	2,352
± 0.015	12,000	0.16	1,964
± 0.010	12,000	0.024	296

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 23



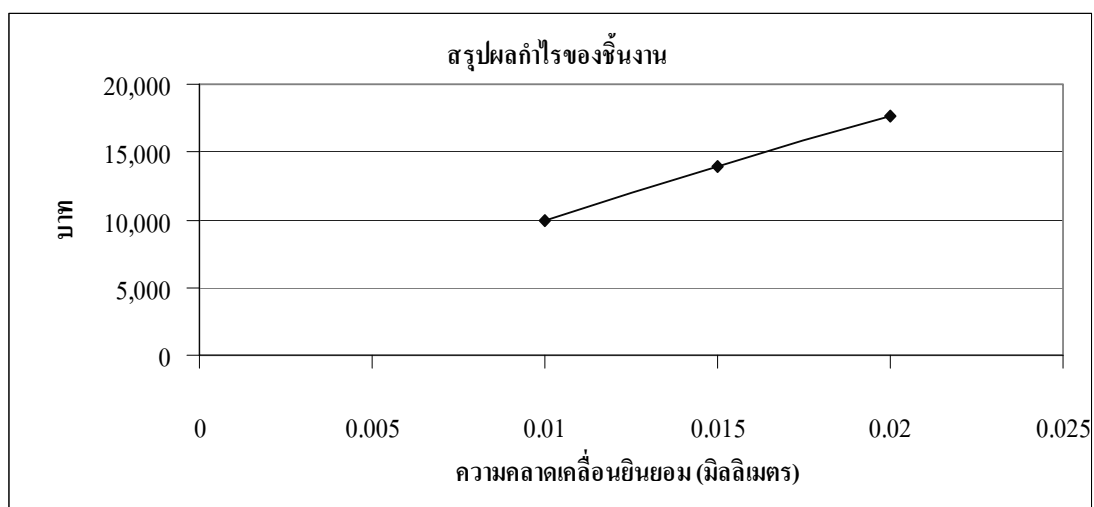
ภาพที่ 23 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของบุทองเพลลา

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของบุทองเพลลา

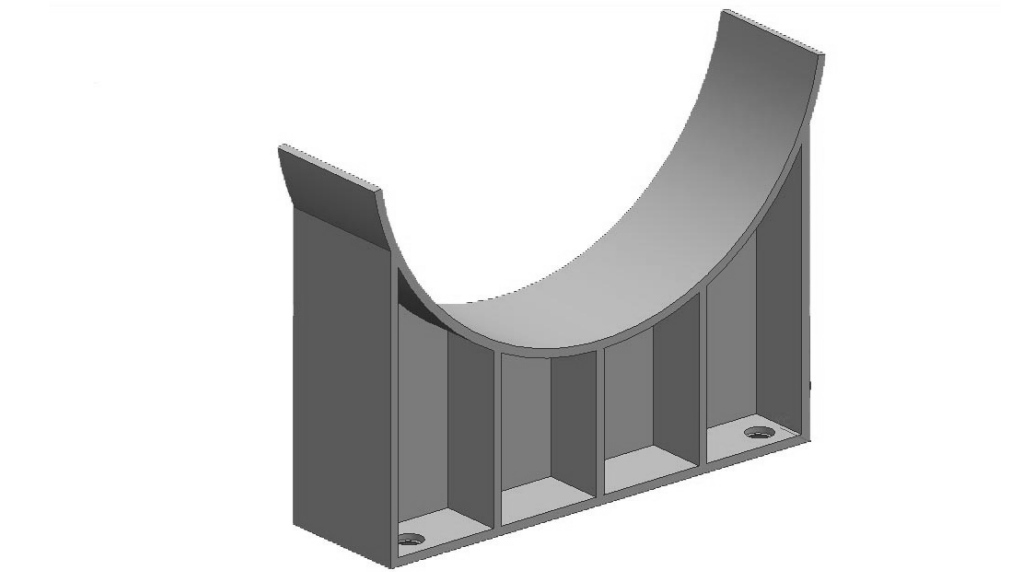
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	105,735	2,352	47,173.11	38,571	17,639
± 0.015	102,556	1,964	47,662.37	38,971	13,959
± 0.010	101,608	296	50,247.35	41,085	9,980

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับนำมาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบกำไรของบุทรองเพลลา

5. ฐานรองตู้หนึ่ง (Base)



ภาพที่ 25 ฐานรองตู้หนึ่ง

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 10.290 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

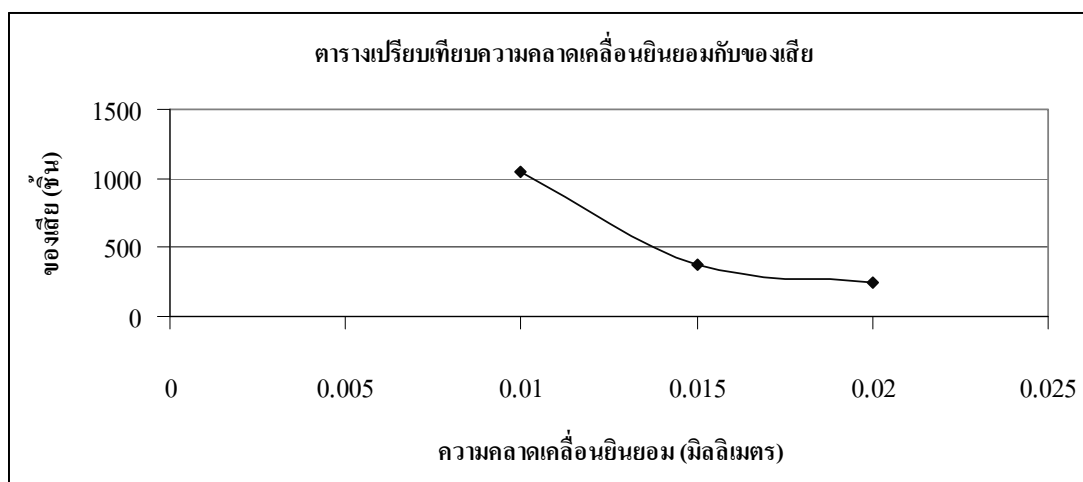
$$\begin{aligned}\text{ราคาขายของชิ้นงาน} &= (10.290) \times (30) \times (3) \\ \text{ราคาขายของชิ้นงาน} &= 926 \text{ บาท}\end{aligned}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละ เดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม เมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 รายละเอียดของฐานรองคูนึ่ง

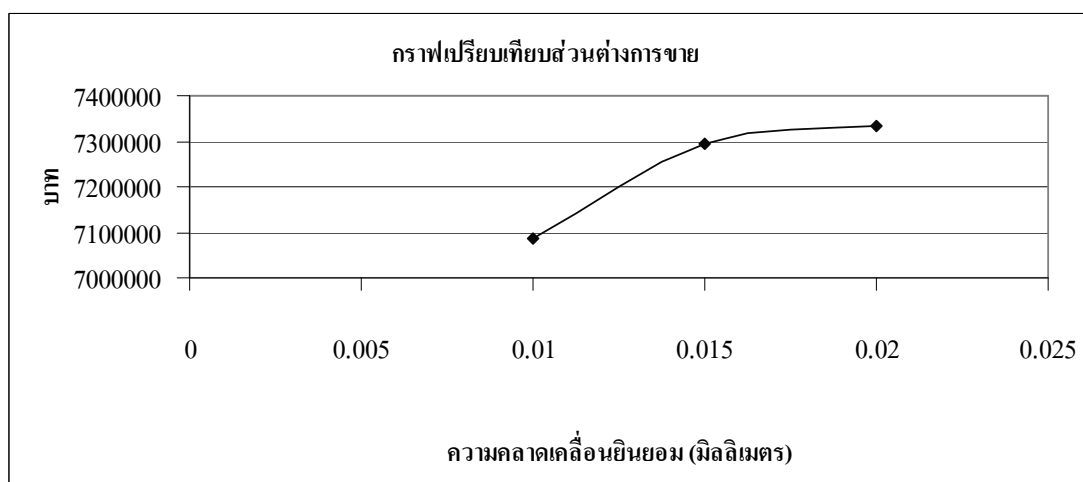
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	3,780,031	3,819,236	4,026,682
มูลค่าการขาย (บาท)	11,112,000	11,112,000	11,112,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	7,331,969	7,292,764	7,085,318

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัว ควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของฐานรองตู้หนึ่ง

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 11,112,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของฐานรองตู้หนึ่ง

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore \dot{m} = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาท}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของฐานรองตู้หนึ่ง

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	126,001.05	38.42	57,629.46
± 0.015	12,372	127,307.88	38.82	58,227.17
± 0.010	13,044	134,212.47	40.92	61,385.14

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตฐานรองตู้หนึ่ง

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
± 0.020	12,245	99,429.40
± 0.015	12,372	100,460.64
± 0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 26 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 27 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิตฐานรองตู้หนึ่งดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของฐานรองตู้หนึ่ง

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
± 0.020	57,629.46	99,429.40	157,058.86
± 0.015	58,227.17	100,460.64	158,687.81
± 0.010	61,385.14	105,909.16	167,294.30

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{4,601,995.2}{12,245} = 383.4996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(1,764,863,318) - (12,000)(383.4996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{4,601,994.6}{12,372} = 383.49955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(1,764,862,858) - (12,000)(383.49955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{4,601,990.4}{13,044} = 383.4992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(1,764,859,637) - (12,000)(383.4992)^2}{13,044 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{926}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{18.1496}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{926}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{15.1597}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{926}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

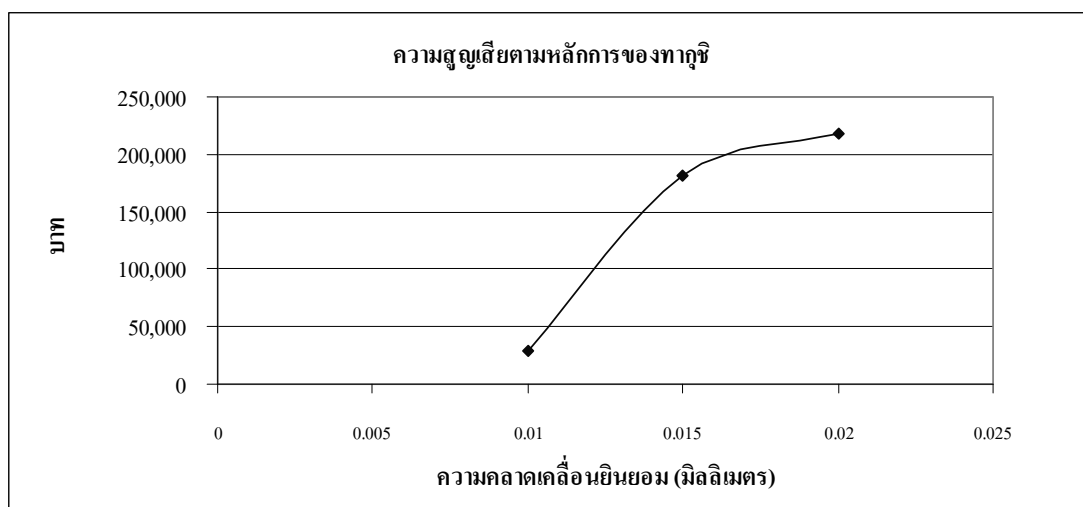
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{2.3810}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าจากการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำลงค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของฐานรองตู้หนึ่ง

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	18.14	217,795
± 0.015	12,000	15.15	181,916
± 0.010	12,000	2.38	28,668

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 28



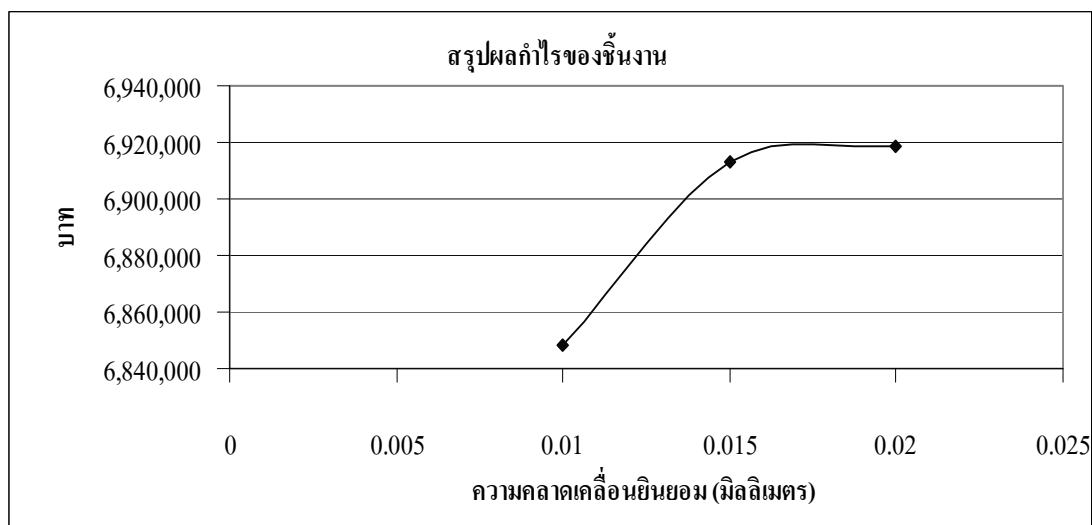
ภาพที่ 28 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทาคูชิของฐานรองตู้หนึ่ง

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล็อกประตูตู้หนึ่ง

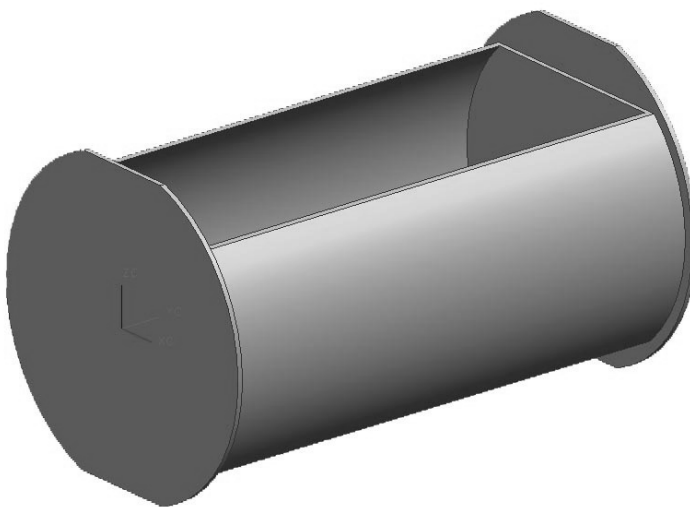
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	7,331,969	217,795	157,058	38,571	6,918,545
± 0.015	7,292,764	181,916	158,687	38,971	6,913,190
± 0.010	7,085,318	28,668	167,294	41,085	6,848,271

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับนำมาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตู่

6. โบกี้



ภาพที่ 30 โบกี้

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า
น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 23.872 กิโลกรัม

- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (23.872) \times (30) \times (3)$$

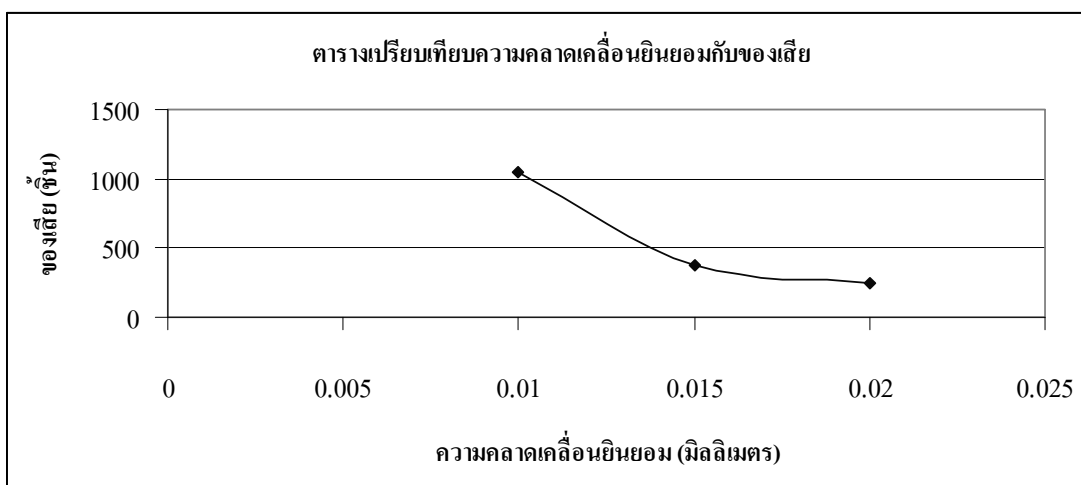
$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 2,148 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละ เดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม เมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 รายละเอียดของโบกี้

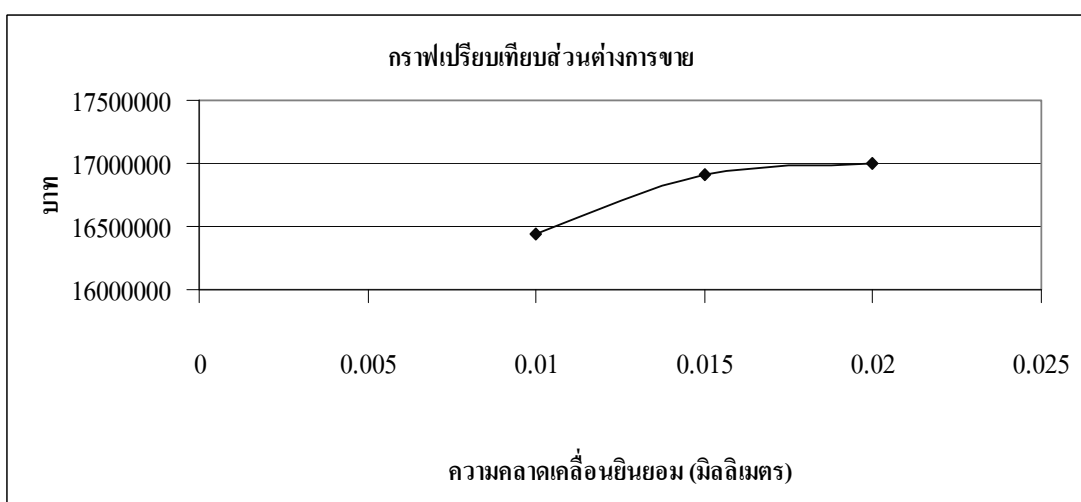
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	8,769,379	8,860,331	9,341,591
มูลค่าการขาย (บาท)	25,776,000	25,776,000	25,776,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	17,006,621	16,915,669	16,434,409

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัว ควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่ต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของโบกี้

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 25,776,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของโบกี้

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore \dot{m} = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาท}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของโบกี้

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	292,312.64	89.13	133,695.87
± 0.015	12,372	295,344.38	90.06	135,082.50
± 0.010	13,044	311,362.50	94.94	142,408.75

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตโบกี้

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
±0.020	12,245	99,429.40
±0.015	12,372	100,460.64
±0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 32 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 33 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิตโบกี้ดังแสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของโบกี้

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
±0.020	133,695.87	99,429.40	233,125.27
±0.015	135,082.50	100,460.64	235,543.14
±0.010	142,408.75	105,909.16	248,317.91

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{3,839,995.2}{12,245} = 319.9996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(1,228,796,928) - (12,000)(319.9996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{3,839,994.6}{12,372} = 319.99955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(1,228,796,544) - (12,000)(319.99955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{3,839,990.4}{13,043} = 319.9992$$

$$\sigma_{\pm 0.01} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(1,228,793,856) - (12,000)(319.9992)^2}{13,043 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{2,148}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{42.1008}} \quad \text{บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{2,148}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{35.1653}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{2,148}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

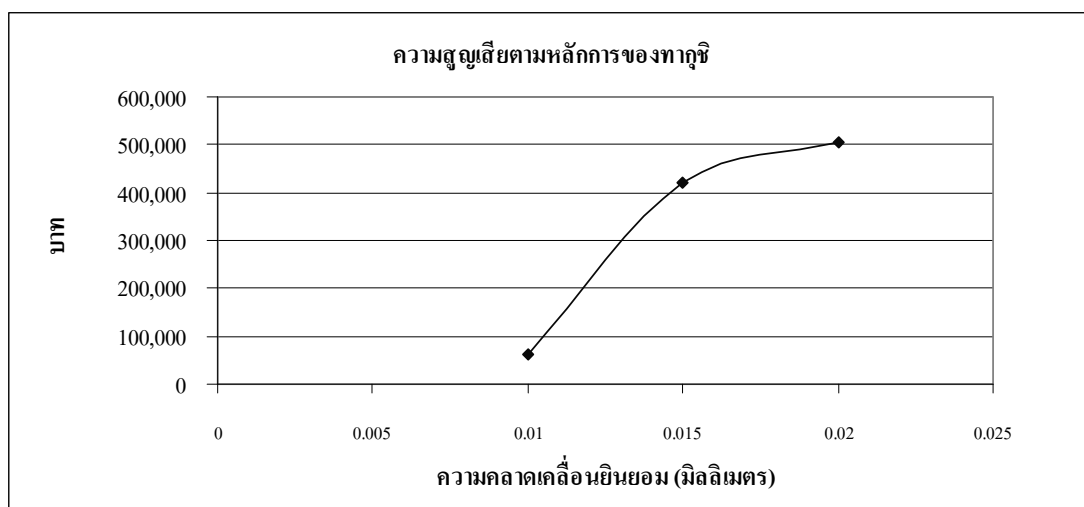
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{5.3164}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำลงค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของโบกี

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	42.10	505,209
± 0.015	12,000	35.16	421,983
± 0.010	12,000	5.31	63,796

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 33



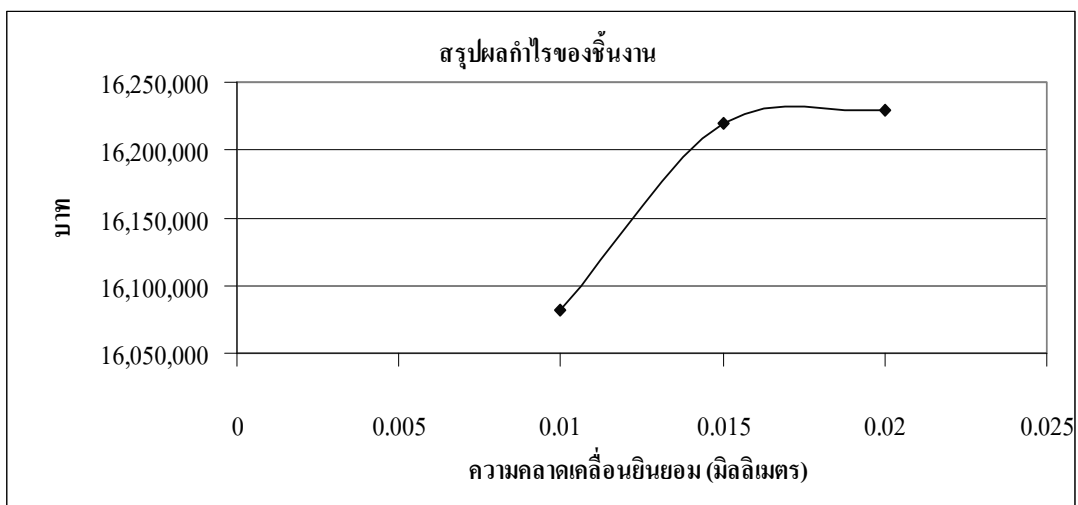
ภาพที่ 33 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของโบกี้

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของโบกี้

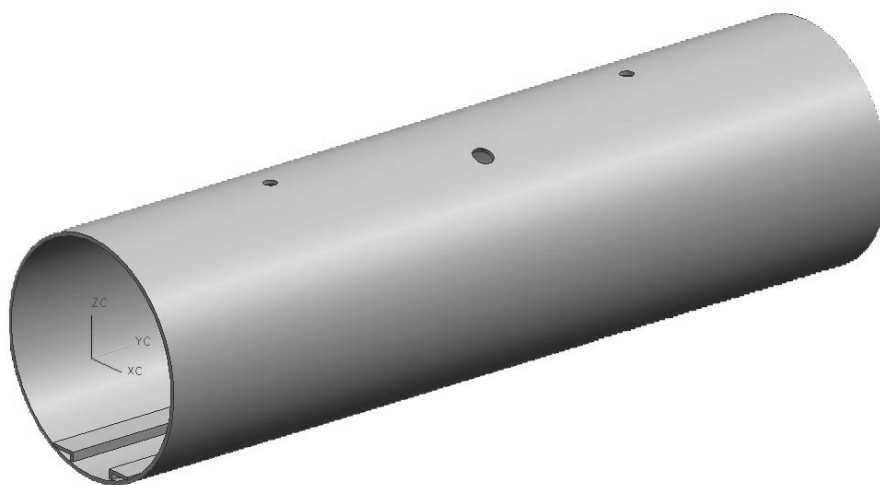
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
±0.020	17,006,621	505,209	233,125.270	38,571	16,229,716
±0.015	16,915,669	421,983	235,543.140	38,971	16,219,172
±0.010	16,434,409	63,796	248,317.910	41,085	16,081,210

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับนำมาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตูดู

7. Body in



ภาพที่ 35 Body in

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 67.744 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (67.744) \times (30) \times (3)$$

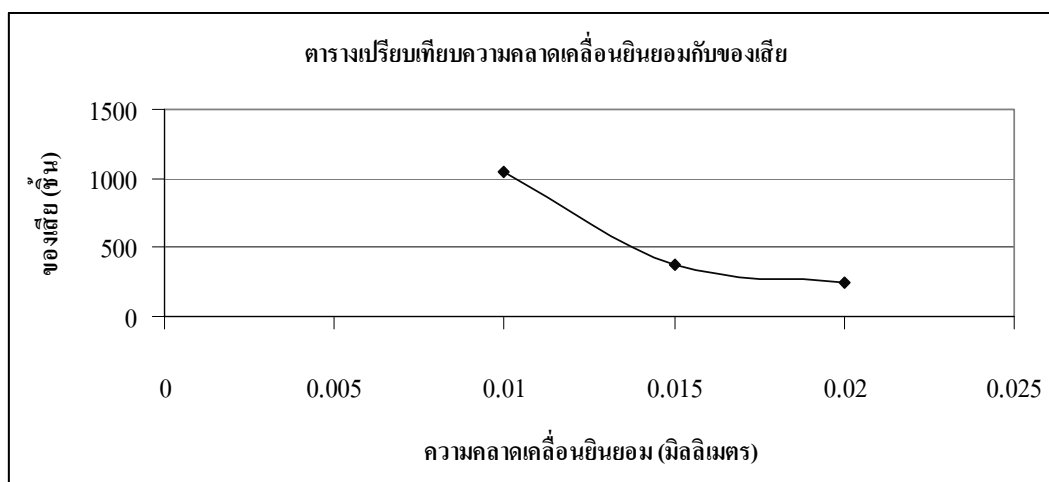
$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 6,097 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละ เดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม เมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 37

ตารางที่ 37 รายละเอียดของ Body in

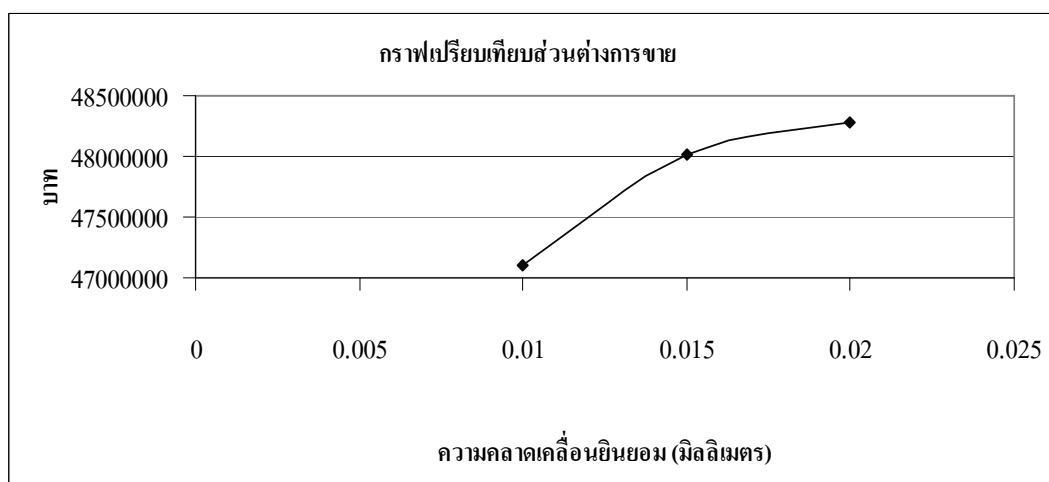
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	24,885,758	25,143,863	26,059,582
มูลค่าการขาย (บาท)	73,164,000	73,164,000	73,164,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	48,278,242	48,020,137	47,104,418

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัว ควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของ Body in

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 73,164,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Body in

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$m = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore m = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาฬิกา}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Body in

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	829,525.28	252.93	379,402.34
± 0.015	12,372	838,128.77	255.56	383,337.34
± 0.010	13,044	883,584.99	269.42	404,127.79

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Body in

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
± 0.020	12,245	99,429.40
± 0.015	12,372	100,460.64
± 0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 38 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 39 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิต Body in ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Body in

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
± 0.020	379,402.340	99,429.40	478,831.74
± 0.015	383,337.340	100,460.64	483,797.98
± 0.010	404,127.790	105,909.16	510,036.95

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{14,819,995.2}{12,245} = 1,234.9996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(1.8303 \times 10^{10}) - (12,000)(1,234.9996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.02} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{14,819,994.6}{12,372} = 1,234.99955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(1.8303 \times 1234.999210^{10}) - (12,000)(1,234.99955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{14,819,990.4}{13,043} = 1,234.9992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(1.8303 \times 10^{10}) - (12,000)(1234.9992)^2}{13,043 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{6,097}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{119.5012}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{6,097}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{99.8152}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{6,097}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

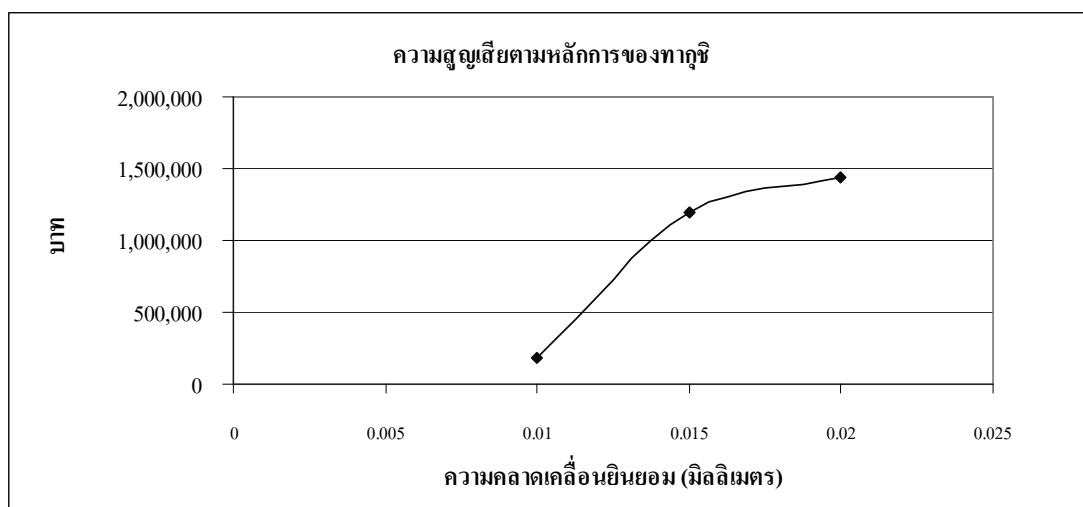
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{15.0904}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำลงค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 41

ตารางที่ 41 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Body in

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	119.50	1,434,014
± 0.015	12,000	99.81	1,197,782
± 0.010	12,000	15.09	181,084

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 38



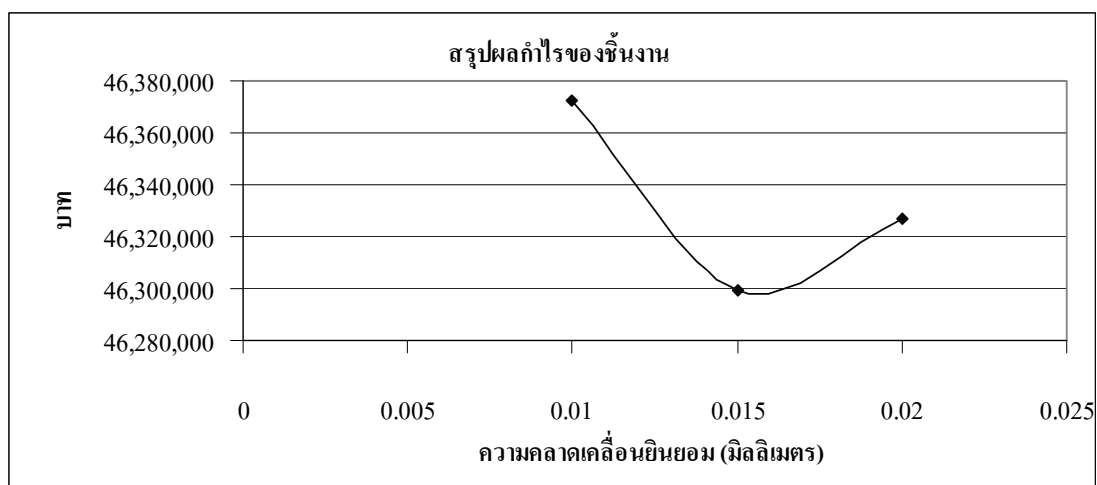
ภาพที่ 38 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของ Body in

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล็อกประตูดั้ง

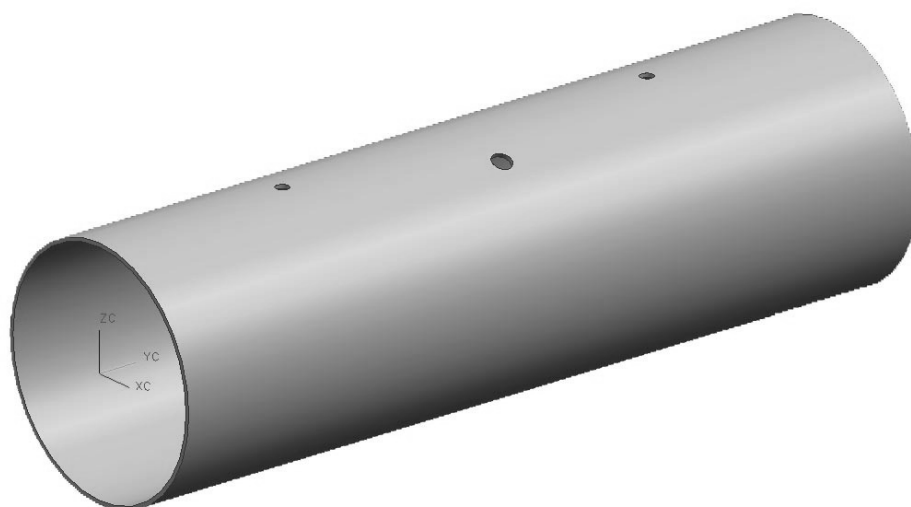
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	48,278,242	1,434,014	478,831.74	38,571	46,326,825
± 0.015	48,020,137	1,197,782	483,797.98	38,971	46,299,586
± 0.010	47,104,418	181,084	510,036.95	41,085	46,372,212

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอมนำมาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 39 กราฟเปรียบเทียบกำไรของแหวนประตู่

8. Body out



ภาพที่ 40 Body out

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 66.564 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

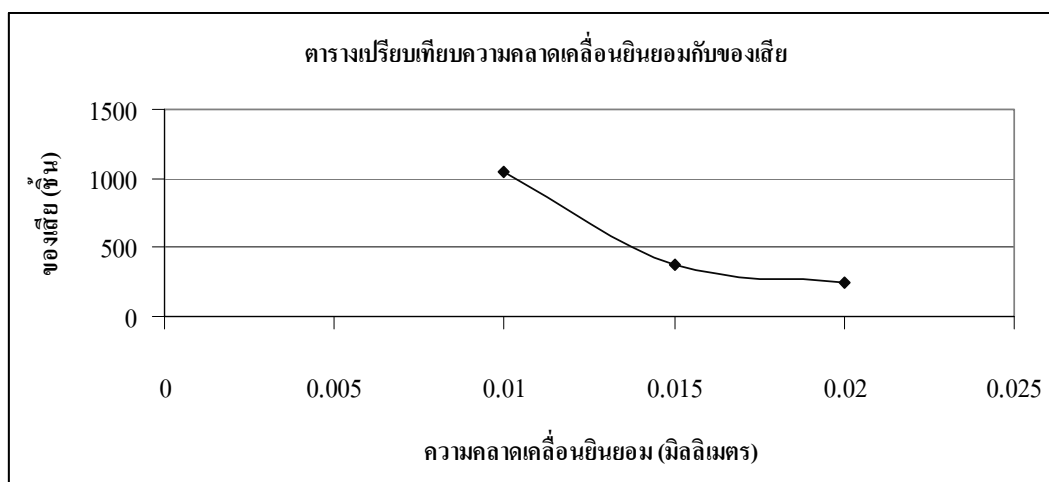
$$\begin{aligned}\text{ราคาขายของชิ้นงาน} &= (66.564) \times (30) \times (3) \\ \text{ราคาขายของชิ้นงาน} &= 5,990 \text{ บาท}\end{aligned}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 43 รายละเอียดของ Body out

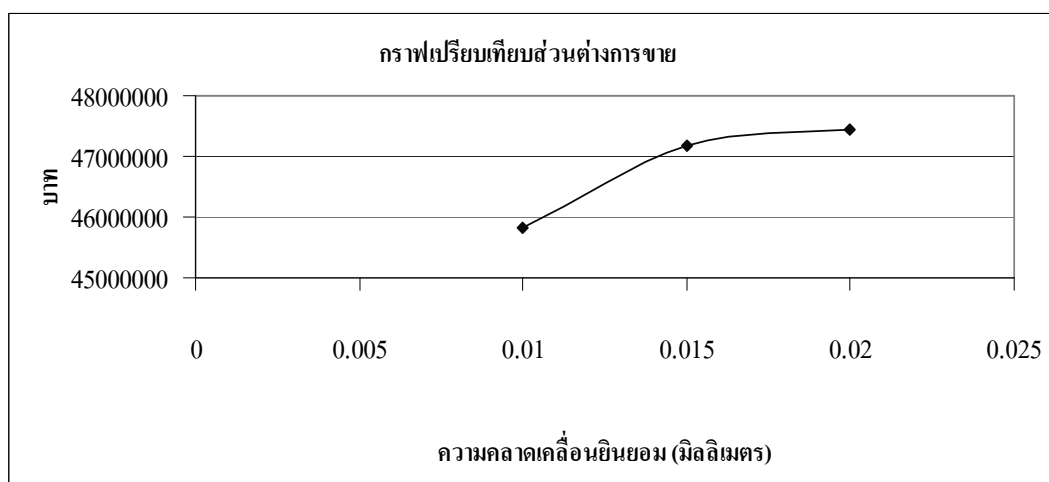
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	24,452,285	24,705,894	26,047,824
มูลค่าการขาย (บาท)	71,880,000	71,880,000	71,880,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	47,427,715	47,174,105	45,832,176

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 41 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของ Body out

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 71,880,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 42



ภาพที่ 42 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Body out

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore \dot{m} = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาท}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 44

ตารางที่ 44 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Body out

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	815,076.18	248.53	372,793.72
± 0.015	12,372	823,529.81	251.11	376,660.18
± 0.010	13,044	868,194.25	264.73	397,088.48

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ∴ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 45

ตารางที่ 45 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Body out

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
±0.020	12,245	99,429.40
±0.015	12,372	100,460.64
±0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 44 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 45 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิต Body out ดังแสดงในตารางที่ 46

ตารางที่ 46 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Body out

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
±0.020	372,793.72	99,429.40	472,223.12
±0.015	376,660.18	100,460.64	477,120.82
±0.010	397,088.48	105,909.16	502,997.64

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{14,819,995.2}{12,245} = 1,234.9996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(1.8303 \times 10^{10}) - (12,000)(1234.9996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{14,819,994.6}{12,372} = 1234.99955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(1.8303 \times 10^{10}) - (12,000)(1234.99955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{14819990.4}{13,043} = 1234.9992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(1.8303 \times 10^{10}) - (12,000)(1234.9992)^2}{13,043 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{5,990}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{117.4040}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{5,990}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{98.0635}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{5,990}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

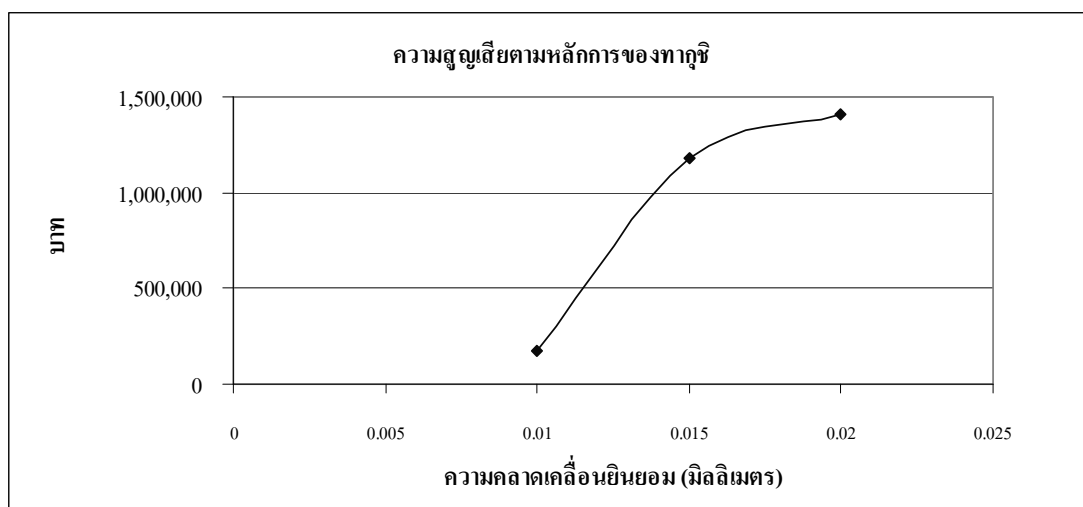
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{14.8256}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำกว่าค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 47

ตารางที่ 47 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Body out

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	117.40	1,408,848
± 0.015	12,000	98.06	1,176,762
± 0.010	12,000	14.82	177,907

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 43



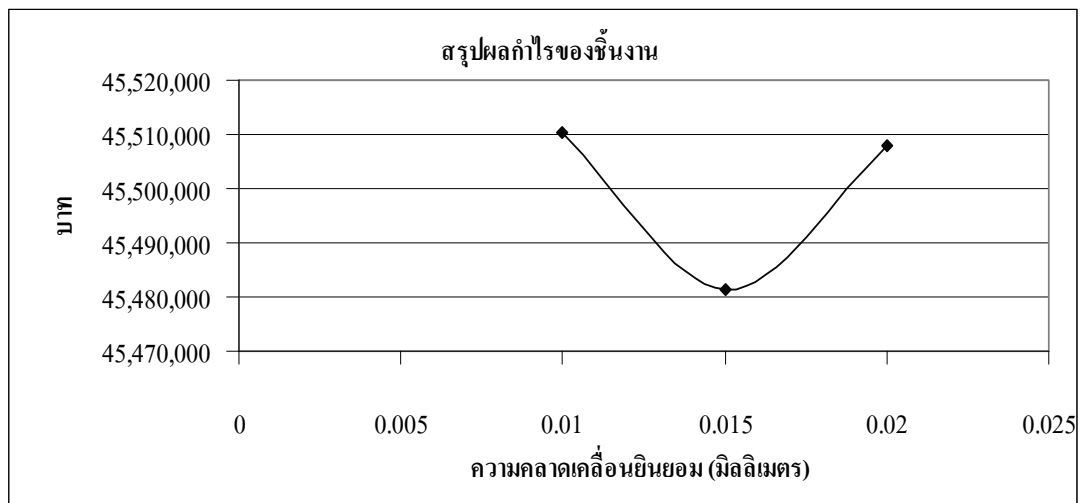
ภาพที่ 43 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของ Body out

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 48

ตารางที่ 48 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของ Body out

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	47,427,715	1,408,848	472,223	38,571	45,508,073
± 0.015	47,174,105	1,176,762	477,120	38,971	45,481,252
± 0.010	45,832,176	177,907	502,997	41,085	45,510,187

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับนำมาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 กราฟเปรียบเทียบกำไรของ Body out

9. Door in



ภาพที่ 45 Door in

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า
 น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 4.752 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (4.752) \times (30) \times (3)$$

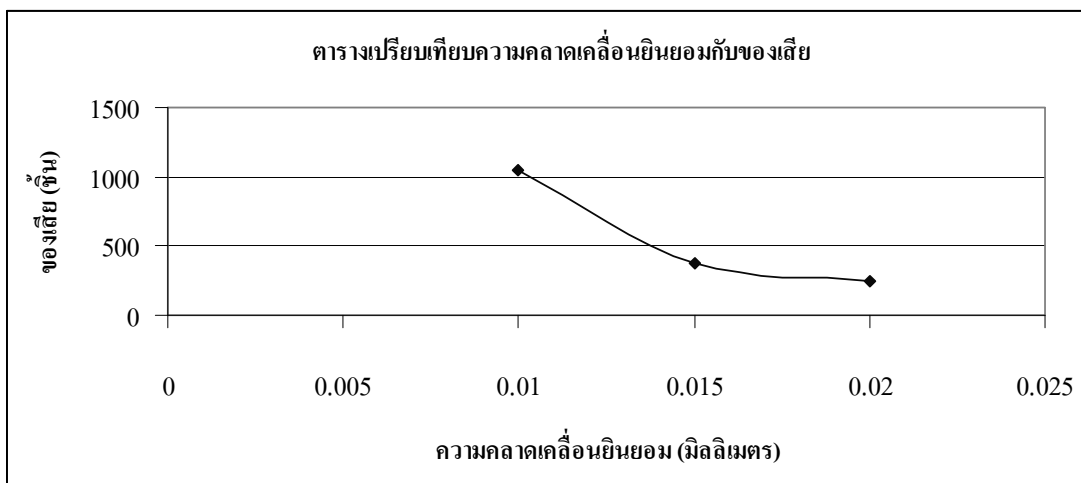
$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 427 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละ เดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม เมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 49

ตารางที่ 49 รายละเอียดของ Door in

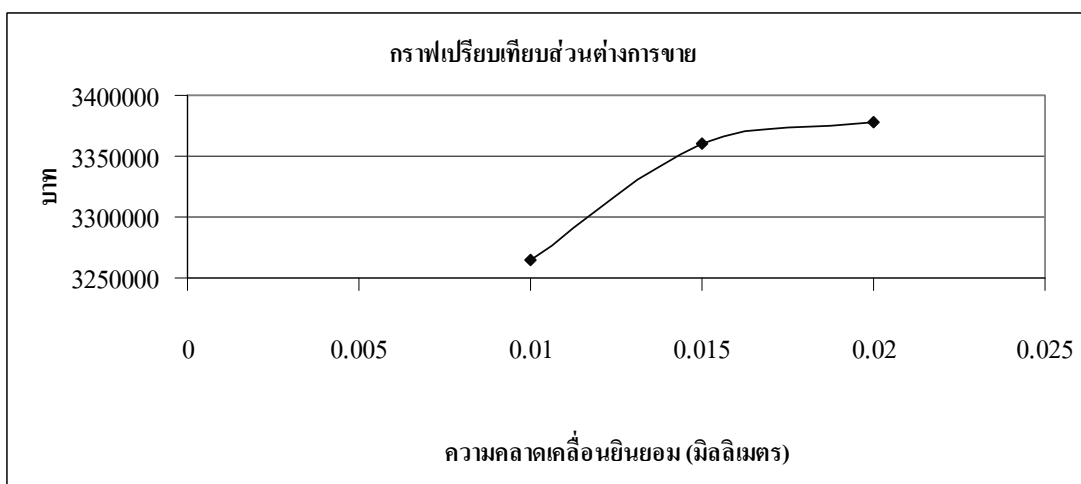
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	1,745,647	1,763,752	1,859,552
มูลค่าการขาย (บาท)	5,124,000	5,124,000	5,124,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	3,378,353	3,360,248	3,264,448

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัว ควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่ต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 46



ภาพที่ 46 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของ Door in

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 5,124,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 47 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Door in

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore \dot{m} = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาท}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Door in

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	58,188.24	17.74	26,613.72
± 0.015	12,372	58,791.74	17.93	26,889.75
± 0.010	13,044	61,980.34	18.90	28,348.12

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 51

ตารางที่ 51 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Door in

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
± 0.020	12,245	99,429.40
± 0.015	12,372	100,460.64
± 0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 50 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 51 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิต Door in ดังแสดงในตารางที่ 52

ตารางที่ 52 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Door in

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
± 0.020	26,613.72	99,429.40	126,043.12
± 0.015	26,889.75	100,460.64	127,350.39
± 0.010	28,348.12	105,909.16	134,257.28

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{4,217,995.2}{12,245} = 351.4996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(1,482,623,626) - (12,000)(351.4996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{4,217,994.6}{12,372} = 351.49955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(1,482,623,204) - (12,000)(351.49955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{4217990.4}{12,000} = 351.4992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(1,482,620,251) - (12,000)(351.4992)^2}{13,043 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{351.5}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{6.8894}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{351.5}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \underline{\underline{5.1651}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{351.5}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

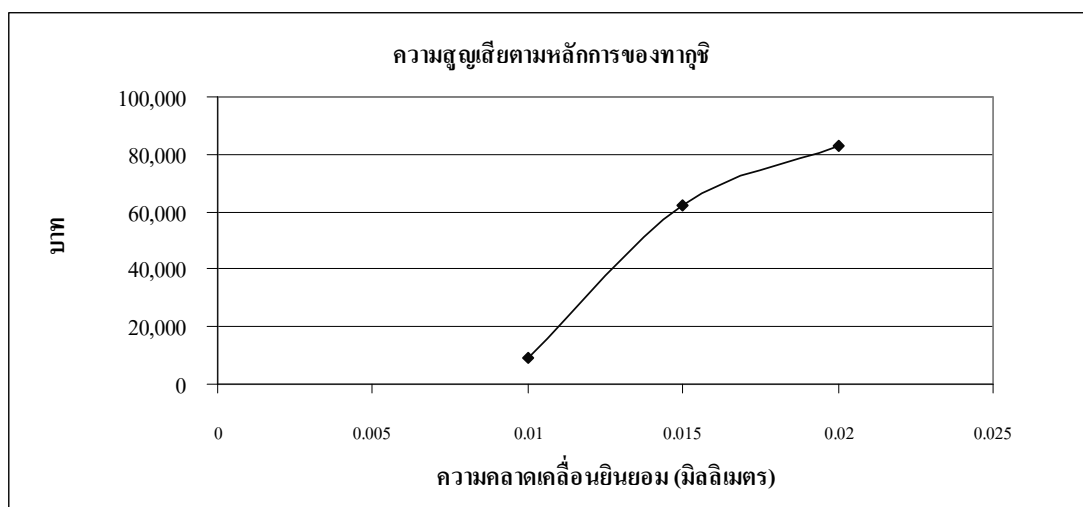
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{0.7808}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำกว่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 53

ตารางที่ 53 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Door in

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	6.88	82,672
± 0.015	12,000	5.16	61,981
± 0.010	12,000	0.78	9,369

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 48



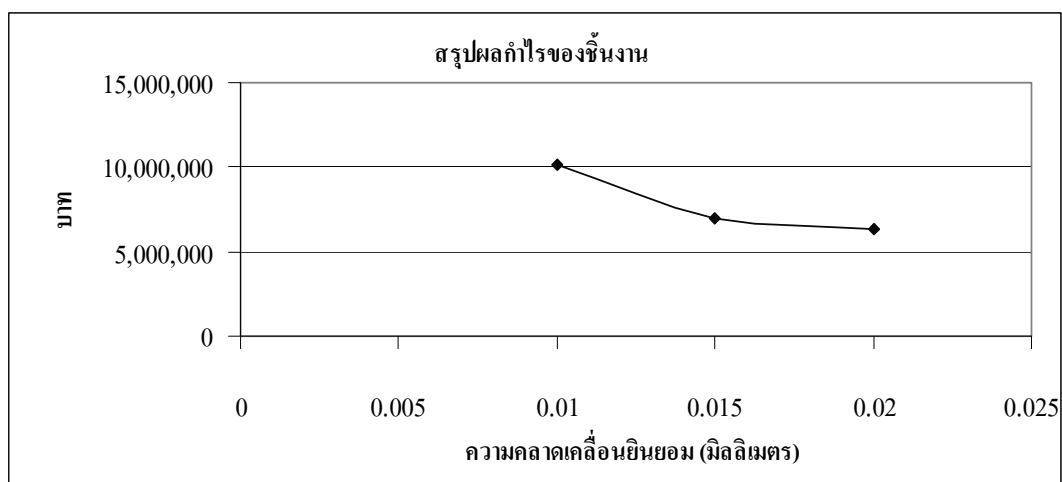
ภาพที่ 48 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของ Door in

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหาว่าอะไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอม ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 54

ตารางที่ 54 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของ Door in

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	5,089,073	82,672	126,043	38,571	4,841,787
± 0.015	5,070,968	61,981	127,350	38,971	4,842,666
± 0.010	4,975,167	9,369	134,257	41,085	4,790,456

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมนำมาสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 49



ภาพที่ 49 กราฟเปรียบเทียบกำไรของ Door in

10. Door out



ภาพที่ 50 Door out

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 11.086 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

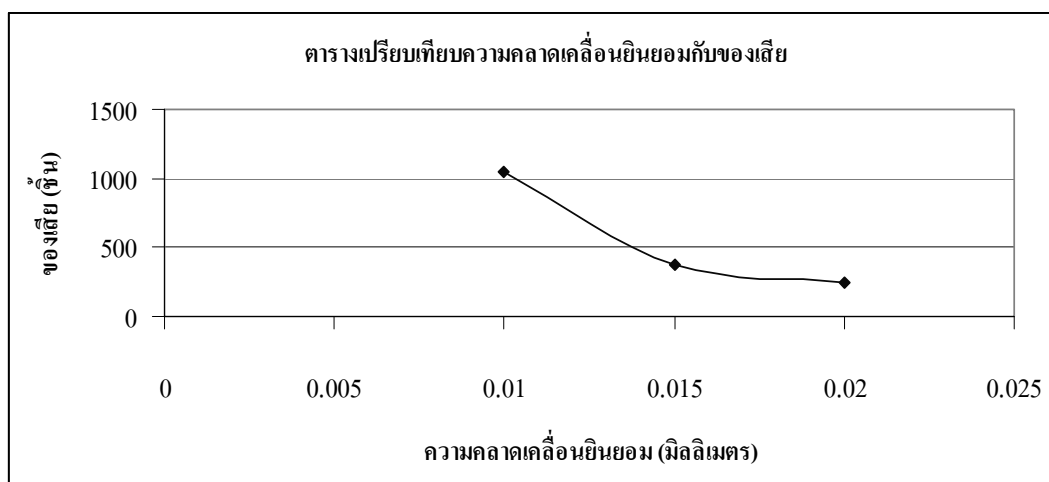
$$\begin{aligned}\text{ราคาขายของขึ้นงาน} &= (11.086) \times (30) \times (3) \\ \text{ราคาขายของขึ้นงาน} &= 997 \text{ บาท}\end{aligned}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าต้องผลิตขึ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้นต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 55

ตารางที่ 55 รายละเอียดของ Door out

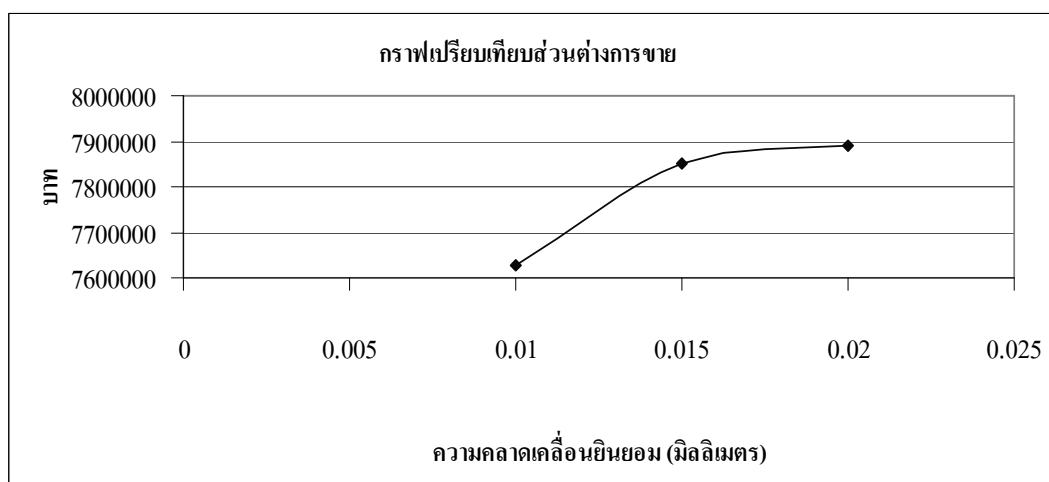
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	4,072,442	4,114,680	4,338,174
มูลค่าการขาย (บาท)	11,964,000	11,964,000	11,964,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	7,891,557	7,849,320	7,625,826

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของ Door out

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 11,964,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 52



ภาพที่ 52 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Door out

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$m = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore m = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาฬิกา}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 56

ตารางที่ 56 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Door out

ความคลาด เคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	135,748.07	41.39	62,087.48
± 0.015	12,372	137,155.99	41.82	62,731.43
± 0.010	13,044	144,594.70	44.09	66,133.69

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 57

ตารางที่ 57 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Door out

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
±0.020	12,245	99,429.40
±0.015	12,372	100,460.64
±0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 56 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 57 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิต Door out ดังแสดงในตารางที่ 58

ตารางที่ 58 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Door out

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
±0.020	62,087.48	99,429.40	161,516.88
±0.015	62,731.43	100,460.64	163,192.07
±0.010	66,133.69	105,909.16	172,042.85

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{4337995.2}{12,245} = 361.4996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(1,568,183,530) - (12,000)(361.4996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{4,337,994.6}{12,372} = 361.49955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(1,568,183,096) - (12,000)(361.49955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{4,337,990.4}{13,043} = 361.4992$$

$$\sigma_{\pm 0.0100} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(1,568,180,059) - (12,000)(361.4992)^2}{13,043 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{997}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \underline{\underline{19.5412}} \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{997}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = 16.3220 \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{997}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

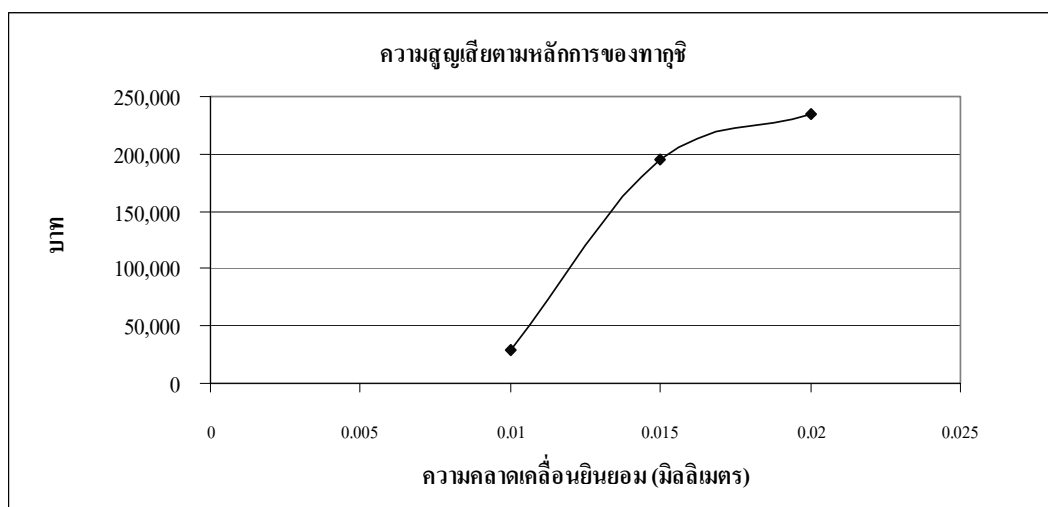
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{2.4676}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาค่าความสูญเสียพบว่าจากการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำกว่าค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 59

ตารางที่ 59 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Door out

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	19.54	234,494
± 0.015	12,000	16.32	195,684
± 0.010	12,000	2.46	29,611

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 53



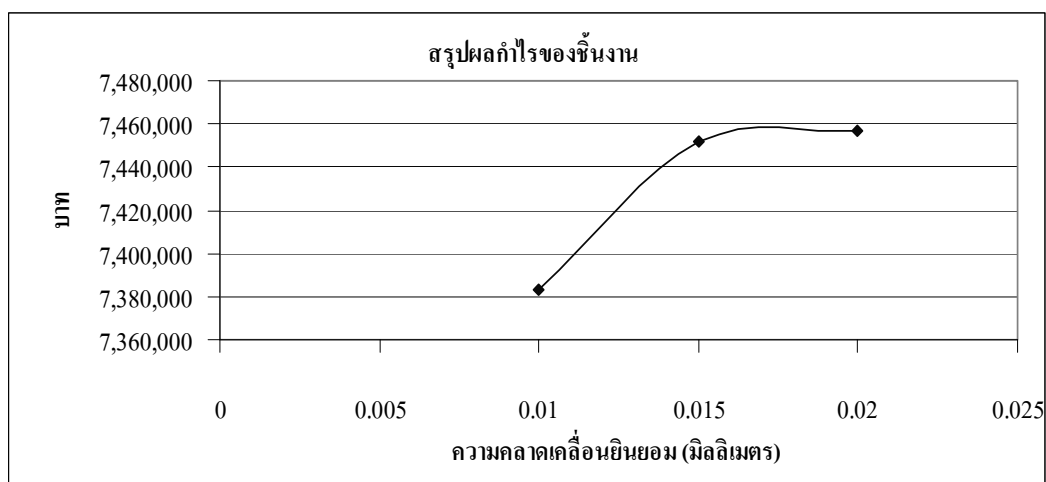
ภาพที่ 53 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิ Door out

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อน ยินยอม ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 60

ตารางที่ 60 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของ Door out

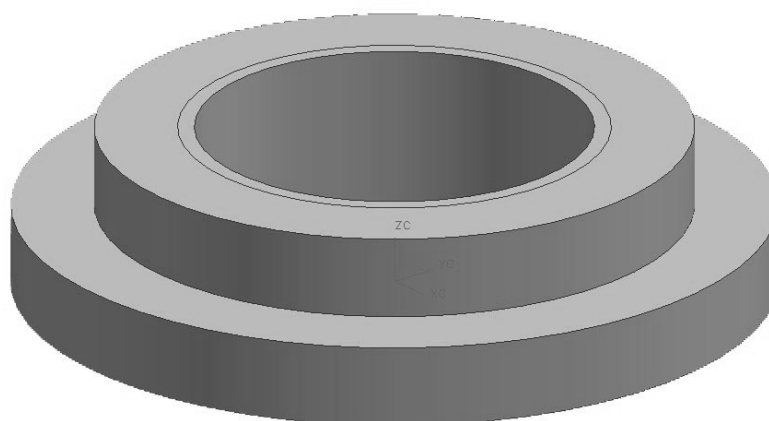
ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	7,891,557	234,494	161,516	38,571	7,456,976
± 0.015	7,849,320	195,684	163,192	38,971	7,451,473
± 0.010	7,625,826	29,611	172,042	41,085	7,383,088

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมนำมาสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 54



ภาพที่ 54 กราฟเปรียบเทียบกำไรของ Door out

11. Slide Wheel



ภาพที่ 55 Slide Wheel

- จากการคำนวณมวลของชิ้นงานจากโปรแกรม Unigraphics NX2 โดยใช้วัสดุ AISI 1020 ความหนาแน่น 7.87 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า น้ำหนักรวมของชิ้นงานมีน้ำหนัก = 0.069 กิโลกรัม
- คำนวณหาราคาขายของชิ้นงาน

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = (0.069) \times (30) \times (3)$$

$$\text{ราคาขายของชิ้นงาน} = 6.21 \text{ บาท}$$

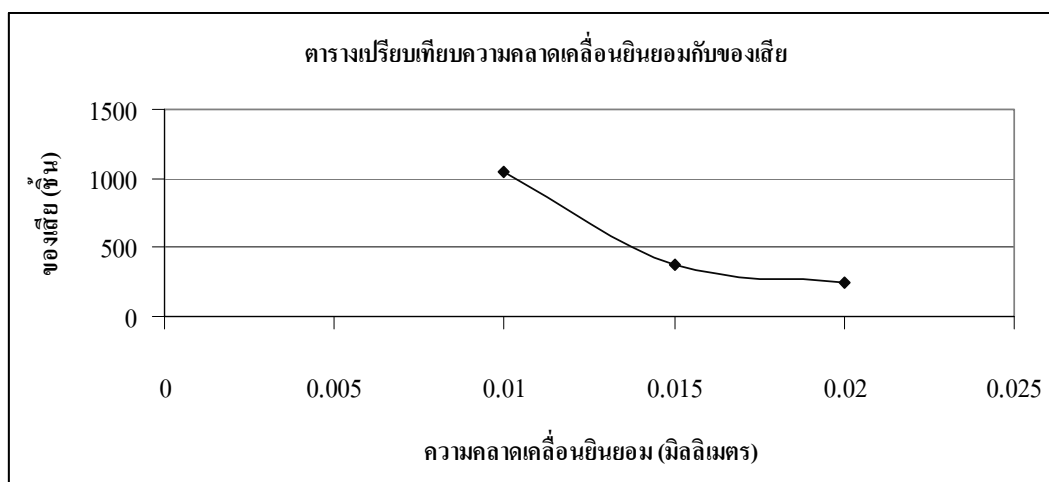
$$\text{เนื่องจากราคาไม่คุ้มกับต้นทุนจึงปรับขึ้นเป็น} = 12 \text{ บาท}$$

- จากเงื่อนไขที่กำหนดว่าจะต้องผลิตชิ้นงานเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าจำนวน 12,000 ชิ้น ต่อเดือน เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันส่งผลให้มูลค่าการใช้วัตถุดิบในการผลิตของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเพื่อให้ได้จำนวนสินค้าเพียงพอเพื่อส่งมอบมีจำนวนไม่เท่ากัน และเนื่องจากยอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่คือ 9,048,000 บาท ทำให้ส่วนต่างการขายของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเมื่อหักต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแล้วมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 61

ตารางที่ 61 รายละเอียดของ Slide Wheel

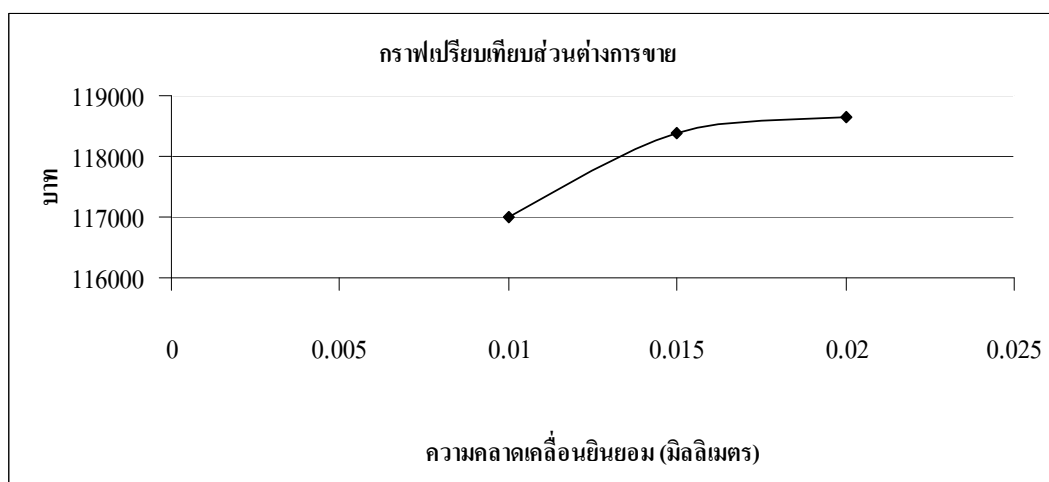
	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.020	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.015	ความคลาดเคลื่อน ยินยอม ± 0.010
ของเสีย (ชิ้น)	245	372	1,044
มูลค่าวัตถุดิบ (บาท)	25,347	25,610	27,001
มูลค่าการขาย (บาท)	144,000	144,000	144,000
ส่วนต่างการขาย (บาท)	118,652	118,389	116,998

เนื่องจากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่แตกต่างกันเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน คือ เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าน้อย ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณของเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงจะมีค่าไม่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 61



ภาพที่ 56 กราฟเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับกับจำนวนของเสียของ Slide Wheel

เนื่องจากพบว่ายอดขายแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ คือ 144,000 บาท แต่เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับเป็นตัวควบคุมคุณภาพของสินค้า ปริมาณของของเสียของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ส่วนต่างการขายสินค้าลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับที่ลดลงแต่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 57



ภาพที่ 57 กราฟเปรียบเทียบส่วนต่างการขายของ Slide Wheel

ค่าไฟฟ้าในการผลิตชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูปจะอยู่ที่ 1,250 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิของเหล็กที่สภาพปกติจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจำเพาะของเหล็กที่ใช้ในการคำนวณมีค่า 448 และค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 3 ตัว คือ เครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

- ค่าไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูป

$$Q = mC_p \Delta T$$

$$m = \frac{500,000}{(448) \cdot (1250 - 25)}$$

$$\therefore m = 54.66 \text{ กิโลกรัม/นาฬิกา}$$

ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการตีขึ้นรูปจะคิดจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และเนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้สินค้าที่ผลิตมีปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลให้น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแต่ละของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน เวลาการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่างกัน ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนรวมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 62

ตารางที่ 62 ค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของ Slide Wheel

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	น้ำหนักรวม	เวลาในการให้ความร้อน (ชม.)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
± 0.020	12,245	844.91	0.26	386.44
± 0.015	12,372	853.67	0.26	390.44
± 0.010	13,044	900.04	0.27	411.65

- ค่าไฟฟ้าจากเครื่องจักรตีขึ้นรูป 1 ตัวและเครื่อง CNC 2 ตัว

ขนาดมอเตอร์ 35 HP = 26.027 kW

- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 26.027 \times 3 \times 3 \times (2.08/60) = 8.120 \text{ บาท/ชิ้น}$$

ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรจะคิดจากจำนวนของชิ้นงานที่ผลิต จะคำนวณจากนำค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องจักรทั้ง 3 ตัว นำมาคูณกับเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยคิดที่ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท เนื่องจากการใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพทำให้จำนวนสินค้าที่ผลิตไม่เท่ากันส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้แต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 63

ตารางที่ 63 ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรในการผลิต Slide Wheel

ความคลาดเคลื่อนยินยอม	จำนวนชิ้นงาน	ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรรวม (บาท)
±0.020	12,245	99,429.40
±0.015	12,372	100,460.64
±0.010	13,043	105,909.16

จากค่าไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 62 และ ค่าไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 63 นำมารวมกันเป็นอัตราค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ในการผลิต Slide Wheel ดังแสดงในตารางที่ 64

ตารางที่ 64 ค่าไฟฟ้าในการผลิตรวมของ Slide Wheel

Tolerance	การให้ความร้อน	การทำงานของเครื่องจักร	ค่าไฟฟ้ารวม(บาท)
±0.020	386.44	99,429.40	99,815.84
±0.015	390.44	100,460.64	100,851.08
±0.010	411.65	105,909.16	106,320.81

คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ซึ่งในที่นี้จะคิดของเสียที่ขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนด 0.001 มิลลิเมตรเพียงค่าเดียว และคิดขนาดของชิ้นงานที่อยู่ในค่าที่กำหนดที่ค่าเท่ากับค่าเป้าหมายทั้งหมด โดยค่าขนาดเฉลี่ยของขนาดชิ้นงาน ($\bar{x}$) จะนำเงื่อนไขของขนาดในข้างต้นมาคำนวณ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการที่ 3 โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.020} = \frac{407,995.2}{12,245} = 33.9996$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = \sqrt{\frac{(13,871,673.7) - (12,000)(33.9996)^2}{12,245 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.020} = 0.0028$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.015} = \frac{407,994.6}{12,372} = 33.99955$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = \sqrt{\frac{(13,871,632.9) - (12,000)(33.99955)^2}{12,372 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.015} = 0.002559$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$\bar{x}_{\pm 0.010} = \frac{407,990.4}{13,044} = 33.9992$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = \sqrt{\frac{(13,871,347.3) - (12,000)(33.9992)^2}{12,044 - 1}}$$

$$\sigma_{\pm 0.010} = 0.000995$$

จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณในแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม นำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อคิดเป็นต้นทุนการรับประกันเมื่อชิ้นงานนั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยจะแยกคิดในแต่ละขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.020 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.020} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = \left[\frac{12}{0.020^2} \right] [0.0028]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.020} = 0.2352 \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.015 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.015} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = \left[\frac{12}{0.020^2} \right] [0.002559]^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.015} = 0.1964 \text{ บาท}$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม ± 0.010 มิลลิเมตร

$$L[Y]_{\pm 0.010} = K\sigma^2$$

$$L[Y]_{\pm 0.010} = \left[\frac{12}{0.020^2} \right] [0.000995]^2$$

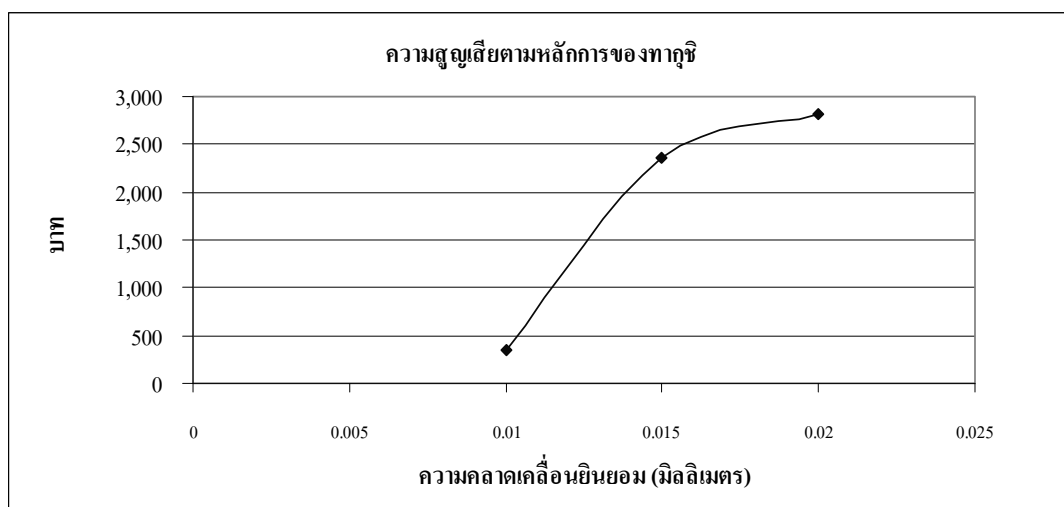
$$L[Y]_{\pm 0.010} = \underline{\underline{0.0297}} \text{ บาท}$$

จากการคำนวณหาความสูญเสียพบว่าจากการผลิตโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นตัวควบคุมคุณภาพ เมื่อผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่มีขนาดต่ำกว่าค่าความสูญเสียจะมีค่าน้อยลงตามกัน ดังแสดงในตารางที่ 65

ตารางที่ 65 ตารางค่าความสูญเสียจากหลักการของทากูชิของ Slide Wheel

ค่าความคลาด เคลื่อนยินยอม	ชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน (ชิ้น)	ค่าความสูญเสีย/ชิ้น (บาท)	ค่าความสูญเสียรวม (บาท)
± 0.020	12,000	0.23	2,822
± 0.015	12,000	0.19	2,356
± 0.010	12,000	0.029	356

เนื่องจากค่าความสูญเสียของชิ้นงานแต่ละขนาดมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งค่าจากการคำนวณสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นงานให้มีขนาดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมลดลงจะสามารถส่งผลให้ค่าความสูญเสียของชิ้นงานลดลงตามค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ลดลงแตเมื่อนำมาสร้างกราฟมีลักษณะการไม่เป็นเส้นตรง แสดงในภาพที่ 58



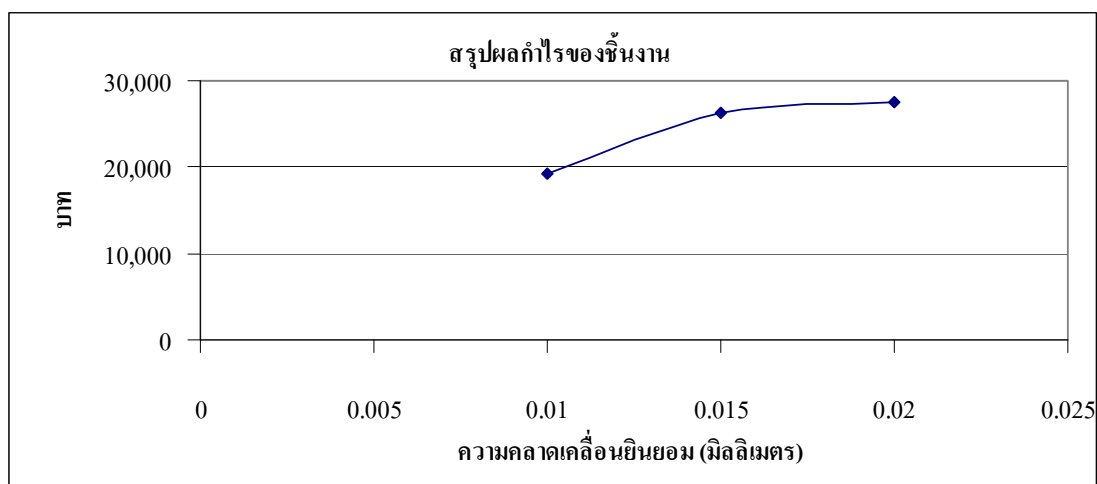
ภาพที่ 58 กราฟความสูญเสียตามหลักการของทากูชิของ Slide Wheel

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดซึ่งได้แก่ ส่วนต่างการขาย ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานและค่าความสูญเสีย นำมาคิดคำนวณหากำไรที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม ซึ่งค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 66

ตารางที่ 66 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของแหวนล้อกประตูดั้ง

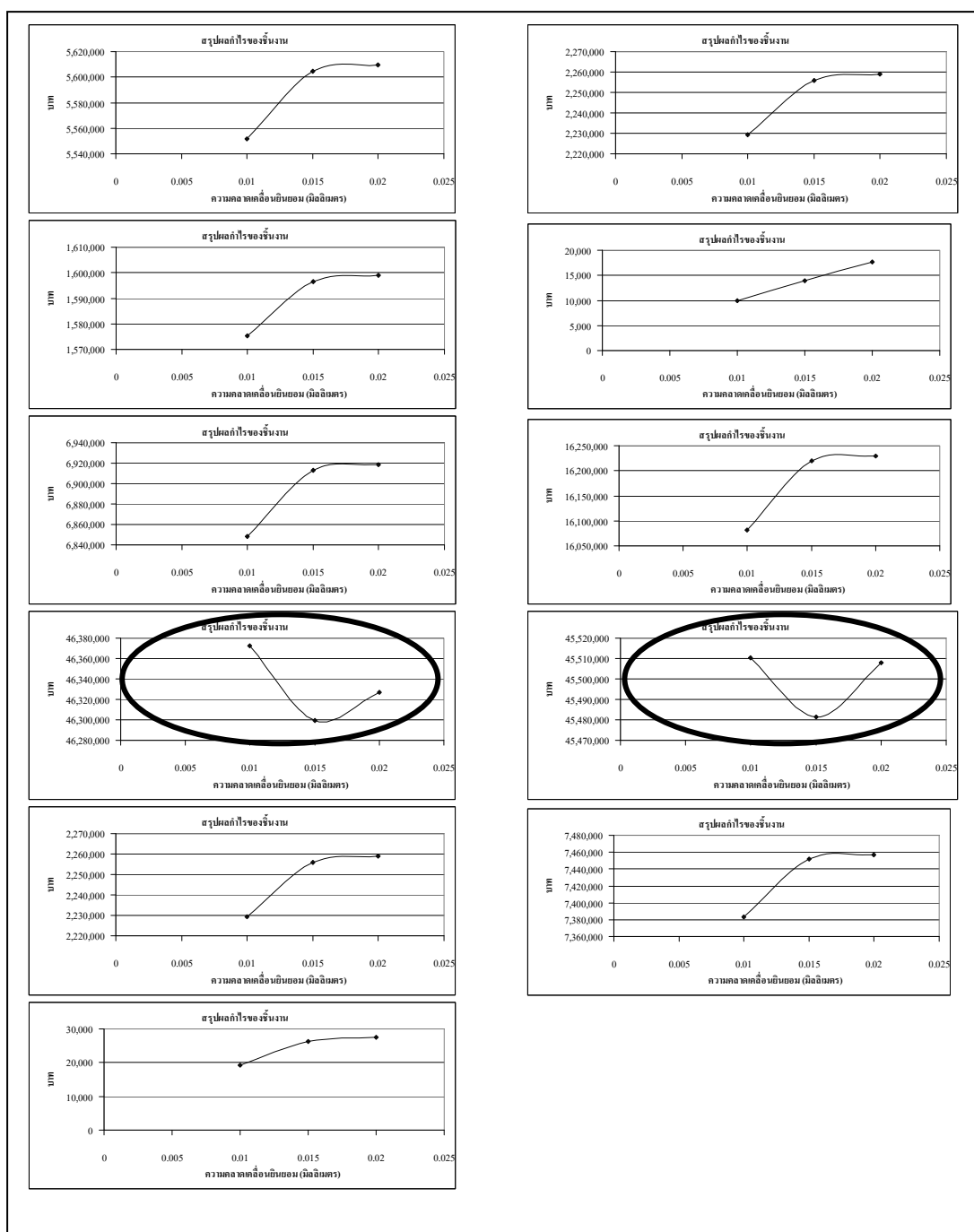
ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอม	ส่วนต่างการขาย (บาท)	ค่าความสูญเสีย (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	กำไร (บาท)
± 0.020	168,652	2,822	99,815	38,571	27,444
± 0.015	168,389	2,356	100,851	38,971	26,211
± 0.010	166,998	356	106,320	41,085	19,237

นำกำไร ที่ได้จากการขายชิ้นงานของแต่ละค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมนำมาสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการขายชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 59



ภาพที่ 59 กราฟเปรียบเทียบกำไรของ Slide Wheel

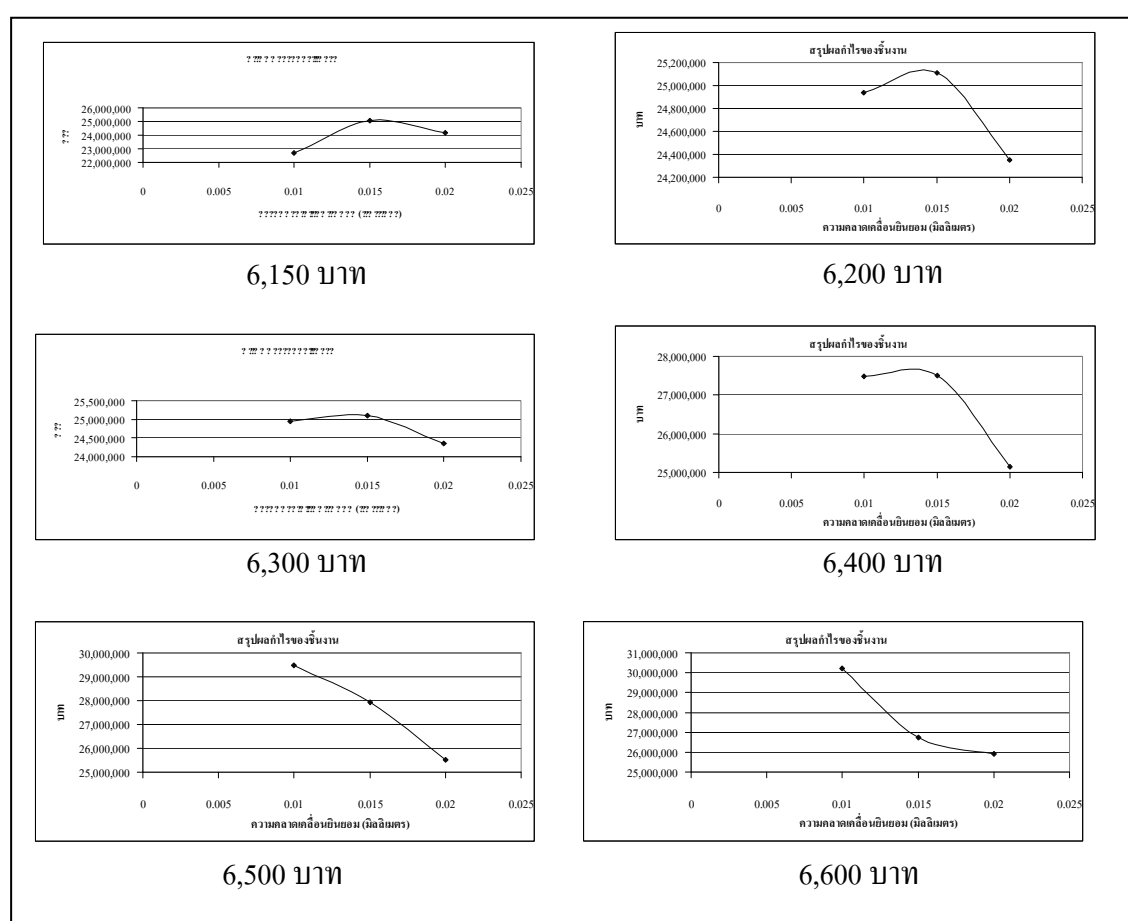
นํากราฟเปรียบเทียบค่าไรของเงินงานทั้ง 11 ซึ่นมาวิเคราะห์



ภาพที่ 60 เปรียบเทียบค่าไรของเงินงาน

จากกราฟเปรียบเทียบกำไรของชิ้นงานทั้ง 11 ชิ้น พบว่าชิ้นงานชิ้นที่ 7 คือ Body in และชิ้นงานชิ้นที่ 8 คือ Body out ซึ่งมีราคา 5,990 บาท และ 6,097 บาท ตามลำดับ ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีราคาสูงที่สุด โดยกราฟแสดงผลมีความใกล้เคียงกับหลักการของทากูชิมากที่สุด ส่วนชิ้นงานอีก 9 ชิ้น ผลการทดลองมีค่าตรงข้ามกับหลักการของทากูชิ

จาก ภาพที่ 60 นำราคาชิ้นงานที่มีค่าผลการทดลองใกล้เคียงกับหลักการของทากูชิหาค่าความเหมาะสมของราคาชิ้นงานที่สามารถประยุกต์ใช้หลักการของทากูชิได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 61 เปรียบเทียบราคาขายกับต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 67 เปรียบเทียบราคาขายกับต้นทุนการผลิต

ราคาขาย	ราคาขายรวม	วัสดุ + กระบวนการ	เปรียบเทียบราคาขายกับต้นทุนการผลิต
6,150	73,164,000	50,455,781	1.45
6,200	74,400,000	49,876,923	1.49
6,300	75,600,000	49,857,246	1.51
6,400	76,800,000	49,254,937	1.55
6,500	78,000,000	48,326,529	1.61
6,600	79,200,000	48,780,784	1.62

จากภาพที่ 61 และตารางที่ 67 สามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานที่มีความเหมาะสมและสามารถประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีในการผลิตชิ้นงาน ตามเงื่อนไขการผลิตที่กำหนดขึ้นจะต้องมีราคาไม่ต่ำกว่า 6,500 บาท หรือ จะต้องมียอดขายคิดเป็น 1.6 เท่าของต้นทุนการผลิต

วิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่าแนวทางการควบคุมคุณภาพภายใต้ नियามของทฤษฎีที่มุ่งพัฒนาคุณภาพจากการออกแบบข้อกำหนดและปัจจัยของตัวนี้ปาล์มนั้นพบว่าหากผลิตชิ้นงานให้มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมให้ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุดด้วยเครื่องจักรที่ใช้อยู่ในภาคอุตสาหกรรมพบว่าจะเกิดของเสียสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้ต้นทุนสูงตามไปด้วย แต่ตามหลักการของทฤษฎีนิยามว่าเมื่อสามารถผลิตชิ้นงานให้มีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากที่สุดเมื่อสินค้าออกสู่ลูกค้าสินค้าชิ้นนั้นจะไม่ถูกส่งคืนจากเงื่อนไขการรับประกัน โดยจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าจากหลักการของทฤษฎีสามารถใช้ได้ผลกับชิ้นงานที่มีราคาสูง แต่ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีราคาต่ำ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาหลักการของทาคุชิได้นำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบตู้ตั้งปาล์ม โดยใช้ค่าประสิทธิภาพในการผลิตและค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมจากการเข้าไปศึกษาในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมที่ใช้คือ ± 0.020 มิลลิเมตร, ± 0.015 มิลลิเมตร และ ± 0.010 มิลลิเมตร ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมดังกล่าวได้แก่ 2 เปอร์เซ็นต์, 3 เปอร์เซ็นต์และ 8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และคิดจำนวนชิ้นงานที่ผลิตที่ 12,000 ชิ้นต่อเดือน ในหนึ่งเดือนจะคิดเวลาการทำงาน 26 วัน และใน 1 วันจะทำงาน 16 ชั่วโมง ขั้นตอนของการผลิตชิ้นงานทุกชิ้นจะกำหนดให้มีกระบวนการผลิตและจำนวนพนักงานเหมือนกันทุกชิ้นโดยกระบวนการผลิตจะเริ่มจากการนำเหล็กไปให้ความร้อนด้วยเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้า จากนั้นนำไปตีขึ้นรูป และผ่านเครื่องจักรอัดโน้มติอีกสองขั้นตอน ใช้พนักงานในการผลิตทั้งกระบวนการ 6 คน

จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่เป็นไปตามหลักการของทาคุชิจะต้องมีราคาตั้งแต่ 6,500 บาท หรือชิ้นงานจะต้องมีราคาขายอย่างน้อย 1.6 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิต

ข้อเสนอแนะ

ในการนำหลักการของทาคุชิไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อสร้างเครื่องจักร/อุปกรณ์ ควรวิเคราะห์เพื่อหาต้นทุนในการผลิตอย่างละเอียด ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ราคาขายของชิ้นส่วนนั้นๆ และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตว่ามีศักยภาพเพียงพอที่จะผลิตชิ้นงานด้วยค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมตามที่กำหนดหรือไม่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2546.ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน่วยงานคิวซีเซอร์เคิล. พิมพ์ครั้งที่5 , บริษัทเทคนิคอล แอปโพรช เคาน์เซิลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด , กรุงเทพฯ.

_____.2545. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 4, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย – ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์. 2546. การปรับปรุงคุณภาพงานหล่อ นิกเกิล-อลูมิเนียม บรอนซ์โดยวิธีการของทากูชิ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ชลวศา หาญวิวัฒน์วงศ์. 2544. การวิเคราะห์การออกแบบแผนการทดลองโดยการรวมวิธีการทากูชิ และวิธีโอวัลฐานนารีโอเปอร์ชันเพื่อปรับปรุงการกำหนดค่าปัจจัยที่ดีที่สุดของกระบวนการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปานิภา เสนาะคนตรี และสมเกียรติ จงประสิทธิ์พร. 2550. การพัฒนาประสิทธิภาพงานหล่อเครื่องประดับด้วยการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง กรณีตัวอย่าง: โรงงานเครื่องประดับ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

เปมิกา สุวรรณมณี. 2548. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สุวรรณณี แสงมหาชัย. 2544. การจัดการเพื่อพัฒนาคุณภาพรวมขององค์การ : แนวคิดและกระบวนการในการนำไปปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 2, สหภาพสื่อและการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เสริมเกียรติ จอมจันทร์ขง. 2546. การประกันคุณภาพในงานอุตสาหกรรมและแนวทางการบริหารคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9000 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

รัชดาพร กริอุณะ. 2542. **วิธีของทาคูชิสำหรับการควบคุมคุณภาพทางด้านวิศวกรรม**. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

รติพร มั่นพรหมและคณะ. 2550. **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมุนเคลือบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงบนกระจกต้นแบบขนาด 6x6 นิ้ว ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทาคูชิ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รณชัย ศิริเวธนูกุล. 2541. **การจัดสรรค่าเพื่อที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประกอบชิ้นส่วนประกอบเพลลาและเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, <http://www.kasetcity.com>, 22 สิงหาคม 2549.

พรรณนีย์ วิชชาญ. 2548. **ปาล์มน้ำมัน..จากน้ำมันพืชถึงไปโอดีเซล**, น.ส.พ. กลีกร ปีที่ 78 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม – มิถุนายน 2548.

พิพัฒน์ เนาวรัตน์กุลชัย. 2545. **การจัดสรรค่าเพื่อและขนาดสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของชิ้นงานแผ่นหัวอ่านเขียน**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิฑูรย์ สิมะโชคดี. 2541. **TQM คู่มือสู่องค์กรคุณภาพยุค 2000**, TPA Publishing, กรุงเทพฯ.

_____. 2542. **TQM วิธีสู่องค์กรคุณภาพยุค 2000**. พิมพ์ครั้งที่ 4, TPA Publishing, กรุงเทพฯ.

อภิชาติ โสภาแดง. 2547. **เอกสารประกอบการบรรยายวิชาการประกันคุณภาพ**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

_____. 2549. **วิธีทางสถิติเพื่อพัฒนาคุณภาพ : เอกสารประกอบการสอนวิชาการบริหารคุณภาพทางอุตสาหกรรม**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

Creveling, C.M. 1997. **Tolerance Design : a handbook for developing optimal specifications**. Addison Wesley Longman, Int, Massachusetts.

Teeravaraprug, J. 2002. **Deterministic Tolerance Synthesis with a Consideration of Nominal Value**, Thammasat University, Pathumthani

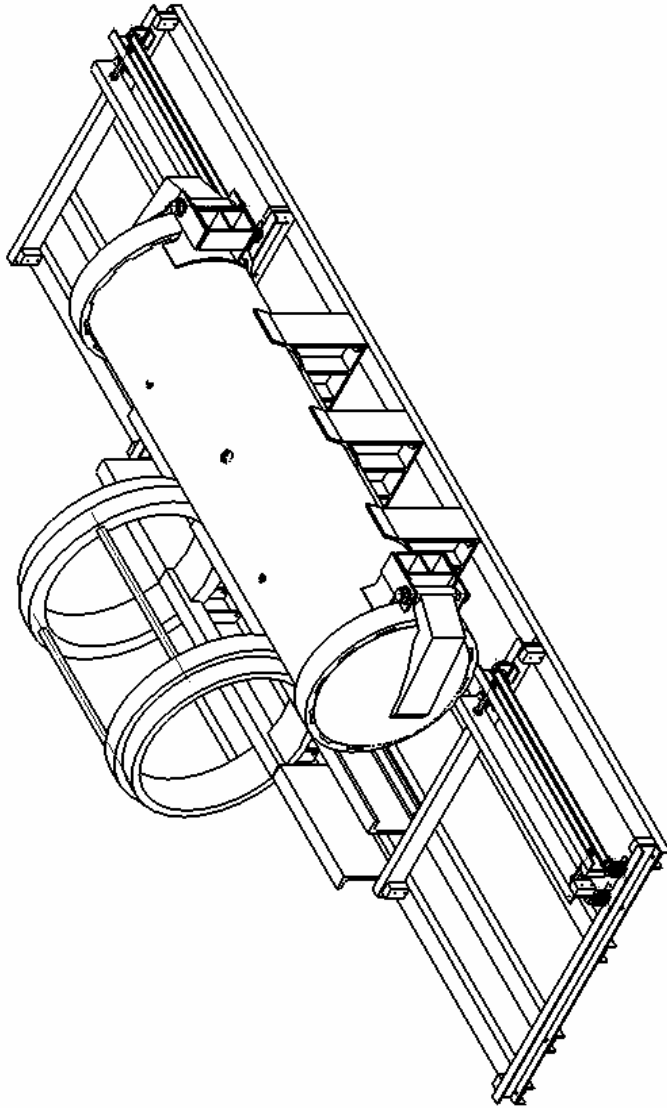
Teeravaraprug, J. 2002. **Integration of Loss Function in Two – Dimensional Deterministic Tolerance Synthesis**, Thammasat University, Pathumthani

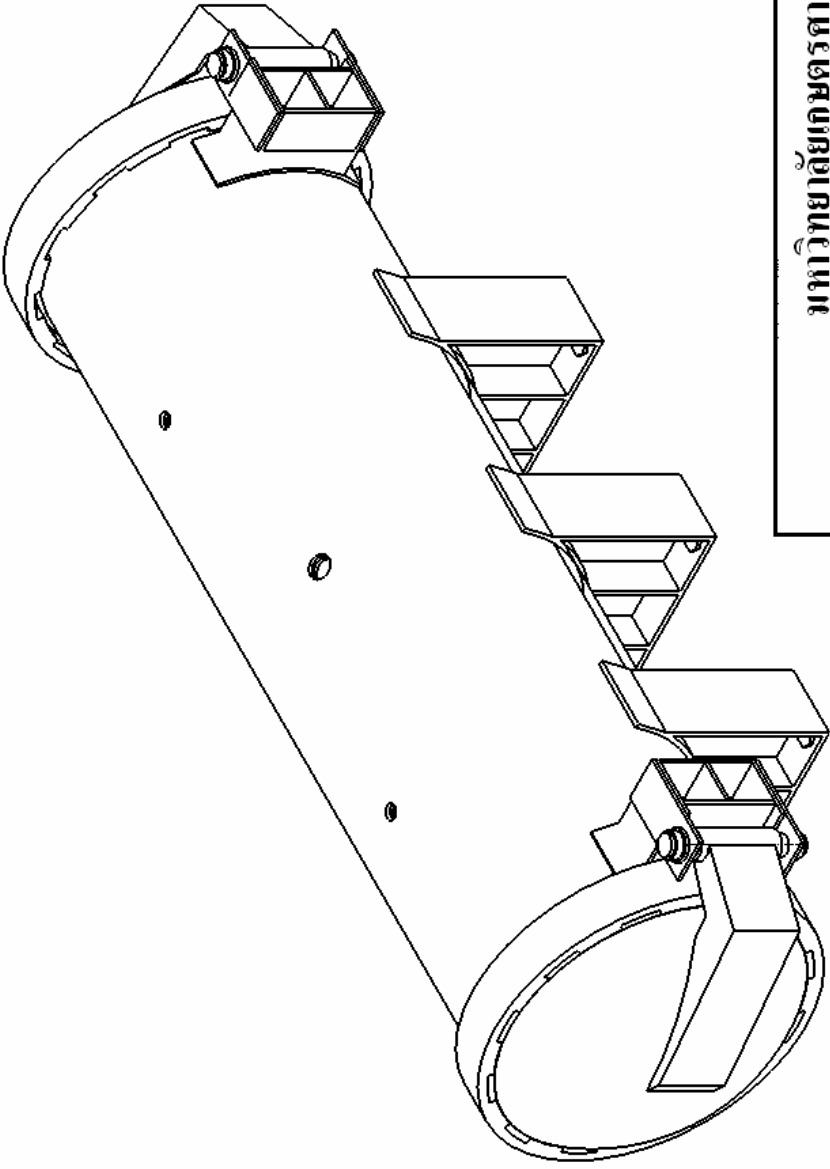
Greenwood, W. H. and K. W. Chase. 1987. **A New Tolerance Analysis Method for Designers and Manufacturers**, J. of Engineering for Industry, ASME, v 109, pp.112-116, May.

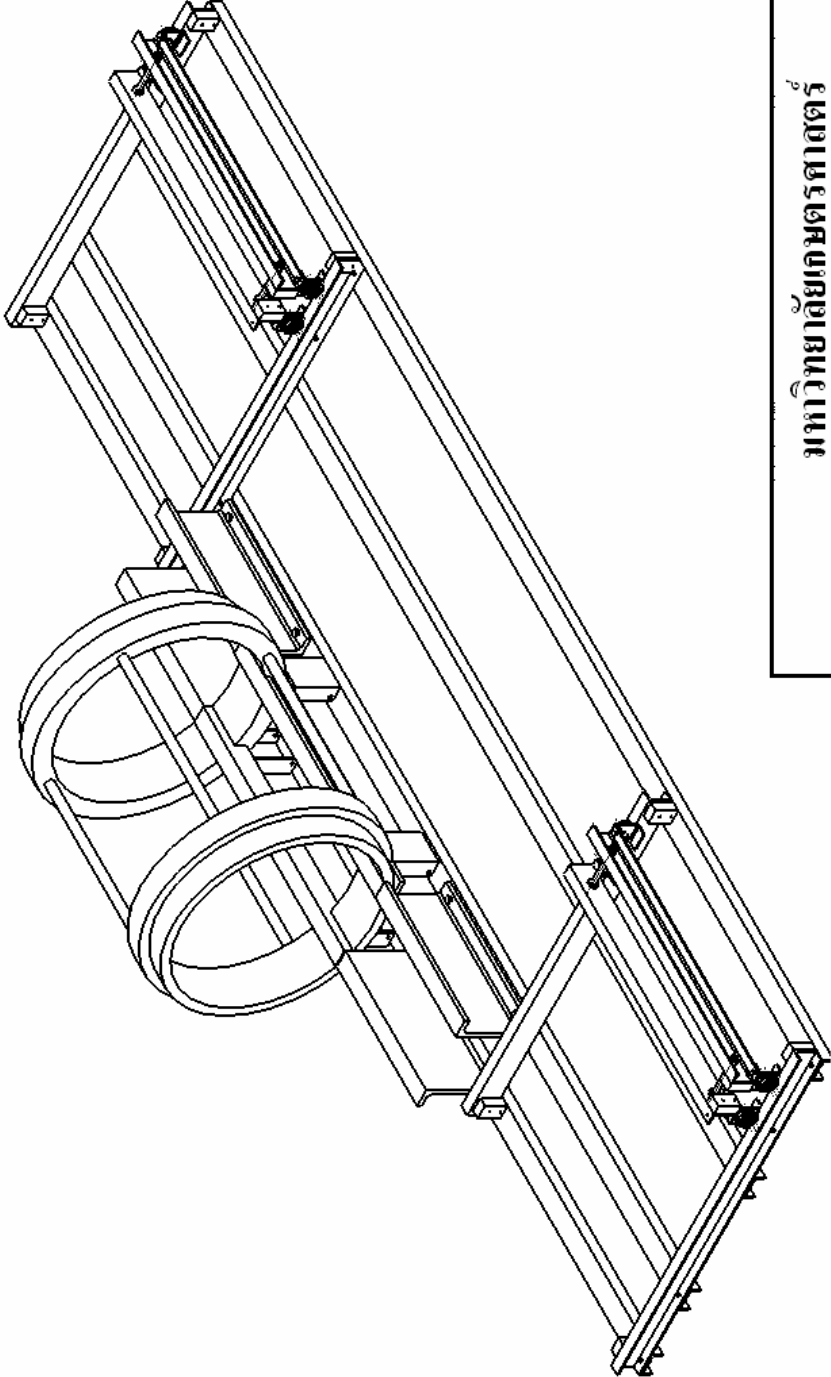
Pearlstein, S. <http://www.leansigmmainstitute.com>, 22 สิงหาคม 2549.

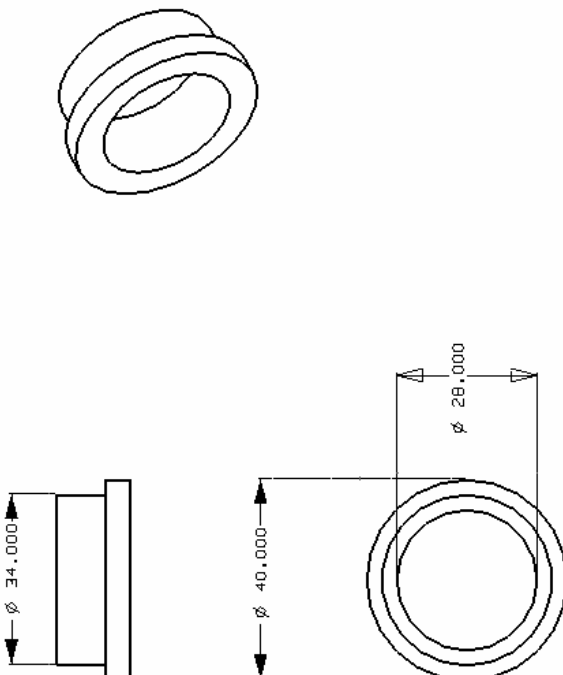
ภาคผนวก

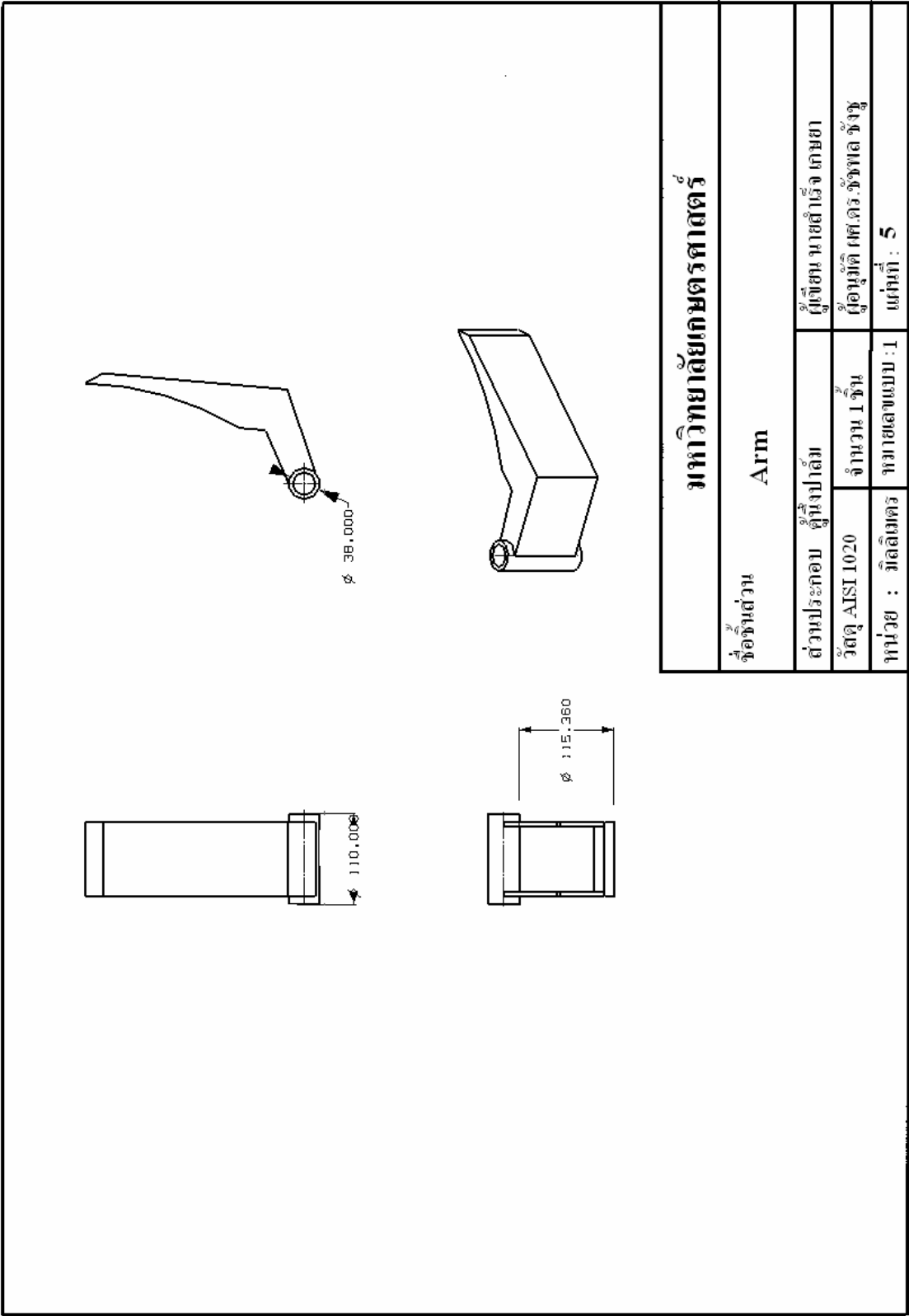
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
ชื่อชิ้นส่วน		ฐานปลั๊ก	
ส่วนประกอบ		ฐานปลั๊ก	
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น		ผู้เขียน นายธำรง งามษา
หน่วย : มิลลิเมตร		หมายเลขแบบ : 1	ผู้ออกแบบ ศศ.ดร. ชัยพล ชิงชู
		แผ่นที่ : 1	

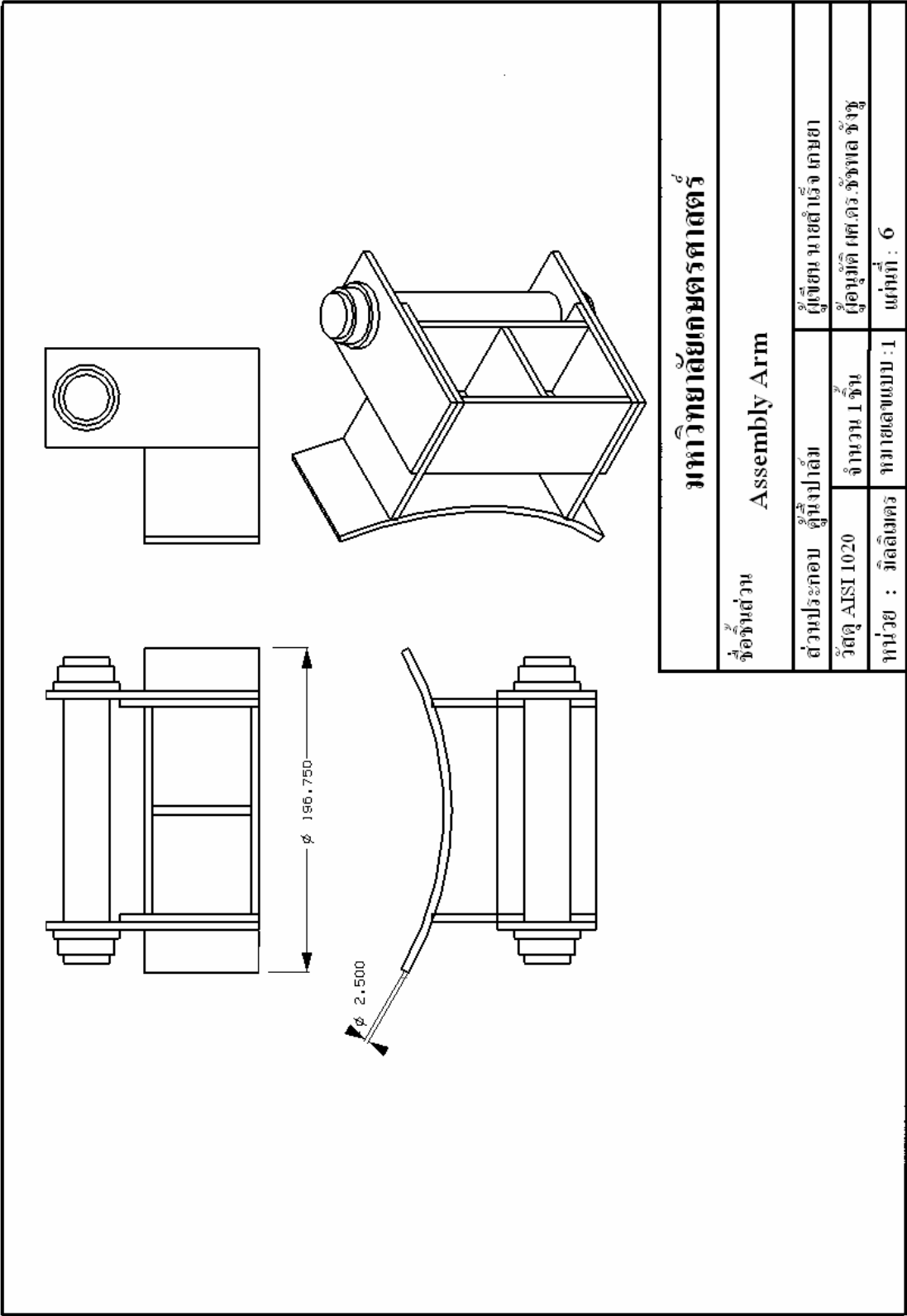


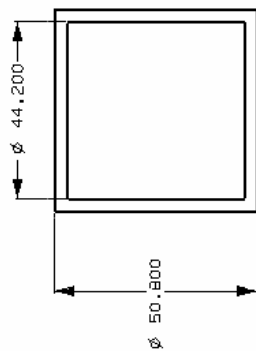
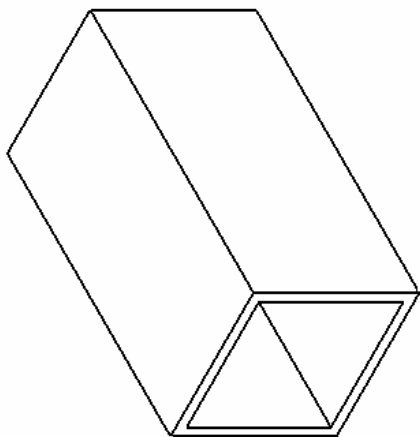
				มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ชื่อชิ้นส่วน		ฐานปาล์ม			
ตัวประกอบ	ฐานปาล์ม	ผู้เขียน นายดำรงค์ เกษยา			
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ออกแบบ ผศ.ดร. จักรพล จักร			
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 2			

				มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ชื่อชิ้นส่วน	ฐานรองรับตู้แปลง				
ส่วนประกอบ	ตู้แปลง	ผู้เขียน นายธำรง งามชา			
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ออกแบบ ศศ.ดร. ชัยพล ช่างชู			
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 3			

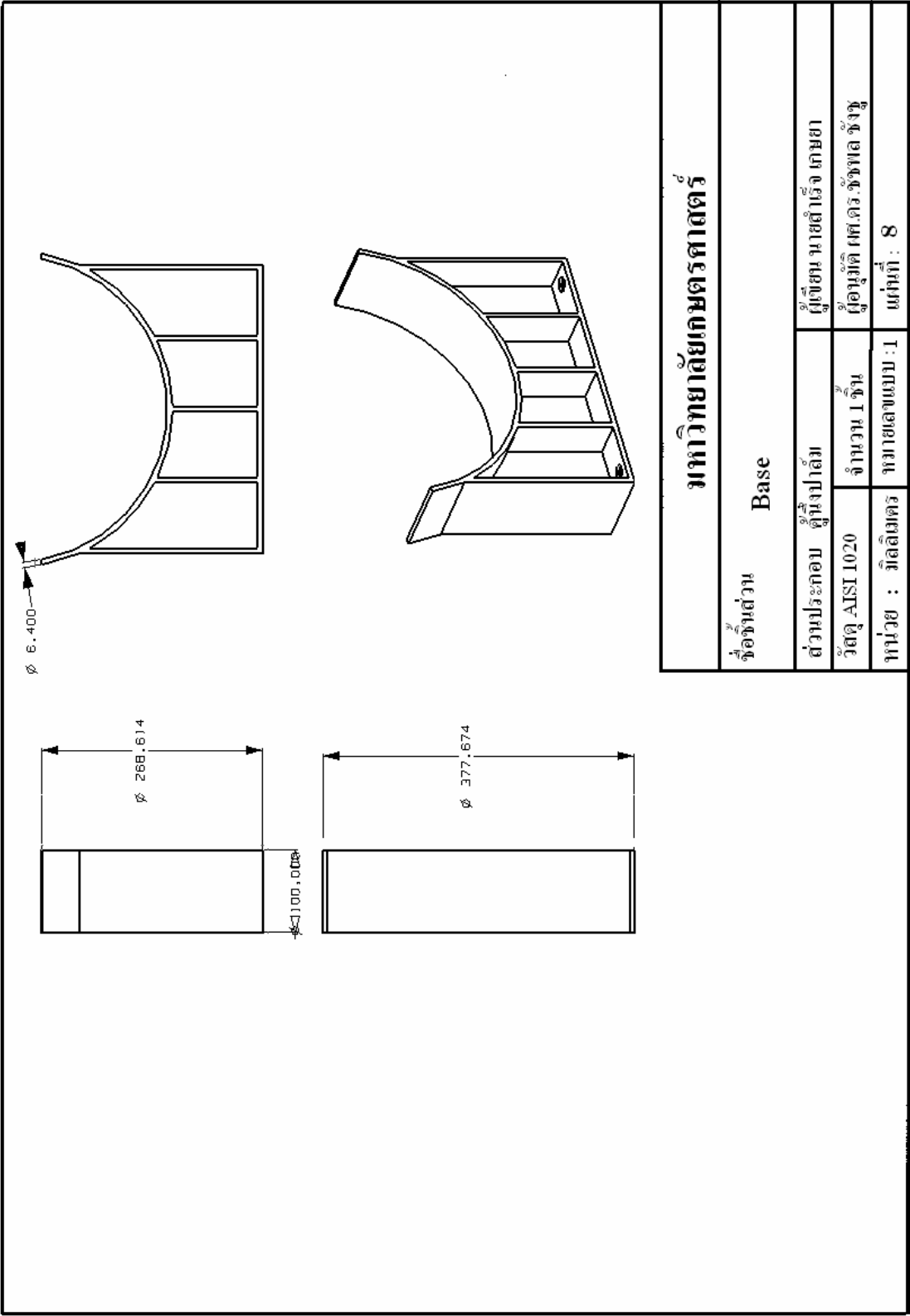
		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ชื่อชิ้นส่วน		Arm cap	
ส่วนประกอบ	ผู้เขียน	ผู้เขียน นายธำเรจ ภาสชา	
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้อนุมัติ ศศ.ดร. พิชิต ช่างชู	
หน่วย : มิลลิเมตร	ทวายนแบบ : 1	แผ่นที่ : 4	

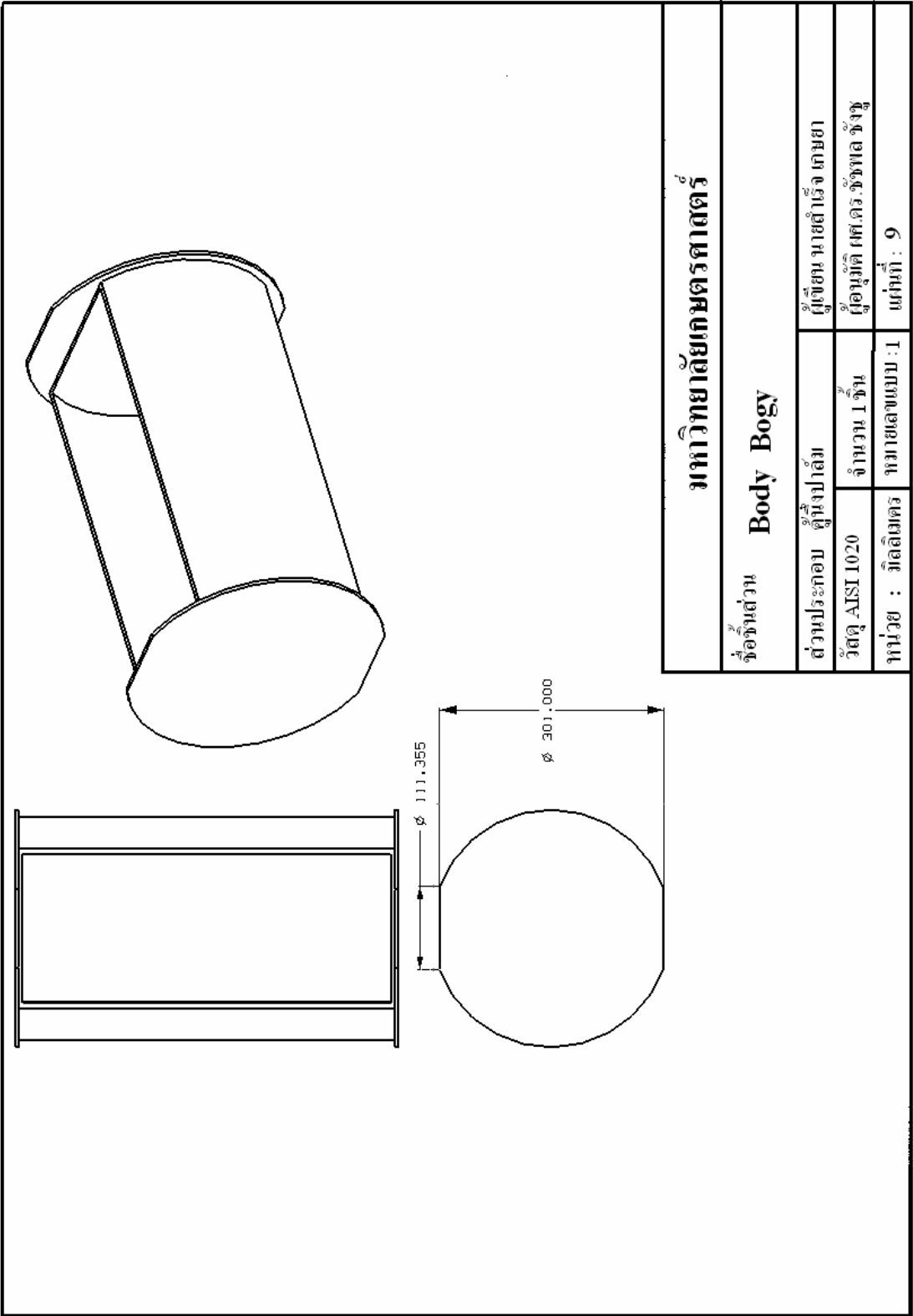


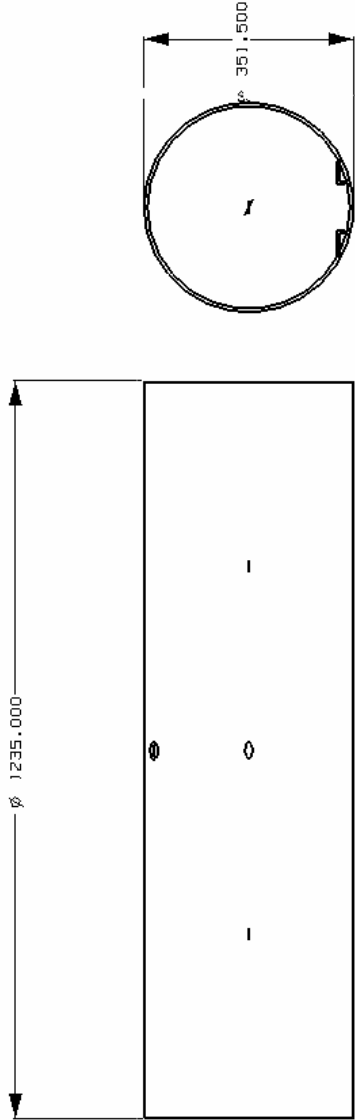


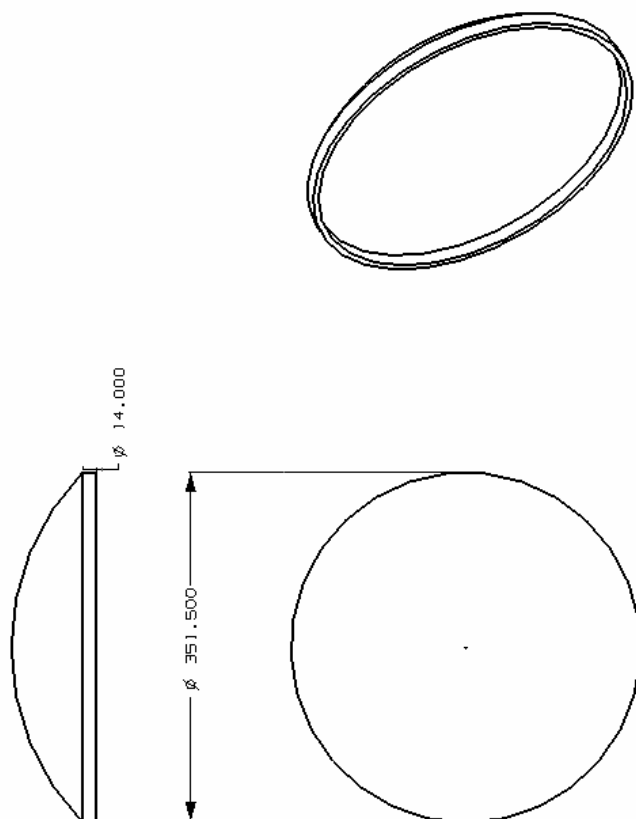


มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์				
ชื่อชิ้นส่วน		Base shift		
ส่วนประกอบ	ผู้รับแปล	ผู้เขียน นายสุวิทย์ เกษยา		
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ออกแบบ ศศ.ดร. ชัยพล จังจุ		
หน่วย : มิลลิเมตร	ขนาดเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 7		

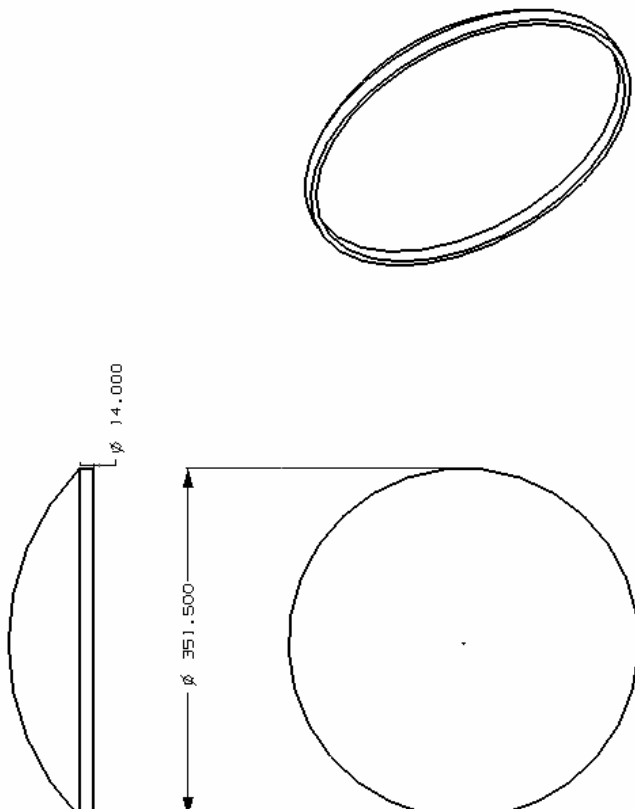


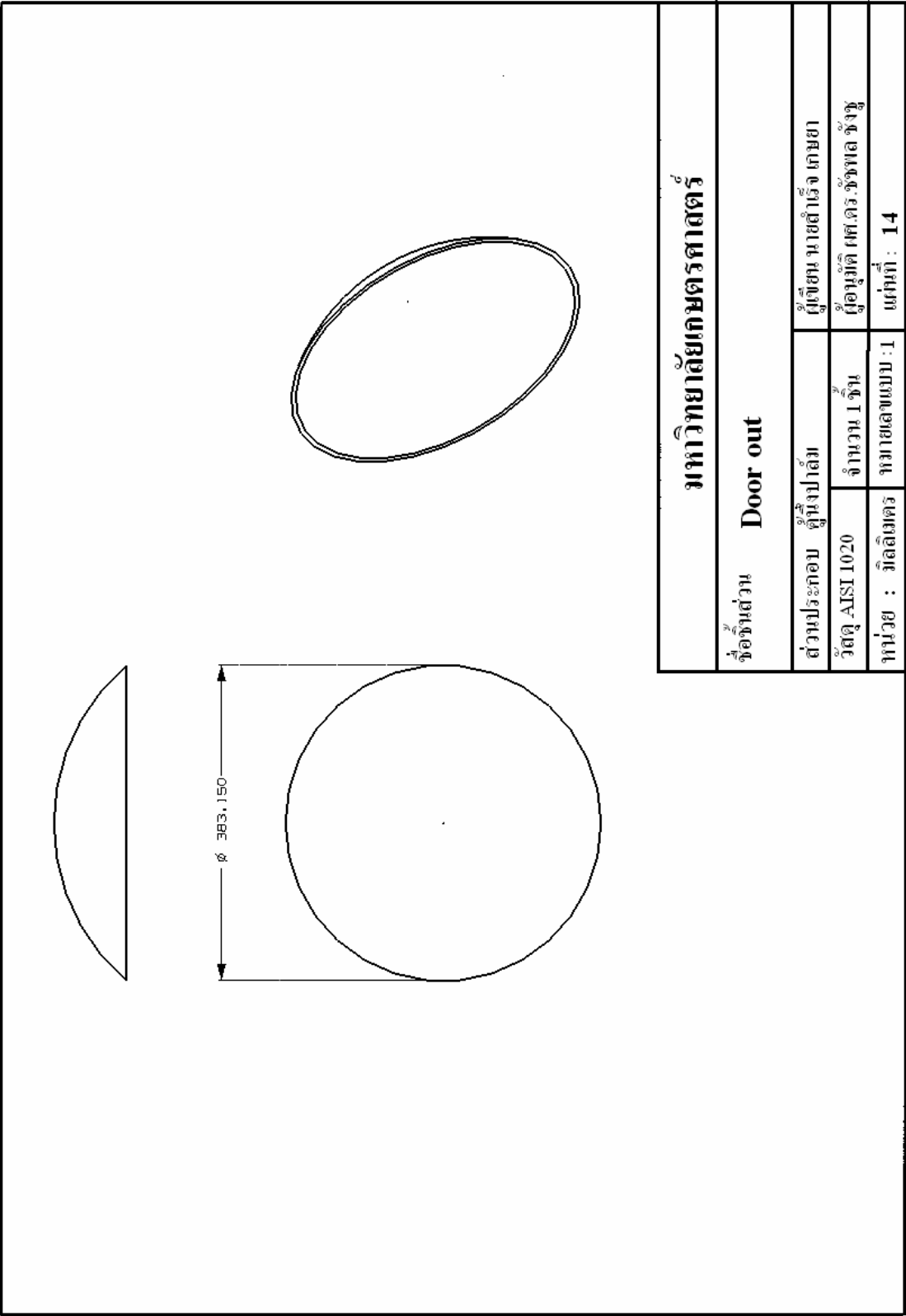


		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ชื่อชิ้นส่วน		Body in	
ส่วนประกอบ	ผู้เขียน	ผู้เขียน	นายธำรง เกษยา
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้อนุมัติ	ศาสตราจารย์ ดร. จักรพล จักร
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่	10



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
ข้อจีนส่วน Body out			
ส่วนประกอบ	ผู้รับแปล	ผู้เขียน นายสำเริง เกษยา	
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้อนุมัติ ศศ.ดร. ชัยพล จังขู	
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 12	

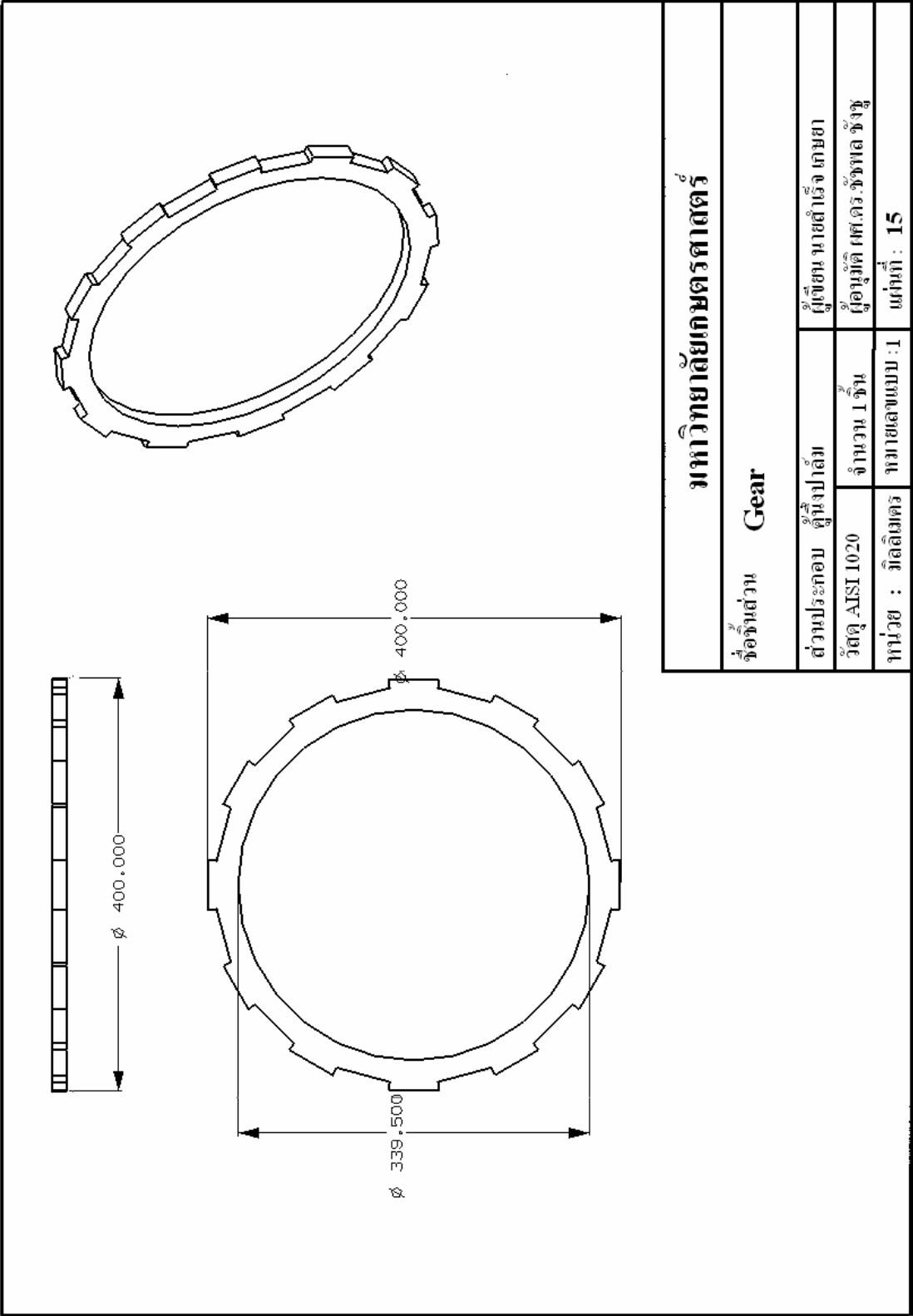
		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
ชื่อชิ้นส่วน		Door in			
ส่วนประกอบ	ผู้แปล	ผู้เขียน นายดำรงค์ เกษยา			
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ออกแบบ ศศ.ดร. จักรพล จักร			
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : L	แผ่นที่ : 13			

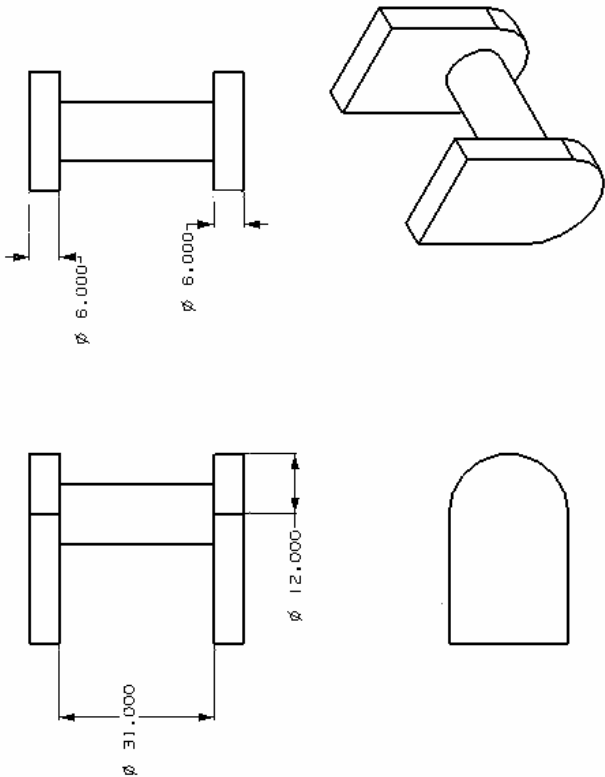


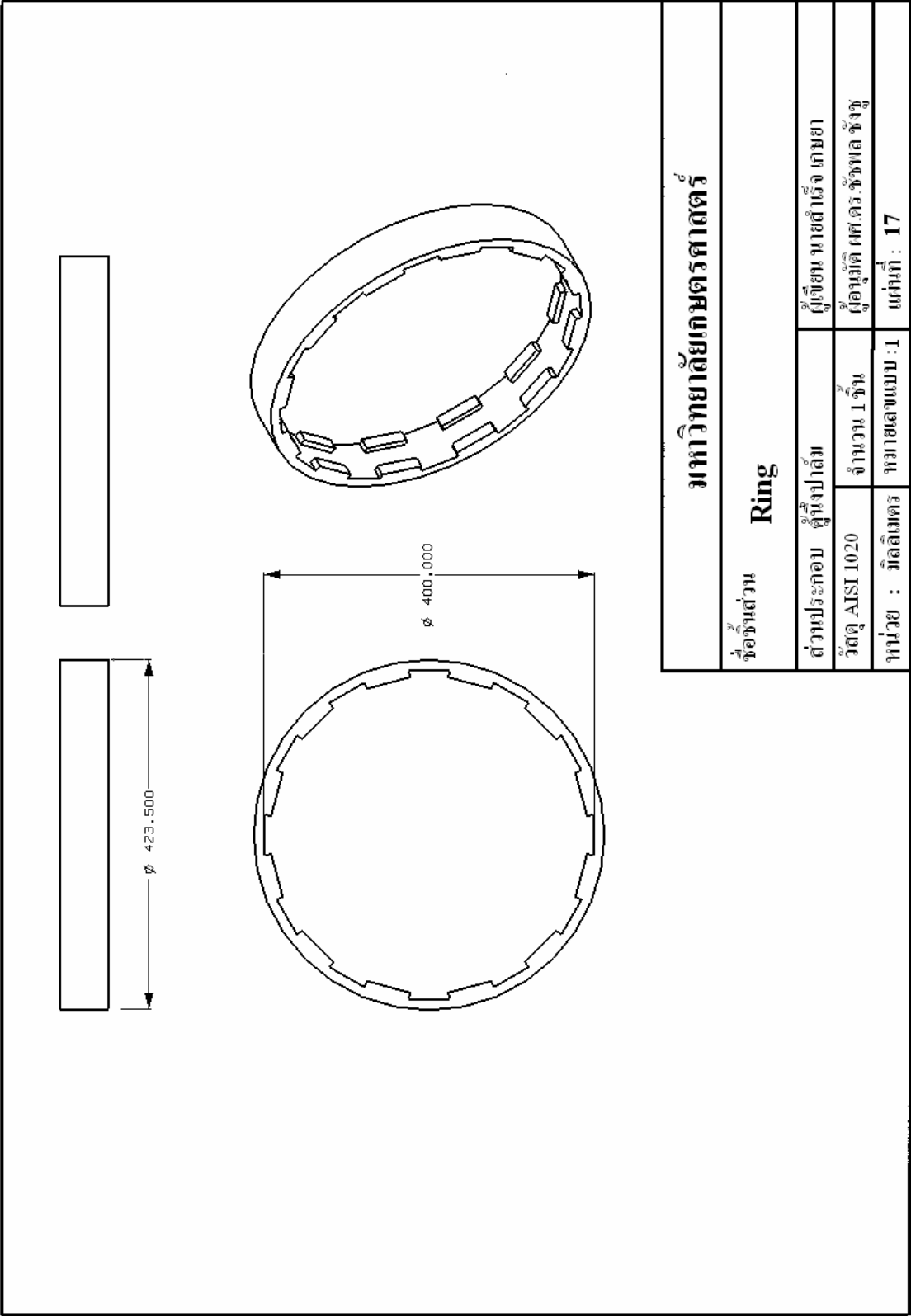
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Door out

ชื่อชิ้นส่วน	Door out	
ส่วนประกอบ	ผู้เขียน	ผู้เขียน นาสต้าเรจ ดาษา
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้อนุมัติ เสด็จ วัชรพล จงฐ
หน่วย : มิลลิเมตร	ทวเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 14



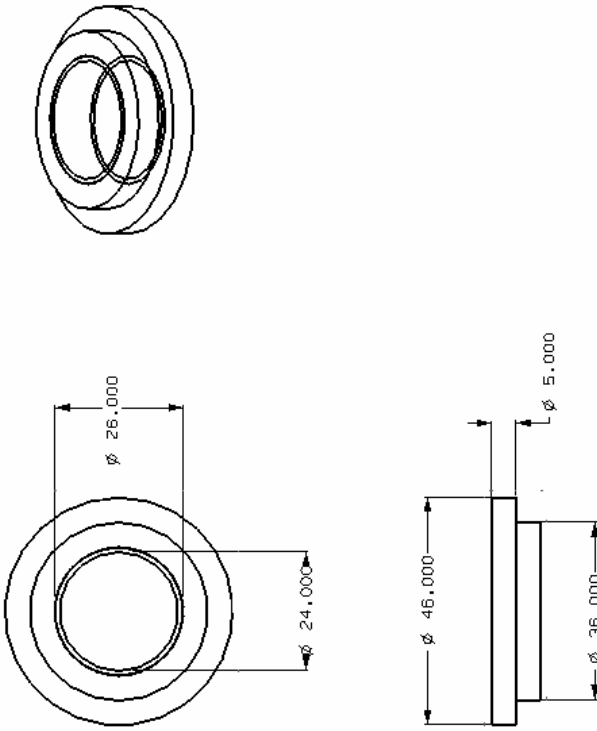
		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
ข้อชิ้นส่วน		Lock wheel	
ส่วนประกอบ	ผู้รับแปล	ผู้เขียน นายสำเริง เกษยา	
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ออกแบบ ศศ.ดร. ชัยพล จังชู	
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 16	

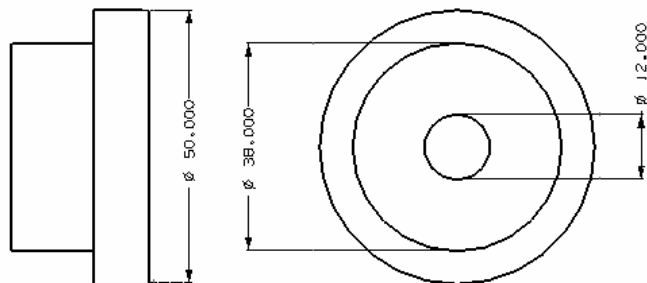


มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

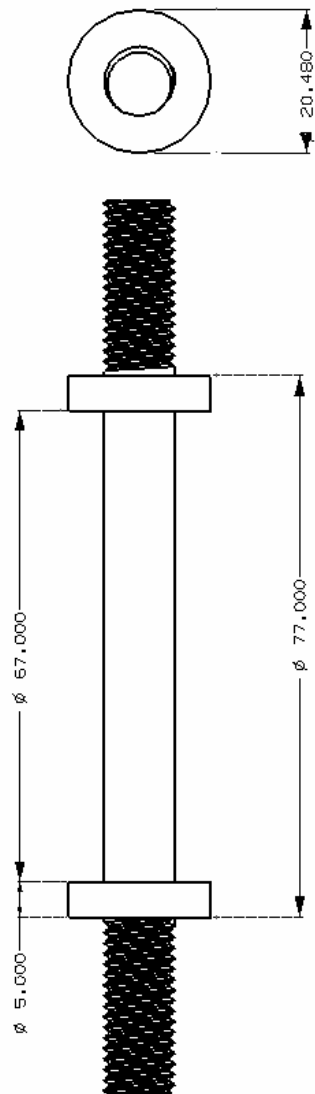
Ring

ชื่อชิ้นส่วน	ผู้เขียน นายณัฏฐ์ เกษยา		
ส่วนประกอบ	ผู้รับแปล		
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ออกแบบ ศศ.ดร. ชัยพล ช่างู	
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 17	

 Top view dimensions: $\varnothing 26,000$ (inner diameter), $\varnothing 24,000$ (outer diameter). Side view dimensions: $\varnothing 46,000$ (total height), $\varnothing 36,000$ (inner diameter), $\varnothing 5,000$ (thickness).		มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
ชื่อชิ้นส่วน		Slide Wheel			
ส่วนประกอบ	ผู้เขียน	นายดำรง เกษยา			
	ผู้ตรวจสอบ	ผู้ควบคุมพิเศษ จักร			
วัสดุ AISI 1020		จำนวน 1 ชิ้น			
หน่วย : มิลลิเมตร		หมายเลขแบบ : 1		แผ่นที่ : 18	



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
ชื่อชิ้นส่วน Wheel			
ส่วนประกอบ	ผู้ปรับปรุง	ผู้เขียน นายธำรง เกษมชา	
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 1 ชิ้น	ผู้ออกแบบ ศศ.ดร. ชัยพล ช่าง	
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 19	



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			
ชื่อชิ้นส่วน Nut			
ส่วนประกอบ	ผู้รับแปล	ผู้เขียน นายสัณเฑาะ์ เกษษา	
วัสดุ AISI 1020	จำนวน 4 ชิ้น	ผู้อบรมติ เทศ.ดร. จักรพล จักรู	
หน่วย : มิลลิเมตร	หมายเลขแบบ : 1	แผ่นที่ : 20	

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสำเริง เกษยา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 กรกฎาคม 2520
สถานที่เกิด	ลพบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยรังสิต
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย อาคารสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา ชั้น 1-2 ซอยตรีมิตร ถนนพระราม 4 แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-