ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม)

ปริญญา

เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์

สาขา **คณะ**

เรื่อง วิธีการแจกค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับชิ้นส่วนทางกลในทางปฏิบัติ

Practical Dimensioning Tolerance Allocation Method for Machined Part

นามผู้วิจัย นางสาวกมุทตรัยยศ จูตะเสน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ชัชพล ชังชู, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ชัชพันธ์ ขำญาติ, D.Eng.)

ประธานสาขาวิชา .....

(รองศาสตราจารย์ธัญญะ เกียรติวัฒน์,Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนาธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วิธีการแจกค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับชิ้นส่วนทางกลในทางปฏิบัติ

Practical Dimensioning Tolerance Allocation Method for Machined Part

โดย

นางสาวกมุทตรัยยศ จูตะเสน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กมุทตรัยยศ จูตะเสน 2557: วิธีการแจกค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับชิ้นส่วนทางกลในทางปฏิบัติ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม) สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชัชพล ชังชู, Ph.D. 105 หน้า

ปัจจุบันการวิเคราะห์และจัดสรรค่าเผื่อของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล มีหลากหลายวิธีการ ได้แก่ การวิเคราะห์ตามประสบการณ์ของวิศวกร, การวิเคราะห์ค่าเผื่อที่แย่ที่สุด (WOW, the worst on worst tolerance analysis), การวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยการคำนวณหารากที่สองของผลรวมค่าเผื่อ (RSS, the root sum square tolerance analysis) หรือ การวิเคราะห์โดยวิธีของ Monte Carlo เป็นต้น แต่ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อ ยังคงมีปัจจัยอื่นๆที่วิศวกรต้องใช้ในการพิจารณาในการวิเคราะห์และจัดสรรค่าเผื่อของชิ้นงานในแต่ละชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น ค่าใช้จ่ายในการผลิต และค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดต่างๆ เป็นต้น อีกทั้งในการจัดสรรค่าเผื่อ ให้กับชิ้นงานประกอบมีวิธีการที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาถึงวิธีการใหม่สำหรับการจัดสรรค่าเผื่อของชิ้นงานในแต่ละชิ้นงานที่เหมาะสมในการนำไปใช้ โดยใช้กรณีศึกษาจากอุตสาหกรรมจริงมาเป็นกรณีศึกษา ซึ่งผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการใหม่สามารถให้จัดสรรค่าเผื่อสำหรับชิ้นงานประกอบที่เหมาะสำหรับสายการผลิตได้

_____ _____ __ /___ /__

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kamuttraiyos Chutasen 2014: Practical Dimensioning Tolerance Allocation Method for Machined Part. Master of Engineering (Industrial Production Technology), Major Field: Industrial Production Technology, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chatchapol Chungchoo, Ph.D. 105 pages.

Currently, assembly tolerance allocation of precision mechanical equipments can be determined by many methods such as engineer's experience, the worst on worst tolerance analysis (WOW) method, the root sum square tolerance analysis (RSS) method, or the Monte Carlo simulation method. However, there are other factors that need to be considered when engineers allocate individual tolerance values to each part. Examples of these factors include production cost and uncertainty of measuring equipment. In this paper, a new method for allocating the suitable tolerance value to each part/component is introduced. By using a real industrial case, as a case study, experimental results indicated that the new method could provide suitable component tolerance values for the production line.

_____ _____ __ /___ /__

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ชัชพล ชังชู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ชัชพันธ์ ขำญาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ให้ข้อคิดเห็นตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ที่ได้มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนสมาชิกในครอบครัว และเพื่อนๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้หวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้กับการทำงานไม่มากก็น้อย ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนและให้การอนุเคราะห์ในทุกเรื่อง

กมุทตรัยยศ จุตะเสน

ตุลาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	85
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก ข้อมูลชิ้นงานกรณีศึกษา	89
ภาคผนวก ข ค่าพิกัดเผื่อ ตาม DIN ISO 2768-1 (1991-06)	96
ภาคผนวก ค ข้อมูลเครื่องมือวัด CMM	98
ภาคผนวก ง ข้อมูลเครื่องจักรในกระบวนการผลิต	101
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	105

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงด้านหน้าตัดของชิ้นงานประกอบทั้ง 4 ชิ้น	33
2	แสดงการเปรียบเทียบของ Section A1 ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.	66
3	แสดงการเปรียบเทียบของ Section A2 ที่ระยะ190.00 ± 0.200 mm. Gap 0.5 mm.	68
4	แสดงการเปรียบเทียบของ Section A3 ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.	70
5	แสดงการเปรียบเทียบของ Section A4 ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.	72
6	แสดงการเปรียบเทียบของ Section B1 ที่ระยะ300.00 ± 0.200 mm.	74
7	แสดงการเปรียบเทียบของ Section B2 ที่ระยะ192.00 ± 0.200 mm.	76
8	แสดงค่า Normal Dimension ของชิ้นงาน	77
9	แสดงค่า tolerance value ตามมาตรฐาน ISO 2768-1	78
10	แสดงค่า tolerance value ตามการคำนวณ PF	80

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าเผื่อกับการจัดสรรค่าเผื่อ	3
2	ช่วงค่าเผื่อชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นกับการประกอบชิ้นงานที่มีฐานการสร้างบนสมมติฐานรูปร่างที่ตายตัว	5
3	แสดงตัวอย่างการจัดสรรค่าเผื่อโดยเทคนิคการแบ่งระดับ	6
4	แสดงการกำหนดสัญลักษณ์ของ Geometric Tolerances	15
5	แสดงการกำหนดสัญลักษณ์ ที่นำไปใช้ในการระบุ	16
6	แสดงการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ	17
7	แสดงตัวอย่างการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ	18
8	แสดงตัวอย่างการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ	19
9	แสดงตัวอย่างการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ	20
10	แสดงการพิจารณาความขนานของระนาบ และการกำหนด Datum	21
11	หัววัดแบบแตะสัมผัส (Touch Trigger Probe)	24
12	หัววัดแบบแตะแสกน (Touch Scanning Probe)	25
13	แบบเลเซอร์แสกน (Laser Scanning Probe)	25
14	Stylus Changing	26
15	ความคลาดเคลื่อนในการวัด	27
16	แสดงค่า errorในการวัดชิ้นงาน Ø50 mm	28
17	แสดงค่า errorในการวัดชิ้นงาน ที่ 100 mm/sec	29
18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและ Error	30
19	ชิ้นงานกรณีศึกษา	34
20	แสดงแผนผังของขั้นตอนในการจัดสรรค่าเผื่อด้วยวิธีการใหม่	36
21	A case study – precision slide	37
22	ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.	39
23	ชิ้นงานประกอบ 2 ชิ้น ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.	39
24	ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.	40
25	ชิ้นงานประกอบ 2 ชิ้น ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.	40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ300.00 ± 0.200 mm.	41
27	ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ300.00 ± 0.200 mm.	41
28	แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A1	42
29	แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A2	43
30	แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A3	43
31	แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A4	44
32	แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section B1	44
33	แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section B2	45
34	Flow Diagram for Practical Dimensional Tolerance Allocation Method	46
35	แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A1 ระยะพิจารณา 190.00 ± 0.20 mm.	48
36	ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A1	49
37	แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A2 ระยะพิจารณา 190.00 ± 0.20 mm. ระยะ Gap 0.5 mm.	51
38	ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A2	52
39	แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A3 ระยะพิจารณา 122.00 ± 0.200 mm.	54
40	ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A3	55
41	แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A4 ระยะพิจารณา 122.00 ± 0.200 mm.	57
42	ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A4	58
43	แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน X Section B1 ระยะพิจารณา 300.00 ± 0.200 mm.	60
44	ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section B1	61
45	แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน X Section B2 ระยะพิจารณา 192.00 ± 0.200 mm.	63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

46	ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section B2	64
47	กำหนด section ที่พิจารณา ประกอบด้วยชิ้นงาน3 ชิ้น ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.	77
48	แสดงผังใน Step ที่ 1 จากแผนผังทั้งหมดในภาพที่ 34	78
49	แสดงผังใน Step ที่ 2 ถึง 4 จากแผนผังทั้งหมดในภาพที่ 34	79
50	แสดงผังใน Step ที่ 5 ถึง 8 จากแผนผังทั้งหมดในภาพที่ 34	81
51	แสดงการกำหนดค่าเผื่อสำหรับร่องชิ้นงาน	83

ภาพผนวกที่

ง1	ค่า Squareness Between 2 Coordinate Axis X	102
ง2	ค่า Squareness Between 2 Coordinate Axis Y	102
ง3	เครื่องจักร CNC Machining Center	103
ง4	ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร CNC Machining Center	103

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการแจกค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับชิ้นส่วนทางกลในทางปฏิบัติ

Practical Dimensioning Tolerance Allocation Method for Machined Part

คำนำ

ปัจจุบันชิ้นงานประกอบทางกลจะมีการกำหนดค่าเผื่อรวมของชิ้นงานประกอบ วิศวกรผู้ออกแบบ จะต้องทำการแจกแจง จัดสรรค่าเผื่อรวมนี้ สำหรับชิ้นงานในแต่ละชิ้นงาน ให้ได้ค่าเผื่อที่เหมาะสมสำหรับนำมาประกอบ

ค่าเผื่อที่วิศวกรออกแบบได้กำหนดไว้ในแต่ละชิ้นงาน จะถูกเรียกว่า "ค่าเผื่อในการออกแบบ (Design tolerance)" ซึ่งในแต่ละชิ้นงานจะมีค่าเผื่อในการออกแบบ ถ้าชิ้นงานเหล่านี้ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันหลายชิ้นส่วนจะทำให้ค่าเผื่อรวมที่เกิดขึ้น เกินกว่าค่าที่ต้องการ วิศวกรการผลิตจะต้องมีการตั้งค่าค่าเผื่อของแต่ละชิ้นส่วนอีกครั้ง ซึ่งค่าเผื่อที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิตจะเรียกว่า"ค่าเผื่อในการผลิต (Manufacturing tolerance)" โดยทั่วไปค่าเผื่อในการผลิต สามารถระบุได้จากการจัดสรรค่าเผื่อในการออกแบบ ซึ่งมีหลายหลายวิธีในการจัดสรรค่าเผื่อ แต่เทคนิควิธีการจัดสรรค่าเผื่อในปัจจุบันนั่นยากที่จะนำมาใช้ในการผลิต เนื่องจากค่าที่ได้อาจมีค่าละเอียดเกินกว่าที่จะผลิตได้จริง ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตที่อาจสูงขึ้นเกินความต้องการ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมและง่ายในการนำไปใช้ เพื่อความเหมาะสมในการกำหนดค่าเผื่อของชิ้นงานประกอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ที่สำคัญสำหรับการวิจัยนี้คือการพัฒนาวิธีการปฏิบัติใหม่สำหรับการจัดสรรค่าเผื่อของชิ้นส่วนงานประกอบ

ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตที่สำคัญสำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. งานวิจัยนี้ ศึกษาจากงานประกอบของชิ้นส่วนเครื่องจักรในอุตสาหกรรม
2. ชิ้นส่วนเครื่องจักรจะต้องผ่านกระบวนการผลิตด้วยเครื่องมืออุตสาหกรรม
3. เทคนิคใหม่นี้สามารถใช้กับเครื่องมืออุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพสูง

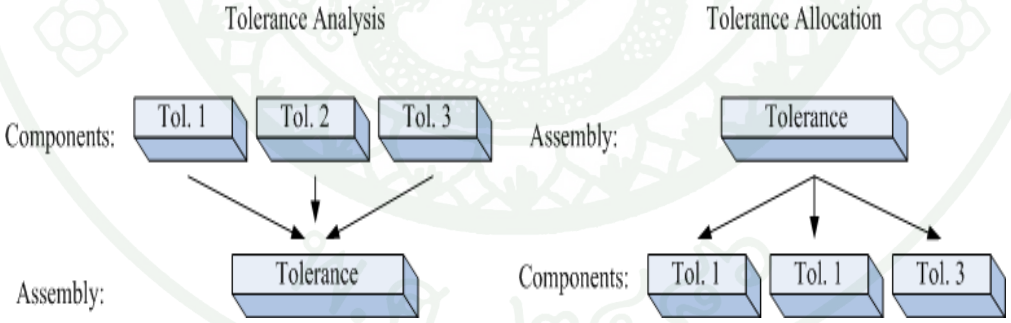
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ในงานวิจัยนี้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่สำคัญ ตลอดจนผลงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการจัดการค่าเผื่อ และได้เรียบเรียงเนื้อหามีรายละเอียดดังนี้ คือ (1) ความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ค่าเผื่อและการจัดสรรค่าเผื่อ และ (2) วิธีการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสม (3) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าเผื่อ (4) ความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ค่าเผื่อกับการจัดสรรค่าเผื่อ

เชส (1999, 1988) สรุปความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ค่าเผื่อและการจัดสรรค่าเผื่อ ในการทำงานของเขา การวิเคราะห์ค่าเผื่อ คือการคำนวณ ค่าเผื่อจากการประกอบชิ้นส่วน ซึ่งได้มาจากการรู้ค่าเผื่อของแต่ละชิ้นส่วน ในขณะที่การจัดสรรค่าเผื่อ เป็นวิธีการในการกำหนดค่าเผื่อของแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งได้มาจากการรู้ค่าเผื่อรวมจากงานประกอบ (ดังแสดงในภาพที่ 1) และข้อสรุปนี้ได้รับการสนับสนุนจาก Pawar et al. (2011) เช่นกัน



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าเผื่อกับการจัดสรรค่าเผื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

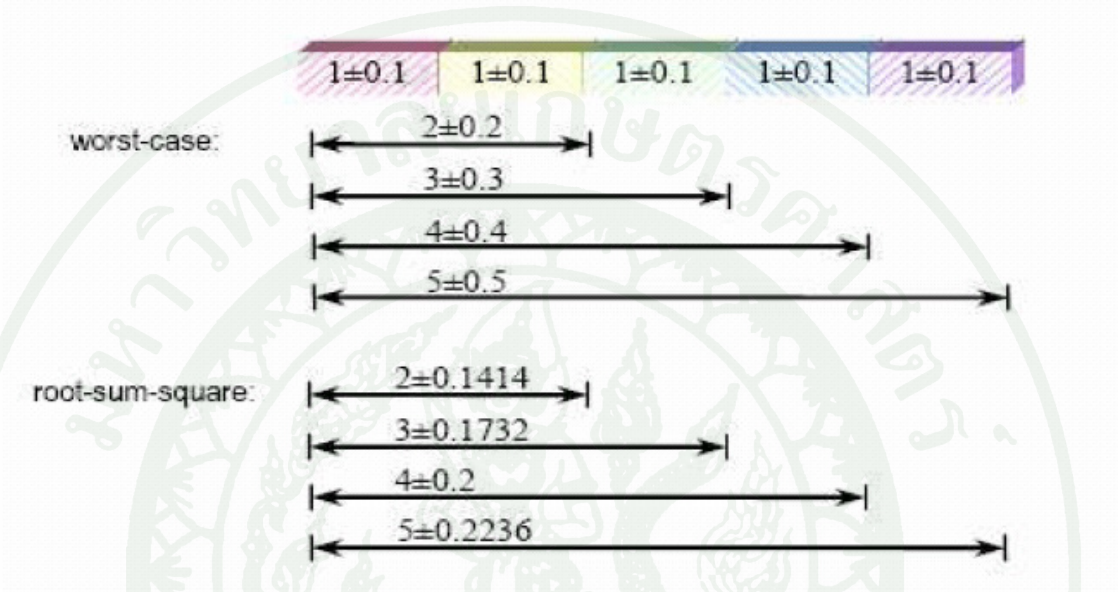
พิจารณาภาพที่ 1 พบว่าทั้งการวิเคราะห์ค่าเผื่อและการจัดสรรค่าเผื่อ จำเป็นต้องคำนึงถึงค่าเผื่อของการประกอบ วิธีเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์มี 6 วิธี ซึ่งเป็นวิธีการหรือเกณฑ์ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าเผื่อ คือ พิจารณาวิเคราะห์จากค่ามาตรฐานค่าเผื่อ, วิเคราะห์ค่าเผื่อจากกรณีที่แย่ที่สุด(Worst-case), วิธีการทางสถิติ, วิเคราะห์ความแปรปรวน, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน และการวิเคราะห์ cost-based optical tolerance (Pawar et al., 2011.) แต่ในกระบวนการผลิตมีอยู่สองวิธีที่ส่วนใหญ่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อสำหรับงานประกอบ ซึ่งได้แก่การวิเคราะห์ค่าเผื่อจากกรณีที่แย่ที่สุด (Worst-case) และการวิเคราะห์ค่าเผื่อทางสถิติ (เชส, 1999 และ 1988)

ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากกรณีที่แย่ที่สุด (Worst on Worst Analysis Model - WOW), ค่าเผื่อของงานประกอบจะถูกกำหนดโดยผลรวมของค่าเผื่อของแต่ละชิ้นงานในแนวเส้นตรง สำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้น จะถือว่าค่าเผื่อที่มีเป็นขีดจำกัดสูงสุดหรือต่ำสุด ผลที่ได้คือขอบเขตงานประกอบที่เป็นไปได้ และอีกวิธีหนึ่ง คือ การวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าเผื่อของชิ้นงานที่เพิ่ม มาจากรากที่สองของผลรวมกำลังสอง (RSS) ค่าความน่าจะเป็นที่ต่ำสุด ของกรณีที่แย่ที่สุดที่เกิดขึ้น จะถูกนำมารวมในทางสถิติ รูปแบบการแจกแจงความแปรปรวนของชิ้นงาน สมมติให้เป็นการแจกแจงปกติ หรือการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (เชส, 1999 และ 1988)

สิ่งที่ควรจะพิจารณาเป็นสมมติฐานที่สำคัญของการวิเคราะห์กรณีที่แย่ที่สุด (WOW) คือความผันผวนที่สามารถนำมารวมในกรณีที่แย่ที่สุดที่เป็นไปได้ กระบวนการวิเคราะห์ค่าเผื่อนี้เป็นวิธีที่ประหยัดเวลาและง่ายในด้านการกำหนดขนาดของชิ้นงาน ผู้ผลิตจำนวนมากมักจะกล่าวว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่เป็นการออกแบบที่เกินความจำเป็นและเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต แต่สำหรับงานประกอบที่ซับซ้อน วิธีนี้เป็นวิธีการจัดสรรค่าเผื่อที่ดีที่สุด เพราะขนาดสุดท้ายของงานประกอบจะเป็นข้อกำหนดของชิ้นงานทางด้านเรขาคณิตของชิ้นงานประกอบนั้น (Lin et al,., 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 2 แสดงตัวอย่าง ความแตกต่างระหว่างการคำนวณค่าเผื่อของชิ้นงานโดยใช้วิธี WOW และ RSS จะเห็นได้ว่าค่าเผื่อที่ได้จากวิธี WOW จะมีค่ามากกว่าค่าเผื่อที่ได้จากวิธี RSS



ภาพที่ 2 ช่วงค่าเผื่อชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นกับการประกอบชิ้นงานที่มีฐานการสร้างบนสมมติฐานรูปร่างที่ตายตัว

ที่มา: Pawar et al. (2011)

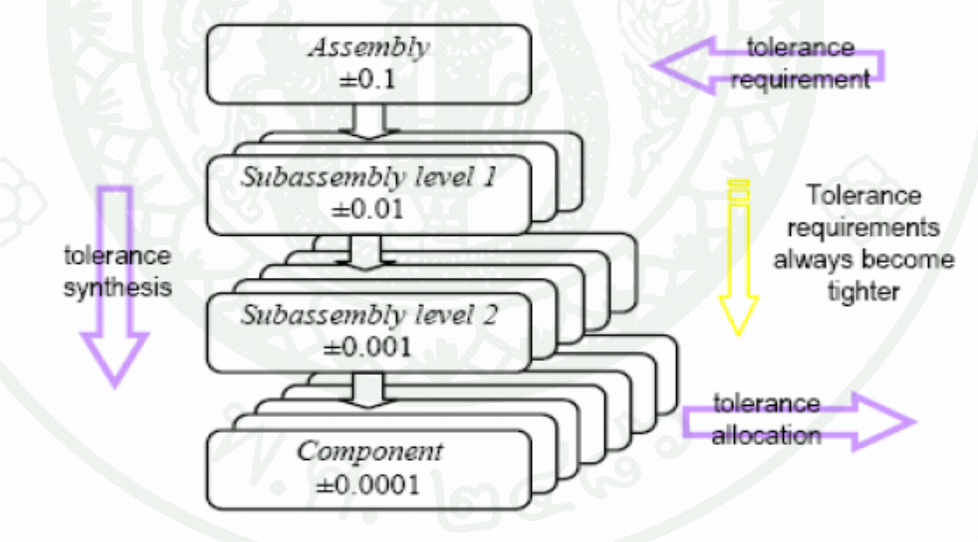
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การจัดสรรค่าเผื่อชิ้นงาน

มีหลากหลายวิธีในการจัดสรรค่าเผื่อที่ได้เคยถูกนำเสนอ ตัวอย่างวิธีต่างๆดังต่อไปนี้

1.1 การจัดสรรค่าเผื่อโดยเทคนิคการแบ่งระดับ

เทคนิคนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการจัดสรรค่าเผื่อของชิ้นงานแต่ละชิ้นงาน บางครั้งวิธีนี้จะให้ค่าเผื่อที่แม่นยำเกินไปสำหรับชิ้นงาน ซึ่งมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นถึงวิธีการใช้เทคนิคการแบ่งระดับในการจัดสรรค่าเผื่อ จะเห็นได้ว่า หากแยกแต่ละส่วนในงานประกอบออกเป็นระดับการประกอบ แต่ละส่วนของงานประกอบจะมีค่าเผื่อลดลง 10 เท่าตามระดับการประกอบ ซึ่งทำให้ค่าเผื่อที่ได้นั้นมีค่าที่แม่นยำมากเกินไปสำหรับการนำไปใช้จริง



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างการจัดสรรค่าเผื่อโดยเทคนิคการแบ่งระดับ

ที่มา: Pawar *et al.* (2011)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 การจัดสรรค่าเผื่อโดยการแบ่งตามสัดส่วนของขนาด

ในขั้นแรก การจัดสรรค่าเผื่อของชิ้นงานสามารถกำหนดโดยใช้ค่าจากกระบวนการหรือการออกแบบเป็นแนวทาง ค่าเผื่อของชิ้นงานจะถูกรวมจากการประกอบ ถ้าพบว่าค่าเผื่อของชิ้นงานประกอบไม่ได้ตามที่กำหนด สามารถทำการกำหนดขนาดใหม่โดยใช้ค่าสัดส่วนคงที่ (Constant proportionality factor) เทคนิคนี้จะเก็บค่าเทียบเคียงค่าเผื่อของชิ้นงานไว้ (Kumar, 2010)

2.3 การจัดสรรค่าเผื่อโดยวิธีคำนวณค่าคงที่ที่แม่นยำ

วิธีการนี้จะจัดสรรค่าเผื่อบนพื้นฐานที่ว่า ค่าเผื่อของชิ้นงานจะเท่ากัน ถ้ามีขนาดเหมือนกัน ค่าเผื่อของชิ้นงานถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ รากที่สามของความยาวของชิ้นงานนั้น วิศวกรออกแบบไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับค่าเผื่อตามธรรมชาติของชิ้นงาน สำหรับงานประกอบ ทำให้มีประโยชน์ในการออกแบบชิ้นงานใหม่ๆโดยไม่ต้องคำนึงถึงค่าเผื่อนี้ (Kumar, 2010)

2.4 การจัดสรรค่าเผื่อโดยการแบ่งตามการให้น้ำหนักความสำคัญแก่ชิ้นงาน

วิธีการของการกำหนดค่าเผื่อคือ การให้น้ำหนักความสำคัญแก่ชิ้นงาน ค่าเผื่อของชิ้นงานสามารถกำหนดโดยการแบ่งค่าตามน้ำหนักความสำคัญที่ให้ไว้ในแต่ละชิ้นงานประกอบและกระจายค่าเผื่อรวม ให้กับแต่ละชิ้นงานตามค่าน้ำหนักนั้น แต่วิศวกรออกแบบจำเป็นต้องนำค่าพารามิเตอร์ที่มีหลากหลายมาคำนวณด้วย (ตัวอย่างเช่น ความสามารถในการผลิตและต้นทุน) ก่อนการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละชิ้นงาน (Kumar, 2010)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.5 การจัดสรรค่าเผื่อโดยการใช้ต้นทุนน้อยที่สุดที่เหมาะสม

วิธีการของการจัดสรรค่าเผื่อจะเกี่ยวกับการประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจักร ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจักร กับค่าเผื่อของชิ้นงาน ซึ่งถูกนำมาคำนวณผ่านสูตรคณิตศาสตร์ และค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจักรทั้งหมดจะถูกปรับปรุงให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเป็นข้อจำกัดของความต้องการที่เหมาะสมในงานประกอบ วิธีการกำหนดค่าเผื่อนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลค่าใช้จ่ายสำหรับชิ้นงานในแต่ละชิ้นที่ถูกกำหนดไว้สำหรับงานประกอบ (Kumar, 2010)

2.6 การจัดสรรค่าเผื่อโดยวิธีการประเมินผลที่ครอบคลุมเงื่อนไขย่อย (Fuzzy Comprehensive Evaluation)

วิธี Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE) เป็นวิธีการจัดสรรค่าเผื่อโดย Kumar (2010) ซึ่งจะพิจารณาโดยรวมค่าใช้จ่ายของการใช้เครื่องจักร ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจักรที่เป็นปัจจัยในการคำนวณขึ้นอยู่กับตัวแปลหลายอย่าง (เช่น รูปทรงและวัสดุ) ซึ่งเป็นธรรมชาติของชิ้นงานและไม่มีตัวชี้วัดที่เป็นตัวเลข ปัจจัยเหล่านี้มีการสร้างแบบจำลองโดยใช้ fuzzy sets และ FCE ในการคำนวณการแปรค่าของแต่ละส่วน วิธีนี้ความสามารถของเครื่องจักร ถูกกำหนดให้เป็นตัวชี้วัดของความยากในการผลิตชิ้นงาน ชิ้นงานส่วนที่ต้องใช้ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรที่สูง จะทำให้ราคาแพงมากขึ้นและจะมีค่าเผื่อที่คลาดเคลื่อนได้มากขึ้น

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าเผื่อ

ความพอดีและพิกัดความเผื่อ (Fits and Tolerances) (สำนักงานเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ม.ป.ป.)

สำหรับชิ้นงานที่ต้องมีการประกอบเข้าด้วยกันนั้น ขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีความสำคัญต่อการใช้งานร่วมกันของชิ้นงาน แต่เนื่องจากการผลิตชิ้นงานจำนวนมากๆนั้น เราไม่สามารถผลิตชิ้นงานให้ได้ตรงพอดีกันค่าที่ต้องการได้ ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดความพิกัดความเผื่อของขนาดและรูปร่างที่ยอมรับได้จากการผลิตเช่นขนาดไม่ต่ำกว่าเท่าใดและไม่มากกว่าเท่าใด ความแตกต่างระหว่างขนาดสูงสุดและต่ำสุดนี้เราเรียกว่า ค่าพิกัดความเผื่อ (Tolerance) การให้ขนาดความเผื่อนี้เมื่อใช้ถูกต้องจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้ดี และสามารถเลือกใช้การผลิตมีราคาต่ำที่ที่สามารถผลิตได้ตามขนาดที่ต้องการได้ ในทางปฏิบัติ เราจะให้ค่าพิกัดความเผื่อเท่าที่จำเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เท่านั้น และให้ค่าความเผื่อให้มากที่สุด เท่าที่จะไม่รบกวนการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตมีต้นทุนต่ำที่สุด

1) ค่าพิกัดความเผื่อ (Tolerance)

ค่าพิกัดความเผื่อคือค่าความแตกต่างระหว่างขนาดใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดที่ยอมรับได้ (มีค่าบวกเสมอ) ค่านี้เท่ากับค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าขอบบนของค่าความเบี่ยงเบนและค่าขอบล่างของค่าความเบี่ยงเบน

2) ความพอดีในการสวม(fit)

ความพอดีหมายถึงความสามารถในการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันระหว่างเพลาและรูเพลา เราแบ่งความพอดีออกได้เป็นสามแบบคือ สวมเผื่อ (Clearance fit), สวมพอดี (transition fit), สวมอัด (interference fit)

3) Allowance

หลายๆครั้งเราจะสนใจว่าเมื่อชิ้นส่วนสองชิ้นประกอบเขาด้วยกันแล้ว ประกอบเข้าด้วยกันได้ยากง่ายเพียงไร จำเป็นจะต้องใช้กรรมวิธีในการประกอบอย่างไร ในกรณีของ Clearance fit เราจะสนใจจะมีช่องว่างเหลืออย่างน้อยเท่าใด (minimum clearance) เราเรียกค่าระยะของช่องว่างนี้ว่า allowance หรือ positive allowance และสำหรับ

4) Grade of Tolerance

มาตรฐาน ISO มีค่ากำหนดของพิกัดความเผื่อ (grade of tolerance) อยู่ 18 ค่า ตั้งแต่ค่า tolerance น้อยๆ สำหรับงานละเอียด ถึงค่ามากๆสำหรับงานหยาบ

Grade of tolerance มีผลมากต่อการเลือกกรรมวิธีการผลิต ที่ค่าต่ำๆเราต้องใช้การผลิตที่มีความแม่นยำสูงและที่ค่ามากเราสามารถใช้การผลิตทั่วๆ ไปได้

5) Bilateral and Unilateral limits

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าขอบเขตที่ยอมรับได้แบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือแบบสองทาง (Bilateral) และแบบทางเดียว (unilateral)

แบบสองทางเกิดขึ้นเมื่อขอบเขตล่าง และขอบเขตบนที่ยอมรับได้ (Maximum and minimum limits) นั้นมีค่าหนึ่งมากกว่า และอีกค่าน้อยกว่าค่าขนาดพื้นฐาน (basic size) ส่วนค่าขอบเขตแบบทางเดียวเกิดขึ้นเมื่อเขตล่างและขอบเขตบนที่ยอมรับได้ (maximum and minimum limits) นั้นมากกว่า หรือ น้อยกว่าค่าขนาดพื้นฐาน (basic size) ทั้งสองค่า

หลักการพื้นฐาน Geometry tolerance

การผลิตชิ้นงานประกอบกัน ค่าความเผื่อของขนาดเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่สามารถกำหนดงานประกอบให้เหมาะสมได้ ดังนั้นจึงต้องให้ค่าความเผื่อของรูปร่างของชิ้นงานด้วย

ชนิดค่าพิกัดความเผื่อสำหรับรูปร่าง (types of geometry tolerances)

คำศัพท์ที่ควรรู้

1) Feature

Feature หมายถึงชิ้นงาน หรือ ส่วนของชิ้นงาน เส้นหรือพื้นผิวเดียวๆไม่มีความหนาเราไม่นับเป็น feature ทรงกระบอก, ร่องลิ่ม, ชิ้นส่วนสี่เหลี่ยม (ผิวเรียบสองผิว) จึงจะนับว่าเป็น feature และเราจะเรียกว่า features of

2) Maximum and Least material conditions, MMC and LMC

การกำหนดค่าความเผื่อของ Features of size ต่างๆที่ประกอบกัน (mating parts) เมื่อชิ้นส่วนต่างๆมีขนาดใหญ่ที่สุดนั้นเป็นขนาดที่มีผลต่อการสวมใส่มากที่สุดและ ที่ขนาดอื่นๆก็จะมีผลน้อย

Maximum Material Condition, MMC ชิ้นงานจะมีเนื้องานมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ตามค่าความเผื่อ (tolerance) ที่กำหนดไว้ในแบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Least Material Condition, LMC ชิ้นงานจะมีเนื้องานน้อยที่สุดเท่าที่กำหนดไว้ในแบบ

3) Virtual size

Virtual size เป็นขนาดของรูปร่างสมบูรณ์ (perfect form) ที่สามารถครอบคลุมชิ้นงานได้พอดี คือสัมผัสตำแหน่งสูงสุดของชิ้นงานพอดี การพิจารณาว่าชิ้นส่วนจะสวมใส่กันได้หรือไม่จะสามารถทำได้ง่ายขึ้นเมื่อใช้ virtual size

4) Datum

Datum คือ จุด, เส้น, ระนาบ หรือ พื้นผิวอย่างอื่นที่ใช้ในการอ้างอิงการวัดตำแหน่งของขนาดต่างๆ สำหรับการผลิตเราจะถือว่า Datum มีความสมบูรณ์ของรูปร่าง คือ ถ้าเป็นระนาบของผิวงานหนึ่ง ถึงแม้ว่าการผลิตจะทำให้ผิวงานนี้มีรูปร่างต่างไปจากระนาบ เราจะต้องพยายามวัดหรืออ้างอิงกับระนาบที่สมบูรณ์ของผิวงานนี้ ไม่ใช่ผิวงานจริง

5) Datum feature

Datum feature เป็น feature ของชิ้นงาน เช่น ขอบ, ระนาบ, หรือ รูเพลา ที่ใช้ในการสร้าง datum หรือใช้ในการกำหนดตำแน่งของ datum

6) Maximum material principle

Maximum material principle แสดงด้วยสัญลักษณ์ Ⓜ เพื่อแสดงว่าขนาดเผื่อนั้นกำหนดให้เมื่อชิ้นงานมีเนื้องานมากที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกำหนดขนาดความเผื่อของรูปร่างบนแบบ

การกำหนดขนาดความเผื่อบนแบบ

1) flatness

ค่าความเรียบ ใช้กำหนดระนาบของผิวงานที่ต้องการเพื่อให้อยู่ระหว่างกำหนด แสดงดังรูปที่ 3 ระนาบสมบูรณ์สองอันที่ห่างกันเท่ากับค่าความเผื่อที่กำหนด

2) ความเป็นเส้นตรง (straightness)

ความเป็นเส้นตรงในการกำหนดค่าความเผื่อสำหรับ

- ความเป็นเส้นตรงของเส้น
- ความเป็นเส้นตรงของแกนในระนาบ
- ความเป็นเส้นตรงของแกนรูปทรงกระบอกแบบต่างๆ (solids of revolution)

3) ความตั้งฉาก (perpendicularity)

ความตั้งฉากสามารถใช้ในการกำหนด

- ความตั้งฉากของเส้นกับเส้นอ้างอิง
- ความตั้งฉากของแกนเทียบกับระนาบอ้างอิง
- ความตั้งฉากของระนาบพื้นผิวเทียบกับแกนอ้างอิง
- ความตั้งฉากของระนาบพื้นผิวเทียบกับระนาบอ้างอิง

4) ตำแหน่ง (position)

สำหรับการกำหนดค่าเผื่อของตำแหน่ง สามารถกำหนดได้สองแบบคือ สำหรับแกนของรูเพลา และพื้นผิว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5) ความร่วมศูนย์ (concentricity)

ความร่วมศูนย์ใช้กำหนดสำหรับ feature สองอันขึ้นไป ว่ามีความแตกต่างของแนวแกนอย่างไร ความร่วมศูนย์สามารถถือว่าเป็นการให้ค่าความเผื่อของตำแหน่งแบบหนึ่ง

6) ความสมมาตร (symmetry)

ค่าเผื่อของความสมมาตรถือว่าเป็นการให้ค่าเผื่อของตำแหน่งแบบหนึ่ง โดยต้องการให้พื้นผิวทั้งสองนั้นสมมาตรเมื่อเทียบกับแกนร่วม

7) ความเป็นทรงกระบอก (cylindricity)

ในกรณีนี้ต้องการให้ผิวงานเป็นรูปทรงกระบอกโดยให้มีค่าความผิดพลาดจาก รูปทรงกระบอกที่สมบูรณ์ไม่เกิน ครึ่งหนึ่งของค่าความเผื่อ หรือคือให้รูปทรงกระบอกที่ผลิตได้นั้นอยู่ระหว่างพื้นผิวทรงกระบอกสองอันที่ร่วมแกนกันและที่พื้นผิวห่างกันเท่ากับค่าความเผื่อ

8) Profiles

ในกรณีนี้เราต้องการกำหนดค่าเผื่อสำหรับ รูปร่างของเส้นหรือ รูปร่างของพื้นผิวก็ได้ ในกรณีแรก ตำแหน่งเส้นจะยอมรับได้ถ้าตำแหน่งนี้อยู่ภายในรูปทรงกลมอันใดก็ได้ที่มีจุดศูนย์กลางบนเส้นสมบูรณ์ที่ต้องการและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าเผื่อที่กำหนด เช่นเดียวกันสำหรับค่าเผื่อสำหรับรูปร่างของพื้นผิว ตำแหน่งของพื้นผิวจะยอมรับได้ ถ้าตำแหน่งนั้นอยู่ในรูปทรงกลมอันใดก็ได้ที่มีจุดศูนย์กลางบนพื้นผิวสมบูรณ์ที่ต้องการและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าเผื่อที่กำหนด

9) Angularity

ค่าเผื่อนี้ใช้กำหนดค่าเผือสำหรับมุมต่างๆ ในตารางที่ 5.6 แสดงการให้ค่าความเผื่อสำหรับมุมต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10) ความขนาน parallelism

แกนที่กำหนดเผื่อจะต้องอยู่ระหว่างระนาบสองระนาบที่ขนานกับระนาบอ้างอิง เป็นระยะเท่ากับที่กำหนดค่าเผื่อ

11) ความกลม circularity

ความกลมจะคล้ายกับความเป็นทรงกระบอก แต่สนใจเฉพาะตำแหน่งในแต่ละระนาบที่ตัดตั้งฉากกับแนวแกนเท่านั้น และเช่นเดียวกันกับค่าความเผื่อทรงกระบอก จะไม่ได้สนใจตำแหน่งแกนหรือจุดกึ่งกลางของวงกลมหรือทรงกลม

12) Runout

Runout นั้นใช้ในการให้ค่าเผื่อสำหรับพื้นผิวที่เกิดจากการหมุนของเส้นรอบแกน เช่นในงานกลึง runout จะหมายถึงเฉพาะความเผื่อที่เกิดจากความเตกต่างของตำแหน่งหรือรัศมีจากแกนหมุนต่างๆรอบแกนหมุนเท่านั้นว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

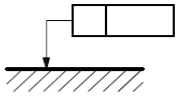
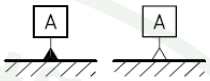
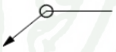
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Tolerances	Characteristics	Symbol	Datum needed
Form	Straightness	—	no
	Flatness	▱	no
	Roundness	○	no
	Cylindricity	⌭	no
	Profile any line	⌒	no
	Profile any surface	⌓	no
Orientation	Parallelism	//	yes
	Perpendicularity	⊥	yes
	Angularity	∠	yes
	Profile any line	⌒	yes
	Profile any surface	⌓	yes
Location	Position	⌖	yes or no
	Concentricity (for centre points)	◎	yes
	Coaxiality (for axes)	◎	yes
	Symmetry	⌯	yes
	Profile any line	⌒	yes
	Profile any surface	⌓	yes
Run-out	Circular run-out	↗	yes
	Total run-out	⌰	yes

ภาพที่ 4 แสดงการกำหนดสัญลักษณ์ของ Geometric Tolerances

ที่มา: ISO/TC 213 (2012)

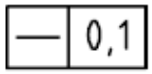
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

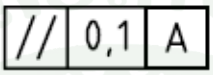
Description	Symbol
Toleranced feature indication	
Datum feature indication	
Datum target indication	
Theoretically exact dimension	50
Projected tolerance zone	Ⓟ
Maximum material requirement	Ⓜ
Least material requirement	Ⓛ
Free state condition (non-rigid parts)	Ⓕ
All around (profile)	
Envelope requirement	Ⓔ
Common zone	CZ
Minor diameter	LD
Major diameter	MD
Pitch diameter	PD
Line element	LE
Not convex	NC
Any cross-section	ACS

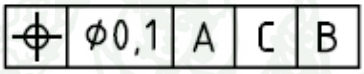
ภาพที่ 5 แสดงการกำหนดสัญลักษณ์ ที่นำไปใช้ในการระบุ

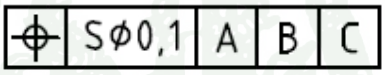
ที่มา: ISO/TC 213 (2012)

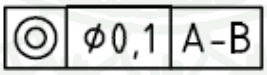
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์







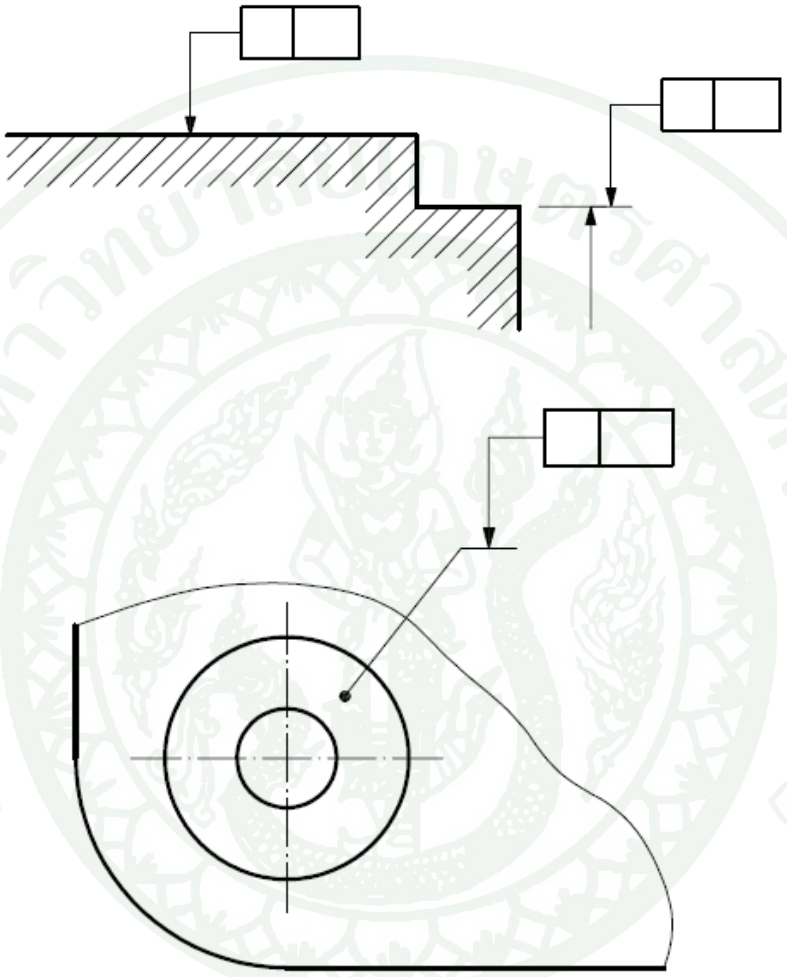




ภาพที่ 6 แสดงการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

ที่มา: ISO/TC 213 (2012)

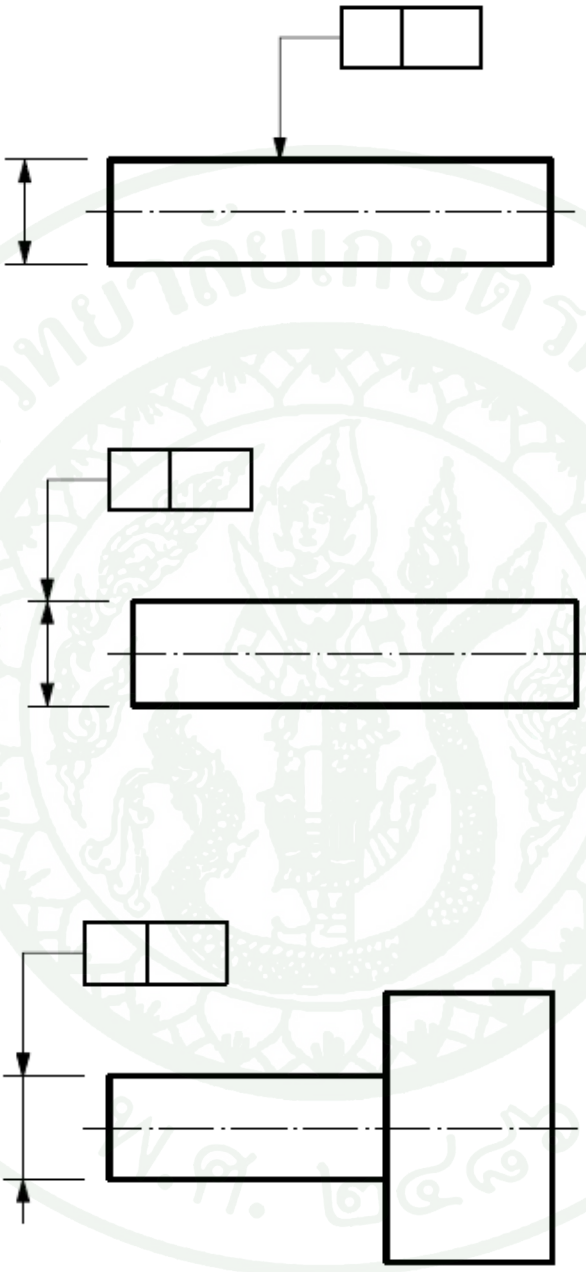
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

ที่มา: ISO/TC 213 (2012)

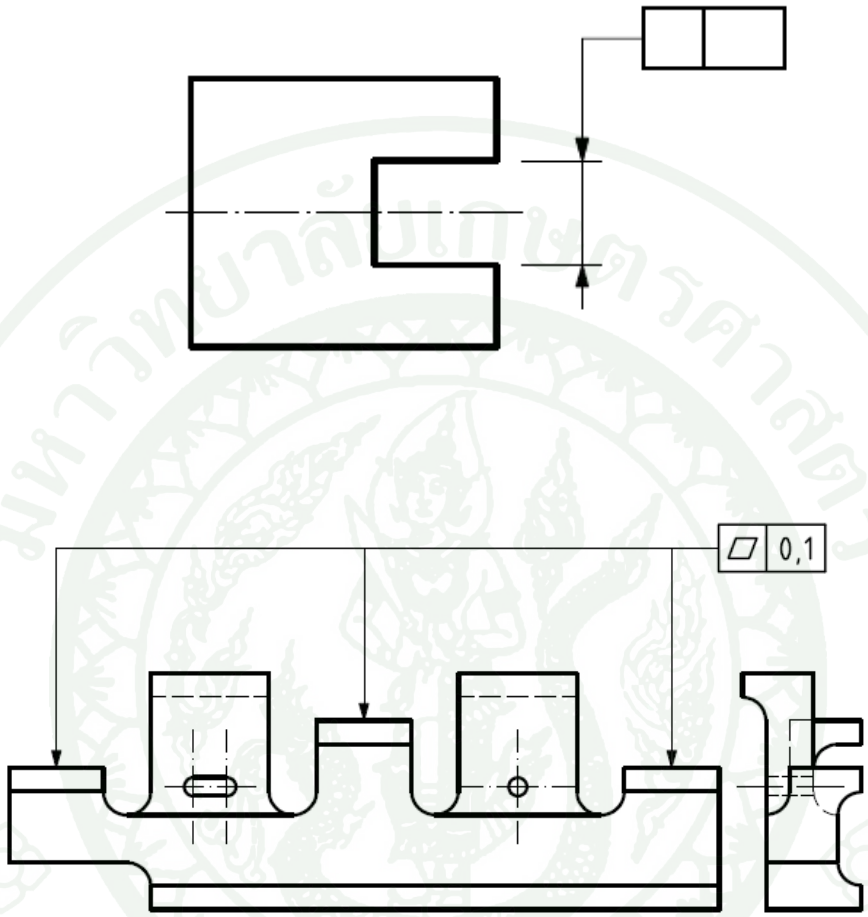
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

ที่มา: ISO/TC 213 (2012)

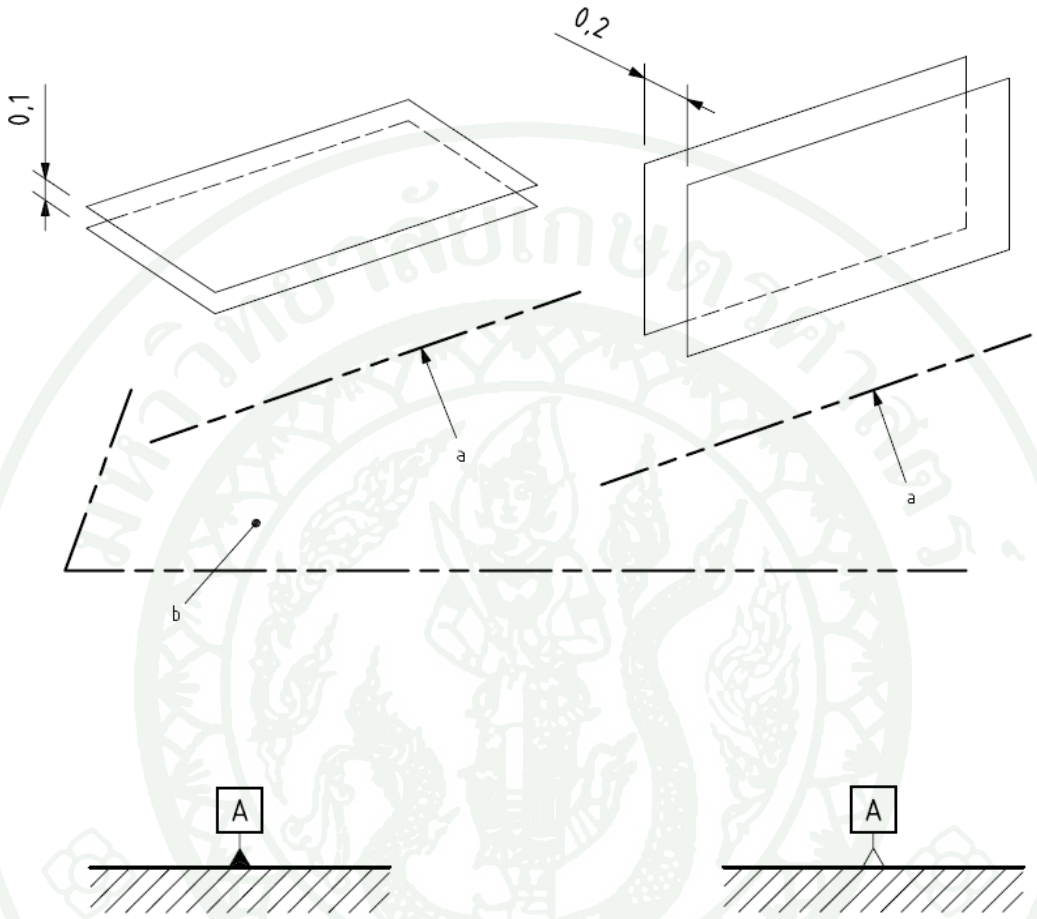
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างการกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

ที่มา: ISO/TC 213 (2012)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 แสดงการพิจารณาความขนานของระนาบ และการกำหนด Datum

ที่มา: ISO/TC 213 (2012)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. เครื่องมือวัดและค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดละเอียด (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม,ม.ป.ป.)

ในระหว่างการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานตลอดระยะเวลาการทำงาน ดังนั้นเครื่องมือวัดละเอียดจึงมีบทบาทในการควบคุมขนาดของชิ้นงานให้เป็นไปตามแบบงานที่กำหนด สำหรับเครื่องมือวัดระเอียดที่ใช้เป็นประจำมีดังนี้

1) ฉาก เป็นเครื่องมือวัดละเอียดทีใช้ในการตรวจสอบความได้ฉากของผิวงานที่ผ่านการขึ้นรูปในงานที่เป็นรูปทรงเหลี่ยม

2) เวอร์เนียคาลิเปอร์ เป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ผู้อยู่ในแวดวงการสร้างชิ้นงานทั่วไปต้องมีความรู้ในการใช้งาน เพราะเวอร์เนียคาลิเปอร์จะเป็นเครื่องมือวัดละเอียดที่ใช้งานครอบคลุมรูปทรงทางเรขาคณิตของชิ้นงาน เช่น ทรงกระบอก ทรงกลม รูปเหลี่ยมต่าง เป็นต้น โดยค่าความละเอียดของเวอร์เนียคาลิเปอร์นี้ มีค่า 0.01 มิลลิเมตร ซึ่งมีทั้งการอ่านค่าด้วยสเกล และอ่านค่าเป็นตัวเลข (Digital display)

3) ไมโครมิเตอร์ มีการใช้งานเช่นเดียวกับเวอร์เนียคาลิเปอร์ แต่ความละเอียดของสามารถอ่านได้ถึง 0.001 มิลลิเมตร

4) เกจวัดขนาด เป็นเครื่องมือวัดละเอียดที่ใช้ในการเทียบค่าของเครื่องมือวัดละเอียดตัวอื่นๆ หรือนำมาใช้เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของขนาดชิ้นงาน สามารถวัดค่าความละเอียดได้ถึง 0.0001 มิลลิเมตร

นอกจากนี้เครื่องมือวัดละเอียดบางชนิดยังถูกนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของชิ้นงาน เช่น เกจวัดระยะพิตของเกลียว เกจวัดรัศมีความโค้ง นาฬิกาวัด รวมทั้งเครื่องวัด3แนวแกน (Coordinate Measuring Machine) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เครื่องมือวัดละเอียด Co-ordinate measuring machine (CMM)

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับตัวเครื่อง CMM (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556)

เครื่อง CMM (Co-ordinate measuring machine) หรือที่เรียกกันในภาษาไทย ว่า เครื่องวัด 3 แกน เป็นเครื่องจักร อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถในการวัดขนาดของชิ้น งานได้อย่างรวดเร็ว โดยมีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงมากอีกด้วย เนื่องจากการทำงาน ร่วมกันกับเครื่องคอมพิวเตอร์ และอาศัยหน้าจอของคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยแสดงผลเพื่อ การสั่งงาน และรับผลข้อมูลตัวเลขที่ได้จากการวัดกลับมาแสดงอีกครั้งที่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

หลักการทำงานของเครื่องคือ เครื่องจะใช้หัว Probe เป็นเม็ดทับทิมกลมๆ สีชมพูเข้ม ขนาด 3.000 มิลลิเมตร ที่ติดอยู่ส่วนปลายของชุดข้อต่อที่เคลื่อนที่ขึ้นลง ตามแกน Z เป็นตัวทำหน้าที่เคลื่อนไปสัมผัสกับชิ้นงานตรงตำแหน่งที่ต้องการวัด ซึ่งการเคลื่อนที่ทั้งหมดของเครื่องนั้นจะเป็นไปอย่างราบเรียบและนุ่มนวลมาก เนื่องจากมีระบบลดแรงเสียดทานเป็นแบบ Air bearing ที่อาศัยแรงดันลมเพื่อยกตัวให้ลอย เมื่อหัว Probe สัมผัสกับชิ้นงานแล้วจะส่งสัญญาณไปยังตัว Controller ของเครื่อง เพื่อทำการประมวลผลออกมาเป็นตำแหน่งตามพิกัดของหัว Probe ในขณะที่แตะชิ้นงาน แล้วค่านี้จะถูกส่งออกมาแสดงผลที่หน้าจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย ซึ่งค่าที่เครื่องทำการ วัดออกมาได้นี้จะเป็นค่าที่มีความเที่ยงตรงสูง เนื่องจากก่อนที่จะเข้าทำการวัดงานภายในโปรแกรมจะให้ทำการ Calibrate คือการตรวจเทียบหัว Probe กับ Master ball ก่อนเพื่อนำไปคิดคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิด จากการเอนของตัวสปริงที่ค้ำนจับยึดหัว Probe ภายในชุดข้อต่อของแกน Z เนื่องจากการเคลื่อนที่ชนชิ้นงาน เพราะก่อนที่หัว Probe จะรับสัญญาณการสัมผัสนั้นจะเกิดการชนทำให้เกิดการเอนตัวของแกนก่อนซึ่งน้อยมาก และหลังจากการเปรียบเทียบและคำนวณชดเชยแล้ว ขนาดของหัว Probe จะเล็กลงเล็กน้อย และนอกจากนี้แล้วภาย ในตัวเครื่องจะมีตัววัดอุณหภูมิ (Thermometer) เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนของขนาดที่เกิดจาก สัมประสิทธิ์การยืดตัว และหดตัวของวัสดุ ที่มีผลเนื่องมาจากอุณหภูมิภายนอกอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ประกอบของเครื่อง CMM

1. ระบบชดเชยการขยายตัวของชิ้นงาน (Temperature Compensation) โดยจะทำการชดเชยการขยายตัวของชิ้นงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพื่อให้การวัดเป็นไปด้วยความเที่ยงตรงสูงสุด

2. หัววัด

2.1 ระบบหัววัดแบบแตะสัมผัส (Touch Trigger Probe) จัดเป็นหัว Probe แบบพื้นฐานมีลักษณะการวัดเป็นจุดต่อจุด

ภาพที่ 11 หัววัดแบบแตะสัมผัส (Touch Trigger Probe)

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ระบบหัววัดแบบแตะแสกน (Touch Scanning Probe) จัดเป็นหัว Probe ที่สามารถวัดชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและมีมิติที่แตกต่างกัน

ภาพที่ 12 หัววัดแบบแตะแสกน (Touch Scanning Probe)

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

2.3 ระบบหัววัดแบบเลเซอร์แสกน (Laser Scanning Probe) จัดเป็นหัว Probe ที่สามารถวัดชิ้นงานที่มีลักษณะนิ่ม ไม่สามารถกดด้วยแรงได้ หรือเหมาะกับการนำไปใช้วัดชิ้นงานที่ต้องได้ได้ข้อมูลรวดเร็ว โดยการวัดจะเป็นแบบการ Scan ด้วยลำแสง Laser

ภาพที่ 13 แบบเลเซอร์แสกน (Laser Scanning Probe)

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแตกต่างระหว่างหัววัดแบบแสกน และหัววัดแบบแตะสัมผัส

หัววัดแบบแสกน มีข้อดีคือสามารถวัดได้ถึง 500 จุดต่อวินาที ได้ข้อมูลที่ง่ายต่อการเข้าใจ และมีความหนาแน่นของข้อมูลสูง แต่มีข้อเสียคือ ต้นทุนค่อนข้างสูงในการสั่งซื้อและดูแลรักษา

หัววัดแบบแตะสัมผัส มีต้นทุนค่อนข้างสูงในการสั่งซื้อและดูแลรักษา แต่มีข้อเสียคือ การวัดทำได้ค่อนข้างช้า มีความหนาแน่นของข้อมูลต่ำ ข้อมูลอาจจะคลาดเคลื่อนได้จากการกระแทกเบาๆกับวัสดุที่ต้องการวัด

3. ชุดหัววัด หรือ ชุด เปลี่ยนหัว sensor

ชุดหัววัด หรือ ชุด เปลี่ยนหัว sensor มีหน้าที่ในการปรับเปลี่ยนหัว sensor ให้เหมาะสมกับสภาพงานที่จะวัด ซึ่งชุดเปลี่ยนหัว sensor นี้จะทำให้เครื่องCMM เปลี่ยนหัววัดได้อย่างอัตโนมัติจาก command code (G Code)

ภาพที่ 14 Stylus Changing

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

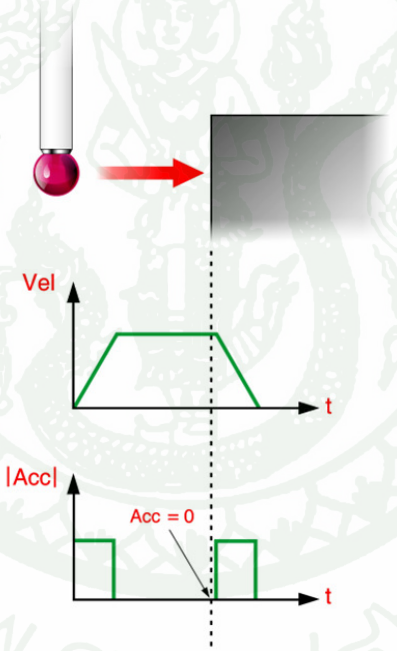
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ส่วนรับส่งสัญญาณและประมวลผล

ส่งรับส่งสัญญาณนี้จะทำหน้าที่ควบคลุมและประเมินผลในการวัดของเครื่อง CMM ข้อมูลที่วัดได้จะถูกประมวลผลออกมาเป็นตัวเลขทางหน้าจอ

<u>การเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดชิ้นงาน</u>

- เกิดจากการเคลื่อนที่ของหัววัดเคลื่อนที่ชนชิ้นงานด้วยความเฉื่อยเนื่องจากการเคลื่อนที่เร็วเกินไป

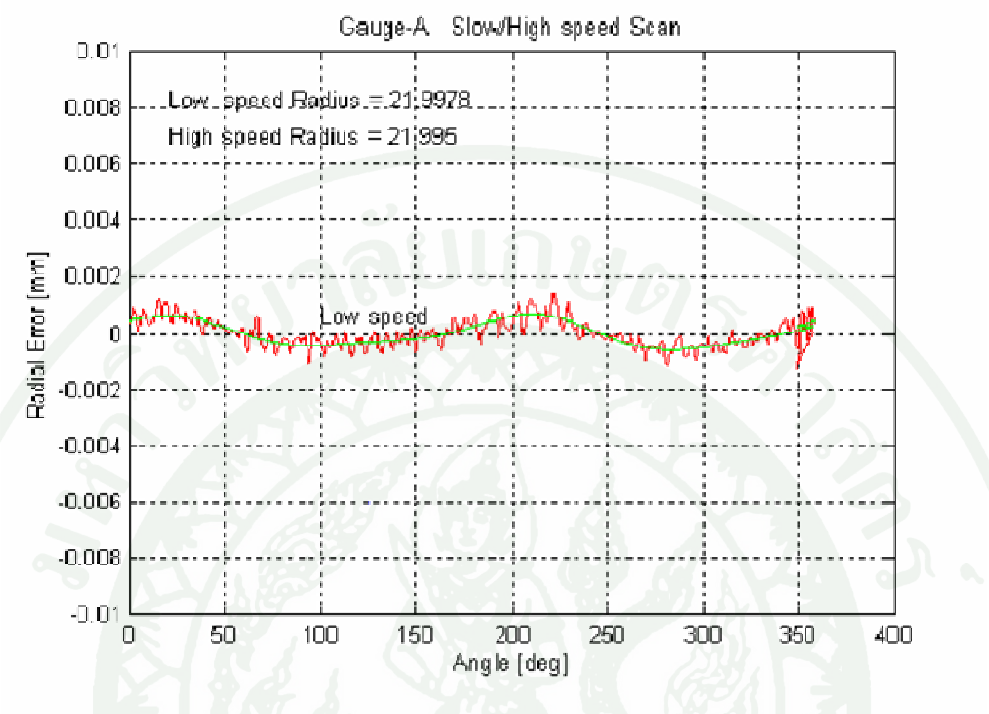


ภาพที่ 15 ความคลาดเคลื่อนในการวัด

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

จากภาพที่ 15 เกิดจากการเคลื่อนที่ของหัววัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่าง: measure a Ø50 mm (2 in) ring gauge at 10 mm/sec (0.4 in/sec) using a CMM with performance of 2.5 + L/250

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

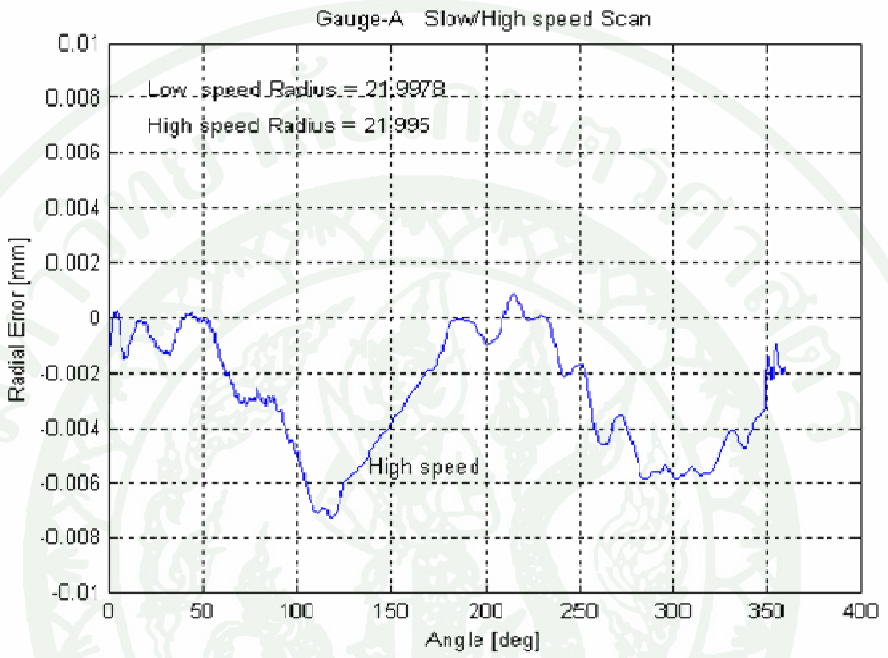


ภาพที่ 16 แสดงค่า error ในการวัดชิ้นงาน Ø50 mm

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

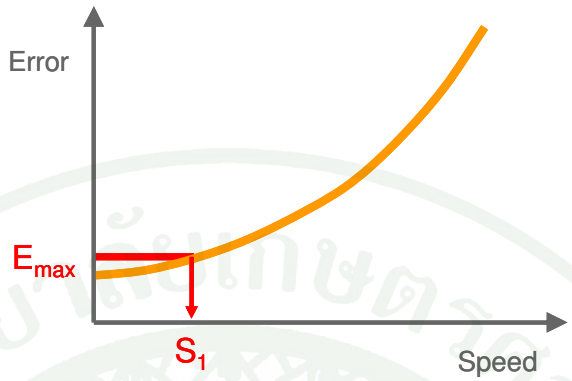
ตัวอย่าง: Re-measuring gauge at 100 mm/sec (4 in/sec) on the same CMM



ภาพที่ 17 แสดงค่า error ในการวัดชิ้นงาน ที่ 100 mm/sec

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและ Error

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (2556)

ข้อดีและข้อเสียของการใช้เครื่อง CMM

ข้อดี คือ สามารถนำไปประยุกต์ร่วมกับบุคคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านโปรแกรมการสร้างชิ้นงาน CAD / CAM และ เครื่องจักร CNC Turning Center จะช่วยส่งเสริมให้ โรงงาน มีความสามารถในการพัฒนางานและขยายขอบเขตงานด้านการทำ วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) ได้อย่างเหมาะสมและมีศักยภาพสูงสุดการทำงาน

ข้อเสีย คือ ต้นทุนในการใช้งานเครื่อง CMM ค่อนข้างสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ใช้ในการคำนวณและเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นรุ่นIntel ® core 2 duo

2. ซอฟต์แวร์ (Software)

2.1 Microsoft Word 2007 ใช้ในการพัฒนาเอกสาร

2.2 Microsoft Excel 2007 ใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล และคำนวณค่าเผื่อ

2.3 AutoCAD 2011 ใช้สำหรับวาดชิ้นงาน

2.4 SolidWorks 2010 ใช้สำหรับวาดชิ้นงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. ทำการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่สำคัญ ตลอดจนผลงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการจัดการค่าเผื่อ และได้แก่ (1) ความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ค่าเผื่อและการจัดสรรค่าเผื่อ และ (2) วิธีการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสม (3) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าเผื่อ (4) ความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดที่ใช้ในอุตสาหกรรม

2. **รวบรวมข้อมูล**

1.1 ชิ้นงานประกอบ

2.1.1 การออกแบบ

2.1.2 แบบของชิ้นงาน

2.2 เครื่องจักร

2.2.1 เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต

2.2.2 การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร

2.3 เครื่องมือวัด

2.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน

2.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

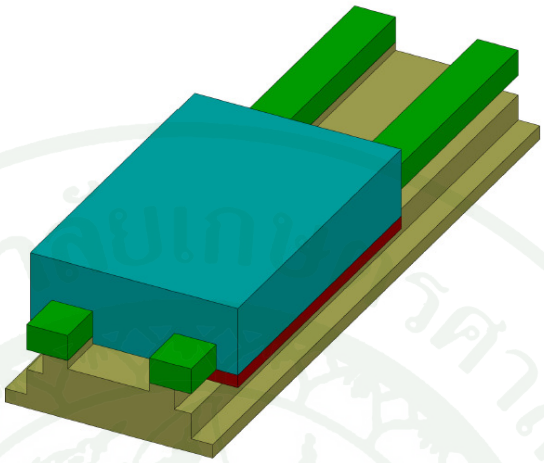
3. ข้อมูลชิ้นงาน

ชิ้นงานประกอบชุดรางเลื่อน ประกอบด้วย 4 ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงด้านหน้าตัดของชิ้นงานประกอบทั้ง 4 ชิ้น

Part No.	**Picture**
Part 1	
Part 2	
Part 3	
Part 4	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 ชิ้นงานกรณีศึกษา

4. **กำหนดระยะพิกัดค่าเผื่อตามมาตรฐาน ISO 2768-1**

5. จัดสรรค่าเผื่อด้วยวิธีการใหม่สำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้น

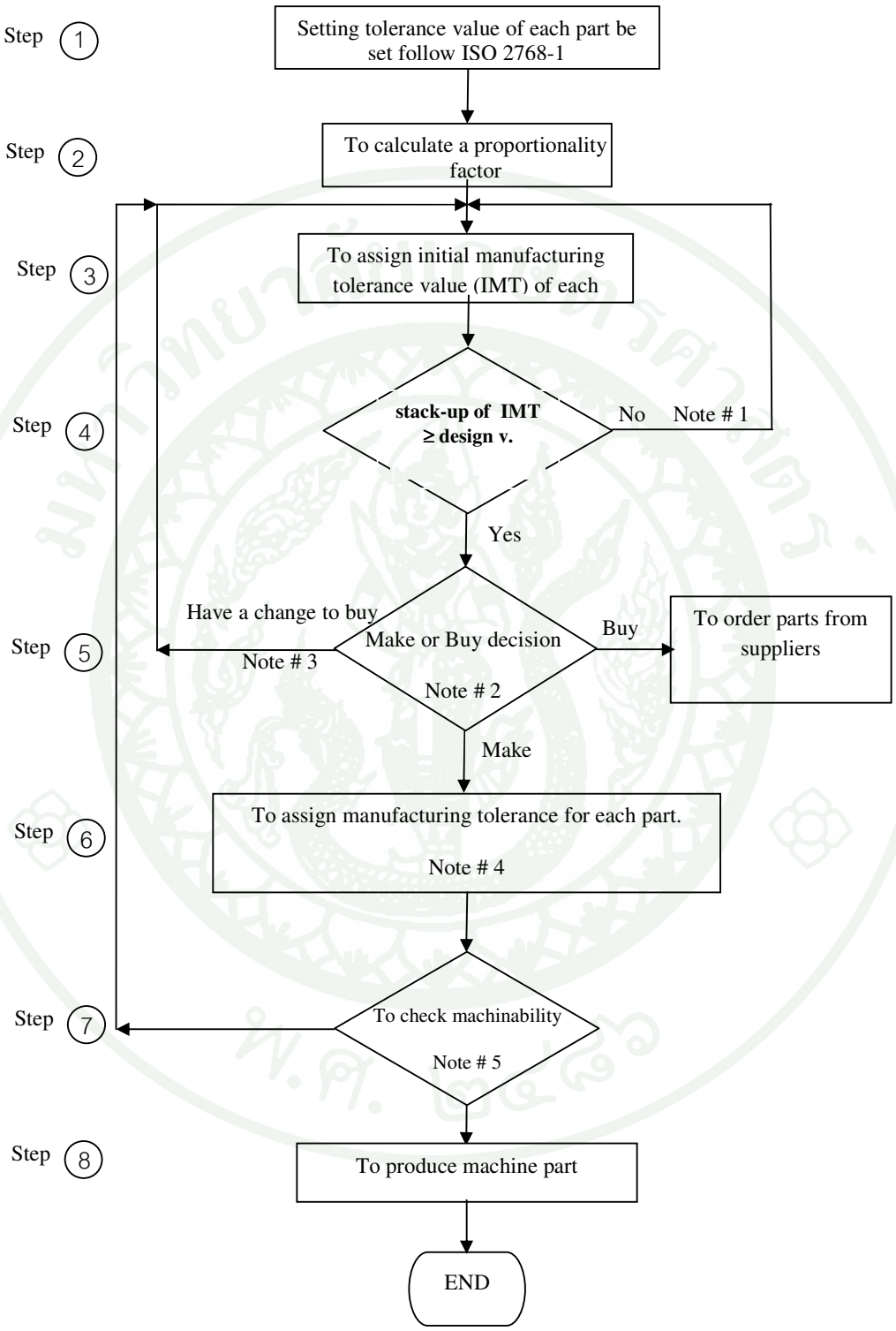
เทคนิคใหม่ในการจัดสรรค่าเผื่อสำหรับงานประกอบ ชิ้นงานทางกล

ภาพที่ 20 แสดงแผนผังของขั้นตอนการจัดสรรค่าเผื่อด้วยเทคนิคใหม่ ซึ่งได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ วิธีการของเทคนิคนี้เริ่มจาก จัดสรรค่าเผื่อให้กับชิ้นงานแต่ละชิ้นตามค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการกำหนดค่าเผื่อ ISO2768-1 ค่านี้จะเป็นค่าเริ่มต้นของค่าเผื่อชิ้นงานในการจัดสรร ต่อจากนั้นจะทำการคำนวณค่าสัดส่วนคงที่ (PF) ซึ่งค่า (PF) จะสามารถหาได้จาก ค่าเผื่อสำหรับการออกแบบหารด้วยผลรวมของค่าเผื่อเริ่มต้น จากนั้นคำนวณค่าเผื่อในการผลิตของแต่ละชิ้นงาน โดยการคูณค่า (PF) กับค่าเผื่อเริ่มต้นของแต่ละชิ้นงาน หลังจากนั้นวิศวกรฝ่ายการผลิตจะต้องตัดสินใจในการพิจารณาว่าจะทำการซื้อชิ้นงานหรือจะผลิตชิ้นงานนั้นเอง สำหรับการผลิตชิ้นงาน ค่าเผื่อในการผลิต สามารถตั้งค่าให้ลดลงจากค่าเผื่อในการผลิตเริ่มต้น 10% ตัวเลขนี้จะเป็นค่าที่ปลอดภัยในการผลิต แต่ค่าเผื่อที่ได้จะต้องมากกว่าผลรวมของค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด ในขั้นตอนสุดท้ายวิศวกรฝ่ายการผลิตต้องตรวจสอบว่า ชิ้นงานสามารถผลิตภายใต้ค่าเผื่อในการผลิตนี้ได้หรือไม่ (ตรวจสอบ ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร) ถ้าไม่ได้จะต้องมีการกำหนดค่าเผื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใหม่ สำหรับการตรวจสอบความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรกับค่าเผื่อในการผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

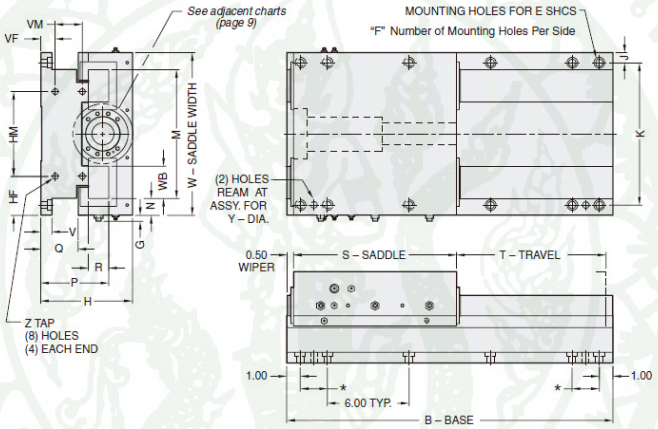


ภาพที่ 20 แสดงแผนผังของขั้นตอนในการจัดสรรค่าเผื่อด้วยวิธีการใหม่

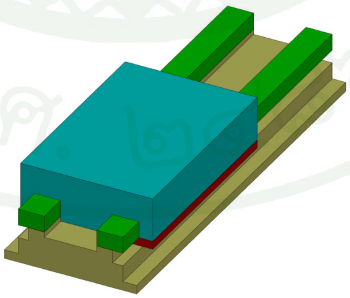
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ทำการวิเคราะห์ และตรวจสอบวิธีการจัดสรรค่าเผื่อใหม่

ในงานวิจัยนี้เทคนิคในการจัดสรรค่าเผื่อใหม่สำหรับการประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ที่ได้รับ การตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีใหม่กับผลจากการจัดสรรค่าเผื่อโดยเทคนิคการแบ่งระดับ ซึ่งเป็นเทคนิคทั่วไปที่ใช้ในหลายการผลิต ภาพที่ 21 แสดงให้เห็นถึงกรณีศึกษาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเป็น ชิ้นงานประกอบที่ต้องมีความแม่นยำและมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจริง



(a) A precision slide used as a case study



(b) Solid modeling of a case study

ภาพที่ 21 A case study – precision slide

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลที่ได้จากการทดลองใช้เทคนิควิธีการใหม่ในการจัดสรรค่าเผื่อของชิ้นงาน กรณีศึกษา และพิจารณาปัจจัยด้านการผลิต ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักรในการผลิต และค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดในการผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

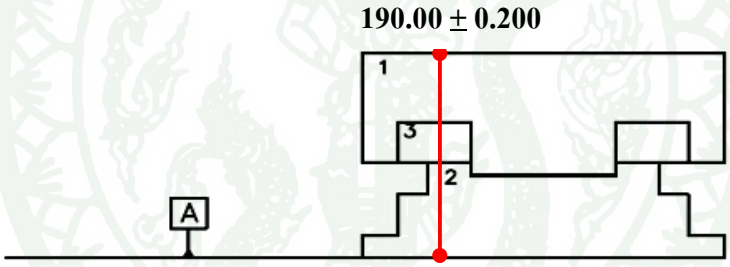
ผลและวิจารณ์

1. รายละเอียดเกี่ยวกับชิ้นงานกรณีศึกษา

การทดลองได้ แบ่งการพิจารณาชิ้นงานเป็นแต่ละSection ตามแนวแกน Y และแนวแกน X ดังนี้

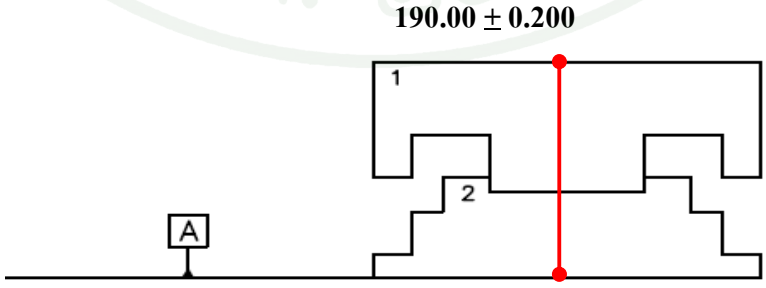
1.1 พิจารณาตามแนวแกน Y ประกอบด้วย 4 section ได้แก่

1.1.1 Section A1 ระยะ 190.00 ± 0.20 mm.



ภาพที่ 22 ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.

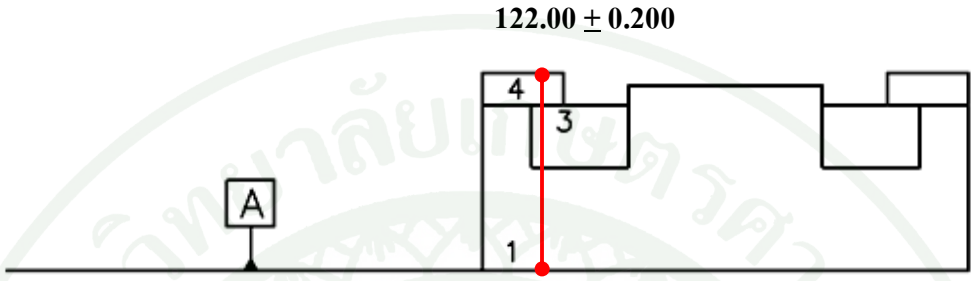
1.1.2 Section A2 ระยะ190.00 ± 0.200 mm. Gap 0.5 mm.



ภาพที่ 23 ชิ้นงานประกอบ 2 ชิ้น ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.

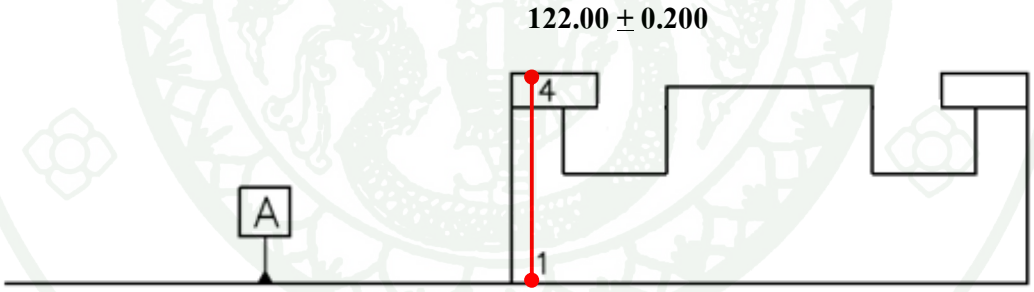
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1.3 Section A3 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.



ภาพที่ 24 ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

1.1.4 Section A4 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

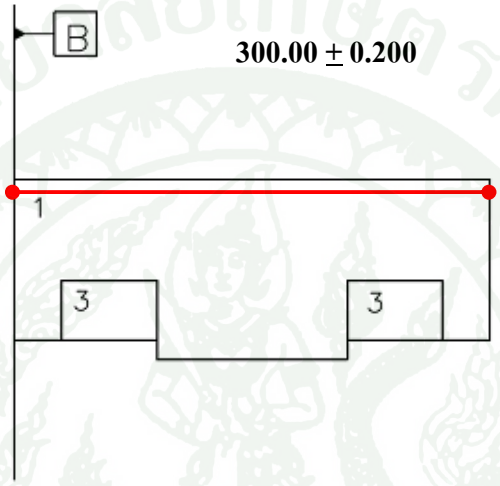


ภาพที่ 25 ชิ้นงานประกอบ 2 ชิ้น ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

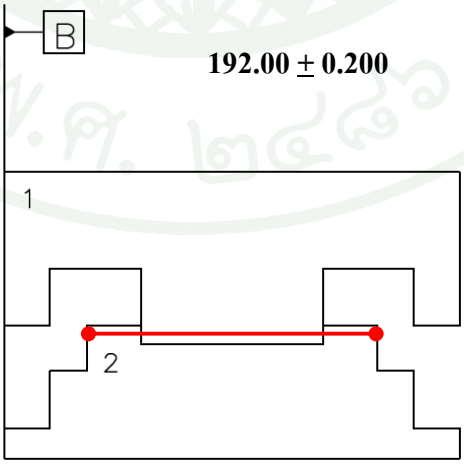
1.2 พิจารณาตามแนวแกน X ประกอบด้วย 2 section ได้แก่

1.2.1 Section B1 ระยะ300.00 ± 0.200 mm.



ภาพที่ 26 ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ300.00 ± 0.200 mm.

1.2.2 Section B2 ระยะ192.00 ± 0.200 mm.

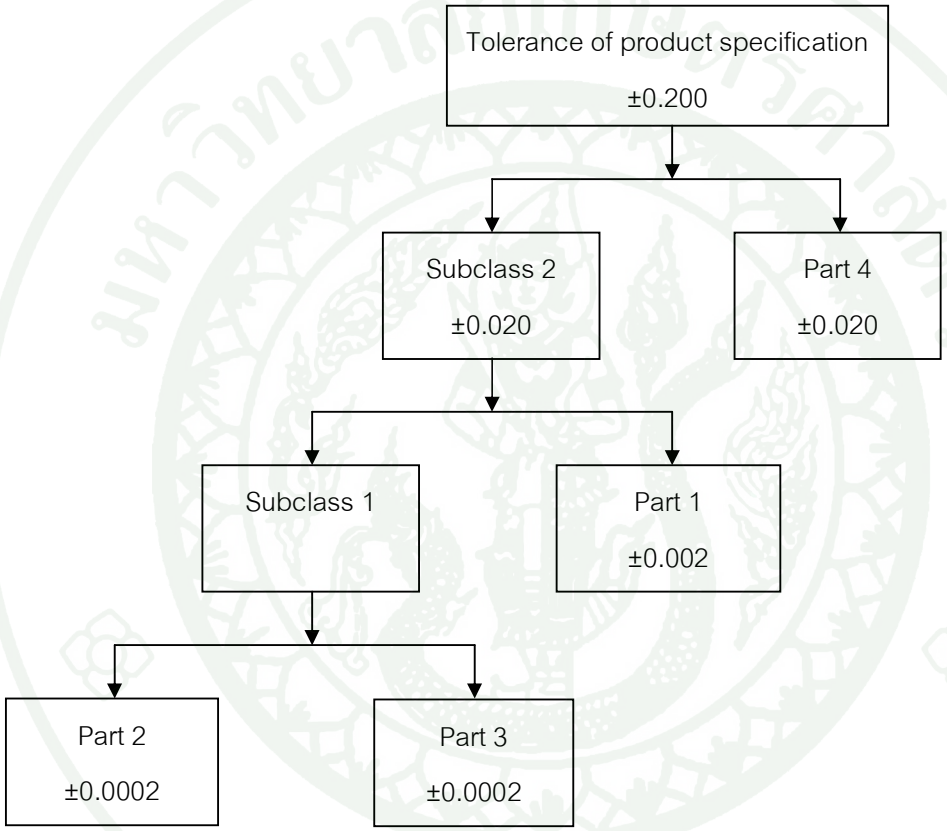


ภาพที่ 27 ชิ้นงานประกอบ 3 ชิ้น ที่ระยะ192.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี Leveling Technique

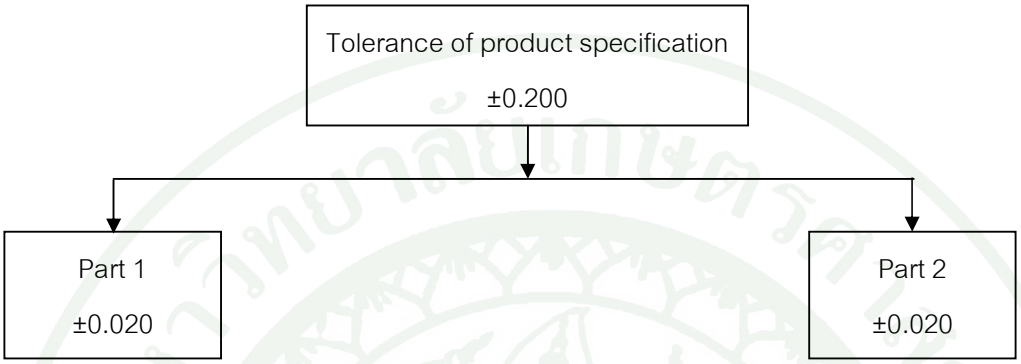
2.1 Section A1 ระยะ 190.00 ± 0.20 mm.



ภาพที่ 28 แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A1

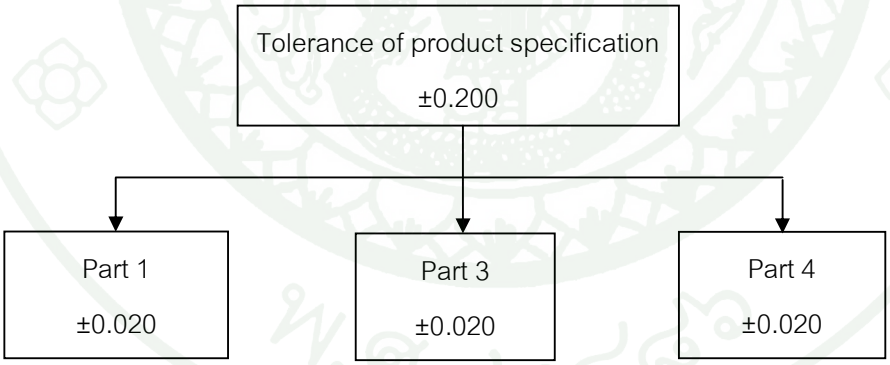
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 Section A2 ระยะ190.00 ± 0.200 mm. Gap 0.5 mm.



ภาพที่ 29 แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A2

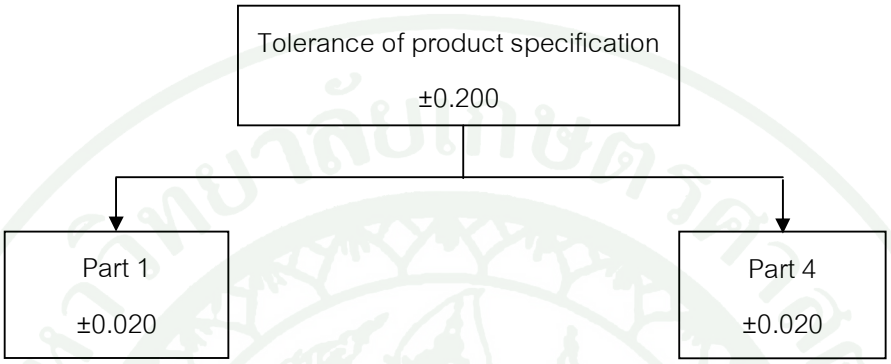
2.3 Section A3 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.



ภาพที่ 30 แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A3

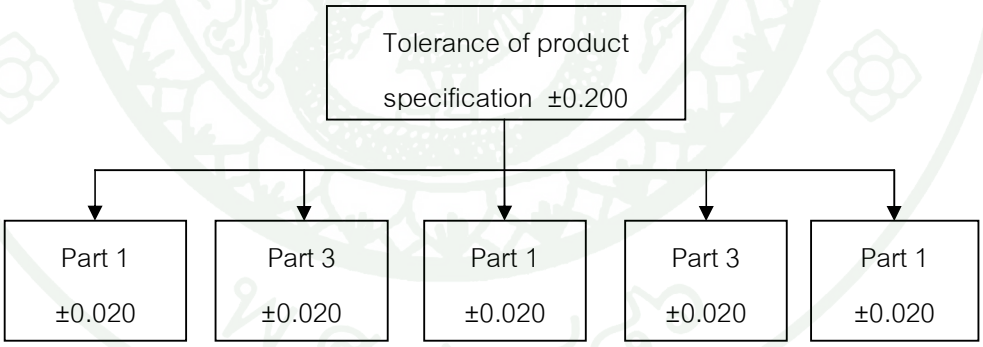
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 Section A4 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.



ภาพที่ 31 แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section A4

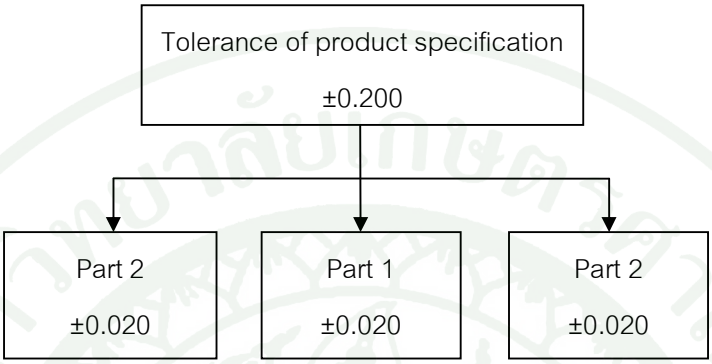
2.5 Section B1 ระยะ300.00 ± 0.200 mm.



ภาพที่ 32 แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section B1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

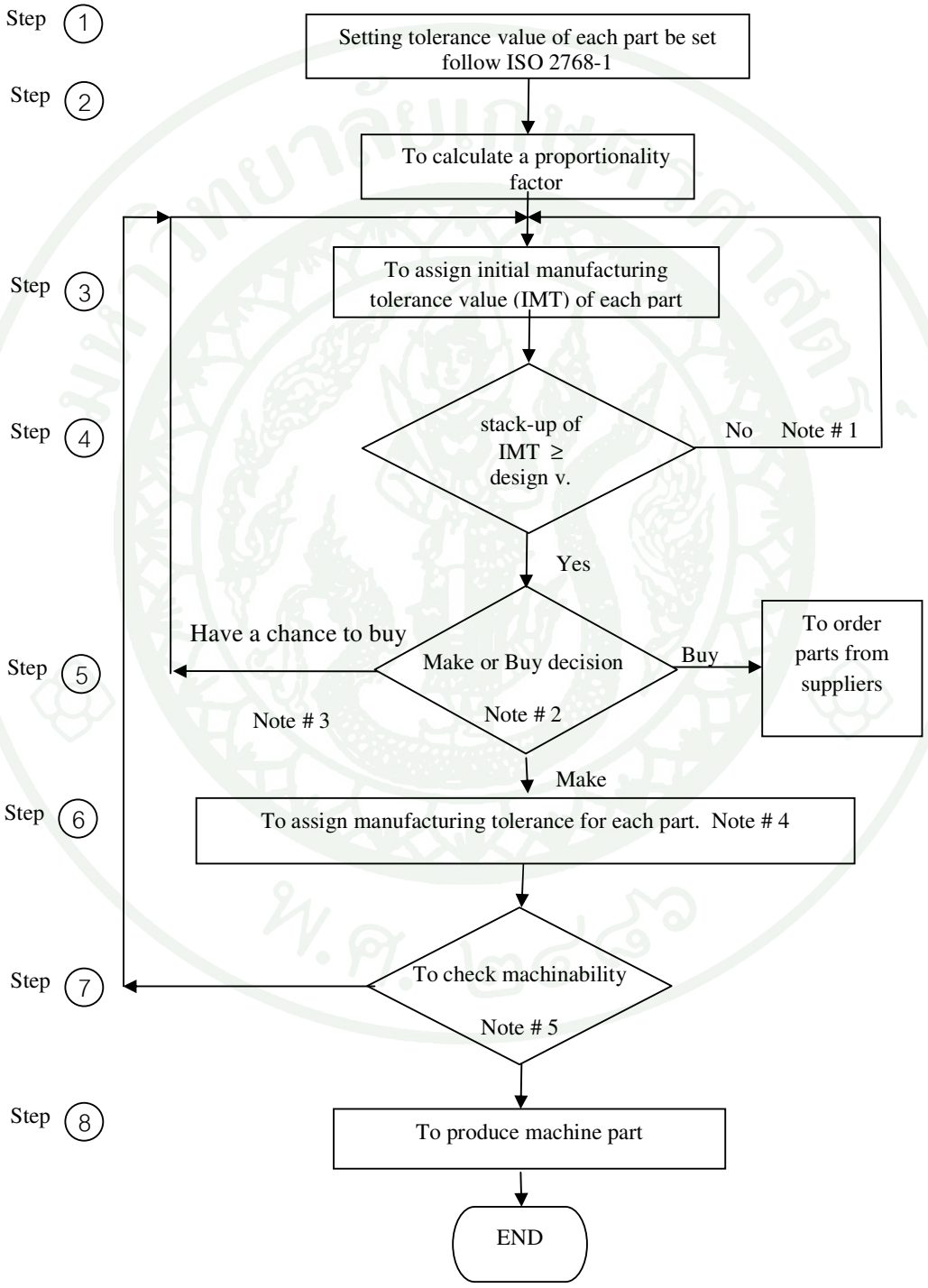
2.6 Section B2 ระยะ192.00 ± 0.200 mm.



ภาพที่ 33 แจกแจงค่าเผื่อด้วยวิธี Leveling Technique ของ Section B2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระบวนการหาค่าความคลาดเคลื่อน A New Tolerance Allocation Method



ภาพที่ 34 Flow Diagram for Practical Dimensional Tolerance Allocation Method

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Where

Note # 1 In case of stack-up initial manufacturing tolerance is greater than the design value, an initial manufacturing tolerance of each part need to be decreased in the same ratio until stack-up initial manufacturing tolerance is lower than the design value.

Note # 2 Using supplier's catalogue:

UsingSee catalogue part from supplier

Case 1: part tolerance from catalogue $\leq$ an initial manufacturing tolerance $\longrightarrow$ To order a part

Case 2: part tolerance from catalogue > an initial manufacturing tolerance $\longrightarrow$ To choose between have a chance to buy or make the part.

Note # 3 To reassign initial manufacturing tolerance value.

Note # 4 The manufacturing tolerance can be set by decreasing the initial manufacturing tolerance value 10% (safety value). If this safety value is not suitable, a greater number needs to be applied.

Note # 5 If available machine can not produce parts, new tolerance value need to be assigned

3. การแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี A New Tolerance Allocation Method

3.1 Section A1 ระยะ 190.00 ± 0.20 mm.

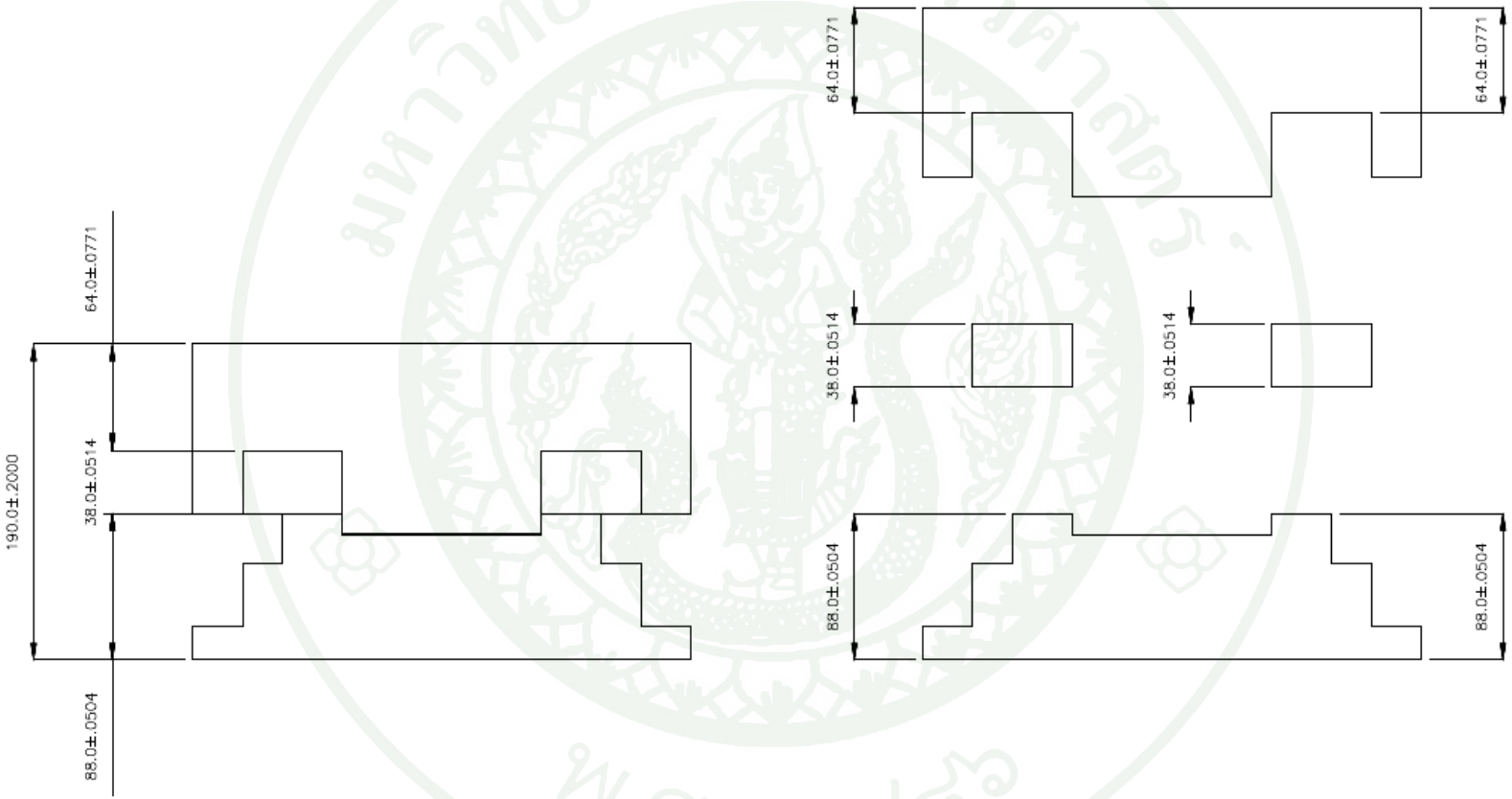
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Assambly size	Iteration	Part	stack-up of IMT	Step (1)	Step (2)	Step (3)	Total design V.	Step (4)	Step (5)	safety value 10%	Step (6)	Step (7)	2((6)+(7))	Assign Tolerance	Step (8)	Remark
Subclass 2 190±0.2 mm	1	Part 1	0.200	0.150		0.150	0.350	IMT< Total design V.								
		Subclass 1		0.200		0.200										
	2	Part 1*			0.571	0.086	0.200	IMT ≥ Total design V.	Make	0.0086	0.0004	0.0043	0.0051	0.0771	end	use safety value 10%
		Subclass 1			0.571	0.114										
Subclass 1 126±0.114 mm	1	Part 2	0.114	0.150		0.150	0.300	IMT< Total design V.								
		Part 3		0.150		0.150										
	2	Part 2**			0.381	0.057	0.114	IMT ≥ Total design V.	Make	0.0057	0.0004	0.0059	0.0067	0.0504	end	use Tolerance design
		Part 3			0.381	0.057			Make	0.0057	0.0004	0.0025	0.0033	0.0514	end	use safety value 10%

*, ** แสดงการคำนวณโดยละเอียดในตัวอย่างการคำนวณ

ภาพที่ 35 แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A1 ระยะพิจารณา 190.00 ± 0.20 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 36 ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

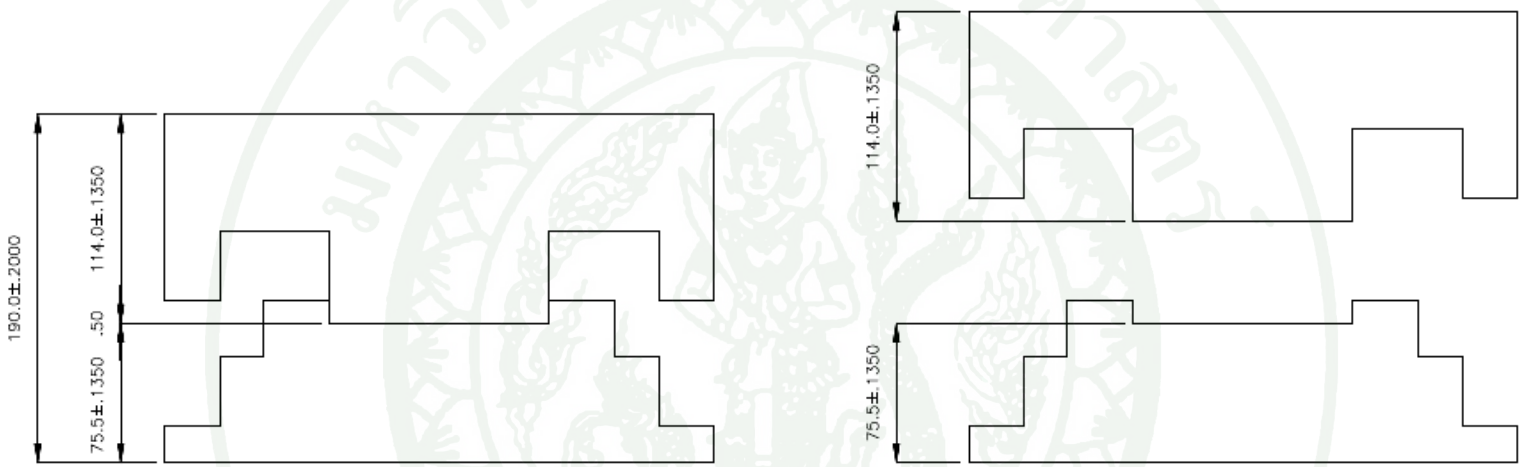
3.2 Section A2 ระยะ190.00 ± 0.200 mm. Gap 0.5 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Assambly size	Iteration	Part	stack-up of IMT	Step (1)	Step (2)	Step (3)	Total design V.	Step (4)	Step (5)	safety value 10%	Step (6)	Step (7)	2((6)+(7))	Assign Tolerance	Step (8)	Remark
190±0.2 mm (Gap=0.5)	1	Part1	0.200	0.150		0.150	0.300	IMT ≥ Total design V.	Make	0.0150	0.0004	0.0043	0.0051	0.1350	end	use safety value 10%
		Part2		0.150		0.150			Make	0.0150	0.0004	0.0059	0.0067	0.1350	end	use safety value 10%
		Gap	0.500													

ภาพที่ 37 แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A2 ระยะพิจารณา 190±0.200 ระยะ Gap 0.5 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 Section A3 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

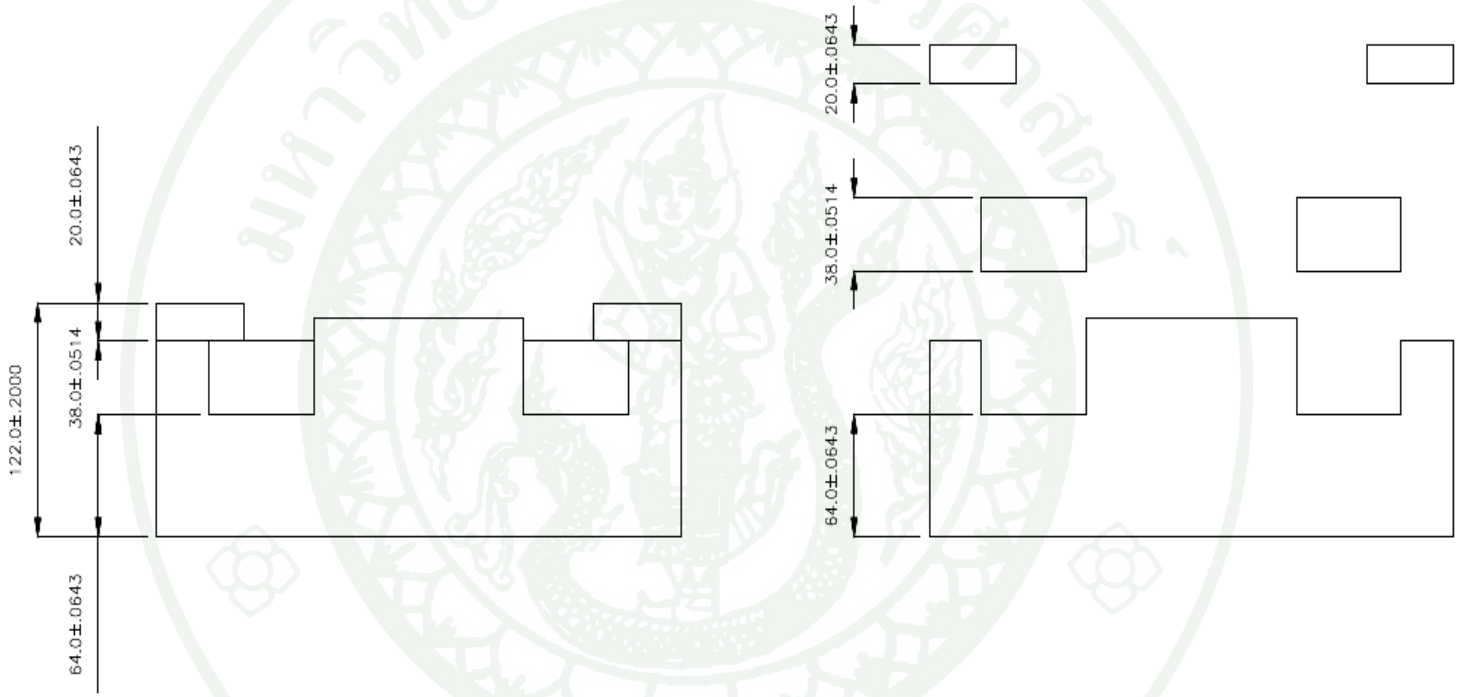
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Assambly size	Iteration	Part	stack-up of IMT	Step (1)	Step (2)	Step (3)	Total design V.	Step (4)	Step (5)	safety value 10%	Step (6)	Step (7)	2((6)+(7))	Assign Tolerance	Step (8)	Remark
122±0.20mm	1	Part1	0.200	0.150		0.150	0.300	IMT< Total design V.								
		Part3		0.057		0.057										
		Part4		0.150		0.150										
	2	Part1			0.476	0.071	0.200	IMT ≥ Total design V.	Make	0.0071	0.0004	0.0043	0.0051	0.0643	end	use safety value 10%
		Part3				0.057			Make	0.0057	0.0004	0.0025	0.0033	0.0514	end	use safety value 10%
		Part4			0.476	0.071			Make	0.0071	0.0004	0.0013	0.0021	0.0643	end	use safety value 10%

หมายเหตุ: แถบสีฟ้า = ค่า tolerance ของ part ที่ได้มีการกำหนดไว้จาก section ก่อนหน้าแล้ว

ภาพที่ 39 แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A3 ระยะพิจารณา 122.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 40 ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 Section A4 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

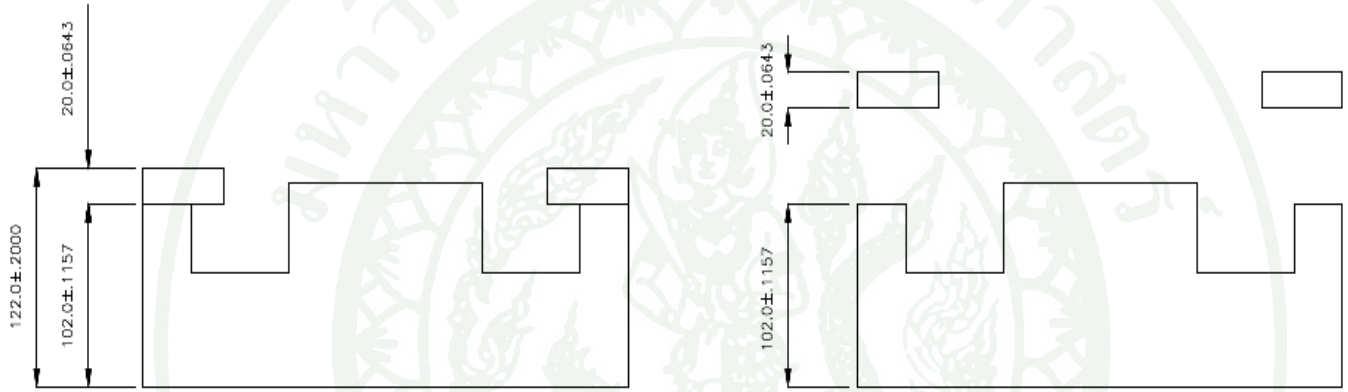
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Assambly size	Iteration	Part	stack-up of IMT	Step (1)	Step (2)	Step (3)	Total design V.	Step (4)	Step (5)	safety value 10%	Step (6)	Step (7)	2((6)+(7))	Assign Tolerance	Step (8)	Remark
122±0.20mm	1	Part4	0.200	0.071		0.071	0.200	IMT ≥ Total design V.	Make	0.0071	0.0004	0.0013	0.0021	0.0643	end	use safety value 10%
		Part1		0.129		0.129			Make	0.0129	0.0004	0.0043	0.0051	0.1157	end	use safety value 10%

หมายเหตุ: แถบสีฟ้า = ค่า tolerance ของ part ที่ได้มีการกำหนดไว้จาก section ก่อนหน้าแล้ว

ภาพที่ 41 แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน Y Section A4 ระยะพิจารณา 122.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 42 ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section A4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

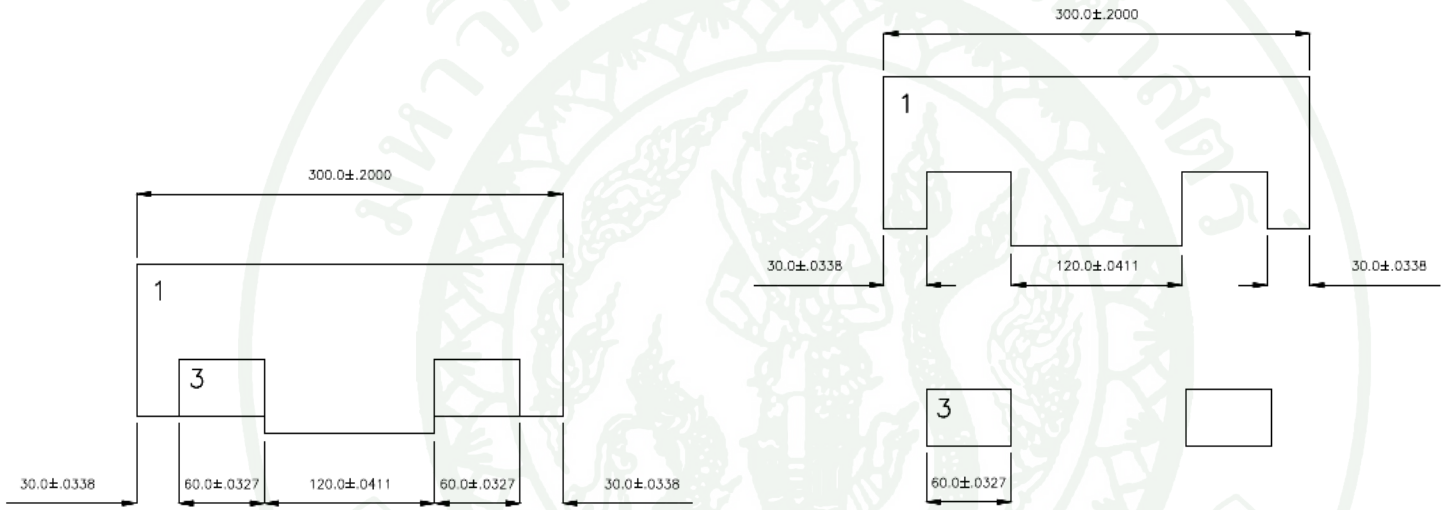
3.5 Section B1 ระยะ300.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Assambly size	Iteration	Part	stack-up of IMT	Step (1)	Step (2)	Step (3)	Total design V.	Step (4)	Step (5)	safety value 10%	Step (6)	Step (7)	2((6)+(7))	Assign Tolerance	Step (8)	Remark
		Part1 (A)		0.150		0.150										
		Part3 (1)		0.150		0.150										
	1	Part1 (C)	0.200	0.200		0.200	0.800	IMT< Total design V.								
		Part3 (2)		0.150		0.150										
		Part1 (A)		0.150		0.150										
300±0.20mm		Part1 (A)			0.25	0.038			Make	0.0038	0.0004	0.0020	0.0028	0.0338	end	use safety value 10%
		Part3 (1)			0.25	0.038			Make	0.0038	0.0004	0.0040	0.0048	0.0327	end	use Tolerance design
	2	Part1 (C)			0.25	0.050	0.200	IMT ≥ Total design V.	Make	0.0050	0.0005	0.0080	0.0089	0.0411	end	use Tolerance design
		Part3 (2)			0.25	0.038			Make	0.0038	0.0004	0.0040	0.0048	0.0327	end	use Tolerance design
		Part1 (A)			0.25	0.038			Make	0.0038	0.0004	0.0020	0.0028	0.0338	end	use safety value 10%

ภาพที่ 43 แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน X Section B1 ระยะพิจารณา 300.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 44 ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section B1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.6 Section B2 ระยะ192.00 ± 0.200 mm.

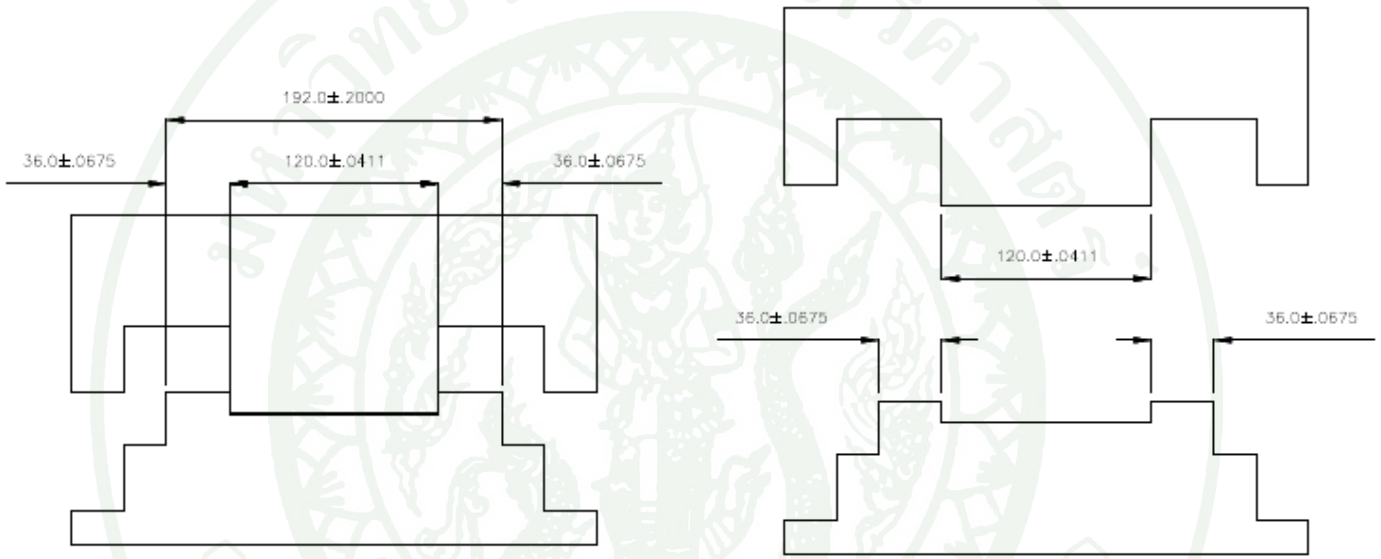
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Assambly size	Iteration	Part	stack-up of IMT	Step (1)	Step (2)	Step (3)	Total design V.	Step (4)	Step (5)	safety value 10%	Step (6)	Step (7)	2((6)+(7))	Assign Tolerance	Step (8)	Remark
192±0.20mm	1	Part2(A)	0.200	0.150		0.150	0.300	IMT< Total design V.								
		Part1(1)		0.050		0.050										
		Part2(B)		0.150		0.150										
	2	Part2(A)			0.50	0.075	0.200	IMT ≥ Total design V.	Make	0.0075	0.0004	0.0024	0.0032	0.0675	end	use safety value 10%
		Part1(1)				0.050			Make	0.0050	0.0005	0.0080	0.0089	0.0411	end	use Tolerance design
		Part2(B)			0.50	0.075			Make	0.0075	0.0004	0.0024	0.0032	0.0675	end	use safety value 10%

หมายเหตุ: แถบสีฟ้า = ค่า tolerance ของ part ที่ได้มีการกำหนดไว้จาก section ก่อนหน้าแล้ว

ภาพที่ 45 แสดงผลการแจกแจง Tolerance แนวแกน X Section B2 ระยะพิจารณา 192.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 46 ผลการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนให้แต่ละชิ้นงาน ของ Section B2

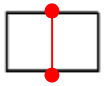
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ผลการเปรียบเทียบการแจกแจงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง Leveling Technique และ A New Tolerance Allocation Method

4.1 Section A1 ระยะ 190.00 ± 0.20 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบของ Section A1 ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.

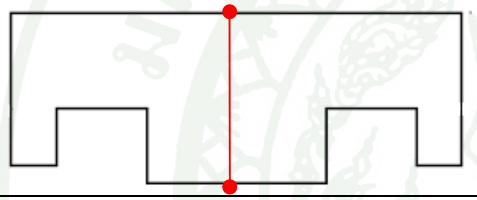
Part	Picture	Leveling Technique	A New Tolerance Allocation Method
1		±0.0020	±0.0771
3		±0.0002	±0.0514
2		±0.0002	±0.0504
	Total tolerance design	±0.0024	±0.1789

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 Section A2 ระยะ190.00 ± 0.200 mm. Gap 0.5 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบของ Section A2 ที่ระยะ190.00 ± 0.200 mm. Gap 0.5 mm.

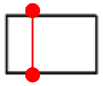
Part	Picture	Leveling Technique	A New Tolerance Allocation Method
1		±0.0200	±0.1350
2		±0.0200	±0.1350
	Total tolerance design	±0.0400	±0.2700

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 Section A3 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบของ Section A3 ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

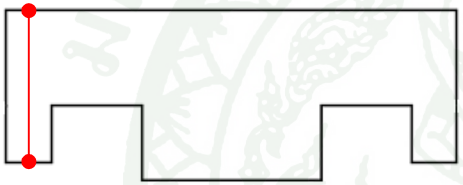
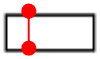
Part	Picture	Leveling Technique	A New Tolerance Allocation Method
1		±0.0200	±0.0643
3		±0.0200	±0.0514
4		±0.0200	±0.0643
	Total tolerance design	±0.0600	±0.1800

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4 Section A4 ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบของ Section A4 ที่ระยะ122.00 ± 0.200 mm.

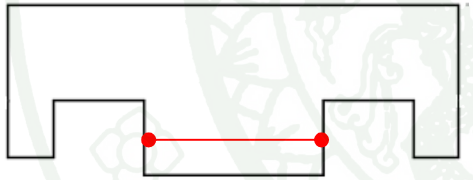
Part	Picture	Leveling Technique	A New Tolerance Allocation Method
1		±0.0200	±0.1157
4		±0.0200	±0.0643
	Total tolerance design	±0.0400	±0.1800

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.5 Section B1 ระยะ300.00 ± 0.200 mm.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบของ Section B1 ที่ระยะ300.00 ± 0.200 mm.

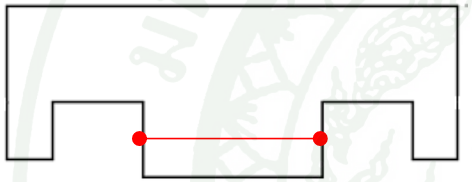
Part	Picture	Leveling Technique	A New Tolerance Allocation Method
1		±0.0200	±0.0338
1		±0.0200	±0.0411
3		±0.0200	±0.0327
	Total tolerance design	±0.1000	±0.1741

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.6 Section B2 ระยะ192.00 ± 0.200 mm.

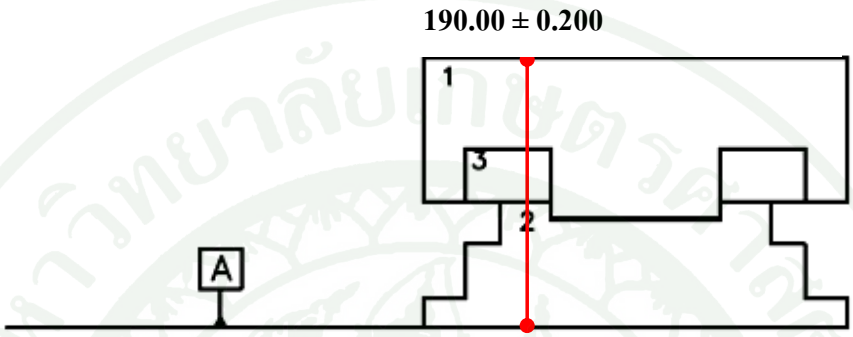
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบของ Section B2 ที่ระยะ192.00 ± 0.200 mm.

Part	Picture	Leveling Technique	A New Tolerance Allocation Method
1		±0.0200	±0.0411
2		±0.0200	±0.0675
	Total tolerance design	±0.0600	±0.1761

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

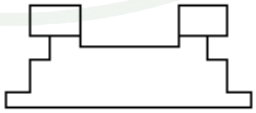
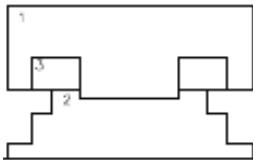
ตัวอย่างการคำนวณวิธี A New Tolerance Allocation Method



ภาพที่ 47 กำหนด section ที่พิจารณา ประกอบด้วยชิ้นงาน3 ชิ้น ที่ระยะ190.00 ± 0.20 mm.

จากภาพที่ 63 พิจารณา Normal Dimension ตามความสูงของชิ้นงานประกอบ แสดงค่าดังตารางที่ 8

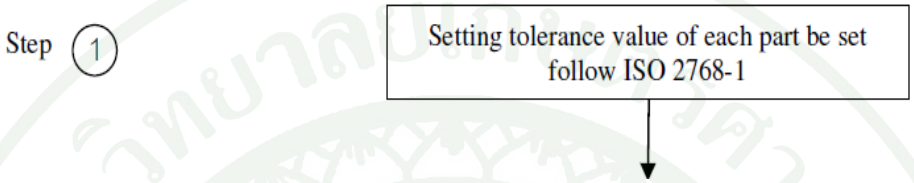
ตารางที่ 8 แสดงค่า Normal Dimension ของชิ้นงาน

Part No.	Picture	Normal Size mm
Part 1		64.000
Subclass 1		126.000
Subclass 2		190.000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

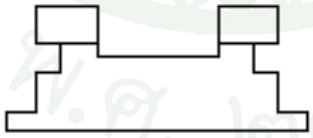
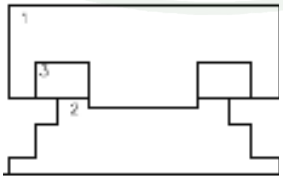
การคำนวณจะทำตามขั้นตอน (Step) A Flow Diagram of New Tolerance Allocation

Stepที่ 1 กำหนดค่า Stack-up of IMT = 0.2000 mm. ตามที่ต้องการ และกำหนดค่า tolerance value ของแต่ละชิ้นงานตามมาตรฐาน ISO 2768-1 แสดงดังตารางที่ a2

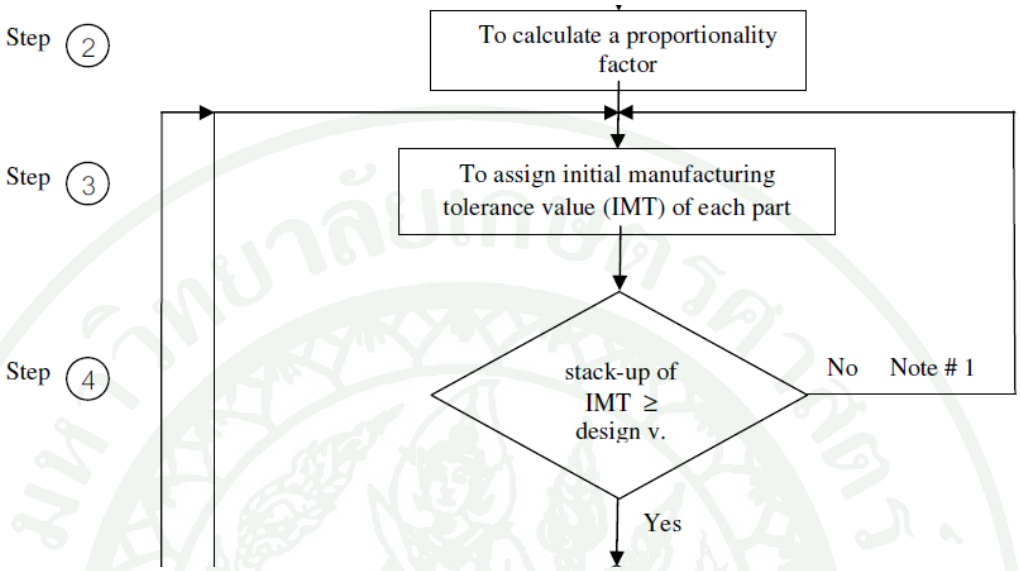


ภาพที่ 48 แสดงผังใน Step ที่ 1 จากแผนผังทั้งหมดในภาพที่ 34

ตารางที่ 9 แสดงค่า tolerance value ตามมาตรฐาน ISO 2768-1

Part No.	Picture	ISO 2768-1 (1991-06) Tolerance mm
Part 1		± 0.150
Subassembly 1		± 0.200
Subassembly 2		± 0.350

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 49 แสดงผังใน Step ที่ 2 ถึง 4 จากแผนผังทั้งหมดในภาพที่ 34

Step ที่ 2 คำนวณค่า Proportionality factor (PF)

วิธีการคำนวณ จากการกำหนดค่า tolerance value ตามมาตรฐาน ISO 2768-1จะได้ผลรวมดังนี้

ผลรวม Tolerance value Subassembly 2= tolerance value Part 1 + tolerance value Subassembly 1

= 0.150 + 0.200

= 0.350 mm.

ดังนั้น Total design V. = 0.350 mm.

วิธีการแจกแจงค่า Tolerance ใหม่ โดยการคำนวณ Proportionality factor (PF)

Proportionality factor (PF) = Stack-up of IMT / Total design V.

= 0.200/0.350

= 0.571

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Step ที่ 3 กำหนด initial manufacturing tolerance value (IMT) ของแต่ละชิ้นงาน

การคำนวณ IMT ของแต่ละชิ้นงาน = PF x Tolerance value

ตารางที่ 10 แสดงค่า tolerance value ตามการคำนวณ PF

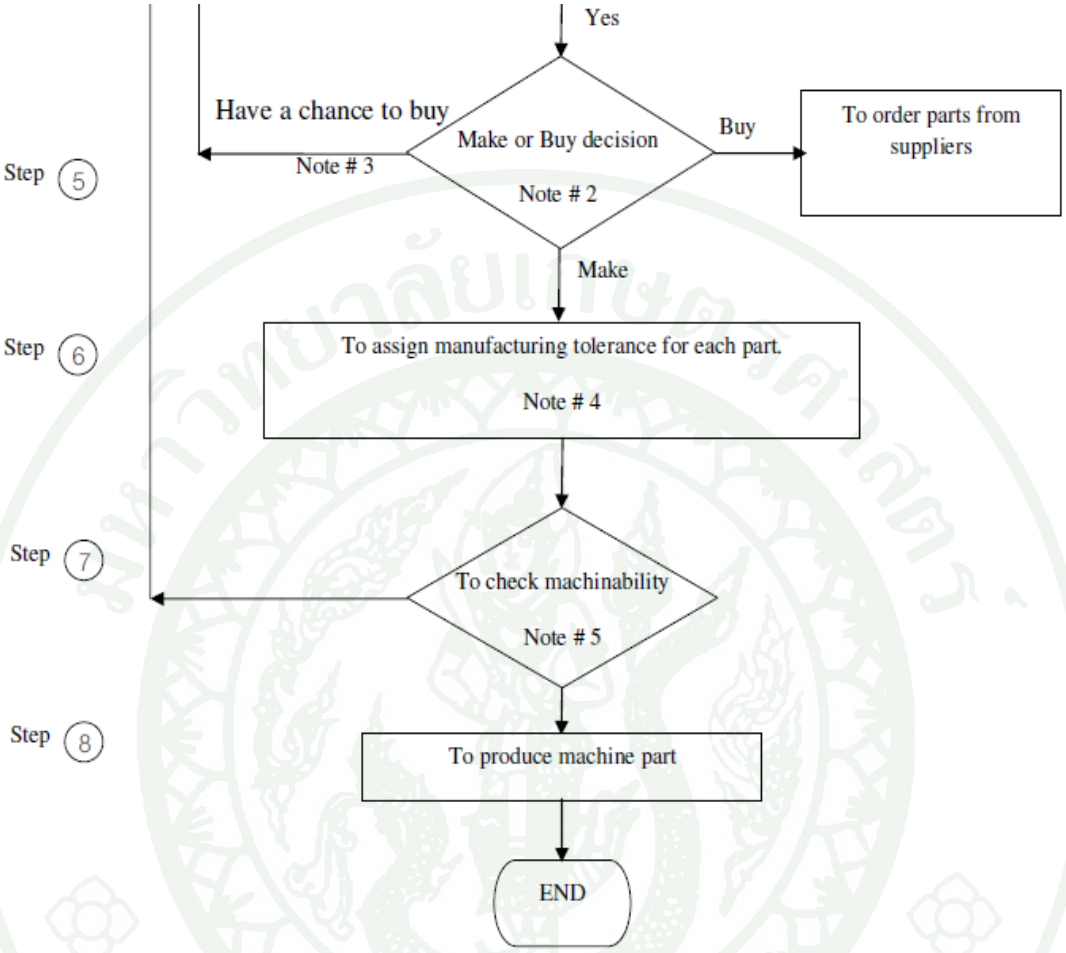
Part No.	Tolerance value	Proportionality factor	IMT of each part
	mm	(PF)	mm
Part 1	0.150	0.571	0.086
Subclass 1	0.200	0.571	0.114
Total	0.350		0.200

Step ที่ 4 พิจารณาค่า stack-up of IMT ≥ design v.

ถ้าใช่ (YES) ดำเนินการต่อใน Step ที่ 5

ถ้าไม่ใช่ (NO) กลับไปดำเนินการต่อใน Step ที่ 2 อีกครั้งโดยการคำนวณหาค่า Proportionality factor (PF) ใหม่ใน Step ที่2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 50 แสดงผังใน Step ที่ 5 ถึง 8 จากแผนผังทั้งหมดในภาพที่ 34

Step ที่ 5 Make or Buy decision ตัดสินใจในการเลือกระหว่าง การผลิตเองกับการซื้อสำเร็จรูป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะชิ้นงาน หากชิ้นงานนั้นมีรูปทรงที่สามารถซื้อสำเร็จได้ ก็จะสามารถลดเวลาการผลิตลงได้แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นได้แก่ ราคาชิ้นงาน ระยะเวลาในการสั่งซื้อ เป็นต้น

การตัดสินใจแบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1: ค่า tolerance ของชิ้นงานที่มีใน catalogue $\leq$ an initial manufacturing tolerance $\longrightarrow$ ดำเนินการสั่งซื้อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรณีที่ 2: ค่า tolerance ของชิ้นงานที่มีใน catalogue > an initial manufacturing tolerance → เลือกระหว่าง Have a chance to buy หรือ make the part.

กรณีเลือก Have a chance to buy จะต้องดำเนินการปรับค่า Tolerance ใหม่เพื่อให้ตรงกับชิ้นงานที่มีขายหรือให้มีค่าใกล้เคียง

กรณีเลือก Make the part ให้ดำเนินการต่อใน Stepที่ 6

Step ที่ 6 กำหนด Manufacturing tolerance สำหรับแต่ละชิ้นงาน โดยจะกำหนด Manufacturing tolerance value 10% (safety value) ของค่า IMT แต่ละชิ้นงาน จากนั้นพิจารณา ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด

โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดตามสมการดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด = 0.35+L/1000 หน่วย ไมโครเมตร

= (0.35+(L/1000))/1000 หน่วย มิลลิเมตร

โดยที่ L = Dimension (mm.)

Step ที่ 7 พิจารณา ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของจักรที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร ตามสมการดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด = (0.020/300) x L หน่วย มิลลิเมตร

โดยที่ L = Dimension (mm.)

Step ที่ 8 จาก Step ที่ (6) และ (7) จะทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดและเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ให้นำค่าทั้งสองที่คำนวณได้มารวมกัน ดังสมการต่อไปนี้

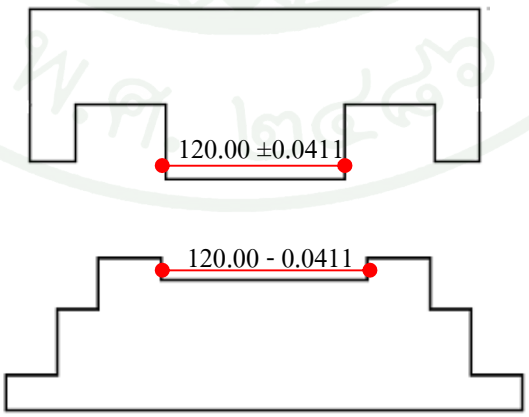
ค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมด = 2 x ((6)+(7))

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับค่า Manufacturing tolerance value 10% (safety value) หากค่าใดมีค่ามากกว่าให้ใช้ค่านั้นในการนำมาพิจารณาเพิ่มเติมจากค่าที่คำนวณได้ โดยการนำมาลบออกจากค่าที่คำนวณได้ข้างต้น เพื่อให้ค่าเผื่อมีความแม่นยำมากขึ้น

จากการจัดสรรค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธีการใหม่นี้จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากเทคนิคใหม่นี้แม้จะมีวิธีการในการจัดสรรถึง 8 step แต่ค่าที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการจัดสรรด้วยวิธี การแบ่งระดับ (Leveling Technique) แล้วจะมีค่าที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้มากกว่า เนื่องจากค่าเผื่อที่ได้จากวิธีการแบ่งระดับ(Leveling Technique)นั้นมีค่าน้อยลงไปเรื่อยๆตามลำดับชั้น ดังนั้นในกรณีที่ชิ้นงานประกอบมีจำนวน subclass มากๆ จะทำให้ค่าเผื่อที่ได้มีค่าที่ละเอียดมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อการนำไปผลิตจริง และอาจทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้นด้วย ซึ่งหากเปรียบเทียบกับเทคนิควิธีใหม่นี้ซึ่งมีการคำนวณเป็นขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังครอบคลุมถึงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด และค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร ซึ่งจะทำให้การผลิตสามารถผลิตชิ้นงานโดยกำหนดค่าเผื่อตามที่คำนวณได้จริง

จากผลการทดลองข้างต้น ค่าเผื่อที่ได้จะต้องนำมาวิเคราะห์ค่าเผื่อสำหรับงานการประกอบโดยต้องมีการกำหนดค่าเผื่อในกรณีที่แย่ที่สุด ในกรณีการสวมประกอบงาน ตัวอย่างเช่นจากตารางที่ 13 จะได้ค่าเผื่อจากวิธีการใหม่ โดย Part 1 = ±0.0411 และเมื่อนำมาประกอบกับ Part 2 บริเวณที่ประกอบจะต้องกำหนดค่าเผื่อในการกัดร่องให้มีค่าเผื่ออยู่ที่ -0.0411 เพื่อให้งานประกอบร่องชิ้นงานง่ายขึ้น



ภาพที่ 51 แสดงการกำหนดค่าเผื่อสำหรับร่องชิ้นงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การจัดสรรค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธีการใหม่นี้ สามารถนำมาจัดสรรค่าเผื่อสำหรับชิ้นส่วนงานประกอบซึ่งเทคนิคนี้ได้จัดสรรค่าเผื่อได้เหมาะสมกว่าวิธีการแบ่งระดับ(Leveling Technique) และยังพิจารณา ถึงค่าความไม่แน่นอน ในการวัด และความความเที่ยงตรงของเครื่องจักรกลในการผลิต เมื่อนำวิธีการนี้ใช้กับชิ้นงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นชิ้นงานในอุตสาหกรรมจริง พบว่าสามารถจัดสรรค่าเผื่อให้ชิ้นงานแต่ละชิ้นได้อย่างเหมาะสม สำหรับการนำไปผลิต ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้ และนำไปพัฒนาต่อ แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ นำไปใช้สำหรับการกำหนดค่าเผื่อสำหรับ ค่าเผื่อของขนาด (Dimension tolerance) เท่านั้น ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับ Geometric tolerance

ข้อเสนอแนะ

เทคนิควิธีการจัดสรรค่าเผื่อนี้ได้กำหนดขั้นตอนไว้อย่างชัดเจนโดยการเขียนแผนผังขั้นตอนซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ และง่ายต่อการนำไปพัฒนาต่อในด้านการทำซอร์ฟแวร์ในการคำนวณ ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณค่าได้ง่ายขึ้น และสะดวกในการใช้งานมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. **เอกสารการสอนคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.** แหล่งที่มา : http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20080605Charoen0.doc

ชุติเบศก์ แก้วสุกใส. 2554. **การกำหนดค่าเผื่อขนาดของชิ้นงาน Inspection Jig**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ สาขาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ใ

บัณฑิตย์ ปราณนัทธี และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต. 2551. **การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบอลแบริ่งในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บรรเลง ศรนิล และ สมนึก วัฒนศรียกุล. 2552. **ตารางคู่มืองานโลหะ.** ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ปรีชา. 2554. **Monte Carlo Method**. แหล่งที่มา :http://preecha11th.wordpress.com/ 2011, 7 มีนาคม 2556

พลเทพ เวงสูงเนิน และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต. 2551. **การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าความเผื่อในงานประกอบ HSA โดยวิธีการ DLM และ Monte Carlo Simulation Method.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พิวัฒน์ เนาวรัตน์กูลชัย. 2554. **การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของชิ้นงานแผ่นหัวอ่านเขียน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชาญ วีรชัยสุนทร.2556. **Wire Cut.** แหล่งที่มา: http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/_Wire _Cut_1.pdf, 2 มีนาคม 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักงานเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2556. **บทที่ 4. ความพอดีและพิกัดความเผื่อ (Fits and Tolerances)**. แหล่งที่มา: pioneer.netserv.chula.ac.th/.../Ch4%20Fits%20and %20tolerances.pdf, 1 มีนาคม 2556

สำนักงานเทคโนโลยีสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2556. **บทที่ 5. Geometry tolerancing**. แหล่งที่มา: pioneer.netserv.chula.ac.th/.../ Ch4%20Fits%20and%20tolerances.pdf, 1 มีนาคม 2556

สุดา ลัดดาศิริ.2551. **Computerized Numerical Control รายงานวิชา Seminar Computer Engineering (CPE489).** สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

อดิเทพ ชูศรี และ สมชาย พัวจินดาเนตร. 2554. **การแก้ไขปัญหาการสึกหรอของช่องว่างหลังประกอบประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์ดีเซล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chase, K. W. 1999. **Tolerance Allocation Methods for Designers**, ADCAT Report No 99-6.

Chase, K. W. 1988. **Design Issues Mechanical Tolerance Analysis**, ADCAT Report No 87-5.

Chungchoo, C. 2013a. **An Application of Finished Test Pieces in ISO 10791-7 for Performance Evaluation of CNC Machining Centers**, Proceedings of the 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICOME 2013), Organized by Burapha University, 16-18 October 2013, Pattaya, Chonburi, CD-ROM.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chungchoo, C. 2013b. **An Application of Finished Test Pieces in ISO 13041-6 for Performance Evaluation of CNC Turning Centers**, Proceedings of the 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICOME 2013), Organized by Burapha University, 16-18 October 2013, Pattaya, Chonburi, CD-ROM.

ISO/TC 213 . 2012. **ISO 1101:2012**, Third edition, ISO copyright office, 15 April 2012

Kumar, A. 2010. **A Tolerance Allocation Framework Using Fuzzy Comprehensive Evaluation and Decision Support Processes**, Master Thesis, Georgia Institute of Technology.

Lin, C. Y., Huang W. H., Jeng M. C., and Doong J. L. 1997. **Study of An Assembly Tolerance Allocation Model based on Monte Carlo Simulation,** Journal of Material Processing Technology, Vol. 70, pp. 9 -16.

Mitutoyo. **The LEGEX 300/500/700/900/1200** Available: http://www.mitutoyo.com/

Pawar S. Y., Chavan H. A. and Chavan S. P. 2011. **Tolerance Stack Up Analysis and Simulation using Visualization VSA**, International Journal of Advanced Engineering Technology, Vol. 2, Issue 1, pp. 169-175.

Setco Sales Company. SETCOTM and MASTER/SETCOTM are trademarks of SETCO Sales Company. 2004. **HS Series Precision Hardened Way Slides.** Available: http://www.setco.com/_setco/assets/File/pdf/M-0003-3_HS.pdf

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

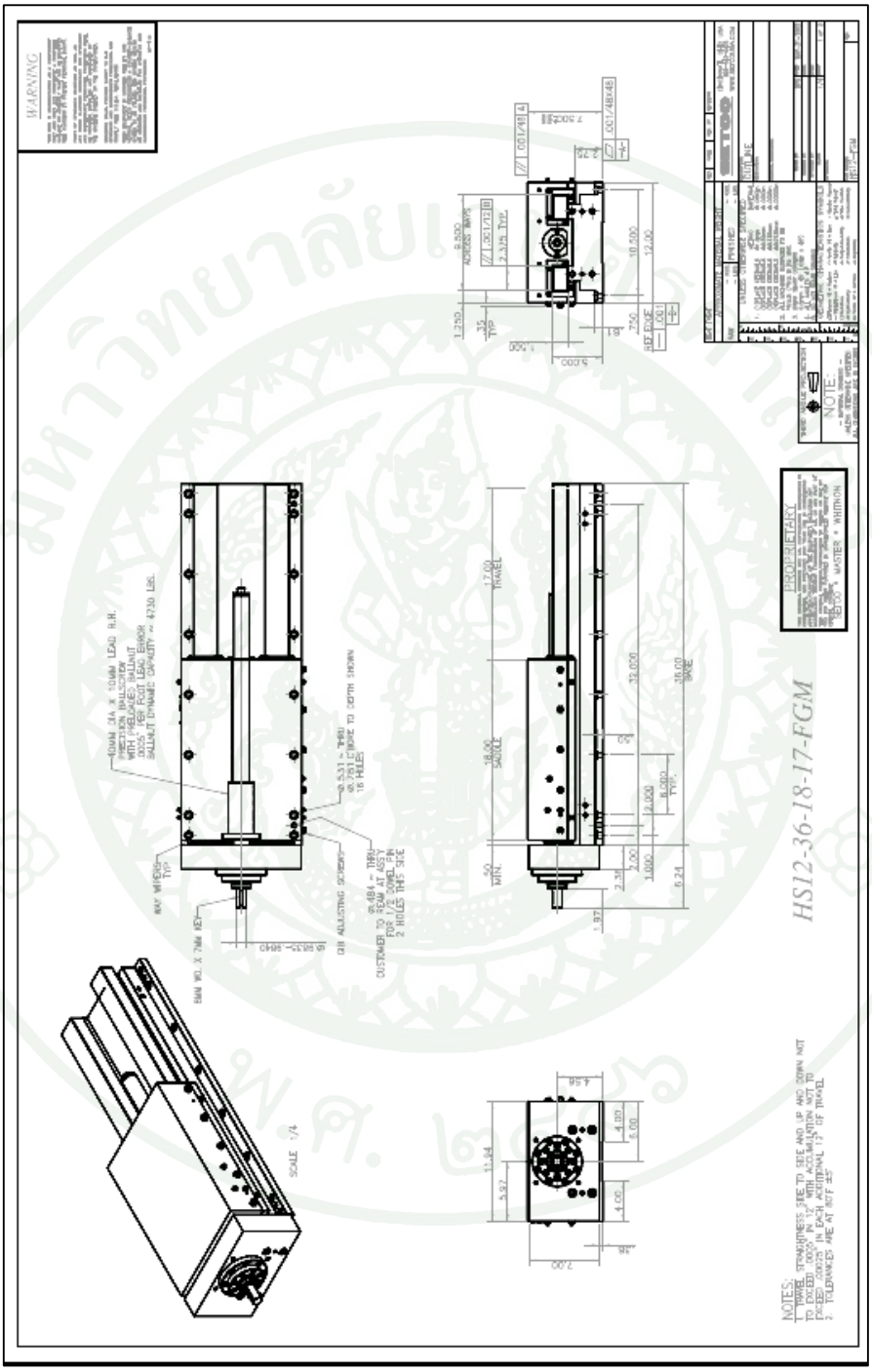
ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

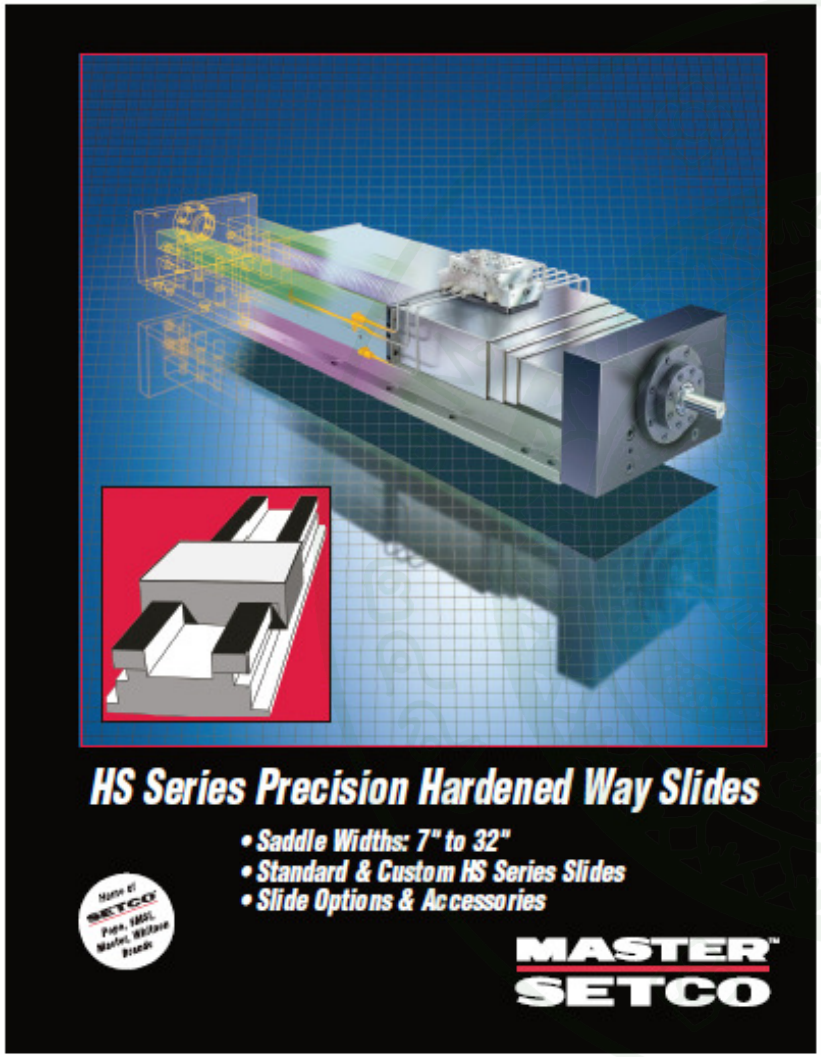
ภาคผนวก ก

ข้อมูลชิ้นงานกรณีศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



Production Slide Specialists

Dovetail, Hardened Way & Linear Bearing Slides

- 8 Sizes of Tooling, Utility & Precision Dovetail Slides — 147 Standard Models!
- 7 Sizes of Hardened Way Slides
- 6 Sizes of Linear Bearing Slides
- Standard & Custom Precision Slides
- Rise & Fall Slide Modules
- Custom Spindle/Slide Arrangements

✓Check us out!
Visit our website at www.setcousa.com

SETCO

We Meet Your Needs & Expectations

The SETCO manufacturing plant is located in Cincinnati, Ohio. This 40,000 square foot facility is dedicated to producing spindles, dovetail, hardened steel, linear ball slides, modules and combination spindle/slide assemblies.

With nearly 100 years of experience, SETCO has been providing single source solutions for all industries and applications.

The new HS Hardened Way Slide design featured in this catalog provides more standard sizes that can be shipped to you quicker, offering more drive variations that adapt to your positioning devices, and a customization technique to make your special machine application come to reality quickly and with increased reliability.

SETCO is focused as world leaders in design, manufacture, and rebuild of spindles, slides, and modules. Our goal is to provide "solution partnerships" that impact the quality of your product and your bottom line. We want to meet your needs and exceed your expectations through teamwork engineering, continuous improvement, and the use of the latest manufacturing technologies.

Easier Slide Selection

To assist in your design and selection process, we've included our full line of SETCO Precision Hardened Way Slides in one comprehensive catalog. We've also included a full array of drive and accessory packages, illustrations, drawings, charts, design data and working solution photos.

To help speed up your slide design and purchasing process, an Electronic supplement of the entire catalog, including detailed CAD drawings, can be downloaded from our website.

Our staff of slide experts is ready to assist with your toughest linear and rotary motion applications. The SETCO Solution Team can recommend the exact slide – including dovetail, hardened way, and linear bearing or slide/spindle combination – that matches your application needs.

When you need technical expertise in slides, call the leader. Our customer service and technical support people are readily available to answer your questions. For details, visit our website: www.setcousa.com

Note: *Due to continual improvements, specifications are subject to change without notice. For current specifications, request a certified print when placing your order.*

© 2004 Setco Sales Company. SETCO® and MASTER/SETCO® are trademarks of SETCO Sales Company.

Quick-Reference Index

HS Standard and Custom Slides	• Standard Features	Page 4-6
HS How to Order	• Slide Model Code Legend • General Dimensional Data	Page 7-9
HS Drive Option	• Ballscrew, Hand Feed, & Motor Drive	Page 10-11
HS Drive Options	• Externally Mounted Cylinders	Page 12
HS Drive Options	• Internally Mounted Cylinders	Page 13-14
HS Drive Options	• Heavy Duty Cylinder JIC Package	Page 15
HS Accessories	• Way Covers, Way Wipers, Lubrication, Tapered Gib, Special Machining, Switches, Positive Stops, Scales, & Mounting Plates	Page 16-22
HS HS Slide and Spindle Combinations		Page 23
HS Maintenance and Design Data		Page 24-29
HS Application Photos		Page 30-31

To Place Your Order
Phone: 1-800-543-0470 Fax: 1-513-941-6913
Email: sales@setcousa.com

HS Series

Introducing the HS Series Hardened Way Slides

100% Computer Designed Using 3D Modeling

Standard Features

- 100% computer designed using 3D modeling.
- Designed for maintainability.
- Seven pre-engineered base widths of 7" through 32".
- Precision saddle top and way surfaces.
- Cast iron base and saddle.
- Hardened rails manufactured from high carbon steel and case hardened to 58/62 Rc.
- Hardened rails are bolted and chemically adhered to the base.
- Turcite® coating lowers coefficient of friction and increases load carrying capacity.
- Way wipers.
- Full saddle length cast iron keepers.
- Full saddle length adjustable straight gib.

Standard HS Series Slides and Options

- **Six to eight week shipment.**
- **Wide range of sizes and accessories.**

Shipment in six to eight weeks on selected models. Slide widths are available in 7", 9", 12", 15", 18", and 24". Saddle lengths are available in various lengths. Base lengths are available in 3" or 6" increments up to 96". Available with no-feed, ballscrew or external cylinder drive package and accessories that include limit switches, automatic lubrication, valley wipers, metal way covers, and accordion way covers.

Ideal for stand alone machines, shuttle devices, feeding applications with high frequency cycles, and applications that require high rigidity and heavy loading.

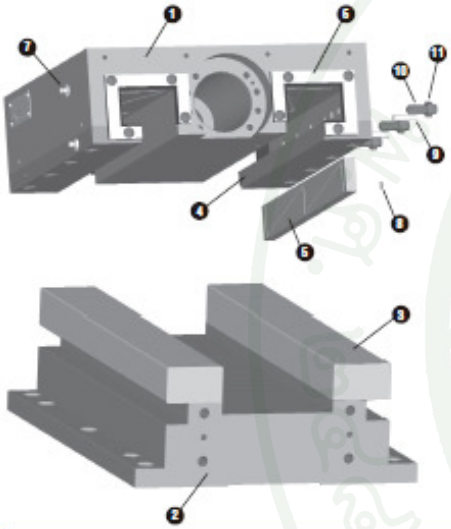
Custom HS Series Slides and Options

- **Engineered around a standard product building block.**
- **Allows modification to "Standard" Series Slides to meet specific application requirements.**
- **Reduces excessive lead time and helps control project costs.**

The Custom HS Slide Series is designed around the standard baseline platform, with the addition of a 32" slide width. Base lengths are available up to 120" inches. This modular design allows our Team of Solutions Engineers the flexibility to custom design a slide that will match your application needs in size and capability, but without excessive lead times and cost premiums that are associated with custom designed slides.

Custom HS Slides are factory engineered, manufactured, assembled, runoff and shipped to you ready to install. Lead time is contingent on the complexity of your slide design.

Identification of Basic Slide



1. Saddle
2. Base
3. Hardened Rails
4. Keepers
5. Straight Gib
6. Way Wipers
7. Lubrication Fittings
8. O-Ring
9. Gib Pin
10. Gib Adjusting Screws
11. Gib Screw Nuts

Designed and Built for Ease of Maintenance

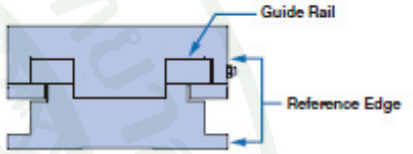
- The ballscrew can be removed and replaced without major disassembly and tear-down. In most cases, the saddle assembly and customer mounted tooling do not need to be removed for ballscrew maintenance.
- The ballscrew is removed through the bearing support bracket from the front of the slide.
- The "ease of maintenance" design of the HS-series slides saves time and can reduce your maintenance costs.

Ballscrew access is from the front of the slide for ease of maintenance.

Single Guide Rail Design *(Standard)*

All HS slides provide a single guide rail design for superior tracking accuracy. The single rail design maximizes accuracy because the saddle movement is controlled by one support side wall for smoother positioning.

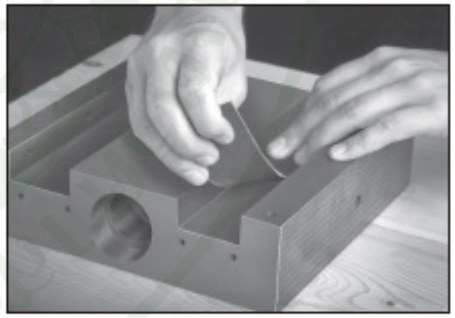
As standard, all HS-series slides have a guaranteed straightness of travel(side-to-side and up-and-down) not to exceed 0.0005" in 12 inches, and with an accumulation not to exceed 0.00025" in each additional 12" of travel.



Low-Friction Turcite™ Material *(Standard)*

As standard, HS-series slides are equipped with low friction, self-lubricating Turcite bound to the gib and saddle way surfaces to reduce the effects of friction on the slide assembly. This low-friction bearing material minimizes "stick-slip", and makes wear negligible on guiding and sliding surfaces.

The use of a low-friction Turcite doubles the load carrying capacity of a slide. The coefficient of friction with low-friction is 0.10; this drops to 0.05 when combined with a forced lubrication system. (When neither is used, the coefficient of friction is 0.30.)



HS Series

Slide Model Code
How To Order Slide

Example: HS18-42-27-14-HSR-BE-A-F-X-Q [DKS]

Slide Series	Width	Base Length	Saddle Length	Travel	Drive	Accessories
HS		–	–	–	–	–

Standard HS Series
Shipment: 6 to 8 weeks

- No Drive (B)
- Precision Ground Ballscrew (FGM)
- External Hydraulic Cylinder (HSR)
- External Air Cylinder (ASR)

Custom HS Series
Shipment: Consult Factory

- Internally Mounted Hydraulic Cylinder (DSR)
- Partially Internally Mounted Hydraulic Cylinder (PDSR)
- Internally Mounted Air Cylinder (DSRI)
- Partially Internally Mounted Air Cylinder (PDSRI)
- Heavy Duty Cylinder (HI-JIC)
- Air Cylinder with Hydro-Check (ACH)
- Belt Drive Package (U)
- Direct Drive Package (M)
- Servo Cylinder Drive (*)
- Hand Feed Drive (FSI)
- Special Ballscrew (*)
- Special Pressure Cylinder (*)

Standard HS Series
Shipment: 6 to 8 weeks

- Valley Wipers (W)
- Accordion Covers (BE)
- Metal Covers (C)
- Automatic Lubrication (A)
- Limit Switches (Plunger Actuated)
  (3) Travel < Saddle Length (F)

Custom HS Series
Shipment: Consult Factory

- Tapered Gib (X)
- Drilling (D)
- T-Slot (S)
- Keyway (K)
- Positive Stop (Q)
- Keeper Clamps (*)
- Shot Pin (*)
- Invert Mount (I)
- Limit Switches (Plunger Actuated)
  (2) End Travel (E)
  (3) Travel < Saddle Length (F)
  (3) Travel > Saddle Length (G)
- Special Limit Switches (*)
- Special Tracking Tolerances (*)
- Compound Slide (*)
- Linear Scales (*)
- Ballscrew Protectors (*)

(*) Consult Factory for Special Model Code.

Easy Steps To HS Slide Selection

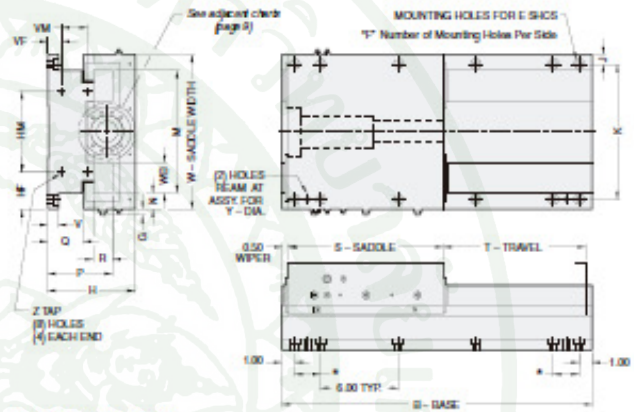
1. Choose slide width (inches).
2. Choose saddle length (inches).
3. Choose slide travel (inches).
4. Choose drive and accessories.

- Base length equals the sum of steps 2 and 3 plus 1" for basic models, ballscrew models, and cylinder drives.
- To determine base length when accordion way covers or metal covers are selected, see the corresponding accessory page.

To Place Your Order
Phone: 1-800-543-0470 Fax: 1-513-941-6913
Email: sales@setcousa.com

HS Series

General Dimensional Data



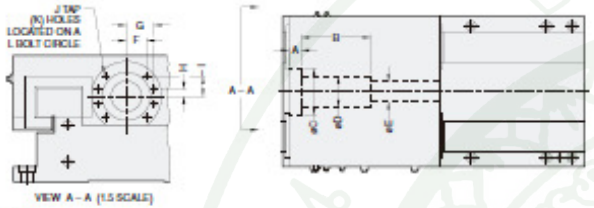
Note: Charted dimensions do not include "Internally Mounted Cylinder" option.

HS Series Slides

MODEL	DIMENSIONS IN INCHES																	
Basic	Height H	E	G	J	K	M	P	Q	R	V	Y	N	WB	HF	HM	VF	VM	Z
HS 7 B	4.50	3/8	0.38	0.50	6.00	5.50	3.13	1.88	0.75	0.63	0.38	0.75	1.25	1.62	3.75	0.88	1.44	3/8-16
HS 9 B	5.25	3/8	0.38	0.50	8.00	6.75	3.13	1.88	0.75	0.88	0.38	1.13	1.25	2.00	5.00	0.88	1.50	3/8-16
HS 12 B	7.50	1/2	0.44	0.75	10.50	9.50	5.00	2.75	1.50	0.81	0.50	1.25	2.38	2.88	6.25	1.06	2.00	1/2-13
HS 15 B	7.50	1/2	0.44	0.75	13.50	12.00	5.00	2.50	1.50	0.81	0.50	1.50	2.38	3.25	8.50	0.75	2.25	1/2-13
HS 18 B	10.25	3/4	0.62	1.00	16.00	14.50	7.00	3.81	2.00	1.38	0.62	1.75	4.00	4.75	8.50	1.44	3.00	3/4-10
HS 24 B	10.25	3/4	0.62	1.00	22.00	19.50	7.00	3.81	2.00	1.38	0.62	2.25	4.00	6.00	12.00	1.06	2.75	3/4-10
HS Sp slides are only available in the Custom HS Series Slides.																		
HS 32 B	11.00	3/4	0.62	1.00	30.00	27.50	7.50	4.25	2.00	1.50	0.62	2.25	4.00	10.0	12.0	1.25	2.75	3/4-10

HS Series

Actuator Dimensional Data



HS Series

MODEL	DIMENSIONS IN INCHES												
Basic	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
HS7	0.50	2.00	2.00	1.13	0.88	0.53	0.75	0.00	0.53	M5 x 0.80	6	1.50
HS9	0.50	2.50	2.75	1.63	1.25	0.71	1.00	0.00	0.71	M5 x 1.00	6	2.00
HS12	0.63	5.13	3.88	2.50	1.75	1.09	1.48	0.40	1.09	M8 x 1.25	8	3.07
HS15	0.63	5.13	3.88	2.50	1.75	1.09	1.48	0.40	1.09	M8 x 1.25	8	3.07
HS18	0.75	6.00	5.13	3.63	2.75	1.50	2.05	0.62	1.50	M10 x 1.50	8	4.25
HS24	0.75	6.00	5.13	3.63	2.75	1.50	2.05	0.62	1.50	M10 x 1.50	8	4.25
HS32	0.75	6.00	5.13	3.63	2.75	1.50	2.05	0.62	1.50	M10 x 1.50	8	4.25

Saddle and Base Dimensional Data

HS Standard

MODEL	DIMENSIONS IN INCHES								Lb.	
Basic	W-Width	S - Saddle Length				B - Base		Base Increments	Weight Per Inch	
						Min.	Max.		Saddle	Base
HS7 ☐	7.00	7.00	9.00	12.00	15.00	12.00	48.00	3" to 30" length, 6" beyond	3.5	3.4
HS9 ☐	9.00	9.00	12.00	15.00	18.00	12.00	60.00	3" to 30" length, 6" beyond	6.9	6.4
HS12 ☐	12.00	12.00	18.00	24.00	-	15.00	84.00	3" to 60" length, 6" beyond	9.8	10.0
HS15 ☐	15.00	15.00	21.00	30.00	-	18.00	84.00	3" to 60" length, 6" beyond	12.1	12.2
HS18 ☐	18.00	18.00	27.00	36.00	-	24.00	96.00	6" to 60" length, 12" beyond	17.1	18.4
HS24 ☐	24.00	24.00	36.00	48.00	-	30.00	96.00	6" to 60" length, 12" beyond	24.9	25.8

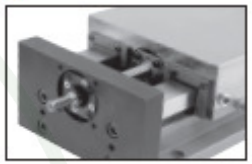
HS Custom

MODEL	DIMENSIONS IN INCHES					Lb.	
Basic	W-Width	S - Saddle		B - Base		Weight Per Inch	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Saddle	Base
HS7 ☐	7.00	7.00	96.00	12.00	120.00	3.5	3.4
HS9 ☐	9.00	9.00	96.00	12.00	120.00	6.9	6.4
HS12 ☐	12.00	12.00	96.00	15.00	120.00	9.8	10.0
HS15 ☐	15.00	15.00	96.00	18.00	120.00	12.1	12.2
HS18 ☐	18.00	18.00	96.00	21.00	120.00	17.1	18.4
HS24 ☐	24.00	24.00	96.00	27.00	120.00	24.9	25.8
HS32 ☐	32.00	32.00	96.00	36.00	120.00	45.0	34.5

Drive Options

Precision Ground Thread Ballscrew

Model Code: FGM



A Precision Ground Thread Ballscrew package with integral preloaded single ballnut is recommended for applications where:

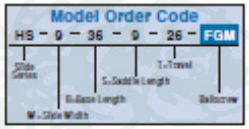
- Optimum positioning accuracy and repeatability are required.
- Backlash cannot be tolerated.
- Optimum stiffness and smooth linear motion are required.

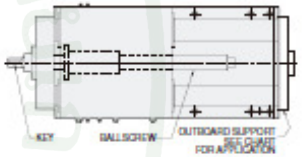
The lead accuracy of the precision ballscrew is within 0.0005 in./ft. cumulative, with the integral preloaded single ballnut providing zero backlash. The ballscrew is supported by multiple precision bearing arrangement.

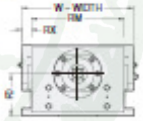
To protect the ballscrew from contaminants, optional wipers, accordion way covers or metal way covers are available.

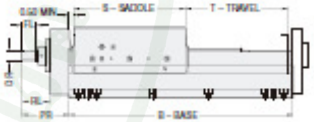
Applications requiring long travels or high traverse rates may require a outboard support mounted opposite the drive.

Note: For Force and Torque requirements see page 27.









MODEL	DIMENSIONS IN INCHES								DIMENSIONS IN MILLIMETERS			
	Max. Ballscrew Length Standard	Max. Ballscrew Length Custom	FD	FL	RL	PR	RX	RM	W	DR	Key	Ballscrew Size	Max. Travel Without Outboard Support
HS7 ☐ FGM	60	96	2.00	0.98	1.38	2.34	0.61	6.19	7.00	10.00	3mm x 16mm	16mm x 5mRH Ground	16.0
HS9 ☐ FGM	60	96	2.00	1.38	2.01	4.55	0.00	8.94	9.00	12.00	4mm x 16mm	20mm x 5mRH Ground	26.0
HS12 ☐ FGM	60	96	4.55	1.97	3.06	6.26	0.00	11.94	12.00	26.00	8mm x 25mm	40mm x 10mRH Ground	30.0
HS15 ☐ FGM	60	96	4.55	1.97	3.06	6.26	0.00	14.94	15.00	26.00	8mm x 25mm	40mm x 10mRH Ground	30.0
HS18 ☐ FGM	60	96	6.50	2.76	4.50	8.56	0.00	17.94	18.00	36.00	10mm x 32mm	50mm x 12mRH Ground	30.0
HS24 ☐ FGM	60	96	6.50	2.76	4.50	8.56	0.00	23.94	24.00	36.00	10mm x 32mm	50mm x 12mRH Ground	30.0
HS32 ☐ FGM	N/A	96	6.50	2.76	4.50	8.56	4.00	29.94	32.00	36.00	10mm x 32mm	50mm x 12mRH Ground	30.0

ภาคผนวก ข

ค่าพิกัดเผื่อ ตาม DIN ISO 2768-1 (1991-06)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าพิกัดเผื่อทั่วไป สำหรับขนาดความยาวตาม DIN ISO 2768-1 (1991-06)

Tolerance class		Permissible deviations for basic size range							
Designation	Description	from 0,5* up to 3	over 3 up to 6	over 6 up to 30	over 30 up to 120	over 120 up to 400	over 400 up to 1000	over 1000 up to 2000	over 2000 up to 4000
f	fine	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	--
m	medium	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	coarse	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	very coarse	--	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8
* For nominal size below 0,5 mm, the deviation shall be indicated adjacent to the relevant nominal size(s).									

ค่าพิกัดเผื่อทั่วไป สำหรับรัศมีความโค้งและลบคม

Tolerance class		Permissible deviations for basic size range		
Designation	Description	from 0,5* up to 3	over 3 up to 6	over 6
f	fine	± 0,2	± 0,5	± 1
m	medium			
c	coarse	± 0,4	± 1	± 2
v	very coarse			
* For nominal size below 0,5 mm, the deviation shall be indicated adjacent to the relevant nominal size(s).				

ค่าพิกัดเผื่อทั่วไป สำหรับขนาดมุม

Tolerance class		Permissible deviations for ranges of lengths in millimetres of shorter side of the angle concerned				
Designation	Description	up to 10	over 10 up to 50	over 50 up to 120	over 120 up to 400	over 400
f	fine	± 1º	± 0,5º	± 0,333º	± 0,166º	± 0,083º
m	medium					
c	coarse	± 1,5º	± 1º	± 0,5º	± 0,25º	± 0,166º
v	very coarse	± 3º	± 2º	± 1º	± 0,5º	± 0,333º

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

ข้อมูลเครื่องมือวัด CMM

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Coordinate Measuring Machines

The fruits of leading-edge precision measuring technology capturing three dimensions

LEGEX Series
SERIES 356 — Ultra-high Accuracy CNC CMM

Achieving premium performance, the fixed bridge structure and precision air bearings running on rigid guideways ensure superior stability of motion and ultra-high measuring accuracy. Machines in this series are suitable for complex, small- to medium-sized workpieces such as gears, bearings, lenses, dies and scroll rotors which must be inspected to exceptionally high dimensional accuracy. The MPP-310Q probe adds a scanning function to the standard point-to-point measurement.

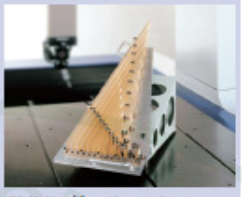
- The most accurate CNC CMM family is launched, made possible by rigorous analysis of all possible error-producing factors and elimination or minimization of their effects.
- A newly developed, ultra-high accuracy crystallized-glass scale with the ultra-low expansion coefficient of 0.01×10^{-6}/K is used on each axis.
- The fixed bridge structure and precision air bearings running on highly rigid guideways ensure superior motion stability and ultra-high geometrical accuracy.
- Many types of optional probe systems are available, including touch-trigger probes, laser scanning probes, and vision measuring probes.

LEGEX 574

LEGEX 774

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mitutoyo original standard type glass scale (above) and ultra-high accuracy glass scale with virtually zero thermal expansion (below)



CMM calibration using a virtually zero thermal expansion glass gage

Technical Data

Length standard: Ultra high accuracy linear encoder (glass scale with virtually zero thermal expansion coefficient)
Guide system: Air bearing
Max. drive speed: 200mm/sec
Max. acceleration: 1000mm/sec^2
Air pressure: 0.4MPa (0.5MPa: LEGEX 9106)
Air consumption: 120L/min

Guaranteed accuracy temperature environment*

Temperature range		20±2°C
Temperature change	Per hour	0.5K
	Per 24 hours	1.0K
Temperature gradient	Vertical	1.0K/m
	Horizontal	1.0K/m

* When using temperature compensation system.

Main Unit Startup System

This machine incorporates a startup system (relocation detection system), which disables operation when an unexpected vibration is applied or the machine is relocated. Be sure to contact your nearest Mitutoyo prior to relocating this machine after initial installation. Refer to page VIII for details.

SPECIFICATIONS

Model No.		LEGEX 574	LEGEX 774	LEGEX 776	LEGEX 9106	LEGEX 12128
Range	X-axis	500mm	700mm	700mm	900mm	1200mm
	Y-axis	700mm	700mm	700mm	1000mm	1200mm
	Z-axis	450mm	450mm	600mm	600mm	800mm
Resolution		0.01µm	0.01µm	0.01µm	0.01µm	0.01µm
Accuracy*	$E_{0,MPE}$	(0.35+L/1000)µm	(0.35+L/1000)µm	(0.35+L/1000)µm	(0.35+L/1000)µm	(0.6+1.5L/1000)µm
	$P_{FTU,MPE}$	0.45µm	0.45µm	0.45µm	0.45µm	0.6µm
	MPE_{THP}	1.4µm	1.4µm	1.4µm	1.4µm	1.8µm
Work table	Material	Cast iron	Cast iron	Cast iron	Cast iron	Cast iron
	Size	550 x 750mm	750 x 750mm	750 x 750mm	950 x 1050mm	1250 x 1250mm
	Tapped insert	M8 x 1.25mm	M8 x 1.25mm	M8 x 1.25mm	M8 x 1.25mm	M8 x 1.25mm
Workpiece	Max. height	706mm	696mm	867mm	861mm	1056mm
	Max. loading	250kg	500kg	500kg	800kg	1000kg
Mass (main unit)		3900kg	5000kg	5100kg	6500kg	10500kg

* The machine is equipped with the temperature compensation system.
According to ISO 10360-2/4/5 methods when using the MPP-310Q probe system.
L: Measuring length (mm)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

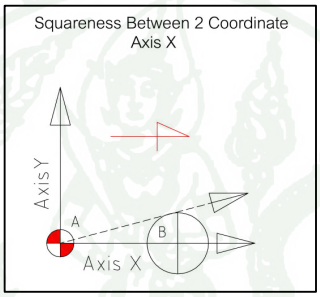
ภาคผนวก ง

ข้อมูลเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

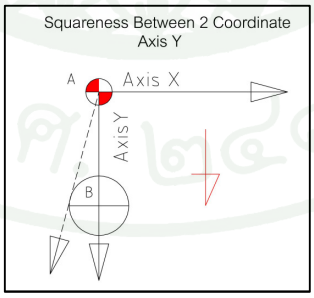
ข้อมูลของการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร CNC Machining Center (BRAND HARD FORD) Model: VMC–1600 S ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง3 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักรที่ส่งผลต่อระยะประกอบของชิ้นงาน Inspection Jig โดยตรง มีดังนี้

- Position Accuracy คือ ค่าความเที่ยงตรงของตำแหน่ง
- Squareness Between 2 Coordinate Axis (X,Y) คือ ค่าการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร CNC Machining Center ในทิศทางแนวแกน X และ ทิศทางแนวแกน Y พร้อม ๆ กัน ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง1 และ ภาพผนวกที่ ง2 Repeatable Positioning คือ ค่าการทำซ้ำในตำแหน่งเดิม



ภาพผนวกที่ ง1 ค่า Squareness Between 2 Coordinate Axis X

โดยที่การเคลื่อนที่ของเครื่องจักร CNC Machining Center ในทิศทางแนวแกน X ค่า Squareness Between 2 Coordinate ของแกน Y จะส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน



ภาพผนวกที่ ง2 ค่า Squareness Between 2 Coordinate Axis Y

โดยที่การเคลื่อนที่ของเครื่องจักร CNC Machining Center ในทิศทางแนวแกน Y ค่า Squareness Between 2 Coordinate ของแกน X จะส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ง3 เครื่องจักร CNC Machining Center

Machine Error	
Description	Axis X (mm.)
Position Accuracy	± 0.02/300
Squareness 2 Coordinate (X,Y)	± 0.03/300
Repeatable Positioning	± 0.004

ภาพผนวกที่ ง4 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร CNC Machining Center

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตีพิมพ์ผลงาน

1. The 5th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 17-19 December 2014, The Empress, Chiang Mai, Imperial 2 (Applied Mechanics, Materials and Manufacturing). AMM007.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกมุทตรัยยศ จูตะเสน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 มีนาคม 2529
สถานที่เกิด	อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.(วิศวกรรมศาสตร์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรโครงการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท อินทีกรา จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์