หน่วยที่ 6

สัญลักษณ์พิกัดทางด้านรูปทรง GD&T

(Geometric Dimensioning Tolerance)

หัวข้อเรื่อง (Topics)

6.1 ความหมายของสัญลักษณ์พิกัดทางด้านรูปทรง GD&T

6.2 สัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum)

6.3 กรอบควบคุมสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน (Feature control frame)

6.4 สัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน (GD&T Symbols)

6.5 สัญลักษณ์การปรับปรุง (Modifier Symbols)

แนวคิดสำคัญ (Main Idea)

สัญลักษณ์พิกัดด้านรูปทรง GD&T มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตในลักษณะที่เป็นชิ้นส่วนประกอบ เพราะการให้ค่าพิกัดความเผื่อของขนาดอาจไม่เพียงพอเพราะในระหว่างการผลิตผู้ผลิตชิ้นงานวัดขนาดตรงตามค่าพิกัดทุกจุดแต่ไม่สามารถประกอบได้เนื่องจากชิ้นงานเกิดการโก่งงอ ดังนั้นถ้ามีการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางด้านรูปทรงก็จะทำให้งานประกอบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

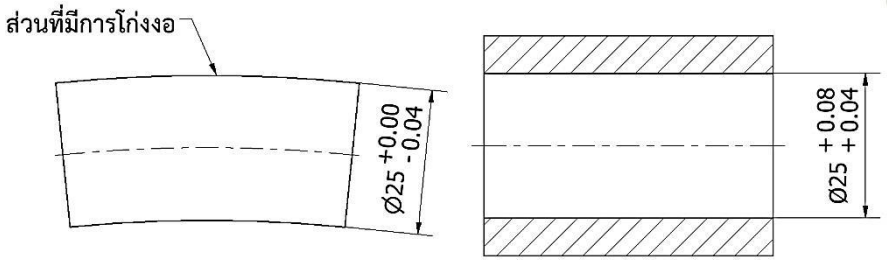
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

1. **ด้านความรู้**
   - 1.1 บอกความหมายของสัญลักษณ์พิกัดทางด้านรูปทรง GD&T ได้
   - 1.2 บอกสัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum)ได้
   - 1.3 อธิบายลักษณะของกรอบควบคุมสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนได้
   - 1.4 บอกสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนได้
   - 1.5 บอกสัญลักษณ์การปรับปรุงได้

2. **ด้านทักษะการปฏิบัติงาน**
   - 2.1 เขียนสัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้มได้
   - 2.2 เขียนกรอบควบคุมสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนทางด้านรูปทรงได้

6.1 ความหมายของสัญลักษณ์พิกัดทางด้านรูปทรง GD&T

ปัจจุบันงานอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบหลายชิ้น เช่นอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องจักรกล เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนเครื่องกล เป็นต้น การประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะยากหรือง่ายขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน ในบางครั้งฝ่ายผลิตได้ทำการผลิตและตรวจสอบขนาดของชิ้นงานตรงกับขนาดที่กำหนดไว้แต่ไม่สามารถสวมประกอบกันได้ ก็เนื่องด้วยอาจจะมีข้อผิดพลาดทางด้านรูปทรงที่มีความคลาดเคลื่อน เช่นการโก่งงอ ความไม่ได้ฉากของชิ้นส่วน หรือการที่ชิ้นส่วนที่มีบ่าไม่ร่วมศูนย์กันเป็นต้น

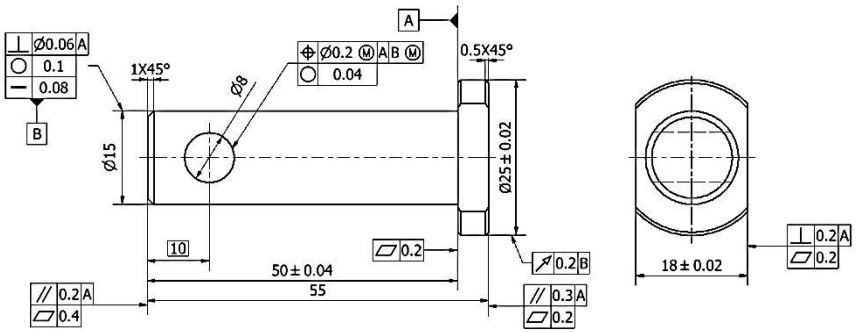


ภาพที่ 6.1 งานเพลาโก่งงอ

สัญลักษณ์พิกัดทางด้านรูปทรง GD&T (Geometric Dimensioning Tolerance) หมายถึงการกำหนดการควบคุมชิ้นส่วนทางด้านรูปทรง (Form) การจัดวางตำแหน่งของชิ้นส่วน (Location) การจัดวางทิศทาง (Orientation) ความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุน (Runout) และการควบคุมรูปโครงร่างใดๆ (Profile) ลงในแบบงาน

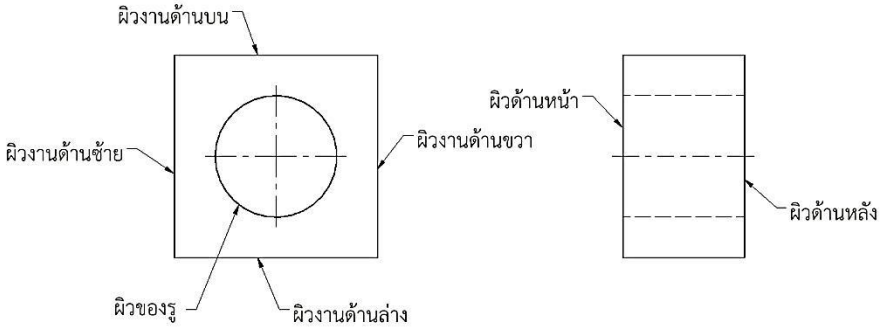
ขนาดและสัญลักษณ์ GD&T จะถูกกำหนดลงไปที่ Feature และ Feature of Size เป็นหลัก โดยจะมีการกำหนดขนาดและสัญลักษณ์ GD&T ดังต่อไปนี้

1. การควบคุมรูปทรง (Form Control)
2. การควบคุมการจัดวางทิศทาง (Orientation Control)
3. การควบคุมการจัดวางตำแหน่ง (Location Control)
4. การควบคุมขนาด (Size Control)



ภาพที่ 6.2 การเขียนสัญลักษณ์ GD&T

Feature คือ การระบุส่วนต่างๆ ทางกายภาพของชิ้นส่วนเช่น ผิวของรู ผิวของร่อง ผิวทรงกระบอก หรือชิ้นส่วนสี่เหลี่ยม (ผิวเรียบสองผิว)

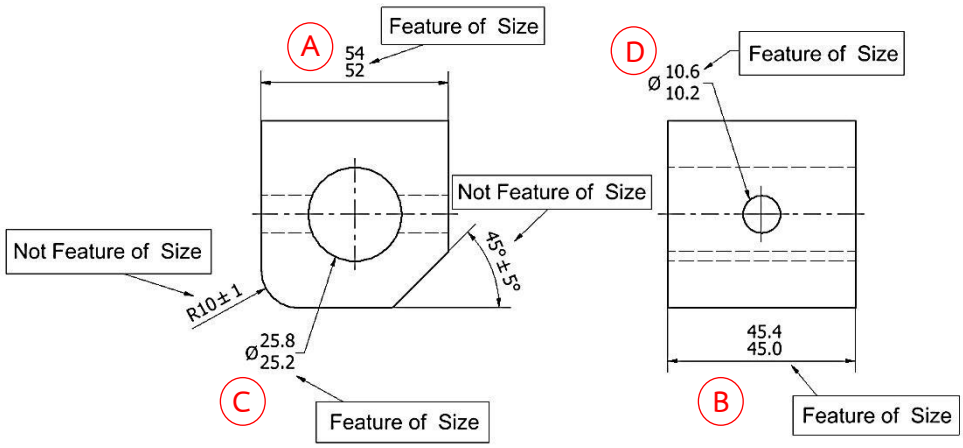


ภาพที่ 6.3 การระบุผิวทางกายภาพ

Feature of Size (FOS) คือการบอกขนาดของพื้นผิวทรงกระบอก พื้นผิวทรงกลม หรือพื้นผิวระนาบคู่ขนาน หรือระยะทางระหว่างผิวทั้งสองที่ขนานกัน

- การกำหนดขนาดระหว่างผิวเรียบสองด้าน ผิวของรู และผิวทรงกระบอก ถือว่าเป็น Feature of Size (FOS) ตามภาพที่ 6.4 ในกรอบที่ชื่อ Feature of Size

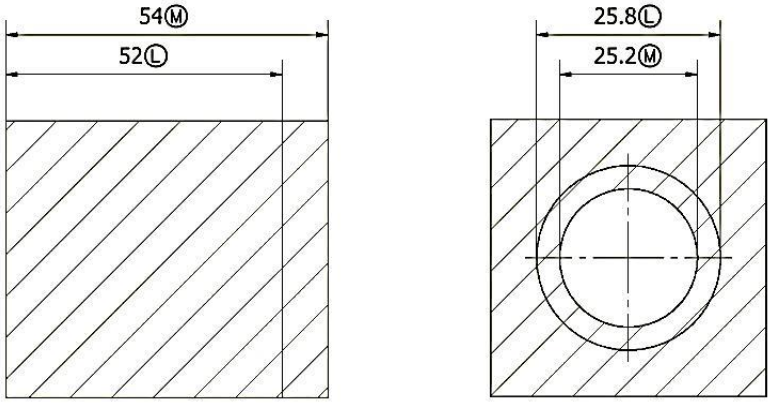
- การกำหนดขนาดผิวเดียว รัศมีโค้ง และผิวลบคม ไม่ถือว่าเป็น Feature of Size (FOS) ตามภาพที่ 6.4 ในกรอบที่ชื่อ Not Feature of Size



ภาพที่ 6.4 การระบุ Feature of Size (FOS)

จากภาพที่ 6.4 ตัวเลขกำหนดขนาดผิวภายนอกที่ตำแหน่ง A และ B ตัวเลขที่อยู่ด้านบนจะบอกให้รู้ว่าเป็นส่วนที่มีปริมาณเนื้อวัสดุเหลือมากที่สุด Maximum Material Condition (MMC) ใช้สัญลักษณ์ Ⓜ ส่วนตัวเลขที่อยู่ด้านล่างจะบอกให้รู้ว่าเป็นส่วนที่มีปริมาณเนื้อวัสดุเหลือน้อยที่สุด Least Material Condition (LMC) ใช้สัญลักษณ์ Ⓛ

ตัวเลขกำหนดขนาดผิวภายในเช่นผิวรู ที่ตำแหน่ง C และ D ตัวเลขที่อยู่ด้านล่างจะบอกให้รู้ว่าเป็นส่วนที่มีปริมาณเนื้อวัสดุเหลือมากที่สุด Maximum Material Condition (MMC) ส่วนตัวเลขที่อยู่ด้านบนจะบอกให้รู้ว่าเป็นส่วนที่มีปริมาณเนื้อวัสดุเหลือน้อยที่สุด Least Material Condition (LMC)



(ก) กำหนดขนาดผิวภายนอก (ข) กำหนดขนาดผิวภายใน

ภาพที่ 6.5 การระบุ MMC และ LMC

จากภาพ 6.5 (ก) การกำหนดขนาดผิวภายนอก 54 ใช้สัญลักษณ์ Ⓜ หรือ MMC หมายถึง ชิ้นงานมีเนื้อวัสดุเหลือมากที่สุดเมื่อเทียบกับขนาด 52

จากภาพ 6.5 (ข) การกำหนดขนาดผิวภายใน 25.2 ใช้สัญลักษณ์ Ⓜ หรือ MMC หมายถึง ชิ้นงานมีเนื้อวัสดุเหลือมากที่สุดเมื่อเทียบกับขนาด 25.8

หมายเหตุ: ในการที่จะกำหนด MMC หรือ LMC ถ้าเป็นการกำหนดขนาดที่ผิวภายนอก ตัวเลขมากจะมีเนื้อวัสดุเหลือมาก แต่ถ้าเป็นผิวภายในเช่นรู หรือร่อง การกำหนดขนาดตัวเลขน้อยจะมีเนื้อวัสดุเหลือมาก

การควบคุมรูปทรง (Form) ประกอบด้วย

- ความตรง (Straightness)
- ความราบ (Flatness)
- ความกลม (Circularity / Roundness)
- ความเป็นทรงกระบอก (Cylindricity)

การควบคุมการจัดวางทิศทาง (Orientation) ประกอบด้วย

- ความตั้งฉาก (Perpendicularity / Squareness)
- ความขนาน (Parallelism)
- ความเป็นมุม (Angularity)

การควบคุมการจัดวางตำแหน่ง (Location) ประกอบด้วย

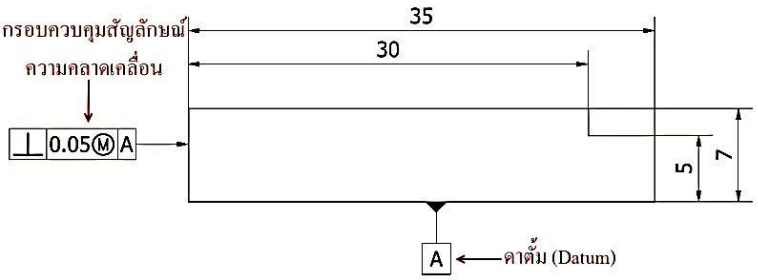
- ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง (Tolerance of Position)
- ความสมมาตร (Symmetry)
- ความร่วมศูนย์ร่วมแกน (Concentricity)

การควบคุมขนาด (Size) ประกอบด้วย

- ขนาดกำหนดระยะห่าง (Linear Dimension)
- ขนาดกำหนดตำแหน่ง (Location Dimension)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter)
- ขนาดรัศมี (Radius)
- ขนาดมุม (Angular Dimension)

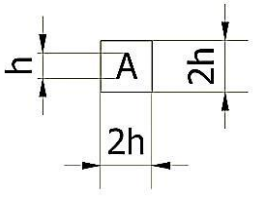
6.2 สัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum)

การกำหนดสัญลักษณ์พิกัดทางด้านรูปทรง GD&T ลงบนแบบงาน (Drawing) จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือในส่วนของผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) และกรอบควบคุมสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน (Feature control frame)

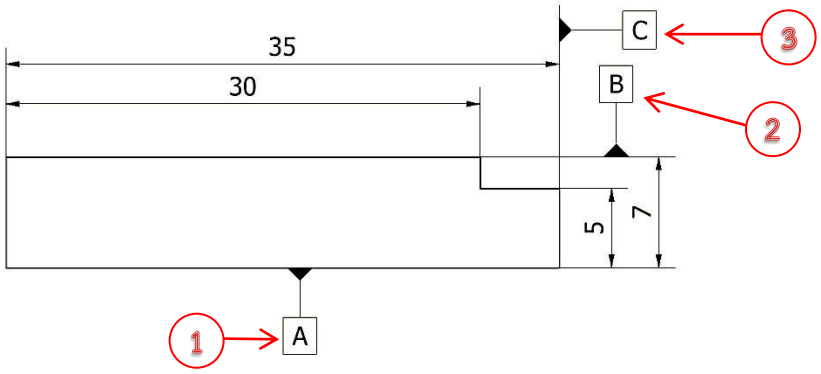


ภาพที่ 6.6 การแสดงค่าพิกัดความคลาดเคลื่อน

สัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) คือ จุด เส้น ระนาบหรือพื้นผิวที่ใช้ในการอ้างอิงการวัดตำแหน่งของขนาดต่างๆ ที่ทำให้การผลิตชิ้นส่วนมีความสมบูรณ์ทั้งในด้านรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งหรือระยะ สัญลักษณ์ดาตั้ม (Datum) ประกอบไปด้วย รูปสามเหลี่ยมระบายทึบหรือไม่ระบายทึบก็ได้ โดยทั่วไปมักจะใช้แบบสามเหลี่ยมระบายทึบ เส้นอ้างอิง (เส้นเต็มบาง) กรอบอ้างอิง และตัวอักษรอ้างอิง การเขียนสัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้มมีขนาดที่ใช้เขียนดังภาพที่ 6.7



ภาพที่ 6.7 ขนาดในการเขียนสัญลักษณ์ดาตั้ม (Datum)



ภาพที่ 6.8 ตำแหน่งการกำหนดสัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum)

จากภาพที่ 6.8 แสดงตำแหน่งการกำหนดสัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) หลักเกณฑ์พิจารณาการกำหนดสัญลักษณ์ลงบนจากผิวงานดังนี้

1. บนผิวงานหนึ่งผิวงานหรือบนระนาบหนึ่งระนาบจะต้องมีสัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) เพียงแค่ 1สัญลักษณ์เท่านั้น

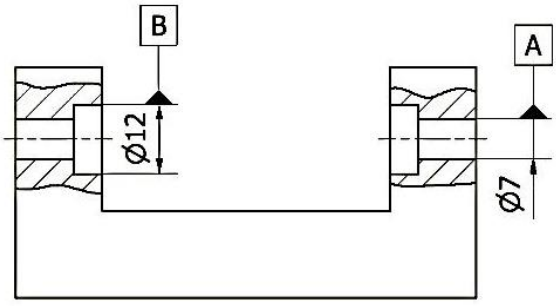
2. ผิวงานแต่ละด้านจะต้องมีตัวอักษรอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ไม่ซ้ำกัน

3. ถ้าหากว่าบริเวณผิวงานมีพื้นที่ว่างและไม่ทำให้การอ่านแบบงานยุ่งยาก ก็สามารถกำหนดลงบนผิวงานได้เลยตามภาพที่ 6.8 หมายเลข 1

4. แต่เมื่อพิจารณาแล้วปรากฏว่าผิวงานไม่สามารถกำหนดสัญลักษณ์อ้างอิงได้ก็สามารถกำหนดลงบนเส้นบอกช่วยขนาดในระนาบเดียวกันกับผิวงานที่ต้องการกำหนดสัญลักษณ์อ้างอิงตามภาพที่ 6.8 หมายเลข 2

5. ถ้าไม่สามารถกำหนดสัญลักษณ์อ้างอิงทั้งที่ผิวงานและเส้นช่วยบอกขนาดได้ ก็สามารถเพิ่มความยาวของเส้นช่วยบอกขนาดในระนาบเดียวกับผิวงานที่ต้องการกำหนดสัญลักษณ์อ้างอิงได้ตามภาพที่ 6.8 หมายเลข 3

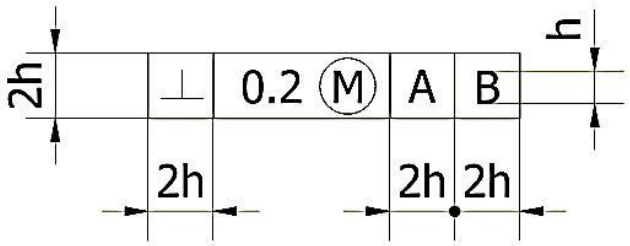
6. ถ้าหัวลูกศรของเส้นบอกขนาดอยู่ภายนอกเส้นช่วยบอกขนาด ก็สามารถใช้สามเหลี่ยมดาตั้ม (Datum) แทนหัวลูกศรด้านที่กำหนดสัญลักษณ์อ้างอิงได้ ตามภาพที่ 6.9



ภาพที่ 6.9 การใช้สามเหลี่ยมสัญลักษณ์อ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) แทนลูกศรกำหนดขนาด

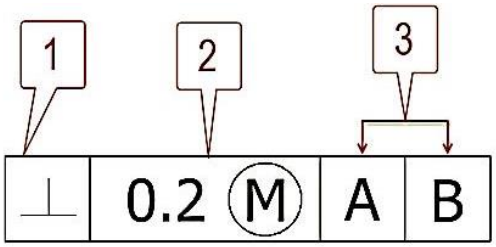
6.3 กรอบควบคุมสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน (Feature control frame)

กรอบควบคุมสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน (Feature control frame) มีลักษณะเป็นกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกแบ่งออกเป็นช่องๆ จำนวนช่องที่แบ่งนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน ซึ่งมีความกว้างของกรอบสี่เหลี่ยมเท่ากับ 2h และความยาวขึ้นอยู่กับจำนวนช่องที่แบ่ง



ภาพที่ 6.10 การเขียนกรอบสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน

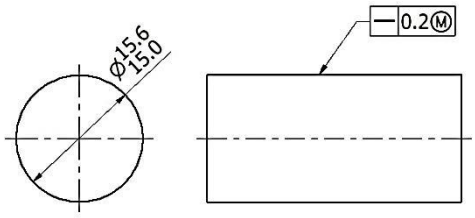
กรอบควบคุมสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการเขียนแบบเพื่อควบคุมรูปลักษณ์ของชิ้นงานเพื่อทำการผลิต จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ



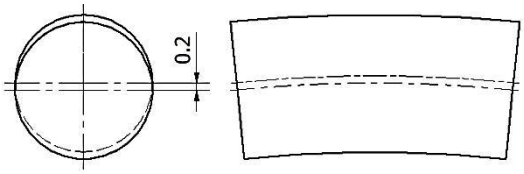
ภาพที่ 6.11 การแบ่งส่วนกรอบสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน

1. ส่วนที่ 1 ในช่องแรกสำหรับเขียนคุณลักษณะทางเลขาคณิตของรูปลักษณ์ (Geometric Characteristic Symbols) คือการเขียนสัญลักษณ์รูปลักษณ์ของชิ้นงานที่ต้องการเน้นในกระบวนการผลิต เช่น ความกลมของผิวงาน ความตรงของผิว ความได้ฉากของผิวงาน ความขนานของผิวงาน เป็นต้น

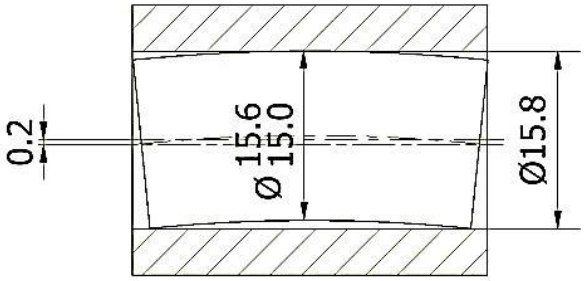
2. ส่วนที่ 2 ในช่องที่ 2 เป็นการกำหนดค่าความเผื่อและสัญลักษณ์ปรับปรุงชิ้นงาน (Modifier Symbols) คือช่องที่ 2 นี้สำหรับกำหนดค่าพิกัดความเผื่อสำหรับการผลิต เช่นถ้าในแบบงานไม่ได้กำหนดค่าพิกัดความเผื่อลงในแบบงานเราก็จะใช้ค่าพิกัดความเผื่อในช่องที่ 2 นี้ในการผลิต กล่าวคือ ถ้าในแบบงานกำหนดขนาดของเพลา 15 มม. โดยไม่มีพิกัดความเผื่อกำกับเพิ่ม ฝ่ายผลิตจะต้องสร้างรูให้มีขนาด 15.2 มม. เพราะเป็นการเผื่อความคลาดเคลื่อนทางด้านรูปทรง แต่ถ้าค่าพิกัดความเผื่อถูกกำหนดลงในแบบงาน ฝ่ายผลิตจะต้องนำค่าค่าพิกัดความเผื่อในแบบงานรวมกับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนทางด้านรูปทรงในช่องนี้ด้วย ดังตัวอย่างตามภาพที่ 6.12



(ก) การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน



(ข) ผลของค่าความคลาดเคลื่อนจากภาพ ก



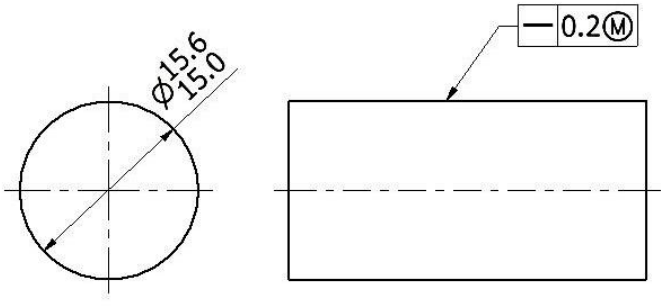
(ค) งานประกอบตามพิกัดความคลาดเคลื่อนทางรูปทรงความตรง

Dia. สลัก	ค่าความเผื่อของความตรง	ค่าความเผื่อพิเศษ	Dia. ของขอบเขตค่าความเผื่อความตรงรวมทั้งหมด
15.6 MMC	0.2	0.0	0.2
15.4	0.2	0.2	0.4
15.2	0.2	0.4	0.6
15.0 LMC	0.2	0.6	0.8

= 15.8 มม.

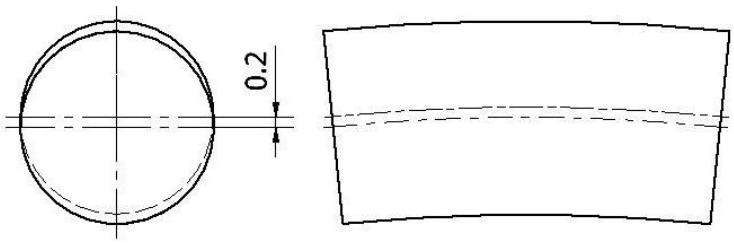
ภาพที่ 6.12 ตัวอย่างการกำหนดความเผื่อด้านรูปทรง

จากภาพที่ 6.12 (ก) ขนาดจริงของชิ้นงาน คือ Ø15 มม. และพิกัดบน 0.6 มม. พิกัดล่างเท่ากับ 0 ดังนั้นชิ้นงานชิ้นนี้มีขนาดได้ใหญ่สุดต้องไม่เกิน 15.6 มม. และมีขนาดเล็กสุดได้ไม่ต่ำกว่า 15 มม.



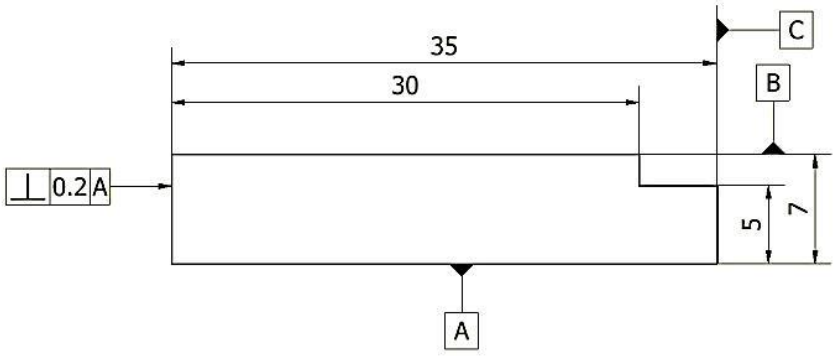
ภาพที่ 6.13 การกำหนดค่าความเผื่อด้านรูปทรง

จากภาพที่ 6.13 ความหมายของสัญลักษณ์พิกัดทางด้านรูปทรงในช่องแรกหมายถึงความตรงของชิ้นงาน แต่ในกระบวนการผลิตชิ้นงานอาจมีการโก่งงอได้ดังนั้นในช่องที่2 จะบอกถึงความค่าคลาดเคลื่อนทางด้านรูปทรงให้สามารถโก่งงอได้ในพิกัดที่กำหนดคือ 0.2 มม. ดังภาพที่ 6.14



ภาพที่ 6.14 การโก่งงอของชิ้นงานอยู่ในพิกัดความคลาดเคลื่อนด้านรูปทรงความตรง

3. ส่วนที่ 3 ในช่องที่ 3 และ 4 บางครั้งอาจจะมีช่อง 3 อย่างเดียว บางครั้งมีทั้งช่อง3และ4 หรืออาจจะมีทั้งช่อง 3,4 และ 5 ก็ได้ขึ้นอยู่กับการใช้งานซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผิวอ้างอิง (Datum Reference) ดังนั้นส่วนที่ 3 นี้จะสัมพันธ์กับส่วนที่ 1 ดังตัวอย่างตามภาพที่ 6.15



ภาพที่ 6.15 ตัวอย่างการใช้งานสัญลักษณ์พิกัดความคลาดเคลื่อน GD&T

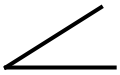
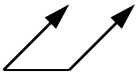
จากภาพที่ 6.15 อธิบายสัญลักษณ์ ⊥ 0.2 A ได้ว่า ผิวด้านที่กรอบสัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนชี้จะต้องตั้งฉากกับผิวหรือระนาบA แต่ในกระบวนการผลิตอาจมีความคลาดเคลื่อนการตั้งฉากกับผิวหรือระนาบ A ได้ 0.2 มม.

6.4 สัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อน (GD&T Symbols)

พิกัดความคลาดเคลื่อน คือความเบี่ยงเบนทางด้านรูปทรง (Form Deviation) ความเบี่ยงเบนด้านทิศทาง (Orientation Deviation) ความเบี่ยงเบนในการจัดตำแหน่ง (Location Deviation) และความเบี่ยงเบนของขนาด (Size Deviation) ที่มีความเบี่ยงเบนหรือมีความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในกระบงนการผลิต เนื่องจากในการทำงานการผลิตย่อมมีข้อผิดพลาดทั้งขนาด รูปร่างของชิ้นงาน หรือตำแหน่งต่างๆ ในชิ้นงานถือเป็นเรื่องปกติ แต่ในข้อผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินกว่าที่พิกัดกำหนด

สัญลักษณ์ควบคุมรูปร่างรูปทรง (Geometric Characteristic Symbols) หรือจะเรียกสั้นๆ ว่า Characteristic Symbols ถูกแบ่งการใช้งานออกเป็น 5 กลุ่ม มีใช้งานเพื่อควบคุมความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานทั้งหมด 14 สัญลักษณ์ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 สัญลักษณ์ควบคุมรูปร่างรูปทรง (Geometric Characteristic Symbols)

ชนิดของพิกัดความเผื่อ	สัญลักษณ์	คุณลักษณะ	การใช้สัญลักษณ์ดาตั้มอ้างอิง
พิกัดความเผื่อของรูปทรง		ความตรง	ไม่มีการใช้ดาตั้มอ้างอิง
		ความราบ	ไม่มีการใช้ดาตั้มอ้างอิง
		ความกลม	ไม่มีการใช้ดาตั้มอ้างอิง
		รูปทรงกระบอก	ไม่มีการใช้ดาตั้มอ้างอิง
พิกัดความเผื่อของการจัดวางทิศทาง		ความขนาน	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ
		ความเอียง(ความเป็นมุม)	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ
		ความตั้งฉาก	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ
พิกัดความเผื่อของการเบี่ยงเบนเนื่องจากหมุน		ความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบ	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ
		ความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนทั้งหมด	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ
พิกัดความเผื่อของการควบคุมโครงร่างผิว		รูปทรงของเส้น	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเป็นบางครั้ง
		รูปทรงของพื้นที่ผิว	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเป็นบางครั้ง

ตารางที่ 6.1 (ต่อ) สัญลักษณ์ควบคุมรูปร่างรูปทรง (Geometric Characteristic Symbols)

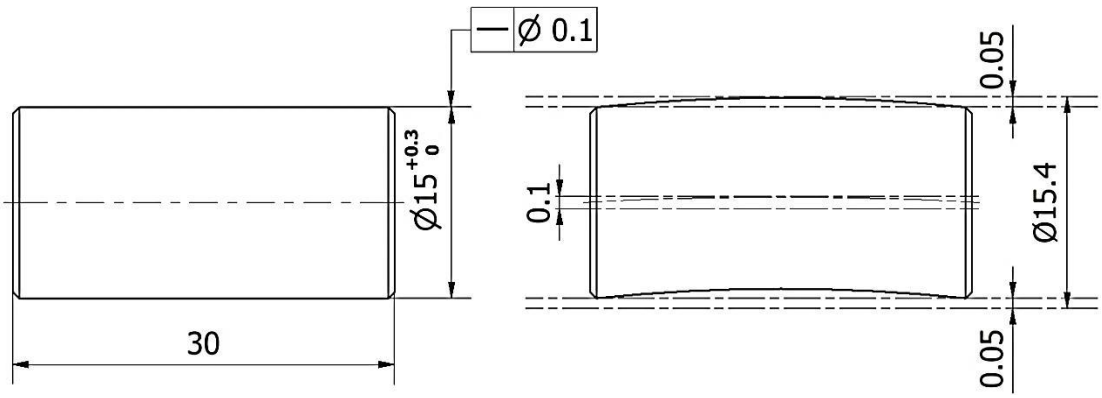
ชนิดของพิกัดความเผื่อ	สัญลักษณ์	คุณลักษณะ	การใช้สัญลักษณ์ดาตั้มอ้างอิง
พิกัดความเผื่อจองการจัดวางตำแหน่ง	⌖	ตำแหน่ง	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ
	◎	ความได้ศูนย์และความร่วมศูนย์	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ
	⫽	ความสมมาตร	มีการใช้ดาตั้มอ้างอิงเสมอ

กลุ่มที่ 1 การควบคุมรูปทรง (Form) ประกอบด้วย

1. ความตรง (Straightness) —
2. ความราบ (Flatness) ▱
3. ความกลม (Circularity / Roundness) ○
4. ความเป็นทรงกระบอก (Cylindricity) ⌭

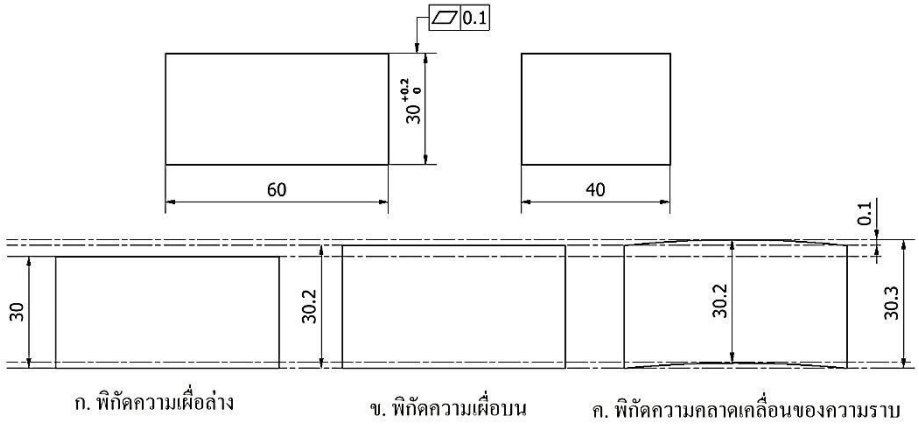
การใช้สัญลักษณ์ควบคุมรูปร่างรูปทรงในกลุ่มนี้ ไม่ต้องใช้ผิวอ้างอิงดาตั้ม (Datum) ในการกำหนดความคลาดเคลื่อน

1. ความตรง (Straightness) — คือ สภาวะที่พื้นผิวหรือแกนกลางของชิ้นงานเป็นเส้นตรง ขอบเขตของพิกัดความคลาดเคลื่อนของความตรงที่ควบคุมแต่ละพื้นผิว มีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนาน โดยเส้นคู่ขนานนี้จะมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน ลักษณะของผิวของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นคู่ขนานนี้ หรือผิวชิ้นงานที่มีสัญลักษณ์นี้กำหนดจะสามารถเอียง หรือไม่ตรง หรือผิวไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นได้ไม่เกินสัญลักษณ์ควบคุมรูปร่างรูปทรงความตรงกำหนด ตามภาพที่ 6.16



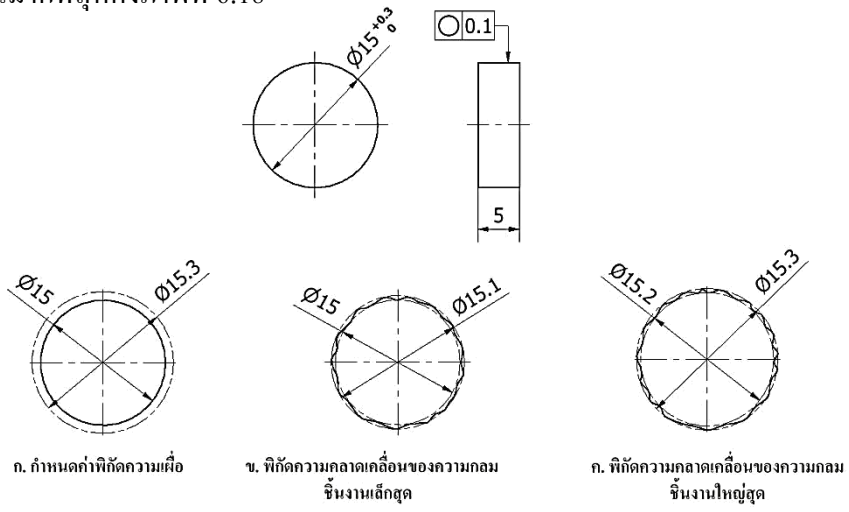
ภาพที่ 6.16 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความตรง

2. ความราบ (Flatness) ▱ คือสภาวะพื้นผิวหรือระนาบกลางของชิ้นงานมีลักษณะเป็นระนาบของความราบ ขอบเขตของพิกัดความคลาดเคลื่อนของความราบ จะเป็นการควบคุมความโค้ง ความเว้า การโก่งงอ ความเอียงของผิวงานเป็นต้น ขอบเขตของพิกัดความคลาดเคลื่อนของความราบที่ควบคุมแต่ละพื้นผิว มีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนาน โดยเส้นคู่ขนานนี้จะมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นคู่ขนานนี้



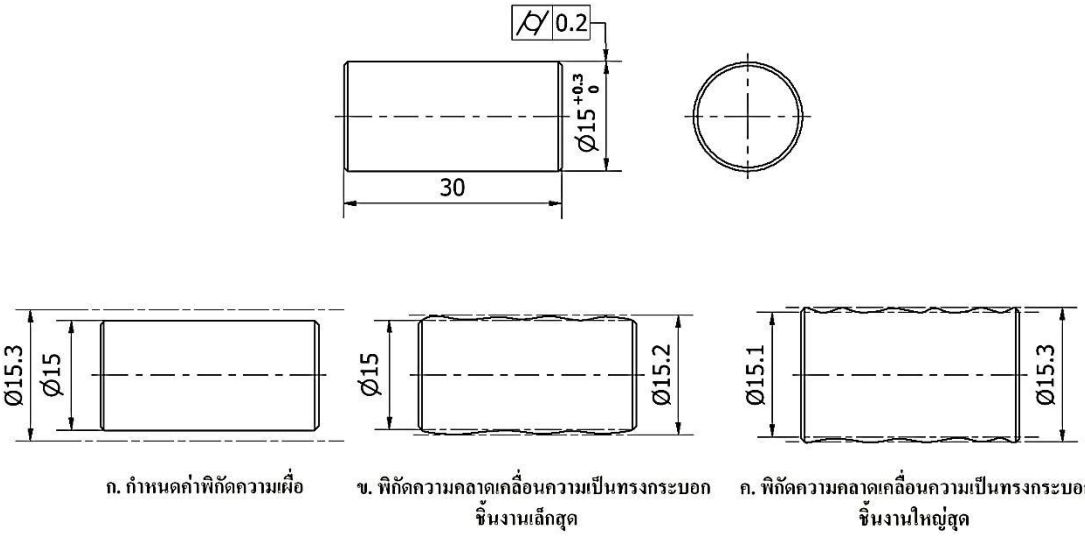
ภาพที่ 6.17 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความราบ

3. ความกลม (Circularity / Roundness) ○ คือสภาวะที่ผิวชิ้นงานมีเส้นรัศมีของวงกลมแต่ละช่วงมีลักษณะของผิวไม่กลม ผิวขรุขระอยู่ในพิกัดความคลาดเคลื่อนของความกลมที่ถูกควบคุมด้วยวงกลม 2 วง ร่วมศูนย์กัน ซึ่งวงกลม 2 วงนี้มีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนความกลม ลักษณะของผิวชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าวงกลมด้านในหรือค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และผิวของชิ้นงานจะต้องมีขนาดไม่เกินวงกลมด้านนอกหรือค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดดังภาพที่ 6.18



ภาพที่ 6.18 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความกลม

4. ความเป็นทรงกระบอก (Cylindricity) ⌭ คือ สภาวะของพื้นผิวชิ้นงานทรงกระบอกแต่ละตำแหน่งมีระยะห่างในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนใดแนวแกนหนึ่งในระยะทางที่เท่ากัน ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของความเป็นทรงกระบอกที่ใช้สำหรับควบคุมผิว มีลักษณะเป็นทรงกระบอก 2 รูปในแนวแกนเดียวกัน ซึ่งผิวงานที่ทำการผลิตจะมีความขรุขระ ผิวเอียง ผิวโค้ง ผิวเว้าจะต้องอยู่ภายในช่วงพิกัดของทรงกระบอกทั้ง 2 รูปนี้ โดยผิวงานจะต้องไม่เล็กกว่ารูปทรงกระด้านในและไม่ใหญ่กว่ารูปทรงกระบอกด้านนอก



ภาพที่ 6.19 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความเป็นทรงกระบอก

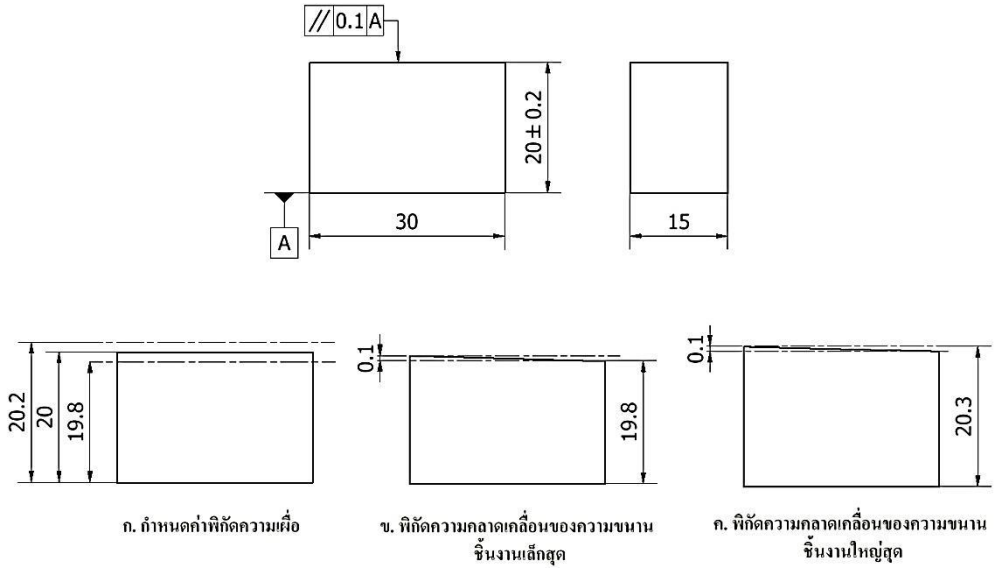
กลุ่มที่ 2 การควบคุมการจัดวางทิศทาง (Orientation) ประกอบด้วย

1. ความขนาน (Parallelism) //
2. ความเป็นมุม (Angularity) ∠
3. ความตั้งฉาก (Perpendicularity / Squareness) ⊥

การใช้สัญลักษณ์ควบคุมทิศทางในกลุ่มนี้ จะต้องใช้ควบคู่กับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ในการกำหนดความคลาดเคลื่อน

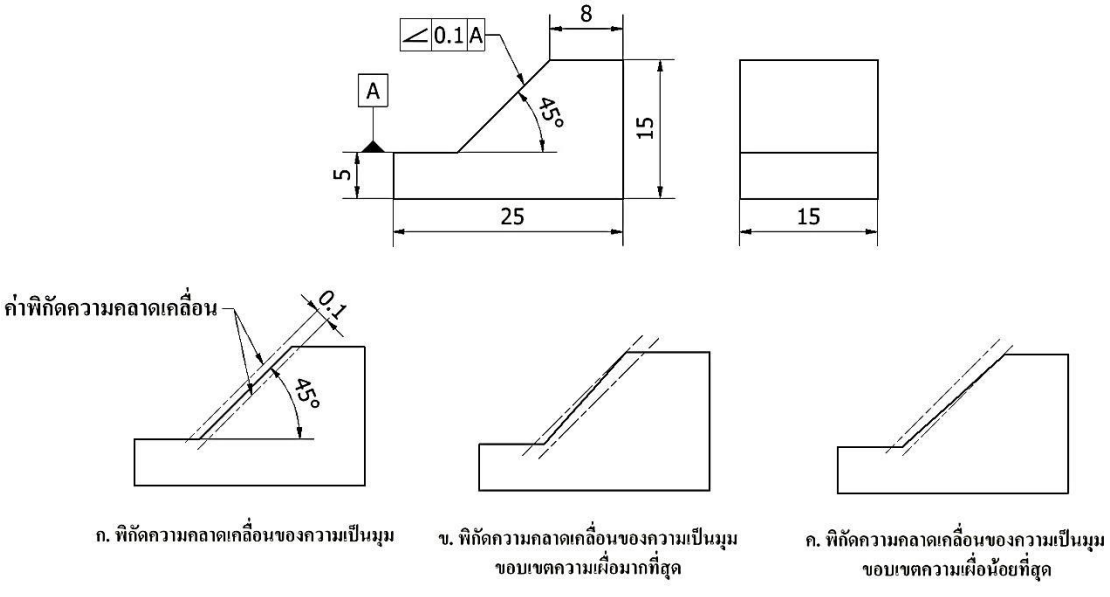
1. ความขนาน (Parallelism) // คือ สภาวะที่พื้นผิว ระนาบ แกนกลาง ของชิ้นงานแต่ละด้านมีระยะห่างในทิศทางตั้งฉากกับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) กล่าวคือผิวที่สัญลักษณ์ความคลาดเคลื่อนความขนานที่ลูกศรชี้ผิวชิ้นงานด้านใด ผิวชิ้นงานด้านนั้นจะขนานกับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ในบางกรณีสัญลักษณ์ผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) สามารถกำหนดได้มากกว่า 1 ดาตั้มขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของความขนานที่ควบคุมพื้นผิวมีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนาน โดยเส้นคู่ขนานนี้จะมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนด

ลงในแบบงาน ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นคู่ขนานนี้



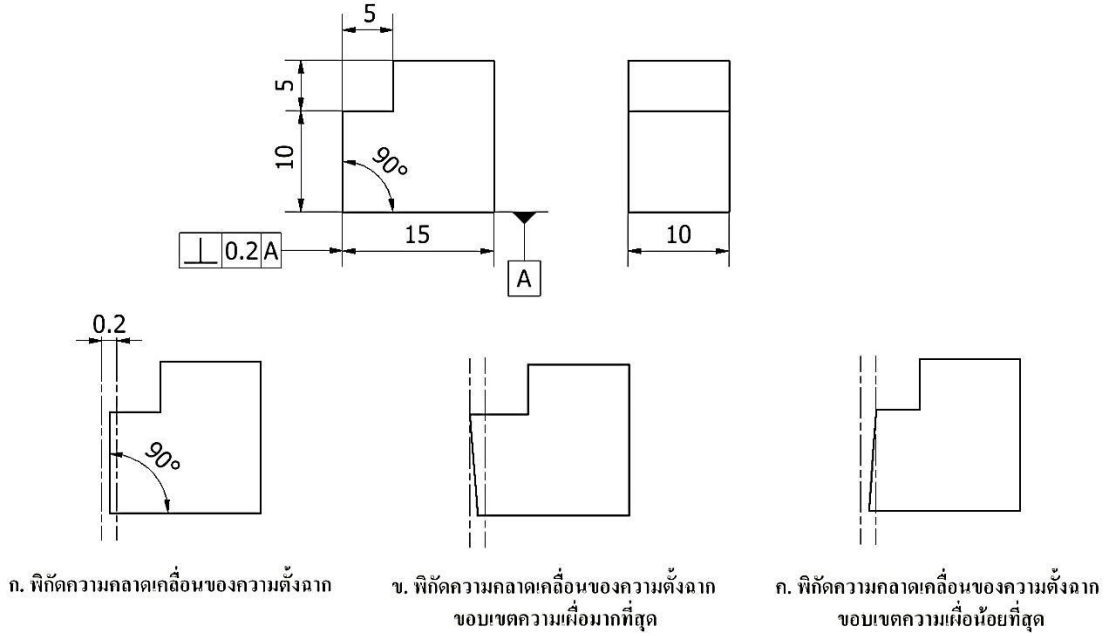
ภาพที่ 6.20 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความขนาน

2. ความเป็นมุม (Angularity) ∠ คือ สภาวะที่พื้นผิว ระนาบ แกนกลาง ของชิ้นงานแต่ละด้านทำมุมกับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของความเป็นมุมที่ควบคุมพื้นผิวมีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนาน โดยเส้นคู่ขนานนี้จะมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นคู่ขนานนี้



ภาพที่ 6.21 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความเป็นมุม

3. ความตั้งฉาก (Perpendicularity / Squareness) ⊥ คือ สภาวะที่พื้นผิว ระนาบ แกนกลาง ของชิ้นงานแต่ละด้านทำมุม 90 องศา กับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของความตั้งฉากที่ควบคุมพื้นผิวมีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนาน โดยเส้นคู่ขนานนี้จะมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นคู่ขนานนี้



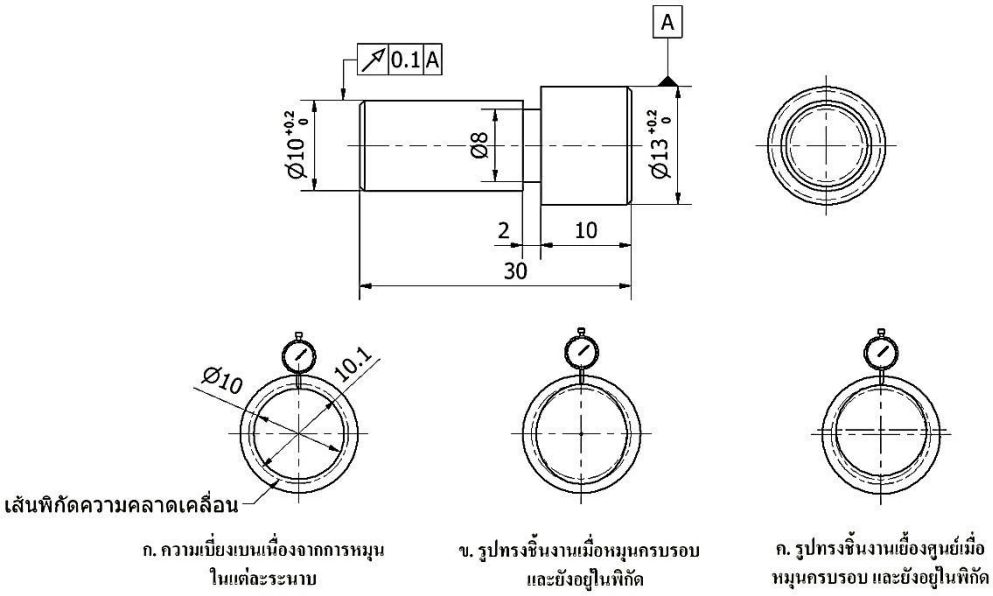
ภาพที่ 6.22 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความตั้งฉาก

กลุ่มที่ 3 การควบคุมการเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุน (Runout) ประกอบด้วย

1. ความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบ (Circular Runout) ↗
2. ความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนทั้งหมด (Total Runout) ⌰

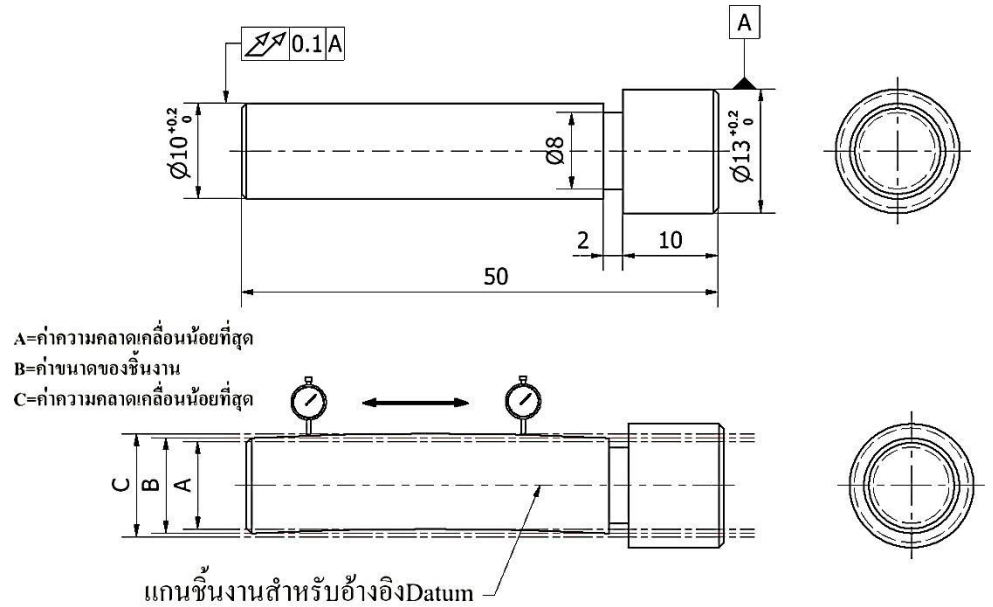
การใช้สัญลักษณ์ควบคุมการเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในกลุ่มนี้ จะต้องใช้ควบคู่กับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ในการกำหนดความคลาดเคลื่อน

1. ความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบ (Circular Runout) ↗ คือ สภาวะที่แต่ละจุดบนผิวงานของแต่ละแนวหน้าตัด เมื่อเทียบกับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) เป็นระยะ การตรวจสอบความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบ (Circular Runout) จะต้องทำการหมุนชิ้นงานรอบแกนอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum)ครบหนึ่งรอบ โดยทำการตรวจสอบพื้นผิวด้วยนาฬิกาเทียบศูนย์ (Dial Gauge) ให้ค่าที่ได้จากการหมุนชิ้นงานจะต้องน้อยกว่าพิกัดความคลาดเคลื่อน ซึ่งการใช้สัญลักษณ์ควบคุมการเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนนี้จะไม่พิจารณาขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนแต่จะพิจารณาค่าที่เกิดจากการตรวจสอบต้องไม่เกินค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน



ภาพที่ 6.23 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบ

2. ความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนทั้งหมด (Total Runout) คือ สภาวะที่แต่ละจุดบนผิวงานของแต่ละแนวหน้าตัด เมื่อเทียบกับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) เป็นระยะ การตรวจสอบความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนทั้งหมด (Total Runout) ให้ค่าที่ได้จากการหมุนชิ้นงานจะต้องน้อยกว่าพิกัดความคลาดเคลื่อน ซึ่งการใช้สัญลักษณ์ควบคุมการเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนนี้จะไม่พิจารณาขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อน แต่จะพิจารณาค่าที่เกิดจากการตรวจสอบต้องไม่เกินค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน ค่าที่ได้จากการตรวจสอบความเบี่ยงเบนจากการหมุนทั้งหมดจะมีเพียงค่าเดียว



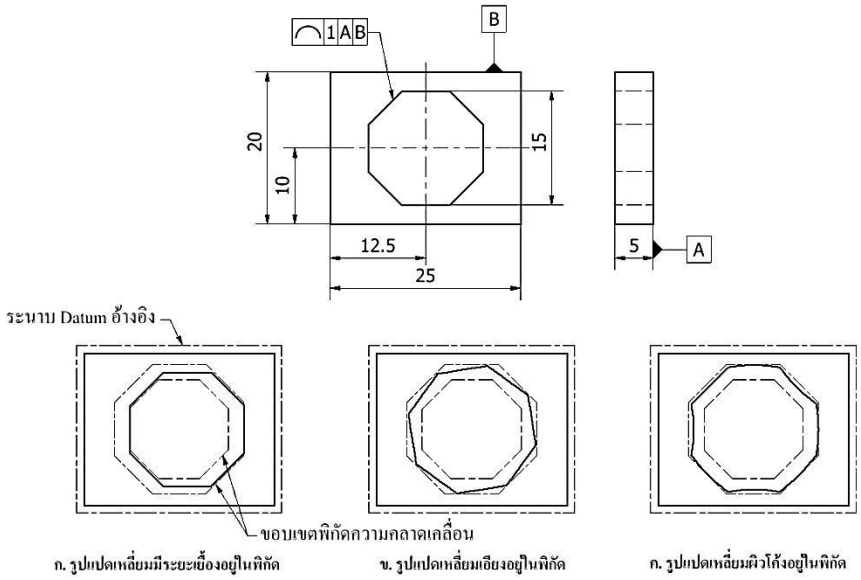
ภาพที่ 6.24 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนทั้งหมด

กลุ่มที่ 4 การควบคุมโครงร่างผิว (Profile) ประกอบด้วย

1. รูปโครงร่างของเส้นใดๆ (Profile of a Line) ⌒
2. รูปโครงร่างของพื้นผิวใดๆ (Profile of a Surface) ⌓

การใช้สัญลักษณ์ควบคุมการโครงร่างผิว (Profile) ในกลุ่มนี้ จะใช้ควบคู่กับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) เพียงบางครั้งในการกำหนดความคลาดเคลื่อน

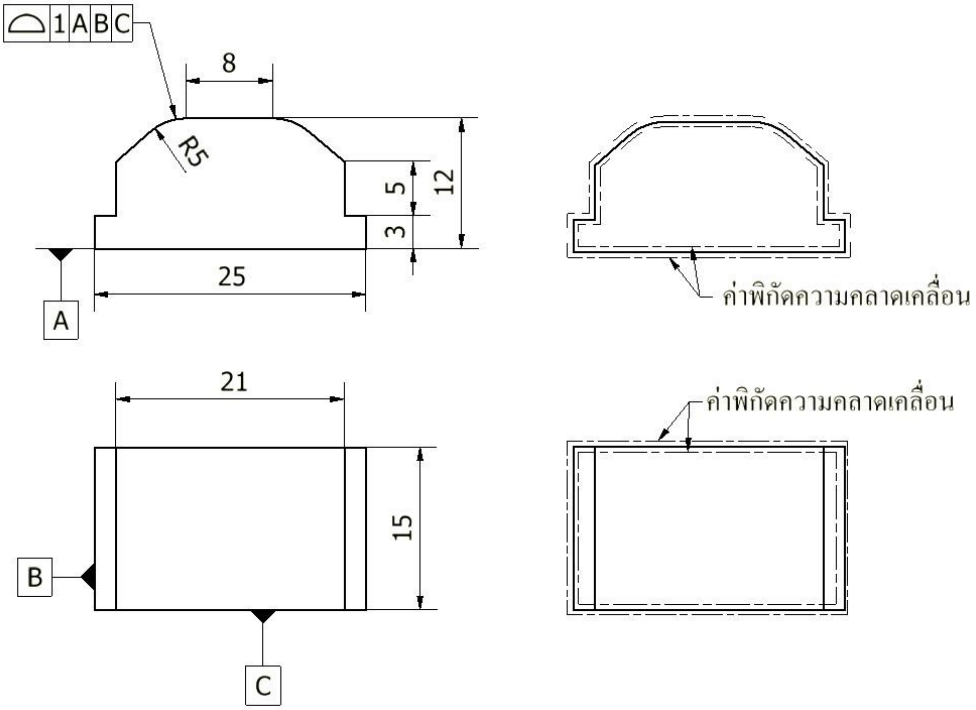
1. รูปโครงร่างของเส้นใดๆ (Profile of a Line) ⌒ คือ สภาวะผิวงานแต่ละแนว แต่ละระนาบ ของเส้นโครงร่างอยู่ในตำแหน่งการจัดวางที่แน่นอนที่ถูกกำหนดด้วยขนาด การควบคุมโครงร่างสามารถควบคุมผิวได้มากกว่า 1 พื้นผิว และพื้นผิวที่ถูกควบคุมจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน สามารถกำหนดผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ที่เป็นได้ทั้งพื้นผิว ระนาบแกนกลาง ตำแหน่งแกนกลางหรือจุดกึ่งกลาง สัญลักษณ์ควบคุมการโครงร่างผิวนี้เป็นการควบคุมผิวที่ไม่จำเป็นต้องกำหนดผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ขอบเขตพิกัดควบคุมการโครงร่างผิว (Profile) ที่ควบคุมพื้นผิวมีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนาน โดยเส้นคู่ขนานนี้จะมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นคู่ขนานนี้



ภาพที่ 6.25 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนควบคุมการโครงร่างผิว (Profile)

2. รูปโครงร่างของพื้นผิวใดๆ (Profile of a Surface ⌓ คือ สภาวะผิวงานโครงร่างอยู่ในตำแหน่งการจัดวางที่แน่นอนที่ถูกกำหนดด้วยขนาด การควบคุมโครงร่างสามารถควบคุมผิวได้มากกว่า 1 พื้นผิว และพื้นผิวที่ถูกควบคุมจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน สามารถกำหนดผิวอ้างอิง

หรือดาตั้ม (Datum) ที่เป็นได้ทั้งพื้นผิว ระนาบแกนกลาง แกนกลง หรือจุดกึ่งกลาง สัญลักษณ์ควบคุมการโครงร่างผิวนี้เป็นการควบคุมผิวที่ไม่จำเป็นต้องกำหนดผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ขอบเขตพิกัดควบคุมการโครงร่างผิว (Profile) ที่ควบคุมพื้นผิวมีลักษณะเป็นเส้นคู่ขนาน โดยเส้นคู่ขนานนี้จะมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน ค่าของระยะห่างของตำแหน่งใดๆ ของพื้นผิวชิ้นงานที่มีระยะห่างตั้งฉากจากตำแหน่งของพื้นผิวจริง ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นคู่ขนานนี้



ภาพที่ 6.26 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนควบคุมการโครงร่างผิว (Profile)

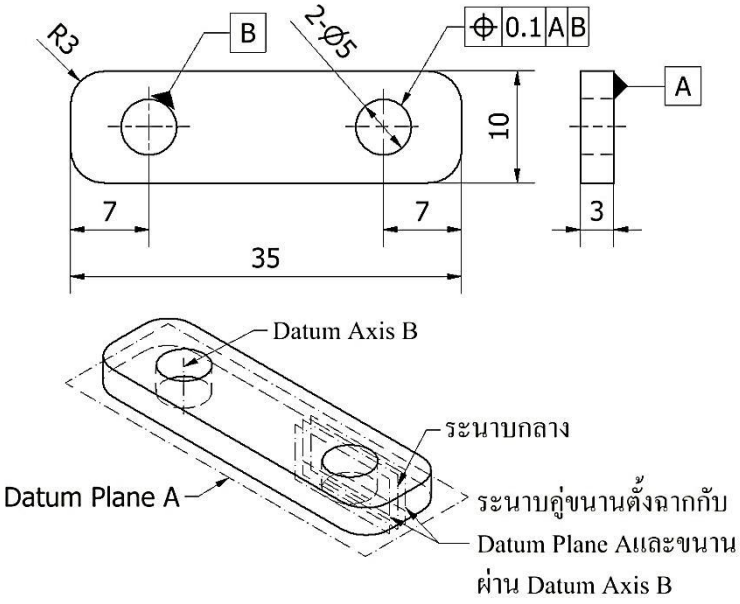
กลุ่มที่ 5 การจัดวางตำแหน่ง (Location) ประกอบด้วย

1. ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง (Tolerance of Position) ⌖
2. ความร่วมศูนย์ (Concentricity) ◎
3. ความสมมาตร (Symmetry) ⌯

การใช้สัญลักษณ์ควบคุมการจัดวางตำแหน่ง (Location) ในกลุ่มนี้ จะใช้ควบคู่กับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ในการกำหนดความคลาดเคลื่อน

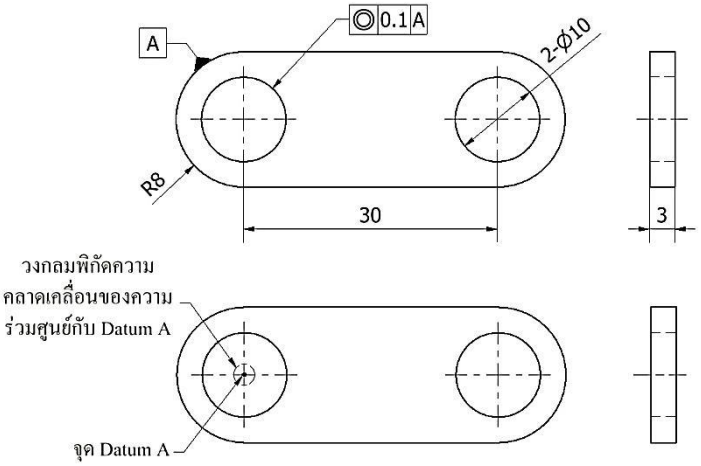
1. ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง (Tolerance of Position) ⌖ คือ สภาวะที่ระนาบกลาง แกนกลาง และจุดกึ่งกลาง อยู่ในตำแหน่งที่กำหนดด้วยขนาดจริง เมื่อเทียบกับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ซึ่งผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) เป็นได้ทั้งระนาบดาตั้ม แกนดาตั้ม หรือจุดดาตั้มที่ใช้ในการควบคุมความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ดังนั้นการควบคุมความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง

นี้จะต้องใช้ผิวอ้างอิงหรือดาตั้มเสมอ ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ควบคุมระนาบที่เกิดจากพื้นผิวคู่ขนาน 2 พื้นผิว มีลักษณะเป็นคู่ขนาน 2 ระนาบซึ่งความกว้างของระนาบทั้งสองนี้มีค่าเท่ากับความคลาดเคลื่อนที่กำหนดในแบบงาน



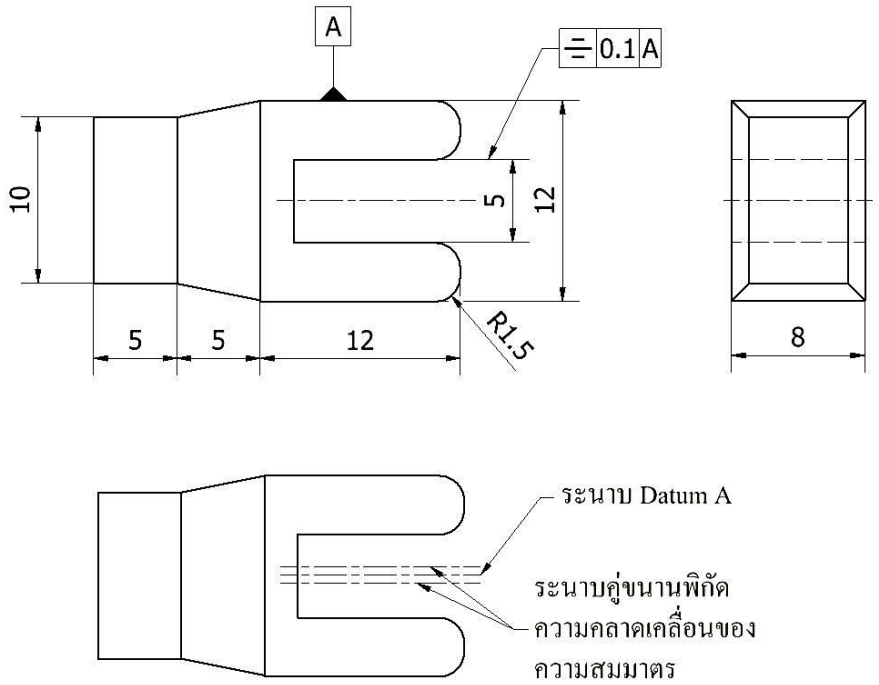
ภาพที่ 6.27 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนควบคุมของตำแหน่งระนาบกลาง

2. ความร่วมศูนย์ (Concentricity) ◎ คือ สภาวะที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานมีการจัดวางอยู่บนดาตั้มอ้างอิง ซึ่งผิวงานที่สัญลักษณ์ความร่วมศูนย์ชี้จะต้องมีความร่วมศูนย์หรือวงกลม 2 วง จะต้องใช้ศูนย์กลางเดียวกัน ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของความร่วมศูนย์ที่ควบคุมจุดกึ่งกลางมีลักษณะเป็นขอบเขตวงกลม ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน โดยที่แกนกลางของชิ้นงานที่ทำการผลิตจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินขอบเขตของวงกลมพิกัดความร่วมศูนย์นี้



ภาพที่ 6.28 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความร่วมศูนย์

3. ความสมมาตร (Symmetry) ⌯ คือ สภาวะที่จุดกึ่งกลางระหว่างผิวแบนราบ 2 พื้นผิวมีการจัดวางอยู่บนระนาบที่อยู่ในแนวเดียวกันกับผิวอ้างอิงหรือดาตั้ม (Datum) ซึ่งดาตั้มอ้างอิงนี้เป็นได้เฉพาะระนาบดาตั้มที่เป็นระนาบกลาง หรือแกนดาตั้มที่เป็นแกนกลางได้เพียง 2 แบบเท่านั้น ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนชนิดนี้มีลักษณะเป็นคู่ขนานซึ่งมีระยะห่างเท่ากับค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนดลงในแบบงาน



ภาพที่ 6.29 ขอบเขตความคลาดเคลื่อนความสมมาตร

6.5 สัญลักษณ์การปรับปรุง (Modifier Symbols)

สัญลักษณ์ปรับปรุงเป็นสัญลักษณ์ที่มีข้อกำหนดพิเศษ ในการวิเคราะห์ประเภทของการควบคุม พิกัดความคลาดเคลื่อนหรือดาตั้มอ้างอิง ซึ่งสัญลักษณ์ปรับปรุงจะถูกเพิ่มในกรอบควบคุมความคลาดเคลื่อนในส่วนที่เป็นการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน และในส่วนของดาตั้มอ้างอิงเท่านั้น เพื่อเปลี่ยนข้อกำหนดในการวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของการประกอบใช้งาน เช่น สัญลักษณ์แสดงสภาวะเนื้อวัสดุมาก สัญลักษณ์แสดงสภาวะเนื้อวัสดุน้อย สัญลักษณ์แสดงเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น

การปรับปรุง (Modifier)	ตัวย่อ (Abbreviation)	สัญลักษณ์ (Symbol)	
		ASME	ISO
เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter)	DIA.	Ø	Ø
รัศมี (Radius)	R		
รัศมีควบคุม (Control Radius)	CR		
เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม (Sphere Diameter)		SØ	SØ
สี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square)		□	□
สภาวะเนื้อวัสดุมากสุด (Maximum Material Condition)	MMC	Ⓜ	Ⓜ
สภาวะขอบเขตวัสดุมากสุด (Maximum Material Boundary)	MMB	Ⓜ	
สภาวะเนื้อวัสดุน้อยสุด (Least Material Condition)	LMC	Ⓛ	Ⓛ
สภาวะขอบเขตวัสดุน้อยสุด (Least Material Boundary)	LMB	Ⓛ	
สภาวะที่ไม่คำนึงถึงเนื้อวัสดุ (Regardless of Feature Size)	RFS		
สภาวะที่ไม่คำนึงถึงขอบเขตวัสดุ (Regardless of Material Boundary)	RMB		
การควบคุมแบบอิสระ (Independency Principle)		Ⓘ	
การฉายขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อน (Projected Tolerance Zone)		Ⓟ	Ⓟ
ระนาบสัมผัส (Tangent Plane)		Ⓣ	
สภาวะที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ (Free State)		Ⓕ	Ⓕ
การจัดสรรขอบเขตที่ไม่เท่ากัน (Unequally Disposed Profile)		Ⓤ	UZ
การควบคุมรูปโครงร่างโดยรอบทั้งหมด (All Around)			
การควบคุมพื้นผิวทั้งหมด (All Over)			
การควบคุมระหว่างตำแหน่งที่กำหนด (Between)		◄►	◄►
การขยับตำแหน่งของดาตั้ม (Translation)		▷	
การควบคุมพื้นผิวแบบต่อเนื่อง (Continuous Feature)		CF	
ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Tolerance)		ST	

ภาพที่ 6.30 สัญลักษณ์การปรับปรุง (Modifier Symbols)
(ที่มา: นรเศรษฐ์ คำบำรุง,บริษัท N-TRIS Solutions & Engineering)

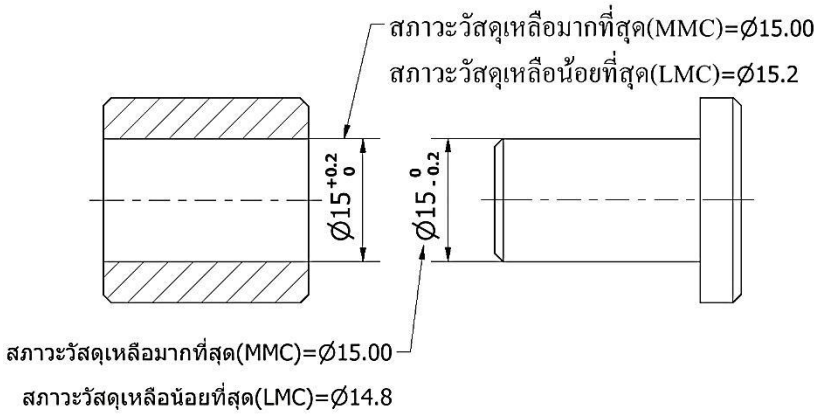
สภาวะเนื้อวัสดุ (Material Condition)

สภาวะเนื้อวัสดุจะพิจารณาจากปริมาณเนื้อวัสดุของชิ้นงาน ที่เปลี่ยนไปจากการกำหนดขนาดและค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ระบุไว้ในแบบงาน สภาวะของเนื้อวัสดุแบ่งออกเป็น 3 สภาวะ คือ

1. สภาวะเนื้อวัสดุมากที่สุด (Maximum Material Condition, MMC) เป็นสภาวะที่ขนาดและค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนส่งผลให้ปริมาณเนื้อวัสดุของชิ้นงานมีค่ามากที่สุด เช่นขนาดของรูที่เล็กที่สุดจะทำให้มีปริมาณของเนื้อวัสดุมีมากที่สุด หรือเพลามีขนาดใหญ่ที่สุดจะใช้สัญลักษณ์ Ⓜ ในการกำหนดสภาวะเนื้อวัสดุ

2. สภาวะวัสดุน้อยที่สุด (Least Material Condition, LMC) เป็นสภาวะที่ขนาดและค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนส่งผลให้ปริมาณเนื้อวัสดุของชิ้นงานมีค่าน้อยที่สุด เช่นขนาดของรูที่ใหญ่ที่สุดจะทำให้มีปริมาณของเนื้อวัสดุเหลือน้อยที่สุด หรือเพลามีขนาดเล็กที่สุดจะใช้สัญลักษณ์ Ⓛ ในการกำหนดสภาวะเนื้อวัสดุ

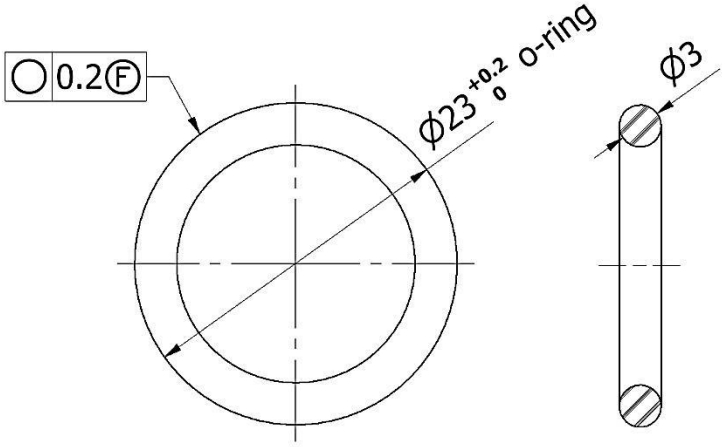
3. สภาวะที่ไม่คำนึงถึงเนื้อวัสดุ เป็นการวิเคราะห์ขนาดในสภาวะที่เกิดขึ้นจริง โดยไม่คำนึงถึงขนาดและค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ส่งผลต่อปริมาณเนื้อวัสดุเป็นเท่าไร



ภาพที่ 6.31 ขนาดในสภาวะเนื้อวัสดุมากที่สุดและขนาดในสภาวะเนื้อวัสดุน้อยที่สุด

สภาวะที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ (Free State)

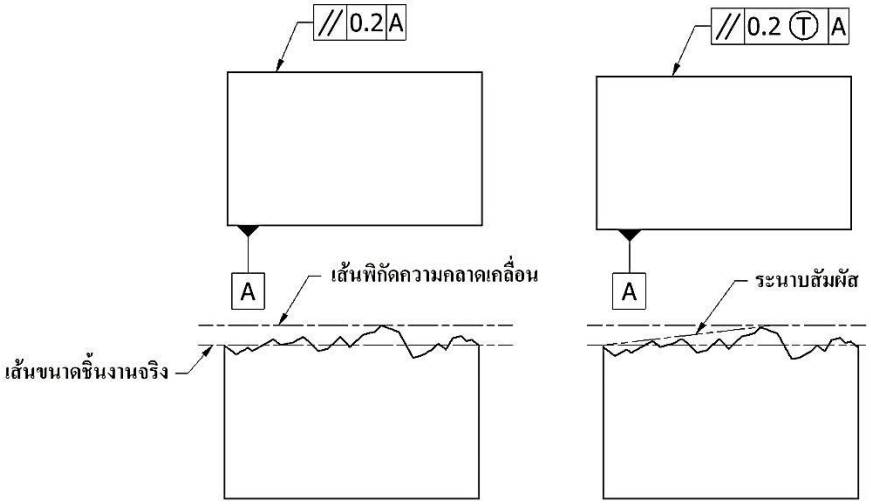
สภาวะที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ เป็นเงื่อนไขการควบคุมและตรวจสอบขนาดหรือรูปร่าง รูปทรงของชิ้นงานในสภาวะที่ไม่มีแรงจากภายนอกที่เกิดจากการจับยึดชิ้นงาน ซึ่งจะพบในชิ้นงานที่มีลักษณะไม่แข็งแกร่ง เช่น ยาง พลาสติก โลหะแผ่น เป็นต้น โดยใช้สัญลักษณ์ Ⓕ ในการควบคุมสภาวะไม่มีแรงมากระทำ



ภาพที่ 6.32 การควบคุมความกลมที่ไม่มีแรงกระทำภายนอก

ระนาบสัมผัส (Tangent Plane)

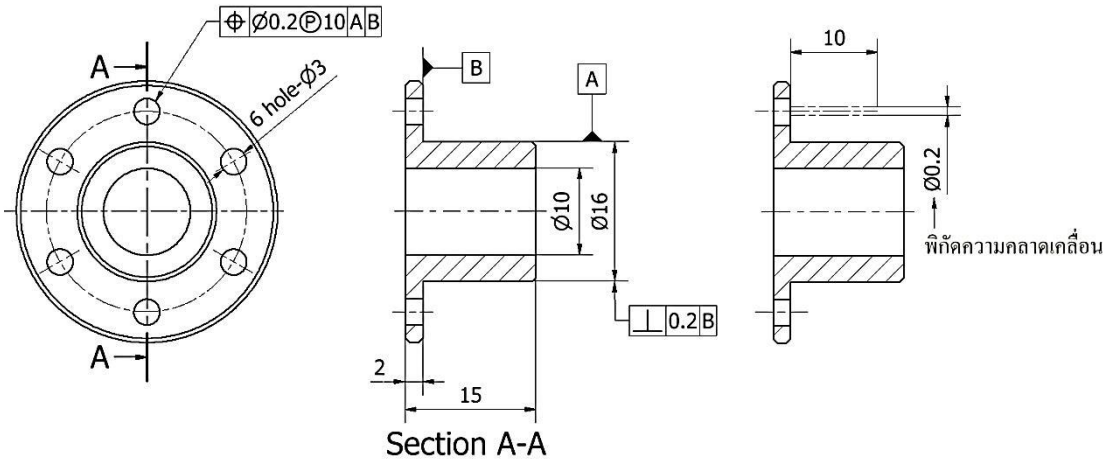
สัญลักษณ์การปรับปรุงระนาบสัมผัส ใช้สำหรับการเปลี่ยนการวิเคราะห์รูปทรง การจัดวางทิศทาง และการควบคุมโครงร่าง การควบคุมพื้นผิว ไปเป็นการควบคุมระนาบสัมผัสด้านนอกของพื้นผิว โดยใช้ Ⓣ เป็นสัญลักษณ์ของระนาบสัมผัส



ภาพที่ 6.33 สัญลักษณ์การปรับปรุงระนาบสัมผัส

การฉายพิกัดความคลาดเคลื่อน (Projected Tolerance)

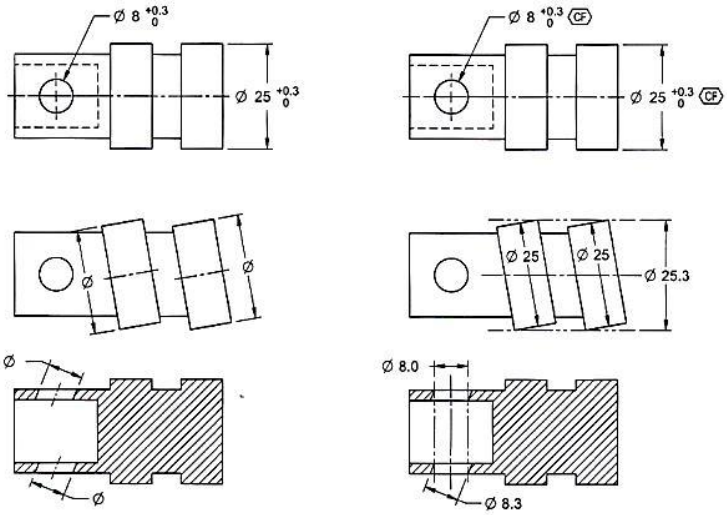
การฉายพิกัดความคลาดเคลื่อน เป็นการเปลี่ยนขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของการควบคุมความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ที่ใช้ในการควบคุมระนาบกลาง หรือแกนกลาง ในเนื้อวัสดุไปเป็นขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ใช้ควบคุมระนาบกลาง แกนกลางนอกเนื้อวัสดุตามระยะที่ต้องการ โดยใช้ Ⓟ เป็นสัญลักษณ์ของการฉายพิกัดความคลาดเคลื่อน



ภาพที่ 6.34 สัญลักษณ์การปรับปรุงระนาบสัมผัส

การควบคุมพื้นผิวต่อเนื่อง (Continuous Feature)

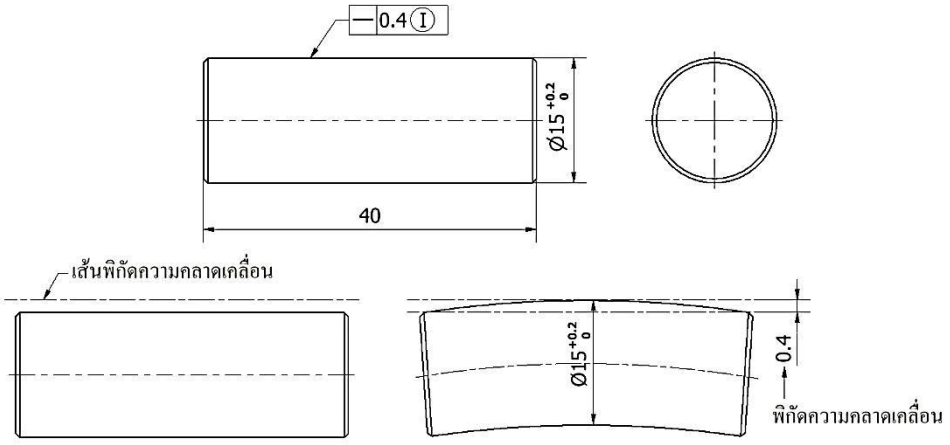
การควบคุมขนาด หรือการควบคุมรูปทรง ของพื้นผิวแต่ละสัญลักษณ์จะเป็นการควบคุมเฉพาะผิวนั้น ซึ่งในบางกรณีการประกอบงานเป็นแบบต่อเนื่องระหว่างพื้นผิวตั้งแต่ 2 พื้นผิวขึ้นไป เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขของการประกอบผู้ออกแบบจะกำหนดสัญลักษณ์ปรับปรุงที่ใช้เพื่อควบคุมผิวต่อเนื่องโดยจะกำหนดสัญลักษณ์ ⟨CF⟩ เป็นสัญลักษณ์ของการควบคุมผิวต่อเนื่อง



ภาพที่ 6.35 สัญลักษณ์การการควบคุมผิวต่อเนื่อง
(ที่มา: นรเศรษฐ์ คำบำรุง,บริษัท N-TRIS Solutions & Engineering)

การควบคุมแบบอิสระ (Independency Principle)

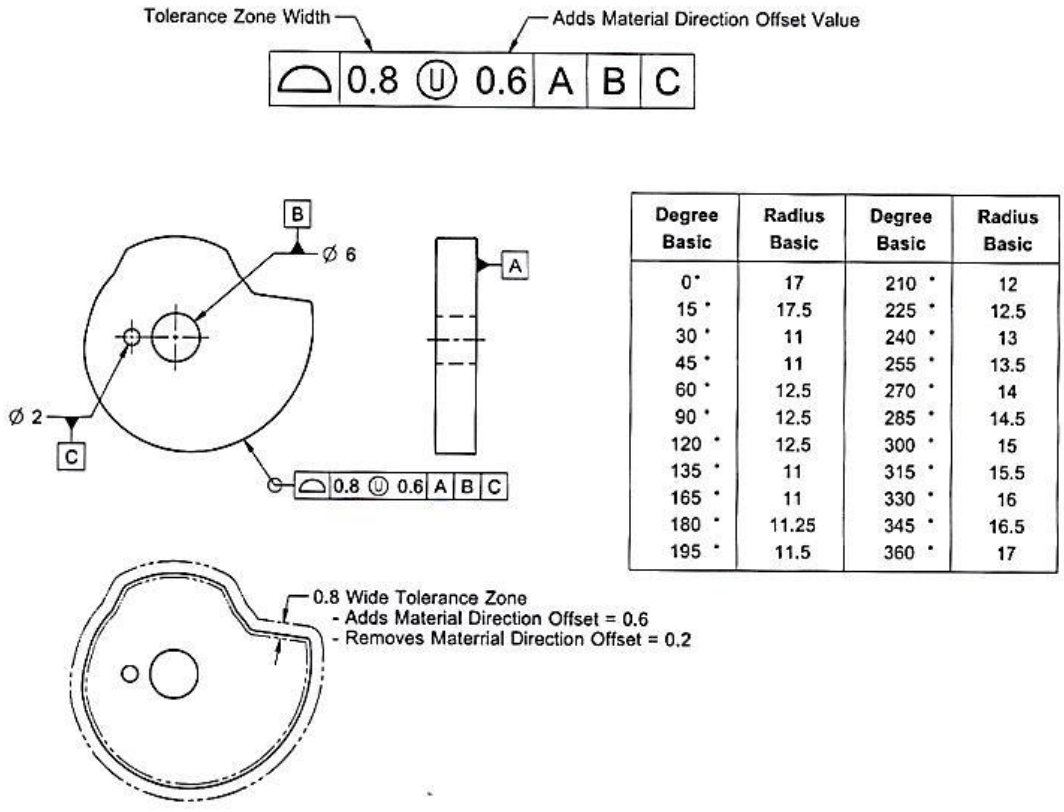
ตามกฎข้อที่ 1 ถ้าในแบบงานกำหนดเฉพาะขนาดและพิกัดความคลาดเคลื่อนเพียงอย่างเดียว พื้นผิวที่เกิดความเบี่ยงเบนทางด้านรูปทรงจะต้องไม่ล้ำขอบเขตชิ้นงานที่อยู่ในสภาวะเนื้อวัสดุมากที่สุด (MMC) โดยกฎข้อที่ 1 จะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 6.36 สัญลักษณ์การการควบคุมแบบอิสระ

ถ้าต้องการยกเลิกกฎข้อที่ 1 สามารถทำได้โดยกำหนดสัญลักษณ์การควบคุมแบบอิสระ Ⓘ ลงในแบบงาน จะเป็นการยกเลิกการควบคุมผิวพื้นผิวของชิ้นงานด้วยขอบเขตของชิ้นงานที่อยู่ในสภาวะเนื้อวัสดุมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ถ้าแบบงานมีการกำหนดพิกัดความคลาดเคลื่อนของรูปโครงร่างเส้นใดๆ เท่ากับ 0.3 มม. หมายความว่าค่าขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ทำให้เนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นและขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ทำให้เนื้อวัสดุลดลง มีระยะห่างด้านละ 0.15 มม. เท่าๆกันเมื่อเทียบกับเว้นโครงร่างปกติ

ถ้าต้องการให้ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ทำให้เนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นและขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ทำให้เนื้อวัสดุลดลงทั้งสองนี้ไม่เท่ากัน จะต้องกำหนดสัญลักษณ์ Ⓤ ในส่วนของค่าพิกัดความคลาดเคลื่อน ตัวอย่างเช่น ถ้าแบบงานมีการกำหนดพิกัดความคลาดเคลื่อนของรูปโครงร่างเส้นใดๆ เป็น 0.8 Ⓤ 0.6 หมายความว่า ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนของการควบคุมโครงร่างเท่ากับ 0.8 มม. โดยค่าที่ขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนด้านที่ทำให้วัสดุเพิ่มขึ้นมีค่า 0.6 มม. และขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนด้านที่ทำให้วัสดุลดลง ทีค่า 0.2 มม. เมื่อเทียบกับเส้นโครงร่างปกติ



Degree Basic	Radius Basic	Degree Basic	Radius Basic
0°	17	210 °	12
15 °	17.5	225 °	12.5
30 °	11	240 °	13
45 °	11	255 °	13.5
60 °	12.5	270 °	14
90 °	12.5	285 °	14.5
120 °	12.5	300 °	15
135 °	11	315 °	15.5
165 °	11	330 °	16
180 °	11.25	345 °	16.5
195 °	11.5	360 °	17

ภาพที่ 6.37 การการควบคุมแบบขอบเขตไม่เท่ากัน

(ที่มา: นรเศรษฐ์ คำบำรุง,บริษัท N-TRIS Solutions & Engineering)