

การวิเคราะห์ทางเรขาคณิตขนาด ความยาวของชิ้นงาน

บำรุง ภูวงส์ *

๑. บทนำ

การที่เครื่องจักรหรือเครื่องมือใด ๆ ก็ตามจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ละชิ้นส่วนของเครื่องจักรหรือเครื่องมือชิ้นนั้น ๆ จะต้องสวมประกอบเข้าด้วยกันได้อย่างพอดี ถ้าหากมองในแง่ของผู้ออกแบบแล้ว ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นควรจะผลิตให้ได้ขนาดตามที่กำหนด แต่ความต้องการในลักษณะดังกล่าวไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ ทั้งนี้เพราะว่าความถูกต้องแม่นยำร้อยเปอร์เซ็นต์ในการผลิต เป็นสิ่งที่เป็นไปได้

ถ้าผู้ออกแบบได้ตระหนักถึงความจริงข้อนี้และยอมรับว่า กรรมวิธีการผลิตมีข้อบกพร่องอยู่ ก็เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตัดสินใจว่า ความคลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาดไปจากขนาดที่แท้จริงควรจะอนุโลมให้ได้มากน้อยแค่ไหน หมายความว่าชิ้นส่วนต่าง ๆ จะมีความคลาดเคลื่อน (tolerance) เป็นเท่าไรดี จึงยังคงมีผลทำให้ชิ้นส่วนทั้งหมดที่ผลิต-สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ และในขณะเดียวกันต้องปฏิบัติงานได้ตามสมรรถนะที่กำหนดด้วย

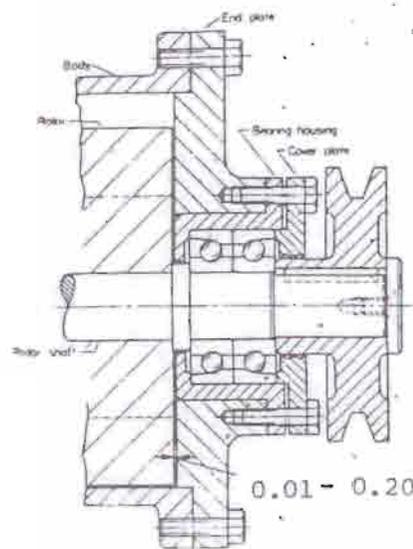
จุดมุ่งหมายของบทความนี้ เน้นให้เห็นถึงความสำคัญและวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ขนาดของชิ้นงานตามความยาวเพื่อกำหนดความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตการตรวจสอบ และการนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต และการตรวจสอบ บทความนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงการวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานกลมที่จะต้องสวมประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดการสวม (fit) ตามความต้องการ เพราะวิธีการวิเคราะห์แตกต่างไปจากวิธีการที่ใช้เกี่ยวกับความยาว อย่างไรก็ตามผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เนื้อหาที่จะกล่าวถึงในที่นี้ คงให้ประโยชน์ต่อผู้ประกอบอุตสาหกรรม โดยเฉพาะวิศวกรการผลิต ไม่มากนัก

๒. ลักษณะทั่วไปเกี่ยวกับความต้องการใช้งาน

ความต้องการใช้งาน (functional requirement) หมายถึงความต้องการที่จะใช้ชิ้นงานอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเครื่องจักรให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ

การกำหนดความต้องการใช้งานเป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบ ซึ่งส่วนใหญ่จะได้จากการสร้างต้นแบบ (prototype) ขึ้นมาก่อน แล้วค่อยทดลองเพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่อง และใช้ค่าที่ได้เป็นบรรทัดฐานในการตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดความต้องการใช้งาน เพื่อให้เข้าใจดีขึ้น ลองมาพิจารณาตัวอย่างตามรูปที่ ๑ ซึ่งเป็นแบบการประกอบ (assembly drawing) ของเครื่องมีสูญญากาศ ชนิด sliding-vane

* อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



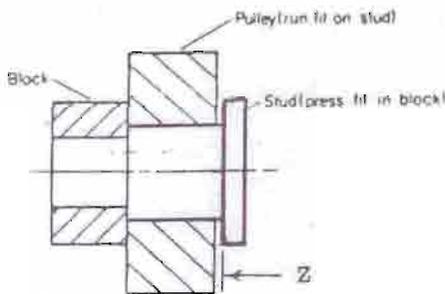
รูปที่ ๑

รายละเอียดการประกอบชี้ให้เห็นว่า สมรรถนะการใช้งาน (functional performance) อย่างหนึ่งของเครื่องปั๊มนี้ ก็คือผิวด้านปลายของโรเตอร์ (rotor) จะต้องไม่สัมผัสกับผิวของฝาครอบ (end plate) หมายความว่าต้องมีช่องว่าง (clearance) เพื่อเอาไว้ และในขณะที่เดียวกันช่องว่างจะต้องไม่มากจนเกินไป เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องต่ำ จากการสร้างต้นแบบและจากการทดสอบพบว่าช่องว่างที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 0.20 มม. และไม่ควรมีน้อยกว่า 0.01 มม. (การสวมระหว่างเพลลาของโรเตอร์กับแบริ่งก็มีความสำคัญ แต่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ เพราะเป็นส่วนของวงกลมไม่ใช่ความยาว)

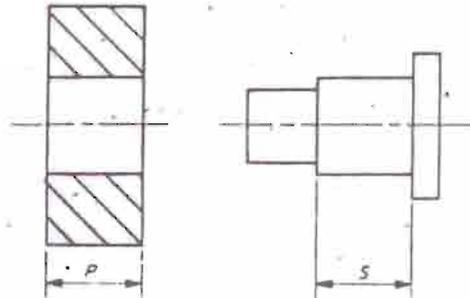
เมื่อทราบความต้องการใช้งานของเครื่องแล้ว สิ่งที่ต้องทำก่อนการผลิตจริงเป็นจำนวนมาก (mass-production) ก็คือการกำหนด ขนาดและความคลาดเคลื่อนสำหรับมิติของชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมิติที่มีผลกระทบโดยตรงต่อความต้องการใช้งานและเรียกมิติดังกล่าวว่า มิติใช้งาน (functional dimension)

๗. การระบุส่วนที่เป็นมิติใช้งาน

การจำแนกหรือระบุส่วนที่เป็นมิติใช้งาน ในช่วงนี้จะขอเริ่มจากตัวอย่างง่าย ๆ ก่อน โดยอาศัย รูปที่ ๒ ประกอบในการอธิบาย รูปที่แสดงเป็นแบบประกอบของชิ้นส่วน ๓ ชิ้นคือ ฐานยึด (block) พูลเลย์ (pulley) และ สลักยึด (stud) โดยที่ตัวสลักยึดจะสวมยึดเข้ากับฐานยึด



รูปที่ ๒



รูปที่ ๓

สมมุติว่าจากตัวอย่างนี้ ถ้าจะให้การทำงานของระบบเป็นไปด้วยดีแล้ว ผู้ออกแบบกำหนดให้ พูลเลย์ เคลื่อนที่ไปมาได้บ้างระหว่างผิวของหัวสลักยึด และผิวที่ปลายของฐานยึด นั่นคือจะต้องมีช่องว่าง จากทวิเคราะห์ ผู้ออกแบบกำหนดให้ช่องว่างที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ ๐.๑๖ มม. และช่องว่างที่น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ ๐.๐๔ มม. หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ กำหนดช่องว่าง $Z = 0.10 \pm 0.06$ มม. ดังนั้น ช่องว่างดังกล่าวเป็นความต้องการใช้งาน และเรียกระยะ Z นี้ว่า มิติใช้งานกำหนด (dependent functional dimension) เพราะเป็นการกำหนดขึ้นมา และในขณะที่เดียวกันมิตินี้จะได้ตามต้องการหรือไม่ขึ้นอยู่กับมิติอื่น ๆ อีกหลายมิติด้วยกัน

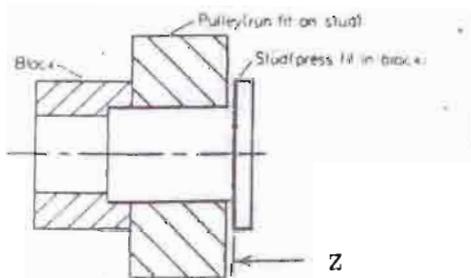
ในการที่จะพิจารณาว่ามิติของชิ้นส่วนประกอบ (component dimension) มิติไหนมีผลกระทบต่อค่า Z พิจารณาได้จากลักษณะของการออกแบบ ถ้าเครื่องจักรหรือชิ้นงานที่ออกแบบมีส่วนประกอบซับซ้อน ก็เป็นการยากที่จะตัดสินใจว่ามิติใดของชิ้นส่วนใดจะมีผลต่อค่า Z แต่ในกรณีที่ลักษณะของการออกแบบเป็นไปอย่างง่าย ๆ ผู้วิเคราะห์สามารถระบุได้ทันทีว่ามิติใดมีผลกระทบต่อค่า Z โดยการพิจารณาจากแบบการประกอบ

จากลักษณะงานตามรูปที่ ๒ จะเห็นว่ามิติที่เกี่ยวข้องกับค่า Z มีอยู่ ๒ มิติด้วยกันคือ ความกว้างของพูลเลย์ (P) และความยาวของสลักยึด (S) ดังแสดงในรูปที่ ๓ เราเรียกมิติที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อค่า Z นี้ว่า มิติใช้งานอิสระ (independent functional dimension)

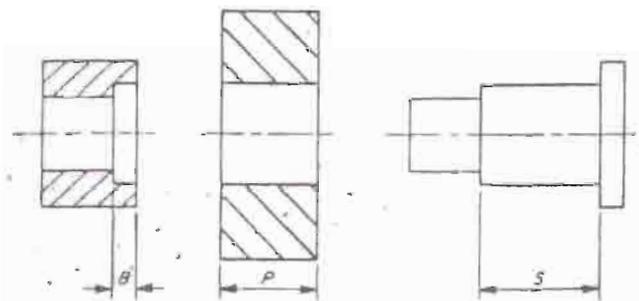
เวลาทำการผลิตจริงสิ่งที่จะต้องควบคุมอย่างเข้มงวดก็คือความยาว S และ P เท่านั้น (ไม่พูดถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นส่วนทั้งสาม ซึ่งก็มีความสำคัญมากเช่นกัน) สำหรับความยาวส่วนอื่น ๆ ไม่จำเป็นต้องควบคุมอย่างใกล้ชิดเพราะไม่มีนัยสำคัญในการใช้งานมากนัก

แต่ถ้าความต้องการใช้งานมีเพิ่มเติมขึ้นมาอีก คือ ปลายของสลักยึดจะต้องไม่โผล่ออกมาจากรานยึดและในขณะเดียวกัน จะต้องไม่ห่างจากผิวปลายของรานยึดมากเกินไปจนเกินไป สิ่งที่ได้พิจารณามาแล้วก็ใช้ได้เหมือนเดิม แต่สิ่งที่จะต้องทำเพิ่มเติมก็คือต้องมาทำการวิเคราะห์ หรือพิจารณาดูว่ามีมิติไหนบ้างที่มีผลกระทบต่อความต้องการอย่างใหม่ที่เพิ่มขึ้นมา กล่าว โดยสรุปแล้วการพิจารณาให้พิจารณาความต้องการใช้งานแต่ละอย่าง เป็นกรณีไป

ถ้าจะให้การวิเคราะห์ยุ่งยากขึ้นไปอีกหน่อย ให้ลองมาพิจารณารูปที่ ๔ ซึ่งลักษณะการทำงานเหมือนกับในกรณีของรูปที่ ๒ เพียงแต่ตัดแปลงส่วนของรานยึดเล็กน้อย โดยการคว้านปากรูปให้เป็นบ่า ถ้าเป็นเช่นนี้ มิติใช้งานอิสระ จะมีอยู่ ๓ มิติด้วยกันคือ B , P , และ S ดังแสดงในรูปที่ ๔



รูปที่ ๓



รูปที่ ๔

ปัญหาในการพิจารณาเกี่ยวกับมิติใช้งานอิสระนี้ อาจเป็นสิ่งที่เข้าใจลำบากสำหรับบางท่าน เนื่องจากขาดประสบการณ์ และขาดจินตนาการ หลักการอีกอย่างหนึ่งที่จะช่วยได้ก็คือการทดลอง เปลี่ยนมิติของชิ้นงานเพียงมิติเดียว โดยให้ทุก ๆ มิติที่เหลือมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง (ผลิตได้ขนาดพอดีโดยไม่มี ความคลาดเคลื่อน) แล้วพิจารณาดูว่ามีผลกระทบต่อค่า Z หรือไม่ ถ้ามีก็ให้ถือว่ามิติที่ทดลองเปลี่ยนขนาดนั้นเป็น มิติใช้งาน เช่น ถ้าหากดูตามรูปที่ ๒ เราทดลองเปลี่ยนความกว้างของหัวสลักยึด โดยที่มิติอื่น ๆ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง จะเห็นว่าขนาดความกว้างที่เปลี่ยนไปไม่มีผลกระทบต่อค่า Z แสดงว่ามิติที่กล่าวมาไม่เป็นมิติใช้งาน

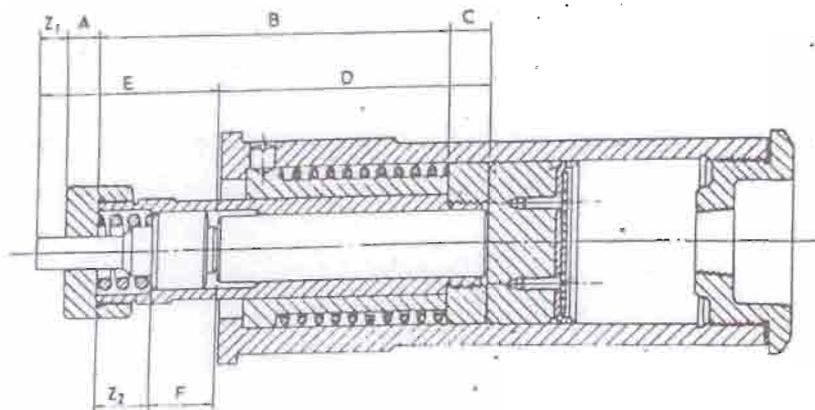
๔. การเขียนสมการวงรอบ

สมการวงรอบ (loop equation) เป็นสมการที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างมิติใช้งานอิสระทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อมิติใช้งานกำหนด เพียง ๑ มิติ เพราะฉะนั้นจากแบบการประกอบของเครื่องจักร ถ้าหากมีมิติใช้งานกำหนด N มิติ ก็จะมีสมการวงรอบอยู่ทั้งหมด N สมการด้วยกัน

การสร้างสมการวงรอบทำได้โดยการเริ่มจากปลายด้านใดด้านหนึ่งของมิติใช้งานกำหนด และให้เคลื่อนที่ไปรอบ ๆ แบบการประกอบ (assembly) จากมิติหนึ่งไปยังอีกมิติหนึ่ง ซึ่งอาจมีการบวกเข้าหรือลบออกแล้วแต่ความเหมาะสม จนกว่าจะย้อนกลับมาที่เดิมอีก เป็นอันว่าครบวงรอบพอดี

วิธีการเขียนสมการวงรอบ พอสรุปได้เป็นขั้นตอนดังนี้คือ

๑. จัดมิติใช้งานทุก ๆ มิติให้อยู่ในลักษณะบรรจบกันเป็นวงรอบ พิจารณารูปที่ ๒ ประกอบการอธิบาย จากรูปจะเห็นได้ว่ามิติใช้งานอิสระอยู่ทั้งหมด ๔ มิติด้วยกันที่มีผลกระทบต่อค่า Z_1 จะเห็นได้ว่า ถ้าไล่จาก Z_1 ไปทางขวามือก็จะเป็นมิติ A, B และ C เพื่อจะให้อยู่ในลักษณะบรรจบกันเป็นวงรอบ จะต้องไล่อ้อนกลับมาอีก และในการไล่อ้อนกลับจะได้มิติ D และ E ข้อควรระวังก็คือมิติใด ๆ ก็ตามจะต้องไม่มีการใช้ซ้ำเป็นครั้งที่ ๒ ถ้าหากว่าไล่ไปแล้วไม่กลับมาบรรจบกันเป็นวงรอบ ก็แสดงว่าการกำหนดมิติใช้งานยังไม่ถูกต้อง รูปที่ ๓ เป็นวงรอบสำหรับความต้องการใช้งาน Z_1



Z_1 และ Z_2 เป็นมิติใช้งานกำหนด

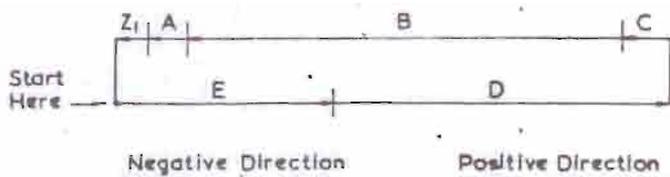
A, B, C, D, E และ F เป็นมิติใช้งานอิสระ

$$Z_1 = E + D - C - B - A$$

$$Z_2 = B + C - D - F$$

รูปที่ ๖

๒. นำมิติใช้งานทั้งหมดจากข้อ ๑ มารวมเข้าด้วยกันตามเครื่องหมาย โดยเริ่มจากมิติงานหนึ่งของมิติใช้งานกำหนด กำหนดให้มีเครื่องหมายเป็นบวก (+) สำหรับมิติที่เคลื่อนที่ไปทางขวา และให้เป็นลบ (-) สำหรับมิติที่เคลื่อนที่ไปทางซ้าย



รูปที่ ๗

จากรูปที่ ๗ จะได้ วงรอบเป็น $+E+D-C-B-A-Z_1$

หมายเหตุ ถ้าเริ่มที่ Z_1 ก่อนก็ได้วงรอบเป็น $Z_1 + A + B + C - D - E$

๓. กำหนดให้ขนาดทั้งหมดเมื่อรวมกันตามเครื่องหมายแล้วมีค่าเท่ากับศูนย์

$$\therefore +E+D-C-B-A-Z_1 = 0$$

๔. จัดเรียงสมการใหม่โดยให้ Z_1 อยู่ทางซ้ายมือ ส่วนค่าอื่น ๆ ให้นำไปไว้ทางขวามือของสมการ จะได้

$$Z_1 = E + D - C - B - A$$

๕. การกำหนดขนาดสำหรับมิติใช้งาน

ในขั้นตอนนี้ให้ทำการกำหนดขนาดสำหรับมิติใช้งานอิสระทุก ๆ มิติ โดยที่เมื่อนำมารวมกันตามสมการวงรอบแล้วจะต้องมีค่าเท่ากับขนาดของมิติใช้งานกำหนด จากรูปที่ ๖ สมมติว่าต้องการให้ Z_1 มีค่าเท่ากับ 12.0 มม. และในขณะเดียวกันถ้าให้ $E = 90.0$ มม. , $D = 125.0$ มม. , $C = 27.0$ มม. , $B = 160.0$ มม. ; และ $A = 16.0$ มม. จะได้

$$\begin{aligned} Z_1 &= E + D - C - B - A \\ &= 90.0 + 125.0 - 27.0 - 160.0 - 16.0 \\ &= 12.0 \text{ มม.} \end{aligned}$$

ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการ และในขณะเดียวกันถ้าให้ $Z_2 = 25.0$ มม. จะได้

$$\begin{aligned} Z_2 &= B + C - D - F \\ 25.0 &= 160.0 + 27.0 - 125.0 - F \\ F &= 37.0 \text{ มม.} \end{aligned}$$

๖. การกำหนดความคลาดเคลื่อนสำหรับมิติใช้งาน

ตามปกติแล้วความคลาดเคลื่อนที่กำหนดสำหรับแต่ละมิติ อาจเป็นความคลาดเคลื่อนทางเดียว (unilateral tolerance) หรือ ความคลาดเคลื่อนสองทาง (bilateral tolerance) ก็ได้ แต่ที่นิยมใช้สำหรับความยาวก็คือระบบของความคลาดเคลื่อนสองทาง ค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับแต่ละมิติให้เลือกจากความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard tolerance) ตามตารางที่ ๑ ในภาคผนวก และในขณะเดียวกันค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ควรจะต้องอยู่ในระดับชั้น (grade) เดียวกัน (ดูตารางที่ ๓ ประกอบ) เพราะถือว่ามีความยากง่ายในการผลิตเท่า ๆ กัน หรือถ้าเป็นไปได้อาจกำหนดโดยการพิจารณาถึงขอบข่ายความสามารถของเครื่องจักรที่มีอยู่ (ดูตารางที่ ๒ ประกอบ)

จากตัวอย่างตามรูปที่ ๖ สมมุติว่า

$$z_1 = 12.0 \pm 0.4 \text{ มม.}$$

$$z_2 = 25.0 \pm 0.4 \text{ มม.}$$

เพราะฉะนั้นเราอาจกำหนดขนาดของความคลาดเคลื่อนสำหรับมิติต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$A = 16.00 \pm 0.06 \text{ (IT 9-10)}; \quad D = 125.00 \pm 0.10 \text{ (IT 9)}$$

$$B = 160.0 \pm 0.10 \text{ (IT 9)}; \quad E = 90.00 \pm 0.08 \text{ (IT 9)}$$

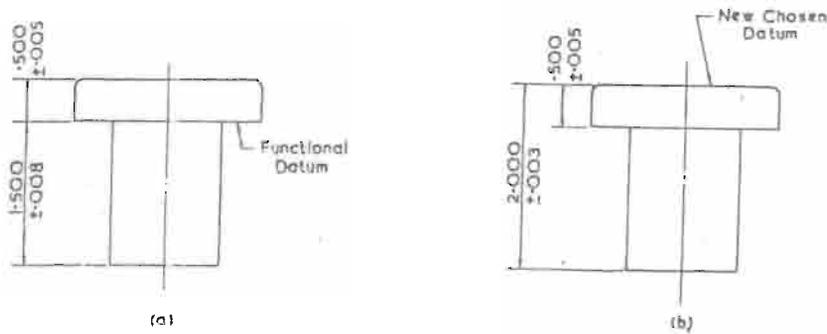
$$C = 27.00 \pm 0.06 \text{ (IT 9-10)}; \quad F = 37.00 \pm 0.12 \text{ (IT 10-11)}$$

ค่าของความคลาดเคลื่อนที่กำหนดอาจแตกต่างกันไปจากที่ยกตัวอย่างก็ได้ แต่เมื่อรวมกันแล้วจะต้องมีค่าไม่เกินความคลาดเคลื่อนของความต้องการใช้งานที่กำหนด เช่น

$$\begin{aligned} z_1 &= \pm 0.08 \pm 0.10 \pm 0.06 \pm 0.10 \pm 0.06 \\ &= \pm 0.40 \text{ มม.} \end{aligned}$$

๗. ความเหมาะสมของผิวหรือจุดอ้างอิง

การระบุขนาดรวมทั้งความคลาดเคลื่อนลงในแบบเขียนทางวิศวกรรม ให้กำหนดชนิดต่าง ๆ จากผิวอ้างอิง ในแง่ของการผลิต และการตรวจสอบว่าสามารถทำได้ โดยไม่มีปัญหา ถ้าหากว่าไม่เหมาะสม อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้มิติที่เกิดขึ้นจากผิวอ้างอิงใหม่ เปลี่ยนไปจากเดิม มีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนละเอียดยิ่งขึ้น ถ้าดูจากรูปที่ ๔ (b) ซึ่งเปลี่ยนผิวอ้างอิงใหม่ แทนที่จะใช้ของเดิมตามรูปที่ ๔ (a) ทำให้ความคลาดเคลื่อนของความยาวทั้งหมดเป็น ± 0.003 นิ้ว เพื่อที่จะยังคงให้ความคลาดเคลื่อนของความยาว เฉพาะส่วนที่เป็นสลักมีค่าคงเดิม คือ ± 0.008 นิ้ว เพราะฉะนั้นถ้าไม่จำเป็นจริง ๆ แล้วไม่ควรเปลี่ยนแปลงผิวอ้างอิงใหม่

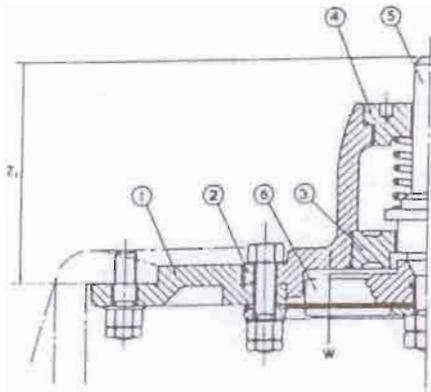


รูปที่ ๔

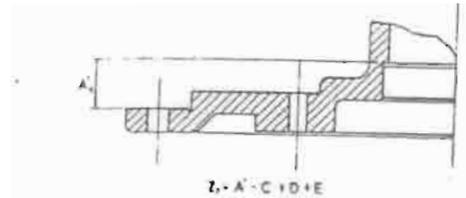
๔. การพิจารณาหาขนาดความคลาดเคลื่อน

ก่อนทำการระบุขนาดความคลาดเคลื่อนให้แน่นอนลงไป ควรตรวจสอบดูว่าเครื่องจักรที่มีอยู่หรือเครื่องที่วางแผนจะซื้อสามารถผลิตได้ตามความต้องการหรือไม่ โดยเทียบดูจากตารางที่ ๒ ตัวอย่างเช่น มิติ A มีค่าเท่ากับ 16.00 ± 0.06 มม. อาจผลิต โดยใช้เครื่องกลึง และเมื่อเทียบดูจากตารางที่ ๒ สำหรับเครื่องกลึงค่อนข้างใหม่ งานที่ผลิตออกมาจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงของเกรด IT-9 ซึ่งมีค่าประมาณ ± 0.022 มม. แสดงว่าสามารถผลิตได้ โดยไม่เป็นปัญหา เพราะค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักรมีน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนด หรืออาจจะใช้เครื่องเจียรไนในการผลิตชิ้นส่วนนี้ก็ได้อีก แต่ค่าใช้จ่ายจะสูงกว่าใช้เครื่องกลึง สำหรับมิติอื่น ๆ ก็มีหลักในการพิจารณาคล้ายกับที่กล่าวข้างต้นเพียงแต่ว่ากรรมวิธีการผลิต หรือเครื่องจักรที่ใช้ อาจแตกต่างกันออกไปเท่านั้น

ถ้าหากว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยเกินไป ไม่สามารถผลิตได้ หรือต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการผลิต อาจมีความจำเป็นต้องใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการคำนวณเพื่อขยายให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น (รายละเอียดดูได้จากเอกสารอ้างอิงลำดับที่ ๑) วิธีการอีกอย่างหนึ่งที่สามารถเพิ่มความคลาดเคลื่อนของแต่ละมิติให้มีขนาดมากขึ้น ทำได้ โดยการดัดแปลงแก้ไขต้นแบบใหม่ เพื่อลดจำนวนมิติใช้งานอิสระให้มีจำนวนน้อยลง เช่น ถ้าดูจากรูปที่ ๔, ๑๐, และ ๑๑ จะเห็นว่า มิติที่มีผลกระทบต่อค่า Z_1 จะลดลงจาก ๕ เป็น ๔ และ ๓ ตามลำดับ โดยที่ชิ้นงานในรูปที่ ๑๑ (a) ได้จากการนำชิ้นส่วนที่ ๑ และ ๒ มารวมกัน ส่วนชิ้นงานในรูปที่ ๑๑ (b) ได้จากการนำชิ้นส่วนที่ ๓ มาสวมเข้ากับต้นแบบที่ดัดแปลงใหม่ตามรูปที่ ๑๐ แล้วค่อยมาทำการตัดกลึงทีหลังเพื่อให้ได้ระยะ B' ตามต้องการ ลักษณะของชิ้นงานดังในรูปที่ ๑๑ (b) จะกลายเป็นหน่วยประกอบย่อย (unit sub-assembly)

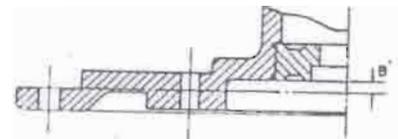


उपल ५



$$Z_1 = A + C + D + E$$

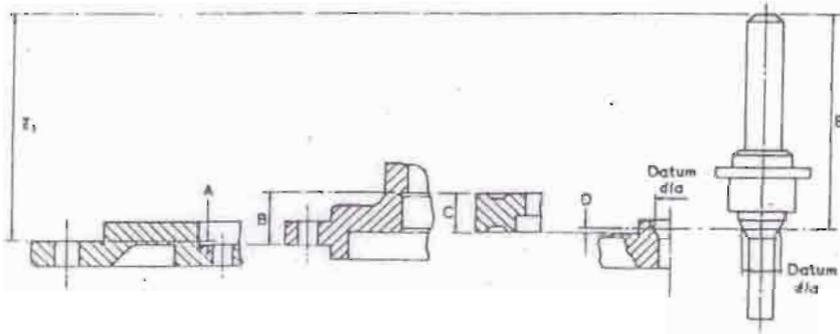
(a)



$$Z_1 = B' + D + E$$

(b)

उपल ६६



When $W=0$
 $Z_1 = -A + B - C + D + E$

उपल ६०

๑๐ . บทสรุป

วิศวกรการผลิตทุกท่านยอมรับว่าขนาดความคลาดเคลื่อน มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ต้องใช้ความละเอียดมากมักจะมีปัญหายากในการผลิตและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ที่เป็นเช่นนี้เพราะจะต้องใช้คนงานที่มีความชำนาญมาก ใช้เครื่องจักรที่มีราคาแพง และที่สำคัญที่สุดคือ อาจมีชิ้นงานเสียที่ต้องทิ้งมากเกินไป ในกรณีที่เกิดไม่ได้ขนาดตามต้องการ เพราะฉะนั้นการกำหนดความคลาดเคลื่อน สำหรับมิติใด ๆ จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์อย่างรอบคอบ ไม่ว่าจะเป็นในแง่ของความต้องการในการใช้งาน ความเหมาะสมของผิวอ้างอิง ตลอดจนจนถึงขอบข่ายความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร และในขณะเดียวกันอาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขต้นแบบใหม่เพื่อให้ผลิตได้ง่ายขึ้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้นับว่ามีประโยชน์มากในแง่ของการลดต้นทุนการผลิต ทำให้ผลิตได้รวดเร็วขึ้น และลดปริมาณการตรวจสอบให้เหลือน้อยลง เพราะมีชิ้นที่จะต้องตรวจอย่างเข้มงวดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในประเทศไทยสามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในขั้นตอนการวางแผนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการผลิตเป็นจำนวนมาก

เอกสารอ้างอิง

1. Gladman, C.A.; Geometric Analysis of Engineering Design; Australian Trade Publications Pty. Ltd. (1972)
2. Gladman, C.A.; Control of Quality in Production Engineering; Annals of C.I.R.P. Vol. XIV No.2; Pergamon Press (1966)
3. Peck, H; Allocating Tolerances and Limits; Longmans, Green & Co, Ltd. (1968)

ตารางที่ ๑

ตารางที่ ๒

STANDARD TOLERANCES

FOR LINEAR DIMENSIONS
Millimetre Series

	0,0010	0,010	0,10	1,0
	0,0012	0,012	0,12	1,2
	0,0016	0,016	0,16	1,6
0,0002	0,0020	0,020	0,20	2,0
	0,0025	0,025	0,25	2,5
	0,0032	0,032	0,32	3,2
0,0004	0,0040	0,040	0,40	4,0
	0,0050	0,050	0,50	5,0
0,0006	0,0060	0,060	0,60	6,0
0,0008	0,0080	0,080	0,80	8,0

Relation between Tolerance Grades and Machining Processes.

Machining Process	Normal Quality Tol Grade	High Quality Tol Grade	Coarse Quality Tol Grade
Drill	12	11	
Mill, Slot, Plans	11	9	12
Turn and Bore	9	8	11
Bream	8	7	
Commercial Grind	8	7	9
Fine Turn and Fine Bore	7	6	
Hone	7	6	
Broach	7	6	
Fine Grind	6	5	
Lap	4	3	

ตารางที่ ๓

Fundamental Tolerances of Grades IT6-IT18

METRIC 1983

Tolerances in 0,001 mm

Basic diameters (mm)			Tolerance grades															
			For gauges							For fits							Large tolerances (Not for fits)	
			IT.1	IT.2	IT.3	IT.4	IT.5	IT.6	IT.7	IT.8	IT.9	IT.10	IT.11	IT.12	IT.13	IT.14	IT.15	IT.16
Over 1	To & Incl. 3	1,5	2	3	4	5	7	9	14	25	40	60	80	140	250	400	600	
3	6	1,5	2	3	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
6	10	1,5	2	3	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	560	800	
10	18	1,5	2	3	5	8	11	18	27	43	70	80	180	270	430	700	1100	
18	30	1,5	2	4	6	9	13	25	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	
30	50	2	3	4	7	11	18	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	
80	120	3	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	
120	180	4	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	
180	250	5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	

Note-

- Use grade IT.1 for Precision Gauges
- Use grade IT.2 for High Quality Gauges
- Use grade IT.3 & IT.4 for Good Quality Gauges
- Use grade IT.5 & IT.6 for Commercial Gauges