บทที่ 3

การเตรียมข้อมูลเบื้องต้น

3.1 การระบุค่าเผื่อเริ่มต้น (Initial Tolerances Values)

ค่าการสวมใส่แบบหลวมที่ต้องการ = 0.053 ± 0.021 มิลลิเมตร

ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่โรงงานกำหนดมา ถ้าลูกค้าต้องการให้แคบกว่านี้ก็สามารถแก้ไขได้

[การสวมใส่แบบหลวมที่ต้องการนี้ได้มาจากการสวมใส่แบบหลวมที่ลูกค้ากำหนดหรือผู้ออกแบบกำหนด]

ค่าการสวมใส่แบบหลวมเฉลี่ย = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ – ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา

= 13.0455 – 12.9925

= 0.053 มิลลิเมตร

จากค่าการสวมใส่แบบหลวมต้องการทำให้ผู้ออกแบบของโรงงานกำหนดให้ ค่าเผื่อการประกอบที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ ± 0.021 มิลลิเมตร ซึ่งค่าเผื่อที่เกิดขึ้นต่อจากนี้ไปบางทีจะไม่ทำการใส่ค่า (±) ไว้ก็เนื่องจากว่าค่าที่ใช้ในการคำนวณเพื่อจัดสรรนั้นจะคิดด้านบวกหรือด้านลบเพียงด้านเดียวแต่สุดท้ายค่าที่ได้จากการจัดสรรก็จะเป็นค่า (±)

สำหรับค่าจากแบบ (Drawing) นั้นค่ามิติ (Dimension) ของเพลาคือ ∅ 13 (+ 0 , - 0.015) มิลลิเมตร และค่ามิติของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์คือ ∅ 13 (+ 0.059 , + 0.032) มิลลิเมตร

เพราะฉะนั้น ค่าจากแบบที่ได้เหล่านี้นั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงค่ามิติให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 3.1 เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 3.1 แสดงการระบุมิติเริ่มต้นของชิ้นส่วนเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์และชิ้นส่วนเพลา

มิติ	O (เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์) (มิลลิเมตร)	S (เพลา) (มิลลิเมตร)
ค่าเฉลี่ย	13.0455	12.9925
ค่าเผื่อ (±)		
ค่าออกแบบ (Design)	0.0135	0.0075
ค่าคงที่ (Fixed)	-	-

หมายเหตุ : สำหรับค่าเผื่อคงที่ (Fixed Tolerance) ถ้ามีจะเป็นค่าเผื่อที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากชิ้นส่วนนั้นต้องซื้อมาจากผู้ขายรายอื่น (Vendor-Supplied) ค่าเผื่อที่เกิดขึ้นจึงเป็นค่าเผื่อเฉพาะของผู้ขายรายนั้น ๆ

3.2 การหาค่าเผื่อเดิมจากการปฏิบัติการจริง

3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับการหาค่าเผื่อจากการปฏิบัติการจริง มีดังต่อไปนี้

ก. ชิ้นงานตัวอย่าง (Work Material)

ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในโครงงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ ซึ่งวัสดุที่ใช้คือ อะลูมิเนียม ADC12 และเพลา ซึ่งวัสดุที่ใช้คือ เหล็กกล้าคาร์บอน S45C (การทดลองจะทำการเตรียมชิ้นงานชนิดละ 100 ชิ้น โดยลอตที่นำมาตรวจสอบนั้นต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพว่ายอมรับได้จากแผนกควบคุมคุณภาพแล้ว)

ก.1 คุณสมบัติทั่วไปของอะลูมิเนียม ADC12

อะลูมิเนียม ADC12 มีส่วนผสมของทองแดง (Cu) 0.5 – 3.5 %, ซิลิกอน (Si) 9.6 – 12.0 %, แมกนีเซียม (Mg) 0.3 max. %, สังกะสี (Zn) 1.0 max. %, เหล็ก (Fe) 1.3 max. %, มังกานีส (Mn) 0.5 max. %, นิเกิล (Ni) 0.5 max. %, ดีบุก (Sn) 0.3 max. % และส่วนที่เหลือ (Residue) เป็นอะลูมิเนียม (Al) อะลูมิเนียม ADC12 นี้เรียกตามมาตรฐาน JIS ถ้ามาตรฐาน ASTM (B85) กับ FSQQA-591F เรียก 383.0, มาตรฐาน BS เรียก LM2 และมาตรฐาน SAEJ452 เรียก A03830 (383.0) สำหรับ ADC12 มีชื่อเรียกว่า Cupriferous Silumin (Copper Silumin) มีซิลิกอนมากกว่า ADC10 ซึ่งมีความสามารถในการหล่อดีกว่าและมีการขยายตัวของอุณหภูมิน้อยกว่าเหมาะกับงานฉีดที่มีรูปร่างซับซ้อนมีความสามารถปฏิบัติการทางกล (Machinability) ในการกลึงและทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี [17]

ก.2 คุณสมบัติทั่วไปของเหล็กกล้าคาร์บอน S45C

เหล็กกล้าคาร์บอน S45C มีส่วนผสมของคาร์บอน (C) 0.42 – 0.48 %, ซิลิกอน 0.15-0.35 %, มังกานีส 0.60-0.90 %, ฟอสฟอรัส (P) 0.030 max. %, ซัลเฟอร์ (S) 0.035 max. %, และส่วนที่เหลือเป็นเหล็ก (Fe) เหล็กกล้าคาร์บอน S45C นี้เรียกตามมาตรฐาน JIS ถ้ามาตรฐาน ISO เรียก C45, มาตรฐาน AISI เรียก 1045, มาตรฐาน BS เรียก 060A45, มาตรฐาน DIN เรียก CK45 และมาตรฐาน NF เรียก XC45 สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน S45C นี้เหมาะกับงานตี (Forging), งานปรับคุณสมบัติวัสดุ (Heat Treatment) และงานตัด (Cutting) [19] สำหรับความหนาแน่นเหล็กกล้าคาร์บอน 0-95 % จะมีความหนาแน่น 0.283 ปอนด์/ลูกบาศก์นิ้ว [42]

ข. เครื่องมือวัด (Measured Instrument)

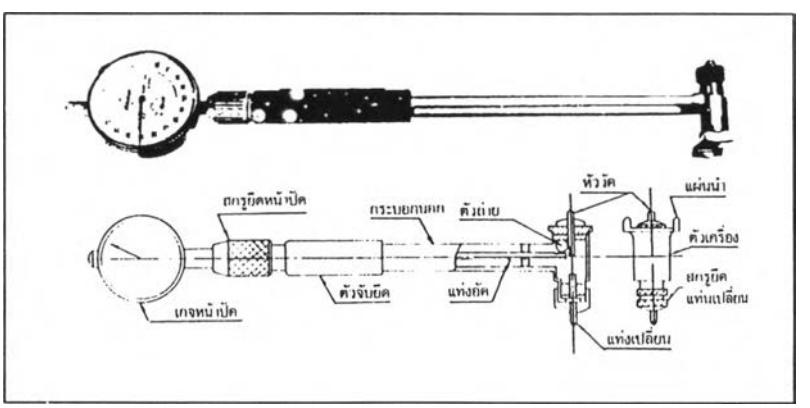
เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดชิ้นงานตัวอย่างมี 2 ชนิด คือ

ข.1 เครื่องมือวัดเกจทรงกระบอก (Bore Gage หรือ Cylinder Gage)

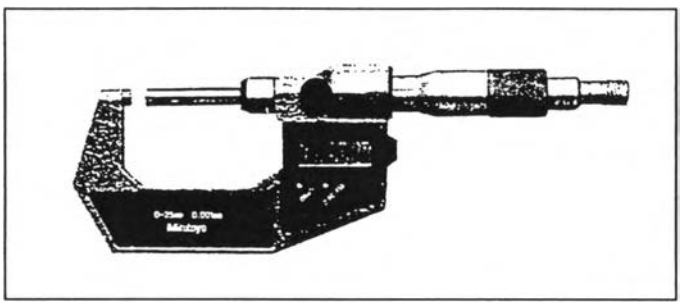
มีความละเอียด ± 0.001 มม. ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2.1.1 [20]

ข.2 เครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก (Outside Micrometer)

มีความละเอียด ± 0.001 มม. ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเพลา ดังแสดงในรูปที่ 3.2.1.2 [21]



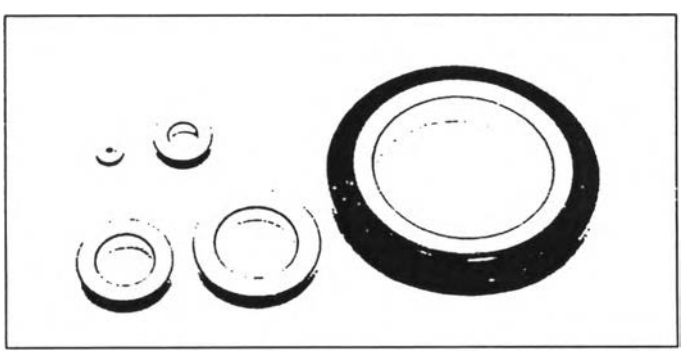
รูปที่ 3.2.1.1 แสดงรูปร่างของเกจทรงกระบอก



<u>รูปที่ 3.2.1.2</u> แสดงรูปร่างของไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก

ข.1 <u>เกจทรงกระบอก</u> [20]

เกจทรงกระบอกเป็นของชิ้นเดียวแบบไมโครมิเตอร์โดยมีมือจับอยู่ส่วนกลาง ปลายของมือจับติดเกจหน้าปัดไว้ ให้หัววัดและแท่งเปลี่ยนมาสัมผัสกับผิวด้านในของรูแล้วอ่านค่าที่วัดได้จากเข็มของเกจหน้าปัด กล่าวคือ เป็นเครื่องมือวัดเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกับเกจหน้าปัด โดยการวัดขนาดกำหนดไว้ด้วยไมโครมิเตอร์หรือเกจวงแหวน (Setting Rings หรือ Ring Gage) ไว้ล่วงหน้าดังแสดงในรูปที่ 3.2.1.3 [21] โดยปรับค่าของเข็มชี้ให้มีค่าเป็นศูนย์อาศัยการหมุนของเข็มชี้ว่ามีค่า (±) ต่างจากขนาดที่กำหนดไว้เท่าใดโดยถ้าเข็มกระดิกทวนเข็มก็จะแสดงว่ารูนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้นส่วนถ้ากระดิกตามเข็มก็จะมีขนาดเล็กลง จึงทำให้สามารถรู้ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางในของรูได้



<u>รูปที่ 3.2.1.3</u> แสดงรูปร่างของเกจวงแหวน

การประกอบเกจหน้าปัด

การประกอบเกจหน้าปัดเข้ากับมือจับของเกจทรงกระบอกคือ คลายสกรูประกอบหน้าปัดให้หลวมใส่เกจหน้าปัดแล้วขันสกรูปิดให้แน่นก็ใช้ได้

การปรับเกจทรงกระบอก

เพราะเกจทรงกระบอกเป็นเครื่องมือวัดเปรียบเทียบ ก่อนวัดรูต้องวัดขนาดที่กำหนดเสียก่อนการปรับแต่งเกจทรงกระบอกนี้เป็นงานที่สำคัญของการวัดด้วยเกจทรงกระบอก การปรับแต่งดีหรือไม่เป็นหัวใจสำคัญของการวัดทั้งหมด

จะใช้เกจวงแหวนหรือไมโครมิเตอร์ก็ได้ จุดสำคัญของการใช้เกจวงแหวนเหมือนกับกรณีวัดรู ซึ่งในส่วนนี้ก็จะใช้เกจวงแหวนเป็นมาตรฐาน ในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของรูในทางปฏิบัตินั้นมีการวัดระหว่างการเจาะรูและการวัดตรวจสอบเมื่อสิ้นสุดการเจาะรู ในกรณีหลังใช้เวอร์เนียร์และเครื่องมือวัดอื่นร่วมกันเท่าที่จะเป็นไปได้ การวัดวิธีนี้ต้องใช้เมื่อรูมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่กำหนดที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

เนื่องจากปริมาณการเคลื่อนที่ของหัววัดของเกจทรงกระบอกมีค่าน้อยประมาณ 1 มม. เมื่อปริมาณสัมผัสมีมากจะชนกับตัวเครื่องบ้างกลายเป็นสาเหตุของการอ่านสเกลผิด ดังนั้นในการวัดระหว่างการเจาะรูควรวัดขนาดไม่เกิน 0.5 มม. ถ้าเป็นไปได้ควรน้อยกว่า 0.1 มม. จึงจะดี

แต่ถึงอย่างไรช่วงการวัดนั้นไม่ว่าจะเป็นระหว่างการเจาะรูหรือการตรวจสอบเมื่องานเสร็จก็ไม่แตกต่างกัน

(1) วิธีใส่เกจทรงกระบอกเข้าไปในรูที่จะวัด

หัววัดนั้นถูกสปริงดัน จึงใหญ่กว่าขนาดที่กำหนด ในกรณีรูเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์นี้สามารถเอียงตัวเครื่องแล้วใส่เข้าไปในรูได้จากนั้นจึงค่อยบิดให้ตั้งฉากเพื่อทำการวัดต่อไป

(2) วิธีการวัดรู

ในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูส่วนใหญ่การวัดจะสนใจการวัดทิศทางในแนวแกน กล่าวคือ ทำการหาจุดที่เล็กที่สุดในแนวแกนแล้ววัดก็ใช้ได้ โดยทำด้านหัววัดให้เป็นจุดหมุนแล้วค่อย ๆ ขยับด้านแท่งเปลี่ยนในแนวแกนหาตำแหน่งที่ผิวหน้าสัมผัสแน่นที่สุด (ค่าที่น้อยที่สุด) ก็ใช้ได้ อ่านเข็มของเกจหน้าปัด ณ ตำแหน่งนั้นอ่านค่า ($\pm$) กับขนาดที่กำหนดไว้แต่แรกก็จะรู้ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางรูได้

ข้อควรระวังเวลาอ่านเข็มชี้

ในการวัดด้วยเกจทรงกระบอกนั้นมีความจำเป็นต้องระวังให้มากเนื่องจากการอ่านเข็มชี้ของเกจหน้าปัดผิดมีมาก

ข.2 <u>ไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก</u> [20]

ไมโครมิเตอร์ที่ใช้วัดนี้เป็น Micrometer Colored Rachet* Stops โดยแรทเชทสตอปจะเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมให้แรงในการวัดมีค่าคงที่ และค่าที่อ่านได้จะแสดงให้เห็นเป็นตัวเลข (Digital) ช่วงพิสัยการวัดของไมโครมิเตอร์เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนและการใช้งานจะอยู่ในช่วง 0 - 25 มม. และมีช่วงความละเอียด (Resolution) 0.001 มม. ก่อนทำการวัดจะต้องทำความสะอาดผิววัดทั้ง 2 ด้านของไมโครมิเตอร์และผิวงานที่จะวัดให้สะอาดปราศจากคราบน้ำมันหรือฝุ่นผง ตลอดจนปรับจุด 0 ของไมโครมิเตอร์ให้พอดี จึงจะเริ่มต้นวัดได้

การวัดด้วยไมโครมิเตอร์เพื่อให้แรงในการวัดมีค่าคงที่นั้นเมื่อผิววัดจะสัมผัสกับผิวชิ้นงานให้หมุนแรทเชทสตอปปรับระยะ แต่ทว่าบางครั้งอาจจะต้องถือไมโครมิเตอร์มือหนึ่งแล้วใช้มืออีกหมุนซิมบอลโดยตรง ซึ่งวิธีนี้จะต้องใช้ความชำนาญสูง ดังนั้นจึงควรมีการฝึกฝนการใช้แรงวัดให้คงที่โดยใช้บล็อกเกจมาเป็นตัวทดลองฝึก

การปรับจุด 0 ของไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก

1. ให้ทำความสะอาดผิววัดทั้ง 2 ด้าน โดยใช้กระดาษบาง ๆ เช็ดออกเบา ๆ
2. หมุนตัวบังคับให้ผิวหน้าทั้งสองประกบกันสนิท แล้วเซต 0 ที่ปุ่ม Zero
3. ทดลองหมุนทำการตรวจสอบซ้ำ 2-3 ครั้ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

วิธีวัดเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งทรงกระบอก

การใช้วิธีถือมือเดียวนั้นต้องใช้ความชำนาญอย่างมาก แต่อย่างไรก็ยังมีความผิดพลาดได้ การวัดจึงจำเป็นต้องมีแท่นจับไมโครมิเตอร์ (Micrometer Stands) เพื่อความสะดวกและความแม่นยำ ดังแสดงในรูปที่ 3.2.1.4

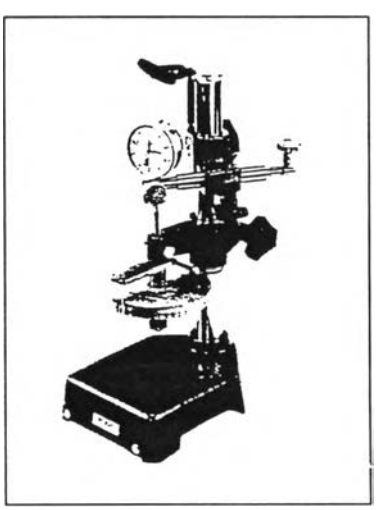
---

* : ***แรทเช็ท (Ratchet)*** *มีรูปร่างลักษณะคล้ายก้ามปู สำหรับใช้เป็นตัวจับยึดกับเฟืองเพื่อทำให้ทิศทางหมุนไปทางเดียวไม่มีกลับ ตัวอย่างเช่น สว่านก๊อกแก๊ก (Ratchet Drill) ซึ่งเป็นสว่านเจาะโดยอาศัยการโยกด้ามไปมา โดยมีแรทเช็ทยึดเหนี่ยวกับเฟืองเพื่อทำหน้าที่นำพาสว่านให้หมุนเจาะไปทางเดียว เป็นต้น* [40]

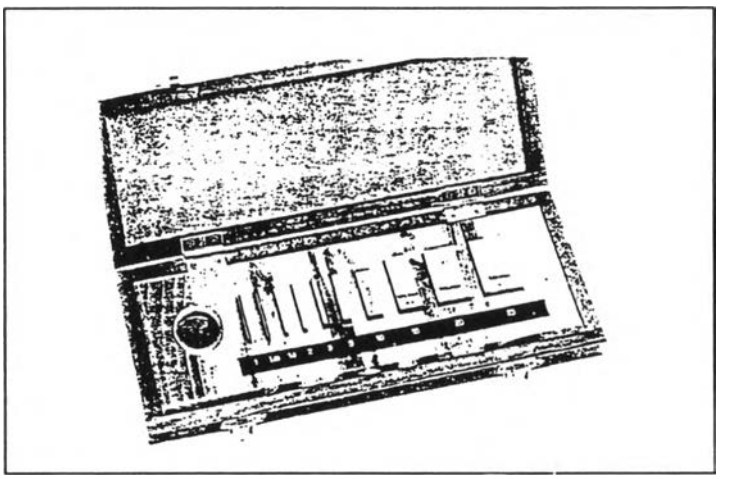
<u>รูปที่ 3.2.1.4</u> แสดงรูปร่างของแท่นจับไมโครมิเตอร์

การปรับเทียบเครื่องมือวัด (Calibration)

ในการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัดนี้ว่าอยู่ในสถานภาพที่ใช้งานได้หรือไม่นั้น สำหรับเกจทรงกระบอกจะใช้เครื่องทดสอบปรับเทียบ (Calibration Tester) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2.1.5 และไมโครมิเตอร์วัดด้านนอกจะใช้ชุดเกจบล็อคสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อทำการตรวจสอบไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก (Rectangular Guage Block Sets for Outside Micrometer Inspection) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2.1.6 สำหรับการปรับเทียบนี้ทางโรงงานที่ไปทำการวิจัยมีความพร้อมทางด้านนี้แล้วเพราะทางโรงงานได้รับมาตรฐาน ISO 9000 แล้วจึงไม่ขอกล่าวถึงในส่วนนี้



<u>รูปที่ 3.2.1.5</u> แสดงรูปร่างของ Calibration Tester



<u>รูปที่ 3.2.1.6</u> แสดงรูปร่างของชุดเกจบล็อคสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อทำการตรวจสอบไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก

3.2.2 <u>การทดลอง</u>

การทดลองในการหาค่าเผื่อจากการปฏิบัติการจริงนี้มีวัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อพิจารณาว่าในการผลิตจริงนี้แนวโน้มของการผลิตจะมีรูปร่างการกระจายเป็นอย่างไร ค่าเผื่อที่ได้อยู่ในช่วงค่าเผื่อที่กำหนดหรือไม่ เพราะถ้าค่าเผื่อที่ได้ตกอยู่ในช่วงที่กำหนดและแคบกว่าช่วงที่ตั้งไว้ก็จะเป็นผลตอบสนองที่ดีต่อโครงการวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างมากที่จะทำการจัดสรรค่าเผื่อใหม่ที่เหมาะสมที่สุด แต่ถ้าค่าที่ได้กระจายและเกินช่วงที่กำหนดไว้ก็จะทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถหาหนทางปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ในอุตสาหกรรมการผลิตไม่ว่าจะเป็นการหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของทั้งกระบวนการทางเครื่องจักรกล (Machine) และกระบวนการผลิตนั้นการกระจายแบบนอร์มอลจะเป็นการกระจายที่แพร่หลายและเหมาะสม [18] สำหรับข้อมูลตัวอย่าง (Sample Size) ที่ต้องเก็บบันทึกเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนควรจะมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เป็นอย่างน้อย [22] แต่กระนั้นก็ตามในความเป็นจริงก่อนที่จะทำการสรุปควรมีการทดสอบเพื่อสนับสนุนว่าในการปฏิบัติการจริงมีการกระจายเป็นแบบนอร์มอลจริงหรือไม่ และข้อมูลที่นำมาใช้ก็ไม่ใช่ว่าต้องเก็บแค่ 100 ตัวอย่างเท่านั้นก็พอแล้วแต่ต้องแสดงให้เห็นว่าจำนวนข้อมูลตัวอย่างที่นำมาใช้นั้นเพียงพอ

ก. วิธีการทดลอง

ก.1 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์

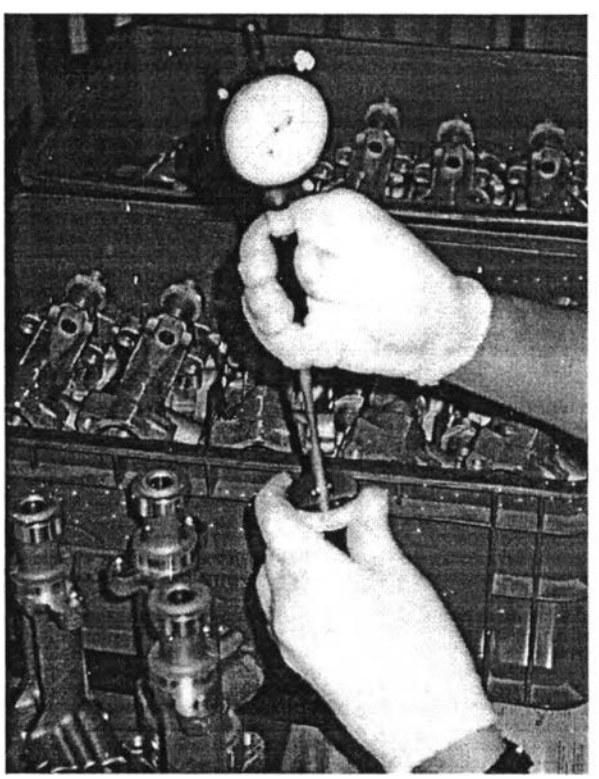
ขั้นตอนที่ 1 ทำความสะอาดรูเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์และเครื่องมือวัดเกจทรงกระบอกให้สะอาดก่อนทำการวัด

ขั้นตอนที่ 2 ทำการตั้งค่ามาตรฐานโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม. ให้เป็นค่า 0 ที่หน้าปัดวัด โดยใช้เกจวงแหวนมาตรฐาน ∅ 13 มม. ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2.2.1

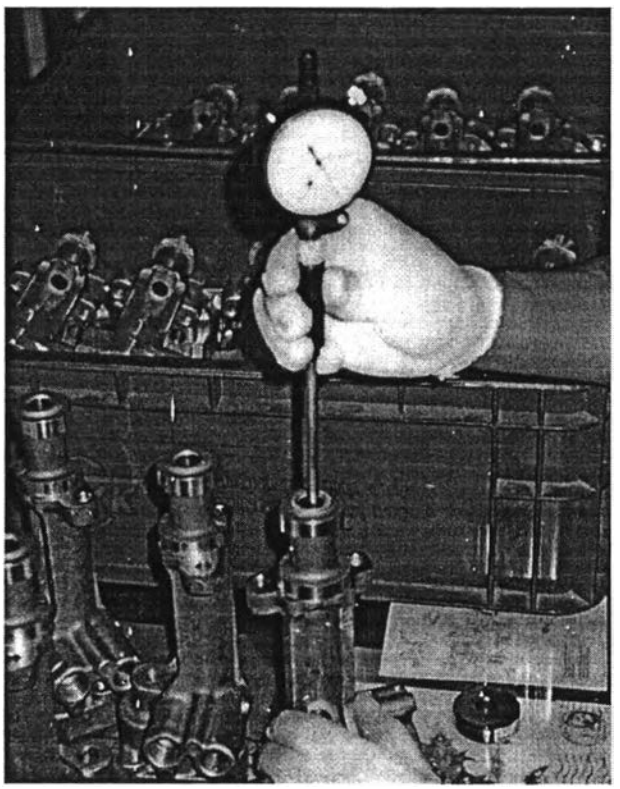
ขั้นตอนที่ 3 ทำการวัดจุดวิกฤติด้วยเกจทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 3.2.2.2 เป็นจำนวน 100 ชิ้น ได้เนื่องจากความแปรปรวน (Variation) ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่มีความละเอียดน้อยมาก

ขั้นตอนที่ 4 ทำการบันทึกค่าข้อมูลที่วัดได้ลงในตารางที่ 3.2.2.1

ขั้นตอนที่ 5 ใช้โปรแกรม Statgraphics Version 5.0 เพื่อคำนวณหาแผนภูมิการกระจาย (ฮีสโตแกรม) กับค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\pm 3\sigma$) พร้อมทั้งทำการสรุปผลที่ได้



รูปที่ 3.2.2.1 แสดงการตั้งค่ามาตรฐานโดยใช้เกจวงแหวน ∅ 13 มม.



<u>รูปที่ 3.2.2.2</u> แสดงการวัดเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ที่จุดวิกฤติด้วยเกจทรงกระบอก

ก.2 <u>การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเพลา</u>

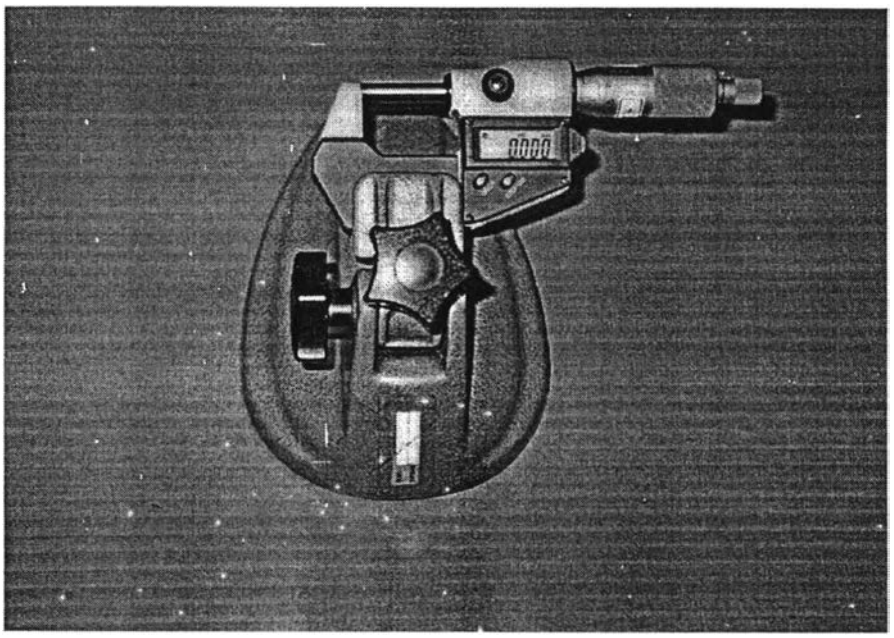
<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ทำความสะอาดเพลาและเครื่องมือวัดไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก โดยใช้ผ้าสะอาดเช็ดฝุ่นและคราบน้ำมันออกให้หมดก่อนทำการวัด

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> นำแท่นจับไมโครมิเตอร์จับไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก และทำการเซตศูนย์ที่ตำแหน่งปุ่ม Zero ดังแสดงในรูปที่ 3.2.2.3

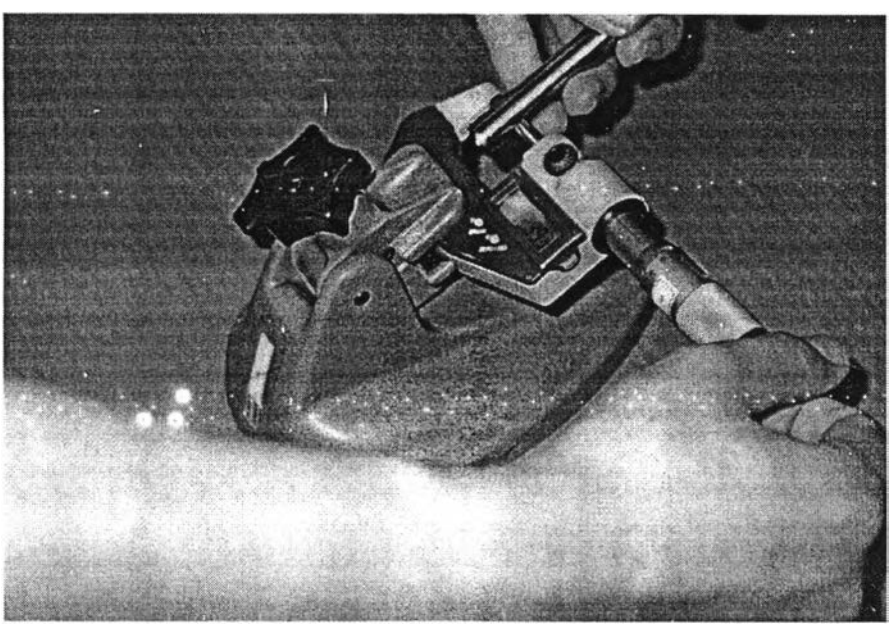
<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ทำการวัดจุดวิกฤติด้วยไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก ดังแสดงในรูปที่ 3.2.2.4 เป็นจำนวน 100 ชิ้น ได้เนื่องจากความแปรปรวน (Variation) ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่มีความละเอียดน้อยมาก

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> ทำการบันทึกค่าข้อมูลที่วัดได้ลงในตารางที่ 3.2.2.2

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> ใช้โปรแกรม Statgraphics Version 5.0 เพื่อคำนวณหาแผนภูมิการกระจาย (ฮีสโตแกรม) กับค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($+3\sigma$) พร้อมทั้งทำการสรุปผลที่ได้



<u>รูปที่ 3.2.2.3</u> แสดงการจับไมโครมิเตอร์วัดด้านนอกด้วยแท่นจับไมโครมิเตอร์



<u>รูปที่ 3.2.2.4</u> แสดงการวัดเพลาที่จุดวิกฤติด้วยไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก

ตารางที่ 3.2.2.1 แสดงการบันทึกค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้ของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์

ลำดับที่	Ø (มม.)	ลำดับที่	Ø (มม.)	ลำดับที่	Ø (มม.)	ลำดับที่	Ø (มม.)
01	13.051	26	13.052	51	13.050	76	13.049
02	13.050	27	13.050	52	13.052	77	13.050
03	13.052	28	13.051	53	13.051	78	13.049
04	13.051	29	13.050	54	13.051	79	13.048
05	13.049	30	13.051	55	13.050	80	13.049
06	13.050	31	13.052	56	13.050	81	13.050
07	13.050	32	13.051	57	13.050	82	13.050
08	13.049	33	13.052	58	13.050	83	13.049
09	13.052	34	13.051	59	13.052	84	13.051
10	13.051	35	13.050	60	13.052	85	13.050
11	13.053	36	13.052	61	13.052	86	13.050
12	13.051	37	13.049	62	13.052	87	13.051
13	13.052	38	13.051	63	13.052	88	13.051
14	13.051	39	13.051	64	13.051	89	13.051
15	13.051	40	13.051	65	13.052	90	13.051
16	13.049	41	13.052	66	13.050	91	13.050
17	13.052	42	13.051	67	13.050	92	13.050
18	13.050	43	13.051	68	13.049	93	13.050
19	13.052	44	13.052	69	13.049	94	13.050
20	13.050	45	13.049	70	13.050	95	13.051
21	13.051	46	13.050	71	13.052	96	13.051
22	13.051	47	13.049	72	13.051	97	13.051
23	13.053	48	13.050	73	13.051	98	13.051
24	13.052	49	13.049	74	13.051	99	13.051
25	13.051	50	13.051	75	13.052	100	13.050

ตารางที่ 3.2.2.2 แสดงการบันทึกค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้ของเพลา

ลำดับที่	Ø (มม.)	ลำดับที่	Ø (มม.)	ลำดับที่	Ø (มม.)	ลำดับที่	Ø (มม.)
01	12.993	26	12.992	51	12.993	76	12.996
02	12.989	27	12.992	52	12.993	77	12.994
03	12.994	28	12.996	53	12.996	78	12.994
04	12.992	29	12.995	54	12.993	79	12.993
05	12.988	30	12.995	55	12.992	80	12.996
06	12.994	31	12.997	56	12.995	81	12.996
07	12.994	32	12.993	57	12.994	82	12.995
08	12.998	33	12.994	58	12.994	83	12.999
09	12.996	34	12.996	59	12.994	84	12.997
10	12.995	35	12.994	60	12.999	85	12.992
11	12.993	36	12.994	61	12.998	86	12.993
12	12.991	37	12.992	62	12.996	87	12.995
13	12.992	38	12.994	63	12.993	88	12.995
14	12.993	39	12.995	64	12.993	89	12.995
15	12.989	40	12.993	65	12.994	90	12.993
16	12.992	41	12.994	66	12.995	91	12.993
17	12.992	42	12.993	67	12.994	92	12.995
18	12.998	43	12.995	68	12.994	93	13.000
19	12.994	44	12.994	69	12.993	94	12.996
20	12.996	45	12.992	70	12.994	95	12.991
21	12.998	46	12.995	71	12.999	96	12.992
22	12.992	47	12.995	72	12.995	97	12.993
23	12.995	48	12.995	73	12.997	98	12.994
24	12.996	49	12.994	74	12.993	99	12.993
25	12.995	50	12.997	75	12.993	100	12.994

ข. ผลการทดลอง

เมื่อทำการกรอกค่าข้อมูลชิ้นงานละ 100 ค่า ที่ได้เข้าไปในโปรแกรมแล้วผลที่เกิดขึ้นของชิ้นงานเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์และเพลามีดังต่อไปนี้

ข.1 เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์

ข.1.1 ค่าเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 13.0507 มม. และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 1.0433×10^{-3} มม.

ข.1.2 กราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 3.2.2.5

กราฟ Frequency Histogram แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 3.2.2.6

ข.2 เพลา

ข.2.1 ค่าเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 12.9942 มม. และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 2.10749×10^{-3} มม.

ข.2.2 กราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 3.2.2.7

กราฟ Frequency Histogram แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 3.2.2.8

หมายเหตุ : 1. กราฟ Normal Probability Plot เป็นกราฟแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่เก็บมามีการกระจายเป็นแบบนอร์มอลหรือไม่ ถ้าเป็นนอร์มอลเส้นกราฟที่ได้จะถูกลากเป็นเส้นตรง ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ข้อมูลตัวอย่างจากชิ้นงานทั้งสองจึงมีการกระจายเป็นแบบนอร์มอล

2. กราฟ Frequency Histogram เป็นกราฟแสดงจำนวนข้อมูล (แผนภูมิแท่ง) และเส้นโค้งนอร์มอล

ค. สรุปผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ เท่ากับ 13.0507 มม. ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) เท่ากับ $\pm$ 0.0031299 มม.

ค่าเฉลี่ยเพลา เท่ากับ 12.9942 มม. ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) เท่ากับ $\pm$ 0.00632247 มม.

$\therefore$ จากสูตร การสวมใส่แบบหลวมเฉลี่ย = ค่า $\varnothing$ เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ - ค่า $\varnothing$ เพลา

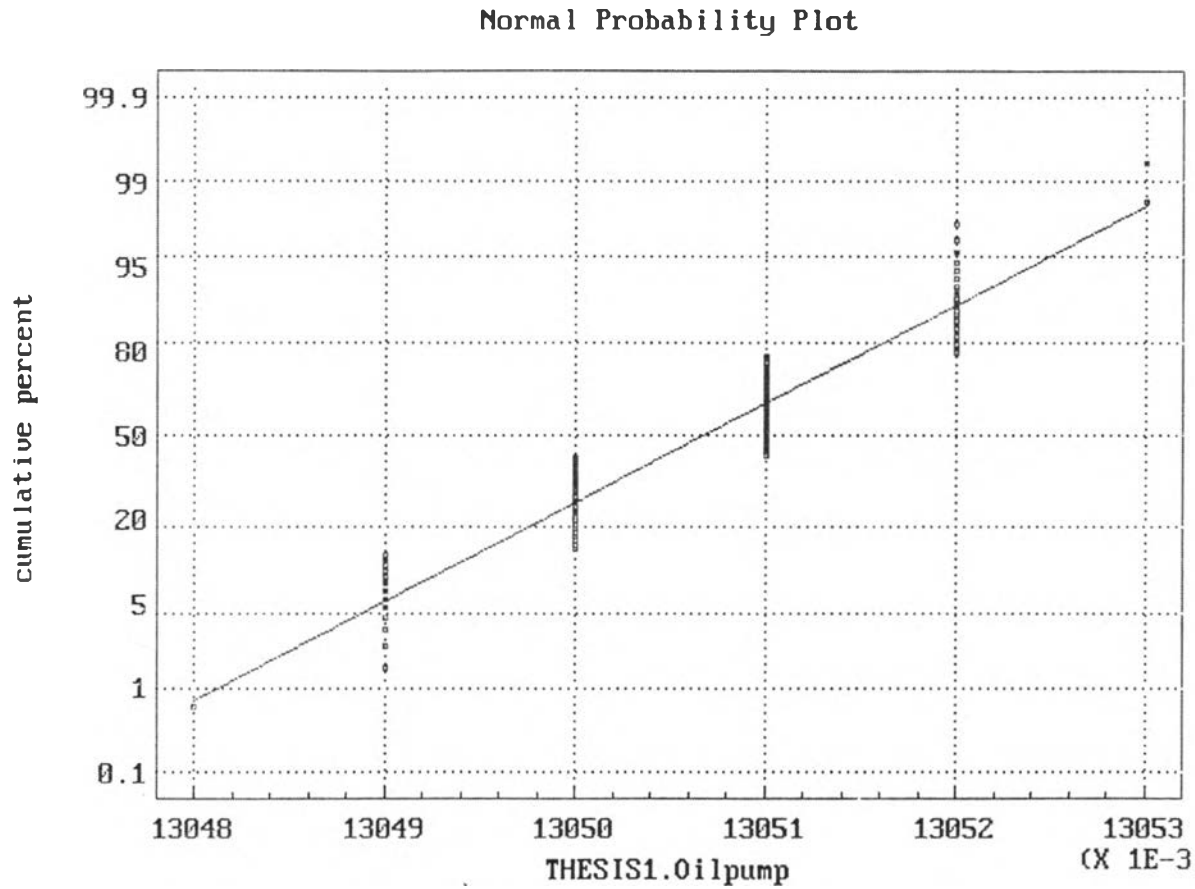
จะได้ การสวมใส่แบบหลวมเฉลี่ย = 13.0507 - 12.9942

การสวมใส่แบบหลวมเฉลี่ย = 0.0565 มม.

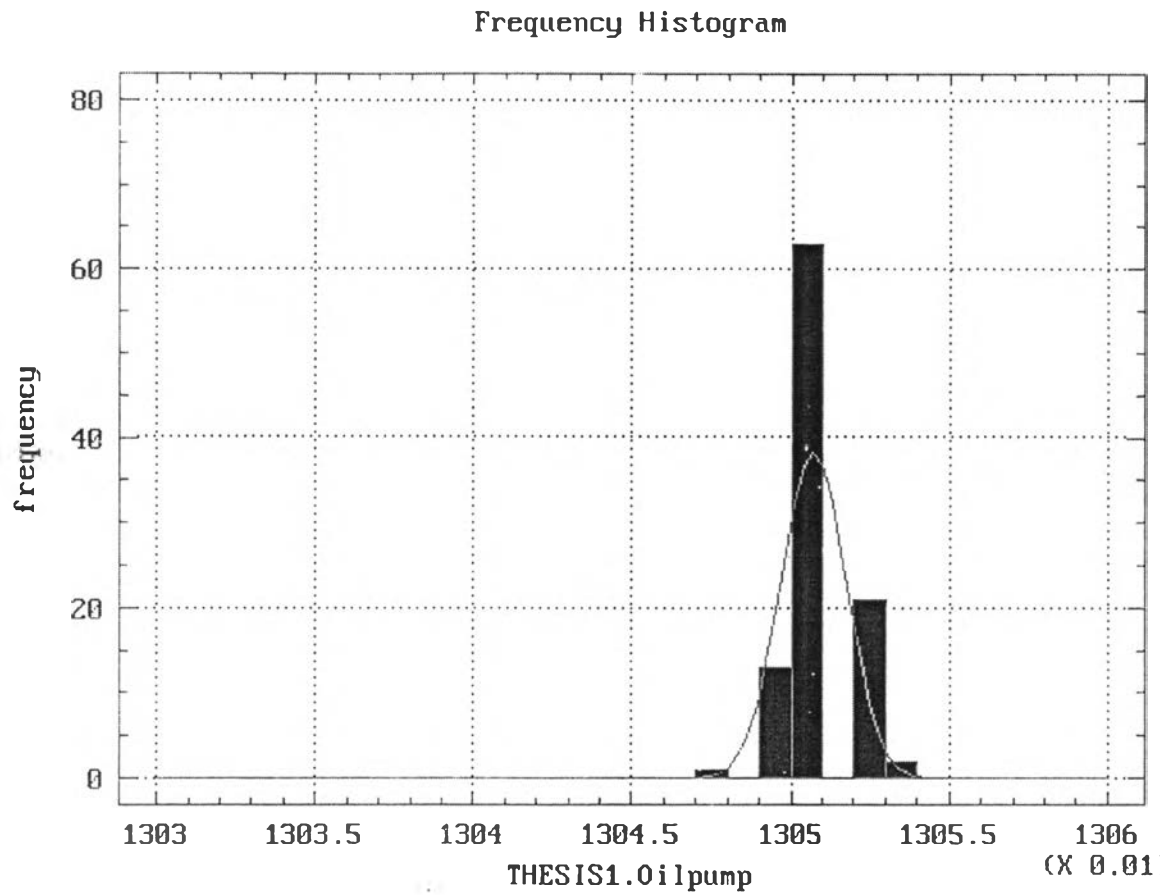
และจากสูตร $T_{ASM} = [(\text{ค่าเผื่อของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์})^2 + (\text{ค่าเผื่อของเพลา})^2]^{1/2}$

จะได้ $T_{ASM} = [(0.0031299)^2 + (0.00632247)^2]^{1/2}$

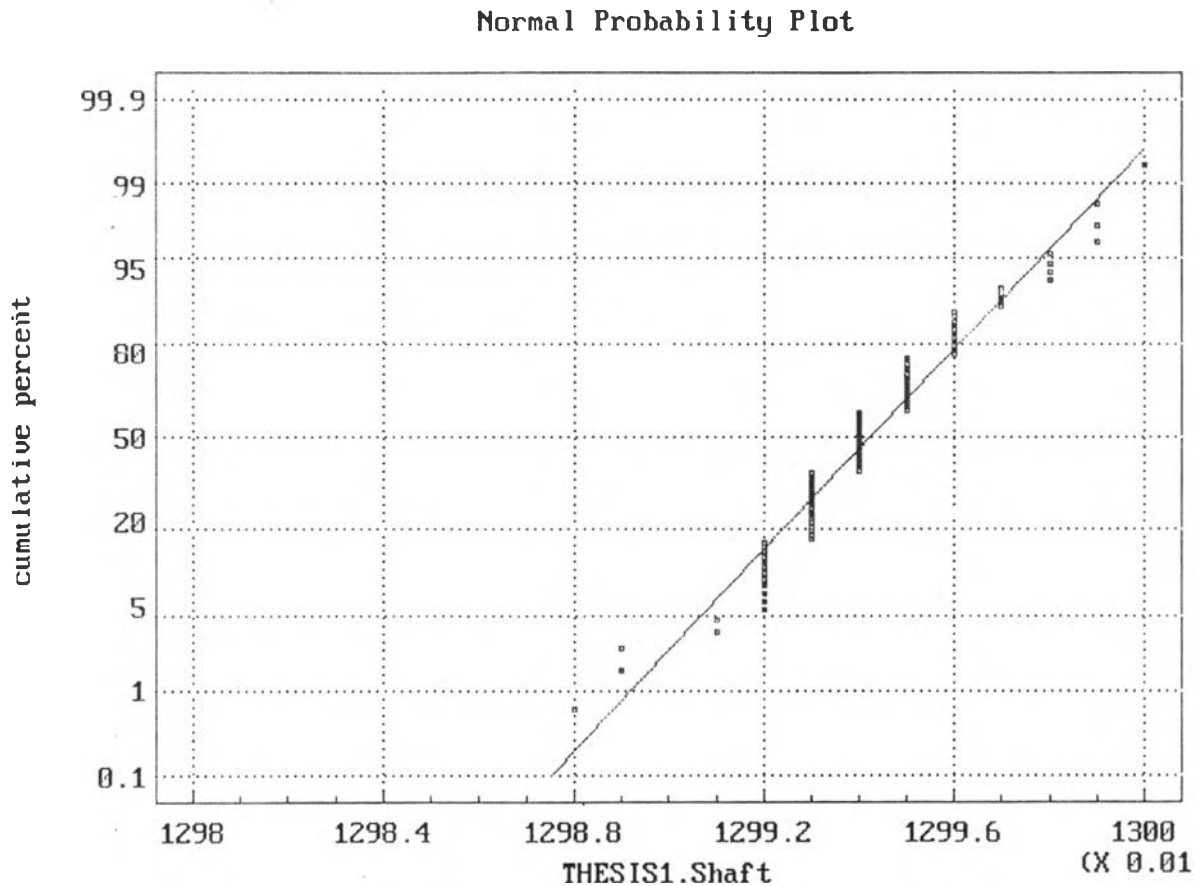
$T_{ASM} = 0.0070547$ มม.



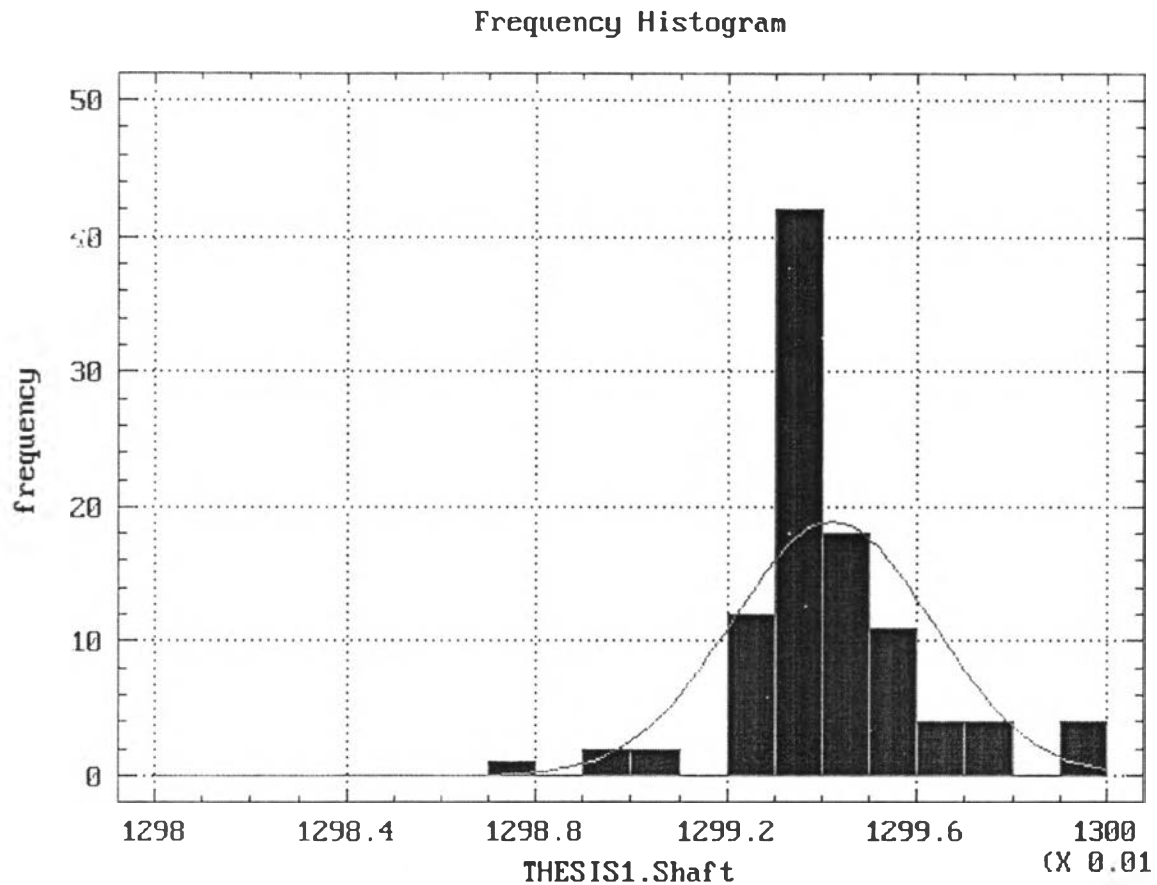
<u>รูปที่ 3.2.2.5</u> แสดงกราฟ Normal Probability Plot ของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์



<u>รูปที่ 3.2.2.6</u> แสดงกราฟ Frequency Histogram ของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์



<u>รูปที่ 3.2.2.7</u> แสดงกราฟ **Normal Probability Plot** ของเพลา



<u>รูปที่ 3.2.2.8</u> แสดงกราฟ Frequency Histogram ของเพลา

3.3 การเปรียบเทียบค่าการสวมใส่แบบหลวมเฉลี่ย และค่าเผื่อการประกอบ (ในหัวข้อ 3.1 กับ 3.2)

จากการเปรียบเทียบค่าจากการออกแบบและค่าจากการปฏิบัติการจริงในตารางที่ 3.3.1 จะสรุปได้ว่า ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าที่วัดได้จากการปฏิบัติการจริงของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์และเพลา จะเห็นได้ว่าอยู่ในช่วงกำหนดจากแบบทั้ง 100 ค่า ในแต่ละชิ้นงาน (จากตารางที่ 3.2.2.1 และ 3.2.2.2) และค่าเผื่อที่ได้แต่ละชิ้นงานจากการปฏิบัติการจริงก็อยู่ในช่วงที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแต่ละชิ้นงานกับค่าการสวมใส่แบบหลวมเฉลี่ยก็แทบไม่แตกต่างกัน จึงเห็นได้ว่าการผลิตที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบันสามารถควบคุมคุณภาพการผลิตได้ตามขนาด (Specifications) ที่กำหนดไว้ ซึ่งยืนยันสนับสนุนกับกระบวนการผลิตปัจจุบันที่มีการควบคุมคุณภาพอยู่แล้ว โดยมีอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการ (PCR หรือ C_{pk}) เท่ากับ 1.33

แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าเผื่อการประกอบจะเห็นว่าค่าเผื่อการประกอบจากการปฏิบัติการจริง ซึ่งเท่ากับ 0.0070547 นั้นน้อยกว่าค่าเผื่อการประกอบจากการออกแบบซึ่งเท่ากับ 0.021 พอสมควร จึงเป็นเหตุให้มีแนวโน้มที่จะปรับปรุงค่าเผื่อให้เหมาะสมกว่าเดิมได้ในส่วนต่อไปของงานวิจัย

ตารางที่ 3.3.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ระหว่างการออกแบบกับการปฏิบัติการจริง

ชิ้นส่วน	การออกแบบ (มม.)		การปฏิบัติการจริง (มม.)	
	ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย	ค่าเผื่อ	ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย	ค่าเผื่อ
เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์	13.0455	0.0135	13.0507	0.0031299
เพลา	12.9255	0.0075	12.9942	0.00632247
การสวมใส่แบบหลวมเฉลี่ย (มม.)	0.053		0.0565	
ค่าเผื่อการประกอบ (มม.)	0.021		0.0070547	

แต่กระนั้นก็ตามในการอ้างอิงจากข้อมูลที่กล่าวมานี้เป็นเพียงแค่แนวทางดำเนินการเท่านั้น การพิจารณาให้แน่นอนและเหมาะสมจริง ๆ นั้น ควรมีข้อมูลที่มาใช้วิเคราะห์มากกว่านี้คือ ชิ้นงานตัวอย่างควรมีมากกว่า 100 ชิ้นและจำนวนลอตที่นำมาก็ควรมีหลาย ๆ ลอต โดยพิจารณาจำนวนลอตเป็นเลขคี่ เพื่อตรวจสอบรูปร่างการกระจายของเส้นโค้งว่าจากการปฏิบัติการจริงนั้นค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนไปมากน้อยเพียงใดในแต่ละชิ้นงานจากค่าเฉลี่ยของการออกแบบ รวมทั้งค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่ได้พิจารณาดังข้างต้นที่กล่าวมาด้วย และถ้าวิเคราะห์ออกมาแล้วเห็นว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดและค่าที่สนใจนั้นเหมาะสมก็สามารถดำเนินการวิจัยในส่วนต่อไปได้