การทดลองที่ 2
เรื่องการวัดอย่างละเอียด

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ให้อ่านค่าละเอียดที่สุดตามที่กำหนดให้ได้

2. วัดหาความหนา ความยาว ความกว้าง ความลึก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในของวัตถุต่าง ๆ ได้ โดยใช้เครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการ

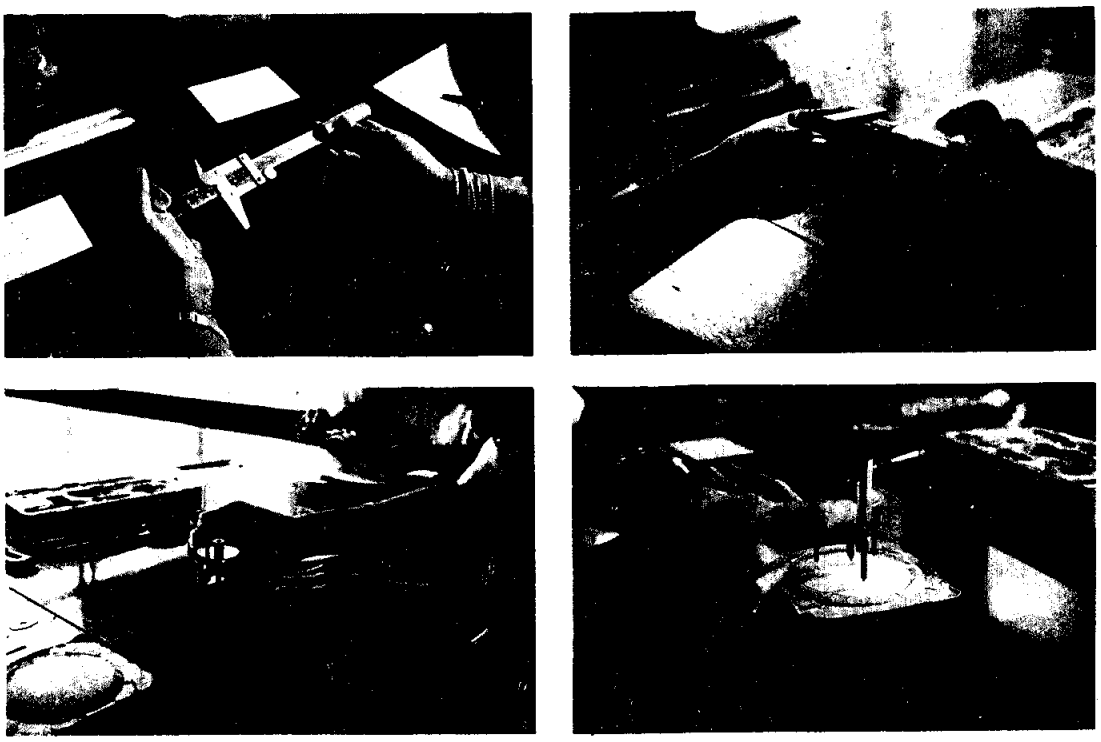
เครื่องใช้ในการทดลอง

1. เวอร์เนียร์แคลิเปอร์ (vernier caliper)
2. ไมโครมิเตอร์แคลิเปอร์ (micrometer caliper)
3. สเฟียโรมิเตอร์ (spherometer)
4. อุปกรณ์สำหรับสร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ และวัตถุที่ต้องการวัดค่าอย่างละเอียด

ทฤษฎี

การวัดเป็นกระบวนการเปรียบเทียบปริมาณไม่ทราบค่ากับปริมาณทราบค่า (หรือปริมาณมาตรฐาน) การวัดทุก ๆ กรณีย่อมมีความผิดพลาด (error) อันเนื่องจากผู้วัดและเครื่องมือวัด การวัดจึงเป็นเพียงการประมาณค่าเท่านั้น ความผิดพลาดอันเนื่องจากผู้วัดอาจทำให้ลดน้อยลงได้ด้วยการใช้ความระมัดระวังในการสังเกตการณ์ (observation) และทางด้านเครื่องมือวัดก็สร้างให้สามารถวัดค่าได้ละเอียดมาก ๆ อย่างไรก็ตามเครื่องมือทุกชิ้นย่อมมีขอบเขตของความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งแสดงว่าค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงเพียงใด ความถูกต้องแม่นยำจึงเป็นตัวเลขที่แสดงโดยจำนวนเลขนัยสำคัญ (significant digit) โดยที่จำนวนของตัวเลขนัยสำคัญของปริมาณหนึ่ง ๆ จะเท่ากับจำนวนของเลขที่ได้จากเครื่องมือรวมกับตัวเลขสุดท้ายอีกหนึ่งตัว ซึ่งได้จากการคาดคะเนโดยประมาณ (estimate)

เนื่องจากขีดจำกัดของคนและเครื่องมือวัด การวัดจำนวนอย่างเดียวกันหลาย ๆ ครั้งอาจให้ค่าแตกต่างกันหลาย ๆ ค่า โดยเฉพาะตัวเลขสุดท้ายซึ่งเป็นตัวที่คาดคะเนโดยประมาณ



ภาพสไลด์แสดงการใช้เครื่องมือทดลองในการทดลองที่ 2

การวัดแต่ละครั้งอาจให้ค่าต่างกันเล็กน้อย การกระจายของจำนวนเหล่านี้รอบค่าเฉลี่ย (average value) แสดงถึงความแม่นยำ (precision) ของการวัดนั้น

การวัดในทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย จำนวน และหน่วย (dimensional unit) ดังนั้นในการบอกปริมาณใด ๆ จึงต้องบอกทั้งจำนวนและหน่วยของปริมาณนั้น ๆ จึงจะสื่อความหมายได้ถูกต้องเป็นที่เข้าใจกันได้

1. เวอร์เนียร์แคลิเปอร์ (vernier caliper)

ประกอบด้วยส่วนคงที่รูปร่างตัว "L" และส่วนเคลื่อนที่อยู่บนส่วนแรก ส่วนคงที่จะมีสเกลเรียกว่าสเกลหลัก (main scale หรือ fixed scale) ซึ่งแบ่งหนึ่งหน่วย (เช่น นิ้ว หรือ ซ.ม.) เป็นช่อง ๆ (อาจเป็น 16 ช่อง หรือ 10 ช่อง) ส่วนเคลื่อนที่จะมีสเกลเรียกว่า สเกลเวอร์เนียร์ (vernier scale) ซึ่งอยู่ทั้งสองด้านของสเกลหลัก (เช่น สเกลหลักมีทั้งระบบเมตริก และระบบอังกฤษ สเกลเวอร์เนียร์ก็จะมีทั้งสองระบบดังกล่าว)

ให้ S แทน 1 ช่องที่เล็กที่สุดบนสเกลหลัก

V แทน 1 ช่องที่เล็กที่สุดบนสเกลเวอร์เนียร์

n แทนจำนวนช่องบนสเกลเวอร์เนียร์

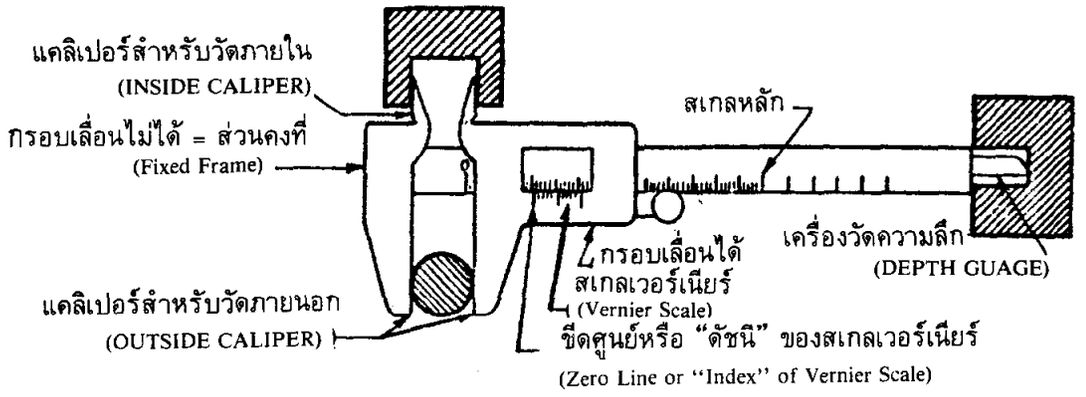
เวอร์เนียร์แคลิเปอร์มี 2 แบบ คือ

1. แบบอ่านไปข้างหน้า (forward reading) เป็นแบบที่มีค่า S มากกว่าค่า V
2. แบบอ่านถอยหลัง (backward reading) เป็นแบบที่มีค่า S เล็กกว่าค่า V

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบอ่านไปข้างหน้า ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กัน

เวอร์เนียร์แคลิเปอร์เป็นเครื่องมือวัดที่ให้ค่าละเอียดกว่าไม้บรรทัดธรรมดา ค่าความยาวที่ละเอียดที่สุดที่จะอ่านได้จากเครื่องมือ เรียกว่า least count ซึ่งอาจหาได้จาก

$$\text{least count} = S - V = \frac{S}{n}$$

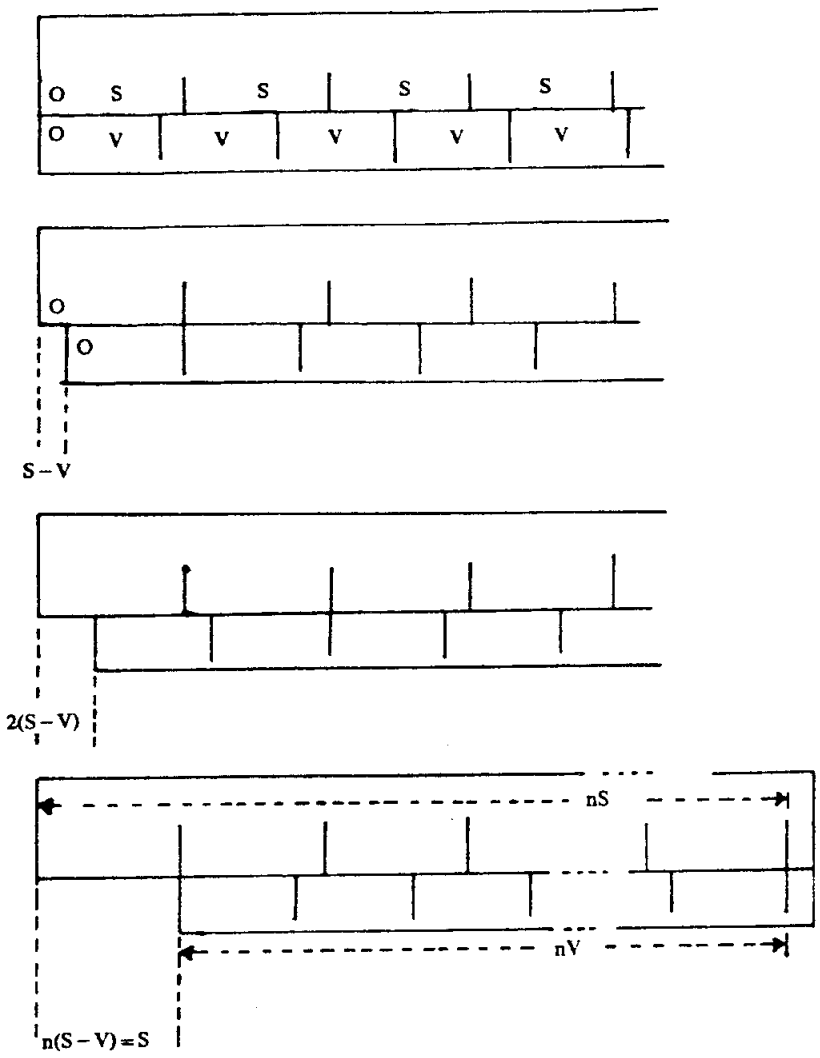


รูปที่ 2.1 *เวอร์เนียร์แคลิเปอร์*

หลักการสร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์แบบอ่านไปข้างหน้า

ถ้าต้องการเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดที่สุดเป็น $\frac{1}{n}$ ของความยาว 1 ช่องเล็กที่สุดบนสเกลหลัก (คืออ่านได้ละเอียด = $\frac{S}{n}$) ต้องสร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์นั้นให้มีจำนวนช่องบนสเกลเวอร์เนียร์ n ช่อง

ดูรูปที่ 2.2 เริ่มต้นเราจัดให้ขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดศูนย์สเกลหลัก ถ้าเลื่อนสเกลเวอร์เนียร์จนขีดที่ 1 ของมันตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลัก เวอร์เนียร์จะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเป็น $(S-V)$ ถ้าขีดที่ 2 ของสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดที่ 2 ของสเกลหลัก เวอร์เนียร์ก็จะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางเป็น $2(S-V)$ ในทำนองเดียวกันเช่นนี้ ถ้าขีดที่ n ของสเกลเวอร์เนียร์เลื่อนไปตรงกับขีดที่ n ของสเกลหลัก เวอร์เนียร์ก็จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (ทางขวา) ห่างจากขีดศูนย์ของสเกลหลักเป็นระยะทาง $n(S-V)$ ซึ่งทำให้ขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลักพอดี หมายความว่าเวอร์เนียร์เคลื่อนที่ไปได้ 1 ช่องของสเกลหลักพอดี คือ ได้ระยะทาง S



รูปที่ 2.2 *หลักทั่วไปของเวอร์เนียร์แคลิเปอร์คือ* n(S – V) = S

นั่นคือ $n(S-V) = S$

$\therefore \quad S-V = \frac{S}{n} = \text{Least Count}$

หรือ $nV = (n-1)S$ .....(2.1)

$V = S - \frac{S}{n} = \left(\frac{n-1}{n}\right)S$

จากสมการ (2.1) จะได้ว่าในการสร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์นั้น ให้ใช้ช่วงระยะบนสเกลหลัก $(n-1)$ ช่อง ไปแบ่งเป็นช่องเท่า ๆ กัน n ช่อง บนสเกลเวอร์เนียร์

ตัวอย่าง ต้องการสร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ให้อ่านค่าได้ละเอียดที่สุด (least count) เป็น เป็น $\frac{1}{132}$ นิ้ว

วิธีคิด พิจารณาสมการ least count $= S-V = \frac{S}{n} = \frac{1}{132}$ นิ้ว

แยกตัวประกอบ $\frac{1}{132} = \frac{1}{12\times 11}$

ดังนั้นเราเลือกให้ $S = \frac{1}{12}$ นิ้ว แล้วแทนลงในสมการ

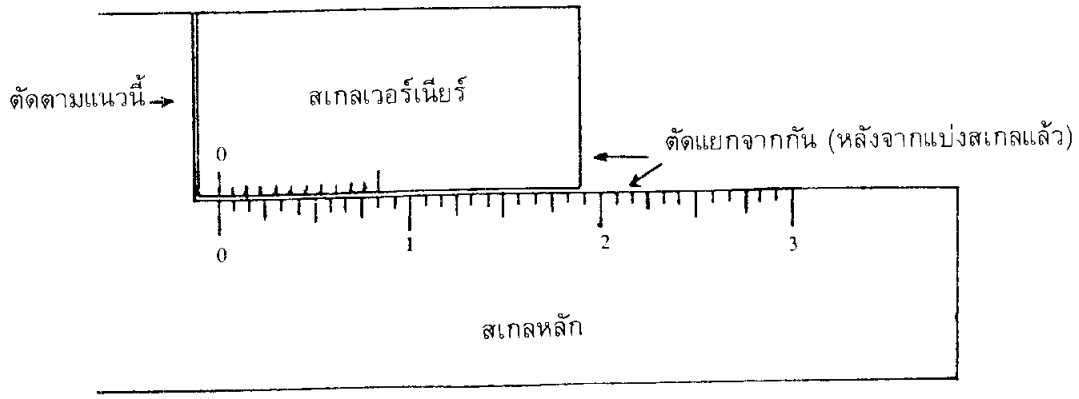
ข้างบนนี้จะทำให้ได้ $n = 11$ ช่อง

ต่อไปพิจารณาสมการ $nV = (n-1)S$

แทนค่า $11V = (11-1)S$

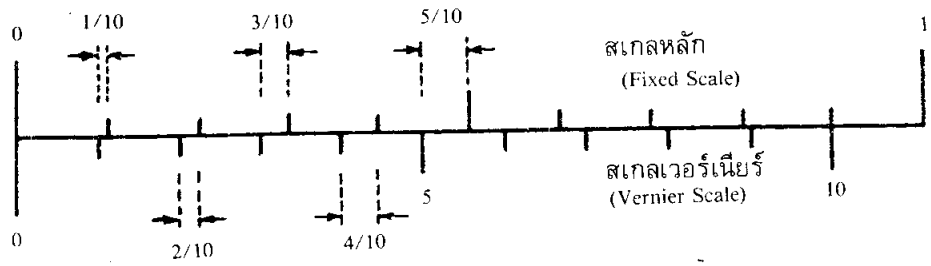
$11V = 10S$

วิธีสร้าง สเกลหลัก แบ่ง 1 นิ้วให้เป็น 12 ช่องเท่า ๆ กัน ทำเช่นนี้ประมาณ 2-3 นิ้ว สเกลเวอร์เนียร์ เอาระยะจากสเกลหลักมา 10 ช่อง มาแบ่งให้ได้ 11 ช่อง เท่า ๆ กัน ทำเพียง 1 ช่วง (เพียง $10\times\frac{1}{12} = \frac{10}{12}$ นิ้วก็พอ) ดูรูปที่ 2.3 ประกอบ



รูปที่ 2.3 *เวอร์เนียร์แคลิเปอร์* least count $\frac{1}{132}$ *นิ้ว ซึ่งสร้างขึ้นจากกระดาษแข็งในห้องปฏิบัติการ และตัดแยกส่วนสเกลหลักและสเกลเวอร์เนียร์ออกจากกัน*

สำหรับสเกลเวอร์เนียร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 10 ส่วนเท่า ๆ กัน ซึ่งมีระยะทั้งหมดเท่ากับ 9 ส่วนของสเกลหลัก ดังนั้นขีดของสเกลเวอร์เนียร์ที่ตรงกับขีดบนสเกลหลักจะเป็นจำนวนเศษส่วนของสิบ ของแต่ละช่องเล็ก ๆ บนสเกลหลัก ซึ่งเวอร์เนียร์เคลื่อนที่ผ่านไปจึงเป็นตัววัดค่าเศษส่วนของแต่ละช่องเล็ก ๆ บนสเกลหลัก



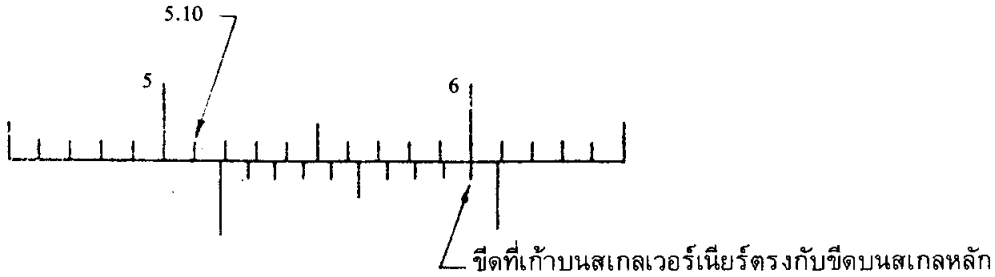
รูปที่ 2.4 *แสดงสเกลหลักและสเกลเวอร์เนียร์ของเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ*

วิธีอ่านเวอร์เนียร์แคลิเปอร์

1. อ่านที่สเกลหลักก่อน โดยดูที่ขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์ว่าอยู่ที่ขีดใดของสเกลหลัก ดังนั้นจะได้ค่าประมาณเพราะขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์อาจไม่ตรงกับขีดบนสเกลหลัก เราอ่านค่าประมาณนี้จากขีดบนสเกลหลักที่อยู่ทางซ้ายของขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์ เช่น ในที่นี้อ่านได้ 5.10 ซ.ม. (ดูรูปที่ 2.5)

2. ระยะที่เหลือ ซึ่งคือระยะระหว่างขีดบนสเกลหลักที่อยู่ทางซ้ายของขีดศูนย์บนสเกลเวอร์เนียร์กับขีดศูนย์บนสเกลเวอร์เนียร์ อ่านได้โดยดูว่าขีดใดบนสเกลเวอร์เนียร์อยู่ตรงกับขีดบนสเกลหลักมากที่สุด เช่น ในที่นี้เป็นขีดที่ 9 ดังนั้นระยะนี้คือ 0.09 ซ.ม.

3. รวม 5.10 ซ.ม. กับ 0.09 ซ.ม. เข้าด้วยกัน จึงได้ 5.19 ซ.ม.

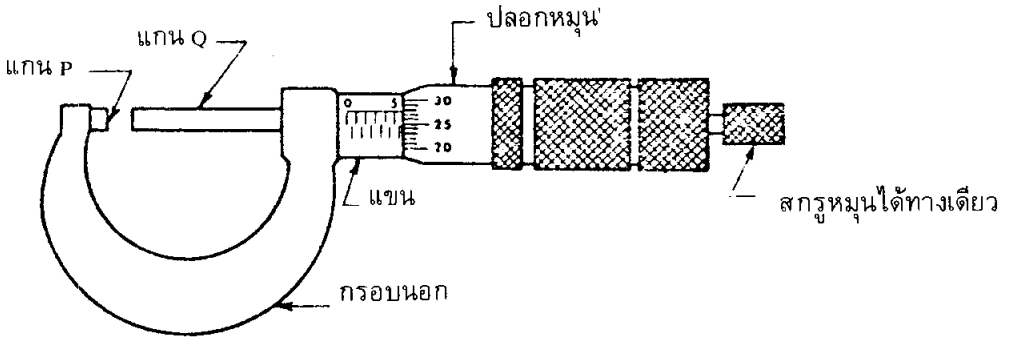


สเกลหลัก	5.10 ซ.ม.
สเกลเวอร์เนียร์	0.09 ซ.ม.
จึงอ่านได้	5.19 ซ.ม.

รูปที่ 2.5 *แสดงการอ่านเวอร์เนียร์แคลิเปอร์*

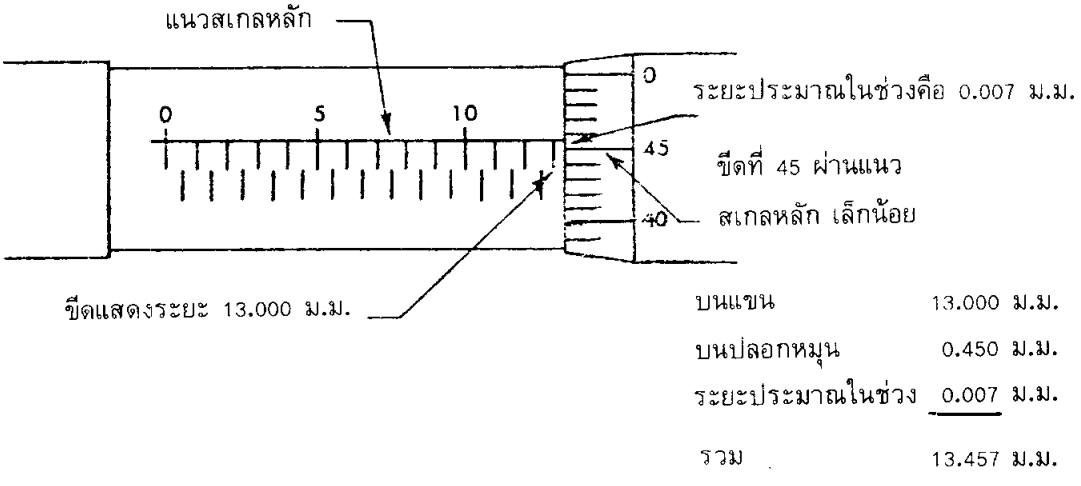
2. ไมโครมิเตอร์แคลิเปอร์ (micrometer caliper)

ไมโครมิเตอร์แคลิเปอร์วัดระยะได้โดยการเปลี่ยนระยะไปเป็นรอบหมุน (revolutions) และเศษส่วนของรอบหมุน วิธีการอ่านให้ดูว่าขีดหลัก (reference line) อยู่ตรงกับขีดใด บนสเกลปลอกหมุน (thimble) สำหรับการดูว่าไมโครมิเตอร์จะอ่านค่าได้ละเอียดที่สุดเพียงใดให้ใช้หลักการเดียวกับเวอร์เนียร์แคลิเปอร์



รูปที่ 2.6 *ไมโครมิเตอร์แคลิเปอร์*

ไมโครมิเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีค่าพิทช์ (pitch) 0.5 ม.ม. หมายความว่า เมื่อหมุนสกรู (ปลอกหมุน) ไป 1 รอบ จะได้ระยะทางเท่ากับ 0.5 ม.ม. บนแขน (sleeve) ของไมโครมิเตอร์ เศษส่วนของรอบหมุนก็หาโดยพิจารณาจากขีดเล็ก ๆ บนสเกลปลอกหมุนซึ่งแบ่งเป็น 50 ขีด ดังนั้นถ้าหมุนปลอกหมุนไป 1 ขีด จะได้ระยะเท่ากับ $\frac{1}{50}$ ของ 0.5 ม.ม. หรือ 0.01 ม.ม. นั่นเอง



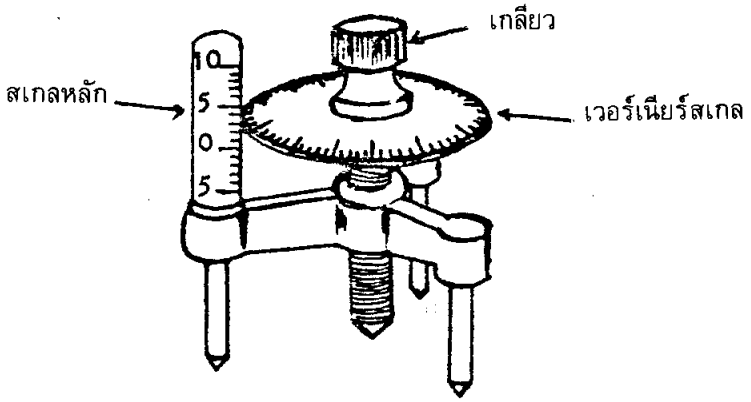
รูปที่ 2.7 *แสดงวิธีอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์*

วิธีวัด หมุนปลอกหมุนเพื่อให้แกน P และ Q อยู่ห่างจากกัน (ดูรูปที่ 2.6) พอดีกับวัตถุที่จะวัดให้อยู่ระหว่างแกนทั้งสองนี้ อ่านค่าประมาณจากแขนของไมโครมิเตอร์ เช่นในที่นี้ได้ 13.000 ม.ม. ต่อไปอ่านค่าจากสเกลปลอกหมุน ซึ่งในที่นี้ได้ค่าประมาณเท่ากับ 0.450 ม.ม. และค่าที่เหลือเราจะต้องคาดคะเนด้วยสายตา เช่นตัวอย่างนี้เราประมาณได้เท่ากับ 0.007 ม.ม.

ดังนั้นระยะที่อ่านได้ทั้งหมด จะเท่ากับจำนวนทั้งสามนี้รวมกัน ซึ่งได้ค่า 13.457 ม.ม. หรือคือ 1.3457 ซ.ม.

3. สเฟียโรมิเตอร์ (spherometer)

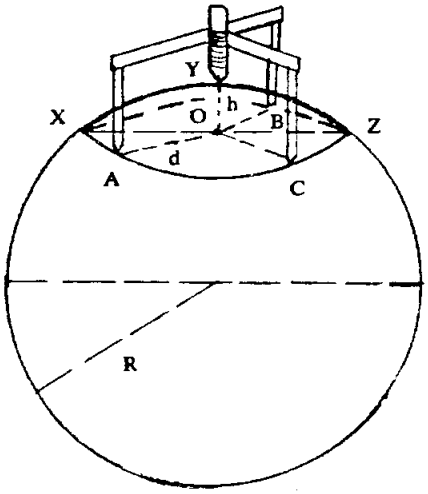
เป็นเครื่องมือสำหรับวัดหารัศมีความโค้งของทรงกลม เช่น วัดหารัศมีความโค้งของเลนส์นูน เลนส์เว้า กระจกนูน กระจกเว้า



รูปที่ 2.8 *สเฟียโรมิเตอร์*

หลักการหารัศมีความโค้งของทรงกลม

ตัวอย่าง ต้องการหารัศมีความโค้งของเลนส์นูน ซึ่งเป็นส่วนของวงกลม XYZ



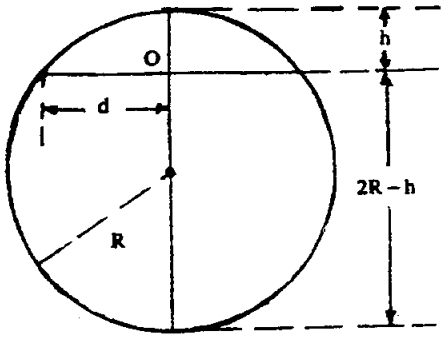
รูปที่ 2.9 *แสดงการวัดหารัศมีความโค้งของทรงกลม*

เมื่อจัดให้ขาทั้งสาม และขากลางซึ่งเป็นเกลียวของสเฟียโรมิเตอร์สัมผัสผิวของเลนส์นูน (ส่วนของทรงกลม) พอดี จะได้

$$AO = BO = CO \text{ ให้ } = d$$

และให้ $YO = h$

จากรูปที่ 2.10 โดยทฤษฎีเรขาคณิตที่กล่าวว่า เมื่อคอร์ดของวงกลม 2 เส้นตัดกันภายในวงกลม ผลคูณของส่วนตัดสองส่วนของคอร์ดเส้นหนึ่งย่อมมีค่าเท่ากับผลคูณของส่วนตัดสองส่วนของคอร์ดอีกเส้นหนึ่ง



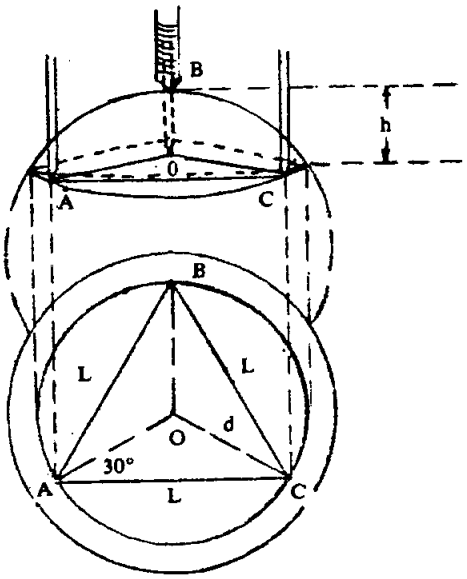
ดังนั้นจะได้

$$h(2R - h) = d^2$$

$$2hR - h^2 = d^2$$

$$R = \frac{d^2}{2h} + \frac{h}{2} \qquad \text{.....(2.2)}$$

รูปที่ 2.10 *แสดงคอร์ดของวงกลม 2 เส้นตัดกันที่จุด O*



เราจะแทนค่า d ด้วยค่า L ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างแต่ละคู่ของขาทั้งสาม พิจารณารูปที่ 2.11

$$\frac{L}{2} = d\cos 30°$$

$$= d\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$d = \frac{L}{\sqrt{3}}$$

$$d^2 = \frac{L^2}{3}$$

แทนค่า d^2 ในสมการ (2.2) จะได้

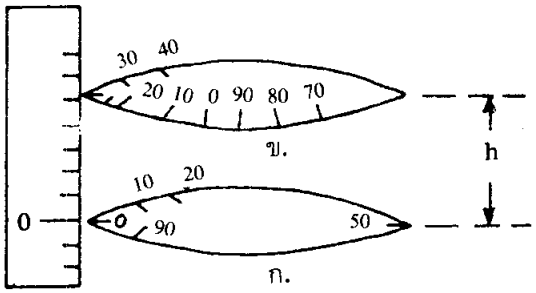
$$R = \frac{L^2}{6h} + \frac{h}{2} \qquad \text{.....(2.3)}$$

รูปที่ 2.11 *แสดงจุดที่ขาทั้งสี่ของสเฟียโรมิเตอร์สัมผัสทรงกลม*

วิธีใช้สเฟียโรมิเตอร์

1. วางสเฟียโรมิเตอร์บนกระจกราบ แล้วหมุนเกลียวของสเฟียโรมิเตอร์ ซึ่งจะทำให้ขากลางเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง และจะทำให้สเกลเวอร์เนียร์หมุนตามไปด้วย จัดให้ขาทั้งสี่ของสเฟียโรมิเตอร์สัมผัสกระจกราบ สมมุติว่าเมื่อขาทั้งสี่สัมผัสกระจกราบแล้วขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์ชี้ตรงกับขีดศูนย์ของสเกลหลัก (ดูรูปที่ 2.12 ก.)

2. นำสเฟียโรมิเตอร์นั้นไปวางบนเลนส์ที่จะวัดหารัศมีความโค้ง หมุนเกลียวเพื่อให้ขากลางของสเฟียโรมิเตอร์เลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง (ตามแต่ชนิดของเลนส์ที่จะวัด) โดยให้ขาทั้งสี่ของสเฟียโรมิเตอร์สัมผัสผิวเลนส์พอดี และให้ขากลางของสเฟียโรมิเตอร์อยู่ตรงตำแหน่งสูงสุดหรือต่ำสุดของเลนส์นั้น



รูปที่ 2.12 *ก. เมื่อวางสเฟียโรมิเตอร์บนกระจกราบ*
ข. เมื่อวางบนเลนส์ที่จะวัด

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าเมื่อวัดเลนส์ สเกลเวอร์เนียร์ของสเฟียโรมิเตอร์จะเลื่อนขึ้นไป h

3. อ่านความสูง h ได้ดังนี้ เนื่องจากขากลางเลื่อนขึ้นไปทำให้ขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์เลื่อนขึ้นไปจากขีดศูนย์ของสเกลหลัก 5 ช่อง และตรงกับขีด 22 บนสเกลเวอร์เนียร์ ดังนั้น

$$h = 5S + 22\frac{S}{n}$$

เมื่อ S คือ ช่องที่เล็กที่สุดบนสเกลหลัก

และ $\frac{S}{n}$ คือค่าที่วัดได้ละเอียดที่สุดของสเฟียโรมิเตอร์

4. วัดระยะระหว่างขาแต่ละคู่ (ไม่ใช่ขากลาง) ของสเฟียโรมิเตอร์เป็นค่า L โดยกดลงบนแผ่นกระดาษหนาให้เป็นรอย ซึ่งเกิดจากปลายแหลมของขาทั้งหมด แล้วจึงวัดระยะจากรอยจุดของปลายขานั้น

5. หารัศมีความโค้งของเลนส์โดยใช้สมการ (2.3)

สรุปการใช้เครื่องมือวัดอย่างละเอียด

1. หาค่าที่วัดได้ละเอียดที่สุด (Least Count) ของเครื่องมือแต่ละชิ้นที่จะใช้วัดก่อนจะทำการวัด

2. ดูว่าเครื่องมือนั้น ๆ ต้องแก้ขีดศูนย์หรือไม่ การแก้ขีดศูนย์ให้ใช้วิจารณญาณเป็นกรณี ๆ ไป

3. การบอกปริมาณใด ๆ ต้องกำกับหน่วยไว้ด้วยทุกครั้ง เพื่อสื่อความหมายได้ถูกต้อง

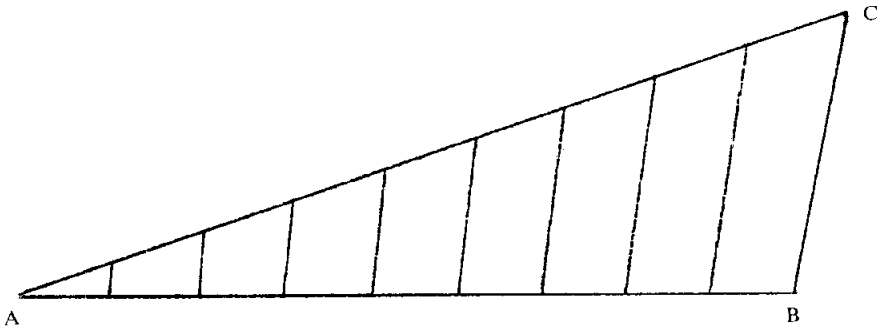
วิธีทดลอง ทดลองและบันทึกผลในตารางตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ตอนที่ 1 สร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ให้อ่านค่าได้ละเอียดที่สุด ตามที่อาจารย์ผู้ควบคุมกำหนด แล้ววัดวัตถุต่าง ๆ ที่กำหนดเปรียบเทียบกับเวอร์เนียร์แคลิเปอร์มาตรฐาน

ตอนที่ 2 ใช้ไมโครมิเตอร์วัดวัตถุที่กำหนดให้

ตอนที่ 3 ใช้สเฟียโรมิเตอร์วัดหารัศมีความโค้งของเลนส์นูน หรือเลนส์เว้า

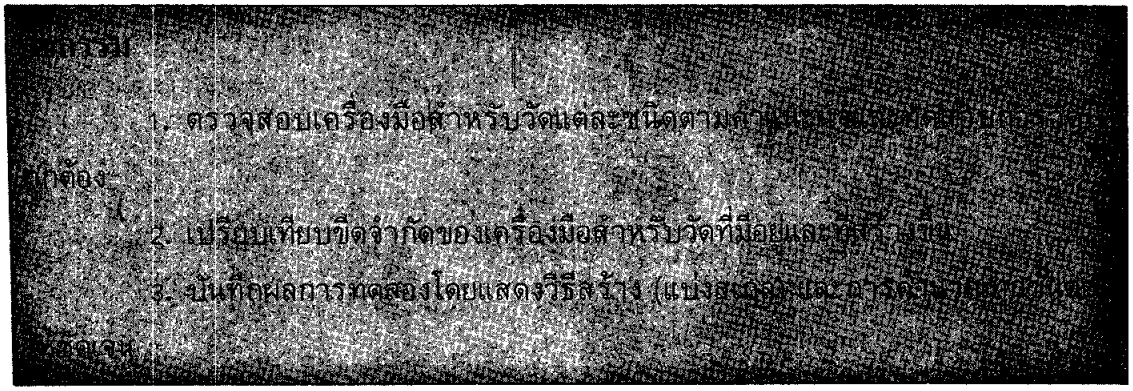
หมายเหตุ วิธีแบ่งเส้นตรงออกเป็นหลายส่วนที่เท่ากันทุกส่วน อาจใช้วิธีการแบ่งด้วยเส้นขนานดังนี้ โดยการลากเส้นทำมุมแหลมกับเส้นตรงที่ต้องการจะแบ่งอย่างน้อย 1 เส้น (ดูรูปที่ 2.13) และใช้มาตราส่วนตามสเกลที่เหมาะสม แบ่งเส้นตรงที่สร้างขึ้นใหม่นี้ออกเป็นจำนวนส่วนที่เท่ากันตามต้องการ ต่อจากนั้น จึงลากเส้นขนานขึ้นชุดหนึ่งดังรูป



รูปที่ 2.13 *การแบ่งเส้นตรงออกเป็นหลายส่วนเท่า ๆ กันโดยวิธีลากเส้นขนาน*

ตามรูปที่ 2.13 ต้องการแบ่งเส้นตรง AB ออกเป็น 9 ส่วนเท่า ๆ กัน จึงลากเส้น AC ทำมุมแหลม (ให้ยาวพอเหมาะกับสเกลที่ใช้) กับเส้น AB และแบ่งเส้น AC ออกเป็น 9 ส่วนตามสเกลที่เหมาะสม โดยในที่นี้ใช้สเกล 0.5 นิ้ว สำหรับแต่ละส่วน ต่อจากนั้น จึงลากเส้น CB และลากเส้นจากจุดแบ่งอื่น ๆ ให้ขนานกับเส้น CB ไปตัดกับเส้น AB เส้นขนานทั้งหมดนี้จะแบ่งเส้น AB ออกเป็น 9 ส่วนเท่า ๆ กันตามที่ต้องการ

สรุปประเด็นสำคัญ เครื่องมือสำหรับวัดขนาดความยาว ความกว้าง ความลึก และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในของวัตถุต่าง ๆ อย่างละเอียดมีอยู่หลายชนิด ซึ่งสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ละเอียดมากน้อยต่างกัน จึงต้องศึกษาวิธีใช้ให้ถูกต้อง



แบบทดสอบการทดลองที่ 2

1. ความถูกต้องในการวัดต้องอาศัยปัจจัยใด
   1. การสังเกตอย่างรอบคอบ
   2. เครื่องมือวัดได้ค่าละเอียดมาก ๆ
   3. การวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง
   4. ถูกทุกข้อ
2. เครื่องมือสำหรับวัดระยะได้ค่าละเอียดมากกว่าไม้บรรทัดทั่วไปคืออะไร
   1. เวอร์เนียร์แคลิเปอร์
   2. ไมโครมิเตอร์แคลิเปอร์
   3. สเฟียโรมิเตอร์
   4. บรรทัดมาตรฐาน
3. ถ้าต้องการให้เวอร์เนียร์แคลิเปอร์สามารถอ่านได้ละเอียดถึง 1 ใน n ส่วน ของช่องที่เล็กที่สุดบนสเกลหลัก (S) จะต้องให้จำนวนช่องบนสเกลเวอร์เนียร์เป็นเท่าใด
   1. n ช่อง 2. $n+1$ ช่อง 3. $n-1$ ช่อง 4. S/n ช่อง
4. ตามหลักการสร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์แบบอ่านไปข้างหน้า เมื่อขีดที่ 3 ของสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดที่สามของสเกลหลัก จะทำให้ขีดศูนย์ของสเกลทั้งสองอยู่ห่างกันเท่าใด
   1. $3n$ 2. $3V$ 3. $3(S-V)$ 4. $3(V-S)$
5. ในการสร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์จะต้องใช้ระยะบนสเกลหลักเท่ากับ $(n-1)$ ช่องไปเป็นแบ่ง n ช่องเท่า ๆ กันบนสเกลเวอร์เนียร์ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังในกรณีใด
   1. $n(S-V) = S$ 2. $S-V = S/n$ 3. $nV = (n-1)S$ 4. ถูกทุกข้อ
6. เครื่องมือวัดระยะได้โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนระยะให้เป็นรอบหมุนและเศษส่วนของรอบหมุนคืออะไร
   1. เวอร์เนียร์แคลิเปอร์
   2. ไมโครมิเตอร์แคลิเปอร์
   3. สเฟียโรมิเตอร์
   4. ข้อ 2 และ 3 ถูก
7. เมื่อหมุนปลอกหมุนไป 1 รอบ จะได้ระยะทาง 0.5 มิลลิเมตร บนแขนของไมโครมิเตอร์จึงเรียกระยะทางนี้ว่าอะไร
   1. ค่าละเอียดที่สุด 2. ค่าพิทช์ 3. สเกลหลัก 4. สเกลเวอร์เนียร์
8. ถ้าโดยรอบขอบของปลอกหมุนแบ่งออกเป็น 50 ช่อง เมื่อหมุนปลอกหมุนไป 1 ช่อง จะได้ระยะทางเป็นเท่าใดบนแขนของไมโครมิเตอร์ในข้อ ในหน่วยมิลลิเมตร
   1. 0.01 2. .001 3. 0.05 4. 0 5
9. ระยะทางที่กล่าวถึงในข้อ 8. เรียกว่าอะไร
   1. ค่าละเอียดที่สุด 2. ค่าพิทช์ 3. สเกลหลัก 4. สเกลเวอร์เนียร์

10. ในการหารัศมีความโค้งของทรงกลมโดยใช้สเฟียโรมิเตอร์จะต้องหาค่าใดของทรงกลมนั้นก่อน

1. ความนูน 2. ความเว้า 3. คอร์ด 4. ข้อ 1 หรือ 2 ถูก

แนวตอบ

1. 4	2. 1	3. 1	4. 3	5. 4
6. 4	7. 2	8. 1	9. 1	10. 4

บันทึกผลการทดลอง

เรื่อง การวัดอย่างละเอียด

ผู้รายงาน ชื่อ.....เลขรหัส.....

ผู้ร่วมงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....

2. ....

3. ....

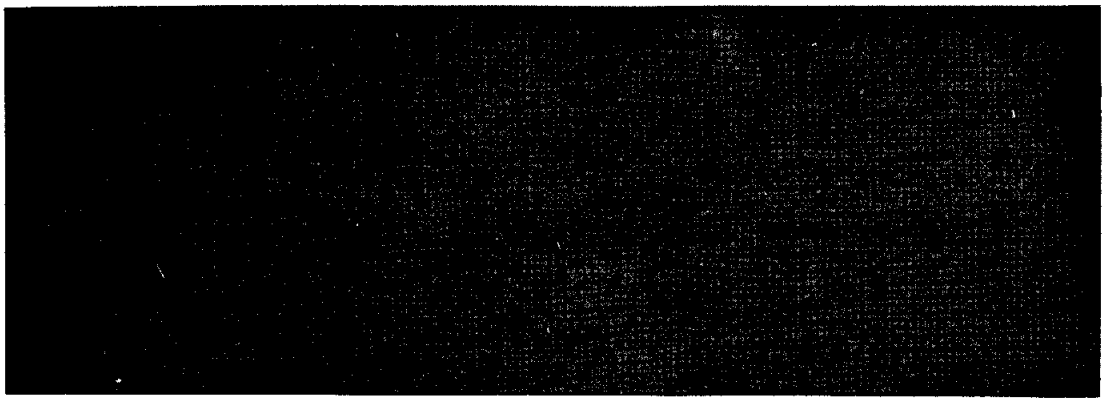
4. ....

ทำการทดลองวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....Section.....กลุ่ม.....

ตอนที่ 1

1. สร้างเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ให้อ่านค่าได้ละเอียด = ...(หน่วย)

โดยมี S = ...(หน่วย) V = ...(หน่วย) n = ...(หน่วย)



วิธีคำนวณหา S, V และ n

.....

.....

.....

2. ใช้เวอร์เนียร์แคลิเปอร์มาตรฐานอ่านค่าได้ละเอียดที่สุด = ...นิ้ว,

หรือ = ...ซ.ม. วัดวัตถุที่กำหนด (วัดระยะละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย)

3. ใช้เวอร์เนียร์แคลิเปอร์ที่สร้างขึ้นวัดวัตถุที่กำหนด

ชนิดวัตถุ	วัดหา	ครั้งที่	โดยเวอร์เนียร์แคลิเปอร์มาตรฐาน (ซ.ม.)	(นิ้ว)	โดยเวอร์เนียร์แคลิเปอร์ที่สร้าง (นิ้ว)	ความเคลื่อนคลาด (%)
ทรงกลมตัน	เส้นผ่าศูนย์กลาง	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ทรงกระบอกกลวง	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
	ความลึก	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
แท่งสี่เหลี่ยม	ความหนา	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				

ตอนที่ 2 ใช้ไมโครมิเตอร์แคลิเปอร์อ่านค่าละเอียด = ...ซ.ม. วัดวัตถุที่กำหนด

ชนิดวัตถุ	วัดหา	ครั้งที่	วัดได้ (ซ.ม.)	ความเคลื่อนคลาด เปรียบเทียบกับตอนที่ 1 ข้อ 2 (%)
เส้นผม 1 เส้น	ความหนา	1	.....	
		2	.....	
		3	.....	
		เฉลี่ย	.....	
ทรงกลมตัน	เส้นผ่าศูนย์กลาง	1	.....	.....
		2	.....	.....
		3	.....	.....
		เฉลี่ย	.....	.....
แท่งสี่เหลี่ยม	ความหนา	1	.....	.....
		2	.....	.....
		3	.....	.....
		เฉลี่ย	.....	.....

ตัวอย่างวิธีคำนวณหาความเคลื่อนคลาด

ตอนที่ 3 ใช้สเฟียโรมิเตอร์อ่านค่าได้ละเอียด = ...ซ.ม. วัดหารัศมีความโค้งของเลนส์นูนหรือเว้า

ครั้งที่	h (ซ.ม.)	L (ซ.ม.)	R (ซ.ม.) $= \frac{L^2}{6h} + \frac{h}{2}$
1	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....
เฉลี่ย	.....	.....	.....

วิธีคำนวณหา R

สรุปและวิจารณ์