ตัวเลขวิทยาศาสตร์ (Scientific notation)

ในการศึกษาทางเคมี บ่อยครั้งที่คิดว่าเกี่ยวข้องกับจำนวนที่มีค่าสูงมาก และจำนวนที่มีค่าน้อยมาก ซึ่งไม่สะดวกในการเขียวตัวเลขทั้งหมดเพื่อใช้ในการคำนวณ การเขียนจำนวนโดยใช้ตัวเลขวิทยาศาสตร์ จึงเหมาะและเป็นที่นิยม โดยแสดงจำนวนเหล่านี้ให้อยู่ในรูปแบบตัวเลขยกกำลังตามหลักเกณฑ์ต่อไปนี้

1. ใช้แสดงจำนวนที่เป็นบวกเท่านั้น
2. รูปแบบในการเขียนตัวเลขวิทยาศาสตร์คือ $1<N<10 \times 10^{n}$ โดย n เป็นจำนวนเต็มบวก หรือจำนวนเต็มลบก็ได้ ตัวอย่างเช่น

   $0.00061 = 6.1 \times 10^{-4}$

   $602,300,000,000,000,000,000,000 = 6.023 \times 10^{23}$

   $0.000000804 = 8.04 \times 10^{-7}$

ซึ่งที่ต้องพึงระลึกอยู่เสมอเวลาเขียนตัวเลขวิทยาศาสตร์ คือ ตัวเลขดังกล่าวอาจจะไม่ใช่ค่าจริงที่อ่านจากเครื่องมือที่ใช้วัดซึ่งแสดงความละเอียดของเครื่องก็ได้ เป็นเพียงการเขียนตัวเลขให้เกิดความสะดวกในการพิจารณาและคำนวณเท่านั้น

เลขนัยสำคัญ (Significant figure)

ตัวเลขนัยสำคัญ หมายถึงกลุ่มของตัวเลขที่แสดงถึงความเที่ยง (accuracy) ของการวัด ซึ่งตัวเลขแต่ละตัวที่มีอยู่ มีความหมายและความเหมาะสมตามความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้วัด ดังนั้นเลขนัยสำคัญจึงประกอบด้วยตัวเลขทุกตัวที่แสดงความแน่นอน (certainty) กับตัวเลขอีกตัวหนึ่งที่แสดงความไม่แน่นอน (uncertainty) ซึ่งเป็นตัวแรกที่อยู่ถัดจากตัวเลขที่มีคามแน่นอน (ด้านขวามือ) การเขียนแสดงตัวเลขที่ได้จากการวัดปริมาณใดๆ หรือจากการทดลอง จะแสดงเฉพาะตัวเลขที่มีนัยสำคัญเท่านั้น ดังนั้นควรบันทึกตัวเลขโดยมีหลักสุดท้ายหลักเดียวที่แสดงความไม่แน่นอน ถ้าไม่ระบุความไม่แน่นอนกำกับเอาไว้ท้ายจำนวนตัวเลข ให้ถือว่า ความไม่แน่นอนมีค่า ± 1 ของเลขตัวสุดท้าย เช่น โซเดียมคาร์บอเนตหนัก 2.1542 กรัม (ตัวเลขนัยสำคัญ 5 ตัว) หมายความว่าปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตมีค่าระหว่าง 2.1541 กรัม และ 2.1543 กรัม ถ้าเขียน 2.154 กรัม (ตัวเลขนัยสำคัญ 4 ตัว) หมายความว่ามีค่าระหว่าง 2.153 กรัม และ 2.155 กรัม

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลขนัยสำคัญ

1. ตัวเลขทุกตัวที่ไม่ใช่เลขศูนย์ ถือว่าเป็นเลขนัยสำคัญ

   347 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

   2.531 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

2. เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างตัวเลขที่เป็นนัยสำคัญ จัดเป็นเลขนัยสำคัญ

305.9 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

1001 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

3. เลขศูนย์ท้ายจำนวนในตำแหน่งหลังจุดทศนิยม จัดเป็นตัวเลขนัยสำคัญ

558.80 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

0.00055880 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

4. เลขศูนย์ที่นำหน้าตัวเลขทั้งหมด ไม่จัดว่าเป็นตัวเลขนัยสำคัญ แต่อาจเป็นตัวแสดงค่าของจำนวนกลุ่มเลขนั้นๆ หรือแสดงตำแหน่งของจุดทศนิยมในจำนวนเลขนั้น เช่น

0.112	มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
0.1758	มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

5. เลขศูนย์หน้าจุดทศนิยมไม่มีนัยสำคัญแต่ต้องเขียนไว้เสมอตามเงื่อนไขทางวิทยาศาสตร์ ในกรณีซึ่งมีทั้งเลขศูนย์ที่เป็นตัวเลขนัยสำคัญ และไม่เป็นตัวเลขนัยสำคัญ นิยมเขียนด้วยตัวเลขวิทยาศาสตร์ เพื่อป้องกันความสับสนเนื่องจากเลขศูนย์ที่ไม่เป็นตัวเลขนัยสำคัญ

0.00048500	เขียนเป็น 4.8500×10^{-4}	มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
0.00300	เขียนเป็น 3.00×10^{-3}	มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

6. เลขศูนย์หลังจำนวนเต็มไม่มีนัยสำคัญ เช่น

200	มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว
16000	มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

ถ้าต้องการเขียนจำนวนเต็มที่มีศูนย์ตามหลัง ให้มีจำนวนตัวเลขนัยสำคัญตามต้องการสามารถทำได้โดยการเขียนเป็นตัวเลขวิทยาศาสตร์เช่น

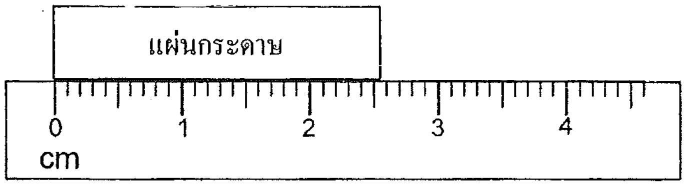
200	เขียนเป็น	2.0×10^{2}	มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
		2.00×10^{2}	มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
		2.000×10^{2}	มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

การอ่านสเกลจากเครื่องมือ

การทดลองทางวิทยาศาสตร์ จะต้องมีการติดตามและสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง สิ่งที่ขาดมิได้ในการทดลองคือการใช้เครื่องมือช่วยการสังเกตเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเป็น เครื่องชั่ง เครื่องตวง

เครื่องวัด และอื่นๆ ส่วนใหญ่ของเครื่องมือเหล่านี้มักแสดงผลในรูปแบบที่คล้ายกัน คือ แบ่งเป็นสเกล (ดังรูป 1) ยกเว้นเครื่องมือที่แสดงผลในระบบดิจิตอล (digital)

ในที่นี้จะยกตัวอย่างวิธีอ่านจากสเกลจากการวัดความยาวของแผ่นกระดาษโดยใช้ไม้บรรทัด ขนาด 30ซม.



รูป 1 : การวัดความยาวของแผ่นกระดาษด้วยไม้บรรทัด

เมื่อทาบไม้บรรทัดไปตามความยาวของกระดาษ โดยให้ปลายด้านหนึ่งของกระดาษตรงกับขีด 0 ของไม้บรรทัด ปลายอีกดานหนึ่งจะอยู่ในสเกลของไม้บรรทัดซึ่งตรงกับตัวเลขใดก็จะเป็นค่าความยาวของกระดาษ การรายงานตัวเลขจากสเกลแบบเลขนัยสำคัญนั้นจะมีตัวเลขที่แน่นอนกี่ตำแหน่งก็ได้ แต่จะต้องตามด้วยตัวเลขไม่แน่นอนเพียง 1 ตำแหน่ง

ตัวเลขที่แน่นอนในที่นี้คือ ตัวเลขที่ได้จากการอ่านขีดสเกล ซึ่งแบ่งไว้อย่างชัดเจนบนเครื่องวัดแล้ว และตัวเลขที่ไม่แน่นอนเป็นตัวเลขที่ได้จากการประมาณด้วยสายตาของผู้ทดลอง

ตัวอย่าง การอ่านความยาวของกระดาษ (ในรูป 1) ผู้ทดลองอ่านได้ดังนี้

ผู้ทดลอง	ค่าที่อ่านได้	ความถูกต้องตามนัยสำคัญ
นาย ก.	2.53	ถูกต้อง
นาย ข.	2.54	ถูกต้อง
นาย ค.	2.541	ไม่ถูกต้อง
นาย ง.	2.5	ไม่ถูกต้อง

นาย ก. และนาย ข. อ่านรายงานเป็นเลขนัยสำคัญอย่างถูกต้อง เพราะค่า 2.5 เป็นเลขที่อ่านได้จาสเกลที่มีขีดแบ่งไว้แล้วจึงเป็นตัวเลขที่แน่นอน ส่วนเลข 3 และ 4 เป็นตัวเลขที่นาย ก. และ นาย ข. ประมาณด้วยสายตา จึงเป็นตัวเลขที่ไม่แน่นอน (ซึ่งผู้ทดลองแต่ละคนอาจประมาณได้ค่าต่างกัน) การรายงานของ นาย ค. ไม่ถูกต้องตามนัยสำคัญ เพราะตัวเลขสองตัวท้าย (4 และ 1) เป็นตัวเลขที่ได้จาก

การประมาณ ซึ่งไม่แน่นอน จึงควรรายงานเพียงตัวเลข 4 เท่านั้น เลข 1 ไม่ต้องรายงาน สำหรับผลของนาย ง. นั้น ขาดตำแหน่งของตัวเลขไม่แน่นอน 1 ตำแหน่ง

จากการทดลองที่กล่าวมา ผลของการวัดอาจได้ไม่เท่ากัน เพราะความผิดพลาดของผู้วัดหรือความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด ซึ่งเครื่องวัดแต่ละชนิด หรือแต่ละแบบก็จะมีค่าคามคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน ดังตัวอย่างในตาราง 1 ซึ่งแสดงตำแหน่งตามนัยสำคัญที่อ่านได้จากเครื่องมือต่างๆ

ตาราง 1: ตำแหน่งตามนัยสำคัญที่อ่านได้จากสเกลของเครื่องมือต่างๆ

ชนิดเครื่องวัด	ขนาด	ตำแหน่งที่อ่านตามนัยสำคัญ
ไม้บรรทัด	30 cm.	xx.xx
ไม้โปรแทรกเตอร์	14 cm.	xx.xx
บิวเรต	50 mL	xx.xx
Graduated pipet	25 mL	xx.xx
Transferpipet	25 mL	25.00
กระบอกตวง	10 mL	xx.xx หรือ xx.x
	25,50,100 mL	xx.x
เครื่องชั่งแบบ triple beam	300 g	xx.xx
เครื่องชั่งแบบ top load	500 g	xx.xx
เครื่องชั่งแบบละเอียด	60-210 g	x.xxxx
เทอร์โมมิเตอร์	$100^{o}C$	xx.x

หลักการอ่านค่าที่ได้จากเครื่องมือดังต่อไปนี้

1. อ่านค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือชนิดนั้นๆ ตามความสามารถของเครื่องมือ วิธีที่ดีที่สุดคือดูจากคู่มือของอุปกรณ์หรือเครื่องมือชนิดนั้นๆ ซึ่งจะระบุความเที่ยงที่ต่ำที่สุดเท่าที่เครื่องมือเหล่านั้นจะอ่านได้ แต่เราสามารถที่จะทราบความแม่นยำของเครื่องแก้วหลายๆ ชนิด โดยดูจาก label ข้างเครื่องแก้วนั้นๆ ก็จะทราบได้ในทันที

2. การบันทึกผลและการรายงานค่าที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือที่เป็นสเกล (scaled instruments or apparatus) ต้องประมาณค่าเพิ่มจากความสามารถของเครื่องมืออีกหนึ่งตำแหน่งเช่น การวัดความยาวด้วยไม้บรรทัดทั่วไป สามารถอ่านค่าได้ถึงหน่วยมิลลิเมตร (millimeter, mm) แต่การบันทึกผลและการรายงานผลการวัดความยาว ต้องประมาณค่าในหน่วย $\frac{1}{10}$ ของมิลลิเมตร ดังนั้น การรายงานผลการวัดความยาวด้วยไม้บรรทัด จะต้องมีเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง (xx.xy) โดยตัวเลขสุดท้าย

(y) จะเป็นตัวเลขที่ไม่แน่นอน ได้จากการประมาณด้วยสายตาของผู้ทำการทดลองซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนได้ อีกตัวอย่างหนึ่งคือการอ่านปริมาตรของเหลวที่บรรจุในบิวเรตสเกลของบิวเรตสามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้องถึงระดับ 0.1 มิลลิลิตร (milliliter, mL) ดังนั้นในการบันทึกผลและการรายงานผลการวัดปริมาตรของของเหลว ต้องประมาณค่าในหน่วย $\frac{1}{100}$ ของมิลลิลิตร ดังนั้น การรายงานปริมาตรของเหลวที่อาศัยบิวเรต จะต้องมีทศนิยม 2 ตำแหน่ง เช่นเดียวกัน

3. การบันทึกผลและการรายงานค่าที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือที่เป็นตัวเลข (digital instruments) จะไม่มีการประมาณค่าเพิ่มจากความสามารถของเครื่องมืออีกโดยเด็ดขาด จำนวนเลขนัยสำคัญที่อ่านได้ จะเท่ากับตัวเลขเครื่องมอนั้นแสดงให้ในบนจอ (monitor) เช่น เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่งด้วยกัน

การบวก ลบ คูณ และหาร เลขนัยสำคัญ

ในการทดลองบางครั้ง เมื่ออ่านสเกลจากเครื่องมือแล้ว อาจจะต้องนำไปคำนวณต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณก็จะต้องเป็นเลขนัยสำคัญด้วย ซึ่งมีหลักการคำนวณดังนี้

1) ถ้า**บวก ลบ** กัน ผลลัพธ์จะมี ตำแหน่งของตัวเลขหลังจุดทศนิยม เท่ากับตัวเลขที่มีตำแหน่งของตัวเลขหลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด

เช่น 5.85 + 6.328 = 12.178

ในการตอบ ผลลัพธ์จะได้เป็น 12.18 (ดูหลักการปัดตัวเลข หน้า ix)

2) ถ้า**คูณ หาร** กัน ผลลัพธ์จะมี ตำแหน่งเลขนัยสำคัญ เท่ากับตัวเลขที่มีตำแหน่งเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด

เช่น 2.53 x 2.2 = 5.566

ในการตอบ ผลลัพธ์จะได้เป็น 5.6 (ดูหลักการปัดตัวเลข หน้า 3)

หมายเหตุ

ก. ในการคำนวณที่มีค่าคงที่มาเกี่ยวข้อง ค่าคงที่ ที่ใช้จากเอกสารอ้างอิง (References) ควรมีจำนวนตำแหน่งนัยสำคัญหรือทศนิยมมากกว่าจำนวนตำแหน่งของค่าที่ได้จากการทดลอง และเวลาคำนวณไม่ต้องนำมาพิจารณา

เช่น การทดลองวัดอุณหภูมิได้ 50.3 ^{o}C ต้องการทราบว่าเป็นกี่ K

จาก T(K) = T(^{o}C) +273.15 = 50.3 + 273.15 = 323.4

จะเห็นว่า ค่า 273.15 มีจำนวนตำแหน่งหลังจุดทศนิยมมากกว่าของค่าการทดลองคือ 50.3 <u>ไม่ควรใช้ 273 เพราะค่านี้มีความละเอียดน้อยกว่าค่าจากการทดลอง</u>

ข. ตัวเลขที่ลงตัวถือว่ามีนัยสำคัญกี่ตำแหน่งก็ได้ เช่น หาร 2 หรือคูณ 100 ดังตัวอย่างข้างล่าง จึงไม่นำมาคิดในการคิดคำนวณ

เช่น ผลการทดลองวัดความยาวของไม้ชิ้นหนึ่งเป็น 4.66 ซม. และ 4.68 ซม.

ความยาวไม้เฉลี่ย = $\frac{4.66+4.68}{2}$ ซม.

4.67 ซม.

เลข 2 เป็นเลขจำนวนครั้งซึ่งลงตัวแน่นอนจึงไม่ต้องนำมาพิจารณา

ผลการทดลองพบว่าในหินตัวอย่างหนัก 15.82 กรัม มี $CaCO_3$ อยู่ 10.32 กรัม คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์

เปอร์เซ็นต์ของ $CaCO_3$ ในหินตัวอย่าง $= \frac{10.32 \times 100}{15.82}$

$= 65.23\ \%$

เลข 100 ไม่นำมาพิจารณาเพราะเป็นเลขจำนวนเต็ม (integer)

กฎการปัดเลข (Rules for rounding off)

ตามหลักการปัดเลขทั่วไป ถ้าตัวเลขที่ต้องการปัดมีค่าน้อยกว่า 5 ให้ปัดทิ้งไป โดยตัวเลขที่อยู่หน้ายังมีค่าคงเดิม แต่ถ้าตัวเลขที่ต้องการปัดมีค่าตั้งแต่ 5 ขึ้นไปให้ตัดตัวเลขตัวนี้ทิ้ง แล้วเปลี่ยนตัวเลขที่อยู่นำหน้าให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมไปอีก 1

แต่เมื่อพิจารณาตัวเลขที่ใช้ในการปัดเลข ซึ่งมีผลต่อค่าของจำนวนจะพบว่า มีทั้งหมด 9 ตัว ตัวเลขซึ่งปัดลงมี 4 ตัว (1 2 3 และ 4) คิดเป็นสัดส่วน $\frac{4}{9}$ แต่ตัวเลขซึ่งปัดขึ้นมี 5 ตัว (5 6 7 8 และ 9) คิดเป็นสัดส่วน $\frac{5}{9}$ สัดส่วนที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้การรวมค่าจำนวนทำการปัดค่าแล้ว เกิดความคลาดเคลื่อนได้

ในทางวิทยาศาสตร์ มีการนำข้อมูลที่เป็นตัวเลขไปใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การหาค่าเฉลี่ย (mean or average) การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ซึ่งต้องนำค่าของจำนวนมารวมกัน ดังนั้นจึงพิจารณาการปัดค่าลงและขึ้นในสัดส่วนที่เท่ากัน โดยแยกเลข 5 ไว้ต่างหาก เพื่อให้สัดส่วนการปัดเลขเป็น เท่ากันในทุกกรณี

หลักเกณฑ์ต่อไปนี้ใช้ในการปัดเลขที่ตามหลังตัวเลขนัยสำคัญตัวสุดท้าย

1. ถ้าน้อยกว่า 5 ให้ปัดตัวเลขนี้ทิ้ง โดยรวมถึงตัวเลขทั้งหมดหลังตัวเลขดังกล่าว
   ถ้ามากกว่า 5 ให้ตัดตัวเลขนี้และตัวเลขที่ตามมาทิ้งแล้วเปลี่ยนตัวเลขนำหน้าให้ค่าเพิ่มขึ้นอีก 1 เช่น

   62.5467 ปัดเป็น 62.5 (4 มีค่าน้อยกว่า 5 จึงปัดทิ้งตั้งแต่เลข 4)

62.5467 ปัดเป็น 62.55 (6 มีค่ามากกว่า 5 จึงเปลี่ยนเลข 4 ให้เป็นเลข 5

2. ถ้าเป็นเลข 5 และไม่มีตัวเลขหรือเลข 0 ตามหลังเลข 5 ให้ปฏิบัติดังนี้
   ก. ถ้าตัวเลขนำหน้าเลข 5 เป็นเลขคู่ (เลข 0 ถือว่าเป็นเลขคู่) ให้ปัดเลข 5 ที่ตามมาทิ้งไป เช่น
   3.850 หรือ 3.85 ปัดเป็น 3.8 (8 เป็นเลขคู่ จึงปัด 5 ทิ้งไป)
   2.705 หรือ 22.7050 ปัดเป็น 22.70 (5 ตามหลังเลข 0 จึงปัด 5 ทิ้งไป)
   ข. ถ้าตัวเลขนำหน้าเลข 5 เป็นเลขคี่ให้ปัดเลข 5 นั้นทิ้ง แล้วเปลี่ยนตัวเลขนำหน้าให้มีค่าเพิ่มจากเดิมอีก 1 เช่น
   12.7350 หรือ 12.735 ปัดเป็น 12.74 (3 เป็นเลขคี่ จึงปัดขึ้นให้เป็นเลขคู่)
   2.0495 ปัดเป็น 2.050 (9 เป็นเลขคี่ จึงปัดขึ้นให้เป็นเลขคู่และต้องเขียนเลข 0 ตัวสุดท้ายเพื่อให้มีตัวเลขนัยสำคัญตามที่ต้องการ)
3. ถ้าเลขเป็น 5 และมีตัวเลขตามหลังเลข 5 นี้ ไม่ว่าจะเป็นตัวเลขใดก็ตาม (ยกเว้นเลข 0) เมื่อปัดเลข 5 ทิ้งแล้ว ต้องเปลี่ยนตัวเลขนำหน้าให้มีค่าเพิ่มขึ้นอีก 1 เสมอ เช่น

1.2451 หรือ 1.2456 ปัดเป็น 1.25

การแสดงข้อมูลผลการทดลอง

ควรแสดงในรูปของตาราง ชื่อของตารางเขียนไว้เหนือตาราง ซึ่งควรเขียนให้ชัดว่าทำอะไร

การเขียนกราฟ

กราฟจะต้องประกอบด้วย แกน สเกล ข้อมูล เส้น และชื่อกราฟ ดังตัวอย่างในรูป ii

แกน : กราฟเส้น 2 มิติ ประกอบด้วยแกน x และ y ซึ่งแสดงตัวแปรต้นและตัวแปรตามตามลำดับจะต้องเขียนให้ชัดเจนว่าแกน x และ y คืออะไรและมีหน่วยเป็นอะไร

สเกล : สเกลควรกว้างพอที่จะแสดงข้อมูลได้ทั้งหมด แต่ไม่กว้างจนทำให้พื้นที่ว่างมาก ซึ่งจะทำให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลไม่ชัดเจน

การพลอตจุดบนกราฟ : ควรแสดงค่าโดยใช้จุดหรือกากบาทล้อมรอบด้วยวงกลม หรือสามเหลี่ยม หรือ สี่เหลี่ยม

เส้นเชื่อมข้อมูล : เส้นเชื่อมข้อมูลอาจเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ขึ้นกับความสัมพันธ์ของตัวแปร x และ y การลากเส้นเชื่อมข้อมูลควรให้จุดข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นเชื่อมเท่าๆกัน และเส้นเชื่อมมี

ความต่อเนื่อง ไม่ใช่เส้นตรงหลายๆ เส้นต่อกัน หากต้องการลากเส้นข้อมูลที่มีอยู่ ควรใช้เส้นประ เนื่องจากเราไม่แน่ใจว่าความสัมพันธ์ของข้องมูลจะเป็นดังเดิม

ชื่อกราฟ : ชื่อของกราฟเขียนไว้ใต้รูปกราฟ ควรเขียนให้สั้น ได้ใจความ และสื่อถึงตัวแปรที่กำลังศึกษาอยู่ พบกราฟที่ใดอ่านก็เข้าใจว่าทำอะไรและผลเป็นอย่างไร

หาความชันของกราฟเส้นตรง

ถ้ากราฟของตังแปล x และ y เป็นเส้นตรง แสดงว่าตัวแปรดังกล่าวสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น หรือแสดงได้ด้วยสมการเส้นตรง $y = mx + b$

เมื่อ x และ y = ค่าของข้อมูลที่ได้จากการทดลองและนำมาพลอตบนแกน x และ y ตามลำดับ

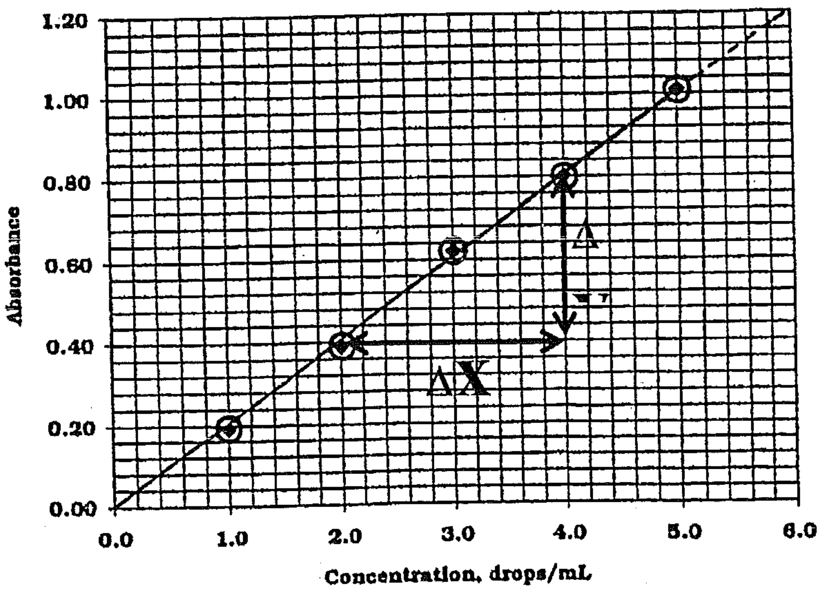
m = ความชัน

b = จุดตัดแกน y

ความชันสามารถหาได้จากจุดสองจุดใดๆบนเส้นตรง จากความสัมพันธ์

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

ดังตัวอย่างในรูป 2



การวัดการดูดกลืนแสงของน้ำผล cranberry ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร (nm)

$$\text{slope} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{0.80 - 0.40}{4.0 - 2.0} = 0.20$$

รูป 2 ตัวอย่างการเขียนกราฟและการหาความชันของกราฟ

ความแม่นยำ ความถูกต้อง และความคลาดเคลื่อน

1. ความแม่นยำ

ค่าความแม่นยำเป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความใกล้เคียงกันของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหลายๆ ครั้งภายใต้สภาวะของการทดลองเดียวกัน ถ้าผลลัพธ์ของการทดลองในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงมาก ก็แสดงว่าการทดลองนั้นมีความแม่นยำสูง ผลลัพธ์ที่ได้ออกมีค่าการเบี่ยงเบนเฉลี่ย (average deviation) ซึ่งหาได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ในการหาความเข้มข้นของกรดตัวอย่างโดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH ทำการไทเทรต 3 ครั้งแล้วคำนวณหาค่าความเข้มข้นของกรดตัวอย่างในแต่ละครั้งได้ผลดังนี้

ครั้งที่ 1 ความเข้มข้นกรดตัวอย่าง = 0.12 mol/dm^3

ครั้งที่ 2 ความเข้มข้นกรดตัวอย่าง = 0.15 mol/dm^3

ครั้งที่ 3 ความเข้มข้นกรดตัวอย่าง = 0.10 mol/dm^3

ค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นกรดตัวอย่าง = 0.37/3 = 0.12 mol/dm^3

ข้อมูลข้างต้น สามารถหาค่าการเบี่ยงเบนเฉลี่ย ได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 การหาค่าการเบี่ยงเบนเฉลี่ย

ครั้งที่	ความเข้มข้นกรดตัวอย่าง (mol/dm^3)	ค่าการเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย (mol/dm^3)
1	0.12	0.00
2	0.15	0.03
3	0.10	0.02
		ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย = 0.05/3 = 0.02

นั่นคือ กรดตัวอย่างมีความเข้มข้น = 0.12$\pm$ 0.02 mol/dm^3 ซึ่งค่า $\pm$ 0.02 mol/dm^3 นี้เป็นค่าที่แสดงถึงความแม่นยำของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

ในการทดลองวัดค่าต่างๆ มักจะเกิดค่าการเบี่ยงเบนทุกครั้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากความผิดพลาดของผู้ทำการทดลอง หรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องวัดขนาดต่างๆ ซึ่งในการวัดปริมาณใดๆ ก็ตาม ถ้าใช้เครื่องวัดคนละขนาด หรือคนละแบบ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก็จะแตกต่างกันไปด้วยดังตาราง 3

ตาราง 3 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือบางชนิด

เครื่องมือ	**ขนาด**	**ค่าความคลาดเคลื่อน**
ปิเปต	5 cm^3	$\pm$ 0.01 cm^3
	10 cm^3	$\pm$ 0.02 cm^3
	15 cm^3	$\pm$ 0.03 cm^3
	20 cm^3	$\pm$ 0.03 cm^3
	25 cm^3	$\pm$ 0.03 cm^3
	50 cm^3	$\pm$ 0.05 cm^3
	100 cm^3	$\pm$ 0.08 cm^3
บิวเรต	50 cm^3	$\pm$ 0.05 cm^3
กระบอกตวง	10 cm^3	$\pm$ 0.1 cm^3
	25 cm^3	$\pm$ 0.3 cm^3
	50 cm^3	$\pm$ 0.5 cm^3
	100 cm^3	$\pm$ 1.0 cm^3
เครื่องชั่ง	ทศนิยม 2 ตำแหน่ง	$\pm$ 0.01 กรัม
	ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	$\pm$ 0.0001 กรัม

2. ความถูกต้อง

ความถูกต้องหมายถึง ความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่แท้จริง ดังนั้นความถูกต้องสามารถอธิบายได้ในเทอมของความคลาดเคลื่อน (error) นั่นเอง ยิ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยเท่าใด ก็ถือว่าการทดลองนี้มีความถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามในการหาปริมาณของสารตัวอย่าง ไม่สามารถที่จะทราบค่าที่แท้จริงของสารตัวอย่างได้อย่างแน่นอนแต่พอจะหาปริมาณของสารตัวอย่างได้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดได้โดยการวัด หรือหาปริมาณของสารตัวอย่างนั้นหลายๆ ครั้ง ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดมากๆ แล้วนำเอาปริมาณของสารตัวอย่างที่หาได้นี้ไปหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าเท่ากับ หรือใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

จากที่กล่าวข้างต้น <u>ค่าความถูกต้องจะแสดงด้วยค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งนิยมใช้ในเทอมของค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative error)</u> ดังนี้ สมมติว่าค่าจากการทดลองได้ 2.41 กรัม ส่วนค่าที่ยอมรับหรือค่าจริงมีค่า 2.50 กรัม

ค่าความคลาดเคลื่อน = 2.50 – 2.41 = 0.09 กรัม

ค่าความคลาดเคลื่อน = $\frac{0.09 \times 100}{2.50} = 3.60\%$

3. การหาความคลาดเคลื่อน

ในการทดลองแต่ละครั้ง จะมีการวัดค่าต่างๆ ซึ่งในการวัดแต่ละครั้งจะมีความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือรวมอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นเมื่อนำค่าที่ได้มาหาค่าผลการทดลองขั้นสุดท้ายก็จะมีความคลาดเคลื่อนใหม่ค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ในแต่ละครั้ง ซึ่งสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนรวมได้ดังนี้

3.1 ในการบวกหรือลบค่าที่ได้จากการทดลอง

ค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จะมีค่าเท่ากับ ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองแต่ละค่ารวมกัน เช่น

น้ำหนักสาร + น้ำหนักขวดชั่ง = 32.75 $\pm$ 0.01 กรัม

น้ำหนักขวดชั่ง = 30.04 $\pm$ 0.01 กรัม

ดังนั้น น้ำหนักสาร = 2.71 $\pm$ 0.02 กรัม

3.2 ในการคูณหรือหารค่าที่ได้จากการทดลอง

ค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จะมีค่าเท่ากับ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ของผลการทดลองแต่ละครั้งมารวมกัน เช่น ในการหาความหนาแน่นของสารได้ผลการทดลองดังนี้

น้ำหนักสาร = 5.02 $\pm$ 0.02 กรัม

ความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ = $\frac{0.02\times100}{5.02}$ = 0.40%

ปริมาตรของสาร= 3.21 $\pm$ 0.06 cm^3

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ = $\frac{0.06\times100}{3.21}$ =1.87%

ความหนาแน่นของสาร = 5.02/3.21 = 1.56 g/cm^3

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์รวม = 0.40 + 1.87 = 2.27%

คิดเป็นความคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นได้ = $\frac{2.27\times1.56}{100}$ = 0.03 g/cm^3

ดังนั้น ความหนาแน่นของสาร = 1.56 $\pm$ 0.03 g/cm^3