บทที่ 2
การวัดปริมาณตามหลักมาตรวิทยา

ทุกประเทศในโลกมองเห็นความสำคัญและตระหนักถึงความรับผิดชอบในระบบมาตรฐานการวัดของชาติ รวมทั้งเป็นหน้าที่ที่จะต้องจัดให้ระบบมาตรฐานการวัดให้ได้รับความเชื่อถือซึ่งกันและกันด้วย นับได้ว่ามาตรฐานการวัดเป็นพื้นฐานสำคัญที่รองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมของชาติทีเดียว

การวัดปริมาณเป็นพฤติกรรมที่มนุษย์ได้กระทำมาช้านานแล้ว เมื่อครั้งที่การติดต่อสื่อสารยังไม่สะดวก แต่ละกลุ่มชนได้กำหนดขนาดหรือค่าของหน่วยของแต่ละปริมาณขึ้นใช้เอง ขนาดหรือค่าของแต่ละหน่วยของการวัดปริมาณเดียวกันจึงแตกต่างกันไป เมื่อการคมนาคมสะดวกขึ้นมีการติดต่อสื่อสารระหว่างกลุ่มบ่อยขึ้น ความยุ่งยากจากการใช้หน่วยต่างกันจึงมีปัญหาบ้าง

สมัยกลางศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นสมัยที่การค้าในประเทศยุโรปขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วและประกอบด้วยความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้เริ่มขยายตัวมากขึ้น ประเทศอังกฤษและประเทศในเครือจักรภพได้พยายามจัดระบบมาตรฐานการวัดขึ้น ในการประชุมหลายครั้งในยุโรปได้พยายามวางรากฐานหน่วยการวัด **ความยาว** และ **น้ำหนัก** ขึ้น ในที่สุดในปี ค.ศ.1869 ประเทศอังกฤษและฝรั่งเศสได้ตกลงกันจัดตั้งระบบการวัดโดยใช้หน่วย **เมตริก** ระหว่างชาติขึ้นสำเร็จ โดยมีประเทศอื่นๆ อีก 24 ประเทศเห็นชอบต่อมาในราว ค.ศ.1875 ได้มีข้อตกลงในการใช้ **เมตร** เป็นหน่วยในการวัดความยาว และ **กิโลกรัม** เป็นหน่วยในการวัดน้ำหนัก และเป็นต้นกำเนิดองค์การระหว่างประเทศเกี่ยวกับการวัด หรือที่เรียกว่า Bureau International des Poids et Measures (BIPM)

2.1 ความรู้ทางสถิติพื้นฐานในการวัดปริมาณ

2.1.1 **ค่าเฉลี่ย** (mean) หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการหารผลรวมของการ

วัดทั้งหมด ด้วยจำนวนของการวัด เช่น ถ้าให้ผลการวัดแทนด้วย X_1, X_2, X_3 ..., X_n ดังนั้น ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) จะเป็น

$$= \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots + X_n}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของการวัด

ค่าจำกัด (limiting value) ของ $\bar{X}$ เมื่อจำนวนของการวัดเข้าใกล้อินฟินิตี้ จะเป็นค่าเฉลี่ยประชากร (population mean) แทนด้วย μ

$$\mu = \lim_{n \to \infty} [(1/n) \sum_{i=1}^{n} X_i]$$

2.1.2 **ค่าเฉลี่ยจำกัดและค่าจริง** (limiting mean and true value) การวัดปริมาณตามหลักวิทยาศาสตร์หรือโดยทั่วไปนั้น จะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ค่าที่วัดได้ต้องถูกต้องหรือใกล้เคียงกับค่าจริง หรือ มีความถูกต้อง (accuracy)

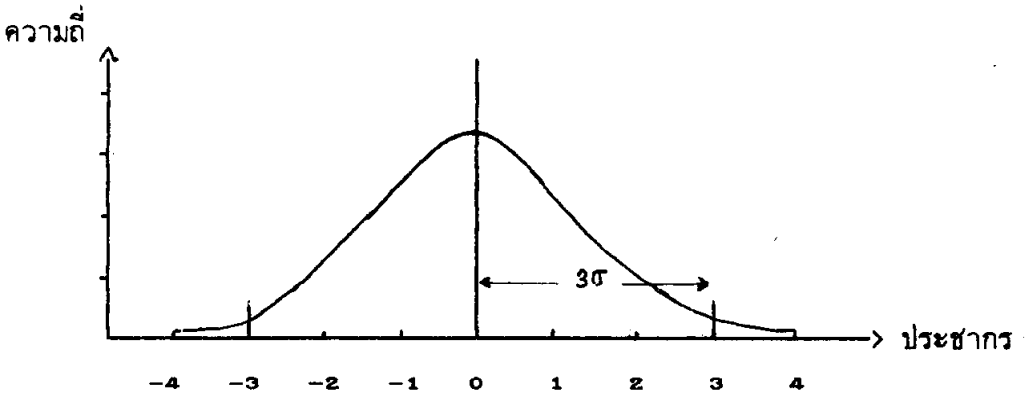
2. ค่าที่วัดได้ต้องทำให้เกิดซ้ำได้ และการเกิดซ้ำต้องเป็นการกระจายแบบสุ่ม ในทางสถิติ หรือขบวนการวัดอยู่ภายใต้การควบคุมในเชิงสถิติ (under statistical control)

3. ความไม่แน่นอน (uncertainty) หรือความผิดพลาดสุ่ม (random

error) ของผลการวัด หรือขบวนการวัดต้องมีความแม่นยำ (precision) เพียงพอกับความต้องการของผู้วัด

ผู้วัดปริมาณจะเกิดความมั่นใจได้ว่า ผลการวัดมีความถูกต้องทำให้เกิดใหม่ได้และเป็นที่ยอมรับ เมื่อขบวนการวัดมีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน

ดังนั้น ผู้วัดปริมาณมักทำการวัดหลายครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าขบวนการวัดมีลักษณะกระจายแบบสุ่ม (ทำให้เกิดซ้ำได้หรือไม่) และมีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่ มักจะใช้ค่าเฉลี่ยของการวัดหลายครั้ง ($\bar{X}$) เป็นตัวแทนของค่าปริมาณที่วัด ลักษณะการกระจายของประชากรของค่าที่วัดจะต้องเป็นเส้นโค้งรูประฆังตามธรรมชาติของการกระจายแบบสุ่ม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) คูณ 3 คือ 3σ เป็นเครื่องชี้ขนาดความแม่นยำของขบวนการวัด ซึ่งจะทำให้ผู้วัดมั่นใจได้ว่า ค่าที่วัดได้ในขบวนการวัดในครั้งต่อไป จะต้องมีค่า $= \bar{X} \pm 3\sigma$



การกระจายแบบสุ่มในทางสถิติ

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} X_i/n$$

เมื่อ n = จำนวนประชากร

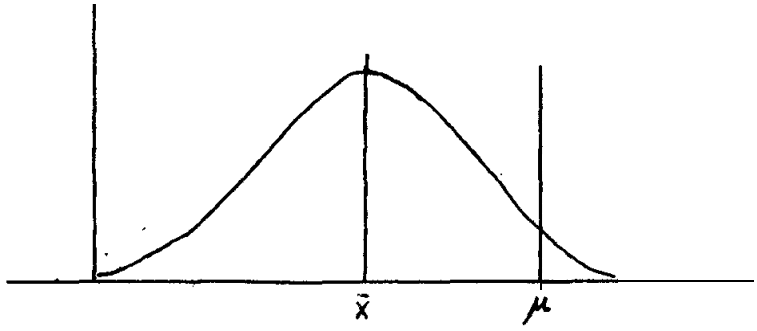
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (X_i-\bar{X})^2/(n-1)}$$

อย่างไรก็ดีถึงแม้ขบวนการวัดจะเป็นการกระจายแบบสุ่ม และมีความแม่นยำเพียงพอ แต่ผลการวัดทั้งหมดอาจผิดพลาดได้ ซึ่งหมายความว่า ค่าเฉลี่ยของการวัด ($\bar{X}$) ไม่ใกล้เคียงกับ **ค่าจริง** (true value, μ)

ในที่นี้ s = experimental standard deviation

σ = population standard deviation

อนึ่งค่าจริง (μ) เป็นค่าในอุดมคติเท่านั้น ไม่มีอยู่จริงในทางปฏิบัติ



ความผิดพลาดที่เกิดจากค่าเฉลี่ยของการวัด $\bar{X} - \mu$ อาจเรียกว่าความผิดพลาดของระบบการวัด (systematic error) หรือ bias

ปัญหาสำคัญ คือ เราไม่รู้ค่า $\bar{X} - \mu$ หรือค่า bias และไม่สามารถจะรู้ได้ เพราะในทางทฤษฎีเราไม่สามารถกำหนดค่าจริง (μ) ในการวัด

วิธีการที่จะทำให้แน่ใจว่า ค่าที่วัดได้ถูกต้อง (ใกล้เคียงกับค่าจริง) ก็คือการตรวจสอบขบวนการวัดโดยการอ้างอิงกับสิ่งที่รู้ค่า คือ

1. มาตรฐาน
2. วัสดุอ้างอิง

ซึ่งจะช่วยในการสอบเทียบขบวนการวัดและเครื่องมือวัด ทำให้แน่ใจว่า ผลการวัดมี bias น้อย และการวัดถูกต้อง

เมื่อต้องการความถูกต้องสูงขึ้น (หาค่าใกล้เคียงยิ่งขึ้น) เราอาจหาค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายค่า ทั้งนี้เพราะค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) จะเข้าใกล้**ค่าเฉลี่ยจำกัด** (μ_m) เมื่อ

จำนวนการวัดมีมากขึ้น ซึ่งอาจเห็นได้จากสูตร

$$(\text{bias})^2 = (I- \quad /U_'=$$

$$= [(1/n) \sum_{i=1}^{n} X_i - \mu_m]^2$$

$$\therefore \quad \bar{X} - \mu_m = \pm \sigma/\sqrt{n}$$

เมื่อ $\mu_m = \lim_{n \to \infty} \sum_{i=1}^{n} X_i/n$

เมื่อจำนวนครั้งที่วัดมากขึ้น ค่าเฉลี่ยจะใกล้ค่าเฉลี่ยจำกัด (μ_m) ยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้ขบวนการต้องสอบเทียบตามมาตรฐานแล้ว และผลการวัดจึงมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

2.1.3 **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)** เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดมีส่วนในการวัดการกระจาย จึงใช้วัดจากค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนของแต่ละการวัดจากมัชฌิมเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย ถ้าข้อมูลกระจายมากส่วนเบี่ยงเบนเหล่านี้ก็จะมีขนาดใหญ่ ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนควรจะใหญ่ด้วย ถ้าข้อมูลกระจายน้อยส่วนเบี่ยงเบนก็จะมีขนาดเล็ก ค่าเฉลี่ยก็ควรจะเล็กด้วย

เพื่อให้ได้การวัดการกระจายดีขึ้น จึงใช้วัดด้วยผลรวมของกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย โดยเฉลี่ยค่านี้แล้วหารากที่ 2 และเรียกผลที่ได้ว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้อักษร S

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \bar{X})^2/n}$$

ค่าจำกัดของ S เมื่อจำนวนการวัด (n) เข้าใกล้อินฟินิตี้ซึ่งแทนด้วย σ ในทางปฏิบัติไม่สามารถหา σ ได้โดยตรง อย่างไรก็ดีสามารถหา s ซึ่งเป็น unbiased estimate ของ σ จากความสัมพันธ์

$$s^2 = [n/(n-1)]S^2$$

$$\therefore \quad s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \bar{X})^2/(n-1)}$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นมาตราวัดการกระจายที่ดีที่สุดในจำพวกการวัดการกระจายทั้งหมด

2.1.4 **ความผิดพลาดในการวัด** ผลต่างที่ได้จากค่าที่ได้จากการวัดกับค่าจริง ก็คือ ความผิดพลาดในการวัด

ความจำเป็นของการวัดไม่เพียงแต่ทราบขนาด (magnitude) ของปริมาณที่ไม่ทราบค่านั้น ยังต้องทราบองศาของความถูกต้องของการวัดด้วย

ประเภทของความผิดพลาด (Type of errors)

ความผิดพลาดในการวัดมักเกิดจากต้นตอต่างๆ กัน อาจจำแนกออกได้เป็นสามประเภทที่สำคัญ คือ

ก. **ความผิดพลาดโดยผู้วัด** (human error) ความผิดพลาดนี้เกิดจากมนุษย์ ในฐานะผู้ใช้เครื่องวัด ข้อผิดพลาดเหล่านี้ มีอาทิ เช่น การอ่านผิด การใช้เครื่องมือไม่เหมาะสม การจดผิด หรือกระทั่งการคำนวณผิด เป็นต้น ข้อผิดพลาดที่มักพบเห็นกันอยู่เสมอ ได้แก่ การเลือกใช้เครื่องมือไม่เหมาะสม โดยทั่วไปเครื่องวัดแบบชี้ค่าจะส่งผลกระทบเมื่อต่อเข้ากับวงจรวัด สิ่งนี้ส่งผลให้ค่าวัดคลาดเคลื่อนไปได้ เป็นต้นว่า มาตรวัดแรงดันที่สอบเทียบไว้อย่างดีแล้ว อาจจะอ่านค่าผิดพลาดเมื่อต่อเพื่อจะวัดค่าแรงดันซึ่งตกคร่อมค่าความต้านทานสูงมาก

ความผิดพลาดโดยผู้วัดจำนวนมากเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่ระมัดระวัง หรือความสะเพร่าเป็นสำคัญ เป็นต้นว่า การอ่านค่าผิด การบันทึกค่าผิดจากการอ่าน หรือการลืมปรับตั้งเครื่องมือวัดให้ถูกต้อง หรือในกรณีที่สามารถใช้วัดค่าในช่วงพิสัยต่างๆ กัน (multirange) มักจะมีการอ่านค่าจากสเกลหนึ่งในขณะที่สเกลที่ใช้จะเป็นอีกสเกลหนึ่ง

ความผิดพลาดที่ได้กล่าวมานี้ไม่สามารถแสดงหรือทำนายในเชิงคณิตศาสตร์ได้ การหลีกเลี่ยงความผิดพลาดเช่นนี้จะทำได้เฉพาะ โดยใช้ความระมัดระวังอย่างสูง ทั้งในการอ่านและการบันทึกค่าวัด โดยปกติควรทำการอ่านค่าวัดเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง และถ้าเป็นไปได้ก็โดยผู้ทำการทดลองที่ต่างไป

ข. **ความผิดพลาดระบบ** (systematic error) ค่าของผลการวัดที่ซ้ำๆ กันอย่างมากมายของสิ่งที่ถูกวัดเดียวกัน ลบด้วยค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัดนั้น ความผิดพลาดประเภทนี้ยังอาจจำแนกออกได้เป็นสองชนิดที่สำคัญ คือ

ความผิดพลาดโดยเครื่องมือวัด (instrumental error) เป็นความผิดพลาดที่ดำรงอยู่ในเครื่องมือวัด อันเนื่องจากโครงสร้างทางกลของเครื่องมือเหล่านี้ นอกจากนี้ การปรับตั้งที่ผิดพลาดแต่ต้น ก็ทำให้การอ่านค่าสูงหรือต่ำเกินความจริงไป ความผิดพลาดโดยเครื่องวัดดังกล่าวนี้ อาจหลีกเลี่ยงได้โดยทำการสอบเทียบเครื่องวัดกับมาตรฐานที่เหมาะสม หรืออาจโดยการวัดค่าเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอีกตัวที่มีลักษณะสมบัติเหมือนกัน

ความผิดพลาดในสภาพแวดล้อม ความผิดพลาดชนิดนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกเครื่องมือวัดซึ่งรวมถึงสภาพเงื่อนไขที่เราใช้เครื่องวัดนั้นๆ เป็นต้นว่า ผลจากการเปลี่ยนไปของอุณหภูมิ ความชื้น ความดันอากาศ สนามแม่เหล็ก หรือไฟฟ้าสถิตย์ ฯลฯ การเปลี่ยนไปของอุณหภูมิใช้งานจะยังผลให้คุณสมบัติยืดหยุ่นของสปริงในกลไกขดลวดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลง อันทำให้ค่าที่อ่านคลาดเคลื่อนได้ เป็นต้น

ค. **ความผิดพลาดสุ่ม** (random error) ความผิดพลาดชนิดนี้เกิดจากสาเหตุที่อธิบายไม่ได้ และเกิดขึ้นแม้เมื่อเราได้พยายามกำจัดความผิดพลาดระบบต่างๆ แล้ว สมมติว่าเราจะติดตามวัดค่าของแรงดันหนึ่งๆ โดยใช้โวลต์มิเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งเราจะอ่านค่า

จากมาตรทุกๆ ครึ่งชั่วโมง เราจะพบว่าแม้เครื่องวัดจะทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่เป็นอุดมคติ และผ่านการปรับเทียบไว้อย่างถูกต้องก่อนทำการวัดก็ตาม ค่าที่อ่านได้จะเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อยตามช่วงเวลาที่เราทำการวัด ความแตกต่างของค่าวัดเหล่านี้เราไม่สามารถแก้ไขได้โดยวิธีปรับเทียบหรือวิธีการควบคุมอื่นใดได้

2.1.5 ความถูกต้องและความแม่นยำ

ความถูกต้อง (accuracy) หมายถึง การแสดงค่าให้รู้ว่าค่าที่วัดได้ (อ่านจากเครื่องวัด) ใกล้เคียงกับค่าจริงเพียงใด ซึ่งจะครอบคลุมถึงความแม่นยำของการวัด ความคลาดเคลื่อนที่ทราบและที่เป็นไปได้ของมาตรฐานที่ใช้ ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือสอบเทียบและที่เป็นผลจากเทคนิคของการวัด ฯลฯ เช่น วัดความยาวโดยใช้ไม้บรรทัดวัด จะได้ความยาว 50.00 ซม. วัดเมื่อใดก็ได้ 50.00 หรือต่างจาก 50.00 นี้น้อยมาก อย่างนี้เรียกว่าเครื่องมือนั้น accurate หรือมี accuracy สูง แต่ถ้าหากใช้เครื่องมืออีกอันหนึ่งวัด จะวัดได้ 51.5 ซม. วัดทุกครั้งก็ได้ 51.5 ซม. เช่นนี้เครื่องมือนั้นไม่ถูกต้อง มี accuracy ต่ำ

ความเที่ยงตรง (precision) เป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถทำซ้ำของการวัด กล่าวคือ ถ้าหากเรามีตัวแปรที่มีค่าแน่นอนค่าหนึ่ง ความแม่นยำของเครื่องวัดจะบอกให้เรารู้ว่าค่าวัดที่ทำอย่างต่อเนื่องแตกต่างจากกันมากน้อยเพียงใด เครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงจะมีความแตกต่างของค่าวัดแต่ละครั้งน้อย

ในการวัดปริมาณเชิงฟิสิกส์ปริมาณใดปริมาณหนึ่งนั้น เมื่อวัดภายใต้สภาพใช้งานและสภาพแวดล้อมที่กำหนด และได้ทำการวัดที่เป็นอิสระแก่กันหลายๆ ครั้งแล้ว ความใกล้เคียงกันของค่าที่วัดได้นี้ก็คือความแม่นยำนั่นเอง ในทางปฏิบัติ ตัวบ่งชี้ความแม่นยำในกรณีที่การเบี่ยงเบนทั้งหมดเป็นไปในลักษณะที่ไม่แน่นอน ได้แก่ กรณีที่สองของค่าเฉลี่ยของค่ายกกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนของการวัดแต่ละครั้งจากค่าเฉลี่ยของการวัดจำนวนหลายๆ ครั้ง

ศัพท์คำว่า ความแม่นยำและถูกต้องอาจจะมีการใช้ปะปนกันอย่างผิดๆ ทั้งนี้

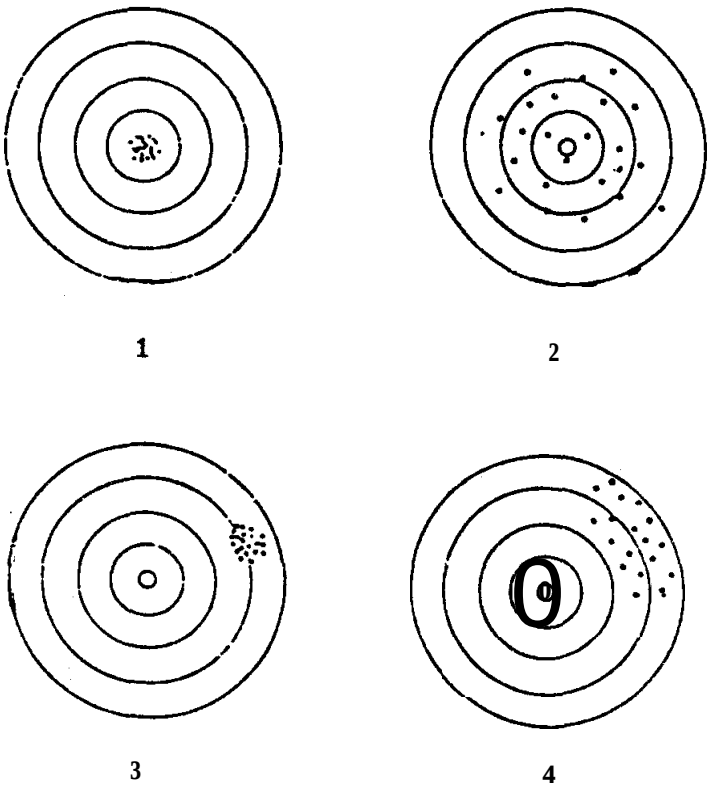
เพราะเหตุที่คำทั้งสองมีความหมายที่ใกล้เคียงกัน ในทางการวัดคำทั้งสองนี้ใช้ในความหมายที่ต่างกันมาก ดังจะกล่าวเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

ความถูกต้องของการวัดหนึ่งๆ หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าวัดกับค่าแท้จริงของปริมาณซึ่งเรากำลังวัด ขนาดมากหรือน้อยของการเบี่ยงเบนจากค่าแท้จริงเป็นตัวบ่งชี้ว่าการวัดค่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ส่วนความแม่นยำนั้น หมายถึง ความสามารถเกิดซ้ำของการวัดหลายๆ ครั้ง โดยที่การวัดค่าแต่ละครั้งใช้เครื่องวัดตัวเดียวกัน ความแม่นยำกำหนดขึ้นจากความเบี่ยงเบนของการอ่านแต่ละครั้งว่าผิดไปจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงไร

ตัวอย่างต่อไปนี้ คงจะทำให้เราสามารถเข้าใจความแตกต่างของความถูกต้องกับความแม่นยำได้ชัดเจนขึ้น

สมมติว่าเรามีเครื่องวัดที่ได้รับการสอบเทียบอย่างผิดๆ เครื่องวัดนี้อาจจะอ่านค่าโดยมีความสามารถทำซ้ำ (repeatability) หรือความแม่นยำสูง กล่าวคือ ค่าที่อ่านได้จากการวัดแต่ละครั้งจะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ค่าเหล่านี้จะผิดจากค่าที่แท้จริงไปมาก ทั้งนี้เพราะความผิดพลาดจากการสอบเทียบดังกล่าวมาแล้ว จากตัวอย่างจึงกล่าวได้ว่า ข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องวัดนี้มีความแม่นยำสูงแต่ไม่มีความถูกต้อง ตัวอย่างชี้ให้เราเห็นว่า ความแม่นยำไม่จำเป็นต้องเป็นหลักประกันของความถูกต้อง แต่ความถูกต้องต้องการความแม่นยำด้วย

การแสดงให้เห็นความแตกต่างของคำว่า ความถูกต้องกับความแม่นยำ โดยการเปรียบเทียบกับการยิงปืนที่ผู้ยิงมีความสามารถในการยิงต่างกัน มีจำนวนกระสุนเท่ากัน เป้าชนิดเดียวกันโดยกำหนดให้เป้าตาวัว (bull's eye) เปรียบเสมือนค่าจริง ซึ่งในทางปฏิบัติ เรียกว่า ค่าจริงที่ยอมรับได้ (accepted true value) และมีผลของการยิงดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงผลการยิงปืนของนักยิงปืนทั้งสี่คน

จากรูป นักยิงปืนคนที่หนึ่ง มีการกระจายของรอยกระสุนเล็กน้อยรอบๆ ตาวัว แสดงถึง ความถูกต้องสูง มีความสามารถซ้ำได้ดี มีความแม่นยำ

นักยิงปืนคนที่สอง มีการกระจายของรอยกระสุนมากแต่กระสุนเข้าเป้าหมด แสดงถึง ความสามารถซ้ำได้ไม่ดี ความถูกต้องปานกลาง เนื่องจากกระสุนกระจายอย่างสม่ำเสมอกันรอบๆ ตาวัว มีความแม่นยำน้อย

นักยิงปืนคนที่สาม กระสุนทั้งหมดเข้าเป้าเป็นบริเวณแคบๆ แต่มีระยะห่างจากตาวัวตรงกลาง แสดงว่ามีความสามารถซ้ำได้ดี แต่ความถูกต้องต่ำ

นักยิงปืนคนที่สี่ ไม่สามารถยิงเข้าเป้าหมดทุกนัด มีบางนัดที่หลุดออกนอกเป้า

แสดงถึงความสามารถซ้ำได้ไม่ดี ความถูกต้องต่ำ ไม่แม่นยำ

ดังนั้น การยิงกระสุนเข้าเป้าอย่างสม่ำเสมอเป็นการยิงที่ถูกต้องและแม่นยำ ขณะที่การยิงผิดเป้า แต่กระจุกที่จุดใดจุดหนึ่งเป็นการยิงที่แม่นยำแต่ไม่ถูกต้อง เป็นต้น

การระบุความถูกต้องของเครื่องมือหรืออุปกรณ์วัดต่างๆ มีหลายวิธี อาจยกที่สำคัญมาแสดง ดังนี้

1. ความถูกต้องแสดงในรูปของปริมาณที่วัดได้ เช่น ความถูกต้องของเครื่องวัดอุณหภูมิเป็น $1^{\circ}C$ หรือความถูกต้องของแอมมิเตอร์เป็น $\pm$ 0.01 แอมแปร์

2. ความถูกต้องแสดงในรูปร้อยละของช่วงการวัด (span) เช่น ความถูกต้องของโวลต์มิเตอร์เป็น $\pm$ 0.5% ของช่วงการวัด

3. ความถูกต้องแสดงในรูปร้อยละของค่าเต็มสเกล (full scale value) เช่น ความถูกต้องของโวลต์มิเตอร์เป็น $\pm$ 0.1% ของค่าเต็มสเกล

4. ความถูกต้องแสดงในรูปร้อยละของความยาวสเกล (scale length) เช่น ความถูกต้องเป็น $\pm$ 0.5 ของความยาวสเกล

5. ความถูกต้องแสดงในรูปร้อยละของค่าที่อ่านได้จริง เช่น ความถูกต้องเป็น $\pm$ 0.2% ของค่าที่อ่านจริง

บริษัทผู้ผลิตต่างๆ มักมีวิธีระบุความถูกต้องของเครื่องวัดที่แตกต่างกัน วิธีทั่วไปที่พบมากที่สุด ได้แก่ การระบุความถูกต้องในรูปร้อยละของค่าเต็มสเกล และร้อยละของช่วงการวัด

2.2 เงื่อนไขและขบวนการในการวัดปริมาณ

การวัด คือ ขบวนการทั้งหลายที่ต้องใช้ในการตัดสินปริมาณของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ขบวนการนี้ประกอบด้วย การเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณมาตรฐาน (หน่วยวัด) และปริมาณที่นำมาวัด แล้วตัดสินว่ามีปริมาณมาตรฐานอยู่เท่าใดในปริมาณที่ต้องการทราบค่า

ความมุ่งหมายของการวัด คือ การตัดสินปริมาณต่างๆ อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยปราศจากความผิดพลาด (error) แต่โดยธรรมชาติของการวัด การกำจัดความผิด

พลาดในการวัดออกไปอย่างสิ้นเชิงนั้นเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นการศึกษามาตรวิทยาซึ่งเป็นวิชาที่ว่าด้วยเรื่องธรรมชาติของการวัด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวัดที่หวังผลความถูกต้องสูงสุดในปัจจุบัน

การวัดและการทดสอบผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีความมุ่งหมายใหญ่ๆ อยู่ 2 ประการ กล่าวคือ เพื่อแสดงปริมาณที่ถูกต้องของสินค้า เพื่อแสดงความเป็นธรรมทางด้านการค้า จึงจัดอยู่ในกลุ่มของมาตรวิทยาเชิงพาณิชย์ (Legal Metrology) อย่างหนึ่ง และเพื่อแสดงคุณสมบัติจำเพาะของสินค้า (Specification) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มมาตรวิทยาเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Metrology) อีกอย่างหนึ่ง

2.2.1 **นิยาม** เราจะพบว่าปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ที่จะทำการวัดนั้นมีอยู่มากมาย นับเป็นร้อยๆ ชนิด อาทิ เช่น กระแส แรงดัน (voltage) ความดัน ความเร็ว ความร้อน ความสูง ปริมาตร ความหนาแน่น น้ำหนัก เป็นต้น ปริมาณเหล่านี้เราต้องทราบนิยามของสิ่งเหล่านี้ด้วย

เมื่อเรากล่าวถึง มวล 1 กิโลกรัม เรามีบรรทัดฐานอะไรที่จะบอกว่า**ปริมาณ**ขนาดใดจึงเทียบเท่ามวล 1 กิโลกรัม สำหรับกรณีมวลที่ยกมากล่าวนี้ ในระบบ SI ได้ให้นิยามของมวลว่า คือ มวลแบบประถมระหว่างประเทศของกิโลกรัม แต่เดิมเป็นมวลของน้ำ (กลั่น) หนึ่งลูกบาศก์เดซิเมตรที่อุณหภูมิ 4°C ต่อมาหน่วยของมวลดังกล่าวนี้จะมีมาตรฐานตัวแทนอีกทอดหนึ่ง ซึ่งก็คือ มวลของต้นแบบระดับนานาชาติของกิโลกรัม เป็นแท่งโลหะผสมของแพลทินัมกับอิริเดียม (platinum-iridium alloy) แท่งโลหะดังกล่าวจะเก็บรักษาไว้ที่สำนักงานน้ำหนักและการวัดระหว่างประเทศ (BIPM) เพื่อเป็นมาตรฐานตัวแทนของค่ากิโลกรัม

2.2.2 **ทฤษฎีพื้นฐาน** ในการวัดปริมาณใดปริมาณหนึ่ง จำเป็นจะต้องทราบถึงทฤษฎีของเรื่องนั้นๆ เช่น จะหาสมมูลเชิงกลของความร้อน (Joule's equivalent) เราก็ต้องทราบว่า

พลังงานมีอยู่หลายรูปแบบและไม่ได้สูญหายไปไหน แต่สามารถเปลี่ยนรูปได้ การเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นความร้อน โดยให้งาน = W จูล เปลี่ยนเป็นปริมาณความร้อน

ทั้งหมด = Q แคลอรี จะได้ว่า

$$J = W/Q$$

โดยมี J = สมมูลเชิงกลของความร้อนของจูล

W = งาน

Q = ปริมาณความร้อน

จากการทดลองของจูล พบว่า $J = 4.18$ จูลต่อแคลอรี่

$= 4.18 \times 10^3$ จูลต่อกิโลแคลอรี

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความกดดันของก๊าซเมื่ออุณหภูมิคงที่ ในเรื่องนี้ก็ต้องทราบทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ คือ กฎของบอยล์ (Boyle's Law) นั่นเอง ซึ่งมีใจความว่า ปริมาตรของมวล (ปริมาณ) ของก๊าซที่กำหนดจะเป็นปฏิภาคกลับกับความดัน เมื่ออุณหภูมิคงที่

ให้ p = ความดัน

V = ปริมาตร

จะได้ว่า

$$pV = K$$

โดยที่ K มีค่าคงที่

2.2.3 **เครื่องมืออุปกรณ์** เมื่อจะทำการวัดปริมาณใดๆ จะต้องคำนึงถึงและจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สอดคล้องกับปริมาณนั้นๆ เช่น การวัดมวล จะต้องมีเครื่องชั่งที่ต้องการความละเอียดถูกต้อง หีบน้ำหนักชิ้งบรรจุตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

การหาสมมูลเชิงกลของความร้อน จะต้องมีชุดสำเร็จหาค่าสมมูลเชิงกลของความร้อน เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องชั่ง

การวัดความยาว อาจใช้เครื่องมือ เช่น ไม้บรรทัด เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ไมโครมิเตอร์ แท่งเทียบ (gauge block) เป็นต้น

2.2.4 **วิธีการทั่วไปของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด** ในห้องปฏิบัติ-

การต่างๆ เมื่อได้ตระเตรียมและจัดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือพร้อมที่จะทำการวัดปริมาณ เมื่อได้ทำการวัดเรียบร้อยแล้ว จนได้ข้อมูลจากการวัด เรานำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังตัวอย่าง การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องชั่ง ทำได้โดยการชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานซ้ำหลายๆ ครั้ง ภายใต้เงื่อนไขและสภาวะอันเดียวกัน แล้วคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการชั่ง และค่าความแตกต่างของผลการชั่งที่ได้จากการชั่ง 2 ครั้งติดต่อกัน หากค่าดังกล่าวมีค่าเกินกว่าค่าที่ระบุไว้จากการตรวจสอบของโรงงานผลิต หรือเกินกว่า 2 เท่าของค่าความละเอียดของเครื่องชั่ง แสดงว่าเครื่องชั่งนั้นไม่มีความถูกต้อง และจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

การหาความถูกต้องของการอ่าน จากการอ่านซ้ำกัน 10 ครั้ง ถือว่าเพียงพอ โดยจะหาที่ตำแหน่งใดในพิสัยของสเกลก็ได้ แต่นิยมหากันที่จุดปลายทั้งสองของพิสัยของสเกล

ครั้งที่	ค่าที่อ่านได้ mg	เปรียบเทียบครั้งที่	ค่าแตกต่างของการอ่าน 2 ครั้งติดต่อกัน mg
1	1.45	1==>2	= 0.00
2	1.45	2==>3	= 0.00
3	1.45	3==>4	= 0.05
4	1.50	4==>5	= 0.05
5	1.45	5==>6	= 0.00
6	1.45	6==>7	= 0.05
7	**1.50**	7==>8	= 0.00
a	1.50	8==>9	= 0.05
9	1.45	9==>10	= 0.00
10	1.45		

ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = \Sigma X_i / n$

$= [(1.45 \times 7) + (1.50 \times 3)] / 10$

$\bar{X} = 1.465$ mg

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $s = \sqrt{\Sigma (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)}$

$= \sqrt{[(1.45 - 1.465)^2 \times 7] + [(1.50 - 1.465)^2 \times 3] / (10 - 1)}$

$= \sqrt{0.00525/9}$

$s = 0.024$ mg

ค่าแตกต่างสูงสุดของการอ่าน 2 ครั้งติดต่อกัน = 0.050 mg

การทำให้ผลของการวัดและการทดสอบเป็นที่ยอมรับแก่สาธารณชน หรือโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บริโภคสินค้าและบริการนั้น จะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ ดังนี้

ตัวมาตรฐาน (Standards)

ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)

นักมาตรวิทยา (Metrologist)

ตัวมาตรฐาน คือ สิ่งที่ถูกนำมาใช้แทนหน่วยวัด เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสิ่งที่กำลังนำมาวัด ตัวมาตรฐานนี้ อาจจะมีลักษณะเป็นรูปร่าง (Artifact) เช่น ตุ้มน้ำหนัก และแท่งความยาว เป็นต้น หรือจะเป็นนิยาม (definition) ทางวิทยาศาสตร์ก็ได้ สิ่งสำคัญสำหรับตัวมาตรฐานเหล่านี้ คือ ต้องเป็นสิ่งที่เป็นที่ยอมรับกันระหว่างประเทศที่ใช้หน่วยวัดนั้นๆ โดยทั่วๆ ไปตัวมาตรฐานการวัดจะต้องมีความถูกต้องเหนือกว่าสิ่งที่นำมาวัด 4 ถึง 10 เท่าขึ้นไปเสมอ และต้องมีการสอบย้อนกลับสู่มาตรฐานแห่งชาติ หรือมาตรฐานสากล ตามระยะเวลาที่เหมาะสมอีกด้วย

ห้องปฏิบัติการ การวัดและการทดสอบจะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาวะการณ์ที่ต้องการสำหรับการวัดที่ต้องการนั้นๆ มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละออง ตลอดจนมีอุปกรณ์เพื่ออำนวยความสะดวกอื่นๆ อย่างเหมาะสม ตามมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ การกำหนดสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะใช้เป็นตัวอ้างอิงของผลการวัดนั้นๆ เพราะ

ผลของการวัดจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการณ์ของห้องปฏิบัติการในขณะทำการวัดด้วย

นักมาตรวิทยา เป็นผู้รับผิดชอบในผลของการวัด การทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นๆ ว่ามีความถูกต้องและเชื่อถือได้ตามข้อกำหนดที่ต้องการอย่างไรหรือไม่ นักมาตรวิทยาจึงจะต้องเป็นผู้ที่ได้รับการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ ธรรมชาติของการวัด การประเมินค่าความถูกต้อง และความผิดพลาดด้วยขบวนการทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องมาแล้วเป็นอย่างดี

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่านักมาตรวิทยาเป็นผู้ที่มีส่วนอย่างสำคัญที่สุดในขบวนการวัด เพราะผลของการวัดจะเป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับความสามารถของนักมาตรวิทยาในการเลือกใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ วิธีการ และการประเมินค่าที่ถูกต้องเหมาะสมเท่านั้น ขณะนี้ทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยของเรายังขาดแคลนนักมาตรวิทยาอยู่มาก การสร้างนักมาตรวิทยาที่มีความรอบรู้ เชี่ยวชาญ ต้องใช้เวลานับสิบปี การวัดและการทดสอบในห้องปฏิบัติการหนึ่งๆ อาจมีหลายๆ สาขาของวิทยาศาสตร์มารวมกัน จึงมีความจำเป็นต้องใช้นักมาตรวิทยาที่มีความรู้กว้างขวางและพัฒนาตนเองให้ทันกับความก้าวหน้าทางวิทยาการอยู่เสมอ