

# ความน่าเชื่อถือของผลการวัด

สุรินทร์ อรรถกิจการคำ

ถ้าไม่มีใครปฏิเสธว่าได้เคยทำการวัดค่ามาก่อน ตั้งแต่สมัยเด็กๆ ที่ยังเรียนหนังสืออยู่คงต้องเคยใช้ไม้บรรทัดวัดความยาวของเส้นตรงอย่างง่าย ๆ มาบ้างแล้ว เมื่อเรียนจบออกมาทำงานก็ยังคงทำการวัดอยู่บ้างไม่มากก็น้อย อาจใช้เครื่องมือวัดค่าง่ายบ้าง ยากบ้าง สลับซับซ้อนไปตามแต่ละสายงานอาชีพ อาจกล่าวได้ว่าการวัดเป็นความรู้อย่างหนึ่งที่ใกล้ตัว และคุ้นเคยกับเรามากที่สุดศาสตร์หนึ่ง แต่จะมีใครเคยคิดบ้างไหมว่า ผลการวัดที่เราแสดงออกไปเป็นการสื่อสารข้อมูลที่ถูกต้องตรงความเป็นจริง และมีความน่าเชื่อถือเพียงไร ตัวเลขจากการวัดอาจมีหลักทศนิยมมากมายยาวเหยียดถึง 3 หรือ 4 ตำแหน่ง แต่ตัวเลขทศนิยมทั้งหมดนี้มีความน่าเชื่อถือได้ถึงหลักที่เท่าไรเท่านั้น หากเราสามารถอธิบายเหตุผลถูกต้องตรงความเป็นจริงได้ ผลการวัดนั้นจึงจะมีคุณค่าน่าเชื่อถือได้ การวัดที่ดีมีความน่าเชื่อถือนั้นจะต้องสามารถบอก ค่าที่ถูกต้องแท้จริง (true value) ได้ละเอียดในหลักทศนิยมที่สอดคล้องกับความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้วัด สามารถเทียบค่ากับผลการวัดของผู้อื่นได้ตรงกัน โดยสอบกลับ (traceability) ได้ถึงมาตรฐานแห่งชาติ (national standards) และ บอกถึงขอบเขตความไม่แน่นอน (uncertainty) ของการวัดได้ในระดับความเชื่อมั่น (confidence level) ที่กำหนด เช่นที่ 95% เป็นต้น

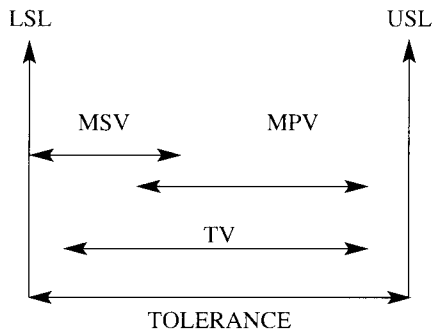
Lord Kelvin (1824-1907) ได้กล่าวเกี่ยวกับการวัดไว้ว่า “I often say that when you can **measure** what you are speaking about, and express it in **numbers**, you **know** something about it; but you can not measure it, when you can not express it in numbers, your knowledge is of a meager and unsatisfactory kind.” มีความหมายว่า การวัด คือการกำหนดตัวเลขแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นจริงของวัตถุหรือเหตุการณ์ ด้วยสมบัติเฉพาะที่กำหนด ดังนั้น ถ้าการวัดใดๆ ที่ยังไม่สามารถบอกได้ด้วยตัวเลขแสดงว่า ยังไม่มีความรู้เพียงพอในศาสตร์สาขานั้นๆ การวัดจึงมีความสำคัญมาก เพราะเป็นพื้นฐานในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีทุกสาขา เริ่มตั้งแต่การสังเกตเห็น และวัดค่าเหตุการณ์ที่สนใจอย่างใดอย่างหนึ่ง

และ ตั้งเป็นข้อสมมติฐาน (hypothesis) ขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์นั้น ต่อเมื่อได้ทำการวัดทดสอบปฏิบัติซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ได้ผลถูกต้องตรงตามสมมติฐานว่าเป็นจริงทุกประการ จึงจะสรุปให้เป็นทฤษฎี (theory) ได้ จะเรียกศาสตร์ของการวัดนี้ว่า มาตรวิทยา (Metrology) มีนักวิชาการและองค์กรที่ทำงานด้านการวัดจำนวนมากพยายามให้นิยามความหมายของการวัด เพื่อให้เข้าใจง่ายและ ครอบคลุม เช่น Farnum N.R. (1994, p. 257) ได้อ้างนิยามของ Eisenhart (1963) ว่า “การวัด หมายถึงการกำหนดค่าตัวเลขให้แก่วัตถุเพื่อแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ที่เป็นจริงของวัตถุดังกล่าวด้วยสมบัติเฉพาะที่กำหนด” โดยสมบัติเฉพาะที่กล่าวถึงนี้อาจจะเป็นลักษณะสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และอื่นๆ นอกจากนี้ มาตรฐาน ISO 10012-1 นิยามความหมายของการวัดไว้ว่า “ชุดของปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาค่าของปริมาณอันหนึ่ง” และจะเรียกปริมาณใดๆ ที่ได้รับการนำมาวัดนี้ว่า “สิ่งที่ได้รับการวัด (measurand)” จากนิยามต่างๆ ที่กล่าวมาจะพบว่า คำสำคัญสำหรับการวัดคือ ค่าคงที่ของสิ่งที่ได้รับการวัด ซึ่งถือเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่าและมีจุดประสงค์ที่จะกำหนดค่าให้ จะเรียกค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่านี้ว่า “ค่าจริง (true value)” และอาจเรียกค่าดังกล่าวว่า “ค่าที่เห็นพ้องกัน (consensus value)” หรือ “ค่ามาสเตอร์ (master value)” นอกจากนี้คำสำคัญอีกคำหนึ่งคือ ชุดปฏิบัติการในการมอบหมายค่าตัวเลข ซึ่งหมายถึง กระบวนการวัด หรือ ระบบการวัด ซึ่งมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และ สิ่งแวดล้อมในการวัด องค์ประกอบเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดความผันแปรในค่าการวัดเสมอ

บริษัทชั้นนำอุตสาหกรรมที่ผลิตจากโรงงาน และ จำหน่ายในท้องตลาดมักแสดงคุณภาพสินค้า เป็นค่าขีดจำกัดของคุณลักษณะ (specification limit, USL-LSL) หรือ ความคลาดเคลื่อนอนุโลม (tolerance) ซึ่งประกอบด้วย ความผันแปรของระบบการวัด (measurement system variation, MSV) และ ความผันแปรจากกระบวนการผลิต (manufacturing process variation, MPV) เมื่อนำสองค่านี้รวมกันแบบ root sum square



จะได้รับความผันแปรโดยรวม (total variation, TV) ซึ่งปกติค่าความผันแปรของระบบการวัดจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความผันแปรของระบบการผลิต ดังแสดงใน **รูปที่ 1**



**รูปที่ 1** แสดงการประเมินส่วนต่างๆ ของความผันแปรใน specification limit

ผลการวัดจากระบบการวัด MSV จะแสดงเป็นตัวเลขที่ได้จากค่าเฉลี่ย (estimated value) พร้อมกับค่าความคลาดเคลื่อน (error หรือ uncertainty) ซึ่งมีความผันแปรที่มาจากสาเหตุใหญ่ๆ 2 ประการคือ **สาเหตุโดยธรรมชาติ** (common cause หรือ natural cause) เป็นความผันแปรจากการสุ่ม (randomization) แบบกระจายปกติ (normal distribution) ที่ไม่อาจกำจัดทิ้ง และ **สาเหตุจากความผิดพลาด** (special cause) เป็นความผันแปรที่เกิดจากระบบ อาจกำจัดทิ้งได้โดยการสอบเทียบเครื่องมือวัด จากสาเหตุของความผันแปรทั้งหลายในระบบการวัดนี้ ทำให้ค่าที่วัดได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้  $X_i$  เป็นค่าที่วัดได้ และ  $X_t$  เป็นค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด จะได้ว่า

$$X_i = X_t + \mathcal{E} \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยจะเรียก  $\mathcal{E}$  ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัด (measurement error) ซึ่งอาจจำแนกออกเป็น 3 ประเภทคือ

**1. ค่าความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดของการวัด** (gross error) เป็นความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุความผิดพลาด (special causes) ของระบบการวัด ดังนี้

1.1 ขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องมือวัด ทำให้เลือกใช้เครื่องมือวัดไม่เหมาะสมกับงาน ใช้งานเครื่องมือวัดเกินกำลัง หรือขีดจำกัด

1.2 ขาดความระมัดระวัง ไม่มีวินัยในการวัด ทำให้อ่านค่าไม่ถูกต้อง เช่น สัมผัสเกตพิสัยที่วัดค่า

1.3 ความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่า (observation error) เช่น เครื่องวัดแบบเข็มชี้จะเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งปรากฏ (apparent displacement) เนื่องจากตำแหน่งของตาที่ต่างไปทำให้เกิด parallax แก้ไขได้โดยติดกระจกสะท้อนบนระนาบเดียวกับสเกลได้เข็มชี้ และการอ่านค่าให้เข็มทับกับภาพบนกระจก จากนั้นจึงอ่านค่าที่เข็มชี้บนสเกลของเครื่องมือวัด

1.4 ขาดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการวัด เช่น ปริมาณจะเปลี่ยนแปลงไปตามสิ่งแวดล้อม เช่น สิ่งแวดล้อมจาก อุณหภูมิ ความชื้น และความดันอากาศที่มีผลต่อวัตถุ รวมทั้งบรรยากาศของการทำงานมีผลต่อผู้ปฏิบัติงาน หรือ วิธีการวัดที่แตกต่างกันและเป็นอิสระต่อกันอาจให้ผลที่ต่างกัน หรือผลของกระบวนการ forward และ reverse เกิดค่าแตกต่างกันในการวัดเรียกว่า hysteresis เช่น วัดค่า electromotive voltage ของ thermocouple ขณะอุณหภูมิขาขึ้น และ ขาลง จะแตกต่างกัน

ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยการฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ถูกวัด และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง แล้วดำเนินการประเมินผลโดยอาศัยแผนภูมิควบคุม (control chart) หรือ validation curve

**2. ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ** (systematic error) หมายถึงความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่วัด (expected value)  $\bar{X}$  เบี่ยงเบนไปจากค่าจริง  $X_t$  ของสิ่งที่ถูกวัด กล่าวคือ

$$\mathcal{E}_{\text{sys}} = \bar{X} - X_t \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ ค่า  $\mathcal{E}_{\text{sys}}$  เป็นความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หรือเรียกว่า ความเบี่ยงเบนจากค่าจริง (offset) หรือ ความเอนเอียง (bias) ซึ่งสาเหตุของความคลาดเคลื่อนนี้มาจากโครงสร้างของเครื่องมือวัด (instrumental error) เป็นสำคัญ และ อิทธิพลภายนอก (environmental error) ที่มีผลต่อค่าวัด เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น สนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรือการสั่นสะเทือนของพื้น ความถี่ และระดับกระแสไฟฟ้า ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้สามารถกำจัดทิ้งโดยการสอบเทียบ (calibration) เครื่องมือวัดด้วยมาตรฐานอ้างอิง (reference standard) และการควบคุมสภาพแวดล้อมของระบบการวัด เช่น ใช้ห้องสะอาด (cleaned room) ห้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ห้องชิลด์ และใช้เครื่องปรับเสถียรแรงดันไฟฟ้า (stabilizer) เป็นต้น

**3. ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error)** หมายถึงการเบี่ยงเบนของค่าที่วัด ( $X_i$ ) ไปจากค่าเฉลี่ยของการวัด ( $\bar{X}$ ) กระจายอิสระแบบปกติ (normal distribution) ตามหลักสถิติ ซึ่งเกิดมาจาก สาเหตุโดยธรรมชาติ (common cause หรือ natural cause) แสดงค่าเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ในสมการที่ 3 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty) ในสมการที่ 4

$$E_{\text{rand}} = SD = \pm \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{สมการที่ 3}$$

$$U_{\text{rand}} = SD_{\bar{x}} = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad \text{สมการที่ 4}$$

ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มนี้ไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่ทำให้น้อยลงได้ ด้วยการใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดแม่นยำมากขึ้น ทำการวัดซ้ำจำนวนครั้งมากขึ้น และ ใช้เครื่องช่วยจับชิ้นงานที่มั่นคงแน่นอน เช่น จิ๊ก และ ฟิกซ์เจอร์ โดยปกติ การประเมินความคลาดเคลื่อนในการวัด จะแสดงเป็นค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (absolute errors) หรือ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative errors) ในสมการที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

$$\text{ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์, } E_{\text{abs}} = X - \mu \quad \text{สมการที่ 5}$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์, } E_{\text{rel}} = \frac{X - \mu}{X} * 100\% \quad \text{สมการที่ 6}$$

**การวัดที่มีความน่าเชื่อถือ** ควรจะคำนึงถึงหัวข้อต่อไปนี้คือ

### 1. ความสอดคล้องในการวัด (conformity)

ความสอดคล้องในการวัดระหว่าง ความสามารถในการวัดได้ละเอียดสูงสุดของเครื่องมือวัด กับ ความต้องการความละเอียดสูงสุดของสิ่งที่จะถูกวัด ควรเหมาะสมกัน ตัวอย่างเช่น การวัดค่าความต้านทานที่มีค่าจริง 1 234 567  $\Omega$  โดยการใช้เครื่องวัดดิจิตอลมือถือชนิด 3<sup>1/2</sup> หลัก อ่านค่าความต้านทานได้ 1.235 M $\Omega$  โดยปราศจากความละเอียดที่เพียงพอที่ตัวเลข 3 หลักหลัง ดังนั้นจึงไม่เกิดความสอดคล้องกัน ในทางตรงข้ามเป็นความจำเป็นที่ต้องรู้ว่า เมื่อใดที่ควรหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องมือวัดที่มีหลักตัวเลขที่มีค่าละเอียดมากเกินไปจนความจำเป็น เพราะจะเป็นการเสียเวลาในการวัดและบันทึกค่า และ

ยังทำให้เกิดการผิดพลาดได้ง่ายขึ้นในการคำนวณผลลัพธ์ ความเหมาะสมโดยทั่วไปควรอยู่ที่ ความละเอียดในการแยกชัดของเครื่องวัด (resolution) เท่ากับหรือเล็กกว่า 1 ใน 10 ของความละเอียดของสิ่งที่ต้องการวัด หรืออย่างมากที่สุดไม่เกิน 1/3

### 2. เลขนัยสำคัญ (significance figure)

คือตัวเลขที่บรรจุสาระเกี่ยวกับขนาดของปริมาณที่มีความน่าเชื่อถือจริง ซึ่งแตกต่างจากเลขทศนิยมธรรมดา และในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่มีจำนวนหลักที่มากเกินไป ความต้องการ จะเป็นการเสียเวลา เห็นดเห็นน้อยเกินไป และยังเพิ่มโอกาสให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายขึ้น ค่าทางตัวเลขการวัดควรถูกตัดทอนให้เหลือเพียงส่วนที่มีความหมายอย่างแท้จริงภายใต้เงื่อนไขหนึ่งๆ ที่กำหนดเท่านั้น ตามหลักต่อไปนี้

#### 2.1 หลักการของเลขนัยสำคัญ

1. เลขตัวขวาสุดแทนหลักที่ไม่แน่นอน
2. ถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่น ตัวเลขสุดท้ายจะมีความไม่แน่นอนทั้งหมด 1 หน่วย เช่น 80.4 มีความไม่แน่นอน มีค่าอยู่ระหว่าง 80.35 และ 80.45
3. เลข 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 , 9 เป็นเลขที่มีนัยสำคัญ
4. เลข 0 จะไม่มีนัยสำคัญเลย ถ้าทำหน้าที่เพียงบอกตำแหน่งทศนิยมเท่านั้น เช่น 0.000216 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว (3 sig.)
5. เลข 0 จะมีนัยสำคัญ เมื่อถูกนำหน้าหรือ ตามโดยเลขมีนัยสำคัญ หรือเมื่อไม่ได้ทำหน้าที่เพียงบอกขนาดของปริมาณ เช่น 3.0026 มีนัยสำคัญ 5 ตัว, 38000 มีนัยสำคัญ 5 ตัว, 38000 มีนัยสำคัญ 2 ตัว

6. เพื่อหลีกเลี่ยงการปรากฏของเลข 0 จากเลขหลักที่ไม่แน่นอน โดยใช้วิธีเขียนแบบ scientific notation แทน เช่น 38000 = 3.8000\*10<sup>4</sup> (5 sig.), 38000 = 3.8\*10<sup>4</sup> (2 sig.)

#### 2.2 หลักการปัดเศษ

เมื่อต้องการทำการปัดเศษให้เหลือเพียงเลขนัยสำคัญที่ต้องการ ให้พิจารณาตัวเลขที่ต่อจากเลขนัยสำคัญดังนี้

1. ถ้าเลขตัวแรกที่จะตัดทิ้งมีค่า >5 ให้บวกเลขหลักข้างหน้าเพิ่มอีก 1 เช่น 2.346 เป็น 2.35
2. ถ้าเลขตัวแรกที่จะตัดทิ้งมีค่า <5 ให้ตัดทิ้งไปเลย เช่น 2.3445 เป็น 2.34
3. ถ้าเลขตัวแรกที่จะตัดทิ้งมีค่า =5 และตามด้วยเลขที่มีค่า >0 ให้บวกเลขที่อยู่ข้างหน้าอีก 1 เช่น 2.3451 เป็น 2.35



4. ถ้าเลขตัวแรกที่จะตัดทิ้งมีค่า =5 และตามด้วย 0 หรือไม่มีเลขตาม ให้ปัดเป็นเลขคู่เสมอ เช่น 2.345 เป็น 2.34, 2.335 เป็น 2.34

### 2.3 ผลทศนิยมของเลขนัยสำคัญ

1. การ + และ - เลข ผลลัพธ์จะมีหลักทศนิยม เท่ากับจำนวนที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด เช่น  $102.25 + 0.007 = 102.26$

2. การ  $\times$ ,  $\div$ ,  $\wedge$  หรือ  $\sqrt{\quad}$  ผลลัพธ์จะมีเลขนัยสำคัญ เท่ากับจำนวนที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด เช่น  $102.25 \times 0.0076 = 1.02 \times 10^2 \times 7.6 \times 10^{-3} = 7.8 \times 10^{-1} = 0.78$

3. การหาค่า logarithm จะได้ผลลัพธ์ที่มีจำนวนหลักของ mantissa ไม่เกินจำนวนเลขนัยสำคัญที่นำมาใช้คำนวณ เช่น  $\log 102.25 = 2.00966$

4. กรณีที่กำหนดความไม่แน่นอนนอกเหนือไปจากข้อ 1. ในหัวข้อที่ 2.1 การแสดงผลความไม่แน่นอน ต้องการเลขนัยสำคัญไม่เกิน 2 ตัว

5. กรณีหาค่าเฉลี่ยของ 4 ปริมาณหรือมากกว่า จะเพิ่มเลขอีกหนึ่งหลักจากเลขนัยสำคัญของแต่ละปริมาณ ให้คงอยู่ เนื่องจากอาจมีนัยสำคัญ

### 3. ความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement)

ความไม่แน่นอนของการวัด ประกอบด้วย standard uncertainty type A และ type B ซึ่งเกิดมาจาก random error และ systematic error ตามลำดับ การวัดจะมี โมเดลแสดงถึงกระบวนการวัด เช่น ตัวอย่างในสมการที่ 7 โดยมี ผลลัพธ์ของการวัด (out put quantity) คือ F และตัวแปรที่เป็นสาเหตุของการวัด (in put quantity) คือ A, B และ C เมื่อ derivation สมการที่ 7 ใน first order Taylor series ตามตัวแปรต่างๆ ในกรณีที่เป็น uncorrelated input quantities และ ยกกำลังสอง แต่ละ component รวมกัน และ หาค่า square root จะได้ ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined standard uncertainty) ในสมการที่ 8

$$F = A \cdot B / C \quad \text{สมการที่ 7}$$

$$dF = \frac{B}{C} dA + \frac{A}{C} dB - \frac{AB}{C^2} dC$$

$$U_c = dF = \pm \sqrt{\left(\frac{B}{C} dA\right)^2 + \left(\frac{A}{C} dB\right)^2 + \left(\frac{AB}{C^2} dC\right)^2}$$

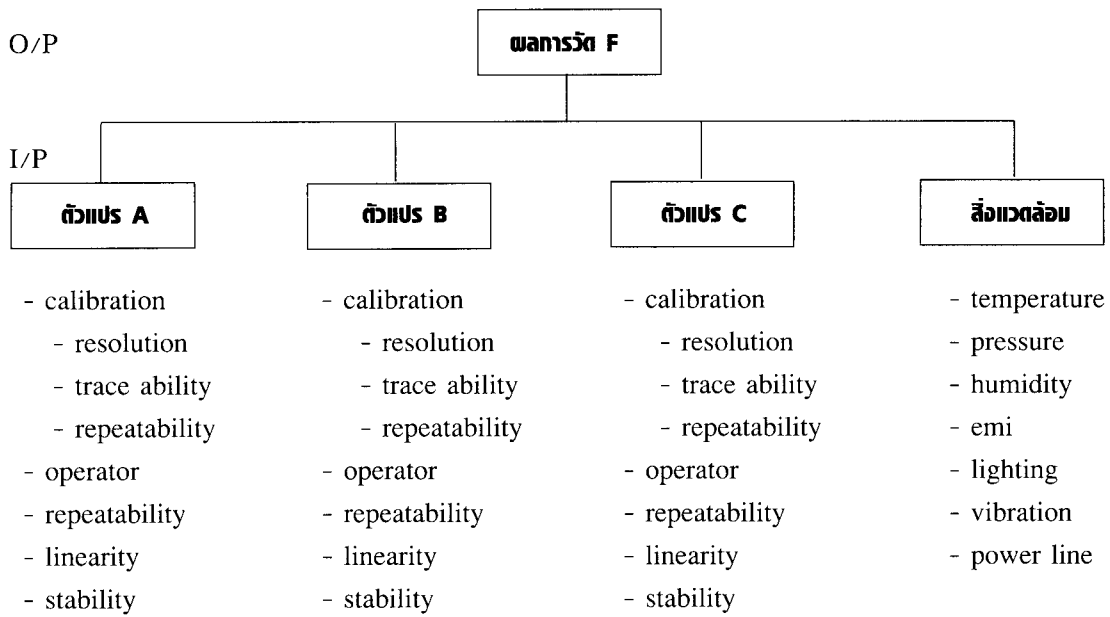
สมการที่ 8

ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty) dA, dB และ dC ในสมการที่ 8 เป็นความคลาดเคลื่อนของตัวแปรต่างๆ ในระบบ จึงจำเป็นต้องอธิบายอย่างชัดเจนพอเพียงถึงสาเหตุของความไม่แน่นอนที่มีผลในแต่ละตัวแปร เช่น วิธีการวัด เครื่องมือวัด ตัวอย่างที่ถูกวัด ผู้ทำการวัด และ สิ่งแวดล้อม มีแหล่งกำเนิดความไม่แน่นอน (source of uncertainty) อะไรบ้าง เช่น การทำซ้ำ (repeatability) การสอบเทียบ (calibration) การเลื่อนไป (drift) ความเป็นเส้นตรง (linearity) ความคงที่ (stability) ความละเอียด (resolution) ความผิดเพี้ยน (hysteresis) และการตอบสนอง (sensitivity) นอกจากนี้ ความผันแปรของผู้วัด และ สิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความดันอากาศ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า การสั่นสะเทือน และ ไฟฟ้าประจัน ก็ เป็นสาเหตุที่มีผลต่อความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ในการวัดมากน้อยแตกต่างกันไปจึงต้องแสดงให้เห็นจริงได้ (validation) ในรูปของแผนภูมิควบคุม (control chart)

การคำนวณหาความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty) จากค่าความละเอียดแยกชัดของเครื่องมือวัด ในกรณีของการแสดงผลแบบตัวเลข (digital display) จะใช้ค่า  $1/2$  ของความละเอียด หาค่า square distribution โดยหารด้วย  $\sqrt{3}$  เป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน ซึ่งจะเป็นความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด (instrumental error) ส่วนกรณีของการแสดงผลเป็นขีดเสก (scale display) อาจใช้ค่า  $1/5$  ของความละเอียด และหาค่า square distribution โดยหารด้วย  $\sqrt{3}$  จะได้ความไม่แน่นอนมาตรฐานซึ่งจะเป็นความคลาดเคลื่อนจากผู้วัด (operator error)

รูปที่ 2 แสดง flow chart ผล และ สาเหตุตัวแปรของความไม่แน่นอนต่างๆ ตาม โมเดลจากสมการที่ 7 และ เมื่อคำนวณหาความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined standard uncertainty) ตามสมการที่ 8 และ คูณค่า coverage factor, k = 2 และ ที่องศาอิสระ (degree of freedom) เข้าใกล้อนันต์ จะได้ค่าความไม่แน่นอนขยาย (expanded uncertainty) ที่ confidence level, CL= 95% ตามต้องการ แต่ถ้าองศาอิสระน้อยกว่า 30 ควรหาค่า k จากตาราง t-distribution ที่ CL=95%





**รูปที่ 2** Sources of uncertainty

ตัวอย่างการทดสอบการวัดพลังงานไฟฟ้า E (watt-hour) ของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตัวหนึ่ง ต้องการผลลัพธ์มีค่าทศนิยม 1 ตำแหน่ง ทำการทดสอบภายในห้องที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่ อุณหภูมิ  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์  $65 \pm 15\%\text{Rh}$  โดยการวัดค่าอย่างละ 10 ครั้งของ ความต้านทานโหลดคงที่ และป้อนแรงดันไฟฟ้า ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องมือวัดที่เหมาะสมดังนี้:

- เครื่อง multi meter วัดความต้านทาน มีความไม่แน่นอน  $\pm 1.50\%$  ที่ 95%CL
- เครื่อง multi meter วัดแรงดันไฟฟ้า มีความไม่แน่นอน  $\pm 1.00\%$  ที่ 95%CL
- นาฬิกาจับเวลา มีความไม่แน่นอน  $\pm 2.0\%$  ที่ 95%CL

Input measurand:

- ความต้านทาน  $R = 515.04\Omega$  มี SD =  $\pm 3.45\Omega$ ,  $n = 10$
- แรงเคลื่อนไฟฟ้า  $V = 220.00\text{volt}$  มี SD =  $\pm 2.64\text{ volt}$ ,  $n = 10$
- เวลา  $T = 60\text{นาที} = 1.00\text{ ชั่วโมง}$

Output measurand:

$$\text{พลังงาน } E = \text{fn}(R,V,T) \text{ watt - hour}$$

Model, จากสูตร  $E = \frac{V^2T}{R}$  สมการที่ 9

Derivation สมการที่ 9,  $dE = \frac{2VTdV}{R} - \frac{V^2TdR}{R^2} + \frac{V^2dT}{R}$  สมการที่ 10

Combined standard uncertainty,  $U_C = dE = \pm \sqrt{\left(\frac{2VTdV}{R}\right)^2 + \left(\frac{V^2TdR}{R^2}\right)^2 + \left(\frac{V^2dT}{R}\right)^2}$  สมการที่ 11

Uncertainty component,  $U_V = \frac{2VTdV}{R}$  สมการที่ 12

$U_R = \frac{V^2TdR}{R^2}$  สมการที่ 13



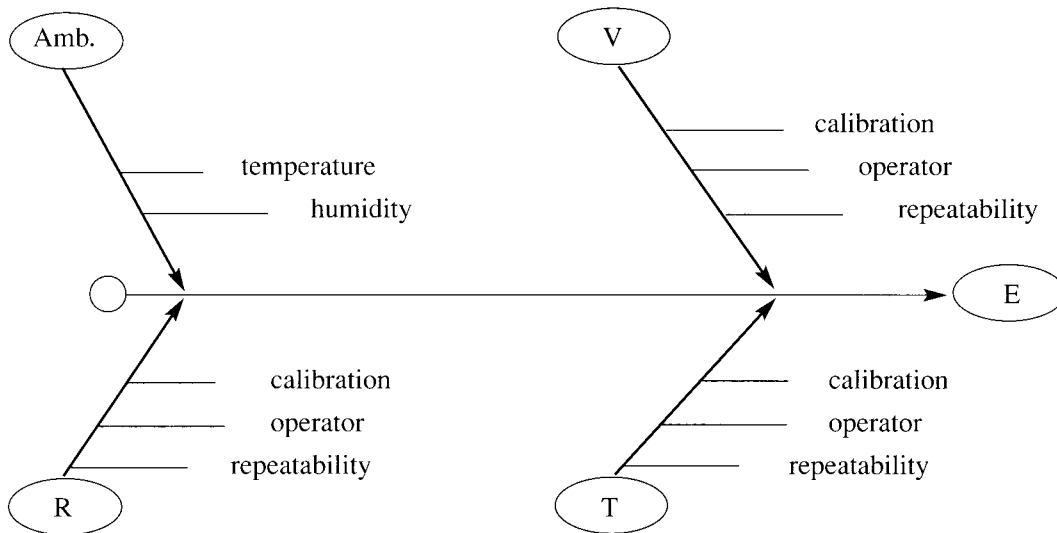
$$U_T = \frac{V^2 dT}{R}$$

degree of freedom, 
$$V_{\text{eff}} = \frac{U_C^4}{\frac{U_V^4}{f_V} + \frac{U_R^4}{f_R} + \frac{U_T^4}{f_T}}$$

> 30 จะได้ coverage factor  $k = 2$  ที่  $CL = 95\%$

ถ้า  $\leq 30$  ต้องเปิดตาราง t-distribution หาค่า  $k$  จากค่า DF. และ  $CL95\%$

expanded uncertainty, 
$$U = k U_C \text{ ที่ } CL \ 95\%$$



**รูปที่ 3** Cause and Effect

รูปที่ 3. แสดงรูปก้างปลาของสาเหตุจากตัวแปรต่างๆ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า V, ความต้านทาน R, เวลา T และ สภาพแวดล้อม Amb. ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็น ค่าพลังงาน E และแต่ละตัวแปรจะมีสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความไม่แน่นอนของการวัด ซึ่งประกอบด้วยเช่น การสอบเทียบเครื่องมือวัด (calibration) ผู้ทำการวัด (operator) และ วิธีการวัดซ้ำ (repeatability) เป็นต้น

**การคำนวณหาค่าผลลัพธ์** (estimated value):

จากสมการที่ 9 จะได้ พลังงาน 
$$E = \frac{V^2 T}{R} = \frac{220.00^2 \times 1.00}{515.04}$$

$$= \frac{(2.200 \times 10^2)^2 \times 1.00}{5.1504 \times 10^2} = 9.40 \times 10 = 94.0 \text{ watt-hour}$$

**การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอน** (estimated uncertainty):

Ambient condition,  
ในสภาวะอุณหภูมิความชื้นที่ควบคุมไม่มีผลรบกวนต่อการวัดค่าทางไฟฟ้า

### Volt meter, $U_V$

Standard uncertainty:

1. calibration =  $\pm 1.00\%$  ที่ 95%CL,  $dV_{cal} = \pm \frac{\text{cal}\% \times V}{2 \times 100\%} = \pm \frac{1.00 \times 2.20 \times 10^2}{2 \times 100} = \pm 1.10 \text{ volt}$

2. repeatability, SD =  $\pm 2.64$ , n = 10,  $dV_{rep} = \pm \frac{SD}{\sqrt{n}} = \pm \frac{2.64}{\sqrt{10}} = \pm 0.84 \text{ volt}$

3. operator มีความผิดพลาดไม่เกิน resolution, =  $0.01/2\sqrt{3} = 0.003 \text{ V}$  มีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดเกิน 10 เท่า จึงไม่มี significance

$$dV = \pm \sqrt{dV_{cal}^2 + dV_{rep}^2} = \pm \sqrt{1.10^2 + 0.84^2} = \pm 1.38 \text{ volt}$$

จากสมการที่ 12, Uncertainty component,  $U_V = \pm \frac{2VTdV}{R} = \pm \frac{2 \times 2.20 \times 10^2 \times 1.38 \times 1.00}{5.1504 \times 10^2} = \pm 1.18 \text{ watt-hr}$

degree of freedom, 
$$V_V = \frac{U_V^4}{\frac{dV_{cal}^4}{\infty} + \frac{dV_{rep}^4}{9}} = \frac{1.38^4}{0 + \frac{0.84^4}{9}} = 65.6$$

### Ohm meter, $U_R$

Standard uncertainty:

1. calibration =  $\pm 1.50\%$  ที่ 95%CL,  $dR_{cal} = \pm \frac{\text{cal}\% \times R}{2 \times 100\%} = \pm \frac{1.5 \times 5.1504 \times 10^2}{2 \times 100} = \pm 3.86 \Omega$

2. repeatability, SD = 3.45, n = 10,  $dR_{rep} = \pm \frac{SD}{\sqrt{n}} = \pm \frac{3.45}{\sqrt{10}} = \pm 1.09 \Omega$

3. operator มีความผิดพลาดไม่เกิน resolution, =  $0.01/2\sqrt{3} = 0.003 \Omega$  มีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดเกิน 10 เท่า จึงไม่มี significance

$$dR = \pm \sqrt{dR_{cal}^2 + dR_{rep}^2} = \pm \sqrt{3.86^2 + 1.09^2} = \pm 4.01 \Omega$$

จากสมการที่ 13, Uncertainty component,  $U_R = \pm \frac{V^2 T dR}{R^2} = \pm \frac{(2.20 \times 10^2)^2 \times 1.00 \times 4.01}{(5.1504 \times 10^2)^2} = \pm 0.73 \text{ watt-hr}$

degree of freedom, 
$$V_R = \frac{dR^4}{\frac{dR_{cal}^4}{\infty} + \frac{dR_{rep}^4}{9}} = \frac{4.01^4}{0 + \frac{1.09^4}{9}} = 1648.6$$

### Time, $U_T$

Standard uncertainty:

1. calibration :  $\pm 2.00\%$  ที่ 95%CL,  $dT_{cal} = \pm \frac{\text{cal}\% \times T}{2 \times 100\%} = \pm \frac{2.00 \times 1.00}{2 \times 100} = \pm 0.01 \text{ hour}$

1. repeatability, SD = 0, n = 10

2. operator มีความผิดพลาดไม่เกิน resolution, =  $1/(60 \times 60 \times 2 \sqrt{3}) = 8.03 \times 10^{-5} \text{ hr}$  มีค่าน้อยกว่าค่าเล็กน้อยเกิน 10 เท่า จึงไม่มี significance



จากสมการที่ 14, Uncertainty component,  $U_T = \pm \frac{V^2 dT}{R} = \pm \frac{(2.20 \times 10^2)^2 \times 1 \times 10^{-2}}{5.1504 \times 10^2}$   
 $= \pm 0.94$  watt-hour

$$V_T = \frac{dT^4}{\frac{dT_{cal}^4}{\infty} + \frac{dT_{rep}^4}{9}} = \frac{0.01^4}{\frac{0^4}{9} + \frac{0.01^4}{\infty}} = \infty$$

Combine uncertainty,  $U_c = \pm dE = \pm \sqrt{U_V^2 + U_R^2 + U_T^2}$   
 $= \pm \sqrt{1.18^2 + 0.73^2 + 0.94^2} = \pm 1.68$  watt-hour

Coverage factor, จาก  $V_{eff} = \frac{U_c^4}{\frac{U_V^4}{V_V} + \frac{U_R^4}{V_R} + \frac{U_T^4}{V_T}}$   
 $= \frac{1.68^4}{\frac{1.18^4}{65.6} + \frac{0.73^4}{1648.6} + \frac{0.94^4}{\infty}} \cong 268$

จากตาราง t-score ที่ 95%CL,  $V_{eff} > 30$ , จะได้  $k = 2$   
 Expanded uncertainty,  $U = \pm k \cdot U_c = \pm 2 \cdot 1.68 = \pm 3.4$  watt-hour

ดังนั้น มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตัวนี้จะอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าได้  $= 94.0 \pm 3.4$  watt-hour

### เอกสารอ้างอิง

International organization for standardization. **Guide to the expression of uncertainty in measurement.** Geneva : ISO, 1993. 101P.

Mitra, Amitava. **Fundamentals of quality control and improvement.** New York : Macmillan, 1993. P. 189 - 249.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. กรุงเทพมหานคร : ส. เอเชียเพรส จำกัด, 2542. หน้า 5 - 18.

เอก ไชยสวัสดิ์. การวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร : ส. เอเชียเพรส จำกัด, 2541. หน้า 10 - 20

