

หลักการทั่วไปว่าด้วย ความสามารถสอบกลับได้ ทางมาตรฐานวิชา

สาขาฟิสิกส์

สถาบันมาตรฐานแห่งชาติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

รายชื่อคณะกรรมการจัดทำเอกสารหลักการทั่วไปว่าด้วย ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตริวิทยา สาขา พิสิกส์

- | | | | |
|-----|----------------------|----------------|------------------------|
| 1. | เรืออากาศโทอุทัย | นรนิ่ม | ที่ปรึกษา |
| 2. | นางสาวสิวิณี | สวัสดิ์อารี | ประธานคณะกรรมการ |
| 3. | นายศมน | เพียงบางยาง | คณะกรรมการ |
| 4. | นายมณฑล | หอมกลิ่นเทียน | คณะกรรมการ |
| 5. | นางสาวโรจนา | ลีเจริญ | คณะกรรมการ |
| 6. | นางสาวรัศมิ์วารณ | วงศ์พิทยาติศัย | คณะกรรมการ |
| 7. | นางสาวศรีัญญา | ปะสะกวี | คณะกรรมการ |
| 8. | นางสาวปณัฐดา | ปานเพชร | คณะกรรมการ |
| 9. | นายปิยวัฒน์ | พูลทอง | คณะกรรมการ |
| 10. | นางสาวณัฐนันท์ | วรเดช | คณะกรรมการ |
| 11. | นางเนตรนพิศ | คุ้มทุกทิศ | คณะกรรมการและเลขานุการ |
| 12. | นางสาวนพวรรณ | ทิพกานนท์ | ผู้ช่วยเลขานุการ |
| 13. | นางสาวจันทร์ทรีรัตน์ | มากชุม | ผู้ช่วยเลขานุการ |

สารบัญ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | ขอบข่ายและการใช้งาน | 1 |
| 2 | บทนำ..... | 1 |
| 3 | หลักการทั่วไปว่าด้วยความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา | 2 |
| 3.1 | แนวคิดและบริบทที่เกี่ยวข้อง..... | 2 |
| 3.2 | การวัด สิ่งที่เจตนาวัด วิธีดำเนินการวัด และผลการวัด..... | 5 |
| 3.2.1 | การวัด (measurement)..... | 5 |
| 3.2.2 | สิ่งที่เจตนาวัด (measurand) | 5 |
| 3.2.3 | วิธีดำเนินการวัด (measurement procedure)..... | 5 |
| 3.2.4 | ผลการวัด (measurement result)..... | 6 |
| 3.3 | มาตราการวัด มาตรฐานการวัด และหน่วยการวัด | 6 |
| 3.3.1 | มาตราการวัด (measurement scale)..... | 6 |
| 3.3.2 | มาตรฐานการวัด (measurement standard)..... | 6 |
| 3.3.3 | หน่วยการวัด (measurement unit)..... | 7 |
| 3.4 | การสอบเทียบ | 7 |
| 3.5 | ปัจจัยและเงื่อนไขที่กระทบต่อผลการวัด | 8 |
| 3.5.1 | เครื่องมือและอุปกรณ์ (equipment)..... | 8 |
| 3.5.2 | สิ่งที่วัด (object to be measured)..... | 9 |
| 3.5.3 | ผู้ปฏิบัติงาน (operator)..... | 9 |
| 3.5.4 | สภาวะแวดล้อม (environment)..... | 10 |
| 3.5.5 | วิธีวัด (measurement method)..... | 10 |
| 3.5.6 | ผู้ให้บริการสอบเทียบ (calibration service provider)..... | 10 |
| 3.6 | การควบคุมเงื่อนไขคงที่ | 11 |
| 3.7 | บทบาทของการพัฒนาวิธีวัดและสอบความใช้ได้ของวิธีวัด..... | 11 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | ระบบปริมาณและหน่วยระหว่างประเทศ | 11 |
| 4.1 | ปริมาณ (quantity) | 11 |
| 4.2 | ระบบหน่วยระหว่างประเทศ | 12 |
| 5 | บทสรุปการสร้างความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา | 13 |
| 5.1 | การระบุสิ่งที่เจตนาวัด ขอบข่ายของการวัด และความไม่แน่นอนของการวัดเป้าหมาย | 13 |
| 5.2 | การเลือกวิธีดำเนินการวัดที่เหมาะสม | 13 |
| 5.3 | การสอบความใช้ได้ของวิธีวัด | 14 |
| 5.4 | การเลือกใช้มาตรฐานการวัดหรือสิ่งอ้างอิงที่เหมาะสม | 15 |
| 5.5 | การวิเคราะห์ข้อมูลการวัดตามแบบจำลองการวัดเพื่อประเมินผลการวัด | 15 |
| 5.6 | การบันทึกสารสนเทศสำคัญ | 15 |
| 5.7 | การจัดทำรายงานผลการวัด/สอบเทียบ/ทดสอบ | 15 |
| 6 | ตัวอย่างความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา สาขา ฟิสิกส์ | 17 |
| 6.1 | การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดความหนาแน่นของฟลักซ์รังสีแสงอาทิตย์รวม | 18 |
| 6.2 | การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดความอับรังสีเชิงสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ | 19 |
| 6.3 | การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดอุณหภูมิของสภาวะมาตรฐานสำหรับการทดสอบเซลล์ พลังงานแสงอาทิตย์ | 21 |

1 ขอบข่ายและการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารวิชาการที่เป็นข้อแนะนำ (guidance document) รายละเอียดเนื้อหาของเอกสารนี้ไม่สามารถนำไปบังคับใช้เช่นเดียวกับข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติตาม (regulations, etc.)

รายละเอียดของเอกสารนี้ ประกอบไปด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหลักการทั่วไปว่าด้วยความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา (metrological traceability) สาขาฟิสิกส์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหลักการและนำไปใช้งานในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปใช้เป็นเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ เช่น เอกสารประกอบการรับรองระบบงาน การรับรองผลิตภัณฑ์ หรือ เอกสารคู่มือการสอบเทียบหรือทดสอบ รวมไปถึงเอกสารในระบบคุณภาพต่าง ๆ และในส่วนท้ายของเอกสารนี้ ได้แสดงตัวอย่างการแสดงความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาในสาขามาตรวิทยาฟิสิกส์

2 บทนำ

การวัดเป็นพื้นฐานของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างกว้างขวางทั้งในระดับประเทศไปจนถึงระดับระหว่างประเทศ ในชีวิตประจำวัน การวัดแสดงบทบาทสำคัญมากมาย เช่น การวัดความเร็วรถอย่างถูกต้องสนับสนุนการผดุงความยุติธรรมในสังคม การวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศทำให้สังคมตื่นตระหนกถึงสภาวะความรุนแรงของมลพิษทางอากาศ การวัดกำลังรวมของรังสีแสงอาทิตย์ทำให้สามารถวางแผนการใช้ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเหมาะสมควบคู่ไปกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก เป็นต้น ตลาดการค้าโลกต้องการการวัดที่แม่นยำและน่าเชื่อถือ (accurate and reliable measurements) เพื่อลดผลกระทบจากการกีดกันทางการค้าเชิงเทคนิค (technical barrier to trade) แนวคิดที่ว่า “ทดสอบครั้งเดียว ยอมรับทุกที่ (one test accepted everywhere)” เป็นแนวคิดที่ทุกภาคส่วนให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง และความพยายามในการทำให้ผลการวัดสามารถเปรียบเทียบกันได้ไม่ว่าวัด ณ สถานที่และเวลาใด เป็นสิ่งจำเป็น การวัดที่เชื่อถือได้ ขึ้นอยู่กับ:

- สมรรถนะของผู้ดำเนินการวัด
- วิธีดำเนินการวัดที่ผ่านการสอบความใช้ได้ของวิธี
- การจัดทำและดูแลรักษาระบบคุณภาพ
- ความสามารถสอบกลับได้ไปยังสิ่งอ้างอิงการวัดที่เหมาะสม

มาตรฐานเชิงเอกสารระหว่างประเทศ (document standard) รวมไปถึงเอกสารกำหนดแนวทางปฏิบัติที่ดี (Good Practice Guide) สำหรับหน่วยงานหรือห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ได้มีการระบุข้อกำหนดที่บ่งชี้ความต้องการข้างต้น เป็นสิ่งยืนยันว่าความต้องการเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญ

28 ผลการวัดของสิ่งที่เจตนาวัดจากต่างสถานที่ ต่างเวลา สามารถเปรียบเทียบกันได้ ก็ต่อเมื่อผลการวัดแต่
29 ละครั้งสามารถเชื่อมผ่านห่วงโซ่การวัดและไปสิ้นสุดที่สิ่งอ้างอิงหรือมาตรฐานการวัดที่มีเสถียรภาพสูงกว่า
30 ร่วมกัน การเชื่อมโยงผลการวัดไปยังสิ่งอ้างอิงร่วมกัน เรียกว่า “ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา”
31 เอกสารประมวลศัพท์มาตรวิทยาระหว่างประเทศ – แนวคิดพื้นฐานและแนวคิดทั่วไปพร้อมคำศัพท์ที่เชื่อม
32 สัมพันธ์ หรือเรียกย่อว่า “วิม” (International vocabulary of metrology – Basic and general concepts
33 and associated terms: VIM) ได้นิยามความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาไว้ว่าเป็น

34 “สมบัติของผลการวัด โดยที่ผลการวัดนั้นสัมพันธ์กับสิ่งอ้างอิงอย่างไม่ขาดช่วงการสอบเทียบที่ได้จัดทำเป็น
35 เอกสารไว้ โดยการสอบเทียบแต่ละครั้งมีส่วนต่อความไม่แน่นอนการวัด”

36 ดังนั้น เพื่อให้เกิดความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของผลการวัด ซึ่งเป็นเงื่อนไขจำเป็นในการ
37 นำผลการวัดไปใช้ต่างสถานที่และเวลา หน่วยงานด้านมาตรวิทยาทั้งในระดับชาติและระดับระหว่างประเทศ
38 ต้องสร้างหรือพัฒนามาตรฐานการวัดอ้างอิงหรือสิ่งอ้างอิงการวัดที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล และในส่วนของ
39 ห้องปฏิบัติการระดับรองลงมานั้นต้องแสดงความสามารถในการเชื่อมโยงผลการวัดไปยังมาตรฐานการวัดหรือ
40 สิ่งอ้างอิงการวัดในระดับสูงสุดให้ได้

41 3 หลักการทั่วไปว่าด้วยความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา

42 3.1 แนวคิดและบริบทที่เกี่ยวข้อง

43 ความรู้ความเข้าใจพื้นฐานของความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา ทำให้สามารถรู้ว่าการวัดที่
44 ได้ดำเนินการไปแล้วนั้นสามารถสอบกลับไปยังระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศ หรือ เรียกย่อว่า
45 ระบบหน่วยเอสไอ (International System of Unit: SI) และมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดในการ
46 รับรองระบบคุณภาพตามมาตรฐานระหว่างประเทศ เช่น การรับรองระบบงานตามมาตรฐาน ISO/IEC
47 17025

48 ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้ตลับเมตรวัดความยาว ควรคำนึงถึงความถูกต้องของตลับเมตรว่าระยะทาง 1
49 เมตรที่วัดด้วยตลับเมตรนี้ ตรงกับระยะทางที่แสงเดินทางในเวลา $1/299\,792\,458$ วินาที แนวคิดของ
50 การเทียบความถูกต้องของปริมาณวัดที่เจตนาวัดไปยังสิ่งอ้างอิงที่มีความแม่นยำและเสถียรภาพสูงกว่า
51 นำไปสู่หลักการทั่วไปว่าด้วยความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา

52 ในการวัดทางฟิสิกส์ โดยส่วนใหญ่อาศัยกระบวนการสอบเทียบ (calibration) เพื่อสร้างหลักฐาน
53 เชิงประจักษ์ด้วยผลการวัด ซึ่งประกอบไปด้วยค่าที่เป็นตัวแทนแสดงปริมาณที่ตั้งใจวัด พร้อมหน่วยและ
54 ความไม่แน่นอนการวัด ในการยืนยันว่า ผลการวัดนั้นสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาไปยังหน่วยวัด
55 ระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

56 ดั่งนั้นข้อกำหนดของมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO/IEC 17025 จึงมีข้อกำหนดให้เครื่องมือวัด
57 และมาตรฐานการวัดที่ใช้ในการสอบเทียบและทดสอบต้องได้รับการสอบเทียบภายในช่วงระยะเวลาที่
58 เหมาะสมกับตัวเครื่องมือหรือมาตรฐานการวัด และการนำไปใช้งาน

59 ความแตกต่างระหว่างค่าของปริมาณวัดในสิ่งที่ตั้งใจวัดเทียบกับค่าของปริมาณวัดที่ได้มาจากสิ่ง
60 อ้างอิงที่นำมาเทียบด้วย เรียกว่าความคลาดเคลื่อนของการวัด (measurement error) ซึ่งประกอบด้วย
61 ค่าความไม่แน่นอนการวัด ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความแม่นยำของการวัด (measurement accuracy)

62 ปัจจัยสำคัญหนึ่งซึ่งจำกัดความแม่นยำของการวัดโดยเครื่องมือวัดคือความละเอียดหรือการแยกขีด
63 (resolution) ของเครื่องมือ ซึ่งถือว่าเป็นสมบัติของเครื่องมือวัดนั้น หนึ่งความแม่นยำของการวัดไม่ได้
64 สัมพันธ์กับความละเอียดของเครื่องมือเท่านั้น มีปัจจัยภายในและภายนอกอื่นที่เกี่ยวข้องกับความแม่นยำ
65 ของการวัด เพียงแต่ความละเอียดเป็นสมบัติของเครื่องมือที่สามารถแสดงเป็นตัวเลขที่สื่อสารเข้าใจง่าย
66 ซึ่งความเข้าใจในเรื่องความละเอียดและความแม่นยำ จำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการทดสอบผลิตภัณฑ์ใน
67 ภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากมาตรฐานเชิงเอกสารที่กำหนดขอบข่ายและขั้นตอนการทดสอบ
68 ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนมากมีการกล่าวถึงความแม่นยำของเครื่องมือวัดที่นำมาใช้ เช่น มาตรฐานการ
69 ทดสอบ BS EN71-1:2011 หัวข้อย่อยที่ 8.25.1.1 ระบุว่า เครื่องมือควรจะมีขีดความสามารถในการวัด
70 ความหนาที่ความแม่นยำ 1 ไมโครเมตร ตามมาตรฐาน ISO 4593 นั้นหมายความว่าผู้ที่ต้องการทำการ
71 ทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานนี้ ควรจัดหาเครื่องมือวัดความหนาที่ความละเอียดดีกว่า 1 ไมโครเมตร
72 และความคลาดเคลื่อนของการวัดที่ไม่สูงกว่า 1 ไมโครเมตร เมื่อดำเนินการการวัดตามขั้นตอนที่กำหนด
73 ในมาตรฐาน ISO 4593 แล้ว

8.25 Plastic sheeting

8.25.1 Thickness (see 4.3, 5.3 and Clause 6)

8.25.1.1 Apparatus

Measuring device, capable of measuring thickness to an accuracy of 1 µm according to ISO 4593.

74
75 รูปภาพที่ 3-1 ตัวอย่างของความถี่ความต้องการด้านความถูกต้องและความละเอียดของการวัด

76 ขั้นตอนการทดสอบผลิตภัณฑ์มักเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐานออกสู่
77 ตลาด และในขั้นตอนนี้ ต้องมีการใช้เครื่องมือวัด มาตรฐานการวัด และ/หรือ วัสดุอ้างอิง ซึ่งเครื่องมือวัด
78 มาตรฐานการวัด และ/หรือ วัสดุอ้างอิงเหล่านั้น ต้องได้รับการสอบเทียบ หรือยืนยันความถูกต้อง¹ โดย
79 มาตรฐานการวัด และ/หรือ วัสดุอ้างอิงในลำดับสูงขึ้นไป เกิดเป็นลำดับชั้นการสอบเทียบ (calibration)

¹ ในกรณีที่ไม่สามารถทำการสอบเทียบได้

80 hierarchy) ที่แสดงความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา โดยมาตรฐานการวัดหรือสิ่งอ้างอิงที่ปรากฏใน
81 ชั้นสูงสุดนั้น จะต้องบรรจุปริมาณวัดที่สามารถวัดค่าได้จากปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถเชื่อมโยงขนาด
82 ของปริมาณนั้นกับค่าคงที่ธรรมชาติที่ใช้ในการนิยามหน่วยฐานทั้งเจ็ด ภายใต้ระบบหน่วยเอสไอ² หรือสามารถ
83 วัดค่าได้โดยวิธีการที่สามารถเชื่อมโยงไปยังนิยามของหน่วยวัดของปริมาณที่เกี่ยวข้อง

84 การวัดปริมาณส่วนใหญ่ในงานสอบเทียบและทดสอบสามารถสอบกลับได้ไปยังหน่วยฐานที่เกี่ยวข้องใน
85 ระบบหน่วยเอสไอ หรือไปยังการวัดระดับปฐมภูมิที่อาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและค่าคงที่ทางธรรมชาติ
86 ในระบบหน่วยเอสไอ แต่ทั้งนี้ก็มีการวัดในงานสอบเทียบหรือทดสอบบางสาขาที่ไม่จำกัดว่าต้องสอบกลับทาง
87 มาตรวิทยาไปยังระบบหน่วยเอสไอได้เท่านั้น เช่น การสอบเทียบเครื่องวัดกำลังรังสีแสงอาทิตย์ สามารถสอบ
88 กลับได้ไปยังระบบหน่วยเอสไอ ผ่านทางมาตรฐานปฐมภูมิทางด้านแสง คือ ไครโอเจนิคส์เรดิโอมิเตอร์ หรือ
89 สอบกลับได้ไปยังมาตรฐานการวัดที่ตกลงร่วมกัน (consensus standard) คือ เครื่องวัดรังสีอาทิตย์จำนวน 5
90 ตัว (World Radiometric Reference: WRR) ที่เก็บรักษาโดยศูนย์รังสีโลก (World Radiation Center:
91 WRC) โดยมาตราของกำลังรังสีอาทิตย์นี้ ได้รับการถ่ายทอดไปยังมาตรฐานและเครื่องมือวัดระดับรอง ผ่านการ
92 เปรียบเทียบผลการวัดภายใต้แสงอาทิตย์ธรรมชาติ ณ กรุงดาวอส ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

93 ตามที่กล่าวข้างต้น ความไม่แน่นอนการวัดเป็นส่วนหนึ่งของผลการวัด ดังนั้นการแสดงความสามารถ
94 สอบกลับได้ทางมาตรวิทยาจะขาดองค์ประกอบสำคัญนี้ไม่ได้

95 ในมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO/IEC 17025 ฉบับปัจจุบัน ปี ค.ศ. 2017 หัวข้อ 6.5 เรื่อง
96 ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา ได้กำหนดไว้ว่า ห้องปฏิบัติการต้องสร้างและรักษาไว้ซึ่ง
97 ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของผลการวัด ซึ่งจะสำเร็จได้ต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ตามที่จะกล่าวถึง
98 ในส่วนถัดไป

² สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ในแผ่นพับเอสไอ (SI Brochure) ฉบับล่าสุด

99 3.2 การวัด สิ่งที่เจตนาวัด วิธีดำเนินการวัด และผลการวัด

100 3.2.1 การวัด (measurement)

101 การวัด คือ กระบวนการทางการทดลองที่ได้ผลเป็นค่าปริมาณค่าหนึ่ง หรือมากกว่า โดย
102 ค่านี้สามารถเป็นตัวแทนของปริมาณหนึ่งได้อย่างสมเหตุสมผล การวัดสื่อเป็นนัยถึงการ
103 เปรียบเทียบปริมาณหรือการนับจำนวนของกายภาพ (entity) โดยที่การวัดไม่สามารถนำมาใช้บ่ง
104 บอกสมบัติระบุ (nominal property) ได้ โดยปกติ การวัดต้องอาศัยการสันนิษฐานถึงคำ
105 บรรยายลักษณะของปริมาณซึ่งเหมาะสมกับความมุ่งหมายในการใช้งานของผลการวัด ของ
106 วิธีดำเนินการวัด และของระบบวัดที่สอบเทียบแล้วตามวิธีและเงื่อนไขที่ระบุ

107 3.2.2 สิ่งที่เจตนาวัด (measurand)

108 สิ่งที่เจตนาวัด คือ ปริมาณที่ตั้งใจจะวัด (quantity subjected to measurement) เช่น
109 มวลของตุ้มน้ำหนักที่ตั้งใจวัด ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วของแบตเตอรี่รถยนต์ที่ตั้งใจวัด
110 ฯลฯ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากที่ปริมาณที่ตั้งใจวัดนั้นจะต้องมีความชัดเจน

111 การวัด รวมถึงระบบวัดและเงื่อนไขที่กระทำการวัด อาจเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ วัดดู
112 หรือสาร จนเป็นผลให้ปริมาณที่กำลังวัดอยู่แตกต่างจากสิ่งเจตนาวัดที่นิยามไว้ ซึ่งในกรณีนี้
113 จำเป็นต้องใช้ค่าแก้หรือค่าตรวจแก้ (correction) ที่เหมาะสม ตัวอย่าง เช่น ค่าความต่าง
114 ศักย์ไฟฟ้า (voltage) ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่อาจลดลงได้ เมื่อใช้มาตรวจความต่างศักย์
115 (voltmeter) ที่มีความนำภายใน (internal conductance) ที่มีนัยสำคัญมาทำการวัด ค่าความ
116 ต่างศักย์ขณะวงจรเปิดสามารถคำนวณได้จากความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ และของมาตร
117 ความต่างศักย์

118 3.2.3 วิธีดำเนินการวัด (measurement procedure)

119 วิธีดำเนินการวัด คือ คำบรรยายลักษณะอย่างละเอียดของการวัดที่เป็นไปตามหลักการวัด
120 (measurement principle) หนึ่ง หรือมากกว่า และวิธีการวัดที่ตั้งอยู่บนฐานของแบบจำลอง
121 การวัด (measurement model) และรวมถึงการคำนวณใด ๆ เพื่อให้ได้ผลการวัด

122 เอกสารบรรยายวิธีดำเนินการวัดต้องมีรายละเอียดเพียงพอให้ผู้ดำเนินการวัดปฏิบัติงาน
123 ได้ และได้รับการควบคุม

124

125 **3.2.4 ผลการวัด (measurement result)**

126 ผลการวัด คือ ชุดของค่าปริมาณที่ถือได้ว่าเป็นตัวแทนของสิ่งที่เจตนาวัด พร้อมด้วยข้อมูล
127 เกี่ยวข้องอื่นใดที่ปรากฏ เช่น ความไม่แน่นอนการวัด ความคลาดเคลื่อน สภาวะอ้างอิง เงื่อนไข
128 การวัด และการแสดงถึงความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของผลการวัด เป็นต้น

129 **3.3 มาตรากการวัด มาตรฐานการวัด และหน่วยการวัด**

130 **3.3.1 มาตรากการวัด (measurement scale)**

131 มาตรากการวัด คือ ชุดของค่าปริมาณที่มีการจัดลำดับของชนิดของปริมาณที่กำหนด ซึ่งใช้
132 ในการจัดลำดับตามขนาดของปริมาณชนิดนั้น เช่น มาตรากของเวลา ในระบบหน่วยระหว่าง
133 ประเทศ ใช้มาตรากวินาที โดยระยะเวลา 1 วินาที มาจากนิยามที่กำหนดให้ความถี่ในการแผ่รังสี
134 ของการเปลี่ยนระดับพลังงานไฮเปอร์ไฟน์ (hyperfine transition) ของอะตอมซีเซียม ($\Delta\nu_{CS}$)
135 ไอโซโทป 133 ในสถานะพื้น (ground state) เป็น 9 192 631 770 เฮิร์ตซ์ (Hertz) หรือ
136 เทียบเท่ากับคาบเวลา (period) 1/9 192 631 770 วินาที

137 **3.3.2 มาตรฐานการวัด (measurement standard)**

138 มาตรฐานการวัด คือ การทำให้ประจักษ์ในนิยามของปริมาณที่กำหนด พร้อมกับค่า
139 ปริมาณที่ระบุและความไม่แน่นอนการวัดที่เชื่อมสัมพันธ์กัน และนำมาใช้เป็นสิ่งอ้างอิง
140 มาตรฐานการวัด สามารถปรากฏในรูปแบบหลากหลาย เช่น ระบบวัดหรือเครื่องมือวัด
141 (measuring system or device) วัตถุมาตรฐาน (standard object or artifact) วัสดุอ้างอิง
142 (reference material) หรือวิธีการวัดมาตรฐาน (standard method) เช่น ตัวต้านทาน
143 มาตรฐานการวัด 100 โอห์ม (Ω) มีความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานที่เชื่อมสัมพันธ์กัน ขนาด 1
144 ไมโครโอห์ม ($\mu\Omega$) หรือ มาตรฐานการวัดมวล 1 กิโลกรัม มีความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานที่
145 เชื่อมสัมพันธ์กันขนาด 3 ไมโครกรัม ชั่วไฟฟ้าอ้างอิงไฮโดรเจนมีค่าปริมาณตามที่กำหนดเท่ากับ
146 7.072 และความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานที่เชื่อมสัมพันธ์กัน ขนาด 0.006

147 ในบางกรณี มาตรฐานการวัดไม่ได้บรรจุปริมาณโดยตรง แต่เป็นสิ่งที่ทำให้สามารถวัด
148 ปริมาณที่สนใจผ่านปรากฏการณ์ทางธรรมชาติโดยอิงไปยังค่าคงที่ทางธรรมชาติในนิยามระบบ
149 หน่วยเอสไอปัจจุบัน เช่น เลเซอร์อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (laser interferometer) เป็นมาตรฐานที่
150 ใช้หลักการแทรกสอดของแสงวัดปริมาณความยาวในหน่วยเมตร โดยอิงค่าคงที่ความเร็วแสง
151 (speed of light) ซึ่งปรากฏอยู่ในสมการการแทรกสอดที่เชื่อมค่าความเร็วแสงนี้ไปยังค่าของ
152 ปริมาณระยะทาง

153 **3.3.3 หน่วยการวัด (measurement unit)**

154 หน่วยการวัด คือ ปริมาณสเกลาร์จริงที่ยอมรับตามสัญนิยม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ
155 ปริมาณอื่นชนิดเดียวกันจะแสดงอัตราส่วนระหว่างปริมาณทั้งสองด้วยตัวเลขตัวหนึ่ง หน่วยการ
156 วัดตั้งขึ้นโดยการกำหนดชื่อและสัญลักษณ์ตามสัญนิยม หน่วยการวัดของปริมาณที่มีมิติปริมาณ
157 เดียวกันอาจกำหนดชื่อและสัญลักษณ์ให้เหมือนกัน ถึงแม้ว่าปริมาณเหล่านั้นไม่ใช่ปริมาณชนิด
158 เดียวกัน ตัวอย่างเช่น จูลต่อเคลวิน เป็นชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยการวัดความจุความร้อนและ
159 หน่วยการวัดเอนโทรปีทั้งสองปริมาณ แต่ความจุความร้อนและเอนโทรปีไม่ใช่ปริมาณชนิด
160 เดียวกัน

161 **3.4 การสอบเทียบ**

162 การสอบเทียบ (calibration) คือ การปฏิบัติงานภายใต้เงื่อนไขที่ระบุ ซึ่งในขั้นแรกสร้าง
163 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณกับความไม่แน่นอนการวัดที่ได้จากมาตรฐานการวัด และค่าบังชี้ที่สมนัย
164 กับความไม่แน่นอนการวัดที่เชื่อมสัมพันธ์ค่าบังชี้ นั้น และในขั้นที่ 2 จะใช้สารสนเทศดังกล่าวสร้าง
165 ความสัมพันธ์เพื่อให้ได้ผลการวัดจากค่าบังชี้

166 การสอบเทียบ เป็นกระบวนการพื้นฐานในการแสดงความสามารถในการสอบกลับได้ ซึ่งเป็น
167 แนวทางปฏิบัติที่ทำให้เกิดการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณของสิ่งที่เจตนาวัดไปยังค่าอ้างอิง
168 ในทางสากลการสอบเทียบและการวิเคราะห์การสอบเทียบอาจถูกวิเคราะห์เป็นส่วนหนึ่งของระบบการ
169 วัดย่อยหรือของระบบการวัดโดยรวมทั้งหมด

170 การกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบของเครื่องมือหรือระบบวัดแต่ละชนิด³ พิจารณาจาก
171 สมบัติเชิงมาตรวิทยาของเครื่องมือ รวมไปถึงการประเมินความเสี่ยงในการบรรลุเป้าหมายในการจำกัด
172 ความไม่แน่นอนการวัดเมื่อนำไปใช้งาน เช่น

- 173 - ระดับความไม่แน่นอนการวัดที่ต้องการ
- 174 - ความเสี่ยงที่เครื่องมือวัดจะเกินขีดจำกัดที่กำหนด เช่น ขีดจำกัดของความคลาดเคลื่อน
175 (limit of error)
- 176 - คำแนะนำตามและผู้ผลิตเครื่องมือกำหนด
- 177 - ข้อกำหนดในมาตรฐานเชิงเอกสารที่นำมาใช้

³ เกณฑ์การกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ ภายใต้หัวข้อ 5 ของเอกสาร ILAC-G24:
Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment

178 เครื่องมือบางชนิดไม่จำเป็นต้องกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบ เช่น ช่องรับแสงความ
179 เทียงสูง (precision aperture) เนื่องจากความเสี่ยงต่ำที่ช่องรับแสงนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด
180 พื้นที่เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ หรืออุปกรณ์บางชนิดมีค่าเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่นำมาใช้งาน
181 จำเป็นต้องกำหนดช่วงระยะเวลาการสอบเทียบเป็นจำนวนเวลาในหน่วยที่เหมาะสมหรือช่วงระยะเวลา
182 แบบใดแบบหนึ่งที่ครบกําหนดก่อน เช่น หลอดไฟมาตรฐานความเข้มของการกระจายคลื่นแสง กำหนด
183 ระยะเวลาสอบเทียบเป็นทุก 50 ชั่วโมงการใช้งานหรือ 3 ปี ระยะเวลาใดถึงก่อน

184 3.5 ปัจจัยและเงื่อนไขที่กระทบต่อผลการวัด

185 ในการวัด ทดสอบหรือ สอบเทียบ มักมีปัจจัยและเงื่อนไขที่ส่งผลกระทบต่อผลการวัด เช่น ใน
186 การวัดมวลของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ผลการวัดได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น

- 187 - อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศของสภาพแวดล้อม
- 188 - ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำตุ้มน้ำหนัก
- 189 - สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) ของวัสดุ

190 เมื่อปัจจัยหรือเงื่อนไขที่ส่งผลกระทบเปลี่ยนไป จะทำให้ผลการวัดที่ได้เปลี่ยนไปด้วย

191 ปัจจัยหลัก 6 ประการที่มีอิทธิพลต่อผลการวัด ได้แก่

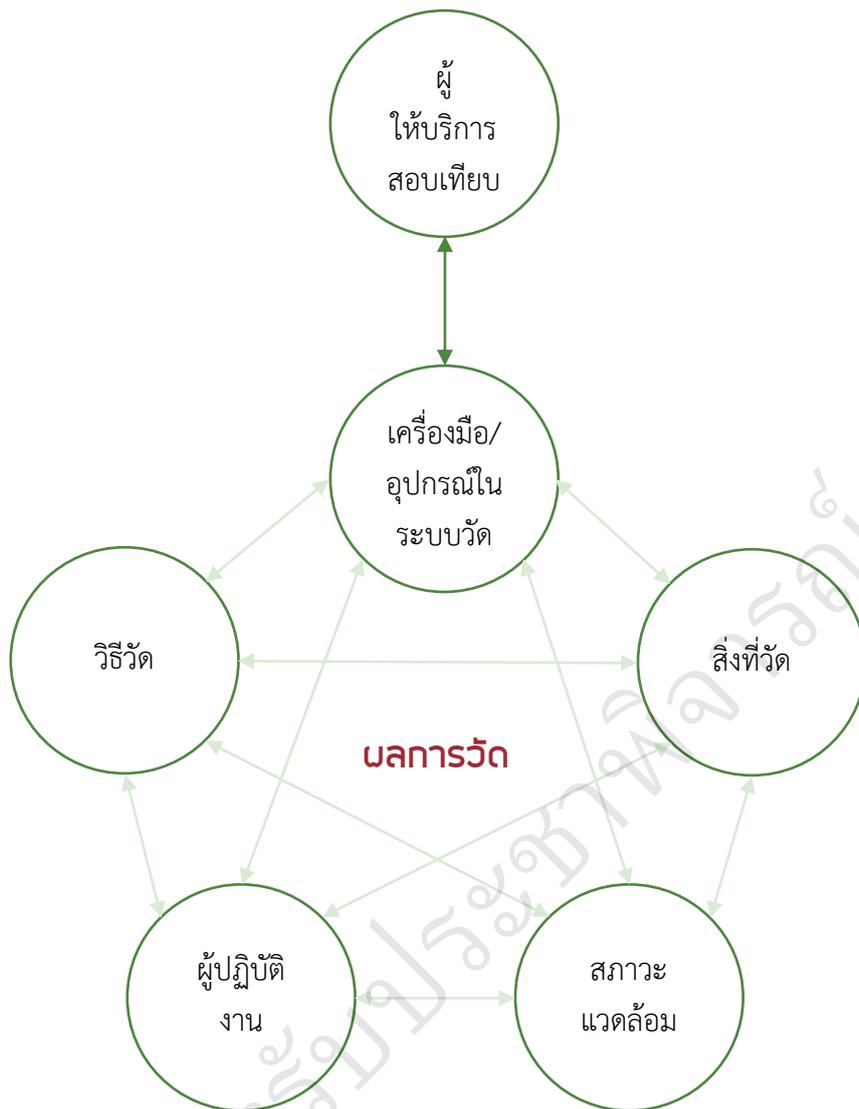
192 3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ (equipment)

193 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบและสอบเทียบมีความสำคัญ เนื่องจากมีผลกระทบต่อทั้ง
194 ค่าที่วัดได้และค่าความไม่แน่นอนการวัดที่เชื่อมสัมพันธ์ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานสอบเทียบหรือทดสอบ
195 ต้องเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสม อาจเลือกใช้อัตราส่วนความไม่แน่นอนทดสอบ (Test
196 Uncertainty Ratio: TUR)⁴ หรือในบางกรณีอาจเลือกใช้อัตราส่วนความแม่นยำทดสอบ (Test
197 Accuracy Ratio: TAR)⁵ เป็นแนวทางหนึ่งในการกำหนดเกณฑ์การยอมรับเครื่องมือที่สามารถ
198 นำมาใช้ได้ โดยทั่วไปเครื่องมือมีผลในการประเมินความไม่แน่นอนการวัดอันเกี่ยวข้องกับ สภาพ
199 ทำซ้ำได้ (repeatability) สภาพทวนซ้ำได้ (reproducibility) และเสถียรภาพ (stability) ของ
200 ผลการสอบเทียบหรือทดสอบ

201

⁴ แนวคิดในการนำ TUR มาใช้เลือกเครื่องมือที่เหมาะสม สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ISO 10012-1

⁵ แนวคิดในการนำ TAR มาใช้เลือกเครื่องมือที่เหมาะสม สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ASME B89.7.3.1-2001



รูปภาพที่ 3-2 ปัจจัยหลักที่กระทบต่อผลการวัด

3.5.2 สิ่งที่วัด (object to be measured)

เมื่อทำการวัดในงานสอบเทียบหรือทดสอบ สิ่งที่วัดในงานทดสอบหรือสอบเทียบ (Unit under Test: UUT หรือ Unit under Calibration: UUC) ส่งผลต่อความไม่แน่นอนการวัดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่วัดกับชุดเครื่องมือมาตรฐานหรือสิ่งอ้างอิงที่ใช้จะพบว่าชุดเครื่องมือมาตรฐานหรือสิ่งอ้างอิงนั้นมักมีเสถียรภาพและความละเอียดที่ดีกว่า ซึ่งสมบัติทั้งสองประการนี้ ถือเป็นแหล่งกำเนิดความไม่แน่นอนการวัดที่สำคัญจากสิ่งที่วัด

3.5.3 ผู้ปฏิบัติงาน (operator)

ผู้ปฏิบัติงานซึ่งทำการทดสอบและสอบเทียบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลต่อความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนการวัดอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่บุคคลมากกว่าหนึ่งทำการวัดเดียวกันอาจส่งผลต่อความไม่แน่นอนการวัดที่ต่างกัน ปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์กรความรู้

214 ประสิทธิภาพ ทักษะ และความชำนาญ ล้วนส่งผลต่อผลการวัด ดังนั้นมาตรฐาน ISO/IEC
215 17025 จึงมีข้อกำหนดว่าด้วยสมรรถนะของบุคคลที่ได้รับมอบหมายให้ดำเนินการวัด

216 3.5.4 สภาพแวดล้อม (environment)

217 สภาพแวดล้อมขณะที่ทำการทดสอบและสอบเทียบส่งผลต่อผลการวัด ตัวแปรต่าง ๆ
218 ของสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แรงดัน แรงโน้มถ่วง ระดับความสูง การสั่นสะเทือน
219 ความเค้น ความเครียด และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น สามารถส่งผลกระทบต่อผลการวัด ทั้งใน
220 มิติของความคลาดเคลื่อนการวัดและความไม่แน่นอนรวมของการวัด ซึ่งการทดสอบและสอบ
221 เทียบบางอย่างอาจมีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าการวัดอย่างอื่น ดังนั้นการ
222 วิเคราะห์พิจารณาถึงพื้นฐานการวัดของแต่ละระบบเฉพาะจึงมีความสำคัญ

223 3.5.5 วิธีวัด (measurement method)

224 วิธีวัดที่ต่างกันอาจให้ผลการวัดที่ต่างกันได้ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความไม่
225 แน่นนอนการวัด หากห้องปฏิบัติการเลือกใช้วิธีวัดหลากหลายรูปแบบในการทำการวัดสิ่งของหรือ
226 เครื่องมือที่ใกล้เคียงกัน ผู้ปฏิบัติงานจะต้องพิจารณาถึงวิธีวัดว่าส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนการ
227 วัดอย่างไร

228 3.5.6 ผู้ให้บริการสอบเทียบ (calibration service provider)

229 เมื่อห้องปฏิบัติการใช้ผู้ให้บริการสอบเทียบหรือทดสอบภายนอกต้องพิจารณาเลือกผู้
230 ให้บริการที่สามารถให้ผลการวัดที่มีความสามารถในการสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาได้⁶ และมีค่า
231 ความไม่แน่นอนการวัดที่ยอมรับได้ ซึ่งเกณฑ์การยอมรับต้องกำหนดให้สอดคล้องกับค่าของ
232 องค์ประกอบความไม่แน่นอนการวัดเนื่องมาจากการสอบเทียบมาตรฐานอ้างอิงในการคำนวณ
233 ความไม่แน่นอนการวัดรวม

⁶ ISO/IEC 17025 และ ILAC P10 ได้บรรยายรายละเอียดเพิ่มเติมว่าด้วยการสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของผลการวัด

234 3.6 การควบคุมเงื่อนไขคงที่

235 การควบคุมเงื่อนไขคงที่ในทางมาตรวิทยา หมายถึงการควบคุมบางตัวแปรของสภาวะแวดล้อมที่
236 ส่งผลต่อการวัดอย่างมีนัยสำคัญให้คงที่ภายใต้ข้อจำกัดเฉพาะของการวัดปริมาณนั้น เช่น ในการสอบ
237 เทียบส่วนใหญ่ทางด้านมิติ ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ มักกำหนดเงื่อนไขอุณหภูมิแวดล้อมที่ $(20.0 \pm$
238 $0.3)$ องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (50 ± 10) เปอร์เซ็นต์ หรือในการวัดสมบัติทางคลื่น
239 แม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ไร้สายมักต้องทำในห้องปิดกั้นไร้คลื่นสะท้อน (anechoic chamber) เป็นต้น

240 3.7 บทบาทของการพัฒนาวิธีวัดและสอบความใช้ได้ของวิธีวัด

241 การวัด ทดสอบ หรือสอบเทียบบางสาขา มีวิธีวัด ที่ได้รับการศึกษา พัฒนา มาก่อนหน้าและ
242 ปรากฏในมาตรฐานเชิงเอกสารหรือข้อกำหนดเชิงกฎหมาย ในกรณีที่มีทรัพยากรพอเพียงในการ
243 ดำเนินการตามวิธีนั้นทั้งหมด ห้องปฏิบัติการสามารถนำวิธีดำเนินการวัดเหล่านี้ไปใช้ได้ โดยการอ้างอิง
244 โดยตรงไปยังเอกสารเหล่านี้และไม่ต้องทำการสอบความใช้ได้ของวิธี แต่ในกรณีที่มีทรัพยากรไม่
245 เพียงพอ สามารถทำตามวิธีวัดมาตรฐานได้บางส่วน จะต้องทำการสอบความใช้ได้ของวิธีในส่วนที่
246 เบี่ยงเบนไปจากมาตรฐาน

247 อนึ่งหากการวัด ทดสอบ หรือสอบเทียบนั้น ไม่มีระบุไว้ในมาตรฐานเชิงเอกสารหรือข้อกำหนดอื่น
248 ใด ห้องปฏิบัติการต้องออกแบบและพัฒนาวิธีการวัด โดยอาศัยหลักการจากงานวิจัยหรือการศึกษาที่มี
249 มาก่อน และต้องคำนึงถึงการได้มาซึ่งผลการวัดที่ยอมรับได้ คือ มีความคลาดเคลื่อนและความไม่
250 แน่นอนการวัดในกรอบที่ตั้งเป้า และผลการวัดต้องสามารถสอบกลับทางมาตรวิทยาได้ และก่อนนำ
251 วิธีการวัดที่พัฒนานี้ไปใช้งานจริง ต้องสอบความใช้ได้ของวิธีวัดนั้นก่อน

252 4 ระบบปริมาณและหน่วยระหว่างประเทศ

253 4.1 ปริมาณ (quantity)

254 ปริมาณ เป็นสมบัติของปรากฏการณ์ วัตถุ หรือสาร โดยที่สมบัตินี้มีขนาดซึ่งสามารถแสดงด้วย
255 ตัวเลขตัวหนึ่ง และสิ่งอ้างอิงสิ่งหนึ่ง “ปริมาณ” โดยทั่วไปอาจแบ่งออกเป็น “ปริมาณทางฟิสิกส์”
256 “ปริมาณทางเคมี” และ “ปริมาณทางชีวภาพ” หรือ “ปริมาณฐาน” และ “ปริมาณอนุพัทธ์”
257 นอกจากนี้ “ปริมาณ” สามารถแบ่งออกเป็นแนวคิดเฉพาะหลายระดับ ตามที่แสดงในตารางที่ 4-1

| แนวคิดทั่วไป | แนวคิดเฉพาะ | ตัวอย่างสิ่งที่เจตนาวัด (measurand) |
|---|--------------------------------------|--|
| ความยาว (length), l | รัศมี (radius), r | รัศมีของวงกลม A , r_A หรือ $r(A)$ |
| | ความยาวคลื่น (wavelength), λ | ความยาวคลื่นจากการแผ่รังสี D ของโซเดียม, λ_D หรือ $\lambda(D; Na)$ |
| พลังงาน (energy), E | พลังงานจลน์ (kinetic energy), T | พลังงานจลน์ของอนุภาค i ในระบบที่กำหนด, T_i |
| | ความร้อน (heat), Q | ความร้อนของการระเหยของตัวอย่าง i ในน้ำ, Q_i |
| ประจุไฟฟ้า (electric charge), Q | | ประจุไฟฟ้าของโปรตรอน, e |
| ความต้านทานไฟฟ้า (electric resistance), R | | ความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้า i ในวงจรไฟฟ้าที่กำหนด, R_i |
| ค่าความแข็ง ร็อกเวลล์ ซี (โหลด 150 กก.) (Rockwell C hardness (150 kg load)), HRC (150 kg) | | ค่าความแข็งแบบ ร็อกเวลล์ ซี ของเหล็กตัวอย่าง i , HRC_i (150 กิโลกรัม) |

259 สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับปริมาณต่าง ๆ นั้น ได้กำหนดไว้ใน อนุกรมของมาตรฐาน ISO 80000 และ
 260 IEC 80000 เรือง ปริมาณและหน่วย สัญลักษณ์ที่ใช้แทนปริมาณเหล่านั้นใช้ตัวเอน สัญลักษณ์ที่
 261 กำหนดหนึ่งสามารถบ่งชี้ปริมาณที่ต่างกันได้ ปริมาณตามที่นิยามไว้ในที่นี้เป็นปริมาณเชิงสเกลาร์
 262 อย่างไรก็ตามเวกเตอร์หรือเทนเซอร์ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นปริมาณก็ถือว่าเป็นปริมาณด้วย

263 ระบบปริมาณระหว่างประเทศหรือระบบปริมาณสากลหรือเรียกย่อว่า “ระบบไอเอสคิว”
 264 (International System of Quantities: ISQ) คือ ระบบปริมาณซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของปริมาณฐาน 7
 265 ปริมาณ ได้แก่ ความยาว มวล เวลา กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ-อุณหภูมิพลวัต ปริมาณสาร และความเข้มของ
 266 การส่องสว่าง ระบบปริมาณนี้ได้ตีพิมพ์ในอนุกรมของมาตรฐาน ISO 80000 และ IEC 80000 เรือง
 267 ปริมาณและหน่วย

268 **4.2 ระบบหน่วยระหว่างประเทศ**

269 ระบบหน่วยระหว่างประเทศหรือระบบหน่วยเอสไอ เป็นระบบหน่วยที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของระบบ
 270 ปริมาณระหว่างประเทศ ชื่อ สัญลักษณ์ รวมทั้งคำนำหน้าหน่วยชื่อและสัญลักษณ์ของคำนำหน้าหน่วย
 271 รวมทั้งกฎในการใช้ ได้รับการยอมรับจากการประชุมทั่วไปว่าด้วยการชั่งตวงวัด หน่วยฐานเอสไอจัดตั้ง
 272 จากปริมาณฐาน 7 ปริมาณของไอเอสคิว และชื่ออีกทั้งสัญลักษณ์ของหน่วยฐานที่สมนัยกับปริมาณฐาน
 273 เหล่านั้น ซึ่งได้ปรากฏอยู่ในตารางต่อไปนี้

274 ตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณฐานและหน่วยฐานในระบบหน่วยเอสไอ

| ปริมาณฐาน (Base quantity) | หน่วยฐาน (Base unit) | |
|---|----------------------|--------------------|
| | ชื่อ (Name) | สัญลักษณ์ (Symbol) |
| ความยาว (length) | เมตร (metre) | m |
| มวล (mass) | กิโลกรัม (kilogram) | kg |
| เวลา (time) | วินาที (second) | s |
| กระแสไฟฟ้า (electrical current) | แอมแปร์ (Ampere) | A |
| อุณหภูมิอุณหพลวัต (thermodynamic temperature) | เคลวิน (Kelvin) | K |
| ปริมาณสาร (amount of substance) | โมล (mole) | mol |
| ความเข้มของการส่องสว่าง (luminous intensity) | แคนเดลา (candela) | cd |

275 **5 บทสรุปการสร้างความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา**

276 จากองค์ความรู้ที่บรรยายมาข้างต้น สามารถสรุปลำดับกิจกรรมที่จำเป็นต่อการสร้างความสามารถสอบ
 277 กลับได้ทางมาตรวิทยาตามแผนภาพในรูปภาพที่ 5-2

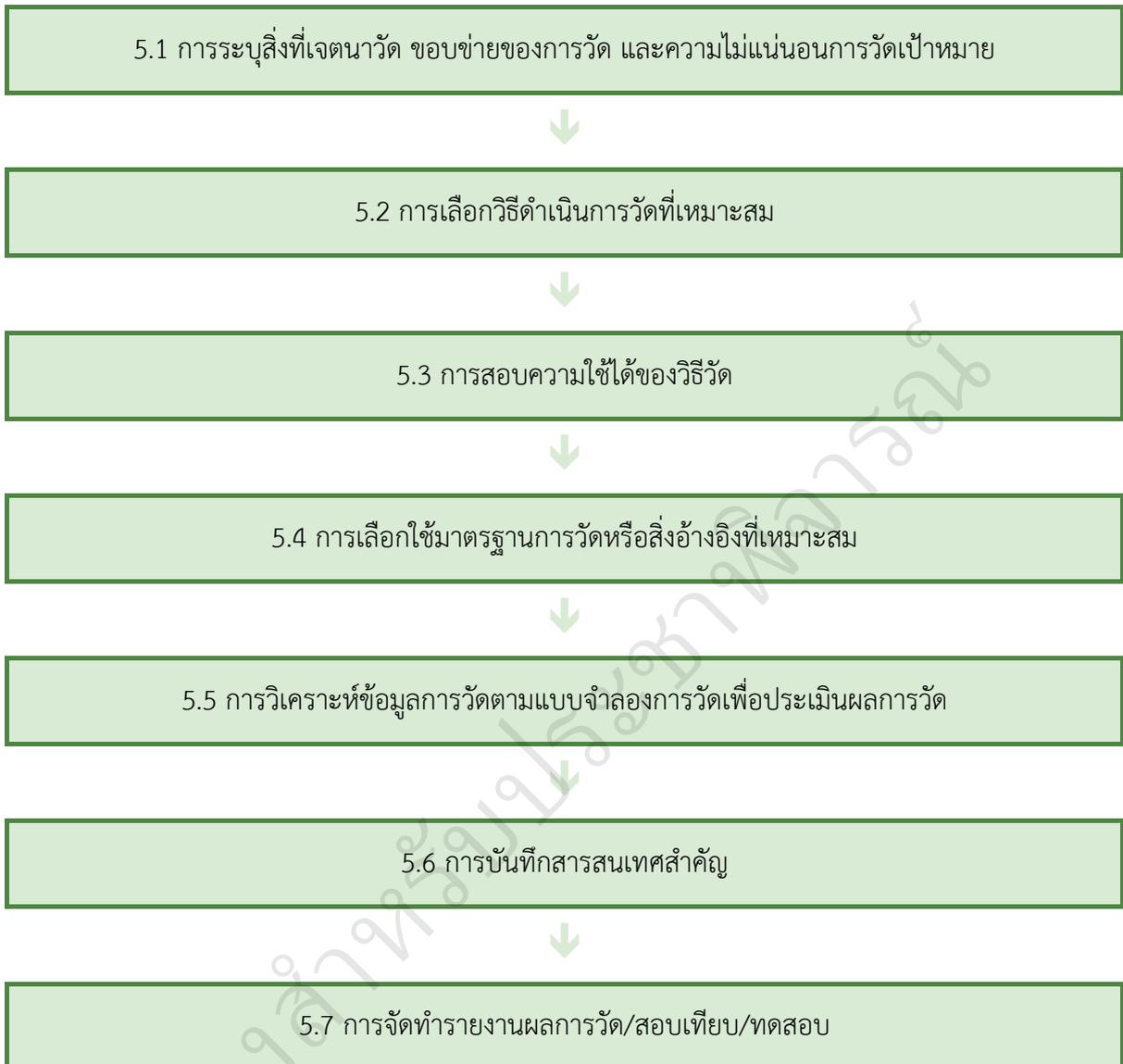
278 **5.1 การระบุสิ่งที่เจตนาวัด ขอบข่ายของการวัด และความไม่แน่นอนการวัดเป้าหมาย**

279 ในการสร้างความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา ต้องระบุสิ่งที่เจตนาวัดให้ชัดเจน มี
 280 รายละเอียดของเงื่อนไขต่าง ๆ อย่างครบถ้วน อีกทั้งจะต้องมีการกำหนดความไม่แน่นอนการวัดที่ตั้ง
 281 เป้าไว้ เพื่อให้สามารถเลือกใช้วิธีวัด มาตรฐานการวัดหรือสิ่งอ้างอิงการวัด และการควบคุมเงื่อนไขของที่
 282 ต่าง ๆ ที่เหมาะสมได้

283 **5.2 การเลือกวิธีดำเนินการวัดที่เหมาะสม**

284 วิธีดำเนินการวัดส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนการวัดและการบรรลุความไม่แน่นอนเป้าหมาย ซึ่ง
 285 สัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ข้อกำหนดด้านกฎระเบียบสำหรับวิธีเฉพาะ ข้อกำหนดของลูกค้า ความ
 286 สิ้นเปลืองทรัพยากร และ ความพร้อมของเครื่องมือ ฯลฯ วิธีดำเนินการวัดจะต้องจัดทำเป็นเอกสารที่มี

287 รายละเอียดเพียงพอให้ผู้ดำเนินการวัดสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน และ
288 สามารถเข้าถึงได้และต้องควบคุมเอกสารเพื่อสอบย้อนการเปลี่ยนแปลงได้



289 รูปภาพที่ 5-2 แสดงกิจกรรมสำคัญในการสร้างความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา

290 **5.3 การสอบความใช้ได้ของวิธีวัด**

291 ห้องปฏิบัติการต้องจัดเก็บสารสนเทศเพื่อเป็นหลักฐานยืนยันการสอบความใช้ได้ของวิธี ในกรณี
292 เลือกใช้วิธีที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดทางกฎหมาย

293 **5.4 การเลือกใช้มาตรฐานการวัดหรือสิ่งอ้างอิงที่เหมาะสม**

294 ห้องปฏิบัติการต้องเลือกใช้มาตรฐานการวัดหรือสิ่งอ้างอิงสำหรับทุกปริมาณ ไม่ว่าจะเป็ปริมาณ
295 ที่สัมพันธ์กับสิ่งที่เจตนาวัดโดยตรงหรือปริมาณอิทธิพลอื่น ที่สามารถให้ผลการวัดที่บรรลุความไม่
296 แน่นอนการวัดเป้าหมาย

297 **5.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการวัดตามแบบจำลองการวัดเพื่อประเมินผลการวัด**

298 การคำนวณค่าตัวแทนของสิ่งที่วัดและการประเมินความไม่แน่นอนการวัดต้องอาศัยแบบจำลอง
299 การวัด ที่สามารถแสดงได้โดยสมการทางคณิตศาสตร์ที่สมนัยกับวิธีดำเนินการวัด หลักการวัดและ
300 ปริมาณเข้า ปริมาณออก และปริมาณส่งอิทธิพลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด รายละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติม
301 ได้ใน GLA-26-00: ข้อเสนอแนะการประเมินค่าความไม่แน่นอนการวัด หรือในกรณีของการวัดที่ซับซ้อน
302 สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในเอกสารแนะนำการแสดงความไม่แน่นอนการวัด (Guide to the
303 Expression of Uncertainty in Measurement: GUM) ที่ออกโดยคณะทำงาน 2 ของคณะกรรมการ
304 ร่วมว่าด้วยเรื่องคำแนะนำด้านมาตรวิทยา (Joint Committee for Guides in Metrology: JCGM)
305 เอกสารการประเมินความไม่แน่นอนการวัดในการสอบเทียบ (EA-4/02: Evaluation of Uncertainty
306 of Measurement in calibration) ที่จัดทำภายใต้โครงการความร่วมมือด้านการรับรองระบบงานของ
307 ภูมิภาคยุโรป (European Accreditation) หรือ เอกสารการแสดงความไม่แน่นอนทางการวัดและ
308 ระดับความมั่นใจในการวัด (M3003: The Expression of Uncertainty and Confidence in
309 Measurement) ที่จัดทำโดยหน่วยงานรับรองระบบงานแห่งสหราชอาณาจักร (United Kingdom
310 Accreditation System: UKAS) เป็นต้น

311 **5.6 การบันทึกสารสนเทศสำคัญ**

312 ห้องปฏิบัติการต้องบันทึกและจัดเก็บสารสนเทศสำคัญที่รวบรวมลำดับขั้นการสอบเทียบและ
313 กิจกรรมทั้งหมดของมาตรฐานการวัดในแต่ละลำดับขั้น รวมไปถึงเครื่องมืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

314 **5.7 การจัดทำรายงานผลการวัด/สอบเทียบ/ทดสอบ**

315 การรายงานผลการสอบเทียบให้เป็นไปตาม ISO/IEC 17025 และที่สำคัญต้องมีข้อความระบุว่า
316 ผลการวัดมีความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาอย่างไร ดังนั้นรายงานจึงต้องแสดงให้เห็นว่าผล
317 การวัดเชื่อมโยงไปยังระบบหน่วยเอสไอ

318 ในกรณีที่ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาไปยังระบบหน่วยระหว่างประเทศไม่สามารถ
319 เป็นไปได้ ให้ระบุข้อความเชื่อมโยงไปยังสิ่งอ้างอิงที่เหมาะสม

320 ทั้งนี้เพื่อลดโอกาสเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน ไม่ควรระบุความสามารถสอบกลับได้ทางมาตร
321 วิทยาไปยังองค์การ เช่น “ผลการวัดสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาไปยังสถาบันมาตรวิทยา
322 แห่งชาติ”

ร่างสำหรับประชาพิจารณ์

323 6 ตัวอย่างความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา สาขา ฟิสิกส์

324 สภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ได้ผลักดันให้ทุกรัฐเศรษฐกิจบนโลกต้องหันมาใส่ใจกับการ
325 พัฒนาพลังงานสะอาดมากขึ้น พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่น่าสนใจและได้รับการพิจารณา
326 นำมาลงทุนสูง และในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทย เม็ดเงินที่นำมาใช้ในการลงทุนพัฒนาพลังงาน
327 แสงอาทิตย์ได้เติบโตผ่านการลงทุนในการพัฒนาพลังงานฟอสซิลไปแล้ว ดัชนีหนึ่งที่สำคัญในการ
328 ประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าในการลงทุนด้านพลังงานแสงอาทิตย์คือความสามารถในการวัดกำลัง
329 รังสีแสงอาทิตย์รวมในแต่ละพิกัดภูมิศาสตร์ได้อย่างถูกต้องและการวัดประสิทธิภาพของเซลล์พลังงาน
330 แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งทั้งสองการวัดนั้น มีปริมาณที่เกี่ยวข้องมากมาย ทั้งปริมาณทางด้านแสง
331 ปริมาณทางด้านไฟฟ้า ปริมาณด้านอุณหภูมิ รวมไปถึงปริมาณด้านมิติและปริมาณที่สัมพันธ์กับมวล

332 ประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นดัชนีที่บ่งบอกความสามารถในการเปลี่ยน
333 พลังงานแสงไปเป็นพลังงานทางไฟฟ้า ดังนั้นในกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงาน
334 แสงอาทิตย์ต้องเกิดการวัดพลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์และการวัดพลังงานทางไฟฟ้าที่ตัวเซลล์ผลิต
335 จากการแปลงมาจากพลังงานแสง ในการทดสอบที่ได้รับการยอมรับตามมาตรฐานระหว่างประเทศ จึง
336 มีการกำหนดเงื่อนไขมาตรฐานในการทดสอบไว้ดังนี้

337 ก. ปริมาณความหนาแน่นฟลักซ์รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับ โดย
338 มาตรฐานการทดสอบกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นค่าที่
339 สอดคล้องกับการทดสอบภายใต้เงื่อนไขปริมาณฟลักซ์รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบต่อหนึ่ง
340 หน่วยพื้นที่รับ เป็น 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งค่าปริมาณ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตรนี้
341 อ้างอิงมาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณฟลักซ์รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ภายใต้ชั้น
342 บรรยากาศปกติ ซึ่งการวัดปริมาณฟลักซ์รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับ
343 นี้ใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่าไพรานอมิเตอร์ ซึ่งต้องได้รับการสอบเทียบและสอบกลับได้ทางการ
344 วัดไปยังมาตรฐานสูงสุด ตามที่บรรยายในหัวข้อ 6.1

345 ข. ในกรณีที่ใช้เครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียมในการทดสอบ เครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียมนี้ต้อง
346 มีสมรรถนะ 3 ด้าน ตามที่ระบุ ในมาตรฐานระหว่างประเทศ IEC 60904-9 ดังนี้

- 347 - สเปกตรัมของแสงจากเครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียมจะต้องใกล้เคียงกับสเปกตรัม
348 มาตรฐานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกตามที่ได้มีการระบุไว้ในมาตรฐานระหว่าง
349 ประเทศ IEC 60904-2 โดยมาตรฐาน IEC 609004-9 ได้กำหนดดัชนีความสอดคล้องนี้ใน
350 รูปแบบ spectral match และได้แบ่งดัชนีความสอดคล้องเชิงสเปกตรัมเป็น 3 ชั้น
351 โดยทั่วไปการวัดสเปกตรัมนี้ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer)

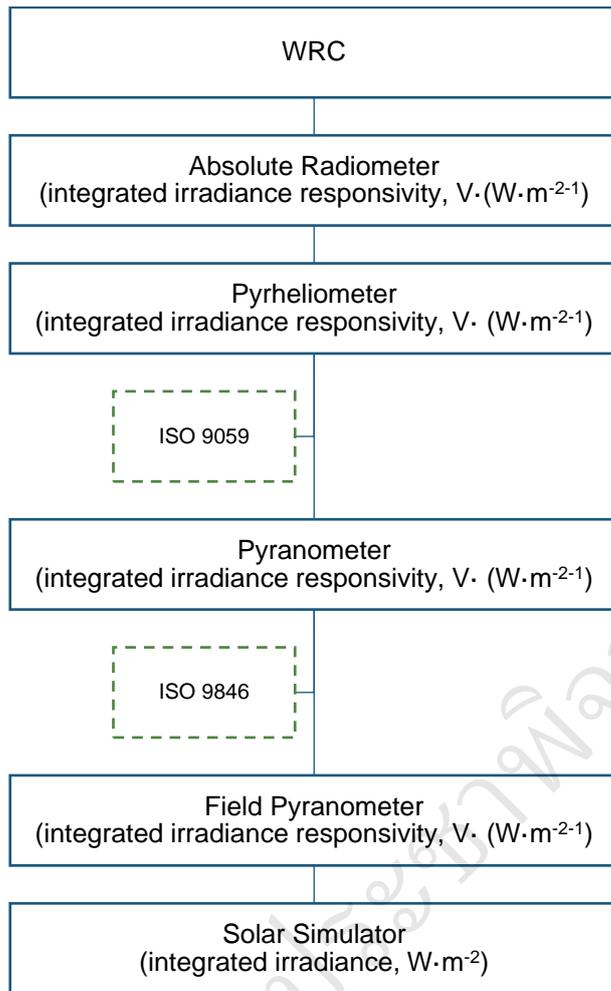
352 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ต้องได้รับการสอบเทียบและการสอบเทียบต้องสอบกลับได้ทางการวัดไป
353 ยังหน่วยฐานเอสไอที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะบรรยายรายละเอียดในหัวข้อ [6.2](#)
354 - แสงจากเครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียมต้องมีความเป็นเอกพันธ์เชิงพื้นที่ในระดับกำหนดไว้
355 ในมาตรฐาน IEC 60904-9 (มาตรฐานกำหนดสมรรถนะด้านนี้เป็นสามขั้น)
356 - แสงจากเครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียมต้องมีความเป็นเอกพันธ์เชิงเวลาในระดับกำหนดไว้
357 ในมาตรฐาน IEC 60904-9 (มาตรฐานกำหนดสมรรถนะด้านนี้เป็นสามขั้น)
358 ค. สภาพแวดล้อมของการทดสอบ โดยกำหนดอุณหภูมิแวดล้อมที่ 25 องศาเซลเซียส และความ
359 ตัน 1 บรรยากาศ โดยการวัดอุณหภูมิมีการใช้เทอร์โมมิเตอร์ทั้งแบบไม่สัมผัส (non-contact
360 thermometer) หรือ แบบเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) โดยหัวข้อ [6.3](#) อธิบายความ
361 สามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดอุณหภูมิ

362 6.1 การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดความหนาแน่นของฟลักซ์รังสีแสงอาทิตย์รวม

363 เครื่องมือวัดภาคสนามที่นำมาใช้ในการวัดความหนาแน่นของฟลักซ์รังสีแสงอาทิตย์รวม เรียกว่า
364 ไพรานอมิเตอร์ (pyranometer) ซึ่งแบ่งออกเป็นไพรานอมิเตอร์แบบเทอร์โมไพล์ที่ใช้หลักการการ
365 เปลี่ยนการดูดกลืนแสงของพื้นผิวเคลือบสีดำสนิทของวัสดุเทอร์โมไพล์แล้วเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นความ
366 ร้อนที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ของวัสดุเทอร์โมไพล์ และไพรานอมิเตอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ (semi-
367 conductor) เช่น ซิลิกอน

368 มาตรฐานระหว่างประเทศ IEC 60904-4 ได้ให้คำแนะนำว่าด้วยเรื่องการสอบกลับได้ทางมาตร
369 วิทยาของไพรานอมิเตอร์ ซึ่งในกรณีของไพรานอมิเตอร์นั้น มีความพิเศษ แตกต่างจากเครื่องมือวัดชนิด
370 อื่น กล่าวคือ มาตรฐานสูงสุดของการสอบเทียบไพรานอมิเตอร์นั้น ไม่ได้จำกัดเพียงแค่การสอบกลับได้
371 ไปยังหน่วยวัดที่สอดคล้องกับปริมาณที่เกี่ยวข้องในระบบหน่วยเอสไอ แต่มาตรฐานสูงสุดที่ได้รับการ
372 ยอมรับ คือ กลุ่มเครื่องวัดรังสีอาทิตย์รวมระดับปฐมภูมิระหว่างประเทศ (absolute radiometers) ที่
373 รักษาโดย WRC (World Radiometric Center) โดยทุก ๆ 5 ปี มาตรฐานระดับปฐมภูมินี้จะได้รับการ
374 ส่งต่อไปยังมาตรฐานการวัดระดับทุติยภูมิ โดยการที่ให้หน่วยงานผู้แทนจากประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกที่มี
375 เครื่องวัดรังสีอาทิตย์รวมระดับปฐมภูมิ เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดที่กรุงดาวอส ประเทศ
376 สวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งต่อมาจะได้รับการถ่ายทอดไปยังเครื่องมืออ้างอิงระดับปฐมภูมิคือไพริลิโอมิเตอร์แบบ
377 รังสีตรง (NIP: normal incident pyrheliometer) ตามมาตรฐาน ISO 9059 และส่งต่อไปยัง
378 เครื่องมืออ้างอิงระดับทุติยภูมิ (reference pyranometer) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 9846

379



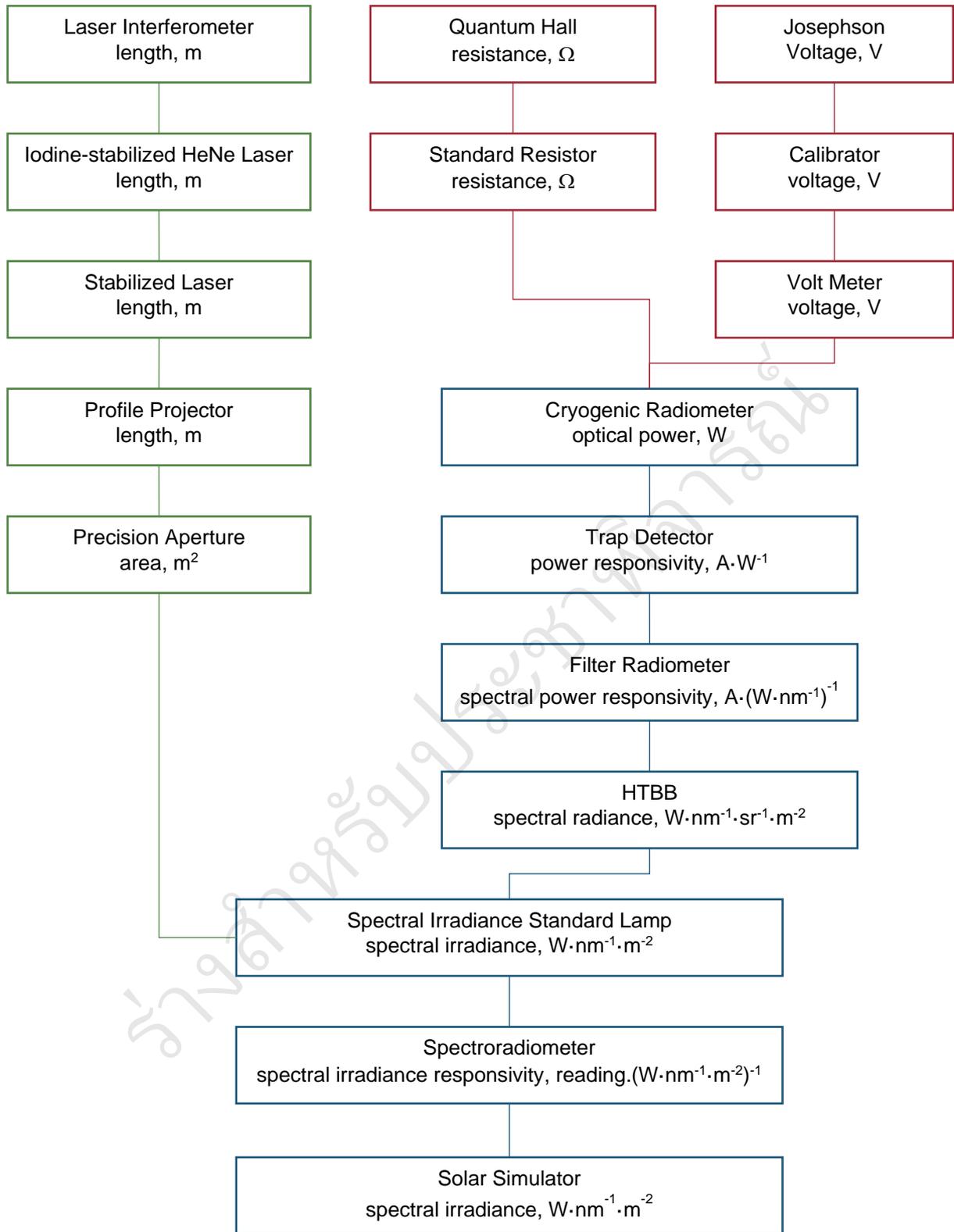
380

381 รูปภาพที่ 6-2 แสดงการสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดความหนาแน่นฟลักซ์รังสีอาทิตย์รวม

382 6.2 การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดความอับรังสีเชิงสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์

383 ปริมาณความอับรังสีอาทิตย์เชิงสเปกตรัม คือ กำลังของฟลักซ์รังสีที่ตกกระทบต่อหนึ่ง
 384 หน่วยพื้นที่รับของเครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียม (spectral irradiance of solar simulator) มี
 385 หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรต่อนาโนเมตร ($W \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2}$) ต้องทำการวัดโดยเครื่องสเปกโตรเรดิ
 386 โอมิเตอร์ซึ่งต้องได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานลำดับสูงขึ้นไปทางด้านแสง และต้องสอบกลับ
 387 ได้ไปยังหน่วยในระบบหน่วยเอสไอที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วัตต์ ซึ่งเป็นหน่วยของกำลังทางด้านแสง
 388 เมตร และความยาวคลื่นแสง ซึ่งเป็นหน่วยของปริมาณความยาว ซึ่งตัวอ้างอิงทางด้าน
 389 สเปกตรัมของแสงคือเตาวัตถุดำอุณหภูมิสูง (high-temperature blackbody radiator) ซึ่งการ
 390 แผ่รังสีเชิงสเปกตรัมของวัตถุดำ เป็นไปตามสมการของพลังค์ (Planck's equation) โดย
 391 จะต้องทราบอุณหภูมิที่แน่นอนของเตาและเรขาคณิตของการสอบเทียบ โดยการจะทราบ
 392 อุณหภูมิที่แน่นอนของเตา ต้องอาศัยการวัดกำลังของการแผ่รังสีในช่วงแถบความยาวคลื่นที่
 393 แตกต่างกัน อย่างน้อย 2 แถบ โดยต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ฟิลเตอร์เรดิโอมิเตอร์ (filter

394 radiometer) ซึ่งต้องได้รับการสอบเทียบปริมาณการตอบสนองเชิงสเปกตรัม โดยการเทียบกับ
395 มาตรฐานตัววัดแสงในลำดับสูงขึ้นไป คือ ตัววัดแสงแบบกับดัก (trap detector) โดยในขั้นตอน
396 นี้ ปริมาณวัดที่ส่งต่อคือ การตอบสนองต่อกำลังของแสงเชิงสเปกตรัม (spectral power
397 responsivity) ในหน่วย แอมป์ต่อวัตต์ต่อนาโนเมตร ($A \cdot (W \cdot nm^{-1})^{-1}$) ซึ่งตัววัดแสงแบบกับดักนี้
398 จะต้องสอบเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิทางด้านแสงคือ ไครโอเจนิคส์เรดิโอมิเตอร์ (cryogenic
399 radiometer) ซึ่งส่งต่อปริมาณการตอบสนองต่อกำลังทางแสงที่ความยาวคลื่นเป็นจุด ๆ
400 (power responsivity at discrete wavelength points) โดยมีหน่วยเป็น แอมป์ต่อวัตต์
401 ($A \cdot W^{-1}$) โดยหลักการทำงานของไครโอเจนิคส์เรดิโอมิเตอร์นั้น อาศัยการแปลงพลังงานแสง
402 ทั้งหมด เป็นพลังงานทางไฟฟ้า โดยให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด จึงต้องทำที่อุณหภูมิที่
403 ใกล้เคียงอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ และวัดพลังงานไฟฟ้า โดยการวัดความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า
404 คร่อมตัวความต้านทานมาตรฐาน ซึ่งทั้งการวัดความต่างศักย์และความต้านทานทางไฟฟ้า ต้อง
405 สามารถสอบย้อนกลับทางด้านมาตรวิทยาไปยังหน่วยโวลท์และโอห์ม โดยที่การวัดความต่าง
406 ศักย์ไฟฟ้าในหน่วยโวลท์ วัดโดยเครื่องโวลท์มิเตอร์ ที่ต้องสอบเทียบไปยังตัวสอบเทียบที่รับค่า
407 ความต่างศักย์ในหน่วยโวลท์มาจากตัวมาตรฐานที่สร้างปรากฏการณ์โจเซฟสัน (Josephson
408 standard) ซึ่งถือเป็นมาตรฐานปฐมภูมิของหน่วยโวลท์ ซึ่งเป็นหน่วยในระบบหน่วยเอสไอ และ
409 ในส่วนของการวัดความต้านทานไฟฟ้านั้น ใช้ตัวต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานในการสอบเทียบผ่าน
410 สะพานความต้านทาน (resistance bridge) และลำดับขั้นการสอบเทียบสูงสุด คือ การเทียบกับ
411 ความต้านทานที่เกิดภายใต้ปรากฏการณ์ควอนตัมฮอลล์ (Quantum Hall Effect)



412

413 รูปภาพที่ 6-3 แสดงการสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดความอับรังสีเชิงสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์

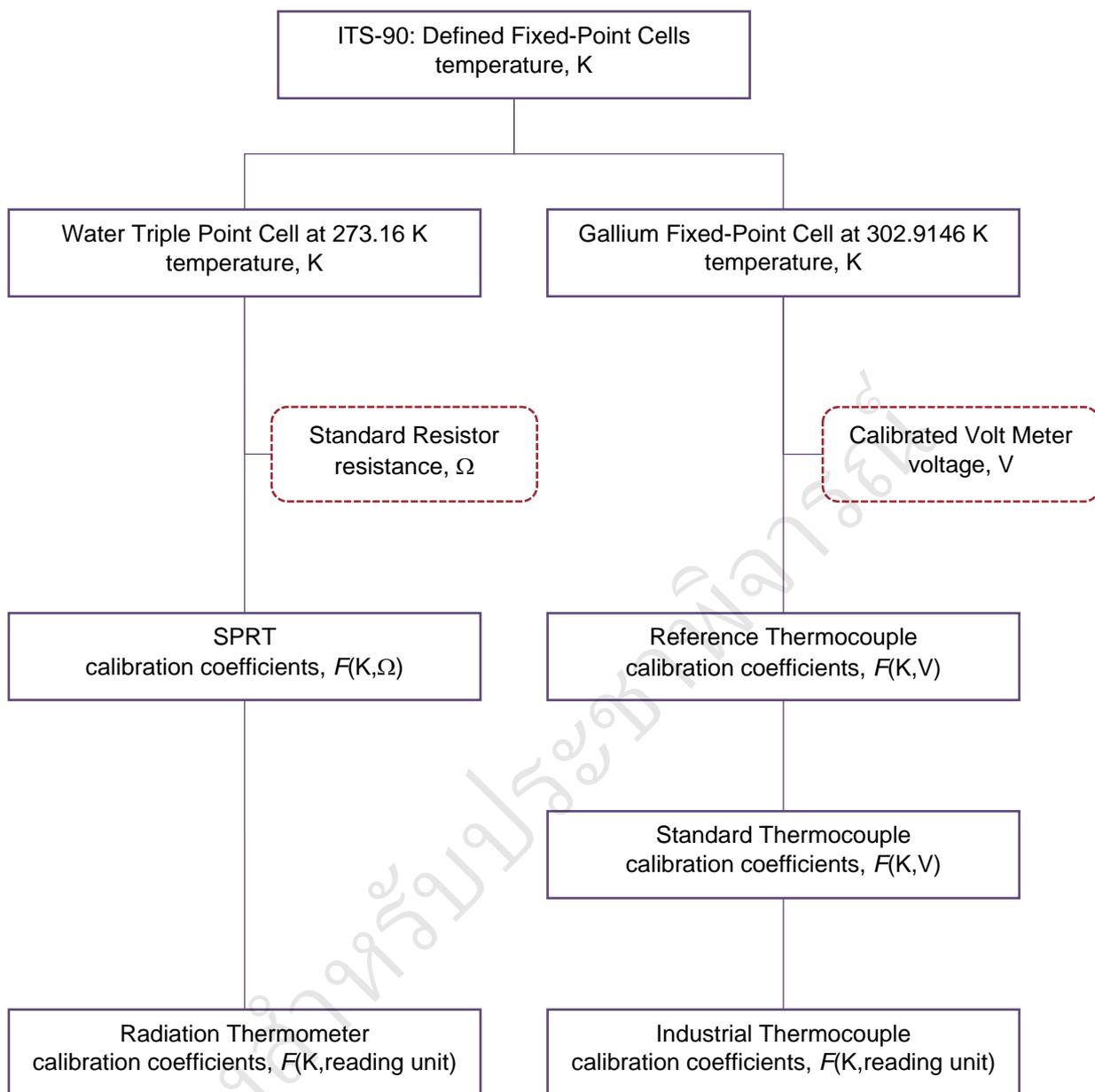
414 6.3 การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดอุณหภูมิของสภาวะมาตรฐานสำหรับการทดสอบ

415 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

416 การวัดอุณหภูมิแวดล้อมในระบบทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ นิยมใช้
417 เครื่องมือวัดหลัก ๆ 2 ประเภท คือ เครื่องวัดอุณหภูมิด้วยรังสีอินฟราเรด และ เทอร์โมคัปเปิล ซึ่ง
418 เครื่องมือวัดทั้งสองประเภท ต้องได้รับการสอบเทียบ เพื่อยืนยันความสามารถในการสอบกลับได้ทาง
419 มาตรฐานไปยังหน่วยวัดของอุณหภูมิ ซึ่งคือ เคลวิน

420 เครื่องวัดอุณหภูมิด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส สำหรับการวัดในช่วง
421 อุณหภูมิที่ต่ำในระดับประมาณ 25 องศาเซลเซียส มักนิยมสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับการวัดด้วย
422 เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานแพลตินัมมาตรฐาน (Standard Platinum Resistance Thermometer:
423 SPRT or PRT) ซึ่ง SPRT และ PRT นี้ ได้รับมาตราอุณหภูมิในหน่วยเคลวินมาจากเซลล์จุดกำเนิด
424 อุณหภูมิมาตรฐานแบบคงที่ (Fixed Point Cell) โดยในลำดับขั้นการสอบเทียบนี้ ต้องอาศัยมาตราของ
425 ความต้านทานในหน่วยโอห์ม เป็นปริมาณเชื่อมโยง โดยมาตราอุณหภูมิในเซลล์จุดกำเนิดอุณหภูมิ
426 มาตรฐานแบบคงที่นั้น ในปัจจุบันยังคงใช้การอ้างอิงจากการกำหนดของมาตราอุณหภูมิตั้งแต่
427 ประเทศปี ค.ศ. 1990 (International Temperature Scale 90: ITS-90) ซึ่งได้รับการยอมรับเป็น
428 มาตรฐานปฐมภูมิของหน่วยเคลวิน

429 ส่วนเทอร์โมคัปเปิลนั้น ต้องสอบเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน ซึ่งจะต้องสอบเทียบกับเซลล์
430 จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานแบบคงที่ โดยในลำดับขั้นการสอบเทียบนี้ ต้องอาศัยมาตราของความต่าง
431 ศักย์ไฟฟ้าในหน่วยโวลต์ เป็นปริมาณเชื่อมโยง



432

433

434

รูปภาพที่ 6-4 แสดงการสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาของการวัดแวล้อมของสภาวะมาตรฐานในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์