NSC-ONSC

Publication Reference GLA-26

ข้อแนะนำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพ ฯ 10400

โทรศัพท์ 0-2202-3491

โทรสาร 0-2354-3045

รายชื่อคณะทำงานจัดทำข้อแนะนำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ที่ปรึกษา

นางสาวสิวินีย์ สวัสดิ์อารี	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

กรรมการ

นางสาวบุษบา แซ่ลิ้ม	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
นางพจมาน ท่าจีน	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นายวันชัย ชินชูศักดิ์	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ร.ต.ชลิตคุ้มทวี	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางเนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
ร.อ.พิชัย มะคาทอง	ผู้ทรงคุณวุฒิ

กรรมการและเลขานุการ

นายมณฑล หอมกลิ่นเทียน	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางสาวณัฐฐินันท์ เลี่ยนกัตวา	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บทนำ

การประเมินความไม่แน่นอนการวัดเป็นกิจกรรมที่ดำเนินไปคู่กับการทำการวัด แบบจำลองการวัดเป็นตัวกลางที่เชื่อมการดำเนินการทั้งสอง ความละเอียดของแบบจำลองการวัดเกิดจากความเข้าใจการวัดและวัตถุประสงค์การนำผลการวัดไปใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจวัตถุประสงค์ของการนำผลการวัดไปใช้ให้ถ่องแท้ก่อนเริ่มออกแบบการวัด เพื่อจะได้ออกแบบการวัดให้สอดคล้อง นำไปสู่การสร้างแบบจำลองการวัดและการประเมินความไม่แน่นอนการวัดที่เหมาะสมต่อไป การจัดทำเอกสารนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อขยายความวิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดเพื่อให้เกิดความเข้าใจและการปฏิบัติในแนวทางเดียวกัน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการรับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบของสำนักงานคณะกรรมการการมาตรฐานแห่งชาติ โดยที่ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำไปใช้ประกอบการจัดทำขั้นตอนการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดของตนได้ อย่างไรก็ตาม การวัดแต่ละกรณีมีความเฉพาะเจาะจง ไม่ว่าจะมาจากระบบการวัด สภาพสิ่งแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ รวมถึงวัตถุประสงค์การนำผลการวัดไปใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังในการประเมินเพื่อออกแบบและดำเนินการวัด และในการประเมินความไม่แน่นอนการวัด ไม่สามารถลอกเลียนกันได้

สารบัญ

เอกสารวิชาการ
ข้อแนะนำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

1. วัตถุประสงค์

1.1 เอกสารนี้เป็นเพียงข้อแนะนำ รายละเอียดเนื้อหาของเอกสารนี้ไม่ให้นำไปบังคับใช้เช่นเดียวกับข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติตาม

1.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อขยายความวิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดเพื่อให้เกิดความเข้าใจและการปฏิบัติในแนวทางเดียวกัน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการรับรองห้องปฏิบัติการสอบเทียบของสำนักงานคณะกรรมการการมาตรฐานแห่งชาติ (Office of the National Standardization Council of Thailand, ONSC) และผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำไปใช้ประกอบการจัดทำขั้นตอนการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

2. ขอบข่าย

2.1 เอกสารนี้ใช้เป็นข้อแนะนำการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดในเบื้องต้นสำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

2.2 เอกสารนี้แสดงตัวอย่างการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดในบางสาขาการวัดเท่านั้น ผู้ปฏิบัติงานห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถนำข้อแนะนำการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดนี้ไปประยุกต์ใช้กับการวัดในสาขาอื่น ๆ ได้

2.3 เอกสารข้อแนะนำนี้สามารถนำไปใช้ร่วมกับเอกสารวิธีการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดอื่นที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างเป็นสากล

3. นิยาม

ความหมายของคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดซึ่งจะทำให้ผู้อ่านเข้าใจหลักการและแนวคิดของการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดมากยิ่งขึ้น โดยเนื้อหาของการนิยามศัพท์จะอ้างอิงตามเอกสารมาตรฐาน ประมวลศัพท์มาตรวิทยาระหว่างประเทศ – แนวคิดพื้นฐานและแนวคิดทั่วไป พร้อมคำศัพท์ที่เชื่อมสัมพันธ์ (วีไอเอ็ม) VIM 3rd Edition (EN-TH)แปลโดยทีมคณะทำงานจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย สำนักชั่งตวงวัด และผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานในระบบโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศ และตรวจรับรองโดยราชบัณฑิตยสถาน

3.1. ปริมาณ (VIM 1.1)

สมบัติของปรากฏการณ์ วัตถุ หรือสาร ที่มีขนาดซึ่งสามารถแสดงด้วยตัวเลขและสิ่งอ้างอิงได้

3.2. การวัด (VIM 2.1)

กระบวนการทางการทดลองที่ได้ผลเป็นค่าปริมาณค่าหนึ่งหรือมากกว่าโดยค่านี้สามารถเป็นตัวแทนของปริมาณหนึ่งได้อย่างสมเหตุสมผล

3.3. สิ่งที่เจตนาวัด(VIM 2.3)

ปริมาณที่ตั้งใจจะวัด

3.4. หลักการวัด (VIM 2.4)

ปรากฏการณ์ซึ่งถือว่าเป็นมูลฐานของการวัด

ตัวอย่างปรากฏการณ์เทอร์มออิเล็กทริกนำมาใช้ในการวัดอุณหภูมิ

<u>หมายเหตุ:</u>ปรากฏการณ์ในที่นี้สามารถเป็นปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์เคมีหรือชีวภาพ

3.5. วิธีการวัด (VIM 2.5)

คำบรรยายลักษณะโดยทั่วไปของการจัดการอย่างมีตรรกะ

<u>หมายเหตุ:</u>วิธีการวัดอาจทำได้หลายวิธีเช่นวิธีการวัดโดยการแทนที่วิธีการวัดผลต่างและวิธีการวัดเทียบศูนย์

3.6. ค่าจริง (VIM 2.11)

ค่าปริมาณที่คล้องจองกับนิยามของปริมาณ

3.7. ความแม่น (VIM 2.13)

ความใกล้เคียงของการเป็นไปตามกันระหว่างค่าปริมาณที่วัดได้กับค่าปริมาณจริงของสิ่งที่เจตนาวัด

3.8. ค่าแก้ (VIM 2.53)

การชดเชยสำหรับผลกระทบเชิงระบบที่ประมาณไว้

3.9. เงื่อนไขการทวนซ้ำได้ (VIM 2.20)

เงื่อนไขของการวัดจากชุดของเงื่อนไขที่รวมถึงวิธีดำเนินการวัดเดียวกันผู้ปฏิบัติงานคนเดียวกันระบบวัดเดียวกันเงื่อนไขการทำงานเดียวกันและสถานที่ปฏิบัติงานเดียวกันและการวัดซ้ำหลายๆครั้งบนวัตถุเดิมหรือที่มีลักษณะคล้ายเดิมในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

3.10. เงื่อนไขการทำซ้ำได้ (VIM 2.24)

เงื่อนไขของการวัดจากชุดของเงื่อนไขที่รวมถึงสถานที่ที่ต่างกันผู้ปฏิบัติงานที่ต่างกันระบบวัดที่ต่างกันและการวัดซ้ำหลายๆครั้งบนวัตถุเดิมหรือคล้ายเดิม

3.11. ความไม่แน่นอนของการวัด (VIM 2.26)

ตัวแปรเสริมที่ไม่มีค่าเป็นลบซึ่งใช้บ่งบอกลักษณะเฉพาะของการกระจายของค่าปริมาณของสิ่งที่เจตนาวัดขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้

3.12. การประเมินแบบเอ(VIM 2.28)

การประเมินองค์ประกอบของความไม่แน่นอนการวัดโดยการวิเคราะห์เชิงสถิติของค่าปริมาณที่วัดได้ซึ่งได้มาภายใต้เงื่อนไขการวัดที่นิยามไว้

3.13. การประเมินแบบบี(VIM 2.29)

การประเมินองค์ประกอบของความไม่แน่นอนการวัดโดยหาจากวิธีการอื่นที่นอกเหนือไปจากการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดแบบเอ

3.14. แบบจำลองการวัด(VIM 2.48)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณทั้งหมดที่ทราบว่าเกี่ยวข้องกับการวัด

3.15. ปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัด(VIM 2.50)

ปริมาณที่ต้องวัดหรือปริมาณที่มีค่าที่หาได้ทางใดทางหนึ่งเพื่อคำนวณค่าปริมาณที่วัดได้ของสิ่งที่เจตนาวัด

3.16. ปริมาณออกในแบบจำลองการวัด(VIM 2.51)

ปริมาณซึ่งค่าที่วัดได้มาจากการคำนวณโดยการใช้ค่าปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัด

3.17. ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (VIM 2.30)

ความไม่แน่นอนการวัดซึ่งแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.18. ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (VIM 2.31)

ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานซึ่งได้จากการใช้ความไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐานแต่ละตัวที่เชื่อมสัมพันธ์กับ ปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัด

3.19. ความไม่แน่นอนการวัดขยาย (VIM 2.35)

ผลคูณของความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวมและตัวประกอบที่มีค่ามากกว่าหนึ่ง

3.20. ตัวประกอบครอบคลุม (VIM 2.38)

ตัวเลขที่มีค่ามากกว่าหนึ่งที่นำมาคูณกับความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวมเพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนการวัดขยาย

3.21. ความน่าจะเป็นครอบคลุม (VIM 2.37)

ความน่าจะเป็นที่ชุดของค่าปริมาณจริงของสิ่งที่เจตนาวัดจะอยู่ภายในช่วงครอบคลุมที่ระบุ

3.22. ประมวลความไม่แน่นอน(VIM 2.33)

ประพจน์ของความไม่แน่นอนการวัดประพจน์ขององค์ประกอบของความไม่แน่นอนการวัดนั้นและประพจน์ของการคำนวณและการรวมกันขององค์ประกอบเหล่านั้น

4. มาตรฐานอ้างอิง

4.1 JCGM 100: 2008 (Guide to the expression of uncertainty in measurement).

4.2 ประมวลศัพท์มาตรวิทยาระหว่างประเทศ – แนวคิดพื้นฐานและแนวคิดทั่วไป พร้อมคำศัพท์ที่เชื่อมสัมพันธ์ (วีไอเอ็ม)VIM 3rd Edition (EN-TH),สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (แปล) ปี พ.ศ. 2552

4.3 ข้อแนะนำการสอบเทียบ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier calipers) GLA-21-00, 2558, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

4.4 ข้อแนะนำการตีความและการนำ EURAMET cg - 15 ไปใช้สอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์: GLA-24-00, 2562, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

5. การประเมินความไม่แน่นอนของการวัด

5.1. แนวคิดพื้นฐาน

วัตถุประสงค์ของการวัดคือการกำหนดค่าของสิ่งที่เจตนาวัด ดังนั้นการวัดจึงเริ่มต้นจากข้อกำหนดคุณลักษณะที่เหมาะสมของสิ่งที่เจตนาวัด วิธีการวัดและวิธีดำเนินการวัด

โดยทั่วไป ผลการวัดเป็นเพียงค่าประมาณของค่าของสิ่งที่เจตนาวัด จะสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อมีความไม่แน่นอนของค่าประมาณนั้นกำกับอยู่ด้วย

ในทางปฏิบัติ ข้อกำหนดคุณลักษณะ หรือคำจำกัดความของสิ่งที่เจตนาวัดได้รับการกำหนดผ่านความแม่นการวัดที่ประสงค์ สิ่งที่เจตนาวัดควรได้รับการนิยามอย่างสมบูรณ์เพียงพอสอดคล้องกับความแม่นที่ประสงค์ เพื่อให้ค่าของมันเป็นได้เพียงอย่างเดียว

ในหลายกรณี ผลการวัดได้รับการคำนวณจากอนุกรมของผลการสังเกตที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขสภาพทำซ้ำได้ ความแปรปรวนในผลการสังเกตจึงเกิดจากไม่สามารถควบคุมให้ปริมาณที่มีอิทธิพลต่อการวัดมีค่าคงที่ได้

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของการวัดซึ่งแปลงผลการสังเกตซ้ำๆ ไปเป็นผลการวัดจึงสำคัญอย่างยิ่งยวด โดยทั่วไป แบบจำลองคณิตศาสตร์ของการวัดจะรวมปริมาณที่มีอิทธิพลที่ยังไม่ทราบชัดเจนไว้ด้วย การขาดไปของความรู้ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งความไม่แน่นอนการวัดเช่นเดียวกับความแปรปรวนของผลการสังเกตและความไม่แน่นอนของตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์เอง

โดยทั่วไป การวัดมีความไม่สมบูรณ์ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในผลการวัด ในแง่นี้ความคลาดเคลื่อนเป็นแนวคิดเชิงอุดมคติและเป็นสิ่งที่ไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงได้ ตามธรรมเนียมที่มีมาแต่เดิม ความคลาดเคลื่อนได้รับการมองว่ามีที่มาจากสององค์ประกอบคือองค์ประกอบเชิงสุ่มและองค์ประกอบเชิงระบบ ประเด็นสำคัญในที่นี้คือ “ความคลาดเคลื่อน” และ “ความไม่แน่นอน” ไม่ใช่สิ่งเดียวกัน ไม่สามารถแทนกันได้ อาทิ ความไม่แนอนของค่าแก้ที่กระทำต่อผลการวัดเพื่อชดเชยผลกระทบเชิงระบบไม่ใช่ความไม่แน่นอนเชิงระบบ

5.2. ขั้นตอนการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ขั้นตอนที่ต้องปฏิบัติตามเพื่อการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดตามข้อแนะนำนี้แบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดแบบจำลองการวัด(ดูข้อ 5.3 ของข้อแนะนำนี้)
2) กำหนดแหล่งความไม่แน่นอนและประเมินค่าความไม่แน่นอน จากปริมาณนำเข้าของแต่ละปริมาณ(ดูข้อ 5.4 และ 5.5 ของข้อแนะนำนี้)
3) ประเมินความแปรปรวนร่วมของปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัด(ดูข้อ 5.6 ของข้อแนะนำนี้)
4) คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (ดูข้อ 5.6 ของข้อแนะนำนี้)
5) คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย (ดูข้อ 5.7ของข้อแนะนำนี้)
6) รายงานผลการวัด (output estimate) และค่าความไม่แน่นอนของการวัดขยาย พร้อมกับตัวประกอบครอบคลุมและระดับความเชื่อมั่น(ดูข้อ 5.8 ของข้อแนะนำนี้)

5.3. แบบจำลองการวัด

โดยทั่วไปปริมาณออกในแบบจำลองการวัด(Y) จะพิจารณาจากปริมาณเข้าN จำนวน โดยผ่านฟังก์ชัน (f)ใดๆ

$$Y = f(X_1, X_2, \cdots, X_N) \tag{5.1}$$

ซึ่งฟังก์ชันจะรวมทุกปริมาณเข้าที่เป็นองค์ประกอบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการวัด ดังนั้นค่าประมาณของปริมาณออก กำหนดให้เป็นy และจากสมการที่(5.1)ค่าประมาณเข้า$(x_1, x_2, \cdots x_n)$ของค่าปริมาณเข้าNจำนวน $X_1, X_2, \cdots, X_N$ เป็นผลให้ ค่าประมาณของปริมาณออกสามารถเขียนได้เป็น

$$y = f(x_1, x_2, \cdots, x_n) \tag{5.2}$$

ความไม่แน่นอนของการวัดประกอบด้วย 2 แบบคือ การประเมินแบบเอเป็นการประเมินองค์ประกอบของความไม่แน่นอนการวัดโดยการวิเคราะห์เชิงสถิติของค่าปริมาณที่วัดได้ และการประเมินแบบบี เป็นการประเมินวิธีอื่นๆที่ไม่ใช่การประเมินแบบเอ

5.4. การประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบเอ

เป็นวิธีการประเมินความไม่แน่นอนโดยการวิเคราะห์ทางสถิติของอนุกรมการสังเกตุซึ่งกระทำภายใต้สภาวะเดียวกันถ้าทำการวัดปริมาณใดปริมาณหนึ่งด้วยจำนวน n ครั้ง เราสามารถหาค่ากลางเลขคณิต (arithmetic mean) หรือค่าเฉลี่ย (average) ของปริมาณที่วัดได้ดังนี้

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} q_j \tag{5.3}$$

ดังนั้นความไม่แน่นอนของการวัดที่สมนัยกับค่าเฉลี่ยเราสามารถหาได้ 2 วิธี ดังนี้

5.4.1. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดลองของค่ากลาง (Experimental standard deviation of mean)

จากการวัดปริมาณใดปริมาณหนึ่งด้วยจำนวน n ครั้งดังนั้นการประมาณค่าความแปรปรวนของการแจกแจงความน่าจะเป็นคือความแปรปรวนการทดลอง(experimental variance) ของค่า q_j

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}\left(q_j - \bar{q}\right) \tag{5.4}$$

ถ้าทำการถอดรากของความแปรปรวนการทดลอง $s^2(q)$ ซึ่งจะได้เทอมของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดลอง (experimental standard deviation)

การประมาณความแปรปรวนของค่ากลางเลขคณิต คือความแปรปรวนการทดลองของค่ากลาง (experimental variance of the mean)

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q)}{n} \tag{5.5}$$

ดังนั้นถ้าทำการถอดรากของ$s^2(\bar{q})$จะทำให้ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดลองของค่ากลาง (experimental standard deviation of the mean) ซึ่งก็คือค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty)โดยจะสมนัยกับค่ากลางเลขคณิต $\bar{q}$

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) \tag{5.6}$$

$u(\bar{q})$คือความไม่แน่นอนมาตรฐาน

5.4.2. การประเมินค่าความไม่แน่นอนจากค่าประมาณรวมของความแปรปรวน (pooled estimate of variance) s_p^2

การประเมินค่าความไม่แน่นอนจากค่าประมาณรวมของความแปรปรวน s_p^2 เหมาะกับการวัดที่ทราบดีถึงลักษณะของระบบการวัดภายใต้การควบคุมทางสถิติจากอนุกรมการวัดอย่างดี สามารถประเมินได้จาก

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s_p^2}{m}$$

$$s(\bar{q}) = \frac{s_p}{\sqrt{m}} \qquad (5.7)$$

$$u(q_j) = \frac{s_p}{\sqrt{m}}$$

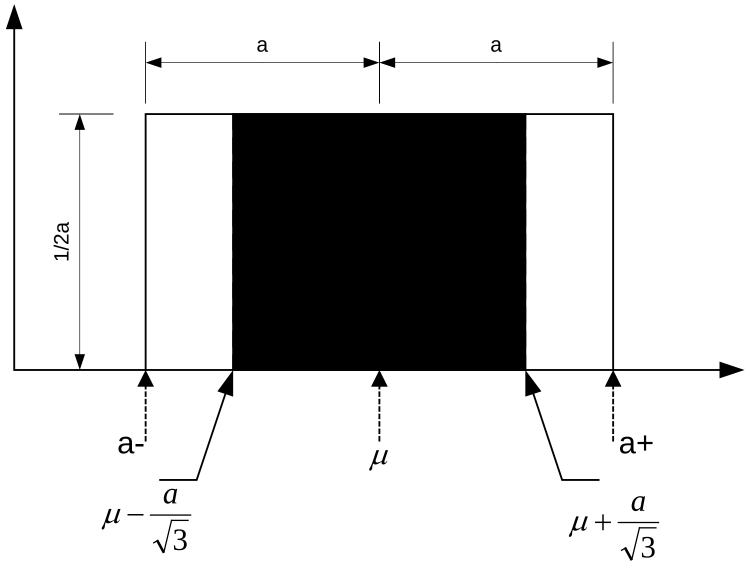
โดยที่ m คือ จำนวนการวัดครั้งใหม่

5.5. การประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบบี

เป็นวิธีการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยวิธีอื่นๆ ที่นอกเหนือจากการวิเคราะห์ทางสถิติของอนุกรมการสังเกต โดยข้อมูลส่วนใหญ่จะมาจาก ข้อมูลการวัดครั้งก่อน ข้อกำหนดจำเพาะของผู้ผลิต ใบรับรองการสอบเทียบ ประสบการณ์ เป็นต้นเมื่อพิจารณาความไม่แน่นอนแบบบี จะต้องเปลี่ยนความไม่แน่นอนกำหนด (quoted uncertainty)ให้ไปเป็นความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยกำหนดรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอน(the probability distribution of the uncertainty)

5.5.1. การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular probability distribution)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นรูปแบบที่ได้จากการแจกแจงของข้อมูลที่ความน่าจะเป็นของข้อมูลเท่าเทียมกันตลอดพิสัยที่กำหนด



รูปที่ 5.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เมื่อพิจารณาการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งมีครึ่งช่วง (semirange) เท่ากับ $+a$และ $-a$จากค่ากลาง พื้นที่ภายใต้การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับหนึ่ง โดยที่ความสูงของสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับ$1/2a$ในขณะเดียวกันความสูงของสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะเท่ากับฟังชั่นความหนาแน่น $P(x)$ (density function) ดังนั้นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับ

$$\sigma_{rec}^2 = \int_{-a}^{a} x^2 P(x)dx$$

$$\sigma_{rec}^2 = \int_{-a}^{a} x^2 \frac{1}{2a} dx \text{โดยที่} P(x) = \frac{1}{2a}$$

$$\sigma_{rec}^2 = \left[\frac{x^3}{6a}\right]_{-a}^{a} \tag{5.8}$$

$$\sigma_{rec}^2 = \frac{a^2}{3}$$

$$\sigma_{rec} = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{5.9}$$

ดังนั้นความไม่แน่นอนมาตรฐาน

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{5.10}$$

ขนาดของ aอาจแสดงได้เป็น$\sqrt{3}\sigma_{rec} = 1.732\sigma_{rec}$โอกาสของความไม่แน่นอน (probability of an uncertainty) ที่อยู่ระหว่างขอบเขต สำหรับการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะเท่ากับ

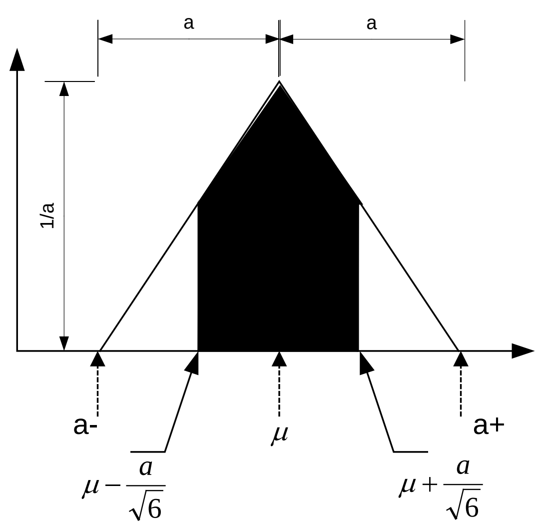
$$\int_{-\sigma_{rec}}^{\sigma_{rec}} P(x)dx = \int_{-\sigma_{rec}}^{\sigma_{rec}} \frac{1}{2a} dx$$
$$\int_{-\sigma_{rec}}^{\sigma_{rec}} P(x)dx = \int_{-\sigma_{rec}}^{\sigma_{rec}} \frac{1}{2\sqrt{3}\sigma_{rec}} dx \tag{5.11}$$
$$\int_{-\sigma_{rec}}^{\sigma_{rec}} P(x)dx = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.5770$$

ตัวอย่างเช่น ความแม่นของเครื่องวัดแรงดันมาตราฐานเท่ากับ +/-0.05% ดังนั้นครึ่งช่วงจะเท่ากับ 0.05% ความไม่แน่นอนมาตรฐานที่เป็นผลมาจากความแม่นของเครื่องมือมาตรฐานเท่ากับ

$$u(x_i) = \frac{0.05\%}{\sqrt{3}} \tag{5.12}$$

5.5.2. การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม (triangular probability distribution)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยมเป็นรูปแบบที่ทราบการกระจายของข้อมูลซึ่งมีความหนาแน่นอยู่ตรงกลางมากกว่าทั้งสองข้างของพิสัย



รูปที่ 5.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม

ดังนั้นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยมเท่ากับ

$$\sigma_{tri}^2 = \int_{-a}^{a} x^2 P(x)dx$$
$$\sigma_{tri}^2 = \int_{-a}^{0} x^2 \left(\frac{1}{a^2}x + \frac{1}{a}\right) dx + \int_{0}^{a} x^2 \left(-\frac{1}{a^2}x + \frac{1}{a}\right) dx \tag{5.13}$$

โดยที่

$$P(x) = \frac{1}{a^2}x + \frac{1}{a} \qquad , -a \le x \le 0$$

$$P(x) = -\frac{1}{a^2}x + \frac{1}{a} \qquad , 0 \le x \le a$$

$$P(x) = \left(\frac{1}{a^2}\cdot\frac{x^4}{4} + \frac{1}{a}\cdot\frac{x^3}{3}\right)\Bigg|_{-a}^{0} + \left(-\frac{1}{a^2}\cdot\frac{x^4}{4} + \frac{1}{a}\cdot\frac{x^3}{3}\right)\Bigg|_{0}^{a} = \frac{a^2}{6} \tag{5.14}$$

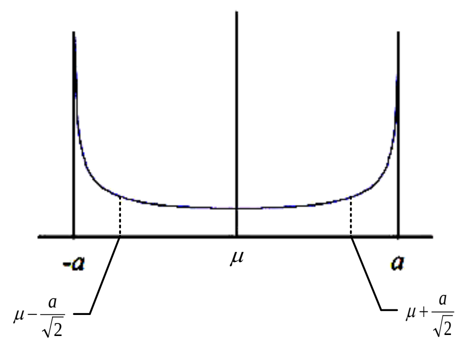
$$\sigma_{tri} = \frac{a}{\sqrt{6}} \tag{5.15}$$

ดังนั้นความไม่แน่นอนมาตรฐาน

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}} \tag{5.16}$$

5.5.3. การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบตัวยู (U-shape probability distribution)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบตัวยูเป็นการแจกแจงของข้อมูลที่ใช้ในงานสอบเทียบด้านไมโครเวฟโดยที่ Γ_S คือสัมประสิทธ์การสะท้อนของแหล่งจ่ายและ Γ_L คือสัมประสิทธ์การสะท้อนของโหลด

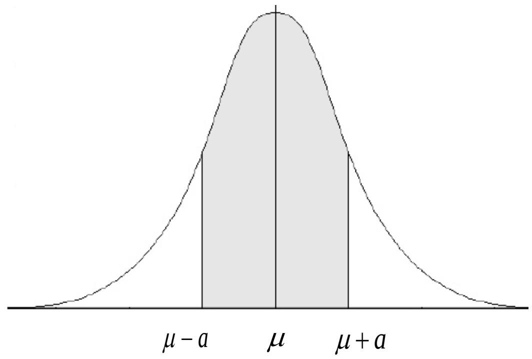


รูปที่ 5.3 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบตัวยู

$$u(x_i) = \frac{2\Gamma_S\Gamma_L}{\sqrt{2}} \tag{5.17}$$

5.5.4. การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (normal probability distribution)

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติเป็นรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลที่เป็นความไม่แน่นอนที่กำหนดช่วงของความเชื่อมั่นที่ 95% หรือที่ 99% โดยที่ความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้จะเท่ากับความไม่แน่นอนหารด้วยค่าตัวประกอบครอบคลุม *k* (coverage factor) ของการแจกแจงนั้น



รูปที่ 5.4 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ

5.6. ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม ใช้สัญลักษณ์เป็น $u_c(y)$ซึ่งคำนวณจากความไม่แน่นอนของการวัดมาตรฐาน$u(x_i)$ แต่ละตัวที่เชื่อมสัมพันธ์กับปริมาณเข้าx_iในแบบจำลองการวัดมาจากความไม่แน่นอนมาตรฐานสมการที่ได้จากการคำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมจะใช้การประมาณในรูปอนุกรมของเทย์เลอร์อันดับที่หนึ่ง (first order Taylor's series) ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า กฎของการแจกแจงความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) เมื่อใดที่ความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linearity) ของฟังก์ชันfมีนัยสำคัญจะทำให้เทอมในอันดับที่สูงขึ้น (higher-order) ในอนุกรมเทย์เลอร์จะถูกรวมเข้าไปใน$u_c^2(y)$ซึ่งจะเท่ากับ

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) \quad \textbf{(5.18)}$$

โดยที่ f เป็นฟังก์ชันในสมการ (5.2)

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$เป็นสัมประสิทธิ์สภาพไว (sensitivity coefficients)

ในบางครั้งเรากำหนดให้$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ใช้สัญลักษณ์$c_i$ดังนั้นในสมการที่ (5.18) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= \sum_{i=1}^{n} [c_i u(x_i)]^2 \\ &= \sum_{i=1}^{n} u_i^2(y) \end{aligned} \quad \textbf{(5.19)}$$

โดยที่

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad \textbf{(5.20)}$$

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad \textbf{(5.21)}$$

5.6.1. ปริมาณเข้าที่สหสัมพันธ์ (correlated input quantities)

ปริมาณเข้าที่สหสัมพันธ์กันหมายถึงปริมาณเข้า 2 ปริมาณหรือมากกว่าที่ขึ้นต่อกันหากปริมาณใดปริมาณหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้อีกปริมาณหนึ่งเปลี่ยนแปลงตาม การแสดงถึงความแปรปรวนรวม $u_c^2(y)$จะเท่ากับ

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j}u(x_i, x_j) \tag{5.22}$$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 u^2(x_i) + 2\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{\partial f}{\partial x_j}u(x_i, x_j) \tag{5.23}$$

โดยที่ $u(x_i, x_j)$คือ ความแปรปรวนร่วมประมาณ (estimated covariance) ระหว่าง x_i และx_j ดังนั้นปริมาณเข้า 2 ตัวแปรที่ขึ้นต่อกันจะถูกพิจารณาจาก

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)} \tag{5.24}$$

ดังนั้นถ้ากำหนดให้

$$u_i(y) = c_i u(x_i)$$
$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$
$$c_j = \frac{\partial f}{\partial x_j}$$

จากสมการที่ (5.23) เราจะได้

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{n} c_i^2 u^2(x_i) + 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=i+1}^{n} c_i c_i u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \tag{5.25}$$

ถ้าปริมาณเข้าขึ้นต่อกันแสดงด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r(x_i, x_j) = +1$ สมการที่ (5.25) จะได้เป็น

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= \left[\sum_{i=1}^{n} c_i u(x_i)\right]^2 \\ u_c^2(y) &= \left[\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f}{\partial x_i}u(x_i)\right]^2 \end{aligned} \tag{5.26}$$

ตัวอย่างเช่น การสอบเทียบเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานโดยใช้ตุ้มน้ำหนักรวมกันหลายตุ้มที่อยู่ในชุดเดียวกันเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ การพิจารณาหาค่าความไม่แน่นอนรวมต้องนำเอาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละตุ้มมารวมกันเช่น ความไม่แน่นอนของตุ้ม 5 kgโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 2kg, 2′kg, และ1kg มีค่าเท่ากับความไม่แน่นอนของตุ้ม 2kg, 2′kg, และ1kg รวมกัน โดยอยู่บนสมมุติฐานที่ว่ามีสหสัมพันธ์กัน

5.6.2. ปริมาณเข้าที่ไม่สหสัมพันธ์ (uncorrelated input quantities)

สมการความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมที่ได้กล่าวไว้ในสมการที่ 5.19 จะใช้ในกรณีที่ปริมาณเข้าที่ไม่สหสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณเข้าใดๆ กล่าวคือปริมาณเข้าเป็นอิสระต่อกัน

5.7. ความไม่แน่นอนขยาย

เป็นค่าที่กำหนดช่วงที่ผลการวัดมีการกระจายซึ่งแสดงคุณลักษณะของสิ่งที่ถูกวัดด้วยระดับความเชื่อมั่นความไม่แน่นอนขยายจะเท่ากับผลคูณของตัวประกอบครอบคลุม k กับความไม่แน่นอนรวม $u_c(y)$ ดังนั้น

$$U = ku_c(y) \tag{5.27}$$

5.7.1. ตัวประกอบครอบคลุม k

เพื่อให้ได้มาถึงค่าตัวประกอบครอบคลุมมีความจำเป็นต้องพิจารณาระดับขั้นความเสรีประสิทธิผล (effective degree of freedom) υ_{eff} ของ $u_c(y)$ ซึ่งได้มาจากสมการเวลแสทเทินเวท (welch-satterthwaite)

$$\upsilon_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^4(y)}{\upsilon_i}} \tag{5.28}$$

โดยที่ υ_i คือ ระดับขั้นความเสรีของความไม่แน่นอนมาตรฐานของปริมาณเข้า โดยปกติแล้วค่าที่คำนวณได้ของ υ_{eff} จะไม่เป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นเราจะต้องทำการเทียบบัญญัติไตรยางค์(interpolate) หรืออาจจะใช้ค่าที่ต่ำกว่าถัดไป

5.7.2. ระดับขั้นความเสรี

ระดับขั้นความเสรีจะสัมพันธ์กับความไม่แน่นอนมาตรฐาน ถ้าระดับขั้นความเสรีมาจากการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบเอ จะเท่ากับ$n-1$ โดยที่ nคือจำนวนการวัด แต่ถ้าระดับขั้นความเสรีมาจากการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบบีจะเท่ากับอนันต์อย่างไรก็ตามถ้าการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบบีมีรูปแบบการแจกแจงแบบทีทำให้ระดับขั้นความเสรีไม่เท่ากับอนันต์

5.7.3. การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที

ในบางกรณีผลการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบเอมีค่ามากกว่าผลการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบบี ทำให้ตัวประกอบครอบคลุมต้องอ้างอิงการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทีมากกว่าที่จะเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติดังนั้นค่าตัวแปรครอบคลุม k_pที่คำนวณได้มาจากตารางแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทีดังภาคผนวก ก

5.8. การรายงานผลของการวัด (reporting of results)

ในการรายงานผลการวัดในรายงานการสอบเทียบข้อมูลต่างๆจะต้องครอบคลุมถึง

- ปริมาณที่ถูกวัดและความไม่แน่นอนขยายควรจะรายงานในรูป$y \pm U$ และตามด้วยระดับความเชื่อมั่น
- ปกติความไม่แน่นอนจะรายงานในรูป (±) พร้อมด้วยหน่วยวัดของปริมาณที่ถูกวัดหรือเป็นค่าสัมพัทธ์

- จำนวนตัวเลขที่รายงานควรจะสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการวัดในทางปฏิบัติ
- ความไม่แน่นอนที่รายงานสามารถปัดขึ้นให้ได้ตัวเลขที่เหมาะสม หรือปัดลง ถ้าไม่ทำให้ลดความเชื่อมั่นของผลการวัดอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถรายงานได้ หนึ่งหรือสองตามหลักการพิจารณาเลขนัยสำคัญควรปัดเลขที่ขั้นตอนสุดท้ายของการคำนวณ

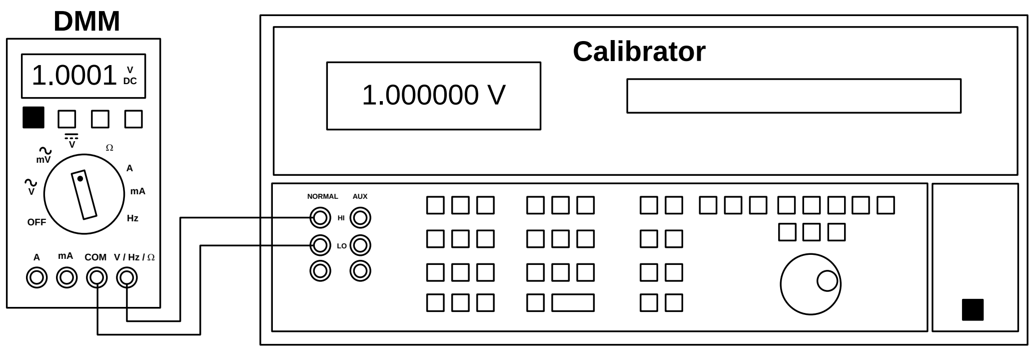
เอกสารภาคผนวก ก ตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที

Degree of freedom $\boldsymbol{v_i}$	Value of *k* from the *t*-distribution for degrees of freedom $\boldsymbol{v_i}$ that define an interval that encompasses specified fraction $\boldsymbol{p}$ of the corresponding distribution					
	P=68.27%	P=90.00%	P=95.00%	P=95.45%	P=99.00%	P=99.73%
1	1.84	6.31	12.71	13.97	63.66	235.78
2	1.32	2.92	4.30	4.53	9.92	19.21
3	1.20	2.35	3.18	3.31	5.84	9.22
4	1.14	2.13	2.78	2.87	4.60	6.62
5	1.11	2.02	2.57	2.65	4.03	5.51
6	1.09	1.94	2.45	2.52	3.71	4.90
7	1.08	1.89	2.36	2.43	3.50	4.53
8	1.07	1.86	2.31	2.37	3.36	4.28
9	1.06	1.83	2.26	2.32	3.25	4.09
10	1.05	1.81	2.23	2.28	3.17	3.96
11	1.05	1.80	2.20	2.25	3.11	3.85
12	1.04	1.78	2.18	2.23	3.05	3.76
13	1.04	1.77	2.16	2.21	3.01	3.69
14	1.04	1.76	2.14	2.20	2.98	3.64
15	1.03	1.75	2.13	2.18	2.95	3.59
16	1.03	1.75	2.12	2.17	2.92	3.54
17	1.03	1.74	2.11	2.16	2.90	3.51
18	1.03	1.73	2.10	2.15	2.88	3.48
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.45
20	1.03	1.72	2.09	2.13	2.85	3.42
25	1.02	1.71	2.06	2.11	2.79	3.33
30	1.02	1.70	2.04	2.09	2.75	3.27
35	1.01	1.69	2.03	2.07	2.72	3.23
40	1.01	1.68	2.02	2.06	2.70	3.20
45	1.01	1.68	2.01	2.06	2.69	3.18
50	1.01	1.68	2.01	2.05	2.68	3.16
100	1.01	1.66	1.98	2.03	2.63	3.08
∞	1.00	1.64	1.96	2.00	2.58	3.00

หมายเหตุ ค่า *k* ในตารางคำนวณจากฟังก์ชั่นในโปรแกรมเอ๊กเซล (Excel) คือ *=tinv(probability,deg_freedom)*
กำหนดให้ “probability” เท่ากับ 1 – P/100 โดยกำหนดให้ *P* คือระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด
เช่น degree of freedom 30 และ *P* = 95.45% ดังนั้น *k* “=tinv(0.0455,30)” = 2.09

(1) ตัวอย่างแสดงการคำนวณผลการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชนิดความละเอียด4 ½ หลัก

ขั้นตอนการปฏิบัติก่อนและระหว่างดำเนินการสอบเทียบให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด รวมทั้งการเลือกสายสัญญาณและขั้วต่อให้เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อผลการวัดดังรูปที่ข.1ผลการสอบเทียบดังตารางที่ ข.1 โดยกำหนดให้คาลิเบรเตอร์(calibrator)มีค่าความแม่น (accuracy) เท่ากับ 0.000020 V และผลการประเมินความไม่แน่นอนดังตารางที่ ข.2



รูปที่ ข.1 การสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ด้วยคาลิเบรเตอร์โดยวิธีวัดตรงผ่านทางสายสัญญาณ

ตารางที่ ข.1 ผลการวัด

Calibrator Setting ($V_{std\_setting}$)	DMM reading(V_{uuc_i})				ค่าเฉลี่ย ($V_{uuc\_ind\_averg}$)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
1.000 000 V	1.000 1 V	1.000 2 V	1.000 2 V	1.000 2 V	1.000 18 V

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดแบบจำลองการวัด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความคลาดเคลื่อนชี้บอกของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (indication error of DMM), *E*:

$$E = V_{uuc\_ind\_averg} - V_{std\_setting} + \delta V_{resolution}$$

โดยที่

$V_{uuc\_ind\_averg}$ คือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ชี้บอก (indicated voltage mean value of the DMM)

$V_{std\_setting}$ คือ แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานกำหนด (setting voltage of the calibrator)

$\delta V_{resolution}$ คือ ค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความละเอียดของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (correction due to the finite resolution of DMM)

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดแหล่งความไม่แน่นอนและประเมินค่าความไม่แน่นอน

2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบเอ

ผลการวัดซ้ำของค่าแรงดันไฟฟ้าจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ จำนวน 4 ครั้ง ดัง ตารางที่ ข.1

2.1.1 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยชี้บอกหาได้จากสมการ(5.3)

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} q_j = \frac{1}{4}(1.0001 + 1.0002 + 1.0002 + 1.0002)\text{V} = 1.00018\,V$$

2.1.2 หาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานแบบเอจากสมการ (5.4)(5.5) และ (5.6)

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1}\sum_{j}^{n}(q_j - \bar{q})^2 = \frac{1}{4-1}\left[\begin{array}{l}(1.0001-1.00018)^2 + (1.0002-1.00018)^2 + (1.0002-1.00018)^2 \\ +(1.0002-1.00018)^2\end{array}\right]$$

$$= 2.5\times10^{-9}\,\text{V}$$

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q)}{n} = \frac{2.5\times10^{-9}\,\text{V}}{4} = 6.25\times10^{-10}\,\text{V}$$

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} = 2.5\times10^{-5}\,\text{V}$$

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) = u(\text{V}_{\text{uuc\_ind\_averg}}) = 0.000025\text{V}$$

กำหนดให้มีรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ

2.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิดบี

2.2.1 แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานกำหนด ($V_{std\_setting}$)

ไม่ทำการค่าแก้ที่เกิดขึ้นจากความแม่นของเครื่องมือมาตรฐาน จากข้อกำหนดทางเทคนิคของผู้ผลิตกำหนดให้ความแม่น 0.000020 V ดังนั้นความไม่แน่นอนมาตรฐานที่เกิดขึ้นจากความแม่นของเครื่องมือวัดมาตรฐาน $u(V_{std\_setting})\ \frac{0.000020\ \text{V}}{\sqrt{3}} = 0.000012\text{V}$ กำหนดให้มีรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.2.2 ค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความละเอียด($\delta V_{resolution}$)

ไม่ทำการค่าแก้ที่เกิดขึ้นจากความละเอียดของเครื่องมือดังนั้นความละเอียดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์อ่านได้เท่ากับ 0.000 1 V เป็นเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการปัดค่าซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง - 0.000 05 V และ + 0.000 05 V ดังนั้นความไม่แน่นอนมาตรฐานที่เกิดขึ้นจากความละเอียดของเครื่องมือ$u(\delta V_{resolution})$ เท่ากับ $\frac{0.00005V}{\sqrt{3}} = 0.000029V$ กำหนดให้มีรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินความแปรปรวนร่วมของปริมาณนำเข้า

กำหนดปริมาณนำเข้า$V_{uuc_ind_averg}$, $\delta V_{resolution}$ และ $V_{std_setting}$ไม่มีสหสัมพันธ์

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

จากแบบจำลองการวัดในขั้นตอนที่ 1

4.1 หาค่าสัมประสิทธิ์สภาพไวจากสมการ (5.21) ของปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัดแต่ละปริมาณ

$$C_1 = \frac{\partial E}{\partial V_{uuc\_ind\_averg}} = \frac{\partial(V_{uuc\_ind\_averg} - V_{std\_setting} + \delta V_{resolution})}{\partial V_{uuc\_ind\_averg}} = 1$$

$$C_2 = \frac{\partial E}{\partial V_{std\_setting}} = \frac{\partial(V_{uuc\_ind\_averg} - V_{std\_setting} + \delta V_{resolution})}{\partial V_{std\_setting}} = -1$$

$$C_3 = \frac{\partial E}{\partial \delta V_{resolution}} = \frac{\partial(V_{uuc\_ind\_averg} - V_{std\_setting} + \delta V_{resolution})}{\partial \delta V_{resolution}} = 1$$

4.2 คำนวณหาค่าความไม่แน่นอนรวมภายใต้เงื่อนไขปริมาณนำเข้าไม่มีสหสัมพันธ์จากสมการ (5.19)

$$u_c^{\,2}(y) = \sum_{i=1}^{n}\left[c_i u(x_i)\right]^2 = \left[c_1 u(V_{uuc\_ind\_averg})\right]^2 + \left[c_1 u(V_{std\_setting})\right]^2 + \left[c_1 u(\delta V_{resolution})\right]^2$$

$$u_c^{\,2}(y) = \left[1\times 0.000025\,\mathrm{V}\right]^2 + \left[(-1)\times 0.000012\,\mathrm{V}\right]^2 + \left[1\times 0.000029\,\mathrm{V}\right]^2$$

$$u_c(y) = \sqrt{\left[1\times 0.000025\,\mathrm{V}\right]^2 + \left[(-1)\times 0.000012\,\mathrm{V}\right]^2 + \left[1\times 0.000029\,\mathrm{V}\right]^2} = 39.9\times 10^{-6}\,\mathrm{V}$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย

5.1 หาค่าระดับขั้นความเสรีประสิทธิผลจากสมการ (5.28) เพื่อหาค่าตัวประกอบครอบคลุม *k* ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

$$\upsilon_{eff} = \frac{u_c^{\,4}(y)}{\sum_{i=1}^{n}\frac{u_i^{\,4}(y)}{\upsilon_i}} = \frac{\left(39.9\times 10^{-6}\,\mathrm{V}\right)^4}{\frac{\left(25\times 10^{-6}\,\mathrm{V}\right)^4}{4-1} + \frac{\left(12\times 10^{-6}\,\mathrm{V}\right)^4}{\infty} + \frac{\left(29\times 10^{-6}\,\mathrm{V}\right)^4}{\infty}} = 19$$

5.2 จากตารางแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที ในภาคผนวก ก ถ้ากำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นประมาณ95 % คำนวณหาค่า *k*เท่ากับ 2.14

Degree of freedom υ_i	Value of $t_p(\upsilon)$ from the *t*-distribution for degrees of freedom υ_i that define an interval that encompasses specified fraction p of the corresponding distribution					
	P=68.27%	P=90.00%	P=95.00%	P=95.45%	P=99.00%	P=99.73%
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.45

หมายเหตุ ระดับความเชื่อมั่นประมาณ95 % คือ ระดับความเชื่อมั่น 95.45 %

5.3 ค่าความไม่แน่นอนขยายจากสมการ (5.27) U = 2.14 x 39.9x10^{-6} V = 85.4x10^{-6} V

แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนแสดงได้ดังตาราง ข.1

ตารางที่ ข.2 แสดงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ95 %

Quantity (x_i)	Source of Uncertainty	Estimate (x_i)	Value	Probability Distribution	Divisor	c_i	Standard Uncertainty $u_i(y)$	v_i or v_{eff}
$V_{UUC\_ind\_av}$	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ชี้บอก	1.000 18 V	25×10^{-6} V	Normal	1	1	25×10^{-6} V	3
$V_{std\_setting}$	แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานกำหนด	1.000 000 V	2×10^{-5} V	Rectangular	$\sqrt{3}$	-1	-12×10^{-6} V	∞
$\delta V_{resolution}$	ค่าแก้แรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความละเอียดของ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	0.000 0 V	5×10^{-5}	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	29×10^{-6} V	∞
			$u_c(y)$	t-distribution			**39.9×10^{-6} V**	**19**
E	ความคลาดเคลื่อนชี้บอกของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Indication Error of DMM)	0.00018 V	U	t-distribution (k = 2.14)			**85.4×10^{-6} V**	**19**

ขั้นตอนที่ 6 รายงานผลการวัดโดยประมาณ และความไม่แน่นอนของการวัดขยาย

การรายงานผลการวัด DC voltage ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ95 %, k = 2.14

Range	Applied Input	Indicated Value	Error	Uncertainty
1 V	1.000 000 V	1.000 2 V	2×10^{-4} V	0.85×10^{-4} V*

*หมายเหตุ ค่าความไม่แน่นอนขยายที่รายงาน0.85×10^{-4} V เป็นผลมาจากการปัดเศษทิ้งของจำนวน0.004×10^{-6} Vซึ่งไม่ทำให้ลดความเชื่อมั่นของผลการวัดอย่างมีนัยสำคัญ (ความคลาดเคลื่อนลดลงเพียง 0.47 %) ตามภาคผนวก จ (2)

เอกสารภาคผนวก ค ตัวอย่างการประเมินความไม่แน่นอนของการวัด สาขามิติ

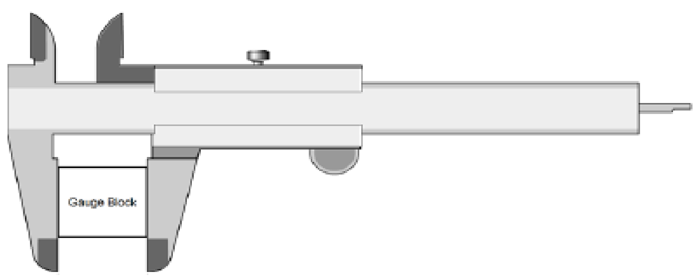
(1) ตัวอย่างแสดงการคำนวณผลการการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

ตัวอย่างแสดงการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์, Dial and Digital Calipersขนาด0 mmถึง 1000 mmด้วยเกจบล็อก(Gauge Block)(อ้างอิงตามเอกสารข้อแนะนำการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier calipers) GLA-21/2558)

สอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์, Dial and Digital Calipersชนิดวัดนอก (External Measurement) กำหนดจุดสอบเทียบไม่น้อยกว่า 5 จุดโดยครอบคลุมช่วงพิสัยการวัดทั้งสเกลหลักและสเกลย่อย

หมายเหตุ ตัวอย่างพิสัยการวัด 0 mm ถึง 150 mm เช่น 10.3m, 22.8mm, 50mm, 100mm, 150 mm ตัวอย่างพิสัยการวัด 0 mm ถึง 300 mm เช่น 10.3mm, 22.8mm, 100mm, 200mm, 300 mm

วางเกจบล็อกระหว่างผิวสัมผัสปากวัดนอกของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์เลื่อนให้ผิวหน้าสัมผัสปากวัดนอกของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์สัมผัสเกจบล็อกอ่านค่าจากเวอร์เนียร์ ดังรูปที่ ค.1 และบันทึกผลการวัดดังตาราง ค.1



รูปที่ ค.1 การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ด้วยเกจบล็อก

ตารางที่ ค.1 ผลการวัด

ความยาวของเกจบล็อก l_s	ค่าที่อ่านได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์				ค่าเฉลี่ย l_x
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
300.00012 mm	300.01 mm	300.00 mm	300.00 mm	300.00 mm	300.0025 mm

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> กำหนดแบบจำลองการวัด

สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของค่าแก้ (correction) ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดนอกและสาเหตุที่ทำให้ผลการวัดเกิดความไม่แน่นอนดังแบบจำลองการวัดที่แสดง

$$C_x = l_s - l_x + \delta l_{ds} - L \times \bar{\alpha} \times \Delta t + \delta l_{ix} - \delta l_M$$

โดยที่

C_x	ค่าแก้ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
l_s	ความยาวของเกจบล็อกที่อุณหภูมิอ้างอิง 20°C (***t**₀*= 20°C)
l_x	ความยาวที่อ่านได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
δl_{ds}	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจากการเลื่อนค่าของเกจบล็อก
L	ค่าความยาวที่ระบุ (Nominal Lengthinmm)
$\bar{\alpha}$	ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์กับเกจบล็อก
Δt	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์กับเกจบล็อก(ใช้ค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิ ±2°C)
δl_{ix}	ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากความละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
δl_M	ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากโครงสร้างของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินค่าความไม่แน่นอนของปริมาณนำเข้า

2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบเอ

ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดซ้ำ$u(l_x)$จากสมการข้างบน

2.1.1 หาค่าเฉลี่ย($\bar{x}$)จากการสอบเทียบกับเกจบล็อกขนาด 300 mmเมื่อจำนวนการวัด *n*เท่ากับ 4 ครั้ง

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j = \frac{1}{4}(300.01 + 300.00 + 300.00 + 300.00) = 300.0025\ mm$$

2.1.2 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$s^2(x) = \sigma_{n-1}^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(x_j - \bar{x})^2$$

$$s^2(x) = \frac{1}{(4-1)}[(300.01 - 300.00)^2 + (300.00 - 300.00)^2 + (300.00 - 300.00)^2 + (300.00 - 300.00)^2]$$

$$s(x) = 5.0 \times 10^{-3} mm$$

2.1.3 หาค่าความไม่แน่นอนแบบเอ

$$u(l_x) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = \frac{5.0 \times 10^{-3}}{\sqrt{4}} = 2.5 \times 10^{-3} mm$$

กำหนดให้มีรูปแบบการแจกแจงเป็นแบบปกติ

2.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบบี

2.2.1 จากใบรับรองผลการสอบเทียบเกจบล็อกl_s= 300.00012 mmโดยมีค่าความไม่แน่นอนขยายเท่ากับ 0.00032 mm ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95%

$$u(l_s) = \frac{U}{k} = \frac{0.00032}{2} = 0.00016\,mm$$

จากใบรับรองการสอบเทียบมีการแจกแจงแบบปกติ

2.2.2 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความเสถียรภาพ (Stability) ของเกจบล็อก;$\boldsymbol{u(\delta l_{ds})}$เนื่องจากเกจบล็อกที่ใช้มีทั้งเกรด 1 และเกรด 2ดังนั้นจึงใช้ค่าความเสถียรภาพเชิงมิติ (Dimensional stability)ตามมาตรฐาน ISO 3650 : 1998 เกจบล็อกเกรด 1 ในการประเมินค่าความไม่แน่นอน กำหนดให้มีการแจกแจงเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u(\delta l_{ds}) = \frac{0.05\mu m + (0.5 \times 10^{-6} \times L \times Y)}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{0.00005 + (0.5 \times 10^{-6} \times 300 \times 1)}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{0.0002mm}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.00012\,mm$$

L: ค่าระบุที่เกจบล็อกขนาด300 mm

Y: ช่วงระยะเวลาของการส่งสอบเทียบของเกจบล็อกจำนวน 1 ปี

2.2.3 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิ กำหนดให้มีการแจกแจงเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า;$\boldsymbol{u(\Delta t)}$

$$u(\Delta t) = \frac{\Delta t \times L \times \bar{\alpha}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \times 300 \times (10.95 \times 10^{-6})}{\sqrt{3}}$$

Δt : ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์กับเกจบล็อก(ใช้ค่าการแปรปรวนของอุณหภูมิ ±2̊C)

L:ค่าระบุที่เกจบล็อกขนาด300 mm

$\bar{\alpha}$: ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์α_xและเกจบล็อกα_s

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_s + \alpha_x}{2} = \frac{(10.2 + 11.7) \times 10^{-6}}{2} = 10.95 \times 10^{-6}\,°C^{-1}$$

2.2.4 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์; $\boldsymbol{u(\delta l_{ix})}$กำหนดให้มีการแจกแจงเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u(\delta l_{ix}) = \frac{Resolution of caliper/2}{\sqrt{3}} = \frac{0.01/2}{\sqrt{3}} = 0.0029\, mm$$

2.2.5 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากโครงสร้าง (Mechanical effects) ของ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์;$\boldsymbol{u(\delta l_M)}$เช่น แรง (Force), ความคลาดเคลื่อนแอ็บเบ(Abbe error)และความคลาดเคลื่อนจากความเรียบและความขนานของหน้าสัมผัสปากวัด(Flatness and parallel error of measurement faces) เป็นต้น กำหนดให้มีการแจกแจงเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$u(\delta l_M) = \frac{Mechanical effects}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058\, mm$$

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินความแปรปรวนร่วม ของปริมาณนำเข้า

กำหนดให้ปริมาณนำเข้าไม่มีสหสัมพันธ์

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

4.1 หาค่าสัมประสิทธิ์สภาพไว จากสมการ (5.21) ของปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัดแต่ละปริมาณ

$$c_1 = \frac{\partial C_x}{\partial l_s} = \frac{\partial(l_s - l_x + \delta l_{ds} - L\times\overline{\alpha}\times\Delta t + \delta l_{is} - \delta l_M)}{\partial l_s} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial C_x}{\partial l_x} = \frac{\partial(l_s - l_x + \delta l_{ds} - L\times\overline{\alpha}\times\Delta t + \delta l_{is} - \delta l_M)}{\partial l_x} = -1$$

$$c_3 = \frac{\partial C_x}{\partial \delta l_{ds}} = \frac{\partial(l_s - l_x + \delta l_{ds} - L\times\overline{\alpha}\times\Delta t + \delta l_{is} - \delta l_M)}{\partial \delta l_{ds}} = 1$$

$$c_4 = \frac{\partial C_x}{\partial \Delta t} = \frac{\partial(l_s - l_x + \delta l_{ds} - L\times\overline{\alpha}\times\Delta t + \delta l_{is} - \delta l_M)}{\partial \Delta t} = -L\times\overline{\alpha} = -3.3\times 10^{-3}$$

$$c_5 = \frac{\partial C_x}{\partial \delta l_{ix}} = \frac{\partial(l_s - l_x + \delta l_{ds} - L\times\overline{\alpha}\times\Delta t + \delta l_{is} - \delta l_M)}{\partial \delta l_{ix}} = 1$$

$$c_6 = \frac{\partial C_x}{\partial \delta l_M} = \frac{\partial(l_s - l_x + \delta l_{ds} - L\times\overline{\alpha}\times\Delta t + \delta l_{is} - \delta l_M)}{\partial \delta l_M} = -1$$

4.2 คำนวณหาค่าความไม่แน่นอนรวมภายใต้เงื่อนไขปริมาณนำเข้าไม่มีสหสัมพันธ์จากสมการ (5.19)

$$u_c(y) = \sqrt{c_1^2 u^2(l_s) + c_2^2 u^2(l_x) + c_3^2 u^2(\delta l_{ds}) + c_4^2 u^2(\Delta t) + c_5^2 u^2(\delta l_{ix}) + c_6^2 u^2(\delta l_M)}$$

$$u_c(y) = \sqrt{\begin{array}{l}(1)^2(0.00016)^2 + (-1)^2(2.5\times 10^{-3})^2 + (1)^2(0.00012)^2 + \\ (-3.3\times 10^{-3})^2(1.15)^2 + (1)^2(0.0029)^2 + (-1)^2(0.0058)^2\end{array}}$$

$$u_c(y) = 0.0074\, mm$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย

5.1 ตัวประกอบครอบคลุมk จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงค่าระดับขั้นความเสรีประสิทธิผล ν_{eff}ของ $u_c(y)$ซึ่งได้จากสมการ

$$\upsilon_{eff}=\frac{u_c^{\,4}(y)}{\sum_{i=1}^{n}\frac{u_i^{\,4}(y)}{\upsilon_i}}=\frac{\left(7.9\times10^{-3}mm\right)^4}{\frac{\left(-2.5\times10^{-3}mm\right)^4}{4-1}+\frac{\left(160\times10^{-3}mm\right)^4}{\infty}+\frac{\left(120\times10^{-3}mm\right)^4}{\infty}+\frac{\left(-3.8\times10^{-3}mm\right)^4}{\infty}+\frac{\left(2.9\times10^{-3}mm\right)^4}{\infty}+\frac{\left(5.8\times10^{-3}mm\right)^{4}}{\infty}^{4}}$$
$$=299$$

5.2 จากตารางแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที ในภาคผนวก ก ถ้ากำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นประมาณที่ 95 % คำนวณหาค่า *k* เท่ากับ 2.01

Degree of freedom υ_i	Value of $t_p(\upsilon)$ from the t-distribution for degrees of freedom υ_i that define an interval that encompasses specified fraction *p* of the corresponding distribution					
	P=68.27%	P=90%	P=95%	P=95.45%	P=99%	P=99.73%
299	1.00	1.65	1.97	2.01	2.59	3.03

5.3 ค่าความไม่แน่นอนขยาย

ดังนั้น$U = ku_c(y) = 2.01 \times 0.0079 = 0.01588$mm

แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนแสดงได้ดังตารางที่ ค. 2

ตารางที่ ค.2 แสดงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ95 %

Quantity (x_i)	Source of Uncertainty	Estimate (x_i)	Value	Probability Distribution	Divisor	c_i	Standard Uncertainty $u_i(y)$	v_i or v_{eff}
l_x	Vernier caliper	300.0025 mm	0.0025mm	Normal	1	-1	-0.0025 mm	3
l_s	Gauge block (GB)	300.00012mm	0.00032 mm	Normal	2	1	0.00016 mm	∞
δl_{ds}	Stability of GB	0.00000 mm	0.00021 mm	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.00012 mm	∞
L	NominalLength	300 mm						
$\bar{\alpha}$	Temperature expansion	$10.95\times10^{-6}\,^{\circ}C^{-1}$						
Δt	Temperature effect	$0^{\circ}C$	$2^{\circ}C$	Rectangular	$\sqrt{3}$	-0.0033	-0.0038 mm	∞
δl_{ix}	Resolution of Vernier caliper	0.0 mm	0.005 mm	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.0029 mm	∞
δl_M	Mechanical effect	0.0 mm	0.01 mm	Rectangular	$\sqrt{3}$	-1	-0.0058 mm	∞
			$u_c(y)$	Normal			0.0079	299
C_x	Correction	-0.00238 mm	U	Normal (k = 2.01)			0.01588	299

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> รายงานผลการวัดโดยประมาณ และความไม่แน่นอนของการวัดขยาย

การรายงานผลการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ95 %, k= 2.0

Nominal value	Correction	Uncertainty
300 mm	-0.002 mm	0.016mm

หมายเหตุ

ปกติการรายงานผลสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ใช้วิธีคำนวณหาค่าแก้แบบนี้

$$correction(c_i) = Standard(GB) - Reading(\bar{x})$$
$$Nominal + C_s = Reading + C_i$$

ดังนั้นค่า C_iจะได้

$$C_i = 300.00012 \text{ mm} - 300.0025 \text{ mm} = -0.00238 \text{ mm}$$

เมื่อนำค่าในรายงานไปใช้

$$Nominal + C_i = 300 \text{ mm} + (-0.00238\, mm) = 299.99762 \text{ mm}$$

เอกสารภาคผนวก ง หลักการพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญ

คือ ตัวเลขที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือที่เป็นสเกล โดยเลขทุกตัวที่บันทึกจะมีความหมายส่วนความสำคัญของตัวเลขจะไม่เท่ากัน ดังนั้นเลขทุกตัวจึงมีนัยสำคัญ ตามความเหมาะสม เช่น วัดความยาวของไม้ท่อนหนึ่งได้ยาว 121.54 เซนติเมตร เลข 121.5 เป็นตัวเลขที่วัดได้จริง ส่วน 0.04 เป็นตัวเลขที่ประมาณขึ้นมา เราเรียกตัวเลข121.54 นี้ว่า เลขนัยสำคัญ และมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

หลักการพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญดังต่อไปนี้

1) เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ซ้ายมือสุดหน้าตัวเลข

เช่น 0.1 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

0.01 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

0.0152 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

2) เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ระหว่างตัวเลขถือเป็นเลขนัยสำคัญ

เช่น 101 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

1.002 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

3) เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ท้ายแต่อยู่ในรูปเลขทศนิยม ถือว่าเป็นเลขนัยสำคัญ

เช่น 1.20 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

2.400 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

4) เลข 0 (ศูนย์) ที่ต่อท้ายเลขจำนวนเต็ม ถ้าจะนับเป็นเลขนัยสำคัญต้องระบุไว้

เช่น 120 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

120 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

200 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

200 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

200 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

5) เลข 10 ที่อยู่ในรูปยกกำลัง ไม่เป็นเลขนัยสำคัญ

เช่น 1.30×10^4 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

2.501×10^6 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

เอกสารภาคผนวก จ การปัดเศษของจำนวนและค่าความไม่แน่นอนของการวัด

1) การปัดเศษของจำนวน

   ถ้าจำนวนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 ตัวเลขที่อยู่หน้าให้ปัดค่าเพิ่มอีกหนึ่งค่า และ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 5 ให้ปัดเศษทิ้งเช่น 1.2364 ต้องการตัวเลขที่มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 2 คำตอบคือ 1.2 แต่ถ้าต้องการตัวเลขที่มีเลขนัยสำคัญเท่ากับ 3 คำตอบคือ 1.2364 คือ 1.24

2) การปัดเศษของค่าความไม่แน่นอนของการวัด

   ผลการวัดจะรายงานเป็นตัวเลขโดยประมาณของค่าปริมาณที่เจตนาจะวัด Y และตัวเลขค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม$u_c(y)$หรือตัวเลขค่าความไม่แน่นอนขยาย Uโดยจำนวนตัวเลขที่ไม่มากเกินความจำเป็น โดยปกติการรายงานค่าความไม่แน่นอนขยายที่พอเพียง จะรายงานค่าความไม่แน่นอนขยายได้อย่างมากสองเลขนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาด้านการปัดเศษค่าความไม่แน่นอนของการวัดอาจจะบันทึกตัวเลขมากกว่าสองนัยสำคัญเพื่อการคำนวณต่อไปข้างหน้า

   ในการรายงานผลการวัดสุดท้าย ค่าความไม่แน่นอนของการวัด อาจจะเหมาะสมกว่าหากจะปัดเศษขึ้นมากกว่าการปัดเศษลงไปยังค่าที่ใกล้เคียง ตัวอย่างเช่น $U = 9.45\ \mathrm{m\Omega}$จะรายงานเป็น $10\ \mathrm{m\Omega}$ (เนื่องจากผลจากการปัดเศษทิ้งทำให้ลดความเชื่อมั่นผลการวัดอย่างมีนัยสำคัญ คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 5%) อย่างไรก็ตามค่าปริมาณนำเข้าโดยประมาณ $u(x_i) = 28.05\ \mathrm{kHz}$จะปัดเศษลงเป็น 28 kHz (เนื่องจากผลจากการปัดเศษทิ้งทำให้ไม่ลดความเชื่อมั่นของผลการวัดอย่างมีนัยสำคัญคือน้อยกว่า 5%)

3) การรายงานผลการวัด

   ปริมาณนำเข้าและปริมาณที่ได้จากการวัดควรปัดเศษให้สอดคล้องกับค่าความไม่แน่นอนของการวัด เช่น ถ้าค่าที่วัดได้คือ $10.057\,62\ \Omega$ และมีค่า Uประมาณ $0.027\ \Omega$ ผลการวัดควรรายงานโดยปัดเศษไปที่ $(10.058 \pm 0.027)\ \Omega$