ประกาศกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เรื่อง หลักเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน
ส่วนที่ 3 : วิธีการสอบเทียบเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินแบบนำเสียงผ่านอากาศ
ใช้ร่วมกับหูฟังชนิดใส่ในช่องหู
เลขที่ กมว. 2-3:2566

โดยที่เป็นการสมควรให้มีหลักเกณฑ์มาตรฐานสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สำหรับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินส่วนที่ 3 : วิธีการสอบเทียบเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินแบบนำเสียงผ่านอากาศ ใช้ร่วมกับหูฟังชนิดใส่ในช่องหู

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๑ (๓) และมาตรา ๒๘ แห่งพระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๐ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๙ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการมาตรวิทยาแห่งชาติ ในการประชุมครั้งที่ ๑/๒๕๖๗ เมื่อวันที่ ๘ มกราคม ๒๕๖๗ จึงออกประกาศกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน ส่วนที่ 3 : วิธีการสอบเทียบเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินแบบนำเสียงผ่านอากาศ ใช้ร่วมกับหูฟังชนิดใส่ในช่องหู เลขที่ กมว. 2-3:2566 ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๗
ศุภมาส อิศรภักดี
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

หลักเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน ส่วนที่ 3 : วิธีการสอบเทียบเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินแบบนำเสียงผ่านอากาศ ใช้ร่วมกับหูฟังชนิดใส่ในช่องหู

1. ขอบเขต

หลักเกณฑ์มาตรฐานฉบับนี้ อธิบายถึงการสอบเทียบเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินแบบนำเสียงผ่านอากาศ ใช้ร่วมกับหูฟังชนิดครอบใบหู รายละเอียดเนื้อหาครอบคลุม การเตรียมการสำหรับการสอบเทียบ พารามิเตอร์ที่จะสอบเทียบ จุดสอบเทียบ ขั้นตอนการสอบเทียบ การคำนวณผลการสอบเทียบ การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) ใบรับรองการสอบเทียบ การทวนสอบและเกณฑ์การยอมรับ (acceptance limit) หลักเกณฑ์มาตรฐานฉบับนี้มีพื้นฐานมาจากมาตรฐาน IEC 60645-1:2017

2. เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงต่อไปนี้ จะเป็นฉบับปัจจุบันและเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้กับหลักเกณฑ์มาตรฐานนี้

ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

JCGM 100 Evaluation of Measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

JCGM 200 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)

JCGM 200 ประมวลศัพท์มาตรวิทยาระหว่างประเทศ – แนวคิดพื้นฐานและแนวคิดทั่วไป พร้อมคำศัพท์ที่เชื่อมสัมพันธ์ (วีไอเอ็ม)

ISO 80000-1 Quantities and units – Part 1: General

IEC 60645-1 Electroacoustics – Audiometric equipment Part 1 : Equipment for pure-tone audiometer

IEC 60318-4 Electroacoustics – Simulators of human head and ear – Part 4 : Occluded-ear simulator for the measurement of earphones coupled to the ear by means of ear inserts

IEC 60318-5 Electroacoustics – Simulators of human head and ear – Part 5 : 2 cm3 coupler for the measurement of hearing aids and earphones coupled to the ear by means of ear inserts

ISO 389-2 Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 2 : Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and insert earphones

ISO 389-4 Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 4 : Reference levels for narrow-band masking noise

ISO 389-5 Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 5 : Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones in the frequency range 8 kHz to 16 kHz

IEC 61260-1 Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters – Part 1 : Specifications

IEC 60942 Electroacoustics-Sound Calibrator

IEC 61094-4 Measurement microphones – Part 4: Specifications for working standard microphones

3. นิยาม

3.1 ระดับความดันเสียง (sound pressure level)

สัดส่วนเชิงลอการิทึมของความดันเสียง (sound pressure) เทียบกับความดันเสียงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (threshold of hearing) มีค่าเท่ากับ 20 ไมโครพาสคัล (μPa) ระดับความดันเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

3.2 ระดับความดันเสียงอ้างอิงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (reference equivalent threshold sound pressure level; RETSPL)

ค่ากลางของระดับความดันเสียงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (hearing threshold) เป็นค่าที่แสดงขีดเริ่มของการได้ยินในหูเทียม สำหรับหูฟังชนิดที่กำหนดค่า RETSPL จะแตกต่างกันในแต่ละความถี่ มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

3.3 ระดับการได้ยิน (hearing level)

ระดับความดันเสียงที่เกิดจากหูฟังเข้าไปยังหูเทียมที่กำหนดลบด้วยค่า RETSPL โดยระดับการได้ยินจะแตกต่างกันในแต่ละความถี่ มีหน่วยเป็นเดซิเบลระดับการได้ยิน (dBHL)

3.4 ระดับเสียงลวง (masking noise level)

ระดับเสียงที่ประกอบด้วยเสียงหลายความถี่ในช่วงแคบ (narrow band noise) ระดับเสียงลวงจะถูกจ่ายไปยังหูข้างที่ไม่ได้ทำการตรวจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการได้ยินเสียงข้ามหู มีหน่วยเป็นเดซิเบลระดับการได้ยิน (dBHL)

3.5 หูเทียม (artificial ear)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดระดับความดันเสียงที่กำเนิดโดยหูฟัง (Earphone) ใช้คู่กับไมโครโฟน หูเทียมมี 2 ชนิด คือ อะคูสติกคัปเปอร์ (acoustic coupler) และหูจำลอง (ear simulator)

3.6 หูฟัง (earphone)

ตัวแปลงสัญญาณ (transducer) ชนิดที่แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (voltage) เป็นความดันเสียง หูฟังที่ใช้สำหรับตรวจการได้ยิน แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ หูฟังชนิดวางบนใบหู (supra-aural earphone) หูฟังชนิดครอบใบหู (circumaural earphone) และหูฟังชนิดใส่ในช่องหู (insert earphone)

3.7 ไมโครโฟน (microphone)

ตัวแปลงสัญญาณชนิดที่แปลงความดันเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ไมโครโฟนที่ใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน เป็นไมโครโฟนชนิดที่ใช้สำหรับสนามเสียงแบบเพรสเซอร์

(pressure field) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว หรือชนิด WS2P และขนาด 1 นิ้ว สามารถใช้ได้ทั้งชนิด WS1P และ ชนิด LS1P ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของหูเทียม

3.8 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียง (sound analyzer)

เครื่องวัดระดับเสียง (sound level meter) ชนิดที่มีฟังก์ชันวิเคราะห์สัญญาณเสียง เช่น กรองสัญญาณความถี่เสียง (band pass filter) วัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion) และวัดความถี่ (frequency)

4. การเตรียมการสำหรับการสอบเทียบ

4.1 สภาวะแวดล้อมและเสถียรภาพของอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (temperature) : 15 °C ถึง 35 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) : 30 %RH ถึง 90 %RH
ความดันบรรยากาศ (pressure) : 98 kPa ถึง 104 kPa
ระดับเสียงพื้นหลัง (background noise) : ต่ำกว่าระดับความดันเสียงที่ทำการวัดอย่างน้อย 15 dB

<u>หมายเหตุ</u>

- ระดับเสียงพื้นหลัง เป็นการวัดเสียงภายในหูเทียม ทำการวัดหลังติดตั้งหูฟังบนหูเทียมและไม่มีการจ่ายเสียงใด ๆ ออกจากหูฟัง
- ในการรายงานผลการวัดควรระบุสภาวะแวดล้อมขณะที่ทำการวัด

4.2 การตรวจสอบเบื้องต้น

4.2.1 สายไฟ (power cord) อยู่ในสภาพปกติ ไม่มีส่วนใดฉีกหรือขาด

4.2.2 ตัวเครื่อง - ปุ่มควบคุม สามารถทำงานได้อย่างปกติ
- หน้าจอแสดงผล แสดงผลได้อย่างสมบูรณ์

4.2.3 หูฟัง ซ้ายและขวา
- สายหูฟังไม่ฉีกขาด
- ปลั๊กเสียบหูฟังเข้าตัวเครื่อง (earphone jack) อยู่ในสภาพปกติ
- ฟองน้ำหูฟัง (cushion earphone) ไม่ฉีกขาด
- ก้านคาดศรีษะ (headband) อยู่ในสภาพที่สามารถใช้งานได้

4.3 การติดตั้ง

ติดตั้งอุปกรณ์และการปรับเทียบเครื่องวัดระดับเสียง การติดตั้งอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 1 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1 ต่ออุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น (pre-amplifier) เข้าไปยังฐานของหูเทียม และสายต่อไมโครโฟน (extension microphone cable) จากอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นไปยังเครื่องวัดระดับเสียง ดังแสดงตาม ①

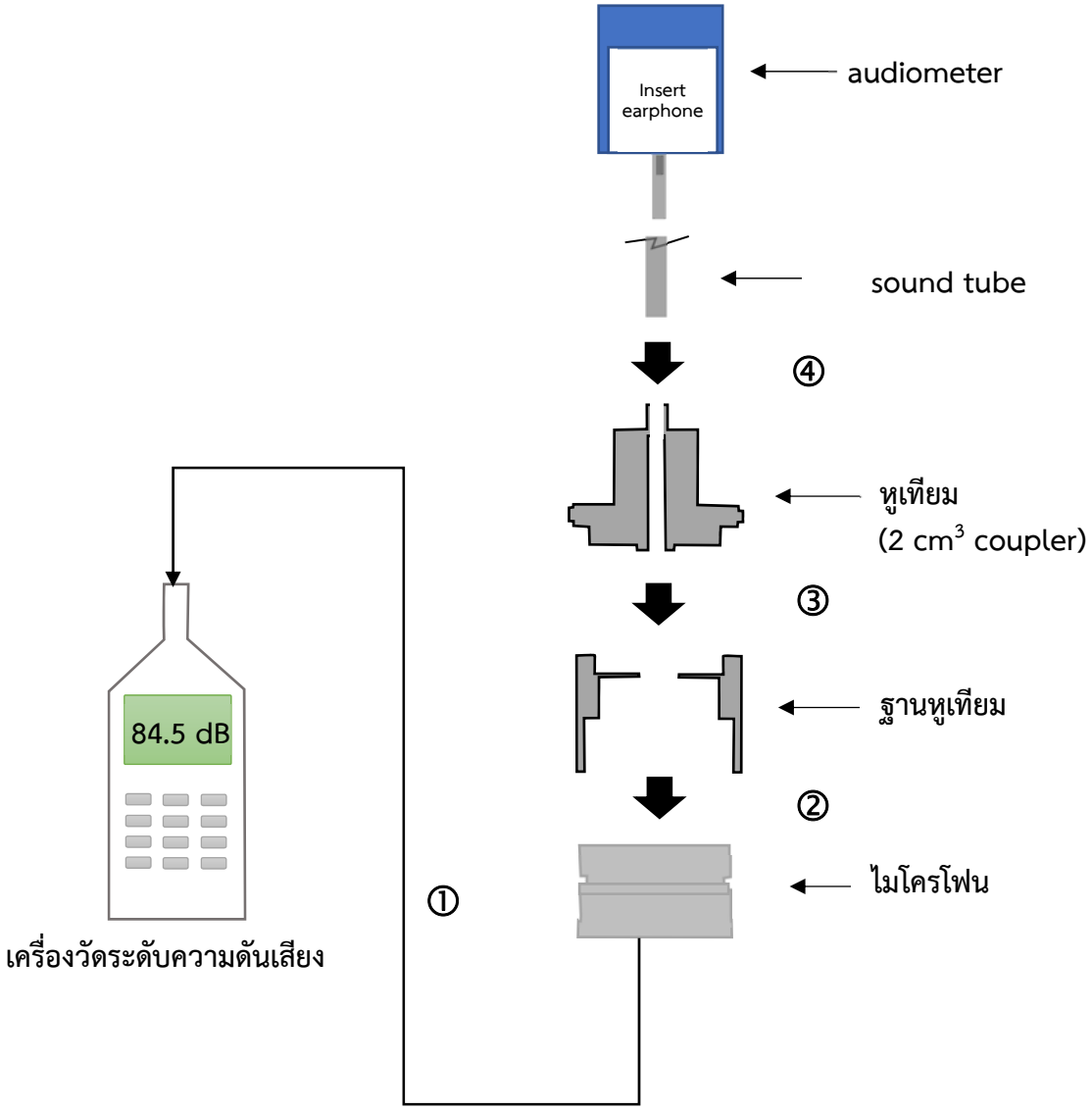
4.3.2 ประกอบไมโครโฟนไปยังฐานของหูเทียม ดังแสดงตาม ②

4.3.3 ปรับเทียบเครื่องวัดระดับเสียง โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง (sound calibrator) รุ่นที่ผู้ผลิตกำหนด ขั้นตอนและวิธีการปรับเทียบเครื่องวัดระดับเสียงสามารถดูได้จากคู่มือของเครื่องวัดระดับเสียง หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด

4.3.4 ประกอบหูเทียม ดังแสดงตาม ③

4.3.5 สวม sound tube ของ insert earphone บนปลายหูเทียม ดังแสดงตาม ④ โดย sound tube จะต้องเป็นรุ่นที่ผู้ผลิตกำหนด

หมายเหตุ การพิจารณาเลือกชนิดหูเทียมว่าจะเป็นชนิด occluded-ear simulator หรือ 2 cm^3 coupler เพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องตรวจการได้ยิน พิจารณาจากคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องตรวจการได้ยิน และค่า reference equivalent threshold sound pressure level (RETSPL) หากไม่มีข้อมูลจากผู้ผลิตให้พิจารณาจากชนิดและรุ่นของหูฟัง (insert-earphone) ที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ISO 389-2 และ ISO 389-5



รูปที่ 1 แสดงการประกอบหูเทียมและเครื่องวัดระดับเสียง

4.4 การตรวจสภาพความพร้อมของเครื่องที่ทำการสอบเทียบ

ให้ยกเลิกการสอบเทียบหากพบว่าเครื่องมือดังกล่าวไม่มีความพร้อม เช่น สวิตช์ควบคุมสัญญาณเสียงทำงานผิดปกติหรือไม่ทำงาน ส่วนควบคุมความถี่ทำงานผิดปกติหรือไม่ทำงาน สัญญาณเสียงที่จ่ายออกมาผิดปกติหรือไม่ต่อเนื่อง

4.5 การเตรียมความพร้อมของเครื่องที่ทำการสอบเทียบ

4.5.1 เปิดเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินที่จะสอบเทียบให้อยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 20 นาที หรือตามที่ผู้ผลิตแนะนำ

4.5.2 เสียงแบบต่อเนื่องผ่านหูฟังที่ระดับการได้ยิน 70 dBHL อย่างต่อเนื่องประมาณ 10 วินาที โดยเริ่มจากความถี่ต่ำสุดไปจนกระทั่งครบทุกความถี่ที่มีบนเครื่อง

5. พารามิเตอร์ที่สอบเทียบ

5.1 ความถี่ (frequency)

5.2 ระดับความดันเสียง (sound pressure level)

5.3 ระดับเสียงลวง (masking noise level)

5.4 ความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ (accuracy of signal level control)

5.5 ความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion)

6. จุดสอบเทียบ

จุดสอบเทียบของแต่ละพารามิเตอร์ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงจุดสอบเทียบ

หัวข้อที่ทำการสอบเทียบ	จุดสอบเทียบ
ความถี่ (frequency)	ที่ระดับการได้ยิน 70 dBHL ทุกความถี่ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้
ระดับความดันเสียง (sound pressure levels)	ที่ระดับการได้ยิน 70 dBHL ทุกความถี่ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้
ระดับเสียงลวง (masking noise level)	ที่ระดับการได้ยิน 70 dBHL ทุกความถี่ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้
ความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ (accuracy of signal level control)	ทุกระดับการได้ยินที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้ ที่ความถี่ 1 kHz
ค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion)	ที่ความถี่ 125 Hz ถึง 8 kHz ณ ระดับการได้ยินดังนี้ 65 dBHL สำหรับความถี่ 125 Hz ถึง 200 Hz 80 dBHL สำหรับความถี่ 250 Hz ถึง 400 Hz 100 dBHLสำหรับความถี่ 500 Hz ถึง 8000 Hz <u>หมายเหตุ</u> ในกรณีที่ไม่สามารถตั้งระดับการได้ยินตามที่กำหนด ให้ตั้งค่าที่ระดับสูงสุดของเครื่องที่ทำการสอบเทียบ

7. ขั้นตอนการสอบเทียบ

7.1 ขั้นตอนการสอบเทียบความถี่

เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์

1) ชุดหูเทียม (2 cc coupler หรือ ear simulator)

2) เครื่องวัดระดับเสียงหรือเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียงชนิดที่มีฟังก์ชันที่สามารถวัดความถี่เสียงได้

หมายเหตุ หากเครื่องวัดระดับเสียงไม่มีฟังก์ชันวัดความถี่ สามารถใช้เครื่องวัดความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า (frequency counter) วัดความถี่จากช่องสัญญาณไฟฟ้าขาออก (output) ของเครื่องวัดระดับเสียงได้เช่นกัน

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1) ต่ออุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2

2) ปรับตั้งเครื่องวัดระดับความดันเสียงดังนี้

- Time weight : Fast ถ้าไม่มีสามารถใช้ Slow
- Frequency weight : Z หรือ Linear หรือ Flat

3) ปรับตั้งเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินที่จะสอบเทียบดังนี้

- ระดับการได้ยิน 70 dBHL ในกรณีที่เครื่องไม่สามารถตั้งค่าได้ตามที่กำหนดให้ตั้งที่ระดับการได้ยินสูงสุดของเครื่องที่ทำการสอบเทียบ
- ความถี่ไปยังความถี่ต่ำสุด
- การจ่ายสัญญาณเสียงแบบต่อเนื่อง

4) ปล่อยสัญญาณเสียง รอจนกระทั่งระดับความดันเสียงที่แสดงบนเครื่องวัดระดับเสียงแสดงค่าคงที่ บันทึกค่าความถี่ที่วัดได้

5) ปรับตั้งความถี่บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินไปยังความถี่ถัดไป

6) ทำซ้ำข้อ 4) ถึงข้อ 5) จนกระทั่งครบทุกความถี่ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้

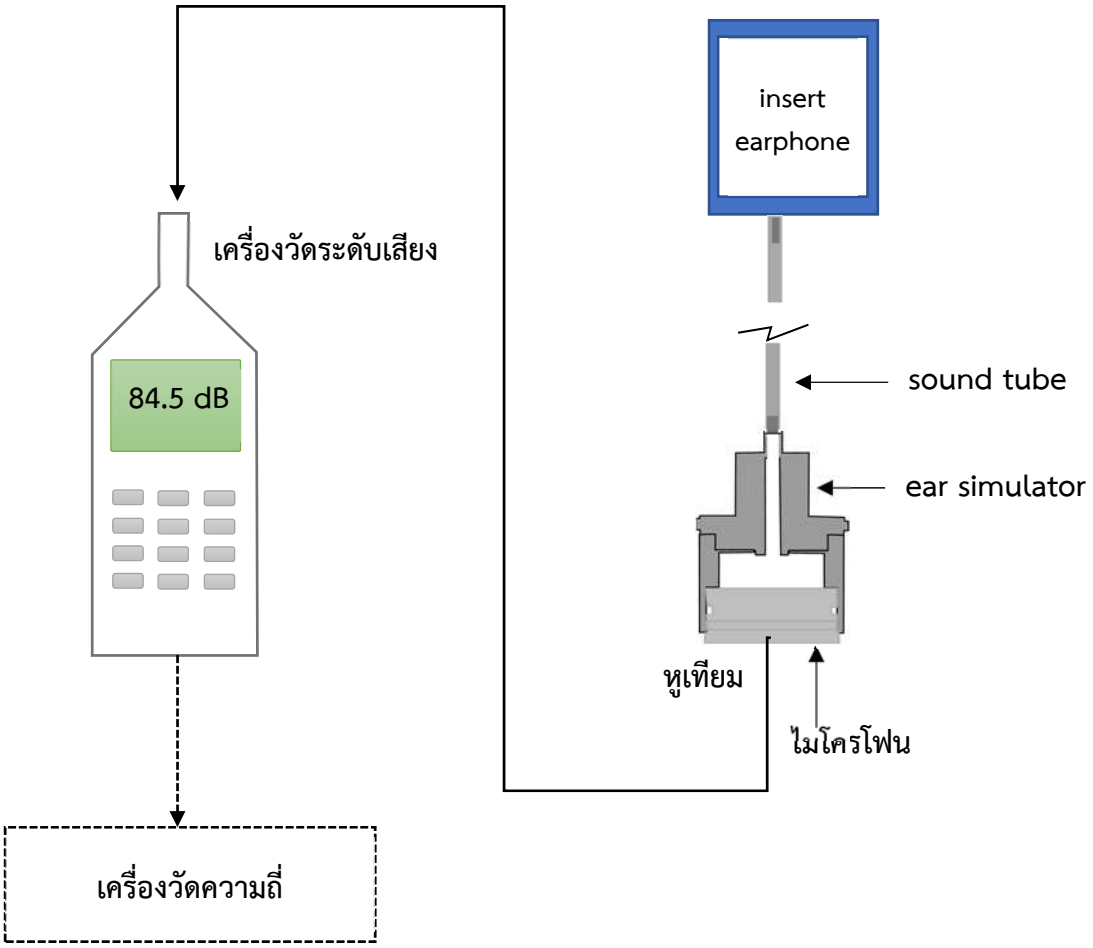
7) นำหูฟังออกจากหูเทียมและวางหูฟังกลับไปบนหูเทียม โดยให้ช่องสัญญาณเสียงของหูฟังตรงกับช่องรับเสียงของหูเทียม

8) ทำการวัดโดยเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด อีกอย่างน้อย 2 ครั้ง

9) ในการสอบเทียบจะต้องวัดความถี่เสียงที่กำเนิดจากหูฟังทั้ง 2 ข้าง (หูฟังข้างซ้ายและหูฟังข้างขวา)

การบันทึกผลการสอบเทียบ

ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบความถี่ (frequency)



รูปที่ 2 แสดงการต่ออุปกรณ์สำหรับการวัดความถี่

7.2 ขั้นตอนการสอบเทียบระดับความดันเสียง

<u>เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์</u>

1) ชุดหูเทียม (2 cc coupler หรือ ear simulator)

2) เครื่องวัดระดับเสียงหรือเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียง

<u>ขั้นตอนการสอบเทียบ</u>

1) ต่ออุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3

2) ปรับตั้งเครื่องวัดระดับความเสียงดังนี้

- Time weight : Slow หรือถ้าไม่มีให้ใช้ Fast
- Frequency weight : Z หรือ Linear หรือ Flat
- Octave band pass filter : ความถี่ที่ทำการวัด

3) ปรับตั้งเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินที่จะสอบเทียบดังนี้

- ระดับการได้ยิน 70 dBHL ในกรณีที่เครื่องไม่สามารถตั้งค่าได้ตามที่กำหนดให้ตั้งที่ระดับการได้ยินสูงสุดของเครื่องที่ทำการสอบเทียบ
- ความถี่ต่ำสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้
- การจ่ายสัญญาณเสียงแบบต่อเนื่อง

4) ปล่อยสัญญาณเสียงรอจนกระทั่งระดับความดันเสียงที่แสดงบนเครื่องวัดระดับเสียงแสดงค่าคงที่ บันทึกระดับความดันเสียงที่วัดได้

5) ตั้งค่าความถี่บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินไปยังความถี่ถัดไปและตั้งค่าเครื่องกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่ให้สอดคล้องกับความถี่เสียงที่ทำการวัด

6) ทำซ้ำข้อ 4) ถึงข้อ 5) จนกระทั่งวัดระดับความดันเสียงของทุกความถี่จนครบทุกความถี่ที่มีบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

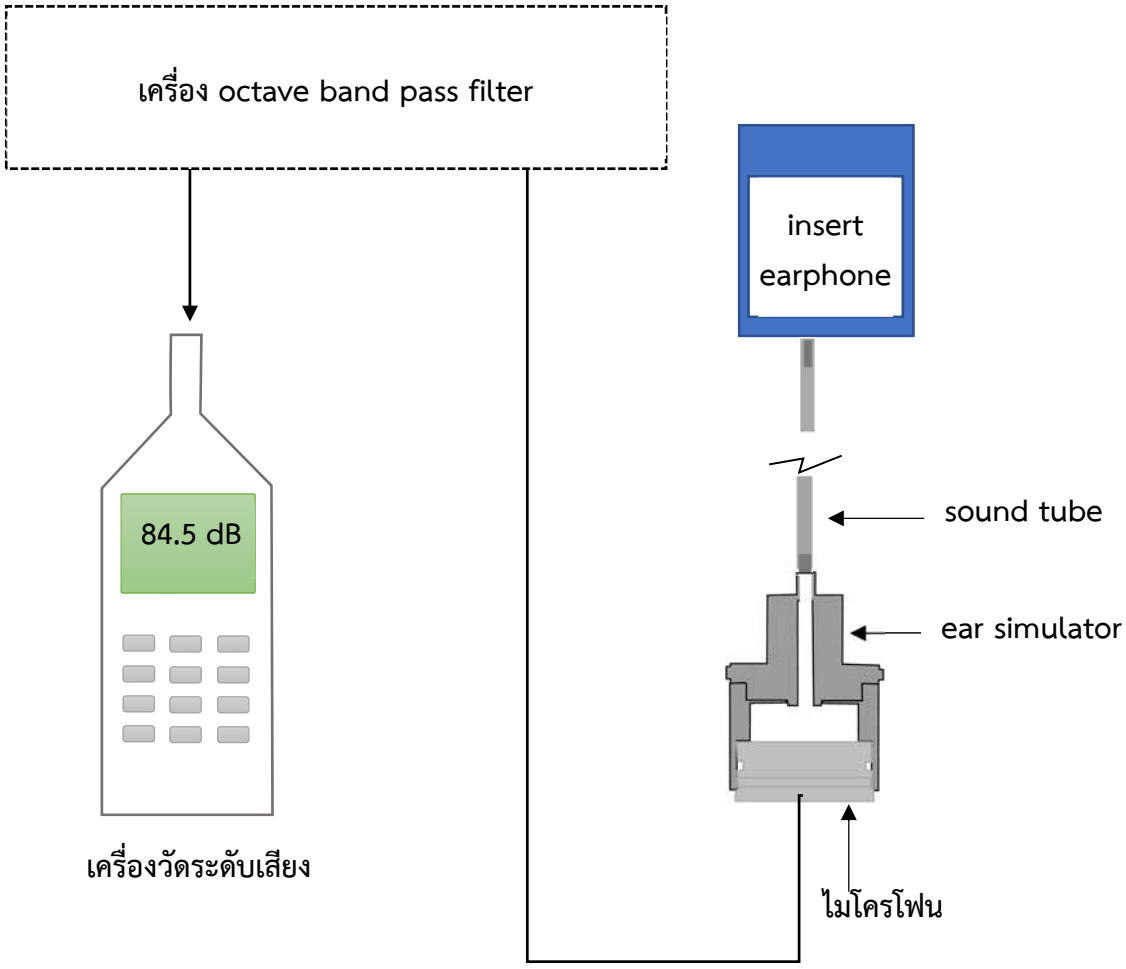
7) นำหูฟังออกจากหูเทียมและวางหูฟังกลับไปบนหูเทียม โดยให้ช่องสัญญาณเสียงของหูฟังตรงกับช่องรับเสียงของหูเทียม

8) ทำการวัดโดยเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด อีกอย่างน้อย 2 ครั้ง

9) ในการสอบเทียบจะต้องวัดระดับความดันเสียงที่กำเนิดจากหูฟังทั้ง 2 ข้าง (หูฟังข้างซ้ายและหูฟังข้างขวา)

<u>การบันทึกผลการสอบเทียบ</u>

ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบระดับความดันเสียง (sound pressure level)



รูปที่ 3 การต่ออุปกรณ์สำหรับการวัดระดับความดันเสียงและการควบคุมระดับสัญญาณ

7.3 ขั้นตอนการสอบเทียบระดับเสียงลวง

เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์

1) ชุดหูเทียม (2 cc coupler หรือ ear simulator)

2) เครื่องวัดระดับเสียงหรือเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียง

หมายเหตุ ในกรณีที่เครื่องวัดระดับเสียงไม่มีฟังก์ชันกรองสัญญาณความถี่ สามารถใช้เครื่องกรองสัญญาณความถี่ (band pass filter) ต่อเพิ่มเติมได้

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1) ต่ออุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4

2) ปรับตั้งเครื่องวัดระดับความดันเสียงดังนี้

- Time weight : Slow
- Frequency weight : Z หรือ Linear หรือ Flat

3) ปรับตั้งเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินที่ทำการสอบเทียบดังนี้

- ชนิดของสัญญาณ เป็นแบบสัญญาณลวง (masking noise)
- ระดับการได้ยิน 70 dBHL ในกรณีที่เครื่องไม่สามารถตั้งค่าได้ตามที่กำหนด ให้ตั้งที่ระดับการได้ยินสูงสุดของเครื่องที่ทำการสอบเทียบ
- ความถี่ต่ำสุด ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้
- การจ่ายสัญญาณเสียงแบบต่อเนื่อง

4) ปล่อยสัญญาณเสียงรอจนกระทั่งระดับความดันเสียงที่แสดงบนเครื่องวัดระดับเสียงแสดงค่าคงที่ ทำการบันทึกระดับความดันเสียง

5) ตั้งค่าความถี่บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินไปยังความถี่ถัดไป

6) ทำซ้ำข้อ 4) ถึง ข้อ 5) จนกระทั่งวัดระดับความดันเสียงของทุกความถี่จนครบทุกความถี่ที่มีบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

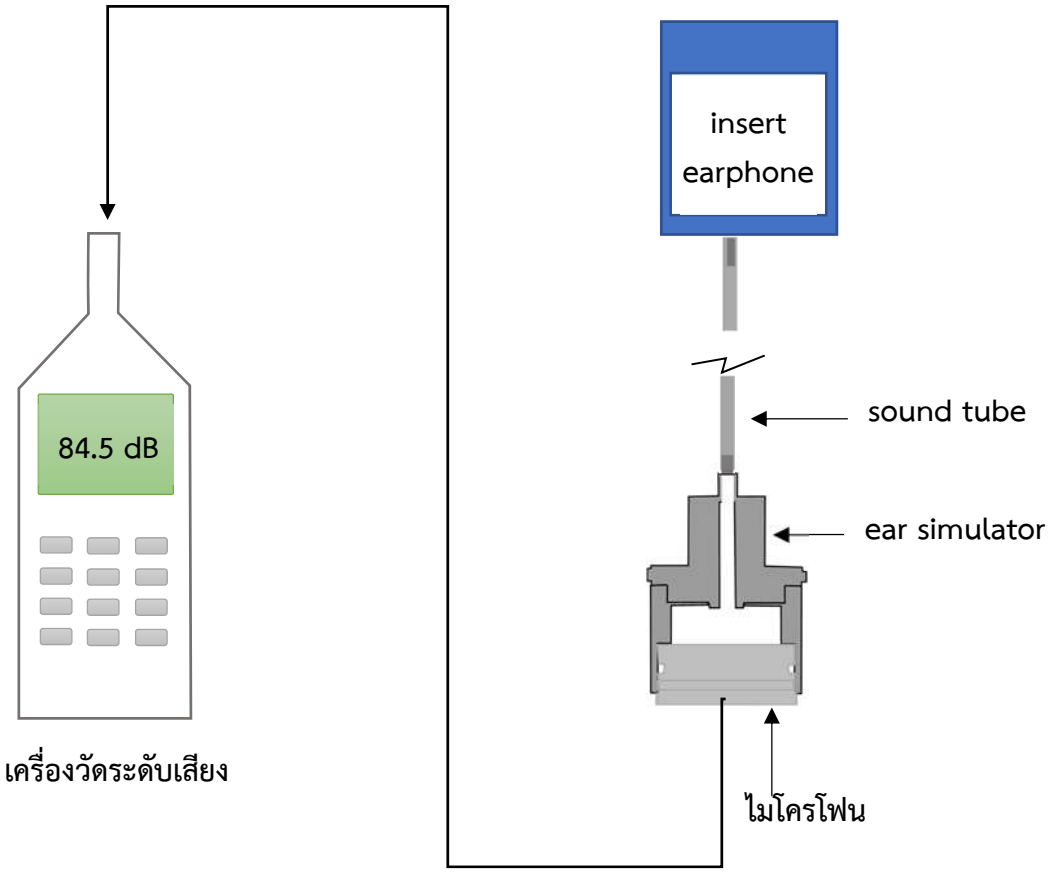
7) นำหูฟังออกจากหูเทียมและวางหูฟังกลับไปบนหูเทียม โดยให้ช่องสัญญาณเสียงของหูฟังตรงกับช่องรับเสียงของหูเทียม

8) ทำการวัดโดยเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด อีกอย่างน้อย 2 ครั้ง

9) ในการสอบเทียบจะต้องทำการวัดระดับความดันเสียงที่กำเนิดจากหูฟังทั้ง 2 ข้าง (หูฟังข้างซ้ายและหูฟังข้างขวา)

การบันทึกผลการสอบเทียบ

ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.3 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบระดับเสียงลวง (masking noise level)



รูปที่ 4 แสดงการต่ออุปกรณ์สำหรับการวัดระดับเสียงลวง (masking noise level)

7.4 ขั้นตอนการสอบเทียบความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ

เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์

1) ชุดหูเทียม (2 cc coupler หรือ ear simulator)

2) เครื่องวัดระดับเสียงหรือเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียง

หมายเหตุ ในกรณีที่เครื่องวัดระดับเสียงไม่มีฟังก์ชันกรองสัญญาณความถี่ สามารถใช้เครื่องกรองสัญญาณความถี่ต่อเพิ่มเติมได้

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1) ต่ออุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3

2) ปรับตั้งเครื่องวัดระดับเสียงดังนี้

- Time weight : Slow ถ้าไม่มีสามารถใช้ Fast แทนได้
- Frequency weight : Z หรือ Linear หรือ Flat
- Octave band pass filter : 1 kHz

3) ปรับตั้งเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินที่ทำการสอบเทียบดังนี้

- ระดับการได้ยินสูงสุด
- ความถี่ 1 kHz

4) การจ่ายสัญญาณเสียงแบบต่อเนื่อง

5) ปล่อยสัญญาณเสียง รอจนกระทั่งระดับความดันเสียงที่แสดงบนเครื่องวัดระดับเสียงคงที่ บันทึกระดับความดันเสียงที่วัดได้

6) ปรับระดับการได้ยินบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน ลดลง 5 dBHL

7) ปล่อยสัญญาณเสียง รอจนกระทั่งระดับความดันเสียงที่แสดงบนเครื่องวัดระดับเสียงคงที่ บันทึกระดับความดันเสียงที่วัดได้

8) ทำซ้ำข้อ 5) ถึง 6) จนกระทั่งถึงระดับการได้ยินต่ำสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้

9) นำหูฟังออกจากหูเทียมและวางหูฟังกลับไปบนหูเทียม โดยให้ช่องสัญญาณเสียงของหูฟังตรงกับช่องรับเสียงของหูเทียม

10) ทำการวัดโดยเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด อีกอย่างน้อย 2 ครั้ง

11) ในการสอบเทียบจะต้องทำการวัดระดับความดันเสียงที่กำเนิดจากหูฟังทั้ง 2 ข้าง (หูฟังข้างซ้ายและหูฟังข้างขวา)

การบันทึกผลการสอบเทียบ

ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.4 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ (accuracy of signal level control)

7.5 ขั้นตอนการสอบเทียบความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก

เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์

1) ชุดหูเทียม (Ear simulator)

2) เครื่องวัดระดับเสียงหรือเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่มีฟังก์ชันวัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก

หมายเหตุ ในกรณีที่เครื่องวัดระดับเสียงไม่มีฟังก์ชันวัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก สามารถใช้เครื่องวัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกต่อภายนอก ถ้าเครื่องไม่สามารถวัดเป็นค่ารวมได้สามารถหาค่ารวมได้ตามวิธีที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1) ต่ออุปกรณ์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5

2) ปรับตั้งเครื่องวัดระดับความดันเสียงดังนี้

- Time weight : Slow ถ้าไม่มีสามารถใช้ Fast แทนได้
- Frequency weight : Z หรือ Linear หรือ Flat

3) เปิดเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน ตั้งค่าความถี่ต่ำสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้ และระดับการได้ยินให้สอดคล้องตามความถี่ที่ทำการวัด ดังกำหนดไว้ในตารางที่ 2

4) ปล่อยสัญญาณเสียง รอจนกระทั่งระดับสัญญาณที่แสดงบนเครื่องวัดแสดงค่าคงที่ บันทึกค่าร้อยละความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกที่วัดได้

5) ตั้งค่าความถี่บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินไปยังความถี่ถัดไป และระดับเสียงให้สอดคล้องกับความถี่ที่ระบุไว้ในตารางที่ 2

6) ทำซ้ำข้อ 4) ถึงข้อ 5) จนกระทั่งวัดระดับความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกจนครบทุกความถี่ที่มีบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

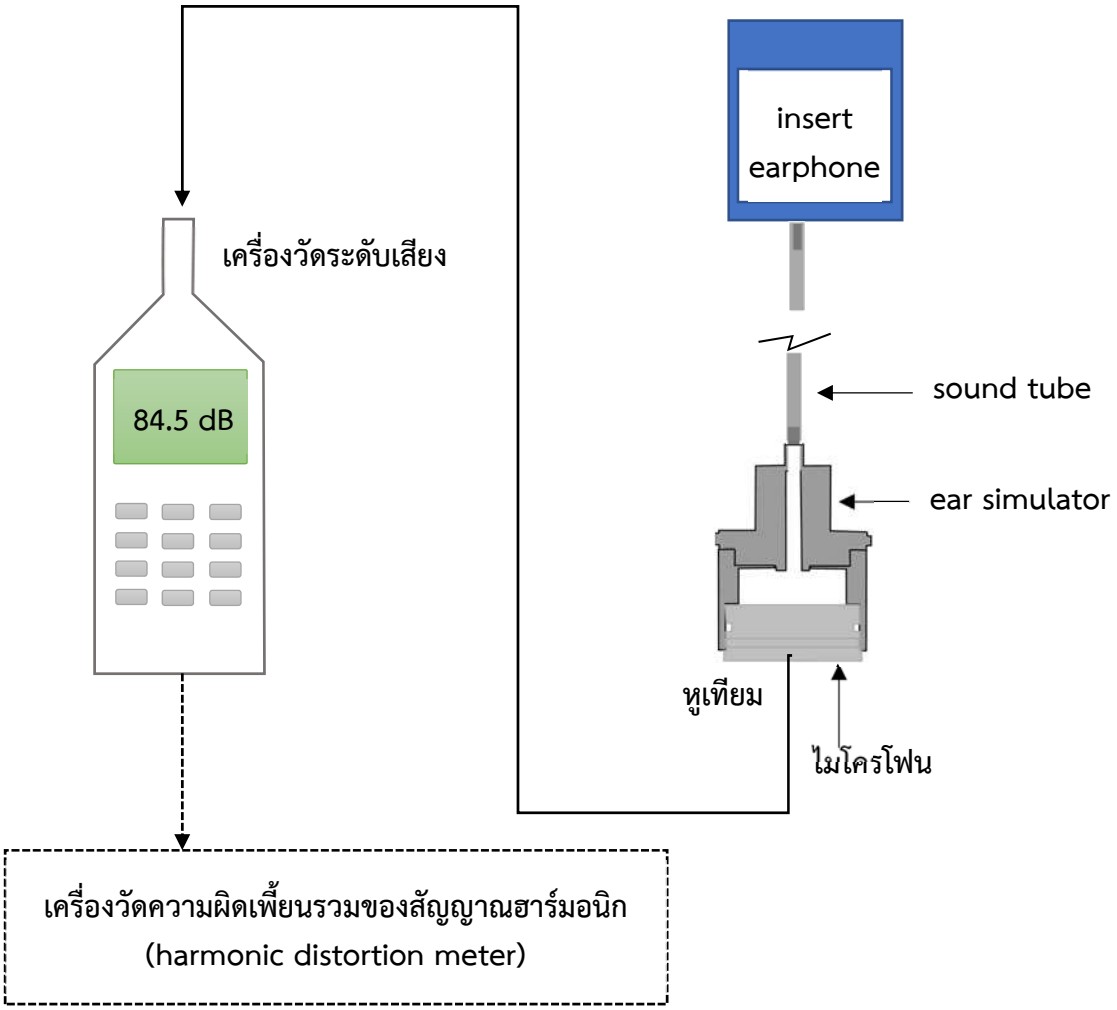
7) นำหูฟังออกจากหูเทียมและวางหูฟังกลับไปบนหูเทียม โดยให้ช่องสัญญาณเสียงของหูฟังตรงกับช่องรับเสียงของหูเทียม

8) ทำการวัดโดยเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด อีกอย่างน้อย 2 ครั้ง

9) ในการสอบเทียบจะต้องวัดระดับความดันเสียงที่กำเนิดจากหูฟังทั้ง 2 ข้าง (หูฟังข้างซ้ายและหูฟังข้างขวา)

การบันทึกผลการสอบเทียบ

ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.5 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion)



รูปที่ 5 แสดงการต่ออุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกของสัญญาณเสียง

ตารางที่ 2 ระดับเสียงที่ใช้ในการวัดค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก

ระดับการได้ยินสำหรับการวัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก			
ความถี่ (Hz)	125 ถึง 200	250 ถึง 400	500 ถึง 8000
ระดับการได้ยิน * (dBHL)	65	80	100
* หมายถึง หากไม่สามารถตั้งระดับการได้ยินตามที่กำหนด ให้ทำการตั้งค่าที่ระดับสูงสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้			

8. การคำนวณผลการสอบเทียบ

8.1 การคำนวณผลการสอบเทียบความถี่

การรายงานผลการวัดจะรายงานค่าเบี่ยงเบน (deviated value) ของความถี่ที่วัดได้จากความถี่ที่กำหนดไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน คำนวณตามสมการดังต่อไปนี้

$$Deviated\ value \ = \ \frac{F_{STD} - F_{Set}}{F_{set}} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่ F_{STD} คือ ความถี่เฉลี่ยของผลการวัด 3 ครั้ง (Hz)

F_{Set} คือ ความถี่ที่กำหนดไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (Hz)

$Deviated\ value$ คือ ค่าเบี่ยงเบนของความถี่เฉลี่ยที่วัดได้จากความถี่ที่กำหนดไว้บนเครื่องที่ทำการวัด (%)

8.2 การคำนวณผลการสอบเทียบระดับความดันเสียง (sound pressure level)

การรายงานผลการวัดจะรายงานค่าเบี่ยงเบนของระดับการได้ยินที่วัดได้ตามสมการที่ (2) จากระดับการได้ยินที่ตั้งค่าไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน คำนวณค่าความเบี่ยงเบนได้ตามสมการที่ (3)

$$HL_{STD} \ = \ SPL - RETSPL \qquad (2)$$

$$Deviated\ value \ = \ HL_{STD} - HL_{SET} \qquad (3)$$

โดยที่ HL_{STD} คือ ระดับการได้ยินที่วัดได้ (dBHL)

SPL คือ ระดับความดันเสียงเฉลี่ยของการวัด 3 ครั้ง (dB)

$RETSPL$ คือ ค่ากลางของระดับความดันเสียงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (reference equivalent threshold sound pressure level) ในหูเทียมคู่กับหูฟังรุ่นที่ใช้ร่วมกับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน สามารถดูได้จากภาคผนวก ค หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด (dB)

$Deviated\ value$ คือ ค่าเบี่ยงเบนของระดับการได้ยินที่วัดได้จากระดับการได้ยินที่ตั้งค่าไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

HL_{SET} คือ ระดับการได้ยินที่กำหนดไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

8.3 การคำนวณผลการสอบเทียบระดับเสียงลวง

การรายงานผลการวัดจะรายงานค่าเบี่ยงเบนของระดับเสียงลวงที่วัดได้จากระดับเสียงลวงที่กำหนดไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$MN_{STD} \ = \ SPL - RETSPL - Ref.Level \qquad (4)$$

$$Deviated\ value \ = \ MN_{STD} - MN_{SET} \qquad (5)$$

โดยที่ MN_{STD} คือ ระดับเสียงลวงที่วัดได้ (dBHL)

SPL คือ ระดับความดันเสียงเฉลี่ยของการวัด 3 ครั้ง (dB)

$RETSPL$ คือ ค่ากลางของระดับความดันเสียงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (reference equivalent threshold sound pressure level) ในหูเทียมคู่กับหูฟังรุ่นที่ใช้ร่วมกับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน สามารถดูได้จากภาคผนวก ค หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด (dB)

$Ref.Level$ คือ ระดับอ้างอิง (reference level) สำหรับระดับเสียงลวง ดูได้จากภาคผนวก ง หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด (dB)

MN_{SET} คือ ระดับการได้ยินเสียงลวงที่ตั้งค่าไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

$Deviated\ value$ คือ ค่าเบี่ยงเบนของระดับเสียงลวงที่วัดได้จากระดับเสียงลวงที่ตั้งค่าไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

8.4 การคำนวณผลการสอบเทียบความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ

ในหัวข้อนี้จะทำการประเมิน 2 หัวข้อย่อย ได้แก่ ความเบี่ยงเบนของการเปลี่ยนแปลงระดับการได้ยินที่วัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของระดับการได้ยินที่ควบคุม (step deviation) เป็นการหาค่าความถูกต้องของการปรับค่าระดับการได้ยิน และความเบี่ยงเบนของค่าความแตกต่างระหว่างระดับการได้ยินเทียบกับระดับการได้ยินสูงสุดที่วัดได้ จากค่าความแตกต่างระหว่างระดับการได้ยินเทียบกับระดับการได้ยินสูงสุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้ ซึ่งกำหนดไว้บนเครื่องที่สอบเทียบ (accumulated deviation)

การรายงานผลการวัด

คำนวณระดับการได้ยินจากระดับความดันเสียงเฉลี่ยของการวัด 3 ครั้ง สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$HL = SPL - RETSPL \qquad (6)$$

โดยที่ HL คือ ระดับการได้ยินที่วัดได้ (dBHL)

SPL คือ ระดับความดันเสียงเฉลี่ยของการวัด 3 ครั้ง (dB)

$RETSPL$ คือ ค่ากลางของระดับความดันเสียงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (reference equivalent threshold sound pressure level) ในหูเทียมคู่กับหูฟังรุ่นที่ใช้ร่วมกับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน สามารถดูได้จากภาคผนวก ค หรือตามที่ผู้ผลิตกำหนด (dB)

8.4.1 การรายงานผลการวัด step deviation

เป็นการรายงานค่าเบี่ยงเบนของความแตกต่างของระดับการได้ยินที่วัดได้ของระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกัน (ΔHL_{STD}) (สมการที่ 7) จากความแตกต่างของระดับการได้ยินที่กำหนดบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินของระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกัน (ΔHL_{SET}) (สมการที่ 8) โดยค่าเบี่ยงเบนสามารถคำนวณตามสมการที่ 9

$$\Delta HL_{STD} = L_n - L_{n-1} \qquad (7)$$

$$\Delta HL_{SET} = HL_n - HL_{n-1} \qquad (8)$$

$$Deviated\ value = \Delta HL_{STD} - \Delta HL_{SET} \qquad (9)$$

โดยที่ ΔHL_{STD} คือ ค่าความแตกต่างของระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกัน ซึ่งได้มาจากการวัด (dBHL)

L_n , L_{n-1} คือ ระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกัน โดย L_n คือระดับการได้ยินที่สูงกว่า และ L_{n-1} คือระดับการได้ยินที่ต่ำกว่า ซึ่งระดับการได้ยินทั้ง 2 ค่าได้จากการวัด (dBHL)

ΔHL_{SET} คือ ค่าความแตกต่างของระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกัน เป็นค่าที่ปรับตั้งไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

HL_n , HL_{n-1} คือ ระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกัน โดย HL_nคือระดับการได้ยินที่สูงกว่า และ HL_{n-1} คือระดับได้ยินที่ต่ำกว่า ซึ่งระดับการได้ยินทั้ง 2 ค่า คือค่าที่ปรับตั้งไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

8.4.2 การรายงานผลการวัดค่าเบี่ยงเบนสะสม (accumulated deviation)

เป็นการรายงานค่าเบี่ยงเบนสะสมของระดับการได้ยินที่สนใจจากระดับการได้ยินสูงสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้

$$\Delta HL_{STD} = L_{Max} - L_n \quad (10)$$

$$\Delta HL_{SET} = HL_{Max} - HL_n \quad (11)$$

$$Deviated\ value = \Delta HL_{STD} - \Delta HL_{SET} \quad (12)$$

โดยที่ ΔHL_{STD} คือ ค่าความแตกต่างระหว่างระดับการได้ยินที่สนใจกับระดับการได้ยินสูงสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัด (dBHL)

L_{Max} คือ ระดับการได้ยินสูงสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัด (dBHL)

L_n คือ ระดับการได้ยินที่สนใจ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัดได้ (dBHL)

ΔHL_{SET} คือ ค่าความแตกต่างระหว่างระดับการได้ยินที่สนใจจากระดับการได้ยินสูงสุดที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินสามารถจ่ายได้ เป็นระดับการได้ยินที่ปรับตั้งบนเครื่องที่ทำการสอบเทียบ (dBHL)

HL_{Max} คือ ระดับการได้ยินสูงสุดที่ปรับตั้งไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

HL_n คือ ระดับการได้ยินที่สนใจ ซึ่งปรับตั้งไว้ที่เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน (dBHL)

8.5 การคำนวณผลการสอบเทียบความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion)

ผลการวัดจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกที่ได้จากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

$$\overline{THD} = \frac{THD_1 + THD_2 + THD_3}{3}$$

โดยที่ $\overline{THD}$ คือ ร้อยละความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกเฉลี่ยของการวัด 3 ครั้ง (%)

THD_n คือ ร้อยละความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกที่วัดได้ในแต่ละครั้ง (%)

9. การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement)

ภาคผนวก จ การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

10. ใบรับรองการสอบเทียบ (certification of calibration)

ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างใบรับรองการสอบเทียบ

11. การทวนสอบ (verification) และเกณฑ์การยอมรับ (acceptance limit)

เครื่องมือที่ทำการทวนสอบ จะต้องมีผลการทวนสอบผ่านเกณฑ์ทุกหัวข้อย่อยตามตารางที่ 33 เกณฑ์การพิจารณาทุกหัวข้อประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

11.1 ค่าความเบี่ยงเบนของผลการวัด

ค่าความเบี่ยงเบนของผลการวัดจะต้องอยู่ในเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด ยกเว้นการสอบเทียบความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก ค่าที่วัดได้จะต้องอยู่ในเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด

11.2 ค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดแต่ละหัวข้อจะต้องรายงานที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% (k=2) ค่าความไม่แน่นอนของการวัดต้องอยู่ในเกณฑ์ของค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ตามที่กำหนด (maximum permitted expanded uncertainty of measurement)

ตารางที่ 3 แสดงเกณฑ์ที่กำหนดและค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสูงที่ยอมรับได้

หัวข้อ	เกณฑ์การยอมรับ (acceptance limit)	ค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum permitted expanded uncertainty of measurement)
ความถี่ของสัญญาณเสียง (frequency)	±1 % สำหรับ Type 1 และ Type 2 ±2 % สำหรับ Type 3 และ Type 4	0.5%
ระดับความดันเสียง (sound pressure levels)	±3.0 dB สำหรับความถี่ 125 Hz ถึง 4 kHz ±5.0 dB สำหรับความถี่ >4 kHz ถึง 16 kHz	0.7 dB สำหรับความถี่ 125 Hz ถึง 4 kHz 1.2 dB สำหรับความถี่ >4 kHz ถึง 8 kHz 1.5 dB สำหรับความถี่ >9 kHz ถึง 16 kHz
ระดับเสียงลวง (masking noise level)	มีค่าอยู่ระหว่าง -3 dB ถึง 5 dB	1.0 dB
ความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ (accuracy of signal level control)	1 dB หรือร้อยละ 30 ของช่วงความกว้างที่ทำการวัด (Step) ใช้เกณฑ์ที่น้อยกว่า สำหรับผลการวัดแบบ Step Deviation 1.5 dB สำหรับผลการวัดแบบ Accumulated Deviation	0.5 dB
ความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion)	2.5 % สำหรับความถี่ 125 Hz ถึง 8 kHz	0.5%

<u>หมายเหตุ</u> Type ของเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินจำแนกไว้ในมาตรฐาน IEC 60645-1

ภาคผนวก ก ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบ

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบความถี่ (frequency)

setting frequency (Hz)	measured frequency (Hz)			average (Hz)	deviated value (%)	acceptance limit (%)	measurement uncertainty (%)	maximum permitted expanded uncertainty of measurement (%)
	1	2	3					
:								
125								
250								
500								
750								
1 000								
1 500								
2 000								
3 000								
4 000								
6 000								
8 000								
:								

หมายเหตุ 1) ค่าความถี่ที่ระบุไว้ในตารางเป็นเพียงตัวอย่างการกรอกข้อมูลเท่านั้น

2) ค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum permitted expanded uncertainty of measurement) รายละเอียดอยู่ในตารางที่ 3

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบระดับความดันเสียง (sound pressure level)

frequency (Hz)	RETSPL (dB)	measured sound pressure level (dB)			average (dB)	hearing level (dBHL)	deviated Value (dB)	acceptance limit (dB)	measurement uncertainty (dB)	maximum permitted expanded uncertainty of measurement (dB)
		1	2	3						
:										
125										
250										
500										
750										
1 000										
1 500										
2 000										
3 000										
4 000										
6 000										
8 000										
:										

หมายเหตุ 1) ค่าความถี่ที่ระบุไว้ในตารางเป็นเพียงตัวอย่างการกรอกข้อมูลเท่านั้น

2) ค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum permitted expanded uncertainty of measurement) รายละเอียดอยู่ในตารางที่ 3

ตารางที่ ก.3 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบระดับเสียงลวง (masking noise level)

frequency (Hz)	RETSPL (dB)	reference Level (dB)	measured sound pressure level (dB)			average (dB)	hearing level (dBHL)	deviated Value (dB)	acceptance limit (dB)	measurement Uncertainty (dB)	maximum permitted expanded uncertainty of measurement (dB)
			1	2	3						
:											
125											
250											
500											
750											
1 000											
1 500											
2 000											
3 000											
4 000											
6 000											
8 000											
:											

หมายเหตุ 1) ค่าความถี่ที่ระบุไว้ในตารางเป็นเพียงตัวอย่างการกรอกข้อมูลเท่านั้น

2) ค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum permitted expanded uncertainty of measurement) รายละเอียดอยู่ในตารางที่ 3

ตารางที่ ก.4 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ (accuracy of signal level control)

setting SPL (dBHl)	RETSPL (dB)	measured sound pressure level (dB)				step deviation				accumulated deviation		measurement uncertainty (dB)	maximum permitted expanded uncertainty of measurement (dB)
		1	2	3	AVG	difference Measured level (dB)	difference setting level (dB)	deviated Value (dB)	acceptance limit (dB)	deviated value (dB)	acceptance limit (dB)		
:													
100													
95													
90													
85													
80													
75													
70													
65													
:													
:													

<u>หมายเหตุ</u> 1) ค่าความถี่ที่ระบุไว้ในตารางเป็นเพียงตัวอย่างการกรอกข้อมูลเท่านั้น

2) ค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum permitted expanded uncertainty of measurement) รายละเอียดอยู่ในตารางที่ 3

ตารางที่ ก.5 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการสอบเทียบความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion)

setting frequency (Hz)	setting hearing level (dBHL)	measured THD (%)			average (%)	acceptance limit (%)	measurement Uncertainty (%)	maximum permitted expanded uncertainty of measurement (%)
		1	2	3				
:								
125								
250								
500								
750								
1 000								
1 500								
2 000								
3 000								
4 000								
6 000								
8 000								
:								

หมายเหตุ 1) ค่าความถี่ที่ระบุไว้ในตารางเป็นเพียงตัวอย่างการกรอกข้อมูลเท่านั้น

2) ค่าความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum permitted expanded uncertainty of measurement) รายละเอียดอยู่ในตารางที่ 3

ภาคผนวก ข การวัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก

การวัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก (total harmonic distortion) หรือ THD ของระดับเสียงที่จ่ายออกจากเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินเป็นการหาอัตราส่วนระหว่างขนาดของสัญญาณรวมของสัญญาณที่ความถี่ที่เป็นองค์ประกอบของฮาร์มอนิก (อันดับที่ 2 และอันดับที่ 3) กับขนาดของสัญญาณที่ความถี่ที่ต้องการวัด (fundamental frequency, harmonic อันดับที่ 1) แสดงในรูปแบบของสมการดังนี้

$$\text{THD}\,(\%) = \frac{\sqrt{V_2^2+V_3^2}}{V_1} \times 100 \qquad \text{(ข.1)}$$

โดยที่ V_1 คือ ขนาดของสัญญาณที่ความถี่มูลฐาน (fundamental frequency; f_o)

V_2 คือ ขนาดของสัญญาณที่ความถี่ที่จำนวนเท่าของความถี่มูลฐานหรือฮาร์มอนิก อันดับที่ 2 ($2f_o=f_1$)

V_3 คือ ขนาดของสัญญาณที่ความถี่ที่จำนวนเท่าของความถี่มูลฐานหรือฮาร์มอนิก อันดับที่ 3 ($3f_o=f_2$)

ในการวัด THD ของระดับเสียงที่จ่ายออกจากเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน สามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง THD meter เครื่องจะรายงานค่าออกมาเป็นร้อยละ (%) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer) ตรวจวัดขนาดของสัญญาณในแต่ละฮาร์มอนิก แล้วนำไปคำนวณตามสมการ (ข.1) ก็ได้เช่นกัน

ภาคผนวก ค ค่า reference equivalent threshold sound pressure levels (RETSPLs)

ตารางแสดง reference equivalent threshold sound pressure levels (RETSPLs)
สำหรับ occluded-ear simulator (IEC 60318-4) และ acoustic coupler (2 cm^3) (IEC 60318-5)
(อ้างอิงจาก ISO 389-2:1994 และ ISO 389-5:2006)

frequency (Hz)	reference equivalent threshold sound pressure level (RETSPL) dB (Reference : 20 μPa)		
หูเทียม	2 cm^3 coupler	occluded-ear simulator	
รุ่นหูฟัง	Etymotic Research ER-3A		Etymotic Research ER-2
125	26.0	28.0	-
160	22.0	24.5	-
200	18.0	21.5	-
250	14.0	17.5	-
315	12.0	15.5	-
400	9.0	13.0	-
500	5.5	9.5	-
630	4.0	7.5	-
750	2.0	6.0	-
800	1.5	5.5	-
1 000	0.0	5.5	-
1 250	2.0	8.5	-
1 500	2.0	9.5	-
1 600	2.0	9.5	-
2 000	3.0	11.5	-
2 500	5.0	13.5	-
3 000	3.5	13.0	-
3 150	4.0	13.0	-
4 000	5.5	15.0	-
5 000	5.0	18.5	-
6 000	2.0	16.0	-
6 300	2.0	16.0	-
8 000	0.0	15.5	19.0
9 000	-	-	16.0
10 000	-	-	20.0
11 200	-	-	30.5
12 500	-	-	37.0
14 000	-	-	43.5
16 000	-	-	53.0
หมายเหตุ ค่าในตารางเป็นค่าที่ปัดให้ใกล้กับ 0.5 dB			

ภาคผนวก ง ระดับอ้างอิง (reference level สำหรับเสียงลวง (masking noise)

ตารางแสดงระดับอ้างอิง (reference level) สำหรับเสียงลวง

center frequency (Hz)	reference levels for bandwidth (dB)	
	one-third octave	one-half octave
125	4	4
160	4	4
200	4	4
250	4	4
315	4	4
400	4	5
500	4	6
630	5	6
750	5	7
800	5	7
1 000	6	7
1 250	6	8
1 500	6	8
1 600	6	8
2 000	6	8
2 500	6	8
3 000	6	7
3 150	6	7
4 000	5	7
5 000	5	7
6 000	5	7
6 300	5	6
8 000	5	6

<u>หมายเหตุ</u>

- ระดับอ้างอิง ดังแสดงในตารางได้มาจาก มาตรฐาน ISO 389-4 : 1994 (Table 1)
- การพิจารณาเลือกค่าที่จะนำไปใช้ ให้พิจารณาคุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน ในหัวข้อ bandwidth ของสัญญาณชนิดเสียงลวง ว่าระบุเป็น one-third octave หรือ one half octave

ภาคผนวก จ การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดในแต่ละห้องปฏิบัติการ อาจมีการประเมินที่แตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยของห้องปฏิบัติการ ดังนั้น การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดในหลักเกณฑ์มาตรฐานฉบับนี้ จึงเป็นเพียงข้อแนะนำเพื่อใช้เป็นแนวทางการคำนวณเท่านั้น

ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด ควรมีองค์ประกอบอย่างน้อยดังนี้

(1) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการวัดซ้ำ (repeatability)
(2) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน
(3) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่าน (resolution)
(4) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม
(5) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความดันบรรยากาศ
(6) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน
(7) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความไม่แน่นอนของการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน

ตัวอย่างองค์ประกอบความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบ

1. ตัวอย่างองค์ประกอบความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบความถี่

$$F_D = \left(F_{STD} - \delta_{STD_Acc} - \delta_{STD_Res} - \delta_{Rep}\right) - F_{SET}$$

โดยที่ F_D คือค่าเบี่ยงเบนของความถี่ที่วัดได้จากค่าที่ปรับตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน
F_{STD} คือความถี่ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน
δ_{STD_Acc} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน
δ_{STD_Res} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าความละเอียดในการอ่าน
δ_{Rep} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความสามารถในการกระทำซ้ำ
F_{SET} คือความถี่ที่ตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

(1) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการวัดซ้ำ

การแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) ของข้อมูล แทนค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเป็น u_{Rep}

$$u_{Rep} = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลของผลการวัดซ้ำ (3 ครั้ง)
$s(x_i)$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของผลการวัดซ้ำ 3 ครั้งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

โดยที่ x_n คือความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานในแต่ละครั้ง (Hz)

$\bar{x}$ คือค่าเฉลี่ยของผลการวัด 3 ครั้ง สามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$$

ตัวอย่าง ค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 250.1 Hz 250.3 Hz และ 250.5 Hz ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.20 Hz การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล หารด้วย $\sqrt{n}$

ดังนั้น

$$u_{STD_ACC} = \frac{0.20}{\sqrt{3}} = 0.1155 \ Hz$$

(2) ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน พิจารณาจากค่าความถูกต้อง (accuracy) ของเครื่องวัดความถี่ ตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ในข้อมูลทางเทคนิค

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular distribution)

ตัวอย่าง ผลการวัดจากตัวอย่างข้างต้น ค่าเฉลี่ยของผลการวัดความถี่ 3 ครั้ง คือ 250.3 Hz และข้อมูลทางเทคนิค (specification) ที่ระบุไว้ในหลักเกณฑ์มาตรฐานนี้ มีค่าความถูกต้องของการวัดความถี่ คือ ±0.3% การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_Acc} = \frac{\left(\frac{0.3 \times 250.3}{100}\right)}{\sqrt{3}} = 0.4335 \ Hz$$

(3) ค่าความไม่แน่นอนของความละเอียดในการอ่าน พิจารณาจากความสามารถที่ดีที่สุดในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ความสามารถในการอ่านค่าความถี่ที่ตั้งไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินที่ความถี่ 250 Hz คือ 0.1 Hz การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $2\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_Res} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 \ dB$$

นำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty) ที่ได้จากแหล่งความไม่แน่นอนทั้งหมด มารวมกัน เรียกผลรวมนี้ว่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined standard uncertainty) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$u_c = \sqrt{u_{Rep}^2 + u_{STD_Acc}^2 + u_{STD_Res}^2}$$

$$u_c = \sqrt{0.1155^2 + 0.4335^2 + 0.0289^2} = 0.45 \ Hz$$

หาค่า effective degree of freedom (ν_{eff}) เพื่อนำไปหาค่า *k* (coverage factor) ด้วยการเปิดตาราง t-student โดยพิจารณาจากระดับความเชื่อมั่น (confident level) ในการสอบเทียบ ค่า effective degree of freedom สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_{Rep}^4}{\nu_1} + \frac{u_{STD_Acc}^4}{\nu_2} + \frac{u_{STD_Res}^4}{\nu_3}}$$

$$\nu_{eff} = \frac{0.45^4}{\frac{0.1155^4}{3-1} + \frac{0.4335^4}{\infty} + \frac{0.0289^4}{\infty}} = 460$$

โดยที่ ν_n คือ องศาเสรี (degree of freedom) มีค่าเท่ากับจำนวนข้อมูลลบด้วย 1 (n-1) สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type A และมีค่าเท่ากับอนันต์ (infinity) สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type B

หาค่าความไม่แน่นอนขยาย (expanded uncertainty) คำนวณได้โดยนำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมมาคูณกับค่า *k* ซึ่งขึ้นกับระดับความเชื่อมั่นในการสอบเทียบ ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการประเมินค่าความไม่แน่นอนด้วยระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ด้วยการเปิดตาราง t-student จะได้ค่า *k* เท่ากับ 2

$$U_e = k \times u_c = 2 \times 0.4496 \text{ Hz} = 0.90 \text{ Hz}$$

<u>ตัวอย่าง</u> ตาราง uncertainty budget ของความถี่ที่ตั้งไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน 250 Hz

symbol	source of uncertainty	value (Hz)	probability distribution	divisor	C_i	u_i (Hz)	degree of freedom
u_{STD_Acc}	ความถูกต้องของเครื่องมือวัด	0.7509	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.4335	∞
u_{STD_Res}	ความละเอียดของการอ่านค่า	0.1	rectangular	$2\sqrt{3}$	1	0.0289	∞
u_{Rep}	การวัดซ้ำ	0.200	normal	$\sqrt{3}$	1	0.1155	2
u_c	ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม		normal			0.45	460
U_e	ความไม่แน่นอนขยาย		normal (*k*=2)			0.90	460

ดังนั้น

$$U_e(\%) = \frac{U_e(Hz) \times 100}{F_{SET}(Hz)}$$

ตัวอย่างเช่น ความถี่ที่ตั้งไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน 250 Hz

$$U_e(\%) = \frac{0.90 \times 100}{250} = 0.36\ \%$$

2. ตัวอย่างองค์ประกอบความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบระดับความดันเสียง

$$HL_D = \left(SPL - \delta_{STD_Acc} - \delta_{STD_Res} - \delta_{STD_T} - \delta_{STD_P} - \delta_{STD_FR} - \delta_{STD_FRU} - \delta_{Rep}\right) - RETSPL - HL_{Set}$$

โดยที่ HL_D คือ ค่าเบี่ยงเบนของระดับการได้ยินที่วัดได้จากค่าที่ปรับตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

SPL คือ ระดับความดันเสียงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

δ_{STD_Acc} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

δ_{STD_Res} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าความละเอียดของการอ่าน

δ_{STD_T} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม

δ_{STD_P} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความดันบรรยากาศ

δ_{STD_FR} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน

δ_{STD_FRU} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าความไม่แน่นอนของการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน

δ_{Rep} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความสามารถในการกระทำซ้ำ

$RETSPL$ คือ ค่ากลางของระดับความดันเสียงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (reference equivalent threshold sound pressure level) ในหูเทียมคู่กับหูฟังรุ่นที่ใช้ร่วมกับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

HL_{Set} คือ ระดับการได้ยินที่ตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

(1) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการวัดซ้ำ

การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

$$u_{Rep} = \frac{s(x_i)}{\sqrt{3}}$$

โดยที่ $s(x_i)$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง คำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

โดยที่ x_n คือ ระดับความดันเสียงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานในแต่ละครั้ง (dB)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวัดทั้ง 3 ครั้ง คำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{n}$$

n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการวัดซ้ำ (3 ครั้ง)

<u>ตัวอย่าง</u> ระดับความดันเสียงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตราฐาน จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 96.5 dB 96.4 dB และ 96.5 dB ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.058 dB การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล หารด้วย $\sqrt{n}$

ดังนั้น

$$u_{Rep} = \frac{0.058}{\sqrt{3}} = 0.0333 \ dB$$

(2) ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สามารถพิจารณาจากค่าความถูกต้องของเครื่องวัดระดับความดันเสียงตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ในข้อมูลทางเทคนิค

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ข้อมูลทางเทคนิคที่ระบุไว้ในหลักเกณฑ์มาตรฐานนี้ มีค่าความถูกต้องของการวัดระดับความดันเสียง คือ ±0.5 dB การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_ACC} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.2887 \ dB$$

(3) ค่าความไม่แน่นอนของความละเอียดในการผ่าน พิจารณาจากความสามารถที่ดีที่สุดในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ความสามารถในการอ่านระดับความดันเสียงคือ 0.1 dB การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $2\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_Res} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 \ dB$$

(4) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (temperature coefficient) ซึ่งระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบไมโครโฟนมาตรฐานหรือหาข้อมูลจากผู้ผลิต โดยจะประเมินเป็นค่าเบี่ยงเบนของอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดจากอุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) คือ 23 °C นอกจากนี้จะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย โดยสรุปค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิ มีส่วนประกอบดังนี้

- ความเบี่ยงเบนของอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดจากอุณหภูมิอ้างอิง (23 °C) $(u_{STD_T_DT})$ พิจารณาจากอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดหรืออาจใช้ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดของอุณหภูมิที่ห้องปฏิบัติการควบคุม
- ความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ $(u_{STD_T_Coef})$ ข้อมูลสามารถหาได้จากผู้ผลิต
- ความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ $(u_{STD_T_ACC})$ พิจารณาจากสมบัติทางเทคนิคของเครื่องมือ
- ความละเอียดในการอ่านค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ $(u_{STD_T_RES})$

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความเบี่ยงเบนของอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดจากอุณหภูมิอ้างอิง$(u_{STD_T_DT})$ ห้องปฏิบัติการมีการควบคุมอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการที่ (23±3) °C และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่ความถี่ 1 kHz มีค่าเท่ากับ 0.0014 dB/°C การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_T_DT} = \frac{(T_{amb} - T_{ref}) \times T_{coef}}{\sqrt{3}}$$

$$u_{STD_T_DT} = \frac{3 \times 0.0014}{\sqrt{3}} = 0.0024 \ dB$$

โดยที่ T_{amb} คืออุณหภูมิแวดล้อมขณะที่ทำการวัด (°C)

T_{ref} คืออุณหภูมิอ้างอิง เท่ากับ 23 °C

T_{coef} คือสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของไมโครโฟน (dB/°C)

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> การประเมินความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ $(u_{STD_T_Coef})$ สมมุติให้ระดับความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ ±20% ห้องปฏิบัติการควบคุมอุณหภูมิที่ (23±3) °C การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_T_Coef} = \frac{(Accuracy \times T_{coef}) \times (T_{amb} - T_{ref})}{\sqrt{3}}$$

$$u_{STD_T_Coef} = \frac{\left(\frac{20}{100} \times 0.0014\right) \times 3}{\sqrt{3}} = 0.00049 \ dB$$

โดยที่ T_{coef} คือสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของไมโครโฟน (dB/°C)

T_{amb} คืออุณหภูมิแวดล้อมขณะที่ทำการวัด (°C)

T_{ref} คืออุณหภูมิอ้างอิง เท่ากับ 23 °C

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ $(u_{STD_T_ACC})$ สมมุติให้ระดับความถูกต้องของเครื่องวัดอุณหภูมิเท่ากับ ±0.3 °C และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเท่ากับ 0.001 dB/°C การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_T_ACC}\ (°c) = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.1732\ °C$$

$$u_{STD_T_ACC}\ (dB) = u_{STD_T_ACC}\ (°C) \times T_{coeff}$$

$$u_{STD_T_ACC}\ (dB) = 0.1732 \times 0.0014 = 0.00024\ dB$$

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของส่วนแสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ $(u_{STD_T_Res})$ สมมุติให้มีค่าเท่ากับ 0.1 °C และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเท่ากับ 0.0014 dB/°C การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $2\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_T_Res}(°C) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289\ °C$$

$$u_{STD_T_Res}(dB) = u_{STD_T_Res}\ (dB) \times T_{coeff}$$

$$u_{STD_T_Res}(dB) = 0.0289 \times 0.0014 = 0.00004\ dB$$

ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม จะมีค่าเท่ากับองค์ประกอบทั้งหมดรวมกัน

$$u_{STD_T} = \sqrt{u_{STD_T_DT}^2 + u_{STD_T_Coef}^2 + u_{STD_T_Acc}^2 + u_{STD_T_Res}^2}$$

$$u_{STD_T} = \sqrt{0.0024^2 + 0.00049^2 + 0.00024^2 + 0.00004^2} = 0.0025\ dB$$

(5) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความดันบรรยากาศ พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความดัน (pressure coefficient) ซึ่งระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบไมโครโฟนมาตรฐานหรือหาข้อมูลจากผู้ผลิต โดยจะประเมินเป็นค่าเบี่ยงเบนของอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดจากความดันอ้างอิง (reference pressure) คือ 101.32 kPa นอกจากนี้จะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย โดยสรุปค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความดัน มีส่วนประกอบดังนี้

- ความเบี่ยงเบนของความดันบรรยากาศขณะที่ทำการวัดจากความดันบรรยากาศอ้างอิง (101.32 kPa) $(u_{STD_P_DT})$ พิจารณาจากความดันบรรยากาศขณะที่ทำการวัดหรืออาจจะใช้ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดของความดันบรรยากาศที่ห้องปฏิบัติการควบคุม
- ความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ความดัน $(u_{STD_P_Coef})$ ข้อมูลสามารถหาได้จากผู้ผลิต
- ความถูกต้องของเครื่องมือวัดความดัน $(u_{STD_P_Acc})$ พิจารณาจากสมบัติทางเทคนิคของเครื่องมือ
- ความละเอียดในการอ่านค่าความดันบรรยากาศของเครื่องวัดความดัน $(u_{STD_P_Res})$

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่างที่ 1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความเบี่ยงเบนของความดันบรรยากาศขณะที่ทำการวัดจากความดันบรรยากาศอ้างอิง $(u_{STD_P_DT})$ ห้องปฏิบัติการมีการควบคุมความดันบรรยากาศของห้องปฏิบัติการที่ (101.32±1.5) kPa และค่าสัมประสิทธิ์ความดันที่ความถี่ 1kHz มีค่าเท่ากับ 0.0051 dB/kPa การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_P_DT} = \frac{(P_{amb} - P_{Ref}) \times P_{Coef}}{\sqrt{3}}$$

$$u_{STD_P_DT} = \frac{1.5 \times 0.0051}{\sqrt{3}} = 0.0044\ dB$$

โดยที่ P_{amb} คือความดันบรรยากาศขณะที่ทำการวัด (kPa)

P_{Ref} คือความดันบรรยากาศอ้างอิง (kPa)

P_{Coef} คือสัมประสิทธิ์ความดันของไมโครโฟน (dB/kPa)

ตัวอย่างที่ 2 การประเมินความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ความดัน $(u_{STD_P_Coef})$ สมมุติให้ระดับความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ความดันมีค่าเท่ากับ ±1.5 kPa ห้องปฏิบัติการควบคุมความดันที่ (101.32±1.5) kPa การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_P_Coef} = \frac{(Accuracy \times P_{Coef}) \times (P_{amb} - P_{Ref})}{\sqrt{3}}$$

$$u_{STD_P_Coef} = \frac{\left(\frac{20}{100} \times 0.0051\right) \times 1.5}{\sqrt{3}} = 0.00088\ dB$$

โดยที่ P_{Coef} คือสัมประสิทธิ์ความดันของไมโครโฟน (dB/kPa)

P_{amb} คือความดันบรรยากาศขณะที่ทำการวัด (kPa)

P_{Ref} คือความดันอ้างอิงเท่ากับ 101.32 kPa

ตัวอย่างที่ 3 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความถูกต้องของเครื่องมือวัดความดัน $(u_{STD_P_Acc})$ สมมุติให้ระดับความถูกต้องของเครื่องวัดความดันเท่ากับ ±0.5 kPa และสัมประสิทธิ์ความดันเท่ากับ 0.0051 dB/kPa การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_P_Acc}\ (kPa) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.2887\ kPa$$

$$u_{STD_P_Acc}\ (dB) = u_{STD_P_Acc}(kPa) \times P_{Coef}$$

$$u_{STD_P_Acc}\ (dB) = 0.2887 \times 0.0051 = 0.0015\ dB$$

ตัวอย่างที่ 4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านค่าความดันของเครื่องวัดความดัน $(u_{STD_P_Res})$ สมมุติให้มีค่าเท่ากับ 0.01 kPa และสัมประสิทธิ์ความดันเท่ากับ 0.0051 dB/kPa การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $2\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_P_Res}\ (kPa) = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.00289\ kPa$$

$$u_{STD_P_Acc}\ (dB) = u_{STD_P_Res}\ (kPa) \times P_{Coef}$$

$$u_{STD_P_Acc}\ (dB) = 0.00289 \times 0.0051 = 0.000015\ dB$$

ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความดันบรรยากาศจะมีค่าเท่ากับองค์ประกอบทั้งหมดรวมกัน

$$u_{STD_P} = \sqrt{u_{STD_P_DT}^2 + u_{STD_P_Coef}^2 + u_{STD_P_Acc}^2 + u_{STD_P_Res}^2}$$

$$u_{STD_P} = \sqrt{0.0044^2 + 0.00088^2 + 0.00147^2 + 0.000015^2} = 0.0047\ dB$$

(6) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน พิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนของการตอบสนองความถี่ที่สนใจจากความถี่อ้างอิง คือ 250 Hz (frequency response relative to 250 Hz) สามารถดูได้จากใบรับรองการสอบเทียบไมโครโฟน

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ค่าความเบี่ยงเบนของการตอบสนองความถี่ 1 kHz มีค่าเท่ากับ 0.2 dB การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_FR} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.1155\ dB$$

(7) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความไม่แน่นอนของการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน ค่าได้มาจากความไม่แน่นอนของค่าเบี่ยงเบนที่ได้จากการสอบเทียบ

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติ

ตัวอย่าง ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ความถี่ 1kHz มีค่าเท่ากับ 0.1 dB เป็นค่าความไม่แน่นอนขยาย ซึ่งมีระดับความมั่นใจ 95% ค่า k = 2 การแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ หารค่า k=2

ดังนั้น

$$u_{STD_FRU} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \quad dB$$

นำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้จากแหล่งความไม่แน่นอนทั้งหมดมารวมกัน เรียกผลรวมนี้ว่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$u_c = \sqrt{u_{Rep}^2 + u_{STD_Acc}^2 + u_{STD_Res}^2 + u_{STD_T}^2 + u_{STD_P}^2 + u_{STD_FR}^2 + u_{STD_FRU}^2}$$

$$u_c = \sqrt{0.0333^2 + 0.2887^2 + 0.0289^2 + 0.00249^2 + 0.00474^2 + 0.1155^2 + 0.05^2}$$

$$u_c = 0.32 \ dB$$

หาค่า effective degree of freedom (ν_{eff}) เพื่อนำไปหาค่า k ด้วยการเปิดตาราง t-student โดยพิจารณาจากระดับความเชื่อมั่นในการสอบเทียบ ค่า effective degree of freedom สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_{Rep}^4}{\nu_1} + \frac{u_{STD_Acc}^4}{\nu_2} + \frac{u_{STD_Res}^4}{\nu_3} + \frac{u_{STD_T}^4}{\nu_4} + \frac{u_{STD_P}^4}{\nu_5} + \frac{u_{STD_FR}^4}{\nu_6} + \frac{u_{STD_FU}^4}{\nu_7}}$$

$$\nu_{eff} = \frac{0.32^4}{\frac{0.0333^4}{3-1} + \frac{0.2887^4}{\infty} + \frac{0.0289^4}{\infty} + \frac{0.00249^4}{\infty} + \frac{0.00474^4}{\infty} + \frac{0.1155^4}{\infty} + \frac{0.058^4}{\infty}}$$

$$\nu_{eff} = 16846$$

โดยที่ $\nu_n =$ องศาเสรี มีค่าเท่ากับจำนวนข้อมูลลบด้วย 1 (n-1) สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type A และมีค่าเท่ากับอนันต์ สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type B

หาค่าความไม่แน่นอนขยาย คำนวณได้โดยนำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมมาคูณกับค่า k ซึ่งขึ้นกับระดับความเชื่อมั่นในการสอบเทียบ ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการประเมินค่าความไม่แน่นอนด้วยระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ทำการเปิดตาราง t-student จะได้ค่า k เท่ากับ 2

ดังนั้น

$$U_e = k \times u_c = 2 \times 0.32 \ dB = 0.64 \quad dB$$

ตัวอย่าง ตาราง uncertainty budget ของระดับความดันเสียงที่ความถี่ 1 kHz

symbol	source of uncertainty	value (dB)	probability distribution	divisor	C_i	u_i (dB)	degree of freedom
u_{STD_Acc}	ความถูกต้องของเครื่องมือมาตรฐาน	0.5	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.2887	∞
u_{STD_Res}	ความละเอียดในการอ่าน	0.1	rectangular	$2\sqrt{3}$	1	0.0289	∞
u_{Rep}	การวัดซ้ำ	0.058	normal	$\sqrt{3}$	1	0.0333	2
u_{STD_T}	อุณหภูมิแวดล้อม	0.0043	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.0025	∞
u_{STD_P}	ความดันบรรยากาศ	0.0083	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.0047	∞
u_{STD_FR}	การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน	0.2	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.1155	∞
u_{STD_FRU}	ค่าความไม่แน่นอนของค่าตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน	0.1	normal	2	1	0.0577	∞
u_C	ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม		normal			0.32	16846
U_e	ความไม่แน่นอนขยาย		normal (k=2)			0.64	16846

3. ตัวอย่างองค์ประกอบความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบระดับเสียงลวง

$$MN_D = \left(SPL - \delta_{STD_Acc} - \delta_{STD_Res} - \delta_{STD_T} - \delta_{STD_P} - \delta_{STD_FR} - \delta_{STD_FRU} - \delta_{Rep}\right) - RETSPL - Ref.Level - MN_{Set}$$

โดยที่ MN_D คือ ค่าเบี่ยงเบนของระดับเสียงลวงที่วัดได้จากค่าที่ปรับตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

SPL คือ ระดับความดันเสียงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

δ_{STD_Acc} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

δ_{STD_Res} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าความละเอียดในการอ่าน

δ_{STD_T} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม

δ_{STD_P} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความดันบรรยากาศ

δ_{STD_FR} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน

δ_{STD_FRU} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าความไม่แน่นอนของการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน

δ_{Rep} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความสามารถในการกระทำซ้ำ

$RETSPL$ คือ ค่ากลางของระดับความดันเสียงที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน (reference equivalent threshold sound pressure level) ในหูเทียมคู่กับหูฟังรุ่นที่ใช้ร่วมกับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

$Ref.Level$ คือ ระดับอ้างอิงสำหรับระดับเสียงลวง

MN_{Set} คือ ระดับเสียงลวงที่ตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

<u>ตัวอย่าง</u> การประเมินค่าความไม่แน่นอนเหมือนกันกับความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบระดับความดันเสียง

4. ตัวอย่างองค์ประกอบความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบความถูกต้องของการควบคุมระดับสัญญาณ

$$HL_D = \left[\left(SPL_{M_1} - \delta_{STD_Acc} - \delta_{STD_Res} - \delta_{STD_T} - \delta_{STD_P} - \delta_{Rep}\right) - \left(SPL_{M_2} - \delta_{STD_Acc} - \delta_{STD_Res} - \delta_{STD_T} - \delta_{STD_P} - \delta_{Rep}\right)\right] - \left(HL_{Set_1} - HL_{Set_2}\right)$$

โดยที่ HL_D คือ ค่าความเบี่ยงเบนของค่าความแตกต่างของระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกันเป็นค่าที่ได้จากการวัด จากค่าความแตกต่างของระดับการได้ยินที่สนใจ 2 ระดับที่อยู่ติดกันที่ปรับตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน

SPL_{M_1} คือ ระดับความดันเสียงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน เป็นค่าสูงสุดใน 2 ระดับการได้ยินที่สนใจ

δ_{STD_Acc} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน

δ_{STD_Res} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าความละเอียดในการอ่าน

δ_{STD_T} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม

δ_{STD_P} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความดันบรรยากาศ

δ_{Rep} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความสามารถในการวัดซ้ำ

SPL_{M_2} คือ ระดับความดันเสียงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน เป็นค่าต่ำสุดใน 2 ระดับการได้ยินที่สนใจ

HL_{Set_1} คือ ระดับการได้ยินที่ตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน เป็นค่าสูงสุดใน 2 ระดับการได้ยินที่สนใจ

HL_{Set_2} คือ ระดับการได้ยินที่ตั้งบนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน เป็นค่าต่ำสุดใน 2 ระดับการได้ยินที่สนใจ

(1) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการวัดซ้ำ

การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

$$u_{Rep} = \frac{s(x_i)}{\sqrt{3}}$$

โดยที่ $s(x_i)$ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทำการวัดซ้ำทั้ง 3 ครั้ง คำนวณได้ตามสมการ ดังนี้

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

โดยที่ x_n คือ ระดับความดันเสียงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานในแต่ละครั้ง (dB)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวัดทั้ง 3 ครั้ง สามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$$

n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการวัดซ้ำ (3 ครั้ง)

ตัวอย่าง ระดับความดันเสียงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตราฐาน จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 96.5 dB 96.4 dB และ 96.5 dB ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.058 dB การแจงแจงปกติของข้อมูล หารด้วย $\sqrt{n}$

ดังนั้น

$$u_{Rep} = \frac{0.0058}{\sqrt{3}} = 0.0333\ dB$$

(2) ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากเครื่องมือมาตรฐาน สามารถพิจารณาจากค่าความถูกต้องของเครื่องวัดระดับความดันเสียง ตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ในข้อมูลทางเทคนิค การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ข้อมูลทางเทคนิคที่ระบุไว้ในหลักเกณฑ์มาตรฐานนี้ มีค่าความถูกต้องของการวัดระดับความดันเสียง คือ ±0.5 dB การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_Acc} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.2887\ dB$$

(3) ค่าความไม่แน่นอนของความละเอียดในการอ่าน พิจารณาจากความสามารถที่ดีที่สุดในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ความสามารถในการอ่านระดับความดันเสียงคือ 0.1 dB การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $2\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_ReS} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289\ dB$$

(4) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ซึ่งถูกระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบไมโครโฟนมาตรฐานหรือหาข้อมูลจากผู้ผลิต โดยจะประเมินเป็นค่าเบี่ยงเบนของอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดจากอุณหภูมิอ้างอิง คือ 23°C นอกจากนี้จะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย โดยสรุปค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม มีส่วนประกอบดังนี้

- ความเบี่ยงเบนของอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดจากอุณหภูมิอ้างอิง (23°C) ($u_{STD_T_DT}$) พิจารณาจากอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดหรืออาจจะใช้ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดของอุณหภูมิที่ห้องปฏิบัติการควบคุม
- ความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ($u_{STD_T_Coef}$) ข้อมูลสามารถหาได้จากผู้ผลิต
- ความถูกต้องของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ($u_{STD_T_Acc}$) พิจารณาจากคุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องมือ
- ความละเอียดของส่วนแสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ ($u_{STD_T_Res}$)

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง การประเมินค่าความไม่แน่นอนเหมือนกันกับความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบระดับความดันเสียง

(5) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความดันบรรยากาศ พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความดัน ซึ่งระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบไมโครโฟนมาตรฐานหรือหาข้อมูลจากผู้ผลิต โดยจะประเมินเป็นค่าเบี่ยงเบนของอุณหภูมิขณะที่ทำการวัดจากอุณหภูมิอ้างอิง คือ 101.32 kPa นอกจากนี้จะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย โดยสรุปค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความดัน มีส่วนประกอบดังนี้

- ความเบี่ยงเบนของความดันบรรยากาศขณะที่ทำการวัดจากความดันบรรยายกาศอ้างอิง (101.32 kPa) $(u_{STD_P_DT})$ พิจารณาจากความดันบรรยากาศขณะที่ทำการวัดหรืออาจจะใช้ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดของความดันบรรยากาศที่ห้องปฏิบัติการควบคุม
- ความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ความดัน $(u_{STD_P_Coef})$ ข้อมูลสามารถหาได้จากผู้ผลิต
- ความถูกต้องของเครื่องมือวัดความดัน $(u_{STD_P_Acc})$ พิจารณาจากคุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องมือ
- ความละเอียดของส่วนแสดงค่าความดันบรรยากาศของเครื่องวัดความดัน $(u_{STD_P_Res})$

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง การประเมินค่าความไม่แน่นอนเหมือนกันกับความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบระดับความดันเสียง

นำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้จากแหล่งความไม่แน่นอนทั้งหมดมารวมกัน เรียกผลรวมนี้ว่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$u_c = \sqrt{u_{Rep}^2 + u_{STD_Acc}^2 + u_{STD_Res}^2 + u_{STD_T}^2 + u_{STD_P}^2}$$

$$u_c = \sqrt{0.0333^2 + 0.2887^2 + 0.0289^2 + 0.00249^2 + 0.0047^2}$$

$$u_c = 0.29\ dB$$

หาค่า effective degree of freedom (ν_{eff}) เพื่อนำไปหาค่า *k* ด้วยการเปิดตาราง t-student โดยพิจารณาจากระดับความเชื่อมั่นในการสอบเทียบ ค่า effective degree of freedom สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_{Rep}^4}{\nu_1} + \frac{u_{STD_Acc}^4}{\nu_2} + \frac{u_{STD_Res}^4}{\nu_3} + \frac{u_{STD_T}^4}{\nu_4} + \frac{u_{STD_P}^4}{\nu_5}}$$

$$\nu_{eff} = \frac{0.32^4}{\frac{0.0333^4}{3-1} + \frac{0.2887^4}{\infty} + \frac{0.0289^4}{\infty} + \frac{0.00249^4}{\infty} + \frac{0.00474^4}{\infty}}$$

$$\nu_{eff} = 11789$$

โดยที่ ν_n คือ องศาเสรี มีค่าเท่ากับจำนวนข้อมูลลบด้วย 1 (n-1) สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type A และมีค่าเท่ากับอนันต์ สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type B

หาค่าความไม่แน่นอนขยาย คำนวณได้โดยนำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมมาคูณกับค่า *k* ซึ่งขึ้นกับระดับความเชื่อมั่นในการสอบเทียบ ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการประเมินค่าความไม่แน่นอนด้วยระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ทำการเปิดตาราง t-student จะได้ค่า *k* เท่ากับ 2

ดังนั้น

$$U_e \;=\; k \times u_c \;=\; 2 \times 0.29\ dB \;=\; 0.58\ \ dB$$

ตัวอย่างตาราง uncertainty budget ของความถูกต้องของการควบคุมสัญญาณที่ระดับการได้ยิน 70 dBHL

symbol	source of uncertainty	value (dB)	probability distribution	divisor	C_i	u_i (dB)	degree of freedom
u_{STD_Acc}	ความถูกต้องของเครื่องมือวัด	0.5	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.2887	∞
u_{STD_ReS}	ความละเอียดของการอ่านค่า	0.1	rectangular	$2\sqrt{3}$	1	0.0289	∞
u_{Rep}	การวัดซ้ำ	0.058	normal	$\sqrt{3}$	1	0.0333	2
u_{STD_T}	อุณหภูมิแวดล้อม	0.0043	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.0025	∞
u_{STD_P}	ความดันบรรยากาศ	0.0083	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.0047	∞
u_c	ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม		normal			0.29	11789
U_e	ความไม่แน่นอนขยาย		normal (*k*=2)			0.58	11789

5. ตัวอย่างองค์ประกอบความไม่แน่นอนของการวัดในการสอบเทียบความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก

$$THD \;= THD_{STD} - \delta_{STD_Acc} - \delta_{STD_Res} - \delta_{Rep}$$

โดยที่ THD คือค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก

THD_{STD} คือค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก ที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐาน

δ_{STD_Acc} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือมาตรฐาน

δ_{STD_Res} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าความละเอียดของการอ่าน

δ_{Rep} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความสามารถในการวัดซ้ำ

(1) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดซ้ำ

การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล แทนค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเป็น u_A

$$u_{Rep} \;=\; \frac{s(x_i)}{\sqrt{3}}$$

โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลที่ทำการวัดซ้ำ (3 ครั้ง)

$s(x_i)$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทำการวัดซ้ำทั้ง 3 ครั้ง คำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$s(x_i) \;=\; \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

โดยที่ x_n คือ ค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานในแต่ละครั้ง (%)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวัดทั้ง 3 ครั้ง สามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$$

ตัวอย่าง ค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิกที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตราฐาน จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 0.1% 0.3% และ 0.4% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.153% การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล หารด้วย $\sqrt{n}$

ดังนั้น

$$u_{Rep} = \frac{0.153}{\sqrt{3}} = 0.0882\ \%$$

(2) ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากเครื่องมือมาตรฐาน สามารถพิจารณาจากค่าความถูกต้องของเครื่องวัดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ในข้อมูลทางเทคนิค

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ข้อมูลทางเทคนิคที่ระบุไว้ในหลักเกณฑ์มาตรฐานนี้ มีค่าความถูกต้องของการวัดความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก คือ $\pm$0.3% การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย$\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_Acc} = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.1732\ \%$$

(3) ค่าความไม่แน่นอนของการอ่านผลการวัด พิจารณาจากความสามารถที่ดีที่สุดในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด

การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ตัวอย่าง ความสามารถในการอ่านค่าความผิดเพี้ยนรวมของสัญญาณฮาร์มอนิก คือ 0.1% การแจกแจงข้อมูลเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงหารด้วย $2\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$u_{STD_ReS} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.02887\ \%$$

นำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้จากแหล่งความไม่แน่นอนทั้งหมดมารวมกัน เรียกผลรวมนี้ว่า ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$u_c = \sqrt{u_{Rep}^2 + u_{STD_Acc}^2 + u_{STD_Res}^2}$$

$$u_c = \sqrt{0.0883^2 + 0.1732^2 + 0.0289^2} = 0.20\ \%$$

หาค่า Effective degree of freedom (ν_{eff}) เพื่อนำไปหาค่า *k* ด้วยการเปิดตาราง t-student โดยพิจารณาจากระดับความเชื่อมั่นในการสอบเทียบ ค่า Effective degree of freedom สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_{Rep}^4}{\nu_1} + \frac{u_{STD_Acc}^4}{\nu_2} + \frac{u_{STD_Res}^4}{\nu_3}}$$

$$\nu_{eff} = \frac{0.20^4}{\frac{0.0883^4}{3-1} + \frac{0.1732^4}{\infty} + \frac{0.0289^4}{\infty}} = 49$$

โดยที่ ν_n คือ องศาเสรี มีค่าเท่ากับจำนวนข้อมูลลบด้วย 1 (n-1) สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type A และมีค่าเท่ากับอนันต์ สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้มาจากการประเมินแบบ Type B

หาค่าความไม่แน่นอนขยาย คำนวณได้โดยนำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมมาคูณกับค่า *k* ซึ่งขึ้นกับระดับความเชื่อมั่นในการสอบเทียบ ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการประเมินค่าความไม่แน่นอนด้วยระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ทำการเปิดตาราง t-student จะได้ค่า *k* เท่ากับ 2

$$U_e = k \times u_c = 2 \times 0.20\ \% = 0.40\ \%$$

<u>ตัวอย่าง</u> ตาราง uncertainty budget ของความถี่ที่ตั้งไว้บนเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยิน 1 kHz

symbol	source of uncertainty	value (%)	probability distribution	divisor	C_i	u_i (%)	degree of freedom
u_{STD_Acc}	ความถูกต้องของเครื่องมือวัด	0.3	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.1732	∞
u_{STD_ReS}	ความละเอียดของการอ่านค่า	0.01	rectangular	$2\sqrt{3}$	1	0.0289	∞
u_{Rep}	การวัดซ้ำ	0.100	normal	$\sqrt{3}$	1	0.0882	2
u_c	ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม		normal			0.20	49
U_e	ความไม่แน่นอนขยาย		normal (*k*=2)			0.40	49

ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างใบรับรองการสอบเทียบ

Certificate of Calibration

Certificate No. : 001-20
Issued by : Laboratory

Page 1 of 10 pages

MEASUREMENT ITEM : Audiometer

MANUFACTURER : MADSEN Itera II
MODEL/TYPE : 1004
SERIAL NUMBER : 2082233

TRANSDUCER : Insert Earphone
MODEL : ER-2
SERIAL NUMBER : M033829

CUSTOMER : Name
123 Road, Amphor, Tambol, Provice
Thailand

MEASUREMENT DATE : DD MM YYYY

Name Surename
Approved by

Name Surename
Performed by

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

The stated uncertainty is the expanded uncertainty obtained by multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k=2. It has been determined in accordance with EA publication EA-4/02 "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration" and JCGM 100:2008 "Evaluation of measurement data--Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995 with minor corrections)". The value of the measured lies within the assigned range of value with a probability of 95 %.

Description	Maximum expanded uncertainty of measurement	Maximum permitted expanded uncertainty of measurement	Unit
Frequency	0.2	0.5	%
Sound pressure level 125 Hz to 4 kHz	0.7	0.7	dBHL
Sound pressure level 5 kHz to 8 kHz	0.7	1.2	dBHL
Sound pressure level 9 kHz to 15 kHz	0.6	1.5	dBHL
Masking noise level 125Hz to 4 kHz	0.4	1.0	dBHL
Hearing level control	0.4	0.5	dB
Total harmonic distortion	0.4	0.5	%
Grounding Resistance	0.1	-	Ω
Chasis Leakage Current	0.1	-	μA

Remark :

1) The maximum permitted expanded uncertainty of measurement derived from the standard IEC 60645-1:2017.

2) The measurement uncertainty at some parameter are exceed the maximum permitted uncertainty due to the variation of the measurement repeatability.

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Ambient condition in the laboratory are as follows :

Temperature	:	(23.0±2.0) °C
Pressure	:	(101.3± 1.5) kPa
Humidity	:	(50.0±15.0) %RH

Reference Condition : 101.325 kPa , 23.0 °C and 50.0 %RH.

Calibration Condition

Measurement Conditions : The average values during measurement are (99.956±0.300)kPa, (22.3±0.6)°C and (53.3±1.7)%RH

MEASUREMENT METHOD

The tests applied to the audiometer are based on IEC 60645-1 : 2012; Electroacoustics-Audiometric equipments-Part 1 : Equipment for pure-tone audiometry.

The audiometer is calibrated together with its transducer by direct measurement of acoustical output via artificial ear by using the calibrated condenser microphones. The measurement results are shown on the display of analyzer. The UUT was calibrated in six parameters which are Frequency, Sound pressure level, Total harmonic distortion (THD), Masking noise level, Accuracy of control and Electrical safty.

Reference Standard

1) Microphone Model : S/N :

2) Ear Simulator (IEC 60318-1) Model: S/N :

TABULATION OF RESULTS

The following tables give the calibration results and associated measurement uncertainties at approximately 95% of confidence level. The unit of dB are quoted as the ratio with reference to 20 µPa.

The stated tolerance are taken from IEC 60645-1:2017 standards for type 1 Audiometer . For the audiometer designed in accordance with IEC 60645, the acceptance limits shown on those standards should be referred. The user should determine the suitability of the instrument for its intended use.

TRACEABILITY

This certificate provides traceability of measurement to recognized national standards, and to the realization of the International System of Units (SI) through National Institute of metrology (Thailand).

Intrument	Model	Serial No.	Certificate No.	Due Date
Microphone	4134	XXXX	XXXX	XXXXX

MEASUREMENT RESULTS

1. Frequency

The reference hearing level is 70 dB HL.

Setting Frequency (Hz)	Measured Frequency (Hz)		Devatied Value (%)		Acceptance Limit (%)	Uncertainty (%)
	Left Ear	Right Ear	Left Ear	Right Ear		
125	125.0	125.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
250	250.0	250.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
500	500.0	500.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
750	750.0	750.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
1000	1000.0	1000.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
1500	1500.0	1500.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
2000	2000.0	2000.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
3000	3000.0	3000.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
4000	4000.0	4000.0	0.0	0.0	±3.0	0.1
6000	6000.0	6000.0	0.0	0.0	±5.0	0.1
8000	8000.0	8000.0	0.0	0.0	±5.0	0.1

MEASUREMENT RESULTS

3. Sound pressure level

The reference hearing level is 70 dB HL.

Setting Frequency (Hz)	Measured Hearing Level (dB HL)		Devatied Value (dB HL)		Acceptance Limit (dB)	Uncertainty (dB)
	Left Ear	Right Ear	Left Ear	Right Ear		
125	49.4	50.0	-0.6	0.0	±3.0	0.6
250	69.1	69.5	-0.9	-0.5	±3.0	0.6
500	69.1	69.4	-0.9	-0.6	±3.0	0.6
750	70.0	70.1	0.0	0.1	±3.0	0.6
1000	70.3	70.3	0.3	0.3	±3.0	0.6
1500	69.6	69.5	-0.4	-0.5	±3.0	0.6
2000	72.0	71.6	2.0	1.6	±3.0	0.6
3000	70.9	70.1	0.9	0.1	±3.0	0.6
4000	71.4	71.1	1.4	1.1	±3.0	0.6
6000	69.0	69.0	-1.0	-1.0	±5.0	0.6
8000	70.9	71.3	0.9	1.3	±5.0	0.6

Remark : The RETSPL derived from ISO 389-1:2017

MEASUREMENT RESULTS

4. Masking Noise Level

The reference hearing level is 70 dB HL.

Setting Frequency (Hz)	Measured Masking Level (dB HL)		Devatied Value (dB HL)		Acceptance Limit (dB)	Uncertainty (dB)
	Left Ear	Right Ear	Left Ear	Right Ear		
125	43.8	44.3	-1.2	-0.7	-3, +5	0.4
250	68.6	70.1	-1.4	0.1	-3, +5	0.2
500	69.0	69.8	-1.0	-0.2	-3, +5	0.2
750	70.1	70.1	0.1	0.1	-3, +5	0.2
1000	70.6	70.3	0.6	0.3	-3, +5	0.2
1500	70.6	69.8	0.6	-0.2	-3, +5	0.2
2000	71.7	71.7	1.7	1.7	-3, +5	0.2
3000	72.1	71.5	2.1	1.5	-3, +5	0.2
4000	71.0	70.6	1.0	0.6	-3, +5	0.2
6000	69.0	68.6	-1.0	-1.4	-3, +5	0.2
8000	70.3	70.9	0.3	0.9	-3, +5	0.2

Remark : The RETSPL and Reference level derived from ISO 389-1:2017 and ISO 389-4: 1994 repectively.

MEASUREMENT RESULTS

5. Hearing Level Control

5.1 Step Deviation

The reference frequency is 1000 Hz.

Hearing Level (dB HL)	Measured Level (dB HL)		Devated Value (dB HL)		Acceptance Limit (dB)	Uncertainty (dB)
	Left Ear	Right Ear	Left Ear	Right Ear		
100	100.6	100.5	-	-	±1.0	0.4
95	95.6	95.5	0.0	0.0	±1.0	0.1
90	90.6	90.5	0.0	0.0	±1.0	0.1
85	85.5	85.4	0.1	0.0	±1.0	0.1
80	80.5	80.4	0.0	0.1	±1.0	0.1
75	75.4	75.4	0.1	0.0	±1.0	0.1
70	70.3	70.3	0.1	0.1	±1.0	0.1
65	65.3	65.3	0.0	0.0	±1.0	0.1
60	60.2	60.2	0.1	0.0	±1.0	0.1
55	55.1	55.1	0.1	0.1	±1.0	0.1
50	50.0	50.1	0.1	0.1	±1.0	0.1
45	45.0	45.0	0.1	0.1	±1.0	0.1
40	39.9	39.9	0.1	0.1	±1.0	0.1
35	34.8	34.9	0.0	0.0	±1.0	0.1
30	29.7	29.7	0.1	0.1	±1.0	0.1
25	24.7	24.8	0.0	0.0	±1.0	0.2
20	19.7	19.7	0.0	0.1	±1.0	0.2
15	14.7	14.7	-0.1	0.0	±1.0	0.2
10	10.0	10.1	-0.3	-0.4	±1.0	0.3

MEASUREMENT RESULTS

5.2 Accumulated Deviation

The reference frequency is 1000 Hz.

Hearing Level (dB HL)	Measured Level (dB HL)		Deviated Value (dB HL)		Acceptance Limit (dB)	Uncertainty (dB)
	Left Ear	Right Ear	Left Ear	Right Ear		
100	100.6	100.5	0.0	0.0	±1.5	0.4
95	95.6	95.5	0.0	0.0	±1.5	0.1
90	90.6	90.5	0.0	0.0	±1.5	0.1
85	85.5	85.4	0.1	0.0	±1.5	0.1
80	80.5	80.4	0.1	0.1	±1.5	0.1
75	75.4	75.4	0.2	0.1	±1.5	0.1
70	70.3	70.3	0.3	0.2	±1.5	0.1
65	65.3	65.3	0.3	0.2	±1.5	0.1
60	60.2	60.2	0.4	0.2	±1.5	0.1
55	55.1	55.1	0.5	0.3	±1.5	0.1
50	50.0	50.1	0.6	0.4	±1.5	0.1
45	45.0	45.0	0.6	0.5	±1.5	0.1
40	39.9	39.9	0.7	0.6	±1.5	0.1
35	34.8	34.9	0.8	0.6	±1.5	0.1
30	29.7	29.7	0.9	0.7	±1.5	0.1
25	24.7	24.8	0.9	0.7	±1.5	0.2
20	19.7	19.7	0.9	0.8	±1.5	0.2
15	14.7	14.7	0.9	0.8	±1.5	0.2
10	10.0	10.1	0.6	0.4	±1.5	0.3

Continuation of Certificate of Calibration Number 001-20 Page 10 of 10 pages

MEASUREMENT RESULTS

6. Total Harmonic Distortion

Setting Frequency (Hz)	Hearing Level Setting (dB HL)	Measured THD (%)		Acceptance Limit (%)	Uncertainty (%)
		Left Ear	Right Ear		
125	50	0.1	0.2	±2.5	0.4
250	80	0.0	0.1	±2.5	0.2
500	100	0.2	0.2	±2.5	0.2
750	100	0.1	0.1	±2.5	0.2
1000	100	0.1	0.1	±2.5	0.2
1500	100	0.1	0.1	±2.5	0.2
2000	100	0.2	0.2	±2.5	0.2
3000	100	0.2	0.2	±2.5	0.2
4000	100	0.3	0.3	±2.5	0.2
6000	90	0.4	0.4	±2.5	0.2
8000	80	0.7	0.6	±2.5	0.2

End of Certification of Verification