

เครื่องมือวัดด้านเสียง

โดย สุรัตน์ สอดมวงษ์
ห้องปฏิบัติการเสียง
ฝ่ายมาตรวิทยาเสียงและการสั่นสะเทือน

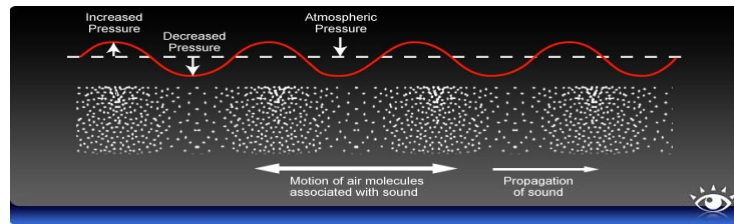
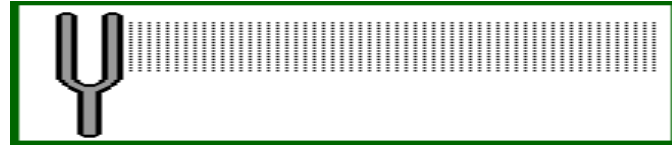
1

เนื้อหาการบรรยาย

- ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง
- เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง
- เครื่องวัดเสียง
- การเปรียบเทียบความถูกต้องเครื่องวัดเสียง

2

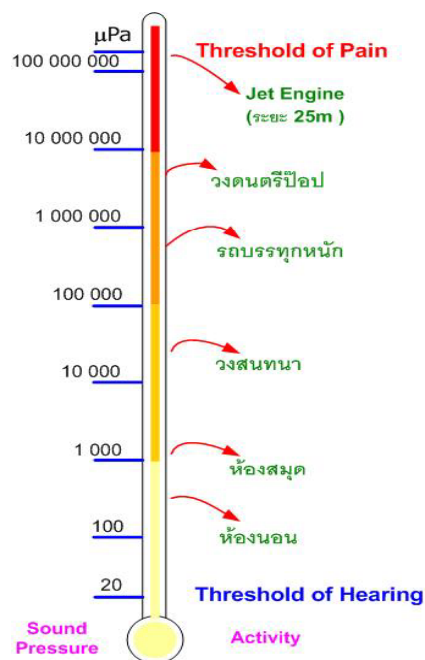
เสียง คือการเปลี่ยนแปลงความดัน



- การเปลี่ยนแปลงความดัน เรียกว่า ความดันเสียง (sound pressure)
- หน่วยของความดัน คือ ปาสคาล (Pa) หรือ นิวตันต่อตารางเมตร (N/m²).

<http://www.meritnation.com/ask-answer/question/what-do-you-mean-by-propagation-of-sound/sound/3436305>
<http://www.mediacollege.com/audio/01/sound-waves.html>
<http://learn.uci.edu/ocw/ocwPage.php?course=OC0811004&lesson=005&topic=002&page=18>

3



4

การแปลงหน่วยจาก Pascal เป็น Decibel

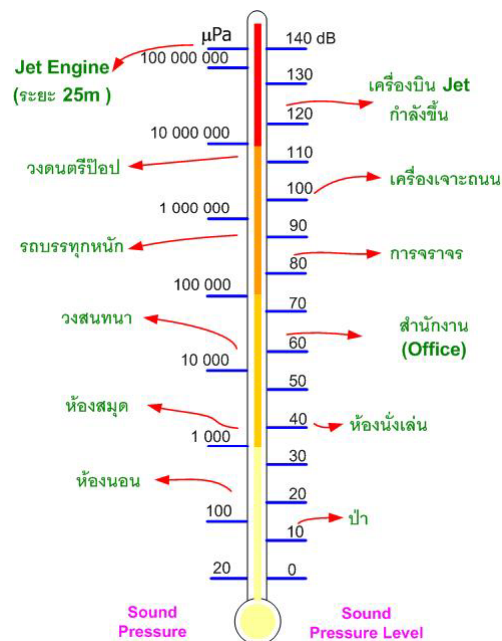
Pa → dB

$$\text{dB} = 20 \times \text{Log} \frac{P}{P_0}$$

Where $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$

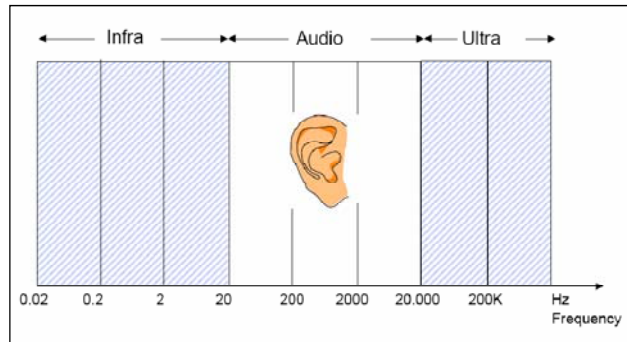
Pa : ความดันเสียง : Sound pressure
dB : ระดับความดันเสียง : Sound pressure level

5



6

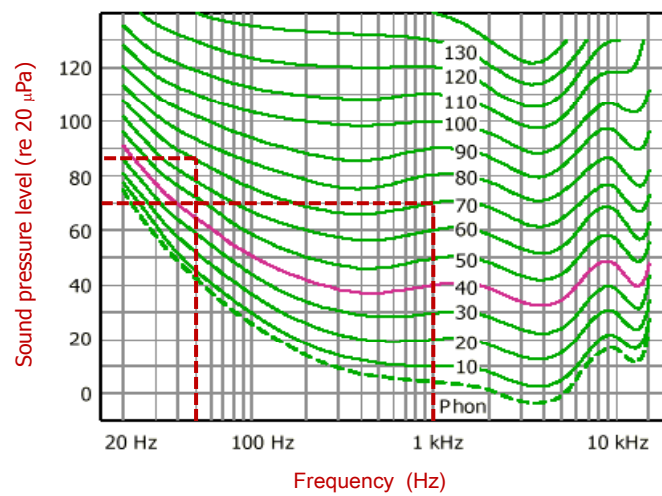
ความถี่เสียง



มนุษย์ สามารถรับรู้เสียงในช่วงความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz และความสามารถในการตอบสนองต่อเสียงความถี่ต่างๆ ไม่เท่ากัน

7

Loudness Contour



8

เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง Sound calibrator (SC)



9

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ Sound calibrator

Standard document for sound calibrator

IEC 60942 ed3.0 (2003-01) : Electroacoustics – Sound calibrators

- ☒ Scope
- ☒ Normative reference
- ☒ Reference environmental conditions
- ☒ Requirements
- ☒ Instrument marking and document
- ☒ Annex A (normative) Pattern evaluation tests
- ☒ Annex B (normative) Periodic tests
- ☒ Annex C (normative) Format for the pattern evaluation report

10

เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง (Sound calibrator)

- ระดับความถูกต้องของ sound calibrator (Class)

📌 Laboratory Standard (LS)



📌 Class 1



📌 Class 2



11

อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง (Sound calibrator)

ชนิดของอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง

- 📌 Sound calibrator
- 📌 Pistonphone
- 📌 Multi-frequency sound calibrator

12

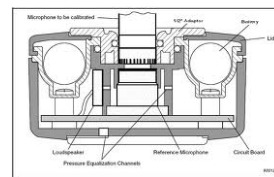
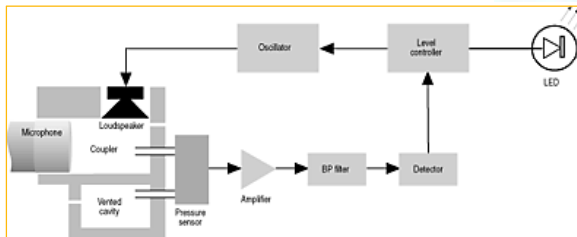
Sound Calibrator

หลักการ

เสียงเกิดจากลำโพงที่อยู่ภายใน Coupler ซึ่งถูกขับด้วย
วงจรไฟฟ้าที่อยู่ภายใน โดยปกติจะกำเนิดเสียงที่มีความถี่ 1000 Hz



Block diagram การทำงาน



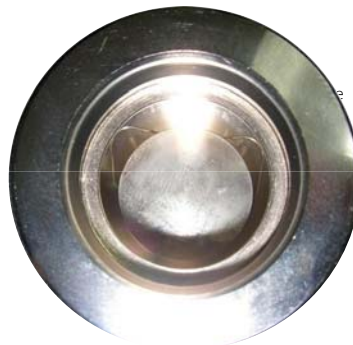
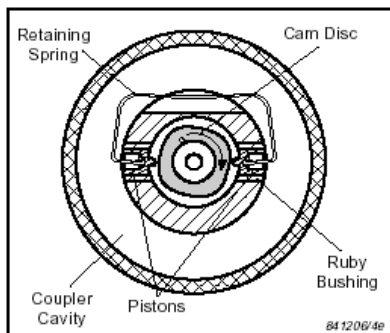
http://www.norsonic.com/en/products/calibrators/calibrators_nor1251+52+53/

13

Pistonphone

หลักการ

เสียงเกิดจากกลไกทาง mechanic ที่ทำให้เกิดความดันขึ้นภายใน โดยปกติจะ
กำเนิดเสียงที่มีความถี่ 250 Hz และความดันเสียงที่ 114 dB และ 124 dB



14

ค่า Correction สำหรับ pistonphone

- Correction for ambient pressure

$$\Delta L_p = 20 \log_{10} \frac{P_a}{1013 \text{ hPa}} \text{ dB}$$

P_a = ความดันบรรยากาศขณะวัด

Reference environmental condition

- Temperature : 23 °C
- Pressure : 101.325 kPa
- Humidity : 50 %Rh

- Correction for load volume

ค่าสามารถหาได้จากผู้ผลิต

$$\text{SPL} = \text{SPL}_{\text{meas}} + \Delta L_p + \Delta L_c$$

Where

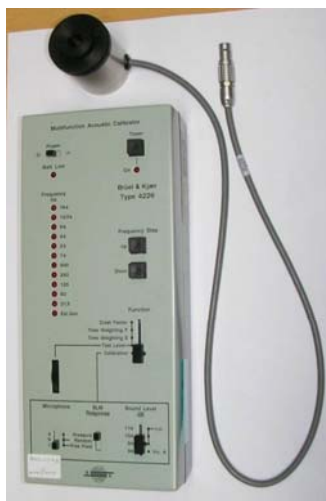
SPL_{meas} : sound pressure level ที่ทำการวัด

ΔL_p : the pressure correction

ΔL_c : the load volume correction

15

Multi-function sound calibrator

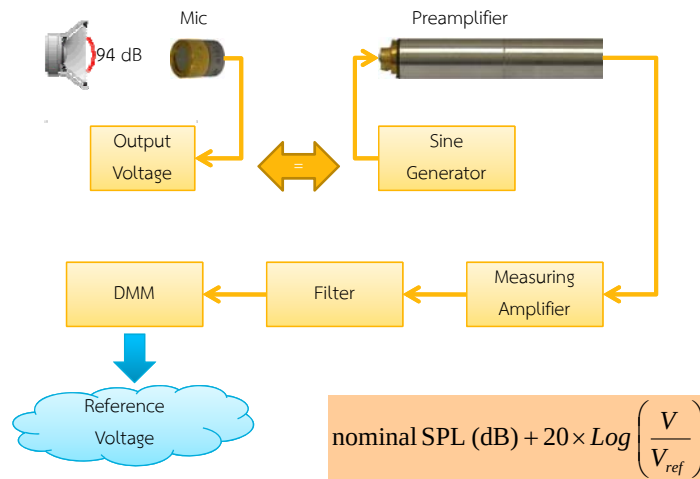


หลักการ

เสียงที่เกิดขึ้นจะมีหลักการเหมือนกับ sound calibrator เพียงแต่ เครื่องประเภทนี้ให้กำเนิดเสียงที่ระดับ SPL และ ความถี่ ที่มากกว่า 1 ระดับ โดยปกติจะกำเนิดเสียงที่ระดับ 94 dB, 104 dB และ 114 dB และ ความถี่ที่ 31.5 Hz ถึง 16 kHz

16

Insert voltage technique



17

ชุดเครื่องมือสอบเทียบ Sound calibrator



18

ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ

Sound pressure level

Sound pressure level (dB re 20 μ Pa)	Measured Value (dB re 20 μ Pa)	Deviated Value (dB)	Uncertainty (dB re 20 μ Pa)	Tolerance limit (dB)
Mic. 4180 sn.1234567				
94	94.04	0.04	0.08	0.40

Frequency

Frequency (Hz)	Measured Value (Hz)	Deviated Value (%)	Uncertainty (%)	Tolerance limit (%)
1000	999.95	0.01	0.1	1.0

Total harmonic distortion

Measured Value (%)	Uncertainty (%)	Tolerance limit (%)
1.47	0.1	3.0

19

ตัวอย่างการรายงานผล Sound pressure level

Microphone 4180 sn.1395446

Sound pressure level (dB re 20 μ Pa)	Measured Value (dB re 20 μ Pa)	Deviated Value (dB)	Uncertainty (dB re 20 μ Pa)	Tolerance limit (dB)
94	94.04	0.04	0.08	0.40

$94.04 - 94 = 0.04$

Microphone 4160 sn.1453786

Sound pressure level (dB re 20 μ Pa)	Measured Value (dB re 20 μ Pa)	Deviated Value (dB)	Uncertainty (dB re 20 μ Pa)	Tolerance limit (dB)
94	94.06	0.06	0.08	0.40

20

IEC 60942 : 2003 Tolerance limit

Table 1 Tolerance limits for sound pressure level and short-term level fluctuation, at and around reference environmental conditions (IEC 60942 page 23)

Range of nominal frequencies Hz	Sound pressure level tolerance limits dB			Short-term level fluctuation limits dB		
	Class LS	Class 1	Class 2	Class LS	Class 1	Class 2
31.5 to <160	-	0.50	-	-	0.20	-
160 to 1 250	0.20	0.40	0.75	0.05	0.10	0.20
>1 250 to 4 000	-	0.60	-	-	0.10	-
>1000 to 8 000	-	0.80	-	-	0.10	-
>8 000 to 16 000	-	1.00	-	-	0.10	-

NOTE 1 Sound pressure level tolerance limits are for the absolute value of the difference between the sound pressure level generated by the sound calibrator and the specified sound pressure level, extended by the expanded uncertainty of measurement.

NOTE 2 Short-term level fluctuation limits are for the corresponding measured short-term level fluctuation, extended by the expanded uncertainty of measurement.

NOTE 3 For a class LS or class 2 sound calibrator the '-' symbols in the table indicate range of nominal frequency for which this standard provides no tolerance limits.

21

ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ Frequency

Frequency

At the sound pressure level of 94 dB

Frequency (Hz)	Measured Value (Hz)	Deviated Value (%)	Uncertainty (%)	Tolerance limit (%)
1000	999.9	0.01	0.1	1.0

$$|999.9 - 1000| \times \frac{100}{1000} = 0.01$$

22

IEC 60942 : 2003 Tolerance limit

Table 3 - for frequency, at and around reference environmental conditions (IEC 60942 page 25)

Tolerance limits %		
Class LS	Class 1	Class 2
1.0	1.0	2.0

NOTE 1 Tolerance limits are for the absolute value of the difference in per cent between the frequency of the sound generated by the sound calibrator and the specified frequency, extended by the expanded uncertainty of measurement.

NOTE 2 Tolerance limits are expressed as a percentage of the specified frequency.



23

ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ THD

Total harmonic distortion

Measured Value (%)	Uncertainty (%)	Tolerance limit (%)
1.47	0.1	3.0

Table 6 – Maximum total distortion (IEC 60942 page 29)

Range of nominal frequencies Hz	Uncertainty of measurement for generated sound pressure level %		
	Class LS	Class 1	Class 2
31.5 to <160	-	4.0	-
160 to 1 250	2.5	3.0	4.0
>1 250 to 16 000	-	4.0	-

NOTE 1 Tolerance limits are for the maximum total distortion generated by the sound calibrator, extended by the expanded uncertainty of measurement.

NOTE 2 For a class LS or class 2 sound calibrator the '-' symbols in the table indicate nominal frequency ranges for which this standard provides no tolerance limits

24

ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ



National Institute of Metrology (Thailand)
Ministry of Science and Technology

Certificate of Calibration

CALIBRATION
No. 6139

Certificate No. :
Issued by : Acoustics Laboratory
Acoustics and Vibration Metrology Department

Page 1 of 4 pages

MEASUREMENT ITEM : Sound Calibrator

MANUFACTURER :

MODEL/TYPE :

SERIAL NUMBER :

CUSTOMER :

RECEIVED DATE : 22 April 2013

MEASUREMENT DATE : 14 May 2013

The calibration results only marked with an asterisk * in this certificate are not within the scope accredited by TISI.

Reference: MSR No. 047013 Date: 14 May 2013 Approved by:  Performed by: 
(Vinit Phiangsarn) (Sant Lamsamwang)

Partial reproduction of this certificate is permitted only with a written permission from NIMT.

Telompho Office: 38-1 Moo 3, Klang Luang, Pathumthani 12120 Thailand, Telephone 06 2377 5108, Facsimile 06 2377 3639
Rama VI Office: 757 Rama VI Road, Ratchatew, Bangkok 10400 Thailand, Telephone 06 2354 3700, Facsimile 06 2354 3882



National Institute of Metrology (Thailand)

Continuation of Certificate of Calibration Number Page 2 of 4 pages

ENVIRONMENTAL CONDITIONS
Ambient condition in the laboratory are as follows :
Temperature : (23.0 ± 1.0) °C
Pressure : (101.325 ± 1.500) kPa
Relative Humidity : (50.0 ± 15.0) %

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

Calibration Condition
Preconditionings : 16 hours at ambient conditions.
Measurement Conditions : The average values during measurement are (100.427 ± 0.020) kPa, (23.0 ± 0.1) °C and (41.7 ± 1.0) %RH

MEASUREMENT METHOD
The sound pressure level, frequency and total distortion of the sound calibrator was measured using the reference microphone. The insert voltage technique was employed and the measurement procedure was based on IEC 60942-2003.

Reference Microphone
B&K Type 4180 serial no.1395446

TABULATION OF RESULTS
The following tables give the calibration results and associated measurement uncertainties at 95% of confidence level. The calibration results of sound pressure level which quoted in dB with reference to 20 µPa are corrected to the values under the reference environmental conditions.

The microphone volume corrections and the calibrator pressure corrections are excluded in the calibration results.

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%.

25

ตัวอย่างการรายงานผลการสอบเทียบ



National Institute of Metrology (Thailand)

Continuation of Certificate of Calibration Number Page 3 of 4 pages

TRACEABILITY
The measurement is traceable to the International System of Units (SI).

MEASUREMENT RESULTS

1. Sound pressure level

Specified sound pressure level (dB)	Measured value (dB)	Deviated value ⁽¹⁾ (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limit (dB)
94	94.09	0.09	0.06	0.40

Microphone 4180 Serial No.1395446

Note ⁽¹⁾ : The deviated value is the absolute value of the difference between the measured value and the corresponding specified sound pressure level. The tolerance limit is for the deviated value, extended by the uncertainty.

2. Frequency*

Microphone 4180 Serial No.1395446

Specified Frequency (Hz)	Measured value (Hz)	Deviated value ⁽²⁾ (%)	Uncertainty (%)	Tolerance limit (%)
1000	1001.5	0.2	0.1	1.0

Note ⁽²⁾ : This deviated value is the absolute value of the difference in per cent between the measured value and the corresponding specified frequency. The tolerance limit is for the deviated value, extended by the uncertainty.



National Institute of Metrology (Thailand)

Continuation of Certificate of Calibration Number Page 4 of 4 pages

3. Total harmonic distortion*

Microphone 4180 Serial No.1395446

Measured value ⁽³⁾ (%)	Uncertainty (%)	Tolerance limit (%)
1.7	0.1	3.0

Note ⁽³⁾ : The measured value is the total distortion, measured over the frequency range from 20 Hz to 20 kHz. The tolerance limit is for the maximum measured value, extended by the uncertainty.

End of Certificate of Calibration

26

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเลือก หป.สอบเทียบ

๑ หป. ได้รับการรับรอง หป. ISO/IEC 17025

- ผลการวัดสามารถสอบย้อนกลับได้ (Traceability)
- หป. มีผลการเข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัดภายในประเทศ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (EN ratio < 1)

๒ หป. สามารถสอบเทียบตามมาตรฐาน IEC 60942

- ค่า uncertainty ของการวัด (สอบเทียบ) ต้องไม่โตไปกว่าที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ในหัวข้อ Maximum expanded uncertainty

27

IEC 60942:2003 Maximum permitted expanded uncertainty

Table A.1-Maximum permitted expanded uncertainty of measurement for sound pressure level and short-term level fluctuation, at and around reference environmental conditions (IEC 60942 page 47)

Range of nominal frequencies Hz	Uncertainty of measurement for generated sound pressure level dB			Uncertainty of measurement for short-term level fluctuation dB		
	Class LS	Class 1	Class 2	Class LS	Class 1	Class 2
31.5 to <160	-	0.20	-	-	0.10	-
160 to 1 250	0.10	0.15	0.35	0.02	0.03	0.05
>1 250 to 4 000	-	0.25	-	-	0.03	-
>1000 to 8 000	-	0.35	-	-	0.03	-
>8 000 to 16 000	-	0.50	-	-	0.03	-

NOTE For a class LS or class 2 sound calibrator the '-' symbols in the table indicate range of nominal frequency for which this standard provides no tolerance limits.

28

IEC 60942:2003 Maximum permitted expanded uncertainty

Table A.2-Maximum permitted expanded uncertainty of measurement for frequency, at and around reference environmental conditions (IEC 60942 page 49)

Uncertainty of measurement for frequency %		
Class LS	Class 1	Class 2
0.3	0.3	0.3
NOTE Expanded uncertainties of measurement are expressed as a percentage of the specified frequency		

29

IEC 60942:2003 Maximum permitted expanded uncertainty

Table A.3-Maximum permitted expanded uncertainty of measurement for total distortion, over the appropriate range of environmental conditions (IEC 60942 page 51)

Range of nominal frequencies Hz	Uncertainty of measurement for generated sound pressure level %		
	Class LS	Class 1	Class 2
31.5 to <160	-	1.0	-
160 to 1 250	0.5	0.5	1.0
>1 250 to 16 000	-	1.0	-
NOTE 1 The above uncertainties are expressed in percentage distortion.			
NOTE 2 For a class LS or class 2 sound calibrator the '-' symbols in the table indicate nominal frequency ranges for which this standard provides no tolerance limits			

30

เครื่องวัดระดับเสียงและชุดเครื่องมือวัดระดับเสียง
(Sound level meter/ Sound measuring equipment)



31

มาตรฐาน Sound level meter

- IEC 60651 : 1979 Sound level meter
- IEC 60804 : 1985 Integrating-averaging sound level meter
- Organization Internationale De Metrologie Legale (OIML)
 - OIML R58 : 1984
 - OIML R88 : 1989

32

มาตรฐาน Sound level meter

- IEC 61672- Electroacoustic- Sound level meter

- IEC 61672-1 : 2002 Specification
- IEC 61672-2 : 2003 Pattern Evaluation Test
- IEC 61672-3 : 2006 Periodic Test

33

มาตรฐาน Sound level meter

- มาตรฐานปัจจุบัน

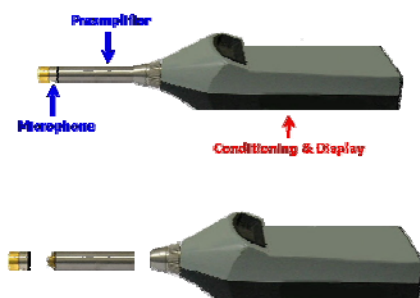
IEC 61672 – Electroacoustic –Sound Level Meter

- IEC 61672-1 : 2013 Specification
- IEC 61672-2 : 2013 Pattern Evaluation Test
- IEC 61672-3 : 2013 Periodic Test

Website of IEC standard -<http://webstore.iec.ch>

34

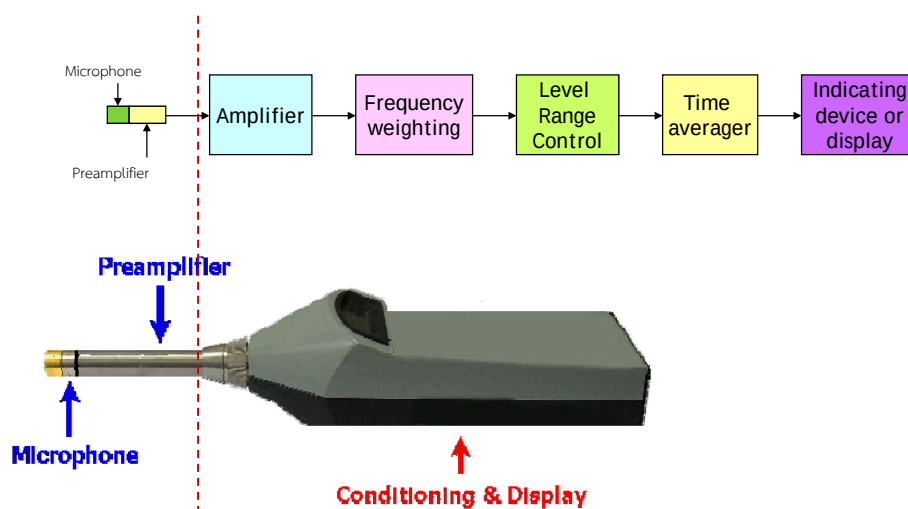
ส่วนประกอบภายนอกของมาตรระดับเสียง (SLM)



- Microphone
- Preamplifier
- Extension cable
- Conditioning & Display

35

ส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียง (SLM)



36



ไมโครโฟน



Transducer แปลงพลังงานเสียง (sound) เป็นพลังงานไฟฟ้า (electricity)



$$\text{Sensitivity} = \text{mV/Pa}$$

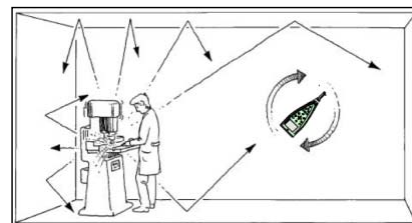
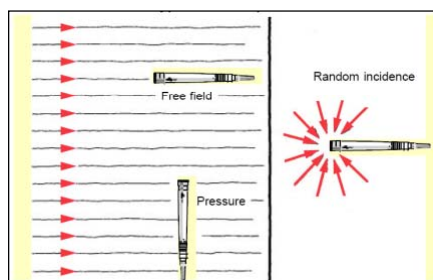
$$\text{Sensitivity} = \text{dB re 1 V/Pa}$$



Measurement Microphone

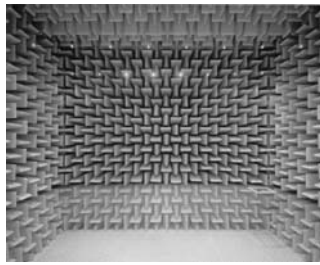
Microphone เป็น Transducer ชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามการตอบสนองต่อสนามเสียง

- 📌 Free-field Microphone
- 📌 Random incidence microphone
- 📌 Pressure microphone

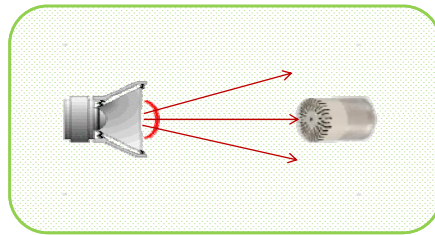


Free-field Microphone

เป็น Microphone ชนิดที่สามารถวัดเสียงได้ถูกต้องที่สุด เมื่อวัด SPL ที่ออกจากแหล่งกำเนิดเดียวและทิศทางเดียว โดยชี้ตรงมายัง Diaphragm ของ Microphone (0° incidence angle) Microphone ชนิดนี้เหมาะสำหรับวัดในพื้นที่เปิดโล่ง ไม่มีการสะท้อนจากผนังใดๆ และ Anechoic Chamber



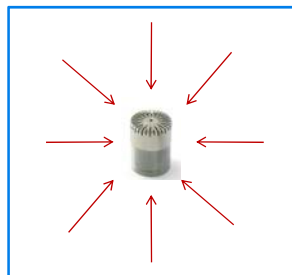
Feldmann, Joachim / scientific echo chamber and anechoic chamber



41

Random Microphone

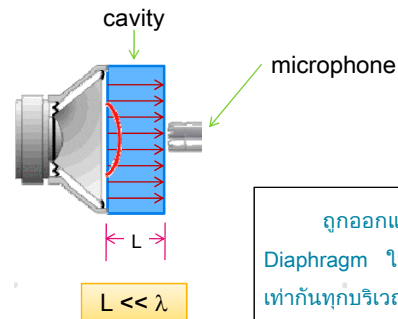
ถูกออกแบบมาเพื่อวัดความดันเสียงที่มาจากหลายทิศทาง หลายแหล่งกำเนิด และหลายการสะท้อน ตัวอย่างการใช้งานเช่น การวัดเสียงในโบสถ์ หรือห้องที่มีผนังแข็ง หรือกำแพงสะท้อนเสียง



Echo Room by LeftBot on Sound Cloud [soundcloud.com](https://soundcloud.com/leftbot/echo-room)

42

Pressure Microphone



ถูกออกแบบมาเพื่อวัดความดันเสียงที่อยู่บริเวณหน้า Diaphragm ในลักษณะของสนามเสียงที่มี ขนาด และ เฟส เท่ากันทุกบริเวณ ซึ่งสนามเสียงลักษณะนี้ได้แก่ enclosure, cavity ซึ่งมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นเสียง ตัวอย่างการใช้งาน เช่นงานวัดเสียงโครงสร้างภายในเช่น ท่อ หรือ ใน cavity เป็นต้น

43

Preamplifier

หน้าที่หลักของ Preamplifier คือ ทำหน้าที่แปลง high output impedance ของไมโครโฟน เป็น low output impedance เพื่อให้สัญญาณสามารถ drive ผ่านไปยังสายสัญญาณได้ ด้วยเหตุนี้ บางครั้ง preamplifier จึง ถูกเรียกว่า impedance converter



44

Amplifier

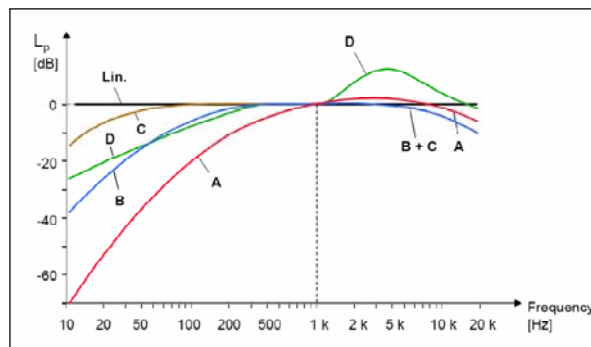
วงจรนี้ทำหน้าที่ในการขยายและปรับปรุงสัญญาณไฟฟ้า
สัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากภาค Amplifier จะถูกแยกความถี่ออกมา
และส่งต่อไปยังภาค frequency weighting

45

Frequency-Weighting

ทำหน้าที่ในการปรับการตอบสนองของเครื่องให้สอดคล้อง
กับการตอบสนองของมนุษย์ ตามความถี่ต่าง

- Ⓢ A-Weighting
- Ⓢ C-Weighting
- Ⓢ Z (Linear)



46

Table 2-Frequency weightings and tolerance limits including maximum expanded uncertainty of measurement

Nominal frequency ^{a)} Hz	Frequency weightings ^{b)} dB			Tolerance limits (dB)	
				Class	
	A	C	Z	1	2
10	-70.4	-14.3	0.0	+3.5; -∞	+5.5; -∞
12.5	63.4	-11.2	0.0	+3.0; -∞	+5.5; -∞
16	-56.7	-8.5	0.0	+2.5; -4.5	+5.5; -∞
20	-50.5	-6.2	0.0	±2.5	±3.5
25	-44.7	-4.4	0.0	+2.5, -2.0	±3.5
31.5	-39.4	-3.0	0.0	±2.0	±2.5
40	-34.6	-2.0	0.0	±1.5	±2.5
50	-30.2	-1.3	0.0	±1.5	±2.5
63	-26.2	-0.8	0.0	±1.5	±2.5
80	-22.5	-0.5	0.0	±1.5	±2.0
100	-19.1	-0.3	0.0	±1.5	±2.0
125	-16.1	-0.2	0.0	±1.5	±2.0
160	-13.4	-0.1	0.0	±1.5	±2.0
200	-10.9	0.0	0.0	±1.5	±2.0
250	-8.6	0.0	0.0	±1.4	±1.9
315	-6.6	0.0	0.0	±1.4	±1.9
400	-4.8	0.0	0.0	±1.4	±1.9
500	-3.2	0.0	0.0	±1.4	±1.9

a) Nominal frequencies are from the R10 series given in table 1 of ISO 266:1997[5].

b) C and A frequency weightings were calculated by use of equations (6) and (7) with frequency f computed from $f=(f_r)[10^{0.1(n-30)}]$ with $f_r=1\text{kHz}$ and n an integer between 10 and 43. The results were rounded to a tenth of a decibel.

47

Table 2-Frequency weightings and tolerance limits including maximum expanded uncertainty of measurement
(IEC 61672-1 : 2002 page 33) (continue)

Nominal frequency ^{a)} Hz	Frequency weightings ^{b)} dB			Tolerance limits (dB)	
				Class	
	A	C	Z	1	2
630	-1.9	0.0	0.0	±1.4	±1.9
800	-0.8	0.0	0.0	±1.4	±1.9
1 000	0	0	0.0	±1.1	±1.4
1 250	+0.6	0.0	0.0	±1.4	±1.9
1 600	+1.0	-0.1	0.0	±1.6	±2.6
2 000	+1.2	-0.2	0.0	±1.6	±2.6
2 500	+1.3	-0.3	0.0	±1.6	±3.1
3 150	+1.2	-0.5	0.0	±1.6	±3.1
4 000	+1.0	-0.8	0.0	±1.6	±3.6
5 000	+0.5	-1.3	0.0	±2.1	±4.1
6 300	-0.1	-2.0	0.0	+2.1, -2.6	±5.1
8 000	-1.1	-3.0	0.0	+2.1, 3.1	±5.6
10 000	-2.5	-4.4	0.0	+2.6, -3.6	+5.6; -∞
12 500	-4.3	-6.2	0.0	+3.0; -6.0	+6.0; -∞
16 000	-6.6	-8.5	0.0	+3.0; -17.0	+6.0; -∞
20 000	-9.3	-11.2	0.0	+4.0; -∞	+6.0; -∞

a) Nominal frequencies are from the R10 series given in table 1 of ISO 266:1997[5].

b) C and A frequency weightings were calculated by use of equations (6) and (7) with frequency f computed from $f=(f_r)[10^{0.1(n-30)}]$ with $f_r=1\text{kHz}$ and n an integer between 10 and 43. The results were rounded to a tenth of a decibel.



48

Level Range Control

ทำหน้าที่ปรับ range ของเครื่องมือ ให้ครอบคลุมระดับเสียงที่จะทำการวัด โดยปกติช่วงการปรับจะอยู่ที่ 10-20 dB steps

Range Steps

20-80, 30-90, 40-100, 50-110, 60-120, etc.

49

Time Averager

ทำหน้าที่เฉลี่ยสัญญาณ ตามช่วงเวลา

Exponential time weighting

ใช้สำหรับ วัดสัญญาณเสียงที่เป็นแบบ exponential คือ สัญญาณเสียงลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เป็นการหาค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่ง ช่วงเวลาในการเฉลี่ยสัญญาณเรียกว่า time constant

Exponential time weighting

- 🕒 Slow : time constant 1 s
- 🕒 Fast : time constant 125 ms
- 🕒 Impulse : rising time constant 35 ms and falling time constant 1500 ms
- 🕒 Peak : to detect the peak of sound

50

Time Averager

Equivalent time weighting, L_{eq}

ใช้สำหรับวัดสัญญาณเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เป็นการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณเสียงตลอดช่วงเวลาที่ทำกรวัด การเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L_{eq} = 10 \times \text{Log}_{10} \left[\left(\frac{1}{T} \right) \int_{t_1}^{t_2} (p_A(t) / p_O)^2 dt \right]$$

P_A : A-weighted sound pressure

P_O : reference sound pressure

T : total time

$$L_{eq} = 10 \times \text{Log}_{10} \left[\left(\frac{1}{T} \right) \sum_{i=t_1}^{t_n} (t_i \times 10^{L(i)/10}) \right]$$

T : total measurement time

L : sound pressure level in t duration

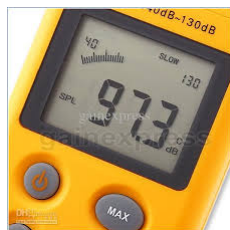
t_n : the duration

51

Indicating Devices

อุปกรณ์แสดงผลลัพธ์ของสัญญาณที่ทำการวัด สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- ☛ Analog Indicators
- ☛ Quasi-Analog Indicators
- ☛ Digital Indicators



52

การสอบเทียบมาตรระดับเสียง (SLM)

เป็นการตรวจสอบการทำงานของมาตรระดับเสียง (SLM) ว่ายังสามารถใช้งานได้ปกติ และมีค่าความถูกต้องเป็นไปตาม class ของเครื่องมือ

53

หัวข้อที่ทำการ test ตาม IEC 61672-3

แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ทางเสียง (Acoustical part)

- ☑ Indication at the calibration frequency
- ☑ Acoustical signal test of a frequency weighting

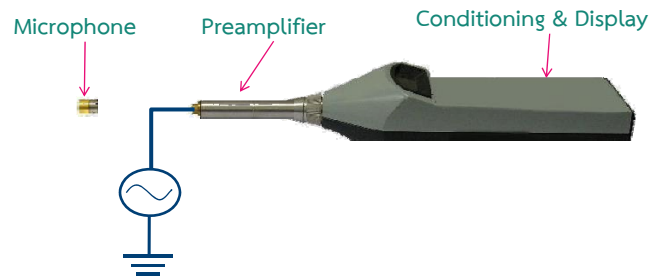
ทางไฟฟ้า (Electrical part)

- ☑ Self generated noise
- ☑ Corresponding indication on the display device and electrical output
- ☑ Electrical signal tests of frequency weightings
- ☑ Frequency and time weighting at 1 kHz
- ☑ Level Linearity on the reference level range
- ☑ Level linearity including level range control
- ☑ Tone burst response
- ☑ Peak C sound level
- ☑ Overload indication

54

การสอบเทียบทางไฟฟ้า

เป็นการทดสอบ function การทำงานในส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้าทั้งหมด



55

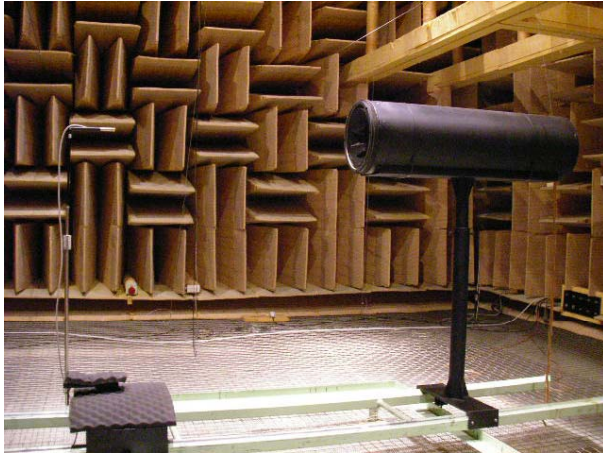
การสอบเทียบทางเสียง

เป็นการทดสอบ การทำงานรวมทั้งเครื่อง ตั้งแต่ไมโครโฟน จนถึงส่วนแสดงผล



56

Sound level meter calibration system



57

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ SLM

National Institute of Metrology (Thailand)
Ministry of Science and Technology

Certificate of Calibration

Certificate No. :
Issued by : Acoustics Laboratory
Acoustics and Vibration Metrology Department

Page 1 of 9 pages

MEASUREMENT ITEM : Sound Level Meter

MANUFACTURER :
MODEL/TYPE : Meter
Microphone
Preamplifier

SERIAL NUMBER : Meter
Microphone
Preamplifier

CUSTOMER :
RECEIVED DATE : 9 April 2013
MEASUREMENT DATE : 25 - 30 April 2013

*The calibration results only marked with an asterisk * in this certificate are not within the scope accredited by TIS.*

Reference:	Date:	Approved by:	Performed by:
	1 May 2013		
		(Vinai Pongpanom)	(Pinitra Kongsriwong)

Partial reproduction of this certificate is permitted only with a written permission from NIMT.

Technique Office, 114-1 Mile 1, Klang Luang, Pathumthani 12120 Thailand, Telephone: 66 2377 5180, Facsimile: 66 2377 3459
Bureau VI Office, 157/1 Rama VI Road, Khetphayathai, Bangkok 10400 Thailand, Telephone: 66 2334 3706, Facsimile: 66 2334 3487

National Institute of Metrology (Thailand)

Continuation of Certificate of Calibration Number Page 2 of 9 pages

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
 Preconditionings : 16 hours at ambient conditions.
 Measurement Conditions : The average value during measurement are (100.7±0.5) kPa, (22.5±0.6) °C and (42.6±1.5) %RH

MEASUREMENT METHOD

The tests applied to the sound level meter are based on IEC 61672-3 (2006) standard for sound level meter.

Absolute sensitivity was established by the use of the Larson Davis Type CAL200 Precision Acoustic Calibrator.

For acoustic tests at the test frequencies, the equipment was subjected to a sound field of plane progressive waves in the free field. A comparison was made with a pressure microphone type 4180 at a sound pressure level of 84 dB (reference to 20 µPa).

Test of the detector, indicator and attenuator were carried out by a direct electrical input to the meter. The microphone was replaced by a dummy microphone through which an electrical signal was applied.

During the tests, the measurement according to all of the test items were made by observation of the display.

Reference Microphone
 B&K Type 4180 serial no.2208280

58

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ SLM



National Institute of Metrology (Thailand)

Continuation of Certificate of Calibration Number

Page 3 of 9 pages

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 61672-1(2002) standards for class 1 sound level meter. For the sound level meter designed in accordance with IEC 60651 and IEC 60804, the tolerance limits shown on those standards should be referred. The user should determine the suitability of the instrument for its intended use.

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 %.

TRACEABILITY

The measurement is traceable to the International System of Units (SI).

59

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ SLM

ผลจากการใช้ SC ปรับค่าให้กับ SLM

ขนาดของสัญญาณรบกวนที่แสดงบนส่วนแสดงผลในขณะที่ไม่ได้ป้อนสัญญาณไฟฟ้า (ทางไฟฟ้า)

เป็นการวัดขนาดของสัญญาณรบกวนที่แสดงบนส่วนแสดงผลในขณะที่ไม่ได้ป้อนสัญญาณเสียง (ทางเสียง) ตรวจวัดในห้องไร้เสียงสะท้อน



National Institute of Metrology (Thailand)

Continuation of Certificate of Calibration Number

Page 4 of 9 pages

MEASUREMENT RESULTS

1. Absolute sensitivity*

Reference Acoustic Signal (dB)	Measured value (dB)	Deviation (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limit (dB)
114.02	114.0	0.0	0.2	±1.1

2. Self-generated noise*

2.1 Normal test

Measured value (dB)	Uncertainty (dB)
24.1	0.1

2.2 The microphone of the sound level meter was replaced by electrical signal input device.

Frequency Weighting	Measured value (dB)	Uncertainty (dB)
A-weight	22.3	0.1
C-weight	25.0	0.1
Flat	27.5	0.1

60

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ SLM

 National Institute of Metrology (Thailand)
NIMT
Continuation of Certificate of Calibration Number . Page 5 of 9 pages

3. Acoustical signal tests of frequency weightings
Meter free-field acoustic response at a level of 84 dB.

Frequency (Hz)	Deviation from various frequency weighting response curve (dB)				
	Flat	C-weight	A-weight	Uncertainty	Tolerance limits
125	0.1	0.1	0.2	0.3	±1.5
1000	-0.4	-0.5	-0.4	0.3	±1.1
4000	-0.2	-0.3	-0.3	0.3	±1.6

4. Electrical signal tests of frequency weightings*
Weighting network response with relative to 1 kHz.

Frequency (Hz)	Deviation from various frequency weighting response curve (dB)				
	Flat	C-weight	A-weight	Uncertainty	Tolerance limits
63	0.0	0.0	-0.1	0.2	±1.5
125	0.0	0.0	-0.1	0.2	±1.5
250	0.0	0.0	-0.1	0.2	±1.4
500	0.0	0.0	0.0	0.2	±1.4
1000	0.0	0.0	0.0	0.2	±1.1
2000	0.0	0.0	0.0	0.2	±1.6
4000	-0.1	0.0	0.0	0.2	±1.6
8000	-0.2	0.0	0.0	0.2	+2.1; -3.1
16000	0.3	-0.3	-0.2	0.2	+3.5; -17.0

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function การตรวจวัด SPL ที่แต่ละความถี่ และการทำงานของ function frequency weighting (ทางเสียง)

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function การตรวจวัด SPL ที่แต่ละความถี่ และการทำงานของ function frequency weighting (ทางไฟฟ้า)

61

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function การเปลี่ยนโหมดของ frequency weighting

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function การเปลี่ยนโหมดของ time weighting

 National Institute of Metrology (Thailand)
NIMT
Continuation of Certificate of Calibration Number . Page 6 of 9 pages

5. Frequency and time weightings at 1 kHz*

5.1 Frequency weighting at 1 kHz

Frequency Weighting	Measured value (dB)	Deviated value (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limits (dB)
A-weight	114.0	0.0	0.2	0.4
C-weight	113.9	-0.1	0.2	0.4
Flat	114.0	0.0	0.2	0.4

5.2. Time weighting at 1 kHz

Time Weighting	Measured value (dB)	Deviated value (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limits (dB)
Fast	114.0	0.0	0.2	0.3
Slow	113.9	-0.1	0.2	0.3
Leq	114.0	0.0	0.2	0.3

62

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

National Institute of Metrology (Thailand)
Continuation of Certificate of Calibration Number: Page 7 of 9 pages

6. Level linearity on the reference level range*

Anticipated Value (dB)	Measured value (dB)	Deviated value (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limits (dB)
141.0	140.8	-0.2	0.2	±1.1
140.0	139.8	-0.2	0.2	±1.1
139.0	138.8	-0.2	0.2	±1.1
138.0	137.8	-0.2	0.2	±1.1
137.0	136.7	-0.3	0.2	±1.1
136.0	135.7	-0.3	0.2	±1.1
135.0	134.7	-0.3	0.2	±1.1
134.0	133.7	-0.3	0.2	±1.1
133.0	132.7	-0.3	0.2	±1.1
132.0	131.8	-0.2	0.2	±1.1
131.0	130.8	-0.2	0.2	±1.1
130.0	129.9	-0.1	0.2	±1.1
129.0	128.9	-0.1	0.2	±1.1
128.0	127.9	-0.1	0.2	±1.1
127.0	126.9	-0.1	0.2	±1.1
126.0	125.9	-0.1	0.2	±1.1
125.0	124.8	-0.2	0.2	±1.1
124.0	123.8	-0.2	0.2	±1.1
119.0	118.8	-0.2	0.2	±1.1
114.0	114.0	0.0	0.2	±1.1
109.0	108.8	-0.2	0.2	±1.1
104.0	103.8	-0.2	0.2	±1.1
99.0	99.0	0.0	0.2	±1.1
94.0	93.8	-0.2	0.2	±1.1
89.0	88.9	-0.1	0.2	±1.1
84.0	83.9	-0.1	0.2	±1.1
79.0	78.7	-0.3	0.2	±1.1
74.0	73.8	-0.2	0.2	±1.1
69.0	68.8	-0.2	0.2	±1.1
64.0	63.7	-0.3	0.2	±1.1
59.0	58.9	-0.1	0.2	±1.1
54.0	53.9	-0.1	0.2	±1.1
49.0	48.9	-0.1	0.2	±1.1
44.0	44.1	0.1	0.2	±1.1
39.0	39.2	0.2	0.2	±1.1
34.0	33.2	-0.8	0.2	±1.1
29.0	32.7	3.7	0.2	±1.1
24.0	31.5	7.5	0.2	±1.1
23.0	31.4	8.4	0.2	±1.1
22.0	31.4	9.4	0.2	±1.1
21.0	31.3	10.3	0.2	±1.1

เป็นการตรวจสอบค่า error ในการตรวจวัดและแสดงผลตลอดทั้ง reference range คือ ตลอดช่วงของการวัด (range) เครื่องสามารถตรวจวัดและแสดงผลได้ถูกต้อง

ในกรณีที่ค่า deviated value เกิน tolerance limit ให้พิจารณาว่าเครื่องนี้ให้ผลการวัดผิดพลาดที่ระดับ SPL ต่ำๆ นั่นคือ ให้หลีกเลี่ยงการใช้งานที่ระดับ SPL นั้นๆ หรือ ถ้าจำเป็นต้องใช้งาน ให้ทำการส่งซ่อมเครื่องดังกล่าวก่อนไปใช้งาน

63

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

National Institute of Metrology (Thailand)
Continuation of Certificate of Calibration Number: Page 8 of 9 pages

7. Level linearity including the level range control*

Range	Anticipated Value (dB)	Measured value (dB)	Deviated value (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limits (dB)
Normal	123.0	123.0	0.0	0.2	±1.1
Low	103.0	103.0	0.0	0.2	±1.1

8. Tone burst response*

Time weighting	Tone burst duration, T _b (ms)	Measured value (dB)	Deviated value (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limits (dB)
Fast	200	124.0	0.0	0.2	±0.8
	2	107.1	0.1	0.2	+1.3; -1.8
	0.25	97.7	-0.3	0.2	+1.3; -3.3
Slow	200	117.2	-0.4	0.2	±0.8
	2	97.5	-0.5	0.2	+1.3; -3.3
	0.25	89.2	0.2	0.2	+1.3; -3.3

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function range control คือ ตรวจสอบความผิดพลาดในการเปลี่ยน range

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function RMS detector คือ function time weighting สามารถคำนวณค่าและรายงานได้ถูกต้องเป็นปกติหรือไม่

64

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function peak

เป็นการตรวจสอบการทำงานของ function Overload คือ ถ้า function นี้ผิดปกติ ให้ระวังเรื่องการวัดเสียง SPL ที่ระดับสูงเกือบถึงขอบบนของ range (upper limit)

National Institute of Metrology (Thailand)
NIMT

Continuation of Certificate of Calibration Number Page 9 of 9 pages

9. Peak C sound level*

Number of cycles in test signal	Anticipated value (dB)	Measured value (dB)	Deviated value (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limits (dB)
Complete cycle	123.4	123.2	-0.2	0.2	±2.4
Positive half cycle	122.4	122.1	-0.3	0.2	±1.4
Negative half cycle	122.4	122.2	-0.2	0.2	±1.4

10. Overload indication*

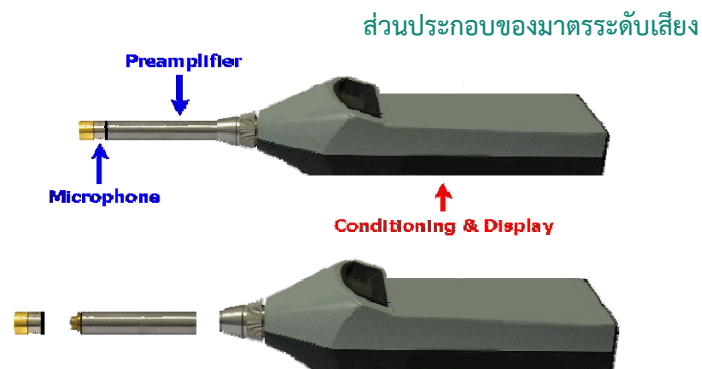
Measured value (dB)		Deviated value (dB)	Uncertainty (dB)	Tolerance limits (dB)
Positive one-half cycle	Negative one-half cycle			
141.8	141.2	0.6	0.2	1.8

End of Certificate of Calibration

65

วิธีการเลือกมาตรฐานระดับเสียง Sound level meter

- ผลิตตามมาตรฐาน IEC 61672
- ไมโครโฟน สามารถถอดแยกออกจาก preamplifier ได้



66

วิธีการเลือกมาตรฐานระดับเสียง Sound level meter

- พิจารณาค่าความถูกต้อง (Class) ของเครื่อง SLM ให้เหมาะสมกับงาน
- Sound calibrator ที่ใช้คู่กับ SLM จะต้องมียกระดับความถูกต้องในระดับเดียวกันกับ SLM หรือดีกว่า

Sound Level Meter	Sound calibrator
Class 1	Class 1
Class 2	Class1 หรือ Class 2

- Sound calibrator ที่ใช้คู่กับ SLM ควรจะต้องเป็นรุ่นที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้คู่กัน

67

การปรับค่าความถูกต้องมาตรฐานระดับเสียง

อุปกรณ์

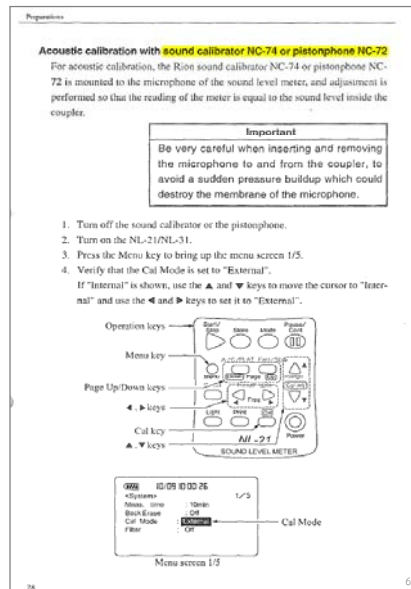
- เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง รุ่นที่ผู้ผลิตแนะนำว่าให้ใช้คู่กัน หรือเป็นเครื่องที่มีระดับความดันเสียง และความถี่เสียง เท่ากับที่คู่มือมาตรฐานระดับเสียง แนะนำ
- ค่าที่ได้จากการสอบเทียบเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง
- คู่มือการใช้งานมาตรฐานระดับเสียง

68

วิธีการปรับค่าความถูกต้องมาตรฐานระดับเสียง

ขั้นตอน

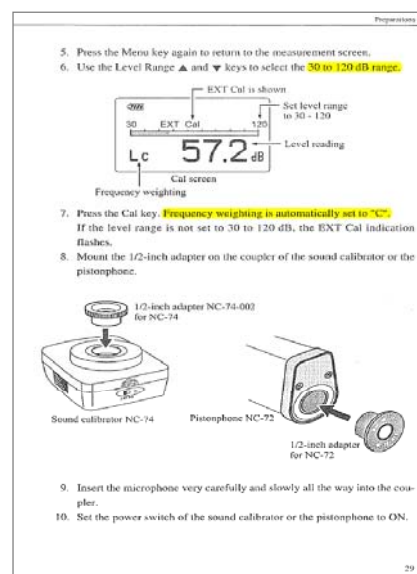
- ❖ ศึกษาวิธีการปรับตั้งค่ามาตรฐานระดับเสียง (SLM) ในคู่มือสำหรับการปรับค่าความถูกต้องของมาตรฐานระดับเสียงรุ่นนั้นๆ
- ❖ เลือกใช้ sound calibrator ที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้คู่กัน
- ❖ เปิดเครื่องมาตรฐานระดับเสียง (SLM)



วิธีการปรับค่าความถูกต้องมาตรฐานระดับเสียง

ขั้นตอน

- ❖ ทำการปรับตั้งช่วงการวัด(range), time-weighting(fast/slow) และ frequency weighting (A/C/Z) ตามคู่มือ
- ❖ อุปกรณ์สำหรับแปลงขนาดไมโครโฟน (adapter) จะต้องเป็นชนิดที่ใช้คู่กันกับ sound calibrator นั้นๆ โดยเฉพาะ



วิธีการปรับค่าความถูกต้องมาตรฐานระดับเสียง

ขั้นตอน

- นำค่าระดับความดันเสียง (SPL) ของเครื่อง sound calibrator จากใบ certificate ทำการแก้ค่าตามที่ระบุไว้ในคู่มือ

Example

ในกรณี ใช้ NL-21 (SLM) คู่กับ NC-74 (SC)
ค่า SPL ที่ได้จากการสอบเทียบ = 94.2 dB

จากข้อมูลในตาราง

หมายความว่า ถ้าใช้ SC รุ่น NC-74 ปรับค่าความถูกต้อง
ให้กับ SLM รุ่น NL-21 จะต้องปรับค่าให้หน้าจอสของ SLM
อ่านค่าลดลง 0.1 dB (94.0 dB - (93.9 dB)

ดังนั้น ถ้า SC รุ่น NC-74 จ่ายเสียงออกมา 94.2 dB

SLM รุ่น NL-21 จะต้องอ่านค่าได้

$$= 94.2 \text{ dB} - 0.1 \text{ dB} = 94.1 \text{ dB}$$

∴ จะต้องปรับค่า ให้ส่วนแสดงผลของ NL-21 (SLM)
อ่านค่าให้ได้ 94.1 dB นั่นเอง

Preparation:

- Use the Cal Adj ▲ and ▼ keys to adjust the sound pressure reading of the NL-21/NL-31 according to the table below.

	NC-74	NC-72
NL-21	93.9 dB	
NL-31	94.0 dB	

Output sound pressure level
Impedance on NC-72

- Turn off the sound calibrator or the pistonphone and NL-21/NL-31.
- Remove the microphone very carefully and slowly from the coupler.

Note

For details on operation of the NC-74 or NC-72, please refer to the instruction manuals for them.
For information about compensation for atmospheric pressure, please refer to the documentation of the pistonphone NC-72.

The NC-74 is designed to produce 94.0 dB under its rated conditions, but in actual calibration, the sound field compensation value which depends on the sound level meter must be taken into consideration. For the NL-21, adjust the reading to 93.9 dB. For the NL-31, use 94.0 dB.

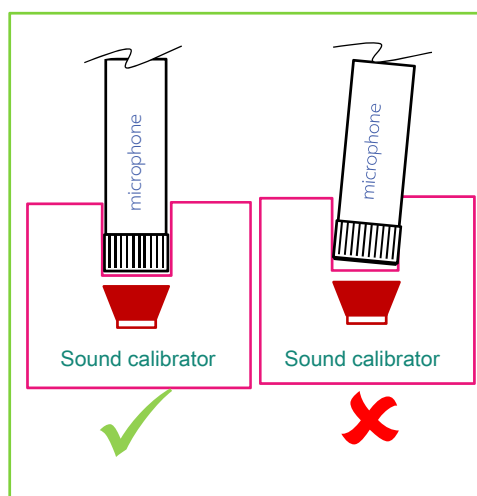
ค่า nominal SPL ของ sound calibrator

- รุ่น NC-74 คือ 94 dB
- รุ่น NC-72 คือ 114 dB

วิธีการปรับค่าความถูกต้องมาตรฐานระดับเสียง

ขั้นตอน

- สวมไมโครโฟนของมาตรฐานระดับเสียง (SLM) เข้าไปใน coupler ของเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงอ้างอิง (sound calibrator) โดยให้หน้าไมโครโฟนแนบสนิทกับปาร์รับข้างใน coupler



วิธีการปรับค่าความถูกต้องมาตรฐานระดับเสียง

ขั้นตอน

- ✧ เปิดเครื่อง sound calibrator รอประมาณ 20-30 วินาที
- ✧ ทำการปรับตั้งค่าบนเครื่อง SLM
- ✧ ถอด sound calibrator และสวมใหม่อีกครั้ง
- ✧ เปิดเครื่อง sound calibrator รอประมาณ 20-30 วินาที
- ✧ อ่านค่าบนเครื่อง SLM ค่าที่ได้จะต้องมีค่าเท่ากับที่เราทำการปรับไว้



73

ทดลองฝึกปฏิบัติ

74

ขอบคุณค่ะ

75