

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. บทนำ
2. สมบัติทางกายภาพของเสียง
3. การรับรู้เสียงของมนุษย์
4. เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง
5. การตรวจวัดเสียง
6. ข้อควรคำนึงในการใช้เครื่องวัดเสียง
7. ค่าขีดจำกัดการสัมผัสเสียงในการทำงาน
8. บทสรุป
9. คำถามทบทวน
10. เอกสารอ้างอิง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. นักศึกษาสามารถบอกความสำคัญในการติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านเสียงได้
2. นักศึกษาสามารถอธิบายกลยุทธ์ วิธีการวัดเสียงได้
3. นักศึกษามีความตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพเกี่ยวกับเสียงได้
4. นักศึกษามีเจตคติและค่านิยมที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม ความตั้งใจจริงมุ่งมั่นที่จะควบคุม แก้ไข ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้คงสภาพดี รวมถึงเสนอแนวทางการจัดการปัญหาด้านเสียงในการทำงานได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนรู้การสอนประจำบท

1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน
2. บรรยายโดยใช้สไลด์ประกอบการสอน เอกสารประกอบการสอน หรือแหล่งข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติม
3. ร่วมอภิปราย แสดงความคิดเห็น ชักถาม หรือตอบคำถามประเด็นสงสัย
4. ศึกษาค้นคว้าเนื้อหาจากแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง
5. ทำแบบประเมินผลตนเองหลังเรียน
6. ทำคำถามทบทวนประจำบทเรียน

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. หนังสือ ตำรา วารสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. สื่อวีดิทัศน์เพิ่มเติมจากเนื้อหา เพื่อเข้าใจถึงเนื้อหามากยิ่งขึ้น
4. แบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน
5. คำถามทบทวนประจำบทเรียน

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตการเข้าร่วมกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ทดสอบย่อยและทำคำถามทบทวนประจำบทเรียน
3. การเข้าชั้นเรียนตรงเวลา และเข้าเรียนเป็นประจำ

บทที่ 3

การติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม เรื่อง เสียงในสิ่งแวดล้อมการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์เสียงในสิ่งแวดล้อมการทำงานซึ่งส่งผลต่อสุขภาพการได้ยินของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งเนื้อหาจะเกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพของเสียง การรับรู้เสียงของมนุษย์ เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง การตรวจวัดเสียง ข้อควรคำนึงในการใช้เครื่องวัดเสียง ค่าขีดจำกัดการสัมผัสเสียงในการทำงาน เพื่อให้ศึกษานำไปใช้ประโยชน์และเป็นแนวทางการปฏิบัติงานในอนาคตเพื่อจัดการกับเสียงในสิ่งแวดล้อมการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

3.1 บทนำ

เสียง (Sound) คือ พลังงานในรูปคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลอากาศทำให้เกิดการอัดและขยายสลับกัน ความดันบรรยากาศจึงสูง-ต่ำสลับกันเป็นคลื่นเสียง ดังนั้นเสียงจึงมีลักษณะสมบัติเช่นเดียวกับพลังงานรูปคลื่นอื่นๆ ซึ่งอธิบายได้ด้วยความถี่ ความยาวคลื่น ความเร็ว และความเข้มหรือแอมพลิจูด เสียงมีประโยชน์ในแง่ของการสื่อสารผ่านโสตประสาท ทำให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ความสุนทรีย์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิต ขณะเดียวกันเสียงดังเป็นอันตรายต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคจากการประกอบอาชีพซึ่งคนส่วนใหญ่ตระหนักดี คือ การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน และผลกระทบอื่นๆ ต่อสุขภาพและความปลอดภัย ทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นอันตรายนี้แบ่ง 4 ชนิด คือ

1. เสียงดังต่อเนื่อง (Continuous Noise) หมายถึง เสียงที่ระดับเสียงแปรเปลี่ยนเล็กน้อย และขาดช่วงน้อยกว่าหนึ่งวินาทีที่มีสองลักษณะก็คือ เสียงดังต่อเนื่องคงที่ (Steady Noise, Stationary Noise) หมายถึงเสียงที่แปรเปลี่ยนในช่วง ± 5 dBA (เดซิเบลเอ) ตัวอย่างเช่น เสียงเครื่องปั้นไฟฟ้า และเสียงต่อเนื่องที่ไม่คงที่ (Non-steady Noise หรือ Fluctuating Noise) ระดับการแปรเปลี่ยนของเสียงสังเกตได้ชัดเจน โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 10 dBA แต่ค่าเฉลี่ยในระยะยาวคงที่ เช่น เสียงเครื่องบดพลาสติก ซึ่งในบางจังหวะเศษพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ถูกบดอาจทำให้เกิดเสียงดังมากกว่าในขณะที่บดพลาสติกที่มีขนาดเล็ก
2. เสียงดังเป็นช่วงๆ (Intermittent Noise) เป็นเสียงดังต่อเนื่องซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ มีเสียงที่เบากว่าขีดจังหวะเป็นระยะๆ ในช่วงของเสียงดังต้องยาวกว่า 1 วินาที เช่น เสียงเลื่อยวงเดือนในขณะตัดไม้ (ดัง) และขณะที่ไม้เคลื่อนที่ผ่านใบเลื่อยไปแล้ว (เงียบ)
3. เสียงกระแทก (Impact หรือ Impulse Noise) หมายถึง เสียงดังที่เกิดขึ้นและสิ้นสุดอย่างรวดเร็วในเวลาสั้นกว่า 1 วินาที
4. เสียงผสม (Comination) ประกอบด้วยเสียงสองหรือสามลักษณะข้างต้นผสมผสานกัน (วันทีพันธ์ประสิทธิ์, 2557)

3.2 สมบัติทางกายภาพของเสียง

3.2.1 แอมพลิจูด ความยาวคลื่น ความถี่ และความเร็วของเสียง คลื่นเสียงมีลักษณะสมบัติที่สำคัญประกอบด้วย แอมพลิจูด (Amplitude, A) คือ การเปลี่ยนแปลงความดันอากาศแสดงด้วยความสูงของคลื่นเป็นสมบัติที่สัมพันธ์กับกำลังเสียงและความเข้มเสียงและความเข้มเสียง ดังนั้น จึงเป็นสมบัติที่บ่งชี้ระดับความดังเสียง ความยาวคลื่น (Wave Length) คือระยะทางที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่และอากาศเกิด

การอัด-ขยาย หนึ่งรอบ ความถี่ (Frequency) คือ จำนวนครั้งของการอัดและขยายของคลื่นเสียงในหนึ่งหน่วยเวลา และความเร็วเสียง (Speed) คือ ระยะทางที่เสียงเคลื่อนที่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา (Institute of sound and vibration research. 2014)

แอมพลิจูด ความยาวคลื่น ความถี่ และความเร็วของเสียงมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$C = \lambda f$$

เมื่อ C = ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที)

F = ความถี่ของเสียง (รอบ/วินาที, Hz)

λ = ความยาวคลื่นเสียง (เมตร)

เนื่องจากเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้น ความเร็วของเสียงจึงขึ้นกับสมบัติของกลาง ซึ่งสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ ความเฉื่อย (Inertial Property) และความยืดหยุ่น (Elastic Property) ความถี่เป็นสมบัติของวัตถุที่ต้านการเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนที่เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ สิ่งบ่งชี้ความเฉื่อย ได้แก่ ความเร็วและความหนาแน่นโดยมวลของตัวกลาง สำหรับอากาศและน้ำโดยทั่วไปถือว่าเป็นตัวกลางที่นิ่ง ดังนั้นความหนาแน่นจึงเป็นสมบัติที่สำคัญของความเฉื่อย ตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงไม่ไวต่อการรบกวน คลื่นจึงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงได้ช้ากว่าในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่ำ ขณะที่ความยืดหยุ่นเป็นสมบัติในการคงรูปร่างเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก วัตถุที่มีแรงดึงดูดระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลสูงมีความแข็งและคงรูปร่างได้ดี เช่น เหล็ก มีความยืดหยุ่นสูง ขณะที่อากาศถูกอัดและรูปร่างเปลี่ยนไปได้ง่ายจึงมีความยืดหยุ่นต่ำ เสียงจึงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่ยืดหยุ่นสูงได้เร็วกว่าในตัวกลางที่มีความยืดหยุ่นต่ำ และความยืดหยุ่นมีอิทธิพลต่อความเร็วเสียงมากกว่าความเฉื่อย ดังนั้นความเร็วเสียงในของแข็งจึงเร็วกว่าในของเหลวและในของเหลวเร็วกว่าในก๊าซนั่นเอง

3.2.2 ทิศทาง การเคลื่อนที่ของเสียง (Propagation of Sound)

เมื่อเคลื่อนที่ออกจากแหล่งและมีสิ่งกีดขวางทางของเสียง สิ่งที่สามารถเกิดขึ้นคือ เสียงถูกดูดซับ สะท้อน หรือเคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่ขวางกั้นนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียงในอากาศขึ้นกับปรากฏการณ์ 4 ลักษณะ คือ การสะท้อน (Reflection) การหักเห (Refraction) การเบี่ยงเบน (Diffraction) และการแพร่ (Diffusion)

1. การสะท้อน เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเสียงกระทบกับพื้นผิวที่แข็งและหรือเรียบ โดยที่คลื่นเสียงที่สะท้อนทำมุมตั้งฉากกับคลื่นเสียงที่ตกกระทบ หรือมีมุมตกกับมุมสะท้อน นอกจากการสะท้อนแล้วเมื่อเสียงกระทบกับพื้นผิวยังอาจเกิดการดูดซับเสียง (Absorption) และการแพร่กระจาย (Diffusion) ของเสียงได้ด้วย

2. การแพร่กระจาย คือการที่เสียงสะท้อนออกไปอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทาง เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเสียงตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะโค้งหรือไม่เรียบและสะท้อนออกไป การกระจายของเสียงในลักษณะนี้เป็นที่ต้องการของการออกแบบโครงสร้าง สถานที่จัดแสดงคอนเสิร์ต และห้องอัดเสียง

3. การหักเห คือ การเบี่ยงเบนทางการเคลื่อนที่ของเสียง เกิดจากความเร็วของเสียงในตัวกลางเปลี่ยนไป ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง หรือจาก

สิ่งแวดล้อมหนึ่งไปยังอีกสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันในตัวกลางชนิดเดียวกัน ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ความเร็วเสียงเปลี่ยนได้แก่อุณหภูมิ และความชื้นดังกล่าวมาแล้ว และกระแสม

4. การเบี่ยงเบน เป็นปรากฏการณ์ของคลื่นเสียงเบี่ยงอ้อมสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพงหรือผนัง เกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นเสียงมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าความกว้าง/ความยาวของสิ่งกีดขวางนั้น ทำให้ผู้ที่อยู่หลังสิ่งกีดขวางได้รับเสียงลดลง

3.2.3 แหล่งเสียง (Source)

เสียงที่เคลื่อนที่ไปในอากาศลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเสียงถูกดูดซับโดยอากาศ แต่ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เสียงลดลงหรือระยะทาง การลดทอนเสียง (Attenuation) ขึ้นกับลักษณะของแหล่งเสียงซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. แหล่งเสียงที่สั้นหรือเป็นจุด (Point Source) คือแหล่งกำเนิดเสียงที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวของคลื่นเสียงที่เปล่งออกไป ทำให้เครื่องเสียงกระจายออกเป็นทรงกลมรอบแหล่งเสียงนั้น เช่น เครื่องจักร

2. แหล่งเสียงที่ยาว (line sources) คือนแหล่งกำเนิดเสียงที่คลื่นเสียงกระจายออกไปเป็นรูปทรงกระบอก เช่น รถไฟ หรือรถยนต์ที่ติดยาวเยียดบนถนน

3.2.4 สนามเสียง (Field) คือ พื้นที่ที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกไปครอบคลุม แบ่งเป็นพื้นที่ใกล้แหล่งเสียง เรียกว่า สนามใกล้ (Near Field) และพื้นที่ที่ห่างออกไปจากแหล่งเสียง เรียกว่า สนามไกล (Farfield) สนามใกล้ คือพื้นที่ที่รอบๆ แหล่งเสียงหรือประมาณสามเท่าของส่วนที่ยาวที่สุดของแหล่งเสียง หรือในรัศมีหนึ่งความยาวคลื่นสำหรับความถี่ต่ำ กล่าวคือ ประมาณ 1.2 เมตร สำหรับเสียงความถี่ 25 เฮิรต 30 เซนติเมตรสำหรับเสียง 1000 เฮิรต และประมาณ 17 เซนติเมตรสำหรับเสียง 2000 ในพื้นที่นี้ความดันเสียงเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วเมื่อขยับตำแหน่งของเครื่องวัดเสียงเพียงเล็กน้อย และสนามไกลคือบริเวณรอบนอกสนามใกล้ การวัดเสียงในพื้นที่นี้เชื่องช้ามากกว่า อย่างไรก็ตาม ค่าที่ตรวจวัดได้อาจถูกรบกวนด้วยเสียงสะท้อนหากแหล่งเสียงไม่ได้อยู่ในพื้นที่โล่ง (Free Field)

ในความเป็นจริงโดยเฉพาะในสถานประกอบการมีแหล่งเสียงมากกว่าหนึ่งแหล่ง และมีสิ่งกีดขวางทางเดินของเสียง เช่น กำแพง เครื่องจักร สถานที่ดังกล่าวจึงไม่ใช่พื้นที่โล่ง การสะท้อน เบี่ยงเบนและดูดซับเสียงเกิดขึ้นได้เสมอ ดังนั้น คลื่นเสียงที่มาจากแหล่งต่างๆ และเสียงสะท้อนของแหล่งเสียงเหล่านั้นอาจรวมกันหรือหักล้างกัน ในจุดที่คลื่นเสียงรวมกันแอมพลิจูดสูงขึ้นและเสียงดังมากขึ้น ส่วนบริเวณที่คลื่นเสียงหักล้างกันแอมพลิจูดลดลง ระดับเสียงต่ำลง ดังนั้น ค่าการตรวจวัดเสียงในสนามเสียงจึงเป็นผลรวมของความดันเสียงที่จุดนั้นในขณะนั้น ความซับซ้อนของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเดียวและเสียงสะท้อนที่เกิดขึ้น สนามเสียงในลักษณะนี้เรียกว่า Reverberand field คือพื้นที่ที่มีเสียงสะท้อนจากผนังหรือสิ่งกีดขวางสมมติให้เส้นแต่ละเส้นแทนคลื่นเสียง จุดที่คลื่นเสียงมาพบกันอาจเกิดการหักล้างหรือรวมกันดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าแม้ในตำแหน่งที่ห่างกันเพียงเล็กน้อยอาจมีระดับเสียงต่างกัน

3.2.5 กำลัง ความเข้ม และความดันเสียง

กำลังเสียง (Sound Power, W) คือ ปริมาณพลังงานที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงต่อหน่วยเวลา คือ จูล/วินาที หรือวัตต์ ทำให้อากาศเกิดการสั่นสะเทือนเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นเสียงสิ่งแวดล้อมรอบๆ เช่น อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ รวมทั้งระยะทางไม่มีผลต่อกำลังเสียง กล่าวคือ

แหล่งเสียงที่มีกำลังเสียง 1 วัตต์ ยังคงมีกำลังเสียง 1 วัตต์ ไม่ว่าอุณหภูมิหรือความดันหรือระยะห่างจากแหล่งเสียงเพิ่มขึ้นหรือลดลง กำลังเสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน คือ 10^{-12} วัตต์

$$\text{กำลังเสียง(วัตต์)} = \frac{\text{พลังงาน จูล}}{\text{เวลา(วินาที)}}$$

$$\text{เมื่อ พลังงาน (จูล) = แรง (นิวตัน) \times ระยะทาง (เมตร)}$$

ดังนั้น กำลังเสียงจากแหล่งที่เป็นจุด (Point Source) เปล่งออกไปในพื้นที่โล่งกว้างโดยไม่มีการสะท้อนกลับ พลังงานเคลื่อนที่ออกไปได้ทุกทิศทางอย่างเท่าเทียมกันเป็นทรงกลม ผลรวมของพลังงานเสียงทั้งหมดบนพื้นผิวทรงกลมนั้นจึงมีค่าเท่ากับกำลังเสียงจากแหล่งนั้น นั่นคือ

$$\text{กำลังเสียง (W)} = \text{พลังงานเสียง} \times \text{พื้นที่ผิวทรงกลม}$$

$$\text{หรือ พลังงานเสียง (ความเข้มเสียง)} = \frac{\text{กำลังเสียง (W)}}{\text{พื้นที่ผิวทรงกลม}}$$

นั่นคือ กำลังเสียงในหนึ่งหน่วยพื้นที่ คือ ความเข้มเสียง (Sound Intensity) หรือ

$$I = \frac{W}{A} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

เมื่อ A คือพื้นที่ทรงกลมความเข้มแสงจึงลดตามกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) เมื่อระยะห่างจากแหล่งเสียงเพิ่มขึ้น

ความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปจากความดันบรรยากาศปกติอันเนื่องมาจากเครื่องเสียงคือความดันเสียง (Sound Pressure) ทั้งกำลังเสียงที่ปล่อยจากแหล่งเสียง ระยะทาง และสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ต่างมีอิทธิพลต่อความดังเสียงความดันเสียงสัมพันธ์กับความเข้มเสียง

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศในขณะที่พลังงานเสียงเคลื่อนที่ (แอมพลิจูด) นั้นมีทั้งสูงกว่า (+) และต่ำกว่า (-) ความดันบรรยากาศปกติ ดังนั้น หากคำนวณความดันเฉลี่ยของเสียงจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตแล้ว ค่าบวกและค่าลบเหล่านี้จะหักล้างกันหมดไป เพื่อแก้ปัญหานี้ จึงคำนวณค่าเฉลี่ยของความดันเสียงแบบรูทมีนแอสควร์ (Root Mean Square, rms) ซึ่งคำนวณได้จากการยกกำลังสองของค่าความดันเสียงในขณะนั้น ๆ ทำให้ทั้งค่าความดันที่ต่ำและสูงกว่าค่าความดันปกติเป็นค่าบวก จากนั้นจึงหาค่าเฉลี่ยความดันในช่วงเวลานั้น ๆ และถอดรากที่สองของค่าที่ได้จากการหักล้างการยกกำลังสอง ในขั้นแรก ผลลัพธ์คือค่าเฉลี่ย รูทมีนแอสควร์ของความดันเสียง ซึ่งมีค่าประมาณ $0.707 P_{\max}$ (ค่าความดังเสียงสูงสุด) และค่าความดันเฉลี่ยเลขคณิต (P_{avg}) มีค่าเท่ากับ $0.636 P_{\max}$ หน่วยของความดันเสียงอาจเป็นนิวตัน/ตร.ม หรือ ปาสคาลส์ (Pascals, Pa) หรือไมโครบาร์ หรือไดน์/ ตารางเซนติเมตร [ความสัมพันธ์ของหน่วยวัด 1 ไมโครบาร์=1 ไดน์/ตารางเซนติเมตร= 0.1ปาสคาลส์ 0.1 นิวตัน2ตารางเมตร] ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเสียงโดยทั่วไปหากไม่ระบุไว้ คือความเร็วเฉลี่ยรูทมีนแอสควร์

3.2.6 กำลังเสียง ระดับความเข้มเสียง และระดับความดังเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบล (Decibel, dB) ไม่เชิงไม่มีมิติเนื่องจากเป็นหน่วยเปรียบเทียบเช่นเดียวกับหน่วยร้อยละ (%) ซึ่งเปรียบเทียบกับร้อยละที่หน่วยเดซิเบลเป็นการเปรียบเทียบกำลังเสียงกับกำลังเสียงอ้างอิง ซึ่งได้แก่กำลังเสียงต่ำสุดที่คน

หนุ่มสาวส่วนใหญ่ได้ยิน ที่ระดับอ้างอิงนี้เป็นได้เสียง = 0 เดซิเบล คำนวณได้จากลอการิทึมของสัดส่วนระหว่างค่าของเสียงที่วัดได้กับค่าอ้างอิง ดังนั้นกำลังเสียง (Sound Power level, L_W) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ เมื่อกำลังเสียงอ้างอิงเท่า 10^{-12} วัตต์

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

เมื่อ W = กำลังเสียง (วัตต์)
 W_0 = กำลังเสียงอ้างอิง = 10^{-12} วัตต์
 ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเสียง = 10^{-3} วัตต์ระดับกำลังเสียงมีค่าเท่าใด

$$L_W = 10 \log \left[\frac{10^{-3}}{10^{-12}} \right]$$

$$= 10 \log 10^9 = 90 \text{ dB}$$

ระดับความเข้มเสียง (Sound Intensity Level, L_I) ความเข้มเสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยินคือ 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร และความเข้มเสียงสูงสุดที่สามารถทนฟังได้ คือ 1 วัตต์/ตารางเมตร ระดับความเข้มเสียงคำนวณได้จาก:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

เมื่อ I = ความเข้มเสียง (วัตต์/ตร.ม)
 I_0 = ความเข้มเสียงอ้างอิง = 10^{-12} วัตต์/ตร.ม

ระดับความดังเสียง (Sound Pressure Level, L_p) ในการตรวจวัดเพื่อประเมินความสัมผัสเสียงนั้น ไม่สามารถวัดกำลังเสียงได้โดยตรง และการวัดความเข้มเสียงแม้จะสามารถทำได้ แต่เครื่องมือมีราคาแพงและต้องวัดอย่างระมัดระวัง และเนื่องจากในสภาวะปกติทั่วไปความเข้มแสงเป็นสัดส่วนที่กับความดันเสียงยกกำลังสอง และการวัดความดันทำได้ง่ายกว่า ดังนั้น เครื่องวัดเสียงที่ใช้ทั่วไปในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรมจึงเป็นเครื่องมือวัดระดับความดังเสียง ค่าเฉลี่ยความดังเสียงต่ำสุดที่ทุกคนปกติในวัยหนุ่มสาวสามารถได้ยินที่ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ คือ 2×10^{-5} นิวตัน/ตารางเมตร และความดันเสียงสูงสุดซึ่งคนไม่สามารถทนทานได้คือ 200 นิวตัน/ตารางเมตร การวัดความดังเสียงในหน่วย นิวตัน/ตารางเมตรไม่สะดวกนักเนื่องจากค่าความดังเสียงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้นั้นต่ำและมีช่องกว้าง จึงนิยมวัดระดับความดังเสียงในหน่วยเดซิเบล โดยกำหนดความดังเสียงอ้างอิง 2×10^{-5} นิวตัน/ตารางเมตร (หรือ 2×10^{-5} พาสคาล หรือ 200 ไมโครพาสคาล) ดังนั้น ระดับความดังเสียงคำนวณได้จาก

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

$$= 20 \log \frac{P}{P_0} \text{ dB}$$

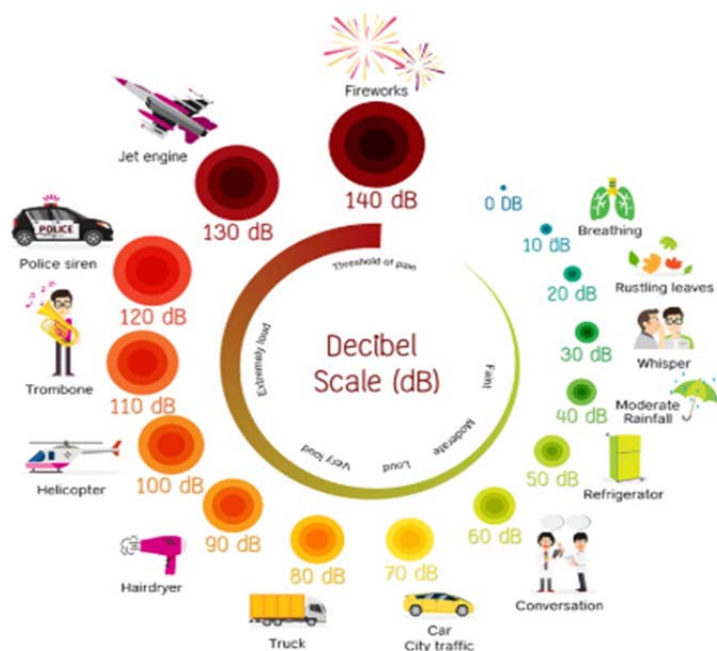
$$\text{เมื่อ } P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ นิวตัน/ตร.ม}$$

ระดับความดังเสียงแหล่งเสียงที่เป็นจุดกระจายในพื้นที่โล่งกว้างโดยไม่เกิดการสะท้อน ฤดูกาลตอนตามกฎกำลังสองผกผันเช่นเดียวกับกำลังเสียง ทำให้ความดังเสียงลดลง 6 เดซิเบล เมื่อเพิ่มระยะทางเป็นสองเท่า และลดลงประมาณ 3 เดซิเบลสำหรับแหล่งเสียงยาว ทั้งนี้การลดทอนเสียงเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผันในเฉพาะสนามไกลเท่านั้น

3.3 การรับรู้เสียงของมนุษย์ (Psycho- Acoustics)

การรับรู้หรือตอบสนองต่อเสียงของมนุษย์ขึ้นกับลักษณะสมบัติของเสียงสองประการคือ ความดังหรือแอมพลิจูดและความถี่ มนุษย์สามารถได้ยินเสียงในช่วงความถี่ประมาณ 20 – 20,000 เฮิรตซ์ สามารถในการตอบสนองต่อเสียงหรือได้ยินเสียงในช่วงความถี่ดังกล่าวนี้ไม่เท่ากันในทุกช่วงความถี่ (ภาพที่ 3.1)

3.3.1. ความดัง ระดับเสียงต่ำสุดที่คนได้ยิน (Hearing Threshold) เป็นความดังของเสียงที่คนรับรู้และบอกได้ว่ามีเสียงดัง (ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน) แต่การตอบสนองต่อความดังที่สูงกว่านั้นเป็นความรู้สึกของปัจเจกบุคคล ซึ่งไม่เพียงแต่สัมพันธ์กับระดับความดันเสียงเท่านั้นแต่ยังสัมพันธ์กับความถี่ด้วย กล่าวคือ ที่ความถี่ต่าง ๆ ความรู้สึกต่อความดังไม่เท่ากัน จากการทดสอบการได้ยินของคนหนุ่มสาวที่มีสุขภาพดีและการได้ยินปกติ



ภาพที่ 3.1 ระดับความดังเสียง

ที่มา: (ทีมงานทรุลูกปัญญา, 2563)

3.3.2 ความถี่ เนื่องจากคนเราตอบสนองต่อเสียงที่ช่วงความถี่ต่าง ๆ ไม่เท่ากันดังกล่าวข้างต้น ดังนั้น เพื่อให้การตรวจวัดเสียงที่คนรับรู้ได้อย่างถูกต้อง จึงต้องถ่วงน้ำหนักความถี่ (Frequency Weighting) โดยมีเวตติ้งเนทเวอร์ก (Weighting Network) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการตอบสนองของเครื่องวัดระดับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ จึงอาจกล่าวได้ว่า เวตติ้งเนทเวอร์กเป็นเครื่องกรองเสียงที่ยอมให้เสียงที่ช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านเข้าสู่กระบวนการแปลงสัญญาณของเครื่องวัดเสียงได้ เวตติ้งเนทเวอร์กที่ใช้ในปัจจุบันมี 4 ชนิด คือ A , B , C และ D ชนิดที่ใช้อย่างกว้างขวางสำหรับงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม คือ เวตติ้งเนทเวอร์ก A และ C ระดับความดันเสียงที่ถูกกรองที่ความถี่ต่าง ๆ ของเวตติ้งเนทเวอร์ก A และ C และเมื่อไม่มีเวตติ้งเนทเวอร์ก (Flat) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวตติ้งเนทเวอร์ก C กรองเสียงที่ช่วงความถี่ต่ำเพียงเล็กน้อยและปล่อยเสียงที่ความถี่สูงผ่านได้มากและกรองเสียงออกอีกเล็กน้อยที่ช่วงความถี่สูงกว่า 40000 เฮิรตซ์

ขณะที่เวทตั้งเนทเวอร์ก A กรองเสียงที่ช่วงความถี่ต่ำ ๆ ออกมากกว่า จึงสอดคล้องกับการตอบสนองต่อเสียงของมนุษย์ ซึ่งตอบสนองที่ช่วงความถี่ต่ำไม่ดี ดังนั้น ในการตรวจวัดเสียงเพื่อประเมินการสัมผัสของคนในจังหวัดด้วยเวทตั้งเนทเวอร์ก A (หรือสเกล A)

3.4 เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง

การตรวจวัดเสียงเพื่อประเมินการสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานทั้งแบบที่ตัวบุคคลและแบบพื้นที่หรือการตรวจวัดเสียงเครื่องจักรและวิเคราะห์ความถี่เพื่อปรับเพื่อวัตถุประสงค์ได้วัตถุประสงค์หนึ่งนั้นการเลือกและใช้เครื่องมืออย่างถูกต้องมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการกำหนดมาตรฐานการควบคุมเพื่อลดการสัมผัสเสียงหรือลดเสียงของเครื่องจักร เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์เสียงในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ได้แก่ เครื่องวัดระดับความดันเสียง (Sond level meter, SLM) เครื่องรวมเสียง (Intergrated Sound Level Meter, ISLM) เครื่องวัดเสียงกระแส เครื่องวิเคราะห์ความถี่ (Octave band analyzer) และเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม (Noisedosimeter) เนื่องจากเครื่องมือเหล่านี้แล้วอุปกรณ์จำเป็นที่ช่วยให้เชื่อมั่นว่าเครื่องมือที่กล่าวมานั้นทำงานได้ถูกต้องคืออุปกรณ์ปรับเทียบความถูกต้อง (Calibrator) ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันและเพื่อความสะดวกสบายในการตรวจวัดและวิเคราะห์เสียงเครื่องมือหนึ่งชิ้นอาจทำงานได้มากกว่าหนึ่งอย่างคือทั้งวัดระดับเสียงรวมและค่าหาค่าเฉลี่ยระดับเสียงวิเคราะห์ความถี่วัดเสียงกระแสทั้งนี้ในนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องมือที่ใช้อย่างกว้างขวางในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรมซึ่งทำหน้าที่ครอบคลุมตามความต้องการและอุปกรณ์สำหรับปรับเทียบความถูกต้องดังนี้ (ภาพที่ 3.2)

3.4.1 เครื่องวัดระดับความดันเสียง SML หรือเครื่องวัดเสียง เป็นเครื่องมือที่วัดเสียงขณะหนึ่งๆ ใช้ในการสำรวจเบื้องต้นและเพื่อวัตถุประสงค์ต่อไป

1. เพื่อยืนยันค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมตัวอย่าง เช่น ระดับเสียงดังในพื้นที่ที่ผู้ปฏิบัติงานซึ่งติดตั้งเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมทำงานนั้นมีระดับเสียงดังในช่วง 80 –90 dBA และผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาส่วนใหญ่ ในพื้นที่ที่มีเสียงดังประมาณ 85 dBA ผลตรวจวัดสูงกว่า 90 เดซิเบล หรือต่ำกว่า 80 dBA แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่ผลไม่ถูกต้อง จึงควรสอบสวนหาสิ่งที่อาจทำให้ผลตรวจวัดเป็นเช่นนั้นแต่ถ้าผลการตรวจวัดมีค่าในช่วง 80 ถึง 90 dBA แสดงว่าค่า ไม่น่าจะถูกต้อง

2. ใช้แทนเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมในกรณีที่ไม่มีหรือมีไม่พอเพียงซึ่งจะได้กล่าวถึงวิธีการตรวจวัดและคำนวณโดยละเอียดต่อไป

3. ระบุและตรวจวัดแหล่งเสียงเพื่อกำหนดมาตรฐานควบคุม

4. สำหรับเครื่องวัดเสียงที่มี เวทตั้งเนทเวอร์เอและบี ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ของเสียงคร่าวๆ ในเบื้องต้นได้ด้วยสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นนั้น คือ ถ้าค่าที่อ่านด้วยสเกลเอให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านด้วยสเกลซี แสดงว่าระดับความดันเสียงนั้นอยู่ในช่วงความถี่สูง แต่ในทางตรงข้ามถ้าค่าสเกลเอ ต่ำกว่าสเกลซีมาก แสดงว่าระดับความดันเสียงส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำ

5. ประเมินความเหมาะสมของอุปกรณ์ปกป้องกันการได้ยิน

หน่วยงานมาตรฐาน เช่น American National Standard Institute (ANSI) , International Standard Organization (ISO) , International Electrohnical Commission (IEC) ได้กำหนดมาตรฐานลักษณะสมบัติของเครื่องวัดเสียงเพื่อการอ้างอิงทั้งสำหรับผู้ผลิตและผู้ใช้เครื่องมือ เช่น ANSI S1.4 -1983 แบ่งเครื่องวัดระดับความดันเสียงออกเป็น 4 ชนิด คือ ตามความแม่นยำที่แต่ละช่วงความถี่ และความแม่นยำ

รวม (Overall Accuracy) ในการวัดเสียงย่านความถี่กว้างในพื้นที่ที่มีเสียงสะท้อนได้ (ไม่ใช่พื้นที่โล่งดังนี้)

ชนิดที่ 1- type 0 มีความแม่นยำมาก (Precision) ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานวิจัยหรือในห้องทดลองโดยเฉพาะ ความแม่นยำเฉลี่ยที่ความถี่ต่างๆ $\pm 0.4.4$ เดซิเบล

ชนิดที่ 2 -Type 1 ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในภาคสนาม จึงเป็นชนิดที่ใช้กันมากที่สุด สำหรับการประเมินระดับความดันของเสียงในสถานประกอบและในสิ่งแวดล้อมทั่วไปมีความแม่นยำที่ความถี่ ที่ตรวจสอบความถูกต้องทุก เวทตั้งเนทเวอร์ก เท่ากับ ± 0.7 เดซิเบลและความแม่นยำรวมประมาณ ± 1.5 เดซิเบล

ชนิดที่ 3- type 2 ออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไปรวมทั้งการตรวจวัดเสียงตามกฎหมายของกระทรวงแรงงาน ประเทศไทยและ OSHA มีความแม่นยำที่ความถี่ที่ปรับเทียบความถูกต้องทุก เวทตั้งเนทเวอร์ก เท่ากับ ± 1 kg เร็วและความแม่นยำรวมประมาณ ± 2.3 เดซิเบล

ชนิดที่ 4 - type S ถูกผลิตขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ(Special Purpose) จึงอาจทำงานได้ไม่ครบตามที่กำหนดสำหรับ type 0, 1 และ 2 แต่มีคุณลักษณะบางประการที่สอดคล้องกับข้อวัดเสียงชนิดใดชนิดหนึ่งในสามชนิดแรก เช่น อาจมีเพียง เวทตั้งเนทเวอร์ก A เท่านั้น



ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดระดับความดันเสียง

ที่มา: (POPPE INSTRUMENTS, 2015)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดระดับความดันเสียงได้แก่ ไมโครโฟน พรีแอมพลิไฟเออร์ (อาจมีหรือไม่ก็ได้ ในเครื่องมือรุ่นเก่าอาจมีแอตเทนนูเอเตอร์ด้วย) เวทตั้งเนทเวอร์ก แอมพลิไฟเออร์ ตัวจับสัญญาณ (Detector) และอุปกรณ์แสดงผล

1. ไมโครโฟน (Microphone) เป็นอุปกรณ์ที่ตอบสนองต่อความดันเสียง และแปลงความดันเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ส่งต่อไปยัง (Amplifier) ซึ่งเป็นภาคขยายสัญญาณไมโครโฟนที่ใช้เครื่องวัดเสียงทั่วไปมี 3 ประเภท คือ ไพโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) คอนเดนเซอร์ (Condensor) และไดนามิก (Dynamic) เฉพาะสองชนิดแรกเท่านั้นที่ใช้กับเครื่องวัดเสียง แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ แรนดอมอินซิเดนซ์ (Random Incidence) ฟรีฟิลด์ (Free Field) และเพรสเชอร์ (Pressure) ข้อแตกต่างของ

ไมโครโฟนสามชนิดนี้ คือการรับสัญญาณเสียงที่มีความถี่สูงซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางของไมโครโฟนกับแหล่งเสียง ไมโครโฟนชนิด แรนดอมอินซิเดนซ์เหมาะสำหรับการวัดเสียงที่แพร่กระจายจากหลายทิศทาง เนื่องจากการสะท้อนของเสียง ขณะตรวจวัดเสียงไมโครโฟนควรทำมุมประมาณ 70 องศา กับแหล่งเสียง ไมโครโฟน ฟรีฟิลด์ถูก ออกแบบมาเพื่อใช้ในพื้นที่เปิดโล่งไม่มีเสียงสะท้อน ขณะวัดทิศทางของไมโครโฟน ควรชี้ตรงไปยังแหล่งเสียง และไมโครโฟนเพรสเซอร์ถูกออกแบบมาเฉพาะเพื่อใช้ในพื้นที่ปิดหรือในโพรง เช่น ช่องหูของหุ่นจำลองทดสอบเสียง ขณะวัดทิศทางของไมโครโฟนทำมุม 90 องศา กับแหล่งเสียง อย่างไรก็ตาม สำหรับทิศทางของไมโครโฟนกับแหล่งเสียงควรถือปฏิบัติตามที่ผู้ผลิตแนะนำเป็นหลัก

ไมโครโฟนมี 4 ขนาด คือ $1/8$ นิ้ว $1/4$ นิ้ว $1/2$ นิ้ว และ 1 นิ้ว สำหรับไมโครโฟนขนาดเล็ก $1/8$ นิ้วและ $1/4$ มีข้อดี คือสามารถวัดระดับเสียงที่ดังมากๆ รับเสียงได้จากทุกทิศทางและไม่ต้องการบวกรวนของกระแสลม ขณะที่ไมโครโฟนขนาด 1 นิ้ว มีสัญญาณรบกวน น้อยจึงเหมาะสำหรับการตรวจวัดในพื้นที่ที่ค่อนข้างเงียบ ระดับเสียงและความถี่ต่ำ

2. ภาชนะขยายสัญญาณ ประกอบด้วย 프리แอมพลิไฟเออร์ (Pre-amplifier) และแอมพลิไฟเออร์ (Amplifier) 프리แอมพลิไฟเออร์เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณระดับต่ำ เพื่อให้มีระดับที่เหมาะสมสำหรับการป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ต่อไป ดังนั้น 프리แอมพลิไฟเออร์ในเครื่องวัดเสียงต้องสามารถขยายสัญญาณในช่วงความถี่ 20 ถึง 20,000 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ จากนั้นจึงส่งสัญญาณเข้าสู่ เวทติ้งเนทเวอร์ก และสัญญาณที่ผ่านออกมาถูกขยายอีกครั้งด้วย แอมพลิไฟเออร์ เพื่อป้อนเข้าสู่ตัวจับสัญญาณเสียง

3. เวทติ้งเนทเวอร์ก เนื่องจากไมโครโฟนในเครื่องวัดเสียงตอบสนองต่อเสียงในทุกช่วงความถี่เท่ากัน ซึ่งแตกต่างจากการตอบสนองของมนุษย์ ดังนั้น เครื่องวัดเสียงจึงต้องถ่วงน้ำหนักความถี่โดยใช้เวทติ้งเนทเวอร์กดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งเวทติ้งเนทเวอร์ก A ทำให้เครื่องวัดเสียงตอบสนองได้ใกล้เคียงกับหูของคนเรามากที่สุด ในการประเมินการสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงานจึงควรตรวจวัดโดยใช้เวทติ้งเนทเวอร์ก A ขณะที่การตรวจวัดเสียงจากแหล่ง เช่น เครื่องจักรควรวัดโดยใช้เวทติ้งเนทเวอร์ก C หรือตรวจวัดโดยไม่ผ่านเวทติ้งเนทเวอร์ก (ตารางที่ 3.1) ซึ่งเครื่องวัดเสียงบางยี่ห้อ/บางรุ่น อาจใช้คำว่า 'Flat' 'Lin' 'Unweight' หรือเวทติ้งเนทเวอร์ก Z และหน่วยวัดต้องระบุเวทติ้งเนทเวอร์กด้วย เช่นระดับเสียงเท่ากับ 91 dBA โดยทั่วไปหากไม่ระบุจะหมายถึง 'Unweight'

ตารางที่ 3.1 การตอบสนองต่อเสียงที่ช่วงความถี่ต่างๆ ของเวทติ้งเนทเวอร์ก A และ C

ความถี่ (Hz)	สเกล A	สเกล C
31.5	-39.4	-3.0
63	-26.2	-0.8
125	-16.1	-0.2
250	-8.6	0
500	-3.2	0
1000 (อ้างอิง)	0	0
2000	1.2	-0.2
4000	1.0	-0.8
8000	-1.1	-3.0
16000	-6.6	-8.5

ที่มา: (OSHA, 2014)

4. ตัวจับสัญญาณเสียง (Detector) ทำหน้าที่แปลงความดันเสียง (พาสคาลส์) เป็นระดับความดันเสียง (เดซิเบล) ในเครื่องมือวัดเสียงมาตรฐานทั่วไปมีตัวจับสัญญาณเสียง 2 ชนิด คือ S (Slow) และ F (Fast) ซึ่งแบ่งตามระยะเวลาในการตอบสนองต่อเสียงที่ตรวจวัดได้ 63% ของค่าสุดท้าย (Response time) ชนิด S มีระยะเวลาในการตอบสนอง 1 วินาที โดยการอ่านค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว และชนิด F มีระยะเวลาในการตอบสนอง 125 มิลลิวินาที ซึ่งทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงที่เกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ ได้ ค่าเฉลี่ยระดับเสียงที่วัดโดยตัวจับสัญญาณเสียงชนิด S และ F นั้นคำนวณด้วยวิธี RMS (RMS detector) ดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งสะท้อนพลังงานเสียงที่สัมพันธ์กับการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินได้ดี

สำหรับเสียงกระแทกซึ่งเกิดขึ้นและสลายไปในเวลาที่สั้นกว่าระยะเวลาตอบสนองของเครื่องวัดเสียงนั้น หากวัดด้วยตัวจับสัญญาณเสียงชนิด S หรือ F ย่อมได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง และเสียงที่ดังมากๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ อาจทำให้เครื่องค้าง (saturate) ได้ นอกจากนั้นการคำนวณพลังงานเสียงด้วยวิธี RMS จากตัวจับสัญญาณเสียงชนิด S หรือ F สำหรับเสียงกระแทกให้ค่าที่ไม่สัมพันธ์กับระดับการรับรู้ของคนเท่าที่ควร ดังนั้น จึงต้องมีตัวจับสัญญาณเสียงสำหรับเสียงกระแทกโดยเฉพาะ นั่นคือ ตัวจับสัญญาณเสียงชนิด I (Impact หรือ Impluse) ซึ่งมีระยะเวลาในการตอบสนอง 35 มิลลิวินาที ค่าที่อ่านได้คือค่าเฉลี่ยระดับเสียงในเวลา 35 มิลลิวินาที และก่อนการวัดเสียงกระแทกครั้งต่อไปต้องเว้นระยะเวลาให้เสียงสลายไปก่อน (decay time) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1.5 วินาที เครื่องวัดเสียงบางเครื่องมีตัวจับสัญญาณสำหรับเสียงสูงสุด (Peak detector) ด้วย ซึ่ง 'Peak' คือจุดสูงสุดของคลื่นเสียง

ลักษณะสมบัติสำคัญของเครื่องวัดเสียงที่บ่งชี้ความสามารถในการวัดเสียงกระแทกได้ถูกต้องคือ Crest factor เดิมเป็นคำที่ใช้ในทางวิศวกรรมไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับคือ ค่าสูงสุดของคลื่น (Peak)หารด้วยค่า RMS ของคลื่นนั้น ต่อมานำมาใช้ในเรื่องเสียงมีความหมายดังนี้

$$\text{Crest factor 1} = \frac{\text{Peak sound pressure (dA)}}{\text{RMS sound pressure (dB)}}$$

ดังนั้น Crest factor จึงไม่มีหน่วย อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตเครื่องวัดเสียงนิยมแสดงค่า Crest factor ในรูปของผลต่างระหว่างค่าสูงสุดของความดันเสียงและค่า RMS ของความดันเสียงนั้น นั่นคือ

$$\text{Crest factor 2} = \text{Peak sound pressure level (dB)} - \text{RMS sound pressure level (dB)}$$

ซึ่งค่าทั้งสองสัมพันธ์กันคือ $20 \log \text{Crest factor 1} = \text{Crest factor 2}$

Crest factor ของเครื่องวัดเสียงต้องมากกว่า Crest factor ของเสียงที่ตรวจวัด จึงสามารถแสดงค่าเสียงกระแทกได้อย่างถูกต้อง มาตรฐานที่กำหนดคุณลักษณะของเครื่องวัดเสียงต่างๆ เช่น ANSI S1.4A-1983

กำหนดให้ผู้ผลิตเครื่องวัดเสียงต้องระบุค่า Crest factor ด้วย OSHA ประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดค่า Crest factor ในมาตรฐานเครื่องวัดเสียงเท่ากับ 30 เดซิเบล และบางองค์กรกำหนดที่ 50 เดซิเบล

5. อุปกรณ์แสดงผล สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างโดยไมโครโฟนและถูกส่งผ่านมายังพีเอมพลิไฟเออร์เพื่อขยายสัญญาณให้สามารถตรวจวัดได้ ผ่านต่อไปยังเวทตัวเนทเวอร์ก และแอมพลิไฟเออร์ก่อนคำนวณค่าเป็นระดับความดันเสียงและแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนเข้าสู่อุปกรณ์แสดงผลโดยเป็นตัวเลขบนหน้าจอมิเตอร์หรือมิเตอร์ หรือเข็มชี้บนมิเตอร์ หรือเส้นกราฟบนกระดาษ ฯลฯ (ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 ส่วนประกอบของเครื่อง Sond level meter
ที่มา: (ABALLTEHNO., CO.LTD., 2563)

3.4.2 เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม (Noise Dosimeter) เนื่องจากความเสี่ยงหรือโอกาสสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินสัมพันธ์กับทั้งระดับเสียงและระยะเวลาที่สัมผัสกันนั้น ดังนั้น การประเมินการสัมผัสเสียงจึงต้องพิจารณาทั้งสองปัจจัยนี้เสมอ หากผู้ปฏิบัติงานทำงานในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งตลอดเวลาแปดชั่วโมงโดยสัมผัสเสียงดังคงที่และต่อเนื่องแล้ว การประเมินการสัมผัสเสียงด้วยเครื่องวัดเสียงทำได้ไม่ยุ่งยาก กล่าวคือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเสียงคือปริมาณเสียงเฉลี่ยที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสตลอดเวลาการทำงานแปดชั่วโมงนั้น อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไประดับเสียงดังในสิ่งแวดล้อมการทำงานมีลักษณะเป็นเสียงผสมและหรือผู้ปฏิบัติงานอาจต้องเคลื่อนย้ายไปทำงานในพื้นที่ต่างๆ ที่ระดับเสียงไม่เท่ากัน ทำให้การประเมินการสัมผัสด้วยเครื่องวัดเสียงยุ่งยากและใช้เวลามาก กล่าวคือ ต้องติดตามปฏิบัติงานเพื่อตรวจวัดและบันทึกระดับเสียงและระยะเวลาที่สัมผัสเสียงที่ระดับดังกล่าว และคำนวณปริมาณเสียงที่สัมผัสตลอดแปดชั่วโมงการทำงาน (Dose) ด้วย

เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมมีส่วนประกอบหลักเช่นเดียวกับเครื่องวัดเสียงทุกประการ และมีอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลและประมวลผลเป็นค่าปริมาณเสียงสะสมด้วย (ภาพที่ 3.4) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันผู้ผลิตได้เพิ่มขีดความสามารถของเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม โดยได้ผนวกลักษณะสมบัติของเครื่องวัดเสียงเข้าไว้ด้วย นั่นคือ สามารถอ่านค่าเสียง ณ ขณะใดๆ ค่าเฉลี่ยการสัมผัสตลอด 8 ชั่วโมง (TWA dBA) ค่าพิคค่าเฉลี่ยพลังงานเสียงในช่วงเวลาที่ตรวจวัด (L_{eq}) ฯลฯ



ภาพที่ 3.4 Noise Dosimeter

ที่มา: (Wikipedia, 2020)

เพื่อให้เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมทำงานและคำนวณค่าได้ถูกต้องตามที่ต้องการ ผู้ใช้ต้องตั้งค่าหรือป้อนข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณ ได้แก่ Criteria Level , Threshold และ Exchange Rate ให้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ และสอดคล้องกับกฎหมายหรือมาตรฐานที่เลือกใช้ ความหมายและหลักการของค่าทั้งสามมีดังนี้

1) Criteria Level คือ ค่าขีดจำกัดที่ยอมให้สัมผัสได้ในหนึ่งวันหรือค่า OEL นั้นเอง เป็นค่าที่สัมพันธ์กับ T สำหรับกฎกระทรวงแรงงาน ประเทศไทยกำหนดให้ค่านี้เท่ากับ 90 เดซิเบลเอ สำหรับการสัมผัสเสียง 8 ชั่วโมง หากระดับเสียงเฉลี่ยที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสตลอดแปดชั่วโมงเท่ากับ 90 dBA เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมจะอ่านค่าปริมาณเสียงเท่ากับ 100 % และสำหรับค่า TLV ซึ่งกำหนดมาตรฐานการสัมผัสเสียง 8 ชั่วโมงเท่ากับ 85 dBA เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมจะอ่านค่าปริมาณเสียง 100 % เมื่อเสียงดังต่อเนื่องตลอด 8 ชั่วโมงเท่ากับ 85 dBA

2) Threshold Level คือ ระดับเสียงต่ำสุดที่เครื่องวัดปริมาณสะสมบันทึกและนำมาคำนวณปริมาณเสียงที่ได้รับ จึงเป็นค่าที่สัมพันธ์กับ C ในปัจจุบันเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมที่มีในประเทศไทยมีค่า Threshold level ให้เลือกสองค่า คือ 90 และ 80 dBA หากเปรียบเทียบผลการตรวจวัดคู่ขนานของเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมที่ตั้ง Threshold 90 dBA และ 80 เดซิเบล ระดับเสียงในส่วนหนึ่งที่แรงงานเท่านั้นที่ถูกนำมาคำนวณปริมาณเสียง ดังนั้น ค่าที่ได้จากเครื่องที่ตั้ง Threshold level 80 เดซิเบลเอ จึงสูงกว่าเครื่องที่ตั้ง Threshold level 90 dBA

3) Exchange rate (หรือ Doubling Rate) คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับเสียงเมื่อพลังงานเสียงเพิ่มขึ้นเท่าตัว เนื่องจากการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินสัมพันธ์กับปริมาณเสียงที่ได้รับซึ่งคำนวณจากระดับหรือพลังงานเสียงและระยะเวลาที่สัมผัส เมื่อปริมาณเสียงที่ได้รับเพิ่มขึ้นทำให้ความเสี่ยงในการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินเพิ่มขึ้นอย่างที่สุดส่วนต่อกัน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการ Equal-energy rule นั่นคือ หากค่า OEL กำหนดให้สัมผัสเสียงที่ระดับหนึ่งเช่น 90 dBA ได้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ถ้าเพิ่มพลังงานเสียง (วัตต์) ที่ได้รับขึ้นเป็นสองเท่า ระยะเวลาที่สัมผัสต้องลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งคือ 4 ชั่วโมง เพื่อให้ปริมาณเสียงที่ได้รับเท่าเดิม

จากนิยามข้างต้น คำนวณ Exchange rate ได้ดังนี้

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB}$$

สมมติให้ Exchange rate = X dB เมื่อเพิ่มพลังงานเสียงได้เป็นสองเท่าคือ 2W

$$\begin{aligned} 10 \log \frac{W}{W_0} + X &= 10 \log \frac{2W}{W_0} \\ X &= 10 \log \frac{2W}{W_0} - 10 \log \frac{W}{W_0} \\ &= 10 \log 2 + 10 \log \frac{W}{W_0} - 10 \log \frac{W}{W_0} \\ &= 10 (0.301) = 3.01 \text{ dB} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่า Exchange rate ตามทฤษฎีจึงเท่ากับ 3 dBA อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมโดยทั่วไปมีค่า Exchange ให้เลือกสามค่า คือ 3, 4, และ 5 dBA

เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมพื้นฐานที่สุดให้ค่าปริมาณการสัมผัสเสียงให้หน่วยร้อยละ ซึ่งคำนวณค่าเฉลี่ยการสัมผัสเสียงตลอดแปดชั่วโมง (Time Weighted Average, TWA) ในหน่วยdBA

$$TWA = 90 + 16.61 \log \left(\frac{D}{100} \right) \text{ dA}$$

เมื่อ 90 คือ ค่า Criteria level (OEL สำหรับการสัมผัสเสียง 8 ชั่วโมง)

16.61 คือ ค่าคงที่เมื่อ Exchange rate = 5; [จาก $5 = x \log 2$; $x = 16.61$ ถ้า Exchange Rate = 3 ค่าคงที่นี้คือ $3 = x \log 2$; $x = 9.96$ (ปัดเป็นจำนวนเต็ม = 10)]

D คือ ปริมาณเสียงที่สัมผัส (%)

หากระยะเวลาในการตรวจสัมผัสเสียงมากหรือน้อยกว่า 8 ชั่วโมง คำนวณระดับเสียงที่สัมผัสได้

$$L_A = 90 + 16.61 \log \left(\frac{D}{100} \right) \left(\frac{8}{T} \right) \text{ dBA}$$

$$\text{หรือ } L_A = 90 + 16.61 \log \left[\frac{D}{(12.5 \times T)} \right] \text{ dBA}$$

เมื่อ T คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่สัมผัสเสียงดัง

ตัวอย่างที่ 3.1 ผู้ปฏิบัติทำงานวันละ 12 ชั่วโมง ได้ตรวจวัดการสัมผัสเสียงต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง ค่าปริมาณการสัมผัสเสียง เท่ากับ 125 % ตลอดระยะเวลาทำงาน 12 ชั่วโมง ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงกี่dBAและค่าเฉลี่ยการสัมผัสเสียงตลอดแปดชั่วโมงมีค่าเท่าไร

$$\text{แทนค่า } L_A = 90 + 16.61 \log \left[\frac{D}{(12.5 \times T)} \right] \text{ dBA}$$

$$\begin{aligned} L_A &= 90 + 16.61 \log \left[\frac{125}{(12.5 \times 12)} \right] \text{ dBA} \\ &= 90 + 16.61 \log (0.83) = 88.7 \text{ dBA} \end{aligned}$$

$$\text{และ TWA} = 90 + 16.61 \log \left(\frac{125}{100} \right) = 91.6 \text{ dBA}$$

นั่นคือตลอดระยะเวลาทำงาน 12 ชั่วโมง ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงเฉลี่ย = 88.7 dBA ระดับเสียงดังที่ยอมให้สัมผัสได้ในระยะเวลา 12 ชั่วโมง คือ 87 dBA และ ค่าเฉลี่ยการสัมผัสเสียงตลอดแปดชั่วโมง = 91.6 dBA

สรุปได้นั่นคือ ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงเกินค่า OEL

3.4.3 เครื่องวิเคราะห์ความถี่ของเสียง (Sound Frequency Analyzer) เสียงในธรรมชาติโดยทั่วไปประกอบด้วยเสียงที่มีความถี่หลายความถี่ การวิเคราะห์ความถี่ทำให้ทราบถึงการกระจายของพลังงานที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการระบุลักษณะสมบัติและแหล่งเสียง เพื่อการควบคุมทางวิศวกรรม เช่น การเลือกวัสดุดูดซับเสียงที่เหมาะสมกับระดับและลักษณะของเสียงจากแหล่งนั้น ๆ และเพื่อการเลือกอุปกรณ์ป้องกันการได้ยินที่ลดการสัมผัสเสียงของผู้สวมใส่ได้อย่างเหมาะสม

เครื่องวิเคราะห์ความถี่ที่ใช้ในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรมโดยทั่วไปต้องต่อเข้ากับเครื่องวัดระดับความดันเสียงเพื่อแสดงผล เมื่อคลื่นเสียงผ่านไมโครโฟนเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ความถี่ สัญญาณไฟฟ้าจากไมโครโฟนถูกขยายโดยพรีแอมพลิฟายเออร์ก่อนส่งเข้าวงจรไฟฟ้าของเครื่อง ซึ่งจะส่งผลต่อพลังงานเสียงที่มีความถี่ในช่วงใดช่วงหนึ่งโดยเฉพาะผ่านแอมพลิฟายเออร์ และ RMS ไปยังแสดงผล ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ความถี่ควรอ่านค่าโดยไม่ผ่านเวทตึงเนทเวอร์ก (Unweighted) หรือใช้เวทเนทเวอร์ก ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วคือเวทตึงเนทเวอร์กกรองเสียงบางช่วงความถี่ออกทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ตรงกับความจริง

3.4.4 อุปกรณ์ปรับเทียบความถูกต้อง เครื่องมือที่ใช้วัดเสียงทุกชนิดต้องได้รับการปรับเทียบความถูกต้องเช่นเดียวกับเครื่องมืออื่น ๆ จากผู้ผลิต และส่งมอบชาร์ตปรับเทียบความถูกต้องพร้อมเครื่องมือแก่ลูกค้าเสมอ อย่างไรก็ตาม เครื่องมือเหล่านั้นยังคงต้องได้รับการปรับเทียบความถูกต้องตามระยะเวลาและวิธีการที่ผู้ผลิตระบุ ทั้งนี้ การปรับเทียบความถูกต้องเครื่องมือวัดเสียงมี 2 วิธี วิธีแรกเป็นการปรับเทียบความถูกต้องที่ละเอียดครอบคลุมทั้งหมด (Comprehensive Calibration) โดยผู้ผลิตหรือผู้ที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะ เพื่อตรวจสอบการตอบสนองต่อเสียงที่ความถี่ และระดับความดังต่าง ๆ ของเสียง การปรับเทียบความถูกต้องชนิดนี้ควรกระทำทุก 1-3 ปี ทั้งนี้ ความถี่ในการปรับเทียบขึ้นกับลักษณะการใช้งานสมบุกสมบันหรือบ่อยเพียงใด และเมื่อเครื่องมือทำงานผิดปกติ หน่วยงานที่ทำการปรับเทียบต้องออกใบรับรองการทำงานของเครื่องมือ พร้อมทั้งติดฉลากแสดงข้อมูลสำคัญ เช่น ชื่อหน่วยงานและวันที่ที่ปรับเทียบความถูกต้องบนเครื่องมือด้วย

วิธีที่สองคือการปรับเทียบก่อนและหลังการใช้งาน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือยังคงทำงานได้ถูกต้องทั้งก่อนและเมื่อสิ้นสุดการตรวจวัด โดยผู้ใช้เครื่องมือเป็นผู้ปรับเทียบเองด้วยอุปกรณ์ปรับเทียบความถูกต้องหรือคาลิเบรเตอร์ (Calibrator) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ทำให้เกิดเสียงความถี่เดียวและระดับเสียงดังคงที่ เช่น 124 เดซิเบล ความถี่ 250 เฮิร์ตซ์ หรือ 94 เดซิเบล ความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์ ทำงานด้วยแบตเตอรี่ การปรับเทียบความถูกต้องวิธีนี้เป็นการตรวจสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้าและไมโครโฟน ดังนั้น ลักษณะสมบัติที่สำคัญของคาลิเบรเตอร์ประการหนึ่งคือ ช่องเปิดสำหรับสวมไมโครโฟนต้องแนบสนิทพอดีกับไมโครโฟน และเนื่องจากต้องใช้คาลิเบรเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งเสียงจากภายนอก จึงเรียกการปรับเทียบนี้อีกอย่างหนึ่งว่า 'External Calibration' การปรับเทียบความถูกต้องนี้ควรทำในสถานที่

ซึ่งไม่มีเสียงดังรบกวน อนึ่งเนื่องจากคาลิเบรเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงควรตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้ผลิตหรือห้องปฏิบัติการที่มีความสามารถเป็นระยะ ๆ เช่นเดียวกับเครื่องวัดเสียงทุกชนิด

ในปัจจุบัน เครื่องวัดเสียงบางรุ่นมีฟังก์ชันการปรับเทียบความถูกต้องของวงจรไฟฟ้าภายในเท่านั้น เรียกว่า 'Internal Calibration' ซึ่งให้ความสะดวกและปรับเทียบความถูกต้องได้บ่อยเท่าที่ต้องการ แม้เมื่ออยู่ในพื้นที่ที่มีเสียงดัง อย่างไรก็ตาม ผู้ตรวจวัดเสียงควรปรับเทียบความถูกต้องแบบ 'External Calibration' ด้วยเป็นระยะๆ เพื่อตรวจสอบการทำงานของไมโครโฟน

3.5 การตรวจวัดเสียง

3.5.1 การเตรียมการเพื่อตรวจวัด การตรวจวัดเสียงด้วยเครื่องวัดระดับเสียง หรือเครื่องวิเคราะห์ความถี่ หรือเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมต่างมีวิธีการปฏิบัติเพื่อเตรียมการเหมือนกัน ดังนี้

3.5.1.1 การเตรียมเครื่องมือ เลือกเครื่องมือที่เหมาะสมกับลักษณะของเสียงและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ตามที่กล่าวมาแล้ว ตรวจสอบสภาพทั่วไปและความพร้อมของเครื่องมือ ในวันที่ปรับเทียบความถูกต้องแบบละเอียดครั้งสุดท้าย เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือทำงานได้ปกติ รวมทั้งตรวจสอบแหล่งพลังงานหรือแบตเตอรี่ตามขั้นตอนที่ผู้ผลิตระบุในคู่มือการใช้เครื่องมือ จากนั้นปรับเทียบความถูกต้องด้วยคาลิเบรเตอร์ ซึ่งเครื่องมือแต่ละชนิดและแต่ละยี่ห้ออาจมีขั้นตอนที่แตกต่างกันเล็กน้อยแต่โดยทั่วไปมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) ประกอบชิ้นส่วนของเครื่องมือเข้าด้วยกัน เช่น ประกอบไมโครโฟนเข้ากับตัวเครื่อง
- 2) เปิดเครื่องมือวัดเสียงและคาลิเบรเตอร์ และอุ่นเครื่องประมาณ 5 นาที
- 3) ตรวจสอบแบตเตอรี่ของเครื่องมือวัดเสียงและคาลิเบรเตอร์
- 4) ใส่ไมโครโฟนในช่องสำหรับไมโครโฟนของคาลิเบรเตอร์ให้แนบสนิท และอ่านค่าที่

จอแสดงผล เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับค่าที่ระบุบนคาลิเบรเตอร์

5) หากค่าแตกต่างกันเล็กน้อยให้ปรับที่ปุ่มหรือสกรูที่มีอักษรระบุ 'Cal' โดยใช้อุปกรณ์ที่ผู้ผลิตให้มาพร้อมเครื่องมือ หมุนซ้ำ ๆ หรือกดปุ่มซ้ำ ๆ จนกระทั่งเครื่องมืออ่านค่าได้ตรงกับค่าที่ระบุ

- 6) บันทึกผลการปรับเทียบความถูกต้องนี้ทุกครั้ง

ปรับเทียบความถูกต้องอีกครั้งหลังการตรวจวัดด้วยขั้นตอนเดียวกันนี้ ยกเว้นไม่ต้องทำข้อ 5 หากการปรับเทียบสองครั้งมีค่าต่างกันต้องพิจารณาปรับค่าที่อ่านได้ตามความเหมาะสม และค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างนี้ หากค่าต่างกันค่อนข้างมากและไม่รู้สาเหตุ ควรส่งเครื่องมือให้ผู้ผลิตหรือผู้เชี่ยวชาญเฉพาะตรวจสอบ

สำหรับเครื่องวัดเสียงที่มีฟังก์ชัน 'Internal Calibration' เมื่อเลือกฟังก์ชันนี้ อุปกรณ์แสดงผลจะแสดงค่าระดับเสียงค่าหนึ่งซึ่งควรตรงกับที่ระบุไว้ในคู่มือหรือบนเครื่องมือ หากไม่ตรงตามที่ระบุต้องปรับเครื่องมือโดยกดปุ่มปรับให้ค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจนกระทั่งอ่านค่าได้ตรงตามที่ระบุ และควรปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องมือดังกล่าวด้วยคาลิเบรเตอร์เป็นระยะ ๆ ด้วยเช่นกัน

3.5.1.2 การเตรียมแบบบันทึกข้อมูล แบบบันทึกข้อมูลช่วยให้เก็บข้อมูลได้ครบถ้วนและรวบรวมไว้ด้วย โดยทั่วไปข้อมูลที่ต้องการบันทึกอย่างน้อยควรครอบคลุมเรื่องต่อไปนี้

- 1) ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ปฏิบัติงาน
 - จำนวนผู้ปฏิบัติงานในแต่ละแผนก/พื้นที่
 - ระยะทางระหว่างผู้ปฏิบัติงานและแหล่งเสียง
 - การหมุนเวียนหรือระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงในบริเวณหนึ่ง ๆ
 - ผลการตรวจสมรรถภาพการได้ยินครั้งสุดท้าย
- 2) ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต
 - บันทึกลักษณะของแหล่งเสียง และระดับเสียง
 - ชนิดและกำลังม้าของเครื่องจักร
 - สภาพของเครื่องจักร อายุ การบำรุงรักษา
 - การทำงานของเครื่องจักร เช่น ความเร็วรอบ/เวลา
- 3) มาตรการควบคุมที่มี
 - การควบคุมทางวิศวกรรม เช่น แหล่งเสียงถูกปิดครอบด้วย
 - การบริหารจัดการ เช่น กำหนดระยะเวลาการทำงานในพื้นที่ที่เสียงดัง
 - อุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน ใช้หรือไม่ ชนิดใด NRR เท่าไร
- 4) ข้อมูลเกี่ยวกับตัวอาคาร
 - แผนผังห้องและอาคาร
 - วัสดุทำพื้นห้อง กำแพง และเพดาน
 - แหล่งเสียงอื่นที่อาจมีอิทธิพลต่อเสียงภายในห้อง
- 5) แผนผังกระบวนการผลิตและพื้นที่ที่ตรวจวัด เพื่อความสะดวกในการระบุจุดที่ตรวจวัดเสียงและบันทึกเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมในบริเวณดังกล่าว ในแผนผังควรระบุตำแหน่งที่ตั้งเครื่องจักรแหล่งกำเนิดเสียงอื่น ๆ จุดที่ทำงาน ที่พัก ขนาดห้อง และวัสดุสิ่งของต่าง ๆ ที่อาจมีอิทธิพลต่อผลการตรวจวัด เช่น กำแพงกันแยกห้อง พัดลม เหล่านี้ช่วยให้การอธิบายและแปลผลตรวจวัดได้ถูกต้อง
- 6) แบบบันทึกผลการตรวจวัด

3.5.1.3 การสำรวจเบื้องต้น เป็นการสำรวจเพื่อให้เห็นภาพรวมของสถานประกอบการ และรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น เช่น ระดับในพื้นที่ต่างๆ ลักษณะของเสียง จำนวนพนักงาน ลักษณะการทำงาน วัตถุประสงค์เพื่อกำหนดจุด/พื้นที่หรือผู้ปฏิบัติงานที่ควรตรวจวัดการสัมผัสเสียงโดยละเอียด รวมทั้งระบุชนิดของเครื่องมือที่ต้องใช้ ตัวอย่างเช่น ผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสเสียงไม่คงที่ และระดับเสียงดังในช่วง 80-90 dBA ควรพิจารณาใช้เครื่องมือวัดปริมาณเสียงสะสม ในพื้นที่ที่เสียงดังเกิน 90 dBAอาจต้องใช้เครื่องวิเคราะห์ความถี่ เพื่อพิจารณามาตรการควบคุมทางวิศวกรรมหรือการเลือกอุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน กลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสเสียงดังต่ำกว่า 85 dBA เป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำ หากต้องประเมินการสัมผัสอาจจัดไว้เป็นลำดับท้ายๆ เป็นต้น

3.5.1.4 การตรวจวัดโดยละเอียด ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจขั้นต้นจะช่วยให้การสำรวจขั้นนี้ง่ายขึ้น วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดในขั้นนี้ คือ

- เพื่อทราบระดับความดันเสียงที่ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนได้รับ
- เพื่อกำหนดแนวทางและวิธีควบคุมการสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงาน

- เพื่อระบุบุคคลหรือพื้นที่ที่ต้องดำเนินโครงการอนุรักษ์การได้ยิน
- เพื่อระบุบุคคลหรือพื้นที่ที่บุคคลควรหรือจำเป็นต้องได้รับการตรวจสมรรถภาพการได้ยิน
- เพื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดกับค่าที่กฎหมายกำหนดหรือค่า OEL

ในกรณีที่มีปัญหาหรือมีเรื่องร้องเรียน เช่น ในบริเวณที่ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถสนทนาด้วยระดับเสียงปกติ หรือในบริเวณที่ผู้ปฏิบัติงานหือเป็นเวลาหลายชั่วโมงหลังเลิกงาน การสำรวจลักษณะนี้ โดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องสำรวจสภาพแวดล้อมการทำงานโดยละเอียด แต่สำรวจเฉพาะในบริเวณที่มีการร้องเรียน หรือบริเวณที่สงสัยว่าระดับเสียงอาจถึงเกินค่ามาตรฐาน ฉะนั้น จึงไม่ควรใช้ค่าที่ได้ในการตรวจวัดนี้เป็นเกณฑ์ตัดสินระดับเกณฑ์การสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงาน ถ้าข้อมูลบ่งชี้ว่าอาจมีปัญหาจริงจึงดำเนินการสำรวจอย่างละเอียดต่อไป

3.5.2 วิธีการตรวจวัดเสียง

ในการตรวจวัดเพื่อประเมินการสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการโดยทั่วไปใช้เครื่องวัดระดับเสียง/เครื่องวัดปริมาณสะสมเสียง การเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดควรพิจารณาความสามารถและข้อจำกัดของอุปกรณ์ควบคู่ไปกับลักษณะของเสียงเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ เสียงในสถานประกอบการอาจมีลักษณะเป็นเสียงดังคงที่หรือไม่คงที่ หรือเสียงเป็นช่วงๆ หรือเสียงกระแทกหรือทุกลักษณะผสมผสานกัน การตรวจวัดเสียงด้วยเครื่องมือทั้งสองชนิดนี้อาศัยหลักการปฏิบัติที่ดีตามแนวต่อไปนี้

3.5.2.1 การตรวจวัดด้วยเครื่องวัดระดับความดันเสียง การประเมินการสัมผัสเสียงด้วยเครื่องมือชนิดนี้เหมาะสมสำหรับเสียงต่อเนื่องและคงที่ หรือเสียงดังเป็นช่วงๆ ที่ระดับเสียงดังค่อนข้างคงที่ โดยเครื่องวัดระดับความดันเสียงชนิดที่ 1 หรือเวทติ้งเนทเวอร์ท A และการตอบสนองช้า ควรใช้วัสดุกันลม (Wind Screen) แม้ทำการตรวจวัดในอาคาร เนื่องจากพัดลมที่ติดตั้งในสถานประกอบการเพื่อระบายอากาศหรือให้ความเย็นแก่พนักงานอาจมีกระแสลมในระดับที่ส่งผลต่อการอ่านค่าของเครื่องวัดเสียงได้ นอกจากนั้นวัสดุกันลมยังมีประโยชน์ในการปกป้องไมโครโฟนจากการถูกกระแทก ฝุ่นหรือสารเคมีเกาะ และความชื้นได้ด้วย ในขณะที่ตรวจวัดควรถือหรือติดตั้งไมโครโฟนไว้ในรัศมี 30 เซนติเมตรรอบศีรษะ ของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งเรียกว่า 'Hearing Zone' ในตำแหน่งที่ตัวผู้ปฏิบัติงานไม่บังแหล่งเสียง ผู้ผลิตอาจระบุทิศทางของไมโครโฟนสัมพันธ์กับแหล่งเสียงไว้ในคู่มือการใช้เครื่องมือ เช่น ขณะตรวจวัดไมโครโฟนควรชี้ไปที่เครื่องจักร หรือให้ทำมุม 70 องศากับแหล่งกำเนิดเสียง เป็นต้น ดังนั้น ผู้ตรวจวัดจึงควรศึกษาคู่มือการใช้งานโดยละเอียด อย่างไรก็ตาม ไมโครโฟนของเครื่องวัดเสียงในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นชนิดที่ได้รับเสียงจากทุกทิศทาง (Omni-Direction)

ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องรวมทั้งผู้ปฏิบัติงานซึ่งปกติได้ทำงานบริเวณนั้นไม่ควรเข้ามาในพื้นที่ที่กำลังทำการตรวจวัดเสียง เนื่องจากอาจเกิดการเบี่ยงเบนของเสียงหรือดูดซับเสียง หรือรบกวนการตรวจวัดได้ และผู้ตรวจวัดเสียงควรยืนให้ห่างเครื่องวัดเสียงให้มากที่สุด หรือหากต้องถือเครื่องวัดเสียงควรยืนแขนให้ห่างตัวมากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้เช่นกัน ในกรณีที่ระดับเสียงที่ 'Hearing Zone' ของหูทั้งสองข้างไม่เท่ากันให้บันทึกค่าที่สูงกว่า และระบุตำแหน่งที่ทำการวัดลงบนแผนผังที่เตรียมไว้ โดยอ่านและคำนวณค่าสัมผัสเสียงตามลักษณะดังนี้

1) เสียงดังต่อเนื่อง หากผู้ปฏิบัติงานในบริเวณที่เสียงมีการแปรเปลี่ยนไม่เกิน ± 5 dBA ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ค่าที่ได้จากการอ่านเฉลี่ยด้วยสายตา คือค่าเฉลี่ยสัมผัสเสียงแปดชั่วโมงของผู้ปฏิบัติงาน ถ้าเสียงแปรเปลี่ยนมากกว่า ± 5 dBA แต่ไม่เกิน ± 10 dBA ควรอ่านทั้งค่าเฉลี่ยด้วยสายตาและค่าสูงสุด - ต่ำสุด โดยอ่านซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง ทุกๆ 5 ถึง 10 วินาที และทำเครื่องหมายบันทึกผลบนกราฟที่มีแกน Y เป็นระดับเสียง แกน X คือเวลา แต่ละตำแหน่งควรอ่านค่านาน 5 ถึง 10 วินาที ทั้งนี้ขึ้นกับรอบของการทำงานหรือรอบของเสียง แล้วเฉลี่ยค่าบนชาร์ตด้วยสายตา หรือถ้าเครื่องวัดระดับเสียงนั้นสามารถอ่านค่า L_{eq} และระดับเสียงส่วนใหญ่มีค่าตั้งแต่ 80 dBA ขึ้นไปให้อ่านค่า L_{eq} แทนระดับเสียง L_A โดยอ่านค่าหลายๆ ครั้งๆ เช่นกัน แล้วคำนวณหาค่า L_{eq} เฉลี่ยเป็นค่าการสัมผัสเฉลี่ยแปดชั่วโมง

หากตรวจวัดโดยอ่านค่า L_{eq} บันทึกค่าทั้งหมดที่อ่านได้แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากสมการที่ 10.11 หรือ 10.12 ขึ้นกับเวลาในการตรวจวัดแต่ละครั้ง ตัวอย่างเช่น ตรวจวัดเสียงในช่วงเวลาเท่ากันคือ L_{eq} 10 วินาที อ่านค่า 20 ค่า ค่าที่อ่านได้คือ 90, 91, 96, 87, 92, 90, 86, 89, 93, 91, 88, 85, 87, 89, 90, 93, 95, 97, 90, 87 คำนวณด้วยสมการ

$$\begin{aligned}
 L_{eq} &= 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \\
 L_{eq} &= 10 \log \left[\frac{1}{20} \left(10^{\frac{90}{10}} + 10^{\frac{91}{10}} + \dots + 10^{\frac{87}{10}} \right) \right] \\
 &= 10 (9.11) = 91 \text{ dBA}
 \end{aligned}$$

2) เสียงดังเป็นช่วงๆ สำหรับเสียงดังเป็นช่วงในระยะเวลาค่อนข้างคงที่ หรือรอบของการทำงานหนึ่งใช้เวลาใกล้เคียงกัน และในรอบหนึ่งๆ นั้นผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงคล้ายกันทุกครั้ง ให้ตรวจวัดและอ่านค่าเช่นเดียวกับการวัดเสียงดังต่อเนื่อง โดยอ่านค่าเฉลี่ยในช่วงที่เสียงดังหนึ่งช่วงหรือหนึ่งรอบงาน และสอบถามผู้ปฏิบัติงานหรือสังเกตและบันทึกความถี่ในการทำงานในหนึ่งชั่วโมงหรือหนึ่งวัน วิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยเสียงในลักษณะดังกล่าวแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 3.2 คนงานในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ซอยไม้ยาว 1.50 เมตร ด้วยเลื่อยไม้วงเดือน ทำให้เกิดเสียงดัง 95 dBA ไม้หนึ่งชิ้นใช้เวลาประมาณ 40 วินาที ในการตรวจวัดและประเมินการสัมผัสนั้น เขาซอยไม้ได้ 400 ชิ้น ในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง เวลานอกเหนือจากการซอยไม้เขาสัมผัสเสียงดังที่ต่ำกว่า 80 dBA เสียงดังเฉลี่ยที่เขาสัมผัสตลอดแปดชั่วโมงมีค่าเท่าไร

จากสมการคำนวณหาปริมาณเสียงที่ผู้ปฏิบัติงานคนนี้สัมผัส

$$D = \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) 100$$

ระยะเวลาที่เสียงดัง 95 dBA แต่ละช่วงเท่ากัน $C_1 = C_2 = \dots = C_{400} = 40 \text{ วินาที} = 0.67 \text{ นาที}$

ระยะเวลายที่ยอมให้สัมผัสเสียงดัง 95 dBA เท่ากันคือ $T_1 = \dots = T_{400} = 4 \text{ ชั่วโมง} = 240 \text{ นาที}$
 ดังนั้น $D = \frac{0.67}{240} + \dots + \frac{0.67}{240} = \frac{268}{240} = 112\%$

(หรือเนื่องจากระดับเสียงที่สัมผัสกันทั้งหมด และรวมเวลาการสัมผัสเสียงทั้งหมดเท่ากับ $0.67 \times 400 \text{ ครั้ง} = 268 \text{ นาที}$ ดังนั้น $D = \frac{268}{240} = 112\%$)

คำนวณระดับเสียงดังเฉลี่ย 8 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} TWA &= 90 + 16.61 \log \frac{112}{100} \\ &= 90 + 16.61 \times 0.049 = 90.8 \text{ dBA} \end{aligned}$$

ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงดังเท่ากับ 91 dBA ซึ่งเกินมาตรฐาน

3) เสียงดังต่อเนื่องไม่คงที่ สำหรับเสียงในลักษณะนี้ใช้เครื่องวัดระดับเสียงประเมินการสัมผัสตลอดระยะเวลาการทำงานอาจมีความยุ่งยาก จึงควรใช้เครื่องมือวัดปริมาณเสียงสะสมถ้าสามารถหาได้ แต่ในกรณีที่ไม่มีเครื่องมือวัดปริมาณสะสมให้ใช้วิธีเดียวกับการวัดเสียงต่อเนื่องคงที่ ทั้งวิธีการบันทึกค่าบนกระดาษกราฟและการอ่านค่า L_{eq} แต่ให้บันทึกค่าจำนวนมากขึ้นและให้ครอบคลุมตลอดช่วงการทำงาน เช่น 15-20 นาทีไปทุกชั่วโมง

ข้อควรตระหนักในการทำ L_{eq} มาใช้งานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม แทนการใช้เครื่องมือวัดปริมาณเสียงสะสม L_{eq} เป็นค่าเฉลี่ยระดับเสียงทั้งหมดซึ่งรวมทั้งเสียงที่มีระดับต่ำกว่า 80 dBA นั่นคือ Threshold = และใช้ Exchange Rate = 3 ดังนั้นโดยทั่วไปค่า $L_{eq \text{ Bhr}}$ จึงสูงกว่าค่าเฉลี่ยตลอดแปดชั่วโมง (TWA) ของระดับเสียงที่วัดด้วยเครื่องมือวัดปริมาณเสียงสะสม ซึ่งวิธีการตรวจวัดมาตรฐานตามกฎหมายกระทรวงแรงงานของประเทศไทย

4) เสียงกระแทก เครื่องวัดระดับความดันเสียงที่มีราคาค่อนข้างแพง ส่วนใหญ่สามารถวัดเสียงกระแทก โดยเลือกฟังก์ชัน Impact หรือ Impluse เมื่อเสียงกระแทกเข้มขึ้นหรือตัวเองบอกค่าระดับเสียง

จะหยุดนิ่งที่ค่าสูงสุดเพื่อให้อ่านค่าได้สะดวก และเมื่อต้องการอ่านค่าครั้งต่อไปให้กด ‘Reset’ เครื่องจึงจะพร้อมอ่านค่าครั้งต่อไป

3.5.2.2 การตรวจวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม ในกรณีเสียงกระแทก หรือเสียงดังที่ไม่คงที่ หรือผู้ปฏิบัติงานไปในที่ต่างๆ ที่ระดับเสียงแตกต่างกัน การประเมินการสัมผัสเสียงด้วยเครื่องวัดระดับความดันเสียงดังกล่าวข้างต้นย่อมไม่สะดวกและต้องใช้เวลาามาก จึงควรใช้เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมติดตั้งที่ตัวผู้ปฏิบัติ

สิ่งที่ต้องคำนึงในการใช้เครื่องวัดเสียงปริมาณเสียงสะสมคือการตั้งค่า *Criteria level*, *Threshold level* และ *Exchange rate* ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดสำหรับกฎหมายเรื่องเสียงของประเทศไทยส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้กฎหมายของ OSHA ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้กำหนดการตั้งค่าไว้สองแนวทางสำหรับวัตถุประสงค์คือ

1) การประเมินการปฏิบัติตามกฎหมาย ซึ่งกำหนดระดับเสียงที่ยอมให้สัมผัสได้ (Permissible exposure limit, PEL) ตลอดแปดชั่วโมงไม่เกิน 90 dBA นั่นคือ *Criteria level 90 dBA* ค่า *Exchange rate 5 dBA* และ *Threshold level 90 dBA* ค่ากำหนดในการพิจารณาปฏิบัติตามเป้าหมายคือ 100 %

2) การประเมินเพื่อพิจารณาดำเนินโครงการอนุรักษ์การได้ยิน ค่า *Criteria level cjt* *Exchange rate* คงเดิม แต่ค่า *Threshold level 80 dBA* และค่าเป้าหมายในการพิจารณาคือ 50 % นั่นคือ เมื่อค่าที่อ่านได้เท่ากับหรือมากกว่า 50 % ต้องดำเนินด้วยโครงการการอนุรักษ์การได้ยิน

องค์กรต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นประเทศที่กำหนดมาตรฐานในลักษณะของค่าเฉลี่ยแบบ *Tine weight average (TWA)* กำหนดค่าทั้งสามแตกต่างกันดังแสดงในตาราง 3.2 ขณะที่หลายประเทศในยุโรปกำหนดมาตรฐานในลักษณะของค่า L_{eq} ซึ่งในการตรวจวัดด้วยเครื่องเสียงปริมาณเสียงสะสมค่า *Threshold level 0* และ *Exchange rate 3*

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าสำหรับเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมในประเทศสหรัฐอเมริกา

องค์กร	วัตถุประสงค์	Criteria L.	Threshold L.	Exchange R.
OSHA	อนุรักษ์การได้ยิน	85	80	5
	ปฏิบัติตามกฎหมาย	90	90	5
NIOSH	มาตรฐานแนะนำ	85	80	3
EPA	ปกป้องการได้ยิน	85	80	3
ACGIH	ปกป้องการได้ยิน	85	80	3
กระทรวงแรงงาน	ปกป้องการได้ยิน	90	80	5

ที่มา: (วันทนีย์ พันธุ์ปฐิทธิ, 2557)

เหตุที่ OSHA กำหนดค่า *Threshold* = 90 dBA สำหรับการปฏิบัติตามกฎหมายนั้น เนื่องจากพิจารณาค่า *PEL* เท่ากับ 90 dBA ดังนั้นค่าที่ต่ำกว่าไม่ควรนำมาคำนวณ และสำหรับองค์กรต่างๆที่กำหนดค่า *Threshold* และ *Exchange Rate* ต่างกัน และองค์กรส่วนใหญ่กำหนด *Threshold level* = 80 dBA มีเหตุผลควรเป็นไปได้ 2 ประการ คือ

1) พิจารณาจากผลการศึกษาเพื่อประมาณค่าความเสี่ยงต่อการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินของหลายองค์กร ซึ่งพบว่าระดับเสียงที่ต่ำกว่า 80 dBA ส่งผลต่อการได้ยินค่อนข้างน้อย คือกลุ่มที่สัมผัสเสียงดัง 80 เดซิเบลมีความเสี่ยงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้สัมผัสเสียงประมาณร้อยละ 0-5 และกำหนดค่า *Threshold level* = 80 dBA จึงเหมาะสมสำหรับการประเมินการสัมผัสเพื่อป้องกันการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน

2) เมื่อระดับเสียงต่างกันมากกว่า 10 dBA ระดับเสียงที่เพิ่มขึ้นนั้นมีค่าน้อยมาก จะเห็นได้ว่าระดับเสียงต่างกัน 10 dBA ระดับเสียงที่เพิ่มขึ้นคือ 0.4 เดซิเบล ดังนั้นเสียงที่ต่ำกว่า *OEL* มากกว่า 10 dBA จึงไม่ทำให้ระดับเสียงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยแนวคิดนี้บางหน่วยงานที่มี *OEL* เท่ากับ 85 dBA จึงกำหนดค่า *Threshold Level* ที่ 75 dBA

สำหรับ *Exchange Rate* หน่วยงานส่วนใหญ่กำหนดที่ 3 dBA ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎีที่ได้พิสูจน์มาแล้ว ค่า *Exchange Rate* มีผลต่อมาตรฐานอย่างมาก กล่าวคือถ้ากำหนด *Exchange rate* 3 และ *Criteria* มีค่า *TLV* ของ ACGIH ซึ่งเท่ากับ 85 dBA สำหรับการสัมผัสเสียงต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อระดับเสียงที่สัมผัสเพิ่มขึ้น 3 dBA เป็น 88 dBA ต้องลดระยะเวลาที่สัมผัสเสียงไว้ครึ่งหนึ่ง คงเหลือระยะเวลาที่สัมผัสเสียงดังกล่าวได้เพียง 4 ชั่วโมง เพื่อคงพลังงานเสียงที่ได้รับให้เท่าเดิม เปรียบเทียบกับ OSHA ซึ่งกำหนดค่า *Exchange Rate* 5 dBA เมื่อการสัมผัสเพิ่มเป็น 95 dBA ระยะเวลาสัมผัสจึงลดลง 4 ชั่วโมง ซึ่งระดับเสียงกว่าถึง 7 dBA จึงเป็นกำหนดค่าที่อ่อนกว่า ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงในการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินสูงกว่า ทั้งนี้ OSHA ได้ให้เหตุผลว่า ในขณะที่ทำงานปกตินั้น ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้สัมผัสเสียงตลอดเวลา ในบางช่วงค่อนข้างต่ำ เช่น ในขณะที่หยุดพัก หรือเข้าห้องน้ำ ดังนั้น การกำหนดค่า *Exchange Rate* เท่ากับ 5 dBA จึงเป็นการชดเชยเวลาเหล่านั้น

การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมที่ผู้ปฏิบัติงาน ให้ติดตั้งไมโครโฟนใกล้กับหูให้มากที่สุด ในระยะรัศมีไม่เกิน 10 เซนติเมตร และหนีบหรือยึดติดเครื่องไว้ในกระเป๋าเสื้อหรือกางเกงหรือที่เข็มขัดคาดเอว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของเครื่องมือและเก็บสายไมโครโฟนให้เรียบร้อยไม่ขัดขวางการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ในกรณีที่ผู้ปฏิบัติงานหลายคนทำงานในพื้นที่เดียวกันโดยไม่ได้เคลื่อนย้ายไปที่ใด และผลการสำรวจเบื้องต้นด้วยเครื่องวัดระดับพบว่า ระดับและลักษณะเสียงในพื้นที่นั้นใกล้เคียงกัน นั่นคือผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดในพื้นที่นั้นอยู่ใน *SEG* เดียวกัน การประเมินการสัมผัสโดยละเอียดอาจใช้วิธีการติดตั้งเครื่องวัดเสียงสะสมบนขาตั้งสามขาในจุดที่เป็นตัวแทนของผู้ปฏิบัติงานเหล่านั้นด้วยจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม โดยติดตั้งไมโครโฟนที่ระดับเดียวกับหูของผู้ปฏิบัติงานและตั้งเครื่องมือไว้ในจุดที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงจากแหล่ง

3.5.2.2 การตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความถี่ เมื่อระดับเสียงดังสูงกว่าหรือเท่ากับ 90 dBA ควรวิเคราะห์ความถี่ของเสียงเพื่อพิจารณากำหนดมาตรการควบคุมด้วยหลักวิศวกรรม เช่น ปิดครอบด้วยวัสดุดูดซับเสียง ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุผสมธรรมชาติในการดูดซับเสียงที่ความถี่ต่างๆได้ไม่เท่ากัน หรือเพื่อเลือกอุปกรณ์ป้องกันการได้ยินให้เหมาะสม การวิเคราะห์ความถี่ของเสียงมีวิธีเช่นเดียวกับการตรวจวัดเสียงด้วยเครื่องวัดระดับความดันเสียง แตกต่างเล็กน้อยที่การวิเคราะห์เสียงเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมทางวิศวกรรมนั้น ต้องวัดเสียงของเครื่องจักรหรือแหล่งเสียงที่ต้องควบคุม ดังนั้น ไมโครโฟนควรอยู่ห่างจากเครื่องจักรหรือแหล่งเสียงประมาณ 1 เมตร ในทิศทางที่ผู้ผลิตเครื่องวัดเสียงแนะนำ

การวิเคราะห์ความถี่ของเสียงต่อเนื่องคงที่และเสียงดังเป็นช่วงๆ ทำได้ไม่ยากนัก โดยเฉลี่ยค่าด้วยสายตาเมื่อตั้งเครื่องมือให้อ่านค่าระดับเสียงที่ความถี่ต่างๆ เมื่อตรวจวัดแล้วควรรวมค่าระดับความดันเสียงทุกความถี่เข้าด้วยกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากเครื่องโดยตรงเมื่อตรวจวัดโดยไม่ผ่านเครื่องแยกความถี่ ค่าทั้งสองควรถูกใกล้เคียงกัน แต่สำหรับเสียงที่ไม่คงที่นั้นควรบันทึกค่าบนชาร์ตบันทึกผล อาจต้องอ่านค่าที่แต่ละความถี่หลายๆครั้งแล้วนำค่าเหล่านั้นมาเฉลี่ย

การวิเคราะห์ความถี่ของเสียงโดยทั่วไปวัดด้วยสเกลซีหรือไม่ผ่านเวทตั้งเนทเวอร์ก ดังนั้น หากต้องการของค่าที่วัดได้ให้เป็นdBAหรือซี ทำได้โดยปรับแก้ด้วยค่าคงที่ในตารางที่ 3.3 ซึ่งปรับเป็นเลขจำนวนเต็มเพื่อความสะดวกในการคำนวณ

ตารางที่ 3.3 การลดทอนเสียงที่ความถี่ต่างๆของเวทตั้งเนทเวอร์กเอและซี

ความถี่	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dBA	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1
dBZ	-3	-1	0	0	0	0	0	-1	-3

ที่มา: (วันทนีย์ พันธุ์ปรีดิ์, 2557)

ตัวอย่างที่ 3.3 จงคำนวณระดับเสียงรวมทุกความถี่ในหน่วย DbA จากผลการวิเคราะห์ความถี่ออกเทพในตารางต่อไปนี้

ความถี่	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	93	94	91	91	90	93	97	98	91

วิธีทำ ลบค่าปรับแก้ (แถวที่3) เพื่อแปลหน่วยเดซิเบลให้เป็นdBA ออกจากเสียงหน่วยเดซิเบล ผลลัพธ์คือ เสียงหน่วยเดซิเบล (แถวที่ 4)

ความถี่ (Hz.)	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	93	94	91	91	90	93	97	98	91
ค่า ปรับแก้	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1
<i>dBA93</i>	54	68	75	82	87	93	98	99	90

รวมเสียงทุกช่วงเวลาความถี่ในแถวที่ 4

$$L_p = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right]$$

$$L_p = 10 \log [10^{5.4} + 10^{6.8} + 10^{7.5} + 10^{8.2} + 10^{8.7} + 10^{9.3} + 10^{9.8} + 10^{9.9} + 10^{9.0}]$$

$$L_p = 10 \times 10.3 = 103 \text{ dBA}$$

3.5.3 การทำแผนที่แสดงระดับเสียง (Noise Contour Map) การควบคุมการสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานให้ต่ำเพื่อลดหรือเลิกการใช้อุปกรณ์ป้องกันการได้ยินทางหนึ่งคือ การควบคุมแหล่งที่ควบคุมไปกับการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพดีและเหมาะสำหรับการทำงานเสมอ ซึ่งนอกจากลดเสียงที่เกิดจากเครื่องจักรแล้วยังป้องกันการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรได้ด้วย โดยทั่วไปเครื่องจักรที่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอควรมีเสียงดังประมาณ ± 2 dBA ของระดับเสียงในสภาพการทำงานที่เหมาะสม เพื่อให้การดำเนินงานนี้มีประสิทธิภาพควรทำการสำรวจเบื้องต้นเพื่อตรวจวัดเสียงของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่อยู่ในสภาพการทำงานที่ดีภายใต้การทำงานปกติ โดยการตรวจวัดด้วยเวทิงเนทเวอร์กเอที่ตำแหน่งที่กำหนด และจัดทำแผนที่แสดงระดับเสียงของเครื่องจักรใดสูงกว่าค่าที่สำรวจในเบื้องต้นเกิน 2 dBA ควรทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรนั้น

นอกจากนั้นกฎกระทรวงแรงงาน ยังกำหนดให้นายจ้างติดป้ายเตือนผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ต่างๆ ที่เสียงดังเกินมาตรฐาน ดังนั้นการทำแผนที่แสดงระดับเสียงจึงช่วยในการติดป้ายเตือนได้ถูกต้อง และช่วยให้เห็นภาพของระดับเสียงในพื้นที่ต่างๆ ของโรงงาน การทำแผนที่แสดงระดับเสียงนี้ใช้เครื่องวัดระดับความดันเสียงชนิดที่ 2 ตอบสนอง ช้า และมีวิธีทำ 2 วิธี คือ

1) วิธีตรง (Direct method) โดยเดินวัดระดับเสียงตามแนวที่มีเสียงเท่ากัน รอบๆ แหล่งเสียง บันทึกค่าลงบนแผนผังโรงงานหรือแผนกการผลิตนั้น แล้วจึงลากเส้นเชื่อมต่อจุดที่ระดับเสียงเท่ากัน ทำซ้ำๆ กันให้ได้เส้นที่มีระดับเสียง 85, 90, 95, 100, 105,...dBA

2) วิธีตารางตรวจวัด (Grid Method) คือตารางบนแผนผังของโรงงานให้มีระยะห่างระหว่างเส้นเท่ากัน และทำการตรวจวัดเสียงตรงจุดตัดของตาราง ในอาคารหรือบริเวณที่มีเสียงดังมาก จุดที่ตรวจวัดควรห่างประมาณ 2-3 เมตร เมื่อได้ค่าที่แต่ละจุดแล้วจึงลากเส้นเชื่อมจุดที่มีระดับเสียงเท่ากัน โดยการประมาณด้วยสายตา

3.6 ข้อควรคำนึงในการใช้เครื่องวัดเสียง

เครื่องวัดเสียงเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงและมีระบบวงจรไฟฟ้าที่ซับซ้อนและไวต่อการกระทบกระเทือน โดยเฉพาะไมโครโฟน ฉะนั้น การดูแลรักษาจึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญ เพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนานและให้ค่าที่ถูกต้อง หัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงการดูแลบำรุงรักษา และปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องวัดเสียง

3.6.1 การเคลื่อนย้ายและการจัดเก็บ เนื่องจากเครื่องวัดเสียงไม่คงทนต่อการกระทบกระเทือน ฉะนั้น ผู้ผลิตส่วนใหญ่จึงผลิตกระเป๋าทรงกล่องบรรจุเครื่องวัดเสียง ซึ่งภายในบุด้วยฟองน้ำหรือวัสดุกันกระแทก และเพื่อความสะดวกจึงอาจมีช่องสำหรับบรรจุอุปกรณ์สำหรับการวัดเสียง เช่น อุปกรณ์ปรับเทียบความถูกต้อง วัสดุกันลม ไชวง และแบตเตอรี่ไว้ด้วย ในขณะที่จัดเก็บ เคลื่อนย้าย หรือนำเครื่องเสียงไปใช้ในภาคสนามจึงควรบรรจุเครื่องมือไว้ในกระเป๋าทรงกล่องดังกล่าวเสมอ และหลังการใช้งานควรถอนแบตเตอรี่ออกทุกครั้ง เพราะถ้าไม่ได้ใช้เครื่องวัดเสียงบ่อยแบตเตอรี่อาจจะเสื่อมและทำความเสียหายแก่เครื่องวัดเสียงได้ ควรเก็บเครื่องวัดเสียงในที่ที่มีอากาศเย็น ไม่มีแสงอาทิตย์ส่องถึง ในขณะที่เครื่องย้ายไม่ควรเก็บเครื่องวัดเสียงไว้ในรถช่วงเวลากลางวันซึ่งมีอากาศร้อนและไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ

3.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความดันเสียง

1) อุณหภูมิ มีผลต่อระดับเสียงดังกล่าวมาแล้ว และเครื่องวัดเสียงถูกผลิตเพื่อใช้งานที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปผู้ผลิตระบุช่วงของอุณหภูมิที่เครื่องวัดเสียงอ่านค่าได้ถูกต้อง เช่น -7 ถึง 66 องศาเซลเซียส อีกทั้งการเปรียบเทียบของความถูกต้องของเครื่องมือโดยทั่วไปทำให้อุณหภูมิห้อง หรือ 20 องศาเซลเซียส ฉะนั้น หากใช้เครื่องวัดเสียงในที่ที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนดนี้ ควรศึกษารายละเอียดในหนังสือคู่มือการใช้งานเครื่องมือก่อน

2) ความดันบรรยากาศ หากพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าที่อ่านได้ ระหว่างความดันบรรยากาศและอุณหภูมิในสมการที่ 10.18 แล้วจะเห็นได้ว่าความดันบรรยากาศมีผลกระทบมากกว่า ฉะนั้น เมื่อทำการปรับเทียบความถูกต้องจะต้องปรับค่าความดันบรรยากาศตามที่คุณผลิตแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานเครื่องมือเสมอ โดยทั่วไปถ้าพื้นที่ที่ตรวจวัดเสียงอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 3,000 เมตร หรือถ้ามีความดันสูงกว่าความดันปกติ เช่น ในเหมืองใต้ดิน ต้องปรับค่าความดันเสียงที่อ่านได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$C = 10 \log \left[\sqrt{\frac{273+T}{293}} \times \frac{30}{B} \right]$$

เมื่อ C = ค่าปรับแก้ (มีหน่วยเป็น dBA) นำไปบวกกับค่าที่วัดได้

T = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

B = ความดันบรรยากาศ (นิ้วปรอท)

นอกจากนี้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิยังมีผลต่อระดับเสียงของคาลิเบรเตอร์ กล่าวคือ แหล่งกำเนิดเสียงอันเดียวกันให้เสียงต่างกันในเรื่องแวดล้อมที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศแตกต่างกัน จึงควรตระหนักด้วย เมื่อทำการเปรียบเทียบเครื่องวัดเสียงในสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติ

3) ความชื้น โดยทั่วไปเครื่องวัดเสียงสามารถทำงานได้ในที่มีความชื้นสูง ทรายเท่าที่ไอน้ำในอากาศไม่กลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำเกาะไมโครโฟน โดยทั่วไปเครื่องวัดเสียงทำงานได้ในความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 10-90 % โดยผู้ผลิตระบุ

4) กระแสลม กระแสลมที่พัดผ่านไมโครโฟนอาจกระแทกหรือกดไมโครโฟนได้ในลักษณะเดียวกับคลื่นเสียง และถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ทำให้การอ่านค่าของเครื่องวัดเสียงตามความเป็นจริง ดังนั้นควรใช้วัสดุกันลมซึ่งบริษัทผู้ผลิตจัดให้เป็นอุปกรณ์เสริมในชุดเครื่องวัดเสียง

5) ความยาวของสายไมโครโฟน การวัดเสียงในที่ซึ่งผู้ตรวจวัดเข้าไปไม่ได้ โยติดตั้งไมโครโฟนในจุดที่ต้องการตรวจวัด และต่อสายไมโครโฟนเข้ากับเครื่องวัดเสียงซึ่งอยู่ห่างกันออกไปนั้น ถ้าไมโครโฟนต่อเข้ากับภาคขยายสัญญาณโดยตรง ตรงความยาวของสายไมโครโฟนไม่มีผลต่อค่าที่อ่านได้ แต่ถ้าไม่เป็นเช่นนั้นต้องปรับค่าที่อ่านได้เนื่องจากไมโครโฟนสูญเสียความไวไป โดยการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดเสียงด้วยคาลิเบรเตอร์ ขณะต่อสายไมโครโฟนในลักษณะใช้งานจริงด้วย

6) เสียงจากแหล่งอื่น (*Background Noise*) ในการวัดระดับความดันเสียงในบางครั้งต้องวัดเฉพาะจากแหล่งที่สนใจเท่านั้นเช่น ต้องการวัดเสียงเครื่องจักร ควรใช้เครื่องวิเคราะห์ความถี่ด้วย และตรวจวัดเสียงทั้งในขณะที่เครื่องจักรนั้นทำงานและไม่ทำงาน ถ้าระดับเสียงดังขณะเครื่องจักรทำงานสูงกว่าเสียงดังขณะที่เครื่องจักรไม่ได้ทำงานมากกว่า 10 เดซิเบลขึ้นไป ให้ถือว่าเสียงจากแหล่งอื่นไม่มีผลทำให้เสียงของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น เนื่องจากระดับเสียงเพิ่มขึ้นเพียง 0.4 เดซิเบลแต่ถ้าระดับความดังจากวัดทั้งสองครั้งต่างกันน้อยกว่า 10 เดซิเบล แสดงว่าเสียงจากแหล่งอื่นมีผลทำให้ระดับเสียงขณะเครื่องจักรทำงานเพิ่มขึ้นได้ และผลการวิเคราะห์ความถี่ช่วยยืนยันแหล่งเสียงที่ส่งผลโดยรวม

3.7 ค่าขีดจำกัดการสัมผัสเสียงในการทำงาน

เพื่อปกป้องผู้ปฏิบัติงานจากการสูญเสียสมรรถนะการได้ยิน มาตรการควบคุมต่างๆถูกนำมาใช้เพื่อลดการสัมผัสเสียงให้อยู่ระดับที่เชื่อว่าคนส่วนใหญ่จะไม่สูญเสียการได้ยิน หรือการสูญเสียในระดับที่ยอมรับได้ เช่น การควบคุมทางวิศวกรรม การบริหารจัดการโดยการจำกัดระยะเวลาการทำงานในพื้นที่ที่เสียงดัง การใช้อุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน เป็นต้น ซึ่งมาตรการเหล่านี้ต้องอาศัยเกณฑ์กำหนดระดับการสัมผัสเสียงที่ยอมรับได้หรือค่า OEL ประกอบการพิจารณาเลือกมาตรการควบคุม การกำหนดค่า OEL มีหลักการเช่นเดียวกับการกำหนดค่า OEL สำหรับสารเคมี หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่า OEL หลายหน่วยงานจึงได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียง ระยะเวลาที่สัมผัสเสียง และการสูญเสียสมรรถนะการได้ยิน เพื่อกำหนดค่า OEL ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามแม้ผลการศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกัน ค่า OEL ที่ประกาศใช้ตามกฎหมายและคำแนะนำของหน่วยงานภาครัฐและองค์กรในประเทศต่างๆยังแตกต่างกันอยู่บ้าง ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากผลกระทบ

ต่อสุขภาพถูกนำมาพิจารณาด้วยยังแตกต่างกันอยู่บ้าง ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากผลกระทบต่อสุขภาพถูกนำมาพิจารณาด้วยนั่นเอง

3.7.1 ระดับพลังงานเสียงและการสูญเสียการได้ยิน ในช่วงประมาณปี ค.ศ.1970 องค์กรที่เกี่ยวข้องกับงานด้านอาชีวอนามัย โดยเฉพาะการกำหนดค่ามาตรฐานและค่า OEL สามองค์กร ได้แก่ *International Standard Organization (ISO)* , *US.Environmental Protection Agency (US.EPA)* และ *National Institute for Occupation Safety and Health (NIOSH)* ได้ศึกษาและประมาณค่าความเสี่ยงต่อการสูญเสียสมรรถนะภาพการได้ยินของกลุ่มประชากรแรงงานที่สัมผัสเสียง โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่สัมผัสเสียงดังและประมาณค่าความเสี่ยงในรูปของ *Excess Risk (%)* ในกลุ่มผู้ปฏิบัติการอายุ 60 ปี สัมผัสเสียงดังที่ระดับต่างๆตลอดอายุการทำงาน (40 ปี) เปรียบเทียบกับผู้ที่ไม่สัมผัสเสียงดังในกลุ่มคนและต่างเวลากัน โดยเกณฑ์พิจารณาการสูญเสียสมรรถนะภาพการได้ยินเหมือนกัน คือ ค่าเฉลี่ยระดับเสียงต่ำสุดที่กลุ่มตัวอย่างได้ยินที่ความถี่ 0.5, 1 และ 2 กิโลเฮิรตซ์ มากกว่าหรือเท่ากับ 25 เดซิเบล

ผลการศึกษาของทั้งสามองค์กรสรุปได้ดังตารางที่ 10.7 ซึ่งสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือความเสี่ยงต่อการสูญเสียสมรรถนะภาพการได้ยินสูงขึ้นเมื่อสัมผัสเสียงดังมากขึ้น โดยกลุ่มที่สัมผัสเสียงดัง 90 dBA มีความเสี่ยงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่สัมผัสเสียงประมาณ 20-30% และกลุ่มที่สัมผัสเสียงดัง 85 dBA มีความเสี่ยงสูงกว่าประมาณ 10-15% ขณะที่กลุ่มสัมผัสเสียงดังตั้งแต่ 80 dBA ลงไป มีความเสี่ยงแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่สัมผัสน้อยหรือไม่แตกต่างเลย

ตารางที่ 3.4 ประเมินความเสี่ยง (Excess Risk) พิจารณาทั้งระดับความเสี่ยงและระยะเวลาที่สัมผัสเสียง

ระดับเสียง (dBA)	สัมผัสเสียงดัง 5 - 10 ปี				สัมผัสเสียงดังมากกว่า 10 ปี			
	อายุ				อายุ			
	30 ปี	40 ปี	50 ปี	60 ปี	30 ปี	40 ปี	50 ปี	60 ปี
90	5.4	9.7	14.3	15.9	10.3	17.3	24.1	24.7
85	1.4	2.6	4.0	4.9	2.3	4.3	6.7	7.9
80	0.2	0.4	0.6	0.8	0.3	0.6	1.0	1.3

ที่มา: (NIOSH, 1998)

Health and Safety Executive (HSE) ของประเทศอังกฤษได้วิเคราะห์ข้อมูลของ ISO และนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่สัมผัส และการสูญเสียการได้ยินในอีกรูปแบบหนึ่ง 10.10 ซึ่งแสดงค่ามัธยฐานของระดับเสียงต่ำสุดที่ได้ยินโดยแบ่งผู้ที่สัมผัสเสียงเป็น 7 กลุ่มตามระดับการสัมผัสเสียง ซึ่งแบ่งเป็นช่วงละ 5 เดซิเบล และแบ่งตามระยะเวลาที่สัมผัสเป็น 2 กลุ่มคือ 10 ปีและ 40 ปีผลคือกลุ่มที่สัมผัสเสียงดังกว่าและหรือสัมผัสเสียงนานกว่าสูญเสียการได้ยินมากกว่า

ตารางที่ 3.5 ค่ามัธยฐานระดับเสียงต่ำสุดที่ได้ยิน (dB) ที่ระดับความเสี่ยงและเวลาการสัมผัสต่างๆ

ระดับเสียง	70-80	80-85	85-90	90-95	95-100	100-110	>110
10 ปี	3.9	4.4	6	9.1	14.1	25	46
40 ปี	15.7	16.5	18.9	23.6	31.7	50	>50

ที่มา: (HSE, 2005)

3.7.2 Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศค่าขีดจำกัดการสัมผัสเสียงในการทำงาน ครั้งแรกในปี ค.ศ 1969 ในปีค.ศ 1981 OSHA ได้พยายามลดค่า PEL ลงมาที่ 85 dBA แต่ไม่เป็นผล จึงได้ปรับปรุงกฎหมายให้นายจ้างต้องจัดโครงการอนุรักษ์การได้ยินหากผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงดังตั้งแต่ 85 dBA ขึ้นไป ซึ่งมีผลบังคับในปี ค.ศ 1983 สารสำคัญของกฎหมายกำหนดการสัมผัสเสียงในการทำงานของ OSHA มีดังนี้

3.7.2.1 ค่าขีดจำกัดการสัมผัสเสียงเฉลี่ยตลอด 8 ชั่วโมงการทำงาน (PELTWA) เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดเสียง เสียง function การตอบสนองซ้ำ สเกลเอ 90 dBA และ 5 dBA ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 10.11 และเมื่อระยะเวลาและหรือระดับเสียงที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสแตกต่างไปจากค่าในตารางดังกล่าว สามารถคำนวณหาระยะเวลาหรือระดับเสียงที่ยอมให้สัมผัสได้จากสมการที่ 10.19 ซึ่งเป็นที่มาของค่าในตารางที่ 10.11 นั้นเองค่าขีดจำกัดนี้ครอบคลุมทั้งภาคอุตสาหกรรมทั่วไปและอุตสาหกรรมก่อสร้าง ขณะที่ภาคการเกษตรไม่มีกฎหมายกำหนดเป็นการเฉพาะแต่ผู้ประกอบการต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดสำหรับอุตสาหกรรมทั่วไป

$$T \text{ (นาท)} = \frac{480}{\frac{(L-90)}{2.5}}$$

เมื่อ T = ระยะเวลาที่ยอมให้สัมผัสได้ที่ระดับเสียง L (นาท)

L = ระดับเสียงที่คนงานสัมผัส (dBA)

5 = Exchange rate

90 = ระดับเสียงที่ยอมให้สัมผัสได้ 480 นาที (8 ชม.)

3.7.2.2 ถ้าขีดจำกัดสูงสุด (Ceiling Limit) ขีดจำกัดการสัมผัสเสียงในระยะเวลาสั้นๆไม่เกิน 15 นาที เท่ากับ 115 dBA ชนิดของเสียงตามข้อกำหนดนี้คือเสียงคงที่จิ้งวัดด้วยเครื่องวัดเสียงการตอบสนองซ้ำ ต้องคำนวณเสียงดังในลักษณะนี้รวมเป็นระดับการสัมผัสเสียงเฉลี่ยตลอด 8 ชั่วโมงด้วยโดยทั่วไปหากมีเสียงดังในระดับดังกล่าวเป็นเวลานานอาจบ่งบอกถึงความผิดปกติในสถานประกอบการ

3.7.2.3 ค่าขีดจำกัดสำหรับเสียงกระแทก คือไม่เกิน 140 เดซิเบล(พีค) (Peak Sound Pressure Level - ความดันเสียงสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่งๆ)

NIOSH ไม่ได้เสนอค่ามาตรฐานเฉพาะสำหรับเสียงกระแทก และมาตรฐาน ISO 1999, Acoustic- Determination of occupational noise exposure and exposure and estimation of noise-induced hearing impairment ก็ได้แยกมาตรฐานสำหรับเสียงกระแทกและเสียงดังต่อเนื่อง แต่อย่างใด นั่นคือ เสียงกระแทกถูกนำไปคำนวณรวมกับเสียงชนิดอื่น เป็นค่าเฉลี่ยการสัมผัสตลอดเวลาการทำงาน

3.7.3 American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) กำหนดค่า TLV สำหรับการสัมผัสเสียงโดยเชื่อว่า ค่าขีดจำกัดที่แนะนำนี้จะปกป้องคนงานครึ่งหนึ่งไม่ให้สูญเสียการได้ยินเนื่องจากเสียงดังมากกว่า 2 เดซิเบลโดยเฉลี่ยที่ความถี่ 500 1000 2000 และ 3000 เฮิรตซ์ หลังจากสัมผัสเสียงในการทำงานนานถึง 40 ปี อย่างไรก็ตาม ผู้ชายมาตรฐานควรตระหนักถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลเกี่ยวกับความไวต่อการสูญเสียการได้ยินด้วย นั่นคือ บางคนอาจสัมผัสเสียงในระดับที่สูงกว่าค่าแนะนำนี้ตลอดอายุการทำงานโดยไม่สูญเสียการได้ยิน ฉะนั้น จึงควรควบคุมให้มีการสัมผัสเสียงน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ACGIH ได้แบ่งประเภทของค่าขีดจำกัดแนะนำ ดังนี้

3.7.3.1 ค่าขีดจำกัดการสัมผัสเฉลี่ยตลอด 8 ชั่วโมง (TWA) คือ 85 dBA และ 3 เดซิเบล สำหรับการสัมผัสเฉลี่ยตลอด 8 ชั่วโมงทางการสัมผัสอย่างต่อเนื่อง 1 ครั้งหรือสัมผัสเป็นระยะเวลาสั้นๆ หลายครั้ง และต้องคำนวณรวมเสียงดังทุกชนิดในช่วง 80 ถึง 120 dBA ทั้งนี้ ไม่รวมการสัมผัสเสียงดังต่อเนื่องหรือเสียงดังเป็นช่วงๆ หรือเสียงกระแทกที่ระดับสูงกว่า 140 dBA ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดระดับเสียงที่มีลักษณะสมบัติขึ้นต่ำตามข้อกำหนดของ anai ซึ่งช่วงการตรวจวัดอย่างน้อย 80 ถึง 140 dBA 63 เดซิเบล ตั้งค่าการตอบสนองเข้าสำหรับเสียงที่ดังเกิน 120 dBA ควรใช้เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมหรือเครื่องรวมเสียง การสัมผัสเสียงเฉลี่ยไม่ควรเกินค่าที่แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่า TLV

ระดับเสียง (dBA)	เวลา	ระดับเสียง (dBA)	เวลา
80	24 ชม.	112	0.94 วินาที
82	16 ชม.	115	28.12 วินาที
85	8 ชม.	118	14.06 วินาที
88	4 ชม.	121	7.03 วินาที
91	2 ชม.	124	3.52 วินาที
94	1 ชม.	127	1.76 วินาที
97	30 นาที	130	0.88 วินาที
100	15 นาที	133	0.44 วินาที
103	7.50 นาที	136	0.22 วินาที
106	3.75 นาที	139	0.11 วินาที
109	1.88 นาที		

ที่มา: (วันทนี พันธุ์ปรีสิทธิ์, 2557)

ถ้าในแต่ละวันทำงานผู้ปฏิบัติงานต้องสัมผัสเสียงดัง มากกว่า 1 ช่วงเวลาที่ระดับความดังต่างกัน ต้องนำค่าการสัมผัสทั้งหมดนั้นมาคำนวณหาปริมาณการสัมผัสรวมเช่นเดียวกับมาตรฐานของ OSHA โดยใช้สมการที่ 10.13 และ T_n คือค่าในตารางที่ 10.12 ถ้าผลลัพธ์มีค่ามากกว่า 100% หมายความว่า การสัมผัสเสียงทั้งหมดในวันนั้นเกินค่า TLV สิ่งที่แตกต่างกันจาก OSHA คือ ค่ามาตรฐานและ Exchange rate ซึ่งทำให้ผลการคำนวณต่างกัน

3.7.3.2 เสียงกระแทก เสียงกระแทกถูกนำไปคำนวณรวมกับการสัมผัสเฉลี่ยตลอด 8 ชั่วโมง ดังกล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม ต้องไม่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงกระแทกที่ดังกว่า 140 เดซิเบลซี (Peak) โดยไม่สวมอุปกรณ์ปกป้องการได้ยิน และในการตรวจวัดเสียงดังกล่าวถ้าไม่มีเครื่องวัดเสียงสเกลซีให้วัดโดยไม่ผ่านเวตติ้งเนทเวอร์ก (Unweighted) ทางระดับเสียงต่ำกว่า 140 เดซิเบล สรุปได้ว่าเสียงสูงสุดดันต่ำกว่า 140 เดซิเบลซีด้วย

3.7.4 Health and Safety Executive (HSE) ประเทศอังกฤษมีการปรับปรุงและประกาศใช้กฎหมายมาตรฐานการสัมผัสเสียงในสถานประกอบการ และประกาศใช้ฉบับล่าสุดเมื่อปีค.ศ 2005 คือ The Control of Noise at Work Regulations 2005, No. 1643 เพื่อแทนที่กฎหมายฉบับเดิมหมายเลข 1790 ซึ่งมีชื่อเดียวกันและประกาศใช้เมื่อปีค.ศ 1989 กฎหมายใหม่นี้ได้กำหนดค่าขีดจำกัดการสัมผัส และค่าระดับปฏิบัติการไว้ 3 ระดับดังนี้

3.7.4.1 ค่าระดับปฏิบัติการต่ำ ได้แก่

1. ค่าการสัมผัสเสียงรายวันหรือรายสัปดาห์ของบุคคลเท่ากับ 80 dBA และ
2. ค่าระดับความดันเสียงสูงสุด = 135 dBC

ถ้าการสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงานถ้า หรือสูงกว่าค่าที่กำหนดนี้ ต้องทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ และ ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานเหล่านั้นอย่างเหมาะสมและพอเพียง และการประเมินความเสี่ยงต้องระบุมাত্রการจำเป็นเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายนี้

3.7.4.2 ค่าระดับปฏิบัติการสูง ได้แก่

1. ค่าการสัมผัสเสียงรายวันหรือรายสัปดาห์ของบุคคลเท่ากับ 85 dBA และ
2. ค่าระดับความดันเสียงสูงสุด 137 เดซิเบลซี

ถ้าการสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงานเท่ากับหรือสูงกว่าค่าที่กำหนดนี้ต้องมีการดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อลดการสัมผัสให้ต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ทั้งนี้ มาตรการควบคุมเพื่อลดการสัมผัสนี้ไม่รวมถึงการใช้อุปกรณ์ป้องกันได้ยิน แต่อาจเปลี่ยนวิธีการทำงานเพื่อลดการสัมผัสเสียง เลือกใช้เครื่องจักร และเครื่องมือที่มีเสียงดังน้อยที่สุด หรือออกแบบวางผังสถานที่ทำงาน สถานียาน และสถานที่พักผ่อนให้เหมาะสม เป็นต้น

3.7.4.3 ค่าขีดจำกัดการสัมผัส ได้แก่

1. ค่าการสัมผัสเสียงรายวันหรือรายสัปดาห์ของบุคคลเท่ากับ 87 dBA และ
2. ค่าระดับความดันเสียงสูงสุด 140 dBC

ในกรณีที่การสัมผัสเสียงรายวันใน 1 สัปดาห์ของผู้ปฏิบัติงานแตกต่างกันค่อนข้างมากอาจใช้ค่าการสัมผัสรายสัปดาห์แทนเพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของกฎหมายนี้ หากการสัมผัสเสียงเกินค่าขีดจำกัดในข้อ 10.8.4.3 นายจ้างต้องปกป้องผู้ปฏิบัติงาน โดยจัดหาอุปกรณ์ป้องกันได้ยินให้

การสัมผัสเสียงรายวันคำนวณจากสมการได้ดังนี้

$$L_{EP,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \log_{10} \left\{ \frac{T_e}{T_0} \right\}$$

เมื่อ T_e = ระยะเวลาการสัมผัสเสียง

T_0 = 8 ชม. 28,800 วินาที

$L_{Aeq,Te}$ = ระดับเสียงดังเฉลี่ย L_{eq} เมื่อสัมผัสเสียง T_e ชม. (dBA)

เนื่องจากการสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงานอาจแตกต่างกันในแต่ละวัน เพื่อให้มั่นใจว่าการสัมผัสเสียงดังไม่เกินมาตรฐาน นายจ้างต้องคำนวณการสัมผัสเฉลี่ยรายสัปดาห์ด้วย

$$L_{EP,W} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^m 10^{0.1(L_{EP,d})_i} \right]$$

เมื่อ $(L_{EP,d})_i$ = ค่าการสัมผัสเสียงรายวัน ในวันที่ i ของสัปดาห์

i = วันที่สัมผัสเสียงดังในหนึ่งสัปดาห์

จะเห็นได้ว่าค่า OEL ของอังกฤษ (และประเทศส่วนใหญ่ในยุโรป) นั้นกำหนดในรูปของค่า นั่นคือ L_{ep} เสียงดังทุกระดับถูกนำมาคำนวณ (Threshold = 0 Exchange rate = 3 เดซิเบล)

ค่าระดับความเสียงสูงสุด คำนวณจากสมการ

$$L_{Cpeak} = 20 \log_{10} \frac{P_{Cpeak}}{P_0}$$

P_0 = 20 ไมโครพาสคาลส์

P_{Cpeak} = ความดันเสียงสูงสเกลซี (พาสคาลส์) ที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสระหว่างการทำงาน

หากผู้ปฏิบัติงานมีแนวโน้มการสัมผัสเสียงรายวันเท่ากับหรือเกินระดับปฏิบัติการที่ 1 หรือเท่ากับหรือเกินระดับความดันเสียงสูงสุด นายจ้างต้องจัดให้มีการประเมินการสัมผัสโดยผู้ที่มีความสามารถเพื่อระบุผู้ปฏิบัติงานที่มีการสัมผัสเกินค่าดังกล่าว และแจ้งให้ผู้ปฏิบัติงานนั้นทราบผลการตรวจวัด และถ้า

ผู้ปฏิบัติงานคนใดมีแนวโน้มการสัมผัสเสียงรายวันเกินระดับปฏิบัติการที่ 2 หรือเกินระดับความดันเสียงสูงสุด ของเขาลง ทั้งนี้วิธีการลดการสัมผัสดังกล่าวไม่รวมถึงการใช้อุปกรณ์ป้องกันได้ยิน

นอกจากประเทศอังกฤษและประเทศในยุโรป ประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ซึ่งได้ร่วมกันจัดทำมาตรฐานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยหลายฉบับรวมทั้งเรื่องมาตรฐานการสัมผัสเสียงและอุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน เป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่กำหนดค่า L_{ep} เป็นค่ามาตรฐาน นั่นคือ

- 1) $L_{Aep,8h} = 85$ dBA และ
- 2) $L_{peak} = 140$ dB (Peak, unweighted)

3.7.5 กระทรวงแรงงาน ประเทศไทย หน่วยงานที่ประกาศค่า OEL สำหรับเสียงในสถานประกอบการในประเทศไทย 2 หน่วยงาน หน่วยงานคือ กระทรวงแรงงาน และกระทรวงอุตสาหกรรม ในอดีตทั้งสององค์กรนี้เคยประกาศค่า OEL สำหรับเสียงดังในสถานประกอบการต่างกัน คือ ของกระทรวงแรงงานประกาศ 90 dBA สำหรับการทำงานสัมผัสเสียง 8 ชั่วโมง ขนาดที่กระทรวงอุตสาหกรรมประกาศที่ 85 dBA สำหรับระยะเวลาการทำงานเท่ากัน ซึ่งสร้างความสับสนให้แก่ผู้ปฏิบัติตามกฎหมาย อย่างไรก็ตามกระทรวงแรงงานได้ปรับปรุงกฎหมายหลายฉบับรวมทั้งกฎหมายเรื่องเสียง โดยมีผู้แทนของกระทรวงอุตสาหกรรมเข้าร่วมเป็นอนุกรรมการร่างด้วย กฎหมายฉบับดังกล่าวได้ประกาศเป็นกฎกระทรวงคือ กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง พ.ศ 2549 ซึ่งได้ประยุกต์จากกฎหมายของ OSHA ประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าขีดจำกัดการสัมผัสเสียงดังเฉลี่ยใน 8 ชั่วโมง คือ 90 dBA นอกจากนี้กระทรวงแรงงานโดยกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานได้ออกประกาศกรม กำหนดวิธีการตรวจวัดและคำนวณระดับเสียงซึ่งเป็นวิธีเดียวกับของ OSHA นั่นคือตรวจวัดด้วยเครื่องวัดเสียงหรือเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม โดยอ่านค่าด้วยฟังก์ชันตอบสนองซ้ำ สเกล A และ 5 เดซิเบลข้อแตกต่างคือ หากตรวจวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมต้องตั้งค่า 80 dBA สำหรับทั้งกรณีเปรียบเทียบกับมาตรฐาน (90 dBA) และการพิจารณาดำเนินโครงการอนุรักษ์การได้ยิน (80 dBA) รวมทั้งได้กำหนดมาตรฐานเครื่องวัดเสียง ต้องได้มาตรฐาน IEC 651 Type 2 หรือเทียบเท่าขณะที่เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสมต้องได้มาตรฐาน IEC 61252 หรือเทียบเท่าและเครื่องวัดเสียงกระทบหรือเสียงกระแทก ต้องได้มาตรฐาน IEC 61672 หรือ IEC 60804 หรือเทียบเท่า

ในกรณีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงมีค่าตั้งแต่ 85 dBA ขึ้นไป นายจ้างต้องจัดทำโครงการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบการตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่อธิบดีประกาศกำหนด

3.8 บทสรุป

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลอากาศทำให้เกิดการอัดและขยายสลับกัน ความดันบรรยากาศจึงสูง-ต่ำสลับกันเป็นคลื่นเสียง เสียงมีประโยชน์ในแง่ของการสื่อสารผ่านโสตประสาท ทำให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ความสุนทรีย์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิต ขณะเดียวกันเสียงดังเป็นอันตรายต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคจากการประกอบอาชีพซึ่งคนส่วนใหญ่ตระหนักดี คือ การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน และผลกระทบอื่นๆ ต่อสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานเพื่อความปลอดภัยของพนักงาน ตรวจวัดเสียงใช้เครื่อง Sound Level Meter แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกำหนดคือตลอดการทำงานเป็นชั่วโมงการทำงาน ลูกจ้างได้รับสัมผัสเสียงเฉลี่ยไม่เกิน 85 dBA

คำถามท้ายบท

1. เสียงแบ่งออกเป็นกี่ชนิด อะไรบ้าง จงอธิบายเสียงแต่ละชนิด พร้อมวาดภาพประกอบ
2. เสียงเลื้อยวงเดือนในขณะตัดไม้ เป็นเสียงดังประเภทใด เพราะอะไร
3. จงยกตัวอย่างเสียงที่ดังแบบต่อเนื่อง
4. จงอธิบายสมบัติทางกายภาพของเสียง
5. ลักษณะสมบัติของเสียงที่ส่งผลต่อการรับรู้เสียงของมนุษย์คืออะไร
6. เครื่องวัดระดับความดันเสียงมีกี่ชนิด และแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร
7. เครื่องวัดระดับความดันเสียง Type ไตที่ถูกออกแบบให้ใช้ในภาคสนาม และtype ไตที่มีความแม่นยำสูงสุด
8. จงอธิบายส่วนที่ประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดระดับความดันเสียงพร้อมวาดภาพประกอบ
9. Detector ในเครื่องวัดเสียงทำหน้าที่อะไร
10. จงอธิบายคำว่า Threshold Level
11. จงอธิบายหลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม
12. ทำไมก่อนและหลังการตรวจวัดเสียงต้องมีการปรับเทียบความถูกต้องด้วย Calibrator
13. จงอธิบายการตรวจวัดเสียงด้วยเครื่องวัดความดันเสียง
14. ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อระดับความดันเสียง
15. ค่ามาตรฐานของการได้รับสัมผัสเสียง 8 ชั่วโมงการทำงานมีค่าเท่าไร

เอกสารอ้างอิง

- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2549). แนวปฏิบัติตามกฎหมายกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง (Illumination Measurement). [Online]. Available: http://medinfo2.psu.ac.th/commed/occmmed/images/TIS18001/tisp4/law%20Physi/images/law/practice_illumination.pdf
- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2561). หลักเกณฑ์ วิธีการตรวจวัด และการวิเคราะห์สถานะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง รวมทั้งระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ พ.ศ. 2561. ในประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. กระทรวงแรงงาน.
- กระทรวงแรงงาน. (2561). กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2559. ในกฎกระทรวงแรงงาน. กระทรวงแรงงาน.
- ทีมงานทรูปลูกปัญญา. 2563. เสียงดังเสียงค้อง. [Online]. Available: <http://www.truelookpanya.com/learning/detail/33046-00>.
- วันนี พันธุ์ประสิทธิ์. (2557). สุขศาสตร์อุตสาหกรรม กลยุทธ์ ประเมิน ควบคุม และการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: หจก.เบสท์ กราฟฟิค เพรส.
- ABALLTEHNO., CO.LTD. (2563). การวัดระดับเสียง. [Online]. Available: <https://www.aballtechno.com/article/27/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%87-sound-level-measurement>.
- HSE. (2014). **Final Regulations: Assessment of the Control of Noise at Work Regulation 2005**. [Online]. Available: <https://www.hse.gov.uk/noise/noise.pdf>.
- Institute of sound and vibration research. (2014). **Point Sources, Inverse Square Law**. [Online]. Available: http://resource.isvr.soton.ac.uk/spcg/tutorial/tutorial/Tutorial_files/Web-basics-pointsources.htm.
- NIOSH. (1998). **Criteria for a Recommended Standard... Occupational Noise Exposure**. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/nioshtic-2/20000050.html>.
- OSHA. (2014). **Noise and Hearing Conservation Physics of Sound** [Online]. Available: https://www.osha.gov/dts/osta/otm/new_noise/.
- POPPE INSTRUMENTS. (2558). **เครื่องวัดเสียง**. [Online]. Available: <https://www.ponpe.com/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%87/sl811-detail.html>

Wikipedia. (2020). **Noise Dosimeter** [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_dosimeter.