

บทที่ 2

ผลงานวิจัย และงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เสียงและคุณสมบัติของเสียง

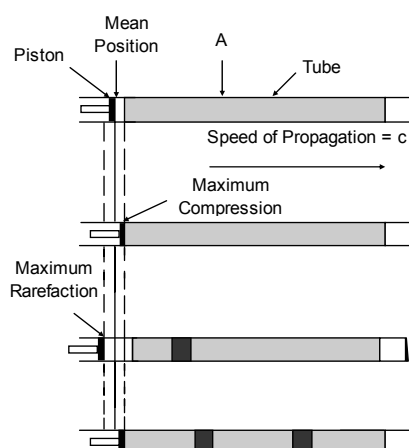
นิยามและความหมาย

ความสามารถในการได้ยินเสียงเป็นสมบัติที่สำคัญยิ่งของมนุษย์ มีผู้ให้ความหมายของเสียงไว้ต่าง ๆ กันดังนี้ ราชบัณฑิตยสถาน (2525) ได้ให้ความหมาย ของเสียงไว้ว่า เสียงคือสิ่งที่ได้ยินด้วยหู คำที่เปล่งออกมา ทบวงมหาวิทยาลัย (2525) ให้ความหมายว่าเสียง หมายถึงเรื่องราวที่เกี่ยวกับการได้ยินเริ่มต้นจากแหล่งกำเนิดเสียงจนกระทั่งได้ยิน ส่วนวิฑูรย์ (2544) นงลักษณ์และปรีชา (2527) กล่าวว่าเสียงจะถูกทำให้เกิดขึ้นโดยการสั่นสะเทือนของต้นกำเนิดเสียงและจะเคลื่อนที่ไปกระทบกับอนุภาคของอากาศที่อยู่รอบๆและกระทบกับอนุภาคของอากาศที่อยู่ห่างออกไปในลักษณะเป็นคลื่น และ ณรงค์ (2525) ยังชี้ให้เห็นอีกว่าเสียงคือพลังงานที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของอากาศผ่านอากาศสู่อวัยวะรับเสียงคือหูส่วนโสตศวกต (2521) ยังเน้นให้เห็นว่าเสียงเป็นชื่อเฉพาะที่ใช้เรียกความรู้สึกซึ่งสามารถรับรู้ได้ด้วยสมองโดยผ่านอวัยวะสำหรับการรับฟัง ดังนั้นพอสรุปได้ว่า เสียงเป็นพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของคลื่นที่ออกจากแหล่งกำเนิดผ่านตัวกลางสู่อวัยวะรับเสียงคือหูและส่งต่อไปยังสมองเพื่อแปลความหมาย ทำให้เข้าใจความหมายที่ของสิ่งที่ได้ยิน

คลื่นเสียง

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุหรือการแปรปรวนของอากาศคลื่นเสียงจะเดินทางผ่านตัวกลางเช่นอากาศซึ่งมีมวลและความยืดหยุ่น (elasticity) โมเลกุลของอากาศจะเคลื่อนที่ไปมาหรือขึ้นลงผ่านจุดสมดุล โมเลกุลที่อยู่ใกล้วัตถุที่สั่นจะถูกกดอัดเป็นอันดับแรก การกดอัดนี้ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่และอัดต่อกันไปคล้ายกับคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลางไป ซึ่งการเคลื่อนที่ไปมาผ่านจุดเริ่มแรกไม่ได้ทำให้มีการเปลี่ยนที่โมเลกุลของอากาศไปดังภาพที่ 2.1 ซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในท่อซึ่งเกิดจากลูกสูบทางด้านซ้ายแบบ Simple Harmonic Oscillation

ภาพที่ 2.1
การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในท่อ

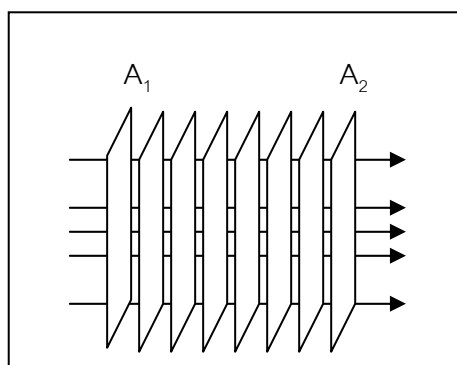


เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางขวา โมเลกุลของอากาศที่ติดกับลูกสูบจะมีความดันเพิ่มขึ้น และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายจะทำให้ความดันลดลงซึ่งก็จะทำให้โมเลกุลของอากาศถัดมาได้รับอิทธิพลต่อ ๆ กันไปโดยมีระยะห่างของเวลาไล่ ๆ กันไป ระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของความดัน เรียกว่า Wave Length ซึ่งก็จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดเสียงที่จะใช้เวลา 1 Period ที่จะทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไป 1 Wave Length และทำให้การเปลี่ยนแปลงของความดันเมื่อเทียบกับความดันปกติเปลี่ยนแปลงไปในรูป sine

คลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบที่ขนานกันเรียกว่า Plane Wave (ภาพที่ 2.2) โดยระนาบที่มีแรงดันของคลื่นมากที่สุดเรียกว่า Wave Front และทิศทางการเคลื่อนที่ของ Wave Ray อีกตัวอย่างหนึ่งของการเกิดคลื่นเสียงคือการสั่นของ Balloon ทรงกลม ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งจะทำให้เกิด Wave Ray ซึ่งมีทิศทางไม่ขนานกัน ต่างกับ Plane Wave เราเรียกคลื่นเสียงพวกนี้ว่า Spherical Wave

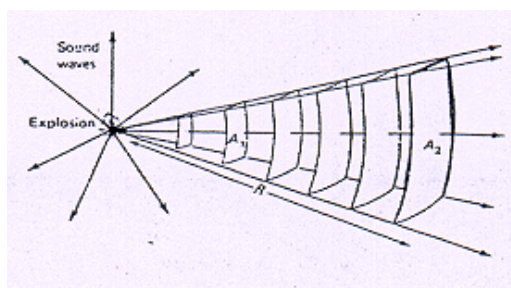
ภาพที่ 2.2

Plane Sound Wave



ภาพที่ 2.3

Spherical Sound Wave



ความเร็วของเสียง

ในวิชาฟิสิกส์พบว่า ความเร็วของการเดินทางของคลื่นขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลางสองประการคือ Elasticity (ในรูปของ Young's Modulus สำหรับของแข็ง หรือ Bulk Modulus สำหรับของไหล) และ ความหนาแน่น ซึ่งสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นเขียนแทนสมการได้ว่า

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

เมื่อ

ρ = ความหนาแน่นของตัวกลาง, kg/m^3

c = ความเร็วของคลื่นเสียง, m/s

E = Young's elastic modulus, N/m^2

ในกรณีของเสียงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ ซึ่งเป็นก๊าซ จะได้ว่า ρ แปรผันตามอุณหภูมิตามสมการ

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{T_1}{T_2}$$

เมื่อแทนค่า ρ และ E ของอากาศที่ อุณหภูมิ 273 K จะได้ว่า

$$c = 20\sqrt{K}$$

เมื่อ K เป็นอุณหภูมิของอากาศ K โดย $K = 273 + C$ เมื่อ C เป็นอุณหภูมิในหน่วยเซลเซียส ซึ่งทำให้ความเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 22°C จะเป็น 344 m/s ถ้าเดินทางในน้ำจะเป็น $1,410 \text{ m/s}$ ในเหล็ก $5,000 \text{ m/s}$ ตะกั่ว $1,200 \text{ m/s}$ นั้นแสดงว่าเสียงเดินทางในตัวกลางด้วยความเร็วที่ต่างกัน ยกเว้นสุญญากาศ

ถ้าวัตถุเคลื่อนไป S โดยความเร็วคงที่ v ในเวลา t จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$S = v(\Delta t)$$

ในกรณีของคลื่นเสียงซึ่งความเร็ว v โดยมีค่า Period (T) แสดงถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทางเป็นระยะทาง เราจึงได้ว่า

$$\lambda = cT$$

โดย $T = 1/f$

เมื่อ c = ความเร็วของเสียง, m/s

λ = ความยาวคลื่น, m

f = ความถี่, Hz

ความถี่ของคลื่นเสียง

ความถี่ของคลื่นเสียง คือ จำนวนของการสั่นต่อวินาที หน่วยความถี่คือ เฮิรตซ์(Hertz, Hz) เสียงจะมีช่วงความถี่ที่กว้างโดยปกติมนุษย์จะได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 20-20,000 เฮิรตซ์ โดยปกติจะกำหนดให้เสียงที่มีความถี่ 1,000 เฮิรตซ์เป็นตัวแบ่งระหว่างเสียงที่มีความถี่สูงและเสียงที่มีความถี่ต่ำ ส่วนเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ จะเรียกว่าอินฟราซาวด์ซึ่งหมายถึงเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่มนุษย์จะได้ยิน เสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ จะเรียกว่าอัลตราซาวด์ หมายถึงเสียงที่สูงเกินกว่าความถี่ที่มนุษย์ได้ยิน ในทางปฏิบัติทั่วไปแล้วจะแบ่งช่วงความถี่ของเสียงออกเป็น 8 แถบความถี่ดังนั้นระดับของเสียงจะถูกกำหนดโดยแถบความถี่ 8 แถบนี้ความถี่ที่สูงสุดของแต่ละแถบความถี่จะเป็น 2 เท่าของความถี่ต่ำสุดของแถบนั้น ความถี่กึ่งกลางซึ่งได้มาจากรากที่สองของผลคูณของความถี่จะใช้เป็นตัวอ้างอิงของแถบความถี่นั้น เช่น ความถี่ 500 เฮิรตซ์เป็นความถี่กลางของแถบความถี่ 354-708 เฮิรตซ์

ความเข้มเสียง(Sound Intensity) และ กำลังเสียง(Sound Power)

เมื่อมีการสั่นของวัตถุจะมีการส่งถ่ายพลังงานไปยังตัวกลางที่มีความหยุ่นทำให้โมเลกุลของตัวกลางอื่นตามไปด้วย พลังงานที่ส่งผ่านตัวกลางต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา เรียกว่า Sound Intensity ซึ่งมีหน่วยเป็น W/m^2

โดยเหตุที่พลังงานเสียงต่อหน่วยเวลา (หรืองานต่อหน่วยเวลา) เท่ากับ Sound Power, W

ดังนั้นเราจึงได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\text{Intensity} = \text{Power}/\text{Area}$$

โดยทั้งที่ Intensity และ Power นี้เป็นค่า Root-Mean-Square ในกรณีที่แหล่งกำเนิดเสียงเป็นจุดโดยมีพื้นที่ผิวของ Wave Front เป็นรูปทรงกลมคือ $4\pi r^2$ ดังนั้นเราจะได้ Sound Intensity ที่ระยะต่าง ๆ ห่างจากแหล่งกำเนิดคือ

$$I = \frac{P^2}{\rho c}$$

เมื่อ P = Root-Mean-Square Sound Pressure, Pascal

ρ = ความหนาแน่นของบรรยากาศ, kg/m^3

c = ความเร็วของเสียงในอากาศ, m/s

(ρc) รวมเรียกว่า Acoustic Impedance ของตัวกลาง, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$

สมการนี้ใช้ได้ทั้ง Plane Wave และ Spherical Wave

แรงดันเสียง (Sound Pressure)

แรงดันเสียงคือ แรงดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่แพร่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แรงดันเสียงมีหน่วยเป็นปาสคาล(Pascal, Pa) เมื่อแรงดันเสียงเพิ่มขึ้นจะทำให้เสียงดังเพิ่มขึ้นด้วยเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินคือเสียงที่มีแรงดันอยู่ในช่วง $20 \mu\text{Pa}$ ถึง 20 Pa ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้หน่วยปาสคาลแล้วอาจจะใช้ตัวเลขมากมายดูเพ้อะทะ และหูของคนเรานั้นตอบสนองต่อสิ่งเร้าในเชิงเส้นที่เป็นแบบลอการิทึม ดังนั้นจึงมีการกำหนดหน่วยวัดออกมาเป็น Bel ให้เป็นเกียรติแก่ Alexander Graham Bell ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์แต่หน่วยนี้ยังมีขนาดใหญ่อยู่จึงนิยมใช้หน่วยย่อยลงมาคือ dB หรือ 1 Bel เท่ากับ 10 dB และมีสูตรคำนวณระดับเสียงคือ

$$\text{Decibel(dB)} = 20 \log P1/P2$$

เมื่อ

$P1$ = ความดันเสียงที่วัดได้

$P2$ = ความดันอ้างอิง $20 \mu\text{Pa}$ ซึ่งเป็นความดันเสียงที่มนุษย์เริ่มรับการได้ยิน

วงจรถ่วงน้ำหนัก (Weighting Network)

หน่วยที่ใช้วัดค่าระดับเสียงคือเดซิเบล (dB) สามารถแยกตามวงจรถ่วงน้ำหนักออกเป็นค่า A B C ซึ่งแต่ละค่าจะตอบสนองกับค่าความถี่จำเพาะที่ได้จากการวัดโดยใช้ Standard Sound Level Meter โดยวงจรถ่วงน้ำหนัก A จะเป็นวงจรที่มีความถี่ของเสียงตอบสนองกับการรับรู้เสียงใกล้เคียงกับหูของมนุษย์มากที่สุดดังนั้นหน่วยที่ใช้ในการวัดจึงมีหน่วยเป็นเดซิเบลเอ (dBA)

ดัชนีที่ใช้ในการวัดเสียง (Sound Descriptor)

ระดับเสียงพลังงานเฉลี่ย (Equivalent Continuous Sound Pressure Level ,Leq) คือ ระดับเสียงต่อเนื่องที่มีพลังงานเทียบเท่ากัน หรือเป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานของเสียงตามปกติ อาจทำการตรวจวัดระดับเสียงดังกล่าวตามเวลาที่ต้องการ เช่น การวัดค่า Leq เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเรียกว่า Leq(24) การหาค่า Leq มาจากสูตรคำนวณดังนี้

$$Leq = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{Li}{10}}$$

โดย L_i เป็นค่าระดับเสียงที่วัดได้ในขณะนั้น

n เป็นจำนวนการเก็บตัวอย่างระดับเสียง

ผลกระทบจากมลพิษทางเสียง

ผลกระทบที่เกิดจากมลพิษทางเสียงนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ อันตรายต่อระบบการได้ยิน อันตรายต่อสุขภาพทั่วไป และผลกระทบทางด้านอื่นๆ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. สุขภาพกาย การสูญเสียการได้ยิน เสียงดังก้องในหูและสมอง ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและ ระบบย่อยอาหาร
2. สุขภาพจิต การรบกวนการพักผ่อน ความเครียด และสภาวะตื่นตระหนก
3. สมรรถภาพ การคิด และการเรียนรู้ การรบกวนสมรรถภาพและการคิด การลดประสิทธิภาพในการตั้งใจฟังรับฟังและวิเคราะห์ข้อมูล

4. ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำงาน การรบกวนระบบและความต่อเนื่องของการทำงานและทำให้งานล่าช้าลง ลดทั้งคุณภาพและปริมาณ

5. การติดต่อสื่อสาร ขัดขวางการได้ยิน ทำให้การสื่อสารบกพร่อง ทำให้เกิดความเพี้ยนในการออกเสียง และถ่วงพัฒนาการในการพูดของเด็กเล็ก เป็นอุปสรรคในการรับฟังสัญญาณเตือนภัยต่างๆ อันอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุและอันตราย และทำให้ต้องตระโกนสื่อสารกันส่งผลกระทบต่อสุขภาพกายด้วย

6. การกระตุ้นให้เกิดพฤติกรรมก้าวร้าว การเร้าอารมณ์ให้เกิดความคึกคักบ้าบิ่น

7. การเปลี่ยนแปลงทางวัฒนธรรม การกระตุ้นค่านิยมในความรุนแรง การไม่เคารพสิทธิในความสงบของผู้อื่นและสังคมโดยรวม การขาดมารยาทสังคมที่พึงาม

ธรรมชาติของคลื่นเสียง

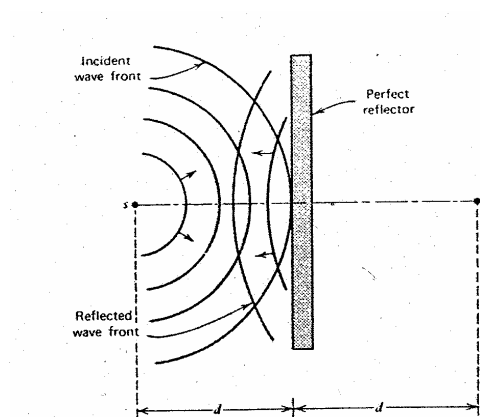
ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีผลต่อความสามารถในการลดความดังของเสียงประกอบไปด้วย

การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection of Sound Wave)

ถ้า Plane Wave และ Spherical Wave ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดทรงกลมเล็ก ๆ เดินทางไปในอากาศ หรือตัวกลาง โดยไม่มีการกั้นขวาง เราเรียกว่าคลื่นนั้นว่า Free Progressive Waves แต่โดยปกติแล้วจะไม่เป็นเช่นนั้น คลื่นเสียงมักจะกระทบกับพื้นผิวอื่น ๆ ทำให้ทิศทางเปลี่ยนไป

ภาพที่ 2.4

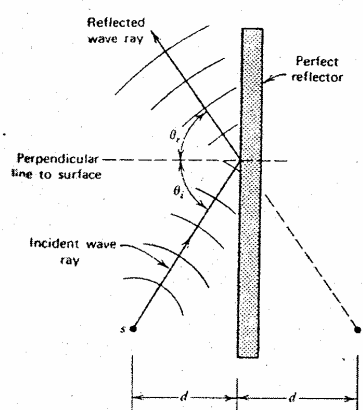
คลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเล็กๆถูกสะท้อนโดยพื้นผิวที่มีการสะท้อนกลับหมด



เมื่อพิจารณาพื้นผิวที่สมมุติว่ามีการสะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์ (ไม่มีเสียงลอดหนีได้เลย) ก็จะเปรียบเสมือนว่ามีแหล่งกำเนิดซึ่งมีระยะห่าง “d” เท่ากับแหล่งกำเนิดเดิมเมื่อวัดจากผนัง ซึ่งจะเป็นผลให้มีความดันเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลจากการสะท้อนรวมกับแหล่งกำเนิด ดังนั้นการวัด Sound Intensity ใกล้กับพื้นผิวที่มีการสะท้อนจะให้ผลที่ไม่สมบูรณ์

ภาพที่ 2.5

ตัวอย่างของการสะท้อนเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงเล็กๆ



กฎของการสะท้อนของคลื่นเสียงที่ใช้กับพื้นผิวที่มีการสะท้อนที่มุม ๆ หนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นจากแหล่งกำเนิดเดิม (s) และแหล่งกำเนิดสมมุติ (i) โดยทิศทางของ Wave Front เขียนในรูปของ Wave Ray โดยมีมุมตกกระทบ θ_i และมุมสะท้อน θ_r ซึ่งวัดจากเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวสะท้อน ทำให้เกิดผลดีคือ

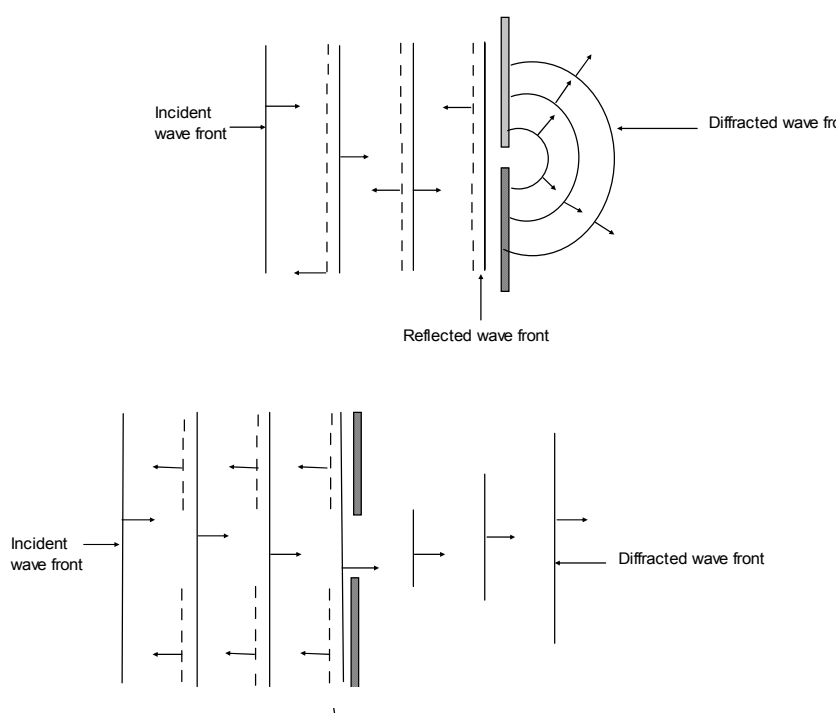
- 1) มุมตกกระทบ θ_i เท่ากับมุมสะท้อน θ_r
- 2) คลื่นของการตกกระทบจะอยู่ในระนาบเดียวกับคลื่นการสะท้อน

Standing Wave เป็นตัวอย่างที่น่าสนใจสำหรับแสดงว่าเสียงมีการสะท้อน ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ในระหว่าง พื้นผิวขนานที่ถูกจัดวางให้อยู่ใกล้กัน โดยคลื่นเสียงที่สะท้อนจากพื้นผิวมีขนาดและตำแหน่งที่เท่ากับคลื่นเสียงที่ตกกระทบ ทำให้มีการหักล้างกันไปมาในบางตำแหน่งและในบางตำแหน่งก็มีการเสริมคุณขนาดกันซึ่งเราจะต้องพยายามหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์เช่นนี้ไม่ให้

เกิดขึ้น ถ้าต้องการห้องที่มีคุณภาพดีในเรื่องเสียง ซึ่งเราสามารถกระทำได้โดย
เปลี่ยนแปลงรูปทรงของห้องหรือเปลี่ยนแปลงวัสดุดูดซับเสียงในห้องนั้น

ภาพที่ 2.6

Diffraction ของคลื่นเสียงผ่านรูเปิด



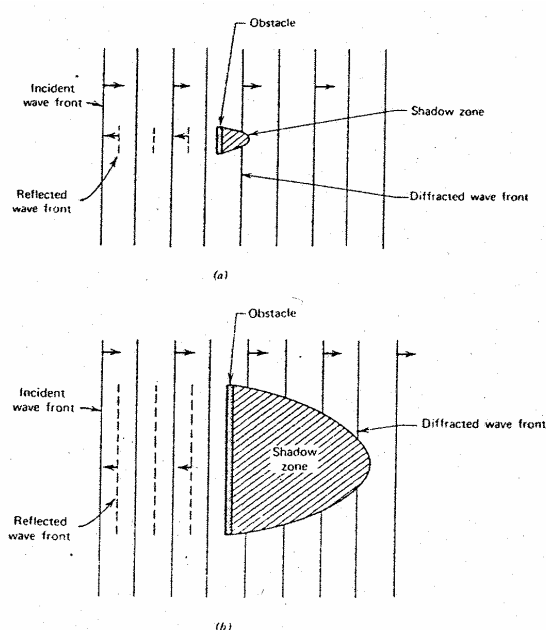
การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction of Sound Waves)

คลื่นเสียงจะมีการบิดเบือนเมื่อพบกับปลายสุดของพื้นผิว เช่นหน้าต่าง ความสามารถในการบิดเบือนไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางนี้ เรียกว่า การ Diffraction อำนาจในการ Diffraction ขึ้นกับความยาวคลื่นของคลื่นเสียงและขนาดและรูปร่างของสิ่งกีดขวาง เมื่อเทียบกับขนาดของสิ่งกีดขวางแล้ว ถ้าขนาดยิ่งใหญ่ก็จะทำให้มีการ Diffraction ยิ่งมาก ดังภาพ 2.6 และ 2.7 ภาพที่ 2.6 แสดง Plane Wave ผ่านรูเปิด ของพื้นผิวที่มีการสะท้อนสมบูรณ์ ในรูป 2.6 รูเปิดจะเล็กเมื่อเทียบกับ Wave Length ซึ่งจะมี Diffracted Wave เกิดขึ้นคล้ายกับมีแหล่งกำเนิดเสียงเล็ก ๆ ที่ช่องเปิด

ซึ่งจะมีพลังงานน้อยมากเนื่องจากพลังงานเกือบทั้งหมด อยู่ในคลื่นที่สะท้อนกลับไป
 ภาพที่ 2.6 แสดงรูปเปิดขนาดใหญ่ซึ่ง Diffracted Wave ผ่านไปโดยที่ไม่มีการสูญเสียความเข้มเสียง
 ภาพที่ 2.7 แสดงกรณีที่ Plane Wave พบสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่และเล็ก ซึ่งถึงบริเวณที่ไม่
 ปรากฏคลื่นเสียงอยู่ เรียกว่า Shadow Zone ซึ่งจะขึ้นอยู่กัขนาดของวัตถุ ถ้าขนาดของ Wave
 Length คงที่

ภาพที่ 2.7

Diffraction ของคลื่นเสียงผ่านสิ่งกีดขวาง



การหักเหของเสียง(Refraction of Sound Wave Sound)

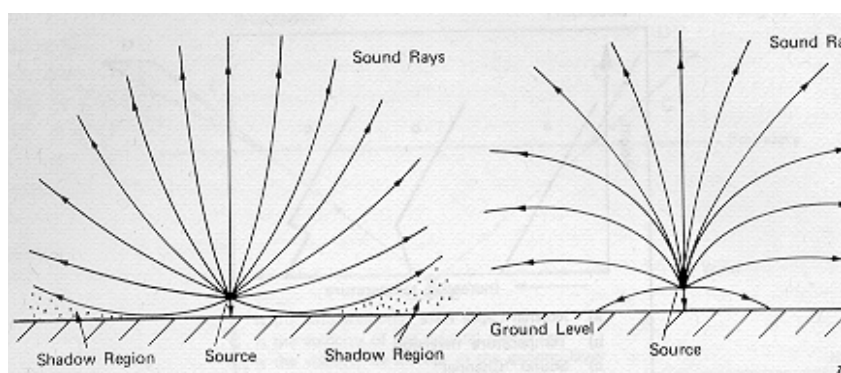
Wave Front อาจจะบิดเบี้ยวไปได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในตัวกลาง
 เช่น ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นที่ผิวของโลกและลดลงเรื่อย ๆ เมื่อสูงจากพื้น ก็จะทำให้ความเร็วของคลื่น
 เสียงในระนาบเดียวกันไม่เท่ากันเป็นผลทำให้ Wave Front ที่อยู่ใกล้ผิวโลกเคลื่อนตัวเร็วกว่า
 บริเวณที่อยู่สูงขึ้นไปการบิดเบือนของคลื่นเสียง เช่นนี้ เรียกว่า Refraction ภาพที่ 2.8 แสดงการเกิด
 Refraction ในกรณีที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อระดับสูงขึ้นซึ่งทำให้ Wave Front บิดลงสู่พื้นผิวของโลก

ปรากฏการณ์เช่นนี้จะพบได้เมื่อมีการวัดเสียงภายนอกอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้า ระยะไกล ๆ ออกไปจากแหล่งกำเนิดเพราะระดับความดังอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลง เนื่องจากอุณหภูมิต

ลมก็อาจจะทำให้เกิด Refraction ได้เพราะปกติลมจะแรงขึ้นเมื่อสูงจากผิวโลก ดังนั้น เสียงเหนือลมจะเบนขึ้นจากพื้นทำให้เกิด Shadow Zone ใกล้กับพื้นผิวดิน และได้ลมจะไม่มี Shadow Zone เนื่องจาก Sound Rays จะเบนลงสู่พื้น

ภาพที่ 2.8

การเกิด Refraction ของคลื่นเสียง

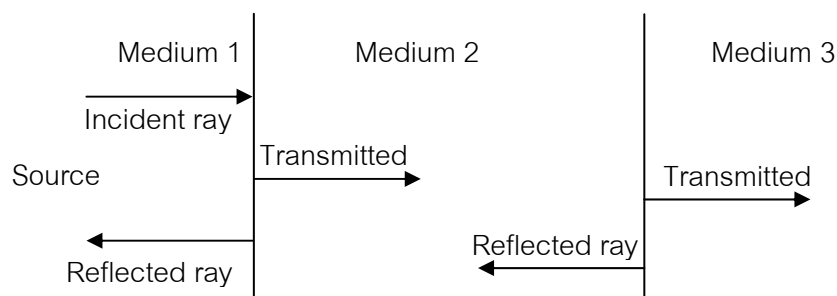


การดูดกลืน และการส่งผ่านของคลื่นเสียง(Absorption and Transmission of Sound Wave)

เมื่อเสียงกระทบกับสิ่งกีดขวางนอกจากจะมี Refraction Wave และจะมี Transmission Wave ผ่านทะลุสิ่งกีดขวางนั้นด้วย โดยที่จะมีพลังงานลดลง เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งใช้ไปในการทำให้สิ่งกีดขวางสั่น แล้วกลายเป็นความร้อนตามหลักการของการเสียดทาน กระบวนการเช่นนี้สามารถทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการใช้วัสดุที่มีรูพรุน ซึ่งทำให้เกิดการเดินทางของคลื่นเสียงที่บิดเบี้ยวในตัวกลาง เช่น ฝ้า และเพดานดูดซับเสียง และในห้องนี้มีเฟอร์นิเจอร์ตกแต่งมาก ๆ จะมีคุณสมบัติดังนี้ การเคลื่อนที่ของ Plane Round Ray ผ่านตัวกลางทั้งสามชนิด แสดงในภาพ 2.9 สมมุติว่าแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ในตัวกลาง คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา จะเกิด Refraction Ray และ Transmitted จากตัวกลางไป Transmitted Ray ใน

ตัวกลาง จะทำให้เกิด Refraction Ray ระหว่างตัวกลางและอีกส่วนจะเป็น Transmitted Ray ผ่านพื้นผิวไป กระบวนการ Reflect และ Transmit คือ การถ่ายทอดและดูดซับพลังงานที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั่นเอง ความเข้มเสียงซึ่ง Reflect กลับสู่ตัวกลาง และผ่านไปสู่ตัวกลาง ขึ้นกับความหนาแน่น ความเร็วของเสียงในตัวกลางความหนาของตัวกลางปรากฏการณ์นี้สำคัญมากในเทคนิคของการควบคุมเสียง

ภาพที่ 2.9
ลักษณะการกั้นเสียงของตัวกลาง



วิธีการลดระดับเสียง

โดยทั่วไปแล้วการเริ่มต้นที่ดีในการควบคุมเสียงรบกวนตั้งแต่แรกเริ่มของการก่อสร้างโครงการช่วยแก้ปัญหาเสียงดังได้เป็นอย่างดี เช่น พิจารณาสถานที่หรือการติดตั้งในที่ห่างไกลจากชุมชนโดยเฉพาะที่ที่ต้องการความเงียบสงบ เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล เป็นต้น หรือพิจารณาเกี่ยวกับโครงการสร้างหรือพิจารณาวัสดุสำหรับลดเสียงโดยทั่วไปแล้ววิธีการในการลดหรือควบคุมระดับเสียงอาจจะแบ่งออกเป็น 3 ประการที่สำคัญคือ

1. การลดระดับเสียงที่แหล่งกำเนิด (Source)
2. การลดระดับเสียงในช่วงระยะระหว่างที่แหล่งกำเนิดและผู้ที่ได้รับเสียง (Path)
3. ผู้ที่ได้รับเสียง (Receiver)

คณะอนุกรรมการวิชาการสิ่งแวดล้อมเรื่องเสียงสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้เสนอแนะวิธีการลดระดับเสียงทั้ง 3 ประการ ไว้ในหนังสือมลพิษทางเสียง (2524) ดังนี้

1. การควบคุมที่แหล่งกำเนิด (Source) วิธีการเฉพาะบางชนิดที่สามารถนำมาประยุกต์ลดความดังที่แหล่งของเสียง คือ

1.1 การออกแบบเครื่องจักรใด ๆ ต้องให้ได้มาตรฐานเกี่ยวกับระดับเสียงดังของเสียงที่เกิดขึ้น

1.2 โดยการวางผังหรือออกแบบจัดระยะเครื่องจักร เครื่องยนต์ที่มีเสียงดังไว้ต่างหากให้ห่างไกลจากสำนักงานหรือที่พักผ่อน

1.3 ควบคุมหรือแยกขบวนการที่ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนออกต่างหาก

1.4 บุด้วยวัสดุบริเวณพื้นผิวที่มีการสั่นสะเทือน

1.5 ใช้วัสดุดูดซับเสียงบริเวณพื้นผิวที่มีการสั่นสะเทือน

1.6 ออกแบบเพื่อลดเสียงที่เกิดจากหัวฉีดลมหรือแก๊ส

1.7 ติดเครื่องเก็บเสียงหรือเครื่องกรองเสียงสำหรับเครื่องยนต์หรือมอเตอร์

1.8 ใช้ระบบครอบปิดแหล่งกำเนิดเสียง

1.9 อุปกรณ์เครื่องจักรที่หมุนแกว่งหรือเคลื่อนที่ได้ต้องปรับให้ได้ศูนย์หรือสมดุล

1.10 ใช้น้ำมันหล่อลื่นช่วยลดการเสียดสีระหว่างชิ้นส่วนของเครื่องจักร

2. การควบคุมเสียงที่ทางผ่านของเสียง (Path) การควบคุมเสียงที่ทางผ่านของเสียงจะทำได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1 เพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งของเสียงกับผู้ปฏิบัติงานหรือประชาชนซึ่งระยะยิ่งห่างเท่าไร ระดับเสียงดังที่จะถึงผู้รับฟังก็จะลดลงเท่านั้น

2.2 โดยใช้วัสดุเก็บดูดซับเสียงหรือกั้นเสียง (Acoustic shield or Barriers) เพื่อกั้นหรือดูดกลืนเสียงหรือเบี่ยงเบนทิศทางของเสียงจากเครื่องจักร เครื่องยนต์ กับผู้ปฏิบัติงาน หรือประชาชน หรือโดยการแยกแหล่งกำเนิดเสียงดังออกไป โดยการครอบปิดเครื่องจักรทั้งหมด หรือสร้างเป็นห้องเก็บเสียง หรือ ปลูกสร้างสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพงกันเสียง หรือต้นไม้ เป็นต้น

3. การควบคุมเสียงที่ผู้รับเสียง (Receiver)

3.1 โดยการบริหารหรือจัดการ เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการลดอันตรายสำหรับผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับเสียงเกินมาตรฐาน โดยอาศัยหลักการจำกัดเวลาการทำงานของผู้ปฏิบัติงานให้น้อยลง และดำเนินการอย่างเคร่งครัด เช่น จัดตารางการทำงานเพื่อว่าผู้ปฏิบัติงานจะได้ไม่ทำงานในที่ที่มีเสียงดังนานเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด หรือกำหนดระยะเวลาการใช้รถยนต์บางประเภท เพื่อไม่ให้เกิดเสียงดังต่อประชาชนมากเกินไป

3.2 การใช้เครื่องป้องกันอันตรายต่อหู จุดมุ่งหมายเพื่อลดความเข้มข้นของเสียงที่จะผ่านเข้าไปในช่องหูเครื่องป้องกันหูอาจแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

3.2.1 เครื่องอุดหู (Ear plugs) ลดระดับเสียงได้ 6-25 เดซิเบลเอ

3.2.2 เครื่องครอบหู (Ear Muffs) ลดระดับเสียงได้ 30-40 เดซิเบลเอ

การคำนวณหาค่าการลดความดังของเสียง

การคำนวณค่าการลดเสียง (Noise Reduction, NR) ค่าการลดความดังเสียง คือ ผลต่างของเดซิเบล ในรูปของระดับความเข้มเสียงหรือระดับความดันเสียง ในแนวที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ระดับความดังที่ลดลงเมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดกั้นเสียง

$$\text{ซึ่ง} \quad NR = IL_1 - IL_2$$

$$\text{หรือ} \quad NR = SPL_1 - SPL_2$$

การคำนวณหาค่า NR ของจุด B และจุด C

ให้

จุด A เป็นแหล่งกำเนิดเสียง, I_0

จุด B เป็นจุดที่ห่างจากจุดกำเนิดเสียงเป็นระยะทาง r_1 เมตร

จุด C เป็นจุดที่ห่างจากจุดกำเนิดเสียงเป็นระยะทาง r_2

$$\text{ระดับความเข้ม} \quad IL = 10 \log \frac{L_1}{L_0} ; I = \frac{p}{4\pi r_1^2}$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มของเสียงที่ตำแหน่ง B

$$I_1 = \frac{p}{4\pi r_1^2} \dots\dots\dots (1)$$

ความเข้มของเสียงที่ตำแหน่ง C

$$I_2 = \frac{p}{4\pi r_2^2} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ P คือกำลังของเสียงที่ตำแหน่งเป็นวัตต์
จะได้ระดับเสียงที่จุด B (IL_1)

$$IL_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$$

แทนค่า I_1 จากสมการ (1)

$$IL_1 = 10 \log \frac{\frac{p}{4\pi r_1^2}}{I_0} \dots\dots\dots (3)$$

ระดับความเสียงที่จุด C (IL_2)

$$IL_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0}$$

แทนค่า I_2 จากสมการ (2) จะได้

$$IL_2 = 10 \log \frac{\frac{p}{4\pi r_2^2}}{I_0} \dots\dots\dots (4)$$

เพราะฉะนั้น สมการการลดเสียง $NR = IL_1 - IL_2$, (3) – (4)

$$IL_1 - IL_2 = 10 \log \frac{\frac{p}{4\pi r_1^2}}{I_0} - 10 \log \frac{\frac{p}{4\pi r_2^2}}{I_0}$$

$$NR = 10 \log \frac{\frac{\frac{p}{4\pi r_1^2}}{I_0}}{\frac{\frac{p}{4\pi r_2^2}}{I_0}}$$

$$NR = 10 \log \frac{p \times 4\pi r_2^2 \times I_0}{p \times 4\pi r_1^2 \times I_0}$$

$$= 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

$$= 20 \log \frac{r_2}{r_1}$$

เพราะฉะนั้น จะได้สูตรการคำนวณหาการลดเสียง NR คือ

$$NR = 20 \log \frac{r_2}{r_1}$$

ต้นไม้ที่นิยมปลูกริมเส้นทางการจราจร

ประดู่บ้าน

ภาพที่ 2.10

ประดู่บ้าน



ประดู่บ้านมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Pterocarpus indicus* , ชื่อวงศ์ LEGUMINOSAE โดยมีชื่ออื่น ประดู่กิ่งอ่อน สะโน อังสนา และ เป็นไม้ต้นผลัดใบ ขนาดกลางสูง 10 - 20 เมตร ลำต้นเปล่าตรง เรือนยอดเป็นพุ่มทรงกลมหรือรูปเจดีย์ต่ำๆ ทึบ กิ่งก้านทอดลงต่ำ ใบเป็นใบประกอบแบบขนนกมีใบย่อย 7-13 ใบ ใบย่อยรูปขอบขนานแกม รูปไข่ใบเกลี้ยง โคนใบกว้างมนกลมและเรียวไปทางปลาย ดอกสีเหลืองอมส้มคล้ายดอกถั่ว ขนาด 1-1.5 เซนติเมตร ผลเป็นฝักกลมแบนมีปีกโดยรอบ มีเมล็ด 1 เมล็ด อยู่กลาง ผลขนาด 4-15 เซนติเมตร ขึ้นตามป่าเบญจพรรณขึ้นผลแก่จะแห้งไม่แตก ถิ่นกำเนิด ประเทศพม่า พบตามป่าเบญจพรรณทางภาคใต้สามารถปลูกได้ทั่วไป ขยายพันธุ์โดยเมล็ด ปักชำกิ่ง

ตีนเป็ด

ภาพที่ 2.11

ตีนเป็ด



ตีนเป็ดมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Alstonia scholaris* (L.) R. Br. จัดอยู่ในวงศ์ APOCYNACEAE โดยมีชื่ออื่นคือ พญาสัตบรรณ และ เป็นไม้ยืนต้นสูงได้ถึง 30 เมตร เปลือกต้นสีเทา กิ่งแตกออกรอบข้อ ใบเดี่ยว เรียงรอบข้อข้อละ 6-9 ใบ รูปขอบขนานแกมใบหอกกลับหรือรูปไข่กลับ กว้าง 2-6 ซม. ยาว 5-18 ซม. ปลายทู่ หรือเว้าเล็กน้อย ดอกช่อออกเป็นกระจุกที่ปลายกิ่ง กลีบดอกสีขาวแกมเหลือง ผลเป็นฝักคู่ กลมยาว

มะขาม

ภาพที่ 2.12

ต้นมะขาม



มะขามมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Tamarindus indica*, Linn. จัดอยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE โดยมีชื่ออื่นคือ ตะลป, ม่องโคลัง, มอกเล, หมาแกง, อำเปยล และ เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ แตกกิ่งก้านสาขามาก เปลือกต้นขรุขระและหนา เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ใบ เป็นใบประกอบใบเล็กออกตามกิ่งก้านเป็นคู่ ใบย่อยเป็นรูปขนาน ใบมน ดอก ออกเป็นช่อเล็กๆ ตามปลายกิ่ง ดอกย่อยขนาดเล็กๆ กลีบดอกสีเหลืองตรงกลางมีจุดประสีแดง ผล เป็นฝักยาว รูปร่างยาวหรือโค้ง ฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา เมล็ด เป็นสีน้ำตาลเกรียม กระจายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด นำต้นกล้ามาปลูก ทาบกิ่งติดตามะขามชอบแดดขึ้นได้ดีในดินแทบทุกชนิด

ขี้เหล็ก

ภาพที่ 2.13

ต้นขี้เหล็ก



ขี้เหล็กมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cassia siamea* Lam. จัดอยู่ในวงศ์เลกুমินโนเซ LEGUMINOSAE โดยมีชื่ออื่นคือ ขี้เหล็กแก่น ขี้เหล็กบ้าน, ขี้เหล็กหลวง, ขี้เหล็กใหญ่, ผักจี้ลิ, ยะ, และขี้เหล็กจิหรี และ เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงปานกลาง ผลัดใบ สูงประมาณ 8-15 เมตร ลำต้น มักคดงอเป็นปุ่มเปลือกสีเทาถึงสีน้ำตาลดำ ยอดอ่อนสีแดงเรื่อๆ ใบประกอบเป็นแบบขนนก เรียงสลับกัน มีใบย่อย 5-12 คู่ ปลายสุดมีใบเดี่ยว ใบย่อยรูปขอบขนานด้านบนเก้ียง ดอกช่อสีเหลือง อยู่ตามปลายกิ่ง ดอกจะบานจากโคนช่อไปยังปลายช่อ กลีบเลี้ยงมี 3-4 กลีบ กลีบดอกมี 5 กลีบ เกสรตัวผู้ 10 อัน ผลเป็นฝักแบนยาวมีสีคล้ำ เมล็ดรูปไข่ยาวแบนสีน้ำตาลอ่อนเรียงตามขวางมี 20-30 เมล็ด

ทรงบาดาล

ภาพที่ 2.14

ต้นทรงบาดาล



ทรงบาดาลมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Cassia Surattensis* Burm. f. จัดอยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE-CAESALPINIOIDEAE และมีชื่อสามัญ Kalamona, Scrambled Eggs โดยมีชื่ออื่นคือ ขี้เหล็กหวาน และเป็นไม้พุ่ม สูง 3 - 5 เมตร ใบ ประกอบแบบขนนกปลายคู่ เรียงสลับ ใบย่อย 4 - 6 คู่ รูปไข่หรือรูปไข่แกมขอบขนาน ขนาดกว้าง 1 - 2 เซนติเมตร ยาว 2.5 - 4 เซนติเมตร ปลายใบแหลม โคนใบมน ดอก สีเหลืองออกตามซอกใบ และปลายกิ่ง กลีบเลี้ยง 5 กลีบ เมื่อบานเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 - 3 เซนติเมตร ผล เป็นฝักแบน กว้าง 1 - 1.5 เซนติเมตร ยาว 7 - 20 เซนติเมตร

คูณ

ภาพที่ 2.15

ต้นคูณ



คูณมีชื่อคือวิทยาศาสตร์ *Cassia fistula* จัดอยู่ในวงศ์ LEGUMINOSAE/ CAESALPINIACEAE มีชื่อท้องถิ่น คือ ลมแล้ง คูณเป็นไม้ผลัดใบ สูง 8 - 15 เมตร จะทิ้งใบก่อนออกดอก ใบประกอบแบบขนนก ปลายคู่เรียงสลับ มีใบย่อย 3 - 8 คู่ แผ่นใบรูปไข่ รูปไข่ หรือรูปขอบขนานขนาดกว้าง 4 - 8 เซนติเมตร ยาว 7 - 15 เซนติเมตร ปลายใบแหลม โคนมน ดอกมีสีเหลืองออกเป็นช่อตามซอกใบ หรือตามกิ่งยาว 20 - 45 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 - 2.5 เซนติเมตร ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด

เหลืองปรีดียาธร

ภาพที่ 2.16

ต้นเหลืองปรีดียาธร



เหลืองปรีดียาธรมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Tabebuia argentea* Britt. จัดอยู่ในวงศ์ BIGNONIACEAE เหลืองปรีดียาธร เป็นไม้ต้นขนาดเล็ก ผลัดใบ เรือนยอดรูปไข่แตกกิ่งก้านเป็นชั้นๆ เปลือกสีน้ำตาล แตกเป็นร่องขรุขระ ใบประกอบรูปนิ้วมือ ใบย่อย 5-7 ใบ ใบรูปรีแกมรูปขอบขนาน กว้าง 2-4 เซนติเมตร ยาว 6-18 เซนติเมตร ปลายใบมนหรือแหลม โคนใบมนหรือสอบขอบใบเรียบ ผิวใบสีเขียวเหลือบสีเงินทั้งสองด้าน

อโศกอินเดีย

ภาพที่ 2.17

ต้นอโศกอินเดีย



อโศกอินเดียมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Polyalthia longifolia* Benth. & Hook. f. var. *Pandurata* จัดอยู่ในวงศ์ ANNONACEAE และ เป็นไม้ต้น สูง 5-25 เมตร เรือนยอดเป็นรูปปิรามิด สูง กิ่งก้านลงไม่ผลัดใบ เปลือกสีน้ำตาล เรียบใบเดี่ยวเรียงสลับ แผ่นใบรูปหอกแคบ ปลายเรียวแหลม โคนมนหรือสอบ ขอบใบหยักเป็นคลื่น ผิวใบเกลี้ยง ด้านบนสีเขียวเข้มเป็นมัน ด้านล่างสีเขียวจาง ดอกสีครีมหรือสีเขียวยอมเหลือง ออกเป็นช่อตามปลายกิ่งผลรูปไข่ ออกเป็นพวง ขึ้นได้ในดินทั่วไป ที่มีความชื้นปานกลาง มีแสงแดดเต็มวันขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด หรือตอนกิ่ง

สน

ภาพที่ 2.18

ต้นสน



สนมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Pinus Kesiya Royle ex Gordon* จัดอยู่ในวงศ์ PINACEAE โดยชื่ออื่นคือ เกียเปลือกแดง เกียเปลือกขาว จ้วง สนเขา และสน เป็นไม้ต้นสูง 30-40 เมตร ลำต้นเปลาตรง เรือนยอดเป็นพุ่มกลม เปลือกสีน้ำตาลอมชมพูอ่อนแตกสะเก็ดขนาดใหญ่ มักมียางสีเหลืองซึมออกมาตามรอยแยก ใบ รูปเข็มยาว 10-25 ซม. ดอกแยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน ผลออกรวมกันเป็นกลุ่ม รูปไข่สีน้ำตาล เมล็ดเล็ก มีปีก

กระถินเทพา

ภาพที่ 2.19

ต้นกระถินเทพา



กระถินเทพามีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Acacia mangium Willd* จัดอยู่ในวงศ์ FABACEAE โดยชื่ออื่นคือ กระถินบาร์ซาห์ กระถินเทพา เมื่อเป็นกล้าไม้จะมีใบคล้ายกับใบกระถิน แต่เมื่อโตใบและลำต้นจะมีลักษณะคล้ายกับกระถินณรงค์ แต่ใบนั้นใหญ่กว่า มีสีเขียวเป็นมัน ลำต้นมีสีน้ำตาล ทรงสูง เป็นพุ่ม ดอก เป็นดอกช่อสีขาว มีถิ่นกำเนิดทางเหนือของออสเตรเลีย ปาปัวนิวกินี หมู่เกาะโมลักคาส์ อินโดนีเซีย นำเข้ามาในประเทศไทย ปลูกทางภาคอีสาน ที่ระดับความสูงไม่เกิน 100 เมตร จากระดับน้ำทะเล ไม่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง การขยายพันธุ์ จะเพาะจากเมล็ด ต้นกล้า จะเจริญเติบโตได้ดี

การลดเสียงของต้นไม้

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบใบไม้ ส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อน อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน และส่งผ่านเข้าไปในใบไม้ คลื่นเสียงที่ส่งผ่านไปในใบไม้นั้นพลังงานก็จะลดลง เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนนั้นเป็นผลให้พลังงานลดลง

การประมาณพื้นที่ผิวใบ

การประมาณพื้นที่ผิวใบประเภทใบกว้างตามวิธีของ Negisi Satoo และ Yagi (1957) นั้นสามารถประมาณพื้นที่ผิวใบพืชชนิดต่างๆ โดยการใช้ตารางที่มีระยะห่างที่เท่าๆกันซึ่งใช้แผ่นใสที่มีช่องตารางขนาด 1 ตารางเซนติเมตรวางทาบบนใบแล้วนับช่องตารางที่ครอบคลุมใบนั้นก็จะทำให้ทราบพื้นที่ผิวใบ

การประมาณพื้นที่ผิวใบของไม้สน จากการศึกษาของพงษ์ศักดิ์ (2519) จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาถึงรูปทรงการเรขาคณิตของใบไม้สนสองใบทั้งคู่แล้วจะเห็นว่าใบไม้สนสองใบประกอบด้วยใบรูปทรงแหลมคล้ายเข็มคู่หนึ่ง ยึดติดกันด้วยก้าน (Needle Sheath) ที่ปลายส่วนล่าง เมื่อจับรวบใบทั้งคู่ให้สนิทติดกัน พื้นที่ผิวใบที่อยู่ด้านเดียวกันจะมีลักษณะค่อนข้างแบน และด้านตรงข้ามมีลักษณะโค้งงอ และเมื่อตัดขวางตรงส่วนใดส่วนหนึ่งของใบทั้งคู่แล้ว ใบทั้งคู่จะมีลักษณะเกือบเป็นวงกลม หรือข้างใดข้างหนึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปครึ่งวงกลม (ภาพที่ 2.20) เมื่อใช้มือบีบใบทั้งคู่ให้ประชิดกันโดยให้พื้นผิวส่วนแบนราบติดกันแล้วจะเห็นว่าใบไม้สนสองใบเป็นรูปทรงกระบอกประกอบไปด้วยรูปครึ่งทรงกระบอกสองอันติดกัน ความกว้างของพื้นที่ผิวที่ประชิดกัน จะมีมากกว่าส่วนที่เป็นรูปโค้ง เมื่อตั้งใบทั้งคู่ให้ตรงขึ้นโดยให้พื้นผิวราบทั้งคู่ติดกัน ใบไม้สนสองใบคู่หนึ่ง ๆ อาจจะแบ่งรูปทรงออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ด้านล่างซึ่งเป็นกาบรูปกรวย ส่วนกลางเป็นรูปทรงกระบอก และส่วนบนสุดเป็นรูปกรวยคว่ำ ส่วนสำคัญของใบที่จะวัดหาพื้นที่ผิวคือบริเวณที่เป็นส่วนกลางและส่วนบนสุด เพราะว่าเป็นส่วนที่มีสีเขียวและเชื่อว่าเป็นส่วนที่มี Chlorophyll ประกอบอยู่พร้อมทั้งกระบวนการต่าง ๆ ทั้งการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำเกิดในบริเวณนี้ทั้งนั้น ดังนั้นการวัดพื้นที่ผิวใบไม้สนสองใบจึงวัดเฉพาะทั้งสองส่วนนี้เท่านั้น ส่วนที่เป็นกาบไม่จำเป็นต้องวัด (ภาพที่ 2.20)

สมมติให้

$$\begin{aligned}
 a &= \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนที่เป็นพื้นผิวราบ} \\
 b &= \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนที่เป็นพื้นผิวโค้ง} \\
 D &= \text{เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย} = \frac{a+b}{2} \\
 R &= \text{รัศมีของใบทั้งหมด} = \frac{D}{2} \text{ หรือ} \\
 R &= \frac{a+b}{4} \dots\dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

ให้

$$\begin{aligned}
 A &= \text{พื้นที่ผิวใบไม้สนสองใบ} \\
 L &= \text{ความยาวของใบไม้สนจากส่วนบนของกาบถึงปลายสุด} \\
 L_1 &= \text{ความยาวของส่วนที่เป็นรูปทรงกระบอก} \\
 L_2 &= \text{ความยาวของส่วนที่เป็นรูปกรวย}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น สามารถหาพื้นที่ผิวใบไม้สนสองใบแยกกันเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

- a. พื้นที่ผิวใบส่วนที่เป็นรูปทรงกระบอก แบ่งพื้นที่ผิวใบออกเป็น 2 ส่วน
1. ส่วนแบนราบด้านในเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า

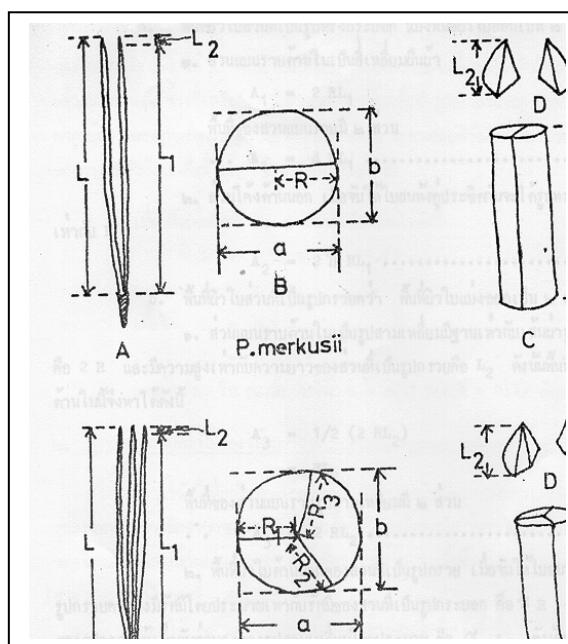
$$A_1 = 2 R L_1$$

พื้นที่ของส่วนแบนราบมี 2 ส่วน

$$\therefore A_1 = 4 R_1 \dots\dots\dots(6)$$

ภาพที่ 2.20

รูปร่างลักษณะของใบไม้สนสองใบและสนสามใบอย่างคร่าว ๆ
แสดงมิติต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาพื้นที่ผิวใบ



2. ส่วนโค้งด้านนอก เมื่อจับให้ใบสนทั้งคู่ประชิดกันจะได้รูปทรงกระบอกมีรัศมีเท่ากับ R

$$A_2 = 2 \pi R L_1 \dots \dots \dots (7)$$

b. พื้นที่ผิวใบส่วนที่เป็นรูปกรวยคว่ำ พื้นที่ผิวในแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เช่นเดียวกัน คือ

1. ส่วนแบนราบด้านในเป็นรูปสามเหลี่ยมมีฐานเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลาง ของใบทั้งคู่

คือ 2 R และมีความสูงเท่ากับความยาวของส่วนที่เป็นรูปกรวยคือ L_2 ดังนั้นพื้นที่ผิวใบของส่วนแบนราบด้านในนี้จึงหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_3 &= 1/2 (2 R L_2) \\ &= R L_2 \end{aligned}$$

พื้นที่ของส่วนแบนราบมี 2 ส่วน

$$\therefore A_3 = 2 RL_2 \dots\dots\dots(8)$$

3. พื้นที่ผิวใบด้านนอกของส่วนที่เป็นรูปกรวย เมื่อจับให้ใบสนทั้งคู่ประชิดกันจะได้รูปกรวยคว่ำซึ่งมีรัศมีโดยประมาณเท่ากับรัศมีของส่วนที่เป็นรูปกระบอก คือ $\cong R$ และส่วนสูงของด้านลาดของรูปกรวยให้เท่ากับส่วนสูงของรูปสามเหลี่ยมโดยประมาณ คือ $\cong L_2$ ดังนั้นพื้นที่ผิวใบส่วนที่เป็นรูปกรวยด้านนอกจึงหาได้ดังนี้ เมื่อจับให้ใบสนทั้งคู่ประชิดกันจะได้รูปทรงกระบอกมีรัศมีเท่ากับ R

$$A_4 = \pi RL_2 \dots\dots\dots(9)$$

พื้นที่ผิวใบไม้สนสองใบทั้งหมดจะเท่ากับ (1.2) + (1.3) + (1.4) + (1.5)

$$\begin{aligned} A &= 4 RL_1 + RL_1 + 2 \pi RL_2 + \pi RL_2 \\ &= 2 RL_1 (2 + \pi) + RL_2 (2 + \pi) \\ &= (2 + \pi) (2 RL_1 + RL_2) \\ &= (2 + 3.14) R (2 L_1 + L_2) \\ &= 5.14 R (2L_1 + L_2) \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

หรือ

$$A = 2.57 D (2 L_1 + L_2) \dots\dots\dots(11)$$

เนื่องจาก L_2 นั้นวัดได้ยาก ในทางปฏิบัติจึงให้ L_2 คงที่ คือเวลาวัดความยาวของใบจริงๆ แล้วให้ $L_2 = 0.1$ ซม. ตลอด โดยวัดความยาวทั้งหมดของใบในส่วนที่จะหาพื้นที่ผิวใบ แล้วลบด้วย 0.1 ส่วนที่เหลือก็จะเป็นความยาวของส่วนที่เป็นรูปทรงกระบอก สำหรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูปกระบอก คือ a และ b นั้น ในทางปฏิบัติวัดได้จากบริเวณประมาณกึ่งกลางของความยาวทั้งหมดคือที่ $L/2$ ซึ่งทำได้โดยไม่ยากนัก