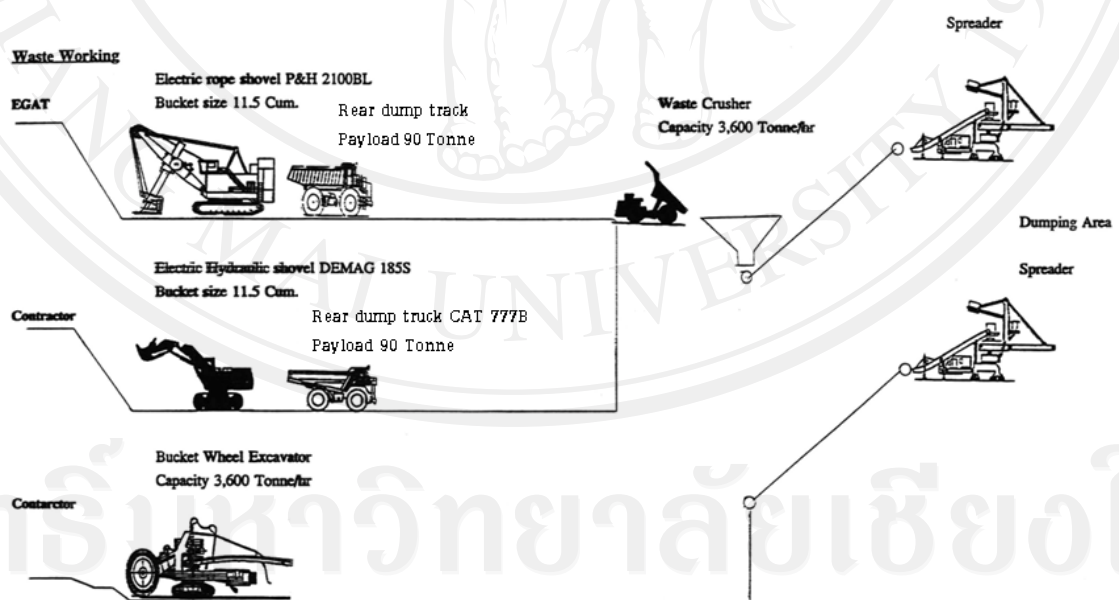


บทที่ 2

ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

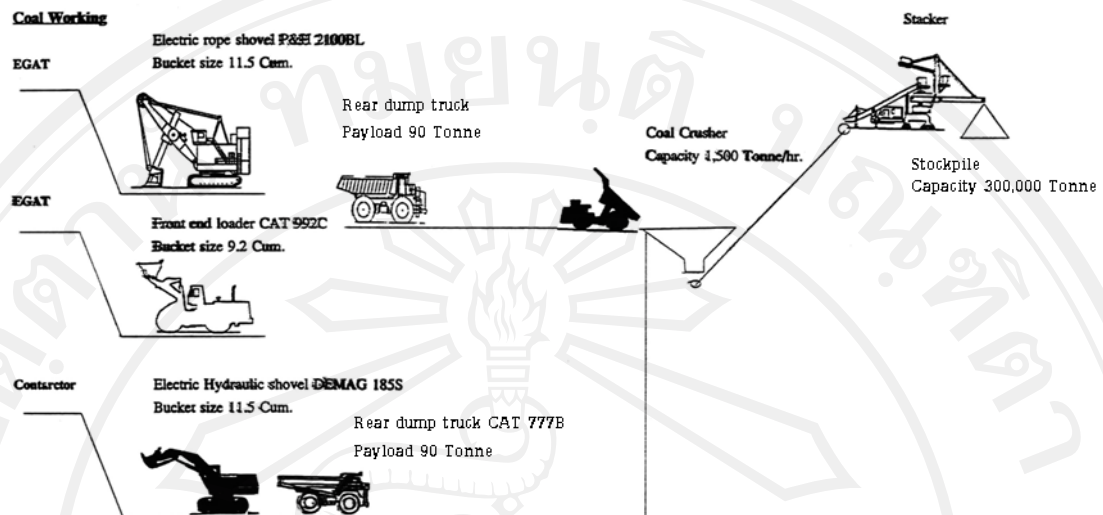
2.1 กระบวนการผลิตถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ

การทำเหมืองแร่ถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะใช้วิธีการทำเหมืองแบบเปิด (Opencast Mining) เริ่มจากการเจาะระเบิดโดยเครื่องเจาะแบบ Rotary Drill และใช้ AN-FO (Ammonium nitrate-fuel oil) เป็นวัตถุระเบิดเพื่อทำให้ชั้นดินหลวมตัวก่อน แล้วจึงใช้เครื่องจักรกลขุดเปิดหน้าดิน (Over Burden) ออก และทำการขนดินโดยรถบรรทุกเทท้ายมายังเครื่องย่อย พร้อมทั้งใช้ระบบสายพานในการลำเลียงดินไปยังพื้นที่ทิ้งดินทางด้านทิศตะวันตก (West Dump) ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับถมดินภายนอกบ่อเหมือง (Outside dump) ภายใต้การทำงานของสายพาน 4 ระบบ ได้แก่ ระบบเอ (Line A), ระบบบี (Line B), ระบบซี (Line C) และระบบ เอ็น ดับเบิลยู อาร์ (Line NWR) ดังรูปที่ 2.1 จากนั้นรถขุดตักจะตักถ่านใส่รถบรรทุกเพื่อนำเข้าสู่ระบบย่อย และขนส่งด้วยสายพานลำเลียงไปยังลานกองถ่าน (Stockpile) เพื่อรอนำเข้าป้อนโรงไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการขุดขนดิน

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการขุดขนถ่านหิน

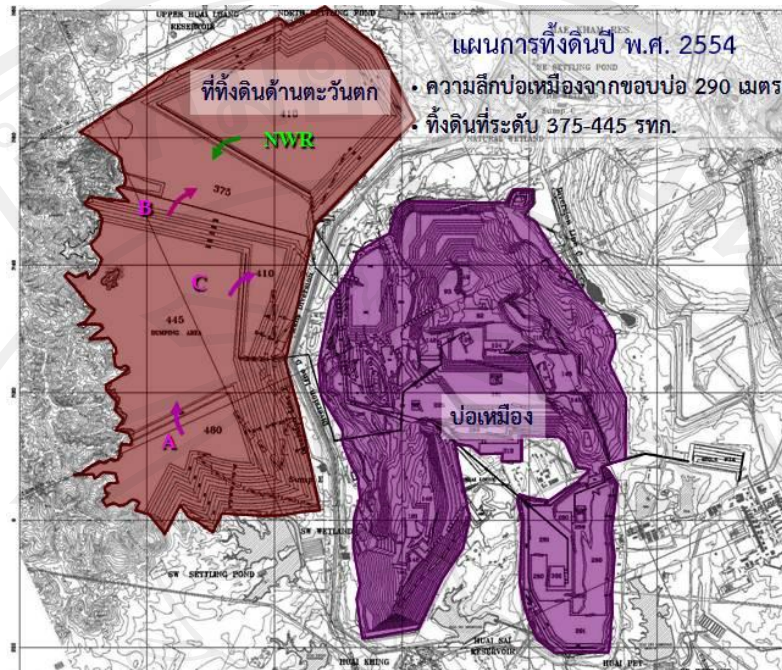
ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549

โดยมีแผนการทำเหมืองที่สอดคล้องกับแผนการทิ้งดิน ดังนี้

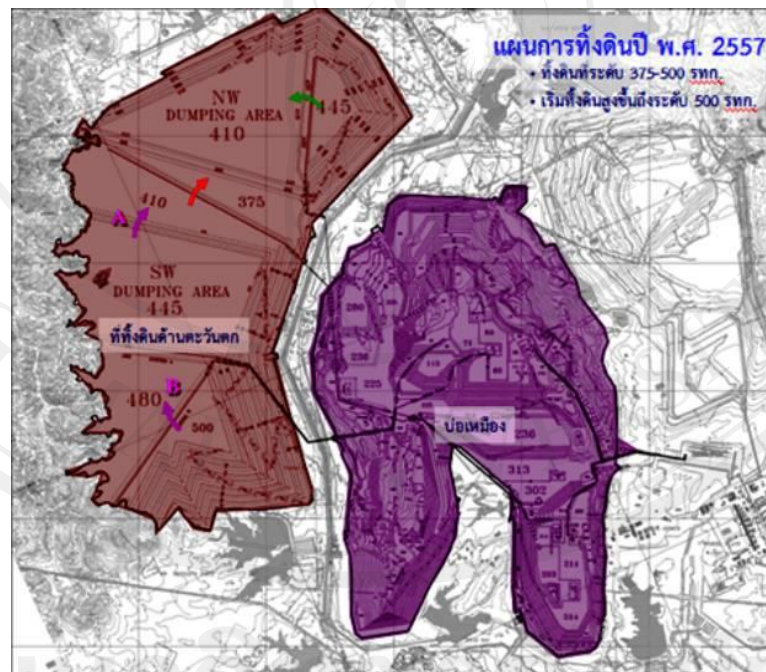
2.1.1 การทำเหมืองปี พ.ศ. 2554 จะมีการขุดขนถ่านหิน และดินบริเวณพื้นที่กลางแอ่งที่ระดับความลึก +290 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) ถึงระดับ +49 MSL และทำการขนดินด้วยระบบสายพานไปยังยังที่ทิ้งดินด้านตะวันตกโดยระบบสายพาน Line A ตั้งอยู่ที่ระดับ +430 MSL Line B ตั้งอยู่ที่ระดับ +395 MSL และ Line C ตั้งอยู่ที่ระดับ +430 MSL พร้อมทั้งมีการขุดขนถ่านหินและดินพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ ที่ระดับความลึก +324 MSL ถึงระดับ +269 MSL และทำการขนดินด้วยระบบสายพานไปยังยังที่ทิ้งดินด้านตะวันตกโดยระบบสายพาน Line N จะอยู่ที่ระดับ +395 MSL ดังรูปที่ 2.3 (ก)

2.1.2 การทำเหมืองปี พ.ศ. 2557 จะมีการขุดขนถ่านหินและดินบริเวณพื้นที่กลางแอ่ง ที่ระดับความลึก +236 MSL ถึงระดับ +60 MSL และทำการขนดินด้วยระบบสายพานไปยังยังที่ทิ้งดินด้านตะวันตกโดยระบบสายพาน Line A จะตั้งอยู่ที่ระดับ +465 MSL Line B ตั้งอยู่ที่ระดับ +500 MSL และ Line C ตั้งอยู่ที่ระดับ +395 MSL พร้อมทั้งมีการขุดขนถ่านหินและดินพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ ที่ระดับความลึก +269 MSL ถึงระดับ +214 MSL ทำการขนดินด้วยระบบสายพานไปยังยังที่ทิ้งดินด้านตะวันตกโดยระบบสายพาน Line N ตั้งอยู่ที่ระดับ +430 MSL ดังรูปที่ 2.3 (ข)

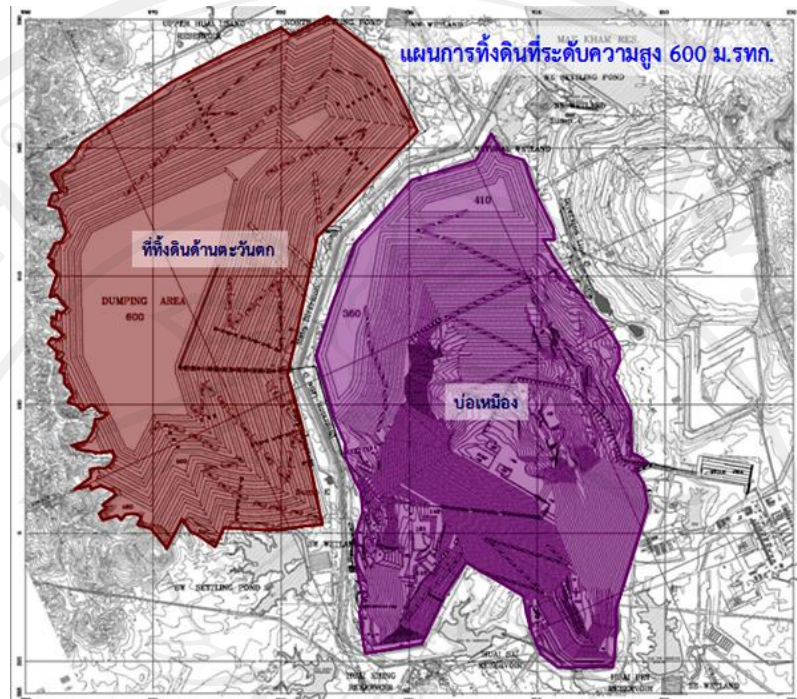
2.1.3 การทำเหมืองที่มีการทิ้งดินที่ระดับ +600 MSL จะมีการขุดขนถ่านหินและดินบริเวณพื้นที่กลางแอ่ง ที่ระดับความลึก -94 MSL ถึงระดับ -105 MSL และทำการขนดินด้วยระบบสายพานไปยังยังที่ทิ้งดินด้านตะวันตกที่ระดับ +600 MSL ดังรูปที่ 2.3 (ค)



(ก) พ.ศ. 2554



(ข) พ.ศ. 2557



(ค) ที่ระดับ +600 MSL

รูปที่ 2.3 การทำงานของระบบสายพานดินเหมืองแม่เมาะ
ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549

จากการดำเนินกิจกรรมการทำเหมืองแบบเปิดของเหมืองแม่เมาะจะดำเนินตลอด 24 ชั่วโมง ภายใต้เครื่องจักรขนาดใหญ่และเครื่องจักรสนับสนุนอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งล้วนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่สำคัญ โดยในปัจจุบันพื้นที่ขุมเหมืองส่วนใหญ่มีระดับลึกลงไปค่อนข้างมาก จึงมีการลดระดับเสียงเนื่องจากผลการกั้นเสียงของพื้นที่ขุมเหมืองได้ แต่ในส่วนของพื้นที่ทิ้งดินจะมีระดับที่สูงและเข้าใกล้ชุมชนมากขึ้น จึงอาจทำให้ระดับเสียงของแหล่งกำเนิดส่งผลกระทบต่อชุมชนที่อาศัยโดยรอบพื้นที่โครงการได้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549)

2.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ

การเลือกใช้เครื่องจักรกลและอุปกรณ์ในการทำเหมืองได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดความปลอดภัย ประหยัด และมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น สามารถจำแนกเครื่องจักรตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

2.2.1 เครื่องจักรหลัก (Main Equipment) เป็นเครื่องจักรกลที่ใช้ในการขุด-ขนดิน และถ่านหิน โดยตรง ได้แก่ รถขุด (Shovel), รถบรรทุกเทท้าย (Rear Dump Truck), เครื่องย่อยและระบบสายพานลำเลียง (Crusher and Conveyor System)

2.2.2 เครื่องจักรช่วย (Auxiliary Equipment) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเสริมภารกิจเครื่องจักรหลักเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ รถดั๊ก (Loader), รถแทรกเตอร์ (Bulldozer), รถเกลี่ยดิน (Grader), รถบรรทุกน้ำ (Water Tank Truck), รถขุดหลุม (Hole Digger), รถเครน (Crane Truck), รถบรรทุกขนาดเล็ก และอื่นๆ

2.3 แหล่งกำเนิดเสียงจากการทำเหมืองเปิด

การพัฒนาเทคโนโลยีการทำเหมืองแบบเปิด เพื่อให้กระบวนการผลิตแร่ดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ระดับเสียงของแหล่งกำเนิด พร้อมทั้งเสียงในสภาพแวดล้อมโดยรอบพื้นที่ประกอบกิจการมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่วนใหญ่จะเป็นเสียงของเครื่องจักรในกระบวนการทำเหมืองแบบเปิด สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ แหล่งกำเนิดเสียงเครื่องจักรอยู่กับที่ แหล่งกำเนิดเสียงเครื่องจักรเคลื่อนที่ และแหล่งกำเนิดเสียงเครื่องจักรที่ก่อให้เกิดเสียงในช่วงสั้นๆ หรือเสียงกระแทก (Nanda & Tripathy, 2011) โดยขั้นตอนการเจาะระเบิด การขุดเปิดหน้าดิน การเคลื่อนย้ายดิน-ถ่านเข้าสู่กระบวนการลดขนาดให้มีความเหมาะสม ก่อนที่จะลำเลียงดินไปทิ้งยังที่ทิ้งดิน และส่งถ่านเข้าสู่กระบวนการผลิต ล้วนแต่ก่อให้เกิดเสียงรบกวน (Utley, 1980) นอกจากนี้สภาพทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่และปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ต่างก็มีผลต่อระดับเสียงของเครื่องจักรที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน อันเป็นสาเหตุให้สูญเสียการได้ยินตลอดไป (Sensogut & Cinar, 2006)

จากการสำรวจหาแหล่งกำเนิดเสียงที่ทำให้เกิดเสียงดังของโครงการเหมืองแม่เมาะ อันเกิดจากกิจกรรมของเหมืองถ่านหินลิกไนต์ที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ได้แก่ ระบบสายพานลำเลียงเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ได้ และเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ไม่ได้ โดยเมื่อทำการตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 1 นาที รอบเครื่องจักรต่างๆ และด้านข้างระบบสายพานลำเลียงถ่าน/ดิน ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน พบว่าค่าระดับเสียงที่ได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าระดับเสียงของแหล่งกำเนิดที่ระยะห่างจากจุดตรวจวัดต่างกัน

ประเภทเครื่องจักร	ระดับเสียงเฉลี่ย (เดซิเบล(เอ)) ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด					
	2 เมตร	10 เมตร	20 เมตร	30 เมตร	1,000 เมตร	2,000 เมตร
รถบรรทุกเทท้ายและรถบรรทุกน้ำ	102	-	-	78.5	41	40
รถเกรด, แทรกเตอร์และรถล้อต่างๆ	95	-	-	71.1	47	33
ระบบสายพานลำเลียงดินด้านตะวันตก	-	73	70	-	52	48

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2549

2.4 เสียง

เสียง (Sound) คือ พลังงานชนิดหนึ่งที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ พร้อมเกิดการแผ่ของเสียง (Sound propagation) จะถูกส่งผ่านตัวกลางออกไปคล้ายๆ กับการลំตัวของโดมิ โดยเสียงจัดเป็นคลื่นกลที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเกิดการสั่น (Vibration Nature) พลังงานเสียงจะแผ่ออกจากจุดกำเนิดเสียงและถ่ายทอดพลังงานให้แก่ตัวกลาง ทำให้โมเลกุลของตัวกลางเกิดการสั่นไหว ถ่ายทอดพลังงานไปสู่โมเลกุลข้างเคียง ถ้าเสียงเคลื่อนที่ไปในอากาศ พลังงานเสียงจะทำให้ความดันบรรยากาศในภาวะปกติ (10^5 ปาสคาล, Pa) เกิดการเปลี่ยนแปลงความดัน เมื่อคลื่นเสียงกระทบหู จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานจะทำให้ได้ยินเสียง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2.5 พารามิเตอร์ของเสียง (Noise descriptors)

ในงานด้านมลพิษสิ่งแวดล้อม พารามิเตอร์ของเสียงได้ถูกพัฒนาเพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบของเสียง ซึ่งพารามิเตอร์บางตัวถูกนำมาใช้เป็นกฎหมาย ทั้งนี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ โดยจะเกี่ยวข้องกับวิธีการตรวจวัด สมการที่ใช้ในการคำนวณ และมาตรฐานของพารามิเตอร์นั้น

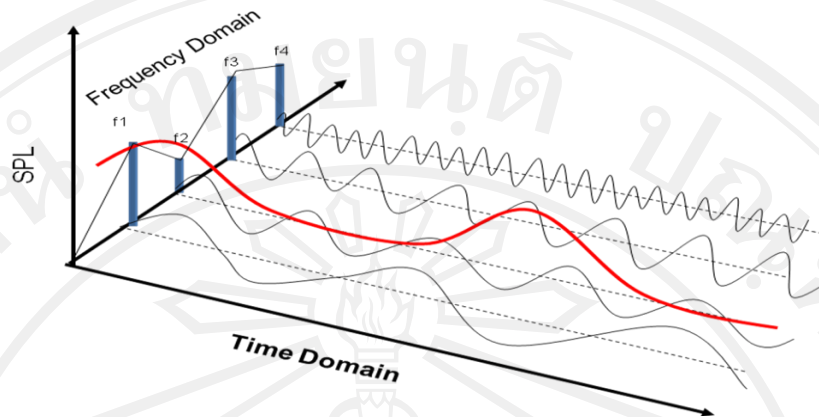
สำหรับพารามิเตอร์ของเสียงที่มีหลากหลาย ซึ่งล้วนแต่มีพื้นฐานและถูกพัฒนาการนำมาใช้ให้สอดคล้องกับองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ

2.5.1 ระดับเสียง (Sound Pressure level, L_p) เป็นค่าที่บอกถึงระดับพลังงานเสียงที่ผู้รับเสียงได้รับ ระดับเสียงสูงจะส่งผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมมากกว่าระดับเสียงต่ำ

2.5.2 ความถี่เสียง (Frequency, f) เนื่องจากระดับเสียงจะมีความถี่ที่แตกต่างกัน จึงส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในระดับที่ต่างกัน ดังนั้นพารามิเตอร์ของเสียงบางตัวจึงต้องพิจารณาความถี่เสียงประกอบด้วย

2.5.3 ระยะเวลา (Time duration) คือ ระยะเวลาในการตรวจวัดเสียงที่น่าพิจารณาผลกระทบของเสียง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการประเมินผลกระทบของเสียง

ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะเสียงที่ได้ยินนั้น ตามปกติจะวิเคราะห์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงในสองลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงของเสียงในฟังก์ชันของเวลา (Time domain) กับการเปลี่ยนแปลงของเสียงในฟังก์ชันของความถี่ (Frequency domain) ซึ่งจะถูกใช้ในการประเมินเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

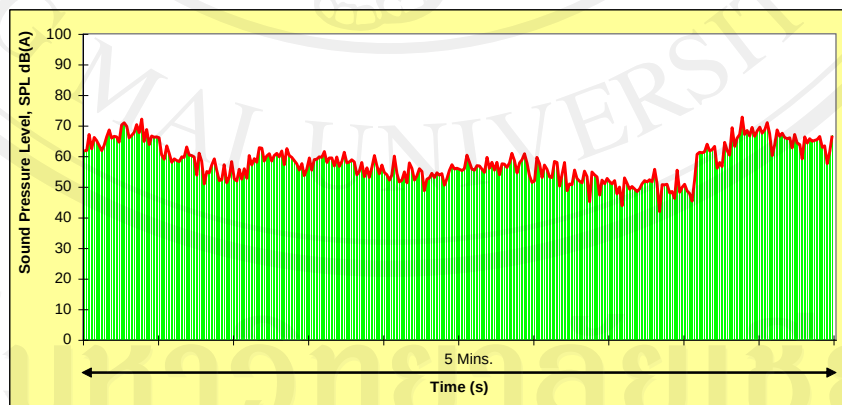


รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์เสียง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2543

2.6 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามระยะเวลา (Time domain)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามระยะเวลา มักนำมาใช้ในการกำหนดเป็นเกณฑ์มาตรฐานของเสียงสำหรับการประเมินผลกระทบของเสียงที่มีต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม และเนื่องจากการวิเคราะห์ระดับเสียงที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา ทำให้สามารถวิเคราะห์ระดับเสียงว่ามีการรบกวนเกิดขึ้น ณ เวลาใด ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ทำให้สามารถกำหนดมาตรการในการป้องกันแก้ไขเสียงรบกวนที่สอดคล้องกับช่วงเวลาที่เกิดเสียงนั้น



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามระยะเวลา

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามระยะเวลา ถูกพัฒนาเป็นเครื่องมือเพื่อการประเมินผลกระทบของเสียงในสิ่งแวดล้อมในเชิงเวลา (Time domain) ซึ่งพารามิเตอร์บางตัวได้ถูกนำมาใช้เป็นกฎหมาย มีความเกี่ยวข้องกับวิธีการตรวจวัด สมการที่ใช้ในการคำนวณ และค่ามาตรฐาน โดยพารามิเตอร์ในเชิงของเวลาที่สำคัญ ได้แก่

2.6.1 ระดับเสียง หรือ ระดับความดันเสียง (Sound Pressure level, L_p) โดยในการตรวจวัดระดับเสียง จะตรวจวัดในรูปค่าความดันของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนแปลงจากความดันบรรยากาศปกติที่ความถี่เสียง 1,000 เฮิรตซ์ ที่หูคนเราสามารถได้ยินเสียงที่น้อยที่สุดคือ 2×10^{-5} ปาสคาล และที่สามารถทนฟังได้มากที่สุดคือ 200 ปาสคาล ซึ่งการวัดความดังของเสียงจะอยู่ในรูปความดันเสียง (Sound Pressure Level, L_p) มีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel, dB) ดังสมการที่ 2.1

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^2 = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (2.1)$$

เมื่อ P = ความดันบรรยากาศ (Effective pressure [Pa])

P_{ref} = ความดันบรรยากาศอ้างอิง (Effective pressure [20 [Pa])

2.6.2 ระดับกำลังของแหล่งกำเนิดเสียง (Sound Power Level, L_w , PWL) เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเกิดการสั่น จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานเสียงสู่ตัวกลาง ซึ่งพลังงานที่ส่งผ่านตัวกลางต่อพื้นที่ต่อเวลาคือกำลังเสียง (Sound Power) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิด หรือ กำลังของเสียงที่ส่งออกมา มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) ถ้าใช้วัตต์แสดงค่า จะเป็นค่าตัวเลขที่มากจึงใช้เป็นเดซิเบลแทน

$$L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{I_i}{I_o} \right) \quad (2.2)$$

เมื่อ L_w = กำลังของแหล่งกำเนิดเสียง [dB]

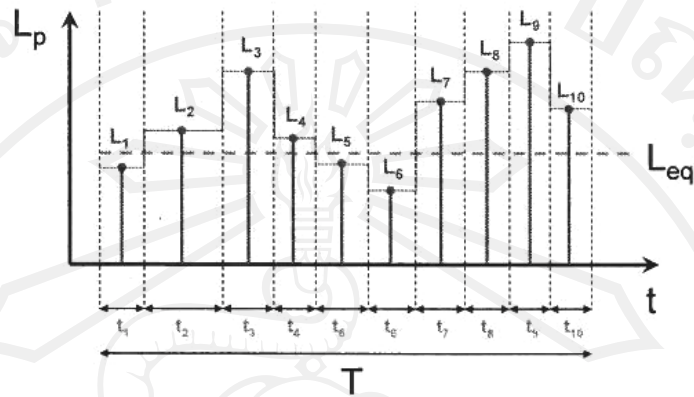
I_o = 10^{-12} [W]

2.6.3 ระดับเสียงเฉลี่ย (Equivalent sound pressure level, L_{eq}) คือ ค่าระดับเสียงที่บอกการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานเสียงในช่วงเวลานั้นๆ จึงเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนของพลังงานเสียงตลอดช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดเสียงนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งค่ามาตรฐานสำหรับงานวัดระดับเสียงกำหนดให้ใช้ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ดังสมการที่ 2.3

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ n = จำนวนครั้งของการวัด (Number of measurement)

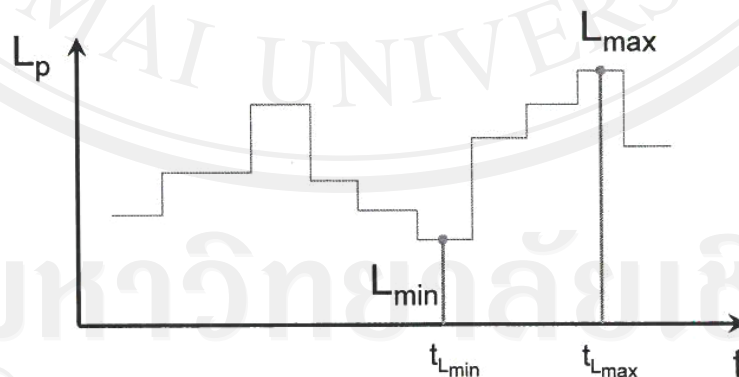
L_i = ระดับเสียงครั้งที่ i (Sound level)



รูปที่ 2.6 ระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลาที่เกิดเสียง

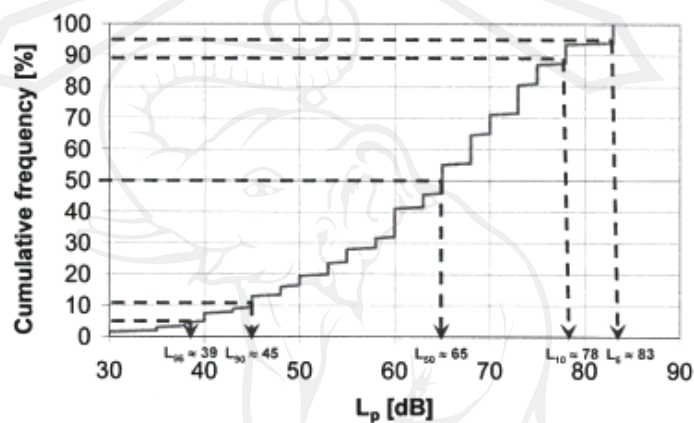
2.6.4 ระดับเสียงสูงสุด-ต่ำสุด (Sound maximum and sound minimum Level, $L_{\max}$ $L_{\min}$)

คือ ค่าระดับเสียงสูงสุด ($L_{\max}$) และต่ำสุด ($L_{\min}$) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ตรวจวัด ดังรูปที่ 2.7 โดยพารามิเตอร์ทั้งสองนี้จะแสดงอยู่ในรายงานสถานการณ์มลพิษทางเสียงร่วมกับค่าระดับเสียงเฉลี่ย ระดับเสียงสูงสุด มักเกิดจากเสียงกระแทกที่เกิดในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด ระดับเสียงต่ำสุดอาจเป็นเสียงสภาพแวดล้อมที่มีได้ถูกรบกวนโดยแหล่งกำเนิดเสียงใดๆ พารามิเตอร์ทั้งสองทำให้ทราบถึงความรุนแรงของปัญหามลพิษทางเสียง และสามารถวินิจฉัยแหล่งกำเนิดเสียงเพื่อกำหนดวิธีการควบคุม จุดเวลาที่พบระดับเสียงสูงสุดและต่ำสุดคือ $t_{L_{\max}}$ และ $t_{L_{\min}}$ โดยมีหน่วยเป็น เดซิเบล



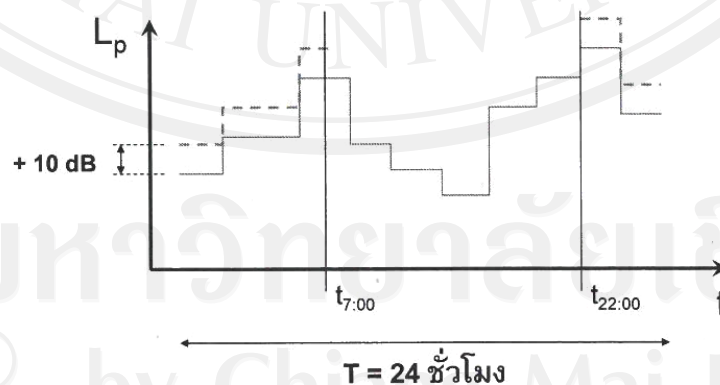
รูปที่ 2.7 ระดับเสียงสูงสุด-ต่ำสุด ($L_{\max}$ $L_{\min}$)

2.6.5 ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile Levels, L_n) คือ พารามิเตอร์ทางสถิติที่บอกให้ทราบว่ามีระดับเสียงที่สูงกว่าค่านี้อยู่ n เปอร์เซ็นต์ของระดับเสียงทั้งหมดในช่วงเวลาทำการตรวจวัด ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่นิยมใช้ปัจจุบัน ได้แก่ L_5 L_{10} L_{50} L_{90} และ L_{95} ซึ่งหมายความว่าระดับเสียงที่มีค่าสูงกว่านี้ตรวจพบได้ร้อยละ 5 10 50 90 และ 95 ของช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดตามลำดับ ตัวอย่างเช่น หาก L_5 มีค่าเท่ากับ 80 เดซิเบล หมายความว่า ระดับเสียงที่มีค่าสูงกว่า 80 เดซิเบล ตรวจพบได้ร้อยละ 5 ของช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด ตำแหน่งของระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์จากการตรวจวัดเสียงแห่งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งของระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์

2.6.6 ระดับเสียงกลางวันกลางคืน (Day-night equivalent sound level, L_{dn}) คือ เป็นการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง แต่เพื่อชดเชยความรู้สึกรบกวนอันเนื่องมาจากเสียงที่เกิดขึ้นในช่วงกลางคืน จึงนำค่าระดับเสียง 10 เดซิเบล มาบวกเพิ่มให้กับระดับเสียงที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาตั้งแต่ 22.00 น. ถึง 7.00 น. ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ระดับเสียงกลางวัน กลางคืน

2.7 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามความถี่ (Frequency Domain)

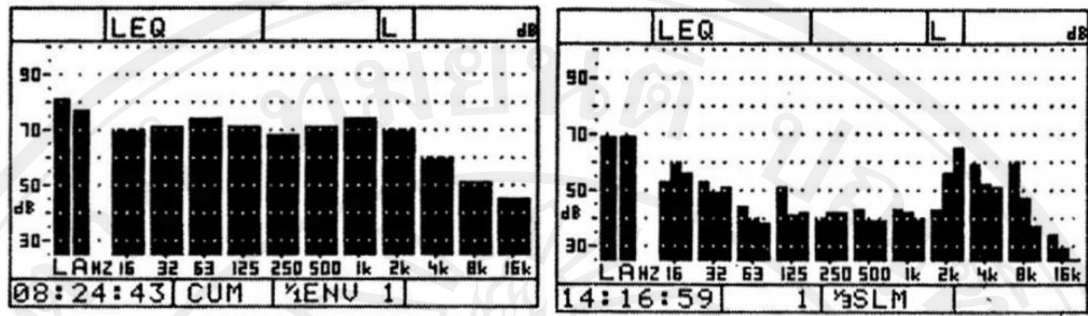
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามความถี่ ในระยะแรกได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาการได้ยินของมนุษย์ ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจวัด ได้แก่ การวิเคราะห์ระดับเสียงตามแถบความถี่ออกเทพ (Octave Band Analysis) และประเมินผลการได้ยินในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ระดับความดังเสียง (Loudness Level) ความดังเสียง (Loudness) ดัชนีความดังเสียง (Loudness Index) และการตรวจวัดการได้ยิน (Audiometry) ในปัจจุบันการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามความถี่ได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การวิเคราะห์เสียงที่เกิดจากการทำงานของแหล่งกำเนิดเสียง เช่น เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม มอเตอร์ และขยายไปสู่การออกแบบระบบควบคุมมลพิษทางเสียง

มนุษย์สามารถรับรู้เสียงได้ในช่วงความถี่ 20 ถึง 20,000 เฮิรตซ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอยู่ในช่วงกว้างมาก ในการตรวจวัดระดับเสียงในทุกๆ ความถี่จึงมีความยุ่งยาก จึงได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์ระดับเสียงตามแถบความถี่ออกเทพขึ้น วิธีการคือ แบ่งช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 ถึง 20,000 เฮิรตซ์ ออกเป็นแถบความถี่ออกเทพ (Octave Band) และกำหนดค่าความถี่กลาง (Center of Frequency, f_c) ของแถบความถี่นั้นๆ จากนั้นทำการตรวจวัดระดับเสียงเฉพาะค่าความถี่กลาง ระดับเสียงที่ได้ในแต่ละค่าความถี่จะถือว่าเป็นตัวแทนของแต่ละแถบความถี่ ดังตารางที่ 2.2

ช่วงความถี่สามารถแบ่งเป็นแถบความถี่ตามความละเอียดที่แตกต่างกัน หากต้องการวิเคราะห์ความถี่ที่ละเอียดมากขึ้น แถบความถี่ก็จะมีจำนวนมากขึ้น และค่าความถี่กลางก็จะมากขึ้นด้วย การวิเคราะห์ที่สามารถแบ่งออกเป็นระดับต่างๆ ตามความละเอียดของความถี่ที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้อยู่ 2 ระดับคือ

- (1) แถบความถี่ระดับ 1 (1/1 Octave Bands)
- (2) แถบความถี่ระดับ 3 (1/3 Octave Bands)

กระบวนการในการวิเคราะห์ระดับเสียงตามแถบความถี่อาจเรียกในชื่ออื่นๆ ได้แก่ Frequency band analysis หรือ Spectrum analysis ส่วนผลการวิเคราะห์จะแสดงในรูปของสเปกโตรแกรม (Spectrogram) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ผลการวิเคราะห์เสียงตามแถบความถี่

ที่มา: รัฐพล, 2554

ตารางที่ 2.2 ค่าความถี่กลางและแถบความถี่สำหรับการวิเคราะห์ระดับเสียงตามความถี่

แถบความถี่ (เฮิรตซ์)	ค่าความถี่กลาง แบบ 1/1 Octave Bands (เฮิรตซ์)	ค่าความถี่กลาง แบบ 1/3 Octave Bands (เฮิรตซ์)
22-45	31.5	25
		31.5
		40
45-90	63	50
		63
		80
90-180	125	100
		125
		160
180-355	250	200
		250
		315
355-710	500	400
		500
		630
710-1400	1000	800
		1,000
		1,250
1400-2800	2000	1,600
		2,000
		2,500

ตารางที่ 2.2 ค่าความถี่กลางและแถบความถี่สำหรับการวิเคราะห์ระดับเสียงตามความถี่ (ต่อ)

แถบความถี่ (เฮิรตซ์)	ค่าความถี่กลาง แบบ 1/1 Octave Bands (เฮิรตซ์)	ค่าความถี่กลาง แบบ 1/3 Octave Bands (เฮิรตซ์)
2800-5600	4000	3,150
		4,000
		5,000
5600-11200	8000	6,300
		8,000
		10,000

ที่มา : Harris, 1991

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามระยะเวลา สามารถอธิบายในลักษณะระดับความดังของเสียงในช่วงระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น แต่ไม่มีคำอธิบายในเชิงของความถี่ของเสียงว่ามีความถี่ต่ำหรือสูง ขณะที่การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามความถี่สามารถอธิบายลักษณะของเสียงว่ามีความถี่เป็นอย่างไร แต่ละความถี่มีระดับความดังเท่าไร ซึ่งสามารถวิเคราะห์เชื่อมโยงไปสู่การวิเคราะห์การรบกวนของเสียงต่อการได้ยินของมนุษย์

ดังนั้นถ้านำการวิเคราะห์ทั้งสองมาใช้ในการอธิบายลักษณะของเสียงในคราวเดียวกัน จะทำให้ทราบข้อมูลทั้งด้านระดับความดังเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลา และองค์ประกอบของความถี่ของเสียงนั้นพร้อมกัน ข้อดีคือสามารถหาแหล่งกำเนิดที่แท้จริงของเสียงนั้นจากองค์ประกอบของความถี่ที่วิเคราะห์ได้ สามารถทำนายค่าระดับเสียง ส่งผลให้สามารถนำเสนอแนวทางการลดระดับเสียงนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การตรวจวัดเสียงในโรงงาน ที่ประกอบไปด้วยเครื่องจักรหลายชนิด การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามระยะเวลา จะทำให้ทราบว่าระดับเสียงดังเกิดขึ้น ณ เวลาใด และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับเสียงตามความถี่ จะทำให้ทราบว่าระดับเสียงที่ดังเกิดขึ้น ณ ความถี่ช่วงใด มีผลต่อการได้ยินของมนุษย์ในช่วงความถี่ใด จากนั้นนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับ การตรวจวัดเสียงของเครื่องจักร ซึ่งมีความถี่เด่นไม่เหมือนกัน หากความถี่ที่วิเคราะห์ได้ตรงกับความถี่เด่นของเครื่องจักรใด ก็จะทำให้เราพบต้นเหตุของเสียงดังที่เกิดขึ้น (Noise Source Identification) ทำให้เราสามารถกำหนดแนวทางที่ชัดเจนเพื่อแก้ปัญหาได้ (รัฐพล, 2554)

2.8 ลักษณะเฉพาะของเสียงในสิ่งแวดล้อม (Characteristics of Environmental noise)

ผลกระทบของเสียงที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์เกิดจากการรับรู้ได้ขึ้น โดยจะส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเสียงที่เกิดในสิ่งแวดล้อมจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของเสียงนั้นๆ ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะของเสียงออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เสียงบริสุทธิ์ (Pure tone) คือเสียงที่มีความถี่เดียว เช่น เสียงส้อมเสียง เสียงผสม (Complex tone) คือเสียงที่มีหลายความถี่ผสมกันอย่างมีจังหวะที่เหมาะสม เช่น เสียงดนตรี และเสียงรบกวน (Noise) คือ เสียงที่มีหลายความถี่ผสมกันโดยไม่มีจังหวะที่เหมาะสม เช่น เสียงเครื่องจักร (รัฐพล, 2554)

2.9 การแพร่กระจายของเสียงในอากาศ (Sound Propagation in the open air)

เมื่อเสียงเดินทางผ่านอากาศมาที่อวัยวะรับการได้ยินของมนุษย์ จะขึ้นอยู่กับการประกอบหลักคือ แหล่งกำเนิดเสียง (Noise source) ทางผ่านของเสียง (Transmission path) และผู้รับเสียง (Receiver) เมื่อทำการตรวจวัดค่าระดับเสียง (Sound Pressure Level, SPL) ณ จุดรับเสียงใดๆ พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้จะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ซึ่งผลจากการลดลงของระดับเสียงเกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น ลักษณะการแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิด ปัจจัยที่เกิดขึ้นระหว่างทางผ่านของเสียงในสิ่งแวดล้อมในทอมนต่างๆ เช่น การดูดกลืนเสียงของอากาศ การดูดกลืนเสียงของพื้นดิน การแพร่กระจายเสียงเนื่องจากชนิดของพื้นผิวที่แตกต่างกัน และการลดทอนเนื่องจากวัตถุในสิ่งแวดล้อม (Harris, 1991) โดยสามารถจำแนกลักษณะการแพร่กระจายเสียงออกเป็น 3 แบบดังต่อไปนี้

2.9.1 การแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิดแบบจุด (Point Source)

ลักษณะการแพร่กระจายของเสียงแบบจุด เกิดจากพลังงานเสียงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเกิดการแผ่รอบทุกทิศทางและกระจายออกเป็นทรงกลม ดังรูปที่ 2.11 ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุดในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เครื่องจักร เครื่องปรับอากาศ เครื่องตัดหญ้า เป็นต้น (รัฐพล, 2554) โดยระดับเสียงที่ตรวจวัดได้จะมีค่าเท่ากันทุกจุดที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเท่ากัน และหากมีแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งกำเนิดเสียงคงที่ค่าหนึ่ง ความเข้มของเสียงจะลดลงเป็นสัดส่วนผกผันยกกำลังสองของระยะทางจากแหล่งกำเนิด เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า ความสัมพันธ์ผกผันกำลังสอง (Inverse square relationship) ค่าระดับเสียงจะลดลง 6 เดซิเบล ระยะทางจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อสภาพพื้นที่ที่ตรวจวัดและสภาพอากาศไม่มีผลต่อการลดทอนระดับเสียง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) สามารถคำนวณหาค่าระดับความดันเสียง (L_p) ที่ระยะต่างๆ ได้จากสมการที่ 2.4

$$L_p = L_w - 20\log_{10}(r) - 11 \quad (2.4)$$

เมื่อ L_w = ระดับกำลังเสียง (เดซิเบล)

L_p = ระดับความดันเสียงที่ระยะทาง r เมตร จากแหล่งเสียง (เดซิเบล)

2.9.2 การแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิดแบบเส้น (Line source)

เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดี่ยวๆ ที่มีลักษณะเป็นท่อยาวคล้ายกับการไหลของของเหลวภายในท่อหรือเกิดจากแหล่งเสียงแบบจุดที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น บนถนนที่มียานพาหนะวิ่งขั้วไขว่ตลอดเวลา เสียงจากรถไฟ เป็นต้น ลักษณะของเสียงที่แพร่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงนี้ จะกระจายออกเป็นรูปทรงกระบอก ดังนั้นระดับความดันเสียงจะมีค่าเดียวกันในทุกจุดที่ระยะทางเดียวกันจากแนวเส้นของแหล่งเสียง ดังรูปที่ 2.11 และระดับเสียงจะลดลง 3 เดซิเบล เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า โดยการคำนวณหาระดับเสียงที่ระยะต่างๆ ได้จากสมการที่ 2.5 เมื่อสภาพพื้นที่และสภาพอากาศไม่มีผลต่อการลดทอนระดับเสียง (พจนาน, 2545)

$$L_p = L_w - 20\log_{10}(r) - 8 \quad \text{เดซิเบล} \quad (2.5)$$

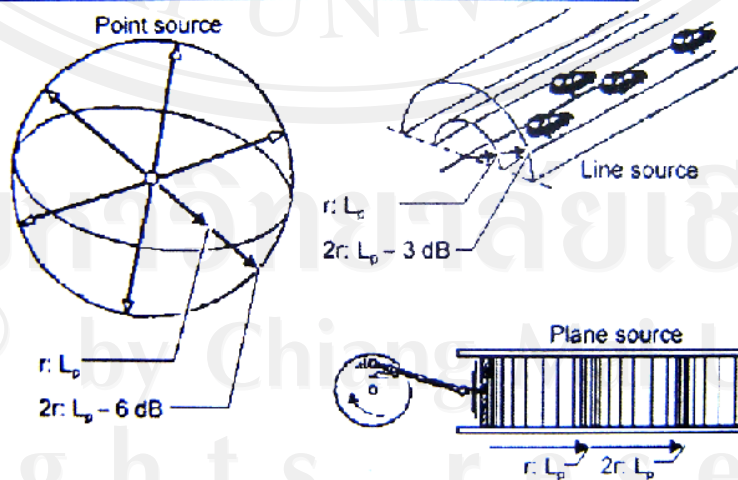
เมื่อ L_w = ระดับกำลังเสียง [เดซิเบล]

L_p = ระดับความดันเสียงที่ระยะทาง r เมตรจากแหล่งเสียง [เดซิเบล]

2.9.3 การแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area source)

แหล่งกำเนิดเสียงแบบพื้นที่ มีการแพร่กระจายพลังงานเสียงออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นคลื่นระนาบ (Plane wave) จากแหล่งกำเนิดตามระยะทางดังรูปที่ 2.11

Types of Sound Sources



รูปที่ 2.11 ลักษณะการแพร่กระจายของเสียงที่แหล่งกำเนิด

การแพร่กระจายเสียงในอากาศ ภายใต้ลักษณะของแหล่งกำเนิดเสียงที่ต่างกัน ล้วนเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำมาใช้ในประเมินระดับเสียงของแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดปัญหา และเมื่อได้ค่าระดับเสียงก็สามารถใช้ในการวางแผนเพื่อลดระดับเสียง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการคำนวณ และเลือกวิธีในการลดระดับเสียงจากแหล่งกำเนิด หรือวิธีอื่นๆ ที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพต่อไปได้

2.10 แบบจำลองในการทำนายระดับเสียงรบกวน (Noise Prediction Model)

แบบจำลองในการทำนายระดับเสียงรบกวน ถูกนำมาใช้ในการทำนายระดับเสียงรบกวนในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากพื้นที่อุตสาหกรรม เนื่องจากการแพร่กระจายของเสียงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในอากาศ ดังนั้นในแต่ละประเทศก็จะมีการพัฒนารูปแบบการทำนายให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ซึ่งล้วนแต่เริ่มจากสมการพื้นฐาน โดยมีสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันไป สำหรับการนำเข้าข้อมูลจะขึ้นอยู่กับที่ตั้งของแหล่งกำเนิดและตัวแปรของสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตาม สมการพื้นฐานที่นำมาใช้สำหรับการทำนายการแพร่กระจายของเสียงในอากาศตามมาตรฐานสากล ISO 9613 จะมีการรวบรวมปัจจัยการลดทอนเสียงในสิ่งแวดล้อมไว้หลายเทอม เช่น เทอมการลดทอนเสียงของระยะทาง การดูดกลืนของอากาศ การสะท้อนเนื่องจากสิ่งกีดขวาง กำแพงกั้นเสียง และการลดทอนของเสียงเนื่องจากการดูดกลืนของพื้นผิว ดังสมการที่ 2.6

$$L_p(r) = L_w - 20\log(d/1m.) + DI_{revr} - 10\log_{10}(\Omega/4\pi) - 11 - A_{combined, revr} \dots \dots \dots (2.6)$$

2.11 แบบจำลอง SPM9613

เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Power Acoustics, Inc. ภายใต้มาตรฐานสากล ISO 9613-1:1993 ซึ่งพิจารณาเฉพาะปัจจัยการลดทอนเสียงในเทอมการดูดกลืนเสียงของอากาศ ที่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาพอุตุนิยมวิทยาในแต่ละพื้นที่ (ISO 9613, 1993) ควบคู่กับมาตรฐานสากล ISO 9613-2:1996 ซึ่งพัฒนาวิธีการคำนวณค่าระดับเสียงในสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากแหล่งกำเนิดที่แพร่กระจายเสียงสู่สภาพแวดล้อม โดยคำนึงถึงปัจจัยการลดทอนเสียงที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายเสียงในอากาศในเทอมต่างๆ ได้แก่ เทอมระยะห่างจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับเสียงตามลักษณะการแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิด เทอมการดูดซับเสียงของพื้น เทอมการสะท้อนเสียงเนื่องจากพื้นผิวที่แตกต่างกัน เทอมการลดทอนเสียงเนื่องจากการกีดขวางเสียง และเทอมการลดทอนเนื่องจากวัตถุในสิ่งแวดล้อม (ISO 9613, 1996) จากปัจจัยการลดทอนเสียงในอากาศข้างต้น จึงมีการ

ประยุกต์และสร้างแบบจำลอง SPM9613 ดังสมการที่ 2.7 เพื่อใช้ในการทำนายผลกระทบด้านเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมขึ้น โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้ คำนวณค่าระดับเสียงของแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะการแพร่กระจายเสียงทั้งแบบจุด แบบเส้น และรูปทรง 3 มิติ, คำนวณค่าระดับเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 16-8,000 เฮิรตซ์, คำนวณค่าระดับเสียงภายใต้วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ชนิดเอ (A –weighted) มีหน่วยเป็น เดซิเบลเอ [dB(A)] และวงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ชนิดซี (C –weighted) มีหน่วยเป็นเดซิเบลซี [dB(C)] และสามารถแสดงผลจากการทำนายเป็นค่าระดับเสียงที่แต่ละจุดบนเส้นเสียง (Contour) เป็นต้น (Power Acoustics, 2002)

$$L_p (\text{downwind}) = L_{w \text{ point}} + D - A \quad (2.7)$$

เมื่อ	$L_{w \text{ point}}$	คือ กำลังเสียงของแหล่งกำเนิด
	D	คือ Source Directivity ซึ่งหมายถึง ค่าปรับแก้ทิศทางของแหล่งกำเนิด
	A	คือ ค่าการลดทอนของเสียงจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
เมื่อ	A	$= A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{ground}} + A_{\text{screen}} + A_{\text{misc}}$
	A_{div}	= การลดทอนของเสียงเนื่องจากการแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิดตามระยะทาง
	A_{atm}	= การลดทอนของเสียงเนื่องจากการดูดกลืนของอากาศ
	A_{ground}	= การลดทอนของเสียงเนื่องจากการดูดกลืนของพื้น
	A_{screen}	= การลดทอนของเสียงเนื่องจากการกำบังกั้นเสียง
	A_{misc}	= การลดทอนของเสียงเนื่องจากการดูดกลืนปัจจัยอื่นๆ

2.12 ปัจจัยการลดทอนที่มีผลต่อการแพร่กระจายเสียงในอากาศ ตามแบบจำลอง SPM9613

2.12.1 ค่าปรับแก้ทิศทางของแหล่งกำเนิด (Source Directivity: D) เนื่องจากการแพร่กระจายเสียงจากแหล่งกำเนิดจะเกิดขึ้นในทุกทิศทาง ดังนั้นค่าดัชนีการลดทอนของเสียงเนื่องจากทิศทางของแหล่งกำเนิด จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดที่สนใจ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า Directivity Index

Source Location	Directivity Factor	Directivity Index, [dB]	
Free Field	1	0	
On a flat plane	2	3	
At a junction of two planes	4	6	
At a junction of three planes	8	9	

ที่มา : กฤติกา, 2543

2.12.2 ค่าการลดทอนเสียงเนื่องจากการแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิดตามระยะทาง (Divergence) คือ เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสามารถแผ่คลื่นเสียงได้รอบทิศทาง ค่าการลดทอนที่ได้จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดถึงผู้รับ

โดย
$$A_{div} = 20 \log_{10} (d) + 11 \quad (2.8)$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดถึงผู้รับ [เมตร, m]

2.12.3 การดูดกลืนเสียงของอากาศ (Atmospheric Absorption; A_{atm}) เมื่อคลื่นเสียงแพร่ผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ จะเกิดการดูดกลืนพลังงาน ซึ่งจะสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดถึงผู้รับ โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเสียงเนื่องจากการดูดกลืนของอากาศ (α) มีหน่วยเป็น เดซิเบลต่อกิโลเมตร (dB/km) ซึ่งค่า α ที่ความถี่เสียงต่างๆ กันจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และ เปรอเซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ ดังตารางที่ 2.4 ตัวอย่างเช่น เมื่อความถี่ 500 เฮิรตซ์ อุณหภูมิ 30°C และค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% ค่า α ในตารางที่ 2.4 เท่ากับ 3.6 dB/km เมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับเท่ากับ 100 เมตร ค่า A_{atm} เท่ากับ 0.36 dB ถ้าระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับเป็น 10,000 เมตร ค่า A_{atm} เท่ากับ 36 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอากาศจะดูดกลืนเสียงได้ดีเมื่อระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดถึงผู้รับมีค่ามากกว่า 200 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถี่เสียง (Kragh, Andersen and Jakobsen, 1982)

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การลดทอนเสียงเนื่องจากการดูดกลืนของอากาศ (α) dB/km

Temperature	Relative humidity, %	Frequency, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
30 °C (86 °F)	10	0.96	1.8	3.4	8.7	29	96
	20	0.73	1.9	3.4	6.0	15	47
	30	0.54	1.7	3.7	6.2	12	33
	50	0.35	1.3	3.6	7.0	12	25
	70	0.26	0.96	3.1	7.4	13	23
	90	0.20	0.78	2.7	7.3	14	24
20 °C (68 °F)	10	0.78	1.6	4.3	14	45	109
	20	0.71	1.4	2.6	6.5	22	74
	30	0.62	1.4	2.5	5.0	14	49
	50	0.45	1.3	2.7	4.7	9.9	29
	70	0.34	1.1	2.8	5.0	9.0	23
	90	0.27	0.97	2.7	5.3	9.1	20
10 °C (50 °F)	10	0.79	2.3	7.5	22	42	57
	20	0.58	1.2	3.3	11	36	92
	30	0.55	1.1	2.3	6.8	24	77
	50	0.49	1.1	1.9	4.3	13	47
	70	0.41	1.0	1.9	3.7	9.7	33
	90	0.35	1.0	2.0	3.5	8.1	26
0 °C (32 °F)	10	1.3	4.0	9.3	14	17	19
	20	0.61	1.9	6.2	18	35	47
	30	0.47	1.2	3.7	13	36	69
	50	0.41	0.82	2.1	6.8	24	71
	70	0.39	0.76	1.6	4.6	16	56
	90	0.38	0.76	1.5	3.7	12	43

ที่มา: ISO 9613, 1996

2.12.4 การดูดกลืนเสียงของพื้น (Ground Effect)

การดูดกลืนเสียงของพื้นดินถูกกำหนดให้มีทั้งที่แหล่งกำเนิด ทางผ่าน และผู้รับ ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่เสียง โดยความสามารถของการดูดกลืนเสียงของวัสดุใดๆ จะอธิบายได้จากสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Absorption coefficient, $\{G_s, G_m, G_r\}$) โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุ ถูกกำหนดให้มีความระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุแต่ละชนิด

Material	Absorption Coefficient (α)						
	Octave Band Center Frequency (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Brick							
Unglazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
Unglazed, painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00
Carpet							
1/8-in. pile height	0.05	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.15
1/4-in. pile height	0.05	0.10	0.15	0.30	0.50	0.55	0.25
3/16-in. pile and pad	0.05	0.10	0.10	0.30	0.40	0.50	0.25
5/16-in. pile and pad	0.05	0.15	0.13	0.40	0.50	0.60	0.30
Concrete block							
Painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
Coarse	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
Fabrics							
Light velour, 10 oz/yd ² , hung straight at wall	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
Medium velour, 14 oz/yd ² , draped to half area	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60	0.55
Heavy velour, 18 oz/yd ² , draped to half area	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
Felt, cotton	0.02	0.06	0.17	0.37	0.57	0.63	0.30
Floors							
Concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
Linoleum, asphalt, rubber, or cork tile on concrete	0.02	0.03	0.33	0.03	0.03	0.02	0.05
Wood	0.15	0.11	0.01	0.07	0.06	0.07	0.10
Wood parquet in asphalt on concrete	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.05
Glass							
1/4-in. sealed, large panes	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.05
24-oz operable windows, closed	0.10	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05
Gypsum board, 1/2-in., nailed to 2 x 4 studs, 16-in. off center, painted	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05
Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
Open plan office panel, 2 in., fiber with fabric, 1.9 lb/ft ²	0.25	0.47	0.71	0.79	0.81	0.78	0.70
Plaster, gypsum, or lime							
Rough finish or lath	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
Smooth finish	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
Hard plywood paneling, 1/4-in., thick, wood frame	0.58	0.22	0.07	0.04	0.03	0.07	0.10
Quilted noise barrier, 3/4 in.	0.05	0.46	0.92	0.83	0.58	0.27	0.70
Resonator block, 8 in., painted	0.20	0.95	0.85	0.49	0.53	0.50	0.70
Spray-on cellulose fiber, 1 in.	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76	0.75
Water surface, no waves	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00
Wood roof decking, longue-and-groove, cedar	0.24	0.19	0.14	0.08	0.13	0.10	0.15

*Note that the values listed are typical of the general types of materials. For specific applications, it is suggested that on use values associated with the specific materials employed.

ที่มา: Harris, 1991

จากค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุที่ต่างกัน พบว่าที่ความถี่สูง (ความยาวคลื่นน้อย) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงโดยทั่วไปจะมีค่ามาก หรืออีกนัยหนึ่งคือ เสียงที่มีความถี่สูงจะ

ดูดกลืนได้ดีกว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถหาค่าการดูดกลืนเสียงของพื้นดินทั้งของแหล่งกำเนิดเสียง ทางผ่านของเสียง และผู้รับเสียง ได้ดังตารางที่ 2.6 จากการศึกษาพบว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 250 เฮิรตซ์ จะถูกดูดกลืนได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับความถี่ที่สูงกว่า (Harris, 1991)

ตารางที่ 2.6 การลดทอนเสียงเนื่องจากการดูดกลืนเสียงของพื้นดิน (A_{ground})

Octave Band Center Frequency (Hz)	Source or Receiver Attenuation A_s or A_r	Mid Ground Attenuation ; A_m
16	-1.5	-3q
31.5	-1.5	-3q
63	-1.5	-3q
125	$-1.5 + \{G_s \text{ or } G_r\}.a' \text{ (h)}$	$-3q.(1-G_m)$
250	$-1.5 + \{G_s \text{ or } G_r\}.b' \text{ (h)}$	$-3q.(1-G_m)$
500	$-1.5 + \{G_s \text{ or } G_r\}.c' \text{ (h)}$	$-3q.(1-G_m)$
1000	$-1.5 + \{G_s \text{ or } G_r\}.d' \text{ (h)}$	$-3q.(1-G_m)$
2000	$-1.5(1-\{G_s \text{ or } G_r\})$	$-3q.(1-G_m)$
4000	$-1.5(1-\{G_s \text{ or } G_r\})$	$-3q.(1-G_m)$
8000	$-1.5(1-\{G_s \text{ or } G_r\})$	$-3q.(1-G_m)$

ที่มา: Power Acoustics, 2002

$$\text{ดังนั้น} \quad A_{\text{ground}} = A_s + A_r + A_m \quad (2.9)$$

เมื่อ A_s คือ ค่าการลดทอนเสียงจากการดูดกลืนเสียงของพื้นดินที่แหล่งกำเนิด

A_r คือ ค่าการลดทอนเสียงจากการดูดกลืนเสียงของพื้นดินที่ผู้รับ

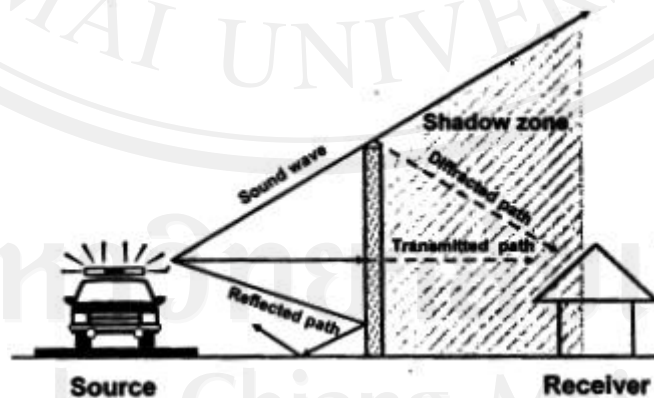
A_m คือ ค่าการลดทอนเสียงจากการดูดกลืนเสียงของพื้นดินที่ทางผ่านเสียง

แบบจำลอง SPM9613 ได้กำหนดให้ค่าการลดทอนเสียงในเทอมการดูดกลืนเสียงของพื้นดิน มีค่าเท่ากับ 20 dB เมื่อ A_{ground} เป็นแบบ Practical Limit และมีค่าเท่ากับ 10 dB เมื่อ A_{ground}

เป็นแบบ Conservative Limit

2.12.5 กำแพงกันเสียง (Sound Barrier)

การใช้กำแพงกันเสียงเป็นการควบคุมที่ทางผ่านของเสียง โดยจะติดตั้งระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับเสียง เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านอากาศไปกระทบกับกำแพงกันเสียงหรือวัตถุใดๆ จะเกิดการสะท้อน การส่งผ่าน และการดูดซับเสียงของวัตถุที่ใช้ทำกำแพงกันเสียง แต่ที่ขอบของกำแพงกันเสียงจะเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนของเสียง ซึ่งการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านขอบของกำแพงกันเสียงจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของคลื่น กรณีที่กำแพงกันเสียงมีความยาวและความหนาจำกัดจะเกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงที่ขอบด้านบน ด้านซ้าย และด้านขวาของกำแพงกันเสียง เสมือนมีแหล่งกำเนิดใหม่ที่ไม่ใช่แหล่งกำเนิดเดิมเกิดที่ขอบของกำแพงกันเสียงนั้น แล้วแผ่คลื่นเสียงที่มีทิศทางเปลี่ยนไป ทำให้ด้านหลังของกำแพงกันเสียงที่อยู่ใกล้ๆ กับกำแพงกันเสียงจะเกิดบริเวณที่เรียกว่า Shadow Zone ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นบริเวณที่ระดับเสียงลดลง เพราะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางไปทำให้คลื่นไม่ตกสู่บริเวณนี้ทั้งหมด สำหรับผู้สังเกตที่ระยะห่างออกไปในสนามของคลื่นเสียงที่เลี้ยวเบน จะปรากฏว่ามีการแผ่จากแหล่งกำเนิดเสียงใหม่ที่ขอบบนสุดของกำแพงกันเสียง แต่ในกรณีกำแพงกันเสียงยาวมากเมื่อเทียบกับความสูง ผลการเลี้ยวเบนของคลื่นจะนำมาพิจารณาเฉพาะการเลี้ยวเบนที่ขอบบนสุดของกำแพง หรือด้านแนวตั้งเท่านั้น ผลของการเลี้ยวเบนจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเรื่องการออกแบบกำแพงกันเสียง โดยกำแพงกันเสียงแบบเดี่ยวสามารถลดระดับมากที่สุดได้ไม่เกิน 20 เดซิเบล สำหรับกำแพงกันเสียงแบบหลายชั้นสามารถลดระดับเสียงมากที่สุดไม่เกิน 25 เดซิเบล (เอี่ยมพร, 2543)



รูปที่ 2.12 ลักษณะการเดินทางและถ่ายทอดพลังงานเสียงที่กำแพงกันเสียง

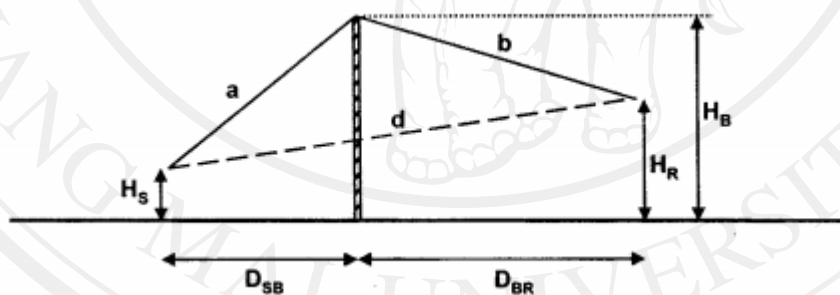
ค่าการลดทอนเสียงเนื่องจากกำแพงกั้นเสียง (A_{screen}) หรือจากการเลี้ยวเบนของเสียง สามารถคำนวณได้จากวิธีของ Maekawa (เอี่ยมพร, 2543) โดยสมมุติฐานที่ว่า

- กำแพงจะต้องยาวอย่างน้อย 8 เท่า ของระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับเสียง
- กำแพงกั้นเสียงจะต้องไม่มีช่องว่างใดๆ
- กำแพงต้องตั้งตรง ทำมุมฉากกับเส้นที่ลากผ่านระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับเสียง

การคำนวณระดับเสียงที่ลดลงจากกั้นเสียงดังสมการที่ 2.10 และ 2.11 โดยคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างทางผ่านของเสียงเหนือกำแพงกับที่ผ่านกำแพงโดยตรง (δ) ได้จากทฤษฎีของปีทาโกรัส ในการคำนวณเส้นทางการเลี้ยวเบนของเสียง ดังรูปที่ 2.13 โดย δ เป็นผลลัพธ์ทางเวกเตอร์ ที่เกิดจากเส้นทางการส่งผ่าน (d) ลบเส้นทางการเลี้ยวเบน (a และ b) ซึ่งผลลัพธ์ คือ เวกเตอร์สุทธิของการลดระดับเสียง ที่เกิดการเลี้ยวเบนเพียงอย่างเดียว ในกรณีกำแพงหนา ดังรูปที่ 2.14 ความหนาของกำแพง (T) จะถูกนำมารวมเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางการเลี้ยวเบนของเสียงด้วย

กรณีกำแพงกั้นเสียงแบบบาง

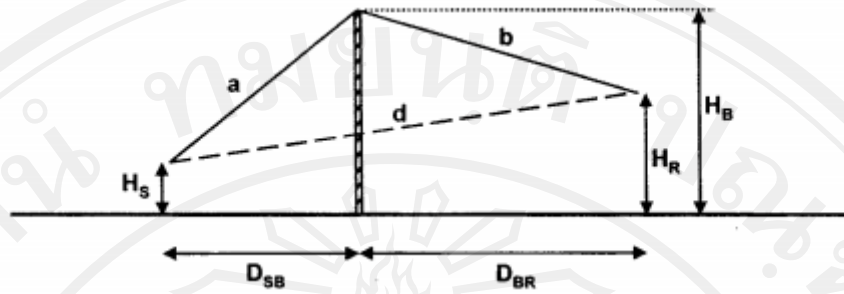
$$\delta = a + b - d \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.13 ลักษณะกำแพงกั้นเสียงแบบบาง

กรณีกำแพงกั้นเสียงแบบหนา

$$\delta = a + b - d \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.14 ลักษณะกำแพงกั้นเสียงแบบหนา

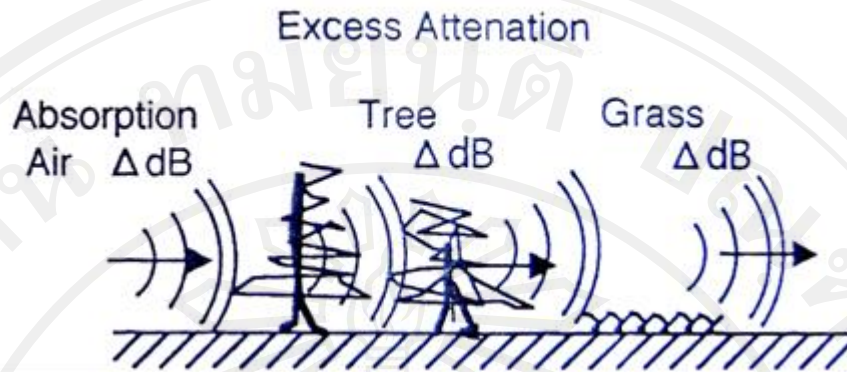
เมื่อ	H_S	= ความสูงของแหล่งกำเนิดเสียง (เมตร)
	H_R	= ความสูงของผู้รับเสียง (เมตร)
	H_B	= ความสูงของกำแพง (เมตร)
	D_{SB}	= ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดถึงกำแพง (เมตร)
	D_{SR}	= ระยะทางระหว่างผู้รับเสียงถึงกำแพง (เมตร)
	T	= ความหนาของกำแพง (เมตร)

2.12.6 ปัจจัยการลดทอนเสียงด้านอื่นๆ (Miscellaneous Attenuation)

ในกรณีของแบบจำลอง SPM9613 จะพิจารณาปัจจัยที่เกิดจาก Industrial sites และ foliage เท่านั้น คือ เมื่อการแพร่กระจายเสียงจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับ มีพื้นที่อุตสาหกรรมหรือพื้นที่ป่าไม้กั้นอยู่ ค่าการลดทอนเสียงจาก industrial sites และ foliage ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.15 โดยจะพิจารณาเฉพาะค่าที่สามารถผ่านไปยังผู้รับได้ และจากการคำนวณพบว่าระดับความสูงที่เสียงสามารถแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับเท่ากับ 5,000 เมตร โดยสามารถหาค่า A_{misc} ดังสมการที่ 2.12

$$A_{misc} = A_i + A_f \quad (2.12)$$

เมื่อ	A_i	คือ ค่าการลดทอนเนื่องจากพื้นที่อุตสาหกรรมโดยขึ้นอยู่กับระยะห่างและค่า Octave band ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ A_i มีค่ามากที่สุดไม่เกิน 10 เดซิเบล
	A_f	คือ ค่าการลดทอนเนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ขึ้นอยู่กับระยะห่างและค่า Octave band ซึ่งในที่นี้กำหนดระยะห่างของพื้นที่น้อยกว่า 200 เมตร

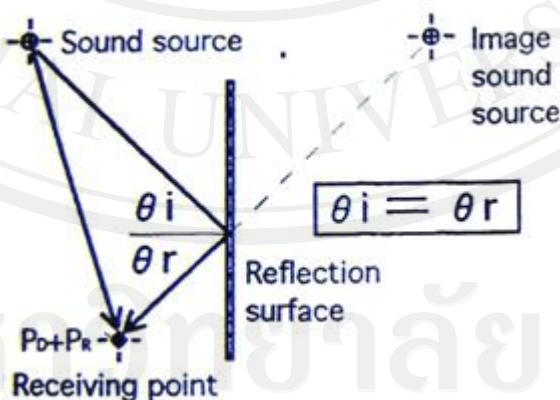


รูปที่ 2.15 ปัจจัยด้านอื่นที่มีผลต่อการลดทอนเสียง

2.12.7 การสะท้อนเสียง

หากคลื่นเสียงกระทบกับสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อน แสดงดังรูป 2.16 เสียงที่สะท้อนออกจากสิ่งกีดขวางเกิดขึ้นเสมือนว่ามีแหล่งกำเนิดเสียงอีกแหล่งหนึ่ง (Imaginary source) ที่อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามและมีระยะจากสิ่งกีดขวางเท่ากับแหล่งกำเนิดเสียงจริง (Source) การสะท้อนของเสียงจะเกิดได้ดีถ้า

- ก. สิ่งกีดขวางนั้นมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นเสียงที่ตกกระทบ
- ข. สิ่งกีดขวางนั้นมีผิวเรียบ และไม่มีคุณสมบัติการดูดกลืนเสียง



รูปที่ 2.16 การสะท้อนของคลื่นเสียงเมื่อตกกระทบกับสิ่งกีดขวาง

แบบจำลอง SPM9613 ถูกจำกัดให้เกิดการสะท้อนขึ้นเพียงครั้งเดียว เพื่อเป็นการเพิ่มความเร็วในการคำนวณและความถูกต้องในการคำนวณ อีกทั้งแหล่งกำเนิดเสียงภายนอกส่วนใหญ่

จะไม่เกิดการสะท้อนในสิ่งแวดล้อม โดยปกติถ้าแหล่งกำเนิดเสียงหรือผู้รับอยู่ติดกับกำแพง การสะท้อนเสียงที่เกิดขึ้นมักจะเป็นการสะท้อนเพียงครั้งเดียว ซึ่งหลังจากเกิดการสะท้อนในครั้งแรกแล้วจะสูญเสียพลังงานรวมทั้งระยะทางที่สะท้อนกลับ ซึ่งจะทำให้ค่าการสะท้อนในครั้งต่อไปพลังงานจะลดลง ดังสมการที่ 2.13

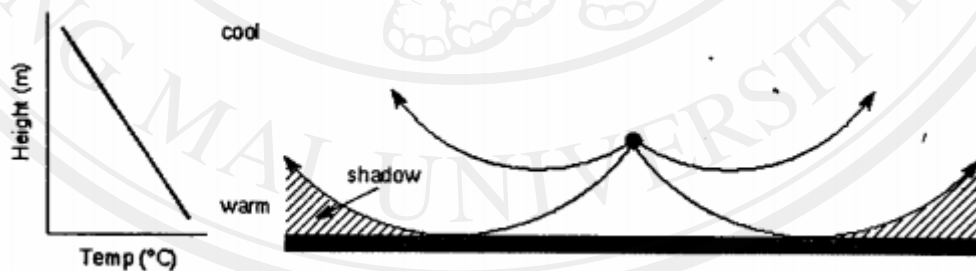
$$\text{โดย } L_{w_{\text{pointimage}}} = L_{w_{\text{point}}} + 10\log_{10}(\rho) \quad (2.13)$$

เมื่อ ρ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน

$\rho = 1$ กรณีคลื่นเสียงกระทบพื้นผิวที่เป็นของแข็งหรือมีพื้นผิวเรียบ (Kragh, Andersen and Jakobsen, 1982)

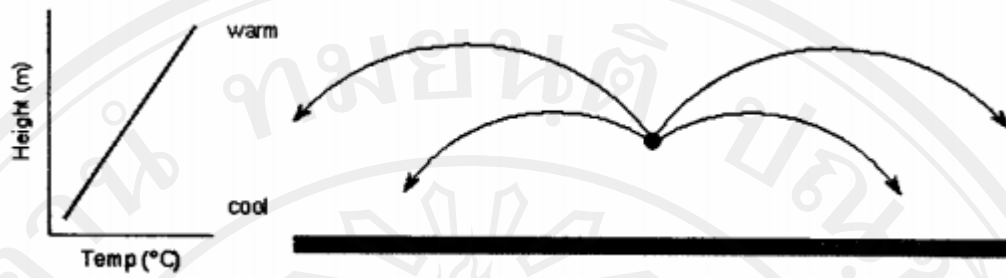
2.12.8 ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Correction: C_{meteo})

คลื่นเสียงสามารถหักเหออกจากทิศทางเคลื่อนที่โดยอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วลมในบรรยากาศ ในกรณีที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง ดังรูปที่ 2.17 มักเกิดเมื่อสภาวะปกติระหว่างวัน อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของเสียงจะไม่คงที่อีกต่อไป คลื่นเสียงที่อยู่ใกล้ผิวโลกซึ่งอุณหภูมิสูงกว่า จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าคลื่นเสียงที่อยู่ในบริเวณเหนือพื้นโลกซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่า คลื่นเสียงจึงเคลื่อนที่หักเหออกด้านบน และทำให้เกิดพื้นที่อับเสียงใกล้พื้นผิวโลก ทำให้คนที่อยู่บริเวณอับเสียงนี้ ไม่ได้ยินเสียง ถึงแม้ว่าคนเหล่านั้นอาจมองเห็นแหล่งกำเนิดเสียงก็ตาม



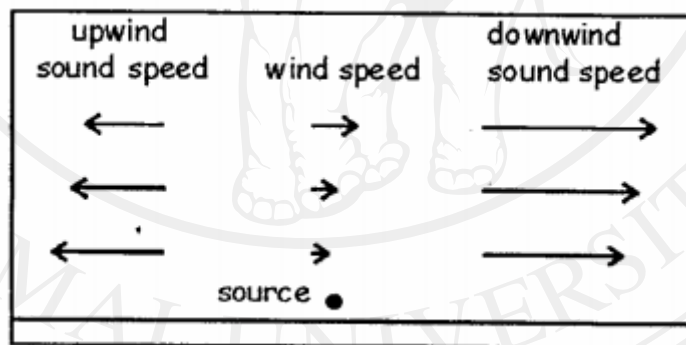
รูปที่ 2.17 การหักเหกรณีที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง

ในทางตรงกันข้ามในสภาวะบรรยากาศที่เกิดอุณหภูมิผกผัน (Temperature inversion) ซึ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ดังรูปที่ 2.18 ลักษณะเช่นนี้มักเกิดขึ้นตอนกลางคืน คลื่นเสียงที่อยู่ใกล้ผิวโลกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าคลื่นเสียงที่อยู่ในบริเวณเหนือพื้นโลกซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า คลื่นเสียงจึงเคลื่อนที่หักเหลงสู่พื้นผิวโลก

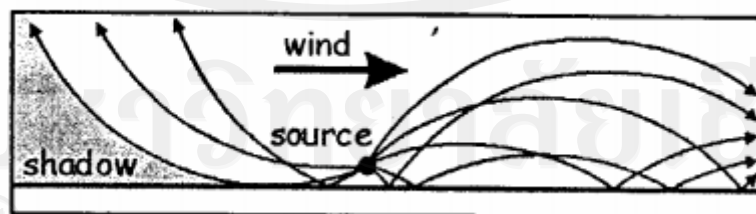


รูปที่ 2.18 การหักเหของคลื่นที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง

เมื่อคำนึงถึงความเร็วลมในบรรยากาศที่ทำให้เกิดการหักเหของคลื่นเสียงได้ในสภาวะอากาศทั่วไป ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูงจากพื้นโลก ดังรูปที่ 2.19 ซึ่งจะส่งผลให้คลื่นเสียงที่เคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปในทิศทางด้านลมโค้งตัวขึ้นสู่บรรยากาศ (Upwind sound speed) ทำให้เกิดพื้นที่อับเสียงบริเวณพื้นผิวโลก ส่วนในทิศทางตามลมจะไม่เกิดพื้นที่อับเสียงเนื่องจากคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางตามลมจะโค้งตัวลงสู่พื้นโลก (Downwind sound speed) (Russell, 2006) ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 กรณิความเร็วลมเพิ่มขึ้นตามความสูง



รูปที่ 2.20 การหักเหของคลื่นเสียงเนื่องจากอิทธิพลของความเร็วลมในบรรยากาศ

การแพร่กระจายเสียงตามลมจะพิจารณาค่าระดับเสียงภายใต้สภาพอุตุนิยมวิทยาที่เหมาะสมตาม ISO 9613-2:1996 ดังนี้

ก. ทิศทางลมจากจุดศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดถึงจุดศูนย์กลางพื้นที่ผู้รับ ทำมุมภายใน $\pm 45^\circ$

ข. ค่าความเร็วลมอยู่ระหว่าง 1-5 เมตรต่อวินาที โดยวัดที่ความสูงระหว่าง 3-11 เมตรเหนือพื้นดิน

โดย $C_{meteo} = 0$, ที่ $dp \leq 10(hs + hr)$ (2.14)

$C_{meteo} = Co(1 - 10(hs + hr)/dp)$, ที่ $dp > 10(hs + hr)$ (2.15)

เมื่อ Co คือ ร้อยละการแพร่กระจายของเสียงส่วนใหญ่ในช่วงเวลาที่พิจารณาจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับ

dp คือ ระยะทางในแนวราบจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับ (เมตร)

hs คือ ความสูงของแหล่งกำเนิดเสียงเหนือพื้นดิน (เมตร)

hr คือ ความสูงของผู้รับเหนือพื้นดิน (เมตร)

จากปัจจัยการลดทอนที่มีผลต่อการแพร่กระจายเสียงในอากาศของจำลอง SPM9613 สามารถสรุปเป็นสมมติฐานของแบบจำลอง SPM9613 (Model Assumption) ได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สมมติฐานของแบบจำลอง SPM9613

ปัจจัยในการพิจารณา	สมมติฐานของแบบจำลอง SPM9613
Sound Source	- Point source - 3-D source - Line source
Source Directivity	- แหล่งกำเนิดสามารถแผ่คลื่นเสียงได้ในทุกทิศทาง
Divergence	- ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับผู้รับเสียง
Atmospheric Absorption	- อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) - เปรอ์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์
Ground Effect	- Conservative Limit เท่ากับ 10 เดซิเบล - Practical Limit เท่ากับ 20 เดซิเบล

ตารางที่ 2.7 สมมุติฐานของแบบจำลอง SPM9613 (ต่อ)

ปัจจัยในการพิจารณา	สมมุติฐานของแบบจำลอง SPM9613
Screening (Barrier)	- กำแพงกั้นเสียงแบบเดี่ยว - กำแพงกั้นเสียงแบบหลายชั้น
Miscellaneous Attenuation	- ป่าไม้ที่มีความหนาตั้งแต่ 200 เมตรขึ้นไป - พื้นที่อุตสาหกรรม
Reflections	- การสะท้อนจะเกิดขึ้นได้เพียงครั้งเดียว
Meteorological Correction	- ไม่มีการคำนวณในสมการของแบบจำลองแต่สามารถคำนวณค่าได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ใน ISO9613-2:1996

ที่มา: Power Acoustics, 2002

2.13 อิทธิพลของเสียงต่อบุคคล

Noise มีคำนิยามโดยทั่วไป คือ “เสียงที่ไม่ต้องการ” ก่อให้เกิดความรำคาญหรือเกิดอันตรายต่อระบบการได้ยินของมนุษย์ โดยสามารถสามารถจำแนกประเภทของเสียงรบกวนออกตามลักษณะของเสียงได้ 5 ประเภท ดังนี้

2.13.1 เสียงรบกวนแบบต่อเนื่อง (Continuous noise) เกิดจากเครื่องจักรที่เดินเครื่องแบบต่อเนื่องโดยไม่หยุดชะงัก มีการสั่นสะเทือนแบบเดียวกันตลอด เช่น เครื่องเป่าลม ปัม ระดับเสียงจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5 เดซิเบล ใน 1 วินาที

2.13.2 เสียงรบกวนแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent noise) เกิดเป็นช่วงๆ ซึ่งจะเกิดจากเครื่องจักรที่ทำงานเป็นรอบหรือคาบหรือกรณีที่รถยนต์หรือเครื่องบินผ่านไปทีละคันทีละลำ ระดับเสียงรบกวนจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว

2.13.3 เสียงรบกวนแบบช่วงสั้นๆ (Impulsive noise) คือ เสียงรบกวนจากการกระทบหรือระเบิด มีระยะเวลาเกิดขึ้นน้อยกว่า 0.5 วินาที และระดับความดังจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างน้อย 40 เดซิเบล เช่น เสียงรบกวนที่เกิดจากการตอกเสาเข็ม เสียงปืน เป็นต้น ลักษณะเสียงที่เกิดแบบช่วงสั้นทำให้เกิดความรำคาญได้มากแม้ว่าจะวัดระดับความดังของเสียงนั้นด้วยเครื่องวัดแล้วได้ค่าความดังเสียงต่ำก็ตาม

2.13.4 เสียงรบกวนที่มีความถี่เสียงสูง - ต่ำ (Tones in noise) เสียงสูงต่ำที่ทำให้เกิดความรำคาญ อาจเกิดจากเครื่องจักรที่มีชิ้นส่วนหมุน เช่น มอเตอร์ เฟือง พัดลม และปั๊ม การกระทำที่ซ้ำๆ

หรือการไม่สมดุลของชิ้นส่วนเครื่องจักรจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของพื้นผิว และเกิดเสียงสูงต่ำได้รวมทั้งเสียงจากการไหลเป็นช่วงๆของของเหลวหรือก๊าซ เช่น กระบวนการจุกระเปิด หรือการไหลในท่อแคบๆ

2.13.5 เสียงรบกวนความถี่ต่ำ (Low frequency noise) เสียงรบกวนความถี่ต่ำมีพลังงานเสียงอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 10-200 เฮิรต โดยแหล่งกำเนิดจะมีลักษณะเป็นเครื่องจักรหรือเครื่องชนิดดีเซลขนาดใหญ่ เช่น รถไฟ เรือใหญ่ และ โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ เป็นต้น เนื่องจากเสียงรบกวนลักษณะนี้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกล การกั้นเสียงจึงทำได้ยาก รวมทั้งเกิดการแพร่ของเสียงในทุกทิศทางและแผ่เป็นวงกว้าง ทำให้เสียงรบกวนความถี่ต่ำก่อให้เกิดความรำคาญได้มากกว่า (DEFRA, 2001)

2.14 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรำคาญเสียง

ในการดำเนินชีวิตประจำวัน เราจะได้ยินเสียงต่างๆ มากมาย ซึ่งมีความหลากหลายทั้งความถี่และระดับความดันเสียง อันตรรกของเสียงที่มีต่อระบบการได้ยินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 5 ประการ คือ

2.14.1 ความเข้มของเสียง (Intensity) เสียงที่มีความเข้มสูงคือเสียงที่ดังมาก มีผลให้มีการทำลายประสาทหูได้มาก

2.14.2 ความถี่ของเสียง (Frequency) เสียงที่มีความถี่สูงคือเสียงแหลม จะทำลายประสาทหูได้มากกว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำ

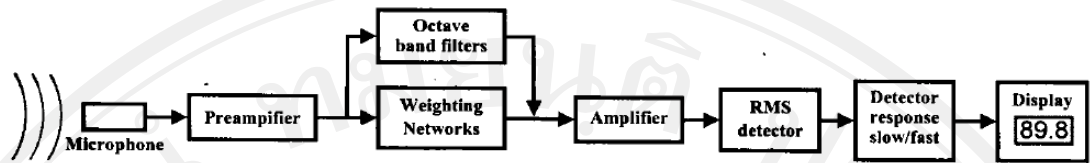
2.14.3 ระยะเวลาที่สัมผัสเสียง (Duration) การที่เสียงจะทำลายประสาทหูได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานเสียงทั้งหมดที่เข้าสู่หูชั้นใน ดังนั้นถ้ายังสัมผัสกับเสียงเป็นเวลานานประสาทหูก็ยิ่งจะเสื่อมมาก

2.14.4 ลักษณะของเสียง (Nature of sound) เสียงที่มากกระทบหู หากเป็นเสียงดังต่อเนื่องจะทำลายประสาทหูได้น้อยกว่าเสียงที่มากกระทบไม่เป็นจังหวะ ทั้งนี้เพราะหูกกลไกในการต้านทานเสียงดัง โดยแก้วหูจะปรับตัวให้มีความหนาขึ้น เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเสียงที่ค่อยๆ ดังอย่างต่อเนื่อง แต่กลไกดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นได้ไม่ทันหากสัมผัสที่ดังทันที

2.14.5 ความไวต่อการเสื่อมของหู (Individual susceptibility) เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลซึ่งมีความไวต่อการเสื่อมของหูไม่เหมือนกัน บางคนเสื่อมง่าย บางคนเสื่อมยาก

2.15 ประเภทของเครื่องมือตรวจวัดระดับเสียง

เครื่องวัดเสียง คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดระดับเสียงโดยเลียนแบบการได้ยินของมนุษย์ ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องวัดเสียงมี 3 ส่วน คือ ไมโครโฟน (Microphone) ส่วนจัดการ (Processing section) และส่วนแสดงผล (Read out unit) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 กระบวนการทำงานของเครื่องวัดเสียง

โดยเครื่องมือที่นำมาใช้ตรวจวัดระดับเสียงในปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ

2.15.1 เครื่องมือที่สามารถวัดระดับเสียง และความถี่เสียงได้ (Frequency Domain) ในการวัดค่าระดับเสียงเครื่องจะเก็บข้อมูลในแต่ละช่วงความถี่ และนำมาเฉลี่ยรวมแบบสเปกตรัม ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาค่าระดับเสียงจะไม่คงที่แปรตามความถี่ และแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละชนิดจะมีช่วงของความถี่แตกต่างกันออกไป ซึ่งวงจรถ่วงน้ำหนักความถี่จะทำหน้าที่ในการกรองความถี่ตามวัตถุประสงค์ที่ผู้ตรวจวัดต้องการ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของวงจรถ่วงน้ำหนัก แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

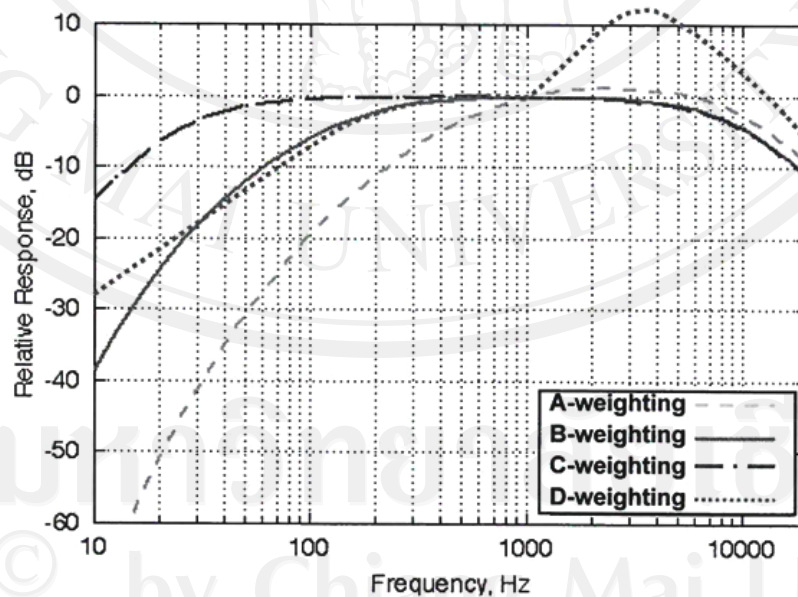
2.15.1.1 วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ชนิด A (A-weighting network)

2.15.1.2 วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ชนิด B (B-weighting network)

2.15.1.3 วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ชนิด C (C-weighting network)

2.15.1.4 วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ชนิด D (D-weighting network)

โดยลักษณะของวงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ทั้ง 4 ชนิด ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ A B C และ D

2.15.2 เครื่องมือที่วัดได้แต่ระดับเสียงไม่สามารถแยกความถี่ (Time Domain) ค่าระดับเสียงที่เครื่องวัดได้เป็นการแปรตามระยะเวลาที่ต้องการตรวจวัด (Fluctuation with time) (ชนาพันธ์, 2554) แบ่งได้ 4 แบบ คือ

2.15.2.1 แบบ FAST มีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 125 มิลลิวินาที สำหรับสัญญาณเสียงที่เพิ่มขึ้น มีประโยชน์เมื่อตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงอย่างรวดเร็ว

2.15.2.2 แบบ SLOW มีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 1,000 มิลลิวินาที สำหรับสัญญาณเสียงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นมีประโยชน์เมื่อตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ยที่ค่อนข้างสม่ำเสมอหรือเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ

2.15.2.3 แบบ IMPULSE มีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 35 มิลลิวินาที สำหรับสัญญาณเสียงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและ 1,500 มิลลิวินาที สำหรับสัญญาณเสียงที่ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นมีประโยชน์เมื่อตรวจวัดระดับเสียงที่เกิดขึ้นสั้นๆ

2.15.2.4 แบบ Peak การตอบสนองต่อขีดสูงสุด ที่ใช้ในการวัดระดับความดันเสียงที่ยอดสัมบูรณ์ (Absolute Peak) มีประโยชน์ในการประเมินค่าการสูญเสียการได้ยินของผู้ปฏิบัติงานเมื่อเกิดสัญญาณระดับเสียงในช่วงสั้นๆ (กฤติกา, 2549)

2.16 มาตรฐานเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดระดับเสียง

ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดระดับเสียงจะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61672-1: Sound Level Meters–Part 1: Specification ซึ่งจะกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือไว้ 4 ระดับ (type or class) คือ

Type 0 (Class 0) เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูงมาก มีการเปลี่ยนแปลงต่อการตอบสนองต่อความถี่ และการตอบสนองต่อทิศทางน้อยมากใช้เป็นอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

Type 1 (Class 1) เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำในการวัดเสียงรบกวน

Type 2 (Class 2) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวัตถุประสงค์ทั่วไป ในสถานะที่ไม่เข้มงวดนักต่อความแม่นยำ

Type 3 (Class 3) เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำน้อยกว่าชนิดอื่นๆ แต่ใช้งานง่ายที่สุด ซึ่งมักนำมาใช้ในการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น

2.17 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lertsawat (1996) ศึกษาการแพร่กระจายของเสียงภายนอกอาคารภายใต้มาตรฐาน ISO 9613-2 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าระดับเสียงจากโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส เพื่ออธิบายความไม่แน่นอนของแบบจำลอง โดยตรวจวัดระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level,

SPL) ที่อาคารแหล่งกำเนิดเสียงหลัก และห่อหุ้มเย็น ในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งจากการตรวจวัดพบว่าค่าระดับเสียงที่อาคารแหล่งกำเนิดเสียงหลัก ส่วนซ้าย ขวา และตรงกลาง มีค่าเท่ากับ 114.7, 112.9 และ 118.2 เดซิเบล ตามลำดับ ในส่วนของห่อหุ้มเย็น มีค่าเท่ากับ 116.7 เดซิเบล ในขณะที่ทำการตรวจวัด SPL ณ จุดรับเสียงใดๆ ภายนอกอาคาร ได้ทำการเก็บค่าข้อมูลของค่าแก้ไขระหว่างทางเดินเสียงในแต่ละเส้นทางเดินเสียงในสิ่งแวดล้อมด้วย ผลจากการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องที่ได้จากการตรวจวัดกับค่าจากแบบจำลอง พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนไป 10 เดซิเบล เป็นผลมาจากจากจุดตรวจวัดเสียงได้รับอิทธิพลของลม ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง และค่าแก้ไขทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง (Directivity) ที่เกิดจากตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิด รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการทำนายโดยแบบจำลอง

Sharma et al., (1997) ทำการศึกษาระดับเสียงที่เกิดจากอุตสาหกรรมถ่านหิน โดยตรวจวัดค่าระดับเสียงของเครื่องจักรแต่ละประเภทที่ใช้ในการทำเหมือง พบว่าค่าระดับเสียงที่ได้มีความสัมพันธ์กับกำลังของเครื่องจักรแต่ละประเภท และจำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งพบว่าค่าระดับเสียงเฉลี่ยของเครื่องจักรจากการทำเหมืองส่วนใหญ่จะมีเท่ากับ 113 ± 3 เดซิเบล

Parzych (2001) ทำการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลกระทบต่อชุมชน ภายใต้มาตรฐาน ISO 9613-1 และ 2 เพื่อนำมาใช้ประเมินผลกระทบด้านเสียงของแหล่งกำเนิดให้เกิดความถูกต้องแม่นยำได้มากขึ้น รวมทั้งยังคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการลดทอนการแพร่กระจายของเสียง ได้แก่ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียง ลักษณะทางเรขาคณิตของแหล่งกำเนิด ทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง การดูดซับเสียงของอากาศ การดูดซับของพื้นดิน กำแพงกั้นเสียง การสะท้อนจากวัตถุผิวขรุขระ และการเดินทางของเสียงที่ไม่ปกติ โดยการศึกษาครั้งนี้ให้ความสำคัญกับปัจจัยดังกล่าวเป็นอย่างมาก จึงทำการศึกษาและนำแบบจำลอง SPM9613 มาใช้ เพื่อประเมินผลกระทบด้านเสียง พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง จากการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลอง SPM9613 โดยเปรียบเทียบระดับเสียงที่ได้จากการทำนายกับระดับเสียงจากการตรวจวัดแหล่งกำเนิดเสียงขนาดใหญ่ของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส พบว่าความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง SPM9613 มีค่าประมาณ ± 3 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 31.5-8000 เฮิรตซ์

Rabeiy et al., (2004) ศึกษาการทำนายระดับเสียงจากการทำเหมืองและโรงโม่ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภายใต้มาตรฐาน ISO 9613 และ VDI และนำค่าระดับเสียงที่ได้จากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง พบว่าค่าความแตกต่างของระดับเสียงสูงสุดที่โรงโม่ 2 แห่ง มีค่าเท่ากับ 10.51 และ 9.31 เดซิเบลเอ ตามลำดับ สำหรับค่าระดับเสียงของแหล่งกำเนิดในพื้นที่เหมือง

ทุกตัวมีค่าเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ 90 เดซิเบลเอ และค่าความแตกต่างของระดับเสียงแหล่งกำเนิด อยู่ระหว่าง 1.11-7.81 เดซิเบลเอ เนื่องจากพื้นที่ที่ตรวจวัดอยู่ใกล้กับถนนที่มีการจราจรโดยตลอด รวมทั้งจุดตรวจวัดบริเวณที่พื้นที่หน้าเหมืองซึ่งมีผู้ปฏิบัติงานอยู่พบว่ามีค่าระดับเสียงเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นโครงการจึงควรมีมาตรการควบคุมเรื่องเสียงอย่างเคร่งครัด

ATCO Noise Management Ltd. (2005) ทำการศึกษาผลกระทบด้านเสียงของโครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม Xcel Energy's High Bridge โดยศึกษาระดับเสียงจากกิจกรรมในปัจจุบัน เพื่อคาดการณ์ระดับเสียงเมื่อมีการขยายโครงการในอนาคต โดยใช้แบบจำลอง SPM9613 ซึ่งในการศึกษานี้ได้ติดตั้งจุดตรวจวัดในพื้นที่ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบทั้งหมด 6 สถานี ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากการตรวจวัดกับผลที่ได้จากแบบจำลอง พบว่าในช่วงความถี่ 31.5 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างระหว่างผลการตรวจวัดกับผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่า 15 เดซิเบล และในช่วงความถี่ 125 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 5 เดซิเบล แต่ในช่วงความถี่สูงไม่พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมาจากแหล่งกำเนิดของโครงการ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อาจมีข้อจำกัดบางประการที่ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง SPM9613

Sensogut & Cinar (2006) ศึกษาการแพร่กระจายของเสียงในเหมืองลิกันไนต์แบบเปิด โดยใช้ Empirical model ซึ่งจากการตรวจวัดค่าระดับเสียงที่แหล่งกำเนิดแต่ละตัว และระดับเสียงที่ผู้รับในระยะทางต่างๆ กันทั้งหมด 95,000 ตัวอย่าง รวมทั้งรวบรวมข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ ณ ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา และนำค่าที่ได้จาก Empirical model มาเปรียบเทียบกับค่าจากการตรวจวัด พบว่า 155 ตัวอย่างจากการตรวจวัดระดับเสียงสูงกว่าค่าที่ได้จาก Empirical model ซึ่งมี 15 ตัวอย่างที่มีค่าระดับเสียงแตกต่างไม่เกิน 4 เดซิเบลเอ ขณะที่ 55 ตัวอย่าง ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง Empirical model ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการแพร่กระจายของเสียงในพื้นที่เหมืองเปิดนั้นมีความสัมพันธ์กับระยะทางของแหล่งกำเนิดถึงผู้รับ และสภาพอุตุนิยมวิทยาของแต่ละพื้นที่

AMEC (2010) ทำการศึกษาด้านการประเมินผลกระทบของเสียงในสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน เพื่อทำนายระดับเสียงโดยรอบพื้นที่ The Enbridge Northern Gateway Project โดยทำการตรวจวัดค่าระดับเสียงและใช้แบบจำลอง SPM9613 ในการทำนายการแพร่กระจายเสียงของแหล่งกำเนิดในพื้นที่โครงการ พบว่า ที่สถานีสูบน้ำที่มีจำนวนปั๊มมากที่สุดมีการแพร่กระจายของเสียงเป็นไปตาม inverse square law จึงทำให้ค่าระดับเสียงที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนลดลง 6 เดซิเบล เมื่อระยะทางจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

SGS Thailand (2011) ทำการศึกษาด้านผลกระทบด้านเสียงของโครงการ Hongsa Mine-Mouth Power Plant ที่ประเทศลาว ซึ่งมีการดำเนินกิจกรรมอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เหมืองแร่ลิกันไนต์ และเหมืองหินปูน เพื่อกำหนดเป็นมาตรการในการป้องกันแก้ไข

ผลกระทบด้านเสียง โดยทำการตรวจวัดระดับเสียงจากกิจกรรมในปัจจุบันทั้งพื้นที่โครงการและพื้นที่ชุมชน โดยรอบ เพื่อคาดการณ์ระดับเสียงเมื่อมีการดำเนิน โครงการในอนาคต โดยใช้แบบจำลอง SPM9613 ผลที่ได้จากแบบจำลอง พบว่า กรณีที่เริ่มมีการเดินเครื่องโรงไฟฟ้า ค่าระดับเสียงสูงสุดที่ชุมชน เท่ากับ 45.8 เดซิเบลเอ กรณีที่มีการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าพร้อมกับการทำเหมืองลิกไนต์ในปี 2016, 2029 และ 2040 ค่าระดับเสียงสูงสุดที่ชุมชน เท่ากับ 53.9, 54.6 และ 52.6 เดซิเบลเอ ตามลำดับ