

การออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง
โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน

อรณัฐ สุริยะพิชิตกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ อรณัฐ สุริยะพิชิตกุล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.ธนัสถา รัตนะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.สายัณห์ ผุดวัฒน์)

.....
(ดร.ธนัสถา รัตนะ)

.....
(ดร.อรรถพล เขยสุภเกตุ)

.....
(ดร.ศรัณย์ ภิบาลชนม์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.ชนัดดา รัตนะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตรวจสอบแก้ไข และวิจารณ์ผลงาน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สาธิต ศุภวัฒน์ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ดร.อรรถพล เชยสุภะ และดร.ศรัณย์ ภีบาลชนม์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2559 ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแด่บิดาและมารดา บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบนานเท่านานนี้

อรณัญญ์ สุริยะพิชิตกุล

57920083: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: การแทรกสอดของเสียง/ คลื่นเสียง/ สมาร์ทโฟน

อรรถวิทย์ สุริยะพิชิตกุล: การออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน (DESIGN AND BUILD OF THE EXPERIMENTAL KIT OF AN ACOUSTIC INTERFEROMETER USING SOUND WAVE FROM APPLICATION ON SMARTPHONE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : ธนัสถา รัตนะ, ประ.ด. 65 หน้า, ปี พ.ศ. 2559.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟนสร้างคลื่นเสียงที่มีความถี่เสียง ในช่วง 1.0 – 3.0 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยชุดทดลองสร้างจากท่ออะคริลิกใสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตรและความยาวของท่ออะคริลิกสามารถปรับเปลี่ยนให้มีความยาวของท่อสูงสุดเป็น 75 เซนติเมตรเพื่อศึกษาค่าผลต่างของทางเดินเสียง (path difference) ระหว่างคลื่นเสียงสองขบวน เมื่อนำชุดทดลองไปทดสอบหาค่าความยาวคลื่นเสียง ที่อุณหภูมิห้อง โดยสังเกตจากการแทรกสอดของเสียงแบบเสริมกันและหักล้างกัน ผ่านโปรแกรม Visual Analyser จากผลการทดลองพบว่า ค่าความยาวคลื่นเสียงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน 3.01%

57920083: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: ACOUSTIC INTERFEROMETER/SOUND WAVE/SMARTPHONE

AURANAT SURIYAPICHITKUL: DESIGN AND BUILD OF THE
EXPERIMENTAL KIT OF AN ACOUSTIC INTERFEROMETER USING SOUND WAVE
FROM APPLICATION ON SMARTPHONE. ADVISORY COMMITTEE: TANATTHA
RATTANA, Ph.D. 65 P. 2016.

The aim of this work was to design and setup the acoustic interferometer.

The application on smartphone was used to generate sound waves in the range of 1.0 – 3.0 kHz.

The experimental kit of an acoustic interferometer was made from acrylic tube with diameters of 2.0 cm and the length of acrylic tube can be adjusted with maximum of 75 cm for the examination the path difference of the two sound waves. For testing the experimental kit, the constructive and destructive interferences were observed by Visual Analyser Program. The wavelength of the sound wave at the room temperature was approximately with sound wavelength from the theory with error less than 3.01%.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
คลื่นเสียง	4
การแทรกสอดของคลื่นเสียง	25
ชุดทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียง.....	28
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3 วิธีดำเนินการวิจัย	30
การออกแบบความยาวท่อที่ใช้ในชุดทดลอง	30
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	32
วิธีดำเนินการทดลอง	35
แอปพลิเคชันและโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	37
4 ผลการวิจัย	38
ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง	
โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน	38
ผลการทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศ	
จากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง	40

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปและอภิปรายผล	49
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	49
ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก	53
ภาคผนวก ข	58
ประวัติย่อของผู้วิจัย	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ.....	8
2-2 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ.....	21
4-1 ความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและ ความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองการแทรกสอดแบบเสริมกัน	43
4-2 ความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและ ความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองการแทรกสอดแบบหักล้างกัน	45
ก-1 ผลการทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอด แบบเสริมกัน	54
ก-2 ผลการทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอด แบบหักล้างกัน	56

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การเกิดเสียงจากแหล่งกำเนิด	4
2-2 การทดลองเพื่อแสดงว่าเสียงไม่อาจผ่านสุญญากาศได้	5
2-3 คลื่นเสียงจากลำโพงเสียงแผ่ผ่านอากาศทำให้โมเลกุลของอากาศมีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไป.....	6
2-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดออกจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงกับตำแหน่งต่างๆบนสปริงขณะที่คลื่นตามยาวผ่าน	13
2-5 คลื่นเสียงขณะเคลื่อนที่ผ่านอากาศ.....	14
2-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับการกระจัดที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง	14
2-7 การเคลื่อนที่เข้าและออกสลับกันของลูกสูบในกระบอกสูบ	15
2-8 แสดงการกระจัดของชั้นประกอบอากาศบริเวณการอัดและการขยายตัวของลำอากาศในกระบอกสูบ	16
2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและความดันที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่ง.....	18
2-10 ชั้นประกอบอากาศ Δx ซึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวาง A	18
2-11 ส่วนประกอบของหู.....	22
2-12 ช่วงความถี่และระดับเสียงที่หูคนปกติสามารถรับรู้	23
2-13 หน้าคลื่นระนาบและรังสีที่แผ่ออกไป.....	24
2-14 การแทรกสอดของคลื่นเสียงต่อเนื่องวงกลมสองคลื่น	26
2-15 เส้นบัพและเส้นปฏิบัพที่เกิดจากการแทรกสอดของคลื่น.....	27
2-16 แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียง	28
3-1 ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	33
3-2 ภาพแสดงตำแหน่งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3-3 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน Function Generator.....	37
3-4 ภาพหน้าจอโปรแกรม Visual Analyser	37
4-1 ภาพถ่ายชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง.....	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-2 (ก) หน้าจอแสดงผลการใช้แอปพลิเคชัน Function Generator บนโทรศัพท์แบบสมาร์ทโฟน	
(ข) แสดงผลการตรวจจับสัญญาณเสียงด้วยโปรแกรม Visual Analyser.....	39
4-3 แสดงผลการแทรกสอด (ก) แบบเสริมกัน และ (ข) แบบหักล้างกัน โดยใช้การแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Analyser	40
4-4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความยาวคลื่นเสียงที่ได้จากการคำนวณ และการทดลองการแทรกสอดของเสียงแบบเสริมกันที่ความถี่ต่างๆ	44
4-5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความยาวคลื่นเสียงที่ได้จากการคำนวณ และการทดลองการแทรกสอดของเสียงแบบหักล้างกันที่ความถี่ต่างๆ	46
4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และส่วนกลับของความยาวคลื่นของการทดลองการแทรกสอดแบบเสริมกัน	47
4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และส่วนกลับของความยาวคลื่นของการทดลองการแทรกสอดแบบหักล้างกัน	48
ข-1 แสดงผลการแทรกสอดแบบเสริมกันที่ความถี่ 2,500 เฮิรตซ์	59
ข-2 แสดงสเกลค่า x แต่ละด้านของท่ออะคริลิกเมื่อเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน	60
ข-3 แสดงผลการแทรกสอดแบบหักล้างกันที่ความถี่ 2,500 เฮิรตซ์	62
ข-4 แสดงสเกลค่า x แต่ละด้านของท่ออะคริลิกเมื่อเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่มีความสำคัญวิชาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ ศึกษาเกี่ยวกับความจริงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น สามารถค้นหาสาเหตุและผลที่เกิดขึ้น วิชาฟิสิกส์ยังเป็นพื้นฐานของการนำไปประยุกต์ในวิชาต่างๆ เช่น วิศวกรรมศาสตร์ แพทยศาสตร์ เป็นต้น แต่ผู้เรียนส่วนใหญ่ยังมีความไม่เข้าใจในวิชาฟิสิกส์ สาเหตุเนื่องจากการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ผู้สอนเน้นผลสุดท้าย คือการนำไปใช้แก้ปัญหาโจทย์และแบบฝึกหัด โดยมักใช้วิธีสอนเฉพาะการคำนวณและท่องจำ ไม่มีการเน้นในส่วนของแนวคิด (concept) พื้นฐานในเรื่องต่างๆ ทำให้ผู้เรียนเกิดความไม่เข้าใจประกอบกับปัญหาการขาดแคลนสื่ออุปกรณ์ เทคโนโลยีและปัญหาการทดลองที่แสดงผลได้ไม่ชัดเจน จากปัญหาดังกล่าววิธีที่จะพัฒนาการเรียนการสอนให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพได้คือ การพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพราะสื่อการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่จะนำความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ แต่การเรียนรู้ได้เพียงใดขึ้นอยู่กับระดับปฏิบัติโดยเฉพาะในระดับมัธยมศึกษา ควรให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติให้มากขึ้น ซึ่งการใช้สื่อการเรียนการสอนจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นแก่นความคิดได้อย่างรวดเร็ว ช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้เกิดความคงทนในการเรียนรู้ เป็นสื่อเชื่อมโยงระหว่างนามธรรมไปสู่รูปธรรม ทำให้เกิดความเข้าใจในสถานการณ์ทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้น กระตุ้นให้เกิดความสนใจ ช่วยเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ช่วยให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าและประโยชน์ขององค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

สรุปได้ว่าการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง ช่วยกระตุ้นให้เกิดความสนใจ ทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา หลักการพื้นฐานตลอดจนความคิดรวบยอด ช่วยทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวางลึกซึ้งยิ่งขึ้น เป็นสื่อเชื่อมโยงระหว่างนามธรรมไปสู่รูปธรรม ทำให้เกิดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นแก่นของความคิดได้อย่างรวดเร็ว เกิดความคงทนในการเรียนรู้ ช่วยทำให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยอุปกรณ์การทดลองถ้าสามารถสร้างขึ้นได้เอง โดยใช้วัสดุในประเทศที่มีราคาถูกกว่า จะช่วยให้มีอุปกรณ์มากพอสำหรับผู้เรียนและเกิดประโยชน์มากมายต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (ทนง อัครธีรานนท์, 2555, หน้า 1-2)

จากประสบการณ์สอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า วิชาฟิสิกส์ เรื่องคลื่นเสียง ผู้เรียนไม่เข้าใจเพราะคลื่นเสียงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การทดลองส่วนใหญ่

จะเน้นไปที่คลื่นน้ำและคลื่นแสง ซึ่งเป็นคลื่นตามขวางที่สามารถมองเห็นได้ ส่วนการทดลองเรื่องคลื่นเสียงซึ่งเป็นคลื่นตามยาวนั้นจะใช้ประสาทหูในการรับฟัง ซึ่งหากผู้เรียนทำการทดลองพร้อมๆ กันก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองสูงเพราะเสียงรบกวนจากกลุ่มอื่นๆ โดยเฉพาะเรื่องการแทรกสอดของเสียงที่ความคลาดเคลื่อนก็ยิ่งมากขึ้นไปอีกเพราะผู้เรียนต้องใช้ประสาทหูในการเปรียบเทียบความดัง เบาของเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ ระหว่างลำโพงสองตัว อีกทั้งความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงที่ใช้ในการทดลองจำกัดเพียง 3 กิโลเฮิร์ตซ์

จากประเด็นดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันที่ได้จากสมาร์ตโฟน ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณเสียงได้หลายความถี่ นอกจากนี้จะใช้โปรแกรม Visual Analyser ในการตรวจจับสัญญาณเสียง และแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้เรียนเห็นการแทรกสอดของเสียงทั้งแบบเสริมกันและหักล้างกันผ่านการแสดงผลจากคอมพิวเตอร์ไปพร้อมๆ กับการรับฟังเสียงซึ่งจะช่วยในการเสริมความเข้าใจในการทดลองมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ตโฟน
2. เพื่อหาความยาวคลื่นของเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ได้ชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ตโฟนและชุดทดลองที่ออกแบบ
2. สามารถนำชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในห้องปฏิบัติการของโรงเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
3. เป็นต้นแบบชุดการทดลองเรื่องการแทรกสอดของเสียง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยลักษณะของชุดการทดลองจะมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ท่ออะคริลิกสามารถเลื่อนปรับความยาวได้ไม่เกิน 75 เซนติเมตร

1.2 ใช้แอปพลิเคชัน Function Generator ให้สัญญาณเสียงความถี่ตั้งแต่ 1,000 - 3,000 เฮิรตซ์

1.3 ใช้โปรแกรม Visual Analyser ในการตรวจจับสัญญาณคลื่นเสียงที่เกิดขึ้น

1.4 ทดลอง ณ อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

2. ทดลองหาความยาวคลื่นของเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้ทำการศึกษาได้ศึกษาค้นคว้าเอกสาร ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องคลื่นเสียง การแทรกสอดของคลื่นเสียง และชุดทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียงเพื่อใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการทดลองสำหรับการทดลองเรื่อง การออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ตโฟน โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 คลื่นเสียง

มนุษย์ได้ยินเสียงมาตั้งแต่เกิด ทารกมีการจดจำและแยกแยะได้ว่าเสียงใดเป็นเสียงของบิดาเสียงของมารดา เสียงช่วยให้เกิดการสื่อสารรวมทั้งพัฒนาเป็นภาษาพูดของมนุษย์ เสียงจากสิ่งต่าง ๆ รอบตัวทำให้มนุษย์เข้าใจสภาพแวดล้อมของตนดีขึ้น จะเห็นว่าเสียงเป็นปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิต

2.1.1 ธรรมชาติของเสียง

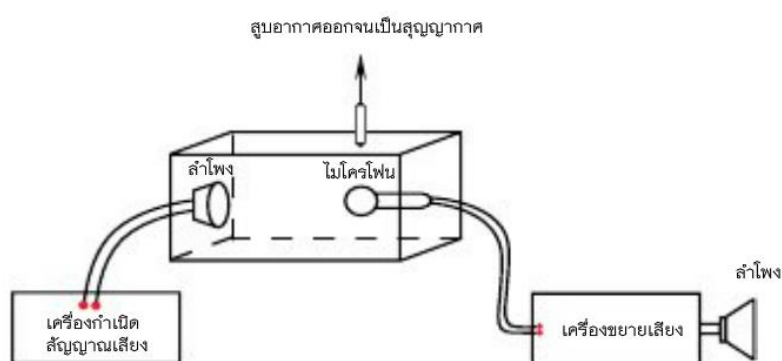
ถ้าเราใช้มือสัมผัสที่ลำคอของเราขณะเปล่งเสียง จะรู้สึกว่าการสั่นของกล้ามเนื้อที่ลำคอในทำนองเดียวกัน ถ้าเราใช้นิ้วสัมผัสที่สายของเครื่องดนตรี เช่น สายกีตาร์ ก็พบว่ามีการสั่นของสายในขณะที่เราคิดให้เกิดเสียง ยิ่งไปกว่านั้นจะพบว่าอีกด้วยว่าขนาดของการสั่นเกี่ยวข้องโดยตรงกับความดังของเสียง นั่นคือ เสียงจะดังมากเมื่อวัตถุเกิดการสั่นแรงและเสียงจะเบาลงเมื่อวัตถุมีการสั่นน้อยลง



ภาพที่ 2-1 การเกิดเสียงจากแหล่งกำเนิด (สสวท., 2554, หน้า 60)

ขณะที่เราดัดสายกีตาร์ พลังงานในการดัดซึ่งเป็นพลังงานกลจะถูกถ่ายโอนให้กับสายกีตาร์ทำให้สายกีตาร์สั่น พลังงานการสั่นของสายกีตาร์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเสียงแผ่กระจายออกไปโดยรอบ จึงกล่าวได้ว่า เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ

พลังงานเสียงจากต้นกำเนิดเสียงแผ่มาถึงผู้ฟังโดยอาศัยการถ่ายโอนพลังงานการสั่นผ่านวัสดุตัวกลางซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ และผ่านอากาศมายังหูผู้ฟัง แต่ถ้าไม่มีอากาศเป็นตัวกลางรับถ่ายโอนพลังงานเราก็จะไม่ได้ยินเสียง



ภาพที่ 2-2 การทดลองเพื่อแสดงว่าเสียงไม่อาจผ่านสุญญากาศได้ (สสวท., 2554, หน้า 61)

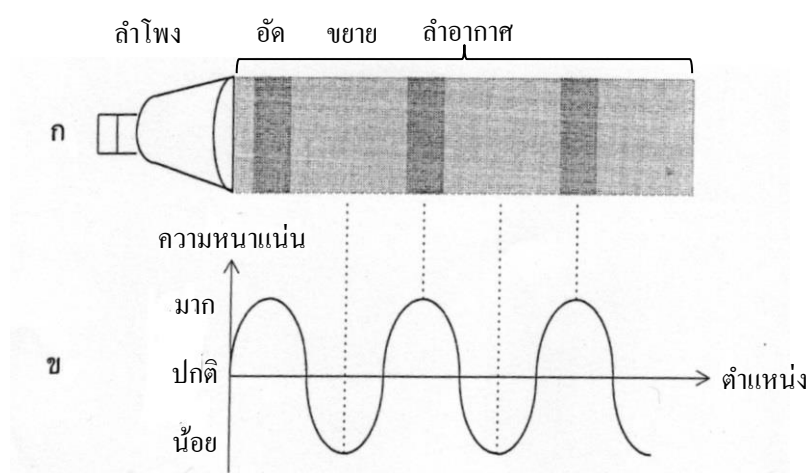
สรุปได้ว่า เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ เสียงจากแหล่งกำเนิด ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่าง ๆ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554, หน้า 60-61)

เสียงดังจะสามารถทำให้วัตถุบางชนิดสั่น เช่น เสียงดังจากลำโพงเสียงในห้องโถงหรือในโรงภาพยนตร์ ทำให้พนักเก้าอี้สั่น โดยการสั่นสะเทือนดังกล่าวนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากเสียงที่แผ่ออกมานั้นไปรบกวนหรือถ่ายโอนพลังงานให้กับพนักเก้าอี้ พฤติกรรมดังกล่าวนี้นี้แสดงว่า เสียงจากแหล่งกำเนิดต้นทางสามารถแผ่ผ่านตัวกลางต่าง ๆ ได้ด้วยกรรมวิธีเชิงคลื่น เสียงจึงกล่าวได้ว่าเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง

อนึ่ง ปรากฏว่ามีพฤติกรรมที่ตรงกันข้ามกับที่กล่าวมาแล้วอย่างน้อยประการหนึ่งคือ เสียงเองก็เกิดจากการสั่นของแหล่งต้นทางที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งอาจจะเป็นสายสั่นหรือแท่งสั่น ผิวสั่น และถ้าอากาศสั่นก็ได้

อย่างไรก็ตาม เราสามารถกล่าวยืนยันได้ว่าเสียงเป็นคลื่น ก็ต่อเมื่อเสียงแสดงสมบัติของคลื่นโดยสมบูรณ์ กล่าวคือ สมบัติเกี่ยวกับการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การแทรกสอด (interference) และการเลี้ยวเบน (diffraction)

จากการศึกษาพบว่า เสียงมีสมบัติดังกล่าวอย่างครบถ้วน เสียงจึงเป็นคลื่น และเรียกกันว่าคลื่นเสียง (sound wave) นอกจากนี้ยังปรากฏว่าเมื่อคลื่นเสียงแผ่ไปในอากาศ จะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงแล้วโมเลกุลของอากาศรวมกันและมีผลต่อโมเลกุลข้างเคียง ผลคือ โมเลกุลของอากาศขยับสั่นไปมา พร้อมกับถ่ายโอนพลังงานให้กับโมเลกุลอื่น ๆ อย่างต่อเนื่อง แล้วกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม หลังจาก que คลื่นเสียงได้แผ่ผ่านไป โดยขณะที่คลื่นเสียงแผ่ในอากาศอยู่นั้น ก็จะเกิดบริเวณที่มีการอัด (compression) และการขยายตัว (expansion) ของโมเลกุลอากาศสลับกันไปอย่างกลมกลืน และมีระเบียบตามทิศทางการแผ่ของคลื่นเสียง ด้วยเหตุนี้ จึงกล่าวได้ว่า เสียงเป็นคลื่นตามยาว (longitudinal wave) โดยต่างไปจากคลื่นตามขวาง (transverse wave) ของคลื่นเส้นเชือกตามที่กล่าวมาแล้ว



ภาพที่ 2-3 คลื่นเสียงจากลำโพงเสียงแผ่ผ่านอากาศทำให้โมเลกุลของอากาศมีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไป (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 102)

จากภาพที่ 2-3 ก แสดงคลื่นเสียงจากลำโพงเสียงแผ่ผ่านอากาศ ทำให้โมเลกุลของอากาศมีการอัดและขยายตัว โดยที่บริเวณการอัดโมเลกุลอากาศจะมีความหนาแน่น (density, ρ) มาก ส่วนบริเวณที่อากาศมีการขยายตัว โมเลกุลอากาศก็จะมีความหนาแน่นน้อย และได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโมเลกุลอากาศ (ρ) กับตำแหน่ง (x) ดังภาพที่ 2-3 ข

อนึ่ง โดยทั่วไปแล้วเมื่อกล่าวถึงเสียง เราจะหมายถึงเสียงที่ฟังระรื่นหู เช่น เสียงดนตรี เสียงพูด โดยมักไม่คำนึงถึงเสียงรบกวน เช่น เสียงประทัด เสียงของเครื่องบินเจ็ต และเสียงจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ที่ดังมาก

สำหรับคลื่นกลตามยาว (longitudinal mechanical wave) ตามที่เรากล่าวถึงนี้ จะแบ่งตามช่วงความถี่ได้เป็น 3 พวก คือ

1. คลื่นได้ยิน (audible wave) ซึ่งคือคลื่นเสียง เป็นคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่ 20 เฮิรตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์ ที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้โดยประสาทสัมผัส แหล่งต้นทางที่ทำให้คลื่นเสียงในช่วงความถี่ดังกล่าวนี้ เช่น ลำโพงเสียง เครื่องดนตรี และสายเสียง (vocal cord) ของมนุษย์
2. คลื่นใต้เสียง (infrasonic wave) เป็นคลื่นกลตามยาวที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของคลื่นเสียง เช่น คลื่นแผ่นดินไหว
3. คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic wave) เป็นคลื่นตามยาวที่มีความถี่มากกว่าความถี่ของคลื่นเสียง เช่น คลื่นเนื่องจากการสั่นของผลึกควอตซ์ (quartz crystal) ที่เหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า กระแสสลับ นักหีดความถี่สูงที่ใช้ติดต่อกับสุนัขของตำรวจ (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 101-103)

2.1.2 อัตราเร็วของเสียง

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่นและถ่ายโอนพลังงานของการสั่นผ่านตัวกลาง ทำให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปคลื่นเสียงจะมีอัตราเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวกลางโดยคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วจากมากไปน้อยในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ

สำหรับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในอากาศ ช่วงเวลาที่เสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมาถึงผู้ฟังขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของเสียงและระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงของผู้ฟัง ถ้าระยะห่างมาก ต้องใช้ช่วงเวลานานกว่าจะได้ยินเสียง แต่ถ้าระยะใกล้ก็จะใช้ช่วงเวลาน้อยกว่า อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางคงตัว ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ (สสวท., 2554, หน้า 68)

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (เมตรต่อวินาที)
แก๊ส	
อากาศ (0 °C)	331
อากาศ (20 °C)	343
คาร์บอนไดออกไซด์ (0 °C)	259
ออกซิเจน (0 °C)	316
ฮีเลียม (0 °C)	965
ของเหลว	
คลอโรฟอร์ม (20 °C)	1004
เอทิลแอลกอฮอล์ (20 °C)	1162
ปรอท (20 °C)	1450
น้ำกลั่น (20 °C)	1482
น้ำทะเล (20 °C)	1552
ของแข็ง	
อะลูมิเนียม (20 °C)	6420
เหล็ก (20 °C)	5941
แกรนิต (20 °C)	6000

2.1.2.1 กรณีสภาพยืดหยุ่นทางความยาว

กรณีนี้เราจะกล่าวถึงแท่งวัตถุ เช่น เหล็ก ทองแดง และอะลูมิเนียม ซึ่งล้วนแต่มีสภาพยืดหยุ่น แต่เนื่องจากมีลักษณะเป็นท่อน เป็นแท่ง หรือเป็นเส้นยาว สมบัติยืดหยุ่นที่เราพิจารณา จึงเกี่ยวข้องกับผลทางความยาวเป็นส่วนใหญ่ โดยไม่คิดทางมิติส่วนอื่น เมื่อถือว่าเป็นการพิจารณาในขั้นเริ่มแรกเท่านั้น ปริมาณที่สอดคล้องกับความต้องการดังกล่าวนี้คือ มอดุลัสของยัง (Y)

เมื่อมอดุลัสของยัง (Y) ซึ่งมีหน่วยคือ นิวตันต่อตารางเมตรในระบบเอสไอ เป็นสมบัติยืดหยุ่นของแท่งวัตถุตามที่กล่าวถึง และความหนาแน่นมวลเชิงปริมาตร (ρ) ของแท่งวัตถุนั้น ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรแทนสมบัติความเฉื่อย (Inertia property)

ดังนั้น อัตราเร็วของคลื่นเสียง (v) ในแท่งวัตถุดังกล่าว ก็มีความสัมพันธ์กับมอดุลัสของยัง (Y) และความหนาแน่น (ρ) ของแท่งวัตถุดังนี้

$$v = \left(\frac{Y}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-1)$$

โดยมีหน่วยเป็น [นิวตันต่อตารางเมตรต่อ{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}]^{1/2} เท่ากับ เมตรต่อวินาที สอดคล้องกับหน่วยของอัตราเร็ว

2.1.2.2 กรณีสภาพยืดหยุ่นทางปริมาตร

เนื่องจากมอดูลัสเชิงปริมาตร (B) ซึ่งมีหน่วยในระบบเอสไอคือ นิวตันต่อ(เมตร)²เป็นปริมาณที่แสดงสมบัติยืดหยุ่นของตัวกลางยืดหยุ่นหรือตัวกลางอัดได้ ปริมาณที่บอกถึงความเฉื่อยของตัวกลาง ก็คือ ความหนาแน่นมวลเชิงปริมาตร (ρ) ของตัวกลาง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อ(เมตร)³เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วนั่นเอง

โดยการเปรียบเทียบกับคลื่นกลตามขวางเช่นเดียวกัน จะได้อัตราเร็วของคลื่นเสียง (v) ในตัวกลางยืดหยุ่นหรือตัวกลางอัดได้เป็นเมตรต่อวินาทีดังนี้

$$v = \left(\frac{B}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-2)$$

2.1.2.3 กรณีความดัน

จากสมการ (2-2) ซึ่งแสดงถึงอัตราเร็วของคลื่นอัด (compressive wave) ในตัวกลางยืดหยุ่นนั้น เรานิยมนำมาใช้กับอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ

สำหรับก๊าซซึ่งมีปริมาตร V ณ ค่าความดัน p ขณะที่อุณหภูมิคงตัว กฎของบอยล์ (Boyle's law) คือ $pV =$ ค่าคงตัว ถ้าความดันมีค่าเพิ่มขึ้น Δp จะทำให้ปริมาตรของก๊าซลดลง ΔV เนื่องจาก Δp และ ΔV มีค่าน้อย ดังนั้น $(\Delta p)(\Delta V)$ ก็จะมีค่าน้อยด้วย

$$\begin{aligned} pV &= (p + \Delta p)(V + \Delta V) \\ \text{จะได้} &= pV + p(\Delta V) + V(\Delta p) + (\Delta p)(\Delta V) \\ &\approx pV + p(\Delta V) + V(\Delta p) \\ \text{หรือ} \quad p &= \frac{\Delta p}{\Delta V / V} \end{aligned} \quad (2-3)$$

โดยสมการ 2-3 สอดคล้องกับความสัมพันธ์ $B = \frac{\Delta p}{\Delta V / V}$ ที่แทนความหมายของมอดูลัสเชิงปริมาตร

ดังนั้นจึงสามารถแทนพจน์ B ในสมการ (2-2) ด้วยค่าความดันของอากาศ (p) แล้วได้ค่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศตามทัศนะของนิวตัน ดังนี้

$$v = \left(\frac{p}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-4)$$

ถ้าใช้ความดันบรรยากาศปกติ ($p \approx 10^5$ นิวตันต่อ(เมตร)²) และค่าความหนาแน่นของอากาศ ($\rho \approx 1.29$ กิโลกรัมต่อ(เมตร)³) จะได้ค่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ ($v \approx 278$ เมตรต่อวินาที) ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าอัตราเร็ว ณ 0 องศาเซลเซียส ที่ใช้กันอยู่คือ 331.5 เมตรต่อวินาที

การใช้กฎก๊าซแอดิแบติก (adiabatic gas law) กล่าวคือ $pV^\gamma = \text{ค่าคงตัว}$ แทนที่กฎของบอยล์ จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ที่แสดงค่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศใหม่ดังสมการ

$$v = \left(\frac{\gamma p}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-5)$$

เนื่องจาก ก๊าซโมเลกุลอะตอมคู่ เช่น H_2 , O_2 , N_2 มีค่า $\gamma = 1.4$ ประกอบกับบรรยากาศของโลกมีก๊าซ N_2 และ O_2 เป็นองค์ประกอบส่วนมาก

$$\text{เมื่อพิจารณาแทนค่า } \gamma, p \text{ และ } \rho \text{ ในสมการ (2-5) จะได้ } v = \left(\frac{1.4 \times 10^5}{1.29} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 329$$

เมตรต่อวินาที ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้กันอยู่

2.1.2.4 กรณีสมการสถานะของก๊าซ

เมื่อพิจารณาอัตราเร็วของคลื่นเสียงในก๊าซโดยนำเอาสมการสถานะของก๊าซ โดยนำเอาสมการสถานะของก๊าซอุดมคติ (equation of state of an ideal gas) มาประกอบการพิจารณา โดยมีจุดประสงค์ไปสู่อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

สมมติ p , V และ T แทนค่าความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิเคลวินของก๊าซชนิดหนึ่งตามลำดับ

ρ แทนความหนาแน่นของก๊าซ

m แทนมวลของก๊าซ

M แทนโมลาร์ (molar mass) ซึ่งคือค่ามวลต่อโมลของก๊าซ

$n = \frac{m}{M}$ แทนจำนวนโมลของก๊าซ

R แทนค่าคงตัวของก๊าซ (universal gas constant)

γ แทนค่าคงตัว โดยมีค่าเท่ากับ 1.4 สำหรับอากาศและก๊าซโมเลกุลอะตอมคู่

v แทนอัตราเร็วของคลื่นเสียงในก๊าซชนิดนี้ ณ สภาวะดังกล่าว

เรามีสมการสถานะของก๊าซอุดมคติ คือ $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$

จะได้

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p}{m/V} = \frac{RT}{M} \quad (2-6)$$

จากสมการ (2-5) $v = \left(\frac{\gamma p}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$ จะได้

$$v = \left(\frac{\gamma RT}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-7)$$

เมื่อ R เป็นค่าคงตัวสำหรับก๊าซในอุดมคติ สำหรับก๊าซชนิดหนึ่งทั้ง γ และ M มีค่าคงตัว แสดงว่า อัตราเร็วของคลื่นเสียงในก๊าซชนิดหนึ่ง เป็นสัดส่วนกับรากที่สองของอุณหภูมิเคลวินของก๊าซนั้น กล่าวคือ $v \propto (T)^{\frac{1}{2}}$

จากผลที่ได้นี้ สามารถนำมาประมาณค่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศอุณหภูมิหนึ่ง โดยเทียบกับค่าที่ 0 องศาเซลเซียสได้ดังต่อไปนี้

ให้ v_0 และ v_t แทนอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ ณ อุณหภูมิ 0 และ t องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปรากฏว่า $v_0 = 331$ เมตรต่อวินาที

k แทนค่าคงตัวสัดส่วน (proportional constant)

จากสมการ (2-7)

$$v = \left(\frac{\gamma RT}{M} \right)^{\frac{1}{2}} = k[T]^{\frac{1}{2}} \quad (2-7)$$

$$\text{จะได้} \quad v_0 = k[273]^{\frac{1}{2}}$$

$$v_t = k[273 + t]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{และ} \quad v_t / v_0 = \left[\frac{273 + t}{273} \right]^{\frac{1}{2}} = \left(1 + \frac{t}{273} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[1 + \left(\frac{t}{2 \times 273} \right) + \left\{ \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - 1 \right)}{2!} \right\} \left\{ \frac{t}{273} \right\}^2 + \dots \right]$$

$$v_t \approx v_0 + \left(\frac{v_0 t}{2 \times 273} \right)$$

$$v_t \approx 331 + 0.6t \quad (2-8)$$

แสดงว่า อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศจะเพิ่มขึ้นจากค่า ณ 0 องศาเซลเซียส คือ 331 เมตรต่อวินาที ประมาณ 0.6 เมตรต่อวินาที ทุก ๆ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงยังหาได้จากสมการ

$$v = f\lambda \quad (2-9)$$

v แทน อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

f แทนความถี่คลื่นเสียง มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

λ แทนความยาวคลื่นเสียง มีหน่วย เมตร (m)

ความถี่ของคลื่นเสียงคลื่นหนึ่งจะเป็นปริมาณคงตัว ไม่เปลี่ยนไปตามตัวกลางที่คลื่นเสียงแผ่ผ่านไป โดยต่างไปจากอัตราเร็วและความยาวคลื่นของคลื่นเสียง นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ดังสมการ (2-9) ไม่มีปริมาณที่เป็นสมบัติของตัวกลาง แสดงอยู่ภายในสมการ

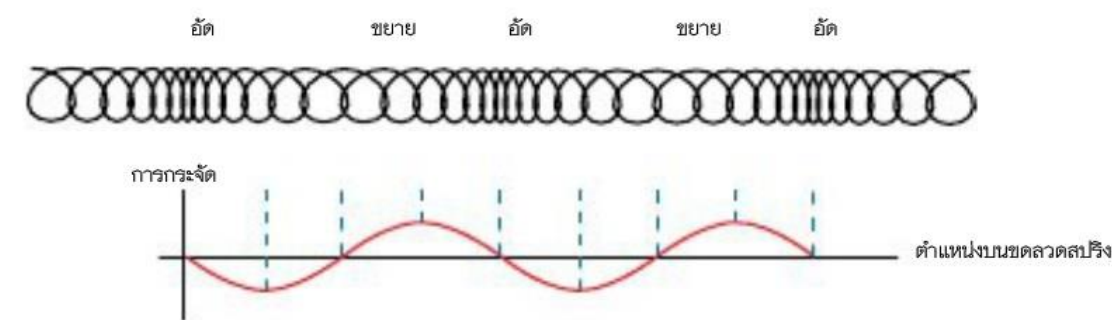
2.1.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานเนื่องจากการสั่นของแหล่งกำเนิดจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของตัวกลางที่ติดกับแหล่งกำเนิดนั้นและถ่ายโอนพลังงานให้แก่โมเลกุลถัดไปเรื่อย ๆ จนถึงหูผู้ฟัง ผลที่เกิดขึ้นคือ คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงโดยมีโมเลกุลตัวกลางทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงนั้น โดยโมเลกุลของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่นเสียงนั้น

สำหรับคลื่นเสียงในอากาศ เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่น พลังงานของการสั่นจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบ ๆ โดยการชนระหว่างโมเลกุล เมื่อพิจารณาแนวการถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงกับแนวการสั่นของโมเลกุลของอากาศซึ่งเป็นอนุภาคของตัวกลางแล้ว จะพบว่าอยู่ในแนวเดียวกัน ดังนั้น คลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว (longitudinal wave)

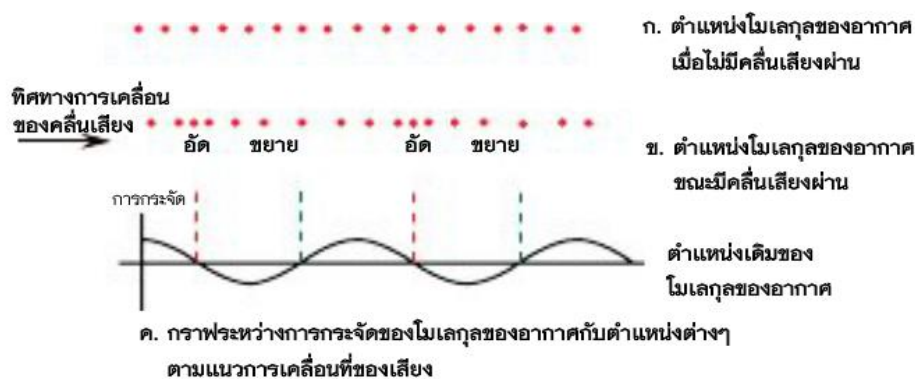
เนื่องจากโมเลกุลของอากาศมีขนาดเล็กมาก จึงไม่สามารถสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้โดยตรง เราจะพิจารณาโดยใช้ชดวคตสปริงเป็นแบบจำลองแทน ขณะที่ไม่มีคลื่น

เคลื่อนที่ผ่านขดลวดสปริงแต่ละขดของสปริงจะอยู่ห่างเท่ากันตลอดเวลา เมื่อมีคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่านขดลวดสปริงอย่างต่อเนื่องจะพบว่าระยะห่างของแต่ละขดนี้จะมีค่าต่างกัน ถ้าพิจารณาที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง ส่วนของขดลวดสปริงที่อยู่ชิดกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนอัด (compression) ส่วนที่อยู่ห่างกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนขยาย (expansion) ถ้าพิจารณาบริเวณส่วนอัดจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางไม่มีการเคลื่อนที่เพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ซ้ายอัดเข้ามา การกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนอัดจึงเป็นศูนย์ เมื่อพิจารณาบริเวณส่วนขยายจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางก็ไม่มีการเคลื่อนที่เช่นกันเพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ทางซ้ายดึง การกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนขยายจึงเป็นศูนย์ เมื่อเขียนกราฟแสดงการกระจัดเทียบกับตำแหน่งบนขดลวดสปริง จะได้ภาพที่ 2-4



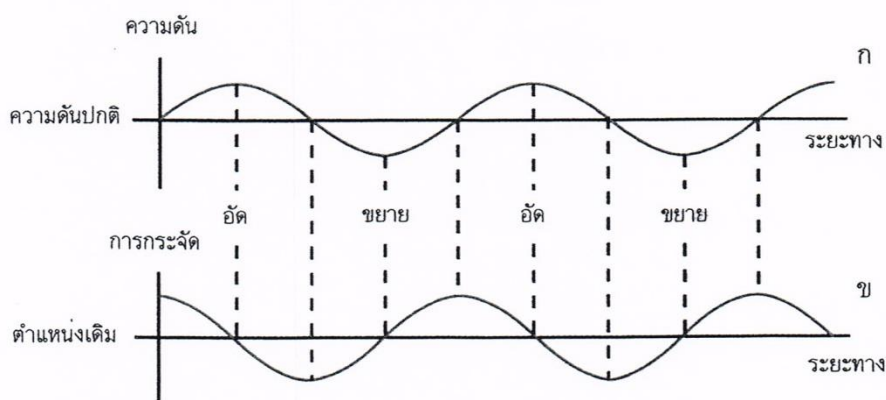
ภาพที่ 2-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดออกจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงกับตำแหน่งต่าง ๆ บนสปริงขณะที่คลื่นตามยาวผ่าน (สสวท., 2554, หน้า 70)

เมื่อพิจารณาโมเลกุลของอากาศอยู่ในแนวเส้นตรงจากแหล่งกำเนิดเสียง ขณะไม่มีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยเฉลี่ยแต่ละโมเลกุลของอากาศที่อยู่ห่างกันเป็นระยะเท่ากันโดยตลอด ดังภาพที่ 2-5 (ก) เมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน ระยะระหว่างโมเลกุลของอากาศจะเปลี่ยนไปตามลักษณะที่เป็นส่วนอัดและส่วนขยายดังภาพที่ 2-5 (ข) และกราฟระหว่างระยะห่างจากตำแหน่งเดิมของอนุภาคอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจะเป็นลักษณะเดียวกับการเกิดคลื่นตามยาวในขดลวดสปริง ดังแสดงในภาพที่ 2-5 (ค)



ภาพที่ 2-5 คลื่นเสียงขณะเคลื่อนที่ผ่านอากาศ (สสวท., 2554, หน้า 70)

ขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โมเลกุลของอากาศบริเวณที่เป็นส่วนอัดจะมีจำนวนมากกว่าปกติ ทำให้ความดันของอากาศที่บริเวณส่วนอัดสูงกว่าความดันปกติ ส่วนโมเลกุลของอากาศในบริเวณที่เป็นส่วนขยายจะมีจำนวนน้อยกว่าปกติ ทำให้ความดันของอากาศในบริเวณส่วนขยายต่ำกว่าปกติ ดังนั้น บริเวณตรงกลางระหว่างส่วนอัดจึงมีความดันเพิ่มขึ้นจากปกติมากที่สุด และตรงกลางส่วนขยายก็มีความดันลดลงจากปกติมากที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศขณะใดขณะหนึ่ง กราฟระหว่างความดันของอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ 2-6 (ก) และกราฟระหว่างการกระจัดของโมเลกุลอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ 2-6 (ข)



ภาพที่ 2-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับการกระจัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

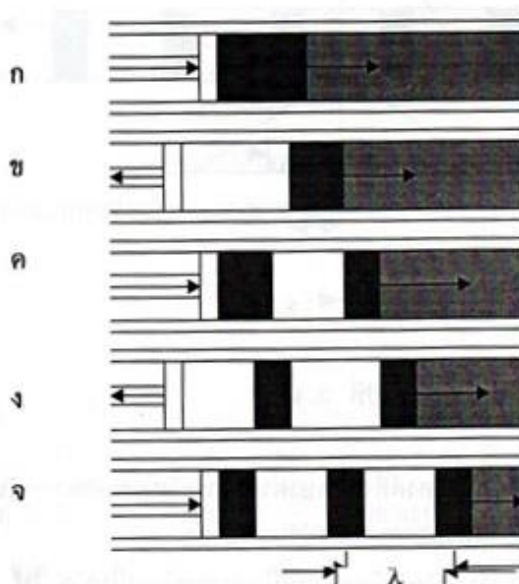
(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดของอนุภาคกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง (สสวท., 2554, หน้า 71)

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนี้จะถูกถ่ายโอนให้กับโมเลกุลของอากาศ ทำให้ความดันอากาศเปลี่ยนแปลงแต่ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงก็ยังคงเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง การเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศดังกล่าวนี้จะถูกถ่ายโอนต่อ ๆ กันมาจากแหล่งกำเนิดเสียงจนกระทั่งถึงหูผู้ฟัง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียง มีความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ, 2554, หน้า 69-71)

2.1.4 คลื่นเสียงเดินทาง

ถ้าแหล่งต้นทางคลื่นตามยาวแหล่งหนึ่งแกว่งกวัดในลักษณะฮาร์มอนิก ก็ย่อมทำให้เกิดการรบกวนเป็นฮาร์มอนิก สำหรับการศึกษาคลื่นเสียงเดินทาง (traveling sound wave) สามารถพิจารณาได้ในลักษณะคลื่นเสียงฮาร์มอนิก (harmonic sound wave) โดยทำให้มีการอัดและการขยายตัวของก๊าซหรืออากาศในกระบอกสูบ อันเป็นผลจากการเคลื่อนที่เข้าหรือออกของลูกสูบและย่อมมีผลต่อความหนาแน่น ตลอดจนค่าความดันของก๊าซหรืออากาศในกระบอกสูบนั่นเทียบกับค่า ณ สภาวะสมดุล

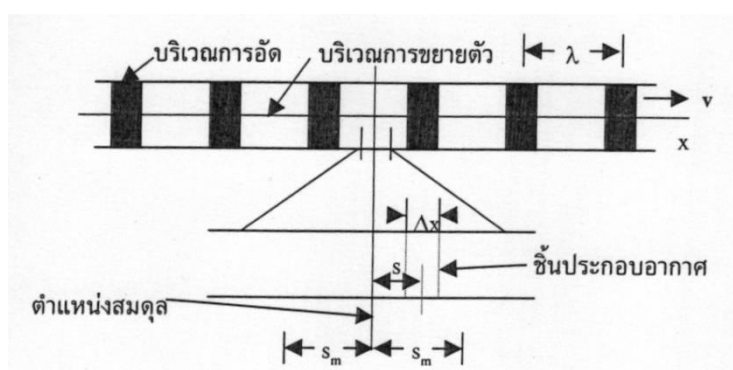


ภาพที่ 2-7 การเคลื่อนที่เข้าและออกสลับกันของลูกสูบในกระบอกสูบ (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 111)

สมมติจากภาพที่ 2-7 แสดงการเคลื่อนที่เข้าและออกสลับกันของลูกสูบในกระบอกสูบ ทำให้อากาศบริเวณลูกสูบมีการอัดและมีการขยายตัว ตลอดจนมีค่าความหนาแน่นและค่าความดันสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่า ณ สภาวะสมดุล สอดคล้องกับการเคลื่อนที่เข้าและออกของลูกสูบดังกล่าว โดยเราเรียกบริเวณที่อากาศมีค่าความดันสูงกว่าเป็นบริเวณการอัด และเรียกบริเวณที่อากาศมีค่าความดันต่ำกว่าเป็นบริเวณการขยายตัว ปรากฏว่าบริเวณการขยายตัวแผ่ไปตามกระบอกสูบต่อจากบริเวณการอัดในลักษณะสลับกันไป และบริเวณทั้งสองต่างก็เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางในทันที คือ อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่สภาวะขณะนั้น

นอกจากนี้ เนื่องจากลูกสูบเคลื่อนที่เข้าออกหรือไปมาในลักษณะซ้ารอบ บริเวณการอัดและการขยายตัวก็จะเกิดขึ้นอยู่เรื่อย ๆ โดยมีระยะระหว่างบริเวณการอัดติดกันหรือการขยายตัวติดกันเท่ากับค่าความยาวคลื่น (λ)

ขณะที่บริเวณการอัดและการขยายตัวต่างก็เคลื่อนที่ไปตามกระบอกสูบปริมาตรเล็ก ๆ หรือชิ้นประกอบ (element) ของอากาศจะเคลื่อนที่ในลักษณะฮาร์มอนิกตามทิศทางที่ขนานกับทิศทางการแผ่ของคลื่น โดยเป็นการสนับสนุนพฤติกรรมของคลื่นกลฮาร์มอนิกตามยาวเป็นอย่างดี



ภาพที่ 2-8 การกระจัดของชิ้นประกอบอากาศบริเวณการอัดและการขยายตัวของลำอากาศในกระบอกสูบ (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 112)

จากภาพที่ 2-8 สมมติคลื่นเสียงคลื่นหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ในอากาศซึ่งอยู่ในท่อ ไปทางขวา หรือทิศทางของแกน x ด้วยความเร็ว v เมื่อพิจารณาชิ้นประกอบอากาศชิ้นหนึ่ง (Δx) ณ ตำแหน่งหนึ่งบนแกน x นั้น จะปรากฏว่า ขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งดังกล่าวไป ชิ้นประกอบอากาศดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปมาในลักษณะฮาร์มอนิก ที่แสดงถึงการแกว่งกวัดตามยาว ซึ่งเปรียบเทียบกับได้กับการแกว่งกวัดตามขวางของชิ้นประกอบเส้นเชือก ตามที่กล่าวถึงคลื่นกลฮาร์มอนิกตามขวาง

ถ้า s แทนค่าการกระจัดของชั้นประกอบอากาศชั้นหนึ่ง (Δx) โดยมีค่าการกระจัดสูงสุด หรือค่าแอมพลิจูด ($s_{\max}$) = s_m เทียบกับตำแหน่งสมดุล

โดยคลื่นเสียงซึ่งเป็นคลื่นกลตามยาวนี้ มีความยาวคลื่น λ เลขคลื่นเชิงมุม k ความถี่เชิงมุม ω ความถี่ f คาบ T และอัตราเร็ว v

และเนื่องจากชั้นประกอบอากาศแกว่งกวัดในลักษณะฮาร์มอนิกดังกล่าวกว่าแล้ว ค่าการกระจัด (s) ของชั้นประกอบอากาศชั้นนี้ซึ่งเป็นผลจากคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน ย่อมขึ้นกับตำแหน่ง (x) และเวลา (t) คือ $s(x, t)$ ในลักษณะฟังก์ชันรูปไซน์ (sinusoidal function) ดังนี้

$$s(x, t) = s_m \cos(kx - \omega t) \quad (2-10)$$

ถ้า A แทนพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อ

$V = A(\Delta x)$ แทนปริมาตรของชั้นประกอบอากาศชั้นนี้ (Δx) ซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ห่างจากตำแหน่งสมดุลเท่ากับ s

ΔV แทนปริมาตรของชั้นประกอบอากาศที่เปลี่ยน อันเนื่องมาจากชั้นประกอบนั้นมีค่าการกระจัดเปลี่ยนไป Δs แสดงว่า $\Delta V = A(\Delta s)$

B แทนค่ามอดุลัสเชิงปริมาตร

และ Δp แทนค่าความดันที่เปลี่ยนขณะที่มีปริมาตรเปลี่ยน ΔV โดยมีค่าความดันที่เปลี่ยนสูงสุดหรือค่าแอมพลิจูดความดัน (pressure amplitude) คือ Δp_m จะได้

$$\Delta p = -B \left(\frac{\Delta V}{V} \right) = -B \left(\frac{\Delta s}{\Delta x} \right) \quad (2-11)$$

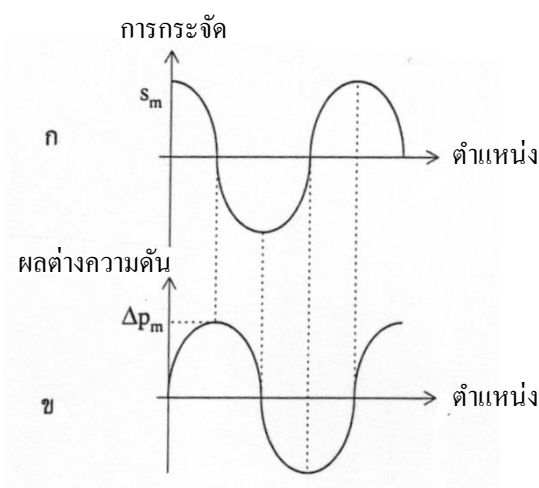
เนื่องจาก s เป็นฟังก์ชันกับ x และ t กล่าวคือ $s(x, t)$ ในกรณีที่ t เป็นค่าคงตัว ซึ่งก็คือค่า ณ ขณะหนึ่ง เราจะใช้อนุพันธ์ย่อย (partial derivative) ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ s ตาม x คือ

$\frac{\partial s}{\partial x}$ ในสมการ (2-11) แล้วหาค่า $\left(\frac{\partial s}{\partial x} \right)$ ในกรณีที่ t เป็นค่าคงตัวจากสมการ (2-10) จะได้

$$\begin{aligned} \Delta p &= -B \left(\frac{\partial s}{\partial x} \right) = -B \frac{\partial}{\partial x} [s_m \cos(kx - \omega t)] \\ &= (Bks_m) \sin(kx - \omega t) \\ \Delta p &= (\Delta p_m) \sin(kx - \omega t) \end{aligned} \quad (2-12)$$

และ

$$\Delta p_m = Bks_m = \rho k v^2 s_m = \rho \omega v s_m \quad (2-13)$$

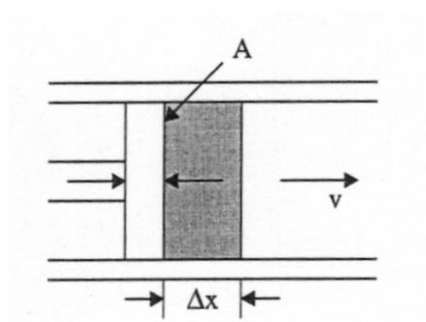


ภาพที่ 2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด และความดันที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่ง (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 114)

รูป ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระจัด (s) ของชั้นประกอบอากาศชั้นหนึ่งกับตำแหน่ง (x) ส่วนรูป ข แสดงค่าความดันที่เปลี่ยนแปลง (Δp) ตามตำแหน่ง (x) โดยปรากฏว่าค่าการกระจัดและค่าความดันที่เปลี่ยนมีวัฏภาคต่างกันเท่ากับ 90 องศา

2.1.5 กำลังของคลื่นเสียงฮาร์มอนิก

กำลังคลื่น ก็คือ อัตราที่พลังงานแผ่ไปตามตัวกลาง เราจึงได้กล่าวถึงพลังงานในลักษณะของความหนาแน่นพลังงานที่เชื่อมโยงกับความหนาแน่นพลังงานจลน์ และความหนาแน่นพลังงานศักย์ ในที่สุดก็สามารถหากำลัง ตลอดจนกำลังเฉลี่ยของคลื่นได้



ภาพที่ 2-10 ชั้นประกอบอากาศ Δx ซึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวาง A (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 115)

พิจารณาชั้นประกอบชั้นหนึ่ง (Δx) ซึ่งมีมวล Δm อยู่ ณ บริเวณใกล้ลูกสูบซึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวาง A ในกระบอกสูบใบหนึ่ง โดยที่ลูกสูบอันนั้นแกว่งกวัดในลักษณะฮาร์มอนิก มี

ความถี่เชิงมุม ω แล้วถ่ายโอนพลังงานให้แก่ชั้นประกอบอากาศนั้น จนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะเดียวกัน

ถ้า ρ แทนความหนาแน่นของอากาศ

$$\Delta m = \rho A (\Delta x) \text{ คือมวลของชั้นอากาศ}$$

$s = s_m \cos(kx - \omega t)$ แทนค่าการกระจัดของชั้นประกอบอากาศ โดยมี s_m แทนค่าแอมพลิจูด เช่นเดียวกับสมการ (2-10)

$$v_s = \frac{\partial s}{\partial t} = \omega s_m \sin(kx - \omega t) \text{ ย่อมแทนอัตราเร็วชั้นประกอบอากาศที่มีการแกว่ง}$$

กวัด

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ แทนค่าอัตราเร็วของการรบกวนที่มีทิศทางไปทางขวา}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} (\Delta m) v_s^2 = \frac{1}{2} (\Delta m) (\omega s_m)^2 \sin^2(kx - \omega t) \text{ แทนพลังงานจลน์ของ}$$

อากาศมวล Δm ดังกล่าว

$$\Delta \bar{E}_k = \frac{1}{2} (\Delta m) (\omega s_m)^2 \sin^2(kx - \omega t) = \frac{1}{4} (\Delta m) (\omega s_m)^2 \text{ แทนค่าพลังงานจลน์เฉลี่ย}$$

เฉลี่ย

$$\Delta \bar{E}_p \text{ แทนค่าพลังงานศักย์เฉลี่ย โดยที่ } \Delta \bar{E}_p = \Delta \bar{E}_k$$

$$\Delta E \text{ แทนพลังงานเฉลี่ยของชั้นประกอบอากาศ } (\Delta x)$$

และ P แทนกำลังหรืออัตราพลังงานที่ถ่ายโอน

$$\text{จะได้ } \Delta E = \Delta \bar{E}_k + \Delta \bar{E}_p = \frac{1}{2} (\Delta m) (\omega s_m)^2$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho A (\Delta x) (\omega s_m)^2 \quad (2-14)$$

$$\text{และ } P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) (\omega s_m)^2$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v (\omega s_m)^2 \quad (2-15)$$

2.1.6 ความเข้มและระดับเสียง

ความดัง (loudness) เป็นปริมาณที่บอกถึงความรู้สึกของการได้ยินต่อเสียงที่ได้รับ ปริมาณกายภาพของคลื่นเสียงที่สอดคล้องกับความดัง คือ ความเข้ม (intensity) โดยที่ความเข้มของคลื่นเสียง (intensity of sound wave) หรือความเข้มเสียง (sound intensity) หมายถึง ค่าพลังงานของคลื่นเสียงที่แผ่สู่พื้นที่ซึ่งตั้งฉากกับคลื่นเสียง 1 ตารางหน่วย ในเวลา 1 วินาที ความเข้มเสียงจึงมีหน่วยในระบบเอสไอเป็น จูลต่อวินาทีต่อตารางเมตรหรือวัตต์ต่อตารางเมตร

แสดงว่าสามารถนิยามความเข้มโดยทั่วไปได้ดังนี้

$$\text{ความเข้ม} = \frac{\text{กำลัง/พื้นที่}}{\text{พื้นที่}} ; \quad I = \frac{P}{A}$$

ถ้า I แทน ความเข้มของคลื่นเสียง จากสมการ (2-15) จะได้

$$I = \frac{1}{2} \rho v (\omega s_m)^2 \quad (2-16)$$

ในตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีค่าความหนาแน่น (ρ) คงตัว และอัตราเร็วของคลื่นเสียง (v) ในตัวกลางนั้นก็มีค่าคงตัว จากสมการ (2-16) ย่อมแสดงว่า ความเข้มของคลื่นเสียงฮาร์มอนิกย่อมเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของค่าความถี่เชิงมุม (ω^2) และกำลังสองของค่าแอมพลิจูด (s_m^2) กล่าวคือ $I \propto (\omega s_m)^2$

จากสมการ (2-13) เราจึงสามารถแสดงค่าความเข้มของคลื่นเสียง (I) ให้สัมพันธ์กับค่าแอมพลิจูดความดัน (Δp_m) ได้ดังนี้

$$I = \frac{\omega s_m (\Delta p_m)}{2} = \frac{(\Delta p_m)^2}{2\rho v} \quad (2-17)$$

ถ้ามีการกระตุ้น (stimulation) ที่เกิดจากตัวกระตุ้น (stimulant) เราย่อมมีความรู้สึก (sensation) ในลักษณะที่ ความรู้สึกเป็นสัดส่วนกับลอการิทึม (logarithm) ของการกระตุ้นนั้น โดยประมาณ

ความดังของคลื่นเสียงที่สอดคล้องกับระดับเสียง (sound level) หรือระดับความเข้ม (intensity level) ของคลื่นเสียงนั้น เปรียบเสมือนได้รับความรู้สึก อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าความดังเป็นปริมาณที่สำคัญในทางปฏิบัติ แต่ก็ไม่ง่ายนักที่จะทำการทดลองให้ได้ผลดี

ถ้า S แทนความรู้สึก ซึ่งแทนความดังในกรณีของคลื่นเสียง โดยมี β แทนระดับเสียง หรือระดับความเข้มของคลื่นเสียง เป็นเดซิเบล (decibel, dB)

I แทนความเข้มเสียงเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรขณะที่มีค่าระดับเสียงเป็น β เดซิเบล

I_0 แทนความเข้มอ้างอิง (reference intensity) ของคลื่นเสียง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร

และ k แทนค่าคงตัว

เมื่อพิจารณาเส้นแบบกฎของเวเบอร์-เฟคเนอร์ (Weber-Fechner's law) กล่าวคือ

$$S = k \log \frac{I}{I_0} \text{ จะได้}$$

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2-18)$$

ระดับเสียง 10 เดซิเบล ซึ่งเท่ากับ 1 เบล (bel) นี้ กำหนดใช้เพื่อเป็นเกียรติก่ออะเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบล (Alexander Graham Bell) (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 111-117)

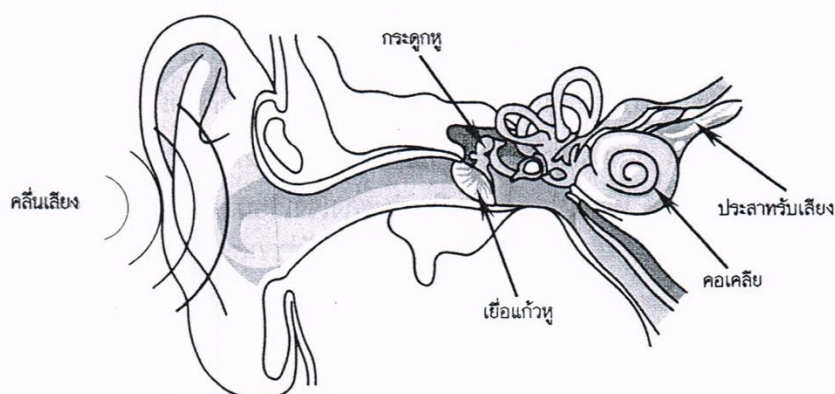
ตารางที่ 2-2 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ (สสวท., 2554, หน้า 75)

แหล่งกำเนิดเสียง	ระดับเสียง (เดซิเบล), dB	ผลการรับฟัง
การหายใจปกติ	10	แทบจะไม่ได้ยิน
การกระซิบแผ่วเบา	30	เงียบมาก
สำนักงานที่เงียบ	50	เงียบ
การพูดคุยธรรมดา	60	ปานกลาง
เครื่องดูดฝุ่น	75	ดัง
โรงงานทั่วไป ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	80	ดัง
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง	90	รับฟังบ่อย ๆ
เครื่องเจาะถนนแบบอัดลม	90	การได้ยินจะเสื่อม
เครื่องตัดหญ้า	100	อย่างถาวร
ดิสโก้เธค การแสดงดนตรีประเภทร็อก	120	ไม่สบายหู
ฟ้าผ่าระยะใกล้	130	
เครื่องบินไอพ่นกำลังขึ้นที่ระยะใกล้	150	เจ็บปวดในหู
จรวดขนาดใหญ่ที่กำลังขึ้นที่ระยะใกล้	180	แก้วหูชำรุดทันที

2.1.7 หูและการได้ยิน

ถ้าเราอยู่ในที่ที่สงบเงียบ เราอาจจะได้ยินแม้กระทั่งเสียงน้ำฝนที่หยดจากหลังคา เสียงลมหายใจของคนที่อยู่ใกล้ ๆ เสียงที่แผ่วเบาเหล่านี้ เกิดจากการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมากระทบเยื่อแก้วหูซึ่งมีความไวมาก จากการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของหู พบว่าการสั่นของเยื่อแก้วหูเพียงเล็กน้อยเท่านั้นก็มีผลต่อประสาทรับรู้ในการได้ยินของคนเราแล้ว

หูของคนเราแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หูส่วนนอก หูส่วนกลางและหูส่วนในดี
ภาพที่ 2-11



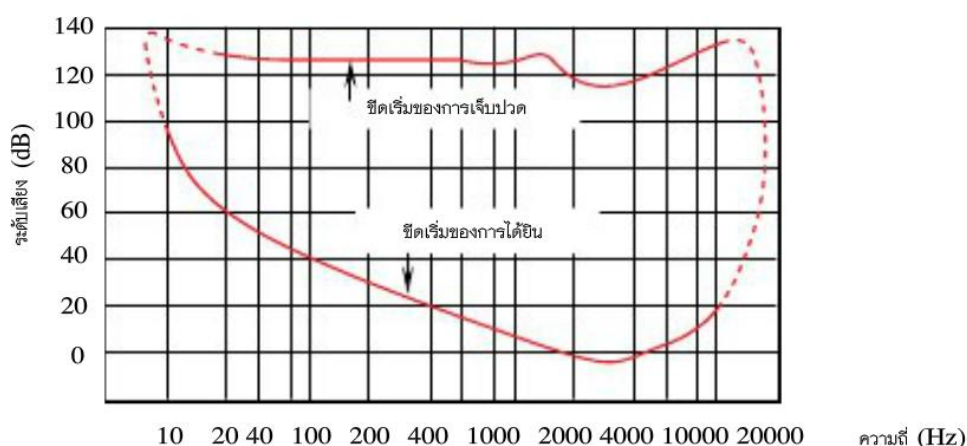
ภาพที่ 2-11 ส่วนประกอบของหู (สสวท., 2554, หน้า 78)

หูส่วนนอกประกอบด้วยใบหูและรูหู ซึ่งอยู่ลึกเข้าไปในกะโหลกศีรษะไปสิ้นสุดที่เยื่อแก้วหู

หูส่วนกลางเริ่มจากเยื่อแก้วหูซึ่งเป็นเนื้อเยื่อแผ่นบาง ๆ ปิดช่องหูและเป็นส่วนแบ่งระหว่างหูส่วนนอกกับหูส่วนกลาง บริเวณถัดจากเยื่อแก้วหูเข้าไปเป็นโพรง ภายในโพรงมีกระดูก 3 ชิ้น ซึ่งมีชื่อเรียกตามรูปร่าง คือ กระดูกค้อน กระดูกทั่ง และกระดูกโกลน ภายในหูส่วนกลางยังมีช่องเล็ก ๆ ที่ติดต่อกับหลอดลม ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับความดันอากาศทั้งสองข้างของแก้วหูให้เท่ากันตลอดเวลา ถ้าความดันทั้งสองข้างของแก้วหูไม่เท่ากันจะทำให้เกิดอากาศหูอื้อ หรือปวดหู เช่น เมื่อเราดำน้ำลงไปลึก ๆ หรือขึ้นไปบนที่สูงมาก ๆ เป็นต้น

หูส่วนในมีส่วนสำคัญต่อการได้ยินเสียง ได้แก่ ส่วนที่เป็นท่อกลวงขดเป็นรูปคล้ายหอยโข่ง เรียกว่า คอเคลีย ภายในท่อนี้ มีเซลล์ขนอยู่เป็นจำนวนมากทำหน้าที่รับรู้การสั่นของคลื่นเสียงที่ผ่านมาจากหูส่วนกลาง พร้อมกับส่งสัญญาณการรับรู้ผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง สมองจะทำหน้าที่แปลสัญญาณที่ได้รับ ทำให้เรารับรู้เกี่ยวกับเสียงที่ได้ยิน

เราทราบแล้วว่า ขอบเขตความสามารถของการได้ยินเสียงของหูคนเราขึ้นอยู่กับระดับเสียง และความถี่ของเสียง จากการศึกษาความสามารถทางการได้ยินของคนปกติพบว่า ช่วงความถี่และระดับเสียงที่คนเราสามารถรับรู้ได้มีความสัมพันธ์กัน ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 ช่วงความถี่และระดับเสียงที่หูคนปกติสามารถรับรู้ (สสวท., 2554, หน้า 79)

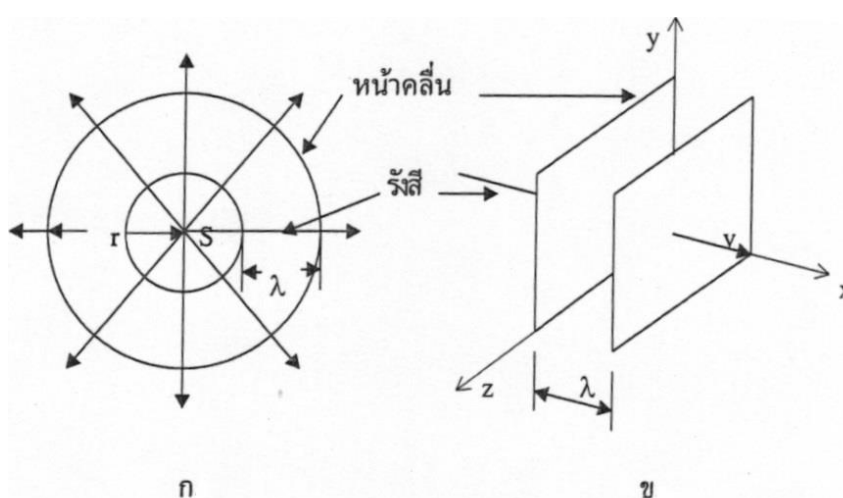
จากภาพที่ 2-8 จะเห็นว่าสำหรับเสียงความถี่ต่ำ ๆ เช่น 20-30 เฮิรตซ์ หูจะได้ยินเสียงดังกล่าวกี่ต่อเมื่อเสียงนั้นมีระดับเสียง 50-60 เดซิเบล ซึ่งแตกต่างกับเสียงความถี่สูงปานกลาง เช่น 1000 เฮิรตซ์ ที่เราสามารถได้ยินแม้จะมีระดับเสียงเพียง 10 เดซิเบล กราฟเส้นล่างแสดงขีดเริ่มของการได้ยิน (threshold of hearing) และกราฟเส้นบนแสดงขีดเริ่มของความเจ็บปวด (threshold of pain) พื้นที่ซึ่งล้อมรอบด้วยกราฟเส้นบนและเส้นล่างนี้จะแทนขอบเขตของการได้ยินของคน เสียงที่เราสามารถรับรู้ได้จะมีความถี่และระดับเสียงอยู่ในขอบเขตของการได้ยินนี้

จากกราฟการได้ยินของมนุษย์ จะช่วยให้เกิดความเข้าใจว่าทำไมวิทยุกระเป๋าคือที่มีกำลังเสียงเพียง 0.25 วัตต์ สามารถส่งเสียงข่าวสารและดนตรีให้เราฟังได้ชัดเจน เพราะว่าเสียงที่ใช้พูดคุย สนทนา โดยทั่วไปจะมีความถี่ในช่วง 1000-8000 Hz ซึ่งการได้ยินต้องการระดับเสียงใกล้เคียง 0-10 เดซิเบล ก็สามารถทำให้ผู้ฟังได้ยินชัดเจน แล้วเสียงร้องเพลงก็อยู่ในความถี่ช่วงนี้เช่นกัน สำหรับเสียงที่มีความถี่ต่ำ และเสียงที่มีความถี่สูง ๆ นั้นต้องใช้เครื่องขยายเสียงที่มีกำลังมากกว่านี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ, 2554, หน้า 78-79)

2.1.5 คลื่นทรงกลมและคลื่นระนาบ

ถ้าแหล่งต้นทางคลื่นเสียง ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมเล็ก ๆ ก้อนหนึ่ง สั่นโดยมีรัศมีเปลี่ยนแปลงแบบฮาร์มอนิกตามเวลา คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นคลื่นทรงกลม (spherical wave) โดยคลื่นนี้จะแผ่ออกจากแหล่งต้นทางตามแนวรัศมี ไปในทิศทางของรูปด้วยอัตราเร็วคงตัว และเราเรียกแนวเส้นตรงที่แทนทิศทางการแผ่ของคลื่นว่า รังสี (ray) นอกจากนี้ยังนิยามคิดในลักษณะที่มีชุดของผิวทรงกลมชุดหนึ่ง ซึ่งมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ณ แหล่งต้นทางของคลื่น โดยที่ผิวทรงกลมชุดนี้มีสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งคือ มีค่ารัศมีคงตัว และเรียกผิวทรงกลมเหล่านี้ว่าหน้าคลื่น (wave front) ผลที่ตามมาคือ ระยะระหว่างหน้าคลื่นติดกันเท่ากับ ความยาวคลื่น (λ) และรังสีย่อมจะต้องตัดตั้งฉากกับหน้าคลื่นเสมอ

ถ้าพิจารณาชั้นประกอบหน้าคลื่นของคลื่นทรงกลม ณ ตำแหน่งที่อยู่ไกลจากแหล่งต้นทาง ชุดรังสีใกล้เคียงกันจะอยู่ในลักษณะที่ขนานกัน และชุดหน้าคลื่นบริเวณใกล้เคียงกันก็จะพอจะประมาณได้ว่ามีลักษณะเป็นระนาบ จึงนิยามเรียกว่า คลื่นระนาบ (plane wave) และถือว่า รังสีก็มี ความสัมพันธ์กับหน้าคลื่นเช่นเดียวกับกรณีของคลื่นทรงกลม



ภาพที่ 2-13 หน้าคลื่นระนาบและรังสีที่แผ่ออกไป (สมพงษ์ ใจดี, 2551, หน้า 120)

เนื่องจาก ค่าความเข้มเป็นอัตราพลังงานบนพื้นที่ตั้งฉากกับ 1 ตารางหน่วย การพิจารณาหน้าคลื่นทรงกลม ซึ่งมีแหล่งต้นทางอยู่ ณ จุดศูนย์กลางของหน้าคลื่น จึงนับว่ามีประโยชน์และสอดคล้องกับการพิจารณาค่าความเข้มเป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะถ้านึกถึงพื้นที่เล็ก ๆ ซึ่งสัมผัสกับแต่ละตำแหน่งบนผิวทรงกลม พื้นที่เหล่านั้นย่อมตั้งฉากกับรัศมีของทรงกลม ณ ทุกตำแหน่งไป

นอกจากนี้ไม่ว่าผิวทรงกลมจะมีรัศมีต่างกัน แต่อัตราพลังงานจากแหล่งต้นทางเดียวกันที่ตกบนพื้นผิวทรงกลมต่าง ๆ กันย่อมเท่ากัน ถ้าถือว่า ไม่มีการสูญเสียพลังงานตามระยะทาง

ถ้า $\bar{P}$ แทนค่ากำลังเฉลี่ยของแหล่งต้นทาง

และ I แทนค่าความเข้มบนผิวทรงกลม ซึ่งมีรัศมี r และมีพื้นที่ผิวคือ $A = 4\pi r^2$ จะได้

$$I = \frac{\bar{P}}{A} = \frac{\bar{P}}{4\pi r^2} \quad (2-19)$$

แสดงว่า สำหรับแหล่งต้นทางแหล่งหนึ่งที่มีค่ากำลังเฉลี่ย ($\bar{P}$) คงตัว ค่าความเข้ม (I) ย่อมแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางจากแหล่งต้นทางแหล่งนั้น (r) กล่าวคือ $I \propto \frac{1}{r^2}$

จากสมการ (2.16) แสดงว่า ค่าความเข้ม (I) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของค่าแอมพลิจูด (s_m) กล่าวคือ $I \propto s_m^2$

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกัน ย่อมแสดงว่าค่าแอมพลิจูดของคลื่นทรงกลมย่อมแปรผกผันกับ r หรือเป็นสัดส่วนกับ $\frac{1}{r}$

สมมติ $\Psi(r, t)$ แทนฟังก์ชันคลื่นของคลื่นทรงกลมที่ขึ้นกับตำแหน่ง (r) กับเวลา (t) และ s_0 แทนค่าคงตัว จะได้

$$\Psi(r, t) = \left(\frac{s_0}{r} \right) \sin(kx - \omega t) \quad (2-20)$$

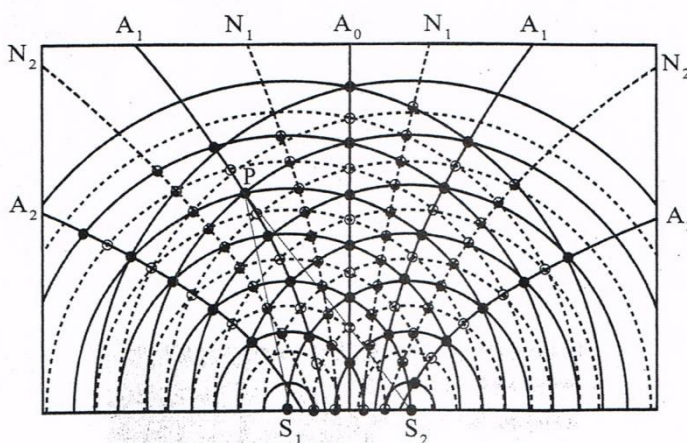
สำหรับกรณีของคลื่นระนาบ เช่น ภาพที่ 2-13 ข นั้น เราสมมติให้คลื่นแผ่ไปตามทิศทางของแกน x และเป็นทิศทางเดียวกันกับทิศทางของรังสี ผลคือ ระนาบคลื่นอยู่ในระนาบ $y-z$ จะปรากฏว่าค่าความเข้มบนหน้าคลื่นต่อเนื่องกันย่อมเท่ากัน จึงกล่าวได้ว่า ฟังก์ชันคลื่นของคลื่นระนาบขึ้นกับตำแหน่ง (x) และเวลา (t) กล่าวคือ $\Psi(r, t)$ มีรูปแบบที่คล้ายกับกรณีของคลื่นเดินทาง 1 มิติ ดังนี้

$$\Psi(r, t) = s_0 \sin(kx - \omega t) \quad (2-21)$$

2.2 การแทรกสอดของคลื่นเสียง

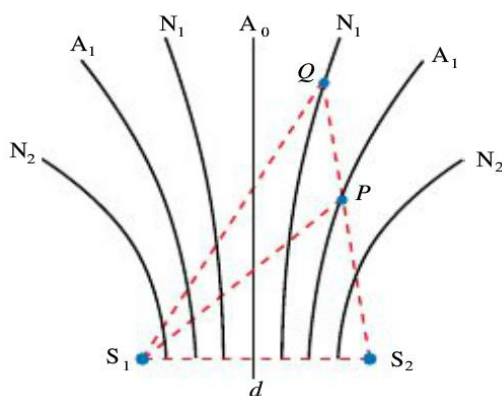
หากเราวางแหล่งกำเนิดเสียง 2 แหล่ง (S_1, S_2) ห่างกันขนาดหนึ่งแล้วส่งคลื่นเสียงที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ (คลื่นอาพันธ์) ออกมาพร้อมกัน คลื่นเสียงทั้งสองนั้นจะเข้ามาแทรกสอดกันโดยจะมีแนวบางแนวคลื่นเสียงทั้งสองจะเข้ามาเสริมกันทำให้มีเสียงดังมากกว่าปกติ เรียกแนวนี้ว่าแนวปฏิบัพ (Antinode, A) ซึ่งจะมีอยู่หลายแนวกระจายออกไปทั้งทางด้านซ้ายและด้านขวาอย่างสมมาตรกัน แนวปฏิบัพที่อยู่ตรงกลางเราจะเรียกเป็นปฏิบัพที่ 0 (A_0) ถัดออกไปจะเรียกแนวปฏิบัพที่ 1 (A_1), 2 (A_2), 3 (A_3), ... ไปเรื่อย ๆ ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา

ระหว่างกลางแนวปฏิบัพ คลื่นเสียงทั้งสองจะเกิดการหักล้างกันทำให้เสียงเบาว่าปกติ เรียกแนวนี้ว่าเป็นแนวบัพ (Node, N) แนวบัพแรกที่อยู่ถัดจากแนวปฏิบัพกลาง (A_0) จะเรียกแนวบัพที่ 1 (N_1) ถัดออกไปจะเรียกแนวบัพที่ 2 (N_2), 3 (N_3), ... ไปเรื่อย ๆ ทั้งทางด้านซ้ายและด้านขวาดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 การแทรกสอดของคลื่นเสียงต่อเนื่องวงกลมสองคลื่น (สสวท., 2554, หน้า 36)

จากภาพที่ 2-14 ถ้าพิจารณาเฉพาะแนวบัพและปฏิบัพจะได้ดังภาพที่ 2-15 โดย S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ $A_0, A_1, A_2, \dots$ เป็นแนวปฏิบัพ $N_1, N_2, N_3, \dots$ เป็นแนวบัพ



ภาพที่ 2-15 เส้นบัพและเส้นปฏิบัพที่เกิดจากการแทรกสอดของคลื่น (สสวท., 2554, หน้า 36)

เมื่อพิจารณาแนวปฏิบัพทุก ๆ จุดบนแนวปฏิบัพ คลื่นมีการแทรกสอดแบบเสริม นั่นคือ สันคลื่นซ้อนทับกับสันคลื่น และท้องคลื่นซ้อนทับกับท้องคลื่นพอดี ดังนั้น ผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใด ๆ บนแนวปฏิบัพ เท่ากับจำนวนเต็มของความยาวคลื่นเสมอ ถ้าให้ P เป็นจุดบนแนวปฏิบัพใด ๆ จะได้

$$|S_1P - S_2P| = n\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

ในทำนองเดียวกัน ทุก ๆ จุดบนแนวบัพ คลื่นมีการแทรกสอดแบบหักล้าง นั่นคือ สันคลื่นซ้อนทับกับท้องคลื่นพอดี ดังนั้น ผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใด ๆ บนเส้นบัพเท่ากับ จำนวนเต็มบวกครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสมอ ถ้าให้ Q เป็นจุดบนเส้นบัพใด ๆ จะได้

$$|S_1Q - S_2Q| = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

ปริมาณ $|S_1P - S_2P|$ และ $|S_1Q - S_2Q|$ เรียกว่าความต่างระยะทาง (path difference, Δr)

ดังนั้นจึงสรุปเป็นสมการได้ว่า

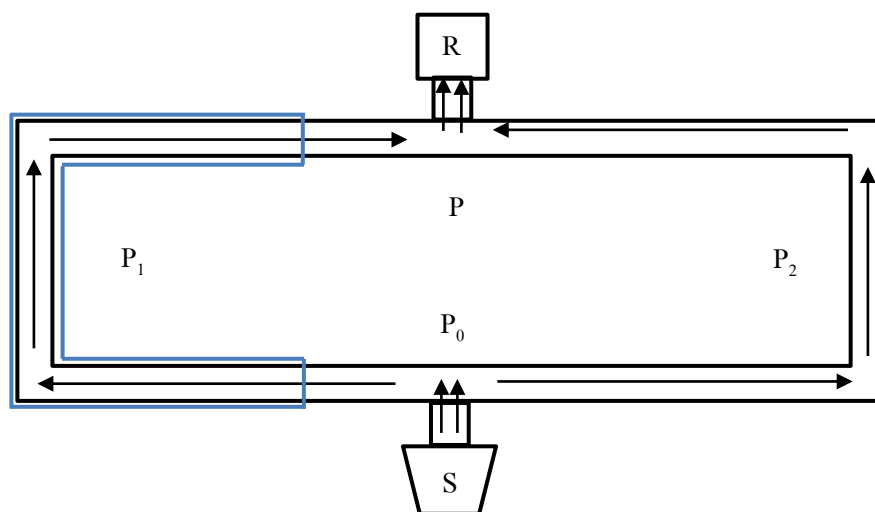
กรณีการแทรกสอดแบบเสริม

$$\Delta r = n\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2-22)$$

กรณีการแทรกสอดแบบหักล้าง

$$\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2-23)$$

2.3 ชุดทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียง



ภาพที่ 2-16 แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียง

จากภาพที่ 2-16 แสดงแผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียง โดยประกอบด้วยส่วนสำคัญหลักคือลำโพงเสียง (S) ตัวหนึ่ง เครื่องรับ (R) เครื่องหนึ่ง และท่อลำเลียงเสียงรูปตัวยู 2 ท่อ ซึ่งสวมกันอยู่

คลื่นเสียงจากลำโพงเสียง (S) นั้น จะเคลื่อนที่ไปตามท่อได้ 2 ทางคือ ตาม P_0P_1P และ P_0P_2P โดยมีความต่างระยะทาง (Δr) เท่ากับ $|P_0P_1P - P_0P_2P|$ เนื่องจากการเคลื่อนที่สองเส้นทางจึงสามารถรับผลการแทรกสอดของคลื่นเสียงได้ที่เครื่องรับ (R) เครื่องนั้น

เนื่องจากท่อส่วน P_2 นั้นสามารถปรับเข้าหรือออกได้ เราจึงสามารถเลือกการทดลองให้เหมาะสมสำหรับการแทรกสอดเสริม หรือการแทรกสอดหักล้าง สอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังสมการ (2-22) หรือ (2-23) ได้ตามต้องการ

นอกจากนี้สามารถพิจารณาความต่างระยะทาง (Δr) สัมพันธ์กับผลต่างวัฏภาค ($\Delta \phi$) ของคลื่นเสียง ณ ตำแหน่งเครื่องรับ (R) ได้ดังนี้

เมื่อผลต่างวัฏภาค 2π เรเดียน ในช่วง 1 ความยาวคลื่น คือ λ เมตร

แสดงว่าผลต่างวัฏภาค $\Delta \phi$ เรเดียน จะมีความต่างระยะทางเท่ากับ $\frac{\lambda}{2\pi} \Delta \phi$ เมตร

จะได้

$$\Delta r = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta \phi \quad (2-24)$$

ถ้าผลต่างศักย์ ($\Delta\phi$) = 0 กล่าวคือเป็นกรณีร่วมศักย์ศักย์กันนั้นจะเป็นการแทรกสอดเสริม แต่ถ้าผลต่างศักย์ ($\Delta\phi$) = 180° องศา หรือ π เรเดียน ที่เป็นกรณีต่างศักย์ศักย์กัน ก็จะเกิดการแทรกสอดหักล้าง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ahmet and Burak (2016, pp. 1-6) ได้ทำการทดลองเรื่องการหาอัตราเร็วของเสียงจากการแทรกสอด โดยให้เสียงความถี่ 2000-3000 เฮิรตซ์ ด้วยแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟนผ่านหูฟังที่สามารถเคลื่อนที่ภายในท่อ และตรวจจับสัญญาณเสียงผ่านแอปพลิเคชันในไอแพดที่เชื่อมต่อกับไมโครโฟนบลูทูธ พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 24 องศาเซลเซียส และ 9 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของเสียงมีค่าใกล้เคียงกับทางทฤษฎีที่อุณหภูมินั้น ๆ

James (2006, p. 473) ได้ทำการทดลองเรื่อง การแทรกสอดระหว่างลำโพงคอมพิวเตอร์สองตัว โดยให้ลำโพงคอมพิวเตอร์หันหน้าเข้าหากัน แล้วเปิดเสียงจากคอมพิวเตอร์ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ ให้นักเรียนฟังเสียงระหว่างลำโพงทั้งสองในแต่ละจุดจะได้ยินเสียงดัง ค่อย สลับกัน

Robert (2016, pp. 120-121) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การทดลองการแทรกสอดอย่างง่าย โดยให้เสียงความถี่ 400-1,600 เฮิรตซ์จากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟนต่อผ่านลำโพงสองเครื่อง วางลำโพงห่างกัน 85 เซนติเมตร บนฐานวางสูง 1 เมตร แล้วให้นักเรียนเดินเป็นลักษณะเส้นตรงขนานกับลำโพงห่างจากหน้าลำโพง 1 เมตร สังเกตเสียงที่เบาที่สุดในแต่ละตำแหน่งแล้วบันทึกระยะจากตำแหน่งนั้นถึงลำโพงตัวที่ 1 และ 2 เป็น d_1 และ d_2 ตามลำดับ แล้วเพิ่มระยะห่างจากหน้าลำโพงอีก 1 เมตร บันทึกตำแหน่ง d_1 และ d_2 อีกครั้ง หลังจากนั้นหาความยาวคลื่นเสียงจากความสัมพันธ์ $|d_1 - d_2|$ เท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น พบว่าที่ความถี่ 400 Hz ความยาวคลื่นเสียงเท่ากับ 0.914 เมตร เมื่อคำนวณหาอัตราเร็วเสียงได้ 366 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง 7 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 3 หัวข้อ ได้แก่ การออกแบบและคำนวณความยาวท่อที่ใช้ในชุดทดลอง

3.1 การออกแบบและคำนวณความยาวท่อที่ใช้ในชุดทดลอง

ในการออกแบบความยาวของท่อที่ใช้ในชุดทดลอง สามารถคำนวณจากความถี่เสียงพื้นฐาน อาศัยหลักการที่ว่า อัตราเร็วเสียงในตัวกลางเดียวกันมีค่าเท่ากัน ดังนั้นความถี่ของเสียงที่ลดลง ความยาวคลื่นจะมีค่ามากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกความถี่ $f = 1$ กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่พื้นฐานมาใช้เพื่อคำนวณหาความยาวท่อปรับความยาวได้ที่นำมาใช้ในชุดทดลอง โดยสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (2-2)

$$v = f\lambda$$

โดยอัตราเร็วเสียงที่อุณหภูมิห้องทดลอง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-9) ดังนี้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

โดย v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (เมตร/วินาที)

t คืออุณหภูมิของอากาศมีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ซึ่งคำนวณที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ดังนั้น

$$v_t = 331 + 0.6(25)$$

$$v_t = 346 \text{ เมตร/วินาที}$$

คำนวณหาความยาวคลื่นที่มากที่สุดที่ใช้ในการทดลองสามารถคำนวณจากสมการ $v = f\lambda$ ได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{346}{1000} = 0.346 \text{ เมตร}$$

การหาความยาวท่อปรับความยาวได้ที่จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-22)

$$\Delta r = n\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

การทดลองนี้ไม่ใช่ $n = 0$ เนื่องจากหาก $n = 0$ จะไม่สามารถหาความยาวคลื่นได้

เมื่อ $n = 1$ จะได้ว่า $\Delta r = \lambda$ เมตร

$$\Delta r = 0.346 \text{ เมตร}$$

เมื่อ $n = 2$ จะได้ว่า $\Delta r = 2\lambda$ เมตร

$$\Delta r = 2(0.346) \text{ เมตร}$$

$$\Delta r = 0.692 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นความยาวท่อปรับความยาวได้ที่ใช้สำหรับการทดลองการแทรกสอดแบบเสริม
ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.692 เมตร

การหาความยาวท่อที่จะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างสามารถคำนวณได้จาก สมการ (2-23)

$$\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

เมื่อ $n = 0$ จะได้ว่า $\Delta r = \left(\frac{1}{2}\right)\lambda$ เมตร

$$\Delta r = \left(\frac{1}{2}\right)(0.346) \text{ เมตร}$$

$$\Delta r = 0.173 \text{ เมตร}$$

เมื่อ $n = 1$ จะได้ว่า $\Delta r = \left(\frac{3}{2}\right)\lambda$ เมตร

$$\Delta r = \left(\frac{3}{2}\right)(0.346) \text{ เมตร}$$

$$\Delta r = 0.519 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นความยาวท่อปรับความยาวได้ที่ใช้สำหรับการทดลองการแทรกสอดแบบหักล้าง
ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.519 เมตร

ดังนั้นความยาวท่อปรับความยาวได้ที่ใช้สำหรับชุดทดลองนี้ ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.692
เมตรจึงเลือกความยาวท่อ 0.750 เมตรแต่ท่อที่ปรับความยาวได้มีสองส่วน แต่ละทางจึงควรมีความ
ยาว 0.375 เมตร

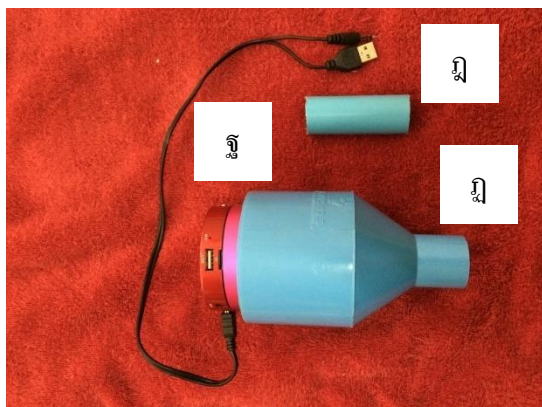
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำชุดทดลองการแทรกสอดของคลื่น ที่จัดทำขึ้น ประกอบด้วยอุปกรณ์ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

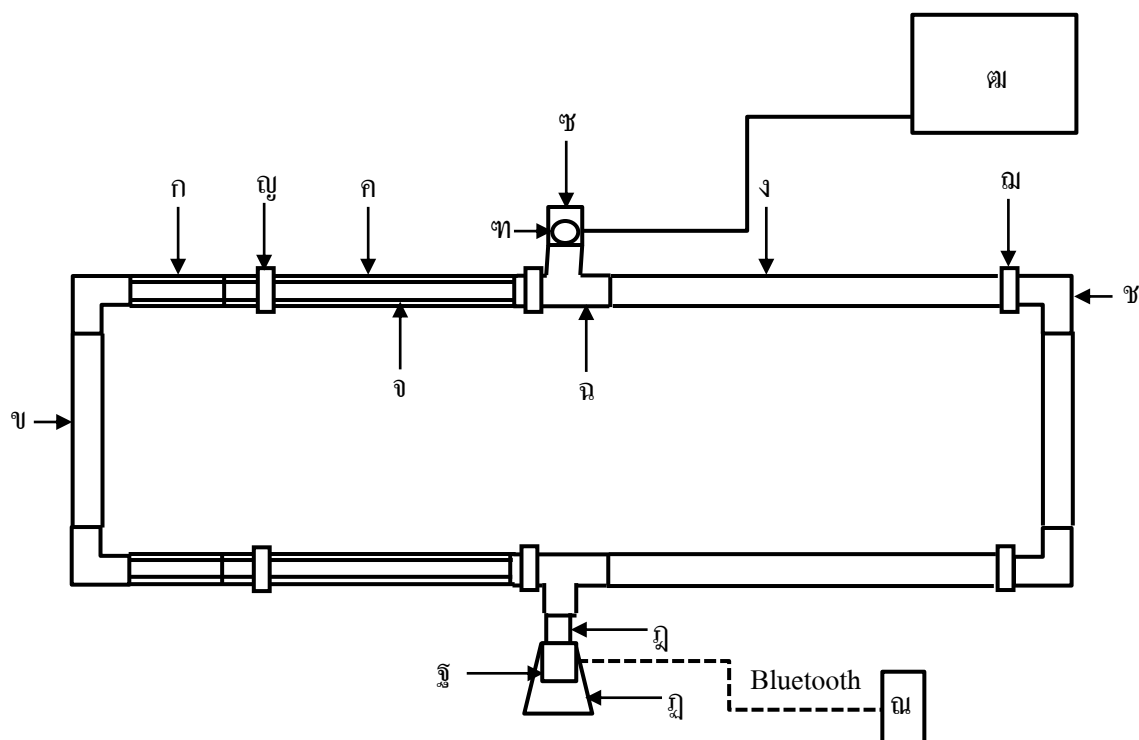
1. ท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 เมตร มีความยาว 0.125 เมตร จำนวน 2 หลอด (ก)
2. ท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 เมตร มีความยาว 0.250 เมตร จำนวน 2 หลอด (ข)
3. ท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 เมตร มีความยาว 0.375 เมตร จำนวน 2 หลอด (ค)
4. ท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 เมตร มีความยาว 0.5 เมตร จำนวน 2 หลอด (ง)
5. ท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.020 เมตร มีความยาว 0.5 เมตร จำนวน 2 หลอด (จ)
6. สามทาง 90° PVC 3 ทางขนาด 0.75 นิ้ว จำนวน 2 อัน (ฉ)
7. ข้อต่อ 90° PVC ขนาด 0.75 นิ้ว จำนวน 4 อัน (ช)
8. ฝาครอบ PVC ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1 อัน (ซ)
9. กิ๊บจับท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 อัน (ฌ)
10. คลิปจับท่อ PVC ก้ามปู ขนาด 0.75 นิ้ว จำนวน 2 อัน (ญ)
11. ท่อ PVC ขนาด 0.75 นิ้ว มีความยาว 8 เซนติเมตร 1 อัน (ฎ)
12. ข้อต่อลด PVC ขนาด 2.5 นิ้ว จำนวน 1 อัน (ฏ)
13. ลำโพง (ฐ)
14. ไมโครโฟน (ฑ)
15. คอมพิวเตอร์ (ฒ)
16. สมาร์ทโฟน (ณ)



ภาพที่ 3-1 ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3-1 (ต่อ)



ภาพที่ 3-2 ภาพแสดงตำแหน่งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยวิธีคำนวณ

1. ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของอากาศขณะนั้น คำนวณอัตราเร็วของเสียงในอากาศโดยใช้ความสัมพันธ์ $v_t = 331 + 0.6t$

2. นำอัตราเร็วของเสียงที่ได้มาคำนวณหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยใช้ความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ เมื่อความถี่ของเสียงเท่ากับความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงคือ 1000, 1100, ..., 3000 เฮิรตซ์ โดยปรับเพิ่มครั้งละ 100 เฮิรตซ์ บันทึกความยาวคลื่นเสียงเมื่อความถี่ของเสียงมีค่าต่าง ๆ กัน

ตอนที่ 2 การหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยอาศัยปรากฏการณ์การแทรกสอดของเสียง

1. เปิดบลูทูธสมาร์ทโฟนเชื่อมต่อกับลำโพง
2. เปิดแอปพลิเคชัน Function Generator ปรับความถี่ของเสียงไปที่ 1000 เฮิรตซ์ พร้อมทั้งปรับความดังให้เหมาะสม
3. เชื่อมสายจากคอมพิวเตอร์เข้ากับไมโครโฟน เปิดโปรแกรม Visual Analyser

4. เลื่อนท่ออะคริลิกที่ปรับความยาวได้มาที่ 0 เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ เลื่อนท่ออะคริลิก ออกช้า ๆ จนกระทั่งแอมพลิจูดบนหน้าจอโปรแกรม Visual Analyser สูงสุดหรือได้ยินเสียงดังที่สุด ครั้งที่ 1 บันทึกตำแหน่ง x_1 แต่ละด้าน แล้วค่อย ๆ เลื่อนท่ออะคริลิกอีกครั้งจนได้ยินเสียงดังครั้งที่ 2, 3, ... บันทึกตำแหน่ง $x_2, x_3, \dots$ ของท่ออะคริลิก

5. หา path difference ของการแทรกสอดแต่ละครั้งโดยนำ $x_1, x_2, x_3, \dots$ ของท่อทั้งสอง ด้านรวมกัน

6. คำนวณหาความยาวคลื่นของการแทรกสอดแบบเสริมกันจากสมการ $\Delta r = n\lambda$ เมื่อ $n = 1, 2, \dots$ (ไม่ใช่ $n=0$ เนื่องจากหาก $n=0$ จะไม่สามารถหาความยาวคลื่นได้)

7. หาค่าเฉลี่ยความยาวคลื่นเสียงจากการแทรกสอดแบบเสริมกันแต่ละครั้ง

8. เลื่อนท่ออะคริลิกที่ปรับความยาวได้มาที่ 0 เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ เลื่อนท่ออะคริลิก ออกช้า ๆ จนกระทั่งแอมพลิจูดบนหน้าจอโปรแกรม Visual Analyser ต่ำสุดหรือได้ยินเสียงเบา ที่สุดครั้งที่ 1 บันทึกตำแหน่ง x_1 แต่ละด้าน แล้วค่อย ๆ เลื่อนท่ออะคริลิกอีกครั้งจนได้ยินเสียงเบา ครั้งที่ 2, 3, ... บันทึกตำแหน่ง $x_2, x_3, \dots$ ของท่ออะคริลิก

9. หา path difference ของการแทรกสอดแต่ละครั้งโดยนำ $x_1, x_2, x_3, \dots$ ของท่อทั้งสอง ด้านรวมกัน

10. คำนวณหาความยาวคลื่นของการแทรกสอดแบบหักล้างจากสมการ

$$\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

11. หาค่าเฉลี่ยความยาวคลื่นเสียงจากการแทรกสอดแบบหักล้างแต่ละครั้ง

12. เปลี่ยนความถี่ไปที่ 1100, 1200, ... , 3000 เฮิรตซ์ แล้วทำซ้ำข้อ 4-11

13. หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นตอนที่ 1 และ 2 ได้ดังนี้

$$\% \text{ error} = \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right| \times 100$$

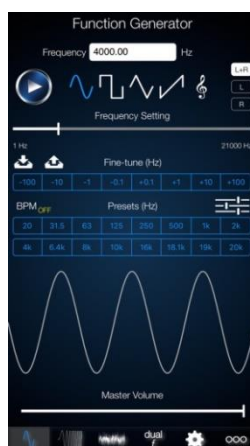
โดย x_t คือค่าที่ได้จากการคำนวณในตอนต้นที่ 1 (true value)

x_{mea} คือค่าที่ได้จากการวัดในตอนต้นที่ 2 (measured value)

3.4 แอปพลิเคชันและโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 แอปพลิเคชัน Function Generator

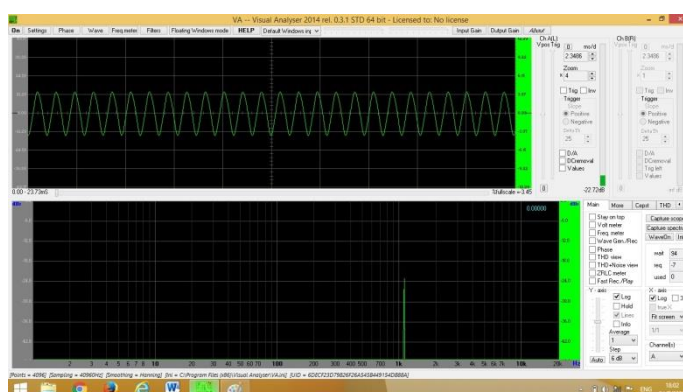
แอปพลิเคชัน Function Generator เป็นฟรีแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบ iOS ทำหน้าที่เสมือนเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงซึ่งพัฒนาขึ้นโดยโทมัส กรูเบอร์ (Thomas Gruber) เวอร์ชันที่ใช้ในการทดลองนี้คือเวอร์ชัน 3.3.3 ขนาด 15.0 เมกะไบต์ ลักษณะหน้าจอของแอปพลิเคชันแสดงดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 ภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน Function Generator

3.4.2 โปรแกรม Visual Analyser

โปรแกรม Visual Analyser เป็นฟรีซอฟต์แวร์ที่สามารถจับสัญญาณเสียงได้ในลักษณะ real time แสดงผลออกมาในรูปสัญญาณเสียงและความถี่เสียงที่ตรวจจับได้ เวอร์ชันที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นเวอร์ชัน 2014 ลักษณะหน้าจอของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-3 ภาพหน้าจอโปรแกรม Visual Analyser

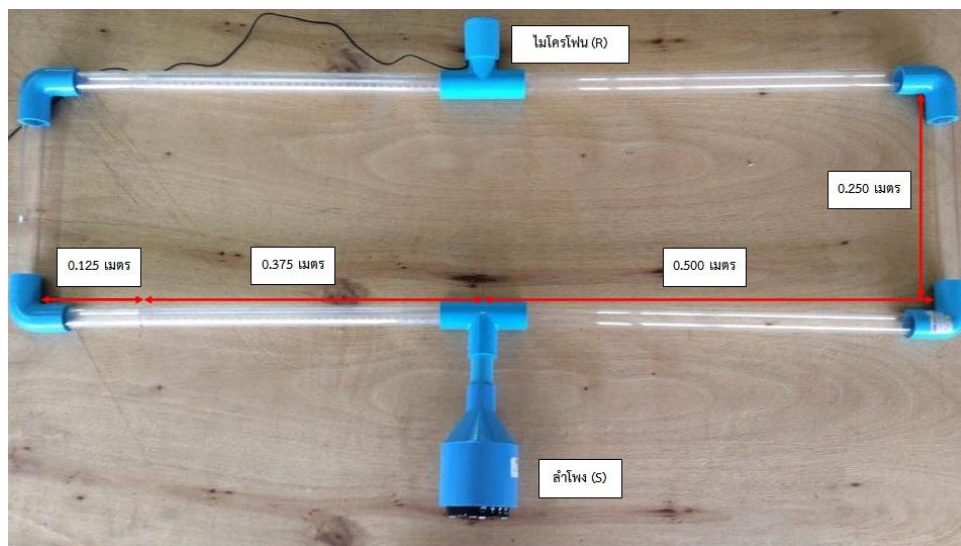
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างชุดทดลอง จากนั้นทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง ดังนี้

4.1 ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน

ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ $v_t = 331 + 0.6t$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้ความเร็วเสียงในอากาศ 346 เมตรต่อวินาที จากนั้นกำหนดความถี่คลื่นเสียงที่จะใช้ในการทดลองตั้งแต่ 1.0 - 3.0 กิโลเฮิรตซ์ แล้วคำนวณหาความยาวคลื่นเสียงจากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$



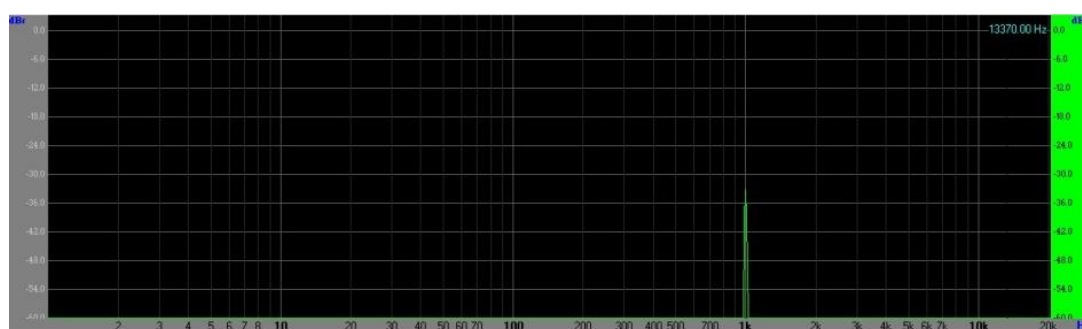
ภาพที่ 4-1 ภาพถ่ายชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง

จัดอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 4-1 เปิดบลูทูธสมาร์ทโฟนเชื่อมต่อกับลำโพง เปิดแอปพลิเคชัน Function Generator เลือกความถี่เสียงได้หลายความถี่ ตัวอย่างดังภาพที่ 4-2 (ก) เลือก

ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ในส่วนของการรับสัญญาณเสียงจะใช้ไมโครโฟนต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ และใช้โปรแกรม Visual Analyser แสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างดังภาพที่ 4-2 (ข) ซึ่งแสดงตัวอย่างผลการตรวจจับสัญญาณเสียงที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วยโปรแกรม Visual Analyser ซึ่งเป็นความถี่เดียวกับความถี่จากแอปพลิเคชัน Function Generator แสดงว่าโปรแกรมและแอปพลิเคชันดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการทดลองซึ่งจะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้มาก



(ก)

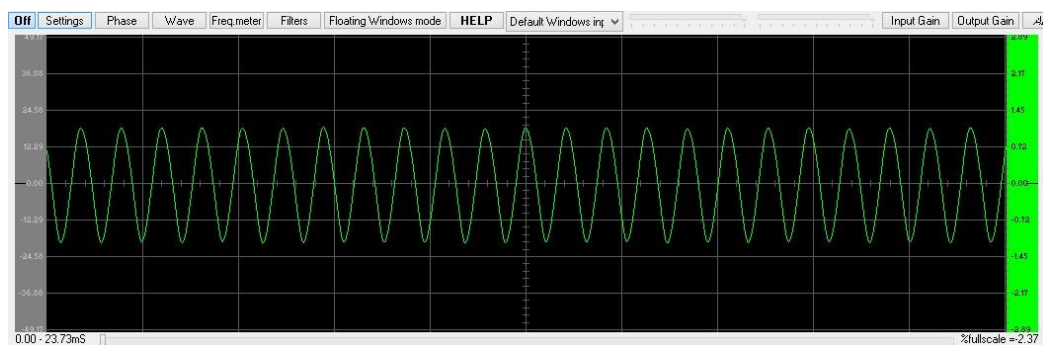


(ข)

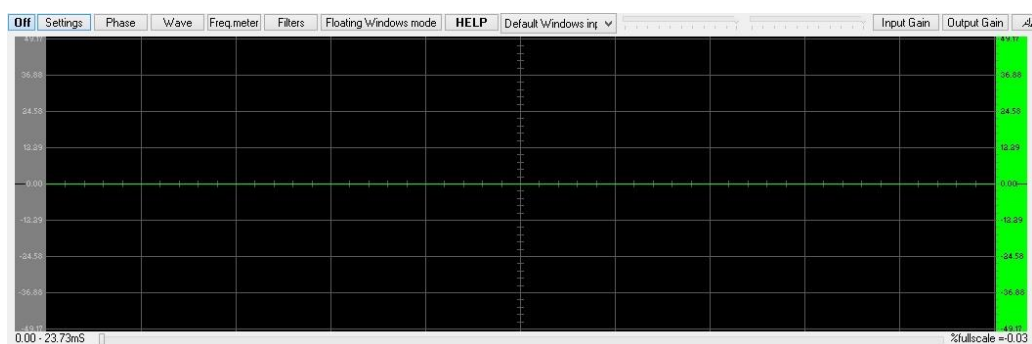
ภาพที่ 4-2 (ก) หน้าจอแสดงผลการใช้แอปพลิเคชัน Function Generator บนสมาร์ตโฟน

(ข) แสดงผลการตรวจจับสัญญาณเสียงด้วยโปรแกรม Visual Analyser

เมื่อท่ออะคริลิกถูกเลื่อนให้มีความยาวเพิ่มขึ้นด้านใดด้านหนึ่ง จะส่งผลต่อความต่างระยะทาง (path difference, Δr) ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและแบบหักล้างกัน แสดงผลการแทรกสอดผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังภาพที่ 4-3 (ก) และ (ข) ทำให้ผู้ทดลองสามารถสังเกตเห็นการแทรกสอดได้พร้อม ๆ กับการได้ยินเสียง ซึ่งจะได้ผลการทดลองที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น



(ก) การแทรกสอดแบบเสริมกัน



(ข) การแทรกสอดแบบหักล้างกัน

ภาพที่ 4-3 แสดงผลการแทรกสอด (ก) แบบเสริมกัน และ (ข) แบบหักล้างกัน โดยใช้การแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Analyser

4.2 ผลการทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง

การทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ การหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยวิธีคำนวณจากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ เปรียบเทียบกับการหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยอาศัยปรากฏการณ์การแทรกสอดของเสียงด้วยความสัมพันธ์

$$\Delta r = n\lambda \text{ และ } \Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ เมื่อเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและแบบหักล้างกัน}$$

ตามลำดับ

4.2.1 ตัวอย่างการคำนวณความยาวคลื่นเสียงในอากาศที่มีความถี่ 1,000 เฮิรตซ์โดยวิธี

คำนวณ

ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของอากาศขณะนั้นได้ 25 องศาเซลเซียส

จากความสัมพันธ์ $v_t = 331 + 0.6t$

จะได้ว่า $v_t = 331 + 0.6(25) = 346$ เมตร/วินาที

หาความยาวคลื่นเสียงจากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ หรือ $\lambda = \frac{v}{f}$

จะได้ว่า $\lambda = \frac{346}{1000} = 0.346$ เมตร = 34.6 เซนติเมตร

4.2.2 ตัวอย่างการคำนวณความยาวคลื่นเสียงในอากาศที่มีความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ โดยการ

ทดลองจากชุดทดลอง

4.2.2.1 กรณีเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน

การแทรกสอดแบบเสริมกันครั้งที่ 1

ได้ path difference (Δr) = 17.0 + 17.0 = 34.0 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$

เมื่อ $n = 1$ จะได้ว่า $\Delta r = \lambda$

$$\lambda = \Delta r = 34.0 \text{ เซนติเมตร}$$

การแทรกสอดแบบเสริมกันครั้งที่ 2

ได้ path difference (Δr) = 34.7 + 34.7 = 69.4 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$

เมื่อ $n = 2$ จะได้ว่า $\Delta r = 2\lambda$

$$\lambda = \frac{\Delta r}{2} = \frac{69.4}{2} = 34.7 \text{ เซนติเมตร}$$

หาความยาวคลื่นเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\lambda_{av} = \frac{34.0 + 34.7}{2} = 34.4 \text{ เซนติเมตร}$$

หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่น ตอนที่ 1 และตอนที่ 2

ได้ดังนี้

$$\% \text{ error} = \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right| \times 100$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{34.4 - 34.6}{34.6} \right| \times 100 = 0.58\%$$

4.2.2.1 กรณีเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน

การแทรกสอดแบบหักล้างกันครั้งที่ 1

ได้ path difference (Δr) = 8.5+8.5 = 17.0 เซนติเมตร

$$\text{จากความสัมพันธ์ } \Delta r = \left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$\text{เมื่อ } n = 0 \text{ จะได้ } \Delta r = \frac{1}{2} \lambda$$

$$\lambda = 2\Delta r = 2(17.0) = 34.0 \text{ เซนติเมตร}$$

การแทรกสอดแบบหักล้างกันครั้งที่ 2

ได้ path difference (Δr) = 25.5+25.6 = 51.1 เซนติเมตร

$$\text{จากความสัมพันธ์ } \Delta r = \left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$\text{เมื่อ } n = 1 \text{ จะได้ } \Delta r = \frac{3}{2} \lambda$$

$$\lambda = \frac{2}{3} \Delta r = \frac{2}{3}(51.1) = 34.1 \text{ เซนติเมตร}$$

หาความยาวคลื่นเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\lambda_{\text{av}} = \frac{34.0 + 34.1}{2} = 34.0 \text{ เซนติเมตร}$$

หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่น ตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ได้ดังนี้

$$\% \text{ error} = \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right| \times 100$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{34.0 - 34.6}{34.6} \right| \times 100 = 1.73\%$$

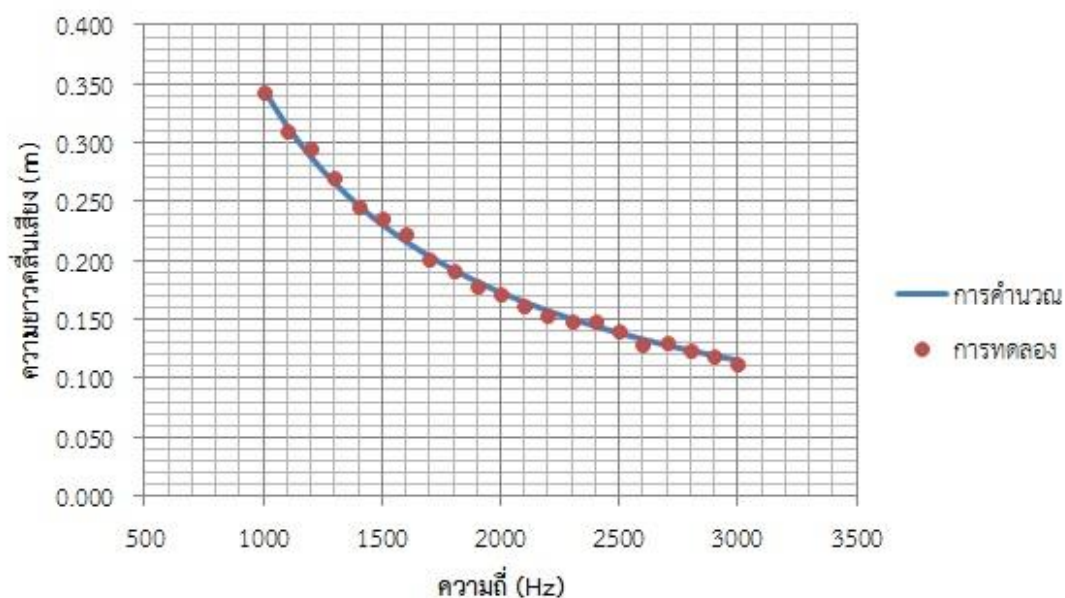
ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4-1 และ 4-2

ตารางที่ 4-1 ความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลอง
การแทรกสอดแบบเสริมกัน

f: ความถี่ (เฮิรตซ์)	λ : ความยาวคลื่น (เซนติเมตร)		ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	การคำนวณ	การทดลอง	
1000	34.6	34.4	0.58
1100	31.5	31.1	1.27
1200	28.8	29.5	2.43
1300	26.6	27.1	1.88
1400	24.7	24.6	0.40
1500	23.1	23.5	1.73
1600	21.6	22.2	2.78
1700	20.4	20.2	0.98
1800	19.2	19.2	0.00
1900	18.2	17.8	2.20
2000	17.3	17.1	1.16
2100	16.5	16.2	1.82
2200	15.7	15.3	2.55
2300	15.0	14.9	0.67
2400	14.4	14.8	2.78
2500	13.8	14.0	1.45
2600	13.3	12.9	3.01
2700	12.8	13.0	1.56
2800	12.4	12.4	0.00
2900	11.9	11.9	0.00
3000	11.5	11.2	2.61

เมื่อท่ออะคริลิกถูกเลื่อนให้มีความยาวเพิ่มขึ้นด้านใดด้านหนึ่ง จะส่งผลต่อระยะทางเดินของแสงที่แตกต่างกัน (path difference) ด้วย เมื่อนำมาคำนวณหาความยาวคลื่นแสงด้วย

ความสัณพันธ์ $\Delta_r = n\lambda$ เปรียบเทียบกับความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีตาม
 ความสัณพันธ์ $v = f\lambda$ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3.01% ดังแสดงในตารางที่ 4-1 เมื่อนำมา
 พล็อตกราฟหาความสัณพันธ์ระหว่าง ความถี่และความยาวคลื่นเสียงที่ได้จากการทดลองและที่ได้
 จากทฤษฎี ปรากฏดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความยาวคลื่นเสียงที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง
 การแทรกสอดของเสียงแบบเสริมกันที่ความถี่ต่าง ๆ

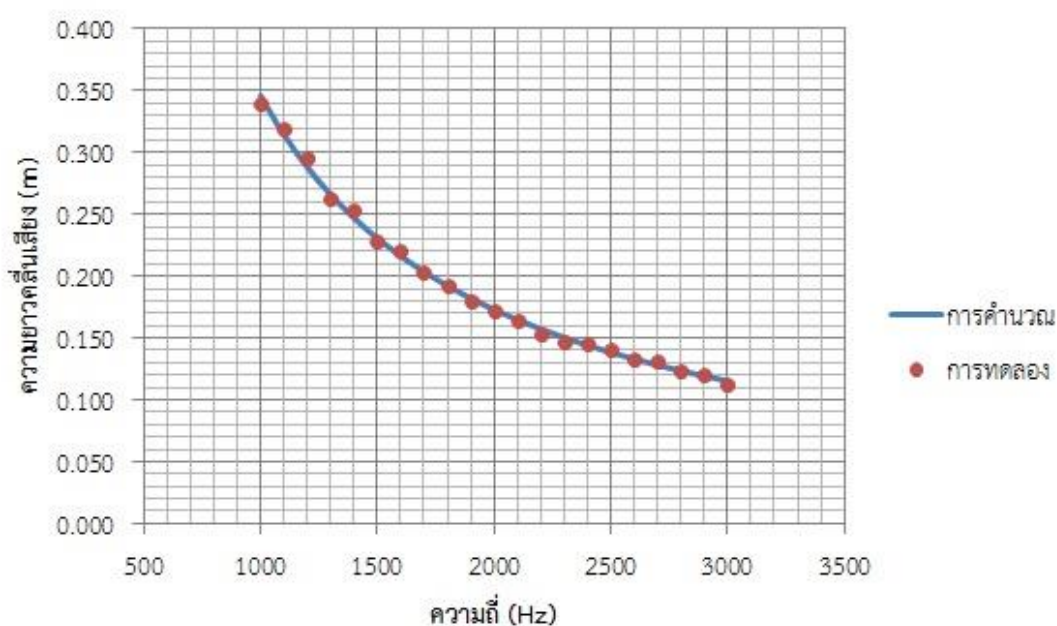
จากภาพที่ 4-4 พบว่ากราฟความสัณพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นเสียงและความถี่ที่ได้จาก
 การคำนวณและการทดลองการแทรกสอดของเสียงแบบเสริมกันมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน และ
 แนวโน้มของค่าความยาวคลื่นจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่ของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยลักษณะของกราฟ
 เป็นไปตามความสัณพันธ์ $v = f\lambda$

ตารางที่ 4-2 ความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลอง
การแทรกสอดแบบหักล้างกัน

f: ความถี่ (เฮิรตซ์)	λ : ความยาวคลื่น (เซนติเมตร)		ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	การคำนวณ	การทดลอง	
1000	34.6	34.0	1.73
1100	31.5	32.0	1.59
1200	28.8	29.5	2.43
1300	26.6	26.3	1.13
1400	24.7	25.3	2.43
1500	23.1	22.8	1.30
1600	21.6	22.0	1.85
1700	20.4	20.4	0.00
1800	19.2	19.3	0.52
1900	18.2	18.0	1.10
2000	17.3	17.2	0.58
2100	16.5	16.4	0.61
2200	15.7	15.3	2.55
2300	15.0	14.7	2.00
2400	14.4	14.5	0.69
2500	13.8	14.0	1.45
2600	13.3	13.3	0.00
2700	12.8	13.1	2.34
2800	12.4	12.4	0.00
2900	11.9	12.1	1.68
3000	11.5	11.3	1.74

เมื่อท่ออะคริลิกถูกเลื่อนให้มีความยาวเพิ่มขึ้นด้านใดด้านหนึ่ง จะส่งผลต่อระยะทางเดินของเสียงที่แตกต่างกัน (path difference) ด้วย เมื่อนำมาคำนวณหาความยาวคลื่นเสียงด้วย

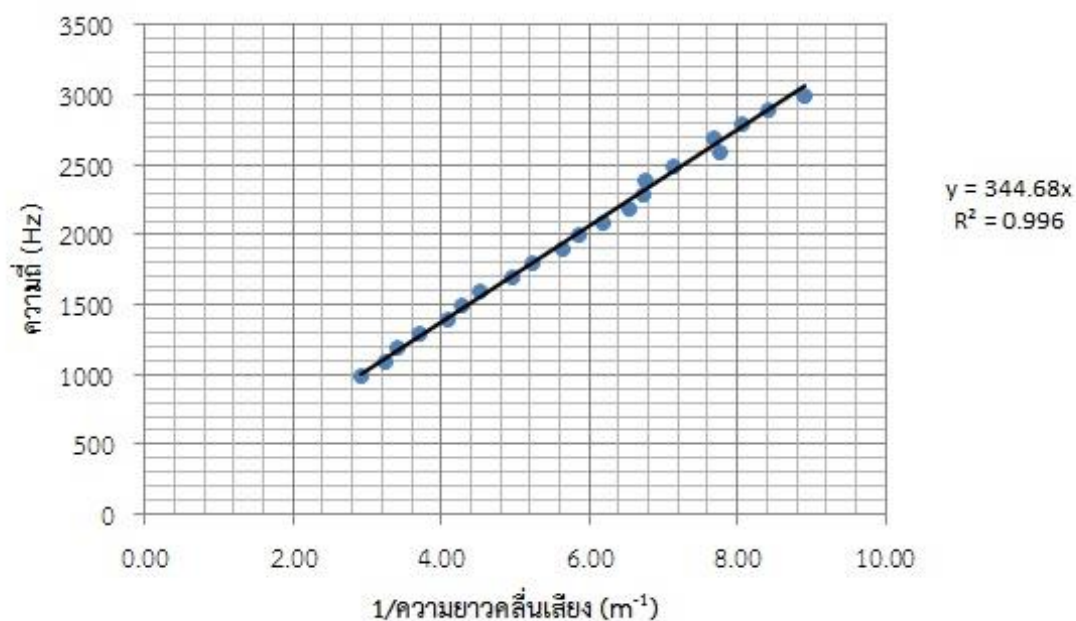
ความสัมพันธ์ $\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ เปรียบเทียบกับความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีตามความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2.55 % ดังแสดงในตารางที่ 4-2 เมื่อนำมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่และความยาวคลื่นเสียงที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากทฤษฎี ปรากฏดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบความยาวคลื่นเสียงที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง การแทรกสอดของเสียงแบบหักล้างกันที่ความถี่ต่าง ๆ

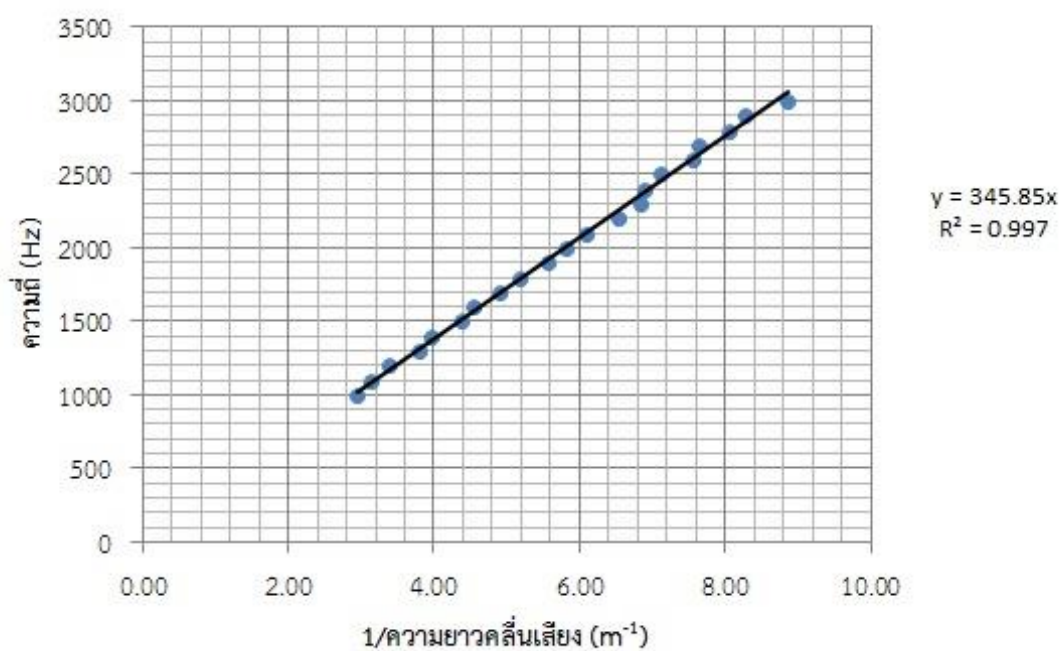
จากภาพที่ 4-5 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นเสียงและความถี่ที่ได้จากการคำนวณและการทดลองการแทรกสอดของเสียงแบบหักล้างกันมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน และแนวโน้มของค่าความยาวคลื่นจะมีค่าลดลงเมื่อความถี่ของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยลักษณะของกราฟเป็นไปตามความสัมพันธ์ $v = f\lambda$

เมื่อนำความถี่ของเสียงที่ใช้ในการทดลองและความยาวคลื่นเสียงที่ได้จากการทดลองมาแสดงให้อยู่ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ และส่วนกลับของความยาวคลื่น ก็จะหาอัตราเร็วเสียงในอากาศได้จากความชันของกราฟ ปรากฏดังภาพที่ 4-6 และ 4-7



ภาพที่ 4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และส่วนกลับของความยาวคลื่น ของการทดลองการแทรกสอดแบบเสริมกัน

จากภาพที่ 4-6 กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรง ค่าความเร็วคลื่นเสียงเฉลี่ยคือความชันที่ได้จากเส้นตรง โดยมีค่า 344.68 เมตรต่อวินาที และเมื่อเทียบกับความเร็วคลื่นเสียงที่มีค่าเท่ากับ 346 เมตรต่อวินาที พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน 0.38 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และส่วนกลับของความยาวคลื่น ของการทดลองการแทรกสอดแบบหักล้างกัน

จากภาพที่ 4-7 กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรง ค่าความเร็วคลื่นเสียงเฉลี่ยคือความชันที่ได้จากเส้นตรง โดยมีค่า 345.85 เมตรต่อวินาที และเมื่อเทียบกับความเร็วคลื่นเสียงที่มีค่าเท่ากับ 346 เมตรต่อวินาที พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน 0.04 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟนและเพื่อหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง โดยมีรายละเอียดการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ดังนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

1. ชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟนได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนของตัวชุดทดลองเพื่อให้รองรับความถี่คลื่นเสียง 1.0 – 3.0 กิโลเฮิร์ตซ์ ประกอบด้วยท่ออะคริลิกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตร สามารถปรับความยาวของท่อให้มีค่าความต่างระยะทาง (path difference) ได้สูงสุด 75 เซนติเมตร และสมาร์ทโฟนที่มีแอปพลิเคชัน Function Generator ที่สามารถสร้างความถี่เสียงได้หลายความถี่ อีกทั้งโปรแกรม Visual Analyser ที่สามารถตรวจจับสัญญาณเสียงนั้น ๆ ได้ และแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อเปิดสัญญาณเสียงความถี่ต่าง ๆ เข้าไปในท่ออะคริลิกและเลื่อนให้มีความยาวเพิ่มขึ้นด้านใดด้านหนึ่ง จะส่งผลต่อความต่างระยะทาง (path difference, Δr) ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและแบบหักล้างกันซึ่งผู้ทดลองจะสังเกตเห็นการแทรกสอดผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Analyser ไปพร้อม ๆ กับการได้ยินเสียง จึงทำให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2. เมื่อนำความต่างระยะทางมาคำนวณหาความยาวคลื่นเสียงด้วยความสัมพันธ์

$$\Delta r = n\lambda \text{ และ } \Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ เมื่อเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและแบบหักล้างกัน}$$

ตามลำดับ เปรียบเทียบกับความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีตามความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3.01% สำหรับการแทรกสอดแบบเสริมกัน และความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2.55% สำหรับการแทรกสอดแบบหักล้างกัน ซึ่งความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ของลำโพงที่ให้ค่าความถี่เสียงมากกว่า 1 ฮาร์โมนิกขณะทำการทดลอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรตรวจสอบความถี่ที่ออกจากลำโพงจากโปรแกรม Visual Analyser เนื่องจากอาจมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ของลำโพง
2. โรงเรียนควรนำชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงนี้ไปเป็นต้นแบบเพื่อผลิตขึ้นใช้ได้ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ เนื่องจากวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถจัดหาได้ง่าย มีวิธีการสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน และให้ผลการทดลองชัดเจน

บรรณานุกรม

- ทนง อัครธีรานนท์. (2555). การพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกประสิทธิภาพสูงสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอน, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สมพงษ์ ใจดี. (2551). ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3 ฉบับพุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร.
- Ahmet Yavuz & Burak Kagan Temiz. (2016). Detecting interferences with iOS applications to measure speed of sound. *Physics Education*, 51, 1-6.
- James Strachan. (2006). Destructive interference between computer speakers. *The Physics Teacher*, 44, 473.
- Robert D. Polak. (2016). Easily accessible experiments demonstrating interference. *The Physics Teacher*, 54, 120-121.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง
โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงแบบเสริมกัน

f (Hz)	λ_t (cm)	$x_{1บน}$ (cm)	$x_{1ล่าง}$ (cm)	λ_1 (cm)	$x_{2บน}$ (cm)	$x_{2ล่าง}$ (cm)	λ_2 (cm)	$x_{3บน}$ (cm)	$x_{3ล่าง}$ (cm)	λ_3 (cm)	$x_{4บน}$ (cm)	$x_{4ล่าง}$ (cm)	λ_4 (cm)	$x_{5บน}$ (cm)	$x_{5ล่าง}$ (cm)	λ_5 (cm)	$x_{6บน}$ (cm)	$x_{6ล่าง}$ (cm)	λ_6 (cm)	λ_{av} (cm)	err (%)
1000	34.6	17.0	17.0	34.0	34.7	34.7	34.7													34.4	0.58
1100	31.5	15.7	15.7	31.4	30.7	30.7	30.7													31.1	1.27
1200	28.8	14.8	14.9	29.7	29.6	29.0	29.3													29.5	2.43
1300	26.6	13.4	13.5	26.9	27.3	27.3	27.3													27.1	1.88
1400	24.7	12.0	12.0	24.0	25.2	25.2	25.2													24.6	0.40
1500	23.1	11.7	11.8	23.5	23.7	23.7	23.7	35.0	35.0	23.3										23.5	1.73
1600	21.6	11.2	11.2	22.4	22.0	22.0	22.0	33.5	33.4	22.3										22.2	2.78
1700	20.4	10.6	10.2	20.8	20.5	20.7	20.6	28.7	28.6	19.1										20.2	0.98
1800	19.2	9.5	9.5	19.0	19.5	19.7	19.6	28.4	28.3	18.9										19.2	0.00
1900	18.2	8.9	9.0	17.9	17.9	17.8	17.9	26.4	26.3	17.6										17.8	2.20
2000	17.3	8.5	8.5	17.0	17.4	17.4	17.4	25.5	25.5	17.0	34.1	34.1	17.1							17.1	1.16
2100	16.5	7.9	7.8	15.7	16.4	16.4	16.4	24.6	24.4	16.3	32.9	32.6	16.4							16.2	1.82
2200	15.7	7.6	7.6	15.2	15.2	15.2	15.2	22.8	22.7	15.2	31.3	31.4	15.7							15.3	2.55
2300	15.0	7.5	7.4	14.9	14.4	14.7	14.6	23.0	22.7	15.2	29.9	30.0	15.0							14.9	0.67

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

f	λ_t	$x_{1บน}$	$x_{1ล่าง}$	λ_1	$x_{2บน}$	$x_{2ล่าง}$	λ_2	$x_{3บน}$	$x_{3ล่าง}$	λ_3	$x_{4บน}$	$x_{4ล่าง}$	λ_4	$x_{5บน}$	$x_{5ล่าง}$	λ_5	$x_{6บน}$	$x_{6ล่าง}$	λ_6	λ_{av}	err
(Hz)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
2400	14.4	7.4	7.5	14.9	14.3	14.4	14.4	22.4	22.3	14.9	30.0	29.80	15.0	37.5	37.2	14.9				14.8	2.78
2500	13.8	7.5	7.5	15.0	14.0	14.0	14.0	21.6	21.6	14.4	27.2	27.2	13.6	33.0	33.0	13.2				14.0	1.45
2600	13.3	6.8	6.6	13.4	13.2	13.0	13.1	19.4	19.0	12.8	25.4	25.5	12.7	31.5	31.4	12.6				12.9	3.01
2700	12.8	6.7	6.5	13.2	13.0	12.8	12.9	20.0	19.6	13.2	25.9	25.6	12.9	32.5	32.4	13.0				13.0	1.56
2800	12.4	6.3	6.2	12.5	12.3	12.1	12.2	18.7	18.6	12.4	25.5	25.0	12.6	30.8	31.1	12.4				12.4	0.00
2900	11.9	5.7	5.8	11.5	11.6	11.7	11.7	18.4	18.2	12.2	23.2	23.2	11.6	30.4	30.3	12.1	37.2	37.1	12.4	11.9	0.00
3000	11.5	5.9	5.6	11.5	10.9	10.9	10.9	16.2	16.4	10.9	22.8	22.8	11.4	28.6	28.6	11.4	34.2	33.9	11.4	11.2	2.61

หมายเหตุ

λ_t คือ ความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณในตอนที่ 1 จากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$

$x_{nบน}$ คือ ค่าที่อ่านได้จากสเกลบนท่ออะคริลิกฝั่งบนครั้งที่ n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

$x_{nล่าง}$ คือ ค่าที่อ่านได้จากสเกลบนท่ออะคริลิกฝั่งล่างครั้งที่ n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

λ_n คือ ความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 2 จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$

λ_{av} คือ ความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง

err คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียงแบบหักล้างกัน

f (Hz)	λ_t (cm)	x _{1บน} (cm)	x _{1ล่าง} (cm)	λ_1 (cm)	x _{2บน} (cm)	x _{2ล่าง} (cm)	λ_2 (cm)	x _{3บน} (cm)	x _{3ล่าง} (cm)	λ_3 (cm)	x _{4บน} (cm)	x _{4ล่าง} (cm)	λ_4 (cm)	x _{5บน} (cm)	x _{5ล่าง} (cm)	λ_5 (cm)	x _{6บน} (cm)	x _{6ล่าง} (cm)	λ_6 (cm)	λ_{av} (cm)	err (%)
1000	34.6	8.5	8.5	34.0	25.5	25.6	34.1													34.0	1.73
1100	31.5	8.0	8.0	32.0	24.0	23.9	31.9													32.0	1.59
1200	28.8	7.4	7.5	29.8	22.0	21.8	29.2	37.1	37.0	29.6										29.5	2.43
1300	26.6	6.7	6.7	26.8	19.2	19.3	25.7	33.0	33.0	26.4										26.3	1.13
1400	24.7	6.5	6.6	26.2	18.6	18.6	24.8	31.2	31.1	24.9										25.3	2.43
1500	23.1	5.7	5.7	22.8	17.2	17.1	22.9	28.5	28.3	22.7										22.8	1.30
1600	21.6	5.6	5.5	22.2	16.4	16.3	21.8	27.5	27.4	22.0										22.0	1.85
1700	20.4	5.1	5.1	20.4	15.2	15.2	20.3	25.7	25.6	20.5										20.4	0.00
1800	19.2	4.8	4.9	19.4	14.5	14.4	19.3	24.1	24.0	19.2										19.3	0.52
1900	18.2	4.5	4.5	18.0	13.6	13.6	18.1	22.4	22.3	17.9										18.0	1.10
2000	17.3	4.2	4.2	16.8	13.2	13.2	17.6	22.0	22.0	17.6	29.4	29.4	16.8							17.2	0.58
2100	16.5	4.0	4.0	16.0	12.0	12.2	16.1	21.2	21.1	16.9	29.3	29.3	16.7							16.4	0.61
2200	15.7	3.8	3.9	15.4	11.4	11.5	15.3	19.1	19.2	15.3	26.9	27.0	15.4	34.3	34.4	15.3				15.3	2.55
2300	15.0	3.9	3.9	15.6	10.7	10.9	14.4	17.6	17.4	14.0	25.3	25.6	14.5	33.2	33.0	14.7				14.7	2.00

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

f	λ_t	$x_{1\text{บน}}$	$x_{1\text{ล่าง}}$	λ_1	$x_{2\text{บน}}$	$x_{2\text{ล่าง}}$	λ_2	$x_{3\text{บน}}$	$x_{3\text{ล่าง}}$	λ_3	$x_{4\text{บน}}$	$x_{4\text{ล่าง}}$	λ_4	$x_{5\text{บน}}$	$x_{5\text{ล่าง}}$	λ_5	$x_{6\text{บน}}$	$x_{6\text{ล่าง}}$	λ_6	λ_{av}	err
(Hz)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
2400	14.4	3.7	3.7	14.8	10.9	11.0	14.6	17.7	17.6	14.1	25.2	25.0	14.3	33.0	33.0	14.7				14.5	0.69
2500	13.8	3.6	3.4	14.0	10.8	10.7	14.3	16.8	16.9	13.5	25.0	24.8	14.2	32.0	32.0	14.2				14.1	1.45
2600	13.3	3.4	3.3	13.4	10.3	10.2	13.7	16.1	16.2	12.9	24.0	23.8	13.7	29.1	29.2	13.0	35.6	35.9	13.0	13.3	0.00
2700	12.8	3.3	3.3	13.2	9.7	9.8	13.0	16.5	16.4	13.2	23.1	23.0	13.2	29.1	29.5	13.0	36.4	36.0	13.2	13.1	2.34
2800	12.4	3.1	3.2	12.6	9.5	9.4	12.6	15.4	15.4	12.3	21.7	21.8	12.4	27.6	27.8	12.3	33.6	33.4	12.2	12.4	0.00
2900	11.9	3.0	3.0	12.0	9.2	9.2	12.3	15.0	15.2	12.1	21.1	21.2	12.1	27.2	27.0	12.0	33.1	33.1	12.0	12.1	1.68
3000	11.5	2.9	3.0	11.8	8.5	8.4	11.3	13.9	13.8	11.1	19.0	19.6	11.2	25.1	25.1	11.2	31.0	31.0	11.3	11.3	1.74

หมายเหตุ

λ_t คือ ความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณในตอนที่ 1 จากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$

$x_{n\text{บน}}$ คือ ค่าที่อ่านได้จากสเกลบนท่ออะคริลิกฝั่งบนครั้งที่ n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

$x_{n\text{ล่าง}}$ คือ ค่าที่อ่านได้จากสเกลบนท่ออะคริลิกฝั่งล่างครั้งที่ n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

λ_n คือ ความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 2 จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$

λ_{av} คือ ความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง

err คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณการหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง
โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟน

ตัวอย่างการคำนวณการหาความยาวคลื่นเสียงในอากาศจากชุดทดลองการแทรกสอดของเสียง โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงจากแอปพลิเคชันของสมาร์ตโฟน

1. การแทรกสอดแบบเสริมกัน ที่ความถี่ 2,500 เฮิร์ตซ์

ตอนที่ 1 หาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยวิธีคำนวณ

ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของอากาศขณะนั้นได้ 25 องศาเซลเซียส

จากความสัมพันธ์ $v_t = 331 + 0.6t$

จะได้ว่า $v_t = 331 + 0.6(25) = 346$ เมตร/วินาที

หาความยาวคลื่นเสียงจากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ หรือ $\lambda = \frac{v}{f}$

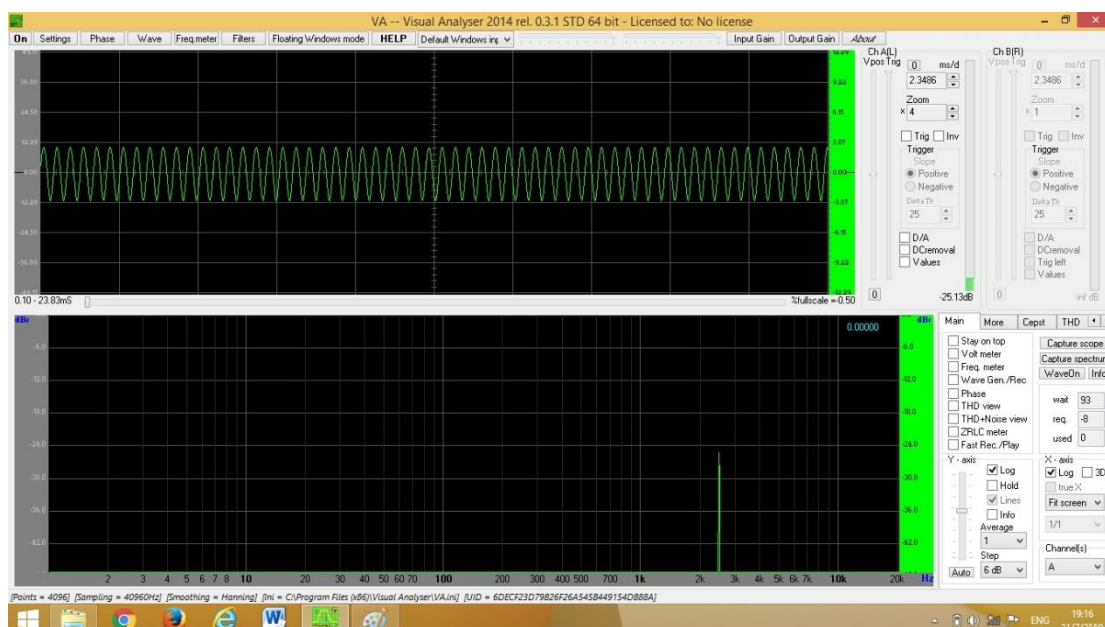
จะได้ว่า $\lambda = \frac{346}{2500} = 0.138$ เมตร = 13.8 เซนติเมตร

ตอนที่ 2 หาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยอาศัยปรากฏการณ์การแทรกสอดของเสียง

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, \dots$ การทดลองนี้ไม่ใช่ $n = 0$

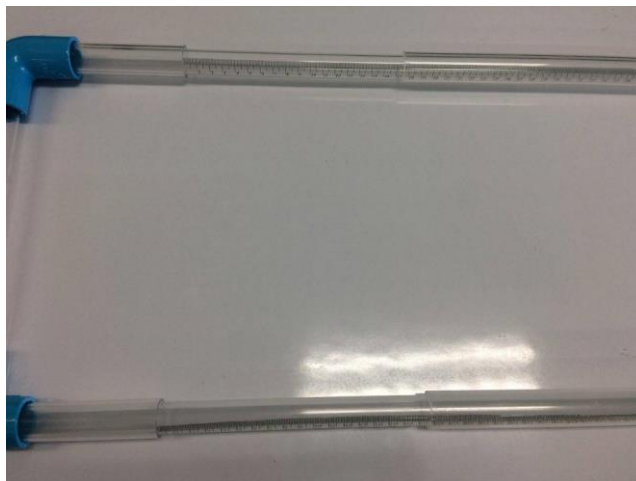
เนื่องจากหาก $n = 0$ จะไม่สามารถหาความยาวคลื่นได้

เมื่อเลื่อนท่ออะคริลิกจนกระทั่งแอมพลิจูดบนหน้าจอโปรแกรม Visual Analyser สูงสุด หรือได้ยินเสียงดังสุดดังภาพที่ ข-1



ภาพที่ ข-1 แสดงผลการแทรกสอดแบบเสริมกันที่ความถี่ 2,500 เฮิร์ตซ์

บันทึกตำแหน่ง x_1 แต่ละด้านของท่ออะคริลิกดังภาพที่ ข-2



ภาพที่ ข-2 สเกลค่า x แต่ละด้านของท่ออะคริลิกเมื่อเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน

ค่า x_1 สเกลด้านบน = 7.5 เซนติเมตร และค่า x_1 สเกลด้านล่าง = 7.5 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 7.5+7.5 = 15.0 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$

เมื่อ $n = 1$ จะได้ว่า $\Delta r = \lambda$

$$\lambda = \Delta r = 15.0 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่า x_2 สเกลด้านบน = 14.0 เซนติเมตร และค่า x_2 สเกลด้านล่าง = 14.0 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 14.0+14.0 = 28.0 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$

เมื่อ $n = 2$ จะได้ว่า $\Delta r = 2\lambda$

$$\lambda = \frac{\Delta r}{2} = \frac{28.0}{2} = 14.0 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่า x_3 สเกลด้านบน = 21.6 เซนติเมตร และค่า x_3 สเกลด้านล่าง = 21.6 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 21.6+21.6 = 43.2 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = n\lambda$

เมื่อ $n = 3$ จะได้ว่า $\Delta r = 3\lambda$

$$\lambda = \frac{\Delta_r}{3} = \frac{43.2}{3} = 14.4 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่า x_4 สเกลด้านบน = 27.2 เซนติเมตร และค่า x_4 สเกลด้านล่าง = 27.2 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δ_r) = 27.2+27.2 = 54.4 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta_r = n\lambda$

เมื่อ $n = 4$ จะได้ว่า $\Delta_r = 4\lambda$

$$\lambda = \frac{\Delta_r}{4} = \frac{54.4}{4} = 13.6 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่า x_5 สเกลด้านบน = 33.0 เซนติเมตร และค่า x_5 สเกลด้านล่าง = 33.0 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δ_r) = 33.0 + 33.0 = 66.0 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta_r = n\lambda$

เมื่อ $n = 5$ จะได้ว่า $\Delta_r = 5\lambda$

$$\lambda = \frac{\Delta_r}{5} = \frac{66.0}{5} = 13.2 \text{ เซนติเมตร}$$

หาความยาวคลื่นเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\lambda_{av} = \frac{15.0 + 14.0 + 14.4 + 13.6 + 13.2}{5} = 14.0 \text{ เซนติเมตร}$$

หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่น ตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ได้ดังนี้

$$\%error = \left| \frac{x_{mea} - x_t}{x_t} \right| \times 100$$

$$\%error = \left| \frac{14.0 - 13.8}{13.8} \right| \times 100 = 1.45\%$$

2. การแทรกสอดแบบหักล้างกัน ที่ความถี่ 2,500 เฮิรตซ์

ตอนที่ 1 หาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยวิธีคำนวณ

ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของอากาศขณะนั้นได้ 25 องศาเซลเซียส

จากความสัมพันธ์ $v_t = 331 + 0.6t$

จะได้ว่า $v_t = 331 + 0.6(25) = 346$ เมตรต่อวินาที

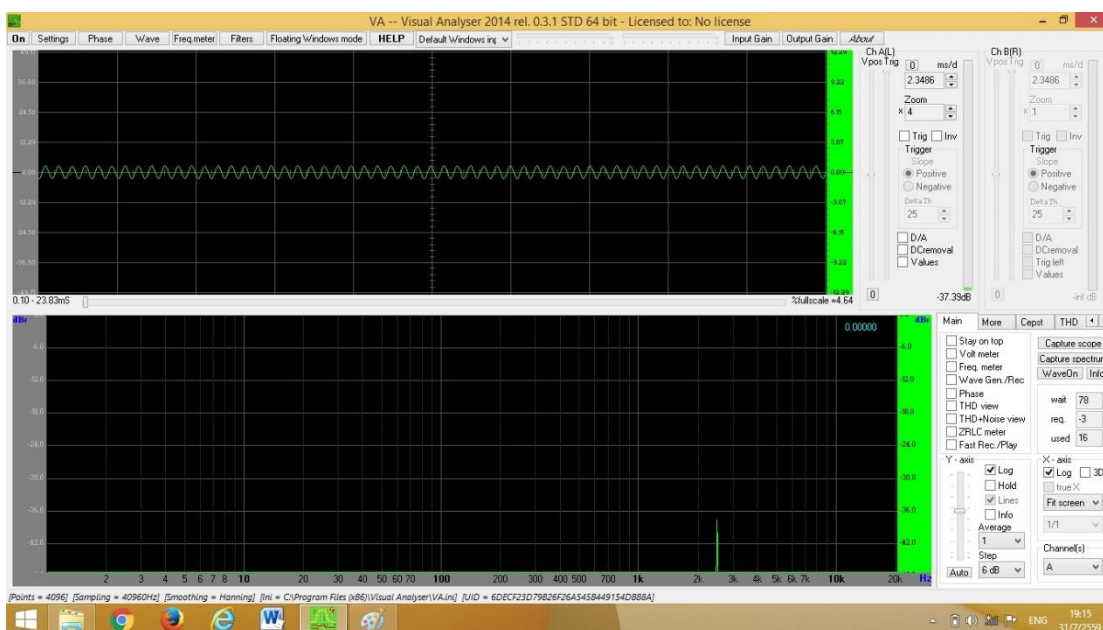
หาความยาวคลื่นเสียงจากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ หรือ $\lambda = \frac{v}{f}$

จะได้ว่า $\lambda = \frac{346}{2500} = 0.138$ เมตร = 13.8 เซนติเมตร

ตอนที่ 2 หาความยาวคลื่นเสียงในอากาศโดยอาศัยปรากฏการณ์การแทรกสอดของเสียง

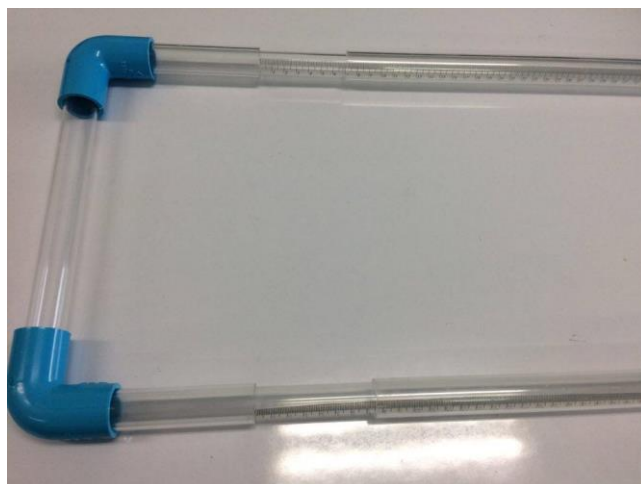
จากความสัมพันธ์ $\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, \dots$

เมื่อเลื่อนท่ออะคริลิกจนกระทั่งแอมพลิจูดบนหน้าจอโปรแกรม Visual Analyser ต่ำสุด
หรือได้ยินเสียงเบาสุดดังภาพที่ ข-3



ภาพที่ ข-3 แสดงผลการแทรกสอดแบบหักล้างกันที่ความถี่ 2,500 เฮิรตซ์

บันทึกตำแหน่ง x_1 แต่ละด้านของท่ออะคริลิกดังภาพที่ ข-4



ภาพที่ ข-4 สเกลค่า x แต่ละด้านของท่ออะคริลิกเมื่อเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน

ค่า x_1 สเกลด้านบน = 3.6 เซนติเมตร และค่า x_1 สเกลด้านล่าง = 3.4 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 3.6+3.4 = 7.0 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์
$$\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

เมื่อ $n = 0$ จะได้ว่า
$$\Delta r = \left(0 + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{1}{2}\lambda$$

$$\lambda = 2\Delta r = 2(7.0) = 14.0 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่า x_2 สเกลด้านบน = 10.8 เซนติเมตร และค่า x_2 สเกลด้านล่าง = 10.7 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 10.8+10.7 = 21.5 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์
$$\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

เมื่อ $n = 1$ จะได้ว่า
$$\Delta r = \left(1 + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{3}{2}\lambda$$

$$\lambda = \frac{2\Delta r}{3} = \frac{2(21.5)}{3} = 14.3 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่า x_3 สเกลด้านบน = 16.80 เซนติเมตร และค่า x_3 สเกลด้านล่าง = 16.9 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 16.8+16.9 = 33.7 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

เมื่อ $n = 2$ จะได้ว่า $\Delta r = \left(2 + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{5}{2}\lambda$

$$\lambda = \frac{2\Delta r}{5} = \frac{2(33.7)}{5} = 13.5 \text{ m}$$

ค่า x_4 สเกลด้านบน = 25.0 เซนติเมตร และค่า x_4 สเกลด้านล่าง = 24.8 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 25.0 + 24.8 = 49.8 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

เมื่อ $n = 3$ จะได้ว่า $\Delta r = \left(3 + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{7}{2}\lambda$

$$\lambda = \frac{2\Delta r}{7} = \frac{2(49.8)}{7} = 14.2 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่า x_5 สเกลด้านบน = 32.0 เซนติเมตร และค่า x_5 สเกลด้านล่าง = 32.0 เซนติเมตร

แสดงว่า path difference (Δr) = 32.0 + 32.0 = 64.0 เซนติเมตร

จากความสัมพันธ์ $\Delta r = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

เมื่อ $n = 4$ จะได้ว่า $\Delta r = \left(4 + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{9}{2}\lambda$

$$\lambda = \frac{2\Delta r}{9} = \frac{2(64.0)}{9} = 14.2 \text{ เซนติเมตร}$$

หาความยาวคลื่นเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\lambda_{av} = \frac{14.0 + 14.3 + 13.5 + 14.2 + 14.2}{5} = 14.0 \text{ m}$$

หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่น ตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ได้ดังนี้

$$\% \text{ error} = \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right| \times 100$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{14.0 - 13.8}{13.8} \right| \times 100 = 1.45\%$$