

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง



นายทองศักดิ์ เพ็ญกวินสมบัติ
นายปิยะ วิจิตรกุลสวัสดิ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

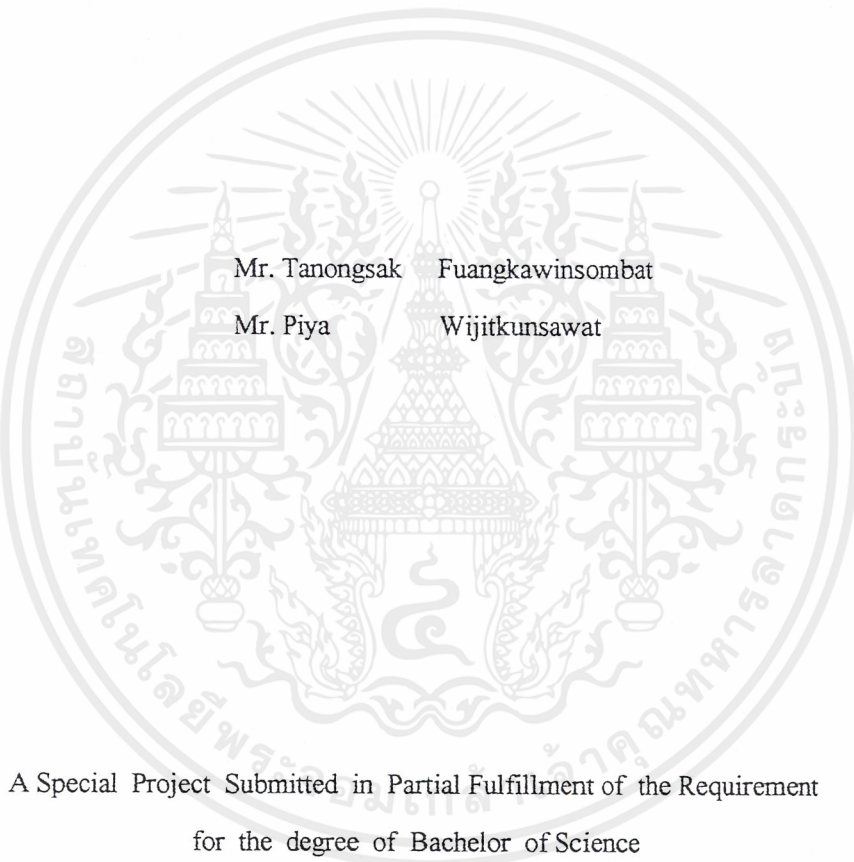
เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 36704
วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Direction Finding Using Acoustic Techniques

Mr. Tanongsak Fuangkawinsombat

Mr. Piya Wijitkunsawat



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง
(Direction Finding Using Acoustic Technique)
นักศึกษา นายทนงศักดิ์ เฟื่องกวินสมบัติ รหัส 38054417
 นายปิยะ วิจิตรกุลสวัสดิ์ รหัส 38054423
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
 อาจารย์สุน จำงประยูร

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(รศ. สุรพล รัทวิชัย) หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะกรรมการ โครงการพิเศษ

(ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล) ประธานกรรมการ

(อาจารย์สุน จำงประยูร) กรรมการ

(อาจารย์ศุพร อัจจุคมานันต์) กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิต ดำรงศักดิ์) กรรมการ

อธิการบดีของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง (Direction Finding Using Acoustic Techniques)
นักศึกษา	นายทนงศักดิ์ เฟื่องกวินสมบัติ รหัส 38054417 นายปิยะ วิจิตรกุลสวัสดิ์ รหัส 38054423
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล อาจารย์ส่วน อ่างประยูร
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษเรื่องการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงนี้ เป็นการทดสอบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน 2 ตัว ซึ่งจะทำให้การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกจะอาศัยความแตกต่างของเวลาที่คลื่นเสียงใช้ในการเดินทางจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนทั้ง 2 ตัว ซึ่งจะสามารถคำนวณหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้จากสมการ $\theta = \cos^{-1}(vt/b)$ ส่วนวิธีที่สอง จะอาศัยหลักการแทรกสอดและการรวมกันของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งจะสามารถคำนวณหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้จากสมการ $\theta = \cos^{-1}(\lambda/4b)$ และจากผลการทดลองทั้งสองวิธีนี้ พิสูจน์ได้ว่า เราสามารถหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้จริงตรงตามทฤษฎี และมีค่าผิดพลาดของทิศทางไม่เกิน 5 %

Special Project Title Direction Finding Using Acoustic Techniques

Name Mr. Thanongsak Fuangkawinsombat 38054417
 Mr. Piya wijitkunsawat 38054423

Special Project Advisor Asst. Prof. Dr. Sirisak Techathawiekul
 Mr. Soon Changprayoon

Department Applied Physics

Academic Year 1998

Abstract

The direction finding techniques presented in this special project are in acoustics. In the proposed approach, the source direction can be found by using two condenser microphones which give rise to two methods. The first method is used for calculating the source direction from $\theta = \cos^{-1}(vt/b)$, which depends on the time difference of sound waves traveling from the source to both of condenser microphones. The second is the interference and combination of two sound waves measuring technique which can be calculated from $\theta = \cos^{-1}(\lambda/4b)$. In addition, both of experimental results show that the measured source direction has an error of less than 5% compared with the true direction.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา , คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงาน โครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์สุน จ่างประยูร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ รวมถึงห้องที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายทนงศักดิ์ เพ็ญกวินสมบัติ
นายปิยะ วิจิตรกุลสวัสดิ์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีทางเสียง	3
2.1.1 ลักษณะสมบัติของเสียง	4
2.1.2 การแทรกสอดของเสียง	10
2.2 ลำโพง	15
- ลำโพงแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก	16
- ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของลำโพง	17
2.3 ไมโครโฟน	19
- มูฟวี่งคอยล์ไมโครโฟนหรือไดนามิกไมโครโฟน	19
- คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน	20
- ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของไมโครโฟน	21
2.4 หลักการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง	22
- การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยใช้ความแตกต่างของคาบเวลา ของสัญญาณ	22
- การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยอาศัยทฤษฎีการรวมกันของคลื่นเสียง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง	26
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง	26
3.2 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	27
3.2.1 วงจร Audio Power Amplifier	27
3.2.2 วงจร Preamplifier สำหรับไมโครโฟน	28
3.3 การดำเนินการทดลอง	29
บทที่ 4 ผลของการทดลอง	32
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์	57
ภาคผนวก	58
บรรณานุกรม	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1	ค่า t และมุม θ ที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการวัด ที่ความถี่ 1 kHz	32
ตารางที่ 4.2	ค่า t และมุม θ ที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการวัด ที่ความถี่ 4 kHz	33
ตารางที่ 4.3	ค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อ ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร	37
ตารางที่ 4.4	ค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อ ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร	40
ตารางที่ 4.5	ค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อ ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร	43
ตารางที่ 4.6	ค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อ ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร	46
ตารางที่ 4.7	ค่ามุม θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณที่ค่า b ต่างๆ กัน	49

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ก. บริเวณที่มีการอัดและการขยายตัวของโมเลกุลของอากาศ ขณะที่คลื่นเสียงเดินทางผ่าน ข. ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความกดดันกับระยะทางเมื่อ คลื่นเสียงเดินทางผ่าน	3
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในคลื่นรูป Sine	4
รูปที่ 2.3	การแทรกสอดของเสียงจากลำโพง ณ จุด P และ Q	10
รูปที่ 2.4	ก. ลักษณะของคลื่น 2 คลื่นที่มีเฟสตรงกัน ข. ลักษณะของคลื่น 2 คลื่นที่มีเฟสต่างกัน	11
รูปที่ 2.5	ก. การรวมกันของคลื่นแบบเสริม (Constructive interference) ข. การรวมกันของคลื่นแบบหักล้าง (Destructive interference)	12
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของลำโพงแบบอิเล็กทรอนิกส์ ไดนามิก	17
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์ (Moving coil microphone)	19
รูปที่ 2.8	ก. ลักษณะ โครงสร้างภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนแบบ Single vibrating plate ข. ลักษณะ โครงสร้างภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนแบบ Two vibrating plate	20
รูปที่ 2.9	ลักษณะ โครงสร้างของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน	20
รูปที่ 2.10	ลักษณะหน้าคลื่นที่เข้าสู่ไมโครโฟน M และ N	22
รูปที่ 2.11	ลักษณะสัญญาณที่ได้จากไมโครโฟน ที่จุด M และ N	23
รูปที่ 3.1	อุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	26
รูปที่ 3.2	วงจร Audio Power Amplifier โดยใช้ไอซีเบอร์ LM384	27
รูปที่ 3.3	การต่อวงจร Audio Power Amplifier โดยใช้ไอซีเบอร์ LM384 ที่ใช้ในการ ทดลอง	27
รูปที่ 3.4	วงจร Preamplifier ที่ใช้กับไมโครโฟน โดยใช้ไอซีเบอร์ LM387	28
รูปที่ 3.5	การต่อวงจร Preamplifier โดยใช้ไอซีเบอร์ LM387 ที่ใช้ในการทดลอง	29
รูปที่ 3.6	การจัดอุปกรณ์ในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยวิธีหา ค่าความแตกต่างของคาบเวลาของสัญญาณ	29

รูปที่ 3.7	การจัดอุปกรณ์ในการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้หลัก การรวมกันของสัญญาณ	30
รูปที่ 4.1	ลักษณะสัญญาณตัวอย่างที่ได้จากออสซิลโลสโคปโดยระยะห่างระหว่าง ไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร และความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 1 kHz	34
รูปที่ 4.2	ลักษณะสัญญาณตัวอย่างที่ได้จากออสซิลโลสโคปโดยระยะห่างระหว่าง ไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร และความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 4 kHz	34
รูปที่ 4.3	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร	38
รูปที่ 4.4	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร	38
รูปที่ 4.5	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 4 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร	41
รูปที่ 4.6	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 4 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร	41
รูปที่ 4.7	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 2.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร	44
รูปที่ 4.8	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 2.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร	44
รูปที่ 4.9	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร	47
รูปที่ 4.10	ลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 1.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เสียงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง que เปลี่ยนแปลงมาจากพลังงานรูปอื่น เสียงเป็นคลื่นตามยาวและต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ความสำคัญของเสียงในชีวิตประจำวันก็คือ สามารถใช้เป็นสื่อติดต่อกับผู้อื่นได้โดยการพูด และได้ความเพลิดเพลินจากเสียงดนตรี ในสัตว์บางชนิด เช่น ปลาสามารถส่งเสียงติดต่อกันได้เป็นระยะทางนับร้อยกิโลเมตร หรือค้างคาวใช้ส่งคลื่นเสียงความถี่สูงในการนำร่องการบินของมันและจับเหยื่อ ปัจจุบันมนุษย์ใช้ความรู้เรื่องเสียงมาทำประโยชน์กันมาก จากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ของเสียง ซึ่งเราเรียกว่า อคูสติกส์ (Acoustics) ซึ่งเป็นการประยุกต์หลักการของเสียงเพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบทางเสียง เช่น การออกแบบระบบ โชนาร์ ในการตรวจจับความเร็วรถ การตรวจหาตำแหน่งเรือดำน้ำและวัดความลึกของมหาสมุทร การสำรวจน้ำมัน ในการแพทย์ก็ใช้วินิจฉัยโรค เช่น การตรวจการทำงานของลิ้นหัวใจ การตรวจความเร็วเลือดในเส้นเลือด นอกจากนี้ยังช่วยตรวจสอบคุณภาพภายในของสิ่งต่างๆ โดยไม่ต้องทำลายสิ่งนั้น

จากคุณลักษณะและประโยชน์ของเสียงที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้มีการพยายามที่จะศึกษาวิธีการประยุกต์หลักการของเสียง เพื่อนำมาออกแบบระบบในการหาทิศทางของเสียง ซึ่งจากการศึกษาทำให้พบวิธีที่น่าสนใจ คือ การใช้หลักการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่แตกต่างกันของสัญญาณเสียง จากตัวตรวจวัด (detector) 2 ตัว และหลักการรวมกันของคลื่นเสียง (Superposition) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและทำความเข้าใจทฤษฎีและหลักการทางเสียง เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการศึกษาการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง
2. นำทฤษฎีทางเสียงและอุปกรณ์ทางเสียงมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างชุดทดลองการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง
3. นำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี เพื่อยืนยันความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูล เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการค้นหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงที่มีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีและคุณสมบัติของเสียงรวมทั้งวิธีการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง
2. ศึกษาทฤษฎีและคุณสมบัติของลำโพงและไมโครโฟน ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดและตัวรับสัญญาณเสียง
3. ศึกษาและออกแบบชุดการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง
4. ทำการสร้างชุดการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง
5. นำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีรวมทั้งสรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

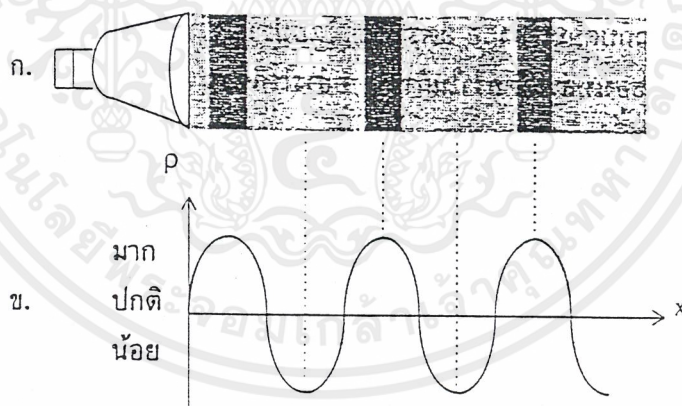
1. สามารถเลือกใช้อุปกรณ์และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมในการออกแบบระบบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงที่มีประสิทธิภาพได้
2. สามารถใช้ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบทางเสียงอื่นๆ
3. ทราบถึงผลของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง เพื่อนำไปพัฒนาและปรับปรุงการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีทางเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลตามยาว มีลักษณะเป็นคลื่นฮาร์โมนิก (Harmonic wave) ซึ่งคลื่นนี้จะแผ่ออกไปทุกทิศทุกทาง โดยต้องอาศัยตัวกลางซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ จากการศึกษาพบว่า เมื่อคลื่นเสียงแผ่ไปในอากาศจะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงแล้วโมเลกุลของอากาศจะสั่นไปมาพร้อมกับถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลอื่นๆ อย่างต่อเนื่องแล้วกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมหลังจากคลื่นเสียงได้แผ่ผ่านไป ดังนั้น เมื่อมีคลื่นเสียงเดินทางไปในตัวกลางจะเกิดจุดที่มีอนุภาคอัดตัว (Compression) และจุดที่อนุภาคขยายตัวออกจากกัน (Expansion) สลับกันไปตลอดทาง และจุดเหล่านี้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อยๆ ในแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เมื่อมองในแง่ความกดดัน (Pressure) ที่จุดๆ หนึ่งจะมีค่ามากกว่าปกติ เท่ากับปกติ และน้อยกว่าปกติสลับกันไป ลักษณะของคลื่นที่โมเลกุลของตัวกลางที่คลื่นนั้นเดินทางผ่านไป มีการสั่นหรือเคลื่อนที่ในแนวทางการเดินทางของคลื่น เรียกว่า คลื่นตามยาว (Longitudinal wave) ซึ่งเป็นลักษณะประจำตัวของคลื่นเสียงทั่วไป



รูปที่ 2.1 ก. แสดงบริเวณที่มีการอัดและการขยายตัวของโมเลกุลของอากาศ ขณะที่คลื่นเสียงเดินทางผ่าน

ข. แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความกดดันกับระยะทางเมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

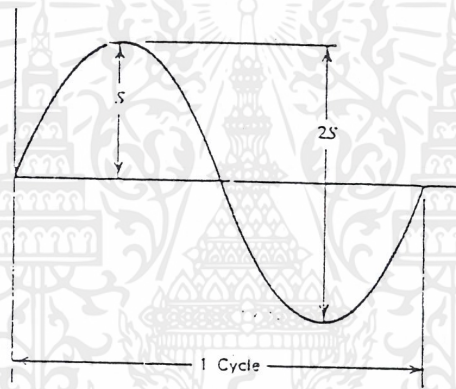
2.1.1 ลักษณะสมบัติของเสียง (Sound Characteristics)

ความถี่ (Frequency)

ในการอธิบายเรื่องของความถี่จะยกตัวอย่างเรื่องของลูกตุ้มที่เคลื่อนที่จากข้างล่างขึ้นข้างบนภายในกระบอกสูบ ทำให้เกิดเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Harmonic motion) ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบไปยังจุดสุดท้าย จะเรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude) ความยาวทั้งหมดของกระบอกจะเรียกว่า Double Amplitude หรือ Displacement

ลูกตุ้มจะเคลื่อนที่สมบูรณ์ใน 1 รอบ (cycle) เมื่อเริ่มจากจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบไปยังจุดที่ไกลที่สุดและกลับมามาทางเดิม และเคลื่อนที่จากจุดตรงกันข้ามของกระบอกสูบกลับมาอีกครั้งหนึ่งแล้วจึงกลับไปยังจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบ

จำนวนครั้งต่อวินาทีของลูกตุ้มจากจุดข้างล่างขึ้นข้างบน เมื่อผ่านครบ 1 cycle จะเรียกว่า ความถี่ (Frequency) ซึ่งความถี่ของคลื่นเสียงก็คือจำนวน cycle ต่อวินาที (cps) ซึ่งระยะเวลาที่ได้จากการเดินทางครบรอบ 1 cycle อย่างสมบูรณ์จะเรียกว่า คาบเวลา (Period)



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในคลื่นรูป Sine

จากรูป S คือ แอมพลิจูด

$2S$ คือ ดับเบิลแอมพลิจูด (Double Amplitude or Displacement)

f คือ ความถี่ (Frequency)

ความเร็วของเสียง (Velocity of Sound)

การหาค่าความเร็วของคลื่นเสียงนั้นทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็จะได้ค่าความเร็วแตกต่างกันออกไป เช่น ความเร็วของคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ก็จะมีวิธีการหาที่แตกต่างกัน

ค่าความเร็วของคลื่นเสียงอาจหาได้จาก ระยะที่คลื่นเสียงเดินทางครบรอบ 1 cycle ซึ่งจะได้

$$v = f\lambda \quad 2.1$$

v คือ ความเร็วของเสียง มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิร์ตซ์ (Hertz)

λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น เมตร

คลื่นเสียงสามารถแพร่เข้าไปในของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ ความเร็วของเสียงในตัวกลางจะขึ้นกับความหนาแน่นของตัวกลาง และคุณสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง เราสามารถหาค่าความเร็วของเสียงในของแข็งได้จาก

$$v = \sqrt{\frac{y}{\rho}} \quad 2.2$$

เมื่อ y คือ Young's modulus

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

ค่าความเร็วเสียงในของไหล คือ

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad 2.3$$

เมื่อ B คือ Bulk modulus

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเร็วเสียงในก๊าซ คือ

$$v = \sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}} \quad 2.4$$

เมื่อ γ คือ ค่าคงที่ เรียกว่า สัดส่วนของความร้อนจำเพาะของก๊าซ
มีค่าเท่ากับ 1.40 ในอากาศ

P คือ แรงดันของก๊าซ

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

จากสมการการหาค่าความเร็วเสียงของก๊าซ ค่าแรงดันและความหนาแน่นของก๊าซจะเปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิของก๊าซ ด้วยเหตุนี้ ความเร็วของเสียงในก๊าซจะขึ้นกับอุณหภูมิของก๊าซ ดังนั้นความเร็วเสียงในอากาศ คือ

$$v = (331 + 0.606)t \quad 2.5$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

การส่งผ่านของพลังงานในคลื่นและความเข้มของคลื่น

เราจำกัดความว่าคลื่นหนึ่งที่แพร่โดยการรบกวนเข้าไปในตัวกลางตัวกลางหนึ่ง สาเหตุของการรบกวนคือ อนุภาคของตัวกลางซึ่งเกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้น เราจะเห็นได้ว่าการสั่นของอนุภาคจะทำให้เกิดพลังงาน และพลังงานนี้จะส่งผ่านจากอนุภาคหนึ่งไปยังอีกอนุภาคหนึ่งในตัวกลาง ดังนั้นพลังงานการส่งผ่านคลื่นเกิดจากการถ่ายเทพลังงานระหว่างอนุภาค

ให้เราพิจารณา อนุภาคเคลื่อนที่เป็นซิมเปิลฮาร์โมนิคอย่างง่าย ถ้าไม่มีการสูญเสียของพลังงาน จะได้พลังงานการส่งผ่านทั้งหมดของคลื่นเท่ากับพลังงานรวมของการสั่นของอนุภาค นั่นคือ

$$E_{transmitted} = (E_{tot})_{Particle} \quad 2.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานทั้งหมดจะถูกครอบครองโดยอนุภาคเดียวๆ ในการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก
ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$E_{tot} = \frac{1}{2}KR^2 \quad 2.7$$

เมื่อ R คือ แอมพลิจูดของการสั่น

K คือ ค่าคงที่ของการหมุน

ค่าความถี่เชิงมุม คือ

$$\omega^2 = \frac{K}{m} \quad 2.8$$

เมื่อ m คือ มวลของอนุภาคที่เคลื่อนที่

ดังนั้นสามารถหาค่าคงที่ของการหมุน (K) ได้คือ

$$K = \omega^2 m \quad 2.9$$

และจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุมกับความถี่การสั่นของอนุภาค คือ

$$\omega = 2\pi f \quad 2.10$$

ดังนั้น สมการ 2.9 จะกลายเป็น

$$K = (2\pi f)^2 m \quad 2.11$$

แทนสมการ 2.11 ลงในสมการ 2.7 จะได้

$$E_{tot} = \frac{1}{2}(2\pi f)^2 mR^2 \quad 2.12$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ค่าพลังงานการส่งผ่านของคลื่น คือ

$$E_{\text{transmitted}} = 2\pi^2 f^2 mR^2 \quad 2.13$$

จะได้ว่าค่าพลังงานการส่งผ่านของคลื่นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากำลังสองของความถี่ของคลื่นและค่ากำลังสองของแอมพลิจูดของคลื่น

จากการพิสูจน์สมการที่ 2.13 สำหรับการส่งผ่านพลังงานของคลื่นให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ ในบางครั้งเราอาจจะกล่าวถึงคลื่นในเทอมของความเข้มข้นของมัน ความเข้มของคลื่นก็คือ ค่าพลังงานของคลื่นนั้นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา ดังนี้

$$I = \frac{E}{At} \quad 2.14$$

หน่วยของความเข้ม คือ วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) แทนค่าพลังงานของคลื่นจากสมการ 2.13 ลงในสมการ 2.14 จะได้

$$I = 2\pi^2 \frac{mf^2 R^2}{At} \quad 2.15$$

เพราะเหตุว่าความหนาแน่นของตัวกลางหาได้จาก มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังนั้น มวลของอนุภาคในการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก หาได้โดย

$$m = \rho V \quad 2.16$$

และค่าปริมาตรของตัวกลางหาได้จากผลคูณระหว่าง พื้นที่หน้าตัดของตัวกลางนั้นกับความยาวของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้นค่ามวล (m) จะกลายเป็น

$$m = \rho AL \quad 2.17$$

แทนสมการ 2.17 ลงในสมการ 2.15 จะได้

$$I = 2\pi^2 \frac{\rho A l f^2 R^2}{A t} \quad 2.18$$

ซึ่งค่า L/t คือค่าความเร็วของคลื่น (v) ดังนั้น

$$I = 2\pi^2 \rho f^2 R^2 v \quad 2.19$$

สมการ 2.19 กล่าวถึง ความเข้มของคลื่นกลที่ความถี่ (f) แอมพลิจูด (R) ซึ่งเคลื่อนที่ ณ ความเร็วหนึ่ง (v) ในความหนาแน่นของตัวกลางหนึ่ง (ρ)

คุณสามารถได้ยินเสียงที่มีความเข้มต่ำสุดประมาณ 10^{-12} W/m^2 และสูงสุดคือ 1 W/m^2 จะเห็นว่าช่วงกว้างของความเข้มจากต่ำสุดถึงสูงสุดมีขนาด 10^{12} W/m^2 เพื่อความสะดวกในการหาค่าระดับความเข้ม จึงใช้ลอการิทึมมาใช้ในการวัดมีหน่วยเป็น เบล (bel) และหน่วยที่นิยมใช้คือ เดซิเบล (decibel, dB) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad 2.20$$

เมื่อ β คือ ระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็น dB

I_0 คือ ความเข้มอ้างอิง = $1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

กำลังอัดของเสียง (Sound Pressure Level)

ในทางไฟฟ้า ถ้าค่าอิมพีแดนซ์คงที่ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า (Power) จะเท่ากับอัตราส่วนของแรงดัน (Voltage) ยกกำลังสอง ดังสมการ

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^2 \quad 2.21$$

เมื่อ E_2 และ E_1 คือ แรงดันขาเข้าและแรงดันขาออกตามลำดับ

ดังนั้น ค่าระดับกำลังไฟฟ้าเป็นเดซิเบลจะเท่ากับ 10 คูณกับลอการิทึมของอัตราส่วนกำลังไฟฟ้า

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 \quad 2.22$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SPL = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 = 20 \log \frac{P_2}{P_1} \quad 2.23$$

เมื่อ SPL คือ กำลังอัดของเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล

P_2 คือ กำลังของเสียง มีหน่วยเป็น N/m^2

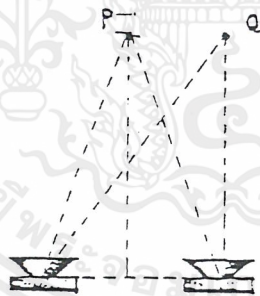
P_1 คือ กำลังของเสียงที่ระดับเปรียบเทียบ มีหน่วยเป็น N/m^2

ในเรื่องอคูสติก ค่าระดับเปรียบเทียบ คือ $2.0 \times 10^{-5} N/m^2$ โดยคิดจากระดับความถี่ที่ 1 kHz บางครั้งจะเขียนเป็น 0.0002 dyne/cm^2 หรือ $0.0002 \mu\text{bar}$ ดังนั้น

$$SPL = 20 \log \frac{P}{2.0 \times 10^{-5}} \quad 2.24$$

2.1.2 การแทรกสอดของเสียง

ปรากฏการณ์ที่คลื่นสองชุด (หรือมากกว่า) ซึ่งมีความถี่เท่ากัน เคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน ณ บริเวณหนึ่งในเวลาเดียวกัน คลื่นทั้งสองจะรวมกันเป็นคลื่นชุดใหม่ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การแทรกสอดของคลื่น (Interference of waves) สำหรับตัวอย่างการแทรกสอดของเสียงพิจารณาได้จาก รูป



รูปที่ 2.3 การแทรกสอดของเสียงจากลำโพง ณ จุด P และ Q

จากรูป คลื่นเสียงจากลำโพงทั้งสองซึ่งต่อจากเครื่องขยายเสียง (Amplifier) เครื่องเดียวกัน จะมีเฟสตรงกัน เมื่อเคลื่อนที่มาถึงจุด P ซึ่งอยู่ห่างจากลำโพงทั้งสองเท่ากัน คลื่นทั้งสองจะมีเฟสตรงกันและเกิดการรวมกันแบบเสริมกัน ทำให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมเป็นสองเท่าของแอมพลิจูดของคลื่นเดิมแต่ละชุด ซึ่งจะรับรู้ได้จากไมโครโฟนที่วาง ณ จุด P ถ้าเลื่อนไมโครโฟนไปอยู่ที่จุด Q ซึ่งอยู่ห่างจากลำโพงทั้งสองไม่เท่ากัน โดยผลต่างของระยะทางเป็นจำนวนเท่าของ $\lambda/2$ คลื่นทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองจะมีเฟสตรงข้ามกัน ทำให้เกิดการหักล้างกัน แอมพลิจูดของคลื่นรวมจะน้อยกว่าแอมพลิจูดของคลื่นเดิมแต่ละชุด ถ้าแอมพลิจูดของคลื่นเดิมเท่ากันแอมพลิจูดของคลื่นรวมจะเป็นศูนย์

หลักการรวมกันของคลื่น (Superposition)

หลักการของ Superposition ใช้ในการแก้ปัญหาของการรวมกันของคลื่น ซึ่งหลักการของ Superposition นั้นอาศัยพื้นฐานของการรวมแบบเวกเตอร์ของคลื่นแต่ละคลื่น หลักการของ Superposition เกิดขึ้นเมื่อคลื่น 2 ขบวนหรือมากกว่าเคลื่อนที่ผ่านไปยังจุดหนึ่งในตัวกลางหนึ่ง ผลลัพธ์ของการกระจัดของคลื่นในตัวกลางนั้นคือ การรวมกันของการกระจัดของคลื่นแต่ละคลื่น ตัวอย่างเช่น ถ้ามีคลื่น 2 คลื่น คือ

$$y_1 = A_1 \sin(k_1 x - \omega_1 t)$$

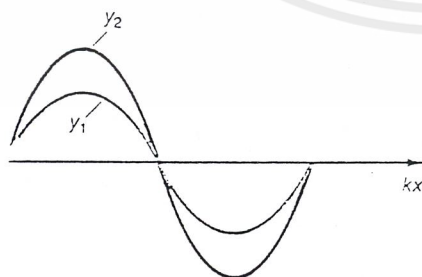
$$y_2 = A_2 \sin(k_2 x - \omega_2 t)$$

คือ คลื่นในตัวกลางหนึ่ง ณ เวลาใดๆ ซึ่งจะได้คลื่นรวมคือ

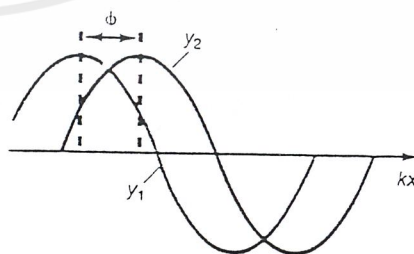
$$y = y_1 + y_2 \quad 2.25$$

$$y = A_1 \sin(k_1 x - \omega_1 t) + A_2 \sin(k_2 x - \omega_2 t) \quad 2.26$$

ในบางครั้งการรวมกันของคลื่น 2 คลื่น อาจเรียกว่า การแทรกสอดของคลื่นก็ได้ ซึ่งในการรวมกันของคลื่นนั้น คลื่นที่เกิดการรวมกันอาจจะมีเฟสไม่ตรงกันกับคลื่นอื่นๆ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า คลื่นสองคลื่นจะมีเฟสตรงกันถ้าคลื่นทั้งสองนั้นมีแอมพลิจูดสูงสุด ณ เวลาเดียวกันและมีแอมพลิจูดเป็นศูนย์ที่เวลาเดียวกัน ตัวอย่างของคลื่นสองคลื่นที่มีเฟสตรงกันแสดงให้เห็นในรูปที่ 4ก. และ ตัวอย่างของคลื่นสองคลื่นที่มีเฟสต่างกันแสดงให้เห็นในรูปที่ 4ข.



ก.



ข.

รูปที่ 2.4 ก. แสดงลักษณะของคลื่น 2 คลื่นที่มีเฟสตรงกัน

ข. แสดงลักษณะของคลื่น 2 คลื่นที่มีเฟสต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นที่มีเฟสต่างกันนี้จะไม่มีค่าสูงสุด ค่าที่เป็นศูนย์ และค่าต่ำสุด ณ จุดเดียวกัน จากรูปที่ 4ข. จะเห็นว่าตำแหน่งของคลื่น y_2 เลื่อนไปทางขวาของคลื่น y_1 เรากล่าวได้ว่า คลื่น y_2 มีเฟสต่างกับคลื่น y_1 เป็นมุม ϕ เมื่อ ϕ มีหน่วยเป็น เรเดียน (radians) สมการของคลื่น y_1 คือ

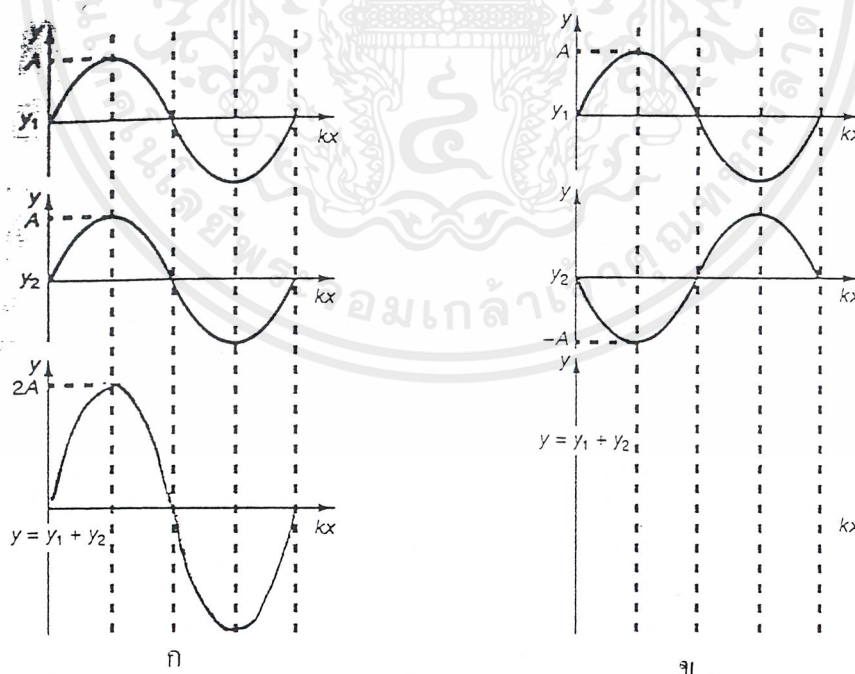
$$y_1 = A_1 \sin(kx - \omega t) \quad 2.27$$

และสมการของคลื่นที่เลื่อนไปทางขวาคือ

$$y_2 = A_2 \sin(kx - \omega t - \phi) \quad 2.28$$

มุม ϕ เราเรียกว่ามุมเฟส และวัดจากระยะที่เลื่อนของคลื่น y_2 จากคลื่น y_1 ในแนวราบ เครื่องหมายลบของ $-\omega t$ แสดงว่าคลื่นเดินทางไปทางขวา เครื่องหมายลบของ ϕ หมายความว่าคลื่นเลื่อนไปทางขวา ซึ่ง คลื่น y_2 เคลื่อนที่ช้ากว่าคลื่น y_1 เป็นมุม ϕ นั่นคือ คลื่น y_2 จะมีค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และศูนย์ หลังจากคลื่น y_1 ถ้าคลื่นเลื่อนไปทางซ้าย จะได้สมการคลื่นคือ

$$y_2 = A_2 \sin(kx - \omega t + \phi) \quad 2.29$$



รูปที่ 2.5 ก. แสดงการรวมกันของคลื่นแบบเสริม (Constructive interference)

ข. แสดงการรวมกันของคลื่นแบบหักล้าง (Destructive interference)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่สำคัญเป็นพิเศษของการรวมคลื่นแสดงดังรูปที่ 5 เมื่อคลื่นสองคลื่นมีเฟสตรงกัน ($\phi=0$) จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน ดังรูป 5ก. นั่นคือ

$$y_1 = A\sin(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A\sin(kx - \omega t)$$

ดังนั้นคลื่นรวมคือ

$$y = y_1 + y_2 = 2A\sin(kx - \omega t) \quad 2.30$$

นั่นคือ แอมพลิจูดจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ถ้าคลื่น y_2 มีมุมเฟสเป็น 180° หรือ π เรเดียน เมื่อเทียบกับคลื่น y_1 จะได้ว่า

$$y_2 = A\sin(kx - \omega t - \pi)$$

กำหนด $B = kx - \omega t$ และ $\pi = C$ เราสามารถใช้สูตรของผลต่างของ Sine ระหว่างมุม 2 มุม หาค่า B ได้นั่นคือ

$$\sin(B - C) = \sin B \cos C - \cos B \sin C \quad 2.31$$

ดังนั้น

$$\sin[(kx - \omega t) - \pi] = \sin(kx - \omega t) \cos \pi - \cos(kx - \omega t) \sin \pi \quad 2.32$$

แต่ $\sin \pi = 0$ และ $\cos \pi = -1$ ดังนั้นสมการ 2.32 จะได้เป็น

$$\sin[(kx - \omega t) - \pi] = -\sin(kx - \omega t)$$

ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการคลื่น y_2 ได้เป็น

$$y_2 = -A\sin(kx - \omega t) \quad 2.33$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลของการ Superposition คือ

$$y = y_1 + y_2 = A\sin(kx - \omega t) - A\sin(kx - \omega t) = 0 \quad 2.34$$

ดังนั้นถ้าความต่างเฟสเท่ากับ 180° จะได้คลื่นรวมเป็นศูนย์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5ข. และเราเรียกว่าการแทรกสอดแบบหักล้าง

การแก้ปัญหาทั่วไปของการแทรกสอดของคลื่น 2 คลื่นที่มีความถี่ตรงกัน เลขคลื่นเหมือนกัน แอมพลิจูดเท่ากัน และทิศทางเดียวกันแต่เฟสต่างกันเป็นมุม ϕ สามารถหาได้ง่ายโดยใช้หลักการของการ Superposition ดังนี้

$$y_1 = A\sin(kx - \omega t) \quad 2.35$$

$$y_2 = A\sin(kx - \omega t - \phi) \quad 2.36$$

ผลรวมของคลื่นคือ

$$y = y_1 + y_2 = A\sin(kx - \omega t) + A\sin(kx - \omega t - \phi) \quad 2.37$$

เราจะใช้หลักการของตรีโกณมิติ ช่วยในการหาการรวมกันของคลื่น $\sin 2$ คลื่น ดังนี้

$$\sin B + \sin C = 2\sin\left(\frac{B+C}{2}\right)\cos\left(\frac{B-C}{2}\right) \quad 2.38$$

เมื่อ $B = kx - \omega t$

และ $C = kx - \omega t - \phi$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t - \phi) &= 2\sin\left(\frac{kx - \omega t + kx - \omega t - \phi}{2}\right)\cos\left(\frac{kx - \omega t - kx + \omega t - \phi}{2}\right) \\ &= 2\sin(kx - \omega t - \phi/2)\cos(\phi/2) \end{aligned} \quad 2.39$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะได้

$$y = 2A \cos(\phi/2) \sin(kx - \omega t - \phi/2) \quad 2.40$$

สมการ 2.40 นี้ คือ รูปแบบทั่วไปในการหาสมการคลื่นซึ่งรวมถึงการหาการแทรกสอดแบบเสริมสร้างและแบบหักล้างด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้า $\phi = 0$ หรือคลื่นทั้งสองมีเฟสตรงกัน จะได้ $\cos\phi = 1$ และสมการ 2.40 จะกลายเป็น

$$y = 2A \sin(kx - \omega t)$$

ซึ่งเป็นสมการสำหรับการแทรกสอดแบบเสริมสร้าง และในกรณีของ $\phi = 180^\circ = \pi$ จะได้ $\cos(\pi/2) = \cos 90^\circ$ และสมการ 2.40 จะกลายเป็น $y = 0$ ซึ่งคือการแทรกสอดแบบหักล้างนั่นเอง

2.2 ลำโพง (Loudspeaker)

ลำโพงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยแปลงแรงดันทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณเสียง ซึ่งการแบ่งชนิดของลำโพง แบ่งได้โดย

1. แบ่งตามลักษณะการกระจายเสียง

a.) Direct radiation loudspeaker

แผ่นไวเบรตจะเป็นตัวรับสัญญาณและจะให้สัญญาณเสียงในทิศทางตรง ซึ่งมักจะพบว่าลำโพงประเภทนี้จะอยู่ในลักษณะรูปกรวยหรือโคน ซึ่งจะได้แก่ Cone loudspeaker , Condenser loudspeaker ฯลฯ

b.) Indirect radiation loudspeaker หรือ horn loudspeaker

จะมีการแพร่กระจายเสียงในอากาศเป็นลักษณะของรูปแตร

2. แบ่งตามลักษณะโครงสร้างในการให้เสียง

a.) Electro dynamic loudspeaker

b.) Electro magnetic loudspeaker

c.) Electro static loudspeaker หรือ condenser loudspeaker

d.) piezo electric loudspeaker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบ่งตามช่วงของการได้ยิน

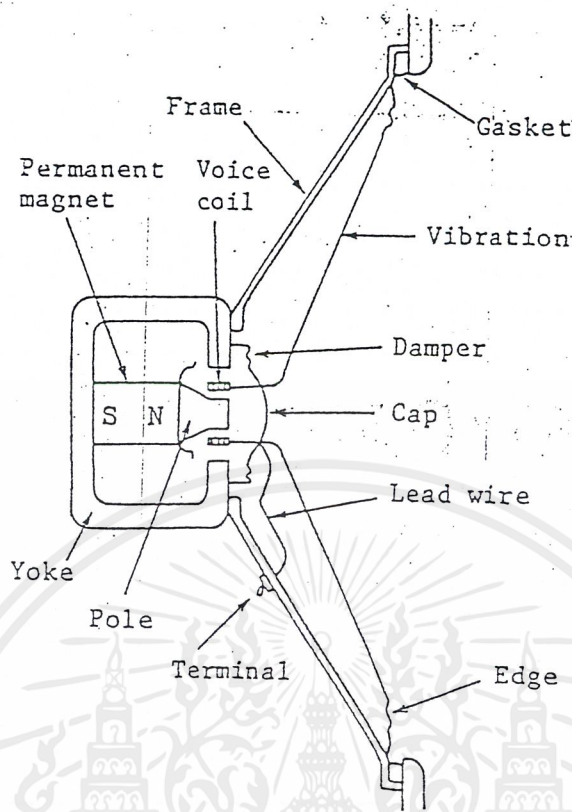
ระบบเสียงที่มนุษย์ได้ยินจะเริ่มจาก 20 เฮิรตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์ และมักแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลักๆ ดังนี้

- เสียงความถี่ต่ำ มักเรียกว่าเสียงทุ้ม (Bass) เช่น เสียงจากนักร้องเสียงเบสและเสียงกลองต่างๆ
- เสียงความถี่กลาง มักเรียกว่าเสียงกลาง (Midrange) เช่น เสียงจากนักร้องทั่วๆ ไป เสียงจากกีตาร์และเสียงจากเครื่องดนตรีส่วนมาก
- เสียงความถี่สูง มักเรียกว่าเสียงแหลม (Treble) เช่น เสียงจากกระดิ่ง ไวโอลิน ฟลูท ซึ่งลำโพงที่ใช้กับเสียงความถี่ต่างๆ ได้แก่
 - ลำโพงขนาดใหญ่ เรียกว่า วูฟเฟอร์ (Woofer) ให้เสียงทุ้มเป็นหลักและเสียงกลางบางส่วน
 - ลำโพงขนาดกลาง เรียกว่า มิดเรนจ์ (Midrange) ให้เสียงกลางเป็นหลักและเสียงแหลมบางส่วน
 - ลำโพงขนาดเล็ก เรียกว่า ทวีตเตอร์ (Tweeter) ให้เสียงแหลม (Treble sound)

ลำโพงแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก (Electro dynamic loudspeaker)

ในการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงนี้ แหล่งกำเนิดเสียงที่เราใช้จะเป็นลำโพงแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก ซึ่งประมาณ 95 % ของลำโพงที่ใช้กันในระบบเครื่องเสียงสเตอริโอล้วนเป็นลำโพงชนิดนี้ โดยการใช้แม่เหล็กและขดลวดที่พันจากลวดเส้นเล็กๆ ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของกรวยลำโพง ซึ่งก็ก่อให้เกิดคลื่นเสียงตามมา องค์ประกอบหลักของลำโพงแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิกจะแสดงไว้ดังรูปที่ 6

โครงของลำโพงเป็นตัวยึดองค์ประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน และยังใช้เป็นตัวยึดลำโพงเข้ากับตู้ด้วย โครงลำโพง (Frame บางทีก็เรียกว่า Basket) จะมีรูตรงกลางกลวงเพื่อให้อากาศวิ่งผ่านได้อย่างอิสระรอบๆ กรวยลำโพง (Core) เส้นผ่านศูนย์กลางของลำโพงมีตั้งแต่ 1 ถึง 15 นิ้ว โดยทั่วไปแล้วโครงลำโพงที่มีขนาดใหญ่ จะให้เสียงที่ดังกว่า และนิยมใช้ในการสร้างเสียงทุ้ม (Bass) ในขณะที่ลำโพงขนาดเล็กจะใช้ในการสร้างเสียงกลางและเสียงแหลม



รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของลำโพงแบบอเล็กโตรไดนามิก

ส่วนของลำโพงที่เรียกว่า ไดรเวอร์ (Driver) ได้แก่ แม่เหล็กถาวรและขดลวด (Voice coil) ซึ่งจะประกอบด้วยลวดเส้นเล็กๆ พันบนแกนหลายๆ ขดซ้อนกันอยู่ สัญญาณไฟฟ้าจากวงจรขยายจะป้อนสู่ขดลวดนี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กรอบๆ ขดลวดกับแม่เหล็กถาวร ทำให้ตัวขดลวดนี้เคลื่อนที่ไปมา โดยที่รอบๆ จะยึดกรวยกระดาษไว้จึงเกิดการกระพืออากาศก่อเกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของลำโพง

ผลตอบสนองเชิงความถี่

ผลตอบสนองเชิงความถี่ คือ ช่วงความถี่เสียงที่ทำให้เสียงที่ออกจากลำโพงมีความถูกต้อง เช่น สัญญาณต้นแบบทำการวัดโดยปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุท โดยกำหนดขนาดของสัญญาณคงที่ และปรับค่าความถี่จาก 20 เฮิร์ตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ หากสัญญาณเสียงที่ได้มีขนาดคงที่ทุกช่วงความถี่ทางอินพุท เรียกว่า มีผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ราบเรียบ (Flat) เขียนได้ว่า $20 \text{ Hz} \rightarrow 20 \text{ kHz} \pm 0 \text{ dB}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง 36704

ความไว (Sensitivity)

เป็นการวัดระดับเสียงจากลำโพงเมื่อป้อนกำลังงานไฟฟ้าคงที่แก่ลำโพง โดยการป้อนสัญญาณขนาดคงที่ทั้งในแง่ความถี่และแอมพลิจูด ระดับเสียงของลำโพงจะถูกวัดที่ห่างออกไปจากปากลำโพงในระยะทางหนึ่งๆ (มักกำหนดที่ระยะ 1 เมตร) การบ่งบอกค่าความไวนี้เป็นการบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของลำโพงโดยตรง

แอมป์ (Damping)

กรวยลำโพงจะต้องเคลื่อนที่ตามรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าทางอินพุต หากกรวยลำโพงยังคงกระเพื่อมต่อไปเรื่อยๆ ที่สัญญาณทางอินพุตหายไปแล้ว ย่อมทำให้เสียงที่ได้จากลำโพงผิดเพี้ยนจากความเป็นจริง จึงต้องมีการหน่วงการเคลื่อนที่ เรียกขบวนการนี้ว่า แอมป์ (Damping) โดยขึ้นกับ

- ชนิดของสารที่ใช้ทำกรวยลำโพง
- น้ำหนักของแม่เหล็ก
- ตัวจับโครงหลักของกรวยกระด้างเข้ากับ โครงหลักของลำโพง (Suspension และ Spider)

ความเพี้ยนของเสียง

เสียงใดๆ ที่ได้ยิน หากไม่ตรงกับสัญญาณต้นแบบ เรียกว่า มีความผิดเพี้ยนทั้งสิ้น ลำโพงก็เป็นอุปกรณ์ที่ให้เสียงผิดเพี้ยนได้เสมอ รูปแบบความผิดเพี้ยนของเสียงจากลำโพงมีดังนี้

1. ความเพี้ยนเชิงฮาร์โมนิกและอินเทอร์มอดูเลชัน เกิดจากความถี่แปลกปลอมซึ่งเกิดขึ้นทางลำโพง ทั้งๆ ที่ไม่มีความถี่เหล่านี้ทางอินพุต สาเหตุเกิดจากองค์ประกอบในลำโพงไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะในกรณีจับลำโพงด้วยสัญญาณไฟฟ้าขนาดใหญ่
2. นอยส์ (Noise) เป็นเสียงเบบต้นกระแทกจากลำโพง เนื่องจากอุปกรณ์ในลำโพงเสียหาย หรือเกิดจากการสั่นของตู้ลำโพงก็ได้
3. ผลตอบชั่วขณะ (Transient Response) เป็นลักษณะของการหน่วงเวลาจากการที่กรวยลำโพงเริ่มต้นทำงานจากจุดหยุดนิ่งไปถึงจุดสั่น โดยการป้อนห้วงสัญญาณกระชาก ซึ่งผลของการตอบสนองของลำโพงขึ้นกับหลายๆ องค์ประกอบ เช่น ค่าความแข็งของกรวยลำโพง ซึ่งกรวยลำโพงที่แข็งจะหน่วงเวลาการเคลื่อนที่ของมันเอง ทำให้มีผลตอบสนองที่ช้า
4. การขลิบสัญญาณ (Clipping) เกิดขึ้นเมื่อกรวยลำโพงไม่สามารถเคลื่อนที่เร็วเท่าที่ต้องการขณะป้อนสัญญาณไฟฟ้า ทำให้เสียงที่ได้แตกพร่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ไมโครโฟน (Microphone)

ไมโครโฟนเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งที่ใช้ในการแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งในที่นี้ก็คือ เปลี่ยนพลังงานเสียงธรรมชาติหรือที่เรียกว่า พลังงานที่เป็นอคูสติก (Acoustic) เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือที่เราเรียกว่า สัญญาณเสียง (audio signal) นั่นเอง

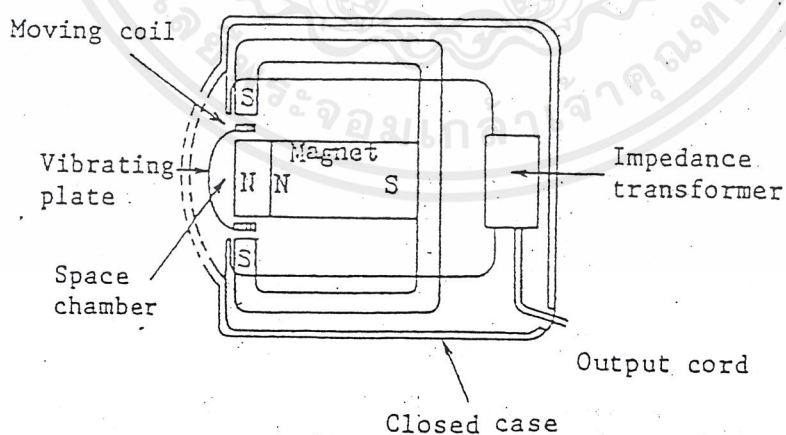
ชนิดของไมโครโฟน (Type of Microphone)

1. แบบมูฟวี่งคอยล์ (Moving coil)
2. แบบริบบอน (Ribbon)
3. แบบคอนเดนเซอร์ (Condenser)
4. แบบคาร์บอน (Carbon)
5. แบบคริสตอล (Crystal)

ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิดของไมโครโฟนที่สำคัญๆ เพียง 2 ชนิด คือไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์ และไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์

มูฟวี่งคอยล์ไมโครโฟนหรือไดนามิกไมโครโฟน

ไมโครโฟนชนิดนี้ใช้หลักการเดียวกับลำโพง แต่ใช้ในทางกลับกัน กล่าวคือ ลำโพงนอกจากจะแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียงแล้ว ยังสามารถแปลงคลื่นเสียงเป็นแรงดันไฟฟ้าได้อีกด้วย สำหรับไมโครโฟนชนิดนี้ใช้ความสามารถในการแปลงคลื่นเสียงเป็นแรงดันไฟฟ้าของลำโพงเป็นหลักในการออกแบบ



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของไมโครโฟนแบบมูฟวี่งคอยล์ (Moving coil microphone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

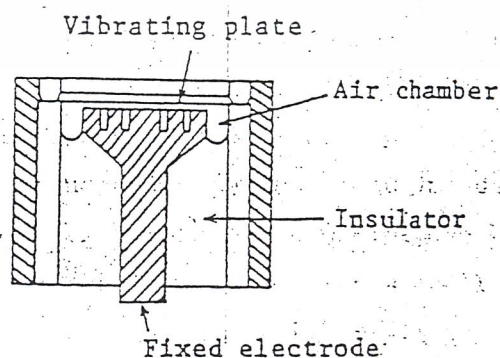
เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่แผ่นไดอะแฟรม (Vibrating plate) ของไมโครโฟน จะเกิดการเคลื่อนที่เข้า-ออก ตามลักษณะของคลื่นเสียง ขดลวดเล็กๆ ที่ติดอยู่กับแผ่นไดอะแฟรม และวางอยู่ในสนามแม่เหล็กก็จะเคลื่อนที่ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นไดอะแฟรม ไปตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก เกิดเป็นแรงดันขึ้นที่ปลายของขดลวด แรงดันไฟสลับจะเกิดขึ้นตามแรงและทิศทางของคลื่นเสียง โดยทั่วไปแล้ว ไดนามิกไมโครโฟนมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ แต่สามารถทำให้สูงขึ้นได้โดยใช้แมตชิ่งแอมพลิไฟเออร์ (matching amplifier) หรือแมตชิ่งทรานส์ฟอร์มเมอร์ (matching transformer)

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser microphone)

เป็นไมโครโฟนที่มีความชัดเจนของเสียงแบบหนึ่งในจำนวนไมโครโฟนหลายๆ แบบ ซึ่งไมโครโฟนชนิดนี้ ใช้แผ่นโลหะที่เป็นขั้วหนึ่งของตัวเก็บประจุเป็นแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งเมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่แผ่นไดอะแฟรมแล้ว รูปทรงของแผ่นโลหะจะเปลี่ยนไป และจะเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไปด้วย



รูปที่ 2.8 ก. แสดงลักษณะ โครงสร้างภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนแบบ Single vibrating plate
ข. แสดงลักษณะ โครงสร้างภายในของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนแบบ Two vibrating plate



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะ โครงสร้างของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นไดอะแฟรมของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Vibrating plate) ทำมาจากโลหะหรือฟิล์มพลาสติก ด้านหลังของแผ่นไดอะแฟรมจะเป็นขั้วโลหะ ซึ่งจะทำตัวเป็นอีกขั้วหนึ่งของตัวเก็บประจุ ซึ่งเมื่อแผ่นไดอะแฟรมสั่น ค่าความจุจะเปลี่ยนแปลง แรงดันที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะต้องนำไปป้อนให้วงจรขยายสัญญาณที่เรียกว่า ปริแอมพลิฟายเออร์อีกทอดหนึ่ง เพื่อขยายสัญญาณให้มีความแรงพอเหมาะต่อไป

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของไมโครโฟน

ความไว (Sensitivity)

ความไวของไมโครโฟนเป็นการวัดประสิทธิภาพของไมโครโฟน โดยการวัดความสามารถของไมโครโฟนในการเปลี่ยนสัญญาณเสียงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปเราสามารถหาค่า Sensitivity ได้จากสูตร

$$\text{Sensitivity} = E / P \quad 2.41$$

เมื่อ E คือ ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปของไมโครโฟนเมื่อได้รับแรงดันเสียง มีหน่วยเป็น โวลต์
P คือ แรงดันของเสียง มีหน่วยเป็น ไมโครบาร์

โดยทั่วไปค่า Sensitivity จะเขียนในรูปของ dB โดย 1 V/ μ bar จะเท่ากับ 0 dB ดังนั้นจะได้

$$\text{Sensitivity} = 20 \log \frac{E}{P} \quad \text{dB} \quad 2.42$$

ย่านความถี่ตอบสนอง (Response Frequency)

ย่านความถี่ตอบสนองของไมโครโฟน ก็คือกราฟแสดงอัตราส่วนของอินพุตต่อเอาต์พุตตลอดย่านความถี่ของไมโครโฟนนั้นๆ โดยการพล็อตระหว่างค่าความถี่ ในแกน x และ dB ในแกน y ซึ่งกราฟย่านความถี่ตอบสนองนิยมและจำเป็นมากในการบ่งบอกคุณภาพของไมโครโฟน โดยถ้ากราฟยิ่งกว้างเท่าใด แสดงว่าไมโครโฟนนั้นมีการตอบสนองในย่านความถี่ที่กว้าง

Directivity

ค่า Directivity เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Sensitivity กับทิศทางของเสียงที่ไมโครโฟนรับเข้ามา โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดและโครงสร้างของไมโครโฟน เช่น ไมโครโฟนแบบไดนามิก ค่า Sensitivity จะไม่ขึ้นกับทิศทางของเสียงที่เข้ามา ส่วนคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ค่า Sensitivity จะขึ้นกับทิศทางของเสียงที่ได้รับ

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

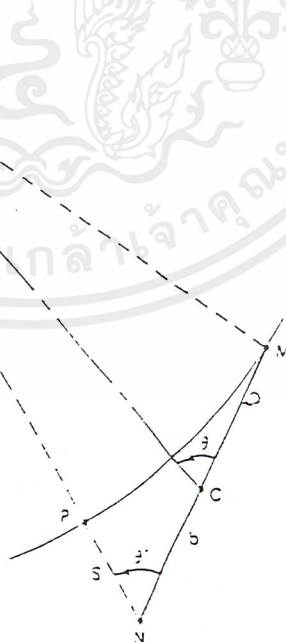
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เขียนย่อได้ว่า S/N หรือ SNR อัตราส่วนนี้จะหมายถึง ความแตกต่างระหว่างระดับสัญญาณกับสัญญาณรบกวน ซึ่งสำหรับไมโครโฟน สัญญาณรบกวนมักเกิดจาก ค่าความดันทานภายใน และการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศแบบไม่มีทิศทางแน่นอน

2.4 หลักการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง

สำหรับโครงการพิเศษนี้ เราใช้หลักการในการหาแหล่งกำเนิดเสียงด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้ความแตกต่างของคาบเวลาของสัญญาณ

สำหรับหลักการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้ความแตกต่างของคาบเวลาของสัญญาณ สามารถอธิบายได้ดังรูป



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะหน้าคลื่นที่เข้าสู่ไมโครโฟน M และ N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป จุด O คือ แหล่งกำเนิดเสียง จุด M และ N คือ ที่ตั้งของตัวตรวจจับเสียง 2 ตัว ในกรณีนี้จะให้เป็นไมโครโฟน ลากเส้นตรงที่เชื่อมต่อกับจุด M และ N จะได้แนวเส้นตรงของการวางไมโครโฟน ซึ่งในการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง จะทำการวัดจากจุด C ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางบนเส้นตรงที่ลากผ่านจุด M และ N นั่นเอง

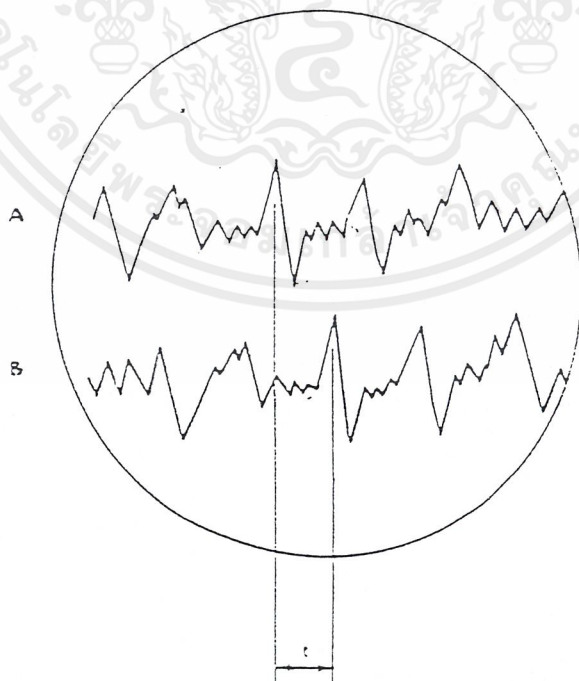
เมื่อไมโครโฟนได้รับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง สัญญาณที่ตรวจจับได้ก็จะแสดงบนจอของออสซิลโลสโคปแบบ 2 ช่องสัญญาณ ซึ่งมีลักษณะสัญญาณดังรูปที่ 11 ซึ่งเราจะเห็นได้ว่า คลื่นเสียงจะเดินทางเข้ามาสู่จุด N ด้วยระยะทางที่มากกว่าที่จะเข้ามาสู่จุด M ระยะทางที่แตกต่างกันนี้จะแทนด้วย S ดังนั้นจะทำให้คลื่นเสียงเดินทางมาถึงจุด N ได้ช้ากว่าด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ t ระยะทาง S สามารถที่จะคำนวณได้โดยการวัดค่า t ที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคป ด้วยสมการ $S = vt$ ซึ่ง v คือความเร็วเสียงในอากาศ ถ้าเราสมมุติให้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนทั้งสองตัวมีระยะ b และแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ไกลมากๆ ดังนั้นมุมที่ทำกับแนวที่ตั้งไมโครโฟนทั้งสองที่จุด C จะประมาณเท่ากับ มุมที่จุด N ($\theta \approx \theta'$) จากเงื่อนไขดังกล่าว จะทำให้ MNP เป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งจะได้ว่า

หรือ

$$\cos\theta \approx \cos\theta' = \frac{s}{b} = \frac{vt}{b}$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{vt}{b}\right)$$

2.43



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะสัญญาณที่ได้จากไมโครโฟน ที่จุด M และ N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยอาศัยทฤษฎีการรวมกันของคลื่นเสียง

สำหรับการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยอาศัยทฤษฎีการรวมกันของคลื่นเสียง (Superposition) นั้น จำเป็นจะต้องอาศัยจุดอ้างอิงในการวัด 2 จุด ซึ่งก็คือ จุดที่ได้รับสัญญาณมากที่สุด และจุดที่ได้รับสัญญาณเป็น 0.7 ของสัญญาณที่มากที่สุด ซึ่งจากข้อกำหนดดังกล่าว สามารถหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้ โดย เราให้ค่า V_0 เป็นค่าแรงดันของสัญญาณที่รับได้ของไมโครโฟนแต่ละตัว ซึ่งแรงดันรวมของไมโครโฟนแต่ละตัวจะเขียนได้เป็น

$$\bar{V}_r = V_0 + V_0 \angle \phi \quad 2.44$$

เมื่อ ϕ คือ ค่ามุมเฟส ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางที่คลื่นเสียงเดินทางเข้าสู่ไมโครโฟน N โดย

$$\phi = 2\pi \frac{S}{\lambda}$$

เขียนค่าแรงดัน $V_0 \angle \phi$ ในรูปปกติจะได้

$$\bar{V}_r = V_0 + V_0 \cos \phi + j V_0 \sin \phi$$

หรือ

$$\begin{aligned} \bar{V}_r &= V_0 [(1 + \cos \phi)^2 + \sin^2 \phi]^{1/2} \\ &= V_0 (1 + 2 \cos \phi + \cos^2 \phi + \sin^2 \phi)^{1/2} \\ &= V_0 [2(1 + \cos \phi)]^{1/2} \end{aligned} \quad 2.45$$

จากสมการ 2.45 หากแนวของไมโครโฟน (จุด C) อยู่ในแนวเดียวกับแนวของแหล่งกำเนิดเสียง มุม $\phi = 0^\circ$ และจะได้ค่าแรงดันสูงสุด

$$V_{\max} = 2V_0 \quad 2.46$$

นำสมการ 2.45 / 2.46 จะได้

$$\frac{V_r}{V_{\max}} = (1 + \cos \phi)^{1/2} (2)^{-1/2} \quad 2.47$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตามข้อกำหนดข้างต้น ซึ่งก็คือ $V_r = 0.7 V_{\max}$

หรือ $\frac{V_r}{V_{\max}} = 0.7 = (2)^{-1/2}$ ดังนั้นสมการ 2.47 จะเป็น

$$(2)^{-1/2} = (1 + \cos\phi)^{1/2} (2)^{-1/2}$$

และ $\cos\phi = 0$ ดังนั้น $\phi = \pi/2$

จากรูปที่ 10 และสมการ 2.43

$$\theta = \cos^{-1} \frac{S}{b}$$

โดย $\phi = 2\pi \frac{S}{\lambda} = \pi/2$ จะได้ $S = \lambda/4$

$$\therefore \theta = \cos^{-1} \frac{\lambda}{4b}$$

2.48

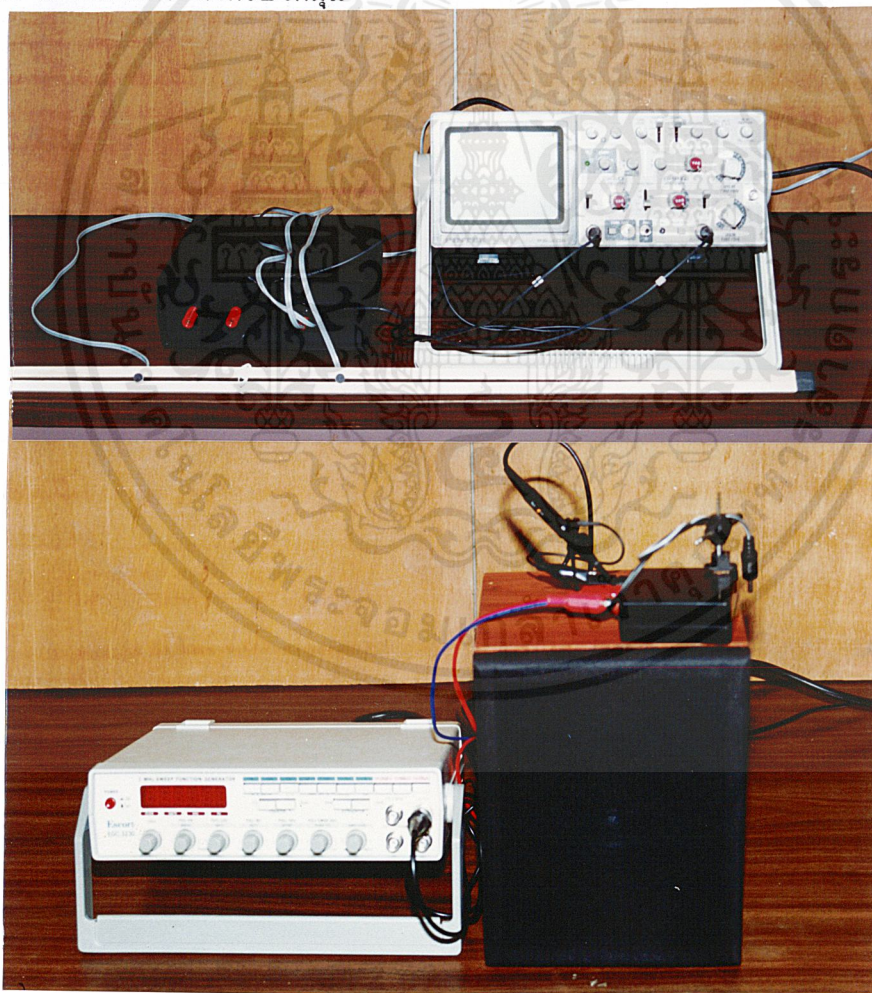
ซึ่งสามารถนำไปใช้หาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้

บทที่ 3

การดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง

1. ลำโพงช่วงมิดเรนจ์ 8 โอห์ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 122.2 ± 0.4 มิลลิเมตร
2. ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน
3. วงจร Audio Power Amplifier โดยใช้ไอซี เบอร์ LM384
4. วงจรปรีแอมพลิไฟเออร์สำหรับไมโครโฟน โดยใช้ไอซีเบอร์ LM387
5. แหล่งกำเนิดความถี่รูป Sine ในที่นี้ใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
6. ออสซิลโลสโคป 40 MHz ชนิด 2 ช่องสัญญาณ
7. สายวัดขนาดความยาว 2 เมตร
8. ไม้ Protractor สำหรับวัดมุม



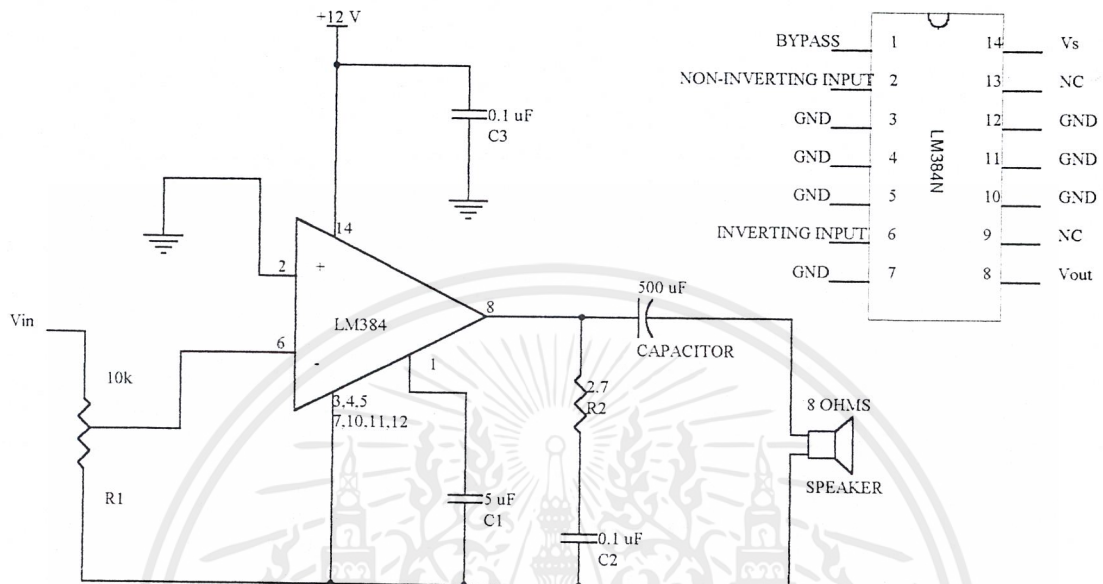
รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

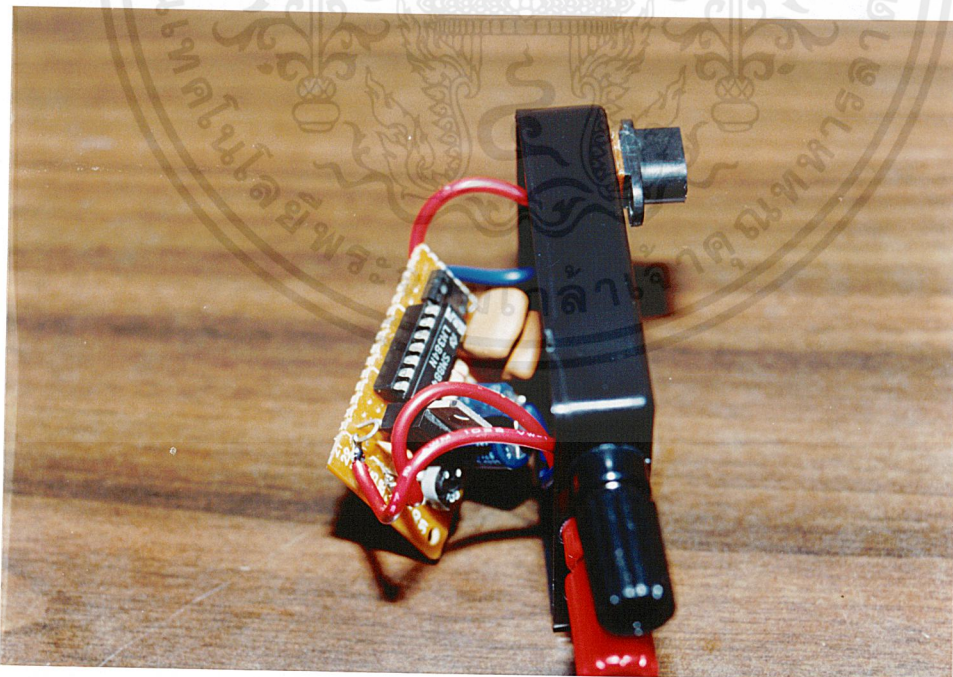
3.2 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 วงจร Audio Power Amplifier

ในการออกแบบวงจรนี้เราจะใช้ ไอซีเบอร์ LM384 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการขยายสัญญาณ โดยเฉพาะ มีกำลัง 5 W และสามารถขับลำโพงขนาด 8 โอห์ม 5 W ได้โดยมีรูปวงจรมีดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจร Audio Power Amplifier โดยใช้ไอซีเบอร์ LM384



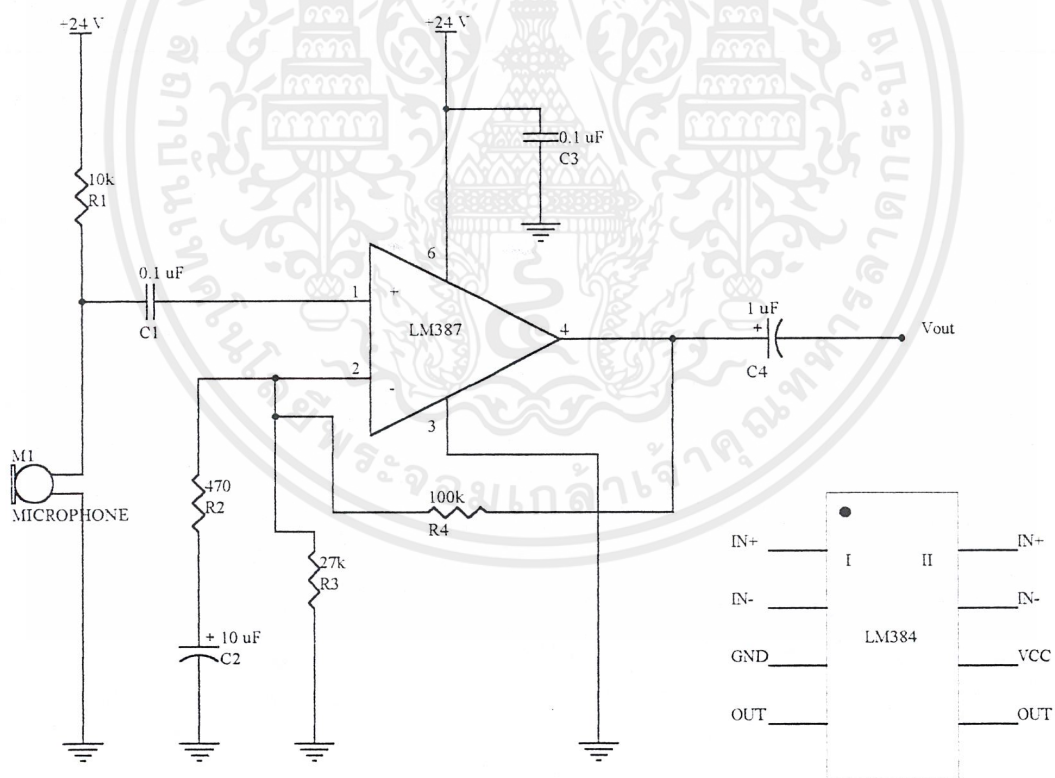
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อวงจร Audio Power Amplifier โดยใช้ไอซีเบอร์ LM384 ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 จะแสดงให้เห็นถึงวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ V_{in} ซึ่งในที่นี้จะใช้สัญญาณรูปไซน์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งจากวงจรนี้สามารถปรับขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้โดยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อกับขาอินพุตซึ่งในที่นี้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM384 นี้ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณในโหมด Inverting โดยใช้ไฟเลี้ยง 12 โวลต์ ซึ่งจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นและกลับเฟสจากสัญญาณอินพุต 180 องศา แต่จะได้สัญญาณที่มีความถี่เท่าเดิม

3.2.2 วงจร Preamplifier สำหรับไมโครโฟน

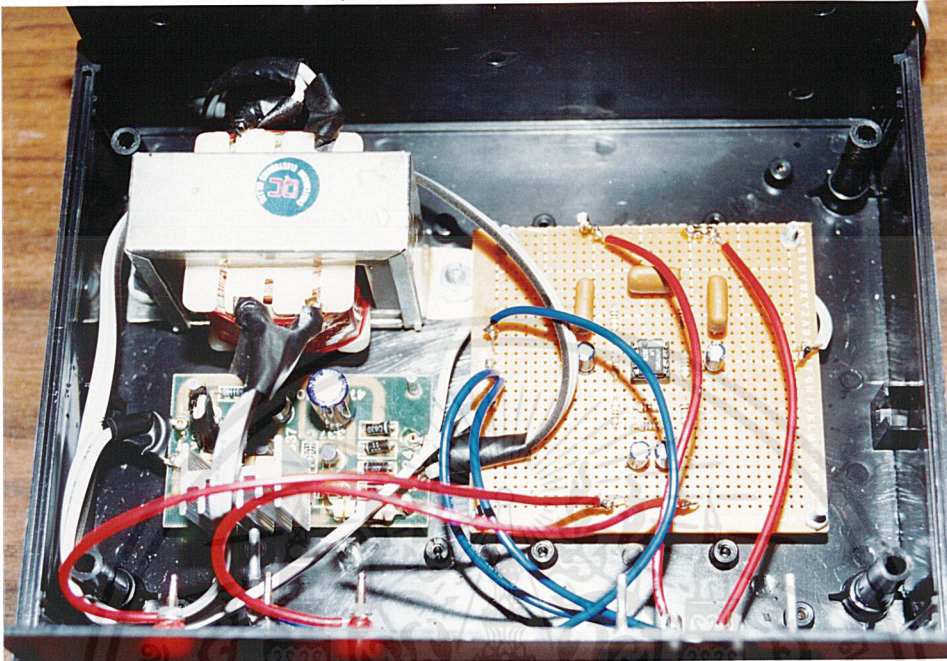
ในการออกแบบวงจร Preamplifier ที่ใช้สำหรับไมโครโฟน ซึ่งช่วยในการขยายสัญญาณที่รับเข้ามาได้และมีขนาดเล็กมากให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อที่จะสามารถอ่านได้จาก Oscilloscope เราจะใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM387 ซึ่งไอซีเบอร์นี้ 1 ตัวจะประกอบไปด้วย opamp 2 ตัว ซึ่งสามารถแยกใช้กับไมโครโฟน 2 ตัวได้ จะมีรูปวงจรมีดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจร Preamplifier ที่ใช้กับไมโครโฟน โดยใช้ไอซีเบอร์ LM387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 วงจร Preamplifier นี้จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน โดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM387 ต่อในระบบ Non-Inverting ซึ่งใช้ไฟเลี้ยงเดี่ยวขนาด +24 โวลต์ ซึ่งจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีขนาดขยายขึ้นประมาณ 200 เท่า และมีเฟสรวมทั้งความถี่ตรงกับสัญญาณอินพุต

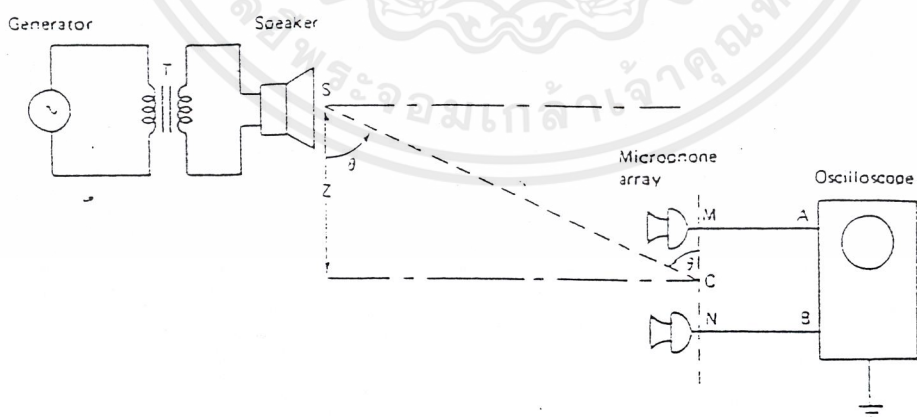


รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจร Preamplifier โดยใช้ไอซีเบอร์ LM387 ที่ใช้ในการทดลอง

3.3 การดำเนินการทดลอง

วิธีการทดลองของโครงการพิเศษนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยวิธีหาค่าความแตกต่างของคาบเวลาของสัญญาณ



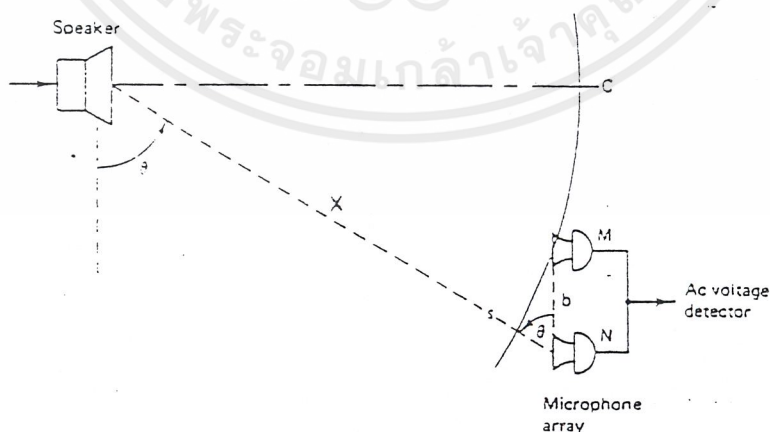
รูปที่ 3.6 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยวิธีหาค่าความแตกต่างของคาบเวลาของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเปรียบเทียบค่ามุม θ ที่หาได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎี โดยเปรียบเทียบจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่สูงและความถี่ต่ำในช่วงของความถี่ที่ทำการศึกษา (1,000-5,000 Hz) โดยในที่นี้จะใช้ความถี่ที่ 1,000 และ 4,000 Hz สามารถจัดอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 3.6 และมีวิธีดำเนินการทดลองดังนี้

1. จัดให้ไมโครโฟนอยู่ในตำแหน่ง M และ N ตามลำดับและให้อยู่ในแนวเดียวกับลำโพง โดยให้ระยะห่างจากลำโพงถึงไมโครโฟนเป็น 5 เท่า ของระยะทางระหว่างไมโครโฟน 2 ตัว ซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร และระยะห่างระหว่างลำโพงซึ่งตั้งฉากกับแนวของการวางไมโครโฟนเป็น 2.0 เมตร
2. ใส่ความถี่ให้แหล่งกำเนิดเสียงด้วยความถี่ 1,000 Hz
3. เลื่อนไมโครโฟนในแนวขนานกับลำโพง เพื่อที่จะเปลี่ยนมุม θ ให้เป็นมุมค่าต่างๆ และใช้ไมโครโพรเซสเซอร์วัดค่ามุมระหว่างไมโครโฟนกับลำโพง
4. อ่านค่า r จาก ออสซิลโลสโคปทุกๆ ค่า θ ที่เปลี่ยนไป
5. นำค่า r ที่อ่านได้ไปคำนวณหาค่า θ จาก $\theta = \cos^{-1}(vt/b)$
6. หาค่า Path difference จาก ระยะทางจากลำโพงถึงไมโครโฟน M ลบด้วยระยะทางจากลำโพงถึงไมโครโฟน N
7. เปลี่ยนค่าความถี่จาก 1,000 Hz เป็น 4,000 Hz แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3-5
8. นำค่า θ ที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตอนที่ 2 การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยวิธีใช้หลักการรวมกันของสัญญาณ



รูปที่ 3.7 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยใช้หลักการรวมกันของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 ทำการเปรียบเทียบค่า θ ที่ได้จากการวัดและที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยให้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตรตามลำดับ ซึ่งในแต่ละช่วงระยะห่างจะปรับเปลี่ยนค่าความถี่เป็น 1,500 , 2,500 , 3,500 , 4,000 , 4,500 และ 5,000 Hz ตามลำดับ ซึ่งมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

1. จัดให้ไมโครโฟนอยู่ในตำแหน่ง M และ N ตามลำดับและให้อยู่ในแนวเดียวกับลำโพง โดยให้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร
2. ใส่ความถี่ให้กับแหล่งกำเนิดเสียง โดยเริ่มต้นที่ 1,500 Hz
3. วัดค่าแรงดันของสัญญาณจากออสซิลโลสโคปที่ตำแหน่งดังกล่าว จะได้ค่า V_{max}
4. ทำการเลื่อนไมโครโฟนในแนวขนานกับลำโพง จนค่าแรงดันของสัญญาณที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคป มีค่าเป็น $0.7V_{max}$
5. วัดค่ามุม θ ที่ตำแหน่งดังกล่าว วัดระยะที่ใช้ในการเลื่อนไมโครโฟนจากจุดเดิม (กำหนดให้เป็นค่า D) และทำการวัดระยะห่างจากลำโพงกับไมโครโฟน ณ จุดที่ไมโครโฟนเลื่อน (กำหนดให้เป็นค่า x)
6. คำนวณค่า θ จาก $\theta = \cos^{-1}(\lambda/4b)$
7. นำค่า θ ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณมาหาค่าผิดพลาดจากสูตร

$$\Delta\theta = (|\theta_{\text{คำนวณ}} - \theta_{\text{วัดได้จริง}}| / \theta_{\text{คำนวณ}}) \times 100\%$$
8. ทำการคำนวณหาระยะทางจากลำโพงถึงไมโครโฟนจาก

$$x = D / \cos\theta$$
9. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2-8 โดยเปลี่ยนค่าความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงเป็น 2,500 , 3,500 , 4,000 , 4,500 และ 5,000 Hz ตามลำดับ
10. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-9 โดยเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (b) เป็น 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตรตามลำดับ
11. นำค่า θ และ x ที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ละเอียดผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลของการทดลอง

ตอนที่ 1

ทำการทดลองโดย วางไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ $b = 0.4 \text{ m}$

วางไมโครโฟนห่างจากลำโพงเป็นระยะ $L = 2.0 \text{ m}$

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$

จาก $v = 331 + 0.606t = 331 + 0.606(30 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 349.18 \text{ m/s}$

ทำการทดลองโดยการป้อนความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่

$$f = 1.000 \text{ Hz} \rightarrow \lambda = 349.18/1,000 = 0.349 \text{ m}$$

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า t , มุม θ ที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการวัด ที่ความถี่ 1 kHz

Path difference (m)	t ที่วัดได้ (s)	θ ที่คำนวณได้ (องศา)	θ ที่วัดได้จริง (องศา)
0	0	90.0000	90
0.09	0.20×10^{-3}	79.9271	80
0.12	0.40×10^{-3}	69.5628	70
0.19	0.60×10^{-3}	58.4145	60
0.26	0.70×10^{-3}	51.0586	50
0.31	0.90×10^{-3}	38.2187	40
0.35	0	90.000	30
0.41	0.60×10^{-3}	58.4145	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองโดย วางไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ $b = 0.4 \text{ m}$

วางไมโครโฟนห่างจากลำโพงเป็นระยะ $L = 2.0 \text{ m}$

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30°C

$$\text{จาก } v = 331 + 0.606t = 331 + 0.606(30^\circ\text{C}) = 349.18 \text{ m/s}$$

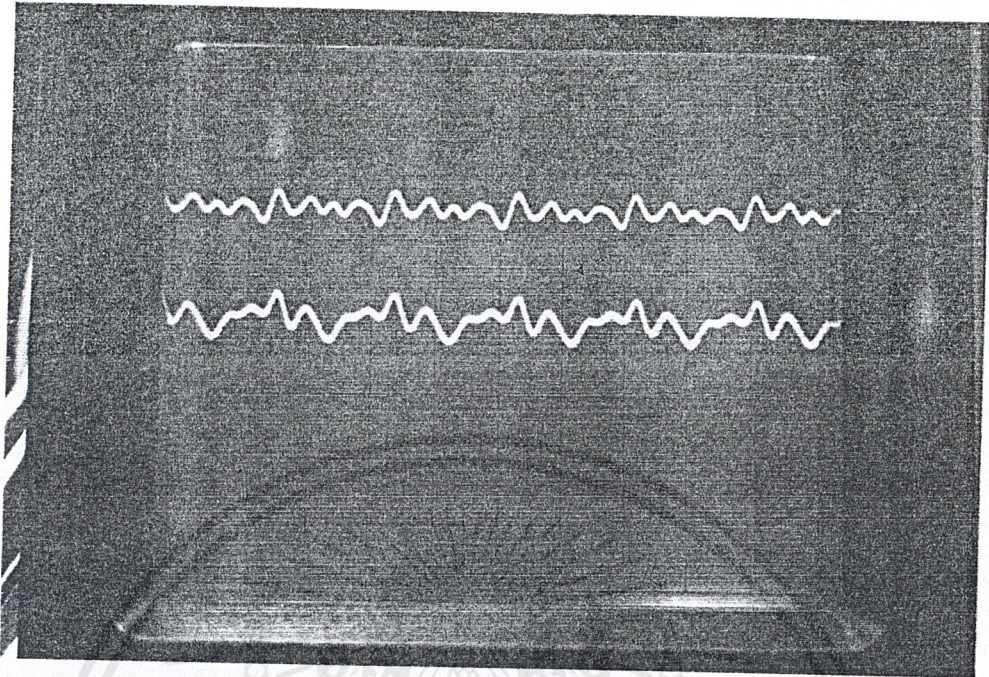
ทำการทดลองโดยการป้อนความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่

$$f = 4.000 \text{ Hz} \rightarrow \lambda = 349.18/4,000 = 0.087295 \text{ m}$$

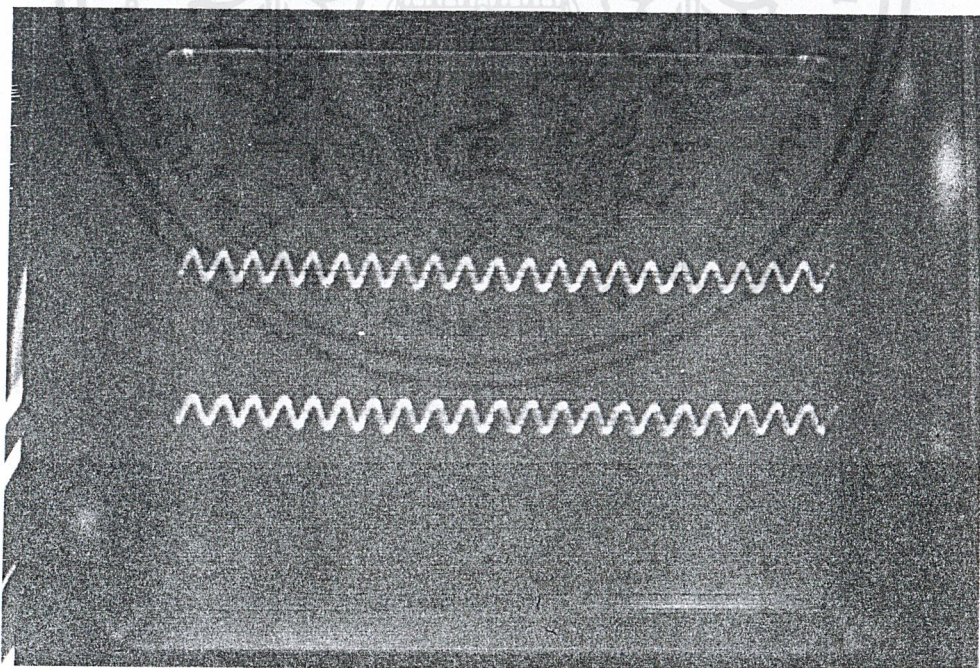
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า t , มุม θ ที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการวัด ที่ความถี่ 4 kHz

Path difference (m)	t ที่วัดได้ (s)	θ ที่คำนวณได้ (องศา)	θ ที่วัดได้จริง (องศา)
0	0	90.0000	90
0.022	0.04×10^{-3}	87.9989	88
0.038	0.06×10^{-3}	86.6533	86
0.050	0.12×10^{-3}	83.9870	84
0.065	0.16×10^{-3}	81.9711	82
0.08	0.20×10^{-3}	79.9452	80
0.09	0.10×10^{-3}	84.9919	78
0.105	0	90.0000	76
0.12	0.02×10^{-3}	88.9996	74
0.13	0.1×10^{-3}	84.9919	72
0.14	0.15×10^{-3}	82.4759	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



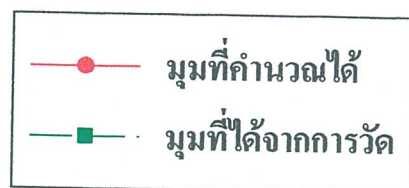
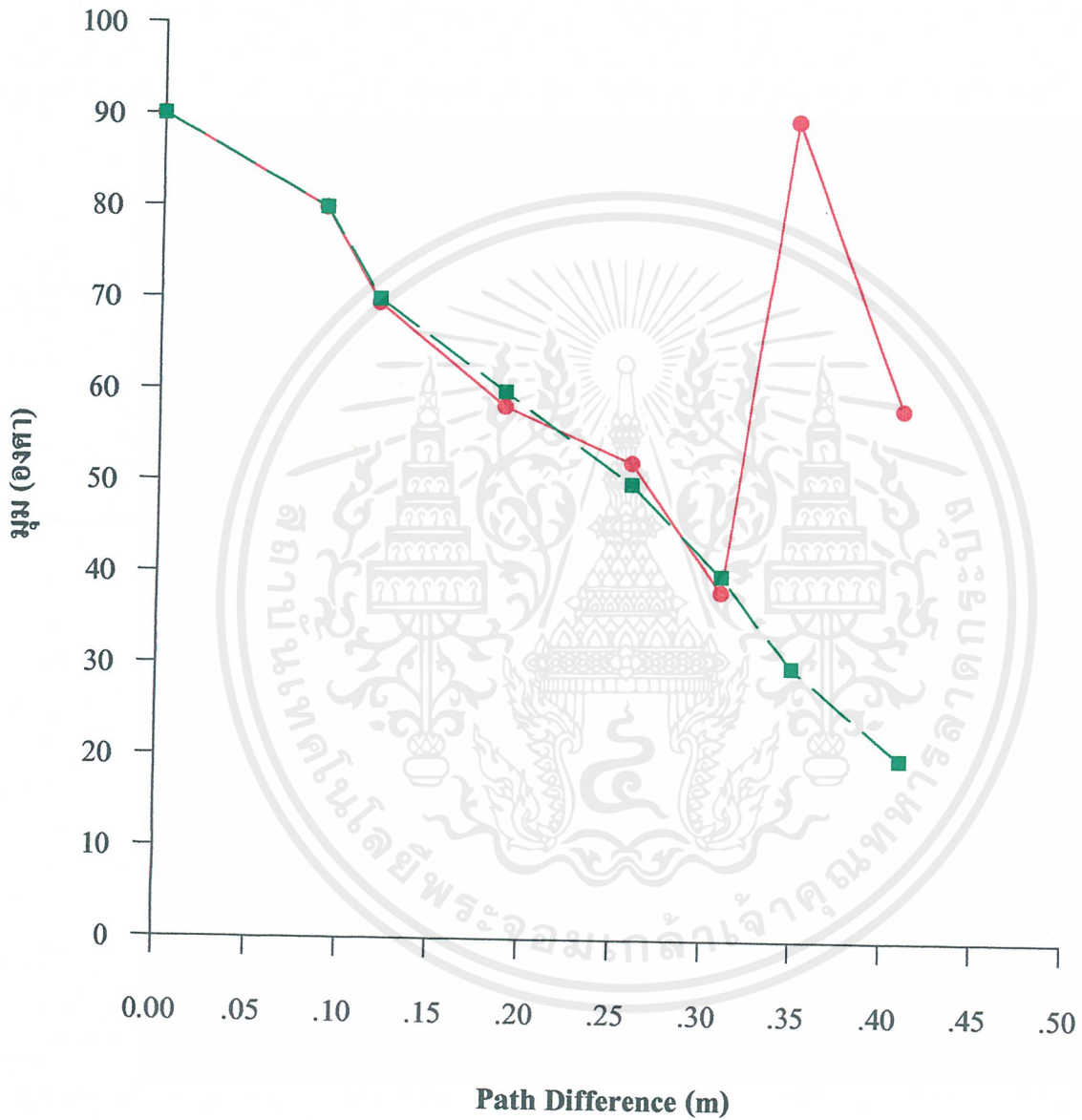
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะสัญญาณตัวอย่างที่ได้จากออสซิลโลสโคป โดยระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร และความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 1 kHz



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของสัญญาณตัวอย่างที่ได้จากออสซิลโลสโคป โดยระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร และความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 4 kHz

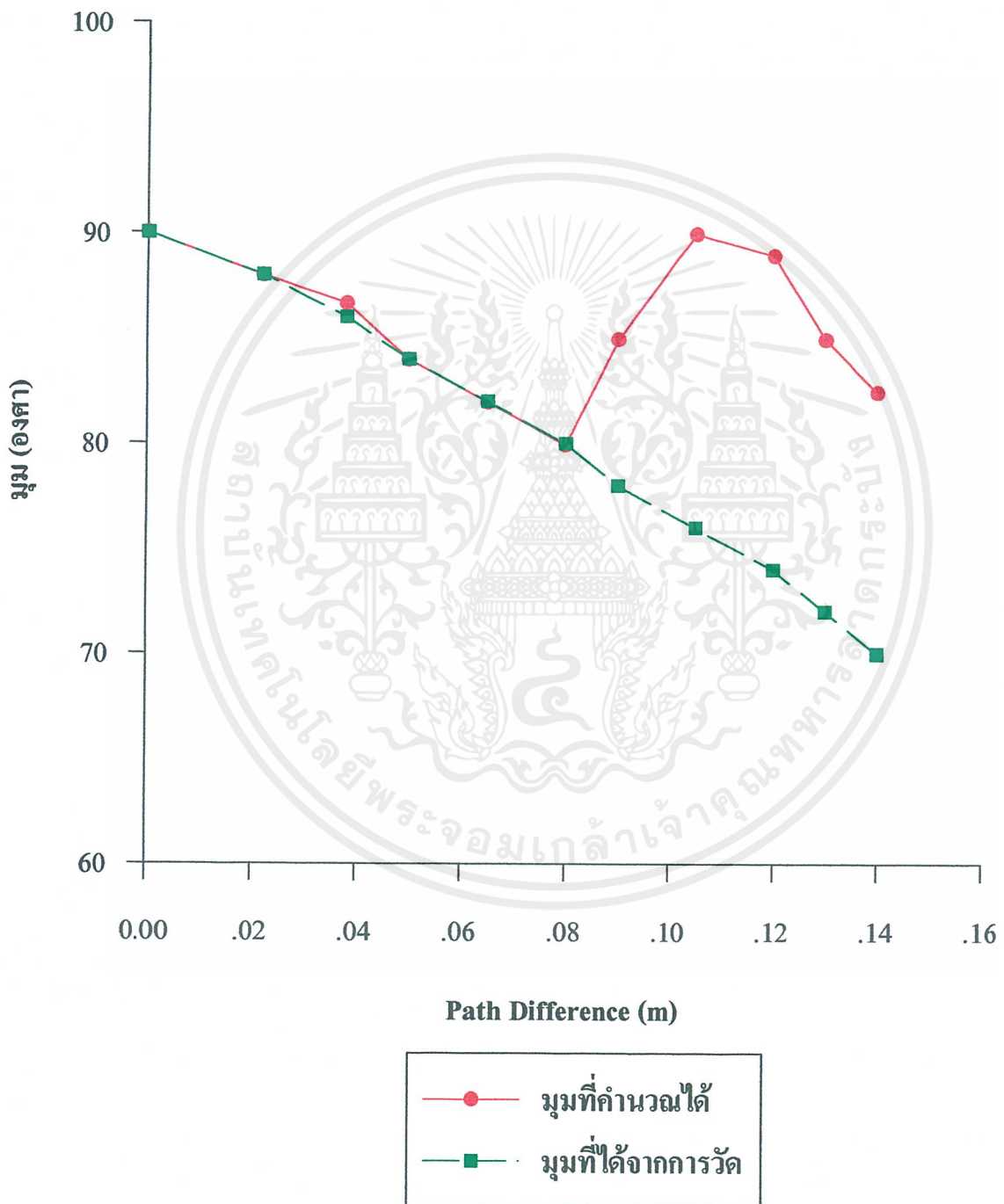
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดกับมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ที่ความถี่ 1 kHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างมุมที่ได้จากการวัดกับมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีที่ความถี่ 4 kHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

ทำการทดลองโดย วางไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ $b = 0.10 \text{ m}$

วางไมโครโฟนห่างจากลำโพงเป็นระยะ $L = 1.96 \text{ m}$

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30°C

จาก $v = 331 + 0.606t = 331 + 0.606(30^\circ\text{C}) = 349.18 \text{ m/s}$

ทำการทดลองโดยการป้อนความถี่ จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่ ตั้งแต่ 1.5 , 2.5 , 3.5 , 4 , 4.5 และ 5 kHz ตามลำดับ

คำนวณค่า $\Delta\theta$ จาก

$$\Delta\theta = \left(\left| \theta_{\text{คำนวณ}} - \theta_{\text{วัดได้จริง}} \right| / \theta_{\text{คำนวณ}} \right) \times 100 \%$$

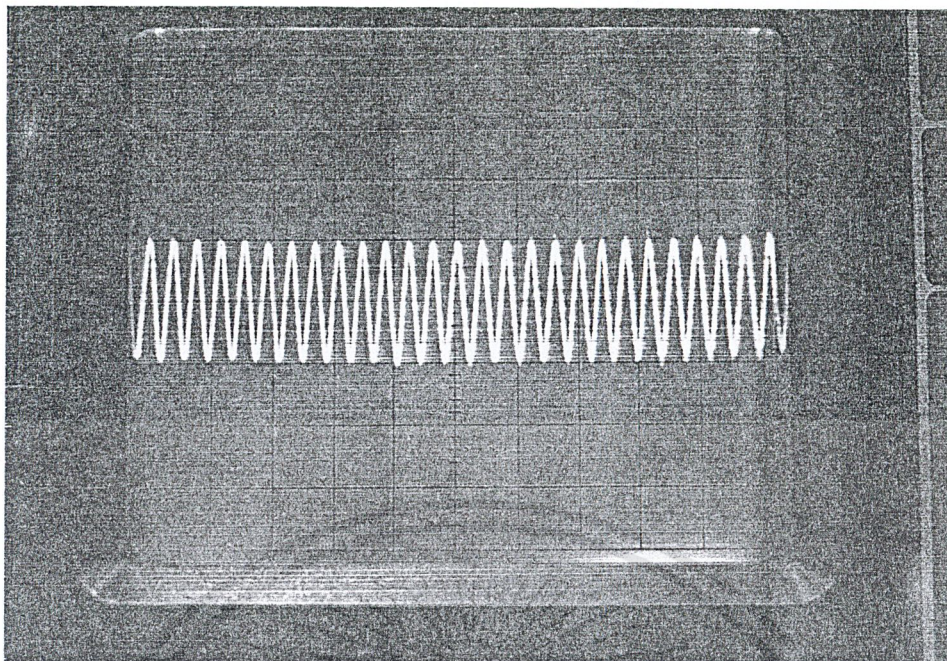
คำนวณค่าระยะห่างจากลำโพงถึงแนวของไมโครโฟนที่วัดแรงดันได้ $0.7V_{\text{max}}$

$$x = \text{ระยะที่ทำการเลื่อนไมโครโฟน(เมตร)} / \theta$$

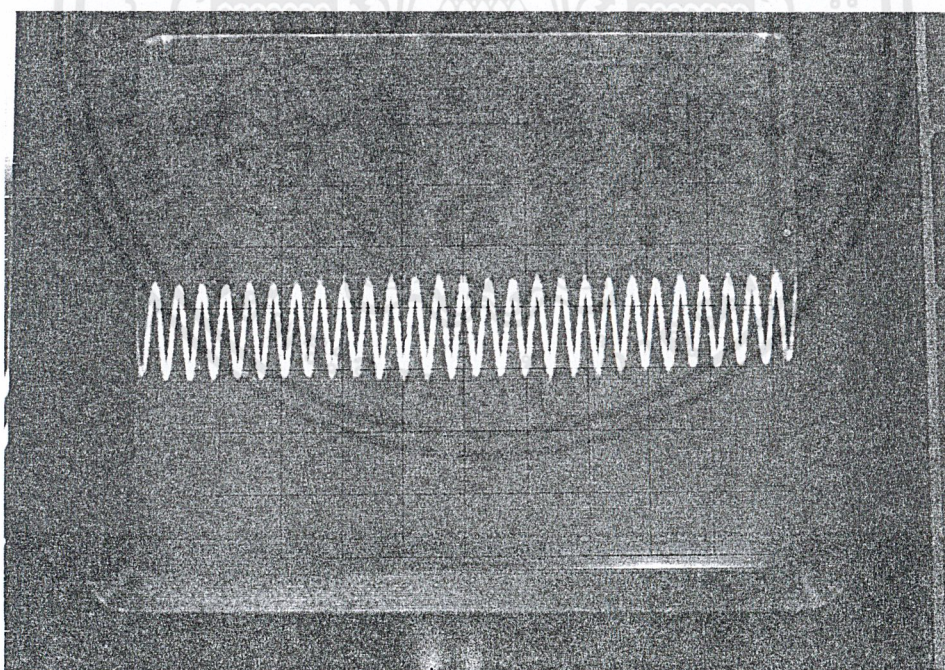
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อ ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร

f (Hz)	λ (m)	V_{p-p} (V)	$0.7V_{p-p}$ (V)	ระยะ เลื่อน D (m)	θ ที่ คำนวณ ได้ (องศา)	θ ที่วัดได้ จริง (องศา)	$\Delta\theta$ (%)	ระยะ x จากการ คำนวณ (m)	ระยะ x จากการ วัดจริง (m)
1,500	0.2328	8	5.6	1.400	54.411	55.0	1.082	2.405	2.524
2,500	0.1397	10	7.0	0.695	69.558	71.0	2.073	1.989	2.102
3,500	0.0997	11	7.7	0.550	75.557	75.5	0.075	2.200	2.045
4,000	0.0873	10	7.0	0.478	77.394	76.5	1.155	2.190	2.025
4,500	0.0775	11	7.7	0.395	78.814	78.0	1.033	2.036	2.015
5,000	0.0698	10	7.0	0.300	79.945	81.0	1.319	1.718	1.990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



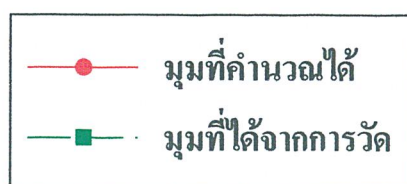
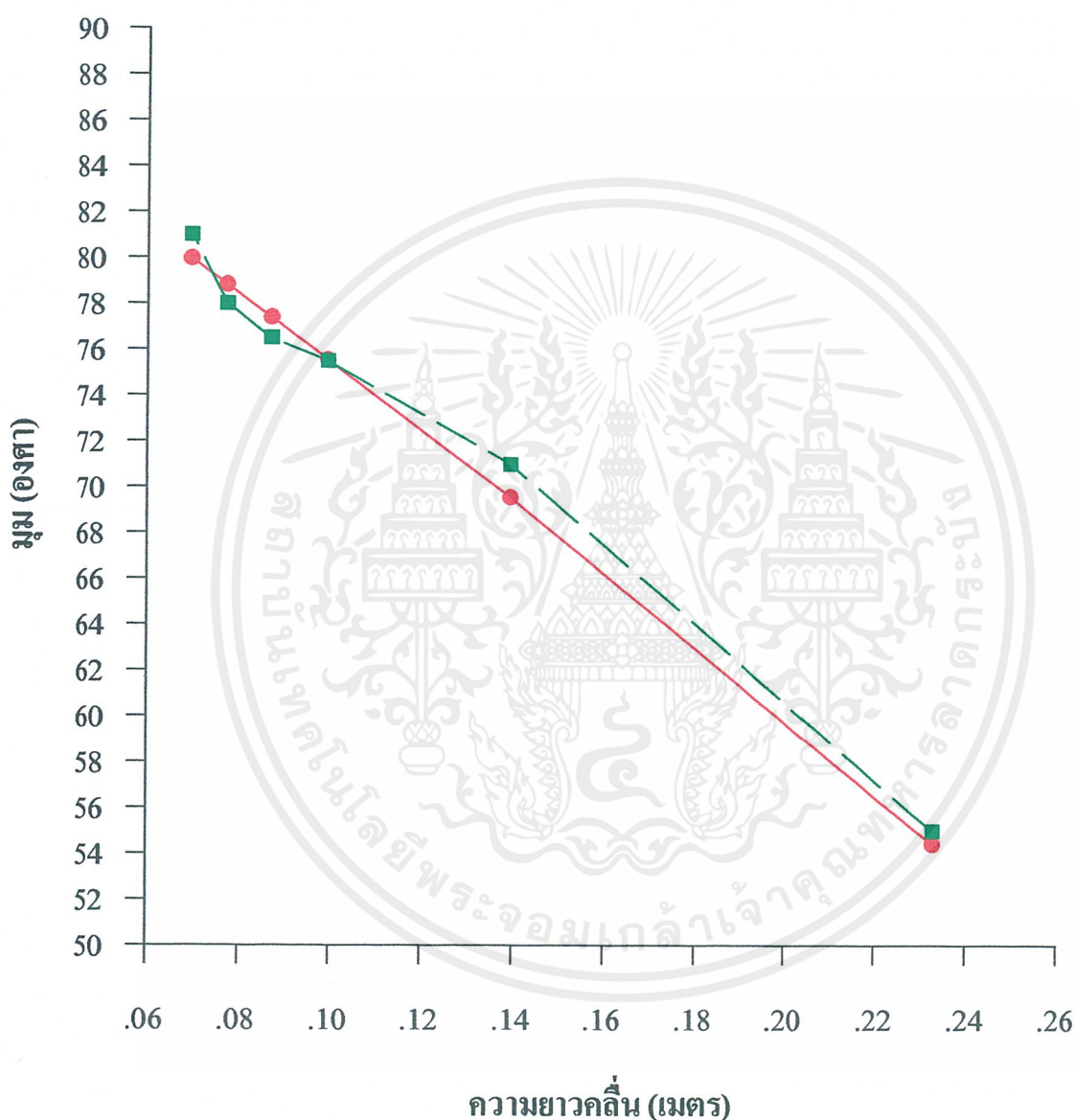
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี
ที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ และระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองโดย วางไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ $b = 0.20 \text{ m}$

วางไมโครโฟนห่างจากลำโพงเป็นระยะ $L = 1.96 \text{ m}$

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30°C

จาก $v = 331 + 0.606t = 331 + 0.606(30^\circ\text{C}) = 349.18 \text{ m/s}$

ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่

ตั้งแต่ 1.5 , 2.5 , 3.5 , 4 , 4.5 และ 5 kHz ตามลำดับ

คำนวณค่า $\Delta\theta$ จาก

$$\Delta\theta = \left(\frac{|\theta_{\text{คำนวณ}} - \theta_{\text{วัดได้จริง}}|}{\theta_{\text{คำนวณ}}} \right) \times 100\%$$

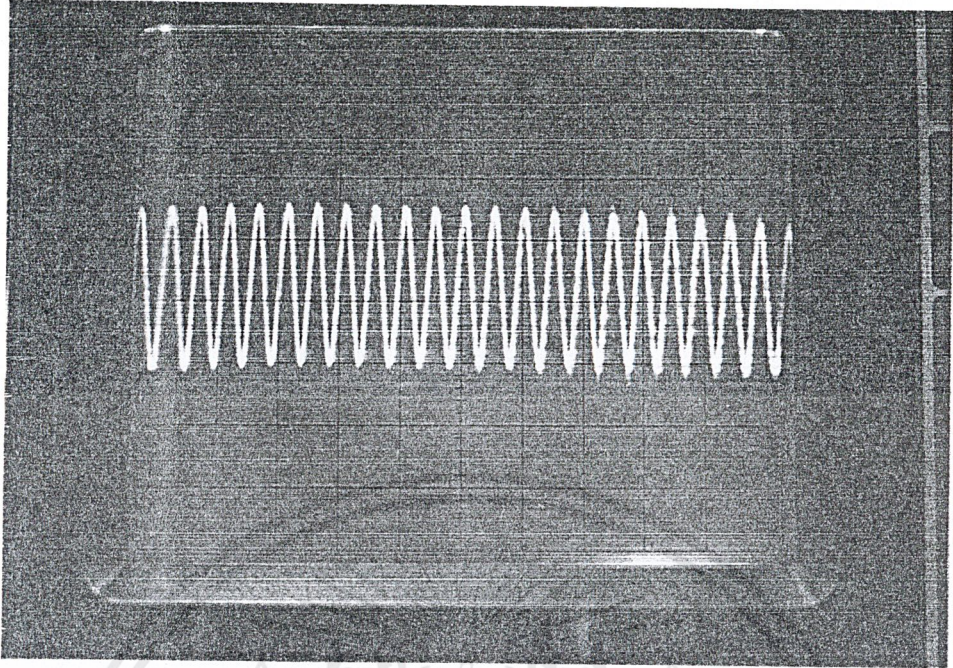
คำนวณค่าระยะห่างจากลำโพงถึงแนวของไมโครโฟนที่วัดแรงดันได้ $0.7V_{\text{max}}$

$$x = \text{ระยะที่ทำการเลื่อนไมโครโฟน(เมตร)} / \theta$$

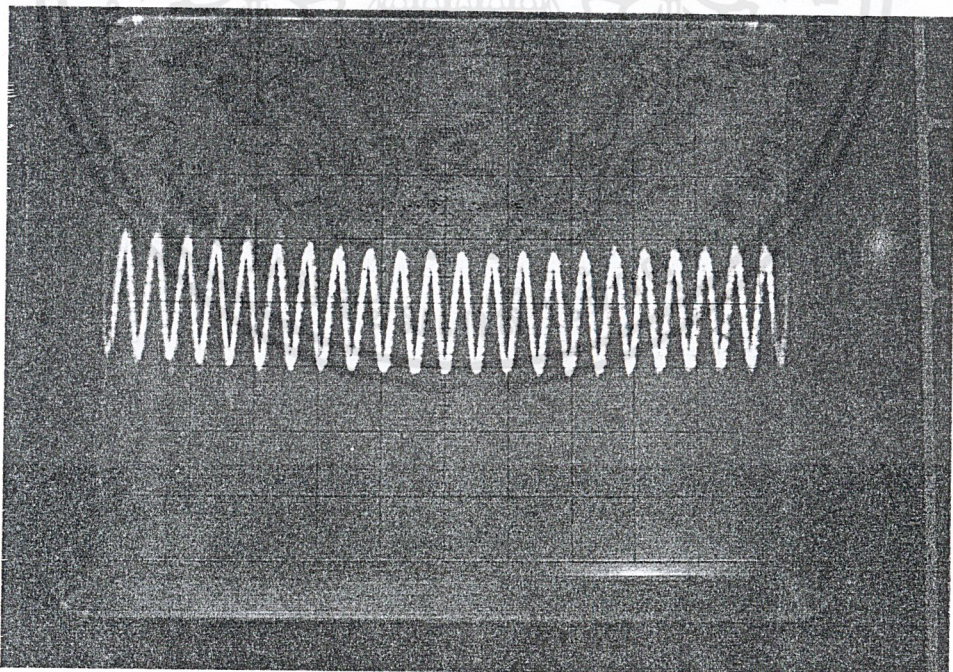
ตารางที่ 4.4 แสดงค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อ ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร

f (Hz)	λ (m)	V_{p-p} (V)	$0.7V_{p-p}$ (V)	ระยะ เลื่อน D (m)	θ ที่ คำนวณ ได้ (องศา)	θ ที่วัดได้ จริง (องศา)	$\Delta\theta$ (%)	ระยะ x จากการ คำนวณ (m)	ระยะ x จากการ วัดจริง (m)
1,500	0.2328	9	6.3	0.58	73.082	76.5	4.676	1.993	2.040
2,500	0.1397	9	6.3	0.34	79.943	79.0	1.179	1.946	1.991
3,500	0.0997	8	5.6	0.24	82.841	83.5	0.795	1.926	1.980
4,000	0.0873	13	9.1	0.21	83.735	84.0	0.316	1.924	1.970
4,500	0.0775	13	9.1	0.18	84.441	84.0	0.522	1.858	1.970
5,000	0.0698	10	7.0	0.17	84.995	85.0	0.006	1.948	1.970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



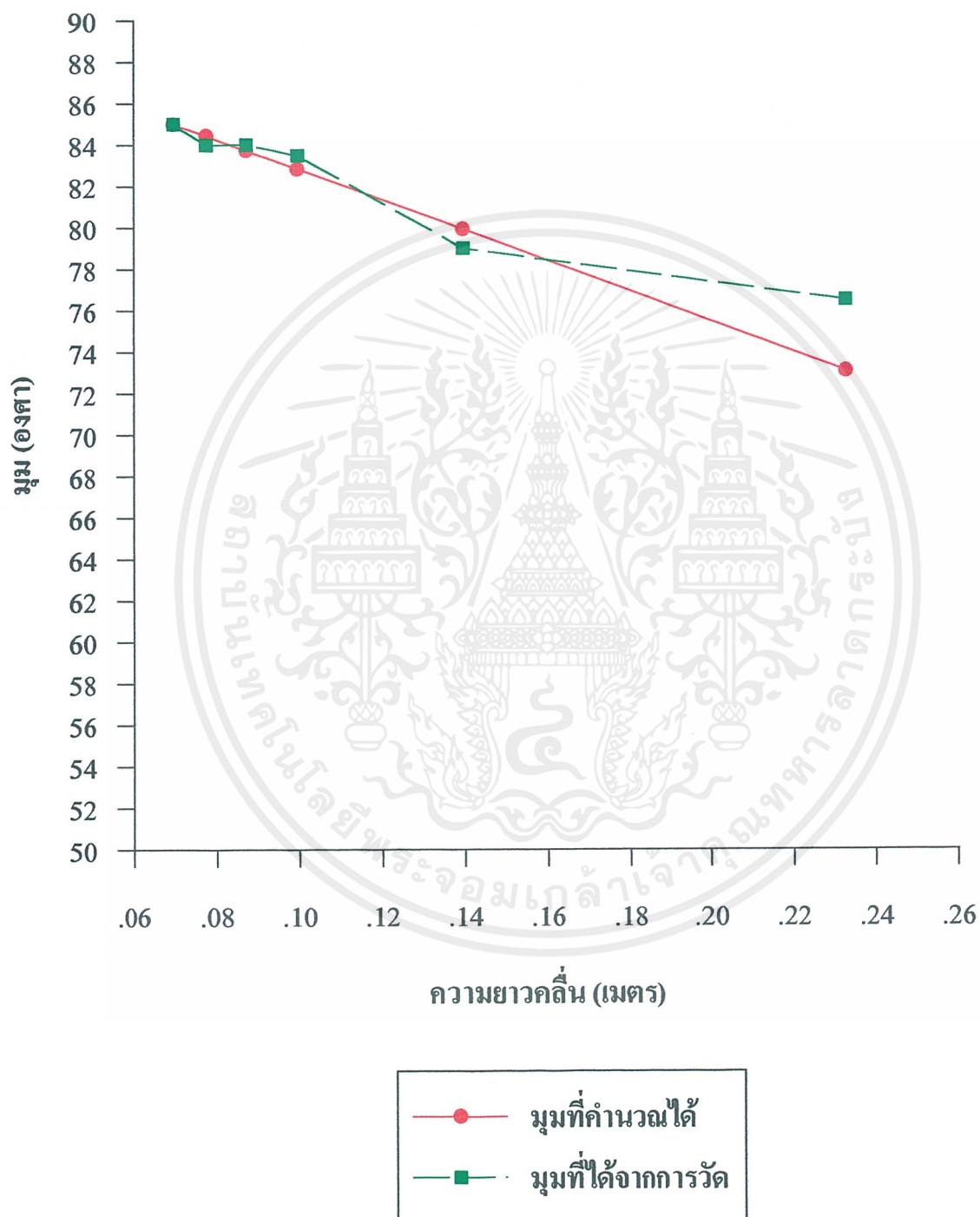
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 4 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป ที่ความถี่ 4 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี
ที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ และระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองโดย วางไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ $b = 0.30 \text{ m}$

วางไมโครโฟนห่างจากลำโพงเป็นระยะ $L = 1.96 \text{ m}$

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30°C

จาก $v = 331 + 0.606t = 331 + 0.606(30^\circ\text{C}) = 349.18 \text{ m/s}$

ทำการทดลองโดยการป้อนความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่

ตั้งแต่ 1.5 , 2.5 , 3.5 , 4 , 4.5 และ 5 kHz ตามลำดับ

คำนวณค่า $\Delta\theta$ จาก

$$\Delta\theta = \left(\left| \theta_{\text{คำนวณ}} - \theta_{\text{วัดได้จริง}} \right| / \theta_{\text{คำนวณ}} \right) \times 100 \%$$

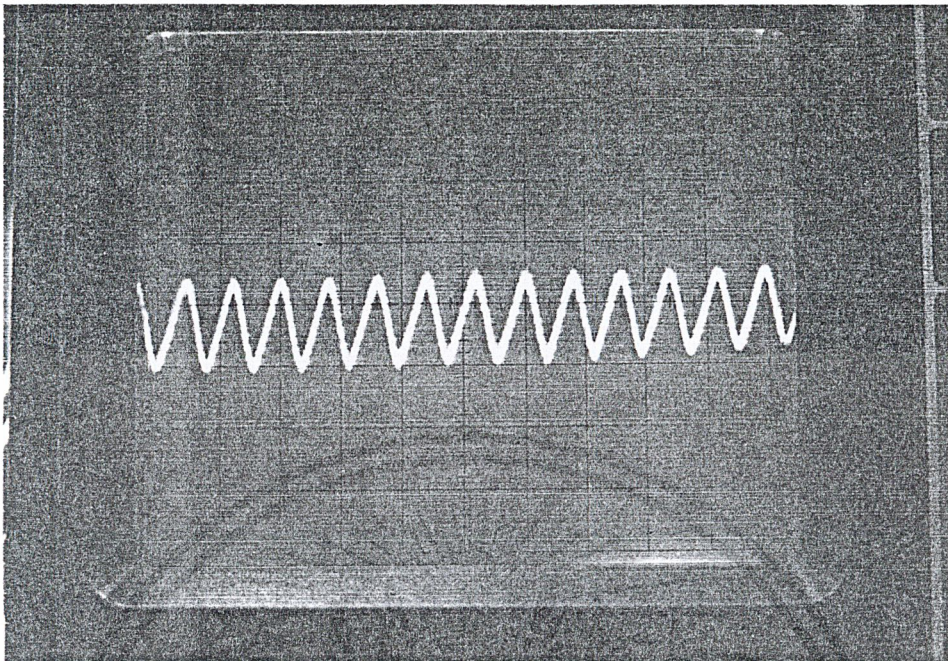
คำนวณค่าระยะห่างจากลำโพงถึงแนวของไมโครโฟนที่วัดแรงดันได้ $0.7V_{\text{max}}$

$$x = \text{ระยะที่ทำการเลื่อนไมโครโฟน(เมตร)} / \theta$$

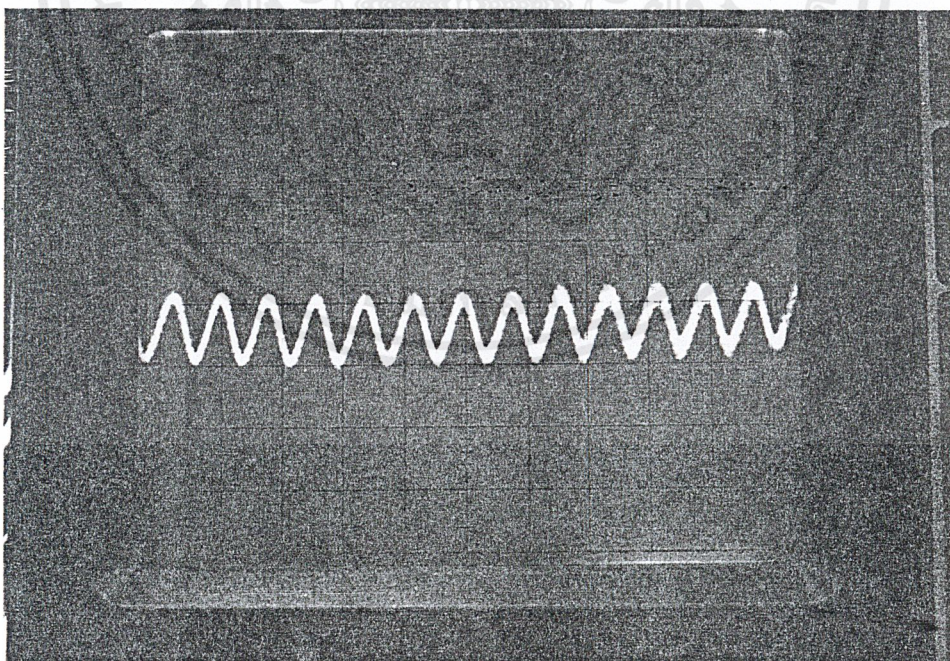
ตารางที่ 4.5 แสดงค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อ
ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร

f (Hz)	λ (m)	$V_{\text{p-p}}$ (V)	$0.7V_{\text{p-p}}$ (V)	ระยะ เลื่อน D (m)	θ ที่ คำนวณ ได้ (องศา)	θ ที่วัดได้ จริง (องศา)	$\Delta\theta$ (%)	ระยะ x จากการ คำนวณ (m)	ระยะ x จากการ วัดจริง (m)
1,500	0.2328	8	5.6	0.38	78.814	82.0	4.042	1.958	1.990
2,500	0.1397	8	5.6	0.23	83.315	84.5	1.422	1.976	1.985
3,500	0.0997	8	5.6	0.16	85.234	86.0	0.898	1.926	1.970
4,000	0.0873	10	7.0	0.15	85.828	85.0	0.965	2.061	1.980
4,500	0.0775	14	9.8	0.13	86.297	86.0	0.344	2.013	1.970
5,000	0.0698	10	7.0	0.11	86.665	86.0	0.767	1.891	1.970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



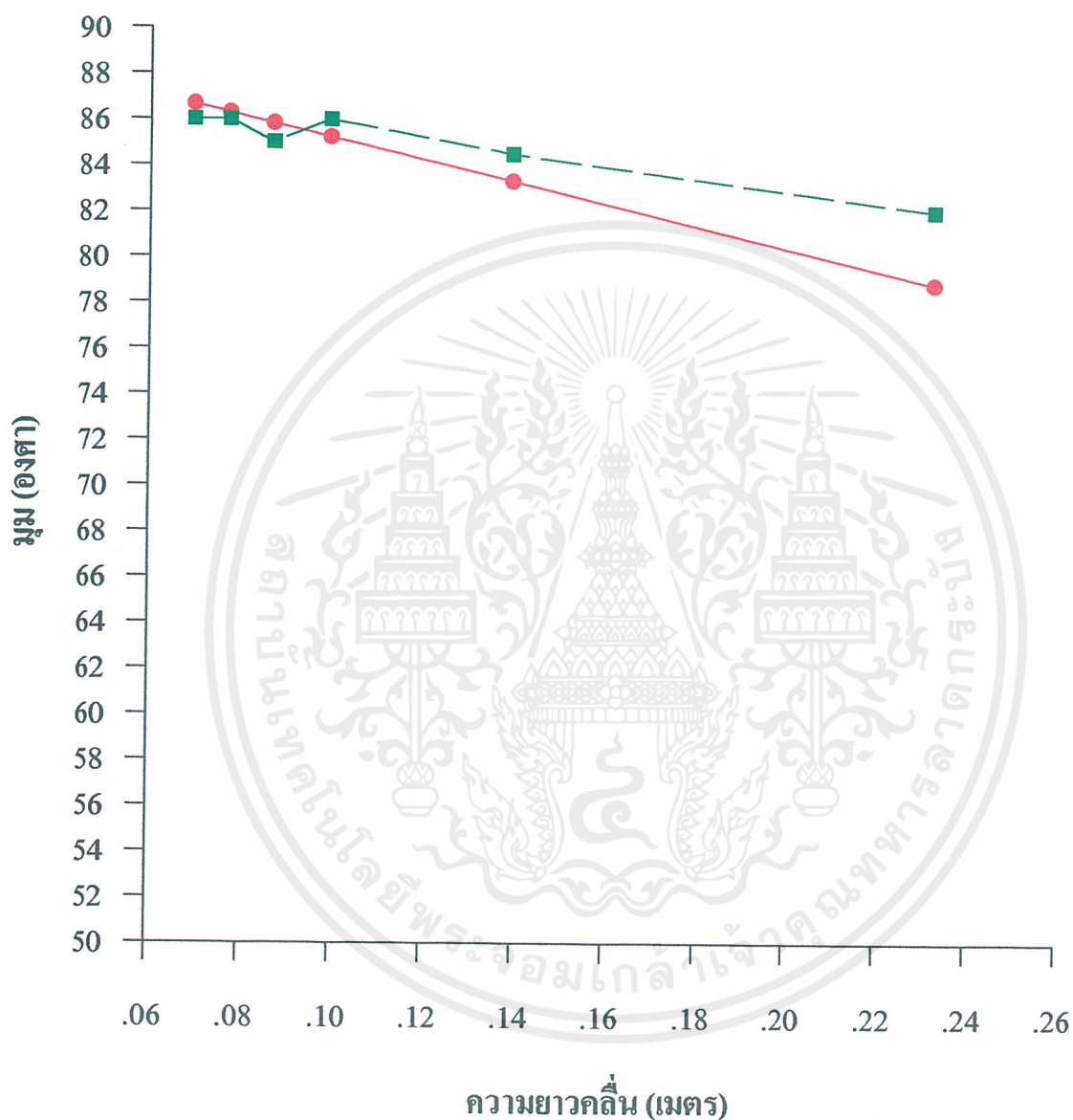
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ที่มีความถี่ 2.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{\max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ที่มีความถี่ 2.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี
ที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ และระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองโดย วางไมโครโฟนห่างกันเป็นระยะ $b = 0.40 \text{ m}$
วางไมโครโฟนห่างจากลำโพงเป็นระยะ $L = 1.96 \text{ m}$

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30°C

$$\text{จาก } v = 331 + 0.606t = 331 + 0.606(30^\circ\text{C}) = 349.18 \text{ m/s}$$

ทำการทดลองโดยการป้อนความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ด้วยความถี่ตั้งแต่ 1.5 , 2.5 , 3.5 , 4 , 4.5 และ 5 kHz ตามลำดับ

คำนวณค่า $\Delta\theta$ จาก

$$\Delta\theta = \left(\left| \theta_{\text{คำนวณ}} - \theta_{\text{วัดได้จริง}} \right| / \theta_{\text{คำนวณ}} \right) \times 100 \%$$

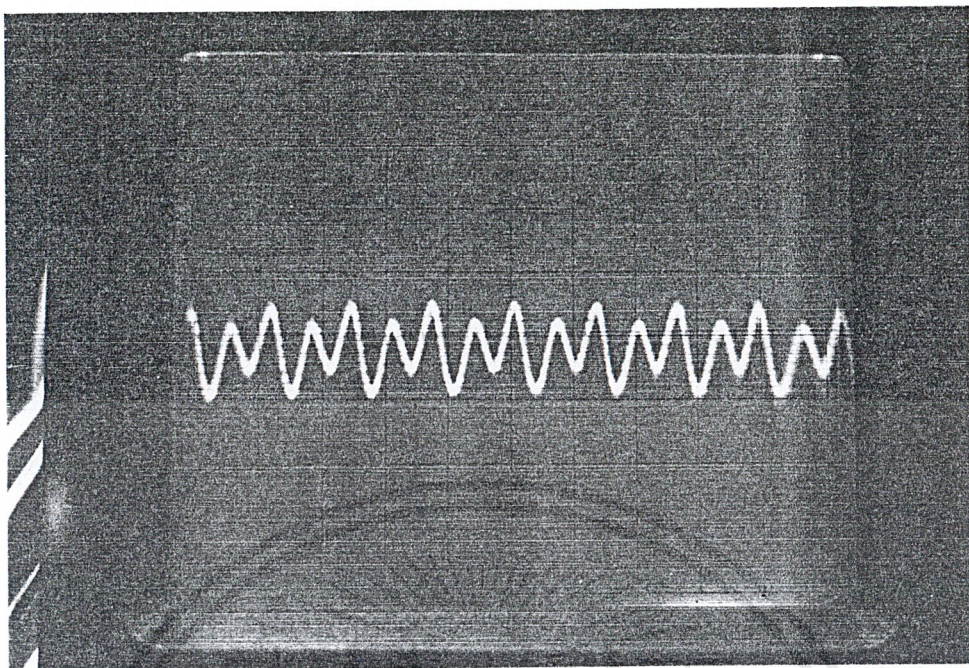
คำนวณค่าระยะห่างจากลำโพงถึงแนวของไมโครโฟนที่วัดแรงดันได้ $0.7V_{\text{max}}$

$$x = \text{ระยะที่ทำการเลื่อนไมโครโฟน(เมตร)} / \theta$$

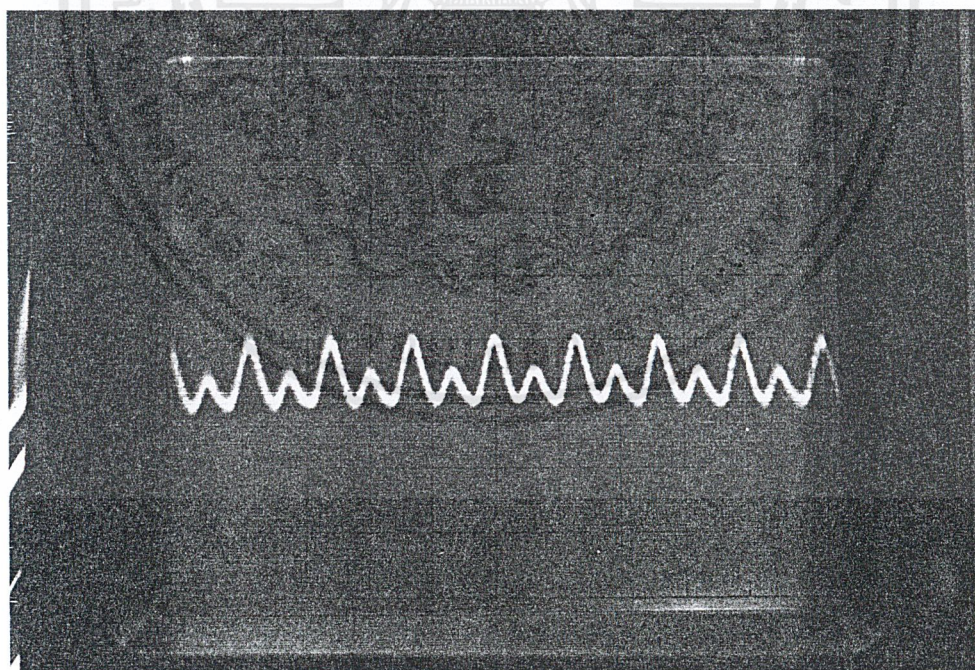
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร

f (Hz)	λ (m)	V_{p-p} (V)	$0.7V_{p-p}$ (V)	ระยะ เลื่อน D (m)	θ ที่ คำนวณ ได้ (องศา)	θ ที่วัดได้ จริง (องศา)	$\Delta\theta$ (%)	ระยะ x จากการ คำนวณ (m)	ระยะ x จากการ วัดจริง (m)
1,500	0.2328	8	5.6	0.280	81.634	83.5	2.286	1.924	1.980
2,500	0.1397	8	5.6	0.175	84.991	85.0	0.011	2.004	1.980
3,500	0.0997	8	5.6	0.130	86.427	86.5	0.084	2.086	1.970
4,000	0.0873	11	7.7	0.115	86.872	87.0	0.147	2.107	1.970
4,500	0.0775	15	10.5	0.095	87.224	87.5	0.316	1.962	1.965
5,000	0.0698	9	6.3	0.085	87.499	87.5	0.001	1.948	1.965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



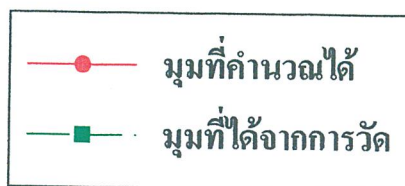
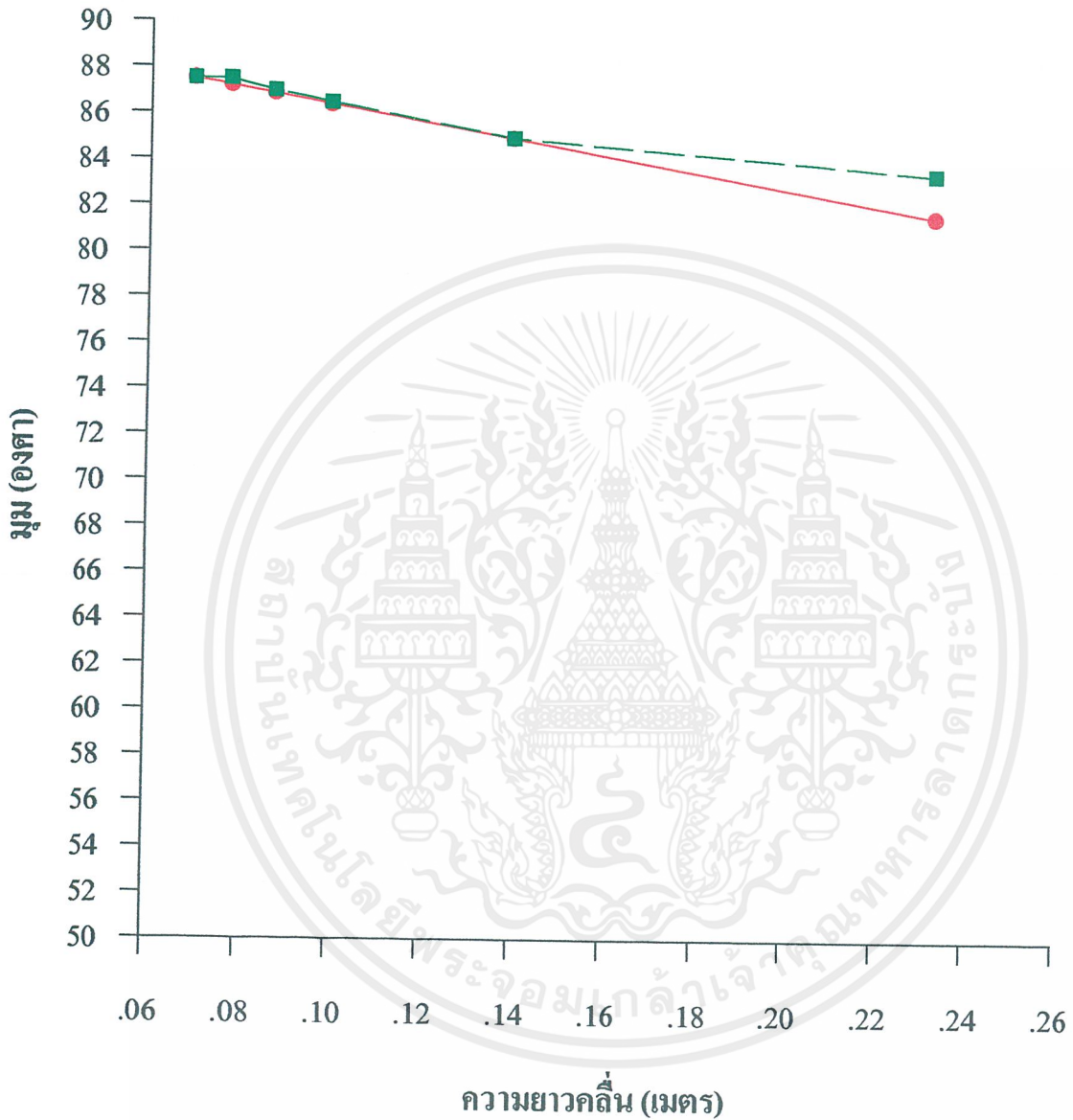
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มากที่สุดที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ที่ความถี่ 1.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะตัวอย่างของสัญญาณที่มีค่าเป็น $0.7V_{\max}$ ที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป
ที่ความถี่ 1.5 kHz โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ และระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่ามุม θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณที่ค่า b ต่างๆ กัน

$f = 1.500 \text{ Hz}$

ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (m)	θ ที่ได้จากการคำนวณ (องศา)	θ ที่ได้จากการวัด (องศา)
0.1	54.411	55
0.2	73.082	76.5
0.3	78.814	82
0.4	81.634	83.5

$f = 2.500 \text{ Hz}$

ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (m)	θ ที่ได้จากการคำนวณ (องศา)	θ ที่ได้จากการวัด (องศา)
0.1	69.558	71.0
0.2	79.943	79.0
0.3	83.315	84.5
0.4	84.991	85

$f = 3.500 \text{ Hz}$

ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (m)	θ ที่ได้จากการคำนวณ (องศา)	θ ที่ได้จากการวัด (องศา)
0.1	75.557	75.5
0.2	82.841	83.5
0.3	85.234	86
0.4	86.427	86.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$f = 4.000 \text{ Hz}$

ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (m)	θ ที่ได้จากการคำนวณ (องศา)	θ ที่ได้จากการวัด (องศา)
0.1	77.394	76.5
0.2	83.735	84
0.3	85.828	85
0.4	86.872	87

$f = 4.500 \text{ Hz}$

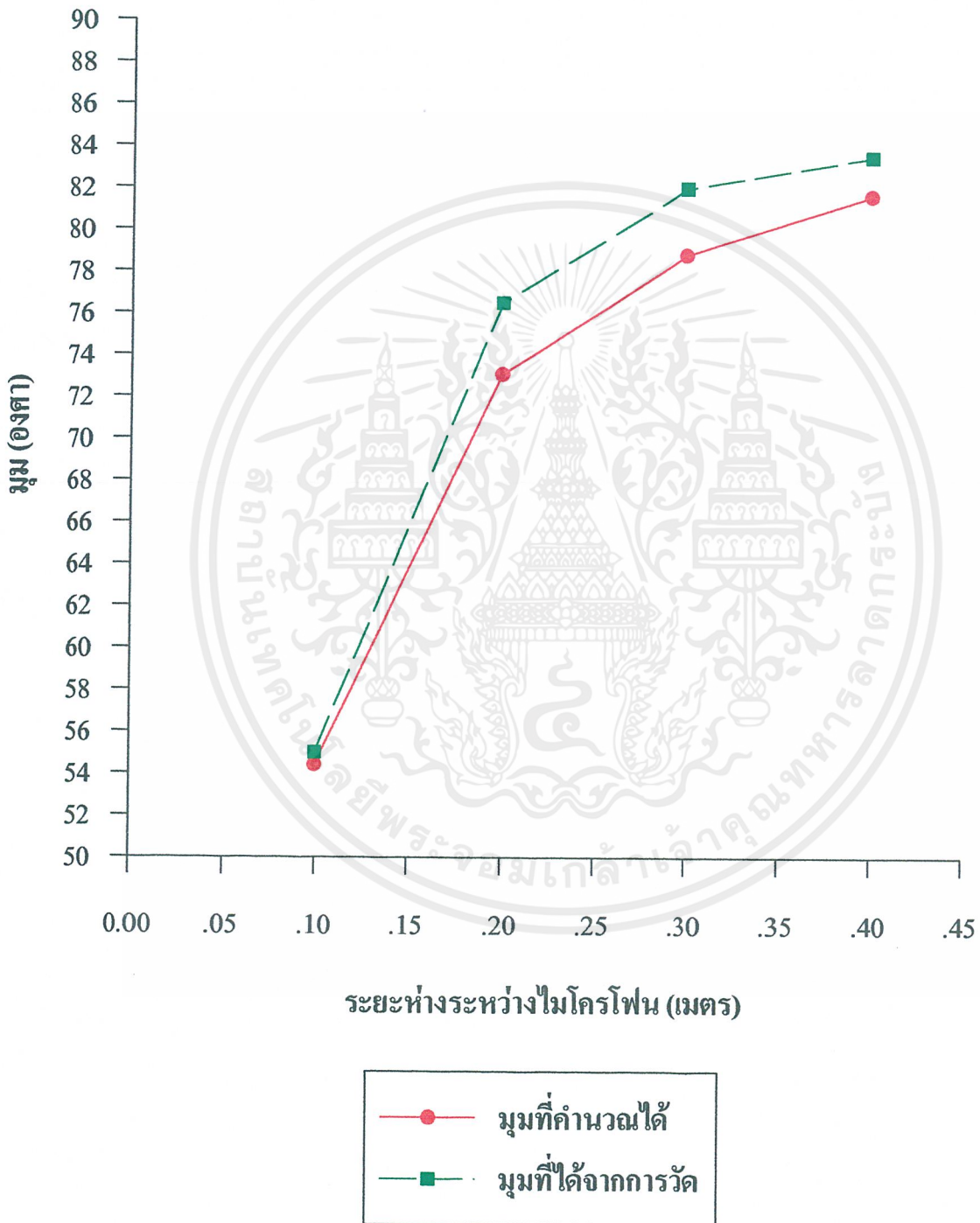
ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (m)	θ ที่ได้จากการคำนวณ (องศา)	θ ที่ได้จากการวัด (องศา)
0.1	78.814	78
0.2	84.441	84
0.3	86.297	86
0.4	87.224	87.5

$f = 5.000 \text{ Hz}$

ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (m)	θ ที่ได้จากการคำนวณ (องศา)	θ ที่ได้จากการวัด (องศา)
0.1	79.945	81
0.2	84.995	85
0.3	86.665	86
0.4	87.499	87.5

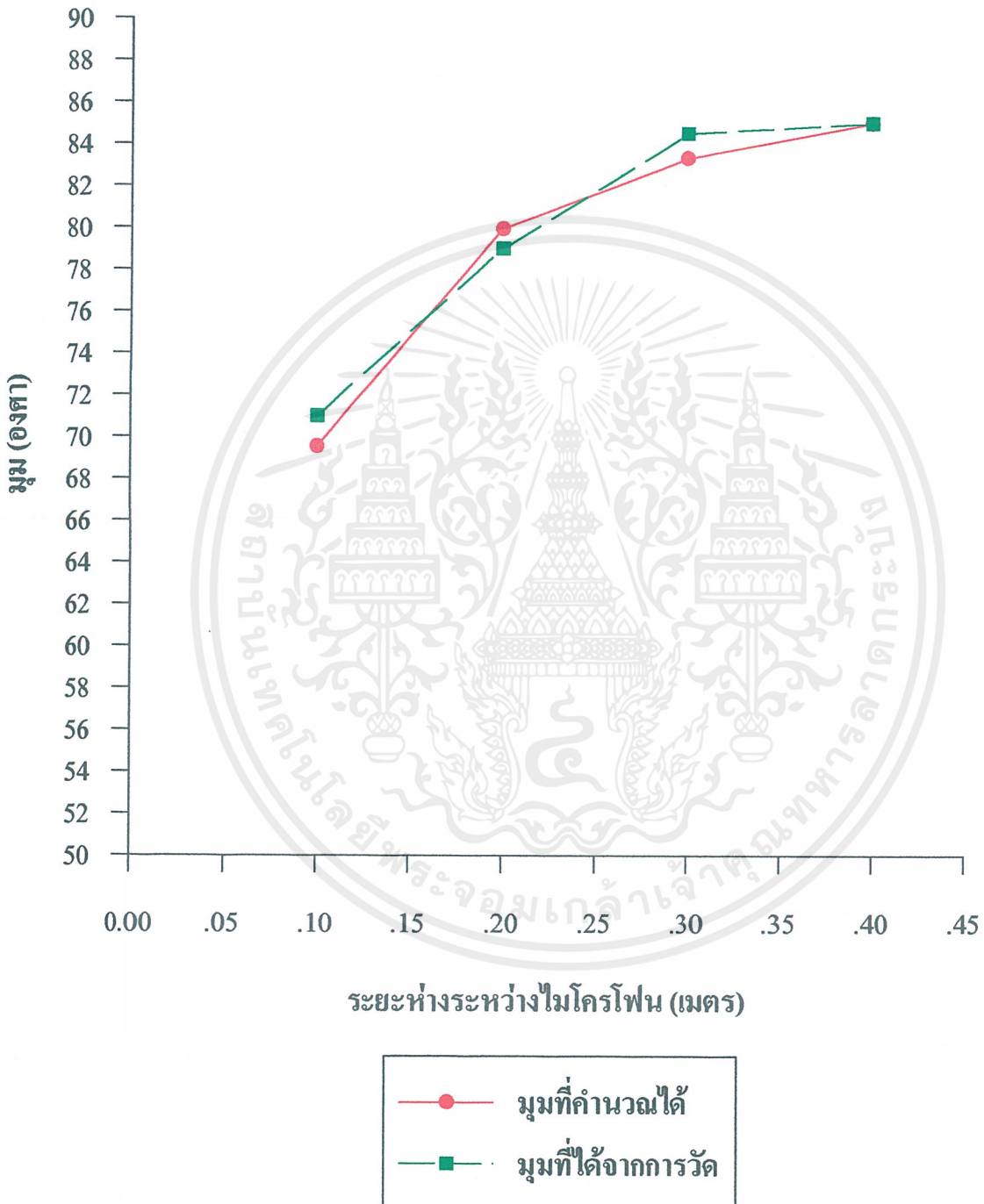
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยใช้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนค่าต่างๆ ที่ความถี่ 1.5 kHz



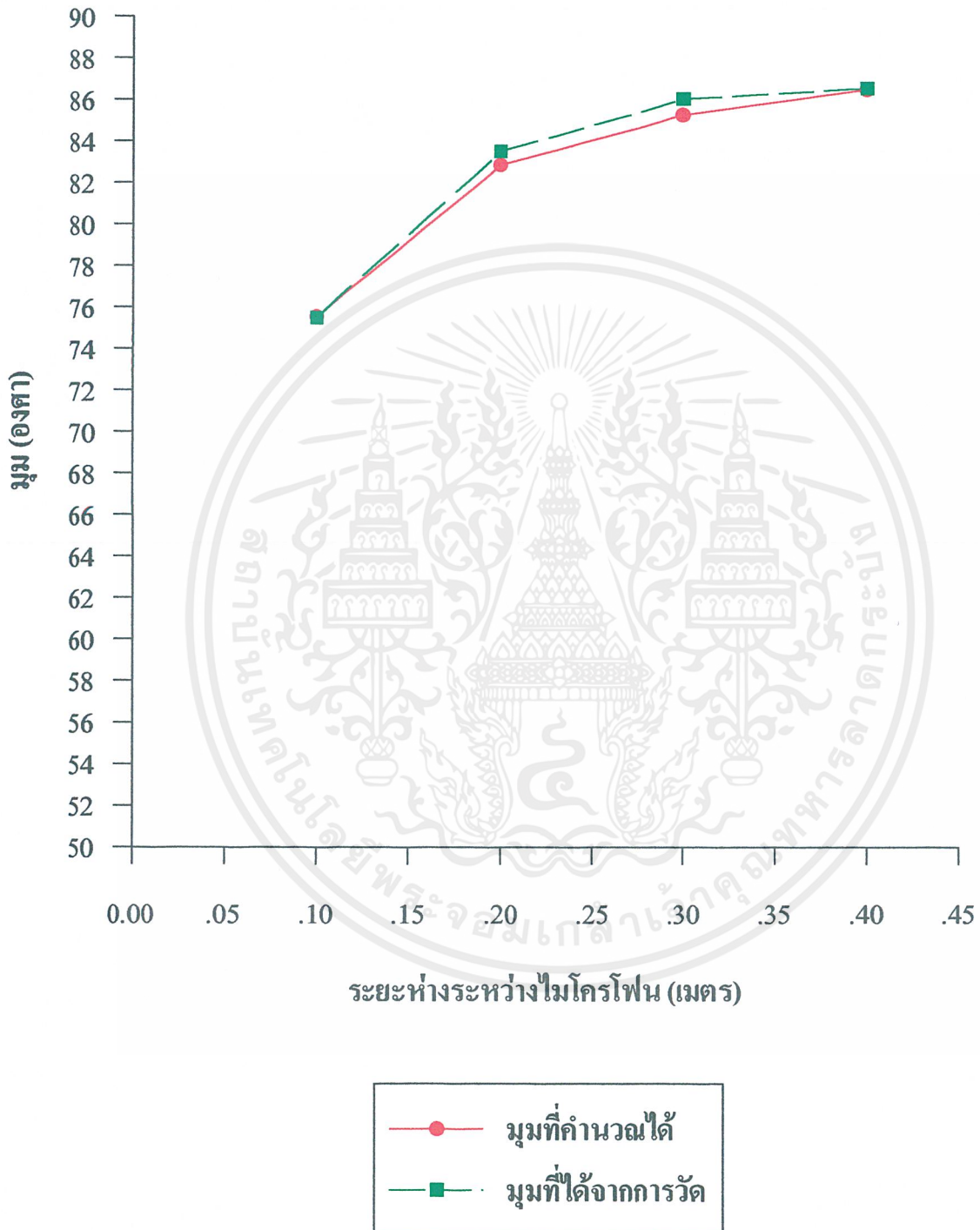
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยใช้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนค่าต่างๆ ที่ความถี่ 2.5 kHz



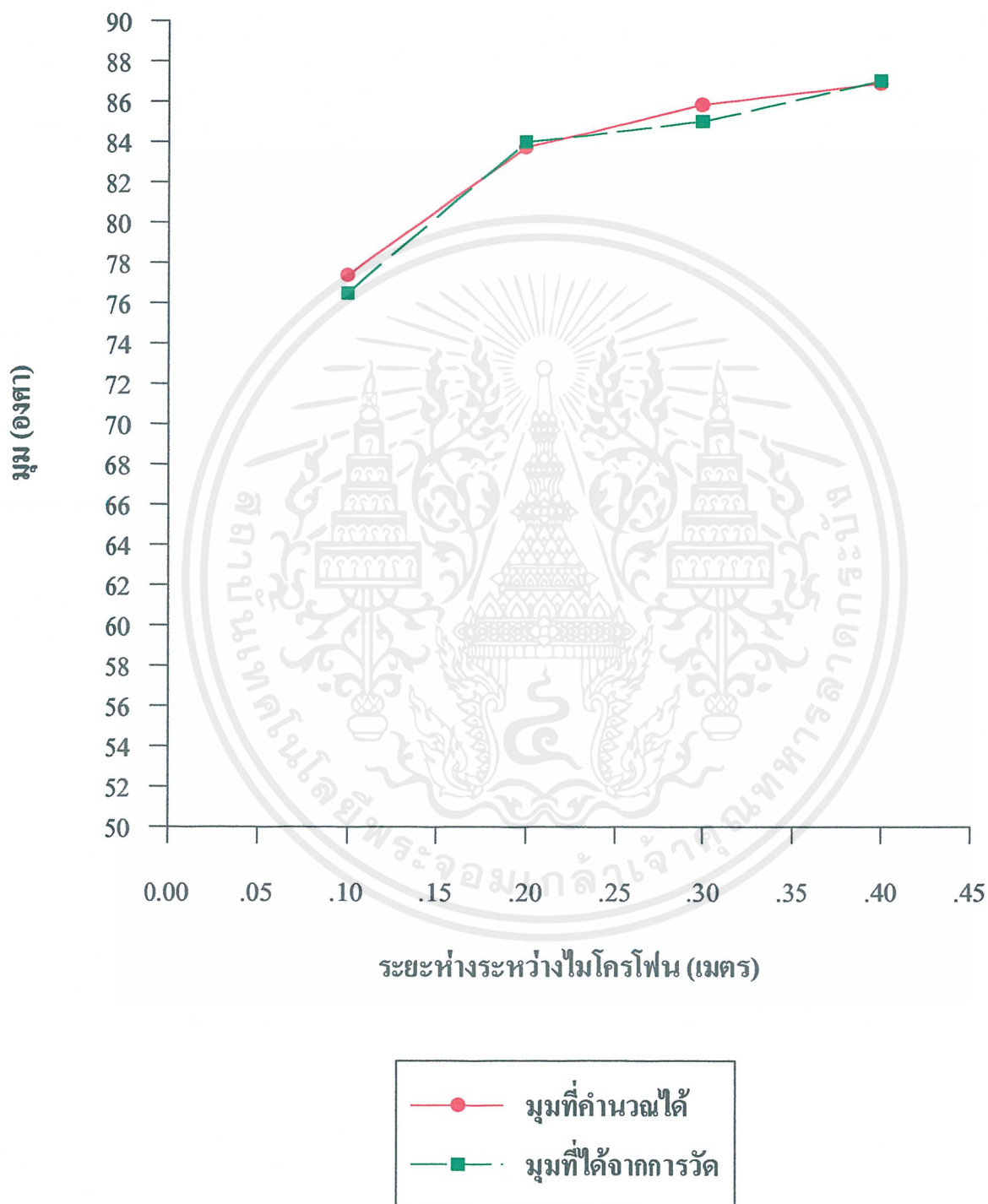
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยใช้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนค่าต่างๆ ที่ความถี่ 3.5 kHz



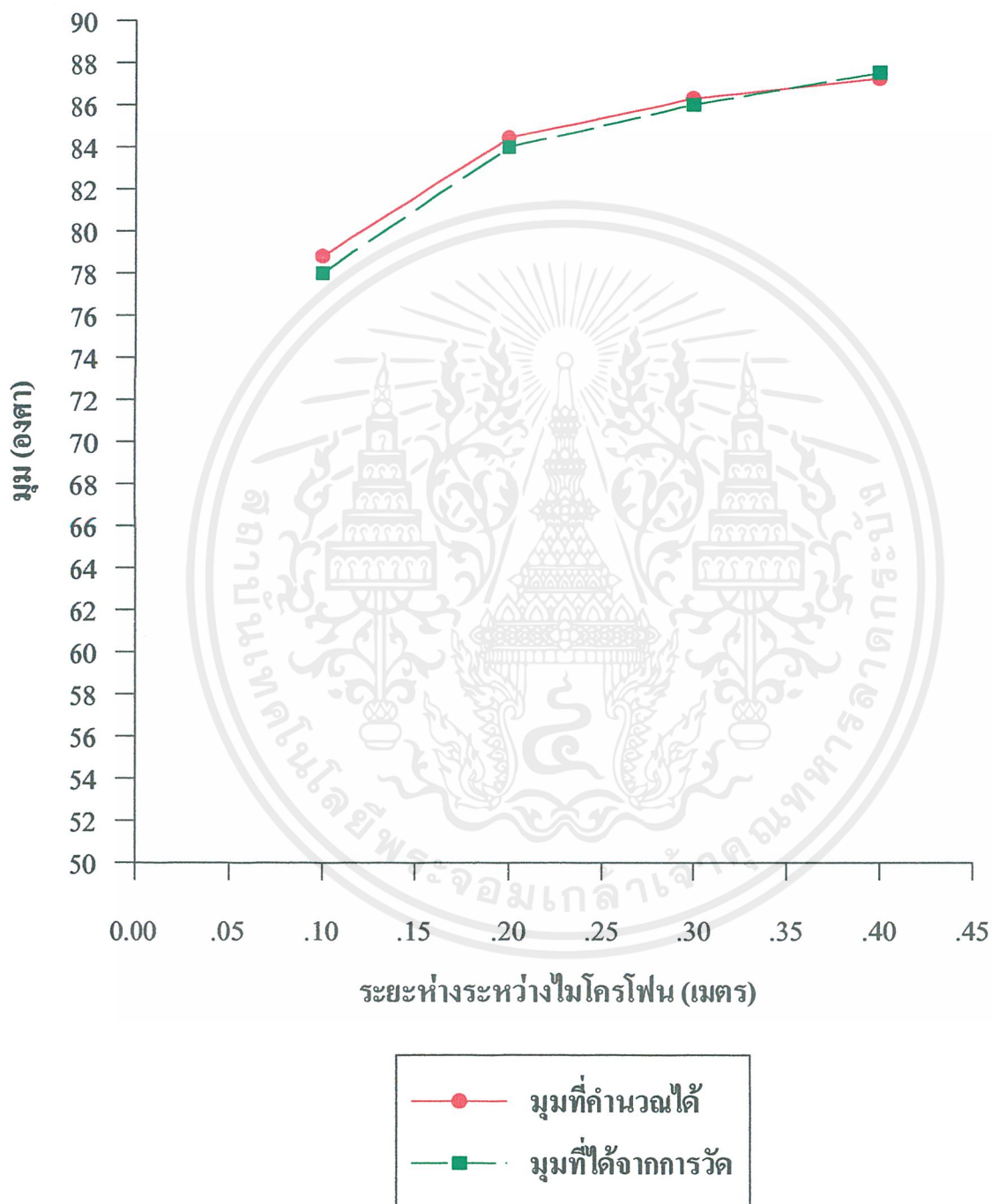
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยใช้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนค่าต่างๆ ที่ความถี่ 4 kHz



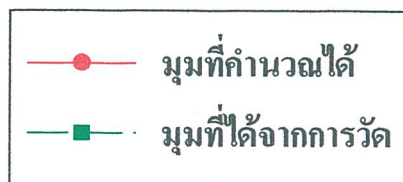
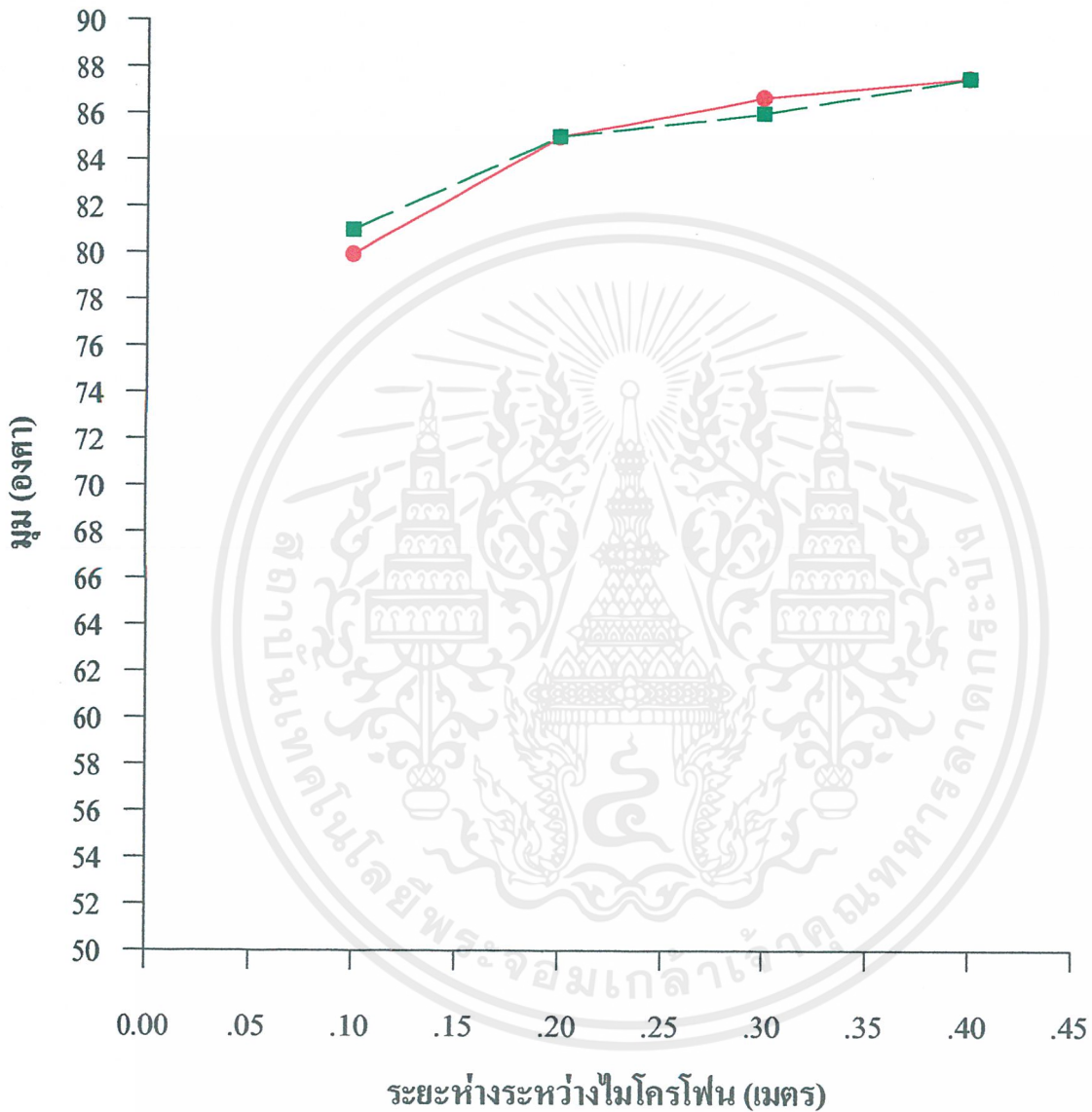
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยใช้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนค่าต่างๆ ที่ความถี่ 4.5 kHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบมุมที่ได้จากการวัดและมุมที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยใช้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนค่าต่างๆ ที่ความถี่ 5 kHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

1. จากการทดลองตอนที่ 1 จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบมุม θ ที่ได้จากการวัดกับมุม θ ที่ได้จากการคำนวณ ทั้งที่ความถี่ 1,000 Hz และความถี่ 4,000 Hz จะแสดงให้เห็นว่า ผลของการคำนวณจะมีค่าที่แน่นอนและสอดคล้องกับค่ามุมที่ได้จากการวัด ณ จุดที่มีค่า Path difference มีค่าน้อยกว่าค่าความยาวคลื่นของสัญญาณเสียง ส่วนค่ามุมที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าไม่สอดคล้องกับค่ามุมที่วัดได้ ณ ตำแหน่งที่ Path difference มากกว่าค่าความยาวคลื่นของสัญญาณเสียง
2. จากผลการทดลองตอนที่ 2 จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบมุม θ ที่ได้จากการวัดกับมุม θ ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ และระยะห่างระหว่างไมโครโฟนที่เปลี่ยนไปตั้งแต่ 0.1-0.4 เมตร และจากผลการทดลองตอนที่ 2 ซึ่ง
 - ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร $\Delta\theta$ จะน้อยที่สุดที่ความถี่ 3,500 Hz
 - ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร $\Delta\theta$ จะน้อยที่สุดที่ความถี่ 5,000 Hz
 - ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร $\Delta\theta$ จะน้อยที่สุดที่ความถี่ 4,500 Hz
 - ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร $\Delta\theta$ จะน้อยที่สุดที่ความถี่ 5,000 Hz
 จะทำให้พบว่า ในช่วงของความถี่ที่ทำการศึกษา(ตั้งแต่ 1,000 ถึง 5,000 Hz) เมื่อระยะห่างระหว่างไมโครโฟน(b) มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การอ่านค่า θ จากการทดลองและจากการคำนวณได้ค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น และถ้าแหล่งกำเนิดกำเนิดเสียงที่มีความยาวคลื่นยิ่งน้อย ก็จะทำให้ค่ามุมที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเช่นกัน
3. จากกราฟระหว่างค่ามุม θ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณกับระยะห่างระหว่างไมโครโฟน โดยเปลี่ยนค่าความถี่ตั้งแต่ 1,500-5,000 Hz จะพบว่า ค่าระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและค่ามุม θ ที่วัดได้และจากการคำนวณจะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน นั่นคือ หากใช้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนมากขึ้นก็จะวัดมุม θ ได้ค่ามากขึ้นด้วย
4. จากการทดลอง หากเปลี่ยนระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพง(L) แล้ว ก็จะได้ผลลัพธ์เหมือนกันทุกๆ ค่า L แต่ต่างกันที่ L มากน้อยจะทำให้ความเข้มของเสียง(I) เพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่านั้นเอง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : คุณลักษณะของลำโพง Midrange รุ่น MCA11RC

ภาคผนวก ข : คุณลักษณะของไอซีออปแอมป์เบอร์ LM384

ภาคผนวก ค : คุณลักษณะของไอซีออปแอมป์เบอร์ LM387

ภาคผนวก ง : ภาพแสดงลักษณะสัญญาณที่ได้จากออสซิลโลสโคปที่ได้จากการทดลอง





ภาคผนวก ก

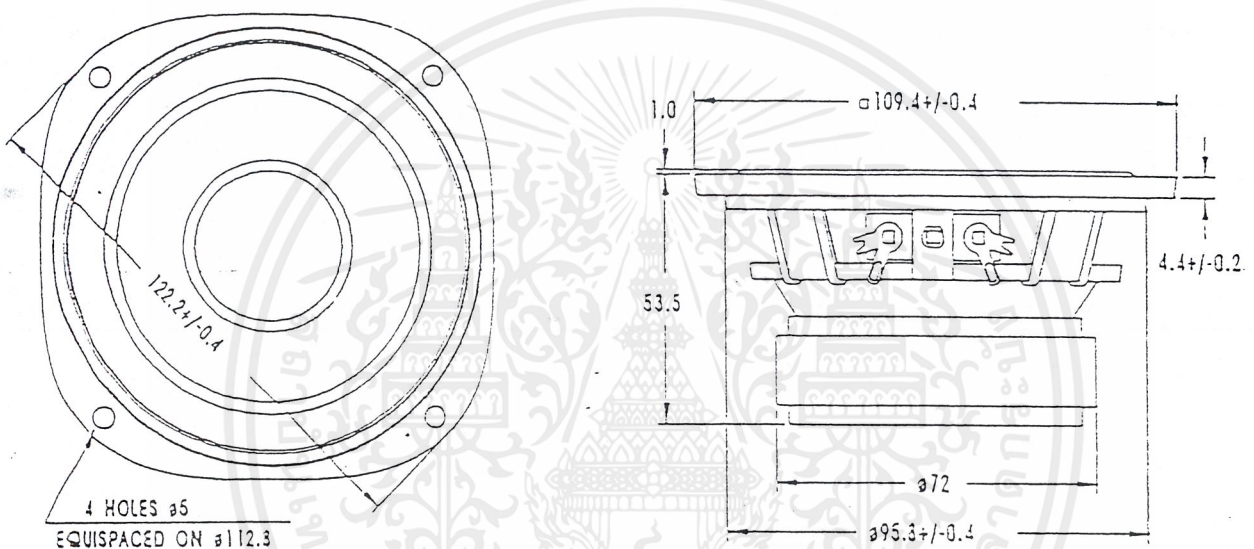
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

seas
OF NORWAY

H 143

MIDRANGE

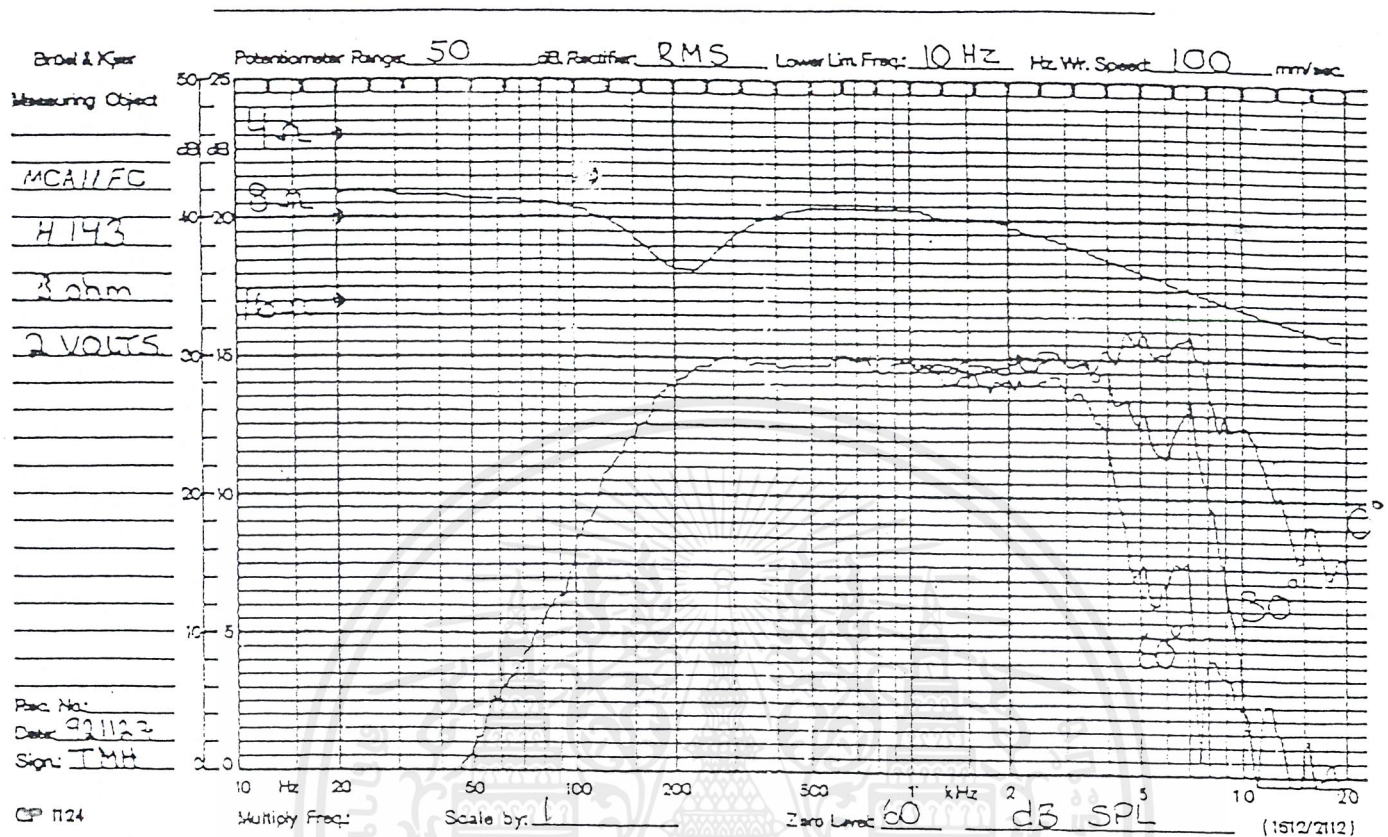
MCA11RC



MCA11FC (11F-M) is an 4.5" High Fidelity midrange unit with a stiff and stable injection moulded magnesium basket. The specially treated paper cone and the mechanically matching foam surround give an unusually smooth midrange response. A 1" high temperature voice coil wound on an aluminium voice coil former allows a very high power handling capacity. A rear enclosure with optimized shape and volume is available. The dust cap is made from coated fabric.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Response curve recorded in anechoic chamber (Free-field, 4 pi radiation) with 0.5m microphone distance. The loudspeaker with a 0.8 l rear chamber is mounted in a standard IEC baffle.



NOMINAL IMPEDANCE	8 Ohms	VOICE COIL RESISTANCE	6.5 Ohms
RECOMMENDED FREQUENCY RANGE	400-5000 Hz	VOICE COIL INDUCTANCE (EQUIVALENT)	0.35 mH
SHORT TERM MAXIMUM POWER *	400 W	FORCE FACTOR	4.7 N/A
LONG TERM MAXIMUM POWER*	110 W	FREE AIR RESONANCE	140 Hz
CHARACTERISTIC SENSITIVITY (1W, 1m)	89 dB SPL	MOVING MASS	4.0 g
OPERATING POWER (96 dB SPL, 1 m)	5.0 W	AIR LOAD MASS IN IEC BAFFLE	0.2 g
VOICE COIL DIAMETER	26 mm	SUSPENSION COMPLIANCE	0.3 mm/N
VOICE COIL HEIGHT	5.3 mm	SUSPENSION MECHANICAL RESISTANCE	1.7 Ns/m
AIR GAP HEIGHT	4.0 mm	EFFECTIVE PISTON AREA	55 sq.cm
LINEAR COIL TRAVEL (p-p)	1.8 mm	VAS	1.3 Litres
MAXIMUM COIL TRAVEL (p-p)	— mm	QMS	2.17
MAGNETIC GAP FLUX DENSITY	1.1 T	QES	1.09
MAGNET WEIGHT	0.25 Kg	QFS	0.72
TOTAL WEIGHT	0.55 Kg		

* IEC 268-5, VIA HIGH PASS BUTTERWORTH FILTER: 800 Hz 6 dB/oct.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM384 5 Watt Audio Power Amplifier

General Description

The LM384 is a power audio amplifier for consumer application. In order to hold system cost to a minimum, gain is internally fixed at 34 dB. A unique input stage allows inputs to be ground referenced. The output is automatically self-centering to one half the supply voltage.

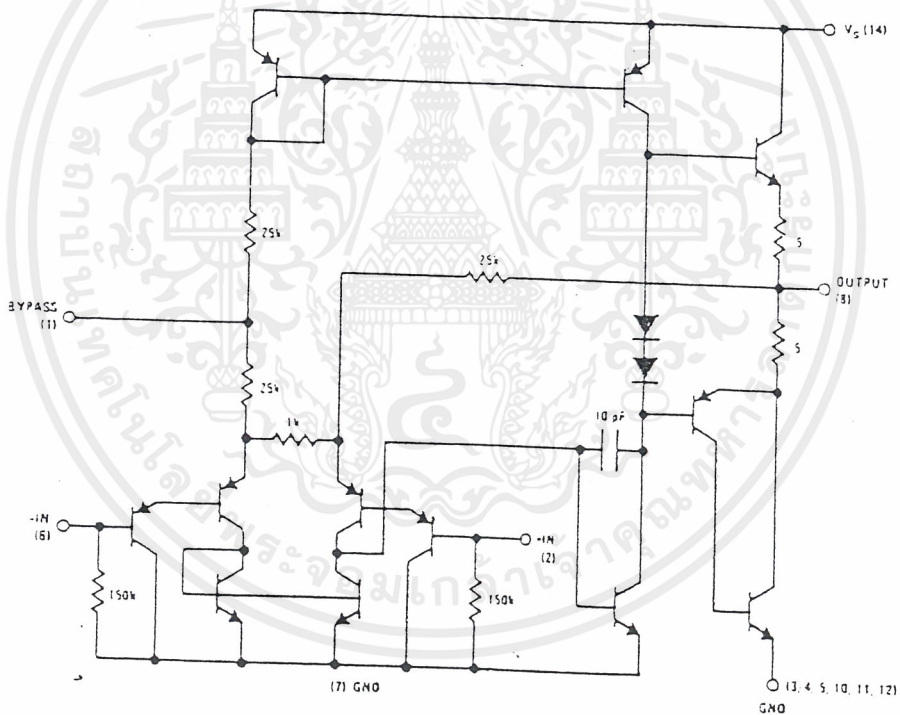
The output is short-circuit proof with internal thermal limiting. The package outline is standard dual-in-line. A copper lead frame is used with the center three pins on either side comprising a heat sink. This makes the device easy to use in standard p-c layout.

Uses include simple phonograph amplifiers, intercoms, line drivers, teaching machine outputs, alarms, ultrasonic drivers, TV sound systems, AM-FM radio, sound projector systems, etc. See AN-59 for circuit details.

Features

- Wide supply voltage range
- Low quiescent power drain
- Voltage gain fixed at 50
- High peak current capability
- Input referenced to GND
- High input impedance
- Low distortion
- Quiescent output voltage is at one half of the supply voltage
- Standard dual-in-line package

Schematic Diagram



TL/M/7845-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If **Military/Aerospace** specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	28V
Peak Current	1.3A

Power Dissipation (See Notes 3 and 4)	1.67W
Input Voltage	$\pm 0.5V$
Storage Temperature	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Operating Temperature	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	$260^{\circ}C$

Electrical Characteristics (Note 1)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Z_{IN}	Input Resistance			150		$k\Omega$
I_{BIAS}	Bias Current	Inputs Floating		100		nA
A_V	Gain		40	50	60	V/V
P_{OUT}	Output Power	THD = 10%, $R_L = 8\Omega$	5	5.5		W
I_Q	Quiescent Supply Current			3.5	25	mA
V_{OUT0}	Quiescent Output Voltage			11		V
BW	Bandwidth	$P_{OUT} = 2W, R_L = 8\Omega$		450		kHz
V^+	Supply Voltage		12		26	V
I_{SC}	Short Circuit Current (Note 5)			1.3		A
PSRR _{ATO}	Power Supply Rejection Ratio (Note 2)			31		dB
THD	Total Harmonic Distortion	$P_{OUT} = 4W, R_L = 8\Omega$		0.25	1.0	%

Note 1: $V^+ = 22V$ and $T_A = 25^{\circ}C$ operating with a Staver V7 heat sink for 30 seconds.

Note 2: Rejection ratio referred to the output with $C_{BYPASS} = 5\mu F$, $f_{req} = 120$ Hz.

Note 3: The maximum junction temperature of the LM384 is $150^{\circ}C$.

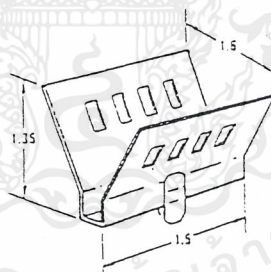
Note 4: The package is to be derated at $15^{\circ}C/W$ junction to heat sink pins.

Note 5: Output is fully protected against a shorted speaker condition at all voltages up to 22V.

Heat Sink Dimensions

Staver Company
41 Saxon Ave.
P. O. Drawer H
Bay Shore, N.Y.
Tel: (516) 666-8000

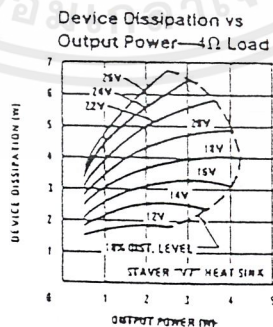
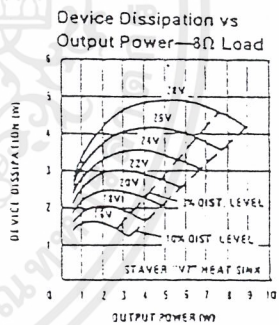
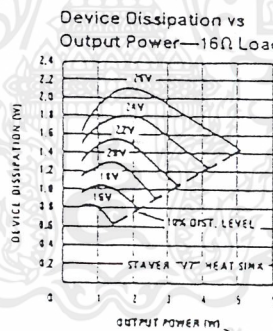
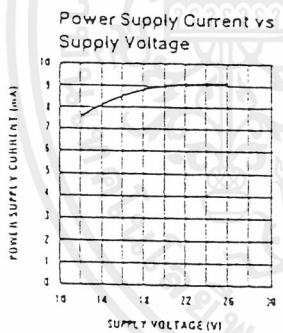
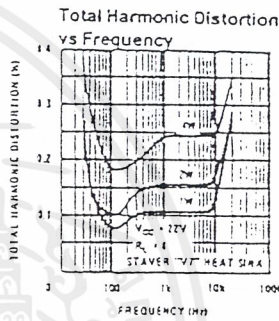
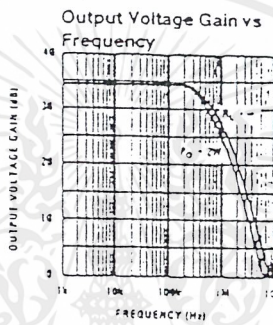
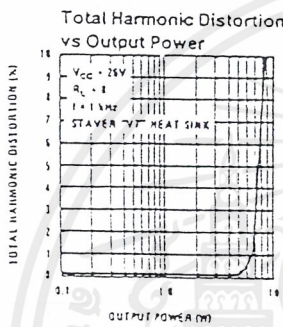
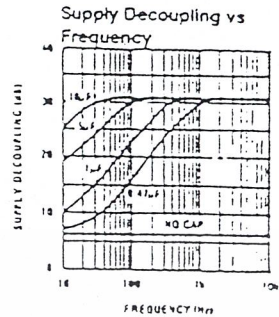
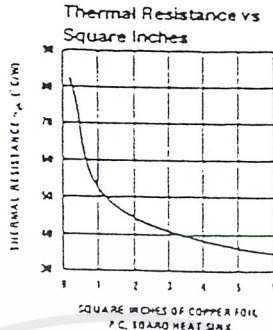
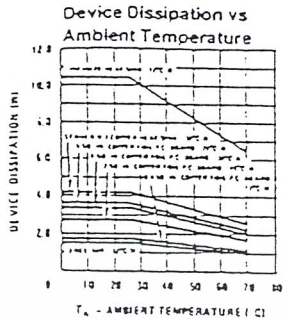
Staver "V7" Heat Sink



7U4/7843-4

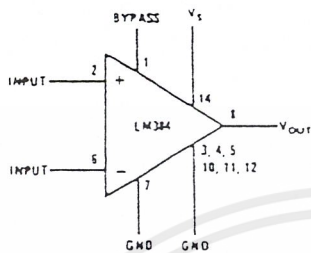
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

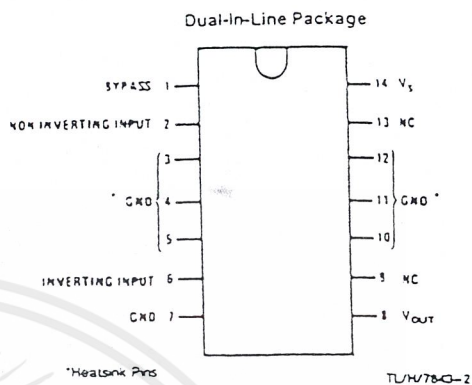


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block and Connection Diagrams



TU/H/7843-1

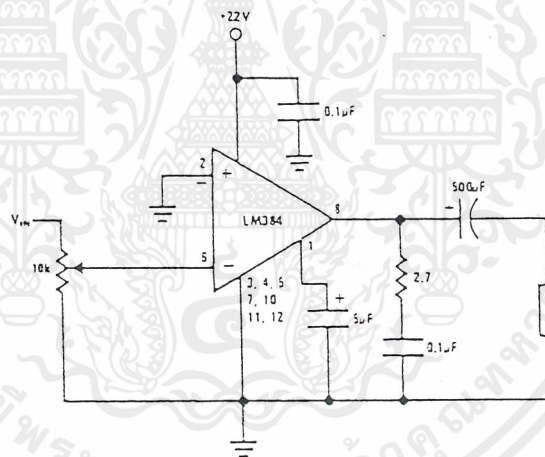


Top View

Order Number LM384N
See NS Package Number N14A

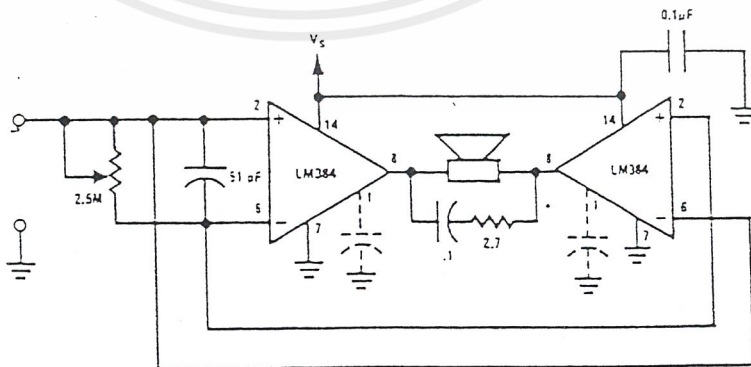
Typical Applications

Typical 5W Amplifier



TU/H/7843-5

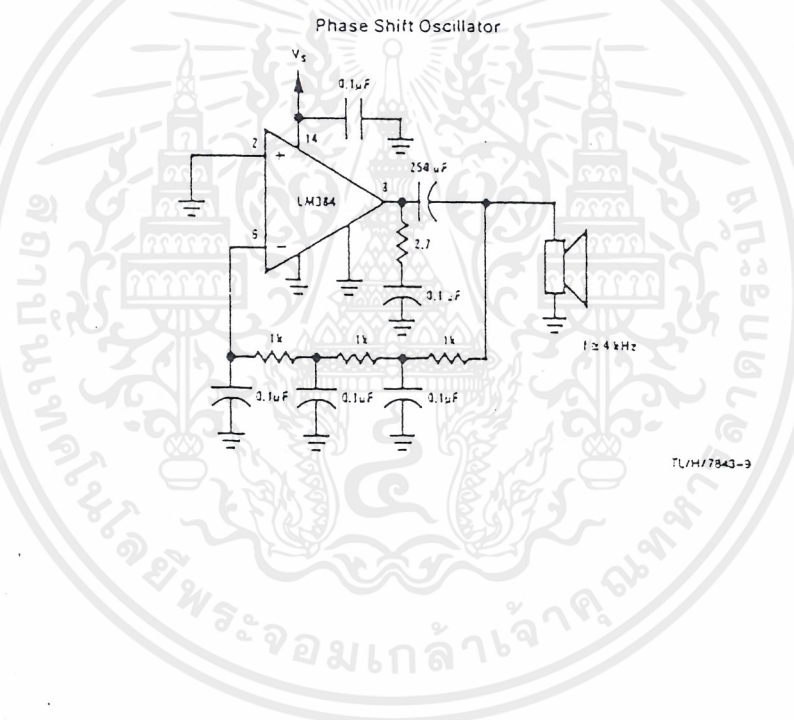
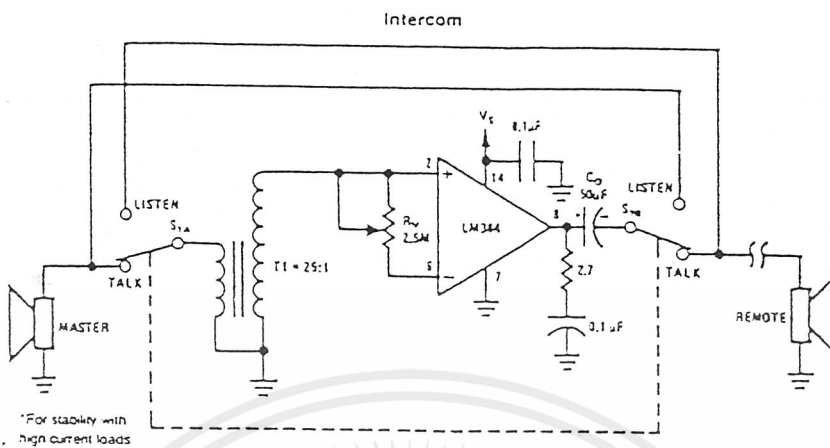
Bridge Amplifier



TU/H/7843-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM387/LM387A Low Noise Dual Preampifier

General Description

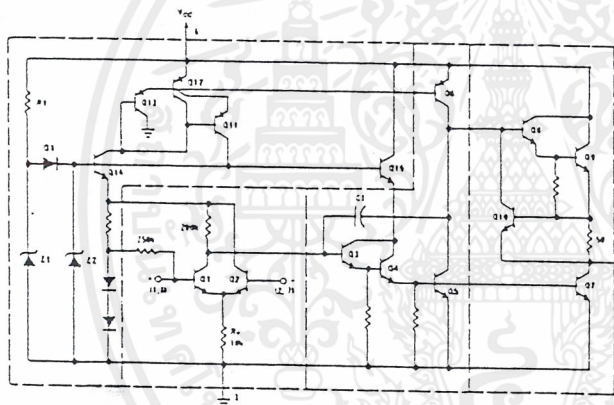
The LM387 is a dual preamplifier for the amplification of low level signals in applications requiring optimum noise performance. Each of the two amplifiers is completely independent, with an internal power supply decoupler-regulator, providing 110 dB supply rejection and 60 dB channel separation. Other outstanding features include high gain (104 dB), large output voltage swing ($V_{CC} - 2V$)p-p, and wide power bandwidth (75 kHz, 20 Vp-p). The LM387A is a selected version of the LM387 that has lower noise in a NAB tape circuit, and can operate on a larger supply voltage. The LM387 operates from a single supply across the wide range of 9V to 30V, the LM387A operates on a supply of 9V to 40V.

The amplifiers are internally compensated for gains greater than 10. The LM387, LM387A is available in an 8-lead dual-in-line package. The LM387, LM387A is biased like the LM381. See AN-64 and AN-104.

Features

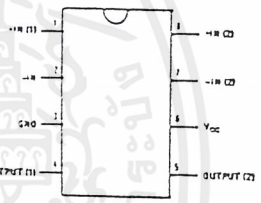
- Low noise 1.0 μ V total input noise
- High gain 104 dB open loop
- Single supply operation
- Wide supply range LM387 9 to 30V
LM387A 9 to 40V
- Power supply rejection 110 dB
- Large output voltage swing ($V_{CC} - 2V$)p-p
- Wide bandwidth 15 MHz unity gain
- Power bandwidth 75 kHz, 20 Vp-p
- Internally compensated
- Short circuit protected
- Performance similar to LM381

Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7845-1

Dual-In-Line Package

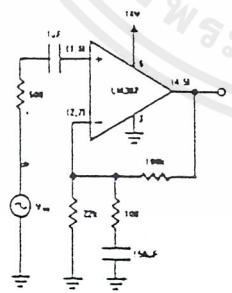


TL/H/7845-2

Top View

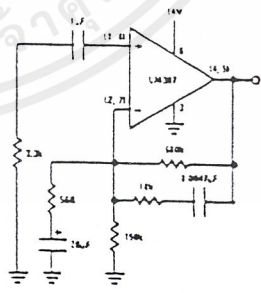
Order Number LM387N or LM387AN
See NS Package Number N08E

Typical Applications



TL/H/7845-3

FIGURE 1. Flat Gain Circuit ($A_v = 1000$)



TL/H/7845-4

FIGURE 2. NAB Tape Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage
 LM387 +30V
 LM387A +40V

Power Dissipation (Note 1) 1.5W
 Operating Temperature Range 0°C to +70°C
 Storage Temperature Range -65°C to +150°C
 Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) 250°C

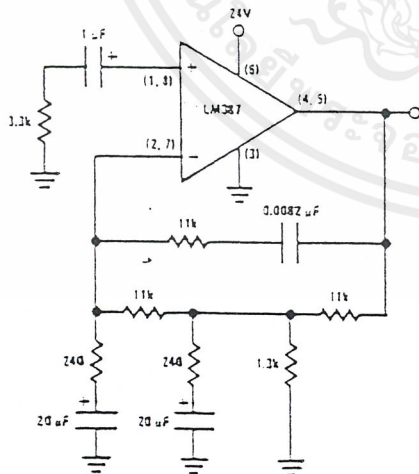
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 14\text{V}$, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Voltage Gain	Open Loop, $f = 100\text{ Hz}$		160,000		V/V
Supply Current	LM387, $V_{CC} 9\text{V}-30\text{V}$, $R_L = \infty$ LM387A, $V_{CC} 9\text{V}-40\text{V}$, $R_L = \infty$		10 10		mA mA
Input Resistance Positive Input Negative Input		50	100 200		k Ω k Ω
Input Current Negative Input			0.5	3.1	μA
Output Resistance	Open Loop		150		Ω
Output Current	Source Sink		8 2		mA mA
Output Voltage Swing	Peak-to-Peak		$V_{CC} - 2$		V
Unity Gain Bandwidth			15		MHz
Large Signal Frequency Response	20 Vp-p ($V_{CC} > 24\text{V}$), THD $\leq 1\%$		75		kHz
Maximum Input Voltage	Linear Operation			300	mVrms
Supply Rejection Ratio Input Referred	$f = 1\text{ kHz}$		110		dB
Channel Separation	$f = 1\text{ kHz}$	40	60		dB
Total Harmonic Distortion	60 dB Gain, $f = 1\text{ kHz}$		0.1	0.5	%
Total Equivalent Input Noise (Flat Gain Circuit)	10 Hz-10,000 Hz LM387 Figure 1		1.0	1.2	μVrms
Output Noise NAB Tape Playback Circuit Gain of 37 dB	Unweighted LM387A Figure 2		400	700	μVrms

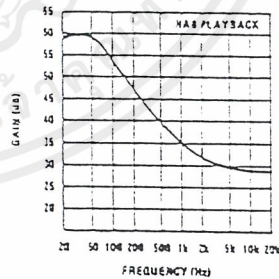
Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 80°C/W junction to ambient.

Typical Applications (Continued)

Two-Pole Fast Turn-ON NAB Tape Preamp



Frequency Response of NAB Playback Circuit of Figure 2

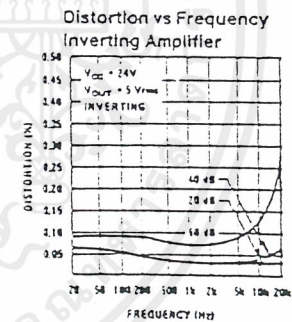
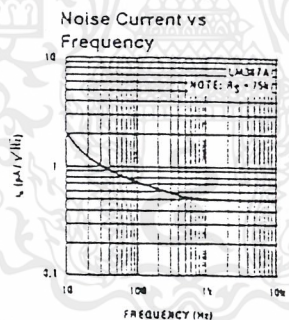
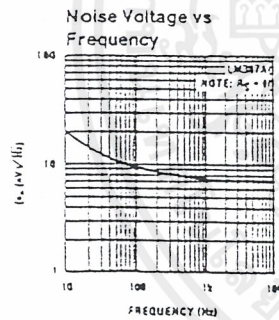
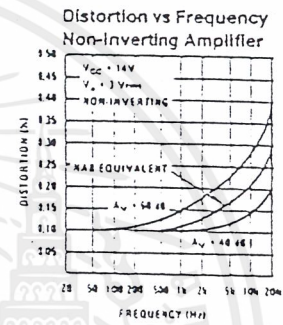
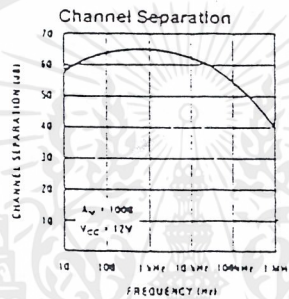
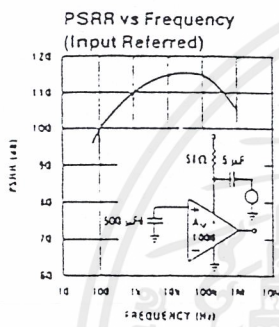
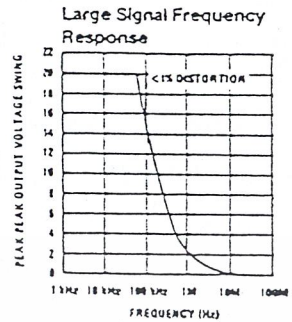
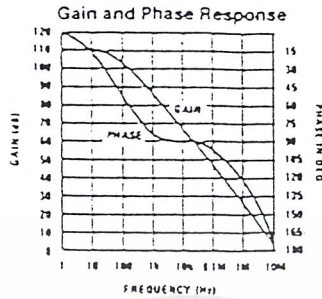
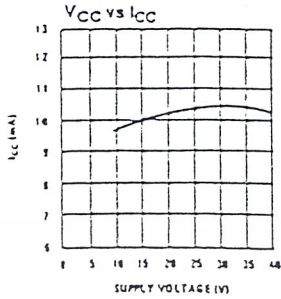


TU/H/7845-6

TU/H/7845-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

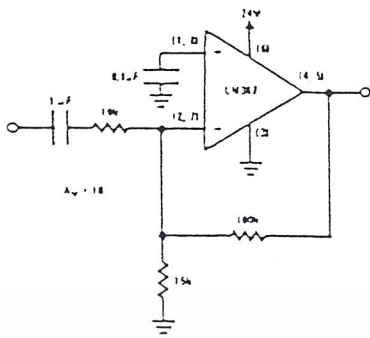


TL/H/7845-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

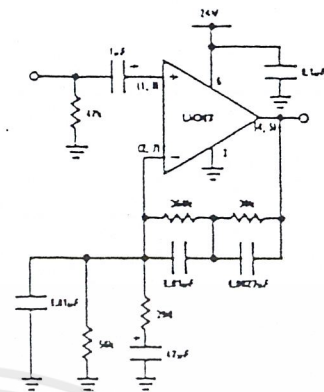
Typical Applications (Continued)

Inverting Amplifier Ultra-Low Distortion



TU/H/7845-8

Typical Magnetic Phono Preamplifier



TU/H/7845-9

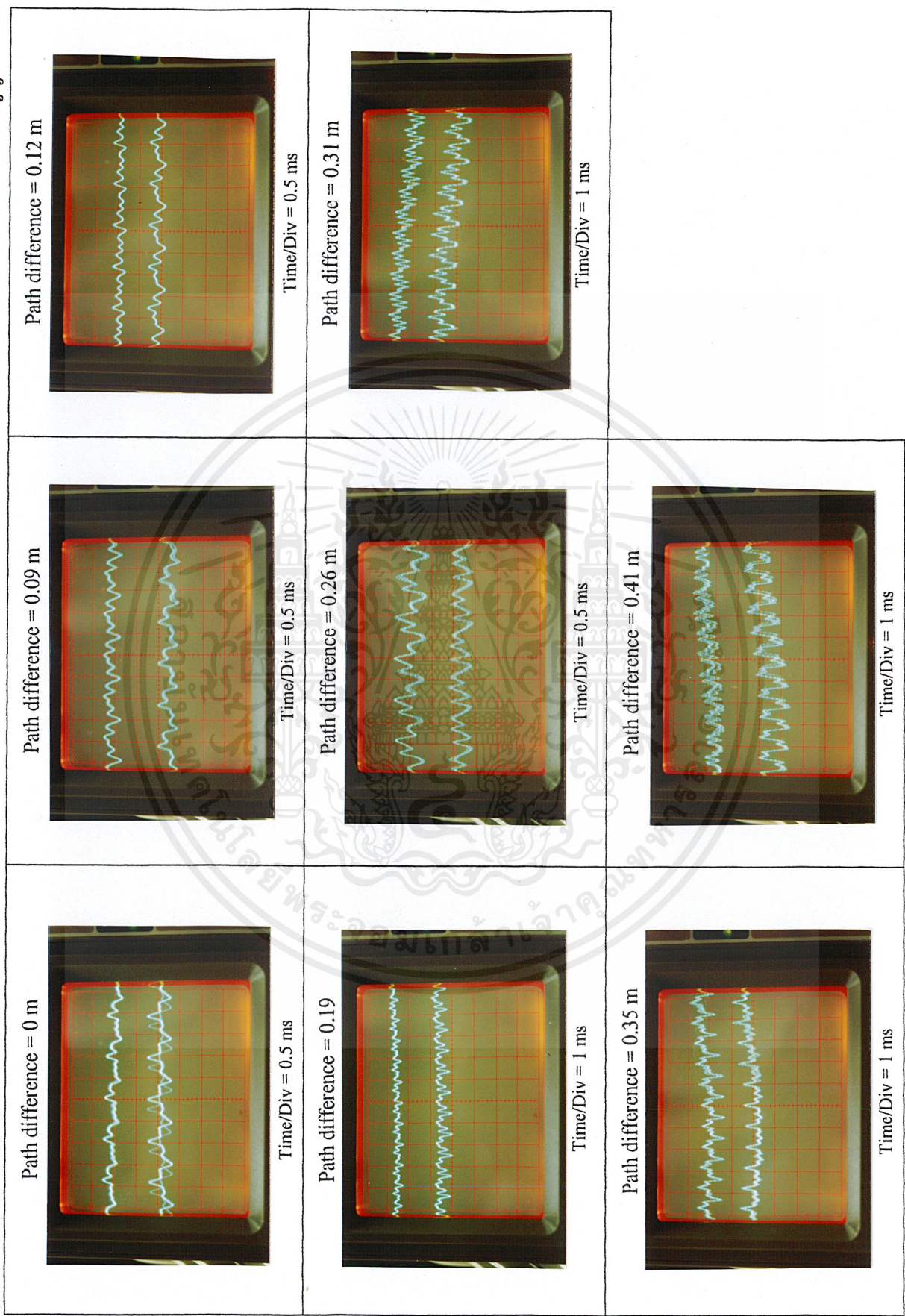


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



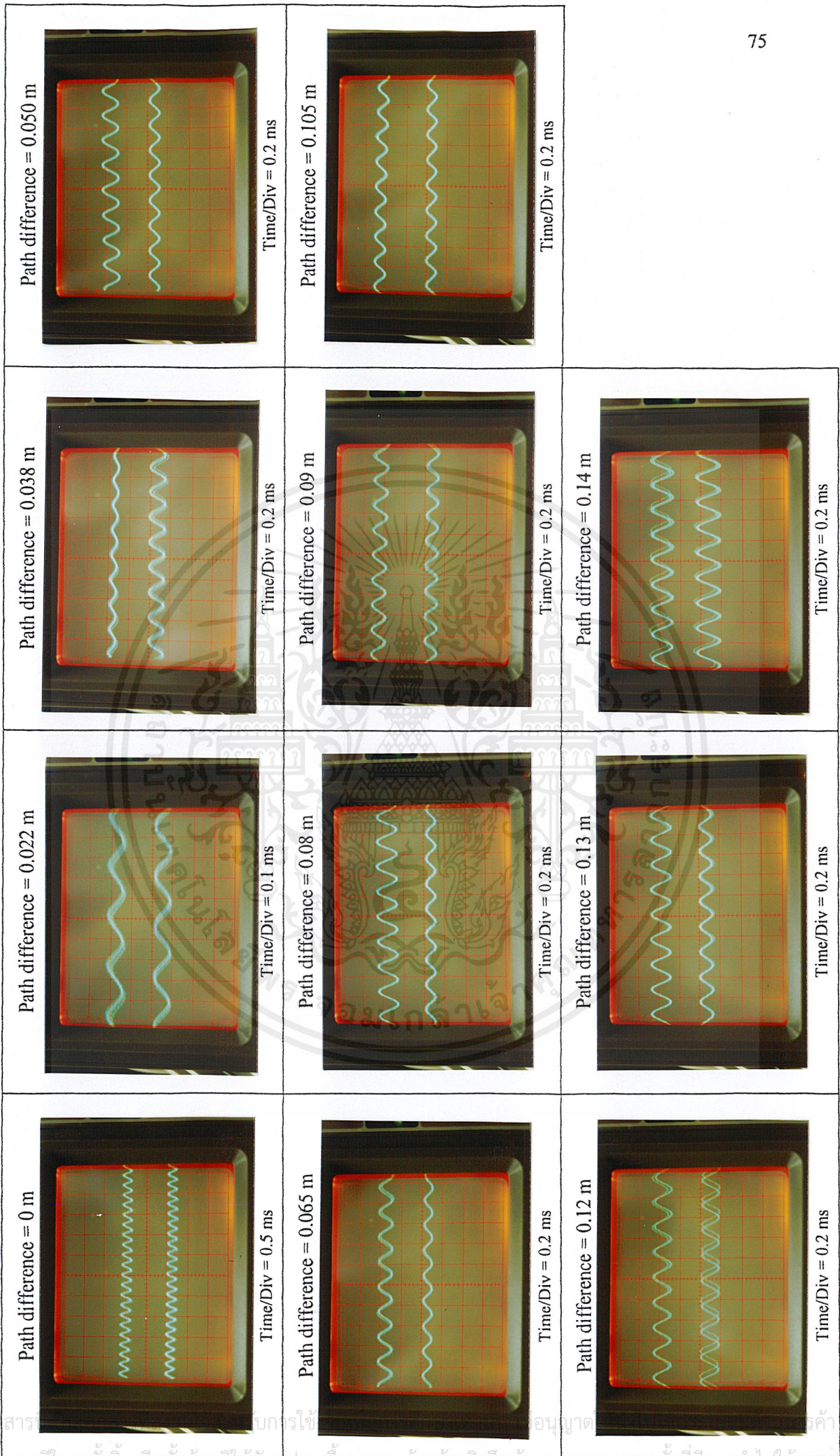
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงลักษณะสัญญาณที่อ่านได้จากออกซิดิล โคส โคป ในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยใช้ความแตกต่างของคาบเวลาของสัญญาณ ที่ความถี่ 1 kHz

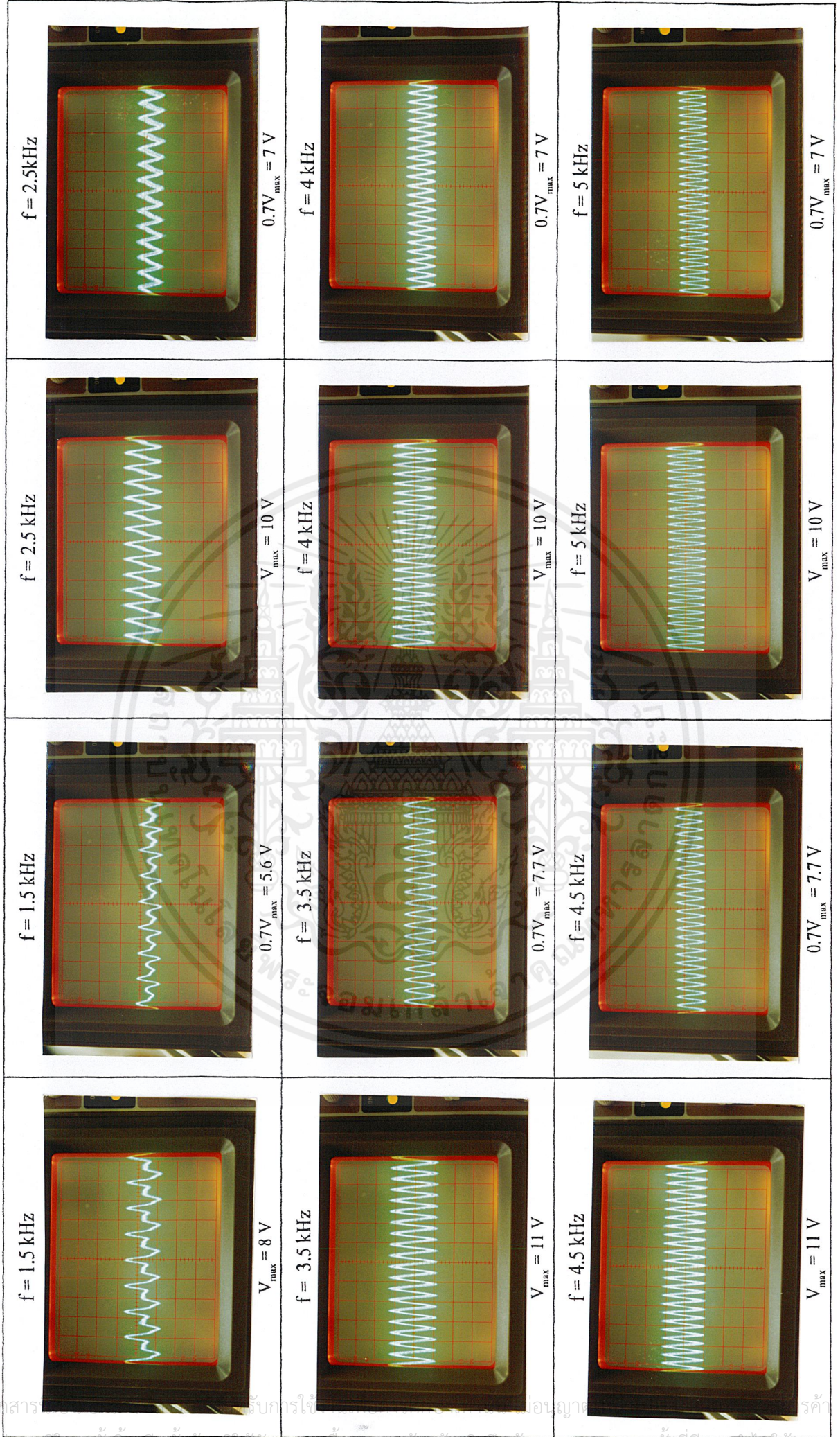


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

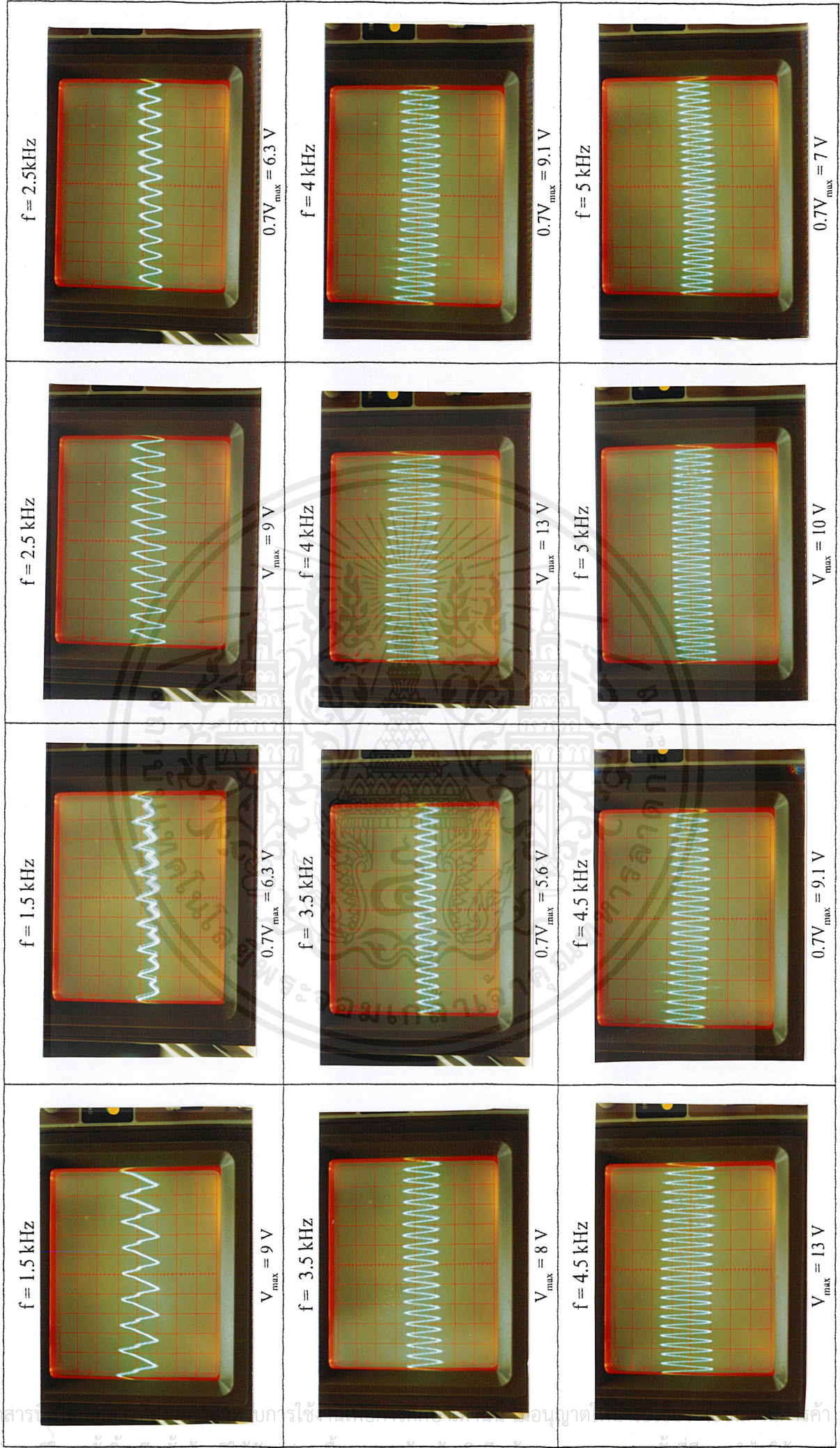
ภาพแสดงลักษณะสัญญาณที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคป ในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยใช้ความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มีความถี่ 4 kHz



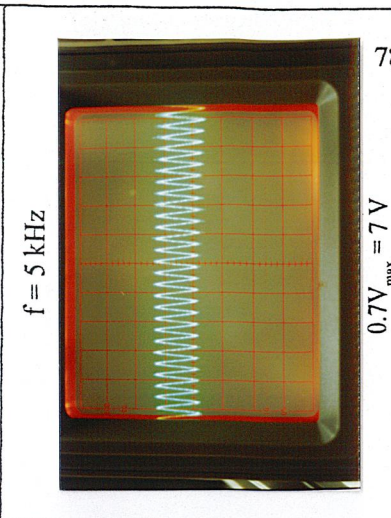
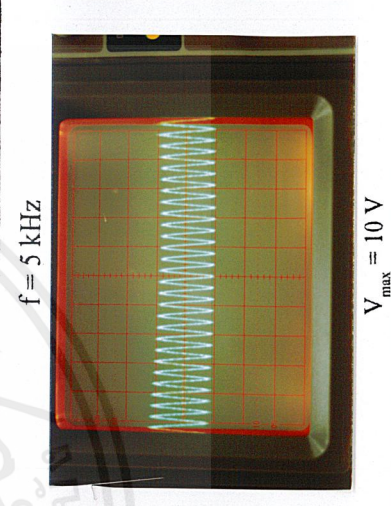
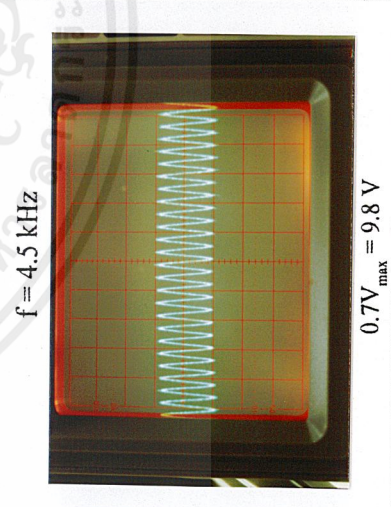
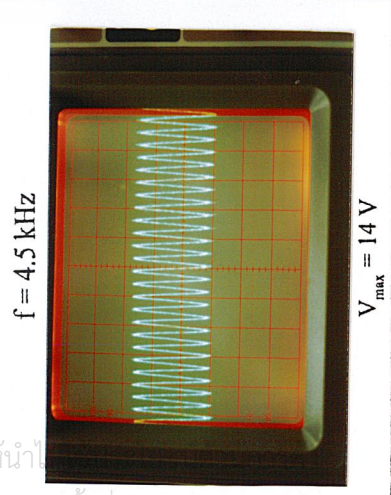
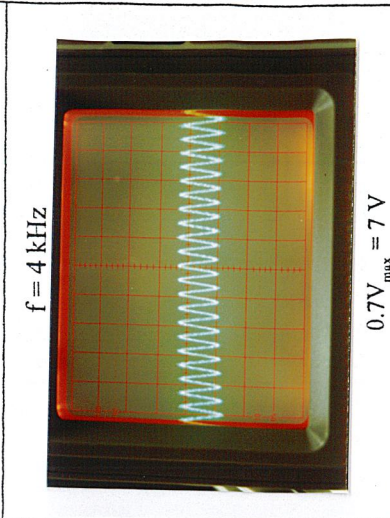
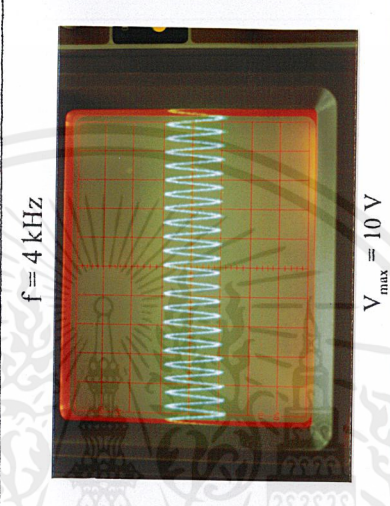
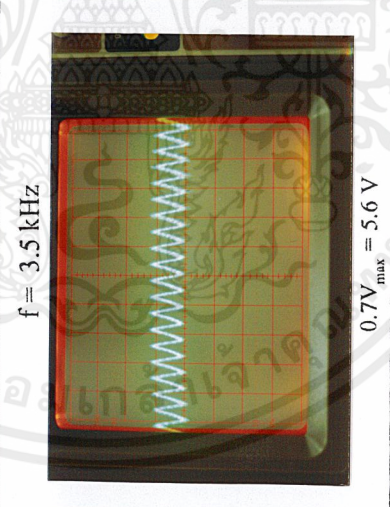
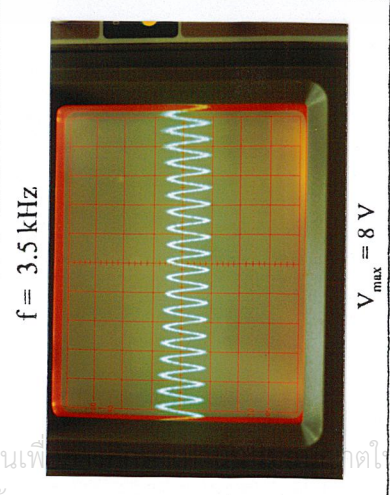
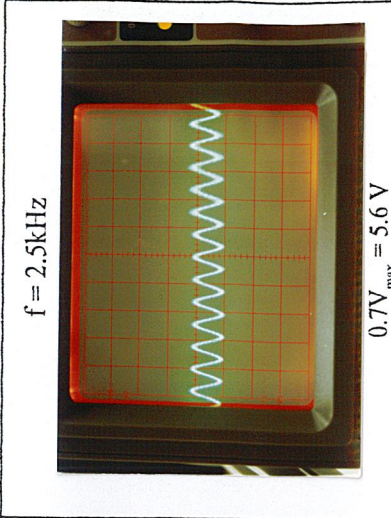
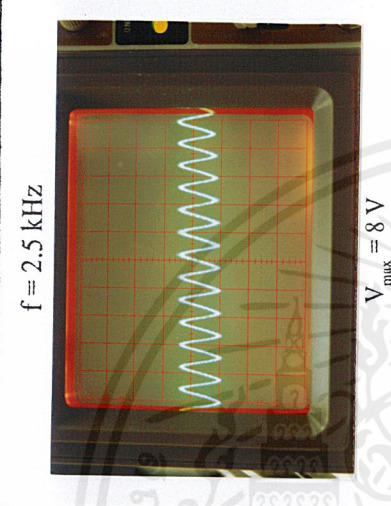
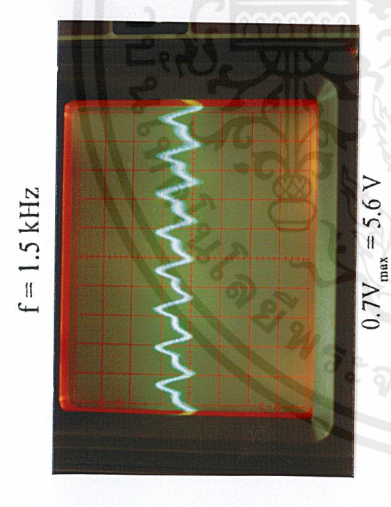
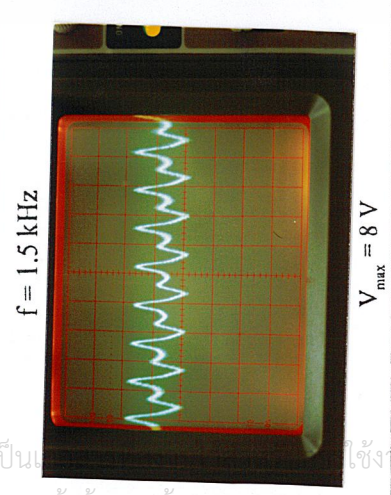
ภาพแสดงลักษณะสัญญาณที่อ่านได้จากออกซซิลโลสโคปในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้หลักการรวมกันของสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.1 เมตร



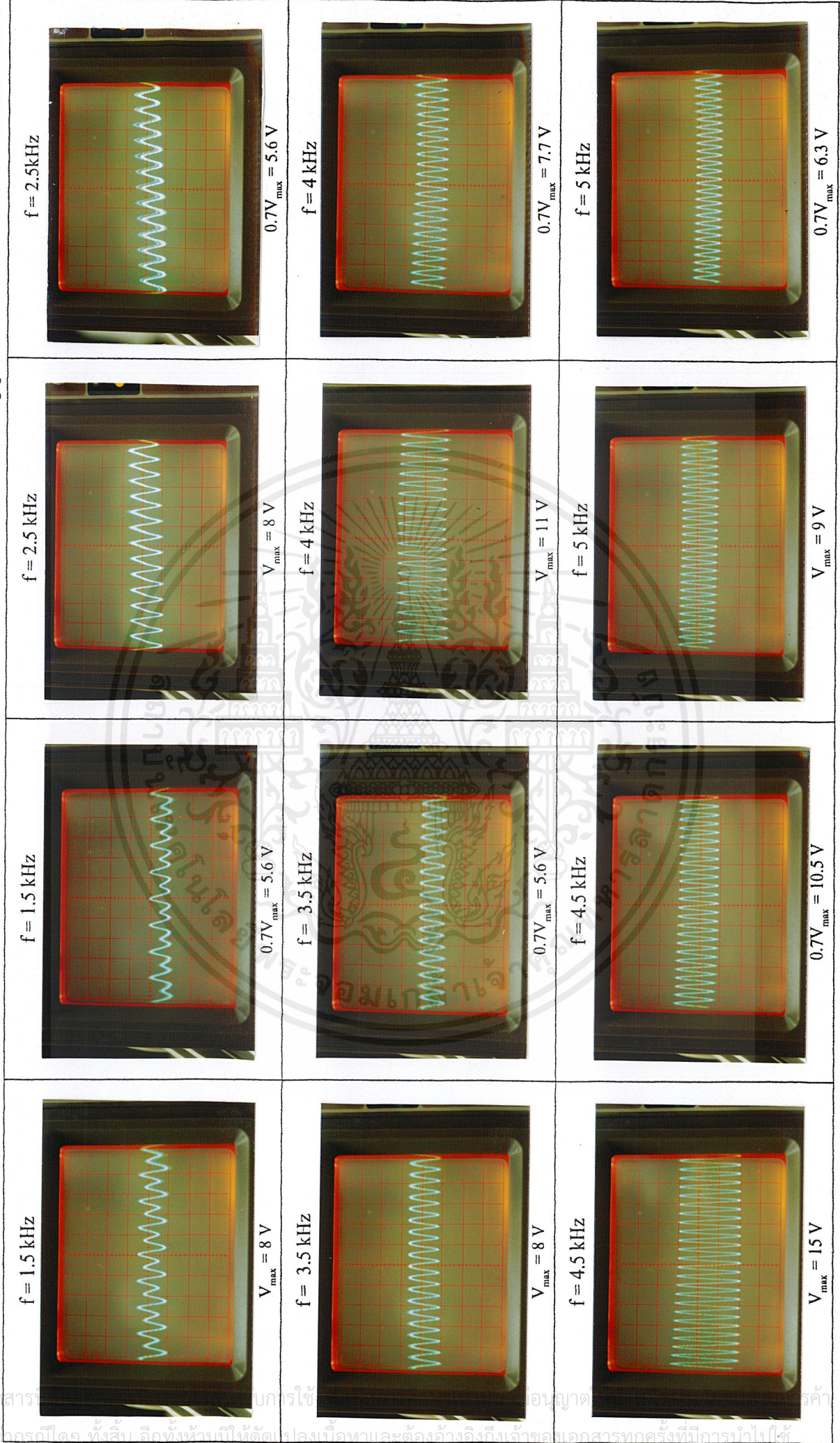
ภาพแสดงลักษณะสัญญาณที่อ่านได้จากออกสซิดิโกสโคปในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้หลักการรวมกันของสัญญาณที่ระยะห่างไมโครโฟนเป็น 0.2 เมตร



ภาพแสดงลักษณะสัญญาณที่อ่านได้จากออกซิดิ โลสโตปในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยใช้หลักการรวมกันของสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 0.3 เมตร



ภาพแสดงลักษณะสัญญาณที่อ่านได้จากออกซิดไดสโคปในการทดลองหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้หลักการรวมกันของสัญญาณที่ระยะห่างไมโครโฟนเป็น 0.4 เมตร



บรรณานุกรม

1. Authur F. Wickersham. *Microwave and Fiber Optics Communications* , Prentice Hall Publisher ; 1988 , pp. 22-34.
2. Peter J. Nolan . *Fundamental of Collage Physics* , Wm. C. Brown Publisher , 2nd Ed. ; 1995 , pp. 336-363.
3. William P. Crummett. *University Physics Model and Applications* , Wm. C. Brown Publisher , Advanced copy ; 1994 , pp. 451-462.
4. รวบรวมบทความโครงการที่ตีพิมพ์ในวารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. *ระบบแสง เสียง กลางแจ้ง* , สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ; 2538 , pp. 80-90.
5. วิไลวรรณ ภูละออ. *ฟิสิกส์ของคลื่น* , ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , พิมพ์ครั้งที่ 1 ; 2540 , pp. 37-46.
6. ธงชัย สิริประยุกต์. *ฟิสิกส์ทั่วไป 2* , ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ ; มิถุนายน 2526 , pp. 20-23.
7. วรณนพ พิรัชชาติ. *ออกแบบสร้างตู้ลำโพงขนาดใหญ่* , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ; 2539 , 129-139.