

**ขอเปลี่ยนแปลงชื่อหัวเรื่องการวิจัย**

**จากเดิม**

**“ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงด้วย  
วิธีการวัดความเข้มของเสียง ”**

**มาเป็นอันใหม่คือ**

**“ การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงด้วย  
วิธีการวัดความแรงของสัญญาณเสียง ”**

**ทั้งนี้เพื่อให้สื่อความหมายได้ถูกต้องยิ่งขึ้นกว่าเดิม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยงบประมาณประจำปี 2543

โครงการวิจัย

การหาทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงด้วยวิธีการวัด

ความแรงของสัญญาณเสียง

Acoustic Signal Strength Measurement for Direction Finding

แผนงานวิจัย

เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรม

แผนงานย่อย

วิจัยเพื่อพัฒนาสมรรถนะทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิทยาศาสตร์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

02-3264111 ต่อ 285

หัวหน้าโครงการวิจัย นายสุน จ่างประยูร

ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล

RCH

OC

๕๔๖

๕๔๖๖๖

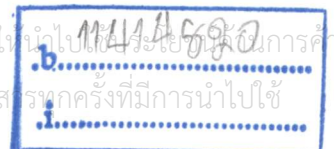
3264445 - 4528 ต่อ 6217

โทรสาร 02-3264354

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีจุดมุ่งหมายในการแสดงการหาทิศทางและระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียง โดยใช้เทคนิคของไมโครโฟน 2 ตัว วัดความแรงของสัญญาณเสียง โดยแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือการคำนวณโดยทางทฤษฎีและทำการทดลองวัดโดยตรง ในทางทฤษฎีทำได้โดย ถ้าให้  $\theta$  = มุมที่กำหนดทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง เทียบกับเส้นแนวฐานของการวางไมโครโฟนทั้ง 2 ตัว สามารถคำนวณหาได้จาก  $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{v}{4 \times f \times b}\right)$  และถ้าให้

$S$  = ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง กับเส้นแนวฐานของการวางไมโครโฟน สามารถคำนวณหาได้จาก

$S = \frac{4 \times f \times b \times Z}{v}$  เมื่อ  $b$  = ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนทั้ง 2 ตัว  $v$  = อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ

$f$  = ความถี่ของคลื่นเสียง และ  $Z$  = ระยะห่างระหว่างแนวตรงกลางที่  $\theta = 90^\circ$  เทียบกับเส้นแนวฐาน ซึ่งจะวัดความแรงของสัญญาณได้มากที่สุด  $V_{max}$  กับจุดที่ทำมุม  $\theta$  ใดๆ เมื่อเลื่อนไมโครโฟนทั้ง 2 ตัวไปตามเส้นแนวฐาน จนกระทั่งวัดความแรงของสัญญาณรวมได้  $V_{sum} = 0.7V_{max}$

จากการทดลองพบว่า มุม  $\theta$  ซึ่งเป็นตัวบอกทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า  $\pm 5.0\%$  เมื่อเทียบกับค่าจริง และค่าระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียง มีค่าความคลาดเคลื่อนเข้าใกล้  $\pm 5.0\%$  เมื่อเทียบกับค่าจริงเมื่อระยะของ  $b$  มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าทำการจัดเรียงตัวให้ได้ค่า  $b \geq 2\lambda$  และ  $f \geq f_{cutoff}$  จะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ กล่าวโดยสรุป ข้อมูลที่ได้ทั้งหมด อยู่ในเกณฑ์ที่สอดคล้องและเป็นแนวทางเดียวกันกับที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี ถึงแม้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Abstract

The direction and distance finding of a sound source presented here have employed a two-microphone technique for signal strength measurement. The task may be divided into two parts, namely theoretical investigation and experiment. In the proposed approach, the source direction angle  $\theta$  with respect to the baseline of the array of microphones can be calculated from :

$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{v}{4 \times f \times b}\right)$  and the source distance  $S$  from the microphone array can be found from :

$S = \frac{4 \times f \times b \times Z}{v}$ , where  $b$  is the baseline between two microphones,  $v$  is the speed of the sound

wave,  $f$  is the frequency of the sound wave, and  $Z$  is the distance between the centerline at  $\theta = 90^\circ$ , where the received signal strength :  $V_{\max}$ , and a point at any  $\theta$  along the baseline path, where the received signal strength :  $V_{\text{sum}} = 0.7V_{\max}$ .

It has been found from the experiments that the measured source direction angle has an error of less than  $\pm 5.0\%$  compared with the true direction angle, and the error of the measured source distance is close to  $\pm 5.0\%$  compared with the true distance as  $b$  increases. Good results are therefore obtained with  $b \geq 2\lambda$  and  $f > f_{\text{cutoff}}$ . In conclusion, all data are in fairly good agreement with the theory, even though the error has been found.

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
คำนำ .....	ค
สารบัญ .....	ง
บทที่ 1 บทนำ .....	1
บทที่ 2 ไมโครโฟนและลำโพง .....	3
บทที่ 3 ทฤษฎี .....	14
บทที่ 4 การดำเนินการทดลอง .....	18
บทที่ 5 ผลการทดลอง .....	23
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์ .....	30
ภาคผนวก ก. ....	38
ภาคผนวก ข. ....	43
ภาคผนวก ค. ....	59
เอกสารอ้างอิง .....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อโครงการวิจัย

ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องเสียงและอุปกรณ์รับ-ส่ง ที่ใช้ในการสื่อสารต่าง ๆ ปัญหาที่น่าสนใจก็คือ ถ้ามีแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงและเรามีอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับคลื่นเสียง เช่น ไมโครโฟน นอกจากเราจะใช้รับคลื่นเสียงแล้ว เรายังสามารถจะใช้อุปกรณ์ในการรับคลื่นเสียงอย่างง่าย ๆ แบบนี้ ไปหาทิศทางหรือที่ตั้งของแหล่งกำเนิดเสียงได้หรือไม่

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ การออกแบบ และการสร้างเครื่องมือวัด
2. เพื่อดัดแปลงอุปกรณ์อย่างง่าย ๆ แต่สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ ให้เทียบเท่าอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ๆ ได้
3. ทักษะทางของแหล่งกำเนิดเสียง

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวัดและทดสอบคุณภาพของเสียงจากลำโพง ภายใต้เงื่อนไขแบบต่าง ๆ ที่กำหนด

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. คณะผู้ทำการวิจัยได้รับประสบการณ์และข้อมูล เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทางวิชาการ ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในอนาคตเพื่อการพัฒนาต่อไป
2. เป็นแนวทางพื้นฐานในการออกแบบสร้างเครื่องมือที่มีต้นทุนต่ำ แต่สามารถใช้งานได้กว้างขวางและมีประสิทธิภาพสูง

### 1.5 ขั้นตอนของการวิจัย

1. ศึกษาองค์ความรู้และพัฒนาทฤษฎีที่จะใช้ในการวิจัยนี้
2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลอง
3. ทดลองและวิเคราะห์ผล
4. สรุปและรายงานผลการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ตุลาคม - ธันวาคม	พ.ศ. 2542	ทำขั้นตอนที่ 1
มกราคม - พฤษภาคม	พ.ศ. 2543	ทำขั้นตอนที่ 2
มิถุนายน - กรกฎาคม	พ.ศ. 2543	ทำขั้นตอนที่ 3
สิงหาคม - กันยายน	พ.ศ. 2543	ทำขั้นตอนที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ไมโครโฟนและลำโพง

#### 2.1 ไมโครโฟน (Microphone)

ไมโครโฟน เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนคลื่นเสียง (Sound Wave) ให้อยู่ในรูปคลื่นไฟฟ้าความถี่เสียง หรือที่เรียกว่า สัญญาณเสียง (Audio signal)

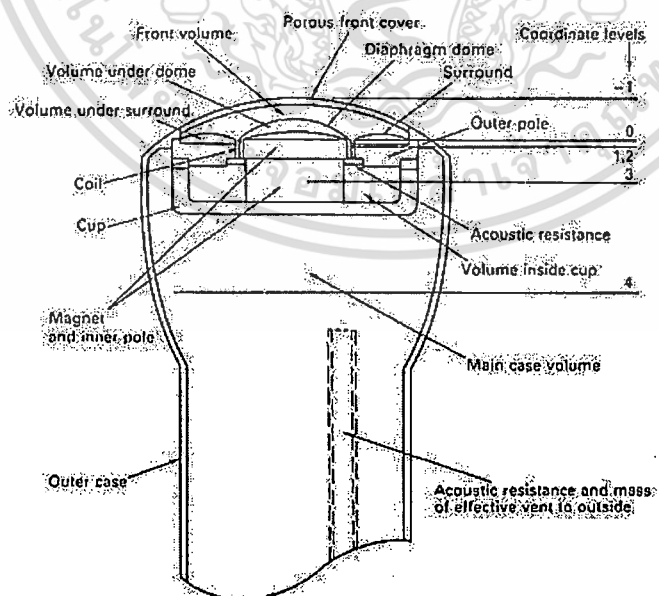
##### 2.1.1 ชนิดของไมโครโฟน

ไมโครโฟนมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ถ้าเราแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำไมโครโฟน สามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

1. ไดนามิกไมโครโฟน (Dynamic microphone) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มูฟวิ้งคอยล์ไมโครโฟน (Moving coil microphone)
2. ริบบอนไมโครโฟน (Ribbon microphone)
3. คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser microphone)
4. คาร์บอนไมโครโฟน (Carbon microphone)
5. ไพเอโซอิเล็กทริกไมโครโฟน (Piezoelectric microphone)

#### ไดนามิกไมโครโฟน

ไดนามิกไมโครโฟน จะมีแผ่นไดอะแฟรม (diaphragm) ติดกับขดลวดวอยซ์คอยล์ (Voice coil) เมื่อมีคลื่นเสียงเกิดขึ้นจากการอัดตัวของอากาศ จะทำให้แผ่นไดอะแฟรมสั่นในบริเวณสนามไฟฟ้า เกิดคลื่นไฟฟ้าในขดลวดตามความถี่ของคลื่นเสียง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของไดนามิกไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

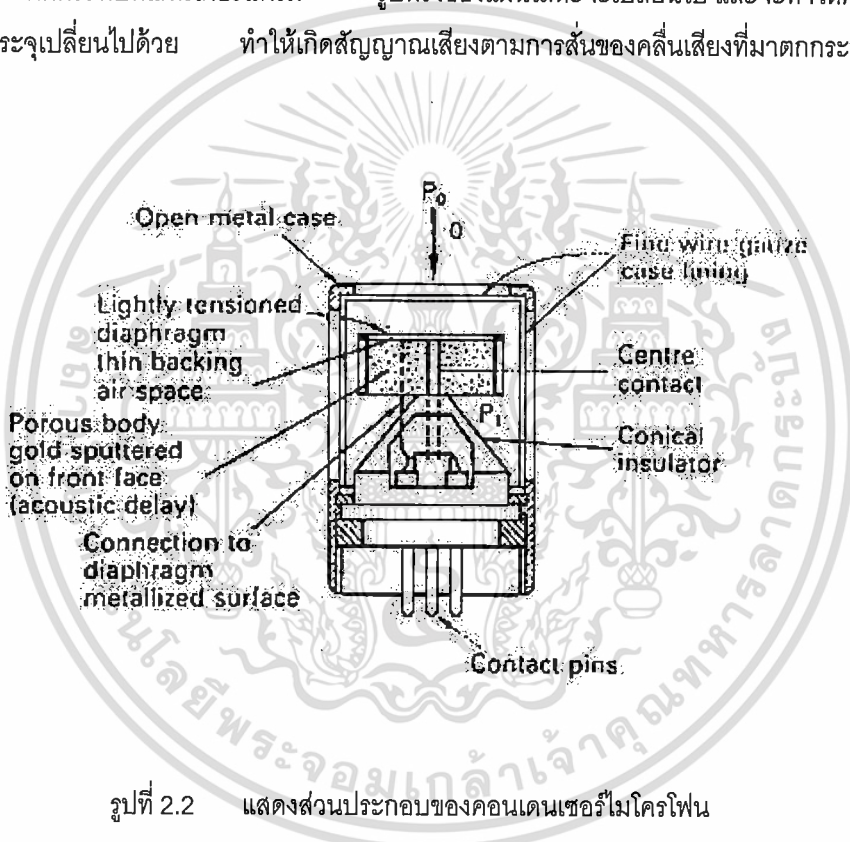
## รีบบอนไมโครโฟน

รีบบอนไมโครโฟน เป็นไมโครโฟนที่มีแผ่นไดอะแฟรมแขวนไว้ระหว่างสนามแม่เหล็ก เมื่อมีคลื่นเสียงผ่านมากระทบ ก็เกิดการสั่นของแผ่นไดอะแฟรมที่ทำเป็นแผ่นรีบบอนบาง ๆ ทำให้เกิดการสั่นของแผ่นไดอะแฟรมที่ทำเป็นแผ่นรีบบอนบาง แล้วทำให้เกิดสัญญาณเสียงขึ้นในขดลวดที่ทำเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ พิมพ์หรือรัดติดเป็นคอยล์อยู่บนแผ่นรีบบอน ไมโครโฟนชนิดนี้มีความไวต่อการรับเสียงมากและมีความมอบบางมาก จึงมักใช้ในห้องอัดเสียง หรือสถานีส่งเท่านั้น

## คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน จะใช้แผ่นโลหะที่เป็นขั้วหนึ่งของตัวเก็บประจุเป็นแผ่นไดอะแฟรม เมื่อมีคลื่นเสียงมาตกกระทบที่แผ่นไดอะแฟรม รูปทรงของแผ่นโลหะจะเปลี่ยนไป และจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุเปลี่ยนไปด้วย ทำให้เกิดสัญญาณเสียงตามการสั่นของคลื่นเสียงที่มาตกกระทบ

ดังรูปที่ 2.2

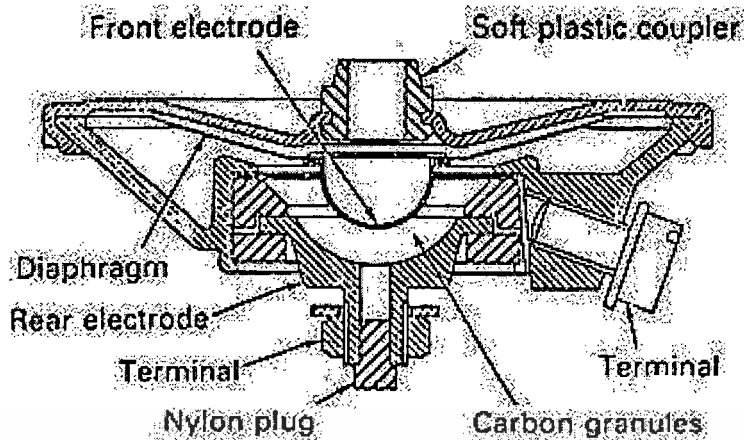


รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

## คาร์บอนไมโครโฟน

คาร์บอนไมโครโฟนจะมีอิเล็กโทรด (Electrode) อันหนึ่งติดอยู่ที่แผ่นไดอะแฟรม และอีกอันหนึ่งอยู่ทางด้านหลัง ระหว่างแผ่นไดอะแฟรมและอิเล็กโทรดด้านหลังจะมีผงถ่าน(carbon) คั่นอยู่ เมื่อมีคลื่นเสียงมาตกกระทบแผ่นไดอะแฟรม จะทำให้เกิดการสั่นและอัดผงถ่านให้แน่นมากหรือน้อย กระแสที่ไหลผ่านอิเล็กโทรดทั้งสองก็จะไหลได้มากหรือน้อย ตามการสั่นของคลื่นเสียงทำให้เกิดสัญญาณเสียงขึ้น

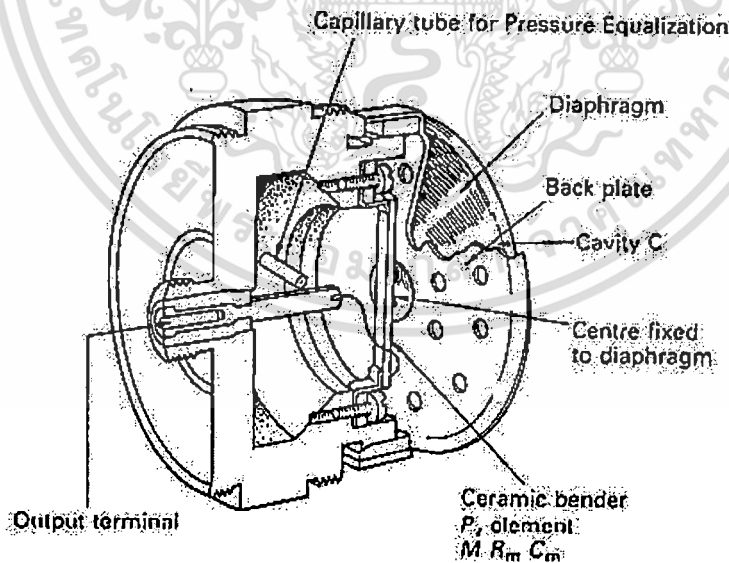
ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของคาร์บอนไมโครโฟน

### ไพเอโซอิเล็กทริกไมโครโฟน

ไพเอโซอิเล็กทริกไมโครโฟน จะอาศัยคุณสมบัติในการเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าของสาร เมื่อมีแรงดันมากดลงบนสารนั้น (Piezoelectric transducers) ถ้าสารนั้นทำด้วยคริสตัล เช่น ควอทซ์ (quartz) หรืออาจเป็นดีเกลือ (Rochelle salt) ก็จะมีชื่อเรียกว่าคริสตัลไมโครโฟน แต่ถ้าสารนั้นทำด้วยเซรามิก ก็จะมีชื่อเรียกว่าเซรามิกไมโครโฟน ดังรูปที่ 2.4

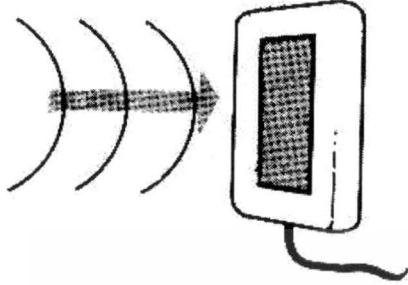


รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของไพเอโซอิเล็กทริกไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากไมโครโฟนชนิดต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้วนั้น เราอาจแบ่งไมโครโฟนตามลักษณะทางการรับเสียง ได้ดังนี้คือ

1. ไมโครโฟนชนิดรับเสียงทิศทางเดียว (Uni directional) จะรับเสียงที่ตมมาจากด้านหน้าเท่านั้น เสียงที่มาจากข้าง ๆ และข้างหลังจะถูกตัดออก หรือป้องกันการรบกวน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไมโครโฟนชนิดรับเสียงทางเดียว

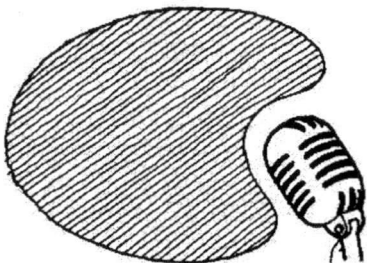
แสดงไมโครโฟนการรับเสียงทางด้านหน้า

2. ไมโครโฟนรับเสียงทุกทิศทาง (Omni directional) ไมโครโฟนจะสามารถรับเสียงจากทุกทิศทางได้ดี เสมอกันโดยตลอด ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ไมโครโฟนรับเสียงทุกทิศทาง

3. ไมโครโฟนรับเสียงเฉพาะพื้นที่ (Cardioid หมายถึงรูปร่างหัวใจ) ระบบนี้จะตัดเสียงจากทางด้านหลังได้อย่างน้อยที่สุดถึง 70% ในขณะที่รับเสียงจากทางด้านหน้าได้ด้วยเนื้อที่อันกว้างขวาง เสียงต่าง ๆ ที่มาจากด้านหน้า  $120^{\circ}$  -  $180^{\circ}$  จากจุดศูนย์กลางจะได้ดี ดังรูปที่ 2.7



แสดงการรับเสียงของคาร์ดิอยด์ไมโครโฟน

รูปที่ 2.7 ไมโครโฟนรับเสียงเฉพาะพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

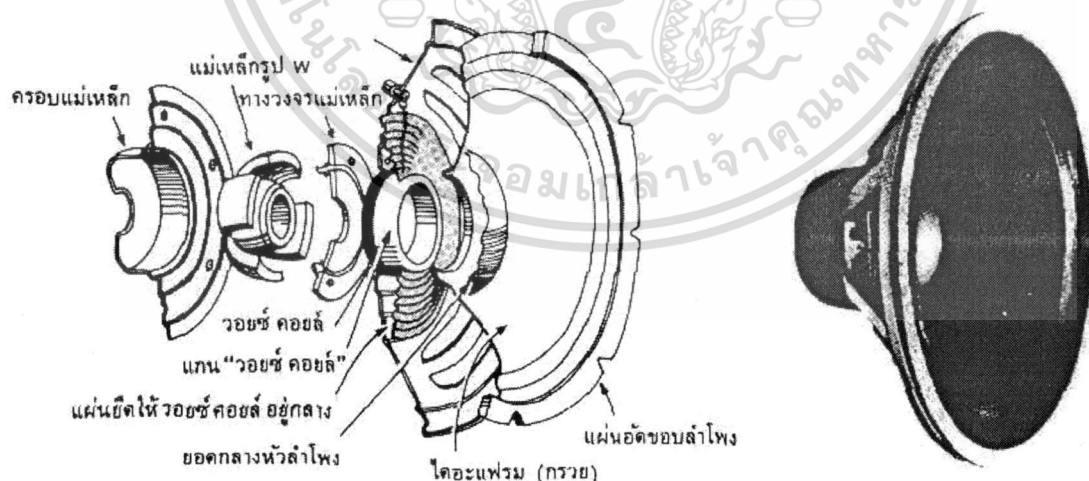
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เขียนย่อได้ว่า S/N หรือ SNR อัตราส่วนนี้จะหมายถึงความแตกต่างระหว่างระดับสัญญาณกับสัญญาณรบกวน ซึ่งสำหรับไมโครโฟนสัญญาณรบกวนมักเกิดจาก ค่าความต้านทานภายในและการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศแบบไม่มีทิศทางที่แน่นอน

## 2.2 ลำโพง (Loudspeaker)

ลำโพงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียง (Audio signal) ให้เป็นคลื่นเสียง (Sound Wave) ในการแบ่งชนิดของลำโพงสามารถแบ่งได้ดังนี้

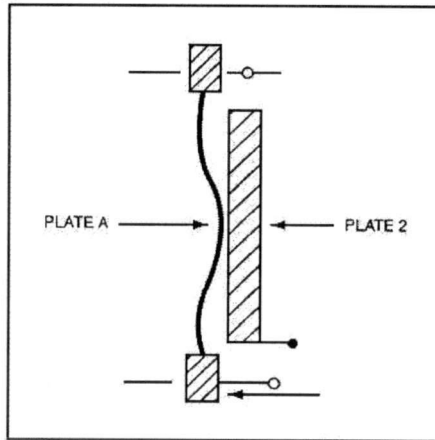
### 2.2.1 แบ่งตามลักษณะโครงสร้างในการให้เสียง ออกได้เป็น 2 ชนิด

1. ลำโพงไดนามิก (Dynamic Loudspeaker) สัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียงจะไหลเข้าไปในขดลวด (voice coil) ซึ่งติดอยู่ที่ก้านกรวยกระดาษ(diaphragm) ทำให้เกิดการสั่น ทำให้เกิดคลื่นเสียง ดังรูป 2.9
2. ลำโพงอิเล็กโทรสแตติกส์ (Electrostatic Loudspeaker) ไดอะแฟรมของลำโพงจะผลิตขึ้นจากแผ่นฟิล์มบาง ๆ ถูกยึดติดอยู่กับที่ส่วนเพลทอีกแผ่น ที่มีขนาดหนากว่าอยู่เบื้องหลัง ตั้งเอาไว้ใกล้ชิดกัน ดังรูป 2.10 โดยมีไฟ DC-voltage บ้อนเข้าไปในลำโพง เพื่อทำให้เกิดสภาพบวกและลบ (polarizing) ปฏิกริยานี้จะกระทำในระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียง ซึ่งเป็น AC-Voltage บ้อนเข้ามา ไดอะแฟรมก็จะสั่นเข้าออกตามการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ ทำให้เกิดคลื่นเสียงออกมา



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของลำโพงไดนามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลักษณะโครงสร้างลำโพงแผ่นฟิล์ม

รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของลำโพงอิเล็กทรอนิกส์

### 2.2.2 แบ่งตามช่วงความถี่ของเสียง แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด

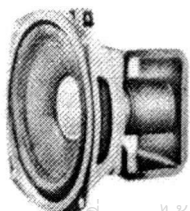
เนื่องจากหูของคนปกติจะได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 20 - 20,000 Hz ดังนั้นลำโพงที่ผลิตออกมาส่วนมากแล้ว ก็จะตอบสนองความถี่ในช่วงที่หูคนเราสามารถได้ยินเท่านั้น

2.1 ลำโพงชนิดวูฟเฟอร์ (Woofer) เป็นลำโพงขนาดใหญ่ ซึ่งมีความไวต่อการสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ 50 Hz - 3000 Hz ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของลำโพงวูฟเฟอร์

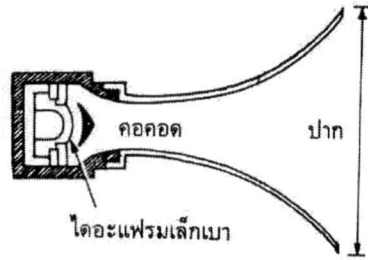
2.2 ลำโพงมิดเรนจ์ (Mid range) เป็นลำโพงซึ่งสามารถตอบสนองต่อการให้เสียงที่มีความถี่ในช่วงกลาง ๆ ของความถี่เสียง คือ 500 Hz - 8,000 Hz ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของลำโพงมิดเรนจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลำโพงทวีตเตอร์ (tweeter) เป็นลำโพงที่ให้เสียงแหลม ตอบสนองคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงได้ดี คือ 3000 Hz ขึ้นไปจนถึง 20,000 Hz ดังรูป 2.13

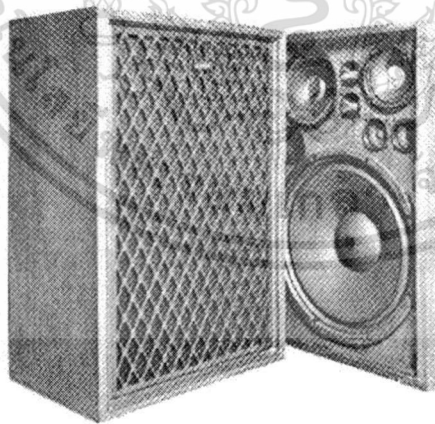


รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของลำโพงทวีตเตอร์

### 2.2.3 แบ่งตามลักษณะการใช้งาน แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1. ลำโพงใช้ภายในอาคาร (indoor speaker) ส่วนมากนิยมใช้ลำโพงกระดาษ เพราะให้เสียงนุ่มนวลชัดเจน ผู้ฟังที่อยู่ชิดลำโพงและผู้ฟังที่อยู่ภายในห้องทุกคน จะได้ยินเสียงชัดเจนโดยไม่รำคาญ ส่วนตู้ลำโพงจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามการติดตั้งดังนี้

- **ลำโพงตู้ตั้งโต๊ะ** อาจมีลำโพงภายในตู้ตัวเดียวหรือหลายตัวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการด้านคุณภาพเสียง ดังรูป 2.14

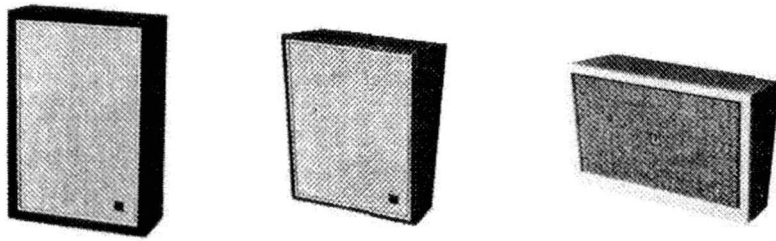


แสดงลักษณะลำโพงตู้ตั้งโต๊ะ

รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะลำโพงตู้ตั้งโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ลำโพงตู้ติดฝา** เป็นลำโพงตู้ที่ทำรูปร่างให้เหมาะสมกับการติดข้างฝา ดังรูป 2.15



แสดงลักษณะลำโพงติดฝา

รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของลำโพงตู้ติดฝา

- **ลำโพงติดเพดาน** เป็นลำโพงที่สร้างให้เหมาะสำหรับการส่งเสียงจากระดับเหนือศีรษะ โดยการติดตั้งตามเพดานห้องประชุมและห้องเรียน ดังรูป 2.16



แสดงลักษณะลำโพงติดเพดาน

รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของลำโพงติดเพดาน

2. ลำโพงใช้กลางแจ้ง (out door speaker) มักเป็นลำโพงที่แผ่นสั่นเป็นพวกโลหะหรือไฟเบอร์ เพื่อให้ความคมชัดของเสียงสูง จึงทำให้คนที่อยู่ใกล้ลำโพงจะรู้สึกรำคาญเสียงที่ออกจากลำโพง แต่ผู้ที่อยู่ไกลจากลำโพงจะฟังเสียงได้ชัดเจนดี การติดตั้งลำโพงประเภทนี้จึงต้องติดตั้งให้ห่างคนฟังพอสมควร เพื่อไม่ให้คนที่อยู่ใกล้ลำโพงรำคาญ ยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิด

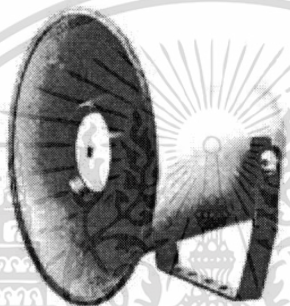
- **ลำโพงปากแตร (horn)** ใช้หลักการสั่นสะเทือนเช่นเดียวกับลำโพงทั่วไป แต่ใช้แผ่นสั่นเป็นโลหะหรือไฟเบอร์ ทำให้มีความทนทานต่อการใช้งานหนักได้ดี และสามารถบังคับทิศทางของการเปล่งเสียงแหลมได้ดี จึงเป็นลำโพงที่ใช้ระบบเสียงกลางแจ้งได้ดี ดังรูป 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



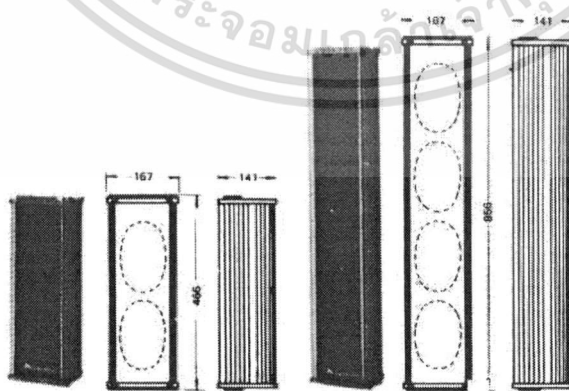
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของลำโพงปากแตร

- ลำโพงแตรปากกว้าง (wide horn speakers) หมายถึงลำโพงปากแตรชนิดที่ให้เสียงที่พิเศษกว่าปากแตรธรรมดา เช่น อาจจะสามารถเปล่งเสียงทุ้มได้มากกว่าลำโพงปากแตรธรรมดา ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของลำโพงแตรปากกว้าง

3. ลำโพงภายนอกและภายในอาคาร คือลำโพงที่สามารถติดตั้งได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร แต่ไม่ได้สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพเป็นเยี่ยม แต่มีประสิทธิภาพเพียงกลาง ๆ ใช้ได้ทั้งภายในและนอกอาคาร (ภายนอกอาคารใช้ชั่วคราว และไม่ทนแดดทนฝนเหมือนลำโพงปากแตร) ลำโพงชนิดนี้เราเรียกลำโพงคอลัมน์ (column speaker) ดังรูป 2.19



แสดงลักษณะลำโพงคอลัมน์

รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของลำโพงแบบคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของลำโพง

### ผลตอบสนองเชิงความถี่

ผลตอบสนองเชิงความถี่คือ ช่วงความถี่เสียงที่ทำให้เสียงที่ออกจากลำโพงมีความถูกต้อง เช่น สัญญาณต้นแบบทำการวัดโดยปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุท โดยกำหนดขนาดของสัญญาณคงที่และปรับค่าความถี่จาก 20 - 20,000 Hz หากสัญญาณเสียงที่ได้มีขนาดคงที่ทุกย่านความถี่ทางอินพุทเรียกว่า มีผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ราบเรียบ (flat) และเขียนบอกกำกับไว้ว่า 20 Hz → 20kHz ± 0 dB เป็นต้น

### ความไว (Sensitivity)

เป็นการวัดระดับเสียงจากลำโพงเมื่อป้อนกำลังงานไฟฟ้าคงที่แก่ลำโพง โดยทำการป้อนสัญญาณขนาดคงที่ทั้งในแง่ความถี่และแอมพลิจูด ระดับเสียงของลำโพงจะถูกวัดที่ระยะห่างจากปากลำโพงออกไปในระนาบหนึ่ง ๆ (มักกำหนดที่ระยะ 1 เมตร) การบ่งบอกค่าความไวนี้เป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของลำโพงโดยตรง

### แดมปีง (Damping)

กรวยลำโพงจะเคลื่อนที่ตามรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าทางอินพุท หากกรวยลำโพงยังคงกระเพื่อมต่อไป ทั้ง ๆ ที่สัญญาณทางอินพุทหายไปแล้ว ย่อมทำให้เสียงที่ได้จากลำโพงผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง จึงต้องมีการหน่วงการเคลื่อนที่เรียกขบวนการนี้ว่า แดมปีง (Damping) โดยขึ้นกับ

- ชนิดของสารที่ใช้ทำกรวย
- น้ำหนักของแม่เหล็ก
- ตัวจับโครงหลักของกรวยกระดาดเข้ากับโครงหลักของลำโพง

### ความเพี้ยนของเสียง

เสียงใด ๆ ที่ได้ยินหากไม่ตรงกับสัญญาณต้นแบบเรียกว่า มีความผิดเพี้ยนทั้งสิ้น ลำโพงก็เป็นอุปกรณ์ที่ให้เสียงผิดเพี้ยนได้เสมอ รูปแบบความผิดเพี้ยนของเสียงจากลำโพงมีดังนี้

1. ความเพี้ยนเชิง Harmonic และ Intermodulation เกิดจากความที่แปลกลบวมที่เกิดขึ้น ทั้ง ๆ ที่ไม่มีความถี่เหล่านี้ทางอินพุท สาเหตุเกิดจากองค์ประกอบภายในลำโพงไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะในกรณีขับลำโพงด้วยสัญญาณไฟฟ้าขนาดใหญ่
2. นอยส์ (Noise) เป็นเสียงแบบสั้นกระแทกจากลำโพง เนื่องจากอุปกรณ์ในลำโพงเสียหายหรือเกิดจากการสั่นของตู้ลำโพงก็ได้
3. ผลตอบชั่วคราว (Transient Response) เป็นลักษณะของการหน่วงเวลาจากการที่กรวยลำโพงเริ่มต้นทำงานจากจุดหยุดนิ่งไปถึงจุดสั่น โดยการป้อนห้วงสัญญาณกระชาก ซึ่งผลการตอบสนองของลำโพงขึ้นกับหลาย ๆ องค์ประกอบ เช่น ค่าความแข็งของกรวยลำโพง ซึ่งกรวยลำโพงที่แข็งจะหน่วงเวลาการเคลื่อนที่ของมันเอง ทำให้มีผลตอบสนองที่ช้า

4. การขลิบสัญญาณ (Clipping) เกิดขึ้นเมื่อกรวยลำโพงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วเท่าที่ต้องการขณะป้อนสัญญาณไฟฟ้า ทำให้เสียงที่ได้ออกมาเกิดการแตกพร่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ทฤษฎี

แหล่งกำเนิดเสียงที่จุด O ตั้งอยู่ห่างจากจุดวัดเสียงตัวหนึ่งที่ตำแหน่ง N เป็นระยะ S โดยมี M และ N เป็นจุดวัดเสียงแบบคู่ ที่วางห่างกันเป็นระยะ b (ดังรูปที่ 3.1) จะทำให้สัญญาณเสียงที่จุดวัดเสียง M และ N มีค่ามุมเฟส (Phase angle) ต่างกัน  $\phi$  ดังนี้

$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} \quad \dots\dots (1)$$

ในที่นี้  $\Delta$  เป็นค่า The extra path length  
 $\lambda$  เป็นค่าความยาวของคลื่นเสียง

เมื่อพิจารณาสัญญาณเสียงที่วัดได้จากจุดวัดเสียงเป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า ( V ) จะทำให้ผลรวมของสัญญาณเสียงจากจุดวัดเสียง M และ N มีค่าเป็น

$$\tilde{V}_{sum} = V_r + V_r \angle \phi \quad \dots\dots (2)$$

ในที่นี้  $\tilde{V}_{sum}$  เป็นค่าผลรวมของสัญญาณเสียงแบบ phasor ในรูปของ polar  
 $V_r$  เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของคลื่นเสียงที่จุด M  
 $\angle \phi$  เป็นค่ามุมเฟสที่เกิดขึ้นระหว่างจุด M และ N

เพื่อให้เกิดรูปสมการที่ใช้งานได้ จะต้องหาค่า magnitude ของ  $\tilde{V}_{sum}$  โดยการแปลงสมการ (2) ให้อยู่ในรูปของ rectangular ซึ่งจะได้

$$\tilde{V}_{sum} = V_r + V_r \cos \phi + jV_r \sin \phi \quad \dots\dots (3)$$

และมีค่า conjugate เป็น  $\tilde{V}_{sum}^* = V_r + V_r \cos \phi - jV_r \sin \phi \quad \dots\dots (4)$

โดยที่ ขนาดของ  $\tilde{V}_{sum} = |\tilde{V}_{sum}| = V_{sum} = \sqrt{\tilde{V}_{sum} \times \tilde{V}_{sum}^*}$

$$= V_r \sqrt{(1 + \cos \phi)^2 - j^2 \sin^2 \phi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore V_{sum} = V_r \sqrt{2(1 + \cos \phi)} \quad \dots\dots (5)$$

ในที่นี้  $V_{sum}$  เป็นค่าผลรวมของสัญญาณเสียงที่จุดใดๆ ตามแนว PQ

เมื่อเลื่อนจุด C ไปทับจุด P ในแนวแกน PQ โดยที่เส้น OP และ PQ เป็นแนวแกนอ้างอิงที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังนั้น จะทำให้ได้ค่ามุมเฟสระหว่างจุด M และ N มีค่า

$$\phi = 0 \quad \dots\dots (6)$$

แทนค่าจากสมการ (6) ลงใน สมการ (5) จะได้ค่า  $V_{sum}$  ที่จุด P ดังนี้

$$V_{sum \text{ at } P} = V_{max} = 2V_r \quad \dots\dots (7)$$

หารสมการ (5) ด้วย สมการ (7) จะได้

$$\frac{V_{sum}}{V_{max}} = \sqrt{\frac{(1 + \cos \phi)}{2}} \quad \dots\dots (8)$$

เพื่อกระบวนการวัดที่ชัดเจน จึงต้องพิจารณาค่า  $\frac{V_{sum}}{V_{max}}$  ให้มีค่าน้อยที่สุด ภายใต้ค่า  $\cos \phi$  ที่เป็น + ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยพบว่าค่าที่เหมาะสมคือ

$$\cos \phi = 0 \rightarrow \phi = \frac{\pi}{2} \text{ radians} = 90 \text{ deg} \quad \dots\dots (9)$$

ดังนั้นจะได้ 
$$\frac{V_{sum}}{V_{max}} \cong 0.7 \quad \dots\dots (10)$$

เนื่องจาก  $\Delta MNT$  คล้ายสามเหลี่ยมมุมฉาก ทำให้ได้

$$\cos \theta \approx \frac{\Delta}{b} \quad \dots\dots (11)$$

เมื่อหารสมการ (11) ด้วย สมการ (1) แล้ว แทนค่า  $\phi$  จากสมการ (9) จะได้

$$\cos \theta = \frac{\lambda}{4b} \quad \dots\dots (12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่  $v = f\lambda \rightarrow \lambda = \frac{v}{f}$  นำไปแทนค่าในสมการ (12) จะได้

$$\cos\theta = \frac{v}{4bf} \quad \dots (13)$$

หรือ 
$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{v}{4 \times f \times b}\right) \quad \dots (14)$$

จะพบว่า สมการที่ (14) จะเป็นจริง ก็ต่อเมื่อ 
$$b \geq \frac{v}{4f} \quad \dots (15)$$

ทำให้ ได้ค่า The separation cutoff ของตัววัดเสียงแบบคู่ มีค่า

$$b_{cutoff} = \frac{v}{4f} = \frac{\lambda}{4} \quad \dots (16)$$

โดยมี 
$$v = (331.4 + 0.606 \times T) \quad \dots (17)$$

ในที่นี้  $v$  เป็นค่าความเร็วของเสียง ( $m/s$ ) ในอากาศที่อุณหภูมิ  $T$  ( $^{\circ}C$ )  
 $f$  เป็นค่าความถี่ของคลื่นเสียง ( $Hz$ )

และจาก  $\Delta$ มุมจาก OPN จะให้

$$S = \frac{Z}{\cos\theta} \quad \dots (18)$$

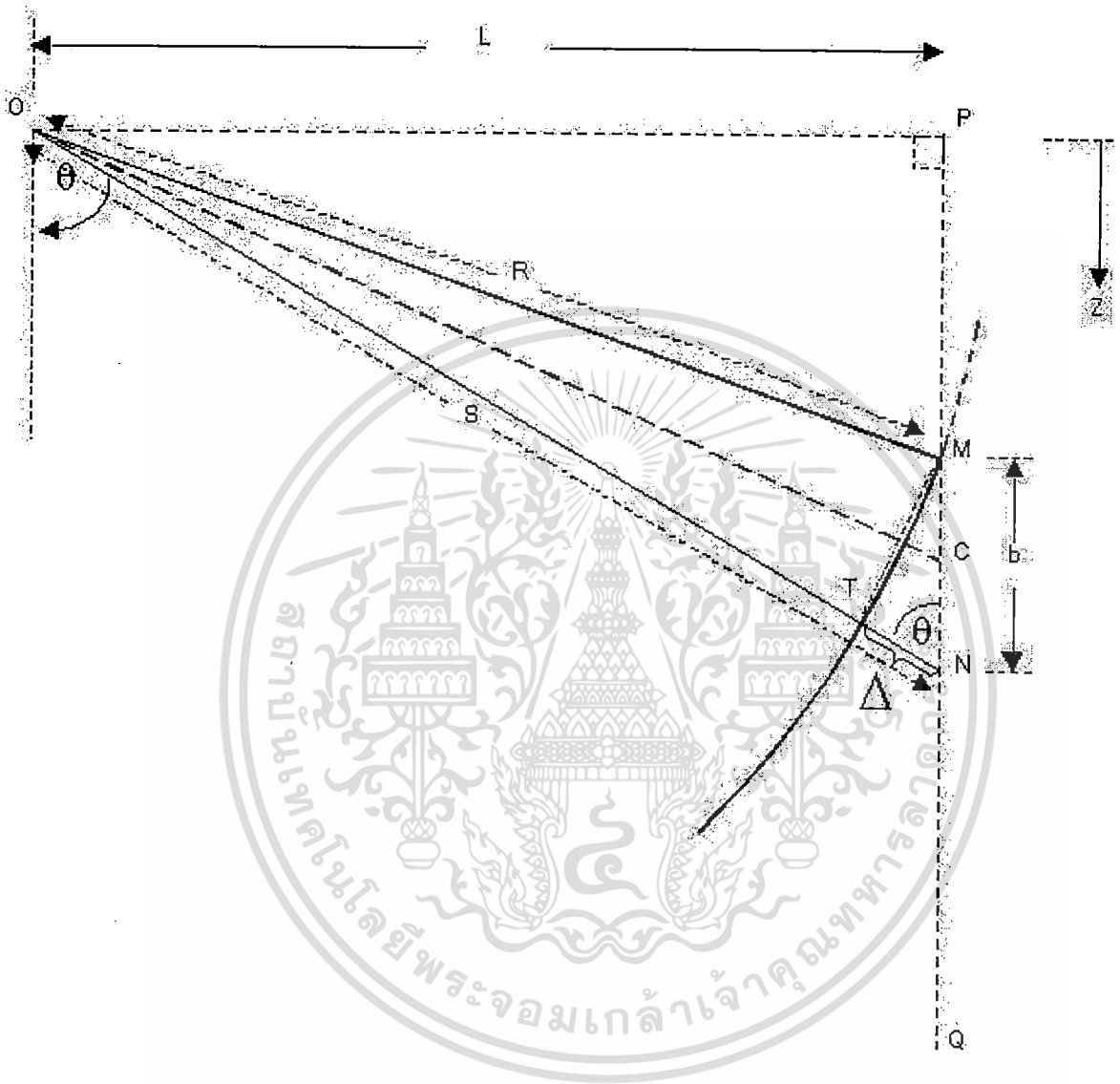
แทนค่า  $\cos\theta$  จาก สมการ (13) ลงใน สมการ (18) จะได้

$$S = \frac{4 \times f \times b \times Z}{v} \quad \dots (19)$$

ในที่นี้  
 ระยะ ON =  $S$  (m)  
 ระยะ PN =  $Z$  (m)

ในที่สุด ค่ามุม  $\theta$  (radians) จาก สมการ (14) จะเป็นตัวบอกทิศทางไปสู่แหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งอยู่ห่างจากจุดวัดเสียงด้วยระยะ  $S$  (m) ที่หาได้จาก สมการ (19) ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงและจุดวัดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การดำเนินการทดลอง

#### 4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

ในกรณีนี้ แหล่งกำเนิดเสียงถูกกำหนดให้เป็นแบบ ความถี่เดี่ยวชนิดจุด (A single-frequency point source) ซึ่งประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วนดังนี้

1. ลำโพงแบบมิดเรนจ์ (Midrange) 8 โอห์ม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน :  $109.4 \pm 0.4$  มิลลิเมตร และมีช่วงความถี่ใช้งาน (Frequency range) : 400 – 5,000 Hz
2. ตัวขยายกำลังเสียง (Audio power amplifier)
3. ตัวผลิตสัญญาณความถี่ (Function generator)

ส่วนตัววัดสัญญาณเสียงที่ใช้ เป็น ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ (Condenser microphone) ที่มีการตอบสนองแบบทุกทิศทาง (Omnidirectional response) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง :  $10 \pm 0.4$  มิลลิเมตร และมีช่วงตอบสนองความถี่ (Frequency response) : 100 – 15,000 Hz โดยมีวงจรมีพรีแอมป์ (Preamplifier) เพื่อขยายสัญญาณ จากไมโครโฟนสู่ภาคแสดงผล ซึ่งในที่นี้คือ ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) แบบ BW : 40 MHz ชนิด 2 ช่องสัญญาณ

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อใช้ในการทดลอง ดังนี้คือ

1. แท่น Optical bench เพื่อหาตำแหน่งและระยะที่เลื่อนไปของไมโครโฟน
2. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) เพื่อวัดอุณหภูมิ  $^{\circ}C$
3. มิเตอร์วัดระดับเสียง (Sound level meter)
4. สายวัดขนาดความยาว 20 เมตร
5. ไหมโปรแทรกเตอร์ (Protractor) สำหรับวัดมุม
6. เครื่องคิดเลข และ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

และหลังจากนี้ จะเป็นเรื่องของการเตรียมงานเพื่อไปสู่การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

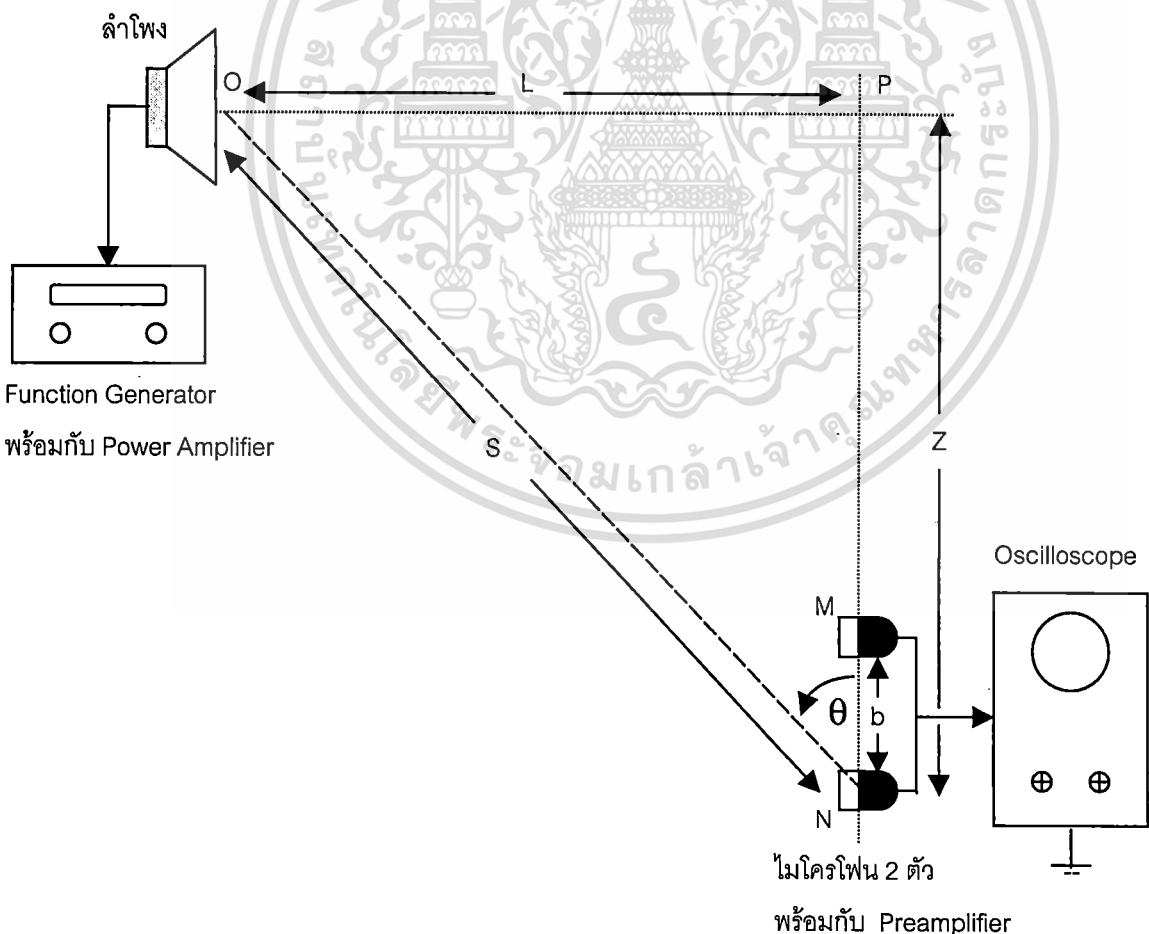
## 4.2 แผนการทดลอง

หลังจากเตรียมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองเรียบร้อยแล้ว ก็นำอุปกรณ์เหล่านี้ไปตั้งไว้ในห้องโล่งที่จะใช้ในการทดลอง ซึ่งมีขนาดห้องไม่น้อยกว่า  $8 \times 10 \times 2.5$  (กว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง :  $m^3$ ) โดยวางอุปกรณ์ไว้ในตำแหน่งที่แสดงไว้ใน รูปที่ 3.1 จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องทดลองตลอดการทดลอง ซึ่งได้ ประมาณ  $30\text{ }^{\circ}C$

ดังนั้นความเร็วของเสียงในการทดลอง ซึ่งหาได้จาก สมการ (17) จะมีค่า

$$v = (331.4 + 0.606 \times 30) = 349.58 \text{ (m/s)}$$

ขั้นต่อไปจะเป็นการหา ทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียง ( $\theta$ ) และ ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับจุดวัดเสียง ( $S$ ) ด้วยวิธีการรวมกันของสัญญาณเสียง ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้ (ดู รูปที่ 4.1 ประกอบ)



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อวัดสัญญาณเสียงรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองจะดำเนินไปได้จะต้องเริ่มต้นด้วย การเปิดสวิตช์ไฟของทุกอุปกรณ์ จากนั้นทำให้แหล่งกำเนิดเสียง เปล่งเสียงออกมาตามความถี่ ( $f$ ) ที่ต้องการ โดยการตั้งค่าได้จาก Function generator และปรับเสียงที่ได้ยินให้อยู่ที่ค่าประมาณ 75 dB(A) (คิดที่ A-weighting เพราะว่าตรงกับกรตอบสนองการได้ยินของมนุษย์มากที่สุด) ซึ่งวัดเสียงนี้ด้วยมิเตอร์วัดระดับเสียง ณ จุดวัดเสียงนั้น และได้ค่า Surrounding noise ประมาณ 50 dB(A)

จากนี้ก็กำหนดค่าความถี่ที่จะใช้ทดลอง โดยเลือกค่า 1,500 2,500 3,500 4,000 4,500 และ 5,000 Hz ที่เลือกเช่นนี้ก็เพราะว่าต้องการจะลดเสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อม (Surrounding noise) ในย่านความถี่ต่ำในห้องทดลองที่คิดให้เป็น ห้องในสภาพเปิด (Open enclosure)

สำหรับไมโครโฟน 2 ตัวที่ใช้ ต้องมีคุณสมบัติเหมือนกัน (Identical) และได้รับการปรับแต่งวงจรปรีแอมป์ เพื่อให้ได้ค่า Output voltage ของทั้งสองตัวเท่ากัน ณ ที่ตำแหน่งวัดเดียวกัน จากนั้นนำมาวางไว้ที่จุด M และ N ในแนว PQ โดยให้อยู่ห่างกันเป็นระยะ  $b$  ซึ่งค่าของ  $b$  ที่ใช้ในการทดลองจะต้องเป็นไปตามสมการที่ (16) ดังค่าที่ได้แสดงในตารางต่อไปนี้

$f$ (Hz)	$\lambda$ (cm)	$b_{cutoff} = \lambda/4$ (cm)
1,500	23.3	5.8
2,500	14.0	3.5
3,500	10.0	2.5
4,000	8.7	2.2
4,500	7.8	2.0
5,000	7.0	1.8

กล่าวคือ ค่า  $b$  ที่เลือกใช้จะต้องมีค่ามากกว่าค่า  $b_{cutoff}$  ของทุกความถี่ ดังนั้นจึงกำหนดให้มีค่า

$$b = 10, 20, 30 \text{ และ } 40 \text{ เซนติเมตร}$$

นอกจากนี้ ได้กำหนดค่า  $L$  ให้เป็นไปตามระยะของ อาณาเขตที่อยู่ไกล (Far field) ซึ่งมีเงื่อนไขเป็น

$$\frac{2\pi fa}{v} \gg 1 \quad \dots\dots (20)$$

และ  $L \geq 5b_{max} \quad \dots\dots (21)$

ในที่นี้  $a$  คือคาร์ซีของตัวลำโพง ( $\cong 5.5$  cm)

$b_{max}$  คือค่า  $b$  สูงสุดที่ใช้ทดลอง (= 40 cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ที่ทุกค่าความถี่ที่ใช้ทดลอง จะสอดคล้องกับเงื่อนไขของสมการที่ (20) ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมในการทดลอง และให้สอดคล้องกับสมการที่ (21) ก็จะทำให้ได้  $L = 200 \text{ cm}$  (เป็นอย่างน้อย)

### 4.3 การทดลอง

หลังจากที่ได้จัดวางอุปกรณ์ต่างๆไว้ครบถ้วนภายใต้เงื่อนไขหัวข้อที่ 4.2 แล้ว ก็เริ่มทำการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จัดให้จุดกึ่งกลาง (จุด C) ของชุดวัดเสียงแบบคู่ MN ไปทับกับจุด P โดยให้แนวของ MN อยู่ในแนวเดียวกันกับแนวของ PQ และที่ตำแหน่งนี้ กำหนดให้  $Z = 0$
2. จัดระยะห่าง  $b$  ระหว่างไมโครโฟนที่จุด M และที่จุด N โดยมีค่าเริ่มต้นที่  $10 \text{ cm}$
3. เปิดความถี่แบบ Sine wave โดยเริ่มต้นที่ค่า  $f = 1,500 \text{ Hz}$
4. วัดค่าแรงดันไฟฟ้ารวม ( $V_{sum}$ ) ที่จุด  $Z = 0$  จากออสซิลโลสโคป ซึ่งค่าที่ได้จะเป็น  $V_{max}$  ตามที่กล่าวในสมการ (7)
5. จากนั้นก็ทำการเลื่อน ชุดวัดเสียงแบบคู่ MN ไปตามแนว PQ เป็นระยะ  $Z \text{ (cm)}$  จนกระทั่งได้ค่าแรงดันไฟฟ้ารวม  $V_{sum} = 0.7V_{max}$  จากออสซิลโลสโคป ตามที่กล่าวในสมการ (10)
6. แล้ววัดค่ามุม  $\theta$  (deg) ที่ตำแหน่ง  $Z$  นี้ด้วย { จะเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง  $\rightarrow \theta_{Experiment}$  }
7. คำนวณค่า  $\theta$  จากสมการที่ (14) จะได้หน่วยเป็น radians แล้วคูณด้วย  $\left(\frac{180}{\pi}\right)$  ก็จะเปลี่ยนไปเป็นหน่วย (deg) { จะเป็นค่าที่ได้จากทฤษฎี  $\rightarrow \theta_{Theory}$  }
8. คำนวณค่าความผิดพลาด (%Error) ของ  $\theta_{Experiment}$  หาได้จากสูตร

$$\% \theta = \frac{|\theta_{Theory} - \theta_{Experiment}|}{\theta_{Theory}} \times 100 \% \quad \dots\dots (22)$$

9. ต่อไปเป็นการวัดระยะ  $S \text{ (cm)}$  ที่ตำแหน่ง  $Z$  นี้ { จะเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง  $\rightarrow S_{Experiment}$  }

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. แล้วคำนวณค่า  $S$  (cm) จากสมการที่(19) { จะเป็นค่าที่ได้จากทฤษฎี  $\rightarrow S_{Theory}$  }

11. คำนวณค่าความผิดพลาด (%Error) ของ  $S_{Experiment}$  หาได้จากสูตร

$$\%S = \frac{|S_{Theory} - S_{Experiment}|}{S_{Theory}} \times 100 \% \quad \dots\dots (23)$$

12. จากนั้นก็เลื่อน ชุดวัดเสียงแบบคู่ MN กลับไปที่ตำแหน่ง P (คือที่  $Z = 0$ )

13. ขั้นต่อไป จะเป็นการทำการทดลองซ้ำ โดยเริ่มจากข้อ 3 ถึงข้อ 12 เพียงแต่เปลี่ยนค่าความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงไปเป็น 2,500 3,500 4,000 4,500 และ 5,000 Hz ตามลำดับ

14. และกลับไปทำการทดลองซ้ำอีก โดยเริ่มจากข้อ 2 ถึงข้อ 13 เพียงแต่เปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างไมโครโฟน ( $b$ ) ไปเป็น 20 30 และ 40 cm ตามลำดับ

15. ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ให้นำค่า  $\theta$  และ  $S$  ที่ได้จากการทดลอง มาเปรียบเทียบกับ ค่าที่ได้ทางทฤษฎี แล้วสรุปผลและวิจารณ์

ผลของการทดลองและการวิจารณ์ผล จะขอนำเสนอในบทต่อไป

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

จากกระบวนการทดลองที่ผ่านมา ในบทที่แล้ว ได้มีการกำหนดค่าใช้งานต่างๆ ดังนี้

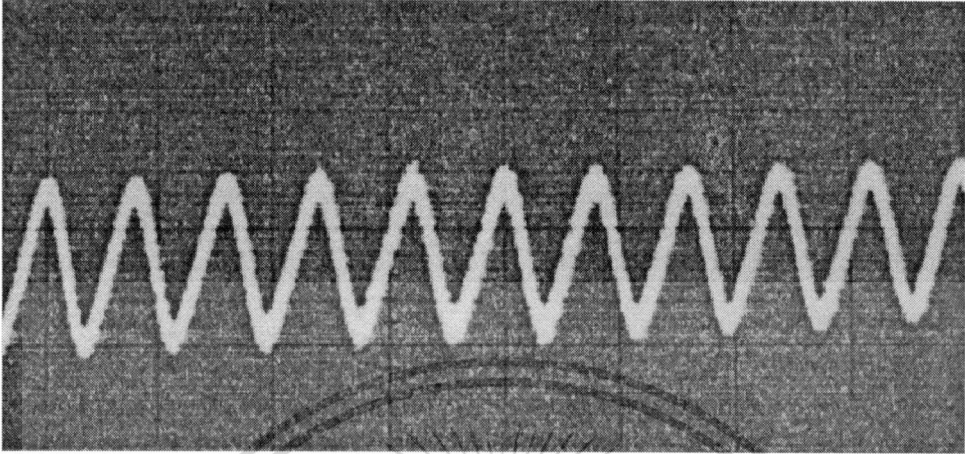
1. อุณหภูมิเฉลี่ยในการทดลอง  $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2. ระยะ  $L = 200 \text{ cm}$
3. ระดับเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงมีค่าประมาณ  $75 \text{ dB(A)}$
4. ความถี่ที่ใช้คือ  $f = 1,500 / 2,500 / 3,500 / 4,000 / 4,500$   
และ  $5,000 \text{ Hz}$

และ 5. ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนตั้งไว้ที่ค่า  $b = 10 / 20 / 30$  และ  $40 \text{ cm}$

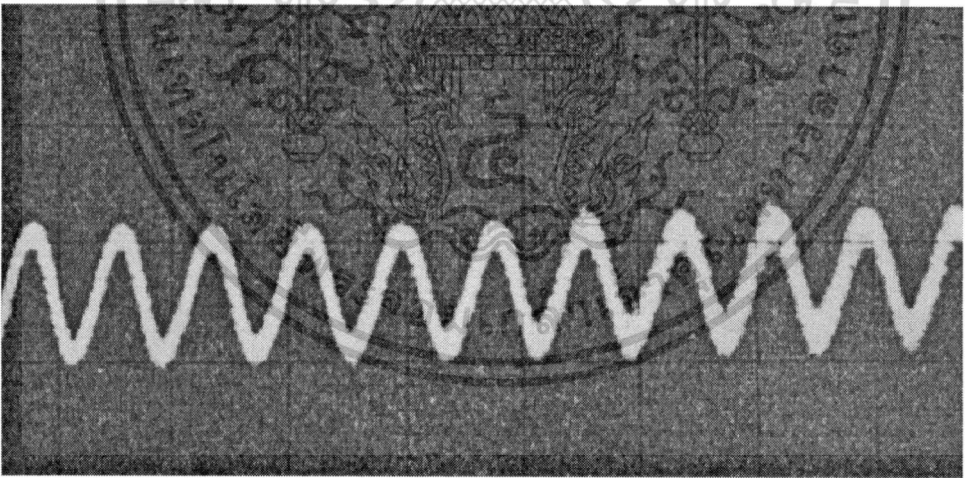
สำหรับการหาค่า  $Z$  ภายใต้เงื่อนไข  $V_{sum} = 0.7V_{max}$  ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณที่ปรากฏบนจอภาพของออสซิลโลสโคป ดังภาพถ่ายที่แสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ (5.1 ก), (5.1 ข), (5.2 ก) และ รูปที่ (5.2 ข) เป็นต้น โดยจะวัดค่า  $Z$ ,  $\theta_{Experiment}$  และ  $S_{Experiment}$  ได้

ในระหว่างการทดลองที่ผ่านมา ได้มีการบันทึกข้อมูลไว้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังต่อไปนี้

(ดูหน้าถัดถัดไป)

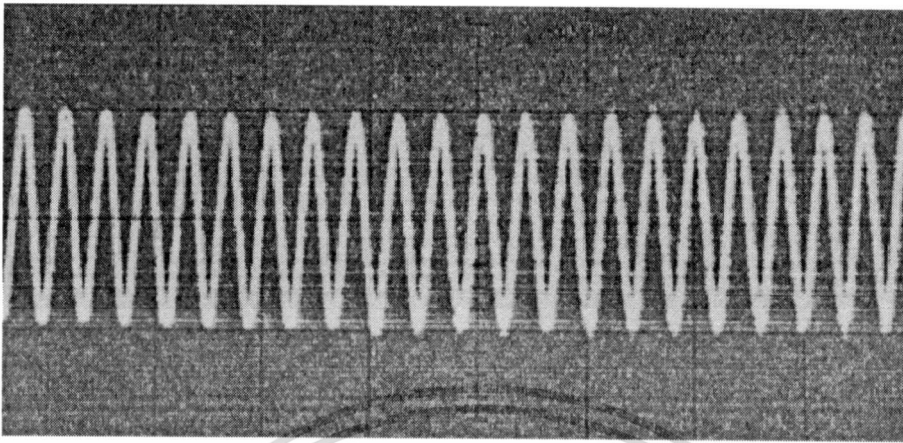


รูปที่ 5.1 ก ภาพถ่ายจาก Oscilloscope ที่แสดงสัญญาณของ  $V_{\max}$  ที่  $f = 2,500 \text{ Hz}$  เมื่อกำหนดให้  $b = 30 \text{ cm}$

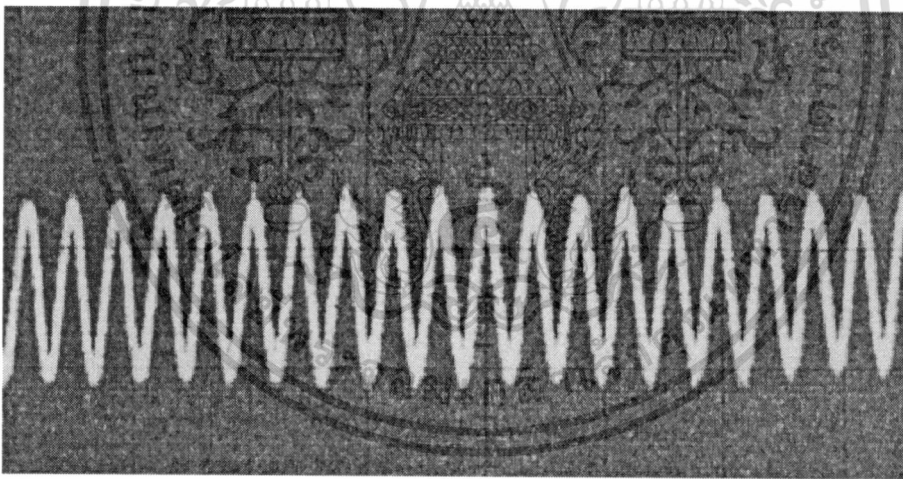


รูปที่ 5.1 ข ภาพถ่ายจาก Oscilloscope ที่แสดงสัญญาณของ  $V_{\text{sum}} = 0.7V_{\max}$  ที่  $f = 2,500 \text{ Hz}$  เมื่อกำหนดให้  $b = 30 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ก ภาพถ่ายจาก Oscilloscope ที่แสดงสัญญาณของ  $V_{\max}$  ที่  $f = 5,000 \text{ Hz}$  เมื่อกำหนดให้  $b = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.2 ข ภาพถ่ายจาก Oscilloscope ที่แสดงสัญญาณของ  $V_{\text{sum}} = 0.7V_{\max}$  ที่  $f = 5,000 \text{ Hz}$  เมื่อกำหนดให้  $b = 10 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 1 ให้ $b = 10 \text{ cm}$

ผลของการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ (5.1 ก) และ ตารางที่ (5.2 ข) โดยมี

1.  $Z$  ,  $\theta_{\text{Experiment}}$  และ  $S_{\text{Experiment}}$  มาจากการวัด
  2.  $\theta_{\text{Theory}}$  คำนวณได้จากสมการที่ (14)
  3.  $\% \theta$  คำนวณได้จากสมการที่ (22)
  4.  $S_{\text{Theory}}$  คำนวณได้จากสมการที่ (19)
- และ
5.  $\% S$  คำนวณได้จากสมการที่ (23)

$f \text{ (Hz)}$	$Z \text{ (cm)}$	$\theta_{\text{Experiment}} \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_{\text{Theory}} \text{ (}^\circ\text{)}$	$\% \theta \text{ (\%)}$
1,500	140.0	55.0	54.4	$\pm 1.1$
2,500	69.5	71.0	69.5	$\pm 2.1$
3,500	55.0	75.5	75.5	$\pm 0.1$
4,000	47.8	76.5	77.4	$\pm 1.2$
4,500	39.5	78.0	78.8	$\pm 1.0$
5,000	30.0	81.0	79.9	$\pm 1.3$

ตารางที่ 5.1 ก แสดงค่า  $\theta$  เมื่อกำหนดให้  $b = 10 \text{ cm}$

$f \text{ (Hz)}$	$Z \text{ (cm)}$	$S_{\text{Experiment}} \text{ (cm)}$	$S_{\text{Theory}} \text{ (cm)}$	$\% S \text{ (\%)}$
1,500	140.0	252.4	240.2	$\pm 5.1$
2,500	69.5	210.2	198.8	$\pm 5.8$
3,500	55.0	204.5	220.2	$\pm 7.1$
4,000	47.8	202.5	218.7	$\pm 7.4$
4,500	39.5	201.5	203.3	$\pm 0.9$
5,000	30.0	199.0	171.6	$\pm 16.0$

ตารางที่ 5.1 ข แสดงค่า  $S$  เมื่อกำหนดให้  $b = 10 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 2 ให้ $b = 20 \text{ cm}$

ผลของการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ (5.2 ก) และ ตารางที่ (5.2 ข) โดยมี

1.  $Z$  ,  $\theta_{\text{Experiment}}$  และ  $S_{\text{Experiment}}$  มาจากการวัด
  2.  $\theta_{\text{Theory}}$  คำนวณได้จากสมการที่ (14)
  3.  $\% \theta$  คำนวณได้จากสมการที่ (22)
  4.  $S_{\text{Theory}}$  คำนวณได้จากสมการที่ (19)
- และ
5.  $\% S$  คำนวณได้จากสมการที่ (23)

$f \text{ (Hz)}$	$Z \text{ (cm)}$	$\theta_{\text{Experiment}} \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_{\text{Theory}} \text{ (}^\circ\text{)}$	$\% \theta \text{ (\%)}$
1,500	58.0	76.5	73.1	$\pm 4.7$
2,500	34.0	79.0	79.9	$\pm 1.2$
3,500	24.0	83.5	82.8	$\pm 0.8$
4,000	21.0	84.0	83.7	$\pm 0.3$
4,500	18.0	84.0	84.4	$\pm 0.5$
5,000	17.0	85.0	85.0	$\pm 0.0$

ตารางที่ 5.2 ก แสดงค่า  $\theta$  เมื่อกำหนดให้  $b = 20 \text{ cm}$

$f \text{ (Hz)}$	$Z \text{ (cm)}$	$S_{\text{Experiment}} \text{ (cm)}$	$S_{\text{Theory}} \text{ (cm)}$	$\% S \text{ (\%)}$
1,500	58.0	204.0	199.1	$\pm 2.5$
2,500	34.0	199.1	194.5	$\pm 2.4$
3,500	24.0	198.0	192.2	$\pm 3.0$
4,000	21.0	197.0	192.2	$\pm 2.5$
4,500	18.0	197.0	185.3	$\pm 6.3$
5,000	17.0	197.0	194.5	$\pm 1.3$

ตารางที่ 5.2 ข แสดงค่า  $S$  เมื่อกำหนดให้  $b = 20 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตอนที่ 3 ให้ $b = 30 \text{ cm}$

ผลของการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ (5.3 ก) และ ตารางที่ (5.3 ข) โดยมี

1.  $Z$  ,  $\theta_{Experiment}$  และ  $S_{Experiment}$  มาจากการวัด
2.  $\theta_{Theory}$  คำนวณได้จากสมการที่ (14)
3.  $\% \theta$  คำนวณได้จากสมการที่ (22)
4.  $S_{Theory}$  คำนวณได้จากสมการที่ (19)
- และ 5.  $\% S$  คำนวณได้จากสมการที่ (23)

$f$ (Hz)	$Z$ (cm)	$\theta_{Experiment}$ ( $^{\circ}$ )	$\theta_{Theory}$ ( $^{\circ}$ )	$\% \theta$ (%)
1,500	38.0	82.0	78.8	$\pm 4.1$
2,500	23.0	84.5	83.3	$\pm 1.4$
3,500	16.0	86.0	85.2	$\pm 0.9$
4,000	15.0	85.0	85.8	$\pm 1.0$
4,500	13.0	86.0	86.3	$\pm 0.3$
5,000	11.0	86.0	86.7	$\pm 0.8$

ตารางที่ 5.3 ก แสดงค่า  $\theta$  เมื่อกำหนดให้  $b = 30 \text{ cm}$

$f$ (Hz)	$Z$ (cm)	$S_{Experiment}$ (cm)	$S_{Theory}$ (cm)	$\% S$ (%)
1,500	38.0	199.0	195.6	$\pm 1.7$
2,500	23.0	198.5	197.3	$\pm 0.6$
3,500	16.0	197.0	192.2	$\pm 2.5$
4,000	15.0	198.0	205.9	$\pm 3.8$
4,500	13.0	197.0	200.8	$\pm 1.9$
5,000	11.0	197.0	188.8	$\pm 4.4$

ตารางที่ 5.3 ข แสดงค่า  $S$  เมื่อกำหนดให้  $b = 30 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 4 ให้ $b = 40 \text{ cm}$

ผลของการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ (5.4 ก) และ ตารางที่ (5.4 ข) โดยมี

1.  $Z$  ,  $\theta_{\text{Experiment}}$  และ  $S_{\text{Experiment}}$  มาจากการวัด
2.  $\theta_{\text{Theory}}$  คำนวณได้จากสมการที่ (14)
3.  $\% \theta$  คำนวณได้จากสมการที่ (22)
4.  $S_{\text{Theory}}$  คำนวณได้จากสมการที่ (19)
- และ 5.  $\% S$  คำนวณได้จากสมการที่ (23)

$f \text{ (Hz)}$	$Z \text{ (cm)}$	$\theta_{\text{Experiment}} \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_{\text{Theory}} \text{ (}^\circ\text{)}$	$\% \theta \text{ (\%)}$
1,500	28.0	83.5	81.6	$\pm 2.3$
2,500	17.5	85.0	85.0	$\pm 0.0$
3,500	13.0	86.5	86.4	$\pm 0.1$
4,000	11.5	87.0	86.9	$\pm 0.2$
4,500	9.5	87.5	87.2	$\pm 0.3$
5,000	8.5	87.5	87.5	$\pm 0.0$

ตารางที่ 5.4 ก แสดงค่า  $\theta$  เมื่อกำหนดให้  $b = 40 \text{ cm}$

$f \text{ (Hz)}$	$Z \text{ (cm)}$	$S_{\text{Experiment}} \text{ (cm)}$	$S_{\text{Theory}} \text{ (cm)}$	$\% S \text{ (\%)}$
1,500	28.0	198.0	192.2	$\pm 3.0$
2,500	17.5	198.0	200.2	$\pm 1.1$
3,500	13.0	197.0	208.2	$\pm 5.4$
4,000	11.5	197.0	210.5	$\pm 6.4$
4,500	9.5	196.5	195.6	$\pm 0.4$
5,000	8.5	196.5	194.5	$\pm 1.0$

ตารางที่ 5.4 ข แสดงค่า  $S$  เมื่อกำหนดให้  $b = 40 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการทดลองที่ได้มาในบทที่ 5 สามารถนำมาวิจารณ์ได้เป็นเรื่องๆดังต่อไปนี้

#### 6.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

**ตอนที่ 1** เมื่อนำค่า  $\theta_{\text{Experiment}}$  จากตารางที่ (5.1 ก), (5.2 ก), (5.3 ก) และ ตารางที่ (5.4 ก) มาพล็อตเป็นจุด (plot a point) ตามค่าความถี่ ( $f$ ) ลงบนกราฟของ  $\theta_{\text{Theory}}$  (ซึ่งแสดงด้วยเส้น curve) ก็จะได้กราฟเป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปที่ (6.1), (6.2), (6.3) และ รูปที่ (6.4) ตามลำดับ

จากกราฟที่ได้ พบว่า

1. สำหรับในกรณีนี้ จะได้  $f_{\text{cutoff}}$  ของแต่ละค่าของ  $b$  ดังนี้

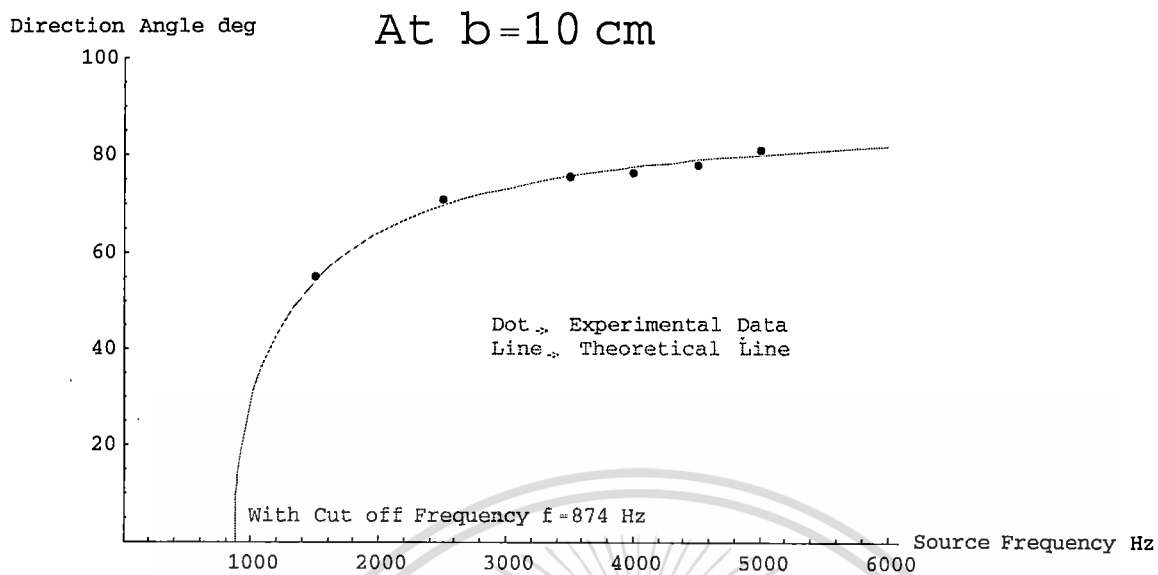
$b$ (cm)	10	20	30	40
$f_{\text{cutoff}}$ (Hz)	874	437	292	219

นั่นหมายความว่า จะนำความถี่ที่ต่ำกว่าค่า  $f_{\text{cutoff}}$  มาใช้กับการตั้งค่า  $b$  ที่ระยะดังกล่าวไม่ได้

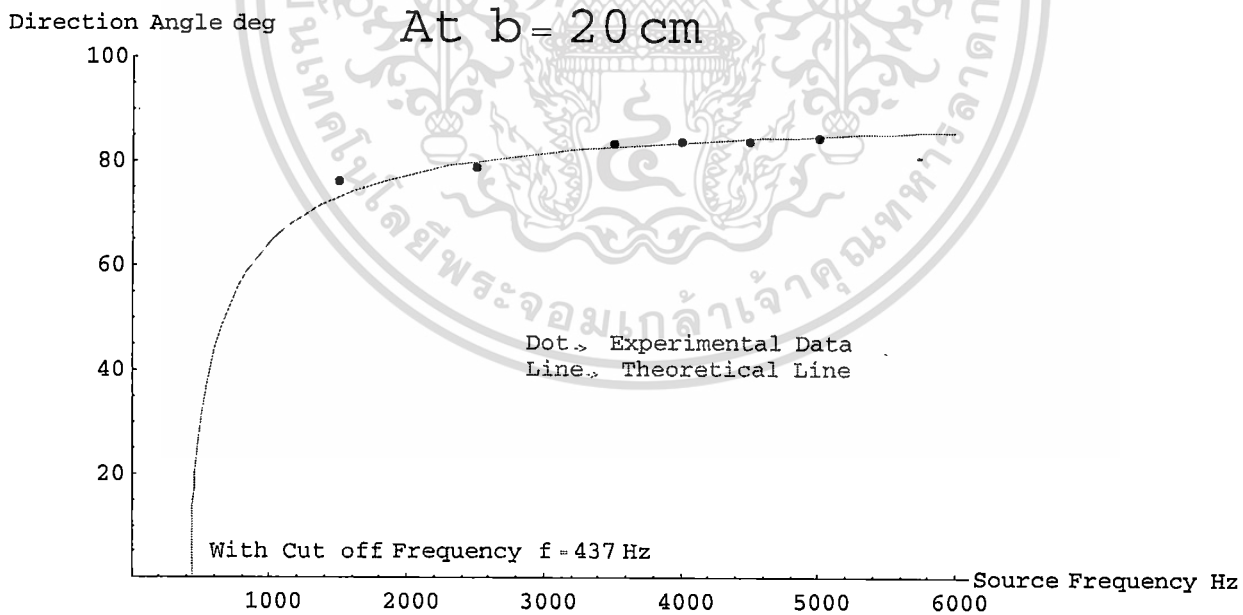
2. เนื่องจากการทดลองได้กำหนดให้ แหล่งกำเนิดเสียงอยู่ไม่ไกลนัก จึงทำให้ได้ค่ามุม  $\theta_{\text{Experiment}} > 75^\circ$  ที่ระยะ  $b \geq \lambda$
3. แต่ที่ระยะ  $b \geq 2\lambda$  จะทำให้ได้ค่า  $\theta_{\text{Experiment}}$  ใกล้เคียงกันในทุกค่าความถี่ ( $f$ ) ที่ใช้ในการวัด โดยมีค่าเฉลี่ยของ  $\theta_{\text{Experiment}}$  อยู่ที่  $\approx 86^\circ$  และค่าความผิดพลาดอยู่ที่  $\pm 0.5\%$  เมื่อคิดค่าระยะ  $b = 40$  cm

นอกจากนี้ ยังพบว่า ผลการทดลองที่ได้ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี ซึ่งให้ค่า  $\% \theta < \pm 5.0\%$  ในทุกระยะ  $b > b_{\text{cutoff}}$  เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

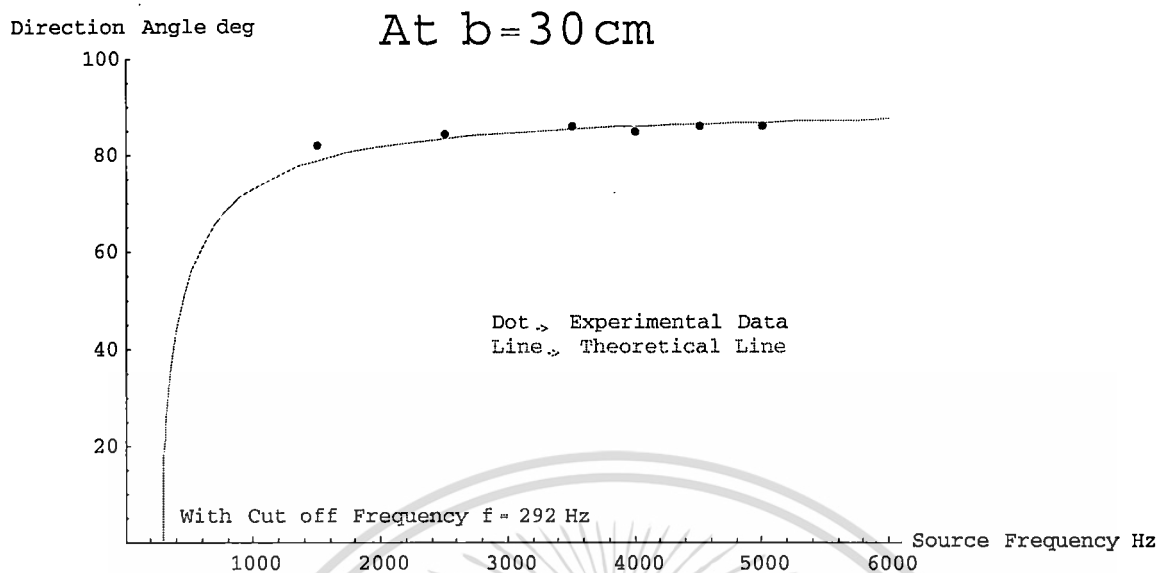


รูปที่ 6.1 แสดงผลของ  $\theta_{Experiment}$  vs.  $f$  ที่ค่า  $b=10\text{ cm}$

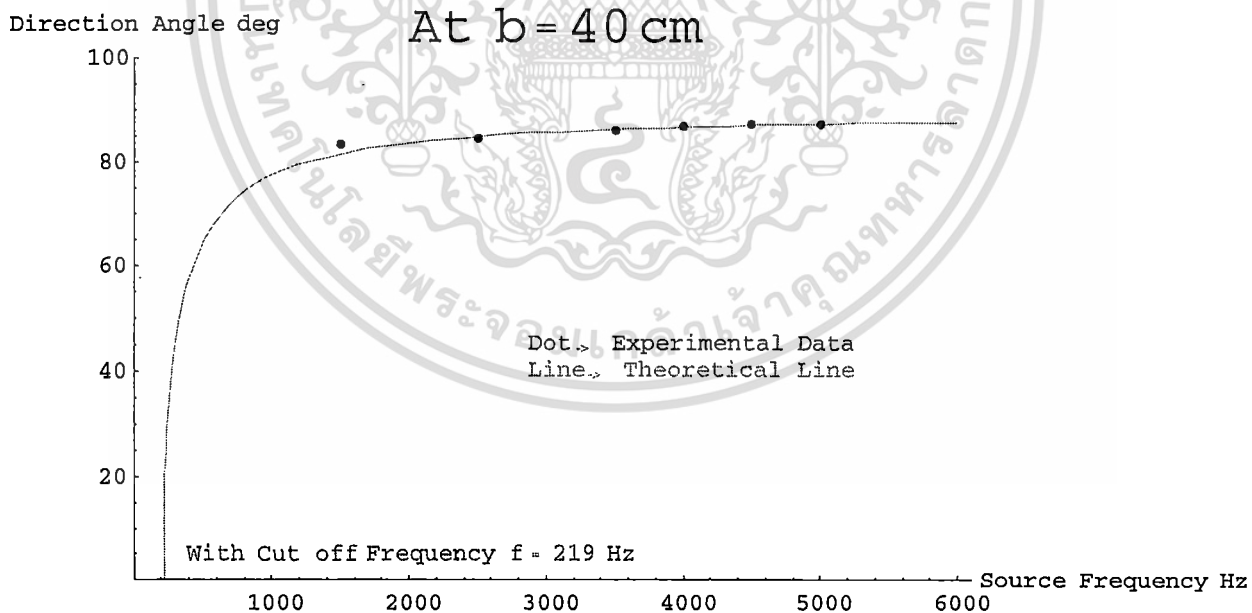


รูปที่ 6.2 แสดงผลของ  $\theta_{Experiment}$  vs.  $f$  ที่ค่า  $b=20\text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดงผลของ  $\theta_{\text{Experiment}}$  vs.  $f$  ที่ค่า  $b = 30 \text{ cm}$



รูปที่ 6.4 แสดงผลของ  $\theta_{\text{Experiment}}$  vs.  $f$  ที่ค่า  $b = 40 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 2** ในทำนองเดียวกัน เมื่อนำค่า  $S_{Experiment}$  จากตารางที่ (5.1 ข), (5.2 ข), (5.3 ข) และ ตารางที่ (5.4 ข) มาพล็อตเป็นจุด (plot a point) ตามค่าความถี่ ( $f$ ) ลงบนกราฟของ  $S_{Theory}$  ในแต่ละค่า  $Z$  ที่วัดได้ (ซึ่งแสดงด้วยเส้น line) ก็จะได้กราฟเป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปที่ (6.5), (6.6), (6.7) และ รูปที่ (6.8) ตามลำดับ

จากกราฟที่ได้พบว่า

1. เมื่อระยะ  $b$  เพิ่มขึ้น เส้น line ของ  $Z$  ที่คงที่ค่าหนึ่ง จะมีมุมยกของ line สูงขึ้น นั่นหมายความว่า เราสามารถวัดค่า ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดเสียงกับจุดวัดเสียง:  $S$  ได้ด้วยค่าความถี่ในย่าน ความถี่ต่ำของ bandwidth ของแหล่งกำเนิดเสียงที่พิจารณา
2. ถ้าความถี่  $f$  ในการวัดคงที่ ในขณะที่เพิ่มระยะ  $b$  ก็จะได้ระยะ  $Z$  ลดลง เมื่อใช้วัดค่า ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดเสียงกับจุดวัดเสียง:  $S$  ที่คงที่แห่งหนึ่ง
3. ที่ระยะ  $b$  คงที่ใดๆค่าหนึ่ง เมื่อเพิ่มค่าความถี่  $f$  ของการวัด จะทำให้ได้ค่าระยะ  $Z$  ลดลง โดยค่าของการวัดที่  $V_{sum} = 0.7V_{max}$

นอกจากนี้ ยังได้พบว่า ผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีมากยิ่งขึ้น เมื่อระยะ  $b$  มีค่าเพิ่มขึ้น กล่าวคือ จำนวนข้อมูลที่มีค่า  $\%S$  เข้าใกล้  $\pm 1.0\%$  มีจำนวนมากขึ้น ในขณะที่ระยะ  $b$  เพิ่มขึ้น เป็นต้น

อีกประการหนึ่ง เมื่อพิจารณา ค่าของ  $\theta_{Experiment}$  และ  $S_{Experiment}$  ที่ได้ ก็จะพบว่า ที่ระยะ  $b \geq 2\lambda$  จะให้ค่า  $\theta_{Experiment}$  ของทุกความถี่ ( $f$ ) ที่ใช้ในการวัด เข้าไปสู่ค่าที่แท้จริงเพียงค่าเดียว และในทำนองเดียวกัน ก็จะให้ค่า  $S_{Experiment}$  ของทุกความถี่ ( $f$ ) ที่ใช้ในการวัด เข้าไปสู่ค่าที่แท้จริงเพียงค่าเดียว เช่นกัน โดยตัวที่บอกถึงการเข้าไปสู่ค่าที่แท้จริงนั้นคือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบสุ่มตัวอย่าง ( Sample Standard Deviation :  $\sigma_s$  ) ซึ่งมีสูตรเป็นดังนี้

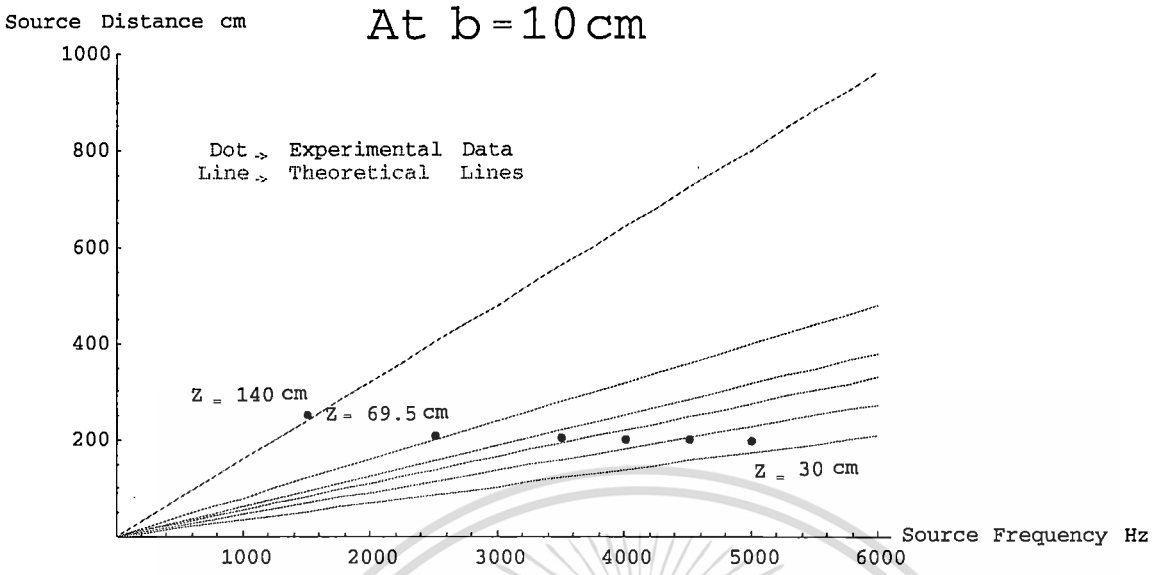
$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad \dots\dots (24)$$

โดยที่ 
$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \dots\dots (25)$$

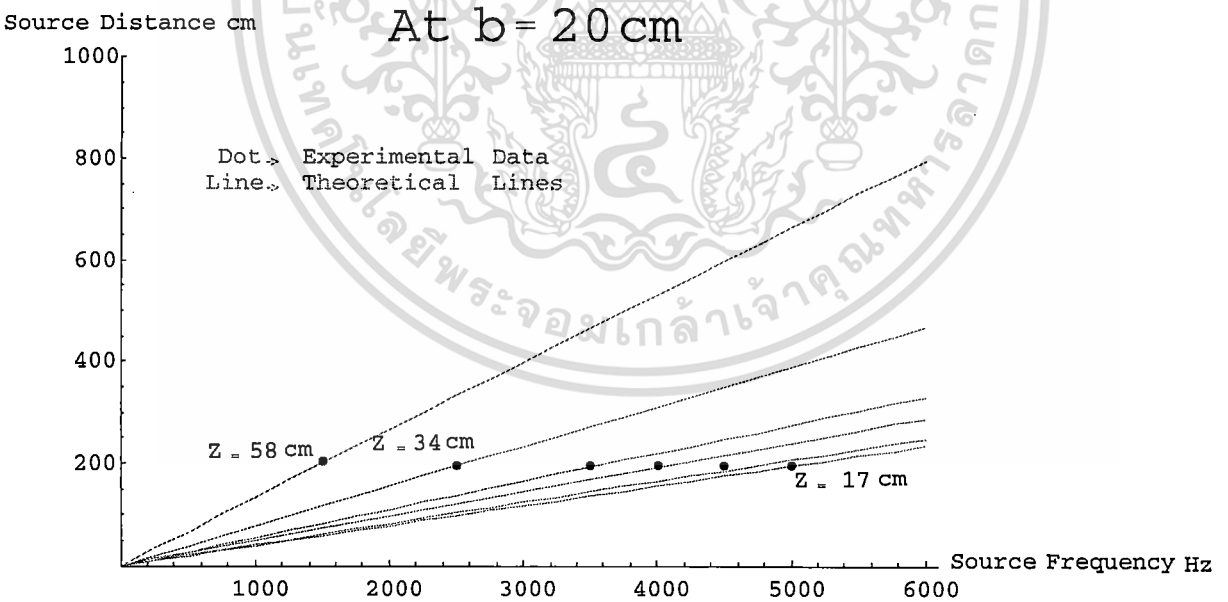
ในที่นี้  $X_i$  เป็นค่าแต่ละค่าของ  $\theta_{Experiment}$  หรือ  $S_{Experiment}$  ที่พิจารณา

$n$  เป็นจำนวนของ  $\theta_{Experiment}$  หรือ  $S_{Experiment}$  ที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและทบวงมหาวิทยาลัย โดยให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

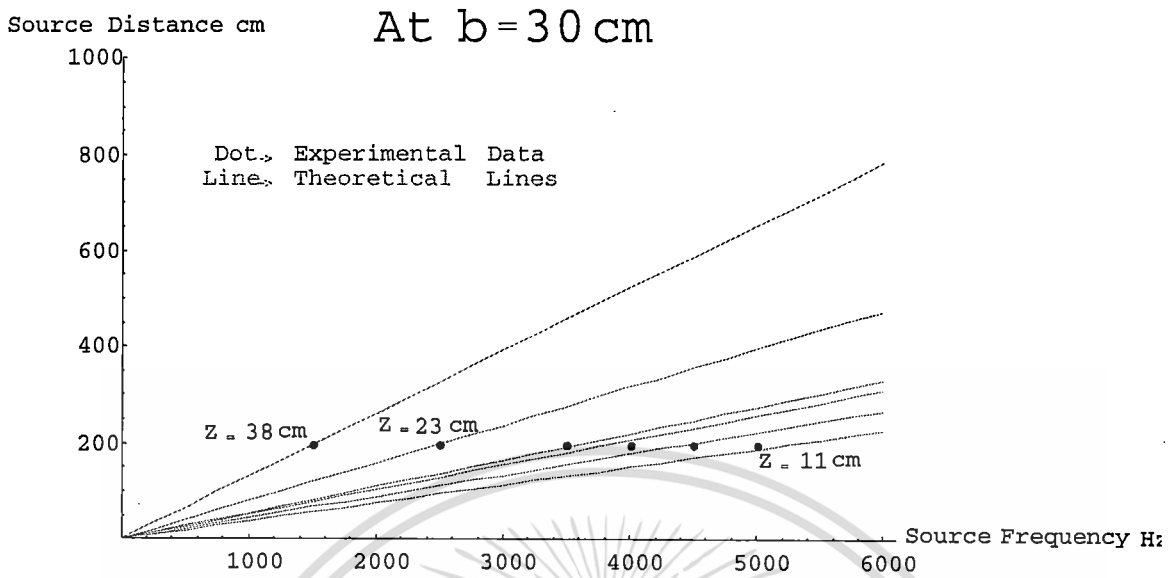


รูปที่ 6.5 แสดงผลของ  $S_{\text{Experiment}}$  vs.  $f$  ตามค่า  $Z$  ที่วัดได้ เมื่อค่า  $b = 10\text{ cm}$

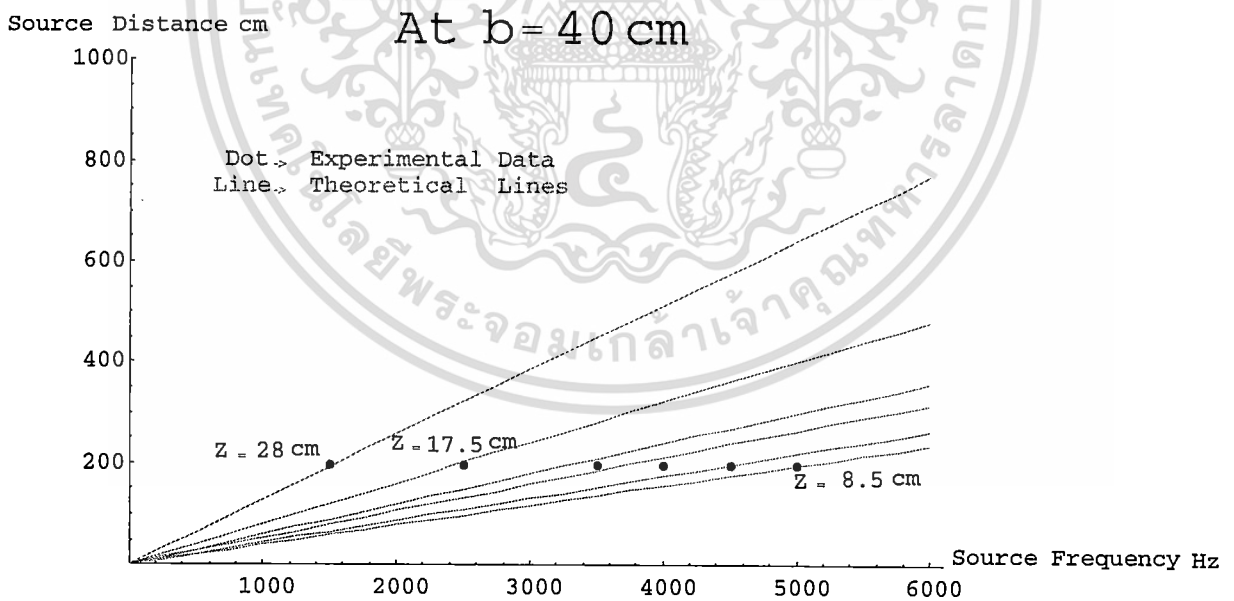


รูปที่ 6.6 แสดงผลของ  $S_{\text{Experiment}}$  vs.  $f$  ตามค่า  $Z$  ที่วัดได้ เมื่อค่า  $b = 20\text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แสดงผลของ  $S_{Experiment}$  vs.  $f$  ตามค่า  $Z$  ที่วัดได้ เมื่อค่า  $b = 30$  cm



รูปที่ 6.8 แสดงผลของ  $S_{Experiment}$  vs.  $f$  ตามค่า  $Z$  ที่วัดได้ เมื่อค่า  $b = 40$  cm

และ ค่าความผิดพลาด (%Error) ของ  $\sigma_s$  หาได้จากสูตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \sigma_s = \frac{\sigma_s}{\bar{X}} \times 100 \% \quad \dots\dots (26)$$

จากนี้ก็นำสมการที่ (24), (25) และ (26) ไปประยุกต์ใช้ในตารางที่ (5.1 ก), (5.2 ก), (5.3 ก), (5.4 ก) และใน ตารางที่ (5.1 ข), (5.2 ข), (5.3 ข), (5.4 ข) ก็จะได้ค่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบสุ่มตัวอย่าง ของทั้ง  $\theta_{Experiment}$  และ  $S_{Experiment}$  พร้อมกับค่าความผิดพลาด ดังต่อไปนี้

$b$ (cm)	$\sigma_s$ ของ $\theta_{Experiment}$ ( $^{\circ}$ )	$\% \sigma_{s\theta}$ (%)	$\sigma_s$ ของ $S_{Experiment}$ (cm)	$\% \sigma_{ss}$ (%)
10	9.3	$\pm 12.8$	20.3	$\pm 9.6$
20	3.4	$\pm 4.2$	2.7	$\pm 1.4$
30	1.6	$\pm 1.8$	0.9	$\pm 0.5$
40	1.6	$\pm 1.8$	0.7	$\pm 0.4$

ตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบสุ่มตัวอย่างจะลดลงไป ในขณะที่ค่าระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในระยะ  $b \geq 2\lambda$  เป็นต้นไป

## 6.2 สรุปผล

จุดประสงค์ของการทดลองวิจัยเรื่องนี้ ก็เพื่อหาความแม่นยำในการหาทิศทาง และระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับจุดวัดเสียง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

### จากตอนที่ 1 พบว่า

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ไม่ไกลนัก การหาทิศทางของมันจะแม่นยำมากขึ้น โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่  $\% \theta < \pm 5.0\%$  ภายใต้อัตราความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงที่ค่าสูงๆ เมื่อกำหนดให้ค่าระยะ  $b \geq \lambda$  เป็นต้น

แต่ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ในที่ไกลๆ (ก็จะกลายเป็น a point source) ดังนั้นความแม่นยำที่ได้จะสูงสุด กล่าวคือ จะได้อัตราความผิดพลาด  $\% \theta \approx 0\%$  ภายใต้อัตราความถี่ที่ใช้ต้อง  $> f_{cutoff}$  และ ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนที่ใช้ต้องมีค่า  $> b_{cutoff}$  ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ถ้าเพิ่มระยะ  $b$  ก็จะได้ค่า  $f_{cutoff}$  ลดลง กล่าวคือเราสามารถเพิ่มความถี่ที่ค่าต่างๆในการวัดได้ และนี่ก็เป็นวิธีการหนึ่งของการขยาย bandwidth ในการวัดนั่นเอง

## จากตอนที่ 2 พบว่า

แม้ว่าผลการทดลองบางค่า จะมี ความผิดพลาดที่มากเกินไป ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance) (ซึ่งโดยปกติแล้วไม่ควรเกิน  $\pm 5.0\%$ ) แต่ผลของการทดลองส่วนใหญ่ให้ค่าความผิดพลาด  $< \pm 5.0\%$

สำหรับค่าความผิดพลาดที่เกิน  $\pm 5.0\%$  นั้น เกิดจาก กระบวนการวัดที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งนำไปสู่ Random Errors และ เกิดจากการทดลองภายใต้เงื่อนไขที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งก็เป็นที่มาของ Systematic Errors กล่าวคือ ได้เกิดมี Reflection Noise อันเนื่องมาจากรูปทรงภายในของห้องที่ใช้ทดลองนั่นเอง จะอย่างไรก็ตาม แนวโน้มของ ข้อมูลที่ได้ ยังคงสอดคล้องกับทฤษฎี ดังเช่น ที่ระยะ  $b \geq 2\lambda$  จะทำให้ได้ค่า  $S_{Experiment}$  ใกล้เคียงกันในทุกค่า ความถี่ ( $f$ ) ที่ใช้ในการวัด โดยมีค่าเฉลี่ยของ  $S_{Experiment}$  อยู่ที่  $\approx 197 \text{ cm}$  และค่าความผิดพลาดอยู่ที่  $\pm 1.5\%$  เมื่อคิดค่าระยะ  $b = 40 \text{ cm}$  เป็นต้น

## 6.3 งานต่อเนื่องในอนาคต

จากผลการทดลองที่ผ่านมา เป็นกระบวนการทดลองแบบทำด้วยมือ (manual) ซึ่งเป็นแบบดั้งเดิมที่ก่อให้เกิดความขาดตอนในการวัดกล่าวคือไม่มีความต่อเนื่องในกระบวนการวัด เป็นผลทำให้เกิดความผิดพลาดที่เรียกว่า Random Errors ขึ้นได้ ด้วยเหตุดังกล่าว เราสามารถกำจัดความผิดพลาดในกรณีนี้ได้ ด้วย กระบวนการทดลองแบบอัตโนมัติ (automatic) ซึ่งเป็นงานที่จะต้องทำต่อเนื่องต่อไป

ความผิดพลาดอีกรูปแบบหนึ่งก็คือ Systematic Errors ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากเงื่อนไขในการทดลองไม่สมบูรณ์ มันเป็นเรื่องที่ผู้วิจัยตระหนักถึงปัญหานี้อย่างมาก เพราะการจะทำให้สมบูรณ์ตามเงื่อนไขนั้น จำเป็นจะต้องลงทุนสูง ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก จะอย่างไรก็ตาม เราสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการไปทำวิจัยร่วมกับหน่วยงานอื่นที่มีความสมบูรณ์ตามเงื่อนไข เช่น มีห้องไร้เสียงสะท้อน (anechoic room) ซึ่งในประเทศไทย มีอยู่ 2 แห่ง (ที่เป็นของรัฐฯ) คือ ที่ห้องทดสอบเสียง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สิ่งแวดล้อม ( โทร: 02-2482181 หรือที่ <http://www.nimt.or.th>) และที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยทางเสียง ภาควิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนี่ก็คืองานอีกขั้นตอนหนึ่งในอนาคตสำหรับโลกในยุค ปัจจุบันซึ่งเป็นโลกแห่งโลกาภิวัตน์ (globalization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

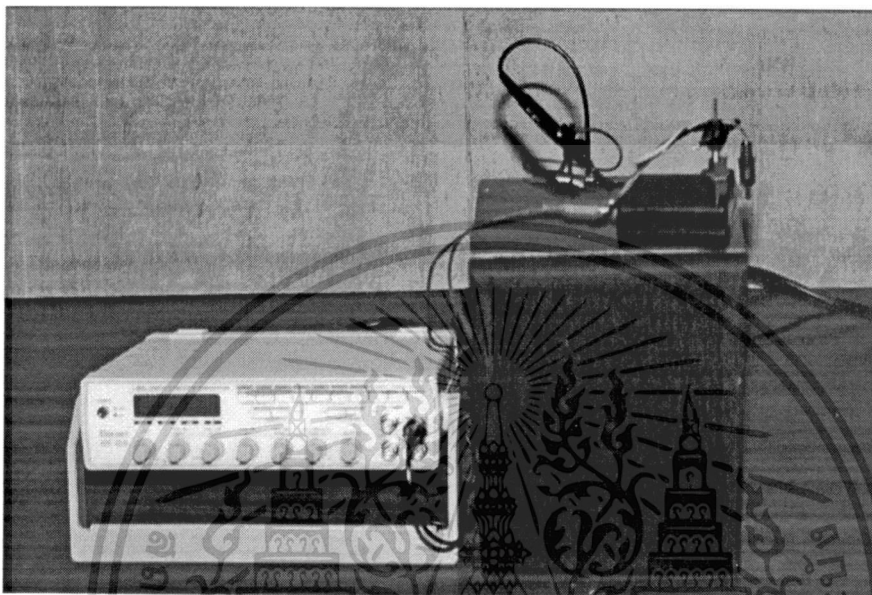


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

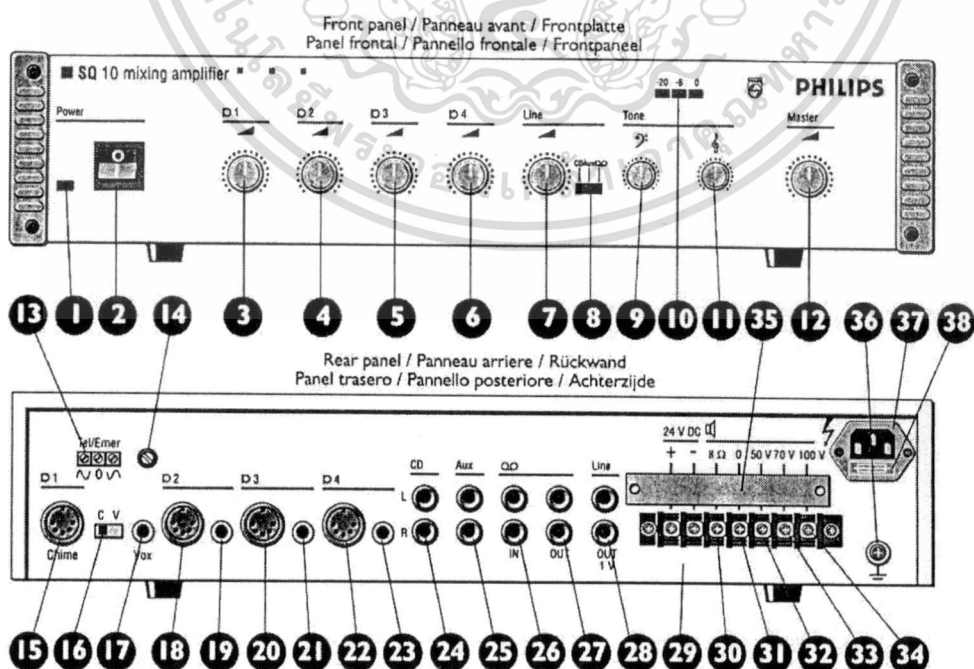
## แหล่งกำเนิดเสียง

ชุดของแหล่งกำเนิดเสียง จะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

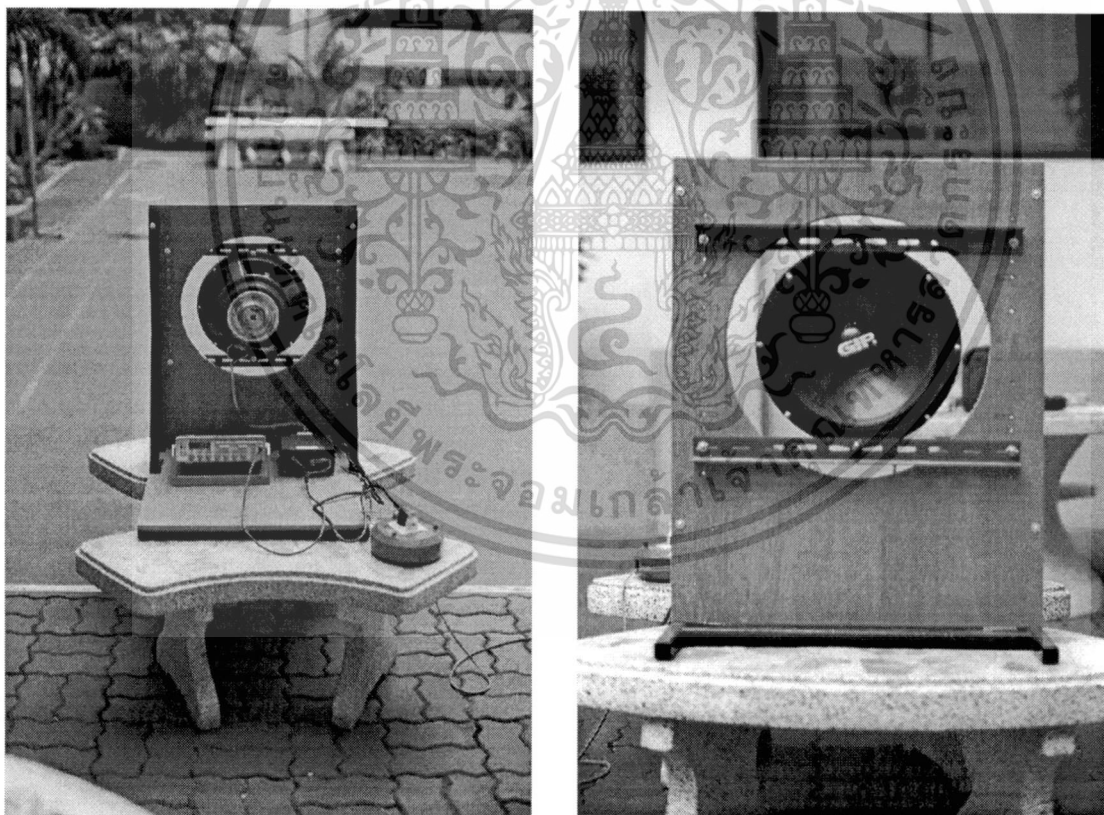
- ตัวผลิตสัญญาณความถี่ (Function generator)
- ตัวขยายกำลังเสียง (Audio power amplifier)
- ลำโพงแบบมิดเรนจ์ (Midrange) 8 โอห์ม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $109.4 \pm 0.4$  มม.



แสดงภาพ Function generator และ ลำโพงเสียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แสดงภาพด้านหน้าและด้านหลังของตัวเครื่อง Amplifier ดึงหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดงการติดตั้งและใช้งานจริงของชุดแหล่งกำเนิดเสียง

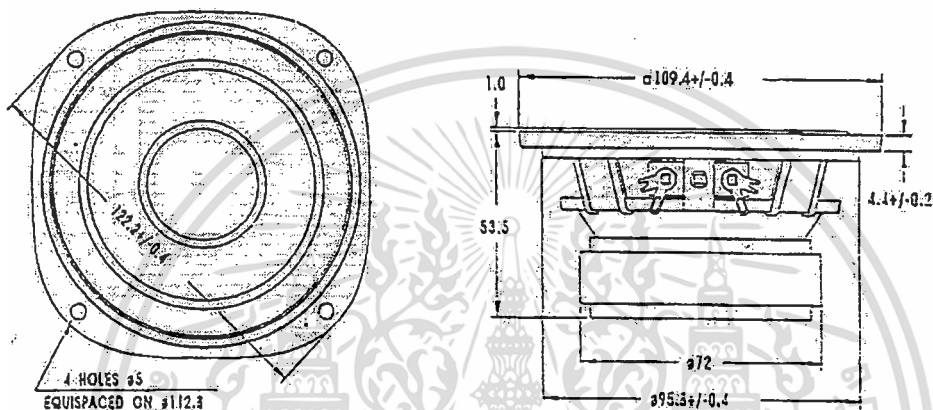
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**seas**  
OF NORWAY

H 143

MIDRANGE

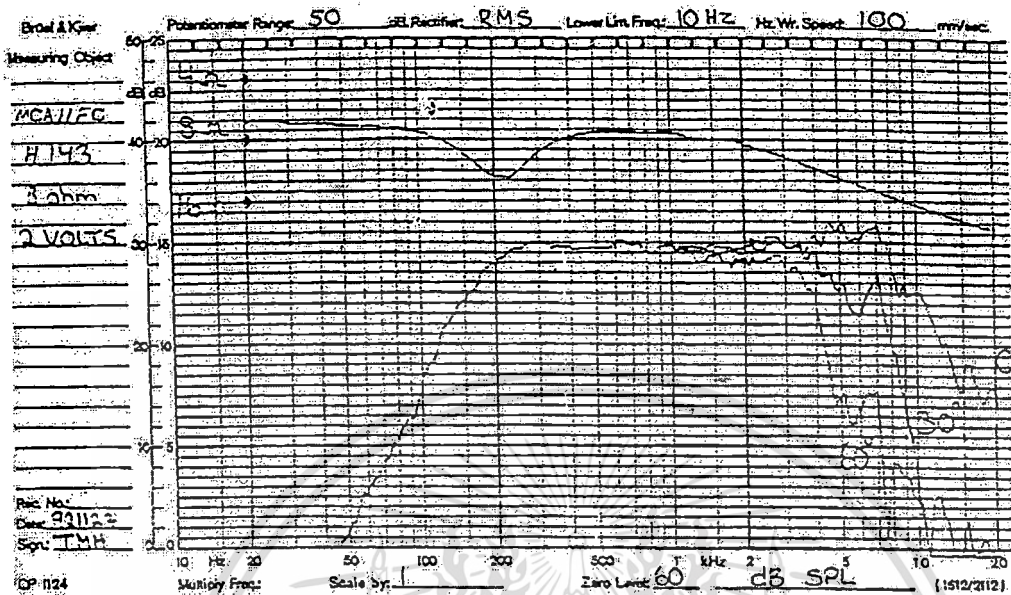
MCA11RC



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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Response curve recorded in anechoic chamber (Free-field, 4 pi radiation) with 0.5m microphone distance. The loudspeaker with a 0.31 rear chamber is mounted in a standard IEC baffle.



NOMINAL IMPEDANCE	8 Ohms	VOICE COIL RESISTANCE	6.5 Ohms
RECOMMENDED FREQUENCY RANGE	400-3000 Hz	VOICE COIL INDUCTANCE (EQUIVALENT)	0.33 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 (96dB SPL, 1m)	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	3.8 mm	SUSPENSION MECHANICAL RESISTANCE	1.7 N/m
AIR GAP HEIGHT	4.0 mm	EFFECTIVE PISTON AREA	53 sq.cm
LINEAR COIL TRAVEL (p-p)	1.8 mm		
MAXIMUM COIL TRAVEL (p-p)	— mm	VAS	1.3 Litres
MAGNETIC GAP FLUX DENSITY	1.1 T	QMS	2.17
MAGNET WEIGHT	0.23 Kg	QES	1.09
TOTAL WEIGHT	0.55 Kg	QTS	0.72

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

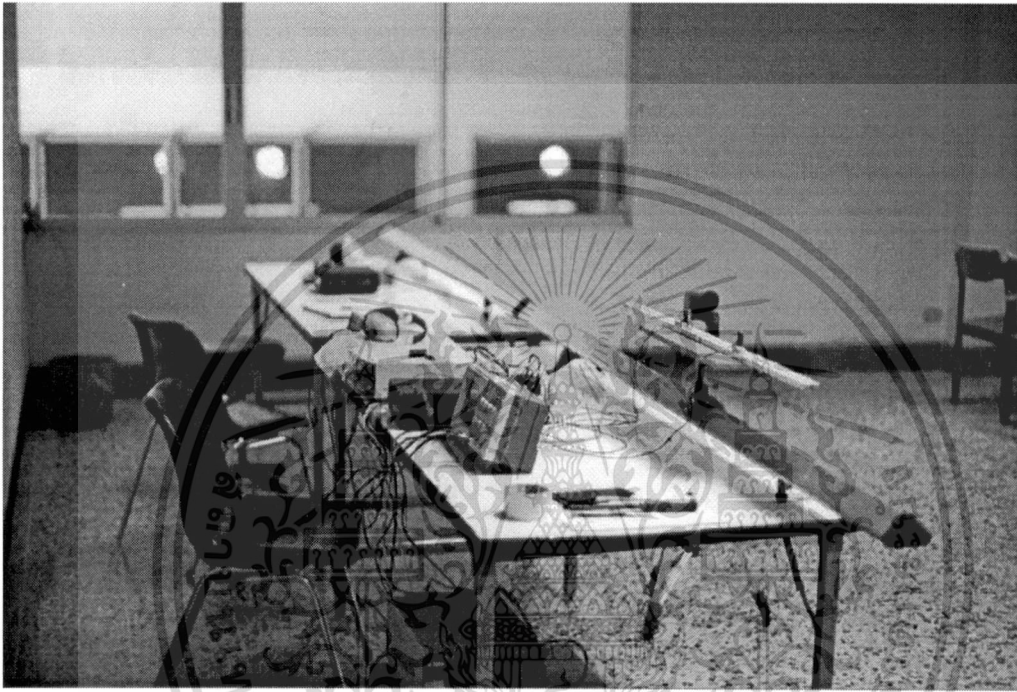


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

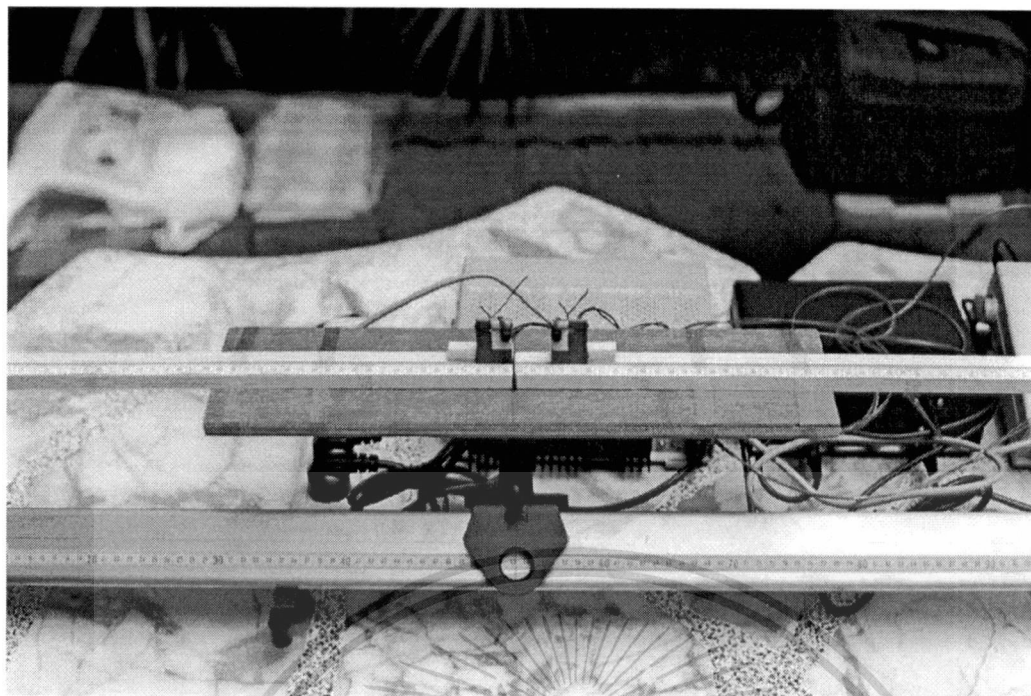
## ชุดวัดสัญญาณเสียง

ชุดวัดสัญญาณเสียง ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

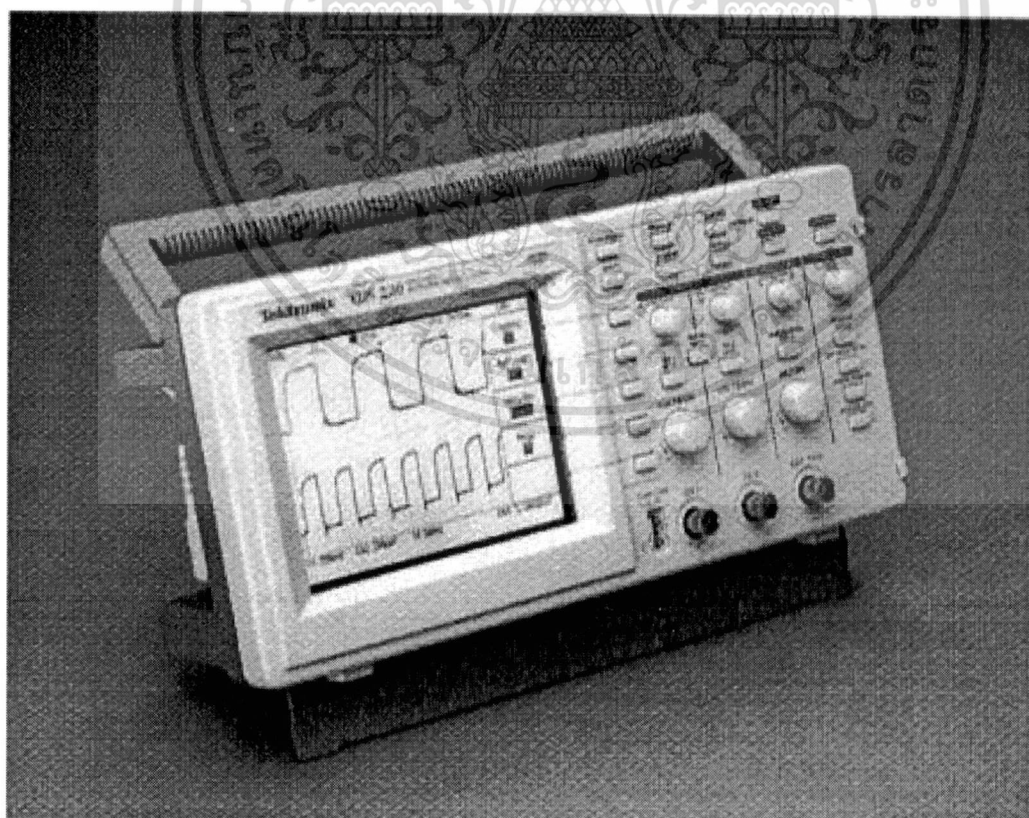
- ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ ที่มีการตอบสนองทุกทิศทาง (Omnidirectional response) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $10 \pm 0.4$  มม. มีช่วงตอบสนองความถี่ 100 - 15,000 Hz
- วงจรปรีแอมป์ (Preamplifier) เพื่อขยายสัญญาณจากไมโครโฟน ก่อนเข้าออสซิลโลสโคป
- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) แบบ BW : 60 MHz ชนิด 2 ช่องสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

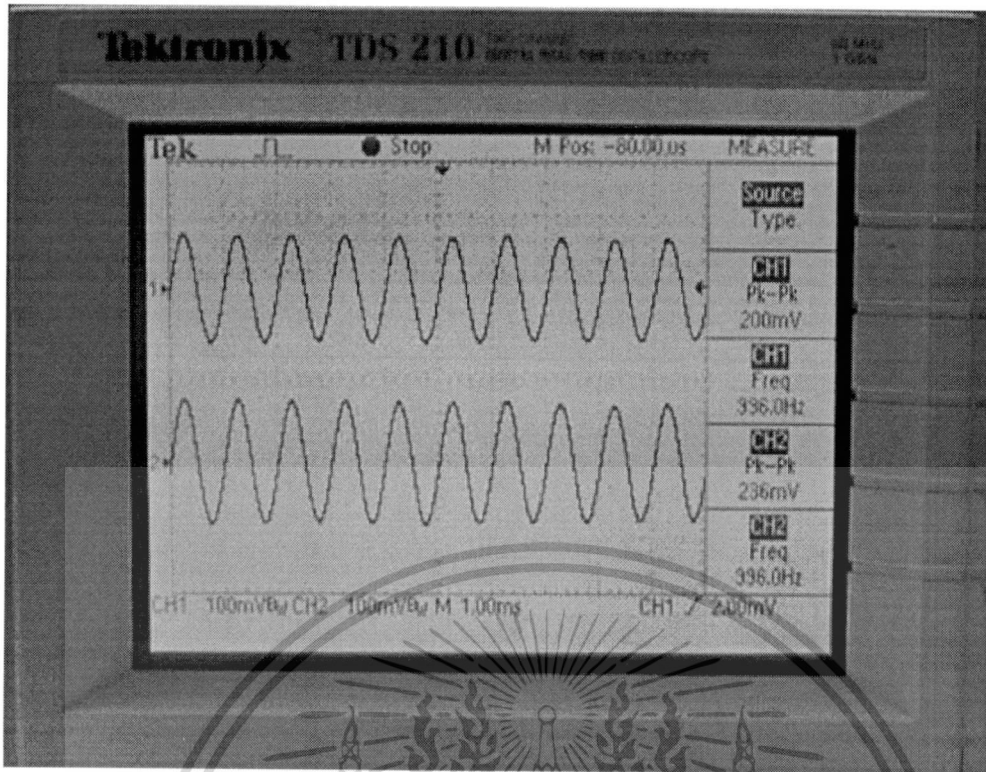


ภาพแสดงการจัดวางไมโครโฟนทั้ง 2 ตัว บนแท่น Optical bench

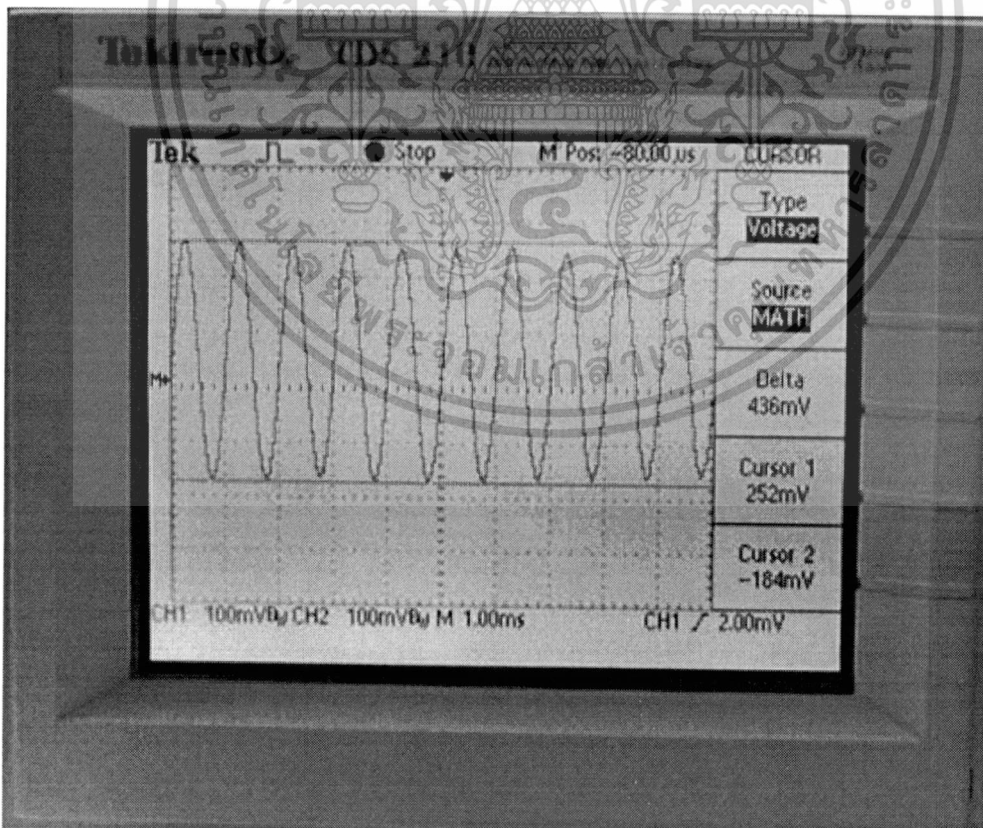


ภาพแสดงตัวเครื่องของออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

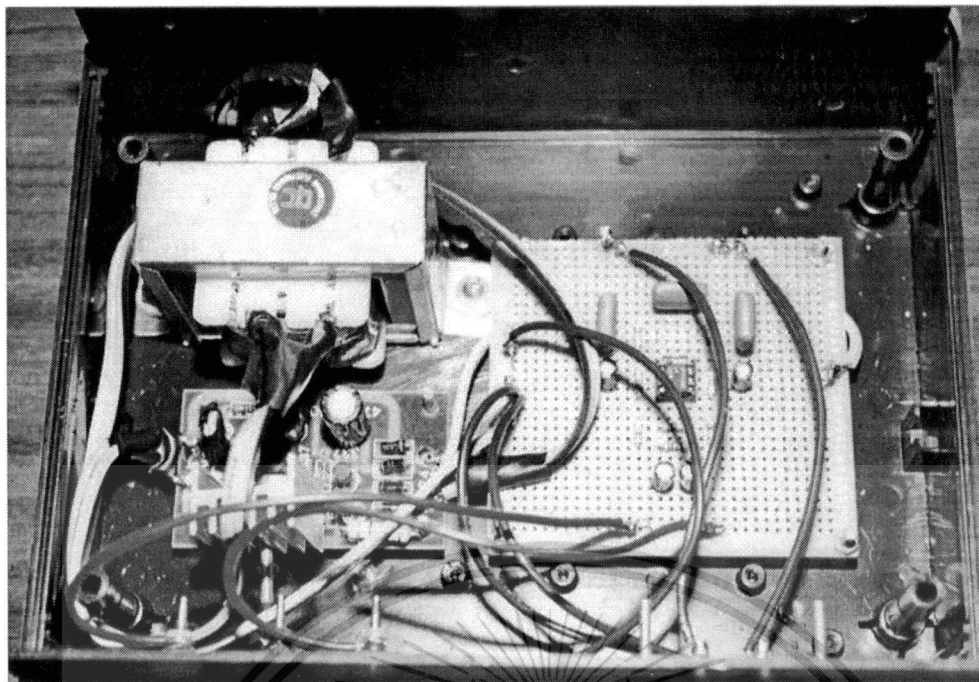


แสดงภาพสัญญาณที่วัดได้จากไมโครโฟนแต่ละตัว

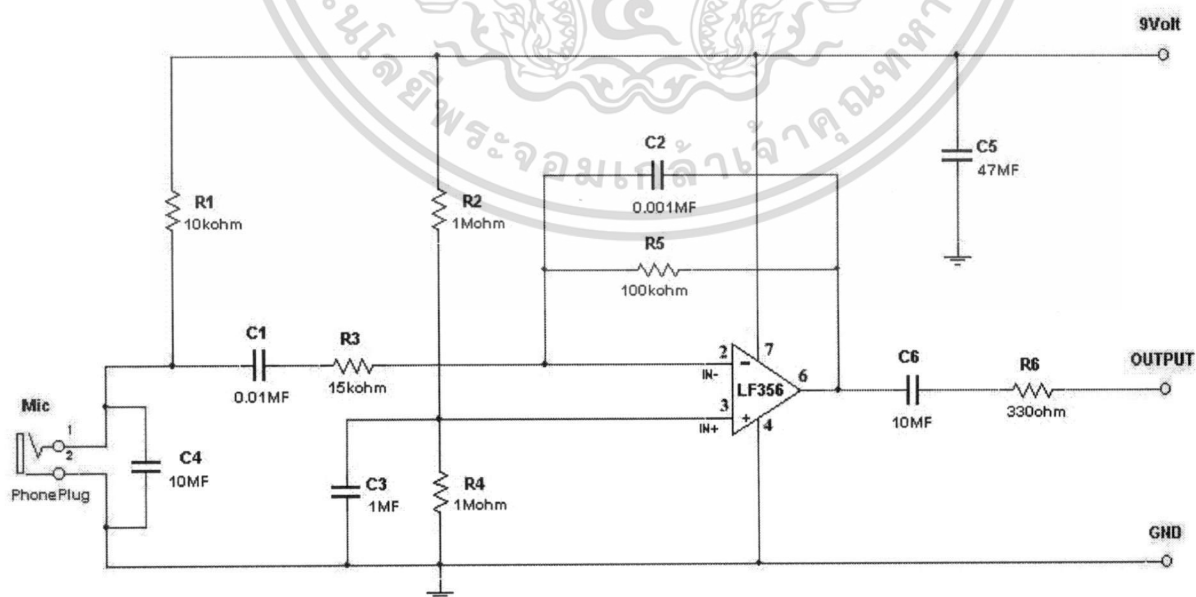


แสดงภาพสัญญาณรวมที่วัดได้จากไมโครโฟนทั้ง 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดงการจัดวางอุปกรณ์ลงบนบอร์ดของชุดปรีแอมป์ (Preamplifier)



ภาพแสดงวงจรปรีแอมป์สำหรับใช้กับไมโครโฟน

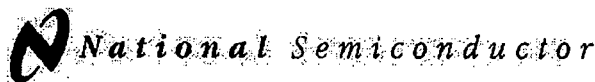
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจร  $R_1$  ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายไฟตรงให้กับไมโครโฟน สัญญาณจากไมโครโฟนจะคัลป์ลิ่งผ่าน  $C_1$  และ  $R_2$  ไปยังขา 2 ของไอซี อัตราการขยายของวงจรกำหนดโดยค่า  $R_5/R_3$  ในที่นี้จะให้อัตราการขยายประมาณ 10 เท่า สำหรับตัว  $C_2$  ทำหน้าที่เป็นตัวชดเชยการทำงานของวงจรให้อัตราการขยายลดลงที่ความถี่สูงขึ้น

เอาต์พุตที่ได้จากขา 6 ของไอซี จะป้อนผ่าน  $C_4$ ,  $R_6$  ไปยังวงจรภาคต่อไปตามที่ต้องการ ส่วน  $R_2$ ,  $R_4$  และ  $C_3$  ต่อร่วมกันสำหรับจัดไบอัสให้กับไอซี ให้สามารถใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟแบบบวกกับกราวนด์ธรรมดาได้ เพื่อให้สะดวกแก่การใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



May 2000

# LF155/LF156/LF355/LF356/LF357 JFET Input Operational Amplifiers

## General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

- Wideband, low noise, low drift amplifiers
- Logarithmic amplifiers
- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

### Common Features

- Low input bias current: 30 pA
- Low Input Offset Current: 3 pA
- High input impedance:  $10^{12} \Omega$
- Low input noise current:  $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio: 100 dB
- Large dc voltage gain: 106 dB

## Features

### Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

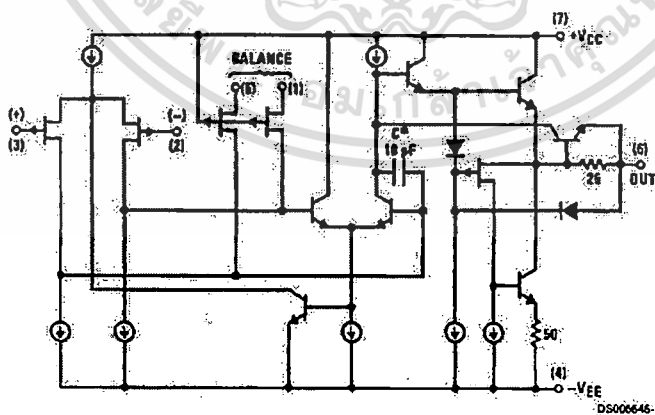
## Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers

## Uncommon Features

	LF155/ LF355	LF156/ LF356	LF357 ( $A_V=5$ )	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	$\mu\text{s}$
■ Fast slew rate	5	12	50	V/ $\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

## Simplified Schematic



\*3 pF in LF357 series.

BI-FET™, BI-FET II™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357 JFET Input Operational Amplifiers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

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

	LF155/6	LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±40V	±40V	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±20V	±20V	±16V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
$T_{JMAX}$			
H-Package	150°C	115°C	115°C
N-Package		100°C	100°C
M-Package		100°C	100°C
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Notes 1, 8)			
H-Package (Still Air)	560 mW	400 mW	400 mW
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	1200 mW	1000 mW	1000 mW
N-Package		670 mW	670 mW
M-Package		380 mW	380 mW
Thermal Resistance (Typical) $\theta_{JA}$			
H-Package (Still Air)	160°C/W	160°C/W	160°C/W
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	65°C/W	65°C/W	65°C/W
N-Package		130°C/W	130°C/W
M-Package		195°C/W	195°C/W
(Typical) $\theta_{JC}$			
H-Package	23°C/W	23°C/W	23°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Soldering Information (Lead Temp.)			
Metal Can Package			
Soldering (10 sec.)	300°C	300°C	300°C
Dual-In-Line Package			
Soldering (10 sec.)	260°C	260°C	260°C
Small Outline Package			
Vapor Phase (60 sec.)		215°C	215°C
Infrared (15 sec.)		220°C	220°C
See AN-450, "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD tolerance (100 pF discharged through 1.5 k $\Omega$ )	1000V	1000V	1000V

**DC Electrical Characteristics**

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{OS}$	Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ Over Temperature		3	5 7		3	5 6.5		3	10 13	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average I.C. of Input Offset Voltage	$R_S = 50\Omega$		5			5			5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta TC/\Delta V_{OS}$	Change in Average TC with $V_{OS}$ Adjust	$R_S = 50\Omega$ ; (Note 4)		0.5			0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
$I_{OS}$	Input Offset Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		3	20 20		3	20 1		3	50 2	pA nA
$I_B$	Input Bias Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		30	100 50		30	100 5		30	200 8	pA nA
$R_{IN}$	Input Resistance	$T_J = 25^\circ\text{C}$		$10^{12}$			$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

**Notes for Electrical Characteristics (Continued)**

Note 5: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature,  $T_j$ . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_d$ .  $T_j = T_A + \theta_{JA} P_d$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

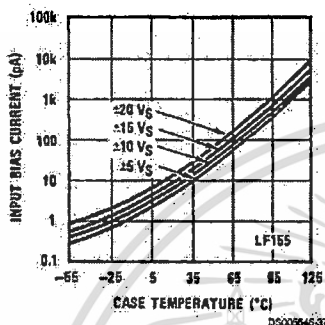
Note 6: Supply Voltage Rejection is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

Note 7: Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using 2 kΩ resistors for the LF155/6. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input pin on the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10V step input is applied to the inverter. For the LF357,  $A_{vcl} = -5$ , the feedback resistor from output to input is 2 kΩ and the output step is 10V (See Settling Time Test Circuit).

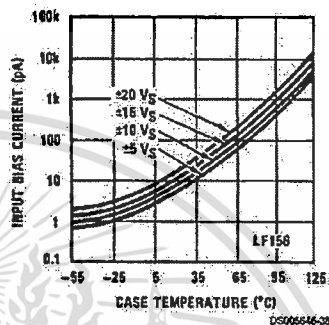
Note 8: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

**Typical DC Performance Characteristics** Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified.

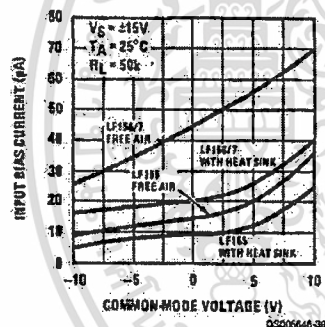
**Input Bias Current**



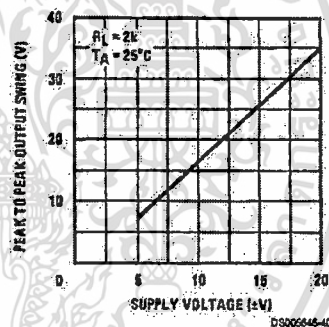
**Input Bias Current**



**Input Bias Current**

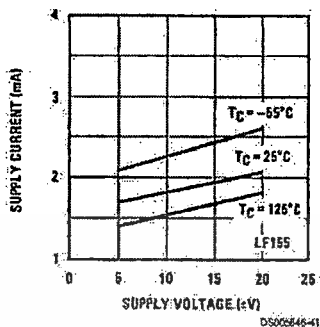


**Voltage Swing**

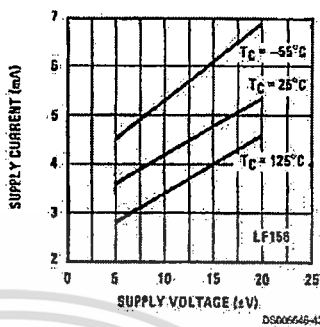


**Typical DC Performance Characteristics** Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

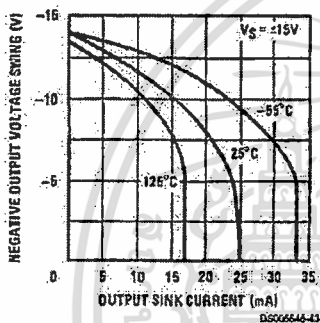
Supply Current



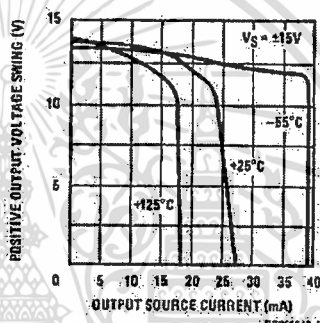
Supply Current



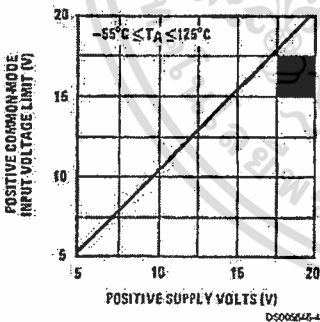
Negative Current Limit



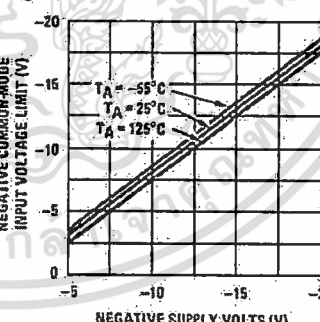
Positive Current Limit



Positive Common-Mode Input Voltage Limit



Negative Common-Mode Input Voltage Limit

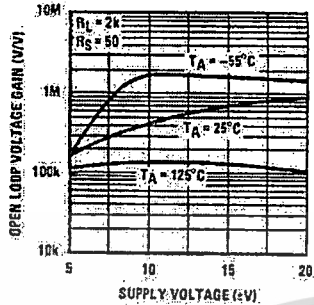


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

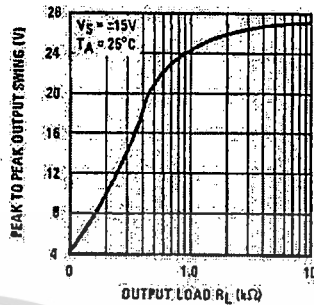
**Typical DC Performance Characteristics** Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

**Open Loop Voltage Gain**



DS000644-41

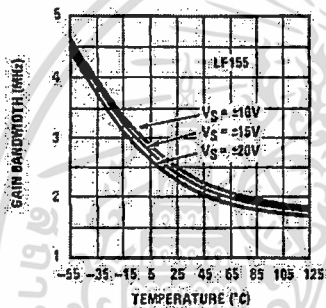
**Output Voltage Swing**



DS000644-48

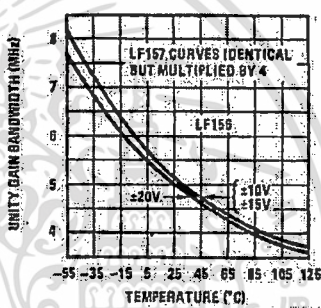
**Typical AC Performance Characteristics**

**Gain Bandwidth**



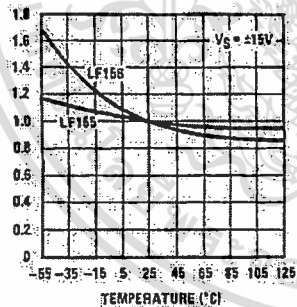
DS000644-40

**Gain Bandwidth**



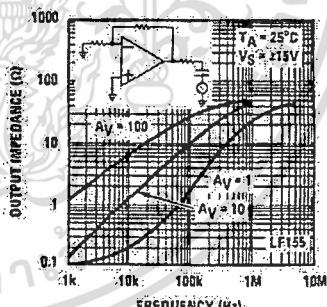
DS000644-60

**Normalized Slew Rate**



DS000644-41

**Output Impedance**

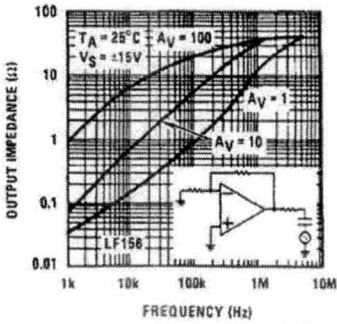


DS000644-62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

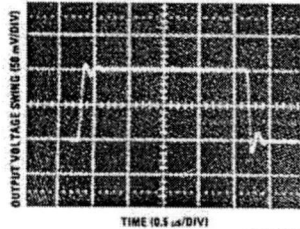
### Typical AC Performance Characteristics (Continued)

Output Impedance



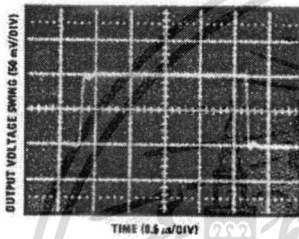
DS000646-03

LF155 Small Signal Pulse Response, AV = +1



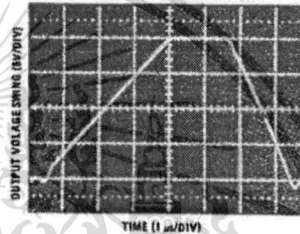
DS000646-05

LF156 Small Signal Pulse Response, AV = +1



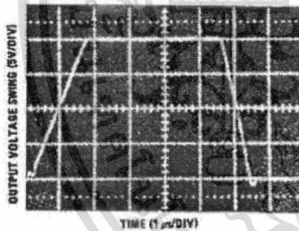
DS000646-06

LF155 Large Signal Pulse Response, AV = +1



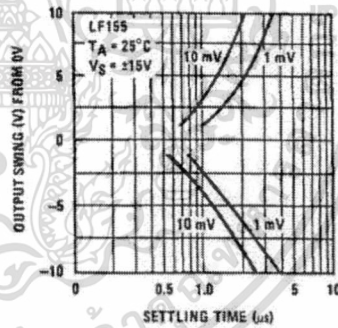
DS000646-08

LF156 Large Signal Pulse Response, AV = +1



DS000646-09

Inverter Settling Time



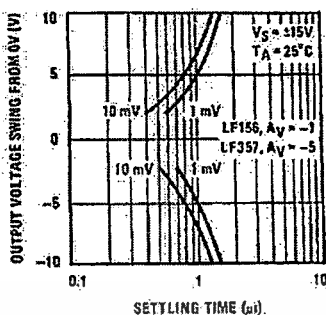
DS000646-06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

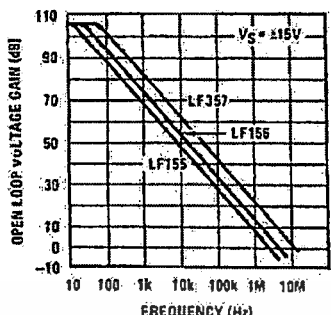
LF155/LF156/LF355/LF356/LF35

Typical AC Performance Characteristics (Continued)

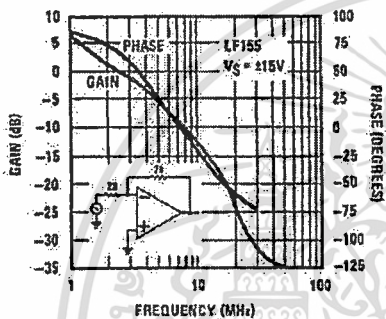
Inverter Settling Time



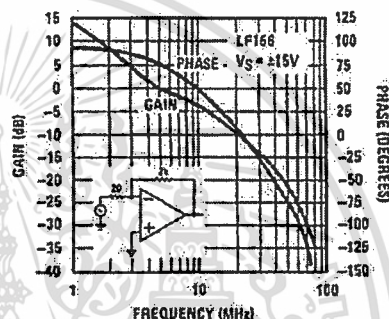
Open Loop Frequency Response



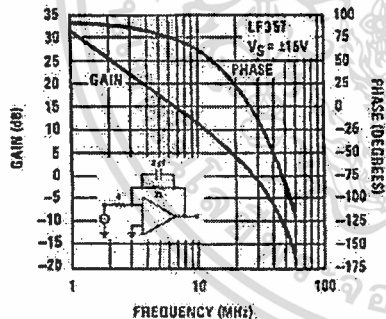
Bode Plot



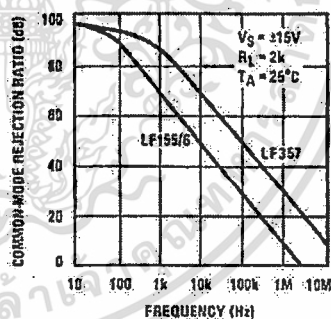
Bode Plot



Bode Plot



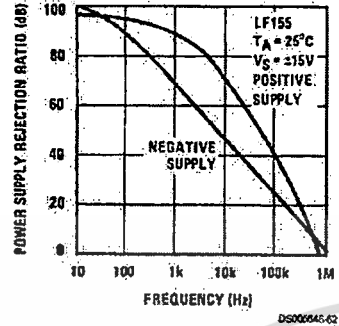
Common-Mode Rejection Ratio



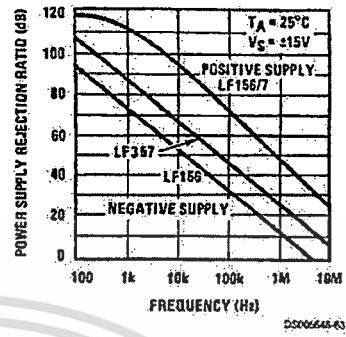
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Typical AC Performance Characteristics (Continued)

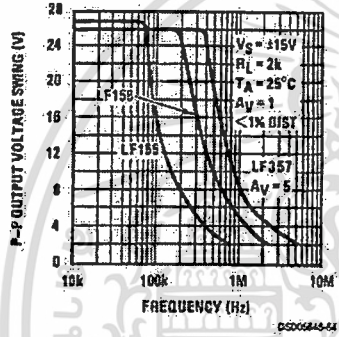
Power Supply Rejection Ratio



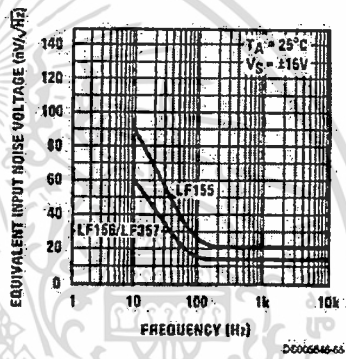
Power Supply Rejection Ratio



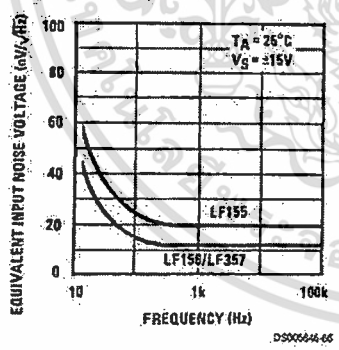
Undistorted Output Voltage Swing



Equivalent Input Noise Voltage



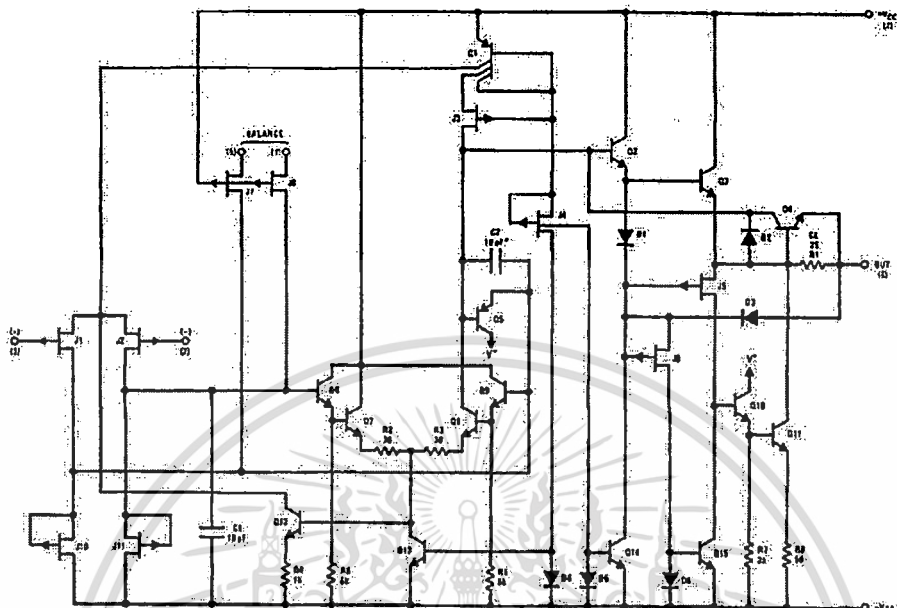
Equivalent Input Noise Voltage (Expanded Scale)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

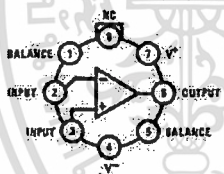
Detailed Schematic



\*C = 3 pF in LF357 series.

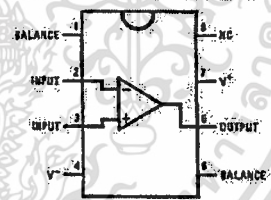
Connection Diagrams (Top Views)

Metal Can Package (H)



DS006645-14

Dual-In-Line Package (M and N)



DS006645-29

\*Available per JM38510/11401 or JM38510/11402

Order Number LF155H, LF156H, LF356BH, LF356H, or LF357H

See NS Package Number H08C

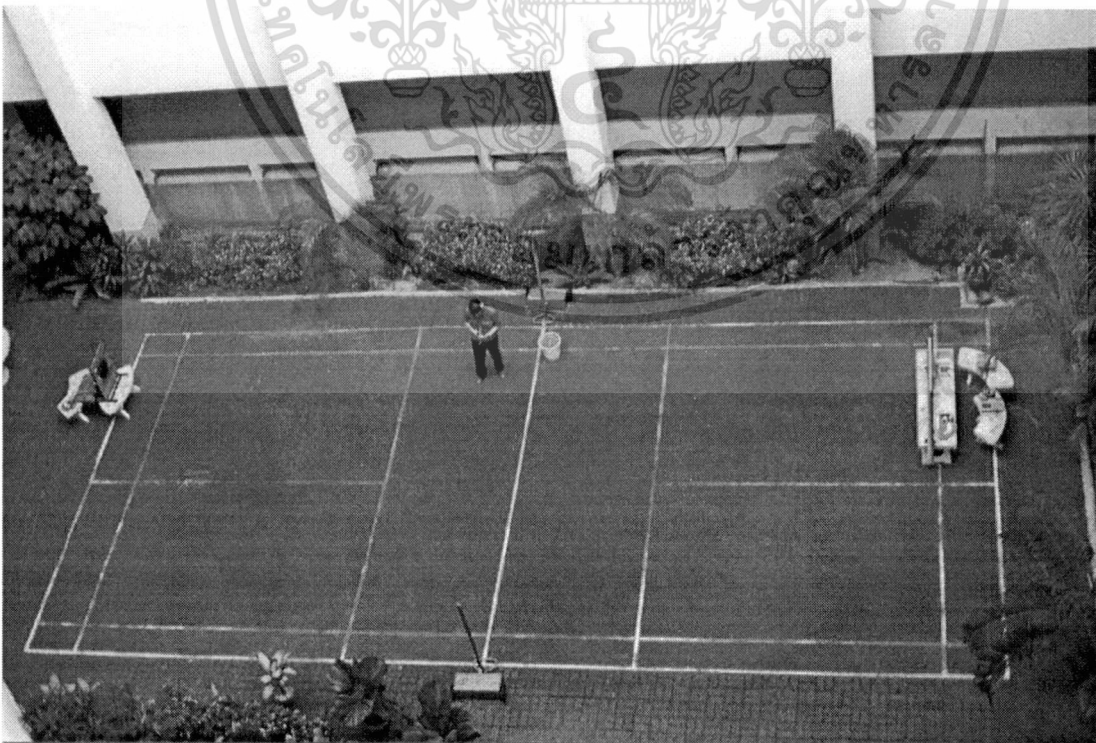
Order Number LF356M, LF356MX, LF355N, or LF356N

See NS Package Number M08A or N08E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Beranek, Leo L., *Acoustics*, the American Institute of Physics, New York, 1986.
2. Hall, Donald E., *Basic Acoustics*, John Wiley & Sons, New York, 1987.
3. Wickersham, Arthur F., *Microwave and Fiber Optics Communications*, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
4. Horowitz, Paul and Winfield Hill, *The Art of Electronics*, 2<sup>nd</sup> ed., The University Press, Cambridge, 1989.
5. Northrop, Robert B., *Analog Electronic Circuits : Analysis and Applications*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1990.
6. Kuttruff, Heinrich, *Room Acoustics*, 3<sup>rd</sup> ed., Elsevier Applied Science, London, 1991.
7. Holdsworth, Brian, *Digital Logic Design*, 3<sup>rd</sup> ed., Butterworth-Heinemann, Jordan Hill, Oxford, 1993.
8. Staelin, David H., Ann W. Morgenthaler, and Jin Au Kong, *Electromagnetic Waves*, Prentice Hall, New Jersey, 1994.
9. Wylie, C. Ray and Louis C. Barrett, *Advanced Engineering Mathematics*, 6<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, New York, 1995.
10. Berg, Richard E. and David G. Stork, *The Physics of Sound*, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice Hall, New Jersey, 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Fiore, James M., *Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits : Theory and Applications*, Jaico Publishing House, Mumbai, 1999.
12. Blackstock, David T., *Fundamentals of Physical Acoustics*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
13. Everest, F. Alton, *The Master Handbook of Acoustics*, 4<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, New York, 2001.
14. <http://www.bk.dk> : The Website of Brüel & Kjær, 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้