# การคัดเลือกเกณฑ์การบีบอัดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย

นายธันย์ชนก ตั้งวัชรพงศ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# COMPRESSION RULE SELECTION FOR MULTI-BAND COMPRESSION HEARING AIDS

Mr. Thanchanok Tangvacharapongse

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511109

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การคัดเลือกเกณฑ์การบีบอัดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย |
| โดย | นายธันย์ชนก ตั้งวัชรพงศ์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมไฟฟ้า |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธันย์ชนก ตั้งวัชรพงศ์ : การคัดเลือกเกณฑ์การบีบอัดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย. (COMPRESSION RULE SELECTION FOR MULTI-BAND COMPRESSION HEARING AIDS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.นิศาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย , 143 หน้า.

เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จะมีหลักเกณฑ์สำหรับสูตรคำนวณค่าอัตราขยายที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละสูตร ก็จะทำให้ผลของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังมีความแตกต่างกันออกไปบ้างตามสูตรคำนวณ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาประสิทธิภาพของสูตรค่าอัตราขยายต่างๆสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย (Multi-band Compression Hearing Aids) ทั้งกรณีสูตรค่าอัตราขยายแบบ DSL , FIG6 และ NAL-NL1 โดยจะคำนึงถึงพิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง , ค่า Articulation Index และเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายต่างๆ เพื่อให้สามารถเลือกใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่สูตรคำนวณค่าอัตราขยายเหมาะสมต่อลักษณะการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วยมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....ธันย์ชนก ตั้งวัชรพงศ์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2551

## 4870319621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: ACOUSTIC FEEDBACK CANCELLATION / MULTI-BAND COMPRESSION / HEARING THRESHOLD / AUDIOGRAM

THANCHANOK TANGVACHARAPONGSE :COMPRESSION RULE SELECTION FOR MULTI-BAND COMPRESSION HEARING AIDS. ADVISOR : ASST. PROF. NISACHON TANGSANGIUMVISAI, Ph.D., 143 pp.

Nowadays, multi-band compression hearing aids exploit various formula for amplification gain calculation. Each formula introduces different effects on the output signals of the hearing aids.

This thesis investigates the efficiency of different compression rules for multi-band compression hearing aids , including the Desired sensation Level (DSL) , The Independent Hearing Aid Fitting Forum (FIG6) , and National Acoustic Laboratories of Australia – nonlinear ,version1 (NAL-NL1) . The dynamic range of the amplified signal , the articulation index and the percentage of the error signal are focused as three key performance indicators ( KPI ). As a result , an appropriate compression and amplification gain rule can be obtained accordingly to the hearing loss characteristics of each individual patient.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department:.....Electrical Engineering..... Student's Signature:.....
Field of Study:.....Electrical Engineering..... Advisor's Signature:.....
Academic Year: 2008.....

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี กระผมใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ดร.นิศาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งแรงกระตุ้นและแรงบันดาลใจในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษาในการนำไปใช้เกี่ยวกับงานวิจัยนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติ ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ค

ดัชนีคำศัพท์ ..... ธ

บทที่

1. บทนำ ..... 1

1.1 แนวคิดและเหตุผล ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 6

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ..... 7

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 7

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 8

2. เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย ..... 9

2.1 การกำหนดคุณลักษณะการทำงานของเครื่องช่วยฟัง ..... 9

2.2 หลักเกณฑ์การแบ่งชนิดของเครื่องช่วยฟังโดยพิจารณา

จากสูตรการคำนวณค่าอัตราขยาย ..... 9

2.2.1 การบีบอัดสัญญาณเสียง ..... 11

2.2.2 การแบ่งแถบความถี่ย่อย ..... 12

2.3 การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังประเภทต่างๆ ..... 13

2.3.1 การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ใช้ การขยายขนาดเชิงเส้น ..... 13

2.3.1.1 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ Half-gain Rule ..... 13

2.3.2 การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ใช้ การขยายขนาดไม่เชิงเส้น ..... 14

2.3.2.1 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL ..... 14

2.3.2.2 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 ..... 16

2.3.2.3 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ IHAFF ..... 18

2.3.2.4 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 ..... 20

2.4 การแสดงผลหรือคุณลักษณะของเครื่องช่วยฟัง ..... 21

2.4.1 Gain-Frequency Response ..... 21

หน้า

2.4.2 Input-Ouput.. ..... 22
2.4.3 ประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังด้านความสามารถในการขยาย
ขนาดสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง.. ..... 23
2.4.3.1 ค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณออกกับสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง
(Dynamic Range).....23
2.4.3.2 ค่า Articulation Index (AI).....24
2.4.3.3 ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก (Error Of Output).....28
3. การปรับปรุงหลักเกณฑ์สำหรับค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย.....34
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ..... 37
4.1 การจำลองระบบบนคอมพิวเตอร์ ..... 37
4.1.1 สัญญาณเสียงขาเข้า ..... 37
4.2 ประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง.....38
4.3 ผลการจำลองระบบ ..... 38
4.3.1 ระบบในเครื่องช่วยฟังที่ใช้ในการทดลอง.....39
4.3.1.1 เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย .....39
4.3.2 การทดลองและประเมินผล.....39
4.3.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องช่วยฟัง
แบบเชิงเส้นและแบบบีบอัดในกรณีดั้งเดิมและหลายแถบความถี่.....40
4.3.2.1.1 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัต ระหว่างเครื่องช่วยฟัง
1 แถบความถี่ย่อยแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับ
อัตราขยายแบบ DSL และ เครื่องช่วยฟัง 1 แถบความ
ถี่ย่อยแบบไม่บีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตรา
ขยายแบบ Half-gain Rule.....40
4.3.2.1.2 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัต ระหว่าง เครื่องช่วยฟัง
2 แถบความถี่ย่อยแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับ
อัตราขยายแบบ DSL และ เครื่องช่วยฟัง 2 แถบความ
ถี่ย่อยแบบไม่บีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตรา
ขยายแบบ Half-gain Rule.....43
4.3.2.2 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตระหว่าง เครื่องช่วยฟัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

แบบบีบอัดที่มี 1 , 2 และ 4 แถบความถี่ย่อย.....46

4.3.2.3 การเปรียบเทียบหลักเกณฑ์สำหรับค่าอัตราขยาย
แบบต่างๆของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด.....53

4.3.2.3.1 การทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบต่างๆ
กับระดับเสียงเข้าที่เบา .....55

4.3.2.3.2 การทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบต่างๆ
กับระดับเสียงเข้าที่ปานกลาง.....83

4.3.2.3.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบต่างๆ
กับระดับเสียงเข้าที่ดัง.....111

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ..... 139

รายการอ้างอิง..... 141

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณหาค่า AI .....25
ตารางที่ 2 การแบ่งแถบความถี่ย่อยแบบ 1/3 Octave Band.....32
ตารางที่ 3 ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของแต่ละแถบความถี่ย่อย.....33
ตารางที่ 4 ค่าอัตราขยายสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเส้น
แบบดั้งเดิมของผู้ป่วยนายประพัฒน์.....41
ตารางที่ 5 ค่าอัตราขยายในแต่ละแถบความถี่ย่อยของ
เครื่องช่วยฟังแบบเชิงเส้น 2 แถบความถี่ย่อยของผู้ป่วย
นายประพัฒน์.....44
ตารางที่ 6 ช่วงความถี่ในเครื่องช่วยฟัง 4 แถบความถี่ย่อยของ Octave Band .....49
ตารางที่ 7 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....56
ตารางที่ 8 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....57
ตารางที่ 9 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....58
ตารางที่ 10 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....60
ตารางที่ 11 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....61
ตารางที่ 12 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....62

หน้า

ตารางที่ 13 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....65
ตารางที่ 14 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....66
ตารางที่ 15 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....67
ตารางที่ 16 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....69
ตารางที่ 17 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....70
ตารางที่ 18 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....71
ตารางที่ 19 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....74
ตารางที่ 20 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....75
ตารางที่ 21 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....76
ตารางที่ 22 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....78

หน้า

ตารางที่ 23 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....79
ตารางที่ 24 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....80
ตารางที่ 25 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....84
ตารางที่ 26 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....85
ตารางที่ 27 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....86
ตารางที่ 28 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....88
ตารางที่ 29 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....89
ตารางที่ 30 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....90
ตารางที่ 31 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....93
ตารางที่ 32 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....94

หน้า

ตารางที่ 33 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....95
ตารางที่ 34 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....97
ตารางที่ 35 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....98
ตารางที่ 36 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....99
ตารางที่ 37 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....102
ตารางที่ 38 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....103
ตารางที่ 39 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....104
ตารางที่ 40 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....106
ตารางที่ 41 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....107
ตารางที่ 42 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าปานกลาง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....108

หน้า

ตารางที่ 43 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....112
ตารางที่ 44 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....113
ตารางที่ 45 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าเบา ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....114
ตารางที่ 46 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....116
ตารางที่ 47 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....117
ตารางที่ 48 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 1 .....118
ตารางที่ 49 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....121
ตารางที่ 50 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....122
ตารางที่ 51 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....123
ตารางที่ 52 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ตารางที่ 53 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....126
ตารางที่ 54 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 2 .....127
ตารางที่ 55 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....130
ตารางที่ 56 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....131
ตารางที่ 57 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....132
ตารางที่ 58 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....134
ตารางที่ 59 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....135
ตารางที่ 60 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 กรณีสัญญาณเสียง
เข้าดัง ผู้ป่วยหมายเลข 3 .....136

# สารบัญภาพ

หน้า


รูปที่ 1 ชนิดของเครื่องช่วยฟังแบ่งตามรูปร่างลักษณะ.....2

รูปที่ 2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องช่วยฟังชนิดแกะหลังใบหู (BTE).....2

รูปที่ 3 ข้อมูล UCL และ THR ของผู้ที่สูญเสียการได้ยิน และผู้มีการได้ยินปกติ.....3

รูปที่ 4 Audiogram ของผู้ป่วยคนหนึ่งจากการตรวจสมรรถภาพการได้ยิน ที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์.....4

รูปที่ 5 ลักษณะทางความถี่ของการสูญเสียการได้ยินประเภทต่างๆ.....5

รูปที่ 6 การบีบอัด 3 แบบ สำหรับการลดพิสัยพลวัตของสัญญาณเสียง.....10

รูปที่ 7 การแบ่งแถบความถี่ย่อยแบบ Octave-Band.....11

รูปที่ 8 การทำงานเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย.....12

รูปที่ 9 การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ใช้การขยาย แบบเชิงเส้น แบบ Half-gain Rule.....13

รูปที่ 10 หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL.....14

รูปที่ 11 หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ FIG6.....15

รูปที่ 12 อธิบายหลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ FIG6.....17

รูปที่ 13 ใบวัดตรวจสภาพการได้ยินหรือ contour test.....18

รูปที่ 14 กราฟตัวอย่าง Gain-Frequency Response ของเครื่องช่วยฟัง.....20

รูปที่ 15 กราฟตัวอย่าง I-O Curve ของเครื่องช่วยฟัง.....21

รูปที่ 16 กราฟแสดงพิสัยพลวัตของสัญญาณเมื่อเทียบกับออดิโอแกรมของผู้ป่วย.....22

รูปที่ 17 ระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของตัวอย่าง ผู้ที่ต้องการวัดค่า AI ในแต่ละช่วงแถบความถี่ย่อย.....24

รูปที่ 18 การคำนวณหาค่า AI โดยใช้แถบความถี่ย่อย 1/3 Octave Band.....25

รูปที่ 19 แผนภาพแสดงระดับความดังเสียงที่ผู้มีการได้ยินปกติ ได้รับต่อสัญญาณเข้าหนึ่ง.....26

รูปที่ 20 แผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยิน ของผู้สูญเสียการได้ยินและผู้มีการได้ยินปกติ.....27

รูปที่ 21 การหาสัญญาณออกอุดมคติของเครื่องช่วยฟัง.....28

รูปที่ 22 ค่าความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง ที่ใช้สูตรค่าอัตราขยายหนึ่ง เมื่อเทียบกับสัญญาณออกอุดมคติ.....29

รูปที่ 23 วิธีการหาค่าสัดส่วนความผิดพลาด

หน้า

ของแต่ละแถบความถี่ย่อย 1/3 Octave Band .....30
รูปที่ 24 การเพิ่มสูตรอัตราขยายกับเครื่องช่วยฟัง
ที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6.....32
รูปที่ 25 สัญญาณเสียงพูดขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง.....35
รูปที่ 26 ออดิโอแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบ.....38
รูปที่ 27 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออก
ของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมแบบไม่บีบอัด .....39
รูปที่ 28 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออก
ของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมแบบบีบอัด .....40
รูปที่ 29 ออดิโอแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบ.....41
รูปที่ 30 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออก
ของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิม 2 แถบความถี่ย่อย .....42
รูปที่ 31 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออก
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด 2 แถบความถี่ย่อย (DSL).....43
รูปที่ 32 ออดิโอแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบ.....44
รูปที่ 33 พิสัยพลวัต ของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL
1 แถบความถี่ย่อย และ 2 แถบความถี่ย่อย .....45
รูปที่ 34 พิสัยพลวัต ของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง
แบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL
2 แถบความถี่ย่อย และ 4 แถบความถี่ย่อย .....46
รูปที่ 35 พิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด
ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL 1 , 2 แถบความถี่ย่อย
และ 4 แถบความถี่ย่อย เฉพาะเส้นบน (เฉพาะเส้น 10 %).....46
รูปที่ 36 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 1 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด.....47
รูปที่ 37 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 2 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด.....48
รูปที่ 38 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 3 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด.....48
รูปที่ 39 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 4 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด.....49
รูปที่ 40 ระดับ SPL ของสัญญาณเข้าของเครื่องช่วยฟัง เมื่อเทียบกับ $THR_I$ ของผู้ป่วย .....49
รูปที่ 41 แผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ป่วยหมายเลข 1 .....51

# ดัชนีคำศัพท์

| | |
|---|---|
| acoustic feedback cancellation | การกำจัดสัญญาณเสียงป้อนกลับ |
| acoustic feedback path | วิถีป้อนกลับทางเสียง |
| adaptive filter | วงจรกรองแบบปรับตัว |
| algorithm | ระเบียบวิธี |
| amplified | อัตราขยาย |
| cancellation path | วิถีกำจัด |
| characteristic | ลักษณะเฉพาะ |
| convergence rate | อัตราการลู่เข้า |
| continuous adaptation | ปรับตัวอย่างต่อเนื่อง |
| conventional | แบบดั้งเดิม |
| correlation | สหสัมพันธ์ |
| delay | การประวิงเวลา |
| dynamic range | พิสัยพลวัต |
| feedback | การป้อนกลับ |
| fixed delay | ประวิงเวลาแบบคงที่ |
| forward linear prediction | การประมาณเชิงเส้นไปหน้า |
| forward path | วิถีไปหน้า |
| hearing aids | เครื่องช่วยฟัง |
| hearing loss | สูญเสียการได้ยิน |
| minimum | น้อยที่สุด |
| noise cancellation | การกำจัดสัญญาณรบกวน |
| non-continuous adaptation | ปรับตัวแบบไม่ต่อเนื่อง |
| operator | ตัวดำเนินการ |
| order | อันดับ |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 แนวคิดและเหตุผล

เนื่องจากเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ใช้สูตรการคำนวณค่าอัตราขยายที่แตกต่างกัน โดยไม่มีข้อสรุปชัดเจนว่าสูตรค่าอัตราขยายใดเหมาะที่สุดกับผู้ป่วยซึ่งมีการสูญเสียการได้ยินที่แตกต่างกัน ในการเลือกเครื่องช่วยฟังแก่ผู้ป่วย แพทย์จะเลือกเครื่องช่วยฟังที่ใช้สูตรค่าอัตราขยายที่แพทย์คิดว่าเหมาะสมกับลักษณะออดิโอแกรมของผู้ป่วยมากที่สุด

การสูญเสียการได้ยิน (Hearing Loss) นั้น เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุหลายปัจจัยโดยแบ่งออกเป็นความผิดปกติที่เกิดปริเวณหูชั้นนอก หูชั้นกลาง และหูชั้นใน สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดในผู้ที่มีปัญหาการสูญเสียการได้ยินคือ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นบริเวณหูชั้นใน อาทิเช่น การเสื่อมตามอายุ (Presbycusis) , โดนทำลายจากการได้รับเสียงดังมากเกินขนาด (Noise Induce Hearing Loss) , สาเหตุทางกรรมพันธุ์ เช่น โรคหูตึงทางกรรมพันธุ์ เป็นต้น เครื่องช่วยฟัง (Hearing Aids : HA) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กชนิดหนึ่ง ที่ช่วยให้ผู้ที่สูญเสียการได้ยินสามารถได้ยินเสียงต่าง ๆ ได้ดีขึ้น ทั้งนี้ระดับของการขยายขนาดสัญญาณเสียงจะไม่เท่ากันในผู้ใช้แต่ละคน ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการสูญเสียการได้ยิน

(ก) เครื่องช่วยฟังแบบ ITE

(ข) เครื่องช่วยฟังแบบ ITC

(ค) เครื่องช่วยฟังแบบ CIC

(ง) เครื่องช่วยฟังแบบ BTE

รูปที่ 1 ชนิดของเครื่องช่วยฟังแบ่งตามรูปร่างลักษณะ

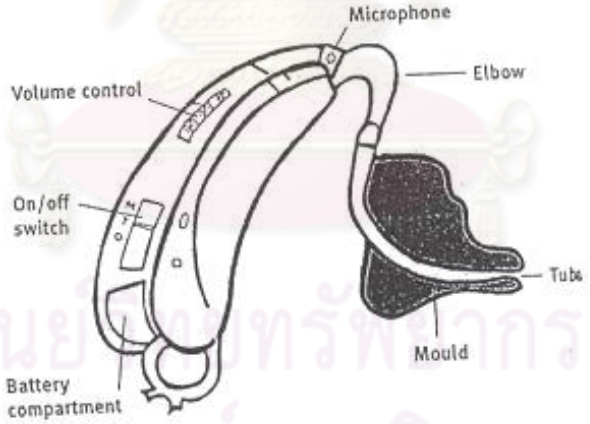
เครื่องช่วยฟังสามารถแบ่งตามรูปร่างลักษณะ ออกเป็น 4 ชนิด [1] ได้แก่

1) เครื่องช่วยฟังชนิดใส่ช่องหูขนาดใหญ่ (In-the-ear Hearing Aids : ITE) ดังแสดงในรูปที่ 1(ก)
2) เครื่องช่วยฟังชนิดใส่ช่องหูขนาดกลาง (In-the-canal Hearing Aids : ITC) ดังแสดงในรูปที่ 1(ข)
3) เครื่องช่วยฟังชนิดใส่ช่องหูขนาดเล็ก (Completely-in-the-canal Hearing Aids : CIC) ดังแสดงในรูปที่ 1(ค)
4 ) เครื่องช่วยฟังชนิด เกาะหลังใบหู (Behind-the-ear Hearing Aids : BTE) ดังแสดงในรูปที่ 1(ง)

โดยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนของเครื่องช่วยฟังตัวอย่างเช่น เครื่องช่วยฟังชนิด BTE ได้แก่

1) ไมโครโฟน (Microphone) ทำหน้าที่ รับสัญญาณเสียงขาเข้าและแปลงสัญญาณเสียงขาเข้าให้อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal)
2) ตัวขยาย (Amplifier) ทำหน้าที่ เพิ่มขนาดของสัญญาณทางไฟฟ้า
3) เครื่องรับ (Receiver) หรือลำโพง (Loudspeaker) ทำหน้าที่ แปลงสัญญาณทางไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณเสียง
4) แบตเตอรี่ (Battery) เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแก่อุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ในเครื่องช่วยฟัง

ดังแสดงในรูปที่ 2




รูปที่ 2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องช่วยฟังชนิดแกะหลังใบหู (BTE)

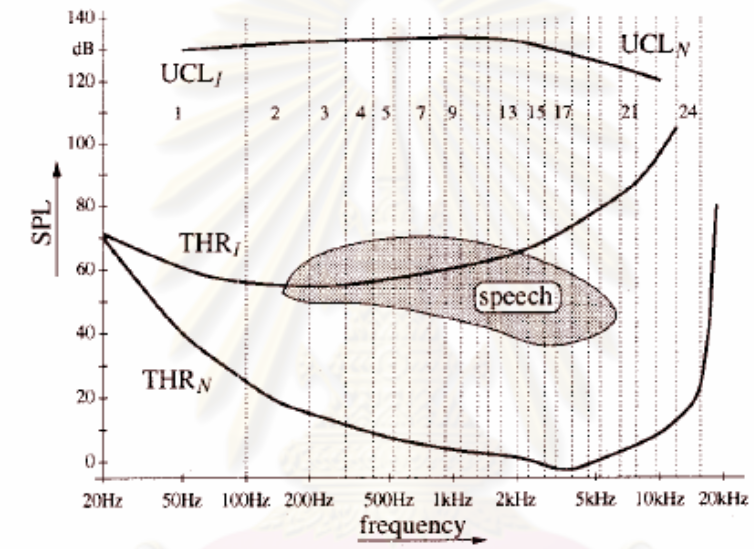
สำหรับระดับความรุนแรงของการสูญเสียการได้ยิน มีหน่วยเป็น dBHL ( HL ย่อมาจาก Hearing Loss) แบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม [2] ดังนี้

1) การได้ยินระดับปกติ (Normal Hearing) มี THR อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 25 dBHL
2) การสูญเสียการได้ยินระดับเล็กน้อย (Mild Hearing Loss) มี THR อยู่ในช่วงระหว่าง 25 ถึง 39 dBHL

3) การสูญเสียการได้ยินระดับปานกลาง (Moderate Hearing Loss) มี THR อยู่ในช่วงระหว่าง 40 ถึง 69 dBHL

4) การสูญเสียการได้ยินระดับรุนแรง (Severe Hearing Loss) มี THR อยู่ในช่วงระหว่าง 70 ถึง 94 dBHL

5) การสูญเสียการได้ยินระดับที่ไม่สามารถรักษาได้ (Profound Hearing Loss) มี THR ตั้งแต่ 95 dBHL ขึ้นไป

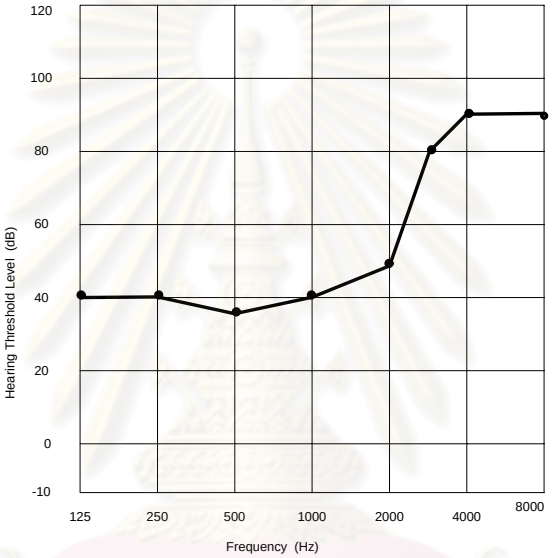



รูปที่ 3 ข้อมูล UCL และ THR ของผู้ที่สูญเสียการได้ยิน และผู้มีการได้ยินปกติ

โดยทั่วไปแล้วพบว่าลักษณะการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย จะมีระดับความรุนแรงที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงความถี่ ดังตัวอย่างของผู้ป่วยคนหนึ่ง [3] ที่แสดงในรูปที่ 3 เมื่อกราฟแสดงระดับความดังของสัญญาณเสียง (Sound Pressure Level : SPL) แบ่งออกเป็น 24 แถบช่วงความถี่ของ Critical Bands [4] โดย $UCL_N$ และ $UCL_I$ บอกถึงระดับความดังมากที่สุดที่ยังคงยอมรับได้ (Uncomfortable Level : UCL) ของผู้มีการได้ยินปกติ และผู้ที่สูญเสียการได้ยิน ตามลำดับ และ $THR_I$ แสดงถึงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยิน (Hearing Threshold Level or Threshold of Hearing : THR) ของผู้ที่สูญเสียการได้ยิน ซึ่งจะมีระดับสูงกว่า $THR_N$ ของผู้มีการได้ยินปกติ

ข้อมูล $THR_I$ ของผู้ป่วย ได้จากการตรวจสมรรถภาพการได้ยิน ซึ่งเป็นการตรวจการได้ยินเสียง ณ ความถี่ต่างๆ ตั้งแต่ช่วงความถี่เสียงสนทนา จนถึง เสียงเครื่องจักร ซึ่งเป็นความถี่ที่ไม่ได้ยินกันในชีวิตประจำวัน หรือคนทั่วไปที่ไม่ได้มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยตรงจะไม่มีโอกาสได้สัมผัส ในการทดสอบจะให้ผู้ป่วยฟังสัญญาณเสียงความถี่เดียว (Pure Tone) ทีละครั้ง ตั้งแต่ความถี่ 125 Hz

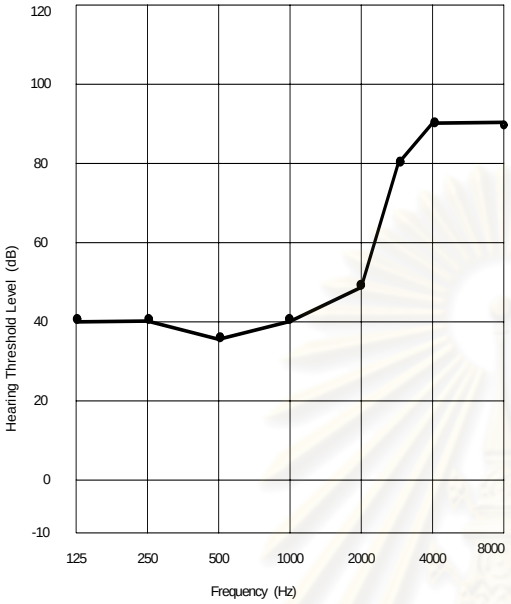
จนถึง 8 kHz แล้วค่อยๆเพิ่มระดับความดัง ของสัญญาณเสียง (SPL) จนผู้ป่วยเริ่มได้ยิน จากการตรวจจะนำ ข้อมูลไปสร้างเป็นกราฟ เรียกว่า ออดิโอแกรม (Audiogram) ตัวอย่าง $THR_I$ ของผู้ป่วยคนหนึ่งจากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยต่อไปนี้จะเรียก $THR_I$ ของผู้ป่วยแทนว่า ออดิโอแกรมของผู้ป่วย การใช้ค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังขึ้นกับลักษณะออดิโอแกรมของผู้ป่วย จึงมีการพัฒนาเครื่องช่วยฟังแบบหลายแถบความถี่ย่อย (Multi-band Hearing Aids)



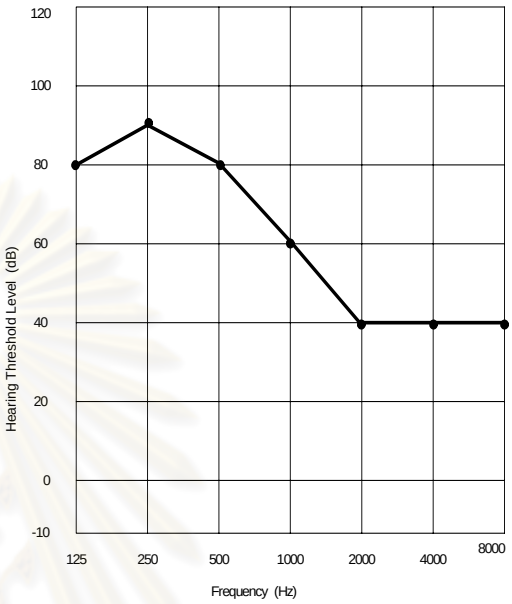

รูปที่ 4 Audiogram ของผู้ป่วยคนหนึ่งจากการตรวจสมรรถภาพการได้ยินที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

นอกจากนี้ สามารถแบ่งระดับการสูญเสียการได้ยินตามช่วงความถี่ ออกเป็น 3 ประเภท [5] คือ

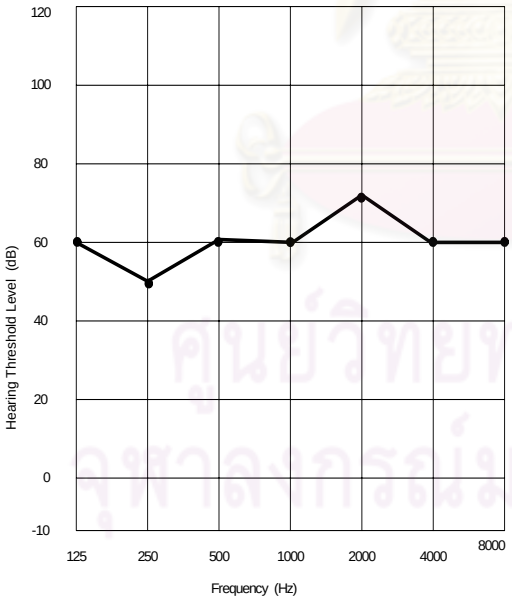
1) การสูญเสียการได้ยินมากที่ช่วงระดับความถี่สูง (High Frequency Hearing Loss ) ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก)
2) การสูญเสียการได้ยินมากที่ช่วงความถี่ต่ำ (Low Frequency Hearing Loss) ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข)
3) การสูญเสียการได้ยินเท่ากันที่ทุกช่วงความถี่ ( Flat Hearing Loss) ดังแสดงในรูปที่ 4 (ค)




(ก)




(ข)




(ค)

รูปที่ 5 ลักษณะทางความถี่ของการสูญเสียการได้ยินประเภทต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยส่วนใหญ่ลักษณะความถี่ของการสูญเสียการได้ยินประเภทต่างๆ ที่ไปสำรวจข้อมูลสุ่มจากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ พบว่า จำนวนข้อมูลผู้ป่วย 10 ราย จะเป็นลักษณะการสูญเสียการได้ยินมากที่ช่วงระดับความถี่สูงถึง 8 คน และเป็นลักษณะการสูญเสียการได้ยินเท่ากันที่ทุกช่วงความถี่เพียง 2 คน ส่วนลักษณะการสูญเสียการได้ยินที่ช่วงระดับความถี่ต่ำไม่มีเลย

ในเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิม (Conventional Hearing Aids) การขยายขนาดสัญญาณเสียงด้วยค่าอัตราขยายค่าหนึ่งที่คงที่ตลอดทุกช่วงความถี่ ก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า Loudness Recruitment [3,5] กล่าวคือ สัญญาณเสียงที่บางระดับความดังเสียงบางช่วงความถี่ ถูกขยายขนาดจนเกินระดับ UCL ของผู้ป่วย และก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบการได้ยินเสียงของผู้ใช้เครื่องช่วยฟังได้ หรือ เมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายลงอย่างเท่าๆกัน ทุกช่วงความถี่ สัญญาณเสียงที่บางช่วงความถี่ ก็จะมีระดับความดังต่ำลงตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับออดิโอแกรมของผู้ป่วยและป้องกันปัญหา Loudness Recruitment ค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังควรถูกปรับแต่งตามระดับความดังของสัญญาณเข้าของเครื่องช่วยฟัง ณ ความถี่นั้นๆ และเรียกเครื่องช่วยฟังแบบนี้ว่าเครื่องช่วยฟังหลายแถบความถี่ย่อย (Multi-band Hearing Aids) และหากมีการบีบอัด (Compression) ขนาดของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง เพื่อป้องกันไม่ให้เกินระดับ UCL ของผู้ป่วย ก็จะเรียกเครื่องช่วยฟังแบบนี้ว่า เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย (Multi-band Compression Hearing Aids) [6]

ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบสูตรค่าอัตราขยายสำหรับบีบอัดแบบต่างๆ โดยจะเลือกทดสอบเปรียบเทียบกับผู้ป่วยที่มีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางถึงรุนแรง (Moderate-to-Severe Hearing Loss)

**1.2 วัตถุประสงค์**

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย (Multi-band Compression Hearing Aids) ที่ใช้สูตรค่าอัตราขยายสำหรับการบีบอัดแบบต่างๆ ในด้านความสามารถในการขยายขนาดสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังและคุณภาพสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ค่าอัตราขยายแบบบีบอัดให้เหมาะสมกับลักษณะออดิโอแกรมของผู้ป่วย

**1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์**

1. เครื่องช่วยฟังที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อยที่ใช้การขยายขนาดแบบไม่เชิงเส้น ด้วยสูตรการคำนวณต่างๆ ได้แก่ DSL, NAL-NL1 และ FIG6 เป็นต้น
2. ออดิโอแกรมของผู้ป่วยที่เก็บข้อมูลมาจากภาควิชาโสตศอนาสิกโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ มีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางถึงรุนแรง เท่านั้น
3. ประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะพิจารณาจากความสามารถในการขยายขนาดสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง และ คุณภาพสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ซึ่งในส่วนของการทำ Subjective Test หรือ การทดสอบกับผู้สูญเสียการได้ยินจริง เนื่องจากว่าต้องทำการทดลองกับผู้สูญเสียการได้ยินจริงๆ ที่โรงพยาบาล จึงทำให้เวลาในการทำในส่วนนี้ไม่เพียงพอ

**1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน**

1 ศึกษาเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบบีบอัดต่างๆ คือ แบบ DSL , NAL-NL1, IHAFF และแบบ FIG6

2 จัดเก็บข้อมูลออดิโอแกรมของผู้ป่วยที่มีการสูญเสียการได้ยินในระดับปานกลางถึงรุนแรง จากภาควิชาโสตศอนาสิกโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบและการทดสอบฟัง

3. เขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในวิธีการเปรียบเทียบวิธีทดสอบคุณภาพสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบต่างๆของเครื่องช่วยฟัง

4. ทำการทดสอบคุณภาพสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง ที่ใช้หลักเกณฑ์ สำหรับอัตราขยายแบบต่างๆ โดยทำการทดสอบฟัง (Subjective Listening test) กับผู้ป่วยตัวอย่างที่เก็บจากภาควิชาโสตศอนาสิกโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง และ สรุปผลการทดลอง

6. เขียนวิทยานิพนธ์

**1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. เป็นแนวทางในการคัดเลือกค่าอัตราขยายแบบบีบอัดในเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย

2. เป็นแนวทางในการพัฒนาและวิจัยเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อยต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 2
# เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย ได้แก่ การกำหนดคุณลักษณะการทำงานของเครื่องช่วยฟัง หลักเกณฑ์และการคำนวณค่าอัตราขยายแบบต่างๆของเครื่องช่วยฟัง ตามด้วยการแสดงผล การวัดผล คุณลักษณะของเครื่องช่วยฟัง

## 2.1 การกำหนดคุณลักษณะการทำงานของเครื่องช่วยฟัง ( Prescribing Hearing Aid Performance)

การกำหนดคุณลักษณะการทำงานของเครื่องช่วยฟัง ให้เหมาะสมแก่การสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย สามารถทำได้ 2 แนวทางคือ [7]

1) การกำหนดโดยใช้สูตร (Prescriptive Approach)

เป็นวิธีการคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังให้เหมาะสมกับลักษณะการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการกำหนดผ่านทางการประเมินค่า โดยหาค่าอัตราขยายจากสูตร ซึ่งมีด้วยกันมากมายหลายสูตร

2) การกำหนดผ่านทางการประเมินค่า (Evaluation Approach)

เป็นการนำเครื่องช่วยฟังไปให้ผู้สูญเสียการได้ยิน ทดลองใช้งานโดยทำการปรับค่าอัตราขยาย ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผู้สูญเสียการได้ยินพึงพอใจ ไม่มีกฎหรือสูตรอัตราขยายที่แน่นอน ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีกว่า การกำหนดโดยใช้สูตรตรงที่ว่า ผู้สูญเสียการได้ยินจะเป็นผู้ตัดสินใจเองว่าค่าอัตราขยายเท่าไร ที่เหมาะกับตนเอง ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องเสียงหวีดหอนหรือความรำคาญเสียงในเครื่องช่วยฟัง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้ การกำหนดคุณลักษณะการทำงานของเครื่องช่วยฟังโดยใช้สูตร ทั้งนี้จะต้องทราบข้อมูลระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของคนปกติ ($THR_N$) และระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ป่วย ($THR_I$) หรือออดิโอแกรมของผู้ป่วย

## 2.2 หลักเกณฑ์การแบ่งชนิดของเครื่องช่วยฟังโดยพิจารณาจากสูตรการคำนวณค่าอัตราขยาย

การคำนวณค่าอัตราขยาย หาได้โดยพิจารณาจากออดิโอแกรมของผู้ป่วย ทั้งนี้ค่าอัตราขยายที่ใช้ในเครื่องช่วยฟัง จะทดแทนระดับการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย ซึ่งหาจากผลต่างของ ระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ป่วย ($THR_I$) หรือออดิโอแกรมของผู้ป่วย กับ ระดับ

ความดังเริ่มต้นการได้ยินของผู้มีการได้ยินปกติ ($THR_N$) โดยสูตรการคำนวณค่าอัตราขยายนั้น มีหลายสูตร ในหัวข้อต่อไปนี้จะแบ่งสูตรต่างๆออกเป็น2 กลุ่มของเครื่องช่วยฟัง ดังนี้

**1) เครื่องช่วยฟังที่ใช้ การขยายขนาดเชิงเส้น (Linear Amplification)**

เครื่องช่วยฟังกลุ่มนี้ จะใช้ค่าอัตราขยายคงที่เพียงค่าเดียว โดยพิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงขาเข้าและขาออกจะเท่ากัน สูตรคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังกลุ่มนี้ได้แก่ POGO (Prescription of Gain and Output) , NAL –R (National Acoustic Laboratories of Australia – Revised) , NAL-RP (National Acoustic Laboratories of Australia – Revised , Profound) , Half-gain Rule เป็นต้น [8]

**2) เครื่องช่วยฟังที่ใช้ การขยายขนาดไม่เชิงเส้น (Non-linear Amplification)**

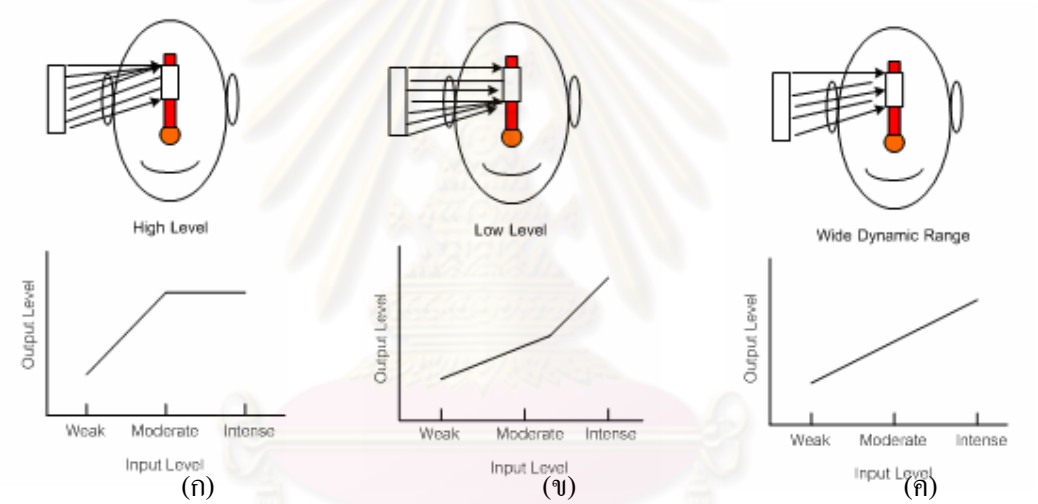
เครื่องช่วยฟังกลุ่มนี้ จะมีการบีบอัดเสียง เพื่อให้พิสัยพลวัตของสัญญาณขาออกน้อยกว่าพิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงเข้าของเครื่องช่วยฟัง เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วยที่มีพิสัยพลวัตการได้ยิน (Dynamic Range of Hearing) ที่แคบกว่าคนปกติโดยทั่วไป สูตรคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังกลุ่มนี้ได้แก่ DSL (The Desired Sensation Level) , NAL-NL1 (National Acoustic Laboratories of Australia – nonlinear , version1) , LGOB (The Loudness Growth in Half-Octave Bands, IHAFF (The Independent Hearing Aid Fitting Forum), FIG6 (Figure6) เป็นต้น [8]

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องช่วยฟังที่ใช้ การขยายขนาดเชิงเส้น และ การขยายขนาดไม่เชิงเส้น และเครื่องช่วยฟังที่ใช้การขยายขนาดไม่เชิงเส้นด้วยกันทั้งในด้านความสามารถในการขยายขนาดสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง และคุณภาพของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ในส่วนของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมที่ใช้การขยายขนาดเชิงเส้น จะใช้ Half-gain Rule เป็นสูตรคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง

ซึ่งมีข้อดี คือ จะทำให้ได้สัญญาณเสียงที่มีความดังใกล้เคียงกับระดับความดังที่ฟังสบายที่สุด (Most Comfortable Level : MCL) ของผู้ป่วย ซึ่งโดยปกติจะมีค่าเท่ากับ ระดับความดังกึ่งกลางระหว่าง ระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยิน (THR) กับ ระดับความดังของเสียงมากที่สุดที่ยังคงยอมรับได้ (UCL) ในส่วนของเครื่องช่วยฟังที่ใช้การขยายขนาดไม่เชิงเส้น จะใช้ DSL , NAL-NL1 , IHAFF และ FIG6 เป็นสูตรในการคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง โดยรายละเอียดจะกล่าวต่อไป

### 2.2.1 การบีบอัดสัญญาณเสียง

การบีบอัดสัญญาณเสียงจะช่วยลดพิสัยพลวัตของสัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟัง เพื่อให้เหมาะสมแก่พิสัยพลวัตการได้ยินของผู้ที่สูญเสียการได้ยิน ที่แคบกว่าพิสัยพลวัตการได้ยินของผู้มีการได้ยินปกติ การปรับค่าอัตราขยายจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณเสียงเข้าของตัวบีบอัด กล่าวคือ ถ้าสัญญาณเสียงเข้ามีระดับความดังต่ำ (Low-level Input) สัญญาณเสียงจะถูกขยายด้วยอัตราขยายที่สูงและเมื่อสัญญาณเสียงเข้ามีระดับความดังสูง (High-level Input) สัญญาณเสียงจะถูกขยายด้วยอัตราขยายที่ต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 6 ทำให้ได้สัญญาณเสียงออกที่ฟังสบาย (Comfort) [2] เมื่อเปรียบเทียบกับ เครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมที่ใช้อัตราขยายคงที่ โดย แบ่งการบีบอัดออกเป็น 3 แบบ [7] คือ




รูปที่ 6 การบีบอัด 3 แบบ สำหรับการลดพิสัยพลวัตของสัญญาณเสียง [7]

(1) การบีบอัดระดับความดังสูง (High-level Compression)

สัญญาณเสียงเข้าที่มีระดับความดังต่ำ (Low-level Sound) จะถูกขยายขนาดอย่างเป็นเชิงเส้น (Linearly Amplified) ในขณะที่ สัญญาณเสียงเข้าที่มีความดังปานกลางถึงมาก (Moderate to Intense Sounds) จะถูกบีบอัดให้มีความดังอยู่ในช่วงหนึ่ง ๆ เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก)

(2) การบีบอัดระดับความดังต่ำ (Low-level Compression)

จะเป็นกรณีกลับกันกับกรณีข้างต้น คือ สัญญาณเสียงเข้าที่มีระดับความดังสูง (High-level Sound) จะถูกขยายอย่างเป็นเชิงเส้น ในขณะที่การบีบอัดจะเกิดขึ้นกับสัญญาณเสียงเข้าที่มีระดับความดังต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข)

(3) การบีบอัดแบบช่วงกว้าง (Wide Dynamic Range Compression)

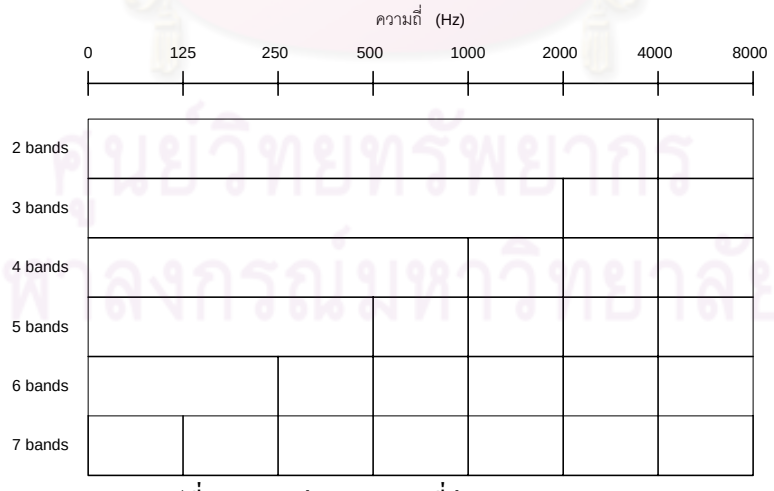
ในกรณีนี้ อัตราการบีบอัดมีค่าเท่ากันทุกระดับความดังของสัญญาณเสียงเข้า ดังแสดงในรูปที่ 6(ค)

**2.2.2 การแบ่งแถบความถี่ย่อย**

เนื่องจากระดับการสูญเสียการได้ยินในแต่ละช่วงความถี่ของผู้ประสบปัญหาการได้ยินมักจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3 การขยายขนาดสัญญาณเสียงขาเข้าของเครื่องช่วยฟังทุกความถี่ด้วยอัตราขยาย ที่เท่ากันจะไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการแบ่งสัญญาณเสียงเป็นช่วงความถี่ย่อยต่าง ๆ เพื่อให้สามารถปรับแต่งค่าอัตราขยายที่แตกต่างกันไป เพื่อให้มีความเหมาะสมแก่ปัญหาการสูญเสียการได้ยินของผู้ใช้แต่ละคน

เนื่องจากหูมนุษย์จะมีการแยกชัดทางความถี่ (Frequency Resolution) ที่ลดน้อยลงเมื่อความถี่ของสัญญาณเสียงมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการแบ่งสเปกตรัมของสัญญาณเสียงในช่วงความถี่ต่ำจะถูกแบ่งสเปกตรัมออกเป็นหลายแถบความถี่มากกว่าการแบ่งสัญญาณเสียงในช่วงความถี่สูง ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกแบ่ง แถบความถี่ย่อย อ้างอิงแบบ Octave Band [9]

การแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นหลายแถบความถี่ย่อยแบบ Octave Band จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 7 โดยจำนวนแถบความถี่ย่อย (M) เริ่มจาก 2 แถบจนถึง 7 แถบความถี่ย่อย เมื่อความถี่ในการชักตัวอย่าง $f_s$ เป็น 16 kHz

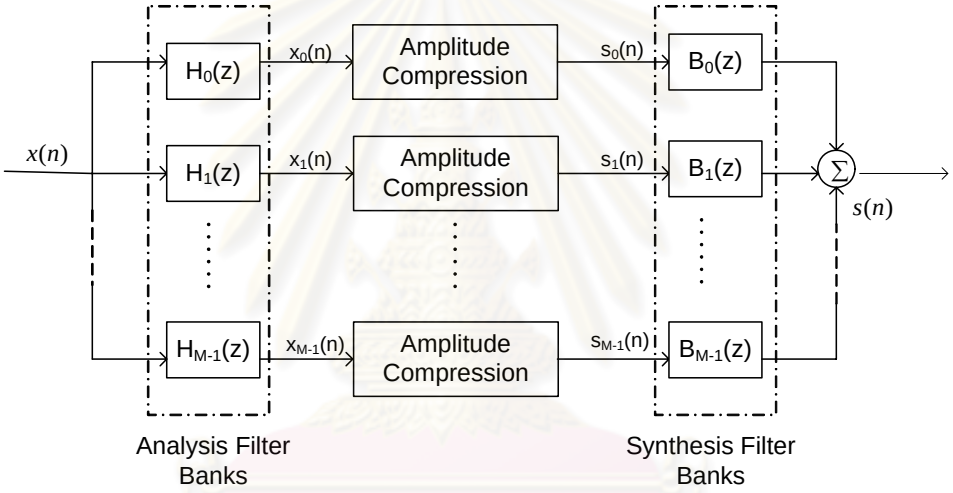



รูปที่ 7 การแบ่งแถบความถี่ย่อยแบบ Octave-Band

สัญญาณไมโครโฟนของเครื่องช่วยฟัง $x(n)$ จะถูกส่งต่อเข้าสู่คลังวงจรกรองวิเคราะห์ (Analysis Filter Banks: AFB) ซึ่งจะแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็น M แถบความถี่ย่อย เพื่อให้สามารถ

ขยายขนาดสัญญาณเสียงในแต่ละแถบความถี่ย่อย ด้วยค่าอัตราขยายที่ไม่เท่ากันในแต่ละแถบความถี่ย่อย เพื่อความเหมาะสมตามระดับการสูญเสียการได้ยิน ทั้งนี้สัญญาณเสียงที่ถูกขยายขนาดในแต่ละแถบความถี่ย่อย จะมีการบีบอัดสัญญาณเสียงตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.2.1 จากนั้นสัญญาณเสียงย่อยทั้ง M แถบความถี่ย่อย จะถูกรวมกลับเป็นสัญญาณเสียงแบบทุกช่วงความถี่ (Fullband Signal) ด้วยคลังวงจรกรองสังเคราะห์ (Synthesis Filter Banks: SFB) ได้เป็นสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง, $s(n)$ ดังแสดงในรูปที่ 8 [10,11]

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สนใจประสิทธิภาพของสูตรค่าอัตราขยายที่มีผลต่อระบบเครื่องช่วยฟัง ดังนั้นในส่วนวิถีป้อนกลับของเครื่องช่วยฟังจะตัดทิ้งออกไป




รูปที่ 8 การทำงานเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย

2.3 **การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังประเภทต่างๆ**

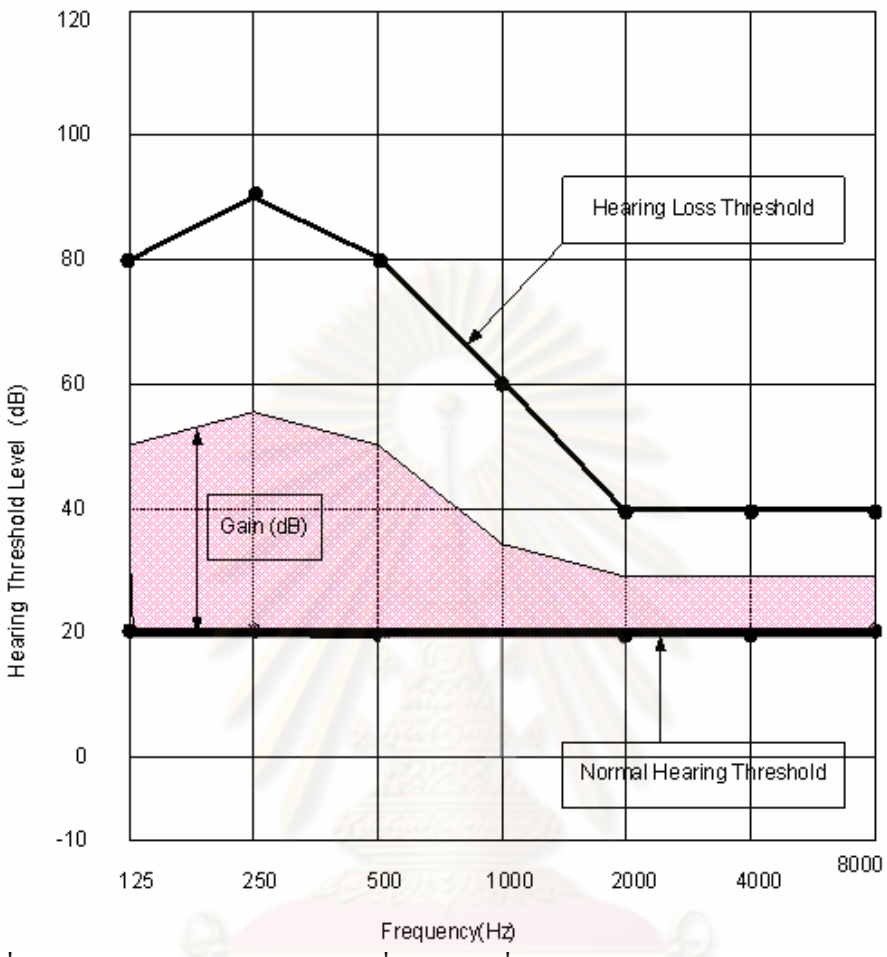
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง โดยจะอธิบายตามกลุ่มของเครื่องช่วยฟังดังนี้

**2.3.1 การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ใช้ การขยายขนาดเชิงเส้น**

**2.3.1.1 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ Half-gain Rule**

สูตรค่าอัตราขยายแบบ Half-gain Rule จะมีหลักการคือ ค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ช่วงความถี่ใดๆ จะมีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของระดับการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย

$$G_0 = \frac{1}{2} \times (THR_I - THR_N) \quad (1)$$




รูปที่ 9 การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ใช้การขยายแบบเชิงเส้น แบบ Half-gain Rule

โดยเส้นระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้มีการได้ยินปกติ หาได้จากรูปที่(3) แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกให้ระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้มีการได้ยินปกติมีค่าเท่ากันหมดคือ 20 *dB*

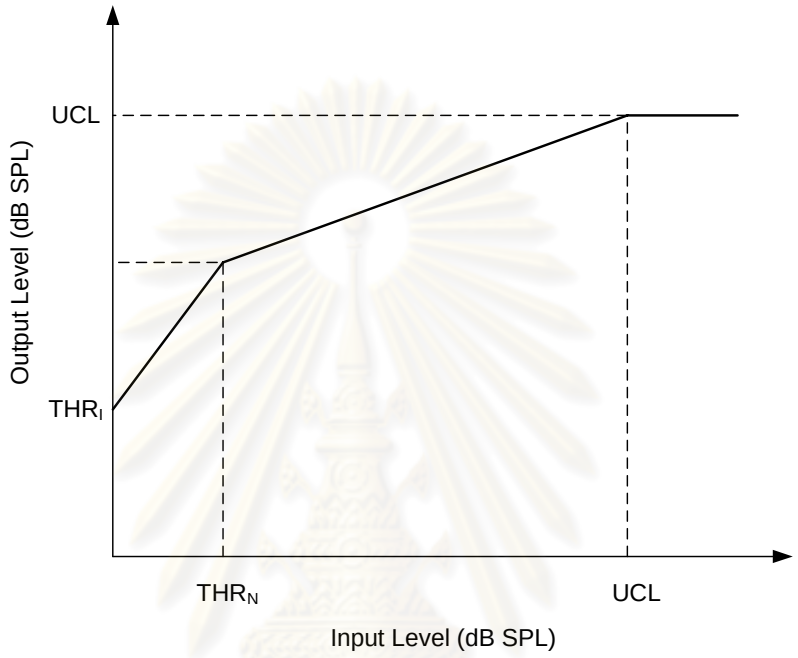
### 2.3.2 การคำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ใช้ การขยายขนาดไม่เชิงเส้น

#### 2.3.2.1 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL [7]

หลักเกณฑ์นี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในเครื่องช่วยฟังสำหรับเด็กทารกและเด็กเล็ก จุดมุ่งหมายของหลักเกณฑ์นี้ เพื่อไม่ให้สัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังมีระดับความดังเสียงเกินระดับ UCL ของผู้ป่วยและไม่ทำให้สัญญาณเสียงเกิดความผิดเพี้ยน (distortion) โดยหลักเณฑ์นี้จะมีกระบวนการทำความดังเสียงให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalizing Loudness) เนื่องจากค่าพิสัยพลวัตของผู้สูญเสียการได้ยินมักแคบกว่าพิสัยพลวัตของคนปกติ ทำให้ ผู้สูญเสียการได้ยิน ไม่สามารถได้ยินเสียงได้ดีเหมือนคนปกติ สูตรค่าอัตราขยายแบบ DSL มีหลักการคือ ทำการบีบอัดสัญญาณเสียง

เพื่อ ลดพิสัยพลวัตของสัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟังให้เหมาะสมกับพิสัยพลวัตของผู้สูญเสียการได้ยิน โดยเป็นการบีบอัดแบบช่วงกว้าง

สูตรในการคำนวณค่าอัตราขยายแบบ DSL สามารถอธิบายดังรูปที่ 10




รูปที่ 10 หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL [7]

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าแบ่งออกเป็น 3 ช่วงโดย

**ช่วงที่ 1** สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง มีระดับความดังน้อยกว่า $THR_N$ จะถูกขยายด้วยอัตราขยายคงที่ ไม่มีการบีบอัด การคำนวณค่าอัตราขยายแบบ DSL ของเครื่องช่วยฟัง สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = THR_I - THR_N \quad (2)$$

**ช่วงที่ 2** สัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง มีระดับความดังมากกว่า $THR_N$ แต่ น้อยกว่า UCL จะถูกบีบอัดแบบช่วงกว้าง เพื่อให้พิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงขาออก ถูกบีบให้แคบลงอยู่ในช่วงระหว่าง $THR_I$ และ UCL ของผู้ป่วย การคำนวณค่าอัตราขยายแบบ DSL ในช่วงนี้ สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = \frac{(\text{UCL} - \text{THR}_\text{I})}{(\text{UCL} - \text{THR}_\text{N})} \times Input + THR_I - \frac{(\text{UCL} - \text{THR}_\text{I})}{(\text{UCL} - \text{THR}_\text{N})} \times THR_N - Input \quad (3)$$

เมื่อ Input คือ ระดับความดังของสัญญาณเสียงเข้า หรือ SPL (dB) ของสัญญาณเข้า

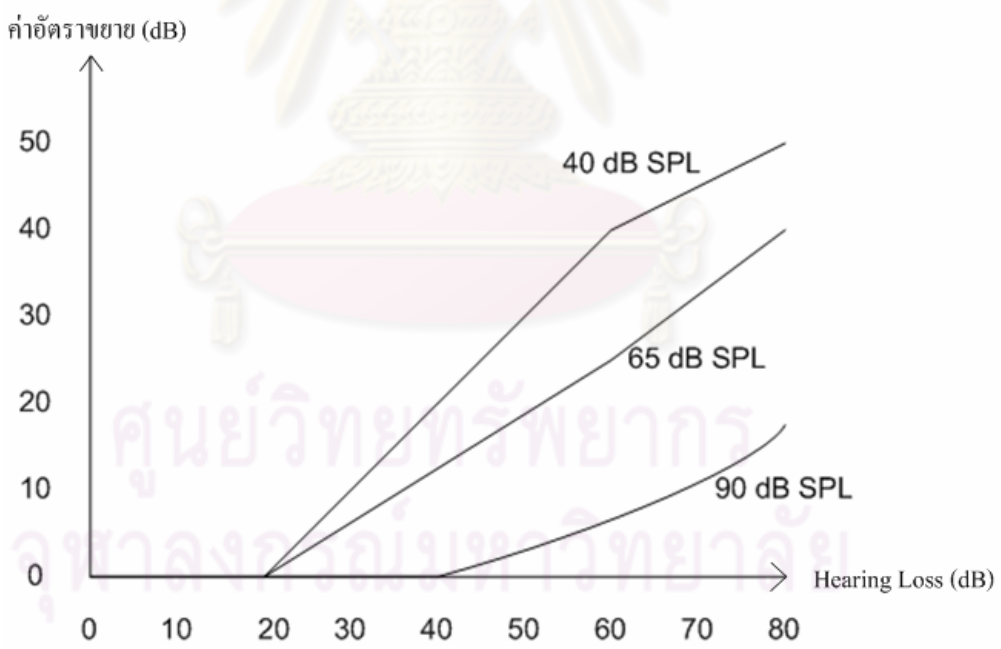
**ช่วงที่ 3** เมื่อสัญญาณเสียงขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง มีระดับความดังมากกว่า UCL สัญญาณเสียงขาเข้านั้น จะถูกบีบอัด แบบ High-Level Compression ให้มีระดับความดังเท่ากับ UCL การคำนวณค่าอัตราขยายแบบ DSL ในช่วงนี้ สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = UCL - Input \quad (4)$$

**2.3.2.2 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ FIG6**

หลักเกณฑ์นี้ออกแบบค่าอัตราขยายโดยมองที่ระดับเสียงขาเข้าและระดับความดังเริ่มต้นการได้ยิน ของผู้ที่สูญเสียการได้ยิน โดยมีหลักการที่ว่า ถ้าระดับเสียงขาเข้ามีความดังมาก ค่าอัตราขยายที่ใช้จะน้อย เมื่อเทียบกับระดับการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย ที่ระดับเดียวกัน ทำนองเดียวกัน ถ้าระดับเสียงขาเข้ามีความดังน้อย ค่าอัตราขยายที่ใช้จะเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับระดับการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วยที่ระดับเดียวกัน

สูตรในการคำนวณค่าอัตราขยายแบบ FIG6 สามารถอธิบายดังรูปที่ 11




รูปที่ 11 หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ FIG6 [7]

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่า หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ๆตามระดับเสียงขาเข้าหลัก 3 ระดับคือ ระดับ 40 , 65 และ 90 dB ซึ่งในที่นี้จะขอเรียกเส้นระดับเสียงขา

เข้าหลักดังกล่าวว่า “ เส้นขอบเขต” โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราขยายแบบ FIG6 เมื่อกำหนด HL คือระดับการสูญเสียการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยิน มีดังนี้

**- ที่ระดับเสียงขาเข้าที่ 40 dB**

ที่ระดับเสียงนี้ ค่าอัตราขยายจะถูกคำนวณโดยใช้สูตรอัตราขยายที่ต่างกัน ขึ้นกับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยิน ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินที่แตกต่างกันดังนี้

1. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่น้อยกว่า 20 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0$$

2. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่อยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = HL - 20$$

3. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่มากกว่า 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0.5HL + 10$$

**- ที่ระดับเสียงขาเข้าที่ 65 dB**

ที่ระดับเสียงนี้ ค่าอัตราขยายจะถูกคำนวณโดยใช้สูตรอัตราขยายที่ต่างกัน ขึ้นกับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยิน ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินที่แตกต่างกันดังนี้

1. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่น้อยกว่า 20 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0$$

2. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่อยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0.6(HL - 20)$$

3. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่มากกว่า 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0.8HL - 23$$

**- ที่ระดับเสียงขาเข้าที่ 95 dB**

ที่ระดับเสียงนี้ ค่าอัตราขยายจะถูกคำนวณโดยใช้สูตรอัตราขยายที่ต่างกัน ขึ้นกับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยิน ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินที่แตกต่างกันดังนี้

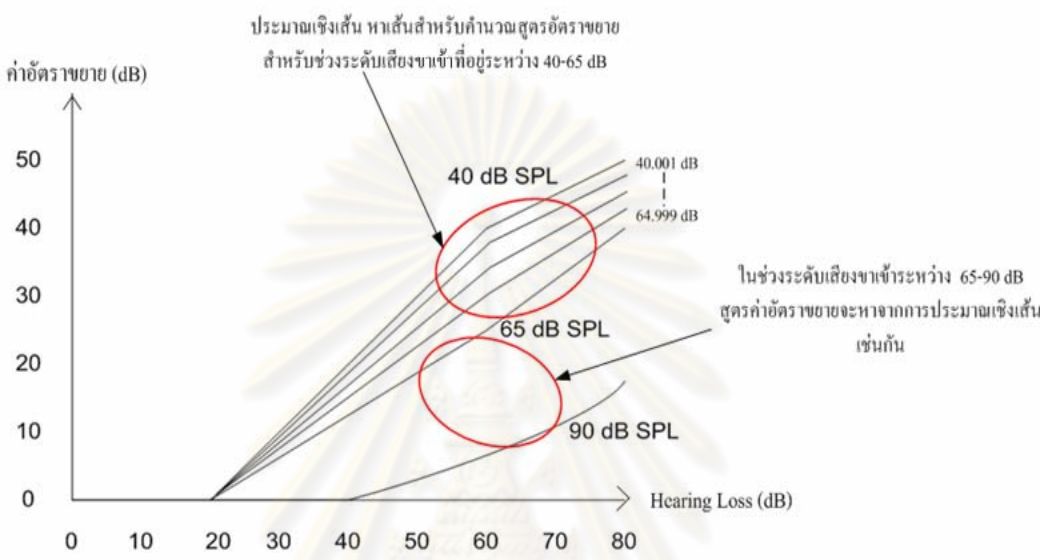
1. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่น้อยกว่า 40 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0$$

2. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่มากกว่า 40 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0.1(HL - 40)^{1.4}$$

โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราขยายข้างต้น เป็นสูตรที่ใช้สำหรับระดับเสียงขาเข้าที่เฉพาะ 40 , 65 และ 90 dB เท่านั้น แต่หากระดับเสียงขาเข้าไม่ใช่ 40 , 65 และ 90 dB สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราขยาย จะหาจากการประมาณเชิงเส้น จากเส้นขอบเขต 40 , 65 และ 95 dB ดังนี้




รูปที่ 12 อธิบายหลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ FIG6 [7]

**2.3.2.3 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ IHAFF**

หลักเกณฑ์นี้ถูกออกแบบค่าอัตราขยายโดยคำนวณสูตรค่าอัตราขยายจากการตรวจวัดสภาพระดับการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยินโดยตรง การตรวจวัดระดับสภาพการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยินโดยตรงจะทำในห้องปฏิบัติการตรวจวัดโดยเฉพาะเท่านั้น เรียกการตรวจวัดระดับการได้ยินนี้ว่า “ contour test ” โดยใบวัดตรวจสภาพการได้ยินหรือ contour test ดังตารางด้านล่างนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CONTOUR TEST WORKSHEET - 2 dB INCREMENTS**

**HEARING AID RES**

**EARCH LABORATORY**

NAME: _____ DATE: _____

CLIENT FILE NUMBER: _____

| | FREQUENCY | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hz | | | | Hz | | | | Hz | | | | Hz | | | |
| HL | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 120 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 118 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 116 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 114 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 112 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 108 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 106 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 104 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 102 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 98 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 96 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 94 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 92 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 88 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 86 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 84 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 82 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 78 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 76 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 74 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 72 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 68 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 66 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 64 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 62 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 58 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 56 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 54 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Convert to HA-1 SPL | | | |
|---|---|---|---|
| | Hz | | |
| Cat# | Mdn. | Corr. | HA-1 |
| 7(ucl) | | | |
| 6(lok) | | | |
| 5(csl) | | | |
| 4(com) | | | |
| 3(css) | | | |
| 2(sft) | | | |
| 1(vs) | | | |
| | Hz | | |
| Cat# | Mdn. | Corr. | HA-1 |
| 7(ucl) | | | |
| 6(lok) | | | |
| 5(csl) | | | |
| 4(com) | | | |
| 3(css) | | | |
| 2(sft) | | | |
| 1(vs) | | | |
| | Hz | | |
| Cat# | Mdn. | Corr. | HA-1 |
| 7(ucl) | | | |
| 6(lok) | | | |
| 5(csl) | | | |
| 4(com) | | | |
| 3(css) | | | |
| 2(sft) | | | |
| 1(vs) | | | |
| | Hz | | |
| Cat# | Mdn. | Corr. | HA-1 |
| 7(ucl) | | | |
| 6(lok) | | | |
| 5(csl) | | | |
| 4(com) | | | |
| 3(css) | | | |
| 2(sft) | | | |
| 1(vs) | | | |

HL to HA-1 SPL corrections: 250=+16, 500=+9, 1K=+4, 2k=+7, 3k=+6, 4k=+2.

รูปที่ 13 ใบวัดตรวจสภาพการได้ยินหรือ contour test

การตรวจวัดระดับสภาพการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยิน จะทำการวัดระดับเสียงที่ความถี่ใดๆ ความถี่หนึ่งที่ต้องการวัด ทีละความถี่หลักๆ ไปเรื่อยๆ โดยให้ผู้ป่วยที่ต้องการตรวจวัด contour

test ได้ฟังระดับเสียงขาเข้า ณ ระดับต่างๆ จากน้อยๆ แล้วค่อยเพิ่มระดับเสียงขึ้นเรื่อยๆ แล้วให้ผู้ป่วยบอกระดับสภาพการได้ยิน ซึ่งในที่นี้แบ่งออกเป็น 7 ระดับ คือ

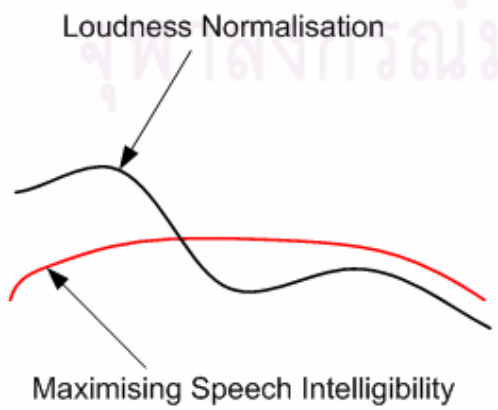
1) ระดับเสียงเบามาก
2) ระดับเสียงเบา
3) ระดับเสียงเบาค่อนไปทางสบาย
4) ระดับเสียงที่ฟังแล้วรู้สึกสบาย
5) ระดับเสียงที่ค่อนไปทางดัง
6) ระดับเสียงดัง
7) ระดับเสียงที่ไม่อาจทนฟังได้

เมื่อระดับเสียงขาเข้าดังไปถึงระดับใด ก็จะให้ผู้ป่วยทำสัญญาณบอกแสดงระดับสภาพการได้ยินที่ระดับเสียงขาเข้านั้นๆ ทำการบันทึก แล้วเพิ่มระดับความดังเสียงขาเข้าขึ้นเรื่อยๆ ผู้ป่วยก็จะมีหน้าที่แสดงระดับสภาพการได้ยินที่ระดับเสียงนั้นๆไปเรื่อย จากระดับ 1 ถึงระดับ 7 เมื่อตรวจสภาพการได้ยินครบความถี่หลักๆแล้ว ระดับการสูญเสียการได้ยินที่ตรวจวัดได้จากการ contour test จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบค่าอัตราขยายสำหรับเครื่องช่วยฟังของผู้ป่วยโดยเฉพาะ โดยการวัด contour test จะทำในห้องปฏิบัติการตรวจวัดโดยเฉพาะเท่านั้น

ดังนั้นในการวิทยานิพนธ์นี้ จึงไม่สามารถนำเสนอผลการทดลอง เมื่อใช้สูตรคำนวณค่าอัตราขยายแบบนี้ได้

#### 2.3.2.4 เครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1

หลักเกณฑ์สำหรับค่าอัตราขยาย NAL-NL1 มีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้ความรู้เรื่องในการฟัง (speech intelligibility) มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยไม่ใช้กระบวนการทำความดังเสียงให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalizing Loudness)




หลักการ ในการทำ Maximising Speech Intelligibility คือทำให้ระดับความดังเสียงเท่ากันตลอดเท่ากันทุกช่วงความถี่ ซึ่งต่างจากกระบวนการทำความดังเสียงให้เป็นบรรทัดฐาน หรือ normalizing Loudness ที่เป็นการขยาย/ลด ความดังเสียงเป็นสัดส่วนกันกับเสียงที่แท้จริง

ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับเครื่องช่วยฟังที่ใช้สูตรค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 คือ

ถ้า THRi < 100

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = 0.5\,(110 - \text{THRi}) \quad (5)$$

ถ้า 100 < THRi < 120

$$\text{อัตราขยาย (dB)} = \text{THRi} - \text{THRn} \quad (6)$$

เมื่อ THRi คือ ระดับเริ่มในการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยิน

และ THRn คือ ระดับเริ่มในการได้ยินของผู้มีการได้ยินปกติ

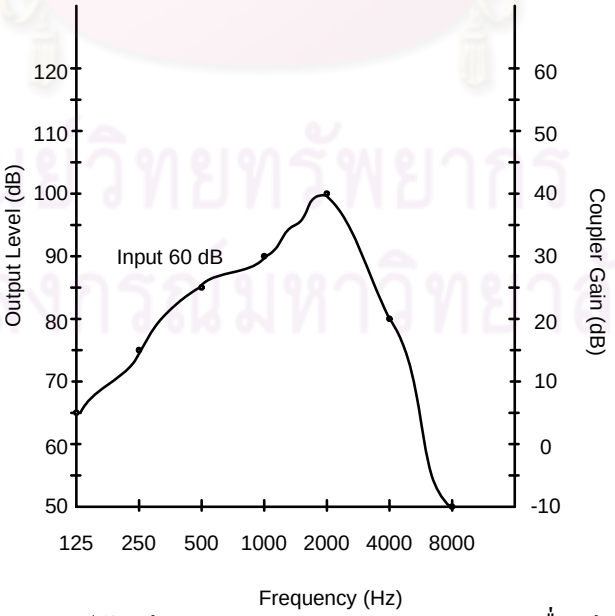
ในวิทยานิพนธ์นี้ จะนำพิจารณาเฉพาะเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , FIG6 และ NAL-NL1 เท่านั้น เพราะเนื่องจากหลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ IHAFF นั้นต้องใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบจริงๆเท่านั้น จึงจะสามารถหาค่าสูตรอัตราขยายสำหรับผู้ป่วยนั้นๆได้

## 2.4 การแสดงผลหรือคุณลักษณะของเครื่องช่วยฟัง

หัวข้อนี้กล่าวถึงกราฟต่างๆที่ใช้แสดงประสิทธิภาพหรือคุณลักษณะของเครื่องช่วยฟัง

### 2.4.1 Gain-Frequency Response

เป็นวิธี ที่ใช้ในการแสดงประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟัง โดยกราฟจะแสดงค่าระดับความดังเสียง ( SPL) ของสัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟัง ณ ความถี่ต่างๆ ซึ่งกราฟ Gain-Frequency Response นำไปใช้คำนวณค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังได้ เมื่อทราบ SPL ของสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง

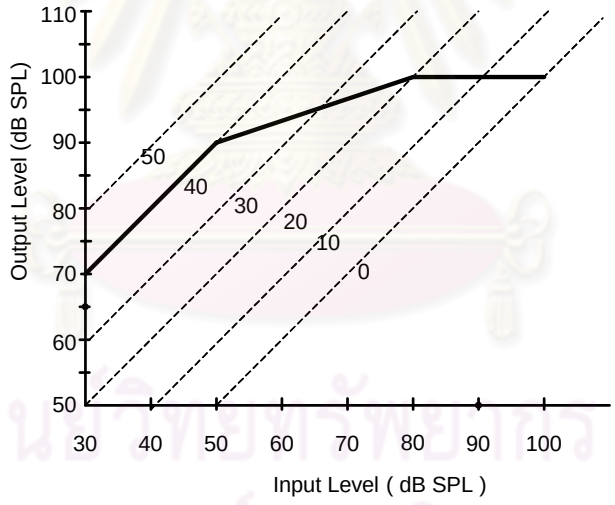



รูปที่ 14 กราฟตัวอย่าง Gain-Frequency Response ของเครื่องช่วยฟัง [7]

จากรูปที่ 14 แสดงให้เห็น Gain-Frequency Response ของสัญญาณขาเข้าที่ SPL เป็น 60 dB แกนทางซ้ายมือเป็น SPL ของสัญญาณขาออกจากเครื่องช่วยฟัง ส่วนแกนทางขวามือเป็นอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง ตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 1000 Hz สัญญาณเข้า ที่ระดับความดัง 60 dB จะถูกขยายด้วยอัตราขยาย 30 dB (อ่านจากแกนทางขวามือ) และจะมีสัญญาณเสียงขาออกที่ระดับความดัง 90 dB ( อ่านจากแกนทางซ้ายมือ) สำหรับค่าที่ทางมาตรฐาน IEC (International Electroacoustical Commission) และมาตรฐาน ANSI (American National Standards Institute) กำหนดให้ใช้วัดสัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟัง เมื่อสัญญาณขาเข้ามี SPL เป็น 90 dB จะเรียกว่า Output SPL (OSPL) 90 -Frequency Response

**2.4.2. Input-Output**

เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SPL ของสัญญาณขาเข้า และ SPL ของสัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟัง ที่ความถี่หนึ่งๆ ความชัน (Slope) ของกราฟจะแสดงถึงค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง ณ ความถี่นั้นๆ




รูปที่ 15 กราฟตัวอย่าง I-O Curve ของเครื่องช่วยฟัง [7]

จากรูปที่ 15 กราฟเส้นทึบสามารถอธิบายได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

**ส่วนแรก** สัญญาณขาเข้าช่วงความดังระหว่าง 30-50 dB จะถูกขยายขนาดด้วยค่าอัตราขยายคงที่เท่ากับ 40 dB

**ส่วนที่สอง** สัญญาณขาเข้าช่วงความดังระหว่าง 50-80 dB จะถูกบีบอัด ในช่วงกว้าง

**ส่วนที่สาม** สัญญาณขาเข้าช่วงความดังที่เกิน 80 dB จะถูกบีบอัด ให้มี SPL ของสัญญาณขาออกไม่เกิน 100 dB

### 2.4.3 ประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังด้านความสามารถในการขยายขนาดสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง

การวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังด้านความสามารถในการขยายขนาดสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง ในเบื้องต้นที่จะนำเสนอในส่วนนี้คือ

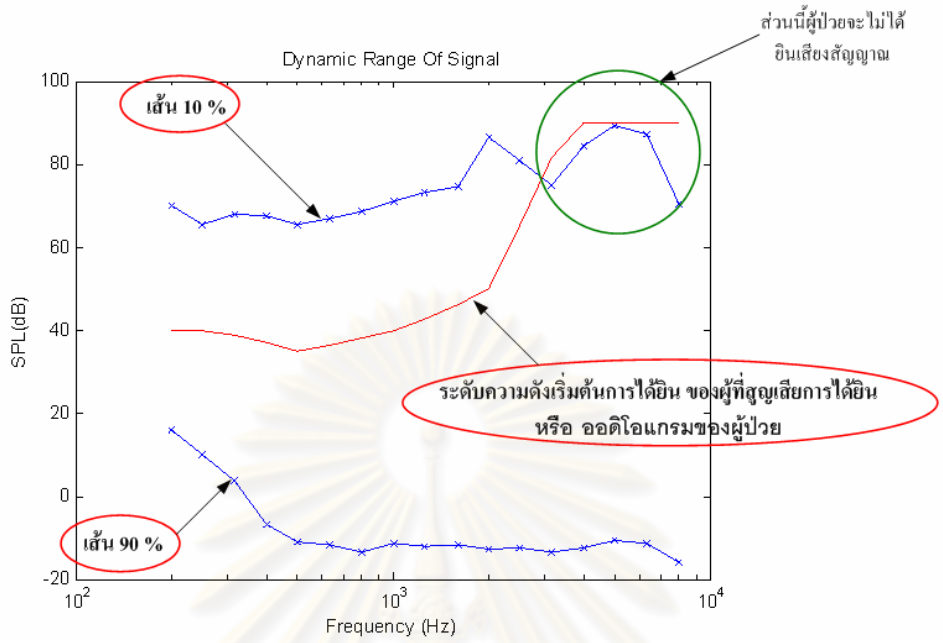
1) ค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณออกกับสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง (Dynamic Range)
2) ค่า Articualation Index (AI)
3) ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก (Error Of Output)

#### 2.4.3.1 ค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณออกกับสัญญาณขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง (Dynamic Range)

ตัวชี้วัดสำหรับการพิจารณาความสามารถในการขยายขนาดสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง อาศัยค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณออก กับ สัญญาณเข้าของเครื่องช่วยฟัง เมื่อค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงใดๆ หาจากช่วงความแตกต่างระหว่าง SPL สูงสุดและ SPL ต่ำสุด ของสัญญาณนั้นๆ สำหรับการนำเสนอค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณหนึ่งๆ จะแสดงผ่านทางระดับ 10 % และระดับ 90 % เมื่อนิยามระดับ 10 % (เส้นบน) เป็น SPL ที่มีเพียง 10 % ของสัญญาณเสียงในช่วงความถี่นั้นๆ มีความดังมากกว่า และระดับ 90 % (เส้นล่าง) แสดงถึง SPL ที่มีถึง 90 % ของสัญญาณเสียงในช่วงความถี่นั้นๆ มีความดังมากกว่า [12] ทั้งนี้ ออดิโอแกรมของผู้ป่วยจะถูกแสดงด้วยเพื่อการเปรียบเทียบเมื่อ สัญญาณเข้าถูกขยายขนาดได้อย่างเหมาะสม พิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง จะเพิ่มสูงขึ้นกว่าพิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าของเครื่องช่วยฟัง และควรจะต้องสูงกว่าออดิโอแกรมของผู้ป่วยด้วย ผู้ป่วยจึงจะได้ยินเสียงนั้นๆได้

ตัวอย่างค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณพูดหนึ่งๆ เมื่อเทียบกับระดังความดังเริ่มในการได้ยินของผู้ที่สูญเสียการได้ยิน หรือ ออดิโอแกรมของผู้ป่วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 16 กราฟแสดงพิสัยพลวัตของสัญญาณเมื่อเทียบกับออดิโอแกรมของผู้ป่วย

**2.4.3.2 ค่า Articulation Index (AI)** [13]

ค่า Ariticulation Index หรือค่า AI เป็นค่าที่ใช้วัดเพื่อเทียบประสิทธิภาพในการได้ยินของผู้ฟังโดยใช้ระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ฟังในการคำนวณ โดยค่า AI จะมีค่าสูงสุดคือ 100 ค่า AI เท่ากับ 100 หมายความว่า สัญญาณเสียงที่ได้ยิน ผู้ฟังสามารถได้ยินและรู้เรื่องครบถ้วนชัดเจนทุกคำพูดที่ได้ยิน ส่วนค่า AI เท่ากับ 0 หมายความว่า ไม่มีสัญญาณเสียงใดๆเลย ที่ผู้ฟังสามารถได้ยินแล้วรู้เรื่องเลย โดยปกติค่า AI ในแต่ละแถบความความถี่ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะถือว่าสัญญาณเสียงในแถบความถี่นั้นๆ ที่ได้ยิน ไม่สามารถฟังรู้เรื่องได้พอ ส่วนค่า AI ในแต่ละแถบความถี่ที่มีค่ามากกว่า 0.80 แสดงว่าสัญญาณเสียงในแถบความถี่นั้นที่ได้ยิน สามารถฟังรู้เรื่องได้ดีพอ ค่า AI มีสูตรคำนวณจากการแบ่งความถี่ของสัญญาณเสียงพูดในรูป 1/3 Octave Band ในช่วงความถี่ระหว่าง 200 Hz กับ 6300 Hz ที่ความถี่กลางในแต่ละแถบความถี่ย่อย (Centre Frequencies) การคำนวณค่า AI จะมีการถ่วงน้ำหนักความสำคัญในแต่ละแถบความถี่ย่อยไม่เท่ากัน ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณหาค่า AI [13]

| 1/3 Octave Centre Frequency (Hz) | Lower Level (dB) | Upper Level (dB) | AI Weighting |
|---|---|---|---|
| 200 | 23.1 | 53.1 | 1.00 |
| 250 | 30.4 | 60.4 | 2.00 |
| 315 | 34.4 | 64.4 | 3.25 |
| 400 | 38.2 | 68.2 | 4.25 |
| 500 | 41.8 | 71.8 | 4.50 |
| 630 | 43.1 | 73.1 | 5.25 |
| 800 | 44.2 | 74.2 | 6.50 |
| 1000 | 44.0 | 74.0 | 7.25 |
| 1250 | 42.6 | 72.6 | 8.50 |
| 1600 | 41.0 | 71.0 | 11.50 |
| 2000 | 38.2 | 68.2 | 11.00 |
| 2500 | 36.3 | 66.3 | 9.50 |
| 3150 | 34.2 | 64.2 | 9.00 |
| 4000 | 31.0 | 61.0 | 7.75 |
| 5000 | 26.5 | 56.5 | 6.25 |
| 6300 | 20.9 | 50.9 | 2.50 |

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า ช่วงแถบความถี่ย่อยระหว่าง 1,000 - 4,000 Hz จะเป็นช่วงที่มีค่าถ่วงน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับช่วงแถบความถี่ย่อยอื่น

วิธีการคำนวณหาค่า AI มีวิธีดังนี้

1. พิจารณาความถี่กลางทีละแถบความถี่ย่อย เพื่อหาคะแนนในแต่ละแถบความถี่ย่อยไปเรื่อยๆ
   1.1 ถ้าระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ที่ต้องการวัดในแต่ละแถบความถี่ย่อยใดๆ มีค่ามากกว่า ขอบเขตบน (Upper Level) จะให้คะแนนแถบความถี่ย่อยนั้นเท่ากับ 0
   1.2 ถ้าระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ที่ต้องการวัดในแต่ละแถบความถี่ย่อยใดๆ มีค่าน้อยกว่า ขอบเขตล่าง (Lower Level) จะให้คะแนนแถบความถี่ย่อยนั้นเท่ากับ 1

1.3 ถ้าระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ที่ต้องการวัดในแต่ละแถบความถี่ย่อยใดๆ มีค่าอยู่ระหว่างขอบเขตล่างและขอบเขตบน จะให้คะแนนแถบความถี่ย่อยนั้นโดยการประมาณเชิงเส้นเทียบให้มีค่าระหว่าง 0 กับ 1

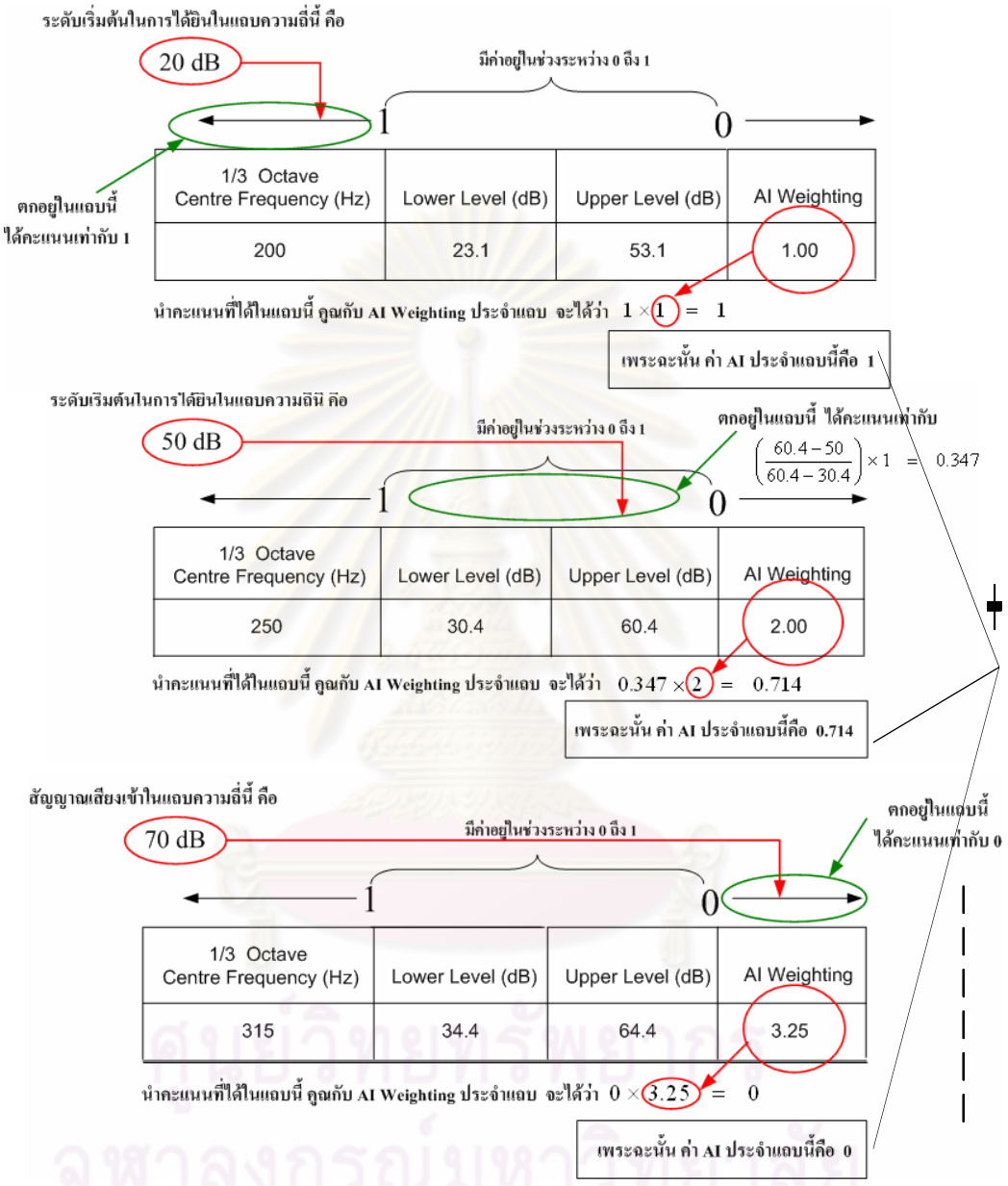
2. นำคะแนนของแถบความถี่ย่อยแต่ละแถบ คูณกับ ค่าถ่วงน้ำหนัก (AI Weighting) ของแต่ละแถบความถี่ย่อยนั้น จะได้เป็นค่า AI ของแถบความถี่ย่อยใดๆ
3. นำค่า AI ของทุกแถบความถี่ย่อย 16 แถบ มารวมกัน ค่าที่ได้คือ ค่า AI หรือ ค่าที่ใช้วัดเพื่อเทียบประสิทธิภาพในการได้ยินของผู้ฟังนั่นเอง ดังตัวอย่างด้านล่าง

| 1/3 Octave Centre Frequency (Hz) | ระดับความดัง เริ่มต้นในการได้ยิน (dB) |
|---|---|
| 200 | 20 |
| 250 | 50 |
| 315 | 70 |
| | |
| | |

รูปที่ 17 แสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยิน
ของตัวอย่างผู้ที่ต้องการวัดค่า AI ในแต่ละช่วงแถบความถี่ย่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่า AI คำนวณได้จาก

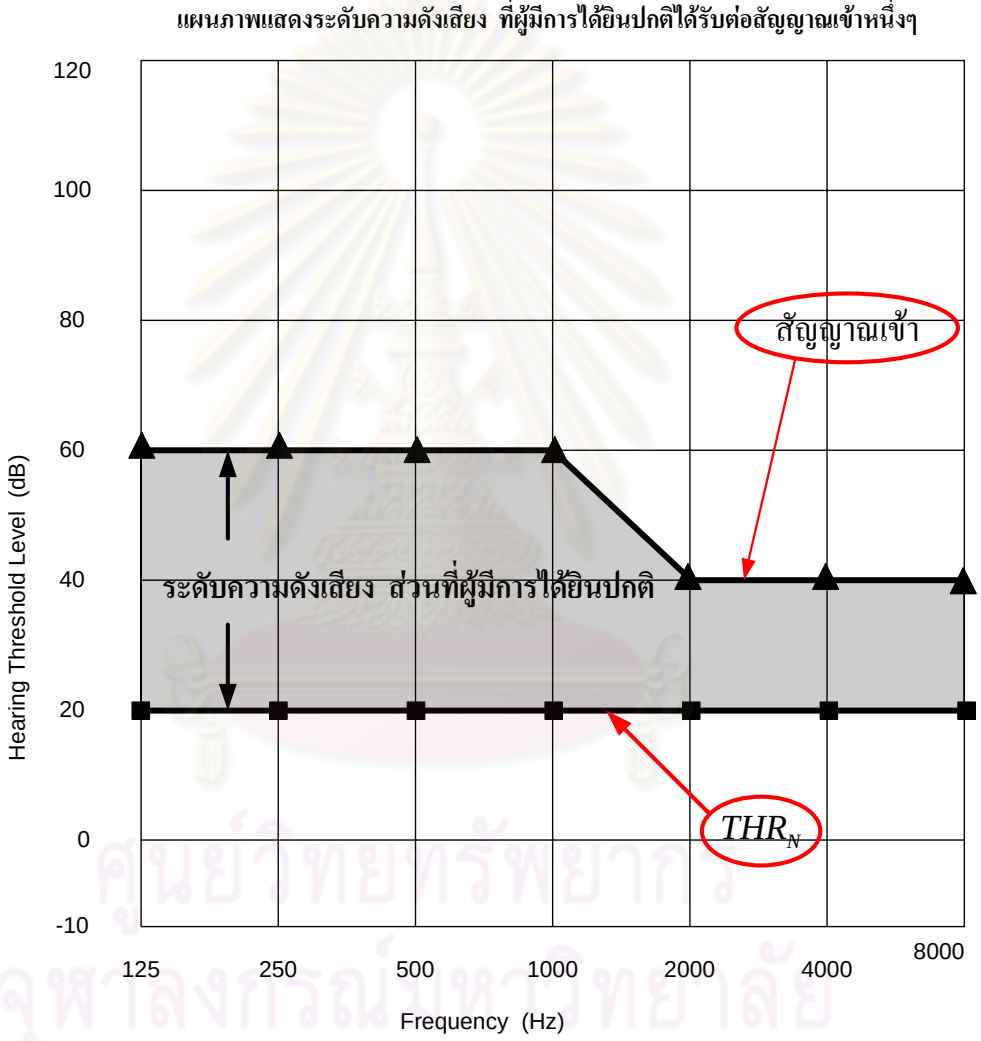



รูปที่ 18 การคำนวณหาค่า AI โดยใช้แถบความถี่ย่อย 1/3 Octave Band

เมื่อได้ค่า AI ประจำแถบความถี่ย่อยครบทั้ง 16 แถบ ให้นำค่า AI ประจำแถบความถี่ย่อยทุกแถบ มารวมกัน จะได้ค่า AI (Articulation Index) นั่นเอง

**2.4.3.3 ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก (Error Of Output)**

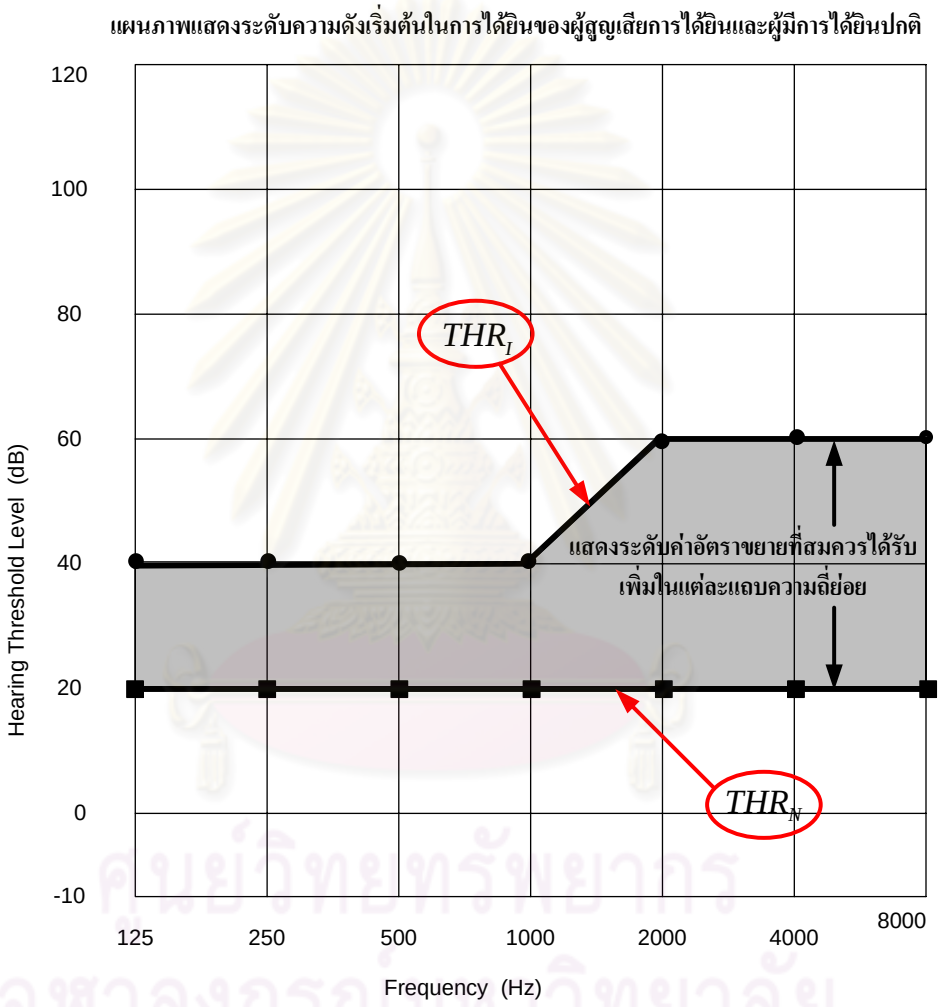
วิธีหาประสิทธิภาพของสัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟังแบบนี้ มีแนวคิดมาจาก การต้องการให้ผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติ ให้มากที่สุด อธิบายดังต่อไปนี้




รูปที่ 19 แผนภาพแสดงระดับความดังเสียงที่ผู้มีการได้ยินปกติได้รับต่อสัญญาณเข้าหนึ่ง

การที่ผู้ฟังจะได้ยินสัญญาณเสียง ก็ต่อเมื่อ ระดับสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้น มีค่ามากกว่าระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ฟังนั้นๆ โดยถ้าระดับเสียงสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้น มีค่ามากกว่าระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ฟังนั้นมากเท่าใด ระดับความดังเสียงที่ผู้ฟังนั้นได้รับ ก็จะมีค่าความดังขึ้นมากเท่านั้น จากรูปที่ 19 ซึ่งเป็นการพิจารณาในส่วนสัญญาณเข้าหนึ่งๆ

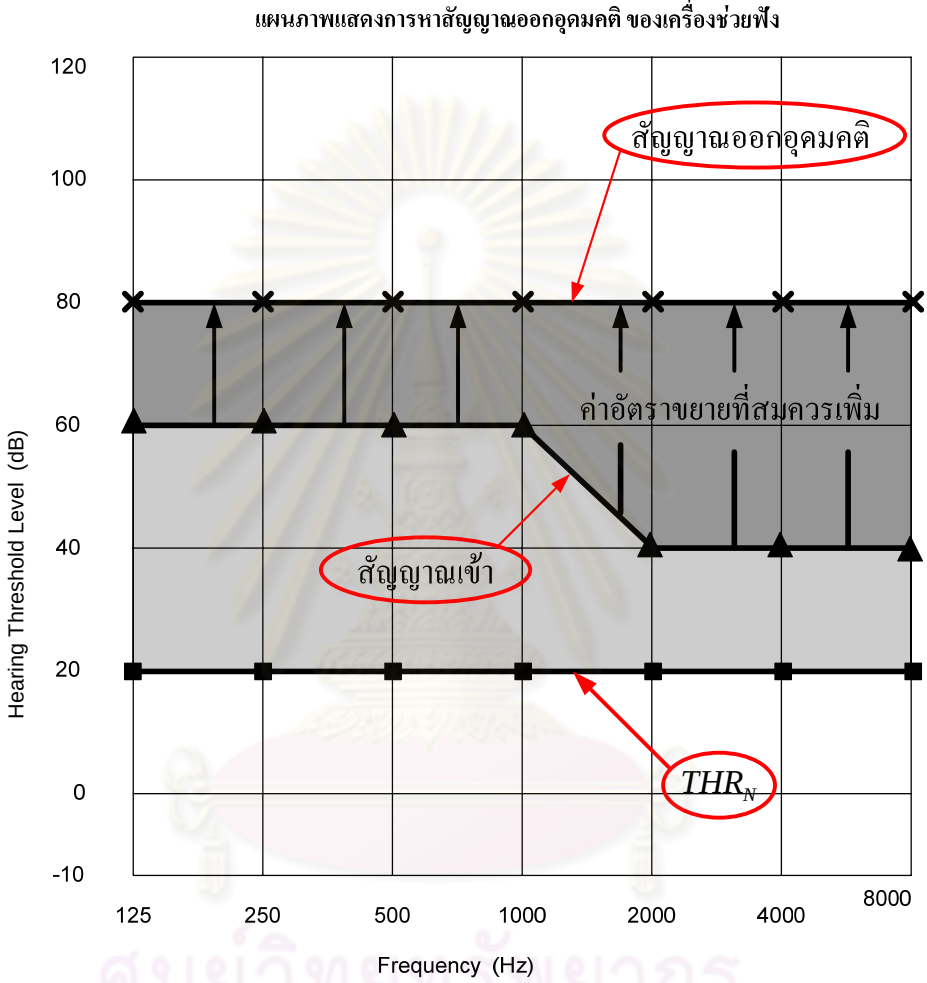
กับผู้มีการได้ยินปกติ จะเห็นว่า พื้นที่สีเทาคือส่วนที่ระดับสัญญาณเสียงที่ได้ยินมีค่ามากกว่าระดับความดังเริ่มต้นในการยินของผู้มีการได้ยินปกตินั้น ซึ่งพื้นที่สีเทาส่วนนี้ คือส่วนที่ต้องการให้ผู้ที่มีการสูญเสียการได้ยิน ได้รับเท่ากันกับผู้มีการได้ยินปกตินั่นเอง ต่อไปจะเป็นแผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยินและผู้มีการได้ยินปกติ




รูปที่ 20 แผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยินและผู้มีการได้ยินปกติ

จากรูปที่ 20 เป็นแผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้สูญเสียการได้ยินและผู้มีการได้ยินปกติ จะเห็นว่า พื้นที่สีเทาของรูปนี้ แสดงถึงระดับการสูญเสียการได้ยินตลอดช่วงความถี่ หรือมองอีกมุมหนึ่งก็คือ ค่าอัตราขยายที่สมควรเพิ่มให้สัญญาณเสียงเข้าของเครื่องช่วยฟังในแต่ละแถบความถี่ย่อย เพื่อทดแทนระดับการสูญเสียการได้ยินตลอดช่วงความถี่ของผู้มีการสูญเสียการได้ยินนั้นๆ นั่นเอง ซึ่งในเมื่อ พื้นที่สีเทานี้ คือ ค่าอัตราขยายที่สมควรเพิ่มให้

สัญญาณเสียงเข้า ต่อไปจะเป็นรูปแสดง ค่าสัญญาณเข้าที่ได้รับการเพิ่มอัตราขยายดังกล่าว ซึ่งในที่นี้ เราจะเรียกว่า “ สัญญาณออกอุดมคติของเครื่องช่วยฟัง ”




รูปที่ 21 การหาสัญญาณออกอุดมคติของเครื่องช่วยฟัง

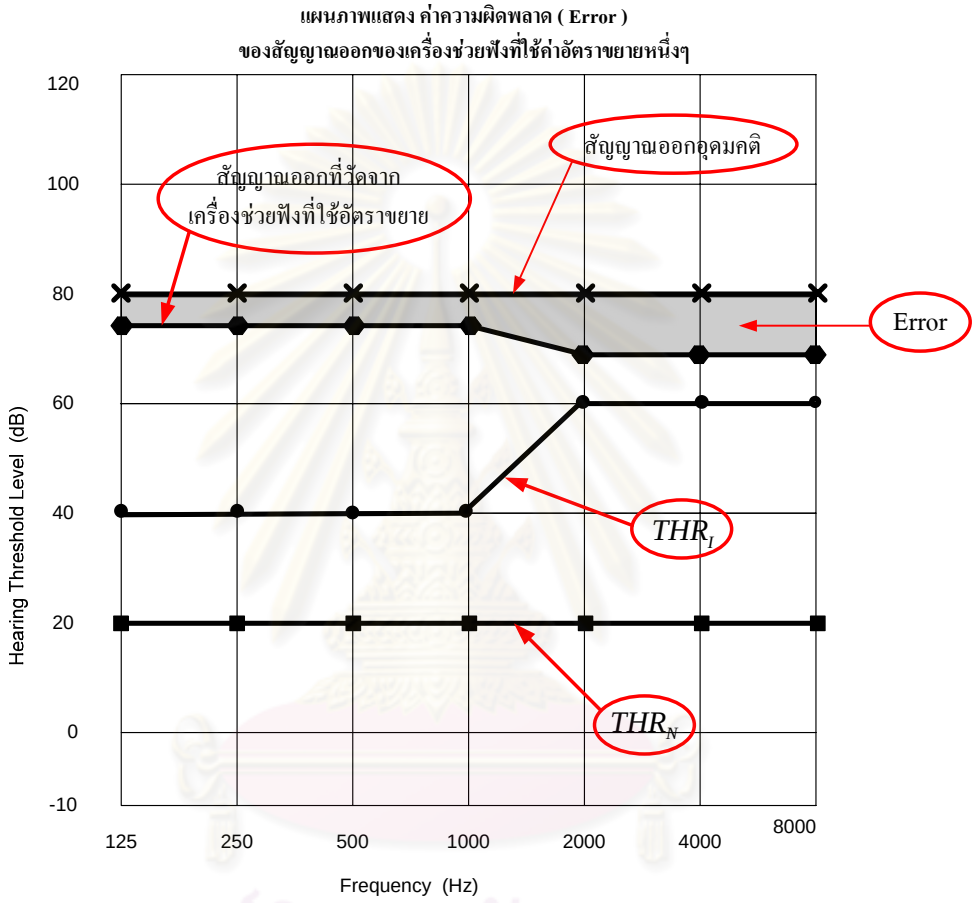
จากรูปที่ 21 จะเห็นว่า เราสามารถคำนวณหาหาค่าสัญญาณออกอุดมคติของเครื่องช่วยฟังได้ โดย

ระดับเสียงสัญญาณออกอุดมคติ = ระดับเสียงสัญญาณเข้า + ค่าอัตราขยายที่สมควรเพิ่ม (7)

เมื่อ ค่าอัตราขยายที่สมควรเพิ่ม = ระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้มีการสูญเสียการได้ยิน – ระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้มีการยินปกติ

$$= THR_I - THR_N \quad (8)$$

เมื่อทำการคำนวณได้ค่าสัญญาณออกอุดมคติได้แล้ว ต่อไปจะเป็นวิธีการวัดประสิทธิภาพของสัญญาณออกเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์แบบค่าอัตราขยายต่างๆ โดยจะทำการสมมติค่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้อัตราขยายใดๆเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจดังนี้

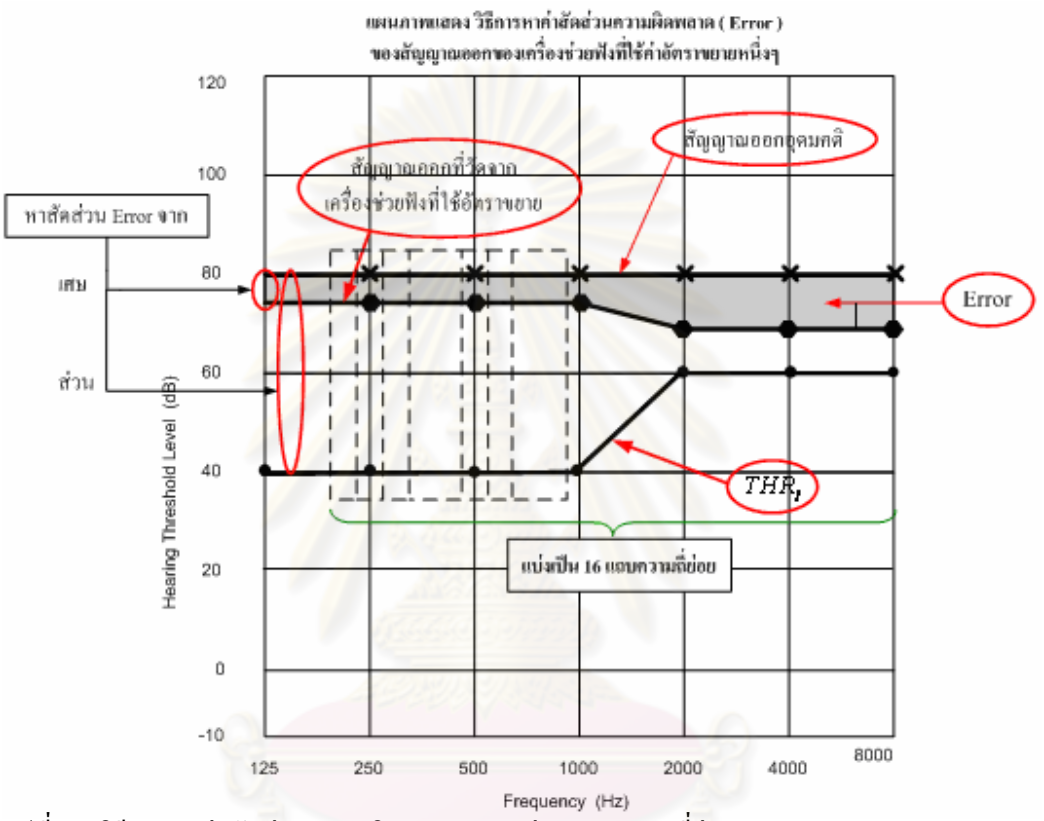



รูปที่ 22 ค่าความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้สูตรค่าอัตราขยายหนึ่ง เมื่อเทียบกับสัญญาณออกอุดมคติ

จากรูปที่ 22 แสดงให้เห็นค่าความผิดพลาด(Error) จากสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้อัตราขยายหนึ่ง เมื่อเทียบกับสัญญาณออกอุดมคติของเครื่องช่วยฟัง โดยจากรูป จะเห็นว่า ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น มีค่าไม่คงที่ขึ้นกับ $THR_I$ , $THR_N$ , ระดับสัญญาณเสียงเข้า และ ค่าอัตราขยายที่เลือกใช้ดังนั้น เพื่อให้เกิดการคำนวณที่ละเอียดและใกล้เคียงที่สุด ในวิทยานิพนธ์นี้เสนอให้คิดค่าคำนวณโดยการแบ่งแถบความถี่ย่อย ในรูปของ 1/3 Octave Band โดยต่อไปจะเป็นการคิดคำนวณค่าความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ย่อย

ตารางที่ 2 การแบ่งแถบความถี่ย่อยแบบ 1/3 Octave Band

| 1/3 Octave Centre Frequency (Hz) | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|




รูปที่ 23 วิธีการหาค่าสัดส่วนความผิดพลาดของแต่ละแถบความถี่ย่อย 1/3 Octave Band

จากรูปที่ 23 สัดส่วนความผิดพลาด หาได้จากการเทียบสัดส่วนระหว่างความผิดพลาดของสัญญาณขาออกที่ออกจากเครื่องช่วยฟังกับสัญญาณออกอุดมคติ ต่อ ระดับความดังเสียงที่ผู้มีการสูญเสียการได้ยินได้รับกับสัญญาณออกอุดมคติ นั่นคือ

สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ย่อย, $E_k$ = ( ความผิดพลาดของสัญญาณขาออกที่ออกจากเครื่องช่วยฟังกับสัญญาณออกอุดมคติ) / (ระดับความดังเสียงที่ผู้มีการสูญเสียการได้ยินได้รับกับสัญญาณออกอุดมคติ )

$$= \frac{|Ideal\ Output\ -\ Output|}{Ideal\ Output\ -\ THR_I} \qquad (9)$$

เมื่อ $E_k$ คือ ค่าสัดส่วน Error ในแต่ละแถบความถี่ย่อย

เนื่องจาก สัญญาณเสียงพูดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ 300-3400 Hz [14,15] นั่นคือ สำหรับสัญญาณเสียงพูด ค่าความสำคัญในแต่ละช่วงความถี่ ย่อมมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เวลาคิดค่าเปอร์เซนต์ Error จะถ่วงน้ำหนักแต่ละแถบความถี่ย่อยให้เท่ากันไม่ได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ เสน€อให้นำค่าความสำคัญหรือค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละแถบความถี่มาจากการคำนวณค่าAI ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของแต่ละแถบความถี่ย่อย

| 1/3 Octave Centre Frequency (Hz) | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Weighting Of Bands | 1.00 | 2.00 | 3.25 | 4.25 | 4.50 | 5.25 | 6.50 | 7.25 | 8.50 | 11.50 | 11.00 | 9.50 | 9.00 | 7.75 | 6.25 | 2.50 |

เมื่อได้สัดส่วน Error ในแต่ละแถบความถี่ย่อยได้ครบทั้ง 16 แถบความถี่ย่อยแล้ว จะนำค่าดังกล่าวในแต่ละแถบความถี่ย่อย มาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละแถบความถี่ย่อยนั้นๆ แล้วนำผลที่ได้ทุกแถบความถี่ย่อย มารวมกัน จะได้ค่าเปอร์เซนต์ Error ของสัญญาณออกอันเกิดจากเครื่องช่วยฟังที่ใช้สูตรค่าอัตราขยายใดๆ เทียบกับ สัญญาณออกในอุดมคติ ดังสูตรต่อไปนี้

เปอร์เซนต์ ความผิดพลาด , $P_{error} = \sum_{k=1}^{16} E_k W_k$ (10)

เมื่อ $E_k$ คือ ค่าสัดส่วน Error ในแต่ละแถบความถี่ย่อย

และ $W_k$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของแต่ละแถบความถี่ย่อย

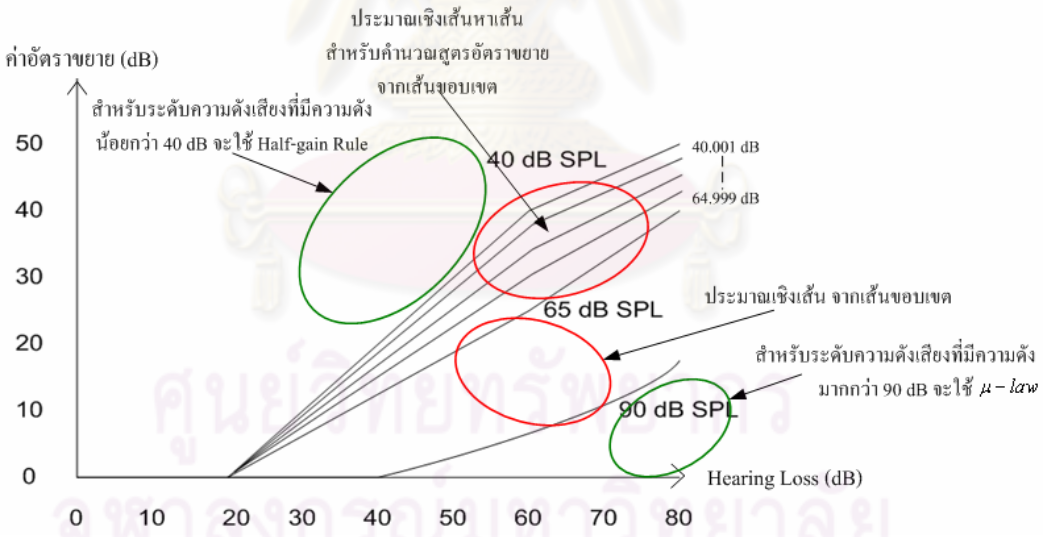
ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดที่ได้ จะเป็นอีกวิธีในการแสดงประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟัง ที่ใช้สูตรค่าอัตราขยายต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3
# การปรับปรุงหลักเกณฑ์สำหรับค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟัง แบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ เราสนใจเฉพาะเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , FIG6 และ NAL-NL1 เท่านั้น เนื่องจาก เครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ IHAFF นั้นต้องใช้ห้องปฏิบัติการทดลองจริง ซึ่งยากต่อการทดสอบ โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 ซึ่งสนใจในส่วนของระดับสัญญาณเสียงเข้า ในวิทยานิพนธ์นี้ จะขอนำเสนอการปรับปรุงสูตรสำหรับค่าอัตราขยายสำหรับเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 ดังอธิบายในหัวข้อย่อย 3.1

## 3.1 สูตรค่าอัตราขยายทุกช่วงระดับความดังเสียงสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อยที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ FIG6




รูปที่ 24 การเพิ่มสูตรอัตราขยายกับเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6

เนื่องจากสูตรค่าอัตราขยายที่ใช้เดิมสำหรับเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 [7] ถูกออกแบบใช้สำหรับระดับความดังของสัญญาณเสียงเข้าตั้งแต่ 40-90 dB เท่านั้น ซึ่งในส่วนของค่าอัตราขยายสำหรับระดับความดังของสัญญาณเสียงเข้าที่น้อยกว่า 40 dB และมากกว่า 90 dB จะมีการใส่สูตรค่าอัตราขยายเพิ่มเข้าไปดังนี้

**- ที่ระดับเสียงขาเข้าที่น้อยกว่า 40 dB**

จะใช้สูตรค่าอัตราขยายเชิงเส้นแบบ Half-gain Rule ซึ่งมีหลักการคือ ค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ช่วงความถี่ใดๆ จะมีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของระดับการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad \frac{1}{2}\times\left(THR_I - THR_N\right)$$

**- ที่ระดับเสียงขาเข้าที่ 40 dB**

ที่ระดับเสียงนี้ ค่าอัตราขยายจะถูกคำนวณโดยใช้สูตรอัตราขยายที่ต่างกัน ขึ้นกับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยิน ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินที่แตกต่างกันดังนี้

1. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่น้อยกว่า 20 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 0$$

2. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่อยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad HL - 20$$

3. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่มากกว่า 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 0.5HL + 10$$

**- ที่ระดับเสียงขาเข้าที่ 65 dB**

ที่ระดับเสียงนี้ ค่าอัตราขยายจะถูกคำนวณโดยใช้สูตรอัตราขยายที่ต่างกัน ขึ้นกับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยิน ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินที่แตกต่างกันดังนี้

1. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่น้อยกว่า 20 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 0$$

2. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่อยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 0.6(HL - 20)$$

3. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่มากกว่า 60 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 0.8HL - 23$$

**- ที่ระดับเสียงขาเข้าที่ 95 dB**

ที่ระดับเสียงนี้ ค่าอัตราขยายจะถูกคำนวณโดยใช้สูตรอัตราขยายที่ต่างกัน ขึ้นกับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยิน ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินที่แตกต่างกันดังนี้

1. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่น้อยกว่า 40 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 0$$

2. สำหรับระดับความดังเริ่มต้นการได้ยินที่มากกว่า 40 dB สูตรค่าอัตราขยายที่ใช้คือ

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 0.1(HL - 40)^{1.4}$$

**- ที่ระดับเสียงขาเข้ามากกว่า 95 dB**

ที่ระดับเสียงขาเข้ามากกว่า 95 dB จะใช้กฎของ $\mu - law$ เพื่อปรับค่าสัญญาณเสียงโดยวิธี Normalizing

$$\text{อัตราขยาย (dB)} \quad = \quad 100\,\text{si}\,gn(x(n)) \cdot \left[ \frac{\log_{10}\left(1+\mu\left(x(n)\right)\right)}{\log_{10}(1+\mu)} \right]$$

* โดยปกติ ระดับเสียงเข้าในภาวะปกติ จะไม่ถึง 95 dB ดังนั้นการใส่ $\mu - law$ เข้าไป จึงเป็นการใส่เพื่อให้ระบบเครื่องช่วยฟังแบบ FIG-6 สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ในกรณีที่ระดับความดังสัญญาณเสียงเข้าน้อยกว่า 40 dB จะเลือกใช้สูตรค่าอัตราขยายแบบ Half-gain Rule เพราะไม่ต้องการให้ค่าอัตราขยายมีค่ามากเกินกว่าสูตรค่าอัตราขยายแบบบีบอัดสำหรับเสียงตั้งแต่ 40 dB ขึ้นไป เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเสียงป้อนกลับในเครื่องช่วยฟัง

ในกรณีที่ระดับความดังสัญญาณเสียงเข้ามากกว่า 90 dB จะเลือกใช้สูตรค่าอัตราขยายแบบ $\mu - law$ เพราะสัญญาณเสียงที่มีระดับความดังระดับนี้ ในชีวิตประจำวัน จะพบได้น้อยมาก และระดับสัญญาณเสียงเข้าระดับนี้ก็มีความดังพอเกือบจะถึงระดับความดังมากที่สุดที่ยังคงยอมรับได้

โดยในส่วนกรณีระดับความดังสัญญาณเสียงเข้าตั้งแต่ 40-95 dB จะยังคงใช้สูตรหลักเกณฑ์ค่าขยายแบบ FIG6 แบบเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 4

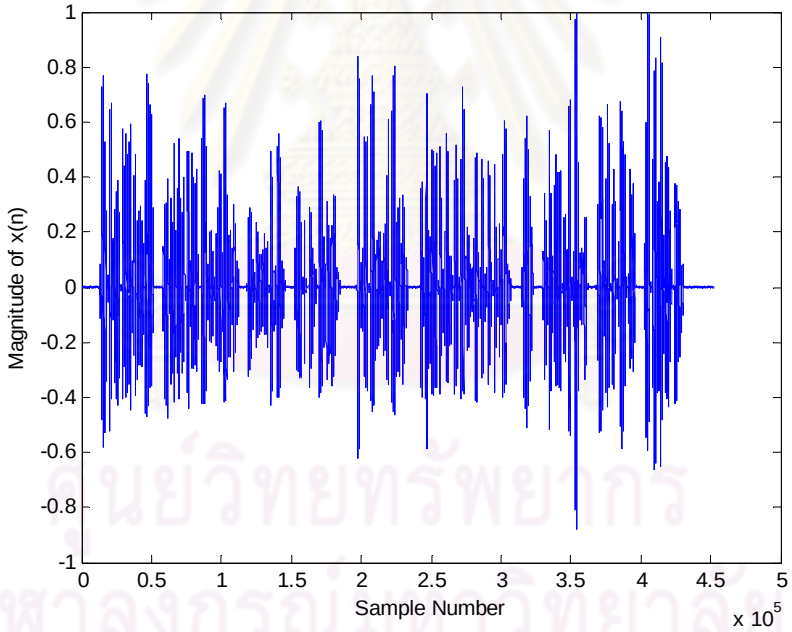
# ผลการจำลองระบบและการวิเคราะห์ผล

## 4.1 การจำลองระบบบนคอมพิวเตอร์

ในหัวข้อนี้ กล่าวถึง สัญญาณเสียงขาเข้า ที่ใช้ในการจำลองระบบของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย ที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้และการจำลองระบบในกรณีต่างๆคือ

### 4.1.1 สัญญาณเสียงขาเข้า

สัญญาณเสียงพูด ที่เลือกใช้เป็นสัญญาณเสียงเข้าของเครื่องช่วยฟังมีความถี่ชักตัวอย่างเท่ากับ 16 kHz กล่าวว่า “ ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีผู้ประสบปัญหาการสูญเสียการได้ยิน สูงถึง 22 ล้านคน หรือ คิดเป็น แปดเปอร์เซนต์ ปัญหาการสูญเสียการได้ยินเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งของสังคมปัจจุบัน ” ดังแสดงในรูปที่ 25




รูปที่ 25 สัญญาณเสียงพูดขาเข้าของเครื่องช่วยฟัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.2 ประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง**

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกใช้วิธีวัดประสิทธิภาพ 3 ข้อ คือ

1. วัดจากค่าพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง
2. วัดจากค่า Articulation Index (AI)
3. วัดจากค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณขาออกของเครื่องช่วยฟัง

**4.3 ผลการจำลองระบบ**

ในหัวข้อนี้จะทำการจำลองระบบบนคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 3 เรื่อง ดังกล่าวในหัวข้อ 4.2 สำหรับเครื่องช่วยฟังแบบต่างๆกันดังนี้

1. เครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบเชิงเส้น ซึ่งในที่นี้ จะใช้สูตรค่าอัตราขยายแบบ Half-gain Rule
2. เครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบบีบอัด ซึ่งใช้ 2 สูตรหลักเกณฑ์ค่าอัตราขยาย ดังนี้

เครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบบีบอัดแบบ DSL

เครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบบีบอัดแบบ FIG6 ที่ปรับปรุงใหม่

โดยแบ่งการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเส้นและแบบบีบอัดในกรณี 1 แถบความถี่และหลายแถบความถี่
   1. การเปรียบเทียบเพื่อวัดประสิทธิภาพระหว่างเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด 1 แถบความถี่ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL และ เครื่องช่วยฟังแบบไม่บีบอัด แบบดั้งเดิม 1 แถบความถี่ ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-gain Rule
   2. การเปรียบเทียบเพื่อวัดประสิทธิภาพระหว่างเครื่องช่วยฟัง 2 แถบความถี่ย่อยแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL และ เครื่องช่วยฟัง 2 แถบความถี่ย่อยแบบไม่บีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-gain Rule
2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดระหว่าง 1 , 2 และ 4 แถบความถี่ย่อย
3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ต่างๆสำหรับค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด

- ในการทดลองส่วนที่ 1 ทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมและแบบบีบอัด เครื่องช่วยฟังแบบไหนดีกว่ากัน ซึ่งในการทดลองส่วนนี้ จะใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL ในการทดลอง
- ในการทดลองส่วนที่ 2 ทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์เดียวกันซึ่งในที่นี้คืออัตราขยายแบบ DSL ว่าระหว่าง 1 , 2 และ 4 แถบความถี่ย่อย อันไหนมีประสิทธิภาพดีกว่ากัน

  * ในส่วนการทดลองที่ 1 และ 2 จะทดลองกับผู้ป่วย 1 คน คือนายประพัฒน์ ซึ่งออดิโอแกรมของนายประพัฒน์หารายละเอียดได้ในส่วนถัดไปและใช้วิธีวัดประสิทธิภาพโดยวัดจากค่าพิสัยพลวัต*
- ในการทดลองส่วนที่ 3 ทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดด้วยกันเอง ค่าอัตราขยายแบบใด มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งในส่วนนี้การทดลองจะใช้เครื่องช่วยฟังที่แบ่งแถบความถี่ย่อย 6 แถบความถี่

  * ในส่วนการทดลองที่ 3 จะทดลองกับผู้ป่วยทั้งหมด 3 คน ซึ่งมีออดิโอแกรมการสูญเสียการได้ยินทั้งกรณีการสูญเสียการได้ยินมากที่ช่วงระดับความถี่สูง และ การสูญเสียการได้ยินเท่ากันที่ทุกช่วงความถี่ ซึ่งหารายละเอียดได้ในส่วนถัดไปและใช้วิธีวัดประสิทธิภาพโดยวัดจากค่าพิสัยพลวัต , ค่า AI และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด *

### 4.3.1 ระบบในเครื่องช่วยฟังที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.3.1.1 เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย

สัญญาณเสียงเข้า $x(n)$ ที่จะถูกส่งต่อเข้าสู่คลังวงจรกรองวิเคราะห์ (Analysis Filter Banks: AFB) ซึ่งจะแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็น M แถบความถี่ย่อย เพื่อให้สามารถขยายขนาดสัญญาณเสียงในแต่ละแถบความถี่ย่อย ด้วยค่าอัตราขยายที่ไม่เท่ากันในแต่ละแถบความถี่ย่อย เพื่อความเหมาะสมตามระดับการสูญเสียการได้ยิน ทั้งนี้สัญญาณเสียงที่ถูกขยายขนาดในแต่ละแถบความถี่ย่อย จะมีการบีบอัดสัญญาณเสียงตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.2.1 จากนั้นสัญญาณเสียงย่อยทั้ง M แถบความถี่ย่อย จะถูกรวมกลับเป็นสัญญาณเสียงแบบทุกช่วงความถี่ (Fullband Signal) ด้วยคลังวงจรกรองสังเคราะห์ (Synthesis Filter Banks: SFB) ได้เป็นสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง, $s(n)$

### 4.3.2 การทดลองและประเมินผล

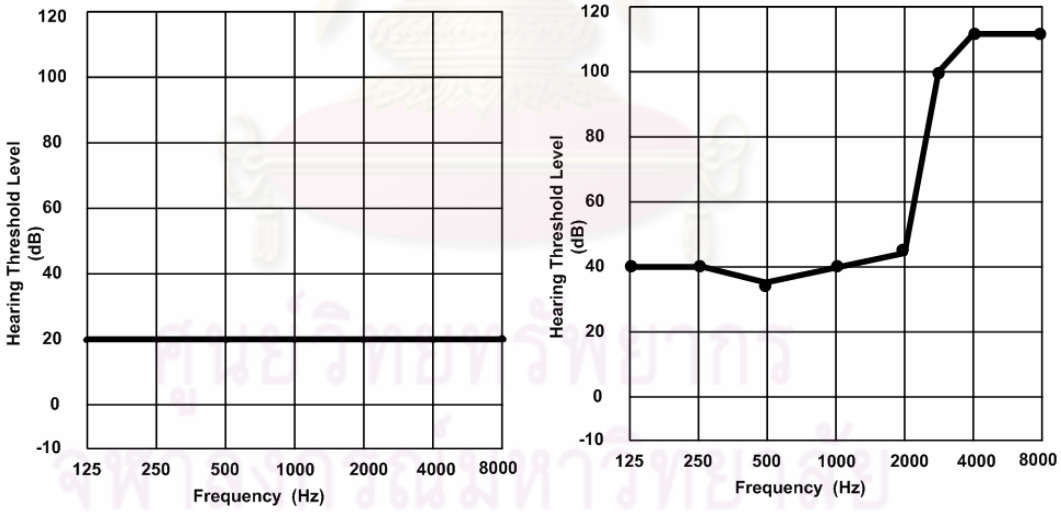
โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็นดังต่อไปนี้

**4.3.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเส้นและแบบบีบอัดในกรณีดั้งเดิมและหลายแถบความถี่**

**4.3.2.1.1 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัต ระหว่างเครื่องช่วยฟัง 1 แถบความถี่ย่อยแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL และ เครื่องช่วยฟัง 1 แถบความถี่ย่อยแบบไม่บีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-gain Rule**

ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมโดยจะอ้างถึงเป็นกรณี 1 แถบความถี่ย่อย โดยจะใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายเครื่องช่วยฟังทั้งแบบคงที่และแบบบีบอัด DSL

ในขั้นต้นนี้ จะพิจารณาออดิโอแกรมของผู้ป่วย 1 ท่าน (นาย ประพัฒน์) ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากภาควิชาโสตศอนาสิก โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ รูปที่ 26 (ก) แสดงออดิโอแกรมของผู้มีการได้ยินปกติ เปรียบเทียบกับออดิโอแกรมของผู้ป่วยท่านนี้ ซึ่งมีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรง (Moderate-to-Severe Hearing loss) กล่าวคือมีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางในช่วงความถี่ 125-2500 Hz และมีการสูญเสียการได้ยินระดับรุนแรงในช่วงความถี่ 2500 – 8000 Hz ดังแสดงในรูปที่ 26 (ข)




(ก) ออดิโอแกรมของผู้มีการได้ยินปกติ (ข) ออดิโอแกรมของนายประพัฒน์

รูปที่ 26 ออดิโอแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบ

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต

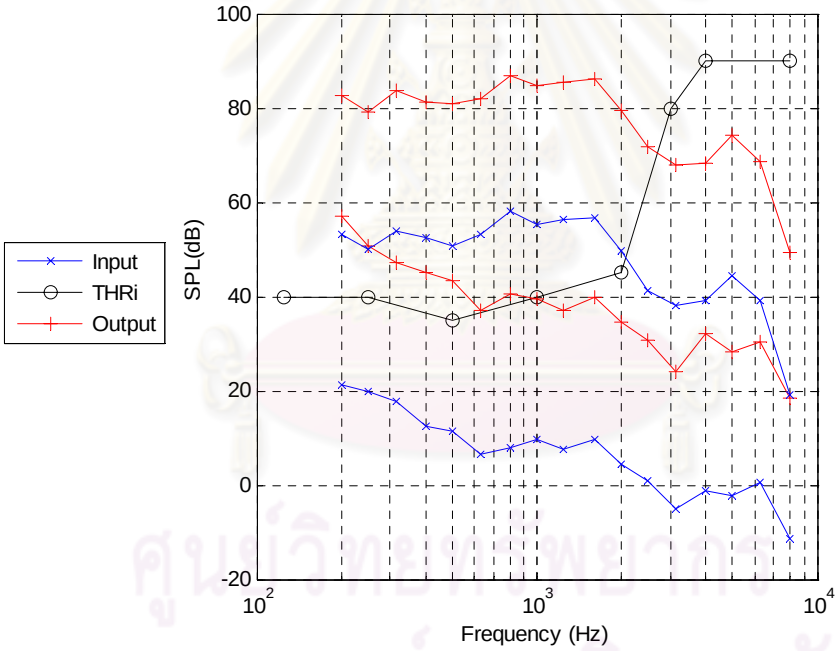
เครื่องช่วยฟังแบบไม่บีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-gain Rule ซึ่งค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่ช่วงความถี่ใดๆ จะมีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของระดับการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วย จากสูตรที่ (1) นั่นคือ

$$G_0 = \frac{1}{2} \times (THR_I - THR_N)$$

ดังแสดงในตารางที่ 4

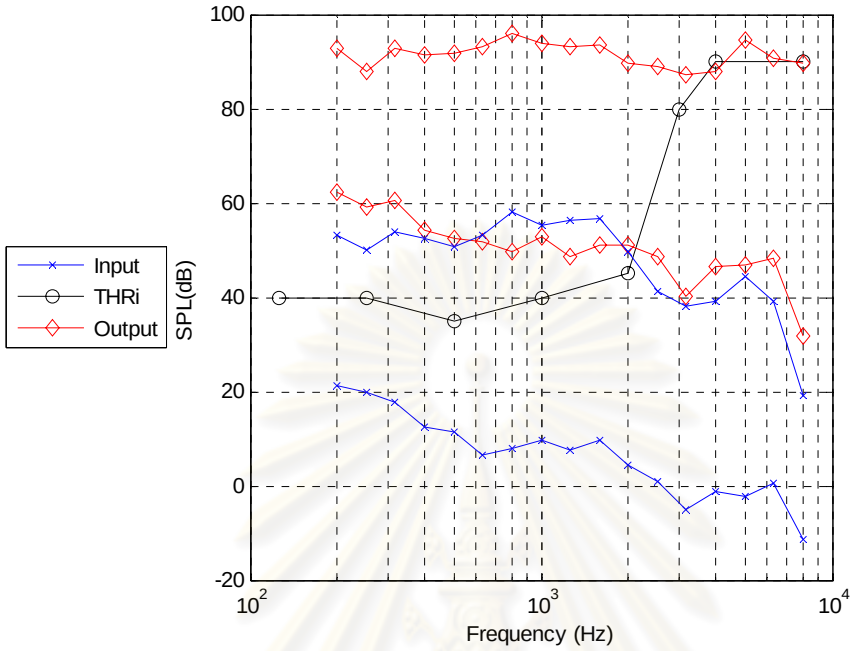
ตารางที่ 4 ค่าอัตราขยายสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเส้นแบบดั้งเดิม

| ช่วงแถบความถี่ | ค่าอัตราขยาย |
|---|---|
| $0 - 8000\ Hz$ | $G_0 = \left(\frac{73.5156 - 14.6875}{2}\right) = 29.4141$ |




รูปที่ 27 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมแบบไม่บีบอัด

เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์ สำหรับอัตราขยายแบบ DSL ค่าอัตราขยายสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (1) , (2) และ (3)




รูปที่ 28 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมแบบบีบอัด

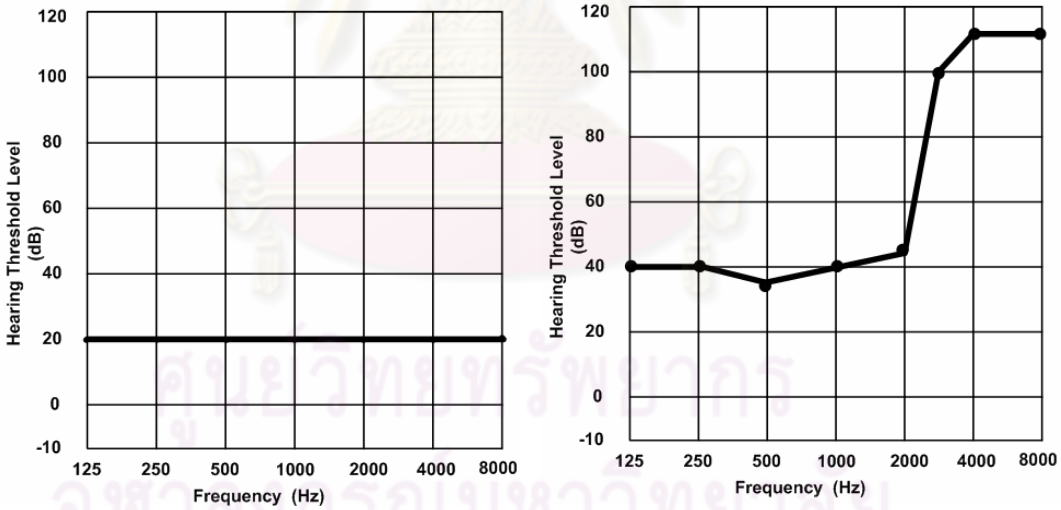
จากรูปที่ 27 และ 28 พบว่า สัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL จะมีช่วงพิสัยพลวัตที่กว้างมากกว่าของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิม ที่ใช้อัตราขยายคงที่ โดยจะเห็นว่า ระดับ 10 % ของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด จะสูงกว่า ออดิโอแกรมของผู้ป่วย และ สูงกว่าระดับ 10 % ของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความถี่ 3-8 kHz ที่ผู้ป่วยมีการสูญเสียการได้ยินระดับรุนแรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.3.2.1.2 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัต ระหว่าง เครื่องช่วยฟัง 2 แถบความถี่ย่อยแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL และ เครื่องช่วยฟัง 2 แถบความถี่ย่อยแบบไม่บีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-gain Rule**

ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิมโดยจะอ้างถึงเป็นกรณี 2 แถบความถี่ย่อย โดยจะใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายเครื่องช่วยฟังทั้งแบบคงที่และแบบบีบอัด DSL นอกจากนี้เครื่องช่วยฟังทุกกรณีที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ จะมีการใช้ระบบ AFC และการเพิ่มการประวิงเวลาคงที่ โดยเลือกใช้ $\Delta = 1\ ms$ หรือ เท่ากับ 16 ตัวอย่าง เมื่อ $f_s$ เป็น 16 KHz

ในขั้นต้นนี้ จะพิจารณาออดิโอแกรมของผู้ป่วย 1 ท่าน (นาย ประพัฒน์) ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากภาควิชาโสตศอนาสิก โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ รูปที่ 29 (ก) แสดงออดิโอแกรมของผู้มีการได้ยินปกติ เปรียบเทียบกับออดิโอแกรมของผู้ป่วยท่านนี้ ซึ่งมีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรง (Moderate-to-Severe Hearing loss) กล่าวคือมีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางในช่วงความถี่ 125-2500 Hz และมีการสูญเสียการได้ยินระดับรุนแรงในช่วงความถี่ 2500 – 8000 Hz ดังแสดงในรูปที่ 29 (ข)




(ก) ออดิโอแกรมของผู้มีการได้ยินปกติ (ข) ออดิโอแกรมของนายประพัฒน์

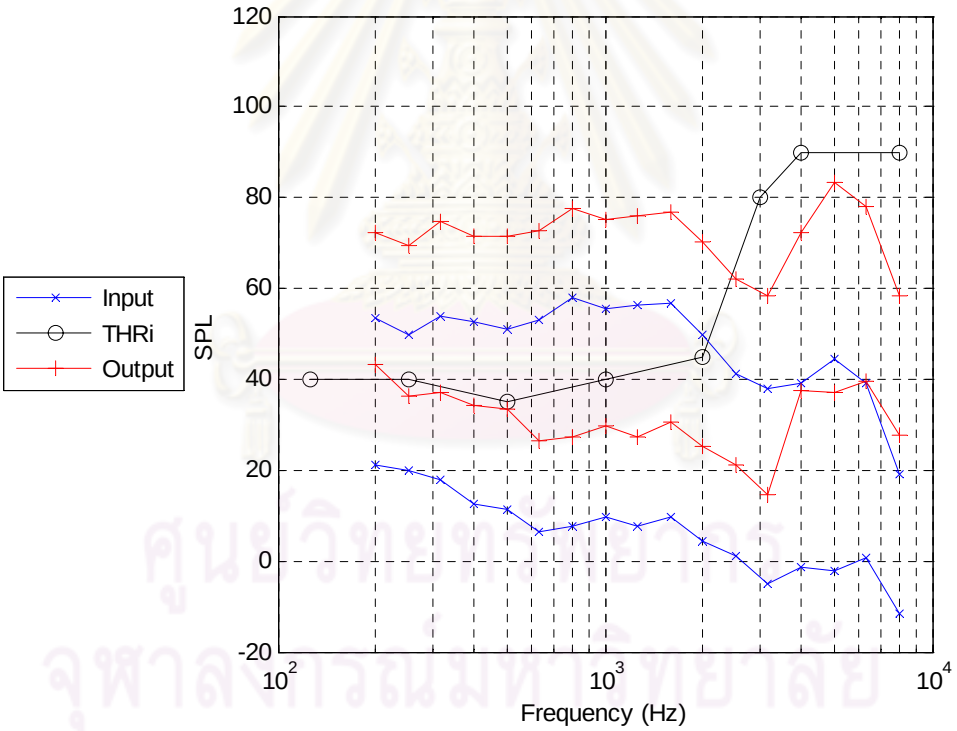
รูปที่ 29 ออดิโอแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบ

- การเปรียบเทียบโดยใช้ Dynamic Range

เครื่องช่วยฟังแบบไม่บีบอัด 2 แถบความถี่ย่อย ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-gain Rule จากสูตรที่ (1) ซึ่งค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังที่แถบความถี่ใดๆ แสดงดังตารางที่ 5

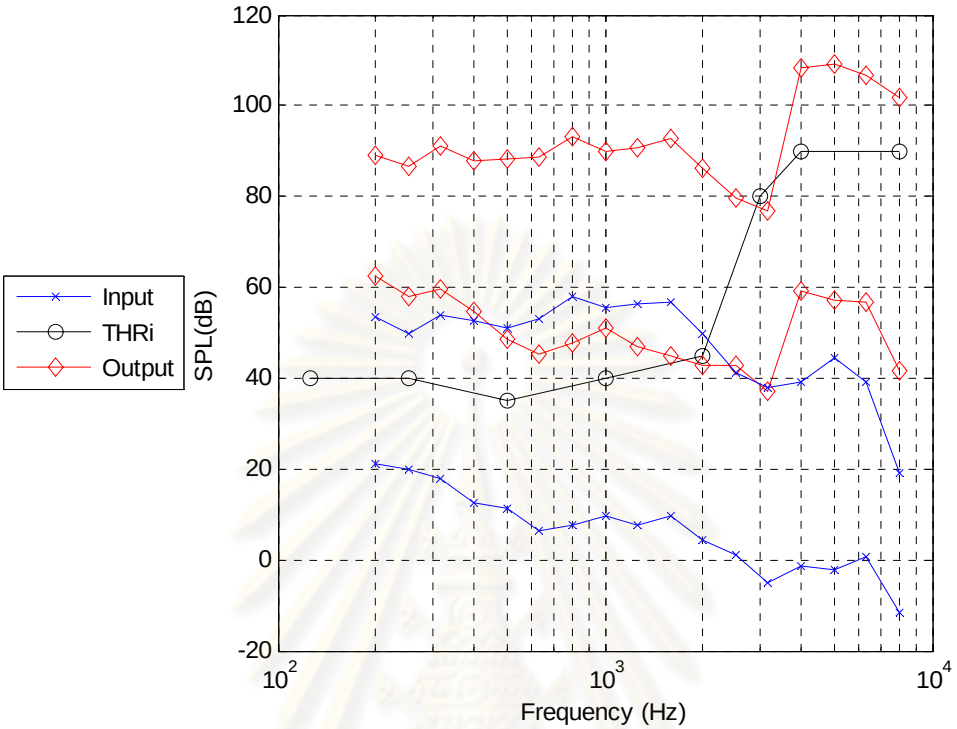
ตารางที่ 5 ค่าอัตราขยายในแต่ละ
แถบความถี่ย่อยของเครื่องช่วยฟังแบบเชิงเส้น 2 แถบความถี่ย่อย

| ช่วงความถี่ | ค่าอัตราขยาย |
|---|---|
| $0-4000\,Hz$ | $G_0 = \left(\frac{57.0313 - 16.875}{2}\right) = 20.0782$ |
| $4000-8000\,Hz$ | $G_1 = \left(\frac{90 - 12.5}{2}\right) = 38.75$ |




รูปที่ 30 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง
แบบดั้งเดิม 2 แถบความถี่ย่อย

เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์ สำหรับอัตราขยายแบบ DSL ค่าอัตราขยายสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (1) , (2) และ (3)



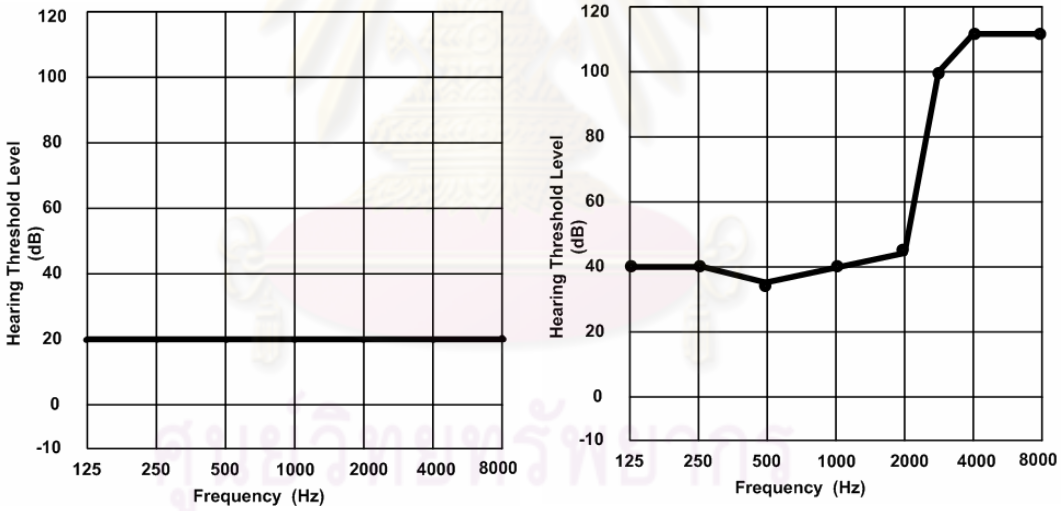

รูปที่ 31 พิสัยพลวัตของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด 2 แถบความถี่ย่อย (DSL)

จากรูปที่ 30 และ 31 พบว่า สัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL จะมีช่วงพิสัยพลวัตที่กว้างมากกว่าของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิม ที่ใช้อัตราขยายคงที่ โดยจะเห็นว่า ระดับ 10 % ของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด จะสูงกว่า ออดิโอแกรมของผู้ป่วย และ สูงกว่าระดับ 10 % ของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความถี่ 3-8 kHz ที่ผู้ป่วยมีการสูญเสียการได้ยินระดับรุนแรง

**4.3.2.2 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตระหว่าง เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่มี 1 , 2 และ 4 แถบความถี่ย่อย**

ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดโดยจะอ้างถึงเป็นกรณี 1 , 2 และ 4 แถบความถี่ย่อย นอกจากนี้เครื่องช่วยฟังทุกกรณีที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ จะมีการใช้ระบบ AFC และการเพิ่มการประวิงเวลาคงที่ โดยเลือกใช้ $\Delta = 1\ ms$ หรือ เท่ากับ 16 ตัวอย่าง เมื่อ $f_s$ เป็น 16 KHz

ในขั้นต้นนี้ จะพิจารณาออดิโอแกรมของผู้ป่วย 1 ท่าน (นาย ประพัฒน์) ที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากภาควิชาโสตศอนาสิก โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ รูปที่ 32 (ก) แสดงออดิโอแกรมของผู้มีการได้ยินปกติ เปรียบเทียบกับออดิโอแกรมของผู้ป่วยท่านนี้ ซึ่งมีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรง (Moderate-to-Severe Hearing loss) กล่าวคือมีการสูญเสียการได้ยินระดับปานกลางในช่วงความถี่ 125-2500 Hz และมีการสูญเสียการได้ยินระดับรุนแรงในช่วงความถี่ 2500 – 8000 Hz ดังแสดงในรูปที่ 32(ข)

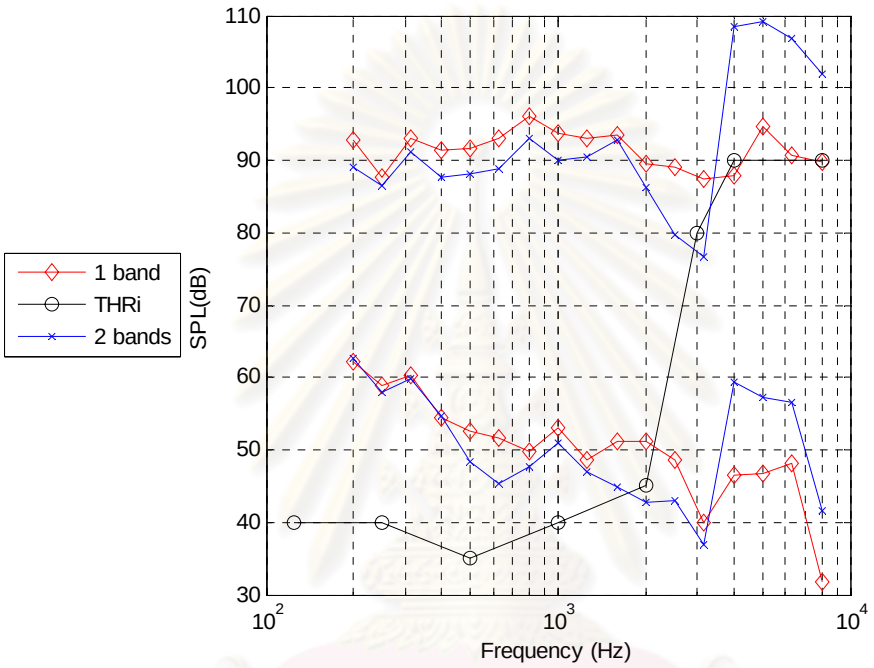



(ก) ออดิโอแกรมของผู้มีการได้ยินปกติ (ข) ออดิโอแกรมของนายประพัฒน์

รูปที่ 32 ออดิโอแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบ

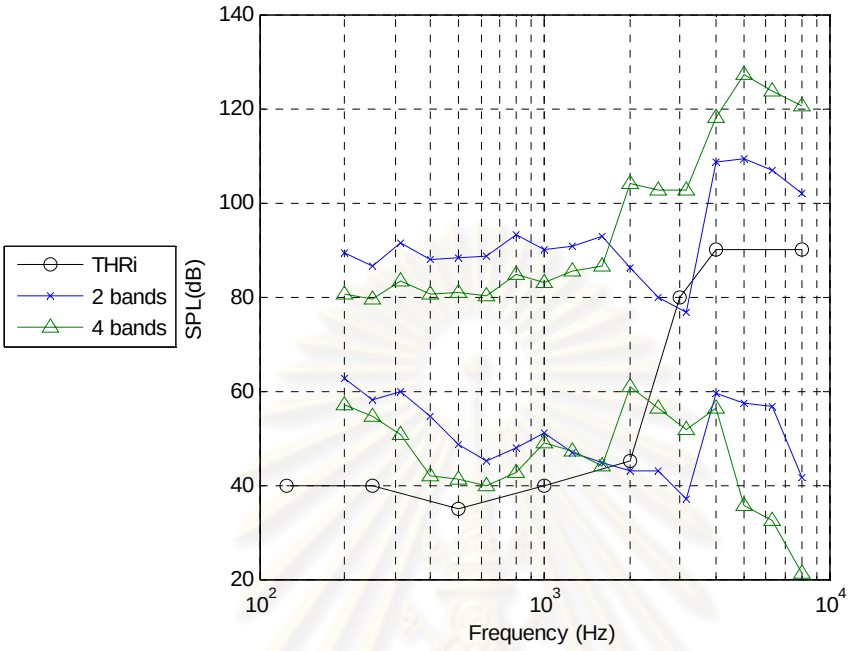
- การเปรียบเทียบโดยใช้ Dynamic Range

เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์ สำหรับอัตราขยายแบบ DSL ค่าอัตราขยายสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (1) , (2) และ (3)

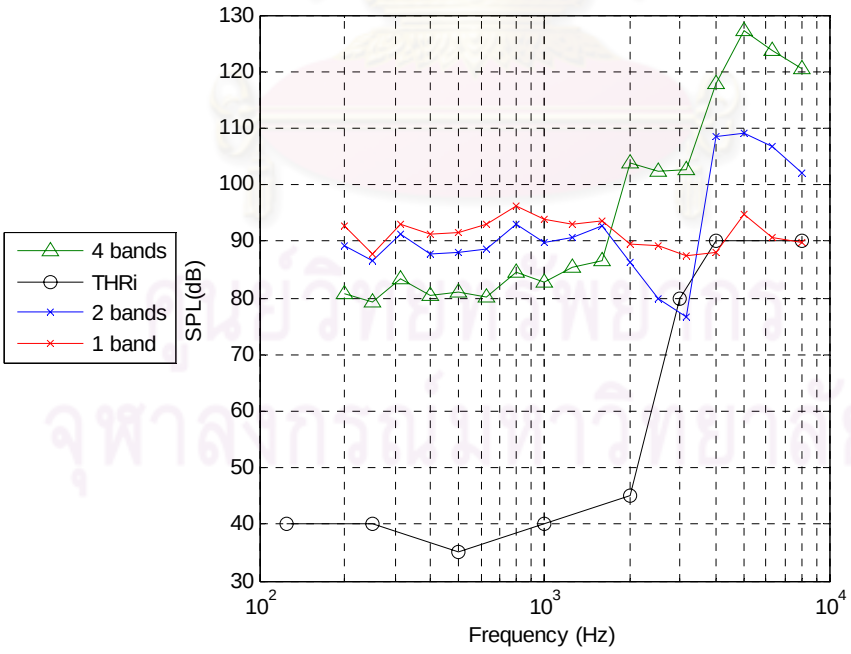



รูปที่ 33 พิสัยพลวัต ของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL 1 แถบความถี่ย่อย และ 2 แถบความถี่ย่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 34 พิสัยพลวัต ของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL 2 แถบความถี่ย่อย และ 4 แถบความถี่ย่อย

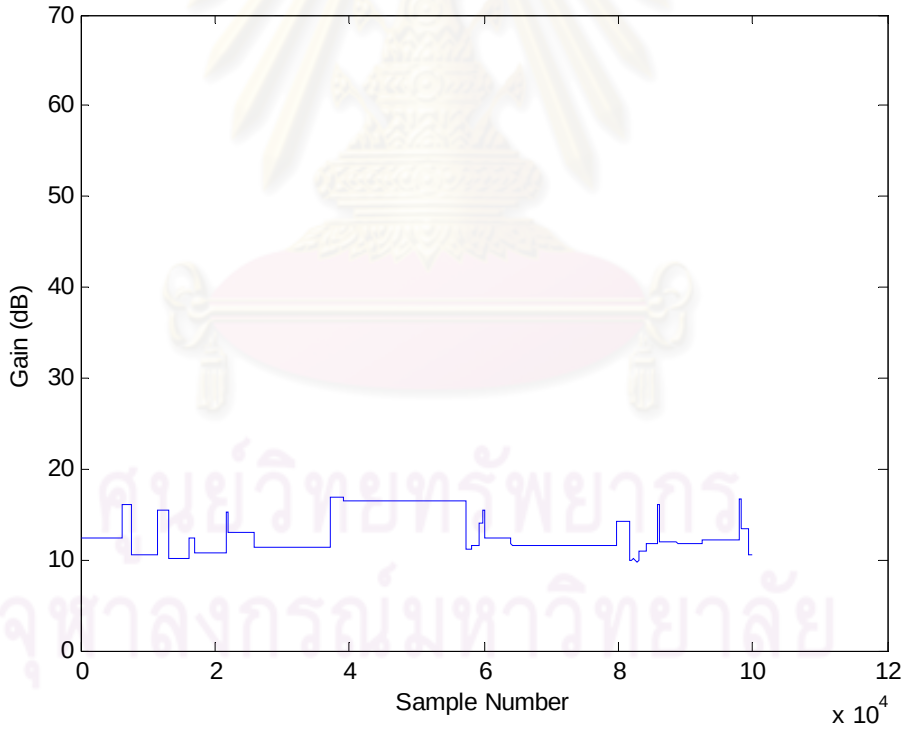



รูปที่ 35 พิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL 1 , 2 แถบความถี่ย่อยและ 4 แถบความถี่ย่อย เฉพาะเส้นบน (เฉพาะเส้น 10 %)

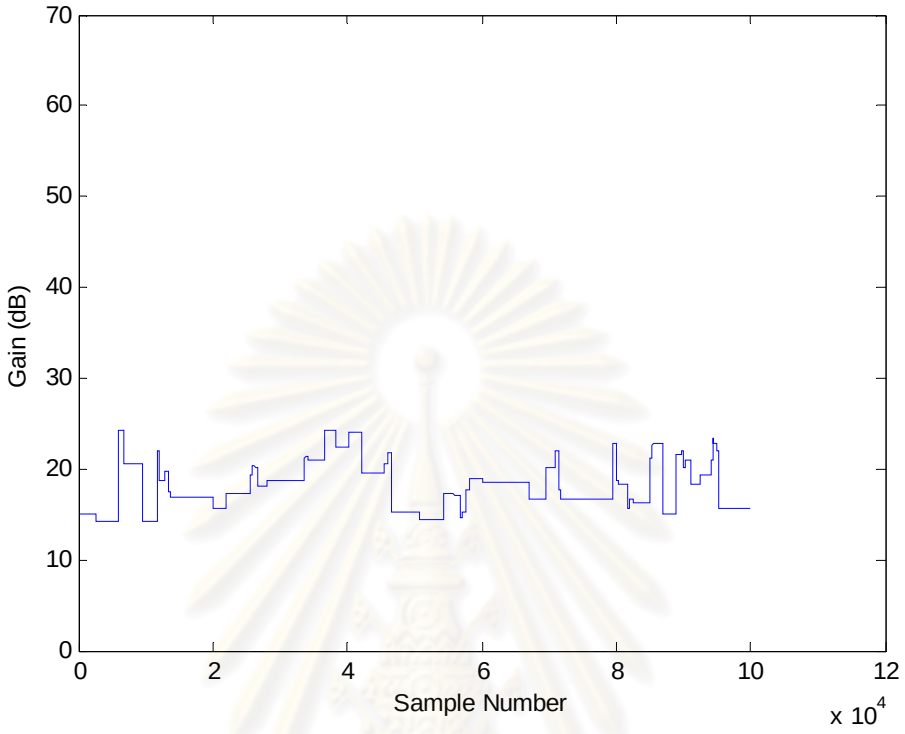
จากการทดลอง หาค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL ในละแถบความถี่ จะได้ผลดังรูปที่ 36 , 37 , 38 และ 39 เมื่อช่วงแถบความถี่เป็นดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ช่วงความถี่ในเครื่องช่วยฟัง 4 แถบความถี่ย่อย

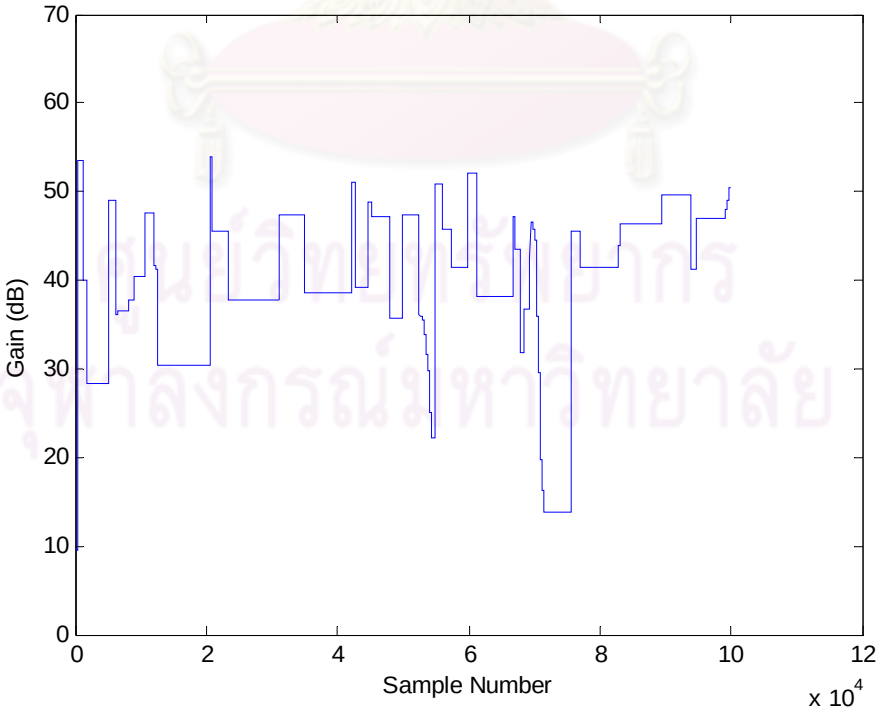
| แถบความถี่ที่ | ช่วงความถี่ |
|---|---|
| 1 | 0 – 1000 *Hz* |
| 2 | 1000 – 2000 *Hz* |
| 3 | 2000 – 4000 *Hz* |
| 4 | 4000 – 8000 *Hz* |



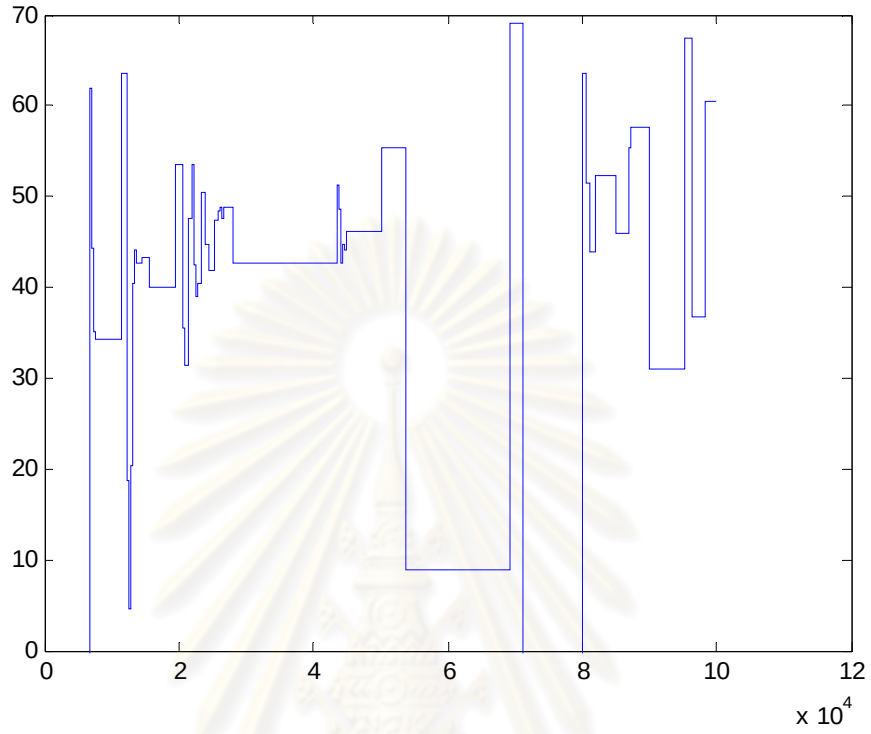

รูปที่ 36 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 1 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด



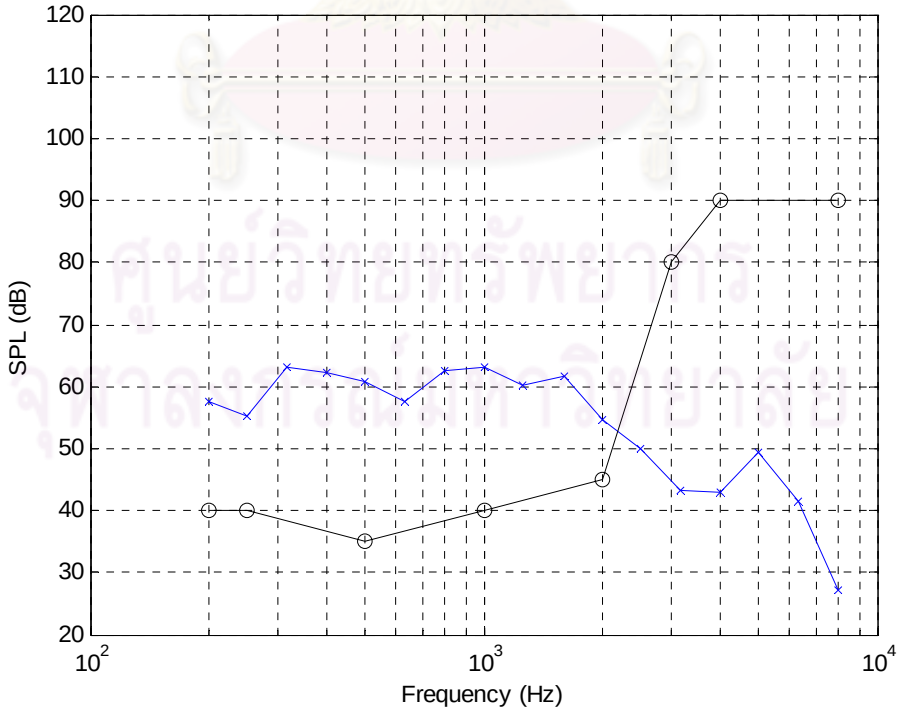

รูปที่ 37 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 2 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด




รูปที่ 38 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 3 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด




รูปที่ 39 ค่าอัตราขยายแถบความถี่ย่อยที่ 4 ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด




รูปที่ 40 ระดับ SPL ของสัญญาณเข้าของเครื่องช่วยฟัง เมื่อเทียบกับ $THR_I$ ของผู้ป่วย

จากรูปที่ 34 และ รูปที่ 35 เมื่อเพิ่มจำนวนแถบความถี่ย่อยขึ้นจาก 1 แถบความถี่ย่อยไปเป็น 2 และ 4 แถบความถี่ย่อยตามลำดับ จะพบว่าเส้น 10 % (เส้นบน) จะมีรูปร่างที่ใกล้เคียงกับ $THR_I$ ของผู้สูญเสียการได้ยิน ดังแสดงในรูปที่ 34 , 35 และทำให้ผู้ป่วยสามารถได้ยินเสียงสัญญาณออกที่ฟังสบายขึ้น เมื่อพิจารณา ค่าอัตราขยายของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด (DSL) จะเห็นว่า จะปรับค่าตามระดับความดังของสัญญาณเสียงขาเข้า ดังแสดงในรูปที่ 36 – 39 กล่าวคือ ถ้าระดับความดังสัญญาณเสียงขาเข้ามีระดับความดังสูง ค่าอัตราขยายก็จะต่ำ และถ้าระดับความดังสัญญาณเสียงขาออกมีระดับความดังต่ำ ค่าอัตราขยายก็จะสูง ดังแสดงในรูปที่ 40

**สรุป**

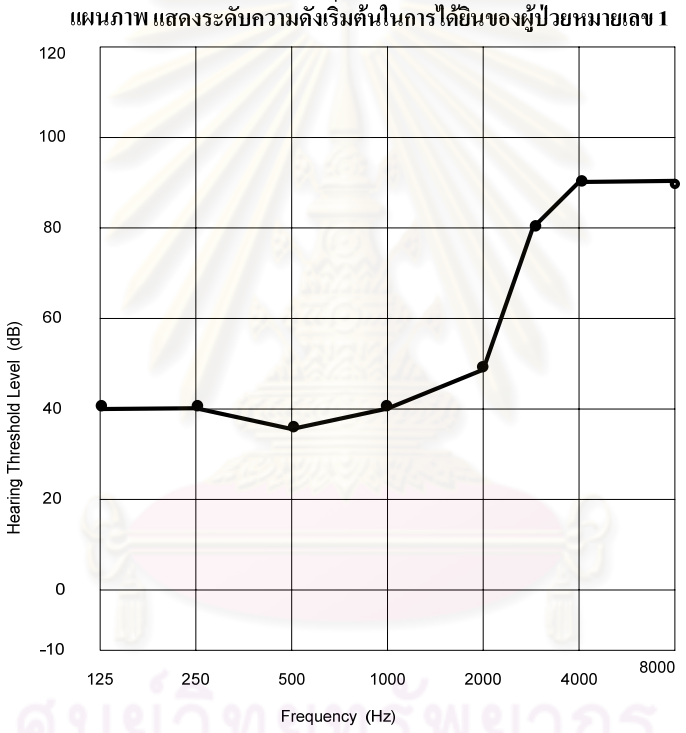
ประสิทธิภาพการตัดสัญญาณเสียงป้อนกลับของระบบ AFC ในเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อยที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ DSL ดีกว่าระบบ AFC ในเครื่องช่วยฟังหลายแถบความถี่ย่อย แบบไม่บีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-Gain Rule และดีกว่าระบบ AFC ในเครื่องช่วยฟังแบบดั้งเดิม ( 1 แถบความถี่ย่อย) ที่ไม่บีบอัด และใช้หลักเกณฑ์สำหรับอัตราขยายแบบ Half-Gain Rule โดยสังเกตจากค่า WEVN ที่ต่ำกว่า ในสถานะอยู่ตัว และ อัตราการลู่เข้าที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อแบ่งแถบความถี่ย่อยมากขึ้น ทั้งนี้ความสามารถในการปรับแต่งค่าอัตราขยายที่แตกต่างกันไป เมื่อมีจำนวนแถบความถี่ย่อยเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความเหมาะสมแก่ปัญหาการสูญเสียการได้ยินของผู้ป่วยมากขึ้น โดยสังเกตจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง ในเครื่องช่วยฟังแบบ บีบอัด และมีแถบความถี่ย่อยสูงขึ้น ทั้งนี้ระดับ SPL ของสัญญาณออกยังไม่เกิน UCL ของผู้ป่วย จึงไม่น่าจะก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายแก่ผู้ป่วยได้ โดยค่าอัตราขยายจะถูกปรับค่าตามระดับความดังของสัญญาณเสียง จนทำให้ผู้สูญเสียการได้ยินสามารถได้ยินเสียงที่ไม่สามารถได้ยินได้ หากไม่ใช้เครื่องช่วยฟัง

จากสรุปข้างต้น ทำให้ทราบว่า เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดหลายแถบความถี่ย่อยดีกว่าระบบเครื่องช่วยฟังแบบไม่บีบอัดหลายแถบความถี่ย่อย และ เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด 1 แถบความถี่ย่อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

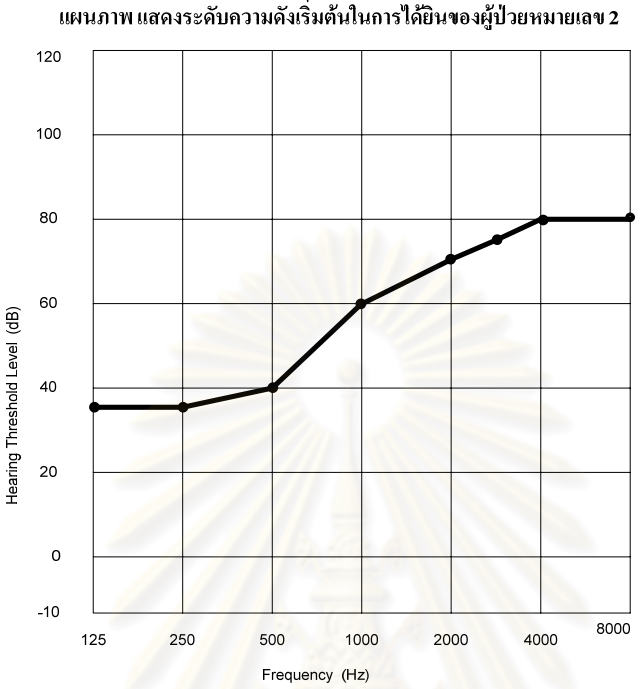
**4.3.2.3 การเปรียบเทียบหลักเกณฑ์สำหรับค่าอัตราขยายแบบต่างๆของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด**

ในหัวข้อนี้ จะทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด ที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 กับผู้ที่มีการสูญเสียการได้ยินในลักษณะต่างๆ โดยนำข้อมูลจากผู้ป่วย 3 ราย ที่มีลักษณะออดิโอแกรมที่แตกต่างกันมาทดสอบกับสัญญาณเสียงเข้าที่มีระดับความดังที่แตกต่างกัน กับเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์สำหรับค่าอัตราขยายที่แตกต่างกัน ต่อไปจะเป็นแผนภาพแสดงออดิโอแกรมของผู้ป่วย 3 รายที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการทดลองนี้

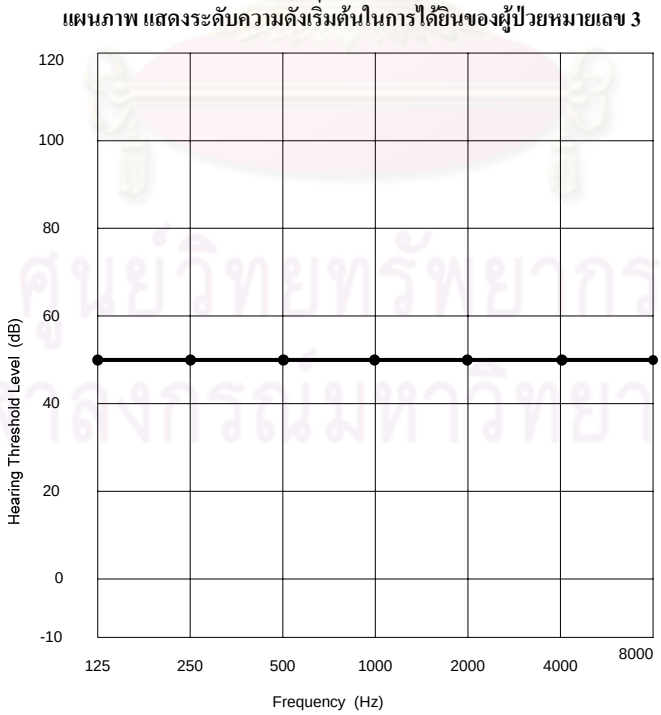



รูปที่ 41 แผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ป่วยหมายเลข 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 42 แผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ป่วยหมายเลข 2




รูปที่ 43 แผนภาพแสดงระดับความดังเริ่มต้นในการได้ยินของผู้ป่วยหมายเลข 3

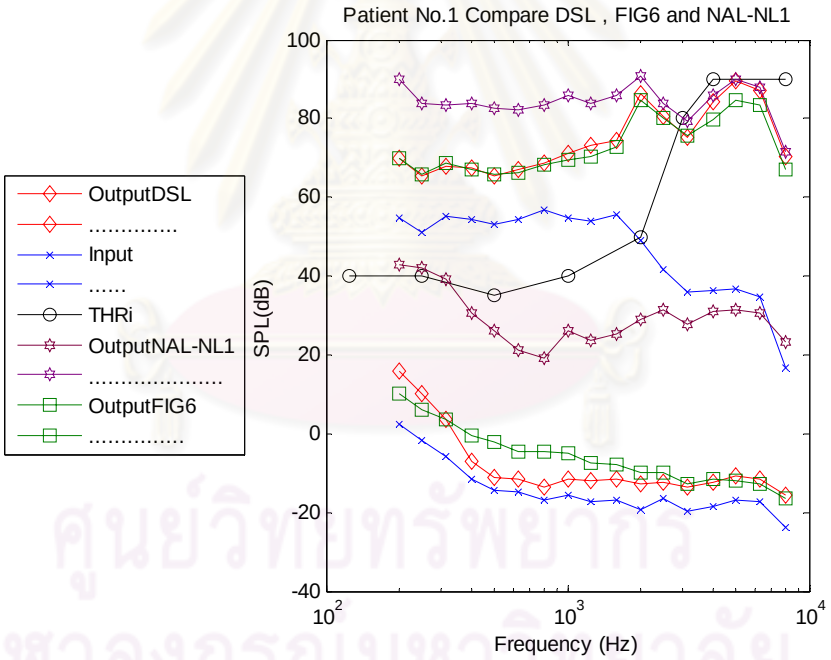
โดยจะแบ่งหัวข้อการทดลองเป็น

**4,3,2,3,1 การทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบต่างๆ กับระดับเสียงเข้าที่เบา**

การทดลองนี้ จะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 กับผู้ป่วยหมายเลข 1 , 2 และ 3 โดยใช้สัญญาณเสียงเข้าที่มีระดับความดังเบา โดยวิธีวัดประสิทธิภาพ จะใช้ค่าพิสัยพลวัต , ค่า Articulation Index และ ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก เป็นตัวชี้วัด โดยการทดลองจะค่อยๆทำการทดลองกับผู้ป่วยทีละหมายเลขไปเรื่อยๆ ดังนี้

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขหนึ่ง**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 44 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 1 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าเบา

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และแบบ FIG-6 จะเห็นว่า มีความคล้ายคลึงกัน โดยในส่วนของพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่า

สูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 เล็กน้อย โดยไม่ว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบใด ที่ความถี่ตั้งแต่ 2,500 Hz เป็นต้นไป ผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะไม่สามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองได้ โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 2,000 Hz อย่างชัดเจน

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 7 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 69.954 | 65.479 | 68.064 | 67.564 | 65.56 | 66.891 |
| Gain | 15.043 | 14.227 | 12.765 | 13.2 | 12.608 | 12.606 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 24.957 | 25.773 | 25.935 | 23.8 | 22.392 | 23.694 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.9381 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.9381 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 68.657 | 71.194 | 73.12 | 74.53 | 86.482 | 80.759 |
| Gain | 11.875 | 16.413 | 19.244 | 18.984 | 37.482 | 39.272 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 26.125 | 23.587 | 23.256 | 27.016 | 12.518 | 25.728 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| output | 75.063 | 84.44 | 89.359 | 87.249 |
| Gain | 39.043 | 47.917 | 52.557 | 52.574 |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 42.457 | 42.083 | 37.443 | 37.426 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.724767 | 0.630567 | 0.635233 | 0.449133 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5229 | 4.886892 | 3.970208 | 1.122833 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 90.94

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 8 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 69.919 | 65.858 | 68.574 | 67.177 | 65.821 | 66.273 |
| Gain | 15.008 | 14.606 | 13.275 | 12.813 | 12.869 | 11.988 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 24.992 | 25.394 | 25.425 | 24.187 | 22.131 | 24.312 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.936933 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.936933 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 68.233 | 69.643 | 70.246 | 72.794 | 84.774 | 80.19 |
| Gain | 11.451 | 14.862 | 16.37 | 17.248 | 35.774 | 38.703 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 26.549 | 25.138 | 26.13 | 28.752 | 14.226 | 26.297 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| output | 75.832 | 79.671 | 84.569 | 83.41 | | |
| Gain | 39.812 | 43.148 | 47.767 | 48.735 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 41.688 | 46.852 | 42.233 | 41.265 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.7504 | 0.4716 | 0.475567 | 0.321167 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 6.7536 | 3.6549 | 2.972292 | 0.802917 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 88.62

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 9 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 90.173 | 83.999 | 83.234 | 83.626 | 82.456 | 82.102 |
| Gain | 35.262 | 32.747 | 27.935 | 29.262 | 29.504 | 27.817 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 4.738 | 7.253 | 10.765 | 7.738 | 5.496 | 8.483 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |

| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 83.533 | 85.675 | 83.982 | 85.833 | 90.913 | 83.918 |
| Gain | 26.751 | 30.894 | 30.106 | 30.287 | 41.913 | 42.431 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 11.249 | 9.106 | 12.394 | 15.713 | 8.087 | 22.569 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| output | 79.258 | 86.076 | 89.864 | 87.79 |
| Gain | 43.238 | 49.553 | 53.062 | 53.115 |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 38.262 | 40.447 | 36.938 | 36.885 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.8646 | 0.6851 | 0.652067 | 0.467167 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 7.7814 | 5.309525 | 4.075417 | 1.167917 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 92.83

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL อยู่เล็กน้อย และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 อยู่เล็กน้อย นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้

หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL และน้อยที่สุดคือ สัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ FIG6

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 10 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 69.954 | 65.479 | 68.064 | 67.564 | 65.56 | 66.891 |
| Output Ideal | 74.911 | 71.252 | 73.999 | 71.364 | 67.952 | 70.585 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | -4.957 | -5.773 | -5.935 | -3.8 | -2.392 | -3.694 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 4.957 | 5.773 | 5.935 | 3.8 | 2.392 | 3.694 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.14199 | 0.18472 | 0.16814 | 0.11058 | 0.07259 | 0.10774 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.14199 | 0.36944 | 0.54644 | 0.46996 | 0.32666 | 0.56566 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 68.657 | 71.194 | 73.12 | 74.53 | 86.482 | 80.759 |
| Output Ideal | 74.782 | 74.781 | 76.376 | 81.546 | 79 | 86.487 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | -6.125 | -3.587 | -3.256 | -7.016 | 7.482 | -5.728 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 6.125 | 3.587 | 3.256 | 7.016 | 7.482 | 5.728 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.16652 | 0.10313 | 0.09612 | 0.19738 | 0.258 | 0.26658 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.08239 | 0.7477 | 0.81698 | 2.26985 | 2.838 | 2.53251 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 | | |
| output | 75.063 | 84.44 | 89.359 | 87.249 | | |
| Output Ideal | 97.52 | 106.523 | 106.802 | 104.675 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| Output-Output Ideal | -22.457 | -22.083 | -17.443 | -17.426 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Absolute of Output-Output Ideal | 22.457 | 22.083 | 17.443 | 17.426 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 1.40181 | 1.33650 | 1.03815 | 1.18746 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 12.6162 | 10.3579 | 6.48844 | 2.96865 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 45.14 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 11 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 69.919 | 65.858 | 68.574 | 67.177 | 65.821 | 66.273 |
| Output Ideal | 74.911 | 71.252 | 73.999 | 71.364 | 67.952 | 70.585 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | -4.992 | -5.394 | -5.425 | -4.187 | -2.131 | -4.312 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 4.992 | 5.394 | 5.425 | 4.187 | 2.131 | 4.312 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.14299 | 0.17260 | 0.15369 | 0.12184 | 0.06467 | 0.12577 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.14299 | 0.34519 | 0.49948 | 0.51783 | 0.29101 | 0.66029 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 68.233 | 69.643 | 70.246 | 72.794 | 84.774 | 80.19 |
| Output Ideal | 74.782 | 74.781 | 76.376 | 81.546 | 79 | 86.487 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | -6.549 | -5.138 | -6.13 | -8.752 | 5.774 | -6.297 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 6.549 | 5.138 | 6.13 | 8.752 | 5.774 | 6.297 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.17805 | 0.14772 | 0.18095 | 0.24622 | 0.19910 | 0.29306 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.15732 | 1.07100 | 1.5381 | 2.83149 | 2.19014 | 2.78408 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 |
| output | 75.832 | 79.671 | 84.569 | 83.41 |
| Output Ideal | 97.52 | 106.523 | 106.802 | 104.675 |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| Output-Output Ideal | -21.688 | -26.852 | -22.233 | -21.265 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 21.688 | 26.852 | 22.233 | 21.265 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 1.35381 | 1.62513 | 1.32324 | 1.44906 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 12.1843 | 12.5948 | 8.27022 | 3.62266 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 50.70 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 12 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 90.173 | 83.999 | 83.234 | 83.626 | 82.456 | 82.102 |
| outputIdeal | 74.911 | 71.252 | 73.999 | 71.364 | 67.952 | 70.585 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | 15.262 | 12.747 | 9.235 | 12.262 | 14.504 | 11.517 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 15.262 | 12.747 | 9.235 | 12.262 | 14.504 | 11.517 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.43716 | 0.40787 | 0.26162 | 0.35682 | 0.44015 | 0.33591 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.43716 | 0.81575 | 0.85027 | 1.51651 | 1.98069 | 1.76357 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |

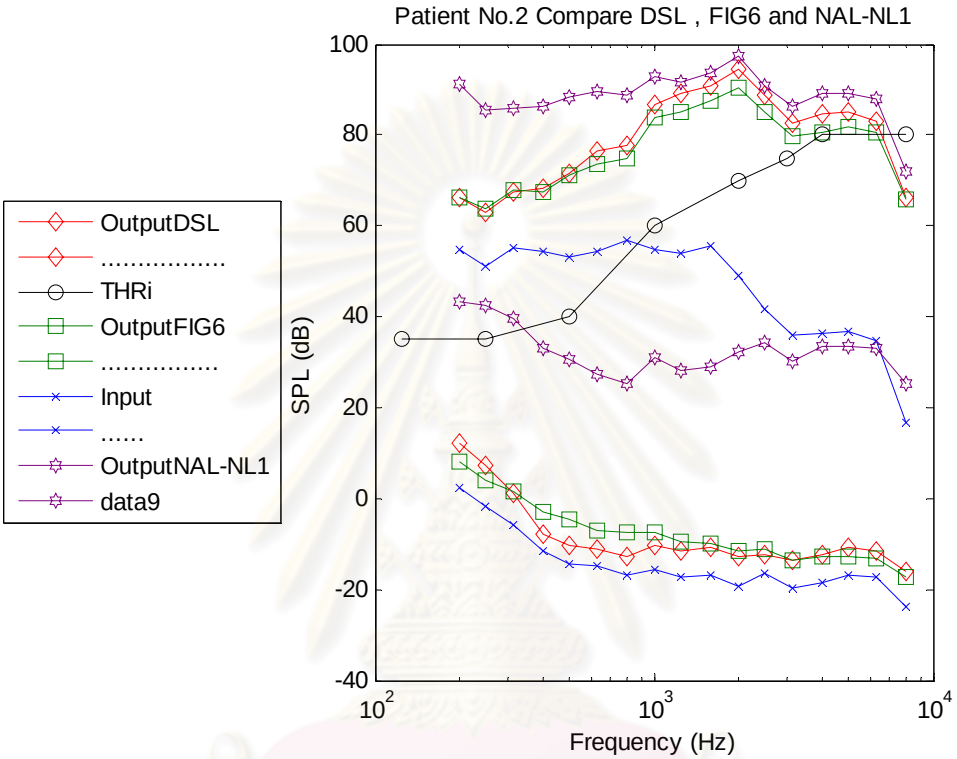
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 83.533 | 85.675 | 83.982 | 85.833 | 90.913 | 83.918 |
| outputIdeal | 74.782 | 74.781 | 76.376 | 81.546 | 79 | 86.487 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | 8.751 | 10.894 | 7.606 | 4.287 | 11.913 | -2.569 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 8.751 | 10.894 | 7.606 | 4.287 | 11.913 | 2.569 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.23791 | 0.31321 | 0.22452 | 0.12060 | 0.41079 | 0.11956 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.54644 | 2.27082 | 1.90846 | 1.38694 | 4.51872 | 1.13582 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 | | |
| output | 79.258 | 86.076 | 89.864 | 87.79 | | |
| outputIdeal | 97.52 | 106.523 | 106.802 | 104.675 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| Output-Output Ideal | -18.262 | -20.447 | -16.938 | -16.885 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 18.262 | 20.447 | 16.938 | 16.885 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 1.13995 | 1.23748 | 1.00809 | 1.15059 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 10.2595 | 9.59052 | 6.30058 | 2.87649 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 49.16 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 และแบบ FIG-6 อยู่เล็กน้อย

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขสอง**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 45 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 2 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าเบา

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และแบบ FIG-6 จะเห็นว่า มีความคล้ายคลึงกัน โดยในส่วนของพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 เล็กน้อย โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 2,000 Hz อย่างชัดเจน

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า articulation index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 13 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 66.333 | 63.058 | 67.567 | 68.131 | 71.458 | 76.356 |
| Gain | 11.422 | 11.806 | 12.268 | 13.767 | 18.506 | 22.071 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 23.578 | 23.194 | 24.032 | 24.233 | 21.494 | 23.129 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.984067 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.984067 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 77.755 | 86.509 | 89.216 | 90.652 | 94.343 | 88.545 |
| Gain | 20.973 | 31.728 | 35.34 | 35.106 | 45.343 | 47.058 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 31.027 | 28.272 | 27.16 | 30.894 | 24.657 | 25.442 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| output | 82.728 | 84.517 | 85.169 | 83.078 | | |
| Gain | 46.708 | 47.994 | 48.367 | 48.403 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 29.042 | 32.006 | 31.633 | 31.597 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 0.966467 | 0.8289 | 0.643433 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.490117 | 5.180625 | 1.608583 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 97.76

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 14 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 66.193 | 63.951 | 67.846 | 67.585 | 71.121 | 73.619 |
| Gain | 11.282 | 12.699 | 12.547 | 13.221 | 18.169 | 19.334 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 23.718 | 22.301 | 23.753 | 24.779 | 21.831 | 25.866 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.9794 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.9794 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 74.827 | 83.675 | 85.235 | 87.708 | 90.226 | 85.05 |
| Gain | 18.045 | 28.894 | 31.359 | 32.162 | 41.226 | 43.563 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 33.955 | 31.106 | 31.141 | 33.838 | 28.774 | 28.937 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| output | 79.903 | 80.69 | 81.821 | 80.628 | | |
| Gain | 43.883 | 44.167 | 45.019 | 45.953 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 31.867 | 35.833 | 34.981 | 34.047 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 0.8389 | 0.7173 | 0.561767 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 9 | 6.501475 | 4.483125 | 1.404417 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 95.87

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 15 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 91.315 | 85.347 | 86.003 | 86.441 | 88.333 | 89.652 |
| Gain | 36.404 | 34.095 | 30.704 | 32.077 | 35.381 | 35.367 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | -1.404 | 0.905 | 5.596 | 5.923 | 4.619 | 9.833 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 88.856 | 92.686 | 91.62 | 93.708 | 97.382 | 90.722 |
| Gain | 32.074 | 37.905 | 37.744 | 38.162 | 48.382 | 49.235 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 19.926 | 22.095 | 24.756 | 27.838 | 21.618 | 23.265 |
| คะแนนในแต่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ละแถบความถี่ | | | | | | |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| output | 86.138 | 88.952 | 89.228 | 87.903 | | |
| Gain | 50.118 | 52.429 | 52.426 | 53.228 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 25.632 | 27.571 | 27.574 | 26.772 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 0.9642 | 0.804267 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 6.02625 | 2.010667 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 99.29

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL และน้อยที่สุดคือ สัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ FIG6

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 16 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 66.333 | 63.058 | 67.567 | 68.131 | 71.458 | 76.356 |
| Output Ideal | 69.911 | 66.252 | 71.599 | 72.364 | 72.952 | 79.485 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | -3.578 | -3.194 | -4.032 | -4.233 | -1.494 | -3.129 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 3.578 | 3.194 | 4.032 | 4.233 | 1.494 | 3.129 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.10248 | 0.10220 | 0.11422 | 0.12318 | 0.04533 | 0.09126 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.10248 | 0.20440 | 0.37122 | 0.52352 | 0.20402 | 0.47913 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 77.755 | 86.509 | 89.216 | 90.652 | 94.343 | 88.545 |
| Output Ideal | 88.782 | 94.781 | 96.376 | 101.546 | 99 | 93.987 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | -11.027 | -8.272 | -7.16 | -10.894 | -4.657 | -5.442 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 11.027 | 8.272 | 7.16 | 10.894 | 4.657 | 5.442 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.29979 | 0.23783 | 0.21135 | 0.30647 | 0.16058 | 0.25326 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.948657 | 1.724275 | 1.796552 | 3.524475 | 1.766448 | 2.40605 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 82.728 | 84.517 | 85.169 | 83.078 | | |
| Output Ideal | 91.77 | 96.523 | 96.802 | 94.675 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| Output-Output Ideal | -9.042 | -12.006 | -11.633 | -11.597 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 9.042 | 12.006 | 11.633 | 11.597 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.564419 | 0.726623 | 0.692358 | 0.790256 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 5.079775 | 5.631332 | 4.327238 | 1.975639 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 32.07 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 17 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 66.193 | 63.951 | 67.846 | 67.585 | 71.121 | 73.619 |
| Output Ideal | 69.911 | 66.252 | 71.599 | 72.364 | 72.952 | 79.485 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | -3.718 | -2.301 | -3.753 | -4.779 | -1.831 | -5.866 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 3.718 | 2.301 | 3.753 | 4.779 | 1.831 | 5.866 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.10649 | 0.07362 | 0.10632 | 0.13907 | 0.05556 | 0.17109 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.10649 | 0.14725 | 0.34554 | 0.59104 | 0.25004 | 0.89825 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 74.827 | 83.675 | 85.235 | 87.708 | 90.226 | 85.05 |
| Output Ideal | 88.782 | 94.781 | 96.376 | 101.546 | 99 | 93.987 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | -13.955 | -11.106 | -11.141 | -13.838 | -8.774 | -8.937 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 13.955 | 11.106 | 11.141 | 13.838 | 8.774 | 8.937 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.37939 | 0.31931 | 0.32887 | 0.38929 | 0.30255 | 0.41592 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.466084 | 2.315014 | 2.795445 | 4.476931 | 3.328069 | 3.95129 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 79.903 | 80.69 | 81.821 | 80.628 | | |
| Output Ideal | 91.77 | 96.523 | 96.802 | 94.675 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| Output-Output Ideal | -11.867 | -15.833 | -14.981 | -14.047 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Absolute of Output-Output Ideal | 11.867 | 15.833 | 14.981 | 14.047 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.740762 | 0.95824 | 0.89162 | 0.957206 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 6.666854 | 7.42636 | 5.572625 | 2.393015 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 43.73 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 18 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 91.315 | 85.347 | 86.003 | 86.441 | 88.333 | 89.652 |
| outputIdeal | 69.911 | 66.252 | 71.599 | 72.364 | 72.952 | 79.485 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | 21.404 | 19.095 | 14.404 | 14.077 | 15.381 | 10.167 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 21.404 | 19.095 | 14.404 | 14.077 | 15.381 | 10.167 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.61310 | 0.61100 | 0.40805 | 0.40964 | 0.46677 | 0.29654 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.61310 | 1.22200 | 1.32618 | 1.74098 | 2.10046 | 1.55685 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 88.856 | 92.686 | 91.62 | 93.708 | 97.382 | 90.722 |
| outputIdeal | 88.782 | 94.781 | 96.376 | 101.546 | 99 | 93.987 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | 0.074 | -2.095 | -4.756 | -7.838 | -1.618 | -3.265 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 0.074 | 2.095 | 4.756 | 7.838 | 1.618 | 3.265 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |

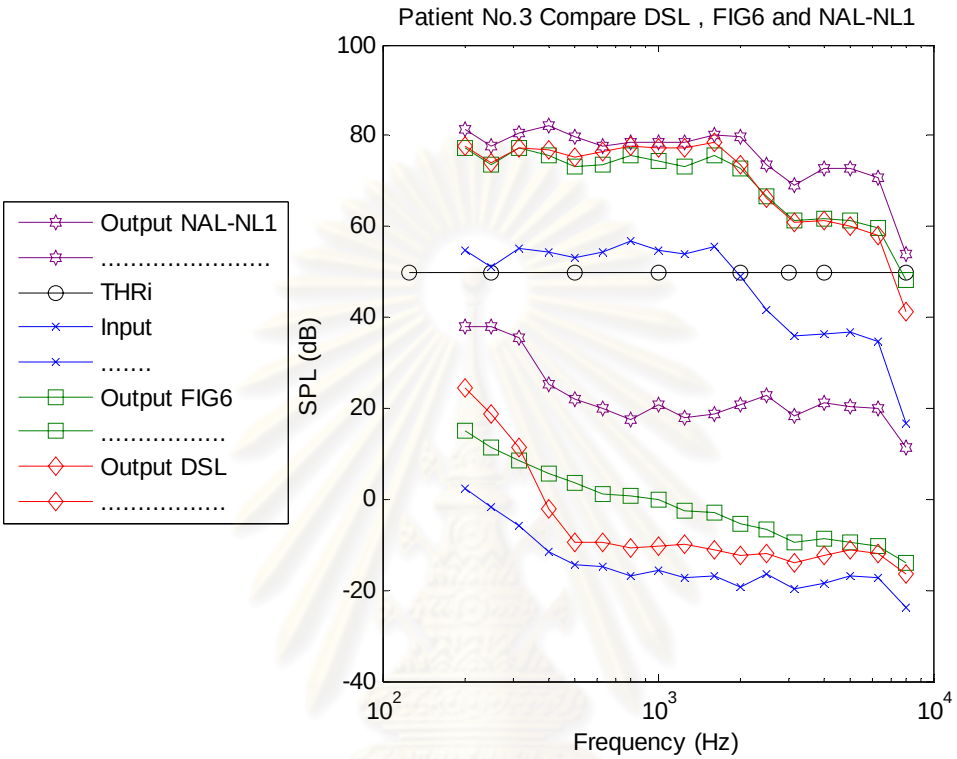
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.00201 | 0.06023 | 0.14039 | 0.22050 | 0.05579 | 0.15195 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.01307 | 0.43669 | 1.19335 | 2.53578 | 0.61372 | 1.44354 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 86.138 | 88.952 | 89.228 | 87.903 | | |
| outputIdeal | 91.77 | 96.523 | 96.802 | 94.675 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| Output-Output Ideal | -5.632 | -7.571 | -7.574 | -6.772 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 5.632 | 7.571 | 7.574 | 6.772 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.35156 | 0.45821 | 0.45078 | 0.46146 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 3.16404 | 3.55112 | 2.81737 | 1.15366 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 25.48 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นแสดงผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขสาม**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 46 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 3 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าเบา

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และแบบ FIG-6 จะเห็นว่า มีความคล้ายคลึงกัน โดยในส่วนของพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 เล็กน้อย โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 ในช่วงความถี่สูงกว่า 2,000 Hz อย่างชัดเจน

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 19 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 77.867 | 73.863 | 77.1 | 77.039 | 75.179 | 76.483 |
| Gain | 22.956 | 22.611 | 21.801 | 22.675 | 22.227 | 22.198 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 27.044 | 27.389 | 28.199 | 27.325 | 27.773 | 27.802 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.868533 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.868533 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 77.783 | 77.225 | 77.139 | 78.563 | 73.633 | 66.426 |
| Gain | 21.001 | 22.444 | 23.263 | 23.017 | 24.633 | 24.939 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 28.999 | 27.556 | 26.737 | 26.983 | 25.367 | 25.061 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| output | 60.871 | 61.256 | 60.079 | 58.038 | | |
| Gain | 24.851 | 24.733 | 23.277 | 23.363 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 25.149 | 25.267 | 26.723 | 26.637 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 0.992567 | 0.808767 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 6.203542 | 2.021917 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 99.34

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 20 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 77.176 | 73.785 | 77.305 | 75.489 | 73.098 | 73.58 |
| Gain | 22.265 | 22.533 | 22.006 | 21.125 | 20.146 | 19.295 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 27.735 | 27.467 | 27.994 | 28.875 | 29.854 | 30.705 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.8455 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.8455 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 75.789 | 74.333 | 73.159 | 75.565 | 72.728 | 66.734 |
| Gain | 19.007 | 19.552 | 19.283 | 20.019 | 23.728 | 25.247 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 30.993 | 30.448 | 30.717 | 29.981 | 26.272 | 24.753 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| output | 61.494 | 61.794 | 61.413 | 59.803 | | |
| Gain | 25.474 | 25.271 | 24.611 | 25.128 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 24.526 | 24.729 | 25.389 | 24.872 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 0.8676 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.169 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 99.51

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 21 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| output | 81.38 | 77.8 | 80.744 | 82.087 | 79.646 | 77.747 |
| Gain | 26.469 | 26.548 | 25.445 | 27.723 | 26.694 | 23.462 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 23.531 | 23.452 | 24.555 | 22.277 | 23.306 | 26.538 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.985633 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.985633 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| output | 78.531 | 78.654 | 78.525 | 80.184 | 79.865 | 73.647 |
| Gain | 21.749 | 23.873 | 24.649 | 24.638 | 30.865 | 32.16 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 28.251 | 26.127 | 25.351 | 25.362 | 19.135 | 17.84 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| output | 69.206 | 72.705 | 72.663 | 70.915 | | |
| Gain | 33.186 | 36.182 | 35.861 | 36.24 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 16.814 | 13.818 | 14.139 | 13.76 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 99.99

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ แบบ FIG6 นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด โดยสัญญาณออกของทั้งสามหลักเกณฑ์ให้ค่า AI มีค่าเกือบเต็ม 100 นั่นแสดงว่า ความรู้เรื่องของสัญญาณเสียงอยู่ในขั้นดีมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 22 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 77.867 | 73.863 | 77.1 | 77.039 | 75.179 | 76.483 |
| Output Ideal | 84.911 | 81.252 | 85.299 | 84.364 | 82.952 | 84.285 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | -7.044 | -7.389 | -8.199 | -7.325 | -7.773 | -7.802 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 7.044 | 7.389 | 8.199 | 7.325 | 7.773 | 7.802 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.20177 | 0.23643 | 0.23227 | 0.21315 | 0.23588 | 0.22756 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.20177 | 0.47286 | 0.75488 | 0.90592 | 1.06149 | 1.19470 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 77.783 | 77.225 | 77.139 | 78.563 | 73.633 | 66.426 |
| Output Ideal | 86.782 | 84.781 | 83.876 | 85.546 | 79 | 71.487 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | -8.999 | -7.556 | -6.737 | -6.983 | -5.367 | -5.061 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 8.999 | 7.556 | 6.737 | 6.983 | 5.367 | 5.061 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.24465 | 0.21724 | 0.19887 | 0.19645 | 0.18506 | 0.23553 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.59028 | 1.57503 | 1.69042 | 2.25917 | 2.03575 | 2.23760 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | | |
| output | 60.871 | 61.256 | 60.079 | 58.038 | | |
| Output Ideal | 66.02 | 66.523 | 66.802 | 64.675 | | |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Output-Output Ideal | -5.149 | -5.267 | -6.723 | -6.637 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 5.149 | 5.267 | 6.723 | 6.637 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.321411 | 0.318768 | 0.400131 | 0.452266 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.892697 | 2.47045 | 2.500818 | 1.130664 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 24.97 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 23 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 77.176 | 73.785 | 77.305 | 75.489 | 73.098 | 73.58 |
| Output Ideal | 84.911 | 81.252 | 85.299 | 84.364 | 82.952 | 84.285 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | -7.735 | -7.467 | -7.994 | -8.875 | -9.854 | -10.705 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 7.735 | 7.467 | 7.994 | 8.875 | 9.854 | 10.705 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.22156 | 0.23892 | 0.22646 | 0.25826 | 0.29904 | 0.31223 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.22156 | 0.47785 | 0.73601 | 1.09762 | 1.34568 | 1.63923 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 75.789 | 74.333 | 73.159 | 75.565 | 72.728 | 66.734 |
| Output Ideal | 86.782 | 84.781 | 83.876 | 85.546 | 79 | 71.487 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | -10.993 | -10.448 | -10.717 | -9.981 | -6.272 | -4.753 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 10.993 | 10.448 | 10.717 | 9.981 | 6.272 | 4.753 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.29886 | 0.30039 | 0.31636 | 0.28079 | 0.21627 | 0.22120 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.94264 | 2.17785 | 2.68905 | 3.22909 | 2.37903 | 2.10143 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 61.494 | 61.794 | 61.413 | 59.803 |
| Output Ideal | 66.02 | 66.523 | 66.802 | 64.675 |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| Output-Output Ideal | -4.526 | -4.729 | -5.389 | -4.872 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 4.526 | 4.729 | 5.389 | 4.872 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.28252 | 0.28621 | 0.32074 | 0.33199 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.54269 | 2.21811 | 2.00459 | 0.82998 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งสามคือ 27.63 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 24 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 81.38 | 77.8 | 80.744 | 82.087 | 79.646 | 77.747 |
| outputIdeal | 84.911 | 81.252 | 85.299 | 84.364 | 82.952 | 84.285 |
| Input | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| Output-Output Ideal | -3.531 | -3.452 | -4.555 | -2.277 | -3.306 | -6.538 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 3.531 | 3.452 | 4.555 | 2.277 | 3.306 | 6.538 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 34.911 | 31.252 | 35.299 | 34.364 | 32.952 | 34.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.10114 | 0.11045 | 0.12904 | 0.06626 | 0.10032 | 0.19069 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.10114 | 0.22091 | 0.41938 | 0.28161 | 0.45147 | 1.00115 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 78.531 | 78.654 | 78.525 | 80.184 | 79.865 | 73.647 |
| outputIdeal | 86.782 | 84.781 | 83.876 | 85.546 | 79 | 71.487 |
| Input | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| Output-Output Ideal | -8.251 | -6.127 | -5.351 | -5.362 | 0.865 | 2.16 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 8.251 | 6.127 | 5.351 | 5.362 | 0.865 | 2.16 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.782 | 34.781 | 33.876 | 35.546 | 29 | 21.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.22432 | 0.17615 | 0.15795 | 0.15084 | 0.02982 | 0.10052 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.45809 | 1.27715 | 1.34264 | 1.73473 | 0.32810 | 0.95499 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 69.206 | 72.705 | 72.663 | 70.915 |
| outputIdeal | 66.02 | 66.523 | 66.802 | 64.675 |
| Input | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| Output-Output Ideal | 3.186 | 6.182 | 5.861 | 6.24 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 3.186 | 6.182 | 5.861 | 6.24 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 16.02 | 16.523 | 16.802 | 14.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.19887 | 0.37414 | 0.34882 | 0.42521 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.78988 | 2.89962 | 2.18017 | 1.06303 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 17.50 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL

และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นแสดงผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

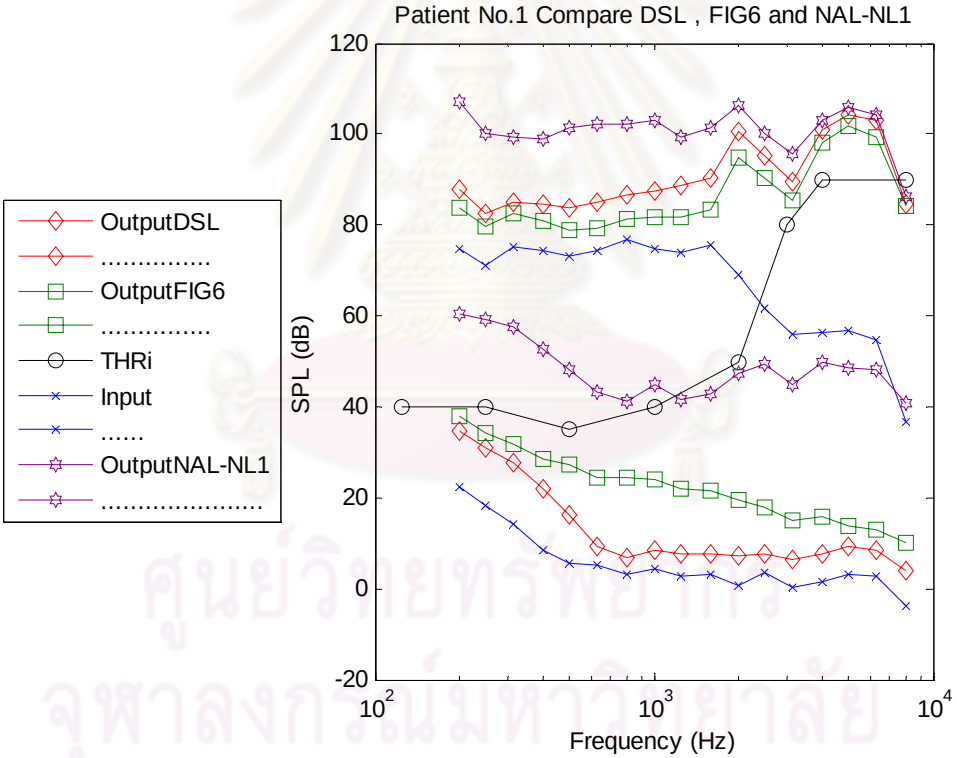
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.3.2.3.2 การทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบต่างๆ กับระดับเสียงเข้าที่ปานกลาง**

การทดลองนี้ จะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 กับผู้ป่วยหมายเลข 1 , 2 และ 3 โดยใช้สัญญาณเสียงเข้าที่มีระดับความดังปานกลาง โดยวิธีวัดประสิทธิภาพ จะใช้ค่าพิสัยพลวัต , ค่า Articulation Index และ ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก เป็นตัวชี้วัด โดยการทดลองจะค่อยๆทำการทดลองกับผู้ป่วยทีละหมายเลขไปเรื่อยๆ ดังนี้

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขหนึ่ง**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 47 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 1 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าปานกลาง

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และแบบ FIG-6 จะเห็นว่า มีความคล้ายคลึงกัน โดยในส่วนของพิสัย

พลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 พอควร โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 อย่างชัดเจน โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้ค่าหลักอัตราขยายทั้งสามหลักเกณฑ์ได้ที่ทุกช่วงความถี่

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 25 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 87.671 | 82.461 | 84.804 | 84.393 | 83.847 | 84.891 |
| Gain | 12.76 | 11.209 | 9.505 | 10.029 | 10.895 | 10.606 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 27.24 | 28.791 | 29.195 | 26.971 | 24.105 | 25.694 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.862 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.862 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 86.761 | 87.593 | 88.504 | 90.182 | 100.53 | 95.034 |
| Gain | 9.979 | 12.812 | 14.628 | 14.636 | 31.53 | 33.547 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 28.021 | 27.188 | 27.872 | 31.364 | 18.47 | 31.453 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| output | 89.338 | 100.87 | 104.19 | 102.94 |
| Gain | 33.318 | 44.347 | 47.388 | 48.265 |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 48.182 | 45.653 | 42.612 | 41.735 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.533933 | 0.511567 | 0.462933 | 0.3055 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 4.8054 | 3.964642 | 2.893333 | 0.76375 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 86.79

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 26 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 83.591 | 79.612 | 82.682 | 81.057 | 78.738 | 79.214 |
| Gain | 8.68 | 8.36 | 7.383 | 6.693 | 5.786 | 4.929 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 31.32 | 31.64 | 31.317 | 30.307 | 29.214 | 31.371 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.726 | 0.958667 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.726 | 1.917333 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 81.488 | 81.595 | 81.676 | 83.548 | 94.696 | 90.445 |
| Gain | 4.706 | 6.814 | 7.8 | 8.002 | 25.696 | 28.958 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 33.294 | 33.186 | 34.7 | 37.998 | 24.304 | 36.042 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 85.285 | 98.157 | 101.97 | 99.16 | | |
| Gain | 29.265 | 41.634 | 45.168 | 44.485 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 52.235 | 48.366 | 44.832 | 45.515 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.398833 | 0.421133 | 0.388933 | 0.1795 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 3.5895 | 3.263783 | 2.430833 | 0.44875 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 83.88

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ** NAL-NL1

ตารางที่ 27 การคำนวณค่า Articulation Index

ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 107.22 | 100.15 | 99.479 | 98.962 | 101.27 | 102.35 |
| Gain | 32.309 | 28.898 | 24.18 | 24.598 | 28.318 | 28.065 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 7.691 | 11.102 | 14.52 | 12.402 | 6.682 | 8.235 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1.513633 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AI ประจำแถบ | 1.513633 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 102.16 | 103.01 | 99.422 | 101.56 | 106.23 | 100.04 |
| Gain | 25.378 | 28.229 | 25.546 | 26.014 | 37.23 | 38.553 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 12.622 | 11.771 | 16.954 | 19.986 | 12.77 | 26.447 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 95.501 | 102.98 | 105.77 | 104.12 | | |
| Gain | 39.481 | 46.457 | 48.968 | 49.445 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 42.019 | 43.543 | 41.032 | 40.555 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.739367 | 0.5819 | 0.5156 | 0.344833 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 6.6543 | 4.509725 | 3.2225 | 0.862083 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 90.26

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ

FIG6 นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือ แบบ DSL และ สุดท้ายคือ แบบ FIG6

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 28 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 87.671 | 82.461 | 84.804 | 84.393 | 83.847 | 84.891 |
| Output Ideal | 94.911 | 91.252 | 93.999 | 91.364 | 87.952 | 90.585 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | -7.24 | -8.791 | -9.195 | -6.971 | -4.105 | -5.694 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 7.24 | 8.791 | 9.195 | 6.971 | 4.105 | 5.694 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.13185 | 0.17152 | 0.16627 | 0.12822 | 0.07752 | 0.10489 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.13185 | 0.34305 | 0.54040 | 0.54497 | 0.34885 | 0.55067 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 86.761 | 87.593 | 88.504 | 90.182 | 100.53 | 95.034 |
| Output Ideal | 94.782 | 94.781 | 96.376 | 101.546 | 99 | 106.487 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -8.021 | -7.188 | -7.872 | -11.364 | 1.53 | -11.453 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 8.021 | 7.188 | 7.872 | 11.364 | 1.53 | 11.453 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.14126 | 0.13121 | 0.14611 | 0.20458 | 0.03122 | 0.27606 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.91818 | 0.95129 | 1.24196 | 2.35275 | 0.34346 | 2.622593 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 | | |
| output | 89.338 | 100.87 | 104.19 | 102.94 | | |
| Output Ideal | 117.52 | 126.523 | 126.802 | 124.675 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| Output-Output Ideal | -28.182 | -25.653 | -22.612 | -21.735 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 28.182 | 25.653 | 22.612 | 21.735 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.782399 | 0.702379 | 0.614423 | 0.62682 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 7.041588 | 5.44344 | 3.840145 | 1.567051 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 28.78 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 29 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 83.591 | 79.612 | 82.682 | 81.057 | 78.738 | 79.214 |
| Output Ideal | 94.911 | 91.252 | 93.999 | 91.364 | 87.952 | 90.585 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | -11.32 | -11.64 | -11.317 | -10.307 | -9.214 | -11.371 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 11.32 | 11.64 | 11.317 | 10.307 | 9.214 | 11.371 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.20615 | 0.22711 | 0.20465 | 0.18959 | 0.17400 | 0.20946 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.20615 | 0.45422 | 0.66511 | 0.80576 | 0.78303 | 1.09971 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 81.488 | 81.595 | 81.676 | 83.548 | 94.696 | 90.445 |
| Output Ideal | 94.782 | 94.781 | 96.376 | 101.546 | 99 | 106.487 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -13.294 | -13.186 | -14.7 | -17.998 | -4.304 | -16.042 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 13.294 | 13.186 | 14.7 | 17.998 | 4.304 | 16.042 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.23412 | 0.24070 | 0.27284 | 0.32402 | 0.08783 | 0.38667 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.521803 | 1.745103 | 2.319214 | 3.726227 | 0.966204 | 3.67341 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 |
| output | 85.285 | 98.157 | 101.97 | 99.16 |
| Output Ideal | 117.52 | 126.523 | 126.802 | 124.675 |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| Output-Output Ideal | -32.235 | -28.366 | -24.832 | -25.515 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 32.235 | 28.366 | 24.832 | 25.515 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.894919 | 0.776661 | 0.674746 | 0.735833 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 8.054275 | 6.019125 | 4.217162 | 1.839582 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 38.10 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 30 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 107.22 | 100.15 | 99.479 | 98.962 | 101.27 | 102.35 |
| outputIdeal | 94.911 | 91.252 | 93.999 | 91.364 | 87.952 | 90.585 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | 12.309 | 8.898 | 5.48 | 7.598 | 13.318 | 11.765 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 12.309 | 8.898 | 5.48 | 7.598 | 13.318 | 11.765 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.22416 | 0.17361 | 0.09909 | 0.13976 | 0.25151 | 0.21672 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.22416 | 0.34722 | 0.32206 | 0.59398 | 1.13179 | 1.13781 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 102.16 | 103.01 | 99.422 | 101.56 | 106.23 | 100.04 |
| outputIdeal | 94.782 | 94.781 | 96.376 | 101.546 | 99 | 106.487 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | 7.378 | 8.229 | 3.046 | 0.014 | 7.23 | -6.447 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 7.378 | 8.229 | 3.046 | 0.014 | 7.23 | 6.447 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.12993 | 0.15021 | 0.05653 | 0.00025 | 0.14755 | 0.15539 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.84458 | 1.08906 | 0.48056 | 0.0028 | 1.62306 | 1.47628 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 |
| output | 95.501 | 102.98 | 105.77 | 104.12 |
| outputIdeal | 117.52 | 126.523 | 126.802 | 124.675 |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| Output-Output Ideal | -22.019 | -23.543 | -21.032 | -20.555 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 22.019 | 23.543 | 21.032 | 20.555 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.61129 | 0.64460 | 0.57149 | 0.59279 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 5.50169 | 4.99570 | 3.57181 | 1.48197 |

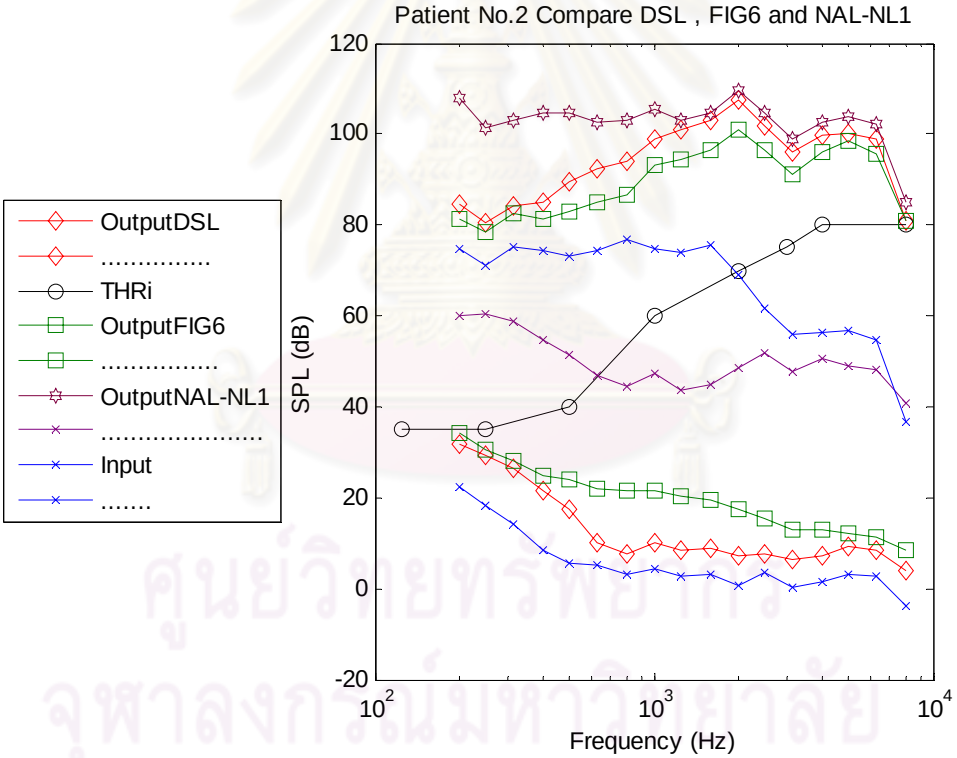
เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 24.82 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL

และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นแสดงผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขสอง**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 48 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 2 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าปานกลาง

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และแบบ FIG-6 จะเห็นว่า มีความคล้ายคลึงกัน โดยในส่วนของพิสัย

พลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 พอควร โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 อย่างชัดเจน โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้ค่าหลักอัตราขยายทั้งสามหลักเกณฑ์ได้ที่ทุกช่วงความถี่ โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองได้ทุกช่วงความถี่

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 31 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 84.693 | 80.412 | 84.384 | 84.807 | 89.413 | 92.53 |
| Gain | 9.782 | 9.16 | 9.085 | 10.443 | 16.461 | 18.245 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 25.218 | 25.84 | 27.215 | 27.557 | 23.539 | 26.955 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.9294 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.9294 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 93.918 | 98.942 | 100.94 | 102.93 | 107.52 | 101.82 |
| Gain | 17.136 | 24.161 | 27.064 | 27.384 | 38.52 | 40.333 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 34.864 | 35.839 | 35.436 | 38.616 | 31.48 | 32.167 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 96.029 | 99.771 | 100.3 | 99.011 | | |
| Gain | 40.009 | 43.248 | 43.498 | 44.336 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 35.741 | 36.752 | 36.502 | 35.664 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.948633 | 0.808267 | 0.6666 | 0.507867 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 8.5377 | 6.264067 | 4.16625 | 1.269667 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 94.67

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 32 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 81.253 | 78.307 | 82.387 | 81.408 | 82.875 | 85.002 |
| Gain | 6.342 | 7.055 | 7.088 | 7.044 | 9.923 | 10.717 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 28.658 | 27.945 | 29.212 | 30.956 | 30.077 | 34.483 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.814733 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.814733 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 86.649 | 93.306 | 94.465 | 96.572 | 100.98 | 96.617 |
| Gain | 9.867 | 18.525 | 20.589 | 21.026 | 31.98 | 35.13 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 42.133 | 41.475 | 41.911 | 44.974 | 38.02 | 37.37 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 91.279 | 96.152 | 98.611 | 95.817 | | |
| Gain | 35.259 | 39.629 | 41.809 | 41.142 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 40.491 | 40.371 | 38.191 | 38.858 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.7903 | 0.687633 | 0.6103 | 0.4014 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 7.1127 | 5.329158 | 3.814375 | 1.0035 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 91.57

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 33 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 108.07 | 101.48 | 103.21 | 104.49 | 104.78 | 102.58 |
| Gain | 33.159 | 30.228 | 27.911 | 30.126 | 31.828 | 28.295 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 1.841 | 4.772 | 8.389 | 7.874 | 8.172 | 16.905 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AI ประจำแถบ | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 103.11 | 105.35 | 102.89 | 104.6 | 109.36 | 104.57 |
| Gain | 26.328 | 30.569 | 29.014 | 29.054 | 40.36 | 43.083 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 25.672 | 29.431 | 33.486 | 36.946 | 29.64 | 29.417 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 99.114 | 102.74 | 103.75 | 102.04 | | |
| Gain | 43.094 | 46.217 | 46.948 | 47.365 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 32.656 | 33.783 | 33.052 | 32.635 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 0.907233 | 0.7816 | 0.608833 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.031058 | 4.885 | 1.522083 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 96.94

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ

FIG6 นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือ แบบ DSL และ สุดท้ายคือ แบบ FIG6

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 34 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 84.693 | 80.412 | 84.384 | 84.807 | 89.413 | 92.53 |
| Output Ideal | 89.911 | 86.252 | 91.599 | 92.364 | 92.952 | 99.485 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | -5.218 | -5.84 | -7.215 | -7.557 | -3.539 | -6.955 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 5.218 | 5.84 | 7.215 | 7.557 | 3.539 | 6.955 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.09502 | 0.11394 | 0.13047 | 0.13900 | 0.06683 | 0.12812 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.09502 | 0.22789 | 0.42404 | 0.59078 | 0.30075 | 0.67263 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 93.918 | 98.942 | 100.94 | 102.93 | 107.52 | 101.82 |
| Output Ideal | 108.782 | 114.781 | 116.376 | 121.546 | 119 | 113.987 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -14.864 | -15.839 | -15.436 | -18.616 | -11.48 | -12.167 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 14.864 | 15.839 | 15.436 | 18.616 | 11.48 | 12.167 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.26177 | 0.28913 | 0.28651 | 0.33514 | 0.23428 | 0.29327 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.70152 | 2.09621 | 2.43533 | 3.85417 | 2.57714 | 2.78609 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 96.029 | 99.771 | 100.3 | 99.011 | | |
| Output Ideal | 111.77 | 116.523 | 116.802 | 114.675 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| Output-Output Ideal | -15.741 | -16.752 | -16.502 | -15.664 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 15.741 | 16.752 | 16.502 | 15.664 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.43700 | 0.45867 | 0.4484 | 0.45173 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 3.93306 | 3.55469 | 2.80249 | 1.12934 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 29.18 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 35 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 81.253 | 78.307 | 82.387 | 81.408 | 82.875 | 85.002 |
| Output Ideal | 89.911 | 86.252 | 91.599 | 92.364 | 92.952 | 99.485 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | -8.658 | -7.945 | -9.212 | -10.956 | -10.077 | -14.483 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 8.658 | 7.945 | 9.212 | 10.956 | 10.077 | 14.483 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.15767 | 0.15501 | 0.16658 | 0.20153 | 0.19030 | 0.26679 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.15767 | 0.31003 | 0.54140 | 0.85650 | 0.85637 | 1.40067 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 86.649 | 93.306 | 94.465 | 96.572 | 100.98 | 96.617 |
| Output Ideal | 108.782 | 114.781 | 116.376 | 121.546 | 119 | 113.987 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -22.133 | -21.475 | -21.911 | -24.974 | -18.02 | -17.37 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 22.133 | 21.475 | 21.911 | 24.974 | 18.02 | 17.37 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.38978 | 0.39201 | 0.40669 | 0.44960 | 0.36775 | 0.41868 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.53362 | 2.84211 | 3.45689 | 5.17050 | 4.04530 | 3.97751 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 91.279 | 96.152 | 98.611 | 95.817 | | |
| Output Ideal | 111.77 | 116.523 | 116.802 | 114.675 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| Output-Output Ideal | -20.491 | -20.371 | -18.191 | -18.858 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 20.491 | 20.371 | 18.191 | 18.858 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.56887 | 0.55775 | 0.49429 | 0.54385 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 5.11990 | 4.32262 | 3.08933 | 1.35962 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 40.04 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 36 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 108.07 | 101.48 | 103.21 | 104.49 | 104.78 | 102.58 |
| outputIdeal | 89.911 | 86.252 | 91.599 | 92.364 | 92.952 | 99.485 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | 18.159 | 15.228 | 11.611 | 12.126 | 11.828 | 3.095 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 18.159 | 15.228 | 11.611 | 12.126 | 11.828 | 3.095 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.33069 | 0.29712 | 0.20996 | 0.22305 | 0.22337 | 0.05701 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.33069 | 0.59424 | 0.68239 | 0.94797 | 1.00517 | 0.29932 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 103.11 | 105.35 | 102.89 | 104.6 | 109.36 | 104.57 |
| outputIdeal | 108.782 | 114.781 | 116.376 | 121.546 | 119 | 113.987 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -5.672 | -9.431 | -13.486 | -16.946 | -9.64 | -9.417 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 5.672 | 9.431 | 13.486 | 16.946 | 9.64 | 9.417 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.09989 | 0.17215 | 0.25031 | 0.30508 | 0.19673 | 0.22698 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.64929 | 1.24814 | 2.12768 | 3.50842 | 2.16408 | 2.15637 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 99.114 | 102.74 | 103.75 | 102.04 | | |
| outputIdeal | 111.77 | 116.523 | 116.802 | 114.675 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| Output-Output Ideal | -12.656 | -13.783 | -13.052 | -12.635 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 12.656 | 13.783 | 13.052 | 12.635 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.35136 | 0.37737 | 0.35465 | 0.36438 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 3.16223 | 2.92468 | 2.21659 | 0.91095 | | |

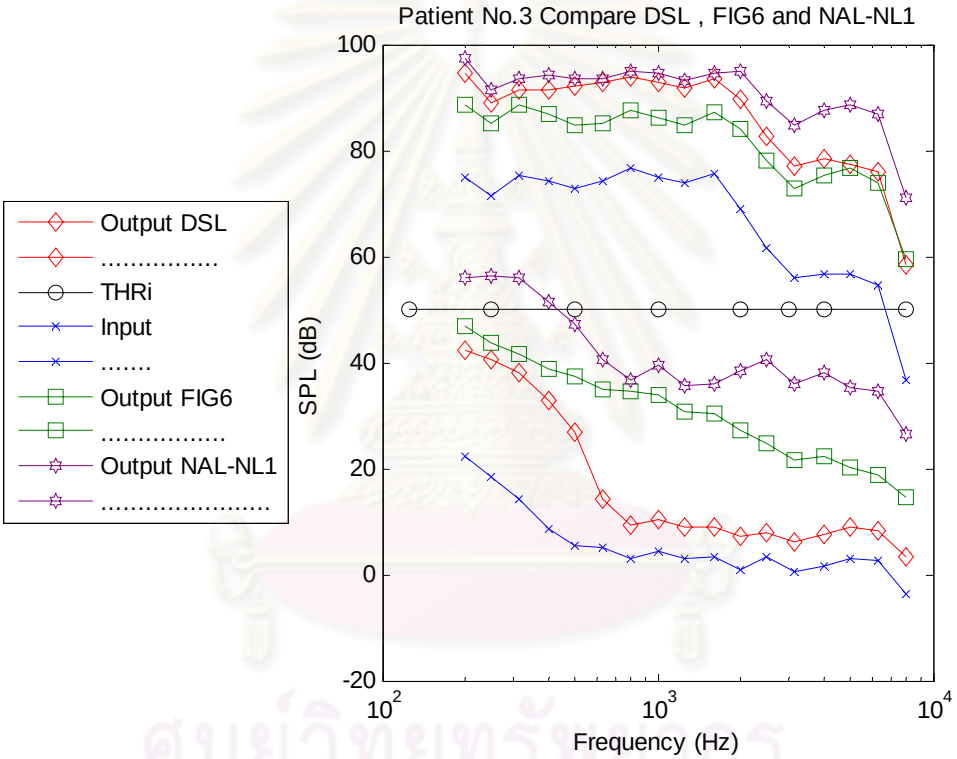
เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 24.93 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบ

อัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นแสดงผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขสาม**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 49 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์คอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 3 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าปานกลาง

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และแบบ FIG-6 จะเห็นว่า มีความคล้ายคลึงกัน โดยในส่วนของพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 พอควร โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมี

ค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 อย่างชัดเจน โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้ค่าหลักอัตราขยายทั้งสามหลักเกณฑ์ได้ที่ทุกช่วงความถี่ โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองได้ทุกช่วงความถี่

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 37 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 94.436 | 89.06 | 91.561 | 91.491 | 91.97 | 92.635 |
| Gain | 19.525 | 17.808 | 16.262 | 17.127 | 19.018 | 18.35 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 30.475 | 32.192 | 33.738 | 32.873 | 30.982 | 31.65 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.754167 | 0.940267 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.754167 | 1.880533 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 93.987 | 92.824 | 91.6 | 93.372 | 89.601 | 82.541 |
| Gain | 17.205 | 18.043 | 17.724 | 17.826 | 20.601 | 21.054 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 32.795 | 31.957 | 32.276 | 32.174 | 29.399 | 28.946 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 77.11 | 78.258 | 77.455 | 75.803 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Gain | 21.09 | 21.735 | 20.653 | 21.128 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 28.91 | 28.265 | 29.347 | 28.872 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 0.9051 | 0.734267 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 5.656875 | 1.835667 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 98.38

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 38 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 88.606 | 85.221 | 88.696 | 87.012 | 84.751 | 85.229 |
| Gain | 13.695 | 13.969 | 13.397 | 12.648 | 11.799 | 10.944 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 36.305 | 36.031 | 36.603 | 37.352 | 38.201 | 39.056 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.559833 | 0.8123 | 0.926567 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.559833 | 1.6246 | 3.011342 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 87.406 | 86.131 | 84.826 | 87.071 | 83.97 | 78.205 |
| Gain | 10.624 | 11.35 | 10.95 | 11.525 | 14.97 | 16.718 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 39.376 | 38.65 | 39.05 | 38.475 | 35.03 | 33.282 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 72.968 | 75.402 | 76.632 | 73.954 | | |
| Gain | 16.948 | 18.879 | 19.83 | 19.279 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 33.052 | 31.121 | 30.17 | 30.721 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 0.995967 | 0.877667 | 0.672633 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.718742 | 5.485417 | 1.681583 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 97.33

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 39 การคำนวณค่า Articulation Index

ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| output | 97.488 | 91.312 | 93.451 | 94.041 | 93.458 | 93.672 |
| Gain | 22.577 | 20.06 | 18.152 | 19.677 | 20.506 | 19.387 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 27.423 | 29.94 | 31.848 | 30.323 | 29.494 | 30.613 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.8559 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.8559 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| output | 94.843 | 94.447 | 93.155 | 94.497 | 95.037 | 89.417 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gain | 18.061 | 19.666 | 19.279 | 18.951 | 26.037 | 27.93 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 31.939 | 30.334 | 30.721 | 31.049 | 23.963 | 22.07 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| output | 84.752 | 87.666 | 88.534 | 86.81 | | |
| Gain | 28.732 | 31.143 | 31.732 | 32.135 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 21.268 | 18.857 | 18.268 | 17.865 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 99.86

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือ แบบ DSL และ สุดท้ายคือ แบบ FIG6 โดยทั้งสามหลักเกณฑ์ให้ค่า AI เกือบเต็ม 100 นั่นแสดงว่า สัญญาณเสียงออก มีคุณภาพเสียงดีมาก

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 40 คำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 94.436 | 89.06 | 91.561 | 91.491 | 91.97 | 92.635 |
| Output Ideal | 104.911 | 101.252 | 105.299 | 104.364 | 102.952 | 104.285 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | -10.475 | -12.192 | -13.738 | -12.873 | -10.982 | -11.65 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 10.475 | 12.192 | 13.738 | 12.873 | 10.982 | 11.65 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.19076 | 0.23788 | 0.24843 | 0.23679 | 0.20739 | 0.21460 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.19076 | 0.47576 | 0.80740 | 1.00636 | 0.93327 | 1.12669 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 93.987 | 92.824 | 91.6 | 93.372 | 89.601 | 82.541 |
| Output Ideal | 106.782 | 104.781 | 103.876 | 105.546 | 99 | 91.487 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -12.795 | -11.957 | -12.276 | -12.174 | -9.399 | -8.946 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 12.795 | 11.957 | 12.276 | 12.174 | 9.399 | 8.946 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.22533 | 0.21826 | 0.22785 | 0.21917 | 0.19181 | 0.21563 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.46468 | 1.58245 | 1.93678 | 2.52045 | 2.10998 | 2.04852 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | | |
| output | 77.11 | 78.258 | 77.455 | 75.803 | | |
| Output Ideal | 86.02 | 86.523 | 86.802 | 84.675 | | |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| Output-Output Ideal | -8.91 | -8.265 | -9.347 | -8.872 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 8.91 | 8.265 | 9.347 | 8.872 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.24736 | 0.22629 | 0.25398 | 0.25586 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.22626 | 1.75379 | 1.58738 | 0.63965 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 22.41 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 41 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 88.606 | 85.221 | 88.696 | 87.012 | 84.751 | 85.229 |
| Output Ideal | 104.911 | 101.252 | 105.299 | 104.364 | 102.952 | 104.285 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | -16.305 | -16.031 | -16.603 | -17.352 | -18.201 | -19.056 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 16.305 | 16.031 | 16.603 | 17.352 | 18.201 | 19.056 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.29693 | 0.31278 | 0.30024 | 0.31918 | 0.34372 | 0.35103 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.29693 | 0.62557 | 0.97578 | 1.35652 | 1.54676 | 1.84294 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 87.406 | 86.131 | 84.826 | 87.071 | 83.97 | 78.205 |
| Output Ideal | 106.782 | 104.781 | 103.876 | 105.546 | 99 | 91.487 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -19.376 | -18.65 | -19.05 | -18.475 | -15.03 | -13.282 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 19.376 | 18.65 | 19.05 | 18.475 | 15.03 | 13.282 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.34123 | 0.34044 | 0.35359 | 0.33260 | 0.30673 | 0.32014 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.21802 | 2.46823 | 3.00551 | 3.82498 | 3.37408 | 3.04141 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 72.968 | 75.402 | 76.632 | 73.954 |
| Output Ideal | 86.02 | 86.523 | 86.802 | 84.675 |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| Output-Output Ideal | -13.052 | -11.121 | -10.17 | -10.721 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 13.052 | 11.121 | 10.17 | 10.721 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.36235 | 0.30449 | 0.27634 | 0.30918 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 3.26118 | 2.35982 | 1.72714 | 0.77296 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 32.70 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 42 คำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 97.488 | 91.312 | 93.451 | 94.041 | 93.458 | 93.672 |
| outputIdeal | 104.911 | 101.252 | 105.299 | 104.364 | 102.952 | 104.285 |
| Input | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| Output-Output Ideal | -7.423 | -9.94 | -11.848 | -10.323 | -9.494 | -10.613 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 7.423 | 9.94 | 11.848 | 10.323 | 9.494 | 10.613 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 54.911 | 51.252 | 55.299 | 54.364 | 52.952 | 54.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.13518 | 0.19394 | 0.21425 | 0.18988 | 0.17929 | 0.19550 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.135182 | 0.387887 | 0.696324 | 0.807018 | 0.806825 | 1.026402 |

| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 94.843 | 94.447 | 93.155 | 94.497 | 95.037 | 89.417 |
| outputIdeal | 106.782 | 104.781 | 103.876 | 105.546 | 99 | 91.487 |
| Input | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| Output-Output Ideal | -11.939 | -10.334 | -10.721 | -11.049 | -3.963 | -2.07 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 11.939 | 10.334 | 10.721 | 11.049 | 3.963 | 2.07 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.782 | 54.781 | 53.876 | 55.546 | 49 | 41.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.21026 | 0.18864 | 0.19899 | 0.19891 | 0.08087 | 0.04989 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.36669 | 1.36765 | 1.69144 | 2.28753 | 0.88965 | 0.47400 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 84.752 | 87.666 | 88.534 | 86.81 |
| outputIdeal | 86.02 | 86.523 | 86.802 | 84.675 |
| Input | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| Output-Output Ideal | -1.268 | 1.143 | 1.732 | 2.135 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 1.268 | 1.143 | 1.732 | 2.135 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 36.02 | 36.523 | 36.802 | 34.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.03520 | 0.03129 | 0.04706 | 0.06157 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.31682 | 0.24253 | 0.29414 | 0.15392 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 12.94 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์

ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นแสดงผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

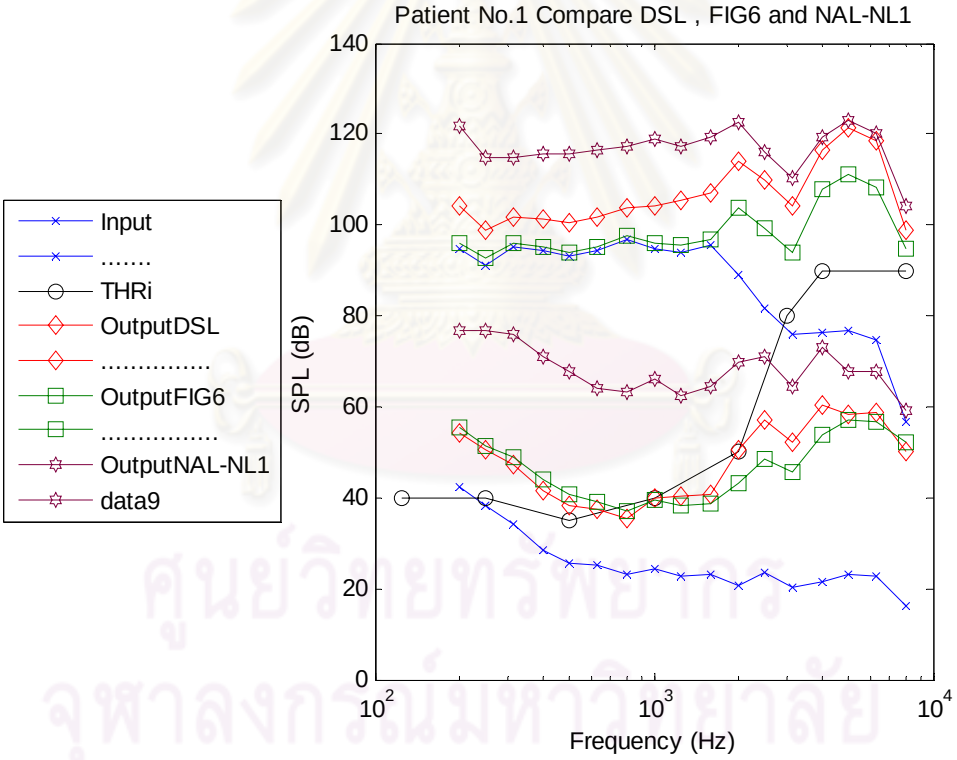
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.3.2.3.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบต่างๆ กับระดับเสียงเข้าที่ดัง**

การทดลองนี้ จะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 กับผู้ป่วยหมายเลข 1 , 2 และ 3 โดยใช้สัญญาณเสียงเข้าที่มีระดับความดังเสียงดัง โดยวิธีวัดประสิทธิภาพ จะใช้ค่าพิสัยพลวัต , ค่า Articulation Index และ ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก เป็นตัวชี้วัด โดยการทดลองจะค่อยๆทำการทดลองกับผู้ป่วยทีละหมายเลขไปเรื่อยๆ ดังนี้

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขหนึ่ง**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 50 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 1 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าดัง

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบต่างๆ โดยในส่วนของพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัด

ที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 พอควร โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 อย่างชัดเจน โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้ค่าหลักอัตราขยายทั้งสามหลักเกณฑ์ได้ที่ทุกช่วงความถี่ โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองได้ทุกช่วงความถี่

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 43 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 104.1 | 98.945 | 101.63 | 101.27 | 100.7 | 101.73 |
| Gain | 9.189 | 7.693 | 6.331 | 6.906 | 7.748 | 7.445 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 30.811 | 32.307 | 32.369 | 30.094 | 27.252 | 28.855 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.742967 | 0.936433 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.742967 | 1.872867 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 103.57 | 104.14 | 105.53 | 107.11 | 114.19 | 109.9 |
| Gain | 6.788 | 9.359 | 11.654 | 11.564 | 25.19 | 28.413 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 31.212 | 30.641 | 30.846 | 34.436 | 24.81 | 36.587 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.990433 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.409117 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 104.19 | 116.56 | 121.35 | 118.67 | | |
| Gain | 28.17 | 40.037 | 44.548 | 43.995 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 53.33 | 49.963 | 45.452 | 46.005 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.362333 | 0.3679 | 0.368267 | 0.163167 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 3.261 | 2.851225 | 2.301667 | 0.407917 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 82.85

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 44 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 96.029 | 92.648 | 96.18 | 95.278 | 93.964 | 95.23 |
| Gain | 1.118 | 1.396 | 0.881 | 0.914 | 1.012 | 0.945 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 38.882 | 38.604 | 37.819 | 36.086 | 33.988 | 35.355 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.473933 | 0.726533 | 0.886033 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.473933 | 1.453067 | 2.879608 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 97.781 | 96.155 | 95.416 | 96.95 | 103.8 | 99.42 |
| Gain | 0.999 | 1.374 | 1.54 | 1.404 | 14.8 | 17.933 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 37.001 | 38.626 | 40.96 | 44.596 | 35.2 | 47.067 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 0.880133 | 1 | 0.6411 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 10.12153 | 11 | 6.09045 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 94.016 | 107.85 | 110.94 | 108.11 | | |
| Gain | 17.996 | 31.327 | 34.138 | 33.435 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 63.504 | 58.673 | 55.862 | 56.565 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.0232 | 0.077567 | 0.021267 | 0 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 0.2088 | 0.601142 | 0.132917 | 0 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 69.21

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 45 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 121.95 | 114.78 | 115.02 | 115.53 | 115.79 | 116.35 |
| Gain | 27.039 | 23.528 | 19.721 | 21.166 | 22.838 | 22.065 |
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 12.961 | 16.472 | 18.979 | 15.834 | 12.162 | 14.235 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 117.35 | 119.01 | 117.37 | 119.32 | 122.79 | 116.03 |
| Gain | 20.568 | 24.229 | 23.494 | 23.774 | 33.79 | 34.543 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 17.432 | 15.771 | 19.006 | 22.226 | 16.21 | 30.457 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 110.19 | 119.42 | 122.81 | 120.24 | | |
| Gain | 34.17 | 42.897 | 46.008 | 45.565 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 47.33 | 47.103 | 43.992 | 44.435 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.562333 | 0.463233 | 0.416933 | 0.2155 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 5.061 | 3.590058 | 2.605833 | 0.53875 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 86.30

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่า

ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 อย่างชัดเจนมาก นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือ แบบ DSL และ สุดท้ายคือแบบ FIG6

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 46 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 104.1 | 98.945 | 101.63 | 101.27 | 100.7 | 101.73 |
| Output Ideal | 114.911 | 111.252 | 113.999 | 111.364 | 107.952 | 110.585 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | -10.811 | -12.307 | -12.369 | -10.094 | -7.252 | -8.855 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 10.811 | 12.307 | 12.369 | 10.094 | 7.252 | 8.855 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.14431 | 0.17272 | 0.16426 | 0.13573 | 0.09940 | 0.11920 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.14431 | 0.34545 | 0.53386 | 0.57688 | 0.44733 | 0.62581 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 103.57 | 104.14 | 105.53 | 107.11 | 114.19 | 109.9 |
| Output Ideal | 114.782 | 114.781 | 116.376 | 121.546 | 119 | 126.487 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -11.212 | -10.641 | -10.846 | -14.436 | -4.81 | -16.587 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 11.212 | 10.641 | 10.846 | 14.436 | 4.81 | 16.587 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.14602 | 0.14229 | 0.14681 | 0.19108 | 0.06971 | 0.26976 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.949155 | 1.031642 | 1.247915 | 2.197522 | 0.766812 | 2.56276 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 | | |
| output | 104.19 | 116.56 | 121.35 | 118.67 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Output Ideal | 137.52 | 146.523 | 146.802 | 144.675 |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 |
| Output-Output Ideal | -33.33 | -29.963 | -25.452 | -26.005 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 33.33 | 29.963 | 25.452 | 26.005 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.594966 | 0.530103 | 0.448083 | 0.475629 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 5.354695 | 4.108297 | 2.800518 | 1.189072 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 24.88 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 47 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 96.029 | 92.648 | 96.18 | 95.278 | 93.964 | 95.23 |
| Output Ideal | 114.911 | 111.252 | 113.999 | 111.364 | 107.952 | 110.585 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | -18.882 | -18.604 | -17.819 | -16.086 | -13.988 | -15.355 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 18.882 | 18.604 | 17.819 | 16.086 | 13.988 | 15.355 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.25205 | 0.26110 | 0.23664 | 0.21631 | 0.19174 | 0.20670 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.25205 | 0.52220 | 0.76909 | 0.91933 | 0.86284 | 1.08519 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 97.781 | 96.155 | 95.416 | 96.95 | 103.8 | 99.42 |
| Output Ideal | 114.782 | 114.781 | 116.376 | 121.546 | 119 | 126.487 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -17.001 | -18.626 | -20.96 | -24.596 | -15.2 | -27.067 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 17.001 | 18.626 | 20.96 | 24.596 | 15.2 | 27.067 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.22141 | 0.24907 | 0.28371 | 0.32557 | 0.22029 | 0.44020 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.43922 | 1.80578 | 2.411609 | 3.74412 | 2.423188 | 4.18196 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 | | |
| output | 94.016 | 107.85 | 110.94 | 108.11 | | |
| Output Ideal | 137.52 | 146.523 | 146.802 | 144.675 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| Output-Output Ideal | -43.504 | -38.673 | -35.862 | -36.565 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 43.504 | 38.673 | 35.862 | 36.565 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.77658 | 0.684199 | 0.631351 | 0.66877 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 6.989218 | 5.302545 | 3.945944 | 1.671925 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 38.32 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 48 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 40 | 40 | 38.7 | 37 | 35 | 36.3 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 20 | 20 | 18.7 | 17 | 15 | 16.3 |
| output | 121.95 | 114.78 | 115.02 | 115.53 | 115.79 | 116.35 |
| outputIdeal | 114.911 | 111.252 | 113.999 | 111.364 | 107.952 | 110.585 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | 7.039 | 3.528 | 1.021 | 4.166 | 7.838 | 5.765 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 7.039 | 3.528 | 1.021 | 4.166 | 7.838 | 5.765 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.09396 | 0.04951 | 0.01355 | 0.05602 | 0.10744 | 0.07760 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.09396 | 0.09902 | 0.04406 | 0.23809 | 0.48348 | 0.40743 |

| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 38 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 65 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 18 | 20 | 22.5 | 26 | 30 | 45 |
| output | 117.35 | 119.01 | 117.37 | 119.32 | 122.79 | 116.03 |
| outputIdeal | 114.782 | 114.781 | 116.376 | 121.546 | 119 | 126.487 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | 2.568 | 4.229 | 0.994 | -2.226 | 3.79 | -10.457 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 2.568 | 4.229 | 0.994 | 2.226 | 3.79 | 10.457 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.03344 | 0.05655 | 0.01345 | 0.02946 | 0.05492 | 0.17006 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.21739 | 0.41000 | 0.11436 | 0.33885 | 0.60420 | 1.61565 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| THR | 81.5 | 90 | 90 | 90 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 61.5 | 70 | 70 | 70 |
| output | 110.19 | 119.42 | 122.81 | 120.24 |
| outputIdeal | 137.52 | 146.523 | 146.802 | 144.675 |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 |
| Output-Output Ideal | -27.33 | -27.103 | -23.992 | -24.435 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 27.33 | 27.103 | 23.992 | 24.435 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.48786 | 0.47950 | 0.42237 | 0.44691 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 4.39075 | 3.71615 | 2.63987 | 1.11728 |

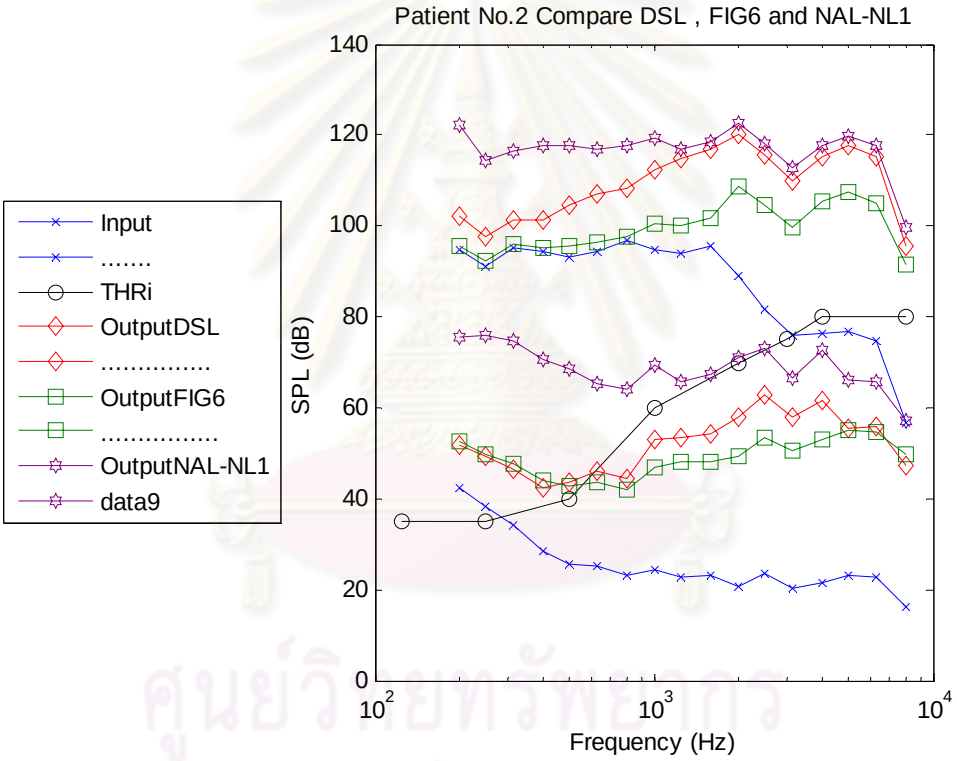
เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 16.53 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์

ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นแสดงผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขสอง**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 51 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 2 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าดัง

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบต่างๆ โดยในส่วนของพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 พอควร โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟัง

ที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 อย่างชัดเจน โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้ค่าหลักอัตราขยายทั้งสามหลักเกณฑ์ได้ที่ทุกช่วงความถี่ โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองได้ทุกช่วงความถี่

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 49 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 101.94 | 97.549 | 101.35 | 101.5 | 104.58 | 107.1 |
| Gain | 7.029 | 6.297 | 6.051 | 7.136 | 11.628 | 12.815 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 27.971 | 28.703 | 30.249 | 30.864 | 28.372 | 32.385 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.837633 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.837633 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 108.47 | 112.49 | 115.02 | 116.73 | 120.19 | 115.51 |
| Gain | 11.688 | 17.709 | 21.144 | 21.184 | 31.19 | 34.023 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 40.312 | 42.291 | 41.356 | 44.816 | 38.81 | 38.477 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 0.8728 | 0.979667 | 0.927433 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 10.0372 | 10.77633 | 8.810617 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 109.77 | 115.26 | 117.73 | 115.13 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Gain | 33.75 | 38.737 | 40.928 | 40.455 |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 42 | 41.263 | 39.072 | 39.545 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.74 | 0.6579 | 0.580933 | 0.3785 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.66 | 5.098725 | 3.630833 | 0.94625 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 88.30

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 50 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 95.753 | 92.223 | 96.053 | 95.286 | 95.429 | 96.321 |
| Gain | 0.842 | 0.971 | 0.754 | 0.922 | 2.477 | 2.036 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 34.158 | 34.029 | 35.546 | 37.078 | 37.523 | 43.164 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.6314 | 0.879033 | 0.9618 | 1 | 1 | 0.997867 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.6314 | 1.758067 | 3.12585 | 4.25 | 4.5 | 5.2388 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 97.67 | 100.34 | 100 | 101.61 | 108.7 | 104.61 |
| Gain | 0.888 | 5.559 | 6.124 | 6.064 | 19.7 | 23.123 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 51.112 | 54.441 | 56.376 | 59.936 | 50.3 | 49.377 |
| คะแนนในแต่ | 0.7696 | 0.651967 | 0.5408 | 0.3688 | 0.596667 | 0.5641 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ละแถบความถี่ | | | | | | |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 5.0024 | 4.726758 | 4.5968 | 4.2412 | 6.563333 | 5.35895 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 99.6 | 105.43 | 107.66 | 104.86 | | |
| Gain | 23.58 | 28.907 | 30.858 | 30.185 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 52.17 | 51.093 | 49.142 | 49.815 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.401 | 0.330233 | 0.245267 | 0.036167 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 3.609 | 2.559308 | 1.532917 | 0.090417 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 57.79

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 51 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 122.29 | 114.49 | 116.45 | 117.83 | 117.82 | 116.91 |
| Gain | 27.379 | 23.238 | 21.151 | 23.466 | 24.868 | 22.625 |
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 7.621 | 11.762 | 15.149 | 14.534 | 15.132 | 22.575 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| output | 117.65 | 119.48 | 116.92 | 118.66 | 122.55 | 117.97 |
| Gain | 20.868 | 24.699 | 23.044 | 23.114 | 33.55 | 36.483 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 31.132 | 35.301 | 39.456 | 42.886 | 36.45 | 36.017 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 0.937133 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 10.77703 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 112.89 | 117.54 | 119.77 | 117.53 | | |
| Gain | 36.87 | 41.017 | 42.968 | 42.855 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 38.88 | 38.983 | 37.032 | 37.145 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.844 | 0.7339 | 0.648933 | 0.4585 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 7.596 | 5.687725 | 4.055833 | 1.14625 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 92.26

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 อย่างชัดเจนมาก นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยาย

แบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือ แบบ DSL และ สุดท้ายคือ แบบ FIG6

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 52 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 101.94 | 97.549 | 101.35 | 101.5 | 104.58 | 107.1 |
| Output Ideal | 109.911 | 106.252 | 111.599 | 112.364 | 112.952 | 119.485 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | -7.971 | -8.703 | -10.249 | -10.864 | -8.372 | -12.385 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 7.971 | 8.703 | 10.249 | 10.864 | 8.372 | 12.385 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.10640 | 0.12214 | 0.13611 | 0.14609 | 0.11476 | 0.16672 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.10640 | 0.24428 | 0.44236 | 0.62089 | 0.51642 | 0.87529 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 108.47 | 112.49 | 115.02 | 116.73 | 120.19 | 115.51 |
| Output Ideal | 128.782 | 134.781 | 136.376 | 141.546 | 139 | 133.987 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -20.312 | -22.291 | -21.356 | -24.816 | -18.81 | -18.477 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 20.312 | 22.291 | 21.356 | 24.816 | 18.81 | 18.477 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.26454 | 0.29808 | 0.28907 | 0.32848 | 0.27260 | 0.30050 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.71951 | 2.16110 | 2.45717 | 3.77761 | 2.99869 | 2.85477 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 |
| output | 109.77 | 115.26 | 117.73 | 115.13 |
| Output Ideal | 131.77 | 136.523 | 136.802 | 134.675 |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 |
| Output-Output Ideal | -22 | -21.263 | -19.072 | -19.545 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 22 | 21.263 | 19.072 | 19.545 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.39271 | 0.37618 | 0.33576 | 0.35747 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 3.53445 | 2.91541 | 2.09851 | 0.89369 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 28.22 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 53 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 95.753 | 92.223 | 96.053 | 95.286 | 95.429 | 96.321 |
| Output Ideal | 109.911 | 106.252 | 111.599 | 112.364 | 112.952 | 119.485 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | -14.158 | -14.029 | -15.546 | -17.078 | -17.523 | -23.164 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 14.158 | 14.029 | 15.546 | 17.078 | 17.523 | 23.164 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.18899 | 0.19689 | 0.20645 | 0.22965 | 0.24019 | 0.31182 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.18899 | 0.39378 | 0.67098 | 0.97603 | 1.08089 | 1.63708 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 97.67 | 100.34 | 100 | 101.61 | 108.7 | 104.61 |
| Output Ideal | 128.782 | 134.781 | 136.376 | 141.546 | 139 | 133.987 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -31.112 | -34.441 | -36.376 | -39.936 | -30.3 | -29.377 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 31.112 | 34.441 | 36.376 | 39.936 | 30.3 | 29.377 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.40519 | 0.46055 | 0.49239 | 0.52863 | 0.43913 | 0.47777 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.63379 | 3.33904 | 4.18533 | 6.07926 | 4.83043 | 4.53887 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 99.6 | 105.43 | 107.66 | 104.86 | | |
| Output Ideal | 131.77 | 136.523 | 136.802 | 134.675 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| Output-Output Ideal | -32.17 | -31.093 | -29.142 | -29.815 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 32.17 | 31.093 | 29.142 | 29.815 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.57425 | 0.55009 | 0.51304 | 0.54531 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 5.16833 | 4.26323 | 3.20653 | 1.36328 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 44.56 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 54 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 35 | 35 | 36.3 | 38 | 40 | 45.2 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 15 | 15 | 16.3 | 18 | 20 | 25.2 |
| output | 122.29 | 114.49 | 116.45 | 117.83 | 117.82 | 116.91 |
| outputIdeal | 109.911 | 106.252 | 111.599 | 112.364 | 112.952 | 119.485 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | 12.379 | 8.238 | 4.851 | 5.466 | 4.868 | -2.575 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 12.379 | 8.238 | 4.851 | 5.466 | 4.868 | 2.575 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.16524 | 0.11561 | 0.06442 | 0.07350 | 0.06672 | 0.03466 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.16524 | 0.23123 | 0.20937 | 0.31238 | 0.30028 | 0.18198 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 52 | 60 | 62.5 | 66 | 70 | 72.5 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 32 | 40 | 42.5 | 46 | 50 | 52.5 |
| output | 117.65 | 119.48 | 116.92 | 118.66 | 122.55 | 117.97 |
| outputIdeal | 128.782 | 134.781 | 136.376 | 141.546 | 139 | 133.987 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -11.132 | -15.301 | -19.456 | -22.886 | -16.45 | -16.017 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 11.132 | 15.301 | 19.456 | 22.886 | 16.45 | 16.017 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.14498 | 0.20461 | 0.26336 | 0.30294 | 0.23840 | 0.26049 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.94238 | 1.48342 | 2.23856 | 3.48382 | 2.62246 | 2.47469 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 75.75 | 80 | 80 | 80 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 55.75 | 60 | 60 | 60 | | |
| output | 112.89 | 117.54 | 119.77 | 117.53 | | |
| outputIdeal | 131.77 | 136.523 | 136.802 | 134.675 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| Output-Output Ideal | -18.88 | -18.983 | -17.032 | -17.145 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 18.88 | 18.983 | 17.032 | 17.145 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.33702 | 0.33584 | 0.29984 | 0.31358 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 3.03320 | 2.60280 | 1.87405 | 0.78395 | | |

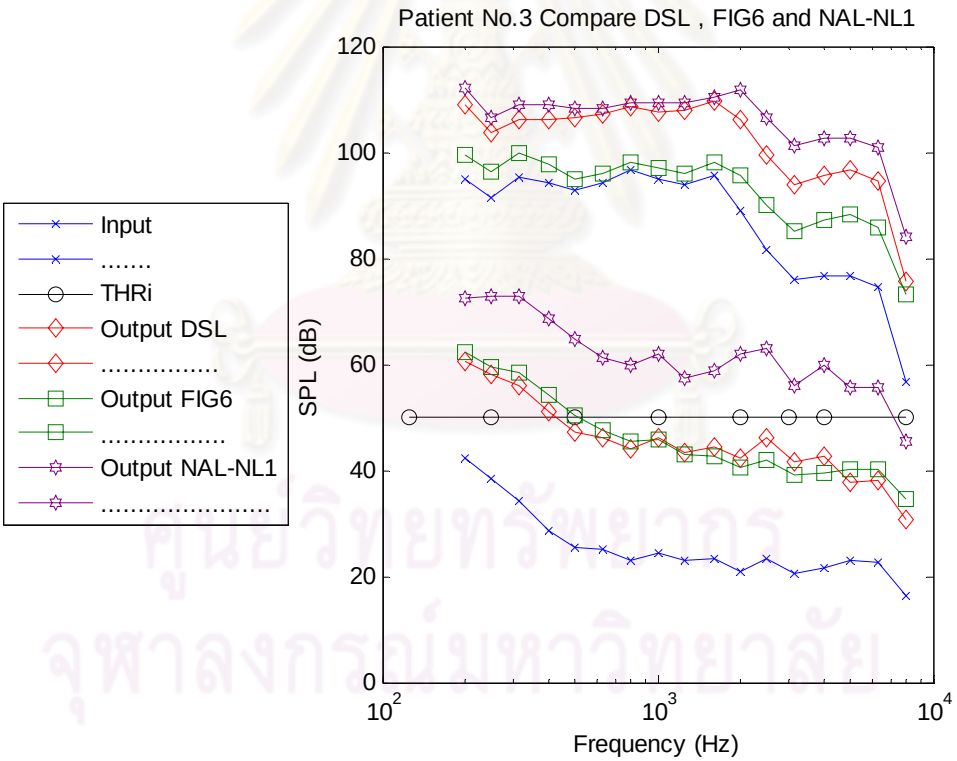
เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสองคือ 22.94 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออก

ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 อย่างชัดเจน นั่นแสดงว่าผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

**กรณีผู้ป่วยหมายเลขสาม**

- การเปรียบเทียบโดยใช้พิสัยพลวัต




รูปที่ 52 การเปรียบเทียบพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ของผู้ป่วยหมายเลข 3 เมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้าดัง

เมื่อพิจารณาจากพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบต่างๆ โดยในส่วนของพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าสูงกว่าพิสัยพลวัตวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 พอควร โดยในส่วนของเครื่องช่วยฟังใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าพิสัยพลวัตที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังที่ใช้ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG6 อย่างชัดเจน โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้ค่าหลักอัตราขยายทั้งสามหลักเกณฑ์ได้ที่ทุกช่วงความถี่ โดยผู้มีการสูญเสียการได้ยินจะสามารถรับฟังสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองได้ทุกช่วงความถี่

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Articulation Index

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 55 การคำนวณค่า Articulation Index
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 108.98 | 103.61 | 106.11 | 106.05 | 106.52 | 107.18 |
| Gain | 14.069 | 12.358 | 10.811 | 11.686 | 13.568 | 12.895 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 35.931 | 37.642 | 39.189 | 38.314 | 36.432 | 37.105 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.5723 | 0.7586 | 0.840367 | 0.9962 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.5723 | 1.5172 | 2.731192 | 4.23385 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 108.53 | 107.67 | 107.89 | 109.49 | 106.02 | 99.628 |
| Gain | 11.748 | 12.889 | 14.014 | 13.944 | 17.02 | 18.141 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 38.252 | 37.111 | 35.986 | 36.056 | 32.98 | 31.859 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

คะแนนในแต่

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ละแถบความถี่ | | | | | | |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 93.985 | 95.728 | 96.647 | 94.442 | | |
| Gain | 17.965 | 19.205 | 19.845 | 19.767 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 32.035 | 30.795 | 30.155 | 30.233 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 0.878167 | 0.6889 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 5.488542 | 1.72225 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามหนึ่งคือ 97.02

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6**

ตารางที่ 56 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 99.437 | 96.299 | 99.767 | 97.548 | 94.951 | 96.027 |
| Gain | 4.526 | 5.047 | 4.468 | 3.184 | 1.999 | 1.742 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 45.474 | 44.953 | 45.532 | 46.816 | 48.001 | 48.258 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.2542 | 0.5149 | 0.628933 | 0.7128 | 0.7933 | 0.828067 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.2542 | 1.0298 | 2.044033 | 3.0294 | 3.56985 | 4.34735 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 98.234 | 96.885 | 95.838 | 98.013 | 95.557 | 90.013 |
| Gain | 1.452 | 2.104 | 1.962 | 2.467 | 6.557 | 8.526 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 48.548 | 47.896 | 48.038 | 47.533 | 43.443 | 41.474 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.855067 | 0.870133 | 0.818733 | 0.782233 | 0.825233 | 0.827533 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 5.557933 | 6.308467 | 6.959233 | 8.995683 | 9.077567 | 7.861567 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| output | 85.002 | 87.148 | 88.278 | 85.652 | | |
| Gain | 8.982 | 10.625 | 11.476 | 10.977 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 41.018 | 39.375 | 38.524 | 39.023 | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.772733 | 0.720833 | 0.5992 | 0.3959 | | |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| AI ประจำแถบ | 6.9546 | 5.586458 | 3.745 | 0.98975 | | |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขสามคือ 76.31

**การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 57 การคำนวณค่า Articulation Index ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| output | 112.26 | 106.49 | 108.83 | 108.82 | 108.17 | 108.28 |
| Gain | 17.349 | 15.238 | 13.531 | 14.456 | 15.218 | 13.995 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่าน | 32.651 | 34.762 | 36.469 | 35.544 | 34.782 | 36.005 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| เครื่องช่วยฟัง | | | | | | |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 0.681633 | 0.8546 | 0.931033 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| AI ประจำแถบ | 0.681633 | 1.7092 | 3.025858 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| output | 109.39 | 109.36 | 109.23 | 110.35 | 111.72 | 106.39 |
| Gain | 12.608 | 14.579 | 15.354 | 14.804 | 22.72 | 24.903 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 37.392 | 35.421 | 34.646 | 35.196 | 27.28 | 25.097 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AI Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| AI ประจำแถบ | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 |
| output | 101.07 | 102.57 | 102.68 | 100.88 |
| Gain | 25.05 | 26.047 | 25.878 | 26.205 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THR หลังผ่านเครื่องช่วยฟัง | 24.95 | 23.953 | 24.122 | 23.795 |
| คะแนนในแต่ละแถบความถี่ | 1 | 1 | 1 | 0.9035 |
| AI Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| AI ประจำแถบ | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.25875 |

เมื่อนำ AI ประจำแถบความถี่ย่อย ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ ค่า AI รวมสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 98.93

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จาก

สัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL อยู่เล็กน้อย และ ค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะมากกว่าค่า AI ที่วัดได้จากสัญญาณออกเมื่อใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 อย่างชัดเจนมาก นั่นแสดงว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะให้ Speech Intelligibility มากที่สุด รองลงมาคือ แบบ DSL และ สุดท้ายคือ แบบ FIG6

- การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดในส่วนสัญญาณขาออก

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL**

ตารางที่ 58 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 108.98 | 103.61 | 106.11 | 106.05 | 106.52 | 107.18 |
| Output Ideal | 124.911 | 121.252 | 125.299 | 124.364 | 122.952 | 124.285 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | -15.931 | -17.642 | -19.189 | -18.314 | -16.432 | -17.105 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 15.931 | 17.642 | 19.189 | 18.314 | 16.432 | 17.105 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.21266 | 0.2476 | 0.25483 | 0.24627 | 0.22524 | 0.23026 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.21266 | 0.4952 | 0.82822 | 1.04666 | 1.01359 | 1.20887 |
| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 108.53 | 107.67 | 107.89 | 109.49 | 106.02 | 99.628 |
| Output Ideal | 126.782 | 124.781 | 123.876 | 125.546 | 119 | 111.487 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -18.252 | -17.111 | -15.986 | -16.056 | -12.98 | -11.859 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 18.252 | 17.111 | 15.986 | 16.056 | 12.98 | 11.859 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.23771 | 0.22881 | 0.21639 | 0.21253 | 0.18811 | 0.19287 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.54512 | 1.65890 | 1.83931 | 2.44412 | 2.06927 | 1.83226 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | | |
| output | 93.985 | 95.728 | 96.647 | 94.442 | | |
| Output Ideal | 106.02 | 106.523 | 106.802 | 104.675 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| Output-Output Ideal | -12.035 | -10.795 | -10.155 | -10.233 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 12.035 | 10.795 | 10.155 | 10.233 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.21483 | 0.19098 | 0.17877 | 0.18716 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.93350 | 1.48012 | 1.11736 | 0.46790 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ DSL สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 21.19 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6**

ตารางที่ 59 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 99.437 | 96.299 | 99.767 | 97.548 | 94.951 | 96.027 |
| Output Ideal | 124.911 | 121.252 | 125.299 | 124.364 | 122.952 | 124.285 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | -25.474 | -24.953 | -25.532 | -26.816 | -28.001 | -28.258 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 25.474 | 24.953 | 25.532 | 26.816 | 28.001 | 28.258 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.34005 | 0.35020 | 0.33907 | 0.36060 | 0.38382 | 0.3804 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.34005 | 0.70041 | 1.10199 | 1.53257 | 1.72722 | 1.99709 |

| frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 98.234 | 96.885 | 95.838 | 98.013 | 95.557 | 90.013 |
| Output Ideal | 126.782 | 124.781 | 123.876 | 125.546 | 119 | 111.487 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -28.548 | -27.896 | -28.038 | -27.533 | -23.443 | -21.474 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 28.548 | 27.896 | 28.038 | 27.533 | 23.443 | 21.474 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.37180 | 0.37303 | 0.37952 | 0.36445 | 0.33975 | 0.34924 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 2.41673 | 2.70451 | 3.22598 | 4.19121 | 3.7372 | 3.31782 |

| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 |
| output | 85.002 | 87.148 | 88.278 | 85.652 |
| Output Ideal | 106.02 | 106.523 | 106.802 | 104.675 |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 |
| Output-Output Ideal | -21.018 | -19.375 | -18.524 | -19.023 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 21.018 | 19.375 | 18.524 | 19.023 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.37518 | 0.34278 | 0.32611 | 0.34792 |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 3.37668 | 2.65655 | 2.03822 | 0.86982 |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ FIG-6 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 35.93 เปอร์เซนต์

**การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1**

ตารางที่ 60 การคำนวณค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาด
ของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1

| frequency | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| output | 112.26 | 106.49 | 108.83 | 108.82 | 108.17 | 108.28 |
| outputIdeal | 124.911 | 121.252 | 125.299 | 124.364 | 122.952 | 124.285 |
| Input | 94.911 | 91.252 | 95.299 | 94.364 | 92.952 | 94.285 |
| Output-Output Ideal | -12.651 | -14.762 | -16.469 | -15.544 | -14.782 | -16.005 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 12.651 | 14.762 | 16.469 | 15.544 | 14.782 | 16.005 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 74.911 | 71.252 | 75.299 | 74.364 | 72.952 | 74.285 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.16888 | 0.20718 | 0.21871 | 0.20902 | 0.20262 | 0.21545 |
| Important Weighting | 1 | 2 | 3.25 | 4.25 | 4.5 | 5.25 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.16888 | 0.41436 | 0.71082 | 0.88836 | 0.91181 | 1.13113 |
| Frequency | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Output | 109.39 | 109.36 | 109.23 | 110.35 | 111.72 | 106.39 |
| outputIdeal | 126.782 | 124.781 | 123.876 | 125.546 | 119 | 111.487 |
| Input | 96.782 | 94.781 | 93.876 | 95.546 | 89 | 81.487 |
| Output-Output Ideal | -17.392 | -15.421 | -14.646 | -15.196 | -7.28 | -5.097 |
| Absolute of Output-Output Ideal | 17.392 | 15.421 | 14.646 | 15.196 | 7.28 | 5.097 |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 76.782 | 74.781 | 73.876 | 75.546 | 69 | 61.487 |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.22651 | 0.20621 | 0.19825 | 0.20114 | 0.10550 | 0.08289 |
| Important Weighting | 6.5 | 7.25 | 8.5 | 11.5 | 11 | 9.5 |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 1.47232 | 1.49506 | 1.68513 | 2.31321 | 1.16058 | 0.78750 |
| frequency | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | | |
| THR | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| THRN | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| Gain Ideal | 30 | 30 | 30 | 30 | | |
| output | 101.07 | 102.57 | 102.68 | 100.88 | | |
| outputIdeal | 106.02 | 106.523 | 106.802 | 104.675 | | |
| Input | 76.02 | 76.523 | 76.802 | 74.675 | | |
| Output-Output Ideal | -4.95 | -3.953 | -4.122 | -3.795 | | |
| Absolute of Output-Output Ideal | 4.95 | 3.953 | 4.122 | 3.795 | | |
| ผลต่าง Output Ideal กับ THR | 56.02 | 56.523 | 56.802 | 54.675 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดในแต่ละแถบความถี่ | 0.08836 | 0.06993 | 0.07256 | 0.06941 | | |
| Important Weighting | 9 | 7.75 | 6.25 | 2.5 | | |
| สัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก | 0.79525 | 0.54200 | 0.45354 | 0.17352 | | |

เมื่อนำสัดส่วนความผิดพลาดที่ถ่วงน้ำหนัก ทุกแถบความถี่มารวมกัน จะได้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสำหรับเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์อัตราขยายแบบ NAL-NL1 สำหรับผู้ป่วยหมายเลขหนึ่งคือ 15.10 เปอร์เซนต์

จากวิธีการวัดประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 จะเห็นว่า ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ NAL-NL1 จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ขยายแบบ DSL จะน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 อย่างชัดเจน นั่นแสดงว่าผู้สูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ FIG-6 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 5
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ DSL , แบบ FIG-6 และ แบบ NAL-NL1 ทั้งจากวิธีดูจากค่าพิสัยพลวัต และจากค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดทั้งสองสูตรค่าอัตราขยาย จะพบว่า

1. พิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่ามากกว่าพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ DSL และพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่ามากกว่าพิสัยพลวัตของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเสียงสัญญาณเข้ามีค่าระดับเสียงที่สูง พิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ FIG6 และ แบบDSL จะสูงกว่าพิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 อย่างชัดเจน อันเนื่องเป็นผลมาจากตัวสูตรค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 นั้น ค่าอัตราขยายจะขึ้นกับสัญญาณเสียงเข้าเป็นอย่างมาก เมื่อสัญญาณเสียงเข้ามีระดับความดังเสียงค่อนข้างเบา ค่าอัตราขยายที่ใช้ในแต่ละแถบความถี่จะมีค่ามาก ถ้าสัญญาณเสียงเข้า มีระดับความดังเสียงค่อนข้างดัง ค่าอัตราขยายที่ใช้ในแต่ละแถบความถี่ก็จะน้อยลง ทั้งหมดนี้ จึงเป็นผลทำให้พิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 มีค่าน้อยกว่า พิสัยพลวัตของสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 และแบบ DSL เป็นอย่างมากนั่นเอง และจะยิ่งน้อยขึ้นเมื่อสัญญาณเสียงเข้ามีความดังระดับสูงขึ้น
2. ค่า Articulation Index หรือ ความรู้เรื่องของสัญญาณเสียงของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 โดยรวมจะให้ค่ามากกว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และค่า Articulation Index ของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL โดยรวมจะให้ค่ามากกว่าสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 และ จะยิ่ง

มากขึ้นไปอีกเมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้ามีความดังสูงขึ้น อันด้วยเหตุผลเดียวกับข้อ 1 ค่าอัตราขยายในแต่ละแถบความถี่ย่อยของเครื่องช่วยฟังที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 จะน้อยลงเมื่อระดับสัญญาณเสียงเข้ามีความดังระดับสูงขึ้น

3. ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมีค่าน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ DSL ในทุกกรณี และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมีค่าน้อยกว่าค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6 ในทุกกรณี และจะยิ่งน้อยยิ่งขึ้น เมื่อสัญญาณเสียงเข้ามีความดังระดับสูงขึ้น นั่นแสดงว่าผู้มีการสูญเสียการได้ยินที่ใช้เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 และ DSL จะได้รับสัญญาณเสียงออกของเครื่องช่วยฟังมีค่าใกล้เคียงกับผู้มีการได้ยินปกติมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG-6

นั่นแสดงว่า เมื่อเรียงลำดับประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ของค่าอัตราขยายแบบต่างๆ นั้น จะพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1 จะมากกว่าประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL และ ประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ DSL จะมากกว่าประสิทธิภาพของเครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่ใช้หลักเกณฑ์ค่าอัตราขยายแบบ FIG6 นั่นคือ เครื่องช่วยฟังแบบบีบอัดที่มีประสิทธิภาพที่สุดจะต้องใช้ค่าอัตราขยายแบบ NAL-NL1

**5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต**

ในด้านการวัดประสิทธิภาพของสูตรค่าอัตราขยายแบบต่างๆ ที่กล่าวมา ทั้งกรณีดูจากค่าพิสัยพลวัต , ค่า Articulation Index และ ค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดของสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง เป็นเพียงทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพสัญญาณออกของเครื่องช่วยฟัง แต่หากต้องการวัดประสิทธิภาพที่แน่นอนที่สุด จะต้องทำ Subjective Test หรือ ทดสอบจริงกับผู้ที่มีการสูญเสียการได้ยินจริงเท่านั้น โดยอาจจะนัดกับผู้ป่วยในโรงพยาบาล และเก็บข้อมูล ทำการทดลองกับผู้ป่วย ซึ่งจะได้ข้อมูลและผลการทดลองที่ไม่คลาดเคลื่อน

# รายการอ้างอิง


[1] www.betterhearing.org

[2] P. Chaisakul , N. Tangsangiumvisai , P. Luangpitakchumpon ," Number-of-band Selection for Acoustic Feedback Cancellation in Multi-band Compression Hearing Aids" in the Proceedings of IEEE International Region 10 Technical Conference on Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering (TENCON'06, HONGKONG),14-17 November 2006

[3] B. Krittayanun. "Complexity Reduction for Stereophonic Acoustic Echo Cancellation Using Subband Filtering Structure Based on Frequency-Domain Processing" . Thesis of Master Degree of Engineering in Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Academic Year 2004.

[4] http://www-personal.umich.edu/~mshlafer/soundfeedbk.html

[5] M. G. Siqueira, and A. A. Awan." Steady-state Analysis of Continuous Adaptation in Acoustic Feedback Reduction System for Hearing-Aids". IEEE Trans. On Speech and Audio Processing,Vol.8, No.4 ,pp.443-453 , July 2000

[6] http://www.asha.org

[7] H. Dillon, "Hearing Aids", Boomerang Press, 2001

[8] A. Chankawee and N. Tangsangiumvisai, " On the Improvement of Acoustic Feedback Cancellation in Hearing-aid Devices" in the Proceedings of IEEE International Midwest Symposium on Circuit and Systems (MWSCAS'04, Hiroshima, Japan),Vol 2, pp.57, July 2004.

[9] Y. Park, I. Kim, and S. Lee ." An Efficient Adaptive Feedback Cancellation for Hearing Aids". Proc. of the 25th Annual International Conference of the IEEE EMBS (Cancun , Mexico),pp. 1647-1650, September 2003.

[10]. S. Haykin."Adaptive Filter Theory". : Prentice Hall ,1996 , pp. 193 – 236.

[11] S. Wyrsch and A. Kaelin, "Subband Signal Processing for Hearing Aids", Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'99 Oriando. U.S.A.), Vol.3 , pp.29-32 , June 1999.

[12] Susan D. Scollie and Richard C.Seewald. "A sound foundation through early amplification 2001" , pp.121-137 , Proceedings…,2002 –phonak.co.uk

[13] http://www.diracdelta.co.uk/science/source/a/r/articulation%20index/source.html

[14] http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?wo=2001035395

[15] http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com16/sg16-q10.html



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธันย์ชนก ตั้งวัชรพงศ์ เกิดวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯ ได้เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2543 ซึ่งสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย