

## Development of Ambulatory Speech Audiometric System

신승원\* · 김경섭† · 이상민\*\* · 임원진\*\*\* · 이정환§ · 김동준§§

(Seung-Won Shin · Kyeong-Seop Kim · Sang-Min Lee · Won-Jin Im · Jeong-Whan Lee · Dong-Jun Kim)

**Abstract** - In this study, we present an efficient ambulatory speech audiometric system to detect one's hearing problems at an earlier stage as possible without his or her visit to the audiometric testing facility such in a hospital or a clinic. To estimate a person's hearing threshold level in terms of speech sound response in his or her local environment, a digital assistant(PDA) device is used to generate the speech sound with implementing audiometric Graphic User Interface(GUI) system. Furthermore, a supra-aural earphone is used to measure a subject's hearing threshold level in terms of speech sound by the compensating the transducer's gain by adopting speech sound calibration system.

**Key Words** - Ambulatory, PDA, Speech, Audiometry

### 1. 서론

소음은 현대인의 생활에서 일상적인 부분 중 하나이다. 특히 멀티미디어의 보급과 더불어, 지속적인 소음에 장시간 노출되어 청각 신경의 손상이 발생하여 청력 손실이 발생하는 난청성 인구가 증가하고 있는 실정이다. 또한 어린이들의 경우 청력 손실은 말이나 언어를 습득하거나 학교 혹은 가정 내의 일상생활에서 많은 어려움을 주는 원인이 되는데, 이 시기의 청력 손실은 언어 및 지능발달을 방해하고 정상적인 학습에 지장을 주기 때문에 청력 손실의 예방 및 치료가 매우 중요하다. 이를 위하여 정기적인 청력검사를 통한 청력의 손상 정도를 파악하여 이상 유무를 확인하고, 필요하다면 보청기를 착용하는 등의 청력 관리가 필요하다[1]. 청력 손실을 확인할 수 있는 여러 가지 청력검사 중 어음청력검사(Speech audiometry)는 일상생활의 의사소통 능력을 측정하기 위해 사용되는 의미 있는 검사 방법이다. 또한 이 방법은 청각기능의 성숙도와 주파수별 정보를 얻고 연령에 맞는 행동검사를 수행하는데 유용한 검사 방법으로 알려져 있다[2]. 이 현재 병원에서 사용되고 있는 청력검사 시스템은 병원에 고정 설치되어 있으며, 차폐실이라는 특수한 공간에서 청력검사를 수행하여야 한다. 이 때문에 환자들의 청력검사를 위해서는 매번 병원을 직접 방문하여야 하는 불편함이

있으며 아울러 병원 내방에 따른 비용이 발생한다. 따라서 어디에서나 간편하게 청력검사를 수행할 수 있는 청력검사 시스템의 도입이 필요하다.

청력검사가 수행된 후 검사 결과는 보청기의 보정이나 기타 청각 질환 진단의 기초 자료로 많이 활용되는데[3] 현재 청력검사의 결과는 일반적으로 청력검사원이 직접 필기를 통하여 검사 결과를 기록하고 이를 보관하고 있다. 이로 인하여 환자 정보와 검사 결과들이 체계적으로 관리되지 못하는 단점이 있다. 따라서 청력검사 시스템의 검사 결과를 저장하고 관리할 수 있는 데이터베이스 시스템의 도입이 반드시 필요하다. 즉, 데이터베이스 구축을 통하여 환자 정보, 검사 결과 등이 저장되어야 하고, 필요할 경우 쉽게 제공될 수 있어야 한다.

휴대용 어음청력검사 시스템을 구축하기 위한 적절한 하드웨어 장치로는 PDA(Personal Digital Assistant), 스마트폰과 같은 이동성을 갖춘 컴퓨터 단말 장치와 청력검사를 위한 밀폐형 이어폰(Supra-aural earphone)이 있다. 현재 다양한 종류의 PDA와 스마트폰이 활용되고 있고, 각각의 기기마다 음압의 출력 특성이 모두 다르다. 또한 이어폰 역시 그 종류가 다양하고 음압 수신기의 특성이 각각 다르다. 따라서 휴대용 어음청력검사 시스템을 구성할 때 사용되는 기기와 이어폰의 특성에 맞게 음압 출력의 크기를 보정하는 과정이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 병원에서 수행하는 기존의 어음청력검사를 PDA를 이용하여 어디에서나 쉽게 환자의 청력을 측정할 수 있는 '휴대용 어음청력검사 시스템'을 구축하고, 환자 정보와 검사 결과를 효율적으로 저장하고 관리하기 위한 데이터베이스를 구축하는 시스템을 구현하고자 하였다. 또한 기존의 청력검사 시스템에 대응되는 검사 결과를 얻기 위하여 선택된 PDA와 이어폰의 종류와 사양에 따른 음압 입/출력 특성을 고려한 어음청력검사 시스템의 보정 방법을 제시하여 청력검사에 필요한 음압을 정확하게 출력 및 수신할 수 있도록

† 교신저자, 정희원 : 건국대 의료생명대 의학공학부 부교수,  
건국대 의공학실용기술연구소 · 공박

E-mail : kyeong@kku.ac.kr

\* 정희원 : 건국대 의학공학부 박사과정  
\*\* 정희원 : 인하대 전기·전자공학부 조교수 · 공박  
\*\*\* 준희원 : 인하대 전기·전자공학부 석사과정  
§ 정희원 : 건국대 의학공학부 조교수 · 공박  
§§ 정희원 : 청주대 전자정보공학부 교수 · 공박  
접수일자 : 2008년 12월 22일  
최종완료 : 2009년 2월 13일

록 하고자 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1. 배경

#### 2.1.1. 어음청력검사

어음청력검사는 일상적인 의사소통 과정에서 흔히 사용되는 어음을 이용하여 언어의 청취 능력과 이해의 정도를 파악하는 검사로서 다른 청력검사 결과와 함께 난청의 감별진단, 사회적 능력의 평가, 보청기 사용 결정과 적응 평가, 청력개선술의 적응 등에 이용된다[4][5]. 어음청력검사에는 단음절 단어, 이음절 단어, 문장과 그림 등이 사용되는데, 이들의 조건으로는 우선 일상생활에 친숙해야 한다. 어음청력검사에 활용되는 어음은 테이프 등에 녹음된 것을 사용하거나 검사자의 육성을 들려주는 방법이 있는데, 육성을 사용할 경우 동일한 조건의 유지가 곤란하고, 결과의 일관성이 떨어지는 단점이 있다. 검사 방법으로는 이음절 단어를 사용하는 어음인지역치(speech recognition threshold) 검사와 단음절어를 사용하는 단어인지도(word recognition score) 검사, 문장을 사용하는 문장인지도(sentence recognition score) 검사가 있다. 본 연구에서는 어음인지역치 검사와 단어인지도 검사를 어음청력검사 방법으로 사용하였다.

#### 2.1.2 어음인지역치 검사

어음인지역치 검사는 제시된 검사어음을 50% 정도 정확하게 반복할 수 있는 가장 작은 강도(dB HL)를 측정하는 검사로, 순음청력검사와의 일치 여부를 확인하므로써 검사의 신뢰도를 확인하고, 단어인지도 검사의 기초 자료로 활용할 수 있다. 표 1은 어음인지역치 검사에 사용되는 한국어 이음절 어표(Bisyllabic Word Table)을 보여준다.

표 1 어음청력검사용 한국어 이음절 어표

Table 1 Korean bisyllabic word table for speech audiometry

group 1		group 2		group 3	
1.연필	19.비누	1.종류	19.필요	1.농촌	19.물건
2.노래	20.달걀	2.까닭	20.불편	2.필요	20.통일
3.겨울	21.전화	3.국군	21.편지	3.의견	21.고향
4.단추	22.글씨	4.정말	22.병원	4.싸움	22.필요
5.마음	23.우유	5.계획	23.교통	5.행복	23.싸움
6.바다	24.고향	6.나라	24.싸움	6.물건	24.친절
7.안경	25.신발	7.하늘	25.신문	7.글씨	25.청년
8.사람	26.땅콩	8.방송	26.청년	8.지금	26.건설
9.친구	27.기차	9.손님	27.생각	9.둘째	27.기차
10.장갑	28.동생	10.유명	28.하늘	10.건설	28.운동
11.편지	29.머리	11.기차	29.대답	11.이때	29.민족
12.양말	30.악곡	12.계곡	30.악속	12.동생	30.대답
13.수도	31.눈물	13.통일	31.사람	13.사람	31.마을
14.하늘	32.과자	14.지금	32.건설	14.신문	32.글씨
15.그림	33.꽃병	15.귀신	33.행복	15.종류	33.의견
16.밥통	34.점심	16.의견	34.동생	16.오빠	34.소원
17.시간	35.학교	17.계획	35.고향	17.악속	35.지금
18.아들	36.책상	18.마을	36.유명	18.안녕	36.겨울

어음인지역치 검사에 사용되는 검사어음은 주로 일상생활에서 친숙하게 사용되는 이음절어(bisyllabic words) 중 양음절의 강도가 동일한 양양격단어(spondee word)로, 친숙성(familiarity), 음소간의 비유사성(phonetic dissimilarity), 표준어의 대표성(normal sampling of speech sounds), 단어간 가청범위의 동질성(homogeneity with respect to audibility) 등의 선정 기준을 고려하여 선택해야 한다. 이 선정 기준은 1947년 미국 하버드 대학의 Psycho-Acoustic Laboratory(PAL)에서 처음 개발되었고[6], 영어권의 후속 이음절어표와 영어권 이외의 다른 언어권의 이음절어표 개발의 기준으로 사용되고 있다.

#### 2.1.3 단어인지도 검사

단어인지도 검사는 듣기에 가장 적절한 강도를 단어를 제시하였을 때, 정확히 이해하는 정도(%)를 측정하는 것으로 의사소통 장애의 정도, 청력 손실 병변 부위에 대한 정보, 보청기의 적응 및 선택, 보장구의 선택, 적합 및 재할 평가 등에 필요한 정보를 제공한다. 단어인지도 검사에 사용되는 단음절어는 모든 단어의 강도가 동일하게 발생하는 발성학적 동일음압단어(PB word: Phonetically Balanced word)라야 한다. 또한, 현 일상회화체의 음소를 대표하고, 시대의 흐름에 뒤떨어지지 않으며, 친숙한 단음절을 중심으로 어음표간 동질성이 유지되어야 한다. 표 2는 단어인지도 검사에 사용되는 한국어 단음절 어표(Monosyllabic Word Table)를 보여준다[7].

표 2 어음청력검사용 한국어 단음절 어표

Table 2 Korean monosyllabic word table for speech audiometry

group 1		group 2		group 3		group 4	
1.귀	26.향	1.허	26.금	1.눈	26.흙	1.글	26.밭
2.힘	27.법	2.독	27.홍	2.공	27.굴	2.집	27.깨
3.논	28.산	3.잠	28.뇌	3.길	28.면	3.꿈	28.연
4.맛	29.골	4.복	29.역	4.웃	29.농	4.선	29.못
5.술	30.짐	5.운	30.명	5.밥	30.삽	5.목	30.질
6.잔	31.늑	6.갓	31.쌀	6.섬	31.무	6.앞	31.광
7.국	32.꿀	7.쉰	32.범	7.돈	32.안	7.넷	32.시
8.숨	33.통	8.납	33.코	8.장	33.긋	8.벽	33.달
9.닭	34.삼	9.문	34.깃	9.극	34.틀	9.상	34.젓
10.옆	35.땡	10.곳	35.발	10.춤	35.떡	10.돌	35.쌈
11.불	36.되	11.숲	36.등	11.먹	36.매	11.틈	36.묵
12.남	37.폭	12.중	37.질	12.숯	37.옛	12.겹	37.뺨
13.숯	38.설	13.답	38.더	13.방	38.죄	13.육	38.만
14.감	39.뜻	14.책	39.땡	14.적	39.빛	14.말	39.콩
15.웃	40.명	15.땡	40.실	15.강	40.담	15.소	40.벗
16.틀	41.은	16.셋	41.괵	16.손	41.시	16.검	41.쇠
17.탈	42.금	17.망	42.붓	17.막	42.뺨	17.박	42.땅
18.배	43.점	18.겉	43.맥	18.벌	43.팔	18.뜰	43.벗
19.침	44.빌	19.일	44.일	19.끝	44.쌈	19.총	44.늑
20.팔	45.씩	20.죽	45.뺨	20.칼	45.땡	20.낮	45.속
21.반	46.벼	21.밤	46.살	21.숨	46.익	21.술	46.품
22.땡	47.왕	22.신	47.몸	22.낮	47.벌	22.단	47.인
23.키	48.색	23.널	48.풀	23.뒤	48.씨	23.쥐	48.뺨
24.딸	49.돌	24.새	49.뵤	24.백	49.좁	24.굴	49.해
25.겉	50.개	25.꽃	50.끈	25.꿀	50.활	25.흙	50.곰

group 5		group 6		group 7	
1.귀	26.담	1.코	26.뺨	1.일	26.꿀
2.딸	27.월	2.뺨	27.왼	2.눈	27.풀
3.안	28.금	3.알	28.극	3.못	28.통
4.침	29.징	4.좁	29.집	4.말	29.콩
5.구	30.요	5.겨	30.이	5.웃	30.팔
6.편	31.활	6.풀	31.심	6.목	31.파
7.양	32.손	7.양	32.상	7.жат	32.씨
8.잔	33.벌	8.숨	33.벌	8.날	33.딸
9.물	34.틀	9.불	34.낫	9.돌	34.배
10.개	35.소	10.기	35.새	10.닭	35.칼
11.산	36.눈	11.못	36.장	11.손	36.뜯
12.역	37.말	12.연	37.문	12.피	37.활
13.돈	38.형	13.달	38.국	13.코	38.개
14.김	39.군	14.꽃	39.환	14.김	39.쌀
15.너	40.시	15.나	40.차	15.길	40.조
16.꿀	41.자	16.길	41.터	16.술	41.공
17.은	42.책	17.음	42.죽	17.속	42.폰
18.팔	43.설	18.철	43.신	18.꿈	43.돌
19.짐	44.발	19.선	44.들	19.땅	44.물
20.도	45.허	20.뒤	45.해	20.귀	45.비
21.입	46.돌	21.음	46.살	21.배	46.산
22.색	47.적	22.절	47.관	22.뺨	47.영
23.빛	48.강	23.별	48.동	23.밤	48.집
24.목	49.날	24.만	49.간	24.벽	49.초
25.비	50.키	25.배	50.표	25.물	50.키

2.1.4. 차폐 (masking)

차폐란 각각의 귀에 대한 최소 가청 역치를 구하는 과정에서 두 귀의 청력에 차이가 있고, 청력 손실이 큰 쪽의 귀를 검사할 때 자극음이 두개골의 진동을 통해 검사하지 않는 좋은 귀로 누설되어 발생하는 음영 청취 (shadow hearing or cross-over)를 막아 나쁜 쪽 귀의 정확한 최소 가청 역치를 구하기 위하여 좋은 귀에 잡음을 들려주는 것을 말한다. 차폐는 같은 주파수에서 두 귀의 최소 가청 역치가 두 귀 사이의 손실 이상의 차이를 보이면 반드시 시행하여야 한다. 사용되는 잡음으로는 톱니잡음, 백색잡음, 어음잡음, 협대역잡음 등이 있다. 본 연구에서는 차폐음의 생성을 위하여 가우시안 백색 잡음(Gaussian white noise)을 활용하였다.

2.2. 어음청력검사 시스템 개발

어음청력검사 시스템 개발을 위한 기반 하드웨어 시스템으로 PDA를 선정하였다. PDA에는 기본적으로 운영체제가 내장되어 있는데 PDA 제품마다 사용하는 운영체제가 각각 다르다. 따라서 각각의 운영체제에 적합한 프로그램을 개발할 필요성이 있다. 본 연구에서는 Microsoft사의 Windows CE 기반의 Windows Mobile 5.0을 기본 운영체제로 사용하는 HP사의 hx2970 모델을 기본 시스템으로 사용하였고, 프로그램 개발 도구는 eMbedded Visual C++ 4.0과 PocketPC 2003 SDK(System Development Kit)를 사용하였다. PDA 상에 구현되는 어음청력검사 시스템의 기본 구성은, i) 어음청력검사 소프트웨어 모듈, ii) 환자 정보와 검사 결과를

저장하고 관리하는 환자 정보 데이터베이스, iii) 청력검사에 사용되는 어음 데이터를 저장하고 관리할 수 있는 데이터베이스, iv) 청력검사 진행을 위한 이어폰 출력 장치로 이루어져 있다. 그림 1은 휴대용 어음청력검사 시스템의 구성도를 보여주고, 그림 2는 어음청력검사 시스템의 전체 프로토콜을 보여준다.



그림 1 휴대용 어음청력검사 시스템 구성도  
Fig. 1 Ambulatory speech audiometric system

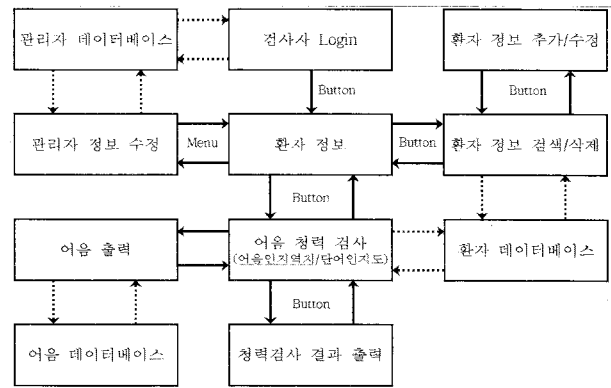


그림 2 휴대용 어음청력검사 시스템 프로토콜  
Fig. 2 Protocol for ambulatory speech audiometric system

2.2.1. 어음인지역치 검사 모듈

어음인지역치 검사 모듈은 녹음된 이음절 어음 파일을 직접 출력하여 검사할 수 있도록 구현되었고, 각각의 어음을 출력할 때 음압을 조절하여 출력할 수 있도록 하였다. 검사 방법은 자동검사 모드와 수동검사 모드로 구분하여 구현되었다. 자동검사는 환자가 스스로 검사를 진행할 수 있는 모드로서 전문가(청력검사원)가 없이도 환자 자신의 청력을 간편하게 측정해볼 수 있는 이점이 있다. 그러나 정확한 청력의 측정을 위해서는 청력검사원이 수행하는 수동 검사 모드를 통하여 측정하는 것이 좋다. 그림 3은 어음인지역치 검사 모듈의 두 가지 프로토콜을 보여주고, 그림 4는 어음인지역치 검사 모듈의 GUI를 보여준다.

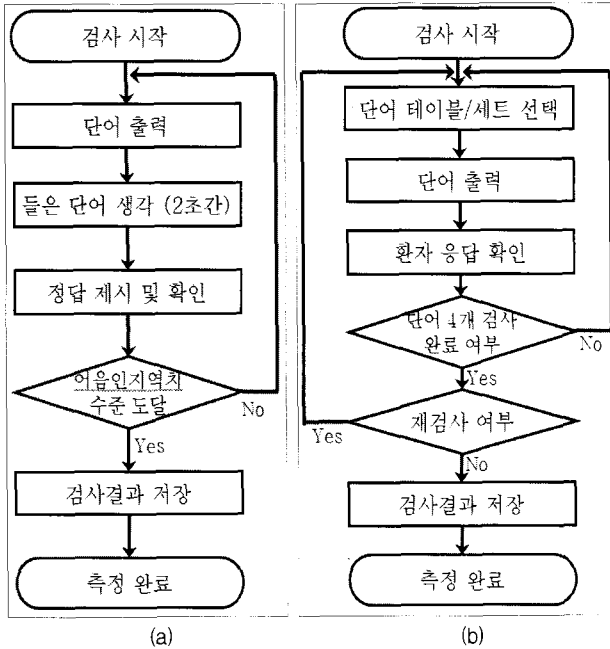


그림 3 어음인지역치 검사 프로토콜  
 Fig. 3 Protocol for speech recognition threshold test  
 (a) 어음인지역치 검사 자동모드  
 (b) 어음인지역치 검사 수동모드

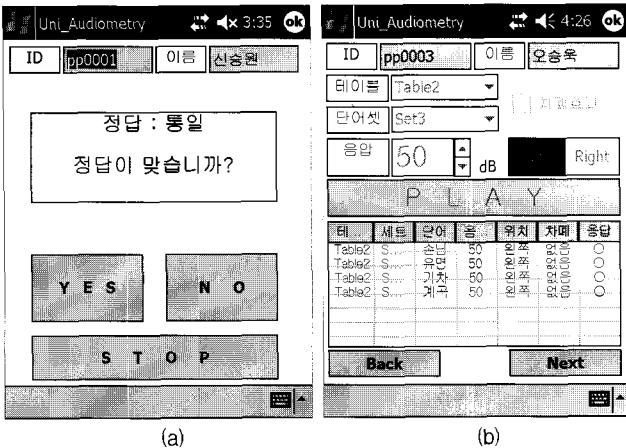


그림 4 어음인지역치 검사 모듈의 GUI  
 Fig. 4 GUI for speech recognition threshold test  
 (a) 어음인지역치 검사 자동모드의 진행화면  
 (b) 어음인지역치 검사 수동모드의 진행화면

2.2.2. 단어인지도 검사 모듈

단어인지도 검사 모듈은 녹음된 단음절 어음 파일을 직접 출력하여 검사할 수 있도록 구현되었고, 각각의 어음을 출력할 때 음압을 조절하여 출력할 수 있도록 하였다. 검사 방법은 어음인지역치 검사와 같은 방법으로 자동검사 모드와 수동검사 모드로 구분하여 구현되었다. 그림 5는 단어인지도 검사 모듈의 두 가지 프로토콜을 보여주고, 그림 6은 단어인지도 검사 모듈의 GUI를 보여준다.

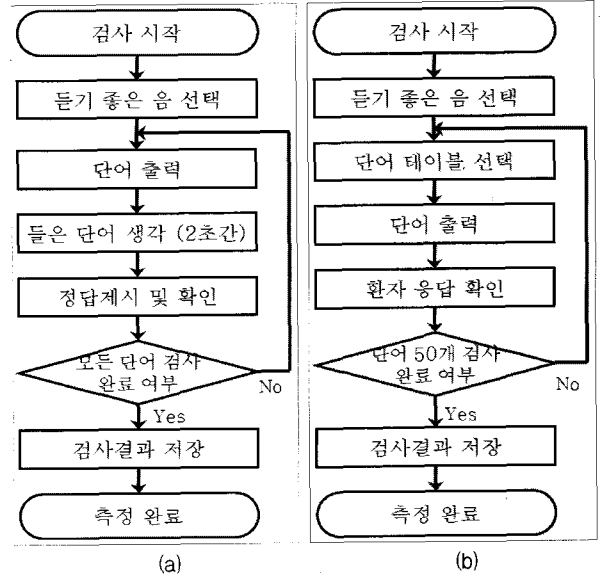


그림 5 단어인지도 검사 프로토콜  
 Fig. 5 Protocol for word recognition score test  
 (a) 단어인지도 검사 자동모드  
 (b) 단어인지도 검사 수동모드

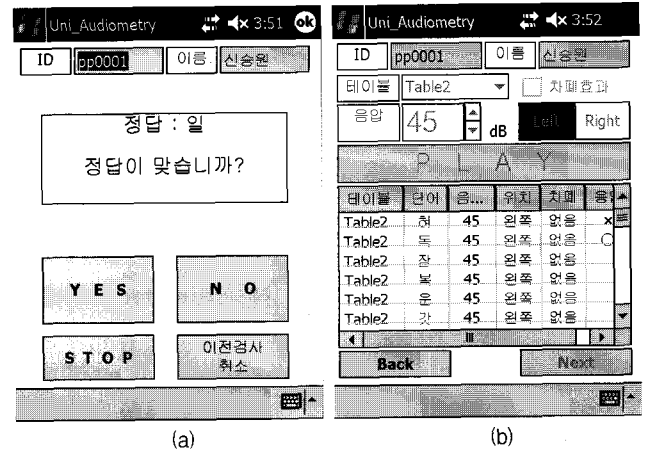


그림 6 단어인지도 검사 모듈의 GUI  
 Fig. 6 GUI for word recognition score test  
 (a) 단어인지도 검사 자동모드의 진행화면  
 (b) 단어인지도 검사 수동모드의 진행화면

2.3. 차폐를 위한 잡음 생성

차폐 기능을 구현하기 위하여 12개의 균일한(uniform) 확률분포를 갖는 잡음  $X_1, X_2, \dots, X_{12}$  를 각각 독립적으로 생성한 후 이를 합산하는 방식으로 다음과 같이 (1)식을 통하여 가우시안 백색잡음을 생성하였다.

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_{11} + X_{12} \quad (1)$$

중심 극한 정리(Central Limit Theorem)[8]에 따라서  $X$ 는 (2)식에서 표현된 것과 같이 가우시안 분포를 지니게 된다.

$$f(x) \approx \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-n)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

### 2.4. 데이터베이스 구성

환자 정보와 검사 결과를 효율적으로 저장, 관리하기 위하여 Microsoft Windows CE에서 제공하는 데이터베이스 API(Application Program Interface)를 사용하여 PDA에 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스 API 함수는 PC에서 구현되는 데이터베이스와는 달리 단순한 기능을 제공하며, SQL(Structure Query Language)을 지원하지 않는다. 그러나 소규모의 데이터를 저장하고 관리하는 데 매우 편리한 도구이며, 사용자가 데이터베이스 파일을 삭제하는 등의 실수를 범할 가능성이 적다[9]. 본 연구에서는 i) 검사자 데이터베이스, ii) 환자 데이터베이스, iii) 어음인지역치 검사 결과 데이터베이스, iv) 단어인지도 검사 결과 데이터베이스, v) 이음절 어음 데이터베이스 및 vi) 단음절 어음 데이터베이스를 구축하였다. 검사자 데이터베이스는 검사자의 신상정보를 저장하고, 환자 데이터베이스는 환자의 신상정보를 저장한다. 그리고 어음인지역치 검사 및 단어인지도 검사 결과 데이터베이스는 환자의 ID를 키(key)로 하여 각각의 환자에 대한 검사 결과를 저장한다. 또한 이음절 및 단음절 어음 데이터베이스는 표 1과 2에서 표시된 어음청력검사에 사용되는 어음을 저장하고 관리함으로써 쉽게 어음파일을 검색하여 청력검사를 수행할 수 있도록 하였다. 표 3은 각각의 데이터베이스의 구성 필드를 각각 보여준다.

표 3 데이터베이스의 구성 필드

Table 3 Database structures

- (a) 검사자 데이터베이스
- (b) 환자 데이터베이스
- (c) 순음 청력검사 결과 데이터베이스
- (d) 어음청력검사 결과 데이터베이스
- (e) 이음절 어음 데이터베이스
- (f) 단음절 어음 데이터베이스

검사자 ID	Password	검사자 이름	주민등록번호
직위	나이	전화번호	E-mail

(a)

환자 ID	환자 이름	주민등록번호	나이
성별	주소	전화번호	E-mail

(b)

환자 ID	UL_SRT	UR_SRT
	ML_SRT	MR_SRT

(c)

환자 ID	UL_MCL	UL_Discrimination
	UR_MCL	UR_Discrimination
	ML_MCL	ML_Discrimination
	MR_MCL	MR_Discrimination

(d)

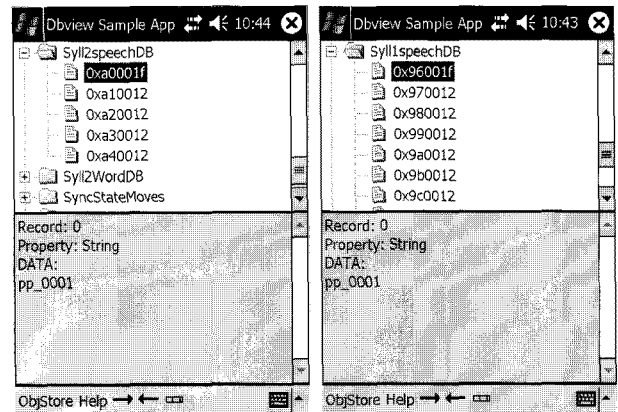
Table 이름					
word_1	word_2	word_3	word_4	word_5	word_6
word_7	word_8	word_9	word_10	word_11	word_12
word_13	word_14	word_15	word_16	word_17	word_18
word_19	word_20	word_21	word_22	word_23	word_24
word_25	word_26	word_27	word_28	word_29	word_30
word_31	word_32	word_33	word_34	word_35	word_36

(e)

Table 이름				
word_1	word_2	word_3	word_4	word_5
word_6	word_7	word_8	word_9	word_10
word_11	word_12	word_13	word_14	word_15
word_16	word_17	word_18	word_19	word_20
word_21	word_22	word_23	word_24	word_25
word_26	word_27	word_28	word_29	word_30
word_31	word_32	word_33	word_34	word_35
word_36	word_37	word_38	word_39	word_40
word_41	word_42	word_43	word_44	word_45
word_46	word_47	word_48	word_49	word_50

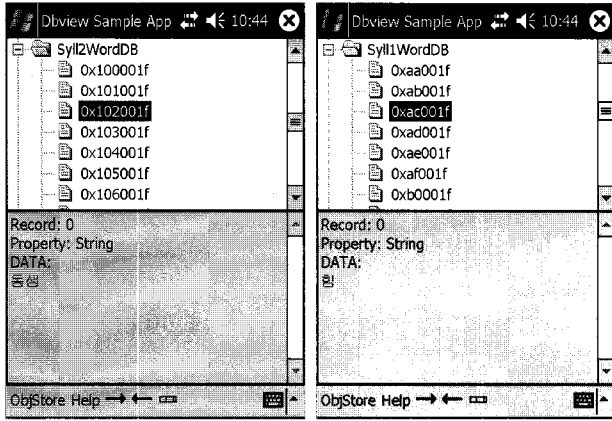
(f)

표 3의 (c)에서 'UL\_SRT'는 차폐를 수행하지 않은 상태의 왼쪽 어음인지역치, 'UR\_SRT'는 차폐를 수행하지 않은 상태의 오른쪽 어음인지역치, 'ML\_SRT'는 차폐를 수행한 상태의 왼쪽 어음인지역치, 'MR\_SRT'는 차폐를 수행한 상태의 오른쪽 어음인지역치를 나타낸다. (d)에서 'UL\_MCL'은 차폐를 수행하지 않은 상태의 왼쪽 MCL, 'UR\_MCL'은 차폐를 수행하지 않은 상태의 오른쪽 MCL, 'ML\_MCL'은 차폐를 수행한 상태의 왼쪽 MCL, 'MR\_MCL'은 차폐를 수행한 상태의 오른쪽 MCL을 나타낸다. 여기에서 MCL(Most Comptable Level)은 가장 듣기 좋은 음압 레벨인 '레적 수준'을 의미한다. 같은 의미로 'UL\_Discrimination'은 차폐를 수행하지 않은 상태의 왼쪽 단어인지도, 'UR\_Discrimination'은 차폐를 수행하지 않은 상태의 오른쪽 단어인지도, 'ML\_Discrimination'은 차폐를 수행한 상태의 왼쪽 단어인지도, 'MR\_Discrimination'은 차폐를 수행한 상태의 오른쪽 단어인지도를 나타낸다. (e)와 (f)에서 'word\_번호'는 표 1의 한국어 이음절 어표와 표 2의 한국어 단음절 어표의 순서에 따른 단어를 나타낸다. 그림 7은 예제 프로그램 CeDbView를 통한 데이터베이스의 구조의 예를 보여준다.



(a)

(b)



(c) (d)

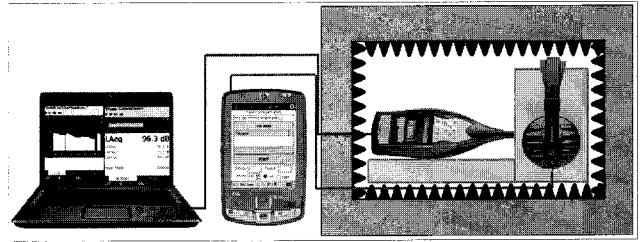
그림 7 휴대용 청력검사 시스템의 데이터베이스 구조의 예  
Fig. 7 Examples of audiometric database.

- (a) 어음인지역치 검사 결과 데이터베이스(Syll2speechDB)
- (b) 단어인지도 검사 결과 데이터베이스(Syll1speechDB)
- (c) 이음절 어음 데이터베이스(Syll2WordDB)
- (d) 단음절 어음 데이터베이스(Syll1WordDB)

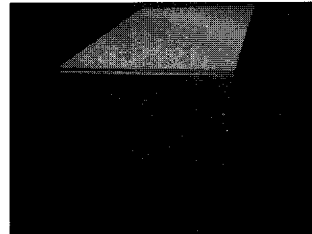
그림 7에서 윗 부분은 데이터베이스의 이름과 하위 트리로서의 필드 구조를 보여주고, 밑 부분은 선택된 필드의 레코드의 순서와 저장되는 형태, 그리고 저장된 데이터의 내용을 보여준다. 그림 7의 (a)는 어음인지역치 검사 결과 데이터베이스인 Syll2speechDB의 내용을 보여주고 있는데, 선택된 트리는 Syll2speechDB의 첫 번째 필드인 환자 ID의 레코드의 순서와 타입, 저장된 데이터를 보여주고 있다. 같은 방법으로 그림 7의 (b)는 단어인지도 검사 결과 데이터베이스인 Syll1speechDB의 필드 구성과 필드의 내용을, 그림 7의 (c)는 어음인지역치 검사에 활용되는 이음절 어음 데이터베이스인 Syll2WordDB의 필드 구성과 내용을 보여주고, 그림 7의 (d)는 단어인지도 검사에 활용되는 단음절 어음 데이터베이스인 Syll1WordDB의 필드 구성과 내용을 보여주고 있다. 이와 같은 데이터베이스의 구성으로 환자와 검사자의 신상정보 및 환자의 청력 검사 결과, 어음 청력 검사에 활용되는 어음을 효율적으로 관리할 수 있다.

### 2.5. 어음 데이터의 음압 보정(Sound Calibration)

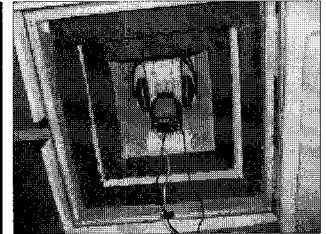
현재 널리 사용되고 있는 PDA와 이어폰은 그 제품 모델에 따라서 사양과 특성이 각각 다르므로, 같은 음압 입/출력 시스템을 사용한다 하더라도, 청력검사에 적합한 음압을 출력하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 각각의 제품들의 사양에 맞추어 출력 음압을 보정하는 과정을 반드시 거쳐야 한다. 본 연구에서는 출력 음압의 보정을 위하여 PDA와 이어폰이 선정되면, 실제로 PDA 시스템에서 출력되는 어음의 음압을 측정하고 이를 이어폰에서 측정하는 경우를 설정하여, 청력검사에 사용할 수 있는 정확한 음압을 도출하기 위한 방법을 연구하였다. 그림 8은 음압 측정에 사용한 장비와 실험 장면을 보여준다.



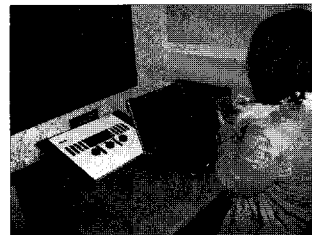
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

그림 8 실험 장비의 단면도 및 실험 장면  
Fig. 8 Schematic diagram of device for sound calibration

- (a) 자체 제작한 방음상자의 단면도
- (b) 실제 방음 상자
- (c) 방음 상자의 내부
- (d) 음압 측정 실험 장면
- (e) 실험에 사용된 방음실 전경

주변의 소음을 차단하기 위하여 소형의 방음상자를 자체 제작하고, 방음실에서 실험을 수행하였다. 완성된 방음 상자의 내부 음압을 측정한 결과, 최저 18.1 dB, 평균 20 dB로 일반적인 청력검사실보다 좋은 방음 효과를 얻을 수 있었다. 실험에 사용된 장비는 음압을 측정하는 도구로 Bruel&Kjaer사의 Type 2250 사운드 레벨 미터를 사용하였고, 음압 출력 시스템은 청력검사 시스템 개발에 사용된 HP사의 hx2790 모델의 PDA와 주변의 소음을 차단할 수 있는 밀폐형 이어폰인 Sennheiser사의 HD250 모델의 이어폰을 사용하였다. 또한 어음 데이터 보정 소프트웨어를 별도로 구현하여 어음 데이터의 보정을 쉽게 진행할 수 있도록 하였다. 실험방법은 그림 8의 (a)와 같이 PDA와 이어폰을 이용하여 어음 데이터를 PDA에서 재생하여 이어폰으로 출력하고 출력된 음압이 사운드 레벨 미터를 통하여 측정되도록 하였고 측정된 결과값이 PC에 출력되도록 하였다. 어음 데이터는 40 dB의 기준음압으로 녹음된 데이터를 사용하였고, 표 1, 2에 따른 그룹별로 녹음을 수행하여 그룹 내의 데이터들은 모두 유사한 음압을 가질 수 있도록 하였다. 어음 데이터의 음압 보정에 사용된 소프트웨어는 별도로 개발한 어음 데이터 보정 소프트웨어를 사용하였다. 그림 9는 어음 데이터 보정 소프트웨어의 GUI를 보여준다.

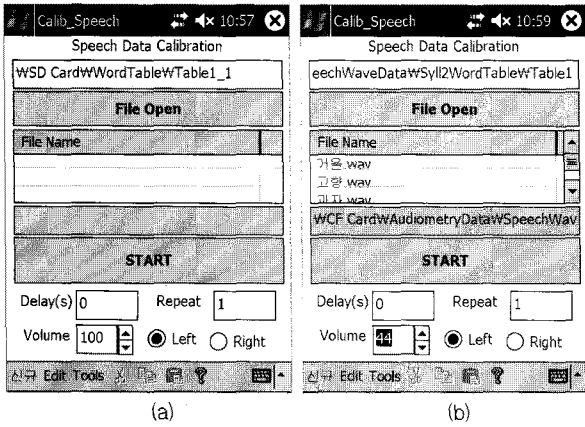


그림 9 어음 데이터 보정 소프트웨어의 GUI  
 Fig. 9 GUI for word data calibration software  
 (a) 소프트웨어의 첫 화면  
 (b) 소프트웨어를 이용한 보정 화면

어음 데이터의 음압은 PDA의 볼륨값을 조절하여 변화를 줄 수 있도록 하였다. 어음 데이터 보정 소프트웨어를 통하여 각 어음 데이터를 재생했을 때 일정하게 출력되는 음압에 대한 볼륨값을 도출하고, 이 값들을 그룹별로 평균값을 취하여 각 어음 데이터 그룹의 음압에 대한 볼륨값을 도출하였다. 어음 데이터의 음압 측정은 단음절은 1초, 이음절은 1.5초 동안의 음압에 대한 rms 값으로 도출하였다.

3. 결 과

3.1. 어음 데이터의 음압 보정 결과

실험은 40 dB의 기준음압으로 녹음된 어음 데이터를 이용하여 수행하였다. 표 4는 보정 실험을 수행하여 도출한 각 그룹별 어음 데이터의 음압에 대한 볼륨값을 나타낸다.

표 4 어음 데이터의 음압 보정 결과표  
 Table 4 Table for showing the results of speech data calibration

(a) 이음절 어음 데이터의 음압 보정 결과

	30	35	40	45	50	55	60
group1	6	20	25	40	50	79	100
group2	2	6	15	26	41	70	97
group3	1	7	17	28	48	73	100

(b) 단음절 어음 데이터의 음압 보정 결과

	30	35	40	45	50	55	60
group1	1	8	19	30	53	77	100
group2	1	5	15	27	49	72	100
group3	1	7	18	32	50	78	95
group4	0	1	15	25	47	67	90
group5	0	1	10	20	40	60	80
group6	0	4	14	24	45	75	100
group7	2	11	22	40	65	85	100

그림 10은 표 4의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 음압 보정 실험의 결과, PDA를 이용하여 출력할 수 있는 어음 데이터의 음압의 범위는 약 30 ~ 60 dB 이고, 어음 데이터의 각 그룹별로 음압에 대한 볼륨 값이 어느 정도 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그림 10에서 보는 바와 같이, 어음 데이터의 모든 그룹별 볼륨 값들은 음압이 증가함에 따라 증가하는 비슷한 경향을 띄고 있지만 동일한 음압에서 각 그룹별 볼륨 값은 많게는 30정도 차이가 발생한다는 것을 알 수 있다.

3.2. 청력검사 테스트 결과

어음 데이터의 음압 보정을 수행한 청력검사 시스템과 수행하지 않은 청력검사 시스템의 비교를 위하여 정상청력을 가진 남성 7명, 여성 3명(25±4세)에 대하여 두 시스템을 모두 이용하여 어음청력검사를 수행하였다. 어음청력검사는 어음인지역치검사와 단어인지도 검사를 모두 수행하였으며, 평균적으로 약 25분 정도의 검사시간이 소요되었다. 표 5는 어음 데이터의 음압보정을 수행하지 않은 청력검사 시스템을 사용한 어음청력검사의 결과를 보여주고, 표 6은 어음 데이터의 음압보정을 수행한 청력검사 시스템을 사용한 어음청력검사의 결과를 보여준다.

표 5 어음 데이터의 음압 보정 전의 청력검사 결과표  
 Table 5 Table for result of speech test before calibration

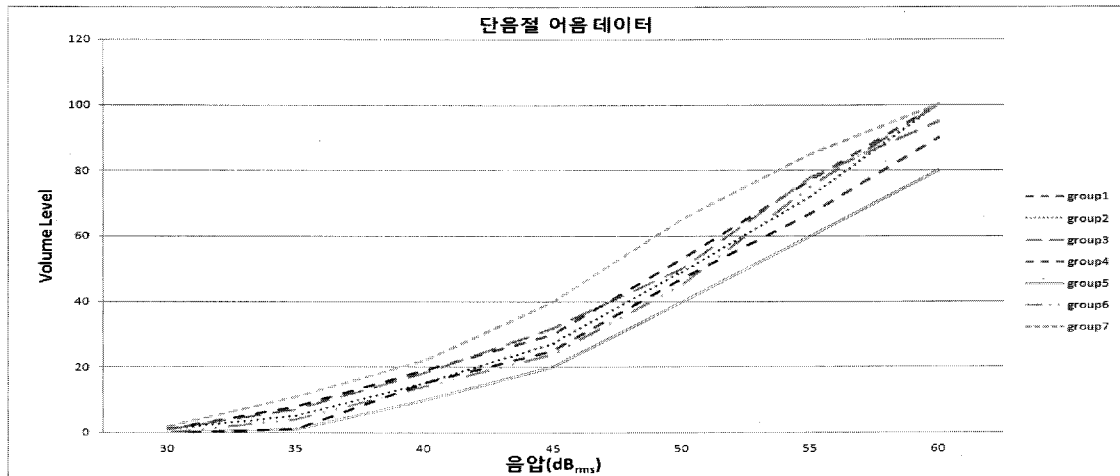
(a) 어음인지역치 검사 결과  
 (b) 단어인지도 검사 결과

ID	L_SRT(dB)		R_SRT(dB)	
	Unmask	mask	Unmask	mask
subject 1	5	5	5	5
subject 2	5	5	5	5
subject 3	5	5	5	10
subject 4	5	10	5	10
subject 5	5	5	5	5
subject 6	20	15	25	30
subject 7	5	5	5	5
subject 8	10	5	10	5
subject 9	5	5	5	5
subject 10	5	5	5	5

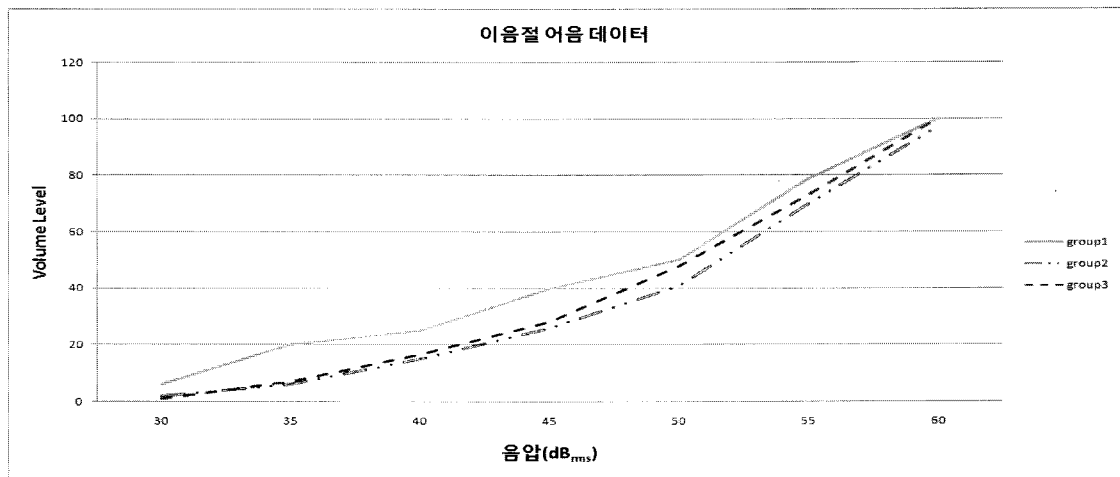
(a)

ID	L_MCL(dB)		L_Disc(%)		R_MCL(dB)		R_Disc(%)	
	Unmask	mask	Unmask	mask	Unmask	mask	Unmask	mask
subject 1	30	30	86	82	30	30	82	92
subject 2	35	35	82	84	35	35	84	88
subject 3	40	45	76	86	40	40	86	78
subject 4	30	30	82	80	30	30	98	76
subject 5	40	40	82	94	40	40	92	98
subject 6	45	45	74	84	50	50	60	54
subject 7	40	40	76	92	40	40	88	92
subject 8	45	45	90	98	45	45	88	86
subject 9	35	35	98	98	35	35	96	94
subject 10	40	40	75	92	40	40	90	90

(b)



(a)



(b)

그림 10 어음 데이터의 음압 보정 결과 그래프

Fig. 10 Graph for result of speech data calibration

- (a) 단음절 어음 데이터의 음압 보정 결과
- (b) 이음절 어음 데이터의 음압 보정 결과

표 6 어음 데이터의 음압 보정 후의 청력검사 결과표

Table 6 Table for result of speech test after calibration

- (a) 어음인지역치 검사 결과
- (b) 단어인지도 검사 결과

ID	L_SRT(dB)		R_SRT(dB)	
	Unmask	mask	Unmask	mask
subject 1	30	30	30	30
subject 2	30	30	30	30
subject 3	35	30	35	30
subject 4	35	30	35	30
subject 5	35	30	35	30
subject 6	40	35	40	35
subject 7	35	30	35	30
subject 8	35	30	30	30
subject 9	30	30	30	30
subject 10	30	35	30	35

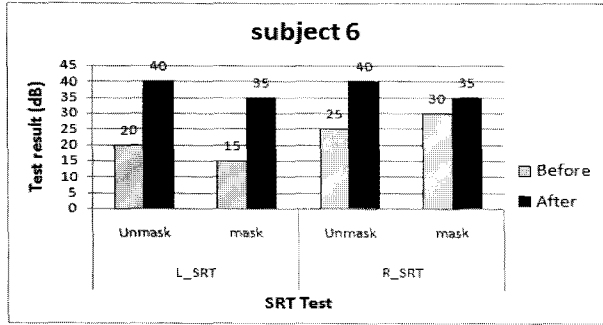
(a)

ID	L_MCL(dB)		L_Disc(%)		R_MCL(dB)		R_Disc(%)	
	Unmask	mask	Unmask	mask	Unmask	mask	Unmask	mask
subject 1	45	45	86	98	45	45	76	88
subject 2	50	50	88	92	50	50	90	100
subject 3	45	55	88	96	55	55	94	88
subject 4	45	50	92	82	45	50	92	80
subject 5	50	50	100	90	50	50	98	98
subject 6	50	50	94	96	55	55	86	86
subject 7	50	50	98	94	50	50	94	94
subject 8	50	50	96	96	50	50	94	86
subject 9	50	50	98	92	55	55	100	100
subject 10	50	50	88	94	50	50	86	94

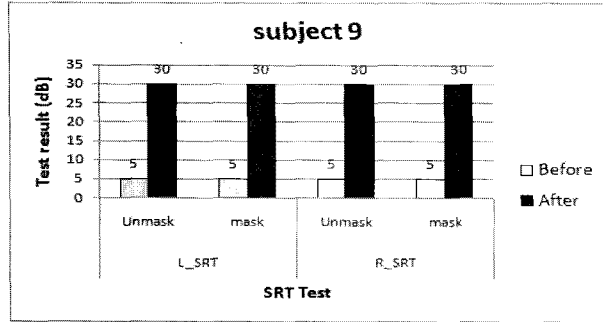
(b)

그림 11은 subject 6과 subject 9에 대한 두 어음청력검사 시스템의 결과를 비교한 그래프이다.

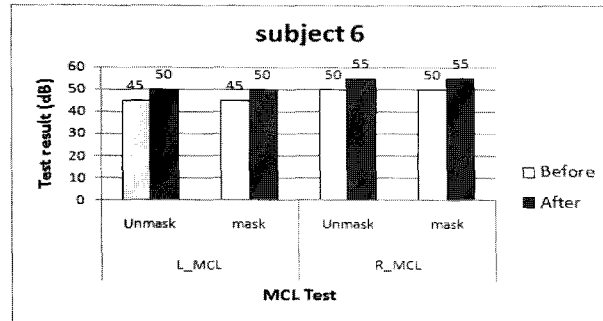




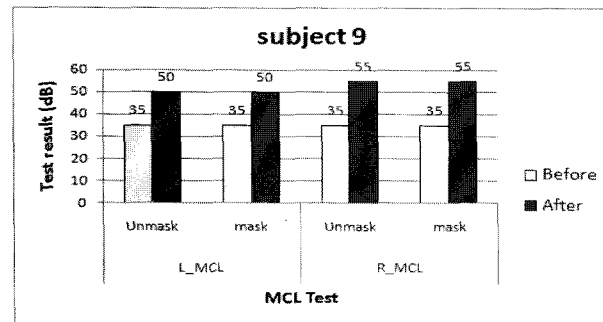
(a)



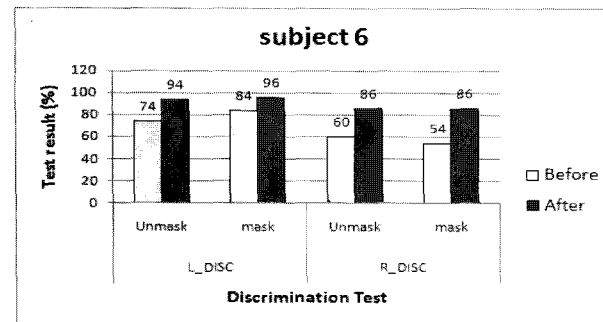
(b)



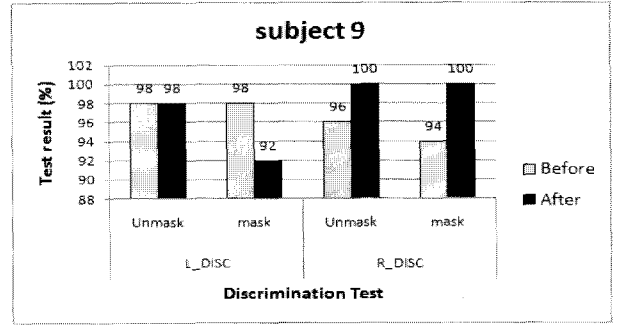
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 11 두 시스템에 대한 어음청력검사 결과 그래프의 예  
Fig. 11 Graph for result of speech test

- (a) subject 6에 대한 어음인지역치(SRT) 검사 결과 비교
- (b) subject 9에 대한 어음인지역치(SRT) 검사 결과 비교
- (c) subject 6에 대한 쾌적수준(MCL) 결과 비교
- (d) subject 9에 대한 쾌적수준(MCL) 결과 비교
- (e) subject 6에 대한 단어인지도(Discrimination) 검사 결과 비교
- (f) subject 9에 대한 단어인지도(Discrimination) 검사 결과 비교

여기에서 'Before'는 어음 데이터의 음압 보정을 수행하지 않은 시스템을 이용한 청력검사 결과를, 'After'는 음압 보정을 수행한 시스템을 이용한 청력검사 결과를 나타낸다. 또한 'L\_SRT'는 왼쪽 귀의 어음인지역치를, 'R\_SRT'는 오른쪽 귀의 어음인지역치를, 'L\_MCL'은 왼쪽 귀의 쾌적 수준을, 'R\_MCL'은 오른쪽 귀의 쾌적 수준을 음압(dB)으로 나타내고, 'L\_DISC'는 왼쪽 귀의 단어인지도를, 'R\_DISC'는 오른쪽 귀의 단어인지도를 백분율(%)로 나타낸다. 그림 11에서 어음 데이터의 음압 보정을 수행한 청력검사 시스템이 수행하지 않은 청력검사 시스템보다 더 높은 음압으로 표시되는 것을 확인할 수 있고, 단어인지도 검사의 결과가 정확성이 더 높아지는 것을 확인할 수 있다. 어음 데이터의 음압을 보정하기 전에는 시스템 상에서 임의의 값으로 음압을 표시하였으니 보정과정을 거친 후에는 정확한 음압을 표시하기 때문이다. 그림 11의 (f)에서 왼쪽 마스크 상태의 결과가 음압 보정 후 보다 음압 보정 전이 더 정확성이 높게 나온 이유는 거짓 반응이 발생한 경우로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 이동성을 갖춘 단말기인 PDA를 이용하여 간편하게 청력검사를 수행할 수 있는 휴대용 어음청력검사 시스템과, 환자의 신상정보 및 청력정보 데이터를 효율적으로 관리할 수 있는 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 또한 정확한 음압 출력을 위하여 PDA 단말기와 이어폰의 종류와 사양에 따라 적절하게 어음 데이터의 음압을 보정하여 출력할 수 있는 방법을 도출하였다. 추후에는 다양한 어음청력검사를 위하여 연령별 어음청력검사, 문장 및 그림을 이용한 어음청력검사에 대한 연구가 필요할 것으로 사료되며, 병원

에서 환자와 정상인의 비교 테스트 및 사용되는 청력검사기와의 비교 테스트를 수행하여 휴대용 어음청력검사 시스템의 유효성을 분석하는 연구가 필요할 것으로 여겨진다. 또한 PC 서버와의 연동을 통한 환자 데이터 및 검사 결과 데이터의 통합 관리 시스템에 대한 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

**감사의 글**

이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지방연구중심대학육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단).

**참 고 문 헌**

- [1] 장성실, "정기 청력검사에 의한 청각역 변화 검출 가능성," 산업보건, 12권, pp.71-72, 1993.
- [2] Northern J. L, Dwons M. P, "Hearing in Children - Fifth Edition," Lippincott Williams & Wilkins, Baltiomre, 2002.
- [3] 임혜진, 김경섭, 윤태호, "Noah 보청기 적응(Fitting) 소프트웨어," 전기의 세계, vol. 53, No. 6, pp.55-59, Jun. 2004.
- [4] 이규석, 석동일, "청각학," 대구대학교 출판부, Sep. 2003.
- [5] 허승덕, 유영상, "청각학 3판," 동아대학교 출판부, Apr. 2004.
- [6] Hudgins, C. V, Hawkins, J. E, Karlin, J. E, and Stevens, S. S., "The development of recorded auditory tests for measuring hearing loss for speech," Laryngoscope, 57, 57-89, 1947.
- [7] 함태영, "한국어음청력검사표와 명료도검사 성적에 관한 연구," 가톨릭의대 논문집, No. 5, pp31-38, 1962.
- [8] Papoulis. Athanasios, "Probability, Random Variables and Stochastic Processes," McGraw Hill, Jan. 2002.
- [9] Douglas Boling, "Programming Microsoft Windows CE .NET," Microsoft Press, Feb. 2004.
- [10] 김경섭, 이정환, 신승원, 윤태호, 이상민, "PDA 기반의 청력검사 시스템 및 데이터베이스 구성," 대한전기학회 논문지D, Vol. 55, No. 1, Jan, 2006.
- [11] Gregg D. Givens, Adrian Blanarovich, Timothy D. Murphy, Scott Simmons, David Blach, Saravanan Elangovan, "Internet-Based Tele-Audiometry System for the Assessment of Hearing: A Pilot Study," Telemedicine Journal and e\_Health, Vol. 9, No. 4, 2003.
- [12] Norio Nakamura, "Development of Mobile Audiometric Test System Using Mobile Phones," Biomedical Engineering, 2003, IEEE EMBS Asian-Pacific Conference, pp. 356-357, 2003.

**저 자 소 개**



**신 승 원 (辛承元)**

2005년 건국대학교 의학공학부 졸업. 동대학원 석사(2007). 2007년~현재 동대학원 박사과정 재학 중.



**김 경 섭 (金敬燮)**

1979년 연세대학교 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1981). The University of Alabama in Huntsville, USA, Ph.D.(1994). 2001년~현재 건국대학교 의료생명대학 의학공학부 부교수.



**이 상 민 (李相旻)**

1987년 인하대학교 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1989) 및 박사(2000). 2002년 1월~2005년 2월 한양대학교 의공학교실 연구교수. 2006년 9월~현재 인하대학교 IT공과대학 전자공학부 조교수.



**임 원 진 (任媛眞)**

2008년 인하대학교 정보통신공학부 졸업. 2008년~현재 IT공과대학 전자공학부 대학원 석사과정 재학 중.



**이 정 환 (李定桓)**

1992년 연세대학교 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1994). 동대학원 박사(2000). 2004년~현재 건국대학교 의료생명대학 의학공학부 조교수.



**김 동 준 (金東浚)**

1988년 연세대학교 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1990). 동대학원 박사(1994). 현재 청주대학교 이공대학 전자정보공학부 교수.