

<논 문>

## 소음계 교정 자동화 시스템 개발 및 성능평가

### Development and Performance of Automated Calibration System of Sound Level Meters

김 용 태\* · 조 문 재\*\* · 이 용 봉\*\* · 서 재 갑\*

Yong Tae Kim, Moon Jae Jho, Yong Bong Lee and Jae Gap Suh

(1998년 5월 21일 접수 : 1998년 9월 11일 심사완료)

**Key Words** : Calibration(교정), Modified Hybrid-Bisect/Newton-Raphson Method, Reducing Parameter (환산계수), Sound Level Meter(소음계), Harmonic Distortion(고조파 왜곡), 음장교정.

#### ABSTRACT

An automated calibration system of sound level meters was developed and tested. As a standard sound source, the speaker unit(Forstex FE208) cabineted by  $440 \times 390 \times 490 \text{ mm}^3$  (LHW) volume wood box was adopted. Including this source, the driving part was found out to have a good linearity of sound pressure output vs AC voltage input. The Hybrid-Bisect/Newton-Raphson method modified by the linearity was adopted as a searching algorithm. Using GPIB interface, the console PC make the control, measurements, and calculations and finally make the accumulation of useful data and results automatically by the instructions in the program coded by C language. Several trials of automatic calibration using this developed system give the reliable results.

#### 1. 서 론

현대사회의 공해문제중의 하나인 소음은 그에 의한 정신적, 심리적 부담에 의해서 초래되는 장기적인 건강 문제 뿐만 아니라 당장 느끼는 생활상의 불편 때문에 다른 어떤 공해보다도 그 영향이 직접적이다. 우리 나라의 경우 1980년대에 들어 소음이 생활환경의 문제로 급격히 대두됨에 따라 환경 정책 기본법, 소음규제법 등이 제정되었으며, 소음에 대한 규제가 날로 강화되고있는 실정이다. 또한 소음이 제품의 품질을 평가하는 기준으로 대두됨에 따라 음

향측정 즉 가청 주파수 영역에서의 음압 측정의 고정밀화에 대한 요구가 높아져 가고 있다.

소음을 정밀하게 측정하기 위해서는 소음계의 주파수 응답특성을 정확히 알고 있어야 하며, 소음계 교정이라 함은 이와 같은 소음계의 특성을 정밀하게 측정하는 것을 말한다<sup>(1)</sup>. 소음계의 교정절차는 국제 규약<sup>(2,3)</sup>에 의해 정해져있다. 선진 각국에서는 이러한 표준 교정절차에 의한 소음계 교정 자동화 시스템을 구축하여 교정 정밀도 향상을 꾀하고 있다. 일본의 경우 1982년 M. Muto 연구진<sup>(4)</sup>이 OKITAC 4300 미니컴퓨터를 사용하여 정밀 소음계 교정 자동화 시스템을 개발하였고, Canada의 경우 1995년 Lixue Wu 연구진<sup>(5)</sup>이 IEEE-488 GPIB interface를 이용하여 장치제어를 소음계의 출력단을 RS-232-C를 이용하여 PC(Personal computer)측정자료를 수집

\* 한국표준과학연구원 음향진동그룹

\*\* 정회원, 한국표준과학연구원 음향진동그룹

하는 자동화 시스템을 개발한 바 있다. 국내의 경우 소음계 교정은 1982년 초에 본 연구원에서 처음으로 시작되었다.

본 논문에서는 기존의 수동 교정 시스템을 보완한 소음계 교정 자동화 시스템의 구현 알고리즘, 표준 음원의 음향특성 및 측정 정밀도 등에 관한 전반적인 사항을 제시하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

소음계 교정은 동일한 음장 하에서 표준 마이크로폰과 교정 대상 소음계의 음압에 대한 주파수 응답의 상대 비교를 통해 이루어진다. 표준 마이크로폰이란 감도 값이 표준 가역교정 시스템<sup>(6)</sup>에 의해 결정된 마이크로폰을 말한다. 교정은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 교정 대상 소음계를 표준 마이크로폰과 동일한 위치에 일치시킨 상태에서 1/3 옥타브 밴드의 중심 주파수의 순음 정현신호를 사용하도록 규정되어 있다. 이때 기준 음압레벨은 85 dB이다.

소음계 교정 절차를 간단히 요약하면, 표준 마이크로폰을 사용하여 음압이 0.356 Pa이 되는 스피커 입력신호의 전압  $V_s$ 를 교정 주파수에서 각각 찾아 기록하는 "음장 교정"과 표준 마이크로폰을 제거하고 교정 대상 소음계를 동일한 위치에 설치하여 음장교정에서 구한 음원의 입력 전압  $V_s$ 로 음원을 구동시킨 상태에서 소음계의 지시 음압 레벨  $SPL_m$ 을 읽어 85 dB의 음압레벨과의 차를 기준응답 및 허용 오차와 비교하는 "소음계 교정"으로 이루어진다.

먼저 본 연구에서 사용된 음장 교정 자동화 부분의 알고리즘을 구성하는 이론적 근거를 살펴보기로 하자. 음장 교정시 표준 마이크로폰과 전치 증폭기 및 측정용 증폭기를 거쳐 디지털 전압계에 의해 측정된 전압은 음압과 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$p = V_1 / SG_e \quad (1)$$

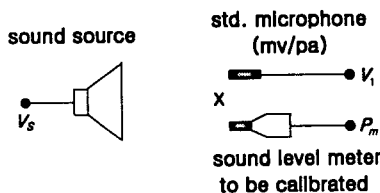


Fig. 1 Conceptual diagram of calibration of sound level meter

여기서  $p$ 는 음압,  $V_1$ 은 측정된 교류 전압,  $S$ 는 감도값,  $G_e$ 는 계측부의 유효 증폭률이다.  $G_p$ 를 전치 증폭기의 증폭률,  $G_m$ 을 측정용 증폭기의 증폭률이라 할 때 유효 증폭률은  $G_e = G_p \times G_m$ 이다. 일반적으로 음압레벨은 음압과 기준음압에 대한 상대 음압의 대수에 20을 곱하여 구한다. 따라서 지시 음압레벨은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$SPL_m = 20 \log(p/p_{ref}) \quad (2)$$

여기서 아래첨자  $m$ 은 측정된 값을 의미하고,  $p_{ref}$ 는 기준음압으로  $20 \mu Pa$ 이다. 식 (1)과 식 (2)로부터 지시 음압레벨은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$SPL_m = 20 \log(V_1 / SG_e p_{ref}) \quad (3)$$

85 dB의 음압레벨을 주는 스피커 입력신호의 전압을 찾는 알고리즘으로 사용할 수 있는 방법으로는 일반적으로 미지 방정식의 수치 해를 구하는 방법으로 잘 알려진 분절법과 Newton-Raphson 방법 등을 이용할 수 있다. 본 연구에서는 이 두 방법을 결합한 Hybrid-Biset/Newton-Raphson 방법<sup>(7)</sup>을 골격으로 선형성을 이용하여 수정한 알고리즘을 사용하였다.

Hybrid-Biset/Newton-Raphson 방법의 기본 골격은 해의 수렴 구간을 다음과 같이 2차 함수형 회기 방정식으로 해를 추적하는 방법이다.

$$SPL(V_s^{i+1}) - 85 = a(V_s^{i+1} - V_s^i)^2 + b(V_s^{i+1} - V_s^i) + c \quad (4)$$

여기서  $a, b, c$ 는 다음과 같은 관계로 구하여 진다.

$$a = SPL(V_s^i) - 85$$

$$b = \frac{[(V_s^{i-2} - V_s^i)^2 \{SPL(V_s^{i-1}) - SPL(V_s^i)\}] - (V_s^{i-1} - V_s^i)^2 \{SPL(V_s^{i-2}) - SPL(V_s^i)\}}{[(V_s^{i-2} - V_s^{i-1})(V_s^{i-2} - V_s^i)(V_s^{i-1} - V_s^i)]}$$

$$c = \frac{[(V_s^{i-1} - V_s^i)\{SPL(V_s^{i-2}) - SPL(V_s^i)\}] - (V_s^{i-2} - V_s^i)\{SPL(V_s^{i-1}) - SPL(V_s^i)\}}{[(V_s^{i-2} - V_s^{i-1})(V_s^{i-2} - V_s^i)(V_s^{i-1} - V_s^i)]} \quad (5)$$

여기서  $V_s^{i-2}, V_s^{i-1}, V_s^i$ 는 이전의 세 번을 실험하는 동안 스피커에 인가된 신호 전압을 의미한다. 따라서 네 번째 추정 해는 다음과 같은 관계로부터 구할 수 있다.

$$V_s^{i+1} = \begin{cases} -\frac{2c}{b + \sqrt{b^2 - 4ac}}, & b \geq 0 \\ -\frac{2c}{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}, & b < 0 \end{cases} \quad (6)$$

이 같은 방법을 사용하면 85 dB에 수렴하는 속도가 분절법이나 Newton-Raphson 방법보다 빠르다. 그러나 이 경우 의미 없는 세 번의 시도가 필요하게 되어 시간상의 낭비요인이 발생한다.

한편 표준 음원의 출력 음압과 입력신호의 전압간에 선형성을 가정하면 입력신호의 전압의 추정해를 비례 관계로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_s^{i+1} = 10^{85 \times \log(V_s^i / SPL_m)} \quad (7)$$

여기서  $V_s^i$ 는 이전 입력신호의 전압이고,  $V_s^{i+1}$ 는 음압레벨의 값이 85 dB가 될 것으로 기대하는 입력신호의 전압이다. 이 같은 방식으로 3 차례의 시도에서 음장 교정이 원하는 범위로 수렴하지 않을 때 Hybrid-Bisect/Newton-Raphson 방법을 사용하면 빠르면서 안정적인 알고리즘의 구현이 가능하다.

소음계 교정의 경우 음장 교정에서 구한 입력전압  $V_s$ 로 음원을 구동시킨 상태에서 소음계의 AC 출력<sup>(5)</sup>을 측정용 증폭기로 증폭시켜 디지털 전압계로 읽고, 이를 지시 음압레벨  $SPL_m$ 로 환산하여 85 dB의 음압레벨과의 차이를 기준응답 및 허용오차와 비교한다. 소음계의 종류에 따라 계기판의 지시값에 따른 출력신호의 크기가 다르므로 측정용 증폭기의 증폭률을 조정하여야 하며, 사용하는 마이크론의 감도 및 유효증폭률을 알지 못하는 경우가 있다. 따라서 매번 유효증폭률을 측정하는 번거로움을 없애기 위해, 본 연구에서는 1 kHz 주파수(A-Weighting 기준응답이 0 dB인 주파수)에서의 계기판의 지시값과 전기적 신호의 크기를 비교하여 환산계수(reducing parameter)를 구하고, 이를 이용하여 소음계의 지시 음압레벨을 전 주파수 구간에서 구하는 방법을 사용하였다. 환산계수를 이용하면 아래의 관계로부터 음압레벨을 구할 수 있다.

$$SPL = 20 \log V_2 + R \quad (8)$$

여기서  $R$ 은 환산계수,  $V_2$ 는 신호증폭기 출력단에서 측정된 소음계의 AC 출력 신호값이다. 따라서 식 (3)과 식 (8)을 이용하면 환산계수는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$R = -20 \log(p_{ref}SG_e) \quad (9)$$

즉 환산계수는 유효증폭률과 소음계의 감도에 의존하는 값이다. 동일한 소음계의 경우 감도와 유효증폭률이 주파수에 의존하지 않을 경우 환산계수는 1 kHz에서 구해 전 주파수 구간을 사용할 수 있다. 이때 1 kHz의 환산계수를 구하는 방법은 식(8)을 이용하여 음압레벨의 소음계 계기판의 지시값과 측정된 신호전압을 이용하여 구한다.

### 3. 시스템 구성

본 연구에서 구성한 소음계 교정 자동화 시스템은 Fig. 2와 같다. 그림에 나타난 바와 같이 표준 음원과 표준 마이크로폰(또는 교정 대상 소음계)사이의 거리는 1 m로 유지하였다. 또한 표준 음원과 표준 마이크로폰 및 교정 대상 소음계를 제외한 모든 측정장비들은 이들로부터의 반사파의 영향을 최소화하기 위해 무향실 외부에 설치하였다. 소음계 교정 시스템은 표준 음원에 정현신호를 가해주는 구동부와 마이크로폰의 개방회로 전압 및 소음계의 지시값을 측정할 수 있는 계측부로 구성되어 있다.

구동부는 신호 발생기(B & K 1049)로부터 나온 정현신호의 주파수를 측정하기 위한 주파수 계수기

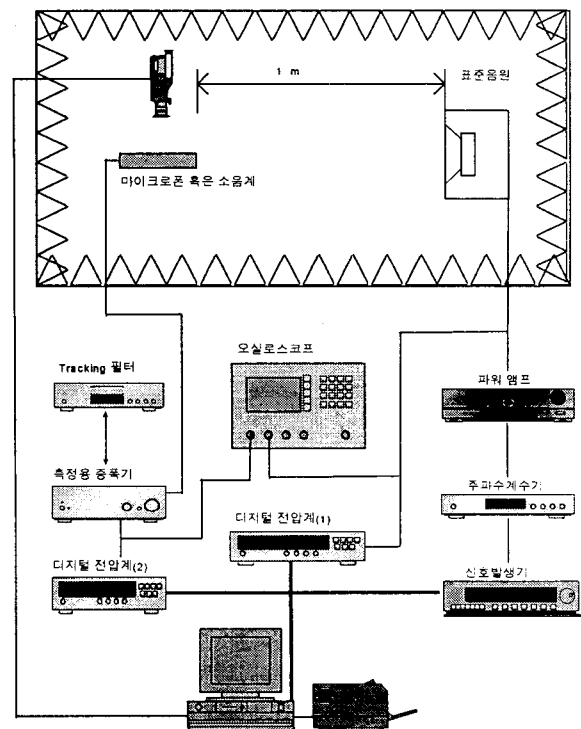


Fig. 2 Block diagram of the automated calibration system of sound level meters

(HP 53131A)와 표준 음원에 인가되는 전압을 측정하기 위한 디지털 전압계I(Keithley 2000) 및 표준 음원을 구동하기 위한 전력 증폭기(B&K 2706)로 이루어진다. 표준 음원은 기존에 사용하던 2-way 동축형 스피커 시스템(Tannoy Stirling)의 cross-over 주파수에서의 간섭현상을 최소화하기 위해 스피커 유닛이 하나로 구성된 단일형(full range) 스피커 시스템으로 교체하였다. 단일형 표준음원은 스피커 유닛(Forstex FE 208)과 본 연구에서 자체적으로 설계 제작한 스피커 캐비닛으로 이루어진다. 스피커 캐비닛은 전체 크기가 440×390×490 mm<sup>3</sup>(LWH)이다.

음원에 의해 방사된 정현신호는 1 m 떨어진 거리에 있는 마이크로폰(B&K 4165)의 진동 막을 가진 시커 출력 전압을 발생시킨다. 그림에 나타난 바와 같이 마이크로폰에서 출력된 신호는 측정용 증폭기(B&K 2636), 고주파 신호를 제거하기 위한 추적 필터(tracking filter: B&K 1623)를 거쳐 디지털 전압계 II(Keithley 2000)에 의해 측정된다. 이때 출력되는 신호 파형을 관찰하기 위해 오실로스코프(HP 54601A)를 사용하였다. 소음계 교정을 자동화하기 위해 그림에 나타난 바와 같이 신호 발생기, 디지털 전압계 등이 GPIB interface를 통해 PC에 의해 제어되고, 최종 결과는 레이저 프린터로 출력된다.

#### 4. 교정 시스템의 자동화 기법

본 연구에서 개발한 소음계 교정 자동화 프로그램은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 File, 교정실험, 검색 및 출력, 그래프, GPIB interface 및 Help 의 6 개의 기본 골격에 상세한 세부 기능을 하부 구조로 갖는 수형도식 구성을 갖는다.

본 교정 자동화 시스템의 프로그램이 갖추어야 할 기능들은 음장 및 소음계의 자동 교정 기능과 같은 기본 기능 이외에도 등급별 분류기능, 교정결과 자료의 데이터 베이스(data base)화 기능. 및 불확도 자동 연산 기능 등이 부가적으로 필요하며 교정 조건의 재설정 기능, 교정 결과 자동 작성 및 출력 기능, 양식 재편집 기능 및 결과 가시화 기능과 같은 응용 기능들이 있다.

자동 교정 기능은 음장 교정 과 소음계 교정을 자동으로 수행하는 기능이다. Fig. 4는 음장 교정 실험의 예제 화면으로 85 dB의 음압레벨을 그림 오른 쪽 위의 그래프 창에, 스피커에 인가되는 신호전압

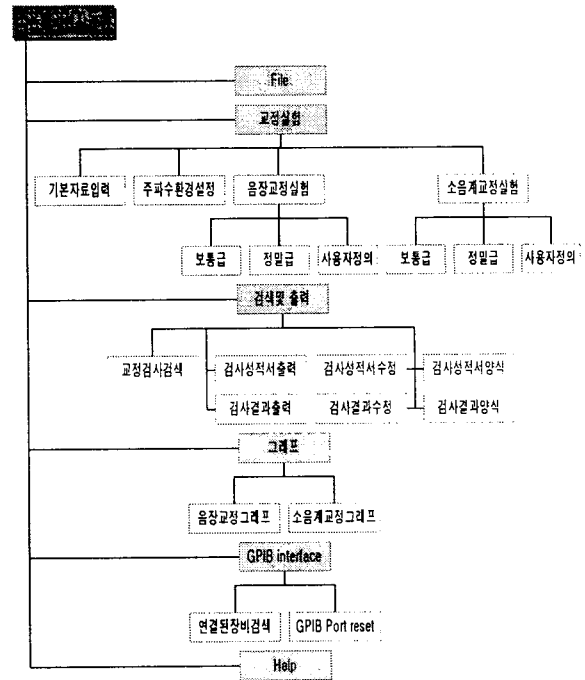


Fig. 3 Tree chart of the program for automatic calibration of sound level meters

은 그 아래의 창에 실험진행 상황을 모니터할 수 있도록 구성되어 있다. 실험은 1/3 옥타브 밴드의 중심 주파수의 순음의 정현파 신호를 사용하여 낮은 주파수에서 높은 주파수로 다시 높은 주파수에서 낮은 주파수로 2회 반복하여 평균값을 취하도록 구성하였다. 왼쪽 상단에는 교정 의뢰된 소음계의 정보와 온도, 습도 등을 수정입력 할 수 있게 구성하였으며, 실험의 결과를 성적서, 결과서 및 불확도 등으로 분류하여 text 형식의 파일로 저장되도록 구성함과 동시에 파일의 이름은 교정번호를 기본으로 하여 필요한 경우 사용자가 "변경할 수 있게 구성하였다. 왼쪽 중단에는 측정 주파수(일반급, 정밀급, 사용자정의)를 마우스로 선택하여 실험할 수 있게 구성하였고, 마이크로폰의 감도, 현재 구동 주파수 및 전압계 I, II의 전압, 음압 계산값 및 음압레벨의 계산값을 모니터할 수 있게 구성하였다. 불확도 계산 부분을 클릭하면 실험의 횟수를 증가시킬 수 있게 구성하였다. "스텝실험"은 각 구동 주파수 별 단계 실험을 수행할 수 있으며, "실험"은 연속으로 중지없이 실험할 수 있게 구성하였다. 왼쪽 하단에는 실험이 완료된 후 그 결과를 보여주는 창과 평균과 표준 편차를 연산하여 보여준다.

Fig. 5는 소음계 교정 실험 예제 화면이다. 그림의 오른쪽 하단의 창에는 음장 교정 실험에서 얻어

진 스피커에 인가되는 신호전압이, 오른쪽 상단의 창에는 소음계가 인지하는 음압레벨을 허용차<sup>(8)</sup>와 함께 실험 진행 상황에 따라 나타나면서 모니터링할 수 있게 구성되어 있다. 한편 상단에는 음장 교정 실험에서와 같이 교정 의뢰된 소음계의 정보가, 중단에는 실험의 등급과 자동 반자동의 선택 및 청감 보정 종류를 선택할 수 있게 구성되어 있으며, 구동 주파수와 전압계 I, II의 값을 모니터링할 수 있게 창을 만들었다. 또한 변환계수를 구할 때의 실험을 할 수 있게 1 kHz 스텝실험을 준비하였으며, 실험의 종료 여부를 보여주는 창도 만들었다. 그림의 왼쪽 하단에는 실험 결과를 수치로 보여주는 창이 구성되어 있다. 실험이 끝난 후 성적서와 결과서 및 그래프 등을 마우스로 클릭하여 출력할 수 있다. 경우에 따라서는 외부 출력 단자가 없는 소음계도 교정의뢰가 들어오므로 이 경우 교정 실험은 반자동으로 교

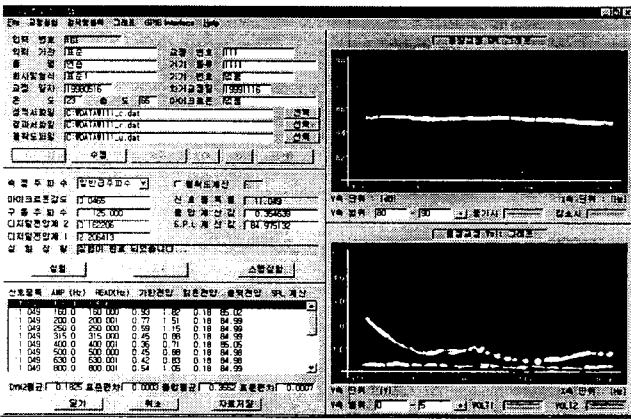


Fig. 4 Dialogue box of experiment for calibration of sound field

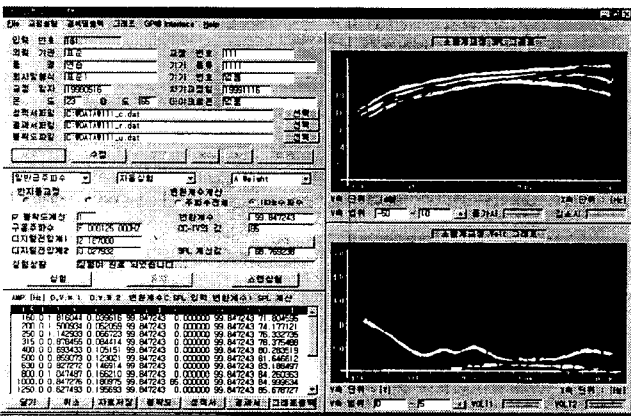


Fig. 5 Dialogue box of the experiment for calibration of sound level meter

정할 수밖에 없다. 또한 외부 출력단자가 존재하여도 출력 특성이 계기판의 눈금 지시값과 선형적 관계를 갖지 않는 경우도 반자동으로 교정할 수밖에 없다. 반자동의 경우 그림에서 “자동실험”이라 되어있는 곳을 마우스로 눌러 반자동을 선택할 수 있고, 이 경우 CC TV를 통해 모니터링된 계기판을 사용자가 관독하여 입력하는 방식으로 구성되어 있다. 왼쪽하단의 아래쪽에 있는 버튼 중 “불확도” 버튼은 불확도를 연산하여 결과를 보여주도록 구성되어 있다. “성적서”, “결과서” 및 “그래프 출력”은 각각 성적서와 결과서 및 그래프를 출력하는데 이용된다.

Fig. 4과 Fig. 5의 그래프 창 아래에 있는 “Y축 범위”의 값을 바꾸어 입력하면 그래프를 확대 또는 축소하여 볼 수 있는 기능을 갖추었다.

등급별 분류기능은 정밀급과 보통급 외에도 사용자의 필요에 따라 실험환경을 변화시킬 수 있는 사용자 정의 등급의 세 가지 분류를 사용하였다. 일반급과 정밀급의 분류는 허용오차 외에도 실험 주파수 범위가 서로 다르기 때문에 음장 교정 실험에서부터 이를 반영하여야 한다. Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 바와 같이 실험 주파수 부분을 마우스로 선택하여 교정 소음계의 등급을 선택하여 사용한다.

교정결과 자료의 데이터 베이스(data base)화 기능은 소음계의 교정 결과를 계속 축적하여 이를 필요에 따라 재구성 및 통계 처리할 수 있게 하는 기능이다. 일반적으로 교정 의뢰가 이루어진 소음계의 경우 그 자료의 보관이 필요할 뿐 아니라 교정 성적의 통계도 필요하다. 따라서 교정 결과들을 재 취합할 수 있게 하기 위하여 인덱스에 따라 정렬과 검색이 가능하여야 한다. 분류 가능한 인덱스로 교정의뢰 기관, 교정 번호, 품명, 기종, 제조 회사 및 형식, 일련번호, 교정일자, 온도, 습도 등의 9 가지가 가능하다. 특히 위의 인덱스들과 교정 검사 결과 파일을 레코드화 하여 인덱스별 재배열이 가능하면 이를 분석하여 연구하는데 이용 가능하다. 검색 기능은 정렬된 자료들로부터 의뢰기관을 입력할 경우 이 의뢰 기관에서 의뢰한 건수의 통계와 그 내역들의 일목요연하게 화면상에 표현되는 기능을 말하며 그 예제화면을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 항목에서 인덱스를 바꾸어 설정할 수 있으며, 인덱스에 따라 그 아래 칸에 현재까지 교정한 자료가 나타나며 이중 하나를 마우스로 클릭하면 오른쪽에 소음계 교정 결과 그래프와 음장 교정 결과 그래프가 나타나도록 구성하였다. 또한 text 형식으로 저장된 파일 명을 보여주기 때문에 이들을 spread

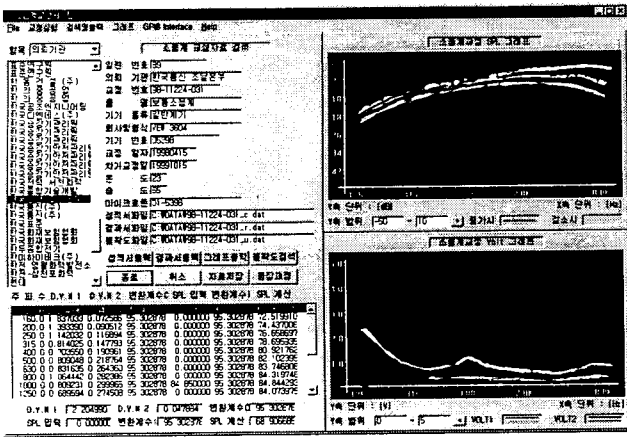


Fig. 6 Dialogue box of sorting and searching the results previously experimented

sheet 등으로 불러 통계 처리할 수 있다. 교정 조건의 재설정 기능은 등급에 따른 설정값들 (예를 들면 실험의 청감 보정치, 표준 음원의 구동 음압 레벨, 측정용 증폭기의 증폭률 및 마이크로폰의 감도 등)이 변화할 경우 이를 사용자가 새로이 설정하거나 설정된 값들을 default 값으로 전환하는 기능을 말한다.

교정 결과 자동 작성 및 출력 기능은 교정 실험을 통해 얻어진 결과를 일련의 자동화된 기능에 따라 정의된 양식으로 출력이 이루어지도록 하는 기초 기능 이외에 파일로 저장하여 이 자료들을 검색 및 통계 처리 할 수 있게 보관하는 기능을 포함하여야 한다.

경우에 따라서는 정의된 양식이 수정 될 필요가 있을 것으로 예측되므로 필요한 경우 이를 수정할 수 있어야 한다. 결과서의 자동 출력기능이 이러한 요구조건을 만족할 수 없으면 이 자동화 시스템의 양식의 변경만으로 무용지물이 될 소지가 있기 때문이다. 따라서 이 같은 요구를 양식 재편집 기능이 가져야 한다. 이러한 기능은 외부의 text 형식의 파일로 출력양식을 저장하여 사용하는데 이 양식을 수정하면 자동 출력되는 성적서의 양식도 변화하도록 구성하였다.

결과 가시화 기능은 음장교정 실험 결과와 소음계 교정 실험 결과를 실험 도중에 그래프로 나타내어 줌으로서 실험의 진행 상태와 측정 결과가 오차 범위 내외인지를 판단하기 쉽게 시각적으로 확인할 수 있도록 도와주는 기능을 말한다. Fig. 4와 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 우측의 그래프 창이 이 역할을 수행한다.

### 5. 교정 시스템의 성능 평가

소음의 정밀 측정을 위해서는 사용되고 있는 소음계의 주파수 응답 특성을 정확히 알아야 한다. 따라서 소음계 교정 시스템을 실제 교정에 활용하기 위해서는 정확한 성능평가가 이루어져야 한다.

본 항에서는 표준 음원으로 사용하기 위해 제작한 스피커 시스템의 음향특성과 시스템의 측정 정밀도에 대해 자세히 언급하기로 한다.

#### 5.1 표준 음원의 음향 특성

표준 음원의 주파수 특성은 음원에 인가되는 입력 전압의 크기를 전 주파수 대역에서 일정하게 유지시키면서 주파수에 따른 음압레벨을 측정하여 결정할 수 있다. 본 연구에서 제작한 표준음원에 신호 주파수를 20 Hz에서 20 kHz까지 변화시키면서 측정된 주파수 특성은 Fig. 7과 같다.

측정시 표준음원에 인가한 입력전압은 소비전력 1 W에 해당하는 2.828 V이며, 표준 음원과 마이크로폰 사이의 거리는 1 m로 유지시켰다. 그림에 나타난 바와 같이 1 W 인가시 교정 주파수 대역인 125 Hz 이상에서의 음압레벨은 85 dB 이상인 것을 알 수 있다. 스피커 유닛의 정격출력이 40 W인 것을 감안하면 스피커 시스템의 출력음압은 100 dB까지 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

표준음원의 비선형 왜곡은 음향출력과 전기입력 사이의 비선형에 의한 불필요한 파형의 변화이다. 이러한 왜곡은 스피커 출력의 유효 크기를 제한하며, 소음계 교정시 측정오차를 발생시키는 하나의

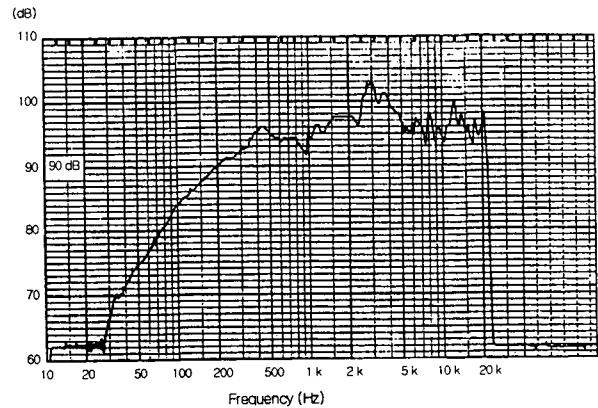


Fig. 7 Frequency response of standard sound source for 1 W measured at 1 m apart from the source

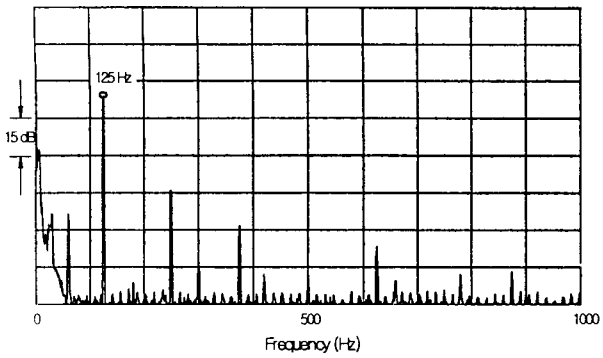


Fig. 8 Harmonic distortion of standard sound source

요소가 된다. 단일 주파수 입력에 대해 이러한 비선형 왜곡은 입력 주파수의 정수배로 주어지는 고조파 왜곡을 발생시킨다. 본 연구에서 제작한 표준음원의 고조파 왜곡특성은 Fig. 8과 같다. 이때 표준음원에 가한 입력전압은 2.828 V이다.

그림에 나타난 바와 같이 인가 주파수인 125 Hz의 음압레벨과 제 2 고조파인 250 Hz에서의 상대적인 음압레벨의 차는 40 dB 정도인 것을 알 수 있다. 이 레벨 차를 고조파 의율로 환산하면 1%이며, 이는 소음계 교정시 0.1 dB 이내의 측정오차를 야기시킨다. 고조파 의율은 주파수가 증가할수록 감소하며, 본 연구에서 제작한 표준음원인 경우 250 Hz에서 0.5% 이내로 측정되었다. 시간에 따른 출력음압의 안정성은 측정결과 우수한 것으로 평가되었다.

이상의 결과로부터 표준음원으로 제작된 스피커 시스템의 음향특성은 현재 소음계 교정에 사용되는 주파수 대역인 125 Hz 이상에서는 대체적으로 양호한 것으로 나타났다. 그러나 100 Hz 이하에서는 왜곡특성이 현저히 나빠지기 때문에 저주파 교정을 위해서는 스피커 유닛의 직경이 큰 우퍼(woofer)를 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

### 5.2 교정시스템의 측정 정밀도

측정기기의 오차 및 재현성은 사실상 무시할 수 있으며, 소음계 교정의 주된 오차의 원인은 ① 표준 마이크로폰과 소음계의 교체에 따른 오차, ② 음장 측정용 설비에 의한 반사파의 영향, ③ 소음계의 자기교정오차, ④ 소음계의 지시치 판독에 의한 오차, ⑤ 측정 중 온도 변화에 따른 영향, 등을 들 수 있다.

①은 마이크로폰의 음원 중심이 주파수에 따라 변한다는 것과 측정점에 음향 중심을 위치시킬 수 없다는 것에 기인된다. 이 오차는 현시점에서 정확히

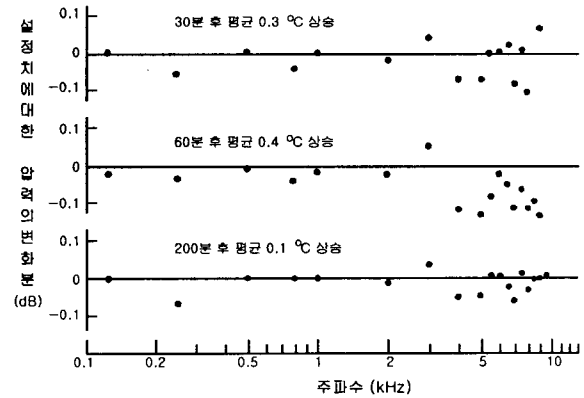


Fig. 9 The effect of temperature variation on the sound pressure

규명하기 어려우나, 실제적으로는 거의 무시할 수 있을 것을 판단된다. ②의 오차는 주로 1 kHz 이상 주파수 대역에서 발생된다. 이 오차를 최소화하기 위해 본 연구에서는 측정 주파수를  $f_0$ 로 했을 때  $f_0$ ,  $f_0(1 \pm 1/25)$ ,  $f_0(1 \pm 2/25)$ 의 5개 주파수에서의 음압레벨을 평균하는 방법을 채택하였다. 재현성 실험 결과로부터 이에 대한 오차는 실제로 0.2 dB 이내로 평가되었다. ③과 ④의 오차는 사람이 개입되기 때문에 0.05 dB 이내의 오차는 피할 수 없다. ⑤의 측정 중에 온도 변화에 따른 영향의 한 예는 Fig. 9와 같다.

그림은 최초의 음압레벨 측정값과 30분 후, 60분 후, 200분 후의 각 음압레벨의 차이를 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 미소한 온도 변화에서도 음압레벨이 변하는 것은 온도에 따라 순음의 파장과 반사파의 영향이 바뀌기 때문이다. 이 오차에 대해서는 앞서 제시한 바와 같이 표준 마이크로폰 및 소음계를 지지하는 장치로부터의 반사파 영향을 평균하여 최소화할 목적으로 주파수 5 점에서 측정값을 구하기 때문에 그림에 나타난 변화분이 그대로 나타나지는 않는다.

이상의 오차요인과 측정 상황을 고려한 결과 소음계의 교정 불확도는 500 Hz~2,000 Hz 주파수 영역에서  $\pm 0.2$  dB 이내, 4,000 Hz에서  $\pm 0.3$  dB, 8,000 Hz에서  $\pm 0.5$  dB 이내로 평가되었다.

Fig. 10은 본 연구에서 구성한 교정 시스템을 이용하여 정밀 소음계(B&K 2231)의 A-특성 주파수 응답을 측정하여 평탄 특성을 함께 나타낸 것이다. 큰 그림은 A-특성을 작은 그림은 평탄 특성을 나타낸다. 큰 그림에 나타난 실선은 기준응답을 그린 것

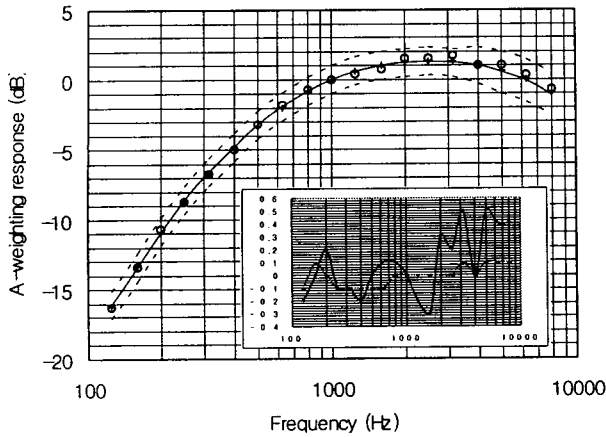


Fig. 10 The examples of calibration results. Symbol ○ : data of free field calibration, symbol + : data of the measurement of filter characteristic. The curve having large variation in the small figure corresponds to the free field experiment, that having small variation corresponds filter characteristics

이고 점선들은 허용차 범위를 나타낸다. 점들은 자동화 시스템을 이용하여 측정된 A-특성 주파수 응답이다. 그림에서 보는 바와 같이 교정 대상 소음계의 주파수 응답은 전 주파수 범위에서 정밀 소음계의 허용오차 범위 이내인 것을 알 수 있다.

### 6. 결 론

본 연구에서는 급증하는 소음계의 교정 물량에 대처하고 효율적인 인력관리를 위해 교정 시스템의 자동화를 꾀하였다. 이를 위해 신호발생기, 디지털 전압계 등이 컴퓨터에 의해 제어되도록 프로그램을 구성하였다.

소음계 교정 자동화 시스템의 성능에 대한 본 연구결과는 다음과 같이 요약 평가될 수 있다.

(1) Searching Algorithm으로 Modified Hybrid-Bisect/Newton-Raphson 방법을 사용한 음장교정

자동화 실험은 표준편차 0.2 dB이내로 우수한 재현성을 갖는다.

(2) 표준음원으로 제작된 스피커 시스템의 음향 특성은 현재 소음계 교정에 사용되는 주파수 대역인 125 Hz 이상에서는 대체적으로 양호한 것으로 나타났다. 그러나 100 Hz 이하에서는 왜곡특성이 현저히 나빠지기 때문에 저주파 교정을 위해서는 스피커 유닛의 직경이 큰 우퍼(woofer)를 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

(3) 오차요인과 측정조건을 고려한 결과 소음계의 교정 불확도는 500 Hz~2,000 Hz 주파수 영역에서 ±0.2 dB 이내, 4,000 Hz 에서 ±0.3 dB, 8,000 Hz 에서 ±0.5 dB 이내로 평가되었다.

지금까지의 연구 결과를 고찰해 볼 때 본 연구에서 수행한 교정 자동화 시스템은 소음계 교정뿐만 아니라 일반 음향 측정에 유용하게 활용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

- (1) 한국측정기기교정협회, 1993, KASTO 96-16-011-098.
- (2) Acoustical Society of America, 1983, ANSI S1.4-1983.
- (3) International Electrotechnical Commission, 1993, IEC Standard 651(1979) and Amend. 1.
- (4) M. Muto et. al, 1982, Bulletin of the Electro-technical Laboratory, 46, pp. 143~150.
- (5) Lixue Wu and George S. K. Wong, 1995, Proceeding of Internoise, 1067~1070.
- (6) 서상준, 조문재, 1989, 한국음향학회지, 8(5), pp. 23~32.
- (7) Paul L. DeVries, 1994, "A First Course in Computational Physics", John Wiley & Sons, Inc.
- (8) L. W. Bean, 1980, Technical note of Appl. Acoust., 13, 151~157.