

# 초기 수직반사음의 역할을 고려한 새로운 명료도 지표

## A new acoustical parameter for speech intelligibility with regard to early vertical reflections

|                  |               |               |             |
|------------------|---------------|---------------|-------------|
| 박종영*             | 한명호**         | 정대업***        | 오양기****     |
| Park, Jong Young | Han, Myung Ho | Jeong, Dae Up | Oh, Yang Ki |

### Abstract

It is known that early reflections, their energy and delay times after the arrival of direct sound are important factors for speech intelligibility. In this basis, acoustical parameters like D50 and C80 had been proposed and are widely used for assessing the listening condition of rooms. These parameters are focused on the fraction of the early energy to the total, regardless of the spatial characteristics of the early reflections. This means that all the early reflections, arrived in certain time boundary, from front, behind, down and upside have the same impact on speech intelligibility.

From the questionable simplicity, the influence of the direction of early reflections on speech intelligibility is examined in this study. A computer simulation speech intelligibility test, conducted for 22 university students, found that the reflection of vertical direction with method of the Paired comparison also the preference of 0.746 degree was visible an increase.

키워드 : 실내음향, 초기반사음, 언어명료도, 쌍대비교, 가청화

Keywords : Room Acoustics, Early Reflection, Speech intelligibility, Paired comparison, Auralization

### 1. 서론

초기반사음의 존재, 그리고 직접음에 대한 지연 시간과 에너지 등이 음성이나 음악의 명료한 청취에 중요한 영향을 미친다는 사실이 많은 실험 및 연구들에 의하여 밝혀져 왔다.

이러한 연구 결과를 바탕으로 건축 공간의 명료도를 정량화할 수 있는 평가지표로서 D<sub>50</sub>, C<sub>80</sub> 등이 제안되어 현재까지 널리 활용되고 있다. 이들 평가지표는 직접음 도달 후 50msec와 80msec 까지의 지연시간을 경계구간으로, 그 이전과 이후의 음에너지 비율을 평가하는데 초점을 맞추고 있다. 그러나 이러한 지표는 실내음향의 공간적인 요인들을 무시한 채 반사음 에너지의 시간적인 분포만을 감안하여 명료도를 평가하는 것이다. 즉 청취자의 앞쪽(음원의 위치)이나 옆, 뒤쪽에서 도달하는 방향 성분과 관계없이 일정 시간 한계 내에 도달하는 초기반사음

은 모두 동등한 정도의 중요도로 평가할 수 밖에 없는 한계를 갖고 있다. 이러한 지표를 활용한 평가는 명료도가 중요한 공간의 음향 설계에 있어, 초기반사음의 지연 시간을 짧게 할 수 있는 반사면의 “위치”에 비해 도달 방향에 간여하는 반사면 “형태”의 중요도를 간과하게 하는 결과를 초래한다.

본 연구는 현재 사용되고 있는 명료도 지표의 한계에 대한 이러한 의문으로부터 출발하여 초기반사음의 방향이 명료도에 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 하는 데 목표를 두고 있다. 초기반사음의 방향이 명료도에 미치는 영향을 검증하기 위해서는 대상공간의 제어가 필요하다. 그러나 실제 공간에서 얻은 데이터로는 공간의 제어에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에는 초기반사음의 방향 이외의 명료도에 영향을 미칠 수 있는 음향적 변수를 제어하기 위하여 건축음향 시뮬레이션 프로그램인 Catt Acoustic 7.2를 사용하여 모든 조건은 동일하고 초기반사음의 방향이 다른 시험음원을 제작하였다. 이러한 방법으로 초기 반사음의 다양한 방향 성분이 포함되어 제작된 음원을 청취시험의 방법 중 의견시험을 사용하여 쌍대비교함으로써 명료도에 미치는 초기반사음의 영향을 파악하고자 하였다.

\* 주저자, 목포대학교 대학원 석사과정  
 \*\* 목포대학교 친환경건축연구센터 전임연구원  
 \*\*\* 전북대학교 공과대학 건축공학과 교수  
 \*\*\*\* 교신저자, 목포대학교 건축학과 교수 ([oh@mokpo.ac.kr](mailto:oh@mokpo.ac.kr))

이 연구는 한국학술진흥재단의 지역대학우수과학자지원사업(R05-2003-000-11888-0)에 의한 연구 결과입니다.

**2. 명료도 지표**

**2.1 시간변화에 따른 명료도지표**

**2.1.1 D<sub>50</sub>**

Hass(1972)는 그의 연구논문을 통하여 30msec이내의 반사음은 직접음과 동일시되며, 지연시간이 40msec을 초과하는 반사음은 직접음과 또렷하게 분리되어 지각된다는 것을 밝혀냈다. 또한 인간의 청각은 대략 35msec 이내에 도달하는 반사음들을 직접음과 융합하여 직접음을 보강하는 것으로 설명하고 있다.<sup>1)</sup>

Thiele(1953)는 직접음 도달 후 50ms까지의 에너지(직접음 에너지)에 착안하여 직접음과 전체 에너지와의 비를 취해, Deutlichkeit (Definition, 명료도)라고 하는 명료도 지표 D<sub>50</sub>을 아래의 식과 같이 정의 하였다.<sup>2)</sup> 이 파라미터는 단순한 개념에도 불구하고 청취 감각과의 대응이 상당히 뛰어나기 때문에 아직까지도 명료도를 평가하는 중요한 지표로 활용되고 있다.

$$D_{50} = \int_0^{50ms} p^2(t)dt / \int_0^{\infty} p^2(t)dt (\%)$$

**2.1.2 C<sub>80</sub>**

앞의 D<sub>50</sub>과 유사하지만 콘서트홀에서의 음악에 대한 명료도를 나타내기위해 Reichardt는 가장 짧은 연주음의 길이와 악기연주시 경과음의 길이에 대한 세밀한 관찰을 토대로 음악의 명료성을 보완해주는 반사음의 범위를 80ms으로 보고 파라미터로서 C<sub>80</sub>을 제안하였다..<sup>3)</sup> D<sub>50</sub>이 50ms의 기준시간을 갖는데 비해 C<sub>80</sub>은 80ms을 지연시간의 한계로 사용하는데 이는 음악당에서는 반사가 회화음에서보다 덜 인지되기 때문에 이런 차이가 있다.

$$C_{80} = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t)dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t)dt} (dB)$$

**2.1.3 Ts (Center Time)**

Kurer가 제안한 Ts(Center Time)은 음의 초기감쇠 성상을 나타내는 양으로 시간에 따른 음압의 감쇠 곡선에 있어서 전체 면적에 대한 음의 중심을 대표하는 값이다.<sup>4)</sup>

1) H. Hass "The Influence of a Single Echo on the Audibility of speech", J. Andio. Eng. Soc. 20, pp.146-159.(1972)  
 2) Thiele, R., "Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallrueckwurfe in Raumem," Acoustica, 3, 291-302,(1953)  
 3) W. Reichardt, O. Abdel Alim, and W. Schmidt, "Definition and basis of making an objective evaluation to distinguish between useful and useless clarity defining musical performances," Acustica 32, 126-137 (1975)  
 4) R. Kürer, "Zur gewinnung von eizahlkriterien bei

즉 감쇠 곡선에서의 무게중심으로 생각해도 되며, 임펄스 응답 에너지의 무게중심을 나타낸다. Ts값이 작을수록 음의 중심이 초기에 있으므로 요해도가 상대적으로 높아진다.

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} tP^2(t)dt}{\int_0^{\infty} P^2(t)dt} (ms)$$

**2.2 음원의 왜곡 정도에 의한 명료도지표**

**2.2.1 AI (Articulation Index)**

음성전달 시스템의 성능을 물리적인 지표로 나타내고자 하는 시도는 1947년 제안된 명료도 지수(Articulation Index)<sup>5)</sup>로부터 비롯된다. 닫힌 공간내에서 압소음이 대화시 영향을 주는 정도를 분석하는 기법으로 특히 명료도 지수는 음성전달성능의 정량적 평가를 위한 기능 이외에도 건축물 음향 환경의 스피치 프라이버시 정도를 예측하는 수단으로 사용된다. 이 지수는 음성전달 성능을 좌우하는 많은 인자 중 대부분은 청취자의 귀에 도달하는 신호음과 소음의 특성으로 설명할 수 있다는 가정에서 출발하고 있다. 기본적인 계산방법은 신호대 잡음비(S/N Ratio)의 값에 비례하며 결과값은 최소 0, 최대 1의 값을 가지고 있으며 명료도 값과 주관적 평가와의 상관관계는 표1 과 같다.<sup>6)</sup>

표 1. 명료도 값과 주관적 평가와의 상관관계

|       |                |             |
|-------|----------------|-------------|
| AI 범위 | AI ≤ 0.2       | 대화 불가능      |
|       | 0.2 ≤ AI ≤ 0.5 | 대화의 최소경계 양호 |
|       | 0.5 ≤ AI ≤ 0.6 | 상대적으로 양호    |
|       | AI ≤ 0.7       | 대단히 우수함     |

**2.2.2 STI(Speech Transmission Index)**

음성전달지수 STI(Speech Transmission Index)는 실내 공간에서 음성신호음의 요해도를 떨어뜨리는 주된 요인을 원음의 왜곡 때문인 것으로 판단하고, 그 왜곡의 정도를 측정함으로써 요해도의 양·부를 판단하고자 한 실험적인 척도이다.<sup>7)</sup>

STI 측정원리는 음성을 모의한 100% 변조파를 실내에

impulsmessungeg in der raumakustik", Acustica, 21(1969)  
 5) ANSI E 1130-02 Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy in Open Offices Using Articulation Index (1947)  
 6) ANSI S 3. 5 Methods for the Calculation Articulation Index (1969)  
 7) Steeneken, H.J.M. and Houtgast, T. "A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria," Institute for Perception TNO, Soesterberg, the Netherlands. (1984).

방사하여 외견상 낮은 신호대잡음비(Signal-to-Noise Ratio)에 상당하는 변조과 MTF(Modulation Transfer Function)의 저하를 측정하여 STI 척도를 계산한다. 음성 전달지수는 입력신호음의 7개 대역의 가청 주파수와 14개 변조 주파수의 두 변수에 의해 구해지는 신호대잡음비의 개념이며, 실험의 조건에 따라 여러 가지 변형이 있다. 그 중 가청 주파수 대역을 음성신호음의 대표적 대역인 500Hz와 2kHz의 두 가지로 한정하고, 각각에 대하여 4개 및 5개의 변조주파수로 한정하여 측정한 결과가 RASTI이다. RASTI는 Houtgast와 Steeneken이 STI(Speech Transmission Index)를 단순화해서 개발한 지수로서 실내에서 음성의 전달에 따른 이해도(Speech Intelligibility)를 나타내는 주관적 척도로서 실내의 배경소음(Background Noise)을 고려한 지수이다. RASTI는 임펄스 응답으로부터 계산이 가능하며 그 결과의 평가 기준은 아래의 표2 와 같다.

표 2. RASTI 값과 명료도와와의 관계

| RASTI(%) | 평가척도                   |
|----------|------------------------|
| 0-32     | Bad (전혀 알아듣지 못함)       |
| 32-45    | Poor (잘 알아듣지못함)        |
| 45-60    | Fair (노력하면 들을 수 있음)    |
| 60-75    | Good (잘 들림)            |
| 75-100   | Excellent (아주 편안하게 들림) |

### 2.2.3 %ALCons(Articulation Loss of Consonants)

%AL<sub>Cons</sub>는 자음 명료도 손실이라고 불리며 네덜란드의 Peutz가 1971년 고안한 방법<sup>8)</sup>으로 단음절이나 무의미한 음절로 구성된 소리를 들었을 때 정확히 알아들은 단위의 비율을 백분율로 나타낸 것이다. Peutz는 무지향성 스피커를 음원으로 하는 자음 명료도의 실험에서 명료도 손실은 음원에서 거리가 멀수록 증가하는 직접음과 잔향음의 에너지가 같아지는 거리(dc) 이상에서는 명료도 손실이 일정하다는 사실을 알아냈다. 여기서, 자음(Consonant)의 조음 손실도는 최대 15%가 허용치이며, 이러한 %AL<sub>Cons</sub> 자료는 현재 명료도 측정방법으로 자주 이용되는 RASTI값으로도 변환하여 사용할 수 있다. 그는 언어를 구성하고 있는 음절구조에서 자음이 정확히 들리는 것이 명료도의 결정적인 요인으로 정의하고 있다. %AL<sub>Cons</sub>를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\%AL_{Cons} = \frac{200 \cdot d^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot Q}$$

### 2.3 명료도 지표의 한계

현재 실내음향 평가에 사용되는 모노성 충격응답(Impulse Response)을 통해 알 수 있는 정보는 잔향시간(RT : Reverbration Time), 명료도(D<sub>50</sub>, C<sub>80</sub>), Ts(Center Time), 등이 있다. 또한 물리적인 파라미터에 의한 명료도지표인 AI(Articulation Index), STI(Speech Transmission Index)와 %AL<sub>Cons</sub>(Articulation Loss of Consonants)등이 있다. 이들 지표는 음성전달의 상태를 나타내는 지표로서 명료도의 특성의 상당한 부분을 표현할 수 있다. 하지만 주어진 공간에서의 음향적 경험은 3차원적인 것이므로 시간변화나 신호대잡음비(Signal-to-Noise Ratio)등을 통한 음성전달의 상태를 표현하는 지표가 갖는 예측력이나 평가결과는 실제 3차원 공간에서의 명료도와 관련한 음향적 경험과는 상당한 차이가 있을 수 있다<sup>9)</sup>. 이러한 시간에 따른 직접음과 잔향음 에너지비와 신호대잡음비등은 실내음의 방향성, 음장의 확산성 등을 쉽게 지표화가 가능하지만, 3차원적인 공간 정보를 가지고 있지 못하다는 단점을 가지고 있다.

## 3. 가청화(Auralization) 음원에 의한 청취시험

### 3.1 컴퓨터 시뮬레이션 및 가청화(Auralization)

건축음향에서는 콘서트홀의 음향 설계에 컴퓨터를 사용하는 CAD(Computer Aided Design)의 연구가 오래 전부터 진행되어 왔다. 자연적인 흐름으로서 이 음향 설계용 CAD 기술을 사용하여 콘서트홀의 음장을 다른 장소에서도 재현하는 음장 시뮬레이션으로 발전되고, 진화되고 있다. CAD에서 음장 시뮬레이션으로의 진화는 완성된 후의 콘서트 홀의 음을 설계 단계에서 들을 수 있는 음장 가청화(Auralization)의 요구의 원동력이 되었다. 이 요구는 음향 설계자뿐만 아니라 최근에는 음향 설계 중에서 중요한 위치를 차지하고 있다.

임펄스 응답을 컴퓨터에 의해 계산하거나 실제 측정에 의해 구하여 시뮬레이션한 임펄스 응답이 실제로 어떻게 들리는가, 즉 음으로 평가·판단하는 것이 가청화이다. 임펄스 응답의 가청화를 위하여 현재 사용되고 있는 수많은 스피커에 의한 멀티채널 재생과 헤드폰이나 스피커를 이용한 2채널 재생 방법이 있다.

헤드폰을 이용한 2채널 재생의 경우 좌우 두 귀 임펄스 응답(Binaural Impulse Response : BIR)을 계산과 측정에

8) Peutz, V.M.A., "Articulation loss of consonants as a criteria for speech transmission in a room," J. Aud. Eng. Soc. 19, 12, December (1971)

9) 정대업 · 오양기 · 주현경 "초기반사음의 도달방향과 지연시간이 명료도에 미치는 영향에 관한 연구", 대한건축학회논문집 제18권 1호 203-208.(2002)

의해서 구하는 방법은<sup>10)</sup>

- ① 음원에서 좌우 두 귀까지의 BIR을 원 음장에서 직접 구하는 방법
- ② 수음 점을 중심으로 한 여러 방향의 임펄스 응답과 각 방향에서 좌우 두 귀간의 응답이 종속으로 연결되어 있다고 생각하는 방법

### 3.2 청취시험에 의한 명료도 평가

#### 3.2.1 명료도 시험

명료도 시험은 직접적이고 유익한 정보를 제공하는 실내음향 지표 중 하나이다. 또한 실내공간의 음향전달특성을 정량화하기 위한 시도로서 가장 먼저 개발된 방법이기도 하다. 대개 100개 내지 500개 정도의 표준음절을 정하여 발성자의 발성내용을 받아 적도록 하는 방법을 취하고 있다. 미국국립규격은 실제의 단어를 사용하여 발성자, 청취자들의 시험 참여인원을 훈련시킨 후 받아적는 방법을 취하고 있다. 또한 일본의 명료도 시험은 단음절, 연음절 및 3연음절로 이루어진 100음절로 구성된 표준음절표를 사용한다. 녹음된 발성 테이프를 이용하여 여러명의 청취자들이 청취조건을 바꾸어가며 청취시험을 진행한다.

#### 3.2.2 의견시험(Opinion TEST)

음성의 충실도를 평가하는 시험으로 요해도나 명료도 시험은 전달된 음성을 듣는 청취자들의 능력을 측정하고자 하는데 기본을 두고 있다. 그러나 요해도 및 명료도 시험은 서로 다른 매개수단을 적용하여도 그 분별의 크기가 크지 않은 경우가 많아 비슷한 정도의 반응을 나타내는 음성전달시스템들의 분별을 주관적 인자에 대한 청취자들의 의견이나 판단으로 해결하자는 것이 의견시험의 방법이다. 의견시험은 청취자들의 주관적인 음성청취 감각을 반영 할 수 있다는 장점이 있다.

#### 3.2.3 쌍대비교에 의한 선호의 척도화<sup>11)</sup>

회화, 음악, 식품의 맛, 향수의 냄새, 의복의 촉감, 차량의 승차감, 용모의 아름다움 등에 따라서, 다수의 물리적 속성이 복합된 대상을 물리·화학적 척도로 측정하고, 적절하게 표현하는데 어려운 경우가 많다. 이러한 대상의 특정 차원에의 감각의 크기, 예술가치의 대소, 쾌·불쾌의 비율, 좋아하는 정도 등을 조사할 필요가 있는 경우, 다수의 대상을 한번에 비교하는 것은 어렵더라도 2개씩의 쌍을 만들고, 쌍으로 하여 비교하면 용이하게 된다. 이러한 쌍을 만들어 비교하는 수순을 쌍대비교법(Method of Paired Comparison)이라 한다.

## 4. 청취시험

### 4.1 청취시험용 음원의 제작

초기반사음이 명료도에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 영향을 미치는 변수를 초기반사음의 도달방향으로 제한하여야 한다. 하지만 실제공간에서 얻은 정보를 이용하기에는 변수에 제어에 따른 어려움이 크다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 가청화를 이용한 청취시험을 실시하였다. 청취 시험의 방법은 의견시험방법을 사용하였으며 시험의 분석은 쌍대비교법을 이용한 통계의 방법을 사용하였다.

#### 4.1.1 시뮬레이션 대상 공간 및 음원의 배치

대상공간의 음원 이외의 반사음을 제거하고자 완전흡음이 되는 무향실 즉 자유음장 공간으로 시뮬레이션 하였다. 명료도에 영향을 미치는 변수를 초기반사음의 도달방향으로 한정하고자 시험용 음원제작 시뮬레이션 대상공간을 그림 1과 같은 구형으로 가정하였다. 실제로는 음원으로부터 수음정에 도달하는 직접음이 각 방향의 초기반사음에 해당되는 상황을 재현한 것이다. 자유음장이므로 실제 공간의 형태가 시뮬레이션의 결과에 영향을 미치지 않는다. 시뮬레이션 된 3차원 모델 대상공간의 건축정보와 단이지표(Monaural Index)특성은 표3과 표4와 같다.

표 3. 3차원 모델 대상공간의 건축정보

| V(m <sup>3</sup> ) | Lx(m) | Ly(m) | Lz(m) | S(m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| 467                | 5     | 5     | 5     | 304                |

표 4. 시뮬레이션 대상공간의 단이지표 특성

| 주파수대역<br>음향지수        | 125               | 250  | 500  | 1k                    | 2k   | 4k   |
|----------------------|-------------------|------|------|-----------------------|------|------|
| T <sub>30</sub> [s]  | 0.15              | 0.15 | 0.15 | 0.15                  | 0.15 | 0.15 |
| E <sub>yrT</sub> [s] | 0.06              | 0.06 | 0.06 | 0.06                  | 0.06 | 0.06 |
| SabT[s]              | 0.26              | 0.26 | 0.26 | 0.26                  | 0.26 | 0.25 |
| AbsF[%]              | 99                | 99   | 99   | 99                    | 99   | 99.0 |
| SPL[dB]              | 82.2              | 82.2 | 82.2 | 82.1                  | 82.1 | 82.1 |
| C <sub>80</sub> [dB] | 64.3              | 64.3 | 64.3 | 64.4                  | 64.5 | 65.1 |
| D <sub>50</sub> [%]  | 100               | 100  | 100  | 100                   | 100  | 100  |
| RASTI                | RASTI             |      |      | With Background Noise |      |      |
|                      | 100.0 (EXCELLENT) |      |      | 100.0 (EXCELLENT)     |      |      |
| STuser               | STuser            |      |      | With Background Noise |      |      |
|                      | 99.9 (EXCELLENT)  |      |      | 99.9 (EXCELLENT)      |      |      |

10) 강성훈, 강경옥. "입체음향" 기전연구사(1997)

11) 心理學實驗指導研究會編, 實驗とテスト-心理學の基礎一, 實習編, pp.78~82, p.166, p.173~175,(1983)

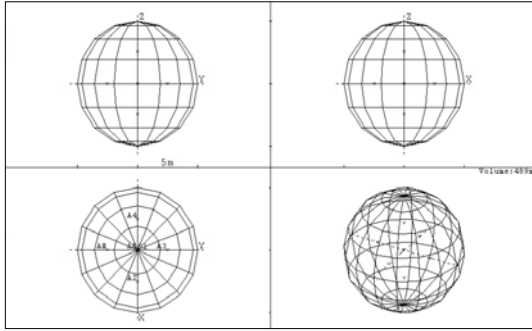


그림 1. 시뮬레이션 대상 공간 및 가상음원배치

청취시험용 음원은 직접음을 가정한 수음점 정면의 음원과 초기반사음을 가정한 지연시간과 위치가 다른 음원으로 구성된다. 직접음을 가정한 음원은 구의 중심에서 구의 반지름의 절반인 2.5m를 이격하여 수음점 정면방향을 지향하게 배치하였다. 초기반사음의 방향성을 주기 위해 초기 반사음을 가정한 음원의 위치는 구의 중심을 반경으로 하여 90도 간격으로 구분하여 중심점에서 2.5m 이격 후 정면, 좌측, 후면, 우측, 상부, 하부의 6방향 위치에서 수음점을 지향하도록 배치하였다. 직접음인 정면(A0)를 제외한 나머지 6방향의 음원은 초기반사음의 지연시간을 가정하여 현재 사용되는 D<sub>50</sub>의 명료도지표의 값이 50%로 중간값을 보이는 51ms의 지연시간을 주었다. 또한 초기반사음의 효과를 높이기 위하여 직접음원과 같은 크기의 레벨을 주었으며 직접음을 가정한 음원과 6방향의 초기반사음을 가정한 음원이 각각 2음원씩 쌍을 이뤄 총 6개의 초기반사음 방향에 따른 음원이 시뮬레이션되었다.

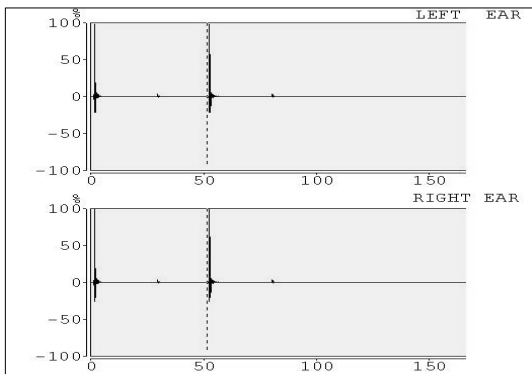


그림 2. 직접음(A0), 초기반사음(A1) Impulse Response

#### 4.1.2 Convolution 음원선정

Convolution될 음원은 국어정보베이스의 PBS (Phonetically Balanced Sentence) 음원을 사용하였다. 국어정보베이스의 PBS 음원 제작은 시스템공학연구소(SERI)의 한국어정보처리연구부에서 각 장르별로 균형 있게 구성하여 구축한 100만 어절의 한국어 텍스트 코퍼스에서 PBS 추출의 모집단으로 사용할 10,000문장을 추출하고,

여기에서 엔트로피를 최대를 하는 처리를 거쳐 589문장을 선정한다. 선정된 589문장에서 50문장의 공동세트를 선택, 나머지 539문장을 5개의 개별세트로 나누어 녹음된 음원이다. 음성은 방송 부스에서 Senheizer HMD224X를 사용하여 녹음 하였으며, 발생된 데이터는 디지털 오디오 테이프에 저장되었다. A/D는 Sun Workstation Sparc 20 환경에서 실시하였으며, AD/DA Module은 DAT-Link+를 사용하였다. 그리고 PBS음원은 16 kHz로 sampling하고 16 Bits로 양자화 되어있다. 이러한 방법으로 제작된 20대 여성발성자의 ‘이후 새로운 학교 교육 제도의 도입으로 국어가 정식 과목이 되었다.’는 6초의 문장을 Convolution 음원으로 선정하였다.<sup>12)</sup>

#### 4.2 청취시험 대상 및 방법

청취시험은 현재 대학에 재학 중인 건축학 전공자 22명을 무작위로 선발하여 테스트 하였으며 시험에 참여할 피험자는 청력과 관련된 병력이 없으며, 정상적인 청력을 소유한 것으로 보고되었다. 남여 성비율은 남자 12명 여자 10명이며 피험자들의 연령은 20-30(평균 25세)이다. 청취시험은 쌍대비교에 의해 명료도를 통계적으로 분석할 수 있도록 계획되었다. 이를 위해 시험의 방법은 청취시험을 위해 제작한 웹 홈페이지에서 Wave 재생 프로그램(윈도우 미디어 플레이어)을 사용하여 초기반사음의 방향이 각각 다른 2가지 음원을 청취 후 두가지 음원 중 명료하다고 느끼는 음원을 선택하도록 하였다.

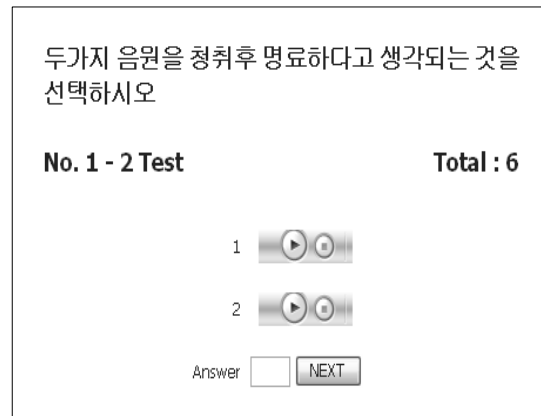


그림 3. 청취시험 제공 문항

총 6종류의 초기반사음의 방향이 다른 이들 음원은 총 15가지의 조합을 이루고 랜덤하게 제공되었으며 피험자의 의지에 따라 재생하고 재생횟수에 제한을 두지는 않았다. 청취시험 음원은 시뮬레이션 Convolution 계산에 사용한 AKG K240DF의 헤드폰을 통하여 재생되었으며, 재생레벨은 65dB(A) 정도를 유지하도록 조절되었다.

12) 국어정보베이스PBS시스템(<http://kibs.kaist.ac.kr/beginner/vbase.htm>)



그림 4. 청취시험 장면

### 4.3 청취시험의 결과

#### 4.3.1 쌍대비교법에 의한 분석

##### 1) 청취시험 대상자의 판정의 일관성

표5는 청취시험 대상자 전체의 쌍대비교 결과를 정리한 표이다. 표의 행렬의 한 요소인  $X_{ij}$ 는  $i$ 방향의 초기반사음의 방향과  $j$ 방향의 초기반사음의 조합에 대한 비교평가를 나타낸다. 이때  $i$ -번째의 행의 초기반사음 방향에 음원을  $j$ -번째 열의 방향의 비해 명료하다고 느꼈다면 1의 수를 대입하고 명료하지 않게 느꼈다면 0의 수를 대입한다. 일반적으로 평가쌍은 비교순서가 일정하지 않을 경우  $t(t-1)/2$ 의 쌍으로 조합하는데, 본 연구의 청취음원이 6게임으로 15개의 조합을 쌍으로 평가하였다. 표5에서 각행의 합은 다른 초기반사음 방향의 음원에 대해 해당 초기반사음 방향의 선호 개수를 나타낸다.

표 5. 청취시험 선호도 득점 결과

|       | A1 정면 | A2 좌측 | A3 후면 | A4 우측 | A5 상부 | A6 하부 | Total (ai) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| A1 정면 |       | 13    | 7     | 12    | 11    | 9     | 52         |
| A2 좌측 | 9     |       | 6     | 10    | 4     | 7     | 36         |
| A3 후면 | 15    | 16    |       | 10    | 7     | 12    | 60         |
| A4 우측 | 10    | 12    | 12    |       | 9     | 9     | 52         |
| A5 상부 | 11    | 18    | 15    | 13    |       | 14    | 71         |
| A6 하부 | 13    | 15    | 10    | 13    | 8     |       | 59         |

개인별 답변의 일관성을 보기위해 순환삼각형(d)의 개수를 파악하였다. 순환삼각형이란  $A > B$ 이고  $B > C$ 라고 평가했다면  $A > C$ 라고 평가해야 일관성이 있다고 보는데  $C > A$ 의 경우가 발생했을 때의 수이다.  $d=0$ 의 경우 피험자의 개인의 시험결과는 완전히 일관성을 보인다고 판단할 수 있다. 이러한 d 값을 통해 각 대상자의 평가능력을 나타내는 일관성계수(coefficient of consistency)  $\xi$ 를 얻을 수 있다.  $\xi$ 값은 판정이 일관되면 1, 반대로 전혀 일관하지 않으면 0이다.

표 6. 청취대상자의 일관성계수 및 d값

| d     | 0 | 1     | 2    | 3     | 4   |
|-------|---|-------|------|-------|-----|
| $\xi$ | 1 | 0.875 | 0.75 | 0.625 | 0.5 |
| 피험자수  | 6 | 4     | 9    | 3     | 0   |

표6은 총 피험자 22명의 청취시험에 대한 판정능력을 나타내는 d(순환삼각형)의 수 및  $\xi$ (일관성계수)를 나타내었다. k(비교대상수)가 6인 경우  $d \leq 1$ 이면 평가의 일관성을 보인다고 할 수 있다.(유의수준 5%) 즉 청취시험에 참여한 평가자 22명 가운데 10명이 95%이상의 신뢰도로 일관적인 판정을 내렸다고 할 수 있다.

##### 2) 초기반사음의 방향에 대한 시험의 일관성

자유도  $\nu$ 를 시험대상자수와 비교대상의 수에서 구한다음 통계적 검정인  $\chi^2$ -검정을 한다. 본 시험의 분석결과 자유도( $\nu$ )=17.325  $\chi^2=31.025$ 로 자유도( $\nu$ )를 17로 산정하고 유의수준 5%  $\chi^2$ 의 값은 27.587으로 본시험의 결과값 보다 작다. 따라서 본 시험의 비교대상인 초기반사음의 방향에 따른 전체적인 피험자들의 선호도 유의수준은 통계적인 신뢰성이 검증되었다고 할 수 있다.

## 5. 초기반사음 도달방향에 따른 명료도

### 5.1 기존 명료도지표의 한계

초기반사음의 도달방향에 따른 현재 사용되는 명료도 지표 한계 검증에 위해 대상공간의 시뮬레이션의 결과값을 청취시험한 결과값과 비교해 보았다. 표7과 같이 현재 사용되고 있는 명료도 지표값의 변화는 없었다. 하지만 청취시험의 결과 초기반사음의 도달방향에 따른 명료도의 차이를 볼 수 있어 있어 현재 사용되는 지표는 실제 3차원공간인 실내음향의 명료도지표로서의 한계가 있음을 알 수 있다.

표 7. 명료도 지표 시뮬레이션 결과 값

| 초기 반사음 도달방향 | 명료도지표    |               |            |           |
|-------------|----------|---------------|------------|-----------|
|             | $D_{50}$ | $C_{80}$ (dB) | $T_s$ (ms) | RASTI (%) |
| A1 정면       | 50       | 52.7          | 25.5       | 73.4      |
| A2 좌측       | 50       | 52.7          | 25.5       | 73.4      |
| A3 후면       | 50       | 52.7          | 25.5       | 73.4      |
| A4 우측       | 50       | 52.7          | 25.5       | 73.4      |
| A5 상부       | 50       | 52.7          | 25.5       | 73.4      |
| A6 하부       | 50       | 52.7          | 25.5       | 73.4      |

### 5.2 초기반사음의 도달방향에 따른 명료도

수직면의 도달하는 초기반사음의 성분이 명료도에 큰

영향을 미친다는 선행연구와 같이 표8과 그림5에서 나타  
나듯 수직방향의 초기반사음 성분이 명료도에 영향을 주  
는 것이 입증되었다.

표 8. 초기반사음 도달방향에 따른 선호도 순위

|          | A1<br>정면 | A2<br>좌측 | A3<br>후면 | A4<br>우측 | A5<br>상부 | A6<br>하부 | 척도치    | 순위 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----|
| A1<br>정면 |          | 0.4902   | -0.3186  | 0.3186   | -0.3186  | -0.1586  | 0.002  | 4  |
| A2<br>좌측 | -0.4902  |          | -1.5382  | 0.1586   | -1.5382  | -0.8890  | -0.716 | 6  |
| A3<br>후면 | 0.3186   | 1.5382   |          | 0.3186   | -1.1503  | -0.1586  | 0.144  | 3  |
| A4<br>우측 | -0.3186  | -0.1586  | -0.3186  |          | -1.1503  | -1.1503  | -0.516 | 5  |
| A5<br>상부 | 0.3186   | 1.5382   | 1.1503   | 1.1503   |          | 0.3186   | 0.746  | 1  |
| A6<br>하부 | 0.1586   | 0.8890   | 0.1586   | 1.1503   | -0.3186  |          | 0.340  | 2  |

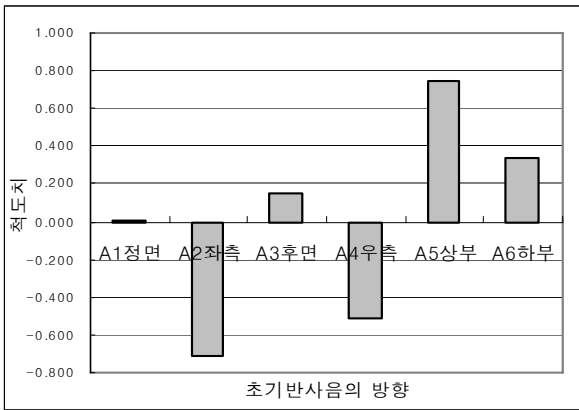


그림 5. 초기반사음의 도달방향에 따른 선호도 순위

또한 척도치의 최고점을 기록한 상부방향의 초기반사음  
성분이 최저점인 좌측방향의 초기반사음성분보다 2배정  
도 명료함을 기록하였다. 이는 명료도의 향상을 위해서는  
수직방향의 초기반사음의 성분을 더 고려해야 한다는 것  
을 나타내는 결과이다.

### 5.3 초기 수직반사음의 역할을 고려한 새로운 명료도 지표

초기 수직반사음은 청취자의 전면 혹은 윗면으로부터  
도달하더라도 좌/우측의 수평 방향으로부터 도달하는 초  
기반사음에 비해 음성의 명료도에 중요한 역할을 한다는  
점이 검증되었다. 그러나 초기 반사음의 에너지 비율에  
의해 명료도를 정량화하고자 하는 기존의 명료도 지표에  
는 이러한 초기반사음의 방향에 따른 기여 정도가 전혀  
감안되어 있지 않다. 따라서 초기 수직반사음이 명료도에  
미치는 긍정적 역할을 고려한 새로운 명료도 지표가 필  
요하다. 이 새로운 명료도 지표는 전체에 대한 초기 음에  
너지의 비율 뿐 아니라, 초기 반사음의 에너지에서 수직

방향과 수평방향 성분이 차지하는 비율도 함께 감안되는  
것이어야 한다. 따라서 기존의 명료도지표인 초기음에너  
지비율(D50)에 전체 음에너지중 수평 방향의 음에너지비  
율을 계산하는 음향 파라미터인 수평음에너지비율(Lateral  
Energy Fraction, LEF)의 개념을 추가하는 다음과 같은  
새로운 명료도 지표가 사용되는 것이 바람직하다.

$$\text{Spatially Weighted D50} = \text{D50} \times (1 - \text{LEF}_{50})$$

여기에서, Spatially weighted D50은 초기반사음의 수직  
방향 성분의 역할이 가중된 새로운 명료도지표를 뜻하며,  
LEF<sub>50</sub>은 50ms 이내의 반사음에너지에 대해서 전체에 대  
한 수평방향 초기반사음에너지의 비율을 뜻하는 것이다.  
결국, 초기수직음에너지비율(1 - LEF<sub>50ms</sub>)은 명료도에 긍  
정적인 역할을 하는 초기 수직반사음 성분을 말하는 것  
으로, 이 값이 크면 수직반사음 성분이 많음을 뜻하며 같  
은 초기음에너지비율(D50)의 조건에서도 수평반사음이  
많은 경우보다 더 바람직한 명료도 지표 값으로 평가되  
어질 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 초기반사음의 공간성분의 변화가 음성명  
료도에 미치는 영향을 검증하기 위하여 건축음향 시뮬레  
이션프로그램을 이용하여 초기음에너지비율(D50) 등의  
명료도 지표 값은 동일하나, 각 초기반사음의 도달 방  
향을 달리한 음원을 제작하여 청취시험을 수행하였다. 시험  
결과 동일한 초기음에너지비율의 조건 하에서도 초기반  
사음의 도달 방향 변화에 따라 명료함에 분명한 차이를  
느끼는 것으로 드러났다. 특히 좌우 방향의 수평반사음에  
비하여 전후상하의 수직방향 반사음이 크게는 두 배 정  
도까지 명료하게 인지됨을 밝혀냈다.

이러한 근거에서 반사음의 방향 성분에 무관하게 시간  
에 따른 음에너지의 집중도만을 평가하는 기존의 초기음  
에너지비율(D50) 지표를 초기반사음의 주된 도달 방향까  
지 고려하는 새로운 명료도 지표(Spatially weighted  
D50)로 대체할 것을 제안하였다. 이 새로운 명료도 지표  
는 초기수직음에너지비율(1-LEF50)을 초기음에너지비율  
(D50)의 가중 요인으로 감안하여 좀 더 세밀한 명료도  
평가 결과를 만들어낼 수 있도록 하자는 근본 취지를 담  
고 있다. 그러나 현재로서는 이 새로운 명료도 지표는 논  
리적, 실증적 근거에 바탕을 둔 하나의 제안일 뿐이다.  
향후 이 새로운 명료도 지표가 정량적인 타당성을 획득  
하기 위해서는 향후 다양한 상황에서의 적용 사례에 대  
한 연구가 뒷받침됨으로써, 실제 공간의 청취 조건을 평  
가하는 데 기존의 명료도 지표보다 더 정확한 결과를 제  
시할 수 있다는 점이 검증되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. H. Hass "The Influence of a Single Echo on the Audibility of speech", J. Audio. Eng. Soc. 20, pp.146-159.(1972)
2. Thiele, R., "Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallruckwürfe in Raumen," Acoustica, 3, 291-302,(1953)
3. W. Reichardt, O. Abdel Alim, and W. Schmidt, "Definition and basis of making an objective evaluation to distinguish between useful and useless clarity defining musical performances," Acustica 32, 126-137 (1975)
4. R. Kürer, "Zur gewinnung von eizahlkriterien bei impulsmessung in der raumakustik", Acustica, 21(1969)
5. ANSI E 1130-02 Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy in Open Offices Using Articulation Index (1947)
6. ANSI S 3.5 Methods for the Calculation Articulation Index (1969)
7. Steeneken, H.J.M. and Houtgast, T. "A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria," Institute for Perception TNO, Soesterberg, the Netherlands. (1984).
8. Peutz, V.M.A., "Articulation loss of consonants as a criteria for speech transmission in a room," J. Aud. Eng. Soc. 19, 12, December (1971)
9. 정대업 · 오양기 · 주현경 "초기반사음의 도달방향과 지연시간이 명료도에 미치는 영향에 관한 연구", 대한건축학회논문집 제18권 1호 203-208.(2002)
10. 강성훈, 강경옥. "입체음향"기전연구사(1997)
11. 心理學實驗指導研究會編, 實驗とテストー心理學の基礎一, 實習編, pp.78~82, p.166, p.173~175,(1983)
12. 국어정보베이스PBS시스템(<http://kibs.kaist.ac.kr/beginner/vbase.htm>)