Journal of KIAEBS Vol.11, No.4, August pp. 295-304



- 글자모양 : 나눔고딕, 17pt, 장평 100%, 자간 –9%

- 문단모양 : 줄간격 130%, 왼쪽정렬, 최소공백 80%

**RESEARCH ARTICLE**

**대학 강의실에서 언어 명료도를 평가하기 위한   
두 가지 음향지표의 측정 및 비교**

**최영지1\***

- 글자모양 : 나눔고딕, 8pt, 장평 100%, 자간 0%

- 문단모양 : 줄간격 130%, 왼쪽정렬, 최소공백 30%

- 글자모양 : 나눔고딕, 17pt, 장평 100%, 자간 –5%

- 문단모양 : 줄간격 130%, 왼쪽정렬, 최소공백 80%

- 글자모양 : 나눔고딕, 8pt, 장평 100%, 자간 0%

- 문단모양 : 줄간격 150%, 왼쪽정렬, 최소공백 30%

- 글자모양 : 나눔고딕, 9pt, 장평 100%, 자간 –3%

- 문단모양 : 줄간격 150%, 왼쪽정렬, 문단 위 4.5pt, 문단 아래 5pt, 최소공백 80%

1강원대학교 도시건축학부 건축공학전공

**Measurements and Comparisons of Two Types of Combined Measures for Predicting Speech Intelligibility in University Classrooms**

- 글자모양 : 나눔고딕, 9pt, 장평 100%, 자간 -8%

- 문단모양 : 줄간격 150%, 왼쪽정렬, 문단 위 4.5pt, 문단 아래 5pt, 최소공백 70%

**YoungJi Choi1\***

1Division of Urban & Architecture, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

**\*Corresponding author:** YoungJi Choi, Tel: +82-33-250-6224, E-mail: youngjichoi@kangwon.ac.kr

- 글자모양 : 나눔고딕, 8.5pt, 장평 100%, 자간 -10%

- 문단모양 : 줄간격 150%, 왼쪽정렬, 문단 위 8pt, 최소공백 60%

**ABSTRACT**

Journal of KIAEBS 2017 August, 11(4): 295-304

pISSN : 1976-6483

The present study is a follow-up to previous paper titled “Prediction of changes to perceived reverberance due to added absorption by occupants in classrooms.” This work reports on the two types of combined measures, speech transmission index (STI) and useful-to-detrimental sound ratios (U50), for predicting speech intelligibility in university classrooms. Acoustical measurements were made in 12 occupied university classrooms. The measured impulse responses of the classrooms were used to determine the modulation transfer function, *m(F)*, for the STI calculation according to IEC 60268-16. U50 values were determined by averaging octave band values from 125 to 4000 Hz and using the frequency weighting from the STI measure. The present results demonstrate that both measures, mean STI and frequency- weighted U50 values, were highly linearly related and essentially describe the same properties of the classrooms. The results showed that classrooms having U50 values of about +0.5 dB have STI values of 0.60, which indicates ‘Good’ acoustical conditions for speech intelligibility. The U50 measure can be more practically useful means of assessing and understanding real active classrooms.

- 글자모양 : 나눔고딕, 9.5pt, 장평 100%, 자간 0%

- 문단모양 : 줄간격 110%, 양쪽정렬, 문단 위 7pt, 최소공백 80%

- 글자모양 : Time New Romans, 10pt, 장평 100%, 자간 -3%

- 문단모양 : 줄간격 130%, 양쪽정렬, 문단 위 4.5pt, 최소공백 80%

**OPEN ACCESS**

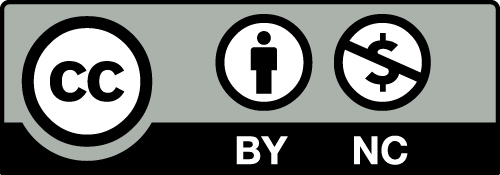
**주요어 :** 언어 명료도, 음성전달지수, 초기 대 후기음에너지 비, 대학 강의실

**Received:** June 6, 2017

**Revised:** August 29, 2017

**Accepted:** August 29, 2017

Ⓒ 2017 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons. org/ licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Keywords:** Speech intelligibility, Speech transmission index, Useful-to-detrimental sound ratios, University classrooms

- 글자모양 : Time New Romans, 9pt, 장평 100%, 자간 -4%

- 문단모양 : 줄간격 110%, 양쪽정렬, 문단 위 7pt, 문단아래 40pt, 최소공백 80%

서 론

- 글자모양 : 나눔고딕 ExtraBold, 13pt, 장평 100%, 자간 -5%

- 문단모양 : 줄간격 162%, 양쪽정렬, 문단 위 6pt, 문단아래 8pt, 최소공백 80%

강의실에서 언어 명료도(speech intelligibility)의 예측이 가능한 음향지표로 Speech transmission index(STI)(IEC 60268-16, 2011)와 Useful-to-detrimental sound ratios(U50) (Bradley *et al.*, 1999)가 알려져 있다. 두 지표는 실내음향과 소음의 영향을 결합하여 언어 명료도의 측정이 가능하다. U50는 초기음(useful sound) 에 대한 후기음(detrimental sound)의 대수비로 정의되며, 따라서 이 음향지표를 이용하여 강의실에서 최적 음향조성을 위한 C50값 (clarity)과 G값(strength)을 극대화하는 최적 조건을 모색할 수 있다. U50값은 C50값과 SNR (signal to noise ratio)값에 의해 산출할 수 있다(Bradley et al., 1999)(식 (1) 참조).

강의실의 주관적 음향은 실의 암소음과 신호대소음비와 높은 상관성을 나타냄(Hodgson, 2002)에 따라 재실자 소음의 영향을 포함한 만석상태의 강의실에서 요구되는 음향설계조건이 필요하다(Hodgson and Nosal, 2002). Hodgson et al.(1999)과 Sato and Bradley (2008)는 대학 강의실과 초등학교 교실을 대상으로 실제 강의현장에서의 음원 및 소음레벨은 학생들로 인한 소음의 영향으로 상이하다고 보고하였다. Hodgson et al.(1999)과 Sato and Bradley (2008)는 실제 강의현장에서 음원 및 소음레벨을 측정하여 SNR값을 산출할 수 있는 방법을 제시하였다. 대학 강의실과 초등학교 교실을 대상으로 한 실제 강의현장에서 측정한 평균 SNR값은 각각 7.9 dB(A)와 11 dB(A)로 강의실 및 교실에서 요구되는 SNR≥ 15 dB(A)기준(ANSI S12.60, 2004) 을 만족하지 못하는 것으로 보고되었다.

- 글자모양 : 한글 - 나눔명조, 10.5pt, 장평 100%, 자간 –8%  
영문 - Time New Romans, 10.5pt, 장평 100%, 자간 –3%

- 문단모양 : 줄간격 170%, 양쪽정렬, 들여쓰기 10pt, 최소공백 80%

- 글자모양 : Time New Romans, 8pt, 장평 100%, 자간 0%

- 문단모양 : 줄간격 170%, 가운데정렬, 최소공백 80%

초등학교 교실에서 실제 수업 중에 발생하는 학생들에 의한 소음레벨은 정숙 시 측정한 교실 내 소음에 비해 5~10 dB(A) 큰 것으로 보고되었다(Sato and Bradley, 2008). 초등학교 교실에서 언어 명료도 평가결과(Yang and Bradley, 2009)에 따르면 1, 3학년의 저학년 학생들의 경우 최소 SNR값이 15 dB(A)이상 되어야 한다는 기준은 만족스럽지 못하는 것으로 보고되었다. 실제 학습활동이 발생하는 학습현장에서의 정확한 음원 및 소음원의 레벨을 측정하여 이를 바탕으로 하는 음향지표에 의한 언어 명료도의 평가가 이루어져야 한다.

Bradley et al.(1999)은 명료도 실험에서 세 음향지표(STI, ALcons, U50) 중 U50가 언어 명료도를 97% 예측이 가능하여 세 지표 중 더 정확하게 예측할 수 있다고 보고하였다. U50값은 C50값과 SNR값에 의해 산출할 수 있어 실제 강의현장에서 측정한 SNR값을 적용하여 언어 명료도의 예측이 가능하다. 따라서, U50를 활용하여 실제 강의현장에서의 학생에 의한 소음을 포함한 여러 소음원이 언어 명료도에 미치는 영향에 대한 분석이 가능하다.

본 논문은 선행연구(최영지, 2016) “재실자의 부가 흡음에 의한 강의실의 잔향감 변화 예측”에 대한 후속연구로 선행연구에서 대상으로 한 12곳 대학 강의실에서 측정한 STI, U50값을 근거로 비교·분석하였다. 본 연구에서는 먼저 언어 명료도 평가의 대표적인 두 지표 STI, U50를 만석인 대학 강의실에서 측정한 값을 비교·분석하여 U50도 STI와 대등하게 정확한 언어 명료도의 평가지표임을 보여주는데 그 목적이 있다. 이를 증명하기 위해 두 음향지표 값의 선형 회귀분석 결과를 바탕으로 STI값에 상응하는 U50값도 제시하고자 한다.

측정개요

- 글자모양 : 나눔고딕, 11pt, 장평 100%, 자간 -10%

- 문단모양 : 줄간격 162%, 양쪽정렬, 문단아래 3pt, 최소공백 80%

**대상강의실**

Table 1에 선행연구(최영지, 2016)에서 대상으로 한 12곳 대학 강의실의 평균 제원과 공석과 만석시의 중주파수대역(500-1000 Hz)의 평균잔향시간(T30)을 나타내었다. 재실자는 강의실의 원하는 좌석에 착석하도록 하였으며, 측정동안 정숙하도록 하였다. 따라서, 강의실 내 배경소음측정에는 재실자에 의한 소음을 최소화하였다.

- 글자모양 : 나눔고딕, 9pt, 장평 100%, 자간 -5%

- 문단모양 : 줄간격 130%, 양쪽정렬, 최소공백 80%

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Table 1. Mean dimensions of the 12 university classrooms used for the measurements including mean (500-1000 Hz) T30 values for both occupied and unoccupied cases  - 실선, 굵기 0.12mm | | | | |
| Rooms | Volume, m3 | Number of occupants | Mean T30\_unoccupied, s | Mean T30\_occupied, s |
| #1 | 199 | 15 | 1.29 | 0.89 |
| #2 | 193 | 11 | 0.83 | 0.72 |
| #3 | 284 | 22 | 1.18 | 0.82 |
| #4 | 248 | 13 | 1.15 | 0.84 |
| #5 | 354 | 62 | 1.81 | 0.83 |
| #6 | 238 | 46 | 1.68 | 0.77 |
| #7 | 1310 | 84 | 0.56 | 0.55 |
| #8 | 1227 | 80 | 0.74 | 0.57 |
| #9 | 690 | 61 | 0.44 | 0.39 |
| #10 | 226 | 48 | 0.31 | 0.26 |
| #11 | 2535 | 53 | 0.92 | 0.84 |
| #12 | 888 | 74 | 0.65 | 0.58 |
| Mean | 690 | 47 | 0.96 | 0.67 |
| s.d. | 707 | 27 | 0.47 | 0.20 |
| Max | 2535 | 84 | 1.81 | 0.89 |
| Min | 193 | 11 | 0.31 | 0.26 |

12곳의 대상 강의실의 체적은 소규모 강의실 190 m3에서 대규모 회의실 2500 m3으로다양하다. 12곳의 강의실 중 반사성 재질의 강의실 6곳(Table 1의 #1~#6) 은 페인트 마감한 콘크리트 벽체와 대리석 마감의 바닥으로 마감되어 있는 소·중규모 강의실로 최대 100명까지 수용 가능하다. 나머지 6곳의 강의실(Table 1의 #7~#12)은 흡음성 재질의 강의실로 다공성 흡음재로 벽체 및 바닥이 마감되어 있고 최대 240명의 학생이 수용 가능한 대형 강의실이다.

- 글자모양 : Time New Romans, 9.5pt, 장평 100%, 자간 -6%

- 문단모양 : 줄간격 130%, 최소공백 100%

**측정방법**

강의실의 음향측정은 ISO 3382법(2003)을 토대로 실시하였다. 음원은 로그스윕(logarithmic sweep)을 이용하였으며 12면체 스피커(Norsonic, Nor276)로 음원을 방출하였다. 강단의 중심에 1.5 m 높이의 음원점 1개소와 각 강의실의 좌석에 1.2 m 높이로 균등히 분포한 수음점 6~9개소에서 1/2인치 마이크로폰(G.R.A.S. Type 46 AF)을 통해 충격응답을 측정하였다. 각 강의실별 평균 음향지표 값 도출을 위해 6~9개 지점의 충격응답에서 산출한 측정값을 산술평균하였다.

**U50와 STI값 산출**

전술한바와 같이 U50값은 측정한 C50값과 SNR값을 이용하여 아래의 식 (1)을 통해 산출이 가능하다. Useful sound는 초기에 도달하는 신호음 에너지를 말하며, detrimental sound는 후기에 도달하는 언어와 소음 에너지의 합을 말한다.

|  |  |
| --- | --- |
| DRW00000600810e | (1) |

여기서, N은 소음 에너지, S는 신호음 에너지, 그리고 E/L50는 초기음에너지에 대한 후기음에너지의 선형비이다.

IEC 60268-16(2011)을 토대로 STI값 산출을 위해 각 강의실에서 측정한 충격응답을 이용하여 식 (2)(Schroeder, 1981)을 통해 변조전달함수(modulation transfer function, *m(F)*)를 도출하였다. 평균 음향지표 값 도출을 위해 6~9개 지점의 충격응답에서 산출한 측정값을 산술평균하였다.

|  |  |
| --- | --- |
| DRW000006008110 | (2) |

여기서, F는 modulation frequency, *h(t)*는 충격응답, 그리고 S/N는 신호대소음비(dB) 이다.

강의실에서의 스피치 레벨(speech level)는 ANSI S.3.5(1997)의 ‘Raised Voice’ 레벨과 동일하다고 가정하여 각 수음점에서의 스피치 레벨을 계산하였다. 각 수음점에서 음원과의 거리에 따른 감쇠값은 측정한 G값을 토대로 식 (3)에 의해 산출하였다.

|  |  |
| --- | --- |
| DRW000006008112 | (3) |

여기서, attenuation은 스피치 음원으로부터 1 m의 거리에서 r m의 거리까지의 스피치 레벨 감소값, *L*SS는 스피치 음원에서 1 m의 거리에서의 스피치 레벨, 그리고 *Lr*S는 수음점에서의 스피치 레벨이다.

U50와 STI값은 만석시 산출한 값을 비교하였다.

결과 및 토의

**광대역 U50지표의 도출**

강의실에서 언어전달을 위해 필요한 음향설계는 신호대소음비를 높이고 최적음향상태를 제공하는데 있다. 이 과정은 강의실에서 최적잔향시간을 조성하기 위하여 식 (1)과 같이 후기음(detrimental sound)에 대한 초기음 성분(useful sound) 을 최대화하여 언어 명료도를 최적화 하는 것이다. 일례로, 매우 조용한 강의실에서 암소음 레벨은 후기반사음 레벨에 비해 상대적으로 낮으며 따라서 후기반사음 성분이 detrimental sound를 결정짓는 중요한 변수가 된다. 이와 같은 강의실에서 잔향시간을 변화시키는 것은 최적음향상태를 조성하는데 큰 효과가 있다.

U50값은 STI지표(IEC 60268-16, 2011)에서 적용하는 주파수대역별 보정 값(frequency- weighted)을 적용하여 125-4000 Hz의 평균값을 산출하였다. U50값 산출에서 STI지표(IEC 60268-16, 2011)의 주파수대역별 보정값을 적용하는 이유는 언어 명료도 평가에서 중요하지 않은 저주파수대역(125 Hz와 250 Hz)이 지나치게 강조되는 것을 보정하기 위함이다.

Table 2는 STI값에 대한 여러 광대역 U50지표의 관계를 선형 회귀 분석하여 그 결과를 나타내었다. 예를 들어, U50(125-4000)는 주파수대역별 보정을 하지 않은 125-4000 Hz의 U50평균값을 의미한다. U50(A, 125-4000)는 A-특성 보정을 한 U50와 SNR값을 토대로 125-4000 Hz의 U50평균값을 산출한 것을 의미한다. U50(STI, 125-4000)는 STI지표에서 적용하는 주파수대역별 보정을 한 125-4000 Hz의 U50평균값을 의미한다.

|  |  |
| --- | --- |
| Table 2. Results of linear regression fits of various broadband useful-to-detrimental sound ratio measures to STI values | |
| Measure | R2 |
| U50 (125-4000) | 0.961 |
| U50 (500-4000) | 0.952 |
| U50 (A,125-4000) | 0.948 |
| U50 (A,500-4000) | 0.952 |
| U50 (STI,125-4000) | 0.968 |
| U50 (STI,500-4000) | 0.953 |

Table 2에 따르면 여러 광대역 U50지표 중 STI지표의 주파수대역별 보정을 한 125-4000 Hz의 U50평균값 즉, U50(STI, 125-4000)지표가 STI값과 상관계수가 R2=0.968로 가장 높은 상관관계를 나타내었다. STI지표의 주파수대역별 보정을 한 500-4000 Hz의 U50평균값 즉, U50(STI, 500-4000)지표는 STI값과 상관계수가 R2=0.953으로 125-4000 Hz의 모든 대역을 포함한 지표보다 낮은 상관관계를 나타내었다.

Figure 1은 만석시 12곳 강의실에서 도출한 평균 U50값에 대한 측정한 평균 C50값의 관계를 선형 회귀선 과 함께 보여주고 있다. Figure 1에 의하면 12곳 강의실에서의 평균 U50값과 C50값은 높은 상관관계(R2=0.944, σ=0.015)를 보여주고 있다. 12곳 강의실 중 2곳 강의실(강의실 1과 8)이 선형 회귀선에서 큰 편차를 보이는데 이 두 강의실은 공조기 소음의 영향으로 낮은 U50값을 나타낸다. 2곳 강의실을 제외하면 U50값은 C50값에 비교적 잘 상응한다. Bradley(1986)는 명확한 언어 전달을 위해 C50값이 +1 dB이상이여야 한다고 밝혔다. Figure 1에서 C50값이 +1 dB에 상응하는 U50(STI, 125-4000)값은 +0.11 dB 이다.

Figure 1의 주파수별 평균 C50값과 U50값의 결과는 SNR값이 음향특성이 다른 두 그룹의 강의실에서 언어 명료도에 어떻게 영향을 미치는지 보여준다. 흡음재로 주로 마감된 6곳의 흡음성 강의실에서는 흡음재로 인해 후기 반사음이 감소하여 C50값이 약 4.3 dB 증가하였다. 그러나, 흡음재로 마감된 강의실의 짧은 잔향시간으로 인해 스피치 레벨이 감소하게 되고 그 결과 SNR값도 감소한다. 결과적으로 흡음성 강의실에서의 U50값 또한 감소하게 된다. Figure 1의 U50결과에 따르면 강의실에서 증가한 C50값의 긍정적인 효과보다 감소한 스피치 레벨의 부정적인 효과가 크게 나타남을 알 수 있다.

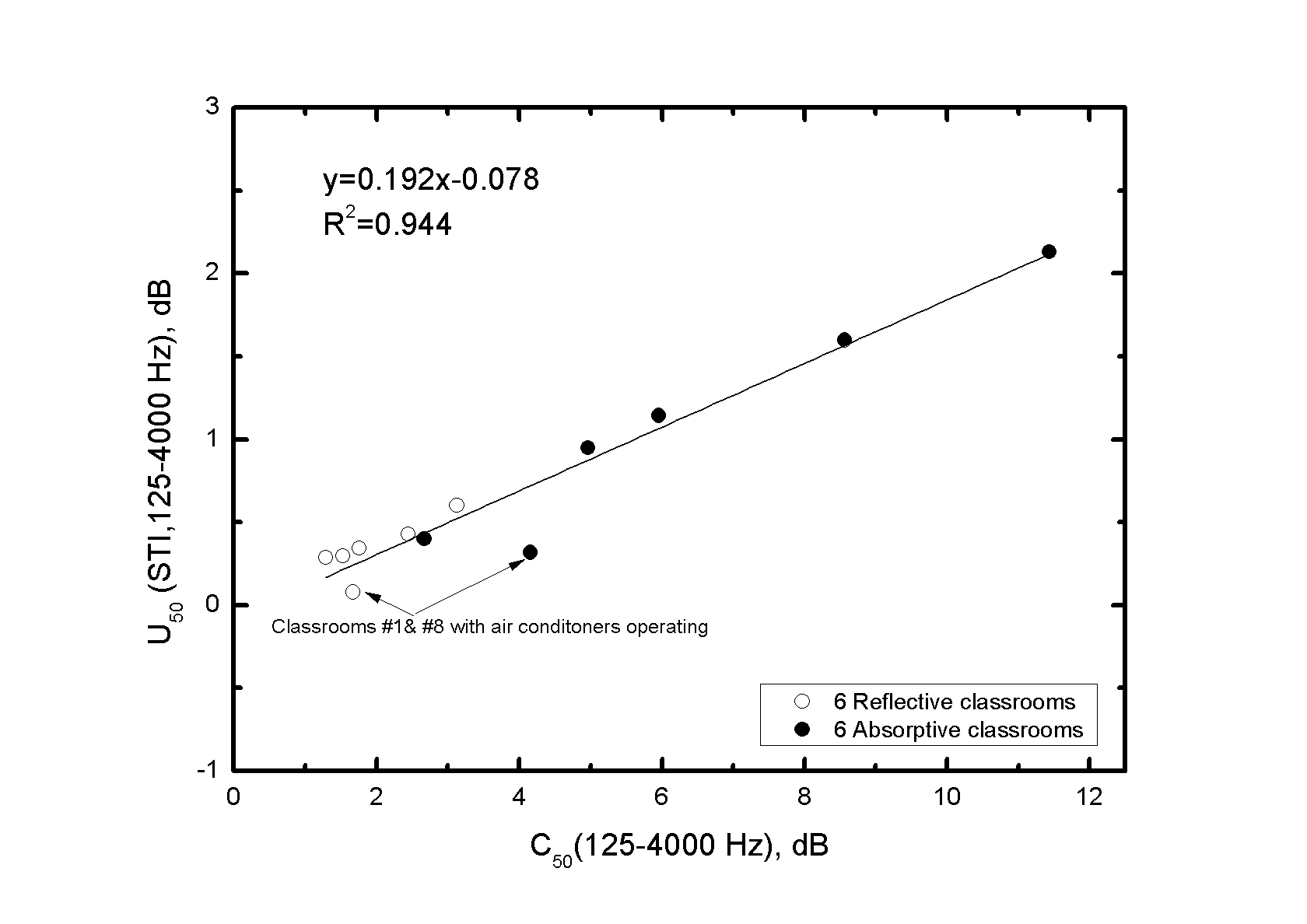


Figure 1. Calculated mean frequency-weighted U50 (STI,125-4000) values versus measured mean C50 values averaged of the octave bands from 125 Hz to 4000 Hz for the 12 occupied classrooms

**두 언어명료도 지표의 비교**

Figure 2는 각 강의실에서의 평균 STI값에 대한 U50(STI, 125-4000)값의 관계를 선형 회귀선과 함께 보여주고 있다. Table 2의 결과에 따라 U50값은 STI지표에서 적용하는 주파수대역별 보정을 한 125-4000 Hz의 U50평균값, U50 (STI, 125-4000) 을 이용하였다. Figure 2에 따르면 6곳의 반사성 강의실의 경우 SNR값이 15 dBA이상에도 불구하고 상대적으로 낮은 STI값(0.60이하)을 나타낸다. 이는 500-1000 Hz의 평균 T30값(reverberation times)이 0.7 초보다 큰 반사성 강의실에서 명료도와 같은 실내음향의 영향이 SNR값보다 크게 나타난다. 이런 조건의 강의실에서는 후기 반사음성분의 양이 detrimental sound를 결정짓는 중요한 변수가 되고 긴 잔향시간으로 인해 언어 명료도는 감소한다.

500-1000 Hz의 평균 T30값이 0.7초보다 작은 6곳의 흡음성 강의실 중에 4곳의 흡음성 강의실의 평균 STI값은 0.60~0.80으로 언어 명료도 ‘Good’과 ‘Excellent’ 범위인데 반해 STI값이 각각 0.56과 0.57로 언어 명료도 ‘Fair’ 인 범위의 2곳의 강의실이 있다. 이 두 강의실은 SNR성분이 실내음향보다 강의실에서 최적 음향을 조성하는데 더 결정적인 변수임을 보여주고 있다. Yang and Bradley(2009)는 이상적인 잔향시간(0.5~0.7 초)의 강의실에서 SNR성분이 최적 음향을 조성하는데 더 중요한 변수라고 보고하였다. 지나친 잔향음의 감소는 언어명료도를 저감시키는 원인이 될 수 있는데 그 이유는 잔향시간을 감소시키기 위해 지나친 흡음재를 사용하거나 설치 위치를 바르게 하지 않았을 경우 초기반사음 성분을 저감시킬 수 있기 때문이다.

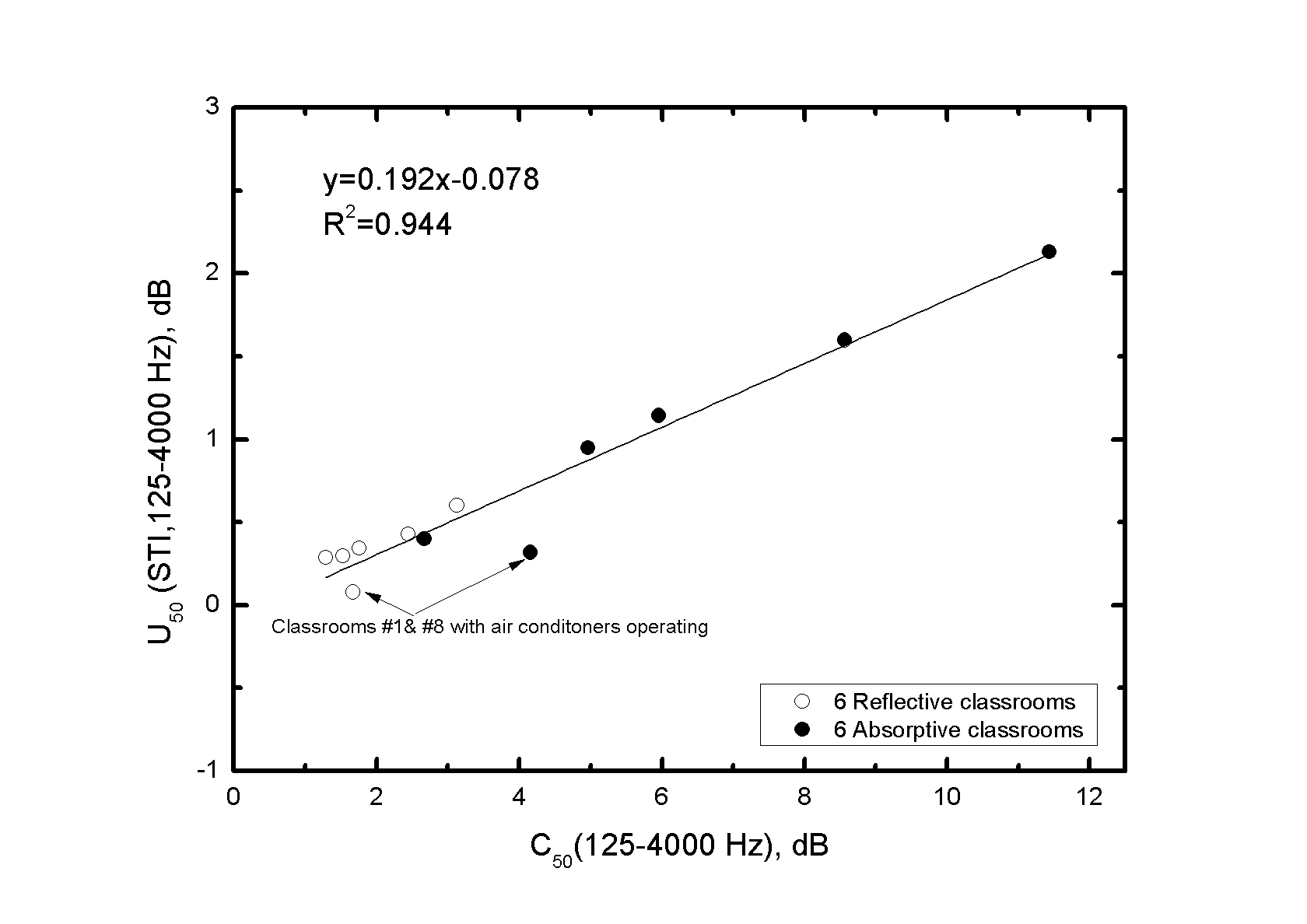


Figure 2. Calculated STI values versus mean frequency-weighted U50 values from 125 Hz to 4000 Hz for the 12 occupied classrooms

Figure 2에 따르면 STI값과 STI지표에서 적용하는 주파수대역별 보정을 한 125-4000 Hz의 U50평균값, U50(STI, 125-4000) 은 상관계수가 R2=0.968 (σ=0.007)로 높은 상관관계를 보인다. 이 결과는 선행연구결과(Bradley et al., 1999; Nijs and Rychtáriková, 2011)와 유사함을 알 수 있다. Figure 2의 선형 회귀식에 따르면 U50값이 1 dB 증가함에 따라 이에 STI값은 0.114 증가함을 알 수 있다. Figure 2의 결과에서 U50값이 +0.5 dB일 때 이에 상응하는 STI값은 0.60이상으로 언어 명료도 ‘Good’ 범위에 해당한다. 이 결과는 두 언어 명료도 지표가 동일한 정보를 제공하며 Figure 2의 선형 회귀식을 이용하여 각각의 음향지표에 상응하는 지표로 변환이 가능하다는 것을 의미한다.

본 연구결과의 U50(STI, 125-4000)값 +0.5 dB는 두 선행연구(Bradley and Bistafa, 2002; Nijs and Rychtáriková, 2011)에서 제시한 언어 명료도 ‘Good’ 범위에 해당하는 값보다 각각 1.5 dB와 1 dB 낮다. 각 연구자 마다 제시하는 언어 명료도 ‘Good’ 범위에 해당하는 U50값이 상이한 이유는 U50값을 산출함에 있어 고려해야 하는 주파수대역과 그 대역별 보정 값의 적용에 관한 기준이 없기 때문이다. 본 연구에서는 Table 2의 결과에 근거하여 STI지표(IEC 60268-16, 2011)에서 적용하는 주파수대역별 보정 값(frequency-weighted)을 적용하여 125-4000 Hz의 평균값을 산출하였다. 두 선행연구에서는 각각 주파수대역별 보정 값을 적용한 1000 Hz의 U50값(Bradley and Bistafa, 2002)과주파수대역별 보정 값을 적용하지 않은 63-4000 Hz의 평균 U50값(Nijs and Rychtáriková, 2011)을 언어 명료도 예측지표로 제시하였다. 언어 명료도의 정확한 예측을 위해서는 U50값을 산출함에 있어 주파수대역과 그 대역별 보정 값의 적용에 관한 기준이 마련되어야 한다.

**강의실 음향설계로의 적용**

강의실에서 높은 언어 명료도를 성취하기 위해 필요한 방법은 최적음향(optimization process)을 조성하는 것이다. 여기서 최적음향을 조성한다는 것은 소음원을 최소화하여 강의실에서 요구되는 최소 SNR기준을 만족시킴에 있다. 언어 전달을 위한 최적조건을 조성하기 위해서 SNR성분이 더 중요한 역할을 하는 변수이다(Hodgson and Nosal, 2002; Yang and Bradley, 2009). 강의실의 최적잔향시간은 음원과 소음레벨이 변함에 따라 달라지기 때문에 최적잔향시간을 조성하는 것은 두 번째로 중요한 과정이라 할 수 있다(Yang and Bradley, 2009). 또한, 너무 짧거나 긴 잔향시간은 언어 명료도를 감소시키므로 먼저 SNR≥15 dB(A)기준(ANSI S12.60, 2004)을 만족하는 강의실 음향조건에서 최적잔향시간을 조성하여야 한다.

전술하였듯이 대학 강의실(Hodgson *et al*., 1999)과 초등학교 교실(Sato and Bradley, 2008)을 대상으로 한 선행연구에서 실제 강의현장에서의 음원 및 소음레벨은 정숙한 상태의 강의실에서 측정한 그 값과 상이하다고 보고하였다. 대부분의 경우 실제 강의현장에서 SNR≥ 15 dB(A)기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서, 학생들이 착석한 상태의 실제 강의현장에서의 음원 및 소음레벨을 측정 및 분석하여 그 결과를 음향설계에 반영할 필요가 있다.

두 음향지표 STI와 U50는 식 (1)과 (2)에서 보여주듯이 기본 개념은 다르지만 두 지표는 높은 상관관계를 나타내며 실내음향과 소음의 영향을 결합하여 언어 명료도의 측정이 가능하다. STI지표는 실제 강의현장에서 수업이 진행되는 상황의 음향측정이 어렵다. 반면 U50지표는 강의실에서 측정한 C50값과 SNR값에 의해 산출이 가능하여 실제 강의현장에서 측정한 음원 및 소음레벨을 반영할 수 있다. 실제 강의현장에서 언어 명료도 예측이 가능한 음향지표를 측정 및 산출이 가능하다면 이 데이터를 바탕으로 한 실질적인 강의실 음향설계에 반영할 수 있다. 실제 강의현장의 음향상태 측정이 가능한 U50지표는 실제 언어전달에 필요한 음향 상태에 대한 이해와 평가가 가능한 유리한 점이 있다.

결 론

본 연구에서는 만석인 대학 강의실에서 언어 명료도의 두 음향지표 STI 와 U50를 측정하여 비교·분석 하였다. U50도 STI와 대등하게 정확한 언어 명료도의 평가지표임을 보여주었으며 이 결과는 선행연구결과(Bradley and Bistafa, 2002; Nijs and Rychtáriková, 2011)와 유사하였다. 전술하였듯이 실제 강의현장의 음향상태 측정이 가능함에도 불구하고 U50값을 산출함에 있어 고려해야 하는 주파수대역과 그 대역별 보정 값의 적용에 관한 기준이 아직 마련되어 있지 않다. 따라서, U50지표는 실제 언어전달에 필요한 음향 상태에 대한 이해와 평가가 가능한 유리한 점을 적극 반영하기 위해서는 다양한 실제 강의현장에서 수업이 진행되는 상황의 음향상태 측정과 학생을 대상으로 한 언어 명료도 평가 결과와의 비교에 관한 후속연구가 이루어져야 한다.

12곳의 대학 강의실에서 측정한 STI값과 U50(STI, 125-4000)값은 상관계수가 R2=0.968 (σ=0.007)로 높은 상관관계를 나타내었다. 이는 두 지표가 언어 명료도 예측에 있어 서로 비슷한 정보를 나타낸다고 볼 수 있다. 대학 강의실 12곳의 평균 STI값과 U50값을 토대로 두 지표 값의 선형 회귀분석 결과에 의하면 언어 명료도 ‘Good’ 범위인 STI값 0.60에 상응하는 U50(STI, 125-4000 Hz)값은 +0.5 dB로 나타났다.

후 기

강의실 측정에 도움을 준 강원대학교 건축공학과 학생들에게 이에 감사를 표한다. 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2015R1D1A1A01056575)과 2015도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(관리번호-520150044)로 수행한 기초 연구임.

References

1. 최영지. (2016). 재실자의 부가 흡음에 의한 강의실의 잔향감 변화 예측. 한국건축친환경설비학회논문집, 10, 375-380.

2. Bradley, J.S. (1986). Speech intelligibility studies in classrooms. J. Acoust. Soc. Am., 80, 846-854.

3. Bradley, J.S., Reich, R., Norcross, S.G. (1999). On the combined effects of signal- to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. J. Acoust. Soc. Am. 1999, 106, 1820-1828.

- 글자모양 : 한글 - 나눔명조, 10pt, 장평 100%, 자간 –8%  
영문 - Time New Romans, 10pt, 장평 100%, 자간 –3%

- 문단모양 : 줄간격 135%, 양쪽정렬, 내어쓰기 17.5pt, 최소공백 80%

4. Bradley, J.S., Bistafa, S.R. (2002). Relating speech intelligibility to useful-to-detrimental sound ratios. J. Acoust. Soc. Am., 112, 27–29.

5. Hodgson, M., Rempel, R., Kemmedy, S. (1999). Measurement and prediction of typical speech and background noise level in university classrooms during lectures. J. Acoust. Soc. Am., 105, 226-233.

6. Hodgson, M., Nosal, E.M. (2002). Effect of noise and occupancy on optimal reverebration times for speech intelligibility in classrooms. J. Acoust. Soc. Am., 111, 931-939.

7. Hodgson, M. (2002). Rating, ranking, understanding acoustical quality in university classrooms. J. Acoust. Soc. Am., 112, 568-575.

8. Nijs, L., Rychtáriková, M. (2011). Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50. Acta Acustica United with Acustica, 97(1), 93-102.

9. Schroeder, M.R. (1981). Modulation transfer functions: Definition and Measurement. Acta Acustica United with Acustica, 49(3), 179-182.

10. Sato, H., Bradley, J.S. (2008). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms. J. Acoust. Soc. Am., 123, 2064-2077.

11. Yang, W., Bradley, J.S. (2009). Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. J. Acoust. Soc. Am., 125, 922-933.

12. ANSI S3.5. (1997). American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index. New York: American National Standards Institute.

13. ANSI S12.60. (2004). Acoustics performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. New York: American National Standards Institute.

14. IEC 60268-16 Edition 4.0. (2011). Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.

15. ISO E 354-Acoustics. (2003). Measurement of sound absorption in a reverberation room.