

우수한 교실음향 구현을 위한 설계기준 및 개선방향조사

건축구조부 연구원 / 공학박사 정 정 호

요 약

쾌적하고 명료성이 높은 교실내의 음향환경은 학생들의 학업 성취도 및 교사의 언어전달 이해 향상을 이룩할 수 있는 중요한 사항이다. 이러한 우수한 교육환경을 위해서는 우선 우리나라의 교실 음향 실태 파악과 함께 교육시설의 음향상태 및 소음에 의한 학업 성취도, 심리적, 사회적 영향에 대한 정량적 조사가 이루어져야 한다. 국내 교육시설의 음향 실태 파악을 통해 교육시설에서의 음향 및 소음 기준을 수립하여 교육시설내의 음향환경 개선을 추진해야 한다. 교실 음향개선을 합리적으로 평가할 수 있는 지표로서 잔향시간과 배경소음이 가장 중요한 요소로 알려져 있다. 교실의 우수한 음향환경을 위해 적절한 잔향시간은 0.4~0.6초, 배경소음은 NC-25~30 수준이 확보되어야 하는 것으로 조사되었다. 또한 교사의 음성레벨과 배경소음과의 비(S/N비)는 최소 10 dB 이상 되어야 강의 내용 전달이 가능하며, 각종 기계설비에서 발생하는 소음 및 진동은 저소음 기기 선정을 통해 최소화하여야 한다. 인접실에서 발생하는 소음을 충분히 차단하기 위해서는 차음성능 우수한 구조의 벽체로 개선되어야 하며, 기밀성이 높은 출입문사용과 적절한 출입구 배치를 통해 인접한 교실로의 소음 전달을 최소화 할 수 있다.

1. 서 론

최근의 도시화에 따라 각종 주거 및 생활환경에서의 소음 및 음향 환경에 대한 관심이 급증하고 있다. 이러한 현상은 특히 공동주택과 같은 주거환경을 중심으로 나타나고 있다. 그러나 학교 주변에서 교내로 유입되는 환경소음 및 학교에서 발생하는 각종 소음에 대한 고려는 단순히 방음벽을 설치하는 데 머물고 있는 실정이다. 교육시설을 대상으로 한 소음 및 음향과 관련된 사항은 단순히 방음벽과 같은 방음 시설

물의 설치로 간단히 해결될 수 있는 문제는 아니다. 오히려 교실내의 쾌적하고 명료성이 높은 음향환경으로 개선할 경우 교사의 언어전달이 명료하게 되어 학생들의 학습이해가 향상되고 궁극적으로는 학생들의 학업성취도 향상을 이룩할 수 있는 중요한 사항이다. 또한 학교 건물의 외벽 차음성능 및 교실 간 경계벽의 차음성능 향상을 통해 정온한 환경을 조성하여야 하며, 이를 통해 학생 및 교사 모두 학습과 교육에 효율적으로 임할 수 있을 것이다.

이처럼 중요한 교실내의 음향을 포함한 교육시설

의 음향 및 소음에 관한 국내 연구는 부족한 실정이지만, 국외 선진국의 경우 심도 있는 연구를 통해 각국의 교육 현실에 맞는 해결방안을 도출하여 적극적으로 교육환경 개선에 임하고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내 교실 및 학교의 소음, 음향 실태와 각국의 교실음향 관련 연구와 미국음향학회의 관련 설계 지침에 대한 고찰을 통해 교실음향에 대한 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 국내외 교실음향 관련 연구 및 실태

2.1 국내 교육시설 실태

국내의 경우 각종 언론에 학교 주변에서 발생하는 도로교통소음, 건설소음 등에 의한 수업 방해 및 학업지장을 호소하는 경우가 보도되고 있다. 교육인적자원부가 초등학교생들의 수준에 따른 그룹별 교육 등을 위해 권장하고 있는 '수업개선교실(일명 열린 교실)'의 경우도 각 교실간 차음성능이 문제가 되어 실제 시행이 어려운 것으로 보도되고 있다.

광주광역시
의 경우 열린
교실을 지은
18개교 중 11
개교는 칸막
이를 설치했
으며, 소음 때
문에 열린 교



실의 특성을 살린 수준별 수업뿐 아니라 일반 수업을 하기에 어려움이 많은 것으로 알려져 있다. 이렇듯 학교에서의 소음 및 음향 문제는 교육, 학습과 가장 밀접한 관련이 있으나 각 지방 자치단체별로 중요한 행사 및 개발사업 등에 우선순위가 밀려 지속적으로 고려되지 못하고 있는 실정이다. 또한 학교 및 교실과 관련된 국내의 연구는 매우 부족한 실정이며, 초등학교를 대상으로 한 벽체 및 창호의 차음성능에 관한 연구는 교실의 채광계획을 중심으로 한 것이었다(1997, 손창환). 대학의 대형 강의실의 실태를 조사한

연구결과 대부분의 강의실이 좋지 않은 음향성능을 갖는 것으로 나타났다(양만우, 2000).

2.2 소음에 의한 교육 방해

과거 구미에서는 교육시설에 영향을 미치는 각종 소음 및 교실 음향 조건에 대한 연구가 체계적으로 이루어졌다. 소음에 노출된 학생들의 학습 성취도에 관한 연구와 같은 구체적인 피해정도에 관한 연구가 수행되었다.

철도소음에 노출된 교실에서 학습하는 2~4학년 학생들의 단어 인식과 독해능력은 일반학생의 능력에 비해 약 3~4개월 뒤쳐지는 것으로 나타났다(1975, Bronzafit). 또한 철도소음에 노출된 학교에서 학습한 6학년 학생들의 수학과 읽기 능력은 조용한 학교에서 학습한 학생들에 비해 0.7년 정도 뒤쳐지는 것으로 나타났다(1981, Lukas et al.). 따라서 주변에서 발생하는 각종 소음은 학생들의 학습능력의 향상에 직접적인 관련이 있는 것을 알 수 있으며, 교실내의 소음레벨과 좋은 음향 상태는 학생들의 학습 성취도를 극대화 할 수 있는 가장 기본적인 환경조건임을 알 수 있다.

교실 음향의 설계기준에 관한 연구에서는 어린이를 위한 교실 음향의 최적조건으로 잔향시간은 0.4~0.5초, 배경소음은 30 dB로 설계하는 것이 바람직한 것으로 나타났다(1986, Bradley). 또한 1 kHz에서 U_{50} 값이 어린이 교실에서 언어전달 상태의 예측에 유용하며, 1.0dB 정도가 우수한 명료도를 나타내는 것으로 나타났다. 또한 UBC(University of British Columbia)의 279개의 강의실에서 SI(Speech Intelligibility)를 측정된 결과 전체 강의실의 18%가 좋지 않은 음향 상태를 갖는 것으로 나타났으며, 주원인으로는 공조 설비 소음으로 나타났다(2002, M. Hodgson). 교실 음향상태의 예측을 위해 뉴럴 네트워크 분석방법을 적용하여 공식인 상태의 34개의 UBC 강의실을 측정결과를 예측하기도 하였다(2001, J. Nannariello). 이와 함께 교실 내부 마감재를 흡음재로 변화할 경우 각종 명료도와 관련된 지표 예측에

관하여 연구를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하는 경우도 증가하고 있다(2001, Bistafa).

2.3 각국의 교실음향 연구

이탈리아의 경우 외부에서 유입되는 높은 배경 소음과 교사가 전달하는 언어의 이해를 위한 물리적, 심리적 요소를 대상으로 고등학교 교실의 음향상태를 연구하였다(2002, A. Astolfi).

또한 우리나라와 유사한 문화적, 지형적 특성을 갖고 있는 일본의 경우, 개방형 초등학교는 일본 교육 여건과 잘 부합되지만 설문조사 결과 음향적인 문제점이 계속 제기되고 있다(2002, K. Ueno). 이런 음향적인 문제점을 해결하기 위한 방법으로 천장에 흡음판을 설치하여 소음을 감소시키는 방법과 교실 사이에 간이 칸막이를 설치하여 인접 교실로 전달되는 소음을 감소시키는 방법을 제안하고 있다. 또한 일본식 개방형 건물에 맞는 음향적 디자인과 소음제거 기술 개발에 대한 법적인 기준 및 표준이 학교 건물 설계를 위해 필요하다고 하였다(2002, H. Tachibana).

학교 건물에 대해 6가지의 환경 요인(열, 공간, 시각, 음향, 실내공기, 편의성)에 대해 싱가포르의 중학교 교실환경을 평가한 결과 학습 환경은 단순히 시각이나 열환경 등 한 가지 요소에 의해 개선되는 것이 아니라 음향 및 공간 등 제반요소의 종합적인 작용에 의해 판단되는 것으로 나타났다(Wong, 2002).

미국의 경우 교육의 비중이 높아지면서 눈에 보이지 않는 음향문제가 학습에 영향을 미친다는 것을 인지하고 교실음향 개선을 진행하고 있다. 미국 대부분의 교실에서는 명료도가 75%로 측정되었다. 이는 정상 청력을 갖춘 사람들도 전체 수업 내용 중에서 75%만을 이해할 수 있다는 것으로 항상 수업내용의 1/4을 알아듣지 못한 채 수업을 받고, 이것을 모두 이해했을 것이라는 전제 하에 평가도 받는 것이다. 이러한 명료도의 저해요소는 과도한 소음과 반사음이다.

미국의 경우도 많은 교육자들이 청각장애 어린이

들이 교실 음향을 개선하는 것은 중요하게 여기는 반면, 일반 학생들의 교실은 음향개선이 불필요하다고 생각하고 있다. 그러나 대부분의 어린이들이 알아듣지 못한 문맥을 추측해서 이해하는 것이 어려우므로 우수한 음향조건 속에 학습해야 한다. 선진국인 미국의 경우도 교실 음향에 관심을 갖게 된 것은 최근의 일로 1998년 전국적인 학교건물의 청취조건 개선을 위해 아주 작은 부분을 수리하는데 79억 달러가 지출되자 교실음향을 고려하기 시작했다. 학교건축의 계획단계에서 음향을 고려하여 건설한다면 건설비용은 다소 증가하겠지만, 그 비용은 좋지 못한 교실음향으로 인한 사회적 손실 비용에 비하면 이는 아주 적은 편일 것이다.

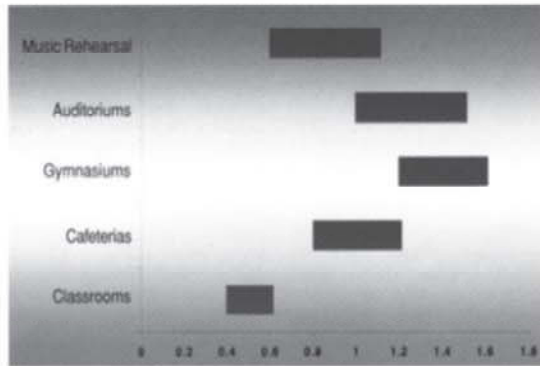
3. 교실을 위한 음향설계 지침

다음의 지침은 미국음향학회에서 교실음향 설계 및 시공을 위해 미국정부에 제안한 내용을 기반으로 한 것으로 학생이 30여명인 교실을 기준으로 하였다. 이와 함께 관련 설계기준은 체육관, 카페테리아, 강당을 위한 권장사항을 포함하고 있다.

3.1 잔향시간

긴 잔향시간은 열악한 교실 음향의 중요한 개선 요소로 이상적인 교실의 잔향시간은 0.4~0.6초이다. 그러나 현존하는 많은 교실들이 1초 이상의 잔향시간을 갖는다. 그림 1은 다양한 교육용 시설의 공간을 위한 최적 잔향시간을 나타내고 있다.

실의 잔향시간을 줄일 수 있는 방법으로는 크게 두 가지 방법이 있다. 첫째로 용적을 줄이는 방법이 있으며, 두 번째 방법으로는 공간내의 흡음력을 증가시키는 방법이다. 용적을 감소시키는 방법은 천장이 높고 오래된 교실에 적용할 수 있는 대안이다. 이런 공간에 천장 흡음재를 적용할 경우 동시에 용적을 줄이고 흡음력을 증가시키므로써 교실내의 음향성능을 개선할 수 있다. 교실 내에서의 흡음은 천으로 마감된 글라스 파이버 패널, 카펫, 혹은 음향타일과 같은



[그림 1] 각 공간별 최적 잔향시간

흡음성이 높은 재료를 적용해야 한다.

흡음재의 경우 값비싼 많은 제품들이 있지만, 일반적인 건설재료를 이용해서도 적절한 잔향시간을 갖는 교실을 계획하는 것이 가능하다. 흡음재의 배치는 벽, 천장, 바닥에 집중되지 않고 고르게 배치될 경우가 가장 좋다. 많은 교실의 천장에 음향타일을 시공한 경우만으로도 잔향시간을 충분히 감소시킬 수 있다. 그러나 이러한 경우 측벽에서 발생하는 에코 문제를 해결할 수 없을 것이다. 천장 음향타일을 적용할 경우 NRC (Noise Reduction Coefficient)가 0.75 이상인 천장 타일이 유용하며, 저주파와 고주파 음을 모두 흡수하기 위해서 천장 슬래브 아래에 천장타일을 매다는 방법이 유용하다. 저주파 잔향시간을 감소시키기 위해 교실 바닥에 카펫을 설치하는 방법으로는 저주파 잔향시간을 제어하지 못한다. 그러나 카펫은 바닥에서 학생들이 끄는 책, 걸상의 소음을 감소시킬 수는 있을 것이다.

3.2 반사음 제어

앞서 언급한 바와 같이 에코는 명료도를 저해한다. 에코는 교실내의 흡음이나 확산을 이용해 조절될 수 있다. 잔향시간을 줄이기 위해 흡음재를 선정하여 교실에 설치할 경우 흡음재가 에코를 줄일 수 있는 효과적인 위치를 고려해야 한다. 교실의 후벽에 흡음재를 설치하는 것은 교사의 음성이 실의 뒤에서부터 앞으로 반사되는 것을 방지한다. 흡음은 교실 안에서

반사된 음에너지를 최소화하지만, 교실의 후벽에 확산재를 적용할 경우 교사의 음성을 다양한 방향으로 확산시키므로 특정 방향으로 반사되는 음에너지 양이 감소되어 에코를 방지할 수 있다.

플러터 에코는 교사가 말하고 있는 실의 앞부분의 벽에서 발생될 경우 교실의 음향상태를 저해하게 된다. 플러터 에코의 발생을 확인하는 손쉬운 방법으로 교실 중앙에서 박수를 치는 것과 같은 간단한 방법이 있다. 만약 플러터 에코가 존재한다면 웅웅거리는 소리 혹은 울리는 소리가 박수치는 소리 뒤에 두 벽 사이에서 앞뒤로 빠르게 반복되어 들릴 것이다. 단단한 마감재로 된 평행한 두 벽 사이에서 발생하는 플러터 에코를 방지하기 위해서는 한쪽 또는 양면을 글라스 파이버 패널 혹은 이와 유사한 성능의 흡음재를 적용하는 방법이 있다. 또한 평행한 두 벽을 8° 정도 경사지게 하는 방법도 있다.

지금까지 교실에서 반사음을 줄이기 위한 방법을 알아보았다. 그러나 교실의 대부분을 흡음재로 처리할 경우 교사음성의 음에너지는 뒤에 있는 학생들에게 전달되기 전에 흡음되어 잘 전달되지 못한다. 교사의 음성 에너지는 반사음을 강화함으로써 인해 오히려 학생들에게 큰 소리로 전달될 수 있다. 이를 위해 교사의 음성이 잘 반사될 수 있도록 교실 앞부분 천장에 석고보드 등과 같은 반사재를 배치하거나, 천장의 중앙에 단단한 반사재를 적용함으로써 반사된 음이 교실에 고르게 전달될 수 있다. 이러한 반사재의 배치는 짧은 잔향시간을 가진 큰 교실의 경우 유용하며, 교실에서 반사재를 적용하여 적정 잔향시간을 유지하기 위해서는 실의 배면과 측면에 흡음재를 더하는 것이 유리하다.

3.3 각종 기계설비 소음

시끄러운 난방장치, 환풍기, 공기조화 시스템과 같은 기계설비로부터 발생하는 소음은 각종 오피스 및 학교환경에서 흔히 발생하고 있다. 기계설비 소음은 교사와 학생 간의 정상적인 의사소통을 방해할 뿐만 아니라 교사들은 목소리를 크게 해야 하므로 교사들

의 피로를 증가시킨다.

각종 기계설비 소음을 포함한 배경소음에 대한 적절한 명료도의 확보와 학생들의 편안한 청취를 위해서는 배경소음과 교사의 음성 레벨 비율(S/N Ratio)이 최소 10dB 이상 되도록 배경소음이 낮게 유지되어야 한다.

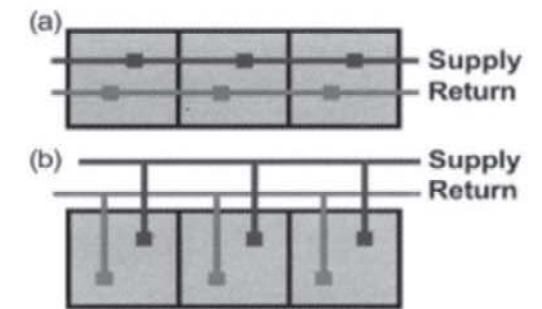
기계설비소음은 건설 초기의 잘못된 계획에 의해 발생하므로 학교 건설 후 이러한 설비 소음 개선을 위해서는 많은 비용이 소요되어야 한다. 따라서 건축 관계자 및 기계설비 설계자는 계획 단계에서 기계에서 발생하는 소음, 진동에 대해 충분히 고려해 저소음 장비 및 저소음, 진동 구조를 적용해야 한다.

교실 내에서의 적정 배경소음레벨은 일반적으로 NC(Noise Criteria) 25~30 수준이다. 이는 35dB(A)를 넘지 않는 소음레벨이며, 각종 기계설비 소음을 저감하기 위한 일반적인 방법으로 다음과 같은 방법이 미국음향학회에서 제안하고 있다.

1. 옥상의 각종 설비 기기류, VAV(Various Air-Volume Control Unit) 상자, 그리고 Fan-coil Unit는 교실과 같은 공간과 이격시킨다. 그림 2에서와 같이 메인 덕트는 복도 상부에 배치하고 분기 덕트를 통해 교실로 기류를 유입시키도록 한다. 또한 소음, 진동의 발생이 예상되는 기계설비의 주변에 교실을 배치하지 않는다.
2. 저소음 댐퍼(풍량조절기)를 사용한다.
3. 덕트내 기류속도는 가능한 낮게 하고, 실내 취출구는 NC 20~25 이하가 되는 제품을 선택한다.
4. 덕트를 통해 인접실의 소음이 전달되지 않도록 각 교실은 분기덕트를 사용한다.
5. 교실의 냉난방을 위해 일체형 패키지 장비를 사용하지 않는다.

3.4 인접실 발생 소음

근접한 실의 소음은 특히 조용한 독서시간 혹은 시험시간 동안의 학습을 방해한다. 미국의 경우 50년 전 학교의 벽은 벽돌이나 콘크리트 블록으로 지어졌으며, 이러한 재료 및 구조의 벽체 차음성능은 그다



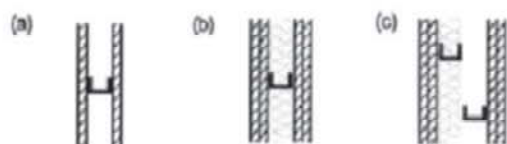
[그림 2] 좋지 않은 덕트배치 예(a)와 좋은 덕트 배치 예(b)

지 문제가 되지 않았다. 그러나 최근 경량자재의 사용으로 인해 차음성능은 오히려 감소하게 되었다. 미국의 경우도 1960~1970년대에 교실사이에 어떤 구획도 없는 형태의 열린 교실들이 건설되었으나, 실간 소음이 발생으로 인해 지속되지 못하였다.

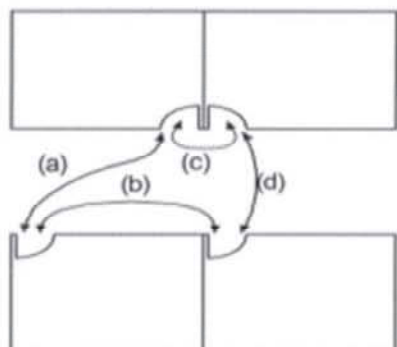
실간 차음성능을 평가하기 위한 간단한 방법으로 한쪽 실에 TV나 비디오 모니터를 설치하고 교실 뒤에서 편안히 들을 수 있는 정도의 레벨을 선택한 후, 인접 교실에서 소리가 희미하거나 알아들을 수 없다면, 경계벽의 차음성능은 적당한 것이다. 그러나 인접 교실에서 소리가 명백히 크고 특히 단어를 알아들을 수 있다면, 경계벽의 차음성능은 반드시 개선되어야 할 것이다.

그림 3은 건식 벽의 좋고 나쁜 예를 나타내는 것으로 일반적으로 벽의 부피가 증가하면 소음도는 줄어들지만 시공비가 증가하고 공간을 낭비하므로 무거운 재료와 공기층을 서로 층을 구성하여 만드는 것이다.

또한 인접실간의 소음 전달은 경계벽뿐만 아니라 창, 문, 작은 균열이나 루버 등을 통해 더 많이 전달된다. 따라서 기밀성이 높고 단단한 문을 선택한다. 문의 배치에 있어서도 그림 4의 (a), (b)의 경우 문과 문 사이의 거리가 떨어져 있어 상대적으로 좋은 경우이지만 그림 4의 (c), (d)의 경우 문이 마주보거나 매우 인접해 있어 좋지 않은 경우이다. 따라서 이웃한 실을 배치할 경우 출입구에 의해 전달되는 소음에 대한 고려가 있어야 하며 문이 쌍으로 배치되지 않도록 해야 한다. 또한 교실문은 복도를 마주보지 않도록 하고,



(a) 좋지 못한 예 (b) 일반적인 예 (c) 우수한 예
[그림 3] 건식 경계벽



[그림 4] 인접실간 출입구 배치

출입문 사이의 경로를 길게 하고, 직접 마주보지 않도록 하면 실간 소음의 전파를 감소시킬 수 있다.

효율적인 칸막이벽은 바닥에서 천장 슬래브까지 연결되어야 한다. 그렇지 않다면 소리는 천장을 거쳐 인접실로 전달된다. 특히 기계실, 체육관 및 음악실 등은 소음발생이 많은 공간으로 벽체차음성능의 향상과 함께 버퍼존을 배치하여 교육공간(교실, 도서관)과 분리해야 한다.

3.5 외부 소음원

일반적인 학교 내로 유입되는 외부 소음은 항공기, 도로교통, 학교버스, 쓰레기 차량의 기계 소음, 주변 빌딩의 설비 소음 등이 있다. 외부에서 학교 및 교실로 유입되는 소음은 학교 밖에서 발생되기 때문에 소음 저감 대책이 제한된다. 소음을 줄이기 위해 방법으로는 기밀성이 높은 창의 설치, 차음성능이 높은 이중창 설치 등을 통하여 소음을 최소화 할 수 있다.

다른 외부 소음 요인은 외부로 연결된 덕트와 덕트에 연결된 송풍기이다. 이것은 단지 외부 소음을 실

내로 전달할 뿐만 아니라 소음 그 자체를 증폭시키는 경우가 있다.

3.6 전기음향 보정장치

교실(매우 낮은 S/N 비)에서 전기 음향 시스템을 통해 어느 정도 해결 가능하지만 시설비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 교사용 무선 마이크와 스피커로 구성되는 전기음향 보정 시스템은 교실 앞에 벽이나 천장에 설치되어 학생들에게 교사가 말하는 내용을 전달한다. 교사의 소리를 증폭하는 것은 S/N비를 증가시킨다. 전기 음향 시스템은 명료도를 향상시키고, 교사가 자신의 목소리를 크게 하는 경우를 감소시켜서 기계설비 소음을 지니고 있는 공간에 유용하지만, 과도한 잔향시간을 갖는 교실의 경우 스피커에서 발생된 소리가 울려서 오히려 불명확한 상태로 전달될 수 있다. 따라서 전기음향 시스템이 교실에서 사용되거나 사용되지 않더라도 잔향시간을 적정 수준 이하로 감소시키는 음향적 방안을 수립하는 것이 필수적이다.

이외의 전기음향 시스템의 결점은 단지 교사의 소리만 증폭하여 학생들이 교사에게 질문을 하는 경우나 학생간의 대화 및 토론의 경우의 의사소통에는 효과적이지 못하다 않는다. 일부 시스템은 학생들이 차례로 들릴 수 있는 아주 작은 마이크를 제공하기도 하지만, 이런 해결책 또한 연속적인 수업 진행을 방해하기는 마찬가지이다. 또한 마이크에 가까이 말하지 않는다면 오히려 주변 소음을 증폭시켜 S/N비는 전혀 증가되지 않고 오히려 감소될 수 있다. 전기 음향 시스템에 의해 증폭된 큰 소리는 인접 교실에 더욱 많이 전달되어 인접실의 수업진행을 방해하는 소음이 된다. 따라서 전기 음향 시스템을 적용하는 경우 신중한 검토가 필수적이며 전기음향 시스템의 설치와 함께 건축음향 성능의 향상이 요구된다.

4. 교실음향 개선안 및 사례

4.1 교실 음향 개선안의 제안

일반적인 교실 디자인은 모르타르나 석고보드로

마감된 천장, 단단한 벽과 단단한 바닥을 지닌 교실이다. 이러한 일반적인 교실은 에코의 발생과 긴 잔향시간으로 인해 명료도가 낮은 경향이 있다. 잔향음은 교사의 목소리를 크게 하는 것으로 해결되지 않는다. 음향적인 장치를 통해 흡음을 증가시키고, 에코를 줄여야 해결할 수 있다. 따라서 재료적인 제안이 잔향시간 제어를 위한 가장 기본적인 방안이다. 미국 음향학회에서는 기본적인 교실 평면을 대상으로 음향적으로 우수한 교실의 기본 설계기준을 그림 5 (c)와 같이 제안하였다. 그림 5 (a)는 기본적인 교실의 형태로 잔향시간 제어를 위한 흡음재와 교사의 음성을 효과적으로 반사할 수 있는 반사판 등이 전혀 없는 음향적으로 좋지 않은 예이다.

그러나 벽에 흡음재를 적용하면 잔향시간과 에코를 줄일 수 있다. 또한 바닥에 얇은 카펫을 적용할 경우 잔향시간을 감소시키고 에코의 발생을 억제하는 효과가 있어 음향적으로 개선될 수 있다. 그림 5 (b)는 천장을 흡음 타일, 바닥을 카펫으로 마감하여 흡음력을 증가시켰으며, 차음천장을 설치하여 교실의 소리가 주변으로 전달되지 않도록 한 경우로 양호한 상태의 교실 설계안이다. 교실 디자인으로 가장 좋은 방안은 천장과 벽에 약간의 흡음재를 이용하는 것으로, 천장 중앙을 반사면으로 하거나 부분적으로 흡음하고 부분적으로 반사하는 천장이다.

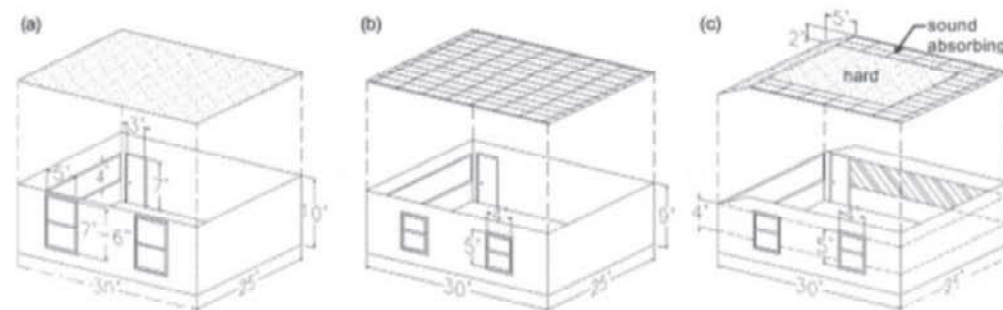
그림 5 (c)는 (b)의 경우에 더하여 교사의 강의내용

을 학생들에서 효과적으로 전달할 수 있도록 음압보강을 위해 교단부의 천장을 경사진 반사판으로 계획하였으며, 천장의 중심부에 반사재를 적용하여 음압보강이 잘 이루어지도록 한 계획안이다. 구체적으로는 음향 천장 타일을 천장의 주변에 위치시키고, 석고보드를 중앙에 배치하였다. 교실 뒤로 음을 더욱 많이 반사시키기 위해 천장은 교실 앞의 교사 쪽으로 모양이 휘어야 한다. 이런 반사면은 합판이나 석고보드같이 단단한 재료가 추천된다.

그림 5에서와 같은 단순한 천장 흡음구조와, 바닥의 얇은 카펫 설치하는 것만으로도 교실내의 잔향시간을 감소시켜 양호한 음향상태를 기대할 수 있다. 이상과 같은 방법은 교육시설을 신축 하거나 리모델링 하는 경우 경제적이고 효율적인 방법으로 활용될 수 있다. 작은 교실의 경우 NRC가 0.75보다 큰 음향 천장타일을 적용한 차음천장을 통해서도 적정 잔향시간을 이룰 수 있다. 또한 고주파 흡음을 잘하는 카펫은 학생이 발생하는 소음을 흡음하고 가구의 배열을 통해서도 에코의 발생을 억제할 수 있다.

4.2 좋고 나쁜 교실 예

열린 교실은 음향적으로 많은 결점을 갖고 있다. 반면에 교수법이나 학생들의 상호작용에는 이로운 점이 있다. 학생들은 음향적으로 쉽게 방해받고 인접 교실을 방해하게 된다. 그리고 교실내의 무질서한 행동



[그림 5] 교실 음향의 개선 방향

등은 배경소음 레벨을 증가시켜 학생들의 강의 내용 청취를 방해한다. 이를 해결하기 위해 많은 개방형 교실은 부분적인 높이를 지닌 칸막이벽으로 나누거나 커튼같이 가변이 용이한 칸막이를 설치한다. 그림 5는 미국의 열린 교실의 예로 칸막이벽이 설치되어 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 이런 시설물은 시각적인 혼란을 제거함으로써 학생들이 집중할 수 있는 환경 제공하지만 교실사이에 소음 감소에는 전혀 효과가 없다.



[그림 6] 미국의 열린 교실 예



[그림 7] 음향적으로 양호한 미국 대학의 강의실

그림 7은 학생들 사이에서 음향적으로 성능이 양호한 것으로 알려져 있는 미국 대학의 강의실로 천장의 반사판 설계와 마감재의 선택이 잘 된 경우로 판단된다. 그림 7의 경우는 음향적 특성 이외에도 시각적인 특성 및 각종 수업 편의 시설 등이 매우 잘 구비되어 있는 것으로 알려져 있다.

5. 토의 및 고찰

과거 우리나라의 교실 및 학교시설에 관한 연구는 많이 이루어져 왔으나 주로 채광 및 조명에 관련된 연구가 주를 이루었으며, 교실 음향 및 학교 주변의 소음에 관한 연구는 전무한 실정이다. 유럽, 미국 및 일본의 경우는 교실 및 각종 교육시설의 음향 및 소음에 대한 연구와 좋지 못한 음향 및 소음으로 인한 학생들의 학업성취도 저하 및 심리적인 영향 등에 대한 연구가 수행되어 왔으며, 이를 통해서 교육 시설의 음향 상태 개선을 적극적으로 추진하고 있다.

국내의 경우에 교육시설의 음향 상태 및 소음 개선을 위해서는 학교건물의 외벽 차음성능, 잔향시간 및 학교 주변의 배경소음에 대한 실태 조사가 체계적으로 이루어져야 할 것이다. 또한 기존에 설치된 방음 시설물의 방음 및 차음효과에 대한 성능 실태도 체계적으로 조사되어야 할 것이다. 이러한 음향 실태 파악과 함께 교육시설의 음향상태 및 소음에 의한 학업성취도, 심리적, 사회적 영향에 대한 정량적 조사가 이루어져야 할 것이다. 이와 같은 교육시설의 음향 실태 파악 및 피해 정도에 관한 실태 파악을 통해 국내 교육시설에서의 음향 기준을 수립하여 교육시설 내의 음환경 개선을 추진해야 할 것이다.

교육시설 내의 음향 상태 개선과 아울러 외부 소음의 교육시설 유입 방지를 위한 입지조건, 저감 기술 개발 및 각종 교육시설에서 발생하는 소음에 대한 인접 주민들의 피해사례와 저감 방안에 대한 체계적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이상의 기술 개발에 있어 교육 정책에 기반한 최적의 기술 개발이 이루어져야 할 것이며, 각국의 교육 정책에 따른 음향 개선 정책과 교육시설의 소음 관련 기준 및 제도에 관한 조사를 통해 국내실정 및 교육환경에 부합되는 방향을 수립할 수 있을 것이다.

6. 결론

이상에서의 각종 문헌조사 및 사례조사 결과에서

와 같이 교실 음향개선을 위한 기준으로 잔향시간과 배경소음이 가장 중요한 요소로 알려져 있다. 교실의 우수한 음환경을 위해 적절한 잔향시간은 0.4~0.6초, 배경소음은 NC 25~30 수준이 확보되어야 하는 것으로 조사되었다. 또한 교사의 음성레벨과 배경소음과의 비(S/N 비)는 최소 10 dB 이상 되어야 강의 내용 전달이 가능하며, 각종 기계설비에서 발생하는 소음 및 진동은 저소음 기기 선정을 통해 최소화하여야 한다.

또한 교실에서의 중요한 음향 성능 중에 하나는 벽체 차음성능이다. 인접실에서 발생하는 소음의 충분히 차음하기 위한 차음성능이 충분한 벽체 구조로 개선해야 하며, 이때 벽체의 구성은 바닥에서 천장까지 맞닿도록 해야 한다. 또한 각 출입문의 기밀성 향상과 적절한 배치를 통해 인접실로의 소음 전달을 최소화 할 수 있다.

이외에 교실에서의 적절한 음성전달을 위해서는 흡음재, 확산재 및 반사재를 적절하게 배치하여 플러터 에코, 에코 등의 음향 장애 현상을 저감할 수 있을 것이다.

이상과 같이 교실 음향을 위한 기본적인 기준을 제시하였으나, 국내의 교육정책과 실정에 부합되는 교실 및 교육시설 전반에 대한 음향 성능 개선에 대한 연구가 체계적으로 수행되어야 할 것이다. **FILK**

<참고문헌>

1. A Publication of the Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America, 2002, "Classroom Acoustics - A Resource for Creating Learning Environments With Desirable Listening Conditions."
2. 손창환, 최영준, 이경희, 1997, "채광 및 차음성능을 고려한 초등학교 교실의 환경계획적 연구," 한국교육시설학회지, 제2권 제10호, 13~20.
3. 양만우, 김재수, 2000, "대형 대학강의실의 음향 특성과 시뮬레이션에 관한 연구," 대한건축학회

- 추계학술발표대회 논문집(계획계), 제20권, 제2호.
4. A. I. Bronzaft and D. P. McCarthy, 1975, "The Effect of Elevated Train Noise on Reading Ability," Environ. Behav. 7(4), 517~527.
5. J. S. Lukas, R. B. DuPree, and J. W. Swing, 1981, "Effect of Noise on Academic Achievement and Classroom Behaviour," State of California Report FHWA/CA/DOHS-81, Berkeley.
6. J. S. Bradley, 1986, "Speech intelligibility studies in classrooms," J.Acoust.Soc.Am. 80, 846~854.
7. S. R. Bistafa and J. S. Bradley, 2001, "Predicting speech metrics in a simulated classroom with varied sound absorption" J.Acoust.Soc.Am. 109, 1474~1482.
8. M. Hodgson, 2002, "Rating, ranking, and understanding acoustical quality in university classrooms," J.Acoust.Soc.Am. 112, 568~575.
9. J. Nannariello, M. Hodgson, and F. R. Fricke, 2001, "Neural network predictions of speech levels in university classrooms," Applied Acoustics, 62, 749~767.
10. A. Astolfi, and V. Corrado, 2002, "Acoustical quality assessment of Italian high school classrooms," Inter-noise 2002.
11. K.Ueno, H. Tachibana, and A. Aoki, 2002, "Study on acoustical congress in elementary of open-plan type in Japan Part 2: Observation of classworks and inquiring survey," Inter-noise 2002.
12. H. Tachibana, K. Ueno, and A. Aoki, 2002, "Study on acoustical congress in elementary of open-plan type in Japan Part 1: Plan features and acoustic properties of schoolrooms," Inter-noise 2002.
13. N. H. Wong, and W. L. Jan, 2002, "Total building performance evaluation of academic institution in Singapore," Building and Environment, 38, 161~176.