



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

濟州地域 初等學校 教室의  
室內環境性能 및 快適性 評價에 관한 研究



濟州大學校 大學院

建築工學科

金 順 珠

2009 年 8 月

# 濟州地域 初等學校 教室의 室內環境性能 및 快適性 評價에 관한 研究

指導教授 羅 修 年

金 順 珠

이 論文을 建築工學 碩士學位 論文으로 提出함

2009 年 8 月

金順珠의 建築工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_ ①

委 員 \_\_\_\_\_ ①

委 員 \_\_\_\_\_ ①

濟州大學校 大學院

2009 年 8 月

A Study on the Assessment of Indoor Environment  
and Comfort for Elementary Schools in Jeju

Soon-Joo Kim

(Supervised by professor Su-Yeun Na)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement  
for the degree of Master of Science

2009. 8.

Department of Architectural Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

제1장 서 론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 연구방법 및 내용 .....	3
제2장 관련기준 및 연구현황분석 .....	5
2.1 국내·외 관련기준 .....	5
(1) 국내 학교시설의 환경위생 관리기준 .....	5
(2) 문부성 학교환경위생기준, 일본 .....	8
(3) 미국의 학교시설 실내환경 관련기준 및 가이드라인 .....	10
2.2 국내연구현황 .....	13
제3장 실측을 통한 실내 환경성능 분석 .....	16
3.1 대상선정 및 측정방법 .....	16
(1) 대상선정 .....	16
(2) 측정항목 및 방법 .....	18
3.2 측정대상 학교의 특성 .....	20
(1) 일반사항 .....	20
(2) 일반교실의 특징 .....	20
(3) 특별교실의 특징 .....	22
3.3 초등학교 교실의 실내 환경성능 실측조사 .....	27
(1) 온열환경 .....	27
(2) 공기환경 .....	29
(3) 음환경 .....	32
(4) 빛환경 .....	33
3.4 소결 .....	40

제4장	재실자 설문인터뷰를 통한 실내환경 분석 .....	43
4.1	실내환경에 대한 만족도 분석 .....	43
	(1) 겨울철 온열환경 .....	43
	(2) 공기환경 .....	46
	(3) 음환경 .....	48
	(4) 빛환경 .....	51
	(5) 전반적인 실내환경에 대한 만족도 .....	53
	(6) 전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유 .....	54
4.2	소결 .....	57
제5장	학교별 실내 쾌적성 평가 및 개선방향 제시 .....	59
5.1	학교별 실내 쾌적성평가 .....	59
5.2	개선방안제시 .....	71
	(1) 온열환경 .....	71
	(2) 공기환경 .....	72
	(3) 음환경 .....	73
	(4) 빛환경 .....	73
제6장	결론 .....	75
참고문헌	.....	78
국문초록	.....	80
Abstract	.....	82

## 표 목 차

<표 2.1> 학교시설의 실내공기환경 기준치 .....	7
<표 2.2> 온열환경의 쾌적범위(ASHRAE Standard 55-1992) .....	11
<표 3.1> 측정대상 초등학교 개요 .....	17
<표 3.2> 측정항목 및 사용기자재 .....	18
<표 3.3> 일반교실의 특성 .....	22
<표 3.4> 컴퓨터실의 특성 .....	24
<표 3.5> 과학실의 특성 .....	24
<표 3.6> 일반교실 및 특별교실 실내전경(1) .....	25
<표 3.7> 일반교실 및 특별교실 실내전경(2) .....	26
<표 3.8> 온열환경 측정결과 .....	28
<표 3.9> 공기환경 측정결과 .....	30
<표 3.10> 음환경 측정결과 .....	32
<표 3.11> 측정일의 천공상태 및 외부조도 .....	33
<표 3.12> 빛환경 측정결과 .....	35
<표 3.13> 학교별 일반교실의 실내 조도 및 주광률분포(1) .....	37
<표 3.14> 학교별 일반교실의 실내 조도 및 주광률분포(2) .....	38
<표 3.15> 학교별 일반교실의 실내 조도 및 주광률분포(3) .....	39
<표 4.1> 겨울철 온열환경에 대한 만족도 .....	43
<표 4.2> 온열환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율 .....	45
<표 4.3> 공기환경에 대한 만족도 .....	46
<표 4.4> 공기환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율 .....	47
<표 4.5> 음환경에 대한 만족도 .....	48
<표 4.6> 음환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율 .....	49
<표 4.7> 주요 소음원에 대한 학교별 응답순위 및 비율 .....	50
<표 4.8> 빛환경에 대한 만족도 .....	51
<표 4.9> 빛환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율 .....	52

<표 4.10> 전반적인 실내환경에 대한 만족도 .....	54
<표 4.11> 교실 실내환경에 대한 변수간 상관관계 .....	54
<표 4.12> 전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유에 대한 학교별 응답순위 및 비율 .....	55
<표 5.1> A학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	59
<표 5.2> B학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	60
<표 5.3> C학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	61
<표 5.4> D학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	62
<표 5.5> E학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	63
<표 5.6> F학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	64
<표 5.7> G학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	65
<표 5.8> H학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	66
<표 5.9> I학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	67
<표 5.10> J학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	68
<표 5.11> K학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	69
<표 5.12> L학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도 .....	70
<표 5.13> 일반교실의 실측 및 설문 결과와 개선방안 .....	74

## 그림 목 차

(그림 1.1) 연구 프로세스 .....	4
(그림 3.1) 선정학교 위치 .....	16
(그림 3.2) 측정지점 .....	19
(그림 3.3) 기자재 설치모습 .....	19
(그림 3.4) 초등학교 교실의 평면 유형 .....	20
(그림 3.5) 일반교실에서 사용되는 난방장치 유형 .....	22
(그림 3.6) 특별교실에서 사용되는 난방장치 유형 .....	24
(그림 3.7) 실내·외 온도 분포 .....	28
(그림 3.8) 실내·외 상대습도 분포 .....	29
(그림 3.9) 실내 CO <sub>2</sub> 농도 .....	31
(그림 3.10) 실내 CO농도 .....	31
(그림 3.11) 교실의 미세먼지(PM10)농도 .....	31
(그림 3.12) 실내·외 소음수준 .....	33
(그림 3.13) 각 학교별 실내 평균조도수준(인공조명 병행) .....	36
(그림 3.14) 각 학교별 평균 균제도(인공조명 병행) .....	36
(그림 3.15) 각 학교별 평균 주광률 .....	36
(그림 4.1) 겨울철 온열환경에 대한 학교별 만족도 .....	44
(그림 4.2) 겨울철 온열환경이 쾌적하지 않은 이유 .....	45
(그림 4.3) 공기환경에 대한 학교별 만족도 .....	46
(그림 4.4) 실내 공기환경이 쾌적하지 않은 이유 .....	47
(그림 4.5) 음환경에 대한 학교별 만족도 .....	48
(그림 4.6) 음환경이 쾌적하지 않은 이유 .....	50
(그림 4.7) 주요 외부 소음원 .....	51
(그림 4.8) 빛환경에 대한 학교별 만족도 .....	51
(그림 4.9) 빛환경이 쾌적하지 않은 이유 .....	53
(그림 4.10) 전반적인 실내환경에 대한 학교별 만족도 .....	54
(그림 4.11) 교실의 실내환경이 쾌적하지 않은 이유 .....	56

# 제1장 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

현대인은 하루 중 80~90%이상을 건물 내에서 생활하고 있기 때문에 재실자의 건강 및 쾌적성 측면에서 볼 때 건축물의 실내환경은 우선적으로 고려되어야 하며 매우 중요하게 다루어져야하는 부분이다. 과거에는 외부환경에 대한 보호 등 건축물의 기능적인 측면이 강조되었으나, 인류의 생활수준이 향상됨에 따라 건강하고 쾌적한 실내환경에 대한 요구가 점점 더 증가하고 있다.

건축기술의 발전에 힘입어 인류에게 더욱 건강하고 쾌적한 실내생활이 보장되고 있으나 건축물의 환경개선은 주거건물을 중심으로 업무시설, 상업시설 등에 편중되어 이루어지고 있다. 교육시설인 학교건물은 다른 시설에 비해 상대적으로 환경개선 수준이 미흡하며, 인구의 도시집중화, 대규모 주거단지개발 등에 의한 신설학교에 대한 수요 급증과 맞물려 기존 노후시설의 질적인 향상측면보다는 양적팽창에 주력하게 되는 결과를 초래하였다.

학교시설의 경우 1991년부터 현대화 시범학교의 추진으로 1994년 이후 계획되는 모든 초등학교가 현대화 초등학교로 계획되었으며<sup>1)</sup>, 2000년대 이후에는 강화된 학교보건법, 친환경건축물 인증제도, 학교 교사내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼 등에서 제시되는 지침에 따라 보다 쾌적하고 친환경적인 학교시설로 계획되고 있다.

반면, 1990년대 이전에 계획된 학교시설의 경우, 상당부분 노후화되어 실내환경을 쾌적 수준으로 유지하는데 매우 열악한 실정이다. 정부는 열악한 교육시설의 환경개선사업으로 1990년~1992년과 1996년~2000년에 걸쳐 1·2차 교육환경 개선특별회계법을 한시적으로 제정하여 노후화된 학교시설을 개·보수하고 부속

1) 이용환, 초등학교 건축물의 증개축 평가기준에 관한 연구, 한국문화공간건축학회 논문집 통권 제25호, 2009.03.

시설을 확충하여 보다 쾌적한 학습환경을 제공하고자 하였다. 2차 교육환경개선 특별회계법은 교원편의시설 확충, 개축 및 증축, 대수선, 난방시설 개선, 화장실 개선, 정화조 개선, 급수시설 개선, 승압시설 개선, 외부환경 개선, 책·결상 및 사물함보급 등 10개 세부사업을 중심으로 추진되었으나 지역적으로 개선방법 및 범위의 차이를 보였으며 예산에 따른 형평성문제로 개선 범위가 제한되었다.

학교시설은 다양한 교육 방식과 내용을 효율적이고 안전하고 쾌적하게 수행하며, 변화하는 교육과정에 대해 능동적으로 대처할 수 있는 기반이 우선되어야 하는 건물이다. 특히 초등학교시설은 어린 학생들이 성장기의 대부분을 보내면서 물리적, 정신적 영향을 크게 받게 되므로 건강하고 쾌적한 실내환경 유지는 매우 중요하다. 실내환경 수준은 학생들의 건강과 쾌적뿐만 아니라 학습능력에도 영향을 미친다.

학교 교실은 특성상 채실밀도가 높고 밀폐된 공간에서 장시간 생활하게 되므로 열, CO<sub>2</sub>, 수증기 및 기타 오염물질 등이 지속적으로 발생된다. 그러나 현재까지도 대부분의 학교에서는 교육과정에 부합하는 시설확충이 이루어질 뿐 냉·난방 및 환기에 대한 대책 마련은 제대로 이루어지지 않아 학생들의 학습능률을 저하시키고 두통, 기관지염, 아토피 등과 같은 질병을 유발시키고 있다.

따라서 본 연구는 제주지역의 기존 학교시설을 대상으로 열·공기·음·빛 등 실내 환경요소의 실측과 채실자 설문 인터뷰를 통해 실내환경의 쾌적성을 분석하여 평가하고, 개선방안을 제시함으로써 학교시설의 실내환경을 보다 건강하고 쾌적하게 개선하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 1.2 연구방법 및 내용

본 연구는 제주시내에 위치한 12개의 기존 초등학교를 대상으로 일반교실과 특별교실의 실내 환경요소를 실측하고, 교사들을 대상으로 실내 환경요소에 대한 쾌적성관련 설문조사를 함으로써 학교시설 실내환경의 종합적인 쾌적성을 평가하고, 개선방안을 제시하고자 한다.

본 연구는 크게 3단계로 이루어져 있으며 각 단계별 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

### (1) 학교시설의 실내환경관련 기초연구

- 1) 국내의 학교보건법, 일본 문부성 학교위생기준, 미국의 ASHRAE기준 및 EPA에서 제시하는 IAQ Reference guide Indoor Air Quality Tools for Schools 등을 조사하여 국내·외 기준 및 가이드라인 분석한다.
- 2) 1980년대부터 2000년대 초반까지 진행된 학교시설관련 국내 연구 중 학교시설의 실내환경 및 실내환경의 실측과 관련되는 주요 논문을 조사하여 국내 연구현황을 조사한다.

### (2) 실측 및 설문조사를 통한 실내환경 분석

- 1) 제주시내에 위치한 28개 초등학교 중 교육환경개선사업여부 및 위치 등을 고려하여 12개의 대상 초등학교를 선정하여 11월~12월에 걸쳐 실측 및 설문조사를 실시한다.
- 2) 실내·외 온도, 습도, 소음 및 조도수준과 실내 CO<sub>2</sub>, CO 및 미세먼지 농도 등을 측정하며, 교사들을 대상으로 실내 쾌적성을 묻는 항목으로 구성된 인터뷰형식의 설문조사를 실시한다.
- 3) 학교보건법시행규칙에 규정된 실내 환경요소 기준을 참고하여 측정값과 비교·분석하고, 설문조사 결과는 통계프로그램인 SPSS 12.0을 이용하여 분석한다.

(3) 실내환경의 쾌적성평가 및 개선방안 제시

학교별로 측정결과와 설문조사결과를 비교·분석하여 실내환경의 쾌적성을 종합적으로 평가하고 학교시설의 실내환경 향상을 위한 개선방안을 제시한다.

(그림 1.1)은 본 연구의 프로세스를 보여준다.



(그림 1.1) 연구프로세스

## 제2장 관련기준 및 연구현황분석

### 2.1 국내·외 관련기준

#### (1) 국내 학교시설의 환경위생 관리기준<sup>2)</sup>

국내에서는 학교시설의 환경위생 및 식품위생과 관련하여 학교보건법 제4조 및 학교보건법시행규칙 제3조에서 규정하고 있다. 교사 내 환경위생과 관련된 항목으로는 환기, 채광, 조명, 온습도의 조절기준과 환기설비의 구조 및 설치기준, 상하수도·화장실의 설치 및 관리기준, 폐기물 및 소음의 예방 및 처리기준, 교사 안에서의 공기질에 대한 유지·관리기준 등이 있으며 각 항목에 대한 기준치를 제시하고 있다.

국내 학교 교사 내 환경위생기준은 1967년 “학교의 시설 기준”으로써 야간학교 및 도서실의 조도기준을 50lux로 규정한 것이 시초이며 이후 30여 년간 조도기준에 대한 규정만 유지되어오다 1997년 ‘소음 및 온도기준’이 추가되었다. 2002년에는 채광 및 온·습도, 이산화탄소와 미세먼지 등 환경위생 10개 항목과 먹는 물 관리기준 등 식품위생 2항목에 대한 유지·관리기준은 주요 내용으로 한 「학교보건법 시행규칙」이 제정되었다.

실내에서 발생하는 오염물질이 실외에서 발생하는 오염물질보다 인체에 더 치명적인 영향을 미친다는 연구결과가 발표됨에 따라 전세계적으로 실내공기질에 대한 관심이 급증하였으며 이와 관련된 연구가 활발하게 진행되었다. 국내에서도 건축물의 내부마감재에서 “포름알데히드 및 휘발성유기화합물” 등 인체에 유해한 물질이 검출되고, 난방에너지 저감정책의 일환으로 건물의 기밀성이 향상됨에 따라 실내공기질관련 문제가 대두되었다. 이에 따라 2004년 다중이용시설 등의 실내공기질관리법이 우선적으로 시행되고 2006년 학교시설과 관련된 실내공기질 관련 규정이 강화되었다. 교사내공기질 관리항목이 이산화탄소, 미세먼지의 2개

2) 학교보건법

학교보건법시행규칙

학교 교사내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼, 교육과학기술부

항목에서 포름알데히드, 총부유세균, 낙하세균, 일산화탄소, 이산화질소, 라돈, 총 휘발성유기화합물, 석면, 오존, 진드기 등이 추가되어 총 12개의 항목으로 확대 적용되고, 정기적인 오염도 측정을 의무화하는 등 유지·관리 기준도 대폭 강화되었다. 또한 교육인적자원부(현 교육과학기술부)에서는 이러한 규정을 보다 효과적으로 적용하기 위해 세부시행 지침서로써 학교시설의 환경위생 및 식품위생 항목의 점검 및 측정방법, 판정기준, 사후조치 등이 명시된 「학교 교사내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼」을 제작·보급하였다.

교사내 환경위생관련 항목 중 실내 빛환경, 음환경, 온열 및 공기환경과 관련된 항목을 살펴보면 다음과 같다.

#### 1) 환기

자연환기 및 기계환기 설비를 이용하여 1인당 환기량이  $21.6\text{m}^3/\text{h}$  이상이 되도록 규정하고 있으며 환기를 통해 실내공기질이 교사내 공기질 기준을 충족시킬 수 있도록 하고 있다.

#### 2) 채광 및 조명

자연채광의 경우 주광률은 실내조도를 천공조도로 나누어 백분율로 환산한 값을 의미하며 최소 2%이상, 평균 주광률 5%가 확보되어야 한다. 또한 균제도는 최대조도와 최소조도의 비가 10:1 이하가 유지되도록 하며, 교실외부에 위치한 반사물에 의한 눈부심이 발생하지 않도록 규정하고 있다. 인공조명의 경우 책상면의 조도가  $300\text{lux}$  이상을 유지하며, 균제도는 3:1이하, 인공조명에 의한 눈부심이 발생하지 않도록 규정하고 있다.

#### 3) 온·습도

실내적정온도범위는  $18\sim 28^\circ\text{C}$ 로 난방온도는  $18\sim 20^\circ\text{C}$ , 냉방온도는  $26\sim 28^\circ\text{C}$ 를 유지하도록 하고 있다. 또한 상대습도는 30%이상 80%이하로 할 것을 규정하고 있다.

#### 4) 실내공기질

교사 안에서의 공기질 유지·관리기준에서 다뤄지는 오염물질은 총 12개로 오염물질의 특성에 따라 모든 교실에 적용되기도 하고 특수시설에만 적용되기도 한다.

우선 모든 교실에 적용되는 오염물질기준은 미세먼지(PM10)  $100\mu\text{m}/\text{m}^3$ , 이산화탄소 1000ppm(기계환기시설은 1500ppm), 포름알데히드  $100\mu\text{m}/\text{m}^3$ , 총부유세균 800CFU/ $\text{m}^3$ 이다. 낙하세균은 보건실 및 식당에 적용되며 10CFU/실, 일산화탄소 및 이산화질소는 도로변 교실과 직접연소에 의한 개별난방이 이루어지는 교실에 적용되며 각각 10ppm, 0.05ppm이하로 규정된다. 라돈의 기준치는 4.0pCi/L이하로 지하교실에 적용되며, 증축 및 개축을 포함하여 신축한 지 3년 이내의 학교시설에 대해서는 총휘발성유기화합물에 대한 검사가 이루어지고  $400\mu\text{m}/\text{m}^3$ 이하로 유지되어야 한다. 또한 석면(0.01개/cc이하)은 석면을 단열재로 사용한 경우, 오존(0.06ppm이하)은 교무실 및 행정실 등 오존이 발생하는 사무기기가 있는 실의 경우, 진드기(100마리/ $\text{m}^2$ 이하)는 보건실의 경우에 한해 각각 측정한다.

표 2.1은 학교보건법시행규칙에 명시된 실내공기환경 기준치를 보여준다.

<표 2.1> 학교시설의 실내공기환경 기준치

오염물질항목	기준	적용시설	비고
미세먼지( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ )	100	모든 교실	10마이크로미터 이하
이산화탄소(ppm)	1,000		기계환기시설은 1,500ppm
폼알데하이드( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ )	100		
총부유세균(CFU/ $\text{m}^3$ )	800		
낙하세균(CFU/실당)	10	보건실, 식당	
일산화탄소(ppm)	10	개별난방 및 도로변교실	직접연소에 의한 난방의 경우
이산화질소(ppm)	0.05		
라돈(pCi/L)	4.0	지하교실	
총휘발성유기화합물( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ )	400	건축한 때로부터 3년이 경과되지 아니한 학교	증축 및 개축 포함
석면(개/cc)	0.01	석면을 사용하는 학교	단열재로 석면을 사용한 학교의 경우
오존(ppm)	0.06	교무실 및 행정실	오존을 발생시키는 사무기기(복사기 등)가 있는 경우
진드기(마리/ $\text{m}^2$ )	100	보건실	

(2) 문부성 학교환경위생기준<sup>3)</sup>, 일본

일본 문부성에서 제시하고 있는 학교환경위생기준은 실내환경에 대한 적정 기준을 제시할 뿐만 아니라 체계적인 환경위생검사를 목적으로 검사사항, 검사횟수, 방법, 판정기준 및 사후조치에 대한 기준을 제시하고 있다. 위생검사는 연간 1~2회 실시되는 정기검사와 전염병이나 식중독의 발생, 책상, 의자와 같은 비품 구입 및 리모델링 등에 의해 휘발성유기화합물이 발생할 우려가 있는 경우 실시되는 수시검사, 일상적으로 적정수준을 유지하기 위한 일상점검의 세 가지 형태로 이루어진다.

위생검사 시에는 실내 빛환경, 음환경, 온열 및 공기환경관리를 비롯하여 식수 및 우수이용 시설에 대한 수질관리, 급식시설 및 식품위생관리, 수영장관리, 배수관리, 책상·의자정비, 칠판관리, 세면장관리, 화장실관리, 쓰레기처리, 해충관리 등 학교시설 전반에 대한 검사가 진행된다.

관리항목 중 실내 빛환경, 음환경, 온열 및 공기환경과 관련된 항목을 살펴보면 다음과 같다.

1) 조도 및 빛환경

교실의 조도기준은 최저치를 300lux이상으로 규정하고 있으며 교실 및 칠판의 권장조도는 500lux이다. 균제도에 대해서는 교실과 칠판 각각에 대해 최대조도와 최소조도의 비율이 10:1을 넘지 않도록 하고 부득이한 경우에도 20:1을 초과하지 않도록 제시하고 있다. 또한 TV 및 모니터 화면의 수직면조도는 100~500lux를 권장하고 있다.

현휘에 대해서는 교실에 있는 학생이 볼 때 칠판을 중심으로 15도 범위 내에 빛이 강한 광원이 존재하지 않고, 칠판면 및 책상면에 광막반사가 일어나지 않도록 하며 전등이나 창으로 유입되는 빛이 TV나 모니터 화면에 반사되지 않도록 규정하고 있다.

3) 學校環境衛生の基準, 일본문부성

## 2) 소음수준 및 음환경

일반적으로 음악실, 미술실 등의 특별교실, 강당, 급식시설 및 운동장 등 교내에서 발생하는 소음과 인근도로 등에서 발생하는 외부소음이 교실에 미치는 영향 정도를 평가한다. 일반교실 중 교내·외의 소음영향을 가장 많이 받는 교실에 대해 학생이 없는 상태에서의 소음수준을 측정하며 창문을 닫은 상태에서는 등가소음수준(Leq) 50dB이하, 창문을 열어놓은 상태에서는 등가소음수준(Leq) 55dB이하를 권장한다.

## 3) 공기환경

공기환경의 항목에는 온열환경 및 공기청정도, 포름알데히드(HCHO)와 휘발성 유기화합물, 환기횟수 등과 관련된 검사가 이루어진다. 보통 온도, 상대습도, 이산화탄소, 포름알데히드(HCHO), 톨루엔(Toluene), 환기횟수에 대한 검사가 이루어지고 기류, 일산화탄소, 이산화질소, 부유분진, 낙하세균, 유효복사온도, 크실렌(Xylene), P-dichloro benzene, 에틸벤젠(Ethylbenzene) 등의 항목은 필요한 경우에 한해 검사가 진행된다.

교실내 온도분포는 겨울철에는 10℃ 이상, 여름철에는 30℃ 이하가 적합하지만 최적 범위로는 겨울철 18~20℃, 여름철 25~28℃로 권장하고 있으며 상대습도는 30~80%를 권장한다. 이산화탄소는 1500ppm(0.15%)이하, 기류속도는 0.5m/s이하, 일산화탄소는 10ppm(0.001%)이하, 이산화질소는 0.06ppm이하, 부유분진은 0.10mg/m<sup>3</sup>, 낙하세균은 단위교실당 10콜로니이하, 유효복사온도는 흑구온도와 건구온도의 차가 5℃미만으로 권장하고 있다.

포름알데히드 및 휘발성유기화합물관련 기준으로는 25℃로 단위환산하여 포름알데히드는 100μm/m<sup>3</sup>(0.08ppm)이하, 톨루엔은 260μm/m<sup>3</sup>(0.07ppm)이하, 크실렌은 870μm/m<sup>3</sup>(0.20ppm)이하, P-dichloro benzene은 240μm/m<sup>3</sup>(0.04ppm)이하, 에틸벤젠은 3800μm/m<sup>3</sup>(0.88ppm), 스틸렌은 220μm/m<sup>3</sup>(0.05ppm)이하로 정하고 있다.

## 4) 환기

환기횟수는 40명 재실, 180m<sup>3</sup> 체적의 교실을 기준으로 유치원이나 초등학교는 2.2회/h이상, 중학교는 3.2회/h이상, 고등학교는 4.4회/h이상으로 규정하고 있다.

### 5) 진드기 및 진드기 알레르겐

진드기 수는 100마리 이하, 또는 동등한 수준의 알레르겐양으로 제한하고 있다.

### (3) 미국의 학교시설 실내환경 관련기준 및 가이드라인<sup>4)</sup>

IAQ Reference guide Indoor Air Quality Tools for Schools는 학교시설에 대해 최소한의 비용으로 주요 실내공기환경관련문제를 예방하거나 해결할 수 있도록 EPA(U.S. Environmental Protection Agency)에서 제시한 가이드라인이다. 이 가이드라인은 ASHRAE(The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 미국냉동공조학회)에서 규정하는 온·습도, 최소환기량, 실내공기환경 관련 기준 및 EPA(U.S Environmental Protection Agency)에서 규정하는 NAAQS(The U.S. National Ambient Air Quality Standards), OSHA(Occupational Safety and Health Administration, 직업안전위생관리국), NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health, 국립직업안전건강연구소), CPSC(The Consumer Product Safety Commission, 소비자제품안전위원회)에서 규정하는 기준 등을 참고한다.

미국의 경우 연방정부에서 제시하는 규정 및 가이드라인과는 별도로 각각의 주정부에서 지역적, 기후적 특성을 고려하여 제시하는 규정 및 가이드라인이 있으나 본 논문에서는 연방정부에서 제시하는 기준 및 가이드라인을 중심으로 정리하였다.

#### 1) 온열환경

실내온도와 상대습도에 대한 사람들의 쾌적감에는 사람들의 착의량, 활동량, 연령, 생리적 특성 등 많은 변수들이 관련되므로 ASHRAE Standard 55-1992에서는 일상적인 실내복을 착용하고, 주로 앉아서 작업하는 사람들의 80%가 쾌적하다고 생각하는 온·습도 범위를 쾌적영역으로 보고 있다. 표 2.1은 "ASHRAE Standard 55-1992, Thermal Environmental Condition for Human Occupancy"에 규정되어 있는 상대습도별 냉·난방기 실내기온의 쾌적범위를 보여준다. 이 규정은 계절에 맞는 일상적인 복장을 착용하고 가벼운 활동 또는 주로 앉아서 작업하는 사람을 기준으로 적용된다.

4) IAQ Reference guide Indoor Air Quality Tools for Schools(2005. 01)

<표 2.2> 온열환경의 쾌적범위(ASHRAE Standard 55-1992)

상대습도	난방기 실내기온°F(°C)	냉방기 실내기온°F(°C)
30%	68.5~75.5(20.28~24.16)	74.0~80.0(23.33~26.67)
40%	68.0~75.0(20.00~23.89)	73.5~80.0(23.06~26.67)
50%	68.0~74.5(20.00~23.61)	73.0~79.0(22.78~26.11)
60%	67.5~74.0(19.72~23.33)	73.0~78.5(22.78~25.83)

## 2) 환기

ASHRAE Standard 62-2001, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality에서 규정하는 최소환기 권장량은 교실의 경우 일인당 15cfm(25.49m<sup>3</sup>/h)이다.

## 3) 공기환경

ASHRAE Standard 62-2001에 의하면 사용중인 교실의 CO<sub>2</sub>의 농도는 외기에 비해 대략 700ppm가량 높은 값을 한계치로 하며 보통 1000ppm정도 수준이 된다. NAAQS에는 CO, 납, NO<sub>2</sub>, PM10, PM2.5, 오존, SO<sub>2</sub>등에 대한 기준을 제시하고 있으며, CO농도는 8시간 평균 9ppm, 한 시간 평균 35ppm으로 규정하고 있다. 미세먼지(PM10)는 24시간 평균 150 $\mu$ m/m<sup>3</sup>이하, PM2.5는 24시간평균 35 $\mu$ m/m<sup>3</sup>이하, 오존은 8시간 평균 0.075ppm이하로 규정하고 있다.

## 4) 빛환경<sup>5)</sup>

IESNA(Illuminating Engineering Society of North America, 미국조명기사협회)에서 제공하는 IES Handbook에는 작업의 특성을 고려하여 9개의 범주로 구분하여 각각의 작업에 대해 조도권장값을 제시하고 있다. 작업은 A~I(I로 갈수록 난이도 및 중요성이 커짐)로 구분된다. 또한 각 공간은 물론 그 공간에서 일어날 수 있는 행동을 A~I의 작업 카테고리 분류함으로써 공간적 특성은 물론 그 공간에서 일어날 수 있는 행동을 고려하여 조도를 설정하도록 하고 있다.

일반교실에서 주로 이루어지는 행동은 연필을 이용한 필기작업, 사진이 첨부된

5) <http://darkwing.uoregon.edu/~akwok/VSCS/AshCreek/lighting/home.html>

복사물 읽기, 교과서에 실린 사진검토 등이며 이러한 행동을 위한 권장조도기준은 30~50fc(300~500lx)가 적당한 것으로 볼 수 있다.

#### 5) 음환경<sup>6)</sup>

ANSI(American National Standards Institute, 미국표준협회)에서는 교실의 음환경과 관련하여 채실자가 없는 상태에서의 한시간평균 배경소음, 잔향시간 및 SNR(Signal-to-Noise Ratio)로 평가하고 있다. SNR은 데시벨로 측정된 교사(教師)의 음성의 소음레벨(A특성 음압레벨)에서 교실의 배경소음을 빼서 나타낸 것으로 실내에서의 음성명료도(speech intelligibility)를 비교적 간단하게 판단할 수 있다.

ANSI S12.60-2002에 의하면 체적이 566m<sup>3</sup>이하 규모의 교실에 대해 채실자가 없는 상태에서의 한시간평균 배경소음은 35dB(A)이하, 잔향시간은 0.6~0.7초, SNR은 +15dB(A)이상을 권장하고 있다.

---

6) Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, ANSI, 2002. 06.

## 2.2 국내연구현황

교실의 환경성능에 관한 연구는 크게 온열환경, 공기환경, 음환경, 빛환경의 4가지 환경요소에 대해 실측 및 설문조사를 통한 객관적·주관적 교실환경평가와 계산식, 예측프로그램 또는 시뮬레이션을 통한 개선안 제시 및 검증의 방법으로 진행되어왔다.

1980년대부터 2000년대 초반까지 교실의 환경성능에 관한 연구는 온열환경, 빛환경, 음환경에 대해 이루어졌으며, 주로 빛환경 및 음환경 관련 연구가 주류를 이루었다.

이경희, 유호춘, 최윤희<sup>7)</sup>은 초등학교의 빛환경과 열환경을 실측하고, 학생들을 대상으로 설문조사를 실시하여 교실환경을 분석하였다. 또한 표준설계도에 따라 설계된 교실을 대상으로 컴퓨터시뮬레이션을 이용하여 창높이, 창폭, 차양, 창대높이 변화에 따른 주광율변화를 예측하고, SLR 비교분석법 프로그램을 통하여 외피조건, 남측집열창, 바닥면적, 천장고, 차양수정계수 변화에 따른 열성능을 평가하였다.

이에 대한 후속연구로 이경희, 이상우, 최원령<sup>8)</sup>은 초등학교 교실의 상하층간, 인접교실간 차음성능을 평가하고, 잔향시간을 측정하여 주파수별로 분석하였으며 실내 소음성능 및 잔향시간을 시뮬레이션하여 쾌적한 음환경을 위한 방안을 제시하였다.

임상훈, 천원기, 오정무, 이남호<sup>9)</sup>는 1992년 일반학교와 빛환경 개선학교, 자연형 태양열학교를 대상으로 교실의 수평·수직조도를 측정하여 문제점을 지적하고, 대안으로 남측복도형 자연형 태양열학교를 제안하였으며, 루멘법을 활용한 주광률 예측을 통해 대안을 검증하였다.

7) 이경희, 유호춘, 최윤희, 학습환경 개선을 위한 국민학교교실의 설계기본설정에 관한 연구(I), 대한건축학회논문집 Vol. 5, No. 5, 1989. 10.

8) 이경희, 이상우, 최원령, 학습환경 개선을 위한 국민학교교실의 설계기본설정에 관한 연구(II), 대한건축학회논문집 Vol. 5 No. 6, 1989. 12.

9) 임상훈, 천원기, 오정무, 이남호, 초·중·고등학교 교실의 빛환경 실측 연구, 태양에너지 Vol.12 No. 1, 1992

정진현<sup>10)</sup>은 1996년과 1997년에 각각 초등학교 일반교실과 컴퓨터실을 대상으로 조명환경을 측정하고, 학생들을 대상으로 관련 설문조사를 실시함으로써 교실의 전반적인 조명환경의 개선사항을 도출하였다.

주로 문교부표준설계 및 학교표준설계도를 기반으로 지어진 동일한 모듈의 교실과 자연형 태양열학교를 대상으로 진행되던 연구가 1997년 ‘학교시설 설비 기준령’이 폐지되고 ‘고등학교이하 각급학교 설립 운영규정’이 제정되면서 다양한 모듈의 교실, 특별교실 및 개방형교실로 연구범위가 확대되었다. 특히 수업방식의 변화에 따른 음환경에 대한 연구가 중점적으로 이루어졌다.

오양기와 이현영<sup>11)</sup>은 초등학교 교실모듈 4가지를 선정하여 음향현황(외부소음레벨, 내부발생소음, 차음성능, 실내음향성능)을 측정하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 각 교실모듈에 대한 음향성능 개선안을 제시하였다.

모승준<sup>12)</sup>은 멀티미디어기기 및 확성기 사용증가가 학교시설의 음환경에 미치는 영향에 대해 소음레벨을 측정함으로써 파악하였다. 또한, 통계적에너지해석법 시뮬레이션을 이용하여 다목적실의 설치, 내부마감계획, 소음원의 분산배치를 통한 음환경 개선안을 제시하였다.

한찬훈과 문규천<sup>13)</sup>은 표준설계초등학교와 설계경기에 의한 일반교실 및 열린교실 초등학교를 대상으로 실내음향인자와 실간 차음성능을 측정·분석하여 열린교실의 건축음향적 문제점을 지적하고, 초·중·고등학교 교실의 종류에 따른 실내 음환경기준 마련 및 부위별 적정 실내마감재 제시의 필요성을 기술하였다.

최원갑과 신직수<sup>14)</sup>는 음악실로 사용되는 일반교실의 음향성능을 측정하여 문제점을 분석하고 개선안을 제시하였으며, 개선 후 음향성능 측정을 통해 향상정도를 평가하였다.

10) 정진현, 초등학교 교실의 시환경에 관한 조사연구, 한국교육시설학회지 Vol. 3 No. 1, 1996. 06.  
정진현, 컴퓨터실에 있어서 VDT작업공간의 조명환경 개선에 관한 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 4 No. 3, 1997. 09.

11) 오양기, 이현영, 학교교실의 실내환경 실태 조사 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 7 No. 3, 2000. 07.

12) 모승준, 학교건축의 음환경 개선에 관한 연구, 동국대학교 대학원 건축공학과 박사논문, 2002.

13) 한찬훈, 문규천, 초등학교 교실의 음환경 평가에 관한 실험적 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 11 No. 1, 2004. 01.

14) 최원갑, 신직수, 초등학교 음악실의 실내음향 개선에 대한 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 13 No. 1, 2006. 01.

1996년 ‘지하생활공간공기질관리법’제정을 시작으로 실내공기오염에 관한 관심이 증가하고, 학교시설에 대해서도 2002년 4월 학교보건법시행규칙이 제정되어 교실의 환경위생기준이 설정<sup>15)</sup>됨에 따라 학교시설의 실내공기환경에 대한 연구가 급증하게 되었다. 뿐만 아니라 2005년 11월에는 휘발성유기화합물 및 포름알데히드에 대해서도 확대 적용되고 교실의 환경위생기준이 강화되어 최근에는 신축학교의 실내공기질에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

신은상과 김진우<sup>16)</sup>는 초·중·고등학교를 대상으로 동절기의 SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, PM10 농도와 하절기의 PM10 농도를 측정하고, 학생들에게 PM10관련 설문을 실시함으로써 교실의 전반적인 공기환경을 분석하였다.

김정덕<sup>17)</sup>은 동절기와 하절기 일부기간동안 구교실과 신교실을 각각 20개 선정하여 PM10과 VOCs에 대한 실내·실외·개인 노출 정도를 측정하고, 보건교사, 담임교사, 학생들을 대상으로 실내공기질에 대한 설문조사를 실시하였다. 또한 그 결과로서 실내공기의 중요성에 대한 교육의 필요성과 공기질 향상을 위한 환기장치의 필요성을 제안하였다.

이정재, 김석근, 최석용<sup>18)</sup>은 신축학교를 대상으로 CO<sub>2</sub>, CO, 미세먼지, 포름알데히드 등의 측정을 통해 부산지역 신축학교의 실내공기질현황을 파악하였다.

손종렬, 노영만, 손부순<sup>19)</sup>은 전국 55개 유치원, 초·중·고등학교를 대상으로 여름, 가을, 겨울의 물리적환경(온·습도, 조도, 소음수준)과 실내공기환경을 측정·분석하였다. 이 연구는 기존의 연구에 비해 연구대상지역, 시설 및 오염물질 등 그 연구 범위가 광범위하게 진행되었다.

15) 안철린, 김좌진, 금종수, 박효순, 학교건물의 공기질 개선을 위한 환기시스템 적용에 관한 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 11 No. 2, 2004. 03

16) 신은상, 김진우, 수원지역 초·중·고등학교 교실의 실내 공기오염도에 관한 연구, 대한위생학회지 Vol. 17 No. 1, 2002. 09.

17) 김정덕, 학교 실내환경의 PM10과 VOCs의 농도 및 실내공기질 인식에 관한 연구, 순천향대학교 대학원 박사학위논문, 2004. 06.

18) 이정재, 김석근, 최석용, 부산지역의 신축학교 실내공기질 현장측정, 대한건축학회논문집 Vol. 21 No. 6, 2005. 06

19) 손종렬, 노영만, 손부순, 국내 일부학교 건축물의 실내공기질 평가, 한국환경보건학회지 Vol. 32 No. 2, 2006.

## 제3장 실측을 통한 실내 환경성능 분석

### 3.1 대상선정 및 측정방법

#### (1) 대상선정

본 연구에서는 제주시내<sup>20)</sup>에 위치한 총 28개의 초등학교 중 12개의 학교를 선정하여 일반교실 및 특별교실의 환경성능을 측정하였다. 실측대상학교는 교육환경개선사업이 진행된 5개 학교를 우선적으로 선정하고 시내와 시외곽 지역에 균등하게 배분되도록 나머지 7개 학교를 선정하였다.

측정은 11월~12월에 걸쳐 온열환경, 공기환경, 음환경 및 빛환경에 대해 진행하였으며, 교실의 쾌적성 평가를 위한 설문조사도 병행하였다. 대부분의 측정은 5교시 수업시간에 맞추어 진행되었으나, 학교 사정에 따라 오전에 측정이 이루어진 경우도 있다.

(그림 3.1)은 측정대상학교의 위치를 보여주며, <표 3.1>은 측정대상 초등학교의 개요를 보여준다.



(그림 3.1) 선정학교 위치

20) 행정구역 개편이전의 제주시기준

<표 3.1> 측정대상 초등학교 개요

학교구분	학교전경	개교년도	최근 증축년도	기 타
KY		1951	2001	
NH		1953	2005	· 운동장전면에 6차선도로와 인접
DK		1993	2002	
DH		1998	2001	· 제주교육환경백서 개선우수사례
BK		1945	2001	· 제주교육환경백서 개선우수사례 · 운동장전면에 6차선도로와 인접
SK		1989	2006	
AR		1945	1999	· 제주교육환경백서 개선우수사례 · 교사동측으로 6차선도로와 인접
IH		1980	2004	· 교내 증설공사 중
JN		1946	2000	
JB		1907	1997	
HR		2001	2004	· 제주교육환경백서 개선우수사례
HC		1984	2002	· 제주교육환경백서 개선우수사례

## (2) 측정항목 및 방법

학교 교실의 실내환경을 평가하기 위한 요소는 온열환경(온도, 습도), 공기환경(CO<sub>2</sub>, CO, 미세먼지), 음환경(소음레벨) 및 빛환경(조도, 균제도, 주광률) 등으로 설정하였다.

각 측정항목별 사용 기자재는 <표 3.2>와 같다.

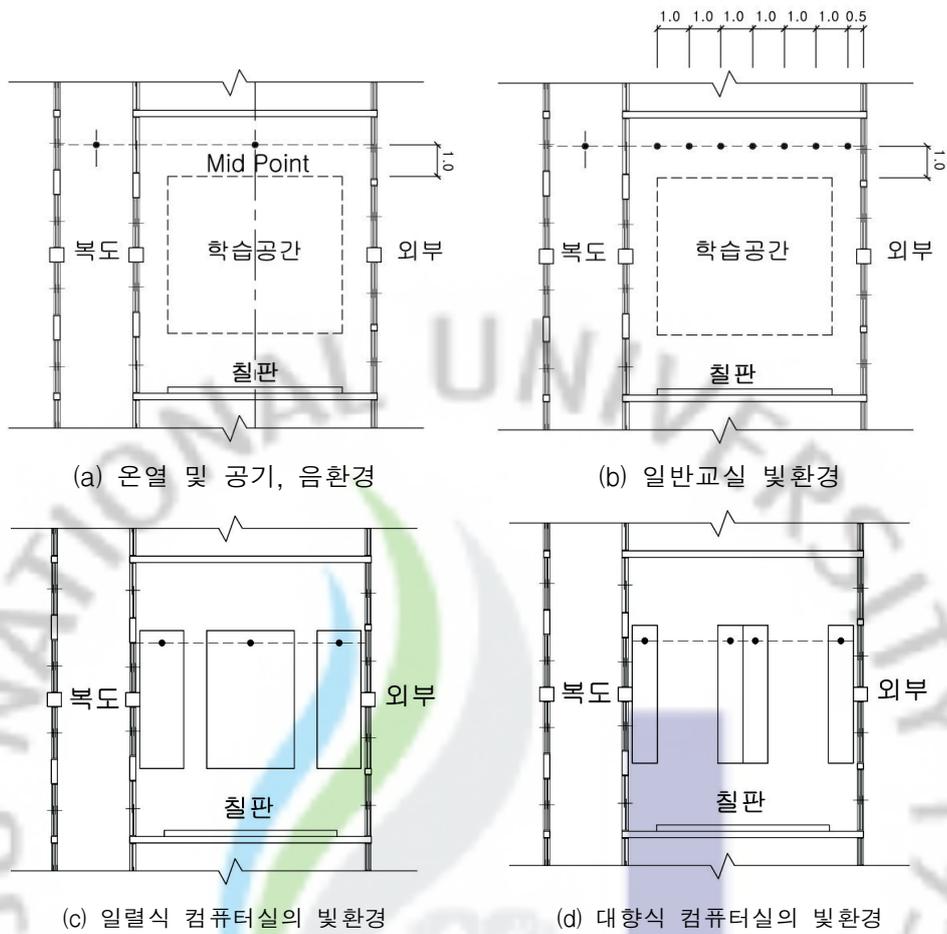
<표 3.2> 측정항목 및 사용기자재

측정항목		사용기자재
온열환경	온도, 습도	아스만통풍건습계, TSI IAQ측정기
공기환경	CO, CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> Indicator CMCD 10p
	PM10	Kanomax Digital Dust Monitor 3421
음환경	소음	Sonometre-Sound Level Meter SIP95
빛환경	조도	Lux Meter TES 1332

실내 온열환경은 교실 중앙부와 복도를 각각 20분 이상 연속측정 하였다. CO 및 CO<sub>2</sub>는 교실뒤편 중앙지점의 0.5~1m의 높이에 CO<sub>2</sub> Indicator CMCD 10p을 설치하여 측정하였다. 미세먼지(PM10)는 Kanomax Digital Dust Monitor 3421을 0.5~1.0m 높이에 설치하여 30분간 측정하였다. 소음은 정밀소음측정기(Sonometre-Sound Level Meter SIP95)를 이용하여 교실과 복도에 대해 각각 수업시간 및 쉬는 시간의 Leq(Equivalent Continuous Sound Level, 계속음등가레벨)를 측정하였다.

조도는 자연광만 이용한 경우와 인공조명이 켜진 경우 각각에 대하여 책상높이에서 측정하였다. 단, 컴퓨터실에 대해서는 책상배치 방식에 따라 일렬식은 3지점, 대향식은 4지점을 선정하였고, 각 지점별로 모니터의 수직조도와 키보드의 수평조도를 측정하였다. 자연광의 경우, 천공상태에 따라 수시로 변화하므로 5회씩 측정하여 평균값을 사용하였다.

(그림 3.2)와 (그림 3.3)은 각각 측정요소별 측정지점과 측정기자재의 설치모습을 보여준다.



(그림 3.2) 측정지점



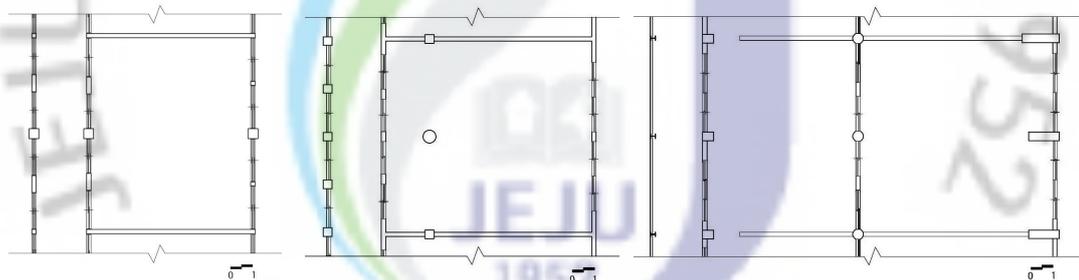
(그림 3.3) 기자제 설치모습

### 3.2 측정대상 학교의 특성

#### (1) 일반사항

측정 대상 초등학교 중 10개 학교는 1993년도 이전에 건설된 것으로 ‘문교부표준설계’ 혹은 ‘학교표준설계도’를 기반으로 지어졌다. 그러나 1997년 ‘학교시설 설비기준령’이 폐지된 이후 6개의 초등학교가 교실확장을 통해 교실모듈을 변경하였고, 4개의 초등학교가 기존의 ‘9.0×7.5(7.2)’의 모듈을 유지하는 것으로 조사되었다. 특별교실(컴퓨터실, 과학실)의 모듈은 일반교실에 비해 학교 특성에 따라 다양하게 나타났다.

(그림 3.4)는 초등학교 교실의 평면유형을 보여주는데 (a)는 ‘문교부표준설계’ 혹은 ‘학교표준설계도’를 기반으로 계획된 일반 초등학교의 교실을 보여주며, (b)와 (c)는 각각 열린교육으로 대표되는 7차 교육과정 등을 고려하여 확장된 교실과 7차 교육과정에 맞춰 계획된 교실을 보여준다.



(a) 일반 초등학교 교실      (b) 확장한 교실      (c) 7차 교육과정에 맞춰 신축한 교실

(그림 3.4) 초등학교 교실의 평면 유형

#### (2) 일반교실의 특징

일반교실은 실측대상 학교 중 E, G, H학교를 제외한 모든 학교가 남향계열로 조사되었으며, E, G, H학교는 각각 서향, 북동향, 동향인 것으로 조사되었다. 측정 대상교실이 2층에 위치한 학교가 A, B, F, G, H, J 등 6개 학교로 가장 많았으며 3층에 위치한 학교가 D, K 등 2개교, 4층에 위치한 학교가 C, I 등 2개교로 조사되었다. 또한, E와 L학교의 측정 대상교실은 각각 5층과 1층에 위치하는 것

으로 조사되었다.

일반교실의 교실규모를 살펴보면 C, G, J, K의 4개교가 ‘문교부표준설계’ 혹은 ‘학교표준설계도’를 기반으로 한 교실모듈을 그대로 유지하고 있었으며, A, B, D, F학교가 너비(교실 칠판에서 후면까지의 길이)는 9.0m로 유지하면서 폭(복도에서 외벽창호까지의 길이)을 9.6~9.9m로 확장하였다. 또한, H와 L학교의 경우는 폭은 그대로 유지하면서 너비를 각각 12.0m와 13.5m로 확장하였다. E와 I학교의 경우는 7차 교육과정에 맞춰 지어졌으며, E학교는 “9.0×9.0”모듈로 계획되었고, I학교는 “9.0×7.5”의 모듈의 개방형으로 계획되었다.

천장고는 모든 학교에서 2.6~2.8m로 비슷하였으며 복도폭은 7차 교육과정에 맞춰 지어진 E와 I학교를 제외한 대부분의 학교에서 2.0~3.0m이었다. E와 I학교는 복도에 전실이 포함되어 각각 7.0과 7.5m 폭으로 기존 복도보다 2~3배정도 넓은 것으로 나타났다. 각 교실 당 재실 학생 수는 26명~39명으로 1인당 점유면적은 1.9~3.6㎡/인의 분포를 보였다.

측정기간이 중간기에서 동절기임을 감안하여 각 학교별 난방기보유여부를 조사하였는데 K와 L학교가 이동식 가스히터를 사용하고 있었고, B학교가 중앙식 난방방식을 이용하고 있었다. 그 밖의 학교에서는 교사가 개인적으로 전기난로를 이용하여 난방을 하는 경우도 있었으나 학생들을 위한 난방시설은 없는 것으로 조사되었다.

<표 3.3>은 일반교실의 규모(dimension) 및 1인당 점유면적 등 일반교실의 특성을 요약하여 보여주며, (그림 3.5)는 난방장치가 있는 학교의 일반교실에서 사용되고 있는 난방장치의 유형을 보여준다.

<표 3.3> 일반교실의 특성

학교 구분	향	층	너비	폭	천장고	복도폭	재실 학생수	1인당 점유면적 (m <sup>2</sup> /인)	난방기 보유여부
A	SE	2	9.0	9.9	2.8	2.5	32	2.8	×
B	SW	2	9.0	9.6	2.7	2.5	32	2.7	○ (중앙집중식난방장치)
C	S	4	9.0	7.5	2.8	2.8	34	2.0	×
D	S	3	9.0	9.6	2.6	2.5	39	2.2	×
E	W	5	9.0	9.0	2.7	7.0	36	2.3	×
F	S	2	9.0	9.9	2.6	2.5	33	2.7	×
G	NE	2	9.0	7.5	2.8	2.3	27	2.5	×
H	E	2	12.0	7.8	2.7	3.0	26	3.6	×
I	S	4	9.0	7.5	2.7	7.5	36	1.9	×
J	SE	2	9.0	7.2	2.6	2.8	35	1.9	×
K	SE	3	9.0	7.5	2.8	2.5	36	1.9	○(이동식 가스히터)
L	SE	1	13.5	7.2	2.7	3.0	34	2.9	○(이동식 가스히터)



(a) 중앙집중식 난방장치 (b) 이동식 가스히터

(그림 3.5) 일반교실에서 사용되는 난방장치 유형

### (3) 특별교실의 특징

컴퓨터실의 향은 C, E, F, I학교가 남향으로 가장 많은 비율을 차지하였으며, A학교가 남서향, B 및 K학교가 남동향으로 남향계열이었다. 컴퓨터실이 북향인 학교는 D 및 H학교 2개교였고, J학교와 L학교는 각각 북동향, 북서향, G학교는 동향이었다. 컴퓨터실이 1층에 있는 학교는 I와 J, 2층에 있는 학교는 A, B, D, G, L 등 5개교, 3층에 있는 학교는 C, E, H 등 3개교, 4층에 있는 학교는 F, K

등 2개교로 2층에 컴퓨터실이 있는 학교가 가장 많았다.

컴퓨터실의 규모는 일반교실과 달리 각 학교마다 다양한 차이를 보이는 것으로 나타났으며, B학교와 같이 일반교실과 동일한 규모로 계획된 경우도 있고, C 및 H학교와 같이 일반교실의 확장형태로 계획된 경우도 있다. 또한 별동에 위치하여 복도 없이 전실을 통과하여 진입하도록 계획되는 등 학교의 특성을 다양하게 반영하여 계획되어 있었다.

컴퓨터실의 이러한 특성은 과학실에도 유사하게 반영되는 것으로 나타났다. 과학실이 남향 및 남서향 등 남향계열로 계획된 학교가 F, H, I, K 등 4개교, 북향계열로 계획된 학교가 A, D, J, L 등 4개교였으며, C와 G는 동향, E학교는 서향인 것으로 조사되었다. 1층에 위치한 학교가 C, I, J 등 3개교, 2층에 위치한 학교가 A, D, E, G, H, L 등 6개교, 4층에 위치한 학교가 2개교로 컴퓨터실 보다 비교적 저층에 위치하는 것으로 조사되었다.

또한, 컴퓨터실 및 과학실 등과 같은 특별교실은 서로 인접하여 계획되는 경우가 대부분이었으며, 인접하여 배치되지 않은 경우 이용 빈도가 높은 컴퓨터실을 접근이 용이한 위치에 배치하는 것으로 나타났다.

컴퓨터실 및 과학실을 비롯한 특별교실의 경우, 일반교실에 비해 난방시설이 잘되어 있는 것으로 나타났는데, 특히 컴퓨터실의 경우, 모든 학교에서 중앙집중식 난방시설 또는 냉·온풍기 등과 같은 난방시설을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 학교에 따라서는 천장매입형 카세트타입의 냉·온풍기 시설을 보유하고 있는 교실도 있었다. 과학실의 경우, C, D, E, G, K, L 등 6개교가 난방장치를 보유하고 있는 것으로 조사되어 컴퓨터실에 비해 난방시설 보유 수준이 낮은 것으로 나타났다.

측정당일의 교실별 이용 상황을 살펴보면, 컴퓨터실은 A, D, E, H, I, J, K 등 7개 학교가 수업의 용도로 사용하고 있었으며, 과학실은 L학교가 수업용으로 과학실험을 진행하고 있었고, C, G, H 학교는 과학실험이외의 재량활동을 위한 용도로 사용되고 있었다.

<표 3.4>와 <표 3.5>는 각각 컴퓨터실과 과학실의 특성을 요약하여 보여주며, (그림 6)은 각 학교의 특별교실에서 주로 사용되는 난방시설을 보여준다. 또한, <표 3.6>에서 <표 3.7>은 각 학교별 일반교실, 컴퓨터실, 과학실 전경을 보여준다.

<표 3.4> 컴퓨터실의 특성

학교구분	향	층	너비	폭	복도폭	난방기 보유여부	측정당일 이용상황
A	SW	2	11.1	6.6	2.5	○(냉·온풍기)	수업
B	SE	2	9.0	7.5	2.3	○(중앙집중식난방장치)	×
C	S	3	12.0	7.8	-	○(냉·온풍기)	×
D	N	2	11.1	10.5	-	○(냉·온풍기)	수업
E	S	3	13.5	8.1	7.0	○(냉·온풍기)	수업
F	S	4	13.5	9.9	2.5	○(냉·온풍기)	×
G	E	2	11.2	9.3	-	○(냉·온풍기)	×
H	N	3	13.9	7.8	2.8	○(냉·온풍기)	수업
I	S	1	9.0	12.0	6.0	○(냉·온풍기)	수업
J	NE	1	13.9	7.8	2.1	○(냉·온풍기)	수업
K	SE	4	9.3	9.0	-	○(냉·온풍기)	수업
L	NW	2	8.7	7.2	3.0	○(냉·온풍기)	×

<표 3.5> 과학실의 특성

학교구분	향	층	너비	폭	복도폭	난방기 보유여부	측정당일 이용상황
A	NE	2	14.7	7.8	2.5	×	×
B	-	-	-	-	-	-	-
C	E	1	13.5	7.6	2.5	○(냉·온풍기)	재량활동
D	N	2	10.2	10.5	-	○(냉·온풍기)	×
E	W	2	13.5	8.1	7.0	○(냉·온풍기)	×
F	S	4	13.5	9.9	2.5	×	×
G	E	2	7.5	7.2	2.0	○(냉·온풍기)	재량활동
H	S	2	18.6	7.5	2.8	×	재량활동
I	S	1	9.0	12.0	6.0	×	×
J	NE	1	9.0	7.9	2.1	×	×
K	SW	4	13.6	10.4	-	○(이동식 가스히터)	×
L	NW	2	9.0	7.8	3.0	○(냉·온풍기)	수업



(a) 중앙집중식 난방시설

(b) 이동식 가스히터

(c) 냉·온풍기

(그림 3.6) 특별교실에서 사용되는 난방장치 유형

<표 3.6> 일반교실 및 특별교실 실내전경(1)

학교 구분	일반교실	컴퓨터실	과학실
A			
B			
C			
D			
E			
F			

<표 3.7> 일반교실 및 특별교실 실내전경(2)

학교 구분	일반교실	컴퓨터실	과학실
G			
H			
I			
J			
K			
L			

### 3.3 초등학교 교실의 실내 환경성능 실측조사

#### (1) 온열환경

측정기간 중 외기온이 9.6~17.0℃로 변화하는 동안 일반교실의 실내기온은 15.0~20.4℃의 분포를 보였으며, 12개 학교 평균은 17.9℃이고, 1.5℃의 표준편차를 보이는 것으로 나타났다. 학교보건법시행규칙에서 제시하는 실내 온도기준인 18~28℃를 충족시키지 못하는 학교가 5개교였으며, 보통 기준보다 1~3℃정도 낮은 것으로 측정되었다. 특히 외기온이 9.6℃인 경우에는 이동식 가스히터를 이용하여 난방을 하더라도 16.7℃로 기준에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

컴퓨터실은 14.2~23.8℃의 분포를 보이고, 평균값은 19.9℃로 일반교실에 비해 2도 가량 높은 것으로 나타났다. 또한 표준편차는 3.0℃으로 일반교실이나 과학실에 비해 학교별 편차가 큰 것으로 조사되었다. 컴퓨터실의 실내기온은 수업여부와 상관없이 3개의 학교에서 기준에 미치지 못하는 것으로 측정되었으며, 냉·온풍기가 설치되어 있다 하더라도 실제로 수업시간에는 사용되지 않는 경우도 있었다. 일반적으로 컴퓨터실의 경우, 기기사용에 의한 실내발열량이 높으므로 냉·온풍기는 주로 냉방용으로 사용될 것으로 판단된다.

과학실은 15.1~19.4℃의 범위로 측정되었으며, 평균값은 16.7℃로 일반교실과 컴퓨터실에 비해 낮은 것으로 측정되었다. 표준편차 또한 1.3℃로 학교별 편차도 가장 작은 것으로 나타났다. 과학실이 없는 B학교를 제외한 11개 학교 중 9개 학교가 기준에 미달하였으며, 재량활동 및 수업 등으로 과학실을 사용하고 있던 4개 학교 중에서도 3개 학교가 기준에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이중 2개의 학교가 냉·온풍기가 설치되어 있었으나 사용하지 않고 있었다.

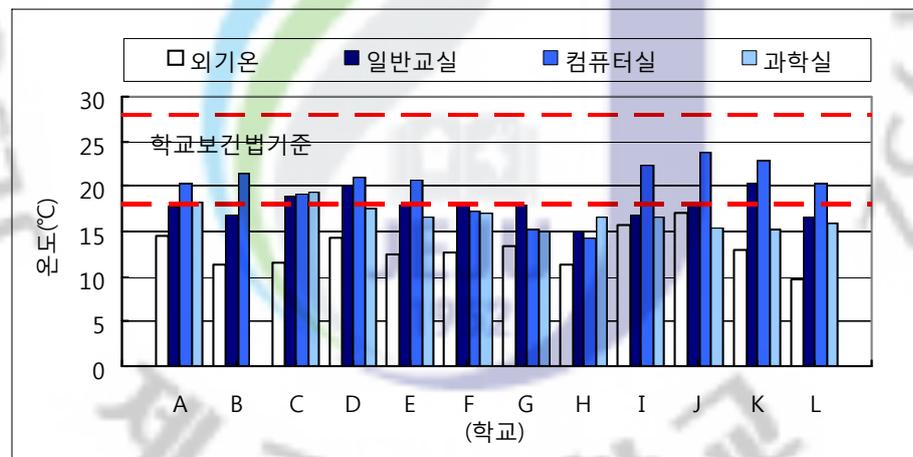
상대습도는 외부가 46~95%일 때, 일반교실은 45~79%의 분포를 보였으며 측정대상 초등학교 전체에 대한 평균값은 61.3%인 것으로 나타나 모든 학교가 학교보건법시행규칙 기준인 30~80%를 충족시키는 것으로 조사되었다. 컴퓨터실은 40~79%의 분포를 보이고, 평균값은 54.0%로 일반교실과 마찬가지로 모든 학교가 기준을 충족시키는 것으로 나타났다. 과학실은 50~92%의 분포를 보여 외기의 상대습도가 95%로 높아질 경우 기준을 초과하는 것으로 측정되었으며, 전체 초등학교의 평균값은 64.3%로 나타났다. 교실별로 살펴보면 대부분의 학교에서

과학실의 상대습도가 가장 높고, 컴퓨터실이 가장 낮은 것으로 나타났다.

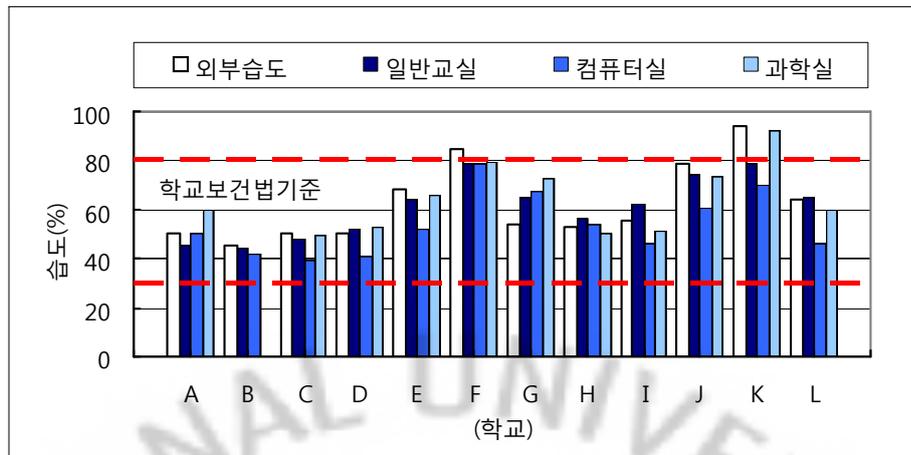
<표 3.8>은 온열환경의 측정결과에 대한 통계값을 보여주며, (그림 3.7)과 (그림 3.8)은 각 학교별 실내·외 온도 및 습도의 측정결과를 비교하여 보여준다.

<표 3.8> 온열환경 측정결과

		최대값	최소값	평균값	표준편차
기온(℃)	외부	17.0	9.6	13.1	2.1
	일반교실	20.4	15.0	17.9	1.5
	컴퓨터실	23.8	14.2	19.9	3.0
	과학실	19.4	15.1	16.7	1.3
상대습도 (%)	외부	93.9	45.6	62.3	15.6
	일반교실	78.8	44.8	61.3	12.1
	컴퓨터실	78.7	39.1	54.0	12.7
	과학실	92.0	49.4	64.3	13.9



(그림 3.7) 실내·외 온도 분포



(그림 3.8) 실내·외 상대습도 분포

## (2) 공기환경

실내공기환경 요소는 CO<sub>2</sub>, CO, 미세먼지(PM10) 등 세 가지 항목에 대해서 측정하였으며, VOCs, 포름알데히드(HCHO) 등은 휘발성 공기오염 물질을 방출할 만한 행위, 즉 교실 내부 리모델링이 이루어지거나 가구를 구입한 경우가 없었기 때문에 측정하지 않는 것으로 하였다. 또한, 복사기, 프린터기 등과 같은 사무기기의 이용이 많지 않으므로 오존에 대한 측정 역시 생략하였다.

일반교실의 CO<sub>2</sub>농도는 학교별로 508~4,372ppm의 분포를 보였으며, 평균값은 1,175.6ppm, 표준편차는 1,037.8ppm으로 분석되었다. 12개 학교 중 과반수가 넘는 8개의 학교가 학교보건법시행규칙 기준인 1,000ppm을 초과하는 것으로 나타났다.

컴퓨터실은 최저 466.3ppm에서 최대 4,262.0ppm으로, 평균값은 1,175.6ppm인 것으로 측정되었으며, 1,053.9의 표준편차를 보이는 것으로 나타났다. 측정당시 수업을 진행 중이던 7개 학교 중 3개의 학교가 CO<sub>2</sub>농도 기준치를 초과하는 것으로 조사되었다. 과학실의 CO<sub>2</sub>농도는 493.0~2,222.9ppm으로 평균값은 1,150.9ppm이었다. 측정당시 수업 및 재량활동 등으로 과학실을 이용하고 있는 4개교 모두에서 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

CO농도는 일반교실이 0.1~2.5ppm, 컴퓨터실이 0.2~2.6ppm, 과학실이 0.2~2.5ppm의 측정범위를 보였으며 평균값은 각각 0.6ppm, 0.6ppm, 0.8ppm으로 가스 난방히터를 사용하거나 혹은 알코올램프를 이용한 과학실험을 하는 경우에도

2.5ppm이하로 검출되어 모든 학교에서 기준인 10ppm을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

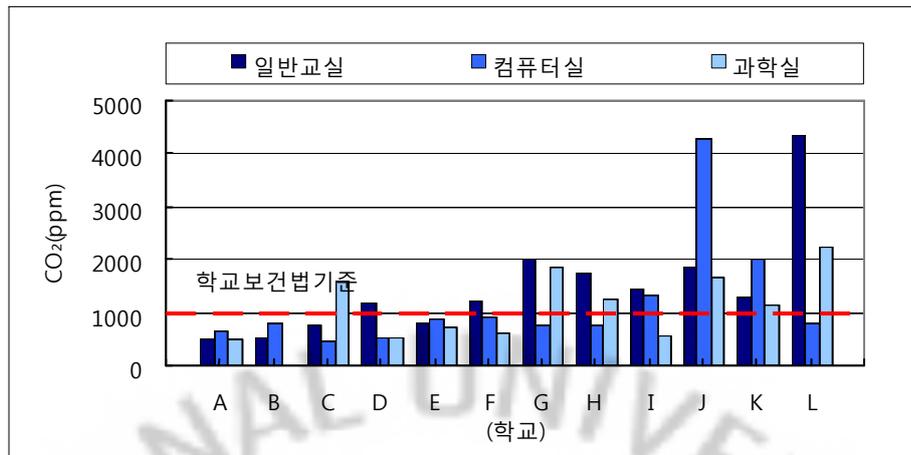
일반교실의 미세먼지(PM10)농도는 91~385 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 보였으며, 평균값은 169.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 표준편차는 93.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 측정되어 컴퓨터실 및 과학실에 비해 학교별 편차가 큰 것으로 나타났다. 12개 학교 중 9개의 학교가 학교보건법시행규칙에서 제시하는 미세먼지 기준 농도인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 것으로 나타났다.

컴퓨터실은 학교별로 45~266 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 보였으며, 평균값은 125.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 표준편차는 60.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일반교실 및 과학실에 비해 학교간 편차가 작은 것으로 나타났다. 12개 학교 중 7개의 학교가 기준치를 초과하는 것으로 조사되었다. 과학실은 학교에 따라 34~240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 평균값은 128.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 표준편차는 63.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 분석되었으며 7개의 학교가 학교보건법시행규칙에서 제시하는 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

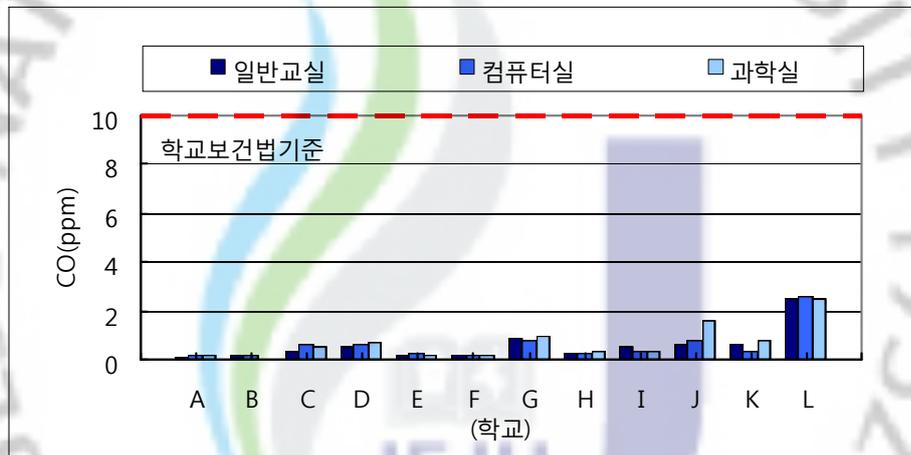
<표 3.9>는 공기환경 측정결과에 대한 통계값을 보여주며, (그림 3.9)에서 (그림 3.11)은 각각 학교별 실내 CO<sub>2</sub> 및 CO농도, 미세먼지(PM10)농도를 보여준다.

<표 3.9> 공기환경 측정결과

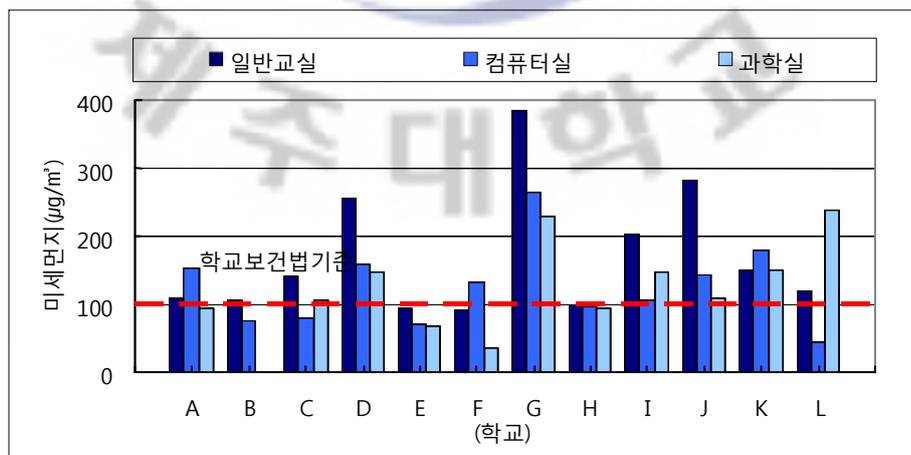
		최대값	최소값	평균값	표준편차
CO <sub>2</sub> (ppm)	일반교실	4,371.8	508.0	1,474.6	1,037.8
	컴퓨터실	4,262.0	466.3	1,175.6	1,053.9
	과학실	2,222.9	493.0	1,150.9	614.0
CO (ppm)	일반교실	2.5	0.1	0.6	0.6
	컴퓨터실	2.6	0.2	0.6	0.7
	과학실	2.5	0.2	0.8	0.7
미세먼지 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	일반교실	384.8	90.7	169.6	93.2
	컴퓨터실	265.7	45.4	125.8	60.1
	과학실	239.7	34.4	128.9	63.1



(그림 3.9) 실내 CO<sub>2</sub> 농도



(그림 3.10) 실내 CO 농도



(그림 3.11) 교실의 미세먼지 (PM10) 농도

### (3) 음환경

학교보건법상에서는 교사 내 소음수준을 55dB(A)이하로 유지할 것을 규정하고 있으며, 교통, 항공 등 외부소음의 영향 및 일반교실, 공작실, 음악실, 복도, 급식 시설 및 운동장 등에서 발생하는 소음에 의한 피해가 예상되는 교실에서 학생들이 없는 상태에서 소음수준을 측정하도록 하고 있다. 그러나 측정당시 대부분의 교실에서 수업이 진행되고 있어 수업진행 중인 교실의 소음수준과 운동장 소음을 측정하였다.

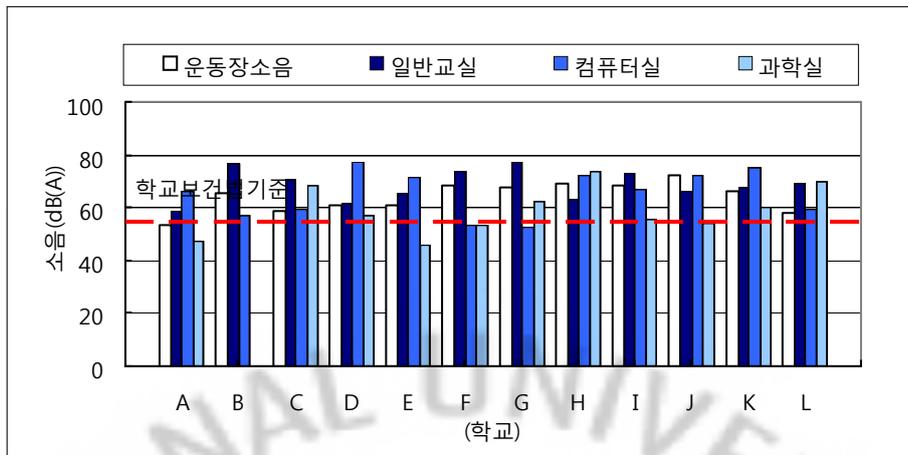
운동장에서 측정한 외부소음수준은 53.7~72.4dB(A)로 측정되었고, 평균값은 64.1dB(A), 표준편차는 5.6dB(A)로 나타났다. 강의 중 일반교실에서의 소음수준은 학교별로 58.4~77.3dB(A)의 분포를 보였고, 평균값은 68.6dB(A)로 운동장의 소음수준보다 높은 것으로 나타났고, 표준편차는 5.9dB(A)였다. 최근 수업방식이 자율화되어 일반교실에서도 마이크 및 멀티미디어기기를 이용한 수업이 증가하고, 재량활동을 비롯한 음악, 만들기 실습 등의 수업이 진행됨에 따라 일반교실이 운동장보다 소음수준이 높은 것으로 판단된다.

컴퓨터실의 경우 학교에 따라 52.9~77.7dB(A)로 측정되었고, 평균값은 65.3dB(A), 표준편차는 6.4dB(A)로 나타났다. 또한, 수업이 없던 5개 학교 중 3개 학교가 학교보건법시행규칙인 교사 내 소음수준인 55dB(A)을 초과하는 것으로 나타났다. 과학실은 45.7~73.9dB(A)의 분포를 보였으며, 평균값은 58.9dB(A), 표준편차는 9.0dB(A)으로 분석되었다. 과학실의 경우 수업이 없는 7개 학교 중 2개 학교가 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

<표 3.10>은 음환경 측정결과의 통계값을 보여주며, (그림 3.12)는 실내·외 소음수준을 각 학교별로 비교하여 보여준다.

<표 3.10> 음환경 측정결과

	최대값	최소값	평균값	표준편차
운동장소음	72.4	53.7	64.1	5.6
일반교실	77.3	58.4	68.6	5.9
컴퓨터실	77.7	52.9	65.3	8.6
과학실	73.9	45.7	58.9	9.0



(그림 3.12) 실내·외 소음수준

#### (4) 빛환경

학교보건법시행규칙에는 조도는 300lux이상, 인공조명에서의 균제도는 0.33, 자연채광에서의 균제도는 0.10, 주광률은 평균 5%, 최소 2%로 규정하고 있다. 각 교실의 빛환경에 대한 평가는 인공조명을 병행하는 경우의 실내조도 및 균제도와 자연채광 상태에서의 주광률을 측정 및 산정하여 검토하였다. 일반교실과 과학실은 수평면에 대해 분석하고, 컴퓨터실의 경우는 수평면과 수직면에 대해 분석하였다.

<표 3.11>은 각 측정일의 천공상태 및 외부조도 측정결과를 보여준다. 측정일의 천공상태는 부분담천공인 경우가 6개교, 담천공인 경우가 6개교로 조사되었다. 부분담천공일 때의 외부조도는 9,078~25,000lux, 담천공일 때의 외부조도는 1,170~11,607lux로 측정되었다.

<표 3.11> 측정일의 천공상태 및 외부조도

학교구분	A	B	C	D	E	F
천공상태	부분담천공	부분담천공	부분담천공	담천공	담천공	담천공
외부조도	12,780	15,920	10,100	11,607	1,170	1,180
학교구분	G	H	I	J	K	L
천공상태	담천공	부분담천공	부분담천공	부분담천공	담천공	담천공
외부조도	9,880	25,000	17,975	9,078	3,750	6,644

인공조명을 병행하는 경우 일반교실에서 학습공간의 평균조도는 255~959lux로 1개의 초등학교를 제외한 모든 학교에서 기준을 충족시키는 것으로 측정되었다. 평균조도의 평균값은 605lux, 표준편차는 216lux로 컴퓨터실이나 과학실에 비해 학교별 편차가 큰 것으로 나타났다.

컴퓨터실의 수평조도는 368~927lux로 모든 학교에서 기준을 충족시키는 것으로 나타났으며, 수직면에 대한 조도는 108~695lux로 3개의 학교가 기준에 미달하는 것으로 측정되었다. 수평 및 수직면에 대한 평균조도는 각각 573lux와 392lux로 수평면의 조도가 높았으며, C와 H학교를 제외한 대부분의 학교에서 수평조도가 수직조도보다 높은 것으로 나타났다. 표준편차는 각각 179lux와 178lux로 유사하게 나타났다.

과학실 역시 인공조명을 병행하는 경우 학습공간의 평균조도가 415~1022lux로 측정되어 모든 학교에서 기준조도를 충족시키는 것으로 나타났다. 평균값과 표준편차는 각각 704lux와 199lux로 일반교실과 컴퓨터실에 비해 실내평균조도의 평균값이 높은 것으로 나타났다.

인공조명을 병행하는 경우, 일반교실의 평균 균제도는 0.13~0.75로 3개의 학교가 기준에 미달하였으며, 평균값은 0.44, 표준편차는 0.17로 나타났다. 컴퓨터실의 경우 수직면(모니터)의 평균 균제도는 0.09~0.86으로 2개 학교가, 수평면(키보드)의 평균 균제도는 0.29~0.82로 1개 학교가 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 수직면과 수평면의 평균값은 0.5로 동일하였으나 표준편차는 각각 0.28과 0.15로 수직면에 대한 균제도가 수평면에 비해 학교별로 편차가 큰 것으로 나타났다. 과학실의 평균균제도는 0.26~0.91로 1개의 학교를 제외한 모든 학교가 기준에 적합하였으며, 평균값은 0.55, 표준편차는 0.18로 분석되었다.

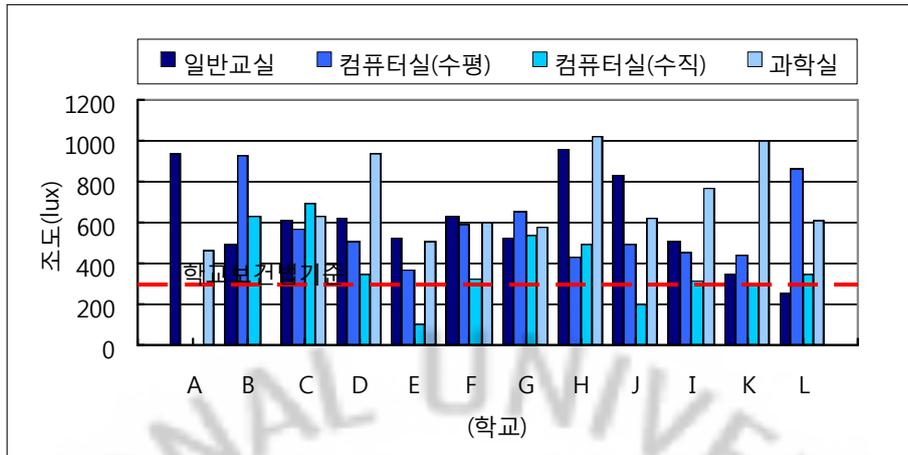
자연채광에 의한 실내 조도는 천공상태에 따라 변동이 심하므로, 주광률을 이용하여 일반교실과 과학실의 자연채광성능을 평가하였다. 일반교실의 평균주광률은 학교별로 0.81~5.13%의 분포를 보였으며, 평균값은 2.60%, 표준편차는 1.02%로 12개 학교 중 1개 학교를 제외한 모든 학교에서 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 과학실의 주광률은 0.47~11.55로 과학실의 2면이 외기에 면한 1개교를 제외한 모든 학교에서 기준을 충족시키지 못하였으며, 평균값은 2.90, 표준편차는 3.33으로 일반교실에 비해 학교별 편차가 큰 것을 나타냈다.

각 학교별로 일반교실의 측정 지점별 주광률을 살펴보면, 대부분의 학교에서 창을 기준으로 3.5~4.5m 떨어진 지점부터는 최소 주광률이 기준인 2%이하로 떨어졌으며 일부 학교에서는 복도에 가까워질수록 주광률이 다시 높아지는 것으로 나타났다. 천창이 계획된 학교의 경우 창으로부터 4.5m 떨어진 지점에서도 주광률 최소기준을 충족하였으나 5.5m 떨어진 지점에서는 주광률이 2%이하로 떨어졌다. 측정 대상 일반교실이 1층에 위치하여 외부 조경에 의해 영향을 받는 경우에는 창가측을 제외한 모든 지점에서 주광률 기준을 충족시키는 못하는 것으로 나타났다.

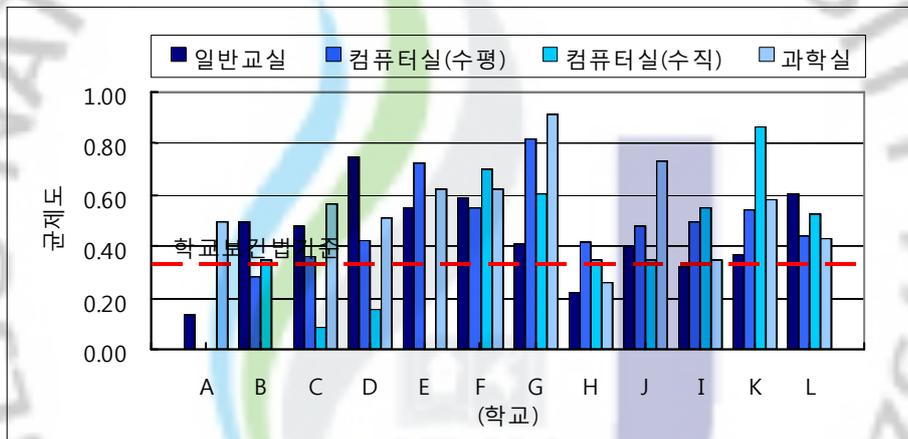
<표 3.12>는 빛환경 측정결과를 보여주며, (그림 3.13)에서 (그림 3.15)는 각각 학교별 실내 평균조도, 인공조명을 병행하는 경우의 평균 균제도, 일반교실과 과학실의 평균 주광률을 보여준다. 또한 <표 3.13>에서 <표 3.15>는 각 학교의 측정지점별 조도수준 및 주광률을 보여준다.

<표 3.12> 빛환경 측정결과

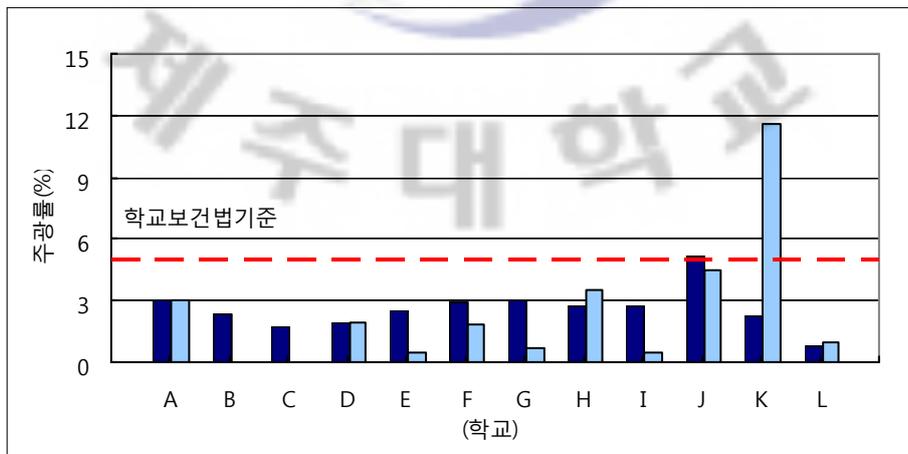
		최대값	최소값	평균값	표준편차	
일반교실	평균조도	959	255	605	216	
	균제도	0.75	0.13	0.44	0.17	
	주광율(%)	5.13	0.81	2.60	1.02	
컴퓨터실	평균조도	모니터	695	108	392	178
		키보드	927	368	573	179
	균제도	모니터	1.00	0.09	0.50	0.28
		키보드	0.82	0.29	0.50	0.15
과학실	평균조도	1,022	465	704	199	
	균제도	0.91	0.26	0.55	0.18	
	주광율(%)	11.55	0.47	2.90	3.33	



(그림 3.13) 각 학교별 실내 평균조도수준(인공조명 병행)

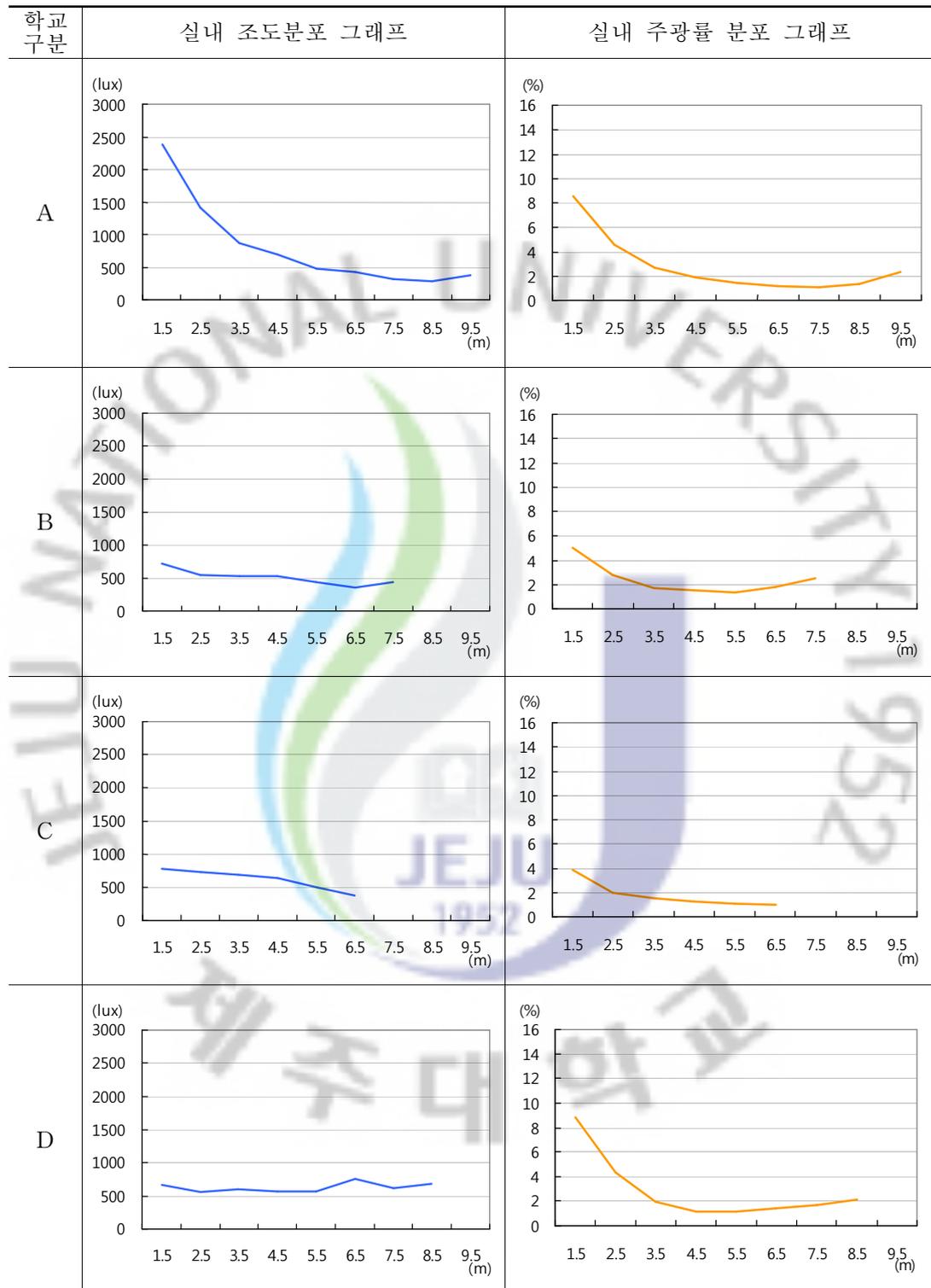


(그림 3.14) 각 학교별 평균 균제도(인공조명 병행)

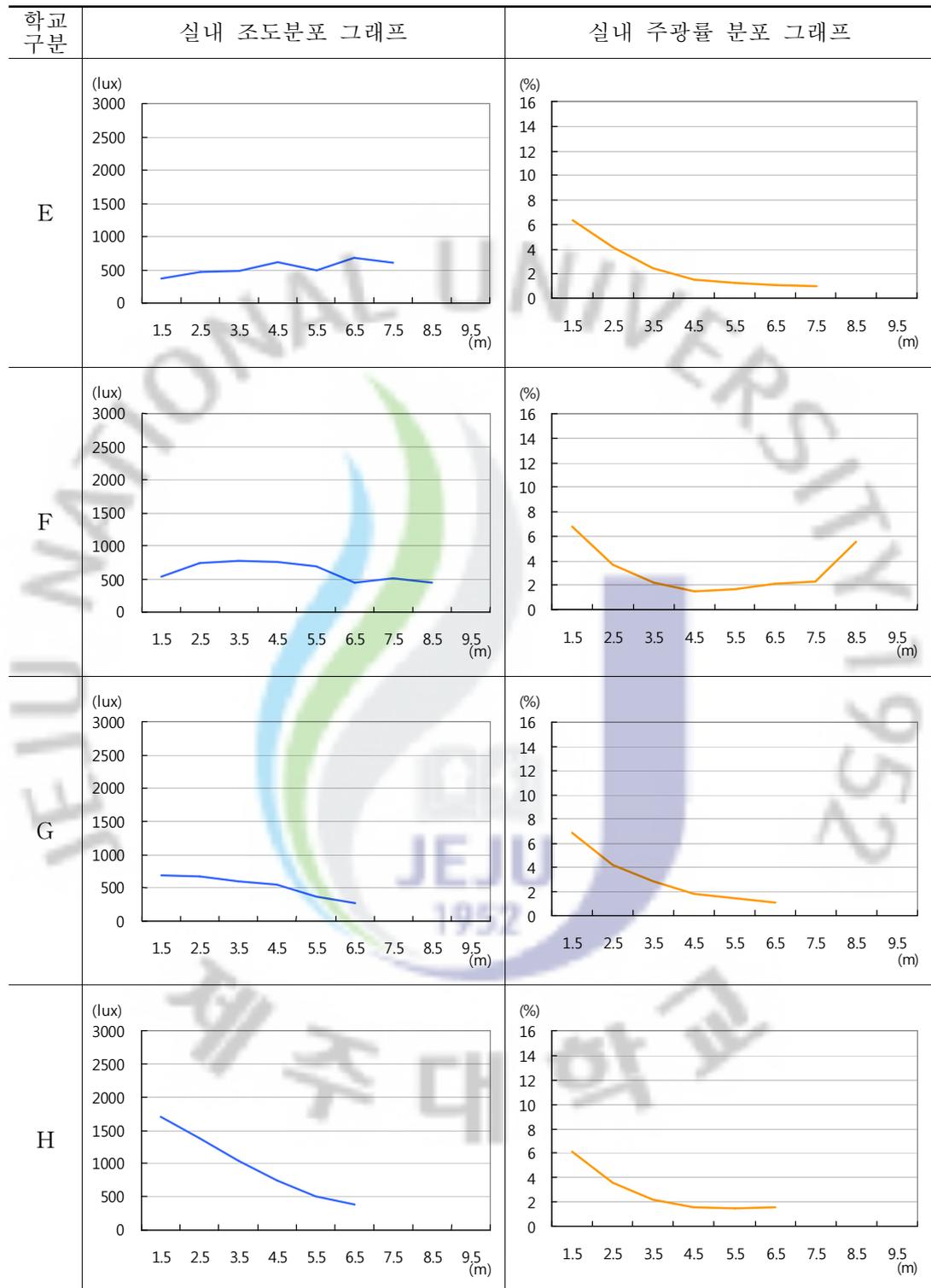


(그림 3.15) 각 학교별 평균 주광률

<표 3.13> 학교별 일반교실의 실내 조도 및 주광률분포(1)



<표 3.14> 학교별 일반교실의 실내 조도 및 주광률분포(2)



<표 3.15> 학교별 일반교실의 실내 조도 및 주광률분포(3)

학교 구분	실내 조도분포 그래프	실내 주광률 분포 그래프
I		
J		
K		
L		

### 3.4 소결

11월~12월에 걸쳐 제주시내의 12개 학교를 선정하여 일반교실 및 특별교실의 환경성능을 측정하였다. 온열환경, 공기환경, 음환경 및 빛환경에 대해 기온, 상대습도, CO<sub>2</sub>농도, CO농도, 미세먼지농도, 소음수준, 조도 등을 측정하였으며 학교보건법시행규칙에서 제시하는 기준에 준하여 평가하였다.

실측을 통한 실내환경의 물리적 특성을 요약하면 다음과 같다.

#### (1) 측정교실의 환경특성

일반교실은 12개 학교 중 9개 학교가 남향, 남서향, 남동향 등 남향계열이었으며, 컴퓨터실과 과학실은 각각 7개교와 4개교가 남향계열인 것으로 조사되어 일반교실이 남향계열로 계획되는 경우가 가장 많고, 과학실이 가장 적은 것으로 나타났다.

일반교실의 교실규모는 4개의 학교가 '문교부표준설계' 혹은 '학교표준설계도'를 기반으로 한 교실모듈을 그대로 유지하고 있었으며, 6개의 학교가 교육과정을 고려하여 교실을 확장하였고, 2개 학교가 7차 교육과정에 맞춰 설계되었다. 특별교실은 학교별 특성을 반영하여 좀 더 다양한 모듈을 갖는 것으로 조사되었다.

천장고는 모든 학교에서 2.6~2.8m의 범위로 비슷하였으며 복도폭은 7차 교육과정에 맞춰 지어진 E와 I학교가 전실을 포함하여 각각 7.0과 7.5m이고 나머지 학교에서는 2.0~3.0m이었다. 각 교실 당 재실 학생 수는 26명~39명으로 1인당 점유면적은 1.9~3.6m<sup>2</sup>/인의 분포를 보였다.

난방기 보유현황을 살펴보면 일반교실의 경우 난방시설이 있는 학교가 3개 학교 뿐이었으며, 컴퓨터실은 모든 학교가 과학실은 6개의 학교가 난방시설을 보유하고 있는 것으로 조사되었다.

#### (2) 온열환경

외기온이 9.6~17.0℃일 때, 일반교실은 15.0~20.4℃, 컴퓨터실은 14.2~23.8℃, 과학실은 15.1~19.4℃의 분포를 보였으며, 평균기온 및 학교별 편차 모두 컴퓨터

실이 제일 높은 것으로 나타났다. 일반교실 중 학교보건법시행규칙을 충족시키지 못하는 학교는 5개 학교였고, 컴퓨터실은 3개교, 과학실은 9개 학교가 기준을 충족시키지 못하는 것으로 조사되었다. 일반교실은 외기온이 10℃이하로 떨어진 경우 이동식 가스히터를 사용하여 난방을 하더라도 기준을 충족시키지 못하였으며 특별교실의 경우 실내기온이 기준이하로 떨어지더라도 난방기기를 사용하지 않는 학교가 대부분이었다.

상대습도는 일반교실과 컴퓨터실의 경우 모든 학교에서 기준을 충족시켰으며, 과학실은 외기의 상대습도 95%일 때 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 교실별로는 대부분의 학교에서 과학실의 상대습도가 가장 높고, 컴퓨터실이 가장 낮은 것으로 나타났다.

### (3) 실내공기환경

실내공기환경은 CO<sub>2</sub>, CO, 미세먼지(PM10) 등 세 가지 항목을 측정하여 학교 보건법시행규칙 기준에 준하여 평가하였다. 일반교실의 CO<sub>2</sub>농도는 508~4,372ppm의 분포를 보여 12개 학교 중 8개 학교가 기준치를 초과하는 것으로 조사되었다. 컴퓨터실은 수업중이던 7개 학교 중 3개 학교가 기준치를 초과하였고 과학실은 이용중이던 4개 학교 모두 기준치를 초과하였다. CO는 가스히터를 사용하거나 과학실험을 하는 경우에도 기준치를 초과하지 않는 것으로 측정되었다.

미세먼지(PM10)농도는 일반교실이 91~385 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 컴퓨터실이 45~266 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 과학실이 34~240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 보였으며 일반교실은 9개 학교가, 컴퓨터실과 과학실은 각각 7개의 학교가 기준치를 초과하는 것으로 측정되었다.

### (4) 음환경

음환경은 수업진행 중인 교실의 소음수준과 운동장 소음을 측정하였다. 운동장에서 측정한 외부소음수준은 53~72dB(A)의 범위로 평균값은 64.1dB(A), 강의 중 일반교실에서의 소음수준은 58.4~77.3dB(A)의 범위에 평균값은 68.6dB(A)로 운동장의 소음수준보다 높은 것으로 나타났다. 최근 수업중에 마이크 및 멀티미디어 기기를 이용한 수업이 증가함에 따라 실내 소음수준이 높아지는 것으로 판단된다.

특별교실의 경우 컴퓨터실이 52.9~77.7dB(A), 과학실이 45.7~73.9dB(A)로 측

정되었고, 컴퓨터실은 수업이 없는 5개교 중 3개교가 학교보건법시행규칙 기준을 초과하였으며, 과학실 역시 수업이 없는 7개 학교 중 2개 학교가 기준을 초과하는 것으로 측정되었다.

#### (5) 빛환경

측정일의 천공상태는 부분담천공인 경우가 6개교, 담천공인 경우가 6개교로 부분담천공일 때의 외부조도는 9,078~25,000lux, 담천공일 때의 외부조도는 1,170~11,607lux로 측정되었다.

인공조명을 병행하는 경우 대부분의 학교에서 기준을 충족시켰으나 일반교실과 컴퓨터실의 수직조도에 대해 각각 1개 학교와 3개 학교가 기준에 미달하는 것으로 나타났다. 평균 균제도는 일반교실이 0.13~0.75, 컴퓨터실의 수직면과 수평면이 각각 0.09~0.86, 0.29~0.82, 과학실이 0.26~0.91의 분포를 보였다. 학교보건법시행규칙과 비교하였을 때 일반교실은 1개 학교, 컴퓨터실의 수직면과 수평면에 대해서는 각각 2개 학교와 1개 학교, 과학실은 1개 학교가 기준을 충족시키지 못하는 것으로 조사되었다.

자연채광에 대한 평가는 주광률을 이용하여 일반교실과 과학실에 대해 평가하였는데 평균 주광률은 각각 1개 학교를 제외한 모든 학교에서 기준을 충족시키지 못하였다. 일반교실의 측정지점별 주광률을 살펴보면 모든 학교에서 최소 주광률기준인 2%를 충족시키지 못하였으며 천창이 있는 경우에도 기준을 충족시키지 못하였다.

## 제4장 재실자 설문인터뷰를 통한 실내환경 분석

### 4.1 실내환경에 대한 만족도 분석

교실 실내 쾌적에 관한 설문은 측정교실에서 수업중인 교사(대부분 담임교사)를 중심으로 각 학교별로 다섯 명의 교사를 선정하여 개별 인터뷰 형식으로 진행하였으며, 5점 리커트척도(1점-매우 불쾌적 ~ 5점-매우 쾌적)에 따라 조사하였다. 평가항목은 겨울철 온열환경, 공기환경, 음환경, 빛환경 및 교실의 전반적인 실내환경 등 5개의 항목에 대한 만족도이며, 만족수준과 더불어 각 환경요소에 대해 쾌적하지 못하다고 느끼는 이유에 대해서도 다중응답으로 조사하였다. 설문조사결과는 통계프로그램인 SPSS 12.0을 이용하여 분석하였다.

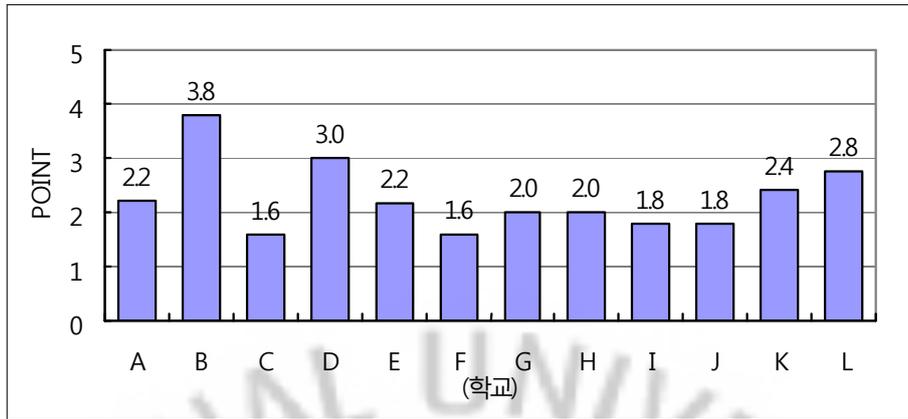
#### (1) 겨울철 온열환경

겨울철 온열환경에 대한 만족도는 평균 2.3점으로 학교별로 1.6~3.8점의 분포를 보였으며, C와 F학교가 가장 낮고, B학교가 가장 높은 것으로 조사되었다. 표준편차는 0.65점인 것으로 나타났다. B학교를 제외한 모든 학교에서 겨울철 온열환경에 대한 만족도가 보통이하라고 응답하였으며, 만족도가 1점대로 “매우 불쾌적하다”에 근접하여 응답한 학교도 4개교나 있는 것으로 조사되었다.

<표 4.1>은 겨울철 온열환경에 대한 만족도의 전체 통계값을 보여주고, (그림 4.1)은 학교별 평균값을 보여준다.

<표 4.1> 겨울철 온열환경에 대한 만족도

최대값	최소값	평균값	표준편차
3.8	1.6	2.3	0.65



(그림 4.1) 겨울철 온열환경에 대한 학교별 만족도

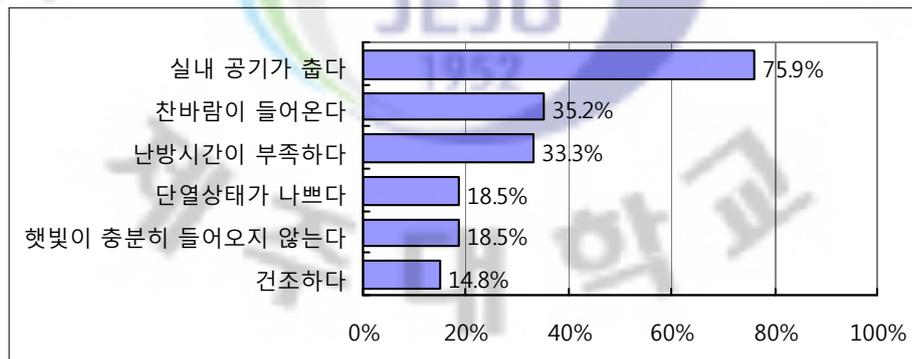
겨울철 온열환경이 쾌적하지 않은 이유에 대해 학교별로 응답비율을 살펴보면, 대부분의 학교에서 실내 공기가 축기 때문에 쾌적하지 못하다는 응답이 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 조사되었다. 또한, B학교에서는 실내 공기가 추운 것과 더불어 햇빛이 충분이 들어오지 않는다는 의견도 40%로 높게 나타났으며, J학교에서는 찬바람이 유입되어 쾌적하지 않다는 의견도 높은 비율로 조사되었다.

12개 초등학교 전체에 대한 통계값을 살펴보면, 겨울철 온열환경이 쾌적하지 않은 이유에 대해 “실내 공기가 축다”라는 의견이 75.9%로 가장 많고, 그 다음으로 “찬바람이 들어온다”와 “난방시간이 부족하다”는 의견이 각각 35.2%와 33.3%를 차지하는 것으로 나타났다.

<표 4.2>는 온열환경이 쾌적하지 않은 이유를 학교별 응답순위 및 비율로 보여주고, (그림 4.2)는 겨울철 온열환경이 쾌적하지 않은 이유에 대한 전체 학교의 응답비율을 보여준다.

<표 4.2> 온열환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율

구 분	1순위		2순위	
	응답내용	비율	응답내용	비율
A	·실내 공기가 춥다	36	·찬바람이 들어온다 ·단열상태가 나쁘다	18 18
B	·실내 공기가 춥다 ·햇빛이 충분히 들어오지 않는다	40 40	·난방시간이 부족하다	20
C	·실내 공기가 춥다	38	·찬바람이 들어온다	23
D	·실내 공기가 춥다	40	·찬바람이 들어온다 ·단열상태가 나쁘다 ·건조하다	20 20 20
E	·실내 공기가 춥다	36	·찬바람이 들어온다	27
F	·실내 공기가 춥다	63	·찬바람이 들어온다	25
G	·실내 공기가 춥다 ·난방시간이 부족하다	30 30	·찬바람이 들어온다	20
H	·실내 공기가 춥다	36	·찬바람이 들어온다 ·난방시간이 부족하다 ·단열상태가 나쁘다	18 18 18
I	·실내 공기가 춥다	36	·난방시간이 부족하다	27
J	·실내 공기가 춥다 ·찬바람이 들어온다	38 38	·난방시간이 부족하다	25
K	·실내 공기가 춥다	44	·건조하다	22
L	·실내 공기가 춥다 ·난방시간이 부족하다 ·단열상태가 나쁘다 ·건조하다	25 25 25 25		



(그림 4.2) 겨울철 온열환경이 쾌적하지 않은 이유

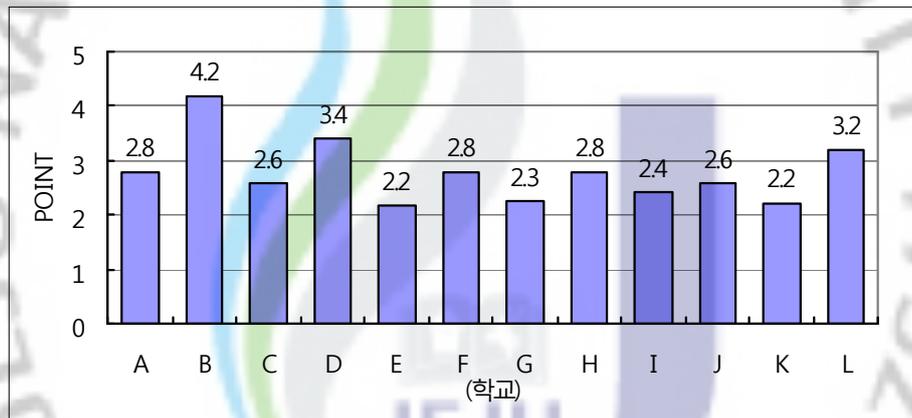
(2) 공기환경

공기환경에 대한 만족도는 평균이 2.8점으로 E와 K학교가 2.2점으로 가장 낮고, B학교가 4.2점으로 가장 높으며, 표준편차는 0.58점으로 나타났다. B, D, L 등 3개의 학교에서 공기환경에 대한 만족도가 보통이상이라고 응답하였다.

<표 4.3>은 공기환경에 대한 만족도의 전체 통계값을 보여주고, (그림 4.3)은 학교별 평균값을 보여준다.

<표 4.3> 공기환경에 대한 만족도

최대값	최소값	평균값	표준편차
4.2	2.2	2.8	0.58



(그림 4.3) 공기환경에 대한 학교별 만족도

공기환경이 쾌적하지 않은 이유에 대해 학교별로 응답 비율을 살펴보면, C, D 및 J학교를 제외한 나머지 9개 초등학교에서 먼지가 많기 때문에 쾌적하지 않다는 의견이 가장 높은 것으로 나타났다. C와 D학교에서는 “먼지가 많다”와 “실내공기가 탁하다”의 의견이 동일한 비율로 높게 나타났으며, J학교에서는 실내공기가 탁하기 때문에 쾌적하지 않다는 의견이 높은 가장 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

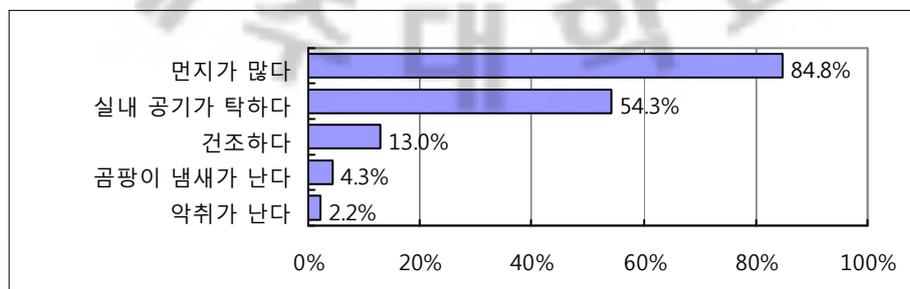
<표 4.4>는 공기환경이 쾌적하지 않은 이유를 학교별 응답순위 및 비율로 보여준다.

<표 4.4> 공기환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율

	1순위		2순위	
	응답내용	비율	응답내용	비율
A	·먼지가 많다	43	·실내 공기가 탁하다 ·건조하다 ·곰팡이 냄새가 난다 ·약취가 난다	14 14 14 14
B	·먼지가 많다	100		-
C	·먼지가 많다 ·실내 공기가 탁하다	43 43	·건조하다	14
D	·먼지가 많다 ·실내 공기가 탁하다	50 50		-
E	·먼지가 많다	40	·실내 공기가 탁하다	30
F	·먼지가 많다	60	·실내 공기가 탁하다	40
G	·먼지가 많다	67	·실내 공기가 탁하다	33
H	·먼지가 많다	56	·실내 공기가 탁하다	33
I	·먼지가 많다	71	·실내 공기가 탁하다	29
J	·실내 공기가 탁하다	57	·먼지가 많다	43
K	·먼지가 많다	57	·실내 공기가 탁하다	43
L	·먼지가 많다	60	·실내 공기가 탁하다 ·건조하다	20 20

전체 초등학교에 대해 실내 공기환경이 쾌적하지 않은 이유를 분석하면, “먼지가 많다”는 의견이 84.8%로 가장 많고, 그 다음이 “실내 공기가 탁하다”로 54.3%인 것으로 조사되었다.

(그림 4.4)는 조사 대상 초등학교 전체에 대해 공기환경이 쾌적하지 않은 이유를 보여준다.



(그림 4.4) 실내 공기환경이 쾌적하지 않은 이유

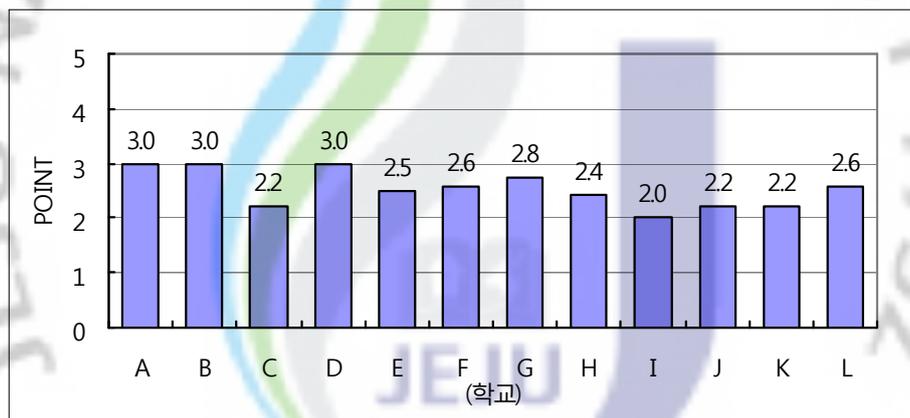
### (3) 음환경

음환경에 대한 만족도는 I학교가 2.0점으로 가장 낮고, A, B 및 D학교가 3.0으로 가장 높았으며 평균은 2.5점으로 조사되었다. 또한, 표준편차는 0.35로 실내 환경요소 중 가장 작은 것으로 나타났다. 음환경에 대한 만족도는 모든 초등학교에서 보통 이하인 것으로 나타났다.

<표 4.5>는 음환경에 대한 만족도의 전체 통계값을 보여주고, (그림 4.5)는 학교별 평균값을 보여준다.

<표 4.5> 음환경에 대한 만족도

최대값	최소값	평균값	표준편차
3.0	2.0	2.5	0.35



(그림 4.5) 음환경에 대한 학교별 만족도

학교별로 음환경이 쾌적하지 않은 이유를 살펴보면, A, D, H, J학교에서는 외부소음이 시끄럽기 때문에 음환경이 쾌적하지 않다는 응답이 가장 많은 비율을 차지하였으며, E학교에서는 “외부소음이 시끄럽다”와 더불어 “교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다”는 의견이 각각 50%의 비율을 차지하는 것으로 조사되었다. 나머지 학교에서는 “교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다”는 응답이 가장 많은 것으로 조사되었다.

주요 소음원으로는 A와 J학교가 운동장소음, B, C, E, F, G, I, K 학교가 주변 교실의 소음이라고 응답하였다. 또한, D학교에서는 운동장 소음과 도로 소음이 각각 40%의 응답률을 보였으며, H학교에서는 주변교실의 소음과 주변공장 및 건설현장의 소음, L학교에서는 주변교실의 소음과 운동장 소음이 주요 소음원인 것으로 조사되었다.

<표 4.6>은 공기환경이 쾌적하지 않은 이유를 학교별 응답순위 및 비율로 보여주고, <표 4.7>은 주요 소음원에 대한 학교별 응답순위 및 비율을 보여준다.

<표 4.6> 음환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율

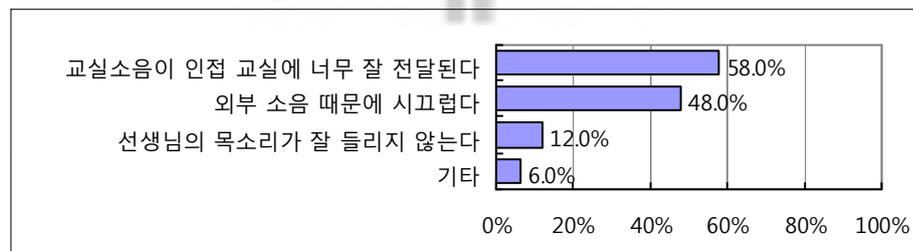
	1순위		2순위	
	응답내용	비율	응답내용	비율
A	·외부소음 때문에 시끄럽다	60	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다 ·선생님의 목소리가 잘 들리지 않는다	20 20
B	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다	100		-
C	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다	60	·외부소음 때문에 시끄럽다	40
D	·외부소음 때문에 시끄럽다	100		-
E	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다 ·외부소음 때문에 시끄럽다	50 50		-
F	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다	75	·선생님의 목소리가 잘 들리지 않는다	25
G	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다	100		-
H	·외부소음 때문에 시끄럽다	50	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다 ·선생님의 목소리가 잘 들리지 않는다	17 17
I	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다	56	·외부소음 때문에 시끄럽다 ·선생님의 목소리가 잘 들리지 않는다	22 22
J	·외부소음 때문에 시끄럽다	67	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다 ·선생님의 목소리가 잘 들리지 않는다	17 17
K	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다	57	·외부소음 때문에 시끄럽다	43
L	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다	43	·외부소음 때문에 시끄럽다	29

<표 4.7> 주요 소음원에 대한 학교별 응답순위 및 비율

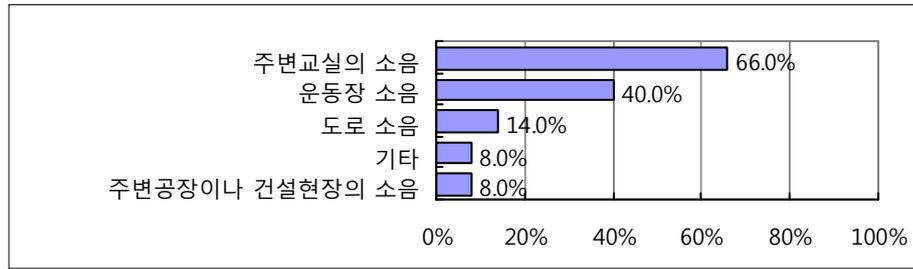
	1순위		2순위	
	응답내용	비율	응답내용	비율
A	·운동장소음	50	·주변교실의 소음 ·도로소음	25 25
B	·주변교실의 소음	67	·운동장소음 ·도로소음	17 17
C	·주변교실의 소음	57	·운동장소음	43
D	·운동장소음 ·도로소음	40 40	·주변교실의 소음	20
E	·주변교실의 소음	50	·운동장소음 ·주변공장 및 건설현장의 소음	13 13
F	·주변교실의 소음	75	·운동장소음	25
G	·주변교실의 소음	75	·도로소음	25
H	·주변교실의 소음 ·주변공장 및 건설현장의 소음	33 33	·운동장소음 ·도로소음	17 17
I	·주변교실의 소음	80	·기타	20
J	·운동장소음	71	·주변교실의 소음	29
K	·주변교실의 소음	44	·운동장소음	33
L	·주변교실의 소음 ·운동장소음	33 33		-

음환경이 쾌적하지 않은 이유를 각 초등학교의 응답내용을 바탕으로 종합해 보면 “교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다”는 응답이 58.0%로 가장 높고, 그 다음이 48.0%의 응답률을 보인 “외부소음이 시끄럽다”인 것으로 나타났다. 또한, 주요 소음원은 전체 응답자 중 66.0%가 주변 교실의 소음, 40.0%가 운동장소음이라고 응답한 것으로 조사되었다.

(그림 4.6) 및 (그림 4.7)은 각각 음환경이 쾌적하지 않은 이유와 주요 외부 소음원의 전체 응답비율을 보여준다.



(그림 4.6) 음환경이 쾌적하지 않은 이유



(그림 4.7) 주요 외부 소음원

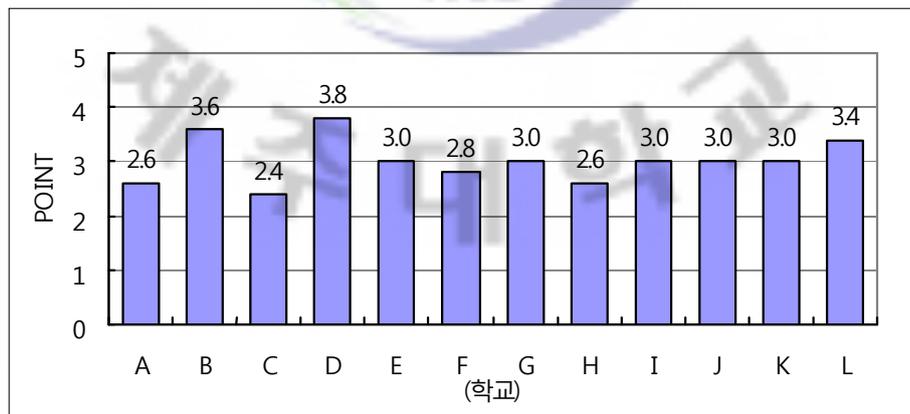
#### (4) 빛환경

빛환경에 대한 만족도는 평균 3.0점으로 실내 환경요소 중 가장 높은 것으로 조사되었다. D학교가 가장 높은 3.8점, C학교가 가장 낮은 2.4점이었으며, 표준편차는 0.41점인 것으로 조사되었다. A, C, F, H 등 4개 학교를 제외한 모든 학교에서 빛환경에 대한 만족도가 보통이상인 것으로 나타났다.

<표 4.8>은 빛환경에 대한 만족도의 전체 통계값을 보여주고, (그림 4.8)은 학교별 평균값을 보여준다.

<표 4.8> 빛환경에 대한 만족도

최대값	최소값	평균값	표준편차
3.8	2.4	3.0	0.41



(그림 4.8) 빛환경에 대한 학교별 만족도

학교별로 빛환경이 쾌적하지 않은 이유는, 대부분의 학교에서 “햇빛이나 반사광으로 인하여 눈부심이 있다”는 응답이 가장 높고, B학교에서는 “햇빛이 부족하다”와 “실내 밝기가 불균등하다”, I학교에서는 “햇빛이 부족하다”는 응답이 가장 많은 것으로 조사되었다. 또한 “햇빛이나 반사광으로 인하여 눈부심이 있다”는 응답과 더불어 A와 F학교에서는 “햇빛이 부족하다”, “칠판·시각적 도구 사용시 조명이 부적절하다”는 응답이, C와 G학교에서는 “햇빛이 부족하다”는 응답이 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

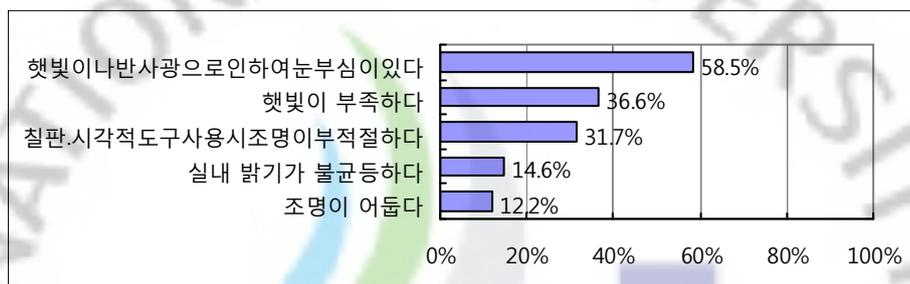
<표 4.9>는 빛환경이 쾌적하지 않은 이유를 학교별 응답순위 및 비율로 보여준다.

<표 4.9> 빛환경이 쾌적하지 않은 이유의 학교별 응답순위 및 비율

	1순위		2순위	
	응답내용	비율	응답내용	비율
A	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다 ·조명이 부적절하다	25 25 25	·실내 밝기가 불균등하다 ·조명이 어둡다	13 13
B	·햇빛이 부족하다 ·실내 밝기가 불균등하다	50 50		-
C	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다	50 50		-
D	·눈부심이 있다	100		-
E	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다 ·조명이 부적절하다 ·조명이 어둡다	25 25 25 25		-
F	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다 ·조명이 부적절하다	33 33 33		-
G	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다	40 40	·실내 밝기가 불균등하다	20
H	·눈부심이 있다	44	·햇빛이 부족하다	22
I	·햇빛이 부족하다	50	·눈부심이 있다 ·조명이 부적절하다 ·조명이 어둡다	17 17 17
J	·눈부심이 있다	67	·조명이 부적절하다	33
K	·눈부심이 있다 ·조명이 부적절하다	33 33	·조명이 어둡다	22
L	·눈부심이 있다	67	·조명이 부적절하다	33

12개 초등학교 전체의 응답값을 분석하였을 경우, 빛환경이 쾌적하지 않은 가장 큰 이유는 “햇빛이나 반사광으로 인한 눈부심이 있다”로 58.5%의 응답률을 보였으며, 그 다음으로는 36.6%의 응답률을 보인 “햇빛이 부족하다”인 것으로 조사되었다. 또한, “철판, 시각적 도구 사용 시 조명이 부적절하다”는 의견도 31.7%로 높게 조사되었다.

(그림 4.9)는 빛환경이 쾌적하지 않은 이유를 초등학교 전체에 대해 분석한 결과로 보여준다.



(그림 4.9) 빛환경이 쾌적하지 않은 이유

#### (5) 전반적인 실내환경에 대한 만족도

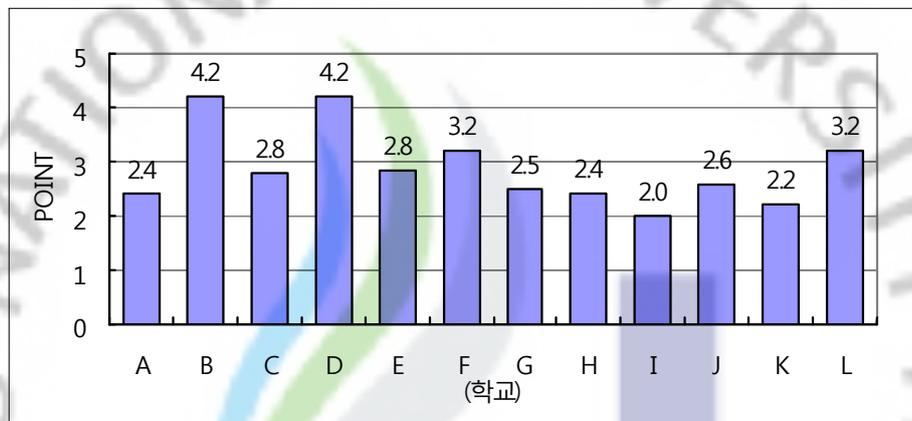
교실의 전반적인 실내환경에 대한 만족도는 평균 2.9점으로 학교별로 2.0~4.2점의 분포를 보이며 B와 D학교가 가장 높은 4.2점, I학교가 가장 낮은 2.0점으로 조사되었다. 표준편차는 0.71로 온열환경, 공기환경, 음환경 및 빛환경 등 개별적인 환경요소에 비해 학교별 편차가 큰 것으로 나타났다. B, D, F, L 등 4개 학교가 전반적인 실내환경에 대해 보통 이상의 만족도를 보이는 것으로 조사되었다.

각 환경요소에 대한 만족도의 상관관계를 분석한 결과, 전반적인 실내환경에 대한 만족도는 ‘공기환경에 대한 만족도(.700)’와 ‘겨울철 온열환경에 대한 만족도(.641)’와 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 즉, 교실 실내환경에 대한 거주자의 쾌적성은 빛환경이나 음환경보다는 공기환경과 온열환경에 더 많은 영향을 받는 것으로 조사되었다.

<표 4.10>은 전반적인 실내환경에 대한 만족도의 전체 통계값을 보여주고, (그림 4.10)은 학교별 평균값은 보여준다. 또한, <표 4.11>은 교실 실내환경에 대한 변수간 상관관계를 보여준다.

<표 4.10> 전반적인 실내환경에 대한 만족도

최대값	최소값	평균값	표준편차
4.2	2.0	2.9	0.71



(그림 4.10) 전반적인 실내환경에 대한 학교별 만족도

<표 4.11> 교실 실내환경에 대한 변수간 상관관계

	피어슨 상관계수				
	A	B	C	D	E
A. 전반적인 실내환경에 대한 만족도	1	.641	.700	.393	.360
B. 겨울철 온열환경에 대한 만족도		1	.629	.424	.365
C. 공기환경에 대한 만족도			1	.422	.303
D. 빛환경에 대한 만족도				1	.136
E. 음환경에 대한 만족도					1

(6) 전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유

전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유를 학교별로 분석해 보면, A, B, C, F, H, J, K학교에서는 “겨울철에 너무 춥다”라는 의견이 가장 많았고, D, E, G학교에서는 “먼지가 발생한다”는 의견이 가장 많은 것으로 나타났다. 또한 I학교에서는 “겨울철에 너무 춥다”와 “먼지가 발생한다”는 의견이 각각 28%로 1순위를 차지하였으며, L학교에서는 “겨울철에 너무 춥다”와 “먼지가 발생한다”, “너무 건조하다”라는 의견이 각각 33%로 1순위를 차지하였다.

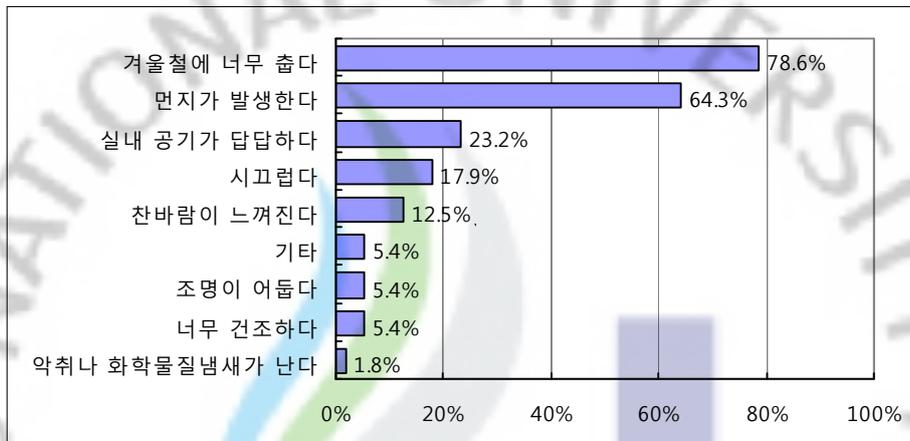
<표 4.12>는 전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유에 대한 학교별 응답순위 및 비율을 보여준다.

<표 4.12> 전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유에 대한 학교별 응답순위 및 비율

	1순위		2순위	
	응답내용	비율	응답내용	비율
A	·겨울철에 너무 춥다	38	·먼지가 발생한다 ·시끄럽다	23 23
B	·겨울철에 너무 춥다	75	·먼지가 발생한다	25
C	·겨울철에 너무 춥다	45	·먼지가 발생한다	27
D	·먼지가 발생한다	75	·겨울철에 너무 춥다	25
E	·먼지가 발생한다	42	·겨울철에 너무 춥다	33
F	·겨울철에 너무 춥다	50	·먼지가 발생한다	30
G	·먼지가 발생한다	31	·겨울철에 너무 춥다 ·실내공기가 답답하다	23 23
H	·겨울철에 너무 춥다	36	·먼지가 발생한다	27
I	·겨울철에 너무 춥다 ·먼지가 발생한다	28 28	·실내공기가 답답하다 ·시끄럽다	17 17
J	·겨울철에 너무 춥다	44	·먼지가 발생한다	33
K	·겨울철에 너무 춥다	33	·먼지가 발생한다	25
L	·겨울철에 너무 춥다 ·실내공기가 답답하다 ·너무 건조하다	33 33 33		-

전체 초등학교의 응답을 분석해보면, “겨울철에 너무 춥다”는 의견이 78.6%로 가장 높았으며, “먼지가 발생한다”는 의견이 64.3%로 그 다음인 것으로 조사되었다. 또한, “실내 공기가 답답하다”, “시끄럽다”, “찬바람이 느껴진다”가 각각 23.2%, 17.9%, 12.5%로 그 다음을 차지하는 것으로 조사되었다.

(그림 4.11)은 전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유에 대한 전체 초등학교의 분석값을 보여준다.



(그림 4.11) 교실의 실내 환경이 쾌적하지 않은 이유

## 4.2 소결

채실자가 느끼는 실내환경에 대한 만족도를 평가하기 위해 각 학교별로 다섯 명의 교사를 선정하여 교실의 실내환경요소별 만족도와 환경요소별 쾌적하지 못하다고 생각되는 이유를 다중응답으로 조사하였다.

실내환경요소별 설문조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

### (1) 겨울철 온열환경

겨울철 온열환경에 대한 만족도는 평균 2.3점으로 학교별로 1.6~3.8점의 분포를 보였으며, 표준편차는 0.65점인 것으로 나타났다. 11개의 학교에서 보통이하의 만족도로 조사되었으며, 만족도가 1점대로 매우 낮은 학교도 4개교나 있는 것으로 조사되었다. 겨울철 온열환경이 쾌적하지 않은 이유는 학교별로 미세한 차이를 보였으나 전체 응답자 중 75.9%가 실내 공기가 춥기 때문에 쾌적하지 못하다는 응답을 선택하여 가장 높았으며, 그 다음으로는 찬바람 유입과 난방시간 부족이 각각 35.2%와 33.3%로 높게 조사되었다.

### (2) 공기환경

공기환경에 대한 만족도는 평균이 2.8점으로 2.2점~4.2점의 분포를 보이며, 표준편차는 0.58점으로 나타났다. 9개의 학교에서 공기환경에 대한 만족도가 보통이하인 것으로 조사되었다. 대부분의 학교에서 공기환경이 쾌적하지 않은 이유는 먼지가 많기 때문인 것으로 조사되어 전체응답자의 84.8%가 선택하였으며, 그 다음으로는 실내 공기가 탁하기 때문으로 전체 응답자의 54.3%가 선택하였다.

### (3) 음환경

음환경에 대한 만족도는 2.0점~3.0점의 분포를 보이며 평균은 2.5점, 표준편차는 0.35로 조사되어 실내환경요소 중 학교별 편차가 가장 낮은 것으로 나타났다. 음환경에 대한 만족도는 모든 초등학교에서 보통 이하인 것으로 나타났다. 음환경이 쾌적하지 않은 이유는 “교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다”는 응답

이 58.0%로 가장 높고, 그 다음은 “외부소음이 시끄럽다”로 48.0%의 응답자가 선택하였다. 또한, 주요 소음원으로는 전체 응답자 중 66.0%가 주변 교실의 소음, 40.0%가 운동장소음이라고 응답한 것으로 조사되었다.

#### (4) 빛환경

빛환경에 대한 만족도는 평균 3.0점으로 실내환경요소 중 가장 높은 것으로 조사되었다. 2.4점~3.8점의 분포를 보였으며, 표준편차는 0.41점인 것으로 조사되었다. 7개 학교에서 보통이상의 만족도를 보이는 것으로 나타났다.

빛환경이 쾌적하지 않은 가장 큰 이유는 58.5%의 응답률을 보인 “햇빛이나 반사광으로 인한 눈부심이 있다”였으며, 그 다음으로 “햇빛이 부족하다”와 “칠판, 시각적 도구 사용 시 조명이 부적절하다”는 의견이 각각 36.6%와 31.7%로 높게 조사되었다.

#### (5) 전반적인 실내환경

교실의 전반적인 실내환경에 대한 만족도는 평균 2.9점으로 학교별로 2.0~4.2점의 분포를 보인다. 표준편차는 0.71로 개별적인 환경요소에 비해 학교별 편차가 큰 것으로 나타났다. 8개 학교가 전반적인 실내환경에 대해 보통미만의 만족도를 보이는 것으로 조사되었다. 전반적인 실내환경이 쾌적하지 않은 이유는 “겨울철에 너무 춥다”는 의견이 78.6%로 가장 높았으며, “먼지가 발생한다”는 의견이 64.3%로 각각 1, 2순위를 차지하여 다른 환경에 비해 공기환경과 온열환경에 대한 불만족도가 높은 것으로 나타났다.

각 환경요소에 대한 만족도의 상관관계를 분석한 결과, 전반적인 실내환경에 대한 만족도는 ‘공기환경에 대한 만족도(.700)’와 ‘겨울철 온열환경에 대한 만족도(.641)’와 상관관계가 높은 것으로 나타나 교실 실내환경에 대한 거주자의 쾌적성은 공기환경과 온열환경에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

## 제5장 학교별 실내 쾌적성 평가 및 개선방안 제시

### 5.1 학교별 실내 쾌적성평가

A학교 일반교실의 실내 환경성능 측정결과 온도, 미세먼지(PM10), 균제도 및 주광률이 학교보건법시행규칙 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 온열환경에 대한 만족도는 2.2로 실내 환경요소 중 가장 낮은 것으로 조사되었으나 실내 온도는 17.8℃로 측정되어 실내온도 기준에 거의 부합되는 것으로 나타났다. 공기 환경요소에서는 미세먼지가 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치를 초과하였으며 만족도 측면에서는 먼지가 많기 때문에 실내 공기환경이 불쾌적하다고 느끼는 것으로 조사되었다.

음환경에 대한 만족도는 3.0으로 보통 수준인 것으로 나타났으며, 운동장에서 측정된 외부소음에 비해 실내 발생소음의 수준이 높아 인접교실에 미치는 영향도 더 클 것으로 사료된다. 실내 빛환경측면에서는 조도는 기준을 충족시키는 반면, 균제도 및 주광률이 기준에 미달하여 질적인 측면에 대한 개선이 요구되는 것으로 나타났다. 또한, 실내 빛환경이 쾌적하지 않은 이유에도 나타나있듯이 직사광 유입에 의한 현휘발생 역시 실내 빛환경을 저해하는 주요 요인으로 나타났다.

<표 5.1>은 A학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.1> A학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	17.8	2.2	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	45.6		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	508	2.8	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.1		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	110		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	58.4	3.0	·외부소음 때문에 시끄럽다
	외부소음	-	53.7		
빛환경	조도(lux)	300	937	2.6	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다 ·조명이 부적절하다
	균제도	0.33	0.13		
	주광률(%)	평균 5%	3.06		

B학교의 일반교실은 온도, 미세먼지(PM10), 주광률이 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 실내환경에 대한 만족도는 3.0~4.2로 모든 실내 환경요소에 대해 보통이상의 만족도를 보여 전체 학교 중 실내환경에 대한 만족도가 가장 높은 것으로 나타났다. 실내 온열환경은 온도가 16.8℃로 학교보건법시행규칙에 제시된 기준에 약 1℃가량 미달하는 것으로 측정되었으나 만족도는 3.8점으로 보통이상의 만족도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 B학교가 중앙난방설비를 갖추고 있어 필요한 경우 난방이 가능하기 때문에 재실자의 온열환경에 대한 만족도가 비교적 높게 나타난 것으로 보인다.

공기환경에 대한 만족도는 4.2로 높게 나타났으며, 측정결과에서는 미세먼지가 107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치를 조금 웃도는 것으로 측정되었으나 전체적으로는 양호한 실내 공기환경을 유지하는 것으로 나타났다. 음환경에 대한 만족도는 3.0으로 실내 환경요소 중 가장 낮았으며, 실내 소음수준이 77dB(A)로 운동장소음에 비해 10dB(A)이상 높게 측정되었다. 빛환경에 대한 만족도는 3.6점으로 조사되었고, 조도 및 균제도는 기준을 충족시키는 반면, 평균주광률이 2.38로 기준에 미달하는 것으로 나타났다.

<표 5.2>는 B학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.2> B학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적한 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	16.8	3.8	·실내 공기가 춥다 ·햇빛이 충분히 들어오지 않는다
	습도(%)	30~80	44.8		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	542	4.2	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.2		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	107		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	77.0	3.0	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다
	운동장소음	-	65.4		
빛환경	조도(lux)	300	496	3.6	·햇빛이 부족하다 ·실내 밝기가 불균등하다
	균제도	0.33	0.5		
	주광률(%)	평균 5%	2.38		

C학교는 미세먼지농도와 주광률이 학교보건법시행규칙에서 규정하는 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 실내 환경요소에 대한 만족도는 1.6~2.6으로 모든 요소에 대해 보통이하의 만족수준을 보이는 것으로 조사되었다. 특히 가장 낮은 만족도를 보인 온열환경의 경우 차가운 실내 공기로 인해 실내 온열환경이 불쾌적하다고 하였으나, 실제로 측정된 실내 온도는 19℃로 기준을 충족시키는 것으로 나타났다. 공기환경요소 중에서는 미세먼지가 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준을 초과하는 것으로 측정되었으며, 만족도는 2.6으로 다른 요소에 비해 비교적 높은 것으로 나타났다.

음환경은 측정 및 설문조사 모두에서 외부소음에 의한 영향보다 인접교실에서 발생하는 소음에 의한 영향이 더 큰 것으로 조사되었다. 빛환경 측면에서는 조도 및 균제도는 기준을 충족시키는 반면, 주광률이 기준에 미달하는 것으로 측정되었다. 또한, 낮은 주광률과 더불어 현휘발생이 실내 빛환경에 대한 쾌적성을 저하시키는 주요 원인인 것으로 조사되었다.

<표 5.3>은 C학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.3> C학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	19.0	1.6	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	48.1		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	757	2.6	·먼지가 많다 ·실내 공기가 탁하다
	CO(ppm)	10	0.4		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	140		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	70.5	2.2	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다
	운동장소음	-	58.8		
빛환경	조도(lux)	300	614	2.4	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다
	균제도	0.33	0.48		
	주광률(%)	평균 5%	1.78		

D학교에서는 CO<sub>2</sub> 및 미세먼지 농도, 주광률이 기준치를 충족시키지 못하여 공기환경이 다른 환경요소들에 비해 열악한 것으로 나타났으며, 실내 환경요소에 대한 만족도는 3.0~3.8로 보통이상의 만족도를 보이는 것으로 나타났다. 온열환경의 경우 실내 온도와 습도 모두 기준치를 충족시키는 것으로 측정되었으나 온열환경에 대한 만족도는 3.0으로 다른 환경 요소들에 비해 낮은 것으로 조사되었다. 반면 공기환경은 CO<sub>2</sub> 농도가 기준치인 1000ppm을 초과하고, 미세먼지의 경우 기준치를 2배 이상 초과하는 것으로 측정되었음에도 만족도는 3.4로 높게 조사되었다.

음환경은 실내발생소음 및 운동장 소음수준이 다른 학교에 비해 비교적 낮은 것으로 측정되었으나 음환경에 대한 만족도는 3.0으로 다른 환경요소에 비해 낮은 것으로 조사되었다. 빛환경은 주광률이 기준치를 충족시키지 못하여 자연광 유입이 부족한 것으로 나타났으나 설문조사에 의한 불쾌적 요인은 현휘발생인 것으로 조사되었다.

<표 5.4>는 D학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.4> D학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적한 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	20.0	3.0	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	52.3		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	1,175	3.4	·먼지가 많다 ·실내 공기가 탁하다
	CO(ppm)	10	0.5		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	257		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	61.9	3.0	·외부소음 때문에 시끄럽다
	운동장소음	-	60.7		
빛환경	조도(lux)	300	623	3.8	·눈부심이 있다
	균제도	0.33	0.75		
	주광률(%)	평균 5%	1.96		

E학교의 일반교실은 소음수준 이외의 환경요소 중 주광률을 제외한 모든 요소가 기준을 충족시키는 것으로 측정되어 다른 학교에 비해 법규에 근거한 환경성능은 상당히 양호한 것으로 나타났다. 반면, 실내 환경요소에 대한 만족도는 2.2~3.0으로 보통이하의 만족수준을 보이는 것으로 조사되어 학교보건법시행규칙에서 제시하는 기준치 이상의 성능을 요구하는 것으로 나타났다. 특히, 온열환경과 공기환경에서는 대부분의 요소가 기준을 충족하고 있으나 만족도는 2.2로 불만족스러운 편인 것으로 조사되었다. 반면 주광률이 기준치를 충족시키지 못한 빛환경의 경우, 만족도가 3.0으로 다른 환경요소보다 높게 조사되어 빛환경에서는 질적인 면보다 양적인 면이 높게 평가되는 것으로 생각된다.

<표 5.5>는 E학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.5> E학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	18.1	2.2	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	64.0		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	801	2.2	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.2		
	PM10(μg/m <sup>3</sup> )	100	93		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	65.3	2.5	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다 ·외부소음 때문에 시끄럽다
	운동장소음	-	61.2		
빛환경	조도(lux)	300	530	3.0	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다 ·조명이 부적절하다 ·조명이 어둡다
	균제도	0.33	0.55		
	주광률(%)	평균 5%	2.53		

F학교는 CO<sub>2</sub>농도와 주광률이 기준을 충족시키는 못하는 것으로 나타났으며, 실내환경 요소에 대한 만족도는 1.6~2.8로 조사되었다. 온열환경은 온도와 습도 모두 법적기준을 충족시키는 것으로 측정되었으나 만족도는 1.6으로 불만족스러운 것으로 조사된 반면 CO<sub>2</sub>농도와 주광률은 기준에 미달하는 것으로 측정되었으나 공기환경과 빛환경에 대한 만족도는 각각 2.8로 상대적으로 높게 나타났다. F학교는 6차선 대로변에 위치하였으나 운동장에서 발생하는 소음수준보다 실내 발생소음수준이 높은 것으로 측정되어 대부분의 다른 학교들과 마찬가지로 주변 교실에 의한 소음영향이 더 클 것으로 보인다.

<표 5.6>은 F학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.6> F학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(°C)	18~26	18.2	1.6	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	78.4		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	1,211	2.8	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.2		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	91		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	74.0	2.6	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다
	운동장소음	-	68.4		
빛환경	조도(lux)	300	635	2.8	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다 ·조명이 부적절하다
	균제도	0.33	0.59		
	주광률(%)	평균 5%	2.89		

G학교는 CO<sub>2</sub>농도와 미세먼지, 주광률이 기준을 충족시키는 못하는 것으로 나타났다으며, 실내환경 요소에 대한 만족도는 2.0~3.0으로 조사되었다. 온열환경은 온도와 습도 모두 기준을 충족시키는 것으로 나타났으나 만족도는 2.0으로 가장 낮게 조사되었다. CO<sub>2</sub>농도가 약 2배, 미세먼지농도가 약 3.8배가량 기준을 초과하는 것으로 측정되어 실내 환경요소 중 공기환경이 가장 열악한 것으로 나타났으며, 공기환경에 대한 만족도는 2.3으로 조사되었다.

운동장 소음보다 실내발생 소음이 더 큰 것으로 측정되어 인접교실에서 발생하는 소음이 외부에서 발생하는 소음보다 실내 음환경에 더 많은 영향을 미칠 것으로 보인다. 빛환경에서는 주광률이 기준에 미달하였으나 만족도는 3.0으로 다른 실내 환경요소에 비해 높은 만족도를 보였다.

<표 5.7>은 G학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.7> G학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	18.0	2.0	·실내 공기가 춥다 ·난방시간이 부족하다
	습도(%)	30~80	64.8		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	1,992	2.3	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.9		
	PM10(μg/m <sup>3</sup> )	100	385		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	77.3	2.8	·교실소음이 인접 교실에 너 무 잘 전달된다
	운동장소음	-	67.7		
빛환경	조도(lux)	300	526	3.0	·눈부심이 있다 ·햇빛이 부족하다
	균제도	0.33	0.41		
	주광률(%)	평균 5%	3.02		

H학교는 온도, CO<sub>2</sub>농도, 미세먼지 및 주광률이 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 실내 환경요소에 대한 만족도는 2.0~2.8로 조사되었다. 실내온도는 15℃로 측정대상학교의 일반교실 중 가장 낮았으며 기준치에 비해 3℃가량 낮은 것으로 나타났다. 또한, 재실자의 온열환경에 대한 만족도는 2.0으로 불만족스러운 편이었다. 공기환경요소 중에서는 CO<sub>2</sub>농도가 기준치를 초과하였으며 미세먼지 또한 가까스로 기준을 충족시키는 수준이었으나 만족도는 다른 요소에 비해 높은 것으로 나타났다.

학교가 차량이동이 많은 도로변에 위치하지 않았음에도 실내발생소음보다는 외부소음이 큰 것으로 측정되었으며, 설문조사 결과역시 외부소음이 실내 음환경에 더 많은 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 빛환경측면에서는 균제도 및 주광률이 기준에 미달하는 것으로 나타났으나 쾌적성에 영향을 미치는 요소는 현휘로 조사되어 재실자들은 균질한 조도, 자연채광보다는 현휘발생에 더욱 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

<표 5.8>은 H학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.8> H학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	15.0	2.0	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	56.3		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	1,760	2.8	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.3		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	100		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	63.5	2.4	·외부소음 때문에 시끄럽다
	운동장소음	-	68.8		
빛환경	조도(lux)	300	959	2.6	·눈부심이 있다
	균제도	0.33	0.22		
	주광률(%)	평균 5%	2.76		

12개 초등학교 중 유일하게 개방형으로 계획된 I학교는 온도, CO<sub>2</sub>, 미세먼지, 주광률 등 4가지 항목이 기준치를 충족시키지 못하는 것으로 측정되었으며, 실내 환경에 대한 만족도는 1.8~3.0으로 보통 이하 수준인 것으로 나타났다. 온열환경의 경우, 실내 온도는 16.9℃로 기준에 약 1℃가량 못 미치는 것으로 측정되었으나 외기온과의 차이가 작아 외기온이 낮아질 경우 실내 온도도 크게 떨어질 우려가 있다. 또한, 온열환경에 대한 만족도 역시 1.8로 불만족스러운 것으로 나타났다. 공기환경측면에서는 미세먼지뿐만 아니라 CO<sub>2</sub>도 기준치를 초과하는 것으로 나타났는데, 이는 개방형으로 계획되었다 하더라도 외기를 통한 환기량은 크지 않기 때문인 것으로 판단된다.

음환경에 대한 만족도는 2.0으로 온열환경과 마찬가지로 불만족스러운 편이었으며 실내소음이 운동장소음보다 높게 측정되어 외부소음에 의한 영향보다 인접 교실에서 발생하는 소음이 실내 음환경에 더 큰 영향을 미칠 것으로 보인다. 특히, 개방형으로 계획되어 일반교실로 계획된 다른 학교에 비해 그 영향정도가 더 클 것으로 사료된다. 빛환경에 대한 만족도는 3.0으로 다른 환경요소에 비해 높게 조사되었으며, 천창이 계획되어 있음에도 주광률은 기준을 충족시키지 못하였고, 설문조사 결과에서도 자연광 부족으로 빛환경에 대한 쾌적성이 저하된다고 조사되었다.

<표 5.9>는 I학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.9> I학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	16.9	1.8	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	62.8		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	1,436	2.4	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.5		
	PM10(μg/m <sup>3</sup> )	100	202		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	72.7	2.0	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다
	운동장소음	-	68.3		
빛환경	조도(lux)	300	829	3.0	·햇빛이 부족하다
	균제도	0.33	0.4		
	주광률(%)	평균 5%	2.71		

J학교의 일반교실은 CO<sub>2</sub>와 미세먼지, 균제도가 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 실내환경에 대한 만족도는 1.8~3.0으로 보통이하의 만족도를 보이는 것으로 조사되었다.

온열환경은 실내기온 및 상대습도 모두 기준을 충족시키나 만족도는 1.8로 조사되어 재실자들은 쾌적하지 않다고 느끼는 것으로 나타났다. 반면 공기환경은 CO<sub>2</sub>농도가 기준치의 1.8배, 미세먼지가 2.8배가량 초과하는 것으로 측정되었으나 공기환경에 대한 만족도는 2.6으로 빛환경 다음으로 높게 조사되었다.

대부분의 학교에서 실내발생소음이 외부소음보다 높게 측정되었으나 J학교에서는 외부소음이 실내발생소음보다 6dB(A)가량 높은 것으로 측정되었다. 이는 J학교가 차량이동이 많은 6차선도로에 인접하여 계획되었기 때문인 것으로 보이며, J학교의 경우는 설문조사결과와 마찬가지로 인접교실에서 발생하는 소음보다 외부소음이 실내 음환경에 더 많은 영향을 미칠 것으로 사료된다.

빛환경 측면에서는 조도와 주광률은 기준을 충족시키고 균제도는 근소한 차이로 기준에 미달하여 12개 학교 중 빛환경이 가장 양호한 수준인 것으로 나타났다. 빛환경에 대한 만족도 역시 3.0으로 다른 실내 환경요소에 비해 높은 만족수준을 보이는 것으로 조사되었다.

<표 5.10>은 J학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.10> J학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	18.2	1.8	·실내 공기가 춥다 ·찬바람이 들어온다
	습도(%)	30~80	74.1		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	1,846	2.6	·실내 공기가 탁하다
	CO(ppm)	10	0.6		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	281		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	66.4	2.2	·외부소음 때문에 시끄럽다
	운동장소음	-	72.4		
빛환경	조도(lux)	300	508	3.0	·눈부심이 있다
	균제도	0.33	0.32		
	주광률(%)	평균 5%	5.13		

K학교는 CO<sub>2</sub>와 미세먼지, 주광률이 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 실내환경에 대한 만족도는 2.2~3.0으로 빛환경에 대한 만족도가 가장 높은 것으로 조사되었다. 실내온도는 20.4℃로 쾌적한 수준이며 대상 학교의 일반교실 중 가장 높은 것으로 나타났으나 만족도는 2.4로 만족스럽지 못한 것으로 조사되었다.

공기환경과 음환경에 대한 만족도가 2.2로 가장 낮았는데 공기환경요소 중 CO<sub>2</sub>농도와 미세먼지농도는 각각 1,296ppm과 149 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 측정되어 기준치를 초과하였다. 음환경은 실내발생소음이 운동장발생소음보다 약 1dB(A)정도 더 높게 측정되었으며 인접교실에서 발생하는 소음이 실내 쾌적성을 저하시킨다고 조사되었다. 실내 빛환경은 주광률이 기준에 미달하였으나 만족도는 보통 수준인 것으로 조사되었으며, 눈부심 및 부적절한 조명이 실내 쾌적성을 저하시키는 요인인 것으로 나타났다.

<표 5.11>은 K학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.11> K학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적인 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	20.4	2.4	·실내 공기가 춥다
	습도(%)	30~80	78.8		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	1,296	2.2	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	0.6		
	PM10( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	100	149		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	67.5	2.2	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다
	운동장소음	-	66.2		
빛환경	조도(lux)	300	345	3.0	·눈부심이 있다 ·조명이 부적절하다
	균제도	0.33	0.37		
	주광률(%)	평균 5%	2.20		

L학교의 일반교실은 온도, CO<sub>2</sub>, 미세먼지, 조도, 주광률 등 5개 항목이 학교보건법시행규칙 기준치를 충족시키지 못하는 것으로 나타났으나 실내환경에 대한 만족도는 2.6~3.4로 비교적 높은 것으로 조사되었다. L학교는 측정당일에 이동식 가스히터를 이용하여 난방을 하고 있었음에도 불구하고 실내온도는 기준치를 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 실내 CO<sub>2</sub>농도는 기준치를 4배 이상 초과하는 것으로 측정되었는데, 이는 난방장치의 사용과 낮은 기온으로 인한 환기부족 등에 기인한 것으로 판단된다. CO<sub>2</sub>농도뿐만 아니라 미세먼지 농도 또한 기준치를 초과하는 것으로 측정되었으나 실내 공기환경에 대한 만족도는 3.2로 보통수준이상인 것으로 조사되었다.

음환경에서는 실내발생소음수준이 높아 외부소음보다 인접교실에 의한 영향이 더 높을 것으로 보이며, 설문조사 결과 음환경에 대한 만족도는 2.6으로 실내 환경요소중 만족도가 가장 낮은 것으로 조사되었다. 빛환경 요소 중에서는 균제도만 기준을 충족시키고 조도 및 주광률은 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 만족도는 3.4로 높게 조사되었다.

<표 5.12>는 L학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도를 보여준다.

<표 5.12> L학교 일반교실의 실내 환경성능 및 실내환경에 대한 만족도

		기준치	측정값	만족도	불쾌적한 이유
온열 환경	온도(℃)	18~26	16.7	2.8	·실내 공기가 춥다 ·난방시간이 부족하다 ·단열상태가 나쁘다 ·건조하다
	습도(%)	30~80	65.2		
공기 환경	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	4,372	3.2	·먼지가 많다
	CO(ppm)	10	2.5		
	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	100	121		
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	68.8	2.6	·교실소음이 인접 교실에 너무 잘 전달된다
	운동장소음	-	57.7		
빛환경	조도(lux)	300	255	3.4	·눈부심이 있다
	균제도	0.33	0.61		
	주광률(%)	평균 5%	0.81		

## 5.2 개선방안제시

### (1) 온열환경

대상 초등학교 전체의 일반교실에 대해 각 환경요소별로 학교보건법시행규칙에서 제시하는 기준과 비교하여 보면 온열환경측면에서 온도는 전체 학교의 42%가 기준에 미달하였고, 습도는 모든 학교가 기준을 충족시켰다. 겨울철 온열환경에 대한 만족도 평균은 2.3으로 환경요소 중 가장 낮은 것으로 나타났고, 차가운 실내공기와 찬바람 유입으로 인해 불쾌적인 것으로 조사되었다.

특별교실에는 대부분의 학교에서 냉온풍기를 보유하고 있는 반면 학생들이 가장 오랜 시간을 보내는 일반교실에는 난방시설이 없거나 효율이 떨어지는 난방기기를 사용하고 있어 겨울철에는 학생들이 대부분의 시간을 기준에 미달하는 기온에서 생활하게 될 것으로 예상된다. 또한, 건물이 노후화되거나 교육과정 및 수업내용을 고려하여 교실을 확장한 경우는 건물의 단열 및 기밀성능이 저하되어 실내 온열환경을 더욱 열악하게 하고, 난방부하를 증가시킬 것으로 판단된다.

가스히터를 사용하는 경우, 난방시설이 없는 교실에 비해서는 높은 실내기온을 유지하고 있었으나 외기온에 따라 실내기온이 기준을 충족시키지 못하는 경우도 발생하였으며, 실내 CO<sub>2</sub>농도가 높아져 실내 공기환경을 악화시켰다.

겨울철 실내 온열환경을 향상시키기 위해서는 우선적으로 일반교실의 난방기기 보급이 요구된다. 난방기기가 보급되더라도 유지관리비용으로 인해 사용에 제약이 따를 수 있으므로 건물의 단열성능 및 기밀성능 향상 등 난방부하저감을 위한 건축계획적 기법도 동시에 고려하여야 한다.

학교시설은 주로 낮에 이용되므로 신축으로 계획되는 경우에는 일사유입을 활용하여 난방부하를 저감할 수 있으며, 충분한 일사를 유입할 수 있도록 건물의 향, 외피, 조경계획 등을 고려하여야 한다. 또한, 난방기기의 열원으로써 태양에너지, 풍력, 지열 등 신재생에너지를 적용함으로써 화석연료 사용저감은 물론 학생들이 인간과 환경과의 관계에 대한 올바른 가치관과 태도를 형성할 수 있도록 환경교육도구로서도 활용가능하다.

## (2) 공기환경

공기환경에서는 CO<sub>2</sub>농도는 전체의 67%, 미세먼지(PM10)는 75%의 학교가 학교보건법시행규칙을 초과하는 것으로 나타났다. 전체 비율로는 미세먼지의 기준치를 초과한 학교가 많았으나, CO<sub>2</sub>의 경우 기준치의 4배 이상을 초과하는 것으로 측정된 학교도 있어 실내공기환경에 미치는 영향이 더 클 것으로 판단된다. 공기환경에 대한 만족도는 2.8점으로 온열환경이나 음환경에 비해 높은 것으로 조사되었다. 이는 CO<sub>2</sub>농도, 미세먼지농도 등의 공기환경 요소는 건강에 미치는 영향정도는 크나 온열환경, 음환경, 빛환경 요소에 비해 감각기관을 통해 느끼는 정도가 크지 않기 때문인 것으로 보인다.

실내 CO<sub>2</sub>농도가 높아지는 가장 큰 원인은 환기부족으로, 외부소음수준이 높아 창문을 개방하기 어렵거나 동절기와 같이 외기온이 낮아 환기가 제대로 이루어지지 않을 경우 실내 CO<sub>2</sub>농도는 더욱 높아질 것으로 예상된다. 측정값이 기준치의 3~4배로 높게 측정되어도 만족도는 보통 이상으로 조사되어 상대적으로 문제에 대한 재실자들의 인식수준이 낮은 것으로 판단된다. 학교보건법시행규칙에서도 환기에 대해서는 “환기용 창 등을 수시로 개방하거나 기계식 환기설비를 수시로 가동하여 1인당 환기량이 시간당 21.6세제곱미터 이상이 되도록 할 것”으로 규정하고 있어 동절기나 외부소음수준이 높아 환기가 제대로 이루어지지 않는 경우에는 실내공기환경이 더욱 열악해질 것으로 예상된다. 반면 동절기에 실내 공기환경을 고려하여 환기를 할 경우 실내 온열환경에 영향을 미치며 난방부하증가를 초래할 수 있다.

CO<sub>2</sub> 센서를 이용한 환기제어시스템은 실내의 CO<sub>2</sub> 농도를 바탕으로 환기량이 결정되므로 쾌적한 실내공기환경을 유지할 수 있고, 필요이상의 환기에 의해 냉·난방부하가 증가하는 것을 예방할 수 있다. 열교환 기능이 추가된 환기시스템을 사용할 경우 환기에 의해 증가되는 냉·난방부하를 최소화할 수 있다. 또한, 공기정화기능이 있는 식물을 이용하여 실내 정원을 계획할 경우 실내공기환경향상과 더불어 학생들의 환경교육도구로 활용할 수 있다.

### (3) 음환경

음환경을 학교보건법시행규칙에 준하여 평가하기 위해서는 주변에서 발생하는 소음에 대한 피해가 우려되는 빈 교실을 대상으로 측정되어야하나 대상 초등학교의 여건상 불가능하여 수업 중 교실 및 운동장소음을 측정하였다. 측정결과 운동장소음보다 실내발생 소음수준이 더 높은 것으로 나타났으며 만족도는 2.5로 비교적 낮게 조사되었다. 최근 수업방식의 다양화로 마이크 및 멀티미디어 기기를 이용한 수업은 증가하고 있으나 교실간 차음계획은 미흡하여 인접교실에 미치는 영향이 큰 것으로 보이며 주로 청각과 시각을 사용하여 수업을 듣기 때문에 음환경에 대해서 민감하게 반응하는 것으로 생각된다.

외부소음은 방음림, 방음벽, 창호의 성능강화를 통한 방음계획 등을 통해 실내로 전달되는 것을 최소화할 수 있으며, 인접교실에서 발생하는 소음은 교실간 벽체의 차음성능을 향상시킴으로써 최소화할 수 있다.

### (4) 빛환경

빛환경의 양적 측면인 조도수준에 대해서는 11개 학교가 기준을 충족하였으나 평균 주광률기준에 대해서는 1개교를 제외한 모든 학교가 기준에 미달하는 것으로 나타났다. 또한 실내 최소주광률기준에 대해서는 모든 학교가 기준을 충족시키지 못하는 것으로 나타나 대부분의 학교에서 자연채광성능이 크게 떨어지는 것으로 조사되었다. 반면, 빛환경에 대한 만족도는 3.0으로 다른 환경요소에 비해 높게 조사되었으며 자연채광성능보다는 조도수준이 실내 빛환경에 대한 만족도에 좀 더 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한, 자연채광부족과 더불어 현휘발생이 실내 빛환경을 저해하는 주요 요인인 것으로 조사되었다.

직사광에 의한 현휘발생을 억제하기 위해서는 실내·외 차양계획을 수립하며, 실내 깊은 곳까지 자연광을 유입하기 위해서는 고측창, 광선반 등의 요소를 적용한다. 또한, 교실이 단층 또는 최상층으로 계획되는 경우에는 천창을 활용하여 실내 자연채광 성능을 향상시킬 수도 있다. 저층부에 위치한 교실에 대해서는 외부조경을 활용하여 차양할 수 있으나 과도한 식재로 인해 실내로의 자연광유입이 제한될 수 있으므로 주의하여야 한다. 고측창에 광선반 또는 루버를 통합하여 계획할 경우 자연광의 확산성능이 향상되며 직사광을 차단하고, 실내에서의 현휘

발생을 최소화할 수 있어 실내 빛환경을 향상시킬 수 있다.

자연광은 천공상태에 따라 변동이 크기 때문에 자연광을 광원으로써 활용하기에는 제약이 따른다. 그러나 광센서를 이용한 점·소등제어, 스텝제어, 조광제어(Dimming Control) 등의 조명제어시스템과 연계시켜 이용할 경우, 쾌적한 실내 빛환경을 유지할 수 있으며, 조명에너지 절감 효과도 기대할 수 있다. 또한, 건물에 내재된 교육과정은 건물 안에서 가르치는 어떤 교육과정보다 충분히 그리고 효과적으로 교육할 수 있기 때문에<sup>21)</sup> 이러한 요소들은 학생들의 환경교육도구로서의 잠재력을 갖는다.

<표 5.13>은 일반교실의 실측 및 설문조사 결과와 개선방안을 요약하여 보여준다.

<표 5.13> 일반교실의 실측 및 설문조사 결과와 개선방안

		기준치	측정값	기준 미달	만족도	불쾌적인 이유	개선방안
온열	온도 (°C)	18~26	15.0~20.4	42%	2.3	차가운 실내공기 찬바람유입	<ul style="list-style-type: none"> <li>난방기보급</li> <li>건물의 기밀성 및 단열성능 향상</li> </ul>
	습도 (%)	30~80	45~79	0%			
공기	CO <sub>2</sub> (ppm)	1000	508~4,372	67%	2.8	다량의 먼지 탁한 실내공기	<ul style="list-style-type: none"> <li>환기시스템설치</li> </ul>
	CO (ppm)	10	0.1~2.5	0%			
	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	100	91~385	75%			
음환경	실내소음 (dB(A))	(55)	58.4~77.3	-	2.5	인접교실 및 외부소음	<ul style="list-style-type: none"> <li>교실간 벽체에 흡음재 설치 등 차음성능 향상</li> </ul>
	운동장소음	-	53.7~72.4	-			
빛환경	조도 (lux)	300	255~959	8%	3.0	현휘발생 자연채광부족	<ul style="list-style-type: none"> <li>차양계획 수립</li> <li>고측창 설치</li> <li>광선반 설치</li> </ul>
	균제도	0.33	0.13~0.75	8%			
	주광률 (%)	평균 5%	0.81~5.13	92%			

21) Orr, David W., Architecture as pedagogy, Orion Afield:Working for Nature and Community, v3 n2 p16-19 Spr 1999

## 제6장 결 론

본 연구는 제주지역의 기존 학교시설을 대상으로 열·공기·음·빛 등 실내 환경요소의 실측과 재실자의 설문 인터뷰를 통해 실내환경의 쾌적성을 분석하여 평가하고, 개선방안을 제시하고자 하였다.

먼저 학교시설의 실내 환경관련 기초연구로서 국내·외 관련기준 및 가이드라인을 분석하고, 1980년대부터 2000년대 초반까지 진행된 학교시설의 실내 환경 및 실내 환경요소의 실측 관련 논문을 조사하였다.

실측 및 설문조사는 제주시내에 위치한 12개의 기존 초등학교를 대상으로 11월~12월에 걸쳐 일반교실 및 특별교실의 온열환경, 공기환경, 음환경 및 빛환경에 대해 진행되었다.

본 연구의 측정 및 설문조사 결과와 개선방안을 종합하여 실내환경요소 별로 요약하면 다음과 같다.

### (1) 온열환경

학교보건법시행규칙에 준하여 실내기온을 평가하면 일반교실은 42%, 컴퓨터실은 25%, 과학실은 75%의 학교가 기준을 충족시키지 못하는 것으로 조사되었다. 상대습도는 대부분의 경우 기준을 충족하는 것으로 나타났다. 겨울철 온열환경에 대한 만족도는 평균 2.3점으로 11개의 학교에서 보통이하의 만족도를 보였으며 실내 환경요소 중 가장 낮은 것으로 나타났다. 불쾌적인 이유는 차가운 실내공기와 찬바람 유입, 난방시간 부족 등의 순으로 조사되었다.

실내 온열환경을 향상시키기 위해서는 난방기의 보급이 가장 우선적으로 이루어져야 할 것으로 보이며, 난방기기의 유지관리비용 측면을 고려하여 건물의 기밀성 및 단열성능향상도 동시에 고려해야 할 것으로 판단된다.

### (2) 공기환경

실내공기환경은 CO<sub>2</sub>, CO, 미세먼지(PM10) 등 세 가지 항목을 측정하여 학교 보건법시행규칙 기준에 준하여 평가하였다. 일반교실의 CO<sub>2</sub>농도는 전체 학교의

67%가 기준을 초과하였으며 수업 및 특별활동이 진행되는 특별교실의 경우 컴퓨터실은 7개 학교 중 3개 학교가 과학실은 4개 학교 모두 기준치를 초과하였다. 미세먼지(PM10)농도는 일반교실이 75%, 컴퓨터실과 과학실이 각각 58%의 학교가 기준치를 초과하는 것으로 측정되었다. 공기환경에 대한 만족도는 평균 2.8점으로 온열환경 및 음환경에 비해 만족도가 높은 것으로 나타났으며 측정값과 비교하였을 때 재실자들의 공기환경에 대한 인식수준이 낮음을 알 수 있었다.

공기환경의 향상은 재실자의 건강을 위해 특히 중요시되는 부분으로 CO<sub>2</sub>농도를 감지하여 자동으로 실내공기를 환기시킬 수 있는 자동환기시스템 계획이 요구된다.

### (3) 음환경

음환경을 학교보건법시행규칙에 준하여 평가하기 위해서는 주변에서 발생하는 소음에 대한 피해가 우려되는 빈 교실을 대상으로 측정되어야하나 측정여건상 불가능하여 수업 중 교실 및 운동장소음을 측정하였다. 운동장 및 강의 중 일반 교실에서의 소음수준은 각각 평균 64.1dB(A), 68.6dB(A)로 교실의 소음수준이 운동장소음보다 높은 것으로 나타났다. 음환경에 대한 만족도는 평균은 2.5점으로 온열환경 다음으로 낮게 조사되었다.

수업방식의 변화로 인접교실에 의한 소음피해가 증가하고 있으므로 인접교실 간의 소음전달을 최소화할 수 있도록 흡음재를 시공하는 등의 차음 및 흡음계획이 요구된다.

### (4) 빛환경

인공조명을 병행하는 경우 실내 조도수준 및 균제도는 대부분의 학교에서 기준을 충족시켰으며, 컴퓨터실의 경우 수평면보다 수직면에 대해서 좀 더 취약한 것으로 나타났다. 주광률로 평가한 자연채광성능은 대부분의 학교에서 기준에 미달하여 자연채광성능이 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 빛환경에 대한 만족도는 평균 3.0점으로 실내환경요소 중 가장 높은 것으로 조사되어 자연채광성능보다는 조도수준이 실내 빛환경에 대한 만족도에 더 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

자연채광부족과 함께 현휘발생이 빛환경 저해요인으로 조사되어 빛환경향상을 위해서는 확산광을 교실 깊이 유입하여 자연채광을 향상시킬 수 있는 계획이 요구된다.

연구 결과, 측정을 통한 실내환경특성 측면에서는 습도, CO농도, 조도 및 균제도는 비교적 양호한 수준이었으나 기온, 소음수준, CO<sub>2</sub>농도, 미세먼지농도, 주광률 등이 열악한 것으로 나타났으며 특히 CO<sub>2</sub>농도, 미세먼지농도 등의 공기환경이 열악한 것으로 나타났다. 측정결과, 기온은 50%가량의 학교가 기준을 충족하는 것으로 측정되었으나 재실자들의 만족도는 가장 낮은 것으로 조사되어 조사가 이루어진 계절적 특성과 난방설비의 부재 등의 요소가 설문자의 응답에 영향을 미쳤을 것으로 보인다.

학교시설의 실내환경을 개선하기 위해서는 난방기기보급, 환기시스템구축, 자연채광성능향상, 교실간 차음성능향상을 고려한 계획요소 등이 요구된다. 또한, 학교시설은 교과과정에 상당한 영향을 미치며 교육도구로서의 잠재력을 지니고 있으므로 환경교육을 위한 도구로서의 기능도 수행할 수 있도록 고려하여야 한다.

본 연구를 위한 측정 및 설문은 동절기에 진행되어 실내환경의 물리적 특성 및 설문응답에 이러한 기후적 특성이 상당부분 반영되었을 것으로 사료되는바 보다 객관적인 자료구축을 위해 중간기 및 하절기에 대한 추가연구가 요구된다. 또한, 본 연구에서는 설문조사를 일부 교사(敎師)를 대상으로 실시하였으나, 실내환경에 대한 만족도는 개인의 특징에 따라 다양하게 나타나므로 설문대상 교사수의 확충과 더불어 학생들을 대상으로 한 만족도조사 역시 추가되어야 할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

### ■ 국내참고문헌

- 1) 학교보건법 및 학교보건법시행규칙
- 2) 학교 교사내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼, 교육과학기술부
- 3) 이용환, 초등학교 건축물의 증개축 평가기준에 관한 연구, 한국문화공간건축학회 논문집 통권 제25호, 2009.03.
- 4) 손종렬, 노영만, 손부순, 국내 일부학교 건축물의 실내공기질 평가, 한국환경보건학회지 Vol. 32 No. 2, 2006.
- 5) 김미섭, 박지수, 이승환, 이선영, 초등학교 단위교실 디자인의 환경친화적 개선 방향에 관한 연구, 대한건축학회 Vol. 22 No. 5, 2006. 05.
- 6) 최원갑, 신직수, 초등학교 음악실의 실내음향 개선에 대한 연구, 한국교육시설학회 Vol. 13 No. 1, 2006. 01.
- 7) 이정재, 김석근, 최석용, 부산지역의 신축학교 실내공기질 현장측정, 대한건축학회논문집 Vol. 21 No. 6, 2005. 06
- 8) 김정덕, 학교 실내환경의 PM10과 VOCs의 농도 및 실내공기질 인식에 관한 연구, 순천향대학교 대학원 박사학위논문, 2004. 06.
- 9) 나수연, 허종철, 친환경성을 고려한 환경교육시설 계획에 관한 연구, 제주대학교 첨단기술연구소 논문집 Vol. 15 No 2 , 2004.
- 10) 안철린, 김좌진, 금종수, 박효순, 학교건물의 공기질 개선을 위한 환기시스템 적용에 관한 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 11 No. 2, 2004. 03
- 11) 한찬훈, 문규천, 초등학교 교실의 음환경 평가에 관한 실험적 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 11 No. 1, 2004. 01.
- 12) 신은상, 김진우, 수원지역 초·중·고등학교 교실의 실내 공기오염도에 관한 연구, 대한위생학회지 Vol. 17 No. 1, 2002. 09.
- 13) 모승준, 학교선축의 음환경 개선에 관한 연구, 동국대학교 대학원 건축공학과 박사논문, 2002.

- 14) 교육환경 개선사업의 효과성 분석, 전남대학교 행정대학원 석사학위논문, 김향근, 2001. 08.
- 15) 오양기, 이현영, 학교교실의 실내환경 실태 조사 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 7 No. 3, 2000. 07.
- 16) 정진현, 컴퓨터실에 있어서 VDT작업공간의 조명환경 개선에 관한 연구, 한국교육시설학회지 Vol. 4 No. 3, 1997. 09.
- 17) 정진현, 초등학교 교실의 시환경에 관한 조사연구, 한국교육시설학회지, 1996. 06.
- 18) 임상훈, 천원기, 오정무, 이남호, 초·중·고등학교 교실의 빛환경 실태 연구, 태양에너지 Vol.12 No. 1, 1992
- 19) 이경희, 이상우, 최원령, 학습환경 개선을 위한 국민학교교실의 설계기본설정에 관한 연구(Ⅱ), 대한건축학회논문집 Vol. 5 No. 6, 1989. 12.
- 20) 이경희, 유호춘, 최을, 학습환경 개선을 위한 국민학교교실의 설계기본설정에 관한 연구(Ⅰ), 대한건축학회논문집 Vol. 5, No. 5, 1989. 10.

#### ■ 국외참고문헌

- 1) 學校環境衛生の基準, 일본문부성
- 2) LEED for School, U.S Green Building Council, 2007
- 3) National Best Practices Manual for High Performance Schools, U.S Department of Energy, 2007.
- 4) IAQ Reference guide Indoor Air Quality Tools for Schools, 2005. 01
- 5) Windows and Classrooms :A Study of Student Performance and the Indoor Environment, CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2003. 10.
- 6) Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, ANSI, 2002. 06.
- 7) Energy Design guidelines for high performance schools, U.S Department of Energy, 2002.
- 8) Orr, David W., Architecture as pedagogy, Orion Afield:Working for Nature and Community, v3 n2 p16-19 Spr 1999
- 9) <http://darkwing.uoregon.edu/~akwok/VSCS/AshCreek/lighting/home.html>

## 국문초록

학교시설은 다양한 교육 방식과 내용을 효율적이고 안전하고 쾌적하게 수행하며, 변화하는 교육과정에 대해 능동적으로 대처할 수 있는 기반이 우선되어야 하는 건물이다. 특히 초등학교시설은 어린 학생들이 성장기의 대부분을 보내면서 물리적, 정신적 영향을 크게 받게 되므로 건강하고 쾌적한 실내환경의 유지는 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 제주지역의 기존 학교시설을 대상으로 열·빛·음·공기 등 실내 환경요소의 실측과 재실자의 설문 인터뷰를 통해 실내환경의 쾌적성을 분석하여 평가하고, 개선방안을 제시함으로써 학교시설의 실내환경을 보다 건강하고 쾌적하게 개선하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

먼저 학교시설의 실내 환경관련 기초연구로서 국내·외 관련기준 및 가이드라인을 분석하고, 1980년대부터 2000년대 초반까지 진행된 학교시설의 실내 환경 및 실내 환경요소의 실측 관련 논문을 조사하였다.

실측 및 설문조사는 제주시내에 위치한 12개의 기존 초등학교를 대상으로 11월~12월에 걸쳐 일반교실 및 특별교실의 온열환경, 공기환경, 음환경 및 빛환경에 대해 진행되었다.

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

### (1) 온열환경

학교보건법시행규칙에 준하여 실내기온을 평가하면 일반교실은 42%, 컴퓨터실은 25%, 과학실은 75%의 학교가 기준을 충족시키지 못하는 것으로 조사되었다. 겨울철 온열환경에 대한 만족도는 평균 2.3점으로 실내 환경요소 중 가장 낮은 것으로 나타났다.

제주지역에서 겨울철 실내 온열환경을 향상시키기 위해서는 일반교실의 난방기 보급이 가장 우선적으로 이루어져야 할 것으로 보이며, 난방기기의 유지관리비용 측면을 고려하여 건물의 기밀성능 및 단열성능 향상도 동시에 고려해야 할 것으로 판단된다.

## (2) 공기환경

실내공기환경은 CO<sub>2</sub>, CO, 미세먼지(PM10) 등 세 가지 항목을 측정하여 학교 보건법시행규칙 기준에 준하여 평가하였다. 일반교실의 CO<sub>2</sub>농도는 전체 학교의 67%가 기준을 초과하였다. 미세먼지(PM10)농도는 일반교실이 75%, 컴퓨터실과 과학실이 각각 58%의 학교가 기준치를 초과하는 것으로 측정되었다. 공기환경에 대한 만족도는 평균 2.8점으로 온열 및 음환경에 비해 만족도가 높은 것으로 나타났다.

실내 공기질에 대한 재실자의 인식수준이 낮기 때문에 CO<sub>2</sub>농도를 감지하여 자동으로 실내공기를 환기시킬 수 있는 자동환기시스템 계획이 요구된다.

## (3) 음환경

평균소음수준은 강의 중 교실이 운동장소음보다 높은 것으로 나타났다. 음환경에 대한 만족도는 평균은 2.5점으로 온열환경 다음으로 낮게 조사되었다.

수업방식의 변화로 인접교실에 의한 소음피해가 증가하고 있으므로 인접교실 간의 소음전달을 최소화할 수 있도록 적절한 차음과 흡음계획이 요구된다.

## (4) 빛환경

인공조명을 병행하는 경우 실내 조도수준 및 균제도는 대부분의 학교에서 기준을 충족시키는 것으로 나타났으며, 컴퓨터실의 경우 수평면보다 수직면에 대해서 좀 더 취약한 것으로 나타났다. 주광률로 평가한 자연채광성능은 대부분의 학교에서 기준에 미달하여 자연채광성능이 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 빛환경에 대한 만족도는 평균 3.0점으로 실내환경요소 중 가장 높은 것으로 조사되었다.

자연채광부족과 함께 현휘발생이 빛환경 저해요인으로 조사되어 실내 빛환경 향상을 위해서는 확산광을 교실 깊이 유입시켜 자연채광을 향상시킬 수 있는 계획이 요구된다.

## Abstract

A Study on the Assessment of Indoor Environment and Comfort  
for Elementary Schools in Jeju

Soon-Joo Kim

Dept. of Achitectural Engineering

The Graduate School of

Jeju National University

Supervised by Prof. Su-Yeun Na

For school facilities and buildings, the design and structure should put the function to serve as a base first where a variety of educational methodologies and contents can be practiced under efficient, safe, and comfortable environmental conditions. The facilities in elementary schools are particularly important to incorporate the concept of sustainable design elements because schools are the place where young students spend long hours, thus significantly influences them both physically and psychologically.

Subsequently, this study seeks to provide foundational data that are required in improving indoor environment more healthily and comfortably. The indoor environment such as thermal, indoor air quality, acoustic, and visual environments was measured and assessed on the subject of comfort conditions and levels in existing schools in Jeju province using the field measurement method and survey. And then the methods of improving indoor environment were indicated.

In advance, domestic or overseas standards and guidelines were searched as a basic reference. Additionally, studies on indoor environment and field measurement of school facilities from the 1980s to the early 2000s were

searched.

Field measurements and survey were taken in the period of November through December to assess thermal, indoor air quality, acoustic, and visual environments in 12 elementary schools in Jeju.

The results of the study can be summarized as follows :

(1) Thermal environment

When the interior temperature was analyzed in comparison with the School Healthy Code standards, 42% of classrooms, 25% of computer laboratories and 75% of science laboratories did not meet the required standard. The level of satisfaction on thermal environment in winter rated at an average of 2.3 scale point and it was lowest in the indoor environmental factors.

To improve thermal environment during winter in Jeju, installing heating system is most imperative. At the same time improving airtightness and insulation performance has to be considered to reduce heating load.

(2) Indoor Air Quality

CO<sub>2</sub>, CO and PM10 were measured and analyzed in comparison with the School Healthy Code standards among the indoor air quality factors. In 67% of the measured classrooms, concentration of CO<sub>2</sub> was above the standard. And PM10 was above the standard in 75% of the measured classrooms, 58% of computer laboratories and 58% of science laboratories. The level of satisfaction on indoor air quality rated at an average of 2.8 scale point and it was higher than thermal and acoustic environments.

Most of occupancies can't perceive their poor indoor air quality. Thus, to improve IAQ in schools is especially required a automatic ventilation system which can maintain the standard level.

### (3) Acoustic environment

The noise level of classroom in class is higher than the noise level of playground. The level of satisfaction on acoustic environment rated at an average of 2.5 scale point and it was lowest in the indoor environmental factors except thermal environment.

The noise damage is on the increase owing to varied teaching style. Thus plans for sound insulation and absorption are required to minimize noise transfer caused by adjacent classrooms.

### (4) Visual environment

The measured range of light intensity and uniformity with the use of artificial lighting did meet the required standard in the majority of schools. In computer laboratories, vertical measured point was worst than horizontal measured point when analyzed in comparison with the School Healthy Code standards. Daylighting performance was assessed by daylighting factor, and it did not meet the required standard in the majority of schools. The level of satisfaction on visual environment rated at an average of 3.0 scale point and it was highest in the indoor environmental factors.

Glare, as well as lack of daylighting, cause the poor visual environment. To improve visual environment, the plan is required that admit diffused lighting into classroom deeply.

## 감사의 글

2년간의 대학원 생활과 1년 남짓의 사회생활... 마라톤을 하는 것만큼이나 길고 힘든 시간이었지만 많은 분들의 도움이 있었기에 무사히 논문을 마무리 지을 수 있었고 지금의 웃는 제 모습이 있지 않나 생각합니다. 도움주신 분들께 부끄럽지 않게 더욱 열정적으로 살아가는 모습을 보여드려야겠다는 다짐과 함께 감사의 마음을 전하려고 합니다.

먼저 부족한 저에게 많은 것을 가르쳐 주시고 항상 애정으로 아낌없이 베풀어 주셨던 지도교수님이신 나수연 교수님께 감사드리며 교수님께 부끄럽지 않은 제자가 될 수 있도록 언제나 노력하겠다는 말씀드리고 싶습니다. 전공공부를 더욱 넓고 깊게 할 수 있도록 도와주신 제주대학교 서일교 교수님, 장명훈 교수님, 김형준 교수님, 정범진 교수님, 박윤철 교수님, 오성보 교수님, 예기치 못한 상황에서도 흔들리지 않고 중심을 잡을 수 있도록 격려해주신 중앙대학교 이연구 교수님, 박진철 교수님, 취업을 위해 상경한 저에게 용기를 북돋워 주신 강원대학교 은희창 교수님께 감사드립니다.

건축환경연구실이라는 울타리 안에서 학부 및 대학원생활을 무사히 마치고, 좋은 추억들을 남기게 해준 고정범 선배님, 재현이, 민혁이, 명혜, 은수, 용훈이, 철웅이, 지선이를 비롯한 연구실 선배님들에게도 감사의 말을 전합니다. 논문이 무사히 마무리 될 수 있도록 서울에 있는 저를 대신하여 제주대학교에서 물심양면으로 도와준 강소현 조교선생님 감사합니다.

사회에서의 첫걸음을 즐거운 마음으로 내딛게 해주신 김기훈 사장님과 원종연 실장님, 김동환 실장님, 강소연 실장님, 이홍석 소장님을 비롯한 세익 식구들에게도 감사의 말씀을 전합니다.

학부때부터 지금까지 삶의 일부를 공유하며 걱정과 기쁨을 함께 나누었고, 앞으로 더 많은 시간 함께할 소중한 동생들 지연이, 성은이, 수연이, 보라, 연락도 제대로 안하는 나를 여전히 친구라고 불러주는 소중한 親舊 지영이와 혜선이, 가족이라는 이름아래 항상 지켜봐주시는 언니, 오빠들에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 언제나 딸을 믿고 응원해 주시는 영원한 나의 편 부모님께 글로써 다 표현하지 못할 만큼 감사드리고, 사랑합니다.

2009년 07월

김순주

