

第 97 回 碩士學位論文
指導教授 李 彥 求

학교 교실의 조명 환경 개선 방법에 관한 연구

A Study on the Improvement of Lighting Conditions
in Existing Classrooms

中央大學教 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
黃 京 愛
2002年 6月

第 97 回 碩士學位論文
指導教授 李 彥 求

학교 교실의 조명 환경 개선 방법에 관한 연구

A Study on the Improvement of Lighting Conditions
in Existing Classrooms

中央大學敎 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
黃 京 愛
2002年 6月

학교 교실의 조명 환경 개선 방법에 관한 연구

A Study on the Improvement of Lighting Conditions
in Existing Classrooms

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함

2002年 6月

中央大學敎 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

黃 京 愛

黃 京 愛의 碩士學位 論文으로 認定함

審査委員長 _____ ①인

審査委員 _____ ①인

審査委員 _____ ①인

中央大學敎 大學院

2002年 6月

목 차

목 차	I
표 목 차	III
그 립 목 차	V
제 1 장 서 론	1
1.1. 연구의 배경 및 목적	1
1.2. 연구의 범위 및 방법	2
제 2 장 학교 교실 조명에 관한 이론적 고찰	4
2.1 학교 교실 조명의 특징	4
2.1.1 일반 교실의 조명	4
2.1.2 칠판의 조명	10
2.2 학교 교실 조명에 관한 연구 현황	11
2.2.1 국내 현황	11
2.2.2 국외 현황	12
제 3 장 학교 교실의 조명환경 개선을 위한 설계 방법	15
3.1 학교 교실의 조명 환경 개선의 필요성 및 목표	15
3.1.1 학교 교실의 조명 환경 개선의 필요성	15
3.1.2 학교 교실의 조명 환경 개선의 목표	17
3.2 학교 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스	18
3.3 조명 환경 평가 방법	21
3.3.1 자연채광 평가 방법	22
3.3.2 인공조명 평가 방법	23

3.3.3 조명 환경 평가를 위한 컴퓨터 프로그램	25
3.4 조명 환경 개선 계획	26
3.4.1 자연채광 성능 향상을 위한 개선 계획	26
3.4.2 인공조명 성능 향상을 위한 개선 계획	31
3.4.3 유지 관리 및 보수를 위한 개선 계획	38
제 4 장 학교 교실의 조명 환경 개선 사례 연구	41
4.1 조명 환경 개선을 위한 목표 및 기준 설정	41
4.2 대상 교실의 조명 환경 분석 및 평가	41
4.2.1 기초조사	42
4.2.2 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 주광 조명환경 평가	45
4.2.3 축소 모형 실험에 의한 주광 조명환경 평가	49
4.2.4 인공 조명 환경 평가	51
4.3 대상 교실의 조명 환경 개선 계획 및 분석	52
4.3.1 자연채광 성능 향상을 위한 개선 계획 및 분석	52
4.3.2 인공조명 성능 향상을 위한 개선 계획 및 분석	62
4.4 조명 환경 개선안 평가	68
4.4.1 자연채광 조명 환경 평가	68
4.4.2 인공조명 환경 평가 및 경제성 평가	70
제 5 장 결 론	72
참 고 문 헌	74
국 문 초 록	77
Abstract	80

표 목 차

<표 2.1> 조도분류와 일반 활동 유형에 따른 조도	6
<표 2.2> 학교의 조도기준	6
<표 2.3> 각 국의 기준 조도 비교	7
<표 2.4> 권장 반사율	8
<표 2.5> 시야 내의 권장 휘도비	8
<표 3.1> 교실의 조명 조건	18
<표 3.2> 대상 교실의 조명 환경 분석을 위한 기초 조사 항목표	20
<표 3.3> 조명 설계를 위한 컴퓨터 프로그램	25
<표 3.4> 실내 마감재의 반사율	27
<표 3.5> 차양장치의 종류	30
<표 3.6> 조명설비의 종류별 설치 현황	31
<표 3.7> 고주파 점등전용형 형광등의 종류 및 특성	32
<표 3.8> 형광등의 비교	32
<표 3.9> 자기식 안정기와 전자식 안정기의 특성 비교	33
<표 3.10> 칠판조명의 기구 위치	35
<표 3.11> 조명설비의 청소 간격	39
<표 3.12> 적정 교환시기의 기준	40
<표 4.1> 대상 교실의 기초조사 항목표	44
<표 4.2> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 청천공시 기준 교실의 조도 분포	46
<표 4.3> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 담천공시 기준 교실의 조도 분포	47
<표 4.4> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 기준 교실의 주광율 분포	48
<표 4.5> 축소 모형 실험에 의한 기준 교실의 조도 분포	50
<표 4.6> 기준 교실의 인공 조명 조도	51
<표 4.7> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 광선반 설치시 청천공의 조도 분포	54
<표 4.8> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 광선반 설치시 담천공의 조도 분포	55
<표 4.9> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 광선반 설치시 담천공의 주광율 분포	56

<표 4.10> 축소 모형 실험에 의한 광선반 설치시 조도 분포	56
<표 4.11> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 루버 설치시 청천공의 조도 분포	58
<표 4.12> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 루버 설치시 담천공의 조도 분포	60
<표 4.13> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 루버 설치시 담천공의 주광율 분포	61
<표 4.14> 축소 모형 실험에 의한 루버 설치시 조도 분포	61
<표 4.15> 인공 조명 배치 개선안의 지점별 조도 분포 비교	64
<표 4.16> 인공 조명 배치 개선안의 조도 및 균제도 비교	64
<표 4.17> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 청천공시 조도 분포	68
<표 4.18> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 주광율 분포	69
<표 4.19> 축소 모형 실험에 의한 조도 분포	70
<표 4.20> 인공 조명 개선안 비교	71

그림 목 차

(그림 1.1) 연구흐름도	3
(그림 2.1) 교실의 채광 가능시간과 사용시간(북위35도)	5
(그림 2.2) 칠판 주변의 창과 책상배치	10
(그림 3.1) 교실의 조명 환경 개선 목표	17
(그림 3.2) 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스	19
(그림 3.3) 자연채광의 평가 방법	22
(그림 3.4) 조명 제어 체계	35
(그림 3.5) 주광센서에 의한 제어 시스템	37
(그림 3.6) 거리에 따른 dimming과 switching 투자 회수 기간 비교	37
(그림 3.7) 램프의 교체와 기구의 청소에 의한 조도의 변화	38
(그림 4.1) 대상 교실의 평면도	43
(그림 4.2) 대상 교실의 단면도	43
(그림 4.3) 대상 교실의 입면도	43
(그림 4.4) 교실의 조도 측정 위치	45
(그림 4.5) 청천공시 하지의 조도분포도(1~4)	46
(그림 4.6) 청천공시 하지의 조도분포도(5~8)	46
(그림 4.7) 청천공시 동지의 조도분포도(1~4)	47
(그림 4.8) 청천공시 동지의 조도분포도(5~8)	47
(그림 4.9) 담천공시 하지의 조도분포도(1~4)	48
(그림 4.10) 담천공시 하지의 조도분포도(5~8)	48
(그림 4.11) 담천공시 동지의 조도분포도(1~4)	48
(그림 4.12) 담천공시 동지의 조도분포도(5~8)	48
(그림 4.13) 1~4지점의 주광율 분포도	48
(그림 4.14) 5~8지점의 주광율 분포도	48
(그림 4.15) 조도계와 축소모형	49
(그림 4.16) 하지의 1~4지점의 조도분포도	50

(그림 4.17) 하지의 5~8지점의 조도분포도	50
(그림 4.18) 동지의 1~4지점의 조도분포도	50
(그림 4.19) 동지의 5~8지점의 조도분포도	50
(그림 4.20) 기존 교실의 인공 조명 조도 분포도	51
(그림 4.21) 광선반 설치에 의한 개선안	53
(그림 4.22) 청천공시 하지의 조도분포도(1~4)	54
(그림 4.23) 청천공시 하지의 조도분포도(5~8)	54
(그림 4.24) 청천공시 동지의 조도분포도(1~4)	54
(그림 4.25) 청천공시 동지의 조도분포도(5~8)	54
(그림 4.26) 담천공시 하지의 조도분포도(1~4)	55
(그림 4.27) 담천공시 하지의 조도분포도(5~8)	55
(그림 4.28) 담천공시 동지의 조도분포도(1~4)	55
(그림 4.29) 담천공시 동지의 조도분포도(5~8)	55
(그림 4.30) 1~4지점의 주광율 분포도	56
(그림 4.31) 5~8지점의 주광율 분포도	56
(그림 4.32) 하지의 1~4지점의 조도분포도	57
(그림 4.33) 하지의 5~8지점의 조도분포도	57
(그림 4.34) 동지의 1~4지점의 조도분포도	57
(그림 4.35) 동지의 5~8지점의 조도분포도	57
(그림 4.36) 루버 설치에 의한 개선안	58
(그림 4.37) 청천공시 하지의 조도분포도(1~4)	59
(그림 4.38) 청천공시 하지의 조도분포도(5~8)	59
(그림 4.39) 청천공시 동지의 조도분포도(1~4)	59
(그림 4.40) 청천공시 동지의 조도분포도(5~8)	59
(그림 4.41) 담천공시 하지의 조도분포도(1~4)	60
(그림 4.42) 담천공시 하지의 조도분포도(5~8)	60
(그림 4.43) 담천공시 동지의 조도분포도(1~4)	60
(그림 4.44) 담천공시 동지의 조도분포도(5~8)	60
(그림 4.45) 1~4지점의 주광율 분포도	61

(그림 4.46) 5~8지점의 주광율 분포도	61
(그림 4.47) 하지의 1~4지점의 조도분포도	62
(그림 4.48) 하지의 5~8지점의 조도분포도	62
(그림 4.49) 동지의 1~4지점의 조도분포도	62
(그림 4.50) 동지의 5~8지점의 조도분포도	62
(그림 4.51) 4열 2행 수직 배치 조도분포도	63
(그림 4.52) 4열 2행 수평 배치 조도분포도	63
(그림 4.53) 3열 3행 수직 배치 조도분포도	63
(그림 4.54) 3열 3행 수평 배치 조도분포도	63
(그림 4.55) 노모그래프 1A	65
(그림 4.56) 노모그래프 2B	66
(그림 4.57) 노모그래프 4	66
(그림 4.58) 노모그래프 5	67

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 초, 중, 고교학생들의 교실 내 재실시간은 1일 약 5~10시간으로 주간
의 50% 이상의 시간을 교실에서 생활하고 있으며 이들 재학 중인 학생의 안경
착용률은 약 50%에 이르는 것으로 조사되고 있다. 물론 이러한 시력저하의 원
인은 여러 가지가 있으나 낙후된 실내조명환경도 그 원인 중에 하나임은 부인할
수 없다. 서울 등 전국 16개 시·도교육청이 제출한 2001년 국정감사 자료에
따르면 교실의 35%가 교실의 정상 조도인 300룩스(lux)에 미달되는 것으로 나타
났다. 또한, 기존 학교의 상당수는 향과 창의 형태에 따른 자연채광을 중요하게
고려하지 않아 전기에너지 사용량이 증가할 뿐만 아니라 표준설계도에 의한 획
일적인 조명설비로 인하여 낮은 조도 및 불균일, 눈부심 등이 발생하고 있다.
교실(9m×7.5m)의 전등은 (40W×2)×7~10개 등으로 학교별 평균 조도는 150~400
룩스, 단위 면적 당 소비전력은 6~14 W/m²로 다양하게 나타나고 있다¹⁾.

한편, 정부에서는 전국 초, 중, 고등학교의 교육환경개선을 위해 매년 많은 예
산을 지원하고 있으나 예산의 상당부분이 교실의 증축과 주위환경조성에 충당되
고 있어 교실 조명환경개선을 위한 구체적인 예산의 통계조차도 미흡한 실정이
다.

기존 학교 교실의 조명 환경 개선은 쾌적한 조명 환경에 따른 학생 및 교사의
쾌적성과 학습능력의 향상뿐만 아니라 건물의 에너지 절약을 통한 건물의 유지
관리 비용 절감할 수 있으며, 궁극적으로 자원 절약 및 자연환경 보호에도 영향
을 미친다.

본 연구는 이러한 현실적인 필요성에 따른 기존의 학교 교실의 조명환경을 개
선하기 위한 작업으로, 자연채광을 위한 설계 방법 및 인공조명과 통합 방법론
을 제시하고 전형적인 교실의 표준모델을 선정하여 조명환경개선 방법을 사례

1) 박효순 외, 학교 건물의 에너지 관련시설 최적화 방안연구, 제4장 제3절, 한국에너지기술연구소, 1998.

연구함으로서 앞으로 계속될 교실의 조명환경개선을 위한 설계 자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 낙후된 조명 환경을 가진 기존의 학교 교실을 대상으로 조명 환경 개선의 목표를 설정하고 이를 위한 설계 방법을 제안하였으며 사례 연구를 통해 이를 적용하였다. 본 연구는 크게 3단계로 이루어져 있으며, 각 단계별 내용과 방법은 다음과 같다.

(1) 학교 교실 조명에 관한 이론적 고찰

문헌 연구를 통하여 학교 교실의 조명의 특징 및 조건과 기준을 정리하고, 조명 환경과 관련한 국내 연구 현황 및 학교 건물 개선과 관련한 국외의 지원 제도를 조사 분석하였다.

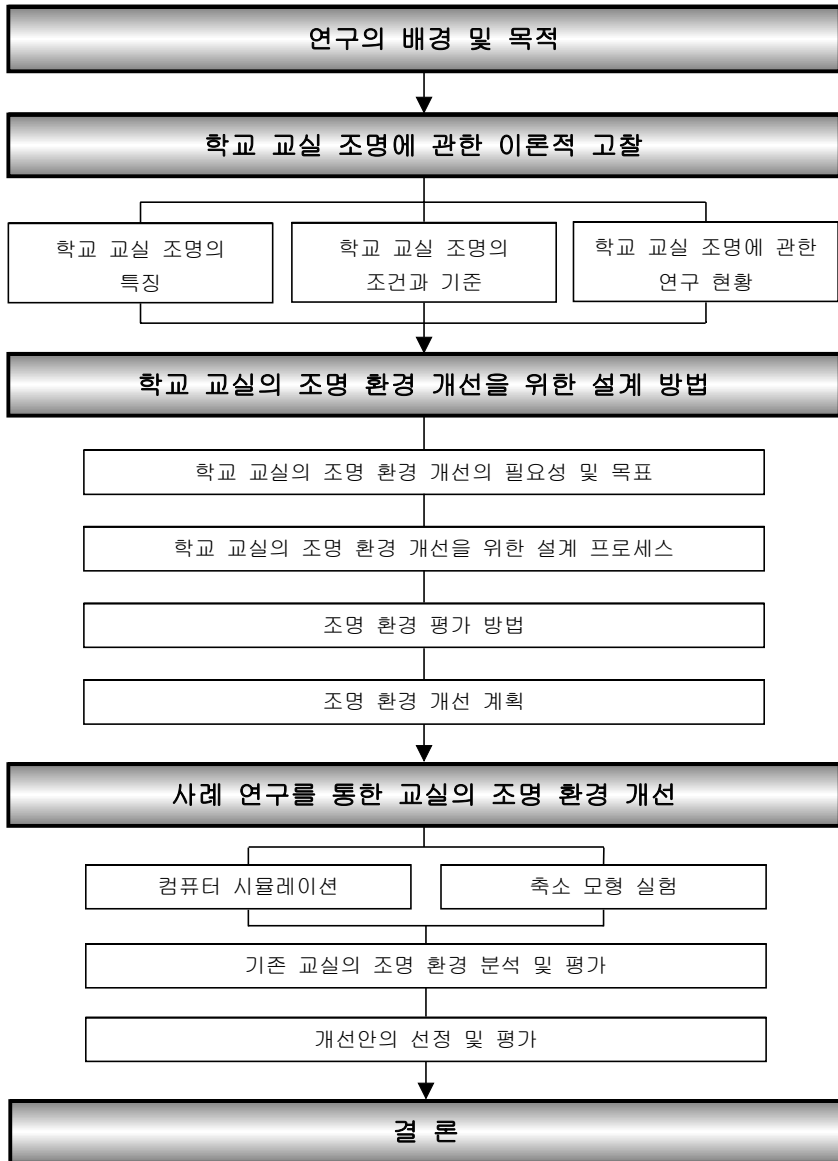
(2) 학교 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계 방법

기존 학교 교실의 조명 환경 개선의 필요성을 살펴보고, 조명환경의 개선을 위한 설계 프로세스를 제안하였으며, 이에 따른 목표 및 기준, 분석 및 평가 방법, 적용 가능한 개선 계획을 제시하였다.

(3) 사례 연구

제안한 설계 프로세스의 검증을 위해 표준설계안에 의해 설계된 교실을 모델로 조명 설계 프로그램인 Lumen Micro 2000을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션과 축소 모형 실험을 통해 대상 교실의 조명 환경을 분석하고, 개선 계획에 따라 개선안을 선정하여 비교, 평가한 후 최적의 개선 방안을 제시하였다.

본 연구의 종합적인 흐름은 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구흐름도

제 2 장 학교 교실 조명에 관한 이론적 고찰

2.1 교실 조명의 특징

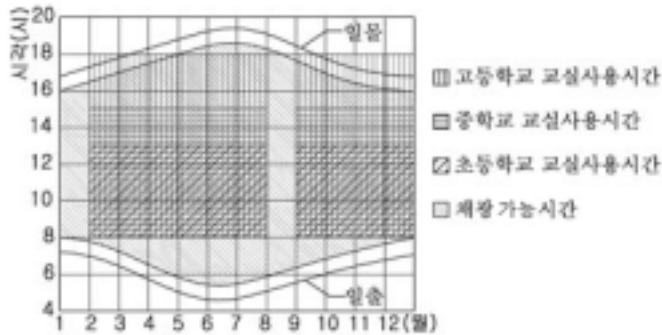
학교는 다양한 교육과정에 따른 원활한 학생들의 활동을 위해 최소한의 시설을 갖추어야 하며, 교육 개념 및 방법의 변화에 적절하게 대응할 수 있는 시설이 요구된다. 그 중에서 학교 교실은 학생들이 장시간 생활하면서 학습하는 장소로 물리적이고 정신적인 영향을 미치는 가장 중요한 교육 시설이라고 할 수 있다. 따라서 학교 교실 내에서 학생들의 학습활동에 영향을 주는 다양한 건축 환경 즉, 빛 환경, 열 환경, 공기 환경, 음 환경 등에 대한 고려가 설계단계에서 충분히 고려되어야 한다. 특히, 빛 환경은 학생들의 학습 능력 및 신체적, 심리적 발달에 큰 영향을 미치기 때문에 가장 신중하게 고려되어야 한다.

또한, 최근 교육환경이 급격하게 변화됨에 따라 학교 교실의 시 작업이 다양화되고 있기 때문에, 다양한 교육 과정에 따른 적절한 조명 환경이 요구되고 있다. 따라서, 학교 교실의 조명은 학생들의 학습 과정에 충분히 밝은 환경을 제공하여 학습 능력을 향상시키고, 바른 심신을 형성할 수 있는 쾌적한 실내 환경을 형성해야 한다.

2.1.1 일반 교실의 조명

학교 교실의 조명은 주 사용시간대가 주간이므로 주로 자연채광에 의존한다. (그림 2.1)는 교실의 채광 가능시간과 사용시간을 나타낸 것으로 초등학교는 하루 평균 5시간, 중학교는 7시간, 고등학교는 10시간을 사용하고 있으며, 대부분의 사용시간과 채광 가능시간에 포함되는 것을 알 수 있다.

따라서, 학교 교실의 조명계획에서는 자연채광을 우선적으로 고려해야 하며, 학생들이 대상물을 쉽고 바르게 볼 수 있도록 적당한 조도를 제공해야 하고, 시력 보호와 학습 능력 향상을 위해 균제도, 휘도, 글레어 등의 빛의 질도 고려해야 한다.



(그림 2.1) 교실의 채광 가능시간과 사용시간(북위35도)

(1) 조도

① 우리나라의 조도 기준

우리나라의 기준조도 규정은 국가규격과 각 행정부서의 필요에 따라 아래와 같은 여러 가지 규정이 제정되어 있다.²⁾

- 건축법 제 18조 동 시행령 규칙 제 15조 (건설부)
- 도시계획 시설기준에 관한 규칙 제 14조 (건설부)
- 한국공업표준화법 KS A 3011 (공진청)
- 고등학교 이하 각급 학교 설립·운영 규정 (대통령령 제 15,483호)

1993년에 개정된 한국표준협회의 KS 조도기준에 따른 소요조도는 주로 시(視) 작업면에 있어서의 수평면 조도이며, 작업내용에 따라 수직면 또는 경사면의 조도를 표시하고 있다. 여기서 제시한 조도는 조명 설비 초기 조도가 아닌 설치 후 사용 중에도 지속적으로 유지해야 하는 값을 나타낸다. 국부 조명을 사용하는 경우, 주변 조도는 국부 조명에 의한 조도의 10% 이상인 것이 바람직하며, 인접한 방, 방과 복도 사이의 조도차이가 크지 않도록 하고 있다.

KS 조도기준은 일반 활동 유형에 따라 조도를 11가지 분류하고, 시설별로 조도 기준을 제시하고 있다. <표 2.1>는 일반 활동 유형에 따른 조도이며, <표 2.2>는 시설별 조도기준에서 학교의 조도 기준을 나타낸 것으로, 일반 교실의 조도는 300-600lux가 되어야 하고, 제도판, 칠판의 경우 더 높은 조도가 필요하다.³⁾

2) 좌승택, 학교 교실의 환경 개선을 위한 조명 설계 연구, p 6, 제주대 석사논문, 2001

<표 2.1> 조도분류와 일반 활동 유형에 따른 조도

활동 유형	조도분류	조도범위(lx)	참고 작업면 조명방법
어두운 분위기 중의 시식별 작업장	A	3-4-6	공간의 전반 조명
어두운 분위기의 이용이 빈번하지 않은 장소	B	6-10-15	
어두운 분위기의 공공장소	C	15-20-30	
잠시동안의 단순 작업장	D	30-40-60	
시작업이 빈번하지 않은 작업장	E	60-100-150	
고휘도 대비 혹은 큰 물체 대상의 시작업 수행	F	150-200-300	작업면 조명
일반휘도 대비 작은 물체 대상의 시작업 수행	G	300-400-600	
저휘도 대비 혹은 매우 작은 물체 대상의 시작업 수행	H	600-1000-1500	
비교적 장시간 동안 저휘도 대비 혹은 매우 작은 물체 대상의 시작업 수행	I	1500-2000-3000	전반 조명과 국부조명을 병행한
장시간 동안 힘든 시작업 수행	J	3000-4000-6000	
휘도대비가 거의 안되며 작은 물체의 매우 특별한 시작업 수행	K	6000-10000-15000	작업면 조명

비고 1. 조도범위에서 왼쪽은 최저, 중간은 표준, 오른쪽은 최고조도이다.

<표 2.2> 학교의 조도기준

장소/활동		조도분류	장소/활동		조도분류
실 내	강당, 집회실	F	실 내	제도실	
	계단, 복도, 승강구	F		일반제도	G
	공임실	G		정밀제도	H
	교실(칠판)	G		창고, 차고	D
	교직원실, 수위실, 회의실	G		컴퓨터실	
	급식실, 식당, 주방	F		일반작업	G
	도서열람실	F		관독작업	H
	도서열람*	H		탈의실	E
	전반	F		휴게실	F
	두 건물을 잇는 복도	E		실 외	구내통로
	방송실, 전화 교환실	F	일반장소		B
	보건실	F	통행 적은 곳		A
	비상계단	D	농구장, 배구장		E
	서고	F	수영장		E
	세면장, 화장실	E	야구장		
	숙직실 ·	E	외야		D
	실내 체육관	F	내야		E
	실험실습실		육상경기장, 축구장, 럭비장		D
	일반	G	체조장		D
	재봉* 정밀*	H	테니스코트	E	
연구실		핸드볼장	D		
정밀실험*	H	서비스 공간	계단, 복도, 엘리베이터	C	
천평실*	G		세면장, 화장실	C	
인쇄실	F				

(*) 국부조명을 하여 기준 조도에 맞추어도 좋다

3) KS 조도기준(KS A 3011 -1993), 한국표준협회, 1993. 12. 8

② 각 국의 조도 기준

미국의 조도기준은 정상 시력을 지닌 청년을 대상으로 제정한 것으로, 조도범위와 최저 추천 조도를 제시하고 있다. 시작업에 영향을 미치는 여러 가지 요인 즉, 작업자의 나이, 작업에 요구되는 정밀도, 그리고 대상의 휘도대비들에 대하여 각각 가중치를 계산하여 기준조도 설정에 적용함으로써 구체적인 기준 조도를 제시하고 있다. 북미 조명공학회(IESNA, Illuminating Engineering Society of North America)의 조도 기준은 공간과 작업에 따라 좀더 세밀하게 분류된다. 2000년에 개정된 IESNA Lighting Handbook에 따른 조도의 분류는 기존의 9개에서 7개로 축소되었지만, 공간별 작업별로 추천조도를 세밀하게 분류하였다.

일본은 미국기준의 허용범위 최저치를 조도기준으로 정하고 있다.

<표 2.3>4)는 작업등급에 따른 한국, 일본, 미국의 기준 조도를 비교한 것으로, 미국의 기준 조도가 가장 높으며 우리나라의 기준 조도가 가장 낮게 설정된 것으로 나타났다.

<표 2.3> 각 국의 기준 조도 비교

기준조도 작업등급	최저허용조도(lx)			표준기준조도(lx)			최고 허용조도(lx)		
	한국	일본	미국	한국	일본	미국	한국	일본	미국
초정밀	1500	1500	2000	2000	2000	3000	3000	3000	5000
정밀	600	750	1000	1000	1000	1500	1500	1500	2000
보통	300	300	500	400	500	750	600	750	1000
단순	150	150	200	200	200	300	300	300	500
거친	60	75	100	100	100	150	150	150	200

(2) 실내 반사율

교실 내 빛 환경 분포에 영향을 미치는 실내 마감은 천장, 벽, 바닥간의 상호반사에 의하여 확산된 빛이 증가하고 빛을 유효하게 이용할 수 있기 때문에 전체적으로 광택이 없는 밝은 색으로 선택한다. 일반적으로 교실의 천장은 책상 위의 작업 방향으로 빛을 반사하는데 가장 중요하기 때문에 광택이 없는 백색으로

4) 학교 건물의 에너지관련시설 최적화 방안 연구, 제 4장 <표4-5>, 에너지관리공단, 1998

처리하여 반사율을 높게 하고, 벽은 연한 색 (하급학교에서는 황, 도색계, 상급학교에서는 청, 녹색계)으로 마감한다. 게시판과 벽에 세운 큰 캐비닛을 포함한 벽은 반사가 되는 얇은 표면으로 계획하고, 창에 인접한 벽은 창과 벽 표면 사이의 휘도대비를 줄이기 위해 반사율을 높게 한다. 바닥은 책상에서 이루어지는 시각업에 많은 영향을 미치므로 벽보다는 어둡지만 비교적 밝은 표면으로 계획하는 것이 좋다. 책상면은 광택이 없는 밝은 색으로 하고 칠판은 흙색보다는 녹색 정도가 좋다. 교실 실내마감의 권장 반사율은 <표 2.4>와 같다.

<표 2.4> 권장 반사율

부위	반사율(%)	부위	반사율(%)
천정	85	칠판	15 ~ 20
벽	60 ~ 70	가구	40 ~ 60
바닥	20 ~ 25		

(3) 휘도

휘도는 단위 면적 당 도달하는 빛의 양을 표시하는 것으로, 어떤 대상을 바라보았을 때의 밝은 정도를 나타낸다. 광원의 휘도 또는 비추어진 면적의 휘도는 빛이 눈에 주는 자극과 뇌가 받는 밝기에 대한 인상이 측정기준이 된다. 사물이 잘 보이면서도 쾌적한 실내가 되기 위해서는 적절한 휘도분포가 필요하며, 실내 표면의 반사율과 광속배분을 고려해야 한다.

<표 2.5>는 시야내의 권장 휘도비를 나타낸 것으로 휘도차를 줄이기 위해서는 표면 휘도를 증가시키거나, 창문 또는 광원의 휘도를 낮춘다. 표면 휘도를 증가시키기 위해서는 표면의 반사율을 높이거나 표면 위로 더 많은 빛을 분배하는 광원을 선택한다.

<표 2.5> 시야 내의 권장 휘도비

대 상	휘도비
책과 책상	3 : 1
책상과 바닥면	10 : 1
책상과 천장	1 : 10
조명기구 또는 창과 그 부근의 면	20 : 1

(4) 균제도

조도나 휘도분포가 균일하지 못하면, 시선을 옮길 때 시야 범위 내에 밝기가 변동하므로 피로나 불쾌감을 일으킨다. 대상물을 보기 위해서는 균일한 밝기의 조도분포가 필요하며, 밝기의 변동을 나타내는 척도로 균제도가 사용된다. 균제도는 조도 차이의 비를 말하며 일반적으로 그 차이가 작을수록 좋다. 학교 교실에서는 최대 조도와 최소 조도의 비율은 3 : 1이하, 평균조도와 최소조도의 비율은 2 : 1 이하인 것이 좋다. 주간에는 자연채광만 이용하면 복도 측과 창가 측의 조도차이가 커지므로 자연채광과 인공광의 밸런스에 주의가 필요하다.

(5) 글레어(Glare)

글레어(glare)는 빛이 눈에 들어와 대상을 보기 어렵게 하거나 불쾌감을 느끼거나 하는 상태를 말하며 현휘 또는 눈부심이라 불린다. 일반적으로 글레어는 휘도가 높은 물체가 직접 시야 속에 보일 때 발생하는 직접 글레어(direct glare)와 휘도가 높은 물체가 직접 시야 속에 보이지 않아도 광택이 있는 표면에 비친 것에 의해 발생하는 간접글레어(반사글레어, reflective glare)가 있다.

학교 교실에서는 시야 내에 인공광원이나 햇빛이 들어오는 창, 창을 통해 보이는 흰 건물이나 하늘도 글레어의 원인이 될 수 있다. 직접 글레어를 줄이기 위해서는 창에는 자연채광을 조절하는 장치를 설치하고, 조명기구에는 시선과 평행하게 달고 커버나 루버, 반사갓을 설치한다. 시선을 중심으로 해서 30°범위 내의 글레어 존에는 광원을 설치하지 않고, 광원주위를 밝게 한다. 간접 글레어를 줄이기 위해서는 실내 표면의 반사율에 유의하며 인쇄물이나 용지류는 반사가 적은 것을 사용한다.

(6) 광색과 연색성

인공광원은 설치장소 및 그 목적에 따라 가능한 한 자연 그대로의 색상을 재연 해주어야 한다. 광색은 광원이 방사하는 빛의 색조를 물리적, 객관적인 척도로 나타낸 것으로, 색온도(K : 켈빈)라는 단위를 사용한다. 교실에서는 자연광과 비슷한 광색을 내는 5,000K 전후의 광원을 사용하는 것이 좋다.

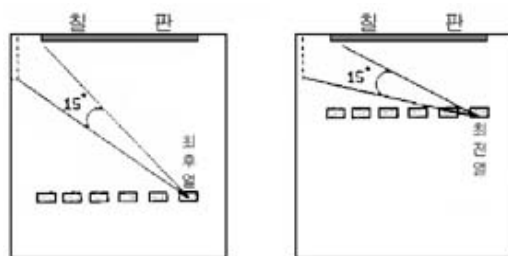
연색성은 조명된 피사체의 색재현 충실도를 나타내는 광원의 성질로 연색지수,

Ra로 표시한다. 연색지수의 수치가 낮아질수록 색상의 재현도는 점점 떨어진다. 일반 교실에서는 평균 연색지수 Ra70 정도, 미술실, 가사실 등은 Ra85 이상의 연색성이 좋은 광원을 사용한다.

2.1.2 칠판의 조명

학교 교실에서 칠판은 교사의 수업 내용이 학생들에게 전달되는 주요 수단이 되기 때문에 칠판의 조명은 특히 중요하다. 일반적으로 학생들이 칠판면으로부터 받는 반사에 의한 눈부심을 적게 하고, 칠판 조명의 램프가 직접 눈에 들어오지 않도록 설계해야 한다. 또한 교사가 수업 중에 눈부심이 없도록 조명기구는 수직에 대한 각이 45도 이상이 되도록 하고 칠판 조명 램프가 칠판의 하단을 비추도록 한다.

칠판 주변에 글레어를 방지하기 위해서 (그림 2.1)⁵⁾처럼 칠판 주변 15°의 시야 내에는 자연채광을 비추는 창이나 눈부심을 만드는 광원을 배치해서는 안된다. 만약 15°내에 창이 있을 경우에는 젓빛 유리를 사용하거나 커튼, 루버, 블라인드 등의 차양장치를 설치한다.



(그림 2.2) 칠판 주변의 창과 책상배치

5) 김석은, 학생의 수업 능력 향상을 위한 조명설계와 칠판 구조에 관한 연구, p. 27, 국민대 석사논문, 1998

2.2 학교 교실 조명에 관한 연구 현황

2.2.1 국내 현황

교실의 조명 환경과 관련된 국내 연구현황을 살펴보면, 자연채광에 관한 연구, 인공조명에 관한 연구, 조명 현황에 관한 연구 등으로 구분할 수 있다.

자연채광 이용에 관련된 연구는 1980년대부터 본격적으로 시작되었는데 김정태⁶⁾는 학교 교실의 자연채광 설계방법과 설계 사례를 기술하였으며, 유정수⁷⁾는 자연채광에 적용된 기법들을 분석하고 건축설계에 자연채광 도입을 위한 설계과정을 정립하였고, 각 기법들을 단계별로 분류하여 그 우선 순위를 정하고, 적용된 기법들을 분석하여 그 장단점을 설계자가 인지한 후 취사 선택할 수 있게 도움을 주었다.

인공조명에 관하여 김석은⁸⁾은 학생의 수업 능력 향상을 위한 조명 설계와 칠판 설계에 관한 연구를 수행하였고, 오세영⁹⁾은 양적인 교육환경의 개선보다 질적인 환경조명의 개선에 목적을 두고, 32W 형광등과 전자식 안정기를 사용하여, 조명 기구의 종류와 배치에 따른 조도분포와 휘도분포를 분석하였으며, 좌승택¹⁰⁾은 학교 교실의 조명 상태를 조사하고, 모델 시뮬레이션을 통해 인공조명의 최적배치를 연구하였다.

교실의 조명 현황과 관련하여 유수경¹¹⁾은 서향의 창을 가진 고등학교 일반교실을 대상으로 조도를 측정하여 결과를 정리하였으며, 에너지 관리공단¹²⁾은 학교 건물의 에너지 관련 시설 최적화 방안 연구의 일환으로 500 여개 학교를 대상으로 실시한 실태조사 및 15개교를 대상으로 실시한 시범 진단 결과를 정리하여 학교 건물의 환경개선을 위한 조명 설계를 수행하였다.

6) 김정태, 학교교실의 자연채광계획, 한국교육시설학회지 제6장 3호, pp. 60-65, 1999

7) 유정수, 자연채광의 건축설계 적용기법 및 과정에 관한 연구, 건국대 석사논문, 2001

8) 김석은, 학생의 수업 능력 향상을 위한 조명설계와 칠판 구조에 관한 연구, 국민대 석사논문, 1998

9) 오세영, 조명기구에 따른 학교교실의 조도와 휘도분포에 관한 연구, 광운대 석사논문, 1999

10) 좌승택, 학교 교실의 환경 개선을 위한 조명 설계 연구, 제주대 석사논문, 2001

11) 유수경, 학교 교실 조명현황에 관한 조사연구, 이화여대 석사논문, 1997

12) 학교 건물의 에너지 관련 시설 최적화 방안 연구, 에너지 관리공단, 1998

최근 학교시설을 대상으로 리모델링 및 리트로핏에 관련한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 자연채광과 인공조명을 고려한 통합적인 조명 환경 개선에 관한 연구는 미비한 실정이다. 서정호¹³⁾는 인공조명과 자연채광을 사용한 혼합 조명이 실내 공간에 미치는 영향을 가시화시키고 통계적으로 에너지 절약에 대한 분석을 실시하여 자연채광을 고려한 실내조명 설계안을 제안하였으나 일반적인 건물에 국한되어 있고, 이화룡¹⁴⁾은 학교시설의 유지관리, 보수·보강을 통해 국가 자원의 가치 증대와 자연환경을 보호할 수 있는 리모델링 의사결정 모델을 설정하였으나 주로 행정적인 면에 치중하였으며, 서치호¹⁵⁾는 기존 학교시설의 개 보수 이력을 조사하여 교육시설의 노후화 판정기준을 작성하였으나, 조명시설에 대한 부분은 누락이 되어 있다.

2.2.2 국외 현황

미국과 유럽 등의 선진국에서는 연구기관과 국가 지원기관에서 학교의 환경 개선과 관련된 다양한 지원 프로그램을 실시, 보급하고 있다.

(1) ECO School Program

ECO는 Ecology의 약자로서 「친환경」의 의미가 내포되어 있으며, 환경부하 저감을 목표로 설계·건설된 학교시설, 환경부하 저감을 목표로 운영되는 학교시설, 환경교육에 활용 가능한 학교시설을 뜻한다. 학교 시설의 건설, 유지, 해체라는 전 라이프 사이클을 대상으로, 시설면에서는 지역, 학생들에게 친숙한 설비로 건축되어야 하고, 운영면에서는 에너지, 자원, 건물을 유효하게 사용하기 위한 계획이 있어야 하며, 교육면에서는 시설 및 구조가 학습에 도움을 줄 수 있도록 계획되어야 한다. 현재 유럽이나 미국, 호주 등 선진국에서 추진하고 있는 「에코스쿨 프로그램」이나 「에너지 패트룰 프로그램」, 「에너지 스마츠 파트너

13) 서정호, 자연채광을 고려한 실내조명환경의 예측에 관한 연구, 대한건축학회, 1994

14) 이화룡, 기존학교설비의 리모델링 의사결정 모델에 관한 연구, 한국교육시설학회지 제 8장 2호, pp. 5-12, 2001,

15) 서치호, 학교시설의 리모델링을 위한 구성재료의 노후화 판정기준 작성 (I), 한국교육시설학회지 제8장 3호, pp. 7-14, 2001,

쉽」, 「에너지절약 바꾸니 프로그램」 등은 학생과 교직원, 학부모가 합심하여 펼치는 에너지절약 실천 활동으로서 각 학교의 에너지 요금 절감이 목표가 되고 있고, 지구 환경 문제에 대처하기 위한 에너지절약활동과 자원재활용의 생활화에 역점을 두고 있다.

(2) Energy Smart schools

1998년 미국 에너지부(DOE)에 의해 시작된 국가적 차원의 학교 건물의 에너지 향상에 관한 프로그램으로, 기존 학교 건물을 리모델링하거나 새로운 학교를 지을 때 도움을 준다.¹⁶⁾ 에너지 소비 및 비용 감소, 에너지 효율 향상에서 오는 비용 절감액의 재투자, 학교 환경의 쾌적성 향상, 학생, 교사, 지역 사회에 환경에 대한 인식 증가를 주 목표로 하고 있으며, 이를 위해 건물의 에너지 향상을 위한 프로그램인 「Rebuild America」와 정보를 공유할 뿐만 아니라 다른 DOE 프로그램과도 연계되어 있다.¹⁷⁾ 2,000여개의 학교를 포함하여 관련 회사, 지역 단체, 정부 단체 등 240여개 이상의 파트너십이 형성되어 학교의 에너지 향상에 걸림돌이 되는 정책이나 법규들을 해결하고, 많은 기술과 자금에 관한 지원을 하게끔 유도하여 더 나은 학교 건물을 만들고 새로운 에너지 기술을 사용하게끔 한다.

(3) Destination Conservation Project

캐나다의 앨버타주의 환경활동가인 브라인언 스타스젠스키가 1987년에 시작한 학교와 지역사회 에너지절약/자원절약교육 지원 시스템으로 지금은 캐나다 초등학교 2,700개교, 미국의 10개주에서 실험적으로 도입하여 진행되고 있다.¹⁸⁾ DC의 방향은 크게 세 가지로 우선 학생들에게 에너지절약/자원절약을 교육시키고, 학생, 선생님이 생활습관을 바꾸는 실천 활동을 전개하며, 학교 당국이 최신기술을 이용하여 설비를 개선해 감으로써 전기, 가스, 물 사용량과 쓰레기량을 줄이고 그 결과 학교 경비를 절약하는 것이다. 활동과 시설개선에 필요한 자금 기술 지원은 보통 주 단위 혹은 전국 단위의 환경 관계의 NPO(Non Profit

16) <http://www.eren.doe.gov/energysmartschools/>

17) <http://www.rebuild.org>

18) <http://www.dcplanet.org>

Organization)나 민간재단이 제공하고 있으며, 전력, 수력, 가스 석유회사 외에도 환경문제를 실천하는 회사도 협력하고 있다. 지원을 받기 위한 신청은 지역 교육위원회가 중심이 되어 학교에서 프로그램을 만들고 필요에 따라서 몇 가지 적당한 자금처를 선정하여 그 곳의 신청 조건에 맞춰 신청하고 있다. 학교 설비 개선의 경우, 필요한 자금은 개선에 협력하고자 하는 기업이 「에너지효율개선 협력조약」을 교육위원회와 체결, 실시하고 실제로 비용절감 효과가 나오면 위원회로부터 지불되어진다.

추진은 학교지구 행정팀, DC컨설팅 팀, 기업파트너, 학교에너지절약/자원절약팀으로 구성되어 이루어지고, 학교 내에서는 교장, 교사, 학생들, 부모님, 설비담당자가 연계하여 추진하고 있다. 학생들이 컴퓨터 소프트웨어를 사용하여 「학교에너지절약, 자원절약도 체크」를 행하고 「개선계획」을 만들어 「생활스타일 개선 캠페인」을 전개, 에너지 절약과 자원절약을 실행한다. 두 가지 지원가이드가 있으며 「교사용 리소스 가이드」에는 교사들이 학생들을 돕는데 필요한 여러 가지 정보, 참가 커리큘럼, 학생들에게 장려할 활동 프로그램이 있고, 「교내 에너지절약, 자원절약팀 가이드」에는 교사, 교장, 관리직이 팀을 조직해서 부모님과 교내 학생들 그리고 지역 사회와 연계하는 방법이 나와 있다.

제 3 장 학교 교실의 조명환경 개선을 위한 설계 방법

학교 교실의 조명 환경 개선은 기존의 건물 및 조명 설비를 개수, 보전, 수리하여 적합한 조명 환경으로 향상시키는 것으로, 적정 조도 창출, 질적으로 우수한 조명 제공 등으로 쾌적한 조명 환경을 창출하고, 자연채광의 적극적 활용과 인공 조명 사용시간 절감, 최신 조명 기술의 적용과 효율적인 유지관리로 에너지 사용과 비용을 절감하고, 더 나아가 환경에 미치는 영향을 최소화하는 행위이다.

학교 교실의 조명환경 개선을 위한 계획에서는 기존 교실의 조명 환경에 대한 상세한 분석과 조명 환경 개선목표에 따라 자연채광 성능 향상을 위한 건축적인 개선 및 창호계획, 실내 조명기기의 리트로핏 계획, 유지관리 방안 등을 수립하여야 한다. 또한 기존 교실과 개선안의 조명환경을 비교·평가하여 개선안이 시각적으로 쾌적하며 동시에 환경적, 경제적으로 적합한가를 종합적으로 평가 및 검토해야 한다.

그러나 이러한 설계 과정에 대한 체계적 연구가 미흡하여 건물의 향, 크기 및 형태 등과 같은 다양한 특징을 고려하지 않고 획일적인 조명 설계방법을 답습하고 있다. 따라서, 본 장에서는 학교교실의 조명환경 개선을 위한 조명 설계 방법을 제안하고자 한다.

2.3 학교 교실의 조명 환경 개선의 필요성 및 목표

2.3.1 학교 교실의 조명 환경 개선의 필요성

지난 반세기 동안 국내 교육시설은 양적으로 눈부신 성장과 발전을 거듭해왔으나, 현재는 기존 시설의 노후화나 교육시스템의 변화, 학교 시설의 정보화 및 개방화, 복합화 등에 따른 리모델링의 필요성이 보다 시급한 과제로 대두되고 있다. 교실 조명설비의 노후화 및 이로 인한 에너지 비용의 증가, 교육방식의 변화 및 학생들의 요구수준 변화 등 물리적, 경제적, 사회적 열화의 발생으로 기존의 학교 교실의 환경 개선이 요구되고 있다. 특히, 교실의 조명 환경은 학생들

의 시력 보호와 학습 능력 향상 및 신체적 건강에 직접적으로 영향을 미치므로 그 중요성이 더하다고 할 수 있다.

(1) 물리적 열화

70~80년대 표준 설계에 의해 지어진 많은 학교 교실들이 자연채광을 고려하지 않고 설계되어 직사일광으로 인한 눈부심이 발생하고, 빛의 반사로 인해 칠판의 글씨를 읽기 힘든 경우가 많다. 교실 전체의 조도 분포가 균일하지 못하고 일사 차단을 위해 커튼을 칠 경우 교실전체가 조도가 낮아지는 등의 문제점을 드러내고 있다. 또한 과학기술의 발전으로 효율이 높은 조명기와 다양한 제어기술이 발달되었으나, 많은 학교 교실들이 오래된 조명 기기들을 그대로 사용하고 있어 효율이 떨어질 뿐만 아니라 사고의 위험성을 내포하고 있다. 이에 건축적인 방법을 통한 개선 및 주광과 인공조명이 통합된 조명 개선이 필요하다.

(2) 경제적 열화

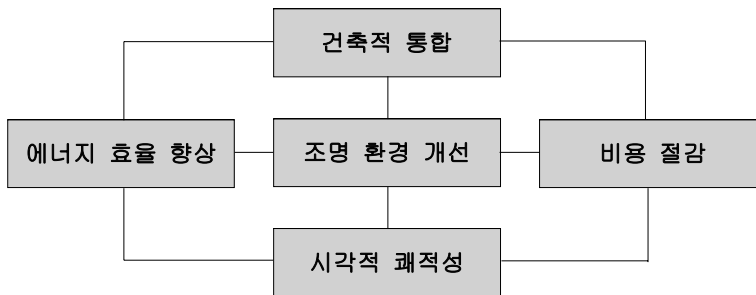
교실의 조명에너지는 전체 전기 에너지 사용에 큰 부분을 차지하고 있음에도 불구하고, 오래된 조명 설비와 불규칙적인 유지 관리 및 보수로 에너지 비용과 인건비가 증가한다. 에너지 절감을 위해서는 조명 설비의 개선이 필수적이며, 램프의 교체 및 등기구 청소, 벽과 창의 청소 등 규칙적인 유지관리는 학교 관리의 차원에서 환경이 좋아지고 시설의 이용도가 높아지는 동시에 조명의 수명을 연장하여 에너지 절약 및 비용 절감을 할 수 있다.

(3) 사회적 열화

조도뿐만 아니라 명암변화, 색변화, 글레어 등 조명의 질은 학생들의 시력, 심리적인 영향, 학습능력 등과 밀접한 관계가 있으며, 좋은 조명은 교사에게는 수업하기 쉬운 분위기를 만들어 교육효과를 높인다. 또한 교육과정개편에 따라 교육 방법이 변화하고, 수업 방식 또한 과거 칠판에 의한 강의식 수업에서 다양한 수업 방식이 행해지고 있으며, 많은 기자재들이 사용되고 있다. 그러나 많은 교실이 획일적인 조명 계획을 통해 설계되어 질적으로 좋은 조명 환경을 제공하지 못하고 있으며, 다양한 교육 방법 및 수업 방식에도 대응하지 못하고 있다.

2.3.2 학교 교실의 조명 환경 개선의 목표

학교 교실 조명의 가장 기본적인 목표는 읽기, 쓰기 등의 시작업에 충분한 밝은 환경을 제공하는 것이며, 질적으로 우수한 조명 환경을 창출하여 성장기 학생들의 시력보호, 학습능력 향상, 바른 심신형성을 도모하는 것이다. 우선적으로 건축적 개선을 통해 질 좋은 주광을 유입하여 적정 조도를 확보하면서 글레어가 없는 시각적으로 쾌적한 환경을 창출해야 한다. 주광의 적극적인 이용은 인공조명의 사용을 최소화함으로써 궁극적으로 자원의 절약과 환경 보호로 이어진다. 주광과 인공조명과의 효율적인 통합으로 전기에너지의 사용을 줄이고, 고효율 조명기기의 사용과 효율적인 유지 관리로 에너지 효율을 높이는 동시에 비용을 절감하도록 한다. 학교는 한정된 예산을 갖기 때문에 적은 비용으로 최대의 효과를 낼 수 있어야 하고, 초기 투자비용에 대해 짧은 투자 회수 기간을 갖는 것이 좋다. 조명 환경 개선의 전체 비용은 초기투자비용 뿐만 아니라 유지 관리비용도 포함하므로 효율적이고 지속적인 유지 및 관리는 전체 비용을 절감할 수 있다. (그림3.1)은 조명 환경 개선의 목표를 도표화한 것으로 크게 건축적 통합, 시각적 쾌적성, 에너지 효율 향상, 비용 절감으로 나눌 수 있다.



(그림 3.1) 교실의 조명 환경 개선 목표

교실의 조명 조건은 조명환경 개선의 근거를 마련하는 중요한 수단이며, 이 조건에 따라 조명환경 개선 수준을 결정하게 된다. 구체적인 교실의 조명 조건은 <표 3.1>과 같으며, 담천공시 실외 조도에 대한 실내 조도의 비가 최소 2% 이상이 되어야 하고, 책상면의 조도는 300~600lux를 만족해야 한다.

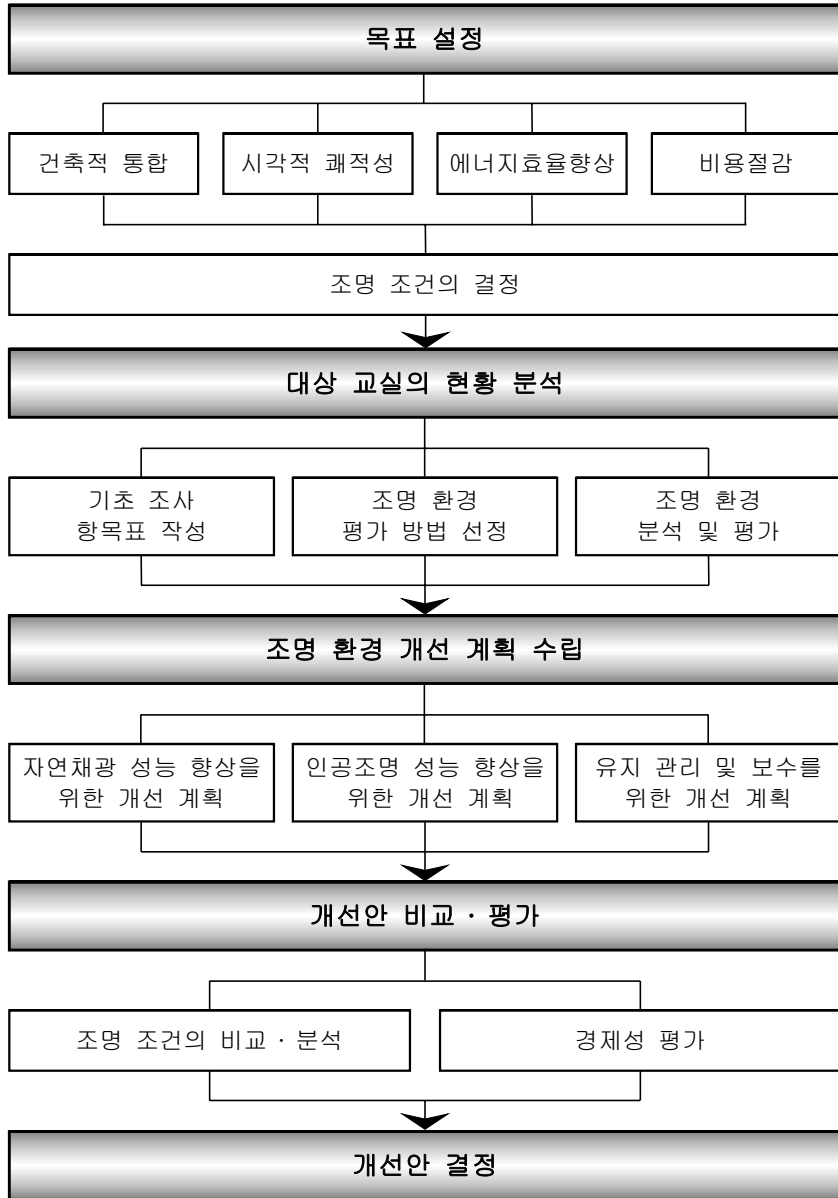
<표 3.1> 교실의 조명 조건

항 목		물리적 기준
주광율 (실외조도에 대한 실내조도의 비)		최소 2 %이상(책상면)
작업 수평면 조도		300 - 600lux
휘도비	책과 책상	3 : 1
	책상과 바닥면	10 : 1
	책상과 천장	1 : 10
	광원과 부근의 면	20 : 1
균계도	최소조도/최대조도	1/3 (자연채광1/10)
	최소조도/평균조도	1/2
광원의 색		5,000K
광원의 연색성		Ra 70
실내 반사율	천장	0.85
	벽	0.6 - 0.7
	바닥	0.2 - 0.25
	가구	0.4 - 0.6

2.4 학교 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스

조명 설계란 재실자의 조명에 관한 요구 조건 등을 설계자가 경험과 자료를 통해 구체화시키는 것으로서 기획 구상, 기본 설계, 실시 설계 등의 단계로 구분될 수 있다. (그림 3.2)는 교실의 조명 환경 개선을 위한 기본 설계 프로세스로 목표 설정, 대상 교실의 현황 분석, 조명 환경 개선 계획 수립, 개선안의 비교·평가, 개선안 결정의 과정으로 이루어진다.

기존 교실의 조명 환경 분석을 통해 개선 계획을 세운 후, 개선안을 선정하여 비교 분석한다. 기존안과 개선된 조명 환경의 평가에는 수식을 이용한 계산방법, 모형모델을 이용한 실험방법 및 컴퓨터프로그램을 이용한 방법 등 다양한 방식이 있으며, 이 중에서 적당한 평가기법을 선정하여 평가하고, 조명환경 개선 목표에 부합하는가를 종합적으로 검토한다. 조명 환경 개선 대안 평가 결과를 토대로 다른 건축 환경 조건들과 연계해서 최종 설계안을 결정하고, 시공성 및 시공 이후의 관리에 대해서도 고려해야 한다.



(그림 3.2) 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스

(1) 목표 설정

학교 교실의 조명 환경 개선을 위해서는 건축적 통합, 시각적 쾌적성, 에너지 효율 향상, 비용 절감을 고려한다. 이러한 기본 목표와 함께 대상 교실의 조건에 따른 주광율, 조도, 균제도 등의 기준을 설정한다.

(2) 대상 교실의 현황 분석

교실의 구성과 이용 현황, 조명시설의 노후화 상태, 에너지 사용량, 유지 관리 상태 등을 조사, 진단함으로써 문제점의 내용, 범위, 정도를 파악한다. 조사·진단을 보다 간편하고 효율적으로 수행하기 위하여 <표 3.2>와 같은 기초 조사 항목표를 작성하여 기초 조사를 실시한다.

기초 조사 항목표의 작성 후 조명 환경 분석을 위한 평가 방법을 선정하고 대상 교실의 조명 환경을 분석한다. 교실의 조명 환경의 분석 및 평가는 크게 자연채광과 인공조명으로 나누어 실시하고 제시한 조명 조건에 적합한가를 평가하여 개선되어야 할 문제점을 도출한다.

<표 3.2> 대상 교실의 조명 환경 분석을 위한 기초 조사 항목표

분 류	대 상	세 부 항 목	
교실의 구성	배치	위도, 경도, 외부 건물과의 거리	
	건물	구조, 방위, 층수	
	교실	면적, 가로 세로 비율, 천정고	
	실내마감재		천장재료, 색, 반사율
			벽재료, 색, 반사율
			바닥재료, 색, 반사율
	가구		책상 높이, 배치, 색, 재료, 반사율
			질판 크기, 위치, 색, 반사율,
	외피		외벽의 위치, 방위, 면적
			창의 방위, 위치, 면적, 구성재료, 투과율
		차양의 위치, 종류, 재료, 색, 반사율	
운영		학생수, 활동유형	
		수업방법, 사용 시간	
조명 시스템	전력	전력비, 전력사용량, 수요전력	
	조명방식		배광에 의한 분류
			배치에 의한 분류
	조명기구	형태, 배치, 사용년수, 물리적 상태	
	전구와 안정기	종류, 배치, 사용년수, 물리적 상태	
	조닝과 제어	조명 작동방법, 제어 방법	
유지관리		청소 일정	
		교환 일정	

(3) 조명 환경 개선 계획 수립

대상 교실의 조명 환경의 문제점 분석을 토대로 목표 및 조명 조건에 부합하는 조명 환경 개선 계획 방안을 제시한다. 크게 자연채광 성능 향상을 위한 개선계획, 인공조명 성능 향상을 위한 개선 계획, 유지 관리 및 보수 개선 계획으로 나눌 수 있다.

(4) 개선안 비교·평가

대상 교실의 조명 환경과 제안한 개선안들의 조명 환경을 비교, 분석하고 목표와 조명 조건에 부합하는가를 종합적으로 검토한다. 대상 교실의 조명 환경 평가와 마찬가지로 자연채광과 인공조명으로 나누어 조명 조건을 비교 분석하고, 경제성 분석을 통해 적용 가능성을 검토한다.

(5) 개선안 결정

개선안의 비교·평가 결과를 토대로 최종 설계안을 결정한다. 적용 가능성 검토 이후 최종 설계안을 결정하는 단계로서, 다른 건축적인 조건들을 함께 고려해야 하며 실시 설계시 시공성 및 시공 이후의 관리에 대해서도 고려해야 한다.

2.5 조명 환경 평가 방법

교실의 조명 환경을 분석하고 평가하기 위해서는 기존 교실의 조명 환경에 영향을 미치는 요소들에 관한 기초 자료 수집이 필수적이다. 적절한 조명 평가 방법을 적용하여 자연채광에 의한 조명 환경과 인공조명에 의한 조명환경 현황을 나누어 분석한다. 분석된 결과가 설정된 기준에 충족하는가를 비교 평가한 후, 문제점을 도출하여 개선되어야 할 항목을 정리하고 조명환경 개선을 위한 구체적인 목표를 설정한다.

평가 방법은 크게 실측, 계산, 모델 실험, 컴퓨터 시뮬레이션이 있으며, 실측이나 모델 실험에 의한 방법이 가장 정확한 결과를 도출할 수 있으나 오랜 시간이 걸리는 단점이 있다. 가장 쉽고 간편한 방법은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 것

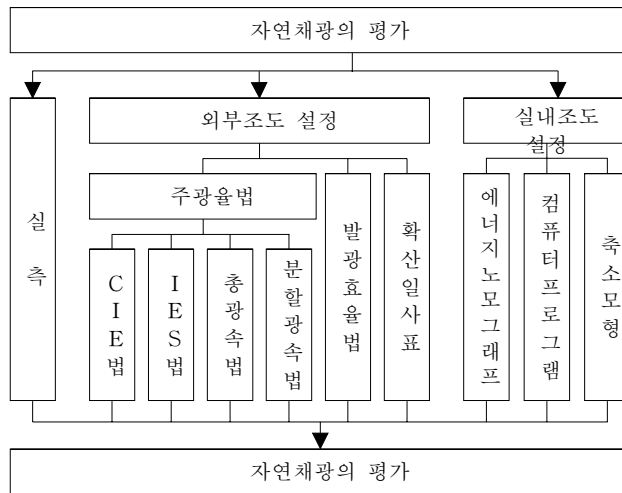
이며, 최근 사용이 간편하면서 다양한 결과를 얻을 수 있는 조명 설계 컴퓨터 프로그램들이 개발되어 있다.

학교 교실은 자연채광과 인공조명을 모두 사용하고 있으므로, 자연채광 및 인공조명 평가가 모두 수행되어야 한다.

2.5.1 자연채광 평가 방법

자연채광 평가 방법은 설계 조도의 기준에 자연채광이 적합한가에 대한 검증으로서, 실측과 외부조도의 설정에 의한 방법, 실내조도의 설정에 의한 방법으로 분류할 수 있으며, (그림 3.2)와 같다.

자연채광성능 평가를 위한 지표는 조도, 휘도, 주광율, 균제도가 있으며, 평가에 영향을 미치는 요소로는 지리적 위치, 천공상태, 유리창의 면적과 투과율, 실내 마감재의 반사율, 외부지면의 반사율 등이 있다.¹⁹⁾



(그림 3.3) 자연채광의 평가 방법

① 실측에 의한 방법 : 조도계, 휘도계 등의 측정장치를 이용하여 실제로 측정하는 방법이다.

19) 유정수, 자연채광의 건축설계 적용기법 및 과정에 관한 연구, 건국대 석사논문, p.18, 2001

② 외부조도 설정에 의한 방법

· 주광율법 : 국제조명위원회(CIE:Commission Internationale de l'Eclairage, International Commission on Illumination)의 권장방법으로 주광율(DF)은 담천공시의 실내작업면의 수평조도와 외부수평면 조도와 의 비율로 정의되며, 총광속법, 분할광속법, CIE법, IES법 등이 있다.

· 발광효율법 : 발광효율을 이용하여 기상자료의 직달일사량 및 천공일사량을 각각 직달일광조도와 천공과조도로 변화시켜서 외부조도를 산출하는 방법이다.

· 확산일사표 : 기상자료가 없는 지역에서 발광효율 이론과 태양궤적도 및 분도기를 이용하여 계산과정을 단순화시킨 발광효율을 이용한 외부조도 예측을 위한 간이기법이다.²⁰⁾

③ 실내조도 설정에 의한 방법

· 에너지 노모그래프(Nomograph) : 건물이나 실, 창문 조건 등에 따라 실내 자연채광분포를 신속, 간단하게 분석 또는 평가할 수 있는 도표화한 설계 도구이다. 건물계획, 특히 개구부 및 실내 자연채광계획에 있어 다양한 자연채광인자에 의한 실내자연채광 정도 및 소등 범위 등을 빠른 시간 내에 파악할 수 있다.²¹⁾

· 컴퓨터 프로그램 : 조명 설계를 위한 컴퓨터 프로그램을 이용하여 실내 조도의 예측과 조명 설계를 하는 방법으로 신뢰도는 있으나 적용 과정과 해석 과정이 복잡하다.

· 축소모형 : 실제 건물의 상태를 정확히 재현할 수 있기 때문에 오차가 적고, 특히 복잡한 형태일 경우에는 그 결과를 실제에 가깝게 예견할 수 있다. 다른 형태와의 비교, 빛의 정량적·정성적 평가가 가능하다.

2.5.2 인공조명 평가 방법

인공조명을 평가 방법은 자연채광에 비해 계절, 기상, 시각 등에 의한 변동이

20) 이정호, 확산일사 Solar Chart를 이용한 외부조도 간이평가기법 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제 14권 1호 pp. 301-304, 1994

21) 김정태, 자연채광에 의한 건물의 에너지 절약기법, 대한건축학회지 건축, 제 30권 4호, pp.48-51, 1986

적으므로 비교적 간단하다. 인공조명의 성능 평가를 위한 지표는 조도, 휘도, 균제도, 광색과 연색성, 글레어 등이 있으며, 전력량, 경제성 등도 중요한 지표가 된다. 평가에 영향을 미치는 요소로는 실의 크기, 실내 마감재의 반사율, 조명 방식, 조명기기의 종류 및 개수, 배치 및 조닝 등이 있다.

평가 방법은 실측에 의한 방법, 계산식에 의한 방법, 컴퓨터 프로그램에 의한 방법이 있다. 실측은 자연채광의 평가 방법과 같이 조도계, 휘도계 등의 측정장치를 이용하여 직접 측정한다. 계산식에 의한 방법은 조도계산법의 원리에 따라 광속법(Lumen Method), 입자추적법(Point by Point Method), 해석적 방법으로 분류할 수 있고 일반적으로 실내 전체를 어떠한 일정 조도로 하는 전반 조명은 광속법, 국부 조명은 입자추적법을 사용한다.

① 광속법 : 모형 실험을 통해 응용화된 방법으로 각국의 조명학회와 국제조명위원회에서 여러 형태의 계산법을 확립하고 표준으로 제시하고 있다. 삼배광법, 북미조명학회의 구역공간법(ZCM : Zonal Cavity Method), 영국구역법(BZM : British Zonal Method), 독일의 LiTg법, 프랑스의 UTE법, 국제조명위원회의 CIE 법 등이 있으며, 우리나라와 일본에서는 삼배광법을 많이 사용한다.

일반적으로 평균조도계산방법은 아래 식과 같다.

$$\text{소요 평균조도} = \frac{N \times F \times U \times M}{A} = \frac{\text{램프의 개수} \times \text{램프 1개당 광속 (lm)} \times \text{조명율} \times \text{유지율}}{\text{작업면의 면적 (m}^2\text{)}}$$

② 입자추적법 : 조명기구에서 나오는 빛을 입자로 생각하고, 그 입자의 경로를 추적하여 면에 도달하는 광속을 계산하는 방법이다. 매우 정확하고 다양한 결과로 응용의 범위가 크지만 계산 시간이 오래 걸리기 때문에 조도계산 보다는 배광곡선의 예측, 광학계의 설계 등에 사용되는 경우가 많다.

③ 해석적 방법 : 기하학적 공간에서 특정 배광분포를 가진 조명기구가 제공하는 광속의 전달과정을 수식으로 풀어서 계산하는 것으로서 그 정확도가 높으나 계산이 복잡하고 단순한 공간 외에는 계산이 거의 불가능하다. 간단한 컴퓨터 프로그램이 많이 개발되어 있으며, 입자추적법에 비해 계산시간은 빠르나 정확도는 떨어진다.

④ 광속 발산도 계산 : 천장, 벽, 바닥의 광속 발산도를 계산하여 작업대상물과

의 광속 발산도를 비교하는 방법으로, 작업대상물의 광속 발산도에 대하여 3~1/3의 범위 내에 있거나, 권장휘도비에 적합하면 좋은 명시조건이라고 볼 수 있다. 각 면의 광속 발산도는 각 면의 조도와 각 면의 반사율의 곱으로 구할 수 있으며, 각 면의 조도는 조도비표에 평균조도를 곱해서 구한다. 작업대상물의 광속 발산도는 반사율 $\rho = 0.65$ 을 표준으로 평균조도와 곱으로 구한다.

2.5.3 조명 환경 평가를 위한 컴퓨터 프로그램

조명 평가를 위한 컴퓨터 프로그램의 종류는 <표 3.3>과 같으며, 대부분의 프로그램이 자연채광과 인공조명의 평가를 함께 할 수 있고, 조명 설계 초기단계에서 사용자가 손쉽게 실내 조도를 예측할 수 있다.

<표 3.3> 조명 설계를 위한 컴퓨터 프로그램

컴퓨터 프로그램	특 성
MICROLITE 1.0	편측채광방식의 직사각형 실의 주광 조도 측정
DAYLIT	IES 방법을 이용한 차양장치, 광선반을 이용한 실의 주광 분석과 인공조명 분석
CONTROLITE 1.0	조명 제어 사용에 따른 에너지 사용량과 비용 계산
QUICKLITE 1.0	간단한 직사각형 실의 주광 측정
SUPERLITE 2.0	외부의 태양위치와 천공상태, 외부의 방해물, 창문 및 차폐장치, 실내특성 등에 의거하여 실내조도를 계산하고, 복잡한 기하학적 형태의 실, 창문, 내부 칸막이, 외부차양 등에 대한 해석이 확실하다. 특히 광선반(Light Shelf), 경사창, 천창, 광정 등에 대한 모델화가 가능
RADIANCE 2.1	공간내부의 휘도 측정과 ray-tracing기법을 사용한 양방향 반사면 또는 빛의 투과·확산성에 대한 분석, 다양한 종류의 표면 특성에 대한 해석, 인공 광원 및 자연채광에 대한 모델링이 가능하며, 3차원 공간의 시각화를 제공
Micro-DOE2	주광과 창에 따른 에너지 통합 분석
DAYLITE 2.2	차양 장치에 따른 주광 분석과 인공조명 분석
BEEM TM (Building Energy Estimation module)	창과 조명 제어의 따른 에너지 사용량과 비용 평가
LUMEN-MICRO 2000	자연채광과 인공조명을 통한 효과적인 조명 분석이 가능하며, 뛰어난 사용자 환경과 편리한 인터페이스를 제공한다. 주광 계산은 북미조명학회(IESNA)와 국제조명위원회(CIE)에서 채택한 태양과 대기 모델을 사용

2.6 조명 환경 개선 계획

기존 교실 조명환경의 문제점 분석을 통한 구체적인 개선목표에 맞추어 조명환경 개선 계획방안을 제시한다. 학교 교실의 조명 환경은 적정 조도 기준(300lux) 이상으로 하고, 적정 휘도비를 유지해야 하며, 직사일광이나 글레어로 인한 불편감이 없도록 해야 한다. 자연채광을 우선적으로 고려하여 쾌적성, 환경성과 경제성을 충족시킬 수 있는 조명환경이 되도록 계획해야 한다.

2.6.1 자연채광 성능 향상을 위한 개선 계획

주광을 조명으로 사용하기 위해서는 충분한 양의 빛을 확보하여 창, 실내표면, 칠판과 같은 수직면과 책상 등의 수평의 작업면에 충분한 조도를 제공하고, 직사일광으로 인한 글레어가 생기지 않는 휘도 분포를 만들어 조명으로서의 질을 충족시켜야 한다. 자연채광의 기대치와 시간별, 방위별 변화와 지리학적 위치에 따른 변화에 대한 정보가 필수적이며, 도입된 자연채광 기법의 유지 관리 및 쾌적한 실내 빛 환경을 위해서는 적절한 창의 면적, 루버, 광선반 등의 건축적 요소에 의한 채광 설계가 바람직하다²²⁾. 조명환경 개선을 위한 주요 요소는 실내 마감, 창의 면적, 형태, 재료, 유리종류 및 차양 장치 등이다.

(1) 실내 마감 변경

실내 마감재의 반사율은 천장부분이 가장 높고 벽체와 바닥 순으로 약간 더 어둡게 하는 것이 좋으며, 광택이 없는 밝은 색의 마감으로 한다. 교실에서 사용되는 일반적인 실내 마감재의 반사율은 <표 3.4>와 같으며, 실내 반사율을 높이기 위해서 천장의 경우 페인트 마감보다는 텍스 마감으로 변경하고, 벽면의 페인트마감은 새로 칠한 것과 오래된 것의 반사율의 차이가 크므로 정기적으로 새로 칠해주는 것이 좋다.

22) 김정태, 학교교실의 자연채광계획, 한국교육시설학회지, 제6권 3호, 1999

<표 3.4> 실내 마감재의 반사율

재료		반사율(%)	
천장	플라스틱 보드 위 백색 수성 페인트	80	
	흡음 플라스틱	70	
벽	백색페인트	새로 칠한 것	75
		오래된 것	55
	담색 페인트	50~60	
바닥	바탕 모르타르	40	
	리놀륨(크림색)	40	
	테라조 타일(색에 따라 다름)	10~45	

(2) 창면적 변경

창은 자연채광을 실내로 유입하는 기능을 하며 창을 구성하는 재료와 창 내외의 설비에 의하여 빛의 성질, 조망 등이 결정된다. 창 위치, 형태, 크기 등은 자연채광에 영향을 미칠 뿐 아니라 통풍, 조망, 일조, 방음, 방풍 등과도 밀접한 관련이 있으므로 많은 기능을 복합적으로 고려해야 한다. 창 면적의 변화는 곧 건물의 구조적인 변화에 영향을 미치므로 주의를 요하며, 공사비 및 외관의 변화도 고려해야 한다.

자연채광의 효율적인 이용을 위한 창면적은 벽 면적에 대한 유효 유리창 면적의 비(window-to-wall ratio : WWR)가 0.35~0.5가 되어야 한다. 식(3.1)은 자연채광의 실행 가능 정도를 가늠하는 척도로 벽 면적에 대한 유효 유리창 면적의 비, 유리의 투과율, 외부 장애물의 정도를 곱한 값이 0.25 이상일 경우에 자연채광이 가능하다. 만약 0.25 이하일 경우에는 유리창 면적을 증가시키거나 유리의 투과율을 높인다.

$$WWR \times VT \times OF$$

<0.25 장애물을 제거하거나 유리창 면적을 증가하거나 투과율을 높인다.

>0.25 자연채광 가능하다.

VT(visible transmittance) : 유리의 투과율

투명 단일창 0.89 투명 이중창 0.8 투명 low-E 이중창 0.7

OF (obstruction factor) : 외부 장애물의 정도

<50% OF=1 >50% OF=0.85 >70% OF=0.65 >90% OF=0.40

(3) 유리 교체

유리는 조명뿐만 아니라 일사에 의한 냉·난방 부하, 방음, 조망 등에 영향을 미치기 때문에 투과율, 반사율, 자외선 투과율, U-Value (열관류의 척도: $w/m^2 \cdot K$), 방음 수준, 색, 거주자 만족도 등 많은 요소들을 동시에 고려해야 한다.

유리를 교체할 경우, 우선 유리의 종류를 선택한다. 단일유리, 이중유리, 선택적 투과 유리 등으로 나뉘는데. 비용이 들더라도 이중 유리가 좋으며, 단일유리로 할 경우에는 차양장치와의 조합을 고려한다. 선택적 투과 유리는 자연채광을 효율적으로 이용하면서 냉, 난방 부하를 줄일 수 있으므로, 일사의 양은 줄이면서 채광이 가능한 low-e 유리로의 교체도 권장한다.

유리의 종류를 선택한 후, 유리의 크기와 투과율의 조합을 고려한다. 창이 유리 면적이 커지면 빛의 유입이 큰 만큼 현회 조절이 더욱 요구되므로, 창의 유리 면적이 클수록 투과율을 낮춘다. 자연채광을 위한 적절한 유리의 면적은 아래 식과 같다.

$$\text{유리 면적} = \frac{2 \times \text{평균주광율} \times \text{실내벽면적의 합} \times (1 - \text{실내면의 평균반사율})}{VT \times \text{창 중앙에서 외부가 보이는 수직각도}}$$

$$\text{실내면의 평균 반사율} = \frac{\text{각 면(벽, 바닥, 천장)의 면적} \times \text{각 면의 반사율}}{\text{전체 면적}} \quad (\text{보통 } 0.5)$$

일반적으로 조망에 좋고 자연채광을 최대한 유입할 수 있는 투명 유리를 사용하고, 색이 들어간 유리는 사물의 색을 왜곡시키기 때문에 자연채광의 목적으로는 적합하지 않다. 조망이 필요하지 않은 상부의 창은 직사일광의 투과율이 작고 낮은 휘도의 빛을 제공할 수 있는 불투명 또는 반투명 유리로 교체하거나 천장으로 빛을 굴절시키는 유리블록으로 교체하는 것도 좋다.

(4) 차양장치 설치

기존 건물 구조를 크게 바꾸지 않으면서 자연채광의 이용을 효율적으로 할 수 있는 방법이 차양 장치를 설치하는 방법이다. 차양 장치를 설치하면 직사일광의 차단 및 냉방 부하 감소, 글레어 조절이 가능하다. 창외 향에 따라 실내로 유입되는 빛의 특성이 다르므로 차양장치의 형태도 달라야 한다.

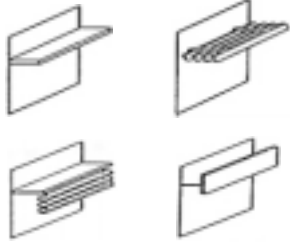

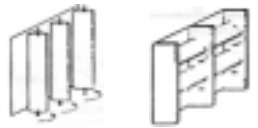
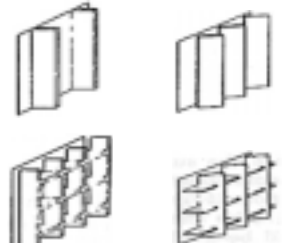

우선 건물의 향과 창의 형태 및 방향, 크기 등을 검토한 후, 차양 장치의 종류를 결정한다. 창의 외부턱이 좁을 경우는 창문턱을 밖으로 확장하거나 둥글게 처리하고 반사광의 유입을 위해 외부의 창턱의 반사율을 높이고 경사지게 한다.

차양장치를 설치할 경우에는 고정식으로 할 것인지 이동식으로 할 것인지를 결정한다. <표 3.5>²³⁾은 이동식과 고정식 차양장치를 분류하여 보여주는데, 난방과 채광이 동시에 중요하다면 태양의 변화에 더 효과적인 이동식을 권장하지만, 고정식에 비해 초기 투자비가 많이 든다.

남향의 수직창에는 수평돌출차양을 설치하면 태양의 고도가 높은 여름에 직사일광을 차단하는데 효과적이고, 수평 루버는 바람이나 눈에 의한 구조적 하중을 감소시키고 여름에 창문가에 더운 공기가 모이는 것을 최소화할 수 있다. 태양 빛은 오전에는 남동쪽에서 비추고 오후에는 남서쪽에서 비추므로 수평 차양과 수직 차양을 동시에 하면 더욱 좋다. 동향과 서향은 수직차양이 효과적이고, 고정식보다 이동식이 훨씬 더 효과적이다. 수평 돌출차양과 태양의 움직임에 따라 회전이 가능한 수직편의 조합은 직사광선을 완전하게 차단할 수 있지만 조망성은 떨어진다. 조망과 채광을 위해서는 이동식 차양장치가 좋고 활엽수나 격자울타리를 타고 자라는 넝쿨 등을 활용하면 더욱 효과적이다.

23) Heating Cooling Lighting, pp140, 144, Norbert Lechner, 1991

<표 3.5> 차양장치의 종류

고정식 차양장치	창의 향	이동식 차양장치	창의 향
	남향 동향 서향		남향 동향 서향
			동향 서향
	동향 서향		동향 서향 남동향 남서향

광선반은 창문 면에 부착된 수평 또는 기울어진 판으로 남향에 적합하며, 눈 높이보다는 약간 높고 천장에서는 되도록 떨어지게 부착한다. 광선반을 이용하면 직사일광과 확산광이 창가의 바닥면에 직접 입사하는 것이 아니라 천장에 반사되어 실내의 빛 분포가 균일해지고, 창 상부로부터 눈부신 경치가 눈에 들어오지 않아도 되기 때문에 균일한 휘도비를 만들 수 있다. 가능하다면 광선반을 외부쪽에 두 개 설치하고, 광선반의 윗면은 밝게 마감하되 실내에서 보이지 않게 해야 한다. 그러나 기존 학교 건물에 광선반을 설치할 경우, 시공성이나 건물 외관에 대한 고려를 해야 한다.

만약 외부 차양장치의 설치가 힘든 경우라면 개별 조절이 가능한 커튼이나 블라인드 같은 실내 차양장치를 설치한다.

적절한 차양장치를 선택한 후 태양의 고도와 방위를 고려하여 여름철에 냉방부하를 줄이고, 직사일광은 차단하면서 좋은 질의 빛이 실내로 유입되도록 위치 및 크기, 각도를 결정한다. 수치 계산, 축척 모델, 컴퓨터 프로그램 등을 이용하고, 경제성을 고려한다.

2.6.2 인공조명 성능 향상을 위한 개선 계획

(1) 고효율 조명기기로의 교체

학교 교실에서의 인공조명은 형광등에 의한 전반 직접 조명 방식이 대부분을 이루고 있으며, 40W 형광등, 자기식 또는 전자식 안정기, 매입형 또는 노출형 조명기구가 많이 사용되고 있다. <표 3.6>²⁴⁾은 학교 교실에서의 램프 및 안정기, 조명기구의 종류별 설치 현황을 보여준다. 40W 형광등 램프가 85%를 차지하며, 고효율 전자식 안정기는 0.2%밖에 설치되어 있지 않다. 조명기구는 노출형과 매입형의 비율이 거의 비슷하나, 최근 매입형 천장으로 바꾸는 추세이다.

<표 3.6> 조명설비의 종류별 설치 현황

구 분	램 프			안 정 기			조명기구	
	40W	32W	20W	자기식	전자식 (40W)	고효율전자식 (32W)	노출형	매입형
구성비(%)	84.8	0.2	15	45	54.8	0.2	52	48

조명기구의 교체 방법은 등기구에는 그대로 두고 새로운 고효율의 램프와 안정기만 교체하는 방법, 고효율 등기구, 램프, 안정기 모두를 교체하여 램프의 수를 줄이는 방법, 모든 조명기구를 교체하고 재배치하는 방법으로 분류할 수 있다.

교실의 조명기구를 고효율 기기로 교체하면 초기투자비는 상승하지만, 제도적인 혜택과 빠른 투자회수기간으로 더욱 경제적이다. 40W 형광등과 자기식 안정기를 사용하는 경우에는 효율이 높은 형광등과 고역율의 전자식 안정기로 함께 교체하는 것이 에너지 절감, 조도 상승, 경제성, 환경성 모두를 충족시킬 수 있다. 40W 형광등을 대체할 만한 고효율 형광등은 32W 26mm와 32W 16mm가 있으며, 관경이 가늘고 연색성이 좋으며, 수명도 길다. 또한 수은의 양이 적게 포함되어 환경에 미치는 영향이 적다.

24) 학교 건물의 에너지 관련시설 최적화방안 연구, 제 4장 학교 건물의 환경개선을 위한 조명 설계 연구, <표 4-8>, 에너지 관리 공단, 1998

국가표준제정(KS C 7601)에 의해 지정된 고효율 형광등은 고주파 점등전용형으로 기존의 FL40D를 대체할 만한 고주파 점등전용형 형광등의 종류와 특성은 <표 3.7>²⁵⁾과 같다.

<표 3.7> 고주파 점등전용형 형광등의 종류 및 특성

종 별	정격 램프 전력 (W)	길이 (mm)	관경 (mm)	베이스	음극전류 (7.0V 에서) (A)	시동 시험에 의한 예열 전압(V)	정격 입력 전압 (V)	시동 시험 전압 (V)	초 특 성					광 속 유지율 (%)	정격 수명 (h)		
									램프 전력 (W)	램프 전류 (A)	램프 전압 (V)	전 광 속 (lm)					
												EX-D	EX-N			EX-W	EX-L
FHF 32SS	32	1,198 ± 1.5	25.5 ± 1.2	G13	0.51이하	6.0	256	240	32	0.255±0.030	128	2,860	3,040	3,100	3,100	80이상	8,000 이상
FHF 32ST	32	1,198 ± 1.5	15.5 ± 0.6	G5	0.21이하	6.0	374	430	31.7	0.170±0.017	190	3,020	3,200	3,300	3,300	80이상	8,000 이상

S : 크기의 구분이 같고 유리관이 가는 것 (T-12)

SS : S보다 유리관이 더욱 가는 것 (T-8)

ST : SS보다 유리관이 더욱 가는 것 (T-5)

EX : 3과장역 발광형으로서 전광속과 연색성을 개선한 경우

-D : 주광색 -N : 주백색 -W : 흰색 -L : 전구색

그 중 가장 많이 대체되고 있는 형광등인 FHF32 SS EX-N과 FL40D의 비교는 <표 3.8>²⁶⁾과 같다.

<표 3.8> 형광등의 비교

		FL 40D	FHF32 SS EX-N	효 과
치수	관경(mm)	32.5	25.5	volume 38% 절감
	관장(mm)	1,198	1,198	
램프전력(W)		40	32	전자식 안정기 대비 8W절감
소비전력(W)		49	32.5	자기식 안정기 대비 16.5W절감
광속(lm)		2,660	3,050	광속 15% 향상
연색 지수(Ra)		65	84이상	연색성 향상
효율(lm/W)		66	95	44%
효율(lm/W)		54	93.8	74% 향상(설계 기준)
수명		8,000	16,000	2배 향상
필라멘트 타입		Coil 형	stick 형	수명 향상
형광막 도포		일반 형광체	보호막 코팅 + 3과장 형광체	연색성 및 효율 향상
수은 봉입		액상 수은 drop type	shield ring 형 수은 봉입 확산	정미량 주입에 의한 수명, 품질 환경 오염 개선
무게(g)		250	205	유리자원 20% 절감 및 폐기물감소

25) 국가표준제정(KS C 7601), 한국표준협회

26) 학교 건물의 에너지 관련시설 최적화방안 연구, 제 4장 학교 건물의 환경개선을 위한 조명 설계 연구, <표 4-11>, 에너지 관리 공단, 1998

32W 형광등에 사용되는 안정기는 T-8 전자식 고효율 안정기(265mA)로 래피드 스타트 점등 방식과 인스턴트 스타트 점등 방식으로 나뉜다. 인스턴트 스타트 점등 방식의 안정기는 램프수명은 단축되나 효율성과 광속은 증가한다.

Dimmable 전자식 안정기는 래피드 스타트 점등방식으로 광속제어, 주광센서나 재실자센서 장치나 수동 장치로 조절이 가능하다. 낮은 전압의 조절 신호를 위한 독립된 두 개의 전선이 벽에 부착된 단순한 분압계에 연결되어 10%에서 100%까지 밝기를 조절한다.

일반적으로 사용되고 있는 40w 2등용 형광등의 자기식 안정기와 고효율 32w 2등용 형광등의 전자식 안정기의 특성을 비교하면 <표 3.9>²⁷⁾와 같다.

<표 3.9> 자기식 안정기와 전자식 안정기의 특성 비교

종별	구분	자기식 안정기	고효율 전자식 안정기
		40W × 2EA	32W × 2EA
입력전류(A)		0.44	0.28
소비전력(W)		96	60
역율(PF)%		90	96
피상전력(VA)		100.5	60.1
무효전력(Var)		17.6	8.5
고조파왜곡율(THD)%		34.7	11.2
Flicker		유	무
표면온도(℃)		100	50
한전지원금액(원)		0	6,480
소음		유	무

조명 기구의 고효율화를 위해서 반사율이 높은 재료를 사용한 고조도 반사갓, 글레어 제어를 위한 파라볼릭 루버 등이 개발되고 있으며, 최근에는 자외선에 의한 광촉매 기능을 이용하여 오염 부착 원인이 되는 유기물을 분해하는 산화 티타늄의 조명기구에 대한 이용이 주목되고 있다.

27) 학교 건물의 에너지 관련시설 최적화방안 연구, 제 4장 학교 건물의 환경개선을 위한 조명 설계 연구, <표 4-12>, 에너지 관리 공단, 1998

조명기구를 완전 교체할 경우에는 고조도 반사갓을 사용하고, 조명기구를 교체하지 않을 경우에는 착탈형 반사갓의 사용을 고려한다. 고조도 반사갓은 그 자체가 에너지를 절약하지는 않지만 램프에서 발하는 빛을 더욱 많이 보냄으로서 등기구의 수를 축소하여 전력에너지를 절약하고 개보수 비용을 감소시킨다. 형광등의 난반사를 해결하여 조명의 질을 향상시키고, 열의 전도 저하로 형광등 및 안정기의 수명이 길어지며, 오염 및 먼지로 인한 조명율도 저하되어 조명유지비도 절감할 수 있다. 그러나 고조도 반사갓은 고휘도로 불쾌적인 시환경을 제공할 수 있으므로 고조도 저휘도 반사갓을 사용하는 것이 좋다. 과학실이나 컴퓨터실처럼 글래어의 방지가 중요한 실은 파라보릭 루버를 설치하는데, 일반 조명기구에 비해 가격이 비싸고, 조도 수준을 낮추어 등의 수가 증가하게 되므로 일반적인 교실에는 적합하지 않다.

(2) 조명 기구의 재배치 및 조닝

조명 환경의 개선이 필요한 대다수의 학교 교실을 보면, 2등을 한 조로 4개, 또는 6개가 설치되어 있다. 조명기구의 배치를 새로 할 경우 복도 측과 창 측의 제어를 반드시 따로 하고, 앞쪽과 뒤쪽의 제어도 따로 하는 것도 좋다.

조명 기구를 교체하고 배치를 모두 변경할 경우에는 자연채광의 활용을 우선적으로 고려하고, 눈의 시각적 효과에서는 시선과 평행하게 배치하는 것이 좋다.

조명기구의 배치 계획에서는 조명기구를 시선과 평행하게 하는 것이 좋으며, 광원과 광원과의 거리는 $1.5H$ (H =작업면에서 등기구까지의 높이)이하, 광원과 벽면과의 거리는 $0.5H$ 이하가 되도록 한다.

칠판 조명은 조명기구의 높이에 따라서 위치가 달라야 한다. <표 3.10>²⁸⁾는 밑바닥으로부터 램프의 높이와 칠판면으로부터 램프까지의 적정거리를 나타낸 것이다.

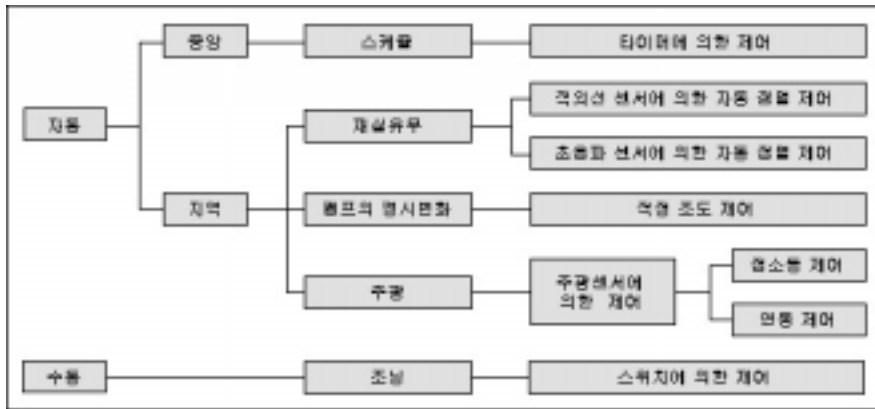
28) 지철근, 최신조명공학, 문헌당, 2000

<표 3.10> 칠판조명의 기구 위치

밀바닥으로부터 램프의 높이 h(m)	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
칠판면으로부터 램프까지의 거리 l(m)	0.6	0.7	0.85	1.0	1.1	1.25	1.4

(3) 제어방식 계획

조명 제어 방법은 크게 수동 제어와 자동 제어로 나뉘며, 자동 제어에는 타이머에 의한 스케줄 제어, 재실감지 자동점멸 제어, 적정조도조정 제어, 주광센서에 의한 제어 등이 있다. 조명제어 체계는 (그림 3.4)와 같으며 실의 특성에 따라서 적절한 제어를 선택하고, 여러 가지 제어를 복합적으로 사용할 수 있다.



(그림 3.4) 조명 제어 체계

① 수동 제어법

가장 효과적이고 간편하므로 교실에서 선택할 수 있는 효과적인 제어방법이다. 창측과 복도측에 조닝을 다르게 하여, 청천공일 경우에는 블라인드를 켜진 상태에서 담천공일 경우에는 블라인드를 걷은 상태에서 자연채광을 받아들여 작업면 조도를 기준으로 창측 1열이나 2열을 소등한다. 최근 Dimming 기술의 발달로 점소등 대신 수동 Dimming이 가능하다.

② 타이머에 의한 스케줄 제어

건물의 사용시간에 따라 자동적으로 점소등, 또는 조광하는 제어방법이다. 학생들이 하교한 후의 시간에 전체 조명을 자동적으로 소등하게 입력되면, 소등을

있고 간 교실에서 에너지를 낭비하는 일이 없어진다.

③ 재실감지 자동점멸 제어

적외선 센서나 초음파 센서 등에 의해 재실자의 유무를 검출 자동적으로 조명의 점멸을 시행하는 방법을 말한다. 교실에서 사용할 경우에는 재실감지 자동점멸 제어를 이용하여 실이 비었을 경우에만 자동적으로 소등되게 할 수 있다. 교실이외의 장소에서 수업이 있을 경우 소등을 잇는 경우가 종종 발생하는데 재실감지 센서를 부착하여 자동소등하면 에너지를 절감할 수 있다.

④ 적정조도제어

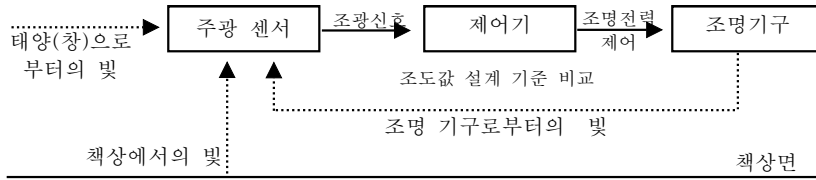
조명설비를 설계하는데 사용되어지는 설계 조도는 일반적으로 유지조도이다. 즉 램프가 시간이 지나서 효율이 떨어지더라도 유지하지 않으면 안 되는 조도로 새로운 램프와 깨끗한 조명기구일 때 유지율이 시작되므로 초기의 조도는 적정조도의 20-30%를 초과하도록 설정된다. 이 여유조도를 절감하기 위하여 센서에 의해 출력조도를 조정하여 같은 조도를 유지할 수 있게 하는 자동제어 방법이다.

⑤ 주광센서에 의한 제어

조명사용시간이 길고, 자연채광 사용 면적이 큰 장소에 적합하며, 주광센서(photosensor), Dimming 안정기를 독립된 제어 회로로 연결하여 자연채광의 입사량에 따라서 인공조명을 제어하는 방식이다. 자연채광이 과도하거나 직사일광이 유입될 경우 블라인드의 연동 제어도 가능하다.

계속 변화하는 자연채광의 양을 정량적으로 판단하여 작업면에 필요한 조도를 인공조명과 자연채광의 합성된 양에 의존함으로써 건물 전체 에너지 소비량의 상당량을 차지하는 조명에너지를 절감할 수 있다. 그러나 인공조명의 조광이 오히려 불쾌적인 시각환경을 만들 수 있으므로 주의를 요한다.

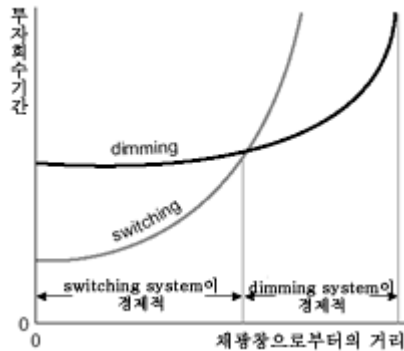
시스템은 주광센서, 제어기, 조광 조명기구로 구성되며 제어과정은 (그림 3.5)과 같다. 주광센서에 의해 실내 조도값이 측정되고 제어기에서 작업면 목표 조도와 비교를 통해 조도의 증감을 결정하여 조명 기구의 출력을 변화한다. 사용되는 조광 제어기에 따라서 on/off control, step control, dimming control의 방법으로 조명제어를 수행하고, 이러한 일련의 동작을 되풀이함으로써 작업면의 조도를 일정하게 유지한다. 또한 자동연동제어를 원하지 않는 경우, 벽에 따로 설치되는 슬라이딩 스위치를 조절하여 인공조명의 광속을 수동으로 제어할 수 있다.



(그림 3.5) 주광센서에 의한 제어 시스템

- on/off 제어법 : 자연채광 조도에 따라 자동적으로 점·소등하는 방법이다.
- 조광(dimming) 제어법 : 자연채광 조도에 따라 조명기구의 광 출력을 0~100% 까지 계속적으로 변화시킬 수 있는 것으로 on/off 제어보다 구성이 복잡하고 가격이 비싸나, 작업에 필요한 조도를 일정하게 유지할 수 있다.
- 단계별스위치 제어법 : 조명기구 한 개당 3개의 형광등을 설치할 경우 가운데 형광등과 바깥의 형광등의 스위치를 분리하여 3단계로 조명을 조절할 수 있게 하는 것이다.

(그림 3.6)은 dimming과 switching 제어의 창으로부터의 거리에 따른 투자 회수 기간을 비교한 것으로 창으로부터의 거리가 떨어질수록 dimming이 경제적이다.²⁹⁾

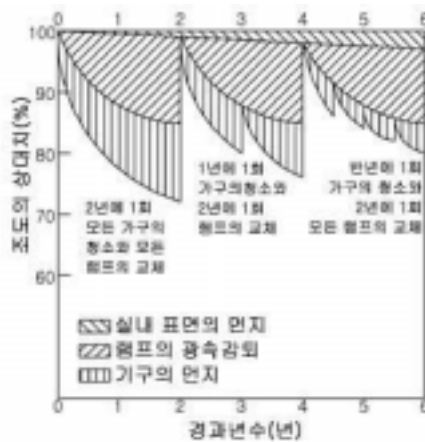


(그림 3.6) 거리에 따른 dimming과 switching 투자 회수 기간 비교

29) Jennifer O'Connor, Tips for daylighting with windows, pp.53 Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory

2.6.3 유지 관리 및 보수를 위한 개선 계획

조명기구 및 실 표면의 먼지, 조명기구와 램프의 경시변화 등이 빛 손실의 요인이 될 수 있으므로 조명의 유지 관리가 잘 되면 반사율의 증가, 광속발산도 분포의 개선, 실내 조도의 향상뿐만 아니라 에너지가 절감되어 경제적 효과까지 얻을 수 있다. (그림 3.7)은 램프의 교체와 기구의 청소에 의한 조도의 변화를 보여준다.³⁰⁾ 보다 효율적인 유지 관리를 위하여 학생 및 교사, 관리자를 위한 안내서를 제공하고 효율적인 관리와 환경 및 에너지에 관한 홍보 교육을 실행한다. 안내서에는 사용된 조명 장비 목록, 청소 일정, 광원 교환 일정, 실내 마감의 유지관리 일정, 조도 측정 일정 등이 수록되어야 한다.



(그림 3.7) 램프의 교체와 기구의 청소에 의한 조도의 변화

(1) 실내 마감 유지 관리

실내 마감은 색의 감퇴 및 변화, 광택 저하, 백아화, 오염, 혼재, 마모 등의 노후화로 실내 반사율이 저하된다. 실내 반사율이 저하되지 않도록 정기적인 청소를 해주는 것이 좋고, 도장 마감은 5년 이상이 경과되면 새로 칠하는 것이 좋다.

30) <http://www.retrofit.co.kr> (85) 조명용 전력 설계와 에너지 절약법, (그림 273)

(2) 조명 설비의 청소

조명설비가 더러워지면 투과율, 반사율이 저하되어 조도가 감소하므로 조명 설비의 청소는 정기적으로 이루어져야 한다. 조명 설비의 청소 간격은 <표 3.11>³¹⁾와 같으며, 교실의 공기청소는 2주에 한 번, 물 청소는 8주에 한 번 실시할 것을 추천한다.

물로 세척할 경우에는 반드시 전원을 끄고 램프의 베이스 부분에 물이 들어가지 않도록 주의한다. 램프나 조명기구의 커버를 제거한 후 청소하고 완전히 건조시킨 후에 재설치한다. 조명 기구의 재료적 특성을 고려하여, 알루미늄이나 플라스틱 제품은 중성세제를 사용하고 깨끗한 물로 세척 후 건조시키고, 도료가 칠해져 있거나 유리로 되어 있는 제품은 연마제를 사용해서는 안 된다.

<표 3.11> 조명설비의 청소 간격

장소	청소방법	정기적인 청소 실시 간격	
		공기청소	물 청소
더러운곳		1주마다	4주마다
보통장소		2주마다	8주마다
깨끗한곳		4주마다	16주마다

(3) 형광등의 교환

실내 조명에서 어두워진 광원을 계속해서 그대로 점등하여 수명이 다할 때까지 사용하는 것은 조명비의 경제적 분석에 의하면 오히려 매우 비경제적이다. 일반적으로 형광등 수명의 70% 사용까지를 적정 효율을 유지하는 기간으로 보며, 그 이상이 되면 교환 시기로 판정하고 개별적으로 교환하는 것보다는 조닝되어 있는 형광등을 집단적으로 교환하는 것이 더 경제적이다. 경제적 교환 시기는 사용조건이 다양하므로 획일적인 경제적 교환 시간을 산정하는 것은 어렵고, 전압의 변동이나 빈번한 점멸 등에 따라 단축될 수 있다. 일 년에 두 번 정기적으로 교실의 조도를 측정하여 적절한 시기에 형광등을 교환하여 적정 조도를 유지할

31) <http://www.buildingmate.net>, (주)리노메이트

수 있도록 한다.

(4) 조명기구의 교환

조명기구의 사용 가능 연수는 연간 사용 시간에 따라 크게 좌우되기 때문에 사용연한, 수명을 구하는 것은 불가능하지만 형광등기구를 대상으로 연간 사용시간 및 사용 전원전압 및 주위 온도를 구분하여 누적 고장률 데이터로부터 적정 교환시기를 산출할 수 있다. 사용시간에 따른 적정 교환 시기는 <표 3.12>과 같으며, 여기서의 교환 시기는 경년 변화에 의해 조명기구 열화가 진행되어 고장률이 증가하기 시작하는 단계를 말하고, 이 시기를 넘으면 고장 빈도가 증가해 고장난 기구마다 교환하여 대책비용이 증대하는 시기이다.³²⁾

<표 3.12> 적정 교환시기의 기준

사용 시간		1,500시간/년 (5시간/일)				3,000시간/년 (10시간/일)			
사용 조건	전압	정 격		105%		정 격		105%	
	온도 (°C)	30이하	40	30이하	40	30이하	40	30이하	40
교환시기 (년)		15	10	14	7	10	5	7	3.5

(5) 안정기의 교환

형광등 안정기의 평균 수명은 8~10년이고, 사용되는 절연물의 평균 내용 연수는 40,000시간이다. 사용 기간이 8년 미만일 경우에는 집단 교환을 하고, 사용 기간이 8~10년 경우에는 사전에 열화 등의 조사를 하여 경제성 비교에 의해 집단 교환으로 할 지 개별 교환으로 할지를 판단하며, 사용 기간이 10년을 넘는 경우는 기구마다 교환하는 것이 바람직하다.

안정기는 사용되는 기구의 구조 타입에 따라 크게 영향을 받고 경우에 따라서는 성능이나 안전성이 손상될 우려가 있으므로 교환하는 안정기는 기설 기구와의 적합성을 충분히 검토해야 한다.

32) (주)일본조명기구 공업회, 시설용 조명기구의 적정 교환 시기에 관한 표준, 1985

제 4 장 학교 교실의 조명 환경 개선 사례 연구

표준 설계안에 의해 계획된 교실을 대상으로 사례연구를 실시하여 본 연구에서 제안한 조명환경 개선을 위한 설계 방법론의 적용가능성을 검증하였다. 기존안과 개선안의 조명환경 평가에는 컴퓨터 시뮬레이션과 축소 모형을 이용하였고, 기존 교실의 주광 조명 환경과 인공 조명 환경의 분석을 통해 문제점을 도출하고, 조명 환경 개선안을 비교, 평가 하였다.

2.7 조명 환경 개선을 위한 목표 및 기준 설정

대상 교실의 조명환경 개선을 위한 기본 목표는 쾌적한 시환경 조성을 최우선으로 하고 빛의 질적인 측면에서는 직사일광 제어를 통해 현휘를 최소화하는 것을 목표를 설정하였다. 주광의 이용을 최대화하기 위한 건축적 대안을 제안하고, 에너지 절감 및 비용 절감을 위해 자연 채광과 인공 조명의 통합 방안과 효율적인 유지 관리 방안을 제시하였다.

사례 연구 대상 교실은 일반교실이므로 <표 2.1>과 <표 2.2>에 따라 실내 적정 조도는 300~600lux, 칠판은 400~600lux가 되도록 하고, 책상면의 주광율은 2%이상을 기준으로 하며, 균제도(실내 조도의 최소값과 최대값의 비율)는 인공 조명의 경우에는 1 : 3 이내에서 자연채광은 1 : 10이내에서 확보되도록 계획하였다.

2.8 대상 교실의 조명 환경 분석 및 평가

대상 교실의 조명환경 분석은 크게 자연채광 성능과 인공조명 성능으로 나누어 분석하였으며 실내 조도 분포 및 주광율 분포를 컴퓨터 시뮬레이션(Lumen Micro 2000)과 축소 모형을 이용하여 평가하였다.

2.8.1 기초조사

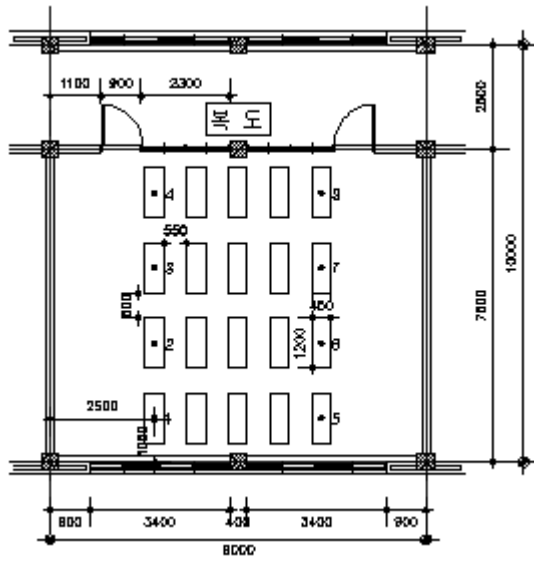
사례연구 대상 교실은 외부 건물의 영향이 없는 남향의 편복도형 교실로 크기는 가로9m, 세로 7.5m, 높이 3.3m이고, 천장과 벽의 상부는 백색 페인트, 하부는 담색 페인트, 바닥은 인조석 물갈기 마감으로 천장, 벽, 바닥의 반사율은 각각 0.55, 0.5, 0.2 이다. 나무로 된 책걸상이 총 40개이며, 책상 2개가 1개의 열로 총 4열 5행의 배치로 구성되어 있다. 칠판은 진한 녹색 칠판으로 크기가 3.6m×1.2m이고, 교실 앞에는 교탁이, 뒤에는 사물함이 배치되어 있다.

창은 양측채광이지만, 북측의 창은 복도와 맞닿아 있고, 남측 창의 면적은 12.9 m², 북측 창의 면적은 6.35m²이며, 남측 창은 투명 이중창, 북측 창은 불투명 이중창으로 구성되어 있다. . 남측 창에 외부에 0.9m의 오버행과 실내에 얇은 흰색 커튼이 있다.

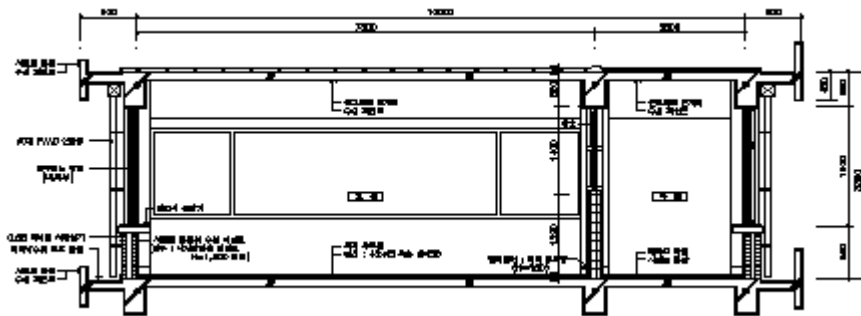
대상교실은 월요일에서 금요일까지는 평균 8시에서 4시, 토요일은 8시에서 1시까지 사용되고, 수업과목에 따라 특별실을 사용하는 경우가 있으며, 하계·동계 방학에는 사용되지 않는다. 대부분은 칠판식 강의 수업이고, 종종 OHP나 슬라이드를 사용하거나, 토론식 수업으로 진행된다.

인공조명은 천장에 매달린 직접 전반 조명으로 40W 형광등 2조 6등이 설치되어 있고, 칠판조명은 40W 1등이 설치되어 있다. 창문 측과 복도 측이 따로 조닝되어 스위치에 의한 수동 점소등이 가능하다. 형광등은 개별교환을 하고, 조명기구의 청소나 관리는 전무하다. 맑은 날의 경우 낮 시간에 대부분 자연채광을 이용하고 있으나, 직사일광의 유입과 인공조명의 적정 조도 부족으로 학생들에게 시각적으로 불쾌한 환경을 제공하고 있다.

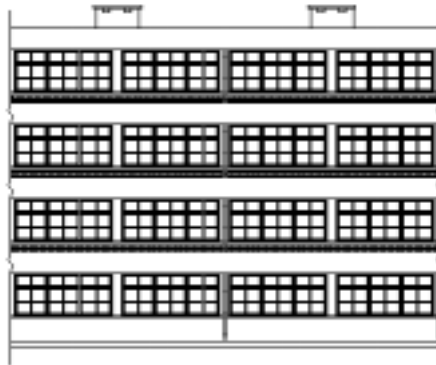
대상 교실의 평면도, 단면도, 입면도는 (그림 4.1), (그림 4.2), (그림 4.3)과 같고, 기초조사 항목표에 따른 결과는 <표 4.1>과 같다.



(그림 4.1) 대상 교실의 평면도



(그림 4.2) 대상 교실의 단면도



(그림 4.3) 대상 교실의 입면도

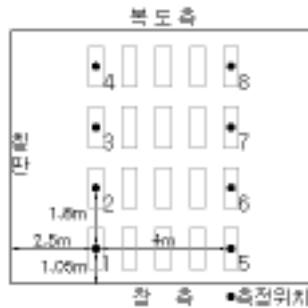
<표 4.1> 대상 교실의 기초조사 항목표

교실의 구성	건물	서울 시내 S 중학교, 철근 콘크리트 구조, 남향		
	교실	9.0m×7.5m, 천정고 3.15m		
	실내마감재	천장	오랜된 백색페인트(반사율 0.55)	
		벽	상부 백색페인트, 하부 담색페인트(반사율0.5)	
		바닥	인조석 물갈기(반사율 0.2)	
	가구	책상	나무책상 40개 4분단 5줄, 교탁 책상의 크기 : 1.2m×0.45m×0.75m	
		칠판	진한 녹색칠판 크기 : 3.6m×1.2m 칠판 형광등(길이1.2m) 1개	
		사물함	교실 뒷벽	
	외피	복도쪽 창 (북쪽)	면적 6.35㎡ 알루미늄 단일창, 반투명유리	
		외부쪽의 창 (남쪽)	면적 12.9㎡, 알루미늄 이중창, 투명유리	
		차양장치	외부에 0.9m의 오버행 남측창에 실내 흰색 커튼	
	운영	학생수	36명	
수업방법		칠판을 이용한 강의식 수업 OHP, 슬라이드 사용과 토론식 수업		
교실 사용시간		평균 오전 8시-오후 4시 여름방학(7월), 겨울방학(1월) 사용안함		
조명 시스템	조명방식	직접 전반조명방식,		
	조명위치	흑판으로부터 2.5m 창으로부터 2.05m 등 사이 거리 세로 3.4m 가로 2.0m		
	조명기구	펜던트 2등용 갓등 6개, 바닥에서 2.7m, 교체한적 없음		
	형광등·안정기	40W 주광색(FR40D), 자기식 안정기		
	조닝과 제어	스위치	창문쪽 복도쪽 따로 조닝 스위치 2개 수동 점소등	
	형광등 관리	방법	개별교환	
	청소	벽청소 형광등 청소 유리창 청소	안한다 안한다 한달에 한번	

2.8.2 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 주광 조명환경 평가

태양의 고도가 높은 하지(6월22일)의 9시, 12시, 3시, 태양의 고도가 낮은 동지(12월 22일)의 9시, 12시, 3시의 조도 및 주광을 분포를 청천공과 담천공으로 나누어 분석하였다. (그림 4.4)에 표시된 작업면 높이 0.75m의 8지점의 수평면 조도를 측정함으로써 교실내의 주광에 의한 조도 분포 균형을 알아보았다.

외부 건물에 의한 영향은 없고, 지면 반사율은 0.2로 설정하였으며, 개체 삽입 개수의 한계로 2인용 책상 20개만 선정하고, 다른 가구는 포함하지 않았다.



(그림 4.4) 교실의 조도 측정 위치

(1) 컴퓨터 프로그램 개요

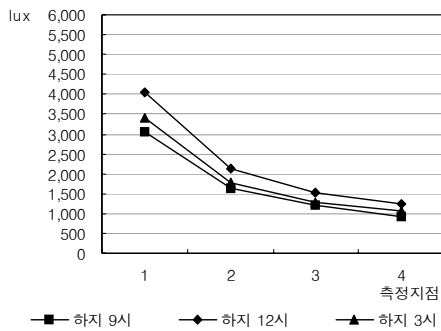
기존 교실의 조명 환경 분석 및 평가를 위한 도구로서 Lumen Micro 2000을 사용하였다. 이 프로그램은 입사추적법과 대역 공간법을 사용하여 실내 조도 분포, 현휘 및 균제도를 산출한다. 또한 건축물의 위치, 위도, 경도, 측정시간, 천공상태, 창문, 천창 그리고 대지주변의 다른 건축물 등 실내조도에 영향을 미치는 설계요소들을 입력하여 수평, 수직 조도를 산출할 수 있다. 수직적 칸막이와 수평적 분할면의 표현기법을 이용하여 복층의 건물 내부를 표현할 수 있으며, 적정 조도에 이르기 위한 조명기구의 배치 제안, 렌더링, 경제성 분석이 가능하다. 또한 70여개의 조명기기 회사로부터 40,000개의 조명기구의 광도에 관한 데이터 베이스를 IES, TM14, EULUMDAT 포맷형 photometric파일로 구축하고 있어 기준에 맞는 조명 기구를 쉽게 검색하여 사용할 수 있다.

(2) 청천공시 조도 분포

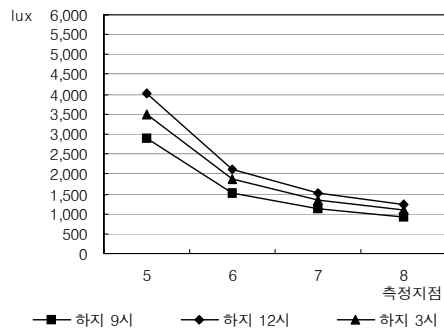
청천공 상의 조도 분포를 시뮬레이션 한 결과, 전반적으로 높은 조도를 나타내고 있으나 창가쪽과 복도쪽의 조도차이가 큰 것으로 나타났다. 외부 오버행이 있기 때문에 태양 고도가 높은 하지에는 직사일광의 유입이 적으나, 동지에는 태양 고도가 낮기 때문에 창가쪽의 직사일광의 유입이 커서 글레어가 발생하고, 창가와 복도 쪽의 조도차가 아주 크게 나타났다. 시간에 따라서는 하지와 동지 모두 12시의 조도가 가장 높았으며, 9시의 조도가 가장 낮았다. 하지와 동지의 각 시간에 따른 지점의 조도는 <표4.2>와 같고, 하지의 조도분포도는 (그림 4.5), (그림 4.6), 동지의 조도분포도는 (그림 4.7), (그림4.8)와 같다.

<표 4.2> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 청천공시 기존 교실의 조도 분포 (단위:lux)

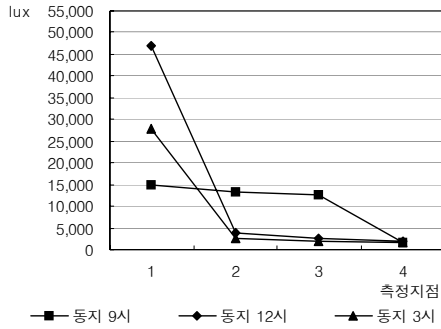
일시 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	3,055	1,650	1,190	936	2,906	1,534	1,115	909	76,298
하지 12시	4,059	2,147	1,523	1,251	4,040	2,125	1,507	1,243	112,063
하지 3시	3,401	1,786	1,284	1,058	3,510	1,888	1,352	1,087	93,244
동지 9시	14,827	13,420	12,630	1,491	14,113	1,976	1,553	1,236	19,174
동지 12시	46,758	3,864	2,724	2,085	46,737	3,815	2,662	2,035	53,775
동지 3시	27,850	2,677	1,988	1,571	28,289	3,248	2,432	1,833	33,426



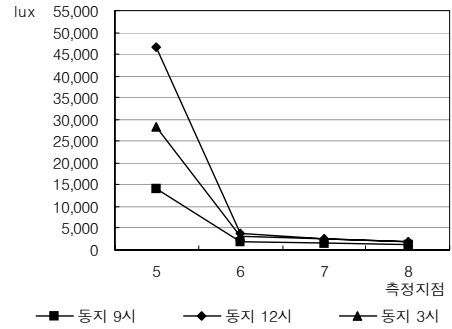
(그림 4.5) 청천공시 하지의 조도분포도(1~4)



(그림 4.6) 청천공시 하지의 조도분포도(5~8)



(그림 4.7) 청천공시 동지의 조도분포도(1~4)



(그림 4.8) 청천공시 동지의 조도분포도(5~8)

(3) 담천공시 조도 분포와 주광을 분포

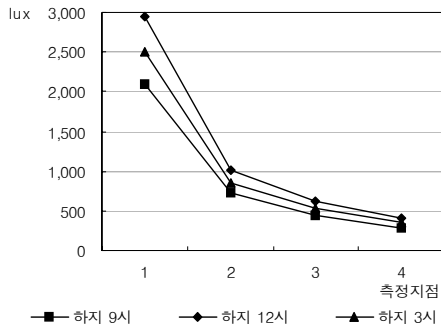
주광율은 담천공시 외부조도에 대한 실내 조도의 비로서 시뮬레이션 결과 계절과 시간에 관계없이 일정한 분포를 나타냈다. 청천공의 조도 분포와 마찬가지로 창가와 북도쪽의 차이가 크며, 특히 북도 쪽의 4지점과 8지점의 주광율은 기준 주광율 2%에 미달되었다. <표 4.3>은 담천공시 조도 분포로 동지의 4지점과 8지점은 기준 조도 300lux에 미달되는 것을 볼 수 있다. <표 4.4>는 주광율 분포를 나타낸 것으로 계절에 관계없이 북도측은 기준 주광율에 미달되었다. 하지의 각 지점의 조도분포도는 (그림 4.9), (그림 4.10)과 같고, 동지의 각 지점의 조도분포도는 (그림 4.11), (그림 4.12)와 같다. 1~4지점의 분포와 5~8지점의 분포가 동일하며, 하지에는 창가쪽의 조도가 현저히 높음을 알 수 있다. 주광율 분포도는 (그림 4.13), (그림 4.14)로 창가와 북도쪽의 차이가 큰 것을 볼 수 있다.

<표 4.3> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 담천공시 기존 교실의 조도 분포 (단위:lux)

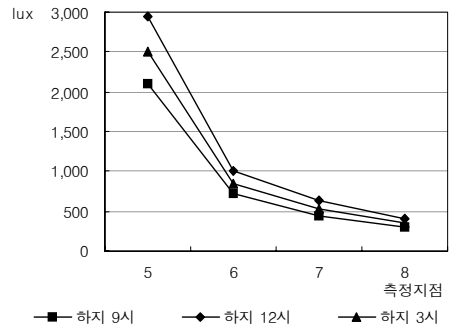
일시 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	2,103	721	448	292	2,103	721	448	292	15,570
하지 12시	2,941	1,009	627	408	2,941	1,009	627	408	21,781
하지 3시	2,503	854	533	347	2,503	854	533	347	18,536
동지 9시	695	238	148	96	695	238	148	96	5,144
동지 12시	1,509	518	322	209	1,509	518	322	209	11,173
동지 3시	1,043	358	222	144	1,043	358	222	144	7,726

<표 4.4> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 기존 교실의 주광율 분포

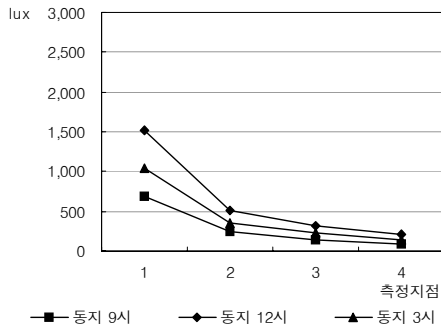
측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8
주광율(%)	13.5	4.6	2.9	1.9	13.5	4.6	2.9	1.9



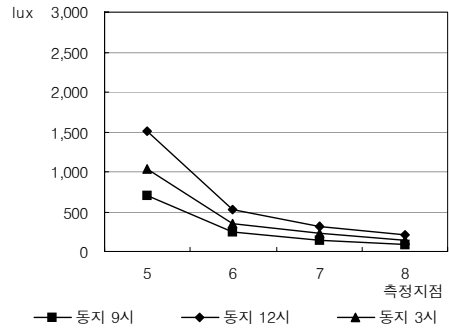
(그림 4.9) 담천공시 하지의 조도분포도(1~4)



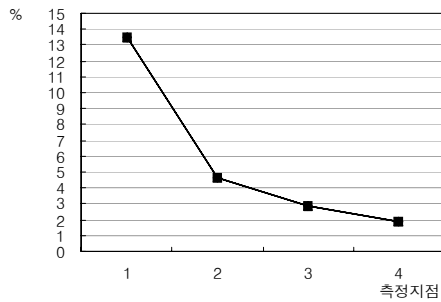
(그림 4.10) 담천공시 하지의 조도분포도(5~8)



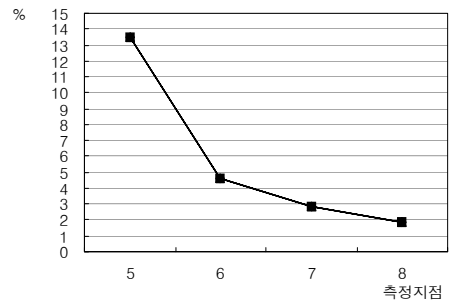
(그림 4.11) 담천공시 동지의 조도분포도(1~4)



(그림 4.12) 담천공시 동지의 조도분포도(5~8)



(그림 4.13) 1~4지점의 주광율 분포도



(그림 4.14) 5~8지점의 주광율 분포도

2.8.3 축소 모형 실험에 의한 주광 조명환경 평가

직사일광 유입특성 및 자연채광 성능을 평가하기 위하여 1/20의 축소모형을 제작하였다. 교실에 유입되는 빛은 창호의 형상 및 유리재의 투과 특성, 벽면의 반사 특성에 영향을 받기 때문에 축소모형에 이용한 재료는 실제 사용되는 재료의 반사 및 투과 특성에 최대한 유사한 것을 채택하였다. 모형은 폼보드를 이용하여 제작하였으며 우드락 본드로 접합하고, 접합부는 검은색 종이테이프로 빛이 새들지 않도록 처리하였다.

축소 모형은 C 대학교 공과대학 옥상에서 태양의 고도와 방위각에 맞추어 기울이고 회전할 수 있도록 제작된 실험대에 설치하고 조도계를 이용하여 측정하였다. 측정대상 일시는 6월 22일(하지), 12월 22일(동지)의 9시, 12시, 3시로 컴퓨터 시뮬레이션의 설정과 동일하며, 각 시각의 태양 고도각과 방위각은 축소 모형의 상부에 설치된 일영도를 이용하여 결정하였다. 조도 측정은 컴퓨터 시뮬레이션과 같은 위치의 8지점에서 이루어졌다. 조도 측정에 사용된 조도계와 축소 모형은 (그림 4.15)과 같다.



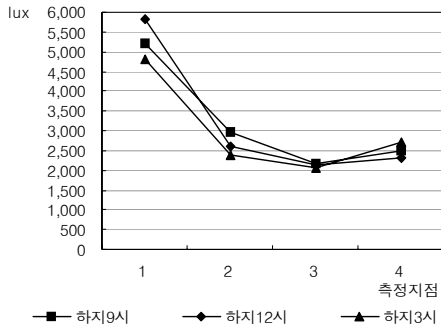
(그림 4.15) 조도계와 축소모형

<표 4.5>는 각 지점의 조도 분포로 하지보다 동지가 전반적으로 조도가 높은 것을 볼 수 있는데 이는 외부의 수평 돌출 차양의 영향으로 보여진다. <그림 4.16>, <그림 4.17>은 하지의 조도분포도를 나타낸 것으로 시간에 관계없이 비슷한 분포를 보이고 있으며, 북도측 창에서 유입되는 주광의 영향으로 북도측의 조도가 약간 높아짐을 알 수 있다. <그림 4.18>, <그림 4.19>은 동지의 조도분

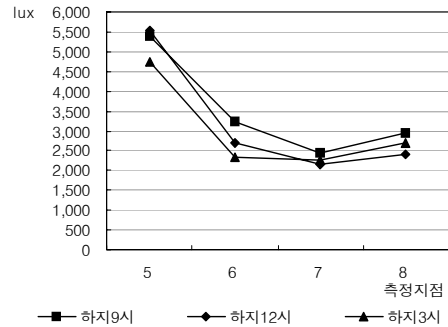
포도로서 창가쪽에 직사일광의 유입으로 창측과 북도측의 조도차이가 큰 것을 볼 수 있다.

<표 4.5> 축소 모형 실험에 의한 기존 교실의 조도 분포 (단위:lux)

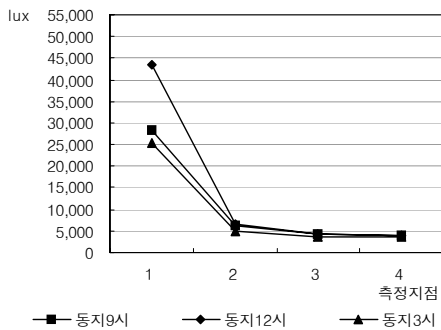
일시 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	5,190	2,960	2,180	2,500	5,390	3,230	2,440	2,954	70,200
하지 12시	5,830	2,600	2,140	2,310	5,550	2,680	2,170	2,400	83,700
하지 3시	4,820	2,400	2,060	2,710	4,730	2,350	2,280	2,690	76,700
동지 9시	28,200	6,270	3,440	4,000	23,600	5,120	3,770	3,760	39,100
동지 12시	43,400	6,440	4,380	4,040	42,800	6,360	4,540	4,210	56,800
동지 3시	25,300	4,810	3,510	3,540	27,200	6,310	4,570	4,070	42,900



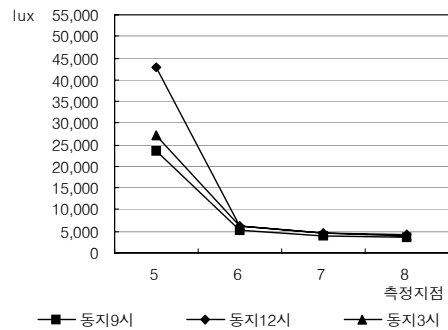
(그림 4.16) 하지의 1~4지점의 조도분포도



(그림 4.17) 하지의 5~8지점의 조도분포도



(그림 4.18) 동지의 1~4지점의 조도분포도



(그림 4.19) 동지의 5~8지점의 조도분포도

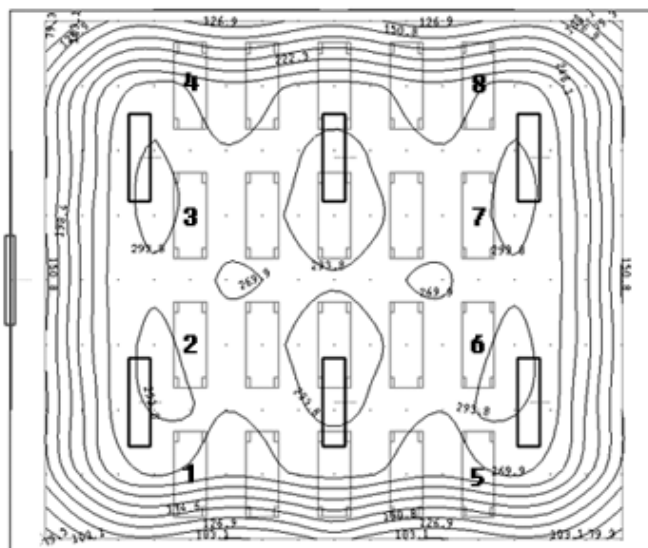
2.8.4 인공 조명 환경 평가

대상 교실의 전반 조명은 래피드 스타트형 입력전압 40W의 주광색 형광등과 전자식 안정기를 사용하고 있으며, 펜던트 2등용 조명기구가 6개 천장에서 0.45m 아래에 설치되어있다. 광속은 2,660lm이고 램프전력 40W, 수명은 8,000시간, 효율은 66lm/w이다. 칠판 조명은 전반조명에 쓰이는 같은 형광등이고, 칠판조명용 갓등으로 칠판 바로 위에 설치되어 있다. 조도측정 지점은 가로 0.5m, 세로 0.9m 간격으로 설정하고, 칠판 조명은 수평면 조도 계산에는 포함하지 않았다.

주광 조명 환경 분석시 사용된 Lumen Micro 2000을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션 한 결과, 평균 조도는 226lux로서 조도기준(300-600)lx에 미달되고, 특히 칠판을 포함해 벽면 가까이에서는 열악한 조명환경을 나타내고 있다. 8개 지점의 조도는 <표 4.6>과 같고, (그림 4.20)은 교실 전체의 조도 분포를 나타낸 것이다.

<표 4.6> 기존 교실의 인공 조명 조도

지점	1	2	3	4	5	6	7	8	평균조도	최대조도	최소조도
조도(lux)	264	288	288	268	264	288	288	268	226	306	67



(그림 4.20) 기존 교실의 인공 조명 조도 분포도

2.9 대상 교실의 조명 환경 개선 계획 및 분석

쾌적한 시환경과 에너지 절감 및 비용 절감의 목표를 달성하기 위한 조명 환경 개선 방안은 크게 자연채광 성능 향상과 인공조명의 성능 향상, 유지 관리 및 보수 지침으로 나누어 계획하고, 각 개선안에 대한 분석과 평가를 통해 최적의 개선안을 제시하였다.

2.9.1 자연채광 성능 향상을 위한 개선 계획 및 분석

(1) 실내 마감 변경

천장은 현재 천장으로부터 45cm 내려온 위치에 텍스 마감으로 바꾸고, 벽은 도장 마감을 새로 하며, 바닥은 인조석 물갈기에서 리놀륨(크림색)으로 변경하였다. 기존 반사율 천장 0.55, 벽 0.5, 바닥 0.2에서 천장 0.8, 벽 0.75, 바닥 0.4로 모든 실내 마감을 기존 교실의 마감보다 밝게 하여 반사율을 높였다.

(2) 창 면적 변경 및 유리 교체

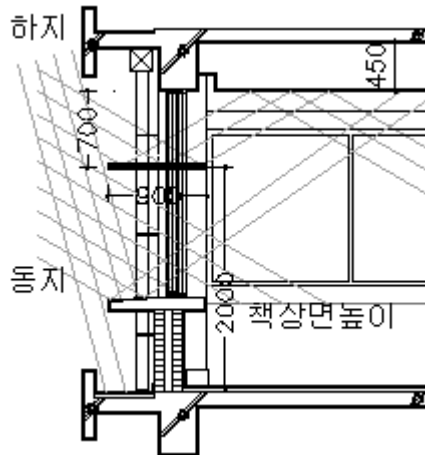
자연채광을 위한 벽 면적에 대한 유효창의 면적비가 0.5로 자연채광이 가능한 창 면적을 가지고 있고 외관 및 구조, 냉방 부하 등 다른 건축적 요소들과 관련성이 크기 때문에 창의 면적은 변경하지 않았다. 유리는 투명 이중창으로 투광율 0.8이고, 조망성 확보를 위해 유리 또한 교체하지 않고, 차양 장치로서 주광을 조절하도록 계획하였다.

(3) 차양장치 설치

대상 교실의 남향의 창으로 기존의 0.9m의 수평 돌출 차양을 가지고 있다. 이에 태양고도가 높은 하지에는 빛이 반사되어 실내 깊숙이 들어오고, 동지에는 창가측의 직사일광에 따른 현휘 제어를 위해 광선반과 루버를 계획하여 분석하였다.

1) 광선반 설치안에 대한 조명 환경 분석

광선반은 창문 면에 부착된 수평 또는 기울어진 판으로 직사일광과 확산광이 천장에 반사되어 균일한 휘도비를 만들 수 있다. 대상 교실의 조명 환경을 개선하기 위해 바닥에서 2m 높이에 0.9m 너비를 가진 광선반을 내외부에 걸쳐 설치하고, 기존의 외부 창턱을 늘려 2개의 광선반을 효과를 가질 수 있도록 계획하였다. 광선반의 윗면 및 외부 창턱의 마감을 밝게 처리하여 빛이 실내 깊숙이 반사될 수 있도록 하였다. (그림 4.21)은 광선반을 설치했을 때 빛의 유입 모습을 보여준다.



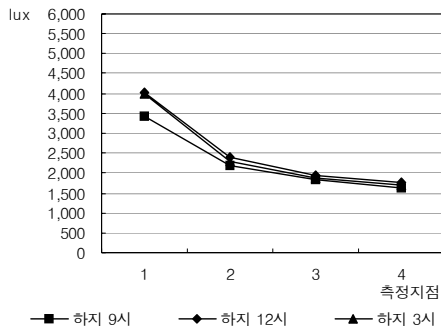
(그림 4.21) 광선반 설치에 의한 개선안

① 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 분석

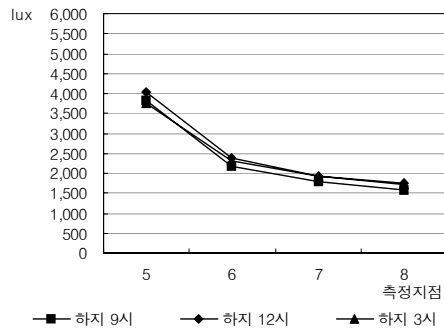
청천공과 담천공으로 나누어 컴퓨터 시뮬레이션을 하여 청천공 상태에서의 직사일광의 유입정도와 담천공 상태에서의 교실의 주광을 분포를 알아보았다. 청천공의 각 지점의 조도 분포는 <표 4.7>로 기존 교실에 조도 분포에 비해 전반적으로 높으나, 창측과 복도측의 조도차이는 큰 것으로 나타났다. (그림 4.22), (그림 4.23)은 하지의 각 지점의 조도 분포도로 복도측의 조도가 높아졌으나 창측과의 조도차이는 큰 것을 알 수 있다. (그림 4.24), (그림 4.25)는 동지의 각 지점의 조도 분포도를 나타낸 것으로 전반적으로 조도가 높아졌을 뿐 창측의 직사일광의 유입이 개선되지 않았다.

<표 4.7> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 광선반 설치시 청천공의 조도 분포 (단위:lux)

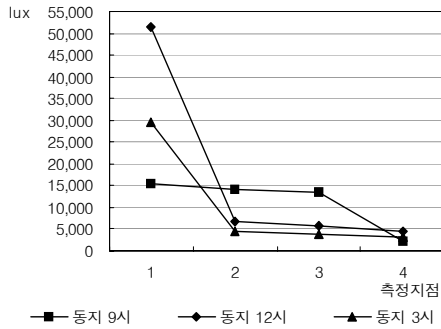
일시 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	3,428	2,178	1,835	1,606	3,834	2,173	1,788	1,594	76,298
하지 12시	4,037	2,409	1,943	1,757	4,031	2,396	1,928	1,750	112,063
하지 3시	4,001	2,303	1,875	1,692	3,756	2,324	1,923	1,710	93,244
동지 9시	15,504	14,068	13,465	2,263	14,996	2,851	2,462	2,046	19,174
동지 12시	51,322	6,627	5,657	4,636	51,313	6,603	5,599	4,593	53,775
동지 3시	29,737	4,375	3,711	3,084	29,935	4,716	4,102	3,314	33,426



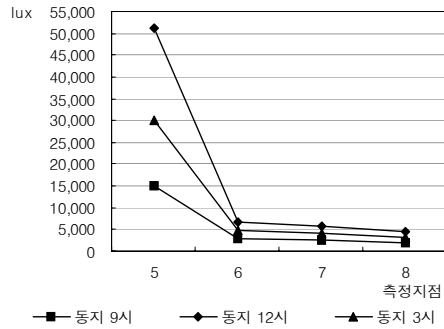
(그림 422) 청천공시 하지의 조도분포도(1~4)



(그림 423) 청천공시 하지의 조도분포도(5~8)



(그림 424) 청천공시 동지의 조도분포도(1~4)



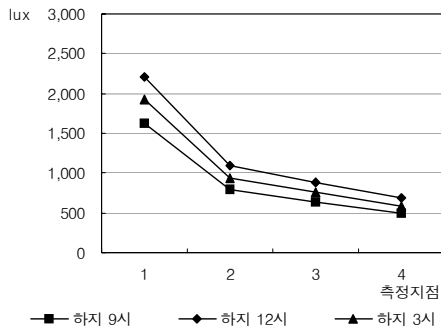
(그림 425) 청천공시 동지의 조도분포도(5~8)

담천공시 각 지점의 조도 분포는 <표 4.8>로 기존안에 비해 창측의 조도는 떨어지고 복도측의 조도는 올라간 것을 알 수 있다. (그림 4.26), (그림 4.27)은 하지의 조도분포도이고, (그림 4.28), (그림 4.29)은 동지의 조도분포도로 창측과 복

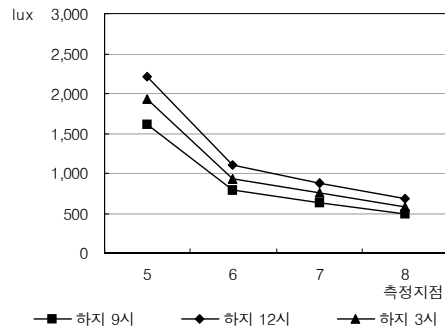
도측의 조도차가 줄어든 것을 볼 수 있다. <표 4.9>는 주광을 분포로 기준주광을 2%를 모두 만족하고 있으나 (그림 4.30)와 (그림 4.31)에 나타난 주광을 분포도를 보면 기존안에 비해 차이가 감소하긴 했으나 여전히 창측의 주광율이 높은 것으로 나타났다.

<표 4.8> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 광선반 설치시 담천공의 조도 분포 (단위:lux)

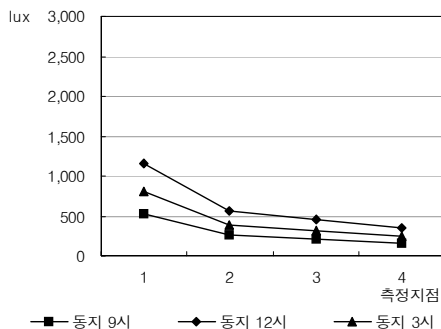
일시 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	1,618	786	632	488	1,618	786	632	488	15,570
하지 12시	2,203	1,099	884	682	2,203	1,099	884	682	21,781
하지 3시	1,926	935	753	581	1,926	935	753	581	18,536
동지 9시	535	259	209	161	535	259	209	161	5,144
동지 12시	1,161	562	454	356	1,161	562	454	356	11,173
동지 3시	802	390	314	242	802	390	314	242	7,726



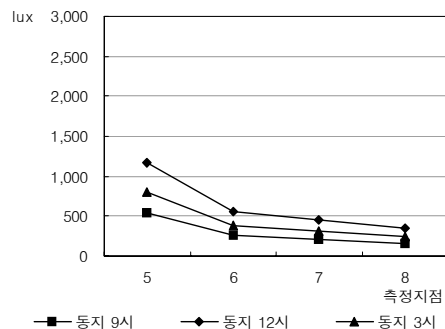
(그림 4.26) 담천공시 하지의 조도분포도(1~4)



(그림 4.27) 담천공시 하지의 조도분포도(5~8)



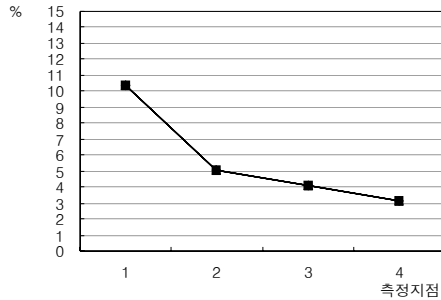
(그림 4.28) 담천공시 동지의 조도분포도(1~4)



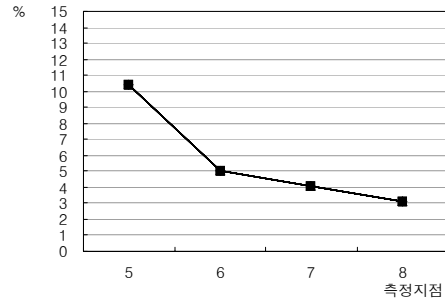
(그림 4.29) 담천공시 동지의 조도분포도(5~8)

<표 4.9> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 광선반 설치시 담천공의 주광율 분포

측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8
주광율(%)	10.4	5.0	4.1	3.1	10.4	5.0	4.1	3.1



(그림 4.30) 1~4지점의 주광율 분포도



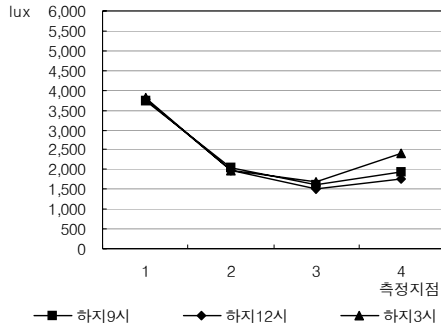
(그림 4.31) 5~8지점의 주광율 분포도

② 축소 모형 실험에 의한 분석

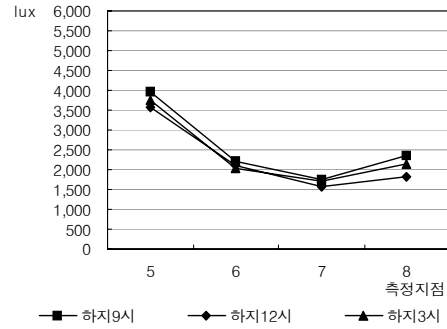
기존 교실의 축소 모형 실험과 동일한 방법으로 광선반에 의한 조명 환경을 분석하였다. 기존 교실에 비해 전반적으로 조도가 떨어지는 양상을 보이거나 창 측과 복도 측의 조도차는 약간 줄어든 것으로 보여진다. <표 4.10>은 광선반 설치시 각 지점의 조도 분포로 동지의 1지점에 직사일광이 유입되어 조도가 현저히 높음을 알 수 있다. (그림 4.32), (그림 4.33)는 하지의 조도분포도로 시간에 관계없이 비슷한 분포를 보이고 있다. (그림 4.34), (그림 4.35)는 동지의 조도분포도로써 창가 측의 직사일광의 유입이 크지만 12시의 직사일광 유입은 현저히 줄어들었다.

<표 4.10> 축소 모형 실험에 의한 광선반 설치시 조도 분포 (단위:lux)

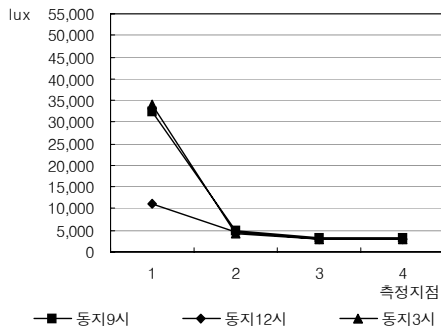
측정지점 일시	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	3,720	2,050	1,620	1,930	3,980	2,220	1,760	2,370	78,500
하지 12시	3,760	1,980	1,510	1,770	3,580	2,120	1,580	1,830	92,000
하지 3시	3,820	1,990	1,690	2,420	3,750	2,040	1,720	2,130	80,100
동지 9시	32,400	4,880	3,350	3,170	31,600	4,670	3,090	3,220	39,500
동지 12시	10,970	4,700	3,050	3,010	14,820	4,960	3,370	3,120	58,900
동지 3시	34,000	4,330	2,840	3,110	30,700	4,790	3,490	3,220	40,400



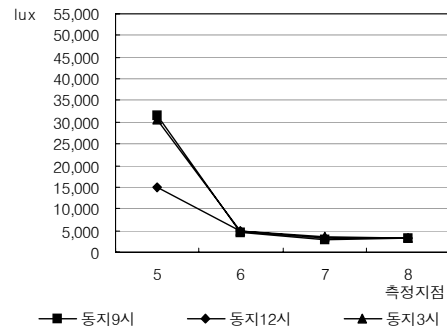
(그림 4.32) 하지의 1~4지점의 조도분포도



(그림 4.33) 하지의 5~8지점의 조도분포도



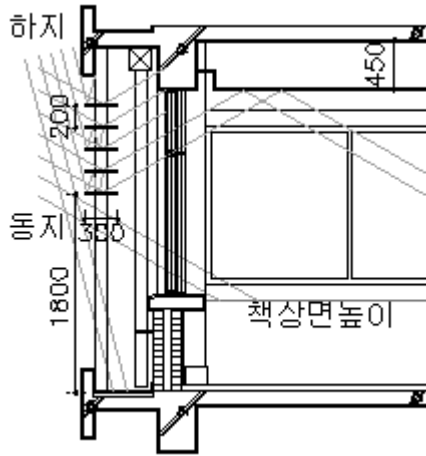
(그림 4.34) 동지의 1~4지점의 조도분포도



(그림 4.35) 동지의 5~8지점의 조도분포도

2) 루버 설치안에 대한 조명 환경 분석

루버는 폭이 좁은 판을 일정 간격을 두고 배열한 것으로, 광원면(光源面)은 그다지 밝게 보이지 않게 하고, 작업면만 밝게 할 수 있으며, 광선에 지향성을 갖게 하여 실내의 조도분포(照度分布)를 균일화할 수 있다. 대상교실에는 .0.3m의 너비를 가진 수평 루버를 0.2m 간격으로 외부에 설치하고, 외관과 조망성을 고려하여 바닥에서 1.8m 이하에는 설치하지 않았다. 광선반과 마찬가지로 반사율이 높도록 밝게 마감하였다. (그림 4.36)은 수평 루버를 설치했을 때 빛의 유입 모습을 보여준다.



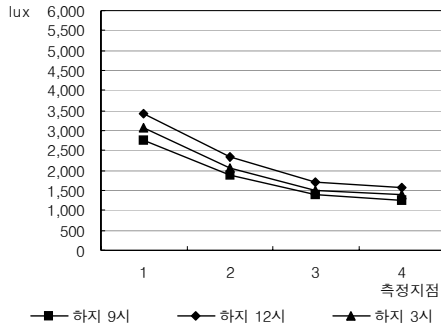
(그림 4.36) 루버 설치에 의한 개선안

① 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 분석

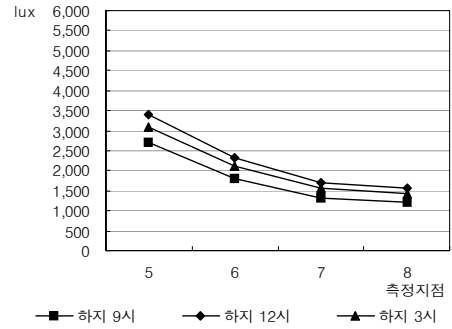
청천공과 담천공으로 나누어 컴퓨터 시뮬레이션을 하여 청천공 상태에서의 직사일광의 유입정도와 담천공 상태에서의 교실의 주광을 분포를 알아보았다. 청천공의 각 지점의 조도 분포는 <표 4.11>로 전반적인 조도는 낮아졌으나 창가측과 복도측의 조도차이가 크게 감소하였다. (그림 4.37), (그림 4.38)은 하지의 각 지점의 조도 분포도로 광선반의 조도분포와 비교하여 창측과 복도측의 조도 차이가 감소한 것을 볼 수 있다. (그림 4.39), (그림 4.40)는 동지의 각 지점의 조도 분포도를 나타낸 것으로 창가측의 직사일광 유입이 현저히 떨어진 것을 볼 수 있다.

<표 4.11> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 루버 설치시 청천공의 조도 분포 (단위:lux)

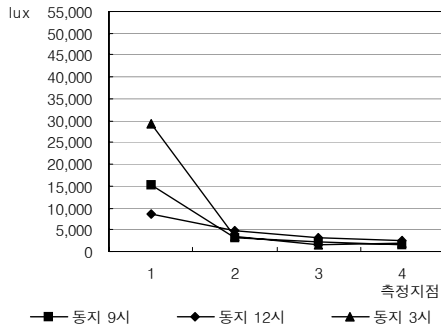
일시 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	2,760	1,874	1,382	1,241	2,705	1,790	1,329	1,222	76,298
하지 12시	3,413	2,354	1,711	1,582	3,405	2,339	1,701	1,576	112,063
하지 3시	3,062	2,046	1,507	1,397	3,101	2,121	1,553	1,417	93,244
동지 9시	15,247	3,189	2,237	1,748	14,750	2,509	1,905	1,572	19,174
동지 12시	8,637	4,891	3,303	2,632	8,626	4,853	3,262	2,597	53,775
동지 3시	29,161	3,423	2,436	1,987	29,295	3,773	2,699	2,159	33,426



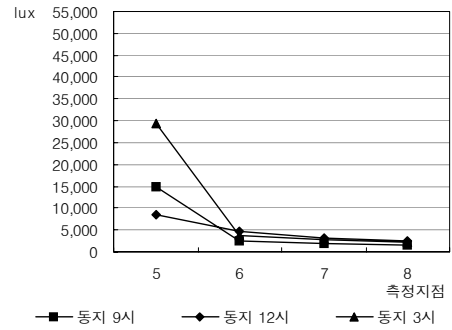
(그림 4.37) 청천공시 하지의 조도분포도(1~4)



(그림 4.38) 청천공시 하지의 조도분포도(5~8)



(그림 4.39) 청천공시 동지의 조도분포도(1~4)

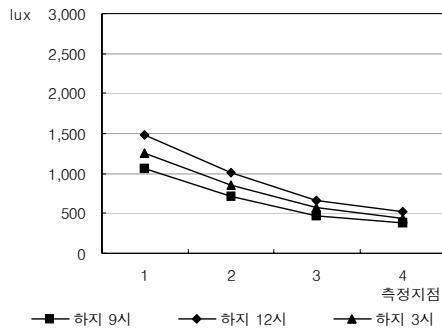


(그림 4.40) 청천공시 동지의 조도분포도(5~8)

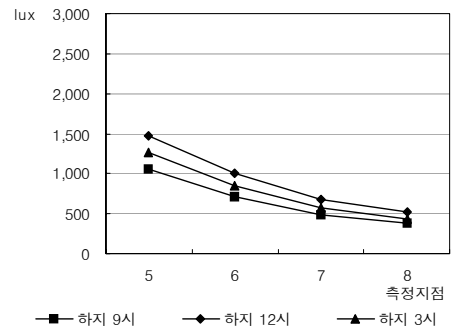
담천공시 각 지점의 조도 분포는 <표 4.12>로 광선반에 비해 전반적으로 낮은 조도분포를 보이고 있다. (그림 4.41), (그림 4.42)은 하지의 조도분포도로 창가측의 조도가 광선반에 비해 낮아서 복도측과의 차이가 줄었음을 볼 수 있다. (그림 4.43), (그림 4.44)은 동지의 조도분포도로 창측과 복도측의 조도차는 줄었으나 전반적으로 낮은 조도분포를 보이고 있다. <표 4.13>은 주광율 분포로 모든 지점의 주광율이 기준 주광율 2%에 도달하고 있다. (그림 4.45), (그림 4.46)은 주광율 분포도로 광선반에 비해 창가측과 복도측의 차가 줄어들었음을 알 수 있다.

<표 4.12> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 루버 설치시 담천공의 조도 분포 (단위:lux)

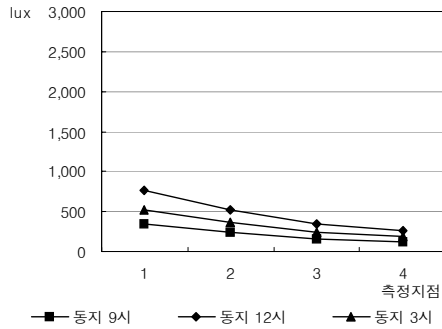
일시 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	1,059	718	478	378	1,059	718	478	378	15,570
하지 12시	1,481	1,004	668	515	1,481	1,004	668	515	21,781
하지 3시	1,261	855	569	438	1,261	855	569	438	18,536
동지 9시	350	237	158	122	350	237	158	122	5,144
동지 12시	760	515	343	264	760	515	343	264	11,173
동지 3시	526	356	237	183	526	356	237	183	7,726



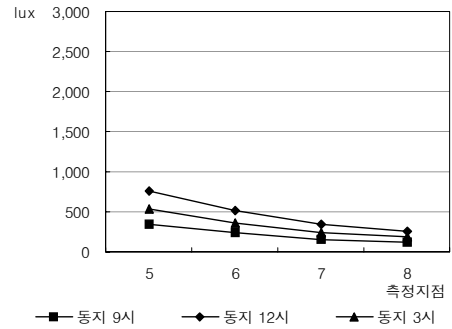
(그림 4.41) 담천공시 하지의 조도분포도(1~4)



(그림 4.42) 담천공시 하지의 조도분포도(5~8)



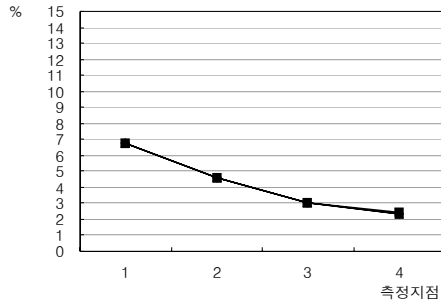
(그림 4.43) 담천공시 동지의 조도분포도(1~4)



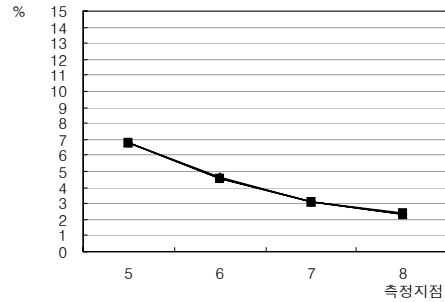
(그림 4.44) 담천공시 동지의 조도분포도(5~8)

<표 4.13> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 루버 설치시 담천공의 주광율 분포

측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8
주광율(%)	6.8	4.6	3.1	2.4	6.8	4.6	3.1	2.4



(그림 4.45) 1~4지점의 주광율 분포도



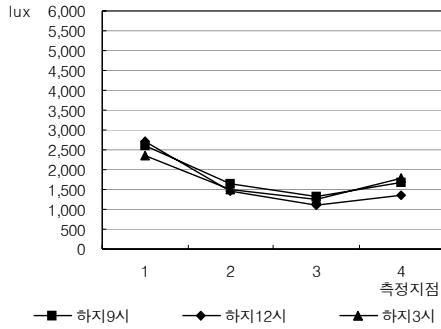
(그림 4.46) 5~8지점의 주광율 분포도

② 축소 모형에 실험에 의한 분석

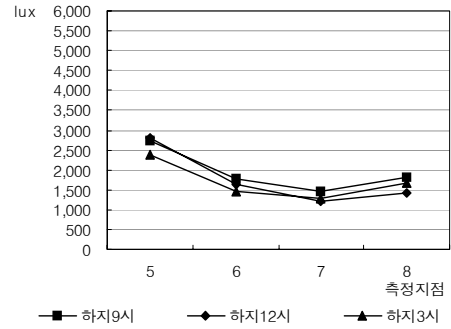
광선반과 동일한 조건하에서 광선반 대신 루버를 설치하여 조명 환경을 분석하였다. <표 4.14>는 각 지점의 조도 분포로 광선반의 조명 환경에 비해 전반적으로 조도가 낮으나 이것은 외부 조도의 영향에 의한 것으로 판단되며, 전체적인 조도 분포는 균일함을 알 수 있다. (그림 4.47), (그림 4.48)은 하지의 조도 분포도로 광선반에 비해 창측과 복도측의 조도차가 줄어들었다는 것을 보여주며, 특히 동지의 경우 (그림 4.49), (그림 4.50)에 나타난 것처럼 창가측의 직사일광의 유입이 줄어들어 균일한 분포를 보이고 있다.

<표 4.14> 축소 모형 실험에 의한 루버 설치시 조도 분포 (단위:lux)

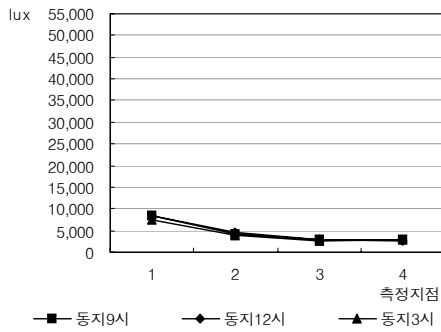
측정지점 일시	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
하지 9시	2,610	1,630	1,310	1,670	2,720	1,780	1,440	1,800	73,800
하지 12시	2,700	1,450	1,110	1,350	2,810	1,650	1,220	1,420	85,200
하지 3시	2,340	1,510	1,250	1,770	2,390	1,470	1,290	1,660	72,800
동지 9시	8,470	4,130	2,880	2,920	8,910	3,970	2,810	3,050	37,300
동지 12시	8,600	4,600	2,840	2,680	9,010	4,580	2,880	2,630	56,400
동지3시	7,380	3,950	2,690	2,860	8,840	5,040	3,230	3,080	38,700



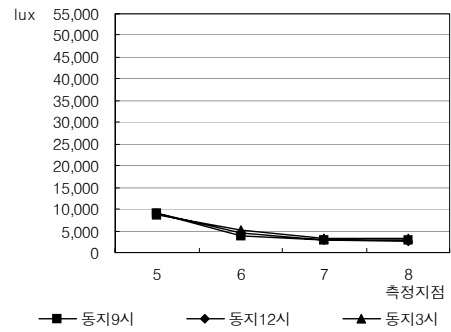
(그림 4.47) 하지의 1~4지점의 조도분포도



(그림 4.48) 하지의 5~8지점의 조도분포도



(그림 4.49) 동지의 1~4지점의 조도분포도



(그림 4.50) 동지의 5~8지점의 조도분포도

2.9.2 인공조명 성능 향상을 위한 개선 계획 및 분석

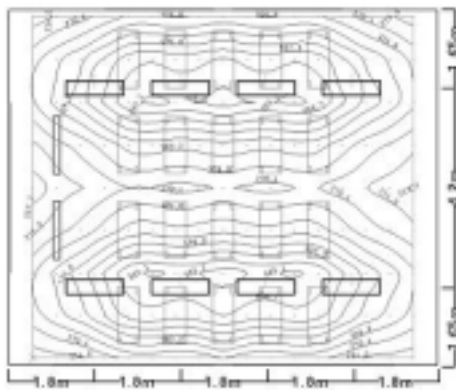
(1) 고효율 조명기기로의 교체

조명 설비의 경우 투자 회수가 빠르기 때문에 형광등, 안정기, 조명기구 모두 교체하는 것이 에너지 절약적이며 경제적이라고 할 수 있다. 기존의 40W 형광등은 효율이 높은 고주파 점등전용형 32W 26mm 형광등으로 교체하고, 전자식 안정기 역시 32W 2등용 고효율 안정기로 교체한다. 천장을 텍스 마감으로 교체했기 때문에 조명 기구 역시 매입형 고조도 저휘도 반사갓으로 교체한다.

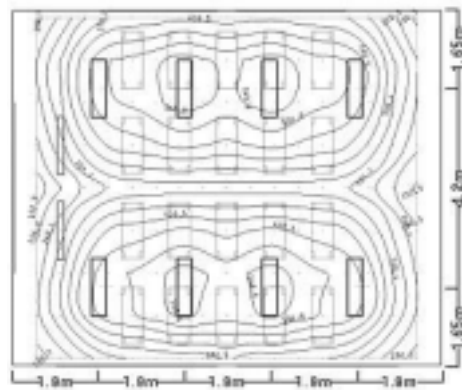
(2) 인공 조명 재배치 및 조닝

모든 인공 조명은 고효율 조명기기로 교체된 상태에서 Lumen micro 2000으로 컴퓨터 시뮬레이션 하여 배치에 따른 조도 분포를 비교하였다. 비교 분석한 배치안은 4열 2행 수직 배치, 4열 2행 수평 배치, 3열 3행 수직 배치, 3열 3행 수평 배치로 총 네 가지이며, 배치 이외의 모든 설정은 동일하다.

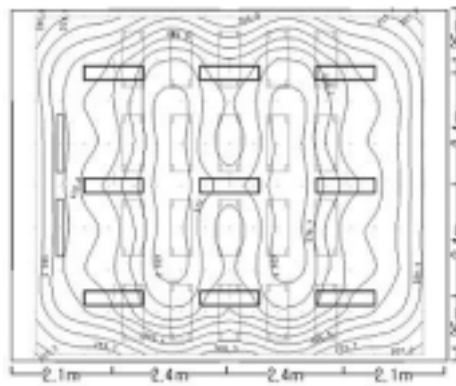
(그림 4.51),(그림 4.52),(그림 4.53), (그림 4.54)는 각 개선안에 따른 조명기구의 배치 모습과 조도 분포도를 나타낸 것이다.



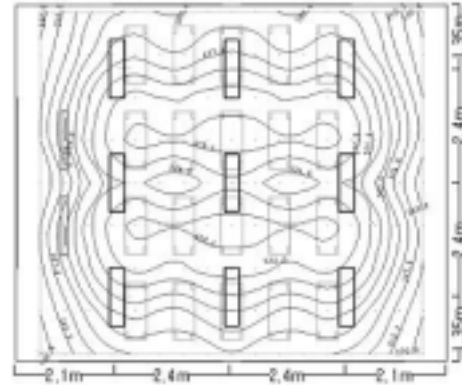
(그림 4.51) 4열 2행 수직 배치 조도분포도



(그림 4.52) 4열 2행 수평 배치 조도분포도



(그림 4.53) 3열 3행 수직 배치 조도분포도



(그림 4.54) 3열 3행 수평 배치 조도분포도

<표 4.15>는 각 배치안의 8지점의 조도를 비교한 것으로 4열 수직 배치가 벽 가까이에 위치한 1, 4, 5, 8지점에서 가장 높은 조도를 나타내고 있으며, 교실 중앙의 2, 3, 6, 7, 지점에서는 3열 3행 수평 배치가 높은 조도를 나타내고 있다. 3열 3행 수직 배치가 400lux이상의 전반적으로 고른 조도분포를 나타냈다. <표 4.16>은 평균 조도, 최대 조도, 최소 조도 및 균제도를 나타낸 것으로 평균 조도 및 균제도에 있어서 3열 3행 수직 배치가 가장 좋은 것으로 나타났다.

<표 4.15> 인공 조명 배치 개선안의 지점별 조도 분포 비교 (단위:lux)

인공조명 배치안 \ 측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8
4열 2행 수직 배치	572	402	404	584	573	404	406	585
4열 2행 수평 배치	500	439	441	517	501	441	442	517
3열 3행 수직 배치	486	525	527	498	487	527	528	499
3열 3행 수평 배치	452	635	637	467	452	636	638	468

<표 4.16> 인공 조명 배치 개선안의 조도 및 균제도 비교 (단위:lux)

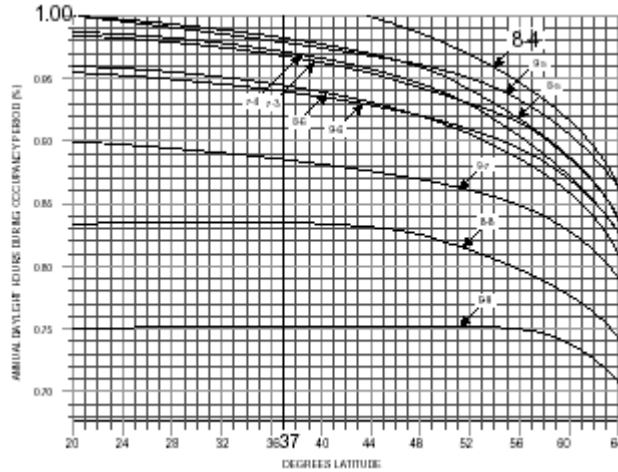
인공조명 배치안 \ 조도 및 균제도	평균조도 (lux)	최대조도 (lux)	최소조도 (lux)	평균조도 /최소조도	최대조도 /최소조도
4열 2행 수직 배치	399.3	693.3	129.5	3.1	5.4
4열 2행 수평 배치	391.7	570.6	130.3	3.0	4.4
3열 3행 수직 배치	439.8	649.5	183.9	2.4	3.5
3열 3행 수평 배치	437.1	643.1	169.1	2.6	3.8

(3) 제어방식 계획

3열 3행 수직 배치는 각 조명기구의 램프를 일렬로 제어하는 열제어 방법이 효율적이며 그 방법으로 단계별 스위치 제어와 조광 제어로 나눌 수 있다. 대상 교실은 조광 제어를 선택하고, 자연채광에 의한 조광 제어의 에너지 사용에 대한 경제성을 노모그래프(Nomograph Tool)를 이용하여 분석했다. 노모그래프는 건물이나 실, 창문 조건 등에 따라 자연채광 정도를 간단하게 분석할 수 있는 도표화한 설계 도구로 총 5단계의 과정으로 이루어져 있으며, 1단계에서 3단계까지는 4, 5단계를 위한 준비과정이다.

① 1단계

(그림 4.55)의 노모그래프 1A를 이용하여 위도와 교실 사용시간에 따른 연중 자연채광 비율을 찾는다. 위도 37도, 교실 사용시간 8-4시일 경우 자연채광 비율은 1.0이다.



(그림 4.55) 노모그래프 1A

② 2단계

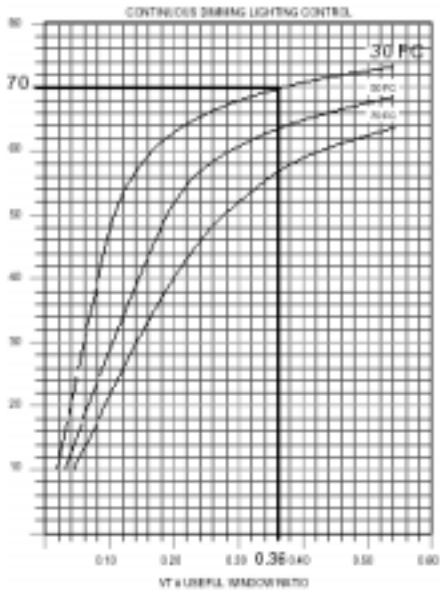
조명 제어 방법을 선택하고 적정 조도 기준을 설정한다. 유효창비(작업면높이 위의 창 면적/벽면적)와 유리 투과율을 계산한 후 노모그래프를 이용하여 제어 효율을 찾는다. (그림 4.56)은 노모그래프 2B로 적정 조도 기준 300lux(30FC), 유효창비=0.46, 유리 투과율 0.8에 따라 조광 제어 효율은 70%이다.

③ 3단계

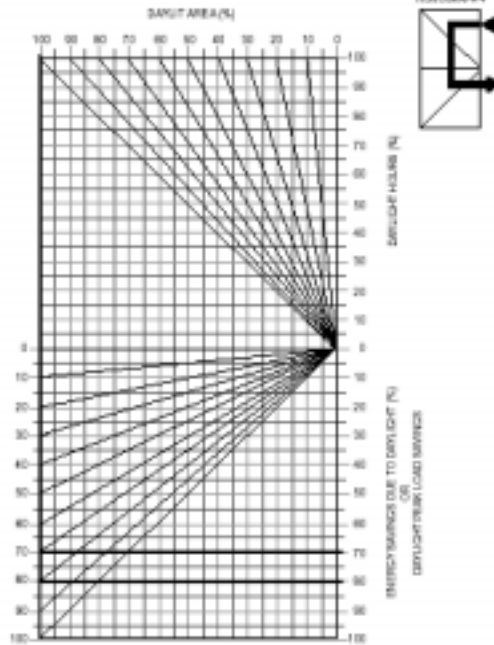
자연채광이 가능한 실의 깊이는 6m, Daylit area(%)는 자연채광이 가능한 실의 깊이×전체 둘레/전체 바닥면적으로 대상 교실은 100%이다.

④ 4단계

자연채광에 의한 에너지 절감비율을 찾는 단계로 조광 제어율은 80%로 하고, (그림 4.57)의 노모그래프 4에 의해 에너지 및 부하 절감비율을 찾는다. 자연채광 시간과 Daylit area 100%, 조광 제어 효율 70%에 의해 자연채광에 의한 에너지 절감은 70%이고, 조광 제어율 80%에 의해 최대 부하 절감은 80%이다.



(그림 4.56) 노모그래프 2B



(그림 4.57) 노모그래프 4

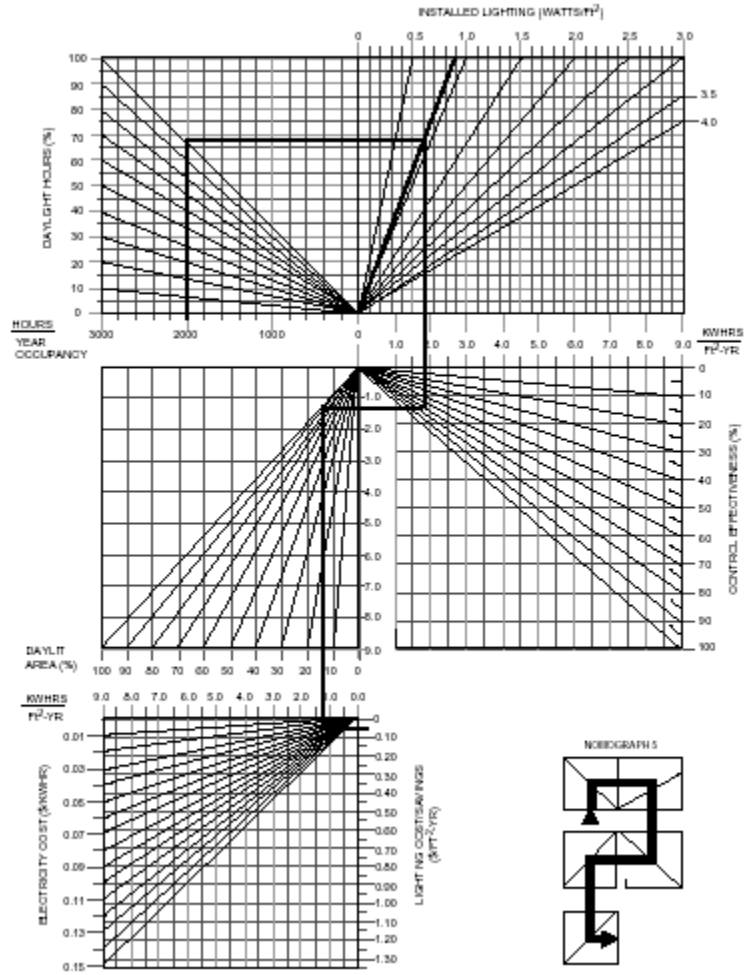
⑤ 5단계

에너지 절감 비용을 구하는 단계로 (그림 4.58)의 노모그래프 5를 이용한다. 조광 제어를 이용하지 않을 때 교실의 연간 사용시간은 1980시간, 개선안의 단위 면적당 인공조명 전력부하는 $32.5\text{W} \times 20\text{개} / 67.5\text{m}^2 = 9.6\text{W}/\text{m}^2 (0.87\text{W}/\text{ft}^2)$ 으로 연간 단위 면적당 전력부하는 $9.6\text{W}/\text{m}^2 \times 1980\text{시간} = 19.1\text{kWh}/\text{m}^2\text{-yr} (1.72\text{kWh}/\text{ft}^2\text{-yr})$ 이다.

조광 제어를 이용하면 제어 효율 70%에 의해 연간 단위 면적당 전력부하가 $0.7 \times 19.1\text{kWh}/\text{m}^2\text{-yr} = 13.3\text{kWh}/\text{m}^2\text{-yr} (1.2\text{kWh}/\text{ft}^2\text{-yr})$ 이 되므로, 단위 면적당 5.8kWh의 전력을 절감할 수 있다. 이를 비용으로 환산하면, 학교 시설의 전력량 요금이 평균 65원/kWh (0.05\$/kWh)이므로 조광제어계획을 하지 않은 개선안의 교실당 조명 전력비는 83,655원이고, 조광제어계획을 한 개선안의 경우에는 58,559원이 되어, 연간 교실당 조명 전력비 25,096원을 절감할 수 있다.

기존 교실의 40W 형광등 13개 설치시 소비 전력은 $49\text{W} \times 13 = 637\text{W}$ 이고, 연간 전력 부하는 1,261kWh, 전력 비용은 81,982원이며, 조광 제어를 하지 않는 개선안의 32W 형광등 3열 3행 수직 배치안의 조명 전력은 $32.5\text{W} \times 20 = 650\text{W}$, 연간 전

력 부하는 1,287kWh, 전력 비용은 83,655원이다. 따라서 조광 제어를 하는 개선안이 가장 경제적임을 알 수 있다.



(그림 4.58) 노모그래프 5

2.10조명 환경 개선안 평가

대상 교실은 대부분의 시간을 자연채광을 통해 조명을 할 수 있으나, 직사일광에 의해 글레어가 발생되고, 균일하지 않은 조도분포를 보이며, 인공조명으로만 조명할 경우에는 조명기기의 수명이 오래되어 비효율적이고, 무엇보다 시작업을 위한 기준조도에 미달되었다.

2.10.1 자연채광 조명 환경 평가

자연채광의 효율적인 활용을 위해 실내 마감재의 반사율을 향상시킨 후 차양 설치의 대안으로 광선반과 수평 루버를 비교, 분석하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 청천공의 조도 분포는 <표 4.17>과 같다.

<표 4.17> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 청천공시 조도 분포 (단위:lux)

일시		측정지점	1	2	3	4	5	6	7	8	외부조도
		기준교실									
하지 9시	기준교실	3,055	1,650	1,190	936	2,906	1,534	1,115	909	76,298	
	광선반	3,428	2,178	1,835	1,606	3,834	2,173	1,788	1,594		
	루버	2,760	1,874	1,382	1,241	2,705	1,790	1,329	1,222		
하지 12시	기준교실	4,059	2,147	1,523	1,251	4,040	2,125	1,507	1,243	112,063	
	광선반	4,037	2,409	1,943	1,757	4,031	2,396	1,928	1,750		
	루버	3,413	2,354	1,711	1,582	3,405	2,339	1,701	1,576		
하지 3시	기준교실	3,401	1,786	1,284	1,058	3,510	1,888	1,352	1,087	93,244	
	광선반	4,001	2,303	1,875	1,692	3,756	2,324	1,923	1,710		
	루버	3,062	2,046	1,507	1,397	3,101	2,121	1,553	1,417		
동지 9시	기준교실	14,827	13,420	12,630	1,491	14,113	1,976	1,553	1,236	19,174	
	광선반	15,504	14,068	13,465	2,263	14,996	2,851	2,462	2,046		
	루버	15,247	3,189	2,237	1,748	14,750	2,509	1,905	1,572		
동지 12시	기준교실	46,758	3,864	2,724	2,085	46,737	3,815	2,662	2,035	53,775	
	광선반	51,322	6,627	5,657	4,636	51,313	6,603	5,599	4,593		
	루버	8,637	4,891	3,303	2,632	8,626	4,853	3,262	2,597		
동지 3시	기준교실	27,850	2,677	1,988	1,571	28,289	3,248	2,432	1,833	33,426	
	광선반	29,737	4,375	3,711	3,084	29,935	4,716	4,102	3,314		
	루버	29,161	3,423	2,436	1,987	29,295	3,773	2,699	2,159		

광선반은 기존 교실에 비해 전체적으로 높은 조도 분포를 보이고 있으나 창측과 복도측의 조도차이가 크며, 수평 루버는 광선반에 비해 낮은 조도 분포를 보이지만 직사일광을 차단하면서 창측과 복도측의 조도차이를 줄이는 것으로 나타났다. 복도측 측정지점인 4, 8지점의 조도가 기존 교실의 조도보다 상승되었고, 창측 측정지점인 1, 5지점의 조도가 하락된 것을 볼 수 있다.

<표 4.18>은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 주광율 분포로 기존 교실은 복도측의 주광율이 기준 주광율 2%에 미달되고, 창측과 복도측이 7배의 차이를 보이고 있다. 광선반은 교실 깊숙이까지 반사빛을 도달시켜 기존 교실에 비해 복도측의 주광율이 2배 가까이 높아졌으나, 창측과의 차이가 크며, 루버는 광선반에 비해 많은 양의 반사빛이 도달하지는 못하나 기존 교실에 비해 복도측의 주광율은 높고, 창측의 주광율은 낮아서 좋은 질의 조명 환경을 제공할 수 있다.

<표 4.18> 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 주광율 분포 (단위:%)

측정지점 일시	1	2	3	4	5	6	7	8
기존교실	13.5	4.6	2.9	1.9	13.5	4.6	2.9	1.9
광선반	10.4	5.0	4.1	3.1	10.4	5.0	4.1	3.1
루버	6.8	4.6	3.1	2.4	6.8	4.6	3.1	2.4

<표 4.19>는 축소 모형 실험에 의한 조도 분포이다. 축소 모형 실험에 의한 조도 분포는 측정 시간에 따라 외부 조도의 차이가 있기 때문에 그에 따른 오차를 고려해야 한다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 비해 복도측의 조도가 높은 것은 북쪽의 빛이 복도측의 창을 통해 유입되었기 때문으로 보이며, 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 루버를 설치했을 때 창측의 직사일광 차단에 효과적이며, 전체적인 조도 분포가 균일해짐을 알 수 있다.

컴퓨터 시뮬레이션과 축소 모형 실험 결과, 광선반을 설치하는 것보다 외부의 수평 루버를 설치하는 것이 적정 조도 기준 및 주광율을 만족하면서 빛의 질을 향상시켜 주광에 의한 조명 환경을 개선한다고 볼 수 있다. .

<표 4.19> 축소 모형 실험에 의한 조도 분포 (단위:lux)

일시		측정지점								외부조도
		1	2	3	4	5	6	7	8	
하지 9시	기존교실	5,190	2,960	2,180	2,500	5,390	3,230	2,440	2,954	70,200
	광선반	3,720	2,050	1,620	1,930	3,980	2,220	1,760	2,370	78,500
	루버	2,610	1,630	1,310	1,670	2,720	1,780	1,440	1,800	73,800
하지 12시	기존교실	5,830	2,600	2,140	2,310	5,550	2,680	2,170	2,400	83,700
	광선반	3,760	1,980	1,510	1,770	3,580	2,120	1,580	1,830	92,000
	루버	2,700	1,450	1,110	1,350	2,810	1,650	1,220	1,420	85,200
하지 3시	기존교실	4,820	2,400	2,060	2,710	4,730	2,350	2,280	2,690	76,700
	광선반	3,820	1,990	1,690	2,420	3,750	2,040	1,720	2,130	80,100
	루버	2,340	1,510	1,250	1,770	2,390	1,470	1,290	1,660	72,800
동지 9시	기존교실	28,200	6,270	3,440	4,000	23,600	5,120	3,770	3,760	39,100
	광선반	32,400	4,880	3,350	3,170	31,600	4,670	3,090	3,220	39,500
	루버	8,470	4,130	2,880	2,920	8,910	3,970	2,810	3,050	37,300
동지 12시	기존교실	43,400	6,440	4,380	4,040	42,800	6,360	4,540	4,210	56,800
	광선반	10,970	4,700	3,050	3,010	14,820	4,960	3,370	3,120	58,900
	루버	8,600	4,600	2,840	2,680	9,010	4,580	2,880	2,630	56,400
동지 3시	기존교실	25,300	4,810	3,510	3,540	27,200	6,310	4,570	4,070	42,900
	광선반	34,000	4,330	2,840	3,110	30,700	4,790	3,490	3,220	40,400
	루버	7,380	3,950	2,690	2,860	8,840	5,040	3,230	3,080	38,700

2.10.2 인공 조명 환경 평가 및 경제성 평가

인공 조명 성능 향상을 위해 노후화 된 조명 기기를 고효율 기기들로 교체한 후, 4가지 배치안을 비교 분석하고, 제어 방안을 통합하여 경제성을 분석하였다. 기존 교실의 인공 조명 환경과 개선안의 구체적인 비교 내용은 <표 4.20>과 같다. 3열 3행 수직 배치안이 평균 조도 및 균제도에 있어 가장 좋으며, 수평 배치보다는 수직배치가 열제어에 있어 효율적이다. 배치안과 조광(dimming)제어를 통합하면 에너지 효율성 향상 및 유지 비용 절감의 목표를 달성할 수 있다. 기존 교실의 연간 전력 부하는 1,261kWh, 개선안의 전력 부하는 901kWh로 교실당 연간 360kWh의 전기에너지를 절감할 수 있다. 이는 교실당 연간 23,406원의 유지비용을 절감하는 것이다.

<표 4.20> 인공 조명 개선안 비교

	기존 교실	개선안
형광등	40W (FL40D)	32W (FHF32SSEX-N)
안정기	40W 전자식	32W 고효율 전자식
조명기구	펜던트 노출형 갓	고조도 저휘도 매입형
배치	2열 3행 수평 배치	3열 3행 수직 배치
제어방식	수동 점소등	열 제어 조광 제어
평균 조도(lux)	226	440
최대 조도(lux)	306	650
최소 조도(lux)	67	184
평균조도/최소조도	3.4	2.4
최대조도/최소조도	4.6	3.5
램프당 소비 전력(W)	49	32.5
교실의 조명 전력(W)	637	455
연간 전력 부하(kWh)	1,261	901
연간 전력 비용(원)	81,965	58,559

실내 마감 유지 관리를 위해 반 년에 1회 벽, 천장의 마감 및 가구를 청소하고 도장 마감은 5년에 한 번씩 새로 한다. 조명 설비의 청소는 공기 청소는 2주에 한 번, 물청소는 8주에 한 번 실시한다. 형광등은 열 집단 교체를 기본으로 하고, 1년에 2회 교실의 조도를 측정하여 적정 조도 기준에 만족하는 조명 환경이 될 수 있도록 한다. 32W 고효율 형광등은 기존의 40W 형광등에 비해 수명이 두 배나 길어 16,000시간이지만, 적정 효율 기간은 형광등 수명의 70%이므로 11,200시간이상 사용하지 않도록 한다.

학생, 교사, 관리자를 위한 환경 보존 및 에너지 절약, 효율적인 관리의 중요성에 관한 홍보 교육을 실시하고, 조명 장비 목록, 청소 일정, 광원 교환 일정, 조도 측정 일정 등이 수록된 안내서를 제공하도록 한다.

제 5 장 결 론

본 연구는 낙후된 조명 환경을 가진 기존의 학교 교실을 대상으로 쾌적하면서도 에너지와 비용을 절감할 수 있는 조명 환경을 조성할 수 있는 개선 방안을 제시하고자 하였다.

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

학교 교실의 조명 환경 개선은 기존의 건물 및 조명 설비를 개수, 보전, 수리하여 적합한 조명 환경으로 향상시키는 것으로, 적정 조도 창출, 질적으로 우수한 조명 제공 등으로 쾌적한 조명 환경을 창출하고, 자연채광의 적극적 활용과 인공 조명 사용시간 절감, 최신 조명 기술의 적용과 효율적인 유지관리로 에너지 사용과 비용을 절감하며, 더 나아가 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

학교 교실의 조명 개선을 위한 설계프로세스를 제안하고, 적용가능한 개선 계획을 분류, 요약하였다. 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계는 목표 설정, 대상 교실의 현황 분석, 조명 환경 개선 계획 수립, 개선안의 비교·평가, 개선안 결정의 과정으로 이루어진다. 학교 교실 조명 환경 개선의 목표는 크게 건축적 통합, 시각적 쾌적성, 에너지 효율 향상, 비용 절감으로 나눌 수 있으며, 기초조사 항목목표에 의해 대상 교실의 현황 분석을 하고, 적절한 평가 기법을 도입하여 조명 환경의 문제점을 파악한 후, 적용가능한 개선안을 설정하고 비교 및 평가를 통해 적용 가능성을 검토한다.

학교 교실의 사용시간은 대부분 주간으로 주광의 이용만으로 조명이 가능하므로, 조명 환경 개선 계획시 주광의 이용을 우선적으로 고려한다. 주광의 효율적인 이용을 위한 개선 계획으로는 실내 마감 변경, 창 면적 변경, 유리 교체, 차양 장치 설치가 있으며, 인공조명의 성능 향상 및 자연채광과의 통합을 위한 개선 계획으로는 고효율 조명기기로의 교체, 조명 기구의 재배치 및 조닝, 제어 계획 등이 있다. 효율적인 유지 관리 및 보수를 위해 실내 마감 유지 관리, 조명 설비의 청소, 형광등, 조명기구, 안정기의 교환 일정을 수립한다.

표준설계안에 의해 계획된 교실을 대상으로 사례연구를 실시함으로써 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스의 적합성과 적용가능성을 확인하였다. 대상 교실의 조명 환경 분석을 통해 기준 조도 미달, 균일하지 못한 조도 분포, 직사일광 유입에 따른 현휘 발생, 인공 조명의 효율성 저하 등의 문제점을 도출하였으며, 이를 개선하기 위한 대안을 설정하여 비교 분석하였다. 실내 반사율 향상과 외부 루버의 설치에 창측에 직사일광의 유입은 줄이고, 복도측에 확산광을 도달시켜 창측과 복도측의 조도차를 줄임으로서, 향상된 주광 조명 환경을 창출함을 확인하였다. 인공 조명의 경우 노후화된 조명 기기를 모두 고효율 조명기기로 교체한 후 개선안으로 설정한 4가지 배치안을 비교한 결과 3열 3행 수직 배치가 평균 조도 및 균제도에 있어서 가장 좋은 조명 환경을 제공하고, 조광 제어를 통합함으로써 교실 내 조명 에너지 및 유지 비용을 절감할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 학교 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스에 따라 학교 교실을 선정하여 조명 환경을 분석하고 개선안을 계획하고 평가하였다. 설정 목표인 건축적 통합, 시각적 쾌적성, 에너지 효율 향상, 비용 절감에 맞춰 계획하고 평가하여 조명 환경의 개선을 확인하고, 이를 통해 본 연구에서 제안한 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스를 적용가능성을 확인하였다.

연구의 한계 및 추후 연구과제는 다음과 같다.

다양한 조명 개선 설계 기법의 평가를 통해 그 적용가능성을 검토하고, 조명 개선 계획이 건물 전체의 리모델링의 한 부분이 될 수 있으므로 조명 조건뿐만 아니라 다양한 건축적 조건에 미치는 영향을 통합적으로 고려해야 하며, 재실자의 의한 만족도, 시공성, 경제성에 대한 분석도 함께 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 국내 참고 문헌

- 1) 김남규, 『사무소 건물 설비시스템의 통합적 성능개선 방법에 관한 연구』, 중앙대 박사학위논문, 2000
- 2) 김영호, 『건축설비』, 보문당, 1995
- 3) 김정수, 『건축조명계획론』, 광문각, 2001
- 4) 김정태, “2000년대의 빛환경 기술을 위한 과제들”, 『건축(대한건축학회지)』 제38권 제3호, 1994
- 5) 김정태, “학교 교실의 자연채광계획”, 『한국교육시설학회지』 제6권 제3호, 1999
- 6) 박경은 외, “초등학교 교실의 빛 환경 특성에 관한 연구”, 『대한설비공학회 동계학술발표회 논문집』, 2001
- 7) 서치호 외, “교육시설의 리모델링을 위한 구성재료의 노후화 판정기준 작성(II)”, 『한국교육시설학회지』 제8권 제3호, 2001
- 8) 오세영, 『조명기구에 따른 학교교실의 조도와 휘도분포에 관한 연구』, 광운대 석사학위논문, 1999
- 9) 유수경, 『학교교실 조명 현황에 관한 조사 연구』, 이화여대 석사학위논문, 1997
- 10) 유정수, 『자연채광의 건축설계 적용기법 및 과정에 관한 연구』, 건국대 석사학위논문, 2001
- 11) 육정원, 『사무소 건물의 에너지 절약적 조명설계 및 제어』, 한양대 석사학위논문, 1998
- 12) 이상우 외, 『건축환경계획론』, 태림문화사, 1996
- 13) 이연구, “환경친화적 건물 성능개선의 개념과 필요성”, 『건축(대한건축학회지)』 제44권 7호, 2000
- 14) 이원구, “천후 상태별로 본 교실의 시환경평가에 관한 연구” 『대한건축학회

- 논문집』, 제5권 2호, 1989
- 15) 이화룡 외, “기존학교시설의 리모델링 의사결정 모델에 관한 연구”, 『한국교육시설학회지』 제8권 2호, 2001
 - 16) 일본산업조사회, 『건물리모델링 매뉴얼』, 한국건설산업연구원, 2000
 - 17) 장 울, 『자연채광 설계에 의한 창의 형태와 표현에 관한 연구』, 고려대 석사학위논문, 1996
 - 18) 좌승택, 『학교 교실의 환경개선을 위한 조명설계 연구』, 제주대 석사학위논문, 2001
 - 19) 지철근, 『조명공학』, 문운당, 2000
 - 20) 차광석, 『자연채광 이용에 따른 실내 조명환경 평가에 관한 실험적 연구』, 단국대 석사학위논문, 1995
 - 21) 최안섭 외, “사무소 건물의 그린조명시스템”, 『공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집』, 1999

2. 국외 참고 문헌

- 1) Ander, Gregg D. *Daylighting Performance and Design*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1995
- 2) Baker, Nick. Fanchiotti, A. Steemers, Koen. *Daylighting in Architecture : a European reference book*, London, James & James, 1993
- 3) *Energy Star Buildings Manual-Federal : Stage One Green Lights*, U.S. EPA, 1998
- 4) Guzowski, Mary, *Daylighting for Sustainable Design*, New York, McGraw-Hill. 2000
- 5) Jones, C. C., Richman, E., Heerwagon, J., Reinertson, J., Mckey, H., *Federal Lighting Guide : A Resource for Federal Lighting Improvement Projects*, U.S. DOE FEMP, 1998

- 6) Lechner, Norbert, *Heating, Cooling, Lighting : Design methods for Architects*, John Wiley & Sons Inc. 1991
- 7) *Lighting Upgrade Manual*, U.S. EPA Green Lights Program, 1995
- 8) *Lumen Micro 2000 User's Guide*, Lighting Technologies, Inc, 2000
- 9) Ne'Eman, Eliyahu, "Intergration of Daylight and Electric Light in Buildings", *A Comprehensive Approach to the Integration of Daylight and Electric Light in Buildings*, Energy and Buildings, 1984
- 10) O'Connor, Jennifer, *Tips for Daylighting*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory University of California Berkeley CA, 1997
- 11) Piper, James, "The Realities of Lighting Upgrades", *Building Operating Management*, 2000
- 12) Rea, Mark S., *The IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition*, IESNA, 2000

국 문 초 록

중앙대학교 대학원
건축학과
건축 계획 및 환경 전공
환경에
지도교수 이 언 구

학교 교실은 학생들이 장시간 학습하고 생활하면서 신체적, 정신적 영향을 받는 교육환경으로 조명 환경의 역할이 중요함에도 불구하고, 많은 학교 교실들이 낙후된 조명 환경을 가지고 있다. 기존 학교 교실의 조명 환경 개선은 쾌적한 조명 환경에 따른 학생 및 교사의 쾌적성과 학습능력의 향상뿐만 아니라 건물의 에너지 절약을 통한 건물의 유지 관리 비용 절감할 수 있으며, 궁극적으로 자원 절약 및 자연환경 보호에도 영향을 미친다.

따라서, 본 연구는 이러한 현실적인 필요성에 따른 기존의 학교 교실의 조명환경을 개선하기 위한 작업으로, 낙후된 조명 환경을 가진 기존의 학교 교실을 대상으로 쾌적하면서도 에너지와 비용을 절감할 수 있는 조명 환경을 조성할 수 있는 개선 방안을 제시하고 전형적인 교실의 표준모델을 선정하여 조명환경개선 방법을 사례 연구함으로써 앞으로 계속될 교실의 조명환경개선을 위한 설계 자료를 제시하는데 목적이 있다.

본 연구를 통해 연구된 주요내용과 교실의 조명 환경 개선 방법을 정리하면 다음과 같다.

1. 학교 교실의 조명 환경 개선은 기존의 건물 및 조명 설비를 개수, 보전, 수리하여 적합한 조명 환경으로 향상시키는 것으로, 적정 조도 창출, 질적으로 우수한 조명 제공 등으로 쾌적한 조명 환경을 창출하고, 자연채광의 적극적 활용과 인공조명 사용시간 절감, 최신 조명 기술의 적용과 효율적인 유지관리로 에너지 사용과 비용을 절감하며, 더 나아가 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있다.

2. 학교 교실의 조명 개선을 위한 설계프로세스를 제안하고, 적용가능한 개선 계획을 분류, 요약하였다. 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계는 목표 설정, 대상 교실의 현황 분석, 조명 환경 개선 계획 수립, 개선안의 비교·평가, 개선안 결정의 과정으로 이루어진다. 학교 교실 조명 환경 개선의 목표는 크게 건축적 통합, 시각적 쾌적성, 에너지 효율 향상, 비용 절감으로 나눌 수 있으며, 기초조사 항목표에 의해 대상 교실의 현황 분석을 하고, 적절한 평가 기법을 도입하여 조명 환경의 문제점을 파악한 후, 적용가능한 개선안을 설정하고 비교 및 평가를 통해 적용 가능성을 검토한다.

3. 학교 교실의 사용시간은 대부분 주간으로 주광의 이용만으로 조명이 가능하므로, 조명 환경 개선 계획시 주광의 이용을 우선적으로 고려한다. 주광의 효율적인 이용을 위한 개선 계획으로는 실내 마감 변경, 창 면적 변경, 유리 교체, 차양 장치 설치가 있으며, 인공조명의 성능 향상 및 자연채광과의 통합을 위한 개선 계획으로는 고효율 조명기기로의 교체, 조명 기구의 재배치 및 조닝, 제어 계획등이 있다. 효율적인 유지 관리 및 보수를 위해 실내 마감 유지 관리, 조명 설비의 청소, 형광등, 조명기구, 안정기의 교환 일정을 수립한다.

4. 표준설계안에 의해 계획된 교실을 대상으로 사례연구를 실시함으로써 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스의 적합성과 적용가능성을 확인하였다. 대상 교실의 조명 환경 분석을 통해 기준 조도 미달, 균일하지 못한 조도 분포, 직사일광 유입에 따른 현휘 발생, 인공 조명의 효율성 저하 등의 문제점을 도출하였으며, 이를 개선하기 위한 대안을 설정하여 비교 분석하였다. 실내 반사율 향상과 외부 루버의 설치에 창측에 직사일광의 유입은 줄이고, 복도측에 확산광을 도달시켜 창측과 복도측의 조도차를 줄임으로서, 향상된 주광 조명 환경을 창출함을 확인하였다. 인공 조명의 경우 노후화된 조명 기구를 모두 고효율 조명기기로 교체한 후 개선안으로 설정한 4가지 배치안을 비교한 결과 3열 3행 수직 배치가 평균 조도 및 균제도에 있어서 가장 좋은 조명 환경을 제공하고, 조광 제어를 통합함으로써 교실 내 조명 에너지 및 유지 비용을 절감할 수 있음을 확인하였다.

5. 본 연구에서는 학교 교실의 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스에 따라 학교 교실을 선정하여 조명 환경을 분석하고 개선안을 계획하고 평가하였다. 설정 목표인 건축적 통합, 시각적 쾌적성, 에너지 효율 향상, 비용 절감에 맞춰 계획하고 평가하여 조명 환경의 개선을 확인하고, 이를 통해 본 연구에서 제안한 조명 환경 개선을 위한 설계 프로세스를 적용가능성을 확인하였다.

다양한 조명 개선 설계 기법의 평가를 통해 그 적용가능성을 검토하고, 조명 개선 계획이 건물 전체의 리모델링의 한 부분이 될 수 있으므로 조명 조건뿐만 아니라 다양한 건축적 조건에 미치는 영향을 통합적으로 고려해야하며, 재실자의 의한 만족도, 시공성, 경제성에 대한 분석도 함께 이루어져야 할 것이다.

Abstract

A Study on the Improvement of Lighting Conditions in Existing Classrooms

Hwang, Kyong-Ae

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee, Ph.D

Classrooms where students spend most of their school time are the learning environment affecting students psychologically and physically. Nevertheless, most of classroom has uncomfortable lighting condition. The improvement of lighting conditions in existing classrooms enhances occupant's comfort, the learning environment and also saves maintenance cost by increasing energy efficiency. Ultimately, the improvement saves resource and preserves the natural environment.

Therefore, this study aimed to propose lighting conditions improvement design process of existing classrooms in Korea.

Results of the study can be summarized as follows.

The improvement of lighting conditions in existing classrooms is a procedure that intends to improve the performance of a building structure and lighting equipment, creates comfortable lighting conditions by providing the proper quantity and quality of light, and reduces electric lighting energy by using daylighting, applying innovative lighting technologies.

The proposed design process for improvement consists of the sequence of setting a goal, analysis of classroom condition and evaluation of lighting condition, proposal of improvement design, evaluation of improvement alternative and decision of improvement design. The improvement of lighting conditions in existing classrooms aims architectural integration, visual comfort, energy efficiency and cost saving.

The case study was also conducted to demonstrate how to apply the proposed lighting improvement design process in the real situation. The problems of existing classrooms are insufficient illumination, poor uniformity, glare, and low efficiency of electric lighting. The lighting improvement strategies were proposed in three parts such as an utilization of daylighting, electric lighting improvement and efficient maintenance. They resulted in the comfort lighting condition, energy and cost saving.

The lighting improvement methods proposed in this study are proved to be adequate to enhance the lighting conditions in existing classrooms.

감사의 글

가라! 네 눈짓을 따르라.

너의 젊은 날을 이용하고, 배움의 때를 놓치지 마라.

거대한 행운의 저울 위에 지침이 평형을 이루는 순간은 드물다.

너는 올라가든가 아니면 내려가야 한다.

너는 이기고 지배하든가 아니면 지고 나서 굴종해야 한다.

이겨 의기양양하든가 쓴맛을 삼키든가 망치가 되든가 모루가 돼야 한다.

...

새로운 길을 나서야 하는 지금에서 지난 2년 6개월을 되돌아봅니다. 조금은 늦은 결과에 대한 죄송함과 최선을 다하지 못함에 대한 후회와 만족스럽지 못함에 대한 아쉬움이 남습니다.

한없이 부족함에도 끝까지 이끌어 주신 이연구 교수님께 깊이 감사드립니다. 학부 과정에서부터 대학원까지 많은 가르침을 주신 이명호 교수님, 김덕재 교수님, 이현호 교수님, 정헌수 교수님, 최윤경 교수님, 박찬식 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

격려와 질책을 아끼지 않으셨던 연구실 선배님들과 후배님들께도 감사드립니다. 함께 논문 쓰면서 가장 큰 힘이 되어준 동기들에게도 고마움과 축하의 말을 전합니다.

자기 일처럼 걱정해주고 지칠 때마다 잘할 수 있다고 용기를 주신 모든 분들과 오랜 믿음으로 만나 옆에서 늘 힘이 되는 친구들.. 정말 고맙습니다.

마지막으로 늘 옆에서 믿어주시고 용기주시는 엄마, 아빠, 동생에게 감사와 사랑의 말을 전하며 이 논문을 바칩니다.