



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](#)

석사학위논문

제주지역 초등학교 건축물의
에너지 사용량 분석 및
그린리모델링 방안에 대한 연구

제주대학교 대학원

건축공학과

박진현

2023년 2월



제주지역 초등학교 건축물의 에너지 사용량 분석 및 그린리모델링 방안에 대한 연구

지도교수 전 규 엽

박진현

이 논문을 건축공학 석사학위 논문으로 제출함

2022년 11월

박진현의 건축공학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

제주대학교 대학원

2022년 11 월

A Study on Energy Consumption Analysis
and Green Remodeling Plans
for Elementary School Buildings in Jeju Area

Jin-Hyun Park
(Supervised by professor Gyu-Yeob Jeon)

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

2022. 11.

This thesis has been examined and approved.

Department of Architectural Engineering
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Abstract

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구범위 및 방법	4
II. 건축물 단열기준과 그린리모델링	6
1. 단열기준 및 변화	6
2. 그린리모델링 개요	9
3. 그린리모델링 사례 분석	13
III. 초등학교 현황 및 건축특성 분석	16
1. 제주도 지역 초등학교 개교현황 및 리모델링 현황	16
2. 건물 규모 및 공간구성 특성	21
1) 제주도 초등학교의 규모	21
2) 제주도 초등학교의 공간구성 특성	27
3. 형태 및 배치 입면 특성 분석	31
1) 제주도 초등학교 배치 특성	31
2) 제주도 초등학교의 입면 특성	33
IV. 에너지 사용량 분석과 그린리모델링 적용방안	40
1. 제주도 초등학교 에너지 사용 특성	41
2. 건축특성에 따른 에너지 사용량 분석	47
3. 그린리모델링 적용방안 및 효과분석	52
V. 결론	58
참고문헌	61

표 목 차

표 1	년도별 지역별 단열기준	7
표 2	친환경주택의 단열기준	8
표 3	국토교통부 공공건물 그린리모델링 사업 적용 기술요소(2021년 국토교통부 보고서)	10
표 4	국토부 그린리모델링 시그니처 사업 1호, 세종 쌍류보건소 현황(국토부)	13
표 5	전라권 그린리모델링 대상지 에너지 성능분석 결과(설비저널2022)	14
표 6	제주시 지역별 초등학교 현황((괄호)안은 분교 수)	17
표 7	전국 학교시설의 노후화 현황 및 예측	18
표 8	제주시 초등학교의 노후화 현황	18
표 9	지역별 초등학교 리모델링 횟수 현황	19
표 10	학교 규모 분류 기준(학급수)	20
표 11	제주시 초등학교 학급수 현황	21
표 12	연면적에 따른 재학생 수	22
표 13	교지면적 분포 및 교지면적 상위 학교 현황	23
표 14	제주시 전체 초등학교 현황	25
표 15	제주시 동지역 초등학교 현황	26
표 16	초등학교 공간 구분 및 역할	28
표 17	제주시 초등학교의 공간별 설치 비율	29
표 18	제주시 지역 초등학교 배치 형태 및 특징	30
표 19	창호 종류와 에너지적 특징	33
표 20	유리종류와 비율	34
표 21	제주시 초등학교 창호 및 유리 설치 현황	35
표 22	학교별 단위입면과 창면적비(1980년 이후 개교 학교 대상)	38
표 23	초등학교 처마 형태 현황	39
표 24	년대별 초등학교 개교수와 단열기준	41
표 25	배치 형태에 따른 에너지 사용량	46
표 26	창 방향에 따른 에너지 사용량(여름 에너지 사용량 오름차순 정리)	48

표 27	제주시 초등학교 창호 및 유리 설치 현황	50
표 28	리모델링 건축물의 기술요소별 에너지 절감율 및 경제성 분석	53
표 29	한천초등학교 단위평면의 평면, 입면, 투시도	54
표 30	창호변화에 따른 효과 검증을 위한 에너지값 입력 값	55
표 31	창호조합에 따른 총에너지 요구량과 향상비율	55
표 32	차양차단비율에 따른 냉방에너지 요구량	57

그림목차

그림 1	년도별 제로에너지 건축 기준 (2050 탄소중립위원회 2021년 보고서)	2
그림 2	연구흐름도	5
그림 3	제주지역 주요벽체 단열기준 변화	9
그림 4	지역별 창 단열기준 변화	9
그림 5	그린리모델링 적용 기술요소(2021년 국토교통부 보고서)	11
그림 6	년대별 제주시 초등학교 개교 분포 현황	17
그림 7	초등학교 개교년도에 따른 리모델링 횟수	21
그림 8	학급수에 따른 학교수 현황	21
그림 9	인당 교지면적과 인당 연면적 그래프	24
그림 10	재학생 수에 따른 학교수 현황	25
그림 11	제주도 초등학교 변화 추세	27
그림 12	개교년도별 배치형태의 비율	33
그림 13	단위교실의 향(방위)	34
그림 14	초등학교 개교년도에 따른 창면적비	39
그림 15	제주시 초등학교 월별 평균 에너지 사용량	41
그림 16	제주시 지역 초등학교 개교 년도별 연간에너지 사용량	42
그림 17	개교년도별(10년단위) 평균 연간 에너지 사용량 비교	43
그림 18	제주시 초등학교의 개교년도에 따른 학급수당 에너지 사용량	44
그림 19	제주시 초등학교의 개교년도에 따른 학생수당 에너지 사용량	44
그림 20	제주시 초등학교의 개교년도에 따른 연면적당 에너지 사용량	44
그림 22	에너지사용량 작은 상위 10개교의 리모델링 현황	46
그림 21	에너지사용량 높은 상위 10개교의 리모델링 현황	46
그림 23	배치형태에 따른 에너지 사용량 그래프	47
그림 24	창면적비 순서에 따른 여름 학급수당 에너지 사용량	48
그림 25	창방향에 따른 에너지 사용량(냉방사용량 기준)	50
그림 26	창호 조합에 따른 에너지 사용량 비교(냉방사용량 기준)	50

국문초록

정부는 2050탄소중립을 선언하고 각 분야별 온실가스 배출 저감을 위한 시나리오를 만들어 정책에 반영시키고 있고 건물분야에서는 신축건물의 제로에너지 건축물 의무화와 기존 건축물 그린리모델링이 정책적으로 추진되고 있다. 그린리모델링의 근본적인 목적은 에너지 사용량을 줄여 온실가스 배출량을 감소시키는 것이기 때문에 특히 제주 지역의 초등학교에 어떤 그린리모델링 기술요소가 적합할 것인지 제안하기 위해 연구를 진행하였다.

먼저 단열기준 변화에 따른 에너지 사용량 변화와 제주시 초등학교의 개교현황, 리모델링 현황을 살펴보고 초등학교의 배치형태와 입면특성을 분석하여 에너지 사용량에 영향을 주는지 분석해 보았다. 또한 입면 특성에서 창호 조합을 조사하여 현재 에너지적으로 불리한 창호가 여전히 많음을 확인하였고 고성능 창호로의 교체가 시급함을 알 수 있었다.

에너지 사용량이 높은 학교들의 리모델링 현황과 학교 특성을 확인하여 개교한지 오래된 학교라도 리모델링 수요가 많아 리모델링 횟수가 많으면 에너지 성능이 좋아졌음을 확인할 수 있었다.

마지막으로 한 초등학교의 단위평면을 샘플링 해 외벽단열의 효과와 창호변경 및 차양설치의 효과를 시뮬레이션 해보고 외벽과 창호 변경, 차양 설치가 에너지 절감에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

에너지를 절약하면서도 만족할만한 온열환경을 만들어 어린 학생들이 쾌적하게 공부할 수 있도록 도와주기 위해서 그린리모델링을 반드시 수행해야 할 것이고 지역별로 상황에 맞는 가장 효과 좋은 기술요소를 리모델링 현장에 적용해야 할 것이다. 특히 제주는 겨울 난방부하보다 여름 냉방부하가 크기 때문에 이를 고려하여 고성능 창호교체와 외벽단열과 더불어 차양을 반드시 설치하여 냉방부하를 줄일 수 있도록 기술요소를 적용해 에너지 사용량을 줄여야 할 것이다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

기후 변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 현재와 같은 온난화 추세가 지속되면 2050년까지 평균기온이 4°C가 상승할 것으로 예측하고 있다. 이에 인류가 감당할 만한 1.5°C 이내로 온도 상승을 제한하기 위해서 2030년까지 온실가스 배출량을 2010년 대비 45%이상 감축해야 하고, 2050년까지 이산화탄소 배출량을 제로(0)로 하는 탄소중립을 달성해야 한다고 주장하고 있다. 탄소중립은 대기 중 이산화탄소 농도 증가를 막기 위해 인간 활동에 의한 배출량을 최대한 감소시키고, 흡수량을 증대하여 순 배출량이 “0”이 되는 넷제로를 말한다. 배출량은 화석연료의 연소, 수송 등 인간 활동에 의한 인위적 배출을 억제시키고 흡수량은 숲 복원, 블루카본기술, 탄소제거기술을 활용하여 증가시킨다. (탄소중립 학습 자료집 -2050 탄소중립위원회.2021)

2050 탄소중립을 달성하기 위해 각국은 온실가스 감축목표를 설정하는데 우리나라는 2030년 온실가스 배출량을 2018년 배출량 대비 40%를 감축하는 목표를 제시했다. 건물부문의 온실가스를 감축하기 위해 태양광, 풍력 등 신재생 에너지를 생산하는 마이크로 발전소를 건물에 설치하고, 제로에너지 건축물 실현을 위해 건축물 에너지 성능평가를 통해 에너지 성능인증제를 정책적으로 관리한다. 건물 부문은 2018년 기준 국가 전체 온실가스 배출량 중 24.6%를 차지하고 있으며, 온실가스 배출량을 감축하기 위해서 건물의 에너지 수요를 줄여야 한다. 이를 위해 정부는 신축 건물의 경우 제로에너지 빌딩을 의무화 시키고 기존 건물의 경우 그린리모델링 사업 확대를 통해 전체 건물의 에너지 성능을 개선하고 있다. 기존 건축물 중 75%가 준공후 15년이 지난 노후 건물이기 때문에 노후건물에서 에너지 성능을 향상시키지 못하면 온실가스 줄이는 목표는 달성하기 어렵다.

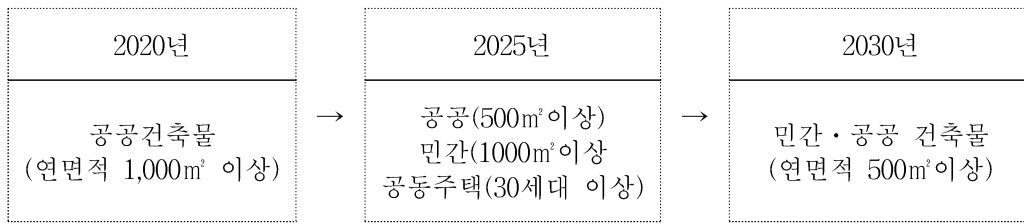


그림1 년도별 제로에너지 건축 기준 (2050 탄소중립위원회 2021년 보고서)

제로에너지 건축은 신축건물의 경우 2020년에는 연면적 1000㎡ 이상 공공건물에 의무화였고, 2023년부터는 연면적 500㎡ 이상인 공공건물에도 적용되는 등 의무화 대상이 단계적으로 확대 되고 있다. 민간 건물도 2025년에는 연면적 1000㎡ 이상의 건물에 적용되고 2030년에는 연면적 500㎡ 이상의 건물에 에너지 성능 강화를 요구하고 있다.

정부는 공공부문에서 가장 먼저 취약계층이 이용하는 노후 공공건축물인 국공립 어린이집, 보건소, 소규모 의료시설에 대한 에너지 성능개선 사업인 그린리모델링 사업을 우선 추진하고 있다. 그린리모델링을 통해 에너지 절감 30% 이상 달성, 미세먼지 저감률 75% 이상 달성을 주요 목표로 하고 있다.

또한 정부는 코로나19로 인한 경제위기를 극복하고 대한민국의 새로운 미래를 설계하기 위해 2020년 7월 ‘한국판 뉴딜 종합계획’을 발표했다. 한국판 뉴딜은 추격형 경제에서 선도형 경제로, 탄소의존 경제에서 저탄소 경제로, 불평등 사회에서 포용 사회로, 대한민국을 근본적으로 바꾸겠다는 정부의 강력한 의지를 담은 담대한 구상과 계획이다(대한민국 대전환 한국판뉴딜-국토교통부).

이중 ‘그린 뉴딜’은 탄소의존형 경제를 친환경 저탄소 등 그린 경제로 전환하는 전략인데 기후위기에 선제적으로 대응하고 인간과 자연이 공존하는 미래사회를 구현하기 위해 탄소 중립(Net-zero)을 향한 경제·사회 녹색전환을 추진한다는 내용이다. ‘그린뉴딜’은 국민생활과 밀접한 공공시설을 제로에너지화 하는 것이 목표이다. 이 중 ‘그린 리모델링’은 공공건물에 신재생에너지 설비를 설치하고 고성능 단열재를 사용하여 친환경 에너지 고효율 건물로 바꾸는 것을 지원하는 내용이다. 그리고 교육부에서 진행하는 그린스마트스쿨은 친환경·디지털 교육환경을 조성하기 위해 태양광설비 설치, 친환경 단열재 설치 및 전체교실 와이파이(WiFi)를 구축하는 내용을 포함하고 있고, 안전하고 쾌적한 녹색환경과 온·오프

융합 학습공간 구현을 위해 전국 초중고 에너지절감 시설 설치 및 디지털 교육 환경을 조성하는 것이 목표이다. 교육환경 시설의 개선사업 및 노후 교육시설의 리모델링을 통한 에너지 개선을 하는 것이 2009년부터 시작된 교육부의 “그린스쿨”정책이며, 이를 시작으로 에너지 절감형 학교로의 전환을 지속하는 사업의 연장선이 바로 그린스마트스쿨 이다.

2020년 기준 40년 이상 경과된 학교 시설은 전국적으로 학교 수의 약 20%인 7,980동 규모이고, 연면적은 1,633만㎡로 확인 되었다. 하지만 향후 2030년에는 규모가 2배 늘어나고 있어 10년 이내에 물리적인 시설 노후화가 빠르게 진행될 것으로 파악되고 있다. 제주시 초등학교도 40년이 넘는 학교가 현재 78%에 이르고 있다. 이 시설들은 에너지절약 설계가 미진한 노후화된 상태에서 운영 중이고, 노후 교육시설의 경우 국가예산 부족과 함께 체계적인 설계기술 및 관련정책 수립 등의 미비로 인하여 에너지절감형 리모델링이 활발히 이루어지지 못하고 있는 상황이다.

본 연구자가 초등학교 다니던 1990년대에는 겨울에 난방을 하지 않은 교실에서 생활했었다. 제주지역 초등학교에서는 난로나 기타 난방기구가 없었다. 너무 추워서 외투는 당연히 못 벗고 손도 곱았었다. 30년 이상이 지난 지금 본 연구자의 자녀가 다니는 초등학교에서는 EHP 냉난방기를 사용하고 있다. 하지만 에너지를 많이 소비하고 있어도 건물 노후화로 인해 단열성능, 기밀성능이 떨어져 충분히 원하는 온열환경을 얻지 못하고 있다.

제주시 초등학교의 건축적 특성과 리모델링 현황을 살펴보고 건축적 특성에 따라 에너지 사용량은 어떻게 다른지 분석해서 제주도에 적용할 수 있는 적합한 그린리모델링 요소를 찾아보고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

제주시 소재 초등학교의 에너지 사용량을 살펴보기 위해 먼저 초등학교 현황을 알아봤다. 제주도에 있는 초등학교는 분교를 포함하여 총 120개이다. 제주도는

제주시와 서귀포시로 행정구역이 나뉘져 있는데 제주시 지역에 분교를 제외한 68개의 초등학교가 위치해 있다. 이 중 제주도 본섬에 위치하지 않은 추자초등학교와 우도초등학교를 제외하고, 제주도 교육청에서 관리되지 않는 국립 초등학교 1개를 뺀 총 65개의 초등학교를 이번 연구의 대상으로 하였다.

에너지 사용량 데이터는 2017년~2019년 3개년 전기 사용량 데이터를 가지고 분석하였다. 2020년, 2021년 데이터는 코로나19로 인해 학생들의 정상적인 등교가 이루어지지 않았기 때문에 분석에서 배제하였다. 대부분의 학교에서는 전기를 사용한 냉난방 기기인 EHP를 사용하고 있고 극히 일부가 가스나 석유를 사용하고 있으나 그 비율이 절대적으로 작기 때문에 전기사용량으로 에너지 사용량을 가늠해 볼 수 있을 것이라 판단하였다. 전기 사용량 데이터는 자료 누락으로 전기 사용량을 확인할 수 없는 2개의 학교를 제외한 총 63개의 초등학교만 이번 분석의 대상으로 하였다.

단열규정이 달라지면 에너지 사용량에 영향을 줄 수 있기 때문에 단열규정 변화도 함께 살펴보았다. 이를 위해 여러 관련 법규들에 나와 있는 조항을 정리해보고 내용을 확인하였다. 과거 규정에는 단열재 두께만 나오거나 열관류율 단위가 다르게 나오는 등 표시 방법이 달라 이를 열관류율 표시법으로 동일하게 정리하였다. 또한 제주 초등학교의 에너지 사용량과 단열기준 변화에 대해 알아보기 위하여 제주지역 단열기준을 따로 살펴보고 특히 창에 있어서는 다른 지역과 제주지역의 기준을 비교 분석해보았다.

우선 제주시 지역 초등학교의 건축 계획적 특성이 에너지 사용량에 영향을 줄 수 있기 때문에 년도별 개교 현황과 규모 및 공간구성 특성 등 건축특성을 분석해 보았다. 학교의 형태 및 배치형태 그리고 입면특성을 분석하여 에너지 사용량에 영향을 주는지 살펴보았다.

다음으로 그린리모델링 관련 기술요소를 고찰해 보았다. 제주시 초등학교의 리모델링 현황을 분석해보고 어떤 기술요소들이 적용될 수 있으며, 그린리모델링이 적용된 사례 조사를 통해 적용 가능한 기술요소를 찾아보고자 하였다. 사례 분석을 통해 확인된 여러 기술요소들 중에서 어떤 요소가 적정 예산으로 상대적으로 긍정적인 효과를 가져 올 수 있는지 확인하여 초등학교 그린리모델링에 적용할 수 있는 기술요소를 추천해 보았다.

마지막으로 이번 조사한 초등학교 중 에너지 사용량이 많은 학교 중에서 리모델링 이력이 거의 없는 학교를 선택하여 단위교실 평면으로 건물에너지성능 시뮬레이션 프로그램인 에너지샵(Energy#)으로 시뮬레이션을 실시하였다. 리모델링 시 가장 많이 적용하는 기술요소인 창호 교체와 외벽 단열보강, 차양설치를 통해 에너지 성능 변화를 살펴보았다. 창호조합에 따른 에너지 성능 변화도 비교해 보고 어떤 기술요소가 제주도 지역 학교 그린리모델링에 적용시 효과적일 수 있는지 분석해 보았다.

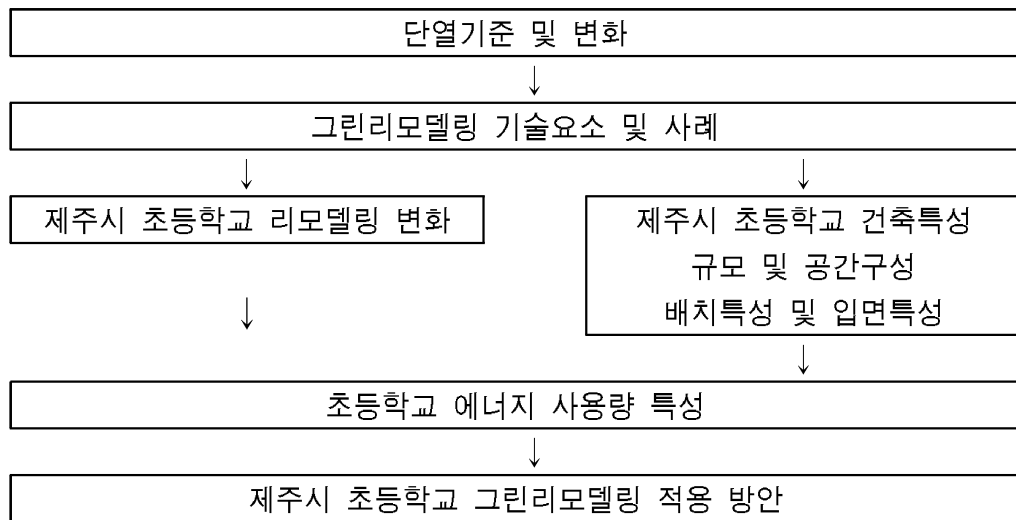


그림 2 연구흐름도

II. 건축물 단열기준과 그린리모델링

1. 단열기준 및 변화

단열기준은 건축법, 건축법시행규칙, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 건축물의 에너지 절약 설계기준 등 여러 규정에서 신설되고 개정되면서 강화되었다. 새로운 규정이 생기면서 이전 내용은 삭제되고 새로운 규정으로 내용이 이동하였고 같은 시기에 여러 규정에서 비슷한 내용의 단열기준이 제시되고 있다.

단열기준은 1979년 건축법시행규칙 제25조(건축물의 열손실 방지를 위한 조치)에 처음 단열재 두께 기준이 등장하고 1984년에 제주도와 제주 외 지역으로 지역구분이 생겼다. 2008년에는 건축법 제59조 및 건축물의설비기준등에관한규칙 제21조, 제22조의 규정에 의해 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위한 에너지절약 설계기준, 에너지 절약계획서 작성기준 및 단열재의 두께 기준을 정하기 위한 기준인 ‘에너지절약설계기준’이 제정되면서 지역이 세분화 되고 단열재 설치 부위가 세분화 되면서 현재까지도 강화 개정되고 있다

1987년에는 제주도와 남부, 중부까지 3권역으로 지역을 분리하여 단열재 두께와 열관류율 등으로 단열기준을 강화 개정하였다. 이후 부분적으로 많은 기준을 보완하다가 2008년 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위한 기준인 ‘에너지절약설계기준’이 제정 되면서 단열기준이 개정되었다. 2018년에는 중부1지역, 중부2지역, 남부, 제주의 4개 권역으로 재편하여 단열기준이 만들어졌고, 적용 부위도 세분화되고 있다. 2009년에는 ‘에너지절약형 친환경주택의 건설기준’ 규칙을 제정하여 특히 친환경주택의 기준을 더욱 강화 시키고 있음을 알 수 있다.

건물의 단열기준을 지역별 부위별 개정 년도 별로 나타내면 표1과 같다. 규정에 제시된 단열기준을 보면 외벽, 지붕, 창 뿐 만 아니라 바닥, 창 및 문, 현관문 등 적용 부위가 세분화 되어 있다. 이와 함께 2017년부터는 공동주택과 공동주택 외 건물에 대해서도 기준을 달리 적용하고 있다. 지역에 있어서도 1984년에 2개 권

역에서 1987년에 3개 권역, 2018년에는 4개의 권역으로 나뉘어 세분화 되었다.

표1 년도별 지역별 단열기준

개정년도	지역	열관류율 K (W/m ² ·K)			표시 법규	
		외벽	지붕	창		
1979		1.05	1.05		건축법 시행규칙	
1980		0.58	0.58	3.49		
1984	제주도이외	0.58	0.58	3.49		
	제주도	1.16	1.16	3.49		
1987	중부지역	0.58	0.41	3.37		
	남부지역	0.76	0.52	3.60		
	제주도	1.16	0.76	5.81		
2001	중부지역	0.47	0.29	3.84		건축물의설비기준등에 관한규칙
	남부지역	0.58	0.35	4.19		
	제주도	0.76	0.41	5.23		
2008	중부지역	0.47	0.29	3.00	에너지 절약설계기준	
	남부지역	0.58	0.35	3.30		
	제주도	0.76	0.41	4.20		
2010	중부지역	0.36	0.20	2.10		
	남부지역	0.45	0.24	2.40		
	제주도	0.58	0.29	3.10		
2013	중부지역	0.27	0.18	1.50		
	남부지역	0.34	0.22	1.80		
	제주도	0.44	0.28	2.60		
2017	중부지역	0.26	0.15	1.50		
	남부지역	0.32	0.18	1.80		
	제주도	0.43	0.25	2.40		
2018	중부1지역	0.17	0.15	1.30		
	중부2지역	0.24	0.15	1.50		
	남부지역	0.32	0.18	1.80		
	제주도	0.41	0.25	2.20		

본 연구에서는 대표적으로 외벽에서 외기에 직접 면하는 공동주택의 외벽과 외기에 직접 면하는 지붕, 외기에 직접 면하는 공동주택의 창을 기준으로 표를 정리하였다. 개정년도가 지남에 따라 모든 지역과 모든 부위에서 공통적으로 단열기준이 강화되는 경향을 보이고 있다. 2009년에 제정된 ‘에너지절약형 친환경주택의 건설기준’의 단열기준은 표2에 나타내었다. 표1과 표2의 2010년 기준을 보면 표1의 공동주택 기준과 표2의 친환경 주택의 기준이 다르지만 공동주택의 외벽기준보다 친환경주택의 외벽기준이 중부지역은 16.7%, 남부지역은 17.7%, 제주지역은 5.1%정도 더 강화되어 있음을 알 수 있다. 그리고 친환경주택의 건설기준에서는 친환경 주택에서 에너지 손실을 줄이기 위해 2015년부터 Bay수에 따른 창면적비 기준도 만들어 놓고 있다. 에너지 절약설계 기준은 2008년부터 최근까

지 5회에 걸쳐 개정이 되었고 친환경 주택 기준은 2009년부터 6회에 걸쳐 개정되면서 열관류율값도 친환경 주택에 더 엄격하게 적용시키고 있음을 알 수 있다.

표2 친환경주택의 단열기준

개정년월	지역	열관류율 K (W/m ² ·K)			비고※
		외벽	지붕	창	
2009.10	중부지역	0.36			0.47
	남부지역	0.45			0.58
	제주도	0.58			0.76
2010.10	중부지역	0.30			0.36
	남부지역	0.37			0.45
	제주도	0.55			0.58
2012.11	중부지역	0.25			0.36
	남부지역	0.32			0.45
	제주도	0.50			0.58
2015.3	중부지역	0.21	0.18		0.27
	남부지역	0.28	0.22		0.34
	제주도	0.46	0.28		0.44
2017.12	중부1지역	0.15	0.15	0.90	0.26
	중부2지역	0.17	0.15	1.00	
	남부지역	0.22	0.18	1.20	0.32
	제주도	0.29	0.25	1.60	0.43
2019.7	중부1지역	0.15	0.15	0.90	0.17
	중부2지역	0.17	0.15	0.90	0.24
	남부지역	.022	0.18	1.00	0.32
	제주도	.025	0.25	1.50	0.41

※일반 건축물에 적용되는 단열기준(외벽)

이처럼 단열기준은 적용부위와 지역, 주택의 형태에 따라서도 다르게 적용되고 있고 해가 갈수록 강화된 기준이 적용되고 있다.

제주지역 초등학교의 단열기준 변화에 따른 에너지 사용량을 알아보기 위하여 지역별 단열기준에서 특히 제주의 단열기준에 한정해서 변화 특성을 살펴보았다. 그림3은 제주지역 건물 부위별 단열기준의 변화 비율을 나타낸 그래프이다.

기준이 강화 개정된 해의 제주의 단열기준 변화를 보면 외기에 직접 면하는 외벽의 경우 2001년 기준 강화 시 열관류율값이 처음보다 34% 작아졌고, 지붕은 2001년 강화 시 처음 기준보다 열관류율값이 64% 작아졌다. 창외의 경우(그림4) 1984년에는 열관류율 3.49(W/m²·K)였는데, 오히려 1987년에는 5.814(W/m²·K)로 기준이 완화 되었다. 특히 제주지역 기준이 다른 지역에 비해 많이 완화되었음을 알 수 있다. 1987년 이후 부터는 열관류율 기준이 지속적으로 강화되었고 현재는 창의 열관류율이 2.20(W/m²·K) 이다.

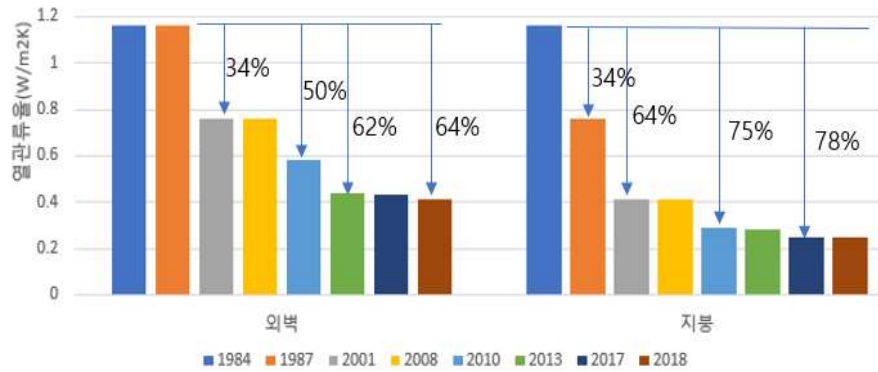


그림3 제주지역 주요벽체 단열기준 변화

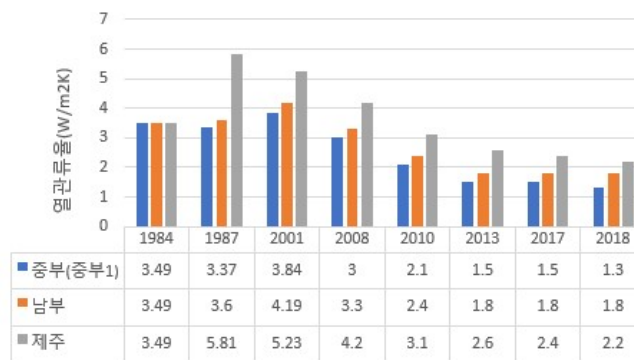


그림4 지역별 창 단열기준 변화

2. 그린리모델링 개요

리모델링이란 건축법 제2조 제1항 제10호에 건축물의 노후화를 억제하거나 기능 향상 등을 위하여 대수선하거나 건축물의 일부를 증축 또는 개축하는 행위를 말한다. 즉 건축물 또는 외부 공간의 성능 및 기능의 노후화나 진부화에 대응하여 개수, 보수, 수선, 증축, 기능추가 등의 행위를 통하여 건축물 및 외부공간의 성능을 향상시킴으로써 건축물의 성능을 유지시킴과 동시에 환경을 보전하고 자원 낭비를 줄여 지속 가능한 건축물을 구축할 수 있도록 하는 건축 활동이다. 개별 건축물의 성능향상과 더불어 단지나 도시적 차원의 환경개선까지 확장될 수 있는 개념이다.

리모델링의 구성요소 및 개념을 정리해 보면 우선 보수란 저하된 기능을 신축 당시의 수준까지 회복시키는 활동으로 수리라고도 한다. 개수(Renovation)란 새

로운 기능을 부가하여 신축시 보다 건축물의 기능을 향상시키는 활동으로 증축, 개축, 대수선에 해당한다. 리폼(Reform)은 부분 보수에서부터 전체적인 대수선에 이르기까지의 고치거나 수선하는 행위를 통칭한다. 리모델링(Remodeling)은 유형적 변화를 가진 개·보수의 형태를 말하나 범용 개·보수의 의미로 많이 사용하고 있다.

특히 그린리모델링이란 녹색건축물조성지원법 제27조 그린리모델링 지원 사업 운영 등에 관한 고시에 따르면 에너지 성능 향상 및 효율 개선 등을 통하여 기존 건축물을 녹색건축물로 전환하는 활동을 말한다. 그린리모델링은 오래되거나 에너지 소비량이 많은 건물의 리모델링을 통해 건축물의 에너지소비량을 절감하여 온실가스 배출을 줄임으로써 환경친화적인 건축물로 만드는 것을 말하며, 이 제는 단순 리모델링이 아니라 기존 건축물 내에서의 생활환경을 개선하고 냉·난방 비용을 절감하며 기후변화의 주원인인 온실가스를 감축하고 아울러 건축물의 가치 향상을 통해 기존건축물의 성능과 국민의 삶의 질을 향상시키기 위한 건축 활동이다.

교육부에서는 한국판 뉴딜의 10대 대표과제 중에서 디지털과 그린의 융·복합으로 공공건축물의 그린화를 넘어 물리적, 기능적으로 노후화된 학교시설을 미래사 회에 적합한 미래학교로의 전환을 유도하기 위해 그린스마트스쿨 조성 과제를 추진하고 있다. 그린스마트스쿨은 학생들이 보다 안전하고 쾌적한 녹색환경 속에서 코로나19 등 다양한 사회적 문제와 현상 내에서도 보편적으로 학습을 수행하 고 성취하기 위한 온오프 융합 학습 공간 구현을 목표로 하고 있다. 2019년부터 학교시설, 학교공간을 변화시키기 위한 ‘학교공간혁신’ 사업과 ‘그린스쿨’사업을 기반으로 뉴딜사업의 디지털 및 그린 방향을 가미한 형태로 추진되고 있다.

표 3 국토교통부 공공건물 그린리모델링 사업 적용 기술요소(2021년 국토교통부 보고서)

구분	그린리모델링 요소 기술	
필수요소	패시브 기술	벽체 외단열, 지붕(외단열), 바닥난방, 고성능 창호
	액티브 기술	폐열회수형 환기장치, 고효율 냉난방장치, 고효율 보일러(콘덴싱), 조명(LED)
	신재생	신재생에너지(태양광, 지열)
	에너지 관리	건물에너지관리 시스템(BEMS) 또는 전자식 원격 검침기
선택	석면제거, 차열도료(cool roof), 일사조절장치, 스마트 에어샤워, 순간온수기, 대기전력 차단장치 등	

또한 정부에서는 2050 탄소중립 달성을 위해 건물부문의 온실가스 배출 저감을 위해 신축건물의 제로에너지빌딩 의무화, 기존 건물의 그린리모델링을 주요 정책으로 제시하고 있다. 전국 195개 지자체의 공공건축물 834개동에 대해 그린리모델링을 실시하였으며, 매해 비슷한 규모로 그린리모델링 사업을 추진하고 있다. 그러나 국내 건축면적의 94%를 차지하는 민간 건축물의 그린리모델링이 가장 중요하다. 절대다수를 차지하는 기존 노후 건축물의 그린리모델링은 건물부문의 감축 목표 달성에 절대적인 영향력을 미치고 있다. 정부가 현재 추진하고 있는 공공건축물 그린리모델링 사업은 국내 건설시장에서 그린리모델링을 촉발, 확산시키는 마중물 역할을 하고 있다.



그림5 그린리모델링 적용 기술요소(2021년 국토교통부 보고서)

공공건축물 그린리모델링 대상으로 우선적으로 취약계층이 이용하는 국공립 어린이집, 보건소, 소규모 의료시설 등을 선정했다. 정부는 그린리모델링을 통해 에너지 절감 30% 이상 달성, 미세먼지 저감률 75%이상 달성을 목표로 하고 있다. 그린리모델링 필수 공사로 고효율 창호교체, 외벽단열 보강, 열회수환기장치 설치, 고효율 냉난방장치 교체, LED조명 교체, PV 또는 지열시스템 등의 신재생에너지 설치 그리고 BEMS 등의 관리시스템 설치가 있다. 그리고 선택적 병행 공사로 석면 제거, 지붕 차열도료, 대기전력 차단 콘센트, 온수기, 스마트 에어컨, 일사조절 장치 등이 제시되고 있다. 이들 항목을 모두 수행하는 것은 아니며 지원금액과 가능한 범위 내에서 공사 항목이 결정되고 있다.

위와 같은 기술요소들을 적용시키고 나면 건물에 대한 에너지 절감 효과 실내공

기질 개선 효과를 평가한다. 정부는 2021년 공공건축물 그린리모델링 지원 사업을 통해 총 5,300톤의 온실가스 저감 효과를 도출하였다고 발표하였다. 그 효과는 30년된 소나무 65만 그루가 흡수하는 이산화탄소량에 상응하는 효과라고 한다.

정부는 공공건축물 그린리모델링 대상을 더욱 확대하여 국내에서 그린리모델링 시장의 확산 기반을 마련하고 2025년부터는 공공건축물에 대해서는 그린리모델링 의무화를 시행할 계획이다. 그러나 건물부문의 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 공공건축물의 그린리모델링만으로는 역부족이며 우리나라 건물 전체 연면적의 약 94%를 차지하는 민간건축물의 그린리모델링이 필수적으로 동반되어야 한다.

3. 그린리모델링 사례 분석

이번 연구에서는 초등학교의 그린리모델링시 최우선적으로 적용해야 할 기술요소가 무엇인지를 제안해 보려고 한다. 현재 학교에서는 그린스마트스쿨 사업이 시작되었다. 그린스마트스쿨 사업은 교육과정과 연계하는 유연하고 다양한 공간을 위한 공간혁신 사업과 교수학습 혁신을 위한 스마트 학습 환경을 만드는 스마트 교실사업, 탄소중립 실현과 환경생태교육의 체험장으로서의 학교를 만드는 그린스쿨 사업 그리고 학교와 지역사회를 연결하는 교육의 거점으로 학교를 만드는 학교 복합화 사업이 모두 합쳐진 사업이다. 그린스마트스쿨 조성시 그린리모델링도 함께 포함되어 진행되어야 할 것이다.

그린스마트스쿨 사업은 학교의 에너지 절감만이 목적이 아닌 생태학교, 자연친화형 학교, 친환경 내외장재를 사용하여 공사한 학교, 건강하고 안전한 학교, 학생 및 교직원 편의시설, 교과교실제 운영이 가능한 학교를 목표로 진행된 사업이다. 그래서 학교에 적용된 그린리모델링만 적용된 사례가 많지 않고, 리모델링 적용 후 에너지성능이 어느 정도 개선되었는지에 관한 논문이나 자료가 많지 않다. 하지만 그린리모델링 요소가 학교와 일반 공공건축물이 다르지 않기 때문에 학교

건물과 일반 공공건축물에 적용된 그린리모델링의 사례를 찾아서 어떤 요소가 효과가 좋은지 실제 학교에 적용 가능성이 있는지 알아보려고 한다.

최근 그린리모델링은 공공건축물 중에서도 취약계층이 주로 사용하는 어린이집, 보건소, 요양원 같은 소규모 의료시설에 적용되고 있다. 가장먼저 국토교통부가 추진한 시그니처 사업 중 하나인 ‘세종 쌍류보건진료소’의 사례이다(출처-대한민국 정책브리핑 www.korea.kr). 세종시 연서면 쌍류리에 자리잡은 쌍류보건진료소는 2002년에 준공된 후 시설 노후화로 에너지성능 저하와 실내 환경 악화에 대한 우려가 많았다. 표4와 같이 그린리모델링을 추진하였는데, 외단열 보강을 하고 일반 복층유리에서 28mm 로이 복층유리로 고성능 창호를 사용하였다. 냉방장치도 고효율 EHP를 사용하고 조명도 LED조명으로 교체하였다. 환기장치도 없었는데 새로 설치하고, 태양광 발전기를 설치하여 에너지 생산까지 하게 하였다. 그린리모델링 후 건축물 1차 에너지를 기준으로 시뮬레이션해 본 결과, 그린리모델링 이전에 비해 약 70%(355.4→117.4kWh/m²y)의 에너지 소요량을 절감하는 것으로 나타났다. 또한 폐열회수 환기장치 설치로 환기에너지와 실내 미세먼지도 줄인 효과도 보았다.

표4 국토부 그린리모델링 시그니처 사업 1호. 세종 쌍류보건소 현황(국토부)

구분		그린리모델링 전	그린리모델링 후
적용 기술	외벽·지붕	외단열	외단열+외단열 보강
	외부창	16mm 일반 복층유리	28mm 로이 복층유리
	냉방장치	EHP	고효율 EHP
	조명	형광등	LED 100% 교체
	환기·신재생	없음	폐열회수장치, 태양광

다음은 그린리모델링 전라 남부권 지역거점 플랫폼에서 진행한 전라권 그린리모델링 사업 사례에서 ECO2-OD라는 건축물에너지 성능분석 프로그램으로 건물의 1차 에너지 소요량을 계산하여 그린리모델링이 어느 정도의 에너지 절감 효과가 있는지 검증하였다. (황태연외1인. (2022). 그린리모델링 사례. 설비저널, 51(10), 38-43.)

전라권 그린리모델링 2020년 대표 사업대상지 총 146개소에 대한 건물에너지 절감효과를 분석한 결과 표5와 같이 나타났다. 표와 같이 그린리모델링을 하면 건

표 5 전라권 그린리모델링 대상지 에너지 성능분석 결과(설비저널2022)

	평균 에너지 요구량 (kWh/m ² ·y)		평균 에너지 소요량 (kWh/m ² ·y)		평균 1차 에너지 소요량 (kWh/m ² ·y)	
	공사전	공사후	공사전	공사후	공사전	공사후
에너지 양	107.8	77.4	98.3	68.4	217.9	146.4
절감률	26.0%		28.3%		29.4%	

물에너지 성능개선이 가능함을 사례로써 확인할 수 있었다.

다음 사례(방아영외4인, (2015). 기존 학교 건물의 외피 성능 개선 방안에 관한 연구. KIEAE Journal, 15(4), 69-76.)는 노후된 중학교의 외피 성능을 개선하고 에너지 성능평가를 실시하여 그린리모델링 요소를 적용했을 때 어느 정도 에너지를 절감 할 수 있는지 확인해 보는 사례이다. 연구 내용을 살펴보면 각 실에서 사용하는 기기장비에 의한 전력 사용량이 전체 에너지 소요량 중 37%로 가장 많고, 냉방에너지 소요량은 24%, 난방에너지 소요량은 24%, 조명에너지는 15%로 분석되었다. 대상 건물의 에너지 사용량 중 냉난방 에너지 사용비율이 절반가량이고, 창호는 3mm단창으로 이루어져 있어 외피에서 창이 차지하는 면적이 큰 만큼 에너지 절감을 위해서 고효율 창호의 적용이 필요하다고 판단하고 있었다. 창호 성능은 SHGC, VLT, U-value 등을 각각 다르게 설계하여 적절한 대상 건물에 가장 효과적인 창호의 물성치를 도출하고자 하였다.

또한 교실의 외벽 창호는 남향에 위치하여 동절기에는 난방부하 절감에 유리하지만 하절기에는 과도한 일사유입으로 인해 실내가 과열되는 문제가 발생하여 냉방부하를 크게 하는 효과가 생겼다. 이를 해결하기 위해 외부 블라인드나 차양을 적용해야 한다. 외벽단열 성능을 2배정도 강화시켰을 때 전체 에너지의 8% 정도 감소하였고, 창호의 경우 SHGC값이 낮아질수록 일사획득량이 줄어들기 때문에 냉방부하는 감소되었지만 난방부하는 증가되었다. 적절한 SHGC 값을 찾아 적용하고 로이유리와 아르곤가스를 충전 하여 단열성능을 강화하였을 경우 21%의 냉난방에너지를 절감하게 된다는 결과를 얻었다. 또한 외부 블라인드 적용 시 연간 약 9%의 에너지가 절감된다고 시뮬레이션 되었다. 이처럼 단열강화, 창호 변경, 외부블라인드를 적용했을 경우 연간 약 31%의 냉난방 에너지 절감이 가능하다고 시뮬레이션 되었음을 알 수 있었다.

그린리모델링의 효과는 기술수준과 시공수준, 지역의 기후조건에 따라 차이가 날 수 있기 때문에 지역별, 용도별 그린리모델링 수행효과를 제시하고 우리나라 상황에 맞는 그린리모델링이 추진되어야 하겠다. 특히 제주도의 경우 육지부에 비해 겨울이 따뜻한 편이고 여름은 덥고 습하기 때문에 난방부하보다 냉방부하가 크다는 점이 특징이다. 타지역과 다른 상황을 고려하여 제주도 학교에서 적용가능한 최적의 그린리모델링 요소를 찾아보고자 한다.

Ⅲ. 초등학교 현황 및 건축특성 분석

1. 제주시 지역 초등학교 개교현황 및 리모델링 현황

제주시에는 국립 1개교와 공립 67개교, 분교 6개교를 포함하여 총 74개교가 있다. 서귀포시에는 공립초등학교 45개교와 분교 1개교의 총 46개교가 있어 제주도 전체적으로 120개교가 있다. 제주특별자치도교육청에서 발간되는 제주교육 통계

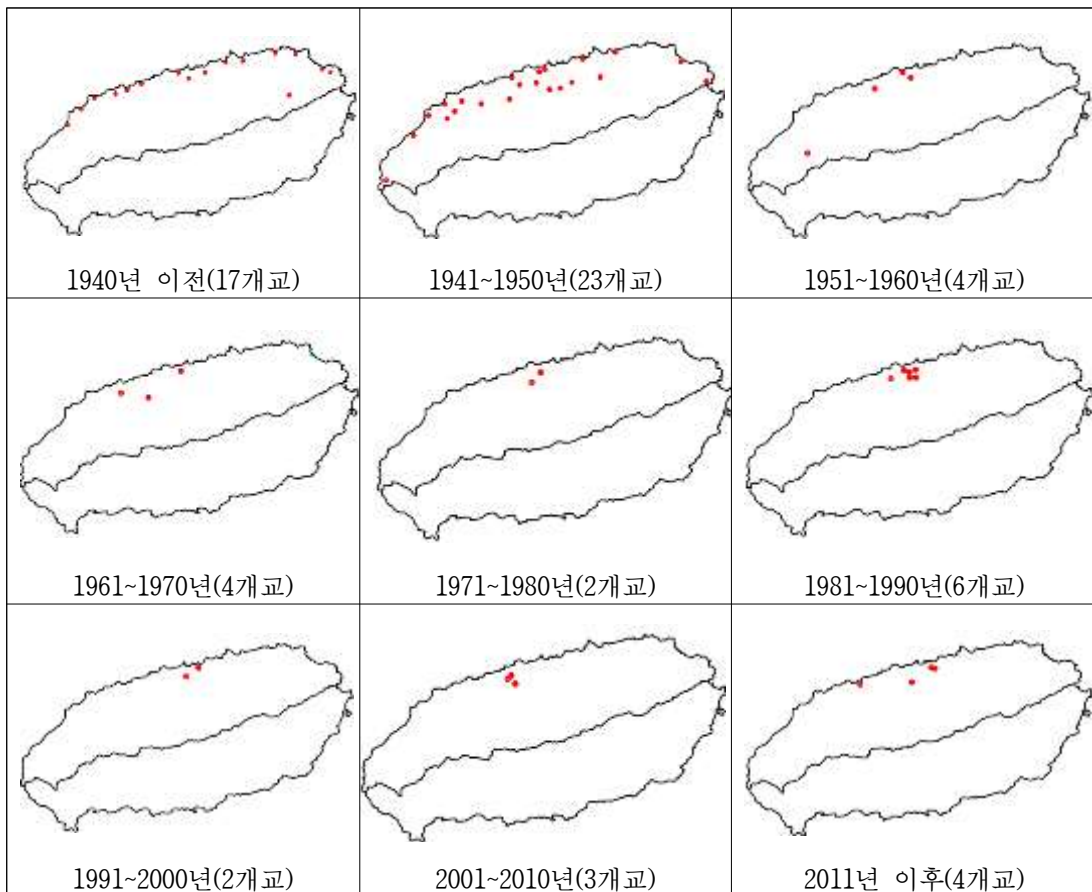


그림6 년대별 제주시 초등학교 개교 분포 현황

연보에 따르면 초등학교는 1907년 현재 제주북초의 전신인 제주공립보통학교가 개교한 후 일제 강점기 동안 배움과 교육의 필요성을 절감한 도민들의 노력으로 보통학교가 개교하기 시작하였다. 일제는 주민들이 돈을 모아 건물을 짓게 하고

허가도 쉽게 내주지 않았기 때문에 개교한 학교 수가 많지 않았다. 1907년 제주 공립보통학교가 개교한 이후 추가 개교한 학교가 없다가 1921년부터 1930년까지 하도초, 조천초, 구엄초, 김녕초, 애월초, 한림초, 구좌중앙초, 화북초까지 8개의 초등학교가 개교하였다.

이후 1931년부터 1940년까지 추가로 8개교가 더 개교하였는데, 이때까지는 주로 해안가 마을에 개교하는 경향을 보였다. 1941년~1950년에는 총 23개의 초등학교가 개교하였다. 일제 강점기를 지나 광복되면서 일제에 의해 보통학교 개교가 억압되었던 것이 광복으로 인해 해제되면서 제주시 지역 초등학교 수의 33%인 23개교가 이 시기에 개교하게 되었다. 1951~1960년에는 4개의 학교가 개교하였고, 1961~1970년에도 4개 학교, 1971~1980년에는 제주중앙초와 신제주초 2개교가 개교하였다. 1975년에는 건축법에서 건축물에 있어서의 열손실 방지 조항이 새로 생기고 1979년 단열재 두께 규정이 처음 등장하였다. 1981~1990년에는 6개교가 개교하였으며, 이 시기인 1984년에 건축법시행규칙에서 처음으로 제주와 제주외 지역으로 단열기준이 구분되었고, 1987년에는 전국을 3개 권역으로 나눠 단열기준을 강화한 시기이다. 1991~2000년에는 2개교가 개교하였다. 2001~2010년에는 3개교가 개교하였고, 이 시기에 단열기준이 상대적으로 크게 강화되었다. 2011년~2020년까지는 총 4개의 학교가 개교하였고 2015년 이후에는 초등학교 개교가 없었다. 이는 최근 학령인구 감소의 영향으로 판단된다.

표 6 제주시 지역별 초등학교 현황((괄호)안은 분교 수)

지역	학교수	학급수	학생수	교원수	직원수
26개 동지역	34	968	25,252	1,499	166
구좌읍	8(1)	55	643	96	28
애월읍	11	114	2,340	185	42
우도면	1	7	50	10	-
조천읍	5(3)	79	1,397	118	23
추자면	1(1)	8	51	13	4
한경면	3	19	309	32	5
한림읍	5(1)	24	1,045	91	17
계	68(6)	1,304	31,087	2,044	285

이중 제주시에 위치한 68개교에 대해 분포 현황을 분석해보았다. 제주시 지역의 68개 초등학교 중 동지역에는 50%인 총 34개교가 분포되어 있고, 구좌읍 8개, 애월읍 11개, 우도면 1개, 조천읍 5개, 추자면 1개, 한경면 3개, 한림읍에 5개의

학교가 분포되어 있다. 학교수는 50%가 제주시 동지역에 위치해 있지만 재학생은 전체의 81%가 동지역에 몰려있어 도시 지역에 학생수가 많고 읍면지역보다 과밀함을 알 수 있다(표6).

다음은 제주시 초등학교의 리모델링 현황을 살펴보았다. 우리나라의 학교시설 중 2020년 기준 40년 이상 경과된 학교 건물은 전체 학교 수의 약 20%인 7,980동 규모이고, 연면적은 1,633만㎡로 확인 되었다. 하지만 10년 후인 2030년에는 14,286동 규모, 연면적 3,021만㎡ 수준으로 2배가량 늘면서 시설 노후화가 빠르게 진행되어 시설 개선이 필수적인 상황이다.(표7 참조)

표 7 전국 학교시설의 노후화 현황 및 예측
(2021 KEDI 교육시설 포럼 ‘뉴노멀 시대의 그린스마트 미래학교가 나아갈 방향’)

년도	40년이상 경과된 학교시설		건물 수 비율(%)
	건물 수(동)	연면적(㎡)	
2020	7,980	1,633만	20
2025	11,294	2,430만	28
2030	14,286	3,021만	36
2040	18,608	3,907만	47
2045	23,582	4,962만	59
2050	29,707	6,658만	74

제주도 학교시설도 마찬가지이다. 그중 이번 연구에서 분석하는 제주시 지역 초등학교의 현황은 표8과 같다. 전체 65개중 40년이상 경과된 학교시설은 51개동 78%에 해당한다. 제주시 초등학교가 특히 노후화가 많이 진행 되었다고 할 수 있다.

표 8 제주시 초등학교의 노후화 현황

년도	40년이상 경과된 학교시설		건물 수 비율(%)
	건물 수(동)	연면적(㎡)	
2022	51동/65동	273,486	78

이렇게 오래된 학교시설이 많기 때문에 정도의 차이는 있으나 전체의 초등학교가 리모델링을 실시한 것으로 나타났다. 특히 공동으로 사용하는 공간인 특별교실, 다목적 공동교실 특히 컴퓨터실, 도서관, 과학실, 급식실, 화장실, 외부공간 등을 중심으로 리모델링이 되고 있는 것으로 확인되었다.

리모델링 관련 내용은 제주시 교육지원청에서 출판된 ‘2021년 학교시설 배치도’에서 확인된 내용을 바탕으로 분석하였다. 이 자료는 제주시 소재 학교시설의 배

치도를 모아놓은 자료로써 모든 수리와 리모델링 내역이 들어가 있지는 않다. 담당 주무관이 바뀌면서 단순 수리를 대수선으로 표현하기도 하고 누락된 내역도 많다. 하지만 40년이상 경과한 학교가 78%에 이르는 등 오래된 시설이 많고, 디지털 도면도 남아있지 않은 상황에서 최근어야 디지털화 시키고 있기 때문에 이 자료에 나타난 내역만을 가지고 현황을 분석하였다.

‘2021년 학교시설 배치도’에 나타난 제주도 소재 초등학교의 리모델링 횟수를 살

표 9 지역별 초등학교 리모델링 횟수 현황

	2000년이전 수리횟수	2001~2010년 수리횟수	2011~2020년 수리횟수	2021년이후 수리횟수	전체기간
동지역평균	4.06	2.9	2.57	0.15	9.7회
애월읍평균	6.63	2	2.54	0.09	11.3회
구좌읍평균	2.75	1.125	2.75	0	6.6회
조천읍평균	3.4	2.2	3.8	0	9.4회
한경면평균	0	0.5	2	0.5	3회
한림읍평균	8.2	1.8	3.2	0.4	13.6회
전체평균	4.48	2.31	2.71	0.14	9.5회

펴보면 표9와 같다. 배치도에는 리모델링이 진행된 년도가 기재되어 있지만 정확한 부위나 어떤 내용의 리모델링이였는지 알 수는 없었다. 또한 담당 주무관들이 변경되면서 표기법이나 사용하는 단어도 달라 자료에 통일성이 없었다. 그래서 내역의 많고 적음은 생각하지 않고 리모델링한 년도를 세어서 횟수로 평균을 구해보았다(표9참고). 분석 결과 동지역은 9.7회이고 가장 많이 수리한 지역은 한림읍으로 13.6회였다. 평균 수리 횟수는 9.5회이고 한경면은 신창초의 자료가 없어 총3개 학교 중 2개 학교의 횟수만을 사용했기 때문에 정확한 자료는 아님을 밝혀둔다. 한경면과 구좌읍은 평균에 못 미치는 수리 횟수를 나타내고 있어 현재도 다른 지역보다 더 열악한 환경일 것으로 생각된다.

또한 시기별 수리횟수도 살펴보았다. 2000년 이전 수리횟수 평균은 4.48회이고 2001년에서 2010년 사이 수리 횟수는 2.31회, 2011년에서 2020년 사이 수리횟수는 2.71회이다. 2000년 이전은 거의 40년~50년의 긴 시간동안 수리가 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 최근에는 학교별로 평균 3회 정도의 수리가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

다음은 개교 년도별 초등학교를 나열하고 각 초등학교의 수리 횟수를 확인해 보

왔다(그림7 참고). 개교한 학교는 1940년에서 1950년 사이에 23개교로 가장 많았고 수리 횟수는 1951년~1960년 개교한 학교가 14.5회로 가장 많다고 확인되었다. 개교년도 40년이 경과한 노후 초등학교는 평균 10.3회 수리 하였고 1982년 이후 개교한 학교는 수리 횟수가 평균 6.6회였다. 개교한지 오래된 학교일수록 수리 횟수가 많고 최근 신축한 학교일수록 수리 횟수가 줄어들고 있음도 그래프의 경향성으로 알 수 있었다.

2. 건물 규모 및 공간구성 특성

1) 제주시 초등학교의 규모

제주시 소재 초등학교의 규모를 알아보기 위해 학급수와, 교지면적, 건물의 연면적 및 학생 수 등을 비교해 보았다.

표 10 학교 규모 분류 기준(학급수)

구분	소규모학교		적정규모	대규모	초대규모
	극소규모	소규모			
학급수	6학급	12학급	30학급	48학급	48학급이상
학생수	150명 이하	~300명 이하	~750명 이하	~1200명 이하	1201명 이상

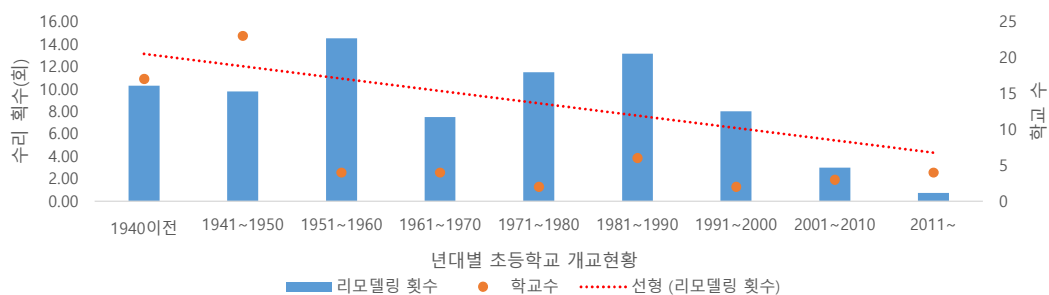


그림 7 초등학교 개교년도에 따른 리모델링 횟수
 먼저 (윤용기, 적정규모 학교 정책 수립을 위한 초등학교 재학생수 기초 조사 연구, 녹색교육환경연구, 2018.4)를 참고하여 제주시 초등학교를 학급수로 분류해 보았다. 학급당 학생수를 25명으로 기준하여 학급수로 바꿔보면 표10과 같다. 표10의 내용을 기준으로 제주시 초등학교의 학급수 현황을 분석하여 표11에 나

표 11 제주도 초등학교 학급수 현황

학급수	학교수	비율(%)	규모분류	비율(%)
6학급 이하	17	26	소규모	46
6초과~12이하	13	20		
12초과~18이하	8	12	적정규모	32
18초과~24이하	7	11		
24초과~30이하	6	9		
30초과~36이하	4	6	대규모	17
36초과~42이하	5	8		
42초과~48이하	2	3	초대규모	5
48초과~	3	5		
합계	65	100		100

타내었다. 제주시에는 12학급이내의 소규모 학교가 30개로 전체의 46%에 달하고 있고, 적정규모인 12학급 초과 30학급 이하 학교는 21개교 32%이며, 30학급초과 48학급 이하의 대규모 학교는 11개교 17%이다. 그리고 48학급 이상의 초대규모 학교는 3개 학교로 5%에 해당하고 있다.

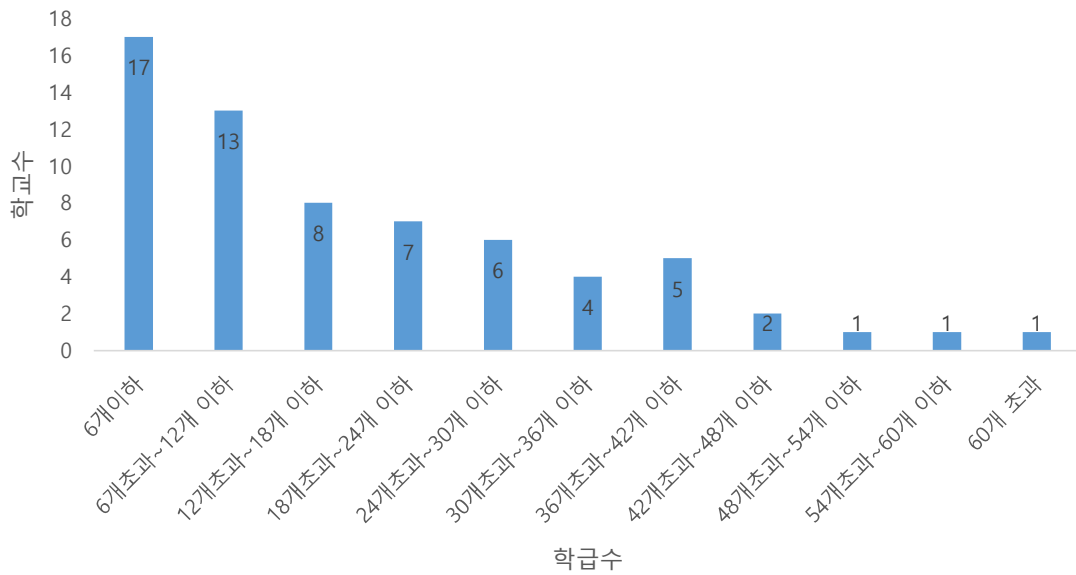


그림 8 학급수에 따른 학교수 현황

두 번째로 초등학교의 교지면적과 건물의 연면적을 살펴보았다. 건물 연면적이 큰 학교를 순서대로 7개 학교를 나열해 보았다(표12).

제주시내 초등학교 중 재학생수가 가장 많은 학교인 한라초는 2000년대 신제주 택지개발 지역에 위치한 초등학교로 주변 대단지 아파트들이 위치해 있어 학생수가 많다. 교사가 지하1층 지상4층 건물로 학교 건물이 중정형, 병렬형으로 배치되어 있어 최대한 많은 공간을 이용할 수 있도록 평면이 구성되어 있다. [고

등학교 이하 각급 학교 설립 운영 규정]을 보면 교사의 학생수별 기준면적이 표시되어 있는데 이는 최소면적 기준이다. 이 기준으로 한라초 면적을 계산해보면 7,143㎡이다. 하지만 한라초의 교사 연면적은 18,194㎡로 기준면적의 2.5배이다.

표 12 연면적에 따른 재학생 수

학교명	연면적(㎡)	재학생 수(명)	교사의 기준면적 (고등학교 이하 각급 학교 설립 운영 규정 [별표1])			
			학교	학생수별 기준면적(단위:㎡)		
한라초등학교	18,194	1,821	초등학교·공 민학교 및 이에 준하는 각종학교	240명이 하	241명이상 960명이하	961명이상
아라초등학교	15,479	1,758		7N	720+4N	1,680+3N
도련초등학교	13,212	1,105		1,680㎡ 이하	4,560㎡이하	4,560㎡초과
이도초등학교	12,714	1,228				
백록초등학교	12,497	971				
외도초등학교	12,438	1,494				
동화초등학교	12,435	501				
신광초등학교	12,119	834				
노형초등학교	11,634	1,053				
삼성초등학교	10,915	806				

교사면적 규정은 1997년 제정되었고, 기준면적 규정은 제정된 이후로 한번도 개정된 적이 없다. 규정이 제정되고 25년 이상이 지난 상황이기 때문에 현재의 교육과정상 수준별 교육을 위해 다양한 활동이 가능한 공간과 무학년제 시행을 위해 필요한 공간이 많기 때문에 기준이 이를 만족시키지 못하고 있음을 알 수 있다.

두 번째로 연면적이 큰 아라초는 한라초와 학생수가 비슷하고 아라택지지구 개발로 주변 거주자들이 모이기 시작하여 최근 학생수가 많이 늘어난 경우이다. 이 학교는 개교한지 오래된 학교이기 때문에 학생수 증가로 거듭된 증축을 하고 있는 실정이다. 현재 6개의 동이 최대 지상5층 까지 증축되어 사용되고 있다. 다음으로 도련초, 이도초 순으로 연면적이 크다. 이들 학교는 2010년 이후 개교한 신축 건물들이다. 주변에 새로 조성된 택지지구에 위치해 있어 학생들이 늘어날 가능성이 크고, 최근 지어지는 학교여서 교육과정상 필요한 공간들이 많기 때문에 예전 학교들보다 연면적이 크게 설계되었다. 외도초는 제주시내 서부지역에 위치한 주거단지에 있는 학교로 많은 사람들이 거주하고 있는 지역에 위치해 있고, 인화초는 제주시내 동부지역에 위치한 전통적 주거단지에 위치해 있다. 이처럼 연면적이 큰 학교들을 살펴보면 택지개발로 인해 주변에 사람들이 많이 모여 학생수가 증가해 많은 공간이 필요하게 되어 증축을 통해 연면적이 증가한 경우라고 보여 진다.

다음으로 제주시 소재 초등학교의 교지면적을 살펴보면 함덕초, 한림초, 재릉초, 신창초의 순으로 교지면적이 큰 것을 알 수 있다. 함덕초는 조천읍에서 가장 번화한 지역에 위치한 초등학교이고, 한림초도 한림읍에서 가장 중심가에 위치한 학교이다. 교지면적이 큰 학교들의 특징을 보면 읍면지역에 위치해 있어 동지역보다는 적은 비용으로 충분한 면적의 학교 교지를 마련할 수 있었고, 읍면 지역 내에서도 사람들이 가장 많이 거주하는 곳에 위치한 초등학교임을 알 수 있다.

표 13 교지면적 분포 및 교지면적 상위 학교 현황

교지면적(m ²)	학교수	학교명	교지면적(m ²)	재학생 수(명)
30,000초과	2	함덕초등학교	34,716	436
25,000초과 30,000이하	1	한림초등학교	30,880	466
20,000초과 25,000이하	5	재릉초등학교	27,552	232
15,000초과 20,000이하	21	신창초등학교	24,414	108
10,000초과 15,000이하	33	애월초등학교	21,498	154
10,000이하	3	월랑초등학교	21,306	729
합계	65	하도초등학교	20,866	68

전체 제주시내 초등학교의 교지면적에 따른 학교수를 조사(표13)해 보면 교지면적이 10,000m² 이하인 학교는 3개교로 구좌중앙초, 북촌초, 제주남초이다. 10,000m² 초과 15,000m² 이하는 33개교, 15,000m² 초과 20,000m² 이하는 21개교로, 10,000m² 초과 20,000m² 이하 학교는 총 54개로 전체 65개 학교 중 83%를 차지하고 있다. 20,000m² 초과 학교는 8개교이고 그 중 30,000m² 초과 학교가 함덕초, 한림초이다.

인당 교지면적과 인당 연면적은 학생 한명당 어느 정도의 공간을 차지하고 있는지 알 수 있는 값이므로 그림9처럼 그래프로 나타내어 보았다. 읍면지역에 위치한 초등학교들이 인당 교지면적이 큰 곳이 많은데 인당교지면적이 많은 학교는 하도초, 송당초, 신창초, 귀덕초, 어도초, 평대초, 종달초, 한동초 순으로 읍면지역이면서 학생수가 적은 학교였다.

인당 연면적이 큰 학교 역시 읍면지역 학교인데 구좌중앙초, 송당초, 귀덕초, 고산초, 평대초, 제주남초, 한동초 순이었다. 여기서 제주남초를 제외하면 모두 읍면지역에 위치한 학교이다. 그래프에서 오른쪽으로 갈수록 개교연도가 최근인 학

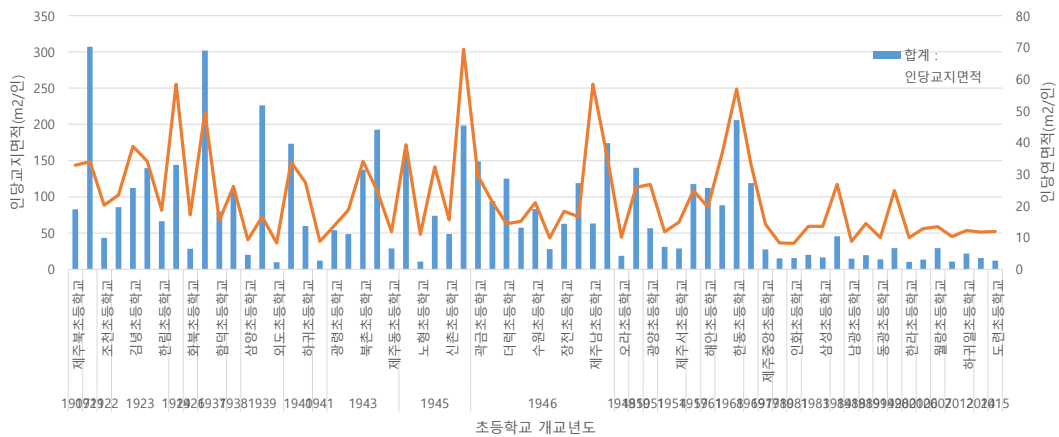


그림 9 인당 교지면적과 인당 연면적 그래프

교인데 이 학교들의 경우 인당 교지면적이나 인당 연면적이 모두 작은 것을 볼 수 있다. 이는 최근 개교한 학교가 전부 제주시 동지역에 위치하였고 학생수가 많은 지역이기 때문이다. 도심지역에 개교하였기 때문에 교지 면적이 여유롭지 못하고 재학생수가 많아 인당 교지면적과 연면적이 작다는 것을 알 수 있다. 그래프 중간 중간에 인당 교지면적과 연면적이 작은 학교로는 한림초, 화북초, 함덕초, 삼양초, 외도초, 아라초, 노형초, 영평초, 오라초, 도평초, 서초, 중앙초, 신제주초 등 대부분 제주시 동지역에 위치했으면서 학생수가 많은 학교임을 알 수 있다.

인당 교지면적이 가장 큰 학교는 하도초등학교이고, 가장 작은 초등학교는 외도초, 한라초로 하도초등학교는 인당 307m²이고 외도초와 한라초는 인당 10m²로 30배 이상의 차이를 보였다. 인당교지면적의 전체 평균은 79.4m²이고 전체의 58.4%인 38개교가 평균보다 작은 인당교지면적을 갖고 있다.

인당 건물연면적이 가장 큰 학교는 인당 69m²를 갖는 평대초등학교이고 가장 작은 학교는 인화초, 외도초, 신제주초로 인당 8m²를 갖고 있어. 약 8배 이상 차이가 나고 있음을 알 수 있다. 인당 건물연면적의 전체 평균은 22.6m² 이고, 전체의 60%인 39개교가 평균보다 작은 인당 연면적을 갖고 있다.

초등학교 재학생수 범위에 따른 학교수 현황을 살펴보면(그림10) 이번 조사 대상인 제주시 소재 초등학교 65개교에서 재학생수가 100명 미만인 학교가 13개교로 전체의 20%에 달하고 있다. 그리고 300명 미만의 학교들은 총 35개교로 53.9%로 반이상의 학교가 소규모 학교임을 알 수 있다. 전체 학교의 재학생수 평균은 467

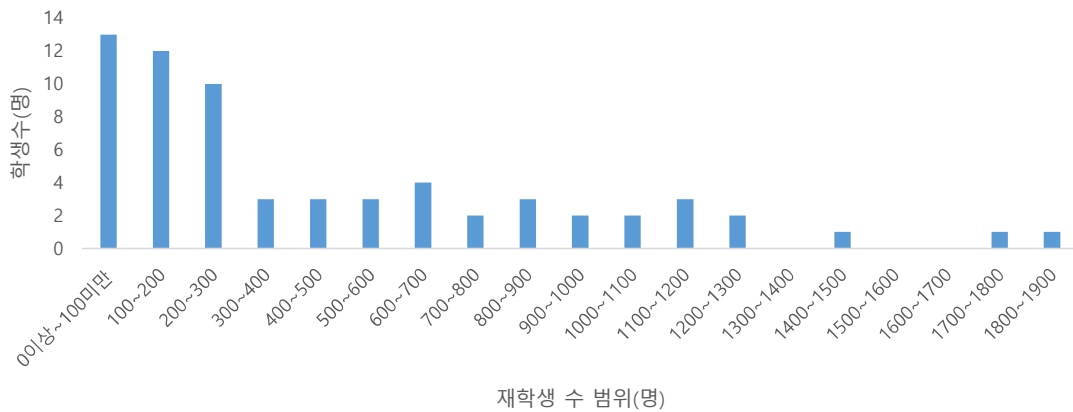


그림 10 재학생 수에 따른 학교수 현황

명이고, 41개의 학교가 평균보다 작은 재학생수를 갖고 있다. 비율로 따지면 63%에 해당한다. 그리고 그림 10에서 알 수 있듯이 1700명 이상의 초대규모 학교가 2개교로 전체의 3%를 차지하고 있다. 제주시에선 전체적으로 소규모 학교가 많음을 알 수 있다.

표 14 제주도 전체 초등학교 현황

지역	학급수	학생수	교실수	평균 교지면적(m ²)	평균 건물연면적(m ²)
동지역평균	28.8	752.2	34.5	15,055.7	9,302.1
구좌읍평균	6.1	72.6	10.3	13,220.9	3,151.6
애월읍평균	10.4	212.7	13.4	15,665.6	4,273.6
조천읍평균	13.0	250.0	17.0	15,840.6	4,517.4
한경면 평균	6.3	103.0	10.0	18,171.3	2,728.0
한림읍평균	10.8	209.0	16.6	19,679.2	4,252.0
전체평균	19.2	466.9	24.1	15,492.0	6,634.0

표14는 읍면지역과 동지역을 한꺼번에 현황 정리한 표이다. 표14를 보면 동지역은 평균 학급수가 28.8개이고, 최저 학급수인 지역은 6.1개로 구좌읍 지역임을 알 수 있었다. 전체 지역 평균은 19.2개이다. 최저학급수와 최고학급는 4.7배의 차이가 나고 있다. 학생수는 동지역 평균이 752.2명이고 가장 작은 지역은 구좌읍 지역으로 72.6명으로 10.3배의 차이가 나고 있다. 전체 교실수는 동지역이 34.5개이고 가장 작은 곳은 10개인 한경면 지역이다. 3.4배의 차이를 보이고 있다.

제주시 동지역 초등학교 현황을 표15에 나타내었다. 동지역에도 전통적인 주거단지 에 위치한 학교들은 학생수가 많이 줄어 읍면지역에 위치한 큰 규모 학교정도 밖에 되지 않음을 알 수 있다. 동지역에서 학생수가 적은 학교는 대부분 구도심 지역에 위치한 학교가 대부분인데 동지역 학교라도 모든 학교가 학생수가 많고

규모가 크지는 않음을 알 수 있었다.

표 15 제주도 동지역 초등학교 현황

	학급수	학생수	교실수	교지면적(m ²)	건물연면적
광양초등학교	13	261	21	14,803	6,984
남광초등학교	42	1,181	49	17,045	10,366
노형초등학교	39	1,053	46	11,229	11,634
도남초등학교	29	757	37	15,151	10,296
도련초등학교	40	1,105	41	13,237	13,212
도리초등학교	13	301	19	17,269	4,564
도평초등학교	15	324	17	10,043	3,836
동광초등학교	40	1,073	48	14,727	10,743
동화초등학교	20	501	25	14,722	12,435
백록초등학교	35	971	37	13,064	12,497
봉개초등학교	9	175	13	12,888	5,665
삼성초등학교	30	806	40	13,382	10,915
삼양초등학교	36	935	40	18,652	8,777
삼화초등학교	34	851	36	13,255	9,989
신광초등학교	31	834	38	16,435	12,119
신제주초등학교	41	1,114	45	16,801	9,263
아라초등학교	60	1,758	69	20,862	15,479
영평초등학교	20	447	22	12,572	4,435
오라초등학교	23	610	27	11,322	6,174
외도초등학교	52	1,494	59	14,400	12,438
월랑초등학교	29	729	40	21,306	9,772
이도초등학교	44	1,228	48	13,254	12,714
인화초등학교	46	1,235	54	19,170	10,158
일도초등학교	11	158	14	13,993	5,795
제주남초등학교	9	131	13	8,292	7,649
제주동초등학교	22	540	26	15,445	6,372
제주북초등학교	13	206	19	16,991	6,758
제주서초등학교	25	640	34	18,316	9,524
제주중앙초등학교	25	642	36	17,696	9,188
한라초등학교	64	1,821	78	18,587	18,194
한천초등학교	12	264	15	12,070	7,064
해안초등학교	6	127	8	14,297	2,492
화북초등학교	21	550	26	15,561	9,469
동지역평균	28.8	752.2	34.5	15,055.7	9,302.1

2) 제주도 초등학교의 공간구성 특성

제주도 초등학교의 공간구성에 대해 살펴보았다. 제주도 소재 초등학교는 65개 중 50개가 1980년 이전에 개교한 학교이다. 이때는 학생수가 늘어나 학교를 빨리 만들어내야 했기 때문에 표준설계도를 따라 교사를 지었다. 이에 대부분 형태와 구성 공간이 전국적으로 비슷하다. 학교 공간이 일제강점기의 공간구조를 그대로

따르고 있고 전통적인 학습과 훈육을 위한 공간형태를 띠고 있다. 대부분 교수학습공간, 관리지원공간, 부대지원시설, 집회 체육 운동시설로 구분하고 있으며 관리와 통제가 중심이 되기 때문에 학교별 다양성이 잘 나타나지 않고 있다. 최근에는 교육과정이 변화하여 획일성을 탈피하는 교육이 이루어지고 있기 때문에 학교 공간도 교육과정이 원하는 공간으로 바뀌지고 있다.

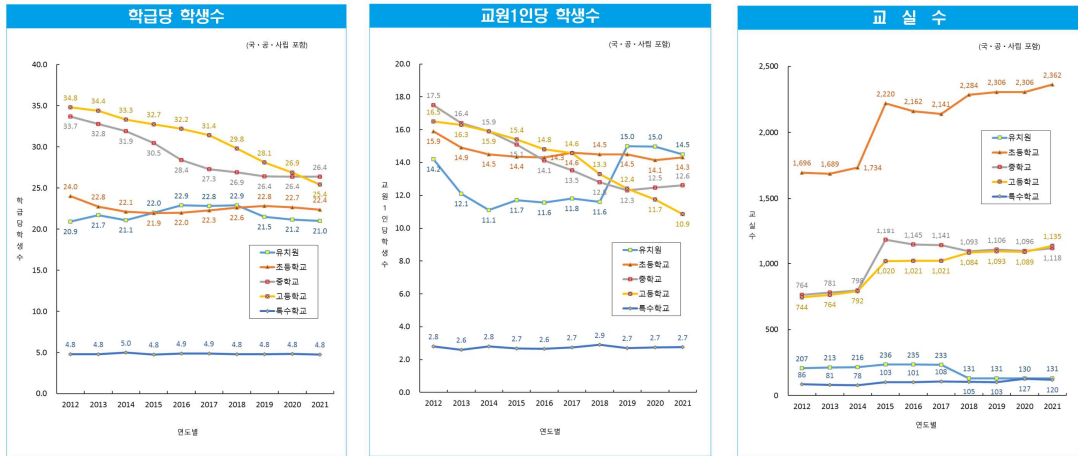


그림 11 제주도 초등학교 변화 추세

제주도교육청 통계에(그림11)에 따르면 학령인구는 감소하고 있으나 학급당 학생수가 감소하고 있어 교실수는 증가하고 있다. 일반교실 뿐만 아니라 교육과정 상 필요한 특별한 활동을 위한 특별교실이 많이 필요하기 때문에 학교의 면적이 줄어들지 않고 증축을 통해 계속적으로 증가하고 있다. 또한 급식실이나 강당 등 예전에는 없던 공간이 필수공간이 되면서 학교 건물의 연면적은 계속 늘어나고 있다.

일반교실은 학급단위로 학급활동을 하는 공간으로 학급 학생의 일반적인 교과나 학급 생활이 이루어지는 교육, 학습 및 생활의 장이다. 일반교실은 일반 학생들이 사용하는 일반교실과 특수학급으로 나뉘고 학급수 만큼이 필요하다. 특별교실은 미술실, 음악실, 과학실 등 특별한 교과를 위해 공동으로 사용하는 교과교실과 도서실, 시청각실, 자료실, 자습실 등 공동으로 사용하는 공통학습실로 나눌 수 있다. 특별교실은 7차 교육과정 도입 이후 질 높은 학습 환경에 대한 요구와 그에 대응한 다양한 학습공간이 요구되어 계속적으로 증가하고 있다. 특별교실의 경우 학교마다 보유현황의 차이가 크다. 관리행정실은 교무실, 행정실, 교장실,

보건실 등 학교 전체의 관리를 위한 공간으로 관리의 편의성으로 인해 교사의 중앙에 배치되는 경향이 있다. 관리행정실 중 숙직실은 예전에 있었지만 지금은 없어진 공간이다. 관리행정실은 학교마다 보유현황에 차이가 거의 없다. 하지만

표 16 초등학교 공간 구분 및 역할

구분	주요실명	기타실	역할/비고
일반교실	일반교실 특수학급		학급단위로 학급활동을 하는 공간 학급 학생의 일반적인 교과나 학급생활이 이루어 지며, 교육, 학습 및 생활의 장
특별교실	준비실 과학실 컴퓨터실 어학실 미술실 음악실 다목적실 자료실 예절실 공작실 도서실 어린이회의실 돌봄교실 방과후교실	활동실 자습실 스마트교실 동아리연습실 발명공작실 소프트웨어실 무한상상실 특기적성실 다문화실	특별교실 교과교실(음악실, 미술실, 과학실, 컴퓨터 실 등)은 특별한 교과를 위해 공동으로 사용하는 교실을 말하고, 공통학습실은 도서실, 시청각실, 다 목적실 등 특정한 교과가 아닌 공통적으로 사용하 는 교실을 말함.
관리행정실	교무실 행정실 보건실 교사휴게실 교장실 숙직실 방송실 발간·인쇄실 교사연구실 상담실 사료관·역사관 문서고 전산실	교감실 동창회의실 휴게실 교사회의실 방과후지원실 협의실 강사협의실 회의실 수석전담실 돌봄업무지원실 분임실, 돌봄자료실 연수실 수업연구실 분실물보관소	교무실, 행정실, 사무실, 회의실, 양호실 등 행정관 리에 포함되는 실이 있고 대부분 전체와의 연계성 때문에 중앙 부근에 모여서 배치되는 경향이 있다.
부대지원시 설	유치원 식당 창고 전시실		유치원, 급식실, 창고 등 지원시설에 해당한다.
집회, 체육, 운동시설	강당 수영장	골프연습장 건강체력실 씨름장 무용실 체육실 야구연습장	단체 활동이나 체육활동시 필요한 공간. 학교마다 특색있는 체육활동에 따라 공간들이 다양하게 구 성되어 있다.

교사들의 휴게 및 연구관련실은 학교마다 많은 불균형을 이루고 있다. 공간이 부

족한 대규모 학교의 경우 특별교실도 일반교실로 전용해서 사용하는 경우가 많기 때문에 교사지원 관련 공간은 만들 수가 없었을 것이다. 부대지원시설은 진기실, 창고 등 건물 유지관리를 위한 공간과 유치원, 급식실 등의 공간이 포함되어 있다. 집회, 체육 및 운동시설로는 수영장, 강당, 체력단련실 등이 있고 학교마다 특색있는 체육활동을 운영할 수 있는 무용실, 씨름실, 야구연습실 등의 공간이 있다.

다음은 제주도 초등학교의 공간별 설치 비율을 살펴보았다. 일반교실 중 특수학급은 63%가 설치되어 있고 과학실과 컴퓨터실, 도서실은 거의 모든 학교에 존재하고 있었다. 예절실이나, 공작실, 시청각실은 없는 학교가 훨씬 많았다. 관리행

표 17 제주도 초등학교의 공간별 설치 비율

일반교실	비율(%)	관리.행정실	비율(%)	부대지원시설	비율(%)
일반교실	100	교무실	100	유치원	89.1
특수학급	63.1	행정실	98.4	식당	100
특별교실	비율(%)	보건실	100	창고	84.4
준비실	70	교사휴게실	46.9	전시실	6.3
과학실	100	교장실	98.4	집회,체육,운동시설	비율(%)
컴퓨터실	98.4	숙직실	0	강당	84.4
어학실	71.8	방송실	93.8	수영장	12.5
미술실	17.2	발간실,인쇄	50		
음악실	51.6	교사연구실	59.4		
다목적실	51.6	상담실	64.1		
자료실	45.3	자료관,역사관	21.9		
예절실	3.2	문서고	79.7		
공작실	7.8	전산.서버실	28.1		
도서실	98.4				
어린이회의실	18.8				
돌봄교실	82.8				
방과후교실	60.9				
시청각실	12.5				

정실에서 숙직실은 존재비율이 0%이고 교사연구실이나 상담실이 없는 학교가 많아 추가 설치가 필요하다. 집회, 체육 및 운동시설중 강당의 경우 최근에 신축되는 경향이고 수영장의 경우 최근 증축되는 학교에 생기는 경우도 있었다.

학교시설은 교육과정과 사회적 요구에 따라 변화되어야 하지만 우리나라의 초등학교는 그 교육여건이 크게 개선되고 있지 못하고 있다. 따라서 향후의 초등학교

계획시에는 특별교실과 지원시설 등 학생들의 다양한 학습활동에 대응할 수 있는 시설의 확충을 통하여 교육공간의 면적을 늘릴 필요가 있으며, 연면적에 대하여 많은 비율을 차지하고 있는 복도 등의 공용공간을 줄일 수 있도록 계획할 필요가 있을 것이다

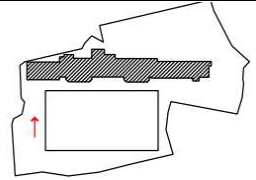
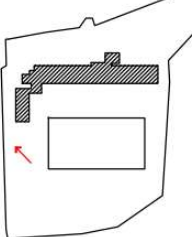
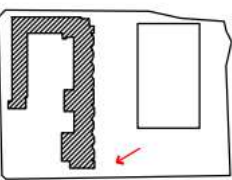
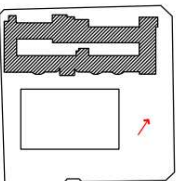
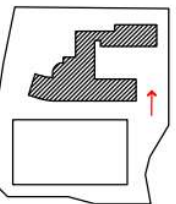
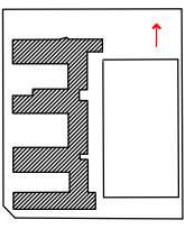
3. 형태 및 배치 입면 특성 분석

1) 제주시 초등학교 배치 특성

제주시 초등학교의 배치 특성을 살펴보았다. 1960년대부터 1997년까지 약 35년 동안 초등학교는 단위교실의 크기와 형상을 일정하게 하고, 편복도형 평면을 고수하고, 공간을 미분화 시키며, 외관을 획일적으로 설계하는 표준설계도에 따라 건축되었다. 1997년 9월 '고등학교 이하 각급 학교 설립 운영 규정'안은 기존의 표준화된 조항을 과감히 삭제하고 열린교육 등 다양한 교수 학습방법을 위한 공간 구성에 대응할 수 있도록 하여 과거의 획일적인 학교시설을 지양하고 다양하고 현대적인 학교시설이 가능하도록 제정되었다. 이에 1997년 표준설계도는 교육과정 상 다양하고 창의적인 교육을 위해 학교도 변화해야 한다는 의견에 부딪혀 폐지되었다. 그 이후 건축된 학교는 다양한 평면적 형태적 시도로 재미있는 배치와 공간구성을 갖고 있지만 표준설계도에 의해 지어진 학교는 획일화된 형태의 학교가 대부분이다.

제주시 소재 초등학교는 1980년대 이전에 65개의 학교 중 50개의 학교가 지어졌다. 즉 지금 현재 40년이 넘는 노후 학교가 65개중 50개라는 것이다. 표준설계도의 영향을 많이 받은 제주시 초등학교의 배치 형태 및 특징에 대한 분석을 표18에 나타내 보았다. 가장 기본적인 형태인 一자형 배치는 16개교 24.6%의 비율로 나타나고 있다. 대부분 남쪽으로 운동장을 갖고 있고 편복도형이다. 제주시의 경우 새로운 기능 및 사회의 요구를 반영하는 교사의 증축이 이루어졌는데 아직까지 一자형으로 남아있는 경우는 읍면지역 학생수가 작은 학교가 대부분이다. 대

표 18 제주도 지역 초등학교 배치 형태 및 특징(빨간 화살표 : 방위표시)

배치형태	학교수	비율(%)	배치별 특징	배치 사례	
一자형	16	24.6	-남쪽에 운동장 배치 -일조, 통풍 등 교실의 환경조건 균등 -부지를 효율적으로 이용 가능		대흘초
ㄱ자형	29	44.6	-남쪽에 운동장 배치 -부지를 효율적으로 이용 가능하나 일부 교실의 일조가 불균형		곽금초
ㄷ자형	3	4.6	-화재, 비상비 불리 -넓은부지 필요		도남초
중정형	3	4.6	-화재, 비상시 불리 -일조, 통풍 불균형 -소음이 크다		노형초
병렬형	9	13.8	-남쪽에 운동장 배치 -일조 통풍 등 교실환경조건 균일 -넓은 부지가 필요함.		삼화초
기타	5	7.7	-좁은 부지에 연면적을 높이면서 모든 교실의 통풍과 일조를 고려한 형태 -동선이 길어지는 경향		도련초
합계	65	100			

부분 처음엔 一자형이었다가 증축할 때 ㄱ자형이나 ㄷ자형으로 변형되는 경우가 대부분이다. ㄱ자형 배치를 갖고 있는 학교는 29개교로 44.6%의 비율을 나타내고 있다. 처음엔 一자형이었으나 학생수 증가에 따라 교실 증축이나 기타 특별공

간의 수요로 증축을 하게 되어 배치형태가 변하게 된 경우가 대부분이다. ㄷ자형 배치의 경우 3개 학교로 이 배치형태 역시 증축을 거치다 보니 생긴 형태이다. 중정형을 갖고 있는 노형초의 경우 노형동 인구 증가로 인해 학교의 증축을 계속 하게 되어 좁은 대지에 효율적인 평면구성을 위한 피할 수 없는 선택으로 중정형 배치가 되었다고 할 수 있다.

이런 배치형태는 대부분 동지역에 재학생수가 많은 학교에서 볼 수 있는 배치 형태이다. 배치의 형태를 분류해보면 정확하게 나누기 어려운 경우가 대부분이었다. ㄷ자형과 병렬형이 비슷하고 새로운 형태도 병렬형과 비슷한 형태로 보였기 때문에 형태별 분류에 있어 어느 정도 오류가 있음을 감안해야 할 것이다. 최근 신축된 학교의 경우 표준설계도가 아닌 현상설계로 당선된 경우가 많아 직선형이 아닌 곡선형이 도입되기도 하고 평면과 배치형태가 다양해서 새로운 형태로 분류되는 경우가 있다. 제주시 초등학교에서는 5개 학교를 새로운 형으로 분류하였다.

개교년도에 따라 학교의 배치형태 비율을 그림12와 같이 살펴보았다. 배치형태가 가장 많은 형태는 一자형과 ㄱ자형 이고 두 배치형태의 비율을 합치면 69%로

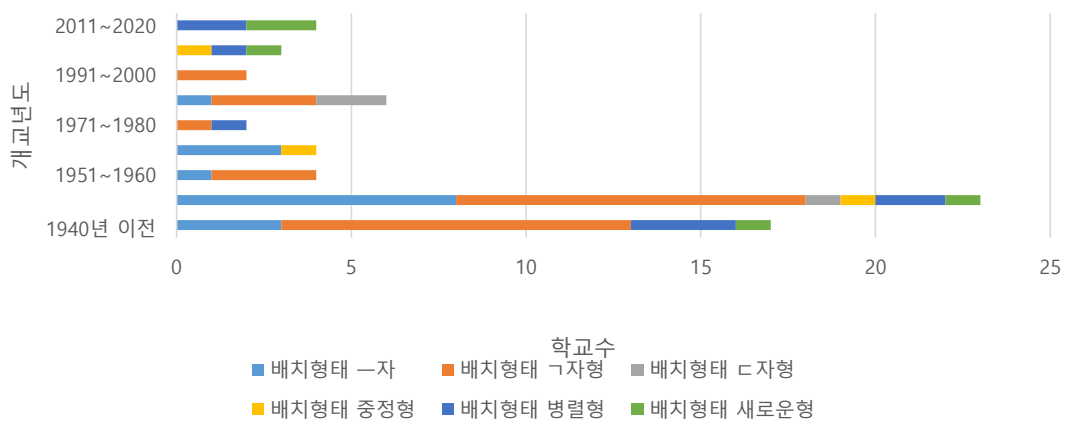


그림 12 개교년도별 배치형태의 비율

대부분의 학교가 一자형 또는 ㄱ자형의 배치를 갖고 있다고 할 수 있다. 교사의 배치가 단순한 一자형에서 복잡한 새로운형으로 갈수록 학교의 규모가 커지고 대형화 되고 있음을 알 수 있었다. 개교 년도별 배치형태에 따른 학교수를 살펴 보면 1990년대 이후 신축된 학교의 경우 크게 증축한 학교가 없다. 개교년도가 오래된 학교인데 새로운 형을 갖는 경우는 학교 대지는 작는데 학생수가 비약적

으로 증가해 대지내에 공간만 있으면 증축을 진행하여 새로운 배치형태를 갖게 된 경우이다. 대표적으로 아라초가 이 경우에 해당한다.

2) 제주시 초등학교의 입면 특성

제주시 초등학교의 입면특성에 대해 살펴보았다. 먼저 배치형태와도 관련이 있는 단위 교실의 방위를 조사하여 보았다. 一자형 배치의 경우 단위교실은 한 방향으로 모두 향하겠지만 ㄱ자, ㄷ자등 一자를 제외한 모든 형태는 단위교실의 방향이 다양하게 조사되었다. 창위 방위는 북, 북동, 동, 남동, 남남동, 남, 남서, 남남서, 서 등 제각각이어서 남남서는 남서로, 북과 동으로 향하는 ㄱ자 건물의 경우 북동을 향한다고 가정하고 보정하여 비율을 살펴보았다.

전체 65개중 25개 학교인 38.5%가 남동향을 향하고 있다. 그 다음은 남향이 주향으로 나타났다. 남동향과 남향을 갖는 학교는 전체의 69.3%로 거의 2/3정도는 남동향이나 남향으로 창문을 통해 일조를 획득하는데 유리한 향을 갖고 있었다. 일부 3개정도의 학교에서 북향과 북동향을 갖고 있는데 이 학교들은 일사취득에

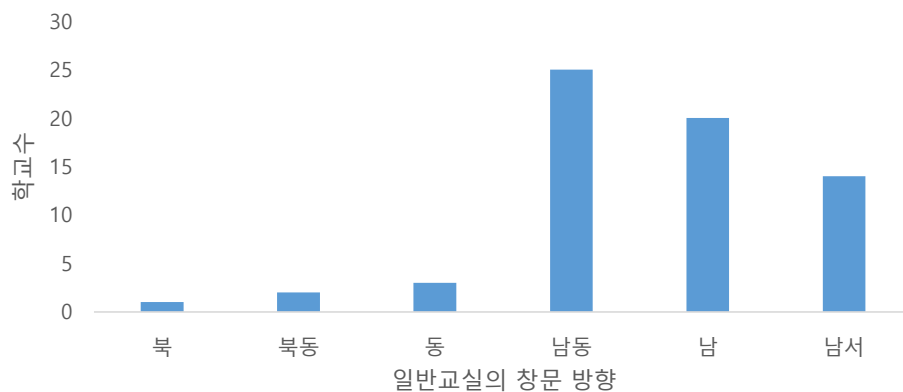





그림 13 단위교실의 향(방위)

어려움이 있을 것으로 생각되어 겨울철 에너지 사용량에 영향을 주는지 확인할 필요가 있을 것이다.

다음으로 초등학교의 창호에 대해 조사해 보았다. 창호의 종류와 일반적인 특징은 표19와 같다. 제주시 초등학교 65개교의 창호를 조사한 결과 65개중 59개인 90.8%가 PVC창호를 사용하고 있었다. PVC창호는 열전도율이 낮은 플라스틱 재질 창호로 단열성이 우수하여 냉난방비 절감에 도움을 주는 창호이다. 알루미늄

표 19 창호 종류와 에너지적 특징

프레임 종류	특징	학교수	비율(%)
목재 창호 	-나무로 만든 창 -외부 노출시 뒤틀림 발생. 내장용으로 적합 -나무의 고급스러움 때문에 인테리어에 많이 사용	0	0
알루미늄 창호 	-알루미늄의 특성상 가볍고 중량에 비해 견고함 -최근에는 단열 알루미늄 사용, PVC보다 더 높은 단열성 -알루미늄 합금창호의 경우 내구성이 뛰어나	4	6.2
합성 수지 창호 P.V.C 	-열전도율이 낮은 플라스틱 재질 -단열성이 우수, 냉난방비 절감 -기밀성, 방음성 갖춤 -뒤틀림이나 변형이 거의 없음	59	90.8
복합 소재 창호	-에너지 효율을 높일 수 있는 소재를 다각적 혼용 -알루미늄+단열재, 알루미늄+목재, 알루미늄+PVC 형태 -하드웨어 등에서 소재를 차별화, 디자인 다각화	2	3.1

창호를 사용하는 학교는 2개교였는데 알루미늄도 최근에는 PVC보다 높은 단열성을 구현하기도 하지만 단가가 비싸 아직까지 학교에 사용하기에는 어려움이 있다. 복합프레임인 경우 내부는 PVC창호 외부는 알루미늄 프레임인 경우가 1개교가 있었고, 이중창에서 내부창은 목문 외부는 PVC인경우가 1개교가 있었다.

표 20 유리종류와 비율

유리종류	특징	학교수	비율
단판유리 	-가장 많은 학교에 사용됨 -에너지 적으로 불리	40	61.5
복층유리 	-가장 가성비 높음 -에너지적으로 우수	25	38.5
삼중유리 	-사용한 학교 없음 -에너지 적으로 가장 우수 -단가 비쌈	0	0.0

복합 프레임을 갖는 학교도 창호개선 하면서 전부를 PVC로 바꾸지 못하고 외부

창만 PVC로 바꾼 경우가 있었다. 앞으로 창호개선이 이루어지면 복합 프레임도 PVC창호로 변경 되어야 할 것으로 판단된다.

창호조사를 하면서 창호에 사용된 유리도 같이 조사하였다. 유리의 두께나 간방 종류, 로이유리 여부는 조사하기 어려웠으나 유리가 단판인지 복층유리인지는 조사할 수 있어서 표20에 나타내었다. 제주도 소재 65개 학교 중 40개 학교인 전체의 61.5%가 에너지적으로 매우 불리한 단판유리를 사용하고 있었다. 따라서 앞으로 그린리모델링이 이루어지면 가장먼저 창호교체 공사가 진행되어야 할 것으로 분석된다. 단판유리에 단창인 경우도 아직 3개 학교가 있었고, 단판에 이중창인 경우가 많이 있었다. 이는 리모델링시 예산이 부족해 창호공사의 단가를 낮추기 위한 최선의 선택이었을 것으로 판단된다. 하지만 최근에 창호교체 공사가 이루어진 학교는 대부분 복층유리에 이중창으로 바뀌어서 에너지 절약 효과가 있을 것이다. 이렇게 창호를 조사 하면서 창호 조합이 매우 다양함을 알 수 있었는데, 어떠한 창호 조합이 에너지 사용량에 영향을 주는지 알아보기 위해 창호조합을 표21과 같이 정리해 보았다.

표 21 제주도 초등학교 창호 및 유리 설치 현황

창호조합	학교수	비율(%)	대표학교/비고
PVC창호+복층유리+이중창	23	35.4	
PVC창호+단판유리+이중창	35	53.8	
PVC창호+복층유리+단창	0	0.0	
PVC창호+단판유리+단창	3	4.6	납읍초, 신창초, 화북초
알루미늄+복층유리+이중창	1	1.5	도련초
알루미늄+단판유리+이중창	0	0.0	
알루미늄+복층유리+단창	1	1.5	삼성초
알루미늄+단판유리+단창	0	0.0	
복합+복층유리+단창	1	1.5	제주남초, 내(PVC)+외(알루미늄)
복합+복층유리+단창	1	1.5	신광초, 내(목문)+외(PVC)
합계	65	100	

65개 초등학교의 대표 단위교실의 창호조합을 살펴보면 35개 학교인 전체의 54%가 PVC창호에 단판유리가 이중창으로 달려있는 형태임을 확인할 수 있었다. 그리고 최근에 지어졌거나 창호 교체공사가 있었던 학교의 경우 23개교 35.4%의 비율로 PVC창호와 복층유리로 된 이중창을 갖고 있었다. 에너지 절약의 개념에서 살펴보면 전체 학교의 1/3정도만이 창으로 빠져나가는 에너지를 최소화 하고

있는 상황이다. 그리고 PVC창호를 갖는 학교에서도 에너지 적으로 최악의 경우는 단판유리로 단창을 갖는 경우인데 이 경우도 3개 학교나 되고 있어 그린리모델링 시 제일 먼저 창호교체 공사를 진행해야 할 것으로 판단된다. 그리고 알루미늄 창호를 갖는 학교는 전체의 3%인 2개 학교로 조사되었다. 알루미늄이 PVC

표 22 학교별 단위입면과 창면적비(1980년 이후 개교 학교 대상)

학교명	단위입면	창면적비(%)	입면 사례
남광초		40	
도남초		40	
도련초		25	
동광초		34	
동화초		41	
백록초		31	
삼성초		55	

삼화초		43	
신광초		34	
신제주초		31	
월랑초		38	
이도초		32	
인화초		40	
하귀일초		36	
한라초		30	
한천초		35	

창호의 성능을 내리면 많이 비싸지기 때문에 최근에 개교하면서 알루미늄 시스템 창호를 사용한 도련초를 제외하고 나머지 1개의 학교는 단열성능이 좋지 않은 단순한 형태의 알루미늄 창호를 사용하여 리모델링시 교체가 우선 고려되어야 할 것이다.

그리고 복합 창호를 사용한 경우가 2군데 조사되었는데 알루미늄과 PVC를 사용하는 경우와 나무문과 PVC를 사용한 경우가 있었다. 이는 기존 단창인 창호를 리모델링시 제거하지 않고 곁에 PVC창호를 덧대는 형식으로 리모델링한 것으로 보여진다. 창호 조합에 따라 에너지 사용량에 차이가 있는지 확인해 볼 필요가 있어 다음 장에서 살펴보도록 하겠다.

다음은 학교별 단위입면과 창면적비를 조사해 보았다. 표22에서 나타낸 단위입면은 일반교실의 입면을 말한다. 창면적비는 단위입면에서 벽면적에 대한 창의 면적비를 나타내는 값을 말한다. 단위입면은 65개학교 전부를 조사하였으나 표로 만들기 방대하여 1980년 이후 개교한 학교만을 표22에 나타내었다. 일반 교실을 사진으로 찍고 캐드로 입면을 그려서 1980년 이후 개교한 제주 시내 16개 학교의 단위입면과 창면적비 및 실제 사진을 표에 표현하였다. 전체 65개 학교의 창면적비를 개교년도에 따라 표시한 그래프는 그림14이다.

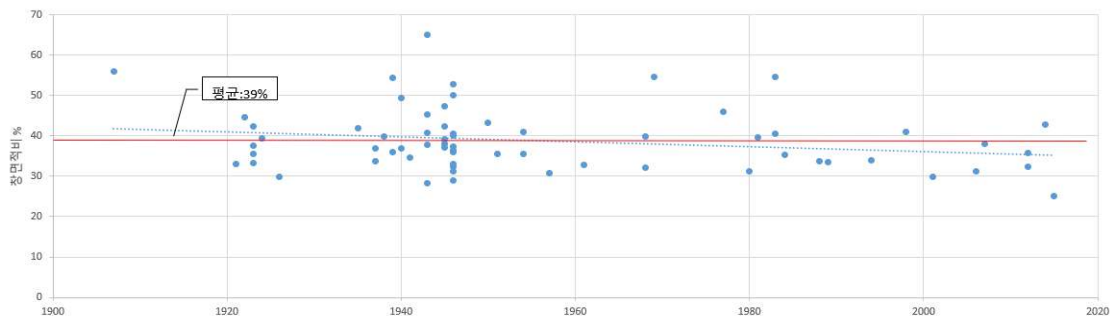







그림 14 초등학교 개교년도에 따른 창면적비

그래프를 보면 개교년도에 따른 창면적비의 평균은 39%이고 큰 경향성은 볼 수 없지만 개교년도가 최근으로 올수록 창면적비가 조금 작아지는 경향을 볼 수 있다. 창은 벽보다 열관류율이 크기 때문에 창이 큰 것은 에너지적으로 불리한 것이다. 따라서 창면적비가 작아지고 있음은 최근 개교한 학교일수록 창으로 빠지는 에너지를 줄이고 있다는 것이므로 에너지 적으로 유리하다고 할 수 있겠다.

다음 입면에서 볼 수 있는 특징으로 처마 형태에 대해 조사해 보았다. 처마는 여름 일사를 막아줘서 냉방부하를 줄여주는 역할을 하는 것으로 65개 학교 중 47개인 72.3%가 눈썹처마 형태를 갖고 있었다. 처마의 깊이는 위도에 따라 달라져야 하는데 어느 정도 깊이가 있어야 일사차단 효과와 비가림 효과가 있다. 눈썹처마 이외에 수직 블라인드 형태의 처마를 갖거나 수평차양의 형태를 갖는 학교도 있었으나 그 수는 미미하였다. 그리고 16개 학교인 24.6%는 처마가 없어서 여름엔 강한 일사를 그대로 교실로 받아들이고 있었다. 제주는 타 지역에 비해 여름이 무척 덥고 습하다. 여름 일사를 가려줄 처마가 없으면 냉방부하가 매우 커져 에너지 사용량이 많아질 것이다. 여름 일사를 가려줄 수 있는 처마의 설치 는 그린리모델링시 반드시 고려해야 할 요소라고 할 수 있겠다.

표 23 초등학교 처마 형태 현황

처마종류	처마의 특징	학교 수	비율	사례(초등학교 명)	
눈썹처마	-여름에 일사를 막아주는 역할 -겨울에 충분한 일사 투과 -처마 깊이가 어느정도 깊이가 있어야 일사차단과 비가림 효과있음	47	72.3		
눈썹처마 이외	-수직차양은 주로 서쪽이나 동쪽 창문에 설치 -동쪽과 서쪽의 낮은 고도 일사 차단	2	3.1		
처마없음	-처마가 없어 여름의 강한 일사가 교실 안쪽으로 들어와 냉방부하가 증가	16	24.6	도남초	

IV. 에너지 사용량 분석과 그린리모델링 적용방안

1. 제주시 초등학교 에너지 사용 특성

제주시 소재 초등학교의 에너지 사용량을 분석하기 위해 2017년~2019년 까지 3년의 전기사용량 데이터를 가지고 분석하였다. 2020년, 2021년은 코로나19로 학생들의 정상적인 등교가 어려워 2017년부터 2019년까지의 데이터를 사용하였다. 그리고 현재 대부분의 초등학교에서는 EHP로 냉난방을 하고 있기 때문에 전기 사용량으로 에너지 사용량을 분석하였다. 에너지 사용량은 3년의 평균 사용량을 사용하였다.

먼저 초등학교 건축물의 월별에너지 사용 특성을 파악하기 위하여 제주시 지역 초등학교의 1월부터 12월까지의 전력사용량 월별 평균을 그림15와 같이 나타내었다. 사용량이 가장 작은 달은 5월이었고, 냉방기에는 9월, 8월, 7월 순으로 사용량이 많았고, 난방기에는 1월, 12월, 2월 순으로 사용량이 많았다. 냉난방 부하

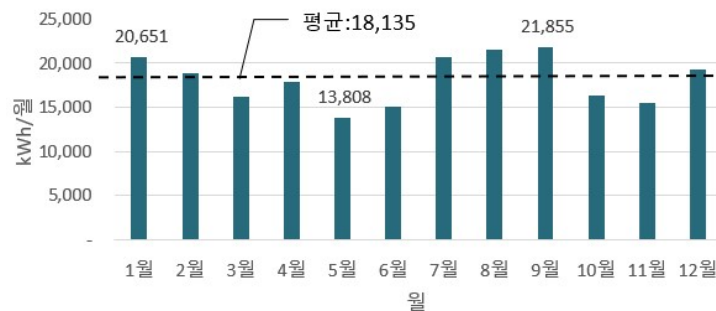


그림 15 제주시 초등학교 월별 평균 에너지 사용량

가 없는 5월을 기본사용량으로 하고 12월과 1월 사용량의 평균을 난방사용량, 7~9월 사용량의 평균을 냉방사용량으로 정하였다. 겨울 동절기에는 기본사용량보다 1.49배 더 많은 에너지를 사용했고, 여름 하절기에는 기본사용량보다 1.58배 더 많은 에너지를 사용하고 있음을 알 수 있었다. 학사운영 일정을 고려하면 사용량이 많은 1월과 8월은 대부분 방학기간이다. 방학임에도 사용량이 많은 것으

로 보아 학생들이 등교했다면 훨씬 더 많은 양의 에너지를 사용했을 것으로 예상할 수 있다. 그리고 전체 에너지 사용량 평균과 비교하면 평균사용량 보다 많은 달이 겨울엔 2개월, 여름엔 3개월로 겨울보다 여름이 평균사용량을 초과하는 달이 많고 에너지 사용량도 많은 것을 알 수 있다. 이는 제주의 여름이 고온 다습해서 냉방부하가 난방부하 보다 크기 때문이라고 분석된다. 타 지방의 경우 난방에너지가 훨씬 많이 사용되는데 비해 제주는 여름 냉방에너지를 더 많이 사용하고 있음을 알 수 있다.

표 24 년대별 초등학교 개교수와 단열기준

개교년도	학교수	주요 부위별 단열기준K(W/m ² ·K)	
		외벽	창
1940년이전	17	-	-
1941~1950년	23	-	-
1951~1960년	4	-	-
1961~1970년	4	-	-
1971~1980년	2	1.05	1.05
1981~1990년	6	0.58	0.41
1991~2000년	2	0.58	0.41
2001~2010년	3	0.36	0.20
2011년 이후	4	0.17	0.15

제주시 지역 초등학교의 개교시기에 따라 적용된 단열기준이(표24) 다르고 그에 따른 에너지 사용량을 비교하기 위해 전체 학교의 개교 년도별 연간 에너지 사용량을 (그림16)과 같이 나타내었다. 전체 학교 사용량의 평균은 217,623kWh이

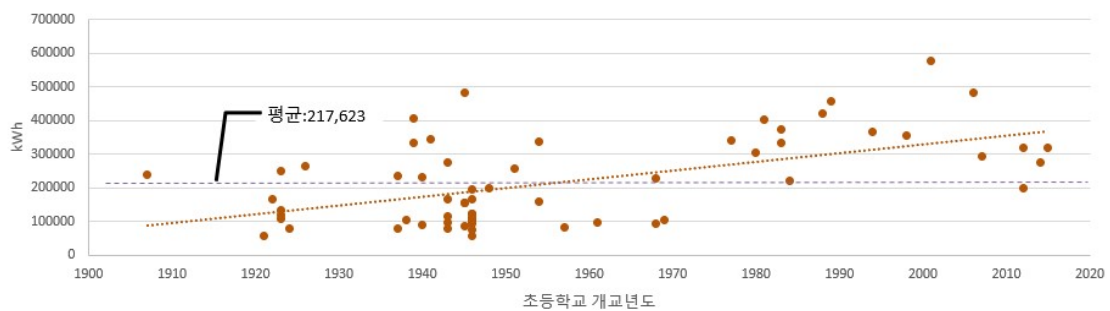


그림 16 제주시 지역 초등학교 개교 년도별 연간에너지 사용량

고, 사용량 최대 학교는 제주도 초등학교 중 학생수가 가장 많은 노형동에 위치한 H초등학교이며 578,157kWh이다. 이는 평균보다 2.6배가 넘는 수치이다. 최저 사용량은 1921년에 개교한 구좌읍에 위치한 H초등학교로 55,548kWh이다. 최저

사용량과 최고 사용량은 10.4배 차이가 나고 있다. 노형동 H초등학교의 학생수는 1821명, 학급수는 64개 이고 구좌읍 H초등학교의 재학생은 68명 학급수는 6개이다. 재학생수는 26.7배 차이나고 학급수는 10.6배 차이나고 있다. 에너지 사용량은 10.4배로 학급수의 차이와 비슷하게 나와서 학급수가 에너지 사용량에 영향을 주는 것으로 생각해 볼 수 있다.

1975년 이후 개교한 학교는 평균 사용량보다 에너지 사용량이 작은 학교가 거의 없으나, 1975년 이전 개교한 학교중에는 평균사용량 보다 사용량이 작은 학교가 전체 46개 학교 중 71%인 33개교이다. 이 학교들의 위치를 살펴보면 거의 읍면 지역 소규모 학교임을 알 수 있다. 1975년 이후 개교한 학교는 1개 학교를 제외하고 전부 제주시 동지역에 개교한 학교이고, 학생수가 많은 학교임을 알 수 있었다. 전체적으로 그림16에서 보는 바와 같이 개교연도가 최근일수록 사용량이 많아지는 추세로 나타나고 있다. 이는 읍면지역 학교보다 제주시 동지역 학교의 학생수가 절대적으로 많고 그에 따라 학교의 시설 규모도 크고, 도서관 수영장 등 부대시설이 많아졌기 때문일 것이라고 분석된다.

10년 단위로 개교한 학교들의 연간 에너지 사용량의 평균을 그림17에 나타내었

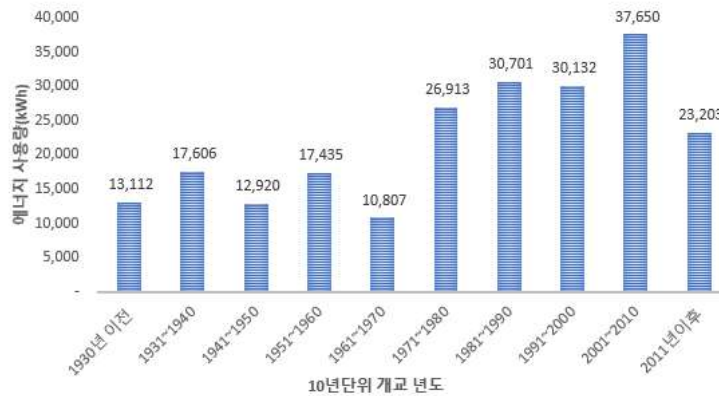


그림 17 개교연도별(10년단위) 평균 연간 에너지 사용량 비교

다. 1960년대 학교들의 평균 에너지 사용량이 제일 작게 나타났고 1971년 이후 학교들은 평균(217,623kWh)보다 많은 에너지를 사용하고 있었다. 그중 2001~2010년에 개교한 학교의 에너지 사용 평균이 가장 컸다. 가장 작은 에너지 사용 평균과 가장 많은 에너지 사용 평균은 약 3.7배가 차이 나고 있다. 최근으로 올수록 점차적으로 연간 에너지 사용량은 늘어나는 경향을 보였으나 2011년

이후 개교한 4개 학교 평균 연간에너지 사용량은 상대적으로 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 이는 냉난방 기기의 효율이 좋아지고, 강화된 단열기준이 학교 신축 시 적용되었기 때문이라고 분석된다.

다음으로 제주시 초등학교의 원당 에너지 사용량을 비교하여 단열기준 변화와 관계가 있는지 살펴보았다. 앞서 살펴본 바와 같이 제주시 초등학교 전체의 연평균 에너지 사용량은 최근 개교한 학교일수록 증가하는 경향을 보였지만 학급수당 에너지 사용량, 학생수당 에너지 사용량, 연면적당 에너지 사용량은 최근 개교한 학교일수록 감소하는 경향(그림 18~그림20)을 보이고 있다.

각 그래프의 에너지 사용량 감소폭 즉, 선형 추세선의 기울기를 살펴보면 학급수당 에너지 사용량의 기본사용량은 $y = -2.0627x + 4868.9$ 이고 학생수당 에너지

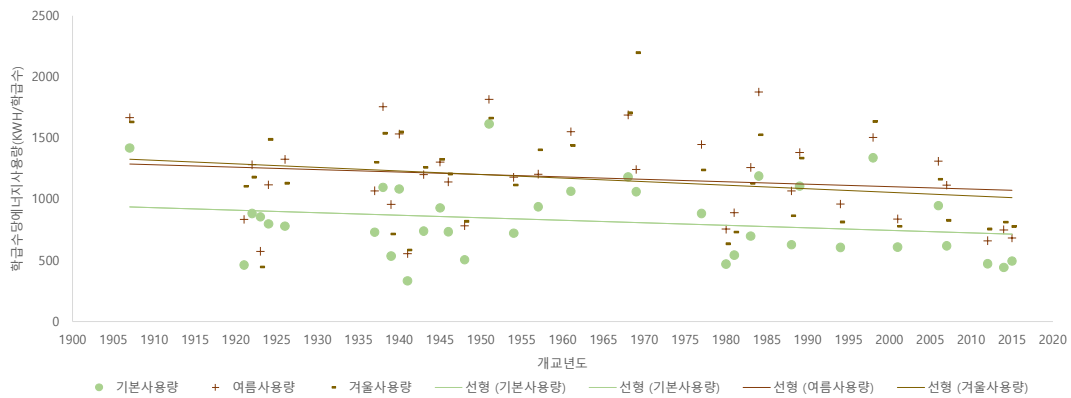


그림 18 제주시 초등학교의 개교년도에 따른 학급수당 에너지 사용량

사용량의 기본사용량은 $y = -0.5409x + 1123.9$ 이다. 즉 학급수당 에너지 사용량이 학생수당 에너지 사용량 감소폭보다 크다는 것을 알 수 있다. 연면적당 에너지 사용량은 1980년대 이후 개교년도에 따른 연면적당 에너지 사용량 그래프로 나타냈을 때는 개교년도에 따라 에너지 사용량의 감소를 명확하게 볼 수 있었는데 개교년도를 전체로 바꾸고 그래프를 새로 그렸을 때 변화가 거의 없다고 나타나고 있다. 개교년도가 오래된 학교에서는 개교년도에 따라 연면적당 에너지 사용량이 증가하다가 1980이후에는 개교년도에 따라 에너지 사용량이 감소하는 것으로 나타나고 있다.

이 중 학급수당 에너지 사용량 그래프에서 1907년 개교한 학교와 가장 최근인 2015년에 개교한 학교의 학급수당 에너지 사용량을 비교해 보면 1907년 대비 냉

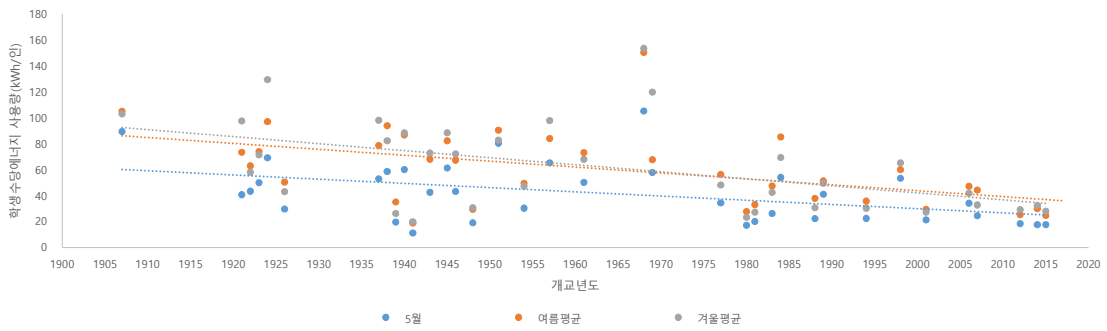


그림 19 제주시 초등학교의 개교년도에 따른 학생수당 에너지 사용량

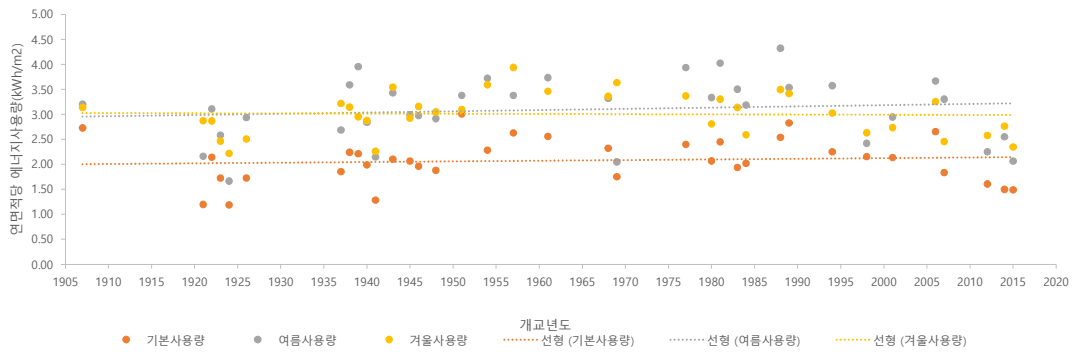


그림 20 제주시 초등학교의 개교년도에 따른 연면적당 에너지 사용량

방 사용량은 50.1% 감소하였고, 기본사용량은 65.2%, 난방 사용량은 52.4% 감소하였음을 알 수 있었다.

학생수당 에너지 사용량 그래프에서 1907년 개교한 학교와 2015년 개교한 학교의 학생수당 에너지 사용량을 살펴보면 1907년 사용량 대비 기본사용량은 80% 감소, 냉방사용량은 76.5% 감소, 난방사용량은 72.7% 감소한 것을 알 수 있다. 개교년도에 따라 에너지 사용량이 줄어드는 이유는 단열기준 강화로 인한 단열 성능 향상과 냉방, 난방기기의 효율 향상으로 에너지 사용량이 줄어들었음에 따라 분석된다.

연간 평균 에너지 사용량은 최근 개교한 학교가 상대적으로 평균값 보다 높게 나타났지만 원단위로 살펴본 학급수당, 학생수당 에너지 사용량은 단열기준이 강화됨에 따라서 냉난방 에너지 전부 감소하는 경향을 보였다.

그리고 5월 냉난방 부하가 발생하지 않는 기본 사용량 역시 최근 개교 학교일수록 감소하고 있는데 이는 조명과 각종 기기의 효율이 좋아져서 사용량이 줄어들었다고 분석된다.

제주시 초등학교의 에너지 사용량을 분석해서 하절기 냉방사용량을 기준으로 사용량이 높은 상위 10개학교와 사용량이 작은 상위 10개학교의 에너지 사용량을 그래프로 타내 보았다(그림21 참고). 사용량이 높은 상위 10개학교의 냉방사용량 평균은 1,733kWh이고, 사용량이 작은 상위 10개 학교의 냉방사용량 평균은 715kWh로 2.42배의 사용량 차이를 보이고 있다.

에너지 사용량이 높은 상위 10개 학교의 수리횟수를 보면 학교당 평균 10.4회이고, 에너지 사용량이 작은 상위 10개 학교의 수리횟수 평균은 6.3회이다. 상위 10개 학교는 한천초등학교가 1984년에 개교, 동화초등학교가 1998년에 개교 한 것을 제외하고 8개의학교가 개교한지 40년이 훨씬 넘는 노후 학교이다. 수리횟수가 많다고 보일 수 있지만 워낙 오래된 학교이기 때문에 수리횟수가 에너지 사용량

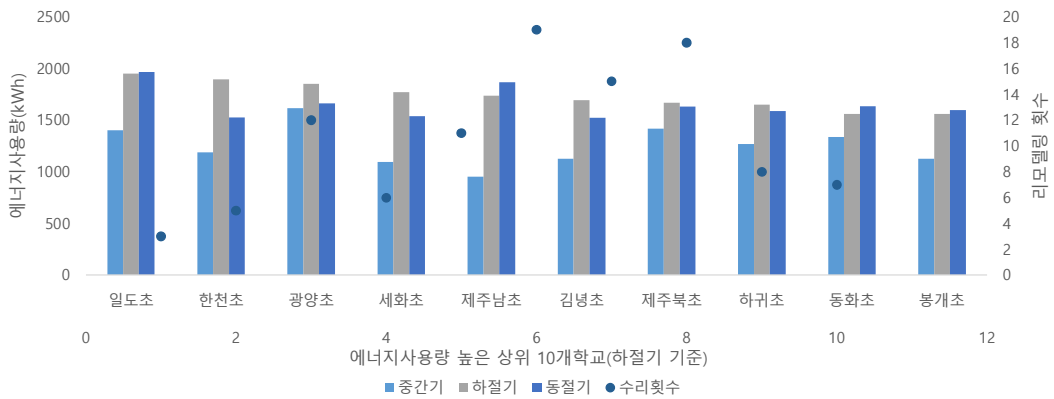


그림 21 에너지사용량 높은 상위 10개교의 리모델링 현황

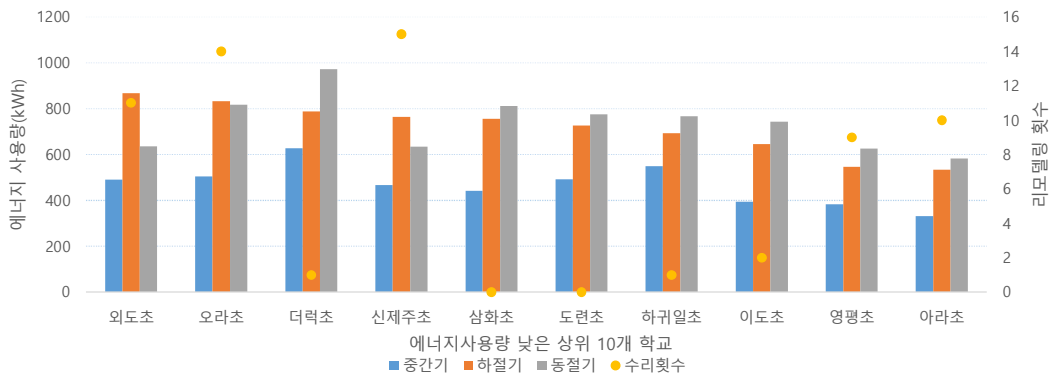


그림 22 에너지사용량 작은 상위 10개교의 리모델링 현황

에 영향을 주지 못한 것으로 판단된다. 이 학교들의 위치는 동지역학교 7개교, 읍면지역 학교 3개교이고, 동지역 학교의 경우 구도심에 위치해 있고 지금은 주변에 거주인구가 줄어들고 있는 곳에 위치한 학교이다. 학생수가 줄어들고 있어

리모델링에서 우선순위가 되지 못했다고 판단된다.

사용량 작은 상위 10개 학교의 위치를 보면 더덕초등학교와 하귀일초등학교는 애월읍에 위치해 있지만 하귀일초의 경우 주변 신시가지가 조성된 지역에 개교한 학교여서 도심지 학교이다. 더덕초등학교의 경우도 분교였다가 학교주변으로 제주살이 열풍으로 거주자가 많아지면서 최근에 증축과 리모델링을 하고 있는 학교이다. 나머지 학교는 모두 동지역에 위치해 있고 주변에 인구가 많은 지역에 위치해 있다. 개교년도를 살펴보면 2012년에 개교한 학교 2개교가 있고 2014년, 2015년 개교한 학교가 각각 1개씩 있다. 개교년도는 오래되었더라도 주변지역으로 계속 인구유입이 되면서 최근에 리모델링을 하면서 에너지 성능이 좋아진 학교가 대부분이다. 최근 개교한 학교는 당연히 그 당시의 단열기준을 맞춰야 하기 때문에 오래된 학교보다 단열기준이나 창호의 물성이 좋을 것이기 때문에 에너지사용량이 작을 것으로 생각된다.

2. 건축특성에 따른 에너지 사용량 분석

앞서 3장에서 제주시 초등학교의 배치 형태를 분석해 보았다. 이 장에서는 배치 형태에 따라 에너지 사용량이 달라지는지 분석해 보았다. 초등학교의 배치형태는 一자, ㄱ자, ㄷ자, 중정형, 병렬형, 새로운형으로 분류하여 초등학교의 에너지 사

표 25 배치 형태에 따른 에너지 사용량

배치형태	학교수	기본(kWh)	여름(kWh)	겨울(kWh)
병렬형	9	629	987	963
ㄷ자형	3	556	996	893
새로운형	5	748	1,000	984
중정형	3	902	1,078	1,032
一자형	16	796	1,205	1,298
ㄱ자형	29	892	1,330	1,291

용량 표를 완성해 보았다. 각 배치형태별로 학교수를 기재하고 냉난방 부하가 거의 없는 5월을 기본사용량, 7~9월을 냉방사용량, 12~1월을 난방사용량으로 하여 에너지 사용량의 평균을 내고, 냉방사용량과 난방사용량은 거의 비슷한 경향성을

보이기 때문에 냉방사용량의 순서를 기준으로 표25에 나타내어 보았다.

에너지 사용량 순으로 나열한 결과 병렬형 배치가 에너지 사용량이 가장 낮았고, ㄷ자, 새로운형, 중정형, 一자, ㄱ자형 순으로 사용량이 낮았다. 기본사용량의 경

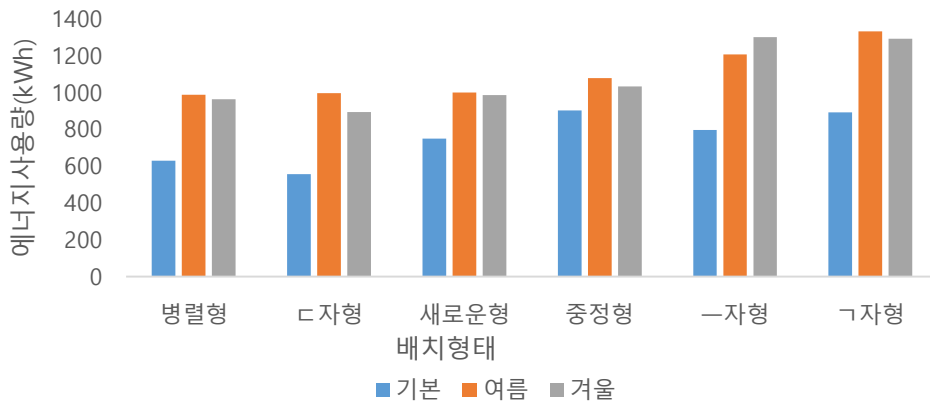


그림 23 배치형태에 따른 에너지 사용량 그래프

우 가장 낮은 병렬형과 ㄱ자형은 약1.14배 차이가 나고 있고, 냉방사용량은 약 1.34배, 난방사용량은 약1.34배 차이를 보이고 있다. 에너지 사용량에 영향을 주는 요인이 건물의 배치만이 아니기 때문에 배치형태에 따라 에너지 사용량이 절대적으로 영향을 받는다고 할 수는 없지만 현재 제주시 학교들의 에너지 사용량이 건물 배치와 관계가 있는지 확인해 보았다. 병렬형이나 ㄷ자형, 새로운형, 중정형은 건물이 겹겹이 겹쳐있어 건물이 외부 영향을 덜 받게 하고 건물이 외피와 접하는 면적을 줄여주는 효과가 있을 것이다. 그래서 一자형이나 ㄱ자형에서 에너지 사용량이 더 많은 것이라 판단된다. 그리고 제주시 초등학교 65개 중 50개의 학교가 표준설계도로 만들어진 학교이고, 이후 필요에 의해 증축을 통해 병렬형, 중정형 등의 배치를 갖게 된 학교들은 대부분 동지역에 위치한 학생수가 많은 학교이다. 읍면 지역 학교보다 증축 수요가 많았기 때문에 여러 차례 증축을 거치며 에너지 성능이 나아졌을 것으로 생각된다.

다음은 배치 형태에 이어 외피특성에 따라 초등학교 건물의 에너지 사용량은 어떤 영향을 받는지 알아보았다. 창호의 경우 건축물에너지에 미치는 요인이 열관류율 뿐 아니라 일사취득계수의 영향이 높고, 창호성능과 더불어 건물의 창면적비 역시 중요한 영향 요인 중 하나이다. 남측 창 면적의 증가는 자연채광, 경관 및 거주성을 향상시키고 난방에너지 측면에서는 유리하나 냉방에너지 측면에서는 불리하다. 창면적비 감소는 냉방에너지 측면에서는 유리하나 난방에너지 측면

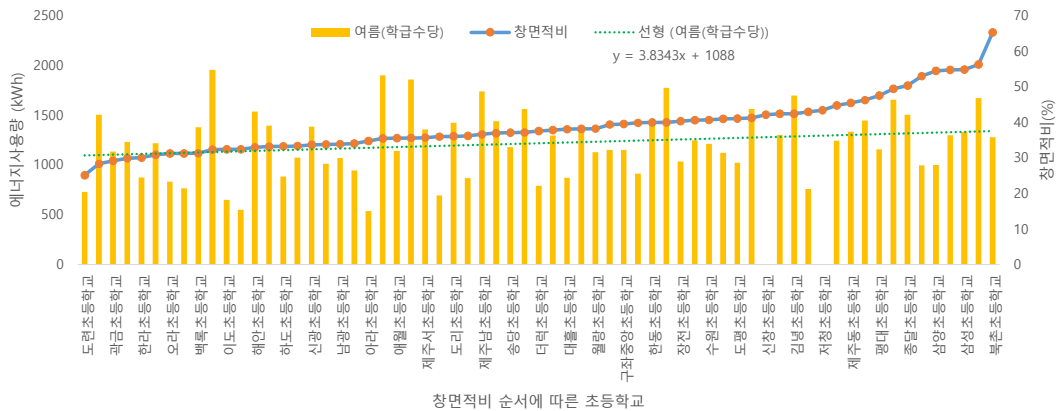


그림 24 창면적비 순서에 따른 여름 학급수당 에너지 사용량

에서 일사 취득이 힘들어져 불리해진다. 실내 거주자의 안전 및 프라이버시 확보, 입면 디자인 등의 이유로 거주성만을 고려해 무한정 창 면적을 넓히거나 에너지만을 고려해 창 면적을 무한정 줄일 수 없다.

남향을 제외한 나머지 향은 창 면적을 넓히는 것이 에너지 측면에서 불리하고, 남향의 경우 다른 향에 비해 실내에 미치는 일사량이 높아 창 면적을 넓힘으로써 난방 에너지요구량을 낮추는 것이 전체 에너지 요구량에 유리하게 작용한다. 남향을 제외한 향은 실내에 미치는 일사량이 남향에 비해 낮아, 감소되는 난방 에너지요구량보다 창 면적이 넓어짐으로써 증가되는 냉방에너지요구량이 크기 때문에 창 면적을 줄이는 것이 냉난방 에너지요구량 측면에서 유리하게 된다. 에너지 절약을 위한 외피 단열은 중요하다. 건축물에서 에너지 절약을 위한 효과적인 방법은 설계 초기 단계부터 창호 및 벽체의 단열, 창면적비 등 건축적인 특성을 고려하여 효율적인 에너지 절약 계획을 수립하는 것이다. 창면적비는 3장에서 살펴봤듯이 개교년도에 따른 특징은 크게 보이지 않았다. 그래서 창면적비와 학교의 에너지 사용량과의 관계를 알아보기 위해 창면적비 순서에 따른 에너지 사용량 그래프(그림24)를 그려보았다. 그래프에서 신창초등학교와 저창초등학교의 경우 에너지 사용량 데이터를 확인할 수 없어 그래프에서 빠졌음을 밝혀둔다.

창면적비 순서에 따라 학급수당 에너지 사용량의 냉방 사용량을 그래프로 나타내보면 창면적비가 증가할수록 에너지 사용량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 창면적비가 커지면 여름 냉방부하가 크기 때문에 냉방에너지 소요량이 커진다.

다음은 교실의 방위에 따른 에너지 사용량을 확인해 보았다. 앞서 3장에서 일반

표 26 창 방향에 따른 에너지 사용량(여름 에너지 사용량 으뜸차순 정리)

창방향평균	학교수	기본(kWh)	여름(kWh)	겨울(kWh)
동향	3	758	1,026	1,012
남향	20	722	1,108	1,121
남서향	14	855	1,241	1,356
남동향	25	826	1,258	1,153
북동향	2	829	1,427	1,481

교실의 창이 향하는 방위를 단위입면의 방향이라고 정하고 남향과 동향을 향할 경우 남동향으로 평균내어 교실 방위를 살펴보았다. 이번에는 방위에 따라 에너지 사용량이 영향을 받는지 향에 따른 에너지 사용량을 순서대로 나열(표26)해보았다. 이에 따르면 냉방 사용량을 기준으로 나열했을 때 동향<남향<남서향<남동향<북동향 순으로 에너지를 많이 사용하고 있었고, 난방 사용량 기준으로 나열했을 때는 동향<남향<남동향<남서향<북동향 순으로 에너지를 사용하고 있었다.

동향이 에너지를 가장 적게 사용하는 이유는 학교의 일과 특성 때문이라고 생각된다. 학교는 아침부터 일과를 시작해 오후2~3시 사이에 일과가 끝난다. 물론 방과후 수업이나 동아리 수업은 있을 수 있지만 전체 학생이 전부 사용하는 시간은 늦어도 오후 3시까지가 전부이다. 겨울에는 동쪽에서 뜨는 해에 의한 일사

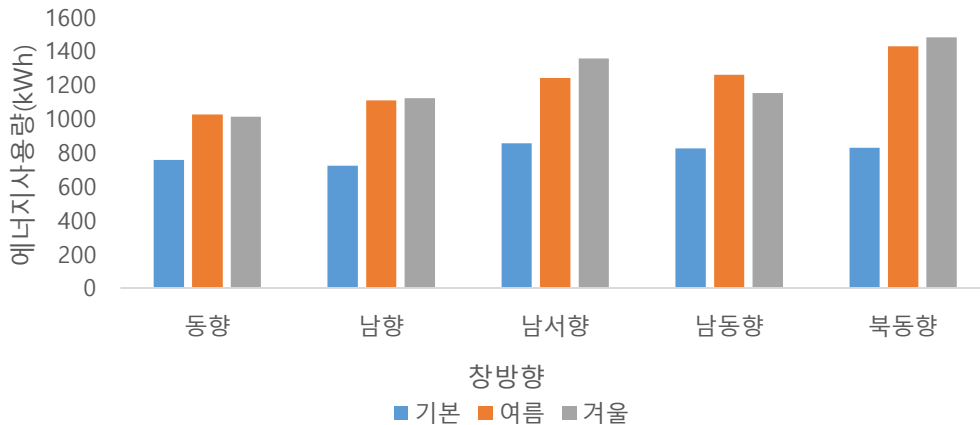


그림 25 창방향에 따른 에너지 사용량(냉방사용량 기준)

에너지 취득이 난방에너지를 줄여주는 역할을 할 것이라고 생각된다. 에너지를 가장 적게 사용하는 동향과 가장 많이 사용하는 북동향은 1.4배 북동향이 사용하는 에너지가 많다고 분석되었다. 난방에너지 사용의 경우 동향보다 북동향이

1.46배 에너지를 더 사용하는 것으로 나타났다.

다음은 창호조합에 따른 에너지 사용량을 살펴보았다. 앞서 3장에서 65개의 제주도 초등학교의 창호조합을 조사하였다. 이 창호조합을 갖는 학교들의 에너지 사

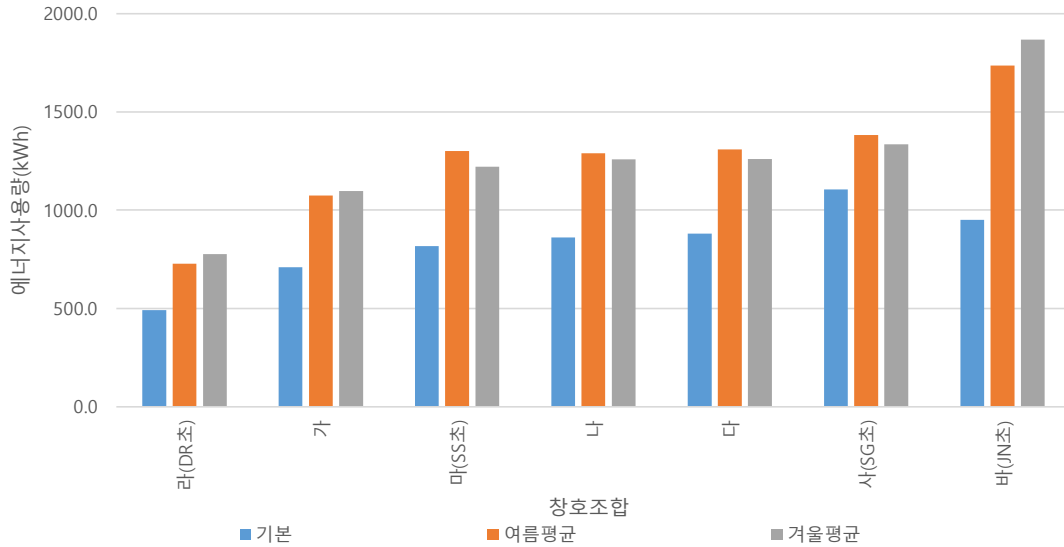


그림 26 창호 조합에 따른 에너지 사용량 비교(냉방사용량 기준)

용량 평균을 내고 사용량 순으로 나열하면 그림26과 같이 나타낼 수 있다.

표27을 참고하면 가장 에너지 사용량이 작은 창호조합의 학교는 알루미늄 프레임에 복층유리가 이중창으로 들어가 있는 도련초이다. 도련초는 2015년에 개교한 학교로 표준설계도를 따르지 않고 설계공모를 통해 당선되어 건축된 제주도에에서 가장 최근에 개교한 학교이다. 창호가 알루미늄 시스템 창호로 되어 있고 단열기준도 가장 최근의 강화된 기준이 적용되어 시공되었을 것이기 때문에 에너지 사용량이 가장 작다. 다음으로는 PVC창호에 복층유리가 이중창으로 되어 있는 23개의 학교이다. 그 다음으로 삼성초가 알루미늄 복층유리와 단창을 갖고 있는데 에너지사용량이 작은 것을 알 수 있다. 에너지 사용량이 많은 창호조합은 복합창호에 복층유리가 단창으로 되어있는 학교이다. 에너지 사용량이 가장 적은 창호조합을 갖고 있는 도련초와 에너지 사용량이 가장 많은 창호 조합을 갖고 있는 제주남초의 에너지 사용량을 비교해 보면, 5월 사용량은 1.9배 차이가 나고, 여름 사용량은 2.38배, 겨울 사용량은 2.4배 차이가 나고 있다.

물론 창호조합이 에너지 사용량에 영향을 주는 절대적인 요인이라고 말할 수는 없다. 창호 유리 두께와 프레임의 단열성능 간봉의 재질, 유리사이의 간격, 로이

표 27 제주도 초등학교 창호 및 유리 설치 현황

기호	창호조합	학교수	비율(%)	대표학교/비고
가	PVC창호+복층유리+이중창	23	35.4	
나	PVC창호+단판유리+이중창	35	53.8	
다	PVC창호+단판유리+단창	3	4.6	납읍초, 신창초, 화북초
라	알루미늄+복층유리+이중창	1	1.5	도련초
마	알루미늄+복층유리+단창	1	1.5	삼성초
바	복합+복층유리+단창	1	1.5	제주남초, 내(PVC)+외(알루미늄)
사	복합+복층유리+단창	1	1.5	신광초, 내(목문)+외(PVC)
	합계	65	100	

코팅 여부, 유리사이 충전 기체의 종류 등 창호의 단열성능에 영향을 주는 창호의 성능도 학교마다 공사 시기마다 다를 수 있다. 또한 유리의 물성에 따라서도 에너지 사용량에 영향을 줄 수 있다. 창호 성능은 SHGC, VLT, U-value 등을 각각 다르게 설계하여 적절한 대상 건물에 가장 효과적인 창호의 물성치를 찾아내서 적용해야 한다. 교실의 외벽 창호가 남향에 위치하면 동절기에는 난방부하 절감에 유리하지만 하절기에는 과도한 일사유입으로 인해 실내가 과열되는 문제가 발생하여 냉방부하를 크게 하는 효과가 생긴다. 창호의 SHGC값이 낮아질수록 일사획득량이 줄어들기 때문에 냉방부하는 감소되었지만 난방부하는 증가되었다. 적절한 SHGC 값을 찾아 적용하고 로이유리와 아르곤가스를 충전 하여 최적의 단열성능을 찾아 적용해야 할 것이다.

3. 그린리모델링 적용방안 및 효과분석

한국토지주택공사 그린리모델링 창조센터에서는 취약계층이 이용하는 공공건축물 1,065개동의 개별 건축물에 대한 현장조사와 설문조사, 시뮬레이션의 세가지 연구방법을 통해 실태조사를 실시하였다. 건축물 기술요소별 불량 상태가 가장 높게 나타난 순서대로 적어보면 창호(89%)>단열(84%)>냉방설비(66%)>난방설비(58%)>급탕설비(47%)>내부마감(45%)>조명설비(36%) 순서로 나타났다.

제실자의 실내환경 만족도 설문조사 결과는 동절기 온열환경에 가장 불만족하고, 다음으로 여름 온열환경이 불만족스럽다고 조사되었다. 대부분 조명은 양호한 것으로 나타났는데 이유는 타 공종에 비해 조명공사가 용이하여 이미 개선된 곳이 많기 때문으로 확인되었다.

노후건축물 현황평가와 설문조사를 종합한 결과 그린리모델링을 통한 에너지 성능 개선의 우선순위는 창호 및 단열 항목이 95.7%로 가장 높은 것으로 분석되었고, 그 다음순서로 냉난방 설비>환기설비>조명설비>신재생에너지 설비 순으로 조사되었다. 하지만 실제 리모델링에는 창호공사가 가장 많이 적용된 것으로 파악되었다. 적용된 기술요소의 순서를 보면 고성능 창호공사(88.4%)>냉난방설비(81.1%)>환기설비(68.2%)>벽체외단열(64.8%)>고기밀문(63%)로 나타났다. 그 뒤를 이어 추가적으로 보일러, 지붕단열, led조명, 태양광 순으로 적용되었다고 나타났다.(우수진외1인. (2022). 취약계층 이용 공공건축물 그린리모델링을 통한 에너지절감효과 분석 - 국공립어린이집, 보건소, 공공의료시설을 중심으로 -. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 42(1), 522-523.)

위 논문에서 나타난 리모델링 기술요소 적용 우선순위를 보면 창호와 단열이다. 하지만 초등학교의 단열공사는 특히 외단열 공사는 외벽 리모델링까지 진행할때만 공사를 진행할 수 있어서 쉽지 않은 기술요소이다. 단열보강을 위해 외벽을 철거하고 비계를 설치하는 등 추가적인 가설공사가 필요하고 방학중에만 공사가 가능하고 공사기간이 길어지면 수업이 가능한 대체 공간이 추가로 필요하기 때문에 특히 학교에 적용하는데 한계가 있다고 생각된다.

제주시 초등학교 리모델링 현황을 살펴보면 대부분 증축이거나 창호교체 공사인 경우가 많다. 증축은 공사 시점의 단열기준에 맞추기 때문에 최근에 증축한 곳일수록 에너지 성능이 좋다. 그리고 기존 건물의 창호만을 교체 하는 경우 얇은 단판유리에 단창인 현황을 두꺼운 복층유리에 이중창과 로이코팅 및 가스 충전으로 바꾸는 것이 에너지 성능에 도움이 될 수 있다. 제주시 초등학교의 창호 현황을 보면 복층유리에 이중창도 적용된 학교가 많지 않기 때문에 고성능 창호교체가 최우선으로 고려해봐야 할 기술요소라고 판단된다.

2014년도 KEDI교육시설 교육 연구자료인 [그린스쿨 조성을 위한 핵심요소기술 및 효율적 적용방안]에서 한국교육환경연구원 김성중 기획관리국장의 교육내용에

‘최근 교육시설에 적용된 에너지설계현황 및 설계요소별 에너지절감 효과’라는 내용이 있다. 이 내용 중에 리모델링 건축물의 기술요소별 에너지 절감을 및 경제성 분석 부분을 살펴보면 창호, 단열보강, 조명기구교체, 냉난방시설 개선에 대해 리모델링 내용과 공사비 에너지 1%를 절감시키는데 증가되는 공사금액을 산출해서 어떤 기술요소가 경제성이 있는지 분석한 내용이 있다(표28 참고).

표 28 리모델링 건축물의 기술요소별 에너지 절감을 및 경제성 분석

적용요소	리모델링 전	리모델링 후	에너지 절감률	에너지 1% 절감시 공사금액 대비 효율 순위
외부창호교체	투명유리 단창	기밀성창호, 로이복층유리	3.50%	3
단열보강	50~90mm	100~180mm	1.60%	4
조명기구 교체	형광등(50w)	LED조명기구(50w)	7.50%	2
냉난방시설 개선	흡수식 냉온수기	개별난방(EHP)	19.40%	1

이를 통해 리모델링 건물의 에너지 기술 요소별 에너지 절감효과는 냉난방시설 개선, LED조명기구 교체, 고효율창호 교체, 단열보강 순으로 경제적 효율이 높은 것으로 나타났다.

일반 리모델링에서 창호나 단열보강보다 조명기구교체, 냉난방시설 교체등이 경제성이 좋다고 하지만 학교 리모델링의 경우 경제성만으로 리모델링 내용을 결정할 수는 없다. 학교는 어린 학생들이 낮 시간의 반을 집처럼 매일 사용하는 공간이기 때문에 경제성보다는 온열환경이 쾌적할 수 있도록 리모델링을 해야 할 것이다. 따라서 창호교체와 더불어 외벽단열 및 고효율 냉난방기기 교체, 조명기구 교체 등 학생들이 교실에서 생활하는데 쾌적하게 지낼 수 있도록 리모델링 우선순위가 결정되어야 할 것이다.

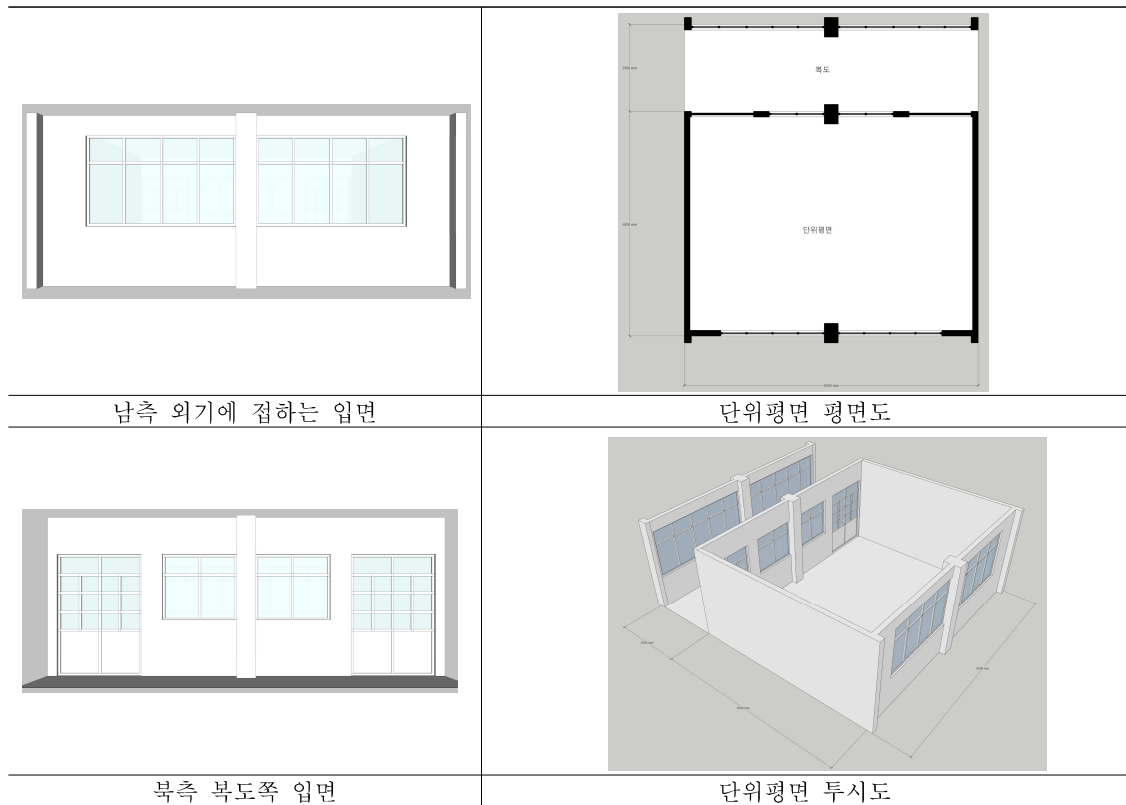
이번 연구에서 조사한 제주도 소재 초등학교에서 에너지 사용량이 많은 학교들 중 한 학교를 선택하여 단위교실을 만들어 조건을 현재와 비슷하게 해서 건물에 에너지성능 시뮬레이션 프로그램인 Energy#을 이용하여 시뮬레이션 해 보았다.

대상학교는 1984년 제주도 동지역에 개교한 한천초등학교로 하절기와 동절기 에너지사용량이 많은 대표적인 학교이다. 한천초는 전체 학생수 264명의 소규모 학교이고 T자형 배치를 갖고 있으며, 단위교실은 남향과 동향을 향하고 있고 단위교실의 창면적비는 35%이다. 또한 창은 PVC 단판유리가 이중창으로 되어 있으

며, 처마는 여름철 일사를 막아줄 정도의 처마는 아닌 학교이다. 학교연혁과 학교시설 배치도 자료를 참고하여 학교 리모델링 내용을 살펴보면 1984년 신축이후 급식실과 다목적 강당을 몇 년 사이로 증축하고 본관 외벽 도색정도의 리모델링만 있었을 뿐 창호변경이나 전체적인 교실 리모델링은 없었던 학교이다. 부분적으로 도서관이나 방송실 리모델링이 있었으나 학생들이 매일 사용하는 일반 교실의 수선은 없었기 때문에 에너지 사용량이 많은 타 학교들 중 시뮬레이션 효과를 더 잘 볼 수 있어서 선택하였다.

먼저 한천초는 표준설계도를 바탕으로 지어진 학교이기 때문에 도면이 없었지만 학교시설 배치도 자료에서 스케일로 직접 재어 봤을 때 가로, 세로 8.5m*6.5m의

표 29 한천초등학교 단위평면의 평면, 입면, 투시도



모듈로 지어진 학교였다. 외벽은 창면적비 조사를 위해 사진을 찍고 캐드파일로 만들어 놓았기 때문에 이를 이용하여 그렸고, 내부는 학교 홈페이지에 학생들의 일반교실 내 생활사진을 통해 확인하였다. 이 정보를 바탕으로 표29와 같이 스케치업으로 간단한 단위평면을 만들어보았다.

단위평면을 만들어서 창호의 열성능을 개선했을 때 에너지 성능이 어느 정도 향

상되는지 확인해보았다(표29참고). 먼저 유리의 성능에 따른 에너지 절감률을 알아보기 위해 외벽의 단열성능은 최신 단열기준을 따르는 것으로 하였다. ‘외기에 직접 면하는 공동주택 외’의 외벽 열관류율 0.410(W/m²·K)로 하고 나머지 3면의 벽은 ‘외기에 간접면하는 공동주택 외’의 열관류율 0.560(W/m²·K)으로 하고, 외기에 간접면하는 반자 또는 지붕의 0.35(W/m²·K), 외기에 간접 면하는 바닥 0.810(W/m²·K)로 하여 창을 제외한 다른 조건을 고정시켰다. 조건은 표30과 같다.

표 30 창호변화에 따른 효과 검증을 위한 에너지사입 입력 값

외벽조건	열관류율 (W/m ² ·K)	창호조합	일사획득계수 (SGHC)	열관류율 (W/m ² ·K)
외벽(직접)	0.410	단판유리 단창	0.8	5.3
외벽(간접)	0.560	단판유리 이중창	0.7	3.1
지붕	0.350	복층유리 이중창	0.6	1.3
바닥	0.810	삼중유리 단창	0.5	1.5

단위평면에서 남쪽인 외기에 면하는 창만 있다고 가정하고 북도로 향하는 중간 창호는 없다고 가정하여 외부창호의 변화가 에너지 성능에 미치는 영향만 알아보았다. 창호조합을 네가지만 한 이유는 PVC창호 프레임에 복층유리에 단창의 경우는 제주시내 학교에는 한군데도 없었기 때문에 제외하였고, 삼중유리의 경우 복층유리 2개의 가격보다 삼중유리 창 하나의 가격이 비싸기 때문에 현실적으로 적용이 어렵다고 판단하여 제외하였다.

에너지사입 시뮬레이션 결과 가장 열악한 조건인 단판유리에 단창인 경우와 비교했을 때 단판유리 이중창의 경우 7.4% 에너지 성능이 향상되었고, 복층유리에 이중창인 경우는 8.3% 향상되었으며, 삼중유리 단창인 경우는 단판유리 단창인 경우보다 5.5% 향상되었다. 시뮬레이션 결과는 표31과 같다.

표 31 창호조합에 따른 총에너지 요구량과 향상비율

창호조합		난방에너지요구량 (kWh/m ² ·yr)	냉방에너지요구량 (kWh/m ² ·yr)	1차에너지소요량 (kWh/m ² ·yr)	향상비율(%)
유리상태	창종류				
단판유리	단창	79.53	18.54	108	
	이중창	73.30	16.60	100	7.4%
복층유리	이중창	72.03	15.26	99	8.3%
삼중유리	단창	74.60	14.58	102	5.5%

시뮬레이션 결과에서 보면 단판유리 이중창이나 복층유리 이중창, 삼중유리 단창

이 1차에너지 소요량이 비슷하다고 나와 있다. 이는 창외 최저 단열기준만을 맞춘 것이어서 로이코팅이나 중간에 가스충진 같은 변수를 고려하지 않은 조건임을 감안해야 할 것이다.

창외 열관류율과 벽외 열관류율은 큰 차이를 보인다. 게다가 시뮬레이션 평면의 창면적비가 30%밖에 되지 않기 때문에 창외의 열성능이 실질적으로 에너지 사용량에 큰 차이를 주지 못하고 있다. 그리고 교실 하나만을 시뮬레이션 했기 때문에 전체 연면적을 생각하면 절약되는 에너지의 양은 작다고 할 수 없을 것이다.

제주시 초등학교는 외벽단열이 거의 되어 있지 않다. 단열기준이 만들어진 1980년 이전에 지어진 학교가 전체 제주시 지역 초등학교의 75%인데 대부분 단열재 없이 만들어졌다. 그마저도 제주도는 겨울이 따뜻한 편이어서 육지지역의 단열기준보다 높은 열관류율 값을 나타내고 있었다. 한천초등학교의 경우 1984년에 개교했기 때문에 단열재가 아주 없지는 않을 것이고 그 당시 기준에 맞는 단열재가 있을 것이라 생각된다. 만약 지금 현재 그린리모델링을 한다면 처음 신축됐을 때와 비교해서 어느 정도 에너지 성능이 향상되는지 확인해 보았다.

1984년 제주도의 외벽 단열기준이 열관류율 $1.16(W/m^2 \cdot K)$ 이었고 현재 제주도의 외벽기준 열관류율은 $0.41(W/m^2 \cdot K)$ 이므로 이를 적용해 시뮬레이션 해 보면, 1984년 기준 1차에너지 소요량은 $152kWh/m^2 \cdot yr$ 이고, 현재 단열기준 적용 시뮬레이션 결과 1차에너지 소요량은 $99kWh/m^2 \cdot yr$ 이다. 두 소요량을 비교하면 총 34.58%의 에너지 향상 값을 얻을 수 있었다.

제주도는 타지역과 달리 여름이 덥고 습하기 때문에 난방부하보다 냉방부하가 크다. 여름철 냉방부하를 감소시키기 위해 그린리모델링 기술요소 적용시 여름 일사를 가릴 수 있는 차양을 설치하는 것이 냉방부하를 감소시켜 주는데 도움을 줄 것이다. 표32는 외부차양에 의한 차단비율에 따라 냉방에너지 요구량이 달라지는 정도를 보여주고 있다. 외부차양이 설치되었을 경우 차단비율이 90%라고 하고 이중유리의 내부 블라인드의 경우 차단비율이 35% 정도이며, 차양이 없을 때 차단비율을 0%라고 해서 결과 값을 확인해 보았다. 차양을 설치하지 않았을 경우 냉방에너지 요구량은 $15.26kWh/m^2 \cdot yr$ 이고, 외부차양을 설치해서 일사를 90% 차단해줬을 경우 냉방에너지 요구량은 $12.29kWh/m^2 \cdot yr$ 이다. 이는 냉방부

하가 19.46% 감소되었음을 나타내는 값이다. 외부 차양 설치는 제주처럼 냉방부하가 큰 지역에 적용하기 좋은 기술요소라고 할 수 있겠다.

표 32 차양차단비율에 따른 냉방에너지 요구량

난방성능			7.2	검토(레벨 1/2/3)
난방	난방에너지 요구량(kWh/m ² ·yr)	72.03		↓ 15/30/50
	난방 부하(W/m ²)	48.6	X	
냉방	냉방에너지 요구량(kWh/m ² ·yr)	15.26	-	
	현열에너지	8.54		↑ 검토제외
	재습에너지	6.72		
	냉방 부하(W/m ²)	22.0		
	현열부하	12.5		
	재습부하	9.5		
총량	총에너지 소요량(kWh/m ² ·yr)	90		
	CO2 배출량(kg/m ² ·yr)	18.0		↓ 120/150/180
	1차에너지 소요량(kWh/m ² ·yr)	99	Level 1	
기밀	기밀도 n50 (1/h)	5	X	
검토 결과	General House			↑ 0.6/1/1.5

난방성능			7.2	검토(레벨 1/2/3)
난방	난방에너지 요구량(kWh/m ² ·yr)	72.03		↓ 15/30/50
	난방 부하(W/m ²)	48.6	X	
냉방	냉방에너지 요구량(kWh/m ² ·yr)	14.06	-	
	현열에너지	7.34		↑ 검토제외
	재습에너지	6.72		
	냉방 부하(W/m ²)	21.1		
	현열부하	11.6		
	재습부하	9.5		
총량	총에너지 소요량(kWh/m ² ·yr)	90		
	CO2 배출량(kg/m ² ·yr)	18.0		↓ 120/150/180
	1차에너지 소요량(kWh/m ² ·yr)	99	Level 1	
기밀	기밀도 n50 (1/h)	5	X	
검토 결과	General House			↑ 0.6/1/1.5

난방성능			7.2	검토(레벨 1/2/3)
난방	난방에너지 요구량(kWh/m ² ·yr)	72.03		↓ 15/30/50
	난방 부하(W/m ²)	48.6	X	
냉방	냉방에너지 요구량(kWh/m ² ·yr)	12.29	-	
	현열에너지	5.57		↑ 검토제외
	재습에너지	6.72		
	냉방 부하(W/m ²)	19.8		
	현열부하	10.3		
	재습부하	9.5		
총량	총에너지 소요량(kWh/m ² ·yr)	90		
	CO2 배출량(kg/m ² ·yr)	18.0		↓ 120/150/180
	1차에너지 소요량(kWh/m ² ·yr)	99	Level 1	
기밀	기밀도 n50 (1/h)	5	X	
검토 결과	General House			↑ 0.6/1/1.5

차양차단비율 0%

차양차단비율 35%

차양차단비율 90%

지금까지 학교에 적용 가능한 기술요소의 에너지 성능 향상정도를 살펴보았다. 제주시 초등학교에서 우선적으로 적용해야 하는 효과 좋은 기술요소는 고성능 창호로의 교체가 무엇보다 시급한 것으로 보이고, 외단열 보강과 외부차양 설치, 고효율 냉난방장치로 교체, LED조명 교체 등이 효과 좋은 기술요소라고 할 수 있을 것이다. 그리고 추가로 열회수환기장치와 신재생에너지를 추가하면 온실가스 배출을 줄이는 그린리모델링이 가능할 것이라 판단된다.

제주가 타지역 보다 냉방부하가 크기 때문에 이를 고려해서 난방부하를 줄이는 기술요소 보다 냉방부하를 줄이는 기술요소를 더 많이 고려하여 그린리모델링의 방향을 정해야 할 것이다.

V. 결론

정부는 2050탄소중립을 선언하고 각 분야별 온실가스 배출 저감을 위한 시나리오를 만들어 정책에 반영시키고 있고 건물분야에서는 신축건물의 제로에너지 건축물 의무화와 기존 건축물 그린리모델링이 정책적으로 추진되고 있다.

그린 리모델링은 공공부문에서 시작되었고 조만간 민간부문에서도 활발해질 것이다. 현재 공공부문에서 진행되는 그린리모델링 중 학교에서의 그린리모델링은 ‘그린스마트스쿨’이라는 사업으로 진행되고 있다. 그린리모델링의 근본적인 목적은 에너지 사용량을 줄여 온실가스 배출량을 감소시키는 것이기 때문에 특히 제주 지역의 초등학교에 어떤 그린리모델링 기술요소가 적합할 것인지 제안하기 위해 연구를 진행하였다.

먼저 단열기준 변화에 따른 에너지 사용량 변화와 그린리모델링이 무엇인지 알아보았고 그린리모델링 사례를 통해 어떤 기술요소들이 적용되는지 확인했다.

제주시 초등학교의 개교현황과 리모델링 현황을 살펴보고 건축특성을 분석하여 에너지 사용량에 영향을 주는지 분석해 보았다. 제주시에 위치한 65개 학교 중 78%가 개교한지 40년이 경과한 노후 학교이다. 학생수가 12학급 이내의 소규모 학교가 전체의 46%이며 소규모 학교들은 읍면지역, 대규모 학교들은 대부분 동지역에 위치해 있음을 알 수 있었다.

그리고 초등학교의 배치형태와 입면특성에 대해 살펴보았다. 대부분 표준설계도가 적용된 평면이기 때문에 一자형 편복도형 평면을 갖고 있다가 증축수요로 ㄱ자 또는 ㄷ자가 된 형태였고 도심지 학교에선 더 많은 공간이 필요하여 병렬형이나 중정형의 배치 형태를 갖게 되었다. 또한 입면 특성에서 창호 조합을 조사한 결과 54%가 PVC창호에 단판유리 이중창을 갖고 있고, 35% 학교는 PVC창호에 복층유리 이중창호를 갖고 있음을 알 수 있었다. 에너지적으로 불리한 창호가 많아 고성능 창호로의 교체가 시급한 부분이다.

이런 건축특성을 바탕으로 에너지 사용량이 영향을 받고 있는지 살펴보았는데 먼저 단열기준 변화 및 개교년도에 따라 에너지 사용량을 살펴본 결과 단열기준

이 강화되면서 에너지 사용량이 감소했음을 알 수 있었다. 그리고 학교마다 재학생 수나 학급 수, 학교 연면적이 다르기 때문에 원단위 에너지로 환산해서 비교해 보았다. 학급수당, 학생수당 에너지 사용량은 개교년도가 최근으로 올수록 작아지는 경향을 보이고 있었다. 이는 단열기준이 강화되어 단열성능이 좋아지고 냉난방 기기의 효율이 좋아졌기 때문으로 분석된다.

다음은 배치형태와 입면특성이 에너지사용량에 영향을 미치는지 살펴보았다. 병렬형과 ㄷ자형의 에너지 사용량이 작았고, 一자형 ㄱ자형의 학교들이 에너지 사용량이 많다고 분석되었다. 병렬형이나 ㄷ자형 학교들은 도심지에 학생수가 많은 학교여서 증축 횟수도 많고, 그에 따라 단열성능이나 창호성능도 좋아져서 에너지 사용량이 타 배치형태보다 작았다. 외피 특성 중 창면적비에 따른 에너지사용량은 창면적비가 커질수록 에너지 사용량이 증가하는 경향을 보였다. 창은 벽보다는 열관류율 값이 크기 때문에 창이 큰 것이 에너지 성능적으로 불리하기 때문에 창면적비가 커지면 에너지 사용량이 커지고 있음을 확인할 수 있었다.

또한 창호 조합에 따라 에너지 사용량을 살펴보았다. 가장 최근인 2015년에 개교한 알루미늄 시스템창호를 갖고 있는 도련초가 에너지 사용량이 가장 적었고, 그 다음으로 PVC프레임에 복층유리 이중창을 갖고 있는 23개의 학교의 에너지사용량이 작게 나타났다. 리모델링 추진시 고성능 창호로 교체를 우선적으로 고려해야 할 것이다.

에너지 사용량이 높은 학교들을 나열해 보고 그 학교의 리모델링 횟수를 살펴보았는데 에너지 사용량이 높은 학교들이 리모델링을 적게 했음을 확인할 수 있었다. 그리고 에너지 사용량이 작은 학교들은 최근 개교한 학교여서 강화된 단열기준이 적용된 신축이거나, 오래된 학교라도 학생수가 늘어나는 지역에 위치해있어 최근에 리모델링이 많이 이루어져 에너지 성능이 좋아진 경우였다.

마지막으로 1984년에 개교한 리모델링 이력이 거의 없는 한 초등학교의 단위평면을 샘플링 해 외벽단열의 효과와 창호변경 및 차양설치의 효과가 어느 정도인지 에너지샵 프로그램으로 시뮬레이션 해보았다. 외벽과 창호 변경, 차양 설치가 에너지 절감에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

아직도 학교는 겨울에 춥고 여름에 덥다. 냉·난방기를 가동하지만 모두가 만족하는 온열환경이 만들어지지 않고 있다. 에너지 절약이라는 명목하에 학생들이

쾌적한 환경에서 학습할 수 있는 권리를 잊어서는 안 될 것이다. 에너지를 절약하면서도 만족할만한 온열환경을 만들어 쾌적하게 공부할 수 있도록 도와줘야 한다. 이를 위해서 그린리모델링을 반드시 해야 하고 적은 예산으로 많은 학교가 혜택을 받을 수 있도록 학교별로 지역별로 상황에 맞는 가장 효과 좋은 기술요소를 리모델링 현장에 적용해야 할 것이다. 특히 제주는 겨울 난방부하보다 여름 냉방부하가 타 지역에 비해 크기 때문에 이를 고려하여 고성능 창호교체와 외벽 단열과 더불어 차양을 반드시 설치하여 여름의 일사를 막아 냉방부하를 줄일 수 있도록 해서 에너지 사용량을 줄여야 할 것이다.

참고문헌

1. 김병수. (2010). 그린스쿨 교실에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 냉난방에너지 성능평가분석. 대한건축학회 논문집 - 계획계, 26(2), 267-274.
2. 김유진. (2020). 건물에너지 절감과 그린 리모델링 정책. 국토, (), 27-32
3. 김은희, 류수훈. (2017). 학교시설의 그린리모델링을 위한 디자인지표 개발 및 사용자참여설계 활용에 관한 연구. 교육시설 논문지, 24(3), 3-13.
4. 김재문, 이규철, 이승규, 김민성, 민준기.(2013).공동주택 향별 창면적비 변화에 따른 에너지 영향도 분석.한국생태환경건축학회 논문집,13(2),21-26.
5. 김진욱. (2020). 그린스마트 스쿨사업과 건축공간혁신. 건축, 64(11), 15-18.
6. 노은아, 임재한, 송승영.(2011).공동주택 외피의 창면적비에 따른 에너지성능 평가. 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집,(),163-166.
7. 대한민국 대전환 한국판뉴딜-국토교통부
8. 대한민국정책브리핑www.korea.kr
9. 박덕준.(2021).Net Zero를 위한 정책 로드맵 변화 방향과 그린리모델링 기술 개발. 설비저널,50(10),28-39.
10. 박지현, 이선영. (2006). 80년대 표준설계 초등학교 단위 교실의 환경친화적 리노베이션에 관한 연구. 교육시설, 13(2), 25-33.
11. 방아영, 박세현, 김진희, 김용재, 김준태. (2015). 기존 학교 건물의 외피 성능 개선 방안에 관한 연구. KIEAE Journal, 15(4), 69-76.
12. 송두삼. (2022). 2050 탄소중립 건물부문 목표 달성을 위한 그린리모델링. 설비저널, 51(10), 18-23.
13. 신지웅. (2021). 공공건축물의 그린리모델링 최적화 기술요소 및 프로세스. 건축, 65(6), 35-38.
14. 우수진, 이상윤. (2022). 취약계층 이용 공공건축물 그린리모델링을 통한 에너지 절감효과 분석 - 국공립어린이집, 보건소, 공공의료시설을 중심으로 -. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 42(1), 522-523.
15. 윤용기, 적정규모 학교 정책 수립을 위한 초등학교 재학생수 기초 조사 연구, 녹색교육환경연구, 2018.4

16. 윤용기, 전국 초등학교 재학생수 및 학급수 조사 연구, 교육녹색환경연구 v.18 no.3 , 2019년, pp.50 - 59
17. 제주특별자치도교육청 ‘제주교육 통계연보’
18. 탄소중립 학습 자료집-2050 탄소중립위원회.2021
19. 한국토지주택공사 그린리모델링 창조센터
20. 황태연, 오병철. (2022). 그린리모델링 사례. 설비저널, 51(10), 38-43.
21. 2021 KEDI 교육시설 포럼 ‘뉴노멀 시대의 그린스마트 미래학교가 나아갈 방향
22. KEDI교육시설 교육 연구자료‘그린스쿨 조성을 위한 핵심요소기술 및 효율적 적용방안’