

저 탄소 학교건축물 구현 방안에 관한 연구

A Study on Realization Method of Low Carbon School Building

태성호*, 조영상**, 신성우***

이승민****, 맹준호*****

Tae, Sung-Ho Cho, Young-Sang Shin, Sung-Woo

Lee, Seung-Min Meang, Joon-Ho

ABSTRACT

This study purposed realization and a phase reduction of school building CO₂ emissions. Accordingly selected standard school buildings and evaluated life cycle environmental load(CO₂). This study proposed Green building technology which separated design sector, energy sector, afforestation sector for carbon-neutral city school buildings realization of M-city.

As a result, elementary, middle and high schools of M-city built in the year 2013 were required that design sector was Energy Performance Index(EPI) 75 point and energy sector was solar installations more than 25% of the power usage, Solar systems installed more than 10% of total gas consumption and the area of afforesting more than 35% of the ecological area to achieve 30% CO₂ reduction compared to the Respectively standard school buildings.

키워드 : 저 탄소, 학교 건축물, 이산화탄소, 에너지성능지표, 신재생 에너지

Key word : Low Carban, School Building, CO₂, Energy Performance Index, Renewable Energy

I. 서론

I-1. 연구배경 및 목적

최근 세계의 환경 선진국은 탄소중립을 지향하는 '지속가능한 도시' 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 독일의 프라이부르크는 신·재생에너지 보급, 대중교통 개선, 바람길 고려, 폐기물 정책 등을 통하여 2030년까지 온실가스를 40% 감축할 계획이며, 스웨덴의 신도시인 함마르비는 자체적인 재활용 모델과 신·재생에너지의 적극적인 도입, 통합적인 에너지 관리 등을 통해 2016년까지 1990년 대비 온실가스 50% 감축 목표를 설정했다. 또한 현재 건설되

고 있는 아랍에미리트연합(UAE)의 마스타르와 중국 동탄 신도시의 경우 100% 신·재생에너지를 사용한 탄소제로도시를 선언, 지속가능한 도시 건설에 대한 청사진을 제시하고 있다^{1,2)}.

한편 한국정부에서도 1990년도 기준 CO₂ 절감율 70%이상의 탄소중립도시(이하 M도시)개발을 추진 중에 있다. 이러한 측면에서 2005년부터 개발이 시작된 인구 50만의 계획도시인 M도시를 대상으로 도시계획부문, 도시건설부문, 건축물부문, 에너지부문, 교통부문, 수림부문에서 CO₂ 절감율 70%이상 달성을 위한 구체적인 CO₂ 절감을 위한 본 논문은 큰 의미를 갖는다 하겠다.³⁾

이러한 M도시의 CO₂ 절감노력의 일환으로 M도시에 건설될 공공건축물 중 가장 비중이 크고 학생들의 교육 및 체험의 장으로 활용될 학교건축물의 CO₂ 절감목표 및 실현방안에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

* 한양대 건축학부 조교수, 공학박사

** 한양대 건축학부 부교수, 공학박사(교신저자)

*** 한양대 건축학부 교수, 공학박사

**** 한국교육환경연구원 선임연구원, 공학박사

***** 한국교육환경연구원 부원장, 공학박사

이에, 본 연구에서는 향후 M도시에 건설될 학교 건축물 중에서 2013년 개설이 예정된 초등학교, 중학교, 고등학교의 9개교 건축물을 대상으로 건축물 전 생애 관점에서의 표준적인 CO₂ 배출량을 제안하고 제안된 표준 학교건축물 대비 2013년 학교건축물 CO₂ 절감목표인 CO₂ 30% 절감 달성을 위한 친환경건축 기술 제안을 목적으로 한다.

1-2. 연구방법

본 연구에서는 2013년도 M도시에 건설될 초등학교, 중학교, 고등학교의 CO₂ 절감목표 30% 달성을 위한 친환경건축 기술 제안을 위하여, 우선, 표준적인 초등학교, 중학교, 고등학교를 설정하고 설정된 표준 학교건축물의 전 생애주기의 CO₂ 발생량을 산출한 후 CO₂ 절감을 30% 달성 방안을 설계부문, 신·재생 에너지부문, 녹화부문으로 구분하여 제안하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 필자의 기존 연구인 건축물 전 생애주기 CO₂ 평가식을 활용하여 건축물 전 생애주기 CO₂ 배출량을 산출하였으며, 에너지 성능지표와 CO₂의 상관관계 분석을 통하여 에너지성능지표(EPI) 상승에 따른 CO₂ 배출 저감에 관한 상관관계를 도출하였다.

II. 건축물 전 생애주기 CO₂ 배출량 산출

II-1. 개요

M도시는 서울을 중심으로 하는 수도권 집중을 완화하고 국가 균형 발전을 선도하기 위해 추진되는 국가적 사업으로 한국의 충청남도에 행정을 중심으로 하는 인구 50만 규모의 신도시 개발 계획이다. 2030년 완공예정인 M도시는 도시계획수립부터 건축물, 교통, 에너지 등 분야별 저감방안을 마련하고 철저한 관리를 통해 한국의 1990년 CO₂ 배출량 대비 70%이상 절감된 환경 친화적이고 한국적 특성에 맞는 친환경 도시를 건설하고자 하는 계획이다.

표1. M도시 개요

구분	내용
행정구역	충남 연기군/공주시
면적	예정지역 72.91km ² , 주변지역 223km ²
목표인구	50만 명
인구밀도	68인/ha
지리적특성	서울로부터 120km

한편, M도시는 2030년 완공된 시점에서의 CO₂ 배출량을 한국의 1990년 CO₂ 배출량 대비 70% 이상 감축하는 것을 목표로 (1)CO₂ 감축부문과 (2)CO₂ 상쇄부문에서 CO₂ 절감계획을 수립하고 있다. 즉, (1)CO₂ 감축부문은 ①도시계획부문, ②도시건설부문, ③건축물부문, ④에너지부문, ⑤교통부문, (2)CO₂ 상쇄부문은 ⑥수목습지 및 하천변으로 구분되며 각 부문에서의 CO₂ 절감목표 달성을 위한 구체적인 방안을 제안하고 있다.

즉, 2030년 완성될 M도시의 CO₂ 배출량은 총 950,000ton-CO₂로 한국정부가 UNFCCC에 제출한 한국의 1990년도 CO₂ 배출량을 인구 50만으로 환산한 CO₂ 배출량 대비 72%에 상당하는 절감량이며, M도시 2030년 CO₂ 배출전망(BAU)대비 90%에 상당하는 감축량이다. 그림 1에 M도시의 CO₂ 감축목표를 나타낸다.

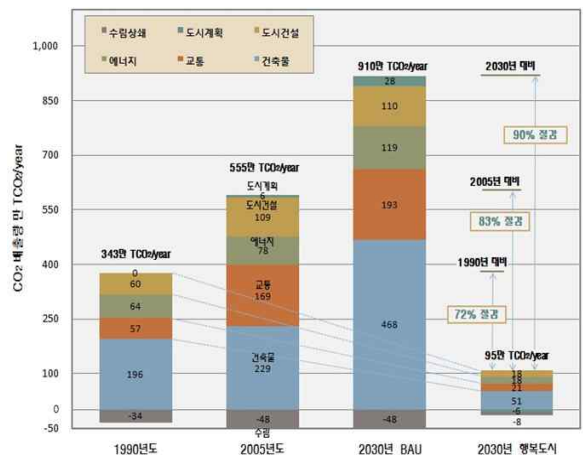


그림1. M도시 CO₂ 감축목표

본 논문에서는 표준적인 초등학교, 중학교, 고등학교 건축물의 전 생애주기 관점에서의 CO₂를 평가하고 설정한 각각의 표준학교 대비 CO₂ 절감을 30%의 M도시 내 저 탄소 학교건축물의 제안을 목적으로 한다. 이를 위하여 상기 학교건축물의 전 생애주기 관점에서의 CO₂ 평가가 필수불가결하며 이에 본 장에서는 필자의 기존 연구결과⁴⁾를 이용하여 본 논문에서 제안한 학교건축물의 전 생애주기 관점에서의 CO₂를 평가하였으며 그 개요는 다음과 같다.

즉, 건축물의 전 생애를 건설단계, 사용/유지관리 단계, 철거/해체 단계로 구분하여 평가방안을 제안하였다. 건설단계는 건축자재 생산단계, 건축자재

운송단계, 건설현장 시공단계로 구분되며, 건축자재 및 에너지의 CO₂ 원단위는 2003년도 산업연관분석법에 근거하였다.

한편, 사용/유지관리 단계는 건물 사용단계와 유지관리 단계로 구분되며, 연간 에너지 소비량을 기준으로 평가기간 및 건물수명을 고려하여 분석하였다. 또한, 철거/폐기 단계는 건물 철거 단계와 철거된 폐기물의 폐기 단계로 구분된다. 식<1>-<2>에 건축물 전 생애에 걸친 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 산출식을 나타낸다.

$$LCE = \sum E_{ij} \quad <1>$$

$$LCCO_2 = \sum CO_{2ij} \quad <2>$$

여기서, LCE는 라이프사이클 에너지 소비량 (MJ/m²), LCCO₂는 라이프사이클 이산화탄소 배출량 (kg-CO₂/m²), E_{ij}는 라이프사이클 각 단계 (i)의 자재별(j) 에너지 소비량 (MJ/m²), CO_{2ij}는 라이프사이클 각 단계 (i)의 자재별(j) CO₂ 배출량 (kg-CO₂/m²), i= 1 : 건설단계(1-1=자재생산과정, 1-2=운송과정, 1-3=시공과정), 2 : 사용/유지관리 단계(2-1=사용과정, 2-2=유지관리과정), 3 : 철거/폐기 단계(3-1=철거과정, 3-2=폐기과정)이다.

II-2. 건설단계

건설단계는 건설자재 생산단계, 운송단계, 시공단계로 구분된다. 건설단계의 단계별 CO₂ 평가방법은 다음과 같다.

1) 자재생산과정

자재생산과정은 건설공사에 사용된 건설자재들을 생산하기 위해 소비된 에너지량 및 이산화탄소 배출량을 산출하는 단계이다. 이 때 각 건설자재 생산을 위한 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량은 2003년도 산업연관분석법에 근거하였다. 따라서 건축물의 건설에 투입된 자재 및 재료의 물량 파악을 통해 평가대상 건축물에 사용된 건축자재의 생산과정에서의 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 산출이 가능하다.

$$EC-M = \sum M_{ij} \cdot COST_m \cdot U_{M,E} \quad <3>$$

$$CO_{2C-M} = \sum M_{ij} \cdot COST_m \cdot U_{M,CO_2} \quad <4>$$

여기서, E_{M-C}는 건설자재 생산단계의 에너지 소비

량, M_{ij}는 공사종류(i)의 건설재료(j)의 사용량 (MJ/m²), COST_m은 건설재료 (m)의 단가, U_{M,E}는 건설재료 (m)의 에너지 소비 원단위, CO_{2M-C}는 건설자재 생산단계의 이산화탄소 배출량(kg-CO₂/m²), U_{M,CO₂}는 건설재료 (m)의 이산화탄소 배출량 원단위이다.

2) 운송과정

본 연구에서는 기존의 연구에서 제안한 식<5>를 이용하여 운송단계의 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 식<5>는 실제 일반적인 건축공사의 단위면적에 사용된 자재를 운반하는데 사용된 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량을 계산하여 산출한 식으로 운송거리는 30km를 기준으로 하고 있으며 운송장비의 원단위 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량은 한국의 환경부에서 제안한 값을 이용하였다.

$$E_{M-m} = 0.0025TOE/\text{연면적} \quad <5>$$

$$CO_{2M-m} = 7.4\text{kg-CO}_2/\text{연면적} \quad <6>$$

여기서, E_{M-m}는 건설자재 운송단계의 에너지 소비량(MJ/m²), CO_{2M-m}는 건설자재 운송단계의 이산화탄소 배출량(kg-CO₂/m²)이다.

3) 시공과정

시공과정의 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량은 건축공사, 토목공사, 조경공사, 전기사용량으로 구분하여 각각 식<7>~식<12>를 이용하여 산출할 수 있다. 먼저, 식<7>~식<12>를 제안한 기존의 연구⁵⁾에서는 시공단계에서의 에너지를 유류와 전기로 구분하였다. 그리고 예산내역서의 공사내용에 대한 일위대가 분석을 통해 해당 공사항목에 대한 중장비의 사용시간과 기계장비 작업대가의 단위 시간 별 유류소비량 데이터를 분석하여 공사항목별 유류소비량을 산출하였다.

$$E_{ca} = 0.0017 \times Af + 37.5 \quad <7>$$

$$E_{cc} = 0.0063 \times Al - 72.9 \quad <8>$$

$$E_{cl} = 0.0002 \times Al + 1.67 \quad <9>$$

$$E_{ce} = 0.0247 \times Af^{0.79} \quad <10>$$

$$CO_2 \text{ oil} = (E_{ca} + E_{cc} + E_{cl}) \times 3.06$$

$$CO_2 e = E_{ce} \times 1.64$$

여기서, Eca는 시공단계에서 건축공종의 에너지 소비량 원단위(TOE), Ecc는 시공단계에서 토목공종의 에너지소비량 원단위(TOE), Ecl는 시공단계에서 조경공종의 에너지소비량 원단위(TOE), Ece는 시공단계의 전력사용량 원단위(TOE), Af는 건축물 연면적(m²), Al는 단지면적(m²), CO₂ oil 는 유류소비에 따른 이산화탄소 배출량(T-CO₂), CO₂ e = 전력소비에 따른 이산화탄소 배출량(T-CO₂)이다.

II-3. 사용단계

사용단계에서는 냉·난방, 조명, 조리 등 건축물의 수명 내에 소비되는 에너지 발생원을 전력 에너지, 난방 에너지, 가스 에너지로 구분하여 평가할 수 있다. 즉 난방 에너지는 난방방식에 따라 지역난방, 중앙난방, 개별난방으로 구분되며 난방 종류에 따라 LPG, 중유, 경유, 등유 등으로 구분되어 그 사용량을 수집하여 CO₂ 배출량을 산출할 수 있다. 식<11>과 식<12>에 사용과정의 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출량을 나타낸다.

$$E_u = (E_{ue} + E_{uh} + E_{ug}) \cdot Y \quad <13>$$

$$CO_{2u} = (E_{ue} + E_{uo} + E_{ug}) \cdot Y \cdot U_{ECO_2} \quad <14>$$

여기서, E_u과CO_{2u}는 각각 사용단계의 에너지 소비량(MJ/m²) 및 이산화탄소 배출량(kg-CO₂/m²)을 나타낸다. E_{ue}는 사용과정의 전기 에너지 사용량(MJ/m²/year), E_{uh}는 사용과정 난방 에너지 사용량(MJ/m²/year), E_{ug}는 사용과정 도시가스 사용량(MJ/m²/year), U_{ECO₂}는 소비에너지원 별 이산화탄소 배출량 원단위(kg-CO₂/MJ), Y는 건축물의 사용년수 (year)이다.

II-4. 철거/폐기단계

철거/폐기단계의 분석범위는 수명이 다한 건축물을 철거/해체하고 건설폐기물의 처리를 위한 운송까지를 포함한다. 즉, 대상범위는 건축물 철거 시 사용된 자재 및 장비와 폐기물 운반에 필요한 차량, 유류, 전력 등을 분석하는 것으로 설정하였다. 또한 폐기 단계는 상차시와 하차시로 구분되며 건설폐기물을 처리장까지 운송 후 다시 건설 폐기물 발생장으로 적차를 위해 회차되는 경우는 상차 시 에너지 소비량의 절반이 소비되는 것으로 가정하였다.

III. 에너지 성능지표와 CO₂의 상관관계 분석

III-1. 개요

본 연구에서는 건축물의 에너지성능지표(EPI) 설정을 통하여 건축물 운영단계에서의 CO₂ 저감방안을 제안하고자 한다. 이를 위해서는 우선적으로 건축물의 에너지성능지표(EPI)와 CO₂ 배출량과의 상관관계 도출이 선행되어야 한다. 이에 본 장에서는 에너지성능지표(EPI)를 최저기준점수인 60점에서 90점 사이의 다양한 조건으로 설정하고 설정된 건축물에 대한 에너지 시뮬레이션을 Visual DOE를 이용하여 실시한 후 평가결과의 회귀분석을 통하여 에너지성능지표(EPI)와 CO₂배출량과의 상관관계를 도출하였다.

III-2. 평가방법

에너지성능지표(EPI)와 CO₂배출량과의 상관관계를 도출을 위하여 우선, 에너지 절약설계의 최저기준점수 60점에 해당하는 평가 건축물을 Visual DOE를 이용하여 모델링하였다. 그 후 바닥 면적당 채실인원은 일반적으로 공조설비의 설계에 사용되는 값을 사용하였으며, 스케줄(schedule) 및 인체의 발열량과 조명부하(LPD, Lighting Power Density) 및 기타 기기부하 (EPD, Electric Power Density)는 ASHRAE STANDARD 90.1-1989 "Energy Efficient Design of New Building Except Low-Rise Residential Building"를 참조하여 설정하였다. 또한, 에너지성능지표(EPI)별 Visual DOE를 이용한 에너지 시뮬레이션에는 태양에너지학회의 기상데이터를 적용하였다. 표2와 표3은 각각 대상건물의 개요와 구성을 나타낸다.

표2. 평가 대상건축물 개요

구분	내용		
건축면적	1,500m ²		
연면적	37,500m ²		
규모	지상 25층		
방위	정남향		
건축구조	철근콘크리트		
1층 층고	6m	1층 천정고	4.4m
기준층 층고	4.2m	기준층 천정고	2.8m
열원방식	지역난방 및 지역난방을 이용한 흡수식 냉동기		
공조방식	정풍량 단일 덕트 방식		
EPI점수	60점		

표3. 에너지성능지표(EPI) 60점 건축물 구성

대 상	구 성
외 벽	비드법보온판 50mm가 적용, 열관류율 0.466 W/m ² K 구성
창 호	열관류율 2.8 W/m ² K , 차폐계수 0.83
지 붕	비드법보온판 90mm가 적용, 열관류율 0.288 W/m ² K 구성
바 닥	비드법보온판 70mm가 적용, 열관류율 0.398 W/m ² K 구성
단 열	콘크리트 160mm + 비드법보온판 50 내 단열 구조
냉 방	지역난방 증온수를 이용한 흡수식 냉동기

IV-3. 결과분석

표4에 각 평가조건에 대한 에너지성능지표(EPI)와 CO₂ 배출량의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 표4에 의하면 에너지성능지표(EPI) 60점의 평가 대상 건축물의 CO₂ 배출량은 177.8 kg-CO₂/m²로 평가되었다. 또한, 에너지성능지표(EPI) 점수의 상승에 따라 CO₂ 배출량은 감소하는 경향을 나타냈으며, 이러한 경향은 에너지성능지표(EPI)의 평가항목 중 외벽, 냉방기기, 송풍기에서 탁월하였다. 한편, 에너지성능지표(EPI) 60점을 기준으로 에너지성능지표(EPI) 점수가 1점 상승함에 따라 CO₂ 배출량은 약 2.87 kg-CO₂/m²년 감소하는 것으로 분석되었으며, 에너지성능지표(EPI)와 CO₂ 배출량과의 상관관계를 도출하기 위하여 분석결과를 이용한 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석은 CO₂ 저감에 큰 영향을 주는 3가지 성능평가항목 즉, 외벽, 냉방기기, 송풍기를 변수로 설정하여 진행하였으며 회귀분석을 실시하기에 앞서 개별요인들 간의 상관분석을 통해 영향

관계를 먼저 파악 하였다. 분석 프로그램으로는 Jandel Scientific Software의 SigmaStat 3.5를 이용하였다. 분석결과 외벽의 평균 열관류율, 냉방기기의 성적계수 COP(coefficient of performance), 송풍기효율은 유의 수준 5%내에서 CO₂와 유의미한 상관성을 갖는 변수로 나타났다. 또한 외벽의 평균 열관류율 Ue은 0.972의 강한 양의 상관관계가 있었으며 냉방기기의 성적계수 COP와 송풍기효율은 각각 0.947, 0.816의 강한 음의 상관관계가 분석되었다. 결과적으로 에너지성능지표(EPI)(x)와 CO₂를 이용하여 식(1)과 같은 회귀식을 도출하였으며 식(1)을 이용하여 하기의 “V. M도시 학교 건축물 CO₂ 절감 방안”에서 학교 건축물 용도별 CO₂ 감축 목표를 달성을 위한 에너지성능지표(EPI) 최소치를 제안하였다. 그림2에 에너지성능지표(EPI)항목간의 상호연관관계를 도출한 행렬도를 나타낸다.

$$CO_2 = 170.1 + 2.02x - 0.0319x^2 \quad <1>$$

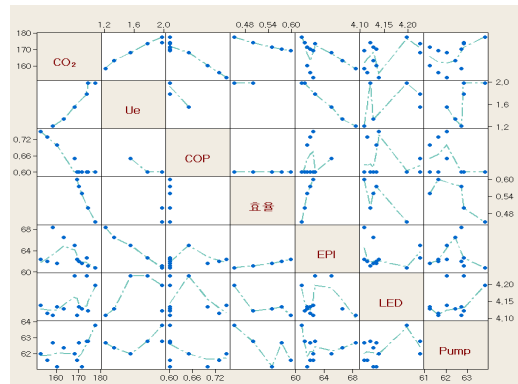


그림2. 행렬도

표4. 에너지성능지표(EPI)와 CO₂ 배출량 상관관계 시뮬레이션 평가 결과

구분	항목	배점 (점)	기준CO ₂ 배출량 (kg-CO ₂ /m ² 년)	적용CO ₂ 배출량 (kg-CO ₂ /m ² 년)	배점당 CO ₂ 저감량 (kg-CO ₂ /m ² 년점)	배점당 CO ₂ 저감율 (%)	비고
건축	외벽	19 점	177.8	158.4	19.4	2.500	성능
	지붕	6 점	177.8	177.5	0.30	0.125	성능
	바닥	5 점	177.8	177.6	0.20	0.066	성능
	외단열	6 점	177.8	177.1	0.70	0.194	성능
	창호	6 점	177.8	176.2	1.60	0.444	성능
기계	옥상조경	1 점	177.8	177.4	0.40	0.667	요소기술
	냉방기기	4 점	177.8	152.9	24.9	10.38	성능
	송풍기	4 점	177.8	169.3	8.50	3.540	성능
	펌프효율	2 점	177.8	177.2	0.60	0.083	성능
	외기냉방	3 점	177.8	163.8	14.0	4.667	요소기술
	대수분할	2 점	177.8	176.5	1.30	0.650	요소기술
	가변풍량	2 점	177.8	144.1	33.7	16.85	요소기술
	폐열회수	2 점	177.8	177.0	0.80	0.400	요소기술
전기	가변펌프	2 점	177.8	173.3	4.50	2.250	요소기술
	전동기	2 점	177.8	177.3	0.50	0.417	성능
	LED	1 점	177.8	175.4	2.40	2.400	성능

IV. M도시 학교 건축물 CO₂ 절감방안

IV-1. 개요

본 장에서는 2013년 M도시에 완공예정인 초등학교, 중학교, 고등학교를 대상으로 본 연구에서 제안하고 있는 각각의 표준건축물 대비 CO₂ 절감율 30% 달성을 위한 방안을 제안하였다. 이를 위하여 우선 표준적인 초등학교, 중학교, 고등학교를 설정하고 설정된 표준 학교건축물의 전 생애(건설단계, 운영단계, 해체 및 폐기단계)에 걸친 CO₂ 배출량을 평가한 후 CO₂ 배출량 30% 달성을 위한 방안을 설계부문, 신·재생 에너지부문, 녹화부문으로 구분하여 제안하였다.

IV-2. 연구의 전제조건

표4에서 나타난 바와 같이 2013년도에 건설될 학교건축물의 CO₂ 절감 목표율은 표준 학교건축물 대비 30%이며, 2015년, 2020년, 2030년에 대한 절감 목표율은 단계별로 50%, 70%, 80%로 설정하였다. 본 논문에서는 M도시 학교건축물의 단계별 CO₂ 절감 목표 중 2013년도 건설예정인 9개교를 대상으로 CO₂ 절감율 30%를 전제조건으로 하여 이를 실현하기 위한 방안을 제안하였다.

표4. M도시 학교건축물 단계별 CO₂ 절감목표

구분		CO ₂ 절감목표(%)
9개교 대상	2013년	30
	2015년	50
미래형모델	2020년	70
	2030년	80

IV-3. 표준 학교건축물

본 논문은 표준 학교건축물 설정을 위해 건설단계와 운영단계의 표준적인 데이터를 조사하고 이를 조합한 표준학교 건축물을 대상으로 연구를 하였다.

즉, 건설단계에서는 실제 건설된 초등학교, 중학교, 고등학교의 물량산출내역서를 입수하여 건설과정에서 사용된 각 건설자재를 도출하고 이를 생산하고 운반, 시공하는 과정에서 배출되는 CO₂를 산출하였다. 또한 운영단계의 에너지 사용량은 “서울시 학교 에너지 사용량 비교 분석자료”에서 제안된

데이터를 활용하여 초등학교, 중학교, 고등학교의 연간 에너지 사용량을 산출하고 이를 표준 학교건축물의 연간 에너지 사용량으로 선정하였다.

IV-4. CO₂ 절감 평가방법

본 논문에서 CO₂ 절감기술의 적용은 건축물 전 생애주기 관점 중 CO₂ 배출의 상당부분을 차지하고 정량적인 평가가 가능한 운영단계를 중심으로 제안하였으며 각 학교건축물의 전 생애 환경부하(CO₂)의 평가는 “II. 건축물 전 생애주기 CO₂ 평가방법 제안”에서 제안한 CO₂ 평가방법에 근거하여 도출하였다.

1) 설계부문

이 부문에서는 에너지성능지표(EPI)와 CO₂와의 상관관계를 도출 후 CO₂ 절감목표를 달성을 위한 에너지성능지표(EPI)점수를 제안하였다. 또한, 에너지성능지표(EPI)점수의 하한치와 더불어 에너지성능지표(EPI)의 평가항목 중 CO₂의 증감에 영향이 큰 항목을 도출하여 EPI점수와 함께 각 항목에 대해 준수하여야 할 하한치를 제안하였다. 에너지성능지표(EPI)와 CO₂의 상관관계 분석은 건축물의 에너지성능지표(EPI) 상승에 따른 건축물 에너지 절감량과 CO₂방출 저감에 대한 상관관계분석으로 항목별로 건물에너지 시뮬레이션을 통해 에너지 사용량을 도출하고 에너지사용량을 전력과 지역난방에너지로 분류하여 각각의 사용량에 따른 CO₂ 발생 및 절감량을 검토하였다.

2) 신재생 에너지

신재생에너지 부문에서는 적용 가능한 신·재생 에너지로 태양광, 태양열, 지열을 검토대상으로 하였으나, 2013년도의 9개교 대상의 신재생 에너지 비율은 15%로 상기의 신·재생 에너지 중학교 건축물의 적용 가능성을 평가하여 태양광, 태양열을 적용기술로 선정하였다. 또한 태양광 발전설비는 해당 학교 건축물 전력사용량의 25%, 태양열 시스템은 해당 학교 건축물 전체 가스사용량의 10%에 상당하는 설비를 설치하도록 제안하였으며 이에 따른 각 학교 건축물의 에너지 소비량의 도출을 통해 이산화탄소 배출 절감량을 산출하였다.

3) 녹화부문

녹화 부문에서는 녹화에 의한 CO₂ 흡수량을 산출하여 CO₂ 절감량을 산출하였다. 이를 위해 본 연구에서는 각 표준학교 건축물의 생태 면적율을 35%

이상으로 설정하고 각 표준학교 건축물에 대해서 생태면적율 35%를 적용한 경우의 CO₂ 흡수량을 산출하였다. 한편, 녹화는 생태연못(수생식물, 식물플랑크톤), 옥상녹화(혼합형 녹화), 벽면녹화, 운동장(천연잔디)를 대상으로 하였다.

IV-5. CO₂ 절감 평가결과

1) 초등학교

표5에 표준 초등학교의 이산화탄소 배출량 및 절감계획에 따른 CO₂ 절감량을 나타낸다. 표5에 의하면 설계부문, 신·재생 에너지부문, 녹화부문에서 제안된 친환경 기술에 의한 전 생애주기에 걸친 CO₂ 저감율은 30%로 목표로 한 표준 학교건축물 대비 CO₂ 목표 절감율을 만족하는 것으로 분석되었다.

설계부문에서는 에너지성능지표(EPI) 75점과 에너지성능지표(EPI)의 평가항목 중 외벽의 평균 열관류율, 기계부문의 냉방기기(냉동기)의 효율, 열원 설비 및 공조용 송풍기의 효율에 대해 소정의 성능 이상을 만족한 경우 운영단계에서 115.9kg-CO₂/m²의 절감효과가 있는 것으로 평가되었다.

또한 신·재생 에너지부문은 태양광 발전설비를 학교 건축물 전체 전력 사용량의 25%, 태양열 시스템을 전체 가스 사용량의 10% 수준으로 설치한 경우의 CO₂ 절감량을 나타낸다. 한편, 녹화부문은 생태 면적율 35%를 적용한 경우의 CO₂ 흡수량을 산출하여 이를 CO₂ 배출 절감량으로 산출하였으며 상기 3부문의 CO₂ 절감량은 322.1kg-CO₂/m²으로 전체 CO₂ 배출량의 30%에 상당한다.

2) 중학교

표6에 표준 중학교의 CO₂ 배출량 및 절감계획에 따른 CO₂ 절감량을 나타낸다. CO₂ 절감을 위한 친환경 기술 부문 및 각 부문에 대해 제안된 친환경 기술 조건은 (1) 표준 초등학교에서 제안된 동등한 수준을 적용하였으며 이를 통해 전 생애주기에 걸친 CO₂ 배출 절감량은 296.3kg-CO₂/m²으로 표준 중학교 CO₂ 배출량 대비 30% 절감되는 결과를 얻었다.

3) 고등학교

표7에 표준 고등학교의 이산화탄소 배출량 및 절

감계획에 따른 이산화탄소 절감량을 나타낸다. 표준 고등학교의 평가방법도 상기 표준 초등학교의 평가방법과 동일하며 그 결과 표준 고등학교 건축물의 전 생애에 대해 30%의 이산화탄소 절감효과가 있는 것으로 평가되었다.

표5. 표준 초등학교 CO₂ 배출량 및 절감량

단위 : kg-CO₂/m²

구분		건설 단계	운영 단계	폐기 단계	합계
표준 초등학교 CO ₂ 배출량		300.8	772.8	0.07	1,073.7
절감량	설계	-	115.9	-	10.8%
	신재생	-	206.1	-	19.2%
	녹화	-	0.066	-	0.006%
	합계		322.1		30%

표6. 표준 중학교 CO₂ 배출량 및 절감량

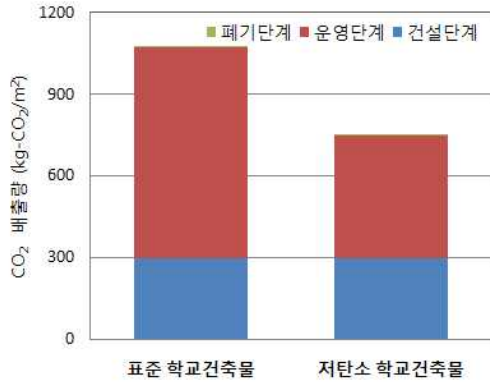
단위 : kg-CO₂/m²

구분		건설 단계	운영 단계	폐기 단계	합계
표준 중학교 CO ₂ 배출량		206.6	781.1	0.07	987.8
절감량	설계	-	117.2	-	10.8%
	신재생	-	179.1	-	19.2%
	녹화	-	0.063	-	0.006%
	합계		296.3		30%

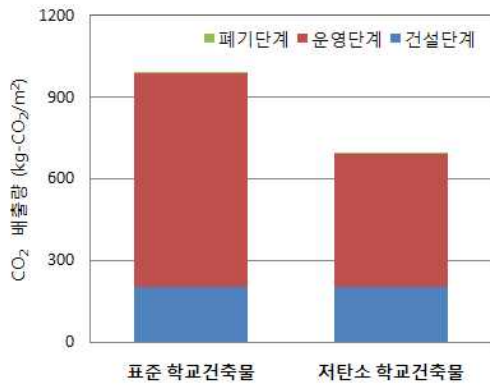
표7. 표준 고등학교 CO₂ 배출량 및 절감량

단위 : kg-CO₂/m²

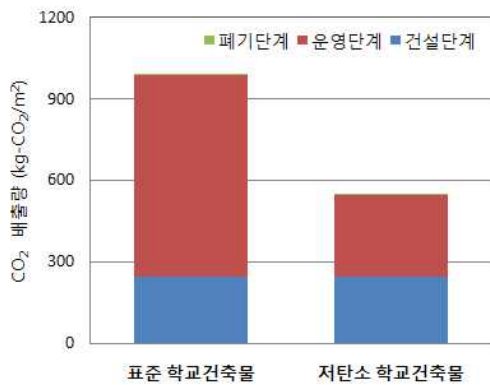
구분		건설 단계	운영 단계	폐기 단계	합계
표준 고등학교 CO ₂ 배출량		248.9	739.2	0.07	988.2
절감량	설계	-	110.9	-	11.2%
	신재생	-	185.5	-	19.2%
	녹화	-	0.061	-	0.006%
	합계		296.4		30%



a) 초등학교 건축물



b) 중학교 건축물



c) 고등학교 건축물

그림2. 표준 학교건축물 대비 저탄소 학교건축물의 CO₂ 절감량 평가 결과

V. 결론

본 논문에서는 표준 학교건축물 대비 CO₂ 절감목표 30% 실현을 위한 M도시 저탄소 학교 건축을 구현하기 위하여 설계부문, 신·재생 에너지부문,

녹화부문으로 구분하여 시뮬레이션을 실시한 결과 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

첫째, 설계부문에서는 에너지성능지표(EPI) 75점과 외벽의 평균 열관류율, 기계부문의 냉방기기의 효율, 열원설비 및 공조용 송풍기의 효율에 대해 소정의 성능 이상을 만족한 경우 CO₂가 약 10%의 절감되는 결과를 얻었다.

둘째, 신·재생 에너지부문은 태양광 발전설비를 학교 건축물 전체 전력 사용량의 25%, 태양열 시스템을 전체 가스 사용량의 10% 설치를 통해 CO₂가 약 19% 절감되는 결과를 얻었다.

셋째, 녹화부문은 생태면적을 35% 적용을 통해 CO₂가 약 0.006% 절감되는 결과를 얻었으며, 상기 3부문의 기술적용을 통한 초등학교, 중등학교, 고등학교는 표준 학교건축물 대비 CO₂가 약 30% 절감되는 것으로 평가되었다.

단, 본 논문은 상기 3부문의 제한된 조건하의 시뮬레이션 결과에 근거하고 있어 다양한 친환경기술 적용을 통한 CO₂저감성능 평가에 관한 추가적인 연구를 진행 중에 있다.

감사의 글

본 연구는 (사)한국교육환경연구원과 교육과학기술부 우수공학연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음.(과제번호 R11-2005-056-01003-0)

참고문헌

1. 신성우, 태성호, 저탄소 녹색성장을 위한 지속가능 건축·도시 환경산업 기술과 정책, 한국콘크리트학회지, 제21권 4호, 2009, pp. 28~34.
2. S. H. Tae. S. W. Shin, Current Work & Future Trends for Sustainable Buildings in South Korea. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2009, Vol. 13, pp.1910~1921.
3. 신성우, 탄소중립도시 구현을 위한 연구용역 보고서, 2009.
4. K. H. Lee, S. H. Tae. S. W. Shin, Development of a Life Cycle Assessment Program for building (SUSB-LCA) in South Korea. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2009, Vol. 13, pp.1994~2002.
5. 건설교통부, 건축물 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구, 2001.