

第 116 回 碩士學位論文
指導教授 李 彦 求

공공업무시설의
제로에미션 계획에 관한 연구

A Study on Zero Emission Design Strategies
in Public Office Building

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
金 昇 玟
2012年 2月

공공업무시설의
제로 에미션 계획에 관한 연구

A Study on Zero Emission Design Strategies
in Public Office Building

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2012年 2月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
金 昇 玟

金昇玟의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長 _____ (인)

審査委員 _____ (인)

審査委員 _____ (인)

中央大學校 大學院

2012 年 2月

< 목 차 >

제1장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	3
제2장 이론적 고찰	5
2.1 Zero Emission Building의 개념	5
2.1.1 Zero Emission Building의 정의	5
2.1.2 Zero Emission Building의 디자인 프로세스	8
2.1.3 Zero Emission Building의 사례	10
2.2 공공업무시설의 정의 및 공간적 특성	13
2.2.1 공공업무시설의 정의	13
2.2.2 공공업무시설의 건축적 특성	15
2.3 소결	17
제3장 공공업무시설의 온실가스 배출특성 분석	19
3.1 국내 공공업무시설의 온실가스 배출 및 정책현황	19
3.1.1 국내 공공업무시설의 에너지 소비 및 온실가스 배출 현황	19
3.1.2 국내 공공업무시설의 온실가스 관련 정책 현황	22
3.1.3 국내 공공업무시설의 현황에 따른 문제점	28
3.2 공공업무시설의 표준모델 설정	30
3.2.1 공공업무시설의 건축계획요소	31
3.2.2 공공업무시설의 건축기술요소	36
3.2.3 공공업무시설의 사용자에 따른 요소	36

3.3 표준 공공업무시설의 온실가스 배출특성 분석	38
3.3.1 시뮬레이션 분석 개요 및 도구 선정	38
3.3.2 시뮬레이션 입력데이터	39
3.3.3 시뮬레이션 결과분석	42
3.4 소결	46

제4장 공공업무시설의 Zero Emission 요소기술 성능평가 · 47

4.1 Zero Emission 요소기술의 선정	48
4.1.1 CO ₂ 저감목표 설정	48
4.1.2 에너지 절약 요소기술의 선정	49
4.1.3 신재생에너지 활용기술의 선정	52
4.2 공공업무시설의 에너지절약 요소기술의 성능평가	55
4.2.1 단열성능 (Insulation)	56
4.2.2 기밀성능 (Infiltration)	57
4.2.3 창면적비 (Window to Wall ratio)	58
4.2.4 창호의 일사열취득계수 (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) ..	60
4.2.5 외부수평 차양 (Horizontal shading)	62
4.2.6 자연채광 (Dimming Control)	64
4.2.7 자연환기 (Natural Ventilation)	65
4.2.8 에너지 절약 요소기술의 성능비교	66
4.3 신재생에너지 활용기술의 적용가능성 평가	67
4.3.1 태양광 발전 시스템	68
4.3.2 지열 시스템	70
4.4 소결	72

제5장 온실가스 저감 목표별 모델 제시

5.1 저감 목표별 대안 설계	75
5.1.1 대안설계 방법	75
5.1.2 대안설계	75

5.2 저감목표별 에너지소비량 및 CO ₂ 배출량 평가	76
5.2.1 온실가스 15% 저감모델	77
5.2.2 온실가스 25% 저감모델	78
5.2.3 온실가스 40% 저감모델	81
5.3 소결	83
제6장 결 론	84
참 고 문 헌	87

〈표 차례〉

〈표 1.1〉 연구의 흐름도	4
〈표 2.1〉 Carbon Neutral Design의 범주	6
〈표 2.3〉 Council House2의 계획요소	10
〈표 2.4〉 Aldo Leopold Legacy Center의 계획요소	12
〈표 2.5〉 SK Chemicals Eco Lab의 계획요소	12
〈표 2.6〉 공공업무시설의 기능별 분류	14
〈표 2.7〉 공공업무시설 관련 법규 및 지침	14
〈표 2.8〉 공공업무시설의 공간구성의 변화	15
〈표 2.9〉 공공업무시설의 공간별 면적 비율	17
〈표 3.1〉 공공기관의 온실가스 감축을 위한 정책 현황	24
〈표 3.2〉 업무용 건축물에너지 효율등급 평가 기준	25
〈표 3.3〉 업무용 건물의 친환경건축물 인증 내용	26
〈표 3.4〉 공공기관 에너지 이용 합리화 추진 규정 내용 요약	27
〈표 3.5〉 공공건축물 설계 가이드라인 세부 기준	28
〈표 3.6〉 표준모델 설정을 위한 항목별 자료의 출처	31
〈표 3.7〉 서울, 인천시의 33개 구청사 건축 현황	31
〈표 3.8〉 서울, 인천시 공공업무시설의 창면적비 비율	35
〈표 3.9〉 표준모델의 단열 성능 기준	36
〈표 3.10〉 공간별 내부발열요소	37
〈표 3.11〉 공공업무시설의 공조시스템 표준운전조건	38
〈표 3.12〉 시뮬레이션 방법	39
〈표 3.13〉 표준모델의 개요	40
〈표 3.14〉 외벽의 구성 및 물성치	41
〈표 3.15〉 지붕의 구성 및 물성치	41
〈표 3.16〉 최하층바닥의 구성 및 물성치	41
〈표 3.17〉 창호의 물성치	41
〈표 3.18〉 공간별 내부발열	42
〈표 3.19〉 표준 공공업무시설의 1차 에너지 소요량 및 온실가스배출량 비교	46
〈표 4.1〉 공공업무시설의 에너지 절약 요소 선정방법	49
〈표 4.2〉 Zero Emission계획을 위한 에너지 절약 요소기술	49
〈표 4.3〉 에너지 절약요소기술 선정 목록	52
〈표 4.4〉 신재생에너지 활용기술의 선정 방법	53

<표 4.5> 건축물에 적용 가능한 신재생에너지원	53
<표 4.6> 공공업무시설에 적용을 위한 신재생에너지 활용기술의 선정	55
<표 4.7> 단열 성능 기준에 따른 변수 설정	56
<표 4.8> 외피단열기준에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	57
<표 4.9> 건물의 기밀성능에 따른 변수 설정	58
<표 4.10> 기밀성능기준에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	58
<표 4.11> 건물의 창면적비 변수설정	59
<표 4.12> 남측 입면의 창면적비에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	60
<표 4.13> 북측입면의 창면적비에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	60
<표 4.14> SHGC의 변수 설정을 위한 창호 종류	61
<표 4.15> 남향창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	61
<표 4.16> 북향창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	62
<표 4.17> 차양설치에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	64
<표 4.18> 조광제어에 따른 냉·난방, 조명에너지 소비량 결과	65
<표 4.19> 자연환기에 따른 냉난방에너지 소비량 결과	66
<표 4.20> 시뮬레이션 변수 설정	67
<표 4.21> 태양광 발전 시스템의 설치 사양	70
<표 4.22> PV모듈 부착 타입별 시뮬레이션 결과	70
<표 4.23> 지열 시스템의 설치사양	72
<표 5.1> 대안별 적용 요소기술	76
<표 5.2> 온실가스 15%저감 모델	77
<표 5.3> 온실가스 25%저감 모델	79
<표 5.4> 온실가스 40%저감 모델	81

〈그림 차례〉

(그림 2.1) “Zero Carbon Building“의 단계별 실현방안	7
(그림 2.2) Zero Emission Building 프로세스	9
(그림 2.3) Council House 전경	10
(그림 2.4) 적용된 요소기술의 다이어그램	10
(그림 2.5) Aldo Leopold Legacy Center 전경	12
(그림 2.6) Aldo Leopold Legacy Center 다이어그램	12
(그림 2.7) SK chemical eco lab의 적용된 친환경 요소기술	13
(그림 2.8) SK chemical eco lab 전경	13
(그림 3.1) 부문별 국가 온실가스 배출량	21
(그림 3.2) 공공건축물의 에너지 소비현황(2010년 지역에너지통계연보)	21
(그림 3.3) 서울시 25개 구청사의 단위면적당 에너지소비량 분포	22
(그림 3.4) 서울시 온실가스 배출량 감축계획	23
(그림 3.5) 건물에너지 효율1등급 현황 (2011년 6월 기준)	25
(그림 3.6) 연도별 서울, 인천시 공공업무시설 건축 현황	34
(그림 3.7) 공공업무시설의 공간별 면적비율	34
(그림 3.8) 서울, 인천시 공공업무시설의 연도별 창의 형태분포	35
(그림 3.9) 표준 공공업무시설의 평면도	40
(그림 3.10) 로비 및 복도공간 스케줄	42
(그림 3.11) 사무실 및 민원실 스케줄	42
(그림 3.12) 표준 공공업무시설의	43
(그림 3.13) 표준 공공업무시설의 에너지월별 구성 비율	43
(그림 3.14) 표준 공공업무시설의 월별 난방에너지 소요량	43
(그림 3.15) 표준 공공업무시설의 월별 냉방에너지 소요량	44
(그림 3.16) 피크 전력의 구성 비율 (8월4일 오후 3시 30분)	44
(그림 3.17) 표준 공공업무시설의 용도별 온실가스 배출량	45
(그림 4.1) 연도별 온실가스 감축량 목표	48
(그림 4.2) 외피단열기준에 따른 냉·난방에너지 소비량 절감량 비교	57
(그림 4.3) 기밀성능기준에 따른 냉·난방에너지 소비량 절감량 비교	58
(그림 4.4) 남측 입면의 창면적비 변화에 냉난방소비량 비교	60
(그림 4.5) 북측 입면의 창면적비 변화에 냉난방소비량 비교	60
(그림 4.6) 남향 창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비 비교	62
(그림 4.7) 북측 창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비 비교	62

(그림 4.8) 차양설치에 따른 냉난방에너지 소비량 비교	64
(그림 4.9) 조광제어에 따른 에너지 소비량 비교	65
(그림 4.10) 자연환기에 따른 냉난방에너지 소비량 비교	66
(그림 4.11) 입면의 연간 총 일사량 예측	69
(그림 4.12) 표준 공공업무시설의 월별 일일 평균 전력요구량	70
(그림 4.13) 태양광발전 시스템의 월별 전력생산량에 따른 전력분담률	71
(그림 4.14) 지열시스템 적용에 따른 에너지소비량 비교	72
(그림 5.1) 15% 저감 모델의 에너지 절약 요소기술의적용에 따른 에너지 절감량비교	77
(그림 5.2) 15% 저감 모델의 요소기술 적용에 따른 온실가스 저감율 비교	78
(그림 5.3) 25% 저감 모델의 에너지 절약 요소기술의적용에 따른 에너지 절감량비교	80
(그림 5.4) 25% 저감 모델의 요소기술 적용에 따른 온실가스 저감율 비교	80
(그림 5.5) 40% 저감 모델의 에너지 절약 요소기술의적용에 따른 에너지 절감량비교	82
(그림 5.6) 40% 저감 모델의 요소기술 적용에 따른 온실가스 저감율 비교	82

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 지구온난화(Global Warming)로 인한 기후변화와 자원 고갈의 문제가 심각해지면서 온실가스 감축의 노력이 활발해지고 있다. 우리나라도 온실가스 배출이 90년대 이후 꾸준한 증가율을 보이고 있으며, 특히 건축부분에서 온실가스배출은 약 22%를 차지하고 있다.¹⁾ 정부는 2008년 저탄소녹색성장의 비전 제시 이후 국가 온실가스 감축목표를 2020년까지 BAU 대비 30%를 절감목표로 세웠으며, 지난 2011년 7월 국가온실가스의 구체적인 감축목표를 확정하여 건축부문은 2020년까지 온실가스를 26.9% 저감해야 한다. 이러한 국가비전과 목표아래 공공업무시설이 공공기관으로서 에너지 절약을 선도하고 민간부분에 파급효과가 클 것으로 기대하며 각종 시범사업들이 시행되고 있다.

대표적인 사업으로 온실가스 목표관리제는 온실가스 감축과 에너지 절약목표를 설정하여 관리하는 제도로 2011년 1월 환경부고시²⁾로 「공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 따라 774개 공공기관이 2015년까지 온실가스 배출량 20% 감축을 목표로 연간 감축목표를 설정하고 이를 이행해야 한다. 이는 공공건물의 온실가스 저감 계획의 중단기적인 계획을 세워 실행해야 하는 것을 의미하며, 건축부문에서의 체계적인 온실가스 감축계획이 필요하다.

이와 더불어 최근 호화청사 논란과 공공건축물의 에너지낭비가 사회적으로 문제가 되면서 공공건축물의 디자인검토가 이루어지고 있다. 과거에 비해 거대해진 규모와 전면 유리 커튼월로 이루어진 외관을 가진 신축청사들을 대상으로, 여름에는 “찜통 청사”³⁾, 겨울에는 “냉동청사”⁴⁾라는 수식어가 붙고 있

1) 온실가스종합정보센터, <http://www.gir.go.kr/og/hm/ga/a/OGHMGSA010.do>

2) 환경부 고시 제 2010-185호

「공공부문 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」

다. 각 지자체는 이러한 오명을 벗기 위해 각종 규제 지침을 만들고 있다. 실내 냉난방설정온도의 조절, 전력피크시간대의 사용제한과 냉난방일수를 조절하는 것은 사용자의 이용을 제한하는 방법으로 일시적인 효과를 볼 수 있지만 근본적인 대책이라 볼 수 없으며, 이러한 에너지 절약에는 한계가 있다.

또한 지난해 12월 호화청사논란으로 청사를 신축하는 경우, 리모델링 가능 여부를 사전에 검토하도록 하는 “지방재정 투융자 심사규칙”이 개정되었다. 이는 청사의 신축에 대한 규제를 강화하고 리모델링을 장려하여 예산절약과 에너지 절약을 유도하는 것으로, 앞으로 기존 공공건축물에 대한 리모델링이 확산될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 기존 공공업무시설의 온실가스 저감을 위해 단계별 온실가스 저감 목표를 설정하고, 그에 따른 실행방안을 모색하고자 한다. 이를 위해 공공업무시설의 표준모델을 설정하고 에너지 시뮬레이션을 통해 온실가스 저감 기술요소에 대하여 성능평가를 실시하고 각 기술요소의 적합한 조합을 찾아 온실가스 저감 목표에 따른 단계별 저감모델을 계획하고자 한다.

3) 경향신문, 2011년 6월 19일, 실내온도 33도...호화 논란 성남시청사 ‘거대한 짐통’

4) 매일경제, 2011년 11월 22일 A30면 2단, 화려한 성남시 청사는 냉동고

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공공업무시설의 제로에미션 건물(Zero Emission Building)계획을 통하여 온실가스 저감 목표에 따른 저감모형을 제시하고자 한다. 목표설정을 위해 서울시에서 기준으로 하고 있는 온실가스 저감 목표를 적용하였으며, 기존공공업무시설을 대상으로 연구를 진행하였다.

본 연구의 진행 방법을 요약하면 다음과 같다.

1) 공공업무시설의 제로에미션 계획 프로세스 고찰

공공업무시설의 제로에미션 계획을 위해 제로에미션 건물에 대한 개념을 정리하고 적용할 대상인 공공업무시설의 용도에 대한 정의를 하였다. 또한 디자인 프로세스의 고찰을 통해 제로에미션 계획을 이해하고 공공업무시설에 적용하기 위한 공간적 특성을 분석하였다.

2) 공공업무시설의 온실가스 배출특성 분석

공공업무시설의 온실가스 배출특성을 분석하기 위해 서울시와 인천시의 33개 구청사를 대상으로 건축개요와 특성을 정리하여 표준공공업무시설을 설정하였다. 설정한 표준모형을 대상으로 에너지 시뮬레이션을 수행하여 에너지 소비 특성과 온실가스 배출특성을 정리하였다.

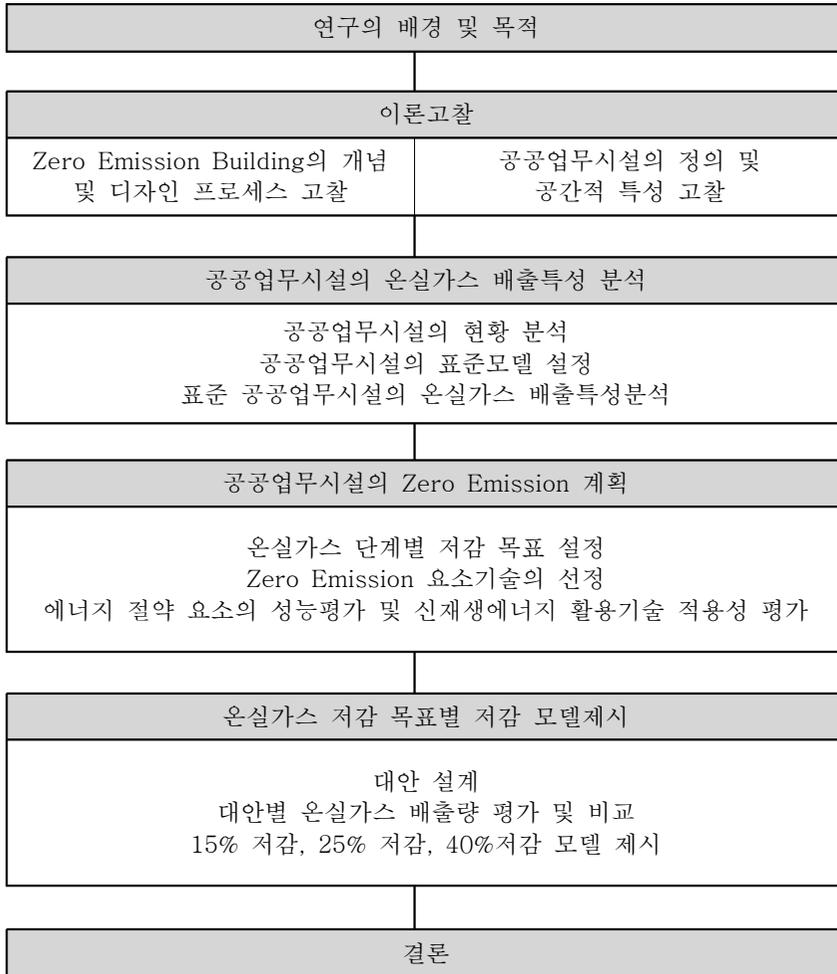
3) 공공업무시설의 Zero Emission 계획

공공업무시설의 제로에미션 계획을 위해 단계별 저감 목표를 설정하고 기후분석과 에너지 소비특성에 따른 주요 에너지 절약요소기술과 적용가능한 신재생에너지 활용기술을 선정하여 성능평가를 수행하였다. 각각의 성능평가를 바탕으로 온실가스 저감 목표에 따른 대안을 설계하였다.

4) 온실가스 저감 목표에 따른 저감모형 제시

온실가스 저감 목표에 따라 설계된 대안들을 에너지 시뮬레이션으로 평가하고 표준모델대비 온실가스 저감량을 산정한다. 초기에 설정하였던 온실가

스 저감목표에 부합하도록 단계별 모델을 제안한다.



<표 1.1> 연구의 흐름도

제2장 이론적 고찰

2.1 Zero Emission Building의 개념

2.1.1 Zero Emission Building의 정의

‘Zero Emission’의 개념은 1994년 일본의 국제연합대학(United Nation University)에서 Gunter Pauli에 의해 처음 제창되었다. “Emission”은 폐기, 방출을 뜻하며, “Zero Emission”이란 오염물질 혹은 폐기물의 배출을 최소화하고 궁극적으로 ‘0(零, zero)’으로 만드는 프로세스를 의미한다. 제품에 따라 “Zero Emission”의 대상 폐기물도 분진, 폐수, 휘발성유기물질, 방사성물질 등 매우 다양하지만, 일반적으로는 지구온난화의 주원인인 탄산가스(CO)의 방출억제를 말한다.⁵⁾

건축분야에서도 이러한 개념이 반영되어 건물에서 발생하는 탄소배출을 줄이기 위한 노력을 기울이고 있다. 미국건축가 협회 (THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS)는 “ARCHITECTURE 2030”에서 건물에서 직, 간접적인 방법으로 화석에너지를 사용하여 발생하는 GHG(Green House Gas)를 줄이기 위한 “Carbon Neutral Design”을 제시하였으며, 영국 그린 빌딩협회의회(UK Green building Council)에서는 건물을 운영하는데 사용되는 모든 에너지에서 발생하는 CO₂ 배출을 제로로 하는 건물을 “Zero Carbon Building”으로 정의하였다.⁶⁾

“Carbon Neutral Design”은 건물에서 발생하는 CO₂ 배출의 범위를 운영 에너지, 내제에너지, 운송에너지까지 확대한 개념으로 그 범주를 크게 3가지로 나눌 수 있다. 먼저, Scope1은 건물의 운영에너지에서 발생하는 탄소저감을 목표로 하며 건물에서 사용하는 냉난방, 조명에너지 절감을 계획한다. Scope 2는 건물의 운영에너지와 건설자재의 내제에너지를 검토하는 것이며, Scope 3은 Scope2와 더불어 건물의 위치에 따라 발생하는 교통으로 인한 탄소비용을 포함한다. 이중 Scope1은 건물 전체에서 발생하는 CO₂ 배출의

5) 강수연, (2007), Zero Emission Building 의 디자인 프로세스에 관한 연구, (국내석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원) p12

6) UKGBC, (2008), Zero Carbon Task Group Report-The Definition of Zero Carbon

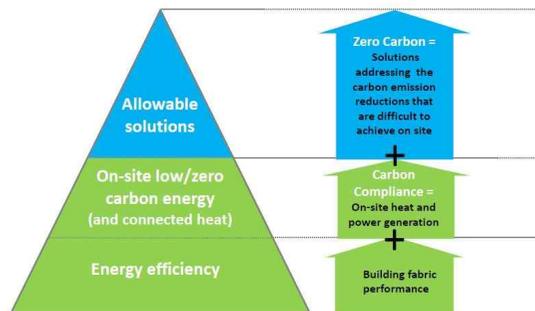
70%를 차지하며, 그 중요도가 가장 높다고 할 수 있다. 7)

<표 2.1> Carbon Neutral Design의 범주

Carbon Neutral Design의 범주	
Scope 1	Operating Energy
Scope 2	Operating Energy + Embodied Energy
Scope 3	Operating Energy + Embodied Energy + Site Energy + Occupant Travel

“Zero Carbon Building”은 건물의 운영에너지를 대상으로 탄소저감을 계획한 개념으로 주거부분에서 CSH(Code for Sustainable Home)에 최상위등급인 level 6등급으로 평가되고 있다. 여기서 Zero Carbon Home은 연간 건물에서 사용하는 모든 에너지, 즉 난방, 냉방, 급탕, 조명 환기와 같은 에너지 사용으로부터 CO₂ 발생이 Zero가 되는 것으로 정의하고 있다.⁸⁾ 비주거용 건물인 오피스의 경우는 주거건물과 동일한 개념에서 사무용 기기사용으로 인한 에너지가 포함된다.⁹⁾

또한 “Zero Carbon Building”의 실현을 위해 CLG(Department for Communities and Local Government)에서는 그림2.1과 같이 단계별 실현방안을 제시하였다.¹⁰⁾ 실현방안은 크게 3가지로 나뉘는데 첫 번째가 건축계획을 통한 에너지의 효율화이며 두 번째가 사이트내의 신재생에너지계획을 통



(그림 2.1) “Zero Carbon Building“의 단계별 실현방안

7) AIA 홈페이지, What is Carbon Neutral Design?

http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/carbon-aia/carbon_definition.html

8) CLG, (2010), Code for Sustainable Homes

9) UKGBC, (2007), Report on carbon reductions in new non-domestic buildings,

10) CLG, (2008), Definition of Zero Carbon Homes and Non-domestic Buildings: Consultation

한 에너지 대체이다. 그리고 세 번째는 탄소배출이 없는 에너지의 외부공급이다. CLG에서 2009년에 발표한 자료에 따르면 건물의 에너지 절약 설계인 1단계와 신재생에너지 적용의 2단계 계획 시 CO₂ 70% 감축을 달성할 수 있다고 보고되었다.

본 연구에서 제로에미션빌딩(ZEB, Zero Emission Building)이란 “건물의 운영단계에서 에너지 사용으로 인해 발생하는 CO₂ 배출량을 ‘0(zero)’으로 하는 것을 목표로 하는 건축물”이라 정의하였다. 운영단계에서 평가하는 에너지는 냉방, 난방, 조명, 환기, 급탕, 기기로 설정하였으며, 화석연료를 기반으로 한 에너지원으로부터 에너지를 공급받지 않고 건물에서 사용되는 에너지의 수요와 건물의 재생에너지 생산량이 균형을 이루어 궁극적으로 건물의 CO₂ 배출량을 零(zero)으로 만드는 것을 목표로 한다.

2.1.2 Zero Emission Building의 디자인 프로세스

Zero Emission Building 설계의 기본적인 접근방법은 건축 설계 단계에서 다양한 미기후 조절을 통한 자연형 설계기법 및 에너지 절약 설계기술을 적용하여 건물의 부하를 최소화 시키는 것이다. 이후 적합한 재생에너지 활용 기술을 적용하여 건물에서 필요한 에너지를 공급함으로써 건물에서 발생하는 CO₂ 배출량을 최소화 시켜야 한다. 본 연구에서는 강수연¹¹⁾의 연구를 참고하여 프로세스를 재설정하였다.

1) CO₂ 저감목표설정

건물의 계획목표를 설정하고 기초자료의 수집을 통해 건물의 개념적인 설계전략을 수립하는 단계에서 건축가, 환경성능분석가, 설비기술자 등 관련분야의 전문가들과 긴밀한 협의를 통해 건물의 CO₂ 저감목표를 설정한다.

2) Zero Emission 요소기술 이용가능성 및 잠재성 평가

CO₂ 저감 목표를 달성하기 위해 건물의 적절한 에너지 절약요소기술과 신

11) 강수연, (2007), Zero Emission Building 의 디자인 프로세스에 관한 연구, (석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원)

재생에너지 시스템의 활용이 필요하다. 이러한 요소기술의 적용 가능성을 평가하기 위해 대지가 위치한 곳의 미기후분석과 건물의 에너지소비특성을 고려하여 적절한 요소기술을 선정하여야 한다. 에너지 시뮬레이션 도구를 사용하여 건물의 부하를 최소화 할 수 있는 에너지 절약 요소기술의 성능범위를 파악하고, 기후 및 주변 환경의 고려와 건물의 에너지 소비특성을 파악하여 활용이 가능한 신재생에너지 시스템을 검토한다.

3) 구체적인 설계목표 설정

미기후분석과 건물 에너지 소비특성 분석을 바탕으로 각 요소기술의 에너지 절감, 에너지 비용 절감, CO₂ 저감량 등을 검토하며, 구체적인 설계 목표를 설정한다. 즉, 에너지 절감 목표와 재생에너지 공급량 설정을 통해 구체적인 설계 전략을 수립한다.

4) 대안 설계

설계목표에 따라 다양한 대안을 제안하고 잠재력을 검토한다. 대안 설계는 크게 건물의 부하를 최소화 시킬 수 있는 에너지 절약 설계와 에너지 공급을 위한 신재생에너지 시스템계획으로 나뉜다.

건축계획에 있어 자연에너지를 최대한 활용할 수 있는 건물의 배치 및 형태를 계획한 후에, 부하를 감소시키기 위한 내부공간을 조닝하고 건물 외피 계획 및 개구부의 위치와 형태를 설계하고 재료를 선정한다. 건물 디자인 요소는 건물의 에너지 성능에 중요한 역할을 하기 때문에 자연형 설계기법의 도입과 이에 따른 적절한 시스템 계획이 요구된다.

에너지 절약설계로 건물의 부하를 최소화 시킨 후에 신재생에너지 시스템의 담당 부하를 결정하고 그에 맞는 시스템 규모 및 위치를 설정한다.

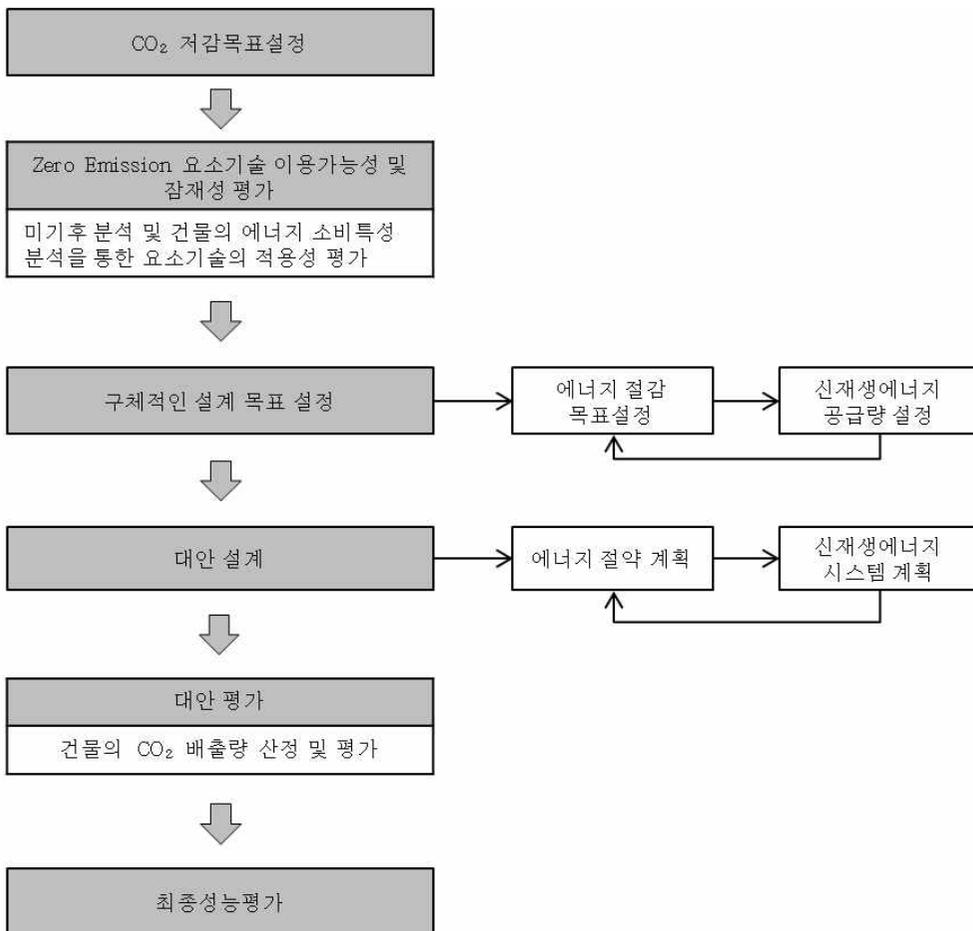
7) 대안 평가

이 단계에서는 설계안을 결정하고 그 대안을 분석, 발전시킨다. 최적안의 결정에는 초기에 설정한 CO₂ 저감목표와 에너지 성능, 각 요소기술의 건축적 통합성, 의장성, 환경성능, 경제성 등을 통합적으로 고려하여 선택한다. 설

계 목표 및 성능을 만족하지 못할 경우 목표설정과 대안설계를 검토하는 피드백과정을 거친다.

8) 최종성능평가

각 대안의 평가를 통해 설계안이 결정되면 최종설계안의 시뮬레이션이 이루어지며 초기 설계목표에 적합한 계획요소가 적용되었는지 검토한다.



(그림 2.2) Zero Emission Building 프로세스

2.1.3 Zero Emission Building의 사례

1) City of Melbourne Council House²(CH2), Australia

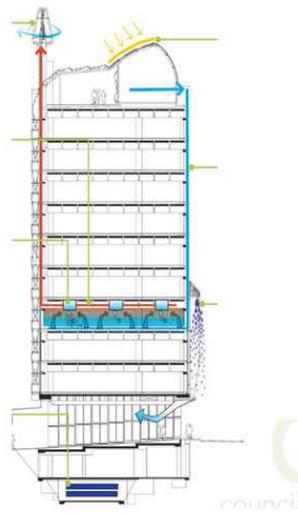
호주 멜버른에 위치한 Council House²는 Green Building Council의 6 Star를 획득한 최초의 사무소 건물로, 기존의 설계방식에서 벗어나 자연형 디자인을 통해 환경조절을 시도한 Low Emission Building으로 평가받고 있다. 규모가 유사한 건물과 비교하여 전력소비의 85%, 가스소비의 87%를 줄였으며 전체 온실가스 배출량의 87%저감하였다.¹²⁾

<표 2.3> Council House²의 계획요소

항목	계획요소
에너지 절약	PCM 상변화 물질 사용
	중공바닥(hollow floor)를 이용한 천장 복사냉방
	샤워타워를 통한 냉방
	벽면녹화
	광선반과 태양전지로 가동되는 수직차양
	야간의기도입 창호 (Automatic night-purge window)
	자동조명제어 시스템
재생에너지 활용	우수 집수 및 오수 정화 시스템
	건물 통합형 풍력 발전 시스템
	태양열 급탕
	태양광발전 시스템



(그림 2.3) Council House 전경



(그림 2.4) 적용된 요소기술의 다이어그램

12) www.melbourne.vic.gov.au

2) Aldo Leopold Legacy Center, Wisconsin

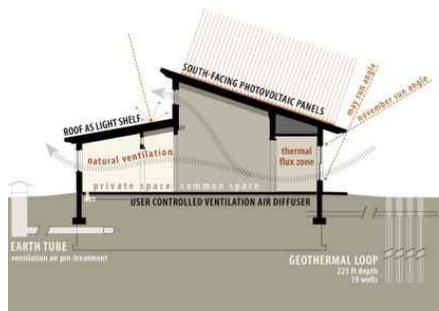
미국 위스콘신 주에 위치한 Aldo Leopold Legacy Center는 2008년 AIA가 선정한 Green Project에서 10위 안에 든 건물로¹³⁾ 여러 친환경적인 요소들로 주목을 받았다. 자연채광과 자연환기를 적극 활용하였으며, 현회 발생을 줄이고 소음저감을 위해 납측면에 버퍼존을 두었다. Earth Tube를 활용하여 기존 냉난방시스템의 80% 용량으로 부하를 감당할 수 있었으며, 그 결과 일반건물에 비해 70%의 에너지를 절약하였다. 또한 지붕에서의 태양광 발전으로 연간전력요구량의 110%를 생산하여 건물의 운영 중에 발생하는 탄소를 상쇄하였다.

<표 2.4> Aldo Leopold Legacy Center의 계획요소

항목	계획요소
에너지 절약	자연채광, 차양, 광선반
	축열바닥
	자연환기
	Earth tubes
재생에너지 활용	태양광 패널
	지열



(그림 2.5) Aldo Leopold Legacy Center 전경



(그림 2.6) Aldo Leopold Legacy Center 다이어그램

13) AIA, http://www.aiatopen.org/hpb/grid2008.cfm?project_id=946§ion=1

3) SK Chemicals Eco Lab, Korea

국내 친환경건축물 중 업무용 건물로 국내에서 업무용 건물로 건물 에너지 효율1등급을 획득하였으며 LEED-NC 플래티넘 등급을 받았다.

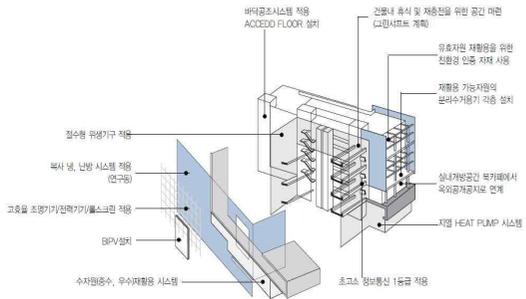
판교 테크노밸리에 위치한 연구소는 연구동, 사무동 그리고 두 개 동을 이어주는 아트리움으로 구성된 지하 5등 지상 8/9층 높이의 건축물로 구성되어 있다. 이 건물은 60여 종류의 친환경기술이 설계에 반영되었으며 주요 계획 요소는 <표2.5>와 같다. 커튼월 전반에 걸쳐 3중유리를 사용하였으며, 남측 입면에 120m²의 BIPV시스템을 사용하여 연간 10MWh의 전력을 생산하고 있다. 또한 조광제어와 함께 자동 전동 커튼으로 인해 일사를 차단하여 자연 채광의 효율적 이용을 극대화 시키고 있다. 그 결과 표준건물에 비해 에너지를 44%절약하였고 CO₂ 배출은 33%를 절감하는 효과를 보였다.¹⁴⁾

<표 2.5> SK Chemicals Eco Lab의 계획요소

항목	계획요소
에너지 절약	3중 유리
	자동 전동 커튼(Roll Screen)
	아트리움을 활용한 자연환기
	그린 샤프트
	목재 수직 수평 루버
	옥상지붕, 벽면 녹화
	바닥복사냉난방 시스템
	고효율 자동 조명시스템
재생에너지 활용	우수 집수 및 오수 정화 시스템
	BIPV 시스템
	지열 Heat Pump 시스템



(그림 2.7) SK chemical eco lab 전경



(그림 2.8) SKchemical eco lab의 적용된 친환경

요소기술

14) 유지용외3, (2009), SK케미칼 연구소에 적용된 친환경 기술 적용 효과분석- 에너지 및 수자원 절감 적용 효과를 중심으로, 대한설비공학회 학술발표대회 논문집, 409-414

2.2 공공업무시설의 정의 및 공간적 특성

2.2.1 공공업무시설의 정의

공공업무시설은 건축법에서 “국가 또는 지방자치단체의 청사와 외국공관의 건축물”로서 정의하고 있으며 바닥면적 합계가 1,000㎡이상인 것을 가리킨다. 또한 대민 서비스를 제공하고 행정업무를 수행하는 공간으로서 주민들의 삶과 밀착하여 일상생활을 지원하는 생활서비스의 역할과 함께, 물리적으로 도시공간의 중심이 되는 시설이라고 할 수 있다. 이를 기능별로 세분화하면 국가행정업무와 지역행정업무, 대민업무로 나눌 수 있다.¹⁵⁾

본 연구에서는 공공업무시설 중 기초지방자치단체로서 지역행정기능을 담당하고 있는 구청사를 대상으로 연구의 범위를 한정하였다. 구청사건물은 2011년 1월5일 환경부가 「저탄소 녹색성장 기본법」에 따른 「공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영등에 관한 지침」에서 제시한 목표관리제 대상 공공기관 774개중 30%에 해당하며, 기초지방자치단체로서 온실가스 저감을 선도하는 차원에서 그 중요성이 있다고 할 수 있다.

<표 2.6> 공공업무시설의 기능별 분류

구분	내용
국가 행정업무	정부청사
지역행정 및 대민업무	시·도·군·구청사·동·면·읍사무소
대민업무	보건소, 경찰서, 소방서, 우체국

공공업무시설은 신축, 증축 등의 계획 시 공공기관에 해당하는 관련 법규 및 지침등을 제시하고 있어 일정한 규모와 형태를 가지는 특징이 있다. 공공업무시설의 면적기준을 제공하는 「정부청사관리 규정」시행규칙의 청사면적 기준은 1990년도 이후 직급별 면적 기준이 추가된 이후 유지되다가, 최근 ‘호화청사’건립을 방지하기 위한 목적으로 2009년 말 국회를 통과한 「공유재산 및 물품관리법」 개정안을 통해 새로운 청사면적기준이 마련되었다. 또

15) 김연주, (2011), 공공청사의 공간구성방식에 관한연구, (석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원), p19

한 2010년 8월에는 「공유재산 및 물품관리법」 시행령 개정을 통해 지자체 인구 및 공무원 규모에 따라 신축청사의 규모를 제한하기에 이르렀다.^{16) 17)}

공공업무시설은 공공기관으로서 관련한 규제 및 지침등이 제시되어 있어 건축물 디자인에 제약이 있으며, 이는 공공업무시설의 공통된 특징으로 나타난다.

<표 2.7> 공공업무시설 관련 법규 및 지침

구분	소관부처	내용
정부청사관리규정	행정안전부	중앙정부청사의 면적기준에 대한 규정
도시계획시설의 결정구조 및 설치기준에 관한 규칙	국토해양부	공공청사의 정의, 설치기준
공유재산관리 조례	자치법규	지방 공공청사의 부지규모, 공간구성, 면적기준 규정
공유재산 관리 지침	자치법규	지방 공공청사의 계획기준, 고려사항 규정

2.2.2 공공업무시설의 건축적 특성

우리나라의 공공업무시설은 70~80년대 권력의 표현 수단으로 권위적인 형태를 나타냈으며 90년대 지방자치제를 맞이하며 큰 변화를 겪는다. 중앙 정부의 통제와 간섭 없이 지방의 행정을 그 지역주민이 스스로 참여하여 처리하는 지방자치의 특징에 의해 지역민의 의사가 지역행정에 반영이 되었다.

이러한 사회적배경은 건축 형태와 공간구성에도 반영된다. 90년대 이전의 공공업무시설은 권위주의적인 외관의 형태를 띠고 수직성을 강조한 입면이 특징을 이루었다. 하지만 90년대 이후 지방자치제 시행이후 수평성을 강조하고 자치구의 특색을 살린 디자인을 시도하기 시작했으며¹⁸⁾ 행정업무시설 이외에 보건소와 구의회건물의 증축이 활발해진다. 2000년대에 들어와 이러한 개별 공간들이 복합되어 “종합행정타운“, ”복합청사“라는 이름으로 건설된다.

16) 엄철호, (2010), 공공청사 건축디자인 기준 설정 방안 연구, 건축도시공간연구소 p36-37

17) 강인호, (2008), 제3차 공공건축 설계포럼 자료집. p52

18) 황용운, (2002), 자치구청사의 외관디자인 변화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집: 계획계, 4권4호 43-51

<표 2.8> 공공업무시설의 공간구성의 변화

구분		공간구성
지방 자치제 시행 이전	'70~'80년대	행정업무, 대민업무
지방 자치제 시행 이후	'90년대	행정업무, 대민업무 + 의회업무, 시민문화, 편의제공
	2000년대	행정종합타운 (복합공간)

1) 외부공간구성

공공업무시설은 보행자의 접근성을 높이고자 대부분 2개 이상의 도로에 접하고 있으며, 공유재산관리조례에 따라 증축을 고려하여 넓은 대지면적을 가지고 있다. 따라서 밀집한 도심에 위치하여도 주변 환경으로부터의 제약은 일반 오피스에 비해 적다.

외부공간구성은 건물의 위치와 배치상태에 따라 다르다. 일반적으로 공공업무시설은 대지의 한쪽에 건물이 배치되고, 건물전면의 공지를 주차장으로 사용하며 경계면을 따라 조경을 위한 화단이 배치된다.¹⁹⁾

2) 내부공간구성

공공업무시설의 기능이 다양해지고 복합화 되면서 비업무공간의 비율이 점차 늘어났다. 엄철호의 연구에 따르면, 공공업무시설인 구청사의 공간은 크게 업무공간(45%), 비업무공간(26.1%), 코어(28.9%)로 나눌 수 있으며, 이를 세부적으로 분류하면 다음의 <표2.9>와 같다.²⁰⁾

저층부는 사용자들이 진출입하는 홀공간 중심으로 구성되어 있으며, 행정업무와 대민업무의 복합구성으로 이루어져 있다. 업무공간은 수직적 구분을 통해 업무의 독립성을 유지하고 있다.²¹⁾

19) 유나경, (1997), 서울시 자치구청사 외부공간의 비교평가에 관한 연구, (석사학위논문, 서울대학교 환경대학원)

20) 엄철호, (2010), 공공청사 건축디자인 기준 설정 방안 연구, p49, 건축도시공간연구소

21) 김연주, (2011), 공공청사의 공간구성방식에 관한 연구; 지방자치제 시행이후를 중심으로, (석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원)

<표 2.9> 공공업무시설의 공간별 면적 비율

구분	세부분류	실명	평균 비율 (%)	
업무 공간	사무 공간	각 집무실	31.3	45
		사무실, 대기공간	2.7	
	사무지원 공간	회의실, 자료실, 문서고등	11	
비업무 공간	민원실	민원실, 안내실등	3.5	26.1
	주민 지원시설	도서관, 전시실, 공연장, 청소년수련관, 문화강좌실등	1.8	
	직원 지원시설	휴게실, 매점, 의무실, 식당, 체력단련실 등	6.1	
	부대시설 1 (24시간 운영)	숙직실, 경비실, 민방위대피, 중앙관제실, 전산실등	12.3	
	부대시설 2 (근무시간 운영)	자원봉사센터, 예비군중대, 협의회, 상담센터등	2.3	
	설비시설	공조실, 기계실, 코아설비	6.5	
공용 공간	공용시설	현관,, 로비, 복도, 계단, 홀, 화장실, 엘리베이터등	22.4	28.9

가) 업무공간

공공업무시설의 업무공간은 크게 일반적인 사무업무가 이루어지는 사무공간과 사무지원공간으로 나눌 수 있다. 각 집무실과 사무실 대기공간이 포함된 사무공간은 주로 고층부에 위치하며, 공조를 통한 온습도 조절과 사무환경에 적절한 조도를 요구하며 주로 남측면에 위치한다. 반면, 자료실, 문서고, 회의실을 포함하는 사무지원공간은 간헐적으로 이용되고 주로 북측면 또는 지하에 배치된다.

나) 비업무공간

비업무공간은 크게 주민지원시설과 직원지원시설, 그리고 부대시설로 나눌 수 있다. 가장 큰 비율을 차지하는 것은 12.3%로 중앙관제실, 전산실과 같이 24시간 운영되는 실 등이며, 이러한 실들은 주로 지하에 배치된다. 또한 공조실, 기계실과 같은 부대시설과 종합서고, 구내식당등이 지하에 배치되며, 주민지원시설은 접근성이 좋은 1층과 2층의 저층부에 위치하고, 직원들을 위한 휴게실등의 직원지원시설은 주로 최상층에 위치한다.

2.3 소결

본 장에서는 건물에서의 온실가스 저감 계획방법인 제로에미션 건물(Zero Emission Building)의 정의와 계획방법에 대한 고찰을 하고 공공업무시설의 개념 및 공간적 특징을 정리하였다.

제로에미션 건물(Zero Emission Building)은 건물의 CO₂ 배출량을 '0(zero)'으로 하는 것을 목표로 하는 건축물로서 정의하며, 본 연구는 건물의 전생애기간 중 운영기간의 난방, 냉방, 조명, 기기, 환기, 급탕에서 발생하는 CO₂ 배출량을 제로로 하는데 범위를 한정하였다.

제로에미션 건물설계의 기본적인 접근방법은 건축 설계 단계에서 다양한 미기후 조절을 통한 자연형 설계기법 및 에너지 절약 설계기술을 적용하여 건물의 부하를 최소화 시키는 것이며, 이후 적합한 재생에너지 활용기술을 적용하여 건물에서 필요한 에너지를 공급함으로써 건물에서 발생하는 CO₂ 배출량을 최소화 시키는데 있다.

본 연구에서는 공공업무시설 중 구청사를 대상으로 Zero Emission 계획을 하고자 하며, 그에 따른 공공업무시설의 건축적 특징은 다음과 같다.

1) 공공업무시설은 기능에 따른 증축을 고려하여 형태상 수직, 또는 수평성을 강조하여 계획되기 때문에 매스가 장방형의 단순한 형태를 가지며, 시설 확장을 고려한 넓은 대지를 가지고 있어, 도심지에 위치하였지만 주변환경에 대한 제약이 적다.

2) 또한 본 연구에서 대상으로 지정한 구청사의 경우, 지방자치제 시행 이후 공공성의 기능이 중요하게 여겨지면서 저층부의 민원시설이 확장되었으며, 시간이 흐를수록 복합적인 기능의 요구로 인하여 비업무 공간의 비율이 증가하여, 평균 비업무공간 22.6%를 차지한다. 또한 평균 48.5%를 차지하는 업무공간은 대민업무와 분리되어 수직으로 배치되는 특징을 가진다.

3) 공공업무시설의 사무공간은 주로 고층부에 위치하며, 민원실과 주민지원시설은 저층부에 위치한다. 지하에는 부대시설과 같은 비업무공간이 위치한다. 제로에미션계획에 있어 업무공간과 비업무공간의 공간적 특징을 반영하여 설계 전략을 계획할 필요가 있으며, 공공업무시설의 세부적인 특징을 파악하고 목표에 따라 CO₂ 배출을 저감할 수 있는 계획방법에 대하여 제시하고자 한다.

제3장 공공업무시설의 온실가스 배출특성 분석

공공업무시설의 온실가스 배출특성을 분석하기 위해 기존의 자료 및 통계 자료를 통해 배출특성과 정책현황을 살펴보고, 공공업무시설의 현황 및 문제점을 분석한다. 또한 구체적인 온실가스 배출 특성의 분석을 위해 일반적인 공공업무시설로 대표되는 표준모델을 설정하여 에너지 시뮬레이션을 통해 온실가스 배출특성을 분석하였다.

3.1 국내 공공업무시설의 온실가스 배출 및 정책현황

3.1.1 국내 공공업무시설의 에너지 소비 및 온실가스 배출 현황

1) 공공부문의 온실가스 배출현황

우리나라의 국가 총 온실가스 배출량은 매년 꾸준한 증가율을 보이며 1990년 대비 2007년에 약 2배 증가하였으며, 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출이 84.7%로 큰 비율을 차지하였다. 부문별 현황을 살펴보면 (그림 3.1)와 같이 국가 온실가스 총배출량 중 건축에서의 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출량은 22.1%를 차지하며, 그중에서도 공공부문은 전체의 2.3%를 나타낸다. 공공부문은 비중이 작지만 22) 민간부문의 파급효과가 매우 크기 때문에 그 영향력은 가정 상업부분에도 미칠 것이라 사료된다.

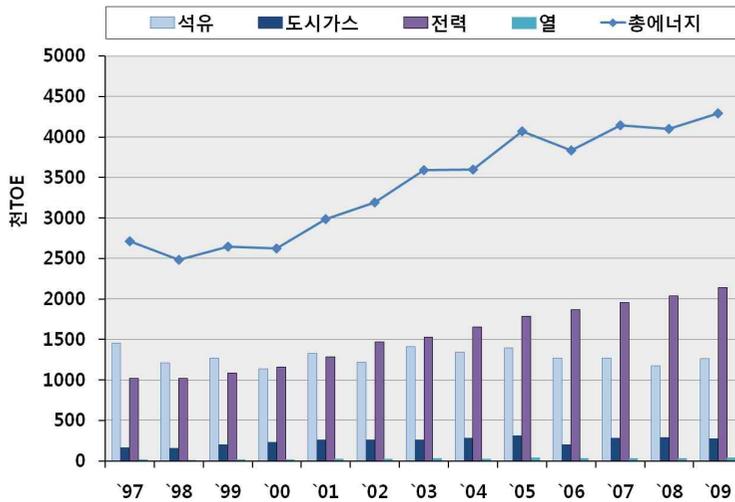


(그림 3.1) 부문별 국가 온실가스 배출량

22) 온실가스종합정보센터, <http://www.gir.go.kr/og/hm/gs/a/OGHMGSA010.do>

2) 공공건축물의 에너지 소비현황

국내 공공건축물의 에너지 사용량은 (그림 3.2)과 같이 2000년 이후 큰 폭으로 증가하는 추세이며 1990년대 대비 2009년의 에너지 사용량은 1.5배에 이른다. 또한 에너지원별 소비구조를 보면 1990년대 석유부문의 소비비중이 큰 반면 2000년대에 들어올수록 전력부문의 소비량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.²³⁾ 이는 생활수준의 향상으로 인한 냉방, 사무기기, 동력 등의 수요증가에 따른 것이며, 이러한 전력수요 증가는 에너지수요 증가를 주도할 것으로 전망하고 있다. ²⁴⁾



(그림 3.2) 공공건축물의 에너지 소비현황(2010년 지역에너지통계연보)

3) 서울시 공공업무시설의 에너지소비 현황

(그림 3.3)은 서울시 25개 기초지자체 공공업무시설의 규모별 에너지 소비 현황을 나타낸 것이다. 단위면적당 평균 에너지 사용량은 382.6kWh/m²yr로 에너지효율등급 3등급에 해당하며, 이는 미국의 공공청사 254Mcal/m²yr와 일본의 273.9Mcal/m²yr차이를 와 비교할 때 약 30% 높은 값을 나타낸다.²⁵⁾

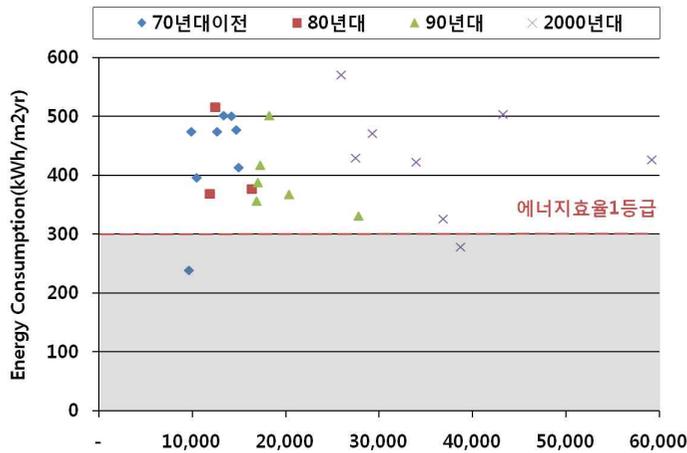
4등급 이상이 전체의 50%를 차지하며 에너지효율등급 외의 성능을 가지는

23) 지식경제부, (2010), 지역에너지통계연보

24) 서울특별시, 서울친환경에너지 기본계획 2030, 49p

25) 조항문, (2010), 서울형 저탄소 녹색성장을 위한 공공건축물 건설 방안 연구, 서울시개발연구원 단행본

500kWh/m²이상의 건물도 전체의 25%를 보인다. 또한 2000년 이후에 건설된 공공업무시설은 2000년 이전에 건설된 건축물에 비해 규모가 최대 3배 이상 차이가 나기 때문에 단위면적당 에너지 소비량이 같아도 2000년 이후에 준공된 공공업무시설의 총에너지 소비량이 더 많을 것으로 판단된다.

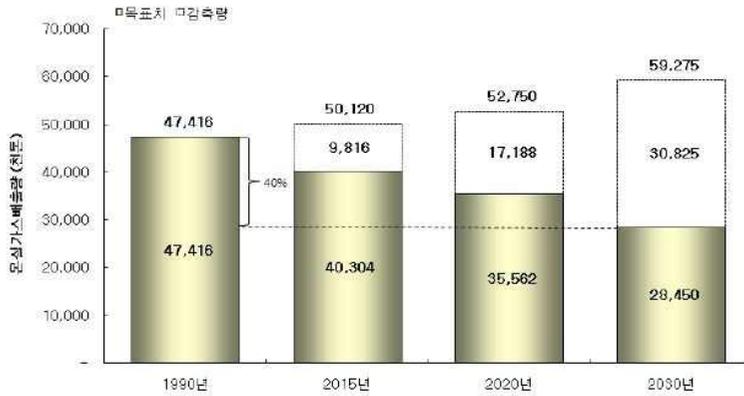


(그림 3.3) 서울시 25개 구청사의 단위면적당 에너지소비량 분포

3.1.2 국내 공공업무시설의 온실가스 관련 정책 현황

2008년 국가의 ‘저탄소 녹색성장’의 비전 제시를 시작으로 온실가스 감축 목표와 함께 이를 실현하기 위한 정책들이 연이어 발표되고 있다. 2009년 11월 국가 온실가스 감축목표를 2020년까지 BAU 대비 30% 감축을 목표로 설정하였으며, 2011년 7월 부문별 구체적인 목표가 발표되었다. 여기서 건축 부문의 온실가스 저감 목표를 26.9%로 설정하였으며 더불어 지자체별로 저감 목표를 설정해 구체적인 계획을 세우고 있다. 특히 서울시의 경우 “서울 친환경에너지 기본계획 2030”²⁶⁾에서 단계별 저감 목표를 세우고 있으며, 2015년까지 1990년 대비 15%, 2020년까지 25%, 2030년까지 40%를 감축 목표를 설정하였다. 또한 공공부문이 국가 온실가스 감축을 선도하고 민간 부분의 감축부담을 경감하는 차원에서 2015년까지 2007년~2009년 연평균 온실가스 배출량의 20%이상을 감축하는 것을 목표로 하고 있다.

26) 서울시, 서울시 친환경 에너지 기본계획, P15-17



(그림 3.4) 서울시 온실가스 배출량 감축계획

또한 2009년 국토해양부 정책보고서 「녹색도시 건축물 활성화 방안」에서 탄소저감을 위한 공공건축물의 역할이 강조되고 에너지 효율개선을 위한 정부 및 지자체의 추진계획을 시작하였다.

2010년 4월 시행된 「저탄소 녹색성장 기본법」 제 42조에 따라 공공부문에 대한 온실가스 에너지 목표관리가 본격적으로 도입되었으며, 신축건물에 대한 친환경건축물 인증 및 건물에너지 효율등급 1등급 획득이 의무화 되었다. 기존건물을 대상으로는 「공공기관 에너지 이용합리화 추진에 관한 규정」에 따라 공공기관의 에너지절약과 이용효율을 향상시킴으로써 예산의 절감 및 에너지 절약 의식을 확산시키고자 하였다.

국내 공공업무시설의 온실가스를 줄이기 위한 정책은 신축건물에 대해서는 에너지 절약 설계기준을 강화하고, 기존건물에 대해서는 에너지 효율화를 위한 방안을 유도하는 방법으로 정책의 방향이 진행되고 있다. 특히, 신축건물에 대한 규제가 강화되고, 기존 건물에 대한 리모델링을 권장하면서, 온실가스 감축량에 대한 관리가 단계적으로 시행됨에 따라 기존 건물의 에너지 절감과 온실가스 감축을 위한 방안이 중요하게 고려되어야 할 것으로 판단된다.

<표 3.1> 공공기관의 온실가스 감축을 위한 정책 현황

연도	내용
2008년	‘저탄소 녹색성장’비전 제시 ²⁷⁾
2009년 11월	「녹색도시 건축물 활성화 방안」 ²⁸⁾
2009년 11월17일	이명박 대통령 국무회의발표 2020년까지 BAU 대비 30% 온실가스 감축
2010년 1월13일	「저탄소 녹색성장 기본법」 제정
2010년 3월24일	국무총리 지시 제 009-4호 「공공기관 에너지이용합리화 추진 지침」 개정 “공공기관 에너지 효율등급 1등급 의무화”
2010년 4월14일	온실가스·목표관리제 도입
2010년 7월1일	국토해양부령 제 244호 「친환경건축물의 인증에 관한 규칙」 개정 연면적 10,000㎡이상 공공건축물의 친환경 건축물 인증 의무화
2010년 12월	「지방재정 투융자 심사규칙」 개정 청사 신축 시 리모델링 가능여부 사전 검토 의무화
2011년 1월5일	환경부 고시 제 2010-185호 「공공부문 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」 제정 774개 공공기관, 2015년까지 온실가스 배출량 20% 감축 (절대량 감축방식, 07~09년 연평균량)
2011년 7월12일	2020년 저탄소 녹색사회 구현을 위한 로드맵 발표 ²⁹⁾ 부문별, 업종별, 연도별 온실가스 감축목표 확정 2020년까지 국가전체 BAU 대비 30%. 건축부문 26.9% , 공공기타 25%
2011년 7월26일	지식경제부 고시 제 2011-154호 「공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정」 제정

27) 건국 60년 경축사에 이명박 대통령이 국가비전 발표

28) 국토해양부 정책보고서

29) 2011년 7월 12일 국토해양부 보도자료

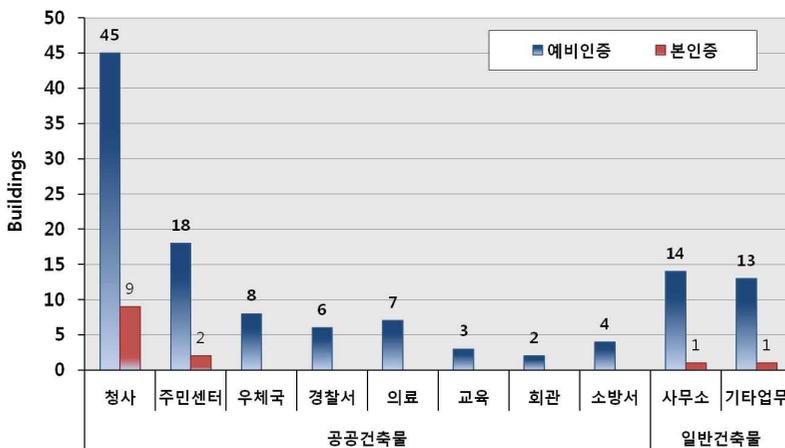
1) 건물에너지 효율등급제도

건물에너지 효율등급제도는 「에너지이용합리화법」을 근거로 2001년 8월부터 18세대 이상의 공동주택을 대상으로 시행되었으며, 최근 신축업무용 건축물까지 확대 시행되기 시작하였다. 또한 2010년에 「공공기관 에너지이용합리화 추진지침」에서는 공공기관에서 청사를 신축하는 경우 ‘건물에너지 효율등급인증규정’에 따라 건물에너지효율 1등급을 취득이 의무화가 되었다.

평가 기준은 신축 업무용 건축물의 경우, 건축물에너지효율등급 운영규정에 의해 건물 전체 에너지 사용량 중 90%이상을 차지하고 있는 난방, 냉방, 환기, 급탕, 조명에너지의 총 5개 항목을 평가하고, 연간 단위면적당 1차 에너지소요량 300kWh/m²yr 이하를 1등급으로 하여 총 5개등급으로 나누어 평가하고 있다. 업무용 건물에너지 효율등급제도의 인증현황을 살펴보면, 2011년 6월 기준 총133건이 인증을 받았으며, 그중 공공건축물의 비율은 78%로

<표 3.2> 업무용 건축물에너지 효율등급 평가 기준

등급	신축 업무용 건축물 (kWh/m ² yr)
1	300 미만
2	300이상 350 미만
3	350이상 400 미만
4	400이상 450 미만
5	450이상 500 미만



(그림 3.5) 건물에너지 효율1등급 현황 (2011년 6월 기준)

104건이며, 본연구의 대상인 공공업무시설은 본인증 9건, 예비인증45건으로 총54건으로 41%를 차지한다.³⁰⁾ 이러한 통계는 공공건축물이 에너지 절약을 주도하고 있음을 알 수 있다.

2) 친환경 건축물 인증제도

친환경건축물 인증제도는 건축물의 전 생애과정을 대상으로 에너지 및 자원의 절약, 오염물질의 배출감소, 쾌적성, 주변 환경과의 조화 등 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통해 건축물의 환경성능을 인증함으로써 친환경건축물 건설을 유도, 촉진시키기 위하여 시행되고 있다.

친환경건축물인증제도는 2002년 공동주택의 인증기준개발을 시작으로 2003년 주거복합건물 및 업무용 건축물에 대한 인증 기준이 개발되었다. 이후 2010년 7월 1일부터 전면 개정 되었으며, 연면적 10,000㎡이상의 공공건축물에 대해 친환경 건축물인증의 획득이 의무화되었다. 평가기준은 업무용 건축물의 경우, 9개 부문의 각 부문별 점수 합계에 가중치를 곱하여 총점 100점이 기준이며, 리모델링인 경우 가산점수가 9점이 부여되어 최고 109점으로 평가된다.

<표 3.3> 업무용 건물의 친환경건축물 인증 내용

구분	내용			
부문 (백분율배점%)	9개부문 ①토지이용(5), ②교통(5), ③에너지(25), ④재료 및 자원(15), ⑤수자원(10), ⑥대기오염(5), ⑦유지관리(7), ⑧생태환경(10), ⑨실내환경(18)			
인증점수 산정법	점수 산정 = $\sum(\text{분야별 총점} \div \text{분야별 획득 점수} \times \text{분야별 가중치})$ + 가산점수			
필수항목	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지효율향상 - 유효자원 재활용을 위한 친환경인증제품 사용여부 - 재활용 가능자원의 분리수거 - 생활용 상수절감대책의 타당성 - 운영/유지관리 문서 및 지침 제공의 타당성 - 실내공기오염물질 저방출 자재의 사용 			
인증등급	최우수 (그린1등급)	우수 (그린2등급)	우량 (그린3등급)	일반 (그린4등급)
	80점이상	70점이상	60점이상	50점이상

30) 에너지관리공단, http://www.kemco.or.kr/building/v2/buil_cert/buil_cert_1_1asp

3) 온실가스 목표관리제

목표관리제는 「저탄소 녹색성장 기본법」 시행령 제 42조-45조에 따라 도입되었다. 정부와 관리업체가 상호 협의하여 온실가스배출량 및 에너지 소비량 목표를 정하며, 정부는 인센티브와 패널티를 통해 목표달성을 유도하고, 관리업체는 목표달성을 위한 이행계획과 이를 뒷받침하는 관리체계등을 수립하여 목표를 효율적으로 달성하는 제도이다.

2011년 1월 5일 환경부 고시 「공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 따라 공공업무시설을 포함한 774개 공공기관이 2015년까지 온실가스 배출량 20% 감축을 목표로 연간 감축목표를 설정하고 이를 이행해야 한다. 관리 대상은 공공기관이 소유한 건물과 차량에 해당하며, 사용되는 연료 및 전기, 스팀에 관한 온실가스 배출량을 정량적으로 평가한다. 온실가스 저감 목표설정은 직전 3개년 평균값을 기준으로 온실가스 배출량을 산정하고 이에 대하여 1년 단위로 목표를 설정하여 그 다음해에 이행 여부를 평가한다. 이는 공공건물의 온실가스 저감 계획의 단기적 목표와 장기적 목표를 동시에 세워 실행해야 하는 것을 의미하며, 건축부문에서의 체계적인 온실가스 감축계획의 필요성이 강조되고 있다.

4) 공공기관 에너지 이용 합리화 추진 규정

지식경제부는 2011년 7월 26일 「공공기관의 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정」을 제정, 공고하였다. 이 규정은 「에너지이용 합리화법」 제 8조 및 동법 시행령 제 15조의 규정에 따라 국가, 지방자치 단체 등 공공기관의 에너지의 효율적 이용과 온실가스의 배출 저감을 위하여 공공기관이 추진하여야 하는 사항을 담고 있다. 구조는 크게 건물부분, 수송부분, 교육 및 홍보 부분으로 나눌 수 있으며, 건물부문에서는 건물에너지효율 1등급의 의무화와 고효율기기 및 조명기기의사용, 피크전력을 줄이기 위한 냉방에너지 사용의 제한 등이 나타나있다.

<표 3.4> 공공기관 에너지 이용 합리화 추진 규정 내용 요약

구분	내용
목적	공공기관의 에너지의 효율적 이용과 온실가스의 배출 저감
대상 기관	중앙행정기관, 지방자치단체 및 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제 4조에 따른 기관
건물 부문	<ul style="list-style-type: none"> ① 공공업무시설의 건물에너지효율 1등급 취득 의무화 ② 공공기관에서 공동주택을 신축, 증축하는 경우 건물에너지효율 2등급 취득 의무화 ③ 과대청사 건립방지를 위한 시설규모의 관련규정의 적용여부 확인. ④ 건축 연면적 10,000㎡이상인 건물을 소유한 공공기관은 5년마다 에너지진단을 받아야함. ⑤ 신축보다 리모델링 추진을 권고. ⑥ 신·재생에너지 설비의 설치 의무화. ⑦ 연면적 3,000㎡이상의 건물의 냉방설비 기준 제시. ⑧ 에너지소비효율 1등급 제품의 고효율에너지기자재 사용. ⑨ 조명기기의 효율적 이용. ⑩ 사무기기 및 가전기기 구입 시 대기전력저감 제품을 설치. ⑪ 적정실내온도준수 (난방:18℃이하, 냉방 28℃이상) ⑫ 엘리베이터의 시간별 운행 제한.

5) 그린 디자인 서울 공공건축물 설계 가이드라인

공공건축물의 디자인 가이드라인중 대표적인 사례로 서울시의 그린디자인 설계 가이드라인이 있다. 서울시는 2007년 “서울 친환경 에너지 선언”을 통해 단계별 에너지 이용량 및 온실가스 감축기준을 발표하고 이를 실행하기 위한 일환으로 친환경건축물 건축기준(2007.8.17)을 발표하였다. 친환경건축물에 대한 민간부분의 에너지 절약 의식 확산을 유도하기위해 공공건축물부분에서 먼저 설계기준을 만들었으며, 구체적인 가이드라인을 제시하였다.

공공기관이 서울시에 건설하는 모든 공공건축물을 대상으로 하며, 에너지 효율1등급과 친환경건축물인증을 받아야 한다. 신재생에너지 이용률도 단계별로 2011년 10%, 2015년 13%, 2020년 20%를 목표로 단계적으로 의무비율을 지정하였다.

<표 3.5> 공공건축물 설계 가이드라인 세부 기준

분 야		민간부문	공공부문
에너지효율등급		에너지효율 2등급	에너지효율 1등급
에너지성능지표		EPI 86점 이상	EPI 90점 이상
친환경건축물인증		우수등급 인증	최우수등급 인증
단열기준	벽체	1.14 W/m ² ·K 미만	1.14 W/m ² ·K 미만
	지붕	0.19 W/m ² ·K 미만	0.16 W/m ² ·K 미만
	바닥	0.26 W/m ² ·K 미만	0.21 W/m ² ·K 미만
창 호 면 적		벽면율 40% 이상	벽면율 50% 이상

3.1.3 국내 공공업무시설의 현황에 따른 문제점

최근 호화청사 논란과 함께 에너지 절약에 대한 의식이 강화되면서 각 지자체별로 공공건축물의 에너지 절약 사례를 발표하고 있다.³¹⁾ 대부분이 정부가 지원하는 ESCO사업³²⁾으로 에너지 진단을 실시하여 에너지를 절약한 사례이다. 2005년 이후 투자된 ESCO사업의 80%가 고효율 조명설비의 교체였으며, 폐열회수 설비가 10%, 노후보일러 교체가 5%, 가스구동형 냉난방기(GHP)가 3%를 차지했다. ³³⁾ 이는 대부분의 공공업무시설의 에너지 절약사례가 설비의 효율향상으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

또한 사회적으로 가장 문제가 되었던 성남시청사 용인시청사³⁴⁾를 포함하여 2005년 이후 신축된 공공업무시설에 대하여 행안부는 에너지절약을 위한 구체적인 개선방법을 제시하며, 에너지 효율등급을 2개 등급 높이도록 권고했다. ³⁵⁾ 주요 개선 권고내용은 창면적비 축소를 위해 단열이 포함된 패널을 유리창 안쪽에 설치하는 것과 LED등 교체, 신재생에너지시스템의 도입과 급탕온도의 조절이 있었다. 이러한 개선권고사항에도 초기 비용이 많이 소요되

31) 행정안전부, (2010), 정부 대전청사 에너지 절약 사례집

32) ESCO (Energy Service Company) : ESCO로 지정받은 에너지 전문업체가 특정 건물이나 시설에서 에너지 절약시설을 도입할 때 해당 기관으로부터 돈을 받지 않은 채 비용 전액을 ESCO 업체가 투자하고, 여기서 얻어지는 에너지 절감계산에서 투자비를 분할 상환 받도록 하는 사업 방식을 말한다. (기후변화·탄소시장 용어집, 경문사)

33) 조항문, (2007), 서울시 공공건물의 에너지 절약방안

34) 지자체 청사 에너지 효율 낙제점, 한국경제 2010.11.08일자 2면 3단

35) 행안부 2010년 11월 8일 보도자료, '05년 이후 신축된 모든 지자체 청사에 시설 개선 권고

는 조명설비의 교체와 신재생에너지 시스템의 비율이 높다.

지금까지 공공업무시설의 에너지 절약은 설비의 효율 향상을 중심으로 이루어져 왔으며, 최근 에너지 낭비가 논란이 되면서 냉난방 온도 조절, 급탕온도 조절, 운영시간의 조절등 운영방침을 조절하여 에너지 절감을 유도하고 있다. 하지만 이러한 에너지 절약계획은 온실가스 목표관리제 시행으로 매년 연간목표를 설정해 온실가스 감축을 위한 계획을 수립해야 하기 때문에 사용자의 운영으로 인한 에너지 절감에는 한계가 있다.

또한 최근 공공건축물을 신축하고자 하는 경우 리모델링 가능여부에 대한 사전심사가 법적으로 의무화됨에 따라³⁶⁾ 신축의 규제가 강화되고 기존 건물의 에너지 절감에 대한 중요성이 더욱 부각될 것으로 사료된다. 따라서 기존 공공업무시설의 단계별 온실가스 감축 목표에 따라 온실가스 저감 계획이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

36) 행정안전부령 제 240호 「지방재정 투융자 사업 심사규칙」 제 4조 3항

3.2 공공업무시설의 표준모델 설정

공공업무시설의 표준모델설정을 위해 기존 공공업무시설의 건축적 현황을 분석하고 관련 법규 및 지침을 검토하여 일반적인 공공업무시설의 표준모델을 설정하였다. 표준모델설정을 위해 크게 건축계획요소, 건축기술요소, 사용자운영요소로 나누어 기준을 설정하였다. 건축계획요소는 서울시 구청사 25개와 인천시의 8개 구청사를 대상으로 건축현황을 조사하고 문헌자료를 참고하여 작성하였고, 건축기술요소와 운영요소는 정부청사 에너지 관리 자료집을 참고하였다.

<표 3.6> 표준모델 설정을 위한 항목별 자료의 출처

	항목	자료 출처
건축계획요소	건물의 연면적 및 규모	서울시, 인천시의 33개 구청백서 공공건축물의 설계표준화 지침서 개발연구 ³⁷⁾
	건물의 형태	
	외피의 단열성능	「건축물 설비기준 등에 관한 규칙」 ³⁸⁾
	건물의 평면	공공청사 건축디자인 기준 설정방안 연구 ³⁹⁾
건축기술요소	건물의 표준 운전 상태	정부청사 에너지 관리 자료집 ⁴⁰⁾
사용자운영요소	운영기간 및 스케줄	

3.2.1 공공업무시설의 건축계획요소

공공업무시설의 표준모델 설정을 위해 건축현황을 분석하였다. 자료는 각 구청사별 발행하는 구청백서를 근거로 작성하였다. 행정업무와 대민업무를 담당하는 공공업무시설만을 대상으로 하였으며, 보건소와 구의회건물은 대상에서 제외하였다. 또한 기존연구문헌에서 제시한 공공업무시설의 설계 표준화 지침서를 참고하였다.

37) 김수암, (1997), 공공건축물의 설계표준화 지침서 개발연구, 국토해양부

38) 국토해양부령 제 306호 제21조 1항, 별표4

39) 엄철호, (2010), 공공청사 건축디자인 기준 설정 방안 연구, 건축도시공간연구소

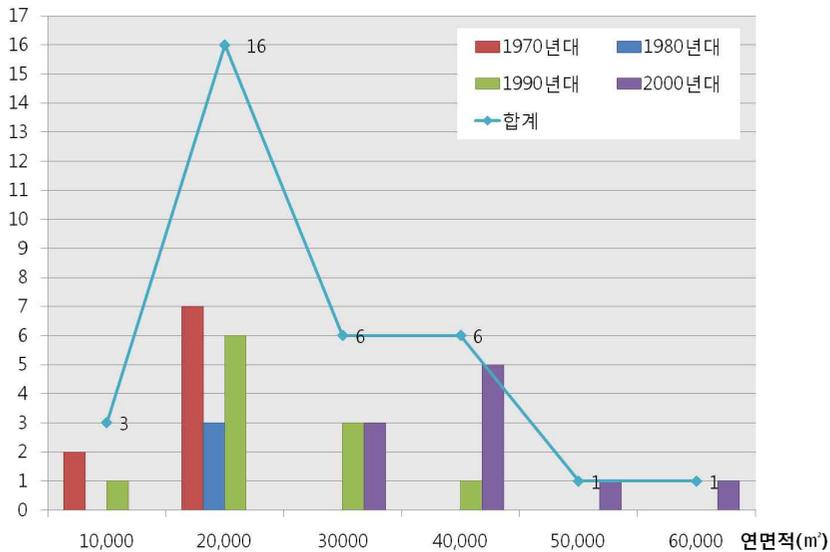
40) 행정자치부, (2006), 정부청사 에너지관리 자료집

<표 3.7> 서울, 인천시의 33개 구청사 건축 현황

번호	지역	청사	건립연도	연면적(m ²)	대지면적(m ²)	지상/지하
1	서울	종로구	1922	14,949	8,673	6/1
2	서울	광진구	1967	14,214	15,687	3/1
3	서울	강북구	1974	10,444	5,100	6/1
4	서울	영등포구	1975	14,708	7,622	5/3
5	서울	중구	1975	13,335	7,178	5/1
6	서울	강서구	1977	9,631	5,594	5/1
7	서울	서대문구	1977	12,672	5,120	7/1
8	서울	강동구	1979	9,896	5,900	5/1
9	서울	구로구	1981	12,485	11,391	5/1
10	서울	동작구	1981	11,874	8,941	5/1
11	서울	은평구	1981	16,376	12,129	7/1
12	서울	서초구	1991	18,221	16,618	9/1
13	인천	남구	1991	23,516	8,516	5/1
14	인천	중구	1991	13,675	9,651	5/1
15	서울	노원구	1992	17,032	11,815	8/1
16	서울	양천구	1992	16,856	7,461	7/2
17	인천	동구	1992	5,911	4,763	4/1
18	인천	서구	1992	15,701	14,220	5/1
19	서울	송파구	1993	20,350	9,883	10/2
20	인천	남동구	1994	28,168	29,961	7/1
21	서울	강남구	1997	17,243	15,550	4/1
22	서울	중랑구	1997	27,797	11,955	7/1
23	인천	연수구	1997	32,400	21,792	7/2
24	서울	동대문구	2000	33,945	11,565	8/2
25	인천	부평구	2000	31,587	13,738	8/2
26	인천	계양구	2001	35,249	23,570	7/1
27	서울	도봉구	2003	38,704	14,118	15/2
28	서울	성동구	2004	36,866	5,965	14/2
29	서울	관악구	2007	29,244	8,909	9/2
30	서울	성북구	2007	27,489	3,830	12/4
31	서울	금천구	2008	25,941	16,618	12/2
32	서울	마포구	2008	43,246	16,529	12/2
33	서울	용산구	2010	59,177	13,497	10/5

1) 건물의 규모 : 연면적, 기준층 면적, 층수

공공업무시설의 연도별 건설현황을 보면 1970년대에 전체의 27%에 해당하는 9개의 청사가 준공되었으며, 1980년대에 9%로 줄었다가 1990년대에 지방자치제 실시 이후 청사 신축이 활발해져 전체의 34%가 건설되었다. 최근 2000년대에 들어와 30%의 청사가 건설되었다. 규모현황을 보면 1970,80년대에는 연면적 10,000~ 20,000㎡의 분포를 보이며, 건축이 가장 활발했던 1990년대에 들어와 10,000~ 30,000㎡의 규모를 나타냈고, 2000년대에 들어와 규모가 급격하게 증가하였다. 이는 종합행정타운으로 다양한 기능이 추가되고 그에 따라 규모가 증가한 것으로 보이며, 평균 40,000㎡, 최고 60,000㎡이상을 나타냈다. 이러한 규모의 급격한 증가는 과대 설계와 에너지 낭비라는 사회적 비판과 논란에 따라 앞으로 규제대상이 될 것이라 판단된다. 또한 기존의 염철호의 연구⁴¹⁾에서 자치구의 공공업무시설 규모를 평균 15,243㎡로 보고 있으며, 공공건축물 표준설계지침⁴²⁾에도 따라 공공업무시설의 표준규모는 기능적인 규모 확대를 가져왔던 1990년대를 기준으로 연면적 10,000~20,000㎡으로 하며, 층수는 지상 7층 지하 2층으로 한다.



(그림 3.6) 연도별 서울, 인천시 공공업무시설 건축 현황

41) 염철호, (2010), 공공청사 건축디자인 기준 설정 방안 연구, 건축도시공간연구소

42) 김수암, (1997), 공공건축물의 설계표준화 지침서 개발연구, 국토해양부

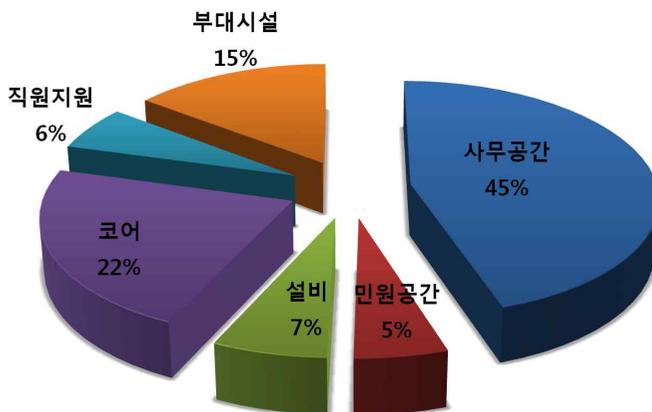
2) 건물의 형태 : 장단변비

평면형태의 유형을 결정하는 주요소인 평면의 장단변비는 외피면적의 변화에 영향을 주기 때문에 외피를 통한 열손실과 투과체에 의한 유입일사량도 달라진다. 따라서 평면의 장단변비는 건물의 연간 에너지소비량에 영향을 미친다. 장단변비 분석 시 증축된 부분을 제외하고 본 청사에 대해서만 비교하였으며 33개 공공청사의 장단변비 평균값인 1:3으로 설정하였다.

3) 건물의 평면 : 복도 및 코아의 형태

공공업무시설은 지자체 여건에 따라 업무공간과 비업무공간, 공용공간의 면적 비율이 상이하게 나타나는데 자치구의 공공업무시설의 경우 평균 업무공간의 면적비율이 45%, 비업무공간비율이 33%, 공용공간이 22%를 차지한다. 여기서 업무공간은 사무공간과 사무지원공간을 뜻하며, 비업무공간은 직원 편의시설 및 주민지원시설과 기타 설비시설의 면적을 말하며, 공용공간은 현관, 로비, 복도, 계단, 엘리베이터, 화장실등을 지칭한다. 43)

주로 저층부에 민원실과 주민지원시설과 같은 비업무공간이 위치하며, 상층부에 업무공간이 배치된다. 공공업무시설의 장단변비가 비교적 긴 형태를 가지고 있어 대부분이 중복도의 형식의 평면을 가진다.



(그림 3.7) 공공업무시설의 공간별 면적비율

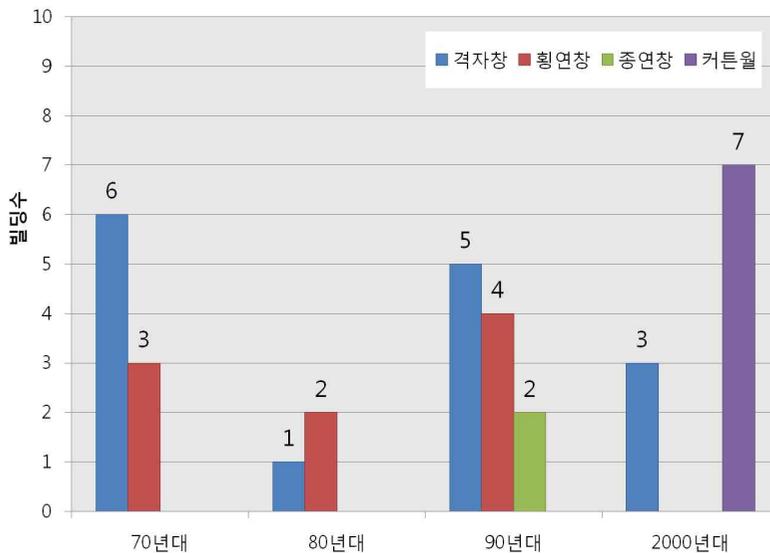
43) 엄철호, 공공청사 건축디자인 기준 설정 방안 연구, 건축도시공간연구소, 2010.

5) 건물의 입단면 : 벽체면적, 창면적, 층고(천장고)

기존 연구자료에 따르면 창면적비는 90년대 이전에는 격자창과 횡연창이 주를 이루었으나 2000년대로 올수록 창면적비의 비율이 증가하면서 대부분 커튼월의 형태를 가진다.⁴⁴⁾ 하지만 최근 에너지 낭비에 대한 논란으로 공공 건축물의 에너지절약설계에 따라 창면적비가 50%이하로 규제되고 있다. 따라서 표준모델의 창면적비는 50%로 설정한다.

<표 3.8> 서울, 인천시 공공업무시설의 창면적비 비율

창면적비(%)	개소/비율(%)
30%이하	7/ 31%
31~50%	7/ 31%
50%이상	9/ 38%



(그림 3.8) 서울, 인천시 공공업무시설의 연도별 창의 형태분포

6) 건물의 단열성능: 외벽, 지붕, 바닥, 창호

공공업무시설의 경우 시대별로 단열 기준이 계속 향상되었기 때문에 공공 업무시설의 건축이 가장 활발하게 일어났던 1990년대를 기준으로 하였다. 건물의 단열기준은 1979년 건물절약 시책도입에 따라 신축건물의 단열이 의무

44) 황용운, (2002), 자치구청사의 외관디자인 변화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집: 계획계, 4권4호 43-51

화 되었고 그 이후 성능이 계속 향상되었다. 1990년대에는 1987년 개정되었던 단열기준이 계속 적용되었으며 문헌자료에 따라 1981년부터 2000년대에 공공건물에서 사용된 50mm단열과 24mm복층유리로 적용하였다.⁴⁵⁾

<표 3.9> 표준모델의 단열 성능 기준

부위별	단열기준 (W/m ² K)	
외벽	0.58	50mm단열재
최하층바닥	0.58	-
최상층 반자 또는 지붕	0.40	-
공동주택 측벽	0.46	-
외기에 면하는 창	3.37	24mm복층유리

3.2.2 공공업무시설의 건축기술요소

공공업무시설의 표준모델에 적용되는 건축기술요소는 서울시 공공업무시설 35곳의 현황을 분석한 자료를 참고로 하여 설정하였다.⁴⁶⁾

1) 열원설비

공공업무시설의 열원은 1998년을 기점으로 전력을 사용하는 터보형식의 냉동기가 주로 사용되다가, 전력사용의 운전비 과다로 가스연료를 사용하는 흡수식 냉온수기를 선호하게 되었고 평균 300RT내외의 용량을 설치하는 것으로 나타났다. 하지만 표준 모델은 1990년대를 기준으로 터보형 냉동기와 가스보일러를 열원으로 설정하였다.

2) 공조시스템

공조시스템은 조사대상인 공공업무시설 35개중 약 37%에 해당하는 13개의 건물이 사용하고 있는 수공기방식으로 선정하였다. 내주부에는 변풍량 단일덕트방식이(VAV Single Duct), 외주부에는 팬코일유닛방식(FCU)을 설정하였다.

45) 산업자원부, (2004), 에너지기술 DB구축사업

46) 박찬식, (2003)공공청사 기계실의 소요공간 추정식, 건설산업기술연구소 논문집, p47~60

3.2.3 공공업무시설의 사용자에 따른 요소

공공업무시설의 운영실태를 알 수 있는 표준운전상태는 공공기관의 성격상 정부에서 정한 권장사항을 준수하기 위해 노력하고 있음을 알 수 있다. 각종 공공업무시설의 에너지소비실태 자료를 참고하여 표준운전상태를 작성하였다.⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁴⁹⁾

1) 내부 발열 요소⁵⁰⁾⁵¹⁾

인체, 기기 및 조명과 같은 요소에 의한 내부발열은 냉방부하에 영향을 미친다. 내부발열요소는 실의 기능과 운영스케줄에 따라 달라진다.

자치구 평균 연면적 15,000㎡의 경우 상주하여 업무를 수행하는 공무원의 수는 평균 608명으로 조사되었으며, 공조면적당 사무실의 재실밀도는 0.05인/㎡으로 나타났다.

조명기기의 경우 옥외 사용 조명을 제외한 실내에서 사용 중인 조명의 약 96%이상이 형광램프를 사용하고 있었다. 형광램프는 대부분 FL 32W기기가 사용되었으며, 조명밀도는 20W/㎡로 나타났다. 보유기기현황은 컴퓨터, 프린터, 복합기와 같은 사무기기가 주를 이루며 컴퓨터 기준 평균 일일10시간 사용을 하고 있어 근무시간동안 기기사용은 계속 이루어지는 것을 알 수 있었으며, 기기발열밀도는 20W/㎡로 설정하였다.

<표 3.10> 공간별 내부발열요소

실명	조명 (W/㎡)	기기 (W/㎡)	인체		
			현열 (Kcal/hr°C)	잠열 (Kcal/hr°C)	재실밀도 (인/㎡)
사무실	20	20	59	46	0.05
회의실	20	5	59	46	0.1
민원실	20	20	59	71	0.3
로비	10	-	61	58	0.1
복도/홀	10	-	61	58	0.1

47) 박현준, (2006), 정부청사 에너지관리 자료집, 행정자치부, p36~37

48) 산업자원부, (2007), 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, p316-326

49) 행정안전부, (2010), 정부대전청사 에너지절약 사례집,

50) 행정안전부, (2006), 정부청사 에너지관리 자료집,

51) 산업자원부, (2007), 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, p316-326

2) 운영스케줄

공공기관의 업무시간은 주5일 근무로 평일 오전 9시부터 오후6시까지이며, 토요일, 일요일, 공휴일은 운영하지 않는다. 따라서 운영 스케줄은 출퇴근 시간 1시간 전후를 기준으로 오전 8시부터 오후 7시까지로 하며 세부스케줄은 2001년 산업자원부의 실별 운영스케줄을 적용하였다. 52)

3) 공조시스템 운전기간 및 운영시간

「건축물의 에너지 절약 설계 지침」에 따르면 사무소의 실내 적정 난방 온도는 20-23℃, 냉방은 26-28℃로 설정되어 있다. 하지만 공공청사의 동·하절기 냉·난방 가동계획을 보면 국무총리지시로 시행되던 「공공기관 에너지 이용합리화 지침」에 따라 난방 평균 20℃이하, 냉방 평균 28℃이상으로 기준이 설정되었다. 이러한 기준은 최근에 「공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정」으로 개정되었으며, 난방설비 가동 시 적정실내온도는 평균 18℃이하, 냉방 설비 가동 시 평균 28℃이상으로 규정하고 있다. 점차 공공기관의 냉난방 설정온도의 규제는 일반적인 사무소에 비해 엄격하게 규제되어 있다. 본 연구에서는 현재 실내의 상향된 온도규정은 다소 무리가 있다고 판단되어, 개정되기 이전에 기준인 「건축물의 에너지 절약 설계지침」에 따라 실내 냉난방온도를 설정하였다. 운영기간은 냉방기간 6월에서 9월로 설정하였고, 난방기간은 11월부터 3월로 규정하였다. 53)

<표 3.11> 공공업무시설의 공조시스템 표준운전조건

	설정온도	운전기간
냉방	22℃	6월 1일 - 9월 30일
난방	27℃	11월 1일 - 3월 31일

52) 산업자원부, (2001), 에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진방안 연구, p183-190

53) 행정안전부, (2006), 정부청사 에너지관리 자료집

3.3 표준 공공업무시설의 온실가스 배출특성 분석

3.3.1 시뮬레이션 분석 개요 및 도구 선정

1) 시뮬레이션 개요

공공업무시설의 온실가스 배출특성을 분석하기 위해서 건물의 운영기간동안의 에너지 시뮬레이션 분석이 필요하다. 따라서 공공업무시설을 대표할 수 있는 표준모델을 설정하고 시뮬레이션 도구를 이용한 에너지 해석을 수행하였다. 시뮬레이션을 통한 에너지 분석방법은 다음의 표22와 같다.

<표 3.12> 시뮬레이션 방법

시뮬레이션 도구 설정 및 표준모델 설정
시뮬레이션 수행
에너지 해석 및 분석
온실가스 배출량 분석

2) 시뮬레이션 도구선정

본 연구에서는 에너지 해석을 위해 공간의 에너지 평형식(Energy balance equation)과 결합되어 건축 구조물에서의 동적 열전달해석의 평가도구로 전도전달함수 (Conduction Transfer Function : CTF)를 사용하는 EnergyPlus를 시뮬레이션 도구로 선정하였다. EnergyPlus는 DOE-2와 BLAST의 장점만을 합한 것으로, 부하부분의 경우 BLAST의 알고리즘을 기반으로 하고, 시스템 해석부분의 경우 DOE-2의 알고리즘의 영향을 받았다. EnergyPlus는 해석 시간 간격 설정이 자유로우며, 모듈형 구조를 가지므로 사용자 임의로 시스템을 구성 할 수 있다.

3.3.2 시뮬레이션 입력데이터

앞에서 설정한 공공업무시설의 표준모델을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 입력된 시뮬레이션 데이터는 다음과 같다.

1) 기상데이터

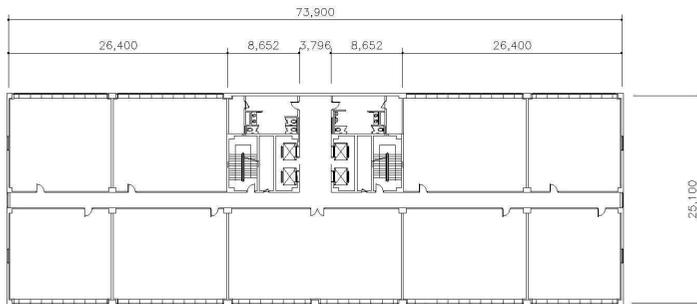
기상데이터는 태양에너지 학회에서 제공하는 대한민국 서울표준기상데이터로 1986년부터 2005년까지의 자료를 바탕으로 작성되었으며, TMY형식의 기상데이터를 사용하였다.

2) 표준공공업무시설의 개요

앞장에서 설정한 표준모델의 건축적 개요를 정리하면 <표 3.13>과 같다.

<표 3.13> 표준모델의 개요

설계 단계	계획별 분류		계획요소	표준 설정값	
기획 설계	규모		연면적	16,200m ²	
			기준층 바닥면적	1,800m ²	
			층수	7층	
	형태		장단변비	1: 3	
계획 설계	입면 단면		건물의 향	남향	
			평면	코아의 유형	편심코어
				층고	4m
				천장고	2.8m
				플래넘	1.2m
				창면적비	50%
				차양	없음
실내기준조도	500lux				
기본 설계	부위별 계획	구조체	지붕단열	0.4 W/m ² k	
			최하층 바닥단열	0.58 W/m ² k	
			벽체단열	0.58 W/m ² k	
		창호	창호성능	3.2 W/m ² k	
			차폐계수(SHGC)	0.76	



(그림 3.9) 표준 공공업무시설의 평면도

3) 건물 모델링 및 외피구성

<표 3.14> 외벽의 구성 및 물성치

NO	재료	두께 mm	열전도율 W/mK	용량 J/kg.K	밀도 kg/m ³	열저항 m ² K/W	
1	화강석	30	2.8	1000	2600	0.010	
2	Air gap	10	0.3	1000	1000	0.15	
3	글라스울	46	0.04	840	20	1.15	
4	콘크리트	120	1.35	1000	1800	0.088	
5	Mortar	10	0.88	896	2800	0.011	
합계	열저항	ΣR (m ² K/W)					1.725
적용 열관류율 (W/m ² K)						0.580	

<표 3.15> 지붕의 구성 및 물성치

NO	재료	두께 mm	열전도율 W/mK	용량 J/kg.K	밀도 kg/m ³	열저항 m ² K/W	
1	우레탄방수	10	0.25	1800	1200	0.040	
2	무근콘크리트	100	1.35	1000	2000	0.074	
3	Mortar	50	0.88	896	2800	0.056	
4	콘크리트	150	1.35	1000	1800	0.111	
5	글라스울	83	0.04	840	12	2.077	
합계	열저항	ΣR (m ² K/W)					2.5
적용 열관류율 (W/m ² K)						0.4	

<표 3.16> 최하층바닥의 구성 및 물성치

NO	재료	두께 mm	열전도율 W/mK	용량 J/kg.K	밀도 kg/m ³	열저항 m ² K/W	
1	에폭시코팅	10	0.2	1400	1200	0.050	
2	무근콘크리트	200	1.35	1000	1800	0.148	
3	글라스울	100	0.04	840	12	2.500	
4	배수판	75	0.25	1400	1700	0.300	
5	버림콘크리트	60	1.35	1000	1800	0.044	
합계	열관류율	ΣR (m ² K/W)					1.725
적용 열관류율 (W/m ² K)						0.580	

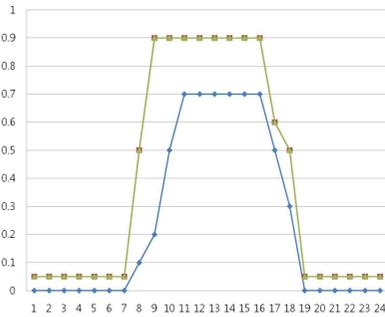
<표 3.17> 창호의 물성치

재료	두께 mm	가시광선 투과율	열성능		
			차폐계수	태양열취득율	열관류율 W/mK
Double Clear glass	3-6-3	0.812	0.9	0.76	3.16

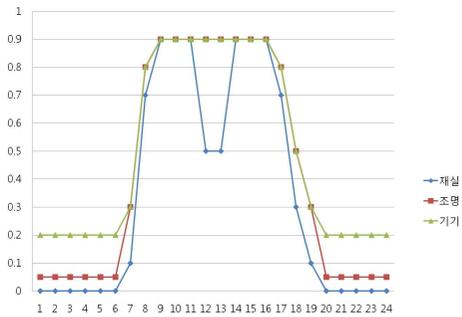
4) 내부발열량 및 스케줄

<표 3.18> 공간별 내부발열

	실명	면적(m ²)	내부발열		
			조명 (W/m ²)	기기 (W/m ²)	재실밀도 (인/m ²)
1층	로비	179.55	20	-	0.1
	민원실	1229.78	20	20	0.3
	코어	390.67	10	-	0.1
2층	민원실	1109.33	20	20	0.3
	부대시설	390.67	20	5	0.1
	코어	300	10	-	0.1
3~7층	사무실	1109.33	20	20	0.05
	회의실	390.67	20	5	0.1
	코어	300	10	-	0.1



(그림 3.10) 로비 및 복도공간 스케줄



(그림 3.11) 사무실 및 민원실 스케줄

3.3.3 시뮬레이션 결과분석

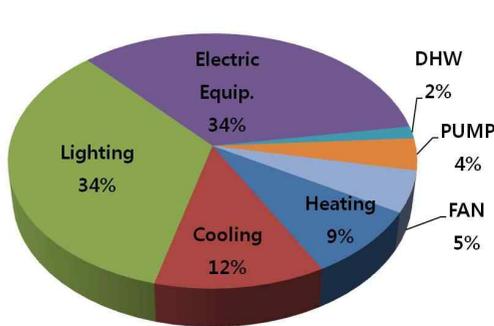
1) 표준 공공업무시설의 에너지 소비 특성 분석

표준 공공업무시설의 연간 에너지 소비량은 1차에너지 소비량으로 환산하여 계산하였다. 전력사용의 1차에너지 소비량 환산기준은 2,150kcal/kWh, 도시가스는 10,550kcal/m³ 54)을 적용하여 계산하였다.

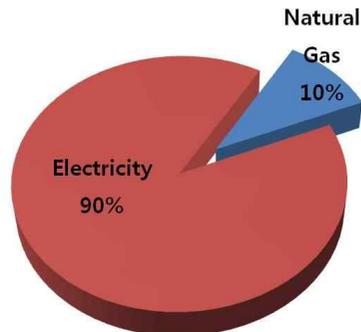
공공업무시설은 주거용 건물에서 일반적으로 24시간 난방을 하는 것과 달리 겨울철 외기 온도가 낮은 야간에는 근무를 하지 않으므로 실질적으로 난방부하가 많이 걸리는 야간보다 일사의 영향이 큰 주간을 위주로 난방을 하

54) 에너지 열량 환산기준 (에너지 기본법 제5조 제 1항 관련)

게 되는 특징이 있다. 또한 내부의 조명이나 인체 발열, 기기 발열등의 내부 발열밀도가 보편적으로 커서 외피부하보다는 내부부하가 크다는 특징이 있기 때문에 난방에 소요되는 에너지보다 냉방에 소요되는 에너지 값이 매우 크게 작용하므로 외주부의 외피열부하가 전체부하에 크게 영향을 주지 않는다. 공공업무시설의 표준모델의 연간 총 에너지 소요량은 391.57MWh로서 단위면적당 366.4kWh/m²yr로 나타났다. 요소별 구성비는 (그림 3.12)와 같이 조명 34%, 기기34%, 냉방 12%, 난방 9%, 급탕 2%의 순으로 나타나며 전체 에너지원별로 구성을 살펴보면, 전력사용이 90%로 가스사용에 비해 9배 높게 나타난다.

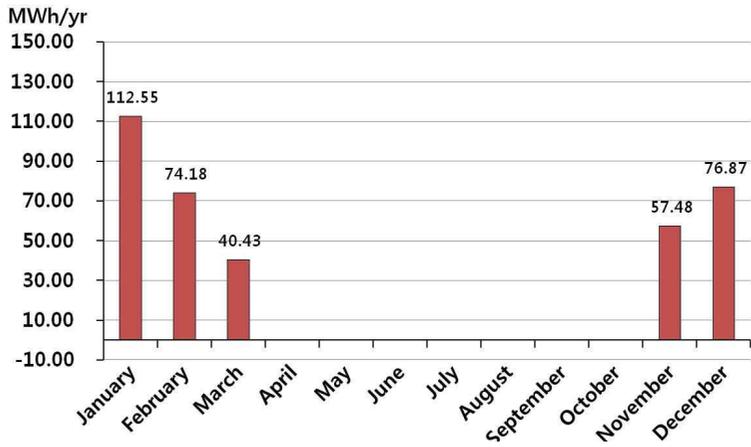


(그림 3.12) 표준 공공업무시설의 에너지 소요량 구성 비율

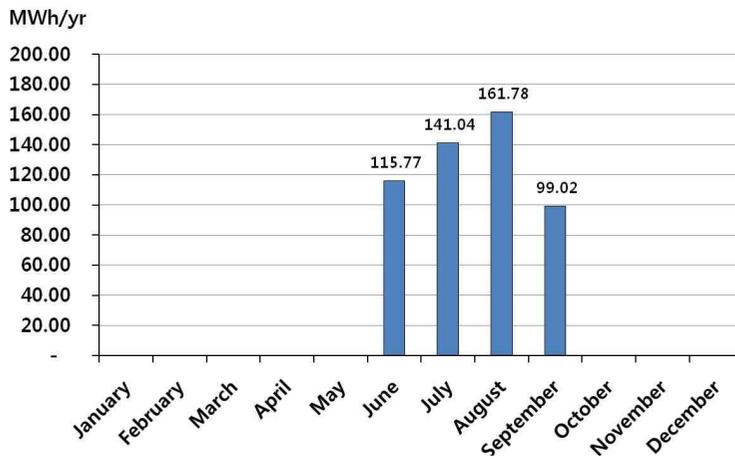


(그림 3.13) 표준 공공업무시설의 에너지원별 구성 비율

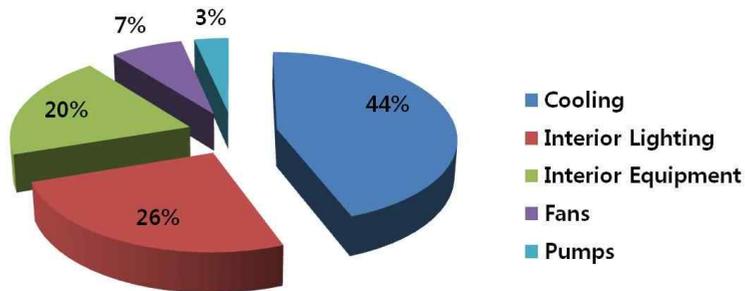
월별 냉, 난방에너지 소요량은 (그림 3.14)와 (그림 3.15)와 같다. 연간 난방에너지 소요량은 11월에서 3월까지 370,752kWh로 단위면적당 31.72kWh/m²로 나타났으며, 1월 24일 오전 7시에 피크부하가 걸린다. 반면 냉방에너지 소요량은 517,620kWh로 단위면적당 44.29kWh/m²로 나타났으며, 냉방기간은 6-9월로 난방기간에 비해 운영기간이 짧고, 7월 24일 오후 3시에 전력피크부하가 나타난다. 4월, 5월, 10월에는 중간기로 냉난방을 하지 않는다. 냉방기간이 난방기간보다 운영기간이 짧지만 총 소요량은 약 1.5배 많은 값을 나타냈다. 또한 가스사용량의 피크는 1월24일 오전 7시 10분에 2,673.8kW, 전력피크는 8월4일 오후 3시30분에 784.64kW로 그중 44%에 해당하는 344.5kW가 냉방으로 인한 전력사용으로 발생한다.



(그림 3.14) 표준 공공업무시설의 월별 난방에너지 소요량



(그림 3.15) 표준 공공업무시설의 월별 냉방에너지 소요량



(그림 3.16) 피크 전력의 구성 비율 (8월4일 오후 3시 30분)

2) 표준 공공업무시설의 온실가스 배출특성 분석

온실가스 배출량을 평가하기 위해서는 에너지원에 따른 CO₂ 배출량 산정이 필요하다. CO₂ 배출량은 2008년 전력거래소의 전력 CO₂ 배출계수와 2006년 IPCC Guideline의 도시가스 CO₂ 배출계수를 사용하는 에너지관리공단의 탄소중립프로그램의 산정식을 사용하였다.⁵⁵⁾

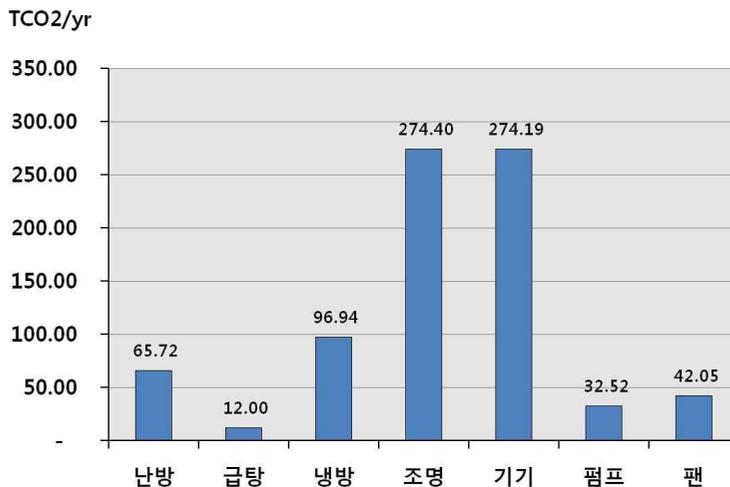
가) 화석연료의 CO₂ 배출량 (TCO₂)

$$= \text{TOE(순발열량 기준)} \times \text{탄소배출계수(IPCC계수)} \times \text{CO}_2 \text{ 환산계수}(44/12)$$

나) 전력의 CO₂ 배출량 (TCO₂)

$$= \text{전력소비량} \times \text{CO}_2 \text{ 배출계수}(0.4682 \text{ TCO}_2 / \text{MWh})$$

표준 공공업무시설의 연간 온실가스 배출량은 797.81tCO₂/yr로 나타났고, 부문별 배출량은 (그림 3.17)과 같다. 조명사용으로 인한 CO₂ 배출이 274.4 tCO₂/yr로 가장 많은 배출량을 보였고, 기기사용은 274.19tCO₂/yr, 냉방은 96.94tCO₂/yr의 순으로 배출량을 보였다. 에너지 소비량의 구성비와 마찬가지로 조명과 기기사용으로 인한 CO₂ 배출이 높은 비율을 차지했으며, 전체 배출량의 68%를 차지한다. 조명 및 기기와 같이 내부발열 요소로 인한 CO₂ 배출량이 높아 난방보다 냉방의 CO₂ 배출량이 높으며, 그 비율도 전체의



(그림 3.17) 표준 공공업무시설의 용도별 온실가스 배출량

55) 에너지관리공단, <http://zeroco2.kemco.or.kr>

12%를 차지한다. 기기의 사용은 공공업무시설의 업무특성상 운영 및 관리를 통해 줄일 수 있지만, 정량적 평가의 한계가 있다. 따라서 건축계획적인 방법으로 온실가스를 줄일 수 있는 효과적인 방법으로 조명과 냉방의 사용으로 인한 CO₂ 배출량을 줄이기 위한 계획이 필요하다.

3) 표준 공공업무시설의 에너지 및 온실가스 배출 특성

표준 공공업무시설의 1차에너지 소요량 및 온실가스 배출량을 분석한 결과 유사한 패턴을 보였다. 조명과 기기의 내부발열에 의한 영향력이 크고, 난방보다는 냉방에 의한 에너지 소비량 및 온실가스 배출비율이 높았다.

<표 3.19> 표준 공공업무시설의 1차 에너지 소요량 및 온실가스배출량 비교

		1차 에너지 소요량		온실가스 배출량	
		kWh/m ² yr	%	tCO ₂ /yr	%
Gas	난방	31.7	8.7	55.45	7.0
	급탕	5.6	1.5	12.00	1.5
Electric	냉방	44.3	12.1	96.18	12.1
	조명	125.4	34.2	274.40	34.4
	기기	125.3	34.2	274.19	34.4
	팬	19.21	5.2	42.05	5.3
	펌프	14.86	4.1	32.52	4.1
총합		366.4	100	797.81	100

표준공공업무시설의 에너지 시뮬레이션 분석결과 에너지 절감을 위해서는 조명에너지와 냉방에너지를 줄이는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 조명과 냉방은 전체 에너지소요량의 46%차지하며, 전력피크부하를 줄일 수 있는 가능성을 가지고 있다. 또한 전체의 운영시간이 오전9시부터 오후6시로 일사의 영향을 많이 받기 때문에 적절한 일사차폐는 냉방부하 저감을 계획할 수 있으며, 태양광을 활용한 자연채광 계획은 조명에너지 절감을 가져 올 수 있다.

또한 조명, 냉방, 기기와 같은 전력사용의 비율이 전체 88%로 대부분을 차지하기 때문에 자연에너지 활용 계획 시 전력을 생산할 수 있는 시스템 계획이 필요할 것으로 판단된다.

3.4 소결

본 장에서는 공공업무시설의 현황 및 공간적 특성을 분석하여 표준이 되는 모델을 설정하고, 표준모델에 대한 열해석 시뮬레이션을 수행하여, 에너지소비량 분석과 그에 대한 온실가스 배출특성을 분석하였다.

현재 공공업무시설의 온실가스 배출은 매년 증가하고 있으며, 소비하는 에너지원의 구성에서도 점차 석유 및 가스소비량은 줄고, 전력소비량이 증가하고 있다. 또한 2000년대에 들어 건축물의 규모가 2배 이상 증가하고 총에너지 사용량과 1인당 에너지 사용량은 계속 증가하고 있다. 이러한 에너지사용량과 건축규모의 증가로 최근 에너지 낭비 및 호화청사 논란으로 에너지 절약적인 공공업무시설의 건축에 대한 관심이 높아졌다. 이에 정부는 공공업무시설의 신축을 규제하고 신축시 에너지 효율 1등급을 의무화 하였으며, 신축보다 리모델링을 권장하고 있다. 또한 온실가스목표관리제 도입으로 장기간 계획적으로 에너지 사용을 관리하고 에너지 절약을 유도하는 방침을 마련하고 있다. 이러한 정책 방향은 공공업무시설의 기존 건물에 대한 활용이 중요하며, 단계적으로 온실가스 저감 목표를 세우고, 실행하는 것을 요구하고 있으며 이에 대한 대비가 필요하다.

공공업무시설의 온실가스 배출량을 분석하기 위해 표준모델을 설정하여 에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 표준모델의 1차 에너지 소요량은 366.4kWh/m²yr로 에너지 효율등급 3등급에 해당한다. CO₂ 배출량은 797.81tCO₂/yr로 나타났으며, 조명이 34.4%, 기기34.4%, 냉방 12.1%, 난방 7%, 팬/펌프가 7.4%를 차지했다. 조명 및 기기와 같은 내부발열요소에 의한 CO₂ 배출량이 전체의 68.8%로 가장 크고, 내부발열요소와 함께 주간에 운영하는 특성으로 일사가 함께 영향을 미쳐 냉방에 의한 CO₂ 배출량이 난방보다 높다. 따라서 공공업무시설의 CO₂ 저감을 위해서는 전력을 에너지원으로 하며 낮시간에 일사의 활용과 조절로 설계전략을 계획할 수 있는 조명에너지 소비량의 절약과 냉방에너지 절약이 우선시 되어야 할 것으로 판단된다.

제4장 공공업무시설의 Zero Emission 요소기술 성능평가

4.1 Zero Emission 요소기술의 선정

4.1.1 CO₂ 배출 저감목표 설정

본 연구에서는 단계별 CO₂ 저감 목표를 설정하기 위해 “서울친환경에너지 기본계획 2030”을 참고하였다. 서울시 계획에 따르면 2030년까지 총 3단계로 온실가스저감 목표를 세워 최종에너지 소비량 저감목표와 신재생에너지 생산량 목표로 나누어 계획하고 있다. 2015년 목표는 1990년 대비 최종 에너지 소비량 12%절감과 최종 에너지 소비량의 4%를 신재생에너지로 생산하는 계획으로 총 온실가스 저감 목표15%를 설정하였다. 2020년까지는 에너지 15%절감, 신재생에너지 10%생산을 목표로 하여 총 온실가스 25%저감을 계획하였으며, 2030년에는 에너지20%절감과 신재생에너지 20% 생산으로 총 40%의 온실가스 저감 목표를 세우고 있다. 따라서 본 연구에서는 서울시 사례를 참고하여 단계별 온실가스 저감량 목표를 표준모델 대비 15%, 25%, 40%로 세우고 그에 따라 에너지 소비 절감과 신재생에너지 생산량을 계획하고자 하였다.



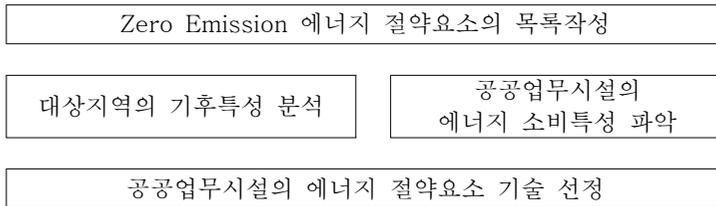
(그림 4.1) 연도별 온실가스 감축량 목표

4.1.2 에너지 절약 요소기술의 선정

1) 에너지 절약 요소기술 선정방법

다양한 에너지 절약 요소기술을 건축디자인과 통합하기 위해서는 건물에 가장 적합한 요소기술을 선택하는 것이 필수적이다. 이는 대상 부지의 기후 특성 분석 및 설계전략 수립이 우선적으로 수행되었을 때 가능하다. 따라서 공공업무시설의 에너지 절약요소를 선정하기 위해 적용 가능한 에너지 절약 요소기술의 목록을 작성하고 대상지역의 기후 분석과 공공업무시설의 에너지 소비 특성을 반영하여 주요 에너지 절약기법과 요소를 선정하였다.

<표 4.1> 공공업무시설의 에너지 절약 요소 선정방법



2) 에너지 절약 요소기술의 목록작성

Zero Emission 건물을 설계하기 위해 건축물에 적용이 가능한 에너지 절약요소기술을 나열하면 다음의 <표 4.2>와 같다.⁵⁶⁾

<표 4.2> Zero Emission계획을 위한 에너지 절약 요소기술

구분	계획요소
건물의 개요 및 규모	기준층 바닥면적
	층수
건물의 형태 및 배치	장단변비
	건물의 향
건물의 평면	기준층 평면형태
건물의 입·단면	외피의 면적비율
건물의 부위별 계획	단열
	기밀
	일사열취득계수
	자연환기
	자연채광

56) 강수연, (2007), Zero Emission Building 의 디자인 프로세스에 관한 연구, (국내석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원)

이러한 요소기술 중 기후분석과 공공업무시설의 에너지 소비특성의 분석 결과를 바탕으로 공공업무시설의 주요 에너지 절약기법을 선정하였다.

가) 건물의 규모 및 형태, 배치, 평면

본 연구는 기존건물의 개선을 목적으로 하기 때문에 건물의 규모, 형태, 배치, 평면은 표준모델조건으로 고정하고 변수에서 제외하였다.

나) 단열성능 (Insulation)

공공업무시설의 표준모델은 1990년대 단열성능을 가지고 있으며, 최근 개정된 2011년 단열성능과 상당한 차이를 나타내기 때문에, 성능향상에 따른 에너지 절감효과의 분석이 요구된다. 따라서 열관류율 변화에 따른 단열성능을 평가하고자 하였다.

다) 기밀성능 (Infiltration)

건물의 기밀성능은 벽체와 창호의 성능 및 시공성에 따라 달라진다. 현재 국내에는 벽체의 기밀성능에 대한 기준이 마련되어 있지 않지만, 그 중요성은 날로 증가하고 있다. 또한 공공업무시설의 운영특성상 민원인의 출입이 빈번하게 일어나기 때문에 기밀성능을 공공업무시설의 에너지 절약요소로 선정하였다.

라) 창면적비 (Window to wall ratio)

3장의 현황분석에서와 같이 최근 공공업무시설의 창의 면적이 증가하여, 2000년대에 신축된 건물은 모두 커튼월구조를 나타냈다. 이와 더불어 공공건축물의 에너지낭비에 대한 관심이 고조되면서 창면적비 조절에 대한 요구가 증가하였다. 또한 창은 건물의 열성능에서 가장 취약한 부분으로 냉,난방, 조명에너지에 영향을 미친다. 따라서 외피면적에 대한 창면적의 비율을 변수로 선정하였다.

마) 창호의 일사열취득계수(Solar Heat Gain Coefficient, SHGC)

공공업무시설과 같이 주간 이용 빈도가 높고 조명 및 냉방부하가 큰 비중을 차지하는 건물의 경우에는 열관류율을 낮추는 것만으로는 큰 효과를 볼 수 없으며, 창호의 일사열취득계수와 가시광선투과율 (Visible Light Transmission)을 동시에 고려해야 한다.⁵⁷⁾

김병수의 연구⁵⁸⁾에 따르면 천청공과 부분 담천공상태에서 09시부터 15시까지 유리창호의 투과율에 상관없이 실내 700lux이상을 유지하는 것으로 나타났다. 따라서 공공업무시설의 경우 운영시간에 창호의 투과율은 실내조도에 영향을 미치지 않는 것으로 보고 창호의 일사열취득계수만을 선정하였다.

바) 외부수평차양 (Horizontal shading)

공공업무시설의 경우 주거용 건물에 비해 냉방에너지 소비의 비율이 높으며, 이는 외주부의 일사차단을 위한 창호 설계의 고려가 필요하다. 따라서 창호의 일사차단을 위한 외부 수평차양을 변수로 설정하였다.

사) 자연환기 (Natural Ventilation)

공공업무시설과 같이 비주거용 건물의 경우, 창을 고정식으로 하여 중간기에도 동력에 의한 환기를 하는 경우가 있으나 실내업무나 기능에 따라 창문을 열어 자연환기를 할 수 있도록 창을 개폐식으로 설치하여 자연환기가 가능하도록 하면 에너지 절약에 유리하다. 따라서 자연환기를 이용하기 위해 창호의 개폐율을 변수로 설정하였다.

아) 자연채광 (dimming control)

공공업무시설의 운영시간이 자연채광을 이용할 수 있는 낮 시간임에도 불구하고 조명에너지 사용으로 인한 에너지 소비비율이 높다. 따라서 조명에너지 소비를 줄일 수 있는 자연채광을 최대한으로 이용해야 하며, 자연채광과

57) 최원기, (2011), 오피스 건물의 에너지 절약, Glazing의 SHGC로 해결하자, 대한건축학회 55(5) 80-85

58) 김병수와1, (2005), 시각적 쾌적성과 에너지 성능분석에 의한 오피스 창호의 적정 투과율 선정, 대한건축학회 논문집:계획계, 21(3), 107-114

인공조명을 적절하게 이용할 수 있는 조광제어를 에너지 절약요소로 선정하였다.

3) 공공업무시설의 에너지 절약요소기술 선정

본 연구에서 설정한 공공업무시설의 에너지 절약을 위한 요소기술은 <표 4.3>과 같다.

<표 4.3> 에너지 절약요소기술 선정 목록

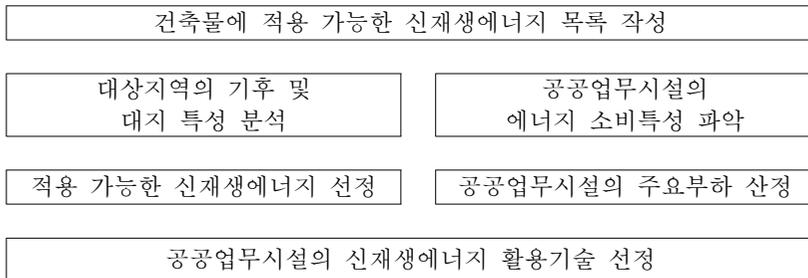
구분	계획요소		시뮬레이션 가능여부
	V1	V2	
건물의 개요 및 규모	기준층 바닥면적		×(고정)
	층수		×(고정)
건물의 형태 및 배치	장단변비		×(고정)
	건물의 향		×(고정)
건물의 평면	기준층 평면형태	코어유형 (편심/중심)	×(고정)
건물의 입·단면	외피의 면적비율	향별 창면적비(%)	○
건물의 부위별 계획	단열	옥상	○
		외벽	○
		창호	○
	기밀	기밀성능 (ACH)	○
	일사열취득계수	향별 창호 차폐	○
	자연통풍	창의 개폐비율	○
	자연채광	수평 차양	○
		조명센서	○

4.1.3 신재생에너지 활용기술의 선정

1) 신재생에너지 활용기술 선정방법

공공업무시설의 신재생에너지 활용기술을 선정하기 위해서는 주변 환경에 대한 분석과 적용 건물의 에너지 소비특성의 파악이 필요하다. 주변 환경에 따른 물리적 환경의 영향은 시스템 적용의 한계를 발생시킬 수 있기 때문에 대상지역의 기후 및 대지 특성분석을 통한 시스템의 적용성을 고려해야 한다. 또한 신재생에너지의 생산특성과 건물의 에너지 수요특성의 매칭에 따라 시스템 이용의 효율성이 결정되기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 공공업무시설의 신재생에너지 활용기술의 선정방법은 <표 4.4>와 같다.

<표 4.4> 신재생에너지 활용기술의 선정 방법



2) 건축물에 적용가능한 신재생에너지 목록 작성

신재생에너지 중 현재 건축물에 적용 가능한 에너지원과 에너지원별 특징은 다음의 <표 4.5>와 같다.⁵⁹⁾ 태양광, 태양열, 풍력 등은 외부 환경적 조건에 의해 에너지 생산 패턴이 간헐적인 생산특성을 가지지만, 지열에너지는 연중 지중온도가 일정하기 때문에 연속적인 에너지 생산이 가능하다. 또한 신재생에너지는 종류에 따라 생산할 수 있는 에너지가 전기와 열로 나뉘며, 건물의 용도에 따른 에너지소비특성을 파악하여 선정할 필요가 있다. 따라서 공공업무시설에 적용하기 위한 신재생에너지원은 주변 환경특성에 따른 신재생에너지 적용 가능여부와 공공업무시설의 에너지 소비특성과 신재생에너지 소비특성의 매칭에 따라 선정하여야 한다.

59) 건설교통부, (2006), 자원절약형 도시환경을 위한 환경순환시스템 구축방안 (전략연구과제),

<표 4.5> 건축물에 적용 가능한 신재생에너지원

	태양광	태양열	풍력	지열
생산에너지유형	전기	열	전기	열
담당부하	전력	급탕	전력	냉난방
에너지원	일사량	일사량	풍속	지중열
에너지 생산 특성	<ul style="list-style-type: none"> • 기상조건에 영향 • 계절에 따라 다름 • 주간에만 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 기상조건에 영향 • 계절에 따라 다름 • 주간에만 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 기상조건에 영향 • 주간,야간 모두 생산가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 연속적인 에너지 생산가능
주요 고려요소	<ul style="list-style-type: none"> • 음영방지 • 설치 방위각 및 경사각 	<ul style="list-style-type: none"> • 음영방지 • 설치 방위각 및 경사각 	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 풍속 확보 • 난류발생 여부 • 시스템 설치간격 • 소음 및 진동 	<ul style="list-style-type: none"> • 부지면적 • 파이프 설치간격 • 시공의 접근성
건축물 적용 위치	<ul style="list-style-type: none"> • 옥상면 • 입면 	<ul style="list-style-type: none"> • 옥상면 • 입면 	<ul style="list-style-type: none"> • 옥상면 	-
건축물 일체화 정도	매우높음	높음	보통	-

가) 태양에너지

공공업무시설은 계획 시 증축과 신축을 고려하여 넓은 부지를 확보하고 있어 자연에너지를 활용하기에 유리한 조건을 가지고 있다. 특히 넓은 부지의 확보는 주변 장애물의 영향력이 적어 태양에너지의 활용가능성이 높다. 또한 3장의 공공업무시설의 에너지소비 특성분석 결과 전력을 사용하는 조명, 기기, 냉방의 비율이 높고, 전체 에너지원 중 전력사용량이 90%를 차지하기 때문에 태양에너지 활용을 위해 전력에너지 생산을 위한 태양광을 선정하였다.

나) 풍력에너지

도시에서 소형 풍력발전시스템을 사용하기 위해서는 최소 3m/s 이상의 풍속 확보가 필요하다. 이는 풍력발전시스템을 적용할 수 있는 건물의 높이와 주변환경의 영향을 고려해야 한다. 서울시의 경우 3m/s 이상의 풍속은 건물 30m이상 높이를 확보해야 가능하다.⁶⁰⁾

본 연구에서 대상으로 한 표준 공공업무시설의 경우 7층으로 건물높이가 28m에 해당하여 안정적인 풍속의 확보가 어렵다고 판단되어 풍력에너지의

60) 정아름, (2011), 도시특성에 따른 신재생에너지 시스템 복합 적용 방안에 관한 연구, (국내석사 학위논문, 중앙대학교 일반대학원.)

활용을 제외하였다.

다) 지열 에너지

지열에너지는 그 지역의 지반특성에 따라 적용가능성이 결정되지만 지중 온도는 연중 일정하기 때문에 연속적인 에너지 생산이 가능하다. 또한 공공 업무시설은 넓은 부지를 확보하고 있어 지중열교환기를 설치 할 수 있는 가능성이 높다. 따라서 열생산을 위한 신재생에너지원으로 지열을 선정하였다.

3) 공공업무시설의 신재생에너지 활용기술 선정

주변 대지의 영향과 공공업무시설의 에너지 소비 특성분석 결과, 공공업무 시설의 신재생에너지 활용기술은 전력을 감당하기 위한 태양광시스템과 열에너지를 담당하기 위한 지열 시스템을 선정하였다.

<표 4.6> 공공업무시설에 적용을 위한 신재생에너지 활용기술의 선정

	태양광	지열
생산에너지유형	전기	열
담당부하	전력	냉난방
에너지원	일사량	지중열
에너지 생산 특성	<ul style="list-style-type: none"> • 기상조건에 영향 • 계절에 따라 다름 • 주간에만 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 연속적인 에너지 생산가능
주요 고려요소	<ul style="list-style-type: none"> • 음영방지 • 설치 방위각 및 경사각 	<ul style="list-style-type: none"> • 부지면적 • 파이프 설치간격 • 시공의 접근성
건축물 적용 위치	<ul style="list-style-type: none"> • 옥상면 • 입면 	-

4.2 공공업무시설의 에너지절약 요소기술의 성능평가

온실가스 감축 목표에 따라 적절한 에너지 절약 요소기술을 선정하여 적용하기 위해 각각의 에너지 절약요소기술의 성능평가를 수행하였다. 앞에서 설정한 에너지 절약요소를 기존의 연구 자료를 참고하여 성능범위를 설정하고, 에너지 시뮬레이션도구인 EnergyPlus 6.0를 이용하여 에너지 성능평가를 실시하였다. 성능평가는 냉난방에너지를 중심으로 평가하였으며, 1차에너지로 환산하여 비교하였다.

4.2.1 단열성능 (Insulation)

1) 성능범위의 설정

지붕 및 벽체, 창외의 단열의 강화는 외피를 통한 에너지 손실을 저감함으로써 냉난방에너지 사용량을 감축할 수 있다. 외피의 단열은 열관류율이 낮은 단열재의 사용과 단열재의 두께를 조절함으로써 강화할 수 있으며, 현재 국내의 단열기준은 중부지방의 경우 외벽 0.36W/m²K이하, 창호 2.4W/m²K이하로 규정하고 있다. 정부발표에 따르면 열손실이 가장 큰 창호의 경우 2012년까지 1.5W/m²K, 2017년까지 0.8W/m²K로 국내 단열기준을 점진적으로 강화하고 있다.⁶¹⁾ 이러한 외피의 단열성능 향상에 따른 에너지 소비량의 절감량을 평가하기 위해 <표 4.7>과 같이 설계변수를 설정하였다.

현존하는 가장 보편적인 공공업무시설의 성능기준인 표준모델의 단열기준과 서울시 공공건축물 가이드라인에서 제시한 외피성능, 그리고 패시브 하우스 기준을 변수로 설정하였다.

<표 4.7> 단열 성능 기준에 따른 변수 설정

		표준모델	서울시 가이드라인	패시브 하우스 기준
U-value (W/m ² K)	Wall	0.58	0.3	0.15
	Window	3.2	1.98	0.8
	Floor	0.58	0.21	0.15
	Roof	0.4	0.16	0.11

2) 시뮬레이션 분석 결과

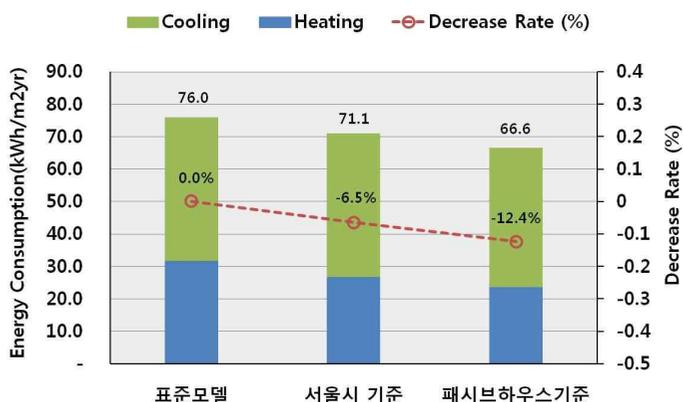
공공업무시설 계획 시 선정할 수 있는 외피성능기준에 대하여 시뮬레이션

61) 국토해양부, 녹색도시 건축물 활성화 방안, 2009.11

한 결과, 서울시 가이드라인 기준으로 적용 시 난방에너지소비는 표준모델 대비 15.9%, 냉방에너지소비량은 0.2% 증가하였다. 패시브하우스 기준의 외피성능은 난방에너지가 25.5%, 냉방에너지는 3% 절감되었다. 외피성능의 향상은 냉방에너지보다 난방에너지 소비량절감에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

<표 4.8> 외피단열기준에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%
표준모델	31.7	-	44.3	-	76.0	-
서울시 가이드라인	26.7	-15.9	44.4	0.2	71.1	-6.5
패시브하우스기준	23.6	-25.5	43.0	-3.0	66.6	-12.4



(그림 4.2) 외피단열기준에 따른 냉·난방에너지 소비량 절감량 비교

4.2.2 기밀성능(Infiltration)

1) 성능범위의 설정

벽체의 기밀성능은 창호, 벽체의 성능 및 시공성능에 따라 달라진다. 하지만 우리나라의 경우 기밀성능에 대한 규제는 “창호의 틈새바람”만 실험에 의한 등급으로 부여하고 있으며, 창호이외의 기밀성능을 제한하고 있지는 않다. 국외 기밀성능기준은 <표 4.9>와 같다.⁶²⁾ 현재 국내의 공동주택의 기밀성능 측정사례를 살펴보면 ACH 0.25~0.7회/h의 값을 가지며, 기밀 시공한 주택의 경우 ACH 0.22회/h,⁶³⁾ 기밀시공한 업무시설의 경우 ACH 0.25회/h 값을

62) 문현준, (2008), 건물의 기밀도와 자연환기, 건물환기설비 및 건축물관리 방안 세미나자료

63) 신우철, (2006), 건물의 기밀성능 측정사례 소개, 한국그린빌딩협의회, 69-73

나타냈다.⁶⁴⁾ 따라서 기밀성능을 위한 변수로 0.1회/h, 0.3회/h, 0.7회/h로 설정하였다.

<표 4.9> 건물의 기밀성능에 따른 변수 설정

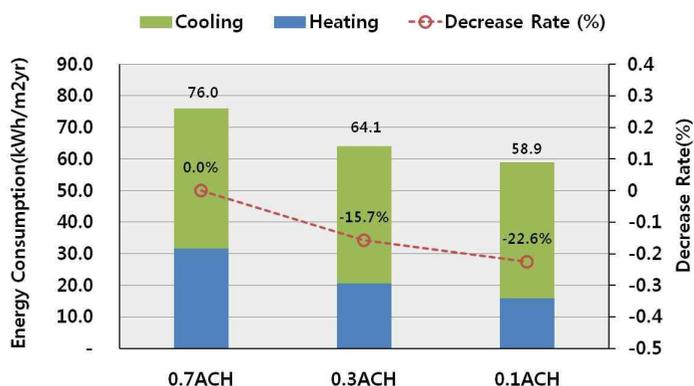
평가기준	매우 기밀	다소기밀	보통	매우느슨
ACH (1/h)	0.1 이하	0.1~0.5	0.5~1	1 이상
변수설정(1/h)	0.1	0.3	0.7	-

2) 시뮬레이션 분석결과

기밀성능 향상에 따른 냉난방에너지 소비량은 기밀성능이 패시브 하우스 성능기준에 부합하는 0.1ACH일 때 22.6%의 절감율을 보이며, 국내 기밀시공 성능수준인 0.3ACH인 경우, 15.7%의 절감율을 보였다. 기밀성능의 향상은 냉난방에너지절감에 효과가 있었지만 난방에너지에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

<표 4.10> 기밀성능기준에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%
0.7ACH(표준모델)	31.7	-	44.3	-	76.0	-
0.3ACH	20.6	-34.9	43.4	-2.0	64.1	-15.7
0.1ACH	15.9	-49.8	42.9	-3.1	58.9	-22.6



(그림 4.3) 기밀성능기준에 따른 냉·난방에너지 소비량 절감량 비교

64) 원종서외1, (2011), 국내 건물에서의 기밀화 사례, 한국그린빌딩협의회, 55-62

4.2.3 창면적비 (Window to Wall ratio)

1) 성능범위의 설정

창면적비는 일사투과에 따른 냉방에너지 증가, 난방에너지 감소, 조명에너지 소비의 감소 등의 에너지 소비량에 많은 영향을 미치는 요소이다.⁶⁵⁾ 또한 일사량은 향에 따라 다르기 때문에 향별 창면적비 제어가 필요하다. 공공업무시설의 경우, 건물의 장단면비가 1:3으로 긴 매스형태를 가지기 때문에 동, 서향에 비해 남, 북향의 외벽면적이 크다. 따라서 실의 주향은 남향과 북향으로 설정하고 각각의 향에 따른 적절한 창면적비를 설정하고자 한다.

일반사무소의 경우 창면적비는 20%~80%의 분포를 보이며,⁶⁶⁾ 표준 공공업무시설의 층고 2.7m를 고려하여 창면적비는 최대 70%까지 범위를 나타낸다. 창면적비의 변수는 최소 30%와 최대 70% 그리고 표준모델의 창면적비 50%를 비교했다.

<표 4.11> 건물의 창면적비 변수설정

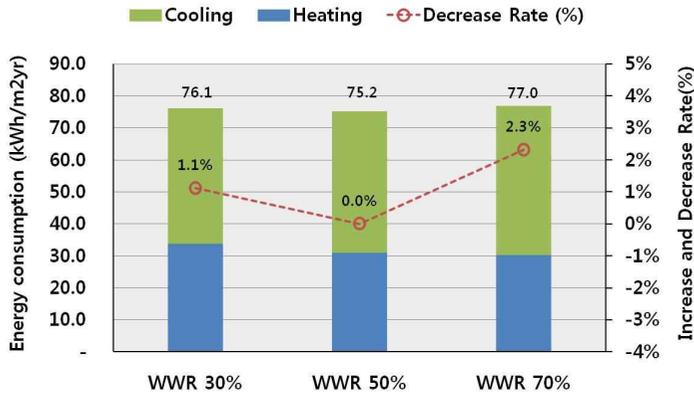
	창면적비 (%)		
북측 입면	70	50	30
남측 입면	70	50	30

2) 시뮬레이션 분석결과

(그림 4.4),(그림 4.5)와 <표 4.12>, <표 4.13>는 향별 창면적비 변화에 따른 냉난방에너지 소비량을 나타낸다. 남측 입면의 창면적비는 50%일 때 냉난방에너지 소비가 작았고, 북측 입면의 경우, 창면적비 30%일 때 에너지 소비가 절감되었다. 창면적비가 작을수록 일사획득이 줄어들어 냉방에너지 소비량은 줄어들지만, 겨울철 난방에너지 소비량은 증가하게 된다. 따라서 남측 입면의 창면적비는 창의 에너지 손실과 일사에 의한 열획득으로 50%인 경우가 에너지 절약적이며, 북측 입면은 남측에 비해 비교적 일사의 영향을 적게 받기 때문에 창면적비가 줄어들수록 에너지 손실이 줄게 되어 창면적비 30%일 때 냉난방 에너지 소비량이 줄어든다.

65) 임병찬, (2004), 사무소건물에서 자연채공에 의한 조명에너지 절약의 평가, 설비공학논문집, 16(6)

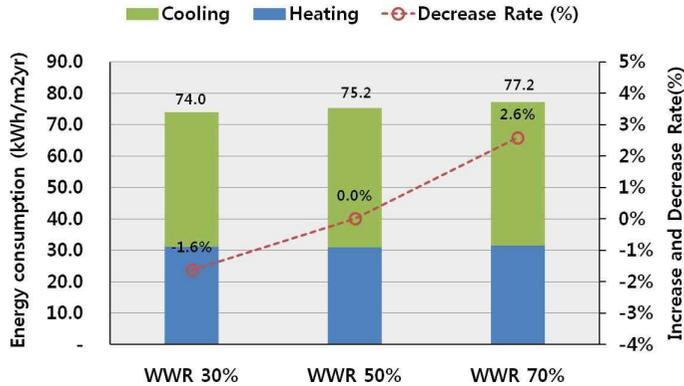
66) 지식경제부, (2009), 기후변화대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발연구(1차년도)



(그림 4.4) 남측 입면의 창면적비 변화에 냉난방소비량 비교

<표 4.12> 남측 입면의 창면적비에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m²	절감율%	kWh/m²	절감율%	kWh/m²	절감율%
WWR 30%	33.8	9.3	42.2	-4.6	76.1	1.1
WWR 50%(표준모델)	30.9	-	44.3	-	75.2	-
WWR 70%	30.2	-2.3	46.7	5.5	77.0	2.3



(그림 4.5) 북측 입면의 창면적비 변화에 냉난방소비량

비교
<표 4.13> 북측입면의 창면적비에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m²	절감율%	kWh/m²	절감율%	kWh/m²	절감율%
WWR 30%	31.1	0.7	42.9	-3.3	74.0	-1.6
WWR 50%(표준모델)	30.9	-	44.3	-	75.2	-
WWR 70%	31.5	1.7	45.7	3.2	77.2	2.6

4.2.4 창호의 일사열취득계수 (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC)

1) 성능범위의 설정

창호의 일사열취득계수(SHGC)는 0.2-0.8⁶⁷⁾로 다양한 값을 나타낸다. 창호의 일사열취득율에 따른 냉난방에너지 소비량의 변화를 살펴보기 위해 창호의 열관류율과 창면적비를 표준모델과 동일하게 고정하고, 향별 일사열취득계수를 <표 4.14>와 같이 0.76, 0.51, 0.31로 변화시켰다.

<표 4.14> SHGC변수 설정을 위한 창호의 종류 및 물성치

재료	두께 (mm)	가시광선투과율 (%)	일사열취득율 (%)	열관류율 W/m ² K
Double Clear glass(표준모델)	3-6-3	0.812	0.76	3.1
Double Blue glass	6-6-3	0.514	0.51	3.1
Double Low E	6-6-3	0.543	0.31	3.1

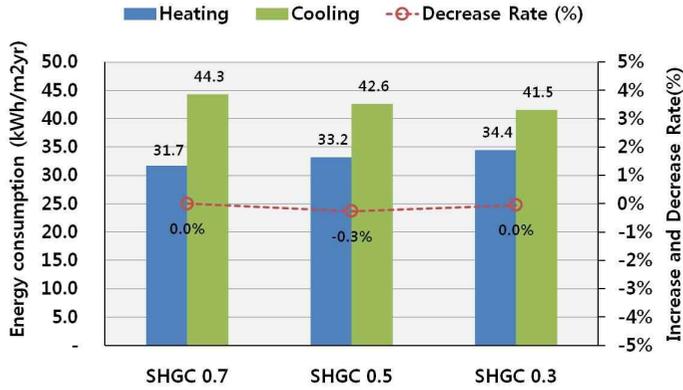
2) 시뮬레이션 결과

향별 SHGC 변화에 따른 냉난방에너지 소비량비교 결과 (그림 4.6), (그림 4.7)과 같이 남측입면에 적용한 창호에 SHGC변화는 냉난방에너지 소비량에 크게 영향을 미치지 않았다. 이것은 SHGC가 작아질수록 일사열 획득이 줄어들어 냉방에너지 소비가 줄어들었지만 동시에 난방에너지소비량이 증가하여, 총 냉난방에너지 소비량 절감에는 크게 영향을 미치지 못하였으며, SHGC 0.5일 때 가장 에너지 절약적이였다. 반면, 북측입면에 적용한 창호의SHGC 변화는 SHGC가 작아질수록 냉방에너지 소비량이 줄어들어 최대 3%줄었다.

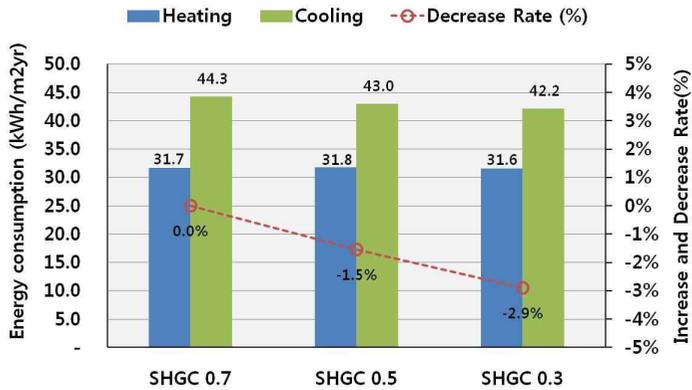
<표 4.15> 남향창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%
SHGC 0.7(표준모델)	31.7	-	44.3	-	76.0	-
SHGC 0.5	33.2	4%	42.6	-3	75.8	-0.3
SHGC 0.3	34.4	8%	41.5	-6	75.9	-

67) 한글글라스 홈페이지, <http://www.myhanglas.co.kr>



(그림 4.6) 남향 창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비 비교



(그림 4.7) 북측 창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비 비교

<표 4.16> 북향창호의 SHGC변화에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m²	절감율%	kWh/m²	절감율%	kWh/m²	절감율%
SHGC 0.7(표준모델)	31.7	-	44.3	-	76.0	-
SHGC 0.5	31.8	-	43.0	-2.9	74.8	-1.5
SHGC 0.3	31.6	-	42.2	-4.7	73.8	-2.9

4.2.5 외부수평 차양 (Horizontal shading)

1) 성능범위의 설정

건물의 차양장치를 설치하는 것은 일사열 획득량과 눈부심을 줄이며, 냉방 에너지 부하를 절감하는 효과가 있다. 뉴욕시 가이드라인⁶⁸⁾에 따르면 적절한 디자인의 차양은 냉방을 30~60% 줄이는 효과와 함께 실내기온을 25°C까지 낮출 수 있어, 여름철 에너지 수요 피크시간대에 최대 효과를 볼 수 있다고 지적하였다.⁶⁹⁾ 수평차양의 경우 일반적으로 600~1,000mm의 범위를 가지고 있으며, 기존연구에 따르면 600mm 수평차양에서 최대 차폐성능을 나타내며, 600~900mm에서는 변화가 미미한 것으로 나타났다. 따라서 남측면에 차양 길이 400mm, 600mm를 변수로 수평 차양장치를 적용했을 경우에 에너지 절감량을 평가하고자 한다.

2) 시뮬레이션 결과

공공업무시설의 차양설치 후 에너지 시뮬레이션 결과, 차양설치로 인한 일사획득의 감소로 인하여 냉방에너지 소비량이 18-19%감소하지만, 난방에너지 소비량이 41-47%증가하여 총 냉·난방에너지 소비량은 모든 변수에서 증가하는 경향을 보였다.

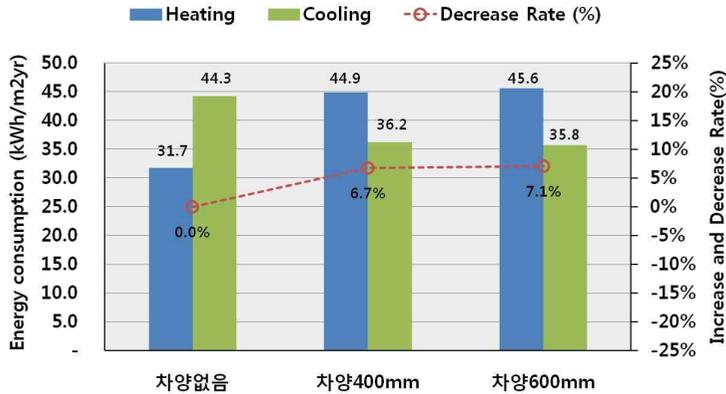
하지만 냉방의 전력피크는 표준모델 대비 10%감소함으로써 공조설비의 용량축소에 기여할 것으로 기대되며, 난방에너지 소비를 절감할 수 있는 요소 기술과의 통합적용으로 차양의 일사차단으로 인한 난방에너지 소비증가를 보완할 수 있다면, 차양의 적용은 냉방에너지 소비절감에 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

68) 임상준외 2명, (2002), 투명 유리 사무소 건물의 냉방부하 감소를 위한 적정 외부차양 배치에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2(4)

69) The City of New York, Urban Green Council, 2010, New York City Green Codes Task Force

<표 4.17> 차양설치에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%
차양없음(표준모델)	31.7	-	44.3	-	76	-
차양 400mm	44.9	41.6	36.2	-18.2	81.1	6.7
차양 600mm	45.6	43.9	35.8	-19.2	81.4	7.1



(그림 4.8) 차양설치에 따른 냉난방에너지 소비량 비교

4.2.6 자연채광 (Daylighting)

1) 성능범위의 설정

자연채광이 들어오는 공간은 주광센서 등을 활용한 태양광의 적극적 활용을 통해 인공조명의 사용을 줄일 수 있다. 현재 비주거용 건물은 자연채광을 충분히 사용할 수 있도록 설계되었음에도 불구하고 낮에도 인공조명을 사용함으로써 불필요한 에너지가 소비되고 있다. 조광제어의 적용은 자연채광으로 인한 인공조명의 절감량을 정량화 할 수 있으며, 실내 조도 500Lux를 만족하는 범위에서 남측에 위치한 사무공간을 대상으로 조광제어 설정하였다.

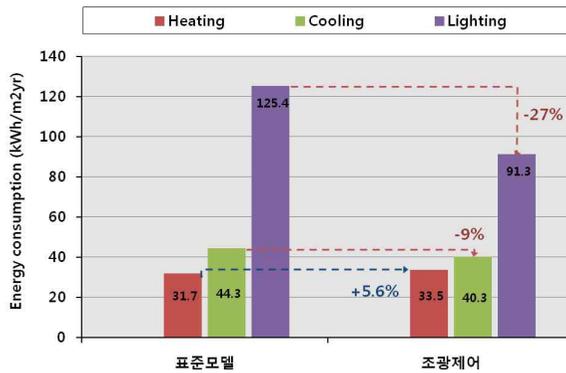
2) 시뮬레이션 결과

공공업무시설의 조광제어를 적용한 결과 조명에너지소비량의 약 27%가 절감이 되었으며, 그에 따른 냉방에너지소비량도 9% 절감되었다. 조명 사용이

줄어드는 것에 따라 내부발열밀도가 감소하여 난방에너지가 5.6%증가하는 경향을 보였지만, 조명과 냉방에너지 소비량이 대폭 감소하여 전체 총에너지 소비량에서는 10.8% 절감되었다.

<표 4.18> 조광제어에 따른 냉·난방, 조명에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		조명에너지	
	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%
표준모델	31.7	-	44.3	-	125.4	-
조광제어	33.5	5.6	40.3	-9	91.3	-27



(그림 4.9) 조광제어에 따른 에너지 소비량 비교

4.2.7 자연환기 (Natural Ventilation)

1) 성능범위의 설정

간절기에 냉난방이 요구되지 않는 기간에는 자연환기를 도입하여 에너지 절약을 할 수 있다. 자연환기를 적용한 건물은 전체 에너지 소비량의 약 10~30% 절약 효과가 있다고 보고되고 있으며,⁷⁰⁾ 절감효과는 창의 면적 및 창의 개폐방식에 따라 결정된다. 현재 공공업무시설은 커튼월비율이 높아짐에 따라 창을 고정식으로 하여 중간기에도 동력으로 환기를 하는 경우가 많아 표준모델은 개폐율 0%로 보고, 개폐율 20%와 50%를 변수로 설정하였으

70) Whole Building Design Guide, <http://www.wbdg.org>

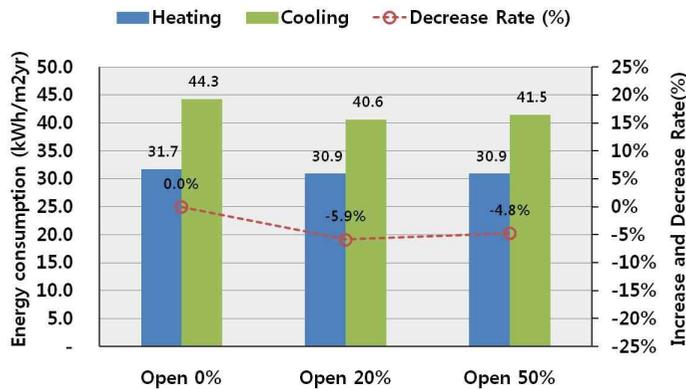
며, 자연환기의 스케줄은 간절기와 냉방기간으로 설정하였다.

2) 시뮬레이션 결과 분석

간절기 및 냉방기간의 자연환기는 냉난방에너지의 감소를 가져오며, 특히 냉방에너지 절감율이 크다. 개폐율 20%의 경우, 표준모델 대비 난방에너지 2.5%, 냉방에너지 8.3%의 절감을 나타내어 총 냉난방에너지 5.9%의 절감을 보이지만, 개폐율 50%의 경우 자연환기량이 과도하게 증가하여 20% 개폐율일 때보다 냉난방에너지 절감율이 줄어든 것을 알 수 있다.

<표 4.19> 자연환기에 따른 냉난방에너지 소비량 결과

구분	난방에너지		냉방에너지		냉·난방에너지	
	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%	kWh/m ²	절감율%
open 0%(표준모델)	31.7	-	44.3	-	76	-
open 20%	30.9	-2.5	40.6	-8.3	71.6	-5.9
open 50%	30.9	-2.5	41.5	-6.4	72.4	-4.8



(그림 4.10) 자연환기에 따른 냉난방에너지 소비량 비교

4.2.8 에너지 절약 요소기술의 성능비교

각각의 에너지 절약 요소기술의 성능범위를 설정해 에너지 시뮬레이션을 수행한 결과 선정된 변수를 정리하면 다음의 <표 4.20>과 같다. 변수의 선정은 표준모델 대비 최대 성능을 중심으로 정리하였으며, 외벽 단열의 경우, 패시브기준이 최대성능을 나타냈지만, 단열재의 두께가 350mm으로 업무시설에 적용하는데 현실적인 문제가 있다고 판단되어 서울시 공공건축물 디자인 가이드라인에 제시되어 있는 성능으로 선정했다.

<표 4.20> 시뮬레이션 변수 설정

계획요소			선정 변수	표준모델 대비 에너지 절감율(%)			총 1차 에너지소요량 (kWh/m ² yr)
				난방	냉방	조명	
단열 및 기밀	단열 (W/m ² k)	벽	0.3	-16	0.2	-	360.6
		창호	1.98				
		지붕	0.21				
		최하층바닥	0.16				
	기밀성 (ACH)		0.1	-49.8	-3.1	-	346.9
향별 창디자인	향별 차폐계수	N	0.3	-	-4.7	-	362.7
		S	0.5	4	-3	-	365.0
	향별 창면적비(%)	N	30	0.7	-3.3	-	363.2
		S	50	-	-	-	365.6
차양	수평차양의 폭(mm)		600	43.9	-19.2	-	364.2
자연환기	창의 개폐비율(%)		20	-	-8	-	362.9
자연채광	조광제어		적용	5.6	-9	-27	327.0

4.3 신재생에너지 활용기술의 적용가능성 평가

신재생에너지는 지리적, 물리적환경등에 많은 영향을 받으며 각각의 시스템별 생산특성이 다르다. 따라서 건물의 적용 시 건물의 에너지 소비패턴을 파악하고 신재생에너지의 생산패턴 및 생산량을 고려하여 적합한 시스템을 선정할 필요가 있다.⁷¹⁾ 본 장에서는 4.1에서 1차로 선정한 신재생에너지의 적용가능성을 평가하고자 하였다.

4.3.1 태양광 발전 시스템

1) 태양에너지의 적용가능성 평가 방법

건축물의 태양에너지 적용가능성은 태양에너지의 잠재성평가를 통해 활용가능성을 판단할 수 있다. 일반적으로 도시 내에 태양광시스템을 설치할 경우, 부지확보가 어렵기 때문에 건축물의 외피에 적용하는 것이 적합하다. 따라서 잠재성평가는 건축물의 남측 입면과 옥상면을 중심으로 평가하였다.

태양에너지시스템의 에너지생산량은 전일사량에 의해 결정되므로 건축물의 외피가 받는 전일사량의 예측이 필요하다. R. Compagnon (2004)의 연구⁷²⁾에서 제시한 기준에 따르면 입면의 태양광발전시스템을 적용하기 위해서 연간 총 일사량이 800kWh/m²이상이어야 하며, 옥상면은 1,000kWh/m²이상을 제시하고 있으며, 이를 기준으로 건축물의 외피의 태양광적용가능성을 판단하였다. 일사량 분석을 위한 시뮬레이션 도구는 ECOTECT 2010을 사용하였다.

2) 태양에너지의 잠재성 평가 결과

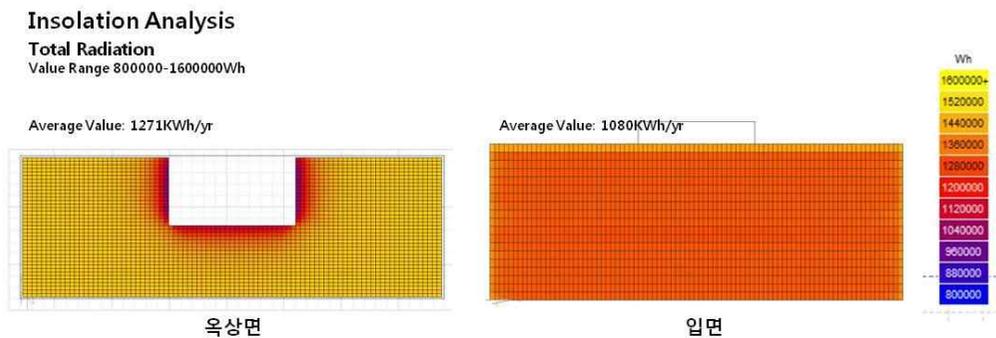
가) 일사량분석

건축물의 태양에너지 적용가능성을 평가하기 위하여, 시뮬레이션을 통해 옥상면과 입면의 도달하는 연간 총 일사량을 산출하였다. 건물외피의 단위면적당 총일사량을 예측함으로써, 시스템의 적합한 적용위치를 판단할 수 있다.

71) 김성은, (2009), 건축물의 신재생에너지 복합 활용계획에 관한 연구, (국내석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원)

72) R. Compagnon, (2004), Solar and Daylight Availability in the Urban Fabric, Energy and Building 36, 321-328

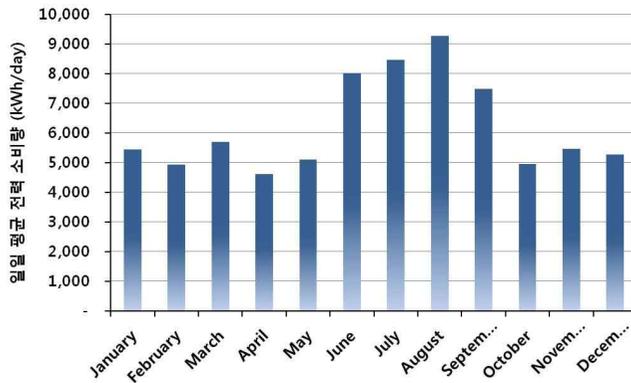
일사량 분석결과 넓은 대지의 확보로 인하여 주변장애물의 영향을 받지 않았으며, 옥상면의 경우 연간 총 1,271kWh의 일사량을 확보할 수 있었고, 남측 입면의 경우 총 1,080kWh를 확보하여 태양광설치가 가능한 것으로 나타났다. 옥상면의 일사량 분석결과 계단실의 돌출부위로 인해 음영이 발생한 부분을 제외하고 태양광설치가 가능할 것으로 판단된다. 또한 입면의 경우는 시뮬레이션 결과로 전면 태양광설치가 가능하지만, 저층부에 설치하였을 경우, 시스템의 손상가능성이 크고 관리의 문제가 있어 3층이상의 창을 제외한 입면을 대상으로 태양광적용이 가능할 것으로 판단된다.



(그림 4.11) 입면의 연간 총 일사량 예측

나) 표준 공공업무시설의 전력 소비 패턴

표준 공공업무시설은 전체 에너지 요구량 중 전력이 90%를 차지하며, 연간 1,494MWh의 전력이 요구된다. 월별 일일 평균 전력요구량은 2월에 4,934kWh/day로 최소값을 나타냈으며, 8월에 9,276kWh/day로 최대값을 나타냈다, 매일 약4,000kWh/day이상의 전력사용이 일정하게 소요됨을 알 수 있다. 또한 동절기에 비해 하절기 전력소비량이 약1.5배 많으며, 이러한 차이는 여름철 냉방으로 인한 전력사용이 증가하여 발생된 것으로 판단된다. 공공업무시설은 전력사용이 많고, 업무특성상 연간 일정비율 이상의 전력사용이 요구되는 특징이 있기 때문에 전력공급을 위한 신재생에너지활용의 고려가 필요하다.



(그림 4.12) 표준 공공업무시설의 월별 일일 평균 전력요구량

다) 태양광 시스템 예측 결과

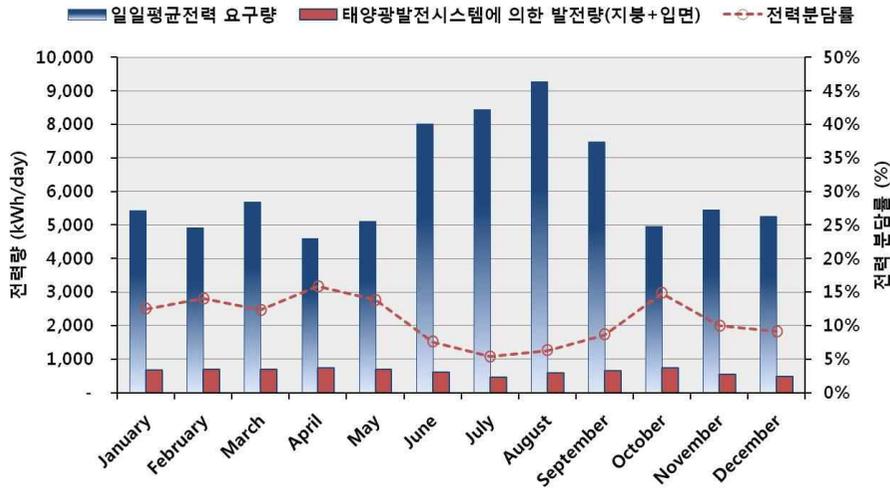
표준 공공업무시설의 옥상면과 입면에 적용된 태양광 시스템의 사양은 <표 4.21>과 같으며, 적용결과 생산된 전력량은 <표 4.22>과 같다. 옥상면은 설치각과 이격거리를 고려하여 총 428㎡를 설치하였으며, 입면은 창면적과 1-3층의 저층부 입면을 제외한 남측면에 346㎡의 태양광시스템을 설치하였다. 그 결과 연간 144.153MWh의 전력을 생산하며, 월별 전력요구량에 대하여 평균 10%의 전력분담률을 나타냈다.

<표 4.21> 태양광 발전 시스템의 설치 사양

항목		설정값
태양광 모듈	적용 형태	계통 연계형
	모듈 종류	POLY-SI
	어레이 면적	982×1,636×53.7mm
	발전 용량	83kWp+ 67kWp
	모듈 효율	19.37%
	설치위치	경사각 30°, 90° 방위각 남 0
인버터	효 율	0.95
	손 실 율	0.05

<표 4.22> PV모듈 부착 타입별 시뮬레이션 결과

부착방식	설치면적	연간 전력생산량(MWh)	총 전력생산량 (MWh)
옥상면	428㎡	92.124	144.153
입면	346㎡	52.029	



(그림 4.13) 태양광발전 시스템의 월별 전력생산량에 따른 전력분담률

4.3.2 지열 시스템

1) 지열에너지의 잠재성 평가 방법

지열에너지의 잠재성을 평가하기 위해서는 지중열교환기를 설치할 수 있는 부지면적의 활용가능성을 평가하여야 한다. 지중열교환기는 수직 밀폐형, 수평 밀폐형, 지하수형, 지표수형 등 다양한 방식이 있으나 가장 일반적으로 사용되는 수직밀폐형 지중열교환기를 설치를 가정하였다.

지열시스템의 설치 면적 및 용량을 결정하는 요소는 보어홀(borehole)의 설치간격으로 보통 3~5m⁷³⁾74)를 제시하고 있지만, 천공간 열간섭 방지를 고려하여 보어홀의 간격을 6m로 설정하여 단일 천공의 최소설치 면적인 36m²을 기준으로 하였다.⁷⁵⁾

평가방법은 구성건물의 건축면적을 제외한 대지면적에 대하여 지중열교환기의 최대설치 가능 면적을 분석하여 설치 가능한 천공 개수를 산정하여 잠재성을 평가하였다.

73) 산업자원부, (2006), GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발 (최종보고서), p90

74) 산업자원부, (2005), 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, p81

75) 산업자원부, (2007), 한국형 지중열교환기 최적설계 패키지 개발, p90

2) 지열에너지의 잠재성 평가 결과

가) 최대 설치 가능 면적

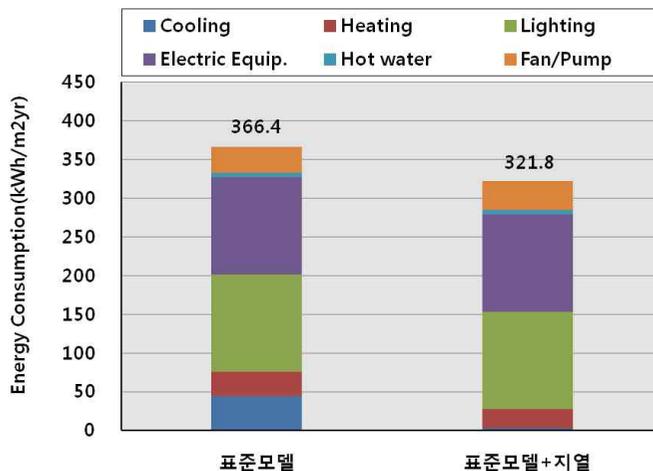
표준 공공업무시설의 대지면적은 11,000㎡로 기존건물을 대상으로 하기 때문에 건폐면적 1,800㎡을 제외하고 건물의 경계부와 인접대지의 경계부를 고려하여 지중열교환기의 최대 설치가능 면적은 6,600㎡이며, 천공개수를 산정하면 183개가 설치 가능하다. 설치한 지열시스템의 사양은<표4.23>과 같다.

<표 4.23> 지열 시스템의 설치사양

HeatPump : Water to Air	
COP	3.5
Nominal Capacity (kW)	700
GROUND HEAT EXCHANGER:VERTICAL	
Number of Borehole	183
Bore Hole Length (m)	76.2
Bore Hole Radius (m)	0.06

나) 지열 시스템의 적용 결과

표준 공공업무시설의 지열시스템을 적용한 결과 냉방부하의 93%, 난방부하의 22.1%를 감당할 수 있으며, 이는 총 에너지 소비량의 12.2%절감을 나타낸다. 냉난방부하의 분담율은 높지만, 전체 에너지 소비량에서 냉난방에너지 소비량이 차지하는 비율이 작아 전체 절감율로 보았을 때는 큰 영향력을 미치지 못하는 것이다.



(그림 4.14) 지열시스템 적용에 따른 에너지소비량 비교

4.4 소결

본 장에서는 기존 공공업무시설의 단계별 온실가스 저감을 위한 목표 설정과 적용이 가능한 Zero Emission 요소기술을 선정하여 각각 성능평가를 실시하였다.

1) 기존 공공업무시설의 온실가스 저감 목표를 설정하기 위해 서울시 “친환경에너지 기본계획 2030”을 참고하여 표준모델 대비 온실가스 15%저감, 25% 저감, 40% 저감을 목표로 설정하였다.

2) 표준 공공업무시설의 에너지 소비량분석 결과, 비중이 큰 조명과 냉방의 에너지소비량 절감을 우선적으로 고려하여 건물의 에너지 절약 요소기술을 선정하였다. 선정된 요소기술은 단열 및 기밀성능, 창면적비, 일사차폐계수, 외부수평차양, 자연채광, 자연환기를 변수로 설정하였으며, 신재생에너지 활용기술로 태양광 발전 시스템과 지열 시스템을 선정하였다.

3) 외피의 단열성능은 열관류율이 증가할수록 냉난방에너지가 절감되었으며, 패시브하우스 단열기준일 때 표준모델대비 냉난방에너지가 12.4% 줄어들었지만, 패시브하우스 기준일 경우 단열재가 350mm에 해당하여 업무시설로서 적당하지 않다고 판단되어 서울시 공공건축물디자인 기준을 선정하였다. 서울시 기준은 표준모델 대비 냉난방에너지 6.5%절감을 나타냈다.

기밀성능은 매우 기밀한 상태인 0.1ACH일 때 최대성능인 냉난방에너지 소비량 22.6%절감을 보였으며, 냉방보다 난방에너지 절감율이 크게 나타났다. 외피의 단열성능과 기밀성능의 향상은 외피부하를 줄이며, 냉방에너지 보다 난방에너지 절감에는 영향을 많이 미친다.

4) 공공업무시설의 창호 디자인을 위해 남향과 북향의 창면적비와 SHGC를 시뮬레이션 한 결과, 남향의 경우 창면적비 50%, SHGC 0.5가 적절하였고 북향의 경우 창면적비 30%, SHGC 0.3이 에너지 절감에 효과적이었다. 창면적비는 일사로 인한 열획득과 열에 취약한 창의 열손실에 의해 결정되었

으며, 북측에 경우, 남측에 비해 일사획득의 영향보다 열손실의 영향이 크게 작용하여 남측보다 작은 창면적이 에너지 절감에 유리하게 작용하였다.

향별 SHGC의 경우 남향의 창호는 변수의 변화에 따른 냉난방에너지의 변화가 작았으며, 북측의 경우 SHGC 작을수록 냉방에너지 소비량이 최대 3% 감소하였다.

5) 남향의 외부수평차양의 설치는 차양길이가 증가할수록 냉방에너지 소비량은 18-19% 감소하였지만, 난방에너지 소비량은 41-47% 증가하여 결과적으로 에너지가 증가하는 경향을 보였지만 차양의 적용은 피크전력의 10%가 감소하여 설비용량의 감소를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 고정형 차양을 사용하였지만 효율적인 차양의 사용을 위해 계절에 따라 가동형 차양의 적용에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

6) 자연광과 인공조명사용의 조절을 위해 적용한 조광제어는 표준모델 대비 조명에너지 27%가 절감되었으며 냉방에너지도 9% 절감되었지만 내부발열 밀도가 감소하여 난방에너지는 증가하였지만, 전체 총 에너지의 10.8%가 절감되어 가장 큰 절감율을 보였다.

7) 간절기와 냉방기간을 대상으로 한 자연환기는 개폐율 20%일 때 냉난방 에너지 5.9%의 절감율을 보였으며, 냉방과 난방에너지 소비를 각각 2.5%, 8.3%를 감소시켰다.

8) 신재생에너지 활용기술은 공공업무시설의 넓은 부지를 활용하여 지열 시스템을 적용하였으며, 장애물의 영향이 적어 옥상과 함께 4~7층 입면에 태양광발전 시스템을 적용하였다. 그 결과 지열시스템은 표준모델 대비 총 에너지 소비량의 12.2%가 절감되었고, 태양광의 경우 표준모델의 전력사용의 10%에 해당하는 전력분담율을 나타냈다.

제5장 온실가스 저감 목표별 모델 제시

온실가스 저감 목표인 15%, 25%, 40% 목표량에 따라 에너지 절약요소기술과 신재생에너지 활용기술의 조합으로 단계별 저감모델을 제시하고자 한다.

5.1 저감 목표별 대안 설계

5.1.1 대안설계 방법

온실가스 저감을 위한 대안설계는 우선적으로 에너지 절약요소기술의 적용으로 에너지요구량을 줄이고, 신재생에너지 활용기술을 통해 나머지 에너지요구량을 대체할 수 있도록 계획해야 한다. 따라서 4장에서 실시한 요소기술의 성능평가를 바탕으로 목표에 맞는 에너지 절약 설계를 수행하여 부하를 줄이고, 나머지 필요한 에너지에 대하여 신재생에너지 계획을 실시하였다.

설계의 방법은 자연형 조절(passive design)로 에너지를 절약할 수 있는 요소기술을 중심으로 대안을 찾고, 목표치에 부족할 경우 설비형 조절(Active design)로 효율을 높이고, 최종적으로 필요한 부하에 대하여 신재생 에너지를 적용하였다.

대안의 설계는 단계별로 온실가스 저감량을 높이는 것을 목적으로 하기 때문에 단계별 설계시 이전 단계에 요소기술을 추가하는 방식으로 설계를 진행하였다.

5.1.2 대안설계

4장에서의 Zero Emission 요소기술의 성능평가 결과, 에너지 절약요소기술의 최대성능은 표준모델 대비 20%절감 효과가 있었다. 또한 신재생에너지의 적용성 분석결과 태양광시스템은 옥상과 입면에 적용했을 경우 표준모델의 전력분담률이 9.6%에 이르렀으며, 지열은 표준모델 대비 12.2%의 에너지 절감효과가 있었다. 자연형 설계만으로 15% 저감 목표를 달성 할 수 있지만, 신재생에너지 활용기술의 복합적용을 목표로 하였기 때문에 온실가스 15%저감 모델의 계획은 외피의 단열 및 기밀성능향상과 향별 창호설계, 자연환기

를 통해 에너지를 절감하고 옥상면에 태양광 발전 시스템으로 대안을 설계하였다. 온실가스 25%저감 모델은 15% 저감모델에 조광제어를 추가하여 조명 에너지절감을 하여 모델을 계획하였다. 최종적으로 40% 저감 모델은 25% 저감모델에 옥상면과 남측입면에 태양광시스템을 모두 적용하고 지열시스템을 추가하여 온실가스 40%저감을 달성하였다. 온실가스 저감 목표에 따른 대안별 적용된 요소기술은 다음 표65와 같다.

<표 5.1> 대안별 적용 요소기술

온실가스 저감목표	Zero Emission 요소기술						
	에너지 절약 요소기술				신재생에너지 활용기술		
	단열 및 기밀 성능향상	향별 창호 설계	자연 환기	자연 채광 (조광 제어)	태양광 발전 시스템		지열 시스템
					옥상	남측입면	
15% 저감 모델	○	○	○		○		
25% 저감 모델	○	○	○	○	○		
40% 저감 모델	○	○	○	○	○	○	○

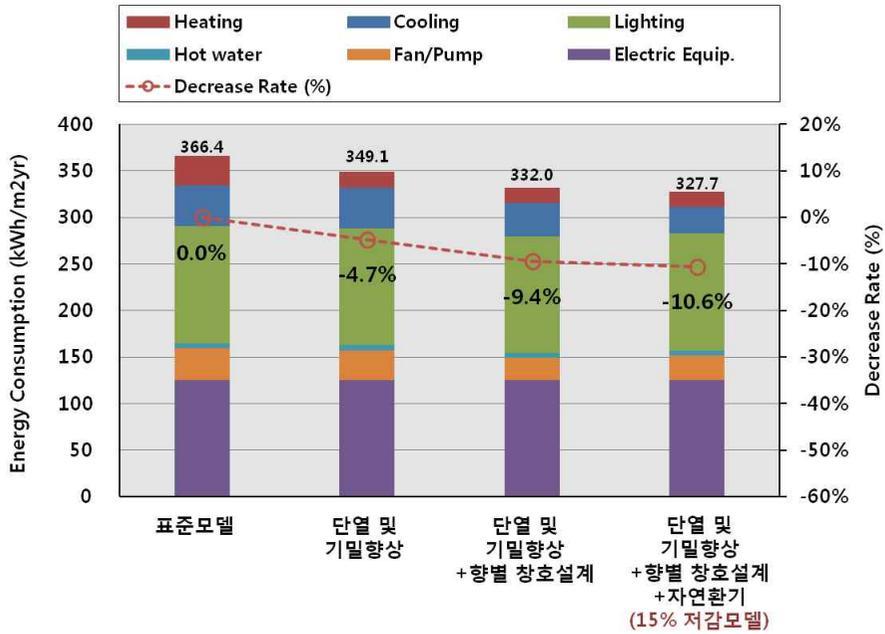
5.2 대안별 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 평가

5.2.1 온실가스 15% 저감모델

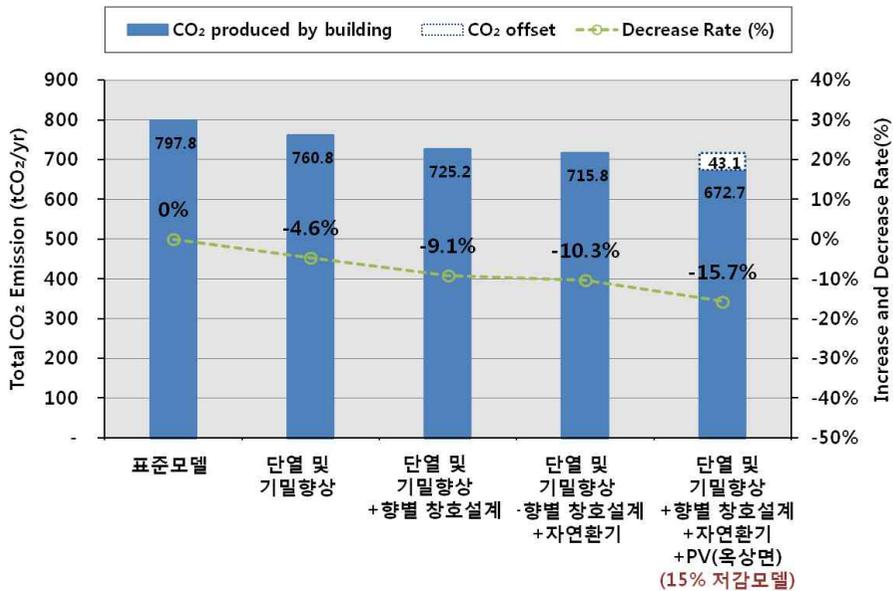
온실가스 15%저감모델의 에너지절약요소는 외피의 단열성능과 기밀성능향상, 향별 창면적비와 태양열취득계수의 조정, 남측 입면에 차양설치, 그리고 간절기와 여름철 자연환기가 적용되었다. 에너지 절약요소의 통합적용으로 인한 에너지 절감은 10.6%의 효과를 보이며, 온실가스 배출량도 표준모델 대비 10.3%의 저감을 보인다. 15% 저감량 목표를 달성하기 위해 건물의 옥상면에 태양광 발전 시스템을 설치하였으며, 그로 인한 전력생산으로 43.1tCO₂/yr의 온실가스 상쇄되었다. 그 결과, 15% 저감모델은 총 672.7tCO₂/yr의 CO₂ 를 배출하며, 표준모델 대비 15.7%의 저감율을 나타냈다.

<표 5.2> 온실가스 15%저감 모델

Zero Emission 요소기술			변수 설정	비고
에너지 절약 요소기술	단열	외벽	0.3 W/m ² k	서울시 공공건축물 디자인 가이드라인
		창호	1.98 W/m ² k	
		최하층바닥	0.21 W/m ² k	
		지붕	0.16 W/m ² k	
	기밀		0.1ACH	
	일사열 취득계수	남	0.5	
		북	0.3	
	창면적비	남, 동, 서	50%	
		북	30%	
	수평차양		600mm	남측면 적용
자연채광(조광제어)		없음	표준모델과 동일	
자연환기(개폐율)		20%		
신재생에너지 활용기술	태양광 발전 시스템		옥상적용	
	지열 시스템		미적용	표준모델과 동일



(그림 5.1) 15% 저감 모델의 에너지 절약 요소기술의 적용에 따른 에너지 절감량비교



(그림 5.2) 15% 저감 모델의 요소기술 적용에 따른 온실가스 저감율 비교

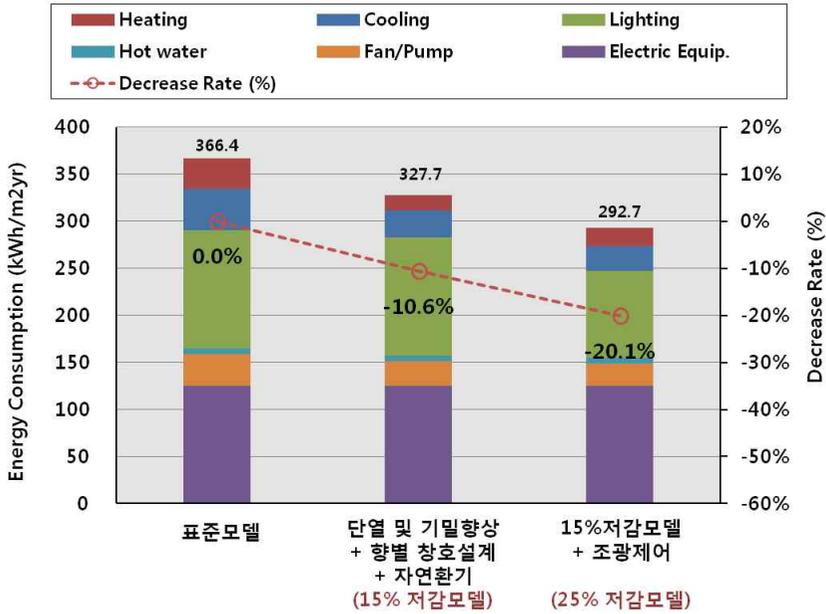
5.2.2 온실가스 25% 저감모델

표준 공공업무시설은 조명에너지가 전체 에너지 소요량의 34%를 차지하고 그 발열량은 냉난방 부하에도 영향을 미친다. 또한 조명에너지 사용의 운영 시간은 자연채광을 사용할 수 있는 낮 시간대임에도 불구하고 사용됨으로써 에너지 낭비를 주도해왔다. 성능평가 결과 자연채광과 인공조명을 효율적으로 사용할 수 있는 조광제어의 사용으로 조명에너지의 27%를 절감하였고, 총 에너지 소요량의 10%를 절감함으로써 단일요소기술로서 최대성능을 발휘한다. 따라서 15%저감 모델에서 사용된 요소기술과 함께 조광제어 시스템을 적용하여 25% 저감 모델을 구현하였다. 25% 저감 모델은 본 연구에서 변수로 설정한 에너지 절약요소기술을 모두 적용하였으며, 자연형 조절로 구현할 수 있는 최대 성능을 나타낸다.

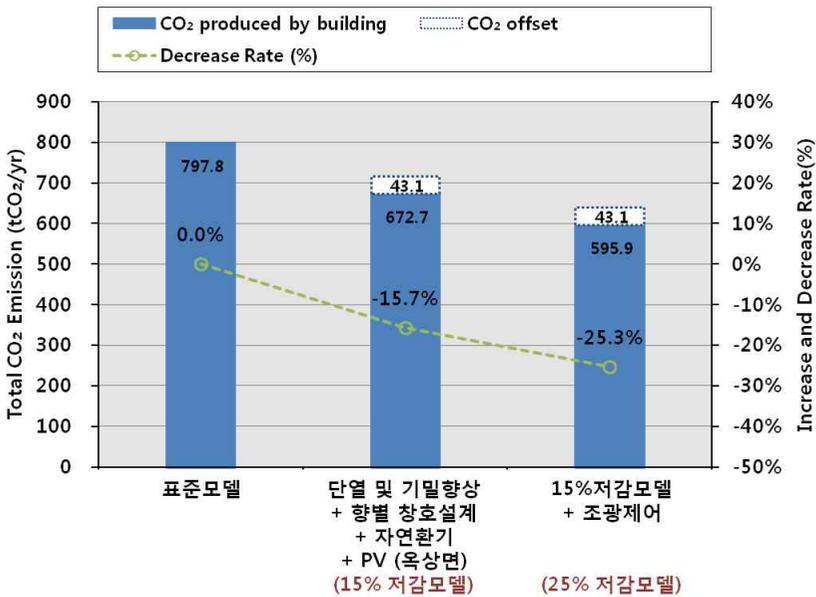
그 결과, 표준모델대비 총에너지 소요량의 20.1%가 절감되었고, 온실가스는 595.9tCO₂/yr를 배출함으로써 표준모델 대비 25.3%가 저감되었다.

<표 5.3> 온실가스 25%저감 모델

Zero Emission 요소기술		변수 설정	비고	
에너지 절약 요소기술	단열	외벽	0.3 W/m ² k	서울시 공공건축물 디자인 가이드라인기준
		창호	1.98 W/m ² k	
		최하층바닥	0.21 W/m ² k	
		지붕	0.16 W/m ² k	
	기밀		0.1ACH	
	일사열 취득계수	남	0.5	
		북	0.3	
	창면적비	남, 동, 서	50%	
		북	30%	
	수평차양		600mm	남측면 적용
자연채광(조광제어)		사용 (500lux기준)	남측면 사무공간적용	
자연환기(개폐율)		20%		
신재생에너지 활용기술	태양광 발전 시스템	적용	옥상에 적용	
	지열 시스템	미적용		



(그림 5.3) 25% 저감 모델의 에너지 절약 요소기술의 적용에 따른 에너지 절감량비교



(그림 5.4) 25% 저감 모델의 요소기술 적용에 따른 온실가스 저감을 비교

5.2.3 온실가스 40% 저감모델

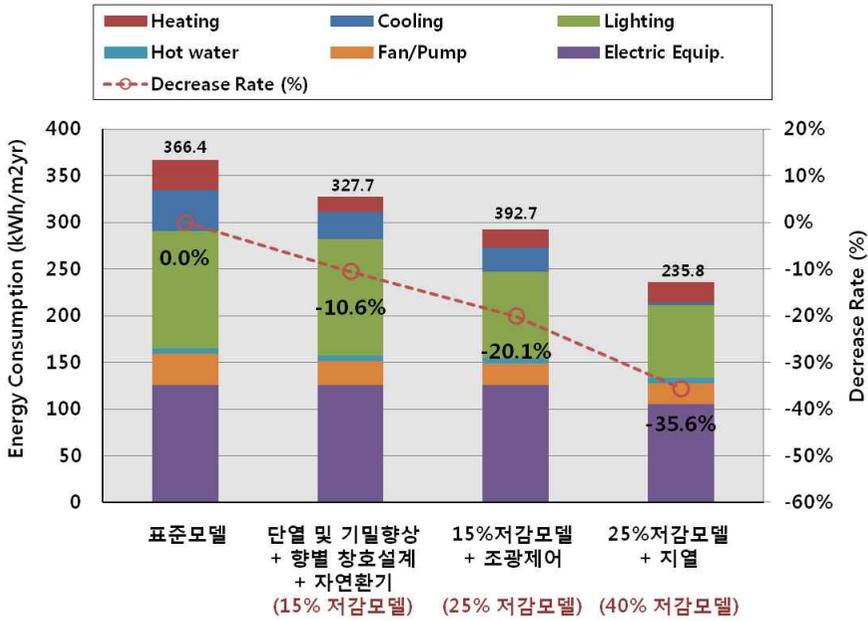
온실가스 40% 저감 모델은 25%저감 모델에 신재생에너지 활용기술의 비율이 증가한다. 태양광 발전 시스템이 남측 입면으로 확대 적용되고, 열에너지 감당을 위한 지열에너지 시스템이 적용된다.

그 결과 단열 및 기밀성능 향상, 향별 창호설계, 자연채광과 자연환기로 인한 1차에너지 소요량은 표준모델 대비 20.1% 절감되고, 여기에 지열 시스템의 적용으로 총 235.8kWh/m²yr가 소요되어 표준모델 대비 35.6%를 절감할 수 있다. 여기에 옥상과 입면의 태양광시스템의 적용으로 144.153MWh/yr를 생산함으로써 40% 저감모델의 전력사용량 중 14%를 감당하게 된다.

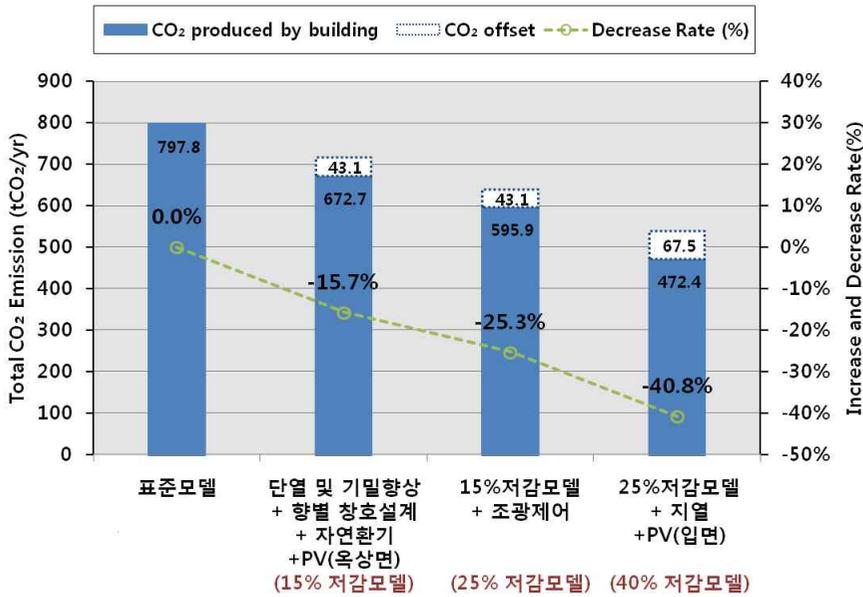
따라서 40% 저감모델은 온실가스 472.4tCO₂/yr를 배출하여 표준모델 대비 40.8%저감할 수 있다.

<표 5.4> 온실가스 40%저감 모델

Zero Emission 요소기술		변수 설정	비고	
에너지 절약 요소기술	단열	외벽	0.3 W/m ² k	서울시 공공건축물 디자인 가이드라인기준
		창호	1.98 W/m ² k	
		최하층바닥	0.21 W/m ² k	
		지붕	0.16 W/m ² k	
	기밀		0.1ACH	
	일사열 취득계수	남	0.5	
		북	0.3	
	창면적비	남, 동, 서	50%	
		북	30%	
	수평차양		600mm	남측면 적용
자연채광(조광제어)		사용 (500lux기준)	남측면 사무공간적용	
자연환기(개폐율)		20%		
신재생에너지 활용기술	태양광 발전 시스템	적용	옥상,입면에 적용	
	지열 시스템	적용		



(그림 5.5) 40% 저감 모델의 에너지 절약 요소기술의적용에 따른 에너지 절감량비교



(그림 5.6) 40% 저감 모델의 요소기술 적용에 따른 온실가스 저감을 비교

5.3 소결

단계별 온실가스 저감목표에 따라 에너지 절약요소기술과 신재생에너지 활용기술의 조합의 결과는 다음과 같다.

1) 온실가스 15%저감 모델은 외피의 단열 및 기밀성능 향상과 향별 창면 적비와 태양열취득계수의 조정, 남측 입면에 차양설치 그리고 자연환기가 적용된 모델이다. 10.6%의 에너지 절감효과를 보였으며 715.8tCO₂ /yr를 배출하였다. 여기에 옥상면 PV설치로 인해 43.1CO₂ /yr의 온실가스가 상쇄되어 최종 CO₂ 배출량은 672.7CO₂ /yr을 나타냈으며, 이는 표준모델 대비 온실가스 15.7%저감된 양이다.

2) 온실가스 25%저감 모델은 15%저감 모델에 자연채광의 효율적인 이용을 위한 조광제어의 활용이 추가된다. 추가된 에너지 절약요소기술의 조합으로 20.1%의 에너지 절감효과를 나타내며, 이것은 본 연구에서 구현할 수 있는 에너지 절약 요소기술을 모두 사용한 최대성능이다. 여기에 PV 생산량과 함께 상쇄된 최종 CO₂ 배출량은 595.9CO₂ /yr로 표준모델 대비 온실가스 25.3%의 저감율을 보여준다.

3) 온실가스 40%저감 모델은 25%저감 모델에 신재생에너지 활용기술이 증가하여 입면의 PV적용과 지열시스템이 적용된다. 25%저감모델에 적용되었던 단열 및 기밀성능 향상, 향별 창호 설계, 조광제어의 활용, 간절기 자연환기의 도입과 함께 지열시스템을 적용한 결과 총 235.8kWh/m²yr의 에너지가 소요됐으며, 이는 표준모델 대비 35.6% 절감된 양이다. 여기에 입면과 옥상에 적용한 PV에 의한 전력생산으로 인해 14%전력을 분담하고 최종적으로 472.4tCO₂ /yr를 배출하여 표준모델 대비 온실가스 40.8%를 저감한다.

제6장 결 론

본 연구의 목적은 기존 공공업무시설의 온실가스 저감 목표에 따라 Zero Emission Building의 계획방법을 통해 단계별 저감모형을 제안하고자 하였다. 이를 위해 현재 공공업무시설의 건축적 현황과 온실가스 배출현황을 조사하고 표준모형을 설정하여 구체적인 온실가스 배출특성을 파악하였다. 또한 Zero Emission Building의 계획방법을 고찰하고 그에 대한 에너지 절약 요소기술 및 재생에너지 활용기술에 대하여 공공업무시설에 적용가능성을 평가하고 각각의 요소기술에 대하여 성능평가를 실시함으로써 온실가스 저감 목표 단계별 적합한 요소기술의 조합을 도출하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 국내 공공업무시설의 에너지 사용량은 1990년이후 계속 증가하였고, 전력사용의 비율이 급격하게 증가하였다. 이에 정부의 온실가스 저감 정책에 따라 신축건물에 대하여 건물의 에너지 효율 1등급 의무화와 친환경인증의 의무화 되었고, 기존 건물에 대하여 온실가스 목표관리제가 시행되었다. 따라서 공공업무시설의 온실가스 저감 목표의 설정과 그에 따른 저감계획이 필요하다. 이에 본 연구에서는 제로에미션빌딩(ZEB, Zero Emission Building)계획방법에 따라 온실가스 저감 목표에 따른 저감모형을 계획하였다.

2. 공공업무시설의 온실가스 배출현황을 분석하기 위해 일반적인 공공업무시설을 대표할 수 있는 표준모형을 설정하였으며, 에너지 시뮬레이션을 통해 온실가스 배출특성을 파악하였다. 표준모형의 온실가스 배출량은 연간 797.81tCO₂ /yr로 나타났으며, 내부의 조명 및 기기에 의한 내부발열 밀도가 크게 나타나 전체 배출량의 68.8%를 차지하고 일사부하와 함께 냉방에너지 소비량에도 크게 영향을 미쳐 냉방으로 인한 온실가스 배출량은 전체의 12%에 이른다. 표준모형의 온실가스 저감을 위해서는 조명에너지와 냉방에너지를 줄이는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

3. 에너지 절약 요소기술의 성능평가 결과 외피의 단열성능 및 기밀성능 향상은 난방에너지 절감에 가장 효과가 있었으며, 기밀성 0.1ACH의 경우 난방에너지 49.8%의 절감율을 보였다. 난방에너지 절감에는 차양이 18.2%의 난방에너지를 절감으로 최대성능을 나타냈으며, 조광제어는 조명에너지 절감에서 27%를 감소시켰다.

4. 신재생에너지 활용기술의 적용성 평가 결과, 공공업무시설의 전체 에너지원 중 90%를 담당하고 있는 전력생산을 위해 태양광의 적용과 열에너지 담당을 위해 지열에너지 시스템을 적용하였다. 공공업무시설은 도심지에 위치하였지만 계획상 넓은 대지면적으로 주변 환경조건의 제약이 없어 태양광의 경우 입면과 옥상면에 모두 설치가 가능했으며, 표준모델의 전력의 10%를 분담하였다. 지열도 넓은 대지면적의 확보로 최대 천공개수는 183개가 가능하였으며, 전체 에너지 소비량의 12%를 절감하는 효과를 나타냈다.

5. 표준모델 대비 온실가스 15%저감 모델은 외피의 단열성능과 기밀성능 향상, 항별 창면적비와 태양열취득계수의 조정, 남측 입면에 차양설치, 그리고 간절기와 여름철 자연환기가 적용되었다. 에너지 절약요소의 통합적용으로 인한 에너지 절감은 10.6%의 효과를 보인다. 15% 저감량 목표를 달성하기 위해 건물의 옥상면에 태양광 발전 시스템을 설치하였으며, 그로 인한 전력생산으로 43.1tCO₂/yr의 온실가스 상쇄되어 총 672.7tCO₂/yr의 CO₂를 배출하였다.

6. 온실가스 25%저감 모델은 15%저감 모델에서 사용된 요소기술과 함께 조광제어 시스템을 적용하였으며, 표준모델대비 총에너지 소요량의 20.1%가 절감되었고, 온실가스는 595.9tCO₂/yr를 배출함으로써 표준모델 대비 25.3%가 저감되었다.

7. 온실가스 40% 저감 모델의 구현을 위해 25%저감 모델에 신재생에너지 활용기술의 비율이 증가시켜 태양광 발전 시스템이 남측 입면으로 확대 적용

하고 열에너지 감당을 위한 지열에너지 시스템이 적용하였다. 그 결과 온실가스 472.4tCO₂/yr를 배출하여 표준모델 대비 40.8%저감할 수 있다.

본 연구에서는 표준모델 대비 온실가스 저감율 15%, 25%, 40%를 달성하기 위해 에너지 절약요소기술과 신재생에너지 활용기술을 조합하여 단계별 저감 모델을 제시하였다. 이는 앞으로 온실가스 목표관리제에 대상이 되는 기존공공업무시설에 대하여 온실가스 저감 목표에 따른 단계별 건축계획 요소의 실행방안을 설정하는데 방향성을 제시 할 수 있을 것이라 사료된다.

본 연구는 기존 공공업무시설을 대상으로 Zero Emission Building계획을 위한 요소기술의 선정과 성능평가를 실시하였기 때문에 신축건물의 경우, 다양한 요소기술에 대한 평가와 계획이 필요할 것으로 사료된다. 또한 각 요소기술간의 변수 변화에 따른 성능평가와 상관관계가 고려되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[국내문헌]

1. 강수연, (2007), Zero Emission Building 의 디자인 프로세스에 관한 연구, (국내석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원) p12
2. 강인호, (2008), 제3차 공공건축 설계포럼 자료집. p52
3. 김병수의1, (2005), 시각적 쾌적성과 에너지 성능분석에 의한 오피스 창호의 적정 투과율 선정, 대한건축학회 논문집;계획계, 21(3), 107-114
4. 김성은, (2009), 건축물의 신재생에너지 복합 활용계획에 관한 연구, (국내석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원)
5. 김수암, (1997), 공공건축물의 설계표준화 지침서 개발연구, 국토해양부
6. 김연주, (2011), 공공청사의 공간구성방식에 관한연구, (석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원), p19
7. 문현준, (2008), 건물의 기밀도와 자연환기, 건물환기설미 및 건축물관리 방안 세미나자료
8. 박찬식, 공공청사 기계실의 소요공간 추정식, 건설산업기술연구소 논문집, p47~60, 2003
9. 산업자원부, (2001), 에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진 방안 연구, p183-190
10. 산업자원부, (2005), 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, p81
11. 산업자원부, (2006), GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발 (최종보고서), 90
12. 산업자원부, (2007), 건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구, 316-326
13. 산업자원부, (2007), 한국형 지중열교환기 최적설계 패키지 개발, 90
14. 산업자원부, (2004), 에너지기술 DB구축사업
15. 서울특별시, 서울친환경에너지 기본계획 2030, 49
16. 신우철, (2006), 건물의 기밀성능 측정사례 소개, 한국그린빌딩협의회,

69-73

17. 염철호, (2010), 공공청사 건축디자인 기준 설정 방안 연구, 건축도시공간연구소 36-37
18. 원중서외1, (2011), 국내 건물에서의 기밀화 사례, 한국그린빌딩협회의, 55-62
19. 유나경, (1997), 서울시 자치구청사 외부공간의 비교평가에 관한 연구, (석사학위논문, 서울대학교 환경대학원)
20. 유지용외3, (2009), SK케미칼 연구소에 적용된 친환경 기술 적용 효과분석- 에너지 및 수자원 절감 적용 효과를 중심으로, 대한설비공학회 학술 발표대회 논문집, 409-414
21. 임병찬, (2004), 사무소건물에서 자연채공에 의한 조명에너지 절약의 평가, 설비공학논문집, 16(6)
22. 임상준외 2명, (2002), 투명 유리 사무소 건물의 냉방부하 감소를 위한 적정 외부차양 배치에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2(4)
23. 정아름, (2011), 도시특성에 따른 신재생에너지 시스템 복합 적용 방안에 관한 연구, (국내석사학위논문, 중앙대학교 일반대학원.)
24. 조항문, (2007), 서울시 공공건물의 에너지 절약방안
25. 조항문, (2010), 서울형 저탄소 녹색성장을 위한 공공건축물 건설 방안 연구, 서울시정개발연구원단행본
26. 지식경제부, (2009), 기후변화대응을 위한 건물에너지효율등급 표시제도 개발연구(1차년도)
27. 지식경제부, (2010), 지역에너지통계연보
28. 최원기, (2011), 오피스 건물의 에너지 절약, Glazing의 SHGC로 해결하자, 대한건축학회 55(5) 80-85
29. 행정안전부, (2006), 정부청사 에너지관리 자료집,
30. 행정안전부, (2010), 정부 대전청사 에너지 절약 사례집
31. 행정자치부, (2006), 정부청사 에너지관리 자료집
32. 황용운, (2002), 자치구청사의 외관디자인 변화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집: 계획계, 4권4호 43-51

[국외문헌]

1. CLG, (2008), Definition of Zero Carbon Homes and Non-domestic Buildings: Consultation
2. CLG, (2010), Code for Sustainable Homes
3. R. Compagnon, (2004), Solar and Daylight Availability in the Urban Fabric, Energy and Building 36, 321-328
4. The City of New York, Urban Green Council, 2010, New York City Green Codes Task Force
5. UKGBC, (2007), Report on carbon reductions in new non-domestic buildings
6. UKGBC, (2008), Zero Carbon Task Group Report-The Definition of Zero Carbon

[Web Site]

1. AIA,
http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/carbon-aia/carbon_definition.html
2. www.melbourne.vic.gov.au
3. AIA,
http://www.aiatopten.org/hpb/grid2008.cfm?project_id=946§ion=1
4. Whole Building Design Guide, <http://www.wbdg.org>
5. 온실가스종합정보센터,
<http://www.gir.go.kr/og/hm/ga/a/OGHMGSA010.do>
6. 에너지관리공단
http://www.kemco.or.kr/building/v2/buil_cert/buil_cert_1_1.asp
7. 에너지관리공단, <http://zeroco2.kemco.or.kr>
8. 한글라스 홈페이지, <http://www.myhnglas.co.kr>

국 문 초 록

공공업무시설의 제로에미션계획에 관한 연구

김 승 민

건축학과 건축환경 및 설비전공
중앙대학교 대학원

최근 전 세계적으로 지구온난화(Global Warming)로 인한 기후변화와 자원 고갈의 문제가 심각해지면서 온실가스 감축의 노력이 활발해지고 있다. 우리나라도 2020년까지 BAU 대비 온실가스 30%를 절감목표로 세웠으며, 건축 부문은 26.9%의 온실가스를 저감해야 한다. 이러한 국가비전과 목표아래 공공기관의 온실가스 감축에 대한 선도적인 역할이 강조되면서 에너지효율 1등급 의무화와 온실가스 목표관리제 등의 각종 시범사업들이 시행되고 있다. 특히 최근 호화청사 논란과 공공건축물의 에너지 낭비가 사회적으로 문제가 되면서 기존의 공공업무시설의 에너지 효율개선이 중요한 문제가 되고 있다.

본 연구에서는 기존 공공업무시설의 온실가스 배출을 줄이기 위해 온실가스 저감목표에 따른 단계별 저감모형을 제안하였다. 이를 위해 현재 공공업무시설의 건축적 현황을 분석하여 표준모형을 설정하고 에너지 시뮬레이션을 통해 구체적인 온실가스 배출특성을 파악하였다. 또한 Zero Emission Building의 계획방법을 적용하여 온실가스 저감 목표 단계별 저감 모형을 제시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공공업무시설의 온실가스 배출현황을 분석하기 위해 서울, 인천시의 구청사 건물 33개를 대상으로 건축적 현황을 분석하여 표준모형을 설정하였으며, 에너지 시뮬레이션을 통해 온실가스 배출특성을 파악하였다. 표준모형은 건물 에너지 효율 3등급에 해당하는 성능을 나타냈으며, CO₂ 배출량은 조명 34.4%, 기기 34.4%, 냉방 12%, 난방 8.7%, 팬5.2%, 펌프4.1%, 급탕 1.5%를 차지했다. 내부의 조명 및 기기에 의한 내부발열 밀도가 크게 나타났고, 내부발열 부하와 함께 일사부하로 냉방에서의 CO₂ 배출량이 크게 나타났다. 따라서 표준모형의 온실가스 저감을 위해서는 조명에너지와 냉방에너지를 줄이는 것이 효과적일 것으로 판단하였다.

2. 에너지 절약 요소기술의 성능평가 결과, 외피의 단열성능 및 기밀성능 향상은 난방에너지 절감에 가장 효과가 있었으며, 49.8%의 절감율을 보였다. 난방에너지 절감에는 차양이 18.2%의 성능과 전력피크부하의 10% 절감율을 보였으며, 조광제어는 조명에너지 절감에서 27%의 감소율을 보였다.

3. 신재생에너지 활용기술의 적용성 평가결과, 태양광 발전 시스템은 표준 모델의 전력의 10%를 분담하였으며, 지열시스템은 전체 에너지 소비량의 12%를 절감하는 효과를 나타냈다.

4. 표준모델 대비 온실가스 15%저감 모델은 외피의 단열성능과 기밀성능 향상, 항별 창면적비와 태양열취득계수의 조정, 남측 입면에 차양설치, 그리고 간절기와 여름철 자연환기를 적용하여 CO₂ 배출량의 10.6%를 저감하였으며, 건물의 옥상면에 태양광 발전 시스템을 설치하여 전력생산으로 CO₂ 배출량의 5.4%를 저감하였다.

5. 온실가스 25%저감 모델은 15%저감 모델에서 사용된 요소기술과 함께 조광제어 시스템을 적용하여 CO₂ 배출량의 25.3%가 저감하였다.

6. 온실가스 40% 저감 모델의 구현을 위해 25%저감 모델에 신재생에너지 활용기술의 비율이 증가시켜 태양광 발전 시스템이 남측 입면으로 확대 적용하고 열에너지 감당을 위한 지열에너지 시스템이 적용하였다. 그 결과 표준 모델 대비 CO₂ 배출량의 40.8%저감할 수 있었다.

본 연구에서는 표준모델 대비 온실가스 저감율 15%, 25%, 40%를 달성하기 위해 에너지 절약요소기술과 신재생에너지 활용기술을 조합하여 단계별 저감 모델을 제시하였다. 이는 앞으로 온실가스 목표관리제에 대상이 되는 기존공공업무시설에 대하여 온실가스 저감 목표에 따른 단계별 건축계획 요소의 실행방안을 설정하는데 방향성을 제시 할 수 있을 것이라 사료된다.

핵심어: 공공업무시설, 온실가스, 에너지 절약, 신재생에너지

ABSTRACT

A Study on Zero Emission Design Strategies in Public Office Building

Kim, Seung-Min
Major in Architectural Environment & Systems
Dept. of Architecture
The graduate school Chung-ang University

Recently, as due to global warming the problems of climate change and resource shortages are getting worse around the world, considerable efforts are being made to reduce greenhouse gas emissions. The government of South Korea also plans to decrease greenhouse gas emissions by 30% compared to BAU (business as usual) by 2020 and the architectural sector should diminish the emissions by 26.9%. To achieve this goal, public organizations are expected to take the leading role in reducing greenhouse gas emissions. Due to the fact, various pilot projects are underway, which includes obligation of energy efficiency 1st rating and greenhouse gas target management system of public buildings. In particular, recently as luxurious government office buildings and energy-wasting public buildings have emerged as a social problem, energy efficiency improvement of the existing public office buildings became an important issue.

This study is to proposed phased reduction prototypes according to the reduction target of greenhouse gas in order to cut the emissions of the existing public office buildings. To attain this end, I set up a base model by analyzing the current architectural conditions of the existing public office buildings and grasped the specific properties of greenhouse gas emissions through energy simulations. Furthermore, I suggested phased reduction prototypes for the reduction target of

greenhouse gas by applying the methods of the zero emission building plan.

The results of this research can be summarized like below.

1. In a bid to grasp the present amount of greenhouse gas emissions in public office buildings, I analyzed the current architectural conditions of 33 district office buildings in Seoul and Incheon. Through this process, I could set up the base model and grasp the properties of greenhouse gas emissions by running energy simulations. The base model showed its performance of building energy efficiency 3rd rating and discharged CO₂ : 34.4% in lighting; 34.4% in electric equipment; 12% in cooling; 8.7% in heating; 5.2% in fan; 4.1% in pump; 1.5% in hot water. Internal heat gains from lighting fixtures and electric equipment and solar heat gain loads, led to significant CO₂ emissions in cooling. Therefore, I concluded that greenhouse gas emissions in the base model can be effectively decreased by cutting energy in lighting and cooling.

2. As a result of the performance evaluation of technologies for energy efficiency, improvement of insulation performance of building envelope and air tightness had the greatest impact on heating energy-saving with the saving rate of 49.8%. In the case of cooling energy-saving, awning showed its performance of 18.2% and electric peak load revealed saving rate of 10%. Dimming control uncovered reduction rate of 27% in lighting energy-saving.

3. As a result of evaluation of the applicability of renewable energy, photovoltaic system accounted for 10% of the base model power consumption and geothermal system has an effect of saving 12% of total energy consumption.

4. The 15% greenhouse gas reduction model compared to the base one, diminished 10.6% of CO₂ emissions through: improvement of

wall insulation performance and infiltration; adjustment of window to wall ratio and SHGC (solar heat gain coefficient); shading installation on south-facing wall; application of natural ventilation during the changing of seasons and in the summer. The model also cut 5.4% of CO₂ emissions by power generation through setting up a photovoltaic system on the rooftop of a building.

5. The 25% greenhouse gas reduction model decreased 25.3% of CO₂ emissions through applying dimming control system with the technologies for energy efficiency used in the 15% reduction model.

6. To build the 40% greenhouse gas reduction model, I increased the rate of the applicability of renewable energy in the 25% reduction model and expanded the application of photovoltaic system onto southern wall. I also applied geothermal energy system to generate heating energy. As a result, I could reduce 40.8% of CO₂ emissions, compared to the base model.

In this research, in order to achieve 15%, 25%, 40% greenhouse gas reduction, compared to the base one, I combined the technologies for energy efficiency and renewable energy applicability, suggesting phased reduction prototypes. I believe that the prototypes would give directions when it comes to planning the implementation policy of phased building plan factors, according the greenhouse gas reduction goal in the existing public office buildings which are the subject of greenhouse gas target management system.

Keyword : Public office building, Greenhouse gas emission, Energy efficiency, Renewable Energy