第 120 回 碩士學位論文

指導敎授 李 彦 求

제로에미션 시티의
적용계획에 관한 연구

A Study on the Application
of Zero Emission City

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境計劃專攻

崔 瑞 英

2014年 2月

제로에미션 시티의
적용계획에 관한 연구

A Study on the Application
of Zero Emission City

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2014年 2月

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境計劃專攻

崔 瑞 英

崔瑞英의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長 박 진 철 ㊞

審 査 委 員 김 기 훈 ㊞

審 査 委 員 이 선 구 ㊞

中央大學校 大學院

2014年 2月

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1
1.1 연구의 배경 및 목적 ····· 1

1.2 연구의 방법 및 범위 ····· 3

제 2 장 제로에미션 시티의 이론적 고찰 ····· 6
2.1 제로에미션 시티의 개념 ····· 6

2.2 제로에미션 시티 조성사례 ····· 7
2.2.1 제로에미션 시티 국외 사례 ····· 7
2.2.2 제로에미션 시티 국내 사례 ····· 17

2.2.3 소결 ····· 23

제 3 장 제로에미션 시티 모델 구축 ····· 24
3.1 제로에미션 시티 기본 방향 ····· 24

3.2 제로에미션 시티 조성방안 ····· 25
3.2.1 계획지표 설정 ····· 25
3.2.2 계획지표에 따른 세부계획기법 ····· 28

3.3 제로에미션 시티 구축 ····· 55

제 4 장 제로에미션 시티 모델 적용 ····· 57
4.1 제로에미션 시티 적용 프로세스 ····· 57

4.2 제로에미션 시티 대상지 선정 및 기본 계획 ····· 60
4.2.1 대상지 선정 및 개요 ····· 60
4.2.2 도시의 입지현황분석 ····· 61
4.2.3 도시의 토지이용계획 ····· 63

4.3 제로에미션 시티 에너지 절약계획 ····· 64
4.3.1 도시의 에너지 소비 특성 ····· 64
4.3.2 도시의 에너지 절약계획 ····· 73
4.3.3 도시의 에너지 절약 성능평가 ····· 91

4.4 건축적 차원의 제로에미션 시티 신재생에너지 적용계획 ····· 99
4.4.1 건축적 차원의 신재생에너지 적용 계획 ····· 99
4.4.2 건축적 차원의 신재생에너지 적용 성능평가 ····· 115

4.5 도시적 차원의 제로에미션 시티 신재생에너지 적용계획 ····· 126
4.5.1 도시적 차원의 신재생에너지 적용계획 ····· 126
4.5.2 도시적 차원의 신재생에너지 적용 성능평가 ····· 129
4.6 소결 ····· 131

제 5 장 제로에미션 시티 모델 계획안 ····· 133
5.1 제로에미션 시티 기본방향 ····· 133

5.2 제로에미션 시티 기본계획 ····· 135
5.2.1 토지 이용 계획 ····· 135
5.2.2 동선 계획 ····· 140

5.2.3 건축물 계획 ····· 142

5.3 제로에미션 시티 최종계획안 ····· 147
5.3.1 마스터플랜 ····· 147
5.3.2 입단면도 ····· 148
5.3.3 조감도 ····· 149

제 6 장 결론 ····· 150

참 고 문 헌 ····· 153

국 문 초 록 ····· 156

ABSTRACT ····· 159

표 목 차

<Table2.1.> 마스다르 시티 개요 ····· 7
<Table2.2.> 마스다르 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도7
<Table2.3.> 하마비 허스타드 개요 ····· 10
<Table2.4.> 하마비 허스타드
월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도 ····· 10
<Table2.5.> 메세스타트 림 개요 ····· 13
<Table2.6.> 메세스타트 림
월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도 ····· 13
<Table2.7.> 화성 동탄(2) 개요 ····· 17
<Table2.8.> 화성 동탄(2)
월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도 ····· 17
<Table2.9.> 평택 소사벌 개요 ····· 20
<Table2.10.> 평택 소사벌지구
월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도 ····· 20
<Table2.11.>제로에미션 시티 사례 비교 ····· 23
<Table3.1.> 제로에미션 시티 모델 구축 ····· 24
<Table3.2.> 제로에미션 시티 계획지표 ····· 27
<Table3.3.> 토지이용분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법 ····· 28
<Table3.4.> 교통 분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법 ····· 33
<Table3.5.> 건축물 분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법 ····· 35
<Table3.6.> 신재생에너지 분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법 ···· 43
<Table3.7.> 풍력발전 시스템의 용량에 따른 분류 ····· 48
<Table3.8.> 폐기물분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법 ····· 52
<Table3.9.> 토지이용분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법 ····· 53
<Table4.1.> CO_2 배출계수 ····· 58

<Table4.2.> 대상지 개요 ····· 61
<Table4.3.> 대상지 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도 62
<Table4.4.> 대상지 토지이용계획 ····· 63
<Table4.5.> 대상지 구성 건축물 ····· 64
<Table4.6.> 주거시설의 개요 및 시뮬레이션 입력값 ····· 65
<Table4.7.> 대상건물의 에너지 소비량 표준성 분석 ····· 66
<Table4.8.> 주거시설의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량 ····· 66
<Table4.9.> 업무시설 건물의 개요 및 시뮬레이션 입력값 ····· 68
<Table4.10.> 업무시설의 규모별 1차 에너지 소비량 ····· 68
<Table4.11.> 업무시설의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량 ····· 69
<Table4.12.> 교육시설의 개요 및 시뮬레이션 입력값 ····· 70
<Table4.13.> 대상건물의 에너지 소비량 표준성 분석 ····· 71
<Table4.14.> 교육시설의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량 ····· 71
<Table4.15.> 대상지 건축물 총 에너지 소비량 및 CO_2 배출량 ····· 72
<Table4.16.> 분산분석표 ····· 75
<Table4.17.> 냉난방에너지 시뮬레이션을 위한 설계단계별
계획요소 및 수준 ····· 76
<Table4.18.> 시뮬레이션 결과 ····· 77
<Table4.19.> 에너지원별 주요 건축계획요소 ····· 77
<Table4.20.> 난방에너지에 대한 건축계획변수 평가표 ····· 78
<Table4.21.> 냉방에너지에 대한 건축계획변수 평가표 ····· 79
<Table4.22.> 냉난방에너지 시뮬레이션을 위한 설계단계별
건축계획변수 및 수준 ····· 80
<Table4.23.> 시뮬레이션 결과 ····· 81
<Table4.24.> 업무시설 건물의 에너지 분야별 주요 건축계획요소 ····· 81
<Table4.25.> 냉방에너지에 대한 건축계획변수 평가표 ····· 82
<Table4.26.> 조명에너지에 대한 건축계획변수 평가표 ····· 83
<Table4.27.> 난방에너지에 대한 건축계획변수 평가표 ····· 83

<Table4.28.> 냉난방에너지 시뮬레이션을 위한 설계단계별
건축계획변수 및 수준 ····· 84
<Table4.29.> 시뮬레이션 결과 ····· 85
<Table4.30.> 에너지원별 주요 건축계획요소 ····· 85
<Table4.31.> 난방에너지소비량에 대한 건축계획 요소 평가표 ····· 86
<Table4.32.> 냉방에너지소비량에 대한 건축계획 요소 평가표 ····· 86
<Table4.33.> 주거시설의 패시브 디자인 적용 방안 ····· 88
<Table4.34.> 주거시설의 액티브 디자인 적용 방안 ····· 88
<Table4.35.> 업무시설 건물의 패시브 디자인 적용 방안 ····· 89
<Table4.36.> 업무시설의 액티브 디자인 적용 방안 ····· 89
<Table4.37.> 교육시설의 패시브 계획요소 적용 방안 ····· 90
<Table4.38.> 교육시설의 액티브 디자인 적용 방안 ····· 90
<Table4.39.> 주거시설 패시브 디자인 절약계획 적용에 따른
에너지소비량 및 CO_2 배출량변화 ····· 91
<Table4.40.> 주거시설 패시브+액티브 디자인 절약계획 적용에 따른
에너지소비량 및 CO_2 배출량 변화 ····· 92
<Table4.41.> 업무시설 패시브 디자인 절약계획 적용에 따른
에너지소비량 및 CO_2 배출량변화 ····· 93
<Table4.42.> 업무시설 패시브+액티브 디자인 절약계획 적용에 따른
에너지소비량 및 CO_2 배출량 변화 ····· 94
<Table4.43.> 교육시설 패시브 디자인 절약계획 적용에 따른
에너지소비량 및 CO_2 배출량변화 ····· 95
<Table4.44.> 교육시설 패시브+액티브 디자인 절약계획 적용에 따른
에너지소비량 및 CO_2 배출량 변화 ····· 96
<Table4.45.> 도시의 에너지 절약계획 적용에 따른
에너지 소비량 변화 ····· 97
<Table4.46.> 도시의 에너지 절약계획 적용에 따른
CO_2 배출량 변화 ····· 98

<Table4.47.> 도시의 건축물 총 에너지 소비량 및 CO_2 배출량 ····· 98
<Table4.48.> 주거시설의 월별 에너지 수요량 ····· 100
<Table4.49.> 업무시설의 월별 에너지 수요량 ····· 101
<Table4.50.> 교육시설의 월별 에너지 수요량 ····· 102
<Table4.51.> 서울지역 월별 지중온도 ····· 104
<Table4.52.> 수원지역 월별 지중온도 ····· 105
<Table4.53.> 건물 유형별 태양에너지 시스템 적용가능성 평가결과 107
<Table4.54.> 건물 유형별 지열에너지 시스템 적용가능성 평가결과 108
<Table4.55.> 주거시설 신재생에너지 시스템 설치개요 ····· 110
<Table4.56.> 업무시설 신재생에너지 시스템 설치개요 ····· 112
<Table4.57.> 교육시설 신재생에너지 시스템 설치개요 ····· 114
<Table4.58.> 주거시설 시스템별 설치 사양 ····· 115
<Table4.59.> 업무시설 시스템별 설치 사양 ····· 116
<Table4.60.> 교육시설 시스템별 설치 사양 ····· 116
<Table4.61.> 주거시설 신재생에너지 적용안의
연간 에너지 성능 결과 ····· 117
<Table4.62.> 주거시설 신재생에너지 적용안의
월별 에너지 성능 결과 ····· 117
<Table4.63.> 주거시설 건축적차원의 신재생에너지 적용에 따른
CO_2 배출량 변화 ····· 119
<Table4.64.> 업무시설 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과119
<Table4.65.> 업무시설 신재생에너지 계획안의 월별
에너지 성능 결과 ····· 120
<Table4.66.> 업무시설의 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른
CO_2 배출량 변화 ····· 121
<Table4.67.> 교육시설 신재생에너지 적용안의 연간
에너지 성능 결과 ····· 122

<Table4.68.> 교육시설 신재생에너지 계획안의 월별
에너지 성능 결과 ····· 122
<Table4.69.> 업무시설 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른
CO_2 배출량 변화 ····· 123
<Table4.70.> 도시 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과 ·· 124
<Table4.71.> 건축적 차원의 신재생에너지 생산량 ····· 125
<Table4.72.> 도시의 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른
CO_2 배출량 변화 ····· 125
<Table4.73.> 도시적 차원의 신재생에너지 생산 요구량 ····· 126
<Table4.74.> 도시 월별 전력에너지 생산 요구량 ····· 127
<Table4.75.> 주거시설 신재생에너지 시스템 설치개요 ····· 128
<Table4.76.> 태양광 시스템 단지 설치 사양 ····· 129
<Table4.77.> 도시 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과 ·· 129
<Table4.78.> 도시 신재생에너지 적용안의 월별 에너지 성능결과 ···· 130
<Table4.79.> 도시의 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른
CO_2 배출량 변화 ····· 130

그 림 목 차

<Fig.1.1.> 연구의 흐름도 ····· 5
<Fig.2.1.> 제로에미션 시티의 유형 ····· 6
<Fig.2.2.> 마스다르 토지이용계획 ····· 8
<Fig.2.3.> 마스다르 교통 계획 ····· 8
<Fig.2.4.> 마스다르 건축물계획 ····· 9
<Fig.2.5.> 마스다르 폐기물시스템 ····· 9
<Fig.2.6.> 하마비 토지이용도 ····· 11
<Fig.2.7.> 하마비 수변공간 ····· 11
<Fig.2.8.> 하마비 모델 ····· 12
<Fig.2.9.> 하마비 Transfer Terminal ····· 12
<Fig.2.10.> 림 배치계획도 ····· 14
<Fig.2.11.> 림 대중교통 연계범위 설정 ····· 14
<Fig.2.1.> 림 에너지 절약 건축물 ····· 15
<Fig.2.2.> 림 에너지 센터 ····· 15
<Fig.2.12.> 림 녹지 계획 ····· 16
<Fig.2.13.> 림 폐기물 발생방지 전략 ····· 16
<Fig.2.14.> 동탄2 토지이용(左) 공간구조(右) ····· 18
<Fig.2.15.> 동탄2 자전거도로망구상도 ····· 18
<Fig.2.16.> 동탄2 패시브 하우스 단지 ····· 19
<Fig.2.17.> 동탄2 비오톱 네트워크 계획 ····· 19
<Fig.2.18.> 소사벌 토지이용계획 ····· 21
<Fig.2.19.> 소사벌 버스운행노선 ····· 21
<Fig.2.20.> 소사벌 건축물 신재생 적용계획 ····· 22
<Fig.2.21.> 소사벌 녹지계획 ····· 22
<Fig.3.1.> 태양광에너지 시스템 개념도 ····· 44

<Fig.3.2.> 태양열에너지 시스템개념도 ····· 44
<Fig.3.3.> 태양시스템 이격 거리 ····· 45
<Fig.3.4.> 지열에너지 시스템 개념도 ····· 46
<Fig.3.5.> 유기성 바이오에너지 시스템 개념도 ····· 50
<Fig.3.6.> 목질계 바이오에너지 시스템 개념도 ····· 50
<Fig.3.7.> 제로에미션 시티 프로세스 ····· 55
<Fig.4.1.> 건축분야를 중심으로 하는 제로에미션 시티 프로세스 ····· 59
<Fig.4.2.> 공동주택 기준층 평면도 ····· 65
<Fig.4.3.> 업무시설 기준층 평면도 ····· 68
<Fig.4.4.> 교육시설 기준교실동 평면도 ····· 70
<Fig.4.5.> 교육시설 기준층 평면도 ····· 70
<Fig.4.6.> 주거시설의 단위면적당 CO_2 배출량 변화 ····· 92
<Fig.4.7.> 업무시설의 단위면적당 CO_2 배출량 변화 ····· 94
<Fig.4.8.> 교육시설의 단위면적당 CO_2 배출량 변화 ····· 96
<Fig.4.9.> 주거시설의 월별 에너지 수요량 ····· 100
<Fig.4.10.> 주거시설 일간 에너지 수요량(동지-12.22) ····· 100
<Fig.4.11.> 주거시설 일간 에너지 수요량(하지-6.21) ····· 100
<Fig.4.12.> 업무시설의 월별 에너지 수요량 ····· 101
<Fig.4.13.> 업무시설 일간 에너지 수요량(동지-12.22) ····· 101
<Fig.4.14.> 업무시설 일간 에너지 수요량(하지-6.21) ····· 101
<Fig.4.15.> 교육시설의 월별 에너지 수요량 ····· 102
<Fig.4.16.> 교육시설 일간 에너지 수요량 (동지-12.22) ····· 102
<Fig.4.17.> 교육시설 일간 에너지 수요량(하지-6.21) ····· 102
<Fig.4.18.> 서울지역 월별 지중온도 ····· 104
<Fig.4.19.> 서울지역 일간 수평면 일사량 -하지(6.21) ····· 104
<Fig.4.20.> 서울지역 일간 수평면 일사량 -동지(12.22) ····· 104
<Fig.4.21.> 수원지역 월별 지중온도 ····· 105
<Fig.4.22.> 수원지역 일간 지중온도 -하지(6.12) ····· 105

<Fig.4.23.> 수원지역 일간 지중온도 -동지(12.22) ····· 105
<Fig.4.24.> 도시 내 건축물의 음영 및 연간 총 일사량 예측 ····· 106
<Fig.4.25.> 주거시설 월별 에너지 수요 및 생산 개념도 ····· 109
<Fig.4.26.> 주거시설 일간 에너지 수요 및 생산 개념도 ····· 109
<Fig.4.27.> 업무시설의 월별 에너지 수요 및 생산 개념도 ····· 111
<Fig.4.28.> 업무시설의 일간 에너지 수요 및 생산 개념도 ····· 111
<Fig.4.29.> 교육시설의 월별 에너지 수요 및 생산 개념도 ····· 113
<Fig.4.30.> 교육시설의 일간 에너지 수요 및 생산 개념도 ····· 113
<Fig.4.31.> 연간 난방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ····· 118
<Fig.4.32.> 연간 냉방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ····· 118
<Fig.4.33.> 연간 전력에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ····· 118
<Fig.4.34.> 연간 급탕에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ····· 118
<Fig.4.35.> 연간 냉난방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ··· 121
<Fig.4.36.> 연간 전력에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ····· 121
<Fig.4.37.> 연간 냉난방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ··· 123
<Fig.4.38.> 연간 전력에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량 ····· 123
<Fig.4.39.> 도시 월별 전력에너지 생산 요구량 ····· 127
<Fig.4.40.> 도시 내 대지의 음영 및 연간 총일사량 예측 ····· 127
<Fig.4.41.> 도시의 전력에너지 요구량 대응 생산량 ····· 130
<Fig.4.42.> 에너지 절약계획에 따른 도시의 CO_2 배출량 변화 ····· 131
<Fig.4.43.> 신재생에너지 적용에 따른 도시의 CO_2 배출량 변화 ··· 132
<Fig.5.1..> 대상지 ····· 134
<Fig.5.2.> 도시계획 (1) ····· 134
<Fig.5.3.> 도시계획 (2) ····· 134
<Fig.5.4.> 도시계획 (3) ····· 134
<Fig.5.5.> 도시계획 (4) ····· 134
<Fig.5.6.> 도시계획 (5) ····· 134
<Fig.5.7.> 주거용지 토지이용계획 ····· 135

<Fig.5.8.> 주거용지 건물배치 개념도 ····· 135
<Fig.5.9.> 주거용지 일영검토(09시) ····· 135
<Fig.5.10.> 주거용지 일영검토(12시) ····· 135
<Fig.5.11.> 주거용지 일영검토(15시) ····· 135
<Fig.5.12.> 업무시설용지 토지이용계획 ····· 136
<Fig.5.13.> 업무시설 건물배치 개념도 ····· 136
<Fig.5.14.> 업무시설용지 일영검토(09시) ····· 136
<Fig.5.15.> 업무시설용지 일영검토(12시) ····· 136
<Fig.5.16.> 업무시설용지일영검토(15시) ····· 136
<Fig.5.17.> 교육시설용지 토지이용계획 ····· 137
<Fig.5.18.> 교육시설용지 배치 개념도 ····· 137
<Fig.5.19.> 교육시설용지 일영검토(09시) ····· 137
<Fig.5.20.> 교육시설용지 일영검토(09시) ····· 137
<Fig.5.21.> 교육시설용지 일영검토(09시) ····· 137
<Fig.5.22.> 신재생에너지용지 토지이용계획 ····· 138
<Fig.5.23.> 신재생에너지용지 관리 시스템 ····· 138
<Fig.5.24.> 신재생에너지 용지 일영검토(09시) ····· 138
<Fig.5.25.> 신재생에너지 용지 일영검토(12시) ····· 138
<Fig.5.26.> 신재생에너지 용지 일영검토(15시) ····· 138
<Fig.5.27.> 녹지용지 토지이용계획 ····· 139
<Fig.5.28.> 녹지용지 배치 개념도 ····· 139
<Fig.5.29.> 도시차원의 녹지계획 (도시자연공원) ····· 139
<Fig.5.30.> 도시차원의 녹지계획 (근린공원) ····· 139
<Fig.5.31.> 도시차원의 녹지계획(비오톱 조성) ····· 139
<Fig.5.32.> 도시 내 차량동선 ····· 140
<Fig.5.33.> 도시 내 대중교통시스템 ····· 140
<Fig.5.34.> 도시의 자전거 동선 개념도 ····· 140
<Fig.5.35.> 도시 내 자전거 전용도로 ····· 140

<Fig.5.36.> 도시의 보행자동선 개념도 ····· 141
<Fig.5.37.> 도시 내 보행자 전용도로 ····· 141
<Fig.5.38.> 도시 내 에너지절약계획 적용 주거시설 ····· 142
<Fig.5.39.> 주거시설 에너지절약계획 ····· 142
<Fig.5.40.> 주거시설 태양열시스템 배치 ····· 143
<Fig.5.41.> 주거시설 태양열시스템 설치위치 ····· 143
<Fig.5.42.> 주거시설 태양광시스템 배치 ····· 143
<Fig.5.43.> 주거시설 태양광시스템 설치위치 ····· 143
<Fig.5.44.> 주거시설 지열시스템 배치 ····· 143
<Fig.5.45.> 주거시설 지열시스템 설치위치 ····· 143
<Fig.5.46.> 도시 내 에너지절약계획 적용 업무시설 ····· 144
<Fig.5.47.> 업무시설 에너지절약계획 ····· 144
<Fig.5.48.> 업무시설 태양광시스템 배치 ····· 144
<Fig.5.49.> 업무시설 태양광시스템 설치위치 ····· 144
<Fig.5.50.> 업무시설 지열시스템 배치 ····· 145
<Fig.5.51.> 업무시설 지열시스템 설치 ····· 145
<Fig.5.52.> 도시 내 에너지절약계획 적용 교육시설 ····· 145
<Fig.5.53.> 교육시설 에너지절약계획 ····· 145
<Fig.5.54.> 교육시설 태양광시스템 배치 ····· 146
<Fig.5.55.> 교육시설 태양광시스템 설치 위치 ····· 146
<Fig.5.56.> 교육시설 지열시스템 배치 ····· 146
<Fig.5.57.> 교육시설 지열시스템 설치위치 ····· 146
<Fig.5.58.> 제로에미션 시티 마스터플랜 ····· 147
<Fig.5.59.> 제로에미션 시티 입단면도 ····· 148
<Fig.5.60.> 제로에미션 시티 조감도 ····· 149

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 국제적으로 우리 사회가 직면한 가장 심각한 문제 중 하나는 기후변화로 인한 환경문제이다. 지난 100년간 지구 평균기온은 약 0.74℃ 상승하였으며, 매년 기상이변과 자연재해가 심화됨에 따라 세계는 심각한 환경위기에 처해있다.

세계기상기구(WMO)와 국제연합환경계획(UNEP)에서는 CO_2 배출 증가로 인한 지구온난화가 기후변화의 주요 원인이라고 공식 선언하였으며, 국제에너지기구(International Energy Agency :IEA)[1]에 따르면 CO_2 배출량의 83%가 화석연료 사용으로 인한 에너지 소비에 기인하고 있다고 밝혔다.

이에 따라 환경 문제를 해결하기 위하여 세계 주요 국가들은 1992년 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)를 체결하고, 에너지 소비 저감을 바탕으로 한 CO_2 배출 저감 대책을 마련하고 있다.

우리나라의 경우, 그동안 급격한 경제성장을 통한 산업화로 인해 에너지 고소비형 사회로 발전해 왔고, 그 결과 1인당 연간 에너지 소비량은 최근 20년 사이 3배 가까이 증가하였다. 이에 따라 CO_2 배출량 또한 증가하였으며 현재 배출량이 세계 9위를 차지하고 있다.

따라서 우리나라도 기후변화로 인한 심각한 환경문제를 해결하기 위해 에너지 소비 저감을 통한 CO_2 배출량 감소를 위해 노력하여야 하며, 그 대안책으로 CO_2 배출을 Zero화(化)하는 'Zero Emission City' 조성방안이 적극적으로 추진되어야 한다. 왜냐하면 세계 에너지 소비의 70% 이상이

1) IEA, CO_2 Emissions From Fuel Combustion : IEA Statistics, 2009, pp.8

전체 인구의 절반이 살고 있는 도시에서 소비되고 있는데[2], 우리나라는 도시화율이 90.8%로 매우 높기에 도시에서의 에너지 소비량 또한 매우 높을 것으로 예상된다. 그러므로 도시적 차원에서의 접근을 통해 화석에너지 의존형 도시구조에서 CO_2 를 배출하지 않는 신재생에너지를 적극적으로 이용한 도시구조로 전환될 필요가 있다.

제로에미션 시티를 구현하기 위해서는 기존 도시계획과는 달리 에너지 저감을 극대화하는 토지이용 및 건축물 계획 중심의 설계가 이루어져야 한다. 서울시의 자료에 따르면 도시 에너지 소비량의 60%가 건축물에서 소비되고 있으며, 그 에너지 소비량 또한 매년 증가하고 있는 실정이다.

그렇기 때문에 화석연료가 아닌 신재생에너지를 통한 에너지 공급을 계획하여야 하며, 교통 계획 및 자원절약을 위한 폐기물 활용 계획과 불가피 하게 발생하는 CO_2 배출을 흡수하기 위한 녹지계획 등에 이르기까지 도시를 구성하는 다양한 분야를 충분히 고려해야 한다.

따라서 본 연구는 건물에너지에 초점을 맞추어 제로에미션 시티를 위한 구상방안을 제시하고, 실제 대상지에 구체적인 성능을 적용하여 정량적으로 평가하며, 이를 토대로 적용계획안을 도출하고자 한다.

제로에미션 시티의 적용 계획안 도출을 위해 먼저, 제로에미션 시티 모델의 기본방향 및 프로세스를 정립하고, 조성을 위한 계획기법을 제시하였다. 그리고 제로에미션 시티의 구축을 위해 실제 대상지에 적용하여 도시의 에너지 수요특성에 따른 에너지 절약안을 계획하고 에너지성능평가 및 환경평가를 실시하였다. 또한 도시의 신재생에너지원에 대한 적용가능성을 평가한 후 신재생에너지 적용안을 건축적 차원과 도시적 차원에서 계획하고 평가함으로써 정략적 계획을 바탕으로 제로에미션 시티 적용 계획안을 도출하였다.

---

2) IPCC, Climate Change 2007:Synthesis Report, 2007.11, pp30

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 제로에미션 시티 모델을 구축하고 실제 대상지에 적용하여, 에너지 성능평가와 환경성능평가를 통해 정략적 변화를 분석하였다. 그리고 이를 바탕으로 제로에미션 시티 적용계획안을 도출하였다.

본 연구의 내용 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 제로에미션 시티에 관한 이론적 고찰

제로에미션 시티에 대한 개념 및 범위를 정립한다. 또한 제로에미션 시티 모델 구축을 위한 국외 및 국내 사례조사를 통한 현황분석 및 제로에미션 시티의 조성방안을 고찰한다.

(2) 제로에미션 시티 구축

제로에미션 시티의 전략방안을 제시하고 각 전략방안을 실천하기 위해 도시 분야별로 목적에 따른 계획지표 설정한다. 도시 단위의 적용을 위한 계획지표의 세부계획기법을 조사한다. 그리고 제로에미션 시티 구축을 위한 프로세스를 제시한다.

(3) 제로에미션 시티 적용

제로에미션 시티를 위한 기본 계획단계로서 도시의 입지 현황분석을 통해 대상지의 토지이용계획을 수립한다. 도시의 에너지 수요 특성 분석을 통하여 건축 계획요소를 이용한 패시브 절약계획 및 건축 설비요소를 이용한 액티브 절약계획을 수립하고 이에 대한 에너지 성능 및 환경성능을 평가한다.

그리고 도시의 에너지 수요와 신재생에너지 생산 패턴을 비교하고 신재생에너지의 정량적인 잠재성 평가를 통하여 건축적·도시적 차원에서 신재생에너지 적용 계획을 수립하고 평가한다.

(4) 제로에미션 시티 모델 마스터플랜

평가된 데이터를 통한 분야별 성능 기준을 바탕으로 제로에미션 시티의 기본안을 계획하고, 최종적으로 마스터플랜을 도출한다.

본 연구의 범위는 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 제로에미션 시티 구축을 위해 도시 경계 내에서의 물리적 활동들에 의해 발생되는 CO_2 가 제로인 도시로 연구 범위를 설정하고 도시 전반적인 분야를 조사하였다.

(2) 우리나라의 실제 개발 지구를 대상지로 선정하고, 도시의 전반적인 에너지 소비 분야 중 주요 에너지 소비 분야인 건축물에서 발생하는 CO_2 배출량에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다.

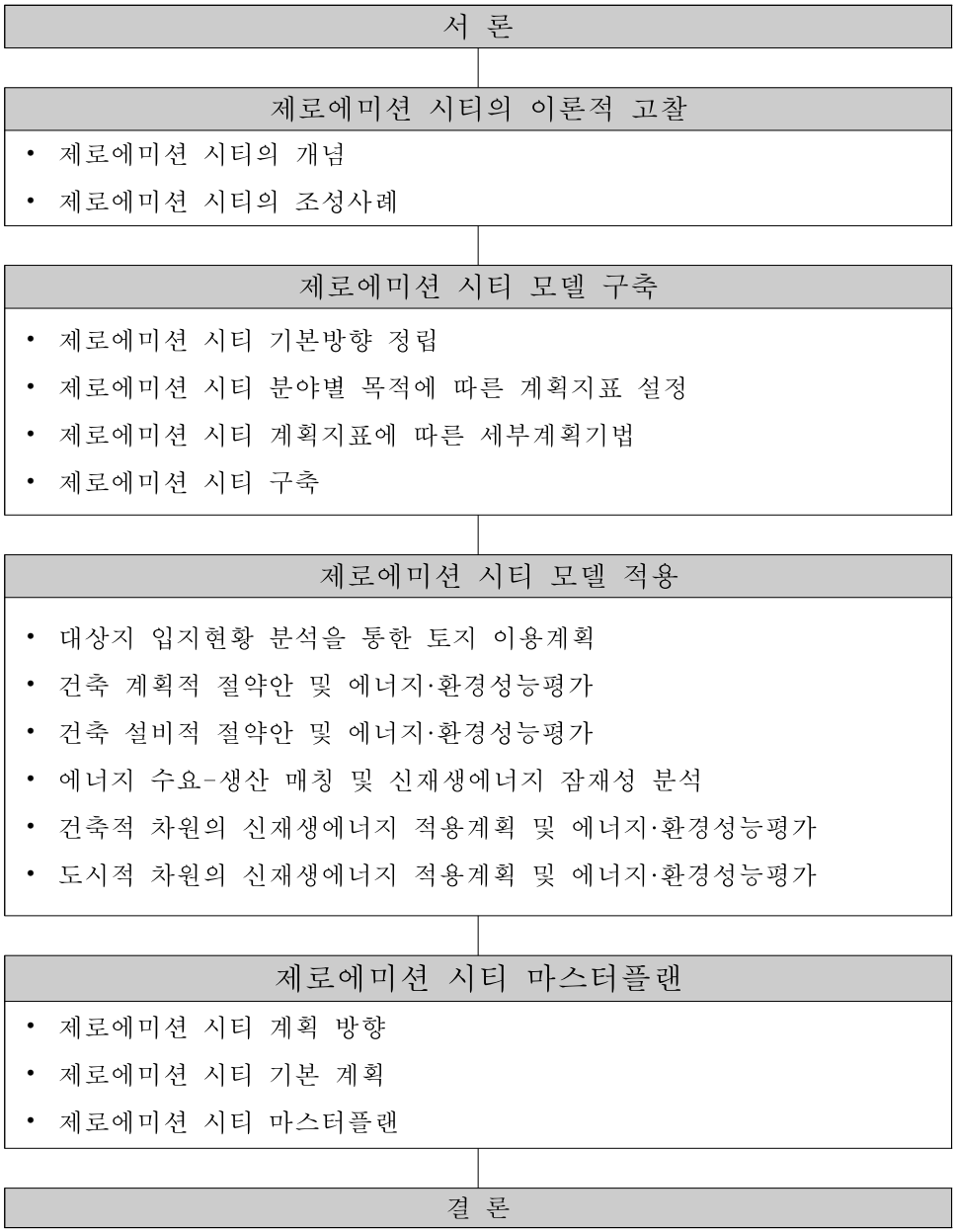
제로에미션 시티 모델의 실제 적용에 있어 범위를 한정한 이유는 다음과 같다.

우리나라는 한정적인 대지에 인구가 밀집되어 대도시를 주변으로 위성도시들이 분포하고 있는 형태이다. 이에 도시 내에서 자체적으로 모든 기능을 수행하기보다는 도시 간에 서로 긴밀한 관계를 형성하고 있으며, 입지적으로도 도시 간 구획이 명확하지 않고 서로 연결되어 있어 교통량을 추산하는 것에 어려움이 있다. 교통 분야의 경우 실질적인 적용 및 구현을 위해 사회적 동의 및 정책적 측면에서의 제도 수립이 병행되어야 한다. 폐기물분야는 폐기물 처리 및 에너지 활용에 있어 대도시를 제외하고 규모적 측면에서 시설물의 설치가 합당하지 않다. 또한 도시가 조밀하게 모여 있는 입지적 특성상 별도의 대지 확보에 어려움이 있어 적용에 한계가 있다.

이에 따라 도시의 에너지 소비량 중 60%를 차지하는 건축물의 에너지 소비로 범위를 한정하였다.

본 연구의 흐름도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

<Fig.1.1.> 연구의 흐름도



제 2 장 제로에미션 시티의 이론적 고찰

2.1 제로에미션 시티의 개념

'Zero Emission'이란 오염물질 혹은 폐기물의 배출을 최소화하고 궁극적으로 '0(零, zero)'으로 만드는 프로세스를 의미하며, 일반적으로는 지구온난화의 주원인인 탄산가스(CO_2)의 방출억제를 말한다.[3] 또한 도시란 사회적 ·경제적 ·정치적 활동의 중심이 되는 장소로서 수천 이상의 인구가 집단 거주하는 지역이다.[4]

이 두 가지 개념이 합쳐진 'Zero Emission City'란 도시에 거주하는 인간의 활동으로 인한 CO_2 배출량을 '0(Zero)'으로 만드는 도시를 뜻한다. 도시에서 CO_2 배출을 주로 야기하는 건물 등에서의 에너지의 수요와 도시의 신재생에너지 생산량이 균형을 이루며, 인간의 생활에서 피할 수 없는 CO_2 배출량은 흡수체를 이용하여 물리적·자연적 요소로 흡수함으로써 탄산가스(CO_2)의 배출을 궁극적으로 '0'으로 만든다. 도시는 지리적 위치, 활동 등 CO_2 발생 영역들이 다양하기 때문에 <Fig.2.1>과 같이 이에 대한 목표범위 설정에 따라 여러 유형으로 나타난다.[5]

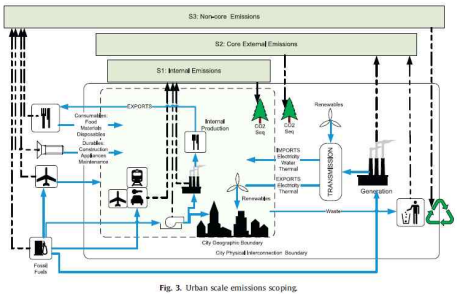


Fig. 3. Urban scale emissions scoping.

<Fig.2.1.> 제로에미션 시티의 유형

3) 두산백과 자연지리 > 지리일반
4) 강수연, Zero Emission Building의 디자인프로세스에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2007, p12,
5) Scott Kennedy, Sgouris Sgouridis, Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities, Energy Policy 39, 2011

2.2 제로에미션 시티 조성사례

본 논문에서는 제로에미션 시티를 달성하기 위해 다양한 기법들을 적용하고 있는 국내외 도시들 중 3개의 국외 사례(UAE의 마스다르, 스웨덴의 하마비 허스타드, 독일의 메세스타트 림)와 2개의 국내 사례(화성시 동탄, 평택시 소사벌)를 중심으로 조사 및 분석을 실시하였다.

2.2.1 제로에미션 시티 국외 사례

(1) 마스다르(Masdar)

가) 마스다르 개요

마스다르의 개요 및 기후조건은 <Table 2.1>, <Table 2.2>와 같다.

<Table2.1.> 마스다르 시티 개요

구 분	내 용			
위 치	UAE 아부다비 동쪽 30km 지점			
면 적	6,000,000m²			
인 구	약 50,000명			
개 발 시 기	2008년 ~ 12016년			
개 발 목 적	제로에미션 시티 조성			
토지이용계획	주 거	1,800,000m² (30 %)	대 학	360,000m² (6 %)
	상 업	720,000m² (12 %)	문화·녹지	480,000m² (8 %)
	업 무	1,440,000m² (24 %)	도시 지원	1,200,000m² (20 %)

<Table2.2.> 마스다르 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도

(단위 : 평균기온 ℃ 일사량 Wh/㎡ day 풍속 m/s 지중온도 ℃)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균기온	4,220	5,322	5,545	6,507	7,634	7,771	7,404	7,215	6,623	5,707	4,557	3,939	6,037
평균일사량	22	26	22	26	31	32	34	34	32	30	24	20	28
평균풍속	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3

마스다르의 하루 평균 기온을 살펴보면 일 년 중 절반이 30℃ 이상인 고온의 기후대이다. 일사량은 5,449Wh/㎡ 으로 우리나라의 약 3배에 달하여 태양에너지를 이용하기에 적합한 환경 조건을 가지고 있다. 풍속은 1년 내내 풍속이 3m/s를 넘기 때문에 바람이 강하지는 않지만 풍력에너지를 이용할 수 있는 최저풍속은 만족시키고 있다.

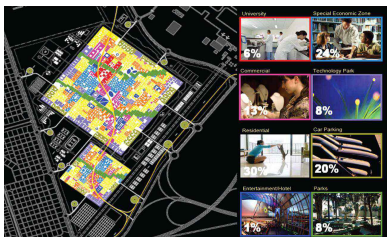
나) 도시 조성 기법

① 토지이용 부문

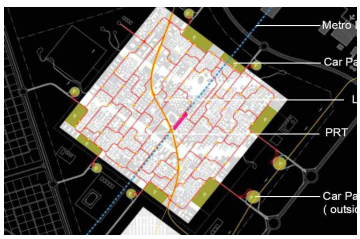
도시를 관통하는 대중교통 축을 중심으로 공공· 업무기능과 연계한 고밀 개발을 통해 도시 내 주요시설로의 접근성을 향상시키도록 계획하였으며 외곽으로 갈수록 낮은 밀도로 개발하였다.(Fig 2.2 참조) 단지 및 건물의 배치는 건물들이 좁은 골목에 밀집된 기존의 아랍양식의 도시계획을 적용해 일사 차단을 통한 냉방 에너지사용량을 절감하였다. 또한 페르시아 만에서 불어오는 바람이 도시를 통과할 수 있도록 바람축을 계획하고, 뜨거운 태양을 회피 할 수 있는 그늘 확보가 가능한 건물 배치를 통해 열섬현상을 방지하고 건물의 냉각을 도모하였다.

② 교통 부문

교통 시스템은 <Fig 2.3>과 같이 도시 중심부에서의 대중교통 이용을 활성화하기 위하여 어느 위치에서나 반경 200m 내에서 대중교통 이용이 가능하도록 대중교통 시스템을 계획하였으며, 국제공항과의 연결을 통해 광역교통체계를 구축하였다. 교통수단은 마스다르 시티 외부와 신도시 내부를 LRT[6]체계를 통해 결합하고, 내부 교통은 PRT[7], 세그웨이[8] 등 청정 대중교통수단을 이용하는 계획을 수립하였다. 도시 내 자동차 사용을 억제하기 위해 일반 자동차의 도시 내 운행을 허용하지 않으며, 도시 외부까지 차량 이용 시 도시 주변에 마련된 9층 높이의 돔 형태의 주차 빌딩을 사용하도록 계획하였다.



<Fig.2.2.> 마스다르 토지이용계획



<Fig.2.3.> 마스다르 교통 계획

6) LRT (Light Rail Transit System) : 경전철. 지하철보다 건설비가 적고, 출발지와 목적지를 직접 연결하고 환승을 최소화해서 에너지 사용을 최소화함

7) PRT (Personal Rapid transit System) : 태양광을 이용하는 자동차와 같은 시스템

8) 세그웨이 ; 태양광을 이용하는 마스다르 시티의 신개념 1인승 이동수단

③ 건축 부문

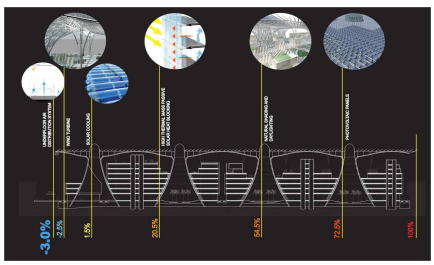
같은 규모의 도시와 비교하여 20%의 에너지만을 소비하도록 계획하는 것을 기본적인 목표로 계획하였다. 이를 위해 건물의 배치에 있어 과다한 일사열의 유입을 막도록 건물을 정남향에서 약 30°기울여서 배치하였다. 또한 빌딩정보모델기술(BIM : Building Information Modeling)을 사용하여 건물 내 에너지 사용을 제어하였으며, 단열강화, 자연채광, 자연통풍 등 패시브 기법과 고효율 설비시스템과 같은 액티브 기법을 적용하여 건물의 에너지 사용량을 저감시켰다.

④ 신재생에너지 부문

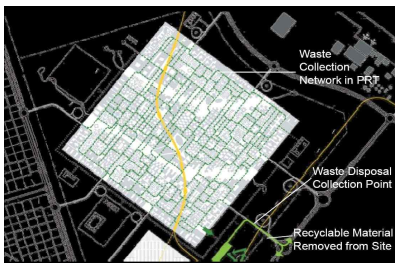
도시 에너지 수요를 태양광·지열·풍력 등 신재생에너지를 통해 100% 조달하며, 태양광 52%, 태양열 26%, 진공 집열기 14%, 폐기물 에너지 7%, 풍력 1%의 비중으로 에너지 수요를 감당하였다. 주공급 에너지원인 태양에너지를 통해 주로 전력을 생산하였으며, 건물의 전면 및 지붕에 태양광 전자판을 설치하고, 도시 주변에는 태양광발전단지를 건설하였다. 태양광 발전단지는 170MWh급의 태양전지 시설로 총 8만7,777개의 패널을 사용하였다.

⑤ 폐기물 부문

도시의 모든 폐기물을 100% 재활용하고, 순환 또는 에너지화 하는 것을 목표로 하여 폐기물 수거·분류 시스템을 통해 50%는 재활용하고, 33%는 소각하여 에너지로 활용하였다. 나머지 17%는 퇴비로 이용하였다. 또한 도시 내에서 사용되는 물의 사용량을 50% 저감하고, 사용한 물의 80% 재활용하는 것을 목표로 수자원 재활용 계획을 수립하였다.



<Fig.2.4.> 마스다르 건축물계획



<Fig.2.5.> 마스다르 폐기물시스템

(2) 하마비 허스타드(Hammarby sjostad)

가) 하마비 허스타드 개요

하마비 허스타드의 개요는 <Table 2.3>과 같다.

<Table2.3.> 하마비 허스타드 개요

구 분	내 용	
위 치	스톡홀름의 도심에서 남쪽으로 약 5km정도 떨어진 위치	
면 적	2,000,000m²	
인 구	약 25,000명	
개 발 시 기	1992년 ~ 2010년	
개 발 목 적	주택수요 충족 및 지속가능한 도시주거 모델 구축	
토지이용계획	주 거	1,080,000m²
	상 업	200,000m²
	문 화 · 녹 지	720,000m²

하마비 허스타드의 기후적 특성을 살펴보기 위해 미국 DOE[9]에서 제공하는 기후데이터를 통해 인근 도시인 스톡홀름의 자료를 이용하였으며 이는 <Table 2.4>와 같다.

<Table2.4.> 하마비 허스타드 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도

(단위 : 평균기온 ℃ 일사량 Wh/㎡ 일간풍속 m/s 지중온도 ℃)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균기온	-3	0	0	4	11	14	17	16	11	6	1	-1	6
평균일사량	353	551	818	882	834	811	756	700	679	737	553	444	677
평균풍속	4	3	4	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3

스톡홀름의 평균 기온은 연중 기온이 낮고 겨울이 긴 특성을 가지고 있기 때문에, 일사의 유입을 최대한 도모하는 토지이용 및 건축물 계획이 필요할 것으로 판단된다. 평균 일사량은 676.5 Wh/㎡로 연중 일사량이 적어 태양에너지를 신재생에너지로 이용하기에는 적합하지 않은 환경조건이며, 풍속의 경우에도 연중 풍력에너지를 이용하기 위한 최소 풍속인 3 m/s를 넘지 않는 경우가 있기 때문에 풍력에너지 사용 효율이 떨어질 것으로 예상되어 신재생에너지를 이용하기에 유리한 기후는 아니라고 판단된다.

9) http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm

나) 도시 조성 기법

① 토지이용 부문

하마비 허스타드는 <Fig 2.6>과 같이 단지 외곽에는 기존 소규모 공업시설을 유지하면서 단지 중심에는 실개천, 분수 등의 수변공간을 계획하였다. 이를 통해 도시의 쾌적성 향상과 에너지 소비를 저감시켰으며, <Fig 2.7>과 같이 수변공간주변을 주거공간으로 계획하여 자연환경에 밀접한 주거공간을 형성하여 자연친화적 주거 환경을 제공하였다.

대부분의 주동 건물의 1층 부분은 상가건물이나 오피스 등의 상업시설이나 편의시설, 학교, 도서관, 병원, 헬스센터를 조성하여 도시적 기능을 감당할 수 있는 환경을 형성하였다.

<Fig.2.6.> 하마비 토지이용도

<Fig.2.7.> 하마비 수변공간

② 교통 부문

대중교통 활성화를 위해 Tvarbanan 이라는 노면전차를 이용한 인프라 시스템을 체계적으로 구축하여 80% 이상의 통근·통행 시 교통량을 대중교통으로 분담하고 있다. 개인 차량이용을 억제하기 위해 차량 보유 기준을 2세대 당 1.5대, 주차공간에 대해서는 2가구당 1대로 제한하며 Car-sharing 등의 프로그램 또한 운영하고 있다.

교통수단의 경우 전체의 15%는 신재생에너지 교통수단을 사용하고 있으며, 자전거, 수상교통 등의 녹색교통수단 이용을 권장하고 있다.

③ 건축 부문

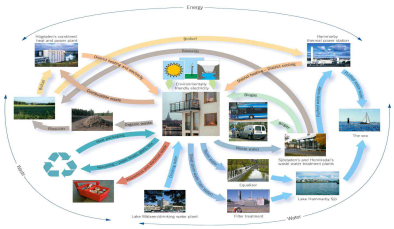
가변형 평면(Flexible Housing Plan)을 계획하고, 패시브 설계디자인 및 고효율 시스템을 이용하여 건물 부하를 저감하였다.

④ 신재생에너지 부문

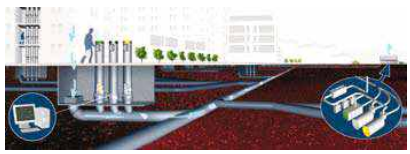
<Fig. 2.8>과 같이 자체 환경 프로그램을 개발하여 적용하고 있다. 하마비는 에너지, 쓰레기 그리고 물(폐수)을 대상으로 폐기물을 소각할 때 나오는 열에너지를 이용하여 지역난방과 전기를 생산하고, 물을 재사용하여 지역난방시스템에 활용하고 있다.

⑤ 폐기물 부문

쓰레기 배출을 최소화하고 자원의 절약, 재사용, 재활용 최대화를 목표로 하여, <Fig. 2.9.>와 같이 폐기물의 중계처리를 위한 Transfer Terminal을 설치하였다. 이 시설은 지하에 폐기물 진공 흡입관을 매설하여, 유인 송풍기에 의한 진공력이 쓰레기를 반송한 후 선별 및 압축을 통한 쓰레기 분리 역할을 수행한다. 이를 통해 폐기물이 1차적으로 사용자에 의해 분류가 되어 자동 집하되고 그것에서 그치는 것이 아니라 폐기물 소각을 통한 난방 또는 퇴비로 활용하는 등의 신재생에너지 생산 및 생태계 순환시스템으로 발전시켰다.



<Fig.2.8.> 하마비 모델



<Fig.2.9.> 하마비 Transfer Terminal

⑥ 녹지 부문

도시생태계의 활성화를 위해 수질정화습지, 호수내부습지, 수변습지 등을 조성하고 수변공간 주변에는 수생식물대를 조성하였다. 이를 보행로와 연계하여 자연보존 지역과 주거지가 연계되도록 체계적인 계획기법을 적용하여 환경 친화적인 공간을 형성하였으며, 건물의 지붕 및 옥상에 녹화를 실시하여 우수 집수를 돕고 녹지면적을 확보하는 방안도 도입하였다.

(3) 메세스타트 림 (Messestadt Riem)

가) 메세스타트 림 개요

메세스타트 림의 개요는 <Table 2.5>와 같다.

<Table2.5.> 메세스타트 림 개요

구 분	내 용			
위 치	뮌헨 시의 중심으로부터 동쪽으로 약 7km 정도 떨어진 곳			
면 적	5,560,000m²			
인 구	약 16,000명 (6,500세대)			
건 설 시 기	1991년 ~ 1998년			
개 발 목 적	친환경적이고 지속가능한 도시개발의 실현			
토지이용계획	주 거	1,100,000㎡ (19.8%)	녹 지	2,430,000㎡ (43.7%)
	산 업	650,000㎡ (11.7%)	도시 지원	1,380,000㎡ (24.8%)

메세스타트 림의 기후적 특성을 살펴보기 위해 <Table 2.6>과 같이 미국 DOE[10]에서 제공하는 뮌헨의 기후데이터를 이용하였다.

<Table2.6.> 메세스타트 림 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도

(단위 : 평균기온 ℃ 일사량 Wh/㎡ day 풍속 m/s 지중온도 ℃)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균기온	0	-2	2	7	12	14	18	17	13	9	3	0	8
평균일사량	719	830	917	902	885	813	888	844	819	735	703	647	809
평균풍속	4	2	1	1	3	6	10	13	14	13	11	8	7

메세스타트 림의 기후는 연중 온난하여 냉난방에너지의 사용량이 많지 않을 것으로 예상되며, 미기후를 잘 활용한다면 에너지절약적인 건축물 계획이 가능할 것으로 예상된다. 평균 일사량은 809 Wh/㎡로 연중 일사량이 많지 않아 태양에너지를 신재생에너지로 이용하기에는 적합하지 않은 환경조건이다. 또한 풍속의 경우도 연중 풍력에너지의 경우 7~11월의 경우 평균 10m/s가 넘어 풍력에너지를 이용하기 좋은 환경이나 2~4월의 경우 풍력에너지를 이용하기 위한 최소 풍속인 평균 풍속이 3 m/s 되지 않고, 1년 동안 풍속의 차가 심해 신재생에너지로의 이용에는 좀 더 복합적인 고려가 필요할 것으로 보인다.

10) http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm

나) 도시 조성 기법

① 토지이용 부문

<Fig 2.10>은 림의 토지이용계획 이며, 토지를 효율적으로 이용할 수 있도록 기본 그리드(110m×110m)를 설정하고, 그리드 내에서 건물을 밀집시켜 최소한의 도로포장을 가능하게 하는 공간절약 계획을 수립하였다.

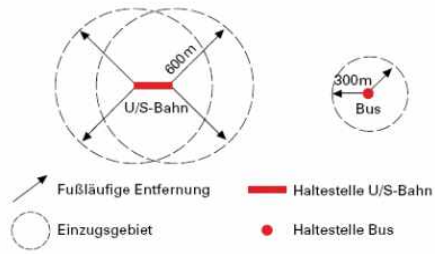
단지 배치에 있어서는 기존의 녹지 공간 보전을 바탕으로 바람길을 우선적으로 고려하였는데, 도시 내 바람길 형성을 위해 1년 동안 대상지로 불어 들어오는 바람 방향을 고려하여 대상지의 남측에서 불어 들어오는 신선한 바람을 단지 곳곳에 끌어들이기 위해 약 50m 넓이의 바람통로를 남-북 방향으로 계획하였다. 바람길을 통해 불어 들어오는 신선하고 쾌적한 바람은 비교적 밀도가 높은 단지 내에서 발생할 수 있는 열섬효과를 완화시키는 역할을 한다.

② 교통 부문

대중교통의 경우 주거단지와의 연계에 초점을 맞추었는데, <Fig 2.11>과 같이 보행거리 600m 이내에 지하철을, 300m 이내에는 버스를 이용할 수 있도록 설정하였으며, 지하철 및 버스 정류장 주변에 자전거 도로와 보행로를 조성하였다.

주차공간은 기존 주거용지의 주차공간 대비 70%만의 주차공간을 할당하여 전체적인 주차공간을 줄이고자 하였으며 주요 도로를 따라 멀티 스토리의 주차를 통해 밀집된 주차시스템을 계획하였다.

<Fig.2.10.> 림 배치계획도



<Fig.2.11.> 림 대중교통 연계범위 설정

③ 건축 부문

건축물의 배치는 <Fig 2.12>와 같이 일조를 최대한 활용하는 남향배치를 원칙으로 하였고 주거 건물은 서로의 일조를 침해하지 않도록 건물 간 40m 이상의 인동간격을 확보하였다.

건물의 평면계획에 있어 거실과 같은 주간에 활동량이 많은 공공 공간은 남향에 면하도록 하고, 이용 시간이 적고 일조에 영향이 없는 계단실과 같은 공간들은 북측에 배치하였다.

패시브 건축 기법으로는 일정 기준 이상의 단열 성능을 확보했고, 공기의 과도한 냉각과 과열을 방지하기 위해 건물의 중심에 웜룸(warm room)을 배치, 북쪽에 버퍼 룸, 남쪽에 글래스 포치(glassporch) 등의 설계 기법을 반영시켜 건물의 냉난방 에너지가 낭비되는 것을 방지하였다.

액티브 건축 기법으로는 외부의 찬 공기를 효과적으로 차단하는 설비시설을 마련하였으며, 통풍을 조절하도록 환기공조 설비를 개선하였다. 또한 고효율 설비시스템을 사용하고 라디에이터나 전기 팬의 사용은 지양하여 기기에너지의 소비량을 저감시켰다.

④ 신재생에너지 부문

신재생에너지 이용을 위하여 <Fig 2.13>과 같이 에너지센터를 설립하여 단지 내에서 발생하는 음식물 쓰레기를 이용하여 바이오 가스 에너지를 생산하였다. 또한 태양열 에너지를 이용하여 겨울에 필요한 열에너지 및 난방 에너지를 공급하였다.

<Fig.2.12.> 림 에너지 절약 건축물

<Fig.2.13.> 림 에너지 센터

⑤ 폐기물 부문

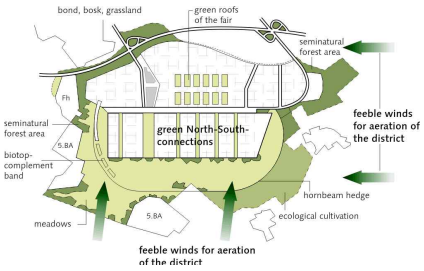
림 신도시 폐기물 분야의 기본 목표는 폐기물 발생방지와 폐기물 재이용을 통한 총 폐기물의 양을 줄이는 것이다. 이를 위해 <Fig 2.14>와 같이 신규 개발은 가급적 제한하고 가능한 한 기존의 것을 수리해서 활용하는 잠재력을 극대화하는 방안을 택하는 실천 전략을 세웠다.

폐기물을 재활용하기 위해서, 신도시 건설 시 배출 된 건설폐기물을 지하차도의 또는 방음벽의 재료로 이용하였다. 시공 이후에도 3개의 분리시스템으로 이뤄진 쓰레기 수거함을 설치하였고, 1,000명당 1개, 주거지로부터 200m 범위 내에 설치하여 접근이 용이하게 계획하였다. 유기성 폐기물의 경우 퇴비로 만들기 위한 시설을 도시 동쪽에 확보하고, 이를 이용한 바이오 가스 에너지를 생산하였다.

⑥ 녹지 부문

림 신도시는 <Fig 2.15>와 같이 전체 개발면적의 약 50%를 숲과 식재 등의 녹지로 조성하였다. 개발부지의 동서방향으로 40m폭의 녹지 공원을 조성하고 도시경계를 따라 북쪽과 남쪽에 110-145m 폭의 녹지지역을 조성하였다. 주거시설의 경우 단지 곳곳에는 고루 녹지 구역을 분배하였으며, 건물의 지붕에는 옥상녹화를 실시하도록 하였다. 또한 개인주거내에는 1인당 15㎡의 오픈스페이스와 공용공간에 1인당 10㎡의 오픈스페이스를 확보하였다.

<Fig.2.14.> 림 폐기물 발생방지 전략



<Fig.2.15.> 림 폐기물 발생방지 전략

2.2.2 제로에미션 시티 국내 사례

(1) 화성시 동탄(2)

가) 화성시 동탄(2) 개요

화성시 동탄(2)의 개요는 <Table 2.7>과 같다.

<Table2.7.> 화성 동탄(2) 개요

구 분	내 용			
위 치	경기도 화성시 석우동 일대			
면 적	24,014,896 ㎡			
인 구	약 278,534명 (111,413세대)			
건 설 시 기	2008.07~2015.02			
개 발 목 적	수도권 주거 안정을 위한 주택건설용지 확보 및 자족도시 건설			
토지이용계획	주 거	7,273,393㎡ (30.3%)	녹 지	7,729,307㎡ (32.2%)
	상업 ·업무	1,412,353㎡ (5.9%)	도시 지원	1,218,237㎡ (5.1%)
	공공 시설	6,381,606㎡ (26.5%)		

화성시 동탄(2)의 기후적 특성을 살펴보기 위해 일사량은 한국에너지기술연구원[11]에서 제공한 대상지 인근의 서울 지역 일사량을 적용하였으며, 기온 및 풍속은 기상청에서 제공한 인근의 수원시 자료를 이용하였으며 <Table 2.8>과 같다.

<Table2.8.> 화성 동탄(2) 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도

(단위 : 평균기온 ℃ 일사량 ㎉/㎡ day 풍속 m/s 지중온도 ℃)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균기온	-3	0	5	12	17	22	25	26	21	14	7	0	12
평균일사량	1,989	2,766	3,502	4,391	4,671	4,329	3,282	3,553	3,534	3,038	2,029	1,715	3,233
평균풍속	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2

화성시 동탄(2)의 경우 평균기온을 살펴보면 대상지의 평균 기온을 살펴보았을 때 여름이 덥고 겨울이 추워 여름철에는 일사를 차단하여 냉방부하를 경감하고, 겨울철에는 일사를 유입하여 난방효과를 향상시키는 토지이용 및 건축물 계획이 필요하다. 일사량은 평균 2,780kcal/㎡ 으로 태양열 시스템을 이용하기 위한 최소 일사량인 800Wh/m²day을 넘기에 이용이 가능하며, 풍속의 경우, 1년 내내 풍력에너지 시동 최소 풍속인 3m/s를 넘지 못하기에 이용이 불가능하다.

11) 산업자원부, 한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구, 2006

나) 도시 조성 기법

① 토지이용 부문

도시 골격구조의 기본개념은 <Fig 2.16>의 대중교통을 중심으로 하는 동서-남북 간의 환상형 도시골격 구축이다. 생활권은 TOD 개념의 배후 생활권 형성을 위해 역세권과 연계된 커뮤니티 회랑을 형성하였으며, 대상지 우측 무봉산과 좌측 반석산을 연결하는 광역녹지축 보전 및 거점녹지(중앙공원, 하천, 골프장)의 유기적 연계를 위한 Green Matrix 형성하였다. 주거용지는 수송에너지와 기반시설 등의 효율성을 위해 중·저밀도로 계획되었다.

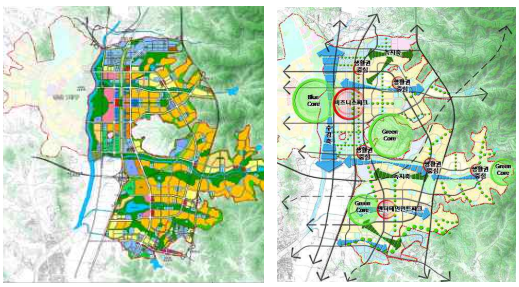
토지를 집약적으로 이용하기 위해 환경기초시설(소각시설, 하수종말처리장 등)과 집단에너지 시설의 통합·집적화를 계획하였다.

단지 배치에 있어서는 건물의 향이 정남향이 되고, 단지가 가급적 남북측으로 형성되도록 계획하였다.

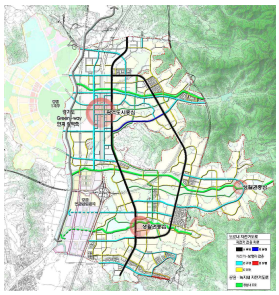
② 교통 부문

도시전체를 순환할 수 있는 녹색교통망을 구축하여 도시중심시설과 연계함으로써 녹색교통 이용의 극대화를 도모하였다. 도시를 순환하는 공원축 내에 차도와 분리된 안전한 녹도 교통축을 형성함으로서 생활권을 연결하는 녹도 네트워크를 구축하였으며, <Fig 2.17>과 같이 자전거 이용자를 위한 편의시설을 계획하여 공공자전거보관소를 설치하였다.

또한 대중교통 활성화를 위해 광역급행철도, 광역버스 등을 계획하였으며, 계획 시 주변 철도역과 연계버스 노선을 신설하고, 광역 복합환승센터를 계획하여 대중교통을 이용한 주변도시로의 이동을 원활히 하였다.



<Fig.2.16.> 동탄2 토지이용(左) 공간구조(右)



<Fig.2.17.> 동탄2 자전거도로망구상도

③ 건축물 부문

동탄(2)의 건축물은 <Fig 2.18>과 같이 에너지 효율향상을 위해 계획부분은 건축계획상에서 에너지의 효율을 높이는 것으로 단열강화, 창호 단열강화 등 냉난방 에너지를 저감할 수 있다. 기계부분에서는 냉난방 설비 및 기기의 효율을 높이는 방안을 검토하였으며, 전기부분에서는 고효율 전기 기기를 사용하여 전력의 사용량을 저감시키는 방식으로 에너지 사용량을 저감하였다.

④ 신재생 부문

에너지 공급계획은 에너지 수요예측을 기반으로 단독주택은 세대당 6㎡, 공동주택은 세대당 0.2kW의 태양열 급탕 시스템을 계획하고, 문화복합용지, 공공업무시설, 학교, 사회복지시설, 커뮤니티센터에서는 연간 급탕부하의 50%를 태양열 급탕시스템이 담당하도록 계획하였다. 단독주택은 세대당 2kW의 태양광시스템을, 경찰서, 소방서, 주민자치센터는 각각 연간 전력부하의 2.5%, 도서관, 복합문화시설, 복지시설은 연간 전력부하의 1.5%를 태양광 발전시스템이 담당하도록 계획하였으며, 지열이용 냉난방 시스템도 건물에 따라 적용하도록 계획하였다.

⑤ 녹지 부문

열섬예방을 위해 연간 주풍향과 여름철 주풍향을 고려하여 도시열환경 관리방안으로 단지차원의 바람통로 및 열환경 관리방안을 계획하였다. 또한 <Fig 2.19>와 같이 단지 차원에서의 비오톱을 계획하였다.

<Fig.2.18.> 동탄2 패시브 하우스 단지

<Fig.2.19.> 동탄2 비오톱 네트워크 계획

(2) 평택 소사벌

가) 평택 소사벌 개요

평택시 소사벌의 개요는 <Table 2.9>와 같다.

<Table2.9.> 평택 소사벌 개요

구 분	내 용			
위 치	경기도 평택시 비천동, 죽백동, 동삭동 일원			
면 적	3,019,031 ㎡			
인 구	약 45,659명 (15,749세대)			
건 설 시 기	2006.08~2014.04			
개 발 목 적	신재생에너지 활용의 모범 시범도시건설			
토지이용계획	주 거	1,117,786㎡ (38.8%)	녹 지	757,434㎡(24.9%)
	상업· 업무	95,676㎡ (3.2%)	도시 지원	93,997㎡ (3.1%)
	공공 시설	911,964㎡ (30.0%)		

평택 소사벌지구의 기후적 특성을 살펴보기 위하여 대상지의 기후적 특성에 관한 자료가 부족하여 인근 도시의 자료를 이용하였다. 이에 화성 동탄(2) 신도시와 같이 일사량은 산업자원부[12]에서 제공한 대상지 인근 지역인 서울 지역의 일사량을 적용하였으며, 기온 및 풍속은 기상청에서 제공한 인근 도시인 수원시의 자료를 이용하였으며 <Table2.10>과 같다.

<Table2.10.> 평택 소사벌지구 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도

(단위 : 평균기온 ℃ 일사량 ㎉/㎡ day 풍속 m/s 지중온도 ℃)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균기온	-3	0	5	12	17	22	25	26	21	14	7	0	12
평균일사량	1,989	2,766	3,502	4,391	4,671	4,329	3,282	3,553	3,534	3,038	2,029	1,715	3,233
평균풍속	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2

평택 소사벌지구는 여름철에는 기온이 높기 때문에 적은 일사량으로 냉방부하를 경감하고, 겨울철에는 기온이 낮기 때문에 태양열을 획득하도록 하여 난방효과를 향상시키는 토지이용 및 건축물 계획이 필요하다. 일사량은 평균 3,233Wh/㎡ 으로 태양열 시스템을 이용하기 위한 최소 일사량인 800Wh/㎡을 만족하여 이용이 가능하며, 풍속의 경우, 1년 내내 풍력에너지 시동 최소 풍속인 3m/s를 넘지 못하기에 이용이 불가능하다.

12) 산업자원부, op.cit

나) 도시 조성 기법

① 토지이용 부문

토지이용계획은 <Fig 2.20>과 같고, 토지 이용에 있어 에너지의 공급을 원활히 하고 에너지 이용 효율성을 향상시키기 위하여 공공기반시설물들의 경우 동일 시설물들을 집중 배치하는 효율적 배치를 통하여 에너지 저감을 유도하였다. 또한 각 생활권 별로 주민 편익시설을 균등 배치하여 교통수요 유발을 감소시켰다.

주거지는 다른 건물 용도에 비해 남향 확보가 건물의 에너지 절약 및 신재생에너지 계획에 있어 중요하므로 우선적으로 충분한 인동간격을 고려한 대지면적을 확보하여 조성하였다.

② 교통 부문

교통 시스템의 경우 지역특성에 순응하는 자연 친화형 가로망 구성 및 생활권간 유기적인 도로체계를 확보하며, 생활권 내부의 원활한 교통접근성을 확보하여 에너지절약형 동선 체계 수립하였다. 대중교통 이용을 장려하기 위해서 <Fig 2.21>과 같이 주변 도시와 연계되며, 대중교통간 연계 이용이 편리하도록 환승 시스템을 계획하였다.

교통수단에 있어서는 녹색교통의 이용을 장려하게 위해 자전거 및 보행자 전용도로를 계획하였다. 자전거 전용도로는 차량에 의한 이용은 가급적 배제하여 교통 에너지를 저감시키기 위해 주요도로와 가로공원에 설치하여 도시 내 네트워크를 구성함으로써 지구 내 주요 시설들과 연계되도록 계획하였다. 보행자 전용도로는 초·중·고등학교와 공동주택 단지 주변으로 보행자 전용도로를 계획하였다.

<Fig.2.20.> 소사벌 토지이용계획

<Fig.2.21.> 소사벌 버스운행노선

③ 건축물 부문

건축물 배치에 있어 겨울철에는 건물이 가능한 많은 태양열을 얻도록 하여 난방부하의 감소를 유도하기 위해 가능한 남향 위주의 배치를 계획하였으며 필지의 형상 등으로 인해 현장여건상 부득이한 경우에는 정남을 기준으로 동·서로 60°의 변위를 가지도록 하였다.

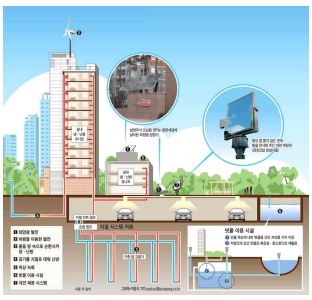
지구 남측의 공동주택지는 인접한 단도주택지에 그림자로 인하여 일조와 태양열·태양광시스템에 영향을 주지 않도록 중·저층으로 계획하였다. 반면 지구의 북측 및 배다리 저수지 동측의 공동주택지는 그림자의 영향을 고려하지 않아도 되어 고층으로 계획하였다.

④ 신재생 부문

신재생에너지는 태양열 급탕 시스템, 태양광 발전시스템, 지열 냉난방 시스템, 연료전지 시스템, 폐기물 에너지시스템 등 대지에 적용가능한 다양한 신재생에너지를 계획하다. <Fig 2.22>와 같이 다양한 건축물에 태양광, 태양열, 지열, 연료전지 등 신재생에너지시설 도입으로 단지 전체 에너지의 5% 이상을 신재생에너지로 공급하는 것을 목표로 하였다.

⑤ 녹지 부문

도시의 녹지 배치는 <Fig 2.23>과 같으며 규모에 있어 단지 중앙공원, 근린공원, 실개천 등의 다양한 연계녹지공간을 계획하여 이산화탄소 흡수량을 증가시켰다.



<Fig.2.22.> 소사벌 건축물 신재생 적용계획

<Fig.2.23.> 소사벌 녹지계획

2.2.3 소결

국내외 제로에미션 시티 사례들을 조사하였다. 마스다르 시티를 제외한 나머지 도시들의 경우 도시 개발 목적이 도시의 '0' CO_2 배출은 아니었지만 화석에너지 수요 저감을 통한 CO_2 배출 감소를 지향하고 있었다.

이러한 사례들의 공통점 및 차이점은 다음과 같다.

<Table2.11.> 제로에미션 시티 사례 비교

구 분	내 용
공통점	① 입지 분석 바탕의 토지이용계획 수립 ② 입지 분석 바탕의 신재생에너지 시스템 선정 및 도입 ③ 대중교통 및 녹색교통 활성화를 위한 교통 시스템 개발
차이점	① 개인 교통수단 이용 저감을 위한 정책적 규제 ② 신재생 교통수단 기술력 확보 ③ 도시적 차원의 신재생 에너지 단지 조성 및 공급 시스템

사례 도시들은 공통적으로 대상지의 입지 분석을 바탕으로 거시적 관점에서의 토지이용계획을 수립하고 적용 가능한 신재생에너지시스템을 선정하여 도입하였다. 또한 대중교통 및 녹색교통의 이용을 활성화를 위하여 교통수단간 네트워크를 구성하는 교통 시스템 개발을 통해 이용의 편리함을 추구하였다.

사례도시들의 차이점으로는 국외 사례의 경우 개인 교통수단 이용 저감을 위하여 도시 계획적 측면뿐만 아니라 정책적 측면에서의 규제가 동시에 이루어졌다. 또한 기술적 측면에서 다양한 신재생에너지를 이용한 대중교통수단이 개발되었다. 국내 사례도시들의 경우 신재생에너지 시스템의 적용이 건축물 내로 한정된 경향이 있었는데, 국외사례의 경우 신재생 단지를 조성하고, 에너지 공급 시스템을 구성하는 도시적 차원의 접근이 이루지기도 하였다.

제 3 장 제로에미션 시티 모델 구축

3.1 제로에미션 시티 기본 방향

2장의 국내외 사례 분석결과 기존도시의 에너지 소비구조인 화석에너지 의존형에서 CO_2 배출이 없는 제로에미션 시티로 전환하기 전략방안은 크게 2가지로 나뉘며 <Table 3.1>과 같다.

첫 번째 방안은 CO_2 배출의 주원인인 에너지 소비를 무분별하게 남용하는 것이 아니라 절약적이고 효율적으로 사용하는 에너지 저감 방안과 이를 통해 줄어든 도시의 에너지 요구량에 대해 청정에너지원인 신재생에너지로 공급하는 에너지 생산방안을 통해 CO_2 배출을 사전에 차단하는 CO_2 저감 방안이다.

두 번째 방안은 CO_2 저감 과정을 거친 후 인간의 생활을 유지하기 위해 불가피하게 발생하는 CO_2 배출량을 숲의 식목과 같은 흡수체를 이용하여 물리적·자연적 요소로 흡수하는 CO_2 흡수방안이다.

이러한 제로에미션 시티 계획 지표 및 기법을 도출하기 위해서는 도시를 세분화하였으며, 2장의 국내외 사례도시의 조성 기법을 제로에미션 시티 전략방안 및 적용범위에 따라 CO_2 저감을 위해 에너지를 저감하는 토지이용, 교통, 건축물 분야와 에너지를 생산하는 신재생에너지, 폐기물 분야와 CO_2 흡수를 위해 녹지분야로 구분하였으며, 본 연구에서 또한 도시의 제로에미션 기법을 다음 6가지 항목으로 구분하여 분석하였다.

<Table3.1.> 제로에미션 시티 모델 구축

<table>
<tr><td rowspan="2">전략
방안</td><td colspan="4">CO_2 저감
↓
에너지 절약</td><td colspan="2">에너지 생산</td><td rowspan="2">CO_2 흡수</td></tr>
<tr><td>분야</td><td>토지
이용</td><td>교통</td><td>건축물</td><td>폐기물</td><td>신재생
에너지</td><td>녹지</td></tr>
</table>

3.2 제로에미션 시티 조성방안

3.2.1 계획지표 설정

제로에미션 시티를 조성하기 위해서는 CO_2 저감과 흡수를 위한 분야별 계획지표를 파악하여야 한다. 이를 위해 2장의 국내외 사례 및 이은엽(2009)[13], 윤성식(2010)[14],유광흠(2012)[15], 국토교통부(2009)[16]의 선행연구를 참고하여 분야별 계획 목표를 수립하고, 이에 따른 계획지표를 설정하였다.

(1) 토지 이용

토지이용은 직접적인 에너지 저감이나 대체효과는 없지만, 교통부문이나 건축물부문의 에너지 소비에 간접적으로 작용하여 온실가스 배출에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 이동거리를 단축시켜 보행과 대중교통 이용의 활성화를 도모하고, 용도 간 상호관계를 고려한 합리적 계획을 통해 교통에너지 소비를 저감시키는 분산적 집중형 공간구조를 계획하여야 한다. 또한 신재생에너지 및 미기후를 활용할 수 있도록 입지조건을 고려하여 단지 및 건축물 배치를 하고 열섬현상 완화를 위한 바람길 계획을 하여야 한다. 도시에 스마트그리드 시스템을 구축하고 운영하여 도시 전체에너지의 효율적 수요관리를 수행하는 방안도 고려할 수 있다.

(2) 교통

교통체계 부문은 토지 이용 부문과 비교하였을 때 교통 시스템의 직접적인 개선과 관련된 지표들로 이루어져 있다. 자동차의 이용수요를 감축

13) 이은엽 외 4명, 저탄소 녹색성장 구현을 위한 녹색도시 조성 기법 연구, LH 토지주택연구원, 2009
14) 윤성식, 저탄소 녹색도시 계획요소에 관한 연구, 대구대 석사학위논문, 2010
15) 저탄소 에너지 절약형 신도시, 국토교통부, 2009
16) 유광흠, 도시공간개선사업의 저탄소 계획요소 적용에 관한 연구, 건축도시공간연구소, 2012

시키기 위해 도시공간구조의 교통체계를 대중교통 및 녹색교통 중심으로 수립하며, 불가피한 개인의 이동에 사용되는 자동차는 에너지원으로 에너지 효율이 높은 에너지저감형 자동차를 이용하여 에너지 소비를 저감시켜야 한다.

(3) 건축물

건축물 부문의 온실가스 감축을 위해서는 먼저, 에너지 소비를 저감시키는 방안이 있다. 이는 건축물의 용도와 형태를 고려하여 건축 설계적으로 접근하는 패시브 디자인(Passive Design)과 설비 시스템의 효율을 고려하여 건축설비적으로 접근하는 액티브 디자인(Active Design)이 효과적으로 결합하여야 가능하다. 또 다른 방안으로는 건축물의 에너지 사용효율을 향상시키는 것으로 건축물의 에너지 수요·공급 체계를 효과적으로 운영할 수 있는 시스템 구축 및 관리가 필요하다.

(4) 폐기물

폐기물이란 인간 활동의 부산물로 배출되어 폐기되는 모든 형태의 물질로서, 폐기물을 처리하는 과정에서 CO_2 및 오염물질이 발생하여 대기를 오염시킨다. 따라서 폐기물의 수거·분류 시스템을 통한 재활용, CO_2 배출이 발생하는 소각과정에서의 폐기물 에너지화, 폐기물의 매립에 있어 퇴비화 시키는 방안이 필요하다.

(5) 신재생에너지 시스템

제로에미션 시티를 위해서는 기존의 화석연료를 사용한 에너지 사용방식보다는 대체에너지의 이용을 통해 환경부하를 최소화 하는 방향으로 에너지 사용계획을 전환할 필요가 있다. 화석연료를 사용하지 않고 에너지를 생산하기 위한 기술로는 청정 에너지원인 태양, 지열, 풍력 등을 활용한 신에너지 기술과 폐기물로 활용한 신재생에너지기술이 있다.

(6) 녹지

도시 내 녹지공간은 식재를 통한 CO_2 의 흡수뿐 아니라 기후변화에 대응하여 CO_2 발생 또한 저감시킨다. 미기후 향상을 위해서는 건물, 단지 차원에서의 녹화가 도시차원에서 녹지네트워크를 구축하여야 한다. 그리고 녹지를 조성하는 식재의 경우 CO_2 흡수율을 증진시키기 위해 CO_2 정화 및 흡수율이 높은 식재를 계획하여야 한다.

제로에미션 시티를 위한 분야별 계획지표는 <Table 3.2>와 같다.

<Table3.2.> 제로에미션 시티 계획지표

분야	계획 목표	계획지표	저감	흡수	정성	정량
토지	이동거리 단축	분산적 집중형 공간구조	○		○	
	교통에너지 소비 저감		○		○	
	공용시설 효율적 이용					
	미기후 향상을 통한 에너지 소비 저감	입지조건 고려한 단지 건축물 배치	○		○	
	신재생에너지 이용					
	열섬효과 완화	바람길 구축	○		○	
	에너지 효율 향상	시스템 관리	○		○	
교통	자동차 이용수요 감축	대중교통 이용 활성화	○			○
		청정교통 이용활성화	○			○
	에너지 소비 저감	에너지 저감형 교통수단 도입	○			○
건축물	에너지 소비 저감	패시브 디자인	○			○
		액티브 디자인	○			○
	에너지 효율 향상	시스템 관리	○		○	
폐기물	대기오염 저감을 위한 폐기물소각 억제	폐기물 발생량 저감	○			○
		폐기물 재활용	○			○
신재생	에너지 생산	태양에너지	○			○
		풍력에너지	○			
		지열에너지	○			○
		바이오 에너지	○			○
녹지	미기후 향상 CO_2 흡수	건물 녹화	○	○	○	
		단지 녹화	○	○	○	
	순환적 신진대사를 통한 냉난방에너지 감소	녹지 네트워크 구축	○	○	○	
	CO_2 흡수율 증진	CO_2 정화/흡수 수목 식재 계획		○		○

3.2.2 계획지표에 따른 세부계획기법

제로에미션 시티를 조성하기 위한 도시 분야별 계획지표는 여러 개의 세부 계획기법을 포함하고 있는 개념이다. 대부분의 경우 실제적인 CO_2 저감·흡수 메커니즘은 세부계획기법 차원에서 작용한다.

따라서 토지이용, 교통, 건축물, 신재생에너지, 폐기물, 녹지 분야별로 각 계획지표들에 대하여 구체적으로 실행하기 위한 계획기법을 특성과 도시 적용 시 계획기준, 적용방법으로 나누어 살펴보았다.

(1) 토지이용

초기 도시 계획 시 고려되는 토지이용분야의 공간 구획 및 토지이용설정을 위한 계획기법은 <Table 3.3>과 같다.

<Table3.3.> 토지이용분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법

분야	계획지표	계획기법
토지	분산적 집중형 공간구조	도시기반시설의 위계별 적정접근거리유지
		다양한 유형의 복합용도 개발
	입지조건 고려한 단지 및 건축물 배치	기후조건 고려 (일사 일조 계절별 주풍향)
		자연지형 고려 (경사도 표고)
	바람길 구축	바람길을 고려한 녹지축 형성
	시스템 관리	스마트 그리드 시스템 도입

가) 분산적 집중형 공간구조

① 개요

도시기반시설 계획 시 위계별 근접거리 설정을 통해 시설의 규모별로 효율적인 접근 및 이용이 가능하도록 계획한다.

또한 에너지 효율이 높은 토지이용을 유도하기 위해, 토지의 물리적 효용성과 공간적 기능에 따라 그 토지가 가장 유효하게 사용되도록 상호보완적인 기능들이 유기적으로 연계된 고밀의 복합용도개발 계획의 수립이 필요하다.

② 계획기준

도시기반시설과 근린시설로부터 주거지까지 적정 접근거리 설정 시 대중교통 및 자전거나 보행점 조성을 고려하여 적정 접근거리가 설정되어야 한다.

생활단위별로 주거, 상업, 산업, 공공지역 등의 복합용도 수요를 분석하여 복합용도 개발 유형을 설정한다.

③ 적용방법

도시기반시설의 위계는 크게 근린권, 지구권, 지역권, 도시권으로 분류할 수 있다. 초등학교, 의원, 소규모 단일상가 등의 시설물은 근린권에 속하며 주거지로부터 반경 150~500m내에 계획한다. 우체국, 커뮤니티센터, 중규모 상가시설 등은 지구권에 속하는 시설물 유형으로써 400~1000m 내에 계획한다. 도서관, 일반병원, 스포츠센터 등의 지역권은 반경 2~6km 이내에, 시청, 경기장, 영화관 등 도시권에 속하는 시설물 유형은 반경 4~10km 이내에 계획한다.

경전철, 버스 등과 같은 대중교통수단의 결절점을 중심으로 근린주구시설의 적정 근접거리 계획을 수립한다.

지하철이나 전철역으로부터 보행 또는 자전거 통행거리 내 상업지 및 교통중심지 계획을 수립한다.

생활권의 규모 및 위계에 따라 다양한 유형의 복합용도를 유도한다. 예를 들어 필지별로는 한 건물 내 주거와 기타 기능이 층별로 중첩되도록 건물 내 복합을 계획하고, 필지 내에서는 주거와 기타기능이 건축적으로 연접하도록 복합 건축군을 계획하며, 블록 내에는 근린규모에서 주거와 기타기능이 연계성을 갖는 배치가 되도록 계획한다.

지구 내에서는 근린주구 내에 기능간의 연계성(지구규모의 직주근접)을 갖도록 계획하며 지역 내에서는 주거군을 구성하는 한편 300m이내에 기타기능이 입지하여 주거와 연계관계를 이루도록 도시계획상의 직주근접을 계획한다.

나) 입지조건을 고려한 단지 및 건축물 배치

① 개요

대상지의 자연조건이나 기후를 고려한 단지 및 건축물 배치는 냉난방 에너지 저감에 큰 영향을 미치기 때문에 일사, 일조, 계절별 주풍향, 미기후 등의 기후조건과 표고·경사도, 수계 및 하천 등의 자연지형을 고려하여 단지 조성 및 건축물 배치계획을 유도한다.

② 계획기준

태양의 입사, 바람의 주요경로 등을 고려하여 여름철에는 적은 일사량으로 냉방부하를 경감하고, 겨울철에는 가능한 많은 태양열을 얻도록 하여 난방효과를 향상시키도록 단지 및 주동을 배치함으로써, 자연에너지를 이용한 친환경적인 온열환경을 조성한다.

하천, 호수, 해안 등 찬 공기가 생성될 수 있는 지역과 계절별 주풍향을 고려하여 녹지축과 오픈스페이스를 연계하여 계획한다. 여름에는 시원한 바람이 도시 내로 유입되고 덥고 오염된 공기는 원활하게 배출되어 열섬현상을 완화시킬 수 있도록 하고 겨울에는 난방에너지를 저감할 수 있도록 차가운 계절풍을 적절하게 차단하는 것이 중요하다.

③ 적용방법

주거용지를 배분할 때 남사면의 활용을 극대화하도록 토지이용계획을 수립하고, 주거단지 내 건물도 최대한 남향으로 배치하며, 동지일을 기준으로 09:00시부터 15:00시 사이에 최소 2시간의 연속 일조가 확보되는 세대수가 80% 이상이 되도록 계획한다. 또한 주변 건물의 일조권 및 환기의 통로가 확보되는 수준에서 주변건물과의 인동간격을 준수하고, 주동의 높이 및 형태를 제한한다.

차고 신선한 공기의 바람통로를 고려하여 도로 및 단지배치를 계획한다. 바람길 주변은 저층형으로 주택을 배치하고, 도시의 주풍향과 건축물의 평형 배치한다. 하지만 겨울의 북서풍은 차단할 수 있도록 마운딩이나 방품림을 조성할 수 있는 녹지계획을 수립한다.

다) 바람길 구축

① 개요

현재의 도시는 주로 콘크리트, 아스팔트 등의 재료로 덮여있고 좁은 공간에 매우 높은 밀도로 형성되어있다. 이는 결국 심각한 수준의 온실효과를 야기하고 도시민들은 편리한 생활을 영위하기 위해 점점 더 많은 화석연료를 사용하게 되는 악순환이 지금까지 계속되었다. 이에 따라 도시개발에 있어 '도시의 환기'를 가능하도록 바람길 계획이 시도되어 왔다.

② 계획기준

바람길은 원래의 대상지가 가진 특성을 최대한 고려하여 조성하도록 한다. 산, 언덕과 같은 높은 지형에서는 바람의 영향으로 사면의 습도상태가 변화하여 표고가 높아짐에 따라 온도가 감소하는 것을 고려한다.

바람길의 바람 유입과 유출구는 녹지축과 연계하여 계획하고 도시 내부에서 찬 공기 생성지역과 수공간 등을 연계시켜 도시 자체의 공기순환이 가능하도록 조성한다.

바람길 내부에 식생이 지표면에 직접 내리쬐는 일사와 지표면으로부터의 복사열을 조절하는 기능이 장애되지 않도록 고려해야 한다.

③ 적용방법

단지계획 시 주변이 찬 바람생성지역인 산과 언덕, 계곡, 하천에서 불어오는 바람의 방향, 강도 변동여부를 확인하고, 건물 배치 시 계절별 풍향(특히, 여름철 풍향)을 분석하고 녹지축과 연계하여 개발한다. 바람길 내부는 녹지와 어린이 놀이시설 등을 설치하여 찬바람 생성과 바람의 흐름에 저해가 되는 시설을 억제한다.

단지 외곽에는 바람 흐름에 방해가 되지 않도록 저층위주의 건축물을 배치하고, 블록 주거유형 등은 바람통로를 저해하거나 바람방향을 바꿀 수 있으므로 억제한다.

라) 시스템 관리 (스마트 그리드의 구축)

① 개요

스마트그리드(Smart Grid)란 전력망(Grid)에 ICT(Information & Communication Technology) 기술을 접목하여, 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환, 에너지효율을 최적화하며 새로운 부가가치를 창출하는 차세대 전력망을 말한다.

스마트그리드는 지능형 전력망에 의해 자동 송배전을 하면서 실시간 부하상태와 전력망 상태를 감시하여 신재생에너지를 이용한 분산발전의 기술을 보급하고 분산발전 시설을 전력망과 연계, 근거리 송전을 가능하게 하여 송전손실을 줄인다. 또한 통합 에너지 저장시스템을 통해 피크부하에 대응하며, 전력 공급자와 수요자 사이의 양방향 통신을 통해 전력망의 상태에 따라 수요자 측에서 유연하게 전력 사용량을 조절할 수 있다. 그러므로 수요지에 가까운 분산형 에너지 공급시스템의 가능성이 커지게 된다. 또한 에너지 생산이 불규칙한 신재생에너지원의 이용은 스마트그리드의 컨트롤 시스템을 통해 에너지 공급의 신뢰성 및 안정성을 갖추게 된다. 도시의 신재생에너지 적용은 스마트그리드의 에너지 공급관리 기술을 통해 보다 효율적으로 활용할 수 있으며, 특히 시스템 복합 적용 시 시스템별 생산 에너지의 상호보완성을 더욱 높이게 된다. 미래의 에너지 공급시스템에서신재생에너지는 지역 분배망(Local Energy Distribution Network)에 연결 된 발전단위(Generation Units)로서의 활용이 증대될 것이다.

② 적용방안

스마트그리드는 각 신재생에너지 시스템으로부터 얻은 에너지를 각 건물에서 직접 소비하고, 중앙 시스템을 통해 모자란 에너지를 공급받는다.

(2) 교통

교통 분야의 에너지를 저감하기 위한 계획기법은 <Table 3.4>와 같다.

<Table3.4.> 교통 분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법

분야	계획지표	계획기법
교통	대중교통 이용 활성화	대중교통 시스템 개발
		대중교통 전용지구 설정
	청정교통 이용활성화	자전거 전용 도로 및 네트워크 형성
		보행자 전용 도로 및 네트워크 형성
	에너지 저감형 교통수단 도입	전기 자동차 이용
		신재생에너지 기반의 대중교통수단 이용

가) 대중교통 이용 활성화

① 개요

도시공간구조를 대중교통 중심으로 구축하기 위해서는 어디에서나 대중교통의 이용이 편리하도록 대중교통 시스템을 계획하며, 필요에 따라 대중교통 전용지구를 지정한다.

② 계획기준

대중교통 체계는 도시 규모와 여건에 맞게 도입하고, 대중교통 체계 구축을 위해 환승주차장과 환승센터를 설치하여 교통수단의 원활한 환승을 도모한다.

백화점, 전문상가 등 상업시설이 집중된 신도시 중심 지구에는 대중교통 전용지구를 설치하여 쾌적하고 안전하게 접근할 수 있도록 계획한다.

③ 적용방법

대중교통 환승센터 및 정류장을 도시 공간에 맞추어 적절한 위치에 계획한다. 또한 도로 중앙에 대중교통 전용차로를 계획하고, 중앙차로와 일반차로의 경계에는 정류장 및 보행공간으로 활용 가능한 중앙분리대를 설치하여 대중교통 이용을 편리하게 계획한다.

대중교통 전용지구에서 주차 사용을 금하기 위해 주변에 주차장을 계획하여야 한다.

나) 청정교통수단 이용 활성화

① 개요

청정교통수단인 자전거와 도보의 이용을 활성화시키기 위해 도시 내 주요거점을 연계하는 네트워크를 구축하여 이용자의 편의성을 확보한다.

② 계획기준

도시지역의 주요지점과 연결된 자전거·보행자 네트워크를 형성하며, 대중교통시설과 체계적으로 연결되도록 하여 동선의 연속성을 확보한다.

안전성을 확보하기 위하여 통행량이 많은 도심지역에 차량의 진입을 제한하는 자전거·보행자 전용 공간을 계획한다.

③ 적용방법

자전거 네트워크는 출퇴근, 통학에 이용되는 간선체계와 생활권 내 각종 편의시설, 공원 등과 연계한 지선체계로 구분하여 계획한다.

간선체계는 주요 시설을 연계하기 때문에 통행량의 주된 발생지점에는 대중교통 및 환승시설과의 연속성 확보가 필요하며, 지선체계는 불필요한 토지이용이 발생되지 않도록 보행 공간과 겸용된 노선으로 설정한다.

보행자가 많고 상업, 업무시설이 밀집되어 있는 도심지역의 일정구간에 보행자 전용지구로서 몰(mall)개념을 도입한다.

다) 에너지 저감형 교통수단 도입

① 개요

개인의 이동에 사용되는 자동차의 경우 에너지와 CO_2 배출량을 저감할 수 있는 신재생 에너지 대중교통수단 혹은 전기자동차로 대체한다.

② 계획기준

도시 내의 버스정거장, 상업 및 업무시설 등에 적절하게 설치하여 이용이 용이하도록 하며, 충전소에서 필요한 전기 및 수소를 생산하기 위하여 신재생에너지를 활용할 수 있도록 에너지 계획과 연계하여 계획한다.

③ 적용방법

도시 내 적절한 위치에 충전소 및 신재생에너지 계획을 수립한다.

(3) 건축물

건축물 분야의 에너지 저감을 위하여 건축 계획적 접근인 패시브 디자인과 건축 설비적 접근인 액티브 디자인에 대한 기법과 시스템 관리 기법을 고찰하였다.

<Table3.5.> 건축물 분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법

분야	계획지표	계획기법	
건물	시스템 관리	건물 에너지 관리 시스템 (BEMS) 도입	
	패시브 디자인	단열성능 조절	환기 조절
		기밀성능 조절	차양 및 광선반 설치
		창면적비 조절	SHGC 조절
		향 조절	VLT 조절
		SF비 조절	실의 크기 조절
		연면적 조절	발코니 형식 선택
		창호 열관류율 조절	세대 조합 조절
		층고 조절	평형 조절
		장단변비 조절	
	액티브 디자인	고효율 공조 시스템 도입	
		고효율 열원 시스템 도입	

가) 시스템 관리

① 개요

BEMS란 Building Energy Management System의 약자로 건물 환경 에너지 관리시스템으로서 건물의 쾌적성, 기능적 환경을 유지 개선하기 위한 시스템이다.

건물에너지관리시스템(BEMS)의 건물 내 설비 시스템의 상태 감시와 자동제어를 수행하며, 에너지 사용량 정보에 대한 평가과정을 통해 건물 에너지의 효율적 사용 및 절약을 통해 시설 관리의 최적화를 도모한다. 또한 건물에서 사용되고 있는 에너지의 실태와 저감 효과 등을 확인할 수 있고 이러한 정보를 입주자들에게 제공함으로서 에너지 절약에 대한 심리적인 자극을 부여할 수 있어 에너지 절약을 유도한다.

② 고려사항

BEMS를 통한 건물 에너지 관리로 운영단계에서 에너지 절약이 최적화 될 수 있도록 꾸준한 모니터링을 수행한다.

나) 패시브 디자인

건축물의 패시브 디자인 기법은 규모, 형태, 배치, 평입단면 및 부위별 계획에 따른 계획 요소들을 적절히 조절하는 방식이다. 패시브 계획요소들의 성능 조절에 따라 에너지 소비가 변화하기에 각 계획요소들이 건축물의 에너지 소비에 영향을 미치는 특성 및 성능범위를 고찰하였다.

(가) 향

① 개요

건물의 배치의 방향은 건물이 받을 수 있는 일사량을 변화시키므로, 냉난방부하에 영향을 미치게 된다. 여름철의 태양은 고도가 높기 때문에 상대적으로 남측의 실내로는 태양 입사량이 적은 반면 동서측의 고도는 낮아서 냉방부하가 커질 수 있다. 반면 겨울철은 태양고도가 낮아서 입사량이 많아져 남측의 난방부하를 줄여준다.

② 성능범위

건물의 향은 180° 전 방향이 가능하지만 건물의 입지 및 다른 건물과의 관계를 고려하여 계획하여야 하며, 건물의 용도에 따라 주로 소비되는 에너지원을 고려하여 적절한 향을 계획하는 것이 필요하다.

(나) 장단변비

① 개요

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.

② 성능범위

장단변비는 제약사항이 있는 것은 아니지만 1:1 - 1:2가 일반적[17]이다.

17) 김원석, 김삼열, 사무소 건물 평면의 장단변비 변화에 따른 에너지 소비 패턴에 관한 연구, 건축도시연구정보센터, 2010

(다) 연면적

① 개요

연면적은 건물의 규모를 규정짓는 변수로서 건물의 규모에 따라 열성능과 에너지 소비량이 달라진다.

② 성능범위

연면적은 건축물의 용도에 따라 서로 다른 범위를 가지고 있으며 각 용도별 연면적도 그 범위가 매우 넓어 한정하기 어렵다.

(라) SF비

① 개요

SF비란 건물의 바닥면적에 대한 건물의 외피면적의 비를 나타내는 수치로서 같은 규모의 건물이라도 건물의 층수에 따라서 건물의 외피면적이 변하기 때문에 획득되는 일사량과 열손실량은 달라진다.

② 성능범위

SF비를 파악해본 결과 층수 및 바닥면적에 따라 변화가 있으며 SF비 또한 범위를 한정하기에는 한계가 있다.

(마) 층고

① 개요

층고는 외표면 면적과 에너지 소비하는 냉난방 공간의 체적에 영향을 미치는 요소이므로, 층고가 높아지면 외표면의 면적이 증가하고, 냉난방 공간의 체적도 증가하여 건물에서의 냉난방부하를 증가시킨다.

② 성능범위

현행 건축법의 최소기준을 살펴보면 사무소건물은 2.7m이며, 사례조사를 통해 층고의 범위를 분석해본 결과, 최대 층고는 4.8m로 나타났다.[18]

18) 지식경제부, 기후변화대응을 위한 건물 에너지효율등급 표시제도 개발 연구(1차년도 보고서), 2009

(바) 단열성능

① 개요

단열은 에너지 흐름을 방해하는 능력으로 외피의 단열은 겨울철 실내, 외의 온도 차이로 인한 실내의 열손실의 차단에 매우 효과적이며, 여름철의 경우 실내 온도 유지에 효과적이다.

② 성능범위

단열 성능은 법규 상 건축물의 용도에 따라 최소기준이 조금씩 다르다.

공동주택은 현행 건축법[19]의 벽체 현행단열 최소기준은 중부지역의 경우 0.27W/m²K이며, 학교[20]는 0.36W/m²K이다. 최대 성능은 유럽 저에너지 공동주택 프로젝트를 살펴보았을 때 0.08W/m²K이다. 사무소건물의 경우 커튼월로 인한 철재부위의 고려가 필요[21]하며 이를 고려한 최저 열관류율은 2.48W/m²K[22]이며 최대 열관류율[23]은 0.24W/m²K이다.

(사) 기밀성능

① 개요

건물의 기밀성이란 건물과 외기 사이에서 유·출입되는 공기를 차단하는 정도를 말하며,[24] 기밀성의 변화는 난방 및 냉방에너지 소비에 큰 영향을 미친다.

② 성능범위

시공기술의 발달로 기밀성능이 지속적으로 증가[25]하여 현재의 기술력으로 침기율은 0.1ACH 까지 가능하며, 학교의 경우 기밀성능에 대하여 초등학교 건물에서 블로우 테스트를 한 결과[26] 0.7로 규정하고 있다.

---

19) 건축물 에너지절약 설계기준 (2013년 9월 개정)
20) 건설교통부령 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙' (2010년 개정)
21) 구소영 외, 열교를 고려한 커튼월 벽체부의 열성능 평가에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 논문집 2권 4호, 2008
22) 김승철 외, 열교부위를 고려한 커튼월 구조 사무소 건물의 열성능 해석, 한국태양에너지학회 학술대회논문집 2010
23) 지식경제부, op.cit.
24) 이봉, 제로카본 제로에너지 건축기술의 이해, 대한건축학회, p58
25) 박유원, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설정조건의 영향, 설비공학논문집 제 17권 제 8호, 2005, pp722-728

(아) 창호 열관류율

① 개요

창호의 종류에 따른 열관류율 값은 일사유입 및 외기유입을 통한 열획득/열손실 을 결정하게 되며, 상대적으로 단열성능이 취약한 창의 열관류율은 건물의 에너지 성능에 많은 영향을 미친다.

② 성능범위

현행 건축법의 최소기준을 살펴보면 공동주택 창호성능 기준은 3.0W/m²K이며 국외 에너지절약 주택 제시기준의 최대 성능은 0.8W/m²K이다.

(자) 창면적비

① 개요

창면적비는 건물의 외피 면적에 대한 창면적의 비를 말하는 것으로 창면적이 커지게 되면 여름철에는 일사획득에 의한 냉방부하가 커지며, 겨울철에 받는 일사량은 증가하지만 틈새바람과 창을 통한 열손실이 커지므로 전체적인 열손실은 증가한다. 따라서 건물의 에너지 절약적 설계기법의 적용에 있어 창의 크기와 형태, 위치의 선택은 건물 외피의 향에 따라 적용을 하여야 한다.

② 성능범위

창면적비의 경우 건물의 용도에 따라 성능범위에 조금씩 차이가 있다. 주거용 건물의 창면적비는 다른 용도의 건물과 달리 창면적비가 거의 일정[27]하며 일반적으로 공동주택의 창면적비는 전/후면 약 60%와 40%[28] 정도를 차지하고 있다. 반면 사무소는 20.4%에서 83.4%[29]까지 고루 분포되어 있으며, 학교는 지면으로부터 80cm에 위치해야 하는 특성에 따라 30%에서 50%까지 분포되어 있다.[30]

---

26) 한국교육개발원, 제로에너지 생태학교 모형 개발 연구(2), 한국교육개발원, 2009
27) 김지현, 국내 공동주택의 난방부하 저감을 위한 외피성능, 연세대 석사학위논문, 2007
28) 문선혜, 도심구역 에너지계획단계에서의 에너지 수요예측법에 관한 연구, 서울시립대 석사학위논문, 2008
29) 유호선, 한국형 아파트의 냉난방 에너지에 미치는 제 인자의 영향, 설비공학논문집, 제14권 제 11호, 2002

(차) 일사획득계수 (SHGC)

① 개요

일사획득계수(SHGC :Solar Heat Gain Coefficient)는 창을 통과하기 전의 일사량에 대한 창을 통과하고 난 뒤의 획득열량의 비로 냉방과 난방에너지에 반대되는 영향을 미치기 때문에 적정성능의 적용이 필요하다.

② 성능범위

SHGC는 일반적으로 0.2~0.6의 성능범위[31]를 가지고 있었다.

(카) 가시광선투과율 (VLT)

① 개요

가시광선투과율(Visible Light Transmission)은 가시광선이 유리창을 투과하는 비율을 백분율로 표현한 값으로 주간의 이용 빈도가 높은 건물의 경우 조명 에너지소비량에 상대적으로 많은 영향을 미친다.

② 성능범위

VLT 성능은 건축물의 용도별로 성능범위 분포가 조금씩 차이를 보였는데 사무소 건물의 VLT는 15~70%[32]의 투과율 범위를 보이고 있었으며, 학교의 경우 35~85%[33]의 투과율 범위를 보이고 있었다.

(타) 자연채광

① 개요

자연채광을 통해 태양광을 실내로 유입하여 시환경은 쾌적성을 유지하면서 조명 사용 전력을 절약할 수 있다.

② 성능범위

창 측으로부터 일정 지점마다 센서를 설치함으로써, 자연채광을 통하여 실내요구조도 이상의 조도 수준이 만족되면 조명램프의 점멸을 조절한다.

---

30) 서성모, 실험계획법을 이용한 학교건물의 Passive Design 설계에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2013

31) http://www.SunGuardGlass.com

32) 서성모, Ibid

33) 서성모, Ibid

(파) 차양 및 광선반

① 개요

차양은 건물 내의 여름철 과열을 방지하고, 겨울철 태양열을 건물 내로 끌어들이며, 광선반은 차양의 효과와 더불어 실내 깊숙이 태양열을 끌어들임으로써 실내의 균제도를 향상시킨다.

② 성능범위

기존 문헌[34][35]을 살펴본 결과 광선반의 최대 길이는 차양 1m, 외부광선반 1m, 최소길이는 내부 광선반 0.6m,로 나타났다.

(하) 환기

① 개요

환기는 외기가 유입됨으로써 실내의 공기 상태의 차이를 유발하여 실의 냉난방 부하에 영향을 주게 된다. 자연통풍을 통해서 냉난방부하를 감소시키려면, 계절별 환기모드가 설정되어, 피크 냉난방부하가 발생하지 않는 간절기에 자연통풍을 적극적으로 사용하는 것이 중요하다.

② 성능범위

자연 환기는 보통 0.1~0.7 ACH의 범위를 가진다.

34) 이혜린, 제로에미션 초등학교 건물 설계 사례 연구, 중앙대학교 석사 학위 논문, 2011
35) 한동윤, 학교건물의 친환경성 향상을 위한 건축계획에 관한 연구, 한양대학교 석사학위 논문, 2009

다) 액티브 기법

건축물에는 다양한 시스템들이 설치되어 운영되고 있기 때문에 적절한 시스템의 선정과 규모 산정 및 고효율화를 통한 에너지절약 효과가 크다.

① 개요

고효율 설비시스템은 공조 시스템과 열원 시스템으로 구분하여 계획할 수 있으며, 열원시스템은 난방기기와 냉방기기로 구분된다.

공조시스템의 경우 건물 용도별로 적절한 공조시스템을 선정한 후 일반적으로 HVAC 시스템은 설계지침에 따라 건물 용도별로 최소한의 용량으로 설계하여 과도한 에너지의 사용을 막는다.

열원시스템의 경우 보일러, 냉동기 등에 적절한 열원기기를 선정한 후 고효율 기자재를 고려함으로써 에너지 소비를 저감할 수 있다.

② 성능범위

공조시스템은 외기냉방, 외기량 취입제어, 변풍량, 배열회수 등에 따라 다양한 공조방식이 있으며, 성능범위가 달라지기에 실내 환경 조건과 실의 열특성 그리고 운전시간 등을 고려하여 선택해야 한다.

열원시스템은 난방기기의 경우 보일러 효율을 살펴보면 70~80%[36]가 일반적이며, 고효율 보일러는 최대 90%[37]의 효율을 가지는 것으로 나타났다. 냉방기기의 경우 냉동기의 성적계수 (COP : Coefficient Of Performance)가 에너지 성능에 영향을 미치며 일반적으로 사무소에서 많이 사용하는 원심식 냉동기의 COP 최대 성능은 4.6[38]을 가지는 것으로 나타났다.

학교에서 많이 이용하는 EHP의 경우 평균적으로 난방은 2.75, 냉방 3.0[39] 정도의 성적 계수를 가지며, 최대 성적계수의 경우 난방 COP 3.82, 냉방 COP 3.47[40]의 성능을 가진다.

---

36) 건축설비계획, 서승직, 2011, 일진사
37) http:/www.krb.co.kr
38) http://www.energy.co.kr/atl/view.asp?a_id=6445
39) 이혜린, op.cit
40) http:/www.mhi.co.jp/en

(4) 재생에너지 시스템

재생에너지란 햇빛, 물, 지열 등 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 우리나라는 태양광에너지, 태양열에너지, 지열에너지, 바이오에너지, 수력에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 풍력에너지 8개 분야를 지정하고 있다. 본 논문에서는 <Table 3.6>과 같이 위치 및 여건에 영향을 많이 받는 해양에너지와 수력에너지는 제외한 나머지 재생에너지 시스템에 대하여, 각 신재생에너지 시스템의 특징과 에너지 생산특성, 도시 도입 시 고려사항, 건축적 차원과 도시적 차원에서의 적용방법을 고찰하였다.

<Table3.6.> 신재생에너지 분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법

분야	계획지표	계획요소
신재생에너지	태양에너지	태양광에너지 도입
		태양열에너지 도입
	지열에너지	지열 히트펌프 도입
	풍력에너지	소형풍력발전시스템 도입
	바이오에너지	유기성폐자원 바이오에너지 도입
		목질계 바이오에너지 도입

가) 태양에너지 시스템

① 개요

태양광발전 시스템은 태양복사에너지를 전기에너지로 변환하는 발전방식으로 반도체 혹은 고분자 물질로 이루어진 태양전지가 빛을 받으면 전기를 발생하는 광기전력효과(Photovoltaic effect)를 이용하여 전력을 생산하는 기술이다. 태양전지의 최소단위는 셀이라고 하며, 이러한 셀을 패널 형태로 제작한 것을 모듈이라고 하며, 모듈 여러 장을 직병렬 부하용량에 적합하게 연결하여 설치한 것을 어레이라고 한다. 태양광시스템은 운송 시 에너지 손실율이 적어 에너지 수요-공급 거리에 영향을 적게 받는다.

에너지 변환과정은 기계적, 화학적 작용이 없으므로 시스템 구조가 단순하며 <Fig.3.1>와 같이 태양전지에서 빛을 받아 생산된 전기를 직류에서 교류로 변환하고 이를 전력 계통에 연결시키는 전력변환장치를 통해 전력으로 이용된다.

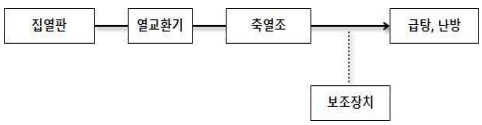
태양열 시스템은 태양복사에너지를 열에너지로 변환하여 이용하는 발전방

식으로, 태양광 시스템에 비해 운송 시 에너지 손실율이 크기 때문에 에너지 수요-공급의 거리가 짧을수록 효율이 좋다. 태양열에 의해서 얻어지는 열을 이동하는 펌프나 팬과 같은 구동장치가 없는 자연형 태양열시스템과 태양열에 의해 얻어지는 열에너지를 펌프나 팬과 과 같은 이송장치에 의해 축열부 또는 이동부로 이동하여 이용하는 설비형 태양열 시스템으로 나누어진다.

태양열 시스템은 이용되는 에너지에 따라 태양열 급탕 시스템, 태양열 난방 시스템, 태양열 냉방 시스템으로 구분된다. 태양열 급탕시스템과 태양열 난방시스템은 에너지 변환과정은 동일하나 난방시스템의 경우 축열로부터 난방부로 공급되는 것과 보조보일러와의 연결이 약간 다르다. 태양열 요구되는 집열온도가 난방이나 급탕에 비해 높아 시스템 효율이 저하되어 상용화되지는 않은 시스템이다.

에너지 변환과정은 <Fig.3.2>와 같이 집열부에서 열매체(부동액)에 태양열을 집열하면, 밀도가 낮아져 열에너지를 저장할 수 있는 축열부로 이동하여 축열조 상단부(열교환기나 이중탱크 사이)로 올라가서 온수탱크 내부의 온수를 가열한다. 축열부에 저장된 열에너지는 필요한 시간에 필요한 양만큼 태양열이 없거나 부족한 경우 보조열원장치(보일러)와 함께 이용된다.

<Fig.3.1.> 태양광에너지 시스템 개념도



<Fig.3.2.> 태양열에너지 시스템개념도

② 적용방법

· 건축적 차원

태양발전시스템은 건축물의 지붕과 입면에 위치할 수 있으며, 건물의 특성을 고려하여 설치 가능한 가용유효면적을 산정하여야 한다.

· 도시적 차원

도시적 차원에서 태양발전시스템 단지를 형성하여 에너지를 공급할 수 있다.

③ 고려사항

· 태양에너지 자원

도시의 태양에너지 시스템을 도입하기 위해서는 대상지역에 대한 태양에너지자원의 잠재량을 검토하는 것이 가장 중요하다. 도시에서의 일사량은 건물의 밀도, 규모 등 외부환경적 요인에 의해 표면에 도달하는 양의 차이가 발생하기 때문에 같은 도시 내에서라도 적용지역에 따라 시스템의 적용가능성이 달라질 수 있다.

· 음영(Shading)

태양광에너지의 경우 PV어레이는 PV모듈을 직·병렬로 연결하여 만들었기 때문에 태양광 시스템은 어레이 표면에 작은 음영이라도 전체 효율에 큰 영향을 미칠 수 있다. 음영 발생요인으로는 주변건물, 식재 등에 의한 외부요인과 배관, 굴뚝, 캐노피 등 건물에 의한 요인과 시스템 구조물에 의한 요인이 있다.

· 설치각도(Azimuth and Tilt)

일사 최대 획득량은 방위각 및 경사각에 의해 결정된다. 시스템의 방위각은 우리나라와 같은 북반구에서는 정오에 직접 일사량의 강도가 가장 크기 때문에 정남향이 가장 바람직하다. 시스템의 설치각도는 그 지역의 위도에 따라 결정되는데, 지역의 위도에 ±15°로 설치하는 것이 적합하다. 우리나라의 경우 태양광 패널은 설치각도 30°가 적합하며, 태양열 집열기 경사각은 겨울철에 많은 집열량을 확보하기 위해 온수급탕용은 35~45°, 난방용은 45~55°가 적합하다.

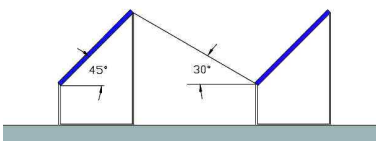
· 시스템의 이격 거리(Separation Distance)

태양에너지 시스템은 음영 발생을 억제할 수 있도록 최소 이격 거리를 확보하여 배치해야 하며 이격 거리 산정 방법은 <Fig.3.3> 와 같다.

$$d = b \times \frac{\sin(180^o - \beta - r)}{\sin r}$$

$d = PV$ 모듈 간격 $\beta = PV$ 경사각

$b = PV$ 모듈 높이 $r =$ 지역의 위도



<Fig.3.3.> 태양시스템 이격 거리

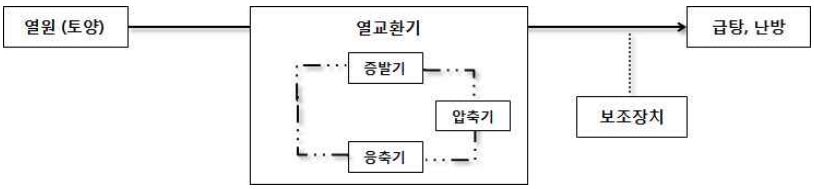
나) 지열에너지 시스템

① 개요

지열에너지란 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사 에너지나 지구내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지를 의미하며, 지표면으로부터의 깊이에 따라 150~350m 깊이에 저장된 천부지열(Shallow Geothermal)과 그 이상의 깊이에 저장된 심부지열(Deep Geothermal)로 구분된다. 일반적으로 건물 등에는 중저온의 천부지열을 이용한 냉·난방을 하거나 온수를 공급하는 지열 열펌프 시스템(Geothermal Heat Pump System)으로 가장 많이 활용되고 있다.

지열 열펌프 시스템은 특별한 에너지 변환 과정 없이 열에너지를 그대로 이용하는 방식으로, 지중열교환기(ground heat exchanger)와 열펌프로 구성된 냉난방 겸용 시스템이다. 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고, 난방 시에는 지중의 열을 실내로 공급한다.

에너지 전달 과정은 <Fig. 3.4>와 같으며, 고온·고압의 냉매는 열증기 상태로 압축기를 나와 4방 밸브를 거쳐 응축기로 들어간다. 응축기에서 고온의 증기냉매는 상대적으로 온도가 낮은 지중열교환기 순환수와 열을 교환한다. 이 과정에서 지중열교환기 순환수의 온도는 상승하고, 냉매의 형태는 기상(vapor phase)에서 액상(liquid phase)으로 변한다.



<Fig.3.4.> 지열에너지 시스템 개념도

② 고려사항

· 지중온도

연간 평균 지중온도는 지중열교환기의 크기에 영향을 미치는 인자이며, 지표면에서 최소 3m 이상 지점에서 측정하여야 한다. 우리나라의 경우, 지표면으로부터 약 200m까지의 지중온도는 연평균 13~15℃로 연중 안정적이며 지역의 큰 차이 없이 일정한 에너지를 얻을 수 있다.

· 설치 가능 면적(Applicable Installation Area)

도시에 지열시스템 적용 시, 설치면적을 확보하는 것이 가장 중요하다. 지열 시스템에서 보어홀(Borehole)의 설치간격은 설치면적 및 시스템 용량을 결정짓는 요인으로, 열교환기 간의 열간섭을 방지하기 위하여 반드시 여유간격을 두고 설치해야 한다. 기존문헌에서는 보어홀의 간격을 4m~6m로 제시하고 있다.

· 지반특성(Soil Properties)

지중과 지중 열교환기 사이의 열전도율이 큰 지반일수록 지중 열교환기 내의 열 흡수 및 소산이 효과적으로 이루어져 지열교환기의 길이도 상대적으로 짧아질 수 있다. 열전도에 있어 영향을 미치는 요인으로는 지중열교환기의 표면적(열전달 면적)과 지중 열 물성치가 있는데, 지중열 물성치는 계절, 연간 강우량, 시스템 운전에 따른 다른 주위 토양의 수분함량 변화 등과 같이 다양한 요인에 의해 영향을 받기 때문에 지중 열 물성치에 대한 정량적인 데이터 확보는 지열시스템 설계에서 매우 중요하다.[41]

③ 적용방법

· 건축적 차원

지열 시스템은 대지 지하에 매설되는 방식이기에 부지 조건 및 적용시스템에 따라 매설 형태 및 범위가 달라진다.

· 도시적 차원

도시적 차원에서 건물 대지로 사용되고 있지 않은 공지 지하에 지열시스템의 적용이 가능하다.

---

41) 심기보, 대심도 터널 내 지열시스템 적용성 검토, 한양대학교, 2010

다) 풍력에너지 시스템

① 개요

풍력발전은 바람에 의하여 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하는 에너지 변환 기술이다. 풍력발전 시스템은 <Table 3.7>과 같이 용량에 따라 분류할 수 있으며 주로 산간이나 해안 지역에 대형단지위주로 적용되었으나 최근에 분산전원으로 건축물에 활용할 수 있는 소형풍력발전 시스템의 활용이 증가하고 있다.

에너지 변환과정은 블레이드를 통과하는 바람에 의해 바람이 가지는 운동에너지의 일부를 기계적인 에너지로 추출하여 블레이드의 회전동력이 주축을 통하여 발전기의 회전자로 전달되어 전기를 생산하고, 이를 전력계통에 연결시키는 전력변환장치를 통해 전력으로 이용된다.

<Table3.7.> 풍력발전 시스템의 용량에 따른 분류

	소형풍력발전 시스템	중형풍력발전 시스템	대형풍력발전 시스템
용량	10kW 이하	10~250kW	250kW~2MW
적용 범위	주택, 농장(양수) 등에 주로 독립형으로 적용	지역 단위의 전력공급	중앙전력분배 방식의 대형풍력단지

② 고려사항

· 풍력에너지 자원(Wind Resource)

풍력발전 시스템의 적용가능성을 판단하기 위해서는 해당 지역의 풍속을 예측하여 자원의 정량적인 잠재성 평가가 필요하다. 일반적으로 기상청의 실측자료를 활용하여 예측할 수 있으며 기상청의 지역별 풍속 값은 관측소의 일정 높이(10~20m)에서 측정된 자료이므로, 시스템이 설치되는 높이에서의 실제 풍속 값과 차이가 발생할 수 있다. 따라서 기상청의 실측자료를 이용하여 높이 증가에 따른 풍속 보정을 실시하여 실제 설치 높이에 대한 풍속을 예측함하여야 한다. 또한 풍향은 풍력에너지 시스템을 건물에 배치함에 있어 중요한 조건으로 대상지역의 주풍향을 고려하여 최대의 풍속을 얻을 수 있도록 해야 한다[42)]

· 기류패턴(Air Flow Pattern)

42) 정아름, 도시특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용 방안에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2011

도시환경에서 기류패턴은 도시의 형태적 특성에 따라 다르게 나타난다. 난류가 발생하면 일정한 풍속을 얻기 어렵기 때문에 기류패턴 분석을 통해 안정적인 풍속을 얻을 수 있는 시스템의 설치 위치를 선정해야 한다. 도시는 구성건물의 밀도가 높고 식재 등의 장애물이 많으므로 난류 발생 가능성이 높은데, 도시환경에서 풍력발전시스템의 설치는 이러한 'disturbed flow zone'을 피하여 배치하여야 한다.

· 표면 거칠기(Surface Roughness)

표면 거칠기는 도시 표면의 불규칙적인 요철을 의미하며, 거칠기가 클수록 풍속의 변화가 크다. 일반적으로 도시지역이 다른 지역보다 거칠기가 커서 더 높은 높이에 시스템을 설치해야 한다. 도시의 표면 거칠기는 도시의 형태적 특성에 따라 다양하므로 일반화하기 어려운 특성이 있으므로 도시의 구성건물 밀도에 의한 도시 건물 요철도 분석이 필요하다.

· 환경문제(Noise and Visual Impact)

현재 소형풍력 발전기의 소음 수준은 일상생활에서 발생하는 주변소음의 수준이지만, 터빈의 회전속도가 빠를 경우 일정 소음이 발생할 수 있다. 또한, 시스템의 규모가 클수록 터빈 회전으로 인한 시각적 불쾌감을 느낄 수 있으므로, 소음과 시각적 효과 등의 환경문제를 고려하여 시스템의 이격 거리, 타워 높이 등을 결정하고 건축적으로 활용하는 방안을 모색하는 것이 바람직하다.

③ 적용방법

· 건축적 차원

소형풍력발전 시스템을 적용하기 위해서는 지층부보다 상대적으로 안정적인 풍속을 얻을 수 있는 건물 옥상에 설치하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

· 도시적 차원

도시적 차원에서는 소형풍력발전 시스템이 아닌 풍력발전단지로 적용이 가능하다.

라) 바이오 시스템

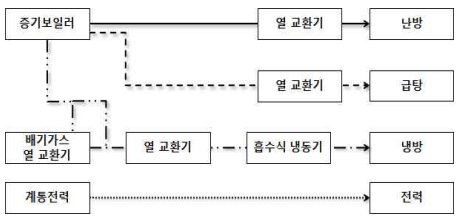
① 개요

바이오에너지란 바이오매스(biomass)를 연료를 직접 이용하거나 생화학적, 물리적 변환과정을 통해 고체, 액체, 기체연료의 형태로 변형시켜 전기·열에너지 형태로 이용하는 방식으로 음식물 쓰레기, 하수 슬러지, 축산분뇨 등 자연생명체로부터 발생하는 모든 폐기물을 이용하는 유기성폐자원 바이오에너지 시스템과 나무와 여기서 파생된 제품 및 폐기물을 이용하는 목질계 바이오매스 시스템이 있다.

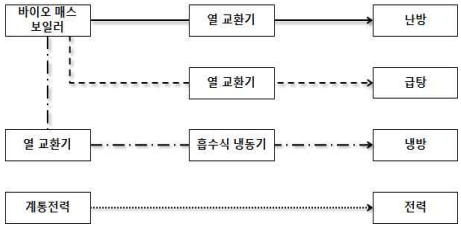
유기성폐자원 바이오에너지 시스템은 유기성폐자원을 파쇄, 혼합하여 혐기성 소화를 시켜 얻은 다량의 바이오가스(메탄성분60%이상)를 원료로 바이오에너지 시스템을 구동하여 열·전기에너지를 생산한다.

목질계 바이오매스 시스템은 목질계폐자원을 고밀화나 건조과정을 통해 가공하여 직접 연소하거나, 제 1혹은 제 2세대로 구분되는 연료 변환 기술을 사용하여 액체나 가스 상태로 변환시켜 생성된 연료를 이용하여 열·전기에너지를 생산한다.

에너지 변환과정은 <Fig 3.5>,<Fig 3.6>과 같이 연소로를 통해 생산된 고온의 연소가스가 보일러에서 증기로 변하여 터빈을 구동시키게 되고, 이때 발전기에서 전기 및 열에너지를 생산한다. 생성된 열에너지는 열교환기를 통해 난방 및 급탕에너지로 이용되며, 전기는 계통에 연결시키는 전력변환장치를 통해 전력으로 이용된다.



<Fig.3.5.> 유기성 바이오에너지 시스템 개념도



<Fig.3.6.> 목질계 바이오에너지 시스템 개념도

② 고려사항

· 바이오에너지 자원

바이오에너지 시스템을 도입하기 위해서는 바이오 연료가 공급량을 확인하는 것이 중요하다.

유기성 폐자원 바이오에너지 이용에 있어 축산분뇨, 하수 슬러지 및 매립지가스 등의 유기성 폐자원이 발생하는 농가 등에서 고려해볼 수 있으며, 인구가 많은 대도시의 경우는 음식물쓰레기를 이용한 바이오가스 플랜트를 고려해가 가능하지만 일반적인 도시 규모에 적용하기에 한계가 있는 시스템이다.

목질계 바이오매스 열병합발전시스템은 유럽의 경우 풍부한 임산자원을 통해 원료 수급이 용이한 목질계 바이오매스를 이용하는 사례가 많이 있었으나 우리나라의 경우 임산 자원과 원료 공급이 부족하며, 인프라구축의 미비로 농·임업지역 및 제지공단 등의 특정지역 외에는 충분한 바이오 연료를 공급받기 어렵기 때문에 충분한 연료공급 여부에 대한 평가가 이루어져야 한다.

· 플랜트 설치 위치

유기성 폐자원 바이오가스 열병합시스템에 공급하기 위한 바이오가스를 대량으로 공급하기 위해서는 바이오가스 플랜트가 설치되어야 하지만 혐오시설 이미지 때문에 주거단지 옆에 적용이 어렵기에 수집 및 수송이 편리하면서도 주거단지 등과 떨어진 곳에 계획하여야 한다.

③ 적용방법

· 건축적 차원

바이오 에너지는 열병합발전시스템을 적용할 수 있는 정도의 건물 규모에 이용하는 것이 적합하다.

· 도시적 차원

도시적 차원에서 바이오 에너지를 이용하기 위해서는 도시계획 단계에서 바이오에너지플랜트를 별도의 부지에 계획하는 것이 바람직하다.

(5) 폐기물

폐기물 분야의 계획지표들에 대한 세부 계획기법은 <Table 3.8>과 같다.

<Table3.8.> 폐기물분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법

분 야	계획지표	계획기법
폐기물	폐기물 재활용	폐기물 수거·분류시스템 구축
	폐기물 에너지화	음식물 쓰레기 바이오가스화
		가연성 쓰레기 바이오연료화

가) 폐기물 발생량 저감

① 개요

폐기물을 재활용을 위한 수거·분류 시스템으로서 옥내·외에 설치된 투입구에 투입하면 시속60~70km의 강력한 진공력이 쓰레기를 반송한 후 선별 및 압축하여 반출하는 역할을 수행하는 폐기물 관로시스템이 있다.

② 고려사항

투입구의 위치, 배관의 매설방법 등 설치기준에 대해 고려해야한다.

③ 적용방법

폐기물 수거·분류시스 설치 시 건물 용도를 파악한 후 용도별 쓰레기 발생량을 분석하여 지역의 여건에 맞는 시스템 설계를 진행해야 한다.

나) 폐기물 에너지화

① 개요

폐기물 에너지화는 폐기물 소각시 발생하는 CO_2 배출을 폐기물의 연료화과정을 통하여 상쇄시키기는 개념으로, 음식물 쓰레기를 바이오 가스화하는 방법과 가연성 쓰레기를 바이오 연료화하는 방법이 있다.

② 고려사항

도시의 폐기물연료 공급 가능량, 설치 위치 등을 고려하여야한다.

③ 적용방법

도시에서 발생하는 폐기물의 특성에 맞추어 적절한 폐기물의 에너지화를 계획한다.

(6) 녹지

녹지분야의 계획지표에 따른 세부계획기법은 <Table 3.9>와 같다.

<Table3.9.> 토지이용분야 제로에미션 시티를 위한 계획기법

분 야	계획지표	계획기법
녹지	건물 녹화	옥상/지붕녹화
		벽면 녹화
	단지 녹화	인공지반 녹화(주차장 상부 녹화 등)
		단지 내 생태공원 조성
	녹지네트워크 구축	도시림 형성
		도시공원 형성
	CO_2 정화·흡수 수목 식재 계획	CO_2 흡수력 높은 수종 식재 계획

가) CO_2 정화·흡수 수목식재

① 개요

녹지와 수목은 광합성을 통하여 CO_2 를 흡수하기에 CO_2 흡수율이 높은 수목의 선정하여 식재를 계획하는 것이 중요하다.

② 계획기준

계절별, 월별로 높은 CO_2 흡수력을 가진 수종을 파악하여 계획한다.

③ 적용방법

기존 녹지와 수목을 보존, 관리하고 가능한 주변지역에 있는 녹지를 최대한 활용하여 CO_2 흡수원을 조성한다.

나) 녹지네트워크 구축

① 개요

녹지의 양적인 공급 측면과 더불어 도시공원, 도시림, 완충녹지 등 다양한 규모의 녹지를 적절히 배치하여 녹지 네트워크를 구축해야 한다.

② 계획기준

녹도의 위계를 설정하고 위치에 맞는 형태의 녹도를 조성하며 누구나 어디서든 쉽게 접근·이용할 수 있도록 지구 내 균형적 배치를 도모한다.

③ 적용방법

다양한 차원에서 공원 입지를 선정하며, 보행공간과 병행하여 설치하거나 자동차에서 배출된 CO_2 를 흡수하기 위해 도로변에 설치한다.

다) 단지녹화

① 개요

단지 녹화는 주차장 상부 등 인공적으로 구축된 건축·토목 구조물에 인공지반녹화를 하는 방법과 단지 내 조경을 하는 방법이 있다.

② 계획기준 (고려사항)

구조물에 인공지반 녹화를 하는 경우 불투수층 구조물상에 인공적인 토양층을 포함한 식재기반과 식생층을 형성해야 하므로 토양층과 유사한 재료·형태적 여건을 조성하여야 한다.

③ 적용방법

단지 적용시 인공지반 녹화가 가능한 구조물인지 확인해야 하며, 단지 내 가능한 조경 공간을 확인한다.

라) 건물녹화

① 개요

건물 녹화는 옥상·지붕 및 벽면을 녹화하여 수목 식재를 통하여 직접적으로 CO_2 를 흡수하는 방식이며, 간접적으로 햇빛과 열을 막고 증발산에 의해 온도를 낮추어 CO_2 저감 효과를 갖게 한다.

② 계획기준 (고려사항)

벽면녹화의 경우 중력의 방향과 식재의 방향이 일치하지 않기 때문에 자생지피류나 초화류, 덩굴식물 등을 통한 식재를 고려한다.

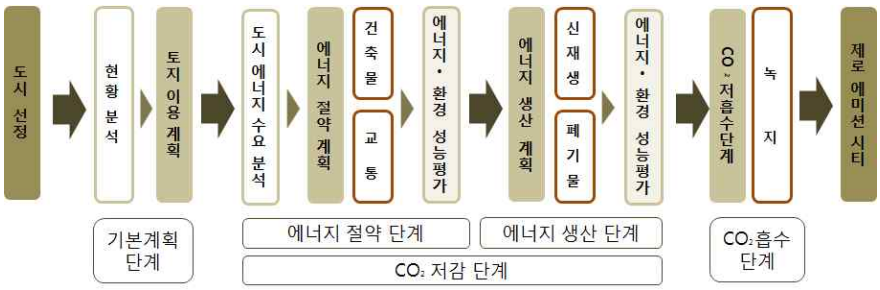
고층건축물의 경우 상대적으로 옥상에 비하여 벽면의 면적이 넓기 때문에 벽면녹화를 고려한다.

③ 적용방법

지붕녹화는 인공지반녹화의 한 유형으로 불투수층 구조물상에 인공적인 토양층을 포함한 식재기반과 식생층을 형성한다.

3.3 제로에미션 시티 구축

제로에미션 시티를 구축하기 위해서는 분야별 계획기법을 단계별로 적용하여야 한다. 제로에미션 시티 구축을 위한 프로세스는 <Fig.3.7>과 같이 크게 기본계획단계, CO_2 저감단계 - [에너지 절약 단계, 신재생에너지 적용 단계], CO_2 흡수단계로 구분할 수 있다.



<Fig.3.7.> 제로에미션 시티 프로세스

기본계획단계에서는 도시 입지현황분석을 통해 도시의 특성을 파악하여 용지별 면적 및 배치에 관한 토지이용계획을 수립한다.

CO_2 저감 단계는 에너지 절약단계와 에너지 생산 단계로 나뉜다.

먼저 에너지 절약단계에서는 도시에서 교통, 건축물 분야의 에너지 수요를 파악하고 분야별 특성에 맞는 에너지 절약계획을 수립한다. 에너지 절약계획을 통한 저감량은 대한 에너지 성능평과와 함께 환경성능평가를 실시하여 정량적으로 확인한다.

도시의 에너지 수요를 에너지 절약 단계를 통하여 최소화 시킨 후에도 필요로 하는 에너지를 위해 에너지 생산 계획을 수립한다. 에너지 생산 계획은 도시에 적용 가능한 신재생에너지 시스템 및 폐기물 에너지 시스템을 파악하여 적용계획을 수립하고, 이에 대한 저감량은 에너지 성능평과와 함께 환경성능평가를 실시하여 확인한다.

CO_2 흡수 단계에서는 CO_2 저감 단계를 거치고도 발생되는 도시에서의 CO_2 를 녹지 공간을 조성하여 수목을 통해 흡수하여 최종적으로 CO_2 발생량이 '0'인 제로에미션 시티를 달성한다.

마스다르와 같은 제로에미션 시티 선진사례의 경우 입지적 특성상 도시들이 서로 분리되어 있어 폐쇄적이며, 대도시로 계획되어 도시가 자립적인 특성이 있다.

반면 우리나라의 도시는 한정적인 대지에 인구가 밀집되어 대도시를 주변으로 위성도시들이 분포하고 있는 형태이다. 이에 도시가 자체적으로 모든 기능을 수행하기보다는 도시 간 서로 긴밀한 관계를 형성하고 있으며, 입지적으로도 도시 간 구획이 명확하지 않고 서로 연결되어 있어 교통량을 추산하기에 어려움이 있다. 또한 실제적인 기법 적용에 있어 대중교통 이용 활성화를 위한 전용차로 계획, 자동차 이용 규제 등의 기법은 사회적 동의와 함께 정책적 측면이 병행되어야 하기 때문에 교통 분야의 CO_2 배출량 산정 및 기법 적용 있어 한계가 있다.

폐기물 분야는 도시의 규모 및 입지조건에 제약을 받기에 도시에 따라 적용가능성이 상이하다. 우리나라는 대도시의 경우 자체적인 폐기물 처리 및 에너지 활용을 위한 시설물 설치가 가능하지만 중소도시의 경우 입지적 특성상 주변 도시와의 관계로 인하여 적용에 한계가 있다.

이와 같이 제로에미션 시티를 구현하기 위하여 도시 분야별로 앞에서 도출한 계획기법을 적용함에 있어 실제 적용 가능한 기법은 분야에 따라 매우 제한적이다. 반면 건축물의 경우 도시 내 구성물로서 구획이 명확하며, 적용 가능한 기법이 건축물의 건축계획요소 및 설비요소로서 별다른 제약 없이 따르지 않기에 적용이 훨씬 용이하다.

우리나라의 입지적 특성과 사회적 동의, 제도화 병행가능성 등 사회적 특성을 고려하였을 때 도시의 에너지를 변화시키는 주요 요소들은 건축분야에 포함되어 있다. 이에 본 논문에서는 도시의 구성 분야 중 건축적 측면을 중점으로 하여 제로에미션 시티를 실현하고자 하며, 이에 따라 토지 이용, 건축물, 신재생에너지 분야의 계획요소 및 기법의 적용에 따른 정량적인 분석을 통해 건물 에너지에서 제로 에너지를 통한 제로에미션 시티를 목표로 한다.

제 4 장 제로에미션 시티 모델 적용

4.1 제로에미션 시티 적용 프로세스

본 논문에서 적용하는 건축분야를 중심으로 하는 제로에미션 시티 프로세스는 <Fig 4.1>로 기본 계획 단계, 에너지 절약 단계, 신재생 에너지 적용 단계로 구분한다.

기본 계획 단계에서는 대상지의 지리적 특성과 물리적 특성을 분석을 통해 도시 내 이용 가능한 신재생에너지원의 종류와 에너지 소비 특성을 파악하여 토지이용계획을 수립한다. 지형, 위치, 기후 등 지리적 특성에 따른 일사량, 지중열 등 신재생에너지원의 잠재성은 신재생에너지 시스템의 적용가능성에 1차적으로 영향을 미친다. 그리고 도시의 규모, 구성건물 용도 등 물리적 특성은 도시의 에너지 소비에 결정적인 요소로 작용한다. 따라서 도시의 현황분석을 바탕으로 도시의 에너지 저감 및 신재생에너지 생산을 위해 신중하게 용지를 구획하고 배치한다.

에너지 절약 단계에서는 도시의 에너지를 저감시키기 위해 건물 용도별로 에너지 수요량이 큰 에너지원을 파악하여 우선적으로 저감계획을 세워야 한다. 건물 용도별 에너지원에 유의한 건축계획요소를 선정하고 성능을 향상시키는 패시브 절약기법과 시스템의 규모 및 효율 향상을 통한 액티브 절약기법을 통해 도시 전체의 에너지를 저감시킨다.

에너지 절약 계획은 에너지 성능평과와 함께 환경성능평가를 실시하여 결과를 확인한다. 환경성능평가는 건물에서 배출하는 CO_2 배출량에 대한 평가로써, CO_2 배출량 산정방법은 <식 1>과 같다.

CO_2 배출량 = 소비 연료량 × CO_2 배출계수·····<식 1>

연료의 소비량은 에너지 성능평가 결과를 바탕으로 이를 도시에서의 가스, 전력 등 1차 에너지 수요량으로 변환하여 구하였다.

CO_2 배출계수는 <Table 4.1>과 같다. 연료 종류별 CO_2 배출계수에 대한 내용은 에너지기본법 시행규칙의 제 5조 1항 별표1(표 57~59)에 제시되어있으며, 전기 부문의 CO_2 배출계수 2005년 8월 에너지경제연구원 정책보고서에서 제시한 한 값을 사용하였다.

<Table4.1.> CO_2 배출계수

종 류	단위	단위 CO_2 배출량
전 력	MWh	0.424(tCO_2 /MWh)
도시가스(LNG)	Nm^3	0.004(GJ/m^3)×64200(kg/TJ)/1000(TJ/GJ)

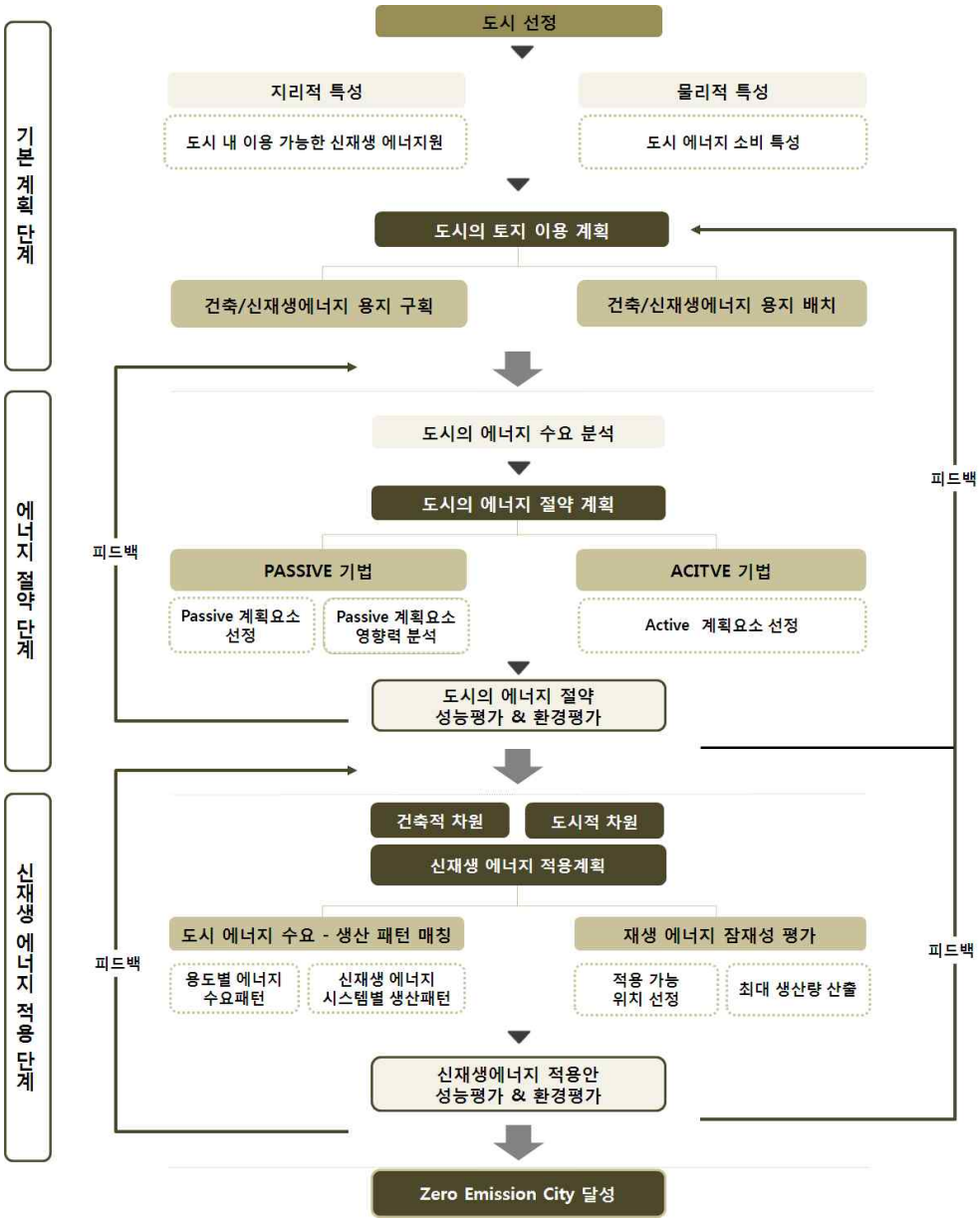
계획안의 결과를 분석한 후 요소의 성능수준에 대한 변화가 필요한 경우 에너지절약계획단계로 돌아가 요소들에 대한 성능수준을 다시 설정해야 한다. 건물의 성능변화를 위해 대상지의 공간구조가 조정이 필요한 경우에는 기본 계획 단계로 다시 돌아가 용지구획을 조정해야 한다.

신재생에너지 적용 단계에서는 구성건물과 도시 내 적용 가능한 신재생에너지 시스템의 종류 및 적용 가능 위치를 파악하여 가용생산량을 산정한다.

시스템의 생산 특성에 대한 분석은 건물 용도별로 거주자의 생활 패턴에 따른 월별, 시간별 에너지 소비 패턴과 함께 분석되어 적용 시스템을 선정한다. 이를 바탕으로 부하 분담율을 산정하여 신재생에너지 적용 계획안을 수립하며, 실제 수요 대응 공급량을 에너지 성능평과와 함께 환경성능평가를 실시한다.

계획안의 결과를 분석한 후 신재생 시스템에 대한 적용 비율에 대한 변화가 필요한 경우 신재생에너지 적용계획단계로 돌아가 요소들에 대한 성능수준을 다시 설정한다. 건물 및 도시적 차원에서 신재생에너지 적용을 위해 대상지의 공간구조가 조정이 필요한 경우 기본 계획 단계로 돌아가 용지구획을 조정한다.

본 논문에서는 이러한 프로세스를 적용하여 각 단계별 최종계획안을 서술하였다.



<Fig.4.1.> 건축분야를 중심으로 하는 제로에미션 시티 프로세스

4.2 제로에미션 시티 대상지 선정 및 기본 계획

4.2.1 대상지 선정 및 개요

제로에미션 시티를 실제로 구현하기 위해 대상지를 선정하여 계획기법 적용하고자 하였다. 대상지는 경기도 안성시에 예정된 택지개발지구로 선정 근거는 다음과 같다.

첫째, 도시를 대상지로 삼은 이유는 IPCC 보고서[43]에 따르면 세계적으로 에너지 소비의 70% 이상이 전체 인구의 절반이 살고 있는 도시에서 소비되고 있는데 우리나라는 도시화율이 91.3%[44]로 경제활동과 인간의 생활환경이 도시에 집중된 특성이 있기에 에너지가 도시를 중심으로 소비될 것으로 예상되기 때문이다.

둘째, 수도권 내 개발지를 대상지로 삼은 이유는 우리나라의 도시가 수도권을 중심 집중되어 있으며, 이를 중심으로 도시개발이 활발히 일어나고 있는 우리나라의 도시 특성을 반영하기 위해서이다.

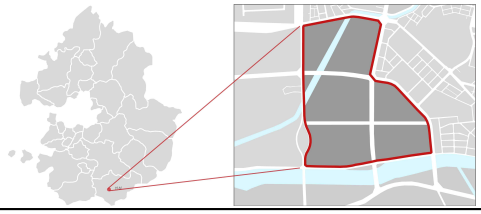
우리나라 도시 거주자 중 54.8%[45]가 수도권에 거주하고 있어 도시가 수도권에 집중되어 있다. 또한 최근 10년간 수도권의 인구는 계속 증가하여 이를 수용하기 위해 11개의 뉴타운 개발과 13개의 택지개발사업 등 수도권 중심의 도시개발이 활발히 일어나고 있다.

대상지의 개요는 <Table 4.2> 와 같으며 도시의 용도 구성은 택지개발계획을 참고하였다. 건축용지는 도시를 구성하는 다양한 용도의 건물들에 대한 용지를 모두 설정할 경우, 용도별 기준건물 설정을 통한 에너지 소비량을 예측에 한계가 있으므로 주거, 업무, 교육 용지로 한정하였다. 그리고 도시적 차원에서의 신재생에너지 단지 조성을 위하여 신재생에너지 용지를 계획하였다.

---

43) IPCC, Climate Change 2007:Synthesis Report, 2007.11, pp30
44) 2013 국토의 계획 및 이용에 관한 연차보고서, 국토해양부
45) 2013, 통계청

<Table4.1.> 대상지 개요

구 분	내 용
면 적	930,764m²
인 구	약 12,129 명 (4,680세대)
용도 구성	주거, 업무, 교육, 신재생에너지, 녹지
위 치	경기도 안성시 옥산동, 아양동, 석정동, 도기동 일원 

4.2.2 도시의 입지현황분석

(1) 도시의 물리적 특성

도시는 건물의 용도가 다양하여 거주 패턴 및 규모, 형태에 따른 건물 용도별 에너지 소비도 다르다.

도시를 구성하고 있는 용도별 건물을 살펴보면 주거시설은 외기 온도가 내려가는 야간에 재실밀도가 높기 때문에 냉방에너지보다 난방에너지 소요량이 크게 나타난다.[46] 업무시설은 겨울철 외기 온도가 낮은 야간에는 근무를 하지 않으나 여름철 일사량이 높은 낮 시간에는 근무를 하며, 조명 및 기기 등 내부 발열밀도가 커서 냉방에너지가 높은 특성이 있다.[47] 교육시설은 여름방학과 겨울방학이 있어 일 년 중 냉난방에너지의 소비가 가장 많은 시기에 시설을 이용하지 않으며, 다른 시설에 비해 하루 중 이용시간이 짧아 에너지 소비량이 상대적으로 적은 편이다[48].

대상지는 도시의 규모 측면에서는 인구가 12,000명 정도의 소도시로 주거지적 성격이 강하기에 주거시설의 에너지 소비 특성이 도시의 에너지 소비에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

46) 한국연구재단,제로에미션빌딩의 실용화를 위한 시스템통합설계 및 적용모델 개발,2012
47) Ibid
48) 서성모, 실험계획법을 이용한 학교건물의 Passive Design 설계에 관한 연구, 2013, 중앙대학교

(2) 도시의 지리적 특성

대상지의 지형은 고저차 10m 미만인 평지에 위치하고 있어 지형으로 인한 대지 내 신재생 적용의 제한은 없다.

위치는 신재생에너지 이용가능성의 관점에서 내륙에 위치하고 있어 해양에너지를 이용할 수 없으며, 주위에 하천이 맞닿아있지만 낙차가 심하지 않고, 수력에너지의 이용에도 한계가 있다.

대상지의 기후는 <Table 4.3>과 같다. 연평균 일사량은 산업자원부[49] 자료를 토대로 대상지에서 인근 지역인 서울 지역의 일사량을 적용하였으며, 기온, 풍속 및 5m 깊이 지중온도는 기상청에서 제공한 인근 도시인 수원시의 자료를 활용하였다.

<Table4.2.> 대상지 월별 연평균 1일 수평면 일사량, 풍속, 지중온도

(단위 : 평균기온 ℃ 일사량 Wh/㎡ day 풍속 m/s 지중온도 ℃)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균기온	-2.9	-0.3	5	11.6	17.2	21.7	24.8	25.6	20.8	14.0	6.6	0	12.0
평균일사량	1,989	2,766	3,502	4,391	4,671	4,329	3,282	3,553	3,534	3,038	2,029	1,715	3,233
평균풍속	1.5	1.8	2	2	1.8	1.7	1.8	1.7	1.5	1.3	1.5	1.5	1.7
지중온도	15.4	14.4	13.4	12.6	12.3	12.4	13.1	14.1	15.3	16.2	16.5	16.2	14.3

대상지의 일사량은 월 평균 3,233Wh/㎡으로 태양열에너지를 이용할 수 있는 800Wh/㎡·day, 태양광에너지를 이용할 수 있는 1,000Wh/㎡·day를 넘기에 태양에너지의 이용이 용이할 것으로 보인다.

일평균 풍속은 1.7m/s으로 소형 풍력 발전 시스템은 옥상에서의 적용 높이가 달라 직접적인 비교는 어렵지만 기존문헌[50]의 참고하였을 때, 우리나라는 초고층건물의 옥상 혹은 해안지방이 아닌 경우 적용이 어려울 것으로 판단된다.

5m 깊이 지중온도의 평년값은 14.3℃로 일정하여 지열시스템 적용이 가능할 것으로 나타났다.

49) 산업자원부, op.cit

50) 김은일, 풍력발전기술 개요 : 소형 풍력발전시스템을 중심으로, 2004, 한국태양에너지학회

4.2.3 도시의 토지이용계획

도시의 지리적 특성 분석 결과, 대상지에 이용 가능한 신재생에너지 분야는 태양광 발전 시스템, 태양열 시스템, 지열 냉난방 시스템이 가능한 것으로 파악된다.

지열시스템은 대지의 위치에 따라 에너지원인 지중열의 변화가 미미하기에 제약조건이 없으나, 태양광 시스템 및 태양열 시스템은 음영에 따른 효율의 변화가 크다. 또한 에너지의 효율성을 고려하여 적절히 분산 배치하는 것이 유리하다고 파악하여 신재생에너지 용지의 공간 배치는 건물의 음영에 영향을 받지 않도록 건물보다 남쪽에 위치시키거나 저층건물인 학교에서 충분한 간격을 띄우고 위치시켰다.

도시의 물리적 특성을 고려하여 주거시설에서 많이 소비되는 난방에너지를 저감시키기 위해 일사를 충분히 획득할 수 있도록 설치물의 높이가 낮은 신재생에너지시설 용지 북측에 배치하였다.

냉방에너지를 주로 소비하는 업무시설용지는 토지이용계획 시 일조의 영향을 덜 받을 수 있도록 주거시설용지 북측에 배치하였다.

도시의 용지별 규모 산정에 있어 건축용지를 고려하여 신재생에너지 용지의 규모를 산정하였으며, 주거시설용지는 주거시설로 충분한 일사가 가능하도록 건물 간 음영에 의한 영향이 발생하지 않도록 충분한 인동간격이 가능하도록 계획하였다. 이에 따른 도시의 토지이용계획 시 용지별 위치 및 면적은 <Table 4.4>와 같다.

<Table4.3.> 대상지 토지이용계획

구 분		면 적		위 치
주 거		410,599m²	(49.7%)	
업 무		31,872m²	(3.9%)	
교 육		24,861m²	(3.0%)	
도시 지원(신재생)		212,256m²	(25.7%)	
도시 기반	교 통	104,240m²	(12.6%)	
	녹 지	146,936m²	(17.8%)	
주 거	업 무	교 육		
신재생	녹 지			

4.3 제로에미션 시티 에너지 절약계획

4.3.1 도시의 에너지 소비 특성

도시에서 건물 에너지 절약계획을 수립하기에 앞서, 도시의 에너지 소비량을 예측하고 특성을 분석하였다.

표준 건물의 설정기준은 통계자료[51]를 참고하여 각 용도별 건물 중 가장 비중이 큰 건물 유형을 선택하였으며, 주거시설에서는 공동주택을, 업무시설에서는 사무소, 교육시설에서는 초등학교를 각각 표준 건물로 지정하였다.

선정한 표준건물에 대하여 건물 에너지 해석 프로그램인 Energy Plus를 이용하여 각 건물의 에너지 사용량 및 에너지 소비원단위를 산출하였다.

건물의 에너지원단위는 건물의 용도에 따른 바닥단위 면적(공조면적, 연면적) 당 에너지 수요량을 나타낸다.[52]. 그러므로 건물 용도별 연면적당 에너지 원단위를 산정한 후, 도시의 건물 용도별 연면적을 곱하여 해당 단지의 총 에너지 소비량을 산출하였다.

각 건물의 용도별 연면적은 토지이용계획 시 산정된 대지면적에 안성시 법적 기준을 참고하여 건폐율과 용적률을 통해 최대 연면적을 산출하였으며 <Table 4.5>와 같다.

<Table4.4.> 대상지 구성 건축물

도시 구성건물 용도	표준 건물	최대 연면적
주거건물	공동주택	246,335.4
업무시설	사무소	57,369.6
교육시설	초등학교	29,833.2

51) 국가통계포털(KOSIS), http://www.kosis.co.kr
52) 산업자원부, 건물의 에너지원단위 기준(안) 연구, 1990, pp3~4

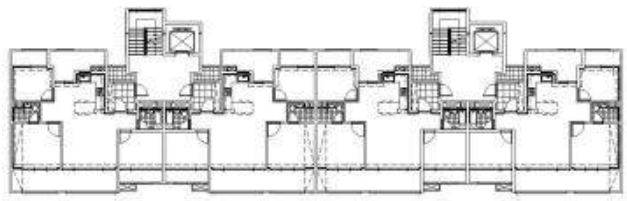
(1) 건물 용도별 표준모델 설정 및 에너지 수요 분석

가) 주거시설

주거시설의 표준건물 및 시뮬레이션 조건 설정을 위하여 통계자료[53] 및 기존연구문헌[54][55][56]을 참고하여 <Table 4.6>과 같이 적용하였으며, 주거시설의 표준 운전스케줄은 ASHRAE Fundamentals 2001을 적용하였다.

<Table4.5.> 주거시설의 개요 및 시뮬레이션 입력값

평형(전용면적)		32평형(83.1m^2)	단열재 위치(벽체)		내단열
세대		1개층 4호조합	지붕단열		0.29 W/m^{2}K
층수		15층	최하층 바닥단열		0.35 W/m^{2}K
장단변비		1: 1.066	벽체단열		0.47 W/m^{2}K
건물의 향		남향[57][58]	창호 성능	전면 창호	3.00 W/m^{2}K
코어의 유형		계단실		후면 창호	3.00 W/m^{2}K
발코니의 형태		전면발코니 확장	재실밀도		22.4W/人
층고		2.3m	조명발열밀도		4W/人
천장고		2.6m	기기발열밀도		14W/人
창면적비 천장고	남측창	80%	설정 온도	냉방	26℃
	북측창	40%		난방	22℃
차양		없음	공조 기간	냉방	6/11~9/10
지붕의 형태		박공지붕		난방	11/01~3/31
공조 기기	난방	바닥복사난방	열원 효율	난방	Efficiency 0.8
	냉방	PTAC		냉방	COP 3.0



<Fig.4.2.> 공동주택 기준층 평면도

53) 국가통계포털(KOSIS), http://www.kosis.co.kr 건설·주택·토지 - 주택 - 아파트주거환경통계 - 지역별 규모현황

54) 유호선, op.cit,

55) 박경석, 건물 에너지 성능 평가를 위한 건물 총량 에너지 기준 제시에 관한 연구, 광운대학교 대학원 석사학위논문, 2006

56) 심윤희, 서울지역 공동주택의 난방에너지 표준사용량 산정에 관한 연구, 광운대학교 대학원 석사학위논문, 2006

57) 박경석, Ibid

58) 심윤희, Ibid

주거시설의 전체에너지 소비량을 165.1kWh/m²y이며, 이를 실측자료[59]와 비교하면 <Table 4.7>과 같다. 분석된 주거시설의 전체에너지소비량과 실측자료를 비교하면 약 5%의 오차를 보이며, 에너지원별 오차율은 냉방이 9.6%로 가장 크고 나머지 에너지원들은 5%이내의 오차를 보이고 있다.

<Table4.6.> 대상건물의 에너지 소비량 표준성 분석

단위 : kWh/㎡·yr

kWh/m²yr	난방	냉방	전력	급탕	총량
통계 자료	88.7	8.3	56.5	17.0	170.4
대상 주거시설	85.8	7.5	55.4	16.4	165.1
오차	2.9	0.8	1.1	0.6	5.3
오차율(%)	3.3	9.6	1.9	3.4	3.1

주거시설의 단위면적당 에너지 소비량 및 CO_2 배출량은 <Table 4.8>과 같다. 연간 총 에너지 소비량은 165.1kWh/m²yr로 산출되었으며, 난방에너지 소비량은 85.8kWh/m²yr, 냉방에너지 소비량은 7.5kWh/m²yr, 조명과 기기에너지 소비량을 합산한 전력 에너지 소비량은 55.4kWh/m²yr, 급탕에너지 소비량은 16.4kWh/m²yr로 산출되었다.

단위면적당 전체 CO_2 배출량은 47.5kgCO_2 /m²yr이며, CO_2 배출이 가장 많은 부문은 전력에너지로 23.5kgCO_2 /m²yr, 다음으로는 난방에너지가 17.5kgCO_2 /m²yr의 CO_2 를 배출하였다.

<Table4.7.> 주거시설의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량

	난방	냉방	전력	급탕	총량
에너지 소비량 (kWh/m²yr)	85.8	7.5	55.4	16.4	165.1
비율(%)	52.0	4.5	33.6	9.9	100
CO_2 배출량 (kgCO_2 /m²yr)	17.5	3.2	23.5	3.3	47.5
비율(%)	36.8	6.7	49.5	7.0	100.0

에너지 소비량과 CO_2 배출량을 비교하였을 때 에너지 소비량은 난방에너지 52.0%로 가장 많은 비중 차지하였으며 전력에너지가 33.6%로 2번째로 비중이 크게 나타났다. CO_2 배출량은 반대로 전력에너지가 49.5%로

59) 조진일 외 13명, 제로에너지·생태학교 모형 개발 연구 2, 한국교육과정평가원, 2008

가장 큰 비중을 차지하였고, 난방에너지가 36.8%로 두 번째로 큰 비중을 차지하였다. 우선순위의 차이는 있었지만 난방에너지와 전력에너지가 에너지 소비량과 CO_2 배출량에서 가장 비중이 큰 2분야였으며, 전반적으로 에너지를 많이 소비하는 부문에서 CO_2 의 배출량도 많았다.

주거시설은 난방에너지의 소비량이 매우 크다. 이는 주거시설은 24시간 설정온도에 맞추어 냉·난방을 가동하지만, 낮 시간에는 재실밀도가 낮아 냉방에너지 소비량이 많이 요구되지 않는 반면, 외기 온도가 내려가는 야간에 재실밀도가 높기 때문인 것으로 판단된다. 난방에너지는 외기온도의 영향을 많이 받기에 건물의 형태, 배치(향), 외피의 성능 등 패시브 기법의 계획요소들이 에너지 소비에 영향을 미칠 것으로 판단되어 건축계획요소의 성능변화를 통한 에너지 저감이 효과적일 것이다.

난방에너지 다음으로는 전력과 급탕에너지가 큰 비중을 차지하였다. 전력에너지는 기기와 조명에너지를 합친 값이기 때문에 전체 에너지 소비량에서 차지하는 비중이 상대적으로 큰 것으로 분석된다. 주거시설은 일반적으로 다른 용도의 건물에 비해 건물의 형태가 밀집된 형태이기 때문에 내부발열요소의 영향이 상대적으로 미비하여 건축계획요소의 성능변화를 통한 에너지 저감은 어려울 것으로 예상되며, 설비 시스템의 효율 향상을 통한 에너지 저감이 가능할 것으로 판단된다.

나) 업무시설

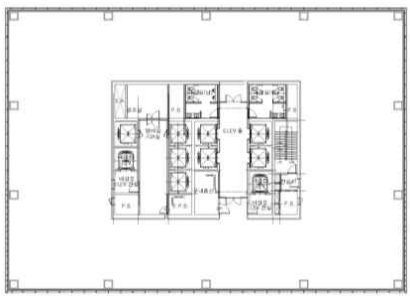
업무시설의 표준건물 및 시뮬레이션 조건 설정을 위하여 통계자료[60][61] 및 기존연구문헌[62][63][64][65]을 참고하여 <Table 4.9>와 같이 적용하였으며, 업무시설 건물의 표준 운전스케줄은 ASHRAE 및 실측자료를 바탕으로

60) 지식경제부, 2009, 기후변화대응을 위한 건물 에너지효율등급 표시제도 개발 연구(1차년도 보고서)
61) 지식경제부, Ibid
62) 국토해양부 고시 제2010-1031호, 건축물의 에너지절약설계기준 개정안
63) 김규생 외, 공기조화설비 설계 가이드북 2008,
64) ASHRAE, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, ASHRAE Handbook Fundamentals 2009, 2009
65) 한국에너지기술연구원, 에너지성과확산사업, 2007

작성된 자료[66]를 적용하였다.

<Table4.8.> 업무시설 건물의 개요 및 시뮬레이션 입력값

연면적		40,000㎡	창호성능		2.1 W/㎡K
층수		20층	차폐계수(SHGC)		0.6
장단변비		1:1.5	VLT		70%
SF비		0.11	환기횟수 (간절기)		0회
건물의 향		남향	자연채광(실내기준조도)		500 lux
코어의 유형		중심	기밀성능		0.3ACH
층고		4.1m	재실밀도		5 m^2/인
천장고		2.7m	조명발열밀도		15.1W/m^2
플래넘		1.4m	기기발열밀도		10.4W/m^2
창면적비		40%	설정 온도	냉방	26℃
지붕단열		0.56 W/㎡K		난방	20℃
벽체단열		2.48 W/㎡K	공조 기간	냉방	6/11~9/10
바닥단열		0.69 W/㎡K		난방	11/01~3/31
공조 기기	내주부	VAV	열원 기기	난방	Efficiency 0.8
	외주부	FCU		냉방	COP 3.0



<Fig.4.3.> 업무시설 기준층 평면도

업무시설의 전체에너지 소비량을 1차 에너지로 변환 시 431.0kWh/m^2yr으로 <Table 4.10>의 업무시설 40,001~45,000m^2 에너지소비량 실측자료[67]인 429.3kWh/m^2yr와 3%내의 오차를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

<Table4.9.> 업무시설의 규모별 1차 에너지 소비량

단위 : kWh/㎡·yr

면적규모(m^2)	소비량	면적규모(m^2)	소비량	면적규모(m^2)	소비량
10,000 이하	-	25,001 ~ 30,000	603.2	45,001 ~ 50,000	385.0
10,001 ~ 15,000	1,570.3	30,001 ~ 35,000	485.3	50,001 ~ 100,000	266.0
15,001 ~ 20,000	1,188.8	35,001 ~ 40,000	429.3	100,001 ~200,000	245.0
20,001 ~ 25,000	544.8	40,001 ~ 45,000	375.7	200,001 이상	159.8

66) 한국에너지기술연구원, op.cit

67) 김수진, ZEB구현을 위한 사무소건물의 에너지절약 방법론에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2013

업무시설의 급탕에너지 소비량이 2%미만[68]으로 미미하기에 급탕을 제외한 에너지원별 소비량과 CO_2 배출량을 산출하였으며, <Table 4.11>과 같다. 연간 총에너지 소비량은 177.8kWh/m^2yr로 산출되었다. 전력에너지 소비량은 82.0kWh/m^2yr, 냉방에너지 소비량은 60.7kWh/m^2yr이었다.

단위면적당 전체 CO_2 배출량은 67.7kgCO_2 /m^2yr이었으며, 전력에너지의 CO_2 배출량이 34.8kgCO_2 /m^2yr, 냉방에너지가 25.7kgCO_2 /m^2yr, 난방에너지가 7.2kgCO_2 /m^2yr의 CO_2 를 배출하였다.

<Table4.10.> 업무시설의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량

	난방	냉방	전력	급탕	총량
에너지 소비량 (kWh/m^2yr)	35.1	60.7	82.0	-	177.8
비율(%)	19.7	34.1	46.1	-	100.0
CO_2 배출량 (kgCO_2)	7.2	25.7	34.8	-	67.7
비율(%)	10.6	38.0	51.4	-	100.0

전체 에너지 소비량과 CO_2 배출량의 비중에 따른 순위는 동일하게 전력에너지, 냉방에너지, 난방에너지 순으로 나타났으며, 전력과 냉방에너지의 비중이 전체에너지 소비량의 80.2%로 매우 크게 나타났다.

업무시설은 사무기기의 사용이 많아 기기에너지의 소비가 크며, 업무효율성을 위해 밝은 조도를 유지하여 조명에너지의 사용도 많기 때문에 전력에너지의 소비가 가장 크게 나타난다.

냉방에너지의 비중이 큰 이유는 업무시설 건물은 내부의 조명이나 인체발열, 기기발열 등의 내부 발열밀도가 보편적으로 커서 외피부하보다는 내부부하가 크다는 특징이 있기 때문에 냉방에 소요되는 에너지 값이 크게 작용한다. 반면 난방에너지는 근무시간인 겨울철 외기 온도가 낮은 야간에는 근무를 하지 않으며, 주간에 일사의 활용이 가능하고 내부부하도 크기 때문에 상대적으로 적게 소비된다. 따라서 업무시설의 건물의 에너지 절약 계획에 있어 냉방 에너지와 조명에너지의 소비를 감소시킬 수 있는 계획요소들을 선정하여 고려해야 할 것으로 분석된다.

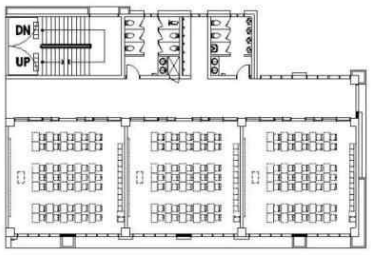
68) 김승민, 공공업무시설의 제로에미션 계획에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2012

다) 교육시설

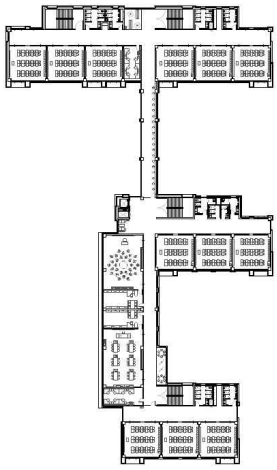
교육시설의 표준건물 및 시뮬레이션 조건 설정을 위하여 통계자료[69] 및 기존연구문헌[70][71]을 참고하여 <Table 4.12>와 같이 적용하였으며, 업무시설 건물의 표준 운전스케줄은 교육시설의 2011년도 학사일정과 선행 연구[72]를 바탕으로 작성된 자료를 적용하였다.

<Table4.11.> 교육시설의 개요 및 시뮬레이션 입력값

교실크기		9.0m x 7.5m	벽체 단열	외벽	0.36 W/m^2·K
층수		4층		간벽	0.49 W/m^2·K
교실조합		3개	창호 단열	교실	2.40 W/m^2·K
복도 폭		2.5m	기밀성능		0.7ACH
향		남향	재실밀도		26인/실
코어 위치		측면	조명 발열 밀도		4 W/m^2
코어 크기		층 면적의 20%	기기 발열 밀도		2 W/m^2
복도		후면 편복도형	설정 온도	냉방	26℃
층고(천장고)		3.6m (2.7m)		난방	20℃
VLT		60%	공조 기간	냉방	6/11~9/10
창면적비	전면	40%		난방	11/01~3/31
	후면	30%	공조 기기		EHP
지붕의 형태		Flat Roof	열원 기기	난방	COP 2.75
환기횟수		21.6m^2/인·hr		냉방	COP 3.00



<Fig.4.4.> 교육시설 기준교실동 평면도



<Fig.4.5.> 교육시설 기준층 평면도

69) 교육과학기술부 홈페이지 교육통계서비스_http://www.mest.go.kr
70) 이언구, 김광우, 건축환경과학, 태림문화사, 2006
71) 박효순, 학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형 개발에 관한 연구, 교육부, 2000
72) 조진일 외 13명, op.cit

교육시설의 전체에너지 소비량을 1차 에너지로 변환 시 56.6kWh/m²y이며, 이를 서울의 초등학교 건물을 대상으로 수집한 실측[73] 자료와 비교하면 <Table 4.13>과 같다. 대상 교육시설의 전체에너지소비량과 실측자료를 비교하면 5% 이내의 오차를 보이며, 에너지원별 오차율은 냉방이 15.3%로 가장 크고 나머지 에너지원들은 10% 내의 오차를 보이고 있다.

<Table4.12.> 대상건물의 에너지 소비량 표준성 분석

단위 : kWh/㎡·yr

kWh/m²yr	난방	냉방	조명	기기	총량
통계 자료	28.2	8.3	8.5	8.1	54.1
대상 교육시설	28.8	9.8	9.1	8.9	56.6
오차	0.6	1.5	0.6	0.8	1.5
오차율(%)	2.1	15.3	6.6	9	4.4

교육시설의 단위면적당 에너지 소비량 및 CO_2 배출량은 <Table 4.14>와 같다. 연간 총 단위면적당 에너지 소비량은 20.6kWh/m²yr로 산출되었으며, 단위면적당 전체 CO_2 배출량은6.4kgCO_2 /m²yr이었다.

<Table4.13.> 교육시설의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량

	난방	냉방	전력	급탕	총량
에너지 소비량 (kWh/m²yr)	10.5	3.6	6.5	-	20.6
비율(%)	51.0	17.5	31.6	-	100.0
CO_2 배출량 (kgCO_2)	2.1	1.5	2.8		6.4
비율(%)	33.3	23.8	42.9		100.0

에너지 소비량과 CO_2 배출량을 비교하였을 때 에너지 소비량은 난방에너지 51.0%로 가장 많은 비중 차지하였으며 전력에너지가 31.6%로 2번째로 비중이 크게 나타났다. CO_2 배출량은 반대로 전력에너지가 42.9%로 가장 큰 비중을 차지하였고, 난방에너지가 33.3%로 두 번째로 큰 비중을 차지하였다. 교육시설은 난방, 냉방, 전력의 비중이 상대적으로 비슷하여 교육시설 건물의 에너지 절약 계획에 있어 건물의 난방에너지 저감에 효과가 큰 요소들의 우선적으로 선정하며, 냉방과 전력에너지도 함께 고려해야 한다.

73) 조진일 외 13명, op.cit

(2) 도시의 에너지 소비 예측

각 건축물의 용도별 단위면적당 에너지 소비량을 바탕으로 도시의 용도별 구성건물 연면적과 비례하여 도시의 에너지 소비량을 예측하였다. 예측한 도시의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량은 <Table 4.15>와 같다. 대상지 전체의 연간 총에너지 소비량은 92,682.0 MWh로 산출되었으며, 연간 총CO_2 배출량은 29,303.3tCO_2 이다.

<Table4.14.> 대상지 건축물 총 에너지 소비량 및 CO_2 배출량

	난방	냉방	전력	급탕	총량
에너지 소비량 (MWh/yr)	39,004.5	12,638.9	34,672.2	6,366.4	92,682.0
비율(%)	42.1	13.6	37.4	6.87	100.0
CO_2 배출량 (tCO_2 /yr))	7,946.4	5,358.9	14,701.0	1,297.0	29,303.3
비율(%)	27.1	18.3	50.2	4.4	100.0

대상지의 전체의 건축물 총에너지 소비량과 CO_2 배출량은 난방> 전력>냉방 순으로 나타났다. 전력에너지는 기기 및 조명을 합친 에너지 소비량이기에 에너지 소비량과 CO_2 배출량이 크게 나타났다.

도시의 에너지 소비 중 비중이 가장 큰 난방에너지는 주거시설의 연면적이 다른 건물들에 비해 크기 때문에 주거시설의 에너지소비량 중 가장 높은 비율을 차지한 에너지원인 난방에너지가 도시 전체의 에너지원에서도 높은 비율을 차지하였으며 CO_2 배출량도 크게 나타났다.

전력에너지는 기기와 조명에너지의 소비량으로 난방이나 냉방에너지와는 달리 도시에서 일 년 내내 소비되기 때문에 비중이 가장 큰 것으로 판단된다.

냉방에너지는 주거시설의 경우 비중이 작지만 연면적이 큰 업무시설에서 냉방에너지의 소비가 많기 때문에 도시 전체에서 에너지 소비가 크게 나타난 것으로 판단된다.

이러한 도시의 에너지 소비 특성을 고려하여 에너지절약계획이 수립되어야 한다.

4.3.2 도시의 에너지 절약계획

건축물의 에너지 절약을 위해서는 건축계획요소를 이용하는 패시브 디자인 기법과 건축설비요소를 이용하는 액티브 디자인 기법을 적용할 수 있다.

패시브 기법을 통한 에너지 절약 계획에 이용할 수 있는 건축계획요소는 종류가 매우 다양하다. 건축계획요소는 복합적으로 건물의 에너지 성능에 영향을 미치는데 각 요소들이 건축물의 용도 및 에너지원에 미치는 영향력이 상이하다. 또한 도시 내 건축물은 입지 여건 및 현황에 의하여 건축물들의 건축계획 요소들이 일괄적으로 에너지 성능에 최적수준을 만족시키지 못할 가능성이 있다.

따라서 패시브 기법을 적용함에 있어 건축물 용도별로 각 건축계획요소들이 건물의 에너지원에 미치는 영향력을 파악하여 에너지 절약계획에 있어 우선적으로 변화시켜야 하는 건축계획 요소들을 파악하였다.

이를 위해 실험계획법을 이용한 시뮬레이션을 바탕으로 분산분석을 진행하여 건축물 용도별로 패시브 기법의 계획요소 중 유의한 요소를 선별하였다. 그리고 분산분석 결과값을 바탕으로 건축계획 요소들이 건물의 연간에너지사용량에 미치는 기여도 및 영향력을 분석하였다. 건축물 용도별로 선정된 유의한 건축계획요소들의 성능 수준 변화를 통한 에너지 절약계획을 수립하였다.

액티브 기법을 통한 에너지 절약은 에너지원별 열원기기가 다르기 때문에 각 시스템의 적정 규모를 산정하고 효율을 향상시키는 계획을 통하여 도시에서의 에너지 저감이 최대화될 수 있도록 하였다.

(1) 건축물 용도별 패시브 디자인 절약계획

서성모의 연구(2013)[74], 손우진의 연구(2011)[75],한국연구재단[76]의 연구

74) 서성모, op.cit

75) 손우진, 공동주택 설계초기단계에서의 에너지 성능평가를 위한 부하 예측식 개발에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2011

내용을 인용하여, 건축물의 용도별로 다수의 건축계획 요소들이 건물의 에너지 성능에 미치는 직접적인 영향력을 알아보기 위한 패시브 절약계획안을 수립하였으며, 계획안은 다음과 같은 과정으로 진행된다.

① 실험계획법에 의한 시뮬레이션

실험계획법(Experimental Design)이란 실험자로 하여금 더 나은 실험을 수행하고, 얻어진 자료를 효율적으로 분석하여 정확한 결론을 도출할 수 있게 하는 통계적 방법의 하나로, 본 논문에서는 패시브 계획요소들의 적용 유무나 적용 수준을 정하기 위해 실험계획법의 일부인 직교배열표를 사용하여 실험을 계획하였다. 직교배열표는 여러 요소들이 결과에 동시에 영향을 끼침으로써 데이터 변화를 일으키는 경우, 각 요인들의 변화정도를 그룹화하고 반복적으로 교차 실험하여 확률적인 데이터를 산출할 수 있는 방법이다. 이는 요소의 수준 변화 및 적용 유무에 따라 적용하는 표의 형식이 달라질 수 있지만 본 논문에서는 다양한 패시브 계획요소들을 고려하기 위해 L81 직교배열표에 적용하여 연구를 진행하였다.

② 분산분석을 통한 패시브 계획요소 선정

에너지 성능에 유의한 요소를 선별하기 위해 도출된 시뮬레이션 결과 데이터를 토대로 분산분석을 활용하였으며[77], 분산분석은 다음 <Table 4.16>과 같은 형식으로 나타난다.

<Table4.15.> 분산분석표

소스	제Ⅲ유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
수정 모형					
절편					
건축계획 요소 1	처리항의 제곱합	처리항의 자유도			
건축계획 요소 2					
⋮					
오차	오차의 제곱합	오차의 자유도	오차의 평균제곱		
합계	총제곱합				
수정합계					

76) 한국연구재단, op.cit
77) 박성현, 다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 1994, p22

③ 패시브 계획요소 에너지 성능평가

분산분석을 통하여 선정된 패시브 계획요소들에 대하여 각 계획요소들이 건축물의 에너지 성능에 미치는 기여율을 구하기 위하여 분산분석의 결과값을 <식 1>~<식 3>에 대입하였으며, 영향력을 분석하기 위해 분산분석의 결과값을 <식 4>~<식 6>에 대입하였다.

$$\rho_T(\%) = \frac{SS_T'}{SST} \times 100 \cdots\cdots <식\ 1>$$

$$SS_T' = SS_T - DF_T \times MSE \cdots\cdots <식\ 2>$$

$$MSE = \frac{SS_E}{DF_E} \cdots\cdots <식\ 3>$$

ρ_T	: 처리항의 기여율	DF_T	: 처리항의 자유도
SS_T'	: 처리항의 총 변동	MSE	: 오차의 평균제곱
SST	: 총 제곱합 (총변동)	SS_E	: 오차의 제곱합
SS_T	: 처리항의 제곱합	DF_E	: 오차의 자유도

$$P_{A0} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \cdots + Y_{27}}{27} - T_m \cdots\cdots <식\ 4>$$

$P_{Ai,Bi}$	: 각 건축계획 요소의 i 수준에 대한 영향력
Y_i	: 시뮬레이션에 의한 각 실험의 에너지 계산치
T_m	: 시뮬레이션에 의한 에너지 계산치의 총 평균

식을 대입하여 산출한 결과값을 통해 각 에너지원별 건축계획요소의 기여율 및 영향력에 대한 정략적 수치를 구할 수 있다. 에너지에 대한 기여율이란 에너지 소비량에 영향을 미치는 요소들 중의 상대적인 비중을 뜻한다. 에너지에 대한 영향력이란 평균 에너지 사용량과 비교하였을 때의 차이를 나타내며, +는 평균값보다 많이 사용함을, -는 평균값보다 적게 사용함을 의미한다.

가) 주거시설

주거시설은 난방에너지의 소비량이 차지하는 비중이 가장 크기에 난방에너지를 저감하기 위한 계획요소를 도출하여야 한다. 난방에너지 다음으로 전력에너지의 에너지 소비가 크지만 전력에너지는 내부 발열요소에 영향을 많이 받기 때문에 건축계획요소의 변화를 통한 패시브 기법으로 에너지를 저감시키기 어렵다. 그러므로 난방에너지와 함께 냉방에너지의 저감을 위해 유의한 계획요소들을 살펴보고, 각각의 에너지원에 대한 기여율 및 영향력을 산출하였다.

① 실험계획법에 의한 시뮬레이션

주거시설의 패시브 계획요소를 선정하기 위하여, 실험만으로 전체 시뮬레이션 계산치와 유사한 결과를 도출할 수 있는 통계적인 방법인 실험계획법을 실시하였으며, 실험계획법을 통한 패시브 계획요소들의 성능평가를 실시하기에 앞서 3장에서 도출한 건축계획요소들을 현재 사용되고 있는 주거시설의 특성을 반영하여 <Table 4.17>과 같이 각 계획요소의 범위 및 수준을 선정하였다.

<Table4.16.> 냉난방에너지 시뮬레이션을 위한 설계단계별 계획요소 및 수준

인자	계획요소	0	1	2
A	평형(전용면적)	24평(57.6m^2)	32평(83.1m^2)	44평(121.7m^2)
B	세대조합	2호조합	4호조합	6호조합
C	향	남	남동	동
D	발코니형태	발코니 끝단 새시설치 (Type A)	발코니끝단 새시 미설치 (Type B)	전면 발코니 확장 후면발코니 새시설치 (Type C)
E	전면 창면적비	40%	60%	80%
F	후면 창면적비	20%	40%	60%
G	단열재두께	65mm	150mm	250mm
H	단열재위치	내단열(0.4ACH)	중단열(0.3ACH)	외단열(0.2ACH)
I	전면창호 열관류율	2.97W/m^2·K	1.98W/m^2·K	1.10W/m^2·K
J	후면창호 열관류율	2.97W/m^2·K	1.98W/m^2·K	1.10W/m^2·K

실험계획법을 이용하여 도출된 81회의 시뮬레이션을 위한 변수의 조건에 따라 에너지 해석프로그램인 Energy Plus를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였고, 그 결과는 <Table 4.18>과 같다.

<Table4.17.> 시뮬레이션 결과

번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방
1	69.4	19.0	17	63.5	23.2	33	80.0	9.8	49	91.8	17.3	65	56.2	21.9
2	55.4	21.4	18	63.0	23.2	34	82.7	18.7	50	79.6	17.5	66	42.7	26.1
3	47.1	21.9	19	59.8	11.1	35	74.2	21.8	51	95.9	17.3	67	84.9	20.1
4	67.1	12.0	20	58.9	12.4	36	63.7	19.7	52	112.2	11.7	68	68.7	16.1
5	60.0	13.4	21	69.3	10.9	37	71.0	12.6	53	110.1	15.1	69	76.9	20.2
6	55.2	16.5	22	54.0	21.4	38	86.6	10.9	54	121.7	11.1	70	81.6	16.9
7	74.3	7.4	23	51.1	22.8	39	69.3	9.2	55	84.9	11.9	71	81.4	12.8
8	62.7	10.8	24	68.5	25.6	40	74.2	22.9	56	68.4	9.0	72	82.1	15.8
9	62.1	11.8	25	55.3	13.8	41	91.4	20.7	57	54.6	11.5	73	105.3	25.6
10	48.3	15.2	26	70.7	18.0	42	76.4	22.3	58	73.4	21.9	74	57.1	20.6
11	62.0	15.1	27	75.6	17.2	43	70.5	15.8	59	52.6	18.0	75	80.7	22.9
12	61.9	15.2	28	78.0	13.7	44	115.5	16.9	60	48.2	22.1	76	102.8	20.5
13	69.3	12.0	29	69.1	13.6	45	88.7	14.7	61	70.4	16.3	77	53.1	16.6
14	81.6	13.3	30	67.4	12.1	46	99.0	24.4	62	74.5	13.5	78	109.3	19.4
15	86.5	16.4	31	84.9	8.9	47	76.4	24.7	63	57.9	16.4	79	86.2	31.3
16	52.4	19.6	32	67.2	8.9	48	68.4	21.6	64	87.1	27.4	80	66.3	26.3
												81	91.7	28.2
(단위 kWh/m^2·yr)											평균		73.7	17.3

② 분산분석을 통한 패시브 계획요소 선정

에너지 성능에 유의한 요소를 선별하기 위해 도출된 시뮬레이션 결과 데이터를 토대로 분산분석을 활용하였으며[78], 분산분석 결과 유의확률이 0.05이하로써 계획요소의 변화에 따라 업무시설 건물의 냉난방 및 조명 에너지 소요량에 유의미한 영향을 미치는 패시브 계획요소들을 다음 <Table 4.19>와 같다.

<Table4.18.> 에너지원별 주요 건축계획요소

	주요 건축계획요소
난방에너지	발코니 형태, 전면 창면적비, 후면 창면적비, 평형, 세대 조합, 향, 단열재 두께, 단열재 위치, 전면 창호 열관류율, 후면 창호 열관류율, 발코니
냉방에너지	발코니 형태, 전면 창면적비, 평형, 향, 단열재 위치, 전면 창호 열관류율, 발코니

78) 박성현, op.cit

③ 패시브 계획요소 에너지 성능평가

분산분석을 통하여 선정된 패시브 계획요소들에 대하여 각 계획요소들이 건축물의 에너지 성능에 미치는 기여율 및 영향력을 구하기 위하여 식 1~식 4를 대입하였으며, 각 에너지 분야별 건축계획요소의 기여율 및 영향력에 대한 정략적 수치는 <Table 4.20>, <Table 4.21>과 같다.

주거시설의 난방 에너지소비량에 에 미치는 패시브 계획요소의 기여율은 발코니의 형태가 약 25%를 차지하여 가장 큰 영향을 미치며, 단열재 위치(10.9%), 전면창면적비(10.3%)가 비교적 크게 나타났다. 이는 주거시설의 난방에너지에 있어 외기의 침입이 가장 큰 영향을 미치며, 외기의 접근을 차단하는 에너지 저감 전략을 수립해야 하는 것을 의미한다.

그 다음으로 평형(7.4%), 단열재두께(6.1%), 향(5.8%), 전면창호 열관류율(5.3%), 후면 창면적비(5.0%)의 순이며, 발코니와 전면창면적비의 상호작용에 의한 효과(4.2%)도 비교적 크게 나타났으며, 나머지 건축계획변수는 성능변동 범위 내에서 난방에너지의 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

<Table4.19.> 난방에너지에 대한 건축계획변수 평가표

건축계획요소	기여율 (%)	난방에너지에 대한 영향력(Mcal/㎡・year)		
		0수준	1수준	2수준
발코니 형태	24.9%	-9.05	8.76	0.29
전면 창면적비	10.3%	-5.85	0.11	5.74
후면 창면적비	5.0%	-4.31	0.47	3.84
평형	7.4%	-4.92	-0.04	4.95
세대 조합	2.4%	3.30	-0.88	-2.42
향	5.8%	-4.14	-0.49	4.63
단열재 두께	6.1%	4.80	-0.67	-4.13
단열재 위치	10.9%	5.81	0.25	-6.07
전면 창호 열관류율	5.3%	4.08	0.29	-4.37
후면 창호 열관류율	1.7%	2.56	-0.06	-2.50
발코니 * 전면 창면적비 (종:발코니, 횡:창면적비)	4.2%	4.43	1.79	-6.22
		-2.53	-1.23	3.76
		-1.90	-0.56	2.46
발코니 * 후면 창면적비 (종:발코니, 횡:창면적비)	1.5%	0.86	1.91	-2.77
		-2.37	-1.80	4.17
		1.52	-0.11	-1.40

주거시설의 냉방에너지 소비량에 대한 분산분석 결과, 건축계획변수의 수준 변화에 따른 냉방에너지의 변화에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 평형이 65%를 차지하여 다른 건축계획변수들에 비해 월등한 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 전면 창면적비(12.6%), 발코니 형태(9.3%), 향(5.0%)이 비교적 크게 나타났다. 평형이 냉방에너지 소비량에 가장 큰 영향을 미치는 이유는 다른 평형조건에서 전면벽에 대한 같은 창면적비를 가졌어도 평형이 커짐에 따라 단위 면적당 전면 창호 면적비율은 작아져 일사획득이 감소됐기 때문으로 판단된다. 발코니 형태의 경우, 발코니 적용 주거시설은 발코니가 차양의 기능으로써 일사차단을 했기 때문에 냉방에너지가 감소하는 것으로 나타났고 건물의 향 역시 일사의 영향이 크다고 볼 수 있다. 따라서 주거시설의 냉방에너지는 일사에 큰 영향 받기에 창면적비 및 발코니 등을 통한 일사 차단 전략을 수립해야한다.

<Table4.20.> 냉방에너지에 대한 건축계획변수 평가표

건축계획변수	기여율 (%)	냉방에너지에 대한 영향력(Mcal/㎡・year)		
		0수준	1수준	2수준
발코니 형태	9.3%	-0.87	-1.08	1.96
전면 창면적비	12.6%	-2.09	0.27	1.83
평형	65.0%	4.77	-0.67	-4.10
향	5.0%	-1.39	0.35	1.04
단열재 위치	0.4%	-0.41	0.09	0.32
전면 창호 열관류율	1.1%	0.66	-0.10	-0.56
발코니 * 전면 창면적비 (종:발코니, 횡:창면적비)	3.5%	0.89	0.33	-1.22
		0.44	-0.15	-0.29
		-1.33	-0.19	1.51

나) 업무시설

업무시설은 냉방과 전력에너지 소비량이 차지하는 비중이 크다. 전력에너지 중 기기에너지의 경우 건축계획요소를 통한 저감이 어렵지만 조명에너지는 자연채광을 도입하여 조명에너지를 저감시킬 수 있기에 냉방, 조명에너지의 유의한 계획요소 및 기여율, 영향력을 도출하였다. 또한 난방에너지는 냉방과 전력에너지소비량에 비해 비중이 작지만 건축계획요소의 영향을 많이 받으므로 유의한 계획요소 및 기여율, 영향력을 함께 도출하였다.

① 실험계획법에 의한 시뮬레이션

업무시설 건물의 패시브 계획요소를 선정하기 위하여 업무시설과 마찬가지로 실험만으로 전체 시뮬레이션 계산치와 유사한 결과를 도출할 수 있는 통계적인 방법인 실험계획법을 실시하였으며, 이에 앞서 3장에서 도출한 건축계획요소들을 현재 사용되고 있는 업무시설의 특성을 반영하여 <Table 4.22>와 같이 각 건축계획요소의 범위 및 수준을 선정하였다.

<Table4.21.> 냉난방에너지 시뮬레이션을 위한 설계단계별 건축계획변수 및 수준

인자	건축계획변수		0	1	2
A	연면적		30,000㎡	40,000㎡	50,000㎡
B	SF비		0.07	0.11	0.14
C	층고		3.7m	4.1m	4.4m
D	장단변비		1:1	1:2	1:1.5
E	건물의 향		남	동	남동
F~I	창호면적비율	동.서.남,북	20%	40%	60%
J	지붕 열관류율		0.56	0.25	0.15
K	벽체 열관류율		2.48	1.36	0.24
L	바닥 열관류율		0.69	0.35	0.19
M~P	창호 단열	동,서,남	2.4	1.55	0.7
Q~S	SHGC	동,서,남	0.6	0.4	0.2
T~V	VLT	동,서,남	15%	40%	70%
W	환기횟수 (간절기)		0(회)	0.4(회)	0.8(회)
X	Dimming Control		0	50%	100%

실험계획법을 이용하여 도출된 81회의 시뮬레이션을 위한 변수의 조건에 따라 에너지 해석프로그램인 Energy Plus를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였고, 그 결과는 <Table 4.23>과 같다.

<Table4.22.> 시뮬레이션 결과

번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방
1	36.70	44.33	17	38.21	52.00	33	50.06	42.09	49	28.53	41.83	65	33.85	41.00
2	20.90	46.23	18	29.41	51.30	34	29.26	45.50	50	28.57	38.86	66	29.22	39.85
3	7.65	48.31	19	15.52	39.31	35	23.74	45.70	51	15.25	41.16	67	23.09	54.96
4	19.02	42.42	20	18.41	40.26	36	18.30	41.59	52	16.40	49.32	68	9.82	56.32
5	41.39	48.69	21	27.94	49.86	37	27.67	36.95	53	29.69	52.10	69	24.8	53.73
6	30.06	51.01	22	44.00	45.52	38	19.18	35.42	54	31.98	46.58	70	34.07	40.45
7	37.17	35.98	23	26.30	44.92	39	15.67	34.24	55	27.55	39.50	71	24.31	42.04
8	18.90	36.69	24	36.71	54.67	40	14.64	41.00	56	24.41	34.74	72	21.06	36.20
9	41.70	40.33	25	45.35	39.92	41	41.11	39.32	57	44.86	38.93	73	29.10	39.29
10	20.74	42.36	26	29.39	45.91	42	31.27	38.70	58	28.82	41.91	74	22.79	40.78
11	17.50	41.39	27	14.50	41.24	43	42.31	39.32	59	20.76	40.10	75	18.07	39.50
12	21.21	39.43	28	19.70	34.65	44	16.96	40.58	60	15.42	38.06	76	18.01	37.81
13	42.95	36.13	29	34.66	39.18	45	31.62	49.07	61	13.98	38.51	77	38.06	43.08
14	32.96	33.31	30	32.62	34.64	46	19.43	43.99	62	33.73	41.21	78	19.33	45.19
15	15.66	33.56	31	29.06	44.24	47	13.40	40.23	63	26.97	37.40	79	31.91	42.65
16	24.15	39.85	32	18.54	37.68	48	35.31	44.16	64	13.59	37.40	80	19.39	39.70
												81	34.58	41.43
(단위 kWh/m^2 · yr)											평균		26.55	42.03

② 분산분석을 통한 패시브 계획요소 선정

에너지 성능에 유의한 요소를 선별하기 위해 도출된 시뮬레이션 결과 데이터를 토대로 분산분석을 활용하였으며[79], 분산분석 결과 유의확률이 0.05 이하로써 계획요소의 변화에 따라 교육시설 건물의 냉난방에너지 소요량에 유의미한 영향을 미치는 패시브 계획요소들을 다음 <Table 4.24>와 같다.

<Table4.23.> 업무시설 건물의 에너지 분야별 주요 건축계획요소

	주요 건축계획 요소
난방에너지	층고, 장단변비, 건물의 향, 창면적비(남) 환기, 벽체, 창호단열(북), SHGC(남)
냉방에너지	연면적, SF비, 층고, 장단변비, 창면적비(동,서) 벽체, 창호단열(남), SHGC(남,서), VLT(남,서)
조명에너지	SF비, 장단변비, 디밍 제어, SHGC 남, VLT서

79) 박성현, op.cit

③ 패시브 계획요소 기여율 및 영향력 분석

분산분석을 통하여 선정된 패시브 계획요소들에 대하여 각 계획요소들이 건축물의 에너지 성능에 미치는 기여율 및 영향력을 구하기 위하여 식 1～식 4를 대입하였으며, 각 에너지 분야별 건축계획요소의 기여율 및 영향력에 대한 정략적 수치는 <Table 4.25>, <Table 4.26>, <Table 4.27>과 같다.

업무시설 건물의 냉방 에너지소비량에 대한 분산분석 결과, 건축계획요소의 수준 변화에 따라 냉방 에너지소비량에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 서향의 SHGC 성능이 15.9%를 차지하여 가장 큰 영향을 미치며, 남향의 SHGC 성능 (14.57%), 디밍 적용(8.2%)이 비교적 크게 나타났다. 또한 연면적, SF비, 층고, 장단변비 등 건물의 규모 및 창면적비 (동,서), 벽체, 창호단열 (남), VLT (서, 남) 이 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 다른 건물 유형에 비해 상대적으로 창의 비율이 높은 업무시설 건물에서의 냉방에너지 소비량은 창호의 성능이 큰 영향을 미치기에, 태양일사의 효과적인 차단할 수 있는 창호를 통해 건물 냉방에너지 저감 전략을 수립해야 한다. 또한 조명 등으로 인한 내부 발열이 냉방에너지에 큰 영향을 미치기에 내부 발열을 감소시킬 수 있는 방안을 수립해야한다는 것을 의미한다.

<Table4.24.> 냉방에너지에 대한 건축계획변수 평가표

건축계획변수	기여율 (%)	냉방에너지에 대한 영향력(kWh/m^2・year)		
		0수준	1수준	2수준
연면적	6.7	1.28	0.68	-1.96
SF비	1.7	1.11	-0.49	-0.62
층고	4.9	-1.72	0.62	1.10
장단변비	5.6	-1.81	0.65	1.11
창면적비 동	2.6	-0.94	-0.33	1.27
창면적비 서	2.6	-1.10	-0.03	1.13
디밍	8.2	2.19	-1.05	-1.14
벽체	5.9	1.19	0.61	-1.80
창호단열 남	2.3	1.26	-0.63	-0.63
SHGC서	15.9	2.69	-0.16	-2.52
SHGC남	14.5	2.87	-1.33	-1.54
VLT서	4.1	-0.86	-0.73	1.59
VLT남	1.9	-1.15	0.42	0.72

업무시설 건물의 조명 에너지 소비량에 대한 분사분석 결과, 건축계획 요소의 수준 변화에 따라 조명에너지 소비량에 미치는 영향력을 나타내는 기여율은 디밍 제어여부가 9.2%를 차지하여 가장 큰 영향을 미치며, 건물의 SF비, 창호 남측의 SGHC 성능이 비교적 크게 나타났다. 이는 자연채광을 효과적으로 유입할 수 있는 조명에너지 저감 전략을 수립해야 하는 것을 의미한다.

<Table4.25.> 조명에너지에 대한 건축계획변수 평가표

건축계획변수	기여율 (%)	냉방에너지에 대한 영향력(kWh/m^2 · year)		
		0수준	1수준	2수준
SF비	2.7	-1.60	-1.41	3.01
장단변비	2.3	-2.51	2.41	0.09
디밍	9.2	5.15	-1.18	-3.97
SHGC 남	2.8	3.01	-2.22	-0.79
VLT서	1.7	5.15	-1.18	-3.97

업무시설 건물의 난방 에너지소비량에 대한 분산분석 결과, 건축계획 요소의 수준 변화에 따라 난방 에너지소비량에 미치는 영향을 나타내는 기여율은 벽체의 단열성능이 57.7%로 가장 크게 나타났으며, 남향의 SHGC 성능 (6.3%), 장단변비 (3.2%)가 비교적 크게 나타났다. 또한 층고, 건물의 향, 창면적비, 환기, 북측의 창호단열이 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 난방 에너지소비량의 저감을 위해서는 건물의 단열성능을 강화하는 것이 무엇보다 중요하며, 건물의 남측의 창의 SHGC 성능을 높임으로써 태양열을 사무실 내에 효과적으로 끌어들이는 것이 무엇보다 중요하다는 것을 보여주고 있다.

<Table4.26.> 난방에너지에 대한 건축계획변수 평가표

건축계획변수	기여율(%)	난방에너지에 대한 영향력(kWh/m^2 · yr)		
		0수준	1수준	2수준
층고	1.8	-1.86	0.22	1.64
장단변비	3.2	-2.57	1.10	1.56
건물의 향	1.9	-1.24	-0.83	2.07
창면적비 남	2.3	2.14	-0.43	-1.71
환기	1.4	1.77	-0.50	-1.26
벽체	57.7	7.98	1.47	-9.45
창호단열 북	1.5	1.81	-0.44	-1.37
SHGC 남	6.3	-3.41	1.10	2.31

다) 교육시설

교육시설은 전력에너지의 소비량이 차지하는 비중이 크지만 전력에너지는 내부 발열요소에 영향을 많이 받기 때문에 건축계획요소의 변화를 통한 패시브 기법으로 에너지를 저감시키기 어렵다. 따라서 냉난방의 저감을 위한 유의한 계획요소들을 살펴보고, 각각의 에너지원에 대한 기여율 및 영향력을 산출하였다.

① 실험계획법에 의한 시뮬레이션

교육시설의 패시브 계획요소를 선정하기 위하여 업무시설과 마찬가지로 실험만으로 전체 시뮬레이션 계산치와 유사한 결과를 도출할 수 있는 통계적인 방법인 실험계획법을 실시하였으며, 이에 앞서 3장에서 도출한 건축계획요소들을 현재 사용되고 있는 교육시설의 특성을 반영하여 <Table 4.28>과 같이 각 건축계획요소의 범위 및 수준을 선정하였다.

<Table4.27.> 냉난방에너지 시뮬레이션을 위한 설계단계별 건축계획변수 및 수준

인자	건축계획변수		0	1	2
A	교실크기	X축(m)	8.1	8.4	9.0
B		Y축(m)	7.5	8.1	8.4
C	교실 조합 개수 (개)		2	3	4
D	층고(m)		3.6	3.8	4.0
E	복도 폭(m)		1.8	2.5	3.3
F	향		남	남동	동
G	Core의 위치		측면	후면	중심
H	단열성능 (W/m2·K)	외벽	0.36	0.25	0.15
I		간벽	0.49	0.34	0.2
J		교실창호	2.40	1.68	0.96
K		복도창호	2.40	1.68	0.96
L		간벽창호	3.20	2.24	1.28
M	창면적비(%)	교실	30	40	50
N		복도	30	40	50
O		간벽	5	10	15
P	투과율	교실 측	0.35	0.6	0.85
Q		복도 측	0.35	0.6	0.85
R	차양 및 광선반		미설치	광선반	차양
S	기밀성능 (ACH)	교실	0.7	0.5	0.3
T		교실 외	1.5	1.2	0.9

실험계획법을 이용하여 도출된 81회의 시뮬레이션을 위한 변수의 조건에 따라 에너지 해석프로그램인 Energy Plus를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였고, 그 결과는 <Table 4.29>와 같다.

<Table4.28.> 시뮬레이션 결과

번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방	번호	난방	냉방
1	924.6	157.6	17	809.5	339.8	33	776.9	273.6	49	909.8	243.7	65	701.3	274.8
2	820.8	235.3	18	362.0	416.4	34	324.9	261.2	50	437.6	306.8	66	1,073.0	240.3
3	270.1	550.8	19	666.2	286.6	35	1,436.0	654.6	51	660.7	290.2	67	991.7	317.9
4	768.8	413.1	20	245.4	463.4	36	881.3	231.9	52	759.5	297.4	68	761.7	662.0
5	787.5	255.5	21	1,129.1	156.2	37	889.0	293.1	53	717.4	193.4	69	698.3	208.0
6	649.3	218.0	22	1,071.4	156.0	38	744.9	269.3	54	876.9	430.3	70	747.8	201.6
7	682.8	240.6	23	970.8	358.8	39	966.6	349.8	55	827.8	296.5	71	754.6	306.4
8	288.3	315.2	24	335.6	529.3	40	541.3	226.6	56	882.4	278.2	72	999.1	571.5
9	961.0	235.7	25	652.0	649.7	41	1,268.9	435.6	57	1,229.7	432.4	73	1,000.5	297.8
10	767.7	627.4	26	1,010.2	207.2	42	868.1	276.4	58	556.9	335.4	74	680.0	392.8
11	965.4	175.9	27	728.3	209.4	43	881.8	271.6	59	695.3	276.5	75	681.8	284.0
12	735.2	272.5	28	880.4	260.8	44	653.2	272.1	60	1,031.8	348.3	76	876.9	264.4
13	740.5	398.6	29	589.6	305.5	45	490.0	359.7	61	1,197.4	553.3	77	966.1	253.6
14	384.4	275.8	30	727.5	346.4	46	211.8	374.6	62	815.2	303.5	78	1,179.8	586.0
15	1,041.3	185.6	31	721.9	507.1	47	977.8	242.0	63	803.7	236.6	79	552.3	280.9
16	983.1	161.5	32	804.6	230.5	48	938.2	211.1	64	340.4	423.9	80	640.1	360.7
												81	1,045.9	293.0
(단위 kWh/m^2 · yr)											평균		817.0	303.6

② 분산분석을 통한 패시브 계획요소 선정

에너지 성능에 유의한 요소를 선별하기 위해 도출된 시뮬레이션 결과 데이터를 토대로 분산분석을 활용하였으며[80], 분산분석 결과 유의확률이 0.05이하로써 계획요소의 변화에 따라 교육시설의 냉난방에너지 소요량에 유의미한 영향을 미치는 패시브계획요소들을 다음 <Table 4.30>과 같다.

<Table4.29.> 에너지원별 주요 건축계획요소

	주요 건축계획 요소
난방에너지	교실의 크기, 외벽 단열성능, 교실 창호 단열성능, 건물의 향 교실 유리 투과율, 교실 기밀성능
냉방에너지	교실 유리 투과율, 교실 창면적비, 차양 및 광선반, 건물의 향, 교실 기밀성능

80) 박성현, op.cit

③ 패시브 계획요소 기여율 및 영향력 분석

분산분석을 통하여 선정된 패시브 계획요소들에 대하여 각 계획요소들이 건축물의 에너지 성능에 미치는 기여율 및 영향력을 구하기 위하여 식 1～식 4를 대입하였으며, 각 에너지 분야별 건축계획요소의 기여율 및 영향력에 대한 정략적 수치는 <Table 4.31>,<Table 4.32>와 같다.

교육시설의 난방 에너지소비량에 미치는 패시브 계획요소의 기여율은 교실 기밀성능이 34.7%로 가장 크게 나타났으며, 건물의 향(24.7%), 외벽 단열성능(7.2%)이 비교적 크게 나타나 건물의 난방 에너지수요량을 저감시키기 위해서는 건물의 기밀성능 강화를 최우선적으로 고려해야한다는 것을 보여주고 있다.

<Table4.30.> 난방에너지소비량에 대한 건축계획 요소 평가표

건축계획 요소	기여율 (%)	에너지소비량에 대한 영향력 (kWh/교실·yr)		
		0 수준	1 수준	2 수준
교실X축길이	2.9%	-51.4	-7.5	59.0
교실Y축길이	2.0%	-52.9	15.4	37.5
외벽단열성능	7.2%	92.2	-21.5	-70.8
교실창호단열	3.4%	63.2	-9.0	-54.1
교실측 유리투과율	5.7%	75.3	-0.5	-74.8
교실기밀성능	34.7%	170.7	15.0	-185.7
향	24.7%	-135.9	-26.7	162.6

교육시설의 냉방 에너지소비량에 미치는 패시브 계획요소의 기여율은 교실측 유리 투과율이 44.6%로 가장 크게 나타났으며, 차양 및 광선반의 설치유무(14.2%), 건물의 향(10.2%)로 비교적 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 교육시설에서의 냉방에너지 소비량은 실내로의 태양 일사의 유입 정도에 큰 영향을 받는 것을 의미하며, 냉방기간 태양일사의 효과적인 차단을 통해 건물 냉방에너지 저감 전략을 수립해야 한다.

<Table4.31.> 냉방에너지소비량에 대한 건축계획 요소 평가표

건축계획 요소	기여율(%)	에너지소비량에 대한 영향력 (kWh/교실·yr)		
		0 수준	1 수준	2 수준
교실측 유리투과	44.6%	-90.6	-17.8	108.4
교실창면적비	7.6%	-41.7	-1.9	43.5
차양 및 광선반	14.2%	65.0	-30.8	-44.3
교실기밀성능	2.6%	-26.8	0.1	26.5
향	10.2%	-49.7	1.3	48.3

(2) 건축물 용도별 액티브 디자인 절약계획

건축물의 액티브 절약계획은 적절한 시스템의 선정 및 규모 산정, 기기의 고효율 운전을 통해 가능하며, 공조기기와 열원기기로 구분된다.

주거시설, 업무시설, 교육시설의 경우 각각 다른 공조방식과 열원기기가 채택하고 있다.

먼저 주거시설은 난방은 바닥복사난방방식을 사용하고 있으며, 열원기기로는 가스보일러를 사용한다. 바닥난방방식은 좌식생활을 하는 주거생활방식에 적합하며, 가스보일러는 건물의 난방에 일반적으로 사용되는 방식으로 제어가 매우 단순한 특성이 있다. 냉방은 PTAC를 사용하고 있는데, PTAC도 개별 냉방시스템으로 제어가 쉬워 주택의 냉방시스템으로 가장 많이 이용되고 있는 시스템이다.

업무시설은 내주부에는 변풍량 단일덕트방식이(VAV Single Duct), 외주부에는 팬코일유닛방식(FCU)을 사용하고 있다. 외주부의 FCU 방식은 겨울철 콜드 드래프트나 여름철 일사부하 제어 등 외부기후환경에 대응하기 용이하며, 내주부는 사용인원의 지역적 활동 변화가 크기 때문에 VAV방식이 적합하다. 열원기기로 난방은 가스보일러를 사용하고 있으며, 냉방기기로 터보식 냉동기를 쓰고 있다.

교육시설은 냉난방시스템으로 EHP(Electric Heat-pump)를 사용하고 있다. EHP는 여름철 가장 더운 시기와 겨울철 가장 추운시기에 방학을 하며 냉난방부하의 양이 적기에 냉난방이 동시에 가능한 EHP가 적합하다.

각 용도별 건축물의 설비시스템은 용도별 목적에 부합한 시스템을 사용하고 있으며, HVAC 시스템 설계지침에 따라 최소한의 용량으로 설계된 상태이다. 또한 설비시스템의 경우 시스템 변환에 있어 전문적인 지식이 상당히 요구되기에 건축설비요소를 이용한 액티브 절약계획에 있어 시스템의 종류를 변화시키기 보다는 현재 기술력을 동원하여 열원기기의 효율을 향상시키는 계획을 수립한다.

(3) 건축물 용도별 에너지 절약계획안

도시의 에너지 절약을 위해 먼저 패시브 기법은 건축물 용도별, 에너지원별로 유의한 건축계획요소들 선정하여 각 요소들의 기여율 및 영향력을 분석하였다. 이를 대상지에 적용하기 위해 도시 내 입지여건 및 현황을 파악하여 요소들의 성능수준을 결정하였다. 액티브 기법은 건축용도별로 냉난방 열원기기의 성능수준을 결정하였다.

가) 주거시설

주거시설은 도시 내 입지 여건에 따른 제약이 적어 적용할 수 있는 계획요소의 수준이 동일하며 패시브 계획요소의 적용방안은 <Table 4.33>과 같다.

<Table4.32.> 주거시설의 패시브 디자인 적용 방안

계획요소	적용수준	계획요소	적용수준	계획요소	적용수준
평형	32평형	단열재 위치	외단열	전후면 창호성능	1.1W/㎡K
세대조합	6세대	단열재 두께	250mm	전면 창면적비	40%
향	남향	발코니 형태	Type C	후면 창면적비	20%

주거시설의 향은 난방에너지에 큰 영향을 미치므로, 긴 거주시간 동안 태양 입사를 유리하게 받아들일 수 있는 남향을 지향하였다. 또한 외기에 접하는 외벽을 감소시켜 건물의 열손실량을 줄이기 위해 6세대 조합을 계획하였다. 침기를 효과적으로 차단하기 위해 외단열을 250mm로 계획하고, 북측에도 발코니를 계획하여 외기가 직접적으로 침입하지 못하도록 하였다. 전후면의 창호 열관류율도 1.1W/㎡k로 강화하였다. 한편 평형의 경우 난방과 냉방에 유리한 평형이 서로 상이하여 기존의 32평형을 유지하였으며, 냉방 에너지를 저감시키기 위해 전, 후면의 창면적비를 최소화(40, 20%)하고, 남측발코니는 확장함으로써 실내가 과열되지 않도록 한다.

액티브 계획요소들 <Table 4.34>와 같이 열원기기의 효율을 보일러 90%, PTAC COP 4.6으로 향상시켰다.

<Table4.33.> 주거시설의 액티브 디자인 적용 방안

계획요소	적용수준	계획요소	적용수준
가스보일러	90%	PTAC	COP 4.6

나) 업무시설 건물

업무시설은 도시 내 입지 여건에 따른 제약이 적어 적용할 수 있는 계획요소의 수준이 동일하며 패시브 계획요소의 적용방안은 <Table 4.35>와 같다.

<Table4.34.> 업무시설 건물의 패시브 디자인 적용 방안

계획요소	적용수준	계획요소	적용수준
연면적	40,000m²	환기	0.1 ACH
SF비	0.07	창호단열 (북)	0.70 W/㎡K
장단변비	1:1	창호단열 (남)	2.40 W/㎡K
층고	3.7m	차폐계수(SHGC) - 남	0.6
창면적비 - 동,서,북	20%	차폐계수(SHGC) - 서	0.2
창면적비 - 남	60%	투과율(VLT) - 남,서	15%
벽체단열	0.16 W/㎡K	디밍 제어	100%

업무시설은 조명과 냉방에너지의 비중이 크기에 이를 위주로 계획요소의 적용수준을 변경하였다. 먼저 조명에너지 저감을 위하여 일사량을 충분히 받을 수 있는 남향을 지향하였으며, 디밍 제어를 통해 자연채광을 효과적으로 이용하여 조명에너지를 저감되었다. 냉방에너지를 저감을 위해 남측은 창면적비를 크게 하고(60%), 창호단열이 낮은(2.4W/㎡k) 유리창을 사용함으로써 실내가 과열되지 않도록 하였다. 남측의 SHGC성능은 냉난방에너지에 모두 유의한 요소로서 서로 상이한 영향을 미쳤는데, 영향력이 더 큰 냉방에너지를 기준으로 성능수준을 계획하였다. 연면적은 단위면적당 에너지 소비량은 업무시설의 규모가 커질수록 작아지지만 건물 전체 에너지 소비량의 관점에서는 규모가 커질수록 전체에너지 소비량도 커지기 때문에 조건을 변경하지 않았다. 한편, 난방에너지 저감을 위해 동,서,북향의 창면적비를 최소화(20%)하고, 유리의 SHGC 및 VLT가 작은 유리(0.2, 15%)를 사용하여 여름철 태양열의 입사를 줄였으며, 북측 창호의 단열 성능을 0.7W/㎡k, 벽체의 단열 성능도 0.16W/㎡k로 강화하였다.

액티브 계획요소들 <Table 4.36>과 같이 열원기기의 효율을 보일러 90%, 터보형 냉동기의 COP 4.6으로 향상시켰다.

<Table4.35.> 업무시설의 액티브 디자인 적용 방안

계획요소	적용수준	계획요소	적용수준
가스보일러	90%	터보형 냉동기	COP 4.6

다) 교육시설

교육시설은 동일한 입지조건에 위치하여 적용할 수 있는 계획요소의 수준이 동일하며 패시브 계획요소의 적용방안은 <Table 4.37>과 같다.

<Table4.36.> 교육시설의 패시브 계획요소 적용 방안

계획요소	적용수준	계획요소	적용수준
건물의 향	남향	교실 기밀성능	0.3ACH
교실 X축 길이	8.1m	외벽 단열성능	0.16 W/㎡K
교실 Y축 길이	7.5m	교실 창호 단열	0.96 W/㎡K
교실측 SHGC	0.35	차양 및 광선반	차양설치
교실 창면적비	30%		

교육시설의 에너지 절약을 위한 패시브 기법으로써 먼저 난방에너지 저감을 위해 기본적으로 남향을 지향하고, 주 생활공간인 교실의 기밀성을 최소화(0.3ACH)하며, 외벽 및 창호의 단열성능을 강화(0.16 W/㎡K, 0.96 W/㎡K)하고, 교실의 규모를 학생들의 활동 성향 및 패턴을 고려하여 가장 작게 계획하였다.

또한 유리의 투과율 즉 SHGC가 적은 유리를 사용함(0.35)으로써 여름철 태양열의 입사를 줄이고, 차양장치의 적용과 실내 쾌적감 공급에 영향을 미치지 않는 범위에서 최소의 창면적비(30%)를 적용하여 냉방에너지를 저감을 도모하였다.

액티브 계획요소는 <Table 4.38>과 같이 EHP 난방기기의 COP를 3.5로, 냉방기기의 COP 4.6으로 향상시켰다.

<Table4.37.> 교육시설의 액티브 디자인 적용 방안

계획요소	적용수준	계획요소	적용수준
EHP 난방	COP 3.5	EHP 냉방	COP 4.6

4.3.3 도시의 에너지 절약 성능평가

(1) 건물 용도별 에너지 절약 성능평가

가) 주거시설

주거시설의 표준 모델과 패시브 디자인 절약 계획안의 성능수준으로 요소들을 적용하였을 때의 제안건물의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량을 표준 모델과 비교하면 <Table 4.39>와 같다.

<Table4.38.> 주거시설 패시브 디자인 절약계획 적용에 따른 에너지소비량 및 CO_2 배출량변화

		난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 (kWh/m^2yr)	표준 건물	85.8	7.5	55.4	16.4	165.0
	패시브 절약 제안 건물	34.1	9.9	55.4	16.4	115.7
	저 감 량	51.7	-2.4	0.0	0.0	49.3
CO_2 ($kgCO_2$ /m^2yr)	표준 건물	17.5	3.2	23.5	3.3	47.5
	패시브 절약 제안 건물	6.9	4.2	23.5	3.3	37.9
	저 감 량	10.5	-1.0	0.0	0.0	9.5

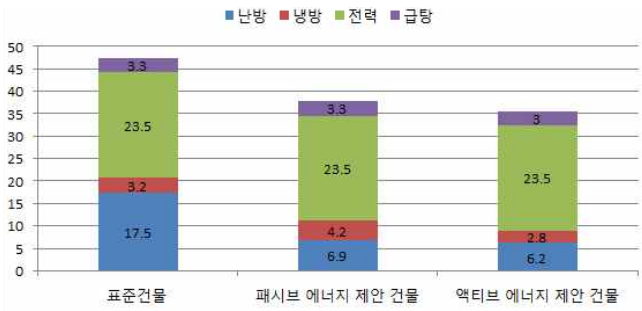
분석 결과 패시브 계획요소들을 적용한 주거시설은 기존 시설에 비해 난방에너지는 에너지 소비량이 51.7kWh/m^2yr, CO_2 배출량이 10.5kgCO_2 저감되어 에너지 소비량과 CO_2 배출량이 모두 약60%로 저감되었다. 하지만 냉방의 경우 에너지 소비량은 2.4kWh/m^2yr, CO_2 배출량이 1.0kgCO_2 증가하여 약 30% 증가하였다. 이는 주거시설에서 전체 에너지 소비량 중 비중이 큰 난방에너지 저감을 우선시 하다 보니, 난방에너지 저감에 유리한 설계 요소의 성능수준이 냉방에너지에는 불리하게 작용하여 오히려 냉방에너지는 증가한 것으로 보인다. 패시브 요소의 성능을 변화하였기에 내부 발열요소 및 시스템의 영향이 큰 전력 및 급탕에너지의 소비량 및 이에 따른 CO_2 배출량의 변화는 없었다. 난방에너지 저감량이 냉방에너지의 증가량보다 크기 때문에 패시브 디자인 절약계획을 적용하였을 때 전체 에너지 소비량은 49.3kWh/m^2yr로 29.8% 저감되었다.

주거시설의 패시브 디자인 절약 계획안 적용 건물과 액티브 디자인 절약 계획안의 성능수준으로 요소들을 추가로 적용한 건물의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량을 비교하면<Table 4.40>이며, 그래프는 <Fig 4.6>이다.

<Table4.39.> 주거시설 패시브+액티브 디자인 절약계획 적용에 따른 에너지소비량 및 CO_2 배출량 변화

		난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 (kWh/m²yr)	패시브 절약 제안 건물	34.1	9.9	55.4	16.4	115.8
	패시브+액티브 절약 제안건물	30.3	6.6	55.4	14.6	106.9
	저 감 량	3.8	3.3	0.0	1.8	8.9
CO_2 ($kgCO_2$ /m²yr)	패시브 절약 제안 건물	6.9	4.2	23.5	3.3	38.0
	패시브+액티브 절약 제안건물	6.2	2.8	23.5	3.0	35.4
	저 감 량	0.8	1.4	0.0	0.4	2.5

열원기기의 성능 향상을 통해 난방과 급탕, 냉방의 에너지 소비량을 저감할 수 있었다. 보일러의 효율 향상을 통하여 난방에너지 3.8kWh/m²yr, 급탕에너지 1.8kWh/m²yr을 저감되었으며, 이는 각각 CO_2 배출량 0.8$kgCO_2$, 0.4$kgCO_2$ 을 저감시켰다. PTAC의 효율 향상을 통해 냉방에너지를 3.3kWh/m²yr, CO_2 배출량 1.4$kgCO_2$ 저감시켰다. 주거시설에 패시브 디자인 절약계획 적용 후 액티브 디자인 절약계획을 통해 총 8.9kWh/m²yr 저감되어 전체에너지 소비량은 106.9kWh/m²yr이며, CO_2 배출량은 2.5$kgCO_2$ 저감되어 35.4$kgCO_2$ 이다.



<Fig.4.6.> 주거시설의 단위면적당 CO_2 배출량 변화

나) 업무시설 건물

업무시설의 표준 모델과 패시브 디자인 절약 계획안의 성능수준으로 요소들을 적용하였을 때의 제안건물의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량을 표준 모델과 비교하면 <Table 4.41>과 같다.

<Table4.40.> 업무시설 패시브 디자인 절약계획 적용에 따른 에너지소비량 및 CO_2 배출량변화

		난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 (kWh/m²yr)	표준 건물	35.1	60.7	82.0	-	177.8
	패시브 절약 제안 건물	23.3	39.5	66.1	-	128.9
	저 감 량	11.8	21.2	15.9	-	48.9
CO_2 ($kgCO_2$ /m²yr)	표준 건물	7.2	25.7	34.8	-	67.7
	패시브 절약 제안 건물	4.7	16.7	28.0	-	49.5
	저 감 량	2.4	9.0	6.7	-	18.1

분석결과 패시브 계획요소들을 적용한 업무시설은 기존 시설에 비해 냉방에너지 소비량이 21.2kWh/m²yr, CO_2 배출량이 9.0$kgCO_2$ 저감되어 약 35%로 저감되었다. 또한 전력에너지 소비량도 15.9kWh/m²yr, CO_2 배출량이 6.7$kgCO_2$ 로 약 20%가 저감되었다.

이는 기존업무시설의 냉방 및 조명에너지 소비량의 비중이 커 패시브 절약계획에 있어 냉방 및 조명에너지에 유의한 요소들의 성능을 유리하게 변화시켰기 때문이다. 건축계획요소는 냉방에너지에 유의한 요소들이 더 많았기 때문에 냉방에너지의 저감량이 전력에너지보다 더 크게 나타났다.

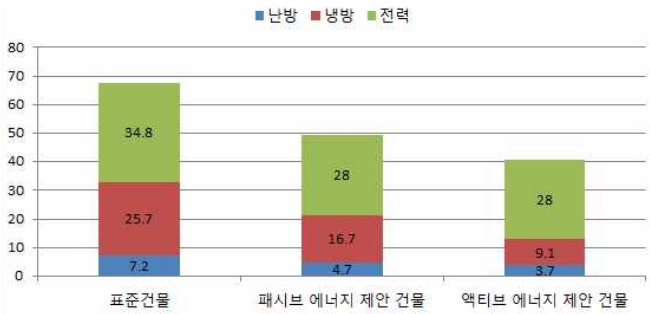
패시브 디자인 절약계획을 적용하였을 때 전체 에너지 소비량은 기준모델 대비 27.5%인 48.9 kWh/m²yr가 저감되어 128.9 kWh/m²yr이며, CO_2 배출량은 기존모델 대비 26.7%인 18.1 $kgCO_2$ 가 저감되어 49.5 $kgCO_2$ 이다.

업무시설의 패시브 디자인 절약계획안 적용 건물과 액티브 디자인 절약계획안의 성능수준으로 요소들을 추가로 적용한 건물의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량을 비교하면 <Table 4.42>이며, 그래프는 <Fig 4.7>이다.

<Table4.41.> 업무시설 패시브+액티브 디자인 절약계획 적용에 따른 에너지소비량 및 CO_2 배출량 변화

		난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 (kWh/m²yr)	패시브 절약 제안건물	23.3	39.5	66.1	-	128.9
	패시브+액티브 절약 제안건물	18.1	21.5	66.1	-	105.7
	저 감 량	5.2	18.0	0.0	-	23.2
CO_2 ($kgCO_2$ /m²yr)	패시브 절약 제안 건물	4.7	16.7	28.0	-	49.5
	패시브+액티브 절약 제안건물	3.7	9.1	28.0	-	40.8
	저 감 량	1.1	7.6	0.0	-	8.7

열원기기의 성능 향상을 통해 냉난방에너지 소비량이 저감되었는데, 특히 터보식 냉동기의 효율 향상을 통해 냉방에너지 소비량 18.0kWh/m²yr, CO_2 배출량 7.6kgCO_2 저감되어 효과가 크게 나타났으며 그 중 난방에너지는 5.2kWh/m²y, CO_2 배출량 1.1kgCO_2 저감되었다. 패시브 디자인 절약계획 적용 후 액티브 디자인 절약계획을 통해 총 23.2kWh/m²yr 저감되어 전체에너지 소비량은 105.7kWh/m²yr이며, CO_2 배출량은 8.7kgCO_2 저감되어 40.8 kgCO_2 이다.



<Fig.4.7.> 업무시설의 단위면적당 CO_2 배출량 변화

다) 교육시설

교육시설의 표준 모델과 패시브 디자인 절약 계획안의 성능수준으로 요소들을 적용하였을 때의 제안건물의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량을 표준 모델과 비교하면 <Table 4.43>과 같다.

<Table4.42.> 교육시설 패시브 디자인 절약계획 적용에 따른 에너지소비량 및 CO_2 배출량변화

		난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 (kWh/m^2yr)	표준 건물	10.5	3.6	6.5	-	20.6
	패시브 절약 제안 건물	4.9	2.9	6.5	-	14.3
	저 감 량	5.6	0.7	0.0	-	6.3
CO_2 ($kgCO_2$ /m^2yr)	표준 건물	2.1	1.5	2.8	-	6.4
	패시브 절약 제안 건물	1.0	1.2	2.8	-	5.0
	저 감 량	1.1	0.3	0.0	-	1.4

분석결과 교육시설은 기존 건물의 에너지소비량 중 비중이 높았던 난방에너지에 유의한 요소들을 위주로 성능을 변화시켜 난방에너지 소비량의 저감량이 표준모델 대비 53.3%인 5.6kWh/m^2yr 저감되었으며, CO_2 배출량은 1.1kgCO_2 로 가장 컸으며 약 52.4%정도가 저감되었다. 냉방에너지 소비량은 표준모델 대비 19.4%인 0.7kWh/m^2yr가 저감되었으며, CO_2 배출량은 20.0%인 0.3kgCO_2 저감되었다.

이는 표준모델의 에너지 소비 분포 중 난방에너지가 차지하는 비율이 가장 컸기 때문에 패시브 절약계획에 있어 난방에너지에 유의한 요소들의 성능을 우선적으로 유리하게 변화시켰기 때문이다.

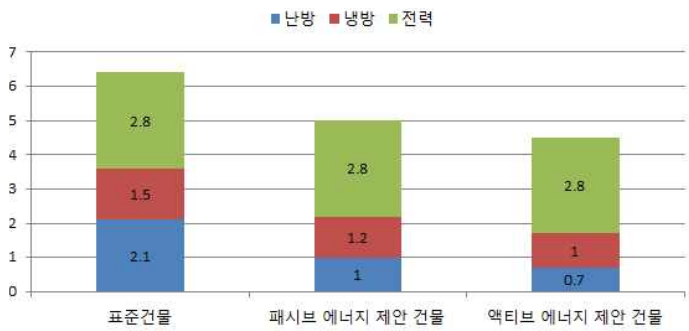
패시브 디자인 절약계획을 적용하였을 때 전체 에너지 소비량은 표준모델 대비 30.5%인 6.3kWh/m^2yr가 저감되어 20.6kWh/m^2yr이며, CO_2 배출량은 기존모델 대비 21.9%인 1.4kgCO_2 가 저감되어 5.0kgCO_2 이다.

교육시설의 패시브 디자인 절약계획안 적용 건물과 액티브 디자인 절약계획안의 성능수준으로 요소들을 추가로 적용한 건물의 에너지 소비량 및 CO_2 배출량을 비교하면 <Table 4.44>이며, 그래프는 <Fig 4.8>이다.

<Table4.43.> 교육시설 패시브+액티브 디자인 절약계획 적용에 따른 에너지소비량 및 CO_2 배출량 변화

		난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 (kWh/m^2yr)	패시브 절약 제안 건물	4.9	2.9	6.5	-	14.3
	패시브+액티브 절약 제안 건물	3.6	2.4	6.5	-	12.5
	저 감 량	1.3	0.5	0.0	-	1.8
CO_2 ($kgCO_2/m^2yr$)	패시브 절약 제안 건물	1.0	1.2	2.8	-	5.0
	패시브+액티브 절약 제안 건물	0.7	1.0	2.8	-	4.5
	저 감 량	0.3	0.2	0.0	-	0.5

EHP의 성능 향상을 통해 난방에너지 소비량이 $1.3kWh/m^2yr$, CO_2 배출량이 $0.3kgCO_2$ 저감되었으며, 교육시설의 액티브 디자인 절약계획을 통해 전체에너지 소비량은 패시브 디자인 절약계획 적용모델 대비 12.6%인 $1.8kWh/m^2yr$ 저감되어 12.5 kWh/m^2yr이며, CO_2 배출량은 패시브 디자인 절약계획 적용모델 대비10.0%인 $0.5kgCO_2$ 저감되어 4.5 $kgCO_2$ 이다.



<Fig.4.8.> 교육시설의 단위면적당 CO_2 배출량 변화

(2) 도시의 에너지 절약 성능평가

패시브 및 액티브 계획기법들을 적용한 개별 건축물들을 확장하여 도시 차원으로 적용하였다. 건축물 용도별로 적용한 기법들은 앞에서 제시한 성능과 동일하며 제안하는 도시모델에 대한 에너지 성능결과는 <Table 4.45>와 같다.

패시브 절약계획을 적용하였을 때 연간 표준모델 대비 29.1%인 26,982.1MWh/yr의 에너지 소비가 저감되어 65,699.8MWh/yr이다. 액티브 절약계획을 추가로 적용하였을 때 패시브 디자인 적용 모델 대비 연간 11.0%인 7,196.0MWh/yr가 저감되어 58,503.8MWh/yr이다.

이에 따라 에너지 절약계획을 통해 에너지 소비량은 92,682.0MWh/yr에서 58,503.8MWh/yr로 저감되어 총 34,178.2MWh, 36.9%가 저감되었으며, 특히 난방이 62.3%, 냉방이 52.4%로 크게 저감되었다.

<Table4.44.> 도시의 에너지 절약계획 적용에 따른 에너지 소비량 변화

단위 : MWh/yr, (%)

	난방	냉방	조명	급탕	총합
표준 모델 (A')	39,004.5	12,638.9	34,672.2	6,366.4	92,682.0
패시브 절약 제안 모델 (B')	17,009.6	10,194.2	32129.7	6,366.4	65,699.8
패시브+액티브 절약 제안 모델 (C')	14,702.1	6,013.1	32,129.7	5,659.0	58,503.8
A' - B' 저 감 량	21,994.9	2,444.7	2,542.5	0.0	26,982.1
(저 감 율)	(56.4)	(19.3)	(7.3)	0.0	(29.1)
B' - C' 저 감 량	2,307.5	4,181.1	0.0	707.4	7,196.0
(저 감 율)	(13.6)	(41.0)	(0.0)	(11.1)	(11.0)
A' - C' 저 감 량	24,302.4	6,625.8	2,542.5	707.4	34,178.2
(저 감 율)	(62.3)	(52.4)	(7.3)	(11.1)	(36.9)

에너지 절약계획을 CO_2 배출량 변화는 <Table 4.46>과 같으며, 패시브 절약계획을 적용하였을 때 연간 표준모델 대비 22.5%인 6,595.6tCO_2 의 CO_2 배출량이 저감되어 22,707.7tCO_2 /yr이다. 액티브 절약계획을 추가로 적용하였을 때 패시브 디자인 적용 모델 대비 연간 10.5%인

2,387.0tCO_2 가 저감되어 20,320.7tCO_2 /yr이다.

이에 따라 에너지 절약계획을 통해 표준 모델 대비 CO_2 배출량은 총 8,982.6tCO_2 /yr, 30.7%가 저감되어 20,320.7tCO_2 /yr이며, 특히 난방이 62.3%, 냉방이 52.4%로 크게 저감되었다.

<Table4.45.> 도시의 에너지 절약계획 적용에 따른 CO_2 배출량 변화

단위 : tCO_2 /yr, (%)

	난방	냉방	조명	급탕	총합
표준 모델 (A')	7,946.4	5,358.9	14,701.0	1,297.0	29,303.3
패시브 절약 제안 모델 (B')	3,465.4	4,322.3	13,623.0	1,297.0	22,707.7
패시브+액티브 절약 제안 모델 (C')	2,995.3	2,549.6	13,623.0	1,152.9	20,320.7
A' - B' 저 감 량	4,481.0	1,036.6	1,078.0	0.0	6,595.6
(저 감 율)	(56.4)	(19.3)	(7.3)	(0.0)	(22.5)
B' - C' 저 감 량	470.1	1,772.8	0.0	144.1	2,387.0
(저 감 율)	(13.6)	(41.0)	(0.0)	(11.1)	(10.5)
A' - C' 저 감 량	4,951.1	2,809.3	1,078.0	144.1	8,982.6
(저 감 율)	(62.3)	(52.4)	(7.3)	(11.1)	(30.7)

도시 전체의 연간 총에너지 소비량 및 CO_2 배출량은 <Table 4.47>과 같다. 표준 모델 대비 냉난방이 전체에너지 소비량의 55.7%인 20,715.2MWh, CO_2 배출량의 45.4%를 차지하였었는데 에너지 절약 계획안을 적용함으로써 냉난방 소비량이 적극적으로 저감되어 냉난방에너지 소비량의 35.4%인 34,178.2MWh/yr, CO_2 배출량의 27.2%인 4,844.9tCO_2를 저감되었다.

<Table4.46.> 도시의 건축물 총 에너지 소비량 및 CO_2 배출량

	난방	냉방	전력	급탕	총량
에너지 소비량 (MWh/yr)	14,702.1	6,013.1	32,129.7	5,659.0	58,503.9
비율(%)	25.1	10.3	54.9	9.7	100
CO_2 배출량 (tCO_2)	2,995.3	2,549.6	13,623.0	1,152.9	20,320.8
비율(%)	14.7	12.5	67.0	5.8	100

4.4 건축적 차원의 제로에미션 시티 신재생에너지 적용계획

에너지 절약계획을 통해 저감한 뒤 필요로 하는 에너지는 신재생에너지를 통해 공급한다. 도시환경은 건물이 밀집되어있어 신재생에너지를 위한 별도의 부지마련에 한계가 있기에 도시의 에너지 공급체계는 먼저 건물에 가능한 신재생에너지를 생산하여 자체적으로 에너지를 공급한 후, 부족한 에너지는 별도의 생산단지를 연계하여 공급하는 것이 바람직하다.

신재생에너지 시스템 중 대상지에 적용가능한 에너지는 태양광 시스템, 태양열 시스템, 지열 시스템이 있으며, 각 시스템들은 외부 환경조건에 따라 에너지 생산에 영향을 받는다. 따라서 용도별 건축물에 여러 시스템을 적절히 조합하여 안정적인 에너지 공급이 이루어지도록 해야 한다.

4.4.1 건축적 차원의 신재생에너지 적용 계획

건축적 차원에서의 신재생에너지 적용을 위해서는 건물의 에너지 소비와 신재생에너지 생산의 패턴을 비교 분석해야하며, 건축물의 적용 가능 위치 및 면적을 파악하는 잠재성 평가가 이루어져야 한다. 이를 바탕으로 에너지의 저장효율성, 이동시 손실률 등 시스템별 특성을 고려하여 적절하게 시스템 구성 및 에너지 담당 비율을 결정한다.

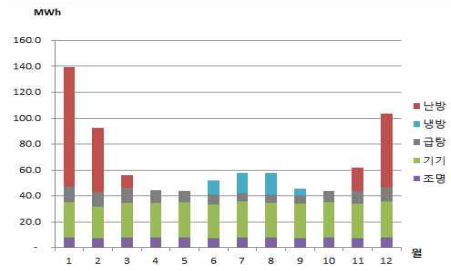
(1) 건물 용도별 에너지 소비 패턴 특성

신재생에너지시스템의 공급은 소비와 동시에 발생하는 형태를 가질 때 가장 효율적이므로 앞서 에너지 절약 계획을 통해 얻어진 도시의 용도별 에너지 절약형 건물들에 대한 에너지 소비 패턴을 파악하여 이에 대응하는 신재생에너지 계획을 수립하여야 한다.

건물 용도별 에너지 소비 패턴을 파악하기 위하여 월별, 시간별로 분석하였으며, 시간별 분석은 최한월인 1월과 최난월인 8월의 중간일을 기준으로 하였다. 신재생에너지는 건물 단위로 계획이 되기에 에너지 수요도 건물 단위로 분석하였다.

가) 주거시설

주거시설 1동의 연간 총에너지 수요량은 798.8MWh/yr로 산출되었으며, 전체 에너지 수요에 있어 전력의 수요비율이 414.0MWh/yr인 53.9%로 가장 우세하다. 난방에너지 수요량은 226.7MWh/yr, 급탕에너지 수요량은 108.8MWh/yr로 산출되었다. 월별 에너지 수요량은 <Fig 4.9>, <Table 4.48>이며 난방에너지 수요가 크게 나타나는 11월과 3월 사이에 에너지 수요량이 상대적으로 크게 발생하였으며, 일반전력과 급탕의 경우 월별 소비량이 큰 변화 없이 일정한 패턴으로 발생한 것으로 나타났다.



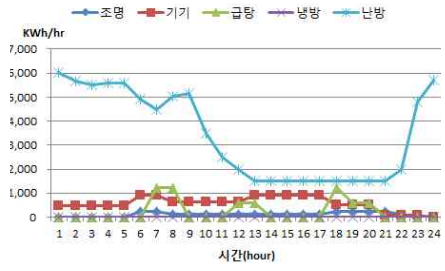
<Fig.4.9.> 주거시설의 월별 에너지 수요량

<Table4.47.> 주거시설의 월별 에너지 수요량

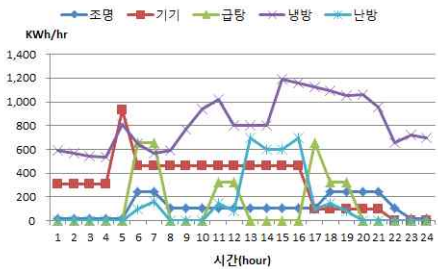
(단위 : MWh)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
기기	27.5	24.8	26.9	26.6	27.2	26.1
조명	7.9	7.1	7.7	7.7	7.8	7.5
급탕	11.7	11.3	11.5	10.1	9.0	7.4
냉방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
난방	92.5	49.5	10.1	0.0	0.0	0.0
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
기기	27.7	26.9	26.4	27.4	26.4	27.7
조명	8.0	7.7	7.5	7.9	7.6	8.0
급탕	6.2	6.0	6.3	8.6	9.7	11.0
냉방	16.0	16.8	5.4	0.0	0.0	0.0
난방	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	56.7

주거시설은 일간 에너지 수요패턴은 <Fig 4.10>, <Fig 4.11>이다. 거주자가 일어나서 활동을 시작하는 오전7시~9시 사이와 귀가하는 18시~22시 사이 에너지 수요가 높은 특성이 있다. 1월의 일간 에너지 소비패턴은 야간에 난방에너지가 높게 발생하며, 8월은 일사량이 가장 높은 15시 사이에 최대 냉방에너지 소비가 발생하고 이후 감소하는 패턴을 보인다.



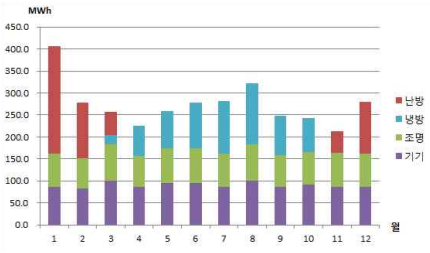
<Fig.4.10.> 주거시설 일간 에너지 수요량(동지-12.22)



<Fig.4.11.> 주거시설 일간 에너지 수요량(하지-6.21)

나) 업무시설

업무시설 1동의 연간 총에너지 수요량은 3,384.2MWh/yr로 산출되었으며, 에너지 절약계획을 통해 냉난방의 에너지 수요가 많이 줄어들어 전력에너지 수요량이 2,116.8MWh/yr로 전체에너지 소비량의 61.3%이다. 난방에너지 수요량은 580.3MWh/yr, 냉방에너지 수요량은 687.1MWh/yr로 산출되었다. 월별에너지 수요량은 <Fig 4.12>, <Table 4.49>이며, 전력에너지의 에너지 수요량이 고정적으로 연중 크게 나타나며 난방수요가 높은 1월이 월별 에너지 소비량은 제일 높지만 6~8월 여름철의 에너지 소비량이 12~2월 겨울철보다 크다.



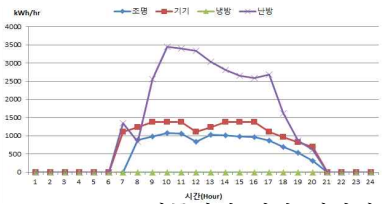
<Fig.4.12.> 업무시설의 월별 에너지 수요량

<Table4.48.> 업무시설의 월별 에너지 수요량

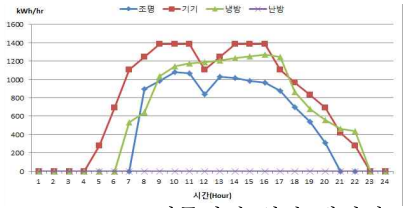
(단위 : MWh)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
기기	96.3	91.5	110.7	96.3	105.9	105.9
조명	75.9	69.1	83.2	70.6	78.5	78.3
냉방	0.0	0.0	21.4	65.5	82.0	102.2
난방	241.6	124.1	51.0	0.0	0.0	0.0
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
기기	96.3	110.7	96.3	101.1	96.3	96.3
조명	75.8	83.8	72.0	74.8	77.0	74.5
냉방	117.0	136.4	87.4	75.2	0.0	0.0
난방	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	116.6

업무시설의 일일 에너지수요패턴 <Fig 4.13>, <Fig 4.14>이다. 1월과 7월 모두 운영 스케줄과 비슷한 패턴으로 에너지가 사용되고 있으며, 근무시간인 7시와 22시에 걸쳐 에너지 소비가 집중적으로 발생하고 있으며 전력에너지는 점심시간인 12~13시에 사이에 에너지 소비량이 조금 줄어들었다. 1월의 일간 에너지 소비패턴은 난방에너지는 7시와 8시 사이에 피크가 한번 발생하며 8월의 일간 에너지 소비패턴은 일사량이 가장 큰 15시경에 가장 높다.



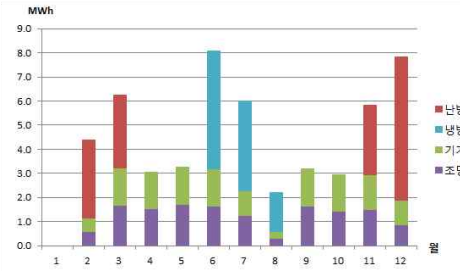
<Fig.4.13.> 업무시설 일간 에너지 수요량(동지-12.22)



<Fig.4.14.> 업무시설 일간 에너지 수요량(하지-6.21)

다) 교육시설

교육시설 1동의 연간 총에너지 수요량은 53.0MWh/yr로 산출되었으며, 난방에너지 수요량은 14.2MWh/yr, 냉방에너지 수요량은 13.6MWh/yr, 전력에너지 수요량은 15.1MWh/yr로 산출되었다. 전체 에너지 수요에 있어 전력의 수요비율이 52.3%로 가장 우세하다. 월별 에너지 수요량 <Fig 4.15>, <Table 4.50>이며, 교육시설의 특성상 냉·난방에너지가 가장 많이 발생하는 기간에 방학을 가지기 때문에 난방 및 냉방에너지의 소비량이 다른 용도의 건물에 비해 적게 소요되는 것을 볼 수 있다. 또한 학업이 이루어지는 건물의 용도상 조명이 매우 중요한 요소로 작용하여 방학기간을 제외한 기간에 전체 에너지 수요량 중 높은 비율을 차지한다.



<Fig.4.15.> 교육시설의 월별 에너지 수요량

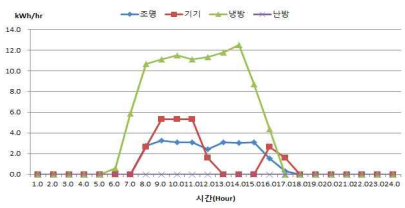
<Table4.49.> 교육시설의 월별 에너지 수요량

(단위 : MWh)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월
기기	0.0	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8
조명	0.0	0.3	0.9	0.8	0.9	0.8
냉방	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
난방	0.0	1.7	1.6	0.0	0.0	0.0
	7월	8월	9월	10월	11월	12월
기기	0.5	0.2	0.8	0.8	0.7	0.5
조명	0.7	0.2	0.8	0.7	0.8	0.4
냉방	1.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
난방	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	3.1

교육시설의 일일 에너지수요패턴은 <Fig 4.16>, <Fig 4.17>이다. 수업시간인 7시와 17시에 걸쳐 에너지 소비가 집중적으로 발생하고 있다. 1월의 일간 에너지 소비패턴은 난방에너지는 교육시설 운영스케줄에 따라 유사한 패턴으로 나타났으며, 7월의 냉방에너지는 일사가 영향을 미치는 오후 15시경 최대치를 보인다.

<Fig.4.16.> 교육시설 일간 에너지 수요량 (동지-12.22)



<Fig.4.17.> 교육시설 일간 에너지 수요량(하지-6.21)

(2) 신재생에너지 생산 패턴 특성

건축물에 수요패턴에 맞추어 신재생에너지를 공급하기 위해서는 신재생에너지의 시스템별 생산 패턴 또한 월별, 시간별로 파악하여야 한다. 신재생에너지 시스템에 대한 에너지 생산 패턴은 각 신재생에너지원별 기후데이터 패턴으로 예상할 수 있다. 기후데이터는 태양에너지의 경우 한국에너지기술연구원[81]에서 제공한 인근 지역인 서울지역의 기상데이터를 이용하였으며, 지열에너지의 경우 기상청에서 제공한 수원지역의 자료를 이용하여 예측하였다.

가) 태양에너지 시스템

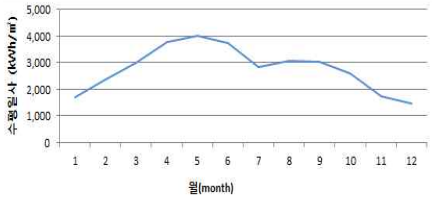
태양에너지 시스템(태양광 시스템, 태양열 시스템)은 일사량에 따라 에너지 생산량이 영향을 받기에 주간에만 생산이 가능하며, 시스템의 발전 패턴은 일사량의 패턴과 유사하다. 이에 따라 태양에너지 시스템의 이용 가능성 평가는 대상지역의 일사량을 기준으로 하며, 일사량은 시스템이 설치되는 위치의 위도와 경도에 따라 변화하며, 계절 및 시간에 따라 그 값의 차이가 난다. 특히 도시는 대기의 오염으로 대기 청명도(Clearness Index)가 낮으며 같은 위치라 하더라도 도시의 다양한 물리적 환경에 따라 차이가 발생한다.[82]

태양에너지 시스템의 일사 값은 지역의 수평면 평균 일간 총 복사 또는 전천복사를 이용하며, 태양열 시스템은 태양복사선 중 직달일사를 이용한다. 태양복사선은 지표에 도달되는 형태에 따라 직달일사와 산란일사로 구분되는데, 산란일사는 산란과정 없이 직접 도달하는 직달일사와 달리 집광하기가 어려우며, 에너지 생산이 간헐적이어서 계속적인 수요에 안정적 공급이 어려우므로 시스템에서 고온의 열에너지를 얻기 위해서는 직달일사의 집광이 필요하다.

81) 산업자원부, op.cit
82) 정아름, op.cit

태양에너지 시스템의 맑은 날 일반적인 생산패턴은 기상데이터와 마찬가지로 태양 고도에 따른 수평면 일사량 증가·감소 패턴과 같다. 따라서 연간· 일간 일사량 패턴을 통해 시스템의 발전량을 예측할 수 있으므로 적용가능성 판단의 기초가 된다.

<Fig. 4.18>, <Table 4.51>은 서울 지역의 월별 일평균 수평면 총 일사량 패턴[83]을 나타낸다. 일평균 최대 일사량은 5월이 가장 높으며, 5~9월 사이가 일사량이 높고, 11~3월까지 일사량이 낮은 것을 알 수 있다.



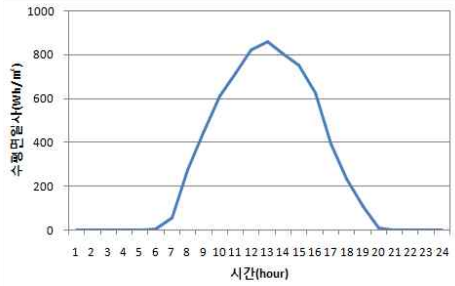
<Fig.4.18.> 서울지역 월별 지중온도

<Table4.50.> 서울지역 월별 지중온도

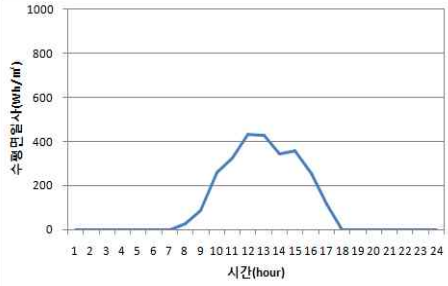
월	1	2	3	4
일사량	1,710	2,378	3,011	3,776
월	5	6	7	8
일사량	4,016	3,722	2,822	3,055
월	9	10	11	12
일사량	3,039	2,612	1,745	1,475

(단위 : ㎉/㎡ day)

<Fig. 4.19>, <Fig. 4.20>은 서울지역의 하지, 동지의 일일 수평면 일사 패턴을 나타낸다. 하지의 경우 주간 일사량이 매우 높게 나타나며, 시간에 따른 변화가 큰 편이다. 동지의 경우 주간의 일사량이 적게 나타나는 반면에 일간 일사량 패턴이 서로 유사한 것을 확인할 수 있다.



<Fig.4.19.> 서울지역 일간 수평면 일사량 -하지(6.21)



<Fig.4.20.> 서울지역 일간 수평면 일사량 -동지(12.22)

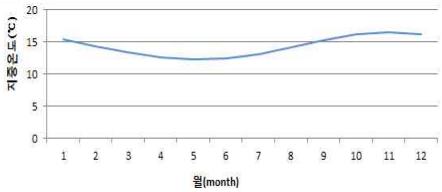
83) 한국태양에너지학회 홈페이지, http://www.kses.re.kr/

나) 지열에너지 시스템

지열에너지 시스템은 지중에 분포하는 열을 이용하는 시스템으로 냉열원과 온열원의 역할을 하는 지중온도 영향을 받기에 시스템의 발전패턴은 지중온도의 패턴과 유사하게 된다. 지중온도는 약 15m내외 깊이까지는 외부환경에 대한 영향을 받으나 그 이하 약 200m 정도까지는 연중 약 13~15℃를 유지한다. 또한 전국토의 모든 곳에서 큰 차이가 없어 위치에 따른 차이는 적은 편이다.

지열에너지 시스템의 생산패턴은 기상데이터와 마찬가지로 지중온도의 증가·감소 패턴과 같기에 연간·일간 지중온도 패턴을 통해 시스템의 발전량을 예측할 수 있으며 적용가능성 판단의 기초가 된다.

<Fig. 4.21>, <Table. 4.52>을 수원 지역의 월별 지중온도 패턴을 나타낸다. 지중온도는 10~12월에 상대적으로 높으며, 4~6월 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다.



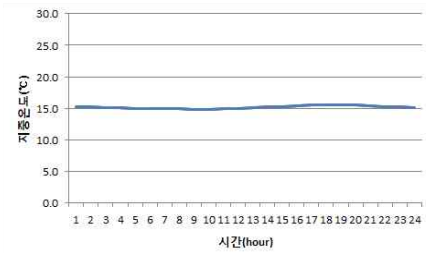
<Fig.4.21.> 수원지역 월별 지중온도

<Table4.51.> 수원지역 월별 지중온도

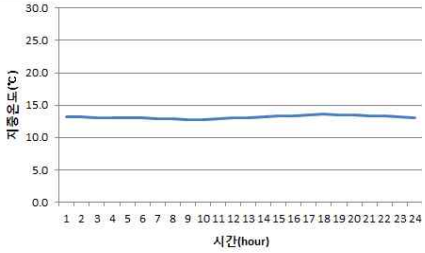
월	1	2	3	4
지중온도	15.4	14.4	13.4	12.6
월	5	6	7	8
지중온도	12.3	12.4	13.1	14.1
월	9	10	11	12
지중온도	15.3	16.2	16.5	16.2

(단위 : ℃)

<Fig. 4.22>, <Fig. 4.23>은 수원지역의 하지, 동지의 일일 지중 패턴을 나타낸다. 지중온도의 경우 시간에 따른 변화가 미미한 편이며 동지와 하지의 온도차도 크지 않음을 알 수 있다.



<Fig.4.22.> 수원지역 일간 지중온도 -하지(6.12)



<Fig.4.23.> 수원지역 일간 지중온도 -동지(12.22)

(3) 신재생에너지 잠재성 평가

도시에서 건축물에 대한 신재생에너지의 적용가능성은 에너지의 잠재성 평가를 통해 판단할 수 있다. 신재생에너지의 잠재성 평가를 통해 도시에서 각 건축물에 적용 가능한 시스템의 종류 및 위치를 파악할 수 있으며, 이에 따른 최대 생산량을 산출할 수 있다.

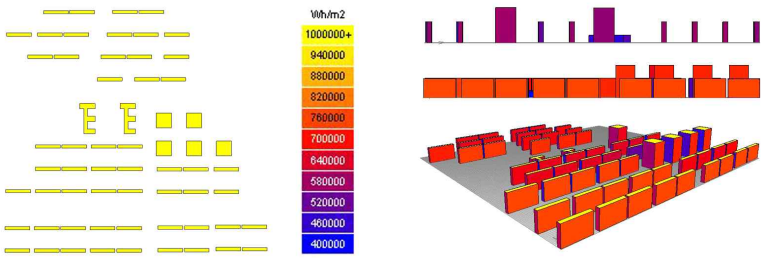
가) 태양에너지 시스템

태양에너지의 적용가능성은 도시환경(도시의 형태적 특성)에 따른 태양에너지의 정량적인 잠재량을 분석함으로써 판단할 수 있다.

태양에너지 시스템의 에너지 생산량은 전일사량에 의해 결정되므로, 도시의 태양에너지 잠재성은 태양에너지 시스템에 적용 가능한 각 건물의 입면과 옥상면이 받는 총일사량을 기준으로 태양에너지시스템을 적용할 수 있는 면적의 비율을 나타낸다.

적용 가능한 연간 일사량의 기준에 대하여 R.Compagnon(2004)[84]의 연구에서 태양광 시스템을 적용하기 위해서는 입면 800kWh/m², 옥상면 1,000kWh/m² 이상이어야 하며, 태양열 시스템을 적용하기 위해서는 입면 400kWh/m², 옥상면 600kWh/m² 이상을 제시하고 있다.

본 연구에서는 건물의 일사량을 산출하기 위하여 시뮬레이션 프로그램인 Autodesk Ecotect Analysis 2011 프로그램을 활용하였으며, 입면은 남, 동, 서향을 고려하였다. 그 결과는 <Fig 4.24>와 같다.



<Fig.4.24.> 도시 내 건축물의 음영 및 연간 총 일사량 예측

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

도시의 구성건물들에 대한 태양에너지의 적용가능성을 평가한 결과는 <Table 4.53>과 같다.

<Table4.52.> 건물 유형별 태양에너지 시스템 적용가능성 평가결과

		주거시설	사 무 소	학 교
태양광발전 시스템	입면 (m^2)	0.0 (-)	0.0 (-)	413.5 (3.7%)
	옥상면 (m^2)	57,600.0 (100.0%)	9,901.3 (100.0%)	8,765.3 (100.0%)
태양열발전 시스템	입면 (m^2)	30,6994.1 (87.8%)	9,689.6 (100.0%)	10,648.4 (94.4)
	옥상면 (m^2)	57,600.0 (100.0%)	9,901.3 (100.0%)	8,765.3 (100.0%)

시뮬레이션 결과 도시의 구성건물들은 모두 옥상면이 1,200kWh/m^2이상의 높은 일사량 확보가 가능하여 태양광 및 태양열 시스템의 적용가능성이 100%로 나타났다.

입면의 경우 주거용지의 건물들은 400kWh/m^2 이하의 일사량을 가지는 경우가 12.2%, 1,000kWh/m^2이상의 일사량이 나타나는 면은 없었다. 따라서 주거용지 건물들의 입면에 태양광 시스템을 적용하기는 어려운 것으로 나타났으나, 태양열 시스템의 경우 87.8% 적용 가능한 것으로 나타났다.

교육용지의 건물들의 경우, 400kWh/m^2 이하의 일사량을 가지는 경우가 5.6%, 1,000kWh/m^2이상의 일사량이 나타나는 면이 3.7% 이었다. 이에 따라 교육용지 건물들 중 일부(3.7%) 입면에 태양광 시스템을 적용가능하며, 태양열 시스템의 경우 94.4% 적용 가능한 것으로 나타났다.

업무용지의 건물들의 입면 중 400kWh/m^2 이하의 일사량을 가지는 경우는 없었으며, 1,000kWh/m^2이상의 일사량이 나타나는 입면도 없었다. 따라서 업무용지 건물들은 입면에 태양광 시스템은 적용이 어려우며, 태양열 시스템은 100% 적용가능한 것으로 나타났다.

도시의 구성건물들에 대한 태양에너지의 적용가능성을 평가한 결과 구성건물 모두 옥상면의 활용가능성이 뛰어났으며, 입면의 경우 태양광발전 시스템을 적용하기에는 일사량이 부족하기에 건물용도에 맞게 태양열발전 시스템을 적용하는 것이 유용할 것으로 판단되었다.

나) 지열에너지 시스템

지열에너지의 적용가능성은 대지조건에 따른 지열에너지의 잠재량을 분석함으로써 판단할 수 있다.

설치면적 확보가 어려운 도심지에 적합한 수직밀폐형 지중열교환기를 이용한 지열시스템의 에너지 생산량은 시스템 지중열교환기의 개수에 의해 결정되며, 계산식은 다음과 같다.

수직형 지중열교환기 개수 = 총 설치면적 / (이격 거리)^2

보어홀의 이 격거리 기준에 대하여 산업자원부(2005)[85]의 연구에서 설치 간격이 좁아질수록 천공 간 열적인 간섭이 심화되어 성능의 변화에 영향을 미치게 되며, 일반적인 이격 거리로 3m, 4m, 5m, 6m를 제시하고 있다. 본 연구에서는 천공간의 열간섭 방지를 고려하여 보어홀의 간격을 5m로 설정하였다.

지열에너지의 잠재성은 각 구성건물의의 대지면적에 대하여 지중열교환기의 최대설치가능면적의 비율로 나타내었다.

도시의 건축물에 대한 지열에너지의 적용가능성을 평가한 결과는 <Table 4.54>와 같다.

<Table4.53.> 건물 유형별 지열에너지 시스템 적용가능성 평가결과

	주거시설	사 무 소	학 교
설치가능면적 (m^2)	274,050.0 (68.1%)	113,389.1 (42.6%)	12,361.6 (41.1%)

주거시설은 건물 간의 이격 거리가 넓어 대지의 시스템 적용가능성이 68.1%로 높게 나타났으며, 업무시설의 경우 건폐율이 높아 시스템 적용가능성이 42.6%로 상대적으로 낮게 나타났다. 교육시설의 경우 학습교실 공간 이외에도 특별실로 이용되는 공간으로 인한 건폐율이 높아 시스템 적용가능성이 41.1%로 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

85) 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005.05, pp.81

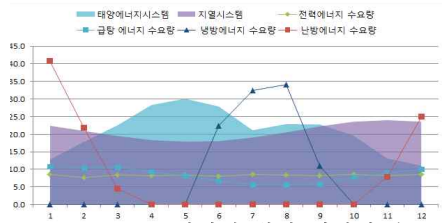
(4) 건축적 차원의 신재생에너지 적용계획안 제시

건물에 신재생에너지를 복합적용은 구성 건물의 신재생에너지 잠재량 분석, 시스템 특성, 에너지 수요패턴과 신재생에너지의 생산 패턴 매칭을 통해 시스템의 적용위치 및 우선순위를 결정하여야 한다.

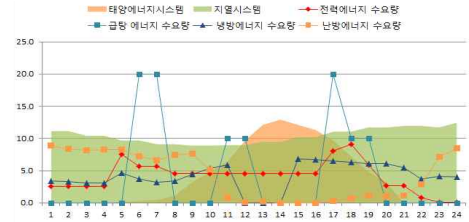
가) 주거시설

주거시설의 월별 에너지 수요-생산 개념도는 <Fig 4.25>이다. 겨울철 난방에너지, 여름철 냉방에너지 수요량이 크고, 전력은 일 년 내내 상시전력이 발생한다. 태양열·태양광 시스템은 여름철 생산량이 가장 크고 지열시스템은 항상 수요량에 맞추어 공급이 가능하다. 일간 에너지 수요-생산 개념도는 <Fig 4.26>이다. 활동을 시작하는 오전과 귀가 후 저녁시간에 난방, 냉방, 일반전력에너지 수요량이 높았으며, 급탕에너지의 경우 아침, 점심, 저녁에 수요가 높이 발생한다. 반면 태양광·태양열에너지 시스템은 일사량이 많은 오후 15시경에 가장 생산량이 높다. 월별, 일간 패턴을 비교하였을 때 급탕에너지에 대응하는 태양열 시스템에 비해 일반전력에너지에 대응하는 태양광 시스템 패턴이 상대적으로 유사한 패턴을 보였다.

옥상면은 태양광 및 태양열 시스템의 적용 위치가 중복된다. 에너지 수요-공급 패턴을 분석하였을 때 태양광시스템을 설치하는 것이 더 유리하지만 태양열시스템의 경우 시스템적 특성상 에너지 이동시 손실률이 크기 때문에 건물 내에서 에너지를 공급하는 것이 효율적이다. 따라서 태양열 시스템은 입면 가능부위 전체와 옥상면의 일부에 계획하고 나머지 공간에 태양광 시스템을 적용한다. 아침과 저녁에 걸쳐 새벽까지 수요가 이어지는 난방 및 냉방에너지는 지열시스템으로 계획하는 것이 적절하다.



<Fig.4.25.> 주거시설 월별 에너지 수요 및 생산 개념도

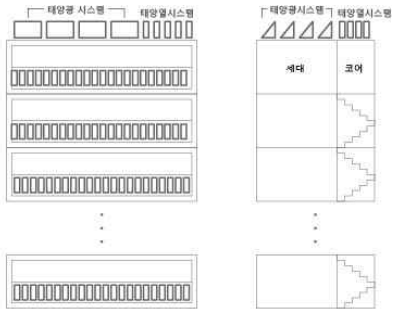
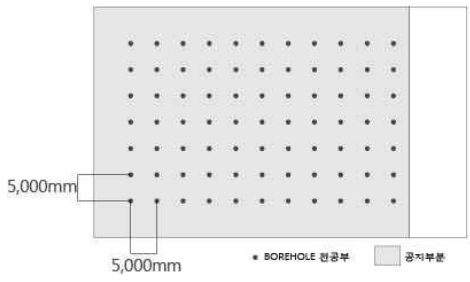


<Fig.4.26.> 주거시설 일간 에너지 수요 및 생산 개념도

주거시설의 시스템별 계획안은 <Table 4.55>와 같다. 태양광 시스템의 설치각도는 옥상면에서 연발전량이 높은 30°[86]로 계획하였으며, PV 모듈 간 이격 거리를 고려하여 설치 가능한 가용유효면적이 304.2m²로 산정되었다. 태양열 시스템은 옥상 및 발코니에서 연발전량이 가장 높은 45°[87]로 계획하였으며, 가용유효면적이 지붕면은 304.2m² 입면은 532.8m²로 산정되었다.

지열에너지 시스템은 보어홀의 간격을 5m로 두고, 대지경계부에서는 1m 여유 공간을 두고 설치를 계획하여 대지면적 중 건물면적을 제외한 4,680.0m²이 설치면적으로 산정되었다.

<Table4.54.> 주거시설 신재생에너지 시스템 설치개요

시스템	태양광 시스템	태양열 시스템	
적용위치	지붕면	지붕면	입면
설치면적	385.0m²	304.2m²	532.8m²
적용 개념도			
시스템	지열 시스템		
적용위치	지중		
설치면적	4680.0m²		
적용 개념도			

86) 최병도, 공동주택에서 태양열 집열기의 실험적 연구, 중앙대석사학위논문, 2013
87) 박재범, PV 시스템이 적용된 커튼월 사무소 건물의 발전 특성에 관한 연구, 서울시립대학위논문, 2012

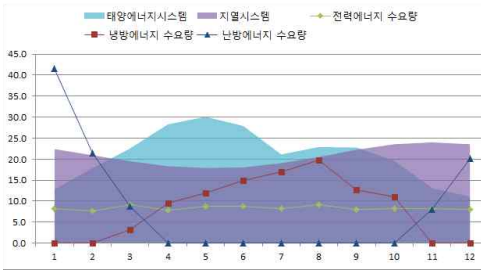
나) 업무시설

업무시설의 월별 에너지 수요-생산 개념도는 <Fig 4.27>이다. 업무시설의 에너지 수요 패턴을 살펴보면 겨울철 난방에너지, 여름철 냉방에너지 수요량이 크고, 전력은 일 년 내내 상시전력이 발생하여 주거시설과 월별 패턴은 큰 차이가 없다. 태양열·태양광 시스템은 여름철 생산량이 가장 크고 지열시스템은 일 년 내내 수요량에 맞추어 공급이 가능하다.

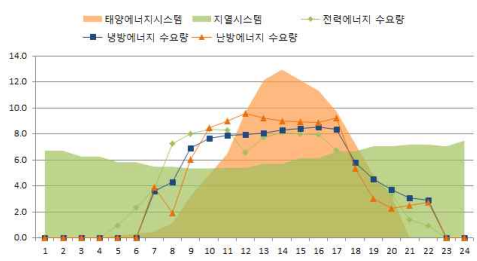
업무시설의 일간 에너지 수요-생산 개념도는 <Fig 4.28>이며, 업무시설 건물은 건물의 특성상 근무자가 건물을 이용하는 시간 동안에만 에너지 수요량이 급격히 증가한다. 냉난방 및 전력에너지의 수요량은 7시부터 21시 사이에 발생하며, 태양광·태양열 시스템도 일사량이 많은 오후 15시경에 가장 생산량이 높다.

태양광·태양열 시스템을 이용하는 경우 업무시설에서 수요와 공급이 바로 이루어질 수 있지만, 시스템을 적용하는 데 있어서 옥상면의 경우 적용 위치가 중복된다. 월별, 시간별 패턴을 비교하였을 때 난방에너지에 대응할 수 있는 태양열 시스템에 비해 전력에너지에 대응하는 태양광 시스템 패턴이 상대적으로 유사한 패턴을 보였다. 따라서 옥상면에 태양광발전 시스템을 사용하는 것이 더 적합할 것으로 판단된다.

입면의 경우 잠재성 평가 결과 태양열에너지 시스템의 적용이 가능하지만, 업무시설의 경우 커튼월 등의 형식이 많기 때문에 활용가능성이 낮은 편이기에 활용가능성이 높은 지열 시스템을 우선 설치하는 것이 적합하다고 판단된다.



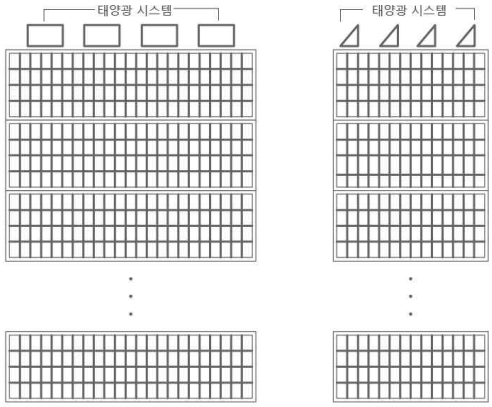
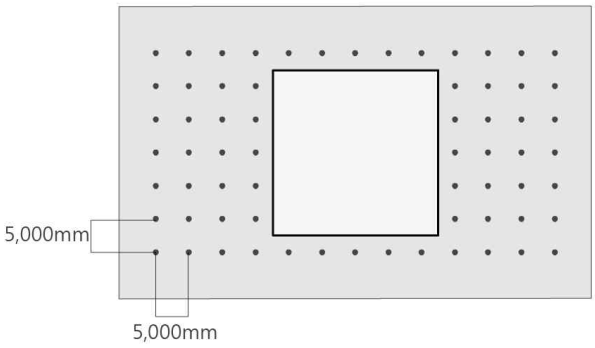
<Fig.4.27.> 업무시설의 월별 에너지 수요 및 생산 개념도



<Fig.4.28.> 업무시설의 일간 에너지 수요 및 생산 개념도

업무시설의 시스템별 계획안은 <Table 4.56>과 같다. 태양광 시스템은의 설치각도는 연 발전량이 30°[88]로 계획하였으며, PV 모듈 간 이격 거리를 고려하여 설치 가능한 가용유효면적이 743.37m²로 산정되었다. 지열에너지 시스템은 보어홀의 간격을 5m로 두고, 대지경계부에서는 1m 여유공간을 두고 설치를 계획하여 대지면적 중 건물면적을 제외한 2277.8m²이 설치면적으로 산정되었다.

<Table4.55.> 업무시설 신재생에너지 시스템 설치개요

시스템	태양광 시스템	
적용위치	지붕면	입면
설치면적	1,287.2m²	-
적용 개념도		
시스템	지열 시스템	
적용위치	지중	
설치면적	2,277.8m²	
적용 개념도		

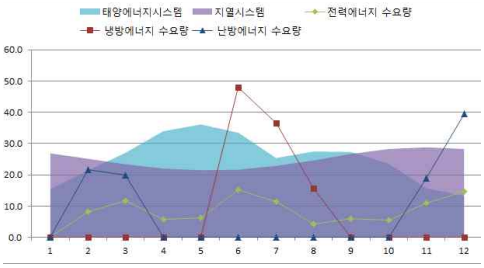
88) 박재범, op.cit

다) 교육시설

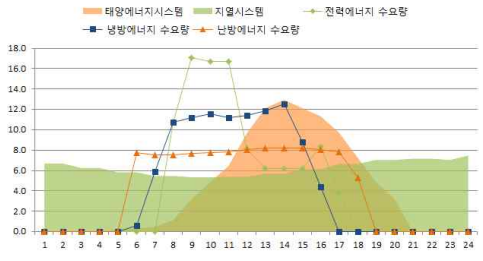
교육시설의 월별 에너지 수요-생산 개념도는 <Fig 4.29>이다. 교육시설도 업무시설과 마찬가지로 전력 에너지 수요가 크기 때문에 에너지 생산 시, 전기에너지 생산 시스템이 우선적으로 고려되어야 한다. 월별패턴은 겨울 방학으로 인해 난방에너지의 수요가 1년 중에 많지 않은데 반해, 태양열 시스템은 1년 내내 에너지를 생산하여 에너지가 과잉 공급될 우려가 있다. 하지만 전력에너지의 경우 일 년 내내 수요가 꾸준히 있어 태양광 시스템과 패턴이 상대적으로 일치한다.

교육시설의 일간 에너지 수요-생산 개념도는 <Fig 4.30>이며, 업무시설 건물과 마찬가지로 건물의 특성상 이용자가 건물을 이용하는 시간 동안에만 에너지 수요량이 증가한다. 난방 및 조명, 기기 에너지에 대한 수요는 수업시간인 7시부터 17시 사이에 발생하며, 태양광 및 태양열 시스템의 생산은 주간에 이루어지며 15시경이 가장 높다. 두 시스템 적용위치가 중복되는 옥상면에 대하여, 월별, 시간별 패턴을 비교하였을 때 난방에너지에 대응할 수 있는 태양열 시스템에 비해 전력에너지에 대응하는 태양광 시스템 패턴이 상대적으로 유사한 패턴을 보였다. 따라서 옥상면에 태양광발전 시스템을 사용하는 것이 더 적합할 것으로 판단하였다.

냉난방 수요는 태양열에너지 시스템의 경우 월별 수요-생산 패턴이 불일치하는 반면, 지열에너지 시스템의 경우 수요에너지 발생에 따라 즉각적으로 대응이 가능하기에 지열에너지를 설치하는 것으로 계획하였다.



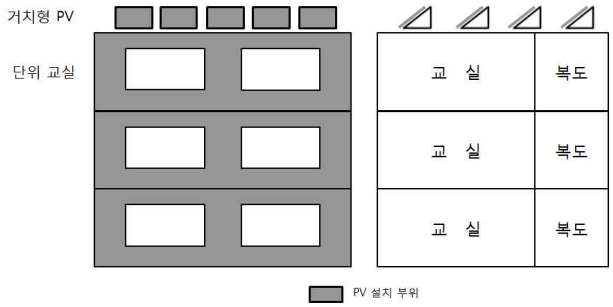
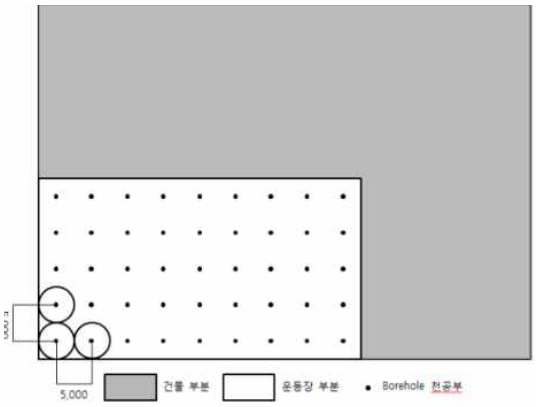
<Fig.4.29.> 교육시설의 월별 에너지 수요 및 생산 개념도



<Fig.4.30.> 교육시설의 일간 에너지 수요 및 생산 개념도

교육시설의 시스템별 계획안은 <Table 4.57>과 같다. 태양광 시스템의 설치각도는 연 발전량이 30°[89]로 계획하였으며, PV 모듈 간 이격 거리를 고려하여 설치 가능한 가용유효면적이 689.0m²로 산정되었다. 지열에너지 시스템은 보어홀의 간격을 5m로 두고, 대지경계부에서는 1m 여유 공간을 두고 설치를 계획하여 대지면적 중 건물면적을 제외한 4120.5m²이 설치면적으로 산정되었다.

<Table4.56.> 교육시설 신재생에너지 시스템 설치개요

시스템	태양광 시스템	
적용위치	지붕면	입면
설치면적	689.0m²	-
적용 개념도		
시스템	지열 시스템	
적용위치	지중	
설치면적	4120.5m²	
적용 개념도		

89) 박재범, op.cit

4.4.2 건축적 차원의 신재생에너지 적용 성능평가

건물 유형별 신재생에너지 복합 적용계획에 따른 시스템 사양을 결정하고, 시뮬레이션을 통해 에너지 생산량에 따른 에너지 분담율과 CO_2 저감량을 평가하였다. 성능평가는 신재생에너지 시스템 성능평가 프로그램인 RETScreen을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

(1) 건물 유형별 적용 성능평가

건축적 차원의 신재생에너지 복합 적용안에 대한 성능을 평가하기 위해서 시스템별로 도출한 설치면적 등 건물의 물리적 특성을 기준으로 건물 용도별 적용 시스템의 설치사양을 <Table 4.58>, <Table 4.59>, <Table 4.60>과 같이 선정하였다.

<Table4.57.> 주거시설 시스템별 설치 사양

시스템	구분		성능	구분		성능
태양광 시스템	PV모듈	타입	계통연계형	Invertor	효율	95%
		적용각도	30°		변환손실	0.05
		종류	Poly-Si			
		규격	1.6m²			
		발전용량	81.25kW			
		유닛	348개			
		변환효율	15.6%			
		적용각도	30°			
태양열 시스템	집열기	타입	유리창형	축열조	정격용량	16200L
		적용각도	45		용량 /집열기	60L/m2
		규격	3.75			
		용량	186.38kW	열교환기	열교환기	70.00%
		유닛	72개		손실율	2.00%
		집열효율	73%		집열면적당 펌프출력	5.00W
		열손실계수	5			
		온도계수	0.01			
		손실율	3			
지열 시스템	히트펌프 [난방]	용량	8.5kW	지중열 교환기	타입	수직밀폐형
		RT	2.421652		보어홀길이	100m
		COP	3.5		보어홀반경	0.15
	히트펌프 [냉방]	용량	17.8		개수	164
		RT	5.071225			
		COP	4.6			

<Table4.58.> 업무시설 시스템별 설치 사양

시스템	구분		성능	구분		성능
태양광 시스템	PV모듈	타입	계통연계형	Invertor	효율	95%
		적용각도	30°		변환손실	0.05
		종류	Poly-Si			
		규격	1.6m²			
		발전용량	201.0kW			
		유닛	804개			
		변환효율	15.6%			
지열 시스템	히트펌프 [난방]	용량	272.2kW	지중열 교환기	타입	수직밀폐형
		RT	77.5		보어홀길이	100m
		COP	3.5		보어홀반경	0.15
	히트펌프 [냉방]	용량	992.0kW		개수	90개
		RT	282.6			
		COP	4.6			

<Table4.59.> 교육시설 시스템별 설치 사양

시스템	구분		성능	구분		성능
태양광 시스템	PV모듈	타입	계통연계형	Invertor	효율	95%
		적용각도	30°		변환손실	0.05
		종류	Poly-Si			
		규격	1.6m²			
		발전용량	107.7kW			
		유닛	430개			
		변환효율	15.6%			
지열 시스템	히트펌프 [난방]	용량	8.5kW	지중열 교환기	타입	수직밀폐형
		RT	2.4		보어홀길이	100m
		COP	3.5		보어홀반경	0.15
	히트펌프 [냉방]	용량	17.8kW		개수	164개
		RT	5.1			
		COP	4.6			

가) 주거시설

주거시설에 적용한 신재생에너지 시스템에 대한 연간, 월별 에너지 성능결과는 <Table 4.61>,<Table 4.62>와 같다. 적용안의 시스템 총에너지 분담율은 59.2%이며, 에너지 수요에 대한 시스템 공급의 매칭율은 78.7%이다. 시스템 생산량의 97.3%인 472.6MWh가 수요에 공급할 수 있다.

<Table4.60.> 주거시설 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	분담율 (%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량	잉여율 (%)
난방에너지	226.7	226.7	100.0	100.0	226.7	0.0	0.0
냉방에너지	49.2	49.2	100.0	100.0	49.2	0.0	0.0
전력에너지	414.0	56.0	13.5	13.6	56.0	0.0	0.0
급탕에너지	108.8	171.9	100.0	100.0	108.8	63.1	36.7
Total	798.7	503.8	55.2	78.4	440.7	63.1	12.5

<Table4.61.> 주거시설 신재생에너지 적용안의 월별 에너지 성능 결과

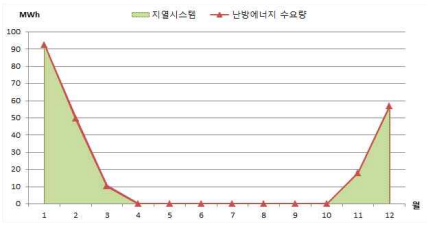
(단위: MWh)

	난방에너지			냉방에너지		
	수요량	생산량	분담율(%)	수요량	생산량	분담율(%)
1	92.5	92.5	100.0	-	-	-
2	49.5	49.5	100.0	-	-	-
3	10.1	10.1	100.0	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	11.0	11.0	100.0
7	-	-	-	16.0	16.0	100.0
8	-	-	-	16.8	16.8	100.0
9	-	-	-	5.4	5.4	100.0
10	-	-	-	-	-	-
11	17.9	17.9	100.0	-	-	-
12	56.7	56.7	100.0	-	-	-
연간	226.7	226.7	100.0	49.2	49.2	100.0
	일반 전력 에너지			급탕에너지		
	수요량	생산량	분담율(%)	수요량	생산량	분담율(%)
1	35.4	4.0	11.3	11.7	12.6	100.0
2	31.9	4.6	14.3	11.3	15.4	100.0
3	34.6	5.4	15.6	11.5	15.9	100.0
4	34.3	5.8	16.9	10.1	17.4	100.0
5	35.0	5.9	16.8	9.0	16.8	100.0
6	33.6	5.0	14.9	7.4	14.9	100.0
7	35.7	4.0	11.1	6.2	11.6	100.0
8	34.6	4.5	12.9	6.0	13.4	100.0
9	33.9	4.7	14.0	6.3	15.1	100.0
10	35.3	4.9	13.9	8.6	15.6	100.0
11	34.0	3.7	11.0	9.7	12.3	100.0
12	35.7	3.5	9.9	11.0	11.0	100.0
연간	414.0	56.0	13.5	108.8	171.9	100.0

연간 냉·난방에너지 수요량에 대한 신재생에너지 공급은 <Fig 4.31>, <Fig 4.32>이다. 주거시설은 인동간격이 60m로 지열 시스템을 적용하기 충분한 면적을 확보하였으며, 연중지중온도가 일정하여 언제나 에너지를 공급할 수 있다는 특성에 따라 월별에너지 수요에 항상 대응 가능하여 공급량의 매칭 100%를 달성하였다.

전력을 담당하는 태양광 시스템의 수요 공급은 <Fig 4.33>이다. 태양광 시스템은 설치가 옥상면의 55.8%에만 적용이 가능하였기에, 주거시설의 연면적에 비해 적용 면적이 작았다. 태양광 시스템의 경우 효율도 약 15%로 높지 않아 전용면적만으로는 주거시설의 전력에너지 수요량을 감당하기에는 한계가 있었다. 월별 패턴을 살펴보았을 때도 항상 생산량이 수요량에 비해 부족한 패턴을 보여준다.

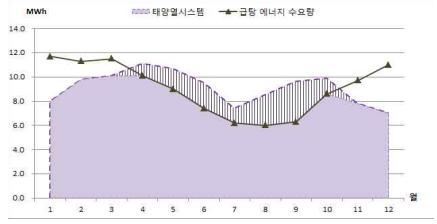
급탕에너지는 담당하는 태양열 시스템의 수요 공급은 <Fig 4.34>이며, 주거시설의 입면과 옥상에 설치되었다. 태양열 시스템의 특성상 계통연계를 통하여 외부에서 공급받을 경우, 이동 시 손실율이 크기 때문에 건물에서 자체적으로 급탕에너지를 모두 감당할 수 있도록 겨울철의 높은 에너지 수요량을 기준으로 생산량을 산정하였다. 이에 따라 월별 공급량이 100%를 만족하지만 여름철 생산량이 과잉 공급되었다.



<Fig.4.31.> 연간 난방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량

<Fig.4.32.> 연간 냉방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량

<Fig.4.33.> 연간 전력에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량



<Fig.4.34.> 연간 급탕에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량

주거시설의 건축적 차원에서 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화는 <Table 4.63>과 같다. 냉·난방에너지는 각각 CO_2 배출량이 46.2tCO_2 , 20.9tCO_2 이었지만 지열시스템을 통하여 모두 공급이 가능하였기에 CO_2 배출량이 0이 되었다. 급탕에너지 또한 22.2tCO_2 의 CO_2 배출량이 태양열 시스템을 통해 에너지를 공급함으로써 CO_2 배출량이 0이 되었다. 전력은 신재생에너지로 모두 감당할 수 없었기에 23.7tCO_2 가 저감되었다.

<Table4.62.> 주거시설 건축적차원의 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화

(단위:tCO_2 /동·yr)

	난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 절약 건물	46.2	20.9	175.5	22.2	264.7
건축적 차원 신재생 적용 건물	0.0	0.0	151.8	0.0	151.8
저 감 량	46.2	20.9	23.7	22.2	113.0

나) 업무시설

업무시설에 적용한 신재생에너지 시스템에 대한 연간 에너지 성능결과는 <Table 4.64>와 같다. 적용안의 시스템 총에너지 분담율은 45.7%이며, 냉·난방에너지의 경우 지열시스템을 통하여 100.0% 공급이 가능하지만, 전력에너지는 태양광 시스템이 수요량의 11.5%만을 생산할 수 있다. 업무시설의 경우 전력에너지 수요에 대한 비중이 매우 큰 편이기에 전력에너지에 대한 분담율이 상대적으로 적게 적었다. 에너지 수요에 대한 시스템 공급의 매칭율은 70.5%이다. 시스템 생산량은 모두 공급되어 총생산에너지 100%인 1,499.1MWh를 실제 수요에 공급할 수 있다.

<Table4.63.> 업무시설 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	분담율 (%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량	잉여율 (%)
난방에너지	580.3	580.3	100.0	100.0	580.3	0.0	0.0
냉방에너지	687.1	687.1	100.0	100.0	687.1	0.0	0.0
전력에너지	2,011.2	231.7	11.5	11.5	231.7	0.0	0.0
Total	3,278.6	1,499.1	45.7	70.5	1,499.1	0.0	0.0

업무시설은 주간에 주로 이용되는 특성상 냉난방에너지의 수요량이 크지 않았기에 대지면적에 적용한 지열시스템을 통하여 난방에너지 수요량인 580.3MWh와 냉방에너지 수요량인 687.1MWh를 모두 분담할 수 있었다. 또한 연중지중온도가 일정하여 수요가 있을 때마다 에너지를 공급할 수 있기에 월별 에너지 수요량에 항상 대응할 수 있어 공급량의 매칭도 100%로 가능하였다. 반면 전력에너지는 수요량이 2,011.2MWh로 전체에너지 수요량의 62.5%를 차지할 만큼 비중이 크다. 반면 태양광 시스템의 적용가능한 면적은 옥상면으로 한정되어 생산량이 231.7MWh에 불과하여 수요량에 비하여 공급량이 매우 부족하였다.

업무시설에 적용한 신재생에너지 시스템에 대한 월별 에너지 성능결과는 <Table 4.65>, <Fig 4.35>, <Fig 4.36>과 같다. 월별 패턴을 살펴보면 태양광 시스템의 에너지 분담율은 계절에 따라 변동이 있다. 이는 전력에너지의 수요량은 연간 일정한 반면, 태양광 시스템 생산량은 일사량에 비례하여 겨울철 일사량이 적어짐에 따라 에너지 생산량도 적어지기 때문이다. 따라서 연간 전력에너지에 대한 시스템 분담율은 11.5%이지만 11,12월에는 전력에너지 분담율이 10%에도 미치지 못하기도 하여 계통연계를 통한 추가적인 에너지 공급이 필요하다.

<Table4.64.> 업무시설 신재생에너지 계획안의 월별 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	난방에너지			냉방에너지			일반전력 에너지		
	수요량	생산량	분담율 (%)	수요량	생산량	분담율 (%)	수요량	생산량	분담율 (%)
1	241.6	241.6	100.0				163.7	16.6	10.1
2	124.1	124.1	100.0				152.5	18.8	12.4
3	51.0	51.0	100.0	21.4	21.4	100.0	184.2	22.3	12.1
4				65.5	65.5	100.0	158.4	24.0	15.2
5				82.0	82.0	100.0	175.1	24.3	13.9
6				102.2	102.2	100.0	174.9	20.8	11.9
7				117.0	117.0	100.0	163.6	16.4	10.0
8				136.4	136.4	100.0	184.8	18.5	10.0
9				87.4	87.4	100.0	159.8	19.6	12.3
10				75.2	75.2	100.0	167.0	20.4	12.2
11	47.0	47.0	100.0				164.9	15.5	9.4
12	116.6	116.6	100.0				162.4	14.6	9.0
연간	580.3	580.3	100.0	687.1	687.1	100.0	2011.2	231.7	11.5

<Fig.4.35.> 연간 냉난방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량

<Fig.4.36.> 연간 전력에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량

업무시설의 건축적 차원에서 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화는 <Table 4.66>과 같다. 냉방 에너지와 난방에너지는 각각 CO_2 배출량이 118.2tCO_2 , 291.3tCO_2 이었지만 지열시스템을 통하여 모두 공급이 가능하였기에 CO_2 배출량이 0가 되었다. 전력은 태양광 시스템을 통해 에너지를 공급하여 CO_2 배출량은 11.5%인 98.2tCO_2 가 저감되었다.

<Table4.65.> 업무시설의 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화

(단위:tCO_2 /동·yr)

	난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 절약 건물	118.2	291.3	852.7	-	1,262.3
건축적 차원 신재생 적용 건물	0.0	0.0	754.5	-	754.5
저 감 량	118.2	291.3	98.2	-	507.8

다) 교육시설

교육시설에 신재생에너지시스템에 대한 성능을 평가한 결과 각 시스템에 대한 연간 에너지 성능은 <Table 4.67>이며, 월별 에너지 성능은 <Table 4.68>, <Fig 4.37>, <Fig 4.38>이다. 적용안의 시스템이 에너지를 모두 분담하여 총에너지 분담율과 매칭율이 100%이다. 냉·난방에너지는 지열시스템이 수요를 100.0%분담하며, 전력에너지는 태양광 시스템을 통하여 100% 공급된다. 특히 전력에너지는 124.1MWh가 생산되어 27.7MWh의 수요량을 모두 만족시킬 뿐만 아니라 96.4MWh 전력에너지

가 초과 생산되어 집단에너지로 이용될 수 있다.

<Table4.66.> 교육시설 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	분담율 (%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량	잉여율 (%)
난방에너지	15.1	15.1	100.0	100.0	15.1	0.0	0.0
냉방에너지	10.2	10.2	100.0	100.0	10.2	0.0	0.0
전력에너지	27.7	124.1	100.0	100.0	27.7	96.4	77.7
Total	53.0	149.4	100.0	100.0	53.0	96.4	64.5

<Table4.67.> 교육시설 신재생에너지 계획안의 월별 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

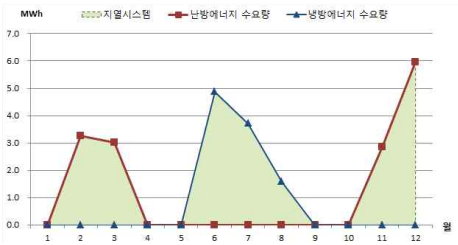
	난방에너지			냉방에너지			일반전력 에너지		
	수요량	생산량	분담율 (%)	수요량	생산량	분담율 (%)	수요량	생산량	분담율 (%)
1								8.9	-
2	3.3	3.3	100.0				1.1	10.1	100.0
3	3.0	3.0	100.0				3.2	12.0	100.0
4							3.0	12.9	100.0
5							3.3	13.0	100.0
6				4.9	4.9	100.0	3.2	11.1	100.0
7				3.7	3.7	100.0	2.3	8.8	100.0
8				1.6	1.6	100.0	0.6	9.9	100.0
9							3.2	10.5	100.0
10							2.9	10.9	100.0
11	2.9	2.9	100.0				3.0	8.3	100.0
12	5.9	6.0	100.0				1.9	7.8	100.0
연간	15.1	15.1	100.0	10.2	10.2	100.0	27.7	124.1	100.0

교육시설은 이용시간이 한정적이고, 냉난방에너지의 소비가 가장 많은 여름과 겨울에 방학기간이 포함되어 있어 다른 용도의 건물에 비해 에너지의 수요량이 크지 않았다. 따라서 운동장에 매립한 지열 히트펌프시스템으로 연간 난방에너지 15.1MWh와 냉방에너지 10.2MWh를 충분히 분담할 수 있었다. 또한 연중지중온도가 일정하여 언제나 에너지를 공급할 수 있기에 월별 에너지 수요량에 항상 대응할 수 있어 공급량의 매칭도 100%로 가능하였다.

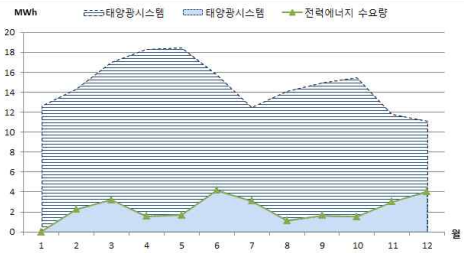
교육시설 저층의 건물로 이루어져 있어 연면적 대비 옥상면의 넓이가 다른 용도의 건물에 비해 큰 편이었다. 전력생산량은 태양광 시스템의 특성상 계절에 따라 변화가 있었지만 생산량이 수요량보다 훨씬 많았기에 전력에너지 요구량인 27.7MWh를 모두 분담하였다. 또한 월별 수요량도

모두 만족시켜 매칭율이 100%였다.

교육시설에서는 전력에너지에 대한 잉여생산량이 96.4MWh나 발생하여 집단에너지로서 이용할 수 있다. 태양광 시스템은 생산하는 전기에너지의 특성상 전송 시 손실율이 다른 에너지에 비해 적어 계통연계가 유리하며, 일사량이 적어 에너지 생산량이 적은 겨울철에 교육시설이 이용되지 않아 잉여생산량이 많기에 계통연계를 통해 다른 건물에 공급하기에 유용할 것으로 판단된다.



<Fig.4.37.> 연간 냉난방에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량



<Fig.4.38.> 연간 전력에너지 수요량 대응 신재생에너지 공급량

교육시설의 건축적 차원에서 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화는 <Table 4.69>와 같다. 연간 CO_2 배출량은 난방에너지는 3.1tCO_2 , 냉방에너지는 4.3tCO_2 , 전력에너지는 11.7tCO_2 이 이었지만 건축적 차원의 신재생에너지 적용을 통해 건물 전체에서 소비하는 에너지의 공급이 모두 가능하였다. 이에 따라 교육시설의 CO_2 배출량이 19.1tCO_2 에서 0으로 저감되어 제로에미션 빌딩을 달성하였다.

<Table4.68.> 업무시설 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화

(단위:tCO_2 /동·yr)

	난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 절약 건물	3.1	4.3	11.7	-	19.1
건축적 차원 신재생 적용 건물	0.0	0.0	0.0	-	0.0
저 감 량	3.1	4.3	11.7	-	19.1

(2) 도시 신재생에너지 적용안 성능평가

건축적 차원에서의 신재생에너지를 복합 적용한 개별 건축물들을 확장하여 도시차원으로 적용하였다. 건축물 용도별로 적용한 신재생에너지 시스템의 구성과 성능은 앞에서 제시한 구성 및 성능과 동일하며 제안하는 도시모델에 대한 에너지 성능결과는 <Table 4.70>과 같다.

<Table4.69.> 도시 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 수요량	에너지 생산량	분담율 (%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량	잉여율 (%)
난방에너지	14,720.3	14,720.3	100.0	100.0	14,720.3	0.0	0.0
냉방에너지	6,014.1	6,014.1	100.0	100.0	6,014.1	0.0	0.0
전력에너지	31,639.4	4,318.9	13.0	41.7	4,126.2	192.8	4.5
급탕에너지	5,657.6	8,937.1	100.0	90.6	5,657.6	3,279.5	36.7
Total	58,031.5	33,990.5	52.6	83.1	30,518.2	3,472.3	10.2

건축적 차원의 신재생에너지 적용안은 전체 수요량인 58,031.5MWh에 대하여 33,990.5MWh를 생산하여 전체에너지 수요의52.6%를 분담한다.

냉·난방에너지의 경우 지열시스템을 통하여 공급되기에 초과되는 양 없이 수요량을 전부 분담하였으며 매칭율 100%이다.

전력에너지 수요량은 31,639.4MWh로 전체 에너지 수요량 중 54.5%로 가장 높은 비율을 차지하였는데 생산량은 4,318.9MWh로 전력에너지 수요량의 13.0%만을 분담하고 있다. 하지만 교육시설은 잉여생산량이 발생하여 집단 에너지화를 통하여 계통 연계한다면 좀 더 높은 비율을 분담할 수 있을 것으로 판단된다.

급탕에너지는 수요량 8,937.1MWh를 태양열시스템이 100% 분담하고 있으며, 잉여생산량이 3,472.3MWh 발생한다. 과잉 생산되는 에너지로 인하여 매칭율은 83.1%이며, 생산된 에너지는 태양열 시스템적 특성상 열에너지는 이동시 손실이 크고, 다른 용도의 건물에 대한 급탕에너지는 상대적으로 미미하여 고려하지 않았기에 다른 용도의 건물로 계통연계는 어려울 것으로 판단된다.

도시 전체의 연간 총 에너지 생산량 및 구성 비율은 <Table 4.71>과 같다. 난방에너지는 14,720.3MWh, 급탕에너지는 8,937.1MWh를 생산하여 전체 에너지 생산량의 69.6%가 열에너지로 생산되어 전기에너지에 비해 열에너지에 대한 생산 효율이 좋음을 알 수 있다.

<Table4.70.> 건축적 차원의 신재생에너지 생산량

단위 : MWh

	난방 에너지	냉방에너지	전력에너지	급탕에너지	총합
주거시설	11,788.4	2,558.4	2,912.5	8,937.1	26,196.4
사 무 소	2,901.7	3,435.4	1,158.3		7,495.4
학 교	30.2	20.4	248.2		298.7
도 시	14,720.3	6,014.1	4,318.9	8,937.1	33,990.5
비율(%)	(43.3)	(17.7)	(12.7)	(26.3)	(100.0)

도시 전체의 연간 CO_2 배출량은 <Table 4.72>와 같다. 건축적 차원의 신재생에너지 시스템 복합적용을 통해 도시의 에너지 수요 중 냉방, 난방, 급탕에너지의 수요를 모두 감당할 수 있었으며, 이에 따라 각각의 CO_2 발생량이 2,999.0tCO_2 , 2,550.0tCO_2 , 1,152.6tCO_2 에서 0로 저감되었다. 전력에너지의 경우 에너지를 공급하는 태양광 시스템의 효율이 낮고, 적용위치가 한정적이어서 적용 면적이 크지 않았기에 에너지 생산량에 한계가 있었다. 이에 따라 총 CO_2 발생량은 20,116.7 tCO_2 에서 11,583.9tCO로 13.6%인 8,532.8 tCO_2 저감되었다.

<Table4.71.> 도시의 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화

(단위:tCO_2 /동·yr)

	난방	냉방	전력	급탕	총합
에너지 절약 계획 적용 모델	2,999.0	2,550.0	13,415.1	1,152.6	20,116.7
건축적 차원 신재생에너지 적용모델	0.0	0.0	11,583.9	0.0	11,583.9
저 감 량	2,999.0	2,550.0	1,831.2	1,152.6	8,532.8

4.5 도시적 차원의 제로에미션 시티 신재생에너지 적용계획

4.5.1 도시적 차원의 신재생에너지 적용계획

도시를 구성하는 건축물들의 에너지 수요에 대한 공급을 신재생에너지로 모두 충족하기 위해서는 각 건물에서 적용가능한 신재생에너지를 이용하여 에너지 수요량을 일차적으로 공급한 후 부족한 에너지원을 파악하여 도시적 차원에서 신재생에너지 단지 조성을 통해 추가적으로 연계, 공급하여야한다.

(1) 도시의 에너지원별 생산 요구량

건축물에 활용 가능한 신재생에너지 시스템을 적용한 결과 도시의 에너지 수요량 중 난방, 냉방, 급탕의 요구량을 충족시킬 수 있었으며, <Table 4.73>과 같이 일반 전력의 에너지만 추가적으로 생산이 요구되었다.

주거용지에서 18,615.5MWh, 업무용지에서 8,897.7MWh의 전력에너지가 요구되어 총 27,513.2MWh의 에너지가 공급되어야 한다. 하지만 교육용지에서 192.7MWh가 추가 생산되었기에 이를 계통연계 시 27,320.5MWh의 에너지가 신재생에너지단지를 통하여 공급되어야 한다.

<Table4.72.> 도시적 차원의 신재생에너지 생산 요구량

단위 : MWh

	난방	냉방	일반 전력	급탕	총합
주거시설	0.0	0.0	18,615.5	0.0	18,615.5
업무시설	0.0	0.0	8,897.7	0.0	8,897.7
교육시설	0.0	0.0	-192.7	0.0	-192.7
도 시	0.0	0.0	27,320.5	0.0	27,320.5

전력에너지는 태양광 시스템을 통해 공급이 가능하며, 앞서 살펴본 것과 같이 태양광시스템의 생산량은 일사량에 비례하기에 여름에 생산량이 높고 겨울철에 낮다. 도시의 월별 전력에너지 생산요구량은 <Fig 4.39>, <Table 4.74>와 같으며 겨울에 상대적으로 많은 에너지를 요구한다. 따라서 월별 전력에너지 요구량을 모두 충족시키기 위해서는 겨울철 에너지 요구량을 기준으로 수요량과 생산량을 매칭시켜야 한다.

<Fig.4.39.> 도시 월별 전력에너지 생산 요구량

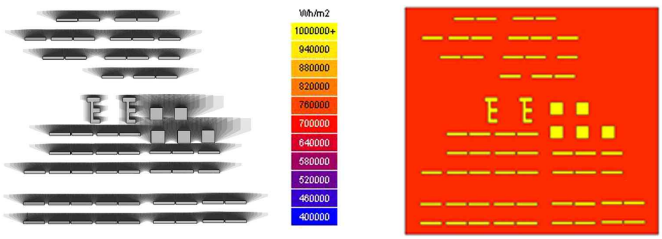
<Table4.73.> 도시 월별 전력에너지 생산 요구량

월	1	2	3	4
요구량	2350.2	2072.2	2310.4	2133.8
월	5	6	7	8
요구량	2248.9	2240.7	2373.1	2380.4
월	9	10	11	12
요구량	2203.0	2296.8	2310.2	2400.7

(단위 : MWh)

(2) 신재생에너지 잠재성 평가

태양광 시스템 단지의 적용위치 및 이에 따른 최대 생산량을 산출하기 위해서는 건축적 차원에서와 마찬가지로 태양에너지의 잠재성 평가가 이루어져야 한다. 태양광 시스템 단지는 지면에서 일사를 받으며, 이때 적용가능한 연간 일사량의 기준에 대하여 R.Compagnon(2004)[90]의 연구에서 1,000kWh/m² 이상을 제시하고 있다. 또한 건물 옥상에 적용하였던 건축적 차원의 신재생에너지 시스템 적용계획과 달리 태양광시스템 단지는 적용높이가 낮아 건물의 음영에 대한 영향을 받을 확률이 높다. 따라서 시뮬레이션 프로그램인 Autodesk Ecotect Analysis 2011 프로그램을 활용하여 도시 내 대지의 음영 및 연간 총일사량을 산출하였으며 <Fig 4.40>과 같다.



<Fig.4.40.> 도시 내 대지의 음영 및 연간 총일사량 예측

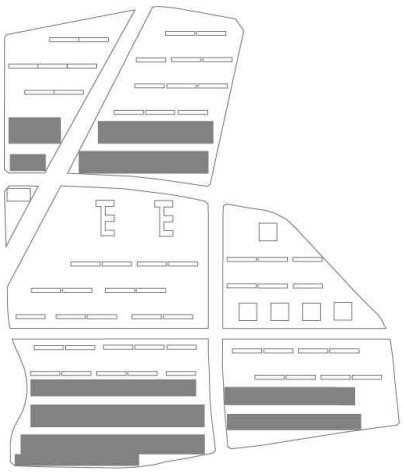
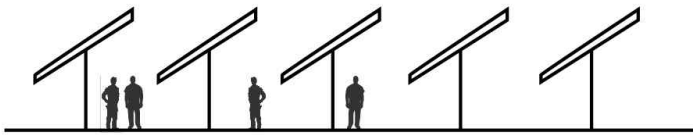
도시 내 대지에 대하여 태양에너지의 적용가능성을 평가한 결과 대지의 면은 모두 연간 100kWh/m² 이상의 일사량을 받고 있으며, 이 중 음영의 영향을 받지 않는 대지의 면적은 220,857m²이며 대지 전체에 대한 적용가능성은 22.5%이다.

90) R. Compagnon, op.cit

(3) 신재생에너지 적용계획안

도시적 차원의 신재생에너지 적용에 있어 공급해야할 에너지원이 단일하며 활용 가능한 시스템도 단일하므로 별도의 복합계획은 필요하지 않다. 전력에너지를 공급하기 위해 적용하는 태양광 시스템에 대한 적용계획안은 <Table 4.75>와 같다. 태양광 시스템의 설치각도는 연 발전량이 30°[91]로 계획한다. 설치면적은 월별 전력에너지 요구량을 모두 만족시키기 위해서는 겨울철 에너지 요구량을 기준으로 하여야 하므로 최대설치면적인 212,255.5m²을 모두 이용하는 것으로 계획한다.

<Table4.74.> 주거시설 신재생에너지 시스템 설치개요

시 스 템	태양광 시스템
설치 면적	212,255.5m²
적용위치	
개 념 도	

91) 박재범, op.cit

4.5.2 도시적 차원의 신재생에너지 적용 성능평가

도시적 차원의 신재생에너지 적용계획안에 대한 성능을 평가하기 위해서 건물의 물리적 특성을 기준으로 시스템의 설치사양을 다음 <Table 4.76>과 같이 선정하였다. 성능평가는 신재생에너지 시스템 성능평가 프로그램인 RETScreen을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

<Table4.75.> 태양광 시스템 단지 설치 사양

구분		성능	구분		성능
PV모듈	타입	계통연계형	PV모듈	발전용량	201.0
	적용각도	30		유닛	804
	종류	다결정-실리콘	Invertor	효율	0.95
	변환효율	15.6		변환손실	0.05
	규격	1.6			

도시적 차원의 신재생에너지 시스템 적용에 대한 성능을 평가한 결과에 대한 연간 에너지 성능은 <Table 4.77>이다. 월간 에너지 성능은 <Table 4.78>이며, 도시의 전력에너지 요구량 대응 생산량은 <Fig 4.41>이다.

<Table4.76.> 도시 신재생에너지 적용안의 연간 에너지 성능 결과

(단위: MWh)

	에너지 요구량	에너지 생산량	분담율 (%)	매칭율 (%)	수요 대응 공급량	잉여량	잉여율 (%)
전력에너지	27,320.5	38,221.9	100.0	83.2	6,732.9	10,901.5	28.5

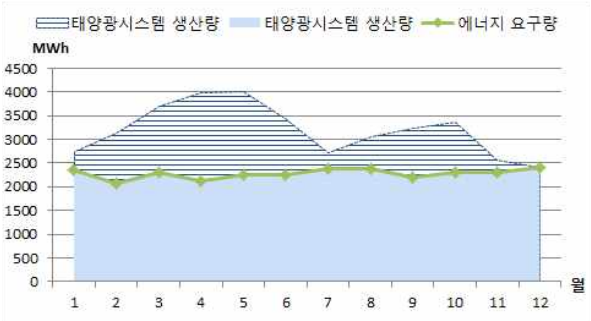
적용안은 전체 요구량인 27,320.5MWh에 대하여 38,221.9MWh를 생산하여 전체 에너지 수요를 100% 분담한다. 초과 생산되는 에너지가 1,0901.5MWh 발생하며, 매칭율은 83.2%이다.

에너지 생산량이 요구량보다 초과생산된 것은 월별 에너지 요구량에 대응하기 위한 것으로 월별 에너지 성능을 살펴보면 에너지 생산량이 가장 작은 12월에 생산량과 수요량이 일치한다. 전력에너지는 겨울철 수요량이 크고 생산량이 적어 도시의 에너지를 모두 신재생에너지로 이용하기 위해서는 다른 달에 에너지가 초과 생산되는 것이 불가피하다. 하지만 전력에너지는 전송이 용이하기에 초과 생산된 에너지는 인근의 다른 도시로 공급이 가능하다.

<Table4.77.> 도시 신재생에너지 적용안의 월별 에너지 성능결과

(단위: MWh,%)

	수요량	생산량	분담율		수요량	생산량	분담율
1	2,350.2	2,737.3	100.0	7	2,373.1	2,707.6	100.0
2	2,072.2	3,108.6	100.0	8	2,380.4	3,045.9	100.0
3	2,310.4	3,681.1	100.0	9	2,203.0	3,232.3	100.0
4	2,133.8	3,963.3	100.0	10	2,296.8	3,359.4	100.0
5	2,248.9	4,009.5	100.0	11	2,310.2	2,549.2	100.0
6	2,240.7	3,427.0	100.0	12	2,400.7	2,400.7	100.0



<Fig.4.41.> 도시의 전력에너지 요구량 대응 생산량

도시 전체의 연간 총 CO_2 배출량은 <Table 4.79>와 같다. 도시적 차원의 신재생에너지 시스템 적용을 통해 건물의 신재생에너지 복합적용계획을 통해 부족하였던 에너지를 추가로 공급하였다. 건축적 차원에서의 적용을 통해 이미 난방, 냉방, 급탕에서의 CO_2 배출량은 '0'를 달성하였으며, 단지적 차원에서의 적용을 통해 전력에너지에서의 CO_2 배출량이 11,583.9CO_2 에서 '0'가 되었다. 이에 따라 도시의 전체 CO_2 배출량이 '0'인 제로에미션 시티를 달성하였다.

<Table4.78.> 도시의 건축적 차원의 신재생에너지 적용에 따른 CO_2 배출량 변화

(단위:tCO_2 /동·yr)

	난방	냉방	전력	급탕	총합
건축적 차원 신재생에너지 적용모델	0.0	0.0	11,583.9	0.0	11,583.9
도시적 차원 신재생에너지 적용모델	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
저 감 량	0.0	0.0	11,583.9	0.0	11,583.9

4.6 소결

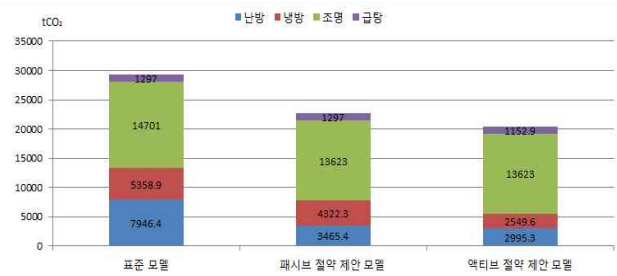
본 장에서는 3장에서 구축한 제로에미션 시티에 대해 건축분야의 실제적인 구현을 위한 모델을 제안하였다.

제로에미션 시티 모델을 수립하기 위해 먼저 에너지 절약 계획으로 먼저 패시브 기법을 이용한 절약계획은 건축적 차원에서 건물 용도별로 주에너지원에 유의한 영향을 미치는 건축계획요소들을 분산분석을 통하여 파악하였다. 각 계획요소들이 에너지원에 미치는 기여율 및 영향력도 함께 파악하여 건물 용도별로 주요한 에너지원을 기준으로 건축계획요소들의 성능수준을 변화시켰다. 이를 도시적으로 확장하여 적용한 뒤 에너지 및 환경성능평가를 실시하였다.

두 번째로, 용도별 건물의 열원시스템의 효율 향상을 통해 액티브적 기법으로 에너지를 절약하였으며 이를 도시적으로 확장하여 적용하였다.

그 결과 기존도시의 전체 에너지 소비량인 92,682.0MWh/yr, CO_2 배출량은 29,303.3tCO가 패시브 에너지 절약계획을 통하여 에너지 소비량은 65,699.8MWh로 29.1%, CO_2 배출량은 22,707.7tCO_2 로 22.5%가 저감되었다. 액티브 에너지 절약계획을 통해서는 에너지 소비량은 58,503.8MWh로 11.0%, CO_2 배출량은 2,387.0tCO_2 로 10.5% 저감되었다.

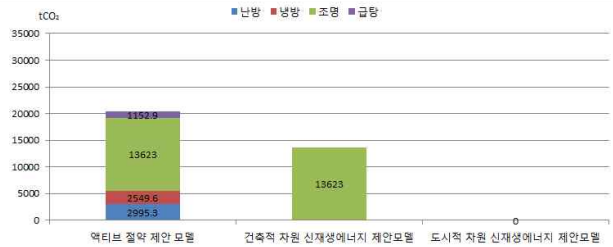
따라서 에너지 절약계획을 통하여 에너지소비량은 34,178.2MWh인 36.9%, CO_2 배출량은 8,982.6 tCO_2 인 30.7%를 저감시킬 수 있었으며, 에너지 절약계획에 따른 도시의 CO_2 배출량 변화는 <Fig 4.42>와 같다.



<Fig.4.42.> 에너지 절약계획에 따른
도시의 CO_2 배출량 변화

에너지 저감 후에도 요구되는 에너지는 신재생에너지 시스템을 통하여 공급하였다. 도시의 신재생에너지 시스템 적용은 건축적 차원과 도시적 차원으로 나누어 단계별로 진행하였다. 먼저, 건축적 차원에서 건물 용도별로 에너지 소비 패턴을 분석하고 신재생에너지 생산 패턴과 비교·분석하였으며, 건물 내 적용가능한 시스템의 종류와 위치를 파악하는 신재생에너지 잠재성평가를 실시하였다. 이를 토대로 건물 용도별 신재생에너지 복합적용안을 제시하였으며 이를 도시로 확장하여 적용안 평가를 통하여 에너지 분담율을 확인하고, 환경성능평가를 실시하였다. 건물의 신재생 복합적용 후에도 부족한 에너지는 도시적 차원에서 신재생단지를 조성하여 공급하였는데 이 과정에서도 건축적 차원에서와 동일한 프로세스를 수행하였다.

그 결과 에너지 절약 계획을 적용한 도시의 전체 에너지 소비량인 58,503.8MWh/yr, CO_2 배출량은 20,320.8tCO가 건축적 차원의 신재생에너지 적용을 통해서 화석연료 에너지 소비량은 33,990.5MWh인 58.1%, CO_2 배출량은 8532.8tCO_2 인 42.4%가 저감되었다. 그리고 난방, 냉방, 급탕 에너지의 에너지 소비량이 '0'를 달성하였다. 단지적 차원의 신재생에너지 적용을 통해서 화석연료 에너지 소비량은 27,320.5MWh, CO_2 배출량은 11,583.9 tCO_2 저감되어 전력에너지의 에너지 소비량이 '0'가 달성되었다. 따라서 신재생에너지 적용계획을 통하여 에너지소비량은 34,178.2MWh, CO_2 배출량은 20,320.8tCO_2 를 저감되어 제로에미션 시티를 달성하였다. 신재생에너지 적용에 따른 도시의 CO_2 배출량 변화는 <Fig 4.43>이다.



<Fig.4.43.> 신재생에너지 적용에 따른 도시의 CO_2 배출량 변화

제 5 장 제로에미션 시티 모델 계획안

본 장에서는 4장에서 건물분야의 에너지 측면에 중점을 둔 정량적인 계획을 바탕으로 제로에미션 시티의 계획안을 제시하고자 한다.

5.1 제로에미션 시티 기본방향

대상지에 도시계획은 기존도시계획과 달리 초기단계부터 에너지즉 측면을 중점으로 하여 에너지 절약적이며, 자연에너지의 활용잠재성을 극대화할 수 있도록 다음과 같은 과정으로 진행하였으며 <Fig 5.1>~<Fig 5.6>과 같다.

(1) 주택, 상업, 업무 용지의 배치는 용지 내 건물이 남향으로 배치되기에 유리하도록 도시공간을 수평으로 구획한다.

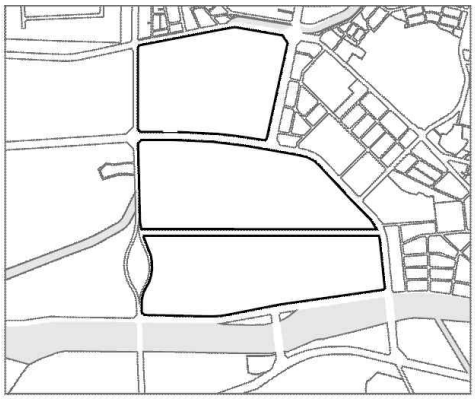
(2) 학교시설은 신재생에너지를 통한 에너지 생산량이 소비량보다 많기 때문에 과잉 생산된 에너지를 다른 시설로 계통연계 시킨다. 이 때 에너지 운송 손실을 최소화하기 위해 용지를 도시의 중심에 배치한다.

(3) 신재생에너지 용지는 가장 남쪽과 저층건물인 학교 북측으로 충분한 거리를 띄워 배치함으로서 일사 시 음영에 가리지 않도록 하였으며, 분산 배분함으로써 에너지 공급 효율을 높인다.

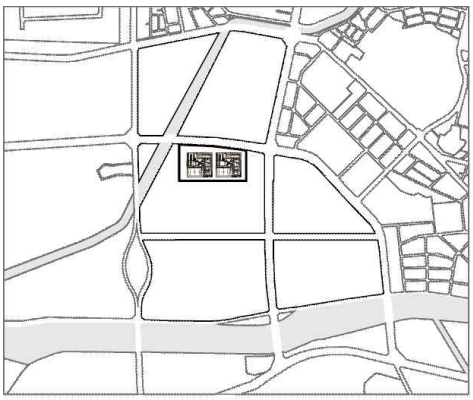
(4) 주거시설에서 많이 소비되는 난방에너지를 저감시키기 위해 주택용지는 일사를 충분히 획득할 수 있도록 설치높이가 낮은 신재생에너지 용지 북측에 배치한다.

(5)난방에너지보다 냉방에너지의 소비량이 많은 업무시설용지는 상대적으로 일조의 영향을 덜 받을 수 있도록 주거시설용지 북측에 배치한다.

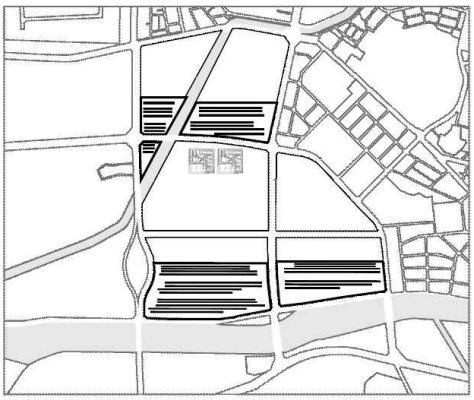
<Fig.5.1.> 대상지



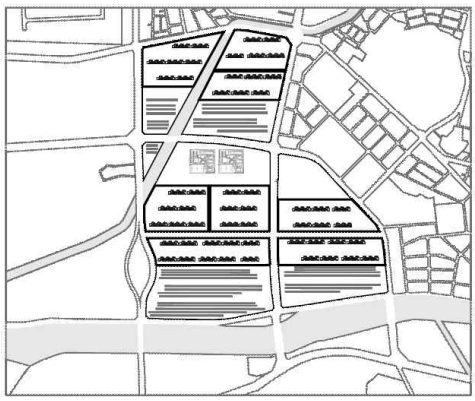
<Fig.5.2.> 도시계획 (1)



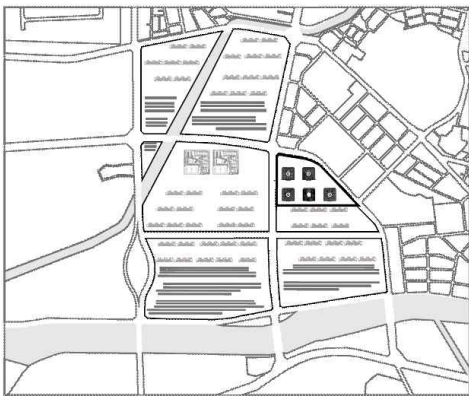
<Fig.5.3.> 도시계획 (2)



<Fig.5.4.> 도시계획 (3)



<Fig.5.5.> 도시계획 (4)



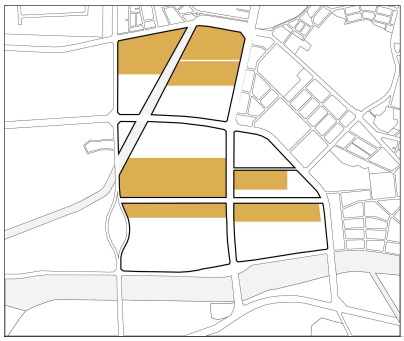
<Fig.5.6.> 도시계획 (5)

5.2 제로에미션 시티 기본계획

5.2.1 토지 이용 계획

(1) 주거 용지

주거용지는 주소비에너지가 난방에너지 및 전력에너지이다. 따라서 용지의 배치 및 건물의 배치는 <Fig.5.7>과 <Fig.5.8>와 같이 일사의 유입을 최대한 끌어들이기 위하여 신재생에너지단지 북측에 배치하였다.

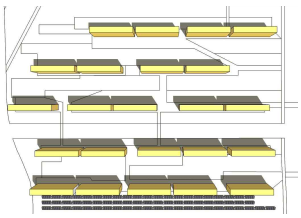


<Fig.5.7.> 주거용지 토지이용계획

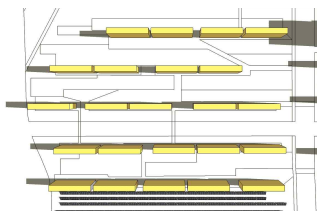
<Fig.5.8.> 주거용지 건물배치 개념도

건물의 배치는 건물 간 일조를 확보하기 위한 법적 인동거리인 48.1m보다 약 1.5배 정도 여유 있는 60.0m를 확보하였다. 주거용지에 대한 시간별 일영검토 결과는 <Fig.5.9>, <Fig.510>, <Fig.5.11>으로 음영의 영향을 받지 않아 저층 세대에도 일조를 충분히 확보할 수 있도록 하였다.

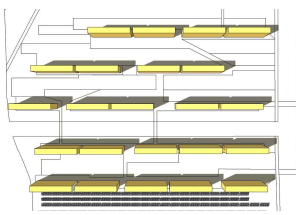
건물의 향은 건물의 에너지성능평가 결과 에너지를 가장 절약할 수 있는 남향으로 모든 건물을 배치하였다.



<Fig.5.9.> 주거용지 일영검토(09시)



<Fig.5.10.> 주거용지 일영검토(12시)

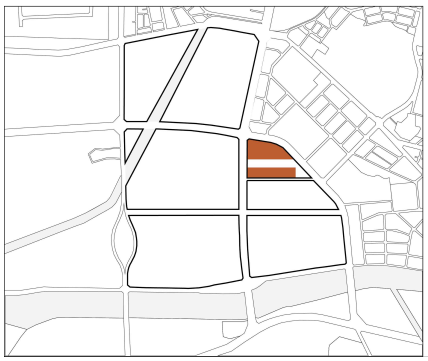


<Fig.5.11.> 주거용지 일영검토(15시)

(2) 업무용지

업무시설용지는 주소비에너지가 냉방에너지이다. 따라서 건물이 과열되는 것을 방지하기 위하여 용지의 배치는 <Fig.5.12>과 같이 건물의 높이가 높은 주거시설 북측에 배치하였다.

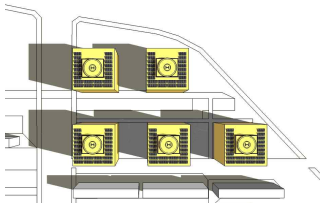
건물의 배치는 <Fig.5.13>과 같이 대상지의 최대 건폐율인 70%를 확보할 수 있는 최소대지면적을 기준으로 건물을 조밀하게 밀집시켰으며, 건물의 향은 건물의 에너지성능평가 결과 에너지를 가장 절약할 수 있는 남향으로 모든 건물을 배치하였다.



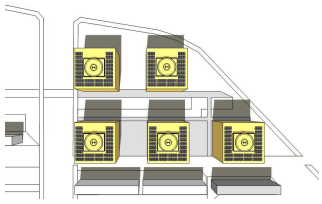
<Fig.5.12.> 업무시설용지 토지이용계획

<Fig.5.13.> 업무시설 건물배치 개념도

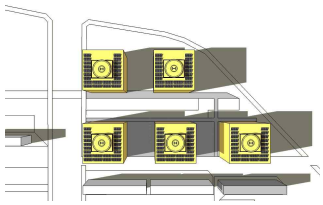
신재생에너지가 설치되는 건물의 옥상에는 미치는 음영을 검토하기 위한 시간별 일영검토 결과는 <Fig.5.14>, <Fig.5.15>, <Fig.5.16>이며 건물 옥상에는 음영의 영향이 없어 신재생에너지 시스템 설치가 가능하다.



<Fig.5.14.> 업무시설용지 일영검토(09시)



<Fig.5.15.> 업무시설용지 일영검토(12시)



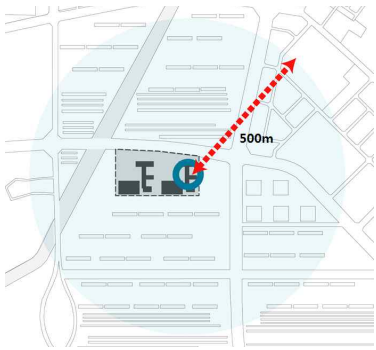
<Fig.5.16.> 업무시설용지 일영검토(15시)

(3) 교육용지

교육시설용지의 배치 시 에너지 공급 측면에서 용지 내 신재생에너지 시스템 설치를 통해 과잉 생산되는 에너지를 다른 시설로 계통 시 운송손실을 최소화하기 위하여 <Fig.5.17>과 같이 도시의 중심에 계획하였다.

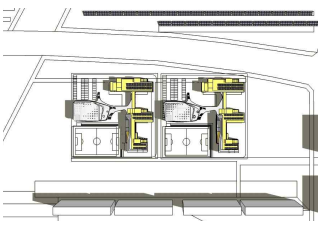
건물의 배치는 에너지 효율이 높은 토지이용을 위하여 위계에 따른 적정 접근거리를 고려하였다. 이에 따라 근린권에 속하는 초등학교 건물은 <Fig.5.18>과 같이 용지의 동측에 배치하여 도시의 북측과 남측에 배치되어 있는 주거지에서 학교까지의 거리를 반경 500m로 계획하여 도보로 이용이 가능하도록 하였다.

<Fig.5.17.> 교육시설용지 토지이용계획

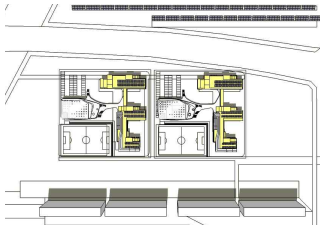


<Fig.5.18.> 교육시설용지 배치 개념도

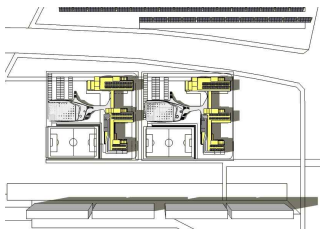
건물의 향은 건물의 에너지성능평가 결과 에너지를 가장 절약할 수 있는 남향으로 배치하였으며, 교육시설용지에 대한 시간별 일영검토 결과 <Fig.5.19>, <Fig.5.20>, <Fig.5.21>와 같이 음영에 영향을 받지 않는다.



<Fig.5.19.> 교육시설용지 일영검토(09시)



<Fig.5.20.> 교육시설용지 일영검토(09시)



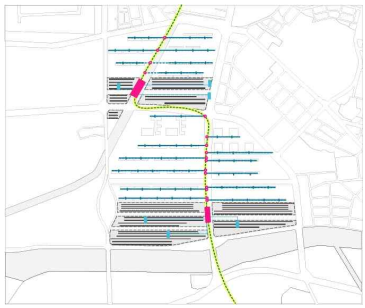
<Fig.5.21.> 교육시설용지 일영검토(09시)

(4) 신재생에너지 용지

신재생에너지 용지는 태양광 단지로 조성되며 총 212,255.5m²의 큰 면적을 가진다. 이에 따라 도시로의 공급 시 운송손실을 최소화하기 위해 분산배치계획이 필요하다. 따라서 신재생에너지 용지는 <Fig 5.22>과 같이 음영을 받지 않는 도시의 최남측과 건물의 높이가 낮은 교육시설의 북측에 분산 배치하였다.

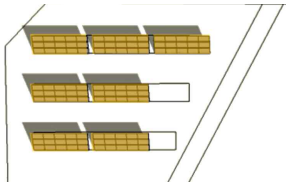
생산된 신재생에너지 이용과 효율성 극대화를 위해 <Fig.5.23> 와 같은 스마트 그리드를 통한 에너지 수요 공급관리를 계획하였다.

<Fig.5.22.> 신재생에너지용지 토지이용계획

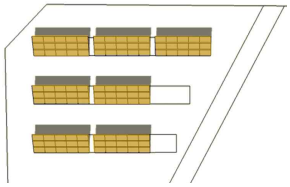


<Fig.5.23.> 신재생에너지용지 관리 시스템

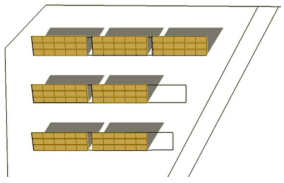
신재생에너지 용지에 적용된 태양광 시스템은 어레이 표면의 음영 여부가 효율에 큰 영향을 미치기에 이에 대한 고려가 필요하다. 용지의 시간별 일영검토 결과는 <Fig.5.24>, <Fig.5.25>, <Fig.5.26>와으로 음영에 영향을 받지 않는다. 태양광 시스템은 4m의 높이로 설치하여 이격 거리는 8m로 계획하였다.



<Fig.5.24.> 신재생에너지 용지 일영검토(09시)



<Fig.5.25.> 신재생에너지 용지 일영검토(12시)

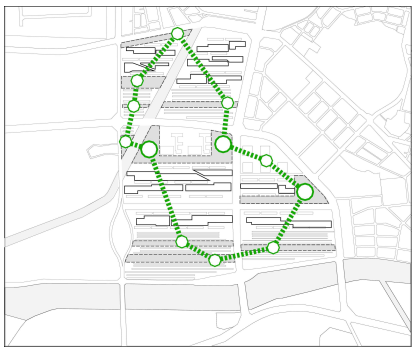


<Fig.5.26.> 신재생에너지 용지 일영검토(15시)

(5) 녹지용지

녹지 용지는 도시에서의 녹지네트워크 구축을 위하여 양적인 공급 측면과 더불어 다양한 규모의 녹지를 <Fig. 5.27>, <Fig. 5.28>과 같이 도시에 균형적 배치하였다.

<Fig.5.27.> 녹지용지 토지이용계획

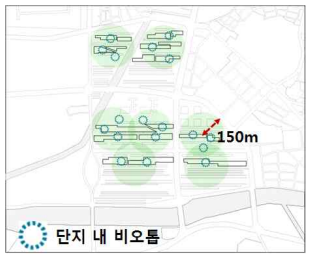


<Fig.5.28.> 녹지용지 배치 개념도

도시 전체 차원에서 도시자연공원은 주거, 교육, 업무시설용지에서 이용자들이 모두 쉽게 접근할 수 있도록 도시 중심에 <Fig.5.29>와 같이 배치하였다. 근린공원의 도시 내 배치는 <Fig.5.30>와 같으며 보행자 전용도로, 자전거도로와 연계하였으며, 신재생에너지 용지 근린공원은 시설물에 음영이 생기지 않도록 낮은 수목을 배치하였다. 단지 차원에서는 주거지 내 녹지공간을 <Fig.5.31>과 같이 보행공간과 병행하여 언제나 이용 가능하도록 계획하였다.

<Fig.5.29.> 도시차원의 녹지계획 (도시자연공원)

<Fig.5.30.> 도시차원의 녹지계획 (근린공원)



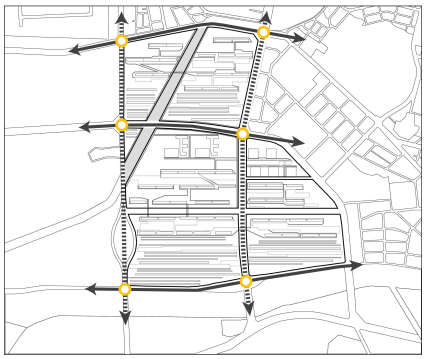
<Fig.5.31.> 단시차원의 녹지계획(비오톱 조성)

5.2.2 동선 계획

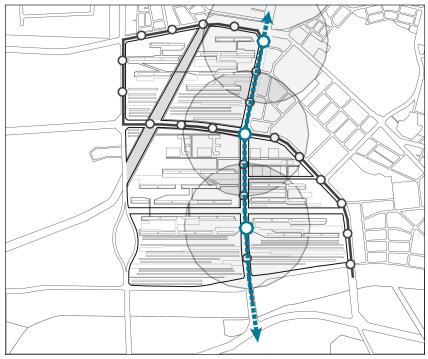
(1) 차량동선

차량동선체계는 효율적인 교통시스템을 위하여 <Fig.5.32>과 같이 그리드 형식으로 계획하였다.

대중교통 이용을 활성화하기 위하여 도시를 순환하는 간선체계와 도시를 관통하는 지선체계의 대중교통 운행 동선을 <Fig.5.33>와 같다. 지선체계는 어디에서나 이용이 편리하도록 200m 간격으로 계획하였으며 지선버스는 600m 간격으로 계획하였다.



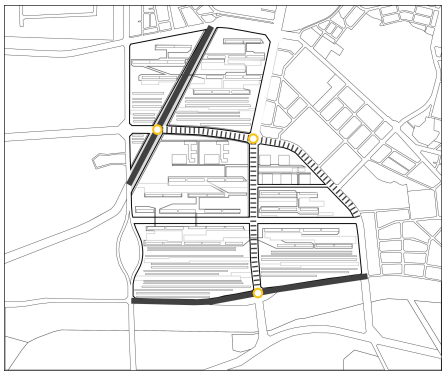
<Fig.5.32.> 도시 내 차량동선



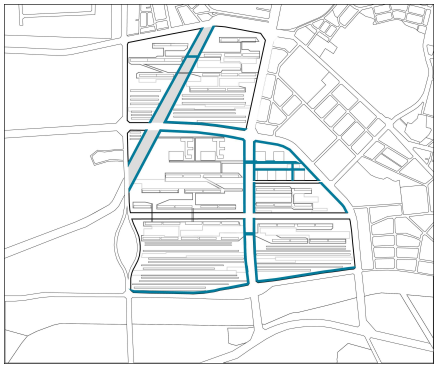
<Fig.5.33.> 도시 내 대중교통시스템

(2) 자전거 동선

자전거 이용을 위한 도시 내 동선은 도시의 서측을 관통하는 금석천과 도시의 남측에 흐르고 있는 안성천의 수변공간을 중심으로 하는 동선과 도시의 주요지점을 연결하여 출퇴근 및 통학에 이용할 수 있는 동선을 <Fig 5.34> 과 같이 구상하였다. 이에 따라 <Fig 5.35>와 같이 수변공간 및 공원과 연계된 자전거 전용도로와 주거지 및 생활권 중심을 연결하는 자전거 전용도로를 계획하여 도시 전체를 이용할 수 있도록 하였다. 또한 주거지 및 생활권 중심을 연결하는 자전거 전용도로는 대중교통시설과도 연결되어 연속적인 동선체계를 형성하였다.



<Fig.5.34.> 도시의 자전거 동선 개념도



<Fig.5.35.> 도시 내 자전거 전용도로

(3) 보행자 동선

보행자 동선은 주거지를 중심으로 단지 내에서 안전하고 편리하게 이용할 수 있도록 단지별로 계획과 함께 보행의 연속성을 확보하기 위하여 단지간 연계를 <Fig 5.36>과 같이 구상하였다

이에 따라 <Fig 5.37>와 같이 단지 내 보행공간을 형성하는 한편 자전거전용도로와 함께 보행자 전용도로를 계획하여 도시 전체에서의 보행연속성을 확보하였다.

<Fig.5.36.> 도시의 보행자동선 개념도

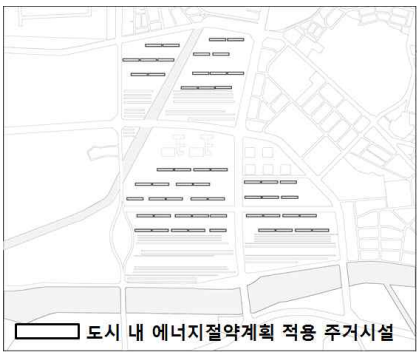
<Fig.5.37.> 도시 내 보행자 전용도로

5.2.3 건축물 계획

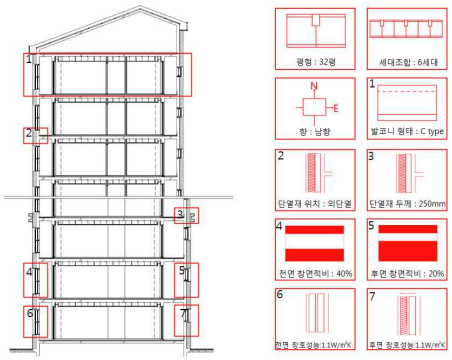
(1) 주거시설

주거시설의 건축물 에너지 절약계획을 수립하기 위하여 패시브 디자인 계획으로서 주소비에너지원인 난방에너지와 냉방에너지에 유의한 건축계획요소를 통계적 기법을 사용하여 파악하였으며 액티브 디자인 계획으로서 열원기기의 성능을 향상시켰다.

도시 내 에너지 절약계획을 적용한 주거시설은 <Fig. 5.38>와 같이 모든 건물에 적용하였다. 주거시설의 10개의 패시브 요소들과 2개의 액티브 요소에 대한 성능적용 결과는 <Fig. 5.39>이다.



<Fig.5.38.> 도시 내 에너지절약계획 적용 주거시설

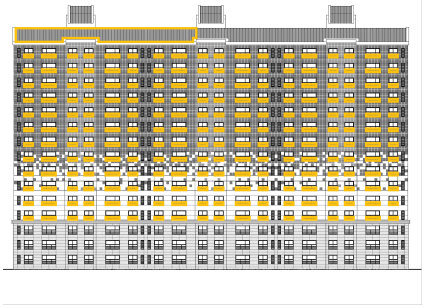


<Fig.5.39.> 주거시설 에너지절약계획

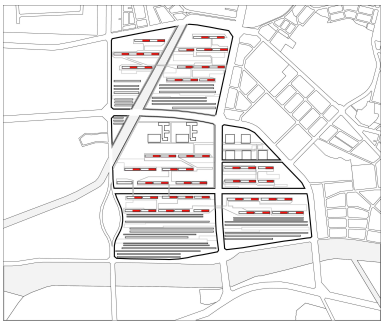
건축적 차원에서 신재생에너지 시스템을 복합 적용한 주거시설은<Fig. 5.40>, <Fig. 5.42>, <Fig. 5.44>와 같이 도시 내 모든 주거시설에 적용하였다.

건물 1동에서 적용한 신재생에너지 시스템의 적용 위치 및 면적을 살펴보면 태양열 시스템은 <Fig. 5.41>과 같이 발코니와 옥상면에 532.8m², 385.0m²의 면적으로 설치하였다. 태양광 시스템은 <Fig. 5.43>와 같이옥상면에 385.0m²의 면적으로 설치하였다. 지열 시스템은 <Fig5.45>와 같이 대지 아래에 385.0m²의 면적으로 설치하였다.

<Fig.5.40.> 주거시설
태양열시스템 배치

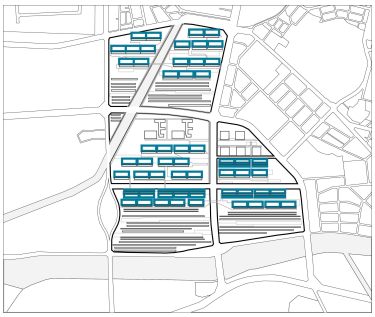


<Fig.5.41.> 주거시설
태양열시스템 설치위치

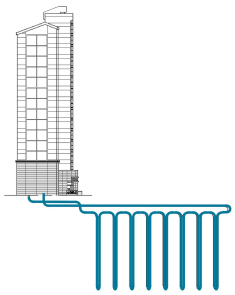


<Fig.5.42.> 주거시설
태양광시스템 배치

<Fig.5.43.> 주거시설 태양열시스템
설치위치



<Fig.5.44.> 주거시설
지열시스템 배치



<Fig.5.45.> 주거시설
지열시스템 설치위치

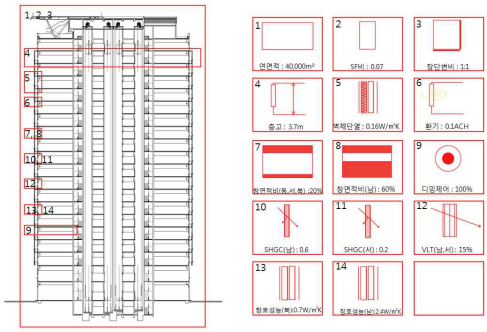
(2) 업무시설

업무시설의 건축물 에너지 절약계획을 수립하기 위하여 패시브 디자인 계획으로서 주소비에너지원인 냉·난방에너지 및 조명에너지에 유의한 건축계획요소를 통계적 기법을 사용하여 파악하였으며 액티브 디자인 계획

으로서 열원기기의 성능을 향상시켰다.

도시 내 에너지 절약계획을 적용한 업무시설은 <Fig. 5.46>와 같이 모든 건물에 적용하였다. 업무시설의 17개의 패시브 요소들과 2개의 액티브 요소에 대한 성능적용 결과는 <Fig. 5.47>이다.

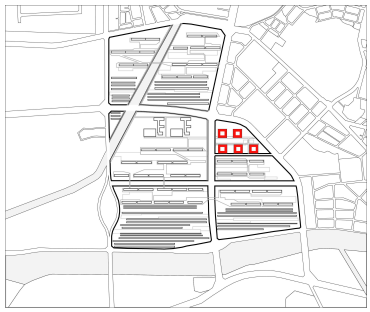
<Fig.5.46.> 도시 내 에너지절약계획 적용 업무시설



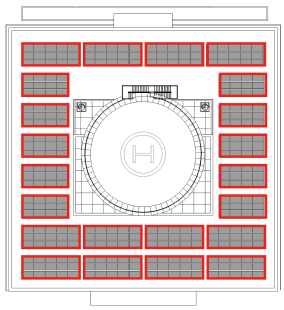
<Fig.5.47.> 업무시설 에너지절약계획

건축적 차원에서 신재생에너지 시스템을 복합 적용한 업무시설은 <Fig. 5.48> <Fig. 5.50>와 같이 도시 내 모든 업무시설에 적용하였다.

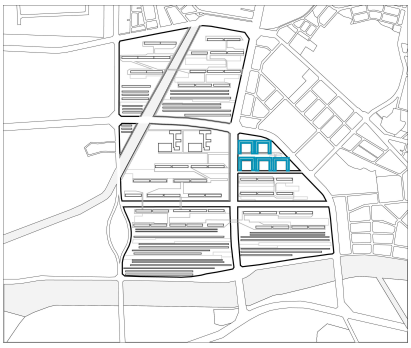
건물 1동에서 적용한 신재생에너지 시스템의 적용 위치 및 면적을 살펴보면 태양광 시스템은 <Fig. 5.49>와 같이 옥상면에 1,287.2m²의 면적으로 설치하였다. 지열 시스템은 <Fig. 5.51>와 같이 대자 아래에 1,177.8m²의 면적으로 설치하였다.



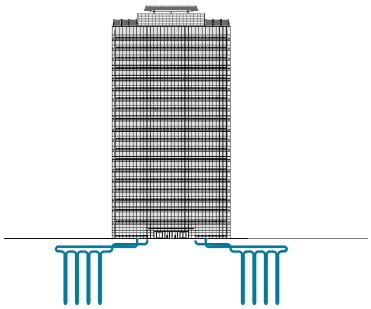
<Fig.5.48.> 업무시설 태양광시스템 배치



<Fig.5.49.> 업무시설 태양광시스템 설치위치



<Fig.5.50.> 업무시설
태양광시스템 배치

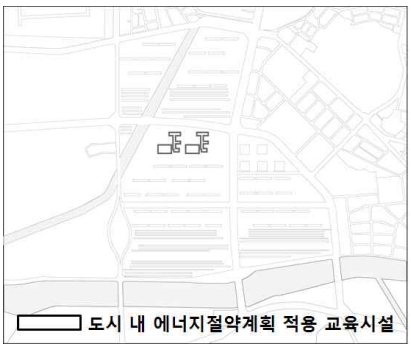


<Fig.5.51.> 업무시설
태양광시스템 설치

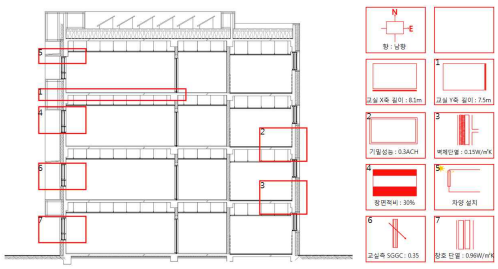
(3) 교육시설

교육시설의 건축물 에너지 절약계획을 수립하기 위하여 패시브 디자인 계획으로서 주소비에너지원인 난방에너지와 냉방에너지에 유의한 건축계획요소를 통계적 기법을 사용하여 파악하였으며 액티브 디자인 계획으로서 열원기기의 성능을 향상시켰다.

도시 내 에너지 절약계획을 적용한 교육시설은<Fig. 5.52>와 같이 모든 건물에 적용하였다. 교육시설의 9개의 패시브 요소들과 2개의 액티브 요소에 대한 성능적용 결과는 <Fig. 5.53>이다.



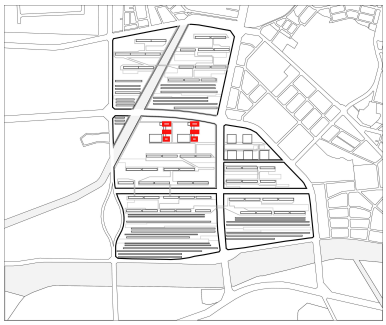
<Fig.5.52.> 도시 내 에너지절약계획
적용 교육시설



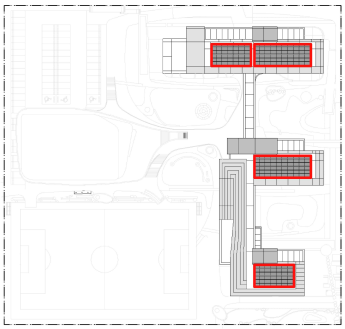
<Fig.5.53.> 교육시설 에너지절약계획

건축적 차원에서 신재생에너지 시스템을 복합 적용한 교육시설은 <Fig. 5.54>, <Fig. 5.56>와 같이 도시 내 모든 교육시설에 적용하였다.

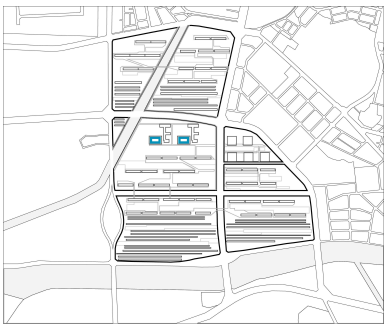
건물 1동에서의 설치위치 및 면적을 살펴보면 태양광 시스템은 <Fig. 5.55>와 같이 옥상면에 689.0m²의 면적으로 설치하였다. 지열 시스템은 <Fig.5.57>와 같이 대자 아래에 4,120.58m²의 면적으로 설치하였다.



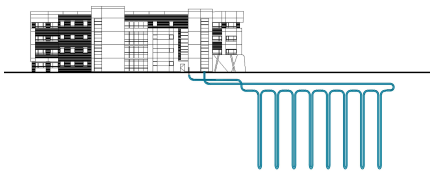
<Fig.5.54.> 교육시설
태양광시스템 배치



<Fig.5.55.> 교육시설
태양광시스템 설치 위치



<Fig.5.56.> 교육시설
태양광시스템 배치

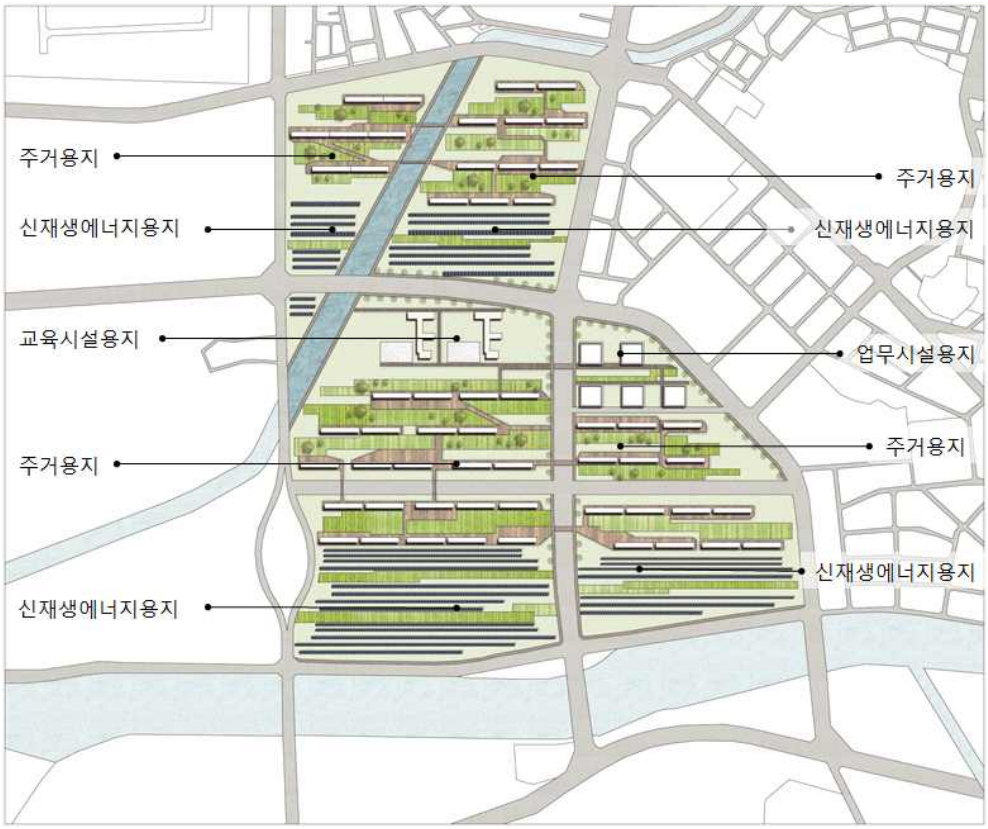


<Fig.5.57.> 교육시설
태양광시스템 설치위치

5.3 제로에미션 시티 최종계획안

5.3.1 마스터플랜

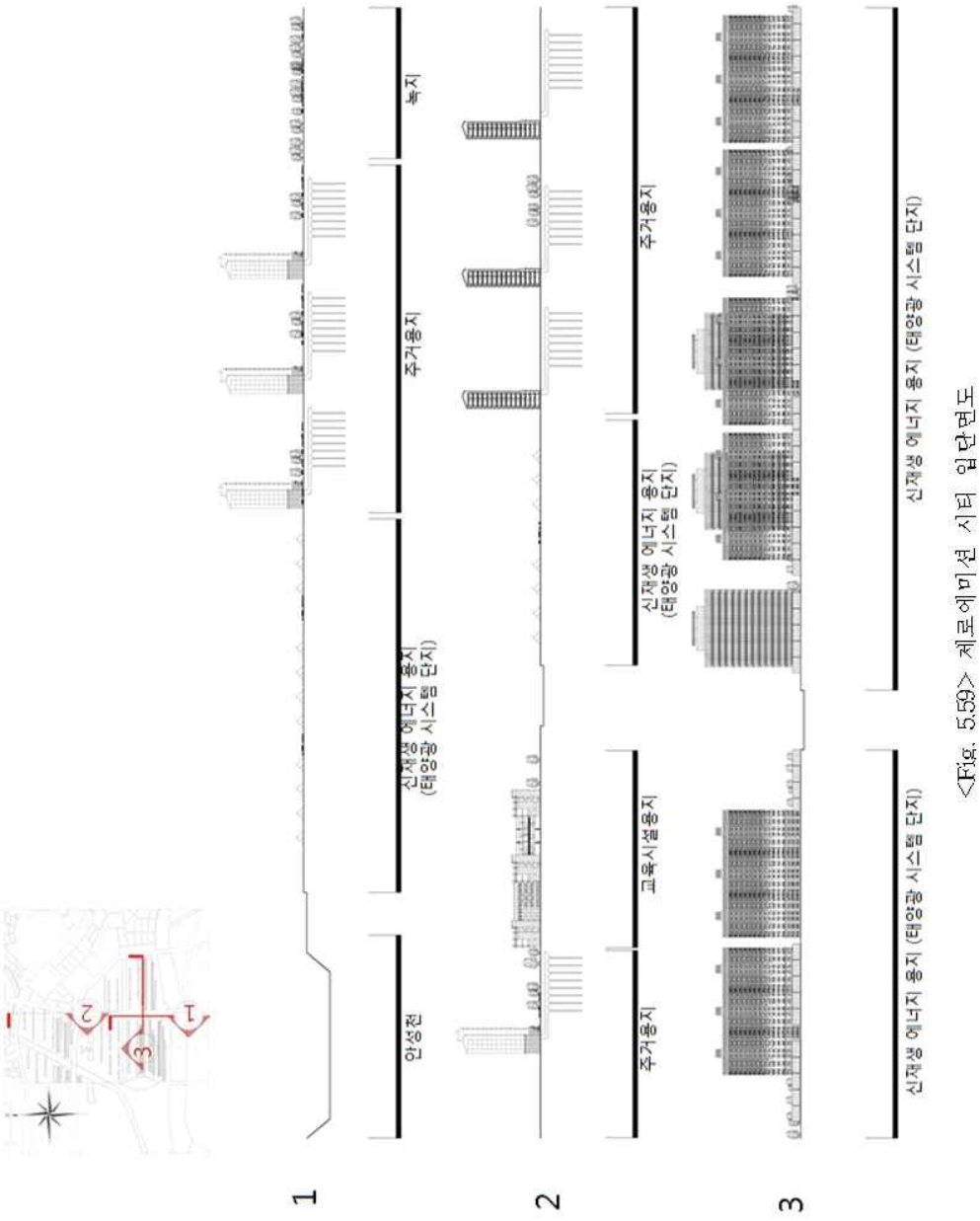
제로 에미션 시티의 기본 계획을 바탕으로 한 제로에미션 시티 마스터 플랜은 <Fig. 5.58>와 같다.



<Fig.5.58.> 제로에미션 시티 마스터플랜

5.3.2 입단면도

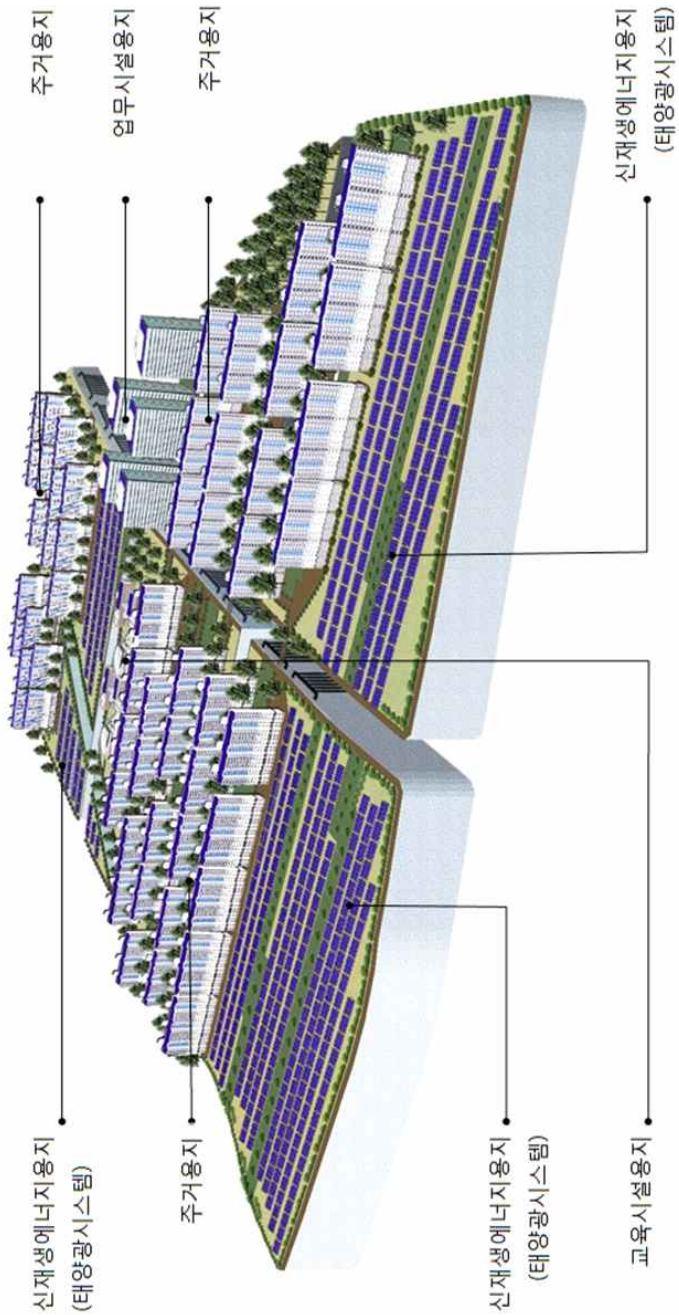
제로에미션 시티의 입단면은 <Fig. 5.59>와 같다.



<Fig. 5.59> 제로에미션 시티 입단면도

5.3.3 조감도

제로에미션 시티 조감도는 <Fig. 5.60>이다.



<Fig 5.60> 제로에미션 시티 조감도

제 6 장 결론

본 연구의 목적은 제로에미션 시티 모델 구축하고, 실제 대상지에 적용하여 에너지성능평가 및 환경성능평가를 통해 제로에미션 시티 달성을 정량적으로 평가하였으며, 최종적으로 제로에미션 시티의 계획안을 도출하였다.

이를 위해 국내외 사례 및 선행연구를 바탕으로 제로에미션 시티 기본방향 및 조성방안을 고찰하고, 프로세스를 제시하였다. 제로에미션 시티의 적용은 우리나라의 입지 및 사회적 특성을 고려하여 건축분야의 제로에미션 시티로 범위를 한정하였으며 적용과정은 기본계획단계, 에너지 절약단계, 신재생에너지 적용단계로 나누어 진행하였다. 마지막으로 제로에미션 시티 적용안을 바탕으로 계획안을 제시하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 제로에미션 시티 모델 구축을 위한 기초적 조사로서 사례도시들을 분석하여 제로에미션시티의 전략 방안 및 도시의 구성분야를 구분하였다. 전략을 실천하기 위하여 도시 분야별로 목적에 따른 계획지표를 설정하고 세부계획기법을 고찰하였다. 이를 바탕으로 제로에미션 시티를 위한 프로세스를 제시하여 제로에미션 시티 모델을 구축하였다.

(2) 제로에미션 시티 적용을 위한 기본계획 단계로서 도시의 지리적 특성과 물리적 특성을 에너지적 측면에서 파악하였다. 이를 바탕으로 건축용지인 주거용지, 업무시설용지, 교육시설용지와 신재생에너지 용지의 면적을 산정하고 배치하는 토지 이용계획을 수립하였다.

(3) 도시의 패시브 디자인 절약계획안은 건물 용도별, 주 소비에너지원별로 유의한 건축계획요소를 통계적 기법을 사용하여 파악하였다. 그 결

과 주거시설은 10개, 업무시설은 17개, 학교시설은 9개의 계획요소를 적용하는 것이 유의한 것으로 판단되어, 이 계획요소들의 성능수준을 변화시켰다. 도시의 에너지 절약을 위한 건물 용도별 액티브 디자인계획안으로 냉난방 열원기기에 대한 성능을 향상시켰다.

이에 따라 도시에서 패시브 디자인 및 액티브 디자인을 통한 에너지 절약 계획안을 적용하였을 때, 에너지소비량은 36.9%저감되어 34,178 MWh/yr이며, CO_2 배출량은 30.7%가 저감되어 8,982tCO_2 /yr이다.

(4) 건축물 용도별 에너지 수요 패턴과 신재생에너지 생산의 패턴을 비교·분석하고, 건축물에서 적용 가능 위치 및 면적을 파악하는 잠재성 평가를 바탕으로 주거, 업무, 교육시설에 신재생에너지 시스템을 계획하였다.

건축적 차원에서의 신재생에너지 적용 후 부족한 에너지를 공급하기 위해 도시적 차원에서 신재생에너지 단지를 계획하였으며, 계획과정은 건축적 차원의 신재생에너지 적용과정과 동일하다.

건축적 차원에서 신재생에너지를 적용한 결과 33,990MWh를 생산하여 전체에너지 수요의 52.6%를 분담하였다. 총CO_2 배출량 20,116tCO_2 에서 11,583tCO_2 로 42.4%인 8,532tCO_2 감소하였다.

도시적 차원에서 신재생에너지 적용결과 에너지소비량은 27,320MWh, 탄소배출량은 11,583tCO_2 감소하여 총CO_2 배출량 '0'인 제로에미션 시티가 달성되었다.

(6) 제로에미션 시티 적용안 평가결과를 바탕으로 도시의 공간 구획 및 배치에 대한 도시의 기본 계획방향을 설정하여 계획안을 작성하였다. 최종적으로 마스터 플랜과 조감도를 도출하였다.

본 연구에서는 위와 같이 우리나라 도시의 입지적·사회적 특성을 고려한 도시단위의 제로에미션 달성을 위하여 도시의 기본 구성 건축물인 주

거, 업무, 교육시설에 맞추어 연구를 진행하였다. 그 결과 건축물 단위의 에너지 및 환경성능평가를 통하여 정량적으로 CO_2 배출 '0'에 도달하여 제로에미션 시티를 달성하였다. 또한 기존의 개념적, 추상적 도시 개발 연구의 한계를 벗어나 연구의 결과를 바탕으로 지역적 특성을 고려한 실질적인 도시의 계획안을 구현함으로써 보다 시각적이고 적용 가능한 도시 계획안을 제안할 수 있었다.

그에 따라 향후 저에너지, 제로 에너지, 제로에미션 도시개발 및 지역개발에 있어서 보다 실증적이고 참고 가능한 자료로 활용될 수 있을 것이며, 연구 결과를 개발, 발전시킴으로써 건축물차원이 아닌 도시, 지역차원의 제로에미션을 달성할 수 있을 것으로 보인다.

하지만 본 연구는 도시의 구성 건물을 중심으로 하여 도시 건축물 에너지를 파악하였기 때문에 제로에미션 시티를 구현에 있어 건축적으로 분야가 국한된 한계가 있다. 이에 따라 본 연구를 바탕으로 보강되어져야할 추후연구는 다음과 같다.

(1) 실제적인 제로에미션 시티를 구현하기 위해서는 건축 분야뿐만 아닌 교통, 폐기물 등 도시를 구성하는 다양한 분야를 포함하여 제로에미션 시티를 위한 전체 프로세스를 적용한 평가가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 각 분야 전문가들이 도시 계획 초기 단계부터 함께 참여하여 도시 구성 계획을 해야 한다.

(2) 도시의 계획단계뿐 아니라 시공 후 유지, 관리단계까지 전생애주기를 고려하는 POE 등이 함께 평가되어야 진정한 의미의 화석연료에 에너지 소비를 의존하지 않는 제로에미션 시티가 될 것이다.

참 고 문 헌

<국내문헌>

1. 이상문, 탄소중립도시, 조경, 2012
2. 저탄소 에너지 절약형 신도시 조성방안 연구, 국토교통부, 2009
3. 김홍배, 동탄(2)신도시 저탄소 도시 도입 연구, LH 토지주택연구원, 2009
4. 이은엽 외 4명, 저탄소 녹색성장 구현을 위한 녹색 도시 조성기법, LH 토지주택연구원, 2009
5. 김정곤 외 저탄소 녹색도시 모델개발 및 시범도시 구상, LH 토지주택연구원, 2010
6. 김민경 외 1명, 해외 제로에너지타운 사례를 통해 본 제로에너지 타운 정책 방향, 서울연구원, 2011
7. 저탄소 에너지 절약형 신도시 조성방안 연구
8. 유광흠 외3명, 친환경 근린개발을 위한 도시설계 기법연구, 건축도시공간연구소, 2009
9. 김운수, 지구온난화 대응 저탄소 배출도시 추진전략 연구, 서울연구원, 2007
10. 유광흠 외1명, 도시공간개선사업의 저탄소 계획요소 적용에 관한 연구, 건축도시공간연구소, 2010
11. 도시 신재생에너지 복합 적용 기술 개발, 국토해양부, 2011
12. 제로에미션빌딩의 실용화를 위한 시스템통합설계 및 적용모델 개발, 한국연구재단, 2013
13. 서성모, 실험계획법을 이용한 학교건물의 Passive Design 설계에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2013

14. 김승민, 공공업무시설의 제로에미션 계획에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2012
15. 정아름, 도시특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용 방안에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2011
16. 변수영, 신재생에너지의 도시 복합 적용을 위한 성능평가 프로그램 개발에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2011
17. 손우진, 공동주택 설계초기단계에서의 에너지 성능평가를 위한 예측식 개발에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2011
18. 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2009
19. 김성은, 건축물의 신재생 복합 활용 계획에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2009
20. 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대석사학위논문, 2009
21. 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대석사학위논문, 2008
22. 박재범, PV 시스템이 적용된 커튼월 사무소 건물의 발전 특성에 관한 연구, 서울시립대석사학위논문, 2012
23. 박상준, 저탄소 녹색도시를 위한 도시공간의 재설계에 관한 연구-청주시 도심부를 중심으로, 청주대석사학위논문, 2011
24. 염인섭, 기후변화 대응 저탄소 녹색도시 계획체계 평가모형 개발 및 적용, 충남대박사학위논문, 2011
25. 윤성식, 저탄소 녹색도시 계획요소에 관한 연구, 대구대석사학위논문, 2011
26. 장우연, 기후변화에 대응한 저탄소 녹색도시 계획요소 도출 및 탄소저감 방안에 관한 연구, 고려대석사학위논문, 2010
27. 양은경, 에너지 절약형 저탄소 도시의 계획방향에 관한 연구, 충남대석사학위논문, 2010

<국외문헌>

1. Scott Kennedy, Sgouris Sgouridis, Rigorous classification and carbon accounting principles for low and Zero Carbon Cities, Energy Policy 39, 2011
2. Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, ASHRAE Handbook Fundamentals 2009

<Web Site>

1. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm
2. http://www.SunGuardGlass.com
3. http:/www.krb.co.kr
4. http://www.energy.co.kr/atl/view.asp?a_id=6445
5. http:/www.mhi.co.jp/en
6. http://www.kosis.co.kr

국 문 초 록

제로에미션 시티의 모델 적용방안에 관한 연구

최서영
건축학과 건축환경계획 전공
중앙대학교 대학원

오늘날 국제적으로 우리사회가 당면한 심각한 문제 중 하나는 기후 변화로 인한 환경문제이다. 이는 CO_2 배출 증가로 인한 지구온난화가 원인이다. 이에 대한 대안책으로 CO_2 배출을 Zero화(化)하는 'Zero Emission City'의 조성이 적극적으로 추진되어야 한다. 따라서 본 연구의 목적은 제로에미션 시티 모델 구상 방안을 제시하고, 실제 대상지에 적용하여 에너지성능평가 및 환경성능평가를 통해 제로에미션 시티 달성을 정량적으로 평가하며, 최종적으로 제로에미션 시티의 계획안을 도출하는 것이다.

연구 진행과정은 먼저, 국내외 사례 및 선행연구를 바탕으로 제로에미션 시티 모델의 전략방안을 제시하였다. 이를 실천하기 위하여 방안을 고찰하고, 제로에미션 시티를 위한 프로세스를 제시하였다. 제로에미션 시티의 적용은 도시가 밀집되고 연결된 우리나라의 입지적 특성을 고려하여 건축분야의 제로에미션 시티로 범위를 한정하였다. 그리고 기본계획단계, 에너지 절약단계, 신재생에너지 적용단계로 나누어 진행하였다. 마지막으로 제로에미션 시티 적용안을 바탕으로 계획안을 제시하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 제로에미션 시티의 사례도시들을 분석하여 제로에미션시티의 전략방안 및 도시의 구성분야를 구분하였다. 전략을 실천하기 위하여 도시 분야별로 목적에 따른 계획지표를 설정하고 세부계획기법을 고찰하고, 제로에미션 시티를 위한 프로세스를 제시하였다.

(2) 대상지는 안성시에 위치한 면적 930,763m^2, 인구 약 1.2만명의 규모이다. 도시의 구성건물을 주거, 업무, 교육시설로 구분하고 각 건물용도별 기준모델을 설정하였다. 제로에미션 시티 기본계획 단계로서 도시의 지리적 특성과 물리적 특성을 에너지적 측면에서 파악하였다. 이를 바탕으로 도시의 구성 용지별 면적 배치에 대한 토지 이용계획을 수립하였다.

(3) 도시의 패시브 디자인 절약계획안은 건물 용도별, 주 소비에너지원별로 유의한 건축계획요소를 통계적 기법을 사용하여 파악하였다. 그 결과 주거시설은 10개, 업무시설은 17개, 학교시설은 9개의 계획요소를 적용하는 것이 유의한 것으로 판단되어, 이 계획요소들의 성능수준을 변화시켰다. 도시의 에너지 절약을 위한 건물 용도별 액티브 디자인계획안으로 냉난방 열원기기에 대한 성능을 향상시켰다.

이에 따라 도시에서 패시브 디자인 및 액티브 디자인을 통한 에너지 절약 계획안을 적용하였을 때, 에너지소비량은 36.9%저감되어 34,178 MWh/yr이며, CO_2 배출량은 30.7%가 저감되어 8,982tCO_2 /yr이다.

(4) 건축물 용도별 에너지 수요패턴과 신재생에너지 생산패턴을 비교·분석하고, 건축물에서 적용 가능 위치 및 면적을 파악하는 잠재성 평가를 바탕으로 주거, 업무, 교육시설에 신재생에너지 시스템을 계획하였다.

건축적 차원에서의 신재생에너지 적용 후 부족한 에너지를 공급하기 위해 도시적 차원에서 신재생에너지 단지를 계획하였으며, 계획과정은 건축적 차원의 신재생에너지 적용과정과 동일하다.

건축적 차원에서 신재생에너지를 적용한 결과 33,990MWh를 생산하여 전체에너지 수요의 52.6%를 분담하였다. 총CO_2 배출량 20,116tCO_2 에서 11,583tCO_2 로 42.4%인 8,532tCO_2 감소하였다.

도시적 차원에서 신재생에너지 적용결과 에너지소비량은 27,320MWh, 탄소배출량은 11,583tCO_2 감소하여 총CO_2 배출량 '0'인 제로에미션 시티가 달성되었다.

(5) 제로에미션 시티 적용안 평가결과를 바탕으로 도시의 공간 구획 및 배치에 대한 도시의 기본 계획방향을 설정하여 계획안을 작성하였다. 최종적으로 마스터 플랜과 조감도를 도출하였다.

본 연구에서는 위와 같이 우리나라 도시의 입지적·사회적 특성을 고려한 도시단위의 제로에미션 달성을 위하여 도시의 기본 구성 건축물인 주거, 업무, 교육시설에 맞추어 연구를 진행하였다. 그 결과 건축물 단위의 에너지 및 환경성능평가를 통하여 정량적으로 CO_2 배출 '0'에 도달하여 제로에미션 시티를 달성하였다. 또한 기존의 개념적, 추상적 도시 개발 연구의 한계를 벗어나 연구의 결과를 바탕으로 지역적 특성을 고려한 실질적인 도시의 계획안을 구현하였다. 이에 따라 향후 제로에미션 도시개발 및 지역개발에 있어서 보다 실증적이고 참고 가능한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

하지만 본 연구는 도시 건축물의 에너지사용량을 중심으로 제로에미션 시티로 접근함에 따라 건축 분야 이외의 교통, 폐기물 등 도시의 에너지 및 탄소배출에 있어서 중요한 비중을 차지하고 있는 부분을 고려하지 못하였다. 따라서 추후 연구에서는 건축물 이외의 부분을 고려한 복합 설계 및 제로에미션 프로세스 구현을 통해 진정한 의미의 제로에미션 시티에 관한 연구 및 평가가 이루어져야 할 것이다

핵심어 : 제로에미션 도시, 에너지절약설계, 신재생에너지 도시적용 설계

ABSTRACT

A Study on the the Application of Zero Emission City Model

Choi, Seo-young
Major in Architectural Environmental Design
Dept. of Architecture
The graduate school of Chung-Ang University

Today, one of the most serious global problems, which our society also faces, is environmental problems due to climate change. This is because of global warming caused by increases in CO2 emissions. As a response measure to this, the creation of the "Zero Emission City", which entirely removes CO emissions, should be actively promoted. Therefore, the purpose of this study is to quantitatively evaluate the accomplishment of the "Zero Emission City" by suggesting measures to come up with a "Zero Emission City" model and conducting energy and environment performance evaluations by applying these measures to actual target regions. In doing so, this study eventually aims to draw a "Zero Emission City" plan.

Regarding the research process, this study first suggested strategic measures and processes for a "Zero Emission City" model based on existing domestic and overseas studies. The application of the "Zero Emission City" was limited to Zero Emission Cities in the architectural field by factoring in Korea's

locational characteristic that cities are densely populated and linked. In addition, the research phases were largely divided into the basic planning, energy saving, and renewable energy application phases. Finally, a plan was suggested based on "Zero Emission City" application measures.

The results of this study are summarized as follows.

(1) Case cities for the Zero Emission City were analyzed, thereby dividing the cases into strategic measures and urban components for the Zero Emission City. To implement the drawn strategies, planning indicators were established according to the purposes of each urban area, detailed planning techniques were researched, and processes for the Zero Emission City were suggested.

(2) The target region was an area of 930,763m² located in Anseong City with 12,000 residents. The city's building components were divided into residential, business, and educational facilities, and a standard model was built for each purpose of buildings. As the basic planning phase for the Zero Emission City, the city's geological and physical characteristics were identified in terms of energy.

Based on the above outputs, a land utilization plan was established regarding the arrangement of urban areas by land component.

(3) The city's passive design saving plan was identified by processing significant architectural planning elements for each major energy consumption source. As a result, the application of nine residential facilities, 14 business facilities, and 10 school facilities were analyzed to be statistically significant. Therefore, the performance levels of these planning elements were changed.

Using an active design plan by the purpose of buildings for urban energy

saving, the performance of cooling and cooling devices was improved. Accordingly, when an energy saving plan based on passive and active designs was applied to the city, its energy consumption decreased to 34,178 MWh/yr by 36.9%, and CO2 emissions dropped to 8,982tCO/yr by 30.7%.

(4) This study compared and analyzed the patterns of energy consumption and renewable energy production according to the purpose of buildings, and planed renewable energy systems in residential, business, and educational facilities based on a potential evaluation that identified applicable building locations and areas. After the application of renewable energies on the architectural level, a renewable energy complex was planned on the city level to supply insufficient energy. The planning process was identical with that of renewable energies on the architectural level.

When renewable energies were applied on the architectural level, 33,990MWh was generated with a 52.6% share of the total energy demand. Total CO_2 emission also decreased by 42.4% from 11,583tCO_2 to 8,532tCO_2. The application of renewable energies on the city level resulted in declines of 27,320MWh in energy consumption and 11,583tCO_2 in carbon emissions, thereby realizing the Zero Emission City with zero CO_2 emissions.

(5) Based on the results of the evaluation of the Zero Emission City application plan, a plan was drawn by establishing the city's basic planning directions regarding its spatial division and arrangement. Finally, a master plan and a bird's eye view were derived.

This study was performed based on basic urban building components, which are residential, business, and educational facilities, to achieve zero emissions on the city level while considering the locational and social

characteristics of Korean cities. As a result, a Zero Emission City was achieved by quantitatively reaching 'zero' CO_2 emissions through energy and environmental performance evaluations for each building. In addition, this study was able to propose a more visible and applicable city plan by creating a practical urban plan that incorporated regional characteristics based on the study's findings by going beyond the limitations of existing conceptual and abstract urban development studies. Accordingly, the further development and expansion of the present study's findings will enable the realization of zero emissions on the level of cities and regions.

However, as this study approached the Zero Emission City with a focus on the energy consumption of urban buildings, it failed to consider areas other than the architectural field, which form an important part in urban energy and carbon emissions such as transportation and wastes. Therefore, it has the limitation of having not accomplished an ultimate Zero Emission City. Therefore, future studies should research and evaluate genuine Zero Emission Cities by establishing complex design and zero emission processes that take into account important areas in addition to buildings.

핵심어 : Zero Emission City, Energy Reduction Design, Design for renewable energy systems with application to city