creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000241079

2011年 2月
博士學位論文

공동주택에 적용가능한 에너지 저감형 설비시스템에 관한 연구

조선대학교 대학원
건 축 공 학 과
정 석 우

공동주택에 적용가능한 에너지 저감형 설비시스템에 관한 연구

A Study on the Energy-Saving Equipment System
for Design of Apartment Houses

2011년 2월 25일

조선대학교 대학원
건 축 공 학 과
정 석 우

공동주택에 적용가능한 에너지 저감형 설비시스템에 관한 연구

指導敎授　朴 剛 澈

이 論文을 工學博士學位申請論文으로 提出함.

2010年　10月　日

조선대학교 대학원

건 축 공 학 과

정 석 우

정석우의 博士學位論文을 認准함

委員長　朝鮮 大學校 敎授　金秀璘　印

委　員　朝鮮 大學校 敎授　林晩澤　印

委　員　朝鮮 大學校 敎授　趙容準　印

委　員　朝鮮 大學校 敎授　徐長厚　印

委　員　朝鮮 大學校 敎授　朴剛澈　印

2010년　12월　　일

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT

1. 서 론
1.1. 연구의 배경 및 목적 ····· 1
1.2. 연구의 내용 및 방법 ····· 3

2. 에너지 절약과 정책에 관한 고찰
2.1. 건축물의 에너지절약 ····· 5
2.1.1. 에너지절약의 개념 ····· 5
2.1.2. 에너지절약 정책의 의미 ····· 7
2.2. 에너지절약을 위한 국제적 노력 ····· 9
2.2.1. 기후변화협약 ····· 9
2.2.2. 지구온난화 ····· 14
2.3. 유럽 및 미국의 에너지 정책 및 인증제도 ····· 18
2.3.1. 유럽 및 미국의 에너지 전략과 정책 ····· 18
2.3.2. 에너지 절약에 관한 국내의 법률 ····· 28
2.3.3. 에너지절약을 위한 공동주택의 건축물 인증 제도 ····· 29

3. 건축물 설비시스템의 개요
3.1. 에너지절약형 설비시스템의 분류 ····· 45
3.1.1. 태양광 발전 시스템 ····· 45
3.1.2. 지중열 시스템 ····· 53
3.1.3. 태양열 발전시스템 ····· 63
3.2. 에너지 절약형 설비시스템의 사용 사례 ····· 66
3.2.1. 태양광 시스템 보급 현황 및 건축물 적용 사례 ····· 66
3.2.2. 지중열 시스템의 보급 현황 및 건축물 적용 사례 ····· 68

3.2.3. 태양열 시스템 보급 현황 및 건축물 적용 사례 ····· 70

4. 에너지 절약형 설비시스템의 적용을 위한 조사

4.1. 설문조사의 개요 ····· 73

4.1.1. 설문의 목적 ····· 73

4.1.2. 조사 대상 선정 및 표집 ····· 73

4.1.3. 설문문항의 구성 ····· 74

4.1.4. 자료의 분석방법 ····· 75

4.2. 설문조사 결과 및 해석 ····· 76

4.2.1. 설문지의 신뢰도와 타당도 검증 ····· 76

4.2.2. 조사 대상자의 배경 및 특성 ····· 79

4.2.3. 일반적인 에너지 소비행동 ····· 80

4.2.4. 조사대상자의 일반적 특성과 투자비용 비교 결과 ····· 84

4.2.5. 설비기술 도입효과에 따른 투자비용 조사 결과 ····· 90

4.2.6. 설비시설 성능에 따른 투자비용 인식 결과 및 선호도 분석 ····· 99

5. 공동주택을 위한 설비 시스템의 적용 및 검증

5.1. 유전자적 알고리즘(GA)의 정의 ····· 104

5.2. 설비시스템 구성 및 GA 계산조건 ····· 106

5.3. 대상건물 선정 및 에너지 부하량 산정 ····· 109

5.4. 최적 설비시스템의 조합 결과 ····· 114

5.5. 소결 ····· 120

6. 결론

參考文獻

표 차례

표 1. 주요 국가별 온실가스 배출 현황 ····· 16
표 2. 온실가스 총 배출량 관련 주요지표 ····· 16
표 3. 온실가스 배출량 저감을 위한 정부의 역할 ····· 16
표 4. 기업별 온실가스 배출량 절감 노력 ····· 17
표 5. 대체에너지 공급 비교 ····· 19
표 6. 2020 package 세부정책 ····· 20
표 7. 수요 측면에서의 주요 정책과 그 내용 ····· 21
표 8. 공급 측면에서의 주요 정책과 그 내용 ····· 21
표 9. 현실가능한 온실가스 감축 방안 ····· 23
표 10. 온실가스 감축, 에너지 안보 강화 위한 각종 정책 수립 - 추진 ····· 24
표 11. 영국정부의 향후 에너지 안보 및 온실가스 감축을 위한 노력 ····· 25
표 12. 유럽국가들의 정책사례 분석 ····· 27
표 13. IPCC가 제시하는 현실 가능성 높은 기술 해결책 ····· 28
표 14. LEED 평가항목의 버전에 따른 점수변화 ····· 30
표 15. LEED 인증레벨의 버전에 따른 점수변화 ····· 30
표 16. LEED에 의한 평가의 대상이 되는 건축물 ····· 31
표 17. CASBEE에 의한 평가의 대상이 되는 건축물 ····· 34
표 18. CASBEE의 평가범주 및 평가항목 ····· 34
표 19. BREEAM에 의한 평가의 대상이 되는 건축물 ····· 37
표 20. SBTool에 의한 평가의 대상이 되는 건축물 ····· 40
표 21. 국내 친환경건축물 인증제도 및 시행기관이 시기별 변천과정 ····· 42
표 22. 인증등급별 점수기존 ····· 42
표 23. 프로그램별 평가대상 ····· 43
표 24. 공동주택 친환경건축물 인증기준 ····· 44
표 25. 연료전지의 종류 ····· 52
표 26. 히트펌프 외부열원 종류 ····· 60
표 27. 태양열 에너지의 장단점 ····· 64
표 28. 태양열 기술트리와 기술내용 ····· 66

표 29. 태양광 시스템을 적용하고 있는 국·외 공동주택단지 ····· 66
표 60. 수소연료전지를 적용한 일본의 후쿠오카 현 ····· 67
표 31. 활용 방식별 전 세계 지열 에너지 직업 이용 현황 ····· 69
표 32. 지열 히트펌프 시스템 운영중인 정부청사 ····· 70
표 33. 태양열 시스템을 적용하고 있는 국내·외 공동주택단지(1) ····· 71
표 34. 태양열 시스템을 적용하고 있는 국내·외 공동주택단지(2) ····· 72
표 35. 대상별 설문지 회수율과 분석율 ····· 74
표 36. 설문조사의 목적과 내용 ····· 74
표 37. 자료 분석 방법 ····· 76
표 38. 친환경 건축물 및 설비시설 보급 가능성에 대한 인식의 신뢰도 분석 결과 78
표 39. 조사대상자의 일반적인 특성 ····· 79
표 40. 친환경 설비 시공비용 ····· 86
표 41. 연간소득에 따른 에너지 저감 시스템 투자비용에 대한 인식 ····· 88
표 42. 주거형태에 따른 에너지 저감 설비시스템의 투자비용에 대한 인식 ····· 89
표 43. 소유형태에 따른 에너지 저감 시스템에 대한 투자비용 인식 ····· 90
표 44. 단열성능향상 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과 ····· 92
표 45. 히트펌프식 급탕보일러 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과 ····· 93
표 46. 가정용 연료전지 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과 ····· 95
표 47. 태양광 발전시스템 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과 ····· 96
표 48. 지중열 이용 히트펌프 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과 ····· 97
표 49. 전열교환기 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과 ····· 99
표 50. 설비시스템 목록 ····· 107
표 51. 설비시스템의 종류 및 용량 ····· 108
표 52. MIGA 계산조건 ····· 108
표 53. 건축자재의 물성치 ····· 110
표 54. 유전자적 알고리즘의 이용에 의한 최적설계 설비시스템의 구성조합 ····· 114
표 55. 경험적 결정에 의해 선정된 설비시스템의 구성조합 ····· 115
표 56. 설비시스템 설계방법에 따른 에너지 수요별 1차 에너지 소비량 비교 ····· 119

그림 차례

그림 1. 배출권거래제의 원리 ····· 9
그림 2. 기후변화협약과 양면성 ····· 12
그림 3. 태양광발전시스템 구성도 ····· 45
그림 4. 태양전지 p-n접합에 의한 태양광발전 ····· 45
그림 5. 광역 · 소립 독립형 시스템 ····· 47
그림 6. 계통연계형 시스템 ····· 48
그림 7. 연료전지의 반응과정 ····· 50
그림 8. 1kW급 연료전지의 IV곡선 및 출력 곡선 ····· 50
그림 9. 연료전지의 기본구성 ····· 51
그림 10. 지열에너지 시스템 구성도 ····· 54
그림 11. 개방형 지열원 열교환 장치 ····· 55
그림 12. 폐쇄형 지열원 열교환장치(수직형, 수평형) ····· 56
그림 13. 외기온도 열원수온도와 COP의 관계(가열 시) ····· 57
그림 14. 외기온동 열원수온도와 COP의 관계(냉각 시) ····· 57
그림 15. 공기열원 히트펌프의 디프로스트 발생사례 ····· 58
그림 20. 히트펌프에 냉매 사이클 ····· 60
그림 21. 폐수열원 히트펌프 ····· 61
그림 22. 태양열 시스템의 구성 ····· 65
그림 23. 연구모델 ····· 75
그림 24. 조사대상자의 에너지 소비행동 결과 ····· 82
그림 25. 평소 난방 설정온도 ····· 82
그림 26. 평소 냉방 설정온도 ····· 82
그림 27. 조사대상자의 친환경주택의 주거 선호도 조사 ····· 84
그림 28. 설비시설에 따른 주택 구입 의향 ····· 85
그림 29. 조사대상자의 용어의 이해 ····· 85
그림 30. 친환경설비를 위한 투자비용 조사결과 ····· 87
그림 31. 직업에 따른 에너지 저감 시스템 투자인식 관계 ····· 88
그림 32. 조사대상자의 친환경 설비시스템의 인식여부 조사 ····· 89
그림 33. 친환경 설비시스템 도입에 따른 우선순위 ····· 89

그림 34. 연간 CO_2 삭감량의 따른 설치비용의 선호도 ····· 91
그림 35. 단열성능향상에 대한 인식조사 ····· 92
그림 36. 히트펌프식 급탕보일러에 대한 인식 조사 ····· 94
그림 37. 가정용 연료전지에 대한 인식 조사 ····· 95
그림 38. 태양광 발전시스템에 대한 인식 조사 ····· 96
그림 39. 지중열 이용 히트펌프에 대한 인식 조사 ····· 98
그림 40. 전열교환기에 대한 인식 조사 ····· 99
그림 41. 에너지 절약 설비시설 선호도 조사결과 ····· 100
그림 42. 에너지 저감을 위한 설비시스템 최적설계 과정 ····· 103
그림 43. MIGA의 개념 ····· 104
그림 45. 에너지 및 설비 시스템 구성도 ····· 107
그림 46. 설비시스템 특성곡선도 ····· 108
그림 47. 대표 1세대 주거 모델 [mm] ····· 109
그림 48. 계절 대표일의 온도 및 태양복사 ····· 110
그림 49. 스케쥴 ····· 111
그림 50. 하계대표일의 시각별 냉방에너지 변화 ····· 112
그림 51. 동계대표일의 시각별 난방에너지 변화 ····· 112
그림 52. 동경 지역난방 주택단지의 시각별 급탕 에너지 변화 ····· 113
그림 53. 동경 공동주택의 시각별 전력 에너지 변화 ····· 113
그림 54. 계절별 대표일의 냉온열공급 운용계획 ····· 117
그림 55. 설비시스템 설계방법에 따른 계절별1차 에너지 소비량 비교 ····· 119

A Study on the Energy-Saving Equipment System for Design of Apartment House

Jeong, Suk Woo
Advisor: Prof. Park, Kang-Chul, Ph.d.
Department of Architectural Engineering
Graduate School of Chosun University

Environmental issues such as an energy problem, a heat island, a global warming and carbon dioxide emissions have become a concern in the world. In the case of energy problems, it is essential to consider measures for effective energy consumption and develop an alternative energy because natural resources are in danger of running out. Recently, distributed energy system as energy saving method has been introduced in order to effectively utilize renewable energy or unused energy. Distributed energy system based on cogeneration system has high potential of energy saving due to utilizing waste heat from power generator effectively. To promote application of distributed energy system widely, optimal design method for it is needed.

In this study, we carried out a survey on realization between energy saving and building energy systems targeting the public and performed reliability evaluation for survey results. The survey consists of 27 questions and reliability coefficient, Cronbach's α, for realization between energy saving and building energy systems is 0.726. The results also shows that understanding for terms related with sustainable buildings is significantly associated with expectation for purchase of energy-saving systems. We also examined how

energy saving buildings can be widely supplied based on realization of the public for energy consumption in residential sector. There had a increasing preference for energy saving buildings, realization for building energy systems to effectively use energy was insufficient. The public was more concerned with improvement of insulation performance than any other building energy systems for high initial cost and hoped to invest in building energy systems with both low CO_2 emission and low initial cost. The results shows that energy saving have been become a concern in the public. In order to widely supply energy saving buildings, continuos education and public relations for energy saving buildings are required.

In this study, the optimal running pattern of building equipment systems, which is considered the type and number of equipment, capacity size, are determined to minimize energy consumption for the cooling, heating, hot water and electricity by MIGA. Equipment system of apartment house for minimizing primary energy consumption considering initial and running cost is also designed using MOGA.

The heating and cooling energy consumption in one representative family of an objective model had a peak load while someone stays in house and heating and cooling systems are operated. This proposed method is significantly capable of determining optimal system design for saving energy in apartment house. It has been confirmed that energy for equipment systems in apartment house can be saved by using operation plan of building equipment systems. The case study results showed the result distribution of pareto optimal solutions. Since acceptable bound is determined in the result distribution in order to investment scale for energy system or regulation by government, it is expected that the method can provide various objective views to make decisions among stockholders in practical design process.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

에너지 소비 문제, 도시 열섬현상, 지구온난화 문제, 그리고 탄소 저감정책 등 환경에 관한 제반 문제들이 국내뿐만 아니라 세계적으로 이슈가 되고 있다. 상기의 문제점들은 지구, 도시 환경문제에 국한되지 않고 건축물의 실내외 환경과도 밀접한 관련을 가져서 건축분야에서도 주요 과제로 인식되고 있으며, 그 관심이 점점 증가하고 있는 실정이다.

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 보고서에서는 온실 가스의 가장 인위적인 주범인 지구 대기의 이산화탄소는 산업화 이전의 280ppm으로부터 2005년 379ppm으로 증가했다고 보고하고 있다. 향후 기후 문제에 관한 대책이 없이 이러한 현상이 지속될 경우, 이산화탄소 및 온실가스 발생량이 2030년에는 2000년 대비 40~110% 증가할 것으로 예측하고 있다.[1] 한국은 전세계에서 에너지 소비량이 10위이며 1990~2005년까지 온실가스 배출량이 연평균 4.7%씩 상승하는 것으로 보고되고 있다.[2]

한편 국내 에너지 사용량의 23%, 국내온실가스 배출량의 13%는 건물의 에너지 소비에 의한 것이며, 이 가운데 54%는 가정부문에서 사용하고, 이중 31.9%는 단독주택에서 소비하고 있다.[3] 주택의 에너지 소비는 과거 인류가 시작된 때부터 시작되었으며, 현재의 석유와 가스 등의 경우, 직접적인 연료원의 소비가 집계되기 이전부터 그 소비가 시작되었다. 과거의 에너지원은 자연에서 취득하고 소비 후 자연에 방해가 되는 않는 방법으로 돌려보내지는 형태였으나, 현재는 자연이 만들어 놓은 에너지원을 주택에서 직, 간접적으로 사용하고 있다.

에너지 경제 연구원에서 발표한 자료에 의하면 국내 주택의 난방시설은 전력(37%), 가스(35.7%), 석유(18.7%)를 에너지원으로 사용하는 시설들이 큰 비중을 이루고 있다.[4] 주택의 에너지 사용은 많은 부분 난방, 급탕, 조명, 냉방에 사용되고 있으며, 이러한 주

1) IPCC 4th Report, (2007년)
2) 2007년 에너지 및 기후변화 편람
3) 2008 에너지 공단 기후변화 발표 자료
4) 가정부문 에너지 소비형태 분석 및 건물부분 DB 구축(2004) 에너지 경제 연구원

택의 에너지 사용에 대한 연구는 세계적으로 많이 진행되고 있으며 현재는 에너지 절약을 위한 방법과 기준을 세우기 위한 여러 나라의 흐름을 관찰할 수 있다.

에너지 자원 및 환경문제를 해결하고, 쾌적한 실내 환경의 창출, 에너지 절약 및 에너지의 효율적 이용을 위해 친환경 건축물에 대한 개발이 증가하고 있다. 친환경 건축물을 정의할 때, green, sustainable, ecological, environment friendly 등과 같은 용어가 많이 사용되고 있고, 넓은 의미의 친환경 건축은 지구 환경과 지역 환경을 보전하고 자연생태계에 미치는 영향을 최소화하는 건축이라 할 수 있다. 건축 환경적 관점에서 접근할 때, 건축물의 계획, 설계, 생산, 유지관리, 폐기의 전 과정에서 에너지 및 자원의 절약이 가능하고, 자연경관과의 유기적 연계가 이루어지며, 인간의 건강과 쾌적성 향상을 추구하는 건축물을 친환경 건축물로 정의한다.

선진국들의 경우, 건축물의 설계, 계획단계 뿐만 아니라, 시공 후에도 건축물의 친환경성을 유지, 관리할 수 있는 여러 가지 평가 툴이 개발되어 신축 혹은 기존의 건축물에 대한 건축물 종합 환경 성능평가가 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다. 미국에서는 미국 그린빌딩협의회가 중심이 되어 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design, 1997)를 개발하였고, 영국에서는 영국 건축연구소가 BREEAM(Building Research Establishment Environmental Assessment Method, 1990)을 개발하였으며, 그리고 일본의 경우에는 재단법인 건축환경 에너지절약 기구(IBEC)이 중심이 되어 건축물 종합 환경성능 평가시스템인 CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)를 개발하여 지속적으로 건축물의 실내환경과 실외환경에 대한 종합적 평가를 실시하여 지속가능한 건축물을 권장하고 있다.

최근 사회적 이슈와 맞물려서 최근에는 에너지 절약 및 효율적 이용에 관한 항목이 상기의 건축물 환경 평가 툴을 이용한 친환경 건축물 평가 시, 아주 중요한 요소로 평가되고 있다. 특히, 태양열 시스템, 지중열 시스템, 연료전지 등의 신재생 에너지나 단열강화, 고효율 설비 시스템 등은 에너지 측면에서 친환경 건축물에서 사용되는 핵심 기술임에도 불구하고, 높은 초기 비용 등으로 인해서 아직은 폭 넓게 이용되지 못하고 있는 실정이다. 또한 에너지 절약형 건축물의 도입과 보급을 위해서는 상기 기술의 개발뿐만 아니라, 건축물 이용자, 시공자 등의 에너지 절약형 건물에 대한 인식의 향상이 요구된다.

본 연구에서는 일반 이용자의 친환경 건축물 관련 지식 및 상세 시스템들에 대한 인식정도를 파악하고 이를 바탕으로 집합 주택을 대상으로 냉난방 에너지 소비량을 최소화할 수 있는 설비시스템의 모델을 제안하는 것을 목적으로 한다.

이에 본 연구에서는 광주광역시 및 전라남도에 거주하는 공동주택 이용자를 대상으로 친환경 건축물 및 설비시스템 보급 가능성에 대한 설문조사를 실시하여, 친환경 건축물의 폭넓은 보급을 위해서 필요 사항들을 비용과 이산화탄소 배출량을 중심으로 분석하였다. 또한 공동주택을 대상으로 유전자적 알고리즘을 이용한 분산형 에너지 시스템을 적용하여 건축물의 에너지 저감형 설비시스템을 설계하였다. 공동주택에 요구되는 온열, 냉열 수요량은 동적 열부하 계산에 의해 예측을 하고, 건축물의 에너지 소비량을 최소화할 수 있는 설비시스템의 기종, 용량, 대수분할 등을 선정하여, 선정된 설비시스템의 최적 운용 계획을 예측, 검증하였다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

이론적 고찰로서 건축물의 에너지 절약에 관한 개념을 정리하고, 에너지 절약 정책이 등장하게 배경과 국내적, 국제적 노력에 대해서 살펴보았다. 또한 선진국의 에너지 전략 및 정책과 국내의 관련 법률과 비교검토하며, 미국, 일본 등의 건축물 환경성능 평가 시스템의 내용을 살펴보며 국내의 친환경 건축물 인증제도의 현 위치에 대해 살펴보았다. 그리고 에너지 절약형 건축물의 설비시스템에 대해서 정리하였는데 단열성능, 연료전지, 태양광발전 시스템, 히트펌프, 지중열 시스템의 개요를 설명하고, 에너지 절약형 건축물 설비시스템의 국내외 사례를 선행연구를 통해서 확인한다.

선행연구를 통해 에너지 절약형 설비시스템의 보급을 위한 설문조사를 실시하여 건축물 이용자의 에너지 소비 행동, 설비시스템 성능에 따른 투자 비용의 인식 정도 및 선호도 분석을 실시하였다.

분석은 TRNSYS를 이용해서 대상 건축물의 냉난방 에너지 부하량을 해석하고 이 해석치와 설비시스템 용량, 효율 등을 설비시스템의 최적화 설계를 위한 입력 데이터로써 이용하여 에너지 절약형 설비시스템의 최적 모델을 제안하고자 하였다.

사용된 프로그램인 TRNSYS (TRaNsient System Simulation Program)는 동적 건물

부하 해석 프로그램으로서 1975년 미국 위스콘신 대학의 Solar Energy Laboratory에서 태양열 집열기를 해석하기 위한 프로그램으로 개발되어 현재는 유럽을 비롯한 세계 각국에서 광범위하게 사용되고 있다. 그 후 해석의 범위를 태양에너지뿐만 아니라 건물에서의 다양한 에너지 이용시스템을 포함시키는 등 여러 차례의 개선을 거쳐 전 세계적으로 널이 이용되는 시스템 시뮬레이션 프로그램이 되었다.

TRNSYS는 기본적으로 크게 Type 12, 19, 56의 세 가지 건물해석 모듈을 제공한다. Type 12는 일사의 영향, 조명부하, 인체발열 등에 의한 부가적인 열취득과 함께 열손실 및 취득의 계산을 위해 총합열전달계수(UA)를 이용한 도일법(Degreedaymethod) 계산 모듈이며 반면 Type 19는 단일존의 동적해석을 위한 모듈로 벽체 등은 앞서 설명한 미국냉동공조학회(AHRAE)의 전달함수법(Transferfunctionmethod)에 의해 모델화된다.

본 연구에서 사용된 Type 56은 여러 개의 thermalzone을 계산하기 위한 Multi-zone model 계산 모듈이며 결합된 형태의 미분방정식을 역행렬을 이용하여 계산하는데 이를 이용하여 냉반방 에너지 부하량을 해석하였다.

그리고 최종적으로 설비시스템의 운용계획과 조합 및 1차 에너지 소비량을 산출하여, 경험에 의해 설계한 설비시스템의 조합과 비교, 분석하여 제안하는 설계과정의 타당성을 검증한다.

2. 에너지 절약과 정책에 관한 고찰

2.1. 건축물의 에너지절약

2.1.1. 에너지절약의 개념

‘에너지절약(Energy Conservation)'을 위한 인간의 활동은 에너지 사용 초기로 거슬러 올라간다.[5] 화덕 등과 같은 열 발생 시설은 폐쇄된 공간에 세워져 에너지 절약이 가능하였으며, 인류가 자신의 보호를 위해 생활공간을 만든 것 또한 보다 적은 연료로 온기를 제공 받도록 하기 위함이었던 것이다. 에너지는 그리스어로 ’ergon'에서 유래하며 기계적인 힘이나 열 등을 발생하여 자연계에서 발생하여 자연계에서 유전하거나 또는 인공적으로 자연을 변화시키는 일을 할 수 있는 잠재적 능력을 뜻한다. 기계력이나 열, 빛은 물론 전력이나 화학반응 등 여러 형태의 에너지도 포함되므로 일반적으로 에너지란 ‘일 할 수 있는 능력’이라 말할 수 있다.[6]

기본적으로 에너지절약이라는 용어는 사용자에 따라 다양하게 표현되고 있어 에너지절약의 개념에 대한 해석이 필요하다. 그것은 의미하는 내용도 조금씩 다르므로 여기에서는 먼저 에너지 절약의 개념과 그 범위를 규명한다.

에너지절약은 넓은 의미에서 에너지의 효율적 이용뿐만 아니라 소비억제를 통한 단순절약과 연료대체[7] 및 재생에너지 자원의 개발 · 활동까지 포함시켜 정의하고 있다.[8] 소비억제를 통한 단순절약은 에너지절약이라는 가치에 대한 국민의 공감대형성을 통해 자발적으로 이루어져야 한다는 점,[9] 재생에너지 자원의 개발 · 활동은 「신에너지 및 재생에너지 개발 · 이용 · 보급 촉진법」에서 규율한다는 점에서 본 연구에서는 에너지절약의

---

5) OECD/IEA, Energy Conservation in IEA Countries, 1987, p.25.
6) 김길환, 『문명과 에너지』, 21세기문화사, 2000. p.16
7) Cimin Keyhanian, 『Rechtliche Instrumente Zur Energieeinspraung』, Nomos, 2008, p. 47 ; 좁은 의미의 에너지절약의 개념에서는 화석에너지 서로 간의 대체는 에너지절약 방법으로 보지 않는다. 난방시설에 석유대신에 가스를 사용함으로써 결과적으로 에너지가 절약(에너지구매비용의 절약을 의미)될 수 있어도 자원소모 입장에서 볼 때는 석유라는 자원대신에 마찬가지로 한정되어 있는 가스 자원을 사용한 것이기 때문이다.
8) 강남훈, “산업부문 에너지절약정책의 효과성평가 및 개선방안에 관한 연구”, 서울대학교 행정대학원 석사학위논문, 1987.
9) Cimin Keyhanian, 위의 책, pp.48~52

개념을 좁은 의미로 해석하여 에너지의 효율적 이용을 통하여 생활수준의 하락을 수반하지 않고서 에너지소비를 줄이는 행위로 정의한다.[10]

이러한 에너지절약에 관한 개념은 오늘날 여러 가지로 정의되고 있고 일본의 경우 우리의 에너지절약과 같은 의미로 사용되는 '省エネルギー'가 다음과 같이 다양하게 정의되고 있다.

첫째, 협의로는 고유한 기술을 여건으로 하여 이의 투입에너지를 감소시키는 것이다. 이의 예로서는 가열온도의 최적 컨트롤에 의한 가열용 연료의 감소 등이 이에 해당한다.

둘째, 광의로는 GNP당 에너지 소비량의 감소로 정의된다. 국민경제라고 하는 입장에서 볼 때 이러한 정의소득이 증가하는 상황에서도 에너지 수요량을 억제하는 일이 가능할 것인가 하는 의미에서 타당한 정의라고 본다.

한편, IEA(International Energy Agency)의 연구보고서에 의하면[11] 에너지절약이란 인간의 행태, 관리의 개선 또는 신기술의 도입을 통해 에너지를 효율적으로 사용하는 것을 의미한다고 본다. 경제활동과 생활수준에 관한 비용을 지불하면서 에너지사용을 줄이고자 하는 노력은 에너지절약의 개념으로 볼 수 없으며 단지 경제적 이익증대에 대한 수단으로서의 에너지절약을 중시한다. 이렇게 에너지절약의 개념에 공급제한으로 인한 강제적인 절약이나 소비억제를 통한 에너지 절감을 제외시키고자 하는 경향은 종전부터 계속되어 온 견해이다.[12] 이러한 견해를 종합해 볼 때, 에너지절약을 원론적으로 정의한다면, 다음 3가지로 정의될 수 있다.

첫째, 어떤 조치를 취하였을 때와 취하지 않았을 때의 에너지 소비량의 차이가 발생하는 경우 에너지 소비량의 차이를 유발하는 일련의 행위를 일반적인 정의라 한다.

둘째, 특정 소비부문에 적용가능한 기술적 최대 소비효율에 관한 기준을 설정하고 실재 에너지소비량이 이 기준의 근접하는 척도[13]를 공학적 정의라 한다.

셋째, 에너지소비량은 그 소비에 관련된 한계사회비용과 한계사회편익이 일치하는 수준에서 결정되므로 실재(實在) 에너지소비량과 이론적 적정 소비량간의 차이가 발생하는

---

10) Jean-Luc Wingert/김성희(역), 『에너지전쟁』, 청년사, 2007, pp. 226~227 ; 우리 사회의 에너지 소비를 낮추는 것은 소비량을 결정하는 세 가지 요인을 감소시킴으로써 가능하다. ① 변환기(모터, 보일러, 램프 등) 개수, ② 변환기의 단위 소비량, ③ 사용자의 소비 행동이 그것이다.

11) OECD/IED, Energy Conservation in IEA Countries, 1987, p.25

12) 한국동력자원연구소「에너지이용합리화 정책연구」1981, p.58

13) 최기동, 「에너지절약의 개념변화- 에너지 바로쓰기 운동의 전개」 에너지관리공단, 1989, p.2

정도를 나타낼 때 경제학적 정의라 한다.

이러한 3가지 관점에서 실재(實在) 에너지소비량과 어떤 기준에 의한 이상적 소비가능량과의 비교를 통해 두 소비량의 근접정도를 평가하여 같은 효용을 얻는 과정에서 회피된 낭비가능량을 절약하는 것을 에너지절약이라 말할 수 있다.

따라서 에너지절약의 정립에 있어서 가장 중요한 것은 실재(實在) 절약량과 이상적 에너지절약 가능량간의 의미와 파급효과 면에서의 차이를 규정하는 것이다.

2.1.2. 에너지절약 정책의 의미

절약적이고 합리적인 에너지사용은 에너지공급의 안전을 증대시키고, 국민경제의 경쟁력과 활력을 강화하며 자원보전과 환경부담의 감소에도 기여한다. 환경부담에 대한 감소는 에너지분야가 환경에 대한 지대한 영향과 점차 중요성이 부각되고 있는 기후변화의 사전방지에 대한 국가의 국제적인 의무를 고려할 때에 에너지절약이 특별히 중요한 점이라고 할 수 있다. 합리적으로 절약적인 에너지사용은 개별적인 에너지공급 상황과 무관한 장기적인 국가의 과제라고 할 수 있다.

에너지절약은 중요한 에너지정책의 목표이며 지속적으로 추구하여야 하는 목표이기도 하다. 에너지정책을 에너지의 합리적인 이용과 절약에 출발하고자 하면 처음부터 장기적인 계획을 수립하여야 한다. 최근에 기후변화협약의 이행을 위한 중요한 방법으로 재생가능한 에너지의 개발과 원자력 에너지의 사용이 중요한 대안으로 등장하고 있다. 에너지의 합리적이고 절약적인 사용은 현대 산업국가의 국민에 부여된 윤리적 또는 법적인 의미로 되어가고 있다.[14)]

에너지정책에 관한 논의에서는 에너지절약과 합리화의 여부에 관한 논의가 아니라, 어떻게 에너지를 합리적으로 이용하고 절약하느냐의 방법에 관한 문제이다. 어떠한 수단으로 어떠한 방법으로 추구하는 목표를 가장 잘 달성할 것인가는 현재 활발하게 진행되고 있는 에너지 분야의 담론 대상이다. 한편으로는 시장질서로, 다른 한편으로는 국가규제적인 해결방안으로 다양하게 등장하고 있는 에너지절약정책이 논의되고 있다. 에너지절약의 문제를 중요한 에너지정책으로 표방하고 있는 구미의 여러 국가는 규제적인

14) 김용원, 건축물의 에너지 절약 방안에 관한 연구, 성균관대학교, 석사학위논문, 2000 참조.

방법에 의한 에너지절약보다는 시장경제에 정향된 에너지절약을 추구하고 있다. 특히 1997년 12월 교토 제3차 기후협약을 위한 총회에서는 선진국의 의무감축 목표와 일정한 확정한 교토의정서[15]가 채택되었다.

그리고 1998년 11월 초 부에노스아이레스에서 개최된 제4차 총회에서 감축목표를 달성하기 위한 3가지 보조적 이행수단이 논의의 핵심이었다. 3가지 수단 중 감축의무를 초과 달성하여 생긴 권리를 국가간에 사고 파는 배출권거래(Emissions Trade:ET)(그림 1)[16] 또는 특정 프로젝트를 수행함으로써 타국에서의 감축분을 인정받는 공동이행제도(Joint Implementation:JI)[17]는 현재의 협약상 선진국만이 참여할 수 있다. 그리고 청정개발체제(Clean Development:CDM)[18]는 공동이행제도와 거의 비슷한 내용이지만 선진국은 물론 개도국에 자본과 기술을 투자하여 부여받은 온실가스 감축분을 선진국이 가져가고 개도국은 청정기술과 설비를 확보함으로써 환경보전과 경제성장을 동시에 추진할 수 있는 하는 방안이다. 이러한 모든 방안은 시장경제에 지향된 에너지절약 방안이라고 할 수 있다.

이러한 시장경제 지향적 에너지절약정책은 에너지공급의 앞으로의 발전에 대한 불확실성으로 고려할 때에 필요한 유연성이 보장되어야 한다. 사실 시장과 가격은 소비자의 합리적인 에너지 사용방식으로 유도하는 데에 영향을 미친다. 그러나 시장과 가격이 개별 소비자에게 처음부터 개개인의 상황에 적합하고 최적의 결과를 달성할 가능성을 가진 것은 아니다.

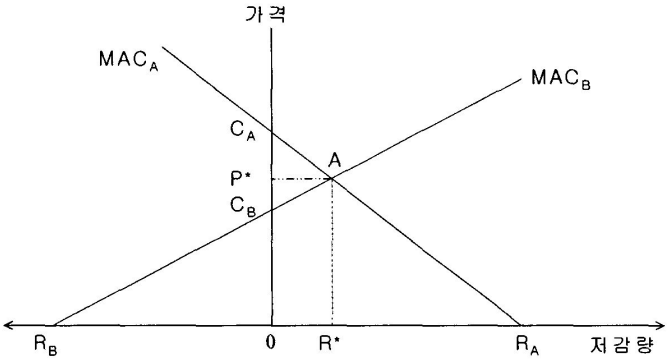
---

15) 교토의정서(Kyoto Protocol) : 선진국으로 하여금 온실가스 감축목표를 정하도록 해 목표이행을 의무화한 협약

16) 배출권거래제도 : 교토의정서 17조에 규정된 조항으로 온실가스 감축의무가 있는 국가가 당초 감축목표를 초과 달성했을 경우 감축쿼터를 다른 나라에 팔 수 있도록 한 제도(오영진, 배출권 거래제가 전력시장에 미치는 영향분석, 홍익대학교 석사학위논문, 2003.)

17) 공동이행제도 : 교토의정서 6조에 규정된 내용으로 선진국 기업이 다른 선진국에 투자해 얻은 온실가스 감축분의 일정량을 자국의 감축실적으로 인정받을 수 있도록 한 제도

18) 청정개발체제 : 선진국 기업이 개발도상국에 투자해 얻은 온실가스 감축분을 자국의 온실가스 감축실적에 반영할 수 있게 한 제도



R_A : A의 저감목표량
R_B : B의 저감목표량
MAC_A : A의 한계저감비용
MAC_B : B의 한계저감비용

그림 1. 배출권거래제의 원리

2.2. 에너지절약을 위한 국제적 노력

2.2.1. 기후변화협약

가. 기후변화 개요

지구의 대기는 약 80%의 수증기와 이산화탄소(CO_2) 및 이산화황(SO_2)을 포함한 온실가스들로 구성되어 있다. 이들 온실가스 중에는 태양 및 지구의 열을 흡수하는 온실효과를 통하여 지구의 온도를 일정 수준으로 유지시켜 주고 있다. 현재 지구의 평균온도는 약 15℃이나 온실가스가 없을 경우에는 온도는 -18℃ 정도로 낮아지게 된다. 그러나 19세기 후반에 시작된 산업혁명 이후 화석연료의 사용 증가로 대기중의 온실가스가 급속히 증가하게 되었으며, 이에 따른 온실효과의 증대로 지구의 온도상승 즉 지구온난화를 유발하는 것으로 전문가들은 주장하고 있다.[19]

지구온난화를 유발하는 대기중 온실가스는 산업혁명 이후 석탄, 석유, 가스 등 화석연료의 연소, 산림파괴 등 인간의 활동에 기인하여 크게 증가하였음이 관측결과 밝혀졌다. 이 증가 속도는 최근 2만년 동안 전례가 없는 속도로 나타났다. 이와 같은 온실가사

19) 조광우, 『기후변화협약 대응체제 연구』, 한국환경· 정책평가연구원, 2002.

의 대기중 농도 증가가 지구 온난화의 어떤 연관이 있는지를 설명하기 위하여 과학자들은 복잡한 기후모델을 사용하고 있으며, 실험결과 온난화는 인간의 활동에 의한 온실가스의 대기중 농도 증가가 그 주원임을 규명하였다. 이러한 온실효과로 지구온난화의 지표인 지구 표면온도는 상승하고 있으며, 온도상승 유형은 우리나라가 속해있는 북반구에서 온도 상승이 더욱 크게 일어나고, 해양보다 육지쪽에서 더 높은 온도상승을 나타내고 있다. 이와 같은 지구온도 상승유형은 관측결과 지난 1,000년간 유래가 없는 높은 상승으로 나타났다. 지난 20년간은 가장 더웠던 시기로 나타났으며, 지난 100년간 가장 더웠던 12개의 해는 모두 1983년 이후에 나타나고 있다. 해수면상승과 관련하여 극지방을 제외한 전 세계의 빙하가 감소하는 현상이 관측되고 있다. 해수면 상승과 관련하여 극지방을 제외한 전 세계의 빙하가 감소하는 현상이 관측되고 있다.[20] 지구온난화와 관련하여 강수의 유형도 변화하고 있으며 강수의 상당부분이 폭우의 형태로 내리고 있는 것이 관측되고 있다. 세계의 많은 지역에서 기상이변 발생률이 크게 증가하고 있으며, 극심한 가뭄과 홍수를 유발하는 엘리뇨 현상도 그 크기나 발생빈도 및 지속성이 1970년대 중반 이후 증가한 것으로 나타나고 있다.

앞으로 지구온난화에 기인한 인위적인 기후변화는 엘리뇨와 같은 상태가 더욱 우세할 것으로 예측하고 있다. 기후가 온난화됨에 따라 증발이 증가하고 지구평균 강수량과 폭우 빈도도가 증가하는 것으로 나타났다. 강수량은 지역적 및 계절적으로 증가 또는 감소 등 그 차이가 크게 나타나는 것으로 예측하고 있으며 강수량이 증가하는 지역에서도 증발의 증가로 인하여 유출 및 토양수분의 감소가 나타날 수 있다. 21세기 인위적인 기후변화는 세계의 많은 지역에서 이상고온, 폭우, 토양습도 부족, 열대성 저기압 강도 증가, 홍수, 가뭄, 산불, 전염병 등의 발생률 등 다양한 기후변화를 유발할 것으로 예상하고 있다.

나. 기후변화 협약의 정의

정식명칭은 기후변화에 관한 유엔 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change) 이다. 1979년 G.우델과 G.맥도날드 등의 과학자들이 지구온난화를

20) 김승우, 『기후변화협약 대응을 위한 국내산업 체질개선 방안』, 한국환경 정책평가연구원, 1998.

경고한 뒤 논의를 계속했다. 1987년 제네바에서 열린 제10차 세계기상회의에서 정부간 기후변화패널(Inter-Governmental Panel on Climate Change: IPCC)을 결성했다. 1988년 6월 캐나다 토론토에서 주요 국가의 대표들이 모여 지구온난화에 대한 국제협약 체결을 공식으로 제의했다. 1990년 제네바에서 열린 제2차 세계기후회의에서 기본적인 협약을 체결하고, 1992년 5월 기후변화협약을 체결했다.[21)]

목적은 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 방출을 제한하여 지구온난화를 방지하고자 하는 데에 있다. 규제대상 물질은 탄산, 메탄가스, 프레온가스 등이 대표적 예이다. 협약 내용은 기본원칙, 온실가스 규제문제, 재정지원 및 기술 이전문제, 특수상황에 처한 국가에 대한 고려로 구성되어 있다.

기후변화협약 체결국은 염화불화탄소(CFC)를 제외한 모든 온실가스의 배출량과 제거량을 조사하여 이를 협상위원회에 보고해야 하며 기후변화 방지를 위한 국가계획도 작성해야 한다.

다. 기후변화협약의 성립

본 협약은 지구온난화를 초래하는 온실가스의 배출량을 줄임으로써 대기 중 온실가스 농도를 안정화시키기 위한 각국의 노력을 촉구하고 있다. 특히 각국은 '환경적으로 건전하고도 지속가능한 성장(ESSD)'을 위해 지구온난화를 방지하는 추구한다는 기본정신을 확립하였다.

그러나 본 협약은 기본적이고 원칙적인 사항만은 규정하고 있어 향후 과학적 연구결과 온난화 진행정도에 따라 보다 강력하고 구체적인 규제기준 및 정책사항을 규정하는 부속의정서가 요구된다.

선진국과 개발도상국의 규제상의 차별성이 반영되어 있다. 선진국에 대해 배출총량을 안정화시킬 것을 요구하고 있지만 아직까지 개발도상국에 대한 배출량 규제는 정한 바 없으나 차별적인 수준에서 요구 될 것이 전망된다.

기후변화협약과 교토의정서는 환경과 경제라는 양면성을 가지고 있다. 즉 온실가스 과다 배출은 환경적으로 지구 온난화와 생태파괴를 불러일으킨다. 하지만 온실가스 감축

21) 김승우, 『기후변화협약 대응을 위한 국내산업 체질개선 방안』, 한국환경 정책평가연구원, 1998.

은 경제활동을 위축시키는 한편, GDP 감소로도 이어진다(그림 2).

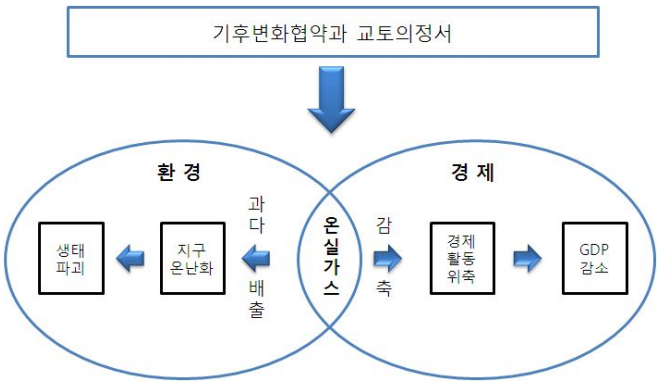


그림 2. 기후변화협약과 양면성
(출처 : 환경기술, 에너지관리공단 1994. 6)

선진국 의무사항의 경우에도 이산화탄소와 기타 온실가스의 배출을 1990년 수준으로 동결하고자 하는 정신이 반영되어 있기는 하나 법적인 구속력이 약하다.

선진국에 대해 1990년 수준으로 안정화시킬 수 있는 각종 정책 및 수단의 실질적 이행을 명시함과 동시에 이행결과의 보고 및 평가라는 틀을 마련함으로써 앞으로 실질적인 국제적 압력을 가할 수 있는 수단을 마련하였다. 개발도상국에 대해서는 온실가스 통계자료의 보고를 의무화함으로써 향후 지구온난화의 대응 및 규제를 위한 토대를 마련하였다는 데 의의가 있다.[22)]

기후변화협약은 본래 지구온난화를 방지하자는 범지구적 환경협약이라고 할 수 있으나 협약의 구체적인 이행이 온실가스배출 감소이고 이는 화석연료 사용 억제이기 때문에 경제활동의 제약으로 이어져 실질적인 의미에서는 경제협약이라고 할 수 있다. 특히 온실가스를 효율적으로 줄일 수 있는 기술을 보유한 국가나 기업에 유리하게 국제 경제질서가 재편되게 된다. 즉 본 협약은 경제와 환경의 양면성을 동시에 가지고 둘 간의 상호의존성 하에서 국가 간의 복잡한 역학관계를 야기하는 특성을 지닌다. 그러므로 경제와 환경의 조화가 절실히 요구되는 전형적인 지속가능성 이슈라고 할 수 있다.

22) 한국환경정책평가연구원(2002), 『개도국의 온실가스 저감의무 참여방식에 관한 연구』, 신진. “기후변화와 우리나라의 대응” 첨단환경기술 94/6, 에너지관리공단, 「기후변화협약」 참조.

명분을 환경문제에서 출발한 기후변화협약은 각국의 경제적 이해가 대립되면서 경제 논의로 변모되었다. 기후변화협약의 주요규제대상인 이산화탄소는 경세성장의 원동력인 화석연료의 사용으로부터 발생되는 것으로 이의 발생량을 억제하게 되면 경제성장 둔화와 경제적 손실이 불가피하게 된다. 즉, 화석연료의 인위적 감소는 에너지효율개선 및 대체 에너지 개발 등의 기술적 진보가 동반되지 않는 경우 생산량 감소로 이어져 경제 전반에 타격을 주게 된다.

그러나 이러한 이산화탄소 발생 억제로 인한 경제적 손실은 구각마다 차이가 있어 기후변화협약에 대한 각국의 기본입장이 서로 달라지게 된다. 특히 국가 간의 입장 차이에 영향을 주는 요인들은 다음과 같다.

- 화석연료에의 의존도 및 비화석 연료자원의 이용가능성
- 에너지 효율성과 관련기술 수준(대응비용 및 지불능력)
- 이익집단의 영향력
- 기후변화에 대한 취약성
- 국제정치경제적 위치(남북 문제)

기후변화협상은 지구환경보호라는 당초의 취지가 무색해지고 점차국익 챙기기의 각축장으로 변질되고 있는 실정이다. 특히 선진국의 누적적· 역사적 책임을 강조하는 개도국과 공동의 책임을 주장하는 선진국간의 갈등이 심화되고 있다.

세계인구의 19%를 차지하는 OECD 가입국들이 전 세계 이산화탄소의 50% 정도를 배출하고 있으며, 세계인구의 4.6%를 차지하는 미국이 24% 가량을 배출하고 있다.

2.2.2. 지구온난화

가. 온실가스배출현황

국제에너지기구(IEA: International Energy Agency)는 최근 30년간 이산화탄소(CO_2) 발생량이 156억톤에서 271억톤으로 약 73% 증가하였고 2005년도 사용연료에 따른 발새원인은 석탄과 중유가 80% 정도로 에너지 사용에 따른 이산화탄소 배출량은 2004년 대비 2030년에는 55%정도 증가할 것으로 예상하고 있다. 개발도상국이 차지하는 CO_2 증가량은 75%이다. 개발도상국들이 가스보다는 석탄 사용 비중이 높기 때문이다.

지난 15년간(1990~2005년)의 CO_2 배출 변화율은 중국(124.3%)에 이어 한국(98.7%) · 인도(90%) 순으로 높은 것으로 나타났는데, 주요 국가 및 지역별 CO_2 발생현황을 정리하면 표 1과 같다.[23]

우리나라의 2005년 기준 온실가스 배출량능 세계 16위(IEA)이며, OECD 국가와 비교시 7위 수준이다. 그리고 우리나라의 지난 5년간 (2000~2005)의 온실가스 배출 증가율은 12.1%로 OECD 국가 중에서 4위 수준이며, 지난 15년간(1990~2005) 에너지 부문의 이산화탄소 배출 변화율은 98.7%로 중국(124.3%), 인도(90%)와 함께 매우 높은 상태이다. 1990~2005년 동안 온실가스 총 배출량 추이를 보면, 표 2와 같다.[24]

---

23) 허재안, 지구온난화 대응을 위한 정부와 기업의 역할관계, 경원대학교 박사 학위 논문, 2009
24) 허재안, 지구온난화 대응을 위한 정부와 기업의 역할관계, 경원대학교 박사 학위 논문, 2009

표 1. 주요 국가별 온실가스 배출 현황

에너지부문CO2 배출량기준(IEA)		순위	온실가스 배출량 기준(IEA)	
국가	배출량 (백만tCO2)		국가	배출량 (백만tCO2eq)
미국	5,817	1	중국	7,484
중국	5,060	2	미국	7,282
러시아	1,544	3	인도	2,380
일본	1,214	4	러시아	2,206
인도	1,147	5	브라질	1,857
독일	813	6	일본	1,405
캐나다	549	7	독일	1,006
영국	530	8	인도네시아	869
이탈리아	454	9	캐나다	728
한국	449	10	멕시코	682
이란	407	11	영국	662
멕시코	389	12	호주	621
프랑스	388	13	이란	604
호주	377	14	이탈리아	583
스페인	342	15	프랑스	554
인도네시아	341	16	한국	538
남아프리카공화국	330	17	스페인	470
브라질	329	18	콩고	463
사우디아라비아	320	19	남아프리카공화국	434
우크라이나	297	20	우크라이나	409
폴란드	269	21	사우디아라비아	406
대만	261	22	폴란드	392
터키	219	23	태국	375
태국	214	24	파키스탄	335
네덜란드	183	25	아르헨티나	330
카자흐스탄	155	26	터키	315
이집트	148	27	베네수웰라	315
베네수엘라	142	28	앙골라	303
아르헨티나	141	29	대만	284
말레이시아	138	30	볼리비아	269

표 2. 온실가스 총 배출량 관련 주요지표

구분	1990	1995	2000	2002	2004	2005	'90-'05 연평균 증가율(%)
온실가스 총 배출량 (백만tCO2eq)	297.5	451.8	569.0	587.3	587.3	591.1	4.7
1인당 배출량 (tCO2eq/인)	6.94	10.02	11.95	12.21	12.21	12.24	3.9
온실가스/GDP (tCO2eq./백만원,00)	0.93	0.97	0.89	0.85	0.82	0.85	-0.8

나. 온실가스 배출량 저감

온실가스 배출량 저감은 국가경제의 원동력인 산업활동과 우리의 일상생활과 밀접하게 연관되어 배출되면서 지구온난화의 원인이 되는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황, 등의 온실가스 배출량을 감소시킴으로써 지구온난화에 대응하는 것이다. 국제사회에서도 기후변화협약, 교토의정서, 발리로드맵 등을 통해 이러한 온실가스 배출량 저감을 위해 협상을 진행하고 있으므로 우리나라도 여기에 대응할 수 있는 기반을 갖출 필요가 있다.

현 정부는 이러한 온실가스 배출량 저감이라는 목표를 달성하기 위해 '범지구적 기후변화대응 노력에 동참하고 녹색성장을 통한 저탄소사회 구현'을 비전으로 제시하고 있다(표 3, 국무총리실 기후변화대책기획단, 2008).

표 3. 온실가스 배출량 저감을 위한 정부의 역할

구분	내용
금융·재원 배분정책 지원 및 R&D 투자 확대	- 기후변화 대응기금 설치 등을 통한 정부예산 지원체계 강화 - 핵심 녹색기술 확보를 위한 R&D 투자 확대
저탄소 소비생산패턴 촉진을 위한 점진적 가격 구조조정	- 저탄소 친화적 세제 개편 - 오염자부담원칙의 확대로 소비자의 친환경 선택 유도
사회간접자본 시설의 탄소 집약도와	- 교통부문: 교통혼잡비용 감축 및 지속가능성 제고 - 건물부분: 친환경 건축 및 에너지 절감역량 강화

구분	내용
생태효율성 개선	- 자원순환형 인프라 구축
법적·제도적 기반 강화	- 기후변화 대응을 위한 법체계 정비 - 국제기준에 부합하는 국가배출동계시스템 구축 - 배출권거래제 도입 검토
대국민 홍보 강화 및 참여제고	- TV, 인터넷 포털 등을 활용한 대국민 홍보 강화 - 초·중등 교과과정에 저탄소 녹색성장 개념 반영
기업 지원 및 협력 강화	- 녹색경영 및 기술개발에 대한 기업의 투자확대 유도를 위한 다각적인 인센티브 마련 - 기업의 온실가스 배출 저감시설 투자 등에 대한 세액 공제 확대 - 탄소정보공개 프로그램 참여기업 등에 대한 우대금융 지원 유도 - 산업체 자발적 협약제도 개선·강화
지방자치단체와의 협력 강화	- 기후변화 대응 우수 지방자치단체에 대한 인센티브 제공 - 지방자치단체 특성에 맞는 온실가스 감축과 적응사업 발굴 및 컨설팅 지원 - 지방자치단체 기후변화 대응 프로그램에 대한 지원확대 - 지방자치단체와의 정책협의체 구축
국제협상 역량 제고	- 기존의 협상대책반 개편 강화 - 기후변화 협상분야에서의 국제적 전문가 육선 - UNFCCC, IPCC 등 국제기구와 협력강화

다. 신·재생에너지 개발

우리나라의 기업들은 기후변화협약에 대응하기 위하여 정부의 자발적 협약제도에의 참여, 사내배출권 거래제, 자전거 출 · 퇴근운동 등의 온실가스 배출을 감소시키기 위한 제도를 자체적으로 마련하여 시행하고 있다. 포스코, LG화학, SK에너지, 유한킴벌리 등의 중심으로 국내기업들의 대응현황에 대하여 다음 표 4와 같다.[25)]

표 4. 기업별 온실가스 배출량 절감 노력

구분	내용
포스코	- 에너지 절감, 설비효율 향상 등의 온실가스 저감활동 수향 - 기술이전을 강조하는 아 · 태 파트너십 철강TF에 참여 - 국제철강협회의 기후변화대책 프로그램에 적극 협력 - 사회적 CO_2 저감 위해 에너지고효율 고급강판 개발 · 보급
LG화학	- 국제적 온실가스 배출량 작성 가이드라인을 적용하여 온실가스 배출량 산정 - 증기 보일러 연료전환을 통한 온실가스() 감축사업을 CDM 사업으로 추진
SK에너지	- 사내배출권 거래제 도입추진

25) 허재안, 지구온난화 대응을 위한 정부와 기업의 역할관계, 경원대학교 박사 학위 논문, 2009

구분	내용
	- 울산 성암매립장 LFG 사업을 CDM 사업으로 등록 추진 중
유한킴벌리	- 자발적인 협약, 모의 온실가스 배출권 거래제, 온실가스 감축실적 등록 등 정부 시범사업에 적극 협력 - 기존의 사용했던 B-A유를 청정연료인 LNG(Liquefied Natural Gas)로 교체 -카풀과 자전거 출 · 퇴근 운동 등 사원 참여 실천 활동 지속적 전개

2.3. 유럽 및 미국의 에너지 정책 및 인증제도

2.3.1. 유럽 및 미국의 에너지 전략과 정책

가. 유럽연합

OECD국가를 중심으로 한 선진국의 에너지 저감 정책은 에너지 절약에 초점을 맞추면서 교토의정서에 대비하는 정책의 틀을 짜고 있다는 것이 특징이며 특히 청정에너지(풍력,태양광, 천연가스)저변 확대 등에 많은 투자를 하고 있다. 유럽연합 (EU) 27개 회원국 정상들은 2007년 3월 8~9일 브뤼셀에서 개최된 유럽이사회 회의에서 대폭적인 온실가스 배출 감축안을 포함한 새로운 에너지 공동정책 전략을 승인하였다.

우선 '에너지 2020'이란 계획을 수립해 놓았으며, 일본은 2001년부터 '특정 가정용 용기 기자재 상품화법'이라는 것을 마련하여 가전제품의 재활용을 의무화하여 에너지절약을 위한 소비자 소비패턴 변화를 유도하고 있다. 또한 선진국들은 교토의정서에도 대응하고 새로운 대체 에너지를 개발하기 위한' 그린(Green)에너지 시장' 선점을 위해서 치열한 경쟁이 시작되었다.

EU는 제5차 공동연구계획(1998~2002년)기간 동안 태양광 및 식물을 연료로 사용하는 바이오매스나 청정에너지 이용기술 개발에 전력을 다하고 있으며, 전체 에너지공급원 중에서 신재생에너지의 공급 비중을 현재의 6%에서 2010년에는 12%까지 증가시키기로 합의하였다. 즉, 2010년까지 풍력에서 40GW, 태양광(PV)에서 3GW, 바이오매스에서 1억5천3백만 TOE에 준하는 에너지를 공급할 계획이며, 이로 인해서 5만~9만개의 직업이 창출될 수 있다고 전망하고 있다. 각 국 대체에너지 공급률은 표 5와 같다.

표 5. 대체에너지 공급 비교 (1998)

	덴마크	프랑스	미국	일본	한국
공급률(%)	8.5	4.5	4.1	2.1	1.03

(출처: IEA,2000, "Energy Balance of Countries")

특히 풍력과 태양광의 경우 2.5MW 대형 풍력발전기의 상업화, 해양풍력 발전단지지역의 확대 조성과 꾸준한 투자로 연평균 20~30%의 급격한 성장을 보이고 있고, OECD 국가들의 대체에너지 비중은 향후에도 지속적으로 증가하여 1993년 대비 2010년에는 4.7% 수준에 도달할 것으로 전망하고 있다.[26)]

이미 대체에너지 활용은 '90년 이후 상당히 빠른 증가세를 보여주고 있다. 예컨대 1990~1997년 동안 풍력은 연평균 25.7%의 성장률을 기록하고 있으며, 태양열 에너지는 16.8%, 지력은 3%의 증가율을 보이고 있다. 이러한 증가율은 기존의 화석에너지원보다도 훨씬 높은 증가율이다. 유럽 풍력협회, 에너지개발포럼, 그린피스가 주축인 'Wind Force 10'의 2000년 보고서에 의하면 풍력산업은 매년 30%성장하여 2020년에서는 총 발전용량 120만MW로 전세계 전력공급의 10%를 차지할 것이라고 전망하고 있다. 이에 대한 효과로 연간 78억 달러의 시장 규모와 179만 명 규모의 고용창출, 그리고 매년 30억t의 이산화탄소 배출감소 효과를 가져 올 것으로 보고하고 있다.

특히 스페인의 경우 풍부한 풍력자원을 이용하면서 중앙정부가 지정한 대체에너지 의무구매법안을 통해서 정책적으로 지원하고 강력한 지역 개발의 의지로 최근3년 동안 연평균 88%라는 기록적인 성장을 하고 있다. 현재 EU가 시행하는 경제적 유인 수단으로는 배출권거래제도, 폐기물예치금제도, 부과금제도 등이 있으며 직접규제방식 보다는 자발적 협력 등의 경제적 유인수단을 더 선호하고 있다. 그러나 경제적 유인 수단은 비규제적 방식으로 강제성이 미흡하여 제품 요건과 제조 및 생산 공정(PPMs : Process and Production Methods)이나 환경마크제도 등의 경제적 유인수단을 보완적으로 사용하고 있다.[27)]

이상, 유럽은 표 6과 같이 2020년까지 세부정책을 세우고 실천하도록 하고 있다.

26) 한기주, EU의 신에너지 정책과 시사점, e-KIET 산업경제 정보 제 336호, 산업연구원, 2007
27) 황인석, 교토의정서와 한국의 대응체제에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문, 2005

표 6. 2020 package 세부정책

- 재생에너지 사용 비율20%까지 확대
- 자동차 연료중 바이오연료 사용비율 10%까지 확대
- 탄소 포집 저장 시스템 개발 지원 [12개의 대규모 시범시설 가동 목표]
- 온실가스 감축 목표 공동 달성 추진
- 온실가스 배출권 거래 활성화
- 건물 에너지 효율 인증, 고지 의무화
- 에너지 서비스 법안
. 공공건물 에너지 효율개선 선의무부담
. 소비자 정보 제공 강화
- 에너지 고효율 제품 보급 활성화
. 1-3백만톤 저감
- 에너지 사용 제품 20종 관련 규제강화
. 난방, 조명, 모터, 전자제품, IT제품 등
- EU 자동차 CO2 규제
. 2012년 판매차 평균 130g/km [가솔린차:18km/l, 디젤차: 20km/l]

(출처: 김지석, 선진국의 에너지 정책 우수 사례, 영국대사관 선임 기후변화 및 에너지 담당관)

나. 일본

교토의정서에 의거하여 2012년까지 1990년 기준 6%의 온실가스 감축을 해야 한다는 일본은 '지구온난화 대책 추진본부'를 설립해서 온난화 방지에 관한 구체적인 대책 수립을 추진하기 시작했다. 일본의 기후변화협약 대응에 관한 기본 방향은 수요와 공급 면으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 수요 면에서는 국민 일인당 에너지 소비량을 1990년 수준으로 안정화시키고, 공급축면에서는 혁신 기술 개발과 청정연료 및 새 신재생에너지 사용, 원자력 발전의 입지 확보 등을 통해서 온실가스 저감을 이루려 하고 있다. 과거 공급 일변도의 정책에서 이제는 전력수요관리부터 최종에너지 단계까지 수요관리정책으로 확대하여 실시하고 있으며, 에너지 사용 요금을 중심으로 한 부하 관리가 주류를 이루고 있다.[28)]

수요 측면에서는 '에너지이용합리화에 관한 법률'에 따라 최고 에너지 효율을 결정하는 Top Runner 프로그램을 도입해 에너지 소비 효율 개선을 추진하고 있다. 이에 따른 세부 정책들은 표 7과 같다.

28) 정영선, 건축물 에너지절약 및 친환경 관련 국내외의 정책 및 제도에 대한 비교 연구, 대한건축학회, 2008

표 7. 수요 측면에서의 주요 정책과 그 내용

정 책	주 요 내 용
에너지 효율 기준의 강화	자동차 연비 기준 강화 가전.OA기기 에너지 효율 기준 강화 주택.건물 에너지 효율 기준 강화 공장.사업장에서의 에너지이용합리화 추진 철도, 선박, 항공기의 에너지 이용효율 향상
인프라 정비 등에 따른 CO2 배출 억제형 사회형성	CO2 저배출 도시 및 지역구조 형성 물류 효율화 대중교통 이용촉진 교통수요관리 시책과 도로교통시스템 등을 통한 교통 지체 완화
산업계의 행동계획 사후검토	산업에 관계된 각 심의회의에서 산업계를 지속적으로 평가.모니터링
에너지효율기술 개발 및 보급	신에너지효율기술 개발 및 보급촉진 청정에너지 자동차, 저공해차, 저연비차량 보급 촉진

(출처: 황인석, 교토의정서와 한국의 대응체제에 관한 연구, 울산대학교 석사, 2005)

표 8. 공급 측면에서의 주요 정책과 그 내용

정 책	주 요 내 용
원자력 입지 확보 추진	2010년 예상되는 50% 이상의 발전량에 대비
신재생에너지 도입 확대	태양광발전 등을 주택, 공장, 공공시설 등에 도입
전력부하 관리 대책	축열식 냉방시스템을 보급, 이와 관계된 전력부문 관리대책의 주진
도시 녹화 추진	녹생 정책 기본 방침과 기본 계획을 수립
기타 정책	생산 공정상 CO2 배출 저감대책 폐기물 소각 억제의 폐기물에서의 CO2 배출 저감 목재 자원의 보급 및 개발 추진

(출처: 황인석, 교토의정서와 한국의 대응체제에 관한 연구, 울산대학교 석사, 2005)

공급 측면에서는 기술 개발, 대체 에너지 개발, 원자력 발전의 확대 등을 바탕으로 정책이 수행되고 있다. 일본 정부는 지구관측시스템의 강화, 국제협력 추진, 신.재생에너지 기술전략 추진 등과 더불어 수요와 공급 측면으로 나누어 온실가스 저감을 추진하고 있다.

공급 측면에서의 주요 정책에 관한 내용은 표 8과 같다.

이와 더불어 산업계에서는 일본경제단체연합회가 자주행동계획을 통해 온실가스 저감을 위한 노력을 기울이고 있다. 석유 파동 이후 각 산업별로 에너지 사용의 효율화를 위한 공정 및 기기의 도입으로 이미 에너지 효율이 세계 최고 수준에 올라 있는 일본은 이와 같은 산업체의 자발적, 자주적 실천을 근본으로 업체마다 에너지 사용량별로 차별화된 에너지 저감 시책을 마련하고 있다.[29]

다. 영국

영국은 2050년까지 약 60%까지 탄소 배출량 감축을 목표로 하고 있다. 탄소저감을 위해 에너지효율과 재생가능에너지의 소규모 발전의 장려에 힘쓰고 있으며 영국의 통상산업부에서는 "21세기와 신재생에너지의 전망"이라는 보고서를 발간하여 재생에너지 사용의무조항에 관한 여러 이슈를 논의 중에 있다.

정부의 주요 목적은 재생에너지에 의한 전력공급비중을 2003년 말까지 5%, 2010년까지 10%를 공급하는 것으로 하고 있으며, 재생에너지발전 공급의무 메커니즘은 이러한 목적을 달성하기 위해서 중요하다.

재생에너지발전 사업의무는 2000년 2월에 전력사업 법안에서 도입되었으며, 이는 허가받은 전력공급사업자는 그들의 전력판매량의 일전 비율을 재생에너지를 이용하여 발전한 전력을 수용가에게 의무적으로 공급하도록 하는 규정이다. 여기서, 폐기물 소각으로 발전된 전력은 재생에너지 사용 의무화의 재생가능에너지자원으로 인정되지 않으나 기후변화 부과세금 면제 대상에는 재생에너지자원으로 포함되며, 2010년까지의 재생에너지 공급 목표량에 포함하고 있다. 이 제도는 2001년 10월부터 시작되었다.

영국정부의 재생에너지 정책은 국가 및 국제적으로 지구온난화 가스, 기타 오염물질 배출량 목표 달성에 기여하고 안전성, 다양성, 지속가능성 및 경쟁적인 에너지공급 시스템 구축, 신기술 개발 조장, 재생자원 산업의 국내 및 수출시장에서의 경쟁력 확보에 중심을 두고 있다. 이러한 정책목표를 달성하기 위해서 2000년 2월에 발표된 재생에너지 정책의 주요 요소를 살펴보면 다음과 같다.

비 화석연료 사용의무(NFFO : Non-Fossil Fuel Obligation)정책을 대항할 제도로

29) 황인석, 교토의정서와 한국의 대응체제에 관한 연구, ,울산대학교 석사, 2005

재생에너지 사용의무(Renewable Obligation)제도를 도입하고 재생자원으로 발전된 전력 및 열에 대해 기후변화부과금(CCL: Climate Change Levy)을 면제하고 신재생에너지 지원 프로그램 확대 및 재생에너지 보급 확대를 위해 지역별 접근전략 및 지역별 목표량 도입을 추진하고 있다.

NFFO를 대체하기 위한 새로운 재생에너지 정책의 필요성으로 인해 2000년 2월에 정부는 전력사업법안을 도입했다. 전력사업법안은 잉글랜드/웨일즈의 재생에너지 공급의무조항 및 재생에너지 스코틀랜드 공급의무조항(Renewable Scotland Obiligation)으로 구성되는데 이 의무조항은 모든 허가받은 전력공급사업자는 그들의 전력판매량의 일정 비율을 재생에너지를 이용하여 발전한 전력을 수용가에게 의무적으로 공급하도록 규정하고 있다. 재생에너지를 공급함으로서 발생되는 추가비용은 공급사업자가 그들의 주용가로부터 비용을 회수하여 보정하고 화석연료부담금을 대체하기 위한 신규 부과금은 요금으로 부좌되지 않도록 하고 있다. 이러한 제도를 통해 신.재생에너지 공급비율은 2003년에 5%에서 2010년 10%로 확대하는 것을 목표로 하고 있다(표 9).

또한 1999년 3월에 발표한 기후변화부과금(CCL)은 에너지세(energy tax)로서 산업용, 상업용 및 공공부문에 2001년 4월부터 적용하고 수송용 연료는 이미 분리된 세금제도가 있기 때문에 이 제도에서 제외하고 있다.

재생에너지의 사용 및 CHP로부터 발전된 에너지 등은 부과금 면제하고 그린전력의 가격이 기타의 자원으로부터 생산된 전력에 비해 상대적으로 인센티브를 제공하게 하여 주택용 이외의 수용가들에게 그린전력에 대한 강력한 수요촉진을 창출하고 많은 재생에너지의 기술개발을 촉진하고 있다(표 10).

즉, 각 수용가는 기후변화부과금(CCL) 지불비용과 비교한 그린에너지 가격, 에너지절약에 관한 협정(agreement) 등을 고려하여 경제성이 있는 대안을 선택하도록 하는 것이다.[30]

30) 조창현, 미국과 영국의 신재생에너지 지원정책 비교와 시사점, 산업경제, 2008

표 9. 현실가능한 온실가스 감축 방안 수립중 - 전력생산

전력생산부문
- 재생에너지 확대
- 탄소포집저장 준비
- 필요한 정책수단
  . EU 배출권거래 장기체제 확립
  . 탄소포집시범사업
. 재생에너지 활성화 위한 금전/비금전적 인센티브 제공

시나리오
- 2020년 배출가스 40%감축
  . 전력의 30%를 재생에너지와 원자력으로 충당
  . 25%의 재생에너지와 원자력
- GDP 0.2% 소요 예상
- 현재 1kWh당 500g/km 배출량을 2020년까지 300g/km로 감축하는 것이 목표

(출처: 김지석, 선진국의 에너지 정책 우수 사례, 영국대사관 선임 기후변화 및 에너지 담당관)

표 10. 온실가스 감축, 에너지 안보 강화 위한 각종 정책 수립 - 추진

- 기후변화법 - 5개년 단위 온실가스 감축 목표를 법으로 명문화
- 기후변화세제 (4.4파운드/MWh 산업, 공공 전기사용)
- 전력사에 도전목표 제시, 달성시 인센티브 제공
- 신재생에너지 사용 의무화
  . 전력사 재생에너지 발전 지속 증가 의무화
  . 2020년 15% (EU 목표)
- 제로 카본 주택/학교 건축위한 법안 지속 강화
- Carbon Trust설립 (2001년)
  . 기후변화세제 관련 법안 내용에 설립 근거 마련, 정부 투자로 설립
  . 다양한 기업의 온실가스 저감 지원 및 R&D 투자 中
- 에너지 절약 Trust
  . 정부 투자로 설립된 회사로 소비자의 탄소 저감 지원
- 탄소저감 목표
  . 가정용 전력 공급자의 사용자 탄소 저감 활성화 의무화
  . 2008~2011기간에 연간 10억 파운드 씩 투자 의무화
  . 2011~2020 기간 투자 계획 수립中
- 탄소 저감 commitment
  . 100% 경매방식 Cap&Trade 도입
  . 대상: 대형 Non-Energy Intensive 업체 (10% of UK emission)
- 탄소-포집 저장 시범사업
  . 대상자 모집/심사

(출처: 김지석, 선진국의 에너지 정책 우수 사례, 영국대사관 선임 기후변화 및 에너지 담당관)

영국 정부는 향후 에너지 안보 및 온실가스 감축을 위해 5개년 목표 수립, 예산 설정, 기후변화 위원회를 통한 이행 여부 리뷰 및 모니터링 등의 노력을 하고 있다.

표 11. 영국정부의 향후 에너지 안보 및 온실가스 감축을 위한 노력

- 5개년 목표 및 CO2 예산 설정 . 2020년 30-40%, 2050년 80-90% . 5개년 예상 목표 설정으로 저감 계획 수립 . 감축 목표와 탄소 예산을 법으로 정해 장기적인 추진 보장 - 기후변화 위원회 . 독립기관으로 정부의 목표 이행 관련 조언 및 이행 여부리뷰/모니터링

(출처: 김지석, 선진국의 에너지 정책 우수 사례, 영국대사관 선임 기후변화 및 에너지 담당관)

라. 독일

독일은 유럽국가 중에서도 재생가능 에너지 보급을 가장 적극적으로 추진하고 있는 나라이다. 그 배경에는 재생가능 에너지원에서의 전기 보급에 관한 EU 지침과 원자력발전시설의 폐쇄 결정, 그리고 기후변화협약 이행 의무 등의 당면 과제의 해결과 화석연료 고갈을 대비한 대체 에너지원의 확보라는 중장기적 전략이 함께 어우러져 있다.[31)]

독일의 1차 에너지 중 재생에너지 공급비중은 1996년에 1.7% (5.8Mtoe)로 1973년의 1.1%에 비해 상당히 높아진 수준이다. 이와 같은 재생에너지 공급비율의 증가는 재생에너지 보급정책에 기인하고 있다. 특히, '전력법'(EFL: Electricity Feed Law)은 재생에너지이용 발전전력을 재생전원사업자에 유리한 가격으로 구매하도록 함으로써 상용화를 보다 촉진하게 되었으며, 결과적으로 재생에너지 이용발전 설비 및 발전량의 비약적인 증가를 가져오게 되었다. 구매요금제도의 정착으로 풍력발전설비는 1990년의 61MW에서 1999년에는 4,400MW로 급증하였다. 풍력 이외에도 태양열, 태양광, 지열, 산업용 폐기물 자원의 이용도 급증하였다. 이러한 정책의 결과로 인해 1990년도에 풍력설비가 거의 없었으나, 1998년에는 2.875MW까지 급등하였다. 독일의 대체에너지 보급에 관련된 법률은 '전력법'(EFL)이 근간이 되고 있다. 이법에서는 지역의 전력사업자가 공급 구역 내에 연계된 재생에너지이용 발전전력을 수용가에 대한 평균 판매 단가의 65%~90% 수준 내에서 정해진 요금으로 구매하도록 의무화 했다.

독일은 1991년에 제정된 전력법(EFL)의 영향으로 독일은 재생에너지 가운데서 풍력

31) 공성용, 김상헌, 독일의 재생가능 에너지 보급 정책 -EEG개정안을 중심으로, 환경포럼 제9권 제4호, 한국환경정책·평가연구원, 2005

에너지자원의 개발 및 보급이 급속하게 진행되어 1999년 말 현재 설치된 풍력발전 설비는 약 4,400MW 규모로 전 세계 풍력발전 설치규모의 약 1/3을 차지하게 되었다. 그러나 재생에너지원의 개발에 따른 규제 및 구매요금 차이등의 요인으로 에너지원간의 보급 잠재량대비 개발 규모간에 차이가 발생하게 되었다. 예를 들어 풍력에 비해 EFL의 적용을 받는 5MW 이하의 주력의 경우 구매요금은 사업성 확보에 적합한 수준이었으나, 수자원개발에 따른 규제로 인하여 비교적 개발 및 보급이 더디었다. 그 외에도 태양전지 및 바이오매스도 상대적으로 그 보급이 더딘 것으로 나타났다.

이러한 이유로 인하여 '재생에너지자원법'(REF : Renewable Energy Law)에서는 기존의 '전력법'(EFL)을 대체하여 모든 재생에너지원으로부터 대규모의 발전을 촉진하기 위하여, 요금보상율을 재조정하게 되었다.[32] 독일은 재생자원 에너지를 장려하기 위해, 주로 보조금 지급과 저리의 대출 등 혼합된 메커니즘을 이용하고 있다. 연방 법률과는 별도로 일부 주는 자체적으로 법률을 제정하여 재생가능 에너지를 장려하고 있다.

마. 프랑스

프랑스는 대부분의 유럽국가와 마찬가지로 천연에너지자원이 부족하여 석유를 해외에서 대부분 수입하는 등 에너지의 해외공급 의존도가 높다. 프랑스의 에너지정책은 1973~1974년 1차 오일쇼크 이후에 본격적으로 수립, 추진되었다. 프랑스는 오일쇼크 이후 에너지가 국가안보와 직결됨을 인식하고 부족한 에너지자원 극복을 위해 원자력을 근간으로 하는 에너지정책을 수립하였다. 강력한 정부의 지원 아래 원전표준화 정책의 지속적인 추진으로 독자적인 원전설계 및 운영기술을 보유하고 있다. 이러한 원자력의 확대에 힘입어 타유럽국가에 비해 10% 정도 저렴한 전력요금으로 인하여 기업의 국제경쟁력 확보에 기여하고 있으며, 인접국인 독일, 영국 등에 비해 지구온난화 가스도 적게 배출하고 있다. 그러나 원전위주의 에너지 정책에도 불구하고 석유 류등의 수입은 불가피하여 경유, 휘발유 등에 대해 높은 세금을 부과, 국민들의 소비절약을 유도하고 있다.

기후변화에 대한 유럽회원국들의 정책은 교토의정서 합의를 이행하기 위한 국가계획

32) 산업자원부, 신재생에너지 보급촉진을 위한 매뉴얼 마련 및 관련제도 개선방안 연구, 2006

의 수립에 있는데, 이에 프랑스는 '2004 ~ 2012 기후계획(Plan Climat)'을 발표하였다. 현재 예측으로는 건물, 수송 등 일상생활 부문에서의 에너지 소비 증가로 2010년 교토 목표치를 10%상회할 전망이다. 기후계획은 일상경제생활 부문을 총망라하여 연간 54백만톤의 이산화탄소를 절감시켜 이 기세를 꺾을 것이며, 2050년까지 4분의 1 내지 5분의 1로 줄이는 기술연구에 대한 전략을 추진할 계획이다. 프랑스 정부의 에너지 정책 추진 방향은 이러한 교토의정서 합의를 이행하여 기후변화에 대응하고 에너지 안보를 확보하는 데에 있는데, 다음의 4개 부문에 중점을 두고 있다. 첫째, 에너지 절약을 통한 에너지 소비 감축, 둘째, 재생가능에너지 개발, 셋째, 제3세대 원전건설, 넷째, 에너지 부문 R&D 확대 등이 그것이다.[33]

바. 기타 유럽국가들

기타 유럽국가들의 에너지 정책 및 실천 사례는 표 12, 13와 같다.

표 12. 유럽국가들의 정책사례 분석

네덜란드	스웨덴	덴마크
- 2020년에 1990년 대비 온실가스 30% 감축 목표 설정 - 50만호 건물의 에너지 효율을 20%~30%개선 - 대형 신재생에너지 사업에 지원금 지급 - 모든 석탄 발전소는 탄소 포집 - 저장 가능토록 설계 - 지속적인 에너지 효율 규제 추진 체계 수립(자동차, 전자제품 등) - 관련 조치의 진행사항을 매년 리포트로 작성/공개	- 90년 → '06년 기간에 온실가스 9% 감축,(44%의 경제성장 달성) - 91년에 세계최초로 도입한 탄소세가 큰 역할 (연료 1리터당 2.34 크로네 부과 ($0.4)/ 저탄소·고효율 자동차 구매자에 10,000 크로네 지원 $1,660) -08년 9월에 기후변화 대응법 제정 예정 (절도 화물 수송 확대/ 친환경차 구매 지원금 확대 등 포함 예상)	- 2008년 2월 화석연료 의존도를 낮추기 위한 에너지 정책 발표 - 목표 달성 위해 2009년 재생에너지 촉진법 제정 추진 (풍력발전 확대, 바이오 메스, 바이오 가스, 태양광, 파력발전 관련 보조금 확대/ 가정용 석유 히터를 열교환펌프로 교체 추진) - 화석욘료제로화 달성과 지속적인 경제성장을 위한 연구기관 설립

(출처: 김지석, 선진국의 에너지 정책 우수 사례, 영국대사관 선임 기후변화 및 에너지 담당관)

33) 이태숙, 프랑스 에너지정책 동향, 에너지협의회보 통권 72호, 2005

표 13. IPCC가 제시하는 현실 가능성 높은 기술 해결책 [건물]

	현재 상용기술	2030년까지 상용화가 예상되는 기술
건물 (Buildings)	- 고효율 조명 - 효율적인 전자제품/냉난방 - 단열 개선 - 패시브/액티브한 태양에너지 냉난방 설계 - 냉장고 용매의 대용품, 프레온가스의 재생과 재활용	- 상업용 건물의 통합 디자인 (이는 피드백과 조절기능을 제공하는 지능적 미터기 같은 기술들을 포함함) - 태양광PV가 통합된 건물

(출처: 김지석, 선진국의 에너지 정책 우수 사례, 영국대사관 선임 기후변화 및 에너지 담당관)

네덜란드, 스웨덴. 덴마크 등 기타 유럽국가들도 온실감스 감축 및 신재생 에너지 및 설비시설 개발 등 공통적인 정책을 발표하여 추진중에 있다. 또한 현재 상용화 된 기술로는 고효율 조명 설치, 에너지 등급이 좋은 효율적인 전자제품과 냉·난방 단열개선 등이 대표적인 사례이다. 2030년까지는 상업용 건물의 통합 디자인, 태양광 PV가 통합된 건물 등 건축물를 통한 에너지 정책의 사례를 보여주고 있다.

2.3.2. 에너지 절약에 관한 국내의 법률

1999년도는 건축물 에너지절약과 관련한 많은 제도의 변화가 있었다. 우선 건축법의 공동주택이 에너지절약기준이 개정 고시되었고(1999. 7. 1) 주요 개정내용으로는 고효율 조명기기의 사용이 의무화되었으며, 그 적용대상도 기존의 50세대 이상의 중앙난방식 공동주택에서 50세대 이상의 모든 공동주택에서로 확장된 이유는 현재 신축 공동주택에서 중앙난방 방식에 비해 개별 및 지역난방 방식의 채택이 급격히 증가하였기 때문이다.

공동주택 에너지절약기준의 개정은 단순한 개정 이상의 의미를 갖는다. 정부의 강력한 규제완화 시책이 시행되는 가운데 중요 규제의 하나인 에너지절약기준의 개정이 규제개혁위원회를 통과하였다는 것은 건축물 에너지절약의 중요성이 부각되는 계기가 되었다. 이후 공공건축물의 고효율기자재에 보일러, 냉동기 등 열원설비가 추가됨으로써 그간 효율기준이 미비하여 관리가 되지 않던 주요 에너지 기자재들이 제 위치를 잡게 되었다. 사실 우리나라의 건축물 관련 자재 및 설비에 대한 평가기준은 상당히 미흡하다. 기본적으로 산업제품 및 설비에 대한 규격은 한국산업규격에 따르기로 되어 있지만 대부분의 한국산업규격은 현설성이 떨어지며, 시장에 등장하는 여러 신제품의 다양성에

신속히 대응하지 못하고 있다. 이러한 점에서 고효율기자재 대상 제품의 확장이나 효율관리기준의 정비는 시급하다고 볼 수 있다. 현재 에너지관리공단 주관하에 이러한 작업이 조속히 시행되고 있으나, 건축물 에너지절약의 효율적인 추진을 위해서는 대상 확대를 더욱 서둘러야 할 것으로 생각된다, 제품의 정확한 효율평가가 없는 에너지 효율화 제품의 적용 · 확장에는 한계가 있기 때문이다.[34]

한편, 3000㎡이상의 업무시설을 비롯한 기존의 에너지절약계획서 제출 대상인 8가지 건축물 유형에 대해 고효율 조명기기의 사용을 의무화하는 조치가 시행되었다. 1999년도에 시행된 이러한 일련의 조치는 그간 정체되어져 있던 건축물 관련 에너지 효율 조치의 활성화의 시작으로 그 의미를 부여할 수 있다.

그 동안 정부를 중심으로 국책연구소, 학계와 산업계의 지속적인 노력의 결과로 여러가지 에너지절약기술과 기법, 부위별 단열강화기준, 에너지원단위기준, 에너지성능평가기준, 그리고 ESCO사업과 같은 관련 정책 등이 개발됨으로써 건축물 에너지절약에 많은 기여를 하였다. 그러나 ESCO사업외에 대부분의 제도적 에너지절약 기준과 대책들은 건축물의 특성상 강제적 규정에 의만 의무화에 역적을 두었기 때문에 시행상의 일부 부작용은 물론 에너지절약의 한계가 있었다.

따라서 건축물에서 소비되는 에너지를 효과적으로 절약하기 위해서는 건축주나 건물주에게 에너지절약 의지를 고취시켜 자발적으로 에너지절약 공법의 채택과 에너지절약 설비의 도입 등을 유도하여 종합적인 열성능 향상을 촉진시킬 수 있는 에너지성능인증제도와 같은 에너지절약정책의 도입은 매우 중요하고 바람직한 정책이라고 판단되고 있다.

2.3.3. 에너지절약을 위한 공동주택의 건축물 인증 제도

가. LEED

① LEED의 개발배경 및 LEED 2009

LEED 인증제도는 1993년 미국 그린빌딩 협의회 (U.S.Green Building Council) 에 의해 개발되고 발전되어 오고 있으며 건물의 친환경성을 평가하기 위한 프로그램이다.

34) 박효순, 「건물에너지 절약정책 현황과 추진방향」, 한국에너지기술연구소, 2000.

기본 목표는 건물 에너지 절약, 이산화탄소 배출량 절감, 실내 환경 향상, 비용절감 등의 건물향상을 주요 목표로 하고 있다. 이는 건축가, 엔지니어, 건축주 및 사용자가 그린 빌딩 디자인, 건설, 운영에 대한 실직적 이면서도 구체적인 방안을 제시하고 있으며, 전체적인 그린 빌딩에 대한 툴과 건물 평가 방안을 보여주고 있다. 또 다른 특징으로는 다양한 건축특성 및 종류에 맞추어 LEED의 다양한 버전을 제공하고 있다. 기본적인 신축 건물을 비롯하여 주거용 주택, 학교, 인테리어, 상업용 건물 등 LEED NC (New Construction) 중심으로 평가 및 인증을 위한 다양한 평가기준을 제시하고 있다.[35] 그 외 인테리어 및 학교 등 다양한 기능의 건물에 따른 여러 종류의 인증안이 있다. LEED는 부지의 친환경적 관리, 물 사용 효율 증대, 친환경적 에너지 효율 증가, 친환경 자재의 사용, 실내환경 및 공기 개선 등 6개 항목으로 평가되며 친환경 인증을 위해 취득 점수에 따라 4개의 인증레벨로 구성되어 있다(표 14). LEED 인증레벨의 버전에 따른 점수변화는 표 14와 같다.

표 14. LEED 평가항목의 버전에 따른 점수변화

평가 항목	LEED Ver 2.2	LEED Ver 3.0 (2009)
Sustainable Sites (지속가능한 부지계획)	14 점	26 점
Water Efficiency (효율적인 물의 이용)	5 점	10 점
Energy & Atmosphere (에너지 및 대기)	17 점	35 점
Materials & Resources (재료 및 자원)	13 점	14 점
Indoor Air Quality (실내공기의 질)	15 점	15 점
Innovation & Design Process (혁신성과 디자인 프로세스)	5 점	6 점
총점	69 점	120 점

(출처: 고동환, 친환경 건축물 인증을 위한 LEED 2009에 대한 연구, 한국건축친환경설비학회, 2009)

35) 이현우, 해외 친환경건축물 인증제도에 대한 비교분석 연구, 한국건축친환경설비학회, 2007

표 15. LEED 인증레벨의 버전에 따른 점수변화

인증레벨	LEED Ver 2.2	LEED Ver 3.0 (2009)
- LEED Certified	26 점	40 점
- LEED Silver	33 점	50 점
- LEED Gold	39 점	60 점
- LEED Platinum	52 점	80 점

(출처: 고동환, 친환경 건축물 인증을 위한 LEED 2009에 대한 연구, 한국건축친환경설비학회, 2009)

최초의 LEED 프로그램 (LEED 1.0)은 1998년 8월에 발표되었으며, 그 후 지속적인 검토와 수정을 바탕으로 LEED 2.0이 2000년 3월에 발표되고, LEED 2.1 (2002년 11월) 과 LEED 2.2 버전 (2005년 10월) 이 차례로 발표되었다. 최신버전인 LEED 2009 (Version 3)은 2009년 4월 27일에 발표되었다. 6월27일 이후 신규 프로젝트는 새로운 버전인 LEED 2009로 등록해야 한다.

새로운 버전인 LEED 2009는 건물 에너지 효율 및 이산화탄소 절감을 더욱 중점으로 두고 있다. 우선 가장 큰 변화는 표10 에서 볼 수 있듯이 총점 및 각각의 카테고리의 점수 변화를 들 수 있다. 총점은 69점에서 110점으로 증가했으며 각각의 친환경 인증에 필요한 점수 또한 표15와 같이 변화 하였다. 또 다른 중요한 변화 중 하나는 LEED 온라인 서비스이다. 이는 친환경 인증을 위한 사용자 중심의 서비스로 간단한 웹사이트의 접속으로 LEED 점수와 평가기준 및 이를 이용한 건축물 관련자들의 업데이트 및 관리를 위한 사용자 중심의 서비스를 제공하고 있다. 또한 인증을 위한 최종 제출 후 관리 및 프로젝트의 지속적인 업데이트 또한 용이하다.[36)]

② 평가의 대상

LEED는 평가의 대상을 단순하게 건축물의 종류만으로 구분하지 않고 건축물의 일부부분 및 건축물의 주변 지역까지도 평가의 대상으로 포함하여 별도의 프로그램으로 각 대상에 대한 평가가 가능하도록 구성되어 있다. 각 프로그램에 따른 LEED의 주요 평가의 대상은 다음 표 16과 같다.

36) 고동환, 친환경 건축물 인증을 위한 LEED 2009에 대한 연구, 한국건축친환경설비학회, 2009

표 16. LEED에 의한 평가의 대상이 되는 건축물

평가 프로그램	분류	건물의 타입 및 기타 평가대상
New Construction(NC)	Non-residential + Residential	상업용도의 건축물
		공공 건축물
		관공서 건축물
Existing Buildings (EB)	Non-residential + Residential	상업용도의 건축물
		공공 건축물
		관공서 건축물
Schools	Non-residential	학교 건축물
Homes	Residential	단독주택
Commercial Interiors		상업용도 건축물의 실내
Core and Shell Development		건축물의 코어 및 외피
Neighborhood Development		건축물 주변지역

(출처: LEED Application Guides-http://www.usgbc.org)

나. CASBEE

① CASBEE의 개발배경 및 목적

일본은 1980년대 이후 지속가능한 건축문화를 구축하기 위하여 많은 전문가의 양성과 지식의 누적에 힘써왔다. 하지만 환경공생주택과 같은 정성평가가 주를 이루고 있는 상황이었기에 이본의 국토교통성은 학계와 정부 그리고 개발업계의 공동 작업을 유도하여 2001년 4월 JSBC를 조직하게 되었고, 이 협회에서 건물에 대한 포괄적이고 정량적인 평가를 위한 CASBEE를 개발하게 되었다.

JSBC의 의장으로써 프로그램의 개발에 직접적으로 참여했던 Keio대학의 Shuzo Murakami 교수는 일본 및 아시아 전역에서 적용 가능한 프로그램으로써 개발된 CASBEE의 필요성에 대해 다음과 같이 언급하고 있다.

-아시아지역의 많은 국가들은 급속한 인구증가현상을 보이고 있다.

- 따라서 아시아지역의 많은 국가들이 머지않은 미래에 자원과 에너지로 인한 문제에 복창하게 될 것이다.

- 특히 아시아지역은 유럽이나 북아메리카와 다르게 덥고 습도가 높은 기후적 특성을 가 지고 있기 때문에 건물의 내구성이 상대적으로 낮다.

- 지금까지 사용되고 있는 많은 환경 컨트롤 기술들은 추운 기후에 적합하도록 개선되었 다. 이러한 이유로 MONSOON기후를 갖는 지역에서의 적용은 힘들며 적용을 위해선 많은 부분에 있어서의 수정이 필요하다.

- 따라서 기존의 환경평가시스템에 대한 재 고찰이 필요하다.

CASBEE 프로그램의 목적은 다음과 같다. 일차적으로 일본의 주거환경의 질을 높이며, 지속가능한 건축문화를 구현하며 이차적으로는 앞으로 환경문제와 자원과 에너지문제로 고심하게 될 아시아지역의 많은 국가들이 적용 가능한 프로그램 개발이라는 것이다.

이러한 목적에 부합되도록 CASBEE는 건축물의 종류나 규모 또는 그 지역에 관계없는 적용을 위해 만들어진 GBTool이나 SBTool과 같이 하나의 총체적인 프로그램 상에서 건축물의 생애주기에 따라 Pre-Design단계를 위한 CASBEE-PD, Basig-Disign, Execution 그리고 Construction단계를 위한 CASBEE-NC, 기존의 건물을 위한 CASBEE-EB, 그리고 리노베이션을 하는 건물을 위한 CASBEE-RN으로 구분되어 있다.

이러한 구성은 건축물의 생애주기에 따라 프로그램을 구분하였음에도 GBTool이나 SBTool과는 상당히 다른 구성으로써, 건축물이 새로 지어지는 단계를 보다 세밀하게 구분하여 타 인증제도에서는 Design단계에 해당하는 것을 CASBEE-NC에 포함시켰으며, Operation에 해당하는 Post Construction단계에 Renovation의 경우를 위한 CASBEE-NC를 집어 넣었다.

GBTool이나 SBTool과의 차이점은 건축물의 생애주기상의 적용범주에서도 나타난다. 상기의 프로그램들은 일단 구분된 평가프로그램이 타 프로그램의 평가 영역과 중첩되지 않도록 구성되어 있으나, CASBEE의 경우에는 CASBEE-PD의 평가적용범주와 CASBEE-NC의 평가적용점주가 Basic-Design에서 중첩되고 있으며, Casbee-Nc와 CASBEE-EB또한 어느 정도의 평가범주상의 중첩이 이루어지고 있다.

이러한 프로그램 구성의 원인은 앞서 언급한 것과 같이 CASBEE의 개발 배경과 목적에서 그 원인을 찾을 수 있으며, 환경부하의 저감과 함께 밀도가 높은 일본에서 양질의 주거환경을 확보하기 위한 의도 또한 프로그램의 구성에서 환인이 가능하다.[37)]

② 평가의 대상

CASBEE는 건축물에 대한 포괄적이고 정량적인 평가를 위해 개발되었다.[38] 따라서 CASBEE에 의해 평가될 수 있는 건축물의 종류는 상당히 다양하며, 주고의 성격을 가지고 있지 않은 6개 타입의 건물종류와 주거의 성격을 가지고 있는 3개 타입의 건물종류로 구분되어 있으며, 그 예는 표 17과 같다.

CASBEE는 건물내부에서 이루어지는 환경 성능 및 질의 값을 건물이 실제적으로 환경부하를 생산해내는 공간이라고 판단되는 건물의 일정 외부공간을 건물의 하중 값으로 나눈 값인 BEE값을 평가의 기준으로 삼기 때문에 평가의 범주와 항목 또한 건물 내부의 환경 성능 및 질의 값 (Q)과 건물이 생산해내는 환경부하 값(L)으로 나뉘며, 평가의 범주와 항목은 다음 표 18과 같다.[39]

표 17. CASBEE에 의한 평가의 대상이 되는 건축물

분류	건물의 종류	포함된 건물의 타입
Non-residential	Offices	오피스, 정부 청사건물, 도서관, 박물관, 우체국 등
	Schools	초등학교, 중등학교, 고등학교, 대학, 고등전문학교, 고등직업학교, 및 기타 학교형태
	Retailers	백화점, 슈퍼마켓 등
	Restaurant	음식점, 매점 및 카페 등
	Halls	음악홀, 홀, 볼링장, 체육관, 극장, 영화관, 빠칭코장 등
	Factories	공장, 차고, 창고, 관람석, 도매시장 등
Residential	Hospitals	병원, 노인거주, 장애인을 위한 복지관 등
	Hotels	호텔, 여인숙 등
	Apartments	아파트(단독주거는 적용되지 않음)

(출처: CASBEE Technical Manual-http://www.ibec.or.jp/CASBEE)

37) 전상현, 국내외 친환경건축물 인증제도의 비교분석에 관한 연구, 전남대학교 석사, 2007
38) CASBEE Technical Manual(출처 :ibec.or.jp/CASBEE)
39) 전연용, 국내외 친환경 건축물 인증평가기준의 비교분석에 관한 연구 - 국내GBCC와 일본 CASBEE를 중심으로, 대한건축학회 지회연합회, 2006

표 18. CASBEE의 평가범주 및 평가항목

Q	Q-1 Indoor Environment	1. Noise & Acoustics	1.1 Noise
			1.2 Sound insulation
			1.3 Sound absorption
		2. Thermal Comfort	2.1 Room temperature control
			2.2 Humidity control
			2.3 Type of air conditioning system
		3. Lighting & Illumination	3.1 Daylighting
			3.2 Anti-glare measures
			3.3 Illminance level
			3.4 Lighting controllability
		4. Air Quality	4.1 Source control
			4.2 Ventilation
			4.3 Operation plan
	Q-2 Quality of Service	1. Service Ability	1.1 Functionality & usability
			1.2 Amenity
		2. Durability & Reliability	2.1 Earthquake-resistance
			2.2 Service life of components
			2.3 Reliability
		3. Flexibility & Adaptability	3.1 Spatial margin
			3.2 Floor load margin
			3.3 Adaptability of facilities
	Q-3 Outdoor Environment on Site	1. Preservation & certain of Biotope	
		2. Townscape & Landscape	
		3. Local Characteristics & Outdoor Amenity	3.1 Attention to local character and improvement of comfort
			3.2 improvement of the thermal environment on site
L	LR-1 Energy	1. Building thermal load	
		2. Natural energy utilization	2.1 Direct use of natural energy
			2.2 Converted Use of renewable energy
		3. Efficiency in building service system	3.1 HVAC system
			3.2 Ventilation system
			3.3 Lighting system
			3.4 How warter supply system
			3.5 Elevators
			3.6 Equipment for improving energy efficiency
		4. Efficient operation	4.1 Monitoring
			4.2 Operational management system
	L-2 Resources & Materials	1. Water resources	1.1 Water saving
			1.2 Rainwater & gray water
		2. Materials of low environmental load	2.1 Recycled materials
			2.2 Timber for sustainable forestry
			2.3 Materials with low health risks
			2.4 Reuse of existing building structure, etc.
			2.5 Reusability of

			components and materials
			2.6 Use of CFCs and halons
	LR-3 Off-site Envirinment	1. Air pollution	
		2. Noise, vibration & odor	2.1 Noise & vibration
			2.2 Odors
		3. Wind damage & sunlight obstruction	
		4.Light pollution	
		5. Heat island effect	
		6. Load on local infrastructure	

(출처: CASBEE Technical Manual-http://www.ibec.or.jp/CASBEE)

다. BREEAM

① BREEAM의 개발배경 및 목적

BREEAM은 건물의 환경영향을 평가하기 위해 영국의 BRE에서 1990년 개발한 환경성능평가도구이자 친환경건축을 유도해낼 수 있는 디자인 가이드라인으로써 개발되었으나, 건축물의 친환경성능을 인증하는 프로그램으로 널리 사용되고 있다.

BREEAM은 건축물의 단가를 올려 환경문제에 대한 해결책을 제시하는 방법을 지양하며, 문제를 해결할 수 있는 디자인을 개발함으로써 환경부하를 낮추며 건축물의 환경을 개선하는 것을 지양하고 있다. 이러한 목적에 맞게 각 평가항목들은 구체적인 디자인 항목을 제시하는 방식이 아닌, 디자인 또는 필요한 경우엔 효율성을 높여주는 기술력을 이용한 디자인을 이용하여 해결해야할 과제를 제시하는 형태로 구성되어 있다. 각 과제들은 평가의 범주별로 필요한 요소에 대한 정량화된 목표치를 제시하고 있으며 제시된 과제에는 목표치를 달성하기 위한 디자인 가이드라인이 제시되어 있다.

BREEAM의 인증을 획득 한다는 것은

- 계획자에게 건축물의 지속가능성에 대한 인증을 부여하는 것이며
- 투자자에게 건축물의 친환경성에 대한 인증을 부여하는 것이자
- 구매자로 하여금 환경적으로 우수한 디자인임을 알려주는 것이다.

또한 주택의 소유자 및 거주자에게 있어 BREEAM인증을 획득 건축물에서 생활하는 것은

-뛰어난 에너지 및 수자원 효용성을 통하여 운영비용을 줄이는 동시에 관리및 보수의 번거로움을 피할 수 있으며

-건강하고 쾌적하며 융통성 있는 내부환경을 가질 수 있고

-지역의 편의시설을 이용하는데 불편함이 없으며

-생활하는데 있어 자동차를 자주 이용하지 않아도 된다는 것을 의미한다.

평가는 BRD에 의해서 훈련을 받고 자격을 획득한 평가자에 의해서 이루어지게 되며 ,평가자는 지속적으로 BRE의 모니터링을 받게 된다.

평가에 대한 결과는 3개 단계[패스/굿/베리 굿/엑설런트]로 나누어지며, 각 단계의 인증을 얻기 위한 점수는 각 종류별로 다르게 적용되고 있다. [EcoHomes에서는 패스는 36점 굿은 48점 베리굿은 60점 엑설런트는 70점을 각각 얻어야 하지만 BREEAM Indusrtial과 같은 경우에는 패스 25점 굿 40점 베리굿 55점 엑설런트 70점을 각각 얻어야 한다.[40]

② 평가의 대상

BREEAM은 평가의 대상을 건축물의 타입으로 구분하고 있으며, 각 프로그램별 평가 대상은 표 19와 같다.

표 19. BREEAM에 의한 평가의 대상이 되는 건축물

평가 프로그램	분류	건물의 타입 및 기타 평가대상
BREEAM for Offices	Non-residential	Offices
EcoHomes	Residential	Private and social housing scheme
		Flats/apartments and house
		New build and major refurbishment
BREEM Retial	Non-residential	Retail buildings
Industrial BREEAM	Non-residential	Industrial buildings
BREEAM Schools	Non-residential	Schools
Health Buildings	Non-residential +Residential	Hospitals - NEAT(Nation Health Service Enviromental Assessment Tool)
Bespoke BREEAM	Non-residential	Leisure complex
		Courts
		Laboratories
		Military bases
		Shared accommodation etc.

40) 장두실, 한국 친환경건축 인증제도 운용실태에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문, 2009

평가 프로그램	분류	건물의 타입 및 기타 평가대상
Bespoke EcoHomes	Residential	Sheltered homes
		Nursing homes
		Student accommodation etc.

(출처: BREEAM The Guieance -2006 -http://www.breeam.org)

라. SBTool

① SBTool의 개발배경 및 목적

SBTool의 초기 모델은 GBC의 개념을 추구하였던 SBC에 의해 개발되었던 GBTool이다. SBC는 1966 캐나다의 NRCan에 의해 조성된 CETC의 하위기관으로서 GBTool은 이 기관에서 건축물에 대한 친환경성 및 그 성능을 평가하기 위해서 개발된 프로그램들 중 하나였다. 2002년이 되어 GBTool의 시행 및 운영이 국제 비영리기관인 iiSBE로 넘어가게 되었지만, 초기 프로그램의 개발 팀은 여전히 11개가 넘는 팀들과 프로그램의 개선에 참여해 왔으며, 2006년 8월 GBTool의 새로운 버전인 SBTool이 출시되었다. 존의 GBTool 비교하여 그 목적은 비슷하나, 목적 달성을 위해 구조적인 측면에서 상당한 변화를 주었다. 기본적으로 평가를 위한 대상을 건축물의 생애주기로 구분한 것은 GBTool과 같은 형태를 취하고 있다. 하지만 건축물의 종류 및 규모뿐만 아니라 국가를 넘나드는 포괄적인 적용을 위해 하나의 프로그램의 구성 요소를 6개로 구분하여 포괄적 지역에서의 적용 및 정확한 평가결과를 도모하고 있다.

SBTool은 CASBEE와 마찬가지로 지역이나 건축물의 종류에 관계없이 포괄적인 평가를 목적으로 하고 있으며, 건축물의 생애주기상 나타나는 모든 단계상의 평가에 대한 부분을 고려하고 있다. 또한 프로그램을 단순하게 평가로써 끝내는 것이 아닌 디자이너가 디자인 가이드라인으로써 활용 가능하도록 고려되어 있으며, 포괄적인 지역에서의 평가를 목적으로 하고 있기 때문에 지역의 특성을 반영할 수 있는 프로그램에 대한 고려를 목표로 하고 있다.

이러한 프로그램의 개발배경 및 목적에 따른 GBTool에서는 별견할 수 없는 SBTool만의 프로그램 구성에서 발견할 수 있다.

우선 건축물의 타입이나 지역에 구애받지 않는 포괄적인 평가의 적용을 위해

SBTool은 하나의 프로그램 내에서 건축물의 생애주기와 건축물의 종류를 결정할 수 있는 구성을 선택하였다. 이는 생애주기별로 구분되어 있으나 건축물의 종류는 프로그램 내에서 옵션처럼 선택할 수 있도록 만든 CASBEE 와 유사한 형태로 포괄적인 지역에서의 평가를 위한 프로그램에서 공통적으로 나타나는 구성이다.

하지만 지역성에 대한 반영과 디자인 가이드로써의 기능을 부여하기 위해 iiSBE에서 선택한 방법은 데이터 입력의 다원화와 입력된 데이터 구성의 다 체계화였다. 우선 지역의 특성을 반영하기 위한 지역전문가들의 구성을 Third Party라는 하나의 프로그램 체계로 구체화 시켰다.Third Party는 Region이라는 요소에 자신들의 조정사항에 대한 자료를 입력하게 되며, Third Party가 이러한 작업을 하는 동안 Design Team은 동시에 디자이너가 생각하고 있는 아이디어들에 대한 자료를 입력시키게 된다.

Design Team에 의해서 입력된 디자인에 대한 정보들은 ProjectData-1을 거쳐 ProjectSetting에서 Third Party가 입력한 자료와 만나게 된다. ProjectData-1에 입력된 디자인 정보들은 ProjectData-IDP로 전달되게 되며, 이 디자인 정보들은 프로젝트의 운영자들이 전반적인 디자인 프로세스에 대한 이해를 돕는데 이용되게 된다.

Third Party가 입력한 자료와 Design Team에 입력한 자료가 만나는 ProjectSetting에서 종합된 자료들은 프로젝트의 타입에 맞도록 보다 정확한 측정의 기준을 설정하는데 이용되며, 여기서 설정된 기준들은 지역의 기관들이나 평가자들에 의해 이용되게 된다.

ProjectData-2에서는 ProjectSetting에서 결정된 기준들과 ProjectData-1에서 입력된 자료들이 수집되게 되며, 여기서 종합된 정보들은 보다 구체화된 프로젝트에 대한 디자인 자료들로 정리되게 된다. 이곳에 정리된 자료들은 다자이너들이 프로젝트의 목표를 설정하는데 이용되며, 자가 평가를 할 수 있는 시스템이 도입되어있어 디자이너들이 프로젝트를 진행하는데 있어 디자인 가이드로써도 사용될 수 있도록 구성되어졌다.

최종적인 평가가 이루어지게 되며, 프로젝트의 평가자가 실질적으로 관여하게 되는 부분이 ProjectAssess이다. 여기에는 Third Party가 입력한 자료인 Region, Third Party와 Design Team이 입력한 자료가 정리된 ProjectSetting 그리고 보다 구체화된 디자인 프로젝트에 대한 정보가 들어있는 ProjectData-2에서 모아진 정보들이 종합되는 곳이다. 여기서 종합된 자료를 바탕으로 ProjectAssess 가 평가를 하게 되는 것이다. 이

러한 프로그램 구성요소를 가진 SBTool의 개발 목적을 간략하게 나열하면 다음과 같다.

- 단순한 친환경적인 건축 환경에 대한 고려뿐만 아니라 지속 가능한 건축물로써 갖추어야 할 포괄적인 부분에 대한 고려
- 건축물의 생애주기상 나타나는 모든 단계상의 평가에 대한 고려
- 건축가로 하여금 자신이 디자인한 건축물에 대한 자가 평가를 가능하게 함으로써 디자인 가이드라인으로써 활용 가능하도록 고려
- 평가에 있어 지역의 특성을 반영하기 위한 고려
- 한 프로젝트 내에 여러 가지 용도의 건축물이 혼합되었을 경우에 대한 고려
- 새롭게 지어진 건축물이나 기존의 건축물 또는 두 가지 상황이 혼재된 건축물의 평가에 대한 고려

평가의 결과는 각 분야에 대한 결과 값의 평균점수를 통하여0점 -용인가능 3점 양호, 5점 매우양호 3개의 등급으로 결정되게 된다.[41)]

② 평가의 대상

SBTool은 건축물의 종류 및 규모와 그 지역을 넘나드는 포괄적인 적용을 위한 프로그램으로 평가의 대상 또한 특정하게 정해져있지 않으며, CASBEE에서는 포함되어있지 않던 단독주택 또한 평가의 대상에 포함되어 있다. 프로그램 내에서 선택할 수 있는 주요 평가대상은 다음 표 20과 같으며, 동시에 최대 3가지까지 평가대상을 선택할 수 있도록 하여 복합용도의 건축물 및 종류의 판단이 모호한 건축물의 평가에 용이하도록 구성되어 있다.

표 20. SBTool에 의한 평가의 대상이 되는 건축물

분류	프로그램 내에서 선택 가능한 건물의 타입
Resinential	Detached House - 단독주택
	Attached House - 결채
	Apartment - 아파트

41) 전상현, 국내외 친환경건축물 인증제도의 비교분석에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, 2007

분류	프로그램 내에서 선택 가능한 건물의 타입
	Hotel/Motel - 호텔/모텔
	Hospital - 병원
Non-residential	Office - 오피스
	Public Admin - 공공 관청건물
	Theatre/Cinema - 극장/영화관
	Retail - 도소매 상가
	Food Service - 음식점
	Supermarket - 슈퍼마켓
	Shopping Centre - 쇼핑센터
	Education - 교육관련 시설
	Laboratory - 실험실
	Small industrial - 소규모 공장시설
	Outdoor area - 옥외공간
	Other - 기타 건물 타입

(출처: GBTool User Manual-http://www.iisbe.org)

마. 국내 친환경건축물 인증제도 (Green Building Certification)

① 국내 친환경건축물 인증제도의 개발배경 및 목적

우리나라에서는 지속가능한 건축문화의 구현을 위해 1997년도에 한국과학재단이 지원한 그린빌딩기술연구회가 발표한 그린빌딩등급인증기준(시안)을 시발점으로 하여 대한주택공사 주택도시연구원과 크레비즈인증원(구, 능률협회인증원)에 의해 각각 개발되어 시범인증이 이루어진 두 인증기준을 2001년 후반에 한국에너지기술연구원이 통합하여 주거용 '친환경건축물(그린빌딩) 인증제도'를 출범케 하였다. 그리고 2002년 1월에 한국에너지기술연구원, 대한주택공사(한국토지주택공사) 주택도시연구원, 크레비즈인증원이 인증기관으로 지정되어 현재 주거용 '친환경건축물(그린빌딩)인증제도'외에 주거복합 및 업무용과 학교시설에 대한 인증제도가 시행되고 있고, 판매 및 숙박시설 인증기준이 개발 중에 있다(표 21).

Green Building Certification은 국내의 친환경건축물 인증제도로서 현재 한국 에너지기술연구원, 한국토지주택공사 주택도시연구원 그리고 크레비즈인증원에서 평가를 실시하고 있다. 1997년부터 2001년 까지는 여러 가지 인증제도들이 각기 다른 기준을 가지고 시행되고 있었으나, 2001년 국토해양부와 환경부의 주도 하에 통합 인증제도에 대

한 연구가 시작되었으며, 2002년 초부터 본격적인 평가의 시행에 들어갔다. 위의 표는 1997년부터 2006년까지의 인증제도의 발전과정이다.

표 21. 국내 친환경건축물 인증제도 및 시행기관이 시기별 변천과정

시기	내용
1997~ 2000	-한국과학재단에 의해 지원받은 그린빌딩기술연구회가 그린빌딩 등급인증기준(시안)발표 - 크레비즈인증원(구, 한국능률협회인증원), 대한주택공사, 한국건설기술 연구원 - 시범인증 실시 : 국토해양부(한국토지주택공사 주택도시연구원), 환경부(크레비즈인증원)
2001	- 유사 인증제도 통합방침 결정 (건설교통부, 환경부) - 한국에너지기술연구원에 의해 주거용 '친환경건축물(그린빌딩) 인증제도'출범 - 공식적인 인증기관 선정 : 한국에너지기술연구원, 한국토지주택공사 주택도시연구원, 크레비즈인증원
2002. 1	- 공동주택에 대한 친환경건축물 인증제도 시행
2003. 1	- 주거복합 및 업무용건축물(리모델링 포함) 친환경건축물 인증제도 시행
2004	- 1차 개정 (BREEM 98 및 GBTool의 분류체계를 참고하여 보강)
2005. 3	- 학교건물에 대한 친환경건축물 인증제도 시행
2005. 11.8	- 건축법 제 58조 (친환경건축물의 인증) 신설
2006. 2.24	- 주택공급에관한규칙 2차 개정 및 공포(공동주택의 친환경건축물 인증에 대한 인센티브 제도 추가)
2006. 4.11	- 개정된 공동주택 친환경건축물 인증제도 시행
2006	- 숙박 및 판매시설을 인증대상 건축물에 포함

(출처: 전상현, 국내외 친환경건축물 인증제도의 비교분석에 관한 연구, 전남대학교 석논, 2007)

국내의 인증제도도는 건축물의 종류별로 평가 프로그램이 구분되어 있으며, 각 종류별 평가부문 또한 고정되어 있다. 현재까지 완성되어 시행되고 있는 프로그램은 각각 공동주택용, 업무용, 주거복합용 그리고 학교용이다.

친환경건축물 인증제도는 공동주택에 대한 인증심사기준과 업무용 건축물에 대한 인증심사기준은 모두 총점 136점으로 평가항목은 100점, 가산항목은 36점으로 구성되어 있다. 친환경건축물 인증제도의 인증등급별 심사점수는 표 22와 같으며, 100점 만점에 65점 이상일 경우 우수등급을 획득하게 되며, 85점 이상일 경우 최우수 등급을 획득하게 된다.[42)]

42) 이승민, 친환경 건축물 인증평가 도구 개발에 관한 실증적 연구, 경북대학교 박사학위논문, 2006

표 22. 인증등급별 점수기존 (제13조 관련)

등급	심사점수	비 고
최우수	85점 이상	100점 만점
우수	65점 이상	

(출처: 한국그린빌딩 협의회-http://www.greenbuilding.or.kr)

② 평가의 대상

국내의 친환경건축물 인증제도는 건축물의 타입별로 그 프로그램이 구성되어 있으며 각 프로그램별 평가대상은 표 23과 같다. 국내 친환경건축물 인증제도의에서 공동주택의 친환경 건축물 인증기준은 표 24와 같다.

표 23. 프로그램별 평가대상

평가 프로그램	분류	건물의 타입 및 기타 평가대상
공동주택용	Residentia	공동주택
업무용	Non-residential	오피스
주거복합용	Non-residential +Residentia	주거복합건축물
학교용	Non-residential	학교

(출처: 한국그린빌딩 협의회-http://www.greenbuilding.or.kr)

표 24. 공동주택 친환경건축물 인증기준(개정, 2005. 10. 11)

1.토지이용	1.1 생태적가치	1.1.1 기존대지의 생태학적 가치
		1.1.2 기존 자연자원 보존율
	1.2 토지이용	1.2.1 용적률
		1.2.2 체계적 상위계획 수립 여부
	1.3 인접대지영향	1.3.1 일조권 간섭방지 대책의 타당성
	1.4 거주환경의 조성	1.4.1 커뮤니티 센터 및 시설계획 여부
		1.4.2 단지 내 보행자 전용도로 조성여부
		1.4.3 외부보행자 전용도로 네트워크 연계여부
2.교통	2.1 교통부하저감	2.1.1 대중교통에의 근접성
		2.1.2 단지 내 자전거 보관소 및 자전거도로 설치
		2.1.3 초고속정보통신설비의 수준
		2.1.4도시중심 및 지역중심과 단지중심간의 거리
3.에너지	3.1 에너지소비	3.1.1 에너지 소비량
	3.2 에너지절약	3.2.1 대체에너지 이용
4.재료 및 자원	4.1 자원 절약	4.1.1 라이프사이클 변화를 고려한 평면개발
		4.1.2 환경친화적(공업화) 공법 및 신기술 적용
	4.2 폐기물 최소화	4.2.1 생활용 가구재 사용억제 대책의 타당성
	4.3 생활폐기물 분리수거	4.3.1 재활용 생활폐기물 분리수거
		4.3.2 음식물 쓰레기 저감
5.수자원	5.1 수순환체계 구축	5.1.1 우수부하 절감대책의 타당성
	5.2 수자원 절약	5.2.1 생활용 상수 절감 대책의 타당성
		5.2.2 우수이용
		5.2.3 중수도 설치
6.환경오염	6.1 지구온난화 방지	6.1.1 이산화탄소 배출 저감
7.유지관리	7.1 체계적인 현장관리	7.1.1 환경을 고려한 현장관리계획의 합리성
	7.2 효율적인 건물관리	7.2.1 운영/유지관리 문서 및 지침 제공의 타당성
	7.3 효율적인 세대관리	7.3.1 사용자 매뉴얼 제공
8.생태환경	8.1 대지 내 녹지공간조성	8.1.1 연계된 녹지축 조성
		8.1.2 녹지공간률
		8.1.3 생태환경을 고려한 인공환경녹화기법 적용
	8.2 생물서식공간 조성	8.2.1 수생비오톱 조성
		8.2.2 육생비오톱 조성
	8.3 자연자원의 활용	8.3.1 표토재활용율
9.실내환경	9.1 공기환경	9.1.1 각종 유해물질 저함유자재의 사용
		9.1.2 환기 설계의 정도
	9.2 온열환경	9.2.1 각 실별 자동 온도 조절 장치 채택 여부
	9.3 음환경	9.3.1 층간 경계 바닥 충격음 차단성능 수준
		9.3.2 세대간 경계벽 차음성능 수준
		9.3.3 단지 내 음환경
	9.4 빛환경	9.4.1 세대 내 일조 확보율
	9.5 노약자에 대한 배려	9.5.1 노약자, 장애자 배려의 타당성

(출처: 한국그린빌딩 협의회-http://www.greenbuilding.or.kr)

3. 건축물 설비시스템의 개요

3.1. 에너지절약형 설비시스템의 분류

3.1.1. 태양광 발전 시스템

태양광 발전은 반도체에 전자의 흐름을 유도하고 이를 이용하여 태양광을 직접 전기 에너지로 변환시키는 기술로 물질이 햇빛을 흡수하여 자유로이 움직일 수 있는 전자, 즉 광전자를 방출하는 현상(광전효과: Photoelectric Effect)에 의해 태양전지로 전기를 발생하는 발전방식이다. 전기는 단위시간당 전하의 흐름으로 정의되며, 따라서 전기 에너지를 생산하는 것은 전자의 흐름을 유도시키는 것이다.[43]

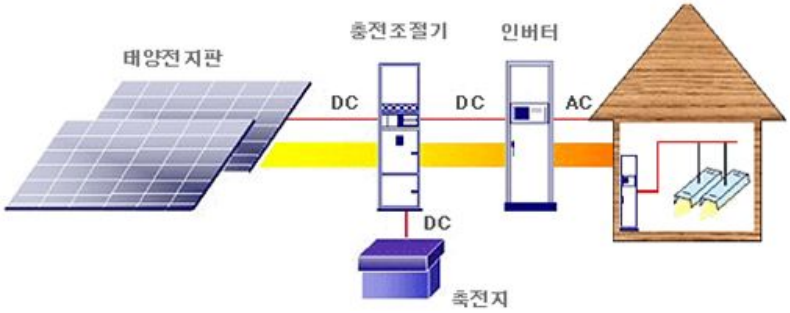


그림 3. 태양광발전시스템 구성도

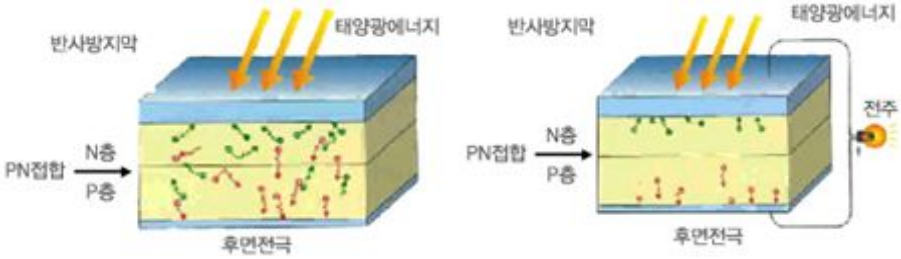


그림 4. 태양전지 p-n접합에 의한 태양광발전

태양광 발전시스템은 그림 4와 같이 태양전지(Solar Cell)로 구성된 모듈(Module)과

43) 오원철, 태양광 발전시스템의 구성과 기능 시험방법에 대한 일반적인 기준, 목포대학교 석사학위논문, 2005

축전지 및 전력변환장치로 구성된다. 태양전지는 실리콘으로 대표되는 반도체로 태양광발전시스템의 구성단위로 태양에너지를 전기에너지로 변환할 목적으로 제작된 광전지이다. 이 반도체는 금속과 반도체의 접촉면 도는 반도체의 p-n접합에 빛을 조사(照射)하면 광전효과에 의해 광기전력이 일어나는 것을 이용하였다. 여기서 금속과 반도체의 접촉을 이용한 것으로는 셀렌광전지, 아황산구리 광전지가 있고, 반도체 p-n접합을 사용한 것으로는 태양전지로 이용되고 있는 실리콘광전지가 있다.[44]

그림 4와 같이 p-n접합에 의한 발전원리는 N(negative)형의 반도체와 P(positive)형의 반도체를 접합시킨 구조를 하고 있으며 2개의 반도체 경계부분을 p-n접합(PN-junction)으로 이루어져 있는 태양전지에 태양빛이 닿았을 때 태양빛은 태양전지 속으로 흡수된다. 이 흡수된 태양빛이 에너지에 의해 반도체내에서 정공(正孔: hole)(+)과 전자(電子: election)(-)의 전기를 갖는 입자가 발생하여 각각 자유롭게 태양전지 속을 움직이게 되지만, 전자는 N형 반도체 쪽으로, 정공은 P형 반도체 쪽으로 모이게 되어 전위가 발생하게 되며 이 때문에 앞면과 뒷면에 붙여 만든 전극에 전구나 모터와 같은 부하를 연결하게 되면 전류가 흐르게 되는 데 이것이 태양전지의 p-n접합에 의한 태양광발전의 원리이다.[45]

태양광발전시스템은 설치대상 장소에서의 전력사용 목적에 따라 그림 10과 같이 크게 독립형 또는 계통연계형으로 분류하여 시스템을 구성한다. 독립형(Stand-along System)시스템은 상용전력계통과는 무관한 독립적인 전원용으로서 태양전지로부터의 전기만으로 시스템이 운전되는 것이다. 소규모 독립형 태양광발전 시스템은 초창기에는 인공위성이나 군사용에 국한되어 주로 적용되었으나 최근에는 등대, 교육용 응용제품, 가로등, 펌프 및 학습용 완구 등의 광범위한 범위로 도서지역, 산간벽지, 등대 및 원경지통신용에서 응용 및 활용되고 있다.[46] 계통연계시스템(Grid-connected System)은 상용전력계통과 연계하여 운전하는 발전시스템으로 항시 전력계통과 동기하여 운전 할 수 있는 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency)기능과 MPPT(Maximum Power

44) 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008
45) 김동규, 태양광 발전시스템의 운전특성에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2008
46) 소정훈 최 4인, 50kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능모니터링 결과 및 평가분석, 찬국태양에너지학회논문집, 제27권 제2호, 2007

Point Tracking)기능을 갖고, 자체 부하의 공급은 물론 잉여전력을 전력계통에 송전할 수 있다는 특징을 가지고 있다.[47] 계통연계형 시스템은 일반 주택보다 연구 기관이나 관공서 등에 시범적으로 설치되어 연구 목적에 주로 활용되고 있다.[48]

그림 5. 광역 · 소립 독립형 시스템

태양광 발전은 공해배출이 없는 깨끗한 청정 에너지원으로 친환경적이며, 태양에너지를 이용함으로 무한의 에너지를 얻을 수 있고 운전 및 유지 보수가 간단하다. 또한 태양전지 모듈화가 가능하여 용량의 신축성이 있으며, 20년 이상의 긴 수명을 갖는 장점이 있다. 주택 또는 건물 등 유휴지 공간을 활용할 수 있으나 태양빛에 의한 원리로 전력생산량이 지역별 일사량에 따라 출력변동이 생기는 등 기상상태의 영향을 받는 특징이 있다. 또한 에너지 밀도가 낮아 큰 설치면적이 필요하여 설치장소가 한정적이며 시스템 비용의 고가로 초기투자비와 발전단가 높다.[49]

47) 전태원 외 2인, Z-소스 인터버를 사용한 단상 계통 연계형 태양광 시스템 제어, 전력전자학회논문지, 제13권 제5호, 2008
48) 강신영, 소규모 독립형 태양광 발전 시스템 설계 및 시뮬레이터 개발, 전남대학교 박사학위논문, 2003
49) 김명철 , 주거용 건물의 태양광 발전시스템 경제성 평가 연구, 창원대학교 석사학위논문, 2007

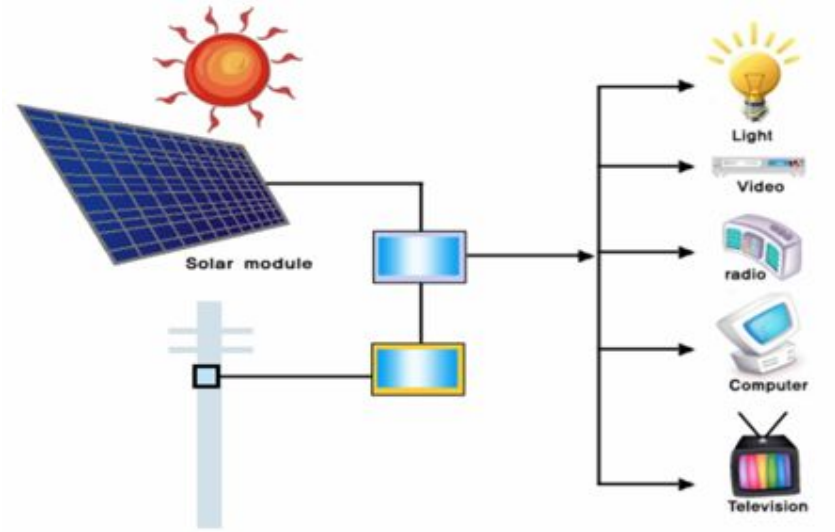


그림 6. 계통연계형 시스템

태양광 에너지의 이용은 생산효과 측면과 대체효과측면, 경제성 측면 세 가지 측면의 긍정적인 요인을 가진다. 먼저 생산효과 측면으로 활용가능한 모든 환경을 고려하여 에너지를 생산했을 경우 그 양이 얼마나 되는가에 대해 고찰하였을 때, 현재 우리나라는 대부분의 건물 지붕, 옥상을 비워두고 있다. 태양광 모듈을 설치할 수 있는 건물 지붕 적정 면적을 산출하고 이 산출된 지붕면적에 태양광발전시설을 설치하고, 평균 부하율을 12%로 설정하였을 때 생산할 수 있는 태양광발전 잠재량은 연간 41,299GWh로 산출되었다. 이 값은 1999년 국내 전력 소비량 214,215GWh의 약 20%에 달한다. 건물 지붕이나 옥상에 태양광모듈의 설치는 연간 23,950,701TOE에 달하는 에너지를 생산할 수 있다.

다음으로 대체 효과 측면에서 보면 태양광 발전 잠재량을 석유로 환산할 경우 26,532,719 Bbl에 달하고 5~7억 달러의 에너지 수입대체 효과가 있으며, 이를 극대화할 경우 에너지 수입 대체 효과는 약 45억 달러 정도로 더욱 커진다. 만일 적정한 지붕면적에 태양열집열판과 태양광모듈을 반 정도씩 실치 할 경우 약 14~15억 달러의 에너지 수입액 절감 및 대체 효과가 발생한다. 1999년 국내 원유수입량 874,090,000Bbl, 원유수입액 244억 달러와 비교할 때, 현재 건물 지붕에만 최소한으로 설치하는 것으로써 전체 원유 소비량의 6%정도가 절감 가능하다.

마지막으로 경제성 측면에서 태양광발전의 경우 발전원으로 첨두부하용을 활용될 때 경제성은 훨씬 제고되며 축전기술이 발전함에 따라 더욱 경제성은 향상된다. 일사량이 많을 때와 전력부하가 커질 때가 2시간 간격으로 비슷한 시간에 발생한다. 축전지가 연결된 태양광발전 수요관리시스템을 활용할 경우 태양광발전의 경제성이 크게 개선될 수 있다. 실제로 우리나라와 일사량과 위도가 비슷한 미국 델라웨어, 뉴저지, 메릴랜드를 담당하는 델마바 전력회사는 첨두부하 관리용으로 태양광발전을 보급하고 있다. 일본에서는 이미 태양광 에어컨시스템이 94년 이후 600가구씩 보급되고 있으며 에너지기술 연구소에서도 1KW급 태양전지 에어컨 시스템을 개발하여 실증 시험 중에 있으며 화력발전과 비교하여 경제성이 있음을 증명하고 있다. 이 실증 실험에서 냉방부하 공급 시 화력발전단가는 280원/kWh이고 태양광발전 270원/kWh으로 활용가치가 있는 에너지원으로 생각할 수 있다.[50]

연료전지는 전기와 열을 동시에 발생시키는 시스템이다. 연료전지의 반응과정은 그림 5와 같이 실제 연료전지의 실험 자료를 바탕으로 한다. 연료중의 수소와 공기중의 산소가 전기 화학 반응에 의해 직접 발전하여 연료에서 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술을 이용한다. $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$의 전기화학반응식으로 전기를 발생시킨다. 연료극(anode;양극)에 공급된 수소는 수소이온과 전자를 분리하고 수소이온은 전해질 층을 통해 공기극(cathode;음극)으로 이동한다. 그리고 전자는 외부회로를 통해 공기극으로 이동하게 된다. 그때 공기극쪽에서 산소이온과 수소이온이 만나 반응생성물(물)을 생성하게 된다. 최종적인 반응은 수소와 산소가 결합하여 전기, 물 및 열을 생성하는 것이다.[51]

50) 오원철, 태양광 발전시스템의 구성과 기능 시험방법에 대한 일반적인 기준, 목포대학교 석사학위논문, 2005
51) 오인환, 최첨단 무공해 에너지 실현 - 연료전지, 과학동아, 5월호, 2001

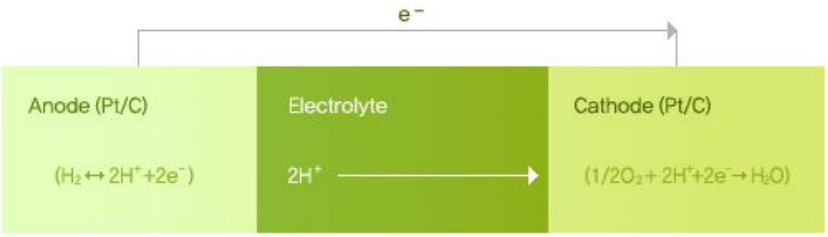


그림 7. 연료전지의 반응과정

이렇게 구성된 연료전지 한 쌍을 단전지(single cell 또는 cell)이라 하며, 여러 개의 셀(cell)들을 모아 놓은 것으로 스택(Stack)이라고도 부른다. 그림 6은 연구 해석에 사용된 1kW 연료전지의 전류-전압(IV) 특성곡선과 출력 특성이다. 연료전지 스택의 전극 면적은 200cm²이며 셀의 개수는 15셀을 기준으로 해석하였다. 52)

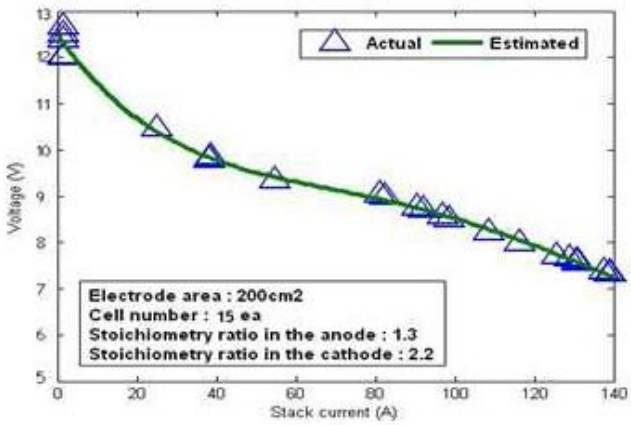


그림 8. 1kW급 연료전지의 IV곡선 및 출력 곡선

그 원리는 이미 19세기 초 영국의 윌리엄 글로브에 의해 발견되었다. 천연가스나 메탄올 등의 연료에서 수소를 추출하여 공기 중의 산소를 반응시켜 전기에너지를 직접 얻는다. 물을 전기 분해하면 수소와 산소가 발생된다는 것을 역으로 이용한 것이다.53)

52) 황수영, 시뮬레이션 기반 가정용 연료전지 시스템의 경제적 설계 및 운전전략에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문, 2008
53) 조희남, 연료전지의 개발 동향과 전망, 경북대학교 교육학 석사학위논문, 2004

이 기술의 원리는 40~60% 정도로 발전효율이 높고 반응과정에서 나오는 배출 열을 활용하면 최대 80%에 가까운 효율을 얻을 수 있는 발전 방식이다. 기존의 화력 발전에 비해 운전 중 작동 소음이나 진동이 발생하지 않고 공해 물질은 CO_2 나 NO_X의 발생량이 극히 적으며 발전 효율이 높아 발전용 연료를 절감할 수 있으며 열병합 발전도 가능하다.[54]

그림 9는 연료 전지 시스템의 기본 구성을 나타낸 것이며 개질기, 연료전지본체(셀), 전력변환장치(인버터) 등의 3가지 설비로 구성된다. 개질기는 수소를 포함하는 일반 연료(LPG, LNG, 메탄올 등)로부터 연료전지가 요구하는 수소를 많이 포함하는 가스로 변환하는 장치이다. 연료전지 본체에 의해 직류 전기와 물과 분산물인 열을 생성하는 장치이다. 전력변환장치는 연료전지본체에서 생산된 직류를 교류전력으로 변환시키는 장치이다.[55]

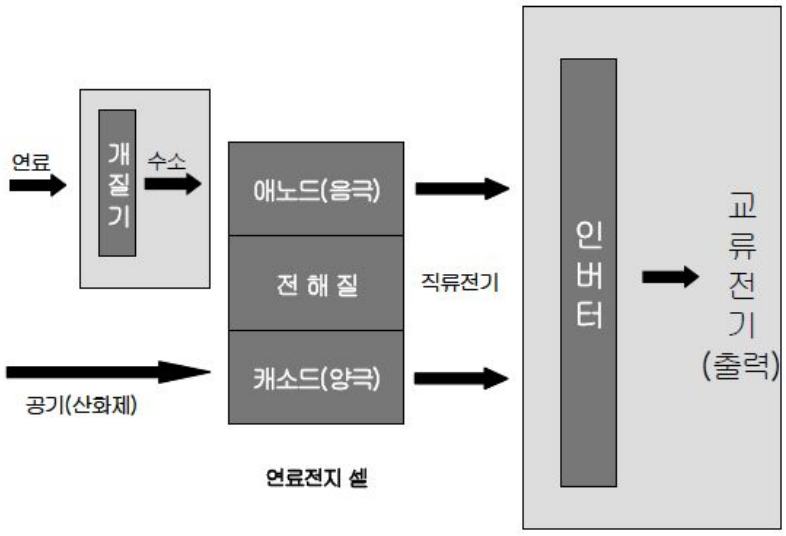


그림 9. 연료전지의 기본구성

표 25는 전해질 종류에 따른 연료전지를 구분한 것이며, AFC(Alkaline Fuel Cell),

54) 이희락 외 2명, Spin-coat을 이용한 음극지지형 고체산화물 연료전지의 제조 및 특성, 충남대학교 석사학위논문, 2009
55) 월간전기기술, 고체 고분자형 연료전지, 11월호, 2003

PAFC(Phosphoric Acid FC), MCFC(Molten Carbonate), SOFC(Solid Oxide), PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane), DMFC(Direct Methanol) 단계로 기술이 발전되었다.

표 25. 연료전지의 종류

	알칼리형 (AFC)	인산형 (PAFC)	용융탄산염 (MCFC)	고체 산화물형 (SOFC)	고체 고분자형 (PEMFC)	직접 메타올형 (DMFC)
전해질	수산화칼륨	인산염	용융탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
이온전도체	수소이온	수소이온	탄산이온	산소이온	수소이온	수소이온
동작온도 (°C)	100 이하	200 이하	650 이하	1,200 이하	80 이하	80 이하
용도	특수용	중형건물 (200kW)	중.대형건물 (100kW~mW)	소.중.대용량 발전 (1kW~MW)	가정,상업용 (1~10kW)	소형이동 (1kW 이하)
연료원료	수소	도시가스,LPG	도시가스, LPG, 석탄	도시가스, LPG	메탄올, 메탄 휘발유, 수소	메탄올
효율(%)	85	70	80	85	75	40

연료전지의 일반적인 특성을 고려해 볼 때, 고분자 전해질형 연료전지는 다른 연료전지들보다 낮은 온도에서 작동하며 신속한 작동과 단위 부피와 무게에 비해 높은 에너지 효율을 가지고 있기 때문에 이동용 전원장치로써 가장 높이 평가되고 있다. 이러한 고분자 전해질형 연료전지는 타 연료전지와 비교하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 단위부피와 무게에 대해 높은 에너지 변환효율을 갖는다.
- 제작이 용이하다
- 다양한 재료 선택이 가능하다.
- 고분자 전해질을 사용함으로써 침식, 부식작용을 막을 수 있으며 액체 전해질 연료전지와 관련된 안전성 여부가 크게 문제되지 않는다.
- 실험의 급속한 성장과 설계로 다른 연료전지보다 비용절감의 가능성이 크다.

석탄과 같은 고체연료가 사용되는 시대에는 외연기관, 액체연료 시대에는 내연기관이 가장 적합한 동력장치였다. 미래의 연료로서 기체연료가 사용된다면 또 다른 새로운 개

념의 동력장치가 필요하게 될 것이다. 연료전지는 내연기관의 연소방식이 아닌 전기 화학적 반응에 의해 일을 얻어내는 장치이다.[56]

수소 연료시스템은 음극에서 수소의 산화반응은 쉽게 일어나 전압손실이 적기 때문에 대부분의 전압손실은 양극에서 일어난다. 실제 PEMFC는 0.6~0.7V의 전지전압에서 500~ 600mW/cm²의 매우 높은 전지 전력밀도가 얻어진다. 그러나 DMFC의 음극에서는 메탄올의 산화가 여러 가지 경로를 통해 일어나고 산화반응 속도가 수소에 비해 상대적으로 느리기 때문에 PEMFC에서보다는 높은 전력 밀도가 얻어지지 않는다. 또한, DMFC에서는 연료개질기가 불필요하고 시스템이 PEMFC와 견주었을 때 경쟁력을 가지고 있다.[57]

3.1.2. 지중열 시스템

지열에너지는 청정에너지로서 양이 무한정하고 전 국토 모든 곳에 큰 차이가 없다. 또한 현존하는 기술만으로도 지표로부터 지중 수 km까지 목적(온도 수준)에 따라 이용 가능하며, 여러 가지 목적에 이용 가능함으로서 지열에너지의 능력이 인식되어 가고 있다.[58]

지열에너지 이용에 필요한 기술의 끊임없는 발전에 힘입어 지열에너지는 세계적으로 증가하고 있는 복잡한 에너지문제를 해결 할 수 있는 주된 인자로 받아들여지고 있다. 그럼에도 불구하고 지속적이고 획기적인 기술 개발 및 보급이 이루어지지 않고 있는 이유는 기존 냉난방 설비에 비해 상대적으로 초기 투자비가 많이 들어간다는 것이 가장 큰 원인이다.

---

56) 김홍건 외 4명, 연료전지의 기술개발 현황 및 실용화 단계, 한국공작기계학회, 제12권 제3호, 2003
57) 정두환, 김창수, 휴대 및 밧데리 대체용 소형 직접메탄올 연료전지, 한국에너지공학회 추계학술발표회, 1998
58) 김영일, 지열 이용 열펌프, 대한설비공학회 HARFKO 학술강연회 및 신기술발표회, 2005

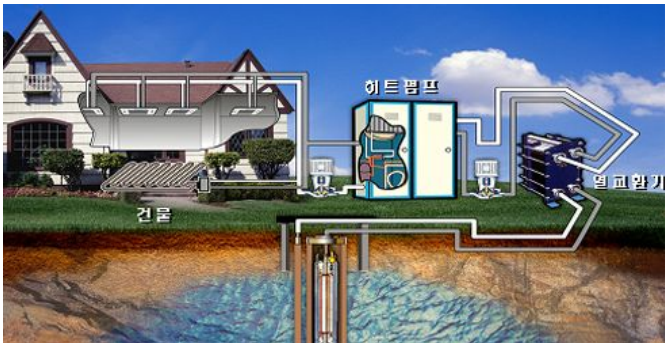


그림 10. 지열에너지 시스템 구성도

지열에너지 시스템 구성도는 그림 14와 같다. 지열에너지는 물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉·난방에 활용하는 기술을 이용한다. 태양열의 약 47%가 지표면을 통해 지하에 저장되며, 이렇게 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지만 지표면 가까운 땅속의 온도는 개략 10~20°C정도 유지해 열펌프를 이용하는 냉난방 시스템에 이용된다. 우리나라 일부지역의 심부(지중 1~2km) 지중온도 80°C정도로서 직접 냉난방에 이용 가능하다.[59]

지중열 시스템이란 열평행의 온도 지하 10m에서 200m의 천부의 지중온도(연평균 16C, 서울기준)를 히트펌프의 열교환매체로 이용한 시스템이다. 천부지중구간은 지표의 일사의 영향을 받지 않고 일정한 온도를 유지하고 있고 토양은 열전도도가 낮기 때문에 열 이동이 느리게 일어난다. 그리고 열용량이 크기 때문에 온도 변화가 급격하게 일어나지 않는다.[60] 이런 이점을 이용해 히트펌프의 열교환매체를 외기 온도의 변화가 심한 공이에서 지중으로 바꾼 것이 지중열 히트펌프 시스템의 지중의 열을 히트펌프 열원으로 이용하면 연간 고효율 냉난방을 할 수 있다.

지중열 시스템은 크게 세 가지로 구성된다. 지중열 교환기(Geothermal Heat Exchanger), 히트펌프(Heat Pump), 실내 열교환기(AHU, Air Handling Unit)로 나눌 수 있다. 히트펌프는 압축기, 열교환기(물 열교환기, 공기 열교환기, DESUPERHEATER), 팽창변, 압축기 보호 장치로 구성된다.[61] 그 외에 팬 코일 등의

59) 박정환, 주거용 건물에 적용된 지열 히트펌프 시스템의 냉방성능에 관한 연구, 경북대학교 석사학위논문, 2008
60) 박용정, 축열조를 채용한 수평형 지열원 히트펌프 온실 난방 시스템에 관한연구, 금오공과대학교 박사학위논문, 2006

AIR HANDING UNITS과 펌프 유니트가 구성한다.

지중열 시스템의 원리는 냉방과 난방에 따라 약간 다른데 그 원리에 대해서 간단히 설명을 하면 다음과 같다. 우선 여름철에 작동하는 히트펌프에 대해서 설명하면 압축기(Compressor)에서 압축된 고온고압(90~100℃)의 냉매기체가 지중열교환기(Condenser)에서 열교환을 실시하여 중온고압(35~45℃)의 액체가 된다. 이 냉매액체가 팽창기(Expansion Device)에서 압력강하를 하면 저온저압(-10℃)의 기체가 되고 이 기체가 실내 열교환기코일에서 열 교환을 실시하여 다시 압축기로 간다. 이 사이클을 반복하여 실내 열 부하를 지중으로 배열하여 실내에 시원한 공기를 제공하는 것이다. 또한 겨울의 경우는 여름에 작용한 지중열 히트펌프 시스템 사이클의 반대방향으로 작동하여 지중의 열을 흡수하여 실내에 공급하는 것이다.[62] 이렇게 지중열 히트펌프 시스템은 지중을 열교환기로 이용하여 실내에 열을 흡수 또는 공급하게 된다.

지중열 시스템 열교환기의 종류는 지중열교환기의 형태와 형식에 따라 몇 가지로 구분이 되는데 크게 폐쇄형(Closed loop)과 개방형(Open loop)으로 구분이 된다(그림 11). 그 중에 밀폐회로 시스템은 수직형(Vertical Closed loop)과 수평형(horizontal closed loop), 지표수형(Closed loop in aprivate pond or pool)이 있다(그림 12).

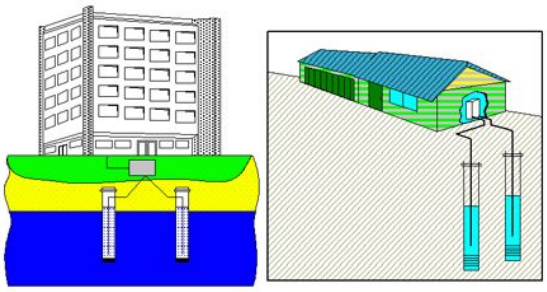


그림 11. 개방형 지열원 열교환 장치

61) 유풍상, 히트펌프 시스템의 팽창장치에 따른 계절별 성능에 관한 연구, 국민대학교 박사학위논문, 2001
62) 김영일, 지열 이용 열펌프, 대한설비공학회 HARFKO 학술강연회 및 신기술발표회, 2005

그림 12. 폐쇄형 지열원 열교환장치(수직형, 수평형)

히트펌프 시스템은 지중열(냉방시 열배출, 난방시 열회수)을 활용하여 히트펌프에 적용시킨 고효율 시스템이다. 온도 조건이 우수한 지열원의 이용으로 공기열원 히트펌프(EHP)에 비하여 효율이 냉방시 20%, 난방시 30%이상 성능을 향상시켜 전력 비용을 절감시킬 수 있다. 지속가능하면서 태양열을 에너지원으로 하는 지표 에너지인 지열에너지의 사용은 다른 대체에너지에 비해 저렴한 초기 설치비를 가지며, 43%에 이르는 피크부하 절감으로 효율적으로 에너지 효과를 얻을 수 있다.[63] 지열을 이용하기 때문에 기존 냉난방장치에 비하여 비용을 절감하며 공기보다 열용량이 큰물을 이용하기 때문에 열전달 효과가 크다. 그리고 축열 효과가 크므로 장시간 운전을 요하는 곳에 유리하다. 이러한 에너지 절감효과 뿐 아니라 보다 쾌적하고 안전하다는 점도 있다. 또한, 친환경에너지로 대기오염 물질 배출 절감하며 이산화탄소 등 온실가스 배출을 절감시킬 수 있다. 긴 수명과 저렴한 유지비용, 안정적인 운전으로 시스템의 신뢰도가 매우 높아 수명이 20~25년에 달한다. 지하열교환기의 경우 수명은 약 40~50년 정도이다. 또한, 쿨링타워가 없어서 공간 사용이 적으며, 소음 및 비산발생이 없다. 열교환기가 지하에 있어서 건물 외관 유지에 유리하다.[64]

63) 우정선, 지열-지열원 열펌프, 한국에너지기술연구원 ETIS분석지 제 23권, 2005
64) 천기화, 지열을 이용한 히트펌프 냉난방장치, 에스씨종합건설(주) 특허실용, 2009

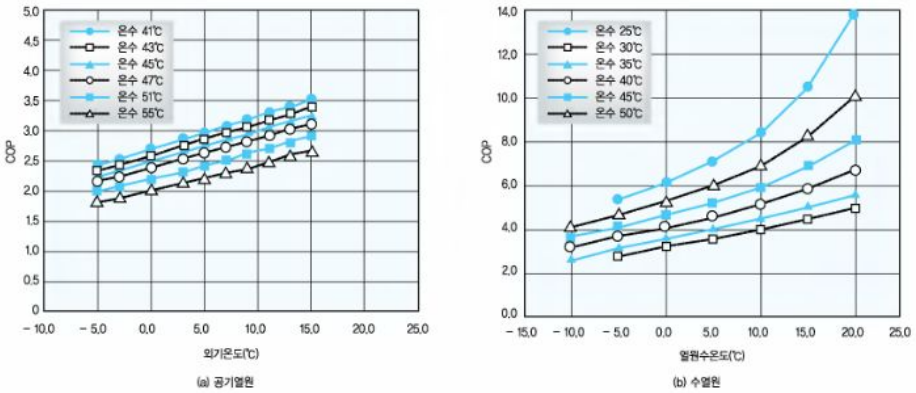
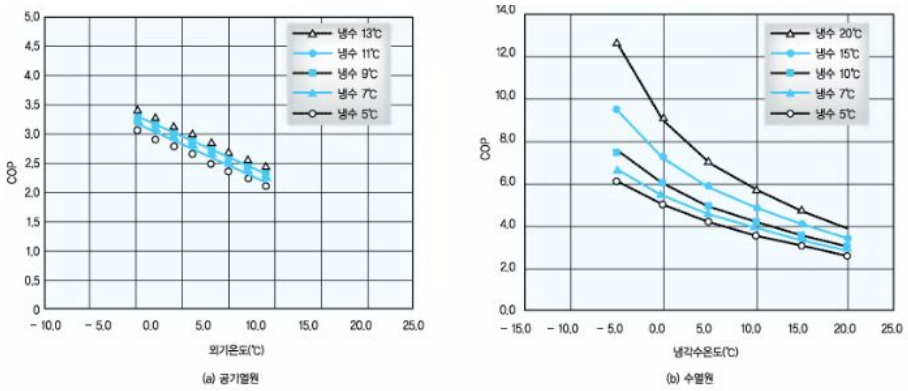


그림 13. 외기온도 열원수온도와 COP의 관계(가열 시)



65)

그림 14. 외기온도 열원수온도와 COP의 관계(냉각 시)

현재 일반적으로 지중열 히트펌프로서 이용되고 있는 것은 지중열교환기로 열 교환시키는 물 또는 브라인을 열원수로 하는 수열원 히트펌프이다. 수열원 히트펌프는 최근 히팅타워(동절기에 냉각탑에 브라인을 순환시켜 공기에서 열을 얻는 시스템)와 조합시켜 난방을 행하는 예도 있지만 열원수 온도가 높을수록 가열시의 COP가 높아지므로 지중열을 이용하는 쪽이 COP는 높아진다. 또 냉방 시에도 지중열교환기에서 얻어진 냉각수 온도는 외기온도보다도 낮고 또 일반적으로 냉각탑에서 만들어진 냉각수 온도보다 낮게 할 수 있으므로 높은 COP를 얻을 수 있다.[66](그림 13, 14)

65) 삼건설준공업, 최근의 지중열 히트펌프 시스템, 설비기술 제11월호, 2007
66) 박홍수, 한국형 지중 열교환기 최적설계 패키지 개발, 산업자원부 보고서, 2007

'지중의 열을 히트펌프 열원으로서 이용하면 연간 고효율 냉난방을 할 수 있다'라는 생각에 기반으로 한 시스템은 예전부터 지하수이용 히트펌프 시스템 등으로 존재하고 있었지만 지하수의 대량 개발에 의한 지반 침하 등의 문제가 발생해 규제되게 되었다.[67] 그러나 최근 지구온난화 대책이 급선무가 되면서 보다 효율이 높은 히트펌프 시스템이 요구되게 되었다. 그러나 공기열원 히트펌프의 경우, 한랭지에 있어서 난방능력이 부족하거나 디프로스트가 빈번히 발생해 실온이 저하하는 경우가 있어 보급이 제대로 이루어지지 않았다.

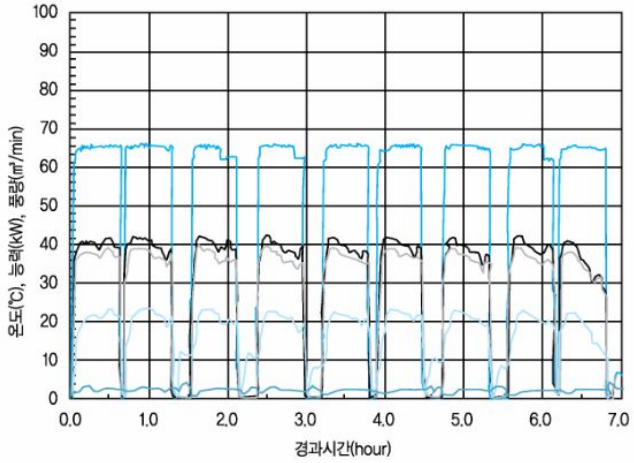


그림 15. 공기열원 히트펌프의 디프로스트 발생사례
(출처 : 삼건설준공업, 최근의 지중열 히트펌프 시스템, 설비기술 제11월호, 2007)

한편 지중 온도는 외기온도의 영향을 받기 어렵고 동절기에는 외기온도보다도 높아지므로 지중열을 이용한 전동 히트펌프가 주목되어 왔다. 지중열 이용의 우위성이 재확인되면서 지하수 개발에 의한 폐해를 일으키지 않고 지중의 열을 냉난방 열원으로서 이용하는 방법이 여러 가지 제안되고 있다.[68]

히트펌프의 온수전용은 에어컨의 실외기에서 버려지는 더운 공기를 난방 또는 온수 생산에 응용하는 원리이다. 열은 그 자신만으로 온도가 낮은 곳에서 온도가 높은 곳으로

67) 김용환, 지열원 히트펌프 성능 예측 및 검증 기술에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, 2006
68) 삼건설준공업, 최근의 지중열 히트펌프 시스템, 설비기술 제11월호, 2007

이동이 불가능하며, 열의 이동에는 반드시 일(Work)이 소요된다(열역학 제2법칙). 열펌프란 열의 온도가 낮은 곳에서 온도가 높은 곳으로 이동시킬 수 있는 장치를 의미한다. 사이클의 구성과 작동방법은 냉동기와 같으며 단지 저온열의 사용을 목적으로 하는 경우에는 냉동기, 고온열의 사용을 목적으로 하는 경우에는 열펌프가 되는 것이다. 이 원리는 1850년 캘빈에 의해 제창되었다. 1934년 미국에서 냉·난방용으로 실용화되기 시작하면서 그 후 발전하여 바닷물에서 식염을 취하는 장치, 과즙·설탕액의 농축용, 화학기계의 자기 증발식 장치 등에 널리 응용되고 있다.[69]

히트펌프 구조 그림 20과 같이 압축기·증발기·응축기·팽창밸브 등으로 이루어져 있으며, 열을 운반하는 냉매가 주입되어 있다. 냉매는 폐수전용증발기에서 외부로부터 열을 흡수(열원)하면서 증발(액체 → 기체)하고 저온저압의 가스 상태가 되어 압축기로 흡입된다. 압축기(Compressor)에서는 응축 온도에 해당되는 포화압력까지 압력을 증대시켜 주어 냉매를 고온고압상태가 되도록 하여 응측기(Condenser)로 전달되며, 응축기에서는 주위의 공기나 냉각수(온풍, 온수로 이용)에 열교환 시켜 냉매를 액화시킨다. 고압 액화된 냉매는 팽창변(Expansion Valve)에 의해 좁은 곳에서 급히 넓은 곳으로 방출되면(교축작용) 감압, 저압 저온 액화 상태의 냉매는 증발기로 들어간다. 주로 주위에서 보는 팽창장치는 캐필러리 튜브라고 가능고가 긴 튜브를 사용하여 어려운 제어를 필요로 하는 대규모 냉동장치에서는 팽창밸브를 사용한다. 팽창장치를 통과한 저온저압의 냉매는 증발기(Ecaporator)로 유입하여 피냉각 물체(동관→알루미늄핀→공기)와 열교환 시킨다. 이때 발생하는 냉매의 증발열을 이용해 냉동의 목적을 이루게 된다. 히트 펌프는 이러한 사이클을 반복하면서 저온의 열을 회수하고 압축기 동력을 부가하여 필요한 고온의 열을 발생시킨다.[70]

---

69) 김기진, 순수흡수식 히트펌프와 태양열을 이용한 흡수식 히트펌프의 경제성 비교, 건국대학교 석사학위논문, 1991

70) 성환봉, 대학 건물에서 히트펌프 냉난방 시스템의 경제성 분석, 부성대학교 석사학위논문, 2008

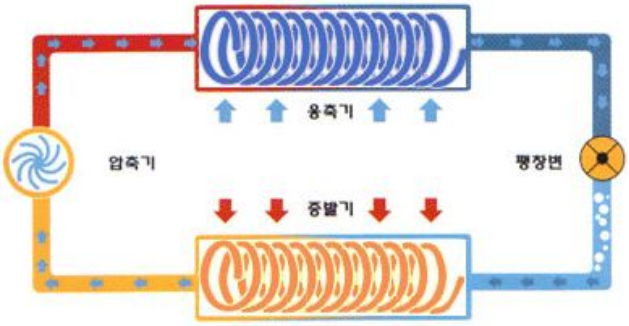


그림 20. 히트펌프에 냉매 사이클

이 작동원리를 이용하여 난방용의 경우, 압축기에서 고온·고압으로 압축된 냉매를 기화시킨 다음 응축기로 보내 높은 온도의 열을 온도가 낮은 바깥쪽으로 내뿜는 사이클을 반복하도록 구성되어 있다. 냉방용은 이와 반대로 응축기는 증발기로, 증발기는 응축기로 작용하도록 만들어 응축된 냉매가 더운 바깥 공기와 열 교환됨으로서 냉방을 하고자 하는 대상 지점을 차갑게 만들도록 시스템이 구성되어 있다.

표 26. 히트펌프 외부열원 종류

외부열원	적용분야	폐열온도	적용설비
폐수열 히트펌프	산업체(전자, 식품, 섬유, 제지, 금속업종, 도계장) 목욕탕, 찜질방, 아파트, 콘도, 레져 스포츠센터, 호텔, 병원 등	10~60°C 10~30°C	폐열회수 히트펌프 폐열회수 보일러
공기열 히트펌프 공기열 수축열	모텔, 병원, 교회, 사무실, 학교, 학원 전화국, 상가, 공장사무실, 기숙사 등 아파트 , 개인사무실, 상가, 학교, 주택, 시설원예	-15°C~ -15°C~	멀티 냉·난방 시스템 수축열 냉·난방시스템 공기열 히트펌프식 냉·난방기
대체에너지 -태양열, 공기열 -지열, 공기열	공공건물, 학교, 사우나시설, 교회, 병원, 모텔 등 건물		Hybrid 시스템
지하수열 하천수,호수열 해수열	주변건물 (호텔, 수련장, 식당, 아파트) 시설원예, 양식장 등	13~15°C 5°C~ 5°C~	폐열회수 히트펌프

히트펌프는 구동 방식에 따라 기계식 · 흡수식으로 나누어진다. 기계식 히트펌프는

압축기를 이용하여 저온저압의 냉매를 고온·고압의 상태로 만들어서 냉각 응축과정을 통하여 열을 방출하는 반면 흡수식 히트펌프는 열에너지를 이용하여 흡수액을 가열하여 냉난방을 한다. 흡수식 히트펌프는 저온의 열에너지를 흡수하는데 효과적인 시스템으로 전력소모가 적고 소음과 진동이 적으므로 운전 및 보수가 용이하며 수명이 길다. 주로 태양에너지 활용 및 폐열 회수에 적용하고자 하는 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.[71]

또한, 열원에 따라 공기열원식·수열원식(폐열원식)·지열원식 등으로 구분된다. 또 열공급방식에 따라 온풍식·냉풍식과 온수식·냉수식, 펌프의 이용 범위에 따라 난방·냉방·제습 및 냉난방 겸용 등으로 분류된다(표 26).

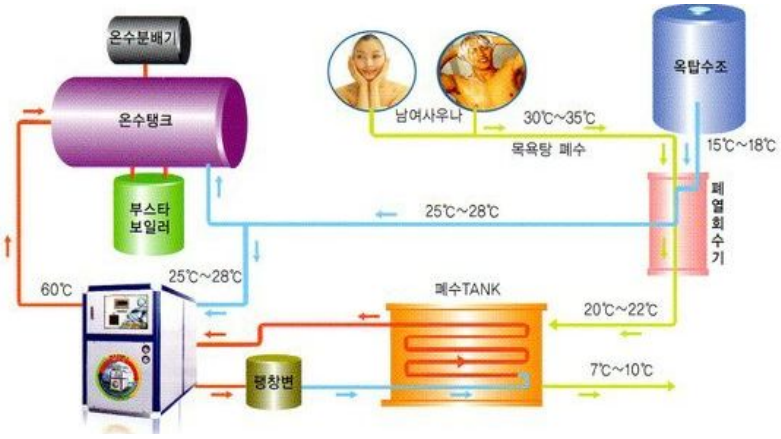


그림 21. 폐수열원 히트펌프

외부열원으로는 폐수열, 폐기열, 냉각수, 하수, 지하수, 해수, 대기 중 공기열 등이 있으며, 그 중 폐수열이 안정적이며, 고효율이다. 그림 21은 폐수열원 히트펌프 과정을 나타낸 것이다. 또한, 기존 유류나 도시가스에 비해 약 50~70%를 절감하여 매우 경제적이다.[72] 경유, 석유 등 인화물질이나 가스 등의 폭발 위험이 없는 안전한 시스템이며, 버려지는 폐열을 활용하여 경제성이 매우 뛰어나고, 타 시스템에 비하여 투자회수 기간이 매우 빠르다. 폐수열 사용 시 폐수 슬러지로 인해 증발기 오염으로 효율저하, 기기손

71) 전관탁, 증기압축식/흡수식 하이브리드 히트펌프 사이클에 관한 최적화 연구, 인하대학교 석사학위논문, 2001
72) 이윤섭, 생활 배수열 이용 축열식 히트펌프 시스템 최적제어 알고리즘 개발, 2차년도 보고서, 2003

상 등의 문제점이 있다.

결국 히트 펌프는 열을 만드는 장치가 아니라 운반하는 기능을 가지고 있으며, 히트펌프란 명칭도 저온의 열을 마치 펌프처럼 고온의 열로 끌어 올리는 장치라는 개념적인 의미로 명명되었다. 또한 여름철에는 온수를 생산하여 냉방을 하므로 최고의 고효율을 낼 수 있는 대체 에너지 절약 기기이다.

히트펌프는 여러 가지 활용 면에 있어서 주변에 존재하는 대체 열원을 사용하기 때문에 열을 공급하는 가장 효율적인 방법을 제시한다. 우리가 춥게 여기는 낮은 온도의 공기·지하· 물이 유용한 열을 함유하고 있으며, 이는 태양에 의해 계속적으로 채워지고 있다. 약간의 추가 에너지를 사용하여, 히트펌프는 온도를 필요한 정도까지 상승시킬 수 있다. 유사하게, 히트펌프는 공정에서 또는 건축물로 부터 환기되어 나오는 공기, 냉각장비 등의 폐수를 열원으로 사용할 수 있어, 예로 전형적인 전기 구동 100kwh 용량의 히트펌프는 주위에서 자유롭게 얻어지는 열원이나, 폐열원으로 부터 200kwh 에너지를 흡수하여, 합계 300kwh 의 유용한 에너지로 바꾸어준다.[73]

이러한 독특한 능력으로 히트펌프는 연료 및 전력과 같은 주된 에너지를 사용하는 가열용 장비의 에너지 효율과 환경 지수를 급진적으로 개선시킬 수 있다. 다음의 6가지 사실은 어떠한 열 공급 설비를 설계할 때 고려되어야 할 점이다.

- 직접 연소로 가열하는 방법은 가장 효율적인 연료의 이용이 아니다.
- 히트펌프는 낮은 온도의 열원에서도 에너지를 사용하기 때문에 가장 효율적이다.
- 연료를 사용하여 보일러를 가동하는 시스템으로부터 전기 구동 히트펌프로 전환하면, 약 65~50%의 절감 효과가 있다.
- 자가의 CHP(열병합 발전설비)로 부터 전기를 공급 받아 전기 구동의 히트펌프를 가동 할 경우 약 50%의 절약을 할 수 있다.[74]
- 화석연료, 원자력, 또는 대체에너지를 사용하여 전기를 생산하여 히터를 가동하는 것 보 다 히트펌프를 가동하는 것이 훨씬 좋은 해결책이다.
- 흡수식 또는 가스엔진구동 히트펌프의 연료소모는 재래식 보일러에 비하여 약 35~50%의 절감을 가져다준다.[75]

---

73) 최병윤, 폐수열을 이용한 복합건물에서의 축열식 히트펌프 시스템 개발, 한국전력공사, 1995
74) 이준영, 히트펌프를 이용한 냉난방시스템의 최적운전제어에 관한 연구, 공주대학교 석사학위논문, 2005

더 나아가 지역난방, 온수생산, 모든 건축물의 냉방의 요구를 충족하여주며, 많은 산업용 가열을 포함하여, 히트펌프에는 커다란 세계적 잠재력이 있다.

지하의 온도는 외기온도와 달리 깊이가 깊어질수록 계절 간 온도차가 작아지며 10m 이상의 깊이에서는 연간일정(연평균 외기온에 거의 같은 온도)한 것을 알 수 있다.[76] 지열에너지(geothermal energy)는 지구 전체규모로 지질학적 현상을 야기하는 지구 내부의 열이다. 최근에는 인간에 의해 발견되고 개발 그리고 개발될 수 있는 지구의 열을 지칭하는 의미로 자주 사용된다.[77]

3.1.3. 태양열 발전시스템

태양열 에너지는 태양으로부터 오는 복사에너지를 흡수하여 열에너지로 변화시켜 바로 이용하거나 저장하여 필요할 때 이용하는 방법과, 복사광선을 고밀도로 집광해서 열발전 장치를 통해 전기를 발생하는 방법이 있다. 그러나 대부분의 경우는 태양에너지를 열에너지로 변환해서 사용하고 있는 실정이다.

가. 태양열 에너지의 특징

태양열에너지의 이용에는 아래의 표와 같이 많은 장점에도 불구하고 여러 가지 보완하고 극복해야 할 단점을 가지고 있다. 따라서 독자적으로 보다는 지열, 풍력, 태양광 등 다른 신재생에너지원과의 복합적인 활용을 통해 이용 효율을 극대화 시킬 수 있을 것으로 보인다.

나. 태양열 시스템의 분류 및 구성

(1) 태양열 시스템의 종류

o 태양열 에너지는 집열온도에 따라서 저온분야와 중고온분야로 분류되며, 저온분야는 주로 건물의 냉난방 및 급탕과 대규모 온수급탕 시슬이 포함되고, 중고온분야는 산업공정열 및 열발전과 기타 특수분야에 이용된다.

---

75) 송병하, 냉온수 겸용 축열시 히트펌프 시스템의 설계 및 성능분석에 관한 실험적 연구, 서강대학교 석사학위논문, 2002
76) 삼건설준공업, 최근의 지중열 히트펌프 시스템, 모아진 설비기술 특집2, 2008
77) 박시삼, 지열의정의, 지반환경 Vol.8-No.1 p.6~18, 2007

표 27. 태양열 에너지의 장단점

장 점	단 점
- 무공해, 무한량, 무가격의 청정에너지원 - 세계 환경규제에 대응 가능한 산업 - 기존의 화석에너지에 비해 지역적 편중이 적은 분산형 에너지원 - 지구온난환 대책으로 탄산가스 배출을 저감할 수 있는 재생가능 에너지원 - 다양한 적용 및 이용성 - 저가의 유지보수비	- 고급 에너지원 이나 에너지 밀도가 낮음 - 에너지 생산이 간헐적임 - 계속적인 수요에 안정적 공급 어려움 - 유가변동에 따른 영향이 큼 - 초기 설비 비용이 많음 - 봄, 여름은 일사량 조건이 좋으나 겨울철에는 불리함

(출처 : 신재생에너지 센터)

o 태양열 시스템은 열 구동장치 유무에 따라 자연형(Passive) 시스템과 설비형(Active)시스템으로 구분

· 자연형 : 온실, Tromb Wall(축열벽체)와 같이 남측의 창문이나 벽면 등 주로 건물 구조물을 활용하여 태양열을 이용하는 장치

· 설비형 : 집열기를 별도로 설치하여 구동장치(펌프 등)를 활용해서 태양열을 집열하는 일반적인 태양열 시스템

※ 집열방식 또는 활용온도에 따라 저온용, 중온용, 고온용으로 분류하기도 함.

(2) 태양열 시스템의 구성

태양열에너지는 에너지 밀도가 낮고 계절별, 시간별 변화가 심한 에너지이므로 집열과 축열기술이 가장 근본이 되는 기술임

- 집열부 : 태양으로부터 에너지를 모아서 열로 변환하는 장치

- 축열부 : 모아진 열을 저장했다가 필요시 사용하기 위한 저장 탱크

- 이용부 : 태양열 축열조에 저장된 태양열을 효과적으로 공급하고 사용량 부족시 보조열원 (보일러 등)에 의해 공급

- 제어장치 : 태양열을 효과적으로 집열, 축열, 공급하기 위한 조정장치

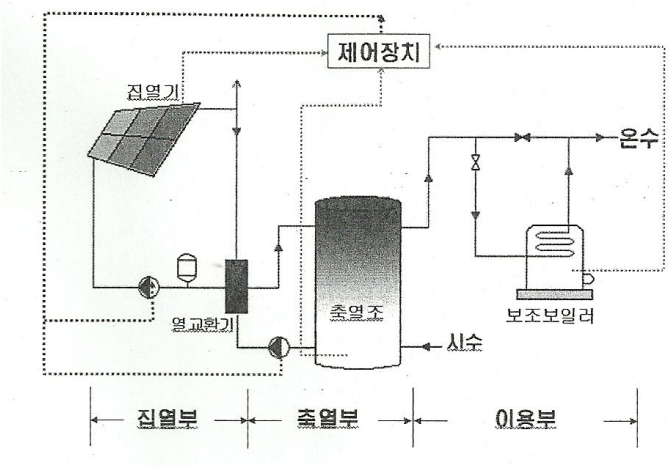


그림 22. 태양열 시스템의 구성
(출처 : 신재생에너지센터 - 신재생에너지 RD&D 전략 2030 [태양열])

다. 태양열 시스템 기술의 분류체계

태양열 기술을 기술개발 및 산업화 기준으로 분류하면 저온 태양열과 중고온 태양열 기술로 크게 나눌 수 있다.

① 저온 태양열 기술의 분류

저온 태양열 기술은 건물 및 산업태양열 기술로서 기존에 개발된 기술을 바탕으로 성능향상 및 신공정 개발과 함께 복합화를 위한 기술로 분류되어 있다. 이와 더불어 기존 산업공정에서 사용되는 화석연료의 사용을 태양열로 대체하기 위한 산업이용 기술개발에 초점을 맞추고 있다.

② 중고온 태양열 기술의 분류

중고온 태양열 분야는 태양열 발전과 태양연료생산 기술을 포함하고 있으며 현재 일부기술이 상용화에 진입한 단계로서 세계적으로 연구개발의 초기단계인 미래 기술이라 할 수 있다. 따라서 중고온 태양열 분야는 연구개발의 초기단계인 요소기술 개발과 이를 이용한 일부 대규모 상용화를 목표로 기술을 분류하고 있다.

③ 태양열 기술트리

태양열 분야를 기술의 정의별로 분류하였을 때, 태양열 분야 핵심기술은 집열기, 축열, 제어/설계, 활용분야/시스템의 4개 분야로 나눌 수 있으며, 각 핵심기술에 해당하는

기술내용은 다음의 표와 같다.

표 28. 태양열 기술트리와 기술내용

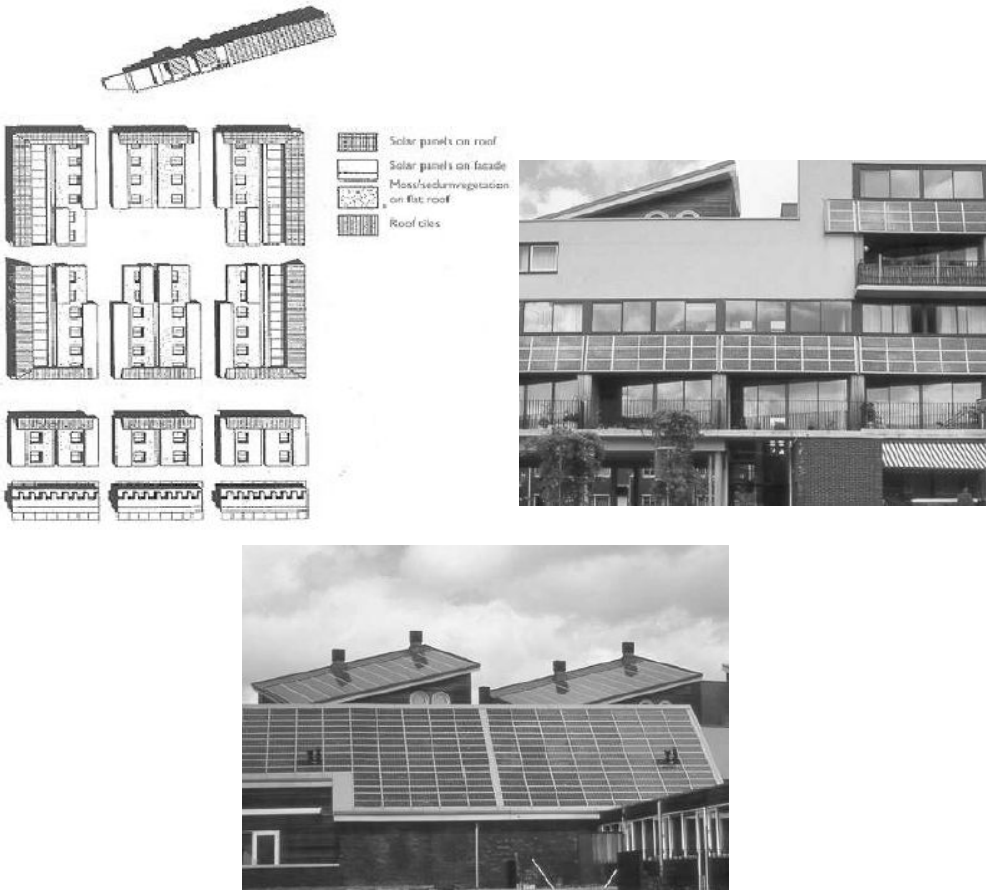
분야	핵심기술	기술내용	
태양열	집열기	평판형	평판형집열기 (Glazed 및 Unglazed 타입)
		진공관형	단일진공관, 이중진공관
		집광형	CPC, PTC, Dish, Power Tower, Solar Furnace(태양로)
		구성요소	반사체, 투과체, 흡수체, 단열재, 히트파이프, 흡수막 코팅, 선택흡수막 코팅, Heliostat
		건물일체형	지붕일체형, 벽면일체형, 창일체형
	축열(조)	축열물질	현열, 잠열 화학 축열 물질
		축열조 설계	현열, 잠열 및 incapsulation, 화학 축열조 구조 설계
		축열조 재질	현열, 잠열 화학 축열조 재질
	제어, 설계	태양추적	장치 및 방법, 센서 및 방법, 추적프로그램 포함
		제어	유량, 온도 제어 및 센서, 시스템 자동운전
		안전	안전, 동결방지
		기타	설계, 검증, 모니터링 기타
	활용분야, 시스템	급탕	온수기, 수영장
		냉난방	주택, 건물, 온실, 건조, 지역 냉난방 및 재료
		자연형 건물	Passive 난방, 자연냉방
		발전	태양열발전시스템 (PTC, Dish, Power Tower) 복합발전
		화학	태양연료(수소생산), 화학반응, 화학공정 등
		기타	산업공정열, 우주용, 농수산, 군용, 해수담수화, 태양열 조리기, 태양열냉동, 태양수처리, 에너지캐빈 등

3.2. 에너지 절약형 설비시스템의 사용 사례

3.2.1. 태양광 시스템 보급 현황 및 건축물 적용 사례

대표적인 도시 차원의 태양광시스템 적용 사례로 1996년 네덜란드 암스테르담 시 외곽에 조성된 공동주택단지 이다. 이 프로젝트의 결과는 신축 공동주택단지DMP 대규모의 태양광시스템을 통합적으로 설치하는 좋은 사례로 이용되고 있다. 암스테르담 전기회사 주관으로 추진되고, 네덜란드 정부가 재정 지원한 본 프로젝트는 250kWp 규모의 BIPV 시스템이 약 70연 채의 주거 건물의 지붕 전체에 적용하거나 벽을 이용하는 등

표 29. 태양광 시스템을 적용하고 있는 국·외 공동주택단지

네덜란드 니유 슬러턴 (Nieuw Sloten)


(출처 : 김준태, 김경호,"도시 차원의 태양광발전 적용", 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 통권3호, 2002,11, p66~67)

다양한 유형으로 건물에 적용 되었다.전체 250kWp 용량 중 20kWp는 4층 높이의 공동주택 입면에 적용 되었고, 16kWp는 이 건물의 옥상층인 지붕에 설치되었으며, 나머지 지붕에도 40kWp 용량의 태양광 시스템이 설치되었다. 가장 큰 용량인 175kWp가 적용된 곳은 34채의 단독주택 지붕이다. 시스템에 의한 연간 에너지 생산량은 400여가구 중 약 80여 가구의 전력 요구량을 충족할 수 있는 정도이다.

일본 후쿠오카 현의 마에바루시에는 세계 최대규모의 수소타운 실증화 연구가 이루어지고 있다. 2008년 10월 11일 처음으로 가정용 수소연료전지시스템 1호가 설치되어

표 60. 수소연료전지를 적용한 일본의 후쿠오카 현

일본 후쿠오카 현의 세계 최대규모 수소타운

(출처 :김갑권 대한건축학회 학술발표대회 논문집 계획계, 제29권 제1호(통권 제53집 2009.10. pp.23-24)

2008년도 말까지 총 150대의 연료전지가 설치되었다. 이는 세계 최대 규모의 수소타운 실증사업으로 2008년부터 4년간에 걸쳐 데이터를 실측하며, 측정된 데이터는 신일본 석유로 전송한 후 분석하여 에너지 저감효과를 검증하게 된다.설치된 제품은 ENE-FARM 제품으로 출력 750W, 종합 효율 80(발전 효율 36%, 열 회수 효율 44%)의 PEFC 수소연료전지이며, 저탕조의 용량은 200리터이다. 이 사업은 후쿠오카 현과 후쿠오카 수소에너지 전략회의가 환경 친화적인 수소에너지 사회를 세계 최초로 구현하기 위하여 전개하고 있는 후쿠오카 수소전략(Hy_Life 프로젝트)의 촉진 결과로 이루어진 것이다. 그러므로 이 사업은 일본석유협회와 세이부가스가 공동으로 추진하고 있으며, 이 시스템을 설치함으로써 1차 에너지는 약 20% 정도, CO_2는 약 30% 정도 저감이 가능할 것으로 판단하고 있다.

3.2.2. 지중열 시스템의 보급 현황 및 건축물 적용 사례

가. 국외 보급 현황

세계적으로 1995년부터 2005년까지 5년 단위로 적용 분야별 지열 에너지 누적 이용 현황을 보면, 2000년과 비교했을 때 주도적으로 지열 히트펌프 시스템의 사용이 세배 이상 증가하였다. 전체 지열 에너지 직접 이용 시설용량 중 54.4%를 차지하고 이용량

중 32%를 지열 히트펌프 시스템이 담당하고 있다. 2005년도 기준 전 세계 지열 히트펌프 시스템 보급대수는 12kW급 히트펌프 유닛으로 환산하였을 때 약 130만대로 추정되며, 지난 5년간 매년 10% 이상의 증가율을 보인 것으로 조사되었다. 특히 서유럽 (오스트리아, 스위스, 스웨덴 등), 터키, 중국 등이 세계 지열 히트펌프 시스템의 보급을 주도하고 있다.[78)]

미국과 유럽의 경우에는 소형시스템 위주의 시장을 형성하고 있으며 넓은 대지 면적으로 기반으로 한 다양한 형태의 지열시스템을 설치, 운영 및 모니터링을 하고 있다. 또한 지열시스템 하나만이 아닌 다양한 열원을 이용하는 하이브리드식 지열시스템의 등장하고 있다. 즉 냉방부하가 많은 건물에서는 냉각탑이 같이 설치되며, 난방이 많은 건물에서는 보일러를 이용하여 지열순환수의 온도를 올리는 시스템도 같이 검토가 되고 있다. 이에 대한 에너지절약 및 이산화탄소 저감량도 적극적으로 모니터링 하고 있다.[79)]

표 31. 활용 방식별 전 세계 지열 에너지 직업 이용 현황 (1885-2005)

구분	시설용량 (MW_t)			이용량(TJ/year)		
	2005	2000	1995	2005	2000	1995
지열 열펌프	15,384	5,275	1,854	87,503	23,275	14,617
지역난방	4,366	3,263	2,579	55,256	42,926	38,230
온실 난방	1,404	1,246	1,085	20,661	17,864	15,742
양식업	616	605	1,097	10,976	11,733	13,493
농산물 건조	157	74	67	2,013	1,038	1,124
산업 이용	484	474	544	10,868	12,220	10,120
온천 및 수영	5,401	3,957	1,085	83,018	79,546	15,742
제설	371	114	115	2,032	1,063	1,124
기타	86	137	238	1,045	3,034	2,249
합계	28,269	15,145	8,664	273,372	190,699	112,441

(출처 : 에너지관리공단 신재생에너지 센터)

78) 에너지관리공단 신재생에너지 센터, “신재생에너지RD&D 전략2030시리즈 지열” 요약
79) 이재진, 법원 건축물의 지열 히트펌프 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원 석사학위논문, 2010

나. 국내 보급 현황

우리나라의 경우 2000년대 전에는 기초 자료 확보를 위한 지열자원 탐사에 주로 투자를 하였으며, 2000년 이후에는 히트펌프를 이용한 건물 냉난방 시스템의 실증과 지중열교환기 성능 확보를 위한 연구에 많이 투자되고 있다.

2004년 4월 이후 공공 건축물에 대한 신·재생에너지 종류의 적용건수로 지열 시스템이 전체 적용건수의 80% 가까이 차지하고 있다. 이 중 법원의 시공현황을 살펴보면 2010년 현재 2개 청사가 지열 히트펌프시스템이 운영중에 있으며, 5개 청사가 설치 중에 있다.[80]

표 32. 지열 히트펌프 시스템 운영중인 정부청사

○○ 청사	위 치	경기도 안양시
	규모 및 용도	19,117 m^2 업무시설
	용량 및 천공수	120RT, 40공(180m)
	히트펌프 형식	수직밀폐형 Water - Water
	준공연월	2008년 12월
○○ 청사	위 치	충청북도 영동군
	규모 및 용도	4,989,96 m^2 업무시설
	용량 및 천공수	50RT, 16공(150m)
	히트펌프 형식	수직밀폐형 Water - Water
	준공연월	2007 년 9월

(출처 : 이재진, 법원 건축물의 지열 히트펌프 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원 석사학위논문, 2010)

3.2.3. 태양열 시스템 보급 현황 및 건축물 적용 사례

아파트의 벽이나 지붕에 집열판을 넓게 설치해서 아파트 전체에서 필요한 열의 일부 또는 전부를 공급할 수도 있고, 여러 개의 주택을 하나로 묶어 지붕 위에서 만들어진 열

80) 이재진, 법원 건축물의 지열 히트펌프 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원, 석사, 2010

을 한 군데에 모았다가 대단위 난방을 할수도 있다. 이 경우에 필요한 것은 집열판의 규모에 맞는 커다란 축열조와 비교적 정밀한 열 조절시설이다. 태양열을 이용해서 대단위로 난방열이나 온수열을 공급하는 일은 스웨덴에서는 이미 20년 전부터 시행되어 왔고, 독일 등지에도 퍼져나가고 있다.[81]

표 33. 태양열 시스템을 적용하고 있는 국내·외 공동주택단지(1)

독일 함부르크 브람펠트 (Bramfeld)[82]

(출처 : 에너지전환,"http://energynision.org")
(출처 : 김희춘 외 4명, “과천태양열주택건설 종합보고서”, 대한주택공사, 1981.12, p.68)

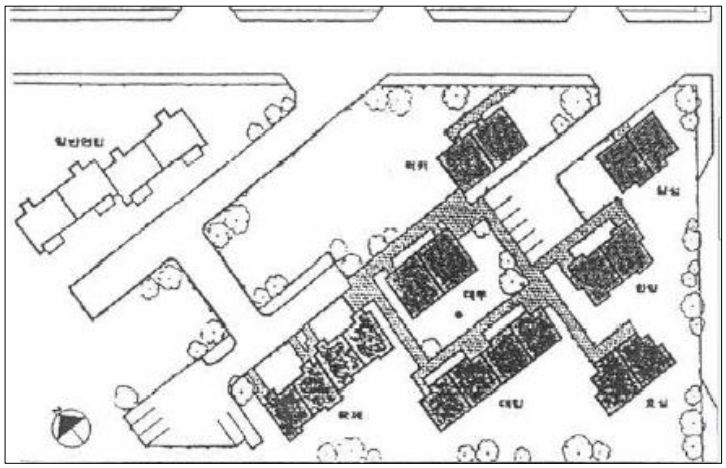
독일의 브람펠트 신 주거 단지는 주택들의 남쪽 면을 향한 지붕이 모두 집열판으로 덮이도록 설계되어 있으며, 이곳에 사는 124가구가 이 태양열 집열장치의 혜택을 받고 있다.

브람펠트 주거단지 집열판의 전체 면적은 3,000m^2이고, 집열판에서 얻어지는 뜨거운 물을 보관하는 콘크리트 축열조는 지름이 26Cm, 깊이가12cm, 부피가 4,500m^3로 구성되어 있으며, 4월-9월 사이에 만들어진 열을 대형 축열조에 축열하여 겨울에 공급한다.

81) 정선미, 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2009
82) 에너지전환,"http://energynision.org"

그 결과 브람펠트 거주 지역의 난방, 온수용 가스사용량이 50% 감소한 것으로 나타났다.

표 34. 태양열 시스템을 적용하고 있는 국내·외 공동주택단지(2)

과천 태양열 주택


(출처 : 에너지전환,"http://energynision.org")
(출처 : 김희춘 외 4명, “과천태양열주택건설 종합보고서”, 대한주택공사)

과천 태양열 주택단지는 15° 경사의 관악산 언덕 위에 자리 잡고 있어 태양열 난방을 위한 일사조건에 부합된다. 연평균 일조율은 55.2% 정도로 비교적 양호한 편으로 1월에 59.2% 2월 60.6%, 10월 67.0%, 11월 59,0%의 좋은 일조율을 나타내고 있어 태양열난방을 하기에는 좋은 입지 조건이다.

자연형 태양열 난방방식은 축열벽 방식과 직접획등 방식을 병요한다. 모든 침실과 거실은 남쪽에 배치하고, 평면의 일부는 단층식을 취하여 북측 벽의 표면적을 감소시킴으로써 건물 자체가 보온에 유리한 형태를 갖추게 하였다. 축열벽은 비대류식을 설치하였는데, 대류식 축열벽보다 축열양이 증가되는 이점이 있어 야간 난방에 유리하다.

설비형에서 난방시스템은 주로 Panel Heating을 사용하였다. Panel Heating은 난방열매 공급 온도가 다소 낮더라도 난방 효과를 얻을 수 있다. 모든 기기의 가동은 자동제어기기에 의한 전자동 방식이다.

4. 에너지 절약형 설비시스템의 적용을 위한 조사

4.1. 설문조사의 개요

4.1.1. 설문의 목적

본 설문조사의 목적은 환경 배려 의식과 에너지 절약 설비의 도입 촉진과 보급을 위해 일반이용자를 대상으로 에너지 절약 건축물에 필요한 설비시스템의 인식을 조사함으로써 보다 실증적인 데이터를 수집하는 것이다.

또한, 지구 온난화 가스 배출억제 및 각종 국제적인 환경변화에 적극적으로 대처하기 위해 이용자(거주자)의 요구를 분석하여 에너지 절약 건축물에 필요한 설비시스템을 설계함으로써 보다 실증적인 연구결과를 도출하는 것에 목적을 두고 있다.

4.1.2. 조사 대상 선정 및 표집

현재 국내 주택유형을 살펴보면 아파트가 52.7%(6,963천호)로 가장 많고 단독주택, 다세대주택 등의 순으로 나타났으며, 아파트가 전체 주택의 절반을 넘어서는 결과가 나타났는데, 본 설문의 조사대상은 현재 광주광역시의 아파트에 거주하는 거주자들로써 차지하는 비중은 85%이다.[83] 연령은 20세 이상(만 19세 이상)으로, 광주/전남에 거주하는 시민으로 하였다.

설문지는 전체100부를 배부하여, 100부(100%) 모두 설문에 응답해 주었다. 그 중 설문응답이 불성실하거나 바르게 조사되지 못한 설문지 5부를 제외했다. 그래서 전체 100부에서 95부(95%)를 분석하였다. 설문지 배부한 수, 회수한 수, 분석한 수를 나타냈으며, 그 결과는 표 38과 같다.

83) 통계청(2005. 11월 기준)

표 35. 대상별 설문지 배부한 수, 회수한 수(회수율), 분석한 수(분석율)

대상	배부한 수	회수한 수(회수율)	분석한 수(분석율)
이용자	100부	100부(100%)	95부(95%)

본 설문조사는 2009년 6월 29일부터 7월 30일까지 한 달 동안 실시하였다. 설문조사 과정은 조사자가 직접 현장시공자와 이용자를 만나 설문지를 전달하고, 조사목적, 설문방법, 시행상의 유의 사항을 설명하는 방식을 채택하였다. 그리고 조사 대상자가 직접 설문지를 작성하도록 하고, 작성된 설문지는 그 자리에서 바로 회수하는 방법으로 진행하였다.

4.1.3. 설문문항의 구성

설문 문항은 친환경 문제를 고려한 설비 투자비용에 관한 조사와 친환경 주택의 선호도 조사, 에너지 절약 설비시설 도입에 대한 선호도 조사, 도입효과에 따른 투자비용 조사, 에너지 소비 습관 조사, 인적 사항 조사로 구성되어 있다. 설문조사의 내용은 표 36과 같다.

표 36. 설문조사의 목적과 내용

설문 목적	설문 내용
설비 투자비용 인식 조사	도입효과에 대한 투자비용/설비시스템에 대한 투자비용
설비시설 이해	용어이해/각 설비시설에 대한 우선 순위 조사
에너지 소비 습관 조사	냉, 난방 온도 조사/조명기구 소등 조사/ 불필요한 물 절약/에어컨 필터 청소
인적사항 조사	조사대상자의 인적 사항 조사

특히 주거 형태, 직업 등 거주자의 일반적인 특성에 따른 설비시스템의 인식과 요구, 투자비용, 각 설비시설에 대한 우선 순위 등 연구문제를 제시하여 연구모형을 도출하였다,

위와 같은 설문조사를 통하여 거주환경에 따른 설비시스템의 선호도 및 투자비용을 분석하여 설비시스템 설계 및 보급 가능성을 알아보고자 한다.

4.1.4. 자료의 분석방법

본 설문조사의 자료 분석은 SPSS 17.0 통계프로그램을 사용하여 빈도분석 및 기술통계, 신뢰도분석(Cronbach's α), 교차분석, 상관분석(Pearson의 상관계수) 등을 실시하였다.

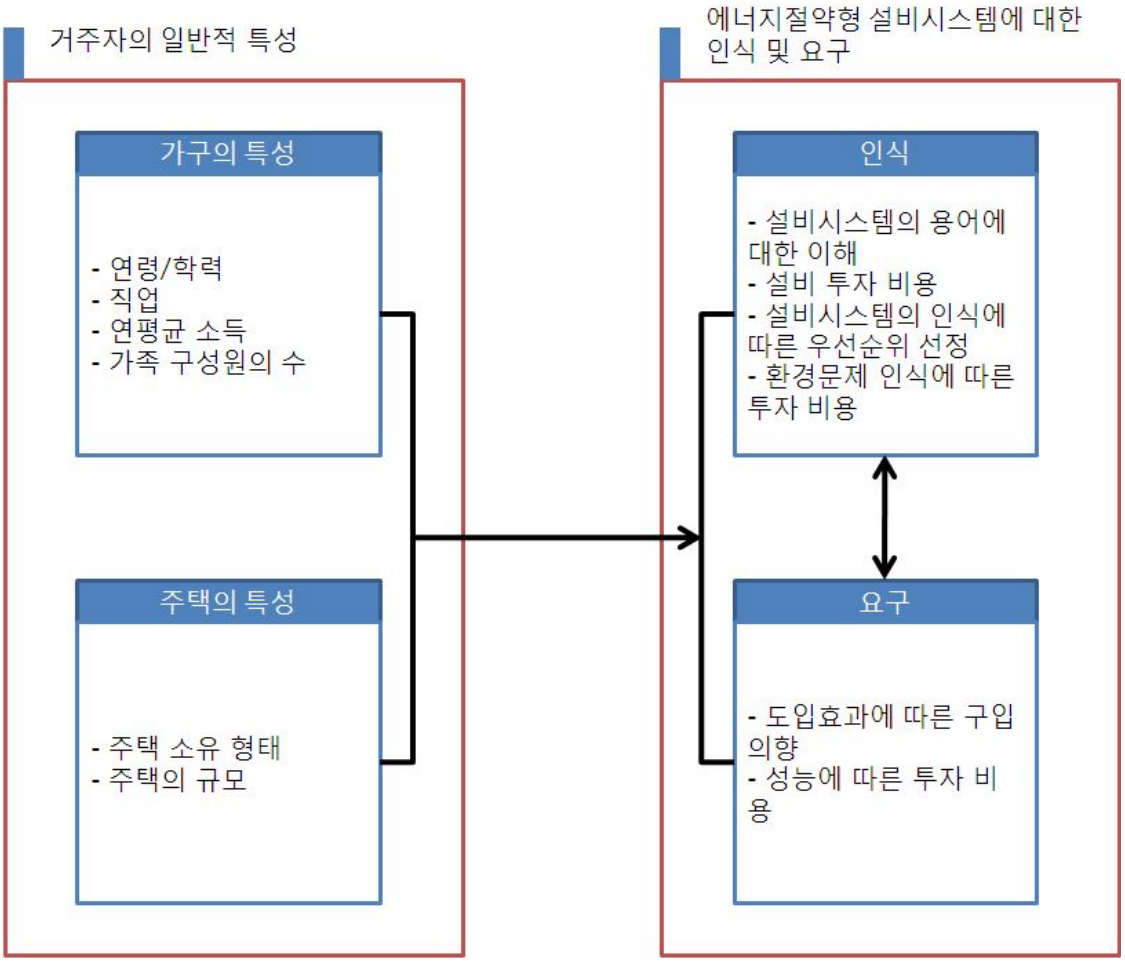


그림 23. 연구모델

Cronbach's α 분석은 신뢰성 분석으로 측정도구의 신뢰성(reliability)을 확인하기 위

한 분석방법으로서 여기서 측정도구는 연구에 사용된 설문지로 보다 구체적으로 설문지의 문항 정도를 말한다.

가장 널리 사용되는 신뢰도 계수는 Cronbach's alpha로 신뢰도 계수 alpha(α)는 검사의 내적 일관성(internal consistency)을 나타내는 값으로서 한 검사 내에서의 변수들간의 평균상관관계에 근거해 검사문항들이 동질적인 요소로 구성되어 있는지를 알아보고자 하는 것이다.

교차분석은 범주형 자료(명목 혹은 순서척도)인 두 개 혹은 그 이상의 변수에 대한 변수들의 관련성을 알아보기 위한 방법으로 결합분포를 나타내는 분할표를 작성함으로써 변수 상호 간의 독립성과 관련성 존재 연부를 분석하는 것을 교차분석이라고 한다.

상관분석은 두 변수간에 어떤 선형적 관계를 가지고 있지를 분석하는 방법이다. 두 변수는 서로 독립적인 관계로부터 서로 상관된 관계일 수 있으며 두 변수간의 관계의 강도를 상관관계(Correlation, Correlation Coefficient)라 한다. 상관분석에서는 상관관계 정도를 나타내는 단위로 모상관계수 ρ를 사용한다.

각 분석내용별 적용통계분석법은 표 37과 같다.

표 37. 자료 분석 방법

분석내용	적용통계분석법
거주자의 일반적 특성(성별, 연령, 직업, 연간 소득, 주거형태, 주거소유형태, 거주자 수)	빈도 분석 및 기술통계
각 설비시스템 인식, 요구항목 신뢰도 검증	Cronbach's α
대상자의 일반적 특성과 설비시스템의 투자비용과 요구의 항목응답 분석	교차분석
대상자의 특성과 인식, 요구의 상관성 분석	상관분석

4.2. 설문조사 결과 및 해석

4.2.1. 설문지의 신뢰도와 타당도 검증

설문조사에서 인식의 신뢰도 분석결과 Cronbach's α 계수[84]는 0.726이었다. 즉, 기

84) 일반적으로 신뢰성 Cronbach's α 계수는 0.6 이상이면 사회과학적으로 신뢰성이 있다고 할 수 있다.(SPSS 사회과학통계분석,한나래 아카데미, 2009) ; 일반적으로 신뢰성 Cronbach's α 계수는 0.7이상 되어야 한다.

준 값인 0.7을 조금 상회하는 것으로 나타났다. 그리고 개별 설문문항의 전체와의 상관을 분석한 결과 항목과 전체의 상관관계를 나타내는 값은 r[85]값이다. 이 r값이 0.5이상인 문항은 '건축물 환경성능 평가와 연료전지의 용어 이해', '태양광발전과 단열성능 용어 이해', '연간 CO_2 삭감량에 따른 구입의향을 묻는 총 3문항이었다. 즉 용어이해 및 도입효과에 따른 구매의향을 묻는 문항이 가장 높은 상관관계가 나타났다.

0.3이상~0.5미만인 문항은 '에너지 절약 행동과 친환경 주택의 선호도', '에너지 절약 행동과 용어이해' , '도입효과에 따른 구입의향' 의 12문항이었다. 마지막으로 0.3미만이 '주택구입시 환경문제를 고려한 설비투자인식조사', '설비시설에 대한 선호도' 등 12문항이었다.

친환경 건축물 및 설비시설 보급 가능성에 대한 인식조사는 27문항 중에서 15문항은 r값이 0.3이상으로 신뢰성이 있는 설문문항이었고, 나머지 12문항은 0.3미만이었다. 그러나 내용구성상 상호연결되는 의미를 가지므로 설문문항에 포함하였다.

표 41은 친환경 건축물 및 설비시설 보급 가능성에 대한 인식의 신뢰도 분석 결과를 나타낸다.

많은 변수의 상호관련성을 소수의 기본적인 요인으로 집약하는 방법의 하나로 전체변수에 공통적인 요인이 있다고 가정하고 이 요인을 찾아내어 각 변수가 어느 정도 영향을 받고 있는지 그 정도를 산출하며, 그 집단의 특성에 대해 기술하려는 통계가 요인분석이다. 목적은 여러 개의 변수들에 내재된 정보를 최대한 사용하여, 보다 적은 수의 요인들로 압축, 요약하는데 있다.

요인분석 안에서 제시된 Bartlett test of Sphericity의 구형성 검정은 변수가 다변량 정규분포를 이룬다는 가정 하에 변수간의 상관계수행렬이 항등행렬인지를 검정하는 기법으로 상관계수행렬의 행렬식을 변환한 카이제곱 검정에 기초를 두고 있다. 따라서 이 검정은 분석대상이 되는 변수들의 두 변수 간에는 상관관계가 없다는 것을 검정하는 것이다. 즉 , 이 검정에서 유의확률 값이 커 귀무가설을 기각하지 못한다면 요인분석의 사용은 바람직하지 않다. 또한, kaiser-Meyer-Olkin은 분석대상의 변수가 요인분석에 적

(최태성, 김성호, 2001)

85) 항목 간 상관관계에서 같은 개념을 측정하는 항목 간에는 상관계수가 있어야 하는 데 기반을 두고 있다. 일반적으로 이 상관계수는 0.3이상이 되어야 한다.(최태성, 김성호, 2001)

합하려면 변수 간의 상관계수는 크고, 편상관계수[86]는 작아야 한다.

표 38. 친환경 건축물 및 설비시설 보급 가능성에 대한 인식의 신뢰도 분석 결과

항목 총계 통계량					
	항목이 삭제된 경우 척도 평균	항목이 삭제된 경우 척도 분산	수정된 항목-전체 상관관계	제곱 다중 상관관계	항목이 삭제된 경우 Cronbach a
A1	53.82	68.394	-.110	.415	.772
A2	56.01	63.402	.316	.581	.714
A3	54.90	64.039	.364	.515	.713
A4	55.00	63.073	.425	.517	.709
A5	55.29	61.964	.464	.616	.705
A6	55.78	62.099	.522	.698	.704
A7	55.29	63.818	.333	.328	.714
A8	55.36	60.819	.548	.781	.700
A9	55.83	63.605	.379	.659	.712
A10	54.99	64.378	.292	.572	.716
A11	55.23	60.642	.563	.736	.699
A12	55.12	65.424	-.018	.215	.766
A13	55.27	65.831	.110	.551	.728
A14	55.22	62.416	.383	.556	.710
A15	55.28	64.837	.197	.472	.722
A16	55.65	63.718	.262	.586	.718
A17	55.28	62.300	.443	.717	.707
A18	55.07	63.531	.340	.647	.713
A19	55.90	63.942	.257	.566	.718
A20	55.20	63.921	.293	.707	.716
A21	55.05	64.266	.276	.542	.717
A22	56.08	64.542	.348	.411	.715
A23	56.22	66.660	.141	.424	.724
A24	56.10	64.381	.304	.393	.716
A25	55.58	64.174	.301	.395	.716
A26	55.43	65.200	.176	.608	.723
A27	55.52	63.643	.279	.525	.716

그래서 친환경 건축물 및 설비시설 보급 가능성에 대한 인식에서 Bartlett Test of Sphericity 값은 961.044이고, 유의확률은 0.000이 나와 귀무가설을 기각하였다. 또한 Kaiser-Meyer-Olkin값[87]은 0.738로 약 74%의 설명력을 나타내고 있다.

86) 다른 변수들의 효과를 통제한 후의 두 변수 간의 상관계수를 말한다.

87) Kaiser-Meyer-Olkin 값은 1에 가까울수록 요인분석에 적합한 변수들로 구성되어 있다고 할 수 있으며, 0에 가까울수록 부적합하다고 할 수 있다. 요인분석의 효과가 나타나려면 이 값이 최소한 0.6 이상은 되어야 한다.(최태성, 김성호, 2001)

4.2.2. 조사 대상자의 배경 및 특성

설문 대상의 특성을 알아보기 위하여 연령, 직업, 연간소득, 가족 구성원수, 주거형태, 주거소유형태 등을 조사하였다. 그 결과는 표 42와 같다.

설문 대상 연령은 40대가 47.9%로 가장 많이 조사되었으며, 50대가 13.5%로 다음으로 높았고, 20대 이하가 10.4%로 가장 낮은 비율을 나타냈다.

직업별 분포는 회사원이 56.2%로 가장 높으며, 전문직이 14.6%, 기타 11%, 순으로 나타났고, 학생과 무직 2.1% 순으로 가장 낮은 비율을 나타냈다. 기타 항목은 자영업, 운수업 등으로 조사되었다. 가족구성원 수는 63.7%의 가구가 3~4인으로 구성되어 있었으며, 1~2인이 29.7%, 5~7인이 6.6%의 비율을 나타내고 있다. 여기서 무응답은 빈도는 5명으로 조사되었다.

표 39. 조사대상자의 일반적인 특성

구분	세부 항목	빈도	백분율(%)
성별	남자	41	8.5
	여자	55	91.5
연령	20대	10	10.4
	30대	27	28.2
	40대	46	47.9
	50대	13	13.5
직업	회사원	54	56.2
	공무원	3	3.1
	전문직	14	14.6
	학생	2	2.1
	주부	10	10.4
	무직	2	2.1
	기타	11	11.5
거주자수	1~2명	27	29.7
	3~4명	58	63.7
	5~7명	6	6.6
주거형태	아파트	82	85.4
	단독주택	14	14.6
주거소유형태	자가	71	74
	전세(임대)	20	20.8
	월세	2	2.1
	기타	3	3.1
거주면적(평형)	30평 미만	29	30.2

구분	세부 항목	빈도	백분율(%)
	30평~40평미만	45	46.8
	40평~50평미만	10	10.4
	50평 이상	11	11.4
연간소득	1500만원 미만	2	2.1
	1500~2000만원	3	3.1
	2000~3000만원	13	13.5
	3000~5000만원	23	24
	5000~7000만원	19	19.8
	7000~1억원	16	16.7
	1억원 이상	4	4.2

주거형태는 아파트와 단독주택을 비교하였으며, 아파트 76.6%, 단독주택 23.4%로 아파트의 비율이 가장 높았다. 주거소유형태는 자가 소유가 78.7%로 가장 많았고 임대소유가 19.1%로 나타났다. 주택규모는 30평형 미만이 30.2%, 30~40평형 미만이 46.8%, 40~50평명 미만이 10%, 50평형 이상이 11%로 나타났다. 무응답수는 1%로 나타났다.

연간소득에서는 3,000~5,000만원이 13.5%, 5,000~7,000만원이 24%로 나타났으며, 7,000~1억원의 소득은 16.7%로 나타났다. 2,000~3,000만원이 13.5%, 1,500만원 미만 2.1%, 1억원 이상이 4.2%로 나타났다. 무응답은 16.7%로 조사되었다.

4.2.3. 일반적인 에너지 소비행동

일상생활 속에서 환경문제를 고려하여 에너지 효율 향상과, 절약에 방법이 얼마나 습관화되어 있는지, 또한 조사로 인한 사람들의 환경문제에 대해 어떻게, 그리고 어느 정도 인식되고 있는지에 대해 분석하였다.

분석 항목은 국토해양부에서 제시한 여러 가지 에너지 절약 방안에 대한 근거에 의해 우리 생활에서 에너지를 절약할 수 있는 대표적인 방법들이다.

1) 냉·난방 시, 커튼이나 블라인드를 사용한다.

커튼이나 블라인드를 사용함으로써 창의 틈으로 공기의 유입을 차단하는 효과를 얻을

수 있다. 이중창과 비슷한 원리로 창과 실내와의 사이에 공기층을 만들어 창에서 1차로 공기의 유입을 차단하며, 커튼(블라인드)과 창 사이에 공기층에서 2차 차단 그리고, 커튼에 의해 3차까지 차단 할 수 있다.

2) 에어컨의 필터는 자주 청소를 한다.

에어컨의 필터 청소 시, 공기의 원활한 순환과 열교환기의 기능회복으로 냉방효율을 높여 에어컨 성능을 향상시킬 수 있다. 이로 인한 기기의 부하가 줄어들고 불필요한 기기의 작동이 줄어들면서 에너지를 절감시킬 수 있다.

3) 샤워를 할 때 불필요한 겨우 물을 잠근다.

샤워시 대부분 사람들이 샤워가 끝날 때 까지 샤워기를 틀어놓기 때문에 꽤 많은 물이 소비된다. 샤워를 하는 동안에도 조금만 주의를 기울이는 습관을 갖는다면 많은 에너지를 줄일 수 있다.

4) 백열등의 사용을 피하고 형광등을 사용하고 있다.

백열등을 전구형 형광등으로 교체하였을 때 65~70%의 절전이 가능하고, 8배의 수명연장 효과가 있다.

5) 조명기구를 사용하지 않을 때는 항상 소등한다.

5가지 항목을 바탕으로 조사 분석한 결과 그림 24와 같다.

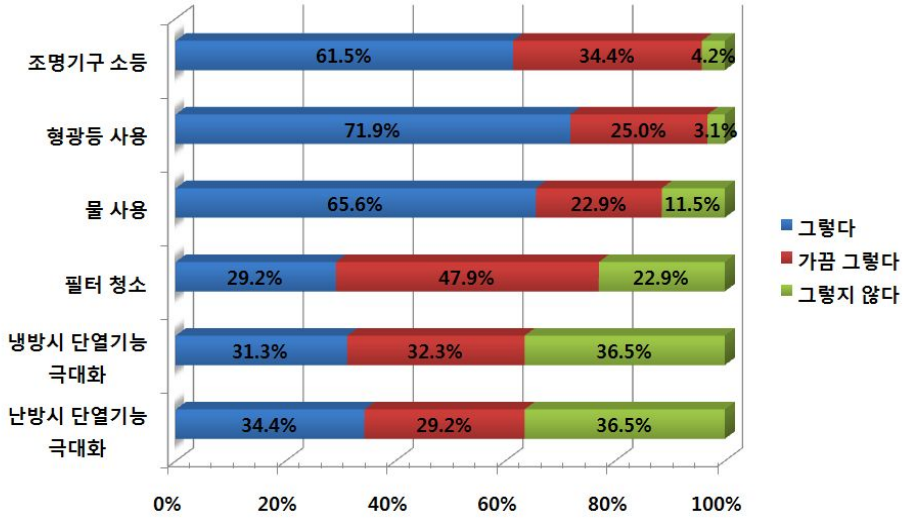


그림 24. 조사대상자의 에너지 소비행동 결과

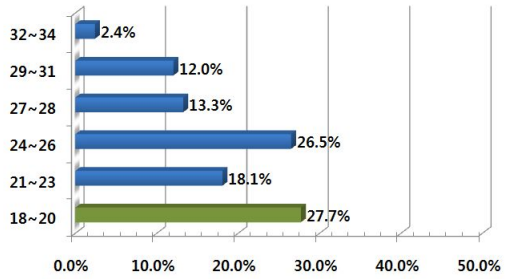


그림 25. 평소 난방 설정온도

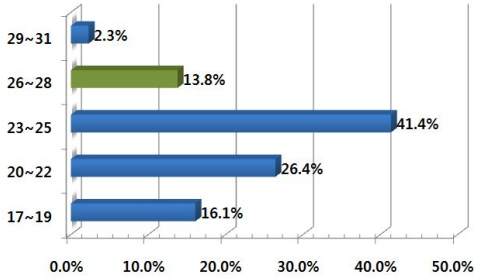


그림 26. 평소 냉방 설정온도

환경문제를 고려한 실생활이 얼마나 습관화되어 있는지를 조사한 결과 백열등 대신 형광등의 사용에 있어서 '그렇다'가 차지하는 비율이 71.9%로 가장 높게 나타났다. 그 다음 샤워 시 효율적인 물의 사용, 조명기구 미사용 시 소등이 각각 65.6%, 61.5%로 높게 나타났다. 일반적으로 대부분에 사람들이 올바른 조명기구와 물의 사용이 보편화되어 있음을 알 수 있다.

난방, 냉방 시 단열기능의 극대화를 위한 커튼과 블라인드에 사용이 34.4%, 31.3%의 비율로 비슷하게 나타났다. 그리고 빈번한 에어컨 필터 청소가 29.2%로 가장 일반화 되어 있지 않음을 알 수 있다. 이 조사결과 냉·난방 시 단열에 기능에 극대화를 위한 커튼

과 블라인드에 사용과 에어컨 필터 청소를 하였을 때 얻을 수 있는 효과에 대해 많은 사람들에게 인식되어있지 않음을 알 수 있다.

따라서 친환경 건축물 관련 전문가 및 관련 기관에서는 일반인에게 환경문제에 대한 심각성을 몸소 실감하게 하고, 그 환경문제를 해결하기 위해 실생활에서 부터 잘못된 에너지 사용의 습관을 고칠 수 있도록 보다 강화된 교육 및 홍보가 필요한 것으로 판단된다.

평소 냉·난방 시 설정온도에 대해서 조사하였고 얼마나 적정온도에 선을 지키고 있는지에 대해 분석하였으며, 분석결과는 다음 그림 25, 26과 같다. (주로 겨울철에는 섭씨 18~20℃, 여름철에는 섭씨 26~28℃가 실내적정온도라고 한다. 녹색계열에 그래프는 겨울철, 여름철 적정온도를 나타낸다.)

냉방 시 설정온도에 대해 설문조사한 결과 냉방 하한선(섭씨 26℃)보다 낮은 23~25℃가 41.4%로 가장 크게 나타났다. 그 다음 설정온도 17~19℃가 26.4%로 높게 나타났으며, 17~19℃가 16.1%를 차지하였다. 여름철에 실내 적정온도 범위인 26~28℃가 네 번째 순으로 13.8%가 설정온도로 하고 있었다. 적정온도 이상에 온도인 29~31℃는 2.3%로 조사되었다.

냉방 설정온도에 대한 조사를 분석한 결과 냉방 시, 실내 냉방 하한선 이하의 온도에 설정이 차지하는 비율이 무려 83.9%로 나타났다. 많은 사람들이 적정온도 선을 지키지 않고 이에 대한 인식이 부족함을 알 수 있다.

난방 시 설정온도에 대해 조사한 결과 겨울철 실내 적정온도 범위인 18~20℃가 27.7%로 가장 높게 나타났으며, 난방 상한선(섭씨 20°)보다 높은 24~26℃가 26.5%로 두 번째로 높은 비율을 차지하고 있다. 그 다음은 13.3%의 비율로 21~23℃가, 그 이상의 온도(~34℃)가 14.4%를 차지하였다.

난방 설정온도에 대한 조사를 분석한 결과 난방 시 실내 적정온도 범위가 27.7%로 가장 높게 나타났으나, 차지하는 비율의 수치는 높지 않다. 실내 난방 하한선 이하의 온도로 72.3%가 적정온도를 지키지 않고 있음을 알 수 있다.

냉방, 난방 시 설정온도를 비교했을 때, 냉방 시 보다 난방 시 약 13.9% 더 많은 사람들이 적정온도 범위를 지키고 있음을 알 수 있다. 하지만 냉·난방 시 적정온도의 범위로 설정하는 경우가 각각 13.8%, 27.7%로 낮게 나타났다.

정부가 내년부터 2011년까지 단계적으로 모든 건물의 냉난방 온도 상한을 정하고, 이를 어겼을 때에 과태료를 물게 한다고 한다. 일상생활 속에서 부터에 에너지를 절약하기 위해 이러한 정책뿐만 아니라 교육이 필요할 것이다. 여름철에는 전자제품의 이용을 줄여 실내온도를 줄이며, 냉방 시 선풍기와 동시 사용하며, 에어컨 필터 청소를 보편화 시킴으로서 에너지의 효율성을 높일 수 있도록 권고해야한다. 냉·난방 시 설정온도에 대한 적정온도가 뚜렷하게 인식할 수 있도록 하며, 에너지 문제와 절약의 필요성 및 설정온도를 지켰을 때에 절약할 수 있는 에너지 정도 등 구체적인 사회인식이 필요하다.

4.2.4. 조사대상자의 일반적 특성과 투자비용 비교 결과

그림 24는 친환경주택의 주거 선호도 조사결과를 나타낸 결과이다. 조사대상자 대다수가 친환경주택에 살기를 원하는 것으로 그 비율은 89%로 나타났다. 이는 경제적 여건만 된다면 친환경주택에 거주하기를 원한다고 볼 수 있다. 그림 27은 조사대상자의 용어 인식률에 대한 결과로 내용을 알고 있거나 용어만 들은적이 있는 단열성능이 가장 인식률이 높은 것으로 나타났다. 다음은 태양광전지가 높았다. 단열과 태양열은 현재 많은 적용이 되었기 때문에 인식률이 높은 것으로 사료된다. 반대로 히트아일랜드, 지속가능한 건물, 지중열 히트펌프 등의 용어들의 인식률은 미흡한 것으로 나타났다.

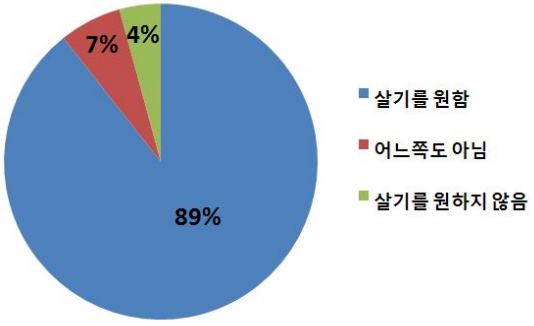


그림 27. 조사대상자의 친환경주택의 주거 선호도 조사

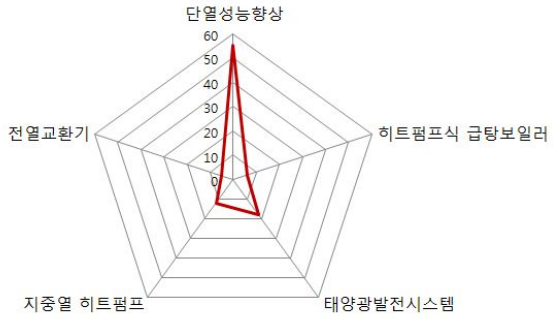


그림 28. 설비시설에 따른 주택 구입 의향

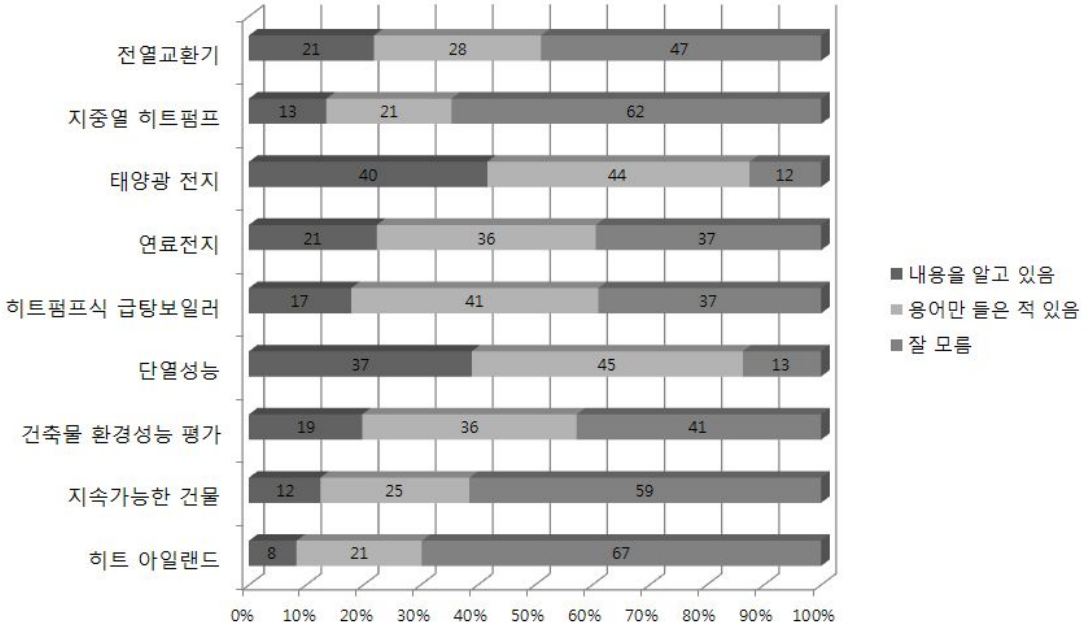


그림 29. 조사대상자의 용어의 이해

이와 같은 조사대상자의 용어 이해도를 바탕으로 설비시스템에 따른 주택 구입 의향은 단열성능향상이 가장 높았다. 단열성능향상은 대부분의 거주자들이 단열에 대한 인식이 뚜렷하기 때문에 단열성능향상을 가장 손꼽고 있는 것으로 사료된다. 다른 설비시스템에 대한 인식이 부족하거나 홍보 부족으로 알려지지 않은 설비시스템에 대한 부분을 경제적인 측면으로 고려할 때 각각의 설비시스템에 대한 설치비 및 보조금 등을 비교분석하여 가장 합리적이고 효율적인 친환경 설비시스템에 대한 조사하였다. 표 40은 친환

경 건축물에 많이 도입되는 설비시스템의 시공비용을 나타낸다. 비교적 설치 비용이 많은 태양광 발전시스템, 지중열 시스템, 연료전지의 경우 , 정부 보증금에 의해 사용자 부담이 많이 줄어드는 것으로 나타났다.

표 40. 친환경 설비 시공비용

구 분	설치비용		
	총 설치비용	정부 보조금	사용자 부담금
태양광발전[3KW]	2000만원	1200만원	800만원
지중열 히트펌프[주택 35평기준]	2800만원	1400만원	1400만원
전열교환기[교환기+닥트]	400만원	-	400만원
히트펌프식 급탕보일러[30평기준]	850만원	-	850만원
연료전지[가구당]	6000만원	5400만원	600만원

친환경 설비 시공비용을 검토 하였을 때 지중열 히트펌프, 태양광발전, 연료전지의 친환경설비가 “2020년까지 그린홈 100만호 건설”에 따른 정부보조금을 제외하고 사용자가 부담하는 금액이 각각 1400, 800, 400, 600만원으로 조사 되었다. 또한 정부 보조금이 없는 전열교환기 및 히트펌프식 급탕보일러의 사용자 부담금액이 각각 400, 850만원으로 조사 되었다. 즉, 위의 친환경설비 시스템의 사용자 부담금이 응답자가 대답한 예상비용 범위 안에서 적정수준으로 나타나 경제적인 측면에서 설비시스템의 도입이 원활할 것으로 분석된다.

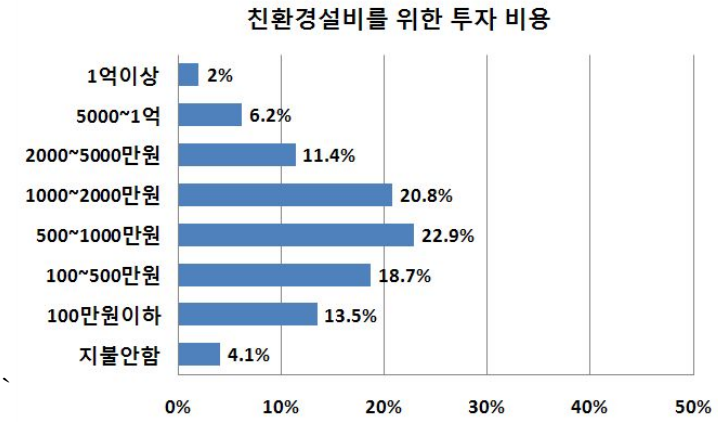


그림 30. 친환경설비를 위한 투자비용 조사결과

그림 30은 조사대상자가 에너지 저감 시스템에 투자하는 비용으로 적정하다고 판단하는 금액의 비율을 나타낸 것이다.

조사대상자의 친환경설비 투자비용에 대한 비율을 검토한 결과 100만원에서 500만원까지를 선택한 응답자가 22.9%로 가장 많았으며, 1000만원에서 2000만원 까지가 20.8% 그리고 100~500만원 사이가 18.7%로 나타났다. 이는 친환경주택을 위한 설비투자금액을 다수의 응답자가 2,000만원 까지 고려하고 있다고 사료된다.

직업에 따른 에너지 저감 시스템 투자와의 관계에서는 그림 31과 같다.

회사원의 경우 지불안함~1억원이상 까지 다양한 조사결과가 나타났다. 전문직의 경우도 회사원과 비슷한 분포를 보이고 있다. 이는 연간소득에 따라 투자비용이 다양하게 나타난 결과라고 사료된다. 또한 10대 정책 방향을 세워 강력하게 진행을 함에도 아직은 전달방법에서 많은 한계점이 있어 인식의 수준이 낮은 것에 따라 투자방향은 다양하게 나타난 것으로 사료된다.

연간소득에 따른 에너지 저감 시스템 투자비용에 대한 인식은 대부분 유의하지 않는 결과가 나타났으나 기술통계량에서는 연간소득 3000~5000만원에서 100만원~500만원까지 투자를 하겠다는 빈도가 가장 높게 나타났다(표 38).

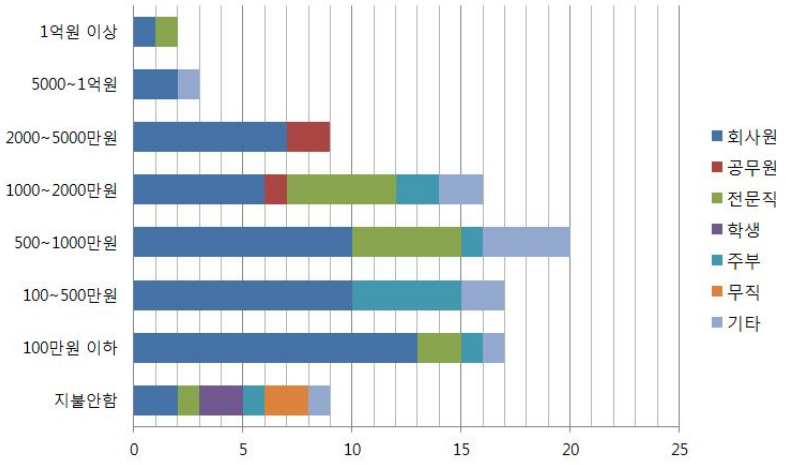


그림 31. 직업에 따른 에너지 저감 시스템 투자인식 관계

표 41. 연간소득에 따른 에너지 저감 시스템 투자비용에 대한 인식

		투자비용(빈도, %)								전체
		지불 안함	100만원 이하	100~ 500만원	500~ 1000만원	1000~ 2000만원	2000~ 5000만원	5000~ 1억원	1억원 이상	
연수입	1500만원 미만	1 (50%)	1 (50%)	0	0	0	0	0	0	2 (100%)
	1500~ 2000만원	1 (33.3%)	1 (33.3%)	1 (33.3%)	0	0	0	0	0	3 (100%)
	2000~ 3000만원	1 (8%)	3 (25%)	5 (42%)	2 (17%)	1 (8%)	0	0	0	12 (100%)
	3000~ 5000만원	1 (4%)	4 (17%)	7 (30%)	5 (22%)	3 (13%)	3 (13%)	0	0	23 (100%)
	5000~ 7000만원	1 (5%)	4 (21%)	1 (5%)	5 (26%)	4 (21%)	3 (16%)	1 (5%)	0	19 (100%)
	7000만원~ 1억원	1 (6%)	2 (13%)	0	6 (38%)	3 (19%)	0	2 (13%)	2 (13%)	16 (100%)
	1억원 이상	0	0	1 (25%)	0	1 (25%)	2 (50%)	0	0	4 (100%)
전체		6	15	15	18	12	8	3	2	79

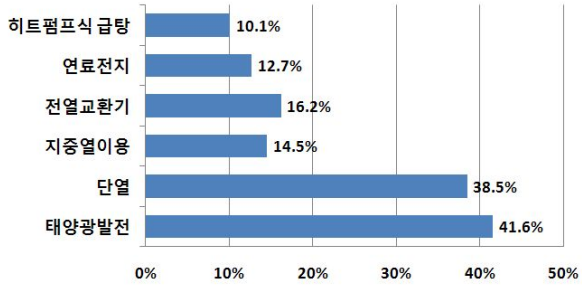


그림 32. 조사대상자의 친환경 설비시스템의 인식여부 조사

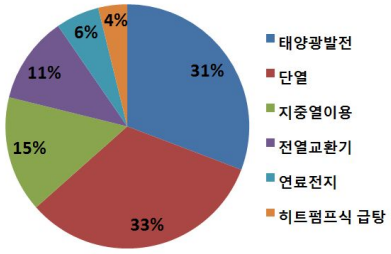


그림 33. 친환경 설비시스템 도입에 따른 우선순위

에너지 저감 시스템의 인식여부 조사에서는 태양광발전 및 단열에 대하여 인식하고 있는 전체 응답자 중 41.6%, 38.5% 로 가장 많은 것으로 나타났다. 그림 33은 설문결과와 비교하면 친환경설비에 대한 인식이 친환경 설비시스템의 도입시 우선순위를 결정하는데 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다. 또한 친환경설비 시스템의 설치비용이 가장 낮았던 연료전지 및 전열교환기의 도입시 우선순위는 다소 낮은 비율로 나타났다. 그러므로 사람들의 시스템 도입시 우선순위는 경제성이 아닌 인식의 여부에서 더 큰 비중을 차지한다고 분석된다.

표 42. 주거형태에 따른 에너지 저감 설비시스템의 투자비용에 대한 인식

		투자비용(빈도, %)								전체
		지불안함	100만원 이하	100~500만원	500~1000만원	1000~2000만원	2000~5000만원	5000~1억원	1억원 이상	
주거형태	아파트	7 (9%)	17 (21%)	14 (17%)	19 (23%)	14 17%)	6 (7%)	2 (2%)	2 (2%)	81 (100%)
	단독주택	2 (14%)	2 (14%)	3 (21%)	1 (7%)	2 (14%)	3 (21%)	1 (7%)	0	14 (100%)
전체		9	19	17	20	16	9	3	2	95

표 42는 주거형태에 따른 에너지 저감 설비시스템의 투자비용에 대한 인식조사 결과를 나타낸 것이다. 조사대상자 85.2%가 아파트에 거주하고 있으며, 100만원이하부터 2000만원 까지 투자할 의향이 있는 것으로 나타났다. 이는 사회적인 문제에서 개인적인 문제로 관심 정도가 높아졌다고 할 수 있다.

표 43. 소유형태에 따른 에너지 저감 시스템에 대한 투자비용 인식

		투자비용								전체
		지불안함	100만원 이하	100~500만원	500~1000만원	1000~2000만원	2000~5000만원	5000~1억원	1억원 이상	
소유형태	자가	5 (7%)	14 (20%)	13 (18%)	16 (23%)	12 (17%)	6 (8%)	3 (4%)	2 (3%)	71 (100%)
	전세 (임대)	2 (11%)	5 (26%)	2 (11%)	4 (21%)	4 (21%)	2 (11%)	0	0	19 (100%)
	월세	2 (100%)	0	0	0	0	0	0	0	2 (100%)
	기타	0	0	2 (67%)	0 0	0 0	1 (33%)	0 0	0 0	3 (100%)
전체		9	19	17	20	16	9	3	2	95

주택 소유형태에 따른 친환경적 요소에 대한 인식의 차이는 자가에 거주하는 대상자가 임대 아파트 등에 사는 조사자들에 비해 투자비용의 폭이 크게 나타났다(표43). 대부분의 투자범위는 100만원 이하부터 2000만원까지다. 임대나 월세에 비해 자가소유의 형태에서 투자인식이 높아졌음을 알 수 있다.

4.2.5. 설비기술 도입효과에 따른 투자비용 조사 결과

새롭게 공급하는 주택에 환경문제를 고려한 설비를 도입한다고 가정할 때, 어떠한 조건의 시설에서 얼마만큼의 도입효과가 나타나느냐에 따라 구입의 선호도를 조사·분석하였다.

연간 CO_2 삭감량에 따른 선호도를 분석하였다(그림 34). 분석방법은 설치비용을 기준으로 가장 높게 선호되어지는 500만원을 대상으로 연간 CO_2 삭감량의 정도에 따른 선호도를 조사하였다. 조사 결과 감량이 큰 설비가 46.7%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음 중간이 31.8%, 적은 설비가 21.5%를 차지하였다. 연간 CO_2 삭감량의 정도에 순으로 선호되고 있다. 즉, 친환경 관련 설비 구매 의향 선택 시 연간 CO_2 삭감량이 고려사항으로 간주 되고 있음을 알 수 있다.

이번에는 조사한 결과를 가지고 연간 CO_2 삭감량이 같은 조건하에 다른 도입효과를 설정하였을 때 어떠한 조건이 구매선택에 고려되었는지를 분석하였다. 분석 방법은 조사

결과 각 CO_2 감량에 따라 가장 선호되는 것들을 뽑아 분석하였다. 그 결과 CO_2 감량이 큰 경우 가장 적은 설치비용인 500만원이 58.3%로 가장 높게 구매를 원하였고, CO_2 감량이 중간인 경우 47.4%로 가장 높게 나타났다. 하지만, 삭감량이 작은 것을 기준으로 분석한 결과 설치비용 500만원이 28.6%로 가장 적게 선호되고 있음을 알 수 있다.

즉, 친환경 관련 설비 구매 의향 선택 시 많은 사람들이 설치비용에 대해 우선적으로 고려하고 있지만 다른 조건들이 무시되지 않고 있음을 알 수 있다.

다음은 환경문제를 고려한 주택에 도입이 되는 주요 설비기술로서 크게 6가지가 있다. 각각 설비시스템의 에너지 절약 등 환경 문제를 고려하는 데 여러 가지 특징을 가지고 있다. 이러한 설비를 도입한 후, 실제로 사용하는 데 정비나 조작에 많은 번거로움이 있다. 본 연구에서는 그런 문제점들이 없는 것으로 가정하에 설문 조사를 실시하였 분석하였다.

다음 6가지 에너지 저감 설비시스템에 대한 인식결과는 다음과 같다.

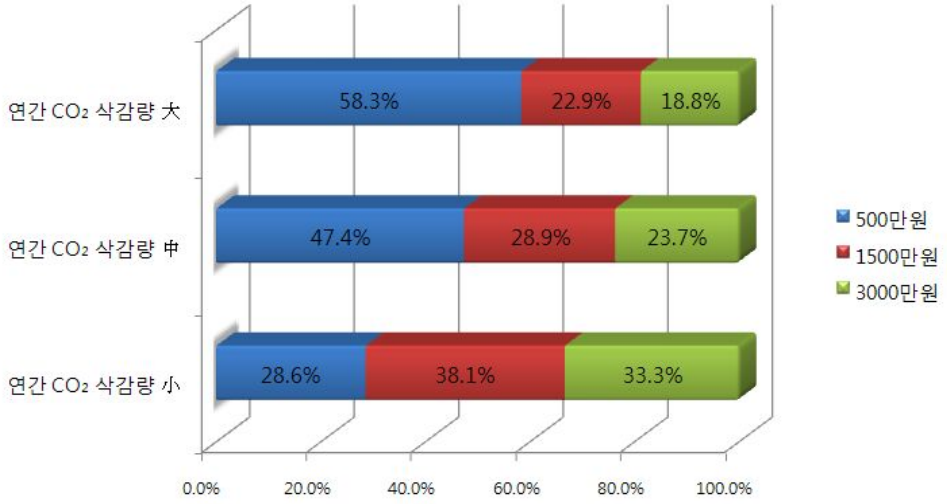


그림 34. 연간 CO_2삭감량의 따른 설치비용의 선호도

가. 단열성능향상 주택을 통산의 신축주택과의 비교 결과

표 44는 단열성능향상 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과를 나타낸 표로 단열성능향상에 소요되는 비용과 설치비용 회수 년수 등 기준으로 설정하여 어느 정도가 적

당한 설비시스템의 가격인지를 조사하였다.

표 44. 단열성능향상 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과

	단열성능향상
설치비용	300만원
설치비용 회수 년수	약50년
광열비절약금액	한 달에 4000원 절약
삭감 CO2 양	삼나무 5그루 흡수량

※ 50년생의 삼나무로 CO2를 연간 14kg/그루흡수가능
※기술혁신 등에 의한 설비가격의 저감 가능성은 있음.

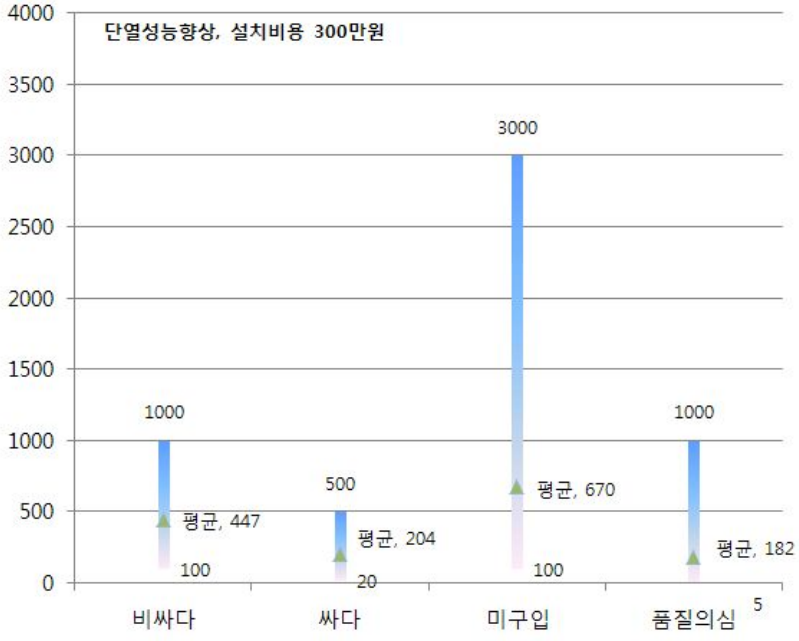


그림 35. 단열성능향상에 대한 인식조사

'비싸다'라고 인식되는 부분은 최소 100만원에서 최대 1,000만원으로 나타났으며 평균 447만원이다. 편차는 약 209만원 정도로 나타났다. '싸다'라고 인식되는 부분은 최소 50만원에서 최대 500만원까지 나타났으며, 평균 204만원으로 조사되었다. '미구입'은 최소 100만원에서 최대 3000만원까지 나타났으며, 평균 670만원으로 나타났다. '너무 싸서 품질이 의심된다'라고 인식되는 부분은 최소 5만원에서 1,000만원까지 나타났으며,

평균 182만원 표준편차는 236으로 나타났다.

나. 히트펌프식 급탕보일러 설치 주택을 통상의 신축주택과의 비교 결과

표 48은 히트펌프식 급탕보일러 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과를 나타낸 표로 히트펌프식 급탕보일러의 성능과 소요되는 비용과 설치비용 회수 년수 등 기준으로 설정하여 어느 정도가 적당한 설비시스템의 가격인지를 조사하였다. 그 결과로 다음 그림 36과 같다.

표 45. 히트펌프식 급탕보일러 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과

	히트펌프식 급탕보일러
설치비용	450만원
설치비용 회수 년수	약8년
광열비절약금액	한 달에 45000원 절약
삭감 CO2 양	삼나무 30그루 흡수량
※ 50년생의 삼나무로 CO2를 연간 14kg/그루흡수가능 ※기술혁신 등에 의한 설비가격의 저감 가능성은 있음.	

‘비싸다’라고 인식되는 부분은 최소 100만원에서 최대 1,000만원으로 나타났으며 평균 491만원이다. 편차는 약 264만원 정도로 나타났다. ‘싸다’라고 인식되는 부분은 최소 50만원에서 최대 500만원까지 나타났으며, 평균 253만원으로 조사되었다. 편차는 약 134만원 정도로 나타났다. ‘미구입’은 최소 150만원에서 최대 2000만원까지 나타났으며, 평균 638만원으로 나타났다. 편차는 약 374만원으로 조사되었다. ‘너무 싸서 품질이 의심된다’라고 인식되는 부분은 최소 20만원에서 1,000만원까지 나타났으며, 평균 189만원 표준편차는 155로 나타났다.

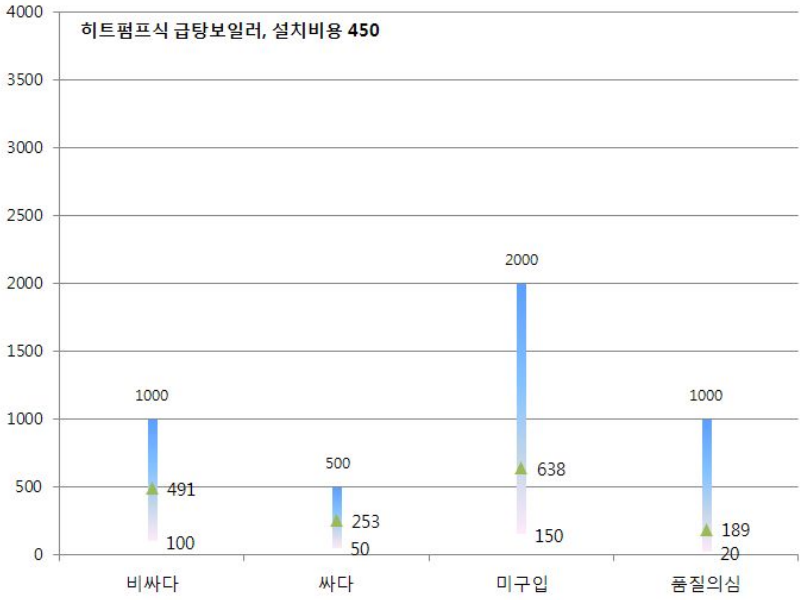


그림 36. 히트펌프식 급탕보일러에 대한 인식 조사

다. 가정용 연료전지 설치 주택을 통상의 신축주택과의 비교 결과

표 46은 가정용 연료전지 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과를 나타낸 표로 기준을 설정하여 어느 정도가 적당한 설비시스템의 가격인지를 조사하였다. 그 결과로 그림 37과 같다.

'비싸다'라고 인식되는 부분은 최소 200만원에서 최대 2000만원으로 나타났으며 평균 851만원이다. 편차는 약 472만원 정도로 나타났다. '싸다'라고 인식되는 부분은 최소 50만원에서 최대 1000만원까지 나타났으며, 평균 404만원으로 조사되었다. 편차는 약 242만원 정도로 나타났다. '미구입'은 최소 200만원에서 최대 3000만원까지 나타났으며, 평균 973만원으로 나타났다. 편차는 약 632만원으로 조사되었다. '너무 싸서 품질이 의심된다'라고 인식되는 부분은 최소 30만원에서 700만원까지 나타났으며, 평균 262만원 표준편차는 173으로 나타났다.

표 46. 가정용 연료전지 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과

	가정용 연료전지
설치비용	850만원
설치비용 회수 년수	약22년
광열비절약금액	한 달에 35000원 절약
삭감 CO2 양	삼나무 35그루 흡수량
※ 50년생의 삼나무로 CO2를 연간 14kg/그루흡수가능 ※기술혁신 등에 의한 설비가격의 저감 가능성은 있음.	

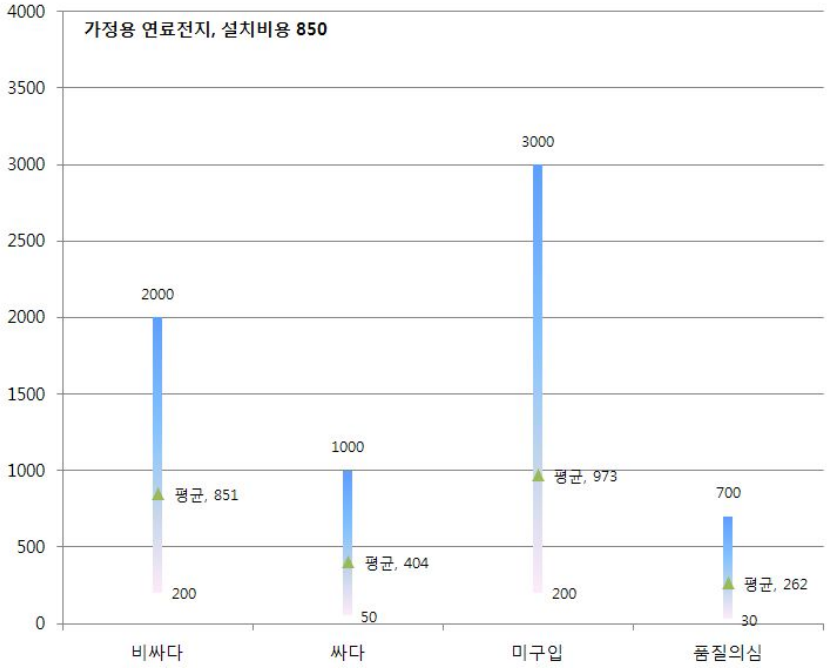


그림 37. 가정용 연료전지에 대한 인식 조사

라. 태양광 발전시스템 설치 주택을 통상의 신축주택과의 비교 결과

표 47은 태양광 발전시스템 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과를 나타낸 표로 기준을 설정하여 어느 정도가 적당한 설비시스템의 가격인지를 조사하였다.

표 47. 태양광 발전시스템 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과

	태양광 발전시스템
설치비용	2200만원
설치비용 회수 년수	약23년
광열비절약금액	한 달에 8000원 절약
삭감 CO2 양	삼나무 73그루 흡수량
※ 50년생의 삼나무로 CO2를 연간 14kg/그루흡수가능 ※기술혁신 등에 의한 설비가격의 저감 가능성은 있음.	

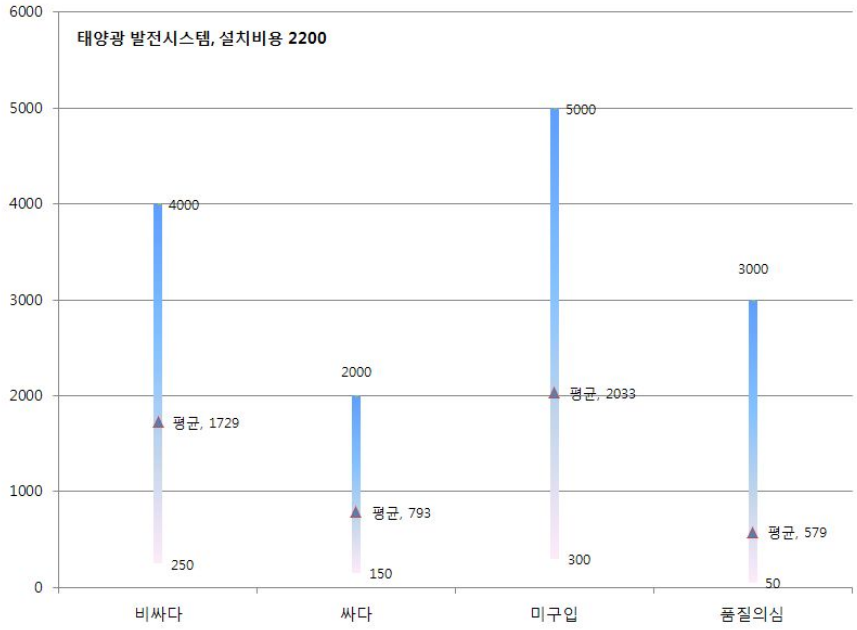


그림 38. 태양광 발전시스템에 대한 인식 조사

‘비싸다’라고 인식되는 부분은 최소 250만원에서 최대 4,000만원으로 나타났으며 평균 1,729만원이다. 편차는 약 1007만원 정도로 나타났다. ‘싸다’라고 인식되는 부분은 최소 150만원에서 최대 2,000만원까지 나타났으며, 평균 793만원으로 조사되었다. 편차는 약 433만원 정도로 나타났다. ‘미구입’은 최소 300만원에서 최대 5,000만원까지 나타났으며, 평균 2,033만원으로 나타났다. 편차는 약 1,125만원으로 조사되었다. ‘너무 싸서 품질이 의심된다’라고 인식되는 부분은 최소 50만원에서 3,000만원까지 나타났으

며, 평균 579만원이다. 표준편차는 약 537만원으로 나타났다.

마. 지중열 이용 히트펌프 설치 주택을 통상의 신축주택과의 비교 결과

표 48은 지중열 이용 히트펌프 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과를 나타낸 표로 기준을 설정하여 어느 정도가 적당한 설비시스템의 가격인지를 조사하였다.

'비싸다'라고 인식되는 부분은 최소 300만원에서 최대 3,000만원으로 나타났으며 평균 1,345만원이다. 편차는 약 782만원 정도로 나타났다. '싸다'라고 인식되는 부분은 최소 100만원에서 최대 2,200만원까지 나타났으며, 평균 652만원으로 조사되었다. 편차는 약 428만원 정도로 나타났다. '미구입'은 최소 100만원에서 최대 4,000만원까지 나타났으며, 평균 1,667만원으로 나타났다. 편차는 약 949만원으로 조사되었다. '너무 싸서 품질이 의심된다'라고 인식되는 부분은 최소 50만원에서 2,000만원까지 나타났으며, 평균 473만원이다. 표준편차는 404만원으로 나타났다.

표 48. 지중열 이용 히트펌프 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과

	지중열 이용 히트펌프
설치비용	1500만원
설치비용 회수 년수	약22년
광열비절약금액	한 달에 7000원 절약
삭감 CO2 양	삼나무 47그루 흡수량
※ 50년생의 삼나무로 CO2를 연간 14kg/그루흡수가능 ※기술혁신 등에 의한 설비가격의 저감 가능성은 있음.	

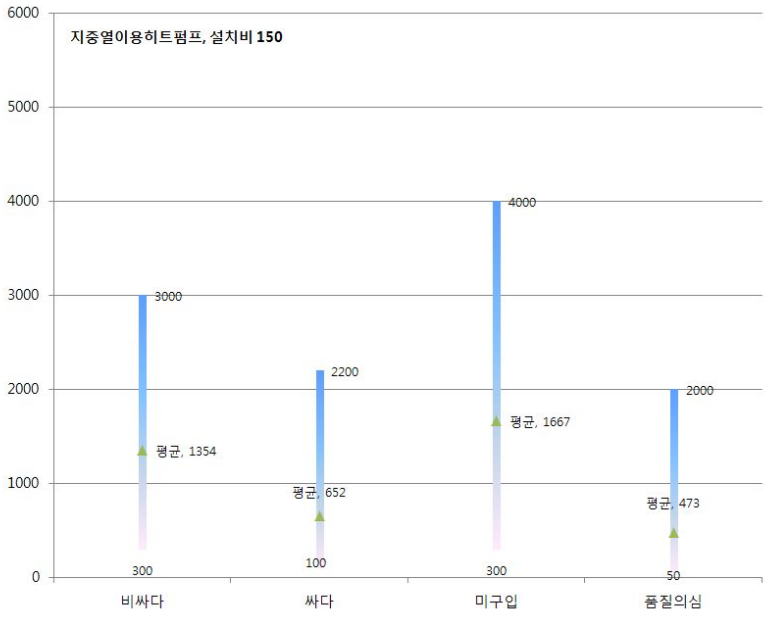


그림 39. 지중열 이용 히트펌프에 대한 인식 조사

바. 전열교환기 설치 주택을 통상의 신축주택과의 비교 결과

표 49는 전열교환기 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과를 나타낸 표로 기준을 설정하여 어느 정도가 적당한 설비시스템의 가격인지를 조사하였다.

'비싸다'라고 인식되는 부분은 최소 100만원에서 최대 2,700만원으로 나타났으며 평균 8717만원이다. 편차는 약 689만원 정도로 나타났다. '싸다'라고 인식되는 부분은 최소 20만원에서 최대 5,000만원까지 나타났으며, 평균 499만원으로 조사되었다. 편차는 약 816만원 정도로 나타났다. '미구입'은 최소 100만원에서 최대 4,000만원까지 나타났으며, 평균 1,103만원으로 나타났다. 편차는 약 957만원으로 조사되었다. '너무 싸서 품질이 의심된다'라고 인식되는 부분은 최소 10만원에서 1,400만원까지 나타났으며, 평균 236만원이다. 표준편차는 263만원으로 나타났다.

표 49. 전열교환기 주택을 통상의 신축주택과의 비교한 결과

	전열교환기
설치비용	160만원
설치비용 회수 년수	25년
광열비절약금액	한 달에 4500원 절약
삭감 CO2 양	삼나무 30그루 흡수량
※ 50년생의 삼나무로 CO2를 연간 14kg/그루흡수가능 ※기술혁신 등에 의한 설비가격의 저감 가능성은 있음.	

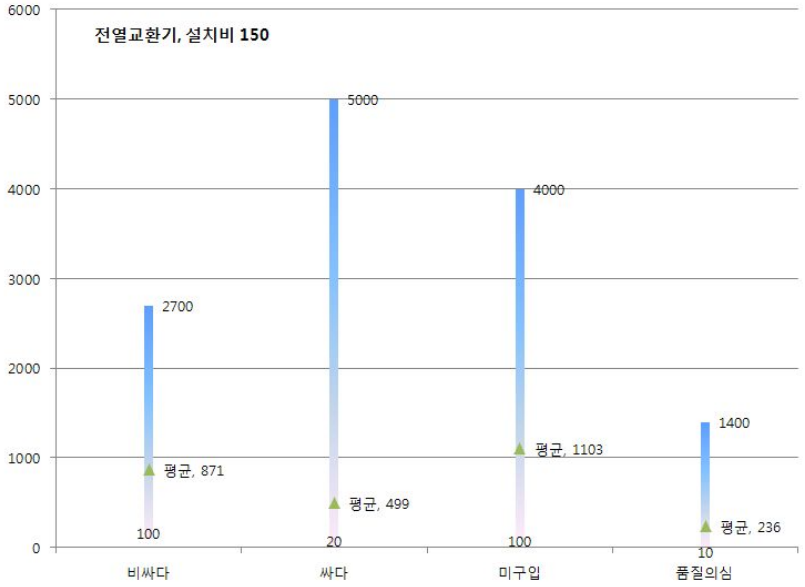


그림 40. 전열교환기에 대한 인식 조사

4.2.6. 설비시설 성능에 따른 투자비용 인식 결과 및 선호도 분석

자택에 에너지 절약 설비시설을 하나만 선택하여 도입하는 경우, 여섯 항목(단열, 히트펌프식 급탕보일러, 연료전지, 태양발전, 지중열 이용, 전열 교환기) 중 어떠한 설비를 이용할 것인가에 대한 선호도를 조사·분석하였다. 그리고 이 여섯 항목에 대한 용어 이해도를 조사하여 연관성에 대해서 분석하였다.

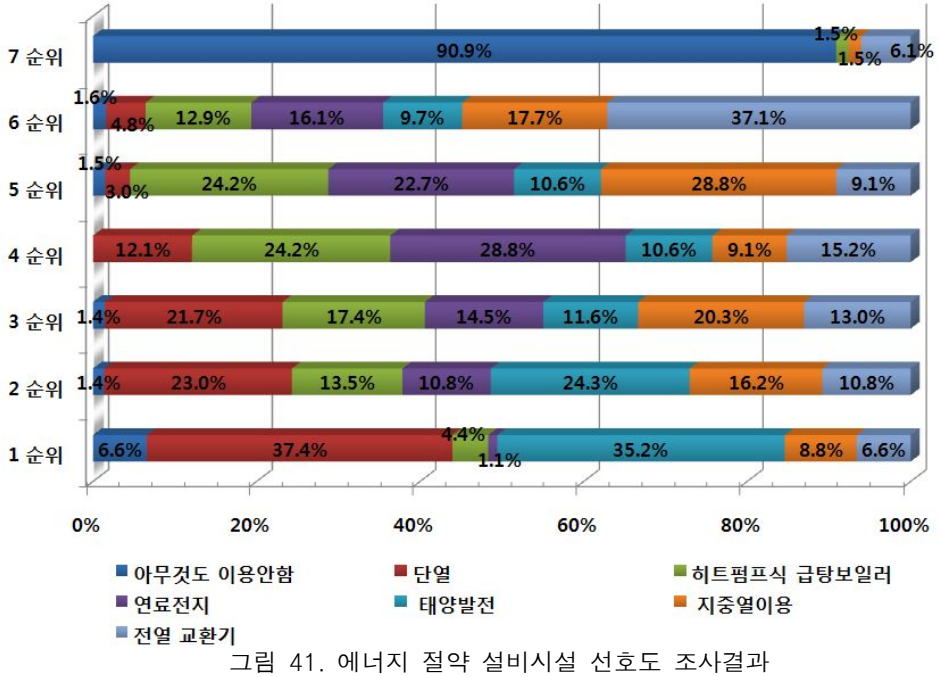


그림 41. 에너지 절약 설비시설 선호도 조사결과

여섯 항목에 순위를 붙이는 조사를 한 후 그 순위에 따른 에너지 절약 설비시설이 차지하는 비율을 분석하였다. 1순위에서 37.4%로 단열이 가장 높고, 그 다음 태양발전이 35.2%를 차지하고 있다. 2순위도 마찬가지로 단열, 태양발전이 높은 비율을 나타낸다. 단열은 3순위까지 높게 나타났다. 지중열 이용의 경우 1~2순위까지 세 번째로 높게 나타났으며, 3순위에서 20.3%를 차지하였다. 지중열 이용이 세 번째로 선호되고 있음을 알 수 있다. 또한 1~3순위에서 히트펌프식 급탕보일러가 네 번째로 높게 나타났음을 알 수 있다. 4순위는 연료전지(28.8%)가 5순위에서는 지중열 이용(28.8%)·히트펌프식 급탕보일러(24.2%)·연료전지(22.7%)순으로 높은 비율을 차지한다. 6순위는 전열교환기(37.1%) 그리고 7순위에서 아무것도 이용안함(90.9%)이 가장 높게 분석되었다.

순위를 분석한 결과 단열이 가장 선호되는 설비시설로 나타났으며, 그 뒤로 태양발전이 높은 비율을 차지하고 있다. 현재 단열과 태양발전은 많은 개발이 거듭되어가면서 실제로 일상에서도 많이 사용되고 보급되고 있으며 선호되고 있음을 알 수 있다. 지중열 이용이 1, 2순위에서 세 번째로 높게 나타났고 3순위에서 두 번째로 높은 비율을 나타냈다. 즉, 태양발전 다음 지중열에 이용이 선호되고 있다. 그 뒤로 히트펌프식 급탕보일러, 연료전지, 전열교환기 순으로 선호되고 있다. 전열교환기는 마지막 순위에서 6.1%를

차지하면서 가장 선호되지 않고 있다. 결국, 이 설비는 아직 많이 보급되지 않고 건축물에 적용시켜 이점을 극대화 시킬 수 있는 기술들로 발전하지 못하였음을 알 수 있다.

단열성능, 히트펌프식 급탕보일러, 연료전지, 태양발전, 지중열이용, 전열 교환기 여섯 가지의 용어에 대해서 어느 정도 인지하고 있는지에 대해서 조사를 하고 이 용어들과 관련 된 설비시설의 선호도와 관련시켜 분석하였다.

여섯 항목에 대한 설문조사 중 '내용을 알고 있다'라고 답한 대상자의 비율을 분석한 결과 태양발전이 42.1%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 그 다음 단열성능이 태양발전과 비슷한 비율(38.9%)로 높게 나타났다. 연료전지(22.6%), 전열 교환기(22.1%), 히트펌프식 급탕보일러(18.1%) 순으로 높게 나타났다. 여섯 항목에 대해 '용어에 대해 들어본 적이 있다'가 차지하는 비율이 모두 가장 높게 나타났다. 각 용어에 대해 들어본 적은 있으나 자세한 내용에 대해서는 아직 많이 인지되지 않고 있음을 알 수 있다. 지중열 이용(64.2%)과 전열교환기(48.4%) 같은 경우 전혀 모르는 사람이 많이 나타났다. 태양발전과 단열성능은 약 10% 정도만이 이 용어에 대해서 인지하지 못하고 있음을 알 수 있다.

위 두 가지를 분석한 결과 일반적으로 사람들에게 여섯 항목에 대한 인지도가 높은 만큼 실제로 그 설비시설을 선호하고 있음을 알 수 있다. 태양발전이나 단열은 실상에서도 개발된 기술을 이용하여 건축물에 적용되고 사용되고 있어 경제적, 환경적 등의 면에서 많은 장점들을 가지고 있다. 장점이 많은 만큼 이 기술들이 계속해서 발전되고 있으며 보급되고 있다. 이러한 기술들은 사람들의 주생활을 마련해주는 건축물에서 이용되기 때문에 많은 사람들에게 그 만큼 인지도가 높다고 볼 수 있다. 즉, 그 내용에 대해서 잘 알고 있는 만큼 그 내용에 장점을 알고 관련 기술 설비를 선호하게 된다고 볼 수 있다. 현황 설문조사로 보아 아직까지 친환경 관련 설비 기술에 대해 많은 사람들이 인지하지 못하고 있음을 알 수 있다. 지중열 이용에 경우를 보았을 때에도 세 번째로 선호되고 있지만, 이 용어에 대해서 잘 알지 못하고 있음이 매우 높게 나타났다. 지중열의 효율이 높고 이용 시 이점이 많은 만큼 실질적으로 많은 사람들에게 알려져 있지 않음을 알 수 있다. 많은 사람들에게 이러한 관련 정보들을 많이 보급하여 효율이 높은 설비 시스템이 활성화될 수 있도록 할 필요가 있다.

5. 공동주택을 위한 설비 시스템의 적용 및 검증

최근, 지구온난화, CO_2 배출 등 환경문제가 사회적 이슈가 되고 있는 가운데, 민생부문에서의 에너지 소비량 증가는 환경문제에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 특히, CO_2 배출량은 에너지 절약과 직접적 관계가 있기 때문에 도시 및 건축물에 사용되는 방대한 양의 에너지를 절약 혹은 효율적으로 공급하기 위한 방법이 요구된다.

건축부문에서는 재개발 등에 의해 건물의 대형화, 고층화 및 고급화된 공동주택의 보급이 늘어나고 있고, 이러한 건축물들의 에너지 소비량을 저감시키는 방법들이 검토되고 있다. 또한 CO_2 배출량을 저감하기 위해서 최근에는 태양광, 태양열, 지중열, 풍력, 바이오매스 등과 같은 신재생에너지의 적극적 활용이나 각종 배열 및 온도차 에너지 등과 같은 미이용 에너지의 도입에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 건축물 설비시스템의 종류의 다양성과 운용 계획에 대한 예측의 어려움으로 인해서 상술한 여러 가지 종류의 신재생 및 미이용 에너지를 건축물에 적용시켜 효율적으로 사용하는 것은 쉽지가 않다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로 분산형 에너지 시스템 (Distributed Energy System)이 도입되고 있으며,[88] 이러한 분산형 에너지 시스템은 건축물에서 요구되는 온열, 냉열, 급탕, 전력 수요량에 적합한 여러 가지 형태의 에너지를 효율적으로 공급할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 선행연구(서장후 2009, 정석우 2010)의 유전자적 알고리즘을 이용한 분산형 에너지 시스템을 적용하여 건축물의 에너지 저감형 설비시스템을 설계한다. 공동주택에 요구되는 온열, 냉열 수요량은 동적 열부하 계산에 의해 예측을 하고, 건축물의 에너지 소비량을 최소화할 수 있는 설비시스템의 기종, 용량, 대수분할 등을 선정하여, 선정된 설비시스템의 최적 운용 계획을 예측한다.

---

88) R Kuzuki et al. (2008). Improving Sustainability of Building Blocks by Area-wide Use of Decentralized Energy System, Journal of architecture and building science, AIJ, 14(28), 497-502; K Yuasa et al. (2007). Feasibility Study of Distributed Energy System for Apartment House, Journal of environmental engineering, AIJ, (621), 51-56; Y Yang et al. (2008), Economic Optimization Model for Operation of Distributed Energy System and Case Study on Kitakyusyu Science and Research Park in Japan, Journal of environmental engineering, AIJ, (621), 77-82.

건축물의 에너지 소비량 저감을 위한 설비시스템의 최적설계 과정은 그림 42와 같다.

에너지 소비량을 최소화하기 위해 대상건물을 선정한 후, Multi-zone의 열부하 계산이 가능한 TRNSYS를 이용해서 대상건물의 냉난방 에너지 부하량을 계산하여 설비시스템 용량, 효율 그리고 GA(Genetic Algorithm) 파라미터와 함께 설비시스템의 최적화 설계를 위한 입력 데이터로써 사용한다. 최종적으로는 섬모델 유전자적 알고리즘(Multi-Island Genetic Algorithm: MIGA)[89]을 이용하여, 설비시스템의 운용계획과 조합 및 1차 에너지 소비량을 산출한다.

본 연구에서는 에너지 소비량의 최소화가 가능한 100세대로 구성된 공동주택에 사용되는 설비시스템을 유전자적 알고리즘을 이용하여 설계하고, 경험에 의해 설계한 설비시스템의 조합과 비교, 분석하여 제안하는 설계과정의 타당성을 검증하였다.

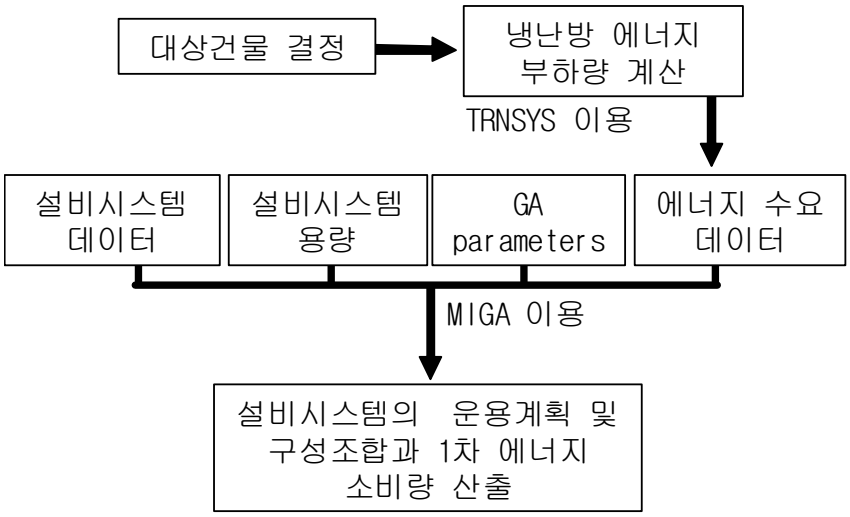


그림 42. 에너지 저감을 위한 설비시스템 최적설계 과정

89) R Ooka and K Komamura (2008). Optimal design method for building energy systems using genetic algorithms, Building and Environment, Vol.44(7), p.p.1538-1544; H Chen, R Ooka and S Kato (2004). Study on Optimum Arrangement of Trees for Design of Pleasant Outdoor Environment Using Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA), Technical papers of annual meeting, The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, p.p.1091-1094; H Chen, R Ooka and S Kato (2008). Structural analysis of pareto optimal sets in multi-objective optimization -Application to window design problem using multi-objective genetic algorithm-, Journal of environmental engineering, Transactions of AIJ, p.p.283-289.

5.1. 유전자적 알고리즘(GA)의 정의

생물의 진화과정을 모방해서 최적화 문제를 해결하는 최적화수법의 한 종류로써 GA는 비선형 최적화 문제에 있어서 “준최적해”를 효율적으로 탐색하는 점이 우수하나, 파라미터의 설정이 어려운 문제점이 있다. GA에서는 최적해 후보가 되는 변수 조합을 하나의 “개체” (individual)로써 취급하고, 개체 정보는 염색체 (chromosome)로 일컬어지며 기술된다. GA에서는 각 개체의 염색에 대해서 선택(Selection), 교배(Crossover), 돌연변이(Mutation)라 불리는 조작에 의해 변수의 조합을 변경하고 각각의 조합에 대해서 최적해의 적합도를 평가한다.

본 해석에서는 방대한 반복계산의 효율성을 높이고 부분 최적해의 수렴을 방지하기 위해서 MIGA를 이용하였다. MIGA는 분산 유전자적 알고리즘이라고 불리는 병렬분산의 최적화 수법이며, MIGA의 개념은 그림 40과 같다.

개체군을 복수의 섬 (Sub-population)에 분할하고, 각 섬에서 독립적 계산을 한다. 수 세대마다 한 번씩 각 섬 간의 이주(Migration)라 일컫는 개체 정보의 교환을 정기적으로 실시하여 부분 최적해의 발생 가능성을 낮게 한다.

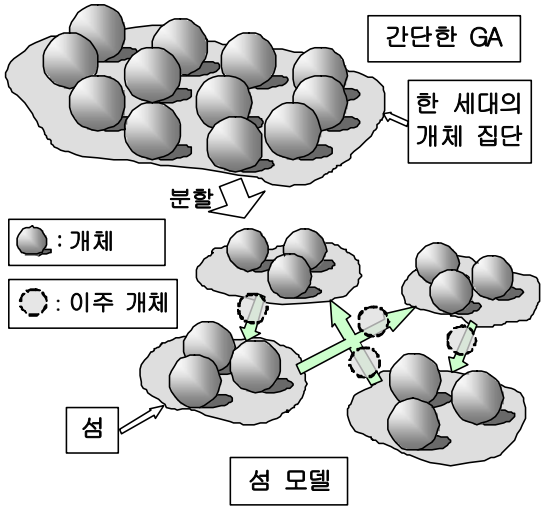


그림 43. MIGA의 개념

본 해석에서의 GA 파라미터는 다음과 같이 정의한다.[90]

- 모집단 크기 (Population size)

GA해석에서 탐사 개체수의 총합을 나타내며, MIGA에서는 각 섬의 개체수 (Sub-Population)와 섬 수의 곱을 모집단 크기로 나타낸다.

- 섬 수 (Number of Islands)

MIGA에서 모집단의 분할 수를 나타내고, 해 탐사 성능 향상에 영향을 미치는 중요한 파라미터이다. 부분 최적해의 문제가 발생한 경우, 섬 수를 증가시키거나, 탐사를 분산시키는 것으로 부분 최적해의 수렴을 피할 수 있으며, 부분 최적해가 없는 경우, 하나의 섬에서의 개체 수를 줄이는 것으로 수렴을 유도할 수 있다.

- 세대 수 (Number of Generations)

GA에서 유전적 조작의 반복 단위를 세대라고 한다.

GA의 일반적인 처리 수순은 다음과 같다.[91)]

1) 선택 (Selection)

각각의 개체의 적응도가 계산된 후, 적응도에 근거하여 개체 집단이 선택된다. 적응도가 높은 개체일수록 다음 세대의 개체의 부모로서 선택되는 확률이 높고, 보다 많은 자손을 남길 수 있으며, 이에 의해 보다 좋은 해가 집단으로 확산된다.

2) 교배 (Crossover)

선택에 의해 선정된 2개의 개체는 무작위로 염색체 정보를 서로 교환하여 새로운 개체를 생성한다. 교배는 교배율 및 교배방법에 의해 결정된다.

3) 돌연변이 (Mutation)

선택과 교배만으로 GA계산을 하면, 초기 모집단 내에 존재하는 유전자의 조합으로 탐사가 이루어지기 때문에, 최적해를 형성하는 유전자의 일부가 초기 모집단에 존재하지 않거나, 선택 및 교배 등에 의해 세대가 진행되는 동안 유전자가 소멸하는 경우에는 GA의 해는 수렴을 하지 않는다. 이것을 피하기 위해서 돌연변이를 일으키는 수법이 이용되

---

90) J Kmimura (2001). The examination of parameter settings for distributed genetic algorithm, 同志社大學理工學硏究報告, 42(2), p.p.106-127.

91) T Nagao (2000), 최적화 알고리즘, Shokodo co., Ltd. (In Japanese)

고 있다. 돌연변이는 어떤 일정의 확률(돌연변이율)에 의해 결정이 된다.

4) 이주 (Migration)

이주는 세대수에 한번, 각 섬 내에서 선택된 하나 또는 복수의 개체를 다른 섬의 개체와 교환하는 것이다. 즉, 섬 내의 개체가 다른 개체와 정보를 교환하는 것을 말한다.

5.2. 설비시스템 구성 및 GA 계산조건

본 연구에서는 사용연료, 설비시스템 및 에너지 수요 등을 구성요소에 따라 그림 45와 같이 모델화한다. 본 연구에서 이용하는 자원은 가스 및 전기, 태양광의 3종류로 선정하였고, 대상건물에서 사용되는 설비시스템의 성적계수, 이용자원 그리고 에너지 수요는 표 53과 같다. 냉열공급에는 터보식냉동기(TR), 히트펌프(HP), 흡수식냉동기(AR)가 사용되고, 온열 및 급탕공급에는 가스보일러(GB), 히트펌프가 그리고 전력공급에는 코제네레이션시스템(CGS)과 태양광발전시스템(PV)이 각각 사용된다.[92]

본 연구에서 선정한 설비시스템의 종류 및 용량은 표 50과 같고, TR, AR의 단위는 [USRT], HP의 단위는 [hp], PV의 단위는 [m2]로 설정되었다. 계산 프로그램에서의 단위환산에 의해 최종적으로는 [kw]단위로 환산 계산한다.

각 설비시스템의 부하와 연료 소비와의 관계를 나타내는 설비시스템 특성곡선도는 그림 46과 같다. 설비시스템의 가동율에 대한 연료 소비량율을 설비시스템의 효율로 정의하고, 설비시스템 특성곡선은 가스보일러를 제외하고 모든 시스템은 비선형함수의 형태로 나타냈다.[93] 설비시스템 특성곡선은 시스템의 용량, 부하율 등에 크게 변화하기 때문에 GA를 적용한 본 최적설계법에 유효할 것으로 판단한다.

---

92) AR: 흡수식냉동기(absorption refrigeration machine), TR: 터보냉동기(turbo refrigeration machine), HP: 히트펌프(heat pump system), GB: 가스보일러(gas boiler), CGS: 코제네레이션시스템(co-generation system), PV: 태양광발전시스템(photovoltaic power system)

93) 각 설비시스템의 데이터는 카탈로그 및 IBEC(Institute for Building Environment and Energy Conservation) 의 CEC/AC 계산프로그램의<BECS/CEC/AC for Windows>의 값을 참고하였다.

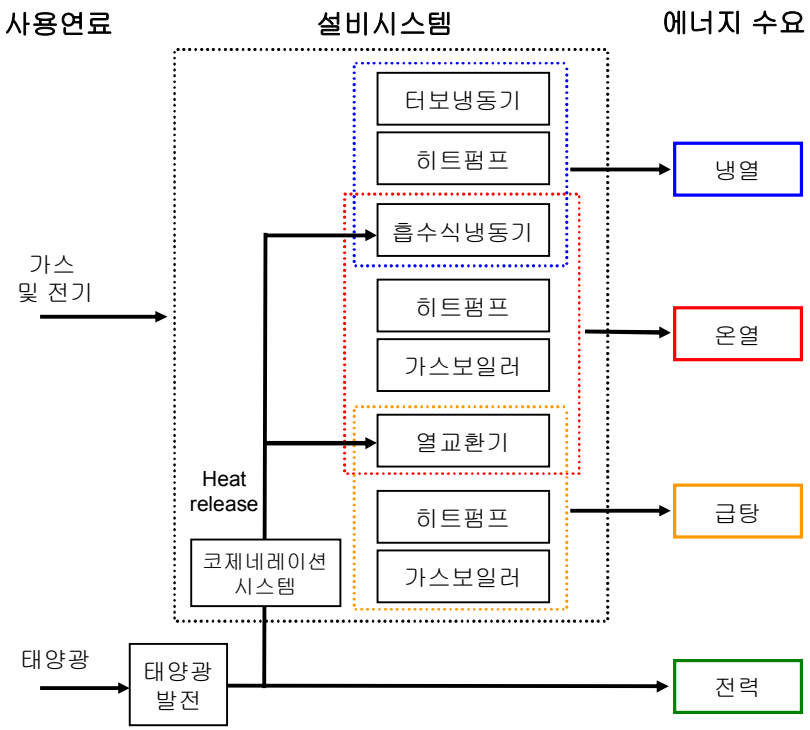


그림 45. 에너지 및 설비 시스템 구성도

표 50. 설비시스템 목록

	COP		이용자원		에너지 수요			
	냉방	난방	가스	전기	냉열	온열	급탕	전력
흡수식 냉동기 (AR)	1.1	0.8	●		●	●		
터보 냉동기 (TR)	2.5	-		●	●			
히트펌프 (HP)	1.4	1.4	●	●	●	●	●	
가스 보일러 (GB)	-	0.9	●			●	●	
코제네레이션 시스템 (CGS)	0.45	0.45	●		●※	●※	●※	●
태양광시스템 (PV)	-	-						●

1) COP는 성적계수(Coefficient Of Performance)를 의미한다.
2) ※는 폐열이용에 의한 에너지 공급을 나타낸다.

표 51. 설비시스템의 종류 및 용량

시스템	단위	0	1	2	3	4	5	6
AR	USRT	0	100	130	160	200	250	-
TR	USRT	0	230	260	320	370	450	-
HP	hp	0	8	10	13	16	20	25
GB	kw	0	58	87	116	151	186	-
CGS	kw	0	115	200	230	300	350	550
PV	m2	0	100	200	300	400	500	-

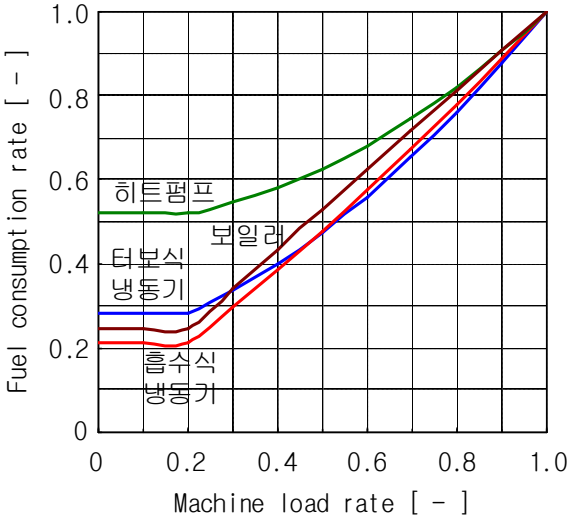


그림 46. 설비시스템 특성곡선도

섬 수, 인구 수, 돌연변이율, 세대 수 등의 MIGA 해석의 입력 조건은 R Ooka et al.에 의해 검증된 해석 조건을 이용하였으며, 표 52와 같다.[94]

표 52. MIGA 계산조건

Size of sub-population	50
Number of islands	4
Population size	200
Number of generations	50
Total individual size	10000
Rate of crossover	1.0
Rate of mutation	0.07
Rate of migration	0.5

94) G Kayo (2009), Optimal design method for distributed energy system using genetic algorithm, Journal of environmental engineering, AIJ, (641), 869-876.

5.3. 대상건물 선정 및 에너지 부하량 산정

본 연구에서는 100세대/동의 공동주택을 대상모델로 선정하였고, 대표 1세대(4인가족)의 주거모델은 그림 47과 같다.

주거 모델에 대한 냉난방 에너지 부하량 계산은 TRNSYS TYPE56 모듈을 이용하였다. 풍향, 풍속, 기온, 습도 및 태양 일조 정보 등이 포함되어 있는 AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)의 동경(Tokyo)의 기후조건을 적용하였다(그림 47,48). 주거 모델에서는 0.5회/h의 자연환기가 이루어지고 있으며, 동계 난방 온도는 20 ℃, 하계 냉방 온도는 28 ℃로 설정하였다. TRNSYS의 해석 입력 조건으로 재실자 및 냉난방, 내부발열 등의 스케줄은 그림 49(a)~(c)와 같고, 각종 건축자재의 입력 값은 표 53과 같다.

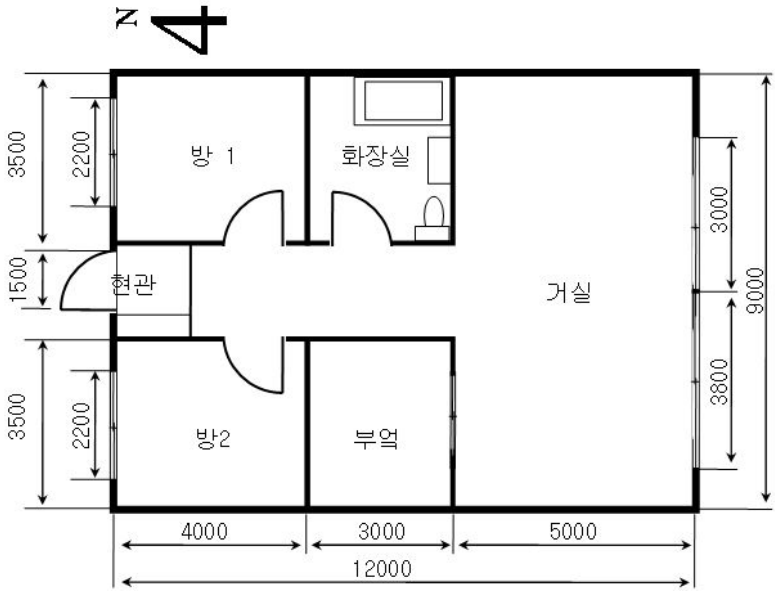


그림 47. 대표 1세대 주거 모델 [mm]

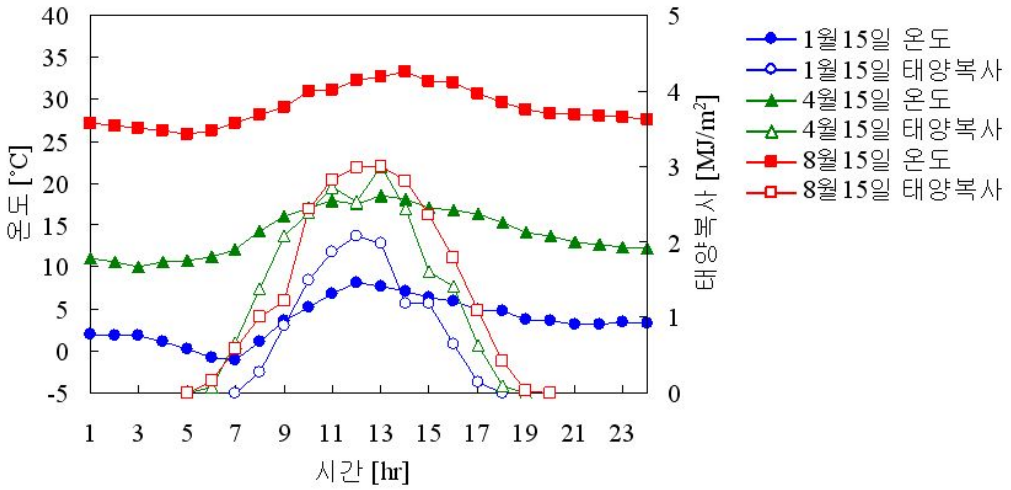


그림 48. 계절 대표일의 온도 및 태양복사

표 53. 건축자재의 물성치

건축자재	열전달율 (U-value) [W/m2K]	장소
에너지 절약형 외벽	0.385	외벽
칸막이 벽	3.583	내벽
목재 문	2.591	거실 문
금속 문	2.411	현관 문
에너지 절약형 천장재	0.294	천장
에너지 절약형 바닥재	0.403	바닥
단층 유리	5.800	창문

(a) 재실자

(b) 냉난방

(c) 가전제품에 의해 발생하는 조명 및 내부발열

그림 49. 스케쥴

TRNSYS를 이용한 하계 대표일(8월15일)및 동계 대표일(1월15일)의 24시간 냉난방 에너지 소비량 변화는 그림 50, 51과 같으며, 해석 결과는 건축물 설비시스템의 최적화 계산의 에너지 수요 데이터로 입력한다. 하계에는 재실자에 의해 냉방이 가동되고 태양의 복사량이 많은 오후 시간에 냉방 에너지 소비량이 증가하였으며, 동계에는 재실자에 의해 난방이 가동되는 아침과 저녁에 난방 에너지 소비량이 증가하는 것으로 나타났다.

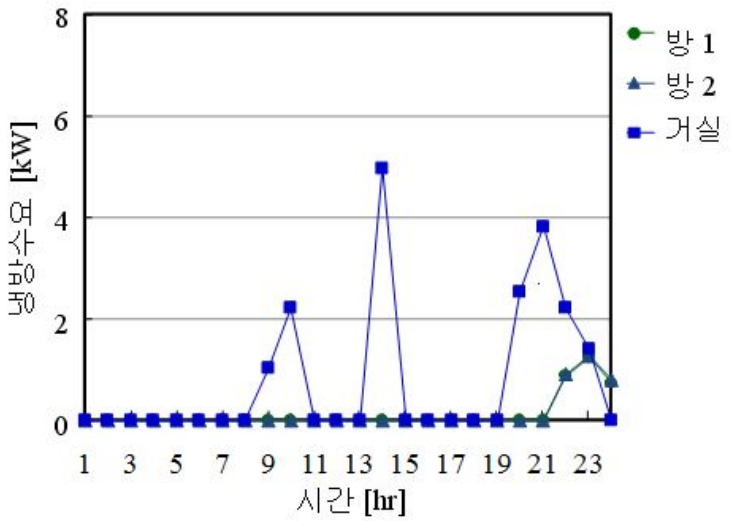


그림 50. 하계대표일(8월15일)의 시각별 냉방에너지 변화

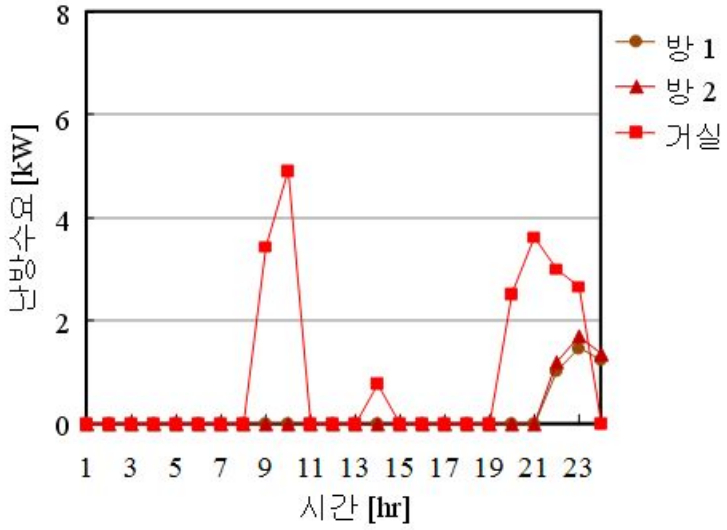


그림 51. 동계대표일(1월15일)의 시각별 난방에너지 변화

급탕 에너지 소비량 및 전력 에너지의 소비량은 S Sadohara et al. 과 K Kabata et al.의 조사 결과를 건축물 설비시스템의 최적화 계산의 에너지 수요 데이터로 입력하며, 그림 50, 51과 같다.

재실자의 취침시간에는 급탕 에너지 소비가 전혀 없으며, 재실자의 기상 후, 아침 시

간에 급탕 에너지 소비량이 일시적으로 증가하며, 18~20시의 저녁 시간에 급탕 에너지 소비량이 최대로 나타났다. 다른 계절에 비해서 겨울의 주간에 비교적 급탕 사용량이 증가하나, 급탕 에너지의 최대 사용량은 계절에 관계없이 유사한 것으로 확인되었다.

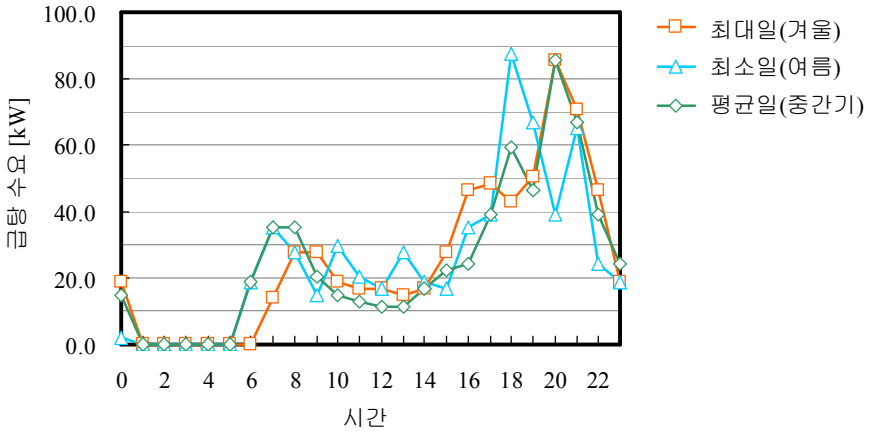


그림 52. 동경 지역난방 주택단지의 시각별 급탕 에너지 변화

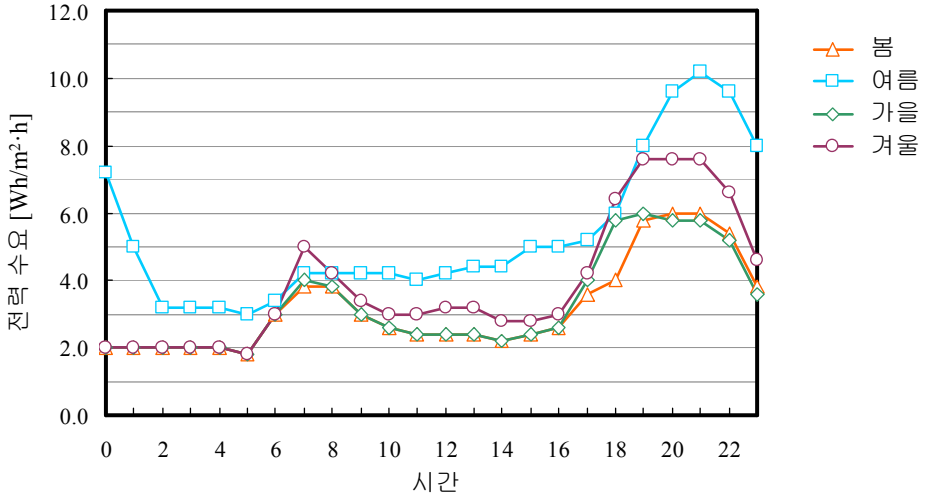


그림 53. 동경 공동주택의 시각별 전력 에너지 변화

전력 에너지 소비량의 경우, 기본적으로 가전제품 등이 24시간 사용 상태로 유지되기 때문에 계절 및 시간에 관계없이 일정량(2 Wh/m2·h)이상 전력 에너지가 소비되는 것으로 나타났다. 여름의 경우, 냉방기 사용의 영향으로 전력 에너지 가장 많이 소비되고, 겨울에는 난방기 사용의 증가에 따라 중간기 보다 많은 양의 전력 에너지가 소비되는 것

으로 나타났다. 1일 누적 전력 에너지 소비량은 여름에 128.7 Wh/m2·h, 겨울에 92.6 Wh/m2·h이며, 중간기는 약 75 Wh/m2·h로 조사되었다.

5.4. 최적 설비시스템의 조합 결과

5.4.1. 설비시스템의 구성

TRNSYS를 이용하여 예측한 온열 및 냉열 에너지 수요와 실측조사에 의해 측정된 급탕 및 전력 에너지 수요를 전체 1차에너지 수요량으로 설정한 후, 상술의 에너지 저감을 위한 설비시스템 설계 과정을 이용하여 최적 설계된 설비시스템의 구성 및 조합은 표 67과 같다. 냉열공급용으로 1대의 TR(230 USRT)과 용량이 다른 2대의 HP(16 hp, 25hp)가 선정되었고, 온열공급용으로 용량이 다른 2대의 GB(151 kw, 186kw)와 같은 용량의 2대의 HP(25hp)가 선정되었다. 1대의 AR(100 USRT)이 냉열 및 온열의 공급을 목적으로 선정되었다. 급탕공급에는 1대의 GB(58 kw) 및 용량이 다른 2대의 HP(16 hp, 10hp)가 선정되었고, 전력공급에는 CGS의 선정없이, PV 1대(500 m2)가 사용되었다.

표 54. 유전자적 알고리즘의 이용에 의한 최적설계 설비시스템의 구성조합

냉열공급				냉온공급		온열공급				급탕공급				전력공급		
TR1 [USRT]	TR2 [USRT]	HP1 [hp]	HP2 [hp]	AR1 [USRT]	AR2 [USRT]	GB1 [kw]	GB2 [kw]	HP1 [hp]	HP2 [hp]	GB1 [kw]	GB2 [kw]	HP1 [hp]	HP2 [hp]	CGS1 [kw]	CGS2 [kw]	PV1 [m2]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	230	8	8	100	100	58	58	8	8	58	58	8	8	115	115	100
260	260	10	10	130	130	87	87	10	10	87	87	10	10	200	200	200
320	320	13	13	160	160	116	116	13	13	116	116	13	13	230	230	300
370	370	16	16	200	200	151	151	16	16	151	151	16	16	300	300	400
450	450	20	20	250	250	186	186	20	20	186	186	20	20	350	350	500
-	-	25	25	-	-	-	-	25	25	-	-	25	25	550	550	-

표 55. 경험적 결정에 의해 선정된 설비시스템의 구성조합

냉열공급				냉온공급		온열공급				급탕공급				전력공급		
TR1 [USRT]	TR2 [USRT]	HP1 [hp]	HP2 [hp]	AR1 [USRT]	AR2 [USRT]	GB1 [kw]	GB2 [kw]	HP1 [hp]	HP2 [hp]	GB1 [kw]	GB2 [kw]	HP1 [hp]	HP2 [hp]	CGS1 [kw]	CGS2 [kw]	PV1 [m2]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	230	8	8	100	100	58	58	8	8	58	58	8	8	115	115	100
260	260	10	10	130	130	87	87	10	10	87	87	10	10	200	200	200
320	320	13	13	160	160	116	116	13	13	116	116	13	13	230	230	300
370	370	16	16	200	200	151	151	16	16	151	151	16	16	300	300	400
450	450	20	20	250	250	186	186	20	20	186	186	20	20	350	350	500
-	-	25	25	-	-	-	-	25	25	-	-	25	25	550	550	-

TRNSYS에 의해 예측된 전체 1차에너지 수요량을 바탕으로 경험에 의해 설계한 설비시스템의 구성 및 조합은 표 52와 같다. 최적 설계와 비교했을 때, 경험 설계의 냉열 공급에는 비교적 용량이 적은 2대의 HP(10 hp)가 사용되는 대신에 냉열 및 온열 공급용의 용량이 큰 AR이 2대(130 USRT) 선정되었다. 온열 공급용 기기로서 동일 용량의 2대의 GB(87 kw)와 25 hp의 1대의 HP가 선정되었는데, 최적 설계에 의해 선정된 기기에 비해 비교적 용량이 작은 것으로 나타났으며, 냉열 공급과 마찬가지로, 부족한 냉열 공급에 대해서는 냉열 및 온열 공급용의 2대의 AR이 가동되는 것으로 나타났다. 최적 설계의 급탕 공급의 경우, 비교적 용량이 적은 1대의 GB와 2대의 HP가 선정되었으나, 경험적 설계의 경우, 용량이 큰 GB 1대(151 kw)와 용량이 큰 1대의 HP(25 hp)에 의해 급탕 공급이 이루어졌다. 전력 공급의 경우, 최적 설계와 동일하게 1대의 PV(500 m2)만 사용되었다.

5.4.2. 설비시스템의 운용계획

각 계절 대표일(1월15일, 4월15일, 8월15일)은 냉열, 온열 에너지 등 에너지 부하가 최대로 예상되는 날로 가정하며, 에너지 저감을 위한 설비시스템 설계 과정을 이용하여 최적 설계된 설비시스템의 계절 대표일별 급탕, 냉열, 온열 및 전력 공급에 대한 24시간 운용계획은 그림 54와 같다.

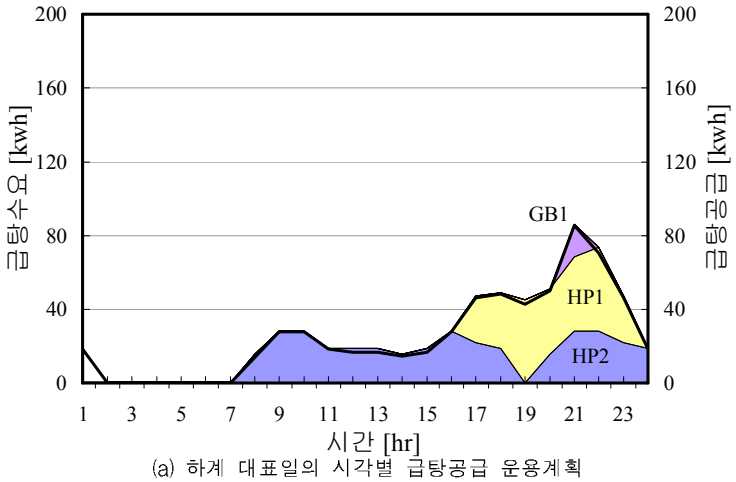
하계 급탕 운용의 경우, 급탕용 16 hp의 HP 1대를 기본적으로 사용하고, 급탕 사용이 증가하는 17시 경부터 10 hp의 HP 1대가 추가적으로 가동되며, 급탕 사용량이 가장 많은 21시를 전후해서 급탕용 58 kw GB가 동시에 사용되는 것으로 나타났다(그림 54 (a)). 중간기의 급탕사용에서는 하계와 동일한 종류와 용량의 설비기기가 가동이 되나, 하계와 비교해서 오전에 상대적으로 급탕 사용량이 증가하기 때문에 오전에 10 hp의 HP 1대가 추가적으로 가동되는 것으로 나타났다(그림 54 (b)). 동계의 경우, 하계 및 중간기와 동일한 종류와 용량의 설비기기가 가동이 되며, 급탕 사용량이 증가하는 오전 및 낮 시간에 10 hp의 HP 1대가 추가적으로 가동되는 것으로 나타났다(그림 54 (c)).

하계 냉열 공급의 경우, 상대적으로 냉열에너지 수요가 적은 이른 아침시간에 용량이 적은 2대의 HP(16 hp, 25 hp)가 가동되고, 그 외의 시간대에는 230 USRT의 TR 1대가 냉열에너지 수요량을 만족시키는 것으로 나타났다(그림 54 (d)).

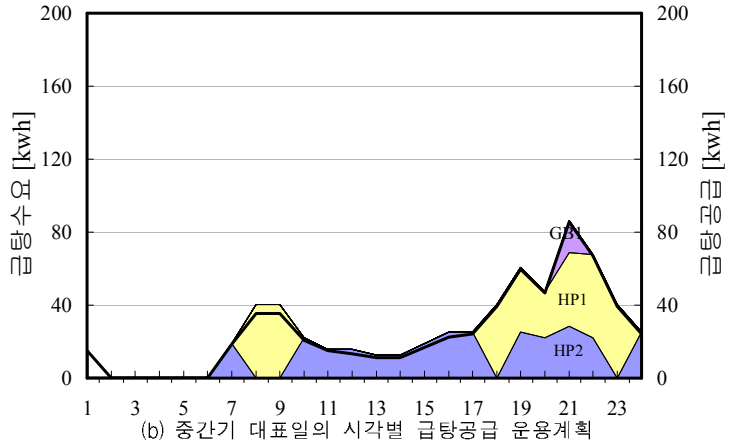
동계 온열공급에서는 온열에너지 수요량이 적은 13시 경에는 25 hp의 HP 2대가 가동되고, 상대적으로 수요량이 많은 아침과 저녁 무렵에는 2대의 HP와 2대의 GB(151 kw, 186 kw) 그리고 1대의 AR(100 USRT)이 동시에 가동되는 것으로 나타났다(그림 54(e)).

본 해석에서는 총 10000회 계산의 케이스 중 1770번째의 케이스가 본 계산 케이스 중 최적 설계로 선정되었다. 이 최적 설계에 대한 계절별 대표일의 1차 에너지 소비량은 그림 55와 같다. 경험적 설계와 비교했을 때, 본 연구에서의 최적 설계에 의해 각 계절별 1차 에너지 소비량은 전체적은 20~30 %이상 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 설비 시스템에 대한 초기 비용 및 운용 비용에 대한 검토가 포함되지는 않았으나, 본 연구의 수법을 이용하여 1차 에너지 소비량 저감형 건축물 설계 시스템의 설계가 가능한 것으로 판단된다.

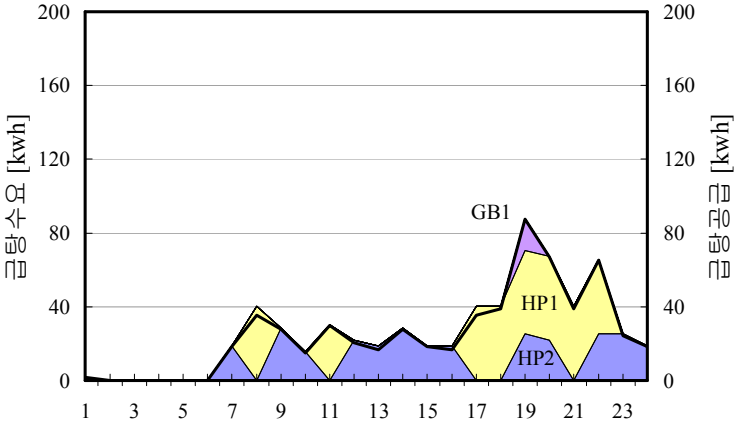
최적 설계에 대한 에너지 수요별 1차 에너지 소비량 비교 결과는 표 53과 같다. 경험적 설계와 비교했을 때, 최적 설계에 의해 하계 냉열 에너지 및 동계 온열 에너지의 소비량의 저감 효과가 아주 큰 것으로 나타났고, 전력과 급탕에 대한 1차 에너지 소비량은 계절에 크게 영향을 받지 않으며, 에너지 소비량 저감 효과도 상대적으로 적은 것으로 나타났다.



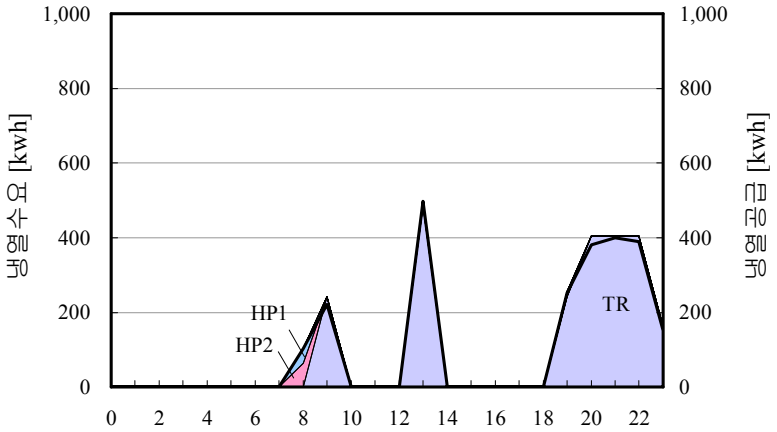
(a) 하계 대표일의 시각별 급탕공급 운용계획



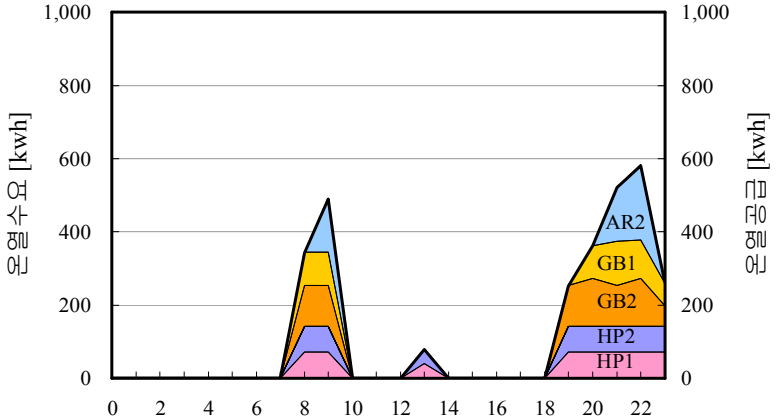
(b) 중간기 대표일의 시각별 급탕공급 운용계획



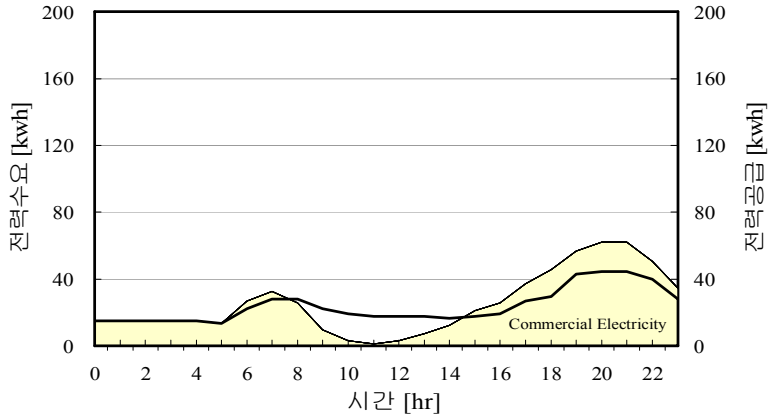
(c) 동계대표일의 시각별 급탕공급 운용계획



(d) 하계대표일의 시각별 냉열공급 운용계획



(e) 동계대표일의 시각별 온열공급 운용계획



(f) 동계대표일의 시각별 온열공급 운용계획

그림 54. 계절별 대표일의 냉온열공급 운용계획

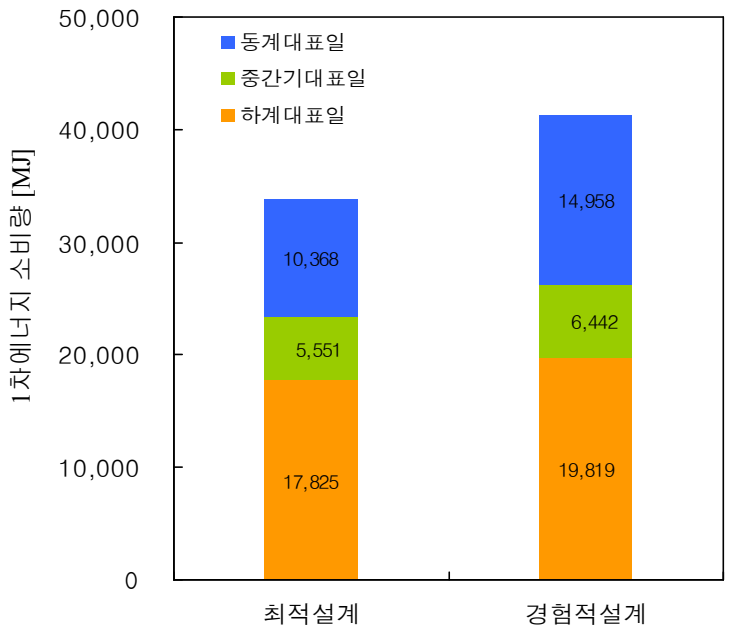


그림 55. 설비시스템 설계방법에 따른 계절별1차 에너지 소비량 비교

표 56. 설비시스템 설계방법에 따른 에너지 수요별 1차 에너지 소비량 비교

설계형태	시기	냉열에너지 [MJ]	온열에너지 [MJ]	급탕에너지 [MJ]	전력에너지 [MJ]
최적설계	1월(동계대표일)	0	9,231	1,238	7,357
	4월(중간기대표일)	0	0	1,234	4,318
	8월(하계대표일)	2,680	0	1,230	6,457
경험적 설계	1월(동계대표일)	0	11,028	1,630	7,161
	4월(중간기대표일)	0	0	1,685	4,757
	8월(하계대표일)	7,996	0	1,734	5,228

5.5. 소결

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 동적 열부하 해석에 의해 공동주택에 요구되는 온열, 냉열 에너지 수요량을 해석하였고, 해석 결과를 이용하여 건축물의 에너지 소비량을 최소화할 수 있는 설비시스템의 기종, 용량, 대수분할 등을 선정하여, 선정된 설비시스템의 최적 운용 계획을 예측하였다. 또한 예측 결과와 경험에 의해 설계한 설비시스템의 구성, 조합과 비교, 분석하여 제안하는 설계과정의 타당성을 검증하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) TRNSYS를 이용하여 계산한 냉열 및 온열 에너지 수요량은 본 최적 설비 시스템 설계의 중요한 입력 데이터로 적용이 가능하여, 냉열 및 온열 에너지 수요량은 설비 시스템의 종류 및 용량 선정에 중요한 요소로 확인되었다. 급탕 및 전력 에너지 수요량은 선행 연구의 조사 결과를 참고 하였으나, 현실성이 고려된 설비 시스템의 최적 설계를 위해서는 급탕 및 전력 에너지 수요량의 정확한 예측 방법의 검토가 요구된다.

2) 건축물의 에너지 수요량이 동일하다고 할지라도, 설계 방법에 따라 설비 시스템의 종류, 용량 및 운용 계획 등이 상이하게 나타났다. 본 연구에서 제시하는 최적 설계 수법을 이용하여 건축물에 사용되는 1차 에너지 소비량의 저감이 가능한 것으로 확인되었다. 향후, 설비 시스템 초기비용, 운영비용 및 CO_2 배출량을 고려한 설비 시스템의 설계가 필요할 것으로 판단된다.

3) 본 연구에서 제시한 설비 시스템 설계 수법에 의해 설비 시스템의 기종, 용량, 대수분할 뿐만 아니라, 각 계절별 온열, 냉열, 급탕 및 전력 에너지 공급 운용 계획의 구체화가 가능하였으며, 본 연구 방법은 에너지 저감형 건축물 설계 시, 유용할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 광주광역시 및 전라남도 공동주택 거주자를 대상으로 친환경 건축물 및 설비시스템 보급 가능성에 대한 설문조사를 실시하여, 친환경 건축물 관련 지식 및 상세 시스템들에 대한 인식을 파악하고, 친환경 건축물의 폭 넓은 보급을 위해서 필요 사항들을 비용과 이산화탄소 배출량을 중심으로 분석하였다. 또한, 공동주택을 대상으로 유전자적 알고리즘을 이용한 분산형 에너지 시스템을 적용하여 건축물의 에너지 저감형 설비시스템 조합을 설계하였다.

본 논문에서 도출한 결과는 다음과 같다.

에너지와 환경문제를 동시에 해결하기 위한 방안으로 독일, 일본, 미국 등에서 각각 생태건축, 환경공생주택, 그린빌딩으로 이어져, 현재 캐나다, 영국, 네덜란드, 미국, 일본 등은 자국에서 개발한 평가기준으로 건물의 환경성능 평가를 실시하고 있으나 평가 대상의 제한에 따라 그 외 용도의 건물에 대한 친환경성 평가를 고려하지 않을 수 없다. 또한 평가 대상이 아닌 건물을 평가하기 위해 현실적으로 각 용도별 인증기준을 모두 개발할 수는 없기 때문에, 여러 용도의 건물에 적용가능한 공통항목을 중심으로 구성된 인증기준을 마련하여 평가할 필요가 있다.

해마다 늘어나는 에너지 소비에 대응해 에너지절약형 설비시스템이 개발되면서 현재 건축물에 적용되고 있다. 그 중 단열시스템의 도입으로 인하여 약 20~40%의 에너지 절감효과를 갖게 된다. 연료전지의 경우는 40~60% 정도의 발전효율이 높고 반응과정에서 배출되는 열을 활용하면 최대 80%에 가까운 효율을 얻을 수 있으며, 태양광 발전 시스템은 긴 수명과 용량의 신축성을 가지고 있으며, 국내 전체 전력 소비량의 약 20%를 태양광 발전 시스템을 이용해 대체할 수 있다. 히트펌프는 여러 가지 활용 면에 있어서 주변에 존재하는 대체 열원을 사용하기 때문에 열을 공급하는 가장 효율적인 방법이라 할 수 있다. 이와 같이 에너지절약형 설비시스템은 장기적인 관점에서 국가적으로 에너지 절약에 도움이 된다고 볼 수 있다.

설문조사의 분석결과 총 27문항으로 구성된 설문조사의 신뢰도 분석은 수집단계에서의 개념(Concep)을 측정 하기위한 리커트 척도(Likert scales) 방법을 사용하였으며, 신

뢰도 값은 측정치인 Cronbach's alpha의 결과값은 0.726으로 나타났다. 각 문항과 문항의 상관관계를 조사한 결과 상관계수 값이 0.3이상~0.5미만인 다소 높은 변수들이 나타났으며, 상관계수 값이 양의 값으로 한쪽 변수의 증가와 감소에 따라 대응변수도 같은 방향으로 거동 하게 된다. 또한 유의확률이 각각 0.001, .000으로 유의수준 0.005 보다 낮은 것으로 나타나 두 변수간의 통계적 차이가 있다는 귀무가설을 채택하게 된다. 즉, 친환경 관련 용어의 이해와 에너지 절약형 주택 선호도에 관한 항목에서 높은 의식 수준과 선호도를 나타 냈던 응답자 일수록 더 다양한 방법으로 에너지를 절약 하고 있다고 해석 할 수 있다. 또한 KMO요인분석의 결과값으로 BTS값이 961.044이고, 유의확률 0.000이 결과값은 0.738로 약 74%의 설명력을 나타낸다고 볼 수 있다.

일반이용자를 대상으로 친환경설비시스템의 인식과 투자에 대한 인식을 조사한 결과, 초기 비용에 대한 부담으로 인해서 일반 이용자의 단열성능향상에 대한 관심이 높았으며, 아파트 거주자의 경우, 다양한 에너지 저감 설비시스템에 대해 비용 투자 의향이 있는 것으로 나타났다. 성능부분에서는 적은 초기 비용에 많은 CO_2 삭감량을 나타내는 설비 시스템에 투자를 원하는 것으로 나타났다. 이에 비해 다른 친환경 관련 설비 기술에 대해 많은 사람들이 인지하지 못하고 있으므로 많은 사람들에게 이러한 관련 정보들을 많이 보급하여 효율이 높은 설비 시스템이 활성화될 수 있도록 할 필요가 있다. 에너지 절약형 건축물의 보급을 위해서 다양한 설비시스템의 도입 및 친환경 건축물에 대한 지속적인 교육과 홍보가 요구된다.

TRNSYS를 이용하여 계산한 냉열 및 온열 에너지 수요량은 본 최적 설비 시스템 설계의 중요한 입력 데이터로 적용이 가능하여, 냉열 및 온열 에너지 수요량은 설비 시스템의 종류 및 용량 선정에 중요한 요소로 확인되었다. 건축물의 에너지 수요량이 동일하다고 할지라도, 설계 방법에 따라 설비 시스템의 종류, 용량 및 운용 계획 등이 상이하게 나타났다. 본 연구에서 제시하는 최적 설계 수법을 이용하여 건축물에 사용되는 1차 에너지 소비량의 저감이 가능한 것으로 확인되었다. 향후, 설비 시스템 초기비용, 운영비용 및 CO2 배출량을 고려한 설비 시스템의 설계가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시한 설비 시스템 설계 수법에 의해 설비 시스템의 기종, 용량, 대수분할 뿐만 아니라, 각 계절별 온열, 냉열, 급탕 및 전력 에너지 공급 운용 계획의 구체화가 가능하였으며, 본 연구 방법은 에너지 저감형 건축물 설계 시, 유용할 것으로 판단된다.

參 考 文 獻

■ 학위논문

강남훈, “산업부문 에너지절약정책의 효과성평가 및 개선방안에 관한 연구”, 서울대학교 행정대학원 석사학위논문, 1987.

강신영, 소규모 독립형 태양광 발전 시스템 설계 및 시뮬레이터 개발, 전남대학교 박사학위논문, 2003

권기택, 거주자 만족도에 따른 친환경 공동주택 인증제도 개선방안에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2010.

김기진, 순수흡수식 히트펌프와 태양열을 이용한 흡수식 히트펌프의 경제성 비교, 건국대학교 석사학위논문, 1991

김동규, 태양광 발전시스템의 운전특성에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2008

김명철, 주거용 건물의 태양광 발전시스템 경제성 평가 연구, 창원대학교 석사학위논문, 2007

김용원, 건축물의 에너지 절약 방안에 관한 연구, 성균관대학교, 석사학위논문, 2000.

김종민, 건축물의 단열설계에 관한 연구, 삼척대학교 석사학위논문, 2006.

김주영, 신재생에너지시스템의 건축물 적용을 위한 가이드라인 개발, 경북대학교 석사학위논문, 2008.

김호석, 기후정책이 온실가스 배출저감과 에너지효율기술에 미치는 영향에 관한 연구, 연세대학교, 석사학위논문, 2003.

김효상, 학교건물의 태양열 냉·난방시스템 성능 및 경제성 분석, 한양대학교 석사학위논문, 2010.

성환봉, 대학 건물에서 히트펌프 냉난방 시스템의 경제성 분석, 부성대학교 석사학위논문, 2008

송병하, 냉온수 겸용 축열시 히트펌프 시스템의 설계 및 성능분석에 관한 실험적 연구, 서강대학교 석사학위논문, 2002

안용선, 에너지 절약을 위한 빙축열 시스템의 적정 축열율 산정에 관한 연구, 건국대학

교 석사학위논문, 1995.

오원철, 태양광 발전시스템의 구성과 기능 시험방법에 대한 일반적인 기준, 목포대학교 석사학위논문, 2005

이준영, 히트펌프를 이용한 냉난방시스템의 최적운전제어에 관한 연구, 공주대학교 석사학위논문, 2005

이현화, 친환경 인증 평가 부문 및 항목별 설계 시공 현황과 거주자 및 전문가 인분석을 통한 친환경 공동주택 계획방향 수립, 이화여자대학교 석사학위논문, 2009.

전관탁, 증기압축식/흡수식 하이브리드 히트펌프 사이클에 관한 최적화 연구, 인하대학교 석사학위논문, 2001

정수연, 저에너지 주택설계를 위한 단열구조 및 디자인 요소에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2007.

조경민, 저에너지 주택설계를 위한 단열구조 및 디자인 요소에 관한 연구, 세명대학교 석사학위논문, 20095

최선미, 지열원 열펌프 시스템의 에너지 절감 및 온실 가스 저감 효과에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2008.

허재안, 지구온난화 대응을 위한 정부와 기업의 역할관계, 경원대학교 박사학위논문, 2009

황인석, 교토의정서와 한국의 대응체제에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문, 2005

■ 학술지 논문

김영탁. (2005). 공동주택의 에너지 소비량을 예측하기 위한 대표일 난방부하모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 21(11), pp.287-294.

정석우, 박강철, 서장후, (2010), 열부하 계산을 이용한 집합주택의 에너지 저감형 건축설비 시스템의 설계, 대한건축학회지회연합회논문집, 12(3), 2010, pp. 253-260

서장후, 안명호 (2009). 에너지저감을 위한 건축물 설비시스템의 최적설계에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, pp.789~792.

Chen H, Ooka R, Kato S. (2008). Study on optimum design method for pleasant outdoor thermal environment using genetic algorithms (GA) and coupled

simulation of convection, radiation and conduction, Building and Environment, Vol.43, pp.18-30.

Farraj F. Al-ajmi, V.I. Hanby. (2008). The Use of a Double Heat Pipe Heat Exchanger System for Reducing Energy Consumption of Treating Ventilation Air in an Operating Theatre - A Full Year Energy Consumption Model Simulation, Energy and Buildings, Vol.40, pp.1101-1109.

J Seo, R Ooka and G Kayo (2009). Study on optimal energy system design for apartment house using genetic algorithms,, Proceedings of the 11th International Building Performance Simulation Association Conference, pp.1830-1834.

Ono E, Yoshida H, Wang F, Shingu H. (2007). Study on Optimizing the Operation of Heat Source Equipments in an Actual Heating / Cooling Plant Using Simulation, Proceedings of Building Simulation 2007, pp.580-587.

R Ooka and K Komamura (2008). Optimal design method for building energy systems using genetic algorithms, Building and Environment, Vol.44(7), pp.1538-1544.

S Sadohara (1984). A survey on energy consumption in housing complex in Tokyo: Part 2 Analysis of hot water consumption, Summaries of technical papers of annual meeting, AIJ, pp.641-642.

Wang F, Yoshida H, Ono E, Shingu H. (2007). Methodology for Optimizing the Operation of Heating/Cooling Plants with Multi-Heat Equipments Using Simulation, Proceedings of Building Simulation 2007, pp.529-536.

Yau Y. (2008). The Use of a Double Heat Pipe Heat Exchanger System for Reducing Energy Consumption of Treating Ventilation Air in an Operating Theatre - A Full Year Energy Consumption Model Simulation, Energy and Buildings, Vol.40, pp.917-925.

Yuasa K, Yoo J, Fujii S. (2007). Feasibility Study of Distributed Energy System for Apartment House, Journal of environmental engineering, AIJ, No.621, pp.51-56

■ 단행본

Cimin Keyhanian, 『Rechtliche Instrumente Zur Energieeinspraung』, Nomos, 2008.

Jean-Luc Wingert/김성희(역), 『에너지전쟁』, 청년사, 2007.

김길환, 『문명과 에너지』, 21세기문화사, 2000.

최기동, 「에너지절약의 개념변화- 에너지 바로쓰기 운동의 전개」 에너지관리공단, 1989,

저작물 이용 허락서

학 과	건축공학과	학 번	20087363	과 정	박사
성 명	한글 정석우	한문 鄭錫宇		영문 Jeong, Suk woo	
주 소	광주광역시 동구 학동 아남아파트 101동 1018호				
연락처	e-mail :				
논 문 제 목	한글 공동주택에 적용가능한 에너지 저감형 설비시스템에 관한 연구				
	영문 A Study on the Energy-Saving Equipment System for Design of Apartment House				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함(다만, 저작물의 내용변경은 금지함)
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함

동의여부 : 동의(O) 반대( )

2010 년 2월 25일

저작자 : 정석우 (인)

조선대학교 총장 귀하