

생태주거 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Ecological Dwellings

안 태 경* 김 학 철**
Ahn, Taekyung Kim, Hakcheol

Abstract

Environmental pollution has become a serious worldwide problem the humans has encountered in several decades. On the respect of the preservation of the global environment, world-wide consensus to cope with this problem was represented as 1992's Rio Declation.

The purpose of this study is to develop evaluation technique of ecological architecture. The environmental scores of the buildings are evaluated and improved from the building design phase in order to build the best environmental building.

Ecological architecture is mainly based on the balance of three element : Nature, Humanity, and Cost saving. Its main goals are energy saving and recycling, resource saving, high contact with circumstances, and health & amenity.

키워드: 생태건축, 환경친화, 에너지절약

Keywords: ecological architecture, environmentally friendly, energy conservation

1. 서론

근래 환경의 문제는 21세기에 가장 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이에 미래학자들은 21세기에는 환경 더 나아가 생태학의 시대가 도래할 것으로 예견하고 있다. 환경이 보호되는 사회가 이루어져야 한다는 것이다.

근년에 와서 인류의 생활에서 “생태학”이란 새로운 패러다임의 수용이 가시화 되어 건축분야에서도 건축행위 자체가 곧 생태계의 파괴로 귀결하여 기존 건축의 문제를 근원적으로 해결하기 위한 대안의 개발이 다각도로 모색되고 있다. 환경을 고려한 미래지향적인 대안 건축의

대표적 사례로 독일어권에 널리 퍼진 “생태건축”과 일본의 “환경공생건축”을 꼽을 수 있다.

지구환경보호의 측면에서 환경의 문제점에 대처하기 위한 세계적인 기본합의가 공표 되었으며 지구환경문제가 관심사로 등장하여 선진 외국에서는 환경보호를 실천할 수 있는 방안을 제시하고자 노력하고 있다.

국내에서도 이의 심각성을 받아들여 학교, 연구소, 기업체 등에서 관련 연구가 활발히 진행되기 시작하였다. 지구의 환경을 오염시키는 원인은 현재 여러분야에서 나타나고 있으며 건축분야에서도 그 해결책을 찾고있다. 90년대 초에 이르러 국내에서도 환경문제에 대한 관심이 고조되기 시작하면서 환경친화형, 환경보전형, 환경공생(共生)형, 그린(Green)건축물, 생태건축 등

* 정회원, 경동대학교 건축공학부 전임강사, 공학박사

** 정회원, 경동대학교 건축공학부 전임강사

의 이름으로 환경을 고려한 건축대안이 거론되고 있다. 그러나 이러한 건축대안들의 대상은 주로 도시지역에 편중되고 있어 급속히 아파트 단지, 연립주택, 일반주택, 저층 주거단지 등이 건립되고 있는 도시의 근거리 지역, 농촌지역 등에는 생태학적 개념을 고려하지 않은 건물이 건립되어 환경에 나쁜 영향을 미치고 있는 실정이다. 이러한 현실에서 생태건축으로의 유도를 위하여는 건물을 건립하고 운영하는데 어느 정도 환경적인 측면에서 생태적인 요소를 가지고 있는지 평가할 수 있어야 실질적인 생태건축으로 유도가 가능할 것이다.

따라서 본 고에서는 도시지역 뿐만 아니라 농촌지역에서의 생태주거를 유도하기 위하여 생태주거에서 적용될 수 있는 국외의 환경적 기술과 평가기법을 고찰하였다. 또한 이를 기본으로 국내 생태주거에 적용할 기술의 검토표와 정량적으로 표현이 가능한 환경부하¹⁾를 산출할 수 있는 간이식을 도출하여 생태주거의 환경적 평가법을 제시하고자 한다.

2. 생태주거의 목표

생태주거의 건립을 위한 요소로서 먼저 환경적 건축요소로서의 친환경과 친인간이 주요 개념으로 적용하였다. 친환경, 친인간과 더불어 현실에 적용되기 위해서는 경제성의 확보라는 새로운 전제가 충족되어야 한다. 따라서 친환경, 친인간, 비용절감이라는 3가지 기본개념을 전제로, 건축물의 계획, 설계, 시공, 유지관리, 그리고 폐기에 이르기까지 총체적으로 에너지 및 자원을 절약하고, 주변환경과의 유기적 연계를 도모하여 자연환경을 보전하는 동시에 인간의 건강과 쾌적성 증진을 추구하는 건축을 생태건축에서 갖추어야 할 환경적 요소로 정의하고자 한다. [표 1]은 생태건축의 환경적 목표를 나타낸 것이다.

1) 환경부하란 건축물에서 발생하는 오염물질의 총량을 말하나 본 연구에서는 주거의 운전시 발생하는 오염물질을 칭함.

표 1. 생태주거의 목표

기본 개념	구 분	목 표
친환경 친인간 비용 절감	에너지절약 및 순환	에너지 수요저감 태양에너지 이용 미이용에너지 이용 폐열 이용
	자원절약 및 순환	자원의 수요저감 재생, 재활용소재이용 토지의 효율적 이용 수자원 순환활용 폐기물 처리 및 재활용
	주변환경과 유기적 연계	자연조건의 최적이용 녹지의 조성 연계 건물내외의 유기적 연계 지역 사회 문화와의 친화
	건강 및 쾌적성 향상	쾌적한 실내환경 휴식 휴양공간의 조성

3. 생태주거의 환경적 조성기술

3.1 생태주거의 기술

생태주거를 유도하기 위하여 적용될 수 있는 기술은 다음과 같다.

- 1) 에너지절약기술
 - 건물의 에너지절약을 위한 기술도입, 태양에너지 이용, 폐열 이용, 환경부하 감소 기술, 풍력에너지 이용
- 2) 자원절약기술
 - 수자원절약, 폐기물처리 기술
- 3) 식물이용 하수정화 기술
 - 수생식물에 의한 수처리기술, 유럽에서는 갈대 등의 습지식물을 이용
- 4) 투수성 포장기술
 - 우수를 직접 노상에서 침투시켜 지중으로 환원하는 기술
- 5) 옥상녹화기술
 - 지붕에 녹화를 하여 에너지절약 효과 및 주변환경과의 조화

6) 벽면녹화기술

- 벽면에 녹화를 하여 에너지절약 효과 및 주변환경과의 조화

7) 비오름 조성기술

- 생물서식공간 조성

8) 건강 쾌적기술

- 실내의 건강 및 쾌적조성 기술

3.2 국외의 기술현황

이미 선진외국에서는 생태건축과 관련하여 환경보전형, 친환경, 환경공생형, 그린(green)빌딩이라는 용어로 건물들이 건립되고 있다. 미국과 일본의 자료는 기존 자료를 이용하였으며 독일의 생태주거단지는 현지 방문조사를 통한 자료를 기본으로 고찰하였다.

1) 미국

미국은 태양에너지의 이용, 폐열, 초에너지절약 기술에 관련된 기술도입이 일찍 시작되었다. 현재도 연구소, 학계, 기업 등에서 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구는 에너지절약 효과를 극대화하게 될 것이고 환경부하를 감소시킬 것이다. 미국 ASTM의 그린빌딩 소위원회에 따르면 그린빌딩이란 설계, 시공, 유지관리, 철거 및 해체과정에서 환경측면을 적극적으로 고려한 건축물로 정의하고 있다. 여기에는 건축물의 에너지효율 및 실내공기질의 향상, 폐기물의 발생억제 및 자원의 효율적 이용, 근무자의 생산성 향상 등 다양한 분야를 고려하고 있다.

(가) Audubon House

뉴욕에 위치하고 있으며 기존 건물에 비하여 60%의 에너지절약을 목표로 하고 있다. 재실자의 영향을 최소화 하기 위하여 무독성 재료, 재활용 재료를 사용하였으며, 폐기물의 다단계 분류, 절수장치 등을 설치하였다.

환경보전의 개념의 단지로는 High Meadow 단지가 주변 자연경관을 살리면서 수자원을 최

대로 이용하기도 하는 개념으로 설계되었다.

(나) Ridgehaven Building

샌디에고 ESD의 본부 건물로서 개축단계에서 그린화를 위한 기술을 도입하였다. 에너지효율, 실내공기질, 자원효율성, 건설 및 운영단계에서 환경에 미치는 영향을 최소화 하게 하였다.

(다) Energy Resource Center

최신 에너지 및 환경기술을 실현한 모델건물로서 에너지성능 기준의 45% 수준을 소비하는 에너지절약적 건물이다. 환경보호 협회로부터 에너지 고효율화와 환경친화적인 건물로 인정되어 "Energy Star" 빌딩으로 지정되었다.

2) 독일

(가) 하노버 옥상녹화 주거단지

독일의 대표적 생태주거 단지 중의 하나로서 토지의 효율적 이용을 위한 단지설계 및 주동, 주호의 공간구성계획을 보이고 있다. 대표적인 기술로는 지붕위에 녹화를 하는 기술을 도입하여 에너지절약 효과를 가져왔다. 또한 주거의 외부와 내부 정원과의 연계성을 이루어 자연과 어울리게 하였다. 거실 부분은 온실부착형 자연형 태양열 기법을 사용하여 에너지소비를 줄였다. 사회적 연계 및 자연경관과의 연계를 고려하여 개인과 전체, 자연과 인공이 어우러지는 공간구성이 되도록 하였다. 골목길 식재에는 생물서식공간(Biotope)개념을 도입하였다. 각 주호사이의 간벽은 친환경 재료라 할 수 있는 재생재료의 벽돌을 사용하였다.

(나) Kiel 생태주거단지

킬의 하쎄에 위치한 이 생태주거단지는 공동체생활과 생태적인 주거단지의 건축을 목표로 일단의 주민들에 의해 건축되었다. 재생 및 재활용이 가능한 생태건축 소재만으로 건축된 것

이 특징이다. 즉, 이 주거단지는 친환경소재 만을 이용해 환경의 질과 생활의 질을 향상시키며 동시에 경제적인 건축을 가능하게 하였다. 내벽은 축열성능과 조습기능이 뛰어난 흙벽돌을 사용하였다. 외벽은 목재 기둥이 안팎으로 축열 및 단열 개념의 복합구조 구성이 되도록 하였다. 지붕은 옥상녹화를 하였다. 단지는 주민공동체 소유의 공동정원을 건립하였다. 단지 외곽 저지대에 하수자연정화 호수를 설치하고 단지내 우수저장호수와 연계하였다. 우수 및 식수 공급처리 시스템으로는 자연스런 빗물의 침투를 유도하며 야생잔디지붕 및 연못에 빗물저장, 자연발효식 화장실 시스템의 활용, 적절한 물순환체계의 구성에 의한 물절약시설, 식물정화시설을 이용한 단지내 하수의 정화 시설을 하였다.

(다) 샤프브렐 생태주거 단지

샤프브렐 주거단지는 독일의 생태주거단지의 초기사례로서 이 계획은 80년 초기에 착수하여 85년에 거주자들이 입주하였다. 건물의 외부형태는 인접지역의 농가형태를 따르고 있는데 무엇보다도 특히 지붕의 형태를 조화시켰다. 주거군은 생태주거학적 관점에 따라 토지를 절약하도록 하였으며 또한 목재, 벽돌, 석회칠, 자연도료와 같이 자연적이고 분해되는 소재 및 인체에 해를 적게 끼치는 소재를 선택하였다. 주택의 북측은 지붕을 얇게하고, 식품창고와 다용도실을 배치하며 남측에는 온실을 부착하여 에너지절약에 기여하도록 하였다. 지붕의 빗물은 식물이 자랄 수 있는 우수저장 호수나 양어장으로 흐르게 하였다. 부엌쓰레기 처리는 단지내 두 곳에서 부식질의 퇴비로 만든다.

3) 일본의 환경공생 주거

일본의 환경공생주거는 독일의 생태주거와 같이 환경보전을 위한 기술이 도입되었다.

(가) Earth Village

공동주택의 옥상층에 자연자원의 활용을 위한 태양에너지 시스템과 녹지가 조성되어 있다. 우수(雨水)를 이용하기 위해 건물옥상에 우수 자동공급장치와 테라스의 화분을 위한 우수공급파이프를 설치하였다.

(나) 실험집합주택 NEXT 21

여유 있는 생활과 에너지절약 및 환경보전을 주제로 하여 집합주택을 제안하였다. 옥상, 각층의 테라스 녹화, 1층에 설치되어 있는 녹지가 생태학을 도입한 정원을 이루었다. 녹지는 쾌적한 자연환경으로서의 효과와 일사의 차폐효과, 수분 증발에 따른 잠열제거 등 에너지측면에서의 유용성이 기대되고 있다.

(다) Earth Sweet Village

재래 목조구법에 의한 단열과 고기밀성 확보, 채광과 바람을 잘 이용하도록 하였다. 또한 온실의 자연을 이용한 쾌적성 확보, 태양열에 의한 냉난방 급탕시설, 풍력발전 등의 에너지를 이용한다. 그밖에 우수이용으로 수자원의 절약과 순환성을 확보하고 쓰레기 분리나 콤포스트화에 폐기물의 감량, 지구를 오염시키지 않고 자원을 아끼는 주생활법 등을 제안하고 있다. 옥상 2층의 지붕테라스에 녹화를 실시해 경관조성에 대한 배려와 함께 열섬화를 방지하였다.

(라) Ma-Terre Anou

북측의 계단식 주차공간과 주차장 상부의 녹지, 풍력발전기, 절수형 변기등을 사용하였다. 우수를 이용하기 위하여 건물상부의 빗물을 저장하여 주차장 옥상의 녹화에 녹지에 사용하였으며 투수성 보도를 이용하여 차도와 보행도로의 우수를 지하로 유입하였다.

4) 캐나다의 고단열 고기밀 주택

캐나다는 지구환경을 보호하는 에너지절약 주택을 위한 기술을 개발하고 있다. 대표적인 주택으로 R-2000이 있다. 이 주택은 단열과 누

기를 방지하기 위한 기밀성능을 향상시키기 위하여 열손실과 외풍을 감소시켜 실내의 온도를 일정하게 유지시키며, 외부의 소음을 막아주는 차음성능을 제공한다. 또한 효율적인 에너지절약 창호, 문, 공간, 급탕시설, 효율적인 조명과 설비를 갖추었으며 자연형 태양열 시스템을 이용하는 설계를 하였다. 이 보다 성능이 강화된 주택은 Advanced House로서 3중창을 사용하였고 사용된 기기들은 일반주택에서 사용되고 있는 기기들에 비하여 에너지를 20~60%정도 사용하는 에너지절약형 주택이다. 단열재는 재생 재료를 사용하여 제조된 것으로 환경친화적인 재료를 사용하고 단열성능을 극대화 하였다.

4. 국외 생태주거 평가기법

21세기의 가장 주요한 환경오염방지를 위하여 건설산업부문에서도 선진국을 중심으로 관련연구가 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 국외에서는 생태주거의 평가기술로 표현되지는 않고 있으며 환경공생 건물의 평가, 환경친화형 건축의 평가, 그린빌딩의 평가 등으로 표현되고 있다. 이러한 평가기술이 발달한 국가로는 영국과 일본을 대표적으로 꼽을 수 있다.

영국은 일찍 친환경평가를 정착한 나라이다. 영국에서 개발한 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)은 환경적 모든 요소를 고려하고 있으며 등급을 향상시킬 수 있도록 중간평가단계를 제공하는 프로세스를 포함하고 있는 것이 특징이다. 이러한 영국의 BREEAM은 캐나다의 BREEAM-Canada, 홍콩의 HK-BEAM, 호주의 BREEAM-OZ, 아프리카의 BEARS의 그린빌딩 평가기준으로 적용되어 전세계적인 평가기준 개발의 바탕이 되고있다. 현재 사무소, 주거 건축물, 슈퍼마켓, 공장에 적용되고 있으며 상점, 병원, 스포츠센터에 대한 기준이 도입될 예정이다. 캐나다의 BREEAM Canada는 평가항목으로 BREEAM에서 제시되었던 지구환경에의 영향, 지역환경과

자원이용, 실내환경으로 구분하여 평가하였다. 핀란드의 경우에는 Life Cycle중 설계과정의 초기단계가 중요한 항목으로 제시되었다. 네덜란드의 경우에는 에너지사용, 유지관리, 건물 구성재의 내구성, 제품의 재이용과 리노베이션을 포함하여 평가하였다. 미국의 LEED는 건축물의 Life Cycle 과정에서 평가하고 그린빌딩의 개념을 제시하여 주었다. 현재 시범은행중이다. 일본의 경우 평가항목에 따라 필수요건과 제안유형으로 구분하여 에너지절약, 자원, 지역과의 연관성, 건강쾌적 등을 평가하도록 하였다. 또한 일본의 건축학회 에너지 소위원회에서 지구 온난화방지의 관점에서 건축물을 평가하는 방법으로 제안한 LCCO₂ 평가법은 LCA(Life Cycle Assessments)의 평가법에 의하여 각 단계에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 평가하는 방법이다. 이 평가기법은 환경성능의 개선여부를 평가하는데 사용되는 방법으로 생산, 유지, 폐기로 건물의 전생애를 3단계로 정의한 것이다. 즉 건설분야에서는 건물의 건설, 운전 및 유지관리, 건설폐기물의 처리 및 활용에 따른 환경부하를 평가하는 것이다. 일본의 건설성에서는 환경공생주택 추진회와 주택·건설성 에너지기구와 공동으로 계획수법 가운데 자원·에너지절약과 이산화탄소의 배출감소 등, 환경공생주택의 기본성능에 관한 정량화 된 평가법을 제시하였다. 이 평가법은 미이용에너지와 자연에너지의 이용량은 산입하지 않았으나 전력사용과 함께 발전소에서의 배출량을 포함하여 평가를 하였다. 에너지소비계수 및 이산화탄소 배출의 계산에서는 고기밀, 고단열, 일사차폐, 통풍, 환기, 채광에 의한 주호, 주동계획에서의 환경부하 저감수법과 에너지절약 가전기기의 이용에 따른 효과를 계산하였다. 계산의 정밀도는 계획의 목적 등에 따라 각각의 수준이 고려되지만, 어느 정도 정밀한 평가를 목적으로 하는 경우에는 계획구역의 기상데이터를 이용한 연간 시각별 부하 및 에너지 소비량의 시뮬레이션을 행할 필요가 있다. 수자원의 평가는 질수

기기의 사용 및 물사용의 억제, 질수 수도시스템의 도입에 따른 물의 순환, 재이용, 우수의 저장, 유효이용 등 급수소비의 절감효과를 평가하는 것이다. 폐기물의 평가는 대상주택과 단지에서 사용된 총 폐기물에서 재활용하여 사용될 목적으로 분류되어 회수된 양으로 나타낸 것이다. 주택의 정성적 평가항목은 에너지절약과 유효이용의 평가 항목을 나타낸 것으로 크게 에너지절감과 유효이용, 자연에너지 및 미활용에너지의 유효이용, 내구성의 향상과 자원의 유효이용, 환경에의 부하절감 및 폐기물의 감소를 평가하여 각 항목에 대하여 점수로 평가한다.

5. 생태주거의 평가방향

앞에서 고찰한 바와 같이 친환경 평가는 국가간의 이해, 자료의 차이, 환경요소간에 미치는 영향의 다양성 등 매우 복잡하게 이루어져 있으므로 분야별 평가와 환경전반에 걸친 총체적인 평가가 동시에 제시되어야 할 것이다. 따라서 생태주거의 평가도 지구환경의 보호, 주변환경과의 조화, 쾌적한 실내환경의 조성 등 지구환경을 보전하고 실내의 쾌적환경을 유도할 수 있는 방안으로 활용될 평가법이 제시되어야 할 것이다. 또한 현행 건축물 에너지절약기준 등과 같은 관련 기준과 법규도 에너지절약 뿐만이 아니라 환경을 보호하는 차원에서 환경부하를 규제하는 방향으로의 전환이 필요한 시점이라 할 수 있다.

이와 같은 개발목적을 가진 평가법이 활용될 경우 일종의 환경보증서 역할을 할 수 있으며, 건축물, 설비시설, 재료와 주변환경을 친환경적으로 유도하는데 매우 중요한 도구가 될 것이다. 또한 환경의 문제가 심각한 현시점에서는 환경부하를 줄이기 위한 하나의 규제방안 혹은 금융혜택을 줌으로서 환경부하를 줄이기 위한 유도 방안으로 제시될 수 있을 것이다.

5.1 생태주거 평가수준

생태주거의 평가는 실질적으로 생태주거를 계획하고 설계하는 건축설계자를 위한 설계 가이드라인, 생태주거의 유도를 위한 규제방안의 수단이라 할 수 있다. 평가법이 적용되기 위하여는 관련 자료 및 평가요소들에 관한 각각의 평가법과 기준 등이 제시되어야 한다. 그러나 이러한 기준들은 설계자들에 부담을 줄 수 있으므로 도시 및 농촌지역에 적용할 기술을 검토할 수 있는 평가수준이 적절할 것으로 사료된다. 따라서 설계자들이 적용하기에는 가장 기본적인 수준인 설계사항을 점검하고 검토하는 체크리스트 개념의 단계라 할 수 있다. 이러한 수준은 설계자들이 생태주거를 위하여 고려하여야 할 사항을 사전에 알 수 있게 하여주고, 건립된 주거에 관한 평가를 할 수 있게할 것이다.

5.2 생태주거의 환경 평가요소

생태주거 평가에 고려될 사항은 앞으로 건립될 생태주거에 적용할 요소라 할 수 있다. 향후의 생태주거는 환경부하가 적으면서 실내의 쾌적환경을 유지하는 건축물이 되어야 한다. 따라서 이의 평가법도 크게 외부환경과 실내환경을 종합적으로 평가되어야 한다.

생태주거를 위하여 고려되어야할 항목을 구분하면 첫째, 건축물에 의하여 발생하는 환경부하가 평가되어야 하여야 한다. 둘째, 주변환경과의 친화정도가 평가되어야 한다. 셋째, 실내쾌적환경이 평가되어야 한다.

6. 생태주거 평가기법

6.1 운전에 의한 환경부하조사

환경부하는 건물 시공 및 폐기시 발생하는 고정 환경부하와 건물운영에 따른 변동 환경부하로 구분된다. 또한 고정된 환경부하인 건물시공 및 폐기시의 경우도 향후 기술의 개발 및 신소재 등의 등장으로 환경부하를 감소시킬 수 있

다. 한편 난방운전에 의한 환경부하는 에너지절약 및 적절한 시스템의 선택 및 운영 등에 의하여 환경부하를 감소시킬 수 있다.

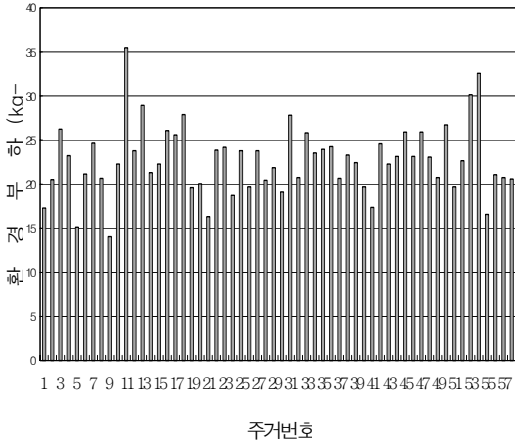


그림 1. 집합주거의 환경부하

[그림 1]은 도시지역과 도시외곽지역의 58개 집합주거 단지의 운전에 의한 환경부하를 조사하였다. 운전에 의한 환경부하는 먼저 난방시의 에너지를 조사한 후 이것을 환경부하 단위로 재산출하였다. 환경부하의 값은 14~35kg-c/m²로 나타났다. 최소의 환경부하 단지와 최대의 환경부하단지간의 차이가 2배이상 나는 것으로 나타났다. 주거간의 환경부하의 차이는 건물의 시공수준의 차이 건립년도, 운전방식의 차이 등 많은 변수가 작용하고 있다. 그중에서도 건물의 에너지절약의 기술 도입여부와 단열상태등 건물의 설계시 반영되는 수준과 운전시 에너지절약의 노력여부에 따라 달라진 것으로 판단된다. 즉 도시든 농촌이든 환경부하의 발생 가능성은 높은 것으로 나타났으며 환경부하가 높게 나온 주거들의 환경부하 감축을 위한 노력이 있어야 할 것으로 판단된다.

6.2 생태주거의 환경부하

생태주거의 환경적 평가요소중 중요한 평가요소는 환경부하의 평가로서 환경부하를 예측할

수 있는 평가기법이 요구된다. 6.1절에서 환경부하를 조사한 것은 기존의 주거의 에너지소비량 조사에 따른 것이다. 환경부하를 예측할 수 있는 다중 회귀식을 도출하는 것은 향후 변화할 건물의 열성능에 대한 환경부하를 예측하기 위한 방법이다.

건물의 주요 외피요소를 독립변수로 하고 외피를 통한 부하요소인 투명체를 통한 일사열획득 부하, 불투명벽체를 통한 열전도 부하, 틈새바람에 의한 부하 등을 각기 종속변수로 하여 그 회귀 관계식을 난방별로 도출한다. 다음은 변수의 설정과정을 나타낸 것이다.

1) 회귀모델 설계(변수의 개발)

기본 변수 및 물리적 변수를 이용한 회귀식의 계산결과(예측치)가 실제값(종속변수)과 오차 발생할 경우, 이 오차(잔차)의 의미를 분석하면 새로운 변수의 생성이 가능하다. 일반 사회학적인 통계 데이터와는 달리 본 회귀모델에서 사용되는 독립변수(건물 외피인자)와 종속변수(DOE 결과치)는 분명한 물리적 관계를 가지기 때문에 일반 사회학적인 통계 해석에서 사용이 제한되는 인자간의 조합이 수학적, 물리적 관계를 근거로 가능하다는 것이다. 즉 어떤 외피 변수가 연간 냉·난방 부하에 어떻게 작용을 하는가는 미리 경험을 통해서 알고 있다는 것이 중요하며, 이것이 통계적 결과에 의해서 인자의 의미를 도출하는 일반 사회학적 통계 분석 기법과의 중요한 차이점이다. 이러한 물리적 모델에서 통계적 기법을 적용하는 것은 그 변화의 패턴을 수학적 변수로 모델링하는 것이 가능하며 변수의 정확한 기여도를 파악할 수 있다는 것이다. 여기서 잔차를 관찰한다는 것은 이러한 변화가 수학적으로 선형변화인가, 또는 2차, 3차식 형태인가를 판단하는 것이며 이에 따라 기본 변수를 적합한 형태로 변환시킬 수 있다. 로그, 제곱, 또는 역수를 취함으로써 현재의 모델이 보다 적절한 것이 되도록 할 수 있다. 이러한 과정이 변수간의 상호작용에도 적용되어 진행된다.

즉 이러한 부하의 변수설정은 변수군 외의 종속변수는 상호간의 상호작용이 있는 변수를 설정하는 것이다. 일반적으로 종속변수와 독립변수간은 (식 1)~(식 5)로 표현된다. 여기서 (식 1)은 일차의 직선 회귀식으로 표현된다. (식 2)는 포물선의 식으로 나타낸다. (식 3)은 다중 회귀모델로 나타낼 수 있다²⁾.

$$Y = a + bX + e \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Y = a + bX + cX^2 + e \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + e \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1X_2 + e \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1^2 + eX_2^2 + fX_1X_2 + e \quad \dots\dots\dots (5)$$

(식 2)와 같은 형태의 모델을 2차 모델이라 한다. (식 3)에서 두 변수간에 상호관계가 있다면 (식 4)와 같이 표현된다. (식 2)와 (식 4)의 모델 성격을 내포한 모델인 경우는 두개의 독립변수를 가진 2차 함수인 (식 5)와 같이 표현된다³⁾. 여기서 두개의 변수를 상호 곱하는 것은 상호관계가 있는 변수간인 것을 말하므로 “창면적에 단열성능을 곱한 변수가 유의한 것으로 판단되면 두 변수간은 상호작용이 있음을 나타내는 변수로서 의미를 갖게된다”⁴⁾.

따라서 기본 변수군을 투입하여 잔차가 발생하면 이 모델에 2차의 변수, 상호작용의 변수끼리 곱하는 변수를 개발하여 투입하여 잔차를 줄인다면 이 모델은 다중변수를 가지고 있는 모델 성격을 가지고 있는 것으로 해석된다.

2) David, A. R., *Nonlinear Regression Modeling*, Marcel Dekker, INC, New York 1983, p.2
 3) Abraham, Bovas, *Statistical Methods for Forecasting*, John Wiley & Sons, 1983, p.10
 4) 中原信生, *ビル・建築設備の省エネルギー*, 省エネルギーセンター, 1983. 1, p.75

본 연구에서는 난방부하를 예측하는 회귀모델식을 제시하여 난방부하에 에너지 소비계수와 환경부하계수를 곱하여 환경부하 예측식을 작성하고자 한다. 난방부하에 미치는 건물특성으로 크게 건물벽체의 열관류율, 창의 열관류율, 창면적비, 바닥면적을 주요변수로 설정하였다.

DOE2 부하계산 컴퓨터 프로그램을 이용하여 설정된 변수에 의하여 216회의 컴퓨터시뮬레이션을 실시하여 변수간의 다중회귀식을 도출하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 의한 연간난방부하와 요소별 상호간의 상관관계에 의하여 식과 같은 다중회귀식이 도출되었다.

[표 2]는 컴퓨터 시뮬레이션 입력변수이며, (식 6)은 시뮬레이션에 의하여 도출된 모델공동주택의 난방부하를 산출하는 식이다. (식 6)은 (식 7)를 이용하여 환경부하를 산출하는 식이다.

표 2. 컴퓨터 시뮬레이션 입력변수

입력변수	단 위	입력 조건
바닥면적	m ²	200, 400, 600, 800
벽체의 열관류율	kcal/m ² h℃	0.29, 0.39, 0.49
창 열관류율	kcal/m ² h℃	2, 2.5, 3.0
창면적비	-	0.2, 0.4, 0.6

$$\text{Load} = 14.38113a_1 + 3.8651a_2 - 4.23243a_3 + 0.031763a_4 - 12.6712 (R^2=0.97) \dots\dots (6)$$

여기서

Load : 모델주택의 난방부하

a₁: 벽체의 열관류율 (kcal/m²h℃)

범위 : 0.29 ~ 0.49

a₂: 창호의 열관류율 (kcal/m²h℃)

범위 : 2.0 ~ 3.0

a₃: 창면적비

범위 : 0.2 ~ 0.6

a₄: 바닥면적 (m²)

범위 : 800 이내

계산에 적용할 수 있는 변수의 범위는 위에서 제시한 범위 안에서 사용이 가능하다.

$$EL = Load \times e \times f \dots\dots\dots (7)$$

여기서

EL(Environmental Load): 환경부하

Load: 난방부하

e: 에너지소비계수는 1.3

f: 환경부하계수

[표 3]은 에너지원별 환경부하계수를 나타내는 이산화탄소 배출 원단위를 나타낸 것이다. 먼저 (식 6)에 의하여 운전시 난방부하를 산출한 후 (식 7)과 [표 3]을 이용하여 환경부하를 산출한다. 이렇게 산출된 환경부하는 주거간 발생될 환경부하를 예측하고 설계에서 설계요소를 변경할 경우의 환경부하를 예측할 수 있다.

표 3. 에너지원별 CO₂ 배출량⁵⁾

에너지	이산화탄소 배출량
중유	0.804 kg-c/10Mcal
천연가스	0.574 kg-c/10Mcal
LNG	0.591 kg-c/10Mcal

6.3 생태주거 평가 검토표

생태주거의 설계시 환경적으로 체크하여 설계에 반영할 수 있는 검토표를 제시하고자 한다. [표 4]는 설계시 혹은 설계 후 생태건축으로 건립되고 있는 가를 판단하는 개념으로 활용이 가능하며 어느 기술을 적용하여야 할 지 모르는 설계자들에게는 설계에 적용될 기술을 검토하는데 사용이 가능하다. 수준의 기준이 요구되는 항목은 기존의 기술수준에 비하여 15%이상의 효과가 있는 것을 생태주거의 기술을 고려한 것으로 판단하게 하였다.

5) 沼中秀一, 溫暖化對策の觀點からエネルギー手法評價, 日本建築學會學術講演梗概集, 1992

표 4. 생태주거 검토표

구분	검토 항목	검토 사항
에너지 절약 여부	건물외피를 통한 에너지 절감을 위하여 단열을 강화하였다.	설계만영시 부위별로 단계를 명시 기존단계 : 현행의 건물 법규의 단열성능 수준, 부위별 열관류율과 단열재의 두께로 결정 1단계: 친환경건축을 위한 최소한의 목표 단열수준, 기존단계에 비하여 단열성능을 15% 향상 2단계: 기존단계에 비하여 단열성능을 45% 향상
	기밀성능을 강화	1. 기밀성능은 압력차법에 의한 측정법에 의한 수치를 활용. 단위틈새값이 중부지역 4 cm ³ /m ³ 이하, 남부지역 5cm ³ /m ³ 이하, 제주도 6cm ³ /m ³ 이하이면 우수 2. 기존의 창호시스템 보다 진보된 수준
	에너지절약 전기설비사용	기존의 전기설비에 비하여 15%이상의 에너지 절약효과가 있음
	에너지절약 냉난방시설사용	기존의 냉난방시설에 비하여 15%이상의 에너지 절약 효과
	에너지절약 급탕시설이용	기존의 급탕시설에 비하여 15% 이상의 에너지절약 효과
	열손실이 적은 환기방식채택	열손실 환기방식채택 여부
	자연형태양열 채택	간접획득 방식, 직접획득 방식, 온실부착형 방식 중 채택여부
	설비형태양열 에너지이용	설비형 태양열시스템 채택 여부
	옥상녹화공법 벽면녹화공법	지붕옥상, 주차장 상부에 녹화여부, 벽면녹화공법 적용여부
	폐열, 지열이용	폐열, 지열 등을 이용하였는지 여부

구분	검토 항목	검토 사항
환경부하저감	환경부하저감	(식 6)에 의하여 운전시 환경부하 검토. EL=Load×e×f
	재료의 환경부하저감	제조, 생산과정에 에너지가 절약되는 건축재료 사용
자원 절약	절수형 설비기기를 채택하였다.	변기, 소변기, 샤워시설 등에 절수형 기기 설치 여부
	수자원의 재이용시스템을 채택	우수의 이용, 생활용수의 재이용 여부, 배수를 정화해서 중수 등에 재이용
	재활용 재료를 사용	재활용 재료의 사용여부, 사용량 부위명시
	쓰레기처리 시설을 설치	효율적인 쓰레기 처리를 위한 시설 유무, 부역쓰레기 회수 및 고품화/퇴비로 활용
생태적 적용 여부	우수침투가 가능하다	우수의 침투가 가능한 외부 바닥재의 사용여부, 투수성포장
	식물, 조류, 곤충 등이 공생하는 공간을 확보하였다.	자연이 공생하는 공간의 설치 여부, 동물, 조류, 곤충 등과의 공생
	주변환경을 고려한 설계를 하였다.	주변의 환경을 보전하는 개념의 설계여부, 식생, 녹지의 확보를 등 전반적인 외부환경을 종합 검토
	생태계에 유효한 연못 등의 조성	생태계에 유효할 수 있는 수공간 확보
	정원, 인근 주변의 충분한 녹화.	정원 인근지역에 충분한 녹화를 하고, 녹지면적 확보
기후 및 지역과의 연계	지역의 기후 특성 맞게 설계	지역의 기후 특성을 고려한 설계
	현 식생의 보전 또는 재생 가능 여부	현 식생을 보전할 수 있는지, 혹은 재생할 수 있는지 판단
	지형의 유지	현 지형을 가능한 살렸는지 여부
	지역의 역사, 문화 등과의 조화	지역의 특성을 반영하였는지 여부

구분	검토 항목	검토 사항
실내 환경	건강에 유해한 성분을 발생시키지 않는 건축재료를 사용하였다.	공기환경에 악영향을 미치지 않는 재료의 적용 여부, 건강을 유지시켜 줄 수 있는 건축재료의 사용여부
	환기 시스템을 채택하였다.	자연 혹은 기계환기시스템의 사용여부, 종류, 용량, 설치위치 명시
	습도조절이 가능한 내장재를 사용하였다.	습도 조절여부 증빙자료 검토
	소음을 줄이기 위한 설계기법의 적용여부, 소음절감 재료의 사용여부	설계 및 증빙자료 검토

6. 결론

본 연구를 통하여 제시된 결과는 다음과 같다.

첫째, 도시 및 농촌지역에서의 생태주거의 건립을 유도하기 위하여 생태주거에서 적용될 수 있는 환경조성기술과 평가법을 고찰하였다. 국외의 생태건축의 기술은 건축자체의 환경친화적 요소를 요구하고 아울러 주변환경과의 친화, 실내환경의 조절도 중요시 여기고 있는 것으로 관찰되었다.

둘째, 실태조사에 의하여 주거의 운전에 의한 환경부하는 14~35kg-c/m²로 나타났다. 최소의 환경부하주거와 최대의 차이가 2배 이상 나는 것으로 나타났다. 이러한 환경부하는 건물의 여러 변수에 의하여 발생된 것으로 조사단지에 따라 차이가 났다. 궁극적으로 계속적인 환경부하의 저감을 위한 기술개발, 환경을 보호하여야 하는 인식전환에 의하여 환경부하가 많이 배출되는 주거의 환경부하를 평균치 이하의 수준으로 낮추어야 할 것으로 판단된다.

셋째, 건축설계 및 계획에서 판단하기 어려운 운전시 발생될 수 있는 환경부하를 평가하는 간이기법을 제시하였다. 이러한 환경부하의 간이평가법은 생태건축에 있어 자연과의 친화, 인간과의 관계 등 정성적인 판단을 할 수 있는 부분에 비하여 에너지의 사용은 정량적인 평가를 원하며 환경보호 차원에서는 정량적인 평가에 의한 환경부하의 조절이 요구된다. 따라서 본 연구에서 제시한 간이 평가식은 설계단계에서 운전에 의한 환경부하를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

넷째, 설계자들이 설계시 반영할 수 있는 환경기술들을 검토할 수 있는 검토표를 제시하였다. 이러한 검토표는 생태건축에 적용될 기술을 설계자가 파악하게 하여 설계시 반영하게 할 것이다. 특히, 농촌지역에서 기존의 자연환경을 파괴되고 있는 사례가 자주 발생함으로 생태주거로의 유도를 통해 환경을 보호하는 방안으로 활용될 수 있을 것이다. 따라서 보다 구체적인 환경조절방안에 의한 환경보호 차원의 건축이 건립될 것이다.

본 연구에서 제시한 검토표와 환경부하의 간이평가식은 설계자들이 설계시 생태건축을 위한 기술의 적용여부를 판단하게 하여줌으로서 건축주, 설계자, 시공자 모두가 생태건축의 건립에 참여할 기회를 넓혀줄 것이다.

참고문헌

1. 김현수, 안태경, 변해선, 환경친화적 건축개념 정의와 건축적 목표의 구체화를 위한 연구, 대한건축학회 논문집 제14권 제 2호, 1998. 2
2. 도쿄시 주택국. Symbiotic Housing, 1995
3. 국립환경연구원, 생태도시 조성 기반기술개발 사업, 1997
4. 신기식, 그린빌딩 구현사례, 공기조화 냉동공학회 제27권 제4호, 1998

5. 건설교통부, 환경보전형 주택시스템 개발, 1995
6. 한국건설기술연구원, 그린타운사업개발연구, 1997
7. 日本 建設省住宅局住宅生産課, 環境共生住宅計劃・建築編, 1994
8. 沼中秀一, 温暖化對策の觀點からエネルギー手法評價, 日本建築學會學術講演梗概集, 1992
9. 中原信生, ビル・建築設備の省エネルギー, 省エネルギーセンター, 1983. 1
10. David, A. R., *Nonlinear Regression Modeling*, Marcel Dekker, INC, New York 1983
11. Abraham, Bovas, *Statistical Methods for Forecasting*, 1983