주택의 에너지절약 설계기법 및 효율평가에 관한 연구

A Study on the Development of Energy Conservation Design Strategies and Energy Efficiency Rating for Houses

나 수 연* 이 언 구**
Na, Su-Yeun Rhee, Eon-Ku

Abstract

This study aims to establish the Energy Efficiency Rating for houses, which can easily be appreciated by the general public, and to present the energy conservation design strategies by utilizing the methodology developed for the establishment of EER. The method of the research are as follows;

1. Investigation of energy factors through literature search.
2. Analysis of energy performance of houses through the detailed computer simulation.
3. Establishment of the prediction model for Energy consumption through statistical analysis.
4. Establishment of the Energy Efficiency Rating for houses from through content analysis.
5. Presentation of the energy conservation design strategies for houses identified from the prediction model.

키워드 : 에너지절약, 에너지효율등급, 주택,
Keywords : Energy conservation, Energy efficiency rating, Houses

1. 서 론

본 연구의 목적은 주택의 에너지 성능을 누구나 쉽게 판단할 수 있도록 에너지 등급을 설정하고 이때 사용된 방법론을 근거로 주택의 에너지 절약 설계기법을 제시하는 것이다. 에너지 자원이 절대적으로 부족하여 90% 이상의 에너지를 수입에 의존하고 있는 우리 나라에서는 효과적인 에너지 정책을 통하여 에너지절약을 추구하는 것만이 국가 경쟁력을 높이고 국민생활을 향상시키는 지름길이다. 이에 따라 정부에서는 국가 전체 에너지 소비의 1/3을 차지하고 있는 건축부문에 대하여 각종 기준을 설정하여 에너지 절약을 꾀하고 있다. 그러나 이와 같은 규정들은 대부분 규제 일변도의 강제조항으로서 자발적이고 적극적인 에너지 절약을 유도하기에는 미흡한 실정이다. 특히 주택의 경우, 건물의 설계 및 구매가 개인적인 판단에 의한 사적 의사결정에 의해 좌우되므로 일반인이 능동적으로 에너지 절약에 동참하기 위해서는 규제정책보다는 자발적인 절약을 조장하는 정책의 수립이 요구된다.

일부 선진국에서는 주택의 에너지 효율등급을 정하여 건물에 표시함으로서 주택을 구매하거나 입주시 의사결정에 도움을 주고 나아가 각종 세제 및 금융혜택을 제공하는 장려(incentive)정책의 기준으로 삼는 경우가 있다. 현재 우리 나라에서는 일부 가전제품 및 승용차에 한하여 에너지 효율등급제도를 시행하고 있으며 어느 정도 에너지절약의 가시적 효과를 얻고 있다. 그러나 주택은 이보다 초기투자비가 클 뿐 아니라 수명도 훨씬 길기 때문에 에너지비용이 건물의 Life Cycle Cost에 미치는 영향이 지대하게 된다. 따라서 구매자나 입주자의 입장에서는 주택의 에너지 성능을 쉽게 판단할 수 있는 기준이 반드시 필요하며 그 방법의 하나가 주택의 에너지 효율등급(Energy Efficiency Rating, EER)을 제시하는 것이다.

본 연구에서는 주택의 에너지 성능을 분석하는 방법론의 하나로서, 주택의 에너지소비에 영향을 미치는 에너지요소를 조사하고 다양한 주택의 설계도면을 이용하여 에너지 성능을 정밀해석프로그램을 이용하여 실시한 후 그 결과를 다중회기분석의 통계적 방법으로 처리하여 몇가지 중요한 에너지 요소만으로 주택의 에너지 성능을 예측할 수 있는 회귀모델을 도출하였다. 이와 같은 회귀모델을 근거로 가장 에너지 절약적으로 설계 가능한 주택의 에너지 소비정도를 최상으로 에너지 효율등급으로 정하고 여기서부터 순차적으로 6등급의 에너지효율등급을 설정함으로서 복잡한 에너지원단위가 아닌 1등급에서 6등급까지의 단순한 수치로서 건물의 에너지 성능을 판단할 수 있도록 하였다. 또한, 본 연구로부터 도출된 에너지 소비 예측모델(회귀식)은 건물의 에너지소비량을 몇 가지 중요한 에너지요소만으로

* 정회원, 중앙대학교 BK21 박사후연구원, 공학박사
** 정회원, 중앙대학교 건축학과 교수, 건축학박사

산정할 수 있으므로 건축 설계시 건축가들에게 간편하면서도 효과적인 에너지 절약설계기법을 제시할 수 있을 것이다.

2. 프로그램의 고찰

건물의 에너지 성능을 분석하는 방법은 간이 해석방법에 의한 수계산에서 정밀해석 방법으로 컴퓨터 프로그램까지 다양하다. 본 연구에서는 58개 설계도면을 근거로 다양한 주택의 에너지 성능을 분석하기 위해서 정밀해석프로그램의 일종인 QUICK program을 사용하였다. QUICK program은 University of Pretoria에서 개발한 범용프로그램으로 Thermal Network 기법에 의해 시간당 열류해석을 하고 있으며 월간 냉난방부하, 연간 냉난방부하부하 및 냉난방기준일의 시간당 실내온도분포를 계산하고 있다. 이 프로그램은 각종 실측자료를 통하여 신뢰성을 검증받았으며 세계 34개 국가에서 133개 연구기관이 사용하고 있다.

3. 에너지소비에 영향을 미치는 변인분석

3.1 변인의 추정

건물의 에너지소비에 영향을 미치는 에너지요소는 크게 그림2와 같이 구분될 수 있다. 여기서 기후/대지요소는 각종 조경을 이용하여 일부 이세기후 요소의 조정이 가능하지만 대부분 주어진 조건으로 건축설계를 통하여 변화될 수 없는 요소이다. 한편 사용자/운영 요소는 건물의 입주후 생활습관이나 운영패턴의 변화를 통하여 나타나는 것으로서 역시 건축 설계를 통하여 조절하기는 어렵다. 본 연구에서는 건물의 에너지소비에 영향을 미치는 요소를 추정함에 있어 건축계획과 관련된 각종 건물요소들을 추출하였으며 에너지부하를 산정함에 있어 난방부하만을 고려하였다. 건물부문에 해당하는 50여개 에너지요소들을 추출하여 이 중 주요 변인들에 대한 적용범위를 살펴보면 표1과 같다.

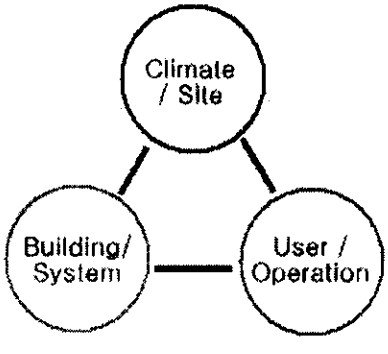

그림1. 에너지요소(Energy Factor)

표1 에너지소비에 영향을 미치는 변인의 적용범위

요인	적용범위	요인	적용범위
향	-40~+40(정남기준)	장단변비	0.8~3.4(북측/동측)
층수	1~3층	침기율	0.6~1.5ACH
층고	2.1~4.1m	천창면적비	0.02~0.7(지붕면적당)
천정고	2.2~2.7m	내벽량	0.08~0.6(바닥면적당)
V/F비 (용적/바닥면적)	2.7~3.65	창면적비	N : 4~51(%)
S/F비 (표면적/바닥면적)	1.38~3.65		E : 4~68(%)
표면흡수율	지붕 : 55~90(%)		S : 5~54(%)
	벽체 : 60~70(%)		W : 0~73(%)
	창 : 8~14(%)	차폐계수	지붕 : 0 ~ 45(%)
	문 : 14~90(%)		벽체 : 11~45(%)
투과율	유리 : 57~70(%)		창문 : 11~40(%)
접지면적비	0~35(%)		문 : 11~45(%)

3.2 에너지 소비량과 변인들의 상관관계

각 주택의 난방부하를 산정한 뒤 추정한 설계변인들과의 상관관계를 통계프로그램 SPSS로 분석한 결과 많은 설계요소들 중에서 비교적 상관관계가 높은 변수(유의도 0.01이하)들은 침기율, V/F비(바닥면적당 체적비), S/F비(바닥면적당 외피면적비), 층고, 천장고, 층수 등으로 나타났다. 건물의 난방부하에 영향을 미치는 요소들은 여기서 제시된 변수들보다 훨씬 중요한 것들 즉, 벽체의 열관류율, 유리창의 열관류율, 벽체의 흡수율 등이 있는데, 이들 변수가 통계분석에서 중요한 에너지요소로 나타나지 않은 이유는 주택의 경우, 단열에 관한 각종 법적 규제 및 일률적인 건축재료의 사용으로 건물들간의 차이가 없이 대부분 유사한 값을 갖기 때문이다. 표2는 상관관계 분석결과를 일부 보여준다.

표2 난방부하와 각 설계 변수간의 상관관계(일부)

변 수	상관계수 (유의도)	변 수	상관계수 (유의도)	변 수	상관계수 (유의도)
향	0.1705 (p=0.100)	장단변비	-0.0022 (p=0.493)	침기량	0.5236 (p=0.000)
SV비	0.1952 (p=0.071)	VF비	0.5961 (p=0.000)	SF비	0.3869 (p=0.001)
층수	-0.4422 (p=0.000)	층고	0.3540 (p=0.003)	천정고	0.3233 (p=0.007)
천창 면적비	0.2425 (p=0.033)	지붕 면적비	0.1819 (p=0.020)	지붕 흡수율	-0.0518 (p=0.350)
창문 흡수율	0.1724 (p=0.308)	문흡수율	-0.2700 (p=0.476)	벽체 흡수율	0.0757 (p=0.286)
북측창 면적비	0.077 (p=0.401)	동측창면 적비	0.0082 (p=0.459)	남측 창면적비	0.0052 (p=0.387)
북측 창비율	0.06272 (p=0.189)	동측 창비율	0.0139 (p=0.218)	남측 창비율	-0.0309 (p=0.409)
벽체의 열관류율	0.2100 (p=0.133)	지붕의 열관류율	0.2153 (p=0.127)	내벽량	0.0014 (p=0.496)
창문 투과율	-0.070 (p=0.300)	접지 면적비	0.2523 (p=0.028)	서측 창면적	0.0099 (p=0.417)

4. 주택의 에너지 소비예측 모델식

표2의 결과는 단순상관관계로서 건물의 부하에는 여러 가지 변수가 서로 연관되어 복합적으로 작용하고 있으므로 계산된 계수크기만큼 그대로 난방부하에 작용한다고 볼 수 없다. 그러므로 여기서 도출된 주요 변수들로 다시 편상관관계를 알아보고 회귀방정식을 도출하였다. 그림2는 난방부하를 종속변수로 두고 산정한 회귀분석결과를 보여주고 있다.

MULTIPLE REGRESSION

Equation Number 1 Dependent Variable.. LOAD1

Multiple R	.84818
R Square	.71941
Adjusted R Square	.68640
Standard Error	68.88451

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	6	620453.71238	103408.95206
Residual	51	241998.82967	4745.07509
F=	21.79290	Signif=	.0000

***MULTIPLE REGRESSION**

Equation Number 1 Dependent Variable.. LOAD1

---------- Variables in the Equation ----------

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
ST	-1.24531	.56954	-.16878	-2.187	.0334
LW	-18.71404	7.55585	-.19936	-2.477	.0166
ACH	377.35677	53.85497	.57504	7.007	.0000
SAF	130.12293	24.13287	.45484	5.392	.0000
VF	178.80083	35.04144	.41790	5.103	.0000
WINTR	-4.61676	1.11675	-.35832	-4.134	.0001
CONSTANT	-34.81479	123.25656		-.282	.7787

End Block Number 1 All requested variables entered

그림3 난방부하에 대한 회귀식

회귀분석 결과를 종합하여 볼 때, 주택의 난방부하에 영향을 미치는 주요변인들은 ST(남측창비율), LW(장단변비), ACH(침기율), SAF(바닥면적당 외피면적비), VF(바닥면적당 체적비), WINTR(창의 투과율)로 나타났다. 각 변수면 옆에 나타나 있는 B는 회귀계수를 의미하며 beta(β)는 회귀계수를 표준화한 것으로서 회귀계수의 중요도를 보여준다. β계수를 비교하여 살펴본 변수들의 상대적 중요도는 침기율, 체적비, 표면면적비, 창의 투과율, 장단변비 및 남측창비율 순이다. 이 회귀식에서 볼 수 있듯이 종속변수의 전체 설명력 R square는 0.72로 나타났으며 유의도(signif F)는 0.000으로서 유의성이 있는 것으로 나타났다. 본 회귀 모델식에서는 침기량의 beta값이 가장 크므로 가장 설명력이 높은 변수이다. 또한 회귀분석에 투입된 변수들간의 상관관계를 살펴보면 독립변수들간의 다중공선성이 존재할 가능성이 없음을 알 수 있다. 또한 오차항의 상관도(serial correlation)을 검증하는 Durbin-Waston test의 경우 1.67이므로 Serial Correlation은 없다. Scatter Plot을 보면 예측치(ZPED)가 커져도 오차(ZRESID)의 분산이 커지거나 작아지지 않는 분포를 이루고 있어서 즉 0을 중심으로 고루 퍼져 있어서 오차항의 분산은 동질한 것으로 판단된다.

(1)식은 회귀분석내용을 회귀방정식으로 나타낸 것이다.

$$Y=377.4X_1+178.8X_2+130X_3-18.7X_4-4.6X_5-1.3X_6-34.8 \quad (1)$$

여기서, Y : 난방부하(MJ/m^2yr)

X_1 : 침기율(ACH)

X_2 : 체적비(단위면적당 전체체적면적비)

X_3 : 외피면적비

X_4 : 장단변비

X_5 : 창의 투과율(%)

X_6 : 남측창비율

이 회귀식의 결정계수(R^2)는 0.72로서 변량의 변화에 대해 72%의 예측력을 갖고 있으며 나머지 28%의 변량은 기타 에너지 요소의 변화에 의한 것이다. 이 회귀식을 이용한다면 주택의 에너지소비량을 간단한 몇 가지 변수로 쉽게 예측할 수 있고 이를 근거로 주택의 에너지 효율등급을 산정할 수 있다.

5. 에너지 등급(Energy Efficiency Rating)의 산정

(1)식에서 각 변수의 최소값(침기율=0.7, 체적비=2.5, 외피면적비=1.5, 장단변비=2.0, 유리창의 투과율=-70, 남측창비율=45)을 대입하면 연간난방부하는 411.63(MJ/m^2yr)가 산출된다. 또한 에너지 절약을 고려하지 않은 가장 보편적인 형태의 건물(각 변수의 평균이상의 통계치 중에서 중앙값을 대입한 경우)의 경우는 715.94(MJ/m^2yr)이다. 그러므로 500(MJ/m^2yr)를 기준으로 100(MJ/m^2yr)씩 간격을 정하면 표3과 같은 에너지 효율 등급(EER : Energy Efficiency Rating)을 설정할 수 있다.

표3 에너지 효율 등급의 설정

500이하	501~600	601~700	701~800	801~900	901이상
I	II	III	IV	V	VI

단위 : MJ/m^2yr

여기서 1등급은 난방부하를 최소화한 에너지 절약적인 주택이라는 것이며 4등급이상은 에너지소비가 보통 또는 보통이상이라는 의미로 해석될 수 있다. 그림4는 본 연구

의 에너지 효율등급과 독일 및 한국 에너지 기술연구소의 기준을 비교한 것이다[4]. 여기서 볼 수 있듯이, 독일의 3등급에서 5등급까지가 본 연구에서 제안한 에너지 효율 등급의 1등급에서 6등급까지의 범위와 비슷한 것으로 나타났다. 독일의 기후대가 우리 나라보다 더 넓은 것을 감안한다면 본 연구의 6단계의 등급설정이 적합한 것으로 판단된다. 또한 한국 에너지 기술연구소에서 제안한 성능기준과 비교해 보면, 표집한 주택이 본 연구대상에 비해 지역기후가 다르며, 설비요소에 의한 영향을 고려하였고 소규모, 단층인 것을 감안해볼 때, 본 연구에서 제안한 등급과 유사한 것으로 나타났다.

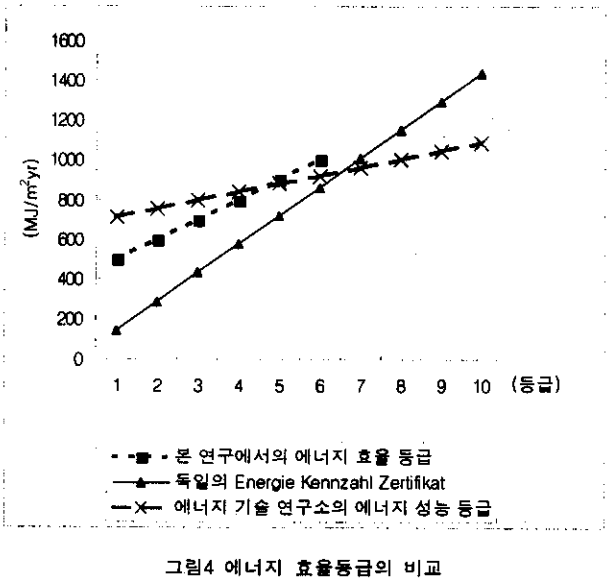

그림4 에너지 효율등급의 비교

6. 주택의 에너지 절약설계기법

(1)식에 포함된 6가지 변수의 내용 및 설계방법을 구체적으로 설명하여 환경 설계방법을 제시하면 다음과 같다.

6.1 기본조건

여기서 논의한 주택의 에너지절약 설계기법은 다음과 같은 조건이 선행된 경우에 한한다.

6.1.1 향

우리 나라의 경우 전통적으로 남향집을 선호하기 때문에 서향이나 동향주택은 거의 없다. 58개 대상주택 중에서 정남향에서 동, 서측으로 25도 이상 벗어난 경우는 드물며 대부분 남향에서 크게 벗어나지 않았기 때문에 앞에서 제시된 에너지 소비 예측모델에서 향이 독립변수에서 탈락하였지만 건물의 에너지 소비 및 거주자의 쾌적도에 가장 기본적이고 중요한 변수이다. 만약 건물의 향이 남동, 남서향으로 25도이상 벗어나 있다면 건물의 난방부하는 (1)식에서 예측한 난방부하값보다 더 커질 수 있다.

6.1.2 외벽체의 열관류율과 단열

벽체 및 유리창의 열성능은 주택의 난방부하에 미치는 영향이 매우 크다. 그러나 주택에 있어서 건축재료가 대부분 비슷하고 단열에 관한 각종 규제들로 인해 단열재의 두께도 거의 일정하기 때문에 열관류율에 대한 변량변화가 없어서 회귀식에서는 논의되지 않았다.

6.2 주택의 에너지 절약설계기법

6.2.1 침기량(Infiltration)을 줄일 것

틈새바람에 대한 조절은 조심스런 부지 선정으로부터 시작하여 방풍림의 조성, 건물의 형태 및 규모, 내부공간의 배치, 각종 디테일에 이르기까지 설계과정의 모든 과정을 통해 이루어질 수 있다. 건물자체는 바람에 대한 노출을 최소화하도록 하고 지하 구조물 설치를 포함해서 상풍향을 고려하여 형태와 향을 정한다. 건물의 기밀성에는 건물 외피의 구조와 창문의 형태에 대한 세심한 주의가 필요하다. 틈새바람은 개폐창을 가진 건물에서 특히 주의해야 하는데 주로 창문틀과 벽사이, 창문틀과 창대사이, 창대와 유리사이에서 발생한다. 같은 면적의 창이라도 들레길이가 길수록 틈새바람량은 커지므로 작은 창을 여러 개 쓰는 것보다 큰 창 1개를 계획하는 것이 유리하고 창틀과 문틀은 기밀한 구조를 갖는 것을 선택한다. 또한 창문에 바람막이 장치를 하거나 덧문을 설치할 수도 있다.

6.2.2 단위 면적당 체적을 줄일 것

외부환경에 노출되는 외피면적을 최소화하기 위해 전체 매스를 단순한 형태로 계획한다. 건물이 외부에 노출되는 정도를 수치화한 계수들은 VF비, SF비, SV비, Volume비, POP비 등이 있는데 이중에서 특히 유의도가 높은 VF비(Volume/Floor area Ratio)와 SF비(Surface/Floor Ratio)가 중요한 에너지요소로 선택되었다. SV비도 난방부하와 높은 상관관계를 갖지만 변수들간의 다중공선성(Multi-collinearity)이 존재하므로 제외하였다.

단위면적당 외피면적을 줄일 수 있는 또다른 방안은 층고를 낮추는 것이다. 층고와 천정고는 체적과의 상관관계가 높았기 때문에 회귀모델에서 제외되었지만 층고도 난방부하를 줄이는데 매우 중요한 변수이다. 층고를 낮출수록 외벽면적이 감소되고 난방하여야 할 공기의 용량이 감소된다.

6.2.3 건물의 장변이 남측에 면하도록 할 것

장단변비는 향과 관계가 있다. 주택의 경우 일반적으로 장단변비가 크면 남측에 면한 면적이 커진다. 회귀모델에서는 장단변비가 커지면 에너지소비가 작아지는 것으로만 나타났으나 너무 커지면 외부에 노출되는 면적이 커지기 때문에 도리어 불리해진다. 온난기후대에 속하는 우리나라의 경우 최적 장단변비는 1:1.5이다.