

지역난방 공동주택의 건축물 에너지절약 설계기준 강화에 따른 난방에너지 사용량 분석

이성우, 정광섭*[†], 김영일*

서울과학기술대학교 주택대학원, *서울과학기술대학교 건축학부

Analysis of Heating Energy Consumption of District Heated Apartment with respect to Reinforcement of Building Energy-saving Design Criteria

Sung-Woo Lee, Kwang-Seop Chung*[†], Young-Il Kim*

Graduate School of Housing, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

*School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

Abstract

Since 1970s, energy-saving design criteria of buildings has been improved through numerous revisions. The purpose of this research is to show how energy saving design criteria affects heating energy consumption of apartments using district heating. Heating energy consumption has been measured in 4 apartments located in Gyeonggi province, Korea from Nov. 1, 2007 through Oct. 31, 2008. Collected data was regressed to linear correlations. Heating energy consumptions were calculated for past, present and future energy-saving design criteria, which are outdoor temperature, ventilation and insulation. The results show that present design criteria has reduced heating energy consumption by 15%, and the future criteria will reduce the energy consumption by 42% compared to the criteria before 2001.

Key words : Heating Energy(난방열), District heating(지역난방), Apartment(공동주택), Building Energy-Saving Design Criteria(건축물 에너지절약 설계기준)

기 호 설 명

- Q_h : 난방열 사용량 [kW]
- C_p : 정압비열 [kJ/kg·°C]
- m_h : 질량유량 [kg/s]
- $T_{h,i}$: 열교환기 입구측 온도 [°C]

$T_{h,o}$: 열교환기 출구측 온도 [°C]

1. 서 론

통계청 자료에 따르면 2006년 용도별 신축건물의 68%, 기존 건물의 75%가 주거 건물로 조사되었다. 우리나라의 경우 국토가 좁고 인구 밀도가 높아 공동주택이 널리 보급되어 있다. 우리나라는 건물 부문이 전체 에너지 소비량의 약 25%를 차지하며, 특히 주거용 건축물은 전체 건물에너지 소비량의 약 68%를 차지한다.¹⁾

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6561, Fax: +82-2-974-1480

E-mail: kschung@seoultech.ac.kr

접수일 : 2011년 7월 27일

심사일 : 1차: 2011년 8월 2일, 2차: 2011년 9월 6일

채택일 : 2011년 9월 16일

지역난방은 효율적인 주거 및 업무용 에너지 공급 시스템으로 대규모의 열원에서 제조된 고온수를 지역난방 배관망을 이용하여 수요처에 공급한다. 국내 지역난방 사용자 중 공동주택이 차지하는 비율이 전체 사용자의 80% 이상으로 시스템의 보급이 확대되어 건물 부문에서의 에너지절약 대책은 시급한 문제이며, 따라서 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

공동주택의 경우 2001년에 건축물의 열손실 방지 규정 등의 내용을 골자로 하는 ‘건축물의 에너지절약 설계기준’ (현 국토해양부 고시 제 2010-1031호), 지구온난화, 거주자 생활방식의 변화 등으로 인한 에너지소비 관련 여건의 변화에 맞춘 난방부하 및 급탕부하의 적정 기준 값 재검토가 필요한 실정이다. 이러한 건축물의 에너지 소비 절약을 위하여 우리나라는 단열기준을 1975년 건축물의 열손실 방지를 목적으로 건축법으로 제정한 이후, 법규의 보완과 개정을 거듭해 오고 있다.²⁾ 그러나 에너지절약 설계기준의 변화에 따른 에너지 절감 효과를 현장 실측을 통하여 검증한 사례는 여전히 부족하며 정례화할 필요가 있다.

본 연구는 우리나라의 건축물 에너지절약 설계기준의 변천 과정을 검토하고, 그 변화 과정에 따른 시공된 건축물의 난방열 사용량의 에너지 절감 효과를 알아보기 위하여 각기 다른 에너지절약 설계기준이 적용된 공동주택의 난방열 사용량을 측정 후, 그 열사용 데이터를 비교 및 분석하였으며, 이를 통하여 에너지절약 설계기준을 예상하고, 그에 따른 난방열 사용량을 측정하여 향후 에너지의 효율적인 사용을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 건축물의 에너지절약 설계기준

2.1 개요

정부에서는 건축물의 에너지절약을 위해 1976년 건축물의 열손실방지 조항 건축법 시행령을 시작으로 많은 규정의 제·개정을 통해 그 효과를 개선시켜 왔다. 기후 변화 협약 및 교유가 시대에 대응하기 위한

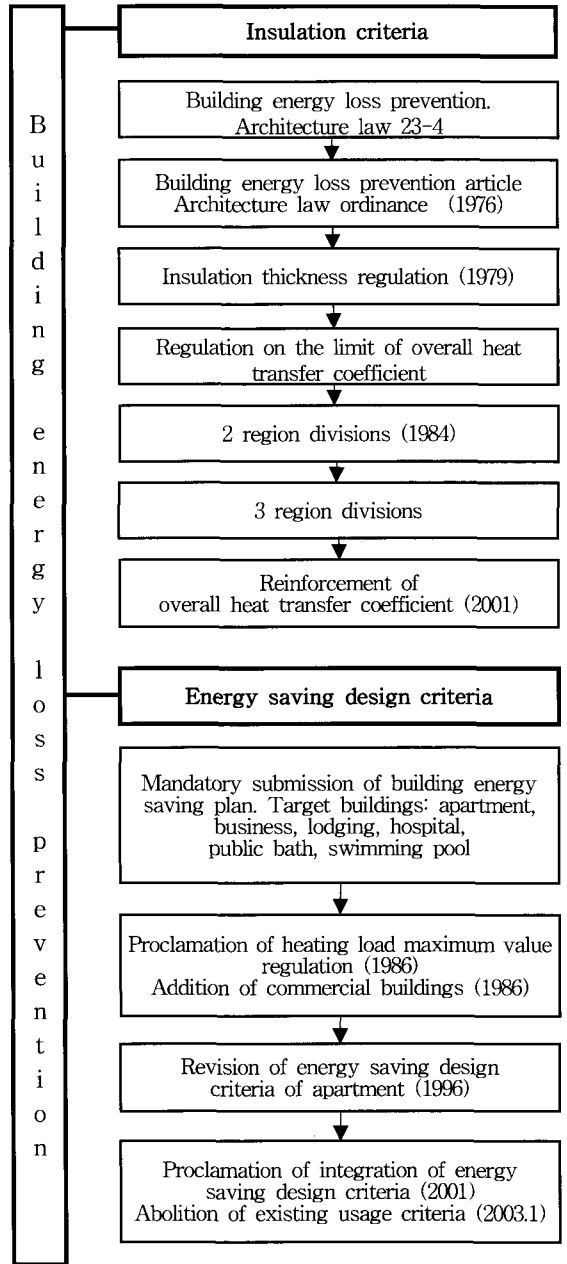


Fig. 1 History of energy-saving design criteria.

건축물 에너지효율 강화의 필요성이 대두되자, 2001년에는 기존 건축물의 에너지절약 설계기준의 정비 및 강화를 통한 효율적인 에너지절약을 추진하였다.

2001년 이전에는 에너지 다소비형 건축물에 대하여 에너지절약 설계기준을 정하고 건축 설계시

반영하도록 하고 있었으나, 2001년 이후에는 건물 유형별 적용 기준 체계의 차이에서 발생하는 일부 항목의 일관성이 부족한 문제가 제기되어, 용도별 에너지절약 설계기준을 별개로 제정한 후 시장에 등장한 새로운 기술의 수용에도 그 효과를 발휘할 수 있도록 하였다. Fig. 1은 건축물 에너지절약 설계기준의 열손실 방지 규정의 변천을 도식화한 것이다.

2.2 에너지절약 설계기준 변화 분석

본 연구는 에너지절약 설계기준의 강화가 공동주택 난방열 사용량에 미치는 영향을 분석하기 위해 에너지절약설계기준 통합고시('01년) 이전과 이후, 2001년부터 2010년 6월(현재)까지 변동되어진 에너지절약 설계기준을 살펴보았다. 이를 통하여 난방열 사용량에 가장 큰 영향³⁾을 미칠 수 있는 요소인 외기온도, 환기횟수, 단열기준이 크게 변동된 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 변동과정의 설계기준 값에 대한 혼란을 줄이기 위해 에너지절약 설계기준 통합고시⁴⁾ 이전의 설계기준을 '이전 설계기준', 이후의 설계기준을 '현행 설계기준'이라 지칭한다.

1) 본 연구의 대상지역인 중부지방의 외기온도 설계기준은 이전 -11.9°C 에서 -11.3°C 으로 0.6°C 상승한 것을 알 수 있으며, 이와 같은 증가한 값을 통해 실측값과의 상관관계를 분석할 수 있다. 한편 2004년 기상청의 보고서⁵⁾에 의하면 한반도의 외기온도가 2030년에는 현재보다 1.5°C 정도 상승할 것으로 예측하였다. 본 연구에서는 2030년 경의 외기온도 설계기준을 '미래 설계기준'으로 지칭하고 현행기준에 $+1.5^{\circ}\text{C}$ 로 즉, -9.8°C 로 예측하여 상관관계 분석에 활용하였다.

2) 건축물의 열손실량의 30% 이상을 차지하고 있는 환기량에 대한 설계는 대한설비공회회의 보고서⁶⁾에 따르면 난방면적별 환기량을 계산하면 약 0.59~0.97 ACH 범위에서 에너지절약과 실내 공기질 관점에서 적용하는 것으로 나타났으며, 이중 0.85 ACH를 2001년 이전 설계기준으로 적용하였다. 따라서 본 연구에서는 0.85 ACH를 이전 환기설계기준으로 하고, 현행 환기설계기준은 0.7 ACH를 적용하였다. 한편, 미래 환기

설계기준은 에너지절약형 미래 공동주택 연구⁵⁾에서의 고기밀 창호의 개발을 통한 2030년의 환기 설계기준 제안 값인 0.35 ACH를 적용하여 상관관계 분석에 활용하였다.

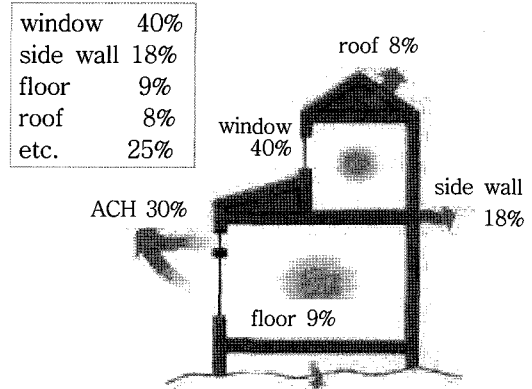


Fig. 2 Heat loss factors.

3) 건축물에서의 단열은 에너지 손실의 주요 원인이며, 그중에서도 외벽과 창에 의한 열손실은 전체 손실의 60%를 차지할 정도로 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. Fig. 2와 같이 건축물 내의 부위별 열손실은 창문이 40%로 가장 높고, 그 외 외벽과 바닥, 지붕 순이다.³⁾ 이러한 부위의 열손실을 통해 비효율적으로 버려지는 에너지 소비를 막기 위해서는 건물외피를 통한 열의 이동을 최소화하는 방안을 마련하는 것이 무엇보다 중요하다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 2001년 이전 단열설계기준을 '건설교통부령 제 270호 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'에 의거해 2001년 이전 단열설계기준으로 지칭하고, 지식경제부에서 2008년 12월에 발표한 "제4차 에너지이용 합리화 기본계획"에 의하면 2010년, 2012년, 2017년에 순차적으로 단열규정이 강화될 예정으로 되어 있으나, 본 연구에서는 Table 1과 같이 공동주택 기술개발 연구단에서 2030년경 미래형 공동주택에 적용하기 위해 개발 중인 고단열 창호 및 구조에서의 열관류율 값을 미래 단열설계기준으로 지칭하였다.

Table 2는 본 연구의 대상지역인 중부지방의 외기온도, 환기횟수, 단열기준(외벽 및 창)의 설계

기준 값의 2001년 이전, 이후(현재), 그리고 미래 값을 나타낸 것이다.

Table 1. Transition of overall heat transfer coefficient

Wall	Heat transfer coefficient (W/m ² °C)		
	Present	2012	2017
Window	3.0	2.4 (2010)	
Side wall	0.47	0.42	0.38
Roof	0.29	0.26	0.23
Floor	0.41	0.37	0.33

Table 2. Transition of outdoor temperature, ventilation, and thermal resistance design criteria (Central region)

Factor	Time		
	Past	Present	Future
Outdoor temperature (°C)	-11.9	-11.3	-9.8
Ventilation (ACH)	0.85	0.7	0.35
Thermal resistance* (m ² · °C/W)	3.94	3	0.8

* Window and door included

Table 3. Measured apartment

Apart.	Completion year	Household	Measurement period
A	1997	320	2007. 11. 1 ~
B	2003	136	
C	2006	382	2008. 10. 31
D	2006	349	

3. 측정자료 수집 및 시스템 구축

3.1 연구 수행 방법

본 연구의 측정대상 공동주택은 열공급일, 전용면적, 열교환 방식 등 3가지 기준으로 선정하였다. 건축물 에너지절약 설계 기준이 개정되기 이전과 이후에 각각 사업 승인을 받고, 우리나라의 표준에 해당하는 전용면적 84m²인 공동주택을 연구 대상으로 선정하였다.

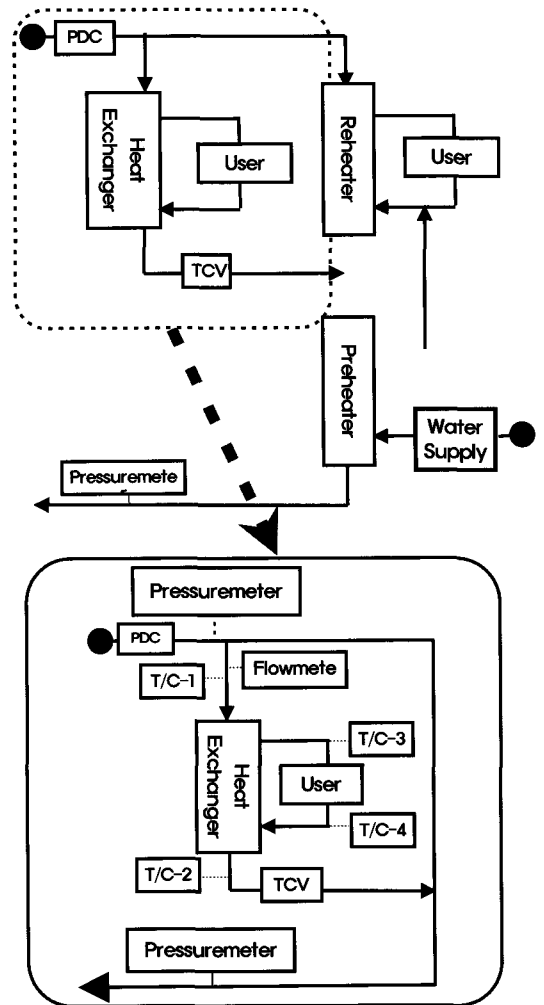


Fig. 3 Measurement system (PDCV: Pressure differential control valve, T/C: thermo couple, TCV: thermostatic control valve)

- 열 공급일 : 열사용시설 기준 개정 전·후 준공된 공동주택 선정
- 전용면적 : 84 m²인 공동주택 선정
- 기계실의 열교환 방식 : 급탕 2단 열교환 방식 선정

이후 난방열 공급 방식에 영향을 미칠 수 있는 여러 요소들을 고려하여 최종적으로 경기도 G-시의 공동주택 단지 4개소를 선정하여 난방열 사용량을 측정하였다. 측정 대상 공동주택의 준공년도, 세대수, 측정기간은 Table 3에 나타내었다. 난방열 사용량의 기초자료로 활용되는 데이터는

2007.11.01~2008.10.31의 12개월 기간으로 계절적 영향을 많이 받는 난방열 사용량 인자들이 고려되었다.

3.2 측정 데이터 전송 및 저장

측정 시스템은 유량계, 온도센서, 압력계, 데이터로거로 구성되었다. 유량계는 정밀도 ±0.5%의 전자식, 압력계의 정밀도는 ±0.5%, 온도측정센서의 오차는 0.1℃, 범위 -200~1200℃인 K-type(+극 니켈·크롬합금, -극 니켈·알루미늄 합금) 열전대를 사용하였다. 온도센서 측정지점은 난방 열교환기의 열전달을 통한 난방열 사용량을 산출하기 위하여 공급자측 난방 공급온도와 회수온도, 사용자측 난방 공급온도와 회수온도를 측정할 수 있는 지점으로 하고, 압력 측정 지점은 공급자측 배관에 공급압력과 회수 압력 2개소로 선정하였다.

측정된 데이터를 저장하고 전송할 수 있는 데이터로거를 각 공동주택단지마다 1개소씩 설치하였으며, Fig. 3처럼 공동주택 기계실의 각 측정 대상 설비에 부착한 유량계, 압력계, 온도측정센서(열전대)에서 측정된 값을 데이터 취득 장치에서 2초마다 저장하였다. 이 데이터는 30초 간격으로 평균된다. 데이터 로거에 저장된 파일은 1시간마다 인터넷(VPN, virtual private network)을 통해 데이터 관리 서버로 전송되어 공동주택별로 지정되어 있는 각각의 폴더에 저장된다.

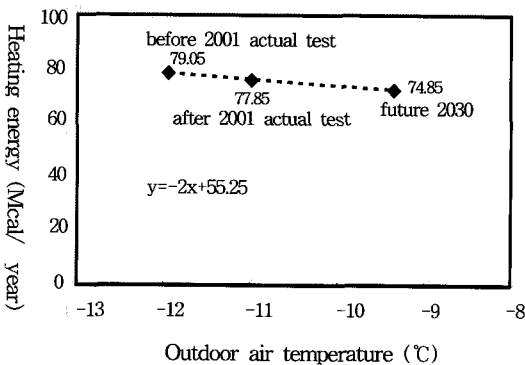


Fig. 4 Relation between heating energy and outdoor temperature.

4. 실험결과 및 고찰

본 연구에 활용된 분석 데이터는 각 공동주택 단지에서 측정된 데이터의 평균 난방열 사용량 값과 누적 난방열 사용량 값이며, 열사용량 산정은 열교환기의 열전달량⁷⁾인 식(1)과 같다.

$$Q_h = m_h C_p (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1)$$

1990년대 말부터 2000년대 초의 건축법의 변화(외벽의 적용기준 등)를 고려했을 때 각 공동주택에 적용된 전용면적과 실제 난방면적이 상이할 것으로 예상하였다. 그래서 난방열 사용량의 비교를 단위면적(m²)으로 세분하여, 단위면적당 난방열 사용량을 분석데이터로 사용하였다.

4.1 상관관계 분석법

본 연구에서는 에너지절약 설계기준의 변동과 난방열 사용량과의 상관관계 분석을 위해 선형 회귀 방정식을 적용하였다. 회귀 분석 데이터는 설계기준의 경우, 외기온도, 환기횟수, 단열기준 값을 사용하였으며, 난방열 사용량은 측정 대상 공동주택의 기계실에서 측정된 연간 단위면적당 난방열 사용량을 기준으로 하였다. 회귀 분석식 $y = ax + b$ 에서 x 는 독립변수인 설계기준이고, y 는 종속변수인 단위난방열 사용량이며, 기울기는 회귀계수로 독립변수와 종속변수의 변화정도, 즉 민감도를 나타낸다. 독립변수(x)를 대입하여 종속변수(y)의 단위난방열 사용량을 예측할 수 있다.

4.1.1 외기온도 설계기준과의 상관관계

Fig. 4에 나타난 2001년 이전과 이후의 설계기준에 따른 단위난방열 사용량의 회귀분석식 $y = -2x + 55.25$ 에서 미래 외기온도 설계기준을 대입하여 종속변수(y)의 단위난방열 사용량을 예측할 수 있다. 회귀분석식을 활용하여 2030년 미래 단위난방열 사용량은 74.85 Mcal/m²·year로 예측되었다.

4.1.2 환기횟수 설계기준과의 상관관계

Fig. 5에 나타난 2001년 이전과 이후의 환기

횡수 설계기준에 따른 단위난방열 사용량의 회귀분석식 $y = 23.933x + 58.707$ 이 된다. 환기횟수 설계기준의 회귀분석식을 활용하여 2030년 미래 단위난방열 사용량은 $67.08 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$ 로 예측되었다.

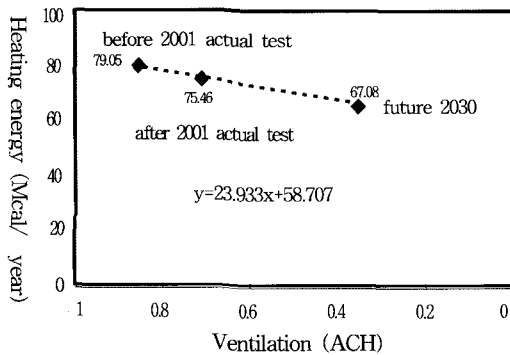


Fig. 5 Relation between heating energy and ventilation.

4.1.3 단열 설계기준과의 상관관계

Fig. 6에 나타난 2001년 이전과 이후의 단열 설계기준에 따른 단위난방열 사용량의 회귀분석식 $y = 7.6383x + 48.955$ 이 된다. 단열 설계기준의 회귀분석식을 활용하여 2030년 미래 단위난방열 사용량은 $55.07 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$ 로 예측되었다.

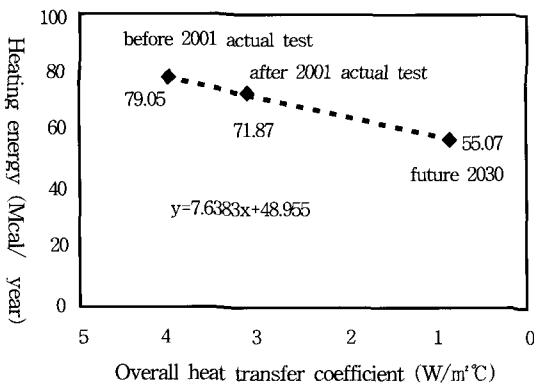


Fig. 6 The relativity analysis between heating energy and insulation design criteria.

4.2 미래 난방열 사용량의 감소 효과

Table 4에서와 같이 주요 에너지절약 설계기준

(외기온도, 환기횟수, 단열)의 변동 과정별 난방열 사용량의 변화는 2001년 이전 대비 이후의 사용량은 $11.97 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$ 감소하였다. 2030년 미래 난방열 사용량을 예측하면, 외기온도는 $3.00 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$, 환기횟수는 $8.38 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$, 단열은 $16.80 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$ 이 감소되며, 연간 단위면적당 에너지량으로는 2001년 대비 총 $28.18 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$ 가 감소됨을 알 수 있었다.

Table 4. Reduction of heating energy consumption by applying present and future criteria (Past: $79.05 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$)

Factor	Reduction of heating energy consumption ($\text{Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$)	
	Present	Future
Outdoor temperature	1.20	3.00
Ventilation	3.59	8.38
Insulation	7.18	16.80
Total	11.97	28.18

5. 결론

본 연구에서는 우리나라의 건축물 에너지절약 설계기준의 변천 과정을 검토하고, 그 변화 과정에 따라 시공된 건축물의 난방열 사용량의 에너지 절감 효과와의 상관관계를 분석하여 미래의 난방열 사용량을 예측하고, 이를 토대로 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 외기온도 설계기준에 따른 단위난방열 사용량의 회귀분석식은 $y = -2x + 55.25$ 이며, 2030년 미래 단위 난방 열사용량은 $74.85 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$, 환기횟수 설계기준에 따른 단위난방열 사용량의 회귀분석식은 $y = 23.933x + 58.707$ 이며, 2030년 미래 단위난방열 사용량은 $67.08 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$ 로 예측할 수 있다. 단열 설계기준에 따른 단위난방열사용량의 회귀분석식은 $y = 7.6383x + 48.955$ 이며 2030년 미래 단위난방열사용량은 $55.07 \text{ Mcal/m}^2 \cdot \text{year}$ 로 예측할 수 있다.

둘째, 주요 에너지절약 설계기준(외기온도, 환기횟수, 단열기준)의 난방열 사용량의 변화는

2001년 이전 대비 이후의 사용량이 11.97 Mcal/m²·year 감소하였으며, 2001년 이후 대비 2030년 미래 난방열 사용량의 감소는 28.18 Mcal/m²·year 이 된다.

셋째, 위와 같은 결과를 통해 향후 개정될 미래 에너지절약 설계기준을 바탕으로, 그에 따른 난방열 사용량을 예상할 수 있고, 향후 에너지의 효율적인 사용 전략 수립을 위한 기초자료로 사용할 수 있을 것이다.

본 연구는 공동주택에 해당하는 건물의 방위, 형태, 고층화 추세 및 높이 등에 따른 난방부하의 분석에 대한 고려는 자세하게 이루어지지 못하였기 때문에 향후 본 연구의 기초자료를 바탕으로 좀 더 세부적이고 정량적인 연구가 필요하다.

또한 열손실 방지 규정의 강화에 따른 급탕열 사용량의 상관관계에 대한 분석과, 전체 열사용량 및 에너지 사용량의 정확한 감소량의 파악도 필요하다.

참고문헌

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2006, Energy saving building design standards.
2. Chung, Kwang-Seop, 2010, A study on the effect of enhancement of insulation standard upon heating energy consumption in apartment housings, Architectural Institute of Korea, Vol. 26, No. 6, pp. 357-364.
3. Lee, Hwa-Cheol, 2005, Interior architecture materials, Seomunkak.
4. Green home, 2007, Development of intelligent envelope system with natural cooling, heating and lighting, Center of Sustainable Housing.
5. District heating study team, 2004, A Study on appropriateness of unit heating load for apartments with respect to change of design regulation, SAREK Report, pp. 99-102.
6. Korean major construction companies, 2009, Consulting report on prospect of future apartment houses.
7. Cengel, Turner, Cimbala, 2008, Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, McGraw Hill.