

창덕궁 낙선재 외피 열류량 실측을 통한 열관류율 산정 및 열 성능 해석

김민휘*, 김진호*, 권오현*, 한 옥**, 정재원***

*세종대 건축공학과(icanflyhigh@naver.com), *세종대 건축공학과(jino009@naver.com),
*세종대 건축공학과(ohhyn@naver.com), **국립문화재연구소(decon@nricp.go.kr),
***세종대 건축공학과(jjwarc@sejong.ac.kr)

Overall Heat Transfer Coefficients and Thermal Performance Evaluation through Heat Flux Measurement at Nakseonjae in Changdeokgung

Kim, Min-Hwi* Kim, Jin-Hyo* Kwon, Oh-Hyun* Han, Wook** Jeong, Jae-Weon***

*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(icanflyhigh@naver.com),
*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(jino009@naver.com),
*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(ohhyn@naver.com),
**National Research Institute of Cultural Heritage (decon@nricp.go.kr)
***Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(jjwarc@sejong.ac.kr)

Abstract

The objective of this research is to determine overall heat transfer coefficients (K-value) of exterior wall, floor, and roof of Nakseonjae, a Korean traditional residence via field measurement of transient heat flow and temperature difference across each envelope component. Heat flow sensors and T-type thermocouple were attached on the internal and the external surface of each building component, and real-time measurement data were collected for the three consecutive summer days. The K-values determined in this research showed good agreement with other results from open literature. Peak and annual thermal loads of the traditional residence estimated by a commercial energy simulation program were compared with those for a current apartment house. The traditional house showed lower annual cooling load than that of the current building. It may be caused by the fact that the traditional building has less air-tight envelopes and no fenestration passing direct solar radiation into the space.

Keywords : 한국전통주거(Korean traditional residence), 건물외피(building envelope), 열관류율(overall heat transfer coefficient), 열류량(heat flow), 표면온도(surface temperature)

이용에 대한 문제가 날이 갈수록 절실해지

1. 연구배경 및 목적

최근 들어 환경보호 및 효과적인 에너지

고 있다. 국내에서도 이러한 문제들을 해결하기 위해서 자연과의 조화를 추구하며, 환경오염 발생을 최소화하는 우리나라의 전통 건축기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

접수일자 : 2008년 00월 00일, 심사완료일자:2008년 00월 00일
교신저자 : 정재원(jjwarc@sejong.ac.kr)

이러한 분위기 속에서 우리의 전통민가에 대한 연구는 최근 들어 활발히 이루어지고 있지만, 궁궐건축에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 궁궐건축은 외관상에서는 궁의 격식을 갖추었지만 기능적인 면에서는 주거의 성격을 가지고 있으며, 당대 최고의 건축 재료를 사용하였으며 환경의 변화를 최소한으로 만드는 환경 친화적 건축기술이 구사되었다. 하지만 아쉽게도 실측을 통한 전통건축물 정량화된 기초성능에 대한 실측데이터가 충분히 확보되지 못한 실정이다.^{1,2,3}

따라서 본 연구에서는 조선시대 최고 전통건축기술이 적용된 대표적인 궁궐건축이라고 할 수 있는 창덕궁에서 가장 최근까지 주거건물의 역할을 해왔던 낙선재를 대상으로 벽체, 바닥, 반자를 포함한 지붕 구조체의 열관류율을 열류량 및 실내외 표면온도를 측정한 실측데이터를 바탕으로 산정하고 기존 연구문헌들에 보고된 값들과 비교함으로써 그 신뢰성을 검증하였다. 또한 이 데이터를 바탕으로 현대의 공동주택, 기존 문헌의 전통건축과 궁중건축의 열성능을 비교·분석하여 해석하였다. 이를 위해 에너지 시뮬레이션 프로그램인 HAP 4.20a를 이용하여 각 대상 건물의 냉난방부하를 산정하고 상호 비교하였다.

이를 통해 향후 전통 건축기술의 현대적 적용을 목적으로 하는 다양한 관련연구들에 활용될 수 있는 기초자료를 제공하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 현장실측

2.1 실측대상

실측 대상으로 선정한 창덕궁 낙선재는 낙선재, 석복헌, 수강재가 하나의 일곽을 이루고 있는데 이를 통칭하여 낙선재라고 부

른다.

열류량 측정을 통한 낙선재 외피 열관류율 산정은 낙선재 여러 부속실 중 깊이 섞인 흙으로 구성된 외벽과 천장 반자를 포함한 지붕, 그리고 전통 온돌바닥을 가진 한 개의 실을 대상으로 실시하였다.

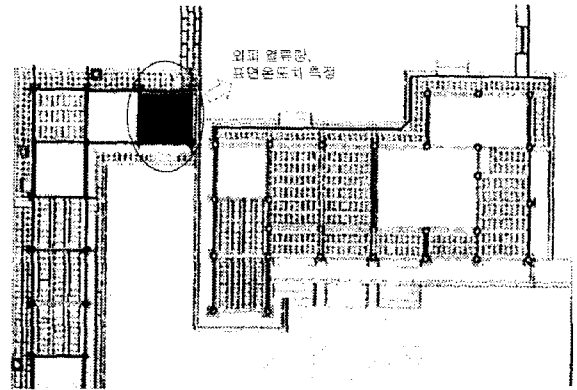


그림 1 낙선재 측정대상 실 위치

2.2 실측방법

고감도 (0.012mV/W/m^2) 열류량센서 (TMF-180) (그림 2)를 벽체, 바닥, 천장의 실내 쪽 표면에 부착하고 해당 구조체를 통과하는 실시간 단위면적당 열류량(\dot{q} , W/m^2)를 1분 간격으로 평균하여 2008년 8월 25일 오전 11:00부터 8월 27일 오후 1:00까지 50시간 동안 측정하였다. 한편, 각 구조체 내/외표면 온도도 T-Type 열전대를 부착하여 열류량 측정과 동시에 측정하였다 (그림 3).

실측한 단위면적당 열류량(\dot{q})과 측정대상 구조체의 내외표면온도차(ΔT , $^{\circ}\text{C}$)를 열관류율(K , $\text{W/m}^2\text{C}$)을 식 1을 통해 산정할 수 있다.

$$K = \dot{q} / \Delta T \quad (1)$$

3. 실측결과

3.1 내표면 및 외표면 온도변화

낙선재 측정대상 실의 바닥, 외벽, 지붕 구조체의 시간에 따른 내/외표면 온도변화를 외기온도 및 실내 공기온도와 함께 측정하였다. 그림 4는 외벽체의 내/외표면 온도 변화 실측결과로써, 내표면 온도는 실내 공기온도와 큰 차이는 나타나지 않았다. 이것은 지붕, 바닥에서도 마찬가지였다.

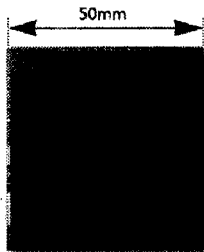


그림 2 열류센서 (50mm X 50mm)

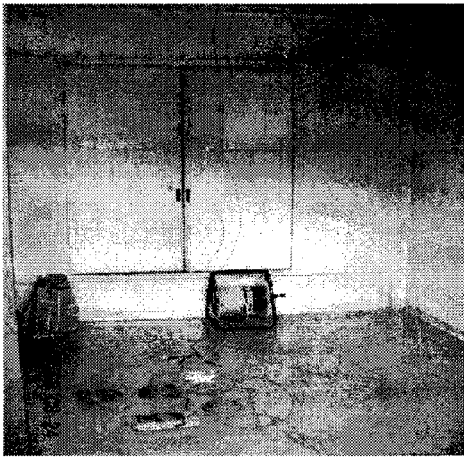


그림 3. 열류센서 및 열전대 설치 현장

한편, 본 논문에 실측결과를 나타내지는 못했으나 각 구조체의 외표면 온도는 일사의 영향을 크게 받지 않는 바닥을 제외하고는 비교적 큰 폭의 온도변화를 나타내었다. 특히 지붕의 경우는 해가 뜬 이후 직접적인 일사의 영향으로 외표면의 온도가 급격하게 올라가고 반대로 일몰 후에는 대류 및 천공과의 대기복사의 영향으로 지붕 표면 온도

가 빠른 속도로 내려감을 알 수 있었다.

3.2 열류량 변화

그림 5의 벽체, 바닥, 지붕(천장반자 포함)을 통한 열류량 실측 결과를 보면 열류가 흐르는 방향은 측정기간 동안 외부에서 실내방향 (양(+))의 방향으로 흐르는 것으로 나타났으며, 벽체와 지붕을 통해 실내로 유입되는 열류량이 바닥을 통한 열류량에 비해 비교적 높은 수준으로 유지됨을 알 수 있다.

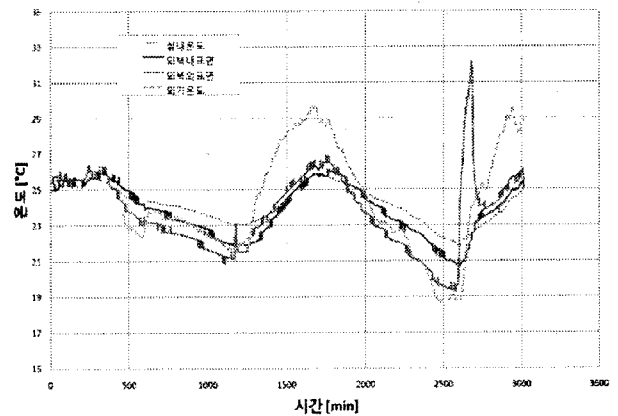


그림 4 외벽체 내외표면 온도변화

3.3 열관류율 산정

현장 실측을 통한 열관류율 산정에서 어려운 점은 실험실 측정처럼 각 구조체별로 표면온도차(ΔT) 및 열류량이 일정하게 유지되는 정상상태 조건하에서의 열관류율(K)을 산정할 수 없다는 것이다. 또한, 실측한 표면온도차가 너무 작을 경우는 식 1에 의해 계산된 열관류율 값이 발산하게 되어 신중한 데이터 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 각 구조체별로 현장측정을 통해 얻어진 실내외 표면온도차와 열류량 데이터를 식 1에 대입하여 열관류율을 산정하고, 얻어진 열관류율 데이터를 같은 표면온도차에 대한 값들로 분류하여 평균값을 구한 후

x-y 좌표평면상에 나타내었다. 그런 다음 각 구조체 별로 얻어진 평균 열관류율(y)을 표면온도차(x)에 대한 함수로 표현하였다(그림 6).

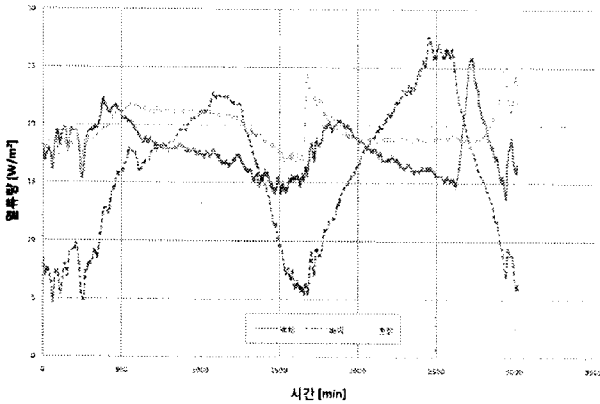


그림 5 실측 열류량

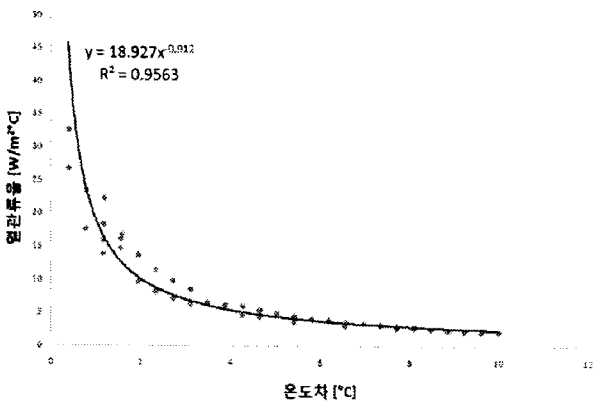


그림 6 외벽 열관류율 산정 결과

벽체의 경우는 약 6°C 이상(그림 6)의 표면온도차를 나타내는 영역에서 식 1에 의해 산정된 열관류율이 일정한 값에 비교적 안정적으로 수렴되어가는 양상을 나타내는 것으로 보았다. 한편, 본 논문에는 나타내지 않았으나 바닥의 경우 표면온도차가 약 2°C 이상일 때, 지붕에서는 10°C 이상의 표면온도차를 나타내는 영역에서 열관류율 산정값이 비교적 일정한 값으로 점차 수렴해 가는 양상을 보였다. 따라서, 본 연구에서는 바닥의 경우 2°C 이상, 벽체의 경우 6°C 이상,

지붕의 경우 10°C 이상의 표면온도차에 대한 열관류율 값을 최종값에 근사한 것으로 가정하여, 이들의 평균값을 최종 열관류율 값으로 도출해 보았다(표 1).

낙선재와 유사한 우리나라 전통민가의 외피 열관류율에 대한 연구를 수행한 기존 문헌^{4,8}에 의하면 흙벽체의 열관류율은 2.8-3.0 W/m²°C 정도로 혼합된 짚의 비율이 1-5% 범위 내에서 증가할 수록 열관류율은 작아지는 경향을 나타내며, 천장 반자를 포함한 지붕은 0.8 W/m²°C 정도의 열관류율을 가진 것으로 보고 되었다. 이상의 기존 문헌의 값들은 표 1에 정리된 낙선재 외피 구조체의 열관류율과 상당히 유사한 것으로 판단된다. 그러나 전통 주거건물의 바닥 구조체의 열관류율은 기존 문헌에 발표된 사례가 많지 않고, 전통 온돌바닥의 종류도 다양하여 보다 폭넓은 자료조사와 실측을 통한 검증이 필요한 것으로 생각된다.

표 1 낙선재 외피 구조체 열관류율 [W/m²°C]

	바닥	벽체	지붕
열관류율	2.46	2.64	0.57
표준편차	±0.35	±0.49	±0.23

4. 낙선재의 열성능 해석

낙선재의 외피 열류량 실측을 통해 얻어진 열관류율 값을 적용하여 대상건물의 연간 냉난방부하를 산정한 후, 문헌조사를 통하여 얻어진 우리나라의 다른 전통민가와 오늘날의 일반적인 공동주택에 사용된 외피의 열성능 자료를 대상건물에 적용하여 각 경우에 대한 열부하를 산정하고 상호 비교하여 보았다. 이를 위해 본 연구에서는 에너지 시뮬레이션 프로그램인 HAP 4.20a를 이용하여 하였다.

4.1 시뮬레이션 조건

본 연구에서 대상 건물로 선정한 창덕궁 낙선재는 정면 6칸, 측면 2칸의 단층집이다. 대상 건물에서 열관류율을 실측한 부분을 중심으로 연간 냉난방부하 산정을 실시하였다.

4.2 최대냉난방부하 산정 결과

각 경우에 대한 최대냉난방부하 산정 결과는 표 2와 같다.

표 2 최대부하 산정 결과 (단위: W)

	냉방부하	난방부하
공동주택	8337	9495
전통민가	11492	20339
궁궐건축	11216	17634

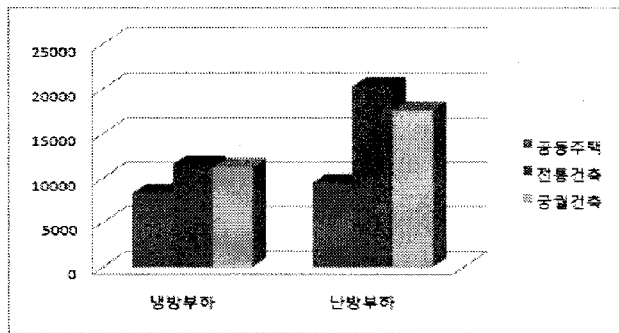


그림 7 최대부하 산정 결과

최대냉방부하는 공동주택이 8.3kW, 전통민가가 11.5kW, 궁궐건축이 11.2kW로 나타났고, 최대난방부하는 각각 9.5kW, 20.3kW, 17.6kW로 나타났다. 이것은 궁궐건물을 포함한 전통주거는 오늘날의 주택에 비해 열 성능이 떨어진다는 것을 의미한다. 다만, 최대냉방부하에서는 전통주거들과 오늘날의 주택의 차이가 상대적으로 적었다.

4.3 연간부하 산정 결과

연간 냉·난방 부하량을 산정하여 비교·분

석해 본 결과, 연간 총 냉방부하는 공동주택이 18.5MWh, 전통민가가 14.2MWh, 궁궐건축이 11.7MWh로 나타났으며, 연간 총 난방부하는 각각 2.1MWh, 20.8MWh, 24.2MWh로 나타났다.

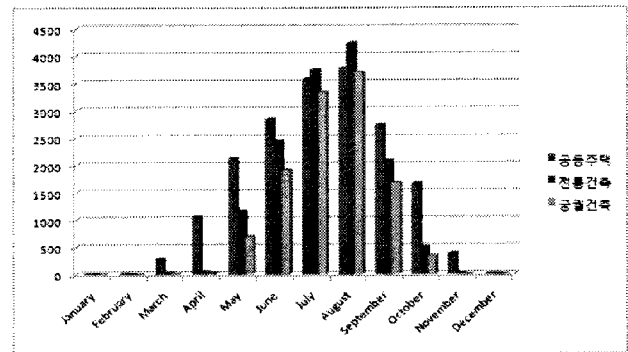


그림 9 월별 냉방 부하량 비교(kWh)

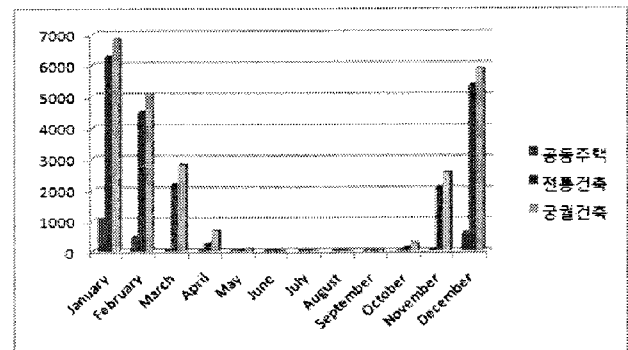


그림 10 월별 난방 부하량 비교(kWh)

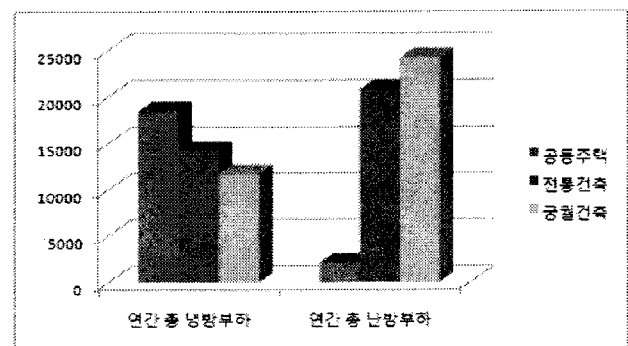


그림 11 연간 총 냉·난방 부하량 비교·분석(kWh)

이는 오늘날의 주택이 그동안 난방성능 개선을 위한 지속적인 기술개발을 해온 결과 전통건물들에 비해 훨씬 우수한 동절기 열

성능을 갖게 된 것으로 판단된다. 한편, 연간 냉방부하에 있어서는 공동주택이 전통 건물들에 비해 높은 냉방부하를 보이는 것을 알 수 있는데, 이것은 오늘날 공동주택들은 기밀성능이 크게 향상되었고, 유리를 사용한 창호들로 인해 실내에 일사가 미치는 영향이 크게 증가한 때문으로 판단된다. 전통건물들은 대체로 기밀성이 낮고, 지붕 구조체의 높은 열저항, 그리고 창호 등에 사용된 한지의 일사 차폐효과 등으로 자연적인 냉방부하 저감효과를 얻을 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 창덕궁 낙선재를 대상으로 외피 내표면 및 외표면 온도변화와 시간에 따른 열류량 변화를 실측하고, 이를 바탕으로 전통 주거용 건물의 열관류율을 산정하였고, 최대 및 연간 냉·난방부하를 공동주택과 전통건축, 궁궐건축으로 나누어 산정하고 상호 비교·분석하였다. 실측을 통해 도출한 낙선재 외피의 열관류율 값들은 기존 문헌의 값들과 비교해 보았을 때 신뢰도가 비교적 높은 것으로 판단된다. 그러나, 향후 전통 건물에 사용된 다양한 외피 구조체들의 열적 성능에 대한 보다 정확한 평가와 객관적 검증을 위해서는 우리나라 전통건물에 사용된 다양한 외피구조체의 단면구성과 정확한 재질에 대한 데이터베이스 구축과 실측이 필요하다고 판단된다. 또한 본 연구에서와 같이 여러 가지 제약요소가 많은 현장실측 뿐 아니라 외피의 열성능 평가에 영향을 미치는 여러 환경요소들의 인위적 조절이 가능한 실험실에서 다양한 종류의 전통건물 외피의 열성능에 대한 객관적인 실험 및 평가가 필요한 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 2008년도 국립문화재연구소 연구비 지원에 의한 결과의 일부임 (과제번호 : 20080091)

참 고 문 헌

1. 정석우 (2006), 전남지역 전통가옥의 환경인자에 관한 연구, 공학석사학위논문
2. 신훈, 송민정, 백건종, 장길수 (2007), 황토벽과 전통창호의 실내 온습도 조절에 관한 Mock-up실험연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 통권13호, pp193-198
3. 조동우, 유기형, 유수훈 (2004), 15세기 조선온실건축의 기능 및 실내환경 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 20권12호, pp211-218
4. 김명신, 김준태, 박효순 (2004), 열환경 개선을 위한 전통민가의 보존적 개수방안 연구, 대한건축학회 논문집, 20권7호, pp251-258
5. 김준봉, 리신호, 오홍식 (2008), 온돌 그 찬란한 구들문화, 지상사
6. 김남용 (2004), 문헌과 유적으로 본 구들이야기 온돌이야기, 단국대학교출판부
7. 김창식 (2007), 충북지역 전통주거건축의 생태요소에 관한 연구, 석사학위논문
8. 리신호, 송창섭, 오무영 (1999) 전통 흙집 벽 재료의 특성 분석, 한국농공학회