



섬유소재 녹화시스템 적용에 따른 노후건축물 에너지 저감효과 분석 -열관류율 모니터링 분석을 중심으로

*Analysis of Energy Saving Effects in Obsolete Buildings by Applying Fiber-based Afforestation System
- Focused on Heat Transmission Coefficient Monitoring*

김태한* · 이소담** · 박정현**

Kim, Tae-Han* · Lee, So-Dam** · Park, Jeong-Hyeon**

* Dept. of Environmental Landscape Architecture, SangMyung University(taehankim@smu.ac.kr)

** Dept. of Environmental Resources, Graduate School, SangMyung University(dami7138@naver.com)

** Dept. of Environmental Resources, Graduate School, SangMyung University(wb6671@naver.com)

ABSTRACT

Purpose : Recently, community-led “city regeneration new deal projects” have been newly initiated, which avoid large-scale demolition while setting up small-scale, resident-oriented facilities needed for daily life. **Method :** This project is usually applied to obsolete buildings where living environment is poor and thus often needs to increase the insulation performance of building exterior coverings to reduce cooling and heating burden as well as generate environment improvement effects to residents who may be classified as an energy poverty segment. Given this, the application of afforestation system to buildings may be regarded as an alternative that meet these requirements, and objective performance check through long-term monitoring is necessary for extensive utilization. Through one-year, long-term monitoring of replicated obsolete buildings that have poor insulation performance, this study analyzed heat transmission coefficient improvement effect and daily average power consumption reduction effect expected when the afforestation system is applied. **Result :** By applying the afforestation system, heat transmission coefficient has improved by $0.10 W/m^2$ on average. As for seasonal reduction efficiency, it improved 411~1,067kWh in summer at 22.6~33.1% reduction rate, which was higher than in winter.

KEYWORD

노후건축물
열관류율
전력소비량
단열개선

Heat Transmission Coefficient
Power Consumption
Obsolete Building
Insulation Improvement Effects

ACCEPTANCE INFO

Received Oct 12, 2017
Final revision received Dec 7, 2017
Accepted Dec 12, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 개요

2017년부터 도시재생사업의 단위 사업 규모가 축소되고, 대규모 철거 없이 소규모 생활밀착형 시설과 주민 중심의 지역주도형 정부 지원방식인 “도시재생 뉴딜사업”이 새롭게 추진되고 있다. 특히, 주민들이 재생효과를 체감할 수 있도록 전체 사업의 절반 이상을 동네 단위에서 주택을 개량하고, 소규모 생활편의시설을 설치해주는 “우리 동네 살리기 사업”방식이 정부기관을 중심으로 검토 중에 있다.¹⁾ 여기에, 녹색건축, 패시브하우스 등의 국정과제와 연계하여 해당 지역의 전면 신축을 지양하는 주택 재정비 방안 등이 추진될 것으로 예상됨에 따라 새로운 주거 정책에 대응하는 지속가능한 친환경 개선 방안이 요구되고 있다. 일반적으로 도시재생사업의 대상은 주거환경이 열악한 노후건축물에 해당하며, 대상 거주자들은 에너지 빈곤층으로 분류될 수 있다. 이 경우의 개선사업은 에너지저감에 필수적인 건축외피의 단열성능개선이 요구된다. 다양한 건축외피 개선방안 중에서 녹화시스템은 미기후 개선을 수반할 수 있어 녹색건축의 대안이 될 수 있지만, 생태적 요소로 구성되어 단열성능 및 에너지개선효과 정량화에 제한적인 경향이 있다. 따라서 보다 적극적인 녹화

시스템의 건축외피개선사업 적용을 위해 객관적인 성능지표 및 계측이 요구된다.

우선, 개선사업의 대상이 되는 노후건축물에서 객관적 단열성능은 열관류율로 이해할 수 있으며, 이에 대한 관련 연구는 노후 상업용 건축물의 설계당시 적용된 외피의 열관류율 저감문제에 대한 개선 연구(2014, 김성임), 공공건축물의 외벽 열관류율 저감경향을 분석하여 외벽 리뉴얼 시기를 산정한 연구(2015, 류승희 등), 비주거 건물에너지소비와 단열재 및 창호 열관류율 간의 상관관계를 규명한 시뮬레이션 연구(2016, 신지현) 등이 확인되고 있다. 반면, 녹화시스템의 에너지개선효과 정량화 연구는 옥상녹화시스템 적용에 따른 도심 오피스건물의 에너지 저감효과를 EnergyPlus 기반의 시뮬레이션을 통해 비교·분석한 연구(2014, 권기욱), Design Builder 기반의 시뮬레이션을 통해 옥상녹화 적용에 따른 공동주택 에너지 저감효과를 분석한 연구(2016, 김지현), 학교건물의 표면온도 실측자료를 기반으로 벽면 및 옥상녹화 적용에 따른 에너지 저감효과를 시뮬레이션을 통해 비교한 연구(2008, 석호태) 등을 살펴볼 수 있다.

상기 관련연구는 표면온도와 열관류율에 대한 단순 모니터링 또는 시뮬레이션 중심으로 진행되었으며, 녹화시스템이 적용된 노후건축물 기준의 장기 모니터링 연구는 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구는 열관류율 저하로 단열성능이 취약해진 노후건축물에 녹화시

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2017.17.6.165

1) 국토교통부 보도자료, 도시재생 뉴딜사업, 지자체 등 의견수렴 착수, 2017

시스템을 적용할 경우 예상되는 열관류율 개선 및 에너지사용량 저감 효과를 연간 장기모니터링으로 분석하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 저소득가구의 전력사용경향

철거가 배제된 노후건축물의 유지관리비용은 저소득계층에게 취약한 주거환경 개선을 위한 경제적 부담을 가중시킨다. 여기서 에너지비용은 저소득계층에게 민감한 사안으로 다음 <Table 1>과 같이 에너지경제연구원의 주택용 전력수요 패턴 분석²⁾에서 전력수요 경향을 확인할 수 있다. 2014년 기준 최대전력소비는 모든 소득수준에서 동절기 2월에 기록되었고, 소득 1분위와 10분위간의 월 평균 전력사용량 차이는 121.7kWh로 집계되었다. 반면 춘절기의 경우 월 평균 전력사용량이 131.3kWh로 연중 가장 많은 차이를 기록하였다. 이는 타 절기에 비해 동절기에 상대적으로 높은 전력수요가 발생하는 저소득계층의 에너지소비 경향은 가전제품사용에 기인되는 거주편의 보다 생활에 필수적인 난방에너지소비에 집중된다고 해석할 수 있다.

Table 1. Seasonal Pattern Analysis and Implications for Residential Power Demand, 2014 (unit: kWh)

| Income Quintile Avg. | Winter | | | Spring | | | Summer | | | Fall | | | |
|------------------------|--------|-------|-----|--------|-------|-----|--------|-------|-----|------|-------|-----|-----|
| | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | |
| 1 | Month | 230 | 240 | 254 | 234 | 226 | 220 | 210 | 212 | 215 | 217 | 213 | 214 |
| | Season | 241.3 | | | 226.7 | | | 212.3 | | | 214.7 | | |
| 10 | Month | 343 | 358 | 388 | 373 | 351 | 350 | 340 | 335 | 346 | 355 | 338 | 334 |
| | Season | 363.0 | | | 358.0 | | | 340.3 | | | 342.3 | | |
| Difference Consumption | | 121.7 | | | 131.3 | | | 128.0 | | | 127.6 | | |

따라서, 저소득계층의 주요 주거형태인 노후건축물의 리모델링은 난방부하 개선이 가능한 단열성능 증진을 우선 고려하는 것이 바람직하며, 이에 따른 에너지비용 저감과 더불어 주거환경개선에 기여할 수 있는 복합적인 기술이 요구된다.

2.2. 노후건축물의 열관류율 수준

건축물 외피의 열화에 의한 노후화는 건축물의 내구성, 의장적 가치 저하와 더불어 단열성능을 저감하여 에너지비용 증가를 유발한다. 여기서, 건물 외피는 노후건축물 개선에 우선적으로 고려해야할 요소로 해석할 수 있으며, 이에 대한 정량화 성능지표로 열관류율을 고려할 수 있다. 국토교통부의 선행연구³⁾는 1989~1993년 준공인 대상 건물의 건축물대장 검토와 실측에 의한 자료를 기반으로 서울 시내 노후건축물의 열관류율 수준을 정리하고 있다. 이는 다음 <Table 2>와 같이 현재 시행중인 건축물 설계기준⁴⁾과 비교할 수 있다. 해당기간에 시공된 건축물의 현재 열관류율 수준은 현행기준 벽체 276%, 지붕 273% 수준에 머무르는 것으로 확인되었으며, 이는

현재 시행기준과 노후건축물 현황 간의 차이로 해석할 수 있다. 따라서 거주 및 에너지 관점의 복합적 문제 해결을 위해 노후건축물의 개선사업은 단열성능개선이 고려된 친환경적인 방안이 요구된다.

Table 2. Thermal Transmittance of Deteriorated Apartment in Geumcheon-gu, Seoul

| Building Components | | U-value Evaluation | | |
|--------------------------------|------|--------------------------------|--|-----------------|
| | | Standard (W/m ² ·k) | Mean Measured Value(W/m ² ·k) | Excess Rate (%) |
| Facing Directly to Outside Air | Wall | 0.21 | 0.58 | 276 |
| | Roof | 0.15 | 0.41 | 273 |

2.3. 열관류율 산출기준

국제기준 ISO9869-1은 열류측정기를 통해 건축물의 불투명 외피와 직교하는 열유동을 측정할 수 있는 실험방법을 제공하고 있다. 현장 열류측정 환경이 안정적인 경우 측정기간을 72시간으로 규정하고 있고, 시험부 표면의 열저항과 열전도도를 측정하여 열관류율을 산정하게 된다. 해당 열관류율 산출기준은 평균법으로 도출할 수 있으며, 산식은 다음과 같다.

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})} \dots\dots\dots (1)$$

U=Heat Transmittance(W/m²·K)

q=Heat Flux(W/m²), T_i=Indoor Temperature(°C)

T_e=Outdoor Temperature(°C), j=Number of Measurements

3. 연구방법 및 내용

3.1. 연구의 과정

본 연구는 섬유기반 녹화시스템 적용에 따른 열관류율 개선효과와 전력사용경향을 분석하기 위해 다음 <Figure 1>과 같이 연구를 진행하였다.

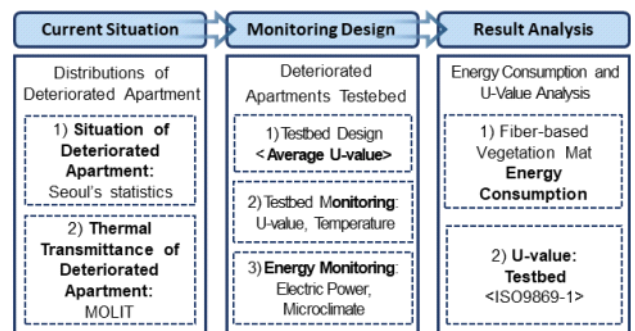


Figure 1. Research Process

우선, 국토교통부 연구자료를 기반으로 노후공동주택의 외피 열관류율 기준을 설정하고, 설정기준에 준하여 Testbed와 모니터링 설계를 진행하였다. 시공된 Testbed의 열관류율 모니터링을 통해 노후건축물 외피 재현정도를 확인하고, 섬유기반 녹화시스템이 적용된

2) 에너지경제연구원, 주택용 전력수요 계절별 패턴 분석과 시사점, 2016
 3) 국토교통부, 노후주택 그린리모델링 활성화 방안 연구, 2013
 4) 국토교통부고시 제2017-71호, 건축물의 에너지절약설계기준, 별표 1

실험구와 대조구 간의 전력 사용량을 비교 모니터링 하였다. 구축된 DB를 기반으로 섬유기반 녹화시스템의 열관류율 개선효과와 노후 건축물로 재현된 Testbed의 에너지사용경향을 분석하였다.

3.2. 전력사용량 모니터링 환경

(1) 실험구 설계

설정된 열관류율 기준에 따라 노후건축물을 재현한 실험구가 다음 <Figure 2>, <Figure 3>과 같이 상명대학교 천안캠퍼스 상록관 옥상에 Testbed 설계와 시공을 통해 구축되었다.

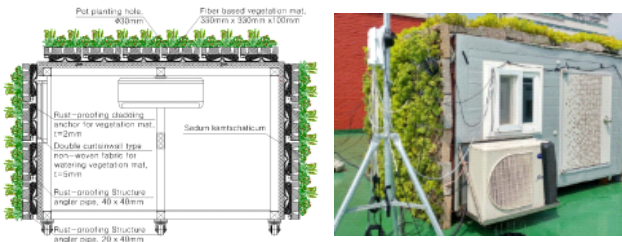


Figure 2. Experimental Testbed

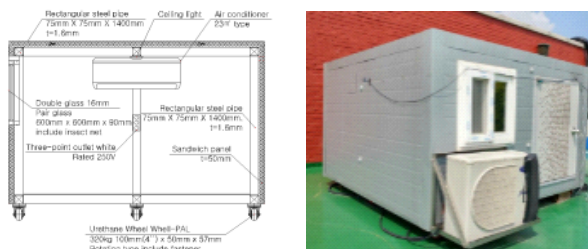


Figure 3. Control Testbed

실험구와 대조구는 각각 1개소로 75mm, T=2.4mm 각 파이프에 EPS 샌드위치 패널 T=50mm 마감으로 제작되었으며, EPS 샌드위치 패널의 경우 1,000mm x 1,500mm, T=50mm의 조건에서 열관류율은 0.57kcal/m²h(°C)에 해당하는 생산규격이 제공되었다. 이를 통해 노후공동주택의 벽체 열관류율과 유사한 환경 구축이 가능하였으며, 섬유기반 녹화시스템의 단열효과 개선효과 모니터링을 위한 적절한 실험환경이 조성되었다. 실험구에는 260mm×260mm×60mm 규격의 섬유기반 녹화시스템을 출입구와 바닥면을 제외한 4면에 시공하였다.

(2) 모니터링 시스템

실험구 및 대조구 모니터링 시스템은 다음 <Table 03>과 같이 미기상, 전력, 열관류율 부문으로 구분된다. 미기상 부문은 실내 온도, 내·외부 벽체 표면온도, 식생표면온도센서로 구성되고, 전력 부문은 적용되는 냉난방기의 전력소비량, 설정온도 측정이 이루어질 수 있도록 설계되었다. 열관류율 부문은 북측면을 기준으로 열류 및 실내표면온도, 실외온도를 측정하여 ISO 9869-1 기준의 평균범위로 열관류율 모니터링을 진행하였다.

Table 3. Specification of Monitoring System

| | Microclimate Data Logger | Temperature-Humidity Sensor | Ground Temperature Sensor |
|-------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Image | | | |
| Model | USEM, ZF-10M | USEM, UE-H100 | USEM, UE-T100 |
| Range | Wireless data communication | -40 °C to 52.5 °C | -20°C ~ 70°C |
| | Air Conditioner | Air Conditioner Temperature Sensor | Electric Power Data Logger |
| Image | | | |
| Model | Carrier, CSV-Q075U | Carrier | Korins, SEM3000 |
| Range | 2,500 / 3,200W | - | 0.1% of reading +0.2% of range |
| | Heat Transmittance Logger | Heat Transmittance Probe | Temperature Sensor |
| Image | | | |
| Model | Testo 435-2 | Testo 0600 1635 | Testo 0600 5793 |
| Range | -200 ~ +1370 °C | -20 ~ +70 °C | -40 ~ +220 °C |

(3) 모니터링 기간 및 방법

섬유기반 녹화시스템 시공에 따른 노후공동주택의 에너지비용 저감효과는 동일한 환경통제조건 하에서 실험구, 대조구 간의 전력 소비량의 장기모니터링으로 비교 분석하였다. 2015년 10월에서 2016년 9월까지 전력소비량을 모니터링 하였으나, 2015년 12월의 경우 냉난방기 및 온도 제어부 이상에 따른 보정작업으로 분석기간에서 제외되었다. 연속데이터 확보를 위해 월별 4~5일 간으로 냉난방기 운전기간을 제한하고, 실내온도는 25°C로 설정하여 24시간 가동하였다. 또한, 시공된 Testbed의 노후건축물 열관류율 유사도를 확인하기 위해 ISO9869-1을 통한 열관류율 모니터링을 수행하였다. 2017년 5월 11일부터 실험구와 대조구에 각각 72시간 기준을 상회하는 4일간 모니터링을 진행하고, 데이터는 측정 종료 시점까지 평균도출이 가능하도록 단위시간을 5분으로 설정하여 기록하였다.

(4) 섬유기반 녹화시스템

본 연구에 적용된 섬유기반 녹화시스템은 다음 <Figure 04>과 같이 폐암면, 저융점 섬유(LMF: Low Melting Fiber), 바텀에쉬기반 인공토양, 제올라이트 등을 배합하여 110~200°C의 열융착 공정을 거쳐 고형화한 매트형태이다. 260mm×260mm×60mm의 규격으로 포트식재가 가능하도록 Ø=32mm의 식재혈 총 13개가 구비되며, 저면관수가 적용되었다. 식생은 높은 피복율 및 내건성이 우수한 섬기린초, 상록기린초 SG, 흰꽃세덤, 블루솔세덤, 땅채송화 중에서 월동 생존율이 가장 우수한 상록기린초 SG가 선정되었다. 여기서, 식생 생육을 위한 식생매트의 유효수분 보유량은 표준시험법 기준으로 함수율값 223.9l/m³로 확인되었다.

5) 영신단열공사 (<http://www.youngshin04.com/sub/business02.php>)



Figure 4. Fiber-based Vegetation Mat System

4. 연구결과

4.1. 섬유기반 녹화시스템의 열관류율 개선효과

실험구와 대조구의 불투명 외피에 대한 열관류율 모니터링 결과는 다음 <Table 4>와 같다. 실험구의 외피온도는 최소 0.79°C, 최대 11.64°C로 평균 4.19°C인 반면 대조구의 외피 온도는 최소 0.05°C, 최대 9.21°C로 평균 2.79°C의 외피온도 차이가 있는 것으로 확인되었다. 실험구의 열관류율 측정결과는 최소 0.01 W/m²·K, 최대 4.32 W/m²·K으로 평균 0.40 W/m²·K인 반면, 대조구의 열관류율은 최소 0.03 W/m²·K, 최대 5.28 W/m²·K으로 평균 0.51 W/m²·K이 측정되어 실험구의 평균 열관류율이 대조구에 비해 약 21.6% 개선된 결과가 집계되었다.

해당 측정결과를 통해 실험구의 노후건축물 재현정도를 확인할 수 있으며, 선행연구 통계와 현 시행 설계기준을 연계하여 다음 <Table 5>와 같이 정리할 수 있다. 여기서 Testbed의 외벽 열관류율이 노후건축물 선행연구의 87.9% 수준에서 재현된 것으로 확인되었다.

Table 4. Comparison of Thermal Transmittance between Experimental and Control Testbed

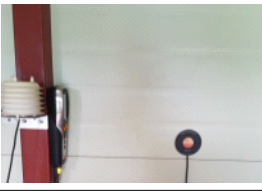



| | | Experimental Testbed | Control Testbed |
|--|--|---|-----------------|
| Indoor |  |  | |
| |  |  | |
| Indoor Outdoor Temperature Differences | min | 0.79 | 0.05 |
| | avg | 4.19 | 2.79 |
| | sd | 2.27 | 1.81 |
| | max | 11.64 | 9.21 |
| U-Value (W/m ² ·K) | min | 0.01 | 0.03 |
| | avg | 0.40 | 0.51 |
| | sd | 0.60 | 0.74 |
| | max | 4.32 | 5.28 |

Table 5. Comparison of Thermal Transmittance: Standard, Deteriorated Apartment U-Value, Experimental and Control Testbed (unit: W/m²·k)

| Building Components | Standard | Deteriorated Apartment U-Value ⁶⁾ | Testbed | |
|--------------------------------|----------|--|--------------|---------|
| | | | Experimental | Control |
| Facing directly to outside air | wall | 0.21 | 0.40 | 0.51 |

4.2. 섬유기반 녹화시스템의 소비전력 경향분석

(1) 동절기 평균 일일소비전력

상기 선행연구를 통해 규명된 바와 같이 연중 최대전력사용기간은 동절기 중 2월에 해당하며, 5일간 연속 진행된 모니터링 결과는

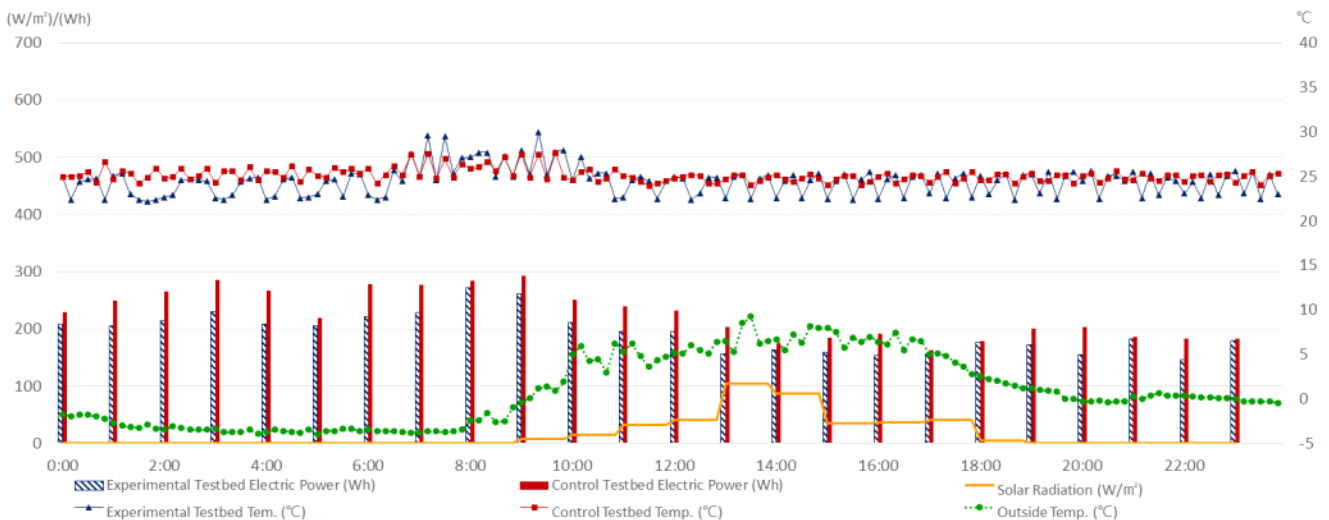


Figure 5. Daily Power Consumption Monitoring Between Experimental and Control Testbed(Feb, 12th, 2016)

6) 국토교통부, 노후주택 그린리모델링 활성화 방안 연구, 2013

다음 <Table 6>과 같다. 실험구와 대조구간의 평균 일일 소비전력량 저감은 682Wh로 9.6%의 평균저감을 기록하고, 평균이상의 일일 소비전력 저감율을 기록한 8, 12일은 일조집중시간대인 10~14시에 상대적으로 실외온열환경이 낮은 수준이었다. 평균기온은 개별항목평균에 비해 3.3~5.2℃ 부족하고, 평균일사량은 21.7~ 303.6W/m² 적게 기록되었다.

Table 6. Daily Power Consumption Monitoring Between Experimental and Control Testbed(Feb, 8th~12th, 2016)

| Date | Avg. Daily Power Consumption(kWh) | | Energy Saving Rate (%) | Concentrated Insolation Period (10:00~14:00) | |
|------|-----------------------------------|-----------------|------------------------|--|--|
| | Experimental Testbed | Control Testbed | | Avg. Temperature (°C) | Avg. Solar Radiation (W/m ²) |
| 8 | 7,891 | 9,078 | 13.1 | 8.7 | 337.8 |
| 9 | 7,456 | 8,118 | 8.2 | 13.8 | 556.1 |
| 10 | 6,177 | 6,554 | 5.8 | 21.4 | 564.7 |
| 11 | 5,943 | 6,360 | 6.6 | 15.1 | 282.9 |
| 12 | 4,662 | 5,429 | 14.1 | 10.6 | 55.9 |
| Avg | 6,426 | 7,108 | 9.6 | 13.9 | 359.5 |

모니터링 기간 중 최고 저감율을 기록한 12일은 상기 <Figure 05>와 같이 그래프로 표현할 수 있다. 여기서 녹화시스템 적용에 따른 동절기의 일일 소비전력 사용경향 변화를 확인할 수 있다. 여기서 일일 최고 저감이 기록된 04:00를 중심으로 01:00~ 07:00에 각각 45~ 58Wh가 저감되고, 10:00~14:00의 일사집중시간 후에 상대적으로 낮은 소비전력 개선효과가 기록되었다.

(2) 하절기 평균 일일소비전력

동절기의 난방부하와 더불어 냉방부하가 발생하는 하절기 중 최대 전력사용기간은 8월에 해당하며, 5일간 연속 진행된 모니터링 결과는 다음 <Table 7>과 같다. 실험구와 대조구간의 평균 일일 소비전력량 저감은 886Wh로 22.9%의 평균저감을 기록하고, 평균이상의 저감율을 기록한 16, 19일은 일조집중시간대인 10~14시에 상대적으로 실외온열환경이 높은 수준이었다. 평균기온은 개별항목평

균에 비해 0.1~0.7℃ 부족하여 거의 동일하고, 평균일사량은 18.3~38.6W/m² 높게 기록되었다.

Table 7. Daily Power Consumption Monitoring Between Experimental and Control Testbed(Aug, 15th~19th, 2016)

| Date | Avg. Daily Electricity Consumption(kWh) | | Energy Saving Rate (%) | Concentrated Insolation Period (10:00~14:00) | |
|------|---|-----------------|------------------------|--|--|
| | Experimental Testbed | Control Testbed | | Avg. Temperature (°C) | Avg. Solar Radiation (W/m ²) |
| 15 | 2,815 | 3,625 | 22.3 | 33.9 | 521.9 |
| 16 | 2,984 | 4,066 | 26.6 | 33.2 | 584.5 |
| 17 | 3,134 | 4,067 | 22.9 | 33.7 | 574.2 |
| 18 | 2,998 | 3,774 | 20.6 | 34.7 | 545.9 |
| 19 | 2,978 | 3,806 | 23.4 | 33.8 | 604.8 |
| Avg | 2,981 | 3,868 | 23.2 | 33.9 | 566.2 |

모니터링 기간 중 최고 저감율을 기록한 16일은 다음 <Figure 6>과 같이 그래프로 표현할 수 있다. 여기서 녹화시스템 적용에 따른 하절기 일일 소비전력 사용경향 변화를 확인할 수 있다. 여기서 일일 최고 저감이 기록된 12:00를 중심으로 10:00~ 14:00의 일사집중시간 전후에 108~125Wh가 저감되고, 일몰 후와 일출 전에는 상대적으로 낮은 소비전력 개선효과가 기록되었다.

(3) 연간 평균 일일소비전력

장기 모니터링을 통해 녹화시스템 적용에 따른 연간 평균 일일 소비전력에 대한 총량과 효율 관점의 분석이 가능하며, 이에 대한 종합적인 결과는 다음 <Table 08>과 같다. 우선 총량적으로 동절기는 실험구 6,426~6,599Wh, 대조구 7,108~7,165Wh로 집계되어 최대 평균 일일전력소비기간으로 기록되었다. 반면 하절기는 실험구 1,295~2,981Wh, 대조구 1,706~3,868Wh로 집계되었다. 소비전력 개선효율은 동절기는 566~682Wh 개선된 7.9~9.6%의 저감을 기록하고, 하절기는 411~1,067kWh 개선된 22.6~33.1%의 저감이 집계되었다. 여기서 녹화시스템 적용에 따른 평균 일일소비전력 저감율은 8월 기준으로 기록되었다.

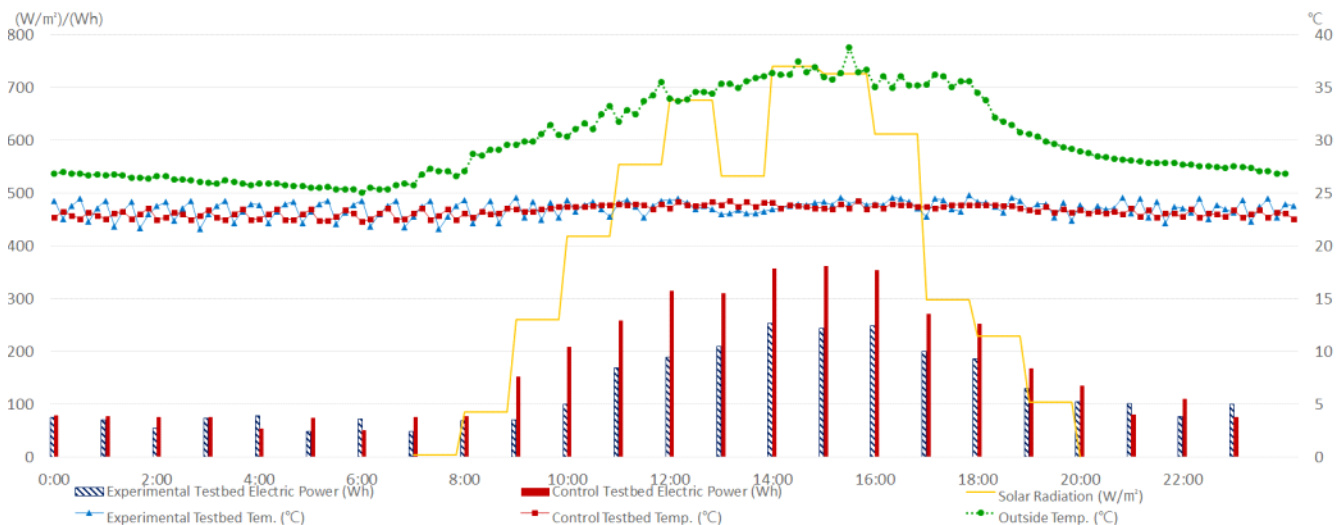
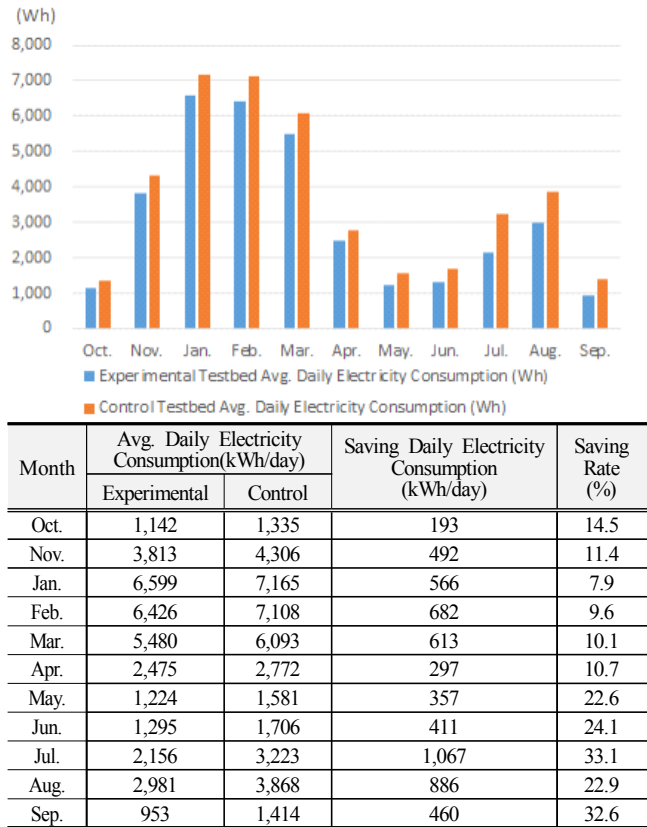


Figure 6. Daily Power Consumption Monitoring Between Experimental and Control Testbed(Aug, 16th, 2016)

Table 8. Comparison of Average Daily Power Consumption Between Experimental and Control Testbed(Oct, 2015~Sep, 2016)



5. 결론

본 연구는 1년간 장기모니터링을 위해 단열성능이 취약해진 노후 건축물을 재현하였다. 재현된 실험구에 녹화시스템을 적용할 경우 예상되는 열관류율 개선과 평균 일일소비전력량 저감효과를 분석하였으며, 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 녹화시스템을 적용한 실험구는 대조구 대비 평균 0.11 W/m²·K의 열관류율이 저감된 약 21.6% 개선효과를 기록했으며, Testbed의 외벽은 노후건축물 선행연구 결과 대비 87.9% 수준의 재현이 확인되었다.
- 2) 최대 전력사용기간인 동절기 중 2월은 녹화시스템 적용으로 평균 일일 소비전력량을 682Wh 감소시켜 9.6%의 평균저감이 집계 되고, 평균이상의 일일 소비전력 저감율을 기록한 8, 12일은 상대적으로 낮은 실외온열환경이 기록되었다.
- 3) 냉방부하가 발생하는 하절기중 최대 전력사용기간인 8월은 녹화시스템 적용으로 평균 일일 소비전력량을 886Wh 감소시켜 22.9%의 평균저감이 집계되었으며, 평균이상의 일일 소비전력 저감율을 기록한 16, 19일은 거의 동일한 평균기온과 상대적으로 높은 평균일사량을 기록하였다.
- 4) 냉난방을 위한 평균 일일소비전력은 총량적으로 동절기에 많이 발생하였으며, 녹화시스템 적용에 따른 소비전력 개선효율은 하절기에 411~1,067kWh 개선된 22.6~33.1%의 저감으로 동절기에 비해 높게 집계되었다.

본 연구를 통해 섬유기반 녹화시스템 적용으로 노후건축물의 열관류율이 개선되고, 냉난방 에너지사용에 따른 평균 일일소비전력량 저감이 가능한 것으로 확인되었다. 다만, 현 시행기준에는 부족한 수준이었으며, 이에 따른 시스템의 기밀성 및 기존 벽면과의 일체성 확보를 위한 설계 고도화가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 해당 섬유소재 녹화시스템은 기존 외단열 시공에 비해 상대적으로 높은 단가가 요구되므로, 본 연구에서 제시된 단열효과 개선에 따른 노후건축물의 에너지 저감효과의 경제성은 제한적일 것으로 예상된다. 따라서 시스템의 실질적인 경제성은 식물적용이 가능한 식생기반재의 생태적 활용을 통해 열섬저감, 도심내수피해저감, 대기질개선 등의 성능 정량화에 의해 제고되어야 할 것이다. 본 연구의 한계는 상생태적 순기능의 정량화된 DB확보가 가능한 실험환경과 열관류율 검토 모니터링 기간이 제한적인 점이었다. 또한, 노후건축물 재현 기준을 열관류율에 국한한 점과 모니터링의 용이성 확보를 위해 24시간 연속 냉난방 부하 환경을 설정하여 현실적인 소비전력상황을 재현하지 못한 점이 한계였으며 이에 대한 후속 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This research was supported by a 2017 Research Grant from Sangmyung University.

Reference

- [1] Kim, Ji-Hyeon, Son, Hyeong-Min, Kwon, Hyuck-Sam, Kim, Jong-Gon, Lee, Bum-Sik. "An Analysis of Energy Reduction Effects in Housing According to Green Roof." LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs, Vol.7 No.4, 2016
- [2] Kim, Sung-Im, Lee, Hyun-Hwa, Lim, Jae-Han, Song, Seung-Yeong. "Field Measurements and Evaluation of Insulation Performance of Opaque Outer Walls for Green Remodelling of Old Commercial Buildings." Journal of the Architectural Institute of Korea Vol.30, No.7, 2014
- [3] Kwon, Ki-Uk, Kim, Won-Tae, Kim, Jeong-Ho, Yoon, Yong-Han. "Performance Analysis for Energy-Saving the Implementation of Low-Energy Green Wall Plant Foundation." Journal of the Korea Society of Environment and Ecology Vol. 2013 No.2, 2013
- [4] Ryu, Seung-Hee, Ryu, Ji-Hye, Hong, Won-Hwa, "A Study on Timing Estimation for the Thermal Insulation Remodeling by Analyzing Annual Variation of Exterior Walls Thermal Insulation Performance in Public Buildings." Journal of the Architectural Institute of Korea Vol.31, No.7, 2015
- [5] Seok, Ho-Tae, Yang, Jeong-Hoon, Jung, Jae-Woong, "A Study on the Evaluation of Energy Performance According to Greenery Cover in Education Buildings." Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.28, No.6, 2008
- [6] Shin, Ji-Hyun, Kim, Sun-Sook, Cho, Young-Hum. "An Analysis of the Heating and Cooling Energy Demand and Consumption According to the Mean Thermal Transmittance of External Wall." Journal of The Korean Society of Living Environmental System, Vol.23, No.1, 2016
- [7] Korea Electric Power Corporation, "Residential Electricity Rate Progressive Agent, Residential Power (low-tension) Electricity Bill", 2016
- [8] Korea Energy Economics Institute, "Household Electricity Demand Seasonal Pattern Analysis and Implications", 2016
- [9] Ministry of Land, "A Study on the Revitalization Plan of Old-Age House Green Remodeling", 2013
- [10] Seoul Statistics, "Aged housing (over 25 years), Administrative Districts", 2016