

# 옥상녹화 조성지역 및 실험구 구성에 따른 온도 특성에 관한 연구

이동근\* · 오승환\*\* · 윤소원\*\*\* · 장성완\*\*\*\*

\*서울대학교 조경·지역시스템공학부 · \*\*서울대학교 대학원 ·

\*\*\*서울특별시 시설관리공단 · \*\*\*\*(주)에코앤바이오

## I. 서론

현대의 도시는 녹지의 부족과 불투수성 표면적의 증가로 인해 생태적인 기능을 상실해 왔다. 그에 따른 결과로 생태계 파괴, 도시열섬현상, 도시형 홍수 발생, 도시인을 위한 휴식공간의 부재라는 문제점을 양산하였다(김귀곤과 조동길, 2000; 문석기 등, 2002; 김수봉 등, 2003; 최희선 등, 2004). 이와 같은 배경아래 옥상녹화는 도시 안의 환경을 개선하고 녹지를 보충하며 도시기후의 조절과 도시열섬현상 완화 및 에너지 절약을 위한 하나의 대안으로 고려되고 있다(안원용과 김동엽, 2001; Niachou *et al.*, 2001; 김인혜 등, 2003; 서울특별시, 2003; Wong *et al.*, 2003; 이상태와 김진선, 2004; 이은희, 2004; 최희선과 안동만, 2004). 이처럼 옥상녹화는 도시미기후의 조절과 도시열섬현상을 완화시키는 기능이 있어 도시의 열환경 개선에 효과적인 대안이라 할 수 있기 때문에 도시 내 옥상녹화의 보급이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 옥상녹화 조성지역에서 적외선 카메라를 이용하여 온도 데이터를 수집하였으며 서울대학교 농업생명과학대학 상록관 9층에 옥상녹화 실험구를 조성하고 온도 데이터를 수집하였다. 기 조성된 답사지에서 적외선 데이터와 실험구 온도 데이터 분석에 따른 향후 옥상녹화 조성 방향에 대한 제언이 본 연구의 목적이다.

## II. 연구의 범위 및 방법

적외선 카메라, 디지털 카메라, 요코가와 온도데이터

로거 2기(MV230, MV112), 기상측정기(WS-16)를 이용해 옥상녹화 기 조성지역과 실험구에 대해 온도 및 기상 데이터를 수집하였다. 옥상녹화 기 조성지역 연구 대상지는 안성기계공구상가, 목동종로엠학원, 여의도 샛강생태공원 방문자센터, 현대고등학교, 고려대 법대 신관, 유네스코회관의 6곳으로 한정하였다. 적외선 사진 촬영은 8월 28~29일 이틀에 걸쳐 실시하였다. 실험구는 서울대학교 농업생명과학대학 상록관 9층에 설치하였다. 건물 내·외부 온도 데이터 수집을 위한 실험구는 2005년 7월에 조성을 하여 현재까지 지속적으로 데이터를 수집하고 있다. 녹화 유형별 변화 인자에 따른 건물 외부 온도 데이터 수집을 위한 실험구는 2006년 7월에 조성을 하여 현재까지 지속적으로 데이터를 수집하였다.

건물 내·외부 온도 데이터 수집을 위한 실험구는 토양표면온도, 토양속온도, 바닥표면온도, 실험구 밑 천장면 온도, 비실험구 밑 천장면 온도의 5곳을 측정하였다. 건물 외부 온도 데이터 수집을 위한 실험구는 각 실험구별로 토양표면온도와 토양속온도 각각 2곳씩 12곳과 시멘트 표면온도 2곳, 콘크리트 바닥표면온도 2곳의 총 16곳의 온도를 측정하였다. 토양속온도는 토심의 중앙부인 5cm, 7.5cm, 10cm 지점을 측정하였다. 외부 기상은 기상측정기(WS-16)를 이용하여 온·습도, 강수량, 일사량, 풍향, 풍속을 측정하였다.

건물 내·외부 온도 데이터 수집을 위한 실험구는 펄라이트 : 버미큘라이트 : 피트모스를 3 : 1 : 1의 비율로 만든 토양 10cm(M-soil), 기린초, 배수판, 부직포를 사용하여 조성하였다. 실험구 조성면적은 2m × 2m 크기로 조성하였다. 건물 외부 온도 데이터 수집을 위한 실험구는 각 단위 면적 50cm(폭) × 50cm(길이) ×

10cm(높이)'인 모듈을 1개씩 사용하였다. 시멘트 옥상 표면 실험구 2개와 옥상녹화 실험구 6개를 설치하여 총 8개의 실험구를 조성하였다. 실험을 위한 녹화 유형별 변화 인자는 토심 10, 15, 20cm와 식생만을 고려하였다. P10L, P10R과 P20L, P20R 실험구는 실험의 정확도를 높이기 위하여 같은 토심과 식생으로 조성하였다.

적외선 사진 데이터는 디지털 사진 데이터와 함께 분석을 실시하였다. 날씨가 맑고 대기온도 29.6°C까지 올라갔던 8월 28일의 안성기계공구상가, 종로엠학원, 여의도샛강생태공원 방문자센터를 중심으로 데이터 분석을 실시하였다.

실험구 데이터 분석을 위해 첫째, 일일 온도 데이터 분석을 위한 기준일은 8월 중 대기온도가 36.5°C까지 올라가 가장 높았던 8월 8일을 선정하였고 시간대는 낮 시간 중 가장 온도가 높았던 11시부터 15시 사이로 선정하였다. 둘째, 8월 한 달의 온도 데이터 분석을 위해서 하루 중 가장 높은 온도를 보였던 시간대인 14시를 기준으로 데이터를 재구성하였다.

건물 내 천장온도 데이터는 여름철엔 에어컨을 사용하지 않은 기간인 2005년 8월 6일에서 15일과 2006년 8월 9일에서 15일, 겨울철엔 2005년 12월 1일에서 2006년 1월 31일 중 난방기를 사용하지 않은 날인 일요일만을 온도 분석을 위해 사용하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 적외선 온도 데이터 분석

식생이 없는 화산석 토양표면의 평균온도가 46.4°C일 때 점토벽돌 41.5°C, 타일벽면 39.1°C, 식재지 32°C를 보였다. 잔디 식재지 평균온도가 34.5°C일 때 다층식재지는 30°C를 보였다(그림 1 참조). 옥상의 노출된 시멘트 벽면의 평균온도가 34.9°C일 때 담쟁이가 식재된 곳은 31.9°C를 보였다. 식재를 위해 조성한 목재 식재구의 평균온도가 39°C일 때 점토벽돌 40.4°C, 시멘트벽면 40°C, 식재지는 28.7°C를 보였다(그림 2 참조). 목재벤치의 평균온도가 41.3°C일 때 점토벽돌 41.7°C, 식재지 32.8°C를 보였다. 침목이 42.9°C일 때 잔디 식재지는 28.5°C를 보였다. 플라스틱 지붕의 평균온도가 47°C, 알루미늄이 54.3°C일 때 식재지는 34.9°C를 보였다. 아스팔트 평균온도가 44.6°C일 때 식재지는 33.9°C를 보였다. 토양

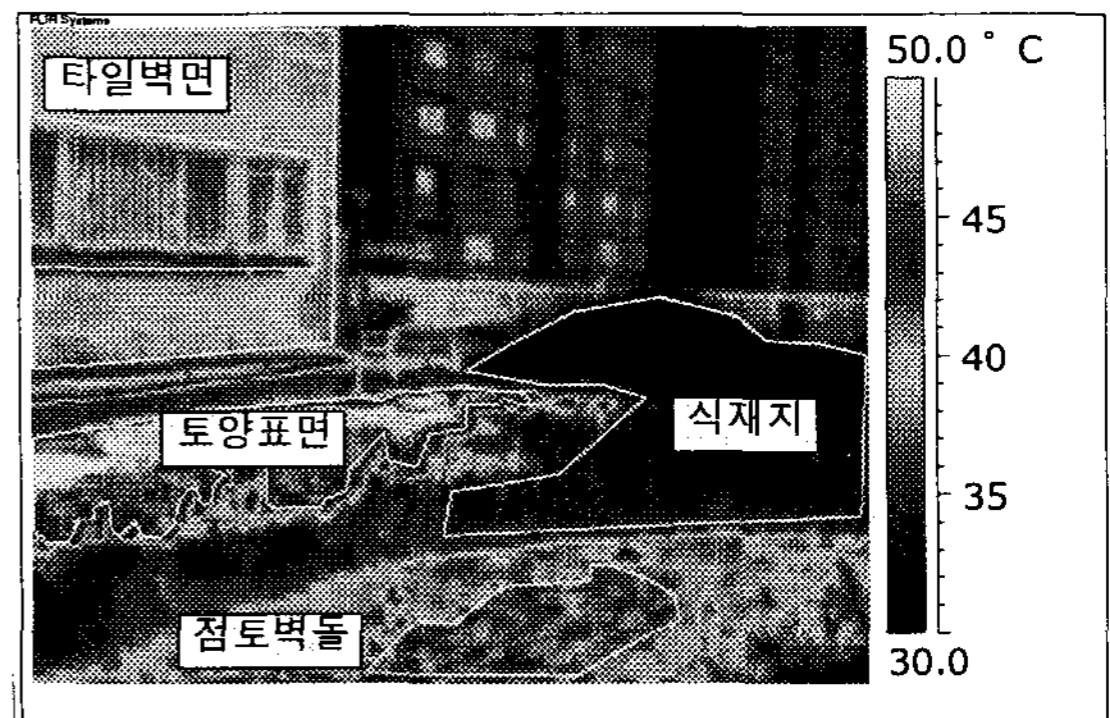


그림 1. 안성기계공구상가 적외선 사진

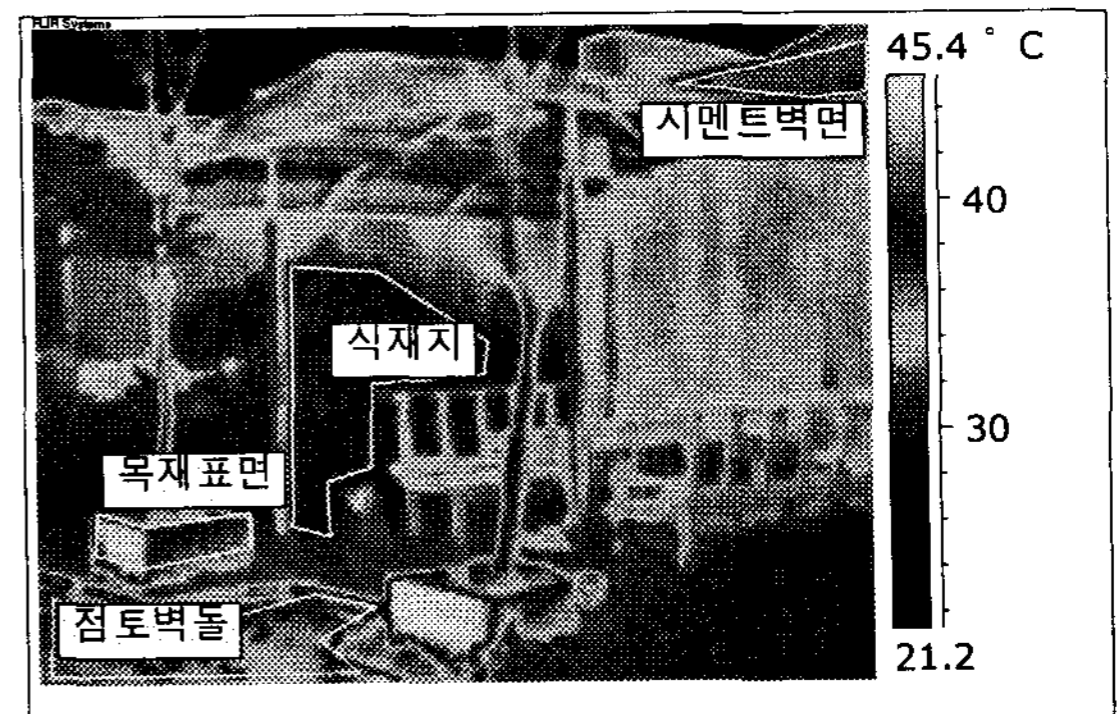


그림 2. 종로엠학원 적외선 사진

은 직사광선에 직접 노출되지 않게 피도를 높이고 식재시 단일수종보다는 다양한 수종을 사용하며 플라스틱, 금속(알루미늄 등), 목재 등의 사용을 자제하는 것이 필요하다. 옥상에 시멘트벽면, 타일벽면 등이 존재한다면 담쟁이 등을 이용한 벽면 녹화도 고려해야 할 사항이다.

#### 2. 실험구 토양표면온도 변화

8월 8일 11시~15시 사이에 콘크리트 옥상 표면 평균온도가 56.7°C일 때 시멘트 44.4°C, 토양만10cm 47.4°C, 식재(토양 10cm) 35.6°C, 식재(토양 15cm) 34.7°C, 식재(토양 20cm) 34°C, 대기온도 34.7°C를 보였다. 8월 1일에서 30일까지 14시에 콘크리트옥상 표면 평균온도가 43.2°C일 때 시멘트 37.9°C, 토양만 10cm 34.8°C, 식재(토양 10cm) 31.8°C, 식재(토양 15cm) 31.6°C, 식재(토양 20cm) 31.1°C, 대기온도 31.0°C를 보였다. 식재된 토양의 표면온도는 대기온도와 1°C 이내의 차이가 났으나 토양만 10cm를 조성한 토양의 표면온도는 시멘트

표면온도와 비슷한 수준을 보였다.

### 3. 실험구 토양속온도 변화

8월 8일 11시~15시 사이에 콘크리트옥상 표면 평균 온도가 56.7℃일 때 시멘트 44.4℃, 토양만 10cm 40.9℃, 식재(토양 10cm) 36.3℃, 식재(토양 15cm) 32.2℃, 식재(토양 20cm) 30.5℃, 대기온도 34.7℃를 보였다(그림 3 참조). 8월 1일에서 30일까지 14시에 콘크리트옥상 표면 평균온도가 43.2℃일 때 시멘트 37.9℃, 토양만 10cm 34.5℃, 식재(토양 10cm) 32.9℃, 식재(토양 15cm) 31.4℃, 식재(토양 20cm) 30.1℃, 대기온도 31.0℃를 보였다(그림 4 참조). 토양속온도 분석에 있어서는 토양만 10cm를 부설한 경우에도 3~9℃의 온도 저감 효과가 나타났지만 식재를 겸한 실험구와 토심 15cm, 20cm의 실험구에서 토양만 10cm를 부설한 실험구보다 각각 1.6℃, 3.1℃, 4.4℃씩 더 높은 온도 저감 효과를 보였다.

### 4. 건물 내 천장온도 비교

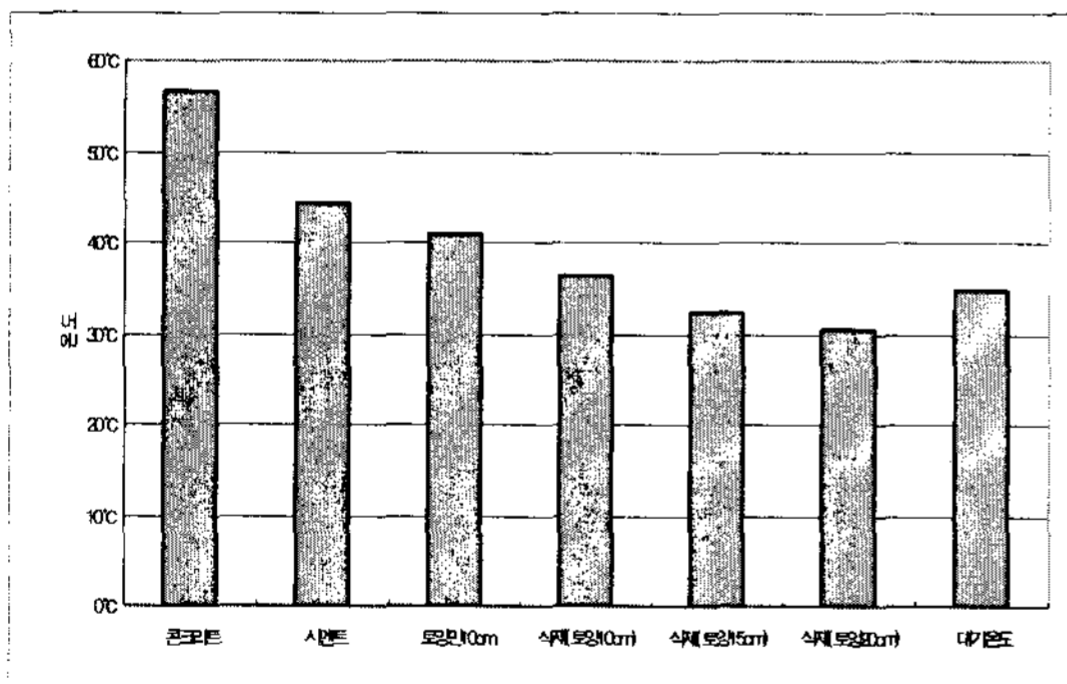


그림 3. 일간 토양속 평균온도 비교도(8월 8일)

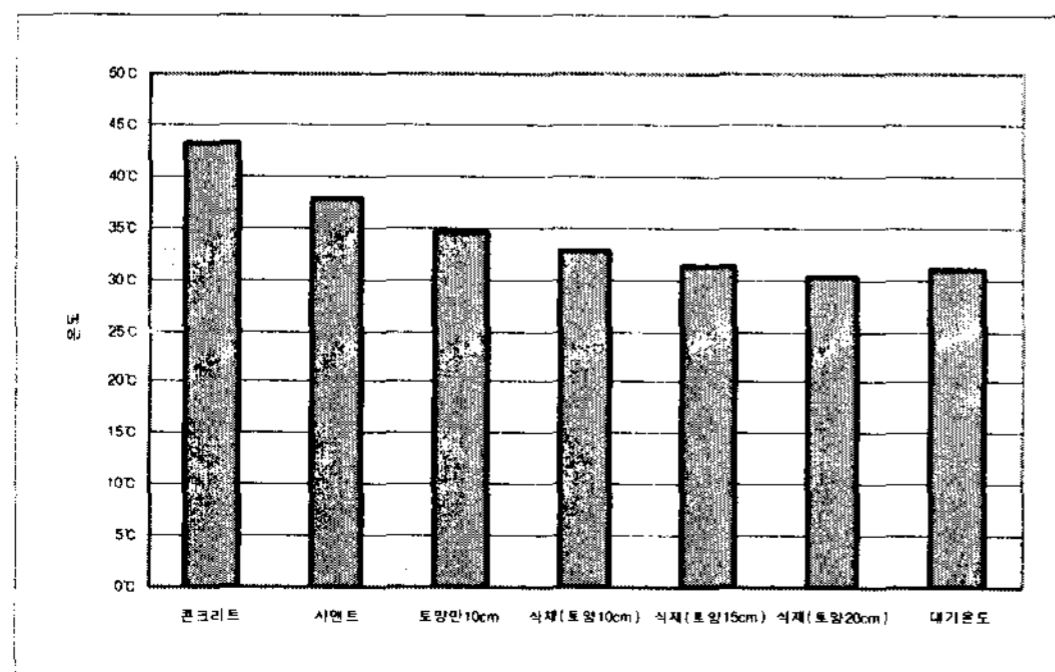


그림 4. 월간 토양속 평균온도 비교도(8월 1~30일)

여름철의 2005년 8월 6~15일에는 실험구 밑의 천장의 평균온도가 29.2℃일 때 일반천장은 30.1℃를 보였다. 2006년 8월 9~15일에는 실험구 밑의 천장의 평균온도가 30.9℃일 때 일반천장은 31.9℃를 보였다. 겨울철의 2005년 12월 1일에서 2006 1월 31일에는 실험구 밑의 천장의 평균온도가 14.2℃일 때 일반천장은 15.3℃를 보였다. 여름철에는 실내온도를 1℃ 정도 낮추어 주어 냉방비 절감에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

## IV. 결론

적외선 온도데이터 분석에서는 직사광선에 노출된 토양표면 평균온도는 46.4℃로 점토벽돌보다 5℃, 타일 벽면보다는 7℃ 정도 높았다. 토양만을 부설하거나 단일수종으로 피도가 낮게 옥상녹화를 조성했을 경우에는 유입종이 토양을 덮을 때까지 온도 저감 효과가 없거나 반감될 수 있다고 판단된다. 담쟁이가 있는 곳의 온도가 노출된 시멘트 벽면의 평균온도보다 3℃가 낮았다. 옥상에 벽면녹화를 조성할 만한 벽면이 있다면 벽면녹화도 동시에 고려해야 할 대상이다. 목재벤치의 평균온도가 41.3℃로 점토벽돌의 41.7℃와 그 차이가 0.4℃로 거의 차이가 나지 않았으며 식재지보다는 8.5℃가 높았다. 플라스틱 표면 평균온도가 47℃, 알루미늄의 표면 평균온도가 54.3℃로 식재지의 온도보다 각각 12℃, 19℃정도씩 온도가 높았다. 플라스틱, 금속(알루미늄) 재질의 재료는 옥상녹화시 사용을 자제하는 것이 좋으며 목재와 점토벽돌 사용 시에도 반사율이 높아 온도 저감 효과를 극대화 시킬 수 있는 흰색에 가까운 재료로 조성을 하는 것이 바람직하다.

토양 10cm를 부설한 실험구에서도 콘크리트 옥상표면의 평균온도보다 10℃ 정도 낮은 온도를 보였다. 식생을 첨가한 토심 10cm, 15cm, 20cm의 실험구에서는 콘크리트 옥상 표면과 시멘트 표면 둘과의 비교 모두에서 확실한 온도 저감 효과를 보여 콘크리트 옥상 표면 평균온도와의 차이는 각각 20℃, 24℃, 26℃정도를 보였다. 토양에 식생을 조성하면 약 10℃이상의 온도 저감 효과를 추가로 가져올 수 있으며 토심을 15~20cm로 조성하면 10cm 토양보다 0.7~1.6℃ 정도의 온도 저감 효과를 추가로 가져올 수 있다.

옥상녹화 기 조성지역과 실험구의 온도 특성을 분석

한 결과를 토대로 온도 저감 효과를 극대화시키기 위한 옥상녹화 조성방안을 도출하면 다음과 같다. 토양은 직사광선에 직접 노출되지 않게 단일수종보다는 다양한 식생층으로 구성하는 것이 바람직하다. 토심은 건물하중과 예산에 문제가 되지 않는다면 20cm 이상으로 조성하는 것이 바람직하다. 플라스틱, 금속(알루미늄) 재질의 재료는 사용을 자제하고 목재나 화산석을 사용할 시에도 표면 명도가 높아 반사율이 높은 흰색에 가까운 색상을 사용하는 것이 바람직하다.

### 인용문헌

1. 김귀곤, 조동길(2000) 생물다양성 증진을 위한 옥상 소생태계 조성기술에 관한 이론적 고찰 및 사례적용 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 3(1): 38-51.
2. 김수봉, 심근정, 이홍대, 권진오(2003) 옥상 녹화 활성화 방안에 관한 연구. 한국정원학회지 21(3): 54-62.
3. 김인혜, 허근영(2003) 저토심 옥상녹화 시스템에 따른 땅채송화의 생육특성. 원예과학기술지 21(4): 346-352.
4. 문석기, 이은엽, 광문기(2002) 옥상녹화를 위한 몇몇 야생초 분류 선정에 관한 연구. 한국복원녹화기술학회지 5(3): 31-39.
5. 안원용, 김동엽(2001) 옥상녹화 후 인공토양의 이화학적 특성 변화. 한국조경학회지 28(6): 77-83.
6. 이상태, 김진선(2004) 잔디식재블럭에 의한 옥상녹화에서의 실내외 온도변화. 한국환경복원녹화기술학회지 7(6): 54-60.
7. 이은희(2004) 국내의 옥상녹화 연구 동향 분석. 한국환경복원녹화기술학회지 7(4): 44-51.
8. 최희선, 김귀곤, 홍수영(2004) 도시생태네트워크 측면에서의 옥상녹화입지를 위한 목표종 선정에 관한 연구. 한국조경학회지 32(3): 18-31.
9. 최희선, 안동만(2004) 옥상녹화 식재기법에 따른 식생변화. 한국환경복원녹화기술학회지 7(3): 35-47.
10. Nichou A., Papakonstantinou K., Santamouris M., Tsangrassoulis A. and Mihalakakou G.(2001) Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Building 33: 719-729.
11. Wong N.H., Chen Y., Ong C.L. and Sia A.(2003) Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. Energy and Building 38: 261-270.