



대학 캠퍼스의 쿨표면 비율 비교평가: 경북대학교와 UC Davis를 사례로

Comparative Evaluation of Cool Surface Ratio in University Campus: A Case Study of KNU and UC Davis

황영석* · 엄정섭**

Hwang, Young-Seok* · Um, Jung-Sup**

* Dept. of Geography, Kyungpook National Univ., South Korea (poi01234@naver.com)

** Corresponding author, Dept. of Geography, Kyungpook National Univ., South Korea (jsaeom@knu.ac.kr)

ABSTRACT

The cool surface ratio could be used as a proxy of the overall thermal environment contributing to heat islands in urban area. This research proposes a comparative evaluation framework in an objective and quantitative way for measuring cool surface ratios. Two university campuses (Kyungpook National University: KNU, South Korea and UC Davis: University of California, Davis, USA) were selected as case study sites in order to monitor cool surface condition. Google Earth combined with digital maps realistically identified the major type of cool surfaces such as cool roofs and water bodies in the study area. Cool surfaces were sparsely identified over the KNU campus while the UC Davis campus was heavily covered by cool surfaces such as cool roofs and water bodies, resulting in almost four times more first-grade cool surfaces, as compared to KNU. It is confirmed that standard remote sensing technology can offer the viable method of measuring and comparing the campus-wide cool surface condition. It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference to initiate a nation-wide cool surface strategy since objective evidence has been provided based on area-wide measurement for the cool surface in the two university context.

© 2014 KIEAE Journal

KEYWORD

쿨표면 비율
대학 캠퍼스
비교평가

Cool surface ratio
University campus
Remote sensing
Comparative evaluation

ACCEPTANCE INFO

Received September 1, 2014
Final revision received January 22, 2015
Accepted January 26, 2015

1. 서론

1.1. 연구배경

한국 대학의 에너지 사용량은 2000년 13만 TOE에서 2010년 26만 TOE로 9년 만에 107% 이상 증가했다¹⁾. 이는 같은 기간 우리나라의 에너지 소비증가량 21.5%의 4배 이상에 달한다. 대학 건물의 연면적 증가량은 약 20%로²⁾ 단위 면적당 에너지 효율이 40%가 감소하여 대학은 에너지를 가장 많이 소비하는 기관으로 에너지 효율 개선이 시급하다는 것이 확인되고 있다. 쿨표면(cool surface)은 반사율과 방사율을 높이는 쿨물질(cool materials)을 지붕과 벽면, 포장면에 사용하여 건물로의 열흡수를 개선하고 외기의 열대류의 개선을 이루는 상대적으로 표면의 온도가 낮은 공간으로 정의된다.³⁾ 흰색이나 밝은 색의 골재가 콘크리트나 아스팔트뿐만 아니라 반사타일, 메탈 지붕 등에 사용될 경우에 쿨표면이 되는 것이다^{4),5)}. 쿨물질 코팅은 콘크리트의 표면온도를 한 여름에 4°C가량 낮춰주고, 건물의 냉방부하를 줄여 도시 전체의 열환경에 기여할 수 있다'는 연구는 쿨표면의 범위를 쿨물질에 국한한 미시적인 관점의 접근이다⁴⁾. 대규모의 녹지, 수공간 등 쿨표면의 확산은 도시 대기 기후에 영향을 주어 미국에서 약 20%

정도 냉방부하를 줄일 수 있다고 주장한 연구⁷⁾는 쿨표면의 범위를 녹지, 수공간까지 확장하는 차원의 연구이다. 다양한 선행연구가 쿨표면의 범위를 쿨물질과 더불어 태양에너지를 흡수하여 열환경을 개선시키는 녹지, 수공간 등을 쿨표면의 범주에 포함하고 있다^{6),7)}.

쿨표면의 열부하를 평가하는 방식은 지붕의 재질, 두께, 외벽의 재질, 창호의 단열 등 개별건물에 주안점을 두거나 도로의 색상, 표면의 재질 등을 측정하는 것이 전통적인 방법이다. 열화상 카메라를 이용해 쿨루프(cool roof)가 설치된 모형지붕과 일반 지붕 간의 표면온도를 직접 측정하여 쿨루프의 성능 평가를 한 연구⁸⁾와 더불어 옥상층에 다양한 마감재료의 시험샘플을 설치하여 마감재에 따른 실내 열부하 및 대기열부하가 옥상층의 냉각에 의해 영향을 받는 것을 정량적으로 확인한 연구가 있다⁹⁾. 쿨표면 성능 검증과 관련된 연구는 다양한 형태로 수행되고 있으나, 대부분 개별건물이나 도로에 대한 표면 온도조사에 의존하거나 미시적인 컴퓨터 시뮬레이션에 의존한 평가가 이루어지고 있다. 개별 건물 중심의 쿨표면 평가는 조사자의 주관적 판단이 많은 영향을 미치고, 사람의 눈으로 볼 수 있는 범위에 한계가 있으므로 쿨표면의 거시적인 분포를 평가하기에 미흡한 점이 많다. 컴퓨터 시뮬레이션의 경우 시뮬레이션 대상 건물의 대표성에 한계가 있고 쿨표면 평가과정에서 개입되는 다양한 변수가 실제와 부합하지 않는 경우 등이 문제점으로 지적된다. 선행연구는 다양한 형태의 쿨표면이 열환경에 미치는 지표의 유용성을 검증하는 데 도움이 되겠

으나 변수가 매우 다원적이고 복잡적이며 검증결과가 거시적이고 시각적인 관점에서 계량화가 이루어지지 못해 객관성을 확보하는데 한계를 가지고 있다.

1.2. 연구목적

캠퍼스 내 각종 시설물의 태양에너지 반사율과 방사율은 캠퍼스 공간 전체의 열환경에 영향을 준다. 캠퍼스는 다양한 용도의 건물로 구성되고 사용목적과 사용상태가 다르므로 각 공간의 특성을 충분히 파악하여 에너지 소비를 최소화하면서 쾌적한 열환경을 창출하는 것이 필요하다. 캠퍼스 내 쿨표면의 축소는 공기의 순환을 방해하여 열환경에 부정적 영향을 미치게 되며, 결국에는 에너지 소모에 영향을 미치게 된다. 쿨표면의 축소는 어느 한 가지 요인에 의해 발생하는 문제가 아니라 캠퍼스에서 이루어지고 있는 자연, 인문현상의 상호작용에 의한 복합적인 현상이다. 쿨표면은 캠퍼스에서 장기간에 걸쳐 이루어진 도로, 건물, 수공간, 수목관리 등 개발과 보전활동으로 축적된 열환경을 객관적으로 표현하는 지표이다. 이는 캠퍼스 열환경의 질을 평가하는 유력하고도 중요한 지표로 측정되거나 관리될 수 있으며 전 세계 어느 대학 캠퍼스에서나 보편적으로 적용할 수 있는 개념이다. 쿨표면의 유형화는 제한된 시간과 비용의 한계 속에서 최대한 효율적으로 대학 캠퍼스의 열환경을 파악하고 적절한 보전계획을 수립할 수 있는 도구로 판단된다.

구글 어스(Google Earth)에서 제공하는 영상은 일반적인 영상 처리과정을 거쳐 다양한 주제도를 제작하는데 사용될 수 있다. 구글 어스 영상에 의한 쿨표면 평가는 저렴한 경비로 넓은 지역에 대한 자료의 수집이 가능하고 다양한 캠퍼스에 대한 쿨표면 현황을 평가할 수 있다는 점에서 캠퍼스별 쿨표면의 비교·평가를 통해 쿨표면 보전이나 확장 대책 수립과정에서 기초자료를 확보하기 위한 최적의 영상으로 판단된다. 다양한 공간객체별 비교 분석이 가능하므로 수공간, 녹지, 건물, 도로 등 쿨표면 분포상태에 대한 비교의 관점에서 아주 유용한 근거자료로 활용될 수 있다. 본 연구는 구글 어스를 이용하여 지표면의 각 인자를 쿨표면의 관점에서 분류하고 평가결과를 객관화하여 대학캠퍼스의 쿨표면을 비교·평가하고자 출발하였다. 연구지역들의 쿨표면에 대한 비교·평가의 결과는 국내외의 다른 캠퍼스에서의 쿨표면 설치 현황과 그린캠퍼스(Green Campus)의 정도를 모니터링하기 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구는 쿨표면 분포 차이를 규명하는 과정에서 미시적인 현지 조사나 컴퓨터 시뮬레이션기법과 관련하여 그간 지적되어온 문제점들에 대한 대안을 제시하여, 국내에 쿨표면 제도의 도입을 위한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구지역 및 데이터 취득

사례연구지역으로 활용된 경북대학교(Fig. 1A)가 소재하고 있는 대구시는 한국의 대부분의 도시와 마찬가지로 하천 유역의 분지에 입지하고 있으며 하천의 배후 습지가 중요한 주거지역으로 개발되었다. 대구는 산으로 둘러싸여 해양의 영향을 받지 않는 분지지형에 위치하고 있어, 열을 다른 곳으로 배출하지 못해 우리나라에서 여름철

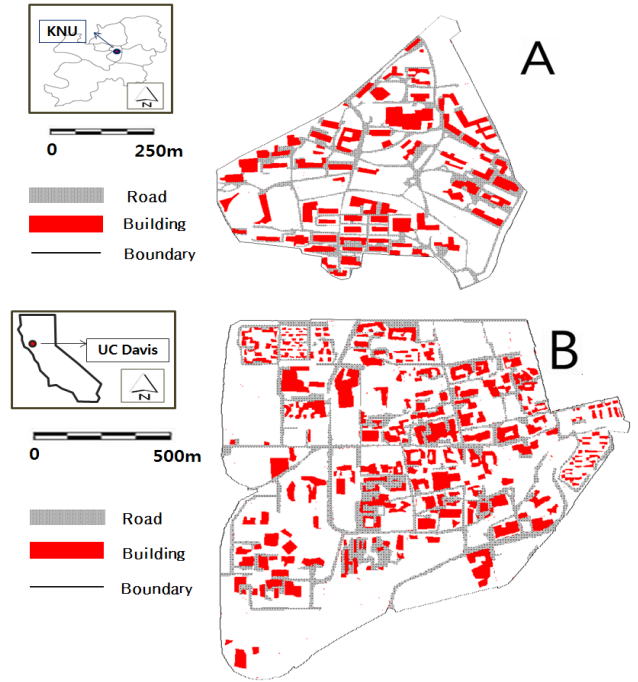


Fig. 1. Location of case study sites (A: KNU, B: UC Davis). Location of experimental sites are marked as circle in rectangular inset of the city boundary.

기온이 가장 높은 도시이자 냉방도열이 가장 높은 도시이다. 최근에는 시외곽의 산자락에 빠른 속도로 고층아파트들이 들어서 산골짜기로부터 밤새 불어오는 산바람을 차단하고 있다. 열의 순환이 자유롭게 이루어지지 않아, 콘크리트 건물과 아스팔트가 열을 흡수해 쉽게 뜨거워져 열섬현상이 확산되고 있다. 따라서 대구는 내륙에 위치한 국내 도시 중 쿨표면 확장이 시급하게 요청되는 지역이다. 경북대학교는 대구광역시 북구에 소재하고 있으며 35~62m의 고도분포로 완만한 구릉지를 이루고 있으며 캠퍼스 면적은 약 782,000㎡이다. 경북대는 야산에 위치하고 있어 넓은 자연녹지를 형성하고 있었으나 도심의 시가지에 위치하고 있는 한정된 캠퍼스의 공간 특성상 쿨표면이 심각하게 훼손되고 있다. 한 예로 2012년 3월 경북대학교의 랜드마크적 이미지를 갖는 지상 17층 연면적 37,277㎡의 글로벌 플라자(Figure 1)가 준공되는 등 다수의 대형건물들이 입지하여 쿨표면 보전에 대한 우선순위가 높은 지역이기도 하다.

미국 캘리포니아 주립대학교 데이비스 캠퍼스(University of California, Davis: 이하 UC Davis)는 평지에 자리 잡고 있으며(고도 분포: 12~20m) 캠퍼스 면적은 21,448,339㎡이다(Fig. 1B). 영국의 대학평가기관 THE(Times Higher Education)이 선정한 세계대학랭킹 51위를 차지한 세계적인 연구 중심대학이다. 시에라 매거진(Sierra magazine)이 UC Davis를 미국의 92개 대학 중 가장 시원한 대학 1위로 선정하기도 했다¹⁰⁾. UC Davis는 경위도 상으로 북위 38°32', 동경 121°45'에 위치하며, 경북대학교는 경위도 상으로 북위 35°53' 동경 128°36'~128°37'에 위치하여 쿨표면의 효과가 극대화되는 하절기 동안 비슷한 기후를 보이고 있다. 대구의 경북대학교와 UC Davis는 캠퍼스의 경계가 명확하고, 건물 배치나 도로의 밀도에 있어서 비슷한 양상을 보이고 있어 공통된 조건에서 쿨표면을 평가할 수 있는 여건을 만

족시키고 있다. 연구지역들은 해당 지방자치단체를 대표하는 국립대학교와 국립대학교여서 캠퍼스 건물관리와 녹지조성 등에서 쿨표면 관련 정부의 정책과 법령이 비교적 잘 반영되어 있을 것으로 추정되었다. 또한 두 대학의 캠퍼스가 녹지공간 훼손으로 인한 지속적인 쿨표면 감소와 계획적인 건물과 녹지 공간 배치를 통한 쿨표면의 건설이라는 상반된 역사를 보이고 있어, 경북대학교와 UC Davis는 쿨표면을 비교평가하는 데 적절한 지역으로 사료되었다.

본 연구에서 사용된 데이터는 구글 어스에서 61cm의 전정색(panchromatic)영상과 2.44m의 다중분광(multi-spectral) 영상을 융합(fusion)하여 서비스하고 있는 퀵버드(Quickbird) 영상이다. 구글 어스에서 제공하는 영상을 Adobe 포토샵 CS 3.0의 병합(photomerge) 기능을 이용하여 모자이크를 수행하였다. 사진병합과정에서 각 영상간의 중복비율을 정하여야 하지만 이에 대한 선행연구가 확인되지 않는다. 본 연구에서는 중중복율과 횡중복율 30%를 적용하여 영상을 프레임별로 저장하고 모자이크를 수행하였다. 영상의 모자이크 방법에는 수동과 자동 방법이 있는데 자동모자이크가 약 8.7~13배로 그 정확도가 개선되고 시간도 약 3배를 줄일 수 있어 자동모자이크 방식에 의거 모자이크를 수행하였다.¹¹⁾ 연구 전반에 걸쳐 사용된 응용 프로그램은 ERDAS Imagine 9.2 영상처리 소프트웨어가 사용되었다. 경북대학교 영상을 판독하는 과정에서 1/1,000 수치지도를 활용하였는데 이 지도는 국토지리정보원의 지도제작기준에 의거 대구 시에서 2002년에 제작한 것이다. UC Davis의 경우 대학 홈페이지에서 서비스하고 있는 캠퍼스 지도를 벡터라이징(vectorizing) 하여 건물, 도로 레이어 등의 수치지도를 제작하였다. 위성영상은 기하보정과 방사보정의 전형적인 영상처리과정을 거쳤다. 경북대학교 영상의 경우 기하보정 작업은 1:1,000 축척의 수치 지도에서 지상 기준점(GCP: Ground Control Points)을 수집하여 좌표를 직접 영상에 입력하여 주는 방법으로 진행하였다. 구글 어스의 픽셀 좌표값은 동부원점(위도 38°, 경도 129°)을 기준으로 TM(Transverse Mercator)좌표로 변환되었다. UC Davis의 영상은 구글 어스에서 제공하는 UTM(Universe Transverse Mercator)좌표를 이용하여 기하 보정하였다. 영상의 위치좌표 오차를 최소화하기 위해 한 픽셀 이하의 RMSE(Root Mean Square Error) 범위에서 기하보정을 수행하였다.

다양한 지역의 원격탐사 데이터를 비교하는 응용에서는 영상 취득 당시에 구름, 대기상태, 토양 습윤도 등 환경 조건이 다르기 때문에 이를 동일조건으로 맞추어 주어야 한다. 이와 같이 근본적으로 다른 환경 조건에서 취득된 영상에서 이러한 영향을 제거하는 과정을 방사보정(radiometric normalization)이라고 한다. 이상적인 방사보정 과정은 데이터 취득 당시 조사지역의 기상 데이터를 분석하여 위성영상의 방사 값을 보정하는 것이다. 그러나 이와 같이 보정을 위한 데이터를 확보하기도 어렵고 이에 근거하여 영상의 방사값을 보정한다고 하더라도 신뢰할 만한 보정의 기준을 설정한다는 것이 상당히 어렵다. 다양한 선행연구¹²⁾와 실무에서 정착되어 활용되고 있는 방식인 영상의 히스토그램에 의거 선명도를 조정하는 절차에 의거 본 연구가 수행되었다.

원격영상에서 공간객체를 분류하는 과정은 영상이 포함하고 있는 정보를 수요자의 필요에 따라 조작하는 과정이다. 쿨표면의 관점에서 위성 영상을 분류하는 것은 원격탐사의 전형적인 활용분야인 토

지 모자이크의 분류에 속한다. 일반적으로 위성영상을 사용할 경우 자동판독에 주안점을 두고 육안판독은 자동판독결과의 신뢰도를 평가하는 과정에서 수행되고 있다. 그러나 본 연구는 고해상도 영상이 포함하고 있는 정보를 그대로 반영하기 위해 자동판독과 육안판독을 거의 동일한 비중을 두고 자동/육안판독의 결과를 대충적 수치지도와 비교하면서 보완하였다. 위성 영상에서 공간객체에 대한 명확한 경계를 정의하기 어려울 경우 수치지도에서 직접 벡터라이징을 수행하고 그 결과에 의거 영상의 분류를 수정하였다. 따라서 판독결과는 위성 영상이 지니고 있는 정보라기보다는 대충적 수치지도(1:1,000)가 가지고 있는 정보를 위성 영상의 판독결과에 반영하였다는 표현이 적절할 것으로 판단된다.

3. 쿨표면 분류기준 설정

쿨표면 분류에서 태양에너지를 흡수 또는 반사하느냐가 핵심요소로 작용한다. 지면은 다양한 인공적인 물질과 자연식생으로 피복되어 있는데, 이러한 지면은 크게 불투수면과 투수면으로 나눌 수 있다. 태양에너지를 반사하는 표면으로 불투수성 포장면은 콘크리트, 아스팔트 등과 같은 인공재료로 피복된 노상주차장, 건물의 옥상, 도로 등으로 빗물이 토양 및 지하수로 흡수 또는 침투되지 못하는 지면이다. 반면에 태양에너지를 흡수하는 표면으로 투수면인 녹지, 호수 등은 인공 구조물로 덮여있지 않아 빗물이 지하로 스며들 수 있는 지면이다. 따라서 쿨표면 분류에 개입되는 다양한 지면을 불투수면과 투수면으로 단순화하여 분류기준을 설계하였다(Table 1). 불투수면과 투수면 모두를 반영하는 쿨표면 평가 기준을 선정하기에는 어려움이 있다. 불투수면과 투수면에서 쿨표면이 제대로 된 기능을 하기 위한 기준이 서로 다르기 때문이다. 불투수면에서의 쿨표면은 태양복사에너지 반사율(SRI: Solar Reflectance Index)이 높은 하얀색이나 이와 유사한 반사율을 사용하였느냐가 주요한 성능 기준이고¹³⁾, 투수면에서는 얼마나 많은 투수면과 식생의 밀도를 지니고 있는지가 주요한 평가 기준이다¹⁴⁾. 태양복사에너지 반사율은 지붕이 태양복사에너지를 얼마나 반사할 수 있는지를 나타내는 방법인데, 검은색(반사율 0.5%, 방사율 90%)의 값을 0, 흰색(반사율 80%, 방사율 90%)을 100으로 놓고 100에 가까울수록 반사율이 높음을 의미한다. 미국의 친환경 건축물 기준인 LEED(Leadership in Energy and environmental Design)는 쿨루프, 쿨페이브먼트(Cool Pavement), 녹지면적 등 쿨표면에 대한 태양복사에너지 반사율 기준을 명시하고 있다.

쿨표면의 비교평가를 위해 불투수면과 투수면에서 쿨표면으로 기능할 수 있는 항목의 설정에 있어서 우리나라의 1:1,000 수치지도의 레이어를 사용하였다. 우리나라의 1:1,000 수치지도의 레이어를 바탕으로, 건축물, 도로, 주차장, 재배지, 호수 등 핵심객체를 쿨표면 평가에서 보편적으로 사용될 수 있는 공통적인 평가기준으로 설정하였다. 반면에, UC Davis의 수치지도에는 건물, 도로, 호수, 주차장 레이어만 존재하였다. UC Davis의 구글 어스 영상을 육안으로 판독하는 과정에서 건물, 도로, 호수, 주차장 외에도 잔디밭, 운동장, 공터, 밭(온실)등의 공간 객체가 확연하게 구분되고, 이들 공간객체가 경북대와 공통요소로 확인되었다. 쿨표면이 개별 캠퍼스별로 고유의 특성

을 가지고 있다고 하더라도 기본적으로 대학 캠퍼스가 가지고 있는 쿨표면은 건물, 도로, 주차장, 수목, 오픈스페이스 등 상당한 공통점을 가지는 것으로 확인되었다. 따라서 동일한 분류기준을 가지고 쿨표면을 평가하여 유형화함으로써 캠퍼스 간 비교 평가가 가능할 것으로 판단되었다.

3.1. 불투수 쿨표면

LEED는 쿨루프의 성능기준을 평지붕에서는 태양에너지 반사율이 78%, 경사진 지붕에서는 29%이상으로 명시하고 있으며, 쿨페이브먼트의 성능기준을 최소한 태양에너지 반사율 29%가 되어야 한다고 요구하고 있다.[14] 국내에서는 쿨루프의 도입을 위한 성능기준에 대한 선행연구들이 존재하고 있다. 선행 연구들은 미국의 쿨루프 기준을 바탕으로 시뮬레이션을 통해 중부지역의 적정 태양반사율은 60%이상 남부지역과 제주지역은 70%이상인 적정 태양반사율로 보고 있다¹⁷⁾. 불투수면에서의 쿨표면 평가기준은 한국의 쿨루프 성능기준에 대한 선행연구와 미국의 성능 기준의 대표값에 근접하는 값을 선정하여 등급을 나누었다 (Table 2). 하지만 구글 어스 위성영상과 수치지도 만으로는 LEED에서 규정하고 있는 평지붕과 경사지붕을 구분하고, 쿨루프와 쿨페이브먼트의 재질까지 확인하는데 한계가 있다. 태양복사에너지 반사율의 경우 반사율이 높으면 값이 높아지는 정비례 관계가 도출되나 거의 모든 색은 반사율이 80%에서 90%사이에 집중되어 있다. 이에 본 연구는 반사율을 기준으로 미국의 쿨루프 성능기준에 따라 반사율 65%이상은 1등급, 65%미만 40%이상은 2등급, 40% 미만은 3등급으로 나누었다. 반사율이 높은 밝은 색깔을 이용하여 표면의 태양에너지 반사율을 높이고 온도를 낮추려

는 쿨루프와 쿨페이브먼트의 공통점에 착안하여, 반사율을 기준으로 하는 쿨루프의 등급 기준을 도로에도 적용하였다. 쿨루프와 쿨페이브먼트가 혼재되어 있는 캠퍼스의 특성상 2등급 기준을 쿨루프의 기능이 본격적으로 작동하는 것으로 알려진 태양복사에너지 반사율 40%로 정하였다¹⁸⁾. 하지만 본 연구에서는 색깔별 반사율만을 지표로 쿨표면의 등급을 나누어 반사율 외에 재질(texture)의 차이는 고려하지 못한 한계를 가지고 있다.

3.2. 투수 쿨표면

LEED는 개발대상지가 녹지지역일 경우 훼손금지 기준을 명시하고 있다(Table 1). 이전에 개발된 지역일 경우에는 건축물을 제외한 대지면적의 50% 또는 전체 대지면적의 20% 이상을 녹지지역으로 유지할 경우 가점을 받을 수 있다. 한국의 녹색건축 인증제는 자연지반 녹지율에 따라 25% 이상은 1급, 20-25% 미만은 2등급 등 전체 대지면적에 대해 자연 상태로 형성된 녹지 또는 조성된 녹지의 비율에 따라 배점을 부여하고 있다. 생태면적률 평가기준에서 자연지반 녹지, 수공간, 인공지반 녹지, 옥상녹화, 투수포장 등 12개 공간유형별 면적과 가중치를 곱한 값의 총합이, 전체 대지면적에서 차지하는 비율(최소 25% 이상)에 따라 배점을 부여한다¹⁹⁾. 이 두 기준 모두 녹지가 얼마나 많은 면적을 차지하고 있는 지가 평가 항목이다. 반면에 한국의 녹지자연도는 식생의 형태뿐만 아니라 수역항목까지 포함하고 있다. 개발지역, 반자연지역, 자연지역 등으로 구분하여 캠퍼스의 투수 쿨표면을 녹지자연도를 바탕으로 분류한다면, 개발지역과 자연지역의 등급과 비교평가를 시행할 때, 뚜렷한 기준이 될 수 있다고 판단되었다. 인공적으로 개발되지 않는 지역과 수공간이 투수 쿨표면의 등

Table 1. Classification criteria for cool surfaces

		USA	ROK	Classification criteria applied in this study
Impervious Surface	Cool Roof	Flat Roof : ≥ SRI 78% ¹⁾ Stiff Roof : ≥ SRI 29% ²⁾	Seoul metropolitan region : ≥ SRI 60% ⁴⁾ Southern region & Jeju Area: ≥ SRI 70%	≥ SRI 65%
	Cool Pavement	≥ SRI 29% ²⁾	not available	≥ SRI 30%
Pervious Surface	Green Space	add points if ≥ green space 20% ³⁾	Biotope ratio is scored according to natural green space, water bodies, artificial green space, rooftop greening etc. ⁵⁾	according to Degree of Green Naturality (DGN) ⁶⁾
	Water Space	There is only criterion about utilizing water resources. ⁵⁾	There is only criterion about utilizing water resources. ⁵⁾	DGN

1) Solar Reflectance Index (SRI) is a measure of the ability to reject solar heat. SRI for standard black (reflectance 5%, emittance 90%) is 0 while SRI for a standard white (reflectance 80%, emittance 90%) is 100.

2) LEED (Leadership in Energy and environmental Design) Version 2.2, 2005.

3) LEED Credit 5.1 Site Development-Protect or Restore Habitat. .Credit 5.2 Site Development-Maximize Open Space

4) Kim, Ok, Rhee and Eon-Ku 2010, Performance Standards of Cool Roof in Korea¹⁵⁾

5) Green building selection criteria, 2013, Ministry of Environment/Ministry of Land, Infrastructure and Transport

6) Classification criteria for Degree of Green Naturality 1991, Ministry of Environment

Table 2. Grading criteria according to solar reflectance for impervious cool surface

Color (SRI)	Grade in this research	Color (SRI)	Grade in this research
Almond(67.1), Satin Finish Galvalume (74), Acrylic Coated Galvalume (67), Natural White (75.93)	1	Aged Bronze (29.66), Antique Copper Cote (29.3), Award Blue (17.2), Bristol Blue (30.3), Buckskin (39.71), Champagne (34.95), Colonial red (33.03)Forest Green (34.42), Hemlock Green (30.92), Mattle Black (28.7), Medium Bronze (31.39), Sierra Tan (34.81), Terra Cotta (31.66), Zinc Grey (37.88)	3
Copper cote (45.24), Shasta White (60), Parchment (51.72), Zinc Cote (52.45)	2		

Source: The Texas Smart Roof™, 2014¹⁶⁾

Table 3. Grading criteria for pervious cool surface

Range	Title	DGN* Grade	Grade applied in this research	Note
Hydrosphere	Water	0	1	stream, river, lake
Land	Plantation	6	2	Planted tree such as broadleaf trees or needle leaf trees
	Secondary Grassland(A)	4	3	Primarily colonized grasslands with comparatively small vegetations like grass or artificial meadows
	Secondary Grassland(B)	5		Secondary colonized grasslands with tall vegetations like reeds
	Farmland	2	3	Cultivation area like farmland
	Open Space	1	4	The area which green vegetation rarely exists

* Classification criteria for Degree of Green Naturality, 1991, Ministry of Environment

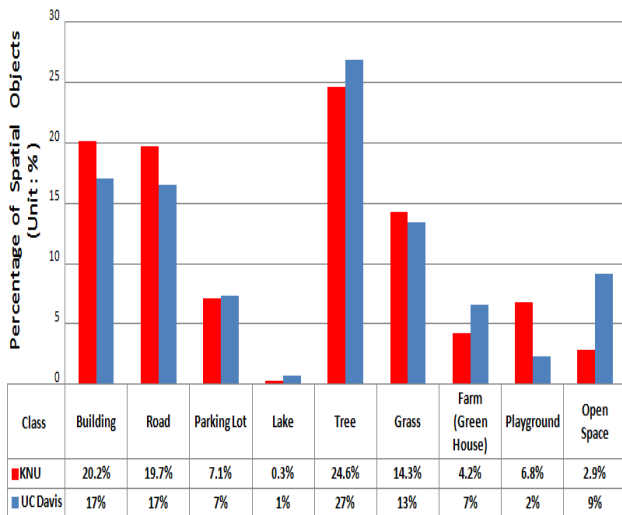


Fig. 2. Comparative evaluation of classification result for cool surface

급을 결정하는 준거로 판단되어 녹지자연도를 투수 쿨표면의 평가기 준으로 설정하였다. 본 연구에서는 환경부의 녹지자연도 사정기준 을 바탕으로 투수면을 4개의 등급으로 나누었다(Table 3). 녹지자연 도 1등급의 경우 시가지 조성지로 식생이 존재하지 않는 불투수면이 다. 이는 불투수면에서 분석이 되기 때문에 제외하였다. 녹지자연도 7~9 등급에 해당하는 이차림과 자연림은 캠퍼스라는 특수한 환경에서 개발로 인해 파괴되어 찾아볼 수 없다. UC Davis와 경북대의 경우 평지와 언덕에 조성되어 있기 때문에 이차림과 자연림보다는 인공적

으로 조성된 조림지나 이차초원, 공터가 대다수를 차지하고 있다. 본 연구는 이를 바탕으로 투수면을 녹지자연도에 따라서 크게 4등급으 로 나누었다. 녹지자연도에서 0등급 수역에 해당하는 호수, 저수지 등은 1등급으로, 조림지는 2등급, 잔디밭과 같은 이차초원, 밭과 같은 농경지는 3등급, 운동장, 공터는 4등급으로 나누었다.

4. 쿨표면 비율 비교평가

4.1. 투수객체별 비교평가

경북대학교 캠퍼스는 47% (건물:20.2%, 도로:19.7%, 주차장: 7.1%)가 불투수면으로 나타났고, 수목과 잔디밭은 각각 24.6%, 14.3%로 나타나 전체면적의 38.9%를 차지 하고 있다(Fig. 2). UC Davis는 총면적에서 41% (건물: 17%, 도로: 17%, 주차장: 7%)가 불 투수면으로 나타났다. 불투수면의 면적이 경북대학교가 UC Davis보 다 6%높은 것으로 나타났다. 전체면적에서 수목이 차지하는 비율은 UC Davis (27%)가 경북대 (24.6%)보다 2.6% 높았다. 경북대학교는 잔디밭의 비율이 높은 편이고 UC Davis는 쿨루프와 수목의 비율이 경북대학교 보다 높다. 잔디밭의 경우 경북대학교가 14.3%로 UC Davis 보다 넓은 면적을 차지하고 있다. 밭(온실)의 비율은 UC Davis (7%)가 경북대(4.2%)에 비해 약 1.5배가량 높다. UC Davis는 대학농 장에 캠퍼스를 조성한 농업분야에 특성화된 학교이기 때문에 밭(온 실)의 비율이 높은 것으로 판단된다. 호수 면적은 UC Davis (0.8%)가 경북대학교(0.3%)보다 약 2.5배가 넘는 면적을 보이고 있다. 경북대 학교 호수는 작은 규모로 산발적으로 존재하고 있어 열환경을 개선

Table 4. Changing trends of building space expansion and percentage of Cool Roof

KNU	2004	2013	Building space constructed or remodeled after 2004
Building Space	140,820m ²	161,718m ²	26,331m ²
% of Cool Roof	19.5%	18.8%	23.4%

Buildings constructed after 2004: Global Plaza(Constructed in 2012; Cool Roof), KNU Law School(Constructed in 2009), International Kyungsang-kwan(College of Economics and Buisness Administration; Constructed in 2007), Chumsung-kwan(Domitory; Constructed in 2009; Cool Roof), Semiconductor Complex(Constructed in 2004), Hyangto-Kwan(Domitory; Constructed in 2006), Language Institue(Constructed in 2005) etc. Buildings remodeled after 2004: College of Social Sciences Building(Remodeled in 2011), Faculty's Apartment(Remodeled in 2010) etc.

UC Davis	2004	2013	Building space constructed or remodeled after 2004
Building Space	178,725m ²	207,753m ²	32,085m ²
% of Cool Roof	67.6%	77.7%	97.2%

Buildings constructed after 2004: Gallagher Hall (LEED Platinum obtained in 2011), The UC Davis Tahoe Environmental Research Center (LEED Platinum obtained in 2007), Gladys Valley Hall (LEED Platinum obtained in 2012), Winery, brewery and food science laboratory(LEED Platinum obtained in 2011) etc. Buildings remodeled after 2004: Coffee House (LEED Gold obtained in 2010), Student Community Center (LEED Gold obtained in 2012), Robbins Hall (LEED Gold obtained in 2010), School of Law King Hall (LEED Silver obtained in 2010) etc.

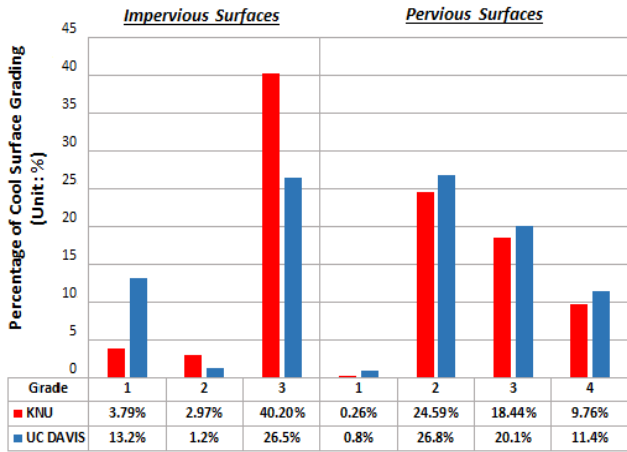


Fig. 3. Comparative evaluations of cool surface grading

하는 데 한계가 있다. 반면에 UC Davis는 푸타강 (Putah Creek)의 지류가 흘러 생긴 호수가 캠퍼스를 가로지르며 연속적으로 분포함으로써 캠퍼스내의 바람길, 냉각수로서 온도저감에 지대한 역할을 하고 있는 것으로 판단된다.

건물, 녹지 등 개별 공간객체에 대해 쿨표면으로서의 기여도에 따라 등급을 부여하여 출력한 지도에서는 경북대학교와 UC Davis간의 두드러진 차이를 확인할 수 있었다. 특히 UC Davis는 불투수 쿨표면 중 쿨루프와 관련된 항목에서 경북대학교와 두드러진 차이를 보여주고 있다. 경북대학교는 건물지붕의 약 20%만이 밝은 색을 띠고 있어 1등급에 해당되고, UC Davis는 건물면적의 77.6%가 쿨표면 1등급인 쿨루프이다.(Fig. 3-4) 쿨표면 3등급은 경북대학교는 40.2%, UC Davis는 26.5%를 차지하고 있다. 건물 면적 중에서 쿨표면 1등급인 쿨루프의 비율이 UC Davis가 경북대학교 보다 4배 정도 높다. UC Davis는 쿨표면이 차지하고 있는 비율이 경북대학교보다 훨씬 높아 쾌적한 열환경을 보유하고 있음이 확인된다.

4.2. 쿨표면 변화추세 비교평가

UC Davis에서 쿨표면 제도가 시행(2005년)된 이후 증가된 쿨표면 비율을 확인하고자 쿨표면 제도 도입 전후에 두드러진 변화가 가지적으로 확인되는 쿨표면인 쿨루프와 수목, 잔디밭 비율의 변화를 분석하였다. 2004년에서 2013년 까지의 구글 어스(Google Earth) 영상을 활용하여 경북대학교와 UC Davis의 메인 캠퍼스를 중심으로 투수 쿨표면의 변화를 분석한 결과, 쿨표면의 확산에서 양 캠퍼스는 상당히 다른 양상을 보이고 있다. 경북대학교는 자연녹지에 위치하여 투수 쿨표면이 많은 면적을 차지하였으나 무계획적인 개발로 인해서 투수 쿨표면이 줄어들었고, 불투수면으로서 건물면적은 늘어나고 쿨표면을 갖춘 공간은 늘어나지 않고 있다 (Fig 5. A-B). 경북대학교는 10년 동안 건물이 증가(14.8%)하면서, 수목 (-0.9%), 잔디밭 (-0.8%)과 쿨루프 (-0.7%)는 감소하였다 (Fig. 9). 건물이 증가할 경우 대체 녹지나 습지를 조성하여 쾌적한 환경을 유지하기 위해 최근에 논의되고 있는 생태면적율의 개념이 적용되는 사례는 찾아볼 수 없었다. 오히려 오픈스페이스로 쿨표면의 역할을 하고 있던 종합운동장에 인조잔디를 설치하여 쿨표면을 제거한 흔적이 영상에 선명하게 나타나고 있다.(Fig.5. A-B 영상의 좌측 하단) 또한 경북대는 2등급 투수 쿨표면과 3등급 투수 쿨표면에 해당하는 수목과 잔디밭을 건물로 대체하고 있다(Fig 5. A-B). 경북대학교는 개발과정에서 양질의 수목을 베어내고 잔디밭으로 조성한 흔적이 확대된 영상에 선명하게 제시되고 있다 (Fig 7. A-B). 2004년 이후 늘어난 건물연면적 중 23.4%가 쿨루프지만, 건물연면적에서 쿨루프가 차지하는 면적은 오히려 19.5%에서 18.8%로 줄어들었다.(Table 4) 건물의 유지보수과정에서 기존의 쿨루프에 대한 체계적인 관리가 이루어지고 있지 않음을 알 수 있다(Fig 7. A-B).

이에 반해 UC Davis는 10년 동안 건물이 16.2% 늘어났지만 수목 (+1.4%), 잔디밭 (+1.3%), 쿨루프 (+3.3%)의 비율이 증가하였다 (Fig. 9). UC Davis는 투수 쿨표면 확장이 캠퍼스 개발 과정에서 함께 고려되어 건물이 늘어나고 있지만 투수 쿨표면도 함께 증가한 근거가 영상에 가지적으로 제시되고 있다(Fig 6. A-B). 신축건물은 전체가 쿨

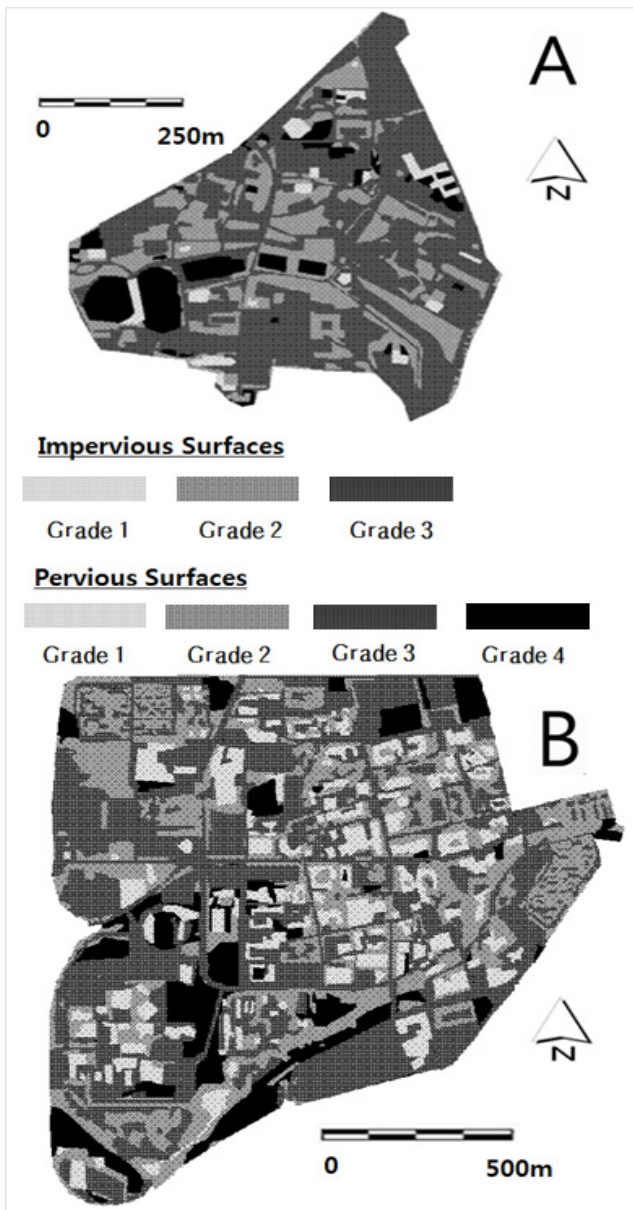


Fig. 4. Cool surface grading map (A: KNU B: UC Davis)

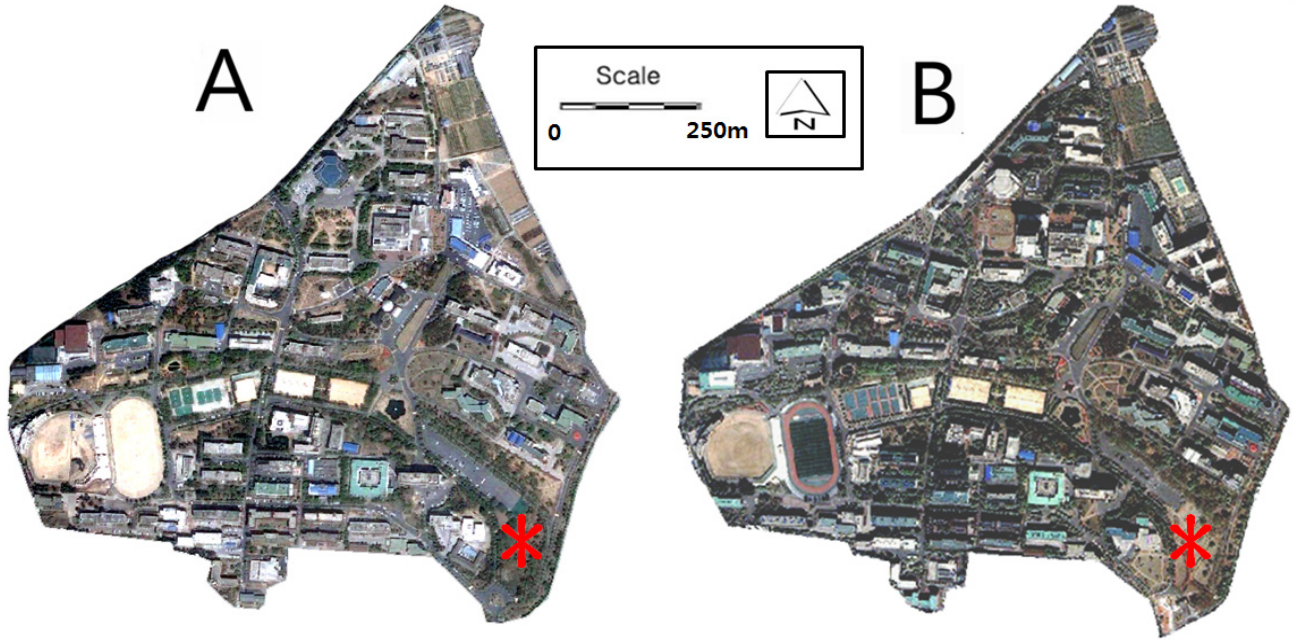


Fig. 5. Google Earth image for KNU A: 2004.04.15 B: 2013.04.28
(Coverage of magnified portion for site marked as * is presented in Figure 7)

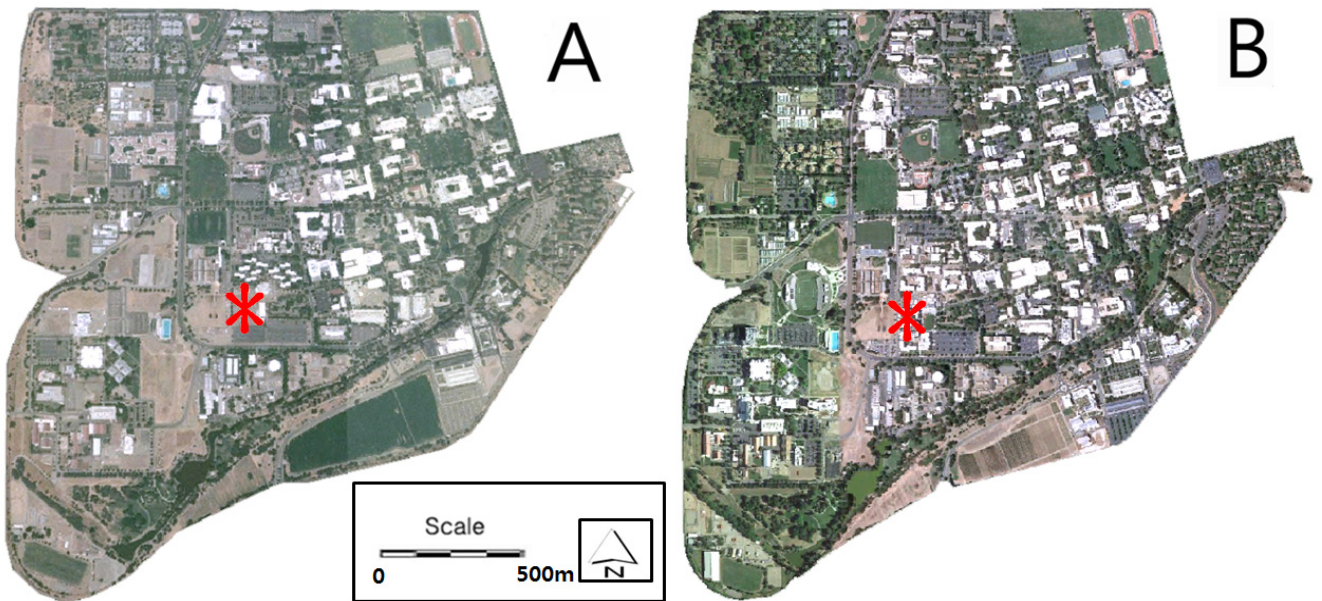


Fig. 6. Google Earth images for UC Davis, A: 2004.07.01, B: 2013.08.14.
(Coverage of magnified portion for site marked as * is presented in Figure 8)

Table 5. Comparison between USA and South Korea for non-cool surface regulation

Article	USA	ROK	Note
Cool roof guideline to campus's new building	○	×	USA : Cool roof installation specifications is clearly stated, based on roof gradients of new buildings (e.g. California, Title 24)
Cool roof guideline to campus's existing buildings.	○	×	USA : It is required for rebuilding to satisfy relevant cool roof standard.
SRI requirement for cool roof	○	×	USA : SRI specification is stated in Zero Net Energy Strategy.
Cool pavement	○	×	USA : SRI for cool pavement in LEED is required. If it meets the specification, extra point is given at Sustainable Site Credit.

○: Yes, that item to regulate non-cool surface is available.
×: Not available

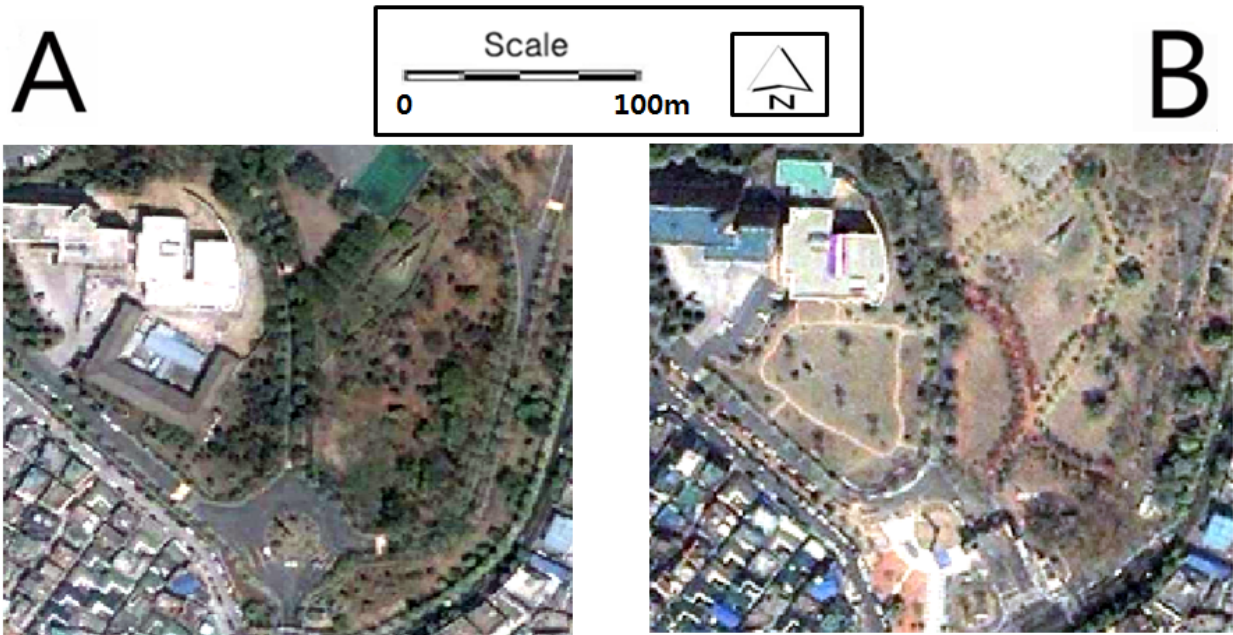


Fig. 7. Typical scenes of cool surface disappearance in KNU, A: 2004.04.15 B: 2013.04.28.

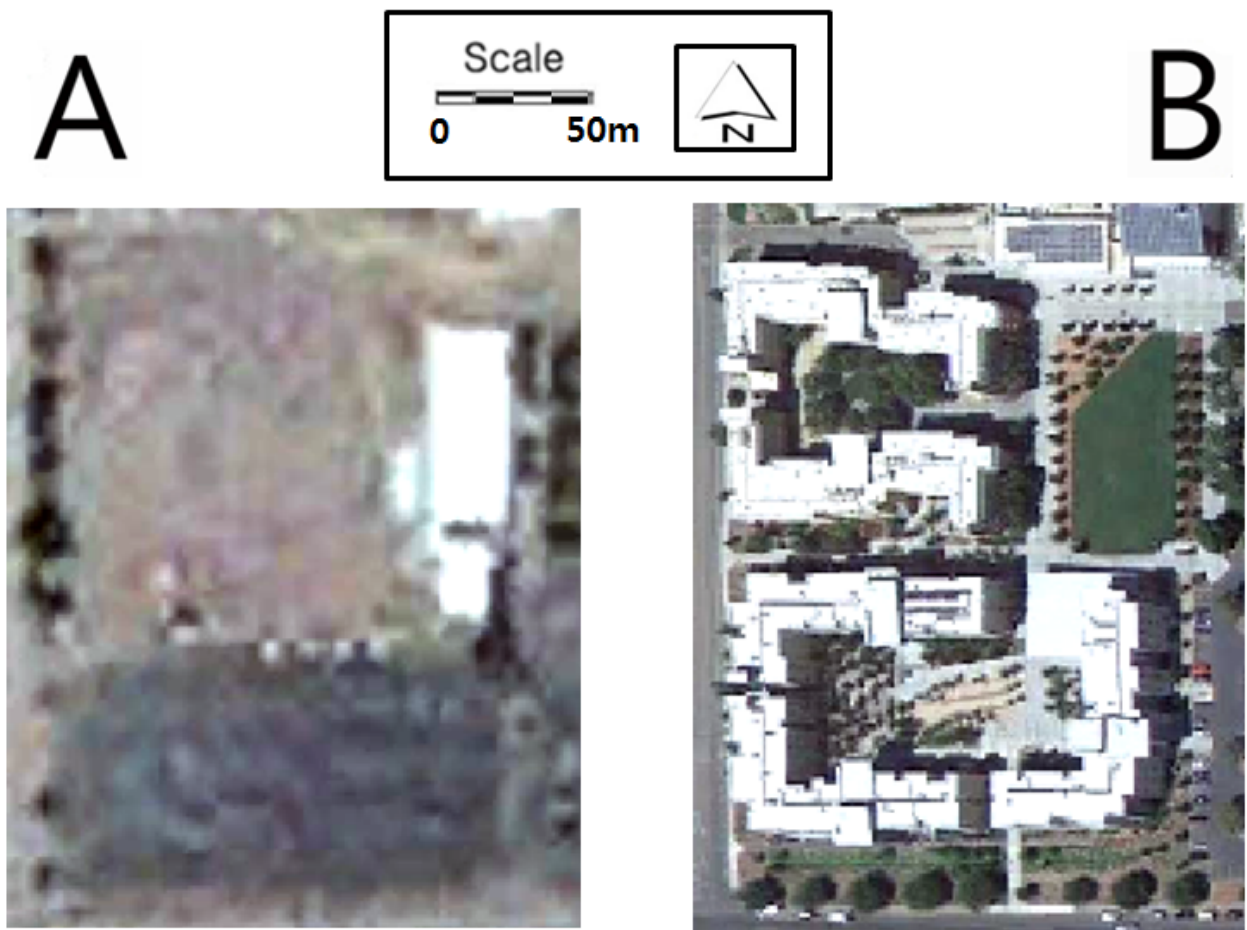


Fig. 8. Typical scenes of cool surface expansion in UC Davis, A: 2004.07.01, B: 2013.08.14.

루프로 확인되고 있으며 건물이 사라진 공간에 녹지를 조성한 근거가 나타나고 있어 (Fig 8. A-B), 건물의 확장 과정에서 기존의 쿨표면을 최대한 보전하면서 투수 쿨표면을 조성하고 있다. 2004년에서 2013년 사이 늘어난 UC Davis의 건물연면적 중 쿨루프가 97.2%를 차지하고 있다. UC Davis의 건물들은 2005년 캘리포니아주의 Title 24와 지속가능한 행동규정 (Sustainable Practice)이 시행되면서 LEED 기준에 의거하여 (Table 5) 신축 또는 개축되고 있음을 알 수 있다 (Table 4) 그 대표적인 예로 키어니·라벤·캠벨·포터·월 (Kearney·Laben·Campbell·Potter·Wall)가 있다. 학생기숙사인 키어니·라벤·캠벨·포터·월은 개보수 프로젝트를 통해 LEED 골드 (Gold) 등급을 획득한 쿨루프로 변모하였다 (Fig. 8. A-B). 2014년 현재 UC Davis는 LEED 인증 플래티넘(Platinum) 건물 4개, LEED 인증 골드(Gold) 건물 5개, LEED 등록 건물 4개를 보유하고 있다²⁰⁾.

5. 토론 및 시사점

미국의 친환경 건축물의 등급을 규정하고 있는 LEED는 지붕의 경사도에 대한 쿨루프 성능기준을 명시하고 있다. (Table 5) 미국의 캘리포니아(California) 주는 에너지 위원회(California Energy Commission)에서 2005년 부터 쿨루프의 설치를 의무화 하고 있다²¹⁾. 새로운 건물을 지을 때, 지붕의 경사도에 따라 태양복사에너지 반사율이 다른 쿨루프를 설치하도록 명시하고 있다. 쿨페이브먼트의 경우 미국의 LEED Version 2.2(2005)에서 쿨페이브먼트의 성능기준으로 태양복사에너지 반사율 29% 이상을 요구하고 있다. 이를 충족하면 지속가능한 장소 점수 (Sustainable Sites Credit) 1점을 부여하고 있다²²⁾. UC Davis는 쿨표면과 관련된 캘리포니아(California) 주정부의 법을 준수하고 있다. UC Davis는 화석에너지 사용량 0을 목표로 하는 미국에서 가장 큰 제로 넷 에너지 (zero net energy) 커뮤니티 프로그램을 2011년 부터 시범적으로 시행하고 있다. 제로 넷 에너지의 핵심전략은 에너지 효율을 높이고 커뮤니티 내에서 사용하는 에너지를 자체적으로 생산하는 것이다. 에너지 효율을 높이기 위한 제로 넷(zero net) 모델에서 태양복사에너지 반사율(SRI) 40%이상의 쿨루프 설치가 제로 넷 에너지 (zero net energy) 전략 중 하나로 명시되어 있다.

UC Davis는 “지속가능한 실천”(Sustainable Practice)이라는 자체 기준을 2007년에 개정하여, 신축건물과 건물을 개축할 때 쿨루프와 관련된 사항을 규정하고 있다. 신축건물은 LEED의 실버(Silver) 등급을 획득해야 하고, 골드(Gold)등급을 획득하는데 최선을 다해야

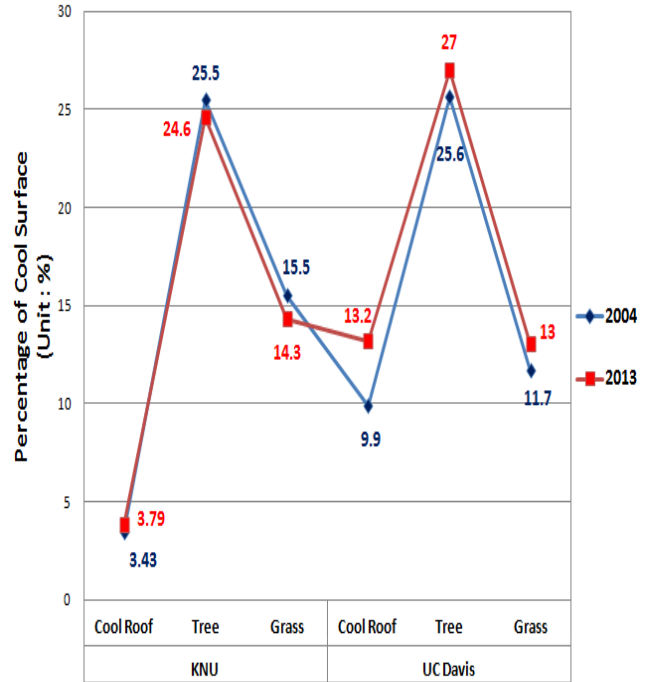


Fig. 9. Comparative evaluation for changing trends of cool surface between KNU and UC Davis

한다는 점을 명시하고 있다. 신축 건물 설계 시에는, LEED-NC (Leadership in Energy and environmental Design for New Construction & Major Renovations)와 캘리포니아 건축법(California Building Code energy efficiency standards)을 준수해야 하고, 캘리포니아 건축법(California Building Code)의 에너지효율기준(energy efficiency standard)이 요구하는 에너지효율보다 최소 20% 이상 에너지효율이 높도록 설계되어야 한다는 사항도 명시하고 있다. 이런 규정으로 인해 UC Davis의 갤러거 홀(Gallagher Hall, 2009년 완공, 2011년에 LEED 인증 획득)은 신축건물 중 대표적인 쿨루프 건물이며 LEED의 플래티넘(Platinum) 등급을 획득하였다. 기계, 전기, 배관 시스템이 100% 교체되거나 시설물의 50%가 교체되는 건물 개축시, 최소한 LEED가 요구하는 실버(Silver) 등급이나 이에 준하는 등급의 인증이 필요하다. 에너지 효율 측면에서, 건물 개축은 캘리포니아 건축법(California Building Code)의 Title 24가 요구하는 기준보다 20% 이상 에너지효율이 높도록 이루어져야 한다. UC Davis의 학생 기숙사인 월, 캠벨과 포터 홀(Wall, Campbell and Potter Halls)은 2008년

Table 6. Changing trends of energy consumption according to the building space expansion

	Building Space	Energy Consumption	Changing Trends of Energy Consumption versus Building Space
KNU 2006	470,199m ²	12,045 TOE	building: ↑ 8.15% energy: ↑ 21.2%
KNU 2009	508,526m ²	14,599 TOE	
UC Davis 2005	866,423.041m ²	2,205,900 mmBTU	building: ↑ 11.7% energy: ↓ 23%
UC Davis 2011-2012	967,724.145m ²	1,901,570 mmBTU	

UC Davis: Energy consumption is calculated with International LNG thermal unit mmBTU (Million Metric British Thermal Unit). 1MMBTu is about 250,000kcal and 26.8m³of LNG.

KNU: Energy consumption is calculated with TOE (tonne of oil equivalent). It is a unit representing energy generated by burning one metric ton (1000 kilograms or 2204.68 pounds) or 7.4 barrels of oil, equivalent to the energy obtained from 1270 cubic meters of natural gas or 1.4 metric tons of coal that is, 41.87 gigajoules (GJ), 39.68 million Btu (MMBtu), or 11.63 megawatt hours (MWh).

5월 건물 개보수 프로젝트를 통해 2010년 LEED 골드(Gold) 등급을 획득하였다. 이 개축 프로그램은 지붕면적의 76%에 태양복사에너지 반사율 104%인 쿨루프의 설치하였는데, 이는 캘리포니아 건축법(California Building Code)의 Title 24가 요구하는 에너지효율보다 30%이상 높은 에너지효율을 달성할 수 있도록 설계된 것이 특징이다.

UC Davis는 캠퍼스 전체의 건물 면적이 2005년에서 2011-2012년 사이에 11.7% 증가하였지만 반대로 에너지 사용량은 23%로 줄어 들었다(Table 6)²³⁾. 한편 경북대학교의 건물연면적은 2006년에서 2009년 사이에 걸쳐 8.15% 증가하였는데^{24,25)}, 경북대학교의 에너지 사용량도 더불어 21.2%가 증가하였다[1]. UC Davis는 에너지 사용량 단위가 mmBTU이고, 경북대학교는 에너지 사용량 단위가 TOE이지만 두 개의 상반된 단위가 연료와 전력의 연간 사용량의 합계를 의미하기 때문에 정량적인 비교의 근거로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 에너지 부하량 비교의 결과는 매우 조심스럽게 해석되어야 할 것으로 판단된다. 왜냐하면, 분석의 결과가 중앙관측시스템에서 측정 가능한 연료와 전력에만 한정되어 있어, 연구실이나 실험실에서 개별적으로 활용되는 에너지까지 통합적으로 고려하지 못하고 있다. 쿨표면 비율이 중요한 변수가 될 수 있지만 같은 조건에서도 이용자의 에너지 소비 습관이나 관리요인, 캠퍼스의 지리적 위치 등에 의해 에너지 소비가 다르게 나타나기 때문에 이를 일반화하기에는 한계가 있다. 전기에너지, 석유에너지, 건물에너지 등 사용용도에 따라 구분된 에너지 통계에 의거하여 쿨표면과 에너지 사용량의 관계성에 대해 객관적인 근거를 제시하지 못하고 있어 향후 분야별 에너지 사용통계에 의거하여 쿨표면과 에너지 사용량의 상관성을 규명할 수 있는 후속연구가 필요하다. 그러나 대학 캠퍼스는 평면의 형태 및 공간배치가 유사하기 때문에 에너지 사용의 기본적인 행태는 유사할 것으로 판단된다. 경북대학교에서 건물 연면적이 늘어남에 따라 에너지 사용량이 늘어나는 것은 쿨표면의 확산이 충분하지 않다는 근거를 보여준다. 한국의 친환경 건물 인증 기준은 용적률 비교를 통한 불투수면의 비율기준만 명시하고 있다. 현재 국내의 지붕 관련 법규 및 성능 기준 또한 지붕의 단열 성능 기준과 지붕 방수재료와 관련한 인장강도, 신장률, 내화학성 등 재료의 내구 성능만을 요구하고 있으며, 열환경을 개선하기 위한 성능 기준은 나타나지 않고 있다. 국내의 경우 쿨표면 설치와 유지 관리에 대한 경제적 비용 보조, 설치에 따른 인센티브 프로그램 등이 상당히 미진하여 본 연구와 같은 결과가 도출된 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구는 하절기 냉방에너지 저감과 도심열섬완화를 위한 친환경적 에너지 저감 기법인 쿨표면에 주목하여 한국과 미국의 대학캠퍼스를 비교하여, 국내에 쿨표면 제도의 도입을 위한 기초자료를 제공하였다. UC Davis는 건물면적이 증가하는 것과 더불어 쿨표면 비율이 증가한 반면에, 경북대학교에서는 건물이 증가되면서 쿨표면의 축소되는 현상이 가지적으로 확인된다. 그리하여 UC Davis는 건물면적이 증가하더라도 에너지사용량이 감소하지만 경북대학교는 건물면적과 에너지사용량이 함께 증가하는 관계성을 보여주고 있

다. 경북대학교는 건물면적이 늘어남에 따라 에너지소비량이 늘어나 건물의 에너지 효율이 낮아지는 악순환이 반복되고 있는 것이다. 쿨표면 등급의 비율이 이러한 에너지 효율의 차이를 설명할 수 있는 변수가 될 수 있을 것이다. 경북대학교는 쿨표면 1등급 비율이 UC Davis에 비해 4배 차이가 날 정도로 현저하게 적어, 에너지 절감에 비효율적인 건물의 보유량 차이 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 분석된다. 미국의 LEED는 쿨표면에 관련된 항목들을 명시하고 있고, 신축건물들은 LEED 규정에 따라 건축되었으며, 기존의 건물들도 개·보수를 통해서 LEED의 규정을 준수하여 에너지를 적게 소모하는 건물로 개축하고 있다. 경북대학교와 UC Davis에서 쿨표면 비율이 차이가 나는 결정적인 이유는 쿨표면 관련 기준의 존재유무로 판단된다.

쿨표면 제도를 도입하기 위해서는 에너지 절감에서 쿨표면이 제공하는 잠재적인 기회들을 수용할 수 있도록 관련 제도를 정비하는 등 보다 적극적인 대응이 필요하다고 판단된다. 쿨표면은 급속히 확대 발전하고 있으며 많은 변화를 보이는 분야이기 때문에 체계적인 이론이나 완성된 연구결과가 부족하다. 하지만 본 연구에서 제시된 한국과 미국의 대학 캠퍼스 비교평가결과는 쿨표면의 현황을 가지적이고 정량적인 근거로 제시하여 쿨표면을 국내에 도입하는 과정에서 객관적인 기초자료로 활용 가능할 것으로 기대된다. 쿨표면에 대한 성능 기준 마련과 검증은 해외의 많은 실험 결과로부터 해결되어야 할 사항이며, 국내와 같이 이에 대한 데이터가 부족한 상황에서는 외국의 자료를 토대로 국내에 적용 가능한 성능기준과 용도별 효과 검증이 선행되어야 할 것이다. 본 연구를 토대로 후속연구에서는 상업지역, 공업지역, 주거지역 등 다양한 용도지역별로 쿨표면 비율에 대한 해외 사례를 조사하여 쿨표면이라는 하나의 새로운 혁신적 전략이 국내에서 수용될 수 있도록 이에 대한 적극적인 대응의 필요성이 제기된다. 쿨표면의 확장과 유지 관리에 대한 인센티브 프로그램 등 쿨표면을 권장하기 위한 해외 법령의 차이에 대해서도 보다 심도 있는 후속연구가 필요하다고 판단된다.

Acknowledgement

This work was supported by the Human Resources Program in Energy Technology of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea. (No. 20144010200670)

Reference

- [1] 에너지관리공단 (2011), "2010년도 에너지사용량 통계 에너지사용량 신고업체" // (Korea Energy Management Corporation(2011), "2010 Energy Consumption Statistics - Energy Reporting Enterprise")
- [2] 녹색연합 (2011), "그린캠퍼스 우수사례 발표 및 그린캠퍼스 평가 제도의 방향", // (Green Alliance (2011), "Present of Good Examples of Green Campus and the Directions of the Green Campus Evaluation System")
- [3] A. Synnefa, M. Santamouris, K. Apostolakis (2007), "On the Development, Optical Properties and Thermal Performance of Cool Colored Coatings for the Urban Environment", Solar Energy, 81(4),

- p.488-497.
- [4] L.Doulos, M.Santamouris, I.Livada (2004), "Passive Cooling of Outdoor Urban spaces. The role of materials", *Solar Energy*, 77(2), p.231-249.
- [5] A.Synnefa, M.Santamouris, I.Livada (2006), "A Study of the Thermal Performance and of Reflective Coatings for the Urban Environment", *Solar Energy*, 80(8), p.968-981.
- [6] H.Akbari, L.Rose (2008), "Urban Surfaces and Heat Island Mitigation Potentials", *Journal of the Human - Environmental System*, 11(2), p.85-101.
- [7] H.Akbari, M.Pomerantz, H.Taha (2001), "Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas", *Solar Energy*, 70(3), p.295-310.
- [8] 류택형, 엄정섭 (2013), "원격 열화상을 이용한 지붕색상별 겨울철 표면온도변화추세 비교 평가", *한국지형공간정보학회지*, 21(1), p.27-37 // (Ryu, Taek-Hyoung, Um, Jung-Sup (2013), "Evaluating Changing Trends of Surface Temperature in Winter according to Rooftop Color using Remotely Sensed Thermal Infrared Image", 21(1), p.27-37)
- [9] 정숙진, 윤성환 (2010), "하절기 쿨루프시스템 효과에 관한 실험적 연구", *대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집*, 2010(1), p.563-566 // (Jung, Suk-Jin, Yoon, Seong-Hwan (2010), "Experimental Study on Effects of Cool Roof System in Summer", *Journal of Architectural Institute of Korea*, 2010(1), p.563-566)
- [10] <http://www.ucdavis.edu/ucdavis-today/2012/aug..ust/14-cool-school.html>, 2014.08.20.
- [11] 김준현, 김재형 (2011), "토지적성평가의 적법훼손지 개선을 위한 모자이크처리기법의 정확성 평가" *한국 지적정보학회지*, 13(1), p.117-128 // (Kim, Jun-Hyun, Kim, Jae-Hyung (2011), "Accuracy Evaluation of Mosaic Processing Techniques to Improve Lawfully Damaged for Land Suitability Assessment", *Journal of The Korean Cadastre Information Association*, 13(1), p.117-128)
- [12] 엄정섭(2006), "녹피울 훼손추세 평가를 통한 총량규제 근거자료 확보 방안", *한국GIS학회지 제14권 제3호*, 2006.11, p.299-319 // (Um, Jung-Sup (2006), Acquisition of Evidential Information to Control Total Volume in accordance with Degradation Trends of Green Space, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 14(3), p.299-319)
- [13] H.Akbari, H.D.Matthews (2012), "Global cooling updates: Reflective roofs and pavements", *Energy and Buildings*, 55, p.2-6.
- [14] 엄정섭 (2009), "Google Earth를 이용한 경북대와 홍콩대 캠퍼스의 불투수율 비교평가", *한국지역지리학회지*, 15(3), p.421-433 // (Um, Jung-Sup(2009), "Comparative evaluation of Impervious Ratio between KNU and HKU Campus Using Google Earth", *Journal of The Korean Association of Regional Geographers*, 15(3), p.421-433)
- [15] 김옥, 이언구 (2010), "국내 Cool Roof 도입 시 요구성능에 관한 연구", *대한 건축학회 학술발표대회 논문집 30(1)(계획계)* // (Kim, Ok, Rhee, Eon-Ku (2010), "A Study on the Required Performance Standards of Cool Roof in Korea", *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 30(1), p.497-498)
- [16] The Texas Smart Roof™, <http://www.houstoncoolmetalroofs.com/cool-roof-information/cool-roof-design-texas/>. 2014.10.30.
- [17] 김옥, 이언구 (2010), "국내 Cool Roof 도입 시 요구성능에 관한 연구", *대한 건축학회 학술발표대회 논문집 30(1)(계획계)* // (Kim, Ok, Rhee, Eon-Ku (2010), "A Study on the Required Performance Standards of Cool Roof in Korea", *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 30(1), p.497-498)
- [18] 이승민, 장향인, 장철용, 서승직 (2013), "냉·난방에너지 소비량 분석을 통한 국내 기후에서 Cool Roof의 적용성 분석", *대한설비공학회 학술발표대회논문집*, 2013(11), p.209-212 // (Lee, Seung-Min, Jang, Hyang-In, Jang, Sheol-Yong, Suh, Seung-Jik (2013), "A Study on the Applicability of Cool roof in the Domestic Climate According to Energy Consumption Analysis", *The Society Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Winter Conference*, 2013(11), p.209-212)
- [19] 박철용 (2013), "녹색건축 인증제 소개 및 LEED와의 비교 분석-공동주택을 대상으로", *건설기술* // (Park, Cheol-Yong (2013), "Introducing Green Building Certification System and Comparing between Green Building Certification System and LEED", *Construction Technology*)
- [20] <http://campusmap.ucdavis.edu/sustainability/> 2014.08.20
- [21] California Energy Commission(2006) 2005 Calif. Building Energy Efficiency Standards - Excerpts on Cool Roofs, September 2006 version
- [22] H.Akbari, H.D.Matthews (2012), "Global cooling updates: Reflective roofs and pavements", *Energy and Buildings*, 55, p.2-6.
- [23] Grumman/Butkus Associates (2013), "Case Studies of Laboratory Energy Efficiency at Tier-One Research Universities"
- [24] 경북대학교 (2006), "경북대학교 2006년 통계 연보" // (Kyungpook National University(2006), "Kyungpook National University 2006 Statistics Annual Report")
- [25] 경북대학교 (2009), "경북대학교 2009년 통계 연보" // (Kyungpook National University(2009), "Kyungpook National University 2009 Statistics Annual Report")