

연구논문

설비 투자비용의 관점에서 쿨루프와 옥상녹화의 비교 평가: 경북대학교 캠퍼스 사례를 중심으로

김준우 · 엄정섭

경북대학교 지리학과

(2012년 8월 20일 접수, 2012년 11월 10일 승인)

Comparative Evaluation between Cool Roof and Green Roof in terms of Installation Cost: a Case Study of KNU Campus

Jun-Woo Kim · Jung-Sup Um

Department of Geography, Kyungpook National University

(Manuscript received 20 August 2012; accepted 10 November 2012)

Abstract

Cool roofs are currently being emerged as one of important mechanism to save energy in relation to the building. Although green roof has already gained nation-wide recognition as a typical method of energy saving in the roof, this approach did not provide a realistic evidence that is economically feasible in terms of installation cost. This research is primarily intended to compare installation cost between the two techniques. This research proposes a comparative evaluation framework in a more objective and quantitative way for an installation cost between the two techniques. Kyungpook National University (KNU) was selected as a survey objective and an exhaustive and realistic comparison of installation cost between the two techniques was conducted, based on Life Cycle Cost analysis (initial investment cost, maintenance cost, dismantling and waste disposal expense). It was possible to identify that installation cost of cool roofs is 4.7 times cheaper than that of green roof. Also present value based on probabilistic approach was identified as 0.25 (4.95) higher than the installation cost on the assumption of constant price and interest. It is expected that much more installation cost for the large scale green roof will be required since small-size green roof selected as a survey objective in this study could be operated under less initial installation and maintenance condition.

Keywords : Cool Roof, Green Roof, Installation Cost, Comparative Evaluation

1. 서론

세계 온실가스의 80% 이상이 지구 전체 면적의 2%에 불과한 도시지역에서 배출되고 있어(Sawin, 2010), 도시차원의 기후변화 대응을 위해 저탄소도시, 탄소중립도시(Low Carbon City) 조성 운동이 시행되고 있다. 도시의 건물은 태양에너지를 흡수하여 건물주변이 들뜰 및 임야보다 국부적으로 대기 및 지상온도가 10~12℃ 정도 더 따뜻하다고 확인되는 등(Galli, 1991), 다양한 선행연구가 건물로 인한 열섬현상과 온실가스 배출의 심각성에 대해 지적하고 있다(Weng and Lu, 2008; Wu and Cheng, 2007; Xiao, *et al.*, 2007). IPCC(2003) 보고서에서도 다른 부문에 비해 건물 부문의 온실가스 감축 잠재량이 가장 높다고 강조하고 있다. 서울시의 경우 온실가스 배출량의 43.2%, 에너지 이용량의 61%가 건물에서 소비되고 있으며(유은영, 2007), 경기도 온실가스 배출량의 약 40%가 건물에서 배출되는 것으로 조사되고 있다(김동영 등, 2008). 국내에서는 건축물 에너지 사용량 저감의 방편으로 옥상녹화가 소개된 이후 중앙정부 차원에서 지원을 하고 있으며, 각 지방자치단체에서도 옥상녹화 활성화에 많은 노력을 기울이고 있다. 하지만 정부와 지방 자치단체의 지원 대상이 되는 건축물에서도 사후관리의 어려움, 건물의 안정성 등의 이유로 활성화되지 못하고 있다. 신축 건물이 아닌 기존에 건립된 연립 주택이나 공장, 상가 등에도 지극히 제한적으로 설치되거나 설치자체가 불가능한 경우가 대부분이다. 더구나 옥상녹화 시스템은 설치 후 유지보수를 위해 상당한 추가 투자가 요구되며, 옥상녹화로 인해 증가된 하중을 지탱해야하는 구조적인 문제점이 도출되고 있다.

최근 우리나라에서는 5월 중순부터 더위가 시작되어 지붕 표면 온도가 70~80℃까지 상승하여 냉방 부하를 가중시켜 전력비용 지출을 늘리고 도심 열섬 현상을 야기하고 있어, 미국·일본·유럽 등에서 건축물의 온도를 낮추기 위해 지붕을 흰색 또는 밝은 색으로 칠하는 쿨루프(cool roof)를 도입하고 있는 것에 주목할 필요가 있다. 지붕 색상의 반사율이 클

경우 태양의 가시광선, 적외선, 자외선 등을 반사해 건물의 열 획득 감소와 함께 건물의 냉방 효율이 높아지게 된다. 시멘트 콘크리트를 많이 사용한 우리나라 도시의 건물 지붕은 대부분 오랜 기간 방치되어 검은색에 가까우며, 방수제 페인트 도색도 어두운 녹색을 띠는 경우가 많다. 서울시 강서구의 경우 지붕면의 면적 중 녹색이 차지하는 비율이 62.3%, 옅은 회색 31.4%, 갈색이 4.2%인 것으로 나타나는데 어두운 색이 전체 건축물 지붕면적의 97% 이상을 차지하는 것으로 확인된다(김현수 등, 2010). 색이 어두울수록 낮에 흡수된 태양열이 건물 내부로 전달되는 양이 많아져 여름철 냉방 부하를 키운다. 미국에서는 쿨루프를 에너지부가 지원하는 중소기업혁신연구 프로그램 10대 기술 분야에 지정하고 쿨루프의 설치를 적극 장려하고 있다(U.S. Department of Energy, 2009). 겨울철에도 쿨루프가 실내온도와 난방비에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타나(Akbari *et al.*, 2008), 서울보다 위도 상 북쪽에 속하는 뉴욕과 시카고를 비롯한 미국 전역에 광범위하게 설치되고 있다. 국내에서도 지식경제부와 에너지관리공단을 비롯한 정부부처와 각종 지방자치단체에서 에너지 소비 저감을 위해 White Roof 혹은 쿨루프의 도입 필요성을 인식하기 시작하는 단계이고(양진우, 2011), 각종 에너지 관련 학회나 기후변화 포럼에서 White Roof 혹은 쿨루프의 도입 필요성을 언급하고 있지만 그와 관련된 연구사례는 미미하며 도입을 위한 기준 또한 마련되어 있지 않다.

옥상녹화를 통한 에너지 효율 개선에 대해서는 상당한 수준의 연구가 확인되며(김종민, 2009; 안태경, 2003; Martens, *et al.*, 2008; Niachou, 2001; Santamouris, *et al.*, 2007; Sonne, 2006) 옥상녹화와 쿨루프를 비교한 연구(Elzeyadi, 2009)도 존재한다. 본 연구와 가장 근접한 연구로는 옥상녹화를 유형별로 분류하여 유형별 경제성을 내용연수인 40년을 기준으로 비교한 연구와(김정호·윤용한, 2011), 쿨루프와 일반 지붕을 초기설비비, 유지관리비, 해체 폐기비로 세분하여 생애주기비용을 비교한 연구가 있다(김옥, 2010). 하지만 김정호·윤용한

(2011)은 옥상녹화 시스템간의 에너지 성능과 경제성 비교에, 김옥(2010)은 쿨루프와 일반 지붕과의 경제성 비교에 연구의 초점을 맞추고 있다는 점에서 옥상녹화와 쿨루프의 설비 투자비 비교의 기초자료로는 한계가 있다. 현실에서는 다양한 유형의 옥상녹화가 이루어지고 있음에도 불구하고, 실제 각 옥상녹화의 유형별로 쿨루프에 대비하여 각 유형별 설비비용은 어느 정도인지에 대한 연구는 전혀 이루어진 바가 없다. 과연 옥상녹화 기반의 에너지 절감 전략이 많은 정책 결정자들이 믿듯이 비용효과적일 수 있는지에 대한 경험적인 연구는 매우 제한적이다.

건물의 지붕이 에너지 절감에 미치는 영향에 대한 높은 관심만큼, 지붕으로 인한 에너지 절감에 대한 잠재적인 기회들을 수용할 수 있도록 기존의 옥상녹화에만 얽매이지 않고 쿨루프라는 하나의 새로운 혁신적 기술이 설비투자비용의 관점에서 사회적으로 용납될 수 있는지에 대한 적극적인 대응이 필요한 시점이다. 설비투자비용의 관점에서 옥상녹화와 쿨루프를 비교하여 필요한 부분에 대해 적절한 이론과 지침을 개발하여 이와 같은 지붕의 도입, 확산 과정에서 발생할 수 있는 문제점과 시행착오 등을 사전에 점검해야 할 것으로 사료된다. 이에 본 연구는 쿨루프와 옥상녹화를 초기 설비비와 유지·관리비, 해체·폐기비를 포함한 건축물 수명주기에서의 총 설비 투자비를 비교하고자 한다. 신축 건물에 적용된 옥상녹화와 쿨루프의 설비투자비용 비교 결과는 비용의 편익 효과가 상대적으로 큰 사업을 파악하여 다양한 이유로 국내 보급이 미미한 옥상녹화에 대한 대안으로 쿨루프를 검토하는 과정에서 객관적이고 신뢰성 있는 근거자료로 제시될 수 있을 것이다. 이는 저탄소 녹색도시를 위한 지붕의 종류를 선정하는 과정에서 정부의 설비투자비용 지원 제도의 수립과 민간의 합리적 재원 운영의 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 설비 투자비용 산정기준 설정

설비투자비용을 산정하는 과정에서 가장 중요한

단계가 투자비용을 산정하는 기준을 설정하는 일이다. 어떠한 기준을 적용하느냐에 따라 투자비용 산정 결과가 달라지기 때문이다. 쿨루프와 옥상녹화는 설비 투자비 산정에 대한 기준이 선행연구나 관련 규정에서 제시되어 있으나 미래의 비용을 포함하는 수명주기비용을 예측해야 하므로 산정 기준을 적용하는 방식에 따라 총 비용에서 큰 차이를 보일 수 있다. 옥상녹화와 쿨루프의 설비투자비용을 분석하는데 공통적으로 적용 가능한 세부적인 산정기준에 대한 선행연구는 확인되지 않는다. 설비투자비용을 산정하는 것은 장기간에 걸쳐 발생하는 비용들을 다루므로 구조물의 내용연수를 고려하여야 하며 이들 비용을 동일한 시점의 가치로 환산하는 등의 비용 산정기준은 평가시점, 내용연수, 미래비용의 현재가 환산 방법 그리고 대상 지역, 건물에 따라 다양하게 제시될 수 있다.

선행연구(김옥, 2010; 김정호 · 윤용한, 2011)와 실무(건설교통부, 2006)에서는 생애주기비용(LCC: Life Cycle Cost) 분석을 통해 수명주기에 따라 소요되는 총비용을 파악하며, 동일 기간에서 대안간의 비용 비교에서는 현가법을 적용해 미래의 각기 다른 시점에서 발생하는 소요비용을 현재의 비용으로 환산하는 방식이 표준화된 접근법으로 활용되고 있다. 생애주기비용분석에서는 초기 설비비, 유지·관리비, 해체·폐기비가 전통적인 지표로 확인되고 있는 바, 이를 집중적으로 평가하여 상대적인 비교를 통하여 옥상녹화와 쿨루프의 설비투자비용에 대해 검증을 시도하였다. 건축물의 일부 구조물인 지붕만을 대상으로 LCC 분석을 수행하므로 건물 전체에 해당되는 비용 항목, 두 설비 간에 비용 차이가 두드러지지 않는 항목 그리고 자료부족 등 현실적인 한계로 객관적인 분석이 어렵다고 판단되는 항목은 연구결과의 신뢰성을 확보하기 위해 비용 산정대상에서 제외하였다. 초기설비비는 재료비, 노무비, 유지관리비는 수선비, 교체비로 해체·폐기비는 잔존가치를 제외한 해체비로 각각 분류하여 산정하였으며 내용연수가 동일할 때 주로 적용하는 현가법을 적용하여 생애주기비용을 산정하였

다(김옥, 2010). 옥상녹화는 기존 자료에서도 녹화 유형과 설치에 이용되는 재료에 따라 설비비 측면에서 많은 편차를 보이고 있지만 기본적으로 생애주기비용을 분석할 때 초기설비 시 사용된 재료의 가격을 기준으로 유지관리비, 해체폐기비를 산정하였다(김정호·윤용한, 2011). 본 연구는 기존 연구에서 사용된 분석 기준을 토대로 관련 업계 전문가와의 면담(박재홍·박대성, 2012)을 통해 실무에서의 관행을 반영한 비용 산정기준을 도출하였다(표 1).

1. 생애주기비용(LCC) 분석 항목

설비투자비용의 분석 대상 기간을 설정하는 과정에서 건축물 또는 건축물을 구성하는 부위의 수명에 대한 고려가 필요하다. 생애주기비용 분석은 건물의 전체 또는 일부 구조물에서 주어진 분석기간 동안 동일한 목적·기능을 갖지만 최소의 비용이 소요되는 대안을 결정하기 위하여 각 대안을 비교하는 것이다. LCC는 일반적으로 건물의 초기 공사, 사용, 폐기·처분의 각 단계에서 발생하는 비용의 총합을 말하며, 구성 항목별 비용 산정은 미래의 발생비용에 대한 예측이 대부분이다.

1) 초기설비비

LCC 구성항목 중 현재의 시점에서 발생하는 초기설비비는 국가계약법령이나 엔지니어링대가기준 등에서 관련기준을 제공하고 있다(국토해양부, 2008). 초기설비비는 LCC 분석의 적용범위에 따라 전체를 검토하는 경우와 부분을 검토하는 경우의 두 가지 형태로 비용항목을 분류할 수 있다. 건축물의 초기설비비 산정 시 전체를 검토하는 경우에는 설계비, 건설공사비, 간접비, 제세공과금 등 모든 비용이 포함되지만, 부분을 검토하는 경우에는 각 시스템을 구성하기 위하여 소요되는 재료비, 노무비가 포함된다. 설계비와 간접비, 계약비 등 행정비용은 옥상녹화와 쿨루프 간의 공통적인 항목이고 크게 비용차이가 발생할 수 있는 변수가 아니므로, 건축물 전체가 아닌 지붕에 대해서만 LCC를 검토하는 본 분석에서는 후자의 비용만을 초기설비비 항목에 포함하여 분석하였다. 초기 설비비의 산정

에서 쿨루프와 옥상녹화의 유형에 따라 많은 비용 차이가 발생하므로 사례지역선정을 통해 시공 당시의 소요비용 근거자료, 실제 시공사와의 개별 면담(박재홍·박대성, 2012)을 통해 비용을 산정하였다(표 1).

2) 유지·관리비

유지관리와 보수는 과거 이력자료와 정부의 정책들에 기초하게 되며 국토해양부에서는 관계법령에서 정한 시설물별 수선주기 및 비율, 수선단가기준 등의 유지관리비 산정기준이 있는 경우 이를 우선 적용하는 것을 원칙으로 하고 있다. 유지·관리비는 시설물의 일반관리비와 수선교체비로 구분될 수 있다. 쿨루프의 경우 반사율을 유지하기 위해 주기적인 표면 청소가 필요하며 옥상녹화의 경우 식재의 생육에 필요한 관수, 식재 관리(농약 살포와 가지치기) 등 시설물 관리에 필요한 추가 비용이 발생하게 된다. 하지만 옥상녹화와 쿨루프의 일반관리비를 수십년간 일괄 산정한 사례를 찾을 수 없으며 일반관리비는 시설물의 관리정도에 따라 비용의 투자가 지나치게 큰 편차를 보일 수 있다. 또한 점검비용과 청소비 등의 일반관리비는 쿨루프와 옥상녹화의 공통되는 비용이므로 유지·관리비의 분석대상에서 제외하였다.

수선교체비는 초기설비비에 대하여 수선율과 수선주기, 교체주기를 고려하여 산정한다. 건물의 주요부분에 대한 수선·교체주기와 수선율에 대한 규정은 한국토지주택공사, 국토해양부 등에서 찾아볼 수 있다. 시설의 교체 시기와 횟수는 전적으로 시스템의 사용연한에 달려 있으며 미래의 시설교체비용은 초기설비비의 산출에서 사용한 현재가를 기초자료로 적용할 수 있으므로 본 분석에서는 국토해양부의 주택법 시행규칙 장기수선계획의 수립기준을 적용하여 수선주기와 교체주기, 수선비율을 산정하였다. 유지·관리비는 수명주기 40년간 소요비용을 명확히 나타내는 자료의 확보가 불가능하다. 그렇지만 수선과 교체를 통한 반복비용이 비용투자의 대부분을 차지하므로 관계법령, 기존 연구자료 및 시공전문가와의 면담내용(차재혁, 2012)을 바탕으

표 1. LCC 분석 항목 분류표*

구성 항목	내용	반영여부	항목 제외 사유 및 비용 산정 방안
초기설비비	• 기획 및 설계단계에 수반되는 제비용 (설계비, 토지대 등)	×	■ 건물 전체에 해당되는 기획 및 설계는 제외 ■ 두 설비간의 공통 항목은 제외
	• 건설비(재료비, 노무비, 장비비 등)	○	■ 경북대학교 시설과 시공비 자료로 산정
유지관리비	• 에너지비, 연료비, 임금 등	×	■ 건물 전체에 해당되는 에너지, 임금 등은 제외
	• 건물의 노후화에 따른 보수 및 교체비용	○	■ 국토해양부 장기수선 계획**에 따른 수선비, 수선 주기 적용
해체폐기비	• 잔존가치	×	■ 잔존가치는 객관적인 자료 확보가 어려워 제외
	• 해체비	○	■ 시공사 전문가 의견에 의거 해체·폐기비 산정
관련비용	• 기획손실비용, 방법비용, 보험료 등	×	■ 건물 전체에 해당되는 방법비용, 보험료 등은 제외

출처: 건설교통부(현 국토해양부), 2006, 설계 VE(Value Engineering *) 업무 매뉴얼

* Value Engineering이란 시설물의 필요한 기능을 확보하기 위하여 설계내용에 대한 경제성 및 현장적용의 타당성을 기능별, 대안별로 검토하는 절차를 의미한다.

** 장기 수선 계획(long-term repair program, 長期修繕計劃)

건물의 기획·계획 단계에서 건물 내용 연수 내의 건물 각 부분의 수선 주기나 개산(概算) 공사비의 장기적인 계획. 기술적 자료이지만 건물의 관리 지침의 책정이나 생애비용 검토의 지원 자료로서 유효하다.

출처: 현대건축관련용어편찬위원회, 2011, 건축용어사전, 성안당.

로 명확한 소요비용 기준을 설정하고 그에 따른 설비투자비용을 산정하였다(표 1).

3) 해체·폐기비

해체·폐기비는 구조물의 해체, 폐기물 처리에 소요되는 폐기비와 잔존가치가 남아 있는 설비의 매각으로 발생하는 수입인 처분비로 구성된다. 해체폐기비용은 기대수명 끝에 발생하므로 할인율을 적용하여 현재비용가치로 환산하는 경우 그 값이 타비용에 비해 상대적으로 적은 것이 일반적이다. 해체·폐기비는 초기설비비의 5%를 적용한 선행연구가 있으나(김옥, 2010), 과거이력 데이터 또는 전문가의 의견을 통하여 비용을 산정하는 것이 실무에서 통용되는 산정방법이므로 옥상녹화와 쿨루프의 해체·폐기비 또한 실제 시공사와의 면담(박재홍·박대성, 2012)을 통해 산정하였다(표 1).

2. 현재가치 환산 및 내용연수

LCC 산정과정에서 초기설비비에 의해 산출된 수선교체비와 해체폐기비의 단순 합계는 물가상승률이 반영되지 않은 불변가이다. 초기설비비의 경우를 제외한 수선교체비와 해체폐기비는 시간의 흐름에 따라 순차적으로 발생되고 비용 발생시점이 상이하므로 물가상승률과 이자율에 기초한 할인율이

반영되어야 설비투자비용이 보다 객관적이고 정량적으로 산정될 수 있다. LCC 분석법은 각 대안 비교에 있어 시간적 가치에 대해 환산하는 방법에 따라 현가법, 종가법, 연가법 등으로 구분할 수 있다. 건축설비 시스템과 같이 사용기간 동안 발생하는 연비용이 동일할 경우에는 현가법이 일반적으로 사용되며, 국토해양부(2008)의 생애주기비용 분석 및 평가요령에서도 LCC 분석시 현가법(현재가치환산법, Single Present Value)에 의해 비용을 산정하는 것을 원칙으로 하고 있다. 현시점으로부터 미래의 비용발생 시점까지의 기간(n)과 할인율(i)을 기초로 하는 현재가치환산계수(Present Worth Factor: PWF)를 곱하여 미래시점의 비용을 현재시점 가치(현재가)의 비용으로 환산하여 비용을 통합하는 방법이 현가법이다. 본 연구에서는 한국은행에서 발표한 경제통계연보(한국은행, 2012a)와 주요경제지표(한국은행, 2012b)를 통해 이자율은 최근 15년간의 평균 국내시중은행 정기예금금리인 5.7%를 적용하고, 물가상승률은 최근 15년간의 소비자물가상승률인 3.4%를 적용하여 산출된 실제할인율 2.3%를 적용하였다(표 2).

건물 등이 본래의 목적으로써 사용할 수 없을 때 까지의 경과년수를 의미하는 내용연수, 즉 LCC 분석에 있어서 분석기간은 대상물의 생애주기를 얼마

표 2. 현재가치 환산 및 내용연수

구분	적용	내용
이자율	5.7%	■ 최근 15년간의 평균 국내시중은행 정기예금금리(한국은행, 2012a)
물가상승률	3.4%	■ 최근 15년간의 평균 소비자물가 상승률(한국은행 2012b)
할인율	2.3%	■ i : 할인율, I : 이자율, j : 물가상승률
현재가	$PWF = \frac{1}{(1+j)^n}$	■ PWF : 현재가치환산계수, i : 실제할인율, n : 미래의 비용 발생시점까지의 기간
내용연수	40년	■ 법인세법 : 평균 40년(30-50년)

동안으로 하여 비용을 산정할 것인가에 대한 가정이다. 건물의 내용연수는 초기설비와 첫 번째의 주요보수 및 바로 그다음의 수선까지 포함할 정도로 장기적인 관점에서 분석이 이루어져야 하며 법인세법상의 내용연수와 한국감정원에서 발간하는 '유형 고정자산 내용연수표'를 통해 그 기간을 설정할 수 있다. 한국감정원(2010)에서는 철근콘크리트조 건축물의 내용연수를 평균 55년으로, 고정자산의 감가상각에 대한 기본이 되는 법인세법에서의 내용연수는 평균 40년이다(손보식 등, 2005). 본 연구에서는 내용연수가 경제적 가치를 평가하기 위한 것이므로, 자산의 가치가 존재하는 기간을 법률로 규정한 법인세법상의 내용연수에 의거하여 비용을 산정하였다.

III. 설비 투자비용의 비교 평가

에너지 절감 설비인 쿨루프와 옥상녹화의 초기설비 자료를 근거로, 국토해양부 주택법시행규칙의 건축물 수선주기와 내구연한에 따라 시설물의 재설치가 이루어지는 것으로 가정하여 수명주기에 따른 총 설비투자비를 산출·비교하였다. 쿨루프와 옥상녹화의 공통적인 소요비용인 유지·관리비중 에너지비와 일반관리비는 별도로 산정하지 않고 수선·교체비만을 산정하였다(유지관리비에서 일반관리비는 제외하였으므로 이하 수선교체비). 쿨루프는 해체·폐기 시 잔존가치가 존재하지만 수명주기 40년에서 해체하는 것으로 기본가정을 하여 비용을 산정하였을 때, 할인율을 적용할 경우 그 금액이 극히 미미하여 별도로 산정하지 않았다.

1. 비교 대상 건물의 선정

쿨루프는 아직 국내 보급이 초보 단계에 머물러 있어 시공 사례로 선정할 수 있는 건물을 찾기가 쉽지 않았고 유사한 시공 여건에서 설치되어 옥상녹화와 비교할 만한 대상 건물을 추적하는 것은 상당히 난해한 작업이었다. 동일한 대학 캠퍼스에 설치된 쿨루프와 옥상녹화의 사례를 비교하여 설치비용을 산정할 경우, 건축 관련 법령이나 규칙이 어느 정도 일관성을 가지고 적용되어 설치비용에 대한 데이터의 객관성을 확보할 수 있을 것으로 판단되었다. 쿨루프와 옥상녹화의 실제 설치 지역인 경북대학교 정보전산원과 경북대학교 경상대학 건물을 비교 대상으로 선정하였다. 대상건물은 초기설비비를 비롯한 시설물에 대한 자료 확보가 용이하며, 비교적 쉽게 시공사와의 교신이 가능하여 시공사로부터 시공과정에 대한 상세한 상황을 확인할 수 있는 등 다양한 여건을 충족하고 있었다(그림 1).

비용 산정 대상건물이 위치한 대구시는 해양의 영향을 받지 않는 산으로 둘러싸인 분지지형에 위치하고 있어, 열을 다른 곳으로 배출하지 못해 우리나라에서 여름철 기온이 가장 높은 곳으로 알려져 있어 냉방도일¹⁾이 가장 높은 도시이다. 실제로 건축물 에너지 사용량 저감 설비를 적용하기에는 내륙에 위치한 도시 중 대구가 설치 우선순위가 가장 높은 지역이다. 대구시에 위치한 경북대학교 캠퍼스는 지리적으로 대구광역시 북구에 소재하며 경위도 상으로 동경 128° 36' -128° 37' 의 동서구간과 북위

1) 이 개념은 일반적으로 일평균기온이 26°C 이상이 되면 사람들이 냉방을 시작한다는 개념에서 출발하였다. 냉방도일 값이 크다는 것은 기후가 덥고 냉방을 위해 전력이 많이 소모된다는 것을 의미한다.

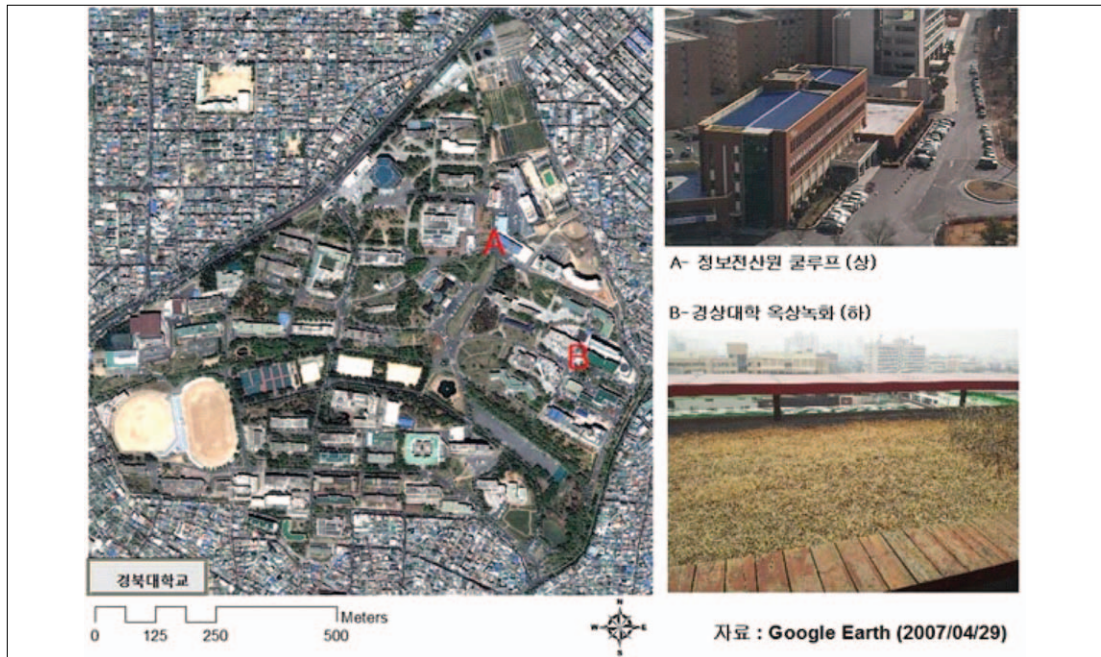


그림 1. 비교사례가 되는 옥상녹화와 쿨루프(좌측은 위성영상, 우측은 A, B지점의 현장사진)

- 좌측 위성영상의 A 지역(쿨루프): 시트형 방수재로 지붕의 표면이 백색을 띠며 표면은 반사율이 높은 코팅재료로 마감처리가 되어 있다.
- 좌측 위성영상의 B 지역(옥상녹화): 토심의 깊이가 20~30cm 정도로 얇고 녹화표면의 90% 이상이 잔디로 조성되어 경량형 옥상녹화로 분류된다.

35° 53' 에 위치하고 있다. 지형적인 높이는 약 35-62m로 완만한 구릉지를 이루고 있으며 교내의 면적은 약 782,000㎡이고, 건물은 102동이 있다.

옥상녹화 유형중 초기설비비가 가장 저렴하며 유지·관리에 대한 노력과 비용도 가장 적게 소요되는 경량형이 연구지역에 설치되어 있으며, 쿨루프의 경우 적용 가능한 재료가 코팅제, 피막재, 타일, 금속 지붕재 등으로 다양하지만 시공 비율이 가장 높은 시트 방수를 포함하는 피막방수재가 연구지역에 설치되어 있었다. 경북대학교 정보전산원 쿨루프와 경상대학 건물의 옥상녹화는 2009년도에 설치되어 시점이 큰 차이를 보이지 않아 물가 상승률을 감안하지 않아도 초기설비비 비교에 무리가 없을 것으로 판단되었으며 시공 당시 설비에 투자된 비용에 대해 상세한 자료가 기록으로 남아 있었다. 따라서 건축물 에너지 절감 설비의 도입이 시급한 대구광역시의 동일한 기관 내에 쿨루프와 경량형 옥상녹화가 모두 설치되어 있으며, 초기설비비와

시설물에 대한 자료 확보가 용이하고, 비교적 쉽게 실제 시공사와의 교신이 가능한 경북대학교 정보전산원과 경북대학교 경상대학 건물을 비교 대상 지역으로 선정하였다.

2. 초기설비비

초기설비비는 옥상녹화의 경우 방수·방근 공사를 진행한 후 그 위에 옥상녹화를 시공함으로써 방수비용과 별도의 옥상녹화 시공비용이 발생하게 된다. 초기설비비의 산정은 실제 설비 공사에 투자되는 비용인 시공비와 재료비만을 산정하였으며 주로 30m² 이상의 지역에 설치되는 옥상녹화 공사의 특성상 전체 면적의 시공비를 산정한 후 각 부분별로 단위면적(m²)당 비용을 산정하였다. 옥상녹화는 녹화비와 관수비 등을 포함하는 재료비와 운반비, 인건비, 양중비를 포함하는 시공비를 합산하여 산정한 초기설비비에서 단위면적당(m²) 201,550원의

표 3. 옥상녹화와 쿨루프의 단위면적당 초기 설비비*(단위: 원)

옥상녹화의 단위면적(m ²)당 초기 설비비			쿨루프의 단위면적(m ²)당 초기 설비비			
구분	품명	금액(m ²)	품명	규격	금액(m ²)	
재료비	내근층	내근시트/내근필름	11,100	크리트76슬러리	수화용 고품 무기질방수재	2,722.0
	녹화시스템	식생	56,000	루프베이스코트	방수층 형성재	6,802.2
		배수판	27,700	루프웨브릭	보강재	2,648.0
		부수품	9,650	루프베이스코트	방수층 형성재	6,802.2
		토양	23,200	루프피니쉬코트1	열반사, 방사, 방수층 형성재	3,941.5
	관수시스템	점적관수	21,000	루프피니쉬코트2	열반사, 방사, 방수층 형성재	3,941.5
소계		148,550	잡재료비	재료비의 3%	806.8	
시공비	운반비	8,000	방수공		9,793.4	
	인건비	35,000	보통인부		9,829.0	
	양중비	10,000	공구손료	인건비의 3%	588.6	
	소계	53,000				
합계	재료비+시공비	201,550	합계	재료비+시공비	47,911	

* 경북대학교 시설과 시공비 자료를 토대로 작성

설비투자비가 소요된 것으로 나타났다(표 3).

쿨루프의 경우 초기설비시공 시 방수 공사를 포함한 도막 코팅이 동시에 이루어지므로 방수 시공비와 코팅비 이외의 추가비용은 발생하지 않았다. 쿨루프는 방수, 도막, 코팅 등 여러 층의 작업이 순차적으로 이루어지므로 각 재료에 따른 비용 세분화가 쉽지 않았으며 옥상녹화와 마찬가지로 지붕 표면에서 이루어지는 설비 작업의 특성상 전체 설비 면적의 시공비를 산정한 후 단위면적(m²)당 비용으로 재산정하였다. 쿨루프는 방수층 시공 작업, 도막, 코팅 작업 등을 포함한 6단계에 걸친 시공과정의 재료비, 인건비, 공구손료를 합산한 초기설비비에서 단위면적당(m²) 47,911원의 시공비가 소요된 것으로 확인되었다(표 3).

3. 수선교체비

국토해양부 주택법시행규칙 장기수선계획에서 경북대학교에 설치된 쿨루프는 고분자 시트방수에 속하므로 수선주기 8년 20%와 교체주기 20년 100%를 수선·교체비를 산정하는 과정에서 적용하였다. 옥상녹화는 시공업체 전문가와의 면담과 국토해양부령 주택법시행규칙 조정시설물의 수선과 교체주기 조항을 통해 수선주기 5년 20%와 교체주기인 15년 100%를 적용하였다. 옥상녹화는 5년마

다 수선비용으로 40,310원의 비용이 단위면적(m²)당 소요되었고, 40년간 총 6회에 걸쳐 241,860원이 수선비로 소요되었다. 또한 100%의 수선율이 적용되는 교체비는 초기 설치 후 단위면적(m²)당 201,550원의 비용이 15년과 30년에 소요되어 수명주기 40년에서 403,100원의 교체비가 투입되었다. 수명주기인 40년간 수선·교체비로 총 644,960원이 소요되는 것으로 나타났다(표 4). 쿨루프의 경우 8년 20%의 수선율을 적용하여 9,582원의 수선비용이 4회에 걸쳐 총 38,329원이 수선비로 투입되었으며, 수선비 100%에 해당하는 비용인 49,711원이 2회에 걸쳐 총 99,422원 소요되었다. 수명주기인 40년간 수선·교체비로 총 134,151원이 소요되는 것으로 나타났다(표 4). 불변가를 통해 산출된 수선·교체비 합계에서 옥상녹화는 쿨루프에 비해 수명주기인 40년 동안 약 4.8배 많은 비용이 소요되는 것으로 나타났다.

4. 해체·폐기비

연구대상지역의 쿨루프와 옥상녹화의 해체·폐기비는 실제 시공사와의 면담을 토대로 산정하였다. 옥상녹화는 해체·폐기 시 식생, 토양, 방수층을 제거·운반하는 비용이 발생하나 건축물의 철거

표 4. 단위면적(m²)당 옥상녹화와 쿨루프의 수선교체비(단위: 원)

옥상녹화의 수선교체비						
구분	초기설비비	수선 및 교체 주기	수선율	횟수	비용계산	비용
수선	201,550	5년	20%	6	201,550×0.2×6	241,860
교체		15년	100%	2	201,550×2	403,100
합계						644,960
쿨루프의 수선교체비						
수선	47,911	8년	20%	4	47,911×0.2×4	38,329
교체		20년	100%	2	47,911×2	95,822
합계						134,151

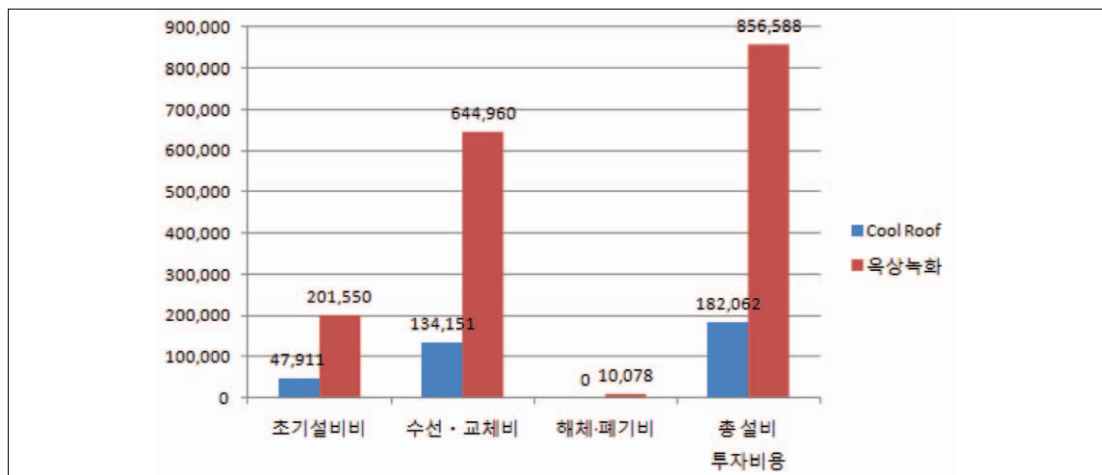


그림 2. 불변가로 산정한 단위 면적당(m²) 쿨루프와 옥상녹화의 총 설비 투자비용 비교(단위: 원)

와 동시에 해체·폐기되는 경우가 많으며, 재설치 시에는 설치비용에 해체·폐기비가 포함되어 일괄 산정되는 경우가 대부분이므로 비용에 대한 별도의 자료나 사례를 찾을 수가 없었다. 따라서 업계 전문가(박재홍·박대성, 2012)와의 면담을 통해 옥상녹화의 해체·폐기비는 초기 설비비의 5%를 적용하기로 하였다. 쿨루프의 경우 시공업체 전문가와의 면담 결과 고반사율 재료로써 방수층의 역할도 겸하기는 하지만 재설치 시 공사장에서 기존 설비를 폐기하는 작업을 병행하고 있으며 완전 폐기시에도 별도의 해체·폐기 비용이 발생하지 않는다는 의견을 토대로 해체·폐기비는 산정하지 않았다. 옥상녹화는 해체·폐기 시 설치물의 해체비, 이동비, 양중비, 폐기비가 발생하는데 실무에서 건축물 폐기비의 기준이 되는 초기 설비비의 5%를 적용한 결과 단위면적당 10,078원(초기 설비비 201,550×0.05)

의 비용이 발생하였다.

5. 총 설비 투자비용비교

동일한 수명주기 내에서 시간의 경과에 따라 할인율에 기초한 현재가치환산계수의 적용을 통해 산출된 할인비용(현재가)의 합계로 총 설비투자비를 산정하였다. 예상치 못하게 발생될 수 있는 설비의 수선이나 완전 교체 등의 변수는 제외하였다. 물가상승율을 감안하지 않은 불변가에 의해 초기설비비와 수선교체비, 해체폐기비를 포함하는 쿨루프와 옥상녹화의 총 설비 투자비용을 비교한 결과, 설치 후 건축물의 최소 수명주기인 40년이 경과함에 따라 옥상녹화는 단위 면적당(m²) 설비비가 856,588원으로 182,062원이 소요된 쿨루프에 비해 약 4.7배의 높은 설비 투자비가 소요되는 것으로 나타났다(그림 2).

표 5. 단위면적당(m²) 누적 설비투자비(단위 : 원)

시간(년)	옥상녹화		쿨루프*		비용 차이(a-b)
	불변가	현재가(a)	불변가	현재가(b)	
초기설비	201,550	201,550	47,911	47,911	153,639
5	241,860	237,527	47,911	47,911	189,616
10	282,170	269,638	57,493	55,900	213,738
15	483,720	412,940	67,075	62,559	350,381
20	524,030	438,521	114,986	92,963	345,558
25	564,340	461,353	114,986	92,963	368,390
30	765,890	563,237	124,568	98,032	465,205
35	806,200	581,425	134,150	102,258	479,167
40	846,510	597,658	182,061	121,552	476,106
해체폐기	856,588	601,280	182,062	121,552	479,728

* 본 연구의 사례 쿨루프는 고분자 시트방수에 속하므로 국토해양부 주택법시행규칙 장기수선계획에 따르면 수선주기 8년에 해당되므로 수선비용 발생주기 8년에 의거 현재가와 불변가를 산출해야 하나 옥상녹화와 비교평가를 위해 옥상녹화의 수선주기 5년에 의거 표와 그림을 제시하고 있음. 따라서 쿨루프 15년과 35년의 비용은 실제로는 16년과 36년에 발생하는 경비임.

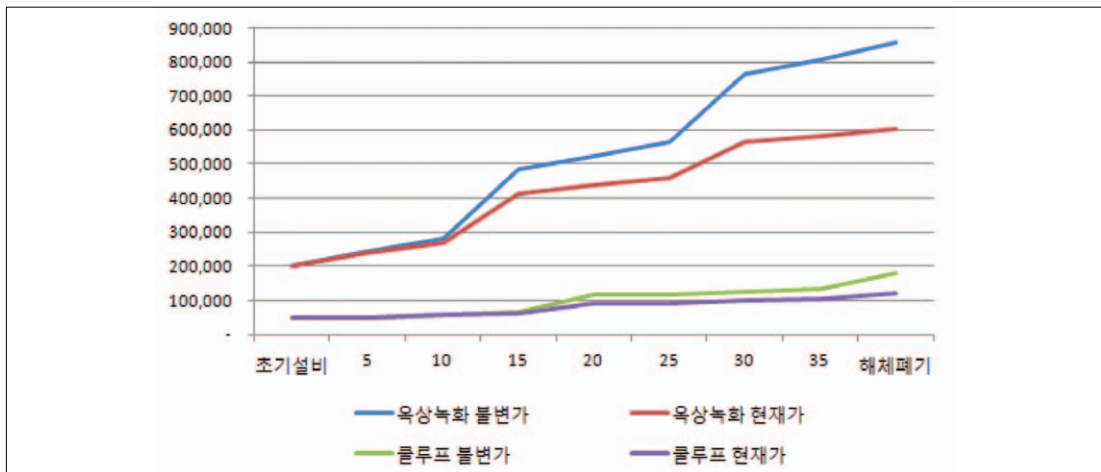


그림 3. 단위 면적당(m²) 쿨루프와 옥상녹화의 설비 투자비 추세변화

쿨루프와 옥상녹화의 총 설비투자비용을 불변가로 산출하는 것은 물가의 상승이나 이자율의 불확실성을 반영하지 못하는 확정적 변수에 의거하여 생애주기비용을 산출한 것이다. 이를 현가법(할인율 2.3%)을 적용하여 현재가로 각 비용항목을 환산한 후 쿨루프와 옥상녹화의 총 생애주기비용으로 통합하면 옥상녹화가 601,280원, 쿨루프가 121,552원의 설비투자비용이 소요되는 것으로 나타났다(표 5, 그림 3).

단위면적당 생애주기비용에서 옥상녹화는 쿨루프에 비해 약 4.95배 가량 높은 비용이 발생하는 것

으로 나타나 현재가치로 변경시 불변가에 의해 산출된 비용보다 더 큰 차이가 확인된다. 옥상녹화는 누적 설비투자비에서 불변가와 현재가에 관계없이 초기설비 후 지속적으로 수선교체비가 투입되므로 설비에 투입되는 누적 비용은 점차 증가하게 된다. 옥상녹화는 높은 초기 설비비로 인해 수선·교체시에도 쿨루프에 비해 높은 비용이 지속적으로 투입되므로 시간이 경과할수록 쿨루프와의 설비 투자비용 차이는 점차 증가되는 것이 확인된다.

IV. 결론 및 시사점

현재 국내에서는 건축물 에너지 절감의 관점에서 쿨루프와 옥상녹화의 설치비용을 비교·평가할 수 있는 측정가능한 평가영역과 구체적인 측정항목 개발에 대한 아이디어조차도 거론되고 있지 않은 실정이다. 본 논문은 기존의 연구가 옥상녹화와 쿨루프의 설치비용 비교에 대한 아이디어 자체도 제시하지 못한 점을 고려하여 전혀 다른 성격의 지붕이지만 에너지 절감의 관점에서 설치비용 비교·평가의 필요성을 제안하는 최초의 연구이다. 쿨루프와 옥상녹화의 초기설비비와 수선·교체비, 해체·폐기비를 포함하는 설비 투자비용을 비교한 결과, 설치 후 건축물의 최소 수명주기인 40년이 경과함에 따라 옥상녹화는 단위 면적당(m^2) 설비비가 601,280원으로 121,552원이 소요된 쿨루프에 비해 4.95배의 값비싼 투자비가 소요되는 것으로 나타났다.

옥상녹화와 쿨루프는 다양한 유형으로 설치가 가능하여 많은 연구지역 선정을 통해 다수의 사례를 분석하는 것이 설비 투자비의 산정에서 오차를 줄일 수 있는 방법이다. 엄밀한 의미에서 미국 등에서 적용되고 있는 쿨루프와 동일한 초기공사로 시공된 건물이 거의 없어 동일 기관 내에 쿨루프와 유사한 지붕과 옥상녹화가 설치된 사례지역 한 곳만 단순 비교한 결과를 쿨루프와 옥상녹화의 설비투자비용 비교에 일반화하여 적용하기에는 한계가 있다. 하지만 사례지역에 설치된 것과 동일한 유형의 쿨루프는 경량형 옥상녹화와 비교해 약 4~5배의 설비 투자비를 절약할 수 있으므로 같은 비용을 정부가 초기 설비비에 지원한다 하더라도 몇배의 면적에 에너지 절감 지붕을 갖춘 건축물을 확보할 수 있을 것이다.

옥상녹화는 시민들에게 도심 녹지 공간과 휴식 공간을 제공하며, 쿨루프는 저렴한 설치비용과 적용의 용이함 등의 각기 다른 장점을 가지고 있으므로 건축물 에너지 절감 전략을 추진하는 과정에서 쿨루프와 옥상녹화에 좀 더 차별화되는 기준을 설정하려는 정부의 제도적 노력이 요구되는 것은 사실이다. 쿨루프를 시가화 지역과 더불어 도심 외곽

지역이나 옥상녹화를 적용할 수 없는 지역에 설치하도록 정부나 지방자치 단체가 적극 지원할 경우 저렴한 설비투자비용과 사후 관리상의 편리 등의 장점으로 옥상녹화에 비해 훨씬 빠른 속도로 보급될 것으로 보이며, 그에 따른 설비 투자비 절감, 건축물 에너지 사용량 저감 등의 반사적 효과를 보일 것으로 판단된다.

쿨루프는 급속히 성장발전하고 있으며 많은 변화를 보이는 분야이기 때문에 체계적인 이론이나 완성된 연구결과가 부족하다. 본 연구에서 도출된 비교·평가 결과는 보완을 거쳐 객관적이고 효과적인 설치비용 평가모형으로도 활용 가능할 것으로 기대된다. 본 연구가 지금까지 시도된 두 기술의 설비투자비용을 비교 정리함으로써 향후의 연구에 시사점을 제공하고 건축물의 에너지절감 분야에서 실무를 수행하는 사람들에게 작은 길잡이 역할을 할 수 있다면 연구의 가치가 있다고 할 것이다.

사 사

이 논문은 2012학년도 경북대학교 전임교원 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 건설교통부(현 국토해양부), 2006, 설계 VE(Value Engineering) 업무 매뉴얼.
- 국토해양부, 2008, 생애주기비용 분석 및 평가요령.
- 김동영, 김윤관, 조진식, 2008, 경기도 온실가스 배출량 산정 시스템 개발, 경기개발연구원.
- 김옥, 2010, Cool Roof 시스템의 성능기준 및 설계 지침에 관한 연구, 중앙대학교 박사논문.
- 김정호, 윤용한, 2011, 옥상녹화시스템 유형별 건물 에너지 절감 및 경제성 분석, 서울시연구 12(2), 125-140.
- 김종민, 2009, 대도시에서 옥상녹화 에너지 절약효과에 관한 연구, 대한건축학회지회연합회논문집, 11(1), 93-100.

- 김현수, 장대희, 김석철, 조경학, 윤인용, 2010, 백색지붕의 순일사량 및 현열량 저감 효과, 한국생태환경건축학회 학술발표대회, 10(1), 38-42.
- 박재홍, 박대성, 2012/4/15, Personal Communication - Eco cool roof.
- 손보식, 장명훈, 이현수, 2005, LCC 분석을 이용한 공동주택 개보수의 경제성 분석 방법, 대한건축학회논문집 : 구조계, 21(7), 73-81.
- 안태경, 2003, 공동주택 최상층부의 옥상녹화에 따른 에너지절약 평가, 한국생활환경학회지, 10(3), 182-186.
- 양진우, 2011, 점점 더워지는 도시 · 부산의 대응, Bdi 포커스 2011년 6월 27일(제 108호)
- 유은영, 2007, 서울시 온실가스 감축 로드맵 '친환경 건축 기준' 으로 구체화, 한국에너지신문, <http://www.koenergy.co.kr/news/articleView.html?idxno=34530>, 2007년 09월 03일(월).
- 차재혁, 2012/4/6, Personal Communication - 경북대학교 시설과.
- 한국감정원, 2010, 유형고정자산 내용연수표(건물 신축단가표)
- 한국은행, 2012a, 경제통계연보.
- 한국은행, 2012b, 주요경제지표.
- 현대건축관련용어편찬위원회, 2011, 건축용어사전, 성안당.
- Akbari, H., and Levison, R., 2008, Evolution of Cool-Roof standards in the US, *Advances in Building Energy Research*, 2(1), 1-32.
- Elzeyadi, I., 2009, Cool roof/Green roof: benefits and biophilia - a comparative study, *Proceedings of the Solar Conference*, Vol.4 2087-2108.
- Galli, J., 1991, Thermal Impacts Associated with Urbanization and Stormwater Management Best Management Practices, Metropolitan Washington Council of Governments, Maryland Department of the Environment, Washington, D.C..
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), 2003, Good Practice Guidance for LULUCF
- Martens, R., Bass, B., and Alcazar, S.S., 2008, Roof envelope ratio impact on green roof energy performance, *Urban Ecosystems*, 11(4), 399-408.
- Niachou, A., 2001, Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, *Energy and Buildings*, 33(7), 719-729.
- Santamouris, M., Pavlou, C., and Doukas, P.M., 2007, Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece, *Energy*, 32(9), 1781-1788.
- Sawin, J., 2010, State of the World, World Watch Institute.
- Sonne, J., 2006, Evaluating Green Roof energy performance, *American Society Heating Refrigerating Journal*, 48(2), 59-66.
- US Department of Energy, 2009, Guidelines for selecting Cool Roofs, U.S. DOE
- Weng, Q. and Lu, D., 2008, A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States, *The ITC Journal*, 10(1), 68-83.
- Wu, X., and Cheng, Q., 2007, Coupling relationship of land surface temperature, impervious surface area and normalized

difference vegetation index for urban heat island using remote sensing, Proceeding of International Society for Optical Engineering.
Xiao, R.B., Ouyang, Z.Y., Zheng, H., Li, W.F.,

and Schienke, E.W., 2007, Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China, Journal of Environmental Sciences, 19(2), 250-256.

최종원고채택 12. 11. 27