

연구논문

해외 사례분석을 통한 Cool Roof의 도입 방안

최진호* · 엄정섭**

경북대학교 공간정보학과* · 경북대학교 지리학과**

(2010년 10월 12일 접수, 2010년 12월 9일 승인)

Introducing Strategy of Cool Roofs based on Comparative Evaluation of Foreign Cases

Jin Ho Choi* · Jung-Sup Um**

Department of Spatial Information Science, Kyungpook National University*

Department of Geography, Kyungpook National University**

(Manuscript received 12 October 2010; accepted 9 December 2010)

Abstract

Cool roofs are currently being emerged as one of important mechanism to save energy in relation to the building. This paper reviews worldwide experiences (USA, Japan and EU etc) for the potential benefits cool roofs offer in relation to building energy saving for comparison purposes. It is confirmed that there is a significant potential to the energy saving by introducing the cool roof in a Korean climate because of similarity in terms of HDD (Heating Degree Day) and CDD (Cooling Degree Day) as those countries reviewed. Such a comparative study highlights that the type of measurements performed and the quantitative parameters reported from the countries should be standardized in Korean context in order to implement further comparable experiments for scientifically sound investigations. It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference in implementing a Nation-wide cool roofing strategy in the central and local governments since a suitable technical, more objective direction has been proposed based on the measured, fully quantitative performance of the involved components of a cool roof system in the global context. From this critical review, a very important step has been made concerning the practicality of cool roof in Korean context. Ultimately, the suggestion in this paper will greatly contribute to opening new possibilities for introducing cool roof in this country, proposed as an initial aim of this paper.

Keywords : Cool Roof, Foreign Cases, Introducing Strategy

1. 연구의 배경 및 목적

세계지속가능발전기업협의회(WBCSD, 2009)에 따르면 전 세계 에너지 사용의 40% 이상이 건물 부분에서 소비하고 있으며, 이는 중국과 인도 같은 개발도상국의 경제 성장으로 인해 더욱 증가할 것이라고 예상하고 있다. 국내의 경우 서울시 온실가스의 43.2%, 에너지의 61%가 건물부분에서 배출 또는 소비되고 있으며(서울특별시, 2007), 경기도의 경우 온실가스의 약 40%가 건물부분에서 배출되고(경기개발연구원, 2008) 있어 국내·외에서는 현재의 기술을 활용하여 건물부분의 에너지 소비와 온실가스 배출을 줄이려 많은 노력을 기울이고 있다(Philippine de T^r Serclases, 2007).

특히, 하절기의 건물 옥상 온도가 약 70-80℃까지 상승하여 냉방부하를 가중시키고 있어 이를 감안하여 건물의 에너지 절감 및 온실가스 저감을 위한 많은 노력이 진행되고 있다(김종민, 2008). 그러나 지금까지 건물 옥상에 기술적 제도 도입을 통한 냉방부하 저감을 위한 노력은 설치비용 문제, 하중 증가 문제, 방수 문제 등의 문제점이 발생하여 현실적으로 다양한 적용이 불가능한 상태이며 기존의 방안들은 신축 건물과 기존 건물에 따라 적용 가능성의 유무가 달라 효과적인 에너지 절감을 위한 방안으로 주목받지 못하고 있다.

그러나 최근 미국과 일본을 중심으로 한 일부 선진국에서는 이런 방안들의 문제점을 보완할 수 있는 방안으로 Cool Roof를 주목하고 있다. Cool Roof는 지붕이나 기타 표면 등에 태양복사에너지의 반사율이 큰 재료(코팅제, 피막재, 타일, 금속 지붕재 등)를 사용하여 태양의 가시광선, 적외선, 자외선 등을 반사시켜 건물과 주변 대기로의 열전도를 감소시키고 높은 열 방사율로 인해 건물이 흡수한 태양복사 에너지를 빠르게 발산하여 건물의 열 획득 감소와 함께 건물의 냉방효율을 증가시키는 기술(Bretz and Akbari, 1997; EPA, 2009)로 기존 건물에도 적용이 용이한 친환경적인 기술로 평가되고 있다. 특히 건물 부분의 에너지사용과 온실가스 배출은 그 배출원의 규모가 작고 다양하게 흩

어져 있어 여타의 에너지 절감방안에 비해 저렴한 비용으로 도시지역 전체에 적용이 가능한 포괄적 방안이 필요하다는 점으로 인해 Cool Roof는 그 활용가치가 더욱 커지고 있다. 따라서 이러한 Cool Roof의 장점은 국내의 경우와 같이 급속한 도시성장으로 인해 도시열섬현상과 온실가스 절감을 위한 녹지면적과 수변환경이 부족한 경우에는 건물에 Cool Roof 도입을 고려할 수 있다.

현재 전 세계 각국에서는 Cool Roof를 종합적으로 평가하여 필요한 부분에 대하여는 적절한 이론과 지침의 개발을 통해 Cool Roof의 도입과 확산 과정에서 발생할 수 있는 문제점과 시행착오 등을 사전에 점검하고 있다. 따라서 국내 경우 역시 Cool Roof 도입을 위해서는 에너지 절감에서 Cool Roof가 제공하는 잠재적인 기회들을 수용할 수 있도록 Cool Roof라는 하나의 새로운 혁신적 기술이 사회적으로 용납될 수 있도록 이에 대한 적극적인 대응이 필요하다. 즉, Cool Roof는 한번의 설치로 끝나는 것이 아니고 관련 기술발전, 유행이나 시대적 분위기, 이용자의 욕구 등을 반영한 꾸준한 이론개발이 이루어지고 지속적인 리모델링이 이루어져야 경쟁력을 가질 수 있으므로, 상업적 목적에서든 학문적 목적에서든 해외의 Cool Roof 도입사례를 분석하는 것은 매우 중요한 작업이라고 할 수 있다.

이에 본 연구는 해외에서 이미 하절기 냉방에너지 저감과 도심열섬완화를 위한 친환경적 에너지 저감 기법인 Cool Roof에 주목하여 해외사례 분석 결과를 근거로, 국내에 Cool Roof 적용 방안을 제시하여 국내 도입을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 이를 위해 Cool Roof에 대한 연구와 적용이 활발히 진행되고 있는 미국과 일본, EU 등을 대상으로 Cool Roof 시스템의 적용사례를 조사 분석하고 이를 바탕으로 각 국가의 지역별 Cool Roof 시스템의 분포와 설치조건, Cool Roof의 종류 및 특징, Cool Roof 설치를 지원 정책을 파악하였다. 또한 해외 사례 분석을 통한 조사 결과를 바탕으로, 국내 Cool Roof 적용 가능지역을 확인하고, 이후 국내 Cool Roof 시스템의 적용 시 조건과 Cool

Roof 도입을 위한 정책적 방안을 제시하였다.

II. Cool Roof의 개념 및 효과

Cool Roof란 고반사율의 도료나 재료를 건물의 지붕 또는 옥상에 적용하여 태양복사에너지의 흡수를 최소화하고 열 방출을 최대화하는 지붕 시스템을 통칭하는 것으로 높은 반사율(태양에너지의 반사 비율)과 방사율(복사열의 전달과 관련되는 저장 열의 방출 비율)을 갖는 열적 특성으로 인해 일반적인 지붕보다 표면온도를 낮게 유지하게 만드는 지붕을 말한다(김옥 · 이연구, 2009; Konopacki and Akbari, 1998). 즉, Cool Roof는 지붕이나 옥상을 흰색이나 밝은 색으로 바꾸게 되면 지붕표면의 반사율이 높아지고, 이는 지붕이나 옥상 표면에 직접적으로 흡수되는 태양 복사에너지를 감소시켜 건물 내부로 유입되는 열을 줄이는 지붕을 말한다.

이러한 지붕 표면의 알베도변화는 그림 1과 같이 건물 지붕이나 옥상에 Cool Roof를 설치할 경우 기존의 일반 마감 지붕보다 더 많은 태양에너지를 반사시킴과 동시에 건물 내부로 유입되는 열에너지의 흡수를 저감시킬 수 있는데 이는 여름철에 검정 계통의 옷보다 백색 셔츠를 입어서 온도를 낮추는 것과 같은 이치이다. Cool Roof의 효과는 많은 실험과 연구를 통해 증명되었는데, 이는 공적 이익과 사적 이익으로 요약될 수 있다(Akbari *et al.*, 2001; Akbari *et al.*, 2009; Synnefa *et al.*, 2008).

Cool Roof 사적 이익은 냉방에너지 사용 저감효과로 건물 지붕이나 옥상의 태양복사에너지 반사율

을 높여 직접적으로 냉방용 전력소비의 경감을 가져 올 수 있다. 즉, Cool Roof 설치를 통해 태양에너지 열량의 약 80% 이상을 차지하는 가시광선과 근적외선 영역을 차단 또는 일부 반사하여 건물의 내부의 차열효과를 가져오고 이는 곧 건물 내부의 냉방 에너지의 소요 및 저감효과를 가져 올 수 있다. 이러한 Cool Roof의 효과는 여름철 냉방비용을 건물의 특수성, 용도, 기후조건에 따라 평균 10~40% 가량 저감할 수 있으며, 하절기 최고를 기록하는 최대 전력소비량을 줄일 수 있어 결과적으로 냉방 설비의 축소, 하절기 단전 사태 예방 등 전력 에너지 사용자의 경제적 절약효과를 가져 올 뿐만 아니라 전력생산에서 발생하는 공기오염과 이산화탄소 배출을 줄일 수 있다.

Cool Roof의 공적 효과는 Cool Roof 설치를 통해 일정지역의 일사반사율을 높여 태양복사 에너지가 대기로 반사되는 비율을 상대적으로 증가시켜 열섬현상을 완화 시키는 것이다. 이러한 반사율 변화는 도시의 상당부분을 차지하는 건물 옥상에서의 태양열 흡수 및 반사량에 영향을 미쳐 해당지역의 미기후환경을 변화시키고 이로 인해 국지적 순환체계의 영향을 미쳐 도시 공간의 외기 온도를 낮출 수 있으며, 동시에 지표면의 오존형성과 농도를 낮추어 스모그의 형성을 완화효과도 함께 기대할 수 있다.

III. 해외의 Cool Roof 적용 사례 분석

1. 미국

미국의 경우 Cool Roof에 대한 연구는 1990년대부터 시작되었으며, 이미 미국 내 여러 도시에서 Cool Roof 설치되어 있다. 특히 2009년 런던 기후변화 심포지움에서 현 미국 에너지부장관이자 노벨물리학 수상자인 Steven Chu의 “Painting roof white” 가설 발표 이후 Cool Roof 설치와 활용을 더욱 가속화하고 있다.

현재 미국 내의 Cool Roof 관련 연구에 따르면 Atlanta, Chicago, Dallas, Houston, Los Angeles, Miami, New Orleans, New York,

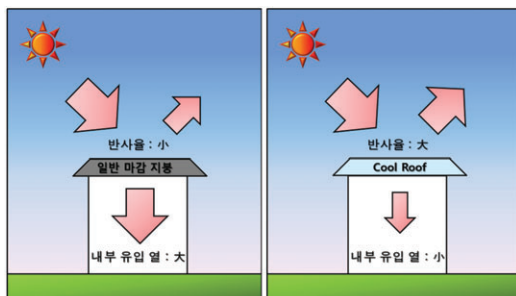


그림 1. Cool Roof의 개념

Philadelphia, Phoenix, Washington의 대도시에서 1000ft²(≈92.9m²) 이상의 건물에 Cool Roof를 적용할 경우 연 간 2.6TWh의 전력과 1.7GW의 최대 전력 사용량을 저감할 수 있어 약 1억 9400만 달러의 에너지 저감 효과를 얻을 수 있는 것으로 예상하고 있으며(Akbari *et al.*, 1999), Los Angeles에서 Cool Roof를 설치할 경우 도시의 대기 온도가 1.5-2.0℃ 낮아지고 이를 통해 약 10-20%의 오존 농도가 감축될 수 있을 것으로 보고 있다(Taha *et al.*, 1997). 또한 Florida에서 주거용 건물에 Cool Roof를 설치하여 전력의 약 14%, 최대 전력 사용량 약 22% 저감하고(Parker *et al.*, 1997). Arizona의 상업용 건물에 고반사성 지붕 코팅 설치 이후에 에너지 사용량이 월 평균 냉방 부하량이 2.6-3.6%가 감소되어 연간 2만 2천달러의 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다는 연구결과가 있다(Jo *et al.*, 2010).

따라서 미국 에너지부는 현재 Cool Roof를 미국 전체 기후대에 적용 가능한 것으로 판단하고 있으며(그림 2), 특히 Zone 1-3에서 가장 효율적인 효과를

나타내고 있을 것으로 예상하고 있다. 그러나 Zone 4-8 지역에서는 Cool Roof로 인해 동절기에 지붕을 통해 유입되는 일사열의 유입이 적어져 난방에너지를 증가시킬 수 있을 것으로 예상하고 있으나, 동절기의 경우 하절기의 비해 일조시간이 짧고 난방에너지의 사용이 아침과 저녁 시간 때에 실시되어 Cool Roof의 기능이 건물에 미치는 영향은 미비할 것으로 보고되고 있다(Akbari *et al.*, 2008).

Cool Roof는 그 지역의 기후와 에너지 부하에 따른 난방도일(Heating Degree Days)과 냉방도일(Cooling Degree Days)에 의해 그 성능이 좌우된다. 난방도일(暖房度日)의 기준이 되는 온도는 나라에 따라 또 인간 활동에 따라 약간 차가 있으나 우리 정부가 장려하는 실내 온도의 기준치는 18℃이며, 냉방(冷房)의 기준온도는 24℃ 이상이 되는 날이며 이를 냉방도일(冷房度日)이라고 한다. 즉, 지붕의 태양 반사율과 방사율을 너무 높게 설정하면, 오히려 겨울철 일사열 반사가 증가되어 난방부하를 증가시킬 수 있다. 때문에 미국에서는 Cool Roof의 성능기준을 정하고 각 도료나 재료에 따른 반사율과 방사

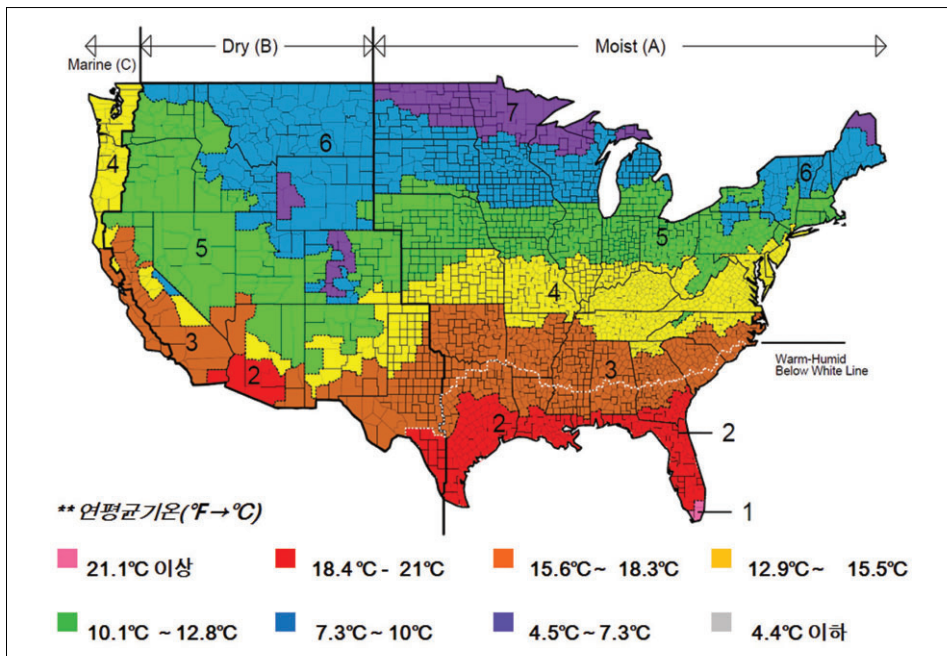


그림 2. 미국의 기후대별 Cool Roof 적용 우선 등급지도
(자료 : U.S Department of Energy, 2009, Guidelines for selecting cool roofs)

율을 근거로 데이터베이스를 구축하고 있다.

미국에서는 Cool Roof 생산품에 대하여 일반적으로 반사율 0.7 이상, 방사율 0.75 이상에 부합하도록 규정하고 Cool Roof의 반사 성능은 변색과 이물질 등의 오염으로 인해 반사율과 방사율의 변화가 발생할 수 있어 2년에서 3년 후의 반사율 등을 함께 규정하고 있다(표 1). 이러한 성능기준 외에도 미국 내에서는 Cool Roof의 재료별 또는 도료에 따른 상품의 일반적 기술 정보(상품명, 제조사명, 제품 형태, 반사율 지수, 방사율 지수 등)를 Lawrence Berkeley National Laboratory 웹사이트와 CRRC(Cool Roof Rating Council) 웹사이트에 공개하여 누구나 쉽게 접근할 수 있도록 하고 있으며 이외에도 건물의 형태와 용도, 지붕의 종류에 따라 세부 기준을 제시하고 있다.

미국 정부는 Cool Roof의 도입 시 친환경 점수를 부여하거나, 세금 우대 정책 등의 에너지 절약프로그램을 시행함으로써 Cool Roof 적용을 적극 장려하고 있다. USGBC (U.S. Green Building Council)의 Leadership in Energy and Environmental Design(LEED)은 그린빌딩 인증 시스템 중 Sustainable Sites Credit 7.2(Heat Island Effect)에 의거하여 빌딩 지붕 또는 옥상에

Cool Roof의 적용 시 친환경 점수를 부여해 건축물의 등급을 부여하고 있다. 또한 북미의 캐나다에서도 Green Globe 프로그램을 통해 Cool Roof를 적용 시 그린빌딩 평가시스템 부분에 점수를 부여하고 있다.

캘리포니아의 경우 California Energy Commission (캘리포니아 에너지 위원회, 이하 CEC)에서 직접 2005년 10월부터 상업용 건물과 신축 건축물, 재건축물에 대해 Cool Roof 설치를 의무화 하고 있고, 2009년 Cool Roof 성능 요건을 법적으로 제정하여 가장 적극적으로 Cool Roof 도입을 장려하고 있다. 이와 더불어 CEC에서는 'Cool Savings'이라는 인센티브 프로그램을 통해 지방정부건물, 교육, 상업, 다가족 건물 등에 2,100만 달러 이상의 재정적인 인센티브를 현존하는 빌딩과 신규빌딩에 지원하고 있다.

뉴욕시는 2030년까지 市の 온실가스 배출량 30% 이상을 저감하겠다는 정책목표에 따라 커뮤니티 환경 센터나 그린 시티 포스와 같은 비영리단체가 Cool Roof 설치지원 업무를 전담하고 있다. 뉴욕시는 2010년 9월까지 9만m³ 이상의 지붕에 Cool Roof를 추가 설치하는 것을 목표로 하고 있다 (서울시정개발연구원, 2010). 더불어 미국연방정부

표 1. 미국의 Cool Roof 성능 기준

구 분	성 능 기 준	비 고
ASHRAE Standard 90.1 (ASHRAE: The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)	반사율 : 0.70 이상 방사율 : 0.75 이상	상업용 건물 기준
ASHRAE Standard 90.2	반사율 : 0.65 이상 방사율 : 0.75 이상	저층 주거용 건물 기준
California Cool-roof rebate programmes	반사율 : 0.70 이상 방사율 : 0.75 이상	캘리포니아 기준
Energy Conservation Code	반사율 : 0.65 이상 방사율 : 0.90 이상 3년 후 반사율 : 0.50 이상	Chicago, Illinois
Florida Building Code	반사율 : 0.65 이상 방사율 : 0.80 이상	Florida
USEPA Energy Star label	초기 반사율 : 0.65 이상 3년 후 반사율 : 0.50 이상	
LEED Green Building Rating System (LEED: The Leadership in Energy and Environmental Design)	초기 반사율 : 0.65 초기 방사율 : 0.90 2년 후 반사율 : 0.50	

차원에서는 2010년 DOE 소속의 모든 건물을 대상으로 Cool Roof 설치 및 교체 계획을 발표했고, 이를 바탕으로 타 연방기관과 협력국가를 대상으로 관련 기술 지원과 성공 사례를 제공하고 있다. 또한 Cool Roof의 연구 확대와 중소기업 지원프로그램을 통해 보조금을 지급하고 있다(U.S Department of Energy, 2010).

2. 일본

일본은 2007년 개정된 “신 국가 에너지 전략”을 바탕으로 Cool Roof와 옥상녹화 등의 방안으로 건물의 에너지 효율화를 위한 노력이 계속되고 있다. 그 중 Cool Roof의 경우 Cool Roof 성능 향상을 위한 소재개발 시장에 진출하는 것이 정책적 방안보다 선행되고 있다(The Energy Conservation Center, 2009).

그 중 대표적인 사례로 기후현의 한 학교 옥상에 고반사율 도료를 사용하여 Cool Roof를 적용하였을 경우 시공 전 표면온도가 40℃ 였으나 시공 후에는 22℃로 낮아짐과 동시에 실내온도가 5℃ 이상 내려간 것을 확인하였다(近藤靖史, 2009). 또 다른 예로 애지현의 면적 1530m²의 금속판 지붕 건물에서는 표면온도가 시공 전 49℃에서 시공 후 33℃로 저하되어 실내온도가 5-6℃가 하강되는 차열효과가 있었다. 또한 고반사율도료의 활용은 현열량 감소 및 보수성 확보가 가능하여 증발산 잠열효과를 통해 통상의 일반마감소재 지붕보다 표면온도는 약 10℃가 낮아지고, 강우 및 관수를 실시하게 되면 추가적으로 약 10℃의 온도가 낮아진다는 연구 결과가 있다(近藤靖史, 2009).

Cool Roof를 통한 열섬현상 완화에 대한 연구에서는 표 2과 같이 상업지구인 신주쿠 경우 약 25.7%, 산업지구인 시나가와 약 19.9%, 거주 지구인 세타가야 48.7%의 열섬 현상 저감효과를 보이고 있었으며, 대체로 건축물의 연면적이 큰 지역에서 더 높은 효과를 보였다. 또한 상업지역과 공업지역에 비해 거주지역에서 Cool Roof를 통한 열섬 현상 저감 효과가 큰 것으로 나타났다(Kondo *et al.*, 2000).

표 2. Cool Roof 적용을 통한 열섬 현상 저감량

	건축 연면적 비율	현열량 감소(A)	인공열 방출량(B)	A/B
	[%]	[MJ/m ² ·day]	[MJ/m ² ·day]	%
신주쿠 (상업 지구)	36.0	0.95	3.70	25.7
세타가야 (거주 지구)	30.0	0.79	1.62	48.7
시나가와 (공업 지구)	29.2	0.77	3.83	19.9

그러나 Cool Roof 적용을 통한 냉방에너지의 저감 효과는 그림 3과 같이 지역별로 많은 차이를 보이고 있다. 한랭한 기후지역인 북위도의 아사히가와, 삿포로, 센다이, 해발고도가 높은 마쓰모토 지방의 경우 Cool Roof를 통해 냉방부하는 감소되는 반면 겨울철 난방부하량이 증가되어 역효과가 발생했다. 그러나 더운 지역에 해당하는 도쿄, 나고야, 오사카, 히로시마, 후쿠오카, 나하 지역에서는 냉방부하의 감소를 통해 전체적인 냉·난방 부하량 감소효과를 보였다. 때문에 일본에서의 Cool Roof의 설치 지역적 기후인자 및 요소를 고려하여 무더운 기후 조건을 가진 곳이 우선적으로 고려되고 있다.

이러한 Cool Roof의 효과 검증을 통해 일본에서는 에너지저감과 열섬 현상완화를 위한 대책의 일환으로 옥상녹화 및 Cool Roof 설치를 권장하는 “Cool Roof Promote Project”를 실시하고 있다. 이 프로젝트는 옥상녹화 또는 Cool Roof를 건물에 적용할 경우 경비의 50% 이상을 지급하여 최대 2,000만엔의 보조금을 지급하는 것으로 진행하고 있다. 또한 도쿄시의 경우 도쿄의회와 환경부 등이 참여하여 Committee to Promote Cool Roof를 결성하여 태양반사율 50% 이상을 만족하는 도료를 사용하여 건물에 적용할 시 Cool Roof의 설치 지원 사업을 펼치고 있다(Kondo, 2006).

일본의 Cool Roof의 성능 기준은 Cool Roof의 효율적 사용을 위해 Cool Roof의 재료나 도료에 대한 많은 개발이 이루어지고 있다. 일본의 경우 Roof에 대한 표준이나 기준이 정해져 있지는 않아 그림 4와 일본 내 상품화된 각 제품마다의 성능 간 차이가 크게 나타나고 있다. 특히 검은색 도료를 사

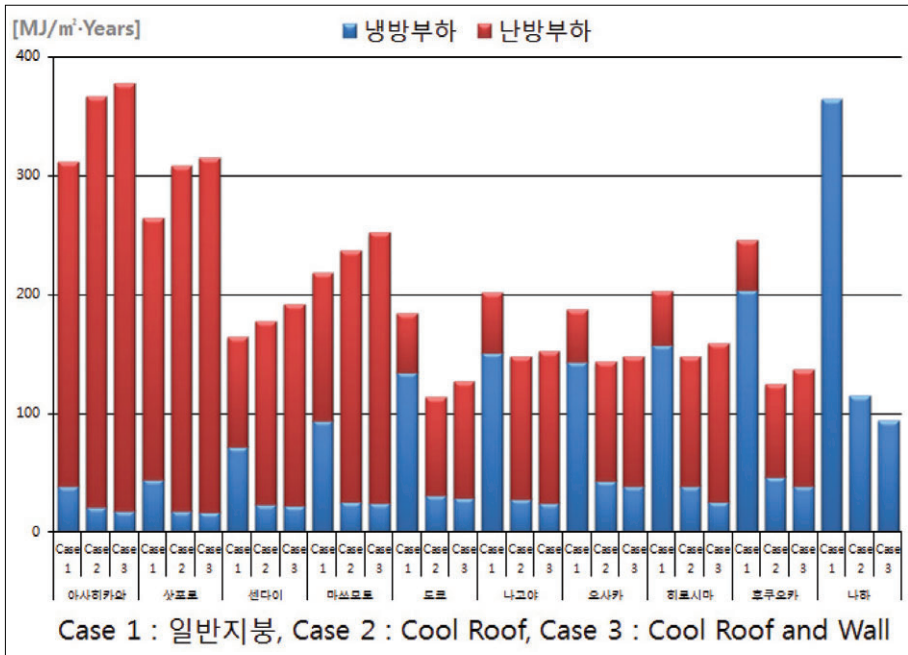


그림 3. 지역별 Cool Roof 효과 비교평가 (일본)

(자료 : Kondo *et al.*, 2000, Reduction of solar heat gain of building, Urban area and vending machines by high reflective paint)

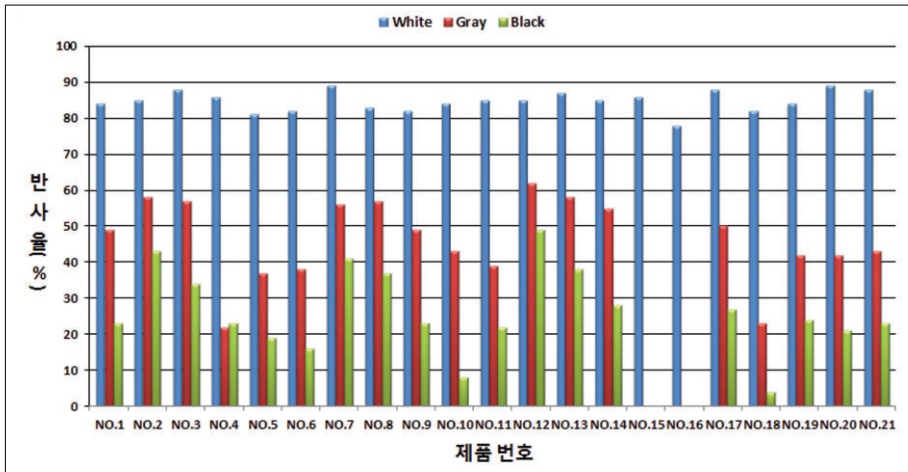


그림 4. Roof 색상별 반사율 비교 평가 (일본)

자료 : Kondo, 2006, Current state and future prospects of cool roofs in Japan.

용한 Cool Roof의 경우 반사율 차이가 최대 40% 이상 발생하고 있어, 미국의 사례와 같이 지역별 기후 조건과 에너지 사용, 건물의 형태나 유형에 따른 Cool Roof 표준규격의 정비에 몰두하고 있다 (Fujimoto *et al.*, 2006).

또한 일본에서는 Cool Roof를 통해 태양반사율을 높여 에너지절약과 실내 쾌적성을 증진시키는 기능 뿐만 아니라 옥상에 대한 방수성까지도 포함하는 제품에 대하여 연구하여 주택설계 및 디자인 시 바로 적용 가능한 제품에 대하여 연구하고 있다.

이러한 개발 성과로 일본에서는 폐기물을 활용하여 보수성이 있는 Cool Roof와 철성분의 도료를 활용하여 경제적으로 저렴한 가격의 제품을 생산하여 적용하고 있다.

3. EU 등 기타 국가

유럽의 지중해 지방에서는 전통적인 건물 양식으로 건물외벽과 지붕을 하얀색으로 칠해 건물 내부의 실내온도를 낮추고 있었다. 그러나 산업화 이후 그러한 전통적 건축형태가 무시되고 건축물 소유자나 개발자들이 종합적 건축비용이나 장기적 에너지 비용을 감안하기 보다는 초기의 건축비용을 최소화하는 지붕을 선택하고 있어 미국과 일본에 비해 Cool Roof에 대한 인식과 도입이 상대적으로 미진한 편이다.

그러나 최근 기후변화에 대응하기 위해 Cool Roof에 주목하기 시작했고 2009년 12월 EU-Cool Roof Council(이하 EU-CRC)를 조직하여 유럽연합 내에서 Cool Roof에 대한 인식 확산과 시장의 장벽을 제거하기 위해 Cool Roof 설치를 지원하고 있다. 현재 EU-CRC에서는 Cool Roof의 효과를 검증하기 위해 이탈리아 시실리 트라파니, 그리스 크레타 차니아, 그리스 케사리아니, 영국 런던, 프랑스 라로셴리에 5개의 시범 지역을 선정하여 연구를 진행하고 있다. 이 연구는 시범 지역 내의 다양한 많은 변수를 가진 건물에서 Cool Roof의 설치 효과에 대해 정량적 분석을 하여 유럽 지역내 Cool Roof 보급을 위한 기술적 자료로 활용하고 있다.

또한 EU-CRC에서는 Cool Roof의 인식확대와 보급확대를 위해 교육을 진행하며 다양한 인센티브 프로그램을 개발하고 있다. 이를 위해 Cool Roof 재료를 규정하는 기술위원회, Cool Roof 기술 정보를 축적하기 위한 기록위원회, 정책위원회, 홍보위원회, 소비자위원회, 법률위원회 등 총 6개의 위원회를 구성하여 유럽연합 Cool Roof 위원회의 웹사이트(<http://coolroofs-eu-crc.eu>)에서 위원회의 활동상황과 개발진행 과정을 공개하고, Cool Roof에 대한 기술적 용어 해설과 Cool Roof에 관한 기사 및

정보가 제공되고 있다. 현재 이러한 데이터베이스는 그리스 아테네의 Kapodistrain 대학, 영국의 Brunel 대학, 프랑스의 La Rochelle 대학 등의 연구소에 의해 유럽 전역에 적용될 수 있는 Cool Roof 상품을 바탕으로 측정된 약 100 여 가지의 상품 데이터베이스를 제공하고 있다(EU-CRC, 2010).

중국의 경우 Cool Roof를 도입하기 위한 연구가 진행되고 있으나 3가지 기후대를 가졌음에도 불구하고 하나의 건축법규만 시행되고 있어 Cool Roof의 도입에 많은 어려움을 겪고 있다. 인도의 경우 높은 인구밀집도와 급속도의 건축시장의 성장, 더불어 열대기후대 속해있어 국가 정책으로 잠재적 쿨루프 적용 가능 지역에 많은 관심을 가지고 있다. 이에 인도 정부는 기후 완화 및 적응에 대한 정책의 일환으로 인도 내 모든 경기장에서 Cool Roof의 적용가능성을 타진하고 있다. 브라질 역시 “One Degree Less” 운동을 시작하면서 Cool Roof를 가장 현실적인 방안으로 채택하고 있으나 이를 지원하는 법적 제도의 부재로 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 오스트레일리아에서는 도시 뿐만 아니라 농촌 지역에서도 Cool Roof를 적극 홍보하고 있으며, 이러한 움직임은 대만의 타이완, 인도의 델리, 인도의 하이데라바드, 일본의 오사카에서도 추진되고 있다(Akbari *et al*, 2001).

IV. Cool Roof의 국내 도입 방안

새로운 기술을 도입하고자 할 때는 기술 자체의 긍정적인 면 뿐 만 아니라 기술자체의 한계를 명확히 인식하고 제대로 사용할 수 있어야 한다. 이러한 문제에 대해 언급을 하지 않고 결과물을 제시할 경우 실제 운영과정에서 예상치 못한 문제로 인해 시스템에 장애가 나타나거나 결과물이 만족스럽지 못할 경우 Cool Roof를 설치하고자 하는 지방자치단체가 도입시기가 지연되거나, 면밀한 사전 조사 없이 도입을 하고도 값비싼 시스템을 제대로 활용하지 못하는 경우가 생기게 될 것이다. 해외 사례의 비교평가결과 Cool Roof는 관련 실무자들이나 관

심을 가진 사용자들이 Cool Roof 실체에 대해 상당히 고무적인 인식을 할 수 있을 만큼 건물에서의 에너지 절감과 관련 기존의 논란이 되던 쟁점들을 거의 대부분 해결할 수 있는 대안으로 판단된다. Cool Roof가 성공적인 에너지 절감 프로젝트가 되기 위해서 사전에 고려되어야 할 사항을 아래와 같이 제시하였다.

1. 냉·난방일의 관점에서 Cool Roof 도입타당성 검토

국내의 경우 Cool Roof의 사용은 냉방부하의 수요는 감소시킬 수 있지만, 겨울철의 혹한기를 동시에 지내기 때문에 난방부하의 수요를 증대를 초래하고 이는 곧 CO₂의 배출의 증대로 이어지기 때문에 우리나라 전역에 Cool Roof를 전면적으로 활용하기에는 다소 문제가 있다. 그러나 냉방부하의 저감효과와 열섬 현상의 완화에 따른 Cool Roof의 필요성을 부인할 수 없는 만큼, Cool Roof의 역효과를 검토하여 국내에서 Cool Roof의 장점을 이끌어 낼 수 있는 지역을 선정해야 한다. Cool Roof를 적극적으로 도입하고 있는 뉴욕과 도쿄를 사례로 하여 Cool Roof의 기대효과 추정에 사용되고 있는 기후, 냉·난방도일 등을 우리나라의 대도시와 비교하여 국내의 Cool Roof 적용 가능여부를 확인하였다.

표 3은 뉴욕과 도쿄의 기후조건, 냉·난방도일과 국내 광역도시를 비교한 것이다. 뉴욕과 도쿄의 기후조건에서는 뉴욕(최난월 평균기온 25.6℃, 최

한월 평균기온 -3.3℃)과 인천(최난월 평균 기온 24.9℃, 최한월 평균기온 -2.4℃), 서울(최난월 평균 기온 25.4℃, 최한월 평균기온 -2.5℃), 대전(최난월 평균 기온 25.5℃, 최한월 평균기온 -1.9℃)에서 유사하게 분포하였다. 도쿄(최난월 평균 기온 27.1℃, 최한월 평균기온 4.1℃)의 경우 대체로 우리나라 보다 따뜻한 기후를 보이고 있었으나 우리나라의 부산(최난월 평균 기온 25.7℃, 최한월 평균 기온 3.0℃), 울산(최난월 평균 기온 25.7℃, 최한월 평균기온 1.6℃), 대구(최난월 평균 기온 26.1℃, 최한월 평균기온 4.1℃), 광주(최난월 평균 기온 26.1℃, 최한월 평균기온 0.5℃)와 유사하였다. 이러한 뉴욕과 도쿄의 Cool Roof 적용 기후는 우리나라 대도시의 대부분에 해당되고 있다.

뉴욕과 도쿄의 냉·난방도일에 있어서는 뉴욕의 경우 3589 HDD, 냉방도일 538 CDD로 대부분 우리나라 보다 난방도일이 크고, 냉방도일이 적었으나 Cool Roof를 적용하고 있었고, 도쿄의 경우 난방도일이 1901 HDD로 작은 반면, 냉방도일이 896 CDD로 대체로 크게 나타나 대체로 냉방수요가 큰 지역에 Cool Roof 적용하고 있음을 알 수 있다. 이러한 냉·난방도일의 결과는 우리나라 대도시보다 대체로 한랭한 뉴욕에서도 Cool Roof를 통해 에너지 절약 사업과 열섬효과 완화를 기대하고 있으며, 상대적으로 더운지역인 도쿄에서도 Cool Roof를 사용하고 있다. 따라서 해외에서 Cool Roof 설치환경과 국내 적용 가능 지역을 검토한 결과, 우리나라

표 3. 뉴욕, 도쿄, 국내 광역시 도시권의 기후 및 냉·난방도일 비교

구 분		최난월 평균기온	최한월 평균 기온	난방도일	냉방도일
국 외	뉴 욕	25.6℃	-3.3℃	3589 HDD	538 CDD
	도쿄	27.1℃	4.1℃	1901 HDD	896 CDD
국 내	서울	25.4℃	-2.5℃	2889 HDD	750 CDD
	부산	25.7℃	3.0℃	2198 HDD	696 CDD
	대구	26.1℃	0.2℃	2326 HDD	964 CDD
	인천	24.9℃	-2.4℃	2813 HDD	645 CDD
	대전	25.5℃	-1.9℃	2799 HDD	757 CDD
	광주	26.1℃	0.5℃	2486 HDD	903 CDD
	울산	25.7℃	1.6℃	2198 HDD	849 CDD

자료 : 기상청(2010), <http://www.kma.go.kr/>.

Baumert and Selman, 2003, Heating and Cooling Degree Days.

대부분의 광역시도시권에서 Cool Roof 시스템의 도입이 가능할 것으로 판단된다.

2. Cool Roof 성능 기준 마련

Cool Roof는 하절기 냉방에너지 절감효과와 열섬현상 완화에 대한 효과는 입증되고 있으나, 우리나라는 4계절이 뚜렷하여 겨울철에 난방부하를 증가시킬 수 있다. 건물옥상이나 지붕에 Cool Roof 적용을 위해서 우선적으로 고려되어야 할 사항은 Cool Roof의 성능 기준 마련이다. Cool Roof의 성능 기준은 지역별 기후에 맞게 설정되어 하절기 냉방에너지 절감효과를 극대화 시키면서 겨울철 난방부하를 증가를 최소화 시킬 수 있어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 가장 기초적인 방법은 국내 기후에 맞는 Cool Roof 성능 기준의 성립이다.

미국과 일본의 경우 Cool Roof의 성능 기준 선정은 건물 유형별로 각 지역의 기후조건에 따라 어떻게 영향을 미치는지 알아보게 모의실험을 통해 에너지해석프로그램을 이용하거나 문헌조사를 토대로 실제 에너지 사용량과 Cool Roof 설치 이후의 에너지 사용량을 비교하고 있다. 일본의 경우 역시 모의실험을 통해 각 상품에 대한 성능테스트와 함께 에너지해석프로그램이나, GIS 프로그램을 활용하고 있다(Sagawa *et al*, 2006).

국내의 경우 모의실험과 에너지해석프로그램을 이용하여 국내의 Cool Roof 성능과 가능성을 검증한 연구(김옥, 2010)와 서울시를 사례로 백색지붕의 알베도 변화를 조절하여 Cool Roof 적용 효과를 시뮬레이션한 연구(한국건설기술연구원, 2010)가 있으나 두 연구는 다른 결과를 보였다. 따라서 아직 국내에서 Cool Roof에 관한 연구가 미진한 만큼 실제 건물에 Cool Roof 적용을 통한 효과 검증과 함께 다양한 사례의 분석이 필요하다. 우리나라의 건축형태는 1970년대 이후 급속한 경제발전과 함께 도시화가 빠르게 진행되어 서양의 건축양식과 기존의 건축양식이 다양하게 공존하고 있다. 따라서 국내 Cool Roof를 도입하기 위해서는 Cool Roof의 반사율과 방사율 뿐만 아니라 다양한 건축형태와

지역의 에너지 사용 등을 고려해야 한다.

Cool Roof에 대한 개념의 정립이나 이에 대한 연구가 미진한 국내실정에서 볼 때, Cool Roof를 위해 시급하게 정리되어야 할 사항 가운데 하나는 Cool Roof에 적합한 지붕이나 옥상의 형태, 건축물 용도에 맞게 Cool Roof의 세부 평가 항목을 검증하는 일이다. 지붕의 형태의 경우 평면 옥상, 급경사의 지붕, 완경사의 지붕 등의 형태로부터 각각 적용될 수 있는 Cool Roof의 성능기준과 함께 효과가 검증되어야 하며, 건물의 용도 경우 에너지 사용이 많은 상업용, 공업용, 주거용 건물의 효과성 등이 종합적으로 고려되어야 할 것이다. 또한 Cool Roof에 사용되는 반사도료나 재료는 오염과 변색, 탈색 등으로 인해 성능이 저하 될 수 있는 점을 고려해야 한다.

이러한 해외의 사례를 보면 다양한 인자를 고려하여 Cool Roof의 세부 사항을 정하고 있는 것을 파악 할 수 있다. 서울시의 경우 지붕의 종류별 구성비가 평탄한 지붕(69.78%), 경사지붕(9.50%), 기타 형태(21.02%)로 되어 있다(서울시 도시생태 현황도, 2005). 또한 국내의 건축물 용도별 에너지 소비 현황은 전체 에너지 소비량 중 가정용 건물이 13.8%, 상업용 건물이 7.5%, 공공기타 2.2%로 되어 있어 이를 감안하여 Cool Roof의 체계적인 분류가 요구된다(에너지관리공단, 2009).

Cool Roof에 지붕이나 옥상 형태, 건축물 용도에 따른 성능 기준 마련과 검증은 해외의 많은 실험 결과로부터 해결되어야 할 사항이며, 국내와 같이 이에 대한 데이터가 부족한 상황에서는 기존 외국의 자료를 토대로 국내에 적용 가능한 성능기준과 용도별 효과 검증이 선행되어야 할 것이다. 현재 미국의 Cool Roof 세부 기준 사항과 기술 항목을 살펴 보면, 상업용 건물과 주거용 건물에 따라 반사율과 방사율을 달리하고, 지붕의 형태에 따라 서로 다른 차이를 두고 있다(표 4). 또한 시간이 흐름에 따라 변색과 탈색, 오염 등으로 인한 성능 저하를 고려하여 세부 기술 항목으로 2-3년 후의 성능까지 제시하고 있다(표 5).

표 4. 미국의 Cool Roof 성능 세부 기술 사항

구 분	세부 사항	기 준	비 고
ASHRAE Standard 90.1	상업용 건물에 대한 성능 기준	• 반사율 : 0.70 이상 • 방사율 : 0.75 이상	
ASHRAE Standard 90.2	주거용 건물에 대한 성능 기준	• 반사율 : 0.65 이상 • 방사율 : 0.75 이상	
California Cool-roof rebate programmes	급경사의 비주거용 건물	• 반사율 : 0.75 이상 • 방사율 : 0.70 이상	
	완경사의 주거용 건물	• 반사율 : 0.55 이상 • 방사율 : 0.90 이상	급경사의 주거용 건물에 경우 지붕에 재료 따라 반사율을 달리 적용
Energy Conservation Code	완경사 지붕의 성능 기준	• 반사율 : 0.65 이상	옥상에 태양열, 태양광, 옥상 녹화에는 이 규정 적용하지 않음
	중간 경사 지붕의 성능 기준)	• 반사율 : 0.15 이상	
Florida Building Code	상업용 건물에 대한 성능 기준	• 반사율 : 0.70 이상 • 방사율 : 0.75 이상	
	주거용 건물에 대한 성능 기준	• 반사율 : 0.65 이상 • 방사율 : 0.80 이상	
International Energy Conservation Code	주거용 건물	• 반사율 : 0.52 • 방사율 : 0.90	
	상업용 건물	• 반사율 : 0.70 이상 • 방사율 : 0.75 이상	상업용 건물의 경우 지역에 따라 달리 적용

표 5. 미국의 Cool Roof 성능 기준 기술항목

구 분	초기 반사율	초기 방사율	2-3년후의 성능 기준
ASHRAE Standard 90.1	○	○	×
ASHRAE Standard 90.2	○	○	×
California Cool-roof rebate programmes	○	○	×
Energy Conservation Code	○	○	○
Florida Building Code	○	○	×
US EPA Energy Star label	○	×	○
LEED Green Building Rating System	○	○	○

3. Cool Roof 도입을 위한 정책 지원

국내의 경우 새로운 친환경건축 기술이라고 볼 수 있는 Cool Roof의 전면적 도입에는 설치와 유지 관리에 대한 경제적 비용 보조, 설치에 따른 인센티브 프로그램, Cool Roof에 관한 정보 등이 전무하다. 미국의 경우 연방정부와 주정부 차원에서 Cool Roof 도입을 위한 많은 지원 활동이 이루어지고 있다. 특히 캘리포니아와 뉴욕의 경우 도시의 에너지 정책에 Cool Roof를 우선순위로 정하여, Cool Roof의 법적 의무화 및 설치를 위한 지원이 활발하게 진행되고 있을 뿐만 아니라 재정적 지원과 건물의 친환경점수 부여 등의 인센티브를 지원하고 있어 Cool Roof의 활용이 가장 활발하게 이루어지고

있다. 일본의 경우 도쿄시 자체 프로젝트를 통해 건물에 Cool Roof 적용을 유도하는 인센티브 제도를 운영하고 있다. 우리나라와 마찬가지로 아직 Cool Roof의 적용이 미진한 EU의 경우는 Cool Roof의 인식확대와 효과검증, Cool Roof 정보제공을 위해 Cool Roof를 위한 위원회를 구성하여 이를 바탕으로 Cool Roof의 저변 확대를 하고 있으면서 Cool Roof 시범지역을 선정하여 Cool Roof의 효과를 검증하는 등 많은 홍보활동에 주력하고 있다(표 6).

해외 정책들은 보조금 지원과 융자, 홍보활동에 중점을 두고 있으며 특정분야에 집중하는 것을 알 수 있다. 특히 미국 캘리포니아주의 경우 상업용 건물에는 Cool Roof를 법적의무화로 지정하고 있으

표 6. 주요 국가별 정책 수단

		인센티브				의무화	홍보 활동
		보조금	용자	세금감면	기준 인증		
미국	California Cool-Roof Rebate Program	○	○	○	○	○	○
일본	Cool Roof Promote Project	○	○	×	×	×	○
EU	EU-The cool roofs project	×	×	×	×	×	○

며, Cool Roof를 지붕에 설치함에 따라 \$0.10/ft²-\$0.20/ft²의 세금감면 혜택과 함께 총 2,100만 달러 이상의 재정적인 인센티브를 현존하는 빌딩과 신규빌딩에 지원하고 있다. 또한 일본의 경우 역시 자체적 프로젝트를 통해 Cool Roof를 건물에 적용할 경우 경비의 50% 이상을 지급하여 최대 2,000만엔의 보조금을 지급하고 있다. 이외에 미국의 경우 Cool Roof를 적용할 경우 친환경 점수를 부여하여 인증 기준을 넘어서게 되면 등록비용면제나 투자 자금을 지원하고 있다. 이외에 미국, 일본, EU에서는 Cool Roof의 시장진입을 위해 적극적인 홍보 활동을 전개하고 있다. 미국과 일본, EU 모두 각각의 독립적 조직 또는 위원회를 구성하여 웹사이트 구축을 통한 정보제공, 세미나 개최, 시장 홍보 활동을 전개하고 있었다.

그러나 이러한 해외의 사례를 국내에서 Cool Roof 도입을 위한 전략으로 그대로 적용하는 것은 기후조건과 건축물 하나하나가 구성이 상이하기 때문에 한계가 있다. 따라서 국내의 Cool Roof 도입을 위해서는 중앙부처에서 「건축법」과 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」등에 의거하여 건물의 용도 관련 에너지 절감 관련 항목에 Cool Roof 도입 시 인센티브, 친환경 건축 인증 항목이 고려되어야 하며 이후에는 정부 차원의 인센티브와 인증의 방향이 제시되고, 세부적인 지원금 및 용자, 세금감면

혜택은 시도 단위 정책에서 검토되어야 한다. 또한 이러한 방식은 전문가와 전문 기업의 인증을 통해 이루어지는 동시에 홍보활동 및 정보제공이 이루어져 정부와 지자체, 기업 등의 활발한 연계를 통해 Cool Roof 도입 타당성이 검토되어야 할 것이다(표 7). 이러한 정책 방안은 최근 국내에서 열섬현상 방지와 건물 내 냉·난방에너지 사용 절감을 위해 활용되고 있는 옥상녹화의 보급방안과 맥락을 같이 하여 추진할 수 있다. 현재 옥상녹화의 경우 서울시를 비롯한 전국의 지자체에서 일정규모 이상의 신축건물의 경우 의무화를 추진하고 있으며, 2009년 공포된 '친환경 주택의 건설기준 및 성능'에서는 옥상녹화를 친환경주택의 권장사항으로 하고 있다. 또한 일정 사항을 만족할 경우 보조금을 지원하는 정책을 시행하고 있다.

V. 결론

건물 부문의 에너지 및 온실가스 배출 절감을 위해 다양한 방안들이 시도되고 있으나 이는 여러 가지 문제점들이 지적되고 있어 그 실효성에 의문이 제기되고 있다. Cool Roof는 여타의 에너지 절감방안에 비해 거의 모든 건물에 저렴한 비용으로 설치될 수 있어 그 활용가치가 매우 높게 평가되고 있다. 이에 본 연구에서는 미국과 일본을 중심으로 건

표 7. 국내 Cool Roof 도입을 위한 정책 방안 (예시)

구분	세부 방안
중앙 정부 차원의 정책	「건축법」과 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」등에 의거하여 건물의 용도에 따라 에너지 절감 관련 항목에 Cool Roof 적용을 명시
	명시되는 항목에는 용도에 따라 신축, 기존 건축물에 인센티브, 친환경 건축 인증 항목 제시.
지방자치단체 차원의 정책	정부 단위의 정책을 기반으로 지자체의 예산에 맞게 보조금 및 용자 사업 시행
	Cool Roof 관련 사업 시행시 에너지 저감 전문가 및 기업과의 연계 전문가 및 기업과의 연계를 통한 Cool Roof 홍보활동 및 정보 제공

물의 에너지 저감 및 기후변화 대응책으로 주목받고 있는 Cool Roof를 국내의 사례를 통해 분석하고 이를 바탕으로 국내 Cool Roof 적용을 위한 방법을 고찰하였다. 본 연구는 실제적인 cool roof 설치를 위한 개념 및 요구 사항, 구조, 동작 모델에 대해 향후 cool roof가 국내에 도입될 경우를 대비하여 해외의 사례를 비교 평가하였다는 데 큰 의의가 있을 것이다.

1) 국내에 Cool Roof를 적용하기 위한 구체적 지역설정은 이루어지지 않았으나, 현재 Cool Roof를 설치하고 시 정책방안으로 유지하고 있는 뉴욕과 도쿄의 Cool Roof 설정 조건을 분석한 결과, 뉴욕과 도쿄의 기후조건에서는 뉴욕의 경우 우리나라의 인천, 서울, 대전과 유사하였고, 도쿄의 경우 울산, 부산, 광주와 유사하였다. 각각의 도시와의 난방도일과 냉방도일에 비교에 있어서도 뉴욕의 경우 3589 HDD, 냉방도일 538 CDD이었고, 도쿄의 경우 난방도일이 1901 HDD, 냉방도일 896 CDD로 대체로 국내의 대도시보다 많은 난방에너지나 냉방 에너지를 사용함에도 불구하고 Cool Roof를 적용하고 있어, 국내 대부분의 대도시에서 Cool Roof의 도입이 가능할 것으로 분석되었다.

2) 해외의 경우 Cool Roof의 성능을 평가하기 위해 모의 실험이나 에너지 해석 프로그램, 실제 Cool Roof 설치를 통해 검증이 이루어지고 있으나 국내의 경우는 이러한 연구가 표준화된 단계에 이르지 못하고 있다. 또한 국내의 경우 급속한 경제 성장과 함께 다양한 건축형태가 혼재되어 있기 때문에 건축물 용도에 맞게 Cool Roof에 대한 세부 평가 항목을 설정할 필요가 있다. 기후조건과 건물의 형태나 에너지 사용환경이 해외의 사례와 다르기 때문에, 국내 실정에 부합한 Cool Roof의 성능을 평가할 수 있는 방안이 필요하다. 미국과 일본, EU 등지에서는 Cool Roof의 인식 확대와 보급을 위해 보조금을 지급하거나, 융자, 세금 감면 등의 혜택이 주어지고 있다. 이는 정부단위의 정책에서 Cool Roof 도입 시 인센티브, 친환경 건축 인증 항목이 신설하여 큰 방향을 제시하고, 시도 단위 정책에서 전문가

와 전문 기업의 인증을 통해 인센티브 제도와 정책 활동이 이루어져야 할 것이다.

Cool Roof의 발전은 기후변화가 전 지구차원의 문제로 부각으로서 새로운 진화를 할 수 있을 것으로 전망된다. Cool Roof를 이용한 에너지 절감기술이 지금은 초기단계이지만 조금의 시간이 지나면 어디서나 보유하게 될 항목의 하나가 될 것이다. 본 연구에서 제시된 해외사례 비교평가가 비록 잘 다듬어져 가치가 있는 것은 아닐지라도 지금까지 시도된 연구결과를 비교 정리함으로써 향후의 연구에 시사점을 제공하고 Cool Roof 관련분야에서 실무를 수행하는 사람들에게 작은 길잡이 역할을 할 수 있다면 연구의 가치가 있다고 할 것이다. Cool Roof는 급속히 성장발전하고 있으며 많은 변화를 보이는 분야이기 때문에 체계적인 이론이나 완성된 연구결과가 부족하지만 본 연구에서 제시된 해외사례의 비교평가결과는 Cool Roof를 국내에 도입하는 과정에서 객관적이고 효과적인 모델로 활용 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(20094010200010).

참고문헌

- 경기개발연구원, 2008, 경기도 온실가스 배출량 산정 시스템 개발, 경기개발연구원.
- 김 옥, 이연구, 2009, Cool Roof 시스템의 에너지 저감 성능에 관한 연구, 대한건축학회 학술대회 논문집, 29(1), 765-768.
- 김 옥, 2010, Cool Roof 시스템의 성능기준 및 설계지침에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위 논문
- 김종민, 2008, 에너지 절감을 위한 옥상 표토층 효과에 관한 기초적 연구, 대한건축학회지,

- 10(3), 143-149.
- 서울시정개발연구원, 2010, 세계도시동향 240호, 서울시정개발연구원.
- 서울특별시, 2005, 서울시 도시생태현황도, 서울특별시.
- 서울특별시, 2007, 서울친환경에너지선언, 서울특별시.
- 에너지관리공단, 2009, 에너지절약 통계 핸드북, 에너지관리공단.
- 한국건설기술연구원, 2010, 에너지 소비 절감을 위한 건축물 외부 마감재의 적용에 관한 연구, 한국건설기술연구원.
- Akbari, H., Konopackim S., and Pomerantz, M., 1999, Cooling energy savings potential of residential and commercial buildings in the buildings in the United States, *Energy* 24(5), 391-407.
- Akbari, H., Pomerantz, M., and Taha, H., 2001, Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar Energy*, 70(3), 295-310.
- Akbari, H. and Levison, R., 2008, Evolution of Cool-Roof standards in the US, *Advances in Building Energy Research*, 2(1), 1-32.
- Akbari, H., Menon S., and Rosenfeld A., 2009, Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂, *Climatic Change*, 94(3-4), 275-286.
- Bretz, S. and Akbari, H., 1997, Long-term performance of high albedo roof coatings, *Energy and Buildings*, 25(2), 159-167.
- EPA(Environmental Protection Agency), 2009, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool roofs, <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm/>
- EU-CRC, 2010, Promotion of cool roofs in the EU, <http://www.coolroofs-eu.eu/>.
- Fujimoto, T., Okada, T., and Kondo, Y., 2006, Reduction of solar heat gain by using reflective paints for building envelopes, *Journal of Environmental Engineering*, 601, 35-41.
- Carlson, J. D., Golden J. S., and Bryan, H., 2010, An integrated empirical and modeling methodology for analyzing solar reflective roof technologies on commercial buildings, *Building and Environment* 45(2), 453-460.
- Kondo, Y., Nagasawa, Y., and Irimajiri, M., 2000, Reduction of solar heat gain of building, Urban area and vending machines by high reflective paint, *Transactions of the Society of Heating*, 78, 15-24.
- Kondo, Y., 2006, Current state and future prospects of cool roof in Japan, *International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands*.
- Konopacki, S. and Akbari, H., 1998, Demonstration of Energy Savings of Cool Roofs: Phase II, Lawrence Berkeley National Laboratory-Heat Island Group Technical Note.
- Philippine de T'Serclaes, 2007, Financing Energy Efficient Homes : Existing Policy Response to Financial Barriers. IEA (International Energy Agency), 52pages.
- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., and Soulakellis, N., 2008, On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*,

- 47(11), 2846-2856
- Taha, H., Konopacki, S., and Akbari, H., 1999, Impacts of large-scale surface modifications on meteorological conditions and energy use: a 10-region modeling study, *Theoretical and Applied Climatology*, 62(3-4), 175-185.
- The Energy Conservation Center, 2010, EE&C Policy in Japan, <http://www.asiaeec-col.eccj.or.jp>.
- Sawin, J., 2010, State of the World, World Watch Institute.
- Tomoko, S., Takahiro, T., Masakazu, M., and Tadashi, S., 2006, The use situation on flat roof, and the possibility evaluation of the alteration to rooftop greening and cool-roof : Detailed characteristics of summer radiative temperature in urbanized area by using airborne thermal image and GIS Part 2, *Journal of Environmental Engineering*, 608, 53-58.
- U.S Department of Energy, 2009, Guidelines for selecting Cool Roofs. U.S D.O.E
- U.S Department of Energy, 2010, Secretary Chu Announces Steps to Implement Cool Roofs at DOE and Across the Federal Government, <http://www.energy.gov/news/9225.htm>.
- 近藤靖史, 2009, 都市被覆の日射反射性能向上によるヒーアイランド緩和と冷房負荷低減, *空気調和衛生工學*, 83(8), 639-643.