

친환경 세라믹 도료 열적측정을 통한 쿨루프 정책 확대방안

Expansion of Cool Roof Policy through Thermal Measurement of Eco-Friendly Ceramic Coating

박민용* · 이동호**

Min Yong Park · Dong Ho Lee

Abstract

The urban heat island phenomenon that accelerates global warming has always been controversial when summer heatwaves have occurred since it was first investigated and described by Luke Howard in the 1810s. In Korea, since 2014, government have been interested in Cool Roof and painted white coating on the rooftops of the aging and weak buildings, and the cool roof business has expanded nationwide. However, the roof occupies 20-25% of the entire city surface, much less than 37-45% of the pavement area consisting of roads, parking lots and sidewalks, there is a need to expand the policy of Cool Pavement as a way to reduce the urban heat island phenomenon. Domestic cities are high-rise buildings centered on apartments, and the area occupied by outer walls is larger than that of rooftops compared to foreign low-rise buildings. Therefore, as a way to reduce the urban heat island phenomenon, there is a need for a policy to expand the Cool Roof in buildings and use Cool Wall in parallel. Therefore, this study aims to present the expansion of Cool Wall in buildings and Cool Pavement in urban areas, expanding the installation range of Cool Roof, by comparing and reviewing the thermal characteristics of eco-friendly ceramic coating with excellent thermal proof performance and coatings used for roof waterproofing.

Keywords: Cool Roof(쿨루프), Ceramic Coating(세라믹 도료), Thermal Proof Coating(차열도료), Cool Wall(쿨월), Cool Pavement(쿨페이브먼트)

1. 서론

지구온난화를 가속화시키는 도시의 열섬현상은 1810년대 영국의 루크 하워드(Luke Howard)에 의해 처음 조사되고 기술된 이래 하계의 폭염이 발생되면 언제나 논란이 되어 왔다. 이러한 도시의 열섬현상을 감소시키기 위한 전형적인 방법으론

미국 EPA(Environmental Protection Agency)가 제시한 냉각전략으로 식생, 그린루프, 쿨루프(Cool Roof), 쿨페이브먼트(Cool Pavement), 스마트 성장(Smart Growth, 개발과 보전의 시행)의 다섯 가지가 있다.

열섬현상의 냉각전략을 수립하기 위한 미국의 쿨루프 정책으로는 1998년도에 CRRC(Cool Roof Rating Council)가 설립되

* 부산과학기술대학교 건축공학 전공 교수(교신저자: mypark@bist.ac.kr)

** 이에이 바이오스(주) 기술부 부장

어 지붕재의 태양 반사율 및 방사율을 평가하고 등급화하는 인증기관으로 탄생하였다. 그 후 캘리포니아주에서는 2005년 에너지코드 규정 24조항이 신설되어 쿨루프의 보급화를 이끌었으며 뉴욕시는 2007년 발표한 “PlaNYC”(뉴욕시의 전략적 계획으로 백만 명 이상의 주민을 위해 도시를 준비하고, 경제를 강화하고, 기후 변화에 대처하고, 모든 뉴욕커들의 삶의 질을 향상하는 프로그램)의 일환으로 2009년 뉴욕 지붕의 5백만 제곱피트를 흰색으로 도료를 코팅한 것이 쿨루프 보급의 시작이었다.

국내에서는 2014년부터 쿨루프에 관심을 가지며 노후화되고 열악한 건축물에 대하여 옥상에 흰 페인트를 칠하며 쿨루프 사업이 전국적으로 확대되었다.

그러나 도시표면 전체에서 지붕이 차지하는 면적은 20~25%로 도로와 주차장과 보도로 구성된 페이브먼트의 면적인 37~45%보다 훨씬 적어(Akbari, et al., 1999; Rose and Akbari, 2001a), 도시의 열섬현상을 감소시키는 방안으로 쿨루프의 보급과 더불어 쿨페이브먼트의 정책을 확대할 필요성이 있다.

더구나 쿨루프 정책은 건축물의 설치 부위를 옥상으로 한정하기 때문에 건축물의 외피면적이 가장 많은 외벽은 태양의 복사열을 차단하지 못하고 있다. 국외 도시는 초고층건물이 많은 도심지를 제외하고는 대부분 저층 건물로 이루어져 옥상의 면적이 외벽에 비하여 적지 않지만, 국내의 도시들은 아파트 위주의 고층건물로 옥상의 면적보다 외벽이 차지하는 면적이 많아 국외의 쿨루프 정책과는 다소 다른 면이 있다. 따라서 도시의 열섬현상을 감소시키는 방안으로 건축물에서 옥상이나 지붕을 한정짓는 쿨루프를 확대하여 외벽에도 냉방부하 저감을 위해 쿨월을 병행하는 정책도 필요하다.

이에 본 연구에서는 차열성능이 우수한 친환경 세라믹 도료와 기존의 옥상방수용으로 사용되는 도료의 열적 특성을 비교 검토하여 쿨루프의 설치 범위를 확장하여 건축물에서의 쿨월과 도심지에서의 쿨페이브먼트의 확대방안에 대한 타당성을 제시하고자 한다.

2. 쿨루프 고찰

2.1 쿨루프 정의

쿨루프는 높은 일사 반사율(자외선, 가시광선, 적외선을 반사해서 표면의 열전도를 줄이는 능력)과 높은 방사율(흡수되거나 반사되지 않은 태양에너지를 방출하는 능력)을 갖는 열적 물성을 지닌 지붕을 의미하며, 기존의 일반적인 지붕에 비해 지붕의 표면온도가 낮은 기능을 가진 지붕을 통칭한다(그림 1).

건물에서 쿨루프를 이용할 경우 단층 건물의 연간 냉방 에

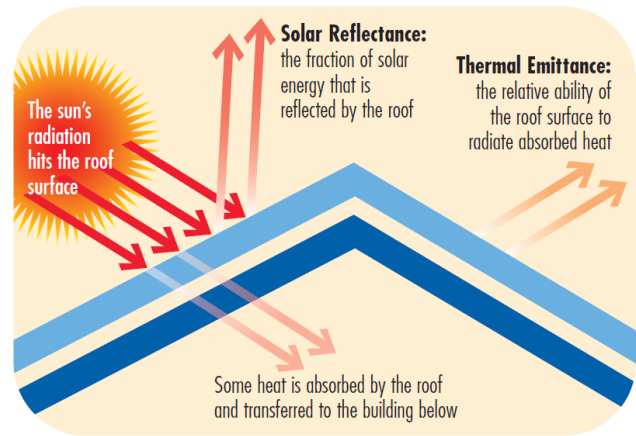


Fig. 1. Definition of Cool Roof

너지 사용량이 15%까지 절약될 수 있으며(U.S.Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, Cool Roof), 도시 열섬 현상을 완화하며 공기오염과 온실가스 방출을 줄여주고, 또한 온실가스의 온난화 영향을 상당히 최소화할 수 있다(Akbari et al., 2009).

2.2 쿨루프 효과

쿨루프의 효과는 직접적인 효과측면에서 지붕온도 저하와 냉방에너지 절약으로 나뉘며, 간접적인 효과측면에서 도시 내의 열섬현상 완화와 대기 질 개선 효과가 있다.

미국 로렌스 버클리 국립 연구소(LBNL)의 연구 결과(Konopacki and Akbari, 2001)를 보면, 텍사스 오스틴에 위치한 대형마트 건물 지붕의 경우 검은색 고무지붕 막을 백색 열가소성(thermostatic)지붕으로 리모델링했을 때 지붕 표면온도가 평균 24℃ 감소되는 것으로 증명되었다. 그리고 냉방용 전체 에너지 소비량은 약 11% 감소되고, 첨두시간대에서는 약 14% 감소되어 연간 에너지소비에 대한 비용은 단위면적당 \$0.77/m² 감소되는 것으로 나타나 쿨루프를 사용함으로써 에너지 절감에 유의함을 알 수 있다. 또한 총 냉방 에너지 소비에서는 11% 감소하였고, 피크시간대에서는 14% 감소되는 것으로 나타나 연간 에너지 비용은 단위면적당 \$0.77/m² 감소되는 것으로 나타나 에너지 절감에 효과적임을 알 수 있다.

3. 친환경 세라믹 차열도료 쿨루프 열적 특성

3.1 쿨루프 시험체 제작

쿨루프 시험체 제작으로 마감재료는 시멘트보드 4.5T를 사용하고 모델 크기는 900mm×900mm×1,450mm로 하였으며, 지붕의 기울기는 부산지역의 위도에 근접 35°로 하였다. 한 쿨루

프 시험체 크기는 900mm×900mm×1,450mm로 하였으며, 마감재로는 시멘트보드 4.5T를 사용하였고 지붕의 기울기는 B지역의 위도에 가까운 35°로 하였다. 쿨루프 시험체의 지붕에 사용한 도막은 현재 국내에서 옥상노출용으로 널리 이용되는 우레탄 방수도막(하도1회, 중도1회, 상도2회, 코팅1회)과 폴리우레아 방수도막(하도1회, 중도1회, 상도1회, 코팅1회)으로 하였으며 나머지 1개는 차열성능과 방수성능을 가진 친환경 진공세라믹 도막(하도1회, 중도1회, 상도1회, 코팅1회)을 사용하여 총 3개의 시험체를 제작하였다(그림 2).

3.2 쿨루프 시험체 측정

쿨루프 시험체의 측정기간은 연중으로 하였으며 하계(2019.07.30, 17:00~2019.08.05, 12:00)와 동계(2018.11.30, 12:00~2018.12.06, 08:00)기간으로 나누었다. 측정시간은 매시 1시간별로 측정하였으며, 장소는 부산지역에 위치한 대학교 건물 옥상으로 하고, 시험체 모델의 방위는 남향으로 배치하였다. 측정 장비는 열류와 온도를 동시에 측정 가능한 데이터로거인 HEAT FLOW LOGGER(LR8432-20, HIOKI, JAPAN)를 사용하였으며 측정 센서는 열류센서와 온도 센서를 사용하였다. 측정 지점은 3개 시험체 모델의 지붕 외표면과 내표면 온도와 시험체 모델 내부 상·하 지점의 4개 온도를 포함해서 13개 온도지점으로 하였고, 열류측정은 3개 시험체 모델의 지붕에서 통과하는 열량을 대상으로 측정하였다.

3.3 시험체 도료 특성 비교

시험체에 사용되는 도료는 옥상의 방수용으로 널리 사용되고 있는 폴리우레아 도료와 우레탄 도료로 하였다. 시험체에 사용되는 도료는 현재 옥상방수용으로 널리 사용되고 있는 우레탄과 폴리우레아 도료로 하였다. 이와 비교되는 쿨루프 차열도료는 세라믹 마이크로 스피어의 비드구조에 특수 폴리아크릴레이트의

도막과 이산화티타늄을 안료로 배합된 VOC(휘발성 유기화합물)이 전혀 배출되지 않는 친환경도료인 진공세라믹 도료를 사용하였으며, 각 시험체에 사용된 도료의 특성은 다음과 같다(표 1).

3.4 친환경 차열도료 쿨루프 열적 특성 비교

3.4.1 온도측정 결과

쿨루프 시험체에 대한 하계기간(2019.07.30, 17:00~2019.08.05, 12:00)동안의 온도측정 결과, 표 2에 따르면 외기온도가 37.2℃(2019.08.03, 13:00)로 최대 값을 보일 때, 최대 외표면 온도는 진공세라믹 도막 53.5℃, 우레탄 도막 61.6℃, 폴리우레아 도막 62.0℃를 보여 차열성능을 가진 진공세라믹 도료가 우레탄이나 폴리우레아 방수용 도료보다 8.5℃~8.1℃온도가 낮음을 알 수 있었다.

쿨루프 시험체 내부 하부(바닥면에서 50mm 높이)에서의 최고온도는 진공세라믹 도막 시험체 36.8℃, 폴리우레아 도막 시험체 38.8℃, 우레탄 도막 시험체 47.2℃로 진공세라믹 도료가 외기온 37.2℃보다 낮고 우레탄 도막보다 약 10.4℃의 높은 온도 차이를 나타내었다.

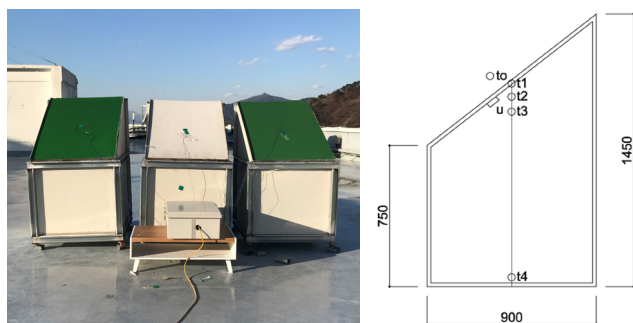
쿨루프 시험체에 대한 동계기간(2018.11.30, 12:00~2018.12.06, 08:00)동안의 온도측정 결과, 표 2에 따르면 외기온도가 18.3℃(2018.12.03, 14:00)로 최댓값을 보일 때, 최대 외표면 온도는 진공세라믹 도막 30.6℃, 우레탄 도막 42.1℃, 폴리우레아 도막 44.7℃를 보여 차열성능을 가진 진공세라믹 도료는 우레탄이나 폴리우레아 방수용 도료보다 11.5℃~14.1℃가 낮음을 알 수 있었다.

쿨루프 시험체 내부 상부(지붕 중심면에서 50mm 이격거리)에서의 온도는 진공세라믹 도막 시험체 23.9℃, 우레탄 도막 시험체 30.4℃, 폴리우레아 도막 시험체 30.5℃로 진공세라믹 도료가 외기온 18.3℃ 상태 하에서도 우레탄 도막이나 폴리우레아 도막보다 약 6.5℃이상의 차열효과가 높아 태양복사열 측면에서 차단에 유리함을 알 수 있었다.

3.4.2 열류 측정 결과

쿨루프 시험체에 대한 하계기간동안의 열류를 측정 결과 표 3에 따르면 외기온도 37.2℃의 최댓값을 보일 때, 최대 열류는 진공세라믹 도막 83.1W/m², 우레탄 도막 164.2W/m², 폴리우레아 도막 177.2W/m²를 보여 차열성능을 가진 진공세라믹 차열도료가 우레탄이나 폴리우레아 방수용 도료보다 2.1~2.0배의 열류가 손실되지 않음을 알 수 있었다.

하계기간 동안의 평균 열류는 진공세라믹 도막이 15.5W/m²를 보여 폴리우레탄이나 폴리우레아 방수용 도료보다 2.4~2.3배



t: Thermocouple(℃), u: Heat flux meter(W/℃)
 (a) Cool Roof Models (b) Measurement Overview

Fig. 2. Cool Roof Model Test

Table 1. Comparison between Eco-friendly Microsphere Coating & Urethane & Polyurea Coatings

Features	Eco-Friendly Microsphere coating	Polyurea coating for Waterproof	Polyurethane coating for Water proof
Warranty & UV Resistance	Minimum 5 years, 100% UV reflection Passes 120,000 hrs of Accelerated weather test	Minimum 5 years Test results Not Available for Accelerated weather test	Minimum 2 years Passes 500 hrs of Accelerated weather test
Drying time	6~12 hours	~15minutes	24~48 hours
Waterproof	Excellent	Excellent	Good
Eco-friendly features	Zero VOC, Without environment polluting Biocide	High VOC content	High VOC content
Solar heat reflection	~90%+	N/A	N/A
Chemical resistance	Excellent (Salt, acid rain, and other chemicals, etc)	Excellent (Salt, acid rain, and other chemicals, etc)	Good
Color reproduction	Over 96,000 colors supported (based on Swiss Technology)	Limited colors available (Low Brightness & Chroma)	Limited colors available (Low Brightness & Chroma)
Discoloration resistance	Excellent	Good	Normal
Crack & Peeling	None	None	Can be caused by UV over 1~2 years
Moisture discharge from structure	Excellent (Humidity inside the structure can stay around 10+%)	N/A	N/A
Elasticity	Excellent Stays flexible between -40℃ ~90℃	Good	Normal
Durability & Scratch	Good : UV improves Elasticity, Hardness can be achieved with extra coating	Good	Good
Texture	Rough texture (Roller) Smooth texture (Airless spray)	Smooth texture	Smooth texture

Table 2. Result of 3 Models' Temperature in Summer & Winter

Temperature(℃)	Urethane		Vacuum ceramic		Polyurea		
	Sum mer	Winter	Sum mer	Winter	Sum mer	Winter	
Max	Exterior surface temperature	61.6	42.1	53.5	30.6	62.0	44.7
	Inner surface temperature	56.4	43.1	50.9	27.8	59.9	41.4
	Indoor upper temperature	48.4	30.4	46.3	23.9	47.6	30.5
	Indoor lower temperature	47.2	20.4	36.8	18.1	38.8	20.7
Outdoor temperature	Summer: 37.2℃, Winter: 18.3℃						
Min	Exterior surface temperature	23.3	0.8	23.1	0.3	23.1	0.4
	Inner surface temperature	23.1	2.7	23.6	0.8	23.6	1.1
	Indoor upper temperature	25	2.3	24.5	2.1	25	2.2
	Indoor lower temperature	27.5	2.3	25.2	2.4	25	2.2
	Outdoor temperature	Summer: 24.4℃, Winter: 4.3℃					
	Avg	Exterior surface temperature	34.6	13.2	33.4	11.5	35.6
	Inner surface temperature	36.1	17.4	33	11.4	35.9	13.4
	Indoor upper temperature	33.6	12.6	32.4	11.7	33.6	12.6
	Indoor lower temperature	34.9	11.3	29.8	10.9	30.8	11.3
	Outdoor temperature	Summer: 29.3℃, Winter: 11.4℃					

Table 3. Result of 3 Models' Thermal Transmittance in Summer & Winter

Thermal Transmittance (W/m ²)	Urethane		Vacuum ceramic		Polyurea	
	Sum mer	Winter	Sum mer	Winter	Sum mer	Winter
Max	164.2	163.6	83.1	45.4	177.2	185.1
Min	-14.3	-16	-14.8	-19	-17.6	-18.7
Avg	35.6	13.5	15.5	-2.5	36.7	12.3

의 열류가 흐르지 않음을 알 수 있었다.

쿨루프 시험체에 대한 동계기간동안의 열류를 측정 결과 표 3에 따르면 외기온도 18.3℃의 최댓값을 보일 때, 최대 열류는 진공세라믹 도막 45.4W/m², 우레탄 도막 163.6W/m², 폴리우레아 도막 185.1W/m²를 보여 차열성능을 가진 진공세라믹 차열도료가 폴리우레탄이나 폴리우레아 방수용 도료보다 3.6~4.1배의 열류가 흐르지 않아 단열효과를 나타내었다.

따라서 진공세라믹 도료는 10~120μm 사이즈의 특수 코팅된 내부가 진공인 세라믹 비드 형태의 마이크로 스피어 구조로 이루어지기 때문에 태양열에 의한 반사기능과 차열 및 단열 기능을 갖춘 복합화 구성체의 결과라 볼 수 있다(박민용, 2020).

4. 쿨루프 정책의 확대 방안

4.1 쿨루프 차열도료의 복합성능화

현재 국내 쿨루프에 대한 설치기준은 단순히 산업통상자원부 공고 제2015-678호 “에너지이용합리화사업을 위한 자금지원 지침(2015.12.28.)”의 건물에너지절약 및 공조설비 부문 중 ‘차열도료(Cool Roof)’ 항목에서 태양열 반사율이 초깃값 0.65 이상인 도료에 한함으로 명기될 뿐 구체적이고 세부적인 기준이 없는 실정이다.

이에 국내 쿨루프에 사용되는 대부분의 도료는 태양열 반사율이 높은 백색도료를 한정해서 사용하고 있다. 그러나 모든 건축물의 옥상에 흰색을 획일하게 칠하는 것은 도시 경관상 색채의 선택에 자유롭지 못하여 도시의 경관미를 저해할 수 있으며, 건물 옥상에 설치된 휴식공간에서 백색도료에 의한 현취 현상으로 사용자의 눈 피로 발생 등의 불만이 생기기도 한다.

현재 국내에서 CRRC(Cool Roof Rating Council; 미국쿨루프 평가위원회)에 등록된 도료는 국내 N사의 10개 도료가 있다. 이 중에서 국내 차열도료의 규정으로 태양 반사율이 초깃값 0.65 이상을 만족하는 제품은 5개 제품으로 도료의 색은 흰색(White), 밝은 회색(Light Grey)뿐이다. 그 외 녹색(0.30)이나 회색(0.57) 등의 도료는 태양 반사율기준에 미달됨을 보여주고 있다. 반면에 태양 반사율이 초기 값 0.65 이상을 만족하는 제품 중에서 국외 캠퍼 시스템사(Kemper System America, Inc.)의 도료는 녹색(0.72), 홍색(0.76)이 있으며, 텍스처 코팅사(Texture Coatings of America)의 도료는 녹색(0.75), 청색(0.76)에서도 높은 반사율을 보이고 있어 도료의 성분에 따라 다양한 색을 연출할 수 있음을 알 수 있다.

따라서 흰색 계통의 차열도료만이 쿨루프에 만족하다 함은 모순됨을 보여주고 있어 향후 건물 옥상에 설치하는 휴게공간에

는 백색 도료가 아닌 태양 반사율이 높은 다양한 색채를 사용할 수 있어야 한다. 그러나 쿨루프로 인하여 발생하는 부작용인 난방페널티(Heating penalty)에 대한 에너지손실은 고려되어야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 건축도료시장에서는 마이크로 셀 및 나노 기술의 도입을 통해 세라믹 입자들 배열하여 세라믹 중공층을 형성시켜 쿨루프의 성능을 지닌 차열도료와 단열성능을 겸비한 다기능성 도료가 등장하였다. 이는 옥상 표면의 심한 온도 변화로 인한 구조적인 변형을 방지하고 건물에 축적된 열을 줄여 공기 유동을 적게 하여 냉방부하뿐만 아니라 난방부하를 줄일 수 있는 시너지 효과를 나타내고 있다(박민용, 2019).

현재 국내에서 차열과 단열 성능을 겸비한 도료로는 E사의 나노세라믹 클리마 쿨루프와 N사의 에너지세이버 등의 차열도료가 생산 중에 있다.

따라서 쿨루프에 사용되는 차열도료는 태양 반사율 0.65 이상의 조건에 충족되는 다양한 색채로 개발되어야 한다. 그리고 차열도료의 한계를 뛰어 넘어 난방 페널티에 대응하는 단열성능을 확보하고 방수와 방음 등의 성능을 가진 복합화 도료로 이루어져 건축물 부위의 결로 방지와 에너지효율 향상에 기여해야 한다.

4.2 쿨루프 도료의 설치범위 확대

4.2.1 쿨월(Cool Wall)

쿨루프의 용어에서와 같이 태양열의 복사를 차단하는 건축물 부위는 지붕이나 옥상으로 한정되어 있다. 이와 같이 지붕으로 한정되는 것은 미국이나 유럽 등에서와 같이 주로 건물의 형태가 저층 규모의 주거용 건물이나 상업용의 건축물로서 구성되어 있기 때문이다. 예를 들면 미국 로렌스 버클리 국립연구소와 오크리지 국립 연구소에서 2011년도 발표한 RSC(Roof Savings Calculator) 프로그램은 전제 건물 에너지 시뮬레이션을 사용하여 저층규모의 상업용 및 주거용 건물을 위한 지붕에 대한 에너지절약 해석프로그램으로 구성되어 있다.

그러나 국내의 건축물 형태는 국외의 저층형 건물과 다르게 고층규모의 아파트와 상업용 건물로 이루어져 건물의 세장비가 높아 건물의 옥상면적이 매우 적어 태양의 복사열을 차단하기에는 냉각역할이 매우 부족하다. 따라서 태양의 일사량을 차단하여 쿨루프와 같은 효과를 얻기 위해서는 건축물의 외벽으로 확대하여 차열 및 단열 효과를 얻을 수 있도록 강구해야 한다.

건축물의 외벽에 대한 방위별 수직면 일사량은 표 4에서와 같이 차열 도료를 사용하기에 유리한 외벽순서는 서측 → 동측 → 남서측 → 동남측 → 남측 → 북동측 → 서북측 → 북측으로

Table 4. Vertical Plane Solar Radiation by Azimuth (W/m²)

Azimuth	S	SW	W	WN	N	NE	E	ES
Avg. vertical solar radiation	256	329	340	211	138	243	336	325

Source: Ministry of Land, Infrastructure and Transport; Korea Energy Agency, Specification for Energy Conservation Design of Buildings, p.43 (2020)

나타났다.

따라서 건축물의 태양 복사열을 차단하는 차열효과와 건축물 부위의 열류를 차단하는 단열효과를 복합화한 친환경 도료를 사용하여 지붕에서 사용되는 쿨루프와 건축물의 창호를 제외한 외벽에서 사용되는 쿨월을 적용할 때 하계에는 냉방부하를 감소하고 동계에는 결로 방지와 콜드 드래프트(Cold Draft) 현상을 방지하는 단열효과 등의 에너지 효율 향상을 높일 수 있다.

4.2.2 쿨페이브먼트(Cool Pavement)

지구의 온난화에 따른 도시의 열섬효과를 파악하기 위해서는 다양한 도시를 구성하는 건물이나 도로나 식생 등의 다양한 도시 표면의 비율을 정확하게 추정하는 것이 중요하다.

미국 내 4개 도시에 대한 도시표면의 구성체 비율은 표 5에서와 같이 식생이 적은 세크라멘토와 시카고의 경우 지붕면적은 20%~25%를 보이는 반면, 페이브먼트 면적은 37%~45%의 높은 면적을 보여 도시표면 전체의 1/3 이상을 보여주고 있다. 4개 도시표면 면적에 대한 평균비율을 살펴보면 페이브먼트 면적이 36.8%로 가장 높고 식생면적 29.4%, 지붕면적 22.0%, 기타 11.8%를 나타내고 있다.

미국 4개 도시에 대한 페이브먼트 구성체 면적의 비율은 표 6에서와 같이 도로가 차지하는 비율은 세크라멘토의 경우 59%로 가장 높고 휴스턴은 33%로 가장 낮게 나타났다.

주차장의 면적은 이와 반대로 세크라멘토의 경우 29%로 가장 낮고 휴스턴은 60%로 가장 높게 나타났다. 4개 도시 표면 면적에 대한 평균 비율은 도로가 47.5%로 가장 높고, 주차장 41.5%, 보도 11.0%로 나타났다. 그러므로 도시의 열섬현상을 방지하는 방안으로 태양의 복사열을 차단하는 쿨루프의 효과도 우수하지만 도시표면을 둘러싼 페이브먼트의 면적이 지붕의 면적보다 약 1.7배 넓으므로 도시내의 도로와 주차장과 보도표면에 쿨페이브먼트로 확대할 경우 도시의 열섬효과를 감소시키는 효과가 크다고 볼 수 있다.

EPA(미국 환경보호청)는 “도시 전체의 페이브먼트 반사율을 10%에서 35%로 증가시키면 기온이 잠재적으로 0.6℃ (1°F) 낮아

Table 5. Land Cover Percentages in Four Urban Areas

Urban Area	Pavement	Vegetation	Roofs	Other	Total
Sacramento	45	20	20	15	100%
Chicago	37	27	25	11	100%
Salt Lake City	36	33	22	9	100%
Houston	29	37	21	12	100%
Average	36.8	29.4	22.0	11.8	100%

Source: Rose et al. (2003)

Table 6. Percentage of Pavement Area by Type of Use

Urban Area	Roads	Parking	Sidewalks	Total
Sacramento	59	29	12	100%
Chicago	50	42	8	100%
Salt Lake City	48	35	17	100%
Houston	33	60	7	100%
Average	47.5	41.5	11.0	100%

Source: Rose et al. (2001a; 2001b; 2003)

질 수 있다고 보고되고 있으며, 로스앤젤레스 지역에서 페이브먼트의 알베도(Albedo)를 증가시키면 온도 감소로 인하여 연간 9천만 달러를 절감할 수 있는 보고서도 있다(EPA, 2012).

이와 같은 효과를 획득하기 위하여 미국 LA시에서는 2019년 그린 뉴딜 정책에 의거 2025년까지 도시지역과 전원(rural)지역과의 온도 차이를 1.7°F 줄이고 2035년까지 3°F를 줄이는 정책을 제시하였다(그림 3).

이에 대한 일환으로 2020년도에는 신축건물의 지붕은 의무적으로 쿨루프로 하며, 2021년까지는 기존의 지붕 13,000개를 리모델링 쿨루프로 설치하도록 하였다.

또한 쿨페이브먼트 정책으로 2028년도까지 도로 차선을 250마일을 포장하여 도시의 열섬효과 완화에 나섰다. 그러나 LA시는 이전부터 지속가능 도시발전의 환경정책을 펼쳐서 2016년도 설치된 도로를 반사율이 높은 쿨페이브먼트로 교체하여 알베도를 향상시키기도 하였다.

또한 2019년 중동지역의 카타르에서는 도하(Doha)시에 시범적으로 기존의 아스팔트 도로에 200m 쿨페이브먼트를 설치하여 아스팔트 도로와 쿨페이브먼트 도로의 온도를 구별하여 일반인들에게도 홍보용 쿨페이브먼트의 정책을 펴고 있다. 기존 아스팔트 도로의 포장 재료는 여름철 최고 기온 48~67℃ (120 - 150°F)에 도달하여 과도한 열을 그 위에 있는 공기로 전달하고 포장도로에서 지역 수로로 흘러가는 빗물을 가열하기도 한다. 따라서 도시기후의 열섬현상을 감소시키기 위해서는 도

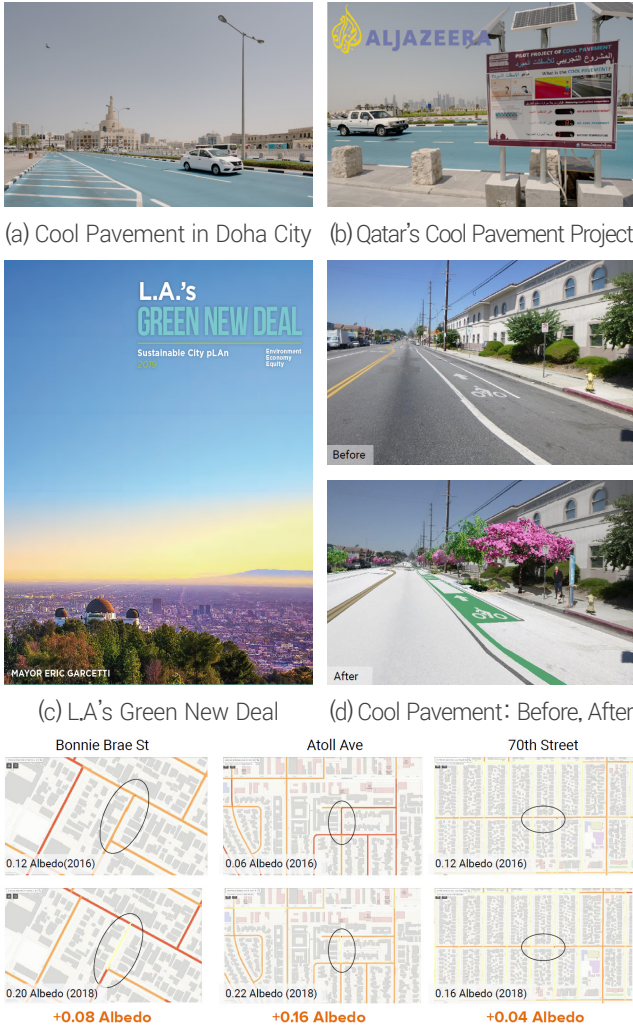


Fig. 3. Cool Pavement Policy in Foreign Country

시 지역에서 가장 넓은 면적은 도로와 주차장과 보도를 포함하는 페이브먼트의 면적으로 약 37%(미국 내 4개 도시 평균) 이상을 차지하므로 쿨페이브먼트 정책은 필요한 사항이다.

5. 결론

본 논문에서는 차열능력이 우수한 친환경 세라믹 도로와 기존의 옥상방수용으로 사용되는 도로의 열적 특성을 비교 검토하여 쿨루프의 설치 범위를 확장하여 건축물에서의 쿨월과 도심지에서의 쿨페이브먼트의 확대방안에 대한 타당성을 제시하고자 하는 결과는 다음과 같다.

1) 쿨루프 시험체 지붕의 외표면 온도에 대한 연중 측정결과 외기의 최댓값을 나타낼 때, 시험체 지붕 외표면 온도 차이는 친환경 진공세라믹 차열도료가 우레탄 방수도료나 폴리우레

아 방수도료보다 하계 8.1℃~8.5℃, 동계 11.5℃~14.1℃의 온도 차이를 보여, 태양열 차단에 대한 효과는 친환경 진공세라믹 차열도료가 가장 우수함을 알 수 있었다.

2) 쿨루프 시험체 지붕의 열류에 대한 연중 측정 결과 외기의 최댓값을 나타낼 때, 친환경 진공세라믹 차열도료가 우레탄 방수도료나 폴리우레아 방수도료보다 하계 2.0배~2.1배, 동계 3.6배~4.1배의 차이를 보여 친환경 진공세라믹 차열도료가 가장 우수함을 알 수 있었다. 따라서 친환경 진공세라믹 도료는 10~120 μ m 사이즈의 특수 코팅된 내부가 진공인 세라믹 비드 형태의 마이크로 스피어 구조로 이루어지기 때문에 태양열에 의한 차열 및 열손실의 단열 기능을 겸비한 복합화 구성체로서 쿨월이나 쿨페이브먼트용 도로에 적합함을 알 수 있다.

3) 열섬현상을 감소시키는 방안으로 쿨루프의 효과도 크지만 건축물에서 외피면적이 가장 많은 곳은 건물외벽이므로 국내 일사량이 높은 서측과 동측과 남서측 벽면에서는 태양의 반사율 0.65 이상으로 충족하고 디자인을 고려한 다양한 색채도료가 유리하다. 이에 따라 태양 복사열을 차단하는 다양한 색채의 반사율이 높은 차열효과와 건축물 부위의 열류를 차단하는 단열효과를 복합화한 친환경 도료를 사용하여 쿨월을 적용할 때 하계에는 냉방부하를 감소하고 동계에는 결로 방지와 쿨드 드래프트 현상을 방지하는 단열효과 등의 에너지 효율 향상을 높여 제로에너지빌딩 시대에 유리하다고 볼 수 있다.

4) 도시 전체 표면면적에서 가장 많은 비율을 차지하는 페이브먼트 면적은 도시 내 지붕의 면적보다 약 1.7배 정도 높아 열섬현상을 감소시키기 위한 건물에 국한하는 쿨루프의 정책으로는 미비하다고 볼 수 있다.

이에 따라 쿨루프의 설치범위를 확장하여 도시 내의 도로와 주차장과 보도표면에 쿨페이브먼트 정책을 확대할 경우 도시기후의 열섬현상을 충분히 감소시킬 수 있으므로 기존의 쿨루프 정책을 확대할 필요성은 크다고 본다.

참고문헌

1. 박민용(2019), “냉방부하 저감 위한 쿨루프 현황과 문제점에 대한 개선방안”, 『한국친환경설비학회논문집』, 13(2): 142-152.
2. 박민용(2020), “옥상방수도료와 진공세라믹 차열도료의 쿨루프에 대한 열적 특성비교”, 『한국친환경설비학회논문집』, 14(1): 32-41.
3. 산업통상자원부(2015), “에너지 이용 합리화 사업을 위한 자금지원 지침”, 산업통상자원부 공고 제2015-678호, 24.
4. 국토교통부, 한국에너지공단(2020), “건축물의 에너지절약설계기준 해설서”, p.43.

5. Akbari, H., L. S. Rose and H. Taha (1999), "Characterizing the fabric of the urban environment: A case study of Sacramento, California", (Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-44688). Berkeley, CA (December).
6. Akbari, H., S. Menon and A. Rosenfeld (2009), "Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂", *Climatic Change*, 94: 275 – 286.
7. EPA (2012), Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Cool Pavement, p.23.
8. Konopacki, S. J. and H. Akbari (2001), "Measured energy savings and demand reduction from a reflective roof membrane on a large retail store in Austin", Lawrence Berkeley National Laboratory.
9. Rose, L. S., H. Akbari and H. Taha (2003), "Characterizing the fabric of the urban environment: A case study of Greater Houston, Texas", *Lawrence Berkeley National Laboratory Report* LBNL-51448.
10. Rose, L. S. and H. Akbari (2001a), "Characterizing the fabric of the urban environment: A case study of Metropolitan Chicago, Illinois", *Lawrence Berkeley National Laboratory Report* LBNL-49275.
11. Rose, L. S. and H. Akbari (2001b), "Characterizing the fabric of the urban environment: A case study of Salt Lake City, Utah", *Lawrence Berkeley National Laboratory Report* LBNL-47851.