기후변화 적응을 위한
폭염대응시설 설치 및 관리(쿨루프) 가이드

2024. 5.

환경부
Ministry of Environment

KACCC
국가기후변화적응센터

적용 시 유의사항

■ 본 가이드는 환경부의 「기후변화 취약계층 지원사업」으로 선정된 사업지역의 원활한 추진과 실효성 제고를 위하여 관련 필요 절차와 내용 등을 제공하기 위해 마련됨

■ 본 가이드를 통해 전체적인 사업의 일관성과 효율성을 제고하는 동시에 기후위기 대응 기후변화 취약계층의 안전한 기후·환경 조성을 구축함

■ 본 가이드는 보편적인 현장 상태와 관련기준을 바탕으로 마련한 것이므로 각 대상지역의 현장특성과 행정 여건에 따라 신축성 있게 조정하여 적용 가능함

■ 더불어 기본·실시설계 시 관련규정 등의 변경사항, 현장여건 및 주변 환경조건 반영, 신공법 및 최신기술 적용 등 설계·시공·공사비 면에서 보다 효과적이고 효율적인 대안이 검토되었을 경우에는 이를 적극적으로 반영할 수 있음

가이드의 내용은 관련기준 및 기술개발 등의 변화를 고려하여 갱신·보완 가능

▎문의 : 환경부 김영민 주무관, 한국환경연구원 국가기후위기적응센터 김태형 책임연구원, thkim@kei.re.kr / 044-415-7789 ▎

Ⅰ 사업 개요

1 배경 및 목적

○ 도시의 쇠퇴·노후화, 고령화, 인구감소 등의 여건변화와 기후위기에 따른 노출 증가로 국민의 안전·안심사회 요구 증대

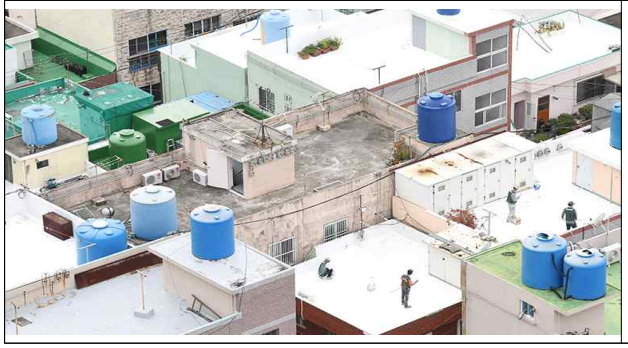
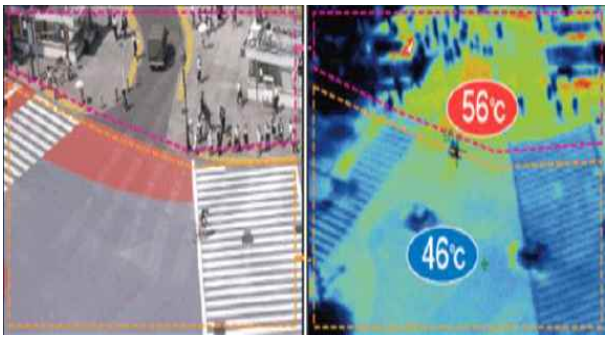
- 특히, 폭염 등 이상기후 빈도 증가로 저소득층, 어린이, 독거노인 등의 취약층은 기후변화 영향에 취약성 가중으로 피해 심화 예상

* 국내 평균 폭염일수 : ('80년대)8.2일→('90년대)10.8일→('00년대)10.4일→('10년대)13.7일

○ 도시화로 인한 식생 피복면적의 감소, 건축물의 배치·구조로 인한 태양열 반사율의 감소 등 다양한 원인으로 도시지역의 열섬현상 발생

⇨ 건축물의 지붕(또는 외벽) 표면에서의 일사량 조절 등 도달하는 열의 반사율을 높여 표면온도 저감에 따른 열성능 향상 가능

< 차열사업 : 쿨루프(건물지붕·외관), 쿨페이브먼트(바닥포장) >

쿨 루프(Cool Roof)	쿨 페이브먼트(Cool Pavement)
건물 지붕에 태양열을 반사하는 페인트를 시공하여 태양복사열의 축적을 감소시켜 지붕표면 및 실내 온도를 감소	보도블럭이나, 도로표면에 차열도료 또는 차열 보도블록을 시공하여 지표면에 열의 축적을 저감
	

2 차열기술 적용효과

○ 평균적으로 검정색 표면 대비 표면온도 28~33℃ 저감* 및 실내 온도 약 1~3℃정도**를 저감시켜 냉방에너지 절감과 이산화탄소 배출 감소 (EPA, 2008, GCCA 2012)

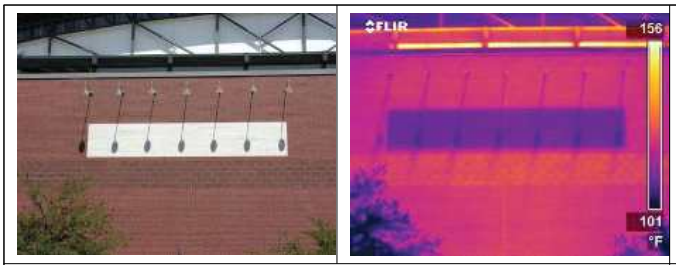
* 미국 EPA('08) 도시열섬저감전략(쿨루프), ** GCCA('12, 미국 쿨루프 인증시험기관)

○ 온도의 변동을 줄여 지붕의 재료와 장비의 수명연장

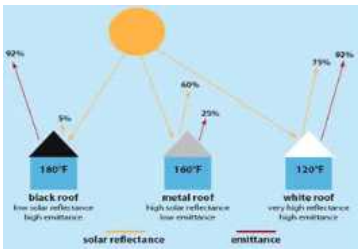
○ 비슷한 비용으로 차열성 소재를 사용하여 열쾌적성 제고

【참고사례】

○ 표면 색깔에 따른 온도차이 및 태양열 반사율(EPA, 2008)



<표면의 색깔에 따른 온도차이>

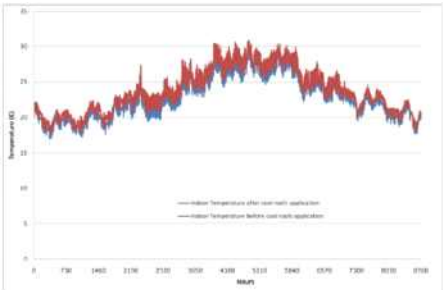


<지붕 색깔에 따른 태양열 반사율>

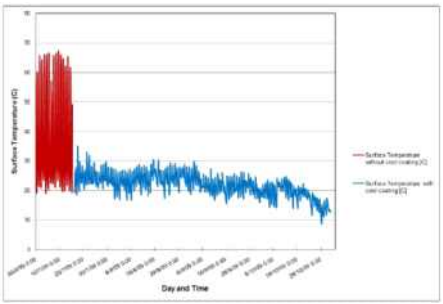
※ 미국 애리조나에서 알베도에 따른 여름철 표면온도를 비교한 결과, 기존의 일반적인 건축물 외벽의 경우 기온이 최대 165-185°F(74-85℃) 사이인 것으로 나타났으며, 알베도가 높은 옥상의 표면온도는 약 110-115°F(43-46℃) 사이인 것으로 나타남

○ 열 반사율을 높임으로써 흡수되는 열 저감하여 건축물 표면 및 실내온도 저감(European Cool Roofs Council, 2010)

▪ 쿨루프 효과 모니터링 사례(그리스 Crete, Iraklion의 연구소 건물)



실내온도 모니터링 결과(연중)
(붉은선: 쿨루프 전, 파란선: 쿨루프 후)



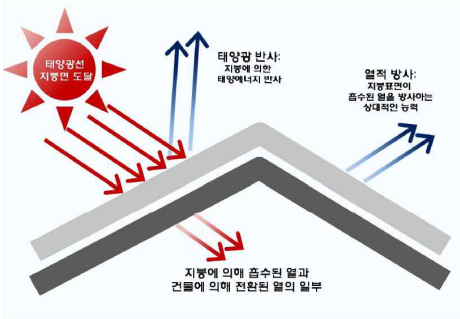
지붕온도 모니터링 결과(6~10월)
(붉은선: 쿨루프 전, 파란선: 쿨루프 후)

< 차열기술 정의 및 작용 메커니즘 >

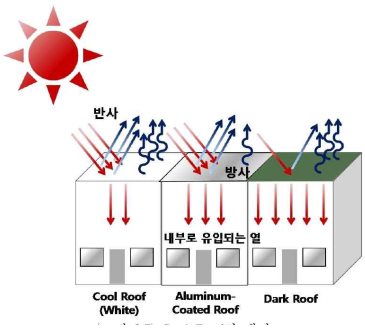
○ 고반사율의 도료나 재료를 건물의 지붕면 또는 외벽면에 적용하여 태양 복사에너지의 흡수를 최소화

- 열 방출을 최대함으로써 높은 반사율(태양에너지의 반사 비율)과 방사율(복사열의 전달과 관련되는 저장열의 방출 비율)을 갖는 열적 특성으로 인해 일반적인 지붕, 외벽보다 표면온도를 낮게 유지하게 만드는 시원한 지붕(Cool roof)을 의미

○ 지붕 또는 외벽에 밝은 색으로 바꾸면 표면의 반사율이 높아져 외장표면에 직접적으로 흡수되는 태양 복사에너지를 감소시켜 건물내부로 유입되는 열을 줄임

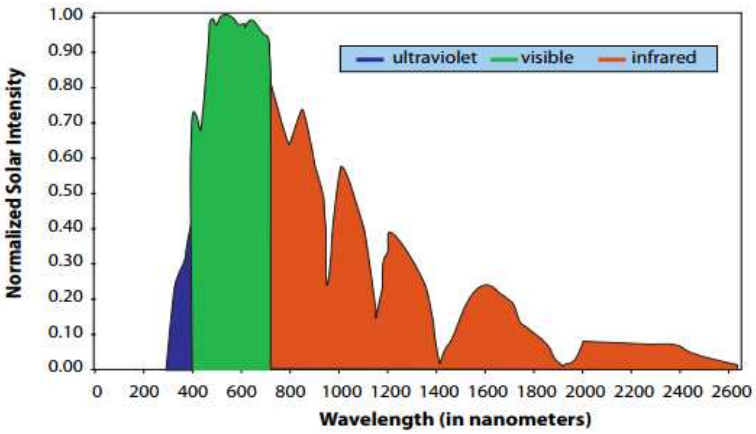


< 건물 지붕에서의 열성능 관계 >



< 차열기술(쿨루프) 개념 >

○ 즉, 태양에너지 중 비중이 높은 가시광선과 근적외선 파장 영역을 반사할 수 있는 차열성 원료를 적용하여 태양복사에 따른 열을 효과적으로 차단



< 여름철 지표면에 도달하는 태양광 파장영역 및 강도>

(US EPA. 2008. Reducing Urban Heat Islands: Cool Pavements)

○ 차열 기능은 반사되는 빛의 양과 열을 얼마나 효율적으로 방출하는 지로 측정, 열로 변환되는 빛의 양을 최소화하고 방출되는 열의 양을 최대화

⇨ **냉방시설이 미흡한 건물의 실내온도를 약 1~3℃ 정도 저감 효과**

Ⅱ 국내 · 외 사례 조사

○ 국내는 환경부 취약계층 지원사업 형태(차열사업)로 추진 중이며, 미국과 일본은 국내보다 먼저 도입하여 확대 중

- **(국외)** 쿨루프 인증 프로그램·성능기준으로는 미국의 CRRC(Cool Roof Rating Council), Energy Star, LEED(Leadership in Energy and Environmental Design) 등과 일본 JIS K5675(차열도료) 등이 대표적

  ▶ 해외 인증 프로그램에서의 성능 조사결과, 일반적으로 태양열 반사율(solar reflectance) 0.65~0.7 이상, 방사율(thermal emittance) 0.75 이상

※ 쿨루프의 성능은 태양열 반사율(solar reflectance)과 열 방사율(thermal emittance)로 성능을 결정하며, 일부 SRI(Solar Radiation Index) 기준 적용 또는 상호보완적 사용

<해외 쿨루프 성능기준>

구 분			년도	경사	SR(ini.)	SR(3yr)	TE(ini.)	TE(3yr)	SRI(ini.)	SRI(3yr)
관련법	ASHRAE	90.1	2007	-	0.7	-	0.75	-	82	-
		90.2		-	0.65	-	0.75	-	75	-
	IECC	commercial	2006	-	0.7	-	0.75	-	-	-
		residential		-	0.52	-	0.9	-	-	-
프로그램	LEED	Ver.3	2009	low	-	-	-	-	84	64
				steep	-	-	-	-	39	32
	Energy Star		2007	low	0.65	0.5	-	-	-	-
				steep	0.25	0.15	-	-	-	-
	Green Globes		2004	-	0.65	-	0.9	-	-	-
	ASHRAE 189.1		2010	low	-	-	-	-	78	-
				steep	-	-	-	-	29	-
지역기준	California Energy Commission		-	low	0.55	-	0.75	-	64	-
				steep	0.2	-	0.75	-	16	-

- **(국내)** 업계(한국페인트 · 잉크공업협동조합)에서 지붕용 태양방사 차열도료에 대한 단체표준(SPS-KPIC 5020-7316:2018) 마련하여 운영중(산업표준화법 제27조(단체표준의 제정 등))

  ▶ 건축물 외부의 지붕에 도장하여 태양방사를 효과적으로 반사함으로써 건축물 내부의 온도상승을 억제하는 목적으로 특수한 재료를 사용하는 차열도료에 대한 단체표준

< 참고 > 지붕용 태양방사 차열도료에 대한 단체표준 품질기준

< 지붕용 태양방사 차열도료 품질기준 >

항 목		품 질		
		1급	2급	3급
용기 내에서의 상태		덩어리, 응결, 피막 등이 없을 것		
VOCs 함량 (g/L)	1종	70 이하		35 이하
	2종	450 이하		
건조 도막의 외관		흐름, 균열, 주름 등이 없을 것		
비휘발분 (%)		제조사 제시 값 ±3		
건조시간 (고화, h, 23℃)		8시간 이내		
색상		지정색과 거의 차이 없을 것		
근적외선 반사율 (%)	저명도 (L-값: ~40)	40 이상		
	중명도 (L-값: 40~80)	L-값 이상		
	고명도 (L-값: 80~)	80 이상		
내충격성 (500 g x 50 cm)		갈라짐, 벗겨짐 등이 없을 것		
부착성		1 이하		
내산성		갈라짐, 벗겨짐, 팽창 등이 없을 것		
내알카리성		갈라짐, 벗겨짐, 팽창 등이 없을 것		
내습성 (AHT 24 h)		내습성 시험에 견딜 것		
촉진내후성 (Xenon)	관찰 평가	갈라짐, 벗겨짐, 팽창, chalking이 없고 퇴색, 변색이 크지 않을 것		
	시간 (h)	2,500	1,200	600
	광택 유지율 (%)	80 이상		-
	근적외선 반사 유지율 (%)	80 이상		
* VOCs는 2020년 이후 환경부 고시에 따라 1종의 1급, 2급은 65 이하, 2종은 410 이하 조정				

자료 : SPS-KPIC 5020-7316:2018

<품질 측정 시험방법>

구 분	시험방법
시료채취방법	KS M ISO 1513
용기 내 상태	KS M 5000 시험방법 2011
건조 도막 외관	KS M 5000 시험방법 2421
비휘발분	KS M ISO 3251
건조시간	KS M 5000 시험방법 2511의 4.4 및 2512
VOCs 함량	KS M ISO 11890-1, KS M ISO 11890-2
촉진내후성	KS M 5000 시험방법 3231, KS M ISO 4892-1, KS M ISO 4892-2
색상	KS M 5000 시험방법 3011, KS A 0066
광택	KS M ISO 2813
광택유지율	광택유지율(%) = (촉진내후성 시험 후 광택 / 초기광택) * 100
부착성	KS M ISO 2409
근적외선 반사율	KS M 5987의 5.4
반사유지율	반사유지율(%) = (촉진내후성 시험 후 반사율 / 초기반사율) * 100
내습성	KS M ISO 6270-1, KS M ISO 6270-2
내산성	KS M ISO 2812-1
내알카리성	KS M ISO 2812-1
내충격성	KS M ISO 6272-1, KS M ISO 1514(금속판 시험편 사용 시)

자료 : SPS-KPIC 5020-7316:2018 내용정리

Ⅲ 사업단계 및 설치 · 관리 시 고려사항

1 추진단계 및 절차

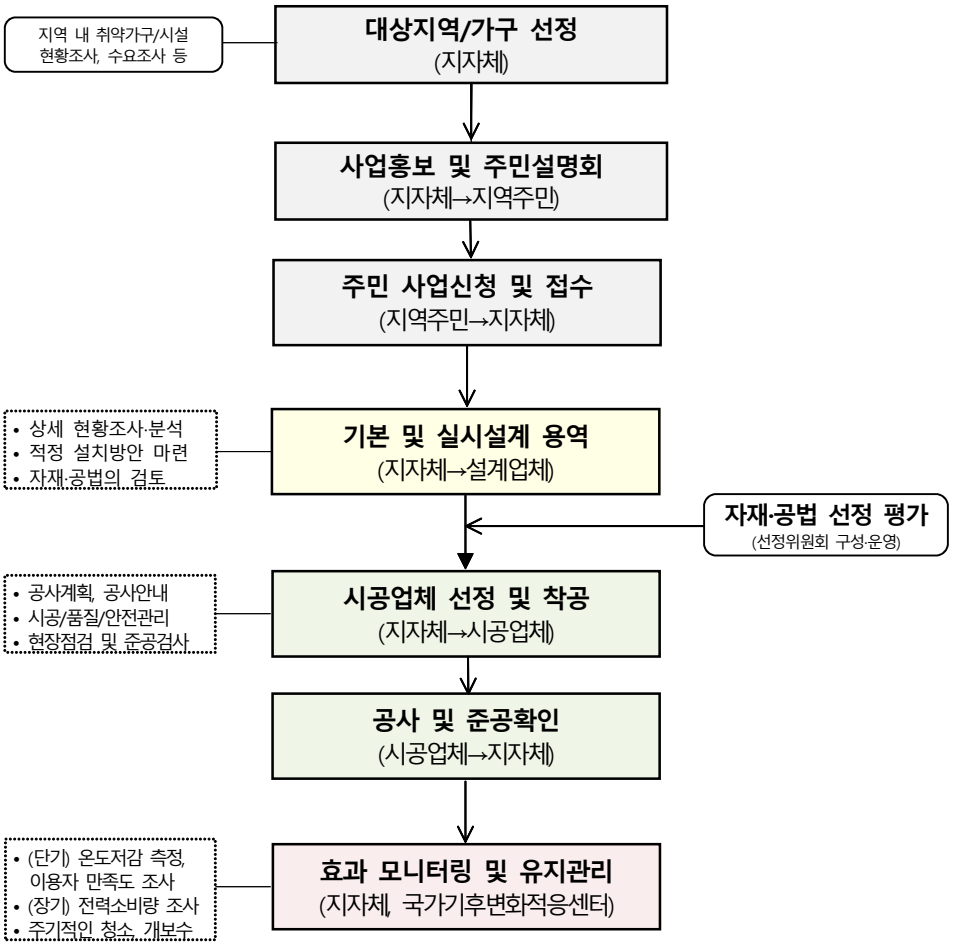
○ **(적용기술·시설)** 저소득가구, 노인·어린이 등 이용시설(경로당, 복지센터 등)의 건축물 지붕 또는 건축물 외벽에 차열기술 적용(세부 적용입지 : 붙임참조)

- 차열*기술은 기능성 차열페인트(실리카, 세라믹 등)를 통해 건축물 외부 도장면이 받는 태양광을 반사시켜 열의 유입을 차단하여 실내 온도 저감을 통한 냉방효율 개선과 에너지비용 절감 등을 위한 사업

* 차열(heat blocking, 열차단) : 열을 반사하여 열의 흡수를 차단

○ **(추진절차)** 일반적으로 대상가구 조사, 주민설명·신청, 실시설계, 자재·공법 선정, 시공·준공, 모니터링 및 사후 유지관리 순으로 수행

< 쿨루프 추진절차(예시) >



○ **(대상가구 선정)** 지역 내 폭염에 따른 취약계층의 주거환경 또는 이용시설(아동, 고령자 등) 대한 취약현황·조건을 종합 고려하여 우선대상 선정

※ 고온·폭염현상 등 기후변화로 인한 취약계층의 기후탄력성과 적응능력 향상에 초점

○ **(쿨루프 시공방식·방법)**

- **시공방식** : 수성 또는 유성 도료를 포장면에 코팅(Coating)하는 방식
- **시공방법** : 바닥면 기초작업 → 하도작업 → 중도작업(방수상태에 따라 결정)→ 상도작업 순으로 시공, 각 순서별 시공내용은 아래의 표 참조

시공순서	시 공 내 용
기초작업	• 바탕면의 유분·수분·모래·먼지 등 이물질을 완전히 제거 후 평탄성 유지 • 하도의 흡수가 심한 소지는 하도를 추가 도장하여 부착력 향상 • 기존 우레탄 도장이 되어있는 포장면은 에폭시 하도 작업을 필수적으로 실시하거나 우레탄 제품 사용
하도작업	• 크랙이나 균열부위, 벽면과 바닥면의 접합부위는 하도 도장 후 보강 • 주제, 경화제를 혼합 후 롤러 등을 이용하여 바닥면에 도포
중도작업 (방수층)	• 하도 도장 후 일정시간 경과 후 도료를 롤러나 스프레이로 도장 • 재도장 간격은 온도 및 재료에 따라 상이
상도작업	• 중도 도장 후 일정시간 경과 후 도료를 롤러나 스프레이로 도장 • 재도장 간격은 온도 및 재료에 따라 상이

하도작업		중도작업		상도작업
(주변정리 및 청소) 폐기물 정리, 우레탄막 제거 **(프라이머 작업)** 바닥균열, 홈 메우기	⇨	**(초벌작업)** 바닥면 고르게 정리 **(중도작업)** 방수층 형성	⇨	**(도장 작업)** 중도 보호를 위한 코팅 **(차열페인트 시공)**

방수상태 여부로 결정

< 쿨루프 시공방법(예시) **>**

<쿨루프 시공 전후 옥상 표면>

<쿨루프 롤러 코팅 및 시공 전경>

② 설치 · 관리 시 고려사항

○ **(설계 전)** 대상지역 내 건물의 현황과 주변환경 조건을 파악하여 차열 적용에 부합하는 대상건물 선정 필요

- 건물연수, 건물유형·기능, 옥상의 경사형태, 옥상방수상태 및 균열여부, 옥상 지장물 현황, 주변 건물밀도, 주변건물과의 높이 차이, 그늘존재 여부, 건물 냉·난방시설 종류 등 조사

- 대상지역 주민을 대상으로 사업취지, 사업효과, 설치사례 및 공사내용 등의 충분한 설명과 의견수렴을 수행한 후 주민신청·동의과정 필요

○ **(설계 시)** 선정된 대상가구에 대한 상세 현황조사를 바탕으로 관련연구·설치사례, 관련공법·제품현황 및 사업효과 추정 등을 통해 지역특성에 부합하는 최적의 설치·관리방안 마련

- 시공규모, 공법·제품 등의 면밀한 조사를 통해 사업비 단가의 합리성과 공사시기 등 공정의 적절성 마련

- 쿨루프 적용에 따른 눈부심으로 다른 주변 건물에 영향을 주지 않도록 하며, 다양한 색상을 고려하여 눈 피로 방지 필요(옥상 휴식공간 활용)

※ 다양한 색상으로도 높은 태양 반사율을 획득할 수 있는지에 대해 검토 필요

- 쿨월 적용(벽면도장) 시 차열페인트의 효과를 확보할 수 있도록 하절기 기준 햇빛 노출이 있는 면에만 시공 필요

○ **(공법·자재 선정)** 쿨루프 성능에 부합하고 대상건물 및 주변환경 여건에 적합한 공법과 제품을 객관적으로 선정하여 설계에 반영

- 아래의 쿨루프 공법·제품 선정을 위한 판단기준을 바탕으로 비교표 등을 작성하여 적합성 등 검토

- 필요시 제품의 객관성 제고를 위하여 전문성과 경험이 풍부한 전문가 등을 구성하여 현장조건·사업효과에 부합하는 공법·제품선정 평가

<쿨루프 공법·제품 선정 시 판단기준>

① 지붕·옥상용 차열도료 여부
② 쿨루프 성능인증(CRRC, Energy star, JIS, 등 기타)
③ 시험성적 기반 성능사항(반사율/열방사율, SRI, 시공전·후 온도차이)
④ 공법·제품 특허현황
⑤ 녹색제품(온실가스 및 오염물질 발생 최소화)
⑥ 친환경성 제품(휘발성유기화합물 기준부합, 중금속 불검출)
⑦ 시공색상 종류
⑧ 내후성, 내구성
⑨ 시공성, 경제성(순공사비), 최근 3년간 시공실적

○ **(시공 후)** 차열효과의 지속성을 위해 쿨루프 표면의 마모·균열여부, 오염물질 부착 등 노후화에 따른 세척과 개·보수 주기 방안 마련

- 물리적·자연적 풍화, 침식에 의한 쿨루프 표면의 마모·균열
- 미세먼지, 미생물, 조류 등에 의한 쿨루프 표면 오염물질 부착
- 배수로 불량 및 음영 발생에 따른 쿨루프 표면 물 고임 현상 등

○ **(모니터링)** 실내외 온도변화, 시공전·후 에너지 사용변화량, 이용자 만족도조사를 통해 사업효과 검증 및 성과홍보를 통한 인식확산

○ (쿨루프 적용 시 체크리스트)

Cool Roof Check List
법적사항
□ 토지소유자/건물소유자의 허가승인서 □ 관계법령 및 규정 : 건축법, 건설기술관리법, 빛공해방지법, 근로안전관리규정 등 □ 쿨루프 지원사업 연계방안 : 건물에너지효율화 자금 융자지원 등 □ 녹색건축 관련 인센티브 : 취득세, 재산세 감면, 건축기준 완화 등 우대사항
쿨루프 적용 대상지 입지 및 환경조건
□ 대상지 입지 : 토지이용도, 건물배치, 밀도, 높이 등 □ 기후·환경조건 : 평균 일조량 및 일조시간, 강우량, 온·습도, 대기질 오염농도 등
쿨루프 적용 대상 건물 정보
□ 건물 위치, 규모, 유형, 기능 등 □ 지붕 면적, 형태, 재질, 구배 등 □ 기존 지붕재 방수·단열 성능 및 균열·파손 여부
쿨루프 성능인증 및 품질기준 만족 여부
□ 태양반사도 (Solar Reflectance) □ 열방사율 (Thermal Emittance) □ 태양반사지수 (Solar Reflectance Index) □ 휘발성유기화합물(VOCs) 함유량 □ 부착성, 내후성, 내습성, 내산성, 내알카리성, 내충격성 등
시공비용 및 목표 적용효과
□ 쿨루프 시공면적당 비용 (원/m^2) □ 시공 전후 건물 내외부 온도 변화 □ 시공 전후 연간 순에너지 사용변화량
유지관리 및 보수비용
□ 쿨루프 표면 수분조절 □ 오염물질 부착, 부식방지를 위한 화학약품 사용 □ 쿨루프 시공면적 세척 주기 및 비용 □ 쿨루프 개·보수 주기 및 비용
모니터링 방안
□ 간접적 모니터링 (전기에너지 사용변화량) □ 직접 모니터링 (열화상카메라, 대기·표면 온도계 등) □ 위치·공간 모니터링 (센서기반 빅데이터 수집·분석, 위성영상 자료 등)

붙임1 쿨루프 적용입지

① 저층주거단지

- 건폐율이 낮기 때문에 대지 내 공지 면적과 건물 간 이격 거리가 넓음
- 저층저밀의 특성을 갖는 유형이며, 건물 간 이격거리가 넓기 때문에 건물 사이에 발생하는 기류를 통해 축적된 열을 배출하는데 유리

② 중·저층주거단지

- 주거건물이 고밀화된 지역에 해당 (다세대·다가구 주택, 공동주택 등)
- 저층고밀의 특성을 갖는 유형으로, 단독주택과 비교하여 대지 면적이 작고 건폐율과 용적률이 높아 건물 간 이격 거리가 협소함
- 대지 내 공지 면적이 적을 뿐 아니라 주변 건물 간 영향이 크기 때문에 기류나 대지의 녹화보다 쿨루프를 활용하는 것이 효과적일 것으로 예상

③ 공동주택단지

- 공동주택 단지는 건폐물이 매우 낮고 구성건물의 층수가 높아 용적률이 높은 밀도 특성을 가지며, 대지 내 옥외 공간에서 불투수성 포장 면적이 차지하는 비중이 다른 유형 대비 넓은 편
- 건물 간 간격이 넓기 때문에 기류를 통해 축적된 열을 배출하는데 유리

④ 업무단지

- 고층고밀의 특성을 갖는 유형으로, 구성건물 규모는 큰 편이나 구성건물 수가 적고 대지 면적이 넓으며, 매우 높은 용적률을 나타냄
- 다양한 층수의 건물로 구성된 단지와 고층으로 구성된 단지로 나뉨
- 개별건물마다 규모가 매우 커 높이 편차가 심할수록 구성건물 간 영향을 크게 받음 (휘도에 따른 영향이 가장 높을 것으로 예상)
- 차량 통행량이 많은 중심업무지구, 산업단지 인근 등 대기 오염도가 높거나 생물학적으로 미생물, 이끼 등이 성장하기 쉬운 환경에서는 쿨루프 표면이 쉽게 오염되어 성능저하 및 유지관리 비용 증가