쿨루프의 건물 에너지 저감 효과 분석

An Analysis of the Energy Saving effect of Cool Roof's

십년후연구소 조윤석 한수지

연구의 배경 및 목적

· 정부가 수립한 '제2차 기후변화 대응 기본계획'의 건물 부문에는 30년까지 건물 부문 배출량 온실가스 32.7% 삭감을 목표로 한국형 건물 냉방 부하 저감 설계 기준 마련, 건물 공법 부위별 에너지 최적화 표준 설계 및 시공 기법 개발을 촉진할 것이 명시됨

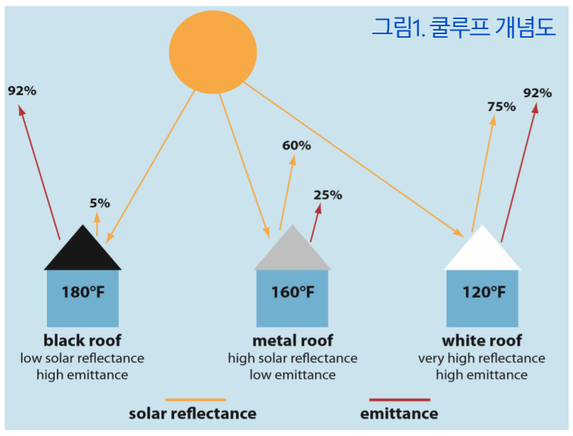
· 쿨루프는 건물 부문의 온실가스 감축 목표를 실현하기 위한 간단하고 현실적인 방안임에도 불구하고 연교차가 큰 우리나라에서는 겨울철 난방부하 증가 우려로 건물 신축 및 보수시 쉽게 적용되지 않는 실정임.

· 본 연구는 쿨루프가 건물에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였고, 지붕 마감 종류에 따른 연간 총에너지 요구량을 산출하였음, 이를 통해 기후변화에 대응하는 건물 에너지 저감 방안으로써 쿨루프의 국내 적용 확대를 위한 기초 연구 자료를 마련하고자 함

쿨루프의 개념 및 효과

쿨루프는 건물의 지붕에 고반사율의 도료나 재료를 적용하여 태양복사 에너지를 반사시킴으로써 열의 흡수를 최소화하고, 대기 중으로 열을 반사, 방사 효율을 최대화하는 모든 지붕 시스템을 통칭함(Akbari H, Konopacki S and Pomerantz M, 1999).

그림1. 쿨루프 개념도



개별 건물 차원의 쿨루프 효과

·차열 효과로 인한 냉방에너지 사용 저감
·최대 전력소비량 감소로 인한 냉방 설비 축소
·전력 에너지 사용자의 경제적 절약 효과
·공기오염 및 탄소배출 저감
· 지붕 수명 증가 및 유지비용, 교체 비용 감소

도시 규모 차원의 쿨루프 효과

· 건물 옥상의 태양열 흡수 및 반사량에 영향을 미쳐 해당 지역의 미기후 환경 변화 및 도시 공간의 외기 온도를 낮춤으로써 도시 열섬 현상을 완화함
·지표면의 오존 형성 가능성 낮춤
·스모그 형성 완화 및 대기 오염 물질 저감 효과 기대

연구방법

· 국민영구임대아파트 3개동을 대상으로 태양반사율, 지붕 표면온도를 현장 측정하였고, 외부 기온 및 일사량을 수집함.
· 고양시의 기온과 일사량, 지붕 표면온도의 월별 변화 추세, 일별 최고·최저온도 변화를 파악하였고, 지붕 마감 종류에 따른 온도차를 산출하여 시간 경과에 따라 비교·분석하였음.

● 연구 대상 건물 선정

· 고양시 향동지구 A1블록 국민영구임대아파트 3개동의 엘리베이터 기계실을 연구 대상지로 선정함
· 각 지붕 표면에 쿨루프 페인트, 시멘트 모르타르(회색), 녹색 페인트를 시공하였음
· 엘리베이터 기계실은 재실자가 없어 인체로 인한 발열 요인이 없고, 실내 냉난방 설비 가동, 창문 개폐 등 외부 요인으로 인한 온도 변화를 통제 할 수 있음



그림2. 연구 대상 건물

● 현장 실험 방법

01 태양반사율 측정 방법

· 태양반사율은 ASTM Standards의 기준에 따른 측정 방법을 참고함.
· 설치방법 : 3개동의 엘리베이터 기계실 지붕 표면에 일사계 SR11과 열유속센서 LI19 User Manual 2개를 활용하여 지붕 표면으로 떨어지는 일사량과 지붕 표면에서 반사되는 반사량을 측정함. 반사량은 일사계를 거꾸로 뒤집어 표면에 1.5m높이 간격을 띄워 지붕 표면에서 반사되는 양을 측정함.

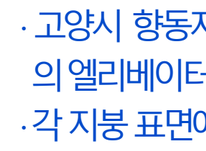


그림3. 일사계

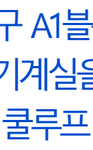


그림4. 열유속센서

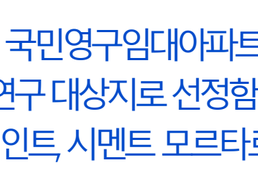
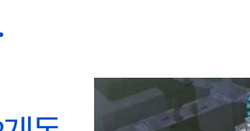


그림5. 측정 방법

02 온도 측정 방법

· 각 지점별 온도는 접촉식 표면온도계 Testo 175T3 데이터로거와 온도 감지 센서 K type 열전대 프로브를 설치하여 측정함.
· 2019년 10월 16일부터 2020년 10월 26일까지 약 1년간 측정, 1시간 간격으로 기록된 데이터를 수집함.
· 부착 방법



▲ 그림6. 단면에서의 온도 감지 센서 부착 위치

▶ 그림7.평면에서의 온도 감지 센서 부착 위치

· 1980년대 공급되었던 27평형 표준 주택 평면을 참고하여 가상 건물을 모델링하였고, 에너지샵(Energy#) ver2.3으로 건물 에너지 분석을 실시함
· 건물 지붕의 열관류율을 연도별 단열 성능 기준별, 지역별(고양시, 대전시, 대구시)로 구분하였고, 일사흡수율을 변화시켜 연간 총에너지 요구량을 산출 후 지붕 마감 종류에 따른 에너지 요구량 차이를 분석함

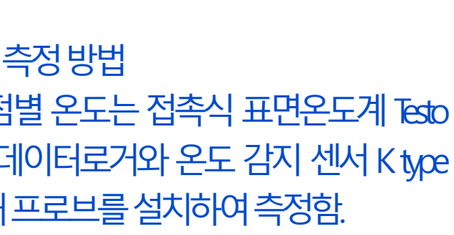


그림8. 가상 건물 평면 투시도

연구결과

· 쿨루프 페인트로 마감한 지붕의 태양반사율이 시멘트 모르타르로 마감한 지붕 보다 약 1.7배, 녹색 페인트로 마감한 지붕보다 약 3.1배 높았음

표1.지붕 표면의 월평균 온도 및 온도차(2019년 10월~2020년 10월)

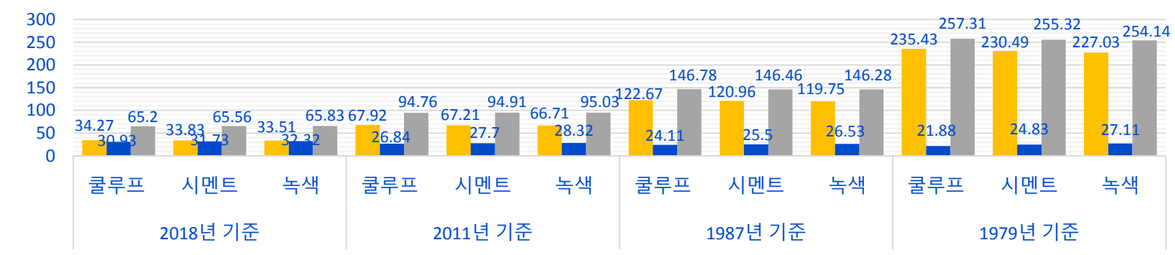
구분	A	B	C	C-A	B-A
10월	12.9	15.3	18.3	5.4	2.4
11월	5.4	7.4	9.4	4.0	2.0
12월	-0.7	0.9	2.8	3.5	1.6
1월	-	0.6	2.8	-	-
2월	1.7	2.6	7.2	5.5	0.9
3월	7.4	8.9	12.3	4.9	1.5
4월	11.1	14.1	17.2	6.1	3.0
5월	18.7	20.8	24.6	5.9	2.1
6월	24.8	27.4	31.3	6.5	2.6
7월	24.5	26.4	29.1	4.6	1.9
8월	26.8	27.4	29.5	2.7	0.6
9월	20.6	23.6	25.3	4.7	3.0
10월	13.2	16.5	17.6	4.4	3.3

단위:℃

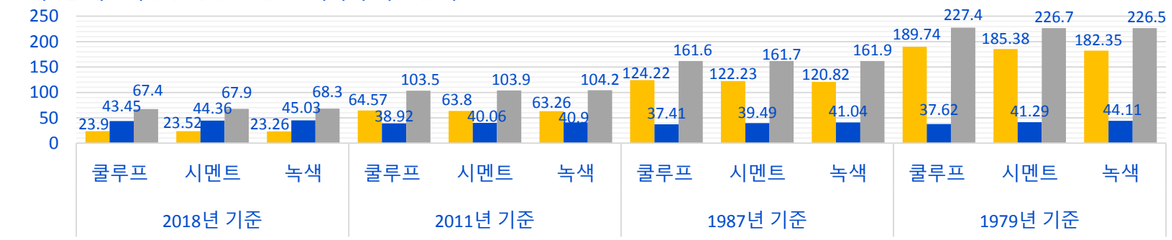
· 지붕 마감 종류에 따른 지붕 표면 온도차는 고양시의 월평균기온 및 일사량 증감 추세와 비슷하게 10월부터 겨울철(12월은 3.5 ℃(C-A), 1.6 ℃(B-A))로 갈수록 점차 감소하였고 3월부터 다시 증가하였음
· 예년과 같은 기상 조건에는 6,7,8월에는 지붕 표면 온도차가 커지지만 2020년의 경우 이례적으로 길었던 장마로 6월을 제외하고 7월은 4.6 ℃(C-A), 1.9 ℃(B-A), 8월은 2.7 ℃(C-A), 0.6(B-A)로 지붕 표면온도차가 감소하였음

A : 쿨루프 페인트로 마감한 건물
B : 시멘트 모르타르로 마감한 건물
C : 녹색 페인트로 마감한 건물

그래프1. 고양시 연간 건물 냉난방 에너지 계산 결과



그래프2 대전시 연간 건물 냉난방 에너지 계산 결과



그래프3. 대구시 연간 건물 냉난방 에너지 계산 결과

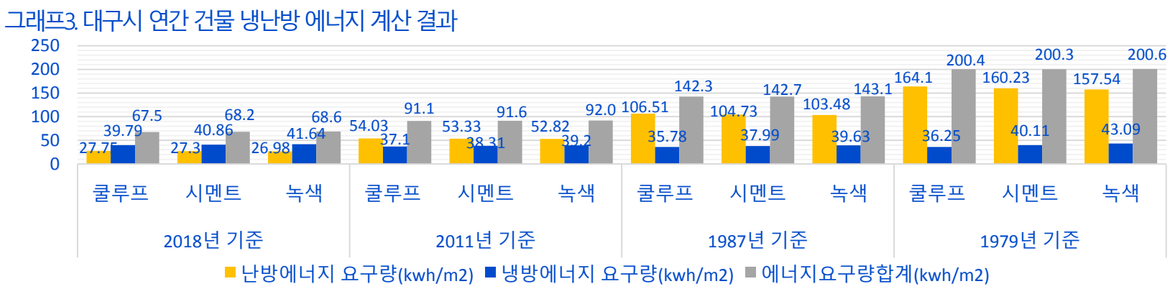


표2 지역 및 단열성능별 연간 건물 냉난방 에너지 요구량 차이

순위	지역	단열 성능	에너지 요구량 합계 차이	
			C-A	B-A
1	대구시	2018년 기준	1.08kwh/㎡ (총74.74kwh)	0.62kwh/㎡ (총42.90kwh)
2	대전시	2018년 기준	0.94kwh/㎡ (총65.05kwh)	0.53kwh/㎡ (총36.68kwh)
3	대구시	2011년 기준	0.89kwh/㎡ (총61.59kwh)	0.51kwh/㎡ (총35.29kwh)
4	대구시	1987년 기준	0.82kwh/㎡ (총56.74kwh)	0.43kwh/㎡ (총29.76kwh)
5	대전시	2011년 기준	0.67kwh/㎡ (총46.36kwh)	0.37kwh/㎡ (총25.60kwh)
6	고양시	2018년 기준	0.63kwh/㎡ (총3.60kwh)	0.36kwh/㎡ (총24.91kwh)
9	대구시	1979년 기준	0.28kwh/㎡ (총19.38kwh)	-0.01kwh/㎡ (총-0.69kwh)
7	고양시	2011년 기준	0.27kwh/㎡ (총18.68kwh)	0.15kwh/㎡ (총10.38kwh)
8	대전시	1987년 기준	0.23kwh/㎡ (총15.92kwh)	0.09kwh/㎡ (총6.23kwh)
10	고양시	1987년 기준	-0.5kwh/㎡ (총-34.60kwh)	-0.32kwh/㎡ (총-22.14kwh)
11	대전시	1979년 기준	-0.9kwh/㎡ (총-62.28kwh)	-0.69kwh/㎡ (총-47.75kwh)
12	고양시	1979년 기준	-3.17kwh/㎡ (총219.36kwh)	-1.99kwh/㎡ (총137.71kwh)

· 표2는 12가지 실험 대상 중 쿨루프를 우선 적용해야 할 순서임
· 연평균기온이 높은 지역인 대구시 또는 단열성능이 좋은 2018년 기준일수록 총에너지 요구량을 더 많이 감소 시킬 수 있음
· 3개의 지역 모두 단열 성능이 좋은 건물에 쿨루프를 시공하는 것이 유리하고, 연평균기온이 높은 지역일수록 노후화되어 단열성능이 낮은 건물에도 쿨루프가 효과적임을 알 수 있음
· 노후하여 단열 성능이 저하된 건물에는 단열 보강 및 창호 공사를 통한 에너지 성능 개선과 더불어 쿨루프를 시공할 경우 더욱 효과적임을 알 수 있음

표3. 지역 및 단열성능별 연간 탄소배출량 차이

구분			CO_2배출량											
			고양시 C-A		고양시 B-A		대전시 C-A		대전시 B-A		대구시 C-A		대구시 B-A	
2018년기준	전기	도시가스	21	-16	12	-9	25	-13	15	-8	29	-16	17	-9
	합계		5		3		12		7		13		8	
2011년기준	전기	도시가스	23	-24	13	-14	30	-26	18	-15	32	-25	19	-15
	합계		-1		-1		4		3		7		4	
1987년기준	전기	도시가스	37	-60	21	-35	56	-69	32	-40	59	-62	34	-36
	합계		-23		-14		-13		-8		-3		-2	
1979년기준	전기	도시가스	79	-170	44	-100	99	-151	56	-89	105	-134	59	-79
	합계		-91		-56		-52		-33		-29		-20	

단위 : kg

연구 고찰

· 실험기간인 2019년과 2020년 사이 겨울철은 월평균기온이 영하로 떨어진 구간이 없고, 2020년여름철도 긴 장마로 인해 일반적인 쿨루프 효과를 알 수 없었고, 추후 다년간 축적된 사계절 온도데이터 분석 연구가 더 필요함
· 본 연구는 실제 시공된 건물에 장기간 연속적으로 지붕 표면온도를 측정하여 실증 분석하였고, 쿨루프 시공 및 미시공 건물의 연간 총에너지 요구량 차이를 산출하여 쿨루프 우선 적용 대상을 선정하였다는 것에 의의가 있음
· 향 후 쿨루프의 적용 및 확산을 위한 기초자료로 제공될 것임