

옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과
-일사차폐블록과 잔디를 대상으로-

박찬필¹⁾ · 古川修文²⁾

¹⁾ Hosei Univ 法政大學建築學科 環境構法研究員 · ²⁾ Hosei Univ 法政大學建築學科 環境構法教授

Study on Improvement of Thermal Environment by
Green Roof Systems on RC Building

- utilization of solar insulating block and the grass -

Park, Chanpil¹⁾ and Furukawa, Nobuhisa²⁾

¹⁾ Assistant, Dept. of Architecture, Faculty of Eng, Hosei Univ., Dr. Eng,

²⁾ Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng, Hosei Univ., Dr. Eng.

ABSTRACT

Caused on the excessive heat accumulation of concrete material, the indoor thermal environment of reinforced concrete building is so bad in Okinawa. As the interruption of solar radiation could be one of the methods to improve it, the purpose of this study is to find out the effect of adopting solar radiation interrupting materials -Solar insulating block, Grass, and both of them- for the improvement of thermal environment.

As the result, it was found that grass on the solar insulating block which has an air layer obviously improved the indoor thermal environment of RC building which was applied to. And it was found that the systems have an effectuality on heat island phenomenon simultaneously. It could be proposed as a good system which improve the indoor thermal environment of the existent houses.

Key Words : *Environment, Radiation, Air insulation, Solar insulating block, Green roof.*

I. 서 론

1. 연구의 배경

오키나와(沖繩)에서는 1960년대 이후로 RC 조 주택의 착공 건수가 일본 전통건축인 목조주택의 착공건수를 넘어섰다. 태풍과 개미의 피해에 대한 내구성을 추구한 RC조 주택은 이처럼 급속히 증가했지만 초기의 RC조 건축은 공법과 재료가 열악했기 때문에 RC조주택의 내구성에

서 부족한 점이 많았으며, 현재는 초기의 콘크리트가 갖는 여러 가지 결점이나 문제점이 그래도 많이 해명되어 개선된 상태라 할 수 있다.

그럼에도 아직 해결되어 있지 않은 것은 RC 조 주택의 (온)열 환경의 열악함이다. 열용량이 큰 콘크리트가 공간을 둘러싸고, 개구부가 상대적으로 작은 RC조 주택은 종래의 오키나와의 목조 주택과는 상반되는 열환경특성을 가지고 있다. 즉 통풍이 좋지 않음은 물론, 주간

콘크리트에 축적된 열이 야간에는 실내로 방열됨으로써 여름철의 거주환경을 최악으로 만들고 있으며, 도시 전체로는 히트 아일랜드 현상을 가속화시키고 있는 것이다.

이러한 거주환경 개선을 위한 대책으로, 일본 문부과학성은 2002년 8월, 국공립 초중학교에 냉방기기를 설치할 계획을 발표하였으며, 이에 따른 초중학교의 실내환경 개선이 기대된다.

그러나, 이같은 냉방기기 설치대책은 막대한 에너지의 소비와 도시 히트아일랜드 현상의 가속화라는 새로운 문제를 야기할 수 있을 것인데, 이는 일본 본토에 비해 일사량이 큰 오키나와에서는 관리 운영에 특히 심각한 문제가 될 것으로 예상된다.

본 연구는 근본적으로 일사량을 차폐하여 건축물 내부의 열환경을 개선하고자 하는 것으로, 지금까지 태양일사 차폐에 대한 연구와 발표는 다소 있었지만 일사차폐 블록과 옥상녹화의 중첩효과를 동시에 실험을 한 연구는 없었다. 특히, 본 연구에서 적용한 차폐블록의 기본적인 재료는 못쓰게 된 유리와 병으로써, 폐기물의 적절한 재활용을 통해 지구환경문제에 부분적으로나마 이바지하고자 하는 것이다.

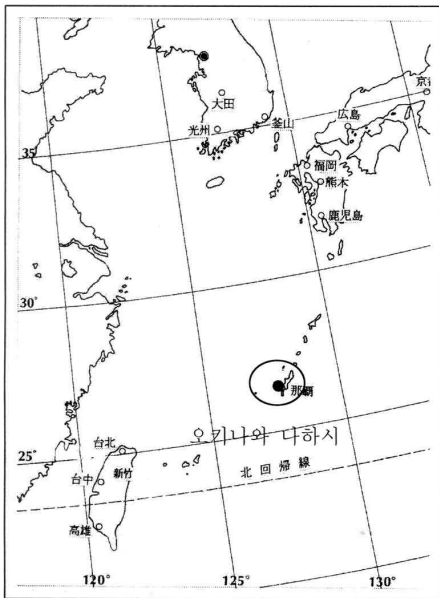


그림 1. 연구대상지역 (오키나와 나하시)

2. 연구의 목적과 의의

본 연구는 초등학교 건물을 대상으로, 공기층을 가지고 있는 일사차폐 블록 위에 잔디밭을 설치할 경우에 실내의 온열환경이 어느 정도 개선되는 것인가를 밝히고, 기존의 RC 학교 건축의 실내 온열 환경의 개선에 응용해야 할 일사차폐 방법을 도출하는 것을 목적으로 하고 있다. 즉 본 연구에 있어서 일사 차폐 효과에 의한 실내 환경의 개선법이 확립되어 냉방 기기의 사용에 소비되는 에너지를 조금이라도 감소시키는 것이 일차적인 목적이며, 더불어 도시 전체에 대한 히트 아일랜드 현상을 감소시키는 일석이조의 효과를 얻고자 하는 것이다. 지구 환경의 개선의 목표가 확립되어 각국, 각 지역에서 에너지 절약의 움직임이 진행되고 있는 현대 사회에 있어서, 일사차폐 효과에 의한 전력량의 절감은 환경 개선 대책의 하나의 모델로서 제안해 갈 수가 있다고 생각된다. 본 연구는 2002년 8월 28일부터 2003년 8월 25일까지 수행된 실험의 결과를 집계한 것이다.

II. 연구의 재료 및 방법

1. 연구의 재료

1) 일사차폐 블록의 개요

본 실험에 사용한 일사차폐 블록(그림 2, 사진 3)은 환경보전 및 자원보호와 공공사업 등의 보급 발전에 기여하고 적극적으로 대응하고자 하는 목적으로 적용되었다. RC조 건축물의 옥상에 이 재료를 적용하면, 태양의 적외선을 차단함으로써 높은 단열 효과를 볼 수 있다. 그럼으로써 절전의 역할을 할 뿐만 아니라, 산성비나 자외선을 차단해 건축물의 내구성을 향상시킬 수도 있다. 적용된 차폐블록의 특징은 다음과 같다.

① 다공질 경량으로, 시공 현장에서의 자유도가 높고 취급이 쉽다. 다소의 경우에서도 작업이 가능하며 중량은 8kg으로 보통 블록의 절반 이하로 가볍기 때문에, 건물의 옥상에 다수 포설하여도 블록의 하중은 건물에 부담이 가지 않는다.

② 100% 쓸모없게 된 유리병으로, 완전 리사이

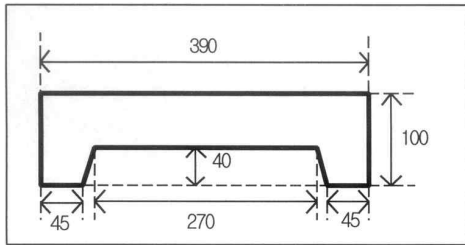


그림 2. 차폐블록의 단면도(단위: mm)

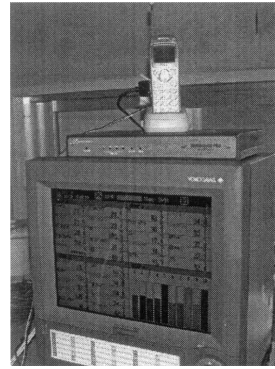


사진 1. 열전도형 디지털 온도기록계 (요코가와전기-DAQSTATION)

이클 형태로써 만들고 있기 때문에 염가이고 안전하다.

③ 내화성으로, 다이옥신이나 CO₂가 발생하지 않기 때문에 지구환경에 유리하다.

2) 열전도형 디지털 온도 기록계

실험에서 각 부분의 기온 및 온도의 측정은 열전도형 디지털 온도 기록계(요코가와전기 DAQ STATION)를 사용했다. 이 측정기는 동과 콘스탄틴 사이에 생기는 미소한 전압을 이용해, 온도 측정을 행하는 기기인데, 30개소의 온도를 동시에 측정 할수있기 때문에 임의 장소의 온도를 일정 시각마다 측정 및 기록하는 것이 가능하다. 따라서, 각각의 측정시각에 대한 온도변화를 쉽게 알 수가 있다(사진1).

2. 연구방법

오키나와현 (沖繩縣) 나하시 (那覇市) 에 있는 카이남 (開南) 초등학교를 대상으로 했다. 실험 건축물은 RC조 3층 건물을 이용해 다음과 같은 실험을 수행하였다(그림 3).

(1) 3층에 있는 세 개의 교실(A, B, C 교실)에 대해서, A 교실에는 일사 차폐 블록 위에 잔디(사진 2)를 전면적 포설, B 교실에는 1/2 포설, C 교실에서는 무시설의 상태로, 30개 측정지점을 선정하여 옥상표면온도-천장안기온-실내기온 순으로 열의 수직전달에 대한 각부의 온도를 1년간 측정했다.

(2) 일사량이 많은 날 A, B, C 교실에 있어서의 일사차폐 블록 위에 잔디밭을 설치할 경우와 무시설의 경우와의 옥상표면온도를 비교했다.



그림 3. 실험건축물의 측정항목 및 장소



사진 2. 실험학교(개남 초등학교)

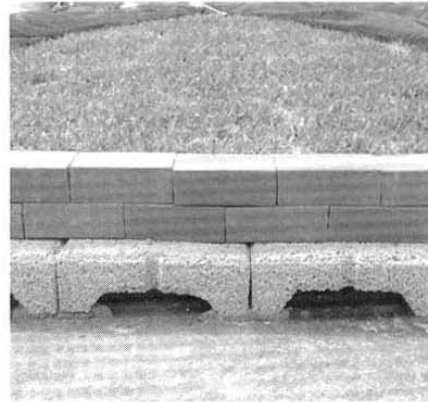


사진 3. 일사차폐 블록에 잔디밭을 설치한 옥상녹화

(3) A, B, C 교실에 있어서의 차폐 블록 위에 잔디밭을 설치할 경우와 무시설의 경우와의 천장안기온(천장속기온, 천장과 지붕과의 사이의 공간의 기온을 의미함. 본 연구에서는 천장안기온으로 표현함)을 일사량이 많은날, 일사량이 적은날, 1년 평균의 하계, 동계의 차이를 비교했다.

(4) A, B, C 교실에 있어서의 일사차폐 블록 위에 잔디밭을 설치할 경우와 무시설의 경우와의 실내온도를 일사량이 많은날, 일사량이 적은날, 1년 평균의 하계, 동계의 차이를 비교했다.

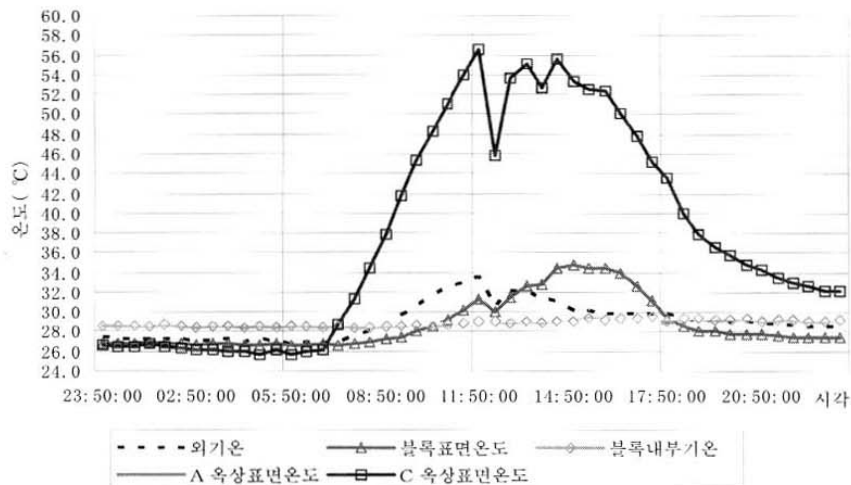
Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 외부 기온과 옥상 표면 온도의 비교

그림 4에서 보는 바와 같이 C 옥상 표면 온

도와 A 블록 표면 온도는 외부기온의 변화에 대응하면서 변화 해 나가는 것을 알수있다. 블록 내부 기온, 즉 A 옥상 표면 온도는 항상 일정하게 유지되고 있어 외부기온의 변화에 의한 영향은 많이 받고 있지 않는 것을 알수있다. C 옥상 표면 온도가 가장 일사의 영향을 받기 쉽고, 최고 온도는 약 55℃에 달하지만 A옥상 표면 온도는 항상 28℃~29℃를 유지하고 있어 그 차이는 25℃ 이상이나 된다. 블록 표면 온도가 최고 온도의 약 35℃에 이르는 15시의 시점에서, C 옥상 표면 온도는 약 53℃ 로써 그 차이는 약 18℃나 된다.

블록 내부 기온이라고 하지만, 이것은 A 옥상 표면 온도와 거의 같은 파형을 하고 있어, 이러한 결과로 일사에 의한 열은 잔디밭과 블록의 표면에 있어 거의 차폐되어 있는 것을 알수 있다.

그림 4. 외기온과 옥상표면온도의 비교(2002년 9월 3일 전천공일사량 25.2MJ/m²)

2. 외부 기온과 천장안(천장속)기온의 비교

일사량이 많은날의 외부기온과 천장안 기온의 비교에 대해서 고찰한다. 그림 5에서 A, B, C 교실 천장안 기온의 파형을 보면, A 천장안 기온(일사차폐 블록+잔디밭)은 하루종일 30℃ 부근을 거의 수평에서 움직이는 데에 비해, B, C 천장안 기온은 어느쪽이나 12시경부터 천천히 온도가 상승하기 시작하는 느슨한 V자 형의 파형이 되고 있다. 옥상에 아무것도 설치하지 않았던 경우, 천장안에는 대낮, 열을 저축해 야간(22 시경)까지 열이 누적하고 있는 것을 알수 있다. 또 시간대 별로 온도를 비교해 봐도, 항상 A 천장안 기온은 B, C 천장안 기온보다 낮고, 대낮에는 1.5℃~2.0℃, 야간에는 3.0℃~3.5

℃온도가 낮아지고 있다. 즉 옥상에 일사차폐 블록+잔디밭을 설치하는 것이 옥상에 아무것도 설치하지 않았던 경우와 비교하면, 일사량이 많은 날은 1.5℃~5.0℃, 천장안 기온을 내릴 수가 있다. 또한, 천장안의 축열을 막을 수가 있기 때문에, 야간의 천장안으로부터의 방열이 없어진다. 또한, 그림 6에서는 일사량이 많은 3 일간을 기준으로 어떠한 변화가 생기는지 고찰하기로 한다. 우선, 그래프에서 보는 바와 같이 외기온은 각 시각에 따라서 기온의 변화가 가장 큰 파형을 이루고있다. 즉, 3일간의 최고온도는 33.5℃, 최저온도가 26℃로써, 일교차는 7.5℃이다. 또한 무시설의 C 교실은 최고온도는 34.0℃, 최저온도가 30.7℃로써, 일교차는 3.3℃

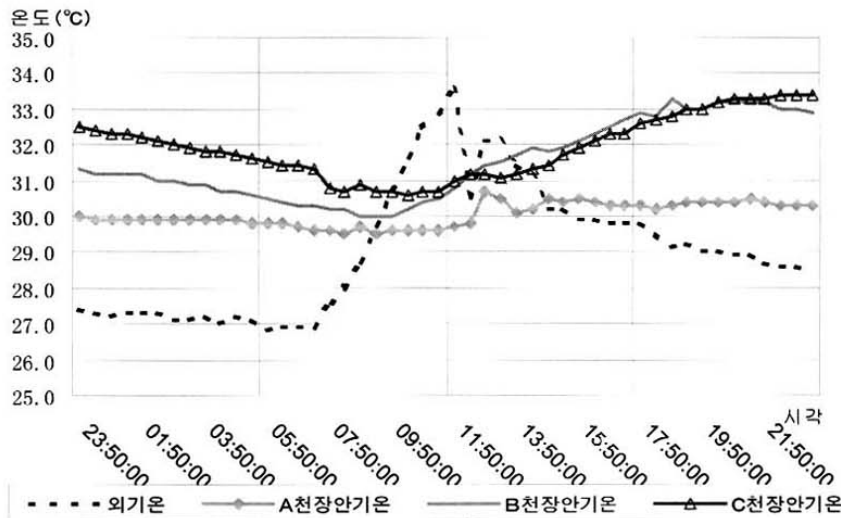


그림 5. 외기온과 천장안 기온의 비교(2002.9. 3 전천공일사량 25.2MJ/m²)

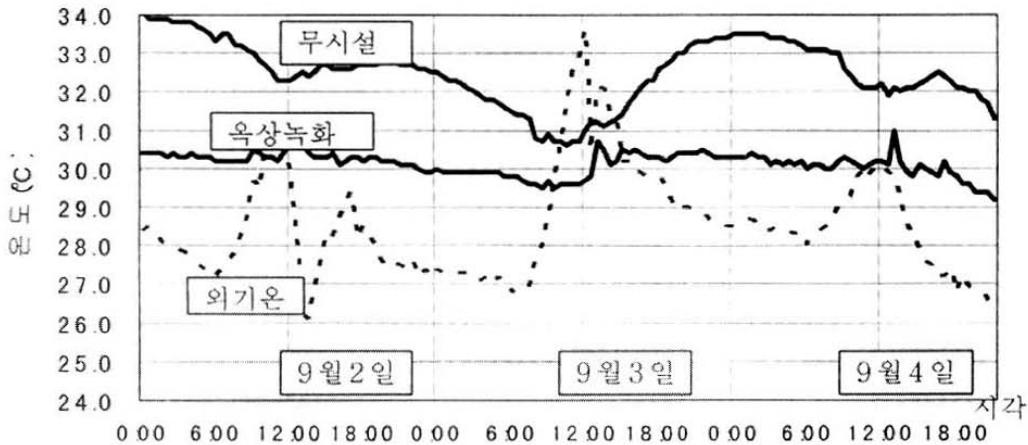


그림 6. 옥상녹화 A 교실과 무시설 C교실의 천장안 기온비교(2002년9월2일~9월4일), 일사량이 많은날

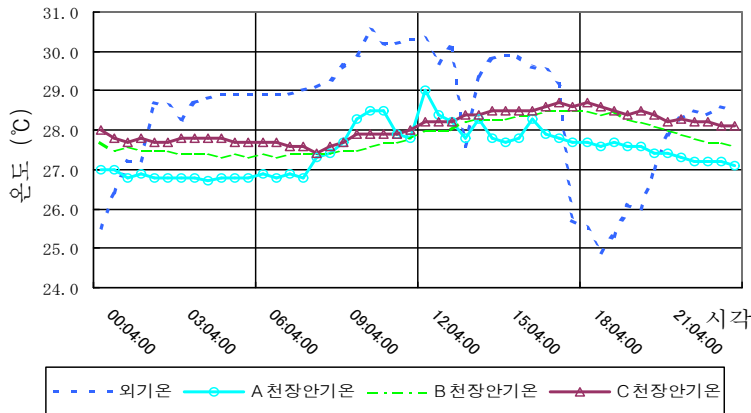


그림 7. 외기온과 천정과 지붕과의 사이의 공간 기온의 비교
(2002.9. 6 전천공일사량 $9.0\text{MJ}/\text{m}^2$, 일사량이 적은날)

이다. 그러나, 옥상녹화를 한 A 교실은 최고온도는 31°C , 최저온도가 29.2°C 로써, 일교차는 1.8°C 이다. 이 결과로써, 무시설의 C 교실의 천장안은 하루종일, 타임렉(time leg)에 의해 저녁 때에는 $32^\circ\text{C} \sim 34^\circ\text{C}$ 의 이상의 고기온을 유지하면서, 실내로 향해서 방사하는 결과를 초래하는 것이다. 그러나, 옥상녹화를 한 A교 실은 하루종일 30°C 전후로써 일교차가 적다고 볼수있다. 실질적으로 약 $3 \sim 4^\circ\text{C}$ 차로 볼 수가 있다. 한편 일사량의 적은 날(그림 7)은 1일을 통해서, A 천장안기온 쪽이 C 천장안기온보다 낮아지고 있는 것을 알수있다. 일사량이 적은 날에서도, 옥상에 일사차폐블록+잔디밭을 설치하는 것이 천장안기온을 내릴 수가 있어서 천장안의 축열을 막을 수가 있다.

3. 천장안1년 평균기온

위에서 밝힌 바와 같이 일사량이 많은날(여름철)에는 옥상녹화가 실내의 천장안 온열환경을 개선해 준다는것을 밝혔지만은 일사량이 작은 겨울철에는 어떠한 결과를 나타내는지 1년간의 데이터로 밝히기로 한다. 우선, 하루종일 일사량이 가장 많은 14시의 散布圖(그림 7)를 보면 일사량이 많은날(여름철)에는 무시설의 C 교실은 약 32.5°C 이고, 옥상녹화 A 교실은 약 27.5°C 로써, 온도차는 약 4.5°C 의 차를 나타내고 있다. 그

리고 일사량이 적은날(겨울철)에서는 무시설의 C 교실은 약 20.0°C 이고, 옥상녹화 A 교실은 약 19.2°C 로써, 온도차는 약 0.8°C 의 차를 나타내고 있다. 이 결과로써, 여름철 가장 더운 오후 2시에 있어서 옥상녹화는 무시설에 비해서 천장안 기온이 4.5°C 기온이 낮다는 것을 알수 있다. 그 반면, 겨울철에는 옥상녹화는 무시설에 비해 별 차이가 없고, 무시설에 비해서 연교차가 작다는 것을 알수있다. 즉, 겨울철에는 보온의 효과가 있다는 것을 증명 하는 것이다. 또한,실제로는 오후2시가 하루에 가장 높은 외기온을 나타내는 시각이지만 특히, RC조 건축물은 콘크리트의 열용량에 의해 타임렉(time leg)이 발생해서 오후8시가 취약적인 시간대이다. 아울러, RC조 건축물에 대한 20시의 1년간의 데이터로써 비교해 보기로 한다. 그림 8의 散布圖를 보면 일사량이 많은 날에는 무시설의 C교실은 약 33°C 이고, 옥상녹화 A 교실은 약 28°C 로써, 온도차는 약 5°C 의 차를 나타내고 있다. 그리고 일사량이 적은 날(겨울철)에서는 무시설의 C 교실은 약 20.0°C 이고, 옥상녹화 A 교실은 약 19.0°C 로써, 온도차는 약 1.0°C 의 차를 나타내고 있다. 이 결과로써, 전술과 같이 14시에 비해서 20시도 거의 비슷한 점을 들수있다. 즉, RC조 건축물은 타임렉(time leg) 현상에 의한 피해에 대해서 옥상녹화를 함으로써 유리 하다고 말할 수 있다.

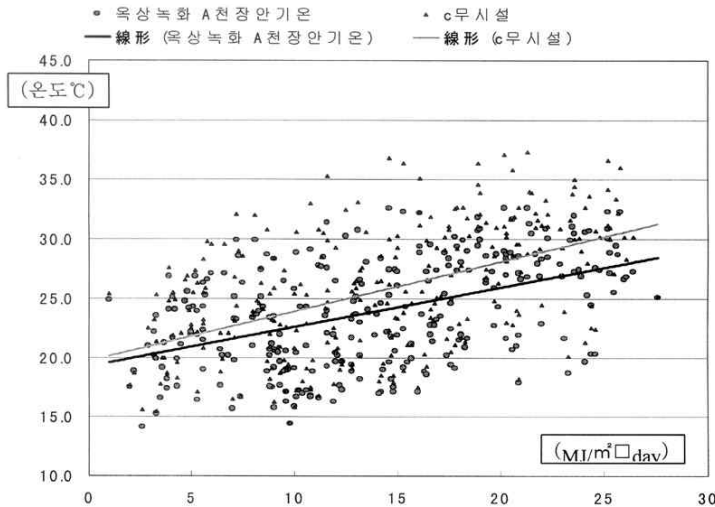


그림 8. 옥상녹화 A 교실과 무시설 C 교실의 14시 천장안 기온비교散布圖

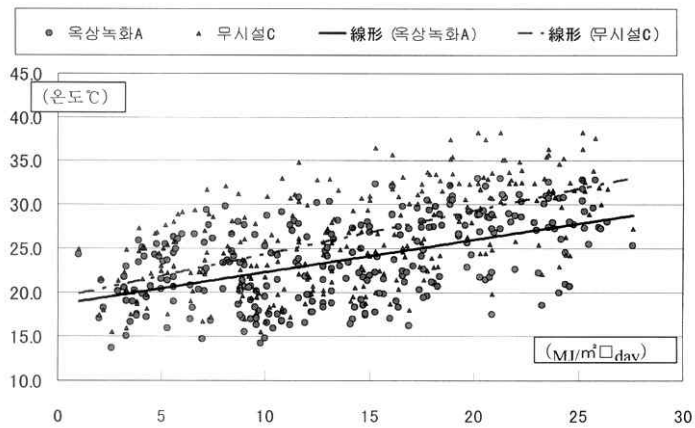


그림 9. 옥상녹화 A 교실과 무시설 C 교실의 20시 천장안 기온비교散布圖

4. 실내기온의 비교

실내기온은 그림 6에서 설명한 것과 같이 일사량이 많은 같은 날을 비교해 보기로 한다. 이번실험에서 가장 곤란한 점은 실내온도의 실측이다. 왜냐하면, 연구대상의 초등학교는 실제로 사용하는 교실로써 각 교실의 용도가 틀리기 때문에 창을 열거나, 선풍기를 틀기 때문에 같은 조건 하에서 실내온도를 측정하기는 매우 어렵다고 볼 수 있다. 그러기 때문에, 전술에서 밝힌 바와 같이 천장안은 태양열을 받은 지붕에서 직접열을 수직으로서의 실내에 전달하는 공간으로서 중요한 부분이고, 가장 객관적으로 비교할 수가 있기 때문에 강조가 되는 부분이다. 이

러한 점을 감안해서 그림 10을 보면 하루 중 기온이 가장 높은 오후 12전후로 무시설의 C 교실이 오히려 옥상녹화 A교실 보다 약 1°C~2°C 낮은 것으로 나타나고 있다. 즉, 무시설의 C 교실은 창문을 열었던지 선풍기를 틀었던것으로 추측이 된다. 그러나, 3-2, 3-3에서 밝힌 바와 같이 옥상녹화 A 교실의 천장기온이 무시설의 C 교실보다, 약 4°C정도 낮다는 것을 밝혔다. 또한, 9월 3일 오후 6시경 부터 다음날 오전 10시경 까지는 옥상녹화 A교실의 실내기온이 무시설의 C교실의 실내기온 보다 약 1.5 °C정도 낮다는 것을 알수 있다. 이것은 즉, 실내기온에 있어서도 천장안 기온과 같이 옥상녹화 A 교실은

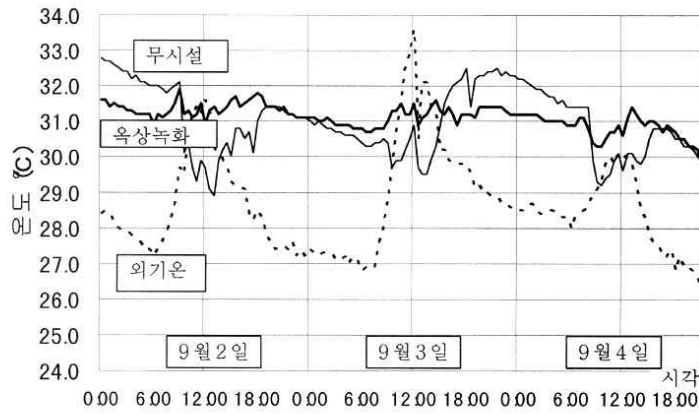


그림 10. 옥상녹화 A 교실과 무시설 C 교실에 있어서 일사량이 많은 3일간 실내 기온의 비교

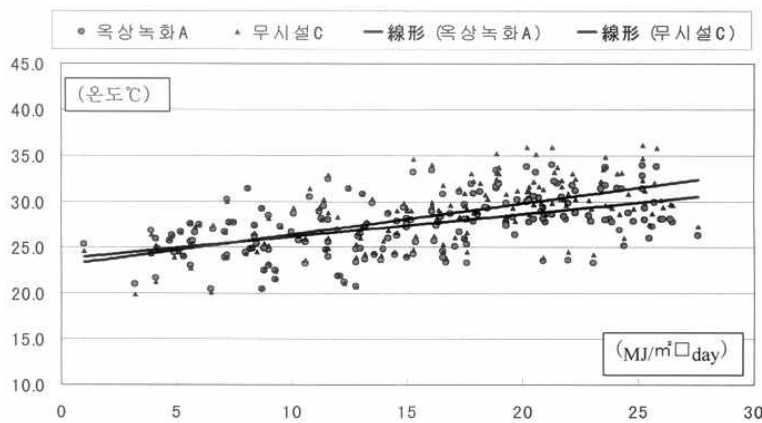


그림 11. 옥상녹화 A 교실과 무시설 C 교실의 20시 실내 기온의 비교散布圖

타임렉(time lag)의 영향이 적은 반면, C 교실은 타임렉(time lag)의 영향이 크다고 할 수 있다. 실내기온을 1년간의 散布圖(그림 11)로 비교하면 하계에는 옥상녹화 A 교실이 약 $2^{\circ}\text{C} \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 것을 알수있다. 또한, 동계에는 반대로 무시설의 C 교실이 약 0.8°C 정도 낮은 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

기존연구와 본 연구의 차이점은 일사차폐 연구와 옥상녹화의 단독 실험연구가 아니고, 일사차폐 연구와 옥상녹화를 종합시킨 실험연구라고 할 수 있다. 또한, 지붕과 블록사이에는 공기층을 두는 것과 그 재료가 자연환경에 유

리한 리사이클 유리병 이라는 점을 들수있다. 본 연구는 일사차폐 블록 위에 옥상녹화를 함으로써 일사차폐 블록은 실내 온열환경을 개선하고, 블록 위에 옥상녹화는 히트아일랜드 현상을 억제하는 것을 목적으로 하는 연구이다. 오키나와 (沖縄) 와 같이 일사량이 강한 지역에서는, 일사차폐 블록상에 잔디밭을 설치함에 따라 단열성이 한층 더 높아져, 바깥 외부기온의 변화에 직접 좌우 되는 일 없이, 하루종일 실내의 기온을 거의 일정한 값으로 유지할 수가 있다고 하는 것을 알았다. 일사량이 많은 하계의 외부기온에 따른 옥상표면 온도를 실측한 결과는 일사차폐블록과 무시설의 최고 표면온도 차는 약 $18^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 로써, 일사차폐 블록을 설치한 곳이 외기온의 변화에 안정된 표면온도

를 나타내었다. 또한, 천장안의 기온도 일사량이 많은 하계는 일사차폐블록+잔디밭이 약 4.5℃, 일사량이 적은 동계는 약 0.8℃가 낮게 것으로 나타났다. 실내기온은 각 교실의 사용용도가 틀려서 측정하기에 어려웠으나, 타임렉(time lag)에 의한 저녁시간에서부터 다음날 아침까지의 실내기온은 일사차폐블록을 설치한 교실이 무시설의 교실보다 약 2℃ 낮은 것으로 나타나고 있다. 일사량이 많은 하계는 일사차폐블록을 설치한 교실이 약 2.5℃ 낮았고, 일사량이 적은 동계에는 반대로 일사차폐블록을 설치한 교실이 0.8℃ 높게 나타나고 있다. 이러한 종합적인 데이터에 따르면, 일사차폐블록의 설치하는 하계에는 일사량이 강한 날 또는 약한 날 어느 날 이라도 온도를 저하시키는 효과를 주는 것으로 결론을 내릴 수 있으며, 일사량이 약한 겨울철에는 일사차폐블록 위에 있는 흙과 잔디가 실내에 축적된 열의 방사를 어렵게 하기 때문에, 실내를 따뜻하게 유지하는 효과를 준다고 말할 수 있다. 즉 일사차폐블록 위의 잔디녹화는 여름은 시원하고, 겨울은 따뜻한 실내 환경을 창출할 수 있는 것이다.

실내 온열환경의 개선을 위해 차후에 연구해야 할 문제는 일사차폐블록의 설치를 통해 형성시키는 열전도율이 작은 공기층의 두께라고 볼 수 있다. 본 실험에서는 4cm의 공기층을 사용했지만 8cm, 12cm의 공기층을 사용하면 어떠한 결과를 초래하는지 다음의 숙제로 남아있다. 아울러, 향후에는 다양한 옥상녹화 방법을 적용할

경우에 얻을 수 있는 효과를 측정해서 검토해가고자 한다.

이러한 과제는 지금도 계속 연구를 하고 앞으로 새로운 개선책을 찾아낼 계획이다.

본 연구를 위해, 카이남(開南) 초등학교 교장, 합자 회사 이제나(伊是名) 블록, 주식회사 토림, 오키나와현(沖繩縣) 건축사회 북부지부, 오키나와현(沖繩縣) 교육위원회의 협력을 받은 것에 대해 감사의 말씀 드립니다.

인 용 문 헌

<沖繩におけるRC造住宅の温熱環境改善に関する研究 その1 遮蔽屋根と断熱ブロックの効果の比較>古川修文 他、日本建築學會大會學術講演梗概集 建築計畫E-2 2001年9月、<沖繩におけるRC造住宅の温熱環境改善に関する研究 その2 遮蔽屋根と断熱材の効果の比較>朴贊弼 他、日本建築學會大會學術講演梗概集 建築計畫E-2 2002年9月、<沖繩におけるRC造住宅の温熱環境改善に関する研究 その3 學校建築(新城小學校)における日射遮蔽の實驗>朴贊弼 他、日本建築學會大會學術講演梗概集 建築計畫E-2 2003年9月、その4 ブロックと芝生を併用した日射遮蔽の實驗>古川修文 他、日本建築學會大會學術講演梗概集 建築計畫E-2 2003年9月

接受 2003年 9月 15日