

# 축소모형을 이용한 지붕담수시스템을 활용한 아트리움 실내의 냉각효과에 관한 연구

## The Study on the Cooling Effects of the Atrium Interiors for the Roof Watering System by a Scaled Model

정 유 근  
Chung, Yu Gun

### Abstract

The most important advantages of atrium buildings are to allow the abundant natural lighting and outside views. However, the abundant lighting frequently causes to increase a cooling load in summer. The roof watering systems are useful to reduce the cooling load and save the energy. This study aims to investigate the effects of the roof watering system in atrium through the scaled model experiments. For the study, the 1/20 scaled model was made and tests were performed under the clear sky conditions through August 24 to september 7 in 2008. The model size was 45x45x60(cm) and depth of roof water was 3(cm). As results, the thermal effects of two types of atrium(roof opening, and roof and front opening,) were evaluated through the experimental points and conditions. It is expected to use the results for the next research to develop the practical roof watering systems for atrium.

키 워 드 : 아트리움, 지붕담수시스템, 냉각효과, 축소모형 실험

Keywords : Atrium, Roof Watering System, Cooling Effects, Scaled Model Experiment

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

아트리움은 건물내부에 존재하면서도 옥외광장과 같은 분위기와 공간적 기능을 제공하며 건물의 이미지 제고는 물론이고 건물사용자들에게 쾌적한 환경을 제공하여 임대율을 높이는 등 다양한 장점으로 인해 널리 활용되고 있는 디자인 요소이다.

그러나 아트리움 건축물에 사용된 외피유리를 통한 여름철 과도한 직사일광의 유입으로 인한 냉방부하의 증가 및 시각적 눈부심의 발생 등 다양한 환경문제를 야기할 수 있다. 그러므로 아트리움의 쾌적환경 조성을 위해 적절한 환경제어시스템의 설치가 요구되고 있다.

본 연구에서는 증발잠열 활용시스템의 하나로 지붕담수시스템에 의한 아트리움 공간의 냉방효과를 평가하는데 연구의 목적이 있다. 이 시스템은 물의 증발효과를 활용한 방식으로 지붕, 벽 등의 구조체를 냉각시켜 건조하고 습도가 낮은 지역에 적합한 시스템이다.

본 연구는 실제 설치 가능한 지붕담수시스템 개발을 위한 기초적 연구로 축소모형을 활용하여 아트리움 실내의 온도변화를 평가하였다. 연구결과는 옥상담수시스템의 지속적 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

### 1.2 연구내용 및 방법

지붕담수시스템을 활용한 아트리움 실내의 냉방효과를 평가하기 위하여 1/20 스케일의 아트리움 축소모형 실험을 실시하였다. 실험은 천창개방 및 전면개방 아트리움을 대상으로 2008년 8월 24일부터 9월 7일 동안 청천공 아래에서 실시되었다.

아트리움 실내온도 변화의 측정은 미국 Onese사의 "HoBo Data Logger"를 활용하여 상층부, 중층부 및 하층부로 나누어 실시하였고 옥상담수의 설치여부에 따른 실내 온도변화를 평가하였다. 또한, 측정시의 외기온도 및 풍속을 측정하였다. 연구 흐름도는 (그림 1)과 같다.

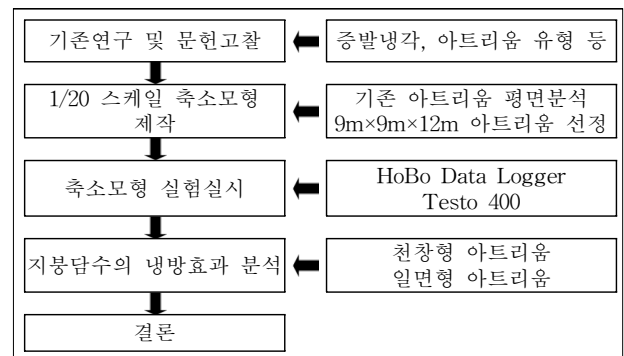


그림 1. 연구의 흐름도

\* 충주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사  
(ygchung@cjnu.ac.kr)

## 2. 증발냉각시스템의 특성 및 관련연구 분석

지붕 증발냉각시스템을 개략적으로 분류하면 개방지붕 연못방식(open roof pond system), 지붕살수방식(roof spray water system) 그리고 지붕유수방식(roof flowing water system)으로 분류할 수 있다. 연못방식은 일정한 두께의 수막을 지붕위에 설치하고 증발잠열에 의해 실내의 냉방부하를 감소시키는 시스템으로 증발 등으로 인한 손실된 물은 주기적으로 보충된다.

살수방식은 지붕면에 설치된 스프링클러를 이용하여 주기적으로 살수하는 방식으로 수분증발열에 의한 표면냉각이 이루어지며 평지붕이나 낮은 경사각을 갖는 지붕면에 적합하다. 유수방식은 경사지붕에 적합한 시스템으로 지붕의 상부에서 하부로 물을 흘려 지붕표면과 물의 온도차에 따른 열교환과 증발냉각이 동시에 수반되며 이때 공급수의 온도에 따라 열성능이 결정된다.<sup>1)</sup>

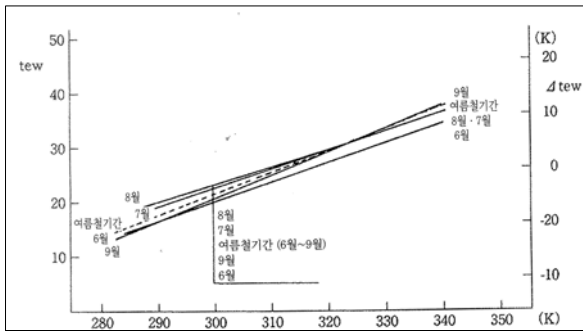


그림 2. 살수와 비수철 지붕의 상당외기온도2)

증발냉각시스템의 열성능에 관한 연구는 최근까지 살수방식을 중심으로 다양한 연구가 수행되고 있다. 국외 연구로 Carrasco 및 등의 Somasundarama 등의 살수방식에 따른 열성능 실험이 있으며 연구결과 상당한 관류열부하 및 지붕표면온도의 감소와 이에 따른 실내온도의 유효한 저하가 있음을 보고하고 있다.<sup>3)</sup>

국내의 연구로 신우철 등에 의한 철근콘크리트조 건축물의 경사지붕에 적용된 유수방식의 열성능 해석방법 및 열성능 효과에 대한 연구와 최동호 등에 의해 수행된 지붕살수가 건축물 최상층의 실내온도환경에 미치는 영향에 관한 연구 등이 있다.<sup>4)</sup>

신우철 등의 연구결과로 증발냉각시스템은 우리나라 여름철의 고온 다습한 기후에서도 우수한 열성능 효과를 나타내며 유효한 실내온도 감소를 보이는 것으로 보고하고 있다. 또한, 최동호 등의 연구에서 지붕살수를 통해 최상층에서 0.7~1.0(°C)의 실내 온도를 감소하는 것으로 보고하고 있으며 중간층과의 온도차와 대비하여 약 39~43(%)의 실온상승 억제효과를 보고하고 있다.

1) 신우철 외, “지붕 증발냉각시스템의 열성능에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 16권 4호, pp. 109~110.  
 2) 삼우설계편, “친환경 건축물 요소기술과 설계기법”, p. 84.  
 3) ASHRAE Transaction, OT-88-04-2, pp. 1091~1097.  
 4) 참고문헌 1, 2, 3, 4, 5

## 3. 축소모형 실험의 개요

### 3.1 평가대상 선정 및 축소모형 제작

평가대상 아트리움을 선정하기 위하여 건축잡지 및 기존 연구에서 적용된 아트리움 형태를 분석하여 가로 9(m), 세로9(m), 높이12(m)의 4층 건물의 천창형 아트리움을 선정하였다. 선정된 아트리움 건축물은 1/20 스케일의 축소모형을 제작하였다.

제작된 아트리움 모형은 가로 및 세로 각각 450(mm), 이고 높이600(mm)로 제작되었다. 모형의 제작은 아크릴 및 목재 그리고 우드락을 활용하여 제작하였고 지붕부의 담수저장고의 높이는 30(mm)로 설정하였다. 아트리움의 형태 및 제작된 축소모형은 (그림 2)와 같다.

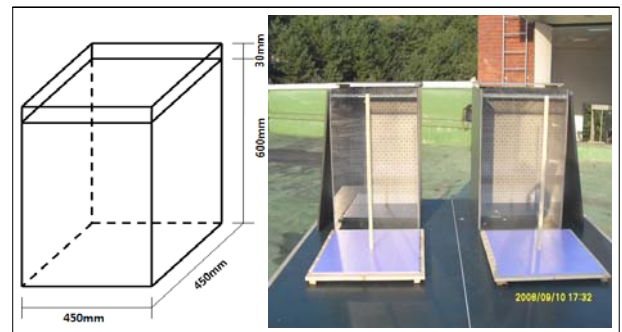


그림 3. 선정된 아트리움 형태 및 축소모형



그림 4. 축소모형의 제작

### 3.2 축소모형 실험

지붕담수시스템에 의한 아트리움 실내의 냉방효과를 평가하기 위한 축소모형 실험은 외부 방해물의 영향을 받지 않는 조건에서 청천공 아래에서 실시하였다. 실험은 3일간의 1차실험결과를 바탕으로 8월 27일부터 9월 7일 사이에 10일간 진행되었다.

아트리움 실내 및 담수온도 측정은 미국 Onese사의 “HoBo Data Logger”를 사용하였고 외부 온도 및 풍속의 측정을 위해서는 다기능 종합 환경측정기인 “Testo 400”을 사용하였다. 이때, 아트리움 지붕담수의 깊이는 실제설치 시 하중을 고려하여 25(mm)로 설정하였다.



그림 5. 측정기기 (Hobo 및 Testo 400)

아트리움 실내온도는 상부와 중부 그리고 하부에서 실시되었고 천장 및 바닥에서 각각 50(mm) 떨어진 위치에서 측정하였다. 실험은 천창만 개방, 천창과 전면부 개방 그리고 외피가 모두 폐쇄된 상태에서 실시하였다.

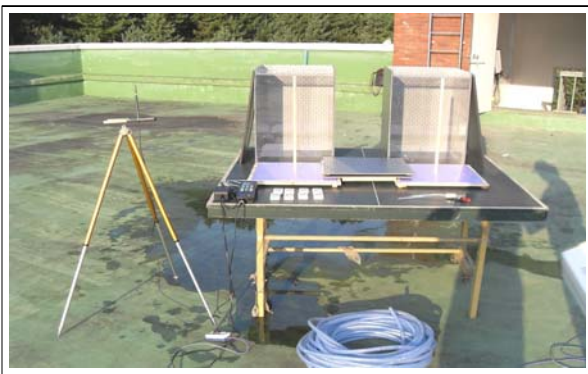


그림 6. 축소모형 실험

축소모형실험은 먼저 20분 동안 제작된 축소모형을 자연 상태에서 노출시켜 실내 온도조건을 동일하게 설정한 후 지붕부에 상온의 물을 담수하였다. 그러나 모형 실험에 따른 물성특성의 보정(유입일사량, 축열량 및 반사율 변화 등)은 본 연구에서 생략되었다.<sup>5)</sup>

#### 4. 지붕담수시스템에 의한 아트리움의 냉각효과 평가

##### 4.1 천창 및 전면개방 아트리움의 냉각효과

축소모형을 이용하여 아트리움 천창과 전면부를 개방한 상태에서 지붕담수시스템 설치에 따른 냉각효과에 따른 실험결과는 다음과 같다. 실험은 오후 1시부터 3시까지 2시간동안 실시하였다.

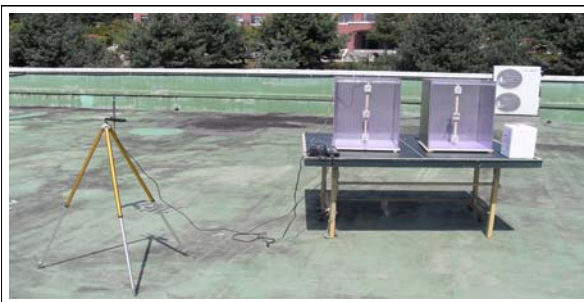


그림 7. 아트리움의 냉각효과 실험

5) 참고문헌 7, 모형실험방법 참조

축소모형 측정시의 외부풍속은 최소 0.2(m/s)에서 최대 2.3(m/s)로 측정되어 평균 0.9(m/s)로 분석되었다. 또한, 지붕에 설치된 담수의 온도는 실험시작 시에 23.6(°C)로 측정되었으며, 실험완료 시에 31.1(°C)로 실험기간 동안 7.5(°C) 상승한 것으로 분석되었다.

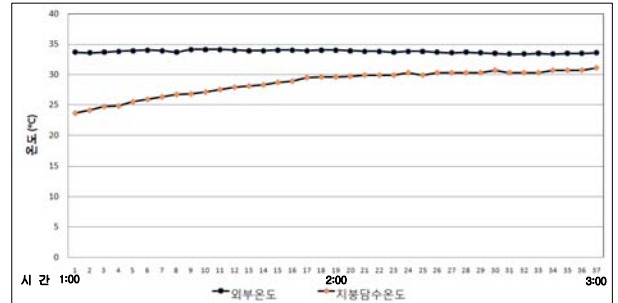


그림 8. 측정시의 외부 및 지붕담수 온도

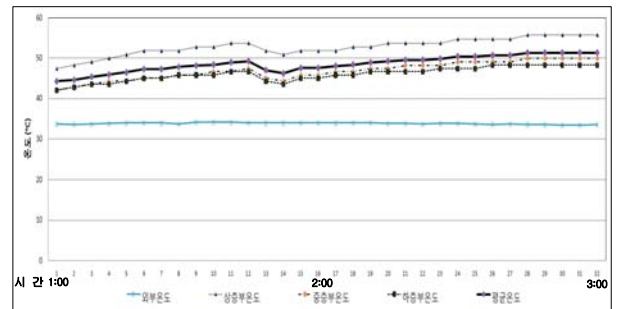


그림 9. 지붕담수 미설치 시 실내 온도

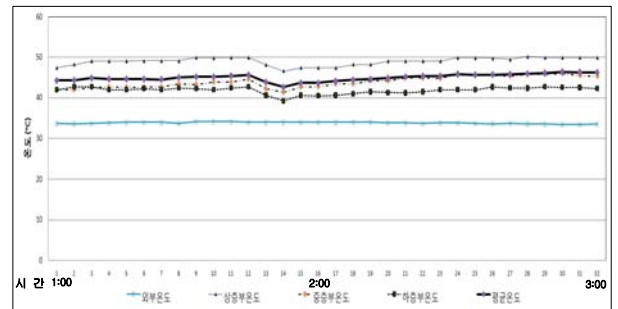


그림 10. 지붕담수 설치 시 실내 온도

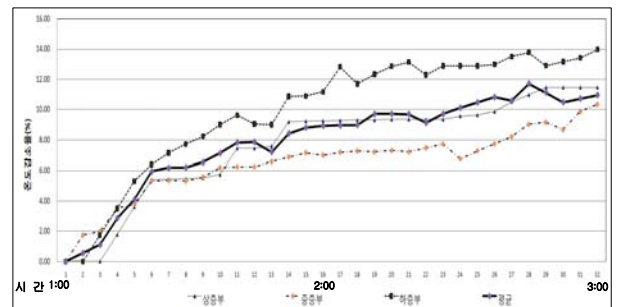


그림 11. 지붕담수 설치로 인한 온도감소율(%)

자연 상태에서 20분 동안 노출시킨 상태에서 실 평균 온도는 약 48.6(°C)로 측정되었고 측정시의 외부온도는 33.4(°C)~34.1(°C)로 평균 33.7(°C)로 분석되었다. 분석결과, 지붕담수의 설치로 인해 평균 7.9(%)의 실내온도가 감소되는 것으로 분석되었다. 또한, 측정부에 따른 온도 변화는 지붕담수에 의해 냉각된 공기가 축적된 하층부에서 가장 큰 것으로 분석되었다.

표 1. 천창 및 전면개방 아트리움의 지붕담수 냉각효과

	지붕담수	최저온도(°C) (감소율, %)	최고온도(°C) (감소율, %)	평균온도(°C) (감소율, %)
상층부	미설치	47.4	55.7	52.8
	설치	47.3 (0.2 %)	50.0 (11.5 %)	49.1 (7.7 %)
중층부	미설치	42.0	50.0	46.9
	설치	41.9 (0.1 %)	45.3 (10.3 %)	44.0 (6.4 %)
하층부	미설치	42.0	48.3	46.0
	설치	41.9 (0.1 %)	42.3 (13.9 %)	41.9 (9.9 %)
실 평균	미설치	44.2	51.3	48.6
	설치	44.1 (0.1 %)	46.2 (10.9 %)	45.0 (7.9 %)
담수온도 (°C)		23.7	31.1	28.5
외부온도 (°C)		33.4	34.1	33.7
외부풍속 (m/s)		0.03	2.37	0.94

지붕담수 설치에 따른 아트리움 실내온도 감소율은 최고온도에서 감소율(11.5~13.9 %)이 가장 높은 것으로 분석되었고 최저온도에서 0.1(%)~0.2(%)로 최저온도의 감소율이 적은 것으로 분석되었다. 실 전체에서 지붕담수의 설치로 인해 실내 평균온도가 7.9(%) 감소하는 것으로 분석되었다.

또한, 측정부위의 평균온도 감소율을 분석한 결과, 하층부(9.9 %), 상층부(7.7 %) 그리고 중층부(6.4 %)의 순으로 감소율이 변화하는 것으로 분석되었다. 이는 실내로 사입되는 일사의 양이 많아 담수와 직접 접하는 상층부와 냉각공기가 축적된 하층부가 상대적으로 높은 감소율이 나타난 것으로 사료된다.

#### 4.2 천창개방 아트리움의 냉각효과

천창만 개방한 상태에서 지붕담수시스템의 설치에 따른 아트리움 실내의 냉각효과에 따른 축소모형 실험을 (그림 11)과 같이 실시하였다. 측정시의 외부온도의 변화는 32.7(°C)~33.6(°C)로 측정되었고 평균 33.1(°C)로 분석되었다. 측정데이터는 오후 1시에서 3시까지 실험결과를 기록하였다.

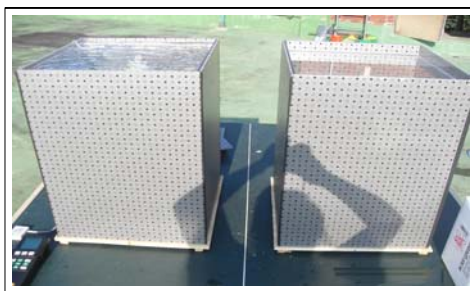


그림 12. 아트리움의 냉각효과 실험

축소모형 측정시의 외부풍속은 최소 0.1(m/s)에서 최대 1.7(m/s)로 측정되었으며 평균풍속은 0.7(m/s)인 것으로 분석되었다. 또한, 지붕에 설치된 담수의 온도는 실험시작 시에 24.4(°C)로 측정되었으며, 축소모형 실험 완료 시에는 30.9(°C)로 실험기간 동안 약 6.5(°C) 상승한 것으로 분석되었다.

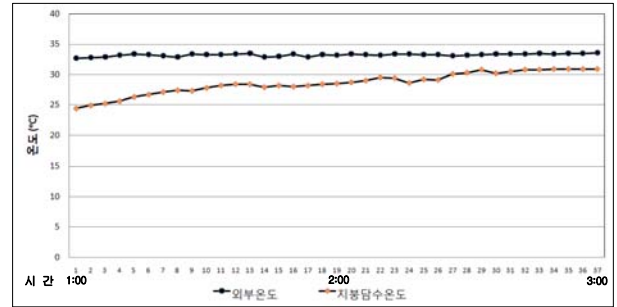


그림 13. 측정시의 외부 및 지붕담수 온도

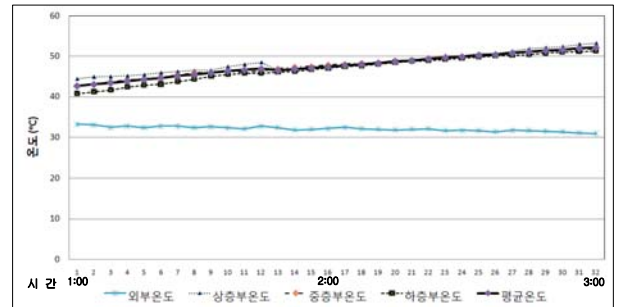


그림 14. 지붕담수 미설치 시 실내 온도

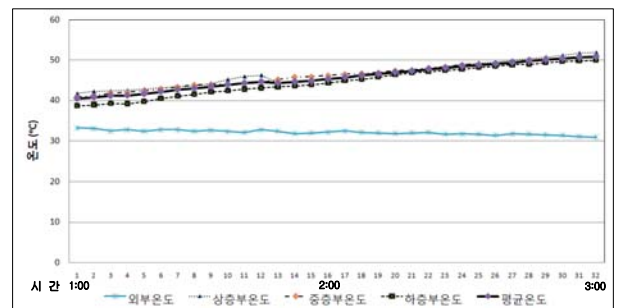


그림 15. 지붕담수 설치 시 실내 온도

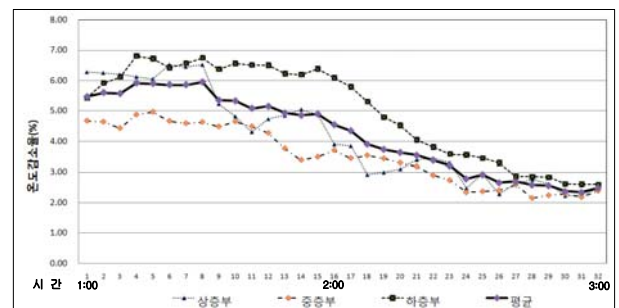


그림 16. 지붕담수 설치로 인한 온도감소율(%)

자연 상태에서 20분 동안 노출시킨 상태에서 실 평균 온도는 약 42(°C)로 측정되었고 지붕담수의 설치로 인해 평균 4.5(%)의 실내온도가 감소되는 것으로 분석되었다. 측정부에 따른 온도변화는 지붕담수에 의해 냉각된 공간이 축적된 하층부에서 가장 큰 것으로 분석되었다.

지붕담수 설치에 따른 아트리움 실내온도 감소율은 최저온도 감소율이 가장 높은 것으로 분석되었고 측정 부위에 따라 3.6(%)~6.9(%)이며 실 전체에서 5.4(%) 감소하는 것으로 분석되었다.

이는 천장이외에 일사의 유입이 없어 담수에 의한 냉각공기의 영향이 최저온도에서 가장 크게 나타난 것으로 사료되며 이 때, 상대적으로 최고온도의 감소율이 가장 적은 것으로 분석되었다.

표 2. 천창개방 아트리움의 지붕담수 냉각효과

	지붕담수	최저온도(°C) (감소율, %)	최고온도(°C) (감소율, %)	평균온도(°C) (감소율, %)
상층부	미설치	43.2	53.2	47.7
	설치	41.1 (5.7 %)	51.7 (2.9 %)	45.9 (4.1 %)
중층부	미설치	42.9	57.9	48.1
	설치	40.2 (6.9 %)	56.2 (2.9 %)	46.1 (4.6 %)
하층부	미설치	40.1	53.3	46.9
	설치	38.7 (3.6 %)	52.1 (2.3 %)	44.8 (4.9 %)
실 평균	미설치	42.1	54.8	47.6
	설치	39.9 (5.4 %)	53.3 (2.7 %)	45.6 (4.5 %)
담수온도 (°C)		24.4	30.9	26.5
외부온도 (°C)		32.7	33.6	33.1
외부풍속 (m/s)		0.01	1.72	0.71

4.3 천창폐쇄 아트리움의 냉각효과

실내로 유입되는 일사의 영향을 배제한 상태에서 지붕담수시스템의 냉각효과를 평가하기 위해 천창 및 전면부 모두를 폐쇄하고 아트리움 실내의 온도변화를 평가하였다. 측정시의 외부온도는 30.8(°C)~33.2(°C)로 평균 32.9(°C)로 측정데이터는 오후 1시에서 3시까지 실험 결과를 기록하였다.

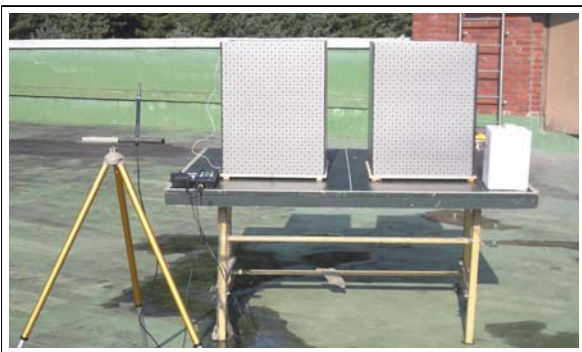


그림 17. 아트리움의 냉각효과 실험

축소모형 측정시의 외부풍속은 최소 0.2(m/s)에서 최대 1.2(m/s)로 측정되었으며 평균풍속은 0.5(m/s)인 것으로 분석되었다. 또한, 지붕에 설치된 담수의 온도는 실험시작 시에 24.4(°C)로 측정되었으며, 축소모형 실험

완료 시에는 28.3(°C)로 실험기간 동안 약 3.9(°C) 상승한 것으로 분석되었다.

자연 상태에서 20분 동안 노출시킨 상태에서 실 평균 온도는 약 42.6(°C)로 측정되었고 지붕담수의 설치로 인해 평균 4.3(%)의 실내온도가 감소되는 것으로 분석되었다. 또한, 측정부에 따른 온도변화는 냉각공기가 축적되는 하층부에서 가장 크며(5.2 % 감소) 중층부(3.5 % 감소)에서 가장 적은 것으로 분석되었다.

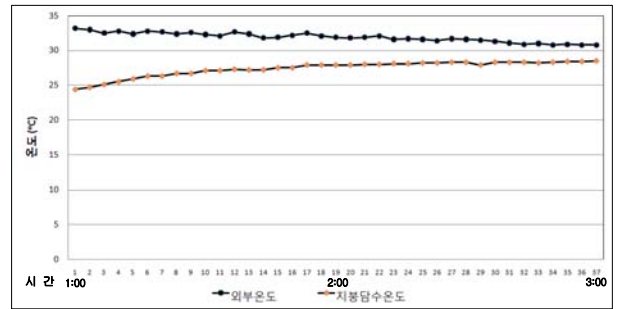


그림 18. 측정시의 외부 및 지붕담수 온도

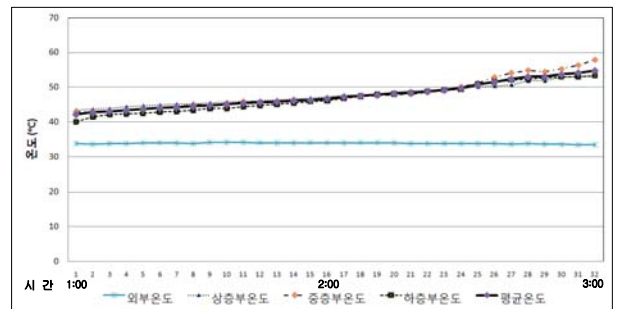


그림 19. 지붕담수 미설치 시 실내 온도

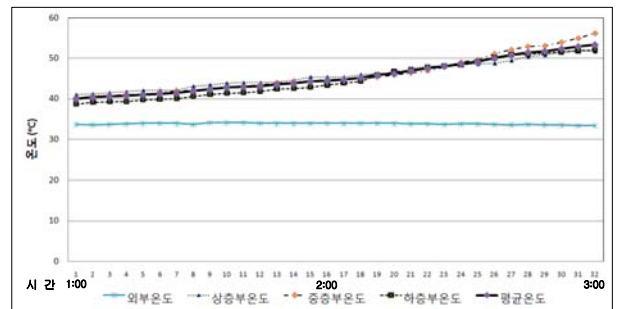


그림 20. 지붕담수 설치 시 실내 온도

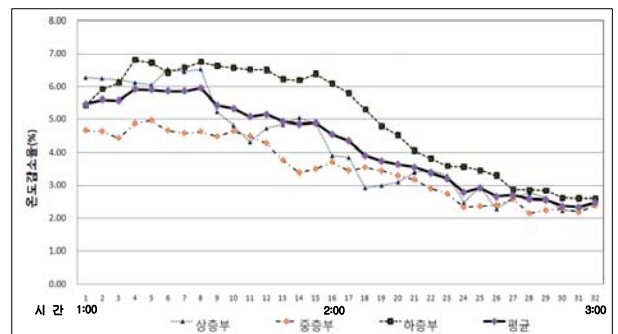


그림 21. 지붕담수 설치로 인한 온도감소율(%)

지붕담수 설치에 따른 아트리움 실내온도 감소율은 실험초기의 감소율(5.5 %)이 가장 높은 것으로 분석되었고 시간이 갈수록 감소율이 적어져 실험 종료 시의 감소율은 2.5(%)로 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 실내로 유입되는 일사의 영향이 가장 적은 실험조건에 의한 결과로 사료된다.

측정부위에 따라 실내온도는 지붕담수의 설치로 인해 3.5(%)~5.2(%) 감소하는 것으로 분석되었고 실 전체에서 4.3(%) 감소하는 것으로 분석되었다. 이 때, 최고온도의 감소율이 가장 적은 것으로 분석되었다.

표 3. 천창폐쇄 아트리움의 지붕담수 냉각효과

	지붕담수	최저온도(℃) (감소율, %)	최고온도(℃) (감소율, %)	평균온도(℃) (감소율, %)
상층부	미설치	44.4	53.2	48.3
	설치	41.7 (6.2 %)	51.9 (2.5 %)	46.4 (4.2 %)
중층부	미설치	42.8	51.9	47.8
	설치	40.9 (4.7 %)	50.7 (2.4 %)	46.2 (3.5 %)
하층부	미설치	40.8	51.3	46.9
	설치	38.7 (5.4 %)	50.1 (2.6 %)	44.7 (5.1 %)
실 평균	미설치	42.6	52.1	47.7
	설치	40.5 (5.5 %)	50.9 (2.5 %)	45.8 (4.3 %)
담수온도 (℃)		24.4	28.3	26.3
외부온도 (℃)		30.8	33.2	32.9
외부풍속 (m/s)		0.20	1.23	0.52

### 5. 결론

여름철 과도한 일사의 유입이 예측되는 아트리움 건축물을 대상으로 친환경 냉각시스템의 하나인 지붕증발 냉각시스템의 열적성능을 청천공아래에서 축소모형을 이용하여 평가하였다. 자연상태에서 20분 동안 노출시켜 실내온도를 상승시킨 다음에 지붕담수를 설치하고 실시된 실험의 결과는 다음과 같다.

천창 및 전면개방 아트리움의 경우에 지붕담수시스템의 설치에 따른 열적효과는 실험초기에 측정된 최저온도 보다 실험후반부의 최고온도 감소율이 크며 하층부와 상층부에서 온도감소율이 높은 것으로 분석되었다.

이는 개방된 전면부를 통한 지속적인 일사유입으로 실내 온도의 급격한 증가로 지붕담수의 온도가 상승함에도 불구하고 실내온도 감소율이 높은 것으로 판단되며 아트리움 하층부의 감소율 증가는 냉각공기의 축적에 따른 결과로 판단된다.

천창개방 아트리움의 경우에 최저온도 감소율이 크게 나타났고 측정위치에 따라 아트리움 하층부와 중층부에서 감소율이 높은 것으로 분석되었다. 즉, 전면부의 일사유입이 없는 경우에는 지붕담수의 온도증가에 따라 실내 냉각효과가 감소하며 아트리움 중층부까지 축적된 냉각공기가 영향을 미치는 것으로 판단된다.

아트리움의 개구부를 모두 폐쇄한 경우의 지붕담수시스템에 의한 아트리움 실내의 열성능은 최저온도 감소율이 최고온도 감소율 보다 크게 나타났으며 하층부의

감소율이 가장 높은 것으로 분석되었다. 즉, 일사를 모두 차단한 실험결과와 전면일사를 차단한 결과가 유사한 양상을 보여 전면일사의 영향이 아트리움 실내온도에 가장 영향이 큰 것으로 판단된다.

본 연구는 실험을 통하여 친환경 냉각시스템으로써 지붕담수시스템을 활용한 아트리움 건물의 열적특성을 평가였다. 수행된 연구는 실제 설치 가능한 지붕담수시스템 개발을 위한 기초적 연구로 축소모형 실험에 의해 발생할 수 있는 물리적 특성 등의 변화를 고려하지 못하였고 비교적 짧은 기간에 실험이 진행되는 등 실험결과가 객관적 유의성을 지니기에 부족한 연구의 한계를 지니고 있는 것으로 사료된다.

그러나 연구결과 지붕담수시스템이 아트리움 실내의 실내온도를 유효하게 감소시킬 수 있는 유용한 시스템의 하나인 것으로 판단되었고 연구결과는 후속연구를 위한 기초자료로 활용될 수 있다고 사료된다. 앞으로 모형실험에 대한 보정과 보다 장기적인 실험을 통해 실제적인 지붕담수시스템의 지속적인 개발이 요구된다.

### 참고문헌

1. 신우철, “지붕 증발냉각시스템의 열성능 해석”, 한국태양에너지학회 논문집 vol. 21 no. 3, 2001년, pp. 9~18.
2. 신우철, 임득환, 장문석, 백남춘, “지붕 증발냉각시스템의 열성능에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 16권 4호, 200년 4월, pp.109~114.
3. 최동호, “공동주택의 하절기 개구부 밀폐 시 지붕면 일사수열이 최상층 실내온열환경에 미치는 영향분석”, 한국태양에너지학회 논문집 24권, 2004년, pp.45~53.
4. 최동호, “공동주택의 하절기 자연환기 시 지붕면 일사수열이 최상층 실내온열환경에 미치는 영향 분석” 한국태양에너지학회 논문집 25권 1호. 2005년, pp. 45~55.
5. 최동호, 이부용, “지붕살수에 의한 증발 냉각작용이 최상층 실내온열환경에 미치는 영향분석”, 대한건축학회논문집 22권 5호, 2006년 5월, pp. 287~294.
6. S. Somasundaram and ,A. D. Caraasco, “An experimental and numerical modeling of a roof-spray cooling system”, ASHRAE Transaction, OT-88-04-2, 1988
7. Wenting Ding, Yoshikazu Minegishi, Yuji Hasemi, Tokiyoshi Yamada, “Smoke control based on a solar-assisted natural ventilation system”, Building and Environment, 39, 2004, pp. 775~782.

투고(접수)일자: 2009년 11월 25일

심사일자: 2009년 11월 30일

게재확정일자: 2009년 12월 24일