

# 실측 분석기법과 시뮬레이션 분석 기법에 의한 아트리움 열환경 개선에 관한 연구

이소연\*, 안정수\*\*, 김강수\*\*\*

\*고려대학교 대학원 건축학과(yiso43@hanmail.net),  
\*\*(주)FNS B&P팀 팀장(anjsoo42@hotmail.com),  
\*\*\*고려대학교 건축학과 교수(kskim@korea.ac.kr)

## A Study on the Improvement of Thermal Environment by a method using thermometers and computer simulations on the Atrium

Lee, So-yeun\* An, Jung-soo\*\* Kim, Kang-soo\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Korea University(yiso43@hanmail.net),  
\*\*FNS Eng., Inc. Building & Plants Dept. / Team Manager(anjsoo42@hotmail.com),  
\*\*\*Dept. of Architecture, Korea University(kskim@korea.ac.kr)

### Abstract

The atrium in the building has many advantages including its aesthetic and functional effect. But the upper part of the atrium has the thermal problem of overheating due to insolation through the window. But natural ventilation aided buoyancy effect can be a solution to make comfortable indoor environment. Proper design of openings is very important to improve thermal environment in the atrium.

In this study, thermal evaluations were performed to improve thermal environment in the atrium. Indoor thermal environment of an atrium at Seoul was measured in the field and simulated with Computational Fluid Dynamics(CFD) code. The turbulent flow model adopted is K- $\epsilon$  model. The results of computer simulations are compared with the measurements at the point in the atrium. In order to improve the indoor ventilation environment of the atrium, thermal environment evaluations of six alternatives were conducted. After evaluations of the results, the design guidelines of an atrium are suggested.

Keywords : 실측(Field measurement), 컴퓨터 시뮬레이션(Computer simulation), 온도분포(Temperature distribution), 아트리움(Atrium), 전산유체역학(CFD)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

아트리움은 재실자에게 개방감을 제공하며 건물의 중심적인 공간으로서 역할을 수행한다. 동시에 자연채광과 자연환기 도입의 이점을 가지고 있어 아트리움의 건물도입이 점차 증가하고 있다. 하지만 아트리움 유리를 통한 일사 유입으로 인해 상층부 불쾌 영역이 형성되며 이는 에너지 낭비의 요인이 된다. 중간기 및 여름철 창호 개방 시 외기 도입 계획을 통한 아트리움 상부 열고임 현상의 해결로 쾌적한 실내 열환경을 확보할 필요가 있으며 자연환기를 이용한 건물은 공조시스템을 이용한 건물보다 에너지 비용이 40% 적은 것으로 나타났다.<sup>1)</sup> 본 연구에서는 일반적인 모델로 활용될 수 있는 아트리움 건물을 대상으로 온도분포를 실측하고 그와 동일한 조건에서 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 실측과 예측과의 결과를 비교 분석하였다. 또한 자연환기 계획을 통한 개선안을 제시하고 쾌적한 실내 열환경을 확보하며 에너지 절약 가능성을 검토하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

대상 공간은 서울의 K대학교 H도서관 아트리움이며 중간기 실내 열환경을 측정하여 분석하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 CFD 상용코드인 FLUENT를 이용하여 실제 측정치를 경계조건으로 실측과 연계된 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과는 실측값과 비교하여 재현 가능성을 확인하였고 자연환기 도입을 위한 대안에 대한 시뮬레이션을 실시하여 개선 방법을 제시하였다.

## 2. 실측 및 시뮬레이션 개요

### 2.1 건물의 개요

1) 노상태, 김강수, Single-sided 개구부의 형태와 위치에 따른 자연환기 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제21권 제8호, pp227-234, 2005

대상 공간은 서울에 위치한 지하 2층 지상 3층의 규모 H도서관 중앙부의 아트리움이며 개요는 표 1과 같다.

표 1. 해석대상 아트리움 개요

구분	개요
위치	서울
종류	3면형
크기	4.2m×5.6m / 7.2m×4.7m
높이	13.5m (천장부최고높이 14.8m)

아트리움은 그림 1, 그림 2와 같이 지상 1층에서 지상 3층까지 수직으로 연결되어 있으며 각 층마다 아트리움과 휴게공간이 연계되어 있다. 아트리움 내 열환경을 조절하기 위한 환기창은 현관 양 옆 0.5m×1.0m 크기 2개뿐이다.

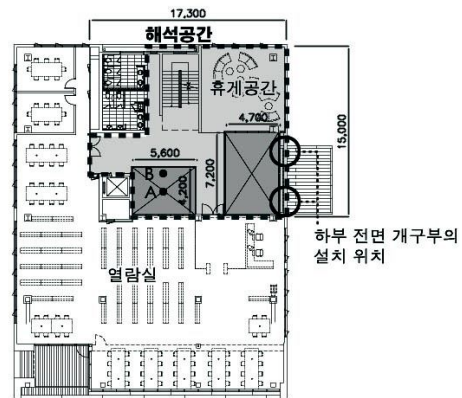


그림 1. 해석 대상 아트리움의 평면도 및 측정점

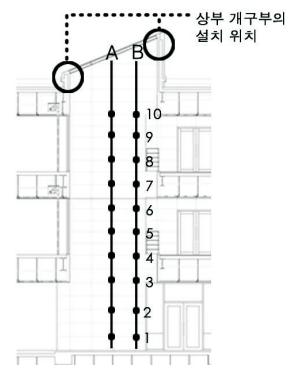


그림 2. 해석 대상 아트리움의 단면도 및 측정점

실내 아트리움 수직온도 측정점은 그림 1, 그림 2와 같으며 바닥에서부터 0.64m, 1.92m, 3.2m, 4.5m, 5.58m, 6.66m, 7.8m, 8.94m, 10.02m, 11m 높이에서 각각 측정하였다.

### 2.2 실측조건 및 방법

아트리움 공간을 대상으로 2009년 4월 23일, 4월 30일 2일간 실내 열환경을 측정하였다. 측정항목 및 측정장치는 표 2와 같다.

표 2. 측정항목 및 방법

측정항목	지점	측정방법	장치
아트리움 공간온도	2지점	수동	testo 454
표면온도	벽 20지점	수동	Raytek
	바닥 6지점		
	유리창 20지점		
송풍공기 속도	급배기구 33지점	수동	testo 454

실측 시 공조상태는 표 3과 같다.

표 3. 실측일별 공조상태

측정항목	외기 온도(°C)	급기 온도(°C)	배기 온도(°C)	공조상태
4월 23일	20.83	24.01	24.66	30%OA도입
4월 30일	22.4	22.2	24.4	100%OA도입

### 2.3 시뮬레이션 조건 및 방법

해석 공간은 15m × 17.3m × 14.8m의 크기이며 아트리움 공간과 함께 휴게 공간과 복도 부분을 포함하며 그림 1에 음영으로 표시하였다. 해석공간 이외의 열람실 공간은 문이 닫힌 상태이며 기밀성이 좋아 아트리움에 영향을 미치지 않는다고 판단하여 해석공간에서 제외하였다. 격자계는 그림 3과 같으며 그리드의 전체 cell수는 158만개이다.

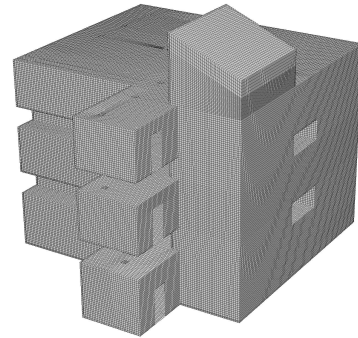


그림 3. 해석 대상 아트리움의 격자계

3차원 난류 시뮬레이션을 실시하였으며 난류모델은 K-ε 모델을 사용하였고 재실자 및 조명부하, 일사부하를 시뮬레이션에 적용하였다. 입력 조건으로 설정한 실내 발열부하 및 급·배기 풍량은 표 4와 같다.

표 4. 실내 발열부하 경계조건

	인체부하 [W]	조명부하 [W]	일사부하 [W]	급기 풍량 [CMH]	배기 풍량 [CMH]
1층	725	750	-	1,499	1,499
2층	725	774	-	2,263	2,263
3층	725	1,284	-	1,986	1,986
아트리움	-	-	8,765	-	-

CFD 예측 시뮬레이션 입력 조건은 100% 외기 도입 시 아트리움의 열환경을 예측하기 위하여 4월 30일 일사량과 기온 및 측정값을 사용하였다. 급·배기구 경계조건은 측정속도로 입력하였고 온도는 실측 상태인 22.2°C로 하였다. 창 및 벽의 경계조건은 측정 온도로 하였다. 현관 양측에 위치한 개구부는 실측 시와 같이 모두 닫힌 상태로 하였다.

### 3. 실측 및 시뮬레이션 결과

아트리움 내 A, B지점의 실측 및 시뮬레이션 수직 온도를 그림 4에 나타내었다.

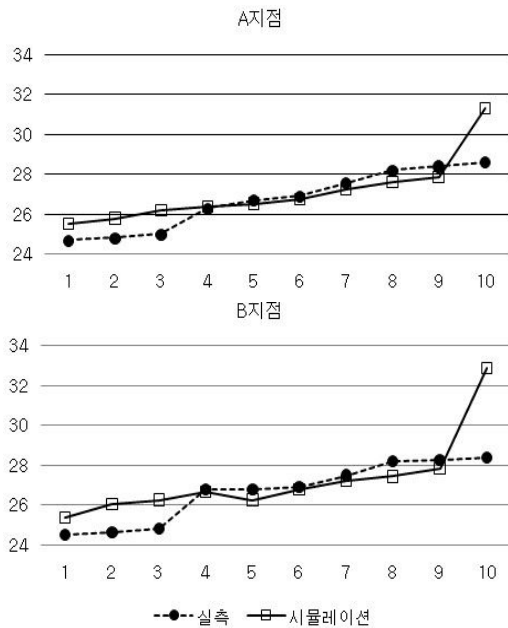


그림 4. A, B지점의 실측 및 시뮬레이션 실내수직온도분포 비교

실측 온도는 높이가 높아짐에 따라 상부 아트리움 천창의 일사유입의 영향으로 그림 4와 같이 높아졌다. A, B 두 지점 모두 1지점과 10지점의 온도차가 3.9°C로 크게 나타났다. 특히 8, 9, 10지점에서는 28°C 이상의 불쾌적 온도가 나타났으며 이를 해결해야 할 필요가 있다.

실측값과 시뮬레이션의 오차는 A지점 평균 2.8%, B지점 평균 4.0%였다. 실측값과 시뮬레이션 값의 오차가 적어 시뮬레이션 값의 신뢰도가 충분히 있으며 아트리움 내 문제점을 해결하기 위한 대안에 대한 예측이 가능할 것으로 판단되었다.

#### 4. 개선안 검토 및 분석

##### 4.1 케이스별 변경 조건 검토

아트리움의 실내 환경을 보다 쾌적하게 유도하기 위한 방안을 모색하기 위하여 표 5와 같이 케이스별 변경 조건을 달리하였다.

표 5. 케이스 설정

Case	개구부 개폐상태 (O:열림, -:단합)		개구부 크기		기타
	천창	1층	천창 (m×m)	1층 (m×m)	
Case 1	-	-	-	-	기존건물
Case 2	-	-	-	-	천창외부 차양설치
Case 3	O (단일)	-	0.3×5.6	-	-
Case 4	O (양측)	-	0.3×5.6, 0.3×5.6	-	-
Case 5	O (단일)	O	0.3×5.6,	0.3×2.1, 0.3×3.4	-
Case 6	O (양측)	O	0.3×5.6, 0.3×5.6	0.3×2.1, 0.3×3.4	-
Case 7	O (단일)	O	0.6×5.6	0.6×2.1, 0.6×3.4	-
Case 8	O (양측)	O	0.6×5.6, 0.6×5.6	0.6×2.1, 0.6×3.4	-

표 5와 같이 Case 1은 기존 건물 상태로 시뮬레이션 결과분석의 기준이 되며 Case 2는 아트리움 천창부에 외부 차양장치를 설치한 경우이다. 또한 Case 3, Case 4, Case 5, Case 6, Case 7, Case 8은 개구부의 개폐상태 및 면적에 변화를 준 경우이다.

##### 4.2 외부차양에 따른 분석

Case 2에서는 아트리움 상부의 열고임의 주요한 원인인 투과 일사를 차단하기 위한 외부차양을 그림 5와 같이 설치하였다.

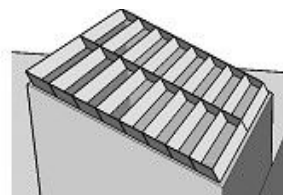


그림 5. Case 2에서의 아트리움 천창부 외부 차양

60도 각도 30cm 깊이의 외부 차양을 설치할 경우 아트리움 천창으로 유입되는 일사가 표 6과 같이 Case 1에 비해 약 57.6%로

(16.06/27.86) 감소한다.

표 6. 차양장치 설치에 따른 천창 유입 투과일사량

구분	Case 1(설치)	Case 2(미설치)
아트리움으로 유입되는 투과 일사량 [W/m <sup>2</sup> ]	27.86	16.06

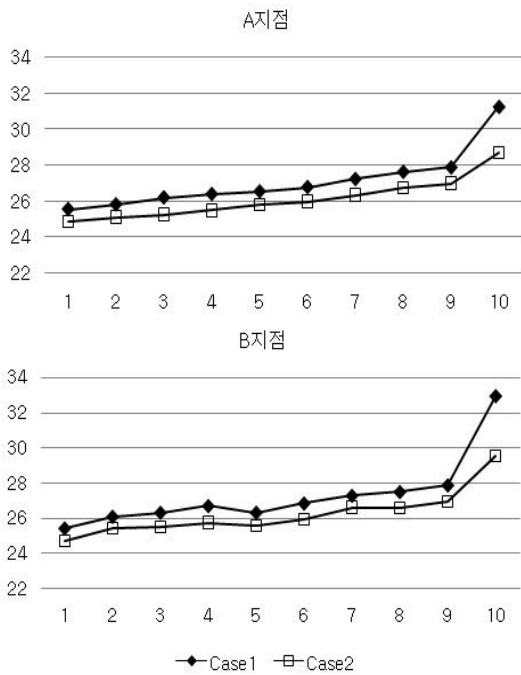


그림 6. 차양 장치 설치 유무 따른 A, B지점 수직온도분포

Case 2의 경우 그림 6과 같이 3층 상부 10 지점에서 Case 1에 비해 A 지점 2.6°C, B 지점 3.4°C의 온도 하강 효과를 보였다. 또한 아트리움 전 영역에서 A 지점은 평균 1.0°C, B지점은 평균 1.1°C의 온도가 낮아지는 효과를 나타냈다.

### 4.3 개구부 개폐상태에 따른 분석

아트리움 수직 온도 분포는 외기 도입에 의한 환기량에 영향을 받으므로 개구부 개폐 상태에 따른 환기량을 먼저 분석한 후 온도 분포 분석을 하였다.

(1) 개구부 개폐상태에 환기량 분석  
그림 7은 개구부 개폐 상태에 따른 환기량을 나타낸 결과이다.

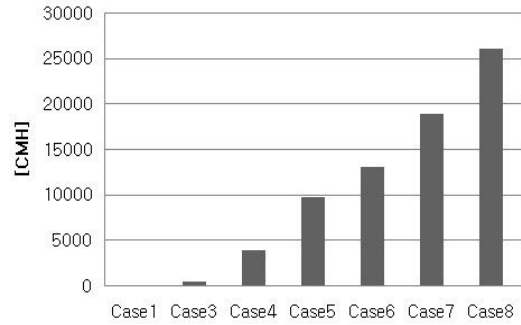


그림 7. 개구부 개폐상태에 따른 환기량

그림 7과 같이 개구부 개수 및 면적이 늘어나고 수직환기 계획을 하였을 때 환기량이 증가하였다. 특히 아트리움 상부만 열었을 때(Case 3, 4)보다 상·하부 개구부를 동시에 개방(Case 5, 6, 7, 8)하였을 때 환기량이 크게 증가하므로 상·하부 개구부가 동시에 열릴 수 있도록 계획하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. Case 3은 아트리움 상부 한쪽 면의 개구부 계획으로 인하여 환기효과가 거의 없으며 Case 4는 아트리움 상부 맞통풍이 가능한 개구부 계획으로 3,806 CMFH의 환기 효과를 나타낸다. Case 5는 상·하부 개구부 개방으로 인한 수직 환기계획으로 Case 4에 비해 환기량이 약 2.6배 증가하였으며 Case 6은 수직 환기와 상부 맞통풍 계획으로 인하여 Case 5에 비해 환기량이 약 1.3배 증가하였다. Case 7은 Case 5와 같은 상태에서 상·하부 개구부 면적을 두 배로 증가시킨 경우이며 Case 5에 비해 환기량이 약 1.9배 증가하였다. Case 6의 상·하부 개구부 면적을 두 배로 증가시킨 Case 8은 Case 6에 비해 환기량이 약 2배 증가하였다.

(2) 개구부 개폐상태에 따른 수직온도 분석  
개구부 개폐 상태에 따른 수직 온도분포

영향을 평가한 결과를 그림 8에 나타내었다.

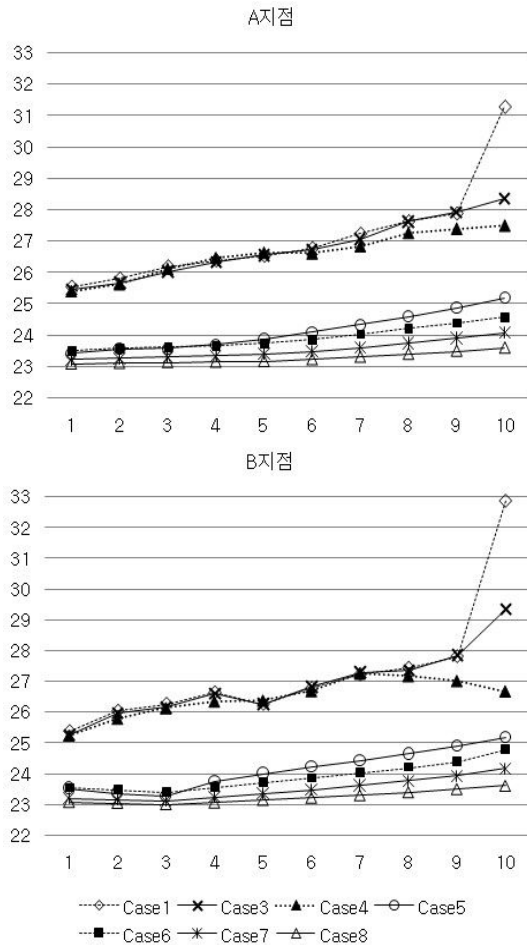


그림 8. 개구부 개폐상태에 따른 A, B지점 수직온도분포

A, B지점 모두 상부 개구부만 개방한 Case 3과 Case 4는 아트리움 상부의 열고임 해소에는 효과적이나 아트리움 전체 영역의 온도 하강효과는 나타나지 않았다.

상부와 하부 개구부가 동시에 개방될 수 있도록 계획한 Case 5, Case 6, Case 7, Case 8의 경우 3°C 내외의 온도하강 효과를 나타내며 전 영역 23~25°C의 쾌적한 온도분포를 보인다. A지점의 경우, Case 1에 비해 Case 5는 평균 3.0°C, Case 6은 평균 3.2°C의 온도하강 효과를 보였다. 이는 수직 환기 계획에

의한 환기량 증가(그림 7)에 따른 영향인 것으로 사료된다. 따라서 아트리움 계획 시 상부 통풍만 가능한 계획으로 아트리움의 수직 전 영역 온도 하강효과를 기대하기는 어려우며, 상하부 개구부 계획을 통한 수직 환기를 유도하여 아트리움 전 영역에 쾌적한 온도분포를 만족할 수 있는 계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

상·하부 개구부 크기를 Case 5의 2배로 한 Case 7의 수직온도는 Case 5에 비해 A지점은 평균 0.64°C, B지점은 평균 0.62°C 낮아진다. 또한 상·하부 개구부 크기를 Case 6의 2배로 한 Case 8의 수직온도는 Case 6에 비해 A지점은 평균 0.65°C, B지점은 평균 0.65°C 낮아진다. 이는 개구부 면적이 증가하면서 환기량이 늘어남에 따라 나타나는 결과이나 개구부의 증가 비율에 비해 온도강하 효과는 적었다.

개구부 개폐상태와 관련된 케이스(Case 3 ~ Case 8)를 Case 1과 비교한 내용을 표 7에 나타내었다.

표 7. 케이스 비교

구분		Case 1		Case 3		Case 4			
A지점	B지점								
환기량(CMH)		0		427		3,807			
평균온도(°C)		27.1	27.3	26.8	26.9	26.6	26.5		
Case1과 비교한 온도감소(°C)		-	-	0.3	0.4	0.5	0.8		
수직온도차(°C)		5.7	7.5	2.9	4.1	2.1	1.4		
		Case5		Case 6		Case 7		Case 8	
		9,710		12,970		18,823		25,983	
		24.2	24.1	23.9	23.9	23.5	23.5	23.2	23.2
		2.9	3.2	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1
		1.8	1.7	1.1	1.3	0.8	1.0	0.5	0.5

A, B 두 지점 모두 Case 8의 온도가 가장 많이 낮아졌으나 Case 5, Case 6, Case 7, Case 8의 온도분포가 크게 차이하지 않았다. 따라서 개구부 개폐 상태 조절에 따른 온도강하 효과는 Case 5가 가장 우수한 것으로 판단되며 면적의 증가 보다는 개구부 배치

계획이 더 중요한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 아트리움의 자연 환기 성능 활성화 방안을 제시하고, 시뮬레이션을 통한 대안을 평가하였다. 결론은 다음과 같다.

- (1) 아트리움 상부에 차양 장치 설치 시(Case 2) 10지점에서 2℃ 이상의 온도강하 효과를 보였으며 아트리움 수직 전 지점 약 1℃의 온도를 낮출 수 있는 효과를 보였다. 아트리움 외부 차양 장치는 강한 일사유입으로 인한 아트리움의 과열을 막기 위한 대안이 될 것으로 사료된다.
- (2) 아트리움 상부 개구부 계획(Case 3, Case 4) 결과 아트리움 상부의 열고임 해소에는 효과적이었으나 아트리움 전체 영역의 온도 하강 효과는 특이하게 나타나지 않았다.
- (3) 상부와 하부 개구부가 동시에 개방될 수 있도록 계획한 Case 5, Case 6, Case 7, Case 8의 경우 3℃ 내외의 온도하강 효과를 나타내며 전 영역 23~25℃의 쾌적한 온도분포를 보였다. 상·하부 개구부 계획을 통한 수직 환기를 유도하여 아트리움 전 영역에 쾌적한 온도분포를 만족할 수 있는 계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- (4) 개구부 개폐 상태와 관련된 케이스(Case 3~Case 8)를 Case 1과 비교하였을 때 A, B 두 지점 모두 Case 8의 수직 온도가 가장 많이 낮아졌으나 Case 5, Case 6, Case 7, Case 8의 온도분포가 크게 차이나지 않았다. 따라서 개구부 개폐 상태 조절에 따른 온도 강하 효과는 Case 5가 가장 우수하며 면적의 증가 보다는 개구부 배치 계획이 더 중요한 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 노상태, 김강수, Single-sided 개구부의 형

태와 위치에 따른 자연환기 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제21권 제8호, pp. 227-234, 2005

2. 허윤, 노상태, 김강수, CFD를 이용한 공동주택 자연환기량 평가방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제25권 제6호, pp. 221-228, 2009
3. Fluent.Inc, <http://www.fluent.com>
4. Liping Wang, Nyuk Hien Wong, Coupled simulations for naturally ventilated residential buildings, Automation in Construction, vol.17, pp. 386-398, 2008
5. Cuohui Can, Saffa B. Riffat, CFD modelling of air flow and thermal performance of an atrium integrated with photovoltaics, Building and Environment, vol.39, pp. 735-748, 2004