

# 대형 강의실의 실내 열환경 실측 및 컴퓨터시뮬레이션 비교 연구

## Field Measurements and CFD Simulations of Indoor Thermal Environments in the Assembly Hall

윤 재 옥\*

Yoon, JaeOck

### Abstract

The evaluation of the indoor environment of the Assembly Hall in the University, which is designed to be a large space, requires efficient design of its heating system that takes into consideration natural convection and the characteristics of the occupant's spaces. Indoor thermal environment was measured in the field and simulated with CFD code. The estimations of temperature distribution and indoor airflow distribution must be carried out simultaneously, as the thermal stratification is induced by natural convection flows. In order to simulate the even distribution of factors affecting the indoor environment, including temperature and airflow, Phoenix is used. The turbulent flow model adopted is the RNG k- model. The inlets and outlets of the air-conditioning systems, material and thermal properties, and the size of the test room (35m×18m×10m) are used for the simulation. Since the Assembly Hall is symmetric, half of the space is simulated. A Cartesian grid is used for calculation and the number of grids are respectively 60×45×35. The results of the computer simulation during winter conditions are compared with the measurements at the typical points in the assembly hall with the heating system. After evaluating the results of the computer simulations, the methods of the heating system and layout are suggested.

키워드 : 실측, 컴퓨터 시뮬레이션, 온도분포, 기류, 대형 계단강의실, CFD, 난방조건

Keywords : Field Measurement, Computer Simulation, Temperature Distribution, Air Movement, Assembly Hall, CFD, Heating Condition

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

건축공간의 대형화 요구는 사회의 변화 추세에 따라 증가되어 왔으며, 건축기술 발달과 건축 재료의 다양한 가능성으로 인하여 대형화가 가능하게 하였다. 최근 대학교에서는 교양과목과 학부제의 통합학습, 실외에서 주로 실시 하던 여러 가지 행사가 실내로 유입되는 현상 등으로 인하여 많은 인원을 동시에 수용할 수 있는 대형 계단강의실의 요구가 점차 늘어가고 있다. 많은 인원이 사용하는 강의실은 규모나 형태만 중요한 것이 아니라 실내의 열환경 쾌적 고려도 학습 환경 및 집중도에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 대형화된 실내공간은 따뜻한 공기가 위로 상승하는 공기의 부력현상으로 인하여 실내 열환경이 균일하지 못하므로 학생들에게 쾌적감을 주지 못하는 경우가 많다. 특히 여름철이나 겨울철의 대형 계단강의실은 냉방기 및 난방기에서 취출 되는 공기와 주위 공기의 온도 차에 의해 일어나는 열의 대류가 균일하지 못하게 되어 실내 쾌적도에 문제가 따른다. 또한 교육시설 중에 하나인 대형강의실은 사람이 항상 거주하는 공간이 아니므로 24시간 연속난방을 하지 않고 실을 사용할 때에만 난방을 하는 간헐난방을 하고 있다. 간헐난방은 강의실과 같이

실을 계속 사용하지 않는 경우 에너지 절약적 측면에서 유리하나 대공간일 경우 초기 실내공기를 예열난방 하는데 많은 에너지가 소모되는 단점이 있을 수 있다. 이러한 점을 고려하지 못하면 대형 계단강의실에 적절한 난방기를 설치하는데 있어 문제를 발생시킬 수 있다. 대형 강의실은 많은 인원을 수용하기 때문에 시각적, 음향적 측면을 고려하여 무대 쪽이 낮고 좌석 쪽이 점차 높아지는 계단형으로 계획되는 경우가 많다. 무대부분과 좌석부분의 높이차로 인하여 실내 상하구배에 따른 온도차가 심하게 나타나게 된다.

본 연구는 대학교 계단강의실의 난방기 실내 열환경 쾌적도에 영향을 미치는 온도분포, 습도분포, 기류를 실측하고 그와 동일한 조건에서 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 실측과 예측과의 결과를 비교 분석한 후, 보다 쾌적한 열기류환경 조성방법을 제시하고 에너지 절약 가능성을 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 통하여 알아보는 방법론을 제시하는데 목적이 있다. 이러한 자료는 대형 계단강의실 계획시 좀더 쾌적한 실내 열환경을 만드는 기본 자료로 제공될 수 있다.

#### 1.2 연구내용 및 기존연구

대형 강의실은 충청남도 아산 시에 위치한 교육시설에서 선정하였으며, 528석 규모의 계단강의실로 개별 냉난방

\* 정회원, 호서대학교 건축공학과 교수, 공학박사

시설을 갖춘 교실이다. 겨울철 실내 열환경을 실측하기 위하여 온도와 기류를 3일간 연속 측정하였고, 같은 시기에 외부의 열환경도 함께 측정하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 모델은 Cartesian Grid를 사용하였고 계단강의실은 대칭이므로 절반만 해석하였다. 전산유체역학을 기본으로 한 CFD(Computational Fluids Dynamics) 상용코드인 Phoenics를 사용하여 해석하였고, 3차원 난류 시뮬레이션을 실시하였으며 난류모델은 대공간 건축에서 주로 쓰이고 있는 k-εRNG 모델을 사용하였다. 대형계단 강의실의 재실자를 고려하지 않았으며 조명부하도 시뮬레이션에서 제외하였다.

대형 강의실의 실측조건과 동일한 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 한 후, 두 결과를 비교 분석하여 재현가능성을 확인하였다. 보다 나은 열환경 조건을 가지고 예측 시뮬레이션을 실시하여 개선책을 제시하였다.

기존연구를 살펴보면, 실제 건물의 열성능을 정량적으로 진단 평가한 건물외피의 열성능 현장 측정시스템 개발에 관한 연구(1)가 있고, 동절기 온풍난방방식을 채용한 시설원예용 하우스에서 온열공기환경을 실측하여 그 특성을 연구한 실험적 연구(2), 저온 온돌난방방식에서 실내로 유입되는 Draft온도와 기류속도를 변화시켜 기류의 흐름과 Draft 발생범위를 실험한 Draft온도와 기류속도에 의한 실내 열환경 변화에 관한 연구(3) 등이 있다. 대형 계단강의실과 같은 대형공간을 실측하는 것은 경제적, 인력, 장비의 부족 등으로 인하여 많은 어려움이 따르기 때문에 활발한 연구를 하지 못하는 실정이다. 이에 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 예측이 각광을 받고 있다.

CFD(Computational Fluids Dynamics)에 의한 컴퓨터 시뮬레이션 예측 연구의 기존연구를 살펴보면, 1995년 한국고속철도건설공단 "경부고속철도 천안역사"의 실내 환경 연구(4)가 있고 1998년에는 신공항건설공단에서 "인천국제공항 여객터미널" 실내환경 시뮬레이션을 실시(5)하였다. 일본의 Murakami S.는 아트리움을 대상으로 실내환경을 시뮬레이션 하였다.

## 2. 실측 및 시뮬레이션 개요

### 2.1 대상 공간

실측 대상 공간인 대형 계단강의실의 구조 형식은 경량철골구조로 전체 면적은 526㎡, 체적은 2,579㎡, 높이는 4.2m이다. 전체적인 실의 형태는 사다리꼴 형태로 무대부분은 좁고 좌석부분으로 뒤로 갈수록 넓어진다. 지붕은 0.83/10 (8.3%) 경사가 진 완만한 경사지붕 형태를 하고 있다. 강의실의 지붕은 외부에 노출되어 있고, 벽체 삼면이 외부에 면해 있으며 다른 한 면은 실 내부인 복도에 면해 있다. 실내 마감은 합판, 석고보드, 마이톤, 아키라이트 채광판 등으로 구성되어 있다. 그림 1은 1층 평면도 일부로 실측 대상인 대형 계단강의실이 위치해 있다. 계단강의실의 건축 규모와 재료, 구조적 세부조건, 난방 조건은 표 1과 같다.

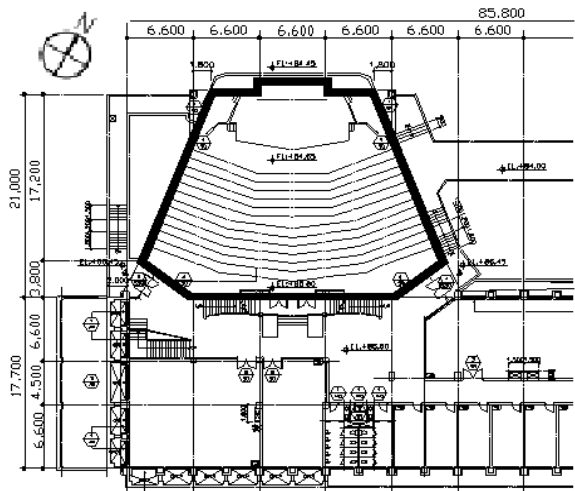


그림 1. 실측 대상 공간 평면도

표 1. 실측 대상 공간의 개요

항목		규격	
규모	크기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 천정고: 4.9~7.3m</li> <li>• 실바닥면적: 526㎡</li> <li>• 실체적: 2,579㎡</li> <li>• 실용도: 대형 계단강의실(1층)</li> </ul>	
	골조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경량 철골구조</li> <li>• 시공연도: 1997년</li> </ul>	
난방장치	온풍기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 온풍기 용량: 31,500kcal/h</li> <li>• 취출구 면적: 0.2m×1m</li> </ul>	
	(2대)		
물성치	벽체	상부	• Herawall, 석고보드(2겹), ALC패널
		하부	• 열관류율: 0.467W/㎡ °C
	지붕	상부	• 석고보드(2겹), 시멘트 벽돌, 50 <sup>T</sup> 단열재
		하부	• 열관류율: 0.491W/㎡ °C
마바닥	지붕	• 아스팔트형골, 폴리테크패널, 아키라이트채광판, 열관류율: 0.261W/㎡ °C	
	바닥	• 시멘트 모르타르, 보통 시멘트 콘크리트, 인조석 현장 물갈기	

### 2.2 실측 조건 및 방법

#### (1) 실측 조건

대형 강의실을 대상으로 2001년 2월 12일부터 2월 15일 까지 3일간 실내 열환경을 실측하였다. 강의실은 벽체 삼면과 지붕면이 외부에 노출되어 외기의 영향을 직접 받고 있었다. 실내에서 연속적으로 시간에 따른 온도분포, 기류 분포를 측정하였고 실외에서는 연속적으로 온도와 습도를 측정하였고, 풍향, 풍속을 수시로 측정하여 비교·분석하였다. 방학기간을 이용하여 실측 하였으므로 강의실 이용자는 없어 재실 자는 없는 것으로 간주 하였다. 실측을 용이하게 하기 위하여 2일간의 예비측정 후 본 실측을 시행하였다. 본 실측은 표 2와 같이 3일간 시행하였고 난방 시와 비난방 시 실내 열환경을 비교하기 위하여 2월13일 10

시간동안 난방을 하였다.

표 2. 실측 범위 및 기간

측정항목	측정횟수(기간)	측정점(측정일)
실외	온도·습도	연속측정(3일간)
	풍향·풍속	6회 측정
실내	수직 온도	연속측정(3일간)
	수평 온도	6회 측정

(2) 실측 장비

대형 강의실 현장에서 사용된 실측 장비는 실내 열환경 실측을 위해 Thermo Recorder, Amenity Meter를 사용하였고 실외 측정 시에는 자기온습도계와 열선풍속계를 사용하여 측정하였다. 실내 수직 온도분포와 수평 온도분포에 Thermo - Recorder를 사용하였고, 기류분포, PMV 측정을 위하여 Amenity Meter를 사용하였다. Thermo Recorder는 연속측정에 더 용이하므로 주로 수직 온도분포에 많이 사용하였다. 실외온도와 습도 측정시 자기온습도계를 사용하였고 풍향, 풍속 측정 시에는 열선풍속계를 사용하였다. 표 3은 실측장비 측정 항목과 측정범위를 나타낸 것이다.

표 3. 실측 장비의 측정항목 및 범위

측정공간	측정항목	측정기기	측정범위(정밀도)	회사명(모델명)
실외	온도·습도	자기온습도계	온도: -15~50℃ (±1.0) 습도: 0~100%RH (±3.0)	SK SATO Ratona (R-704)
	풍향·풍속	열선풍속계	온도: -10~60℃ (±0.5) 습도: 0~100%RH (2~3) 기류: 0~25m/s(0.1~0.5)	KANOMAX (Model 6511)
실내	온도	Thermo Recorder	온도: -10~60℃ (±0.3)	T & D (TR-71S)
		Amenity Meter	온도: 0~50℃ (±0.5)	Kyoto Electronics (AM-101)
	습도	Thermo Recorder	온도: -10~60℃ (±0.3) 습도: 10~95%RH (±5)	T & D (TR-72S)
		Amenity Meter	습도: 0~100%RH (±3) 미세기류: 0~1m/s (±0.1) 기류: 1~5m/s (±0.5) PMV: -3~+3	Kyoto Electronics (AM-101)
기류·PMV				

(3) 실 외부 측정

실 외부에서는 온도와 습도, 풍향, 풍속을 측정하였다. 온도와 습도는 자기온습도계를 사용하여 측정하였다. 자기온습도계는 연속측정이 가능하므로 실내 온도분포와 습도분포를 비교하기 위하여 3일간 연속측정 하였다. 자기온습도계의 정확한 측정값을 얻기 위하여 되도록 바람과 일사의 영향을 받지 않는 곳에 설치하여 측정하였다. 풍향·풍속은 열선풍속계를 사용하여 측정하였다. 풍향·풍속은 1일 6회 측정(2/13~2/14)하였다.

(4) 실내 수직, 수평온도 측정

실내 수직, 수평온도측정점은 표 4와 같다. 수직 온도측정은 3일간(2/12~2/15) 연속측정 하였고 그림 2와 같이 측정 점 P4와 P10에서 측정하여 무대 쪽과 좌석 쪽 상하구배에 따른 온도차와 각 측정 점 위치에서의 수직 온도분포를 측정하였다. 수직 측정 점은 총 10점을 측정하였다. 수직 온도분포 측정은 실내 바닥 위 10cm, 70cm, 150cm, 250cm, 350cm 높이에서 각각 측정하였다.

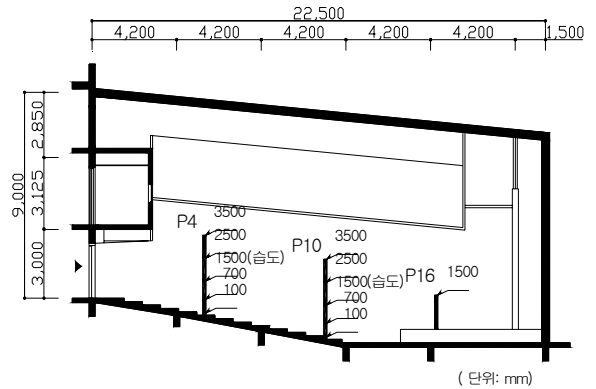


그림 2. 계단강의실 단면의 실내 수직온도 측정위치

수평 온도분포는 간헐난방을 시행한 2월13일~2월14일 이틀 동안 6회에 걸쳐서 측정하였다. 난방과 비난방시의 온도분포를 알아보기 위하여 실측하였다. 계단강의실이 좌우 대칭 형태이므로 실의 1/2만 측정하였으며 측정 점 위치는 그림 3과 같이 P1~P18점이었. 측정 점 높이는 실내바닥에서 70cm 높이로 사람이 좌석에 앉아 있는 상태에서의 온도를 측정하였다.

(5) 습도, 실내 기류속도 및 PMV

습도는 수평온도와 같이 난방과 비난방시의 습도분포를 알아보기 위하여 2월13일~2월14일 이틀 동안 6회 측정하였다. 실내바닥에서 70cm 높이에서 실측하였고, 측정 점은 총 8점으로 측정 점 위치는 P4~P6, P10~P12, P16, P17 이었다.

실내 기류속도와 PMV는 Amenity Meter(체온열 감지기)를 사용하여 실측하였다. 측정점 총8점을 측정하였고 측정점 위치는 습도와 동일한 위치에서 측정하였다.

2.3 시뮬레이션 조건 및 방법

(1) 컴퓨터 시뮬레이션 조건

계단강의실은 대형형이므로 대칭선을 기준으로 1/2만 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 모델의 전체 크기는 15.0m× 21.0m×8.2m 이고, 그리드는 43×54×38로 전체 cell수가 88,236개 이었다. 내부온도와 외부온도는 각각 20℃와-8℃로 가정하였다. CFD 예측 시뮬레이션 입력조건으로 선정된 난방부하 경계조건은 표 5와 같다.

표 4. 실내 측정점

측정 조건		측정점 위치		측정기기
온도	수직	• P4(5점) • P10(5점)	• 총 10점 • 10,70,150,250,350cm측정	Thermo Recorder (TR-71S)
	수평	• P1~P18(18점) • 바닥위 70cm측정		Thermo Recorder (TR-71S)
습도	• 총 8점 • 바닥위 70cm측정		P4~P6 P10~P12 P16·P17	Thermo Recorder (TR-72S)
기류 PMV	• 총 8점 • 바닥위 70cm측정			Amenity Meter (AM-101)

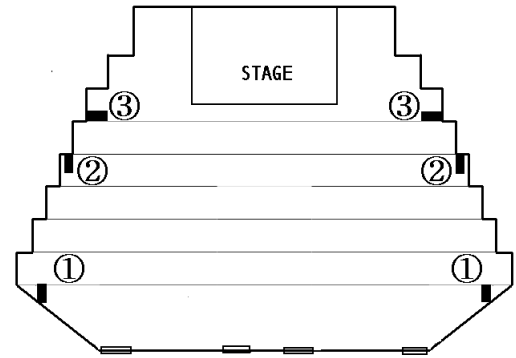


그림 3. Cartesian grid 모델과 온풍기의 위치

표 5. 난방부하

난방부하 (W/m <sup>2</sup> )	벽체	천정	바닥
	-9.286	-34.121	-16.579

(2) 컴퓨터 시뮬레이션 4가지 CASE

계단강의실의 온풍기위치와 난방 취출 방향에 따라 4가지경우로 나누어 시뮬레이션 하여 실내 열·기류환경을 예측하였다. 표 6은 온풍기 조건을 나타낸 것이고 그림 3은 온풍기 위치를 평면도에 나타낸 것이다.

CASE1은 2대의 온풍기가 계단강의실 뒤편 양옆에 있고 난방기 취출 기류 방향이 계단강의실 중앙을 향한 것이다. CASE2는 2대의 온풍기가 강당 벽 중앙에 각각 설치되고 난방 취출 방향을 양방향으로 가정한 경우 이었다. CASE3은 2대의 온풍기를 계단강의실의 앞쪽 무대 양옆에 설치하였고 난방 취출 방향은 강의실의 중앙을 향한 경우 이었다. CASE4는 4대의 온풍기가 계단강의실에 있다고 가정하고(표6 참조, ①+③) 난방 취출 방향을 2대 모두 강의실의 중앙을 향하도록 한 경우 이었다.

표 6. 온풍기 조건

온풍기 조건	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	비고
위치	①	②	③	①+③	
갯수(개)	2	2	2	4	
취출방향					좌측 온풍기 방향만 표시
취출온도 (°C)	36.6	36.6	36.6	36.6	
취출속도 (m/s)	7.2	7.2	7.2	7.2	

3. 실측 및 시뮬레이션 결과, 분석

3.1 실측 결과 및 분석

(1) 실 외부 측정

실외온도는 12~15시경에 약 -1°C까지 상승하고 새벽인 1시~5시경에는 약 -10°C까지 내려갔다. 실외습도는 최저 35%에서 최고 83%까지 측정되었다. 실외풍속은 4~5m/s로 측정되었고 풍향은 그림 4와 같이 낮에는 주로 북풍이 불고 밤에는 주로 남서풍이 부는 것을 알 수 있었다.

(2) 실내 측정

수평온도는 비난방시 약 2°C~3°C로 낮게 측정되었고, 난방 시 (10시간 간헐난방)에는 온풍기와 근접한 부분 (P1~P6, P18)은 14°C~16°C, 온풍기와 떨어진 경우는 11°C~13°C 정도로 측정되었다. 실내 바닥으로부터 높이에 따른 상하구배 온도차는 비난방시 1.4°C, 난방을 할 경우는 최대 5°C의 큰 차이를 보였다. 그림 5와 같이 비난방시는 온도차이가 낮게 나타나는 반면 수평면을 기준으로 무대 쪽으로 갈수록 굴곡이 심하게 나타났다. 난방 시는 온도차가 무대 쪽으로 갈수록 측정 점 위치별로 1°C정도 내려가나 비난방시보다 균일한 온도분포를 나타내었다.

수직 온도분포는 측정위치(10cm, 70cm, 150cm, 250cm, 350cm)별로 비난방시는 0.1°C~0.3°C로 온도차를 거의 볼 수 없었으나 난방 시는 측정 높이차에 따라 4°C~6°C정도 확실한 온도차를 보수 있었다. 그림 4. 와 같이 난방을 시작했을 때 실내온도는 급격히 상승하고 난방을 중지했을 때 역시 온도가 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 난방은 총 10시간을 시행하였는데 8시간 이후로 온도가 높이차에 따라 거의 상승하지 않는 현상을 알 수 있었다. 실외온도와 실내 수직온도분포 비교 시 실외온도가 올라가면 실내온도는 0.5°C~0.7°C상승하는 것을 확인 할 수 있었다.

수평 상대습도는 비난방시 34%~35%이고 난방시는 24%~26%로 습도가 내려가는 현상을 보였다. 그림4. 와 같이 실외 상대습도는 실외온도가 상승하면 내려가고 실

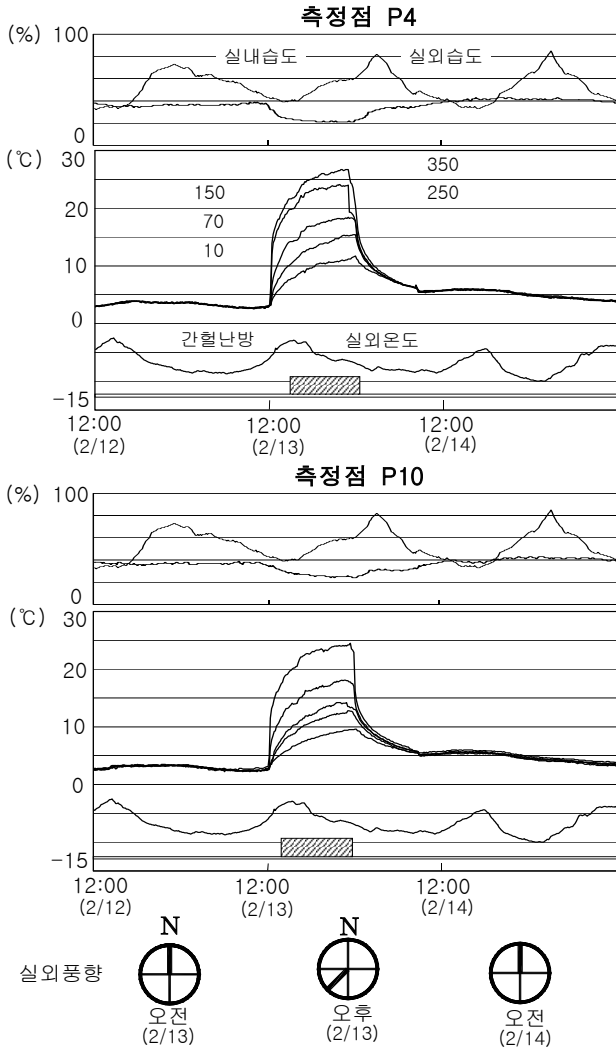


그림 4. P4, P10 실내 수직온도분포와 실내외 온·습도 비교

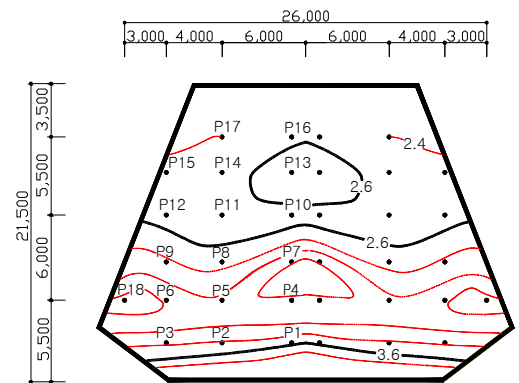
외온도가 하강하면 실외 상대습도는 상승했다.

실내 기류는 온풍기 가동 시에 0.1m/s~0.2m/s정도를 나타냈고 연속난방이 아닌 간헐난방을 하였기 때문에 PMV는 비난방시 PMV 수치가 -3을 넘어서 측정할 수 없었다. 대체적으로 난방 시에는 실내 온도가 10°C 정도에서 -2.7~-2.3까지 측정되었고 실내온도가 13°C~15°C 일 때 -1.7~-1.3으로 측정되었다.

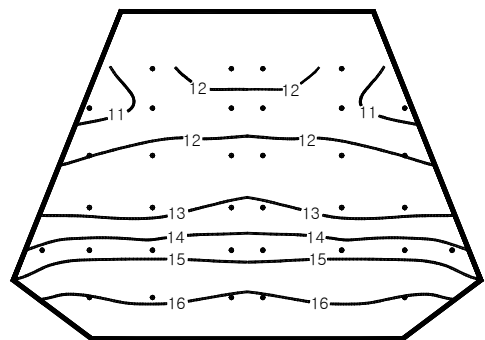
### 3.2 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 분석

#### (1) 온도분포

계단강의실의 온도분포를 보면 모든 CASE의 경우 첫 번째 좌석이 있는 무대 쪽의 온도가 계단강의실 뒤편 보다 낮게 예측되었다. 더운 공기는 상승하고 차가운 공기는 밑으로 가라앉는 온도성층화 현상으로 나타난 결과이다. CASE1~CASE4의 수평온도분포와 수직온도분포는



비 난방시(2/13 10:00)



난방시(2/13 20:00)

그림 5. 난방시와 비난방시의 수평온도 분포

그림 6 ~그림 13과 같다. 수평온도분포는 그림 7의 단면 B-B'로 표시된 것과 같이 최저바닥으로부터 2.4m위 수평공간의 온도를 나타낸 것이다. 수직온도분포는 그림 6의 A-A'단면을 나타낸 것이다. 온풍기가 계단강의실 뒷편에 설치된 경우인 CASE1 보다 외벽중앙에 설치된 CASE2의 경우 실내온도가 높게 예측되었다. 온풍기가 무대 쪽에 설치된 CASE3의 경우 CASE1과 CASE2보다 실내온도가 낮게 예측되었다. ①과③위치에 온풍기를 4개 설치한 CASE4의 경우, 실내온도가 가장 높게 예측되었다. 온풍기가 난방부하에 적합하게 계획 되었더라도 계단강의실의 거대한 공기를 먼저 덥히는 예열열량이 필요한 것으로 나타났다. 바닥 70cm 위인 거주 공간의 온도를 예측한 결과 CASE1은 12.1°C~16.7°C, CASE2는 15.1°C~19.9°C, CASE3은 8.7°C~14.3°C, CASE4는 15.9°C~21.4°C로 CASE3, CASE1, CASE2, CASE4 순으로 실내온도가 높게 나타났다. CASE2는 온풍기의 열원이 거주 공간 주변에 직접 작용되므로 비교적 높은 온도 분포를 나타내었다고 여겨진다. CASE4는 온풍기를 2대 더 설치 하였으므로 실내온도가 상승하였다.

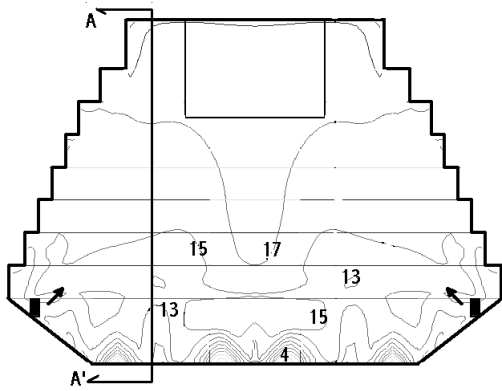


그림 6. CASE1 수평온도분포

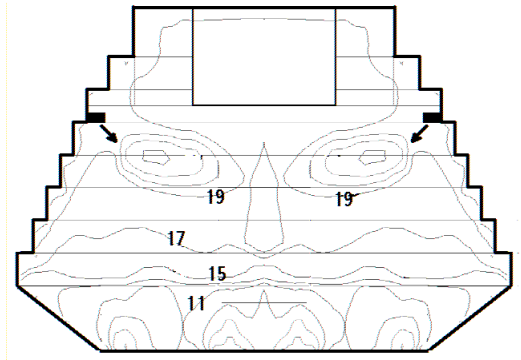


그림 10. CASE3 수평온도분포

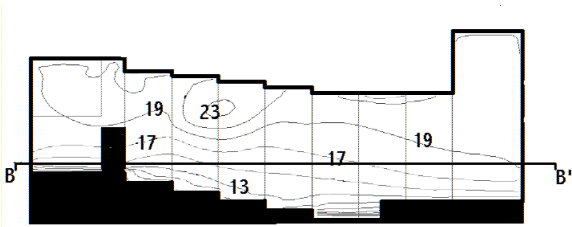


그림 7. CASE1 단면 수직온도분포

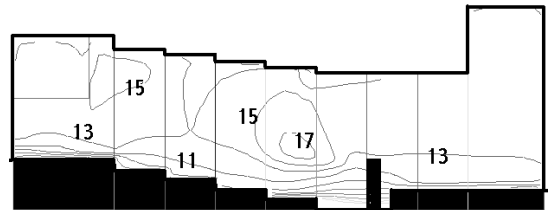


그림 11. CASE3 단면 수직온도분포

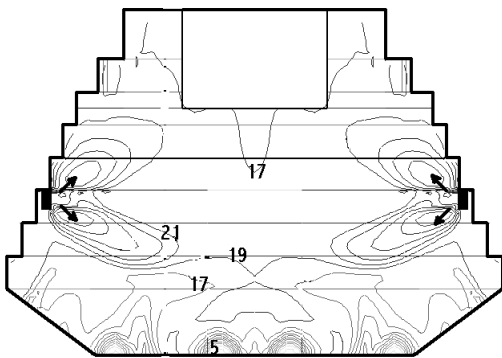


그림 8. CASE2 수평온도분포

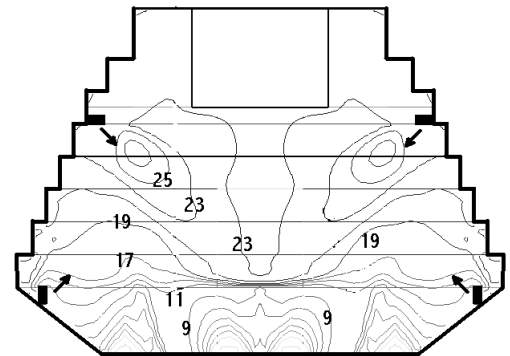


그림 12. CASE4 수평온도분포

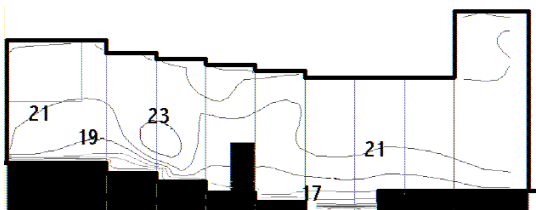


그림 9. CASE2 단면 수직온도분포



그림 13. CASE4 단면 수직온도분포

(2) 기류분포

CASE1~CASE4 의 수직기류분포는 그림 14~그림 17과 같다. 수직 기류분포는 그림 6의 A-A'단면을 나타낸 것이다. 온풍기 취출공기가 수평으로( $u_x=0$ ) 실내에 공급되었지만 부력작용에 의하여 위로 상승되는 것을 알 수 있었다. CASE1과 CASE3의 경우 온풍기 취출공기가 실 상부로 이동되어 거주공간에 난방효과를 주지 못한 것으로 사려 된다. CASE2의 경우 온풍기 풍량의 절반이 각각 무대 쪽과 강의실 뒤편쪽으로 보내져서 거주공간에 난방효과를 준 것으로 분석된다. 기류분포 분석을 통하여 온도 분포가 높고 낮은 원인을 분석할 수 있다.

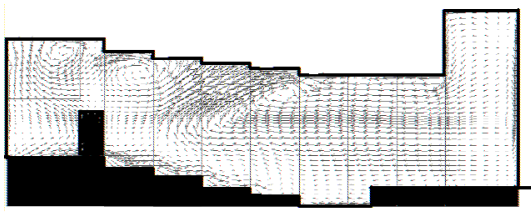


그림 14. CASE 1 단면 기류분포

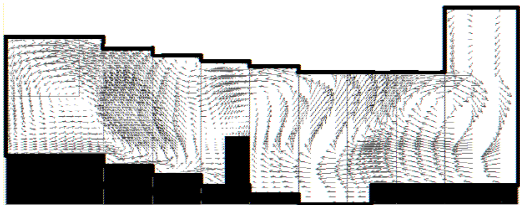


그림 15. CASE2 단면 기류분포

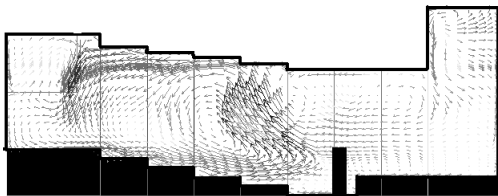


그림 16. CASE3 단면 기류분포

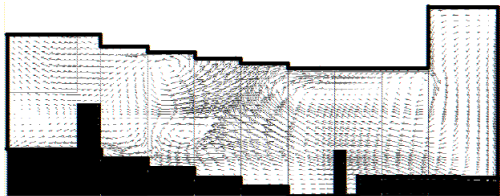


그림 17. CASE4 단면 기류분포

3.3 실측과 시뮬레이션 결과 비교분석

컴퓨터 시뮬레이션 결과와 실측결과를 분석하여 그림

25와 같이 단면상에 표시하였다. 측정 점 4와 측정 점 10의 결과를 비교 분석하였다. 바닥 부근의 실내 온도 시뮬레이션 결과가 실측결과보다 약간 높게 나왔고, 상층부에서 온도 실측결과치가 시뮬레이션 결과보다 높게 나왔으나, 컴퓨터에 의한 예측이 가능한 것으로 판단된다. 측정 점 10과 같이 아래에 있는 곳의 결과 차이가 측정 점 4와 같이 상부에 있는 곳의 결과 보다 차이가 비교적 적은 것으로 나타났다.

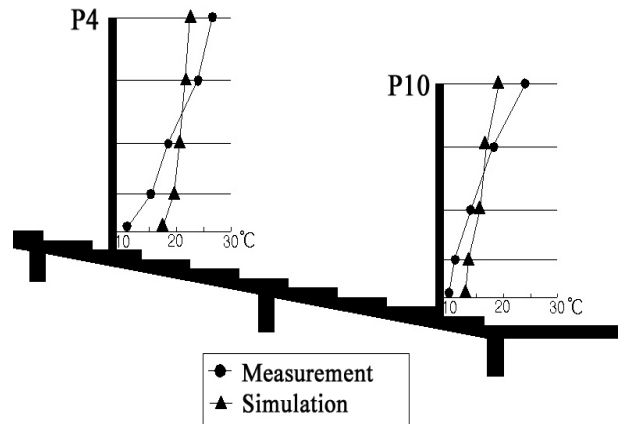


그림 18. 결과 비교분석

4. 결론

본 연구는 대형 계단강의실의 실내 열환경을 알아보기 위하여 난방 시와 비난방시 실내 수직온도분포와 수평온도분포, 습도분포, 기류, PMV를 측정하고 실외의 열환경이 실내에 어떠한 영향을 주는지 비교하기 위하여 실외 온도, 습도, 풍향, 풍속을 실측하였다. 그리고 온풍기 위치와 취출방향에 따른 대형계단강의실의 온도분포와 기류분포를 CFD를 사용한 시뮬레이션으로 예측하고 실측 결과와 비교 분석 하였다.

- (1) 실내 수평온도분포는 비난방시 2℃~3℃로 낮게 측정되었고 난방 시 온풍기에 근접한 부분(P1~P6, P18)은 14℃~16℃, 온풍기와 떨어진 부분은 11℃~13℃로 측정되었다. 또 실내 높이에 따른 상하구배 온도차는 비난방시 1.4℃, 난방 시 최대 5℃까지 크게 나타났다.
- (2) 실내 수직온도분포는 비난방시 측정높이(10cm, 70cm, 150cm, 250cm, 350cm)에 따라 0.1℃~0.3℃로 별 차이를 보이지 않았으나 난방 시 4℃~6℃까지 큰 차이를 나타냈다.
- (3) 실내 상대습도분포는 실내온도가 올라갈수록 떨어지는 경향을 보였고 비난방시 34%~35%, 난방 시는

- 24%~26%로 습도가 내려가는 현상을 보였다.
- (4) 시뮬레이션 결과의 수직온도 분포를 보면 대공간인 계단강의실의 온도 성층화가 크게 나타난 것을 알 수 있었다.
  - (5) 시뮬레이션 결과 수평온도 분포를 보면 강의실 외벽 중앙에 온풍기를 설치한 CASE2가 비교적 유리한 열환경을 조성하는 것으로 예측되었으나 거주공간의 온도가 15.1℃~19.9℃로 열쾌적 범위에는 포함되지 못하였다. 연속난방보다는 간헐난방을 주로 하는 대형 계단강의실의 경우 난방부하에 맞는 용량의 온풍기나 난방기기를 설치하였다더라도 대형 실내공간의 전체공기를 예열하는 예열난방부하가 더 필요한 것으로 사려 된다.
  - (6) 온풍기가 4개 있는 CASE4의 경우 바닥 위 70cm 거주공간의 온도분포가 15.9℃~21.4℃로 쾌적 범위에 포함되었다.
  - (7) 수직 기류분포 결과 분석에 의하면 온풍기의 기류는 온도 부력 현상으로 상승하여 천정 쪽으로 향하고 있었다. 난방성능을 갖고 있는 난방 취출 공기가 위로 올라가므로 난방효과가 거주공간에 적게 나타났다.
  - (8) 계단강의실 바닥 부근의 실내 온도 시뮬레이션 결과가 실측결과 보다 약간 높게 나왔고, 상층부에서 온도 실측결과치가 시뮬레이션 결과보다 높게 나왔으나, 컴퓨터에 의한 예측이 가능한 것으로 판단되었다. 측정 점 10과 같이 아래에 있는 곳의 결과 차이가 측정 점 4와 같이 상부에 있는 곳의 결과 보다 비교적 적은 것으로 나타났다. 이는 컴퓨터 시뮬레이션의 경우 상층부로 갈수록 굴뚝효과와 같은 부력 효과에 의한 고려가 적기 때문으로 판단된다.

본 연구에서 얻은 결과는 난방 시 실내 높이에 따른 온도차가 크게 나타나는 경향을 볼 수 있었고 10시간 난방으로는 실내 열 환경이 쾌적 범위에 들지 못하는 것을 알 수 있었다. 이는 실내에 설치되어 있는 온풍기가 난방 부하에 따른 용량으로는 일치하나 간헐 난방시 적합하지 않다는 것을 알 수 있었다. 향후 온풍기 계획의 재검토, 간헐난방에 대한 고려 등의 구체적 대안이 필요하다고 여겨진다. 본 실측과 병행하여 예측한 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 더욱 적극적으로 활용하여 가능한 이론적 해석방법을 사용하는 등의 연구가 필요할 것이라 여겨진다.

### 참고문헌

1. 강재식 외3인(1998). 건물외피의 열성능 현장 측정시스템개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 14권 10호. pp257-264
2. 노지용(1998). 바닥난방실의 온열환경 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 14권 10호. pp229-238
3. 이영희 외1인(1996). Draft온도와 기류속도에 의한 실내열환경 변화에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 12권 4호. pp119-127
4. 최동호 외3인(1998). 온풍난방시 시설원예용 하우스의 온열공기환경 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 14권 1호. pp351-362

5. 윤재욱 외4인(1994). 전통민가의 자연형 냉방 디자인 원리와 기법에 관한 연구(Ⅱ), 대한건축학회논문집, 14권 2호. pp365-370. 윤재욱, 2000 “CFD를 이용한 고층아파트 건물의 바람환경 예측시뮬레이션 연구” 대한건축학회 대전·충남지회 pp.101~108
6. 한국고속철도공단, (1995) “경부고속철도 천안역사 실내환경 연구 보고서”
7. 신공항건설공단, (1998) “인천국제공항 여객터미널 실내환경 시뮬레이션” 1998.09
8. Yoon, Jaeock, (1989) “The simulation of indoor temperature distribution and air movements in an atrium” pp585~591
9. Yoon, Jaeock, (2000) “Computer simulation of the indoor environments with cooling and heating systems: The grate hall in the incheon international airport terminal” ROM-VENT2000 pp.1195~1200
10. Murakami S. and Kato S. (1994) “CFD analysis of thermal environment in a large-scale atrium, Institute of Industrial Science University of Tokyo” Tokyo, Japan. pp186~191