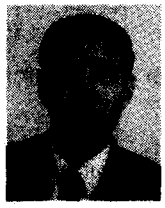
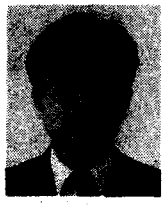
국립중앙박물관의 대공간 열환경 분석

Evaluation of thermal environment in large scale indoor space of the nation museum of korea



황 원 택
W. T. Hwang
삼신설계(주)

• 1947년생
• 설비설계에 관심을 가지고 있다.



조 춘 식
C. S. Cho
삼신설계(주)

• 1960년생
• 건물 열성능 해석과 설비설계에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

박물관은 인류가 이룩한 물질문명과 정신문화의 집적을 특정한 주제를 중심으로 표현하는 문화공간으로서 한 나라의 문화수준을 측정할 수 있는 장소이며, 역사적으로 가치있는 조형예술을 보존하고 계승할 수 있다는 점에서 중요한 의미를 지닌다. 현대사회에 들어오면서 박물관은 사회적 변화에 따른 가치관의 변화와 함께 관람자의 시각적 및 행태적 기능과 사회 문화적이고 사회 교육적인 기능을 통합하는 방향으로 나아가고 있다. 이에 대하여 자료를 가장 최적의 상태로 보관, 전시하여 보존에 가장 유리한 환경을 조성함과 동시에 이를 관람하는 사람들이 유물의 특성을 쾌적한 상태에서 쉽게 파악할 수 있는 환경을 조성해야 한다.

이중 국립 중앙 박물관의 대공간인 전시홀과 중앙홀 부분에 다른 공간으로의 동선을 유도하고, 만남의 장소, 휴식공간, 전시공간의 전이공간의 역할을 하며 관람자들에게 옥외환경분위기를 연출하기 위하여 자연주광을 도입하는 천창을 도입하고 있다. 이러한 천창을 도입한 건물은 공간적 특성에 따른 문화적, 경제적, 기능적 이익들을 줄뿐만 아니라, 시각적인 감동과 신선함을 제공한다. 이와 함께 천창이 가지고 있는 가장 기본적인 기능인 주 건물의 환경을 조절함으로써 에너지를 절약하고 쾌적환경을 조성한다.

특히 우리 나라와 같이 여름철과 겨울철의 기후조건이 뚜렷한 경우에는 계절별 제어조건이 상이하기 때문에 천창이 있는 대공간의 열환경 조절에 어려움을 갖게 된다. 또한 공간의 크기에 비해 실제로 사람이 사용하는 범위는 주로 하층부의 바닥에 한정된 경우가 많으며, 공기의 부력에 의해 상하 온도차가 크고, 공간의 부피가 거대하기 때문에 외부환경을 고려한 실내환경의 제어가 어렵다.

이로 인하여 실제 천창을 적용할 경우, 열환경

및 공조계획을 위한 열성능을 파악하고자 하여도 충분한 자료가 확립되지 못하여 건축적인 기능과 에너지 절약 효과를 제대로 응용시키지 못하게 되며, 건축분야에서 가장 기본적인 조건이 되는 온열환경에 대한 문제를 낳게 된다.

본 고에서는 국립중앙박물관의 대공간인 전시홀과 중앙홀 부분을 냉·난방 최대부하가 발생하는 여름철과 겨울철에 대해서 시뮬레이션하여 건축계획, 건축설비계획 방안에 따른 실내 기류 및 열환경을 예측해 보고, 실내 열환경을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

2. 국립중앙박물관의 대상 공간의 고찰

2.1 전시홀

역사적인 유물들이 진열되는 전시홀의 상설 전시홀은 시대 흐름에 따라 유물들을 단조롭게 진열하기보다는 생명력이 넘치며 정보가 풍부한 시각자료를 담아낼 수 있도록 디자인되어 있다.

관객들은 전시홀에 들어서면서 유물들이 이끄는 대로 자신도 모르게 흥미를 느끼며 빨려 들어가게 된다. 또 전시홀은 관람객에 역사의 흐름과 역사부, 고고부를 연결시켜 주는 하나의 '거리'이기도 하다. 그래서 이곳은 이제 '역사의 가로'가 된다.

전시홀은 상부에 스카이라이트가 있어 자연채광이 흘러 넘치고, 일반 전시장은 자연빛과 인공빛이 조화를 이루는 따뜻하고 쾌적한 공간으로 구별이 된다. 빛의 변화에 따라 생기가 넘치는 전시홀과 빛이 잘 조화된 일반 전시장은 대조를 이루어 관람객이 가고자 하는 방향과 목적을 더욱 명백하게 해주고 있다.

전시홀의 평면도 및 단면도는 그림 1, 그림 2와 같다.

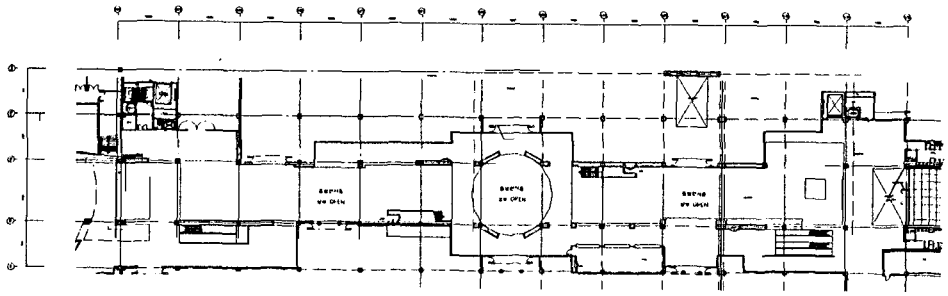


그림 1 전시홀의 평면도

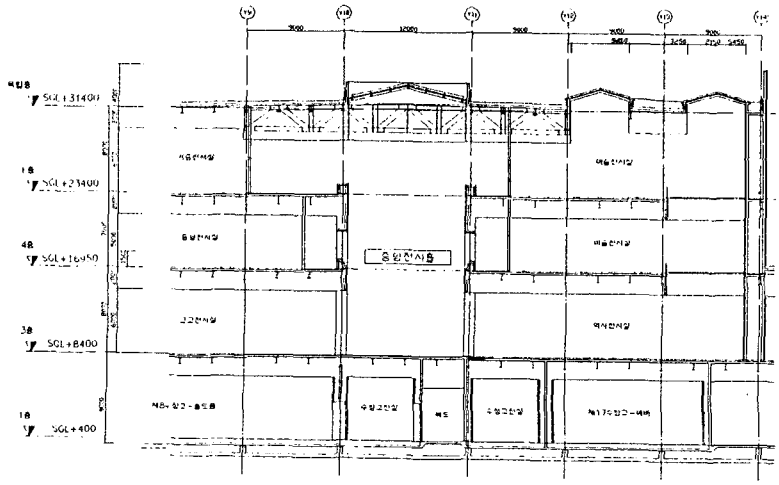


그림 2 전시홀의 단면도

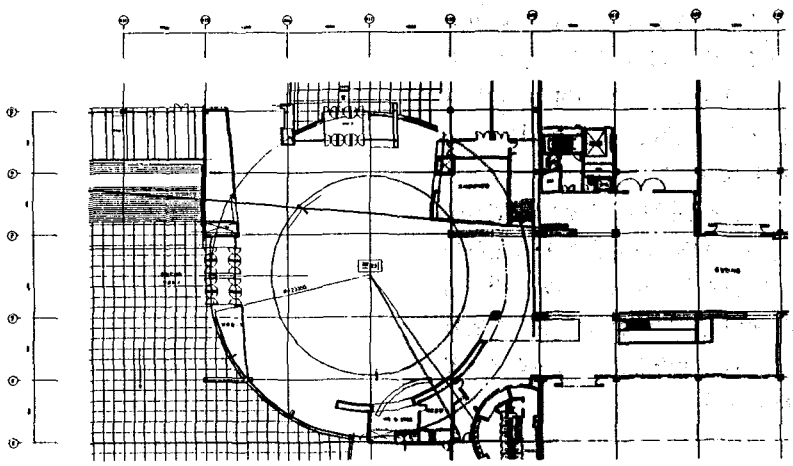


그림 3 중앙홀의 평면도

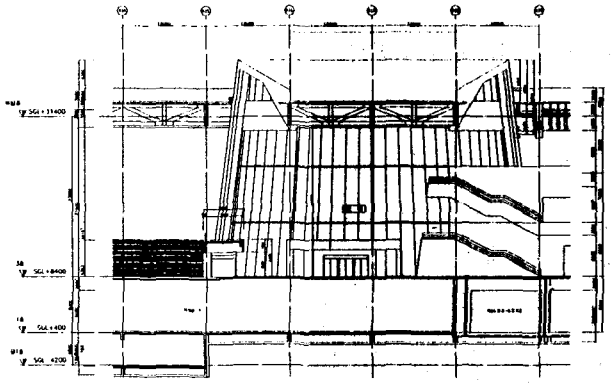


그림 4 중앙홀의 단면도

2.2 중앙홀

3, 4, 5층으로 구성된 중앙홀은 박물관의 기조와 정신을 관람객에게 직접적으로 전달하는 공간으로 전시실로 접근하기 전에 거쳐가는 장소이다.

중앙홀 상부에는 원형둘레를 따라 천창이 있어 중앙홀에 자연채광을 도입하여 내부공간이지만 외부공간의 분위기를 느낄 수 있는 전이공간이다. 또한 중앙홀은 만남의 광장, 관람중의 휴게공간, 전시공간들을 연결하는 역할을 한다. 천창을 통하여 자연주광이 유입됨으로써 관람자들에게 시각적인 감동과 신선함을 제공한다.

중앙홀의 평면도 및 단면도는 그림 3, 그림 4와 같으며 그림 5는 중앙홀의 공조 개념도를 보여주고 있다.

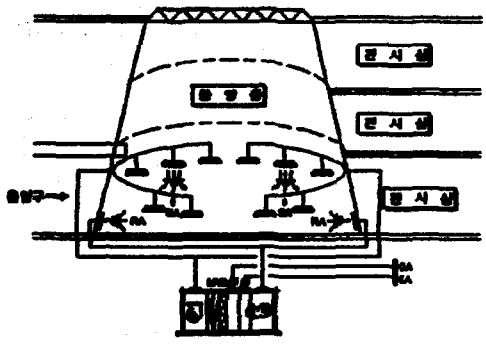


그림 5 중앙홀의 공조 개념도

3. 시뮬레이션 프로그램의 개요

3.1 전산유체역학의 이론적 배경

실내기류는 공기흐름이 전혀 섞이지 않는 층류(laminar flow)와는 달리 대부분 난류(turbulence)로 볼 수 있다. 특히 기류 속도가 비교적 낮은 실내 기류는 주로 난류현상으로 나타낼 수 있다.

난류유동은 층류 유동에 비하여 난류내에 애디(eddy)의 복잡하고도 불규칙한 운동이 포함되어 있다. 그 결과 난류 내에서는 한 부위에서 다른 부위로 운동량, 열, 그리고 물질 등이 상당량 전달되고 이에 따라 유동 전체적으로 점성, 열전달계수, 확산도 등이 증가하는 효과를 가져온다. 이와 같이 난류운동은 복잡하고 불규칙한 운동이기 때문에 유동장 내의 모든 곳의 속도 및 압력을 매 순간 찾아내기는 현실적으로 불가능하다. 시간과 장소에 따라 변화하는 값들의 평균치를 가지고 난류유동의 특성을 알아내며 문제의 해를 구하는 실제적인 방법이 주로 사용되고 있다.

일반적으로 비압축성 유동은 연속방정식과 navier-stokes 방정식으로 해를 구하고 있다. 연속방정식은 유체의 질량보존법칙을 방정식으로 나타낸 것이고 navier-stokes 방정식은 유체의 운동량보존법칙을 나타낸 것이다. 결과적으로 reynolds 방정식을 유도하여 난류모델을 만들고 난류에너지 방정식의 유무 또는 갯수로 여러 종류의 해석방법 즉 대수모델, k-ε 방정식 모델, 응력방정식 모델 등을 사용하게 된다. 그리고 공간평균치 개념을 도입하여 난류를 해석하는 LES(large eddy simulation)방법이 있으나 장시간 슈퍼컴퓨터를 사용해야 하므로 아직은 실용화 단계에 이르지 못하고 있는 실정이다.

주로 사용하고 있는 것은 난류효과를 k-ε 모델을 이용하여 수학적으로 모델링하는 k-ε 방정식 난류모델인데 k는 난류의 운동에너지(kinetic energy of turbulence)를 의미하며, ε은 난류소산율(turbulence dissipation rate)을 뜻한다.

3.2 시뮬레이션 프로그램의 개요

난류모델중에서 k-ε 모델을 사용한 기류해석모델은 이미 많은 연구가 되어 있고, 실제적으로 상용화된 프로그램도 여러 가지 쓰이고 있다. 본 연구에서는 영국 CHAM사가 개발하여 계속 발전시켜 나가며 전 세계적으로 사용되고 있는 프로그램인 phoenics를 사용하여 실내환경을 해석하였다.

phoenics는 CHAM사에서 개발한 범용 기류해석 프로그램으로 온도, 기류 분포를 해석하는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램이다. 기존에 있는 여러 가지 상용 코드 가운데 비교적 신뢰성 있는 프로그램이다.

phonenics는 PC, work-station, super computer에서 작동 가능하며 이산화수법으로 유한체적법(finite volume method)을 사용하고 있다.

난류모델로는 k-ε 모델을 사용하고, 메쉬(mesh)를 만드는 그리드 시스템(grid system)은 직교그리드, 곡면의 형상도 재현 가능한 BFC(body fitted coordinates) 그리드가 있다. 대류항의 이산화방법으로는 1차정도 풍상법, 하이브리드법, Quick법 등을 사용하고 있으며 정상상태를 유도하는 해법으로는 반복해법, 계수의 자등설정법 등을 사용하고 있다. 시간적분법을 고려한 비정상상태를 해석할 때는 완전음해법 등을 사용하고 압력을 해석하는 방법으로는 simplest법을 이용한다. 벽면경계조건을 설정하는 방법으로는 n0-slip법과 slip법 그리고 대수칙 방법을 사용하고 있다. 경계조건 중에서 유입, 유출구의 경계조건 입력 및 적용 방법으로 유속설정방법, 압력설정방법, 자연유출방법, 주기경계방법 등을 사용하고 있다. 그 외에 satellite, photon방법을 사용하고 있으며 세계 최초의 범용 유체해석 코드이다. 그리고 컴퓨터시뮬레이션 계산 도중에 계산하고 있는 정해진 한 곳의 압력, 온도, 기류속도, k값 등 결과치 추이를 볼 수 있으며 오차를 한 눈에 볼 수 있어서 시뮬레이션 과정 중 어느 곳에서 문제가 발생하는지 확인 할 수 있어 상당히 편리한 상용코드이다.

phoenics는 크게 satellite, earth, photon 부분으로 나누어볼 수 있다. satellite는 earth에서 입력자료를 해석하기에 앞서 모든 입력자료를 완성하는 부분이다. 입력자료로는 그리드, 시간, 경계조건으로 나누어진다. 그리드는 직교 그리드와 BFC 그리드로 구별되는데 이는 건물의 형태 및 조건에 따라 알맞는 방법을 선택하게 된다. 천장면이 곡선인 형태의 건물에서는 직교 그리드보다는 BFC 그리드가 더 적합하다. 시간은 비정상상태 해석과

정상상태 해석이 있는데, 비정상상태 해석은 시간에 따른 실내환경의 변화를 살펴볼 수 있으나 많은 시간과 노력이 소요되므로 대부분 기계공학 분야에서 매우 짧은 시간동안 해석하는 데 이용되고 있으며 건축분야에서 적용하기에는 사실상 어려움이 따르고 있다. 따라서 본 대상공간에 대해서는 가장 많은 부하가 걸릴 시각을 선정하여 정상상태 해석을 실시하였다. 경계조건으로 입력되는 데이타에는 thin partitions, blockages, openings, fan, heating element가 있다. 이를 프로그램 입출력 단계별로 정리하면 표 1과 같다.

표 1 프로그램의 단계별 입출력 자료

단계	이 름	입력자료	비 고
1 단계	satellite	그리드 시간 경계조건	- 직교 좌표계 BFC좌표계 - 정상상태 비정상상태 - thin partitions openings fans heating element
2 단계	earth	PIL language	
3 단계	photon	phi file	온도분포 기류분포

4. 국립중앙박물관의 실내 열환경 예측 및 평가

4.1 시뮬레이션 개요

국립중앙박물관의 전시홀 부분과 중앙홀 부분의 열환경 예측을 위하여 3차원 공간내의 난류유동 현상을 수치해석하는 프로그램인 phoenics를 사용하여 냉·난방부하가 최대로 발생하는 여름철과 겨울철로 나누어 시뮬레이션 하여 건축계획, 건축설비계획 방안에 따른 실내 기류 및 열환경을 예측해 보고, 실내 열환경을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

이를 위한 실내 열환경 시뮬레이션 진행순서는 표 2와 같다.

표 2 시뮬레이션 진행순서

박물관 전시홀 - 여름철 -
▼
박물관 전시홀 - 겨울철 -
▼
박물관 중앙홀 - 여름철 -
▼
박물관 중앙홀 - 겨울철 -

4.2 시뮬레이션 기본모델

그림 6은 해석대상 박물관 전시홀, 박물관 중앙홀의 계산격자 및 경계조건을 나타내고 있다.

4.3 시뮬레이션 입력조건

시뮬레이션을 위해서는 일반적으로 inlet, outlet, 상부 유리로 통과되는 열량의 데이터가 필요하다. 표 3과 표 4는 inlet, outlet의 입력조건과 상부 유리부분에 통과되는 열량이다.

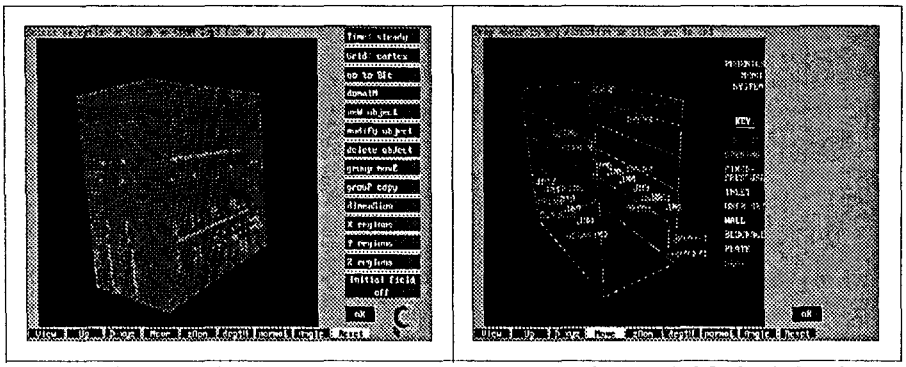
표 3의 inlet, outlet의 입력조건은 실제 공조조건과 동일한 값을 사용하였고, 표 4의 상부 유리로 통과되는 열량은 ASHRAE Handbook 1989 Fundamentals를 근거로 하여 창의 전체부하에서 최대값을 적용하였다.

표 3 inlet, outlet의 입력조건

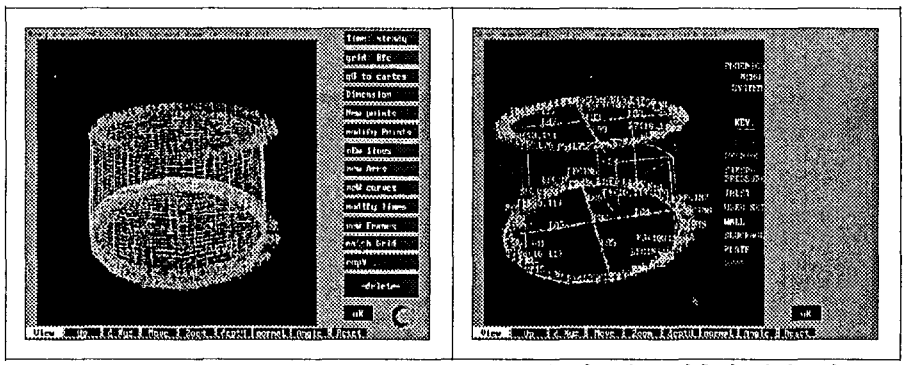
입력조건 \ 대상공간		전시홀		로 비	
		여름	겨울	여름	겨울
inlet	온도(℃)	16	25	16	25
	기류속도(m/s)	6	6	7	7
outlet	압력(N/m²)	49	49	49	49
	기류속도(m/s)	2.5	2.5	2.5	2.5

표 4 상부 유리부분에 통과되는 열량

대 상	위치	열량(Watt/m²)	비 고
전시홀	천창	250	최대부하의 0.5값
로 비	동	300	
	서	359	
	남	190	
	북	126	



(a) 박물관 전시홀의 계산격자　　(b) 박물관 전시홀의 경계조건



(c) 박물관 중앙홀의 계산격자　　(d) 박물관 중앙홀의 경계조건

그림 6　박물관 전시홀, 중앙홀의 계산격자 및 경계조건

4.4 시뮬레이션 결과 분석

(1) 전시홀 - 여름철 -

여름철의 경우 전시홀(역사의 가로)의 모든 공간에서 0.05~0.65m/s 정도의 비교적 약한 기류가 분포하고 있는 것으로 나타났다. 대부분의 공간에서 0.3m/s 이하로 나타났으며 흡입구 부분 일부에서만 0.3~0.6m/s로 나타났다. 따라서 취출구 부분을 제외한 부분은 실내 공간의 쾌적기준 0.5m/s를 만족하는 것으로 나타났다.

온도분포는 거주공간인 바닥에서 2m 정도의 영역에서는 약 23~24℃ 정도로 쾌적한 것으로 나타났다. 또한 5층 부분에는 26℃ 이상의 온도분포가 형성되었다. 그러나 이 시뮬레이션에서는 천창에서의 일사량을 최대부하의 0.5값으로 입력하였기 때문에 최근에 결정된 박물관 top light에 사용될 prismatic glass(SC : 0.2)를 적용할 경우 온도분포는 현재 시뮬레이션 결과보다 훨씬 양호할 것으로 예상된다. 또한 천창부근의 고온을 제거하기 위하여 남 · 북면에 자연환기를 위한 창(1span에 $0.3m^2 \times 4EA$ 설치)을 설치하도록 계획하였다.

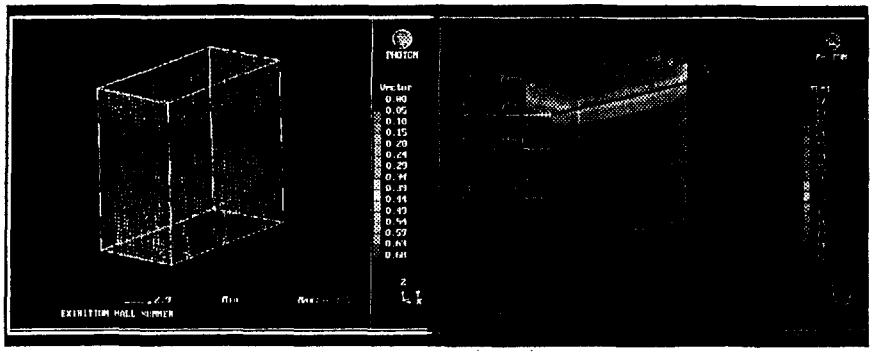
(2) 전시홀 - 겨울철 -

겨울철의 경우 여름철의 경우와 마찬가지로 전시홀의 거의 모든 공간에서 0.2~0.6m/s 정도의 비교적 약한 기류가 분포하고 있는 것으로 나타났으며 일부 취출구 부분에서 0.9~2.6m/s의 기류속도가 나타났다. 특히 거주영역인 바닥에서 3m 이하 부분에서는 실내 공간의 쾌적기준 0.5m/s를 만족하는 것으로 나타났다.

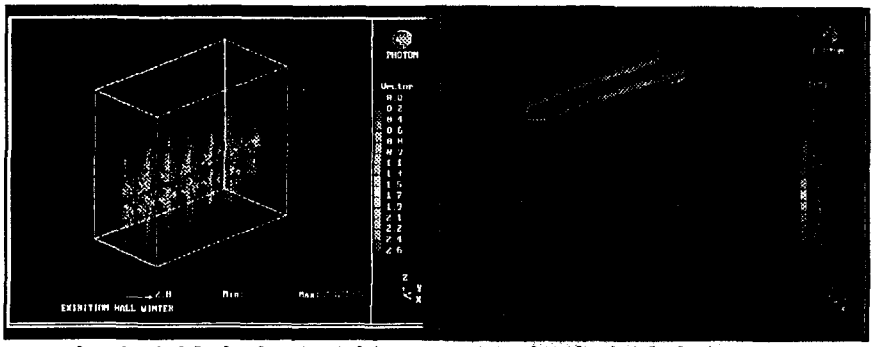
온도분포는 거주공간인 바닥에서 2m 정도의 영역에서는 약 26℃ 정도로 쾌적한 것으로 나타났으며 5층 부분에는 26~27℃의 온도분포가 형성되어 쾌적한 것으로 나타났다.

(3) 중앙홀 - 여름철 -

여름철의 경우 중앙홀의 거의 모든 공간에서 0



(a) 박물관 전시홀의 기류분포(여름) (b) 박물관 전시홀의 온도분포(여름)



(c) 박물관 전시홀의 기류분포(겨울) (d) 박물관 전시홀의 온도분포(겨울)

그림 7 박물관 전시홀의 기류 분포와 온도 분포

~0.6m/s 정도의 비교적 약한 기류가 분포하고 있고 취출구 부분에서 1.9~8m/s의 기류속도가 나타났다. 특히 거주영역인 바닥에서 3m 이하 부분에서는 0.5m/s 이하로 만족하는 것으로 나타났다.

온도분포는 거주공간인 바닥에서 2m 정도의 영역에서는 약 26~29℃ 정도로 불쾌적한 것으로 나타났으며 4~5층 부분에는 비거주공간으로 거주공간보다 온도분포가 더 높게 나타났다. 이를 대비하여 하절기와 비공조구간에 일사에 의하여 온도가 상승할 때 천창에 전동 모터가 장착된 자연환기를 위한 배기구($0.5m^2 \times 4EA$)를 설치하여 중앙홀의 온도를 감소시키도록 하였다.

그리고, 중앙홀 거주공간의 온도를 쾌적하게 하기 위해 다음과 같은 방안도 고려되어져야 한다.

① 고창(clearstory)에 prismatic glass를 사용한다.

② 고창(clearstory)의 일사를 감소시키기 위하여 중앙홀 상부의 기존차양을 더 크게 한다.

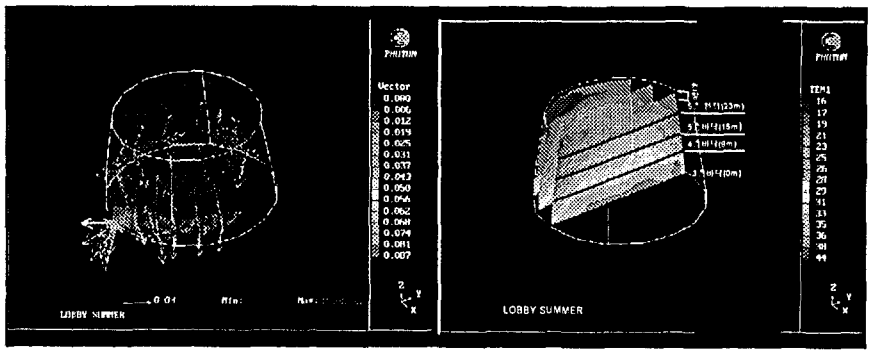
(4) 중앙홀 - 겨울철 -

겨울철의 경우 여름철의 경우와 마찬가지로 중앙홀의 거의 모든 공간에서 0~0.6m/s 정도의 비교적 약한 기류가 분포하고 있고 취출구 부분에서 1.9~8m/s의 기류속도가 나타났다. 특히 거주영역인 바닥에서 3m 이하 부분에서는 0.5m/s 이하로 만족하는 것으로 나타났다.

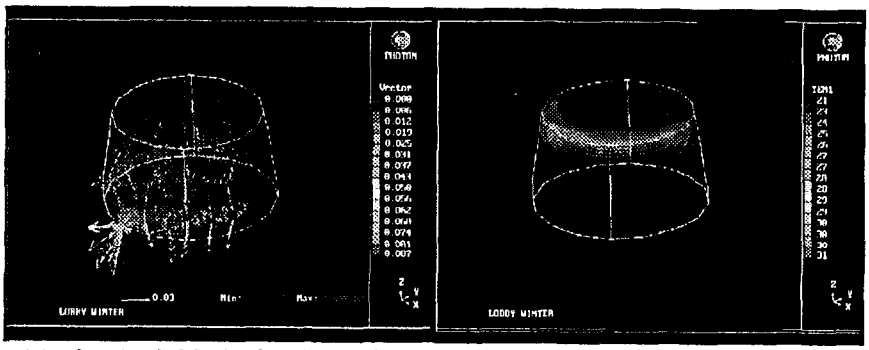
온도분포는 거주공간인 바닥에서 2m 정도의 영역에서는 약 22℃ 정도로 쾌적한 것으로 나타났으며 5층 부분에는 21℃ 이상으로 온도분포가 형성되어 쾌적한 것으로 나타났다.

6. 맺음말

국립중앙박물관의 전시홀과 중앙홀과 같이 대공간에 천창을 도입할 경우에는 천창에 대한 기본적인 이해와 환경 문제에 대한 세심한 고려가 있어야 한다. 건축계획 및 건축설비계획에 대한 검토를 위



(a) 박물관 전시홀의 기류분포(여름) (b) 박물관 전시홀의 온도분포(여름)



(c) 박물관 전시홀의 기류분포(겨울) (d) 박물관 전시홀의 온도분포(겨울)

그림 8 박물관 전시홀, 중앙홀의 계산격자 및 경계조건

해 대공간의 열환경, 여름철의 극심한 과열 현상이나 겨울철의 열손실 과다, 과도한 온도차 등의 문제점 유발 여부에 대한 분석이 필요하다. 이를 위해 기류-온도 해석프로그램을 사용하여 대공간의 열환경을 살펴 보았다.

국립중앙박물관의 열환경 예측이 어려운 자연주광을 받아들이는 대공간인 전시홀과 중앙홀 부분을 냉·난방 최대부하가 발생하는 여름철과 겨울철에 대해서 시뮬레이션하여 건축계획, 건축설비계획 방안에 따른 실내 기류 및 열환경을 예측해 본 결과, 전시홀과 중앙홀의 여름철 및 겨울철에 기류-온도분포는 양호한 것으로 나타났다. 그러나 천창 또는 고창을 통한 일사 유입으로 인한 상층부의 지나친 온도 상승을 방지하기 위해서는 차폐 계수가 높은 창의 사용이나 자연 환기창의 설치, 더 큰 차양의 설치 등을 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 대공간에서는 열환경뿐만 아니라 소음의 확산 및 울림 현상 등에 대한 검토가 종합적으로 이루어지면 훨씬 더 좋은 환경을 제공할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 중앙대학교 공과대학 건축환경연구실, 삼신설계주식회사, 1993, 유리창이 사무소 건물의 에너지소비에 미치는 영향에 관한 연구.
2. 송승영, 1994, 실내 온도분포와 기류속도를 고려한 적정 외주부 깊이에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
3. 김태연, 1996. 8, 수치해석에 의한 아트리움의 열환경 예측에 관한 연구, 연세대 석사학위논문.
4. 정림건축, 1996. 9, 새 국립중앙박물관 설계설명서 기본설계.
5. 대한민국 문화체육부 국립중앙박물관, 국립중

앙박물관 기본계획 연구, 1995. 4, 전시자료 국내·외 박물관 사례 연구.
6. Suhans V. Patankar/이정오, 박희용 譯, 1993, 열전달 및 유체유동수치해석, 대한교과서주식회사.
7. ASHRAE, 1993, ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS.
8. ASHRAE, 1995, ASHRAE HANDBOOK HVAC Applications.
9. P.O. Fanger, 1972, Thermal Comfort, Mc-GRAW-HILL.
10. PHOENICS, 1992, A Guide to the PHOENICS Input Language(TR100).