

새 국립중앙박물관 로툰다에서의 열환경 분석

이 승 철, 조 영 진*, 김 두 성*, 이 재 현**, 김 홍 범***

동해대학교 자동차공학과, *한미설비(주), **한양대학교 기계공학부, ***국립중앙박물관 건립추진기획단

Analysis on Thermal Environment in the Rotunda of New National Museum of Korea

Seung-Chul Lee, Young-Jin Cho*, Doo-Sung Kim*, Jae-Heon Lee**, Hong-Bum Kim***

Department of Automotive Engineering, Donghae University, Donghae, Gangwon-do 240-713, Korea

*Hanmi C&E Co., Seoul 143-180, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

***The National Museum Construction Project, Ministry of Culture and Tourism, Seoul 140-026, Korea

(Received September 12, 2002; revision received November 23, 2002)

ABSTRACT: Thermal comfort in the Rotunda which is high wide visiting space of the new national museum of Korea has been numerically investigated in this paper. To evaluate thermal comfort of the Rotunda, well-known indices, PMV and PPD were introduced. The results of present investigation show that thermal comfort is satisfied at the breathing zone of the visiting space. However a thermal stratification with 9°C of temperature difference occurs along the height of the Rotunda which makes the thermal environment worse. For example, the PPD value reaches up to 50% in the 6th floor connection passage. Consequently, additional HVAC design factors should be considered in order to reduce the large thermal stratification.

Key words: Thermal comfort(온열쾌적도), Predicted mean vote(PMV, 예상온열감), Predicted percentage of dissatisfied(PPD, 예상불만족률), Thermal stratification(열성층화), Glass sidewall(유리측벽)

1. 서 론

각 나라의 국립박물관은 인류가 이룩한 물질문명과 정신문화의 유산을 표출하는 문화공간으로서, 그 나라를 대표하는 얼굴이며 자존심이고 문화수준을 측정할 수 있는 척도이다. 또한 역사적으로 가치 있는 조형예술을 보존하고 계승한다는 차원에서도 중요한 의미를 지닌다. 현재 건축중인 새 국립중앙박물관의 로비부분인 로툰다는 대공간으로서 다른 공간으로의 동선 유도과 휴식공

간 및 만남의 장소, 전시공간의 전이공간 역할을 하며 관람자들에게 환경친화적인 옥외 환경분위기를 연출하고 자연 주광 도입을 위해 유리지붕 및 유리측벽이 계획되었다. 이러한 유리지붕 및 유리측벽이 도입된 건물은 공간적 특성에 따른 문화적, 경제적, 기능적 이익을 부여할 뿐만 아니라 시각적인 감동과 신선함을 제공한다. 또 건물의 환경 조절로 인하여 에너지 절약과 쾌적한 환경 조성을 유도할 수 있다.

이러한 대공간의 미관향상을 위해서 지붕 및 벽체 재료로 유리를 많이 사용한다. 이때 태양복사열이나 외기조건에 의한 실내 열환경이 급격하게 악화되는 등 외부환경의 변화에 대한 저항력이 약하게 된다. 또한 열부력(thermal buoyancy)

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2290-0425; fax: +82-2-2293-5169

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

이 실내공기 유동에 큰 영향을 미치고 거주영역이 전체 공간에 비해 작아지는 등 비효율성을 가지게 된다. 따라서 이와 같은 대공간 건축물에서의 냉·난방 환기설비설계에는 여러 가지 상세사항이 고려되어야 한다. 특히 대공간에서는 하절기의 경우 지붕 또는 측벽으로부터 복사열 및 실내 열성층화(thermal stratification) 등으로 인하여 재실자에게 열적 불쾌감을 유발시킬 수 있다. 따라서 대공간 등에서 발생 가능한 기류 및 온도분포에 관한 특이점을 미리 예측하고, 이를 예방 또는 해결할 수 있는 공조방법 및 열환경에 대한 세밀한 연구가 이루어져야 한다.

대공간의 공조환경에 관한 연구는 1960년대에 들어서며 본격적으로 시작되었다. 공조설비 분야의 선진국인 일본의 경우, 대규모 실내공간에서의 공조환경에 관한 연구는 건축되는 대상공간의 모형실험이나 실측을 통한 분석이나 설비진단으로부터 모형실험이나 전산유체역학 기법⁽¹⁾을 도입한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 실내의 기류와 온도분포를 예측함으로써 내부의 열환경을 평가하는 방향으로 발전되어 오고 있다. 국내의 경우 1990년대에 들어서며 대공간 구조물의 건설증가에 따라 대공간 구조물 내부의 환기설비점검 및 열환경평가에 대한 점검방안과 필요성에 대한 논의⁽²⁾가 증가되고 있으나, 정밀한 모형실험이나 상세한 수치해석을 수행한 예는 거의 없는 실정이다. 본 연구대상인 새 국립중앙박물관의 다목적 대공간에 관한 실내 열환경 분석의 필요성을 언급한 예⁽³⁾는 있으나 실내 열환경 분석을 위한 자료로서는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 새 국립중앙박물관 중 “로툰다(Rotunda)”로 명명된 다목적 대공간에 관하여 냉방부하가 발생하는 여름철의 기류 및 온도분포에 관한 수치해석을 수행하고, 관련 실내 열환경을 분석해 보고자 한다.

2. 열환경 평가방법

실내에서 열적인 쾌적 혹은 불쾌적이란 거주자가 느끼는 열적 환경에 대하여 만족하는 심리상태에 관한 것으로서 이를 단지 온도 및 기류에 관한 개별적 결과만으로 판단하기에는 상당히 어렵다. 따라서 열적 쾌적을 평가하기 위하여 정형화된 방법이 다수 제안되어 있으며, 근래에는 국

Table 1 Engineering data to estimate PMV

Parameter	Values
Metabolic rate	1.2 met
Clothing value	0.5 clo
Relative humidity	50%

소위치에서 인간이 느끼는 온열감을 예측할 수 있는 평가지표인 예상온열감(Predicted Mean Vote, PMV)과 주어진 환경에 만족하지 않는 사람의 예상비율을 나타내는 예상불만족률(Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)이 많이 사용된다.

PMV 지표는 인체의 환경에 대한 감각을 정량화한 것으로, 1970년 Fanger⁽⁴⁾에 의하여 제안되었다. 이는 -3~+3의 범위를 갖는 7단계 열감 척도를 기준으로 설정되었으며, -3은 춥게 느끼는 경우, +3은 덥게 느끼는 경우를 나타내고 0은 열적으로 중성인 상태를 나타낸다. 일반적으로 사람이 열적으로 최적함을 느끼는 PMV 값의 범위는 -0.5~+0.5이다. PMV 값을 산정하기 위해서는 실내의 건구온도, 평균복사온도, 상대습도, 기류속도, 재실자의 활동정도 및 착의량에 대한 정보가 필요하다.

PPD는 주어진 열환경에 대하여 불만족을 느끼는 재실자의 예상비율을 의미하며, 일반적으로 주어진 열환경에 대하여 그 값이 10% 이하이면 ‘쾌적하다’라고 평가할 수 있다. 본 연구에서의 국소위치에 대한 PMV 및 PPD는 ASHRAE Handbook⁽⁵⁾을 참조하여 산정되었다. PMV 및 PPD 값 산정을 위한 자세한 수식은 부록에 나타내었다.

본 연구에서 냉방시 PMV 산정에 필요한 정보 중 기류, 온도 및 평균복사온도 이외의 사항들은 Table 1과 같이 선정하였으며 이는 여름철 박물관 관람조건을 고려한 것이다.

3. 연구모델

3.1 로툰다 형상

본 연구에서는 최대지름 48m, 최대높이 38m인 원뿔대형상의 박물관 로툰다를 해석모델로 선정하고 그 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 로툰다는 바닥(floor), 유리측벽(glass sidewall), 천장(inner roof) 및 차양지붕

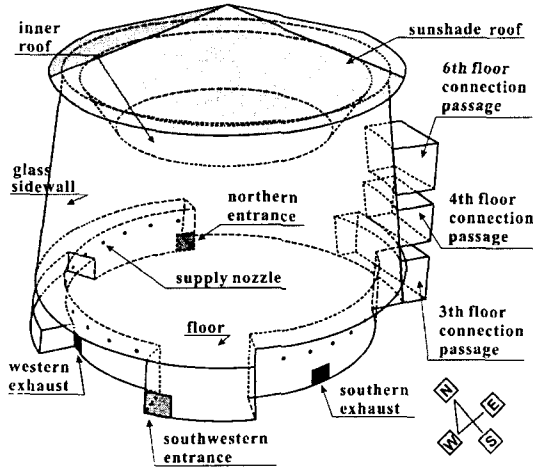


Fig. 1 Schematic diagram of the Rotunda.

(sunshade roof)으로 구성되어 있으며 인접 전시 실로는 이동통로(passage)로 연결되어 있다.

측벽의 대부분은 자연 주광 도입을 위해 유리로 구성되어 있으며 로툰다에는 관람객의 출입을 위한 단면적 6 m^2 의 출입구(entrance)가 북쪽과 남서쪽에 위치하고 있다. 측벽의 동쪽면에 위치한 3개의 연결통로는 관람객이 박물관의 다른 부분인 '역사의 가로'의 3층, 4층 및 6층으로 이동하는 통로로 사용된다.

여름철 실내공조를 위해서는 로툰다 가장자리를 따라 바닥에서 4.5 m 높이에 지름 350 mm인 21개의 급기노즐(supply nozzle)이 설치되어 있으며 여기에서는 18°C 48,000 CMH의 공기가 설계 온도, 26°C 실내로 분출된다. 급기노즐에서 취출된 공기는 남쪽 및 서쪽에 위치한 단면적 3.6 m^2 및 4 m^2 의 배기구(exhaust) 2개를 통하여 각각 21,000 CMH 및 27,000 CMH의 공기유량이 배기된다. 실제 로툰다의 유리지붕 상부에는 직사광선 차단 및 미관의 목적을 가진 고깔모양의 차양지붕(sunshade roof)이 설치되어 있으나 공간적으로 하부 대공간과 구분되어 있다. 따라서 본 연구에서는 차양지붕을 통한 내부공간으로의 열 전달량 산정시 지붕을 통한 전도열전달만을 고려하였다.

3.2 로툰다 냉방부하 특성

본 연구모델에 대한 여름철 냉방부하의 상세를 Table 2에 나타내었다. 유리측벽을 통하여서는 태

Table 2 Cooling load in the rotunda

Location	Cooling loads [kW]
Inner roof	7.07
Glass sidewall (by conduction)	7.33
Glass sidewall (by radiation)	91.14
Floor	8.79
Lighting equipments	34.38
Sensible heat gain by the gallery	8.62
Total	167.33

양열 복사에 의하여 전체 냉방부하 167.33 kW의 약 54.5%인 91.14 kW를 받는다. 이러한 복사에 의한 냉방부하의 30%는 유리측벽에 가해지고, 나머지 70%는 유리벽을 투과하여 바닥면에 가해진다고 간주한다. 로툰다의 유리지붕 근처에 설치된 조명기기의 부하 34.38 kW는 모두 유리지붕 하부면에서 발생하는 것으로 간주한다. 한편 실내 관람객에 의한 총 8.62 kW의 현열은 로툰다 바닥에 가해진다고 간주한다. 잠열부하는 증발로 인하여 내부에 증가되는 수분의 증발에너지이므로, 내부의 습도만을 증가시킬 뿐 내부온도를 상승시키지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 공조기가 잠열부하를 담당하는 것으로 간주하여 냉방부하에 포함하지 않았다.

4. 수치해석방법

본 연구에서 선택한 로툰다에서의 기류 및 온도특성을 기술하는 정상상태의 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지소산율방정식, 그리고 에너지방정식이며 이를 Table 3에 나타내었다. 난류모델로는 환기 분야에 실용적으로 많이 이용되고 있는 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였으며 각 식들에서의 기호선정은 일반적인 교과서에서의 예를 따랐다.

본 연구에서는 전술한 지배방정식을 해석하기 위하여 상용 CFD 코드인 FLUENT를 사용하였다.⁽⁶⁾ 속도 및 온도장의 해석을 위해 비엇갈림격자계를 사용하였으며, 벽면을 통한 부하로 인하여 벽면 근처에서 발생하는 압력값의 급격한 변동을 적절히 예측하기 위해서는 엇갈림격자계를 도입하였다.⁽⁷⁾

전술한 지배방정식과 함께 정의되는 경계조건

Table 3 Governing equations and model coefficients

Continuity equation ;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

Momentum equation ;

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right\} + \rho g_i \beta (T - T_m)$$

Turbulent kinetic energy equation ;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G_k + G_b - \rho \epsilon$$

Dissipation rate equation of Turbulent kinetic energy ;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b$$

Energy equation ;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{k}{c_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right\}$$

where,

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon}, G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}, G_b = \frac{\mu_t g_i \beta}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}, C_1 = \text{Max} \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\epsilon},$$

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{S k}{\epsilon}}, S = \sqrt{S_{ij} S_{ij}}, A_0 = 4.04, A_s = \sqrt{6} \cos \phi, \phi = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\sqrt{6} W),$$

$$W = \frac{S_{ij} S_{ik} S_{kj}}{S}, S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right), C_{1\epsilon} = 1.44, C_2 = 1.9, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.2, Pr_t = 0.85$$

은 천장, 유리측벽, 바닥, 연결통로, 급기노즐, 배기구 및 출입구에서 정의 될 수 있다. 유리지붕, 유리측벽 및 바닥에서의 경계조건은 Table 2에서 기술한 조명기기 및 관람객에 의한 현열취득과 유리측벽을 통한 복사열취득 등의 냉방부하를 기준으로 하여, 벽경계조건에서의 열유속조건으로

Table 4 Boundary conditions for present study

Location	Conditions
Roof	$u = v = w = 0, q = 30.9 \text{ W/m}^2$
Glass sidewall	$u = v = w = 0, q = 11.0 \text{ W/m}^2$
Floor	$u = v = w = 0, q = 59.6 \text{ W/m}^2$
Passages	$\frac{\partial u}{\partial n} = \frac{\partial v}{\partial n} = \frac{\partial w}{\partial n} = 0, \frac{\partial T}{\partial n} = 0$
Supply nozzle	$V_n = 6.6 \text{ m/s}, T = 18^\circ\text{C}$
Southern exhaust	$V_n = -1.62 \text{ m/s}, T = 26^\circ\text{C}$
Western exhaust	$V_n = -1.875 \text{ m/s}, T = 26^\circ\text{C}$
Entrance	$u = v = w = 0, q = 0$

설정하였다. 3층, 4층 및 6층의 연결통로는 ‘로툰다’와 ‘역사의 가로’를 연결하는 부분으로서 본 연구에서는 압력경계조건으로 설정하였다.

북쪽과 남서쪽에 위치한 로툰다 출입구는 단혀 있다고 가정하여, 이곳을 통한 열 및 기류의 이동은 고려하지 않았다. 이와 같은 경계조건의 상세를 Table 4에 나열하였으며, 표에 나타난 경계조건에서 부호 ‘-’는 각 물리량의 실외로의 배출을 뜻하고 연결통로에서 물리량 구배 표현에서 사용된 n 은 단면의 수직을 의미한다. 또한 급기구 및 배기구에서의 속도, V_n 은 해당면에 수직인 속도를 뜻한다.

5. 결과 및 고찰

5.1 기류환경평가

여름철 냉방시 로툰다의 기류환경을 평가하기

위하여 로툰다 바닥으로부터 1.5 m 높이인 관람객의 호흡선 높이와 수직단면에서의 기류분포를 각각 Fig. 2의 (a)와 (b)에 나타내었다. 그림에서 우측의 일점쇄선은 “역사의 가로”로의 연결통로를 의미한다.

Fig. 2(a)에서 보이듯이, 호흡선 높이에서는 노즐로부터 토출된 로툰다 중심부의 기류가 북동쪽 벽과 3층 연결통로를 향하여 이동하고 있으며, 나머지 영역에서는 남쪽과 서쪽에 존재하는 취출구를 향하여 이동하고 있다. 전체적으로 살펴볼 때 호흡선 높이의 기류속도는 정체되는 구역 없이 약 0.1~0.5 m/s로 분포가 형성되고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 기류분포는 기류환경 측면에서 관람객에게 쾌적한 관람환경을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 2(b)의 수직단면 기류분포에서 보면 실내 중앙을 향하여 21개의 노즐에서 취출된 6.6 m/s의 공기는 3층 연결통로 상부와 4층 연결통로로부터 유입되는 공기와 혼합된 후, 일부는 벽면을

따라 상승하다가 3층 연결통로 하부와 6층 연결통로로 유출되고 나머지는 로툰다의 서쪽 하부에 위치한 배기구로 배출된다. 로툰다 중앙에서는 약한 상승기류가 존재하며 4층 높이까지는 벽면에 설치된 노즐에서 취출된 기류와 3층 연결통로 상부와 4층 연결통로에서 유입되는 기류로 인하여 순환기류가 형성되고 있다. 그러나 6층 영역 이상의 로툰다 상부에는 순환기류가 형성되지 않고 거의 정체된 기류분포를 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 층고가 높은 대공간의 경우, 상하의 기류분포가 적절히 형성되지 못하면 온도성층화가 유발될 수 있다. 그러므로 로툰다 상부에서도 이러한 미약한 순환기류를 개선하기 위한 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

5.2 온도환경평가

로툰다 내부의 온도분포 특성을 살펴보기 위하여 기류분포를 살펴본 동일한 단면들에 대한 온

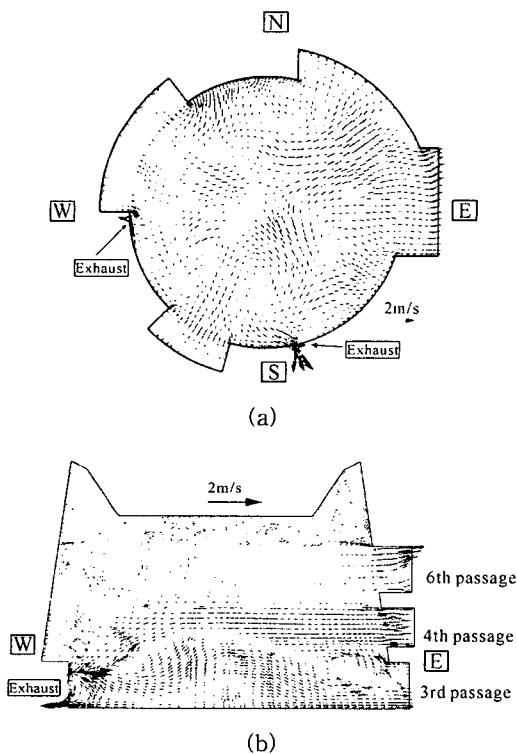


Fig. 2 Distributions of velocity vectors at (a) breathing zone and (b) vertical plane of the Rotunda.

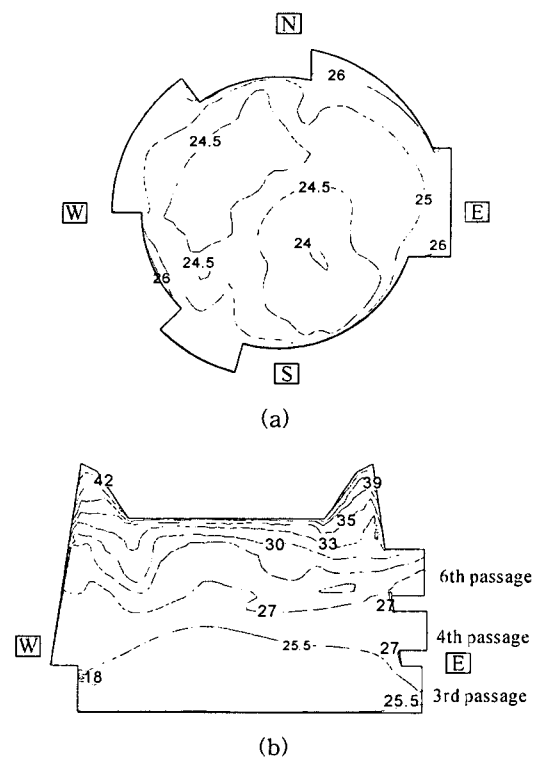


Fig. 3 Distributions of temperature at (a) breathing zone and (b) vertical plane of the Rotunda.

도분포를 각각 Fig. 3의 (a)와 (b)에 나타내었다.

Fig. 3(a)에 보이듯이 호흡선 높이의 온도분포는 동북측과 서북측 벽면 근처에서 26℃의 온도영역을 나타낼 뿐 대부분의 영역에서는 약 24~25℃의 범위이다. 동북측과 서북측 벽면 근처의 온도가 다소 높은 이유는 벽면에서 취출된 18℃의 급기가 재실자와 복사에 의해 가열되며 벽쪽으로 이동하고 이러한 공기가 부하가 존재하는 벽을 따라 상승하기 때문으로 사료된다.

기류분포에서 예상되고 있는 열성층화 현상을 확인하기 위하여 로툰다 중앙 수직단면에서의 온도분포를 Fig. 3(b)에 나타내었다. 그림에 보이듯이 순환기류가 존재하는 로툰다 하부영역에서는 약 26℃ 정도로 여름철 관람환경으로는 적합할 것으로 사료되나, 기류가 정체되어 있는 상부 지붕 근처에서는 최대 42℃로서 높이에 따른 상하 온도차가 약 16℃ 정도로 높게 나타난다. 이는 여름철 유리지붕을 통한 복사열로 인한 로툰다 실내공기의 가열에 기인된 것으로 판단된다. 이와 같은 온도분포는 기류혼합 등의 도입되지 않은 고층 대공간의 일반적인 열적 특성이다.

5.3 쾌적지수평가

로툰다 내부의 환경이 관람객에게 주는 쾌적감을 평가하기 위하여 쾌적환경평가에 일반적으로 많이 이용되고 있는 PMV 및 PPD 분포를 살펴보았다.

Fig. 4에 관람객 호흡선 높이에서의 열환경을 살펴보기 위하여 바닥으로부터 1.5m 높이의 PMV

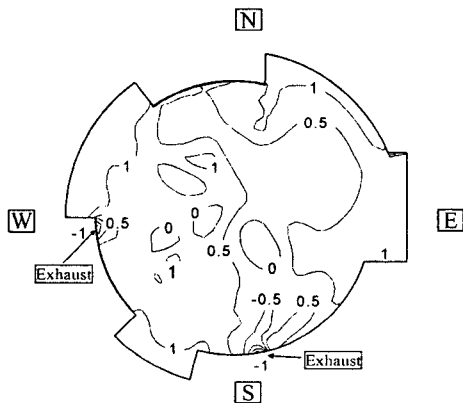


Fig. 4 Distributions of PMV value at breathing zone of the Rotunda.

분포를 나타내었다. 이때의 실내공간의 평균복사 온도는 29℃이었다. 여기서 보면 일부 벽면 근처를 제외한 대부분의 재실면적에서 -0.5~0.5의 범위를 나타내고 있어 열적으로 쾌적한 것으로 평가된다.

로툰다 상층부에 존재하는 열성층화가 실내 열환경에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 로툰다 중앙 수직단면의 PMV 및 PPD 분포를 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 로툰다 하부 재실공간과 3층의 로툰다와 역사의 가로의 연결통로에서의 PMV 지표는 0~0.5의 범위를 나타내고 있어 열적으로 쾌적한 것으로 평가된다. 4층 관람영역 연결통로 역시 PMV 지표 최대 1 정도로서 비교적 관람에 적합한 환경이라고 사료되나, 6층 관람영역 연결통로 부분은 1.5 이상의 PMV 지표를 나타내고 있어 재실자가 덥다고 불만족스럽게 느끼는 관람환경으로 평가된다.

주어진 열환경에 대한 재실자의 불만족률을 알아보기 위하여 나타난 Fig. 6의 PPD 분포를 살펴보면, 로툰다 하부 재실공간에서의 재실자 불만족률은 10% 정도로서 관람객이 쾌적함을 느낄

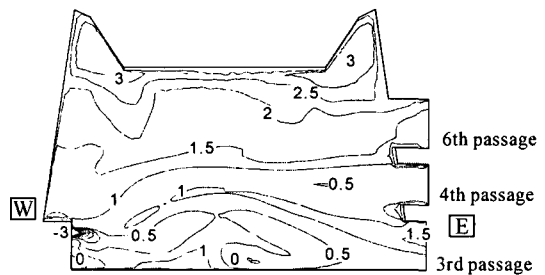


Fig. 5 Distributions of PMV value at vertical plane.

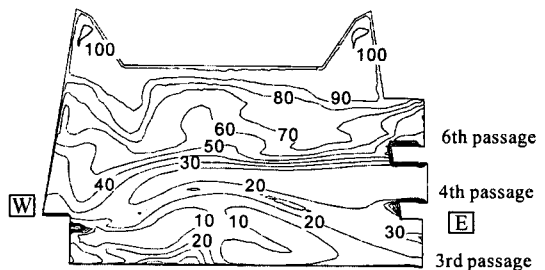


Fig. 6 Distributions of PPD value at vertical plane.

것으로 예상됨을 알 수 있다. 3층과 4층의 관람 영역 연결통로 역시 불만족률이 20% 정도로서 본 공간이 관람을 위한 박물관임을 고려하면 비교적 적합한 열환경이라 할 수 있다. 그러나 6층의 관람영역 연결통로에서는 약 50%의 불만족률을 나타내고 있다. 이는 관람객 100명 중 50명이 주어진 열환경에 불만을 표시한다는 것을 의미하며, 이와 같은 결과는 로툰다 상층부에 형성된 열성층화의 영향으로 사료된다. 그러므로 이와 같은 열성층화 현상을 개선할 수 있도록 공간환기설계 측면에서의 개선방안이 마련되어야 할 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 여름철 로툰다 내 기류 및 온도분포를 이론적인 방법으로 해석한 후 PMV와 PPD에 의한 열환경 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 관람객의 호흡선 높이에서의 기류속도는 약 0.1~0.5 m/s, 온도분포는 약 24~25℃로 나타나며 이때의 PMV 지표는 -0.5~0.5의 범위를 나타내고 있어 열적으로 쾌적한 것으로 평가된다.

(2) 로툰다 중앙 수직단면에서는 바닥면의 경우 26℃ 정도의 온도분포를 나타내지만 상부 유리지붕에서 약 42℃로서, 높이에 따른 상하온도 차가 약 16℃ 정도인 뚜렷한 열성층화 현상을 보인다.

(3) 로툰다 하부 재실공간과 3층의 연결통로 및 4층 연결통로에서의 열환경은 관람에 비교적 적합한 열환경이나, 6층 연결통로 부분은 재실자가 덥다고 불만족스럽게 느끼는 관람환경으로 평가된다.

(4) 동일 로툰다 중앙 수직단면에서의 PPD 분포에 의하면, 로툰다 하부 재실공간에서는 10% 정도, 3층과 4층 연결통로에서는 20% 정도로서 비교적 적합한 열환경을 보인다. 그러나 6층 연결통로에서는 약 50%의 불만족률을 나타내고 있으므로 이곳의 열환경을 개선할 수 있도록 공간환기설계 측면에서의 개선방안이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Takeo, T., 1995, Field experiment on indoor climate of passenger terminal building of

Kansai International Airport, Part 1-2, Proc. of SHASE, Vol. 3, pp. 1493-1500.

2. SAREK, 2001, HVAC equipment for large space, Magazine of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 1-32.
3. Whang, W. S. and Cho, C. S., 1999, Thermal environment analysis for national museum, Magazine of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 28, No. 1, pp. 16-39.
4. Fanger, P. O., 1970, Thermal Comfort--Analysis and Application in Environmental Engineering, Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark.
5. ASHRAE, 2001, ASHRAE Handbook-2001 Fundamentals, ASHRAE, USA, pp. 8.1-8.29.
6. FLUENT Ltd., 2000, FLUENT 6.0 User's Guide, FLUENT Ltd., USA.
7. Patankar, S. V., 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw Hill.

부록 : PMV/PPD 산정

국소위치에서의 PMV는 아래의 식으로 산정된다. 식(A-2)~(A-5)를 이용하여 L 을 구하고 이 값을 식(A-1)에 대입하여 PMV 값이 결정된다.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)L \quad (A-1)$$

$$\begin{aligned} L = & (M - W) - 0.0014M(34 - t_a) \\ & - 3.05[5.73 - 0.007(M - W) - p_a] \\ & - 0.42[(M - W) - 58.15] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a) \\ & - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] \\ & - 0.0173M(5.87 - p_a) \end{aligned} \quad (A-2)$$

$$\begin{aligned} t_{cl} = & 35.7 - 0.028(M - W) \\ & - 0.155I_{cl}\{39.6 \times 10^{-9}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 \\ & - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \end{aligned} \quad (A-3)$$

$$\begin{aligned} h_c = & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \\ & \text{for } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V} \\ = & 12.1\sqrt{V} \\ & \text{for } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V} \end{aligned} \quad (A-4)$$

$$f_{cl} = 1.0 + 0.2I_{cl} \quad \text{for } I_{cl} < 0.5 \text{ clo}$$

$$= 1.05 + 0.1I_{cl} \quad \text{for } I_{cl} > 0.5 \text{ clo} \quad (\text{A-5})$$

여기서,

M : 신진대사에 의한 열생성률로 신체의 단위 표면적당의 일량 [W/m^2]

W : 외부일량으로 활동에 따라 공간에 주어지는 일량 [W/m^2]

t_a : 실내공기온도 [$^{\circ}\text{C}$]

V : 실내공기유속 [m/s] ($=\sqrt{u^2+v^2+w^2}$)

\bar{t}_r : 평균복사온도, MRT [$^{\circ}\text{C}$]

I_{cl} : 착의량 [clo]

p_a : 실내공기의 수증기분압 [kPa]

t_{cl} : 체표면의 평균온도 [$^{\circ}\text{C}$]

f_{cl} : 옷을 입었을 때와 벗었을 때의 표면적 비

h_c : 대류 열전달계수 [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

식(A-3)와 식(A-4)에 나타난 바와 같이 체표면의 평균온도 t_{cl} 과 대류 열전달계수 h_c 는 상호 연관되어 있으므로 반복법에 의하여 계산되어진다.

PPD는 주어진 열환경에 대하여 불만족을 느끼는 재실자의 예상비율을 의미하며, 다음의 식(A-6)을 이용하여 산정될 수 있다.

$$PPD = 100 - 95 e^{-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)} \quad (\text{A-6})$$