

## 개방된 고분 내부의 열 환경 수치모사

윤영목, 전희호, 이금배\*

공주대학교 기계공학과 대학원, \*공주대학교 기계자동차공학부

### Numerical Simulation of the Thermal Environment Inside an Opened Tomb

Young-muk Youn, Hee-Ho Jun, Kum-Bae Lee\*

Graduate School Department of Mechanical Engineering, Kongju National University, Gongju-si 314-701, Korea

\*Department of Mechanical Automotive Engineering, Kongju National University, Gongju-si 314-701, Korea

(Received August 10, 2006; revision received November 22, 2006)

**ABSTRACT:** In recent years the importance of the preservation of cultural artifacts like ancient tombs has been widely accepted domestically and internationally with increasing value of cultural artifacts. However not much technical attention has been paid for the facilities and systems to preserve these artifacts. As a part of the present study, the temperature and relative humidity inside a selected artifact, Shinkwan-ri tomb, have been monitored for a year round to improve the understanding of the indoor thermal environment. In this study, using the Computational Fluid Dynamics calculated the velocity and temperature distribution and offered basic data which are necessary for the best fitted design of tomb air-conditioning device. Through the result of this study, the generation of temperature variation was identified by natural convection. It enables us to get the possibility of humidity variation

**Key words:** Preservation(보존), Thermal environment(열 환경), Tomb(고분), Air-conditioning (공기조화)

#### 기호 설명

$C_p$  : 비열 [J/kg·K]

$k$  : 열전도도 [W/m·K]

$\dot{q}$  : 열원 [J/m<sup>3</sup>·s]

$T$  : 온도 [K]

$T_0$  : 유체의 온도 [K]

$u_i$  :  $x_i$  방향의 속도 [m/s]

$x_i$  : 좌표 [m]

#### 그리스 문자

$\beta$  : 체적확장계수 [1/K]

$\epsilon$  : 난류소산율 [m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>]

$\kappa$  : 난류에너지 [m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>]

$\mu$  : 점성계수 [kg/(m·s)]

$\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

#### 1. 서론

문화재는 예술작품과 더불어 고적으로 구분되며, 지금까지는 주로 고고학적 가치를 위주로 검토되어 왔으나 최근에는 문화재의 보존에 많은 관심이 집중되고 있다. 대부분의 이동 가능한 문화재의 경우에는 박물관에 수장하고 이동이 여의

† Corresponding author

Tel.: +82-41-850-8512; fax: +82-41-854-1449

E-mail address: kumbae@kongju.ac.kr

Table 1 Temp. and RH condition for the conservation of cultural properties

Items	Dry bulb tem. (°C)	Relative humidity (%)
Book, paper, stamp	16~24	45~65
Parchment	15.5~23.5	55~60
Metal	16~24	40~63
Clay, fur, furniture, leather, sculpture	16~24	45~63
Porosity stone, picture, woodwork product	16~24	55~63
Dessin depository	18~20	65
Works of art	18~22	50

치 않은 경우에는 현장에 보존하게 된다.

이 중 고분은 독특한 경우로서 대부분의 유물이나 유품들이 고분에서 출토될 뿐만 아니라 고분 그 자체가 역사성과 함께 예술성을 포함하여 보존대상이 된다. 국내의 경우, 경주의 석굴암이나 천마총, 공주의 송산리 고분군, 그리고 부여의 능산리 고분군 등이 각각 신라와 백제시대의 대표적인 유적이다. 경주 석굴암의 경우 완전개방상태로 일반에 공개되다가 결로에 따른 석재 표면의 열화문제로 인하여 현재 공기조화기를 가동한 상태에서 부분적으로 공개하고 있으며, 무령왕릉의 경우에도 보존상의 문제가 대두되어 현재는 연구용으로만 개방되어 있는 상태이다. 이와 같은 현상은 문화재의 상품성에 치중된 나머지 문화재의 장기보존에 관한 고려, 즉 일반관람객들에게 개방한 이후 계절적 기후 환경변화 및 대기 중의 각종 오염물질의 농도변화와 출입자의 인체 대사열 및 호흡시 발생하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등의 영향에 대한 종합적인 연구가 부족하였기 때문이다.

문화재의 온도·습도 보존환경에 관한 국제박물관회의(ICOM)와 국제보존수복센터(ICCRUM), 문화재청의 자료 등에 따르면 문화재는 온도 16~24°C, 45~65%를 유지해야 하는 것으로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 고분 등의 구조물에 대한 상세한 온도·습도 규정은 명확하게 제시된 자료가 없는 상태이다.

지역별 기후와 보관 유물에 따라 상대습도기준은 각각 다르게 선정되며,<sup>(2)</sup> UNESCO, ICOM, ASHRAE는 문화재 보존을 위한 적절한 온도·습도 조건을 Table 1<sup>(1-4)</sup>에 제시하고 있다.

고분 내 온도 및 습도를 조절하기 위한 공조시설은 고분의 물리적인 특징과 대기 유동조건 등 다양한 변수를 고려하지 않고 시공한 결과, 많은 보완점이 도출되었다.

향후 고분을 유지, 보존함에 있어 기존의 공조 개념은 물론 전산유체역학을 이용하여 점차 증가하는 각종 대기오염물질에 대한 고분 유지, 보존 기술이 개발되어야 할 것이다.

본 논문에서는 고분 보존용 공조시스템의 최적설계를 위해서, 공주시 신관동에 소재한 개방된 고분을 대상으로 기초적인 온도·습도 자료를 확보하였다. 이 자료를 바탕으로 전산유체역학을 이용하여 고분 내부의 기류 및 온도분포를 수치모사하였다.

## 2. 고분의 보존환경 검토

### 2.1 신관리 고분 개요

일반적으로 고분의 석실 내부 횡혈(橫穴)·동굴 내부의 환경은 대개 바깥 공기와 격리되어 있으며, 바깥 기온의 변동에 비하여 내부 변화의 폭은 좁아 내부 쪽이 보다 안정된 보존환경을 유지한다. 대개 석실 내의 온도와 그 변동폭은 외기 온도, 석실의 깊이, 그리고 토양의 열전도율·열

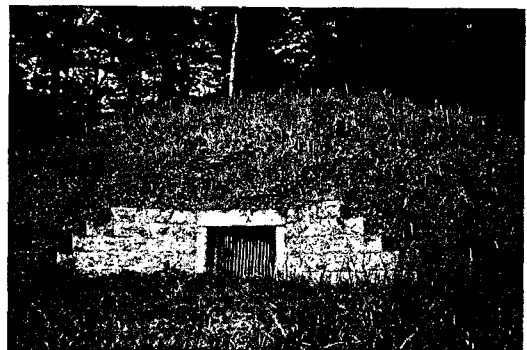


Fig. 1 View of tomb.

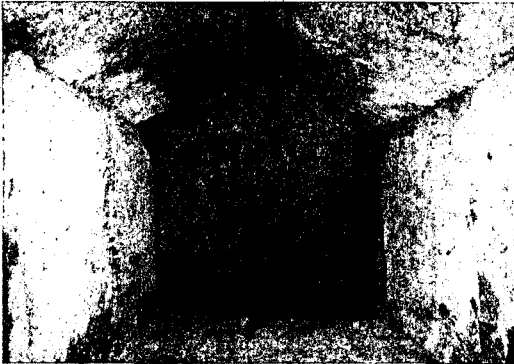


Fig. 2 Inside view of Shinkwan-ri tomb.

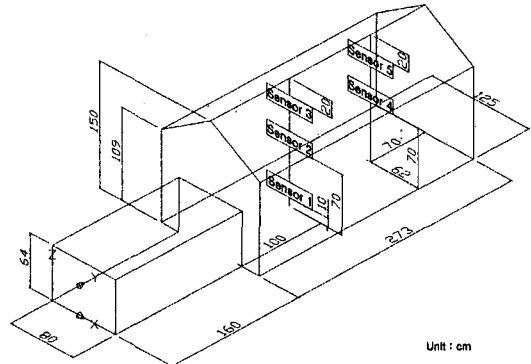


Fig. 3 Measurement locations.

용량에 의해서 결정되는 것으로 알려져 있다.<sup>(5)</sup>  
 본 연구 대상인 신관리 석실고분(시도 기념물 제 7 호)은 1967년에 발견된 백제시대의 무덤으로 (Fig. 1) 구조는 현실의 크기가 남북 273 cm, 동서의 너비가 125 cm로 장방향을 이루고 있으며, 현실의 경우 북쪽에 상첨형식의 5각형 대판석 1매를 세우고 109 cm의 높이에서 절각이 이루어져 있는데 이곳에 대판석의 천정석을 올려 기대어 묘실의 정부에서 합쳐지는 소위 합장형 천정을 이루고 있으며, 이를 Fig. 2에 나타내었다. 높이는 상면에서 정점까지가 1.5 m이다. 남벽의 입구는 동서로 석을 세우고 바닥에는 중방을 설치하고 위에는 삼각의 미석을, 연도는 묘실의 동서 너비에 1매의 천정석을 올려 평천정으로 꾸민 형식이다. 현실입구(높이 : 64 cm, 폭 : 79 cm)는 원래 석비로 폐쇄하였으나, 현재는 보존 측면에서 돌문을 개방해 놓은 상태이다.<sup>(6)</sup>

연도의 길이는 1.6 m이며, 대부분의 개방된 고분과는 달리 신관리 고분은 입구가 개방된 상태에서 보존되고 있다는 점이 특이할 만한 점이라고 할 수 있다.

2.2 온도 및 습도 측정

개방된 고분 내부의 기초자료를 확보하기 위해 원격 측정 시스템<sup>(7)</sup>을 통하여 현실 내부 다섯 곳과 외부 한 곳을 포함하여 총 여섯 곳에서 온·습도를 측정하였으며, 고분 내부의 측정 위치는 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다. 즉, 현실의 남북 방향 중심선상에서 입구로부터 1 m 및 2 m 지점에 2개의 스탠드를 설치하고, 바닥으로부터의 높

Table 2 Measurement locations

Channel No.	Location	
	Depth from the entrance (cm)	Height from the ground (cm)
1	100	10
2	100	70
3	100	130
4	200	70
5	200	130
6	Outdoor	Outdoor

이는 각각 0.1 m, 0.7 m 및 1.3 m로 설정하였다. 한편 외기 기상상태 측정을 위하여 고분 외부에 백엽상을 설치(지상 1.5 m)하여 온·습도를 측정하였다.

측정 센서 모듈(제작사 : 이태리 Delta 사, 모델명 : HD 9008T) 내에는 온도 및 습도 센서가 포함되어 있으며, 한국표준과학연구원의 교정시험을 통하여 정밀도를 확인하였다.

2.3 신관리 고분의 온·습도 측정결과

2.3.1 2004년 1월과 8월의 온·습도 분포

Fig. 4와 Fig. 5는 신관리 고분의 2004년 8월 1일 0시부터 24시까지 1일간 채널별 온·습도 분포이며, Fig. 6과 Fig. 7은 2004년 1월 22일 0시부터 24시까지의 1일간 채널별 온·습도 분포이다.

우선 Fig. 4를 보면 외기온도는 시간에 따른 편차가 크게 나타남을 알 수 있다. 이에 반해 고분 내부의 채널별 온도는 외기에 비해 편차가 작게 나타남을 알 수 있다. Fig. 6 또한 비슷한 경향을

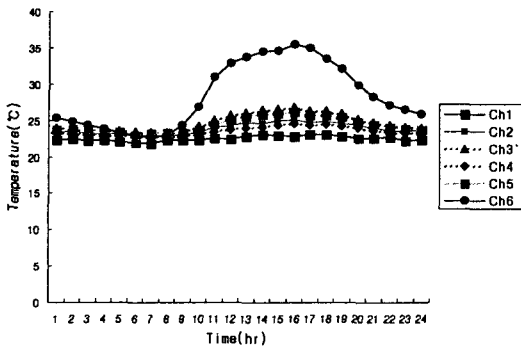


Fig. 4 Measured temperature.

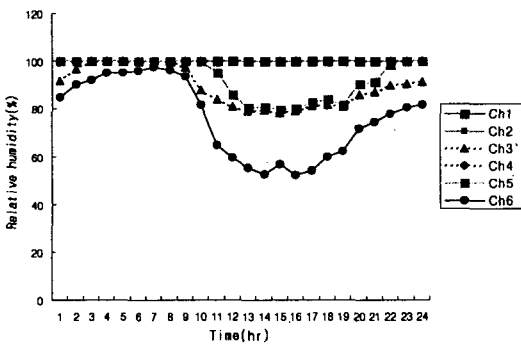


Fig. 5 Measured relative humidity.

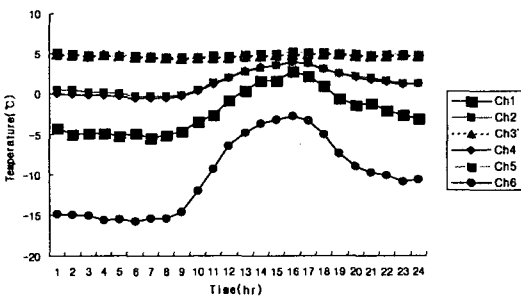


Fig. 6 Measured temperature.

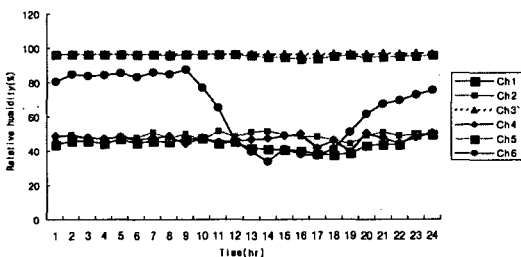


Fig. 7 Measured relative humidity.

나타남을 알 수 있으나, 채널 3과 채널 5는 온도가 다른 채널에 비해 높게 나타남을 알 수 있다. Fig.5를 보면 고분 내부의 습도가 전 채널에 걸쳐 외부의 습도보다 높은 것을 알 수 있다.

Fig.7을 보면 고분 내부 상부에 위치하는 채널 3번과 5번은 하루 종일 거의 100%를 유지하는 것을 알 수 있고, 외부를 제외한 나머지 채널은 약 40%에서 55% 정도를 유지하는 것을 알 수 있다.

2.3.2 하절기 및 동절기 온도분포

Fig.8은 2003년 하절기 중 가장 더웠던 8월 1일 13시부터 15시까지의 센서별 평균 온도 자료이다. 하절기 고분 내 온도는 바닥 근처(채널 1), 중간(채널 2와 4), 그리고 천정 근처(채널 3과 5)의 순으로 크게 나타났으며, 입구로부터의 거리에 따른 변화(채널 2와 4, 채널 3과 5)는 입구로부터 거리가 멀수록 온도가 더 낮은 것으로 나타났다.

Fig.9는 2003년 동절기 중 가장 추웠던 1월 22일 새벽 1시부터 3시까지의 채널별 평균 온도 자

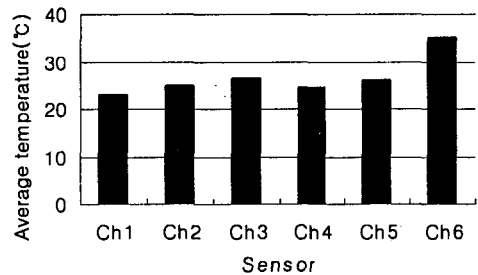


Fig. 8 Measured temperature for summer season.

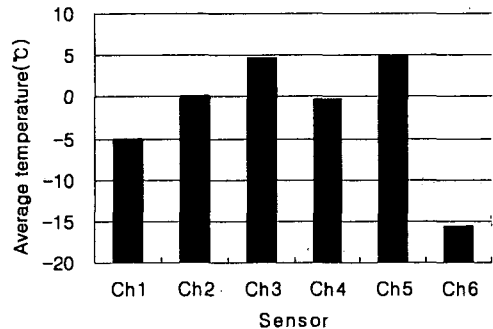


Fig. 9 Measured temperature for winter season.

료이다. 동절기 고분 내 온도는 하절기와 마찬가지로 바닥 근처(채널 1), 중간(채널 2와 4), 그리고 천정 근처(채널 3과 5)의 순으로 크게 나타났으며, 입구로부터의 거리에 따른 변화는 입구로부터의 거리가 멀수록 온도가 더 낮은 것으로 나타났으나(채널 2와 4), 채널 3번과 5번을 비교해보면 채널 5번이 아주 약간 높게 나타났다.

이상의 2개의 자료를 수치모사 결과 비교를 위한 자료로 선정하였다.

### 3. 수치모사

#### 3.1 지배방정식<sup>(8)</sup>

고분 내의 큰 온도 및 습도차로 기류를 비압축성 유체로 가정하였고, 난류모델은 standard  $\kappa$ - $\epsilon$  방정식을 사용하여 지배방정식을 수치해석으로 풀었다.

##### 질량방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

##### 운동량방정식

$$\rho u_i + \frac{\partial u_j \rho u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho g_i \beta (T - T_0) \quad (2)$$

##### 에너지방정식

$$\rho C_p T + \frac{\partial u_j \rho C_p T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} k \frac{\partial T}{\partial x_j} + \dot{q} \quad (3)$$

##### $\kappa$ - $\epsilon$ 방정식

$$\rho k + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_S + G_T - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\rho \epsilon + \frac{\partial u_i \rho \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_S + G_T) (1 + C_3 R_f) - C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k} \quad (5)$$

여기서

$$\mu = \mu_1 + \mu_t$$

$\mu_1$  : 층류점성계수

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} : \text{난류점성계수}$$

$$G_S = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$G_T = g_i \beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i}$$

$$R_f = - \frac{G_T}{G_S + G_T}$$

$$\sigma_k = 1, \quad \sigma_\epsilon = 1.3, \quad \sigma_t = 0.9$$

$$C_1 = 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad C_3 = 0.0, \quad C_\mu = 0.09$$

#### 3.2 수치모사방법

수치해석을 위하여 유한체적법을 사용하는 범용 열·유체 해석용 코드인 SC/Tetra V5를 사용하였다.

수치계산을 위한 형상은 3차원 형상으로 외기 온도와 외벽면(stone)으로부터 온도경계조건을 갖는 자연대류의 문제로 접근하였다.

계산영역은 외기와 고분 내부를 포함하는 공기 영역과 고분을 둘러싸고 있는 돌(화강암)을 포함하며 대류 및 전도열전달을 함께 고려하였다. 이에 수치계산은 3차원 형상, 고분 내·외부의 온도 차에 따른 자연대류현상과 화강암에서 전도열전달을 고려하고, 유동장은 정상상태의 난류유동으로 난류모델은 표준  $\kappa$ - $\epsilon$  방정식을 사용하여 계산하였다.

#### 3.3 형상 및 격자

개방된 고분 내부의 수치모사를 위해서는 실제 고분의 형상 및 기초 자료가 필요하다. 수치해석을 수행하기 위한 고분모형을 CATIA를 이용하여 실크기의 3차원으로 나타내었다.

외기를 형성하기 위해 높이, 폭, 길이를 500 m의 크기로 나타내었으며, 이 외기는 고분 입구와 연결되어 있다. Fig. 10에 대한 격자계는 Fig. 11에 나타내었으며, 이는 약 580,000개의 셀로 구성된다.

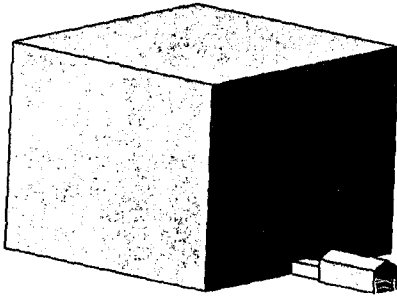


Fig. 10 3D geometry of Shinkwan-ri tomb.

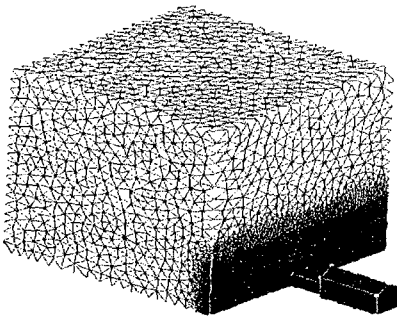


Fig. 11 Mesh with 580,000 cells for tomb.

3.4 경계조건

수치계산의 경계조건은 하절기와 동절기로 나누어, 하절기의 경우에는 외기온도가 가장 높은 오후 1시부터 오후 3시까지의 외기 평균 온도 35.5℃로 하였고, 고분 내벽온도는 측정 평균치인 22℃로 설정하였다. 한편, 동절기의 경우에는 외기온도가 가장 낮은 오전 1시부터 오전 3시까지의 외기 평균 온도 -15.5℃로 설정하였고, 고분 내벽 온도는 측정 평균치인 10℃로 설정하였다.

의기는 큰 직육면체로 나타냈으며 실외 온도를 주어 고분 내부와 온도차에 의한 자연 대류현상에 대한 수치해석을 하였다.

고분 내벽을 둘러싸고 있는 화강암의 물성치로 열전도도는 2.79 W/m<sup>2</sup>·K, 비열은 775 J/kg·K로 하였다.

4. 수치해석결과 및 분석

Fig. 12부터 Fig. 15는 입구가 개방된 고분 내부에서의 기류속도 및 온도분포 특성을 검토하기 위하여 수행된 신관리 고분에 대한 수치모사의 결과로서 고분 중앙 단면에서 기류속도 및 온도분포를 나타낸다.

4.1 기류분포

Fig. 12와 Fig. 13은 수치모사에 의해 얻어진 기류속도 분포로서 Fig. 12는 하절기, Fig. 13은 동절기를 나타내고 있다.

하절기(Fig. 12)를 보면 고분 외부의 더운 공기가 연도를 거쳐 현실의 상부까지 도달하며, 상대적으로 낮은 온도의 실내 공기는 현실과 연도의 바닥을 통하여 외부로 빠져나간다. 이는 고분 내부와 외부의 온도차에 의한 자연 대류현상으로 인하여 고분 내부에 온도차에 의한 습도차가 생길 가능성이 있음을 알 수 있다.

이는 동절기에도 마찬가지로 Fig. 13을 보면 외부의 차가운 기류가 연도를 거쳐 현실의 바닥까지 도달하며, 상대적으로 높은 벽면온도의 영향으로 데워진 공기는 현실의 상부와 연도를 거쳐 외부로 빠져나가게 된다. 또한, 하절기와 동절기 모두 입구 쪽 벽면에 부딪치는 구조적인 영향과

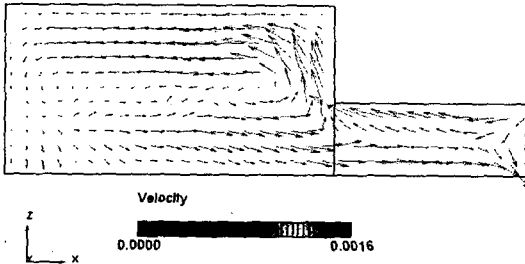


Fig. 12 The velocity distribution at y=0 for summer season.

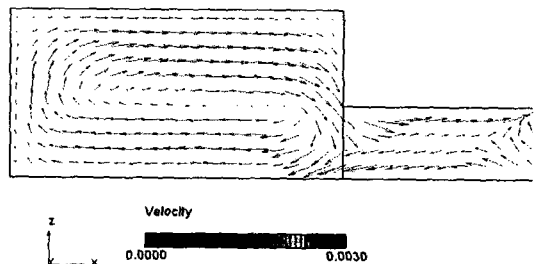


Fig. 13 The velocity distribution at y=0 for winter season.

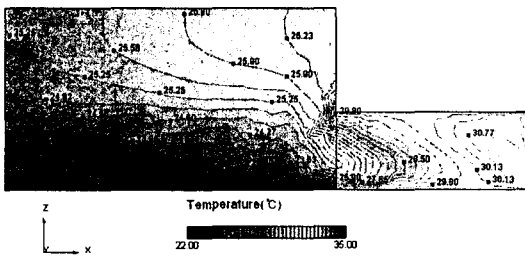


Fig. 14 The temperature distribution at  $y=0$  for summer season.

계속적으로 유입되는 입구 기류에 의하여 기류의 일부가 출구로 바로 배출되지 못하고 고분 내에서 재순환하게 됨을 알 수 있다. 그리고 고분 입구에서의 유동은 유입되는 기류가 모두 유출되지 못하고 기류의 일부분이 고분 내부에서 순환하는 기류와 합쳐져서 입구에서의 기류속도가 다른 곳에 비해서 빠른 것을 알 수 있다. 또한 입구 터널 쪽에서 외부의 낮은 습도의 기류영향으로 고분 벽의 건조가 내부의 다른 곳에 비해 가속화될 가능성이 있음을 알 수 있다.

#### 4.2 온도분포

Fig. 14와 Fig. 15는 수치모사에 의해 얻어진 온도분포로서 Fig. 14는 하절기, Fig. 15는 동절기를 나타내고 있다.

하절기(Fig. 14)에서 고분 내부 현실 상단의 온도가 하단의 온도보다 더 높는데 이는 고분을 통하여 나가는 낮은 온도의 기류가 고분으로 유입되는 상대적으로 높은 온도 기류 밀도로 들어가 순환하기 때문이다. 이는 동절기에도 마찬가지로 고분을 통하여 나가는 높은 온도의 기류가 고분

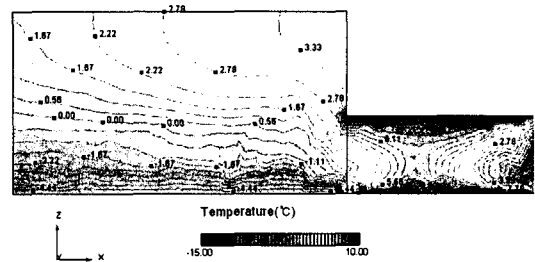


Fig. 15 The temperature distribution at  $y=0$  for winter season.

으로 유입되는 상대적으로 낮은 기류의 위로 이동하기 때문에 고분 내부 현실 상단의 온도가 하단의 온도보다 더 높음을 알 수 있다. 이는 측정된 결과값과 일치함을 알 수 있다.

이와 같은 영향으로 하절기, 동절기 모두 입구 터널과 고분이 만나는 지점에서도 상단과 하단 사이에 온도차가 발생하게 된다. 동일한 공간에서 온도차를 가지는 서로 다른 공간이 있으면 대기 중의 수증기는 고온 쪽에서 저온 쪽으로 이동하며, 수증기의 이동이 진행되어 저온 쪽의 습도가 100%에 근접할 때는 저온 쪽의 벽이나 천정에 이슬이 맺히는 결로현상이 발생하게 된다. 이로 인하여 고분 내 위치에 따른 습도는 차이가 발생할 수 있다.

Table 3과 Table 4는 원격시스템에 의해 측정된 고분 내 온도와 수치모사에 의해 얻어진 온도를 계절별로 비교한 것이다.

하계 온도비교표인 Table 3을 보면 측정된 온도값과 수치계산된 온도값의 차이는 최소 0.02°C에서 최대 1.72°C로 거의 일치하는 것으로 나타났다. 또한 동계 온도비교표인 Table 4를 보면 측정된 온도값과 수치계산된 온도값의 차이는 최

Table 3 Comparison experimental temp. with calculated temp. for summer season

Channel No.	Temperature (°C)	
	Experimental	Calculated
1	22.92	22.94
2	24.94	26.01
3	26.43	26.82
4	24.41	26.13
5	25.95	26.53
6	Outdoor	Outdoor

Table 4 Comparison experimental temp. with calculated temp. for winter season

Channel No.	Temperature (°C)	
	Experimental	Calculated
1	-5.06	-3.65
2	-0.02	-0.84
3	4.60	3.76
4	-0.36	-0.82
5	4.80	3.82
6	Outdoor	Outdoor

소 0.46℃에서 최대 1.41℃로 하계와 마찬가지로 거의 일치함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 공주시 신관동에 소재한 개방된 고분을 대상으로 기초적인 온·습도 자료를 확보하였고, 전산유체역학을 이용하여 고분 내부의 기류 및 온도분포를 수치모사하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 수치해석 및 실험값 모두 고분 내부 상단의 온도가 하단보다 높은 것을 알 수 있다. 이는 유입되는 기류의 온도가 절대적으로 영향을 끼친 것으로 판단된다.

(2) 하절기에는 낮시간에는 외부의 낮은 습도의 기류의 영향으로, 밤에는 지하의 영향으로 하단의 습도가 더 높다. 반대로 동절기에는 외부의 낮은 습도의 기류의 영향으로 상단의 습도가 더 높다.

(3) 입출구가 같은 경우, 유입되는 기류가 모두 유출되지 못하고 기류의 일부분이 고분 내부에서 순환하는 기류와 합쳐져서 입구에서의 기류속도가 다른 곳에 비해서 빠른 것을 알 수 있다.

본 연구에서 개방형 고분에 대한 수치해석의 예측기법을 제시하였으며, 고분 내의 온도차가 습도에 미치는 영향에 대한 연구가 더 필요하다고 사료된다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 지방과학기술력 향상지원사업 중 전통기술첨단화연구실 사업 및 2단계 BK21 사업의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Suh, M. C., Lee, N. S., Choi, S. W., Kim, G. H., Jeong, S. M. and Lee, K. B., 1998, In-situ status and conservational strategy of the Muryong royal tomb, the Songsanri tomb no. 5 and the Songsanri tomb no. 6 of Baekje dynasty, The research institute of bas. sci. Kongju nat'l. univ., The Journal of Natural Science, Vol. 7, pp.147-161.
2. Lee, J. K. and Song, T. H., 1999, Experimental investigation of dew formation and heat transfer in the original upper structure of Sokkuram grotto, SAREK 1999 Summer Annual Conference, pp. 68-76.
3. Lim, K. H., Jeong, S. U., Lim, Y. G., Kong, S. H., Moon, S. H. and Yoon, H. K., 1998, An experimental study on the Sokkuram cave temple dome's indoor environment of miniature model in winter season, SAREK 1998 Summer Annual Conference, pp. 187-190.
4. Garry Thomson, 1986, The Museum Environment, Second edition, Butterworth-Heinemann, London, p. 88.
5. Sawada, M., 2000, The establishment of cultural assets preservation science, Seokyeongmunhwasa, pp. 69-71.
6. Kim, K. W., 1995, The Tomb, Daewonsa.
7. Jun, Y. D., Lee, K. B., Ko, S. B., Kim, H. K. and Sheikh, Z. I., 2004, Temperature and humidity difference properties inside Shin-kwan-ri tomb for different seasons, SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp. 253-258.
8. SC/Tetra V5 User's Guide, pp. 3-13.