

## 고분 공조시스템의 운전특성 및 제습부하에 관한 연구

박진양, 고석보, 전희호, 전용두\*, 이금배\*

공주대학교 기계공학과 대학원, \*공주대학교 기계자동차공학부

### A Study on the Performance and Dehumidification Load of an HVAC System for Conservation of Ancient Tombs

Jin-Yang Park, Seok-Bo Ko, Hee-Ho Jun, Yong-Du Jun\*\*, Kum-Bae Lee\*

Graduate School, Kongju National University, Gongju-si 314-701, Korea

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

(Received October 11, 2006; revision received January 19, 2007)

**ABSTRACT:** Although the importance of good conservation of historical sites including ancient royal tombs is well aware, still not much attention has been paid for facilities to realize it. There are numerous ancient royal tombs spread in Korean peninsula which are opened and some of them are selectively on display for public access. However, the conservation measures of these sites have not been seriously investigated. Even the level of understanding of the underground environment of tombs is not satisfactory. In the present study, we focus on the dehumidification loads to maintain appropriate conservation conditions in terms of temperature and humidity. Two experimental tombs different in size were built in KNU (Kongju National University) campus with the dimensions (L×W×H) of 1.0 m×2.8 m×1.0 m and 1.3 m×3.0 m×1.2 m, respectively. HVAC systems are installed to maintain a suitable condition for conservation, i.e., 22±2°C in temperature and 55±5% in relative humidity. The condensed water are measured to estimate the dehumidification loads while the temperature and the humidity inside the tombs were maintained within the specified range.

**Key words:** HVAC system(공조시스템), Humidity control(습도제어), Ancient tomb(고분), Conservation(보존), Cultural properties(문화재)

#### 기 호 설 명

$A$  : 단면적 [ $m^2$ ]

$f_{sa}$  : 특수 허용계수

$f_{ul}$  : 조명 점등률

$k$  : 열통과율 [ $kcal/m^2h^{\circ}C$ ]

$\dot{m}_a$  : 공기량 [ $kg/hr$ ]

$\dot{m}_w$  : 제습량 [ $kg/hr$ ]

$Q$  : 환기량 [ $m^3/hr$ ]

$q_{el}$  : 조명 열취득 [ $W$ ]

$q_l$  : 환기를 통한 잠열부하량 [ $kcal/h$ ]

$q_s$  : 환기를 통한 현열부하량 [ $kcal/h$ ]

$q_T$  : 열관류량 [ $kcal/h$ ]

$\Delta T$  : 실내외 온도차 [ $^{\circ}C$ ]

$W$  : 조명의 총 출력 [ $W$ ]

$W_1, W_2$  : 절대습도 [ $kgv/kg$ ]

$\Delta W$  : 실내외 절대습도차 [ $kgv/kg$ ]

† Corresponding author

Tel.: +82-41-850-8618; fax: +82-41-854-1449

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

1. 서론

문화는 민족의 정신적 활동과 물리적 표상을 배경으로 나타나는 표출현상이다. 정치, 사상, 경제, 종교, 예술, 문학 등 모든 분야에 이와 같은 정신적 표현이 내포되어 있다. 문화재는 이런 시대적 정신이 유형, 무형적으로 만들어진 결과물이고 이것을 통해 인류의 자취를 이해하는 것이므로, 이에 대한 관리와 보존은 정신·문화적 측면에서 매우 중요하다.

문화재의 손상요인 중 하나는 자연에 의해서이며, 물리적 요인, 화학반응에 의한 재질의 변질, 생물에 의한 손상과 열화작용, 생리·화학 및 생물에 의한 재질노화에 미치는 물의 작용 등 여러 가지가 있다. 이러한 요인들을 예방하기 위해서는 필요에 따라 공조시스템을 사용하여 내부환경을 유지시켜 주어야 한다.<sup>(1)</sup> 문화재의 보존환경에 관해서 국제박물관회의(ICOM)와 국제보존수복센터(ICROM), 문화재청 또는 관계 연구자들은 적절한 온·습도 조건<sup>(2)</sup>을 제시하고 있다.

국내에서 경주 석굴암의 경우 Lee and Song<sup>(3)</sup>는 석굴암 상부구조의 장마철 결로 및 열전달에 관하여 연구하였고, Lim et al.<sup>(4)</sup>은 석굴암 형태의 축소모형을 제작하여 상대습도, 건구온도, 기류속도를 측정하였으며, Suh et al.<sup>(5)</sup>은 백제 무령왕릉 및 송산리 5·6호분의 현황 및 대책에 대하여 연구결과를 발표하였다. 또한 Jun et al.<sup>(6)</sup>은 입구가 개방된 고분 내의 실내 환경을 고찰하기

위하여 신관리 석실고분 내의 온도 및 습도자료를 보고하였으며, 실내 기류에 대한 수치모사를 시도하였다.

고분 내 온도 및 습도를 조절하기 위한 공조시설은 고분의 특성상 설치방법에 제한이 있고, 사람이 거주하지 않으며 한 번 설치 후 장기간 운전하게 되므로 운전상태에 대한 검증 및 모니터링이 필요하나 지금까지는 이러한 부분에 관한 고려가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 고분의 장기보존을 위한 최적의 공조시스템을 제시하기 위한 노력의 일환으로 공주대학교 박물관의 자문을 받아 2기의 실험용 고분을 공주대학교 구내에 제작하였으며, 부하계산을 통하여 공조시스템의 용량을 산정하여 제작 후 고분 내부에 설치하였다. 고분 내부의 위치별 특성을 알아보기 위하여 센서를 설치하여 온·습도를 확인하였고, 측정된 온·습도를 용량 및 제어 설정의 영향, 풍량 및 기류속도의 영향으로 나누어 분석하였다. 또한, 공조시스템에 필요한 적절한 제습부하를 확인하기 위하여 제습량을 측정하였고, 이를 실내 체적에 따라 비교하였다.

2. 고분 선정 및 제작

Fig.1은 공주대학교 구내에 조성된 2기의 실험용 고분의 전개도이며, Fig.2는 조성된 각 고분의 외관을 보여준다.

조성된 2기의 실험용 고분 중 고분 I(모형고분)

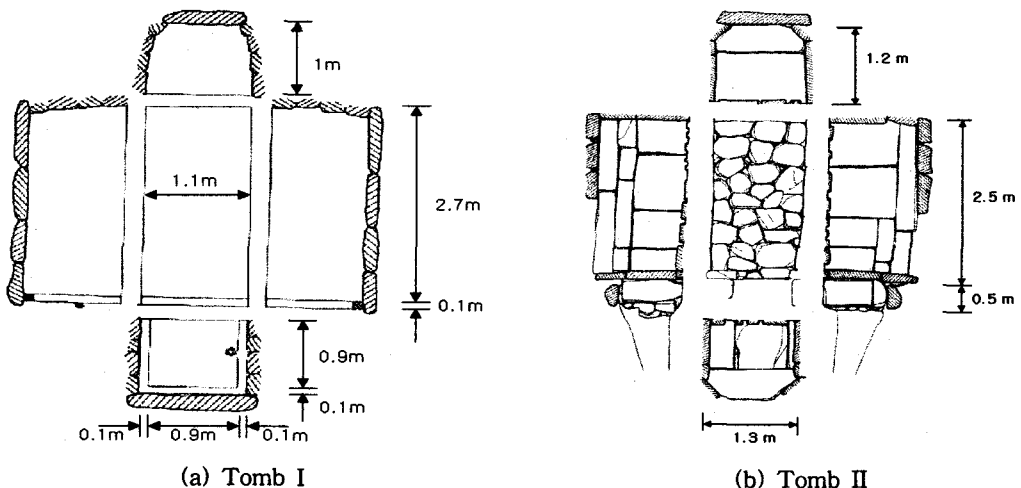
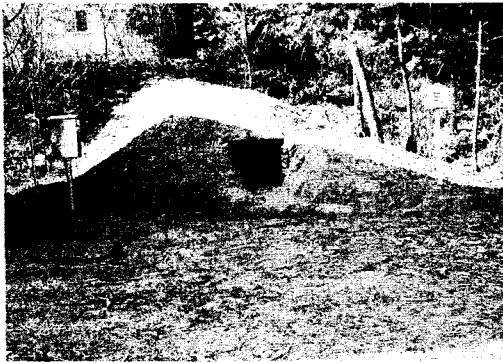
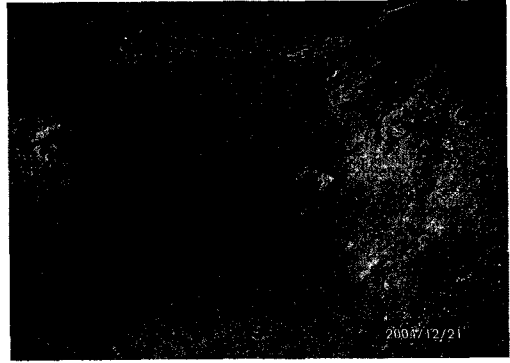


Fig. 1 Schematic of the experimental tombs.



(a) Tomb I



(b) Tomb II

Fig. 2 View of the experimental tombs.

은 백제시대의 횡혈식 석실고분 중 가장 많이 발굴될 형태로서 비교적 작은 크기의 석재를 쌓아 올리고, 위 부분은 판석으로서 마감한 형태의 적층식 석실고분으로 크기는 1.1m×2.7m×1.0m이다. 이 모형고분은 송산리 5호분의 축조양식과 유사하며, 공주대학교 구내의 북측 사면에 조성하였다. 주요 구성재료로는 자연활석, 자연석, 평석, 봉토, 잔디이며, 문은 철제문으로 제작하였다. 고분 II(실물고분)는 역시 백제식 석실고분으로 공주대학교 구내의 동측사면에 조성하였고, 고분의 크기는 1.3m×3.0m×1.2m이며, 내벽과 천정은 판석으로 구성되었으며, 짧은 연도가 있고 자연석으로 마감되었으며, 실제고분을 복원하여 조성한 것이다. 참고로 고분의 내부공간은 모형고분의 경우 2.97 m<sup>3</sup>이고, 실물고분의 경우 4.68 m<sup>3</sup>이다.

### 3. 실험장치

#### 3.1 공조시스템 구성

고분 내부의 온·습도 환경을 적절히 유지하고 또한 제습부하량을 확인하기 위하여 본 연구에서는 공기조화기를 실험용 고분에 설치하였다. 사용된 공기조화기는 가열, 가습, 냉방 및 제습을 할 수 있으며, 히터, 가습기, 증발기 및 송풍기로

Table 1 Specification of the HVAC system

	Tomb I	Tomb II
Compressor	0.75 hp	1 hp
Heater	3 kw	3.9 kw
Humidifier	4 kg/h	4 kg/h

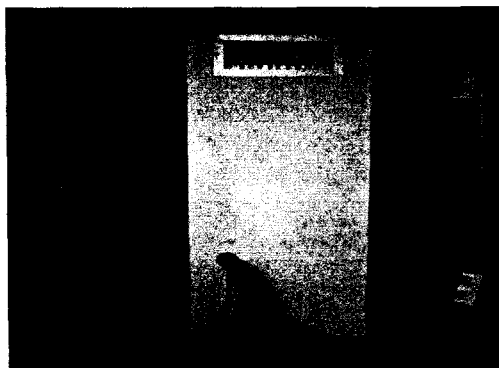


Fig. 3 The HVAC system.

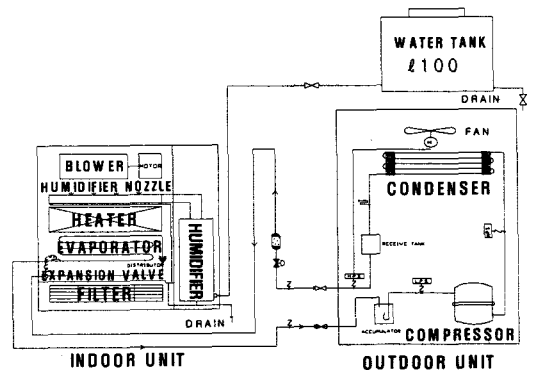


Fig. 4 Schematic of the installed HVAC system.

구성된 실내기와 압축기와 응축기를 포함하는 실외기, 그리고 가습용 물탱크로 구성된다. Table 1은 공조시스템의 사양을 보여주고 있다.

시스템 운전특성 분석을 위하여 자료획득장치(Yokogawa, DA-100)를 컴퓨터와 연결하여 온도 및 습도를 측정하고, 실내 온·습도 제어는 제어패널을 통하여 수행하였다. 고분 내부의 온·습도 특성을 상세히 관찰하기 위하여 4~5개의 채널을 고분 내부에 설치하고, 외기온도 및 습도를 동시에 측정하였다.

Fig. 3은 적층식 모형고분 내부에 설치한 실내기와 온·습도 센서들을 나타내며, Fig. 4는 본 연구에 사용된 공기조화시스템의 구성도를 나타낸다.

3.2 부하계산

공조부하를 계산하는 방법<sup>(7)</sup>에는 크게 최대부하를 기준으로 하거나 기간부하를 기준으로 삼는 방법이 적용된다. 이 중 기간부하는 합리적인 공조설비의 계획과 연간운전비를 산출하기 위해 각 지역별 난방도일 또는 표준기상자료를 사용하여 계절 또는 1년 동안에 발생하는 총 부하를 의미하고, 최대부하는 공조설비의 용량을 결정하기 위해 연중 가장 추운 날 또는 더운 날로 가정된 설계용 외기온도를 이용하여 계산하는 방법이다.

공조설비의 용량을 결정하기 위하여 다음의 식이 사용되었다. 난방부하 및 냉방부하를 구하기 위해 벽의 열관류량은 식(1), 환기량 중 현열부하는 식(2), 잠열부하는 식(3), 조명기구의 영향은 식(4)를 사용하였다.

$$q_T = k \cdot A \cdot \Delta T \tag{1}$$

$$q_s = 1.2 \times 0.24 \times Q \times \Delta T \tag{2}$$

$$q_l = 1.2 \times 597.5 \times Q \times \Delta W \tag{3}$$

$$q_{el} = W \times F_{ul} \times F_{sa} \tag{4}$$

Table 2는 계산에서 사용된 고분 내 설계조건 및 외기조건이다. 실내고분 내 설계조건은 박물관 등 유물보존에 적합한 조건으로서 온도의 경우 22±1℃, 상대습도의 경우 55±5%로 설정하였으며, 계산과정에서 환기량은 고분 I은 135m<sup>3</sup>/h, 고분 II는 195m<sup>3</sup>/h로 하였고, 조명 발생열은 25Watt(Factor : 1.2)로 하였다.

제습량은 다음과 같은 식을 사용하여 구할 수 있다.

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (W_1 - W_2) \tag{5}$$

그러나 고분과 같은 특수한 환경에서의 제습부하 기초자료가 없으므로 설치된 공기조화기의 냉방부하를 충분히 크게 제작하였다.

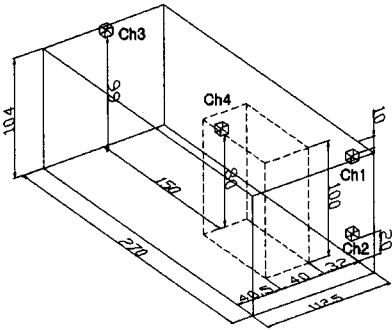
3.3 실험방법

공조시스템은 설정온도 및 습도의 작동상태에서 고분 내 온·습도 변화를 측정함으로써 고분 내부 환경자료를 확보하고, 공조시스템의 운전상태를 관찰하였다. 온도 및 습도는 공조기의 가동에 의한 시간변화 및 고분 내부의 위치에 따른 차이를 확인하기 위하여 실내기 출구를 포함하여 복수의 채널을 통하여 측정하였고, 별도로 외기의 온도 및 습도를 측정하였다. 온습도 측정채널의 수는 고분 I의 경우 4개, 고분 II의 경우에는 3개이며, 각각의 측정위치는 Fig. 5에 도시한 바와 같다. 측정결과는 별도의 컴퓨터를 통하여 저장 및 처리하였다.

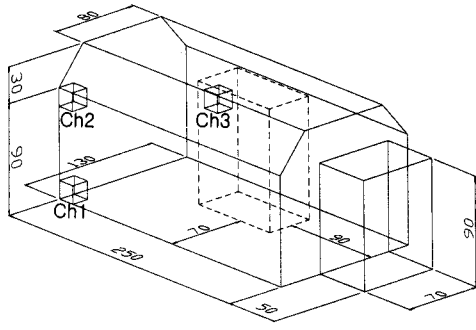
공조기에서의 실내 온·습도 설정은 고분 I은 고분 내부를 온도 22±2℃, 상대습도 55±5%로 하였고, 고분 II는 온도 22±1℃, 상대습도 55±3%로 설정하였다. 온·습도 센서(제작자 : VAISALA, 모델명 : HMI 41 Indicator)의 측정범위는 온도는 -20~60℃이고, 습도의 범위는 20~100%이다.

Table 2 HVAC systems design conditions

Season	Indoor conditions				Outdoor conditions <sup>(8)</sup>					Remark
	Dry bulb temp. (°C)	RH (%)	HR (kg/kg')	Enthalpy (kcal/kg)	Dry bulb temp. (°C)	Wet temp. (°C)	RH (%)	HR (kg/kg')	Enthalpy (kcal/kg)	
Summer	22±2	55±5	0.0082	10.4	32.0	26.4	65	0.019584	19.7	
Winter	22±2	55±5	0.0082	10.4	-12.0	-12.8	70	0.000935	-9.74	



(a) Tomb I



(b) Tomb II

Fig. 5 Measuring locations.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 고분내 온·습도 측정 결과

Fig. 6과 Fig. 7은 2004년 4월 24일부터 4월 30일까지 6일 동안 고분 I(모형고분)의 내부 및 외기 온도(Fig. 6) 및 습도(Fig. 7) 측정결과를 나타낸다. 측정된 자료에 의하면 외기온도와 습도는 일교차에 의하여 큰 변화를 보이지만, 고분 내부

는 비교적 안정된 온·습도 조건을 유지함을 확인할 수 있었다. 측정결과 6일간 외기(채널 5) 온도의 변화는 일교차에 의해 최저 3℃에서 25℃까지 변화하였으나 실내(채널 1~4) 온도변화는 20~24℃를 나타내었으며, 각 채널별 시간 평균은 20.9℃에서 23.2℃로 나타났다. 습도의 경우 외기 습도는 기온변화와 상반되는 거동을 나타내며 최저 10%(측정한계값)에서 최고 90%(측정한계)를 나타내었으나, 실내습도의 경우에는 49~70%까지

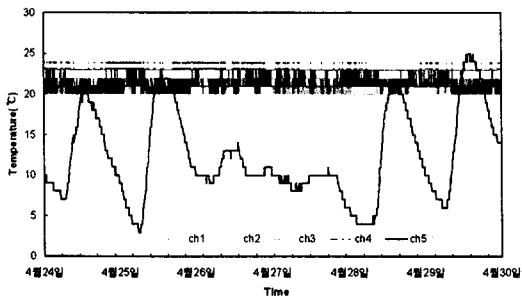


Fig. 6 Measured temperature (Tomb I)(04. 4.24 ~ 30).

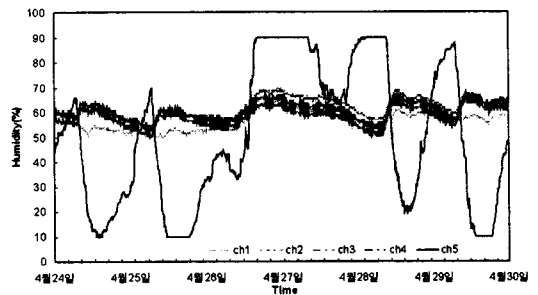


Fig. 7 Measured relative humidity (Tomb I)(04. 4.24~30).

Table 3 Mean temperature (Tomb I)(04. 4.24 ~ 30)

Ch. no.	Temperature (°C)			
	Mean	Min.	Max.	Stand. dev.
1	20.9	20	22	0.6
2	23.2	23	24	0.4
3	21.7	20	23	0.7
4	21.0	20	23	0.7
5	12.3	3	25	5.4

Table 4 Mean relative humidity (Tomb I)(04. 4.24~30)

Ch. no.	Relative humidity (%)			
	Mean	Min.	Max.	Stand. dev.
1	56.3	49	65	3.7
2	61.8	54	70	4.0
3	58.2	49	67	3.7
4	60.7	52	69	3.6
5	50.8	10	90	28.6

변하였으며, 각 채널별 시간 평균은 56.3~61.8%로 나타났다. 흥미로운 점은 온도의 경우 시간 평균을 중심으로 일정한 변화를 나타낸 반면, 습도의 경우에는 시간경과에 따라 평균 습도 자체가 어느 정도의 변화과정을 겪음을 확인하였다.

Fig. 8과 Fig. 9는 2005년 4월 15일부터 4월 21일까지 6일 동안 고분 II(실물고분)의 내부 및 외기 온도(Fig. 8) 및 습도(Fig. 9) 측정결과를 나타낸다. 고분 II의 경우에는 보다 해상도가 높은 센서를 채택하여 자료를 획득하였다. 고분 II에 대한 온·습도 측정결과는 고분 I에서의 그것과 대체로 유사하며 전체적으로 원하는 실내조건을 유지하는 것으로 나타났다. 온도의 경우 실내(채널 1~채널 3)온도는 18.3℃에서 최고 23.2℃를 나타내었으며, 위치별 평균 온도는 20~21.4℃를 나타내었다. 습도의 경우 실내의 상대습도는 최저 43.6%에서 최고 65.3%까지 변화였고 각 채널에서의 시간 평균은 채널 1, 2와 3에서 각각 52.3%, 55.5% 및 54.4%로 나타났다. 그러나, 실물고분의 경우 채널 내의 펄림현상은 모형고분에서의 그것과는 다른 양상을 나타내었다.

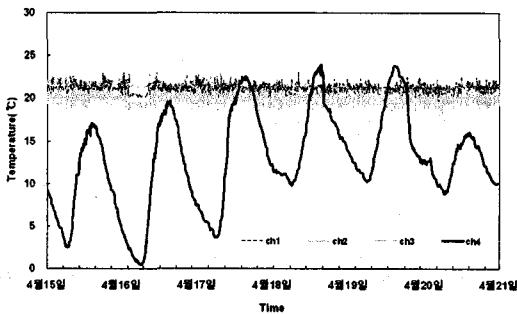


Fig. 8 Measured temperature (Tomb II)(05. 4.15 ~21 : Fan-High).

Table 5 Mean temperature (Tomb II)(05. 4.15 ~21)

Ch. no.	Temperature (°C)			
	Mean	Min.	Max.	Stand. dev.
1	21.1	19.5	23	0.6
2	20.0	18.3	21.7	0.6
3	21.4	20.1	23.2	0.5
4	12.0	0.5	24	5.6

#### 4.2 용량, 제어설정의 영향

앞 절에서 기술한 바와 같이 고분 내부의 온·습도 환경은 공간적 분포특성과 시간에 따른 변화로 표현할 수 있다. Fig. 10과 Fig. 11은 모형고분과 실물고분에서 각각 1개씩(모형의 경우 채널 3, 실물고분의 경우 채널 2) 선정한 채널에 대한 24시간 동안의 온도와 습도선도를 비교한 것이다. 그림으로부터 온·습도의 변화거동은 마치 난류 유동에서의 펄림 속도성분과 시간 평균 속도의 중첩된 효과로 보는 것과 유사하다. 펄림 성분은 측정센서의 오차, 히터 및 냉동장치의 작동 여부에 의하여 지배되고, 평균값의 변화는 관성효과가 상대적으로 큰 가습기의 작동 여부에 기인하는 것으로 믿어진다(본 실험의 경우, 주로 히터와 냉동제습이 주로 가동되었다). Fig. 10에서 모형고분의 온도는 실험 초기의 측정장치 해상도가 낮아(1℃) 상세한 분석은 곤란하였으나 대체적으로 온도변화의 범위는 약 3℃ 정도로 나타났다. 실물고분의 경우도 약 2.5℃ 정도의 변화폭을 나타내고 있음을 알 수 있다. 습도는 온도변화에 따른 상대습도의 변화로 나타나며, 이러한 특성은

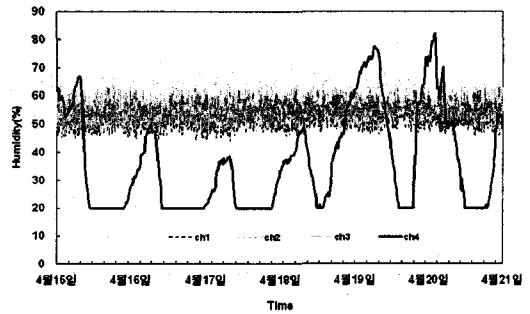


Fig. 9 Measured relative humidity (Tomb II)(05. 4.15~21 : Fan-High).

Table 6 Mean relative humidity (Tomb II)(05. 4.15~21)

Ch. no.	Relative humidity (%)			
	Mean	Min.	Max.	Stand. dev.
1	52.3	43.6	62.5	4.5
2	55.5	46.9	65.3	4.3
3	54.4	45.1	63.2	3.8
4	36.7	20.0	82.1	17.9

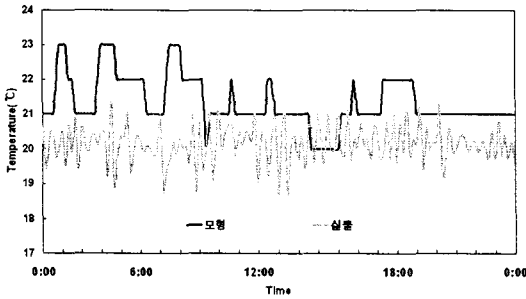


Fig. 10 Temperatures of tomb I and tomb II.

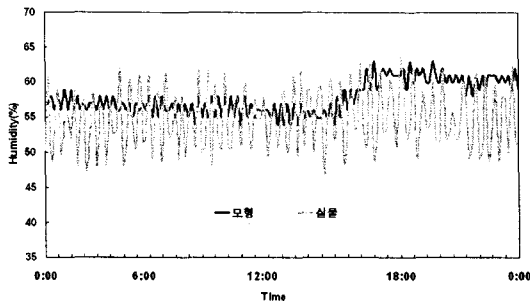


Fig. 11 Relative humidity of tomb I and tomb II.

Fig. 10과 Fig. 11의 선도를 자세히 관찰함으로써 파악할 수 있다. 즉, 히터에 의하여 온도가 상승하는 동안에는 상대습도가 낮아지고, 반대로 온도가 하강하는 동안에는 상대습도는 높아짐을 알 수 있다. Fig. 11에서 모형고분의 습도는 실물고분에서보다 변화폭이 현저하게 작게 나타났으며, 이는 제어방식과 범위, 장치의 용량 등 시스템 구성과 연관된 것으로 판단되며, 항온항습기 등은 온·습도에 대한 정밀한 제어가 필요한 경우에는 이들 부분에 대한 세심한 검토가 필요한 것으로 보인다.

4.3 풍량 및 기류속도의 영향

주어진 공간의 온·습도를 일정한 범위 내에서 유지하기 위하여 공기조화기를 운전할 경우 제어 변수 이외의 운전변수로 팬 셋팅이 있다. 팬 셋팅은 조절된 공기의 유속 및 유량에 직접 관계되며, 본 연구에서는 고분 II에 대하여 고정된 제어조건 하에서 정면에서 측정된 풍속을 기준으로 팬 셋팅에 따른 온·습도의 공간분포특성을 관찰하였다.

Table 7과 Table 8은 팬 셋팅이 빠른(high\_1,490 rpm) 경우와 느린(low\_1,150 rpm) 경우의 각 채널별 온·습도 평균 및 표준편차이다. 실험결과에 의하면 유속이 느린 경우(low setting) 위치

Table 7 Mean and standard deviations for fan-high operation (05.4.15~21)

Ch. no.	Temperature		Relative humidity	
	Mean	Stand. dev.	Mean	Stand. dev.
1	21.1	0.6	52.3	4.5
2	20.0	0.6	55.5	4.3
3	21.4	0.5	54.4	3.8

Table 8 Mean and standard deviations for fan-low operation (05.5.06~12)

Ch. no.	Temperature		Relative humidity	
	Mean	Stand. dev.	Mean	Stand. dev.
1	21.1	0.5	52.5	3.4
2	20.3	0.9	52.7	3.7
3	21.1	0.3	55.7	2.9

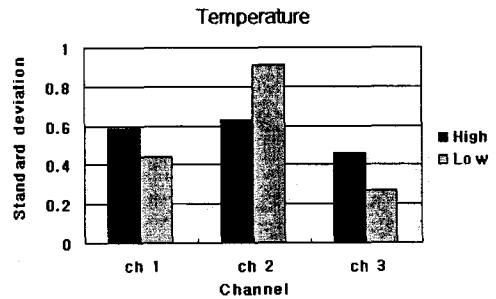


Fig. 12 Variation of indoor temperature (°C).

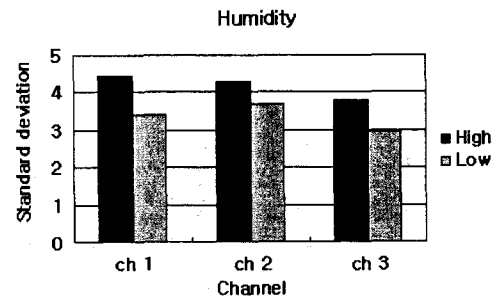


Fig. 13 Variation of indoor relative humidity (%).

에 따른 시간 평균 온도 및 습도의 변화가 적은 것으로 나타났으며, 시간변화에 따른 표준편차도 작게 나타났다. 그러나 유속이 느린 경우 채널 2의 경우와 같이 국부적으로 온도의 변화가 크게 나타나는 경우(표준편차 0.9°C)도 관찰되었다. Fig. 12와 Fig. 13은 팬 셋팅에 따른 온도 및 습도의 표준편차를 비교한 것이다.

4.4 제습량 산정

식(5)를 사용하여 공조시스템의 제습부하 또는 제습용량은 고분 I은 환기량  $\dot{m}_a=135 \text{ m}^3/\text{h}$ 을 적용시켜 1,844 mL/h, 고분 II는 환기량  $\dot{m}_a=195 \text{ m}^3/\text{h}$

을 적용시켜 2,663 mL/h을 구하였다.

고분 I에서 제습량은 증발기에서 응축되어 드레인되는 응축수를 드레인 호스를 통하여 외부에 있는 통에 저장하고, 그 양을 매 시간마다 매스 실린더에 옮겨 체적을 측정하였다.

Fig. 14의 (a)~(c)는 날씨에 따른 제습량을 보였다. Fig. 14(a)의 경우 인위적으로 강우상태를 연출하기 위하여 모형고분 주위에 20분 동안 물을 분무하였으며, 1시간 간격으로 측정하였다. 물을 뿌린 후 처음 1시간 동안 450 mL/h을 제외한 이후, 평균 제습량은 286.2 mL/h(96.4 mL/h,m<sup>3</sup>)이며, Fig. 14(b)는 비가 오는 날 강수량은 6mm이며, 평균 제습량은 261.8 mL/h(88.1 mL/h,m<sup>3</sup>)이다. Fig. 14(c)는 맑은 날로서 평균 제습량은 227.1 mL/h(76.5 mL/h,m<sup>3</sup>)이다.

결과들로부터 평균 제습량은 물을 분무한 날, 오는 날, 맑은 날의 순으로 많이 나왔다. 비 오는 날과 맑은 날의 평균 제습량의 차이는 약 34.7 mL/h로 비오는 날을 기준으로 약 13.3% 감소하였다. 공조시스템의 용량 1,844 mL/h은 물을 분사할 때 제습량 286.2 mL/h보다 6.4배 크므로, 시스템은 충분한 여유용량을 가지고 있다고 볼 수 있다.

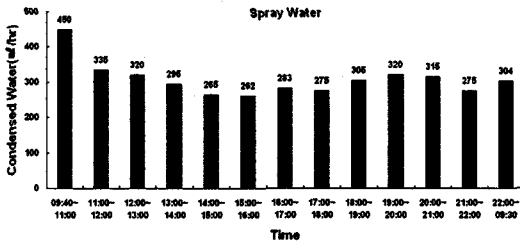
고분 II의 경우 측정방법은 고분 I과 유사하다. 고분 내 증발기에서 응축된 물은 드레인 호스를 통하여 외부에 있는 통에 저장되고, 통에 저장된 물은 주간에는 2시간마다, 야간에는 10~12시간마다 측정하였다. 날씨의 경우는 맑은 날은 3일, 비오는 날은 3일 동안 측정하였다.

Fig. 15는 고분 II에서 측정된 제습량을 보여준다. Fig. 15의 (a)~(c)는 3일간 연속 맑은 날에 측정된 자료이다.

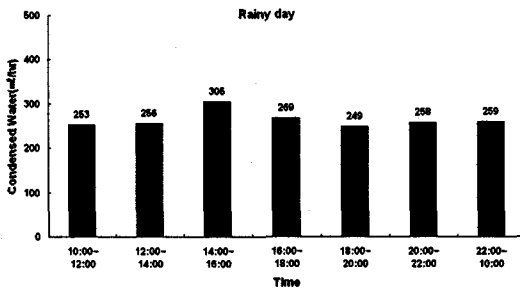
측정된 자료로부터 외기조건과 관계되는 매 시간 혹은 주야간의 중요한 경향성은 찾아볼 수 없었다. 3일 동안 측정된 자료 중 최대값은 680 mL/h(145.3 mL/h,m<sup>3</sup>), 최소값은 460 mL/h(98.3 mL/h,m<sup>3</sup>)으로 나타났다. Fig. 15의 (d)~(f)에서 비가 온 날들의 경우 최대값은 550 mL/h(117.5 mL/h,m<sup>3</sup>), 최소값은 420 mL/h(89.7 mL/h,m<sup>3</sup>)으로 나타났다.

공조시스템의 최대 제습용량은 2,663 mL/h(569 mL/h,m<sup>3</sup>)로서 측정된 평균 제습량 508 mL/h의 약 5.2배 정도인 것으로 분석되었다.

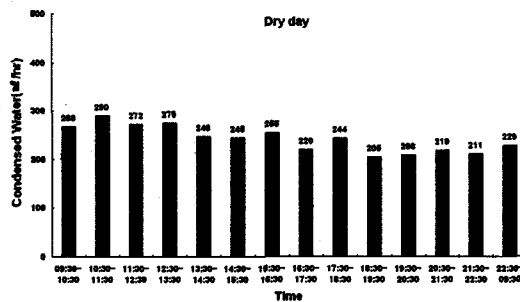
이상의 2기의 실험용 고분에 대한 평균 제습부하는 실내체적이 2.97 m<sup>3</sup>인 고분 I의 경우 258.3



(a) Sprayed for 20 minutes (04.10.21)



(b) Rained daylong (04.11.10)



(c) Dry day (04.10.27)

Fig. 14 Measured condensate (Tomb I).



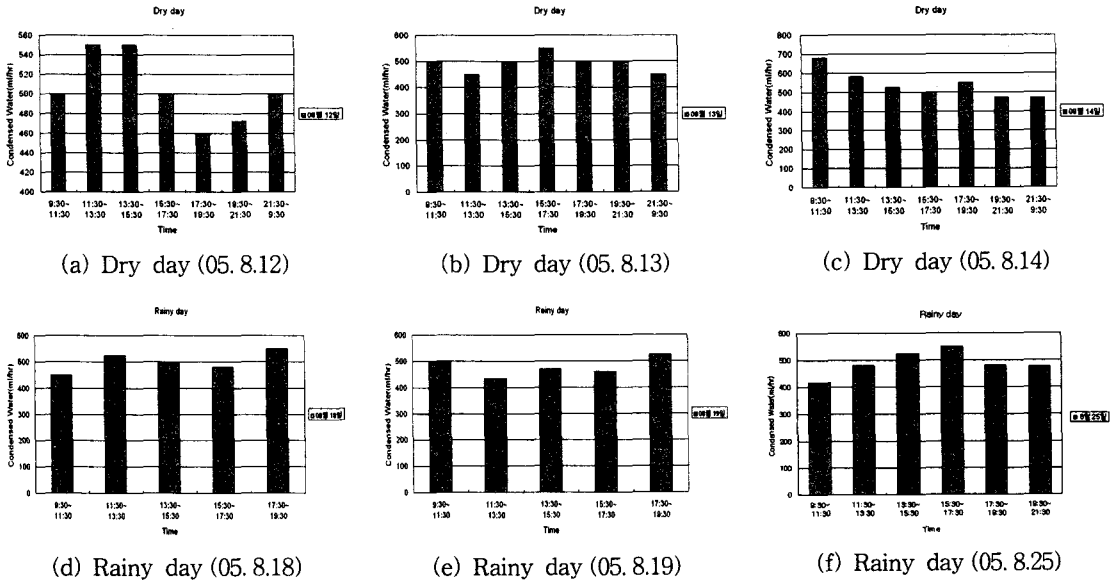


Fig. 15 Measured condensate (Tomb II).

mL/h, 실내체적이 4.68 m<sup>3</sup>인 고분 II의 경우에는 508 mL/h로 나타나 내부체적이 큰 경우에 더 큰 제습부하가 적용됨을 확인할 수 있다. 이를 실내체적당 제습부하로 나타내면, 고분 I의 경우 87.0 mL/h,m<sup>3</sup>, 고분 II의 경우 108.5 mL/h,m<sup>3</sup>로 나타났다. 이는 내부체적에 따라 공기 중에 포함된 수증기량의 차이 때문에 제습량의 차이가 나타난 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구는 고분보존용 공조시스템을 개발할 목적으로 공조시스템을 적용한 고분 내부의 실내환경 자료를 확보하고자 수행하였으며, 본 실험연구를 통하여 고분 내 제습부하자료를 제시하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 규모가 작은 모형고분(고분 I)의 경우 공조기를 설치한 결과 고분 내부의 온도는 외기의 영향을 받지 않고 최소 20℃에서 최대 24℃의 온도로 변화하고 있으며, 그 차이는 4℃로 나타났지만, 채널의 각 위치에 따른 온도변화는 2℃ 정도로 나타났다. 상대습도의 경우 최소 50%에서 최대 69%로 변화였고, 변화폭은 19%를 나타내었다.
- (2) 실물을 복원한 고분 II의 경우 공조기를 설

치한 결과 온도의 경우 최저 18.3℃부터 최고 23.2℃를 나타내었고, 그 차이는 4.9℃이다. 상대습도의 경우 최저 43.6%부터 최고 65.3%를 나타내었고, 변화폭은 21.7%를 나타내었다.

(3) 실내 측정위치에 따른 시간 평균 온도는 최저 20.0℃(채널 2)이고, 최고 21.4℃(채널 3)로 나타났다. 위치에 따른 시간 평균 온도의 차는 최대 1.4℃로 나타났다. 시간 평균 상대습도는 최저 52.3%(채널 1)이고, 최고 55.7%(채널 3)로 나타났다.

(4) 2기의 고분 내에 서로 다른 공기조화기를 적용하고 고정된 위치에서 온도 및 습도변화를 관찰한 결과 온도 및 습도의 변화 정도가 큰 차이를 보였으며, 이는 주요 구성부품의 용량 및 제어시스템에 의하여 영향을 받는 것으로 판단되어, 정밀한 온·습도 제어를 위해서는 신중한 검토가 필요하다.

(5) 실험한 고분에 대하여 제습부하는 외기 및 시간변화에 그다지 민감하지 않음을 확인하였다. 그러나 내부체적이 큰 경우에 제습부하가 증가함을 확인하였고, 측정결과 모형고분의 경우 평균적으로 87.0 mL/h,m<sup>3</sup>, 실물고분의 경우 평균적으로 108.5 mL/h,m<sup>3</sup>로 나타났다. 최대제습부하는 평균 부하의 30%를 넘지 않는 것으로 나타났다.

(6) 고분 등에 적용되는 공기조화기는 특성상

장기운전을 하게 되고, 이 경우 발생 가능한 전 열면의 오염, 냉매유출, 단전에 따른 비정상 운전 및 기타 위협요소(합선, 제어불능)에 효과적으로 대응하기 위한 시스템적 접근이 필요하다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 지방과학기술력 향상지원사업 중 전통기술첨단화연구실 사업과 2단계 BK21 사업의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Kim, J. Y. and Oh, M. D., 2002, Study on the performance of humidity control of the air-tightened exhibition showcase in the museum, SAREK 2002 Summer Annual Conference, pp. 496-501.
2. Thomson, G., 1986, The Museum Environment, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, London, p. 88.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Jun, Y. D., Lee, K. B., Kim, H. G. and Ko, S. B., 2004, Temperature and humidity distribution inside Sinkwan-ri tomb, SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp. 601-607.
7. SAREK, 2001, SAREK Handbook, Vol. 2, Air-Conditioning, pp. 1.3-1.4.
8. Korea Meteorological Administration, 2001, Climatological normals of Korea.
9. Lee, K. B., 2005, Development of an Optimized HVAC System for Ancient Tombs Conservation, 3th ed., Kongju Nat'l. Univ., pp. 141-156.