

공조기가 설치된 고분 내에서의 열 및 음 환경 평가

박진양, 전희호, 전용두*, 이금배**

공주대학교 기계공학과 대학원, *공주대학교 기계자동차공학부

Evaluation of the Thermal and Noise Environment in an Ancient Tomb installed a Duct-type HVAC System

Jin-Yang Park, 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 August 4, 2006; received revision January 10, 2007)

ABSTRACT: Opening an ancient tomb interior can deal fair damage for preservation in long period because of high moisture. In this study, a duct-type HVAC system was installed to preserve an ancient tomb and temperature and humidity was measured to analyze heat environment. Armhole was measured to search whether an ancient tomb receives effects of vibration caused by a duct-type HVAC system.

According to the measured data, temperature in an ancient tomb is kept adaptively in conservation regardless of a duct-type HVAC system installation when it rains in summer. The other side, humidity is kept adaptively in conservation when installed duct-type HVAC system. But when it is in natural state, a lot of humidity by dew condensation phenomena. So it needs a duct-type system for an ancient tomb conservation. In the case of vibration, measurement value of 3 satisfy control but Germanic DIN 4150 does not satisfy. Therefore, equip must be such that it can prevent vibration for safety.

Key words: HVAC system(공조시스템), Humidity control(습도제어), Ancient tomb(고분), Conservation(보존), Vibration levels(진동레벨)

1. 서론

우리의 문화재에는 선조의 열과 땀이 배어 있고 국민 모두가 지키고 가꾸어 나가야 할 민족정신이 살아 숨쉬고 있다. 따라서 우리 고유의 전통문화와 역사의 결정체인 문화유산을 잘 보존·전승하여 후세에 고스란히 물려주어야 하는 것은 오늘을 살아가는 우리들의 의무이자 권리라 하겠

다. 이러한 문화재는 여러 가지 요인에 의하여 훼손되고 있는데 가장 큰 요인 중 하나는 병충해나 습기, 누수 등에 의한 부패로 자연환경적인 요인이다. 또 다른 요인은 문화재의 상품성에 치중한 나머지 장기보존에 관한 고려가 부족한 상태에서 일반에 공개하였기 때문에 발생한 것이다. 경주 석굴암의 경우 완전개방 상태로 일반에 공개되다 결론에 따른 석재 표면의 열화문제로 인하여 현재 공기조화기를 가동한 상태에서 부분적으로 공개하고 있으며, 무령왕릉의 경우에도 보존상의 문제가 대두되어 현재는 연구용으로만 개방되어 있는 상태이다.

† Corresponding author

Tel.: +82-41-857-3527; fax: +82-41-854-1449

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

문화재의 보존과 관련하여 공기조화 설비는 경우에 따라 반드시 필요하나 고분의 문화재적 특성상 원형을 최대한 유지하여야 하는 등 여러 가지 시공상의 제약이 따르며, 한번 훼손된 문화재는 복구가 불가능하므로 설계 및 시공에 많은 연구와 검토가 필요함에도 불구하고 지금까지 이에 대한 관심과 지식이 부족하여 공기조화 설비를 시공함에 있어서도 일반적인 설비기준에 따라 시공하고 있는 실정이다. 이에 국내에서는 경주의 석굴암과 공주의 무령왕릉에 대한 실험적 연구가 수행된 바 있고,⁽¹⁻³⁾ 공주대의 Jun et al.⁽⁴⁻⁵⁾은 입구가 개방된 고분의 실내환경을 고찰하기 위하여 신관리 석실고분 내의 온도 및 습도자료를 보고하였으며 실내기류에 대한 수치모사를 시도하였다. 본 연구에서는 고분의 장기보존을 위하여 고분 보존용 공조시스템을 개발하고자, 공주대 내에 백제식 실물크기의 석실고분을 제작하고 덕트형 공조시스템을 설치하여 고분 내부의 온·습도 및 진동의 영향에 대하여 조사하였다.

2. 문화재 보존환경

2.1 온·습도

문화재의 온도·습도 보존환경에 관한 국제박물관회의(ICOM)와 국제보존수복센터(ICCROM), 문화재청의 자료 등에 따르면 문화재는 온도 15~22℃, 50~60%를 유지해야 하는 것으로 알려져 있다.⁽⁶⁾ 그러나 고분 등의 구조물에 대한 상세한 온·습도 규정은 명확하게 제시된 자료가 없는 상태이다.

지역별 기후와 보관 유물에 따라 상대습도기준은 각각 다르게 선정되며,⁽⁷⁾ UNESCO, ICOM, ASHRAE는 문화재 보존을 위한 적절한 온·습도 조건을 Table 1⁽⁶⁻⁷⁾에 제시하고 있다.

2.2 진 동

국제표준화기구(ISO)에서는 병원의 수술실이나

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

Materials	Temp. (°C)	RH (%)
Book, paper, stamp	16~24	45~65
Parchment	15.5~23.5	55~60
Metal goods	16~24	40~63
Clay, fur, furniture, leather, etching, sculpture	16~24	45~63
Porous stone, picture, wood objects	16~24	55~63
Dessin depository	18~20	65
Museum	18~22	50

Table 2 Vibration criteria of structure⁽⁸⁾

Type of structure	Regulation	Values			
		Continual vibration (dB)		Shock vibration (dB)	
Surgery of hospital, region of need silence	ISO	51 (3.5 mm/s ²)		54 (5.0 mm/s ²)	
		Blast vibration		Transportation/Machinery vibration	
Cultural assets and other structures	Suisse	Frequency of range (Hz)	Particle velocity (mm/s)	Frequency of range (Hz)	Particle velocity (mm/s)
		10~60	8	10~30	3
		60~90	8~12	30~60	3~5
Cultural assets	Japan	60 (dB)			
Structures of weakness for vibration (Cultural and other important structures)	Germany DIN 4150	Structure damage standard for stationary vibration			

정속을 요하는 지역의 경우 구조물의 진동허용한계를 51 dB로 규정하고 있고, 스위스에서는 문화재 및 기타 진동 예민구조물에 대하여 교통/기계 진동주파수 범위에 따른 허용속도 범위를 규정하고 있으며, 10~30 Hz까지는 3 mm/s, 30~60 Hz까지는 3~5 mm/s로 제시하고 있다. 한편 독일공업규격(DIN 4150)에서는 정상진동에 의한 취약건물 및 문화재 등 주요 구조물의 진동은 측정되어서는 안되는 것으로 제시하고 있다. Table 2는 구조물용도별 진동허용기준치를 나타낸다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실물고분 선정 및 제작

유적의 보존에 영향을 미치는 습도, 온도, 빛, 대기, 미생물 등의 요소들을 고려하고, 공주대학교 박물관의 자문을 받아 백제식 실물크기의 석실고분을 제작하여 공주대학교 내에 설치하였다.

Fig. 1은 고분의 전개도를 보여주고, Fig. 2는 고

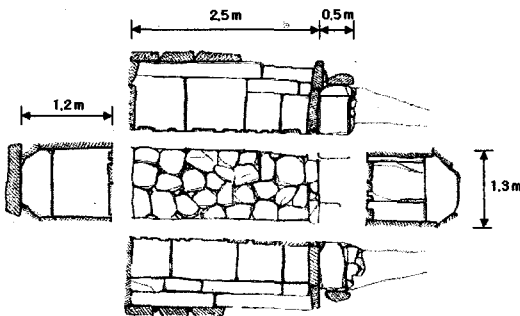


Fig. 1 Schematic of tomb.



Fig. 2 View of tomb.

분전경을 보여준다.

고분의 크기(L×W×H)는 1.3m×3.0m×1.2m이고, 내벽과 천정은 판석으로 하였으며, 실제 고분을 복원하여 조성한 것으로, 외기와 완전히 기밀이 되지 않은 상태이다.

3.2 부하계산

공조부하를 계산하는 방법⁽⁹⁾에는 크게 최대부하를 기준으로 하거나 기간부하를 기준으로 하는 방법이 있다. 여기서는 최대부하를 기준하여 부하산정을 하였으며, 연중 가장 추운 날 또는 더운 날을 기준하여 용량을 결정하였다.

계산된 여름철 순냉각부하는 2,269.5 kcal/hr이고,⁽¹⁰⁾ 여유 냉각부하가 고려된 실 냉각부하는 순냉각부하에 1.2배인 2,723.4 kcal/hr로서 압축기의 필요용량은 1HP 정도 되지만, 제작용량은 여유를 더 두기 위하여 압축기를 2HP로 선정하였다.

히터기의 필요용량은 4kW 정도 되지만, 여유를 더 두어 6kW로 하였다. 계산된 가습용량은 3.7kg/hr이지만, 4kg/hr 용량의 가습기를 채택하였다.

3.3 공조시스템 구성

공조시스템은 송풍기, 압축기, 가습기, 히터 등으로 구성되어 있어 운전시 실내에서 진동에 의한 피해를 줄이기 위해 외부에서 덕트를 통하여 공기를 주입시키는 덕트형 공조시스템을 채택하였다. 외부에서 가열, 가습, 냉방 또는 난방 과정을 거쳐 보존에 적합한 온도 및 습도로 만들어진 공기는 덕트를 통하여 고분 내로 보내진다.

Fig. 3은 고분에 설치된 덕트형 공조시스템의 설치전경을 보여주고, Fig. 4와 Fig. 5는 덕트형 공조시스템의 개략도와 계통도를 보여준다.

3.4 실험방법

3.4.1 온·습도 측정방법

고분 내 온·습도 변화를 측정함으로써 고분 내부 환경자료를 확보하고, 공조시스템의 운전상태를 관찰하였다. 고분환경의 측정은 외기 1채널과 실내 4채널을 사용하여 각각 온도 및 습도를 측정하였으며 측정결과는 별도의 컴퓨터를 통하여

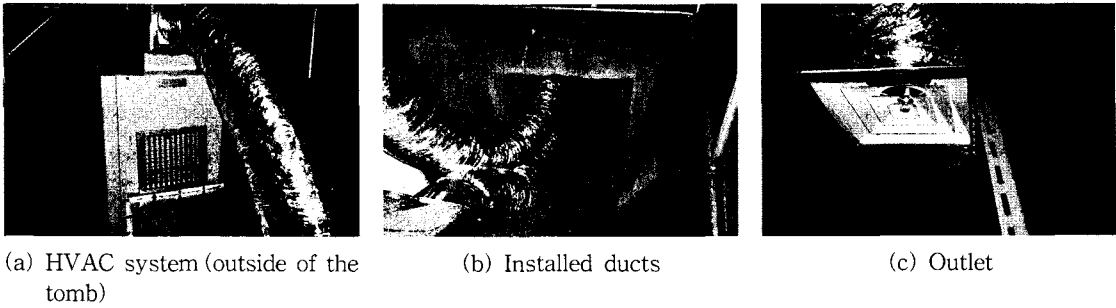


Fig. 3 An installed view of duct-type HVAC system.

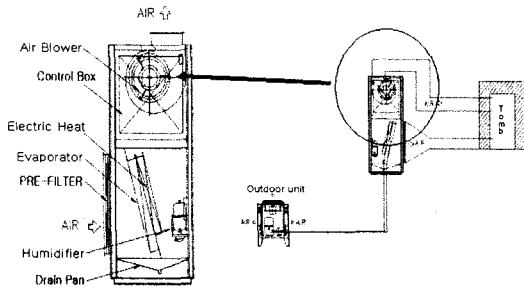


Fig. 4 Schematic of the duct-type HVAC system.

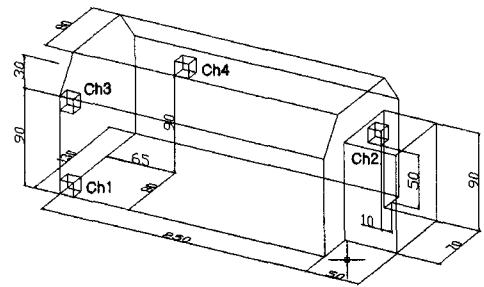


Fig. 6 Measuring locations of the temperature and humidity.

고분에 외기가 미치는 영향을 살피기 위해 Ch2는 입구에 설치하였다.

3.4.2 진동 측정방법

VM-53A(환경진동계)를 사용하여 고분 내부의 진동을 측정하였고, 주파수별 진동특성을 알아보기 위하여 VM-53RT 카드를 사용하였다.

덕트방식 공조시스템의 측정진동과 배경진동값을 알아보기 위하여 VM-53A를 사용하여 공조기를 가동하지 않은 채 고분 내부의 배경진동을 5분 동안 1초 간격으로 측정하였고, 공조기의 진동에 따른 고분 내부의 진동을 파악하기 위해 공조기를 가동한 상태로 5분 동안 측정하였으며, 주파수별 진동특성을 분석하기 위하여 VM-53RT 카드를 사용하여 분석하였다. 고분 내부의 배경진동 레벨은 환경부에서 고시한 L10 값으로 결정하였다.

측정위치의 선정은 환경부에서 고시한 제2003-221호(2003. 12. 31)⁽¹¹⁾과 한국산업규격 KS A0603(1988)⁽¹²⁾ 진동레벨 측정방법에서 진동이 가장 클 것으로 예상되는 여러 지점을 선정·측정한 결과 덕트형의 경우 공조기 덕트의 출구 아래, 즉 고

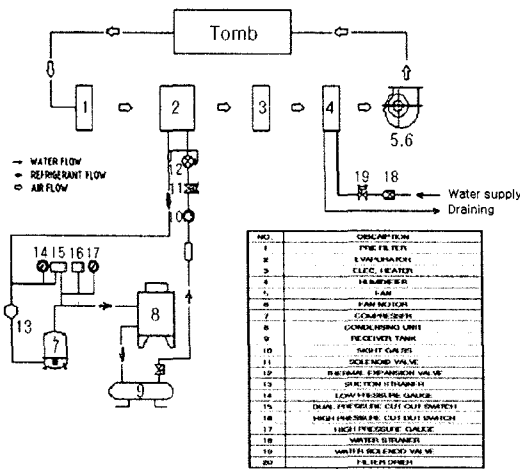


Fig. 5 Flow diagram of the duct-type HVAC system.

저장 및 처리하였다. Fig.6은 고분 내에 설치된 온·습도 센서의 위치를 나타낸다. Ch1과 Ch3은 고분의 위치별 특성을 확인하기 위해 고분 끝의 내벽에 설치하였고, 입구가 완전 밀폐되지 않은

분의 중앙 부근이 가장 높은 진동값을 나타내어 측정점으로 선정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 자연상태에서 온·습도 측정결과

Figs. 7~8은 2004년 8월 16일 0시부터 8월 21일 0시까지 5일간 공조시스템이 없는 자연상태에서 공주시 신관리에 있는 석실고분에서 측정하는 온·습도값이다. 그림에서 Ch1~Ch4는 고분 내부 온·습도값이며, Ch5는 외기값이다.

신관리 석실고분의 경우 원래는 입구가 돌로 폐쇄되었으나, 현재는 석창살이 설치되어 개방된 상태이다.

Fig. 7에서 외기 온도는 19.3~30.5°C까지 최대 11.2°C 정도의 값을 보여주고 있는 반면, 실내온도는 약 22~25°C까지 최대 약 3°C 정도의 변화값을 보여주고 있다. 이는 외기 온도에 비해 실내온도는 거의 변화지 않는 일정한 온도값을 보여주고 있다.

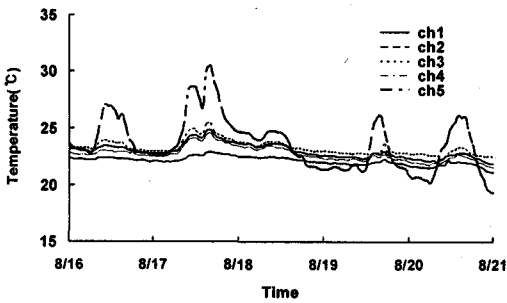


Fig. 7 Temperature without HVAC system (04. 8.16~21).

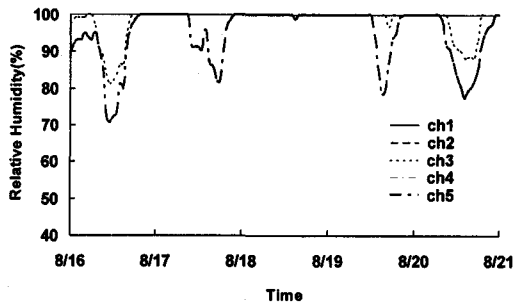


Fig. 8 Relative humidity of Fig. 7.

Fig. 8에서 실내습도의 경우 바닥 근처(Ch1)와 고분 중간 높이(Ch2, Ch4)에서는 측정기간 동안 거의 100%를 보여주고 있다. 이는 측정기간 이 여름 우기 중이라 실내 전 지역에서 결로현상이 일어났음을 보여주고 있다. 천정 근처(Ch3)에서는 개방된 입구를 통하여 외기가 자유롭게 순환되므로, 이에 영향을 받아 외기습도와 비슷한 변화의 경향을 보여주고 있다고 추측된다.

4.2 공조기 작동시 온·습도 측정결과

Figs. 9~10은 2006년 7월 7일 0시부터 7월 12일 0시까지 5일간 공조기를 가동시킨 상태에서 실물고분에서 측정하는 온·습도값이다. Figs. 7~8의 결과값과 비교하기 위하여, Figs. 7~8과 비슷한 여름철 우기 중인 날짜를 선택하여 실험을 수행하였다. 그림에서 Ch1~Ch4는 고분 내부 온·습도값이며, Ch5는 외기값이다. 공조기는 유물보존환경에 적합한 온도 22±1°C와 상대습도 55±5%를 유지하도록 셋팅하여 실험을 수행하였다.

Fig. 9에서 외기온도는 21~28°C로 주야간 변화

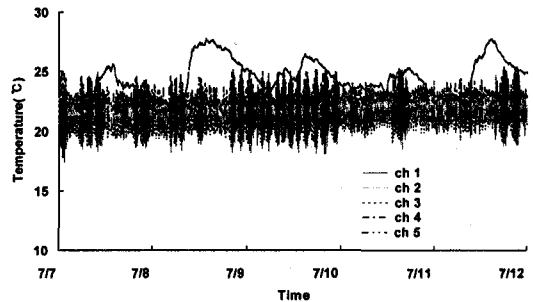


Fig. 9 Temperature with HVAC system (06. 7. 7~12).

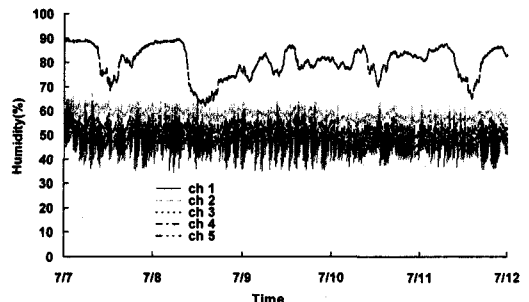


Fig. 10 Relative humidity of Fig. 9.

폭이 큰 반면, 내부온도는 21~24℃로 주야간과 관계없이 고분 내 전 지역에서 최대 3℃의 차를 보여주고 있다.

Fig. 10에서 외기습도는 70~90%로 주야간 또는 우기일 때에 변화폭이 큰 반면, 내부습도는 45~55%로 주야간 또는 우기시와 관계없이 고분 내 전 지역에서 약 10% 정도의 차를 보여주고 있다.

결과들로부터 여름철 우기시 실내온도는 공조기 설치 유무에 관계없이 보존에 적합한 22±2℃ 정도를 유지하고 있다. 습도인 경우 공조기 설치 시에는 보존에 적합한 습도를 유지하지만, 미설치 시에는 실내의 결로현상에 의해 전 지역에서 100%에 가까운 습도값을 보여주고 있어 고분의 붕괴, 벽화의 훼손, 남조류의 발생 등 고분의 장기보존에 상당한 피해를 끼칠 가능성을 보여주고 있다.

4.3 진동 측정결과

공조기를 정지한 상태에서 5분 동안 배경진동을 측정된 결과 11 dB로 나타나 측정진동의 측정값(Table 3에서 L10의 값)보다 상당히 낮게 측정되어 보정값은 0임을 확인할 수 있다.

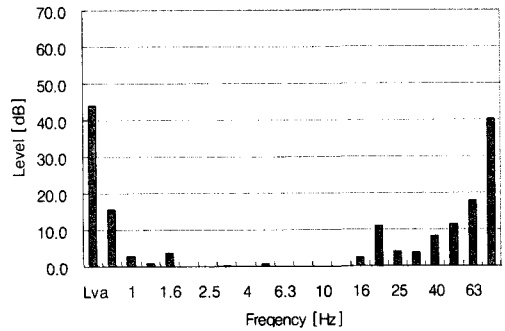
Table 3은 공조기를 가동한 상태에서의 진동 측정결과를 보여주며 환경부고시 소음·진동공정시험방법에서 측정자료 분석을 위해 사용하는 L10 값을 사용한 결과 X축 49.3 dB, Y축 50.1 dB, Z축 46.9 dB로 측정되었다. 이는 병원이나 수술실, 정숙을 요하는 지역의 ISO 규정이나 문화재 및 기타 진동 예민 구조물에서 교통·기계진동의 스위스 규정이나, 일본의 문화재 진동 규제치보다는 작은 값이지만, 독일의 DIN 4150에서 제시하는

Table 3 Vibration acceleration level

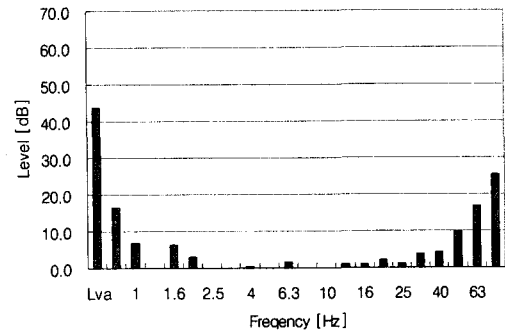
Direction	Duct-type(dB)		
	X	Y	Z
L _{eq}	48.2	49.2	46
L _{max}	51.4	52.1	49
L _{min}	45.9	47	43.8
L ₅	49.6	50.5	47.3
L₁₀	49.3	50.1	46.9
L ₅₀	48.1	49.1	45.8
L ₉₀	47.2	48.2	44.9

규제치는 만족시키지 못하고 있다. 이것으로 미루어 고분에 공조시스템을 적용할 경우에는 방진기술의 접목이 필요한 것으로 판단된다.

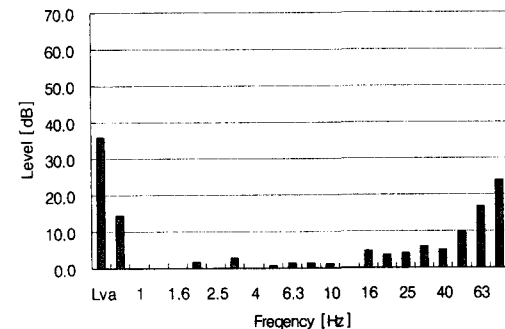
Fig. 11의 (a), (b), (c)는 진동분석을 위해 각 방향에 대한 주파수별에 따른 진동을 나타내었다. 세 방향 모두 높은 주파수에서 큰 진동레벨이 측정되었으며, 이 또한 높은 주파수에서는 방진설비가 필요한 것으로 판정되었다.



(a) X axis



(b) Y axis



(c) Z axis

Fig. 11 Vibration level.

5. 결 론

본 연구에서는 고분의 장기보존을 위한 고분 보존용 공조시스템을 개발하고자 공주대 내에 백제식 실물석실 고분을 조성하고, 덕트형 공조시스템을 적용하여 고분 내부의 온·습도 및 진동을 측정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 여름철 우기시 실내온도는 공조기 설치 유무에 관계없이 보존에 적합한 $22\pm 2^\circ\text{C}$ 정도를 유지하고 있는 반면, 습도인 경우 공조기 설치시에는 보존에 적합한 $50\pm 5\%$ 의 습도를 유지하지만, 미설치시에는 실내의 결로현상에 의해 전 지역에서 100%에 가까운 습도값을 보여주고 있어, 고분의 장기보존에 상당한 피해를 끼칠 가능성을 보여주고 있다.

(2) 공조기 가동시 진동 가속도값은 3개 방향에서 46.0~50.1 dB값을 보여주고 있으며, 세계에서 사용되는 4개의 규제치 중 ISO 규정이나 일본 및 스위스 진동 규제치보다는 작은 값이지만, 독일 규제치는 만족을 못 시키고 있다. 따라서 안전을 위해 방진설비를 설치하는 것이 필요하다고 판단된다.

후 기

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

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Jun, Y.D., Lee, K.B., Ko, S.B. and Kim, H.G., 2004, Temperature and humidity difference properties inside Shinkwan-ri tomb for different seasons, SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp. 253-258.
6. Thomson, G., 1986, The museum environment, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, London, p. 88.
7. Song, J.T., 1998, HVAC system applied to storage of the national museum of Korea, SAREK 1998 Summer Annual Conference, pp. 1577-1584.
8. Web site: www.unovics.co.kr.
9. SAREK, 2001, SAREK Handbook, Vol. 2, Air-Conditioning, pp. 1.3-1.4.
10. Lee, K.B., 2005, Development of an Optimized HVAC System for Ancient Tombs Conservation, Report of Kongju Nat'l. Univ., pp. 149-156.
11. The Ministry of Environment Notice, 2003, The Noise and a Vibration Process Test Way, Vol. 2003-221, Korea.
12. Korean Industrial Standard, KSA 0603, 1988, A Vibration Level Measurement Way.