

자연환경상태에서 인공석굴법당의 실내기후조절에 관한 연구 A Study on the Indoor Climate Control of Artificial Grotto on Natural Environmental Phenomenon

최 영 식* 조 영 화**
Young-Sik Choi Young-Wha Cho

<Abstract>

It is very important that we try to keep our traditional historical assets in the original form for a long time. Artificial grotto has a very long and old history of about 1250 years in Korea. Yet, for the past several years there are many factors ruining this historical treasure. Recently, specialist are new scientifically examining artificial grotto and evaluating its current condition. If you only judge these historical assets from the exterior structural environmental approach your scientific conclusion will not be complete. No one has studied artificial grotto from the viewpoint of indoor climate environmental. Therefore, I have surveyed and prepared a report of investigation as well as countermeasure so to understand the impact of indoor climate environmental on artificial grotto. The purpose of this paper is to first survey the existing research data based on exterior structural environment. Secondly, closely evaluate the new data of artificial grotto from the viewpoint of indoor environmental control by a natural climate phenomenon in Korea.

Key words : Artificial grotto, the Cultural Properties Protection, Valuation of Indoor Environment

1. 서론

인공석굴법당과 같은 특수한 환경에 처해 있는 석굴건축에 대한 보존방법을 오늘날의 공학적·예술적 기준만으로 판단할 때 자칫 오류를 범하기 쉽다.

특히 경주석굴암과 같은 세계적 문화유산을 원형대로 보존하기 위해서는 석굴암의 예술적가치나 건축적 의장성 뿐만아니라 창건당시의 실내 자연환경조절 수법에도 관심을 가져야 할 것이다.

* 정회원, 영남이공대학 건축과 교수·工博
국립나고야공업대학 졸업 (일본)
705-037 대구광역시 남구대명동 1737
**정회원, 대경대학 건축과 교수·工博
영남대학교 졸업
경북경산시 자인면 단북리 산24

Prof., Dept. of Architecture, Yeungnam College of
Science & Technology, Dr. Eng./ (053)650-9325
E-mail cys@yjnet.yeungnam-c.ac.kr
Prof., Dept. of Architecture, Taekyeung College,
Dr. Eng.
(053)850-1271/Fax. (053)850-1214

Table 1. The present situation Keungju Seoggur-Am and Boan-Am Grotto

	700	800	900	1000	1500	1600	1700	1800	1900	2000년
경주 석굴암	751년 김대성이 축조							1703년 1718년 중수	1891년 중수	1913~1915년; 해체보수, Conc.돔설치 1917년; 누수보수 1920년; 돔철근보강 1933,1947,1947,1953,1957년; 청태제거 1966년; 공기조화기계장치 설치 1974년; 전실 전면에 유리벽 설치
보안암 석굴		850년경 도선이 축조								

그러나 석굴건축의 실내자연환경 조절에 관한 기존의 연구는 국내외적으로 찾아볼수 없다. 여기서 경주 석굴암 창건당시와 외부 축조수법이 유사한 석굴법당을 대상으로 자연기후현상에 의한 실내환경조절에 대한 기초적 조사가 필요하다고 생각한다.

지금까지 경주석굴암의 보존을 위하여 예술적·공학적인 방법으로 그 보존방법창건당시의 자연현상에 의한 실내기후조절 방법에 대한 접근은 전무한 실정이다.

본 연구의 목적은 경주석굴암의 보다 과학적인 보존방법을 위하여 자연기후현상에 의한 인공석굴법당의 실내환경조절 방법에 관한 기초적 데이터 축적에 있다.

2. 연구배경

경주석굴암의 경우 보존을 내세워 1913년 일본 강압시대에 3년에 걸쳐 日人에 의해 1000년 이상 자연상태로 보존되어온 창건당시의 석굴 외부형태를 완전히 해체하고 콘크리트 돔 구조로 외부를 보수하면서 오랜세월 자연기후 현상에 의해 보존되어온 인공석굴법당의 실내환경 조절기능도 함께 소멸되고 말았다. 특히 안타까운 것은 해체당시 내부 측량 실측자료는 남아있으나 인공석굴 보호를 위하여 오랜세월 자연환경에 견디어온 외부형태에 대한 자료는 찾아볼 수 없다.

여기서 본 연구는 경주 석굴암보다는 약

100여년 늦게 道詵(827~898)에 의해 창건된 거의 동시대의 보안암 석굴법당을 조사대상으로 하였다.

보안암 석굴법당(Photo.1)은 창건이래 지금까지 자연상태하에 거의 원형 그대로 보존되어 있다. 특히 토산(土山)을 “ㄴ”자로 파내고 그 자리에 자연석 기초를 구축하여 요석(腰石)을 놓고 그 위에 불상을 부조(浮彫)한 축조수법면에서 그 외부형태가 경주석굴암과 거의 일치한다. 이에 본 연구에서는 보안암 인공석굴법당을 대상으로 1998년 10월부터 1999년 4월까지 조사한 자료를 보고하고자 한다.



Photo.1 Layout of Boan-Am Artificial Grotto

2.1 경주석굴암과 보안암 석굴법당

2.1.1 경주석굴암의 현상

경주석굴암은 1913년 日人들에 의해 해체 보수되기 전까지만 하여도 보고에 의하면¹⁾ 창건당시의 원형변형에는 크게 손상이 없었다고 한다. 그러나 日人들에 의해 비록 석굴 내부평면과 구조적 형체는 갖추었으나 창건 당시의 외부형태와 함께 자연현상에 의한 내부환경조절기능도 완전히 소실되고 말았다.

2.1.2 석굴암의 석굴내부 환경변형 요인

석굴암도 원래 보안암 석굴법당처럼 석굴 외부가 외기에 노출되어 있었다. 따라서 석굴외부로부터 풍부한 자연일사(自然日射)는 물론 석굴외부에 축조한 크고작은 판석(板石)사이로 미세한 자연환기가 끊임없이 이루어 지는 등, 주변 자연기후 현상에 따라 인공석굴내부 환경이 적절히 조절되도록 만들어졌음을 알 수 있다.

그러나 실제 경주석굴암은 다음과 같은 변형요인²⁾으로 자연기후현상에 대한 내부환경 조절 기능이 상당히 변형되었음을 생각할 수 있다.

(1) 전실앞의 목구조물

결로방지를 위하여 1963년에 건립하였으나 일광(日光)과 외기의 유통이 차단되어 결국 결로방지는 실패하였다.

(2) 석굴상부 2중 콘크리트 돔 설치

원래 육각평면형의 기와지붕 한겹만이 석굴내부로의 누수와 습기 방지책으로 덮여져 있었으나 현재의 두꺼운 콘크리트 돔 격리층에 의한 외기 차단은 오히려 습기방지에는 치명적인 악영향을 미치고 말았다.

(3) 본실 천장 전면의 광창(光窓) 제거

창건당시 본실천장 전면에 폭 6尺, 높이 3尺의 광창이 있어 굴내부에 일광을 도입하고 외기를 지속적으로 유통시켜 방습의 효과를 기대할 수 있었는데 이를 제거하였다.

2.1.3 보안암(普安庵) 석굴법당

인공석굴 실내환경의 물리적환경 데이터 축적을 위하여 조사한 보안암 석굴법당은 해발 570m 천왕산(天王山) 산정아래 동쪽 기슭에 뒷산을 “ㄴ”자로 파내고 경사진 전면

을 정교하게 석축하여 평지를 조성하고 그 위에 석굴을 만들었다. 이와같은 방법으로 조성한 보안암 석굴법당은 토함산 해발 565m 동쪽 산기슭에 위치한 석굴암과 유사하다.

(1) 배경

보안암 석굴법당은 신라말 중국에서 기원하여 발달한 참위설(讖緯說)을 골자로 지리쇠왕설(地理衰旺說)·산천순역설(山川順逆說)·비보설(裨補說) 등을 주창한 도선(道詵: 827~898)에 의해 창건되었다고 전한다.

또한 조성수법과 구조적배경은 시기적으로 창건당시 경주석굴암의 영향을 많이 받았을 것으로 생각할 수 있다.

(2) 구조

보안암 석굴법당은 가파른 경사지에 수직으로 높이 석축하여 지형에 맞게 조성한 좁



Photo.2 Panoramic View of Boan-Am

은 평지위에 동향으로 산마루아래 배산한 형상의 배치를 하고있다. 석굴법당의 평면은 주실과 전실로 구성되어 있으며 석굴주벽의 하부에는 크고 두꺼운 화강암 판석을 깔고 그위에 상층부로 갈수록 크기와 두께가 얇은 수많은 화강암 판석들을 매우 정교하게 쌓아 놓은 구조를 하고있다 (Photo .2).

석굴법당의 외부 길이는 동서 6.64m, 남북 9.4m, 높이 5.5m로 장방형에 가까운 형태를 취하였으며 상부로 올라 갈수록 좁아진다.

석굴법당 주실의 내부 길이는 동서 2.5m 남북 3.6m의 장방형이다. 특히 주실의 내부천장 구조는 두텁게 쌓은 주벽 판석 최상부에 모서리 삼각형 내쌓기를 3단 반복하여 좁혀 쌓은 후 천장에 정석(頂石)으로 장대석 2개를 동서 방향으로 걸치고 다시 그 위에 또 하나의 장대석을 덮었다(Photo.3).



Photo.3 Indoor Structure of Boan-Am

석굴을 조성한 주요구조재는 모두 치석(治石)하지 않은 자연상태의 판석(板石)이고 석축수법이 매우 투박하여 얼핏 고대 분묘축조수법과 아주 유사한 것으로 생각된다.

석굴법당의 주실 중앙부에는 결가부좌(結跏趺坐)한 석조여래좌상(石造如來坐像)이 봉안되어 있고 그 배면 좌우로 작고 투박하게 조각된 16나한상(羅漢像)이 봉안되어 있다.

주실 입구에는 폭1m 길이 1.8m의 좁은 장방형 전실이 있으며 전실의 입구는 치석하지 않은 자연석 석주로 4주문을 세워놓았다.

4주문 내측기둥 상부에는 좌우로 평방과 창방을 걸치고 평방과 창방 틈사이에 전면을 향해 내민보를 끼워넣어 4주문 바깥쪽 기둥 상부에 얹히도록 한 후 그 상부에 장식과 자연판석을 겹겹이 쌓아 놓았다.

이때 석굴전실 입구의 4주문 상부에 결구한 평방과 창방 사이 틈으로 전면에 설치된 문을 단더라도 일광과 환기가 용이하도록 배려한 것은 석굴암의 창건당시 光窓 수법과 유사하다

3. 조사기기 및 조사방법

조사기기 및 조사방법은 Table2에, 측정위

치는 Fig.1에 나타내고 있다.

Table2 Instruments and Methods for Measuring Environmental Factors

Environmental Factors	Measuring Instruments
Air Temperature Humidity Air Velocity	Clomomaster, KANOMAX, Model6511
Surface Temperature	Spot Thermometer505 MINOLTA

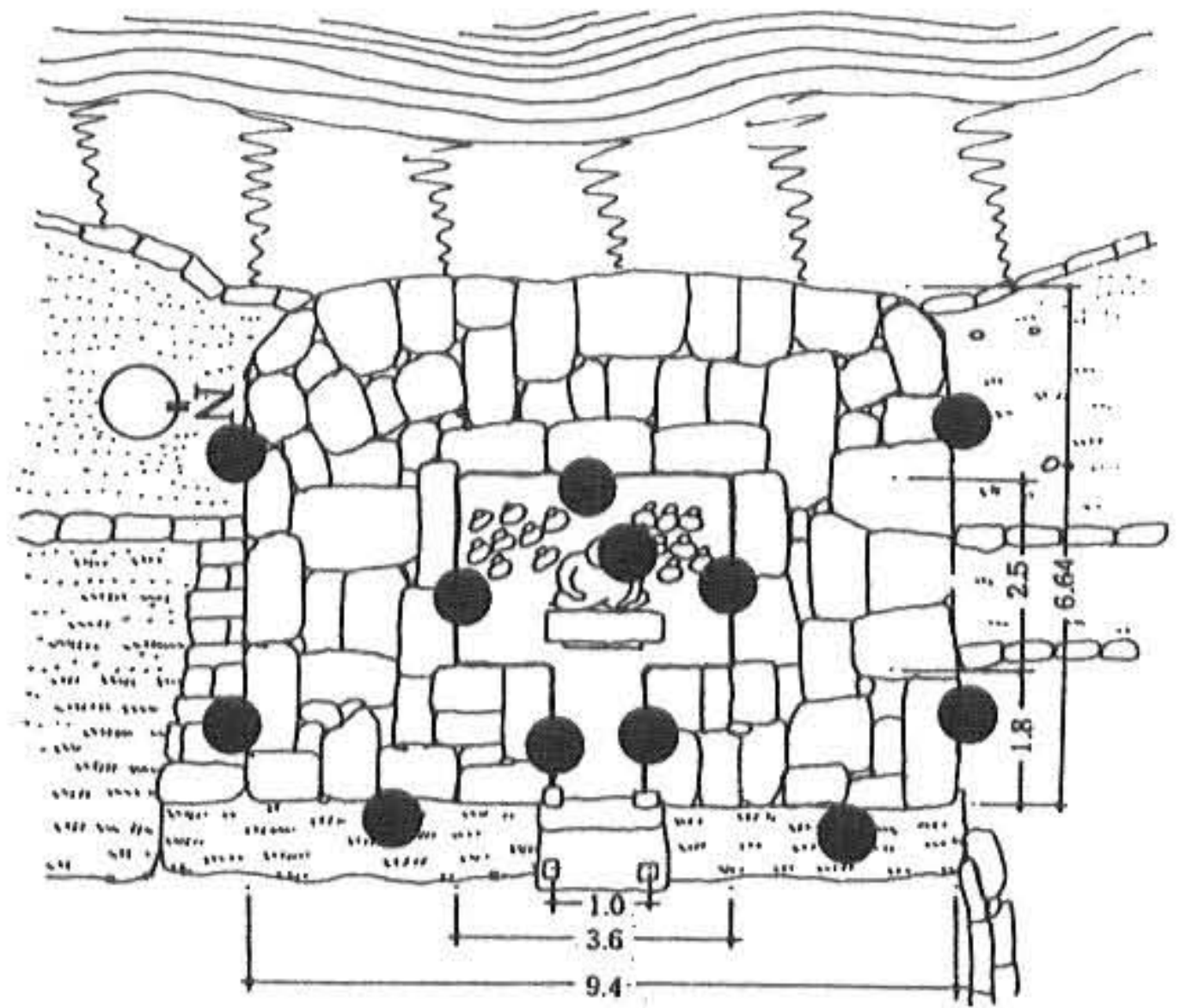


Fig.1 Measuring Point

4. 실내환경 실측조사 결과

1998년 10월부터 1999년 4월까지 매월 1회씩 실시한 보안암 인공석굴법당 내부환경 실측결과는 다음과 같다.

4.1 온도변화

Fig.2에 월별 온도변화를 나타내고 있다. 조사기간중 실내 최고온은 10월의 19.3℃였고 최저온은 1월의 8.9℃였다. 이때 외부온은 최고온이 10월의 16.7℃였고 최저온은 1월의 5.8℃였다. 각각의 실내외 온도차는 2.6℃와 3.1℃로 조사기간중에 실내외 평균온도차는 2.9℃를 나타내었다.

4.2 습도변화

Fig.3에 월별 습도변화를 나타내고 있다. 조사기간중 실내 최고습도는 상대습도로 4월이 55.8%를, 최저습도는 12월이 23%를 나타내었다. 이때 실외습도는 최고습도가 4월이 73.8%를 최저습도는 12월이 18.5%를 나타내었다. 조사기간중 4월 조사당시의 경우 비가 많이 내렸음에 주목해야 한다. 각각의 실내외 습도차는 18%와 4.5%였으며 조사기간중에 12, 1, 2월은 실내습도가 실외습도보다 평균 약 6%정도 높게 나타났으며 11월과 비가 내린 4월은 실내보다 실외 습도가 평균 약 14% 높게 나타났다.

4.3 풍속변화

Fig.4에 월별 풍속변화를 나타내고 있다. 조사기간중 실내풍속은 0.01m/sec로 거의 일정하였으며 실외풍속은 0.03~0.5m/sec의 값을 나타내었다.

4.4 표면온도 변화

Fig.5에 월별 표면온도변화를 나타내고 있다. 조사기간중 10월의 표면온도가 가장 높았고 1월의 표면온도가 가장 낮았다. 10, 11, 4월은 실외의 표면온도가 각각 17.6, 14.8, 12.2°C로 실내의 표면온도 16.4, 10.6, 6.2°C보다 높게 나타났고 12, 1, 2월은 실외 표면온도가 각각 0.4, -2.1, 0.1°C로 실내 표면온도 3.8, 1.3, 2.3°C보다 낮게 나타났다.

5. 고찰

5.1 인공석굴의 실내온도

조사기간중 실내온도는 최고온과 최저온이 10.4°C 정도의 차이를 나타내었고 실외온도는 최고온과 최저온이 10.9°C의 차를 나타내고 있어 보안암 인공석굴법당 실내 온도변화는 실외 자연기후 현상에 민감함을 나타내고 있는 것이라고 생각되어진다. 그리고 자연상태하의 보안암 인공석굴법당 실내외 평

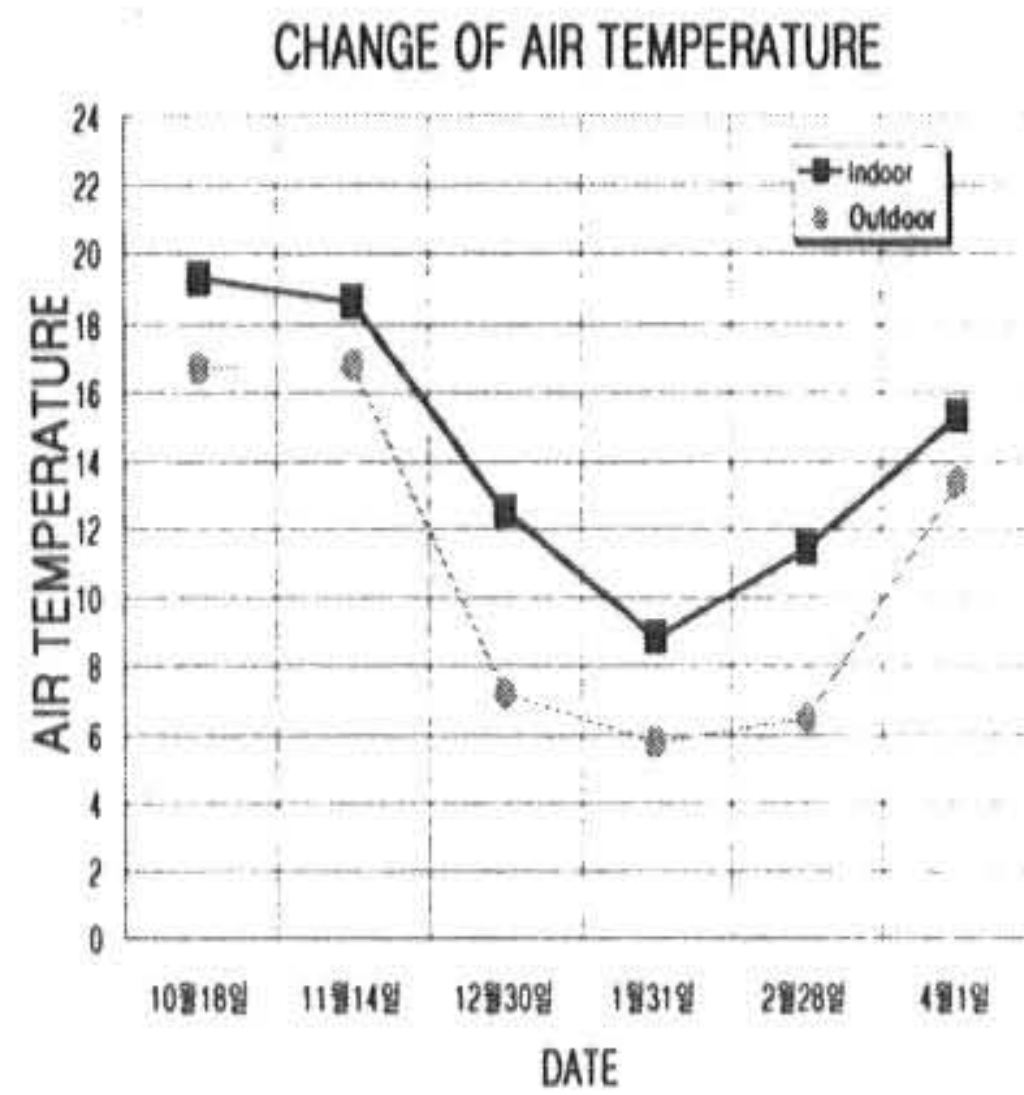


Fig.2 Change of Air Temperature

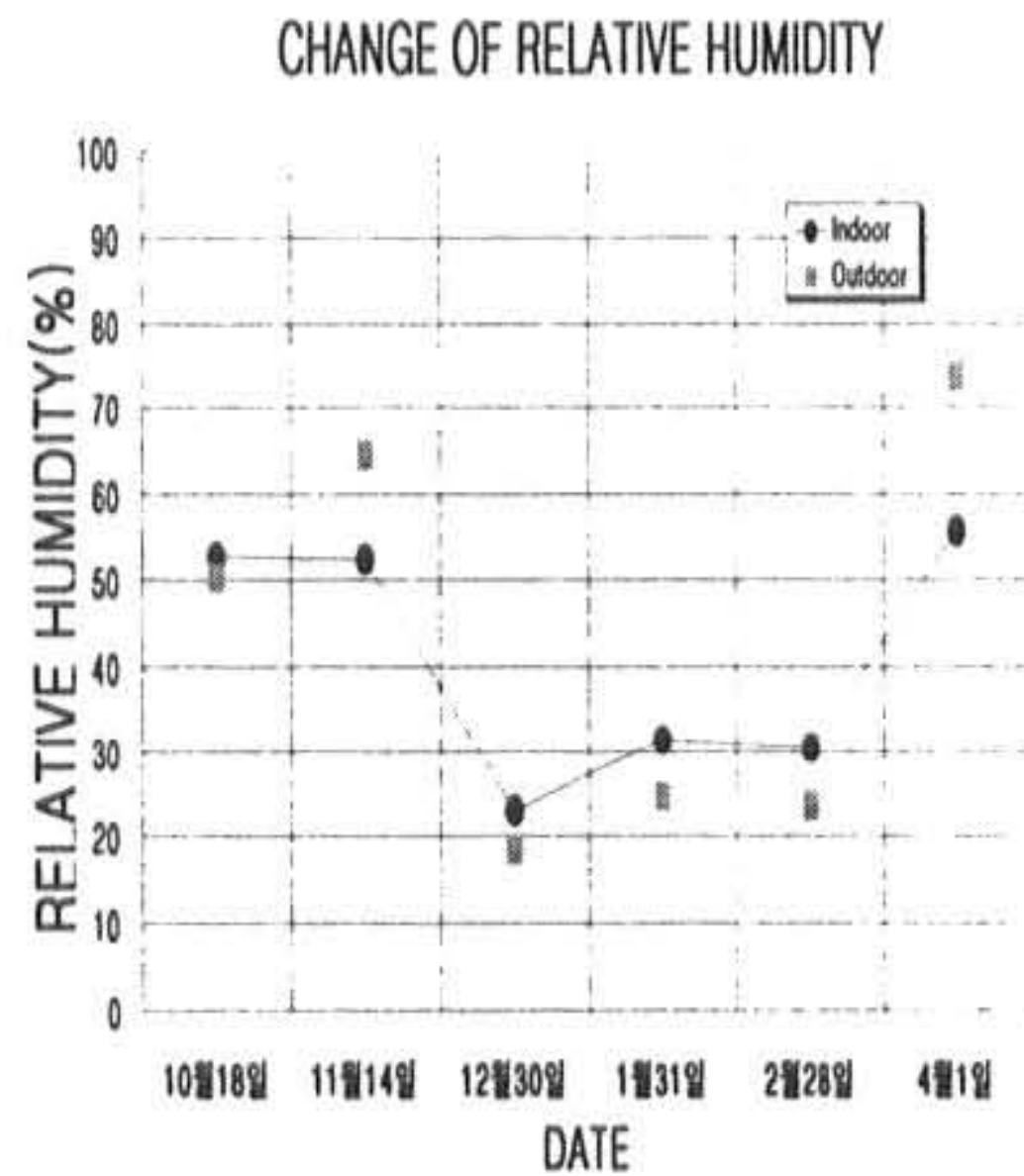


Fig.3 Change of Relative Humidity

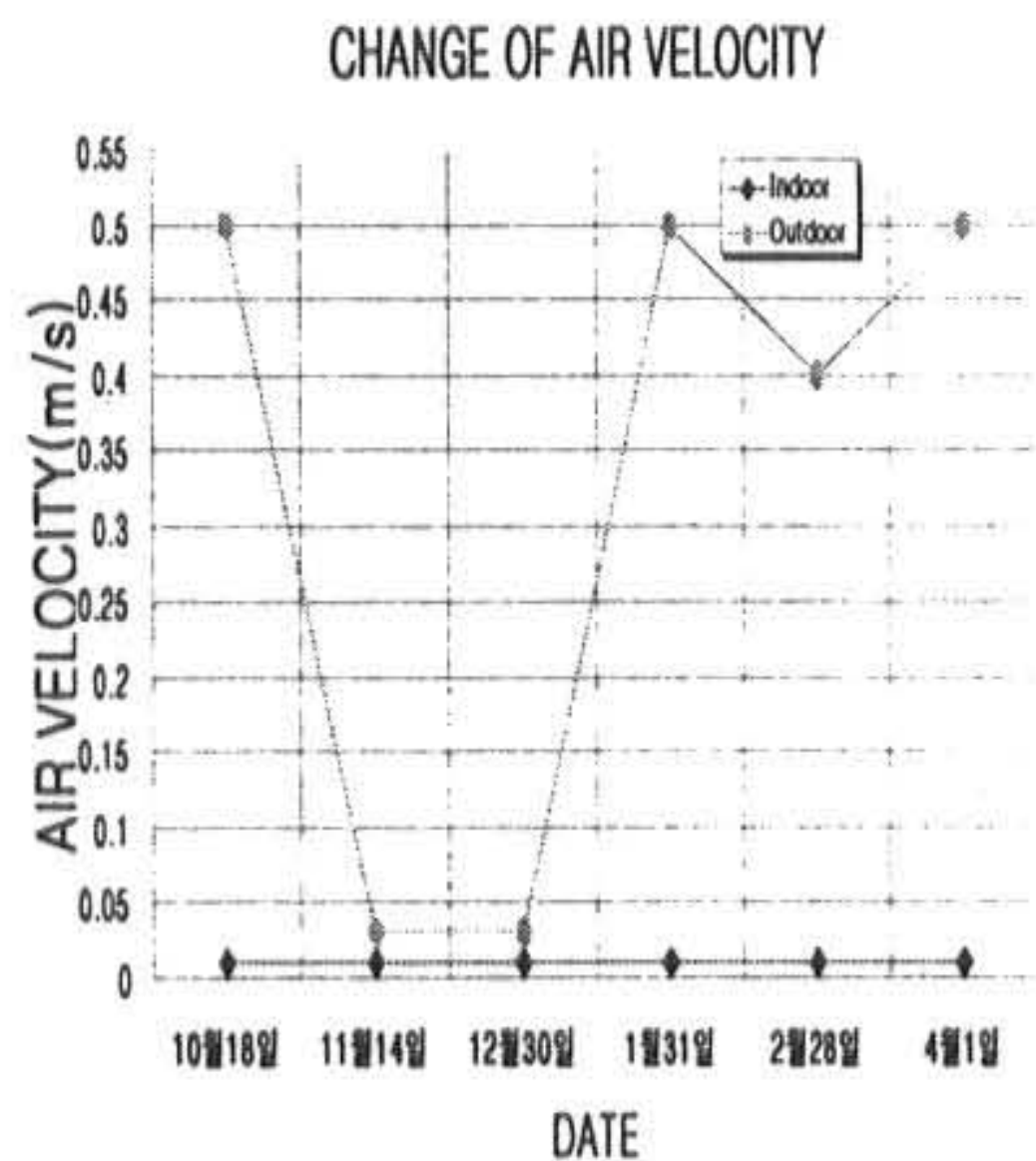


Fig.4 Change of Air Velocity

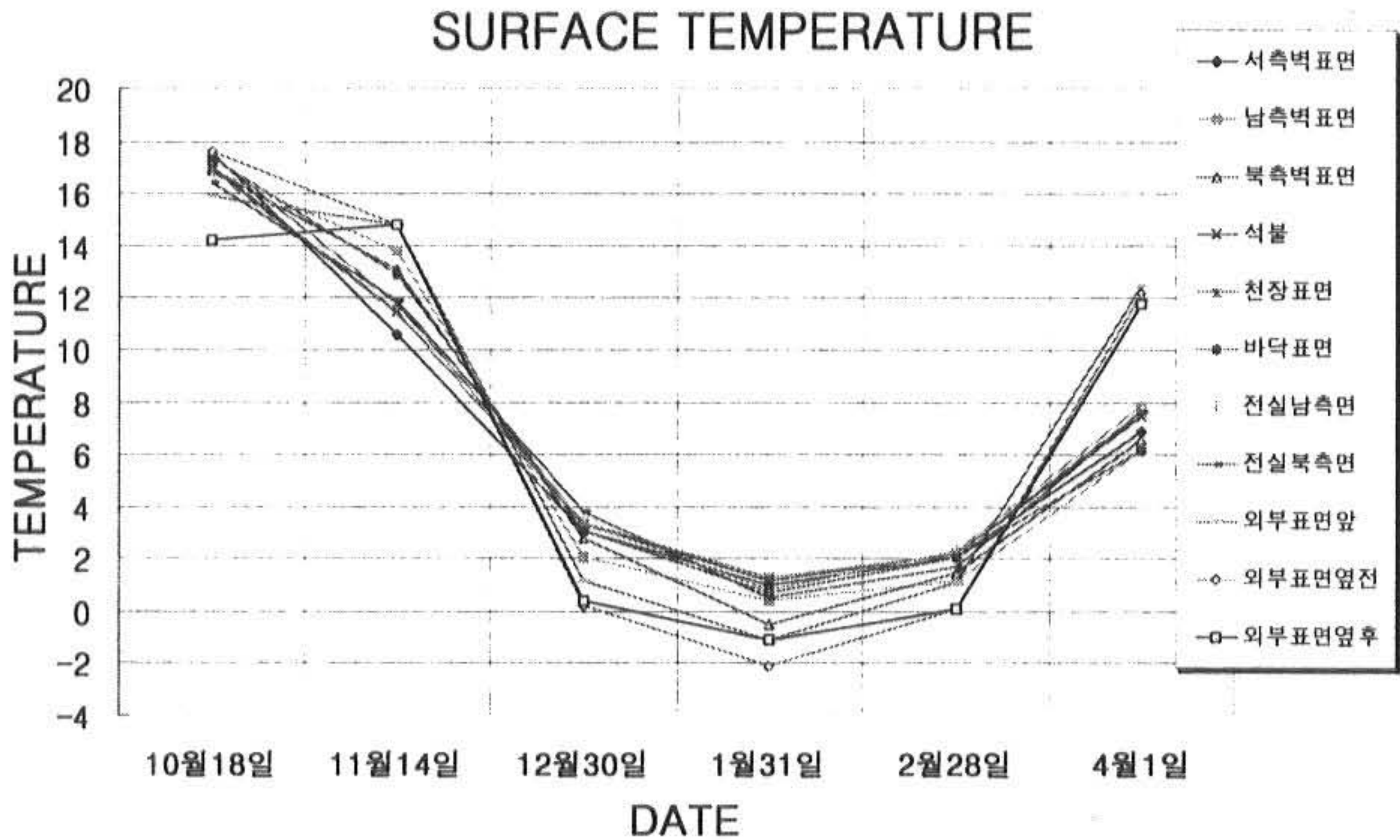


Fig.5 Change of Surface Temperature

균 온도차가 약 3°C를 나타내었는데 반면 기계실의 공기조화기기에 의해 기계적으로 조절되고 있는 경주석굴암의 실내 온도가 년중 평균 20°C임을 감안할 때 적어도 외부온도와 3~14°C의 차이를 나타내게 되는데 자연화강석 석재가 내외부 온도차에 의해 어떠한 재질의 변화를 야기하는지 충분히 검토해야 할 것으로 생각된다.

5.2 인공석굴의 실내습도

조사기간중 12월, 1월, 2월은 실내습도가 실외습도보다 평균 약 6%정도, 11월과 비가 내린 4월은 실외 습도가 평균 약 14% 높게 나타났는데 여기서, 동절기 12, 1, 2월의 경우 각각 23%, 31.5%, 30.5%로 실내습도가 평균 28%로서, 평균 22%를 나타낸 실외 습도보다 약 6%정도 높게 나타내고 있다.

이것은 인공석굴법당 고유의 자연 실내기후조절기능을 잘 나타내고 있음을 보여준 것이라고 생각되며 기계실의 공기조화기기에 의해 기계적으로 조절되고 있는 경주석굴암의 실내 습도 조절범위가 년중 평균 50%임을 감안할 때 적어도 자연상태하에서의 인공석굴법당의 경우 외부습도와 동절기에는 약 30%정도의 차이를 나타내게 되는데 자연화

강석 석재 자체의 내외부 습도차에 의한 재질의 변화에 대하여 면밀히 검토해야 할 것으로 생각된다.

또한 실내습도의 월별변화는 10, 11, 4월은 실외의 표면온도가 실내의 표면온도 보다 높게 나타났고 12, 1, 2월은 실외 표면온도가 실내 표면온도 더 높게 나타난 Fig.5의 표면 온도 변화와 깊은 관계가 있음을 잘 나타내고 있다.

바꾸어 말하면 자연상태하에서의 주벽면의 표면온도변화가 실내습도변화에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이것은 외부에 노출된 인공석굴외부의 수지방사열(收支放射熱)과 밀접한 관계가 있다고 생각한다.

5.3 인공석굴의 실내기류

조사기간중 시시각각으로 변하는 실외의 풍속변화에 비하여 실내풍속은 0.01m/sec 정도의 미기류로 거의 일정한 것으로 나타났다. 이러한 인공석굴 실내 미기류는 석굴주벽면의 외부와의 열수수관계에서 볼때 외부에 직접 노출되어 있는 인공석굴외부의 수지방사열(收支放射熱)과 밀접한 관계를 가지면서 이것이 인공석굴의 실내기후조절에 직접적인 영향을 미치고 있는 것이라는 것을 생

각할 수 있다.

5.4 인공석굴의 주벽면온도

조사기간중 10월의 인공석굴 실내 주벽면의 표면온도가 가장 높았고 1월이 가장 낮았다. 10, 11, 4월은 인공석굴 외부의 표면온도가 실내 표면온도보다 높게 나타났고 12, 1, 2월은 실내 표면온도가 실외 표면온도보다 높게 나타났다. 이것은 인공석굴 외부의 자연 방사열수지에 의한 영향이라고 생각된다.

이로서 경주석굴암이 1913년 日人에 의해 해체보수 되기전까지 1000년 이상의 오랜 세월동안 보존되어온 주인(主因)은 창건당시 그 외부형태가 우리나라 인공석굴의 원형이라고 생각되는 토산(土山)을 “ㄴ”자로 파내고 그 자리에 자연석 기초를 구축하여 요석(腰石)을 놓고 그 위에 불상을 부조(浮彫)한 축조수법으로서 인공석굴의 외부형태는 자연 태양열 수지방사열(收支放射熱)의 영향을 고려해서 축조한 고도의 자연환경친화적 설계수법을 이용한 것으로 생각한다.

따라서 1000년 이상의 세월동안 외부에 노출된 인공석굴외부의 수지방사열(收支放射熱)의 영향이 인공석굴내부 기후조절에 직접적인 영향을 미쳐온 것이라고 생각할 수 있으며 이것은 곧 경주석굴암의 창건당시 외형이 이번 실측조사를 통하여 자연상태에 노출되어 있는 보안암 인공석굴법당과 유사했을 것으로 유추해석 할 수도 있을 것 같다.

6. 결 론

경주석굴암의 보다 과학적인 보존방법을 위하여 자연기후현상에 의한 인공석굴법당의 실내환경조절 방법에 관한 기초적 데이터 축적을 위한 연구를 수행하였다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 인공석굴법당의 실내 온도변화는 실외 자연기후 현상에 민감함을 나타내었다. 그리고 자연상태하의 보안암 인공석굴법당 실내의 평균 온도차는 약 3℃를 나타내었다.
- (2) 자연상태하에서의 인공석굴법당의 경우 동절기에는 외부습도와 약 30%정도의 차이를 나타내었다. 자연상태하에서의 주벽면의

표면온도변화가 실내습도변화에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

(3) 인공석굴의 실내풍속은 0.01m/sec 정도의 미기류로 거의 일정한 것으로 나타났다.

(4) 조사기간중 10월의 인공석굴 실내 주벽면의 표면온도가 가장 높았고 1월이 가장 낮았다. 10, 11, 4월은 인공석굴 외부의 표면온도가 실내 표면온도보다 높게 나타났고 12, 1, 2월은 실내 표면온도가 실외 표면온도보다 높게 나타났다.

이상에서 창건당시의 경주석굴암의 외형은 외부에 노출된 상태였을 것으로 유추할 수 있으며 이것이 오랜 세월동안 석굴주벽면과 외부와의 열수관계에서 볼때, 인공석굴외부의 수지방사열(收支放射熱)과 밀접한 관계를 갖고 인공석굴의 실내기후조절에 직접적인 영향을 미쳐 왔을 것으로 생각 할 수 있다.

금후의 과제로 인공석굴의 열방사환경 평가에 대한 지속적인 자료축적이 전망된다.

감사의 글

인공석굴법당 실내기후환경 조사를 위하여 그 대상으로한 보안암 주지스님께 깊은 감사를 드리며 공개를 극구 반대하신 스님께 마음깊이 사죄드리며 끝까지 이 자료는 학술적인 것으로만 활용 할 것임을 거듭 약속드립니다. 아울러 이 연구논문의 인용은 세심한 주의를 요함을 미리 알려드립니다.

참고문헌

- 1) 최영식; 실내환경조절 측면에서 본 石窟庵평가에 관한 연구, 한국산업융용학회지, pp. 21-30(1998.10)
- 2) 문화재관리국; 石窟庵의 科學的 保存, 문화재관리국문화재연구소, pp.225-247(1990)

(1999년 3월 15일 접수, 1999년 4월15일)