

# 실내환경조절 측면에서 본 石窟庵 평가에 관한 연구 A Study on the Valuation of Seoggur - Am from the Viewpoint of Indoor Environment Control

崔 英 植\*  
Young-Sik Choi

### <Abstract>

It is very important that we try to keep our traditional historical assets in the original form for a long time. Seoggur-Am has a very long and old history of about 1200 years. Yet, for the past several years there are many factors ruining this historical treasure.

Recently, specialist are new scientifically examining Seoggur-Am 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 Seoggur-Am from the viewpoint of indoor environmental climate. Therefore, I have surveyed and prepared a report of investigation as well as countermeasure so to understand the impact of indoor environmental climate on Seoggur-Am.

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 Seoggur-Am from the viewpoint of indoor environmental climate.

**Key words : the Cultural Properties Protection, Indoor Environment**

## 1. 서 론

1995년 12월 유네스코 세계유산위원회(The World Heritage Committee)에 의해 「세계유산」으로 등재된 석굴암은 1200년 이상의 오랜 세월을 견뎌온 것으로 그동안 자연적 인위적 수많은 요인들에 의해 많은 노후가 진행된 상태로

남아 있다.

석굴암과 같은 특수한 환경에 처해있는 문화재 보존은 오늘날의 공학적 기준만으로 판단해서는 자칫 오류를 범할 수도 있다. 석굴암 원형 복구 및 보존을 위해서는 기존의 조사보고를 면밀히 검토한 후 이를 바탕으로 연구해 나가야 할 것으로 생각한다.

\* 정회원, 嶺南理工大學 建築科 教授·工博  
名古屋工業大學 卒業(日本)  
705-037 대구광역시 남구 대명7동 1737  
E-mail : cys@yjnet.yeungnam-c.ac.kr  
http://www.netian.com/~rokmcys

이 논문은 1998학년도 영남이공대학 연구조성비 지원에 의한 것임  
Prof., Dept. of Architecture, Yeungnam College of Science & Technology, Dr.Eng.  
1737 Taemyeungdong, Namgu, Taegu, 705-037, Korea

한편 지금까지의 고건축 문화재 지정조사는 건축물이 지닌 고유의 환경적 특성에 관한 조사는 배제되어 왔다고 생각할 수 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 석굴암 조사보고를 검토하고, 석굴암의 보존방법을 室內環境的 측면에서 접근하고자 한다.

## 2. 연구배경

北緯35°47'33", 東經129°21'6" 해발 565m의 吐含山 동쪽 산기슭에 위치한 석굴암(國寶 24호)은 삼국유사 제5권 신문왕대 기록에 의하면 8세기 중반 통일신라의 재상이던 金大城(700~774)이 전세의 부모를 위하여 경덕왕 10년(751)에 石佛寺를 세워 表訓과 神琳 두 고승을 청해 거주케 하였다고 한다.

「佛國寺古今創記」에는 康熙 42년(1703)과 57년(1718)에 각각 석굴암을 중수 했다는 기록이 남아있으며 이조 숙종때의 학자 우담정시한(愚潭 丁時翰 : 1625~1707)의 「山中日記」에 인공으로 축조한 석굴암의 장관을 묘사한 문구가 묘사되어 있다.

조선시대 말(1891) 울산 병사 조순상(趙巡相)이 중수하였으나 20년 뒤 石窟 전면의 천장이 붕괴되고 실내에 토사가 쌓여 1913년부터 1915년에 걸쳐 日人들에 의해 해체 보수공사가 실시되었다. 당시 石窟의 구조와 형상 짜맞추기에 급급한 나머지 비록 형체는 갖추었으나 석굴암 고유의 실내환경적 보존 측면에서는 많은 문제점을 남겨놓고 말았다.

석굴암은 기록상 확실한 것만으로 1703년, 1718년, 1891년의 보수공사가 있었음을 문헌을 통해 확인할 수 있다. 여기서 주목할 것은 이때까지만 하여도 석굴암의 원형보존에는 별 변형이 없었음을 유추할 수 있다.

석굴암 고유의 내부 환경 변형은 1913년 이후 심화되었다고 생각할 수 있다. 이때부터 석굴암이 지닌 석굴암 고유의 室內環境이 보존자료 없이 파괴되기 시작한 것이다.

해방이후 3차례(1947, 1953, 1957)에 걸친 보수와 1961년 이후 크고 작은 보수공사를 시행하여 지금까지 유지해오고 있기는 하지만 실내환경적 측면에서 원형복구에 필요한 자료 조사는 아직 미치지 못한 점이 남아있다고 생각한다.

## 2.1 석굴암의 창건

석굴암 창건에 대해서는 삼국유사와 佛國寺事蹟, 佛國寺古今歷代併記가 있고 이중 가장 오래된 창건 근거는 삼국유사 卷五 孝善第九 「大城孝二世父母神文王代」가 있다.

당시 신라 경덕왕대는 정치, 문화 각 방면에 걸쳐 유례없는 융성기였다. 석굴사원의 유래는 인도인데 인도에서 석굴을 만든 까닭은 그곳의 열악한 기후조건과 풍토여건에 기인한다. 하지만 사찰 조성기술이 극에 달한 이때 신라인들이 굳이 土山에다 인공으로 돌을 다듬어 석굴사원을 조성한 까닭은 인도와는 분명 다른 이유가 있었을 것이다. 이를 이기영 박사는 「觀佛三昧海經」論을 말하고 있다.<sup>1)</sup> 이 경전은 효(孝)와 호국(護國)을 기초로 하고 있다.

## 2.2 석굴암의 연혁

창건이래 康熙 42년(조선 肅宗39년 1703)條에 「42年癸未 從悅重勑石窟庵 又築窟前石階」과 57年 「戊戌重勑 化主大謙」이라 전하는 것이 외에는 18세기 초까지 약 1천년 가까이 지나도록 아무런 문헌을 찾아볼 수 없으며 근년에 연세대학교 민영규교수에 의하여 소개된 우담정시한의 「山中日記」에 약간의 내용이 포함되어 있는 정도다. 1963년 발견된 懸板記文 「石窟重修上樑文」에 고종28年(1891)의 중수 기록이 남아 있는데 石窟에 직접 가하여진 공사로서 木造 前室의 架構와 石窟 내부 돔의 누수를 막기 위하여 돔 외곽까지 손본 것으로 되어 있다.

## 2.3 석굴암 구조

BC100년경 열대지방인 인도에서 시작된 석굴은 4세기경 중국으로 건너가 7세기말~8세기초에 우리나라에 전해지면서 석굴암은 土山을 “ㄴ”자로 파내고 그 자리에 자연석 기초를 구축하여 요석(腰石)을 놓고 그 위에 불상을 부조(浮彫)한 판석을 조립해서 석굴사원처럼 보이도록 만든 것이다.

석굴암의 평면과 입면은 비교적 원형에 가까운 모습을 남겼으리라 생각한다. 日本人 요네다 미요지(米田美代治:1907-1942)가 보고한<sup>2)</sup> 실측 당시의 석굴암 구성은 다음과 같다.

### (1) 평면구성

석굴암의 평면은 前方後圓 형식 즉 前室·扉

道·主室로 구성되어 있다. 여기서 전실(6.8m×4.8m)과 비도(3.6m×2.9m)는 방형이고 주실은 원형(반지름 12尺; 唐尺 0.98곡척, 29.7cm)이다.

**(2) 평면 구성비**

요네다미요지는 석굴암 조영계획의 평면기하학기법은 唐尺으로 完尺을 기본단위로 삼았다고 보고하고 있다.

주실은 반지름 12尺의 원형(圓形)이며 주실의 대좌(臺座) 하부는 8각형으로 앞면이 주실 남북 횡직경선상에 놓여있어 대좌가 원 중심에 놓여있지 않음을 알 수 있다. 또한 8각형 앞면의 중심점은 주실 입구(12尺)를 밑변으로 하는 정삼각형 꼭지점에 위치하고 이 점은 주실을 이루는 원형의 중심이 된다.

**(3) 입면 구성비**

주실 바닥에서 벽판석 상부까지는 12尺로 주실의 반지름과 일치한다. 또한 주실 바닥에서 벽판석 상부에 놓인 감실의 높이(5.25尺)를 더하면 17.25尺이 되는데 이것은 주실 평면의 원 중심에서 벽면까지의 거리와 벽면 바닥에서 벽판석 상부까지의 거리를 정방형으로 하는 대각선의 길이와 같다. 그리고 감실 이맛돌에서 천장까지는 12尺로 주실의 반지름과 일치한다.

주실 상부 돔의 곡률반경과 바닥에서 벽판석 상부까지의 높이도 일치한다. 여기서 주목할 것은 이 경우 音源의 위치여하를 불문하고 천장에서 반사음이 일부로 집중하게 된다. 그러므로 석굴암 주실처럼, 실의 규모가 작은 곳에서 기계에 의한 인공기후조절시의 발생음은 正規方式振動에 의한 공명(共鳴)현상이 신중하게 검토되어야 한다고 생각한다. 실측결과 석굴내부 본존불 뒷편 바닥에 공조용 환기구(return air chamber, 500×500)가 설치되어 있는데 실제 풍속 2m/sec의 공기가 환기구에 설치된 그릴을 통과할때 발생하는 마찰소음이 47.2dB 이었으며 이것이 상부 돔천장에 의해 공명 현상이 일어나고 있음이 확인 되었다.

**2.4 석굴암의 변형**

석굴암 복원당시의 사진으로 보아 원래 판석 뒤에는 자연석 석괴(石塊)와 깬돌을 끼워 판석이 밖으로 밀려나지 않도록 지지케한 구조였던 것으로 추정할 수 있다.<sup>3)</sup> 이것이 해체수리 과정에서 제거되고 3尺 두께의 콘크리트로 대체되면서 석굴암이 지닌 고유의 내부 환경은 근

본적으로 변형되고 말았다.

기존의 기록과 보고서에 의한 대표적 변경요인은 다음과 같다.

**(1) 석굴암 입구의 木造建物 건립**

日光과 외기 유통을 차단하고 결로방지를 위하여 1963년에 건립,결로방지 실패.

**(2) 석굴암 상부에 2중 콘크리트 돔 시공**

원래 육각평면형의 기와지붕 한겹만이 굴 내부의 습기 방지책으로 덮여져 있었으나 현재의 두꺼운 콘크리트 돔 격리층에 의한 외기 차단은 오히려 습기방지에 는 치명적인 악영향을 미치고 말았다.

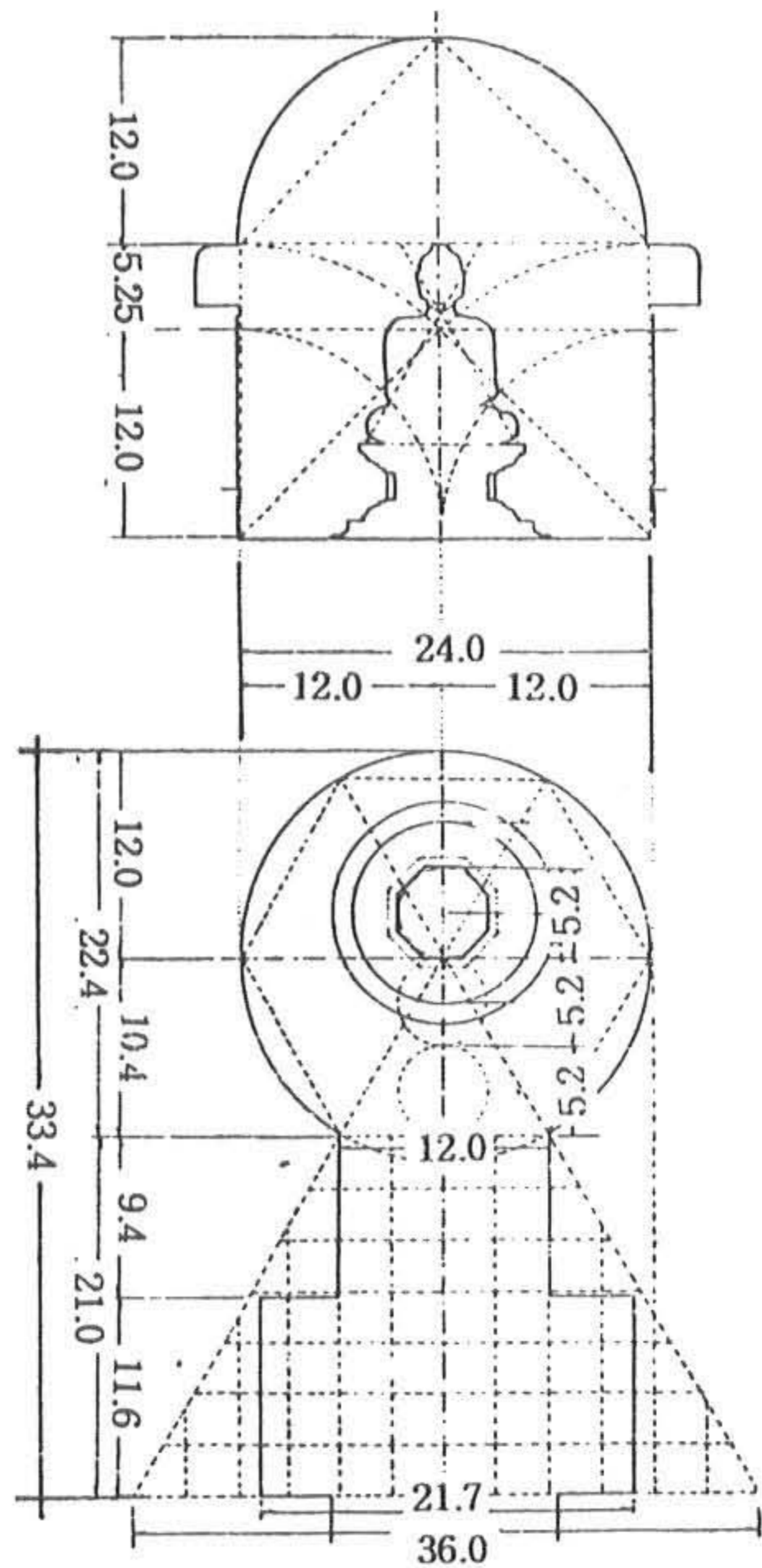


Fig.1 唐尺에 의한 석굴의 평면 및 입면 구성비  
(출처:米田美代治;韓國上代建築의 研究,p28,東夷文化研究院·東山文化社,1975)

### (3) 석굴암 본실 천장 전면의 光窓 제거

원래는 6尺 폭에 3尺 높이의 광창이 있어 이를 통하여 굴내부에 태양광선을 도입하고 외기를 유통하여 방습 효과까지 있었으나 지금은 없다.

이처럼 원래는 석굴외부 상당부분이 외기에 개방되어 있어서 日射는 물론 환기유통이 원활했던 구조이었음을 알 수 있다.

## 2.5 보안암(普安庵) 인공석굴법당

석굴암 내부환경의 원형 유추를 위하여 경상남도 사천시 곤양면 무고리 해발 570m 天王山 정상 동쪽 기슭에 자리잡은 普安庵 인공 석굴법당(경상남도 유형문화재 39호)의 내부환경을 조사 하였다.

### (1) 현상

보안암은 음양지리설과 풍수상지법으로 유명한 道詵(827~898)에 의해 창건됐다고 전하나 남아있는 기록은 없으며 곤양군 손량(孫梁)에 거주하는 이씨(李氏) 부인의 시주에 의하여 1884년 중창했다고 전하고 있다.

보안암 石窟법당은 석굴암과 마찬가지로 뒷산을 배경으로 “ㄴ”자로 파내고 경사진 전면을 정교하게 석축하여 (Photo.1) 평지를 조성하고 그 위에 石窟을 만들었다.

### (2) 구조

石窟의 평면은 주실과 전실로 구성되어 있고 石窟 하부는 큼직한 화강암 판석위에 상층부로 갈수록 크기와 두께가 얇은 화강암 판석을 매우 정교하게 쌓았다. (Photo. 2~3) 石窟 외부는 동서 6.64m 남북 9.4m 높이 5.5m의 장방형에 가까우며 상부로 갈수록 좁아진다. 내부는 동서 2.5m 남북 3.6m의 장방형으로 東向이다. 4벽과 천장은 모두 양질의 크고 작은 화강석으로 축조되었다.

특히 천장 구조는 벽의 최상부에 모서리 삼각형 내쌓기를 3단 반복하여 좁혀쌓은 후 천장정석(頂石)으로 장대석 2개를 동서로 걸치고 다시 그 위에 또 하나의 장대석을 덮었다. 구조는 전부 치석(治石)하지 않은 석재로 수법이 투박하며 고대 분묘축조 수법과 상통하게 만들었다 (Photo.4). 주실 중앙에는 결가부좌(結跏趺坐) 석조여래좌상(石造如來坐像)과 16나한상(羅漢像)이 봉안되어 있다.

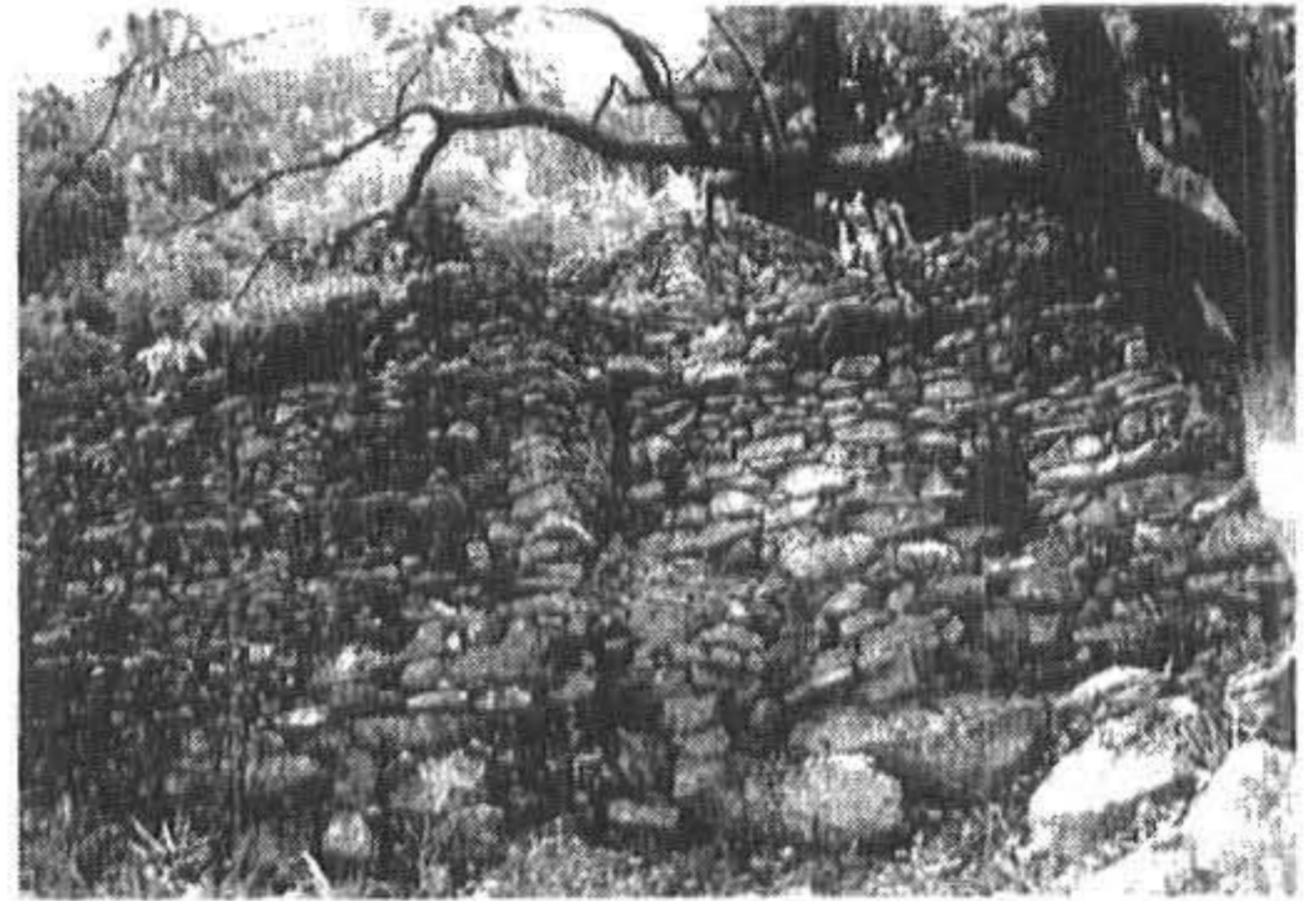


Photo.1 보안암 석굴 전면 측대



Photo.2 보안암 석굴의 정면



Photo.3 보안암 석굴의 측면



Photo.4 석굴 내부천장

주실과 石窟 입구 사이에는 폭1m 길이 1.8m의 좁은 장방형 전실이 있고 전실입구에는 치석하지 않은 석주로 만든 4주문이 견고하게 세워져 있다.

4주문 안쪽 주상부에 평방과 창방이 얹혀 있고 평방과 창방 사이틈에 바깥 입구쪽으로 내민보를 뺀내어 이를 4주문 바깥쪽 주상부에 얹고 그 위에 장석을 걸친 후 얇은 판석으로 현관 상부를 겹겹이 쌓아 놓았다.

석굴입구 4주문 상부에는 평방과 창방 사이의 틈만큼 光窓을 내어 놓았다.(Photo.5)



Photo.5 보안암 석굴 입구와 광창

### (3) 석굴내부환경

1998년 10월 16일 11:30~12:30 사이에 실측한 보안암 석굴의 내외부 온습도 및 풍속을 Table1에 내외부 표면온도를 Table2에 나타내고 있다.

불국사 석굴암은 변형된 상태의 내부환경 조사밖에 할 수 없으므로 원형보존이 잘되어 온 보안암 인공석굴법당의 내부환경 조사를 시도하였다. 기록에 의하면 석굴암도 창건당시에는

Table1 석굴내외부 온습도 및 풍속

위 치	온도(℃)	습도(%)	풍속(m/s)
주 실	19.3	52.8	0.01
전 실	18.9	51.8	0.01
외 부	16.7	50.3	0.5

Table2 석굴내외부 표면온도(℃)

위 치	표면온도	위 치	표면온도
주실천장	17.5	전실우측벽	16.4
주실좌측벽	16.9	외부좌측벽	17.6
주실우측벽	16.9	외부우측벽	14.2
주실배면벽	17.6	외부좌전면	17.4
전실좌측벽	16.9	외부우전면	15.9

Fig.2에 보안암 석굴의 평면을 나타내었다.

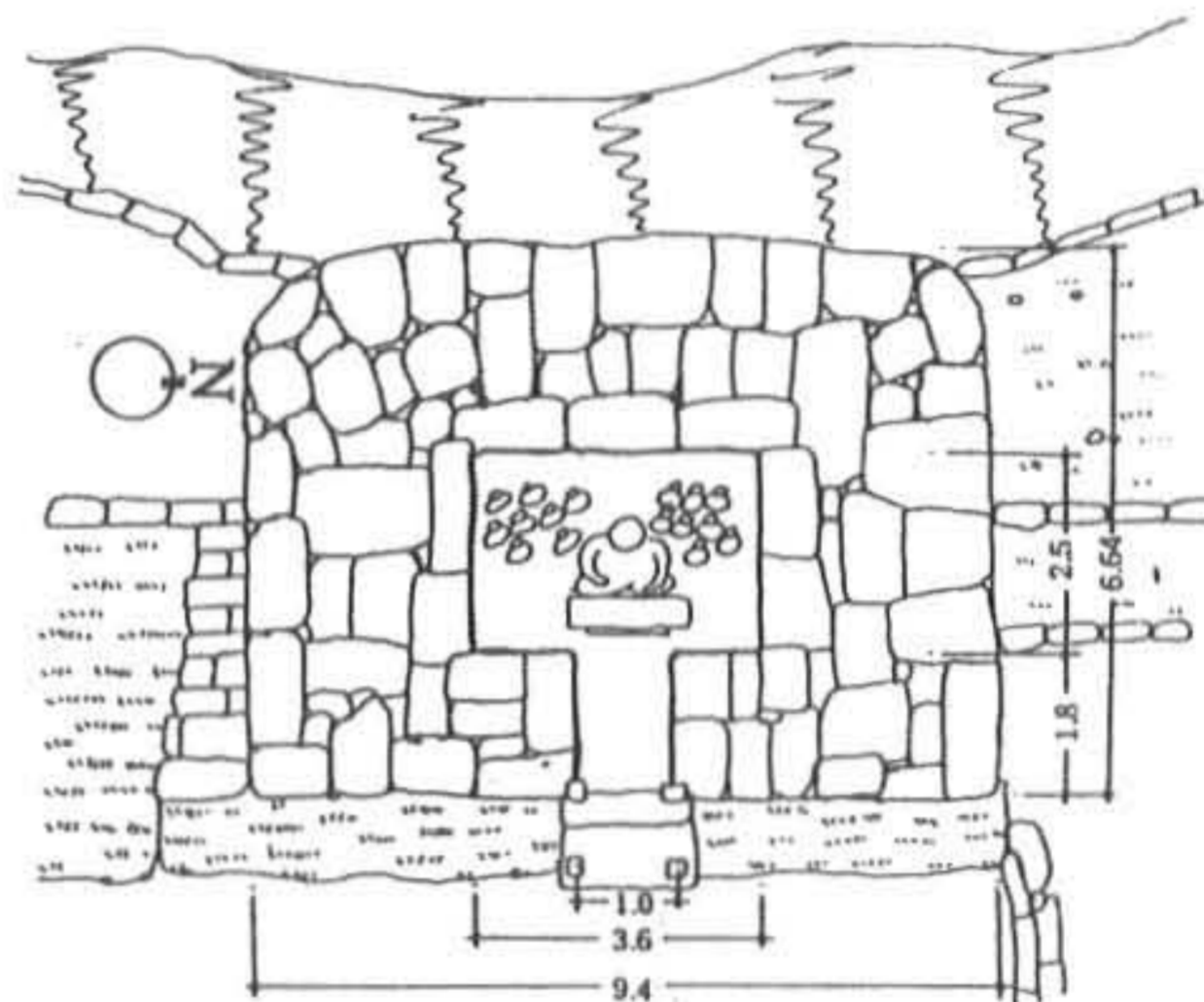


Fig.2 보안암 석굴 평면도

석굴외부가 상당부분 노출된 구조였을 것으로 추측이 된다. 따라서 보안암 석굴 내부 환경은 석굴암 원형복구 및 보존에 중요한 기초자료가 될 것으로 생각한다.

보안암 석굴을 미루어 석굴암은 해체 보수과정에서 판석 걸면을 지탱하고 있던 피석과 깬들을 제거하고 그 자리를 동형식의 콘크리트로 대체하면서 석굴외부의 개방 구조가 밀폐형으로 변형되었다고 생각할 수 있다.

### 2.5 석굴암 보수공사 경위4)

#### (1) 1910년 이전

삼국통일기의 창건이후 석굴암의 중수에 대해 기록상 남아있는 것은 上述한 1703년, 1718년, 1891년의 것 뿐이다.

(2) 日人들에 의한 보수 및 문제점

- ① 1913년~1915년 조선총독부 직영으로 石窟을 해체한 후 파손된 석재를 신재로 보충. 이 과정에서 석굴 주위에 두께 약 3尺의 콘크리트 돔을 시공한 후 성토 마감하였다.
- ② 1917년 굴내부의 누수현상을 발견하여 돔상부에 배수로를 설치. 이 과정에서 자연 암석 2개소에 水槽를 설치하고 석굴 후면으로부터 흘러들어오는 지하수를 처리토록 하였다.
- ③ 1920년~1923년 재보수. 이때 돔상부의 봉토를 제거한 후 석굴주위의 콘크리트 균열층을 보강하고 철근으로 부분 보완하였으며 아스팔트 방수층을 시공. 이 과정에서 종래의 水槽를 약 4배로 확장하고 토관을 매설한 후 외부로 배수토록 하였다(지금의 甘露水).
- ④ 1933년, 1941년 청태제거를 위한 증기세척작업을 실시.
- ⑤ 문제점 :
  - a. 원래의 석굴암 실내 자연 환기상태를 고려하지 않았다. 그 결과 콘크리트로 덮어쓰인 석굴 돔 내부에 전면에서 들어오는 안개로 인해 청태 발생.
  - b. 재보수 이후 石像표면에 철근 녹물이 흘러내림. 석굴 전면의 변형은 시정되지 않고 청태 발생은 여전.
  - c. 풍화도가 심한 화강석 표면에 뜨거운 증기 압력을 이용한 청태제거 작업을 실시하여 섬세하게 조각된 석면에 손상을 초래.

(3) 해방이후-1950년대 조사결과 및 대책

해방이후 3차(1947,1953,1957)에 걸친 청태 제거 작업이 있었고 그후 청태, 쇠녹물 등으로 인한 오염을 그대로 방임 할 수 없어 6차에 걸쳐 조사단을 구성하여 조사하기에 이르렀다. 조사 경위 및 조사결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 제1차 조사

- ① 일 시 : 1958년 1월 14일
- ② 조사자 : 지질학자 최우규 보존위원회 이균상 외 1인
- ③ 조사내용 : 뜨거운 증기압력식 청태 제거 방법이 미치는 영향을 중심으로 조사.
- ④ 조사결과 : 석면 붕괴(崩壞)촉진, 석면의

부착물(이끼,진에 등)과 암석의 고령토화한 軟化 부분이 함께 제거되면서 석면상에 凹凸 형성, 석질 변화로 석굴암 내부 조각의 예술성 저하를 초래.

- ⑤ 대책 : 석굴주위에 배수시설을 하고, 전실에는 지붕을 덮고 문 설치. 습기침입과 이끼발생 방지책으로 석면에 도료(塗料)을 시험.

2) 제2차 조사

- ① 일 시 : 1958년 8월 30일
- ② 조사자 : 보존위원회 김상기 외 3인, 조각가 김경승, 국립중앙관상대 김성삼, 내무부 토목시험소 김용희
- ③ 조사내용 : 석굴외부에서 침투하는 누수 조사.
- ④ 조사결과 : 누수는 없었음.
- ⑤ 대책 : 毛管현상에 의한 누수 가능성에 따른 방수시공. 석굴방습에 대비 노출전면에 지붕을 설치하고 문을 닫도록 지시. 석굴 내부는 기계장치에 의한 방습효과를 도모케 하고, 전실과 굴내 바닥면을 석재로 포장하여 먼지발생 방지.

3) 제3차 조사

- ① 일 시 : 1958년 12월 10일
- ② 조사자 : 화학부분 이종징, 생물학부분 이민재, 물리학 부분 이주천
- ③ 조사내용 : 풍화원인
- ④ 조사결과 : 수리할 때 사용한 콘크리트에 혼합된 석회가 용해되면서 불상 조각면에 나타난 것이 많다고 간주. 11면 관음상에 묻은 분말은 암석의 풍화작용으로 보임. 청태는 공기중에 노출되어 습기가 약간만 있으면 자라나는 흄미둠(Hormidiumi) 이 압도적으로 많았다. 석굴암의 풍화원인중 가장 큰 원인은 온도 변화로서 특히 冬期의 온도저하가 문제임을 지적.

- ⑤ 대책 : 얼음이 얼지 않을 정도의 防寒장치를 권장. 청태방지책으로 문을 설치. 석회를 완전히 없애도록 한다. 석굴뒤를 개축해서 완전한 배수장치 시설.

4) 제4차 조사

- ① 일 시 : 1960년 1월 24일
- ② 조사자 : 건축구조분야 배기형, 서울공대 안수한교수,국립박물관 학예관 김정기
- ③ 조사내용 : 수분침입 조사

- ④ 조사결과 : 석굴주벽의 콘크리트 방수층의 노화로 말미암아 수분침입이 가능.
- ⑤ 대책 : 주벽에 공기층 설치를 해결책으로 제안. 전실에 출입문 설치, 석굴 전실과 굴내 바닥을 이중으로 하여 공기층을 만들어 습기를 방지. 석굴전면 광장 확대. 인공수로 설치. 전실 입구에 내부가 투시되는 출입문을 설치, 석굴내 환기장치를 신설.

5) 제5차 조사

- ① 일 시 : 1961년
- ② 조사자 : 보존위원회 위원 김중업 외 2인
- ③ 조사내용 : 풍화 및 청태 조사
- ④ 조사결과 : 불상의 풍화는 빗물의 영향이 크다.
- ⑤ 대책 : 누수 방지로 풍화는 방지될 것으로 간주. 청태발육 저지책으로 온·습도는 조절을 위한 전실에 플라스틱 골제를 덮고 문을 2중으로 설치. 空調장치로 석굴 실내 온·습도를 일정하게 조절.

6) 제6차 조사

- ① 일 시 : 1961년 4월 2일부터 25일까지
- ② 조사자 : 국립건설 연구소
- ③ 조사내용 : 석굴부근 암반상태 파악을 위하여 7개소에 보오링 시험
- ④ 조사결과 : 본존(本尊) 후면과 좌측면에만 질이 좋은 화강암 암반이 노출, 그외는 대부분 풍화 화강암층으로 되어 있음.
- ⑤ 대책 : 지하수위가 생기면 위험한 상태가 발생 할 수 있으므로 대책이 필요.

7) 보수공사 조사심의회 구성

석굴암 보수공사를 위한 조사심의회를 구성하였는데 전문영역은 다음과 같다.

- ① 일 시 : 1961년 2월 6일
- ② 구성 : 건축-김중업  
조각-황영수, 김경승  
고적-김재원, 이홍직  
典籍-김상기  
식물-정영호, 박만규  
지질-정창희, 손치무  
불교-권상노, 고의동

(4) 1960-1970년대 보수공사

1965년 김효경 박사팀이 외기조건, 석굴내부 기온, 벽면, 불상면의 온도변화 측정 등을 실시. 조사결과 년중 공기조화장치에 의한 공기조화(Year around air conditioning)를 하기로 결정.

1966년부터 공조장치에 의한 인공적인 방법으로 석굴내의 환경을 관리.

1970년 석재표면의 불순물 제거 세척작업 실시, 1974년 석굴암 전면에 유리벽을 시설하고 전면 기단에 퇴칸 설치.

(5) 1980년 - 현재

1993년 공조장치기기의 소음과 진동이 심하여 새로운 항온항습설비로 교체하고 1996년 대한건축학회에서 석굴에 인접한 기계실의 외부로의 이건을 제안하였다.

1997년 1월 쫓겨가 참여한 석굴암 내부 환경조사팀이 소음과 진동 방지책으로 석굴에 인접하여 설치되어있는 기계실을 기존의 위치에서 외부로 이전할 것을 제의하였으나 1차적으로 1997년 12월 기존의 기계보다 10dB정도 소음이 낮은 60dB정도의 송풍기로 교체하여 경과를 관찰한 후 기계실 이전을 검토하기로 결정하였다.

1997년 2월~6월 구조안전성 평가를 위한 육안조사, 콘크리트 강도조사, 구조해석 등을 중심으로 조사. 관련데이터의 축적, 기록유지의 중요성, 새로운 측정기법과 장비의 개발, 관련 학문간의 종합적인 접근, 지속적인 모니터링 작업의 중요성 등을 제안 하였다.

3. 환경 변경후 석굴암 보존의 문제점

수차례에 걸친 조사결과 1913년 환경변경 이후 석굴암 손상의 치명적인 요인을 요약하면 다음과 같다.

3.1 풍화에 의한 요인

彫像 판석 뒤에서 풍겨나오는 석회의 성분은 重炭酸칼슘이었다. 이것에 日光이 비치면 물과 탄산가스가 증발되어 탄산칼슘이 된다. 풍화의 주 원인중 시멘트는 고화과정에서 대량의 Ca(OH)<sub>2</sub>를 생성하게 되고 이것은 석면풍화의 주된 원인이 된다.

3.2 청태(靑苔)·동상(冬傷)에 의한 요인

석면청태의 본체는 Pleurococcus Naegelii Chodat이었다. 이것이 석면이나 樹幹에 부착하여 공기중의 수분을 흡수하면서 서식한다.

동상(凍傷)은 겨울에 섭씨 영하 15℃ 내외로 내려가는 석굴내부 온도의 변화가 주인(主因)이다. 돌이 얼었다 녹았다 함으로 결국 석면에 凹

凸등의 변화가 생겨 예술성 손상의 치명적 피해를 입히게 된다.

### 3.3 환기에 의한 요인

인공기후조절 시설을 설치하여 석굴내부 환경을 일정하게 유지하면 풍화와 청태 착생은 방지할 수 있지만 인접 기계실의 소음과 진동 등에 의한 문제를 놓고 기계 설치장소가 문제점으로 대두되고 있다.

## 4. 석굴암 현장조사

### 4.1 인공기후조절시의 소음과 진동

1997년 1월17일부터 1월27일까지 소음과 진동을 중심으로 조사하였다.

#### (1) 현황

조사당시 석굴암 내부 냉·난방, 가습, 제습용으로 Condenser Unit-1호가 설치되어 있었고 석굴을 2중 돔으로 감싸고 있는 PIT 공간의 제습용으로는 Condenser Unit-2호가 설치되어 있었고 PIT 부분의 온도변화에 대응하는 Condenser Unit-3호가 설치되어 있어 결국 석굴암 공조 System에는 3대의 송풍기가 바닥과 천정에 설치되어 있다. 석굴암 공기조화 평면도 및 내부환경 측정점을 Fig.3에 나타내었다.

#### (2) 소음측정 결과

소음측정을 지시소음계의 A특성값으로 장비가동후 석굴암 내부와 PIT부분에서 측정하였다. Table3에 소음측정결과치를 나타내었다.

#### (3) 소음·진동발생 원인

Table3에서 측정점 1~5(PIT부분) 부분이 석굴내부 측정점 6~8보다 높게 측정되었다. 그 원인은 다음과 같다고 생각한다.

- ① 공급용 향온향습기 Fan Motor부분 축에서 발생하는 소음 및 진동.
- ② 공조실 흡음판 떨림에 의한 소음 발생.
- ③ 주실 바닥 환기구 그릴 마찰소음 발생.
- ④ 소음기 미설치로 인한 장비소음 발생.

### 4.2 공조장비 측정 결과

Table4에 향온향습기 주변의 풍량측정값을 나타내고 있다. 기존 장비의 성능 측정결과 설계치 대비 43%에서 88%까지 측정되었다.

그 원인은 다음과 같다고 생각한다.

- ① 장비노후로 인한 성능 저하.

- ② 향온향습기 1호기의 경우 정압과다로 인한 풍량 부족.
- ③ 각종 점검구 및 덕트 연결 부위 누기.

Table3 소음측정결과

측정점	측정치(dB)	위 치
1	81.2	향온습기기계실
2	65.7	PIT북쪽
3	59.2	PIT서쪽
4	57.8	PIT남쪽
5	70.3	향온습기기계실
6	43.8	석굴내부 급기쪽
7	47.2	석굴내부 환기쪽
8	39	석굴내부 측면

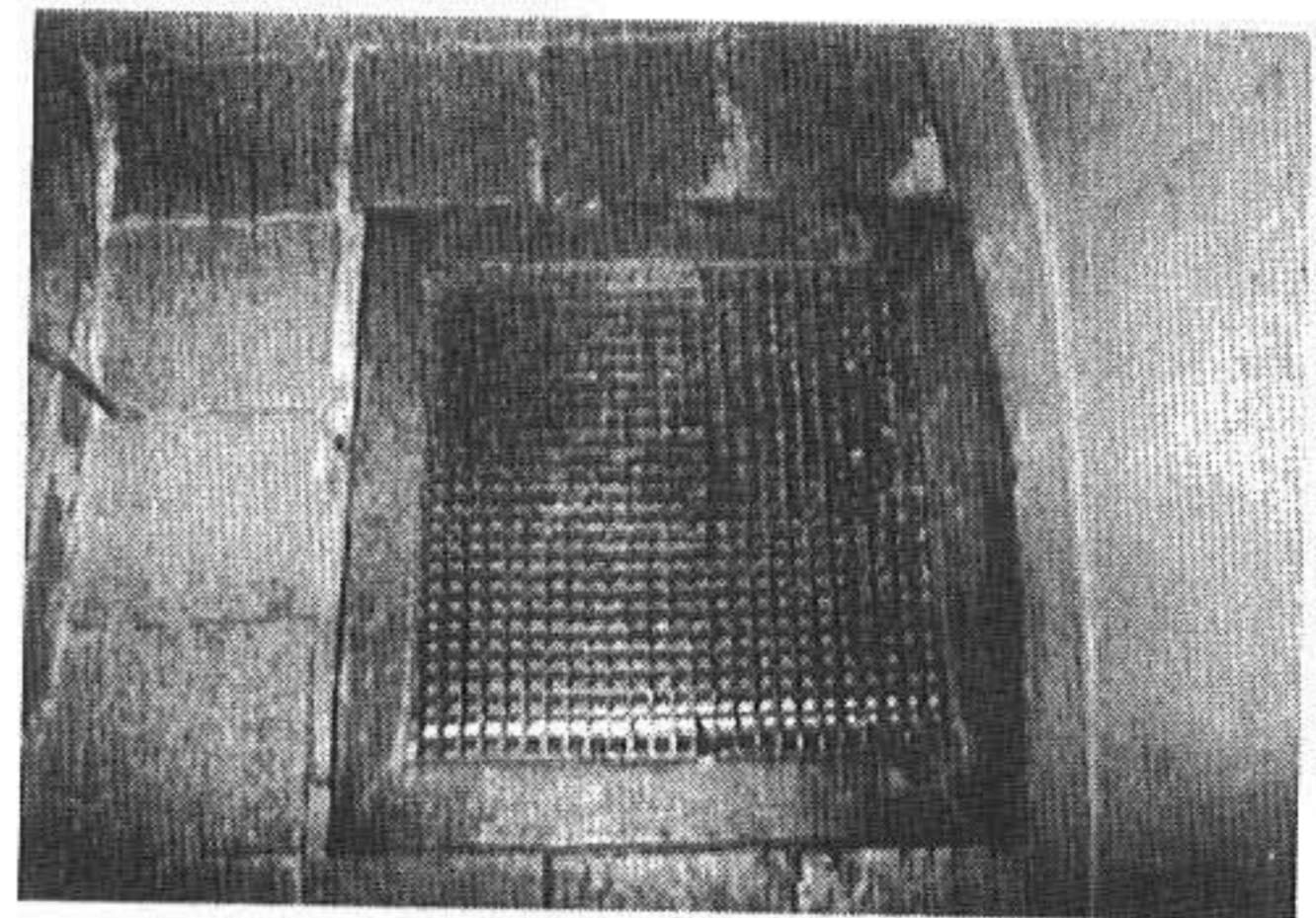


Photo.6 주실 본존뒤 바닥 환기구

Table4 향온향습기 주변풍량측정 결과

장비번호	용 도	설계치	측정치	%
CONDENSER 1	석굴암 내부용	3,600	1,541	43
CONDENSER 2	PIT용	3,600	2,080	58
CONDENSER 3	PIT용	3,600	3,180	88

### 4.3 소음·진동 대책

- ① 기존의 공조실을 석굴암 외부로 이설.
- ② 고효율 장비를 선정하여 장착한다.
- ③ 덕트기구(그릴) 주변의 마감 철저.



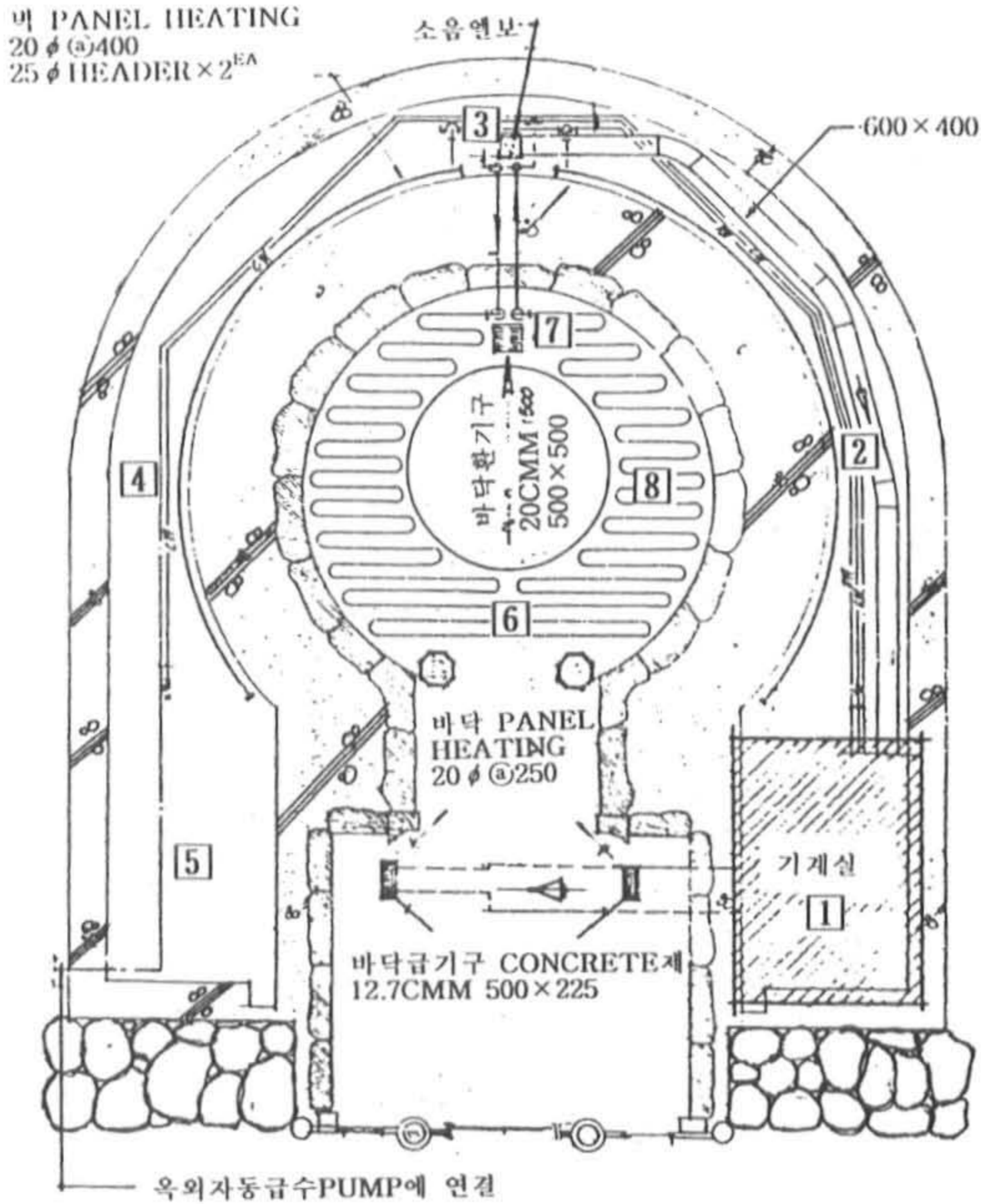


Fig.3 석굴암 공기조화 평면도 및 소음 측정점

Table5 석굴암 내부 표면온도(℃)

4.4 석굴암 내부 표면온도

Table5에 석굴암 冬季 내부 표면온도 실측치 결과를 나타내었다.

5.결 론

기존의 석굴암 조사보고를 검토하고, 이미 변형된 상태에서 접근할 수 밖에 없는 석굴암의 실내환경 조사를 실시 하였다.

室內環境調節 측면에서 석굴암의 원형복구 및 보존에 대한 연구를 위한 기초 작업으로 거

측정부위	온도	측정부위	온도
본존불 상부 천장	20.2	주실 좌측 벽면	20.5
본존불 전면 바닥	21.2	본존불 좌측 천장	20.4
본존불 우측 바닥	19.4	본존불 좌측 바닥	19.7
본존불 우측 벽면	19.9	전실 천장	21.3
본존불 배면 천장	19.8	전실 바닥	20.1
본존불 배면 바닥	18.8	전실 좌측 벽면	18.9
주실 배면 벽면	20.0	전실 우측 벽면	18.9
본존불 뒤 환기구	20.5	본존불 얼굴	21.8
본존불 좌측 좌대	21.8		

의 원형대로 보존되어 있는 普安庵 석굴 실내 환경 조사를 실시 하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 中間季(10월) 인공석굴의 내부온도분포는 약 19℃로 석굴 외부 온도보다 2.5℃ 정도 높게 실측되었다.
- (2) 中間季(10월) 인공석굴의 내부습도분포는 약 52.3%로 석굴 외부습도보다 2% 정도 높은 값을 나타내었다.
- (3) 中間季(10월) 보안암 인공석굴의 내부 自然環境은 년중 공조기(Year around air conditioning)에 의해 조절되고 있는 석굴암 항온항습조건(20±1℃,50%±5%)과 거의 비슷한 환경조건을 나타내고 있음을 알 수 있다.
- (4) 실측당시 석굴외부 풍속이 0.3~0.8m/sec였고 석굴내부는 0.01m/sec였다. 석굴 벽면의 積石 벽 두께가 2~3m인 것을 감안하면 환기가 지속적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.
- (5) 보안암 인공 석굴내부의 보존상태는 아주 양호하였다. 누수·결로·청태의 피해도 없었다. 이것은 석굴의 벽이 두꺼워 외부환경변화가 미치는 영향이 적고 자연환기가 일정하게 이루어지며 석굴의 외부 대부분이 외기에 개방된 상태이며 東向으로 개방된 석굴 입구 상부의 광창으로 아침 해뜰녘에는 前室과 主室 깊은 곳까지 日射의 영향이 미치고 있기 때문이라고 생각한다.
- (6) 불국사 석굴암 주실 상부 돔의 곡율반경이 바닥에서 벽판석 상부까지의 높이와 일치한다. 이 경우 音源의 위치여하를 불문하고 천장에서 의 반사음이 일부로 집중하게 된다. 따라서 석굴암 주실처럼 실의 규모가 적은 실내에 기계에 의한 인공기후조절시 기계발생소음은 正規方式振動에 의한 공명(共鳴)현상을 신중하게 검토하여야 한다고 생각한다.
- (7) 고건축 문화재 보존을 원형대로 길이 보존하기 위해서는 지정조사시 건축환경적 측면에서 조사를 면밀히 해 둘 필요가 있음이 확인되었다.
- (8) 금후 건축환경적 측면에서 지속적인 인공석굴내부의 자연환경조사를 실행하여 이를 토대로 석굴암 원형복구및 보존에 대한 지속적인 연구가 되어야 할 것으로 생각한다.

謝辭 : 실측조사에 협력해주신 石窟庵 주지스님과 普安庵 주지스님께 지면을 빌려 심심한 감사말 드립니다. 또한 자료협력에 힘쓰주신 정우건축 서정남 소장님과 대유설비 이영식회장님께도 깊이 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) 이기영;석굴암,일지사,1974
- 2) 米田美代治(申榮勳 譯) ; 韓國上代建築의 研究,東夷文化研究院·東山文化社編,pp.25-41,1975
- 3) 김봉건; 석굴암 석굴의 보존,硏産연구교류회, 제227회,pp.1-11,한국과학재단,1998.4.23
- 4) 文化財管理局 ; 石窟庵의 科學的保存 ,文化財管理局 文化財研究所,1990

(1998년 8월30일 접수,1998년 10월5일 채택)