

작품번호
1108

## 제51회 전국과학전람회

불국사 극락전 남·서회랑  
석축은 왜 잘 무너지지 않을까?

출품분야	학생부	출품부문	물리
------	-----	------	----

2005. 7. 20

시·도	학 교	직 위 (학 년)	성 명
경상북도	산대초등학교	6	황혜령 임성규
지도교원	산대초등학교	교사	장지화

## <제목 차례>

I. 탐구동기 .....	3
II. 탐구 내용 .....	3
III. 탐구과정 .....	4
탐구내용 1. 불국사 극락전 남·서회랑 밑 석축에 대한 기초탐구 .....	4
1. 불국사 극락전 남·서회랑 밑 석축에 대한 기초탐구 .....	4
탐구내용 2. 석축의 내부를 어떤 물질로 채웠을 때 더 견고할까? .....	6
1. 석축의 내부를 어떤 물질로 채우면 더 견고할까? .....	6
의문1) 왜 흙으로 채우면 더 견고할까? .....	7
탐구내용 3. 석축에 심석과 내부 석축이 있으면 더 견고할까? .....	8
1. 석축에 심석과 내부 석축이 있으면 더 견고할까? .....	8
2. 서회랑 석축에 사용된 심석의 모양은 어떤 모양이 더 견고할까? .....	9
3. 석축에 사용된 심석의 길이는 어느 정도가 좋을까? .....	10
4. 석축을 쌓을 때 내부석축의 유무에 따른 견고성 탐구 .....	10
탐구내용 4. 석축에 첨자석이 있으면 더 견고할까? .....	11
1. 남회랑 첨자석의 역할에 대한 탐구 .....	11
2. 남회랑 첨자석의 안쪽에 묻힌 길이에 따른 견고성 탐구 .....	12
탐구내용 5. 석축의 모서리 칸은 어떤 역할을 할까? .....	13
1. 석축이 만나는 모서리 부분이 왜 한 칸 더 튀어 나와 있을까? .....	13
가. 모서리 칸의 유무에 따른 견고성 탐구 .....	13
나. 석축 모형의 밀리는 정도 탐구 .....	14
2. 모서리 칸의 모양은 어떤 모양이 견고할까? .....	15
탐구내용 6. 자연환경의 변화에도 석축은 왜 잘 무너지지 않을까? .....	16
1. 석축을 기울였을 때 견디는 정도 탐구 .....	16
2. 석축을 흔들었을 때 견디는 정도 탐구 .....	16
3. 석축을 위에서 내리 누를 때 견디는 정도 탐구 .....	17
IV. 종합 결론 .....	18

## 〈표 차례〉

〈표 1 내부 재료에 따라 견디는 정도〉 .....	6
〈표 2 내부 재료에 따라 심석의 견디는 정도〉 .....	7
〈표 3 심석의 유무에 따른 석축이 견디는 정도〉 .....	8
〈표 4 심석의 모양에 따른 견디는 정도〉 .....	9
〈표 5 심석의 길이에 따른 견디는 정도〉 .....	10
〈표 6 내부 석축의 유무에 따른 견디는 정도〉 .....	11
〈표 7 남회랑 첨자석의 유무에 따른 견디는 정도〉 .....	11
〈표 8 첨자석의 길이의 비에 따른 석축이 견디는 정도〉 .....	12
〈표 9 첨자석 길이의 비에 따른 수평에 드는 힘〉 .....	13
〈표 10 석축 모형 모서리 칸 유무에 따른 견디는 정도〉 .....	14
〈표 11 나무 모형 모서리 실험〉 .....	15
〈표 12 모서리 모양에 따른 실험〉 .....	15
〈표 13 석축이 기울기에 견디는 정도〉 .....	16
〈표 14 석축이 흔들림에 견디는 정도〉 .....	17
〈표 15 석축이 무게에 견디는 정도〉 .....	17

## 〈그림 차례〉

〈그림 1 석축 모형〉 .....	3
〈그림 2 남회랑 석축 모습〉 .....	4
〈그림 3 서회랑 석축 모습〉 .....	4
〈그림 4 흙으로 채워진 석축 모형〉 .....	6
〈그림 5 흙, 모래, 자갈 흘러내림〉 .....	7
〈그림 6 심석 모양〉 .....	8
〈그림 7 심석 실험 모습〉 .....	9
〈그림 8 첨자석의 유무에 따른 실험〉 .....	11
〈그림 9 첨자석의 모양〉 .....	12
〈그림 10 첨자석의 수평 실험〉 .....	13
〈그림 11 모서리 칸 있음〉 .....	14
〈그림 12 모서리 칸 없음〉 .....	14
〈그림 13 모서리 칸 있는 나무모형〉 .....	14
〈그림 14 모서리 칸 없는 나무 모형〉 .....	14
〈그림 15 석축 흔들림 실험1〉 .....	16
〈그림 16 석축 흔들림 실험 2〉 .....	16

## I. 탐구동기

1000년의 역사를 가진 불국사는 우리나라의 자랑스런 문화유산이다. 불국사는 토함산 자락에 터를 정하여 세워진 사찰로 웅장함을 자랑하고 있다. 몇 번이나 가 보았던 불국사는 우리나라의 자랑거리이며 대단하다는 느낌은 있었지만 건축에 대한 호기심은 느끼지 못했었는데, 책에서 불국사를 지을 때 요즘처럼 산을 깎아서 평지로 만들어 짓지 않고 석축을 쌓아 올리고 흙을 채워 넣어 불국사를 지었다는 내용을 보게 되었다. 왜 석축을 쌓아 불국사를 지었는지도 궁금했지만, 석축이 오랜 세월 동안 엄청난 양의 흙이 누르는 압력을 어떻게 견뎌 내었는지? 석축에 어떤 비밀이 숨어 있지 않을까? 궁금하여 선생님의 지도조언을 토대로 탐구해 보게 되었다.



<그림 1 석축 모형>

## II. 탐구내용

1. 불국사 극락전 남·서회랑 밑 석축에 대한 기초 탐구  
가. 석축을 쌓은 이유와 방법 및 규모 조사  
나. 석축의 구조 및 부위별 명칭 조사
2. 석축의 내부를 어떤 물질로 채웠을 때 더 견고할까?  
가. 석축의 내부를 어떤 물질로 채우면 더 견고할까?  
의문) 왜 흙을 채우면 더 견고할까?
3. 석축에 심석과 내부석축이 있으면 더 견고할까?  
가. 석축에 심석과 내부 석축이 있으면 더 견고할까?  
나. 서회랑 석축에 사용된 심석의 모양은 어떤 모양이 더 견고할까?  
다. 석축에 사용된 심석의 길이는 어느 정도가 좋을까?  
라. 석축을 쌓을 때 내부석축의 유무에 따른 견고성 탐구
4. 석축에 첨자석이 있으면 더 견고할까?  
가. 남회랑 첨자석의 역할에 대한 탐구  
나. 남회랑 첨자석의 안쪽에 묻힌 길이에 따른 견고성 탐구
5. 석축의 모서리 칸은 어떤 역할을 할까?  
가. 석축이 만나는 모서리 부분이 왜 한 칸 더 튀어 나와 있을까?  
나. 모서리 칸의 모양은 어떤 모양이 견고할까?
6. 자연환경의 변화에도 석축은 왜 잘 무너지지 않을까?  
가. 석축을 기울였을 때 견디는 정도 탐구  
나. 석축을 흔들었을 때 견디는 정도 탐구  
다. 석축을 위에서 내리 누를 때 견디는 정도 탐구

### Ⅲ. 탐구과정

#### 탐구내용 1. 불국사 극락전 남·서회랑 및 석축에 대한 기초탐구

#### 1. 불국사 극락전 남·서회랑 및 석축에 대한 기초탐구

##### 1) 탐구내용 및 방법

- 가) 석축을 쌓은 이유와 규모에 관한 조사
- 나) 석축의 구조 및 명칭에 관한 조사
- 다) 불국사 발굴 보고서, 불국사 현장 답사, 문화재연구소 방문 조사, 인터넷 활용

##### 2) 탐구결과

##### 가) 석축을 쌓은 이유

불국사는 토함산 기슭에 자리 잡고 있다.

토함산의 지반은 암석으로 되어 있는데

당시의 기술로는 암석을 깎아 내어 평지를 만드는 것 보다는 축대를 쌓고 거기에 흙을 넣어 절터를 닦는 것이 더 쉬웠고 편리했다. 그러나 토사가 누르는 압력은 엄청났을 것이니 축대를 쌓는데 공리를 많이 했을 것이다.

##### 나) 석축을 쌓은 방법과 모양에 관한 조사

- ① 극락전 주위 석축은 불국사 경내의 다른 석축들은 물론이고 전국적으로 어느 석축과도 유사함이 없는 특이한 구조로 축조되었는데, 남회랑 밑의 형태와 서회랑 밑의 모양이 또 다르다
- ② 남회랑 밑의 석축은 높이가 12.6척, 석축의 석주가 상하로 일직면하여 축조되었고 길이가 119.78척이다. 서회랑 밑의 석축은 15칸으로 총장 134.33척이다.
- ③ 이 석축의 서단으로 서회랑의 남쪽 맨 끝칸인 반칸이 남회랑 보다 튀어 나왔는데 만나는 모서리 부분이 반칸 더 튀어나와 있다.

##### 다) 석축의 구조에 관한 조사

- ① 지대석과 석주 초석이 묻혀 있고 초석 위에 1.2척각의 석주가 섰는데, 그 높이는 5.6척이고 이 석주 위에 장방형의 주두석이 얹힌다. 석주, 주두석, 침자석, 석주, 고맥이돌(갑석)의 순으로 쌓여 있다. 침자석의 뿌리가 6척 정도, 상단석주 주두석도 흑폐기 하여 6척정도 묻혀 있음.

- ② 서회랑 밑의 석축 구조는 석주초석위에 석주, 주두석, 심석 순으로 쌓았으며,



<그림 2 남회랑 석축 모습 >



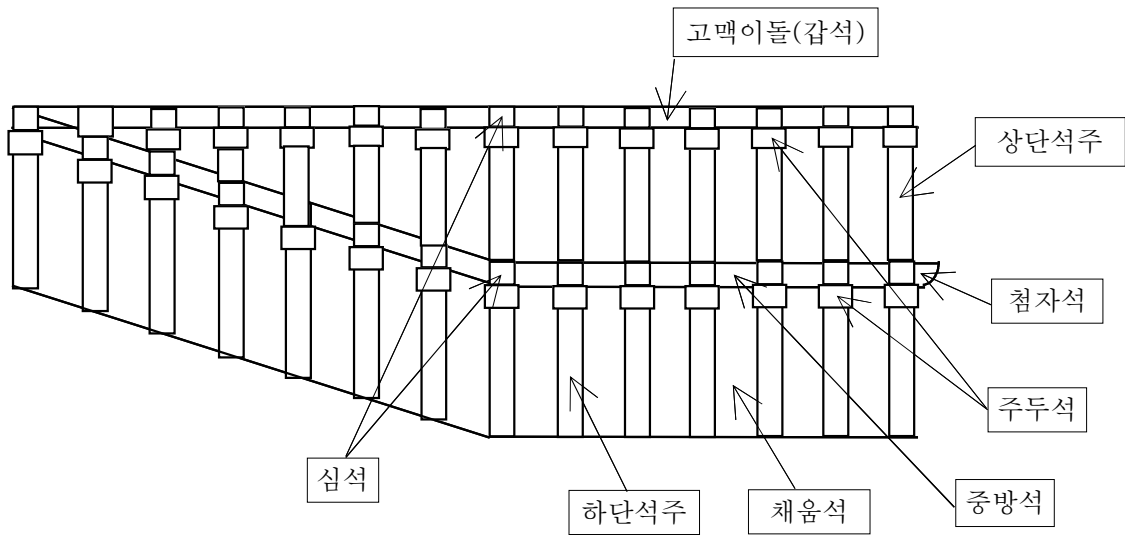
<그림 3 서회랑 석축 모습 >

심석은 6척정도 석책내부에 박아놓았고, 심석 사이를 중방석으로 연결함. 그 위에 상단석주, 갑석의 순으로 쌓았고, 공간은 자연석을 채웠다.

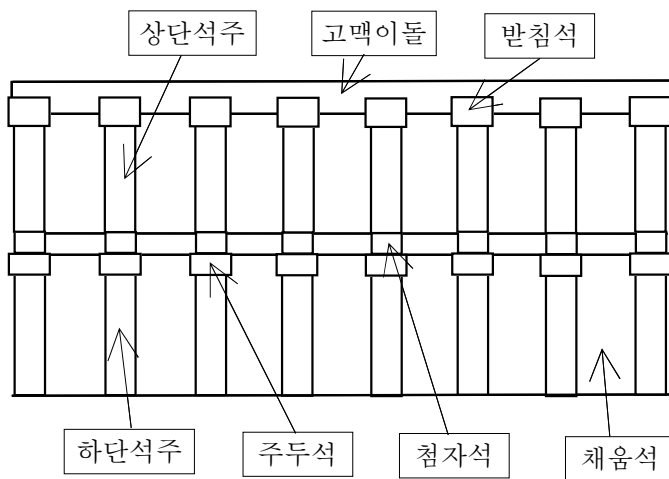
- ③ 내부 보조석축은 높이는 지반에서 2척 정도로 얇으나, 사괴석으로 아주 견고하게 축조하였으며 남쪽 석축에서 3척 들어갔고 서쪽 석축에서 7.5척 들어간 위치인데 남쪽의 길이가 6척 서쪽의 길이가 13.7척으로 되어 있다.

라) 석축의 이름에 관한 조사

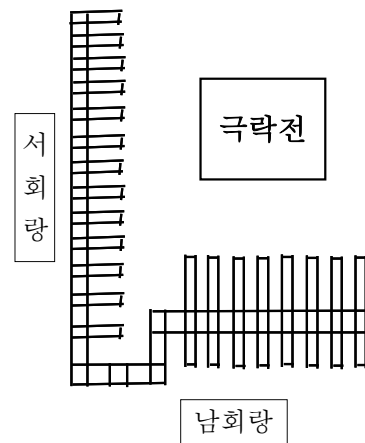
- ① 서회랑 앞에서 본 모양



- ② 남회랑 앞에서 본 모양



- ③ 석축 위에서 본 모양



3) 알게된 점

- 가) 불국사는 토함산 자락의 경사면에 축대를 쌓고 흙을 채우고 그 위에 사찰을 지었다.
- 나) 남회랑은 석주, 주두석, 심석, 석주, 고맥이돌 순으로 쌓았고, 서회랑은 석주, 주두석, 침자석, 석주, 받침석 순으로 쌓았다.
- 다) 석축 내부에 보조 석축을 쌓았다.
- 라) 남서회랑 석축이 만나는 모퉁이 부분이 반 칸 더 튀어 나오도록 쌓았다.

**탐구내용 2. 석축의 내부를 어떤 물질로 채웠을 때 더 견고할까?**

**1. 석축의 내부를 어떤 물질로 채우면 더 견고할까?**

**1) 탐구방법**

- 가) 실제 석축의 1/15로 축소하여 돌로 석축의 모형을 만든다.
- 나) 만든 모형에 흙, 모래, 자갈을 채우고 위에서 추를 이용하여 압력을 가한다.
- 다) 흙, 모래, 자갈을 채운 석축모형이 무게에 따라 견디는 정도를 측정한다.



<그림 4 흙으로 채워진 석축 모형>

**2) 탐구결과**

<표 1 내부 재료에 따라 견디는 정도>

내부재료 \ 무게(kg)	10	12	14	16	18	20
흙					무너지	지않음
모래			무너지			
자갈				무너지		

석축의 내부를, 자갈로 채웠을 때는 6kg의 무게를, 모래로 채웠을 때는 8kg의 무게를, 흙으로 채웠을 때는 10kg의 무게를 견디 내었다.

**3) 알게된 점**

석축의 내부를 모래나 자갈 보다 흙으로 채웠을 때 내리누르는 힘에 견디는 힘이 가장 강하였다.

**의문1) 왜 흙으로 채우면 더 견고할까?**

1) 탐구방법

- 가) 30°경사의 빗면에 흙, 모래, 자갈을 50mL 부어 흘러내리는 정도를 측정한다.
- 나) 200mL 우유팩에 넣고 다진 다음 뒤집어서 땅에 쏟아보고 응집된 상태확인
- 다) 수조 속에 심석을 묻어 두고 용수철저울로 당겨 빠져 나오는 힘을 측정한다.

2) 탐구결과

- 가) 흙이 14cm, 모래가 21cm, 자갈이 25cm 흘러내렸다
- 나) 자갈과 모래는 쏟는 즉시 무너졌고, 흙은 조금씩 무너지다 10분쯤에 다 무너졌다.

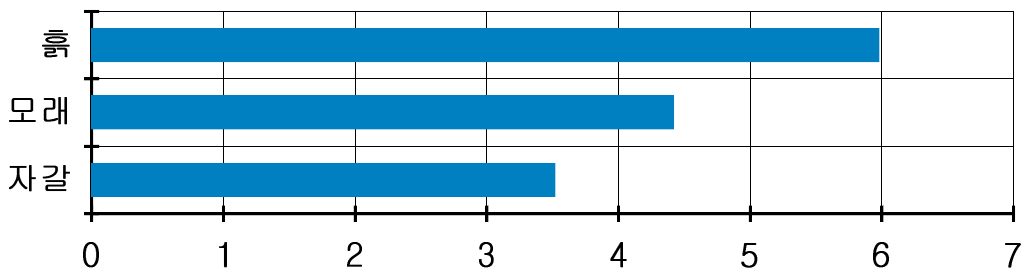


< 그림 5 흙, 모래, 자갈 흘러내림 >

다) < 표 2 내부 재료에 따른 심석의 견디는 정도 > 단위: kg

내부재료 \ 횟수	1	2	3	4	5	평균
흙	6.2	5.7	5.8	6.0	6.2	5.98
모래	4.3	4.2	4.4	4.4	4.8	4.42
자갈	3.6	3.2	3.1	3.6	4.1	3.52

내부재료에 따른 심석이 견디는 정도



3) 알게된 점

흙이 빗면에서 잘 미끄러지지 않았고, 응집력이 강하였으며, 심석을 붙잡고 있는



힘이 강하여 심석이 잘 빠져 나오지 않았다.

**탐구내용 3. 석축에 심석과 내부석축이 있으면 더 견고할까?**

**1. 서회랑 석축에 사용된 심석의 역할 탐구**

**1) 탐구방법**

- 가) 실제 석축의 1/15로 축소하여 돌로 석축의 모형을 만든다.
- 나) 만든 모형에 흙을 채우고 위에 2kg 짜리 추를 여러 개 올려 본다.
- 다) 모형에서 심석을 제거하고 같은 실험을 실시한다.

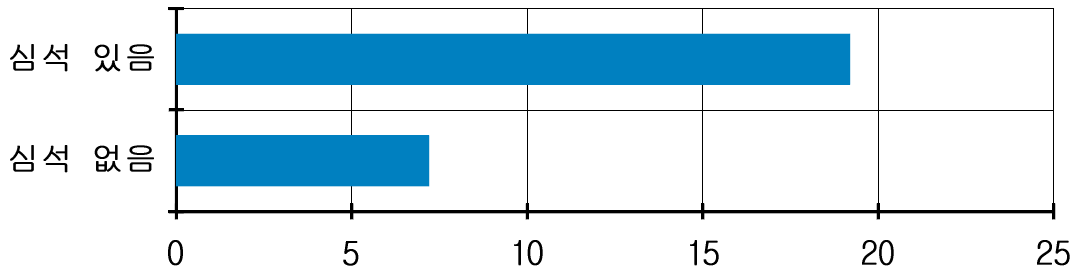


<그림 6 심석 모양>

**2) 탐구결과** <표 3 심석의 유무에 따른 석축이 견디는 정도> 단위:kg

회 모양	1	2	3	4	5	평균
심석 있음	20	20	18	20	18	19.20
심석 없음	6	8	6	6	10	7.20

심석의 유무에 따른 석축이 견디는 정도



**3) 알게된 점**

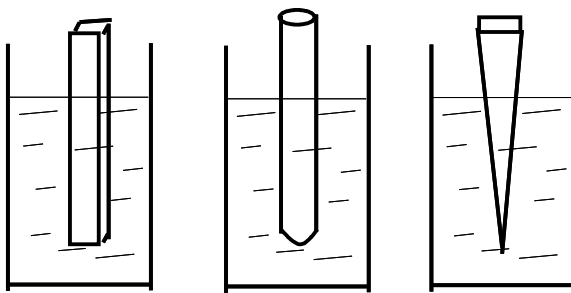
석축에서 심석이 있을 때가 위에서 누르는 힘에 견디는 정도가 훨씬 강했다.

심석이 내부에서 흙과 함께 물려 붙잡아 주기 때문이다.

## 2. 서회랑 석축에 사용된 심석의 모양은 어떤 모양이 더 견고할까?

### 1) 탐구방법

- 가) 심석의 모형을 사각모양, 둥근 모양, 뾰족한 모양으로 만든다.
- 나) 각 모형을 흙 속에 같은 깊이로 묻고 용수철저울로 당겨 본다.
- 다) 심석이 뽑힐 때의 힘의 크기를 비교한다.

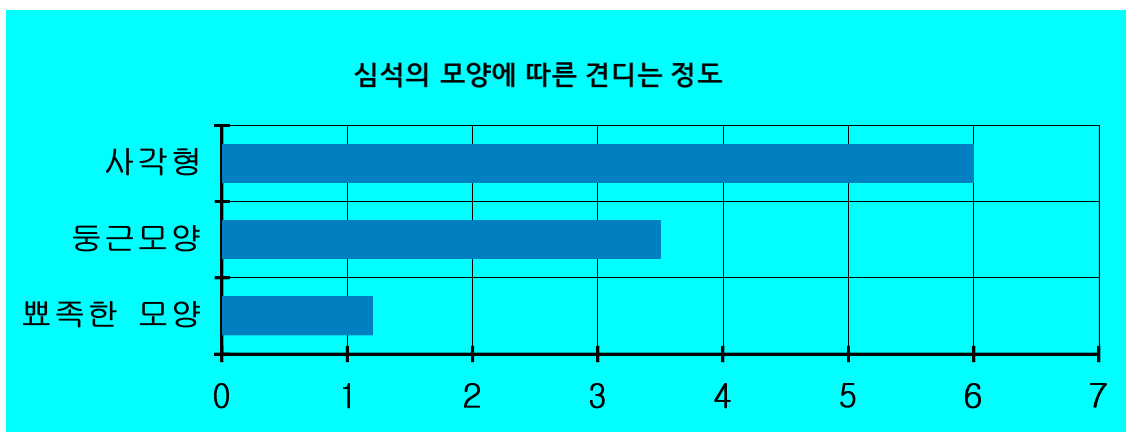


<그림 7 심석 실험 모습>

### 2) 탐구결과

<표 4. 심석의 모양에 따른 견디는 정도>

모양 \ 회	1	2	3	4	5	평균
사각형	6.4	5.2	5.6	6.1	6.3	5.92
둥근모양	3.6	3.8	4.2	3.7	3.9	3.84
뾰족한 모양	1.4	1.6	1.3	1.1	0.8	1.24



### 3) 알게된 점

심석은 모양이 뾰족한 것 보다 넓은 모양이 잘 빠져 나오지 않았으며, 석축 내부

에 박히는 면적이 넓을수록 잘 빠져 나오지 않았다.

### 3. 석축에 사용된 심석의 길이는 어느 정도가 좋을까?

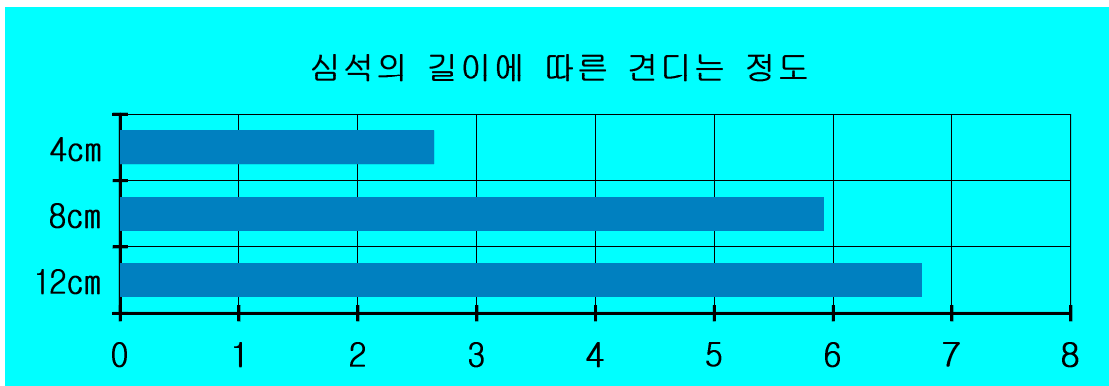
#### 1) 탐구방법

가) 나무로 심석의 모형을 길이 4, 8, 12cm로 만든다.

나) 각 모형을 흙 상자 속에 묻고 용수철저울로 당겨 본다.

#### 2) 탐구결과 <표 5. 심석의 길이에 따른 견디는 정도>

길이 \ 회	1	2	3	4	5	평균
4cm	2.2	3.1	2.6	2.5	2.8	2.64
8cm	6.4	5.2	5.6	6.1	6.3	5.92
12cm	8.2	6.4	6.5	6.0	6.6	6.74



#### 3) 알게된 점

석축의 내부에 심석이 깊숙이 박혀 있을수록 흙과 물리는 면이 많아지고, 그 만큼 힘을 받기 때문에 잘 빠져 나오지 않았다.

### 4. 석축을 쌓을 때 내부석축의 유무에 따른 견고성 탐구

#### 1) 탐구방법

가) 모형 석축을 쌓고, 내부에 작은 ㄱ 자형 석축을 쌓는다.

나) 흙을 채운 위에 판을 놓고 누르는 힘에 견디는 정도를 측정한다.

다) 내부 석축을 없애고 같은 방법으로 실험하여 비교한다.

#### 2) 탐구 결과 <표 6 내부 석축의 유무에 따른 견디는 정도>

구분 \ 무게(kg)	10	12	14	16	18
내부석축 있음	변화 없음	변화 없음	변화 없음	변화 없음	변화 없음
내부석축 없음	변화 없음	변화 없음	무너짐		

**3) 알기된 점**

석축에서 내부석축이 있는 모형이 내리 누르는 압력에 견디는 힘이 더 강하였고 안정적이었다. 이는 내부 석축이 1차적으로 압력을 완화하여 석축에 가해지는 힘을 줄여주었기 때문이다.

**탐구내용 4. 석축에 첨자석이 있으면 더 견고할까?**

**1. 남회랑 첨자석의 역할에 대한 탐구**

**1) 탐구방법**

- 가) 아크릴판으로 경사면을 만들고 남회랑 부분만 모형으로 석축을 만든다.
- 나) 만든 모형에 흙을 채우고 압력을 가하여 견디는 정도를 측정한다.
- 다) 모형에서 첨자석을 제거하고 같은 실험을 실시한다.



<그림 8 첨자석의 유무에 따른 실험>

**2) 탐구결과** <표 7 남회랑 첨자석의 유무에 따른 견디는 정도> 단위:kg

모양 \ 무게	6	8	10	12	14
첨자석있음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
첨자석없음	변화없음	무너짐			

**3) 알기된 점**

남회랑 석축은 경사면이어서 힘을 더 많이 받는데, 첨자석은 심석의 역할 뿐만 아니라 밖으로 뺀어 나온 첨자부분이 무게 중심을 잡아주어서 잘 넘어지지 않는다.



<그림 9 첨자석의 모양>

## 2. 남회랑 첨자석의 안쪽에 묻힌 길이에 따른 견고성 탐구

### 1) 탐구방법

- 가) 아크릴판으로 경사면을 만들고 남회랑 부분만 모형으로 석축을 만든다.
- 나) 첨자석의 땅속에 묻힌 부분의 길이를 전체 길이의 70%, 60%, 50%, 40%, 30% 로 하여 견디는 정도를 측정한다.

### 2) 탐구결과 <표 8 첨자석의 길이의 비에 따른 석축이 견디는 정도>

길이 \ 무게(kg)	2	4	6	8	10	12	14
70%	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
60%	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	무너짐
50%	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	무너짐		
40%	변화없음	변화없음	무너짐				
30%	변화없음	무너짐					

### 3) 알게된 점

남회랑 석축에서 첨자석은 땅속에 묻힌 부분이 튀어나온 부분 보다 길 때가 더 안정적이었으며, 튀어 나온 길이가 더 길 때는 잘 무너졌다.

## 의문) 왜 첨자석의 돌출부 보다 땅속에 박혀 있는 부분이 더 길 때 안정적일까?

### 1) 탐구방법

- 가) 첨자석의 길이의 비를 달리한 모형 석축을 나무로 만들고
- 나) 돌출된 첨자석 부분을 용수철로 당겨 수평을 이루도록 한다.
- 다) 길이의 비를 달리한 첨자석으로 실험하여 비교한다.

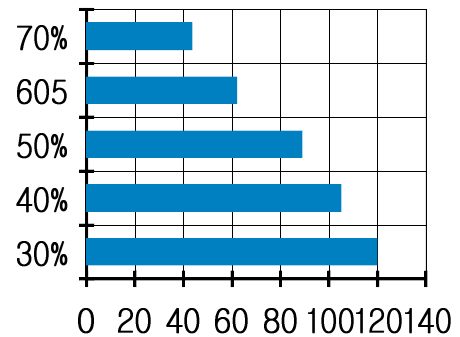


<그림 10 침자석의 수평 실험>

## 2) 탐구 결과

<표 9 침자석 길이의 비에 따른 수평에 드는 힘>

내부 길이	미는 힘(g)	침자석에 작용하는 힘(g)			
		1회	2회	3회	평균
70%	70	35	42	54	43.67
60%	70	56	68	62	62.00
50%	70	86	85	96	89.00
40%	70	105	108	102	105.00
30%	70	120	124	116	120.00



## 3) 알게된 점

침자석의 문힌 부분의 길이가 길수록 수평을 유지하는데 힘이 많이 들었다. 이는 석축 내부에서 밀어 내는 힘에 견디는 힘이 그만큼 강했다. 그러나 너무 길면 안으로 쏠리는 힘이 커진다.

내부에서 미는 힘에 견디면서 평형을 유지하는데 내부길이가 60% 정도였을 때가 가장 적당하였다.

### 탐구내용 5. 석축의 모서리 칸은 어떤 역할을 할까?

#### 1. 석축이 만나는 모서리 부분이 왜 한 칸 더 튀어 나와 있을까?

##### 가. 모서리 칸의 유무에 따른 견고성 탐구

##### 1) 탐구방법

가) 석축모형을 만들고 흙을 채우고 무게를 달리하여 압력을 가한다.

나) 모서리 부분이 없는 석축 모형에서 같은 실험을 한다.



<그림 11 모서리 칸 있음>



<그림 12 모서리 칸 없음>

**2) 탐구 결과** < 표 10 석축 모형 모서리 칸 유무에 따른 견디는 정도 >

구분 \ 무게(kg)	12	14	16	18	20
모서리칸 있음	변화 없음	변화 없음	약간 튀어나옴	많이 튀어나옴	서쪽이 무너짐
모서리칸 없음	변화 없음	많이 튀어나옴	서쪽이 무너짐	전체가 무너짐	

**3) 알게된 점**

남.서회랑이 만나는 모서리 부분이 한 칸 더 있는 모형이 압력에 더 잘 견디고 안정적이었다. 모서리 칸이 정사각기둥의 역할을 하여 튼튼한 버팀목 역할을 하였다.

**나. 석축 모형의 밀리는 정도 탐구**

**1) 탐구방법**

가) 합판으로 그림과 같이 만든다.

나) 용수철저울로 모서리 칸 부분을 안쪽에서 미는 대신 밖에서 당겨보고 끌려올 때의 힘을 측정한다.



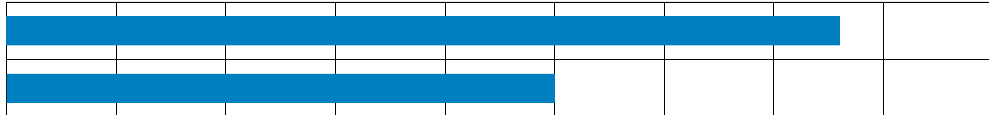
<그림 13 모서리 칸 있는 나무모형>



<그림 14 모서리 칸 없는 나무 모형>

2) 탐구 결과 < 표 11 나무모형 모서리 실험 >

구분 \ 무게(kg)	1	2	3	4	5	평균
모서리 칸 있는 것	360	380	400	380	380	380.00
모서리 칸 없는 것	240	260	250	260	240	250.00



3) 알게된 점

나무 모형은 전체가 한 면이라서 잘 넘어지지지는 않았으나, 모서리 칸이 있는 모형이 잘 당겨 오지 않았고 더 안정적이었다.

2. 모서리 칸의 모양은 어떤 모양이 견고할까?

1) 탐구방법

- 가) 나무로 그림과 같이 삼각형, 직사각형, 반원 모양의 모퉁이 석축을 만든다.
- 나) 각 모형에서 중심을 용수철저울로 당겨본다.
- 다) 모형이 끌려올 때의 힘을 측정한다.

2) 탐구 결과 < 표 12 모서리 모양에 따른 실험 >

모양 \ 무게(kg)	1	2	3	4	5	평균
삼각형	70	50	60	65	55	60.00
사각형	180	170	175	185	180	178.00
반 원	150	160	160	155	160	157.00

3) 알게된 점

모서리 부분의 모양은 끌려오는 데는 크게 차이가 없으나 사각형 모양이 조금 더 견고하였다.



**탐구내용 6. 자연환경의 변화에도 석축은 왜 잘 무너지지 않을까?**

**1. 석축을 기울였을 때 견디는 정도 탐구**

**1) 탐구방법**

- 가) 석축을 심석, 침자석 모퉁이 칸이 있는 모형과 없는 모형으로 쌓는다.
- 나) 석축 모형을 기울임 판에 올려 기울기를 크게 하면서 무너지는 정도를 본다.
- 다) 어느 석축이 기울기에 더 잘 견디는지 확인한다.

**2) 탐구 결과** < 표 13 석축이 기울기에 견디는 정도 >

기울임 각도(°)	6	8	10	12	14	16
모양 있는 것	무너지지 않음					무너짐
없는 것	무너짐	무너짐				

**3) 알게된 점**

석축에서 심석과 침자석, 모퉁이 칸이 있는 것이 없는 것 보다 기울기에 견디는 힘이 더 강하였다.

**2. 석축을 흔들었을 때 견디는 정도 탐구**

**1) 탐구방법**

- 가) 석축을 심석, 침자석 모퉁이 칸이 있는 모형과 없는 모형으로 쌓는다.
- 나) 석축 모형을 저, 중, 고속의 조절이 가능한 흔들림 판에 올려 흔들림을 크게 하여 본다.
- 다) 어느 석축이 흔들림에 더 잘 견디는지 확인한다.



<그림 15 석축 흔들림 실험1>



<그림 16 석축 흔들림 실험 2>

2) 탐구 결과 < 표 14 석축이 흔들림에 견디는 정도 >

모양 \ 흔들림 세기	저속	중속	고속
있는 것	무너지지 않음	무너지지 않음	21초에 무너짐
없는 것	무너지지 않음	14초에 무너짐	2초에 무너짐

3) 알게된 점

석축에서 심석과 첨자석, 모퉁이 칸이 있는 것이 없는 것보다 흔들림에 더 잘 견디었다.

3. 석축을 위에서 내리 누를 때 견디는 정도 탐구

1) 탐구방법

- 가) 석축을 심석, 첨자석 모퉁이 칸이 있는 모형과 없는 모형으로 쌓는다.
- 나) 석축 모형위에 추의 무게를 다르게 올려 본다.
- 다) 어느 석축이 무게에 더 잘 견디는지 확인한다.

2) 탐구 결과 < 표 15 석축이 무게에 견디는 정도 >

모양 \ 무게(kg)	10	12	14	16	18	20
있는 것					무너지지	않음
없는 것		무너짐				

3) 알게된 점

석축에서 심석과 첨자석, 모퉁이 칸이 있는 것이 누르는 힘에 더 잘 버티었다.

#### IV. 종합 결론

1. 극락전 주위 석축은 불국사의 다른 석축들은 물론이고 전국적으로 어느 석축과도 유사함이 없는 특이한 구조로 축조되었는데, 석축은 지대석, 석주, 주두석, 첨자석(심석), 석주, 고맥이돌(갑석)의 순으로 쌓여 있다. 첨자석(심석)은 땅속 깊이 묻혀 있다.
2. 심석은 네모난 모양이 가장 견고하였으며, 길이는 길수록 버티는 힘이 강하였고, 장방형의 심석을 많이 사용하였다.
3. 극락전 남서회랑 밑 석축의 내부에 있는 석축이 1차적으로 압력을 완화하여 석축에 가해지는 힘을 줄여주는 역할을 하여 잘 넘어지지 않게 하였다.
4. 첨자석은 밖으로 튀어 나온 부분이 있어 균형을 잡아주는데 도움을 주고 있으며, 내부의 길이가 60%정도 일 때 가장 안정적이었다. 석축에 가해지는 토사의 압력을 내부첨자석이 늘리면서 상단부의 석축을 안쪽으로 당겨주어 더 견고하게 해주었다.
5. 극락전 남서회랑 밑 석축이 만나는 모서리 부분이 한 칸 더 나와 있어, 이것이 직사각형 기둥의 역할을 하여 엄청난 토사의 압력을 견디는데 큰 버팀목 역할을 하였다.
6. 극락전 남서회랑 밑 석축은 첨자석의 사용, 모퉁이 칸, 내부석축 등의 과학적인 원리를 활용한 조상들의 슬기가 모여 오랫동안 무너지지 않고 잘 버텼다,