

제44회 전국 과학 전람회

물리(초·학생)

불국사 청운교는 왜 이중아치모양일까?

경상북도 경주시 안강제일초등학교

제6학년 손 동 찬

지도교사 이 재 경

목 차

I. 탐구의 동기 및 목적.....	1
II. 탐구의 내용.....	1
III. 탐구의 방법 및 결과.....	2
1. 청운교 터널의 구조 조사	2
1-1. 청운교 터널의 부위별 명칭, 모양과 크기	2
1-2. 천정돌이 연결되어 있는 모양	4
2. 청운교 다리의 힘은 어떻게 작용할까?	5
2-1. 스티로폼이 휘어질 때 모양조사	6
2-2. 아치모양일 때 힘은 어떻게 작용할까?	7
2-3. 다리 터널의 반원 모양일 때 좋은점	8
2-4. 천정돌을 누르는 힘이 받침대에 주는 영향	10
의문: 천장중심돌을 누르는 힘이 받침돌에 주는 영향	13
3. 청운교는 왜 이중 아치모양으로 되어 있을까?	15
3-1. 천장돌에 힘을 주었을때의 아치모양의 변화	15
3-2. 천정덮개돌은 어떤 역할	17
의문: 천장 덮개 중심돌이 있을 때 받침돌에 주는 영향	17
3-3. 청정 덮개 중심돌은 왜  모양일까?	20
의문 : 천장 덮개 중심돌이  모양일 때 받침돌에 작용하는 힘	22
IV. 종합 결론.....	23

I. 탐구 동기 및 목적

지난 가을 소풍은 불국사로 갔다. 정문으로 들어가기 위해서는 청운교를 건너야 했다. 그런데 다리 터널의 천장은 육면체 모양으로 다듬은 돌을 서로 끼워 반원 모양을 하고 있어 빠질까 불안했지만 참 신기하였다. 그래서 반원 모양을 한 구조를 조사하여 어떤 역할을 하는지 탐구해 보았다.

II. 탐구 내용

1. 청운교 터널의 구조 조사

- 1-1. 청운교 터널의 부위별 명칭, 모양과 크기
- 1-2. 천정돌이 연결되어 있는 모양

2. 청운교 다리의 힘은 어떻게 작용할까?

- 2-1. 스티로폼이 휘어질 때 모양조사
- 2-2. 아치모양일 때 힘은 어떻게 작용할까?
- 2-3. 다리 터널이 반원모양일 때 좋은점
- 2-4. 천정돌을 누르는 힘이 받침돌에 주는 영향
의문 : 천장중심돌을 누르는 힘이 천장돌에 작용하는 힘

3. 청운교는 왜 이중 아치모양으로 되어 있나?

- 3-1. 천장돌에 힘을 주었을때의 아치모양의 변화
- 3-2. 천장덧개돌의 역할
의문 : 천장 덧개돌이 있을 때 받침돌에 주는 영향

3-3. 천장덮개 중심돌은 왜△모양 일까?

의문 : 천장덮개 중심돌이△모양일 때 받침돌에 작용하는 힘

III. 연구의 방법 및 결과

1. 청운교 터널의 구조 조사

1 - 1. 청운교 터널의 부위별 명칭, 모양과 크기

가. 방법

- ① 부위별 명칭을 문화재 관리소에 알아보았으나 정해놓은 명칭이 없어 정하였다.
- ② 크기는 자를 이용하여 현장에서 측정하였다.

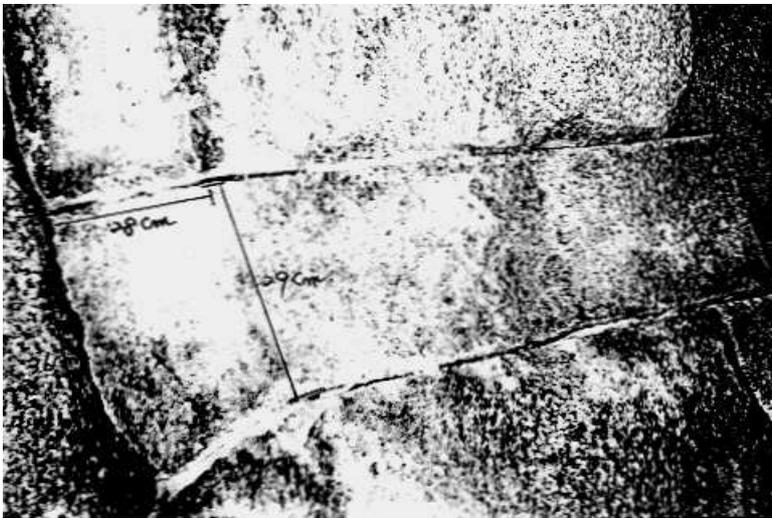
나. 결과

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 터널의 너비 2. 터널의 길이 3. 터널의 높이 4. 천정높이 5. 기둥돌 6. 기둥머릿돌 7. 천정받침돌 8. 천정돌 9. 천정중심돌 10. 기둥돌높이 11. 기둥머릿돌의 높이 12. 천정덮개돌 13. 천정덮개 중심돌
---	---

<도> 청운교의 부위별 명칭

<표> 터널의 부위별 크기

부 위	크 기	부 위	크 기
터널의 너비	236cm	기둥돌의 높이	168cm
터널의 길이	574cm	기둥 머릿돌 높이	22cm
터널의 높이	308cm	터널 입구의 넓이	6.67cm
천정의 높이	118cm		

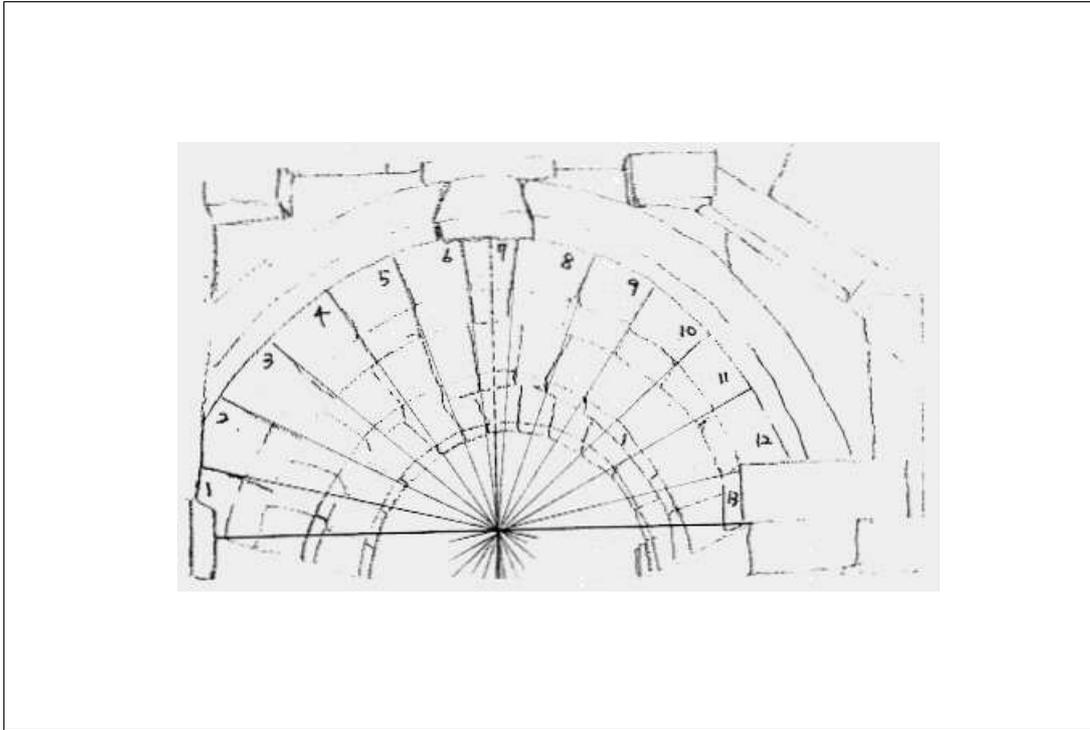


다, 알게 된 점

- ① 청운교 터널의 입구넓이는 6.67㎡이며, 터널의 길이는 574cm인 이중 아치모양이다.
- ② 1아치는 천정돌 12개와, 천정중심돌 1개가 연결되어 지름 236cm 반원모양이다.
- ③ 2아치는 천정덧개돌 2개와 ▭ 모양의 천정덧개 중심돌이 천정돌(1아치)을 감싸고 있다.

1-2. 천정돌이 연결되어 있는 모양

가. 방법



<도> 천정돌이 연결되어 있는 모양

- ① 그림과 같이 천정돌 사이의 틈선을 연장하였다.
- ② 반원 밑선과의 만나는 각도를 측정하였다.

나. 결과

< 표 > 천정돌별 반원 밀선과 만나는 각도

천정돌번호	만나는 각도	천정돌 번호	만나는 각도
1	0도	13	0도
2	14도	12	13도
3	28도	11	28도
4	42도	10	42도
5	57도	9	56도
6	72도	8	71도

다. 알게된점

- ① 천정돌들은 반원밀선의 중앙을 향하고 있다
- ② 천장중심돌과 반원밀선의 중앙을 잇는 선을 중심으로 왼쪽과 오른쪽 각각의 천장돌은 선대칭 위치에 있다.

2. 청운교 다리의 힘은 어떻게 작용할까?

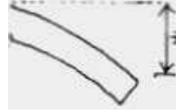
2-1. 스티로폼이 휘어질 때 모양 조사

가. 방법



- ① 그림과 같이 스티로폼(30*3*1.1cm)의 한쪽 면을 고정시키고 다른 면을 당길 수 있게 만들었다.
- ② 당기는 힘(용수철이 늘어난 길이)에 따라 스티로폼이 굽는 모양을 조사하였다.

나. 결과

용수철이 늘어난 길이	0mm	5mm	10mm	20mm
스티로폼이 굽는 모양				

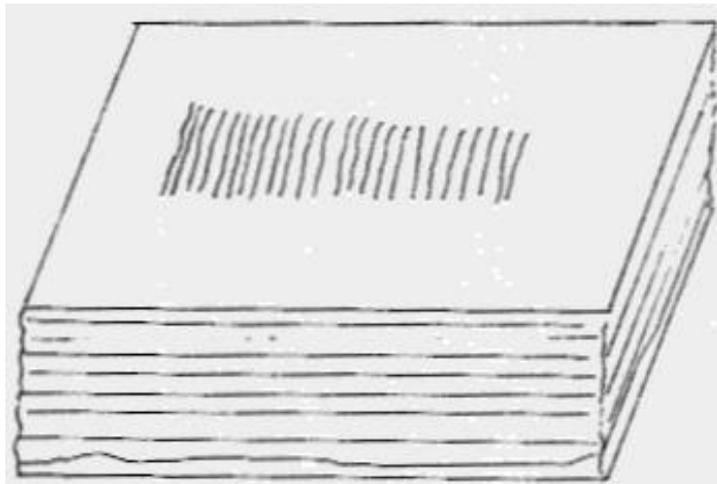
다. 알게된 점

스티로폼의 한쪽면에 힘을 주면 바깥면은 휘어지면서 길이가 늘어나고, 안쪽면은 쭈굴 쭈굴해 지면서 길이가 줄어 든다.

가정 : 다리가 아치모양 일 때
위쪽면은 늘어나게 하는 힘, 아래쪽면은 압축되는 힘, 중간 부분을 힘을 안 받는 부분이 있을 것이다.

2-2. 아치모양일 때 힘은 어떻게 작용할까?

가. 방법

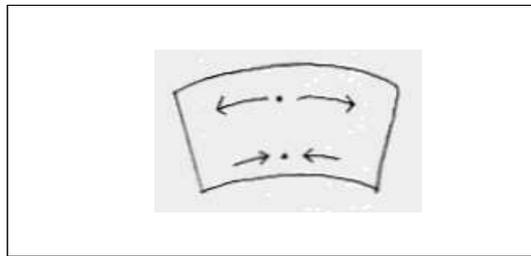


- ① 그림과 같이 각각의 고무찰흙의 가운데 2mm간격으로 3cm의 선을 그었다.
- ② 고무찰흙을 10개를 겹쳐서 양쪽에서 힘을 주어 아치모양을 만들었다
- ③ 고무찰흙의 위치별 변화한 길이를 조사하였다.

나. 결과

고무찰흙의 위치	첫번째(윗부분)	다섯번째	10번째 (아랫부분)
변화된 길이	3.5cm	3cm	2.8cm

다. 알게된 점

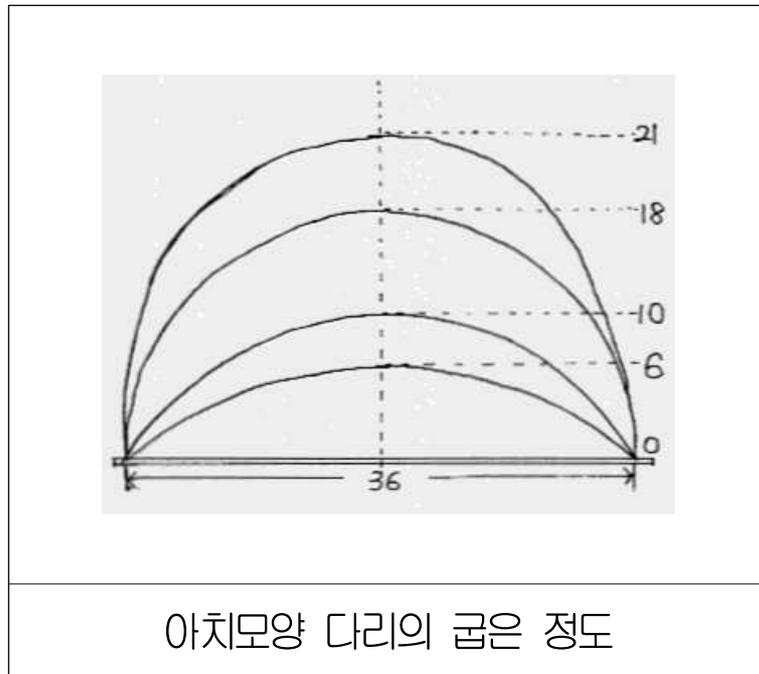


다리가 아치모양일 때 윗부분은 양쪽으로 당기는 힘(인장력)이 작용하고 아랫부분은 미는 힘(압축력)이 작용한다.

2-3. 다리의 터널이 반원모양일 때 좋은점

가. 방법

단위cm



- ① 아치모양 다리의 굽은 정도에 따라 비교하였다.
- ② 그림과 같이 굽은정도는 36cm다리의 중심에서 0cm, 6cm, 18cm, 21cm, 로 하였다.
- ③ 다리의 가운데에 200g, 500g, 1kg, 3kg, 5kg 힘을 주었을 때 다리가 내려가고, 파손되는 힘을 조사하였다.

〈표〉 누르는 힘에 따른 다리의 변화

단위mm

〈표〉 누르는 힘에 따른 다리의 변화

단위mm

다리의 굽은정도	누르는 힘				
	200g	500g	1kg	3kg	5kg
21cm	1	2	6	파손	
18cm	1	2	4	6	파손
6cm	0	1	2	파손	
0cm	10	파손			

다. 알게된 점

- ① 아치모양일 때 위에서 힘을 가하면 양끝은 벌어지려고 한다.
이것을 고정시키면 큰힘을 얻을 수 있다.
- ② 다리가 반원아치 모양일 때 위에서 누르는 힘에 가장 잘 견딘다.

2-4. 천장돌을 누르는 힘이 받침돌에 주는 영향

가. 방법



누르는 위치에 따라 받침점에 작용하는 힘

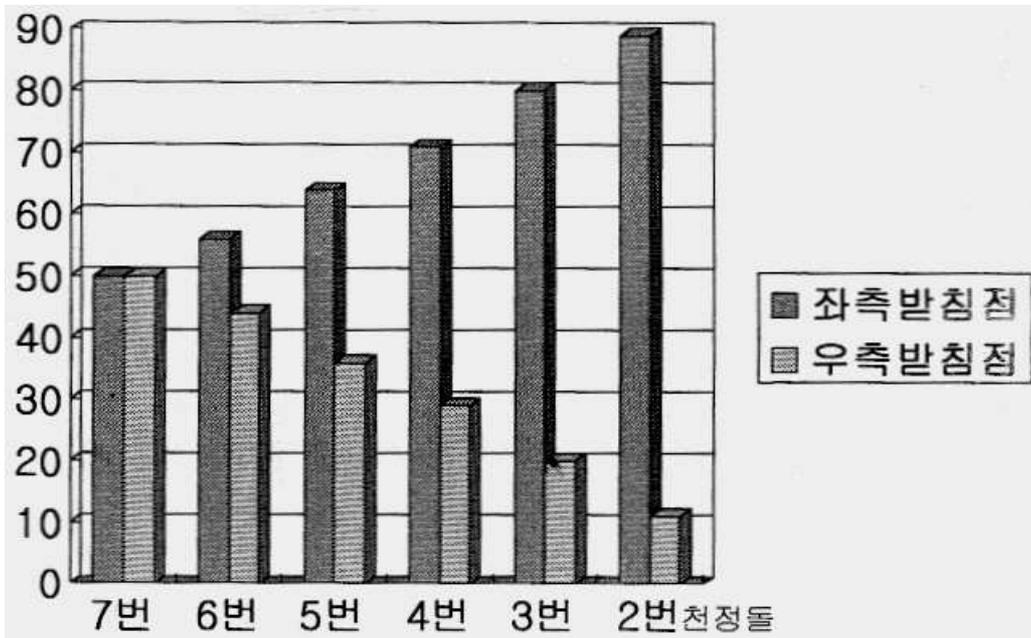
- ① 실물의 1/5 축소된 다리의 모형을 만들었다.(무게 7kg)
- ② 양쪽 다리 받침돌에 작용하는 힘을 조사하기 위해 저울을 설치하였다.
- ③ 1.4kg의 물체를 천장돌위에 놓았을 때 양쪽 다리의 받침점에 작용하는 힘을 조사하였다.

나. 결과

<표> 천정돌별 받침돌에 작용하는 힘

천장돌 위치(7번돌 기준) 작용하는힘	7번 천정돌	6번 (6.0cm)	5번 (12.8)	4번 (20.4)	3번 (28.0)	2번 (36.6)
좌측 받침돌 (%)	700g (50)	790g (59)	900g (64)	1000g (71)	1120g (80)	1250g (89)
우측 받침돌 (%)	700g (50)	610g (44)	500g (36)	400g (29)	280g (20)	150g (11)

※ 1.4kg중의 힘을 천장돌에 주었을때



다. 알게된 점

- ① 다리의 중앙을 누르는 힘은 양쪽 받침돌로 작용하는 힘이 같다.
- ② 양쪽 받침돌에 작용하는 힘은 다리의 중앙에서 떨어진 거리에 따라 일정하다. (중앙에서 1cm떨어질 때 마다 15g힘이 증,감)
- ③ 다리를 누르는 힘은 양쪽 받침점으로 작용한다.

의문 : 천장돌을 누르는 힘이 천장돌에 작용하는 힘

가. 방법



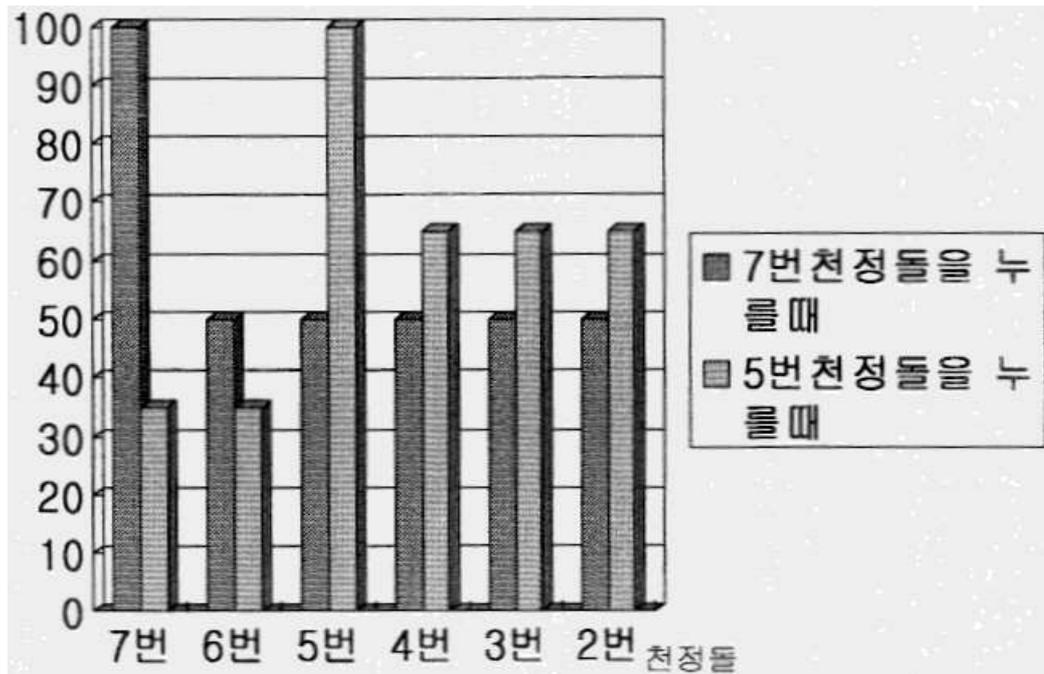
① 천정중심돌(7번돌), 5번천정돌에 2kg의 추를 걸었다.

② 다른 천장돌에 전달되는 힘을 저울로 조사하였다.

나. 결과

<표> 천정돌을 누르는 힘이 다른 천정돌에 작용하는 힘

천장돌 누르는 위치	7번 천정돌	6번 천정돌	5번 천정돌	4번 천정돌	3번 천정돌	2번 천정돌
7번 천정돌	2kg (100%)	1kg (50)	1kg (50)	1kg (50)	1kg (50)	1kg (50)
5번 천정돌	0.7kg (35%)	0.7kg (35%)	2kg (100%)	1.3kg (65%)	1.3kg (65%)	1.3kg (65%)



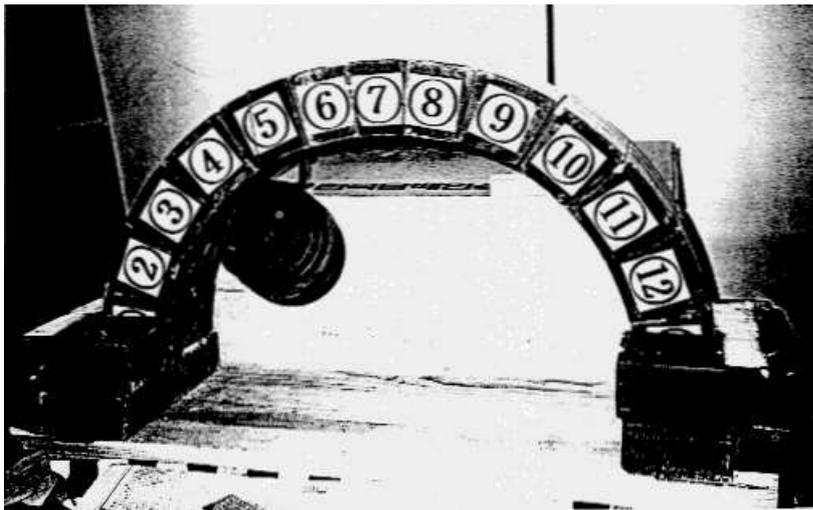
다. 알게 된 점

- ① 천정돌을 누르는 힘은 각 천장돌을 거치면서 이동한다.
- ② 천정돌을 누르는 위치에 따라 왼쪽천정돌과 오른쪽천정돌이 받는 힘의 크기는 일정하다.
- ③ 천정돌을 누르는 곳에서 왼쪽 천정돌들이 받는 힘의 크기는 서로 같고, 오른쪽 천정돌들이 받는 힘의 크기도 같다

3. 청운교는 왜 이중 아치모양일까?

3-1. 천장돌에 힘을 주었을 때의 아치의 모양변화

가. 방법



천장돌을 누르는 힘이 다른 천장돌의 높이 변화 조사

- ① 천정돌을 누르는 힘이 3kg일 때 다른 천정돌의 높이 변화를 조사하였다.
- ② 천정돌을 누르는 곳은 7번, 5번, 4번천정돌로 하였다.
- ③ 처음 높이에서 변화된 거리를 조사하였다.

나. 결과

<표> 천정돌에 누르는 힘이 다른 천정돌의 높이 변화

단위 mm

천정돌 누르는 위치	10번 천정돌	9번 천정돌	8번 천정돌	7번 천정돌	6번 천정돌	5번 천정돌	4번 천정돌
7번 천정돌	1	1	1	0	1	1	1
5번천정돌	2	3	2	1	-1	-1	-1
4번 천정돌	1	2	2	0	-1	-1	-1

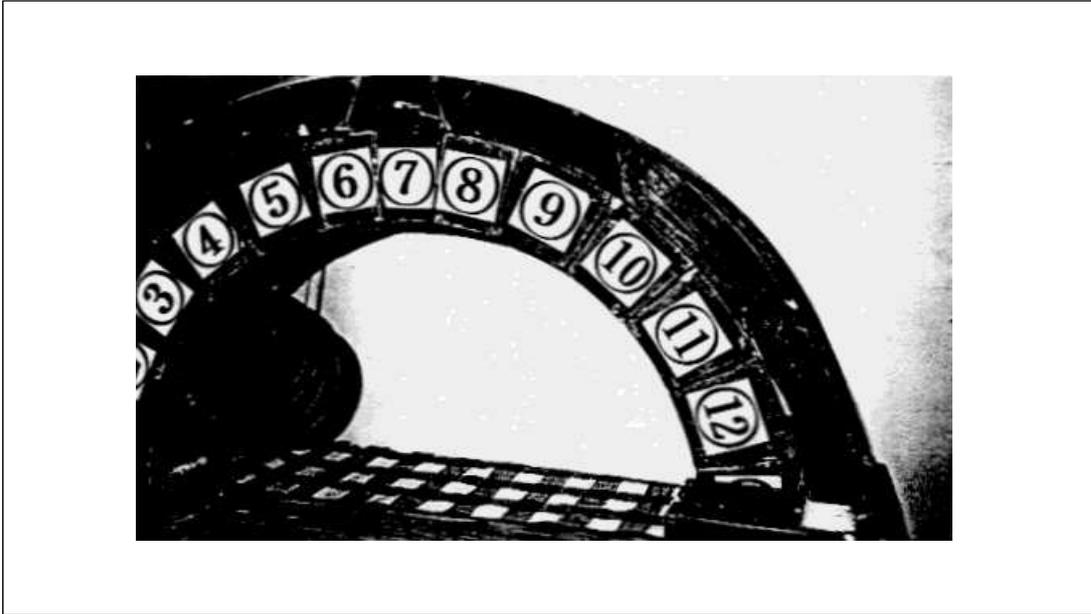
※ 천장돌을 누르는 힘이 3kg일때

다. 알게된 점

- ① 천정돌은 힘을 받으면 주변 천정돌의 높이에 영향을 준다.
- ② 천정중심돌은 주변 천정돌을 떠오르게 한다.
- ③ 천정돌이 힘을 받으면 밀리거나, 다른 천정돌을 밀다.

3-2. 천장 덮개돌의 역할

가. 방법



- ① 천장돌을 누르는 힘이 3kg일 때 다른 천장돌의 높이 변화를 조사하였다.
- ② 천정돌의 모양은 7번, 5번, 천장돌로 하였다.
- ③ 처음 높이에서 변화된 거리를 조사하였다.

나. 결과

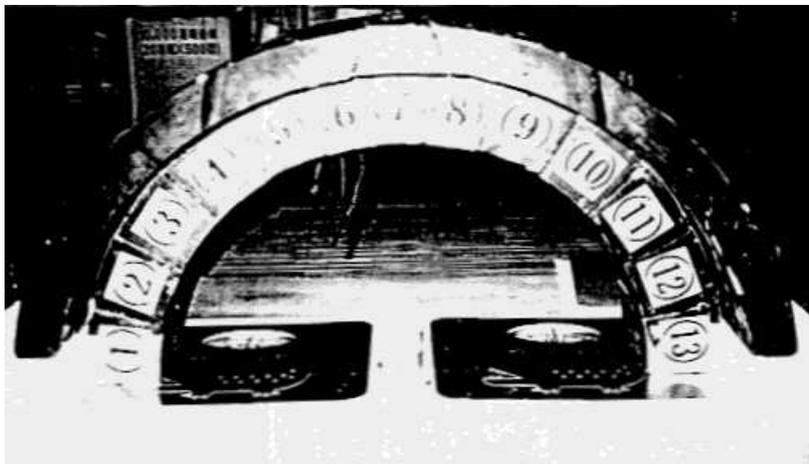
천정돌 누르는 위치	10번 천정돌	9번 천정돌	8번 천정돌	7번 천정돌	6번 천정돌	5번 천정돌	4번 천정돌
7번 천정돌	0	0	0	0	0	0	0
5번천정돌	0	0	0	0	0	0	0
4번 천정돌	0	0	0	0	0	0	0

다. 알게된 점

천장덮개돌은 천장돌이 밀리고 내려가거나 떠오르는 것을 막아준다.

의문 : 천장덮개돌이 있을 때 받침돌에 주는 영향

가. 방법



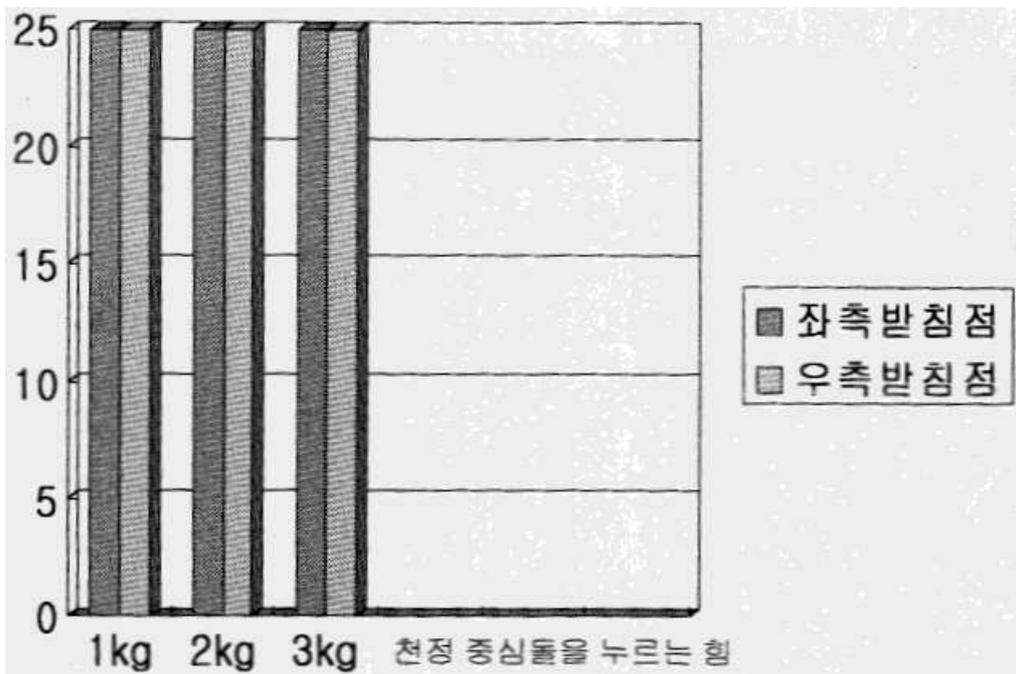
천장 덮개돌이 있을 때 받침돌에 주는 영향 조사

- ① 청정중심돌을 누르는 힘이 2kg, 3kg일 때 양쪽 받침돌에 작용하는 힘의 크기를 조사하였다.
- ② 양쪽 받침돌 밑에 저울을 설치하여 힘의 크기를 조사하였다.

나. 결과

<표> 천장덧개돌이 있을 때 받침돌에 작용하는 힘

천장중심돌을 누르는 힘 / 작용하는 힘	1kg	2kg	3kg
좌측 받침점 (%)	250g (25)	500g (25)	750g (25)
우측 받침점 (%)	250g (25)	500g (25)	750g (25)

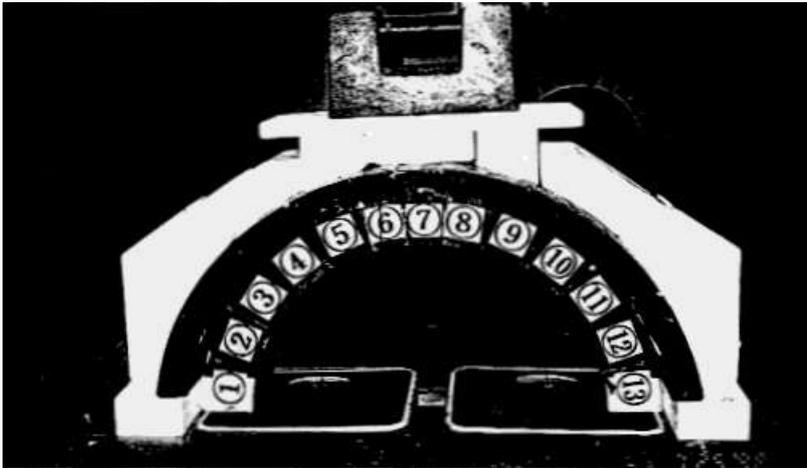


다. 알게된 점

천장덮개돌이 있으면 천장받침돌이 받는 힘은 50% 줄어든다.

3-3. 청운교의 천장 덮개 중심돌은 왜 \triangle 모양 일까?

가. 방법



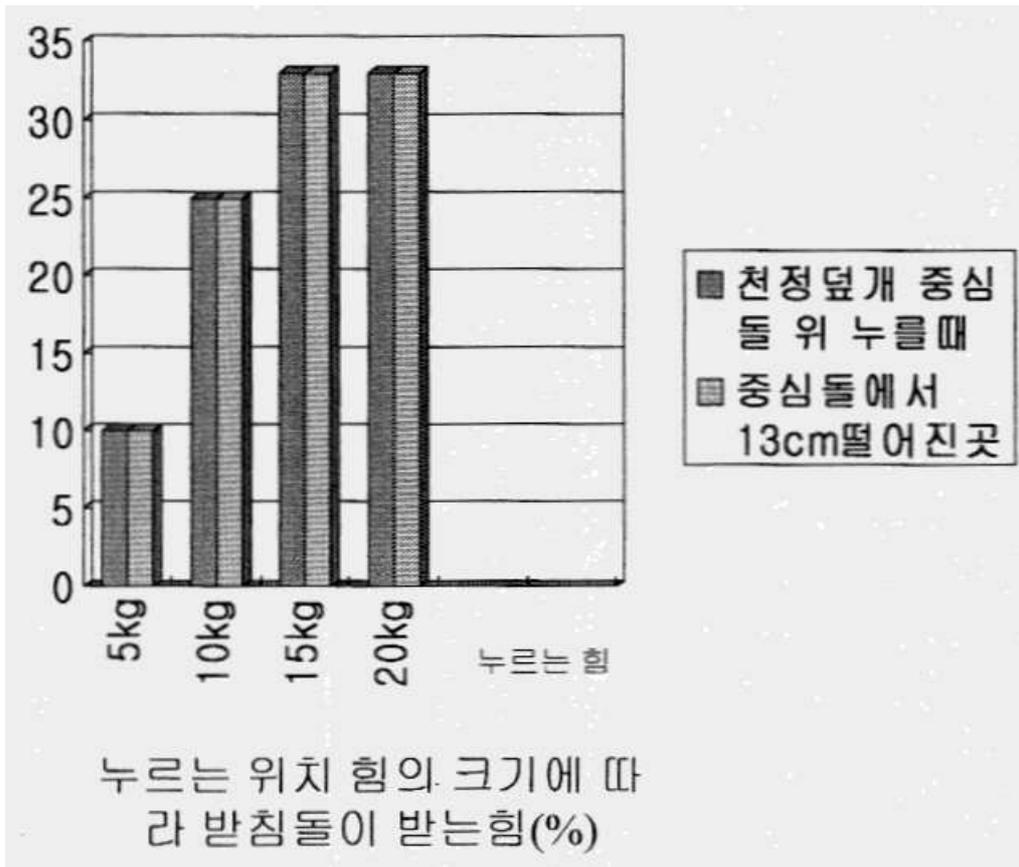
천장 덮개 중심돌이 \triangle 모양일 때 받침돌에 작용하는 힘

- ① 그림과 같이 실물의 1/5축소 모형을 만들었다.
- ② 천장덮개 중심돌 위를 기준으로 좌측 13cm, 우측 13cm떨어 지곳에 물체를 놓았다.
- ③ 누르는 물체의 무게가 5kg, 10kg, 15kg, 20kg일 때 양쪽 천장받침돌에 작용한 힘을 저울로 측정하였다.

나. 결과

<표> 누르는 위치, 힘의 크기에 따라 청정 받침돌이 받는 힘

누르는 힘 \ 누르는 위치	5kg	10kg	15kg	20kg
천장덮개 중심돌 위(기준)	0.5kg (10%)	2.5kg (25%)	5kg (33%)	6.7kg (33%)
13cm떨어진곳	0.5kg (10%)	2.5kg (25%)	5kg (33%)	6.7kg (33%)

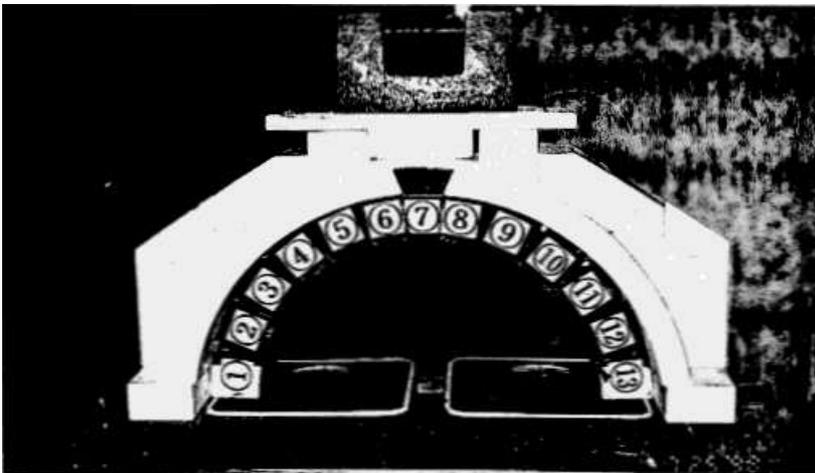


다. 알게된 점

- ① 천장 덮개 중심돌의 모양이 \triangle 일때는 다리 위를 누르는 힘의 1/3정도 천장 받침돌로 보낸다.
- ② 천장 덮개 중심돌의 모양이 \square 일때는 다리 위에서 누르는 힘을 분산시켜 다리가 잘 견디도록 한다.

의문 : 천장뿔개 중심돌이□모양 일 때 받침돌에 작용하는 힘

가. 방법



천장 뿔개 중심돌이□ 모양일 때 천장 받침돌에 작용하는 힘 조사

- ① 그림과 같이 실험의 1/5 축소 모형을 만들었다.
- ② 천장뿔개 중심돌 위를 기준으로 좌측 13cm, 우측 13cm떨어진 곳에 물체를 올려 놓았다.
- ③ 물체의 무게가 5kg, 10kg, 20kg일 때 양쪽 천장 받침돌에 작용한 힘을 저울로 측정하였다.

나. 결과

<표> 누르는 위치, 힘의 크기에 따라 천장 받침돌이 받는 힘

누르는 힘 누르는 위치	5kg	10kg	15kg	20kg
천장덮개 중심돌 위(기준)	0kg	0kg	0kg	0kg
13cm떨어진곳	0kg	0kg	0kg	0kg

다. 알게된 점

- ① 다리 위에서 누르는 힘을 천장덮개 돌이 받고 있다.
- ② 다리위에서 누르는 힘을 분산시키지 못해 다리가 튼튼하지 못함.

IV. 종합결론

1. 청운교 천장 터널은 천정돌 12개와 천장 중심돌 1개가 연결되어 지름 236cm 반원 모양이다.
2. 천정돌의 윗면과 아랫면의 길이의 비는 6 : 5정도가 되며 천장돌 사이의 틈이 없다.
3. 천장 덮개돌 2개와 \square 모양의 천장 덮개 중심돌이 천정돌을 아치모양으로 감싸고 있다.
4. 12개의 천정돌은 천정중심돌과 반원 밑선의 중앙을 잇는선을 중심으로 좌, 우선대칭 위치 있어 균형있게 보인다.
5. 천정돌은 반원 밑선의 중앙을 향하고 있어, 다리터널의 입구에서 터널의 모양과 아름다움을 잘 볼 수 있다.
6. 청운교는 아치모양이기 때문에 위에서 누르는 압축력에 견디는 힘이 좋다.
7. 다리를 누르는 힘은 천정돌로 연결되어 양쪽 다리 받침돌로 작용한다.
8. 양쪽 받침돌로 작용하는 힘은 아치모양의 중앙에 떨어진거리에 따라 서로 반비례한다.

9. 천장 덮개돌은 천정돌이 밀리거나, 떠오르고 내려가는 것을 막아준다. (받침돌을 더욱 안정되게하고, 압축력을 좋게함)
10. 천장 덮개 중심돌이 모양을 하고 있어 다리위에서 누르는 힘을 2중 아치로 분산 시켜 무거운 힘에도 견디는 힘을 좋게 하였다.