

작품번호
1106

## 제48회 전국과학전람회

<p><b>석굴암 감잡이돌의 신비에 관한 탐구</b></p>
---------------------------------------

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

2002. 8 .



시·도	학 교 (소 속)	학 년 (직 위)	성 명
경상북도	산대초등학교	6학년	정 용 우 오 소 현
지도교사	산대초등학교	교사	최 상 원

## < 차 례 >

I. 연구 동기 및 목적 .....	1
II. 연구 문제 .....	1
III. 연구 방법 및 결과 .....	1
1. 석굴암의 구조 조사 .....	1
2. 기단과 감잡이돌에 대한 조사 .....	4
3. 감잡이돌이 있으면 더 잘 쌓을 수 있을까? .....	7
4. 감잡이 돌은 돔에서 어떤 역할을 할까? .....	9
가. 옆에서 미는 힘에 견디는 정도 조사 .....	9
나. 감잡이돌의 바깥쪽이 더 클 때 버티는 힘 조사 .....	10
다. 감잡이돌 밖은 왜 자갈과 흙으로 채웠을까? .....	13
라. 기단과 감잡이돌 밖의 흙은 어떤 역할을 했을까? .....	17
5. 층에 따라 감잡이돌이 왜 다를까? .....	18
가. 아래쪽의 감잡이돌이 더 긴 까닭은 무엇일까? .....	18
나. 3층에서 위로 갈수록 감잡이돌의 각도가 왜 작아질까? .....	20
다. 천개석 밑의 감잡이돌은 왜 꺾이게 만들었을까? .....	21
IV. 종합 결론 .....	23

## I. 연구 동기 및 목적

선생님과 함께 신라시대 건축물 석굴암을 공부하였다. 선생님께서는 석굴암은 신라 시대에 축조된 건축물이지만 아직도 무너지지 않고 모양이 잘 보존되고 있다고 하셨다. 그렇게 건축한지 오래된 석굴암이 그 모습을 유지하는 것은 석굴암의 특별한 구조 때문이라고 하셨다. 다른 건축물에서 볼 수 없는 감잡이돌이 박혀 있어 잘 무너지지 않는다는 이야기를 듣고 신기하여 자세히 감잡이돌에 대해서 탐구해 보기로 하였다.

## II. 연구 문제

1. 석굴암의 구조 조사
2. 기단과 감잡이돌에 대한 조사
3. 감잡이돌이 있으면 더 잘 쌓을 수 있을까?
4. 감잡이돌은 어떤 역할을 할까?
5. 층에 따라 감잡이돌이 왜 다를까?

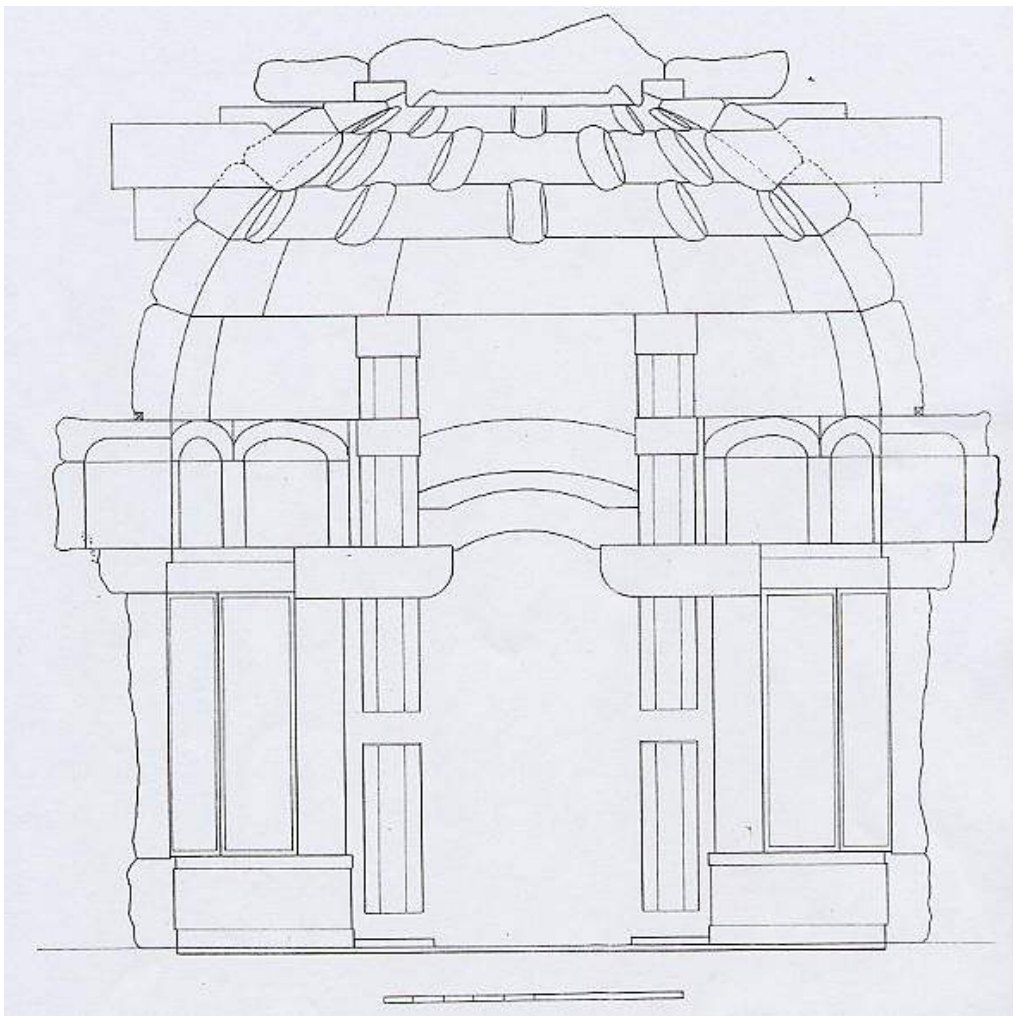
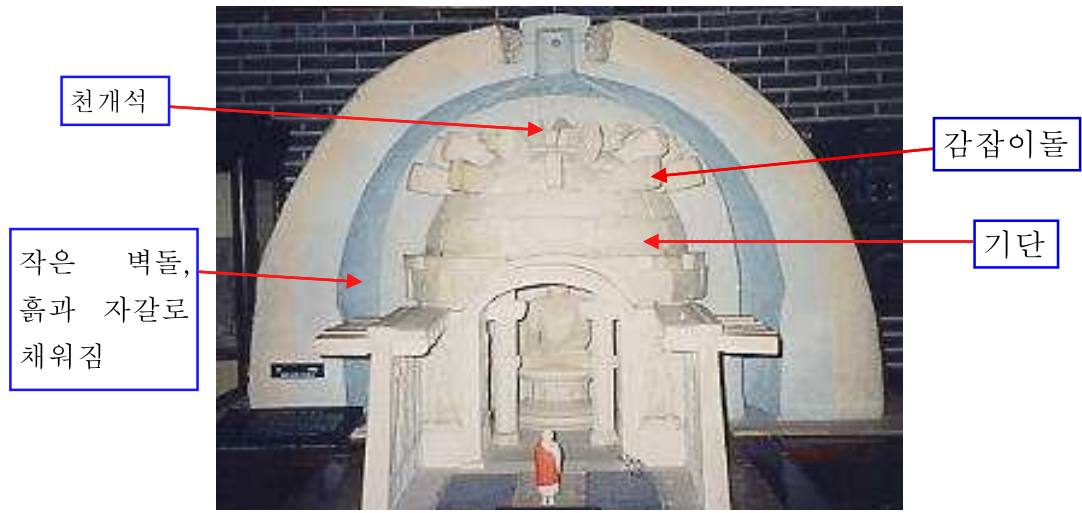
## III. 연구 방법 및 결과

### 1. 석굴암의 구조 조사

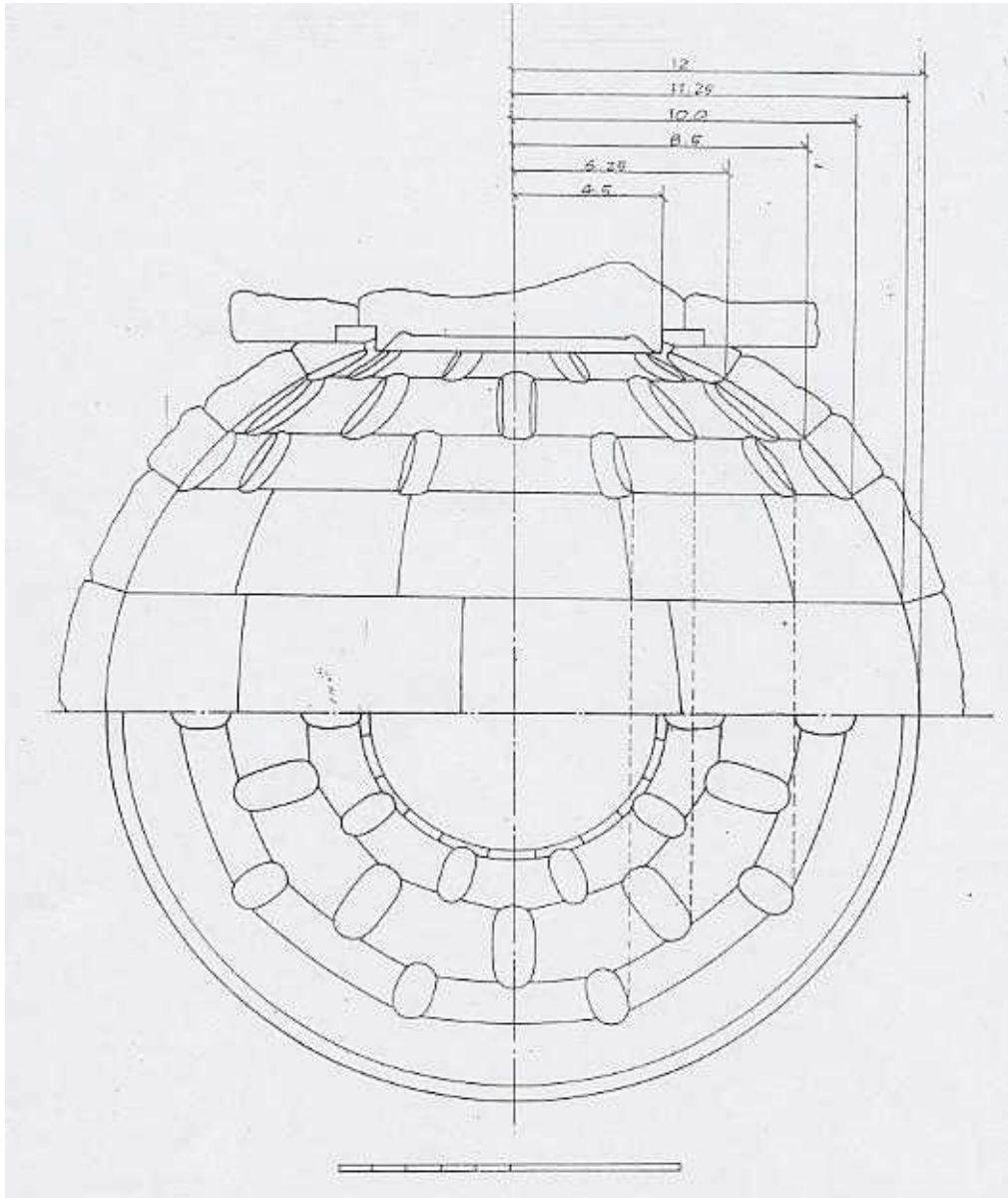
#### 가. 방법

- ① 석굴암의 구조를 조사하기 위하여 석굴암에 갔으나 내부와 외부의 구조를 볼 수 없어서 석굴암 모형을 전시해 놓은 신라역사과학관에 가서 석굴암 모형을 관찰하고, 조사하여 보았다.
- ② 신라역사과학관의 관리자로부터 설명을 듣고 석굴암의 전체적인 구조와 우리가 연구하고자 하는 돛의 모양과 형태, 쌓여진 기단의 모양을 조사하였다.
- ③ 신라역사과학관에서 석굴암 모형제작 때 만들어진 도면을 구하여 조사하였고 인터넷과 백과사전에서 자료를 찾아 분석하여 보았다.

나. 결과



(석굴암 모형 설계도)



(감잡이돌이 박힌 위치와 거리)

#### 다. 알게된 점

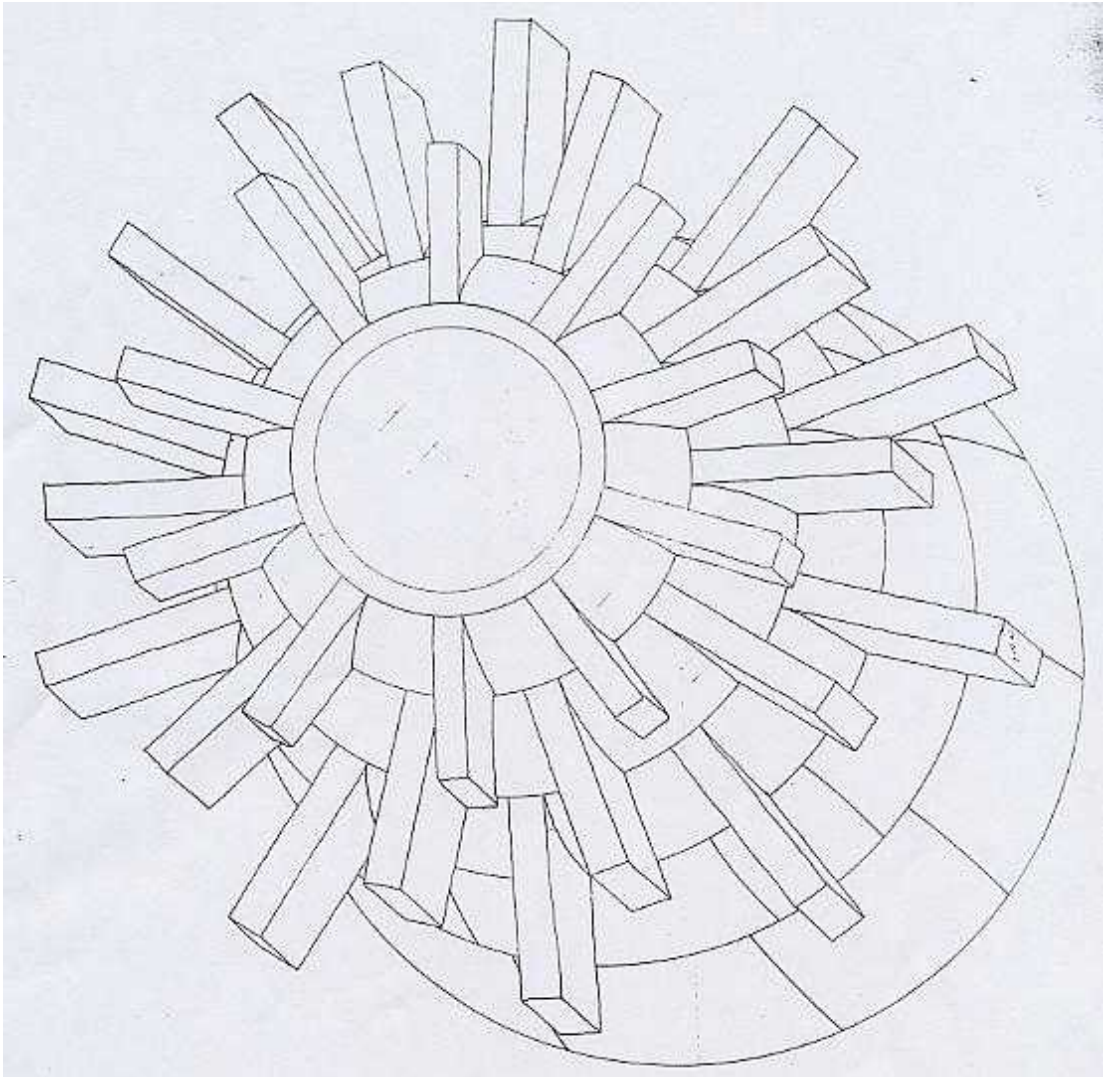
- ①석굴암의 상층부는 반구형을 이루고 있었고 반구형의 천정은 둥글게 돌로 짜여 있었다.
- ②벽을 쌓아올린 돌을 기단이라 하였고 기단은 5층으로 쌓였으며 위쪽으로 갈수록 규모가 작아졌다.
- ③기단이 쌓인 맨 위쪽에 천개석이 덮여있었고 천개석의 무게는 20t정도 된다고 하였다.
- ④기단의 3층부터 감잡이돌이 박혀 있었다.
- ⑤기단의 외벽에는 작은 벽돌과 잔 자갈, 흙으로 채워져 있었다.

## 2. 기단과 감잡이들에 대한 조사

### 가. 방법

- ①석굴암의 모형에서 기단이 쌓인 모양을 관찰하였다.
- ②3단에서부터 기단에 박힌 감잡이들의 위치와 모양을 관찰하였다.
- ③감잡이들의 크기와 길이를 조사하였다.
- ④감잡이들이 구면과 이루는 각도를 조사하였다.

### 나. 결과



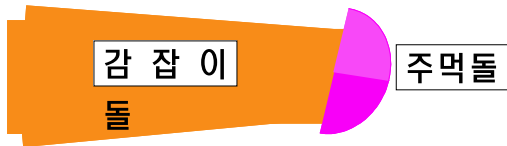
(감잡이들이 박힌 모양)



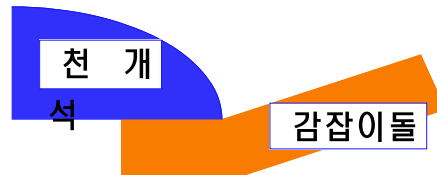
(바깥에서 본 감잡이돌)



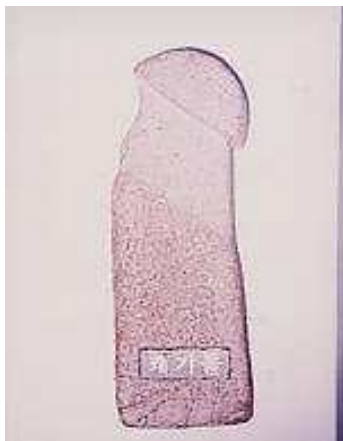
(안쪽에서 본 감잡이돌의 주먹돌)



3,4,5층의 감잡이돌



천개석 밑의 감잡이돌



(감잡이들의 축소 모형)



### 다. 알게된 점

- ①기단은 5단으로 쌓여졌고 위쪽으로 갈수록 규모가 적었으며 3단부터 5단 까지 감잡이돌이 기단과 기단 사이에 박혀 있었다.
- ②감잡이돌은 중앙으로 주먹처럼 생긴 것이 약간 나와 있고 위쪽으로 갈수록 크기가 작았다.
- ③감잡이돌은 3단의 것이 가장 길고 위쪽으로 갈수록 길이와 크기가 작아졌다.
- ④감잡이돌과 구면이 이루는 각도는 3단의 것이 각도가 가장 크고 위쪽으로 갈수록 각도가 작아졌다.
- ⑤감잡이돌은 3단부터 5단 까지 각단에 10개씩 박혀있었다.

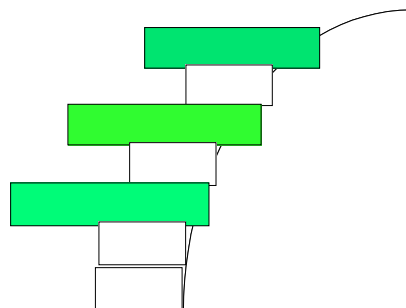
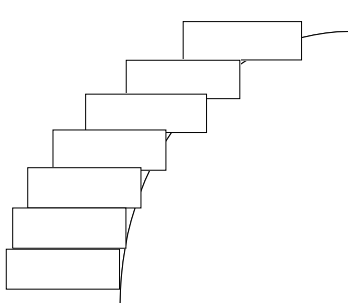
## 3. 감잡이돌이 있으면 더 잘 쌓을 수 있을까?

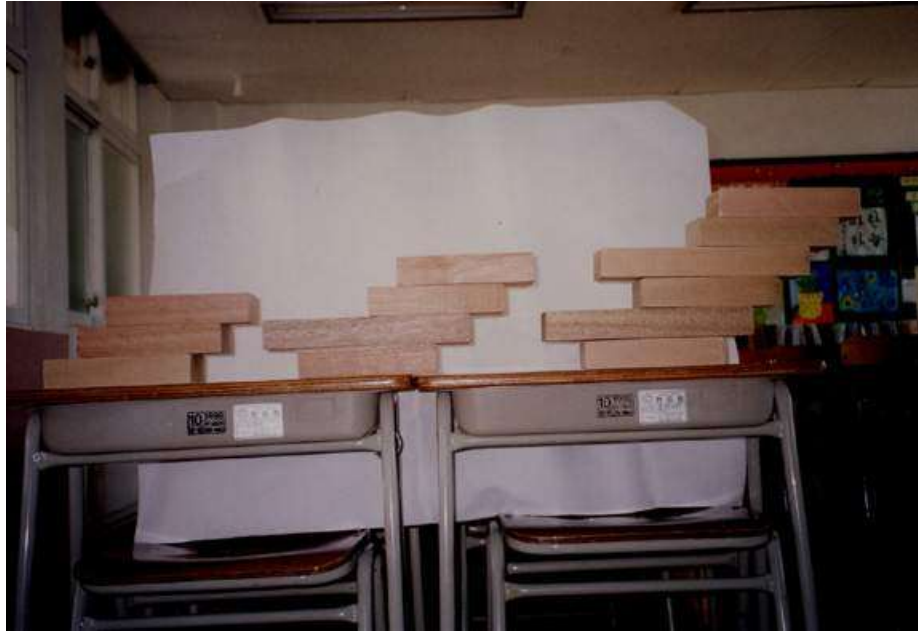
### 가. 방법

- ①나무토막(10×4×10cm)을 만들어 2cm 정도 들여 차례로 쌓았다.
- ②감잡이돌 모형의 나무토막이 없는 것을 쌓아 몇 층까지 쌓을 수 있는지 실험하여 보았다.
- ③감잡이돌 모형의 나무토막(10×4×20cm)을 1개, 2개, 3개씩 넣어 쌓아 몇 층까지 쌓을 수 있는지 실험하여 보았다.

### 나. 결과

쌓은 나무 갯수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0										
1										
2										
3										





(감잡이돌 모형의 수와 나무 쌓기 비교 실험)

#### 다. 알게된 점

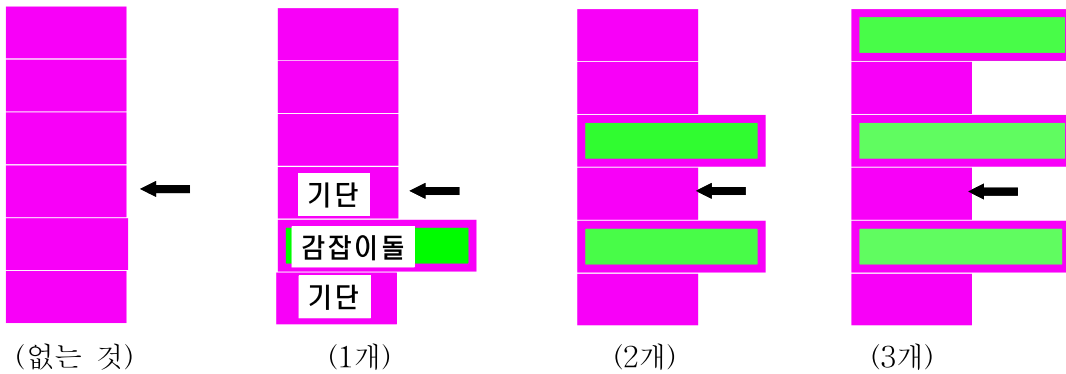
- ① 감잡이돌 모형이 없을 때는 3층까지 쌓을 수 있었다.
- ② 감잡이돌 모형이 1개일 때 4층, 2개일 때 6층, 3개일 때 7층까지 쌓을 수 있었다.
- ③ 감잡이돌 모형이 많을수록 더 높이 쌓을 수 있었던 것은 감잡이돌 모형이 위쪽의 나무토막을 받혀주는 역할을 한다는 것을 알게 되었다.

## 4. 감잡이 돌은 돔에서 어떤 역할을 할까?

### 가. 옆에서 미는 힘에 견디는 정도 조사

#### 1) 방법

- ①기단과 감잡이돌의 모형을 나무토막으로 만들고
- ②기단을 쌓아 감잡이돌이 있는 것과 없는 형태를 만든 다음
- ③미는 반대방향에서 용수철저울로 당기면서 감잡이돌이 있을 때와 없을 때 무너지지 않고 견디는 정도를 측정하여 보았다.

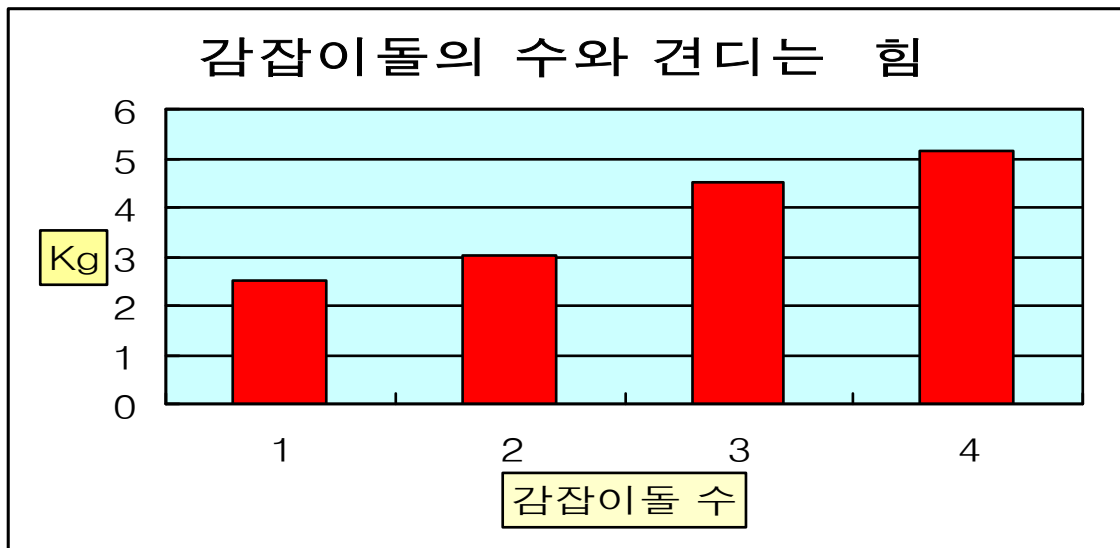


(감잡이돌 모형의 수와 당기는데 드는 힘 비교 실험)

## 2) 결과

(단위: Kg)

실험횟수 감잡이돌 수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
0	1.4	1.2	1.2	1.8	1.6	1.5	1.2	1.3	1.3	1.4	1.39
1	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	1.8	1.5	1.6	1.7	1.6	1.74
2	2.8	2.9	2.8	2.7	2.6	2.8	2.5	2.9	3.4	3.2	2.86
3	3.4	3.5	3.7	3.6	3.8	3.2	3.4	3.7	3.9	3.8	3.60



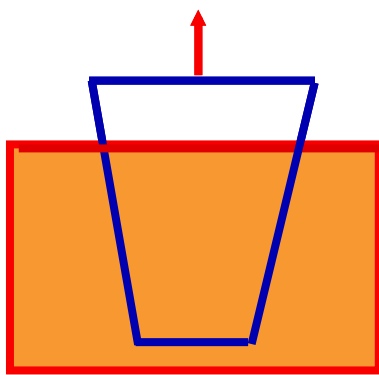
## 3) 알게된 점

- ① 감잡이돌이 많을수록 미는 힘이 세어도 무너지지 않고 잘 견뎠다.
- ② 감잡이돌은 기단석이 안쪽으로 밀려들어가지 않게 마찰력을 세계하는 역할을 한다는 것을 알게되었다.

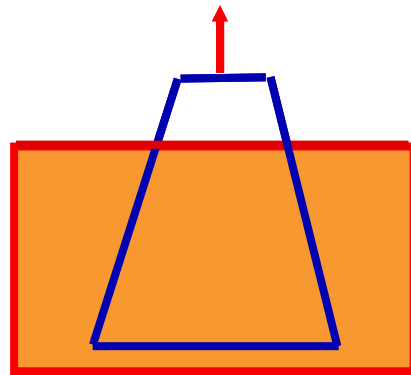
## 나. 감잡이돌의 바깥쪽이 더 클 때 버티는 힘 조사

### 1) 방법

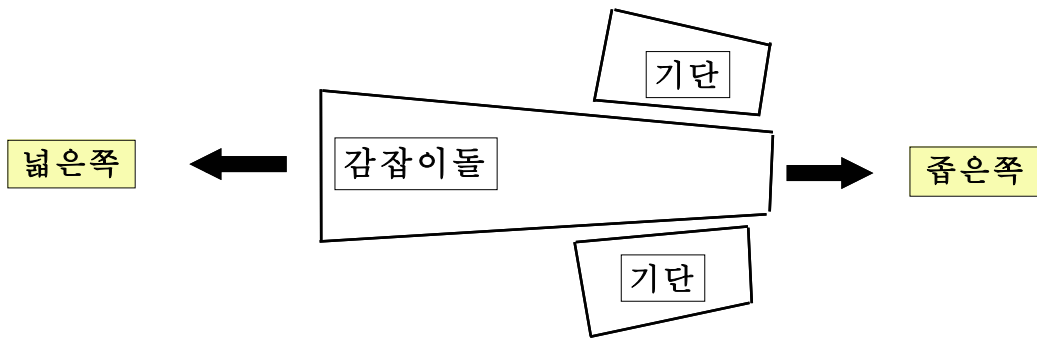
- ① 감잡이돌의 기울기를 0도, 5도, 10도, 15도, 20도로 다르게 만들고
- ② 모래가 담긴 수조 속에 같은 깊이로 묻은 다음
- ③ 큰 쪽과 작은 쪽에서 당길 때 드는 힘을 측정하여 보았다.



(넓은 쪽에서 당길 때)



(좁은 쪽에서 당길 때)



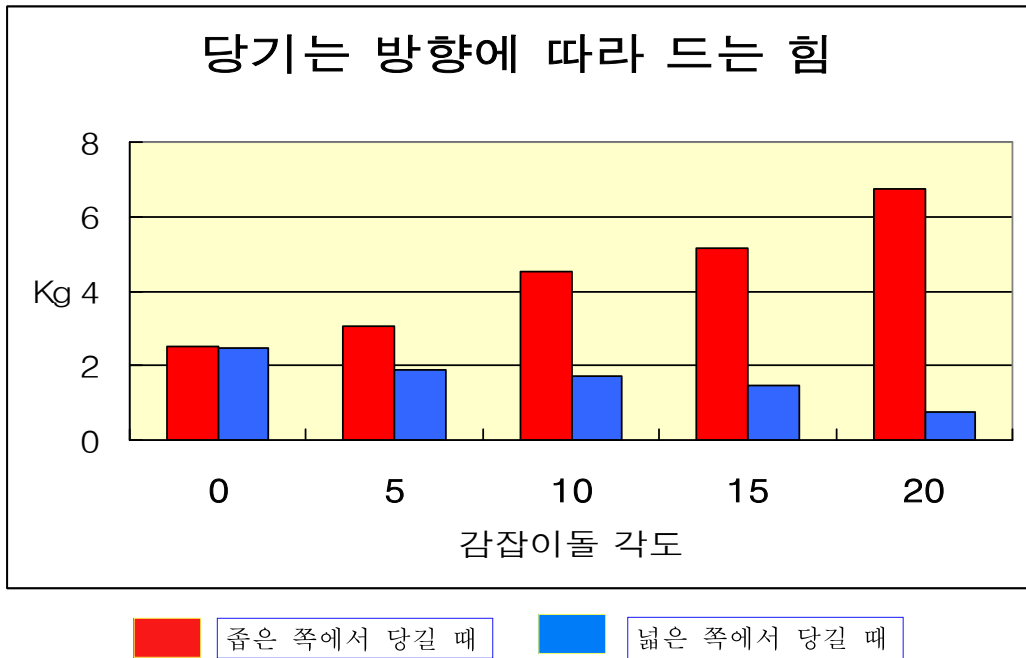
(경사각이 0. , 5. , 10. , 15. , 20. 인 실험용 감잡이돌 모형)



2) 결과

(단위:kg)

각도 (당기는 방향)		횟수										평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	안 쪽	2.5	2.5	2.4	2.7	2.8	2.1	2.3	2.7	2.5	2.5	2.50
	바깥쪽	2.5	2.6	2.7	2.3	2.7	2.2	2.4	2.8	2.3	2.2	2.47
5	안 쪽	2.9	3.0	3.2	2.7	3.5	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	3.04
	바깥쪽	2	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	2.1	1.90
10	안 쪽	4.9	4.8	4.6	4.0	4.1	4.8	4.7	4.2	4.3	4.7	4.51
	바깥쪽	1.7	1.7	1.8	1.6	1.5	1.9	1.7	1.8	1.7	1.6	1.70
15	안 쪽	4.9	5.1	5.0	5.5	5.1	4.9	5.2	5.0	5.3	5.4	5.14
	바깥쪽	1.4	1.5	1.2	1.3	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.4	1.45
20	안 쪽	6.5	6.7	6.8	6.8	6.9	6.8	6.7	6.7	6.6	6.8	6.73
	바깥쪽	0.8	0.7	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	0.7	0.6	0.5	0.77



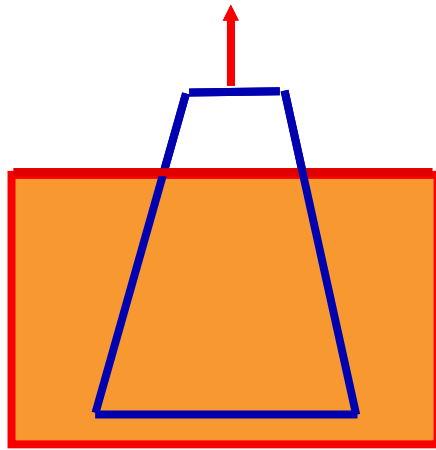
### 3) 알게된 점

- ① 좁은 쪽에서 당기는 힘이 넓은 쪽에서 당기는 힘보다 훨씬 더 많이 들었다.
- ② 좁은 쪽에서 당길 때 경사진 빗면에 의해 위에 있는 물체를 들어올리면서 빠져 나오므로 힘이 더 많이 들었다.
- ③ 감잡이돌을 경사지게 만든 것은 기단이 밖으로 빠져나가지 못하게 하기 위해서였다.

## 다. 감잡이돌 밖은 왜 자갈과 흙으로 채웠을까?

### 1) 방법

- ① 나무로 감잡이돌의 모형을 만들고 수조에 세운 다음
- ② 바깥쪽에 톱밥, 모래, 흙, 자갈, 흙과 자갈을 각각 넣었다.
- ③ 용수철 저울로 나무토막이 빠져 나올 때까지 당기면서 드는 힘을 측정하여 보았다.



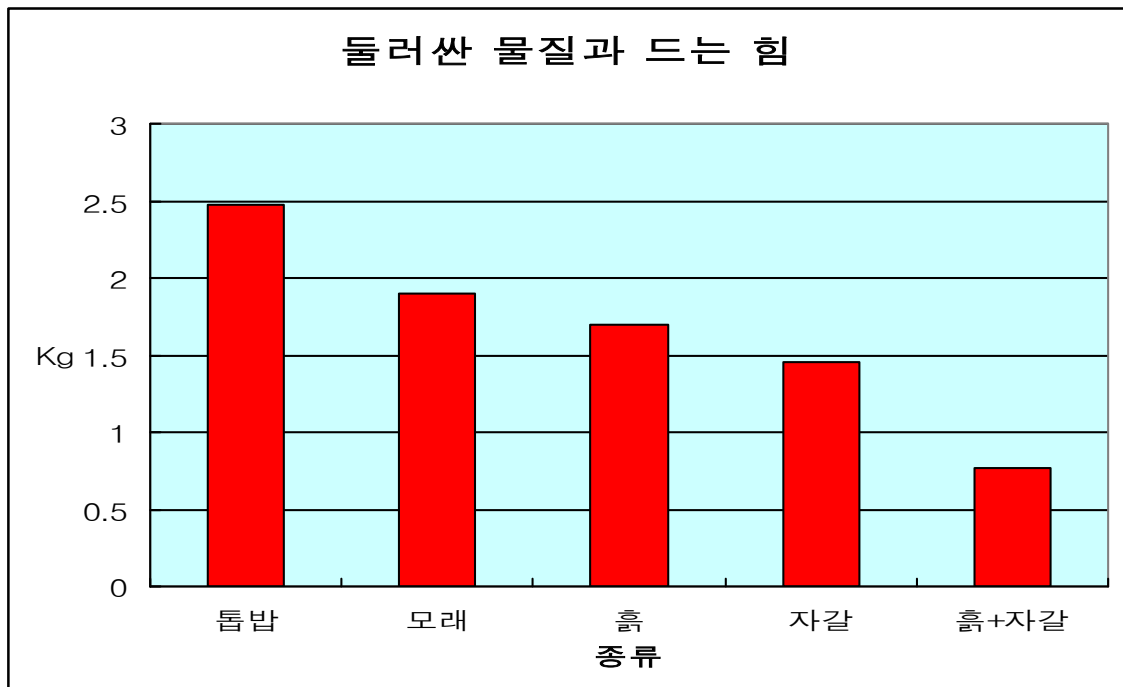
(감잡이돌을 둘러싼 물질과 빠져나 오는데 드는 힘 비교 실험)



## 2) 결과

(단위 Kg)

구분 \ 횟수	횟수										평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
툽밥	0.8	0.9	1.0	1.0	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.91
모래	3.0	2.5	2.4	2.7	2.8	2.1	2.3	2.7	2.5	2.5	2.55
흙	3.6	3.5	3.0	3.7	3.4	3.8	3.7	3.5	3.6	3.5	3.53
자갈	4.8	4.8	4.5	4.6	4.0	5.2	4.8	4.3	4.7	4.2	4.59
흙과 자갈	6.7	6.9	7.0	7.5	7.4	7.3	7.0	7.5	6.8	6.5	7.06



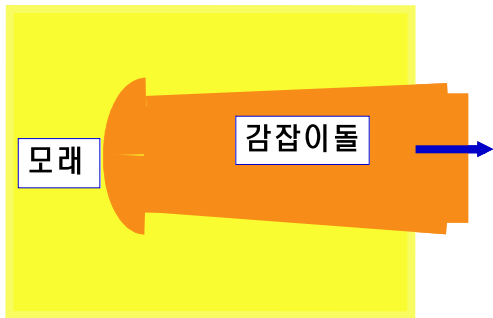
## 3) 알게된 점

- ① 툽밥으로 채운 것에서 가장 쉽게 빠져 나왔고 흙과 자갈로 채운 것에서 가장 힘이 많이 들었다.
- ② 흙과 자갈 속에서 힘이 가장 많이 든 것은 공간이 없이 채워졌기 때문이다.
- ③ 감잡이들 주변을 흙과 자갈로 채운 것은 감잡이들이 움직이지 못하게 하여 주위의 기단과 마찰력을 세계 하여 잡아주기 위한 것이었다.

**의문1** 주먹들은 어떤 역할을 했을까?

1) 방법

- ① 감잡이들의 가는 쪽에 주먹돌을 만들고 모래주머니 속에 묻은 다음
- ② 좁은 쪽과 넓은 쪽에서 용수철저울로 감잡이들이 나올 때까지 당겨보았다.



(주먹돌 쪽으로 당길 때)

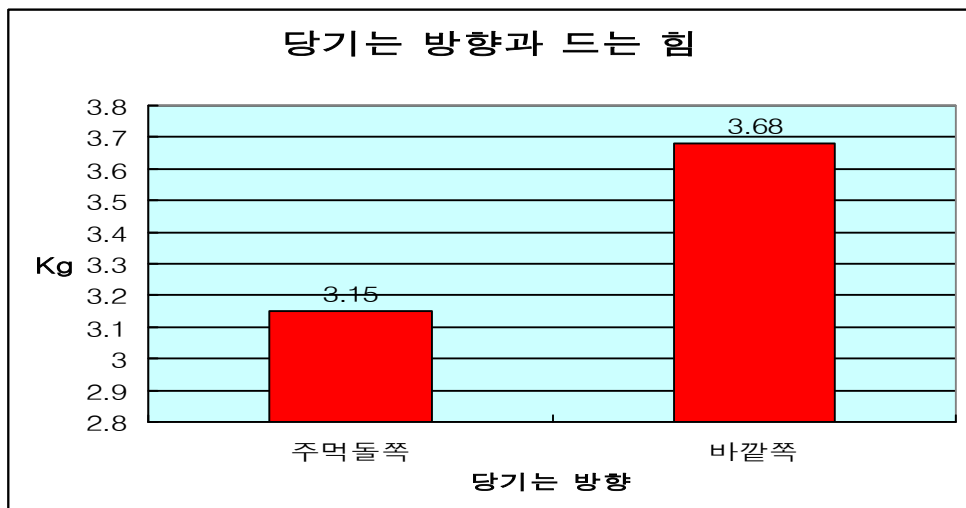


(바깥쪽으로 당길 때)

2) 결과

(단위: Kg)

구분 \ 횟수	횟수										평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
주먹돌 쪽	3.0	3.4	3.2	2.9	3.5	3.1	3.2	3.1	2.9	3.2	3.15
바깥 쪽	3.2	3.6	3.8	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.8	3.7	3.68



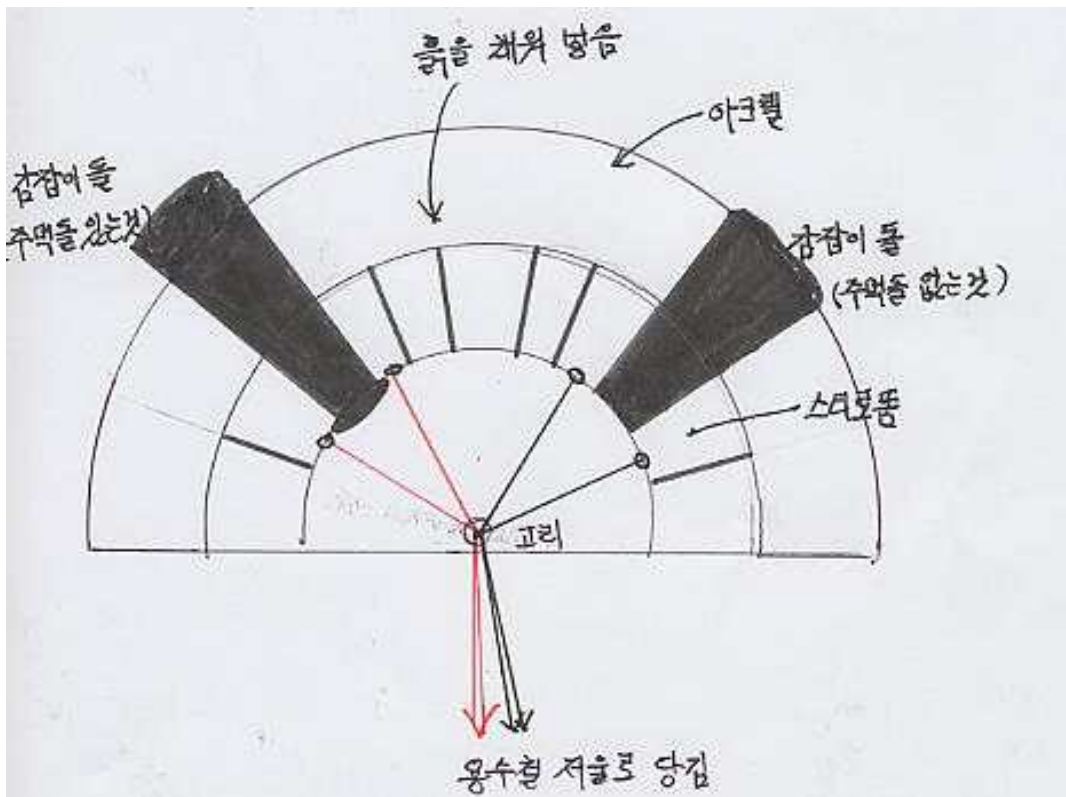
### 3) 알게된 점

- ①주먹돌이 있는 쪽으로 당길 때는 2.4Kg의 힘이 들었고 밖으로 당기면 2.7kg의 힘이 들었다.
- ②주먹돌을 만든 것은 감잡이돌에 의해 기단이 안쪽으로 빠져나가지 못하게 하기 위함이었다.
- ③주먹돌은 기단을 안쪽으로 빠져나가지 못하게 잡아주는 역할을 하였다.

## 라. 기단과 감잡이돌 밖의 흠은 어떤 역할을 했을까?

### 1) 방법

- ①두꺼운 아크릴 두 장으로 틈새가 5cm가 되는 아치 모형을 만들었다.
- ②5cm 두께의 스티로폼으로 기단과 감잡이돌 모형을 만들어 아크릴 틈새에 끼우고
- ③바깥쪽에 흠으로 채워 넣은 다음 기단 모형의 스티로폼 조각을 용수철저울로 안쪽으로 당겨 보았다.
- ④용수철 저울로 나무토막이 빠져 나올 때까지 당기면서 감잡이돌이 있을 때와 없을 때 드는 힘을 측정하여 보았다.



## 2) 결과

구분 \ 횟수	1	2	3	4	5	평균
	주먹돌이 없는 것	2.7	2.8	2.6	2.9	2.5
주먹돌이 있는 것	7.9	8.7	9.6	7.8	8.3	8.46

주먹돌 \ 당기는 힘(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	주먹돌이 없는 것									
주먹돌이 있는 것1										

## 3) 알게된 점

- ① 주먹돌이 없는 것은 2kg 이상의 힘을 가하면 가운데로 빠져 나왔다.
- ② 주먹돌을 있는 것은 7kg 이상의 힘을 가하면 주먹돌 모양의 스티로폼 조각이 떨어져 나가고 빠져 나왔다.
- ③ 감잡이돌에 주먹돌을 만든 것은 기단을 안쪽으로 빠져나가지 못하게 잡아주도록 하는 것이었다.

## 5. 층에 따라 감잡이돌이 왜 다를까?

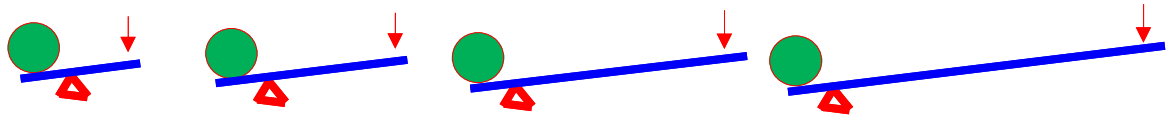
### 가. 아래쪽의 감잡이돌이 더 긴 까닭은 무엇일까?

#### 1) 방법

- ① 감잡이돌이 길이에 따라 떠받치는 힘의 크기를 비교하기 위하여
- ② 나무 판자로 길이가 다른 지렛대를 만들고
- ③ 받침점과 작용점은 고정시키고 힘점을 멀리하면서 물체를 들어올리는 힘을 측정하였다.

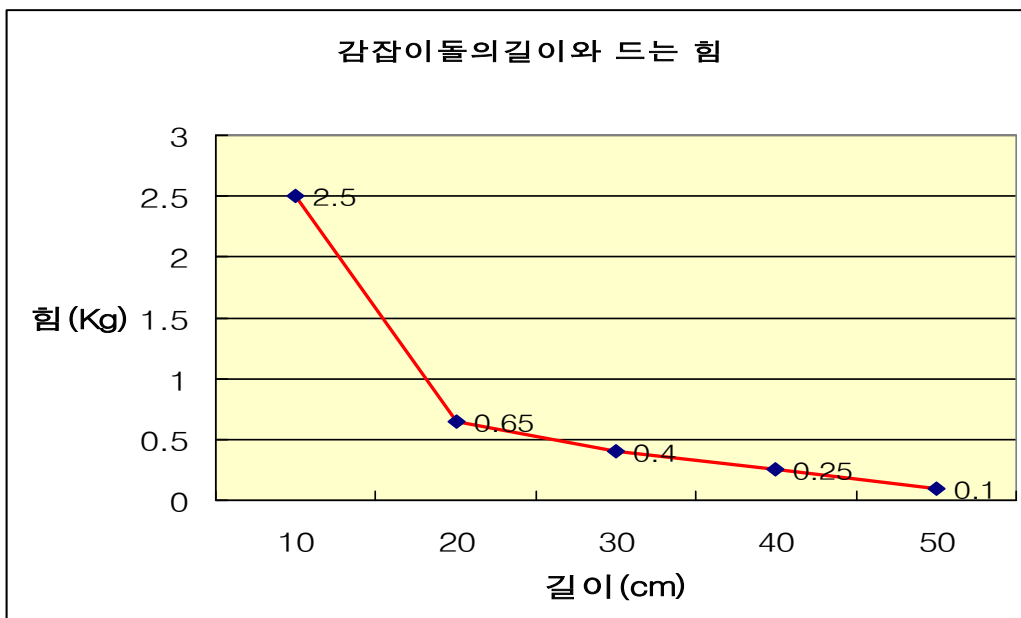


(지레의 길이와 드는 힘 비교)



2) 결과

드는 힘	2.5	0.65	0.4	0.25	0.1
감잡이돌 길 이	10	20	30	40	50



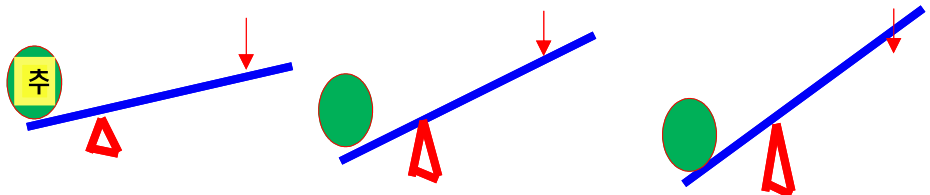
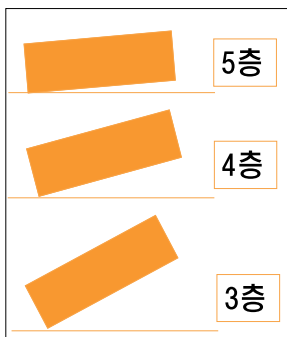
### 3) 알게된 점

- ①막대의 길이가 길고 힘점이 먼 것이 물체를 들어올리는데 힘이 적게 들었다.
- ②아래쪽의 감잡이들을 길게 한 것은 무거운 위쪽의 무게를 지탱하게 하기 위한 지레의 원리를 이용한 것이었다.

## 나. 3층에서 위로 갈수록 감잡이들의 각도가 왜 작아질까?

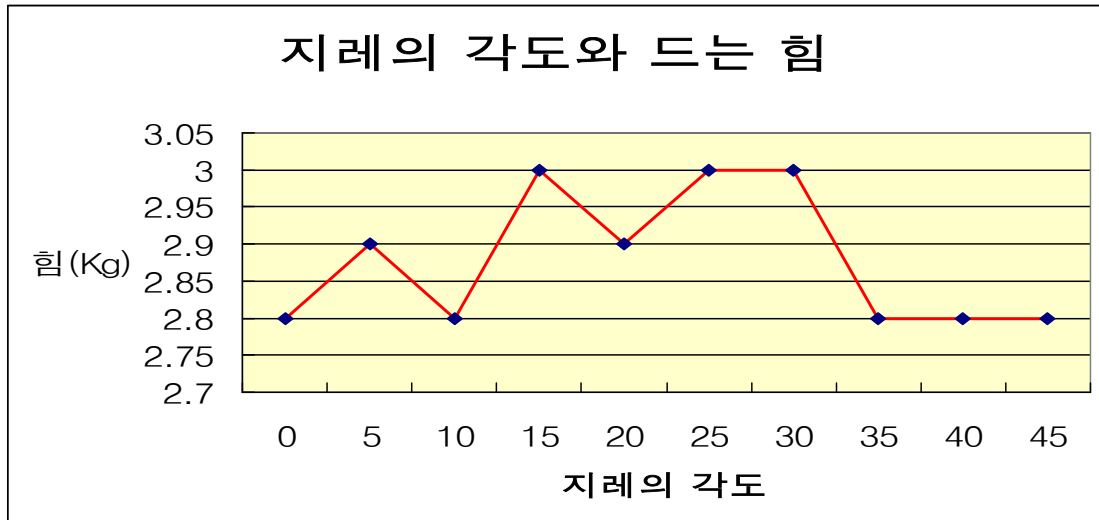
### 1) 방법

- ①40cm 길이의 나무 판자에 힘점, 받침점, 작용점을 같이하고
- ②들어올리는 판자의 기울기를 달리하였다.
- ③500g의 추를 판자 위에 얹어 놓고 들어올리는데 드는 힘을 용수철 저울로 측정하였다.



## 2) 결과

각도	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	평균
드는 힘 (kg)	2.8	2.9	2.8	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	2.8	2.8	2.7	2.86



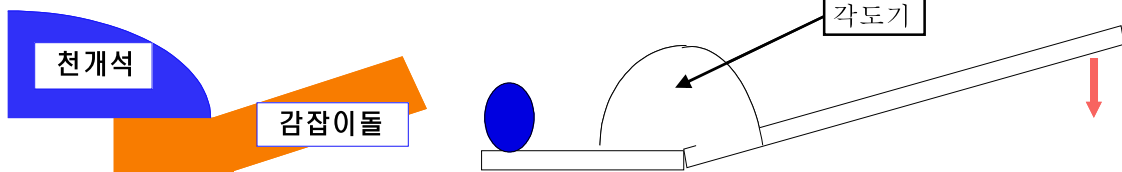
## 3) 알게된 점

- ① 지레의 각도와 물체를 들어올리는데 드는 힘과는 별 관계가 없었다.
- ② 감잡이들을 박은 각도를 달리한 것은 위의 물체를 들어올리는 힘을 크게 한 것은 아니었다.

## 다. 천개석 밑의 감잡이들은 왜 꺾이게 만들었을까?

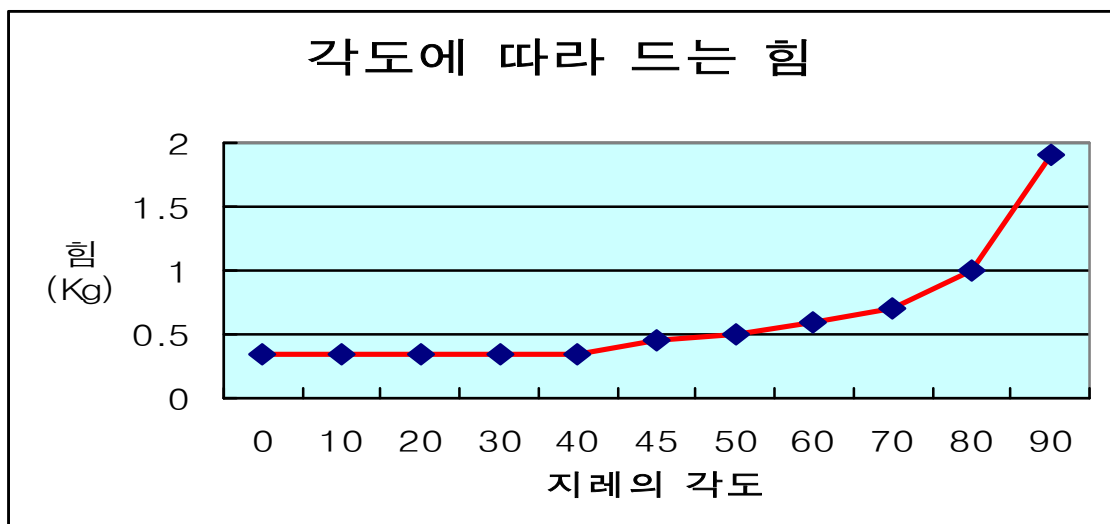
### 1) 방법

- ① 45cm 길이의 나무 판자를 15cm 부분을 잘라 장석과 각도기를 달고
- ② 힌점, 받침점, 작용점을 같이하고, 막대의 기울기를 다르게 하였다.
- ③ 15cm 되는 부분에 500g의 추를 놓고 용수철 저울로 당겨 들어올리는데 드는 힘을 측정하였다.



2) 결과

드는 힘 (kg)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.45	0.5	0.6	0.7	1	1.9
각도	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90





### 3) 알게된 점

- ①40도까지는 힘의 크기가 같고 45도가 넘으면 힘이 더 들었다.
- ②천개석을 받치는 감잡이돌을 꺾이게 만든 것은 받치는 힘을 크게 하기 위함이었다.

## IV. 종합 결론

1. 석굴암은 반구형을 이루고 있었고 5층의 기단이 쌓인 위에 천개석이 덮여있으며 기단은 위쪽으로 갈수록 규모가 작았다.
2. 기단의 1, 2층에는 감잡이돌이 없고 3단부터 5단까지 감잡이돌이 박혀 있었다.
3. 감잡이돌이 있을 때 모형 기단을 더 많이 쌓을 수 있었으며 이것은 감잡이돌이 균형을 잡아 주기 때문이었다.
4. 감잡이돌은 마찰력을 세게 하여 기단석이 안쪽으로 밀려들어가지 않게 하였다.
5. 감잡이돌을 바깥쪽이 더 크게 만든 것은 경사각 때문에 마찰력이 커져서 기단이 안쪽으로 빠져나가지 못하게 함이었다.
6. 감잡이돌 밖을 자갈과 흙으로 채운 것은 감잡이돌이 움직이지 못하게 하기 위함이었다.
7. 주먹돌은 기단을 양쪽에서 잡아주어 안쪽으로 빠지는 것을 막아주는 역할을 하였다.
8. 아래쪽의 감잡이돌이 더 긴 것은 힘점을 멀게 하여 위를 받혀주는 힘을 세게 하기 위한 지레의 원리를 이용한 것이었다.
9. 감잡이돌은 기단을 지탱하면서 지렛대의 역할로 기단의 무게를 분산시키는 역할을 하였으며 주먹돌이 기단을 안쪽으로 밀려가지 못하게 하여 기단이 무너지지 않게 과학적인 구조로 되어있었다.