

제 41회 전국 과학 전람회

물리

석빙고의 지붕에는 왜 구멍을 뚫었을까?

경북 경주시 나산 국민 학교

제 6학년 용 민 희

김 연 경

지도 교사 황 문 목

< 목 차 >

I. 연구 동기 및 목적	1
II. 연구 내용	1
III. 연구 추진을 위한 일반적인 제한	1
IV. 연구 방법 및 결과	2
1. 석빙고의 모양과 구조 조사	2
2. 석빙고의 구멍에 관한 조사	9
3. 석빙고의 구멍은 어떤 역할을 할까?	12
V. 종합결론	20

석빙고의 지붕에는 왜 구멍을 뚫었을까?

I. 연구 동기 및 목적

지난 봄 소풍으로 경주 반월성으로 갔다. 석빙고를 견학하면서 ‘지금도 얼음을 저장할 수 있을까’ 궁금했는데 지붕 위에 구멍이 세 군데나 뚫려 있어 더욱 이상하였다. 지금의 냉장고는 냉기가 밖으로 나온다고 하여 문을 자주 열지 못하도록 하는데 옛날이 석빙고는 왜 지붕 위에 구멍을 뚫어 놓았는지 자세히 알아보기로 하였다.

II. 연구 내용

1. 석빙고의 모양과 구조 조사
 - 가. 석빙고의 유래에 대한 공부
 - 나. 석빙고의 구조와 크기
2. 석빙고의 구멍에 대한 조사
3. 석빙고의 구멍은 어떤 역할을 할까?
 - 가. 구멍이 있고 없는 석빙고의 얼음 저장 능력
 - 나. 구멍의 모양에 따른 얼음의 저장 능력
 - 다. 구멍의 개수에 따른 얼음이 저장 능력
 - 라. 구멍이 위치에 따른 얼음의 저장 능력

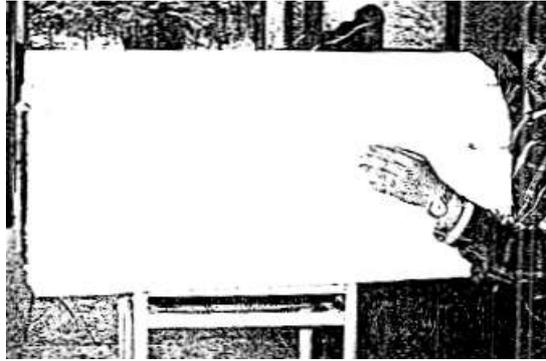
III. 연구 추진을 위한 일반적인 제한

1. 조사 대상

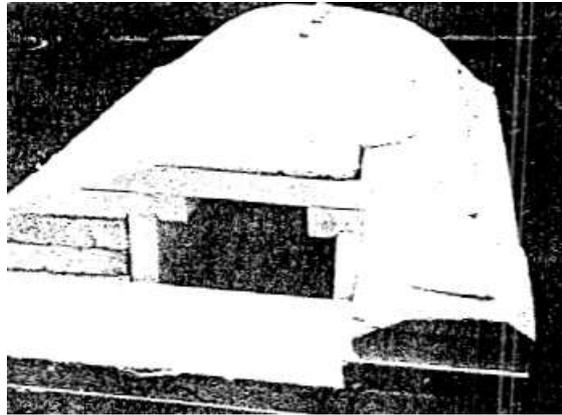
- 가) 경주 석빙고를 중심으로 구조적인 특징을 조사하였다.
- 나) 그 외 지역은 참고 문헌을 통하여 조사하였다.

2. 모형 실험

- 가) 실제 석빙고에서 실험하는데 어려움이 많아 경주 석빙고를 모델로 하여 1/20, 1/25 축소 모형을 제작하여 실험을 하였다.
- 나) 기타 각 부분 구조에 대한 실험은 실험 도구를 제작실험 하였다.
- 다) 모형 석빙고의 크기



<그림1> 1/25 모형 석빙고



<그림 2> 1/20 모형 석빙고

IV. 연구 방법 및 결과

1. 석빙고의 모양과 구조 조사

가. 석빙고의 유래에 대한 공부

1) 조사 방법

(가) 경주 국립 문화재 연구소, 경주 박물관, 경주 시청 문화재 관리과를 방문하여 자료를 수집 조사하였다.

(나) '한국의 석빙고'와 다수의 관련 서적(국립 문화재 연구소, 동국대 도서관)을 통하여 조사함.

(다) 경주 지역 향토 사학자 다수를 방문하여 문헌에 나타나지 않은 사실에 대한 자문도 구하였다.

2) 조사 내용

- ㉠ 삼국시대 (지증왕 6년(505))부터 조선 광무 2년 (1898)까지 얼음을 저장하여 사용함.
- ㉡ 현존하는 석빙고 : 남한 6개 (경주, 안동, 창녕, 청도, 현풍, 영산), 북한 1개 (해주)로 7개가 남아있다.
- ㉢ 서울의 동빙고와 서빙고는 목조 빙고로 수혈 주거와 같이 일정 깊이로 땅을 파고 기둥을 세워 빙실고 만들어 얼음을 저장했으나 지금은 남아있지 않음
- ㉣ 석빙고를 관리하는 장빙법과 관청을 따로 두어 관리하였음
- ㉤ 빙고는 겨울에 얼음을 채집해 두었다가 여름에 사용함.
- ㉥ 보관한 얼음은 국용과 여러 관청, 재상, 궁궐에서 사용함
- ㉦ 옛날에는 대부분 목조 빙고로 남아있지 않으며, 남아있는 석빙고는 18세기 영조 때 축조되거나 개축됨.
- ㉧ 빙고의 위치는 얼음을 채집하기 편리한 강이나 큰 개울가에 위치함.
- ㉨ 얼음 저장 시 바닥이나 벽면에 단열성이 좋은 갈대, 짚, 솔가지, 짚 등을 사용하였다.

나. 석빙고의 구조와 크기

1) 조사 방법

- (가) 경주 석빙고를 중심으로 구조와 특징을 조사하였다.
- (나) 그 외 지역은 주로 문헌의 자료를 이용하였다.

2) 조사 내용

(가) 외부 구조



<그림 3>석빙고의 외부 구조

- ㉠ 석빙고의 외형은 남북으로 길게 된 타원형의 봉토 고분 모양이다.
- ㉡ 바깥 출입문이 폭은 2.1cm, 높이는 1.78cm, 이고 안쪽 출입구는 폭이 1.43m, 높이가 1.63m이다.
- ㉢ 석빙고의 지붕 위에 구멍이 3개 뚫려 있다.
- ㉣ 출입구 앞의 동쪽은 담을 만들어 두었다.

(나) 내부 구조



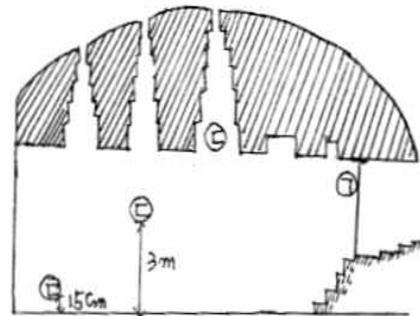
<그림 4> 석빙고의 내부구조

- ㉠ 반 지하 구조로 되어 있고 바닥은 5도의 경사를 이루고 있으며, 출입구 반대쪽에 배수구가 있다.
- ㉡ 빙실 바닥 면은 지표면보다 2.96m 정도 높이가 낮고, 계단을 만들어 빙실 안에 들어 갈 수 있다.
- ㉢ 폭이 약 2m 되는 돌로 5개의 홍예보를 들어올리고 홍예와 홍예 사이에 장대석을 걸쳐 천장을 구성하였다.
- ㉣ 빙실의 각 벽면은 절석(切石)을 정연하게 축조하였고, 각 면의 밑 부분은 길고 큰 장대형이 석재로 축조 되어있다.

[의문 1] 석빙고는 왜 반 지하 구조로 만들었을까?

1) 방법

- (가) 실제 석빙고 안에 오른쪽 그림과 같이 온도계를 여러 곳에 놓고 1시간마다 측정하였다.
- (나) 모형 석빙고의 안의 온도를 시간별로 측정하였다.
- (다) 실제 석빙고 안에 모기향을 피워 연기의 움직임을 관찰하였다.

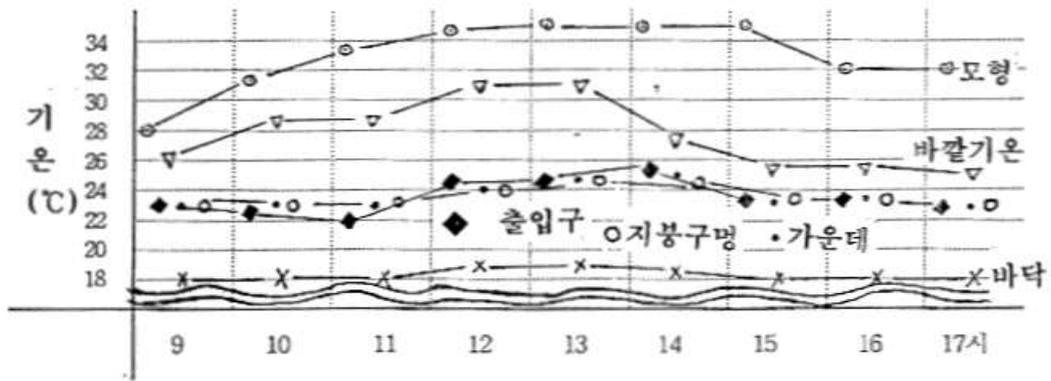


<그림 5> 온도계 다는 위치

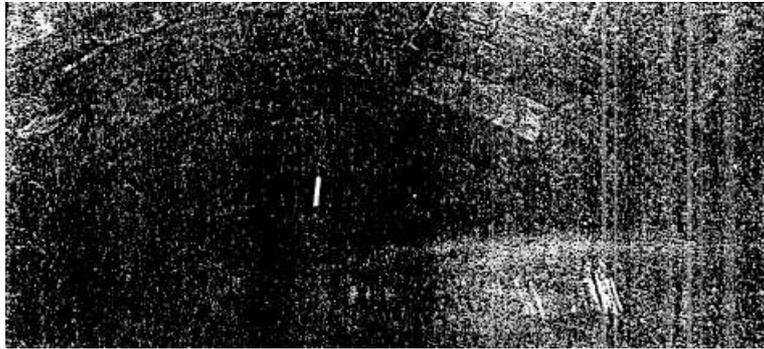
2) 결과

<표1> 석빙고의 빙실과 바깥 온도의 변화 (단위 :℃)

장소\ 시간	9	10	11	12	13	14	15	16	17	평균	
바깥 기온	26.0	28.0	28.5	31.0	31.0	27.5	25.5	25.5	25.0	27.6	
실제 석빙고	출입구(㉠)	23.0	22.5	22.0	24.5	24.5	25.5	23.5	23.5	23.0	23.6
	가운데(㉡)	23.0	23.0	23.0	24.0	24.5	25.0	23.5	23.5	23.0	23.6
	지붕 구멍(㉢)	23.0	23.0	23.5	24.0	24.5	24.5	23.5	23.5	23.0	23.6
	바닥(㉣)	18.0	18.0	18.0	19.0	19.0	18.5	18.0	18.0	18.0	18.3
모형 석빙고(바닥)	28.0	31.5	33.5	34.5	35.5	35.0	35.0	32.0	32.0	33.3	



<그림 6> 빙실 안과 밖의 하루 중 온도변화



<그림 7> 빙실 안의 공기의 움직임

3) 알게된 점

- (가) 바깥의 하루 중 기온이 변화가 크나 빙실 안은 지하로 되어있어 18 ~19°C 내외로 온도 변화가 거의 없다.
- (나) 빙실 안의 출입구와 빙실 한가운데, 지붕의 구멍 지역이 온도가 거의 같고 바닥과는 5~6°C 정도 온도가 더 높다.
- (다) 모형 석빙고의 온도가 높은 것은 태양의 복사열로 빙실의 공기가 데워졌기 때문이며 실제 석빙고가 모형 석빙고 보다 온도 변화가 적은 것으로 보아 실제 석빙고가 모형 석빙고보다 온도 변화가 적은 것으로 보아 실제 석빙고의 얼음 저장 능력도 훨씬 뛰어남을 알 수 있다.
- (라) <그림 7> 과 같이 빙실 안의 기온의 차이에 따라 공기 층이 형성되었다.

[의문 2] 출입구 쪽의 담은 왜 한쪽이 길며 다른 쪽은 짧거나 없는가?

1) 방법

(가) 각 지역이 석빙고의 출입구 쪽 담의 위치, 길이를 조사하였다.

(나) 1/20 모형 석빙고에 한쪽 담이 있을 때와 없을 때 <그림8>같이 드라이기로 바람을 불어넣어 출입구의 온도를 3분 간격으로 측정하였다.



<그림 8> 드라이기로 바람을 불었을 때

2) 결과

<표2> 출입구 쪽이 담의 모양

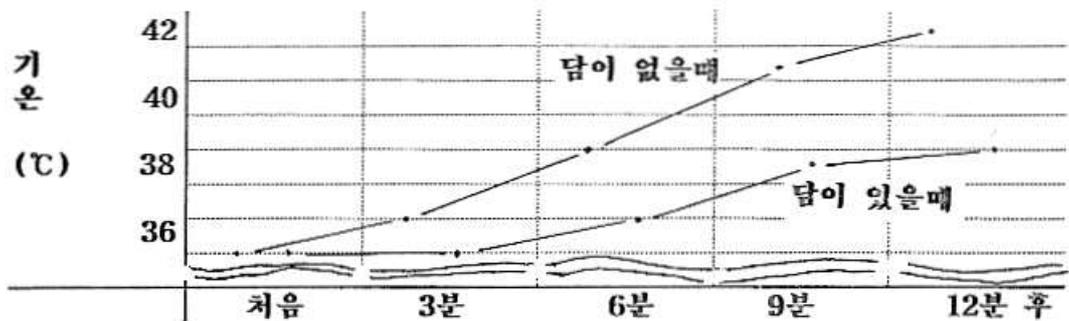
구분	경주	창녕	안동
담의 모양			현 위치로 옮겨 정확히 알 수 없음
구분	현풍	영산	청도
담의 모양			파손으로 알 수 없음

<표 3> 지역별 출입구 앞의 담의 길이

구분	경주	안동	창녕	현풍	영산	청도
긴쪽	6.15	현위치를 옮겨 정확히 알 수 없음	2.25	2.13	2046	파손으로 알 수 없음
짧은쪽	0.0		1.05	1.17	1.14	
(긴쪽)-(짧은쪽)	6.15		1.20	0.96	1.32	

<표 4> 한쪽 담의 유무에 따른 출입구의 온도 변화 단위 ℃

구분	처음	3분 후	6분 후	9분 후	12분 후
담이 있을때	35	36	38	40.5	4.5
담이 없을때	35	35	36	37.5	38



<그림 9> 한쪽 담이 유무에 따른 온도 변화

3) 알게 된 점

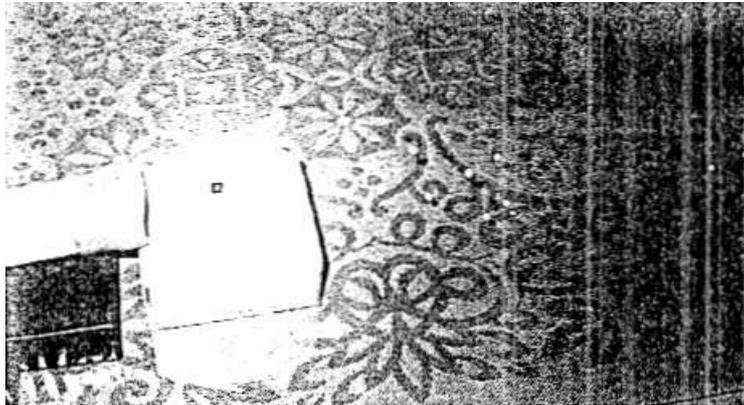
- (가) 모든 석빙고의 대부분 출입구의 동편이 서편보다 길게 담을 쌓아 막혀 있다.
- (나) 동편 담을 쌓은 이유는 동편 담을 막았을 때 출입구에 온도의 변화가 적은 것으로 보아 여름철 남동풍이 불 때 출입구에 더운 바깥 공기가 막는 방풍 역할을 하는 것으로 추측됨.

[의문 3] 지붕의 모양을 왜 봉토 고분 모양으로 만들었을까?

1) 방법

- (가) 참고 문헌을 조사하여 봉토 고분 모양으로 만든 이유를 조사하였다.
- (나) <그림10>과 같이 만들고 스티로폼 알갱이를 넣어 바람을 불어 보았을 때 알갱이의 움직임 관찰하였다.

2) 결과



<그림 10> 봉토 고분 모양일 때 스티로폼 알갱이가 빠져 나오는 모습

3) 알게된 점

- (가) 천장을 홍예로 만들어 구조물이 튼튼하다.
- (나) 빙실 내부의 공간을 넓히고 작업이 불편함을 덜기 위해서 만들었다.
- (다) 봉토 고분 모양일 때 스티로폼 알갱이가 더욱 잘 빠져 나왔다.

다) 석빙고의 크기

<표5> 지역별 석빙고의 크기

단위 : m

구분	경주	안동	창녕	청도	현풍	영산	평균
빙실 길이	18.8	12.5	13.5	14.75	9.0	9.92	13.0
너비	5.94	5.9	4.65	5.0	5.0	4.35	5.14
홍예 높이	4.97	4.9	4.75	4.4	6.0	3.65	4.88
길이 : 너비	3.2:1	2.1:1	2.8:1	3:1	1.8:1	2.7:1	2.5:1
빙실의 크기(cm)	104.15	73.75	62.78	73.75	45.0	43.15	67.1

- ㉠ 석빙고의 빙실 길이는 13m, 너비는 5.14m, 홍예 높이는 4.88m 이고 길이와 너비의 비가 2.5:1이며, 빙실의 크기는 67.1㎡이다.
- ㉡ 경주 석빙고의 크기가 가장 크다.

2. 석빙고의 구멍에 관한 조사

1) 조사 방법

- (가) 경주 석빙고의 구멍의 구조와 크기를 측정하였다.
- (나) 그 외 지역은 주로 문헌의 자료를 이용하였다.

2) 조사 내용

가) 구멍의 구조

<표 6> 지역별 구멍의 구조

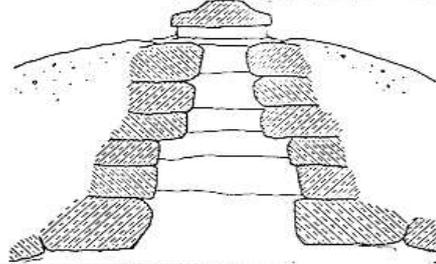
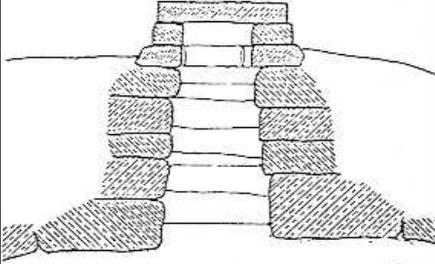
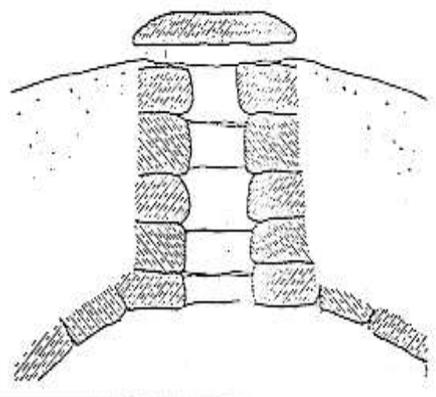
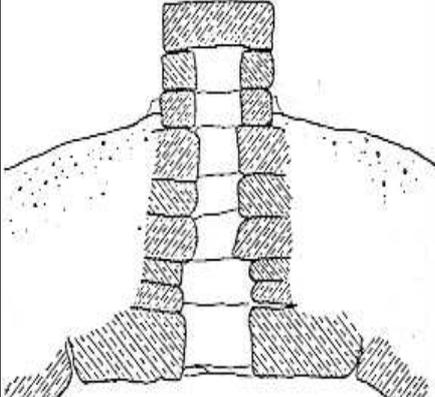
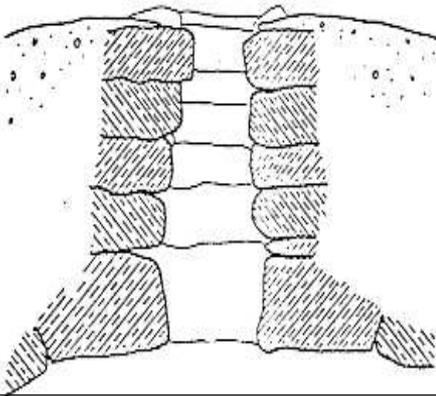
단위 : m

구분		경주	안동	창녕	청도	현풍	영산	평균
구멍의 개수		3	3	2	파손 으로 알수 없음	2	2	2~3개
구멍의 높이		2.6	1.95	2.0		1.8	1.9	1.93
구멍의 폭	상단	0.4	0.3	0.52		0.3	0.32	1.93
	하단	1.13	0.8	0.76	0.8	0.63	0.82	
	폭의 비 (상단 : 하단)	1:2.8	1:2.7	1:1.4	1:2.7	1:2	1:2.2	

- ㉠ 구멍의 개수는 2-3개이고, 구멍의 높이는 1.93m 이고 구멍이 폭은 상단의 폭 0.37m, 하단의 폭은 0.82m이며, 폭이 비는 1:2.2 되었다.
- ㉡ 구멍이 개수와 폭의 크기는 빙실의 크기와 관계가 있다.

나) 구멍의 모양

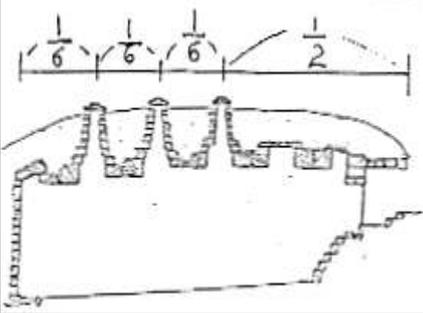
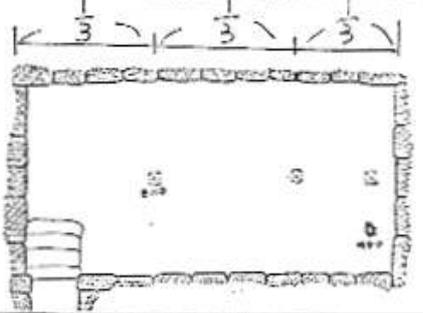
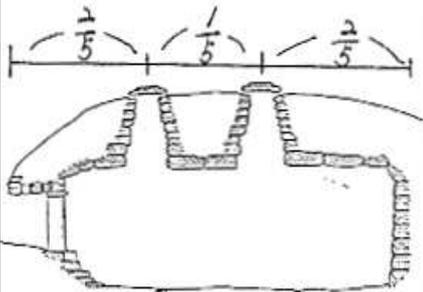
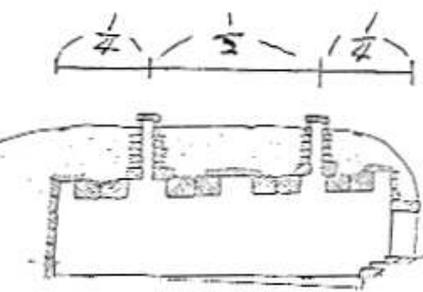
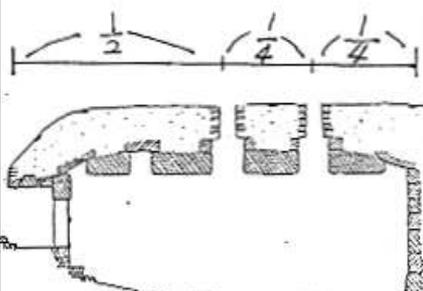
<표 7> 지역별 구멍의 모양

구분	경주	안동
구멍의 모양		
구분	창녕	현풍
구멍의 모양		
구분	영산	청도
구멍의 모양		파손으로 알 수 없음

- ㉠ 구멍의 모양은 하단의 폭이 넓고 상단의 폭이 좁은 긴 사각기둥 모양이다.
 ㉡ 구멍의 위는 직사광선이나 우수를 피하기 위해 판석으로 덮여 있으며, 남북으로 막혀 있고 동서로 트여 있다.

다) 출입구와 구멍의 위치

<표 8> 지역별 출입구와 구멍의 위치

구분	경주	안동
출입구와 구멍의 위치		
구분	창녕	현풍
출입구와 구멍의 위치		
구분	영산	청도
출입구와 구멍의 위치		파손으로 알 수 없음

- ㉠ 안동을 제외한 모든 석빙고의 출입구가 긴 방향으로 나 있다.
- ㉡ 출입구는 빙실 바닥에서 지붕 위의 거의 중간 지점에 있다.
- ㉢ 경주의 석빙고는 출입구에서 1/2지점에서 배수구가 난 쪽으로 일정한 간격으로 3개의 구멍이 나 있다.
- ㉣ 모든 석빙고의 구멍은 대체로 배수구 쪽으로 나 있으며 지붕의 정점에 있다.

3. 석빙고의 구멍은 어떤 역할을 할까?

가. 구멍이 있고 없는 석빙고의 얼음의 저장 능력

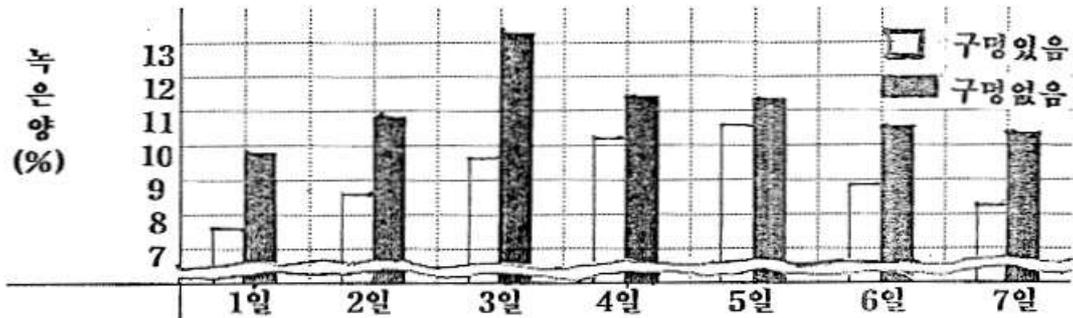
1) 방법

(가) 1/20 모형 석빙고에 얼음을 28kg 채우고 매일 마다 얼음의 녹는 양의 비율을 측정하였다.

2) 결과

<표9> 구멍의 유무에 따라 얼음의 녹는 양 단위 : %

일	1	2	3	4	5	6	7	평균
구멍 있음(3개)	7.6	8.7	9.7	10.2	10.6	8.9	8.2	9.1
구멍 없음	9.9	10.9	13.3	11.5	11.3	10.6	10.4	11.1



<표 11> 구멍의 유무에 따라 얼음의 녹는 양

3) 알게 된 점

(가) 구멍이 있는 석빙고가 없는 석빙고보다 얼음이 적게 녹았다.

(나) 실제 석빙고에는 빙설의 크기가 커서 얼음을 많이 저장했기 때문에 모형 실험보다 얼음이 많이 보존되며 보존 기간이 연장될 것으로 추측됨.

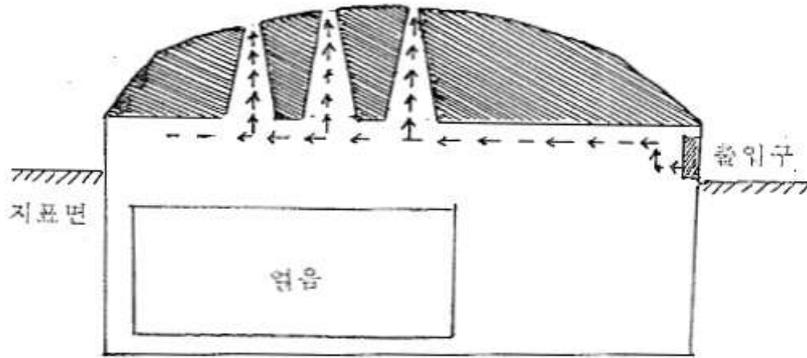
[의문4] 구멍이 있는 석빙고가 얼음이 왜 덜 녹을까?

1) 방법

(가) 1/25 모형 석빙고에 얼음의 8kg 넣고 30분 후 모기향을 피워 연기의 움직임을

을 관찰하였다.
 (나) 1/20 모형 석빙고에 얼음을 28kg을 넣고 빙실 안의 온도를 측정하였다.

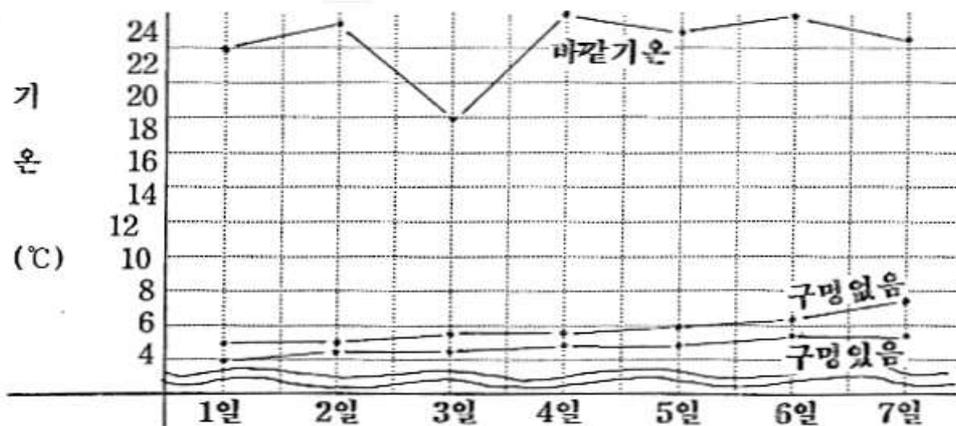
2) 결과



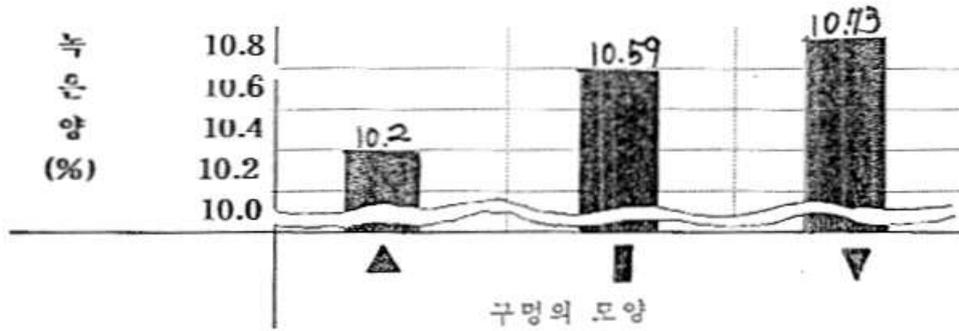
<그림12> 빙실 안과 바깥의 기온 변화

<표10> 빙실 안과 바깥의 기온 변화 단위 : 도

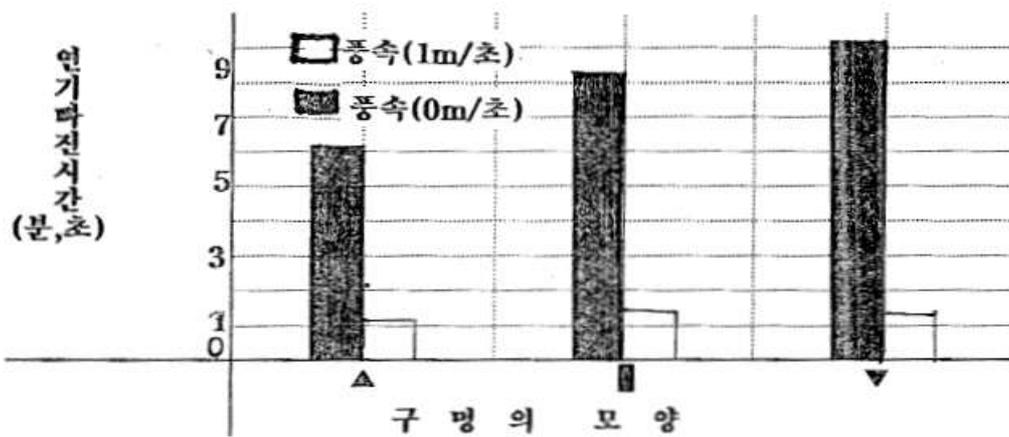
일		1	2	3	4	5	6	7	평균
빙 실	구멍있음	4.0	4.5	4.5	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0
	구멍없음	5.0	5.0	5.5	5.5	6.0	6.5	7.5	5.86
바깥 기온		22	23.5	18	24	23	24	22.5	22.43



<그림 12> 구멍이 유무에 따라 빙실 안의 기온 변화



<그림 16> 구멍이 모양에 따라 얼음의 녹는 양



<그림 17> 구멍의 모양에 따라 공기 빠짐 정도

3) 알게 된 점

- (가) 구멍의 모양이 (▲)처럼 아래 폭이 크고 위의 폭이 작을 때가 얼음이 가장 적게 녹았다.
- (나) 구멍이 모양이 (▲)처럼 아래 폭이 크고 위의 폭이 작을 때가 빙실 안의 공기도 가장 잘 빠져 나왔다.
- (다) 바깥이 바람이 불 때 빙실 안의 공기가 더욱 잘 빠져 나왔다.

다. 구멍의 개수에 따른 얼음의 저장 능력

1) 방법

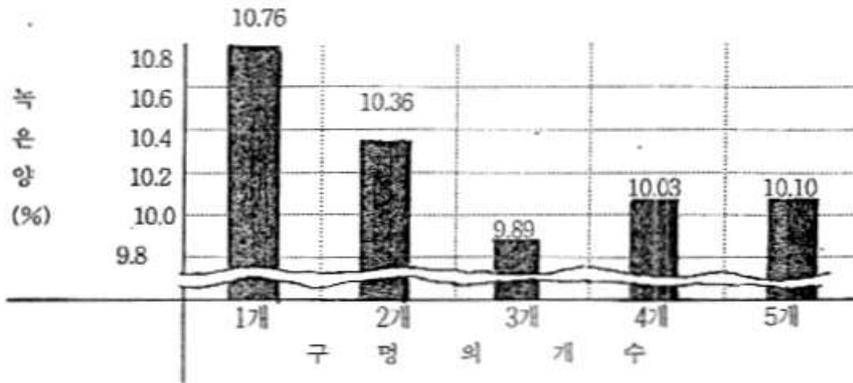
- (가) 모형 석빙고에 구멍을 1-5개를 뚫고 얼음을 28kg을 넣고 매일 같은 시간에 녹은 물의 양을 측정하였다.

2) 결과

<표14> 구멍의 개수에 따라 얼음의 녹는 양

단위 : %

일	1	2	3	4	5	6	7	평균	
구멍의 갯수	1	9.5	10.3	10.8	11.1	10.8	11.6	11.2	10.76
	2	8.9	9.5	10.3	11.1	11.1	10.8	10.8	10.36
	3	8.3	8.9	10.2	10.4	10.5	10.4	10.5	9.89
	4	8.7	9.4	10.7	9.4	11.2	10.5	10.3	10.03
	5	8.5	11.1	11.1	9.5	10.5	9.6	10.4	10.10



<그림 19> 구멍의 개수에 따른 얼음의 녹는 양

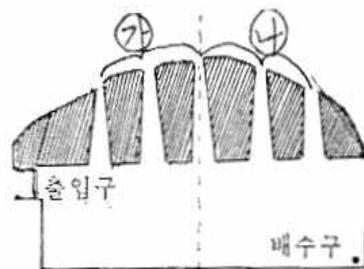
3) 알게 된 점

- o 구멍의 개수가 3개 일 때가 얼음이 가장 적게 녹았다.
- o 빙실의 크기에 따라 구멍의 개수와 크기가 달랐다.

라. 구멍이 위치에 따른 얼음의 저장 능력

1) 방법

(가) 오른쪽 그림과 같이 구멍을 ㉠, ㉡지역에 구멍을 같은 간격으로 3개 뚫고 얼음을 28g 넣고 얼음이 녹는 양을 매일 측정함.



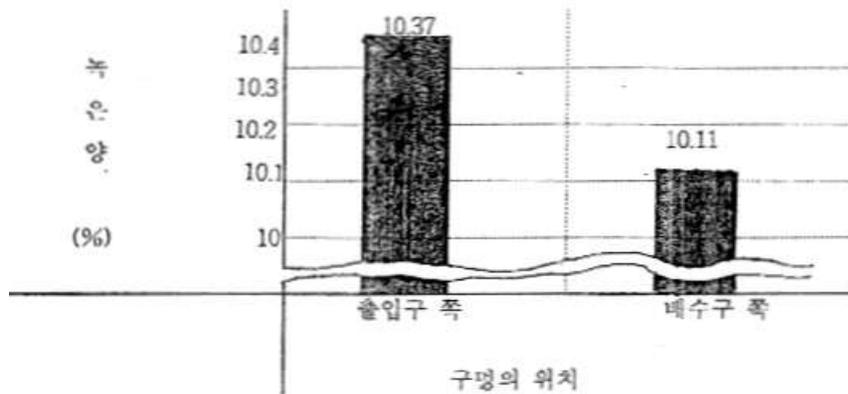
<그림 20> 구멍의 위치

2) 결과

<표 15> 구멍이 위치에 따라 얼음의 녹는 양

단위 : %

일	1	2	3	4	5	6	7	평균	
구멍의 위치	㉠	9.4	9.9	10.2	10.7	10.5	10.8	11.1	10.37
	㉡	9.0	9.4	10.2	10.8	10.2	10.5	10.7	10.11



<그림 21> 구멍의 위치에 따라 얼음의 녹는 양

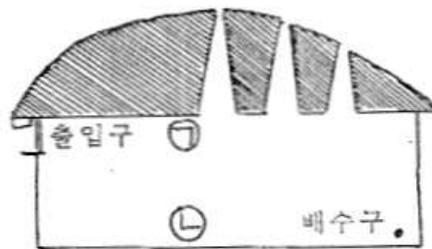
3) 알게 된 점

(가) 구멍의 위치가 출입구 쪽 보다 배수구 쪽으로 뚫려 있을 때 얼음이 적게 녹았다.

[의문 6] 석빙고의 얼음이 적게 녹는 것은 공기의 움직임과 어떤 관계가 있을까?

1) 방법

(가) 1/20모형 석빙고에 오른쪽 같이 얼음을 28kg 씩 넣고 온도계를 ㉠, ㉡에 넣고 매일 시간에 온도를 측정하였다.



<그림 22> 온도계 다는 위치

(나) 오른쪽 그림과 같이 장치하고 톱밥을 조금 넣고 시험관 밑과 중간 부분을 가열하면서 톱밥의 움직임을 관찰하였다.



<그림 23> 물의 대류 실험 장치

2) 결과

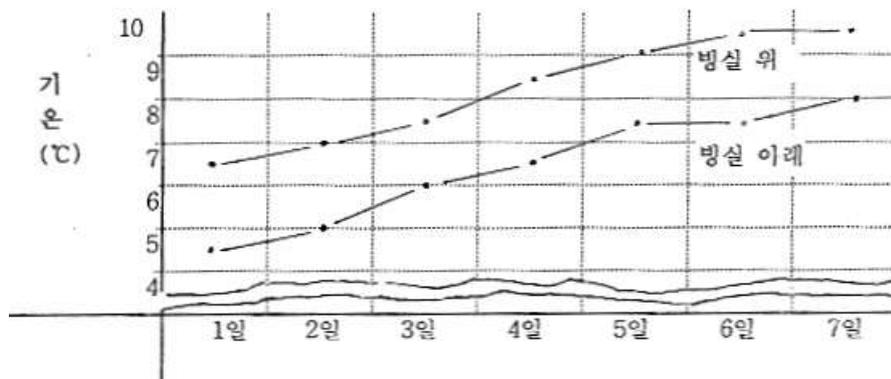
<표 16> 빙실 위아래에 따라 온도 변화

단위 : °C

일		1	2	3	4	5	6	7
온도계 다는 위치	⊕	6.5	7.0	7.5	8.5	9.0	9.5	9.5
	⊖	4.5	5.0	6.0	6.5	7.5	7.5	8.0



<그림24> 시험관 중간부분을 가열할 때 모습



<그림 26> 빙실 위아래의 온도 변화

3) 알게된 점

(가) 빙실 안의 위아래 온도가 1.5°C ~ 2°C 씩 차이가 있었다.

- (나) 시험관의 밑 부분이 가열할 때는 시험관 전체에 대류가 일어나고 중간부분을 가열할 때는 아래 부분은 대류가 일어나지 않았다.
- (다) 마찬가지로 석빙고의 빙실 위의 더운 공기는 지붕의 구멍으로 빠져나가고 아래의 찬 공기는 움직이지 않고 머물러 있어 빙실 속의 얼음이 적게 녹는다는 것을 알았다.

V. 종합결론

1. 석빙고는 온도 변화가 적은 반 지하 구조로 한쪽이 긴 봉토 고분 모양이며 바깥의 외기를 줄이기 위해 출입구의 동쪽이 담으로 막혀 있고 지붕에 구멍이 뚫려 있다.
2. 내부는 바닥이 약 5도의 경사를 이루며 배수구가 있고 5개의 홍예보에 장대석을 걸쳐 천장을 구성하고 있다.
3. 얼음을 배수구 쪽으로 쌓고, 구멍을 출입구의 반대쪽에 3개, 직사각형 기둥 모양으로 뚫었을 때가 얼음이 적게 녹는다는 것을 알았다.
4. 지붕이 봉토 고분 모양이고 홍예 구멍은 아래쪽은 넓고 위는 좁은 직사각형 기둥 모양이며, 바깥의 바람이 불 때 빙실 안의 공기의 잘 빠져 나온다는 것을 알았다.
5. 복사열로 데워진 공기와 출입구에서 들어오는 바깥의 더운 공기가 지붕의 구멍으로 빠져나가기 때문에 빙실 아래의 찬 공기가 오래 동안 머물 수 있어 얼음이 적게 녹는다는 사실을 알았다.
6. 석빙고는 외부의 열을 차단하여 얼음을 오랫동안 보관할 수 있는 구조로 되어 있으며, 특히 석빙고 지붕이 구멍은 석빙고 내부의 얼음을 녹일 수 있는 더운 공기를 효과적으로 밖으로 빼내기 위하여 만든 것임을 알았다.
7. 석빙고는 자연 상태에서 가장 효과적으로 얼음을 오랫동안 저장할 수 있는 구조로 되어 있어 조상들의 과학적인 지혜를 엿볼 수 있었다.