

경주석빙고 구성석재에 형성된 표면오염물의 특징과 그 제거방안

도 진 영

경주대 문화재학부, 780-210 경북 경주시 효현동 산 42-1

**Characteristics of surface pollutants on stone materials and
its cleaning measures in Gyeongju Soekbinggo**

Jinyoung Do

*School of Cultural Assets, Gyeongju University,
San 42-1 Hyohyun-dong Gyeongju Gyeongbuk 780-210, KOREA*

요 약

경주석빙고 내부암석의 표면에는 갈색오염층이 생물체와 함께 두텁게 형성되어 있다. 이 부분에서 소량의 시료를 채취하여 화학성분, 광물성분, 염성분 및 미세조직분석을 실시하였다. 연구 결과, 오염층은 연질로서 제거가 용이한 것으로 파악되었다. 그러나 암석의 표면도 오랜 시간이 오염물질과 수분으로 인해 풍화가 많이 진행된 상태이므로 제거 시 암석층도 함께 제거될 수 있다. 이 표면오염물질은 상부 봉분의 토양이 수분과 함께 석빙고 내부로 흘러내려 암석표면에 흡착된 것과 경주석빙고 입구에 깔려진 조립사질토양에서 부유되는 먼지의 흡착으로 생성된 것으로 추정된다. 경주석빙고를 보존하기 위해서는 표면오염물의 제거에 앞서 형성의 원인인 상부에서 흘러내리는 수분의 방수와 주변에 조성된 조립사질토양을 부유되지 않는 다른 것으로 대체하는 작업이 우선시된다. 이후에 표면오염물을 제거하고, 내부를 습하지 않게 유지해주어야 한다.

Abstract

With biological organism brown pollutants layers are thickly formed on inner stone materials in Gyeongjuseokbinggo(Ice storage in Gyeongju). Some samples were taken from this layer and its chemical composition, mineral composition, salt and microstructures were analyzed. This study shows that the pollutants layer can be removed easily, because it attached softly in stone surface. But because of its serious weathering state the stone surface also can be removed during the removing process. The origins of brown layer are assumed to be the soil in the mound over the Seokbinggo and the coarse sandy soil in the entrance. For the preservation of the Seokbinggo Waterproof and replacement of the coarse sandy soil should take precedence over the remove works. Subsequently moistureproof works should be enforced.

1. 서론

경주석빙고는 내부암석과 외부의 벽석, 공기통풍구 구성암석의 표면오염으로 나누어 조사해야하나 본 연구에서는 내부암석의 표면에 형성된 오염물에 관하여만 논하도록 하겠다.

본 연구에서는 각 석조물들의 피해현상을 자세히 관찰하여 손상형태를 정확히 정리하였고, 문제시되는 부위에서 소량의 시료를 채취하여 정밀분석을 실시한 후 표면오염물의 특성을 정리하였으며, 이에 따른 제거방안을 제시하였다. 또한 이러한 문제점이 발생될 수 있는 원인을 주위의 환경적인 요인과 관련하여 정리하여보았다.

2. 연구방법

시료는 석조물의 방향에 따른 문제점을 파악하기 위하여 모든 방향에서 채취하였으며, 표 1에 채취위치와 그 특징을 실었다. 암석시료는 문화재에서 이탈되고 있는 부분과 이미 떨어진 것을 취하였으며, 표면 오염물질은 메스로 긁어내어 얻었다.

표면오염물의 조직상태를 조사하기 위하여, 디지털현미경, 실체현미경으로

확대하여 분석하였다. 또한 LEO electron Microscope Ltd.의 Leo1455VP 환경 주사전자현미경을 이용하여 표면오염물의 미세조직을 관찰하였다. 표면오염물과 박리암석 시료의 화학성분은 XRF로 시행하였으며, 또한 SEM에 부착된 EDS로 현미경 상에서 관찰되는 부위를 반정량적으로 검사하였다. 표면오염물과 박리암석 시료를 채취하여 분말화 한 후 XRD로 광물성분을 분석하였다. 석조물 표면오염물에 함유된 염류를 이온을 측정을 통하여 분석하였다. 걸러진 용액 중 Cl^- , NO_3^- 과 SO_4^{2-} 등의 음이온은 이온크로마토그래프를 이용하였으며, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 K^+ 와 같은 양이온은 ICP-AES를 사용하여 분석하였다.

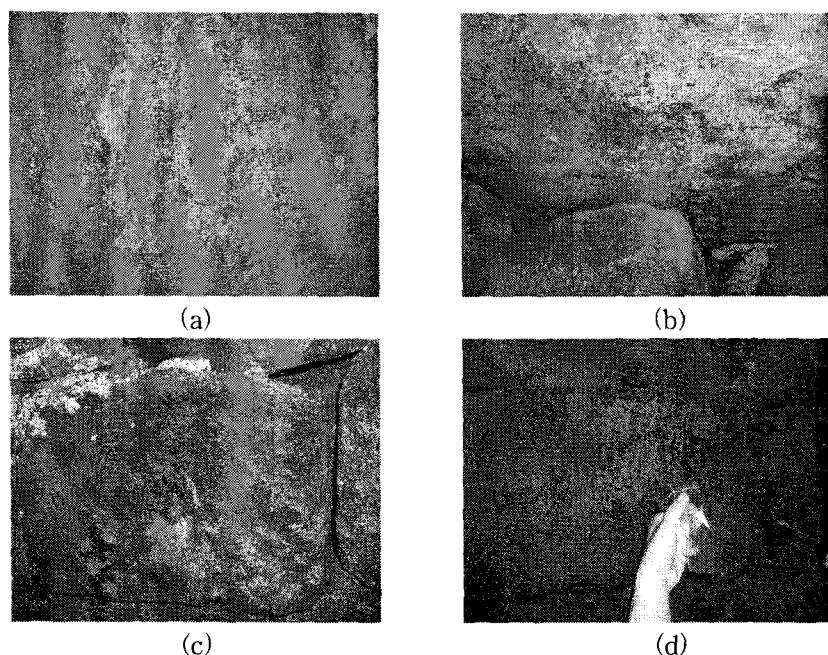


그림 1. 경주석방고 내부 암석 표면 현황.

- (a) 암석표면에 피복된 갈색 점토성물질, (b) 백색피복물질,
- (c) 흑회색피복물질, (d) 녹색생물체

표 1. 경주석빙고의 표면오염물분석을 위한 시료채취 위치와 그 특징.

번호	시료이름	시료채취 위치와 성격
1	석빙고 1	입구에서 좌측으로 지상 2m 부분-흑갈색가루
2	석빙고 2	입구에서 좌측으로 1m, 지상 2m 부분-흑갈색가루, 갈색
3	석빙고 3	석빙고 2에서 좌측으로 1.5m 지점-박리시편
4	석빙고 4	동편벽, 석빙고 3에서 좌측으로 1m 하부-점토성물질
5	석빙고 5	동편벽, 석빙고 4에서 좌측으로 1m-점토성물질
6	석빙고 6	동편벽, 5번 홍예 중앙에서 동쪽으로 1m 지점-갈흑색 점토성물질
7	석빙고 7	동편벽, 2,3번 홍예 가운데, 지상 1.5m, 점토성 시료-백색, 녹색
8	석빙고 8	동편벽, 석빙고7에서 좌측으로 25cm, 박락시료, 표면에 갈색물질피복
9	석빙고 9	동편벽, 4번 홍예 아래, 지상에서 1.5m지점, 갈색, 녹색-점토성 피복물질
10	석빙고 10	동편벽, 4,5번 홍예 사이, 지상 1.4m지점, 점토성피복물질
11	석빙고 11	북편벽, 지상 1.5m, 갈녹색 피복물질, 동편에 비해 심함
12	석빙고 12	북편벽, 서쪽 1.7m, 지상 1.5m 지점, 갈녹색 피복물질
13	석빙고 13	서편벽, 4,5번 홍예 사이, 지상 1.5 m 지점, 갈녹색 피복물질
14	석빙고 14	서편벽, 3,4번 홍예 사이, 지상 1.5m 지점, 박락시편, 갈색물질로 피복
15	석빙고 15	서편벽, 2번 홍예 천정 8번째 홍예, 갈색 피복물질
16	석빙고 16	서편벽, 2번 홍예 중앙지점, 박락입자, 백색생물체
17	석빙고 17	천정, 2번 홍예, 천정동쪽지점, 박락편, 녹,백,갈색물질로 피복
18	석빙고 18	천정, 3번 홍예, 중앙지점, 회녹색(곰팡이), 피복물질
19	석빙고 19	천정, 3번 홍예, 중앙지점, 측면, 회녹색(곰팡이), 피복물질
20	석빙고 20	북면, 지상 3.5m, 박락석 및 갈색피복물질, 흑색물질(곰팡이)
21	석빙고 21	석빙고 입구 주변 지면의 조립사질토양
22	석빙고 22	석빙고 상부봉분의 토양

3. 경주석빙고의 표면오염물

경주석빙고의 내부는 매우 습하며, 상부에서 흘러내리는 수분으로 인하여 암석이 젖어있는 상태로 오랫동안 유지되어 오고 있는 실정이다. 암석에 손상

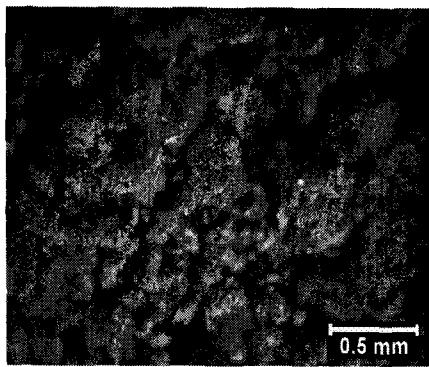
을 일으키는 가장 큰 원인이 수분이라고 알려져 있는 바에 따르면, 경주석빙고 내부의 암석은 열악한 보존환경에 처해 있는 것이다. 내부의 천장과 벽석 표면에서는 흑색, 갈색 및 적갈색의 토양층이 두텁게 피복되어있는 것을 쉽게 볼 수 있다(그림 1(a)). 이러한 토양층들은 암석부재와 부재사이에서 더욱 두텁게 형성되어 있으며, 수분의 흘러내림에 따라 아래로 흘러내리다가 굳어진 모양을 갖추고 있다. 이 표면오염층은 손으로도 쉽게 긁혀져 떨어지며, 메스로 긁으면 표면오염층 뿐만 아니라 구성 암석 자체도 쉽게 이탈되고 있다. 이는 암석표면이 심하게 풍화되어 있음을 보여주는 것으로, 표면오염물의 성격을 밝힘으로서 그 영향을 자세히 알 수 있을 것이다.

여기에 생물체로 추정되는 녹색, 백색 및 흑녹색의 층이 또한 암석의 표면에 자리잡고 있음이 관찰된다(그림 1(b), (c), (d)). 내부 전암석의 표면에 생물체가 자랄 수 있을 만큼의 토양층이 얇게 형성되어 있기 때문에 이러한 현상이 관찰되는 것으로 보인다. 더 이상 석빙고로서의 기능을 하지 않고 있기 때문에 습기를 제거할 수 있는 방법을 모색하는 것과 암석표면에 형성된 표면오염층의 생성원인, 제거방법 및 생성원인의 제거가 가장 적절한 보존방안이 될 것이다.

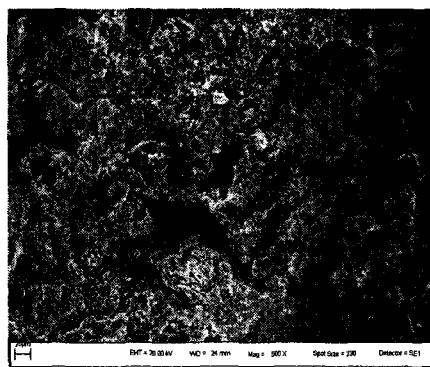
석빙고 입구주변에 형성된 흑갈색 점토성 물질을 현미경하에서 관찰하여 그림 2에 나타내었다. 얇고 작은 판상으로 광물입자들로 구성되어 있으나 그림 2(d)처럼 상이한 조직도 관찰된다. 이러한 구조는 전형적인 점토광물에서 보이는 것으로 이 점토광물 외에 크기가 불균일한 입자들도 군데군데에서 관찰되는데 이것이 암석에서 떨어져 나온 입자들인지, 공기 중에 부유되어 점토성 물질에 포획된 입자인지는 알 수 없다. 경주석빙고 내부암석은 표면오염층 뿐만 아니라 표면오염층 바로 밑의 암석표면도 상당히 풍화되어 있음을 알 수 있다. 그림 2(f)는 표면오염층 바로 아래의 암석표면을 현미경하에서 관찰한 것을 나타낸 것이다. 그림 2(e)의 표면오염층은 점토성물질과 흑색의 생물체가 혼재되어 있는 것으로, 이 오염층을 걷어낸 후 드러난 암석의 표면에서는 암석의 공극사이로 이러한 오염물질이 깊숙이 들어가 있음을 잘 보여준다. 이 오염물질은 수분에 의해 쉽게 녹아 흘러내리므로 제거는 그리 어렵지는 않을 것이다. 그러나 암석표면이 매우 약해져 있기 때문에 이 오염물질을 수성 세척방법을 이용하여 제거한다면, 암석의 구성광물입자의 이탈도 어느 정도 함께 있을 수 있다.

표 2. 경주석빙고 내부암석표면의 화학성분

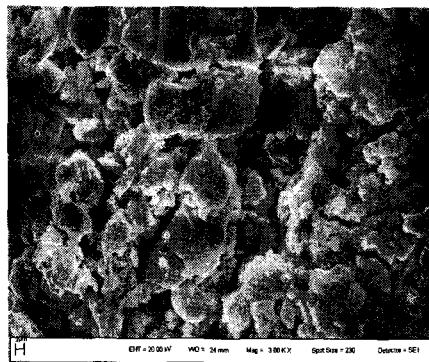
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	ZrO	total
석빙고 4	0.03	0.09	12.64	78.74	-	1.24	0.65	-	-	6.62	-	100.0
석빙고 4 A지점	-	0.07	5.66	90.33	-	0.29	0.17	-	-	3.48	-	100.0
석빙고 6 500배	1.79	0.18	20.06	63.71	-	1.66	0.11	-	-	12.07	0.43	100.0
석빙고 6 3000배	2.39	-	20.08	62.96	-	2.10	-	-	-	12.47	-	100.0
석빙고 10	0.51	0.28	13.17	75.22	-	2.20	-	0.56	-	8.07	-	100.0
석빙고 10 A지점	-	0.30	11.10	80.26	-	0.78	-	-	-	7.56	-	100.0
석빙고 13	0.29	-	8.36	84.17	-	1.78	-	-	-	5.40	-	100.0
석빙고 14	-	-	14.82	77.77	-	0.98	-	0.17	-	6.22	0.05	100.0
석빙고 14 A지점	-	-	3.43	95.57	-	-	-	-	-	1.00	-	100.0
석빙고 15	-	0.74	23.04	60.43	-	1.54	1.30	0.29	0.99	11.35	0.32	100.0
석빙고 15 A지점	-	-	4.79	91.96	-	0.38	-	-	-	-	2.87	100.0
석빙고 17	0.49	0.65	15.92	67.87	-	2.12	1.03	0.73	-	11.18	-	100.0
석빙고 17 A지점	-	-	6.84	72.61	-	0.53	0.39	-	-	19.62	-	100.0
석빙고 17 B지점	-	-	5.73	86.35	-	1.42	1.52	-	-	4.98	-	100.0
석빙고 18 500배	0.43	0.37	19.02	68.81	1.55	0.66	4.97	-	-	4.20	-	100.0
석빙고 18 3000배	0.09	0.05	18.55	72.43	-	0.67	5.06	-	-	2.64	0.51	100.0
석빙고 20 500배	0.53	0.37	8.88	79.20	1.76	2.01	0.67	-	-	4.97	1.62	100.0
석빙고 20 3000배	0.05	0.05	8.64	86.68	-	1.26	-	-	-	3.31	-	100.0
석빙고 21 207배	1.67	0.26	12.64	75.50	-	4.74	1.29	-	-	3.88	-	100.0
석빙고 21 1000배	3.01	-	17.32	67.46	-	10.45	0.43	-	-	1.33	-	100.0
석빙고 22	1.10	0.30	14.52	71.74	-	2.30	2.04	0.89	-	7.10	-	100.0



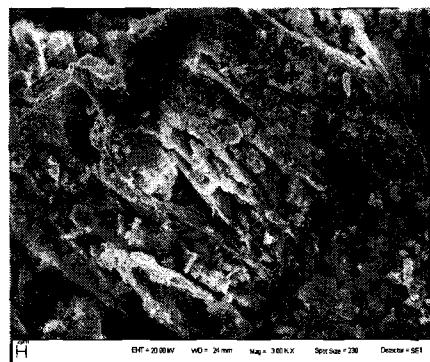
(a) 실체현미경



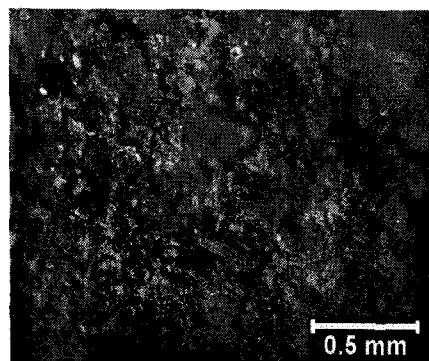
(b) 전자현미경 (500 배)



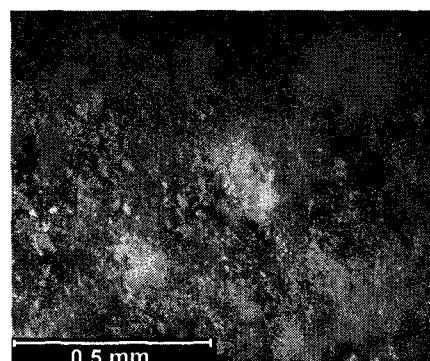
(c) 전자현미경 (3000 배)



(d) 전자현미경 (3000 배)



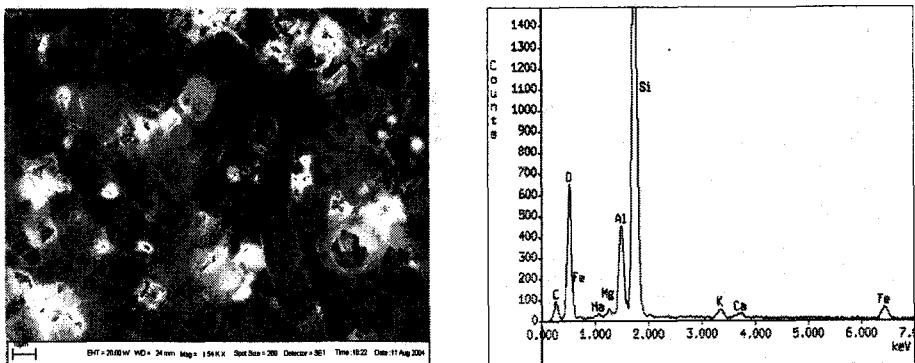
(e) 표면오염층



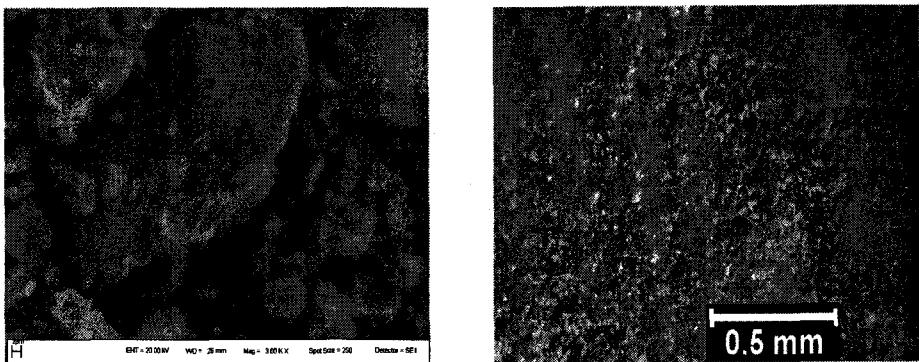
(f) 표면오염층을 걷어낸 후의
암석표면

그림 2. 석빙고 1, 3 시료의 미세조직.

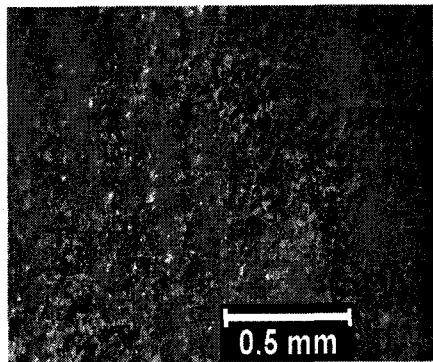
(a), (b), (c), (d) : 석빙고 1, (e), (f) : 석빙고 3



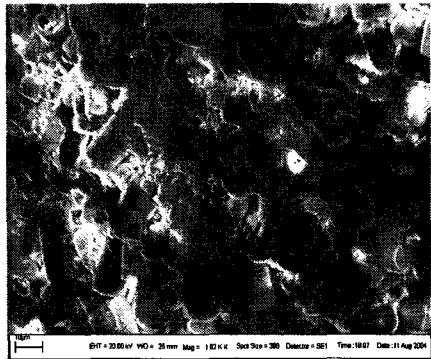
(a) 석빙고 4, 전자현미경(1500배)과 화학성분 피크



(b) 석빙고 10, 전자현미경(3000배)



(c) 석빙고 13, 실체현미경



(d) 석빙고 13, 전자현미경(1820배)

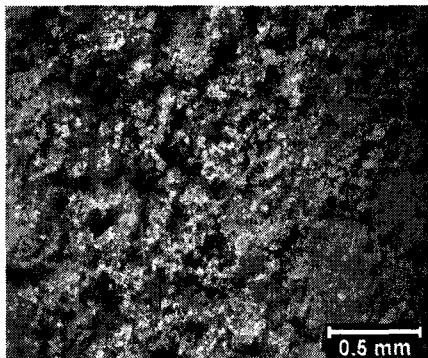


(e) 석빙고 14, 전자현미경(3000배)

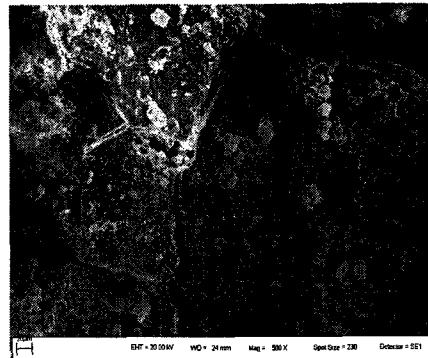
그림 3. 갈색 점토성 페복물질에서 관찰되는 규조류(diatom)

입구에서 약간 떨어진 곳에서 채취한 갈색 점토성 물질인, 동편벽에서 채취한 석빙고 4, 석빙고 10, 서편벽에서 채취한 석빙고 13, 석빙고 14, 석빙고 15, 그리고 천정에서 취한 석빙고 17 시료의 전자현미경 관찰에서 매우 흥미로운 사실을 알 수 있다. 석빙고 14 시료가 약간의 녹색을 띠고 있는 것을 제외하고, 걸보기 면에는 앞에서 살펴본 석빙고 1, 석빙고 2, 석빙고 6 시료와는 달라 보이지 않았다. 그림 3에는 각각의 시료에서 관찰되는 전자현미경상과 실체현미경상을 나타내었다. 그림 3(a)는 석빙고 4 시료에서 관찰되는 모습으로, 속이 빈 가는 관들이 작은 단위로 연결되어 있기도 하고, 떨어져 있기도 하다. 이 조직은 점토성광물의 것은 아니며, 생물체에서 기인한 규조토(diatomite, diatomaceous earth)임이 밝혀졌다. 생물체인 규조류(diatom)는 갈색 조류로, 갈색식물문의 한 강으로 정리되며, 흔히 돌말이라고 부르는 종류이다. 이러한 규조류의 유해로 된 연질의 암석 또는 토양이 규조토로서, 흡착성이 매우 뛰어난 점이 특징이다. 석빙고 4 시료의 성분을 측정하여 그림 3(a)에 피크로 표현하였으며, 그 정량적인 함량은 표 2에 실었다. 양질의 규조토는 SiO₂ 함량이 90%이상으로 알려져 있으나, 석빙고 4나 석빙고 10 시료 전체에서는 그림 3(b),(c)에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 일반 광물들과 함께 형성되어 있어서인지 이 보다는 낮은 값(70-85%)으로 측정되었다. 그러나 그림 3(a)에서 관찰되는 규조류 입자 한군데만을 측정하였을 때는 90% 이상의 SiO₂ 가 검출되고 있는 것을 알 수 있다.

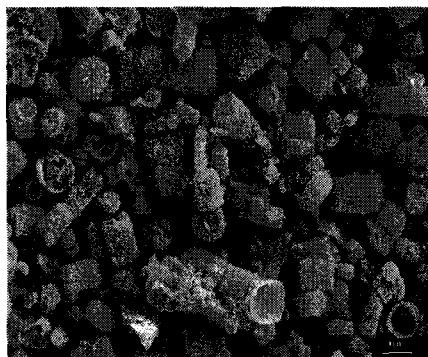
서편벽에서 채취한 석빙고 15시료의 그림 4(a)의 실체현미경 사진에서 보이는 작은 광물알갱이들과 판상의 암석입자들로 구성된 갈색피복물질이 전자현미경하에서는 그림 4(b)처럼 암석편 위에 작은 입자들이 흡착되어 있는 것으로 관찰된다. 이 작은 입자들을 확대하여 보면 위에서 언급한 규조류임을 알 수 있는데, 그림 4(d) A부분의 화학성분결과는 이 부분이 잘 형성된 규조류임을 보여주고 있다. 갈색피복물질이 함유하고 있는 수용성염성분을 알아보기 위해 이 시료를 대상으로 염측정을 실시하였다.



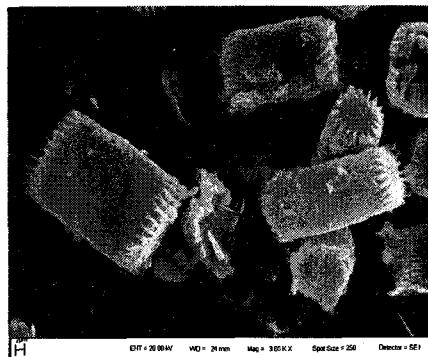
(a) 실체현미경관찰 모습



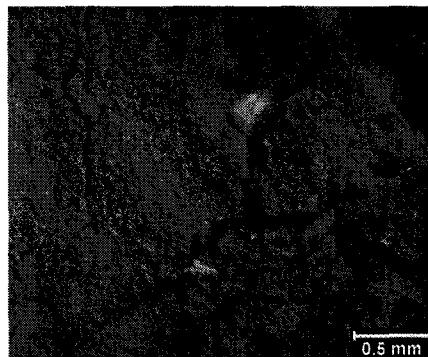
(b) 전자현미경 (500배)



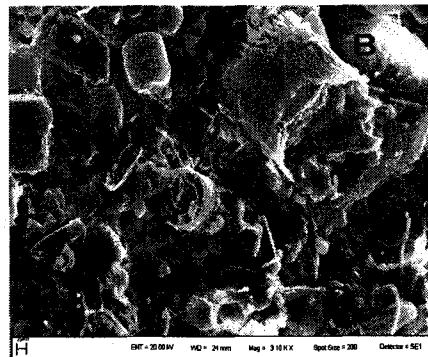
(c) 전자현미경(1000배)



(d) 전자현미경(3000배)



(e) 실체현미경사진, 표면,



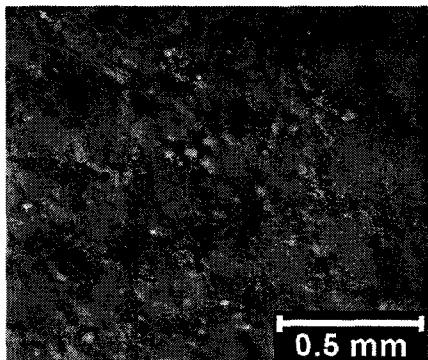
(f) 전자현미경사진, 3000배

그림 4. 석빙고 15, 17의 현미경 사진.

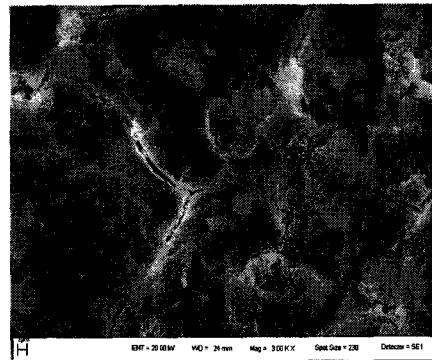
(a), (b), (c), (d) : 석빙고 15, (e), (f) : 석빙고 17

시료 중 상대적으로 큰 암석입자는 제외하고 작은 입자를 골라 곱게 분쇄한 후 중류수에 담근 후 녹아나온 이온성분을 측정하였다(표 3). 큰 암편을 포함한 이 시료의 전체 화학성분은 표 2(석빙고 15)에 나와 있는 것처럼, 철성분이 11% 대로 상당량 함유되어 있으며, 수용성염을 형성하는 성분들의 함량은 높지 않은 편이다. 그러나 수용성염성분을 살펴보기 이전에, 시료의 구성화학성분을 측정한 EDS 기기의 한계는 0.1%로 그 이하의 값은 신뢰할 수 없거나 나타나지 않는다는 점을 감안해야한다. 수용성염에서는 검출되고 있는 성분들이 화학성분에서 검출되지 않았을 수 있다는 말이다. 여하튼 측정결과, 갈색피복물질이 함유하고 있는 수용성염은 주로 칼슘과 칼륨이온이 염화, 황산이온과 결합하여 생성된 염으로 추정된다. 양이온에 비해 음이온의 양이 상대적으로 적게 검출되어 실질적인 수용성염의 형태로는 많지 않아 보이나, 공기 중에서 부유하거나, 대기오염물질에서 유래되는 음이온이 유입되는 경우 여분의 양이온과 결합하여 암석에 유해한 염성분을 형성할 수 있게 되므로, 주변 환경에 신경을 써야 할 것이다.

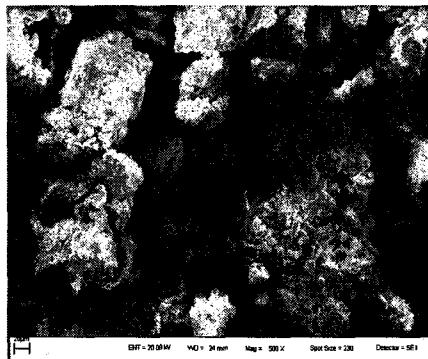
석빙고 천정에서 채취한 시료인 석빙고 17의 표면은 그림 4(e)와 같이 녹갈색의 물질이 피복되어 있으며, 그 녹갈색의 피복층 바로 아래는 진한 갈색의 점토성 물질이 형성되어 있다. 전자현미경관찰 결과 규조류가 다량 존재하고 있는데, 규조류 외에 이보다 더 작은 입자들도 함께 혼재하고 있음을 볼 수 있다. 그림 4(f)에서 관찰되는 규조류 내부는 화학성분을 측정한 결과, 이러한 작은 입자의 점토성 물질로 어느 정도 채워져 있음을 추정해볼 수 있다.



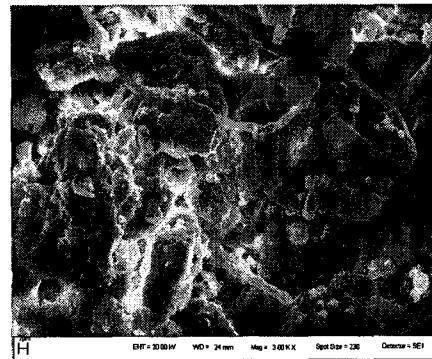
(a) 석빙고 18, 흑색물질



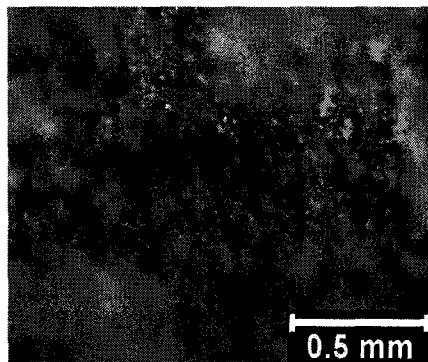
(b) 석빙고 18, 전자현미경사진(3000배)



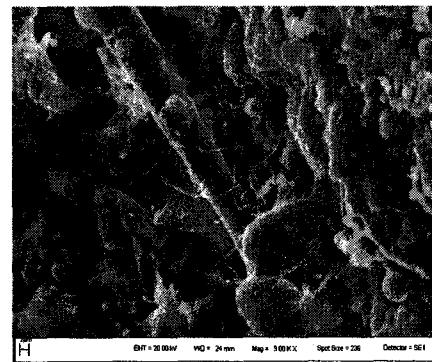
(c) 석빙고 19, 전자현미경사진(500배)



(d) 석빙고 19, 전자현미경사진(3000배)

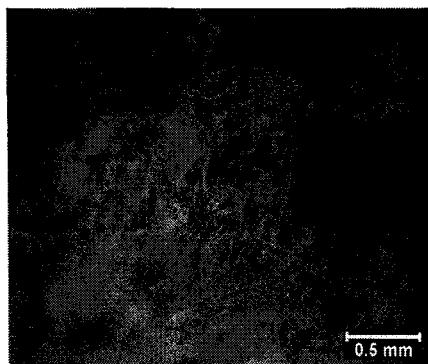


(e) 석빙고 20, 흑색물질

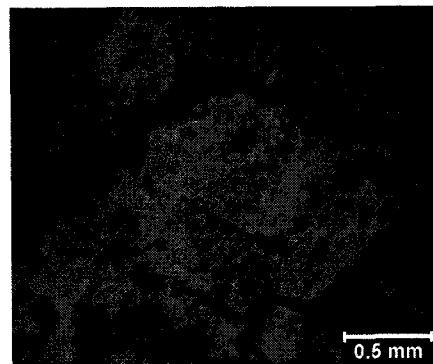


(f) 석빙고 20, 전자현미경사진(3000배)

그림 5. 석빙고 18, 19, 20의 미세조직

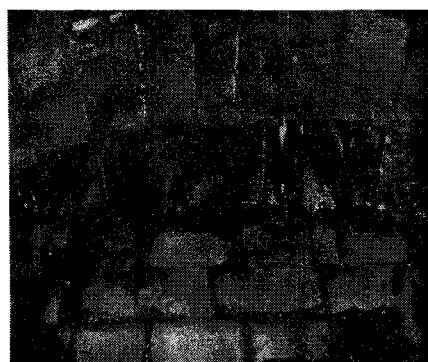


(a) 석빙고 7

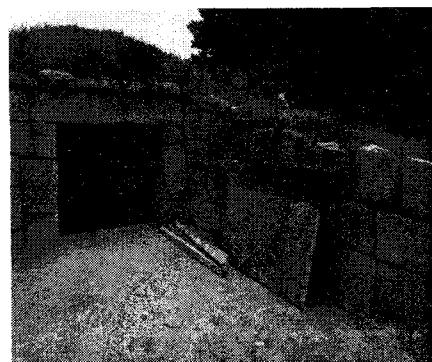


(b) 석빙고 16

그림 6. 석빙고 7, 16의 실체현미경 사진



(a) 수분 흘러내림



(b) 외관

그림 7. 경주석빙고 내부의 수분 흘러내림과 외관모습

표 3. 경주석빙고 내부암석 표면시료에서 검출된 이온성분

시료명	음이온(ppm)				양이온(ppm)				
	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Na^+	Ca^{2+}	Fe^{2+}	K^+	Mg^{2+}
석빙고 15	331.2	6.5	451.6	1072.0	331.6	1305.3	29.1	1305.3	232.9
석빙고 21	341.7	270.7	314.7	108.3	672.5	636.4	22.8	636.4	137.6
석빙고 22	50.2	242.4	144.8	178.8	371.6	123.8	335.6	123.8	47.9

마찬가지로 천정에서 채취한 석빙고 18 시료의 표면은 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 흑색물질이 점토성 광물질과 함께 섞여 피복되어 있으며, 보통의 곰팡이 냄새라고 말하는 그러한 냄새가 심하게 나고 있다. 이곳에서는 규조류의 존재를 관찰할 수 없었으며, 전자현미경하에서 관찰하였을 때에도 판상의 점토광물입자만이 눈에 띠고, 별다른 점은 살펴볼 수 없었다. 그러나 화학성분 결과, 흑색물질이 존재하는 표면에서 황성분이 검출되었다는 것이 주목된다. 다른 부분에 비해 칼슘함량도 상당히 높게 검출된 것으로 보아 황산칼슘화합물로 존재할 수도 있음을 암시한다. 이 흑색물질이 무엇인지에 대해서는 정확한 정보가 아직까지는 도출되지 않아 생물과 연관하여, 차후에라도 자세한 연구가 필요하겠다. 석빙고 18 시료와 함께 천정에서 채취한 석빙고 19와 북편 벽에서 채취한 석빙고 20 시료에서도 흑색물질이 관찰되었다. 이 시편들에서는 석빙고 18과는 달리 생물체로 여겨지는 것들을 볼 수 있었다. 판상의 광물입자 위로 실 같은 모습과 등근 형태의 조직이 그림 5(d), (f)에서 보여진다.

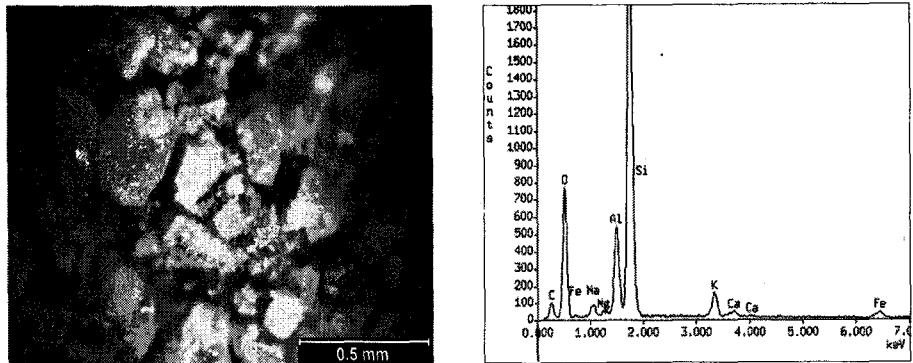
동편벽에서 채취한 녹색을 띤 석빙고 7, 9 시료와 서편벽에서 취한 백색반점을 지닌 석빙고 16 시료를 관찰하여, 그림 6에 나타내었다. 석빙고 7과 석빙고 9의 녹색표면은 그림에서 보다시피 녹색생물체에서 기인된 것임을 알 수 있다. 즉 암석의 표면에는 녹색생물이 서식할 수 있을 정도로 토양층이 형성된 것을 잘 보여주는 것이다. 그림 1(c)의 암석표면에서 관찰되는 백색반점 또한 현미경하에서 살펴본 결과 생물체임이 확인되었다.

이와 같이 경주석빙고 내부암석의 표면에는 점토성 물질과 더불어 생물체들이 왕성하게 서식하고 있다. 그렇다면 표면오염물의 근원인 갈색 점토성 물질은 어떻게 생성된 것이며, 또한 어떠한 조건 때문에 생물체가 이처럼 왕성하게 서식할 수 있게 된 것인가?

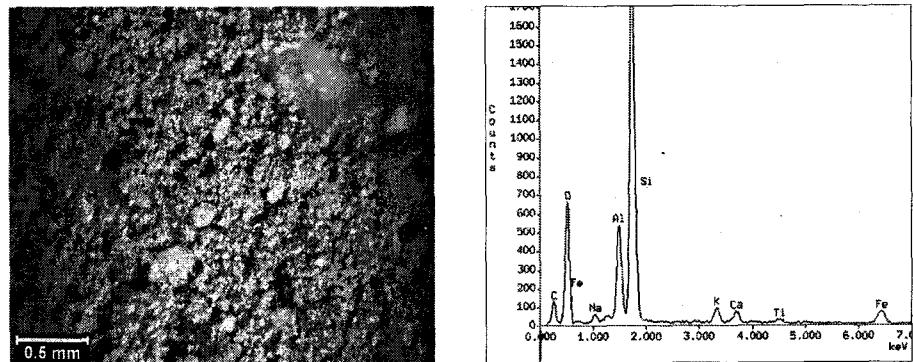
경주석빙고는 외부의 더운 기온을 차단하기 위해 상부에 흙으로 두터운 봉분을 쌓은 후 그 위에 잔디를 식재하였다(그림 7(b)). 이 봉분 아래에 화강암으로 구성된 내부벽체가 놓여 있는데, 이곳에서 충분한 방수가 되지 않는 것으로 보인다. 그림 7(a)에서 보는 것과 같이 천정이나 벽체에서 흘러내리는 수분으로 벽체가 거의 항상 젖어 있으며, 이 흘러내리는 수분과 함께 상부 봉분의 토양입자들도 흘러내려 암석의 표면에 부착되는 것으로 추정된다. 내부암석에 피복된 갈색물질의 화학성분에서 상당히 높은 함량의 철성분(~19.62%)이 측정되었음을 표 4에서 볼 수 있다. 상부봉분을 형성한 흙에서 7.1%의 철성분이 검출된 것은 내부암석 표면에 부착된 갈색물질이 상당부분 상부봉분의 흙

에서 기인하고 있음을 잘 말해주는 것이다. 이러한 토양은 입자의 크기가 매우 미세하며 상대적으로 균일한 크기를 보일 것이다. 그러나 암석의 표면에 퍼복된 갈색물질에서는 크고, 작은 크기의 입자들도 함께 관찰된다. 이러한 것의 원인은 경주석빙고 주변의 환경에서 쉽게 파악할 수 있다. 경주석빙고의 입구는 지면보다 낮게 만들어져 있으며, 그 앞에는 미갈색의 조립질사질토양이 두텁게 깔려져 있다(그림 8(a)). 경주지역의 거센 바람과 경주석빙고가 위치한 월성지대가 중요 관광지임을 감안한다면, 이 조립질사질토양은 석빙고 내부에 충분한 문제를 일으킬 소지를 제공해주는 것이다. 봄가을 하루 평균 3,000명의 관람객이 다녀간다는 통계로 미루어 볼 때 관람객이 밟고 다니면서 일으키는 모래먼지는 상당할 것이며, 이 모래먼지가 철창살로 닫혀진 석빙고의 내부로 충분히 유입될 수 있기 때문이다. 석빙고의 내부벽체는 거의 항상 젖어 있는 상태이기 때문에 유입된 먼지 입자가 벽체에 쉽게 흡착될 수 있으며, 암석의 표면에 형성되어 있는 규조토 또한 매우 뛰어난 흡착성을 지니고 있기 때문에 먼지입자를 쉽게 흡착할 수 있을 것이다. 이렇게 암석의 표면에 형성된 토양층에, 충분히 공급되는 수분, 입구로부터 들어오는 햇빛, 나아가 관람객을 위해 어두운 내부를 비춰주기 위해 설치한 조명시설이 내뿜는 온기는 생물체가 살기에 적당한 조건이 되는 것이다. 내부 깊숙한 곳에서는 곰팡이들의 서식이 왕성하며, 이로 인해 석빙고 내부에서는 곰팡이 냄새가 심하게 나고 있고, 햇빛이 잘 드는 곳에서는 녹색생물체의 서식이 두드러져 보인다.

위에서 살펴본 결과 경주석빙고 내부암석의 표면에는 두터운 갈색토양층이 생물체와 함께 형성되어 있다. 연질로서 손으로 긁어도 제거가 되기 때문에 건식이든 습식세척방법이든 간에 이 표면오염층을 제거하는 것은 그리 어려워 보이지 않으나 암석의 표면도 오랜 시간 이 오염물질과 수분으로 인해 풍화가 많이 진행된 상태이기 때문에 조심을 해야 한다.



(a) 석빙고 21, 조립질사질토양



(b) 석빙고 22, 상부봉분의 흙

그림 8. 석빙고 21, 22의 실체현미경 사진과 화학성분 피크

그러나 중요한 사실은 암석표면의 오염층을 제거하는 것만이 능사가 아니라는 것이다. 제거된다 하더라도 생성원인이 제거되지 못하면 계속해서 이러한 오염층이 생성될 것이기 때문이다. 세척 또한 암석에 큰 손상을 입히는 인위적인 행위이기 때문에 반복되는 세척은 있을 수 없다. 수분과 함께 상부봉분의 토양이 석빙고 내부로 흘러내리기 때문에, 무엇보다도 석빙고 내부에 수분이 흘러내리는 문제를 가장 시급히 해결해야 할 것이다. 이와 더불어 경주석빙고 입구 앞에 깔려진 조립질사질토양에서 부유되는 먼지가 상당하기 때문에 이 또한 부유되지 않는 다른 것으로 대체되어야 한다. 그런 다음 표면오염물을 제거해야 올바른 순서가 될 것이며, 제거 후 석빙고의 내부를 습하지 않게 유지해준다면 생물체에 의한 오염도 사라질 것이다.

4. 결론

위의 연구결과를 바탕으로 경주석빙고의 표면에 형성된 오염물을 정리하여 보면 다음과 같다.

- 현황 : 내부암석의 표면에는 두터운 갈색오염층이 생물체와 함께 형성되어 있음.
- 세척 : 이 오염층은 연질로서 제거가 용이.
그러나 암석의 표면도 오랜 시간 오염물질과 수분으로 인해 풍화가 많이 진행된 상태이기 때문에 조심을 해야 함.
- 기원 : 상부 봉분의 토양이 수분과 함께 석빙고 내부로 흘러내려 암석표면에 흡착, 경주석빙고 입구에 깔려진 조립사질토양에서 부유되는 먼지의 흡착.
- 방안 : 석빙고 내부에 수분이 흘러내리는 것 방지.
경주석빙고 입구 앞에 깔려진 조립사질토양을 부유되지 않는 다른 것으로 대체한 후에 표면오염물을 제거. 석빙고의 내부를 습하지 않게 유지.

참고문헌

1. Arnold. A. Zehner K., Salt weathering on monuments, *Analytical methodologies for the investigation of damaged stones*, 14–21, (1990)
2. Riederer, J., Staub-Reinhalt, *Luft*, 33, 52, (1973)
3. Butterworth, B., *Transaction of the 7th International Ceramic Congress*, London,, 2, 275–285..(1960)
4. Leysen, L. et al., Air-Pollution-Induced chemical decay of a Sandy-Limestone cathedral in Belgium, *The Science of the Total Environment*, 78, 263–287, (1989)
5. Aires-Barros, L., *The Decay of Stonework: Mechanism, Methodology of Study, Weathering and Air Pollution*, p.111–118, (1991)
6. Vos B.H. and Tammes E, Flow of water in the liquid phase, *TNO for building materials and building structures*, Rep No B1, Inst. Delft,

- Holland, pp.45, (1969)
7. Winkler E.M., *Stone in Architecture*, 3ed., p.166, Springer-Verlag, Germany, 1994
 8. Winkler E.M. and Wilhelm E.J, Saltburst by hydration pressures in architectural stone in urban atmosphere, *Geol Soc Am Bull*, **81**(2), 567-572, (1970)
 9. Schuh, H., Physikalische Eigenschaften von Sandsteinen und ihren verwitterten Oberflächen, *Münchener geowissenschaftliche Abhandlungen* (1987)