

# 경주석빙고 내부의 생물 분포에 관한 연구

윤윤경

숙명여자대학교 자연과학연구소

## Biodeterioration in Gyeongjuseokbinggo

Yun-Kyung Yun

*The research institute of natural science, Sookmyung Women's University*

### Abstract

This paper presents the results of a study carried out on the diversity of the living microorganisms colonizing the inside of Gyeongjuseokbinggo(Treasures 66) and their effect on the substrate. The inner walls and the arch were first examined with the unaided eye. Green thick mats of algae and microorganisms covered the great part of the walls. For the laboratory research this green biogenic layer and the next soil layer were collected by scraping the walls and the arch under aseptic conditions. The material was then cultured in laboratory. In result, many different species of bacteria, fungi, algae, cyanobacteria and actinomycetes were isolated from the samples.

### 1. 서론

얼음을 넣어두는 창고로 사용되던 석빙고는 우리나라에 여러 개가 남아있으나, 경주석빙고(보물 66호)를 비롯한 5개의 석빙고가 문화재청에 의하여 보물로 지정되었다. 보물 305호 안동석빙고, 보물 310호 창녕석빙고, 보물 323호 청도석빙고와 보물 673호 현풍석빙고 외에 사적으로 지정된 석빙고도 있다.

각각의 석빙고에 따라 출입구의 방향이 다르긴 하지만, 내부 구조는 대부분

비슷하다. 출입구를 들어가면 계단을 통하여 밑으로 내려가게 되어 있으며, 안으로 들어갈수록 바닥이 경사면을 이루고 있어서 물이 흘러 배수가 될 수 있게 만들어졌다. 지붕은 반원형이며 환기구가 있어서 바깥 공기와 통하게 되어 있다.

그 중에서 경주석빙고는 조선 영조 14년(1738)에 축조된 것으로 길이 12.27m, 높이 5.21m, 폭은 5.76m로 다른 석빙고와 비교하여 그 규모면에서 제일 크다. 석빙고의 출입구는 남쪽에 있는데, 격자모양의 철문으로 되어 있어서 문 사이를 통하여 일반인의 관람은 가능하지만 내부로의 출입은 통제된다. 또한 신라시대의 유적이 많이 남아있는 경주에 위치하고 있어서 일반인들도 '석빙고'하면 당연히 경주석빙고를 떠올릴 만큼 유명하다. 그러나 안타깝게도 경주석빙고가 다른 석빙고와 비교하여 생물학적으로 훨씬 많이 훼손되어 있다. 내부의 벽은 미세조류(*algae*)와 시아노세균(*cyanobacteria*) 등의 서식으로 인하여 녹색을 띠고 있었으며, 그 외에도 지의류, 이끼류, 양치식물 등이 분포하고 있었다.

본 보고서는 경주석빙고 내부의 생물분포에 관한 연구 결과로, 현장조사와 실험실 연구를 병행한 것이다. 또한 본 연구결과를 토대로 경주석빙고와 타석빙고를 비교함으로써, 생물학적인 관점에서 경주석빙고의 보존에 관하여 언급하였다.

## 2. 현장 조사

현장조사는 2004년 5월 20일에 있었는데, 석빙고 내부의 벽면은 전체적으로 매우 습하였으며, 바닥에는 물이 고여 있었다.

조사당일 전면의 벽은 전체적으로 마치 녹색 페인트를 칠한 것 같았다. 가까이에서 관찰한 결과, 물이 고여 있는 부분이 있었으며, 이 부분이 다른 부위보다 좀더 진한 녹색을 띠고 있었다. 이 녹색의 물질은 벽석 표면에 생물이 형성한 두껍고 균일한 매트로 군데군데 떨어져 나간 곳이 있었으나, 석빙고 내부의 전면 전체를 덮고 있었다. 이것은 많은 수의 미세조류(*algae*)와 시아노세균(*cyanobacteria*)이 암석 위에 분포하였을 때 나타나는 전형적인 현상이다 (Rifon-Lastra 외, 2001). 또한 *algae*와 *cyanobacteria*가 만들어 내는 독특한 냄새를 맡을 수 있었다. 그 외에 지의류와 몇 가지 종류의 이끼도 서식하고 있었으며, 백색의 곰팡이 균사가 관찰되었다. 실험실에서의 배양을 위하여 소

량의 시료를 채취하였는데, 마치 양파껍질처럼 녹색의 껍질이 벗겨지는 경우도 있었으나, 부위에 따라서는 녹색의 층과 바로 아래의 토양이 전혀 분리가 되지 않아서 부득이 함께 채취해야만 했다.

동면과 서면에서는 전면에서 나타난 녹색의 두껍고 균일한 매트는 관찰되지 않았다. *Algae*와 *cyanobacteria*는 동면과 서면에서도 서식하고 있었으나, 전면과는 다른 분포 양상을 나타내고 있었으며, 50cm 이내의 근거리에서만 녹색 층을 확인할 수 있었다. 또한 곰팡이의 군사가 *algae*와 *cyanobacteria*의 층을 도포하고 있어서 녹색이 잘 드러나지 않는 경우도 있었다. 간혹 백색의 곰팡이가 다량으로 생장하고 있는 부위에 *algae*와 *cyanobacteria*가 함께 분포하는 경우도 있었는데, 이미 그 부분에는 생물막(biofilm)이 형성되어 물방울이 맷 힘 것을 확인하였다. 부위에 따라서는 고착지의류 위에 녹색의 *algae*와 *cyanobacteria*가 분포하고 있었는데, 이러한 현상은 석빙고 내의 여러 곳에서 관찰되었다. 그 외에 암석의 표면이 검게 변색된 부분도 있었다. 선태류와 하등한 초본식물도 관찰되었는데, 어떤 초본식물의 잎은 햇빛이 들어오는 남쪽 입구를 향하고 있었다. 입구 가까이 부재 사이에 토양이 쌓인 곳에는 양치식물류가 서식하고 있었다. 석빙고 내부에서는 곤충류도 관찰되었는데, 어떤 곤충은 벽면에 생긴 홈 내부에 알을 낳기도 하였다.

### 3. 시료 채취 및 미생물의 분리

시료는 전면, 동면, 천장 세 면에서 육안으로 관찰하여 생물의 번식이 왕성한 부위를 택하여 채취하였다.

채취된 시료는 두 부분으로 나누어 실험실에서 배양하였다. 일부분은 *algae*와 *cyanobacteria*를 분리하기 위하여 Basal Bold Medium(BBM)과 BG11에 접종하고, 3000 Lux, 25 °C, 16 : 8의 광주기하에서 배양하였으며(Bold, 1942; Warscheid 외, 2000), 배양액이 청색을 띠기 시작하면 광학현미경 하에서 관찰하였다(정, 1993; Akiyama 외, 1977; Prescott, 1961). 나머지 시료는 곰팡이와 세균을 분리하기 위하여 PDA와 BRII 고체배지에 접종한 후 28°C에서 2주간 배양 하였다(Petersen 외, 1996).

### 4. 결과

## 1) Algae와 cyanobacteria의 분리

채취된 시료에서는 *Oscillatoria* 속, *Synechococcus* 속, *Microcystis* 속 등의 시아노세균이 관찰되었다. 특히 사상조인 *Oscillatoria* 속으로는 세 종이 발견되었는데, 배양액 내에서 조체들이 서로 많이 얹혀서 덩어리를 형성하고 있었다. 또한 이들은 주로 플라스크 바닥에 붙어서 생장하고 있었다. *Microcystis* 속 또한 거의 모든 시료에서 발견되었는데, *Oscillatoria* 속과 마찬가지로 서로 얹혀서 덩어리를 형성하고 있었으며, 플라스크 하단부에 작은 구슬 모양을 하고 있었다.

녹조(green algae)로는 사상조 중에서 *Cladophora* 속과 *Ulothrix* 속이 대부분의 시료에서 관찰되었다. 구형의 단세포 녹조류로는 대부분의 시료에서 *Chlorococcum* 속과 *Chlorella* 속이 관찰되었으며, 간혹 *Oocystis* 속이 조사되기도 했다.

석빙고에서 채취된 시료에는 대부분 갈색의 토양이 함유되어 있었는데, 배양하기 전에 현미경 하에서 관찰한 결과, 규조류의 잔해가 많이 발견되었다. 이것으로 미루어 이 토양 성분 중에 규조토가 많이 포함되어 있다는 것을 짐작할 수 있었다. 배양 후에는 여러 가지 diatoms(규조류)가 석빙고 시료 대부분에서 발견되었는데, 시료에 따라서는 녹조나 cyanobacteria 보다 규조류가 우점종인 경우도 있었다. 어떤 경우에는 배양액을 현미경으로 관찰하고 있는 동안에 세포 내부의 원형질(protoplast)이 분해되어 세포 외부로 배출되면서, 규산질의 세포벽만을 남기고 죽는 규조류가 관찰되기도 했다.

각각의 시료로부터 관찰된 algae와 cyanobacteria를 표 1에 나타내었다.

## 2) 세균과 진균류의 분리

시료를 고체배지에 접종한 후 28°C에서 2주간 배양하였더니, 매우 적은 양의 시료(고체배지 1개 당 0.005 - 0.01g 내외)임에도 불구하고, 너무 많은 수의 균집락이 배지 위에 나타났으므로 각각을 모두 분리한다는 것이 불가능하였다. 게다가 세균의 집락과 진균류의 집락이 뒤섞여 있어 각각의 균을 따로 분리한다는 것이 쉽지 않았으므로, 여러 번의 계대배양을 통하여 십여 종의 세균과 진균을 순수 분리하였다(그림 1).

세균 중에서는 다양한 종류의 방선균(Actinomycetes)의 집락이 고체배지 위에 나타났으며, 대부분의 집락에서 흙냄새가 심하게 나는 것으로 보아 방선균 중에서도 *Streptomyces* 속인 것이 입증되었다. 그 외에도 여러 가지 종류의

세균 집락이 고체 배지 위에 나타났으나, 5종 이내의 세균만이 순수분리 되었다.

진균류는 매우 다양한 종류가 고체배지 위에 생장하였으므로, 세균류와 마찬가지로 새로운 배지에 여러 번 이식하여 단일종으로 순수 배양하였다. 최종적으로 단일 균주가 확인되면, aniline blue가 첨가된 진균류 염색액을 사용하여 염색하고, 광학현미경 하에서 관찰함으로써 형태에 따른 일차동정을 실시하였다. 그 결과 총 12 종의 진균류가 분리되었다.

Table. 1. Algae and cyanobacteria in samples of Gyeongjuseokbinggo.

Sample No.	Cyanobacteria	Green algae	Diatoms	etc.
1	<i>Oscillatoria</i> sp. 1 <i>Oscillatoria</i> sp. 2 <i>Synechococcus</i> sp. <i>Microcystis</i> sp.	<i>Cladophora</i> sp. <i>Chlorococcum</i> sp. <i>Chlorella</i> sp.1	<i>Melosira</i> sp. <i>Cyclotella</i> sp. <i>Pinnularia</i> sp. Debris of diatoms	-
3	<i>Microcystis</i> sp. <i>Oscillatoria</i> sp. 1 <i>Oscillatoria</i> sp. 3 <i>Synechococcus</i> sp.	<i>Ulothrix</i> sp. <i>Chlorococcum</i> sp. <i>Chlorella</i> sp.1	<i>Melosira</i> sp. Debris of diatoms	-
5	<i>Oscillatoria</i> sp.1 <i>Synechococcus</i> sp. <i>Microcystis</i> sp.	<i>Cladophora</i> sp. <i>Ulothrix</i> sp. <i>Golenkinia</i> sp. <i>Chlorococcum</i> sp. <i>Chlorella</i> sp.2	<i>Melosira</i> sp. <i>Cyclotella</i> sp. <i>Pinnularia</i> sp. Debris of diatoms	<i>Uroglena</i> sp.
23	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Ulothrix</i> sp. <i>Chlorococcum</i> sp. <i>Chlorella</i> sp.2 <i>Oocystis</i> sp.	<i>Melosira</i> sp. Debris of diatoms	-
24	<i>Microcystis</i> sp. <i>Oscillatoria</i> sp. 2 <i>Synechococcus</i> sp.	-	<i>Melosira</i> sp. <i>Cyclotella</i> sp. <i>Pinnularia</i> sp. Debris of diatoms	-

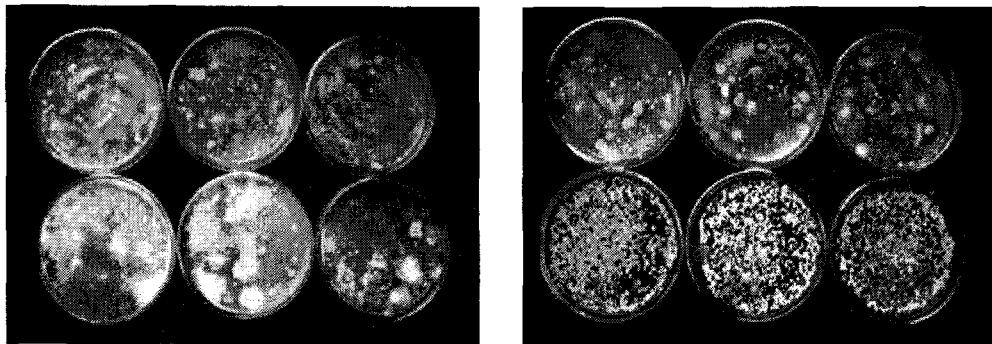


Fig. 1. Fungi and bacteria in samples of Gyeongjuseokbinggo. Left; sample 1, right; sample 24.

분리주 중에서 F1, F2, F3 세 종은 *Trichoderma* 속인 것으로 밝혀졌다. 이들은 고체배지 위에서의 생장과 현미경 하에서의 관찰결과가 모두 다르게 나타났으므로, *Trichoderma* 속에 속하는 다른 균인 것으로 판명되었다. 분리주 F5는 매우 큰 pycnidia(분포자기)를 가지고 있었으며, 고체배지 위에서 진한노랑색 가루 형태의 집락을 형성하였다. 관찰 결과 *Phoma* 속인 것으로 동정되었다. 분리주 F6, F9, F10의 집락은 각각 회색, 어두운 분홍색, 백색을 띠고 있었으나 이들이 모두 *Phenicillium* 속인 것으로 판명되었다. F8은 자낭균류 (Ascomycetes)에 속하는 것으로 조사되었는데 *Chaetomium* 속으로 동정되었다. 자낭균류는 지의류를 형성하는 곰팡이 공생자 중의 90% 이상을 차지하는 진균류 종류인데, 석빙고 시료에서 몇 종이 분리되었다.

분리주 F11 역시 자낭균류에 속하는 종이지만 아직 미동정 상태이다. 이외에도 F4, F7, F12가 미동정된 균류이다.

## 5. 결론 및 제안

실험 결과에 따르면 육안 조사 시 경주석빙고 내부의 벽에서 관찰된 녹색의 층은 algae와 여러 가지 다른 종류의 미생물이 형성한 유기물층인 것으로 밝혀졌다. 또한 벽석에 축적된 토양시료의 대부분에서 녹조와 cyanobacteria 외에도 다양한 종류의 규조류가 분리되었다는 것은, 이 토양성분 중에 규조류의 잔해로 인하여 축적된 규조토가 포함되어 있다는 증거가 된다. 필자는 최근에 분황사석탑에서도 박리층 하부에 나타난 녹색의 층에서 시료를 채취하여 생물

분포를 분석하였는데, 모든 시료에서 녹조와 cyanobacteria가 분리되었으나, 규조류가 분리된 경우는 매우 드물었다. 진균류와 세균류는 모든 시료에서 다양한 종이 분리되었는데, 그 중에는 방선균도 역시 포함되어 있었으며, 대부분은 *Streptomyces* 속이었다. 이 방선균은 주로 토양종으로, 석빙고나 동굴과 같은 곳에서 채취된 습한 시료에서 흔하게 분리되는 균이다. 본 연구결과에는 포함되지 않았지만, 여러 가지 이끼류와 양치식물 역시 경주석빙고 내부에 서식하고 있었다.

그렇다면 경주석빙고 내부가 생물에 의하여 뒤덮인 이유는 무엇일까? 이미 서론에서 언급한 바와 같이 우리나라에는 보물이나 사적으로 지정된 7개의 석빙고가 있다. 그 중에서 경주석빙고는 규모면에서 다른 석빙고와는 비교가 되지 않을 정도로 크다. 석빙고를 방문하는 관람객 수에 있어서도 타 석빙고를 훨씬 능가한다. 실제로 다른 석빙고들은 특별한 이유가 없으면 찾아볼 일도 없으며, 일반인들에게는 내부가 공개되어 있지도 않다. 그나마 경주석빙고는 일반관람객이 철창문 사이로 내부 구조를 볼 수 있으며, 관람을 위하여 입구 양쪽에 나트륨 전등이 켜져 있다. 그러나 입구의 철창문과 비록 약한 불빛이기는 하나 내부를 밝혀주고 있는 전등 때문에 경주석빙고의 생물 분포상태는 현재와 같이 늘 심각할 수밖에 없다.

경주를 찾는 관광객의 대부분은 첨성대를 거쳐 경주석빙고를 방문한다. 그들은 내부를 들여다보기 위해 입구 가까이 다가오고, 그와 동시에 입구 앞쪽에서 그들이 움직이면서 일으킨 흙먼지를 석빙고 내부로 들여보낸다. 흙먼지에는 여러 가지가 포함되어 있다. 미세한 흙 입자는 물론이고, 토양 안에 있는 균이나 미세조류의 포자까지 함유한다. 이러한 것들이 석빙고 내부의 벽에 부착된 후 적당한 온도와 습도가 주어진다면, 그동안 휴면상태에 있던 포자는 발아하게 되고 번식을 시작한다. 미생물의 크기는 대부분 육안으로 관찰할 수 없을 정도로 작지만, 증식 능력은 매우 뛰어나 일단 번식을 시작하면 빠른 시간 내에 상상을 초월할 정도로 많은 수가 된다. 이때에는 육안으로도 미생물이 분포하는 부위를 확인할 수 있다. 게다가 광합성을 통하여 스스로에게 필요한 양분을 생산할 수 있는 algae와 cyanobacteria는 빛, 공기 중의 이산화탄소, 수분만 제공된다면 언제 어디서나 생장이 가능하다. Algae와 cyanobacteria가 광합성을 통하여 생산한 물질은 영양분을 스스로 생산할 수 없는 다른 미생물, 즉 진균류와 세균류에 의해서도 이용된다.

경주석빙고는 여러 가지 생물이 분포할 수 있는 적절한 조건을 갖추고 있

다. 먼저 석빙고 내부의 온도는 일년 내내 큰 변화가 없다. *Algae*와 *cyanobacteria*가 생장하는데 필요한 빛은 항상 출입문을 통하여 들어오는 빛과 내부에 설치되어 있는 2개 전등의 빛 정도면 충분하고, 이산화탄소는 도처에 산재하며, 필요한 수분 역시 내부의 벽에서 언제든지 공급받을 수 있다. 게다가 내부의 벽은 상부로부터 흘러내리는 수분과 함께 측면에서 유입되는 수분, 모세관 현상에 의하여 이동하는 수분 등으로 인하여 겨울에조차 젖어있는 상태이고, 벽석에는 흑갈색 토양이 두텁게 축적되어 있다. 이는 상부로부터 흘러내리는 수분과 함께 유입된 토양과 외부로부터 흙먼지와 함께 내부로 운반되어 벽석에 부착된 토양일 것이다. 또한 경주석빙고 내부에서 여러 가지 이끼류와 양치식물이 발견된다는 것은 이미 상당량의 토양이 벽석에 축적되었다는 것을 입증한다.

필자는 2001년에 우리 학회에서 조사한 안동석빙고(보물 305호)와 지난해에 조사가 이루어진 보물 673호 혼풍석빙고의 상태를 경주석빙고를 기준으로 비교 검토하였다(문화재청/한국문화재보존과학회, 2001, 2004). 안동댐의 수몰로 1976년에 현재의 위치로 옮겨진 안동석빙고는 1986년에 보수공사가 행해졌다. 입구는 경주석빙고와 같은 구조를 하고 있으나, 내부에는 조명 시설이 없다. 혼풍석빙고의 입구는 완전히 폐쇄되어 있으며, 내부는 안동석빙고와 마찬가지로 어둡다. 혼풍석빙고의 경우에도 1994년 보수공사가 이루어졌다. 안동석빙고와 혼풍석빙고의 내부 역시 높은 습도를 나타내었지만, 경주석빙고와 같은 정도는 아니었다. 경주석빙고는 11월에도 내부 벽면이 젖어있는 부위와 그렇지 않은 부위의 구별이 가능할 정도였으나, 비슷한 시기에 조사된 안동석빙고의 경우에는 내부 벽면이 건조한 상태임을 조사를 통하여 알 수 있었다. 또한 2004년 5월과 7월에 각각 조사된 경주석빙고와 혼풍석빙고 내부를 비교하였더니, 습도가 더 높은 7월에 조사된 혼풍석빙고 내부의 생물 분포 상태가 경주석빙고 보다 훨씬 더 양호한 것을 확인할 수 있었다. 이런 현상이 나타나게 된 이유로, 경주석빙고는 다른 두 석빙고와 비교하여 관광객이 끊이지 않아 흙먼지가 내부로 유입된다는 점, 입구가 개방되어 있으며, 입구 가까이에 조명 시설이 있다는 점과 상부와 측면으로부터 수분이 끊임없이 벽석으로 흘러내린다는 점 등을 들 수 있겠다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 경주석빙고 내부의 생물 오염 상태는 매우 심각하며, 벽석에 두텁게 쌓인 토양층을 씻어 내는 것으로 간단하게 해결될 수 있는 정도가 아니다. 또한 경주석빙고 내부의 생물들은 현재에도 계속하여 번

식 중이다. 따라서 경주석빙고를 현 상태만이라도 유지하고 보존하기 위해서는 생물의 계속되는 번식을 근본적으로 저해할 방법을 찾아야 할 것이다. 혼풍석빙고의 경우와 같이 주변 배수로 공사를 실시하고, 환기공으로 벗물이 스며드는지 조사하여 환기공의 뚜껑을 보충하는 방법(안동석빙고) 등 내부의 습도를 낮출 수 있는 방법을 모색해야 할 것이고, 계절에 따른 습도의 변화를 최소한으로 유지하며, 조명을 철거하는 대신에 석빙고 외부에 내부 사진을 담은 게시판을 세워 관람객의 근접을 막는 것도 그 한 방편이 될 수 있으리라 본다.

## 6. 참고문헌

1. 문화재청/한국문화재보존과학회. 2001. 석조문화재보존관리연구. 석조문화재 현황및 보존방안 진단조사기록.
2. 문화재청/한국문화재보존과학회. 2004. 석조문화재보존관리연구. 석조문화재 현황조사 및 보존방안 연구.
3. 정준, 1993. 한국담수조류도감. 아카데미서적.
4. Akiyama, M. et al., 1977. 일본담수조류도감. Uchidarakakuho publishing Co., Ltd..
5. Bold, H. C. 1942. The cultivation of algae. *Bot. Rev.* 8 : 70-138.
6. Petersen, K., Y. K. Yun, and W. E. Krumbein. 1996. On the occurrence of alkalitoleant and alkaliphilic microorganism on wall paintings and their interaction in restoration/consolidation. pp.371-386, In: Biodeterioration of Cultural Property 3, Eds.: Chiraporn Aranyanak and Chalit Singhasiri, p.718, published: Conservation Science division, Thailand.
7. Prescott, G. W. 1961. Algae of the Western Great Lakes Area. Wm. C. Brown Company Publishers. 976 pp.
8. Rifon-Lastra A. and A. Noguerol-Seoane. 2001. Green algae associated with the granite walls of monuments in Galicia (NW Spain). *Cryptogamie, Algol.* 22(3): 305-326.
9. Warscheid, Th. and J. Braams. 2000. Biodeterioration of stone : a review. *Int. Biodeterioration and Biodegradation.* Vol. 46. pp.343-368.