

# 우리나라 석탑과 부도에 분포하는 미생물에 관한 연구

윤윤경

숙명여자대학교 자연과학연구소

## Microbial colonization on and in stone pagodas in Korea

Yun-Kyung Yun

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

### 1. 서론

우리나라의 석탑과 부도에는 여러 가지의 생물이 서식하고 있는데, 육안으로 쉽게 관찰되는 이끼류(moss와 liverwort)와 지의류(lichen)가 대표적인 경우이다. 그러나 자세히 관찰하면 미세조류(microalgae)와 시아노세균(cyanobacteria, 남조류)도 눈에 띄고, 여기에 현미경까지 동원된다면 곰팡이(fungi)나 세균(bacteria)조차도 석탑이나 부도를 그들의 서식처로 여기는 것을 발견하게 된다. 게다가 우리들도 개인의 기호가 다르듯이 앞에 열거한 미생물들도 각자가 필요로 하는 영양성분과 생장조건이 다르기 때문에, 모든 석탑이나 부도에 동일한 분포양상이 나타나리라고 생각한다면 곤란하다. 마지막으로 어떤 미생물이 암석에 서식한다고 하는 것은 어느 정도는 그 미생물에 의해서 암석이 훼손될 것이라는 것을 의미하기도 한다. 그렇다고 하여 모든 석탑이나 부도에서 위에 열거한 미생물을 발견하는 즉시 제거해야 한다는 의미는 아니다. 그렇다면 미생물의 서식을 효과적으로 제어하는 방법은 무엇일까?

이 논문에서는 지난 2001년부터 5년간 「석조문화재 보존 관리 연구」 용역의 일부분으로 필자에 의하여 조사된 여러 가지 석탑과 부도를 예로 들어 어떤 미생물이 어떤 조건 하에서 어떤 형태로 석조문화재에 분포하는지 밝히고, 생물학적인 관점에서의 보존대책에 관하여도 언급하고자 한다.

## 2. 석탑과 부도에 분포하는 생물 및 그들의 생장이 암석에 미치는 영향

### 2.1. 이끼(moss와 liverwort)

석탑이나 부도를 관찰하면 가장 먼저 눈에 띄는 것이 이끼다. 대부분의 경우에 이끼를 지의와 혼동하기도 하지만, 이끼는 지의보다 훨씬 진화된 생물이다. 따라서 원시적이기는 하나 잎과 뿌리의 형태를 갖추고 있으며, 뿌리를 내리기 위하여 약간의 토양을 필요로 한다. 이끼는 광합성을 통하여 스스로에게 필요한 양분을 생산할 수 있으므로 햇빛을 필요로 하기는 하나, 지나치게 건조한 주위 환경보다는 습한 환경을 훨씬 더 좋아한다. 바로 이 점이 석탑이나 부도의 기단부에 이끼가 분포하는 원인이 된다 하겠다. 간혹은 이끼가 낙수면이나 그 외의 탑신부에 서식하는 경우도 있는데, 자세히 관찰하면 이끼가 분포하고 있는 주변부에 틈이 벌어져 있거나, 흙이 패여 있거나 하는 등의 이유로 이끼가 생존할 수 있는 환경이 조성된 것을 발견하게 될 것이다. 다음의 그림 1~5에서 석탑과 부도에 나타난 이끼의 서식에 대하여 자세하게 관찰할 수 있다.

이끼가 석탑이나 부도에 분포한다는 자체는 그리 큰 위험 요인은 아니다. 그러나 이끼는 습기를 보유할 수 있는 능력이 매우 탁월하기 때문에, 어떤 부위에 이끼가 서식한다는 것은 그 부위가 지속적으로 습한 상태라는 것을 암시하며, 이것은 이끼 자체 보다 더 위협적이다. 이 외에도 분황사석탑이나 경북 영양의 봉감모전오층석탑의 경우에는 전돌 사이를 접합하는 모르타르 부분에 대부분 이끼가 서식하고 있는데, 모르타르는 이미 많이 훼손되어 있었으며, 이끼를 제거하였을 때 그 부분의 모르타르도 함께 박락되는 것을 관찰하였다.

### 2.2. 지의류(lichen)

석탑이나 부도를 찾아가다 보면 그 아름다운 색으로 인하여 먼 곳에서부터 눈에 띄는 생물이 있다. 이는 대부분 지의류라고 생각하면 된다. 앞서서도 기술한 바와 같이 일반인들이 지의류를 이끼와 구별하는 것은 쉽지 않다. 색에 관하여 언급하자면 이끼는 주로 녹색이거나 붉은색을 띠는 반면, 지의는 백색, 회색, 주황색, 노란색, 초록색 등 다양한 색으로 나타난다(그림 6). 이끼는 습한 곳을 선호하지만, 지의류는 습한 곳이나 건조한 곳, 저온, 고온을 가리지 않는다. 이러한 이유로 대기오염이 심한 곳을 제외하고 우리나라 전역에 산재해 있는 석탑과 부도 등에서 쉽게 지의류를 접할 수 있다. 그러나 지의류 중 대부분의 종이 대기 오염이 적은 곳을 선호하기 때문에, 아황산가스 농도가 높은 대도시에서 지의류로 뒤덮인 석탑이나 부도를 발견한다는 것은

불가능하다.

지의류는 간단히 말하자면 녹조(green algae)와 균류(fungi)의 공생체이다. 드물게는 시아노세균과 균류가 공생하는 경우도 있다. 두 가지 서로 다른 성격을 지닌 생물이 결합하여 서로의 부족한 부분을 보완해가면서 성장하기 때문에, 녹조나 균류가 개개의 생물로 존재할 때에는 생존하기 힘든 극한의 환경에서도 지의류는 생존이 가능하다. 녹조나 시아노세균은 광합성을 통하여 스스로에게 필요한 양분을 생산하고, 균류는 자신의 공생자가 만들어낸 양분으로 성장한다. 균류의 균사는 녹조를 둘러싸고 있으면서 갑작스런 수분의 손실을 막아주고, 강한 햇빛으로부터 조류 세포를 보호해준다. 그러므로 이 두 가지 생물이 공생할 경우에 나타나는 형태와 특성은 공생 관계가 이루어지지 않았을 때와는 판이하게 다르다는 것을 알아둘 필요가 있다.

지의류는 성장 형태에 따라서 세 가지로 나뉘는데, 고착지의, 엽상지의, 수상지의라 칭한다. 불리는 이름 그대로 고착지의는 딱딱한 겹질, 엽상지의는 잎 모양, 수상지의는 작은 나무 형태라고 생각하면 간단하다. 때로는 고착지의와 엽상지의의 구별이 힘든 경우도 있다.

다른 육상식물과 달리 지의류는 체내의 수분 보유량을 스스로 조절할 수 없다. 따라서 주변에 물이 많을 때는 지의류 표면 전체에서 수분을 흡수하여 매우 많이 팽창하고, 건조 시에는 반대로 상당히 축소되는데, 이러한 과정 중에 암석의 결정을 들어 올려서 떨어져 나가게 한다. 또한 지의류의 균사는 암석의 내부로 침투하기 때문에, 건조기에 지의류가 축소하게 되면 표면층이 절단되며 분리된다. 또한 지의가 분비하는 지의산은 암석을 표백시켜 탈색이 되게 하거나 암석 표면에 작은 구멍을 만들기도 한다.

### 2.3. 미세조류(microalgae)와 시아노세균(cyanobacteria, 남조류)

탐이나 부도의 기단부에서 면석과 면석 사이, 상대갑석 아래쪽, 탐신부의 옥석받침 등의 부위에서는 초록색이나, 청록색 혹은 검은색의 층이 발견된다. 이 부분은 주로 햇빛에 노출되는 습한 곳으로, 이 부분을 떼어다가 현미경 하에서 관찰하면, 여러 가지 종류의 미세조류와 시아노세균을 확인할 수 있다. 조류 중에서 흔히 발견되는 종은 녹조인 *Chlorococcum* sp.와 *Protococcus* sp.이며, 시아노세균 중에서는 *Microcystis* sp.와 *Oscillatoria* sp. 등이 채취된 대부분의 시료에서 분리된다. 조류는 그 크기가 매우 다양하여, 미역이나 다시마 같은 큰 종류로부터 크기가 매우 작아서 현미경 하에서만 관찰이 가능한 종도 있다. 그 중에 미세조류는 후자의 경우를 말한다. 미세조류의 대부분은 담수에 서식하나(수생조), 토양 속에 생육하는 토양조(soil algae), 나

무의 줄기나 잎, 또는 암석이나 돌담 위, 지붕, 암벽, 토벽 등에 있는 기조(aerial algae)도 있다. 석탑이나 부도에서 발견되는 조류의 대부분은 녹조이며, 간혹 규조(diatom)가 분리되기도 한다.

시아노세균은 전에는 남조류(blue-green algae)라 하여 조류로 분리되었으나, 현미경적인 구조가 밝혀진 이후로는 세균으로 분리한다. 그러나 미세조류와 마찬가지로 광합성을 통하여 스스로에게 필요한 양분을 생산하며, 성장 요구 조건 또한 미세조류와 거의 일치하기 때문에, 미세조류가 발견되는 곳에는 시아노세균도 함께 분포한다고 생각하면 된다.

미세조류와 시아노세균이 서식하는 부위는 앞서서도 언급했듯이 특징적인 색으로 확인이 가능하지만, 이들이 생산한 점질성의 초(sheath)로 인하여 표면이 젖었을 때 만지면 끈적끈적한 경우도 있으며, 건조 시에는 얇은 막과 같이 떨어지기도 하는데, 이 때 암석의 표면이 함께 떨어지기도 한다. 또한 미세조류와 시아노세균은 다음에 다루게 될 진균과 세균의 성장에 필요한 영양분을 제공한다.

## 2.4. 진균류(fungi)와 세균(bacteria)

진균과 세균은 물만 있으면 모든 곳에 생장이 가능하며, 암석 표면에 미세조류와 함께 서식한다. 세균의 색은 베이지색, 백색, 노란색 등이 대부분으로 그 크기가 매우 작아서 현미경 하에서만 관찰이 가능하며, 흔히 배지 상에서 관찰되는 세균의 콜로니는  $10^5$  이상의 세포가 모인 덩어리이다. 세균의 경우에도 점질성의 피막을 갖는 경우가 흔하므로 암석 표면에 세균이 많이 분포하는 부위를 만지면 끈적끈적하다.

곰팡이의 색은 세균과는 달리 매우 다양하다. 백색, 노란색, 붉은색, 녹색, 검은색 등이 주로 나타나는 색으로, 주변 암석의 색까지 변화시킬 수 있다. 또한 곰팡이의 균사는 지의류나 사상체인 조류와 비슷하게 암석의 결정 내부와 주변으로 침투하여 암석을 훼손시키기도 한다.

우리나라 석조문화재에 분포하는 세균과 진균이 다양한 무기산과 유기산을 분비하는 것이 조사결과 밝혀졌다. 그 중에서도 oxalic acid는 이미 외국의 여러 논문에서도 암석을 훼손시키는 원인의 하나로 보고된 바 있다.

## 3. 결론 및 제언

지금까지 조사한 바에 따르면, 우리나라 석탑과 부도에 나타난 생물의 분포 형태

는 위에서 언급한 생물의 종류만큼이나 다양하였다. 암석의 재질에 따라, 각 석조문화재가 위치한 주변 환경에 따라, 같은 탑이라도 방위에 따라 확연히 다른 생물 분포를 확인할 수 있었다. 그러나 수분이 생물의 분포 정도에 영향을 미친다는 점은 모든 경우에 동일하였다. 따라서 석탑이나 부도에 미치는 수분의 양을 최소화하는 것이 가장 근본적인 보존 대책이라는 생각이다. 물론 보호각을 세우는 것이 가장 현명한 방법이기는 하지만, 보호각 건립에 드는 비용뿐만 아니라 각 석탑이나 부도에 적절한 보호각의 형태를 결정하는 것 또한 간단히 해결될 일은 아니다. 보호각 문제가 완전히 해결되기까지는 시간도 많이 필요하겠으므로, 우선 다음의 몇 가지를 제안하고 싶다.

대부분의 석탑과 부도는 잔디 위에 서 있다. 어떤 경우에는 주변에 큰 나무들이 서 있어서 석탑과 부도에 그늘을 만들며, 수분의 증발을 방해하기도 한다. 이러한 경우에는 생물의 분포 정도가 극심하게 나타나기도 하는데, 주변에 서있는 나뭇가지를 정리 하든가, 지면의 잔디 대신에 물 빠짐이 좋은 것으로 대체하는 것으로도 생물의 서식을 제어할 수 있다. 물론 biocide(살생물제)를 이용한 생물의 제거 방법이 있기는 하지만 영구적인 것은 아니며, 각각의 석조문화재에 분포하는 생물의 종류가 다르기 때문에, biocide도 적당한 것으로 선택하지 않으면 효과를 기대하기 어렵다. 이 외에도 생물을 제거하기 위해 사용되는 biocide의 대부분은 암석의 또 다른 훼손원인으로 작용할 수 있기 때문이다.

전탑이나 모전석탑의 경우에는 전돌 사이의 부실한 모르타르 부분을 먼저 보수하는 것이 좋겠다는 생각이다. 이렇게 함으로써 생물 서식의 근본원인인 수분이 탑 안으로 스며드는 것을 어느 정도 차단할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 문화재청/한국문화재보존과학회. 2001. 석조문화재보존관리연구. 석조문화재 현황 및 보존방안 진단조사기록.
2. 문화재청/한국문화재보존과학회. 2002. 석조문화재보존관리연구. 석조문화재 현황 조사 및 보존방안 연구.
3. 문화재청/한국문화재보존과학회. 2003. 석조문화재보존관리연구. 석조문화재 현황 조사 및 보존방안 연구.
4. 문화재청/한국문화재보존과학회. 2004. 석조문화재보존관리연구. 석조문화재 현황 조사 및 보존방안 연구.
5. 문화재청/한국문화재보존과학회. 2005. 석조문화재보존관리연구. 석조문화재 현황 조사 및 보존방안 연구.