

## 경기도내 5기 석조문화재의 기중조류의 분포와 조류 서식 등급

임안숙 · 이옥민\*

(경기대학교 생명과학과)

### The Distribution of Aerial Algae and the Evaluation of Algal Inhabitation on Five Stone Cultural Properties in Gyeonggi-do

An Suk Lim and Ok-Min Lee\*

Department of Biology, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

We have conducted the study of distribution and inhabitation of the aerial algae from five stone cultural properties located in Gyeonggi-do. A total of 21 taxa were identified, among which 8 taxa of cyanophytes, 12 taxa of chlorophytes and one diatom species. *Protococcus viridis*, *Ulothrix zonata*, *Synechocystis aquatilis* and *Chroococcus varius* occurred in 15, 9, 8 and 7 study sites, respectively. These coccoid types appeared more frequently than filamentous types. In this study, *Chlorococcum infusionum*, *Cylindrocystis gracilis*, *Klebsormidium crenulatum*, *Klebsormidium dissectum* and *Klebsormidium flaccidium* newly recorded from Korea. We found that 80% of stone cultural properties had aerial algae and their 58-84% were grouped into Class 5 based on chlorophyll-a concentration.

**Key Words:** aerial algae, chlorophyll-a, coccoid form, inhabitation, stone cultural properties

#### 서 론

조류는 독립영양생물체로서 주로 수중에 서식하지만, 암석, 토양, 나무, 건물의 외벽이나 외부에 노출되어 있는 문화재 등의 기중에도 광범위하게 분포하고 있다. 석조문화재에 서식하는 조류는 공기에 노출됨으로써 발생하는 극심한 수분 스트레스에 적응한 생물로서, 대체로 이들은 수분 스트레스에 적응하기 위하여 작고 구형인 개체들이 군체 (small compact packet)를 형성한다(Sze 2003). 이러한 기중조류는 암석에서의 생물군집의 천이과정에서 개척자의 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Marathe and Chaudhari 1974).

기중조류가 석조문화재에 미치는 영향으로는 조류의 광합성 색소로 인한 석조문화재의 변색에 의한 미적 가치의 감소를 들 수 있다(Warscheid and Braams 2000). 또한 암석을 비가역적으로 변형시킴으로써 궁극적으로 풍화를 유발한다. 기중조류가 분비하는 대사산물에 의해 화학적인 풍화현상이

야기되며, 또한 다른 생물들과의 상호작용에 의해 풍화를 촉진시키기도 한다(Ortega-Calvo *et al.* 1992; Jain *et al.* 1993). 이러한 암석의 생물풍화는 대체로 물리적, 화학적인 부식과 함께 일어난다(Jain *et al.* 1993).

국외 석조물에서의 기중조류에 대한 연구는 비교적 다양하게 수행되어 왔다. 브라질의 Porto Alegre에 위치한 교회(Crispim *et al.* 2004)와, 유럽과 라틴아메리카에 위치한 14개의 역사상 유명한 건물(Crispim *et al.* 2003), 스페인의 Bibatauín 분수(Zurita *et al.* 2005)와 그리고 프랑스 전역의 71개 건물(Barberousse *et al.* 2006a, 2006b) 등의 석조물 등에서 기중조류의 분포에 관한 연구가 수행된 바 있다.

반면 국내의 석조문화재에 서식하는 조류에 관한 연구는 미약한 편으로, 공주 무령왕릉에 대한 연구(Kim *et al.* 2001), 중원미륵사지의 석불입상에 관한 연구(Klochkova and Kim 2005)와 익산 미륵사지석탑에 대한 연구(Klochkova *et al.* 2006), 그리고 경기도에 위치한 5기의 석조문화재에 대한 연구(Lim and Lee 2008) 등이 수행된 바 있다.

따라서 본 연구에서는 보물 제7호 고달사 원종대사 혜진탑, 보물 제91호 여주 창리 삼층석탑, 보물 제229호 신륵사

\*Corresponding author (omlee@kyonggi.ac.kr)

**Table 1.** The aerial algae list collected from the four sides of five stone cultural properties of Gyeonggi-do in 2007

	Won				Cha				Sil				Juk5				Juk3			
	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N	E	W	S	N
<b>Cyanophyceae</b>																				
<i>Chroococcus turgidus</i>															+			+		+
<i>Chroococcus varius</i>																				
<i>Lyngbya maior</i>																				
<i>Microcystis marginata</i>																				
<i>Microcystis protea</i>				+																
<i>Synechococcus lividus</i>																				
<i>Synechocystis aquatilis</i>	+	+						+	+											
<i>Synechocystis pevalekii</i>								+												
<b>Chlorophyceae</b>																				
* <i>Chlorococcum infusionum</i>		+																		
<i>Chlorella ellipsoidea</i>																				
* <i>Cylindrocystis gracilis</i>																				
* <i>Klebsormidium crenulatum</i>																				
* <i>Klebsormidium dissectum</i>																				
* <i>Klebsormidium flaccidium</i>																				
<i>Mesotaenium chlamydsporum</i>																				
<i>Protococcus viridis</i>	+			+																
<i>Stichococcus minutissima</i>																				
<i>Trebouxia</i> sp.				+																
<i>Trentepohlia</i> sp.								+												
<i>Ulothrix zonata</i>		+																		
<b>Bacillariophyceae</b>																				
<i>Nitzschia brevissima</i>																				
Total	2	3	0	3	0	0	2	3	1	3	3	9	1	5	3	3	3	3	3	6

Won: Sarira pagoda of priest Wonjongdaesa; Cha: Three storied stone pagoda in Chang-ri, Yeosu; Sil: Stele to buddhist priest Bojeonja of Silleuk Temple; Juk5: Five storied stone pagoda in Juksan-ri, Anseong; Juk3: Three storied stone pagoda in Juksan-ri, Anseong

E: East side, W: West side, S: South side, N: North side

\*: not yet recorded species in Korea

보제존자 석종비와 보물 제435호 죽산리 오층석탑 그리고 안성시 시도유형문화재 제78호 죽산리 삼층석탑 등 다섯 기의 석조문화재를 대상으로 기중조류의 분포를 밝히고, 기중조류의 분포에 따른 중요 석조문화재의 생물풍화에 대하여 예측하고자 하였다.

**재료 및 방법**

경기도 여주군에 위치한 고달사 원종대사 해진탑과 여주 창리 삼층석탑 그리고 신록사 보제존자 석종비와 안성시에 위치한 죽산리 오층석탑과 죽산리 삼층석탑 등 5기의 석조문화재를 대상으로 동서남북 방향의 한군데 이상의 정점으로 부터 시료를 채취하였다. 연구된 5기의 석조문화재는 모두 화강석으로 이루어졌으며, 단지 신록사 보제존자 석종비의 비신 부분만이 대리석으로 되어있다. 시료의 채취는 부드러

운 솔이나 멸균된 압실자를 이용하였다(Kiel and Gaylarde 2005). 채취된 시료는 4°C 상태의 아이스박스에 넣어 실험실로 옮겨와 시료의 일부는 WEES 배지(Kies 1967)를 첨가하여 25°C, 16:8의 일장주기와 40 μm m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>의 광조건 하에서 배양하였고, 일부는 색소의 추출을 위해 -20°C의 냉동고에 넣어 동결시켰다.

Chl-a는 약 0.1 g 정도의 시료에 아세톤을 넣어 냉암소에서 24시간 이상 정치하여 색소를 추출한 후 파장 630 nm, 663 nm, 645 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정하여 산출하였다(Jeffrey and Humphrey 1975; APHA 1998). 조류 서식 등급은 Donner et al.(2002)이 제안한 6단계의 등급으로 나누었으며, 각 등급에 따라 Chl-a의 양을 비교하고, 그에 따른 분포생물군을 파악하였다.

기중조류의 동정은 출현 분류군을 순수 분리하여 배양하거나 시료를 직접 광학현미경을 이용하여 1,000배하에서 관

**Table 2.** The occurrence percentages of each species collected from 41 sites of five stone cultural properties of Gyeonggi-do in 2007

Biotype	Class	Species	Occurrence*
Unicellular/Gelatinous	Cyanophyceae	<i>Chroococcus turgidus</i>	2
		<i>Chroococcus varius</i>	17
		<i>Microcystis marginata</i>	2
		<i>Microcystis protea</i>	5
		<i>Synechococcus lividus</i>	7
		<i>Synechocystis aquatilis</i>	20
		<i>Synechocystis pevalekii</i>	2
		Chlorophyceae	<i>Chlorococcum infusionum</i>
	<i>Chlorella ellipsoidea</i>		7
	<i>Cylindrocystis gracilis</i>		2
	<i>Mesotaenium chlamydosporum</i>		2
	<i>Protococcus viridis</i>		37
	<i>Trebouxia</i> sp.		22
	<i>Nitzschia brevissima</i>		7
	Filamentous	Cyanophyceae	<i>Lyngbya maior</i>
Chlorophyceae		<i>Klebsormidium crenulatum</i>	7
		<i>Klebsormidium dissectum</i>	5
		<i>Klebsormidium flaccidum</i>	5
		<i>Stichococcus minutissima</i>	5
		<i>Trentepohlia</i> sp.	10
		<i>Ulothrix zonata</i>	24

\* Percentage of occurrence

찰을 통해 이루어졌으며, 정(1993), Metting(1981), John *et al.*(2002) 그리고 Barberousse *et al.*(2006b) 등을 참고하였다. 한국산 미기록종으로 보고된 종종 4종은 경기대학교 생물학과내 조류배양실(ACKU)에 단세포 배양을 실시하여 보관중이다.

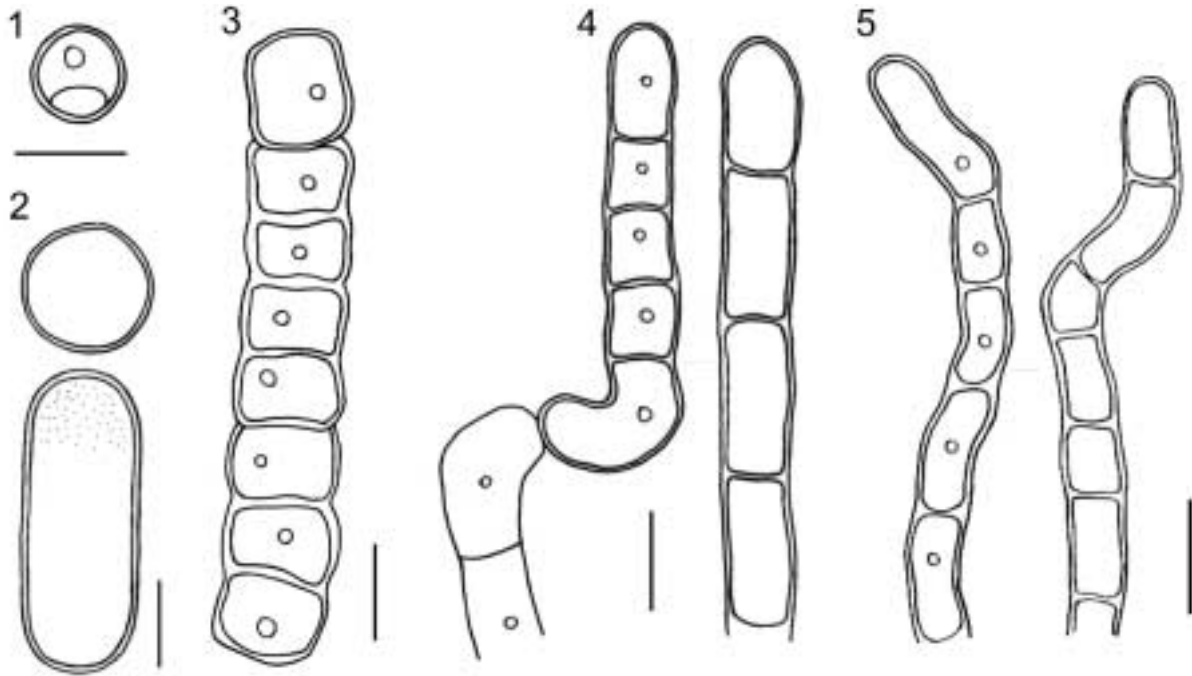
## 결과 및 고찰

### 출현종

5기의 석조문화재에서 출현한 분류군은 총 21분류군으로 나타났으며, 그 중 *Chlorococcum infusionum*을 포함한 5분류군은 한국산 미기록종으로 밝혀졌다. 출현종 중 *Protococcus viridis*는 조사된 5기의 석조문화재에서 모두 출현하였다. 그리고 *Lyngbya maior*를 포함한 5분류군은 신록사 보제존자 석종비에서만 출현하였다. 또한 가장 많은 기중조류가 출현한 석조문화재는 신록사 보제존자 석종비로 12분류군이 출현하였으며, 여주 창리 삼층석탑은 4분류군으로 가장 적은 분류군이 출현하였다(Table 1). 각 석조문화재의 방위별 출현 종수를 살펴보면 죽산리 5층석탑에서 서쪽 면이 가장 높은 출현 종수를 나타낸 것을 제외하고, 나머지 4기의 석조문화재의 북쪽 면에서 높은 출현 종수를 나타냈다. 기중조류 분포의 주요한 제한 요인은 습도이므로 북쪽 사면의 낮은 일조량으로 인하여 비교적 높은 기중조류 분포를 나타낸 것으로 사

료된다(Table 1).

전체 출현분류군 중 가장 높은 비율로 출현한 분류군은 *Protococcus viridis*로 5기의 석조문화재의 전체 41개의 채집 정점 중 37%에서 출현하였으며, 다음으로 많이 출현한 분류군은 *Ulothrix zonata*로 24%의 출현비율을 나타냈다(Table 2). 5기의 석조문화재에서 가장 많이 출현한 *Protococcus viridis*는 구형의 단독 생활을 하거나 여러 개의 세포가 모여서 군체를 형성하는 분류군으로 토양의 표면이나 수피 또는 잎의 표면에 서식하는 것으로 알려져 있다. 이들은 이전의 연구들에서도 석조물의 표면에서 일반적으로 출현하는 분류군으로 나타났다(Ortega-Calvo *et al.* 1991, 1992; 정 1993; Crispim *et al.* 2003; Barberousse *et al.* 2006a). *Protococcus viridis*는 다른 종에 비해 두꺼운 세포벽을 갖기 때문에(John *et al.* 2002) 비교적 기중의 환경에 강한 분류군일 것으로 사료된다. 다음으로 가장 많이 출현한 *Ulothrix zonata*는 일반적으로 유속이 빠른 담수 등에서 출현하는 것으로 알려져 있으나(정 1993; John *et al.* 2002), 이전의 연구들을 통해 수중의 환경뿐만 아니라 기중의 석조물에서도 서식하는 것으로 나타난 바 있다(Tomaselli *et al.* 2000; Zurita *et al.* 2005). 본 연구에서 22%의 높은 출현 비율을 보인 *Trebouxia* 속은 지의류와 공생하는 기중조류 중 대표적인 분류군으로 기중에서 빈번하게 출현하는 것으로 알려져 있으며(John *et al.* 2002), 프랑스 전역의 71개 건물 표면에 서식하는 기중조류에 관한



**Figs 1-5.** Illustrations of newly recorded species in Korea found at five stone cultural properties of Gyeonggi-do in 2007. 1: *Chlorococcum infusionum*, 2: *Cylandrocystis gracilis*, 3: *Klebsormidium crenulatum*, 4: *Klebsormidium dissectum*, 5: *Klebsormidium flaccidium* (Scale bar: 10  $\mu$ m).

연구에서는 전체 시료 중 49%의 높은 비율로 출현하는 것으로 나타났다(Barberousse *et al.* 2006a, 2006b). 이 외에 남조류인 *Synechocystis aquatilis*와 *Chroococcus varius*가 각각 20%와 17%로 나타나 사상체 형태의 조류 보다는 구형의 조류가 더 빈번하게 출현하는 것을 알 수 있었다(Table 2). 이는 유럽과 라틴아메리카의 14개 석회질 석조물에 대한 연구와 유사한 결과로써 유럽과 라틴아메리카에서 모두 단세포형 또는 군체를 이루고 있는 형태의 기중조류가 더 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났다(Crispim *et al.* 2003).

그러나 이전의 석조물에서 서식하는 기중조류에 대한 몇몇의 연구에서는 구형의 조류들에 비해 사상체 형태의 조류가 더 빈번하게 출현하는 것으로 보고된 바 있다. 싱가포르의 11개 지역에 분포하는 건물에 대한 연구에서는 전체 채집된 시료의 66%에서 *Trentepohlia* 속이 출현하는 것으로 나타났으며(Wee and Lee 1980), 서아일랜드에서도 *Trentepohlia* 속이 건물 외벽에서의 주요한 군집체인 것으로 연구된 바 있다(Rindi and Guiry 2002). 이 속은 유럽의 특히, 습한 지역에 광범위하게 분포하는 것으로 알려져 있으며(Rindi *et al.* 2003), 열대성 기후의 지역에서 우점하는 분류군으로 빈번하게 나타난다는 연구 결과들이 있다(Wee and Lee 1980; Gaylarde and Gaylarde 2005; Barberousse *et al.* 2006b). 이러한 사상체 형태의 조류가 비사상체 형태의 조류에 비해 수분이 높은 환경에서 더 높은 성장능을 가지며, 사상체 형태의 조류가 수분에 더 높은 의존율을 보인다는 의견이 제시된

바 있다(Crispim *et al.* 2003). 본 연구 결과에서는 남조류와 녹조류 모두 사상체 형태보다 구형의 군체를 형성하는 분류군들이 주로 출현하는 것으로 나타났으며(Table 2), 이는 사상체 형태보다 구형의 개체가 군체를 이루는 형태가 건조한 환경에서 표면적을 줄임으로써 생존하기에 더욱 적합함을 의미한다.

#### 한국산 미기록종

#### Phylum Chlorophyta

#### Class Chlorophyceae

#### Order Chlorococcales

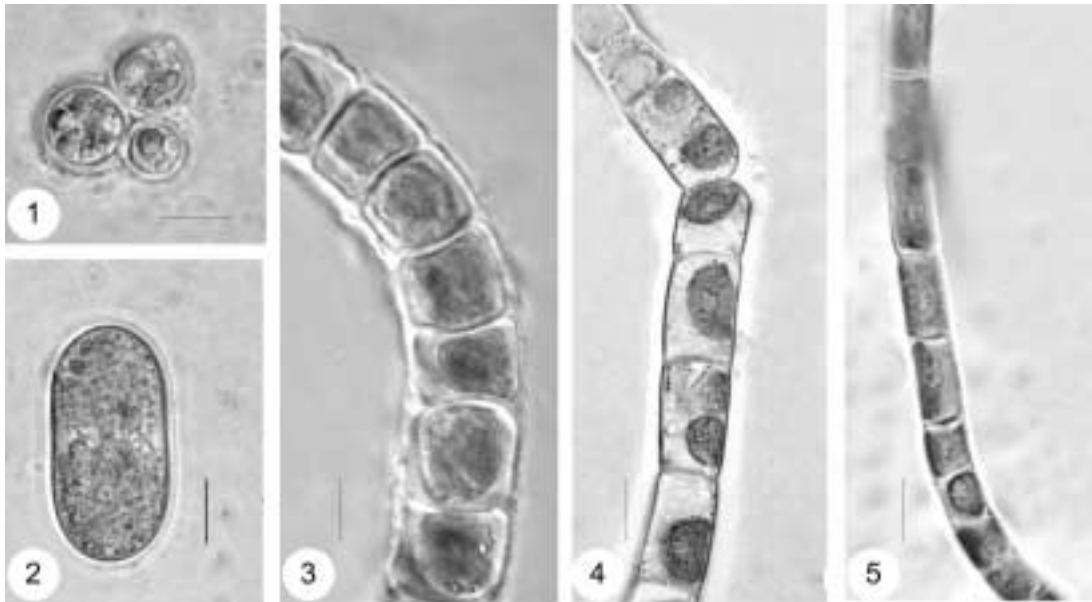
#### Family Chlorococcaceae

#### *Chlorococcum infusionum* (Schrank) Meneghini 1842

세포는 9-14  $\mu$ m로 구형이고, 세포벽은 시기에 따라 두꺼워진다. 엽록체는 측면에 구멍 형태의 빈 공간을 가지며 피레노이드는 편중되어 있고, 항상 몇몇의 작은 녹말 결정들과 결합되어 있다. 전 세계에 분포한다(Prescott 1982).

채집지: 죽산리 오층석탑, 죽산리 삼층석탑, 신록사 보제존자 석종비, 고달사 원종대사 혜진탑

고찰: *Chlorococcum infusionum*은 중성부터 산성인 토양과 산성의 다공성 암석에서 서식하는 것으로 보고된 바 있으며(John *et al.* 2002), *Chlorococcum* 속은 육상 식물이나 암벽, 토벽, 암석, 돌담 위 등에 생육하는 대표적인 기중조류인 것으로 알려져 있다(Prescott 1982; 정 1993). 또한 스페인의



**Plates 1-5.** Photographs of newly recorded species in Korea found at five stone cultural properties of Gyeonggi-do in 2007. 1: *Chlorococcum infusionum*, 2: *Cylandrocystis gracilis*, 3: *Klebsormidium crenulatum*, 4: *Klebsormidium dissectum*, 5: *Klebsormidium flaccidium* (Scale bar: 10  $\mu\text{m}$ ).

Granada에 위치한 분수의 표면과(Zurita *et al.* 2005) 이탈리아에 위치한 여러 종류의 석조물의 표면(Tomaselli *et al.* 2000)에서도 서식하는 것으로 보고된 바 있다. 그리고 *Cylandrocystis gracilis*는 이전의 연구 결과에서 기중의 환경에서 서식하는 것으로 기록된 바 없으며, 일반적으로 수중에서 서식하는 것으로 알려져 있다(John *et al.* 2002). 본 연구에서는 신록사 보제존자 석종비의 표면에서 서식하는 것으로 나타났다는데, 그 이유는 이 문화재가 강가에 위치하고 있고 주변이 수목으로 우거져 있어서 비교적 높은 수분을 보유하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 1; Plate 1; ACKU No. 6-265

Phylum Chlorophyta  
Class Chlorophyceae  
Order Zygnematales  
Family Mesotaeniaceae

*Cylandrocystis gracilis* I. Hirn 1953

세포의 폭은 10-12  $\mu\text{m}$ 이고, 길이는 22-34  $\mu\text{m}$ 로 긴 원통형이다. 엽록체는 방사형이고, 극면관은 정상이다. 엽록체는 한 개 또는 두 개로 나뉘며, 때로 평행하게 정렬되어 있거나 세로축으로 약간 비스듬하게 연장된 용기를 가진다. 엽록체는 각각 1개나 2개의 피레노이드를 갖는다. 유럽에서 출현한 바 있으며, 호산성으로 알려져 있고, *Cylandrocystis brebissonii*나 *Cylandrocystis cushleackae*와 통합되었다(John *et al.* 2002).

채집지: 신록사 보제존자 석종비

Fig. 2; Plate 2; ACKU No. 0-005

Phylum Chlorophyta  
Class Chlorophyceae  
Order Ulotrichales  
Family Ulotrichaceae

*Klebsormidium crenulatum* (Kützing)H. Ettl *et* G. Gärtner 1995

사상체는 길고 때때로 세로축으로 분열된 세포가 포함되어 있다. 세포의 폭은 10-14  $\mu\text{m}$ 이며, 길이는 6-15  $\mu\text{m}$ 로 폭에 비해 0.5배에서 2배 정도 길다. 원통형으로 두꺼운 세포벽을 가지며 곧고, 습윤할 때 점성을 나타낸다. 때때로 H 모양의 구획이 나타나며, 엽록체는 판상이거나 띠 모양이고 거의 세포 면적의 80%를 차지하고 있다. 서유럽과 중부유럽에 일반적으로 분포하며, 토양의 환경에서 서식하는 것으로도 알려져 있다(John *et al.* 2002).

채집지: 죽산리 오층석탑, 죽산리 삼층석탑, 신록사 보제존자 석종비

Fig. 3; Plate 3

Phylum Chlorophyta  
Class Chlorophyceae  
Order Ulotrichales  
Family Ulotrichaceae

*Klebsormidium dissectum* (F. Gay) H. Ettl *et* G. Gärtner 1995

세포의 폭은 5-8  $\mu\text{m}$ 이고, 길이는 9-14  $\mu\text{m}$ 로 폭에 비해 길이가 1배에서 1.5배 더 길다. 사상체는 곧거나 약간 구부러지며, 종종 하나의 세포나 몇 개의 세포로 된 단열일 때, 분리되기 전에 세포의 끝이 구부러지기도 한다. 분열 초기에는

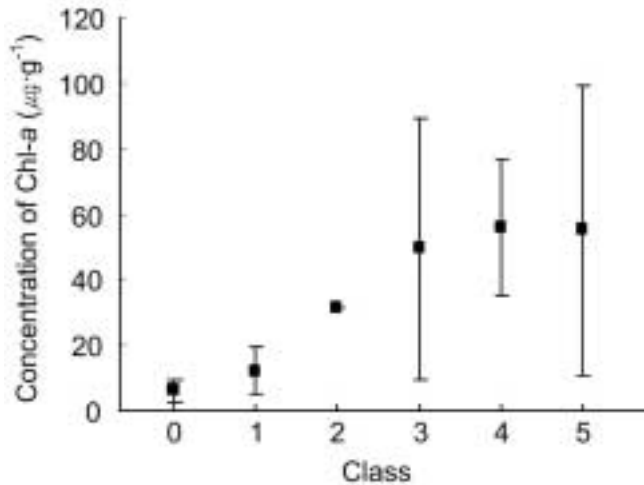


Fig. 6. The chl-a concentrations ratio of each class on 41 sites of five stone cultural properties of Gyeonggi-do following as Donner *et al.* (2002) in 2007.

원통형이고 얇은 세포벽을 갖지만 시간이 지남에 따라 가운데가 볼록한 형태가 되며 세포벽도 두꺼워진다. 세포벽은 일직선이며, 가끔 H 모양의 구획이 나타난다. 엽록체는 일반적으로 판상이고, 세포 면적의 반이나 그 이상을 차지한다. 전 세계적으로 분포하며, 벽이나 토양과 같은 기증의 환경에서 서식한다(John *et al.* 2002).

채집지: 신륵사 보제존자 석종비

Fig. 4; Plate 4; ACKU No. 6-266

*Klebsormidium flaccidium* (Kützing) P.C. Silva, Mattox *et* W.H. Blackwell 1972

세포의 폭은 6-12 µm이고 길이는 9-15 µm로 폭에 비해 길이가 1배에서 3배 더 길다. 사상체는 길고 항상 구부러져 있거나 꼬인 형태이며, 짧은 길이로 분리된다. 세포는 원통형으로 세포벽은 얇고 매끈하다. 엽록체는 세포 면적의 2/3 이상 차지하고 있으며, 종종 측면에서 신장과 같은 형태로 관찰된다. 전 세계적으로 분포하며, 영국에서 흐르는 물에서 서식하는 것으로 기록된 바 있으나 습윤한 암석이나 나무의 표피 등에서도 서식한다(John *et al.* 2002).

채집지: 신륵사 보제존자 석종비

고찰: *Klebsormidium* 속은 이전의 연구 결과들을 통해 토양이나 암석의 표면과 같은 기증환경에서 빈번하게 출현하는 것으로 알려져 있다(Tomaselli *et al.* 2000; John *et al.* 2002; Crispim *et al.* 2003; Barberousse *et al.* 2006a, 2006b). 이들은 일반적으로 높은 습도를 갖는 지역에서 서식하는 것으로 알려져 있으나(Barberousse *et al.* 2006b), 아주 건조한 상태에서도 생존하는 것으로 보고된 바 있다(Rindi and Guiry 2004).

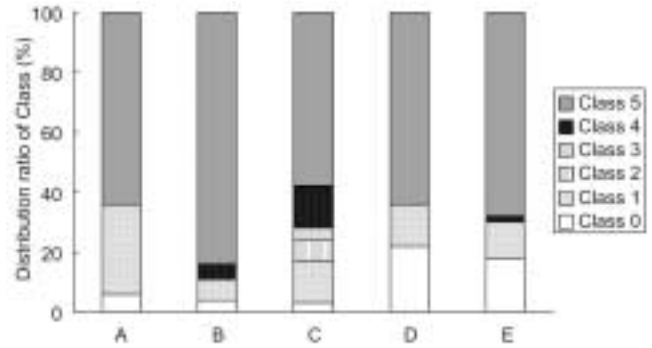


Fig. 7. The ratio of each class analysed from 41 sites of five stone cultural properties of Gyeonggi-do in 2007 (A: Sarira pagoda of priest Wonjongdaesa; B: Three storied stone pagoda in Chang-ri, Yeosu; C: Stele to buddhist priest Bojeonja of Silleuk Temple; D: Five storied stone pagoda in Juksan-ri, Anseong; E: Three storied stone pagoda in Juksan-ri, Anseong).

Fig. 5; Plate 5; ACKU No. 6-368

석조문화재의 조류 서식 등급

Donner *et al.* (2002)은 석조물의 조류의 서식 정도에 따라 시각적인 차이를 이용하여 등급 0부터 5까지 6단계의 등급을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 Donner *et al.* (2002)이 제안한 기준에 따라 고달사 원종대사 혜진탑, 여주 창리 삼층석탑, 신륵사 보제존자 석종비와 죽산리 오층석탑 그리고 죽산리 삼층석탑 등 다섯 기의 석조문화재의 조류 서식 등급을 조사하였다.

각 등급별 Chl-a의 농도는 등급 4에서 가장 높은 평균값을 보였으며, 등급 5에서는 등급 4보다 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 6). 또한 등급 3부터 등급 5에서 각 등급별 Chl-a의 농도 범위가 10-100 µg g<sup>-1</sup>로 서로 교차되는 것으로 나타났으며, 이는 이전의 연구들과 유사한 결과이다(Donner *et al.* 2002; Schumann *et al.* 2005; Lim and Lee 2008). 이처럼 각각의 등급별 Chl-a의 농도 범위가 교차되고 등급 5에서 등급 4보다 더 낮은 Chl-a의 평균값을 갖는 이유는 각각의 분류군에 따라 갖는 광합성 색소 간의 비율의 차이 때문이다(Geider 1987; Foy 1993). 또한 오염이 진행될수록 흔히 나타나는 지의류 등의 종속영양체인 곰팡이의 비율이 상대적으로 더 크기 때문이라는 의견이 제시된 바 있다(Lim and Lee 2008).

5기의 석조문화재를 Donner *et al.* (2002)이 제안한 6단계의 조류 서식 등급에 따라 나누면 다음과 같이 나타났다(Fig. 7). 5기의 석조문화재 중 여주 창리 삼층석탑에서 생물의 서식이 보이지 않은 등급 0이 전체 석조문화재의 표면 면적 중 4%인 것으로 나타났으며, 등급 1이 7%로 나타났다. 또한 등급 4가 5%를 차지했으며, 가장 심한 서식 정도를 나타내

는 등급 5가 84%로 나타남으로써 다섯 기의 석조문화재 중 조류의 서식 정도가 가장 심한 것으로 나타났다. 또한 죽산 리 오층석탑은 생물이 서식하지 않는 등급 0이 22%로 나타나 다섯 기의 석조문화재 중 조류에 의한 서식이 가장 적은 것으로 나타났다. 그러나 조사된 다섯 기의 석조문화재에서 모두 약 80% 이상 조류가 분포하는 것으로 나타났으며, 가장 심한 서식 등급인 등급 5가 최소 58% 이상 나타난 것으로 보아 국내 석조문화재의 조류에 의한 서식정도가 심각한 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 국립문화재연구소의 석조문화재 손상제어기술 연구 과제(08B011Y-00140-2008)에 의해 지원되었습니다.

## 참고문헌

- 정준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미출판사. 서울. 496 pp.
- APHA. 1998. *Standard method. For the examination of water and wastewater*. 20th. New York. 1220 pp.
- Barberousse H., Lombardo R.J., Tell G. and Couté A. 2006a. Factors involved in the colonization of building facades by algae and cyanobacteria in France. *Biofouling* **22**: 69-77.
- Barberousse H., Tell G., Yéprémian C. and Couté A. 2006b. Diversity of algae and cyanobacteria growing on building facades in France. *Algological Studies* **120**: 81-105.
- Crispim C.A., Gaylarde C.C. and Gaylarde P.M. 2004. Biofilms on church walls in Porto Alegre, RS, Brazil, with special attention to cyanobacteria. *Int. Biodeterior. & Biodegrad.* **54**: 121-124.
- Crispim C.A., Gaylarde P.M. and Gaylarde C.C. 2003. Algal and Cyanobacterial Biofilms on Calcareous Historic Buildings. *Curr. Microbiol.* **46**: 79-82.
- Donner A., Minden V., Rickler M. and Rasch M. 2002. Evaluation of algal infestation on building facades using a quantitative chlorophyll a method. *Qualität/Bausanierung Schriftenreihe* **13**: 89-95.
- Ettl H. and Gärtner G. 1995. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. In: John D.M., Whitton B.A. and Brook A.J. (eds), *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 447-451.
- Foy R.H. 1993. The phycocyanin to chlorophyll a ratio and other cell components as indicators of nutrient limitation in two planktonic cyanobacteria subjected to low-light exposures. *J. Plankton Res.* **15**: 1263-1276.
- Gaylarde C.C. and Gaylarde P.M. 2005. A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America. *Int. Biodeterior. & Biodegrad.* **55**: 131-139.
- Geider R.J. 1987. Light and temperature dependence of the carbon to chlorophyll a ratio in microalgae and cyanobacteria: implications for physiology and growth of phytoplankton. *New Phytol.* **106**: 1-34.
- Hirn I. 1953. Vitalfarbungsstudien an Desmidiaceen. In: Prescott G.W. (ed.) *Bibliographia Desmidiacearum universalis*. Koeltz Sci. Books, Germany. pp. 218.
- Jain K.K., Mishra A.K. and Singh T. 1993. Biodeterioration of stone: A review of mechanisms involved. In: Garg K.L., Garg N. and Mukerji K.G. (eds) *Recent Advances in Biodeterioration and Biodegradation* Vol. I: 323-354.
- Jeffrey S.W. and Humphrey G.F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzn.* **167**: 191-194.
- John D.M., Whitton B.A. and Brook A.J. 2002. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 702 pp. 154Pls.
- Kiel G. and Gaylarde C.C. 2005. Bacterial diversity in biofilms on external surfaces of historic buildings in Porto Alegre. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **22**: 293-297.
- Kies L. 1967. Über Zellteilung und Zygotenbildung bei *Roya obtusa* (Bréb.) West et West. *Mitt. Staatsinst. Allg. Bot.* **12**: 35-42.
- Kim G.H., Klotchkova T.A. and Suh M.C. 2001. The effect of chemical treatments on biodeterioration of stone cultural properties. *Kor. J. Environ. Biol.* **19**: 101-105.
- Klotchkova T.A., Cho G.Y., Pueschel C.M., West J.A. and Kim G.H. 2006. Biology of a terrestrial green alga *Chlorococcum* sp. (Chlorococcales, Chlorophyta) collected from the Miruksazi stupa in Korea. *Phycologia* **45**: 349-358.
- Klotchkova T.A. and Kim G.H. 2005. Ornamented resting spores of a green alga, *Chlorella* sp., collected from the stone standing buddha statue at Jungwon Miruksazi in Korea. *Algae* **20**: 295-298.
- Lim A.S. and Lee O.M. 2008. The distribution of aerial algae and biological classes in five stone cultural properties of Korea. *Algae* **23**: 63-69.
- Marathe K.V. and Chaudhari P.R. 1974. An example of algae as pioneers in the lithosphere and their role in rock corrosion. *J. Ecol.* **63**: 65-69.
- Meneghini G. 1842. *Monographia Nostochinearum italicarum*. In: Prescott G.W. (ed.) *Algae of the western great lakes area*. Otto Koeltz Sci. Pub., Germany. pp. 211-212.
- Metting B. 1981. The systematics and ecology of soil algae. *The Botanical review* **47**: 195-312.
- Ortega-Clavo J.J., Hernandez-Marine M. and Saiz-Jimenez C. 1991. Biodeterioration of building Materials by Cyanobacteria and Algae. *Int. Biodeterior. & Biodegrad.* **28**: 165-185.
- Ortega-Calvo J.J., Hernandez-Marine M. and Saiz-Jimenez C. 1992. Experimental strategies for Investigating Algal Deterioration of Stone. In: Podrigues J., Henriques F. and Jeremias F. (eds) *Proceedings of the 7th international congress on Deterioration and Conservation of stone*, Lisbon, Portugal. pp. 541-549.
- Prescott G.W. 1982. *Algae of the western great lakes area*. Otto Koeltz Pub. Germany. 976 pp.
- Rindi F. and Guiry M.D. 2002. Diversity, life history, and

- ecology of *Trentepohlia* and *Printzina* (Trentepohliales, Chlorophyta) in urban habitats in western Ireland. *J. Phycol.* **38**: 39-54.
- Rindi F. and Guiry M.D. 2004. Composition and spatial variability of terrestrial algal assemblages occurring at the bases of urban walls in Europe. *Phycologia* **43**: 225-235.
- Rindi F., Guiry M.D., Critchley A.T. and Gall A.E. 2003. The distribution of some species of Trentepohliaceae (Trentepohliales, Chlorophyta) in France. *Cryptogamie Algologie* **24**: 133-144.
- Schumann R., Häubner N., Klausch S. and Karsten U. 2005. Chlorophyll extraction methods for the quantification of green microalgae colonizing building facades. *Int. Biodeterior. & Biodegrad.* **55**: 213-222.
- Silva P.C., Mattox K.R. and Blackwell W.H. 1972. The generic name *Hormidium* as applied to green algae. In: John D.M., Whitton B.A. and Brook A.J. (eds), *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 447-451.
- Sze P. 2003. *A biology of the algae*. The McGraw-Hill Companies, Inc. Iowa. 278 pp.
- Tomaselli L., Lamenti G., Bosco M. and Tiano P. 2000. Biodiversity of photosynthetic micro-organisms dwelling on stone monuments. *Int. Biodeterior. & Biodegrad.* **46**: 251-258.
- Warscheid Th. and Braams J. 2000. Biodeterioration of stone: a review. *Int. Biodeterior. & Biodegrad.* **46**: 343-368.
- Wee Y.C. and Lee K.B. 1980. Proliferation of algae on surfaces of Buildings in Singapore. *Int. Biodeterior. Bull.* **16**: 113-117.
- Zurita Y.P., Cultrone G., Castillo P.S., Sebastián E. and Bolívar F.C. 2005. Microalgae associated with deteriorated stonework of the fountain of Bibatauín in Granada, Spain. *Int. Biodeterior. & Biodegrad.* **55**: 55-61.
- 
- Received 21 August 2008  
Accepted 11 November 2008