

국내 5기의 석조문화재에 분포하는 기중조류와 생물학적 등급에 관한 연구

임안숙 · 이옥민*

(경기대학교 생물학과)

Distribution of Aerial Algae and Biological Classes in Five Stone Cultural Properties of Korea

An Suk Lim and Ok-Min Lee*

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

The purpose of research was to find aerial algae and to investigate the change of color in each class of photosynthetic pigments in five stone cultural properties of Korea. It turned out to be a total of 29 taxa, including as 26 species, 1 variety and 2 unidentified species. Among them, *Haplaosiphon fontinalis* and *Stigonema turfaceum* were found to be newly recorded species of Korea. The average Chl-a concentration from the change of color in the stone cultural properties increased as its class; however, the class 5 showed lower values than the class 4, which was shown in previous studies. From the studies of algal distribution, chlorophytes appeared earlier than cyanophytes in stone cultural properties of algal infestation. Also, 50% or more of the five stone cultural properties already appeared to have bio-pollution.

Key Words: aerial algae, biological class, *Haplaosiphon fontinalis*, *Stigonema turfaceum*

서 론

국내 석조문화재는 전체 유형문화재 중 29.2%를 차지하고 있으며, 이들은 대부분 옥외에 노출되어 있으므로 풍화가 상당히 진행된 상태이다(Kim 2007). 석조문화재에 일어나는 풍화의 특성은 구성암석의 종류와 조직, 대기나 물의 화학적 조성, 기후, 생물의 영향 및 노출시간 등에 의해 좌우된다(Park and Sung 2005).

석조문화재의 풍화에 있어서 기중조류가 미치는 영향은 착색에 의한 미적 가치의 감소(Warscheid and Braams 2000)와 조류의 높은 수분 보유 능력으로 인하여(Ortega-Clavo *et al.* 1991) 수분의 해동과 동결이 반복됨으로써 암석에 미치는 물리적인 압력을 들 수 있다(Jain *et al.* 1993; Warscheid and Braams 2000). 이는 암석 표면의 구조적인 변화를 초래함으로써 비 생물적인 풍화현상을 촉진시키게 된다(Warscheid and Braams 2000). 또한 기중조류가 분비하는 대사산물에 의하여 화학적인 풍화현상이 야기되며, 다른 생물들과의 상호

작용에 의해 풍화를 촉진시킨다(Jain *et al.* 1993; Ortega-Calvo *et al.* 1992). 이러한 암석의 생물풍화는 한 가지 현상으로 구분되지 않으며, 대부분 물리적, 그리고 화학적인 부식이 함께 일어난다(Jain *et al.* 1993).

건물의 외벽이나 노출된 암석의 생물풍화를 알아보기 위한 정량적인 방법으로는 일반적으로 식물의 경우 Chl-a의 양을 측정하는 방법이 이용되고 있으며(Ariño and Saiz-Jimenez 1996; Prieto *et al.* 2004; Schumann *et al.* 2005; Eggert *et al.* 2006), 암석의 색을 이용한 측정방법이 이용되고 있다(Pitts *et al.* 1998; Prieto *et al.* 2004). 또한 암석의 색과 세포수 계수는 서로 유의한 상관관계가 있는 것으로 밝혀진 바 있다(Prieto *et al.* 2002, 2004).

국외에서 석조문화재에 서식하는 조류에 대한 연구는 비교적 많은 연구가 수행되었으며, 대리석에 서식하는 녹조류인 *Coccomyxa*를 포함한 5종류에 대한 연구(Lamenti *et al.* 2000)와 멕시코 마야유적지에서 발견된 *Chlorella* 등에 관한 연구(Videla *et al.* 2000) 등이 있다. 또한 캄보디아의 앙코르 기념비에 대한 화학적, 생물학적 풍화에 관한 연구(Uchida *et al.* 1999)와 스페인에 위치한 석조물의 미세조류에 관한 연구(Sarró *et al.* 2005; Zurita *et al.* 2005) 그리고 브라질의 포르투

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

Table 1. Sampling points and their Donner *et al.* (2002) classes of five stone cultural properties of Korea

Heritage	Sampling points				Foundation				Body				Roof stone			
	East	West	South	North	East	West	South	North	East	West	South	North	East	West	South	North
A	0/5	3	0/2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	5	3	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0/3	0/5	0/5	0/1	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5	5	5
D	0/4	0/4	0/5	4	3	5	5	3	4	3	3	3	4	3	3	3
E	0/1	0/1	0/2	2	-	-	-	-	5	5	5	5	5	5	5	5

A: Stupa in Godalsa Temple site, B: Stone pedestal for Buddhist statue, C: Three storied stone pagoda in Ha-ri Yeosu, D: Stupa of Buddhist priest Bojejonja of Silleuksa Temple, F: Stone lantern in front of the stele to Buddhist priest Bojejonja

알레그레에 위치한 교회 벽에 형성된 남조류에 관한 연구 (Crispim *et al.*, 2004) 등 많은 연구가 수행되고 있다.

반면 국내의 석조문화재에 서식하는 조류에 관한 연구는 미약한 편으로, 공주 무령왕릉에 대한 연구(Kim *et al.*, 2001)와 중원미륵사지에 대한 연구(Klochkova and Kim 2005) 등이 수행된 바 있다.

따라서 본 연구에서는 경기도 여주군에 위치한 국보 제 4호 고달사지 부도와 보물 제 8호 고달사지 석불좌, 보물 제 91호 여주 하리 삼층석탑, 보물 제228호 신륵사 보제존자 석종 그리고 보물 제231호 신륵사 보제존자 석종 앞 석등의 다섯 기의 석조문화재를 대상으로 석조문화재에 서식하는 기중조류를 밝히고, 또한 생물서식에 의한 석조문화재의 변색과 Chl-*a*의 농도 그리고 분포분류군에 따른 생물오염도를 등급화 할 수 있는 기준을 제안함으로써 석조문화재의 생물오염도를 손쉽게 파악할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

경기도 여주군에 위치한 고달사지 부도와 고달사지 석불좌, 여주 하리 삼층석탑, 신륵사 보제존자 석종 그리고 신륵사 보제존자 석종 앞 석등 등 5기의 석조문화재를 대상으로 오염에 가장 쉽게 노출되어 있는 기단부분을 중심으로 하여 사방의 각 한곳 이상의 정점에서 시료를 채집하였다(Table 1). 시료의 채집 정점은 각 문화재에서 대표적인 생물 등급을 나타내는 지점을 선택하였다. 각 시료의 채취는 부드러운 솔이나 멸균된 압설자를 이용하였다(Kiel and Gaylarde 2005). 채취된 시료는 4°C의 아이스박스에 넣어 실험실로 옮겨와 시료의 일부는 WEES 배지(Kies 1967)를 첨가하여 25°C, 16:8의 일장주기와 40 $\mu\text{m m}^2 \text{s}^{-1}$ 의 광조건 하에서 배양하였고, 이 중 일부는 색소의 추출을 위해 -20°C의 냉동고에 넣어 동결시켰다.

Chl-*a*와 Chl-*b* 그리고 Chl-*c*는 약 0.1 g 정도의 시료에 아세톤을 넣어 냉암소에서 24시간 이상 정치하여 추출한 후 파장 630 nm, 663 nm, 645 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정하

여 산출하였다(Jeffrey and Humphrey 1975; APHA 1998). 또한 피코시아닌은 약 0.1 g의 시료에 0.01 M Sodium phosphate buffer pH 7.0을 넣어 20분간 정치시킨 뒤 2,000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 추출하였다(Bennett and Bogorad 1973; Silveira *et al.*, 2006).

생물분포에 따른 오염등급은 Donner *et al.* (2002)가 제안한 6단계의 등급으로 나누었으며, 각 등급에 따라 Chl-*a*의 양을 비교하고, 각 등급에 분포하는 생물군을 동정하였다.

기중조류의 동정은 광학현미경 1,000배하에서 이루어졌으며, Hirose *et al.* (1977)의 분류체계에 따라 정리하였다. 또한 Metting (1981), 정 (1993), John *et al.* (2002), Barberousse *et al.* (2006a)과 등을 참고하였다.

결과 및 고찰

출현종

5기의 석조문화재에서의 출현종을 분석한 결과, 남조류 16종, 녹조류 7종 2미동정종, 규조류 2종과 1변종, 그리고 황녹색조류 1종 등 총 26종과 1변종 그리고 2미동정종으로 구성된 29분류군으로 나타났다(Table 2). 출현한 분류군 중 *Haploaiphon fontinalis*와 *Stigonema turfatum* 2종은 한국산 미기록종으로 밝혀졌다. 5기의 석조문화재에서 가장 빈번히 출현한 종은 녹조류인 *Protococcus viridis*로 5기의 석조문화재에서 모두 출현하였으며, 두 번째로 많이 출현한 분류군은 남조류인 *Synechocystis aquatilis* 이다.

싱가포르에서 상업용과 주거용의 콘크리트 건물 외벽에 서식하는 조류에 대한 연구 결과에서는 *Trentepohlia* 속이 가장 많이 출현하는 것으로 나타났으며(Wee and Lee 1980), 또한 이는 서아일랜드의 갤러웨이와 주변지역 건물의 착색된 외벽의 주요 분포종으로 밝혀진 바 있다(Rindi and Guiry 2002). 그러나 본 연구에서 이 종은 등급 3에 해당하는 여주 하리 삼층석탑에서만 출현하였다(Table 1). 이러한 암석에서의 출현종의 차이는 서로 다른 지역적 기후의 차이와 조류가 성장하는 기질인 암석의 서로 다른 생물수용성 때문인 것으

Table 2. The algal list occurred at each class of five stone cultural properties of Korea

Species	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Cyanophyceae						
<i>Anabaena fertilissima</i>				+		
<i>Apanocapsa elachista</i>				+		+
<i>Chroococcus bituminosus</i>					++	+
<i>Chroococcus minor</i>						++
<i>Chroococcus minutus</i>				+		
<i>Chroococcus turgidus</i>				++		
<i>Chroococcus varius</i>			+	+	+++	+++
* <i>Hapalosiphon fontinalis</i>				+		+
<i>Lyngbya maior</i>					+	
<i>Oscillatoria tenuis</i>					+	
<i>Scytonema crispum</i>					++	+
* <i>Stigonema turfaceum</i>					++	+
<i>Synechococcus lividus</i>						+
<i>Synechocystis aquatilis</i>	+		+	+++	+	+++++++
<i>Synechosystis pevalekii</i>		+				
<i>Xenococcus acervatus</i>		+				+
Chlorophyceae						
<i>Chlorella ellipsoidea</i>				+		
<i>Chlorella vulgaris</i>						+
<i>Cosmarium decenes</i>				+	+	
<i>Cylindrocapsa conferta</i>				++		+
<i>Klebsormidium</i> sp.					++	++
<i>Protococcus viridis</i>	+++++++	++	++	++++	+++++	+++++
<i>Trebouxia</i> sp.			+	+		+
<i>Tretenpohlia aurea</i>				+		
<i>Ulothrix zonata</i>	++		++	+	+++	++++
Bacillariophyceae						
<i>Navicula capitata</i> var. <i>hungarica</i>		++	+			+
<i>Navicula crytocephala</i>				+		
<i>Nitzschia brevisissima</i>		+				
Xanthophyceae						
<i>Botryococcus braunii</i>				+++		++++

+: the numbers of sites occurred algae

Table 3. The chl-*a* concentrations in visual 6-step color scale for algal infestation intensity in five stone cultural properties of Korea

Class	Chl- <i>a</i>	Donner <i>et al.</i> (2002)		Schumann <i>et al.</i> (2005)	this study
		Color ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Chl- <i>a</i> (mg m^{-2})	Chl- <i>a</i> (mg m^{-2})	Chl- <i>a</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)
0	valid for surfaces without visible algae	1	2-3	5	1-15
1	light discoloration to be visually recognised by brighter regular spots from plastered wall plugs or other specific details	2	5	-	18-24
2	light green	7-20	17-62	-	20-55
3	green	10-70	38-244		32-74
4	dark green, red and/or brown	29-153	87-313	41-313	43-114
5	black with some dark green areas	37-74	114-177		25-119

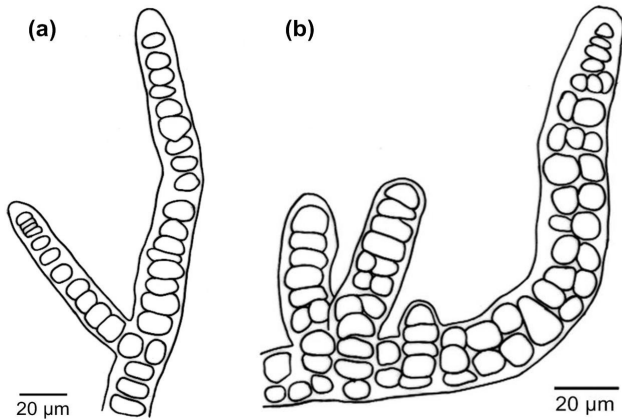


Fig. 1. Illustrations of *Hapalosiphon fontinalis*(a) and *Stigonema turfaceum*(b) found in five stone cultural properties of Korea as Korean unrecorded species.

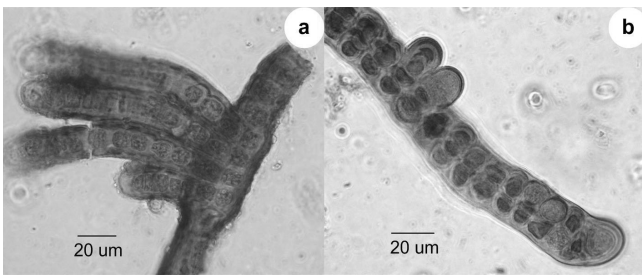


Fig. 2. Photographs of *Hapalosiphon fontinalis*(a) and *Stigonema turfaceum*(b) found in five stone cultural properties of Korea as Korean unrecorded species.

로 사료된다. 이는 Tomaselli *et al.*(2000)에 의해 암석의 기질과 분포하는 생물 간에 관계가 있음이 밝혀진 바 있으며, Ortega-Calvo *et al.*(1991)의 연구 결과에서도 암석의 종류에 따라 출현종이 서로 다르게 나타나는 양상을 보였다.

한국산 미기록종

Haplaosiphon fontinalis Bornet (Figs 1a, 2a)

조체는 총상으로 집합되어 있고 사상체이며, 높이는 약 3 mm이다. 주축 세포열은 1세포열 이지만, 부분적으로 2-3열로 되어있다. 초를 포함한 폭은 11-24 μm이며, 초를 제외한 세포의 폭은 10-16 μm이다. 분지 세포열은 직립하며, 초를 포함한 폭은 8-12 μm이며, 세포의 넓이는 6-7 μm으로 보통 단열이다. 온천수 등에서 서식하는 것으로 보고되었다.

분포: 중앙아시아, 아메리카, 소비에트, 미얀마

채집지: 신록사 보제존자 석종

Stigonema turfaceum Cooke (Figs 1b, 2b)

조체는 흑색이고 1 mm의 높이로 넓게 가지가 뻗어 있다. 사상체는 전체 길이를 포함하여 다세포열(2-4열)로 되어 있

고, 넓이는 28-35 μm이며 분지한다. 새로 나온 가지는 1세포열로 되어 있다. 조체는 황록색이며 가지의 폭은 주축의 폭과 거의 같은 정도로 두껍다. 영양증식에 관여하는 연쇄체는 가지의 선단부에 붙어 있다. 암석 위, 상토 등에서 서식한다.

분포: 인도, 북미

채집지: 신록사 보제존자 석종

기중조류 분포방향과 Chl-a의 양

사방의 방향에 따른 생물의 오염도를 알아보기 위해 각 방향에서의 Chl-a 양의 평균을 비교해 본 결과, 동쪽은 55.40 μg g⁻¹, 서쪽은 53.52 μg g⁻¹, 남쪽은 34.77 μg g⁻¹ 그리고 북쪽은 62.77 μg g⁻¹로 북쪽에서 가장 높은 값을 가지는 것으로 나타났다.

문화재의 표면은 노출된 방향에 따라 조도나 습도 등의 차이를 보이며, 조도나 습도의 환경 요인은 기중조류가 서식하는데 영향을 미친다. 본 연구결과에서도 다른 방향보다 북쪽에서 더 높은 Chl-a의 값을 나타냄으로써 북쪽이 기중조류가 서식하는데 더 유리한 것으로 사료되며, 이전의 연구(Saiz-Zimenez 1999; Barberousse *et al.*, 2006b)에서도 북쪽 방향에서 광합성 생물이 더 많이 분포하는 것으로 밝혀진 바 있다.

생물분포 등급별 색소농도

Donner *et al.*(2002)은 생물에 의한 오염도를 색의 차이에 따라 6등급으로 나누었으며, 그에 따른 Chl-a의 양을 제시한 바 있다. 또한 Schumann *et al.*(2005)은 건물 외벽의 등급별 Chl-a의 양을 측정하였으며, 그 결과 등급 0부터 2까지의 통합을 제안하였고, 등급 3-5까지는 등급별로 구분 할 수 없는 Chl-a 값의 범위를 갖는다고 하였다. 본 연구에서는 등급별 색소의 평균 농도가 Chl-a와 Chl-b 그리고 피코시아닌의 경우, 등급 0에서 등급 4로 증가할수록 광합성 색소의 농도도 증가하였으나, 등급 5에서는 등급 4보다 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). 이는 등급 5보다 등급 4에서 더 높은 Chl-a의 농도 범위를 갖는다는 Donner *et al.*(2002)와 Schumann *et al.*(2005)의 연구와 일치하는 결과이다. 그러나 Chl-c는 다른 광합성 색소와는 달리 등급 5에서 가장 높은 평균값을 나타냈으며, 등급 4보다 등급 3에서 더 높은 값으로 나타남으로써 일정한 경향을 보이지 않았다(Fig. 3).

등급 5에서 평균 Chl-a의 양이 감소하는 이유는 종속영양 생물체인 곰팡이의 서식비율이 높기 때문에 다른 색소에 비해 Chl-a의 비율이 더 낮기 때문인 것으로 사료된다. 석조문화재 표면의 변색은 지의체에 공생하는 기중조류의 종류에 따라 녹색 또는 청녹색 그리고 검은색 등으로 나타날 수 있으며(Bordo *et al.*, 2001), 조류의 군집에서 종 특이적인 색소의 차이에 따라 같은 생물량에서도 다른 녹색의 정도의 차이를 가질 수 있기 때문이다(Schumann *et al.*, 2005).

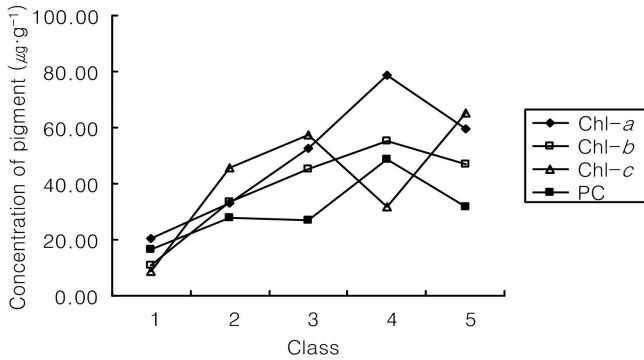


Fig. 3. The photosynthetic pigments concentrations of each class in five stone cultural properties of Korea (PC: Phycocyanin).

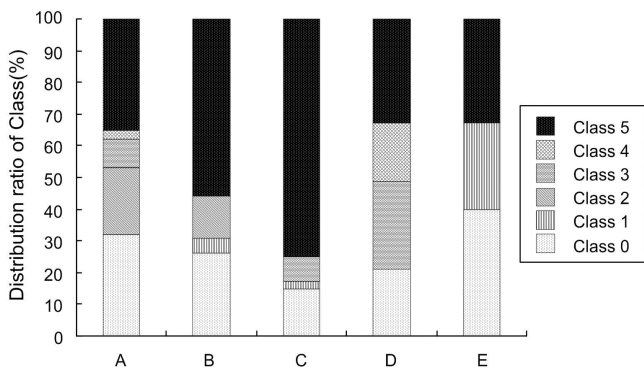


Fig. 4. The distribution of each class in five stone cultural properties of Korea(A: Stupa in Godalsa Temple site, B: Stone pedestal for buddhist statue, C: Three storied stone pagoda in Ha-ri Yeosu, D: Stupa of buddhist priest Bojeonja of Silleuksa Temple, E: Stone lantern in front of the stele to buddhist priest Bojeonja).

본 연구에서 각 등급별 Chl-*a* 농도의 최저 값과 최고 값의 범위는 등급 0에서는 1-15 $\mu\text{g g}^{-1}$ 으로 가장 적은 농도를 나타냈으며, 등급 5에서 25-119 $\mu\text{g g}^{-1}$ 으로 가장 넓은 범위의 Chl-*a* 양을 나타냈다. Chl-*a*의 값은 등급 0부터 2까지는 비교적 등급별 간격을 가지는 반면, 등급 3부터 5까지는 Schumann *et al.*(2005)의 연구에서와 같이 서로 겹치는 범위를 나타냈으며 특히, 등급 5의 경우 등급 2부터 등급 4까지의 범위를 모두 포함하는 것으로 나타났다(Table 3). 따라서 석조문화재의 생물 분포에 따른 오염은 변색에 따른 등급과 Chl-*a* 농도의 비교가 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다.

생물분포 등급과 생물 군집

각 등급의 주요 분류군을 관찰한 결과, 등급 0에서는 채집된 12개의 시료 전부에서 녹조류가 출현하였으며, 1개의 시료에서만 남조류가 출현하였다. 또한 등급 1에서도 4개의 시료에서 모두 녹조류가 출현하였다. 등급 2부터 등급 4까지의 채집된 시료에서는 녹조류와 남조류가 비슷하게 나타났다

며, 등급 5에 해당하는 시료에서는 모두 남조류와 녹조류가 출현하였으나, 남조류가 조금 더 우세한 것으로 나타났다 (Table 2). 이 결과로 미루어 오염의 초기에는 남조류보다 녹조류가 우세하고, 오염이 진행됨에 따라 남조류나 지의류 등이 나타나는 것을 알 수 있다. Gaylarde and Gaylarde(2005)는 녹조류가 암석에서의 군집형성에 선구자 역할을 할 것이라고 추정된 바 있으며, 그 이전의 연구들을 통해 노출된 암석에 녹조류가 대다수 출현하는 것으로 알려져 있다(Wee and Lee 1980, Gaylarde and Gaylarde 2000, Barberousse *et al.* 2006b). 이는 노출된 암석에서 녹조류가 남조류에 비하여 더 빨리 성장하고 그로 인해 더 빨리 암석의 변색을 유발시키기 때문이다(Ortega-Calvo *et al.* 1991).

대상 석조문화재의 생물분포 등급

5기의 석조문화재에 대하여 각 등급 별 분포범위를 살펴본 결과, 여주 하리 삼층석탑은 등급 0이 15%, 등급 1이 2%, 등급 3이 8%로 나타났으며, 등급 4는 나타나지 않았다. 그리고 등급 5가 75%를 차지하였으며, 따라서 생물에 의한 오염이 가장 심한 문화재로 나타났다. 생물에 의한 오염이 가장 적게 나타난 석조문화재는 신록사 보제존자 석종 앞 석등으로 등급 0이 전체 면적 중 약 40%를 차지하는 것으로 나타난 연구대상인 5기의 석조문화재 중에서는 오염이 가장 적은 것으로 나타났다(Fig. 4).

본 연구를 통해 석조문화재의 생물에 의한 오염을 파악하는 방법으로 색깔의 차이에 따라 등급을 나누는 것이 유의한 방법으로 사료되며, 등급 3의 단계까지는 Chl-*a*를 통한 정량이 가능하였다. 암석의 생물 오염 초기에 녹조류가 먼저 출현하였으며, 이는 생물오염의 초기단계에서 녹조류를 제어함으로써 이 후 다른 생물의 침입을 억제할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 연구대상인 5기의 석조문화재가 모두 50% 이상 생물에 의한 오염이 진행된 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소(07B011Y-00170-2007)와 과학재단(M1050804002-05N0804-00210)에 의하여 지원되었으며, 감사드립니다.

참고문헌

정준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미출판사. 서울. 96 pp.
 APHA. 1998. *Standard method. For the examination of water and wastewater.* 20th. New York, 1220 pp.
 Ariño X. and Saiz-Jimenez C. 1996. Colonization and deterioration processes in Roman mortars by cyanobacteria, algae and lichens. *Aerobiologia* 12: 9-18.

- Barberousse H., Lombardo R.J., Tell G. and Couté A. 2006b. Factors involved in the colonisation of building facades by algae and cyanobacteria in France. *Biofouling* **22**: 69-77.
- Barberousse H., Tell G., Yéprémian C. and Couté A. 2006a. Diversity of algae and cyanobacteria growing on building facades in France. *Algological Studies* **120**: 81-105.
- Bennett A. and Bogorad L. 1973. Complementary chromatic adaptation in a filamentous Blue-green alga. *J. Cell Biol.* **58**: 419-435.
- Bordo I.M., Sharnoff S.D. and Sharnoff S. 2001. *Lichens of North America*. Yale University Press, New Heaven, USA, 828 pp.
- 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.
- Donner A., Minden V., Rickler M. and Rasch M. 2002. Evaluations of algal infestation on building facades using a quantitative chlorophyll *a* method. *Qualität/Bausanierung Schriftenreihe* **13**: 89-95.
- Eggert A., Häubner N., Klausch S., Karsten U. and Schumann R. 2006. Quantification of algal biofilms colonising building materials: chlorophyll *a* measured by PAM-fluorometry as a biomass parameter. *Biofouling* **22**: 79-90.
- Gaylarde P.M. and Gaylarde C.C. 2000. Algae and cyanobacteria on painted building in Latin America. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **46**: 93-97.
- 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.
- Hirose H.M., Akiyama T., Imahori K., Kasaki H., Kumano S., Kobayashi H., Takahashi E., Tsumura T., Hirano M. and Yamagishi T. 1977. *Illustrations of the Japanese freshwater algae*. Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan, 932 pp.
- 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* **1**: 323-354.
- Jeffrey S.W. and Humphrey G.F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*1 and *c*2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.* **167**: 191-194.
- John D.M., Whitton B.A. and Brook A.J. 2002. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge University Press and The Natural History Museum, Cambridge, 702 pp.
- 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. Staatsint. 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.
- Kim S.D. 2007. Technical researches and the advance on the Stone Heritage Conservation in Korea. In: *International Symposium of Stone Conservation*, Seoul, Korea. pp. 5-21.
- Klochkova 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* **4**: 295-298.
- Lamenti G., Tiano P. and Tomaselli L. 2000. Biodeterioration of ornamental marble statues in the Boboli Gardens (Florence, Italy). *J. Appl. Phycol.* **12**: 427-433.
- 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.
- Park M.E. and Sung K.Y. 2005. Reaction path modeling of granitic cultural properties and its implication for conservation. *J. Miner. Soc. Korea* **18**: 83-92.
- Pitts B., Hamilton M.A., McFeters G.A., Stewart P.S., Willse A. and Zilver N. 1998. Color measurement as a means of quantifying surface biofouling. *J. Microbio. Methods* **34**: 143-149.
- Prieto B., Rivas T. and Silva B. 2002. Rapid Quantification of Phototrophic Microorganisms and their Physiological state through their colour. *Biofouling* **18**: 229-236.
- Prieto B., Silva B. and Lantes O. 2004. Biofilm quantification on stone surfaces: comparison of various methods. *Sci. Total Environ.* **333**: 1-7.
- 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.
- Saiz-Zimenez C. 1999. Biogeochemistry of Weathering Processes in Monuments. *Geomicrobiol. J.* **16**: 27-37.
- Sarró M.I., García A.M., Rivalta V.M., Moreno D.A. and Arroyo I. 2006. Biodeterioration of the Lions Fountain at the Alhambra Lalace, Granada (Spain). *Build. Environ.* **41**: 1811-1820.
- 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.
- Silveira S.T., Burkert J.F.M., Costa J.A.V., Burkert C.A.V. and Kalil S.J. 2006. Optimization of phycocyanin extraction from *Spirulina platensis* using factorial design. *Bioresource Technology* **98**: 1629-1634.
- Tomaselli L., Lamenti G., Bosco and Tiano P. 2000. Biodiversity of photosynthetic micro-organisms dwelling on stone monuments. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **46**: 251-258.
- Uchida E., Ogawa T., Maeda N. and Nakagawa T. 1999. Deterioration of stone materials in the Angkor monuments, Cambodia. *Engine. Geol.* **55**: 101-112.

- Videla H.A., Guiamet P.S. and Gomez de Saravia S. 2000. Biodeterioration of Mayan archaeological sites in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **46**: 335-341.
- Warscheid T. 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 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 20 December 2007

Accepted 18 February 2008