성주 세종대왕자 태실에 분포하는 지의류상 연구

A Study on Lichen Diversity in the Placenta Chamber of Prince King Sejong's Sons, Seongju

박정신, 우정재, 오승환, 오순옥*

국립수목원 산림생물다양성연구과

Jung Shin Park, Jeong-Jae Woo, Seunghwan Oh, Soon-Ok Oh*

Division of Forest Biodiversity, Korea National Arboretum, Pocheon 11186, Korea

Received March 27, 2020

Revised April 13, 2020

Accepted April 16, 2020

*Corresponding author

E-mail: okkass15@korea.kr

Phone: +82-31-540-8842

Journal of Conservation Science
2020;36(2):93-102

<https://doi.org/10.12654/JCS.2020.36.2.03>

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

© The Korean Society of
Conservation Science for Cultural
Heritage

This is an Open-Access article distributed
under the terms of the Creative
Commons Attribution Non-Commercial
License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits
unrestricted non-commercial use,
distribution, and reproduction in any
medium, provided the original work is
properly cited.

초 록 지의류는 효모를 포함하는 곰팡이와 조류의 공생체로 복합미생물이다. 지의류의 다양한 종들은 문화재에서 흔히 발견되며 풍화작용과도 관련되어 있는 것으로 보고되어 유럽에서는 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 우리나라의 문화재에서 지의류에 관한 연구 보고는 거의 이루어지고 있지 않다. 본 연구는 국립수목원에서 진행하는 생활권 및 특수지역에 서식하는 버섯·지의류 탐색 및 분류 연구 조사의 일환으로 수행되었으며 성주 세종대왕자 태실의 지의류상 조사에서 밝혀진 내용을 보고한다. 총 19기의 태실로부터 총 65점의 지의류를 채집하였으며, 채집된 지의류를 형태학 및 분자생물학적으로 동정한 결과 3강 10목 17과 23속 40종이 밝혀졌다. 형태학적 분류 결과 잎의 형태를 띠는 엽상지의류(24점, 36.9%)와 딱지 형태를 띠는 가상지의류(24점, 36.9%)가 나뭇가지 형태를 띠는 수지상지의류(17점, 26.2%)에 비해 높은 비율로 분포하였다. 이들 중 엽상지의류에 속하는 *Xanthoparmelia coreana*가 가장 많이 채집되었으며, 가상지의류인 *Lepraria* sp.가 19기 태실 모두에 분포하였다. 또한 수지상 지의류인 *Cladonia*속이 8종으로 종 다양성이 가장 높았다. 계양군 태실에서 16종의 지의류가 채집되어 가장 높은 종 다양성을 보인 반면, 금성대군 태실의 경우 5종의 지의류가 채집되어 가장 낮은 종 다양성을 보였다. 본 연구는 우리나라 문화재에 분포하는 지의류 종 다양성 연구에 기초자료로 활용될 것이다.

중심어 보존과학, 석조문화재, 성주 세종대왕자 태실, 생물풍화, 지의류

ABSTRACT A lichen is a complex microorganism comprising fungi and algae. Various lichens are commonly found in cultural heritage and are reportedly related to weathering. Lichens are commonly studied in Europe; however, few reports exist on lichens in Korean cultural heritage. The present study was conducted as part of the Korean National Arboretum's "A study on the Fungus and Lichen." We report the lichen diversity found at the Placenta Chambers of King Sejong's Sons, Seongju. A total of 65 lichens were collected from 19 placenta chambers and one memorial stone. We identified 40 species belonging to 10 genera, 17 families, and 23 orders. Morphological identification revealed that foliose lichens in the form of leaves(24, 36.9%) and crustose lichens in the form of crust(24, 36.9%) were distributed at a higher percentage than that of fruticose lichen in the form of branches(17, 26.2%). *Xanthoparmelia coreana*(foliose lichen) and *Lepraria* sp.(crustose lichen) were the most collected lichens and were distributed on 19 chambers. In addition, *Cladonia*, a fruticose lichen, had the highest species diversity with eight species. The highest species diversity of lichens was identified on the chamber of Prince Kyeyang(16 lichens), whereas the chamber of Prince Geumsung had the lowest species diversity(five lichens). This study will be used as primary data for the study of distribution of lichen diversity in Korean cultural heritage.

Key Words Biological weathering, Conservation science, Stone cultural heritage, Lichen, Placenta Chamber of King Sejong's Sons, Seongju

1. 서론

석조문화재의 풍화작용은 문화재의 훼손과도 연결되는 중요한 작용으로 생각되고 있다. 이러한 풍화작용의 생물학적 훼손인자들 중 중요한 인자로 알려진 지의류는 효모를 포함하는 곰팡이와 조류의 복합생물이다. 지의류는 암석, 수목, 토양이나 콘크리트, 오래된 철관 등 기질을 가리지 않고 착생하는 것으로 알려져 있으며, 이를 통해 암석의 풍화를 촉진시켜 토양화시키는 것으로 생각되고 있다. 또한, 지의류의 낮은 성장률과 오랜 생명력은 암석의 연대를 측정하는데 사용되고 있다(Nash, 2008). 지의류는 암석을 구성하는 성분에서 나타나는 물질과 pH차이로 인하여 기질에 따라 다른 지의류상이 나타나는데 석회암이나 사암, 화강암에서 나타나는 지의류가 다르다고 알려져 있어 암석의 구성은 지의류 분류 및 동정에 중요하다(Nash, 2008).

석조문화재에 부착된 지의류에 관한 연구보고들은 지의류에 관해 해로운 점과 이로온 점이라는 극명하게 나뉘는 두가지 다른 관점으로 다뤄지고 있다. 해로운 점에 관한 연구 보고로는 지의류가 석조문화재에 대해 생물열화(biodeterioration)를 일으키는 인자로서 석조문화재에 지의류 콜로니(colony)를 형성하여 균사가 암석에 뿌리를 내려 내부 암석 구성 물질에 균열을 준다고 보고하였다(Chen *et al.*, 2000). 이에 상반된 연구 보고로 석조문화재에 지의류가 생물막(biofilm)을 형성하여 암석에 직접적인 영향을 주는 바람과 빛을 차단하고, 또한 석조문화재에 직접적으로 침투할 수 있는 수분을 지의류가 흡수하여 풍화를 방지할 수 있다고 보고하였다(Pinna, 2014; Chiari and Cossio, 2002). 그러나 Pinna 등이 주장하는 생물막은 석조문화재를 보호할 수 있는 장점에도 불구하고 선태류 및 세균이 자랄 수 있는 수분과 영양분의 공급원이 될 수 있을 가능성이 높아 석조문화재를 훼손할 수 있어서 지의류를 제거해야만 하는 원인이 되기도 한다. 석조문화재에 대한 지의류의 이로움과 해로움이라는 상반된 연구보고가 존재하지만 우리나라의 경우 국내 석조문화재에 대한 기중조류 분포와 이에 따른 생물오염 피복도에 대한 조사들이 이루어 졌으나(Kim *et al.*, 2010; 2011) 석조문화재에 대한 지의류 분포 조사가 거의 이루어지지 않아 연구조사 보고가 시급하다.

우리나라에서 수행된 지의류 분포 조사는 서울 근교 지역 석조문화재를 대상으로 이루어졌다(Min *et al.*, 1986). 이 연구에서 조사지역은 홍유릉, 영릉, 금곡릉과 신록사 다층석탑 2기를 대상으로 하였으며 지의류의 분포를 파악하기 위해 시료를 직접 채집, 관찰한 뒤 지의류를 형태

적으로 구분하여 잎 모양의 엽상, 딱지 모양의 가상 및 나뭇가지 모양의 수지상으로 분류한 뒤, 지의류의 분포를 확인 조사하였다. 이와 함께 지의류 샘플(sample) 크기를 측정하여 성장 정도를 확인하였으며 석조문화재에서 가장 많이 분포하고 있는 가상지의류를 어두운 회색(dark gray) 및 빛 바랜 회색(pale gray)로 표현하였다(Min *et al.*, 1986).

이후 수행된 다른 연구에서는 지의류에 대해 형태별(가상, 엽상, 수지상) 및 시각적으로 보이는 지의류 색(노랑, 흰색, 회색, 갈색 등)을 관찰하고 기록한 바 있다(Min, 1985; Min *et al.*, 1986; Han and Ahn, 1990; Chung *et al.*, 2003; Lee and Kim, 2015). 중원 미륵리사지 석탑 생물침해조사에 관한 연구에서 지의류 21종을 비롯하여 선태류, 조류 및 식물을 분류 동정하였다(Kim *et al.*, 2003). 가장 최근 범주사 당간지주에 대한 지의류상 조사에서 Kim *et al.*(2017)은 *Aspicilia sp.*, *Pertusaria flavicans*, *Leprocaulon textum*, *Xanthoparmelia conspersa* 및 *Ramalina sekika*을 포함하는 5종의 지의류를 동정 하였으며, 발견된 지의류들 중 가상지의류 *Aspicilia sp.*가 가장 우점 한다고 보고하였다.

다른 나라의 경우 석조문화재에 관한 지의류 분포 연구들은 주로 응회암 및 석회암 중심의 문화재에 대해 많은 연구가 이루어졌으며, 특히 화강암에서 발견되는 지의류에 대한 조사로는 스페인의 Galicia 고인돌과 교회건물에서 채집된 지의류에 대한 조사들이 보고된 바 있다(Prieto *et al.*, 1994; 1995; Sohrabi *et al.*, 2017; Municchia *et al.*, 2018). 이 연구들 중 스페인 Galicia의 화강암으로 만들어진 총 5개의 고인돌로부터 60종의 지의류를 채집하여 지의류 중 분포를 확인하였는데, 그 중 *Aspicilia cinerea*, *Diploschistes scruposus*, *Pertusaria coccodes*, *Ochrolechia parella* 및 *Xanthoria parietina*가 가장 높게 분포된 지의류로 확인되었다(Prieto *et al.*, 1994). Prieto Lamas *et al.*(1995)은 스페인의 동일지역에 화강암으로 만들어진 교회 20곳에서 총 33종의 지의류를 분류 동정하여, 9종의 지의류(*Caloplaca crenularia*, *Candelariella vitellina*, *Lecanora campestris*, *Ochrolechia parella*, *Pertusaria leucosora*, *Sarcogyne clavus*, *Tephromela atra*, *Verrucaria macrostoma*, *Xanthoria parietina*)가 14곳(70%)의 교회에 분포한다고 보고하였다.

연구 대상 지역인 성주 세종대왕자 태실 구조는 중앙 태석과 아기비로 구성되며 중앙 태석의 높이는 99-124.5 cm, 아기비의 높이는 53.9-105 cm이다. 중앙 태석은 상부에 개첩석, 중간에 중동석, 하부의 사방석으로 구성되며, 중앙 태석이 완전한 것은 총 19기 중 14기이며 사방석만 있는 것은 5기이다(Shim, 2015). 태실은 건립된 이래 처음으로 1977년 대대적인 보수정화사업이 실시되었고, 이후

에(1991년, 1998년, 2009년) 주변 식재와 진입 계단 및 태실 주변 바닥 성토 등으로 보수가 진행되어 현재까지 이어져 내려오고 있다(Shim, 2015).

성주 세종대왕자 태실은 1438년에 건립된 이래로 500년 이상의 역사를 가지고 있으며 한번도 보존처리가 이루어지지 않았다. 태실은 여러 개의 문화재가 한 곳에 집약적으로 있는 곳으로 지의류의 다양성과 분포를 확인하기에 매우 적합한 곳으로 연구의 중요성이 매우 높다.

본 연구는 성주 세종대왕자 태실에 분포되어 있는 지의류의 종을 조사하고, 지속적으로 문제되는 문화재 보존처리 연구사업에 이용할 수 있는 기초 자료로 활용하기 위해 수행되었다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 조사 위치와 채집 방법

성주 세종대왕자 태실은 행정구역상 경상북도 성주군 월항면 인촌리 선석산 태봉(258.2 m)에 자리하고 있으며, 지리적으로는 북위 36°00'52.01", 동경 128°17'41.88"에 위치한다. 성주 세종대왕자 태실은 5,950 m²의 면적에 2줄

로 늘어선 19기의 태실(Placenta Chamber)과 1기의 비석이 있고, 암석은 모두 화강암으로 구성되어 있다(Figure 1). 수목과 암석을 제거하여 태실을 조성하였으며, 태실 주변 식생은 소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.)가 우점하는 침엽수림에 낙엽수인 아까시나무(*Robinia pseudoacacia* L.)가 혼생하여 자라는 혼효림이다(Shin *et al.*, 2011).

태실의 지의류 분포를 확인하기 위하여 총 2회에 육안 조사 및 시료 채집이 이루어졌다. 첫번째 조사(2017년 4월)는 태실 전체에 대한 지의류 조사로 중복 채집을 하지 않고 진행하였으며, 두번째 조사(2019년 8월)는 각 기별로 지의류 분포를 조사하였다. 지의류의 염색과 수치상의 시료확보는 날이 있는 도구를 이용하여 문화재를 훼손하지 않는 범위로 동정정보를 포함하는 지의체의 일부만을 떼어 내거나 긁어서 지의류를 채집하였고, 가상지의류의 경우 동정 정보가 나자기(apothecium)에 있기 때문에 이 부분을 중심으로 날이 있는 단면을 이용해 긁어내어 시료를 확보하였다. 각 대군이나 군의 태실을 구성하는 아기비와 태석은 나누어 조사하지 않고 통합하여 종과 분포를 확인하였다. 채집된 지의류 표본은 증거표본으로 제작하여 국립수목원 표본관(Korea National Arboretum Herbarium, KH)에 소장하였다.

Figure 1. Photograph and diagram of the Placenta Chamber of King Sejong's Sons, Seongju. (A) Photograph of the placenta chamber, (B) The placenta chamber of Prince Jinyang, (C) Prince Anpyeong, (D) Studying site of the placenta chamber: 1. Prince Jinyang, 2. Prince Anpyeong, 3. Prince Imyeoung, 4. Prince Gwangpyeong, 5. Prince Gumseoung, 6. Prince Pyeongwon, 7. Prince Yeongeung, 8. Grandson of King Sejong, 9. Memorial stone of Sejo, 10. Prince Hwau, 11. Prince Gyeyang, 12. Prince Uichang, 13. Prince Hannam, 14. Prince Milsung, 15. Prince Suchun, 16. Prince Ikhyun, 17. Prince Yeongpung, 18. Prince Yeonghye, 19. Prince Damyang, 20. Prince Dang.

2.2. 형태적, 화학적, 분자생물학적 동정

지의류의 형태 및 세부 구조 파악을 위해 실체 현미경(SZX7, Olympus, JPN)을 이용하였으며, 내부 구조(자낭, 포자) 관찰을 위해 광학 현미경(CX22LED, Olympus, JPN)을 이용하여 지의류를 동정하였다. 또한 지의류 동정의 중요 분류키(identification key)가 되는 물질이 있는 경우 K용액(5% potassium hydroxide), C용액(aqueous solution of calcium hypochlorite), P용액(paraphenylene diamine), KC용액(K용액 + C용액)을 이용한 정색반응(chemical color test; 용액처리 후 변색 관찰)을 병행하여 동정하였다. 지

의류의 이차산물을 이용한 동정이 필요한 경우 Thin layer chromatography(TLC)를 이용하여 화학적 동정을 실시하였다. TLC는 solvent C(toluene : acetic acid = 85 : 15) 방법을 사용하였으며 전개 높이와 발색되는 색으로 동정을 수행하였다(Orange, 2010). 형태학적 및 화학적인 방법에 의한 분류·동정이 불가능한 경우 분자생물학적인 방법으로 DNA 염기서열을 비교하여 종을 동정하였다.

지의체에서 DNA 추출을 위하여 건조된 표본을 분쇄기(Mini Beadbeater-16, 3450 RPM, 115 V, 10 A; Biospec Products, USA)로 갈아서 샘플(sample)을 준비하였다. 준

Table 1. National center for biotechnology information(NCBI) blast results

Name of species	Collection No.	Accession No.	Most closely related taxon	Identity(%)
<i>Acarospora</i> sp.	KL17-0276	LN810776	<i>Acarospora impressula</i>	95
<i>Anaptychia isidiza</i>	KL17-0298	EF582781	<i>Anaptychia isidiata</i>	92
<i>Aspicilia</i> sp.1	KL17-0272	KT443791	<i>Aspicilia cinerea</i>	96
<i>Buellia stellulata</i>	KL17-0271	MG250193	<i>Buellia halonia</i>	99
<i>Caloplaca diffluens</i>	KL17-0283	KY614417	<i>Laundonia flavovirescens</i>	79
<i>Candelaria asiatica</i>	KL17-0273	EF535211	<i>Candelaria fibrosoides</i>	78
<i>Cladonia chlorophaea</i>	KL17-0289	KC415948	<i>Cladonia subconistea</i>	99
<i>Cladonia mongolica</i>	KL17-0296	KY266923	<i>Cladonia subfurfurata</i>	98
<i>Coccocarpia erythroxyli</i>	KL17-0284	KC542391	<i>Coccocarpia erythroxyli</i>	98
<i>Diploschistes actinostomus</i>	KL17-0288	KC166972	<i>Diploschistes actinostomus</i>	99
<i>Lecanora helva</i>	KL17-0291	AB764070	<i>Lecanora</i> sp.	87
<i>Lepraria</i> sp.	KL17-0121	KC184100	<i>Leprocaulon adhaerens</i>	85
<i>Pertusaria flavicans</i>	KL17-0275	KU894628	<i>Pertusaria flavicans</i>	99
<i>Punctelia subrudecta</i>	KL17-0295	KR024422	<i>Parmelia rudrata</i>	99
<i>Pyxine endochrysina</i>	KL17-0278	EU670212	<i>Pyxine endochrysina</i>	99
<i>Ramalina yasudae</i>	KL17-0297	KT698314	<i>Ramalina yasudae</i>	98
<i>Stereocaulon japonicum</i>	KL17-0287	KP324745	<i>Stereocaulon japonicum</i>	98
<i>Trapelia</i> sp.	KL17-0286	KU672611	<i>Trapelia lilacea</i>	93
<i>Xanthoparmelia claviculata</i>	KL17-0113	MG695587	<i>Xanthoparmelia tasmanica</i>	99
<i>Xanthoparmelia claviculata</i>	KL17-0141	MG695587	<i>Xanthoparmelia tasmanica</i>	99
<i>Xanthoparmelia claviculata</i>	KL17-0277	MG695587	<i>Xanthoparmelia tasmanica</i>	98
<i>Xanthoparmelia claviculata</i>	KL17-0281	MG695587	<i>Xanthoparmelia tasmanica</i>	98
<i>Xanthoparmelia claviculata</i>	KL17-0282	MG695587	<i>Xanthoparmelia tasmanica</i>	98
<i>Xanthoparmelia claviculata</i>	KL17-0293	MG695587	<i>Xanthoparmelia pulvinaris</i>	98
<i>Xanthoparmelia conspersa</i>	KL17-0270	GU593040	<i>Xanthoparmelia protomatrae</i>	99
<i>Xanthoparmelia coreana</i>	KL17-0290	GU593040	<i>Xanthoparmelia protomatrae</i>	98
<i>Xanthoparmelia coreana</i>	KL17-0292	JQ362484	<i>Xanthoparmelia pulvinaris</i>	99
<i>Xanthoparmelia coreana</i>	KL17-0294	JQ362484	<i>Xanthoparmelia pulvinaris</i>	98
<i>Xanthoparmelia coreana</i>	KL17-0299	JQ362484	<i>Xanthoparmelia pulvinaris</i>	99

비된 샘플은 DNeasy Plant Mini Kit(QIAGEN, DEU)를 사용하여 DNA를 추출하였다. 유전자 마커로는 곰팡이 동정에 널리 사용되는 Internal transcribed spacer(ITS) 영역의 universal primer인 ITS4 primer를 사용하였다(White *et al.*, 1990). PCR에 사용되는 PCR premix(Bioneer, KOR)는 총 볼륨(volume) 20 mL으로 맞춰 사용하였다. PCR amplification을 위해서 ProFlex PCR System(Life Technologies Holdings Pre Ltd, SGP) 기기를 사용하여 증폭하였으며 PCR 반응 조건은 94°C에서 10분 동안 예열 후 95°C에서 1분, 55°C에서 1분, 72°C에서 1분을 35회 반복하고, 최종적으로 72°C에서 10분을 유지하여 수행하였다. 염기서열은 National center for biotechnology information(NCBI)의 Blast 검색을

통한 GenBank 데이터 베이스와 비교하여 종과 속을 동정하였다(Table 1). 지의류 동정은 지의류 도감 1과 지의류 도감 2편을 이용하였으며 그 밖에 각 속 별로 작성된 논문을 참고 하였다(Hur *et al.*, 2016; Hur *et al.*, 2017).

3. 결과 및 고찰

지의류는 태실의 태석과 아기비에 분포하고 있었으며 총 65점이 채집되었고 3강 10목 17과 23속 40종으로 동정되었다(Table 2). 총 65점 중 수지상지의류(fruticose)는 17점(26%)이 채집되었고, 엽상지의류(foliose)와 가상지의류(crustose)가 24점(36.9%)씩 동일하게 채집되었다.

Table 2. List of lichens isolated from the Placenta Chamber of King Sejong's Sons, Seongju

Species name	Type	Site of Placenta Chamber	Lichen acids (TLC results)	Spot test(on lichen thallus)			
				Reagent K	Reagent C	Reagent P	Reagent KC
1 <i>Acarospora</i> sp.	crustose	3,4	No secondary metabolites	-	-	-	-
2 <i>Anaptychia isidiza</i>	foliose	Unknown	No secondary metabolites	-	-	-	-
3 <i>Aspicilia</i> sp.	crustose	6,15	Unknown	-	-	-	-
4 <i>Aspicilia</i> sp.1	crustose	1,2,3,4,6,7,8,10,11,12,13,14,15,16,18,19,20	Unknown	-	-	-	-
5 <i>Buellia</i> sp.	crustose	1,4,6,7,8,9,12,14,15,16,17,18,19,20	Unknown	-	-	-	-
6 <i>Buellia stellulata</i>	crustose	2,3,4,6,7,8,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20	atranorin, confluent acid and 2'-O-methylperlatolic acid	+ (yellow)	-	± (faintly yellow)	-
7 <i>Caloplaca bogilana</i>	crustose	15	atranorin, gyrophoric and lecanoric acid	+ (purple)	-	-	-
8 <i>Caloplaca diffluens</i>	crustose	4,6,7,16,18	Unknown	+ (purple)	-	-	-
9 <i>Candelaria asiatica</i>	crustose	15	calycin and pulvinic acids	-	-	-	-
10 <i>Candelariella reflexa</i>	crustose	3,4,6,7,8,11,12,14,15,16,18,19,20	no lichen substance detected	+	-	-	-
11 <i>Cladonia chlorophaea</i>	fruticose	7,13,19	furmarprotocetraric acid	-	-	+ (red)	-
12 <i>Cladonia cornuta</i>	fruticose	10	furmarprotocetraric acid	-	-	+ (red)	-
13 <i>Cladonia gramulans</i>	fruticose	11	usnic and squamatic acids	-	-	-	± (yellowish)
14 <i>Cladonia kurokawae</i>	fruticose	3,10	furmarprotocetraric acid and atranorin	-	-	+ (red)	-
15 <i>Cladonia macilenta</i>	fruticose	5,11	didymic, barbaric and homosekikaic acids	+ (yellow)	-	± (orange)	-
16 <i>Cladonia mongolica</i>	fruticose	Unknown	furmarprotocetraric and protocetraric acids	-	-	+ (orange red)	-
17 <i>Cladonia rappii</i> var. <i>exilior</i>	fruticose	11,17	furmarprotocetraric acid	-	-	+ (red)	-

	Species name	Type	Site of Placenta	Chamber	Lichen acids (TLC results)	Spot test(on lichen thallus)			
						Reagent K	Reagent C	Reagent P	Reagent KC
18	<i>Cladonia symphylicarpa</i>	fruticose	19		atranorin	-	-	-	+ (yellow)
19	<i>Coccocarpia erythraxylis</i>	foliose	4,16		No secondary metabolites	-	-	-	-
20	<i>Collema furfuraceum</i>	foliose	4,6,7,15,16		No secondary metabolites	-	-	-	-
21	<i>Diploschistes actinostomus</i>	crustose	1,3,4,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,19,20		lecanoric acid	-	+ (red)		-
22	<i>Heterodermia sp.</i>	foliose	9		Unknown	+ (yellow)	-	-	-
23	<i>Lecanora campestris</i>	crustose	11		atranorin, chloratranorin and zeorin	+ (yellow)	-	-	-
24	<i>Lecanora helva</i>	crustose	Unknown		atranorin and 2'-O-methylperlatolic acid	+ (yellow)	-	-	-
25	<i>Lecanora oreinoides</i>	crustose	4,6,7,12,14,15,18,19,20		atranorin and confluent acid	+ (yellow)	-	-	+ (yellow)
26	<i>Lepraria sp.</i>	crustose	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20		alectorialic, atranorin, constipatic, Fatty, stictic, Pannaric, usnic and zeorin acids (variable)	depending on acids			
27	<i>Ochrolechia parellula</i>	crustose	11		gyrophoric acid	-	+ (red)	-	-
28	<i>Pertusaria flavicans</i>	crustose	1,2,3,4,5,6,7,10,11,12,14,15,16,17,18,19,20		norstictic and thiophaninic acids	-	+ (orange)	-	+ (orange)
29	<i>Pertusaria subobductans</i>	crustose	10,11,15		norstictic and perlatolic acids	+ (yellow to red)	-	-	-
30	<i>Porpidia albocaerulescens</i>	crustose	8,16,19		stictic acid			+ (red)	
31	<i>Punctelia subrudecta</i>	crustose	Unknown		atranorin and lecanoric acid	+ (yellow)	-	-	-
32	<i>Pyxine endochrysinia</i>	foliose	3		atranorin (minor or trace)	+ (weakly yellow)	-	-	-
33	<i>Ramalina yasudae</i>	fruticose	5,7,13,19		evermic and obtusatic acids	-	-	-	-
34	<i>Stereocaulon japonicum</i>	fruticose	1,2,11		atranorin, norstictic and stictic acids	+ (yellow)	-	+ (red)	-
35	<i>Stereocaulon pileatum</i>	fruticose	1,11,18		atranorin and lobaric acids	+ (yellow)	-	-	-
36	<i>Stereocaulon verruculigerum</i>	fruticose	1,11		atranorin and lobaric acids	+ (yellow)	-	-	-
37	<i>Trapelia sp.</i>	crustose	19		gyrophoric acid	-	-	-	-
38	<i>Xanthoparmelia claviculata</i>	foliose	1,3,4,5,7,8,10,15,17,18		usnic acid and norlobaridone	-	-	-	-
39	<i>Xanthoparmelia conspersa</i>	foliose	4,9,12,13,14,15,16,18,19		constictic, stictic, cryptostictic and usnic acids	+ (yellow or orange)	-	-	-
40	<i>Xanthoparmelia coreana</i>	foliose	2,6,7,8,10,11,12,13,20		consalazinic, norstictic, salazinic and usnic acids	-	-	-	-

*1. Prince Jinyang, 2. Prince Anpyeong, 3. Prince Imyeoung, 4. Prince Gwangpyeong, 5. Prince GumSeoung, 6. Prince Pyeongwon, 7. Prince Yeongeung, 8. Grandson of King Sejong, 9. Memorial stone of Sejo, 10. Prince Hwau, 11. Prince Gyeong, 12. Prince Uchang, 13. Prince Hannam, 14. Prince Milsung, 15. Prince Suchun, 16. Prince Ikhyun, 17. Prince Yeongpung, 18. Prince Yeonghye, 19. Prince Damyang, 20. Prince Dang.

각 왕자의 19기 태실 모두에 *Lepraria* 속이 모두 분포하였고, 그 다음으로 *Pertusaria flavicans* 종이 17기의 태실, *Buellia stellulata* 종과 *Diploschistes actinostomus* 종이 16기의 태실에 분포하였다. 또한, 수지상 지의류로 토양, 암석, 수목 등 다양한 기질에서 서식하는 *Cladonia* 속이 총 8종으로 동일한 속(genus)내에서는 가장 높은 종 다양성을 보였으며, 계양군 태실에서 가장 많이 확인되었고 서쪽과 동쪽 끝의 담양군과 화의군 태실, 중앙의 한남군과 금성대군 태실까지 전반적으로 고르게 분포하는 것으로 조사되었다. 가장 많은 지의류가 분포한 것으로 조사된 태실은 계양군 태실로 16종의 지의류가 분포하였으며, 그 다음으로 수춘군 태실에서 15종이 분포하였다. 이에 반해, 가장 적은 수의 지의류 분포한 태실은 안평대군 태실(6종) 및 금성대군 태실(5종)이었다.

태실 구조 별로 지의류 분포를 살펴보면 개첨석과 아기비 상층과 광(光)에 완전히 노출되어 있는 사방석 상층에는 엽상지의류인 *Xanthoparmelia* 3종(*Xanthoparmelia claviculata*, *Xanthoparmelia conspersa*, *Xanthoparmelia coreana*)이 우점하고 있었다(Figure 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, 3C). 또한 가상 지의류인 *Aspicilia*속, *Buellia*속, *Diploschistes actinostomus* 종도 개첨석 상층에서 주로 조사되었다(Figure 2D, 2E, 3D, 3E). 그러나 그늘지고 습한 환경에서 주로 서식하

는 엽상지의류 *Collema furfuraceum*, 가상지의류 *Porpidia albocaerulescens*, 수지상지의류 *Ramalina yasudae*는 태실 하단의 사방석 부위 중 그늘진 곳에서 주로 조사되었다(Figure 2F, 2G). 반면 *Lepraria* 속은 개첨석, 중동석, 사방석에서 모두 확인되었는데 주로 광량이 적은 옆면이나 그늘진 부분에서 조사되었다(Figure 2H, 3H). *Pertusaria flavicans* 종도 위치를 가리지 않고 확인되었으나 *Lepraria* 속과는 달리 주로 광량이 풍부한 상층에서 조사되었다(Figure 2I, 3I). 각 태실별로 지의류의 분포도가 다른 이유는 지의류는 종마다 광합성 및 수분 요구도가 다르기 때문에 각 태실의 위치와 부위별로 분포도 및 우점도에 차이가 있는 것으로 보인다. 태실의 하층은 상층에 비해 광량은 적으나 그늘이 있어 습하고, 상층은 하층에 비해 광량은 풍부하지만 그늘이 없어서 습윤하기 어렵기 때문이다(Chudhury *et al.*, 2016).

한국에서는 문화재에 생장하는 지의류 분포에 대한 조사가 외국에 비해 상대적으로 활발하지 않지만, 몇 가지 사례를 통하여 석조문화재에서 확인된 지의류 종들을 비교분석 할 수 있었다(Kim *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2017). 중원 미륵리사지에서 확인된 지의류와 태실에서 공통으로 나타난 종은 *Cladonia chlorophaea*와 *Lepraria* sp. 2종이었으며, 법주사 당간지주에서 태실과 공통으로 확인된 지

Figure 2. Photographs of nine investigated lichens. (A) *Xanthoparmelia claviculata*, (B) *Xanthoparmelia conspersa*, (C) *Xanthoparmelia coreana*, (D) *Aspicilia* sp., (E) *Diploschistes actinostomus*, (F) *Collema furfuraceum*, (G) *Porpidia albocaerulescens*, (H) *Lepraria* sp., (I) *Pertusaria flavicans*.

Figure 3. Micrographs of nine investigated lichens. (A) *Xanthoparmelia claviculata*, (B) *Xanthoparmelia conspersa*, (C) *Xanthoparmelia coreana*. (D) *Aspicilia* sp., (E) *Diploschistes actinostomus*, (F) *Collema furfuraceum*, (G) *Porpidia albocaerulescens*, (H) *Lepraria* sp., (I) *Pertusaria flavicans* (Scale bars: A, B = 1 cm; C, D, E, G, H, I = 5 mm; F = 2.5 mm).

의류는 *Aspicilia* sp., *Pertusaria flavicans* 및 *Xanthoparmelia conspersa* 3종이었다. 종원 미르리사지와 태실에서 확인된 지의류 중 *Lepraria* sp.는 분아(soredia)에 이미 공생균과 공생조류가 있어서 그 자체가 퍼지는 번식방법을 사용한다. 태실에서 이 종이 가장 많이 확인된 이유도 무성생식기관인 분아가 공생균과 공생조류가 이미 공생하고 있는 상태에서 운반되어 생육조건에 맞으면 곧바로 새로운 지의체를 형성하는 것이 가능하기 때문이다(Kashiwadani, 2012). 또한 법주사 당간지주에서 확인된 *Pertusaria flavicans* 종이 17개 태실에서 확인되는 이유도 무성생식 방법인 분아로 번식하기 때문에 유성생식의 방법처럼 포자 번식 후에 조류를 만나는 시간을 줄이며 빨리 지의류가 되는 방법을 사용했기 때문으로 보인다.

태실에서 발견된 *Aspicilia* 속과 *Xanthoparmelia conspersa* 종도 법주사 당간지주 조사에서 공통적으로 발견되었다. *Aspicilia* 속은 기질에 완전히 고착되어 성장하는 가상 지의류로 나자기의 크기가 1-2 mm로 작고 지의체에 묻혀 있으며 풍부한 광량과 수분 요구도가 높아 다른 문화재에서도 가장 일반적인 지의류로 알려져 있는데, 본 연구 결과 태실에서도 가장 높은 위치의 개점석 상층과 아가비

앞면과 상층에 주로 분포되어 있었다(Prieto *et al.*, 1994). 염상지의류인 *Xanthoparmelia conspersa*는 빛과 공기의 흐름이 높은 기질에 가근이 밀착되어 성장하기 때문에 문양과 비문을 자주 가리는 지의류이며 이 지의류도 광량이 높은 곳에 주로 위치하기 때문에 개점석 상층에 주로 분포하였다.

최근 보고된 연구에서는 *Xanthoparmelia conspersa*와 같은 속에 있는 *Xanthoparmelia verruculifera*가 응회암으로 만들어진 문화재(Cave church of Üzümiü)에 주는 영향을 살펴본 결과(Municchia, 2018), 지의류 하층의 균사가 기질 내부에 최대 4 mm까지 침투하여 사암 내부 입자와 균사가 섞여 있음을 확인한 바 있다. 또한 곰팡이에 의해서 분해된 옥산살이 광물질과 반응하여 지의류와 광물질 사이에서 옥살레이트가 침전되어 있는 것이 확인되기도 하였다. 태실에서 확인된 *Xanthoparmelia* 3속(*Xanthoparmelia claviculata*, *Xanthoparmelia conspersa*, *Xanthoparmelia coreana*)도 위의 경우와 유사할 가능성이 매우 높으며, 앞으로의 연구에서 내부 균사 침투 여부와 킬레이트로 인한 암석의 상태를 확인하는 것이 필요할 것으로 보인다.

4. 결 론

성주 세종대왕자 태실 19기와 비석 1기에는 가상, 엽상 및 수지상지의류가 모두 분포하고 있었으며, 채집된 총 65점의 지의류로부터 40종의 지의류를 동정하였다. 태실 내에 가상 지의류인 *Lepraria* sp.가 가장 많이 분포하는 것으로 확인되었으며, 수지상지의류에 속하는 *Cladonia* 속이 가장 많은 종 다양성(8종)을 보였다. 태실 중에서 가장 많은 분포를 보인 태실은 계양군 태실이었으며, 가장 적은 곳은 금성대군 태실이였다.

태실에 분포하고 있는 지의류들은 빛과 수분에 따라 선호하는 위치가 다른 것으로 생각되었는데, 예를 들어, 개암석에서 주로 확인되는 지의류는 *Xanthoparmelia claviculata*, *Xanthoparmelia conspersa*, *Xanthoparmelia coreana*, *Aspicilia* sp., *Buellia* sp., *Diploschistes actinostomus* 인 반면에 하부인 사방석의 기저 부분에는 *Collema furfuraceum*, *Porpidia albocaerulescens*, *Ramalina yasudae* 가 주로 확인되었다. 기존에 조사 보고된 중원 미륵리사지 조사와 중복되어 확인된 종은 *Cladonia chlorophaea* 및 *Lepraria* sp. 2종이었으며, 범주사 당간지주에서와 동일하게 확인된 종은 *Aspicilia* sp., *Pertusaria flavicans* 및 *Xanthoparmelia conspersa* 3종이었다.

석조문화재에 분포하는 지의류는 제거의 대상으로만 생각되어 학술적인 연구 보고가 거의 이루어지지 않았다. 지의류 중 분포는 생물학적인 관점에서 매우 중요한 기초 연구로 석조문화재 보존처리를 위해 지의류 종별 처리방법을 개발하여 문화재를 훼손하지 않는 방법을 모색하는 기초자료로 사용될 수 있을 것이다. 석조문화재의 지의류에 대한 조사는 단지 풍화작용을 확인하는 것에만 그치지 않고 체계적이고 과학적인 조사를 통해 지의류에 따른 처리 방법을 고안할 수 있는 심도 있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 연구는 국립수목원에서 수행한 연구사업(KNA1-1-22, 17-2)의 지원을 받아 수행되었다.

REFERENCES

Chen, J., Blume H.P. and Beyer, L., 2000, Weathering of rocks induced by lichen colonization-a review. *Catena*, 39, 121-146.

- Chiari, G. and Cossio, R., 2002, Ethyl silicate treatment's control by image treatment procedure. I *Silicati Nella Conservazione*, Torino, February 13-15, 147-156.
- Chudhury, M.P., Sarma, M., Nayaka, S. and Upreti, D.K., 2016, Distribution of lichens on few ancient monuments of Sonitpur district, Assam, North East India. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 8(11), 291-296.
- Chung, Y.J., Seo, M.S., Lee, K.S. and Han, S.H., 2003, The biodeterioration and conservation of stone historical monuments. *Conservation studies*, 24, 5-28. (in Korean with English abstract)
- Han, S.H. and Ahn, H.K., 1990, Biological damage factors and preservation measures of stone cultural heritage. *MUNHWAJAE Korean Journal of Cultural Heritage Studies*, 23, 180-189. (in Korean)
- Hur, J.S., Oh, S.O. and Han, S.G., 2016, Flora of macrolichen in Korea. *Korea National arboretum*, Pocheon, 1-521. (in Korean)
- Hur, J.S., Oh, S.O., Park, J.S., Lököš, L., Sergei Y.K., Bae, J.G. and Oh, S.H., 2017, Flora of microlichens in Korea II. *Korea National arboretum*, Pocheon, 1-245. (in Korean)
- Kashiwadani, H., 2012, What is lichen?. *GEOBOOK*, Seoul, 1-223. (Original work published 2009)
- Kim, G.H., Kotchkova, T.A. and Jeong, Y.J., 2003, A study on the bioinvasion of stone pagoda in Jungwon Mireksa temple site. Report of Japan-Korea joint research, 65-92. (in Korean)
- Kim, Y.J., Kim, O.J. and Lee, O.M., 2010, The distribution of aerial algae and the assessment of biological pollution class at 8 stone cultural heritages in Korea. *Journal of Conservation Science*, 26(3), 259-268. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.J., Kim, O.J. and Lee, O.M., 2011, The community of aerial algae and the biological pollution coverage at 9 stone cultural heritages in Korea. *Journal of Conservation Science*, 27(2), 145-154. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.H., Lee, J.M., Choi, M.J., Hong, J.Y., Jo, C.W., Kim, S.J. and Jeong, S.Y., 2017, Identification and FT-IR spectrum analysis of lichens on flagpole support in Beopjusa temple. *Journal of Conservation Science*, 33(5), 391-398. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.M. and Kim, S.D., 2015, Weathering damage and conservation treatment of tree-story stone pagoda of Bulguksa temple in Gyeongju. *Stone cultural Heritage repair and Conservation management*, Seoul, November 11-12, 74-83. (in Korean)
- Min, K.H., 1985, Effect of lower plants on stone cultural heritage. *Conservation studies*, 6, 1-11. (in Korean)

- Min, K.H., Ahn, H.K. and Lee, P.S., 1986, The stone cultural properties in royal mausoleums of Seoul area. Conservation studies, 7, 11-23. (in Korean)
- Municchia, A.C., Bartoli, F., Taniguchi, Y., Giordani, P. and Giulia, C., 2018, Evaluation of the biodeterioration activity of lichens in the cave church of Üzümlü (Cappadocia, Turkey). International Biodeterioration & Biodegradation, 127, 160-169.
- Nash, T.H., 2008, Lichen biology. Cambridge University Press, Cambridge, 1-87.
- Orange, A., James, P.W. and White, F.J., 2010. Microchemical methods for the identification of lichens. British Lichen Society, London, 8-9.
- Pinna, D., 2014. Biofilms and lichens on stone monuments: do they damage or protect?. Frontiers in Microbiology, 5, 133.
- Prieto, B., Carballal, R. and Lopez de Silanes, M.E., 1994. Colonization by lichens of granite dolmens in Galicia (NW Spain). International Biodeterioration & Biodegradation, 34, 47-60.
- Prieto Lamas, B., Rivas Brea, M.T. and Silva Hermo, B.M., 1995, Colonization by lichens of granite churches in Galicia(northwest Spain). Science of the Total Environment, 167, 343-351.
- Shim, H.Y., 2015, Formation and structural characteristics of taesil(placenta chamber) on Mt. Seonseok, Seongju. The Journal of Youngnam Studies, 27, 53-143. (in Korean with English abstract)
- Shin, H.T., Kim, Y.S., Lee, M.H. and Yoon, J.W., 2011. Status of exotic plant species with in the cultural properties in Seongju-gun, Gyeongsangbuk-do. MUNHWAJAE 44(1), 162-181. (in Korean with English abstract)
- Sohrabi, M., Favero-Longo, S.E., Perez-Ortega, S., Ascaso, C., Haghighat, Z., Talebian, M.H., Fadaei, H. and de los Rios, A., 2017, Lichen colonization and associated deterioration processes in Pasargadae, UNESCO world heritage site, Iran. International Biodeterioration & Biodegradation, 117, 171-182.
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J., 1990, Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. Academic Press, Orlando, 315-322.