

분자생물학적 기법에 의한 우도해안과 노지암석에 분포하는 지의류의 생태학적 분석

강형일* · 윤병준¹ · 김성현 · 신덕자 · 김현우 · 허재선 · 강의성^{2,3} · 오계현⁴ · 고영진^{2,5}
순천대학교 환경교육과, ¹한국생명공학연구원 생물소재연구부,
²순천대학교 한국지의류 연구센터, ³순천대학교 컴퓨터교육과,
⁴순천향대학교 생명과학부, ⁵순천대학교 응용생물학과

An Ecological Analysis of Lichens Distributed in Rocks of Coast and Field in U-do by Molecular Technique. Kahng, Hyung-Yeol*, Byoung-Jun Yoon¹, Sung-Hyun Kim, Duck-Ja Shin, Hyun-Woo Kim, Jae-Seoun Hur, Eui-Sung Kang^{2,3}, Kye-Heon Oh⁴, and Young Jin Koh^{2,5}. Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea, ¹Biomaterial Research Division, Korea Research Institute of Bioscience and Biochemistry, Daejeon 305-333, Korea, ²Korea Lichen Research Institute, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea, ³Department of Computer Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea, ⁴Department of Life Science, Soonchunhyang University, Asan 336-600, Korea, ⁵Department of Applied Biology, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea – This study was initially performed to obtain fundamental data on lichen distribution depending on environmental condition. Lichens distributed on coastal rocks at least 20 m far away from the coast were also investigated. Analyses of morphological characteristics and rDNA ITS clones revealed that lichens containing 9 families and 15 genera were distributed in coastal rocks of U-do, while lichens containing 10 families and 14 genera were in field rocks, demonstrating little difference of diversity between both sites. Foliose lichens such as *Phaeophyscia*, *Physcia*, *Pyxine* belonging to the family Physciaceae were representatives distributed in coastal rocks of U-do, along with *Xanthoparmelia* belonging to Parmeliaceae, fruticose lichens such as *Ramalina* to Ramaliaceae, and crustose lichen *Lecanora* to Lecanoraceae. In contrast, foliose lichen *Cladonia* belonging to the family Cladoniaceae, fruticose lichen *Stereocaulon* to Stereocaulaceae, and crustose lichen *Porpidia* to Porpidiaceae were found only on the surface of field rocks. Crustose lichens containing genera *Caloplaca*, *Candelaria*, *Dirinaria*, *Graphis*, *Rhizocarpon*, and *Pertusaria* were rarely distributed in coastal rocks, and most of them were also found in field rocks.

Key words: Lichens, rDNA ITS, U-do, PCR

지의류는 곰팡이와 광합성을 통해 먹이를 생산할 수 있는 조류(녹조류, 남조류)가 공생관계를 유지하고 있는 생명체로, 열대지방에서 한대지방 심지어 사막과 극지방에 이르기까지 토양, 수피, 바위 등 다양한 환경에 분포하고 있다[11, 14]. 하지만 지의류는 대기오염에 극도로 민감하여 기후, 다른 식물간의 경쟁관계, 고착물질 등 자연 환경적인 요인에 따라 그 분포가 많은 영향을 받는다. 최근에는 산업과 도시의 발달로 인한 화석연료 사용으로 대기 중으로 배출된 오염물질과 산성비 등에 지의류는 큰 영향을 받는 것으로 나타났다[3, 5]. 특히 아황산가스나 수은 등의 오염물질은 이들은 지의류의 지의체를 직·간접적으로 고사시키거나, 지의류의 물질대사나 포자형성을 방해하는 등의 형태로 영향을 주어

결국에는 지의류의 소멸이나 감소를 초래하게 된다. 따라서 지의류는 간접적으로나마 환경오염정도를 알 수 있는 지표종으로 사용하기에 적합한 생물체이며 그 다양성과 출현빈도가 오염도에 대한 판단 자료로 활용될 수 있다. 특히 지의류는 공생조류에 의해 광합성을 하여 하위 생산자로서의 역할을 담당하고 있을 뿐만 아니라 토양생성과정에도 밀접하게 관여하고 있어 생태계를 유지하는데 있어 절대적인 공헌을 하는 구성원이기도 하다. 최근에는 식품첨가제, 향수나 항바이러스제, 치매치료제, 체초제를 생산하는 곳에 지의류가 이용되고 있으며 그 응용범위가 점점 확대되어 미국, 유럽, 일본을 중심으로 활발한 연구가 이루어지고 있다.

한국산 지의류 분포에 대한 초기연구는 해방이후 1970년대에서 1980년대에 이르러 덕유산을 중심으로 본격적으로 이루어지기 시작하여 1900년대 이전 까지 제한된 범위의 연구가 계속되어 왔다[1, 2, 4, 21]. 1990년대에 몇몇 연구자들에 의하여 보다 넓은 범위의 연구가 이루어졌다. Park[24]

*Corresponding author
Tel: 82-61-750-3385, Fax: 82-61-750-3308
E-mail: kahng@sunchon.ac.kr

은 남한의 여러 지역에서 대형지의류를 채집하여 분류한 바 있고, Ka 등[17]은 울릉도에 분포하는 지의류를 보고한 바 있다. 하지만 이들에 의해 보고된 한국산 지의류의 상당량의 표본이 이미 소실되었거나 미국이나 일본 등에 보관되어 있는 실정이라서 한국산 지의류에 대한 국내정보는 매우 제한되어 있다. 최근 한국산 지의류 연구는 주로 대기오염문제와 관련된 지의류의 응용에 관한 연구[3, 5]로, Hur 등[15, 16]에 의하여 활발한 연구가 이루어지고 있으나 아직까지 연구의 저변확대는 본격적으로 이루어지지 않은 상태이다. 특히 암석에 분포하는 지의류연구는 거의 없는 실정이라서 암석지의류에 대한 연구가 절실한 실정이다.

본 연구에서는 제주에서도 청정지역으로 알려져 있고 본섬과 떨어져 있어 지의류의 분포에 대한 포괄적 조사가 가능한 작은 섬 우도를 지의류 연구대상 장소로 정하였다. 본 연구에서는 해수와 수시로 접하는 해안가 암석에 분포하는 지의류와 노지암석에 분포하는 지의류의 생태를 비교분석하여 얻은 기초 자료를 소개하고자 한다.

재료 및 방법

지의류 시료채집 및 암석의 특성

본 실험에 사용된 시료는 N33°30' E126°56'에 위치한 제주지역의 작은 섬 우도에 분포하는 암석지의류를 대상으로 하였다(Fig. 1). 해수와 수시로 접하는 해안가를 따라 암석에 분포하고 있는 지의류와 해안가로부터 20 m 이상 떨어져 있어 해수와 접촉이 매우 드물 것으로 여겨지는 노지암석에 분포하는 지의류를 조사하고 채집하였다. 채집된 시료는 날짜와 장소를 표시하고 지의류동정과 분자생물학적 분석을 위하여 실험실로 옮겨져 보관되었다. 지의류의 형태학적 특성은 지의류도감[6]을 참조하여 분석하였다. 암석에 분포하고 있는 지의류 중 엽상형과 수지상은 지의류자체를 암석으로부터 분리하여 분자생물학적 분석을 위한 시료로

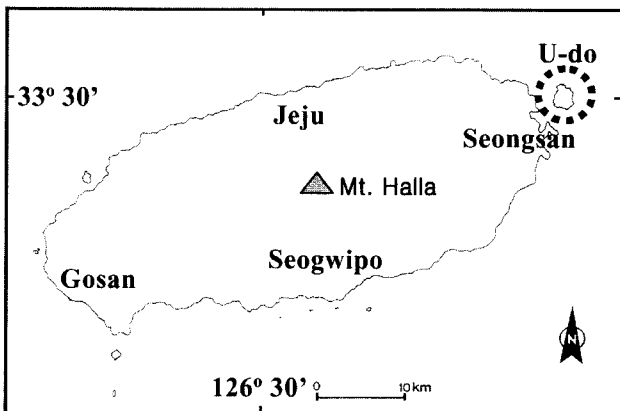


Fig. 1. The map for lichen collection in Jeju, Korea. The dotted circle in the map indicates the sampling site, U-do located in N 33°30'23"-27", E 126°56'19"-29".

사용되었고 암석에 박혀있거나 단단히 고착되어 있는 지의류는 지의류가 포함된 암석자체를 시료로 사용하였다.

지의류 total genomic DNA 분리와 정제

지의류로부터 DNA의 분리는 이미 알려진 방법[18]을 변형하여 사용하였다. 채집된 지의류 시료 0.1 g~0.5 g을 약 사발에 담고 조밀하게 갈았다. 500 mM EDTA(pH 9.4)를 75 µl 넣어서 1분간 액체질소에 담근 후 바로 60°C에 녹이는 과정을 4번 반복하여 실시한 후 phenol/chloroform 용출기법을 이용하여 DNA를 회수하여 1% agarose gel 전기영동법으로 DNA를 확인하였다. Total DNA의 정제를 위해 crude DNA를 10 ml cesium chloride용액에서 녹인 후 ethidium bromide를 첨가하고 102,200×g에서 20시간 동안 초원심분리하였다. 초원심분리 후 total genomic DNA band를 회수하고 cesium chloride와 ethidium bromide를 제거하기 위하여 0.02 µm membrane filter를 이용하여 30분간 투석하여 DNA 용액을 회수하여 농축한 후 rDNA ITS부위를 증폭하기 위한 시료로 사용하였다.

지의류 rDNA ITS primer 제작 및 PCR 증폭

지의류형성 곰팡이를 분석하기 위하여 18S rRNA-Space 1-5.8S rRNA-28S rRNA 부위를 중심으로 하여 가장 잘 보존된 부위를 선별하여 PCR용 primer를 제작하였다. 최근에 update되는 정보를 기준으로 모두 24개의 지의류 속에 속하는 유전자정보를 근거로 유전자증폭용 primer 6개를 자체 제작하였다. 특히 본 연구에서 사용한 primer는 가상체 지의류를 비롯한 대부분의 ITS를 포함하는 5.8S-18S rRNA 부위 유전자를 증폭할 수 있는 universal primer로 제작되었고, 이외에 이미 널리 사용되고 있는 primer를 본 연구에 더불어 사용하였다.

분리한 total genomic DNA에서 rRNA ITS 부위를 증폭하기 위하여 제작된 primer 중 KL9F(5'-AMC YTG GGG AAG GAT CAT TAC), KL9R(5'-TTA TTG ATA TGC TTA AGT TCA G), KL6F(5'-GAG AGA GGG GCT TCG YGC TCC CG), KL6R(5'-CGA WCT TTC RRR GCG GAT GA), KL7F(5'-CYA MCC GCC CCC RMC TCT TCY AC), KLUR(5'-GCA ATG TGC GTT CAA AGA YTC)를 지의류 종류에 따라 알맞은 primer set를 사용하여 PCR 과정을 수행하였다. PCR 조건은 다양한 농도(10 ng~100 ng)의 DNA를 주형으로 사용하고 2.5U Taq polymerase, 0.2 µM primers, 200 µM dNTPs, 10x 반응용액(100 mM Tris-Cl, 400 mM KCl, 1.5 mM MgCl₂, 500 µg/ml BSA, pH 8.3)을 첨가하여 최종 부피를 50 µl로 하여 95°C에서 5분간 변성 후 95°C에서 1분, 55°C에서 1분, 72°C에서 1분의 주기로 33번 순환한 후 최종적으로 72°C에서 10분간 반응을 수행하였다. 1% agarose gel에서 전기영동하여 예상되는 DNA 증폭산물을 확인하고, rRNA ITS clonal library를 만드는데

사용하였다. 기타 언급하지 않은 방법은 기존 방법에 따라 수행하였다[18].

지의류 rDNA ITS clonal library의 제조 및 DNA sequencing

다양한 암석지의류로부터 기원되었을 것으로 생각되는 회수된 PCR산물을 pGEM-T vector에 ligation한 후 *E. coli* JM109에 형질전환하였다. 해안가 암석과 노지암석 지의류에서 얻은 형질전환된 clone 중 각각 100개를 임의적으로 선별한 후 T7 promoter primer나 SP6 promoter primer를 이용하여 DNA sequencing을 수행하였다. DNA sequencing은 ABI 377 자동염기서열 분석기를 사용하였다. 기타 언급하지 않은 것은 Maniatis 방법[19]에 따라 수행하였다.

지의류 rDNA ITS 염기서열 분석

밝혀진 염기서열에 대한 분석은 DNA Star의 Lasergene program과 GenBank의 blast search의 database를 이용하였다. 염기의 계통학적 관계를 밝히기 위하여 이미 알려진 방법에 따라 수행하였으며[9], 모든 지의류 염기서열은 GenBank에 등록하였다.

결 과

우도 해안가 암석의 특성과 지의류의 분포

본 연구에서 조사된 해안가 암석은 모두 돌에 구멍이 많

이 나 있고 검은색을 띠고 있는 현무암으로 pH는 5.6~5.8로 약한 산성을 나타내었고 우도연안 4군데서 채취한 해수의 평균염도는 30.50%였다. 이 해수와 수시로 접하는 곳에 위치한 암석에 여러 종류의 지의류가 분포되어 있음이 본 조사에서 밝혀졌다. 해안가 암석에 위치한 지의류를 암석높이 별로 분석하였을 때 높이가 약 2~2.5 m인 암석의 가장 윗부분 표층에는 엽상형지의류인 *Physcia*, *Phaeophyscia*, *Pyxine*와 *Xanthoparmelia*, 수지상 지의류인 *Ramalina*가 분포되어 있음이 확인되었다(Table 1, Fig. 2). 하지만 같은 암석의 1~2 높이에 중간층에는 흰색을 나타내는 지의류와 노란색을 나타내는 가상형지의류가, 그 이하에서는 노란색을 띠는 가상형지의류가 우점하고 있었다. 해수에 접한 바로 윗면을 따라 검은 띠를 형성하고 있음을 볼 수 있었는데 이는 검은색 지의류인 *Verrucaria*에 의하여 나타난 것으로 추측되었다. 이와 같은 조사결과는 우도해안가 암석을 구성하고 있는 지의류에 의해 대부분의 암석들이 대상구조(zonation)를 형성하고 있음을 보여주었다.

rDNA ITS clone 유전자의 염기서열과 형태학적 특성을 분석한 결과 해수와 직접 접하는 곳에 위치한 해안가 암석에서는 9개 과(family) 14개 속(genus)에 포함되는 지의류가 분포되어 있었다. *Physciaceae* 과에 포함된 것 중 엽상형(foliose)인 *Physcia*, *Phaeophyscia*, *Pyxine*와 *Parmeliaceae* 과에 속하는 *Xanthoparmelia*가 해안가 암석에 분포하는 대표적인 지의류로 나타났고, 수지상(fruticose) 지의류로는 *Ramalinaceae* 과에 속하는 *Ramalina* 속 2 종이 유일하게 분

Table 1. Comparative analysis of lichens distributed in coastal and field rocks in U-do.

Family	Genera	Type	Height ^{a)}	Coastal Rocks (Basalt)				Field Rocks (Basalt)			
				CS1	CS2	CS3	CS4	FS1	FS2	FS3	FS4
Cladoniaceae	<i>Cladonia</i>	FO*	Nowhere	-	-	-	-	-	R	-	-
Graphidaceae	<i>Graphis</i>	CR	Top	-	R	-	R	R	R	R	R
	<i>Candelaria</i>	CR	Middle	R	C	-	-	R	-	R	-
Lecanoraceae	<i>Lecanora</i>	CR	Bottom	R	C	C	R	R	C	R	C
	<i>Xanthoparmelia</i>	FO	Top	C	C	-	-	-	-	R	-
Pertusaiaceae	<i>Ochrolechia</i>	CR	Nowhere	-	R	-	-	-	R	-	-
	<i>Pertusaria</i>	CR	Top	-	R	-	-	R	C	C	R
	<i>Buellia</i>	CR	Nowhere	-	-	-	-	-	R	R	-
	<i>Dirinaria</i>	CR	Top	-	R	-	R	-	C	C	-
Physciaceae	<i>Phaeophyscia</i>	FO	Top	R	C	-	R	-	R	-	-
	<i>Physcia</i>	FO	Top	-	C	-	R	-	-	-	-
	<i>Pyxine</i>	FO	Top	-	C	-	C	-	-	-	-
Porpidaceae	<i>Porpida</i>	CR	Top	-	-	-	-	-	C	C	R
Ramalinaceae	<i>Bacidia</i>	CR	Middle & Bottom	-	R	-	C	-	C	R	C
Rhizocarpaceae	<i>Ramalina</i>	FR	Top	-	C	-	R	-	-	-	-
Streocaulaceae	<i>Rhizocarpon</i>	CR	Middle	-	R	-	-	-	-	-	-
Streocaulaceae	<i>Stereocaulon</i>	FR	Nowhere	-	-	-	-	-	C	C	R
Teloschistaceae	<i>Caloplaca</i>	CR	Middle & Bottom	-	R	-	-	-	R	-	-
Verrucariaceae	<i>Verrucaria</i>	CR	Bottom	C	C	C	C	-	-	-	-

Symbols(*) indicate FO, foliose, FR, fruticose, CR, crustose, C, Common, R, Rare; a) Top, 2~2.5 m high; Middle, 1~2 m high; Bottom, below 1m. Four spots of coast (CS1~CS4) and four spots of field (FS1~FS4) were investigated for comparative analysis of lichens.

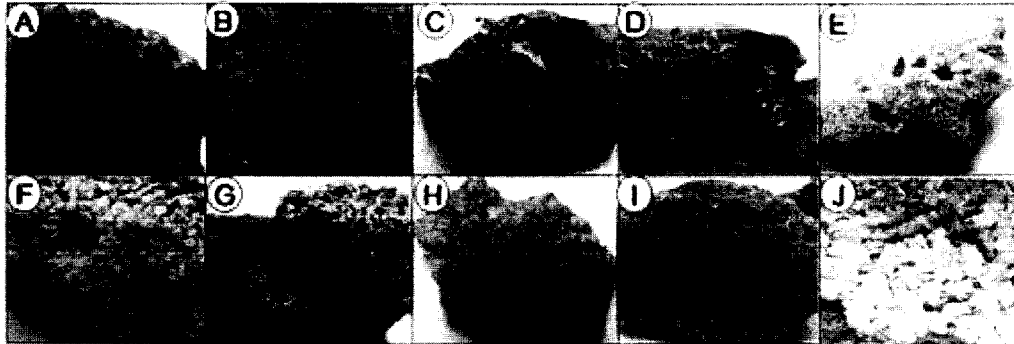


Fig. 2. Representatives of saxicolous lichens distributed in coastal rocks of U-do. A, *Candelaria* sp.; B, *Caloplaca* sp.; C, *Ramalina* sp.; D, *Pyxine* sp.; E, *Graphis* sp.; F, *Physcia* sp.; G, *Phaeophyscia* sp.; H, *Lecanora* sp.; I, *Rhizocarpon* sp.; J, *Xanthoparmelia* sp.

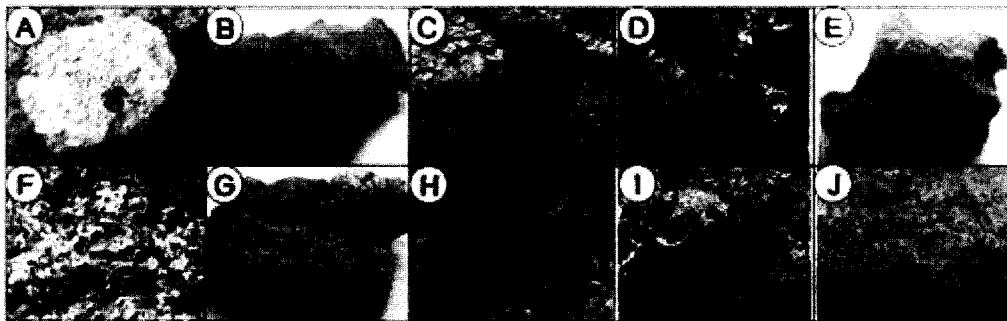


Fig. 3. Representatives of saxicolous lichens distributed in field rocks of U-do. A, *Buellia* sp.; B, *Caloplaca* sp.; C, *Candelaria* sp.; D, *Cladonia* sp.; E, *Lecanora* sp.; F, *Phaeophyscia* sp.; G, *Pertusaria* sp.; H, *Porpidia* sp.; I, *Stereocaulon* sp.; J, *Bacidia* sp.

포되어 있음이 밝혀졌다. 가상형(crustose) 지의류로는 *Lecanora* 속이 해안가 암석에 분포하는 대표적인 지의류로 나타났다. 반면 가상형(crustose) 지의류인 *Caloplaca*, *Candelaria*, *Dirinaria*, *Graphis*, *Ochrolechia*, *Pertusaria*, *Rhizocarpon* 등이 해안가 암석에 분포하고 있음이 확인되었으나 위에 언급된 다른 지의류에 비해 매우 낮은 빈도로 드물게 발견되었다.

우도 노지암석의 특성과 지의류의 분포

우도 노지에 있는 암석 대부분도 해안가 암석과 같은 현 무암으로 비슷한 pH를 나타내었다. 우도 노지에 위치한 암석에서 그 분포가 확인되었으나 해안가 암석에서 발견되지 않은 지의류로는 엽상형인 *Cladonia*, 수지상 지의류인 *Stereocaulon*, 가상형지의류인 *Buellia*와 *Porpidia*로 조사되었다(Fig. 3). 노지암석에서 가장 많은 분포를 보인 지의류는 *Stereocaulon*으로 묘지돌담 등에서 흔하게 발견되었다. *Pertusaria*는 해안가에서 보다 노지암석에서 더 흔하게 나타나는 것으로 조사되었으며 최소한 3 가지 이상의 *Pertusaria*가 분포하는 것으로 나타났다. *Lecanoraceae*과에 속하는 *Candelaria*와 *Lecanora*, *Graphidaceae*과의 *Graphis*, *Physciaceae*과의 *Dirinaria*, *Ramalinaceae*의 *Bacidia* 등은 노지와 해안가 암석 모두에서 발견되어 해수에 의한 영향이 크지 않을 것으로 추측되었다.

고 찰

지의류는 환경오염에 대한 생물학적 지표종으로서 뿐만 아니라 의학, 약학, 식품업 등 다양한 농도로 사용될 수 있기 때문에 미국과 유럽 등에서 매우 폭넓게 지의류에 대한 연구가 진행되어 왔으며 분자생물학적 기법의 등장으로 보다 심도있는 연구가 가능하게 되었다. 지의류는 여러 가지 다른 기질에 분포되어 있는데 나무를 기질로 하여 분포하는 종을 corticolous type, 암석을 기질로하여 분포하는 지의류를 saxicolous type, 그리고 토양을 기질로 하여 나타나는 지의류를 terricolous type으로 나누고 있다[7, 10, 22]. 이 중 암석을 기질로 하여 분포하고 있는 saxicolous type은 대부분의 암석에 단단하게 고착되어 있거나 암석 속에 박혀있어 분석하는데 상당한 어려움이 따른다. 따라서 자연환경으로부터 직접 추출한 핵산에 포함된 rRNA의 유전정보를 지문으로 사용하는 DNA fingerprinting은 이들 암석에 많이 존재하고 있는 가상형 지의류를 분석하는데 매우 유용하게 쓰일 수 있다. 특히, 지의류는 조류와 곰팡이가 공생하는 생물체[26]로 각 생물체를 분리 배양하는데 상당한 시간이 소요될 뿐만 아니라 돌에 박혀 있거나 단단하게 고착되어 있는 가상형지의류를 배양하여 분석하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 최근에는 배양을 하지 않고 대상 시료나 환경시료로

부터 바로 DNA를 추출하여 해당유전자 증폭과 염기서열을 결정하여 분석하는 방법이 많이 시도되고 있다[8-9, 12-13, 20, 23, 25, 27].

본 연구의 대상지역인 우도는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 N33°30' E126°56'에 위치하며 사방이 해안으로 되어 있고 섬의 크기가 작아 해수와 수시로 접하는 암석에 주로 분포하고 있는 지의류를 분석하는데 상당한 이점이 있어 선별되었다. 우도에 분포하고 있는 해안암석과 노지암석의 대부분은 현무암으로 pH는 5.6~5.8로 약한 산성을 나타내었고 돌에 따라 약간의 차이가 있었으나 그 차가 0.1 이하로 두 곳의

독특한 지의류분포에 영향을 미칠만한 환경요인은 아닌 것으로 판단되었다. 우도연안 해수의 염도는 30.5‰로 해안가 암석에 위치한 지의류는 이들 염도에 오랫동안 지속적으로 노출되었을 것으로 여겨진다. 따라서 노지암석에서만 발견된 지의류인 *Buellia*, *Cladonia*, *Porpidia*, *Stereocaulon*은 염분에 대한 저항성이 약할 것으로 추측된다. 매우 흥미로운 점 중의 하나는 수지상인 *Ramalina*가 높이가 약 2~2.5 m인 해안가 암석의 가장 윗부분의 표층에서 관찰되었는데 우도의 노지암석에서는 발견되지 않았다. 이러한 결과는 해안으로부터 멀리 떨어진 다른 지역의 장소에서 이들

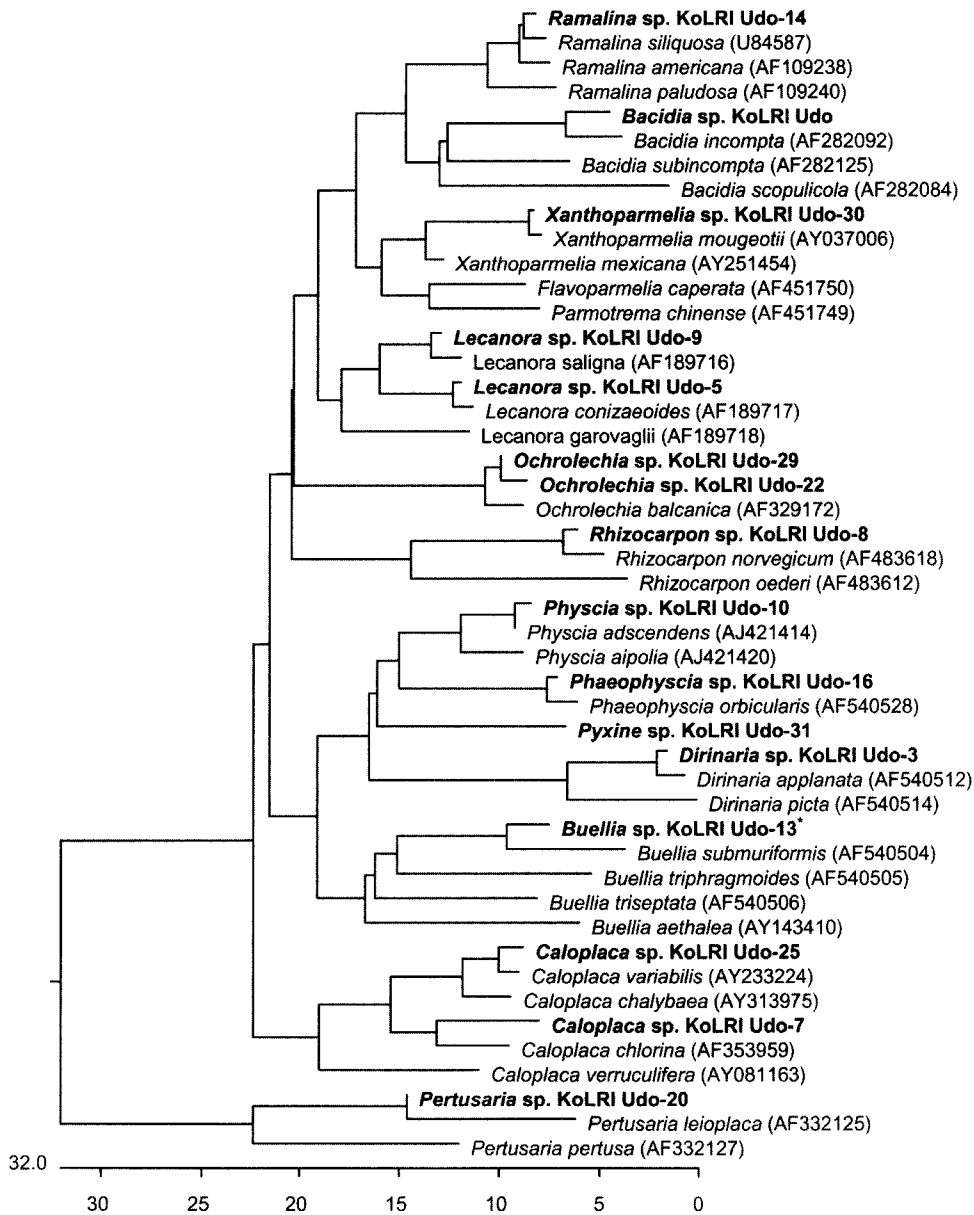


Fig. 4. The tree showing the phylogenetic relationship between lichens found in U-do Islet and identified lichens. Approx 400–450 bp of 5.8S rRNA sequences containing ITS region of lichens living on coastal rocks in U-do islet were analysed and used for the construction of the dendrogram. The rDNA ITS sequences from genera *Graphis*, *Porpidia* and *Stereocaulon* were not used to make the tree due to lack or unidentification of rDNA ITS sequences in the analysed data. The asterisk (*) indicates the lichen only found in field rocks.

Ramalina가 비교적 흔하게 발견된다는 점에서 심층적인 조사를 통하여 이들의 분포를 확인할 필요가 있을 것으로 여겨진다. Teloschistaceae 과에 속하는 Caloplaca는 노지와 해안가 암석에서 모두 발견되었으나 매우 드물게 나타났으며, 일반적으로 해안가에 많이 분포하는 것으로 알려진 Xanthoria는 발견되지 않았다(Fig. 2, Fig. 3).

각 지의류 시료로부터 얻은 지의류 DNA를 기질로 사용하여 얻은 약 400~450 bp 크기의 rDNA의 염기서열을 분석한 결과 Ramalinaceae에 속하는 지의류와 Parmeliaceae에 속하는 지의류들은 상당한 상동성이 있음이 나타났으며 이들 두 개 과는 Lecanoraceae와도 근연관계가 높음을 보여주었다(Fig. 4). Physciaceae에 속하는 지의류 중 Physcia, Phaeophyscia, Pyxine는 상동성이 매우 높아 근연관계가 매우 가까움을 보여주었으며, 같은 과에 속하는 Buellia는 같은 과에 속하는 다른 지의류들과 상동성이 가장 먼 것으로 나타났다. 본 연구에서는 유전자 분석을 위한 계통 관계도를 나타낼 때 모두 속 수준에서 표시하였으며, 이는 특정 종으로 나타내기 위해서는 형태학적 분류가 가능한 한국산 지의류의 rDNA 유전자에 대한 보다 심층적이고 폭 넓은 연구의 필요성 때문이다. 따라서 보다 장기간의 암석지의류에 대한 연구를 통하여 체계적인 자료를 정립할 필요가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 지원 (M1-0219-14-0002)에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

요 약

본 연구는 환경조건에 따른 지의류분포에 대한 기초 자료를 얻고자 수시로 해수와 접하는 지역의 해안가 암석과 해안에서 약 20 m 이상 떨어진 곳에 위치한 노지암석에서 살아가는 지의류를 대상으로 처음 수행되었다. rDNA ITS clone 유전자의 염기서열 및 형태학적 분석을 기초로 하여 비교 분석한 결과 해수와 직접 접하는 곳에 위치한 암석에서는 9과(family) 15속(genus)에 속하는 지의류가 분포되어 있었고, 노지암석에서는 10과 14속에 속하는 지의류가 분포되어 그 다양성에 있어 큰 차이가 없었다. Physciaceae 과에 포함된 것 중 엽상형(foliose)인 Phaeophyscia, physcia, Pyxine와 Parmeliaceae과에 속하는 Xanthoparmelia가 해안가 암석에 분포하는 대표적인 지의류로 나타났고, 수지상(fruticose) 지의류로는 Ramalinaceae과에 속하는 Ramalina속 2종이 유일하게 분포하고 있음이 밝혀졌다. 가상형(crustose) 지의류로는 Lecanora속이 대표적인 해안가 암석에 분포하는 지의류로 나타났다. 반면, 노지암석위의 흩이나 이끼 낀 곳에서 발견되었으나 해안가 암석에서 발견되지 않은

지의류로는 엽상형인 Cladonia, 수지상 지의류인 Sterocaulon, 가상형 지의류인 Porpidia로 조사되었다. 가상형(crustose)지의류인 Caloplaca, Candelaria, Dirinaria, Graphis, Rhizocarpon, Pertusaria 등이 해안가 암석에 분포하고 있음이 확인되었으나 매우 드물게 나타났으며 이들 지의류 모두는 해안가에서 비교적 멀리 떨어진 노지암석에서 대부분 분포하고 있음이 밝혀졌다.

REFERENCES

- 김준민, 이희선. 1975. 한국의 지의류 분포에 관한 정량적 연구. 식물학회지 18: 38-44.
- 박승태. 1983. 덕유산 엽상지의식물의 집락분석. 한국생태학회지 6: 145-151.
- 유정환, 강강현, 박현. 1995. 여천공단의 대기오염이 토양의 화학적 특성, 지의류, 탈질균 및 황산환원균에 미치는 영향. 한국임학회지 84: 178-185
- 조성식, 이영록. 1980. 덕유산 일대의 매화나무 이끼류에 관하여. 한국균학회지 8: 149-157.
- 허재선, 김판기. 2000. 백운산 서식 지의류를 이용한 오존 민감성 지의류 선발. 한국임학회지 89: 65-76.
- 古村庸. 1994. 原色日本地衣植物圖鑑. 保育社.
- Armstrong, W. P. and J. L. Platt. 1993. "The marriage between alga and fungi." *Fremontia* 22: 3-12.
- Bhattacharya, D., and T. Friedl, G. Helms. 2002. Vertical evolution and intragenic spread of lichen-fungal group I introns. *J. Mol. Evol.* 55: 74-84.
- Borneman, J., and R.J. Hartin. 2000. PCR primers that amplify fungal rRNA genes from environmental samples. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 4356-4360.
- Brodo, I.M., S.D. Sharnoff, and S. Sharnoff. 2001. Lichens of North America, Yale University.
- Dorn, R.I. and T.M. Oberlander 1981. "Microbial origin of desert varnish." *Science* 213: 1245-1247.
- Fischer, M. M., and E. Triplett. 1999. Automated approach for ribosomal intergenic spacer analysis of microbial diversity and its application to freshwater bacterial communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 4630-4636.
- Gardes, M., and T. D. Bruns. 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Mol. Ecol.* 2: 113-118.
- Hawksworth, D. L.(1988). The fungal partner. In: CRC Handbook of Lichenology. Vol. I. ed. by M. Galun, pp. 35-38. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Hur, J.-S., E.-S. Kang, M. Kim, S.-O. Oh, H.-Y. Kahng, H.-W. Kim, J.-S. Jung, and Y.J. Koh. 2004. Recent progress in lichen research in Korea from taxonomic study to environmental application. *Plant Pathol. J.* 20: 30-40.
- Hur, J.-S., H., Harada, S.-O. Oh, K.-M. Lim, E.-S. Kang, S. M. Lee, H.-Y. Kahng, H.-W. Kim, J.-S. Jung, and Y.J. Koh. 2004. Distribution of lichen flora on South Korea. *J. Microbiol.* 42: 163-167.
- Ka, K.-H., H., Park, and C.-I., Ryoo. 1997. Lichen flora of

- Ullung island(I) -*Graphis* and *Pyrenula* Genera-. *Kor. J. Mycol.* **25**: 77-84.
18. Kahng, H.-Y., J. C. Malinverni, M. M. Majko, J.J. Kukor. 2001. Genetic and functional analysis of the *tbc* operons for catabolism of alkyl- and chloroaromatic compounds in *Burkholderia* sp. Strain JS150. *Appl. Environ. Microbiol.* **67**: 4805-4816.
19. Maniatis, T., E.F. Fritsch, and J. Sambrook. 1991. Molecular cloning-A laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory. Cold Spring Harbor. N.Y.
20. Martin, M.P., S. LaGreca, and T. Lumbsch. 2003. Molecular phylogeny of *Diploschistes* inferred fro ITS sequence data. *Lichnologist.* **35**: 27-32.
21. Moon, K.-H., S.-T. Park, and K.-H. Min. 1991. The additional lichens in Mt. Deogyu. *Kor. J. Mycol.* **19**: 22-26.
22. Nash, T.H. 1996. Lichen Biology. Cambridge University Press, Cambridge.
23. Normand, P., C. Ponsonnet, X. Nesme, M. Neyra, and P. Simonet. 1996. ITS analysis of prokaryotes, p. 1-12. *In*D. L. Akkermans, J. D. van Elsas, and E. I. de Bruijn (ed.), Molecular microbial ecology manual. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
24. Park, Y.S. 1990. The macrolichen flora of South Korea. *The Bryologist* **93**: 105-160.
25. Peters, S., S. Koschinsky, F. Schwieger, and C. C. Tebbe. 2000. Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation polymorphism-basec genetic profiles of small-subunit rTNA genes. *Appl. Environ. Microbiol.* **66**: 930-936.
26. Tschermak-Woess, E. 1998. The algal partner. *In*: CRC Handbook of Lichennology. Vol. I. ed. by M. Galun, pp. 39-94. CRC Press, Boca Raton, FI, USA.
27. Ulrik S., and F. Lutzoni. 2003. Molecular phylogenetic study at the genetic boundary between the lichen-forming fungi *Caloplaca* and *Xanthoria* (Ascomycota, Teloschistaceae). *Mycol. Res.* **107**: 1266-1276.

(Received Oct. 1, 2004/Accepted Nov. 10, 2004)