

남해군 금산 정상부의 나마(Gnamma) 지형발달

황상일* · 박효정** · 박경근*** · 윤순옥****

Geomorphic Development of Gnamma at the Summit Area of Mt. Geum, Sangju-ri, Namhae-gun, Gyeongsangnam-do

Sangill Hwang* · Hyo-Jung Park** · Kyunggeun Park*** · Soon-Ock Yoon****

요약 : 경상남도 남해군 상주리 금산 정상부에 분포하는 나마를 대상으로 형태를 분류하고 지형발달을 조사하였다. 나마의 분포 밀도는 인접한 해안에서 공급되는 염으로 인해 해안과 면하는 암괴들에서 높았다. 또한 나마내 수분값은 나마의 형태에 따라 분포가 달라지며, 나마 바닥에서 높고 바깥쪽에서 가장 낮았다. 화강암과 같은 결정질 기반암에서 나마가 탁월하게 형성되며, 장석류의 풍화로 석영이 탈락하면서 공동이 발생한다. 나마는 성장하면서 주변 나마와 병합하여 확대된다. 나마의 형성속도는 0.04mm/y로서 초기보다 시간이 지나면서 느려졌다. 풍화속도의 계측 결과는 나마가 과거의 유물지형이나 지중풍화 기원이라기보다 현재에도 형성되고 성장, 확대되고 있음을 지시한다.

주요어 : 나마, 형태 분류, 지형발달, 수분값, 풍화속도

Abstract : The types of gnamma at the summit area of Mt. Geum, Sangju-ri, Namhae-gun, Gyeongsangnam-do are classified and geomorphic developments are investigated. The rocks facing the coast show high distributional density of gnamma due to the salt supply from the coast. The water content rate of gnamma distributed in flat rocks at the summit is highest in the bottom area and lowest in the outside area. Moreover, the quartz grains are fallen due to the weathering of feldspar in the crystalline rocks such as granites and the gnamma are merged and expanded as they develop. The average weathering rate of gnamma is 0.04mm/y and it slowed with time. The results on rate indicate that the gnamma are formed and developed at the present rather than the fossil landform or by subsurface weathering.

Key Words : gnamma, type classification, geomorphic development, water content rate, weathering rate

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2009-2314)의 지원으로 수행되었음

* 경북대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyungpook National University), hwangsi@knu.ac.kr

** 경북대학교 지리학과 석사(MSc., Department of Geography, Kyungpook National University)

*** 경북대학교 지리학과 박사과정(Graduate student, Department of Geography, Kyungpook National University), pkg0721@hanmail.net

**** 경희대학교 지리학과 및 기초과학연구소 교수(Professor, Department of Geography and Research Institute for Basic Sciences, Kyung Hee University), soyoon@khu.ac.kr

1. 서론

1) 문제제기 및 연구목적

암석은 지각 운동의 방식, 지표에 노출된 시간, 기후 환경 등 존재하는 장소의 조건에 따라서 특징적으로 성질이 변화하고, 이러한 차이로 인해 차별적인 풍화가 진행되면서 지역에 따라 서로 다른 독특한 지형이 형성된다(Ikeda, 2002). 어떤 지역의 지형 특성을 파악하려면 지형발달의 기초가 되는 암석의 풍화작용과 그 결과로 나타나는 풍화지형을 세심하게 분석하여야 한다. 일반적으로 화강암 풍화지형에는 인셀베르그(inselberg)와 보른하르트(bornhardt)와 같은 거대한 돛상 구릉과 토르(tor), 타포니(tafoni), 나마(gnamma), 그루브(groove) 등의 소규모 미지형들이 있다. 이들 가운데 타포니와 나마는 풍화작용을 받아 암석의 표면에 형성된 요형(凹型)의 풍화혈(weathering pit)로서, 각각 암석의 측면에 형성된 것과 상부 평탄면에 형성된 것을 일컫는다.

풍화미지형은 우리나라 기반암 가운데 약 30%를 차지하는 화강암에서 탁월하게 발달하므로 풍화작용에 대한 연구도 화강암의 암석학적 특징을 중심으로 진행되어 왔다. 그러나 풍화지형의 형성시기와 원인에 관해서는, 제4기 동안에 지중풍화(Kim and Jang, 1978; Kim, 1982; Twidale, 1982; Chang, 1983a, 1983b; Chu, 1984; Choi, 1985; Campbell, 1997; Park, 2004; Twidale and Vidal Romani, 2005)로 발달한 화석지형으로 해석하거나, 현재 기후에서 지상풍화의 결과(Kim and Kwon, 1990; Matsukura and Tanaka, 2000; Ikeda, 2002; Hwang and Park, 2007; Park, 2008; Hwang *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2009)로 형성된 것으로 파악하는 등 견해가 나누어진다.

경남 남해군 상주리 화강암 산지인 금산의 정상부에는 나마의 분포 밀도가 매우 높다. 본 연구에서는 금산 나마의 형태를 분류하여 나마 및 기반암의 풍화특성을 파악하여 분포밀도가 높은 원인을 규명하고자 한다. 그리고 착색한 나마의 박리 면적 변화를 관찰하여 풍화속도를 검토하고 나마의 형태에 따른 발달과정을

파악하였다.

2) 연구방법

금산 정상부 일대에 형성된 나마를 대상으로 형태를 분류하고, 기반암의 성분과 수분값을 분석하였다. 또한 시간이 경과하면서 박리되는 나마의 풍화 면적을 측정하여 형성속도를 파악하였다. 세부적인 연구 방법은 다음과 같다.

첫째, 산지 정상부가 여러개의 독립된 암괴로 이루어져 있으므로, 연구지역을 여섯 구역으로 나누고, 각 구역에 분포하는 나마의 평면도와 장축으로 자른 단면도를 작성하였다. 그리고 Twidale(1982, 2005)과 Kim and Kwon(1990)의 분류법을 참고하여 각 구역별 나마의 분포밀도를 조사하였다.

둘째, 암석의 수분과 풍화와의 관련성을 파악하기 위하여 금산 정상부에서 기반암과 동일한 암석 시료를 20개 채취하여 흡광도와 함수율을 구하였다. 이를 바탕으로 Hwang *et al.*(2010)의 방법에 따라 근적외선수분측정기의 검량선을 계산하여 나마의 수분등치선도를 작성하였다.

셋째, 나마를 구성하고 있는 기반암의 화학조성을 파악하기 위해 한국기초과학지원연구원 대구센터에서 XRD(X-Ray Diffractometer, Philips X'pert APD) 분석과 XRF(X-Ray Fluorescence spectrometer, Philips PW 2400) 분석을 실시하였다. 이렇게 얻어진 값을 이용하여 나마 내부와 외부의 원소비에 대한 상대적인 변화 양상을 파악하였다. 그리고 풍화지수인 CIA(Chemical Index of Alteration)를 계산하여 나마 내부와 외부의 풍화정도를 조사하였다.

넷째, 나마의 풍화속도 측정은 Ikeda(2002)의 방법에 따랐다. 즉 나마(C3) 한 개를 선정하여 나마 내부에 도료를 채색한 후 박리(剝離) 정도를 비교하여 풍화 속도를 측정하였다. 채색은 2006년 1월 5일에 이루어졌고, 2006년 9월 15일, 2007년 6월 25일, 2009년 2월 13일 3차에 걸쳐 채색 부분의 풍화정도를 관찰하였다.

2. 연구지역 개관

1) 지형 개관

금산(705.0m)은 경상남도 남해군 상주면 상주리에 위치하며, 산지로는 유일하게 한려해상국립공원에 포함된다. 봉수대가 있는 정상부는 토르로서 기반암에는 나마, 타포니와 같은 풍화철이 분포한다.

금산 정상에서 남쪽으로 약 30m 떨어져 있는 연구

지역의 북쪽은 정상부와 오막등(399.0m)을 연결하는 분수계에 의해 막혀 있고, 동쪽은 금천천에 의해 형성된 수직의 단애로 하곡과 면하고 있으며, 서쪽으로는 오막등과 대구청산(370.0m) 등을 비롯한 금산의 봉우리들로 연결되는 능선이 이어진다. 남쪽으로는 해안과 4km 정도 떨어져 있으며, 금산에서 발원하여 남해로 유입하는 금천천과 금양천의 하곡을 통하여 바다와 연결된다. 이 하천들이 운반해 온 모래가 해안에 퇴적되어 상주해수욕장의 사빈을 이루었다(Figure 1).



Figure 1. Geomorphic setting of Mt. Geum in Namhae-gun (X: study area). 남해군 금산 주변 지역의 지형개관

2) 지질 개관

금산 주변부는 중생대 백악기 경상누층군의 유천층군에 속해있는 용방산층이 분포하고, 이 층을 관입한 알칼리 장석화강암이 금산을 이루고 있다(Figure 2). 금산의 남쪽에는 해안단구가 분포하고, 해안을 따라 Holocene 충적층이 폭넓게 나타나고 있다.

남쪽 해안에 주로 분포하는 용방산층은 화산쇄설성 퇴적암으로 밝은 회색, 녹회색, 암회색 등의 다양한 색상을 가진 안산암질 각력응회암이다(Jwa, 1997). 화강섬록암과 접촉하고 있는 경계부에서는 열접촉변성작용을 받아 혼펠스화 되어 있다. 연구지역인 금산의 기반암은 금산화강암과 화강섬록암으로 구분된다. 기존의 지질도에서는 화강섬록암에 대한 언급은 없고 우백질 화강암인 금산화강암에 대해 기술하였지만, Jwa (1997)는 이를 구체적으로 동정하여 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 기재하고 있다.

금산화강암은 미문상 화강암(micrographic granite)으로서 석영, 정장석, 사장석, 흑운모 등을 주 구성광물을 하여 소량의 자철석, 녹니석, 녹염석, 견운모 등

을 포함하고 있다. 암석 내에는 직경 1~3cm의 정동(晶洞, miarolitic cavity)이 다수 발달하였고, 그 속에 석영과 방해석 등이 2차적으로 성장해 있다. 화강섬록암은 금산의 남서부 지역에 분포하며 주로 사장석, 석영, 정장석, 각섬석, 단사휘석, 흑운모, 녹니석, 녹염석 및 불투명광물 등으로 이루어져 있다(Jwa, 1997).

3. 금산 정상부 나마의 형태와 분포 특징

1) 나마의 분류

나마의 지형발달과 분포특징을 밝히기 위하여, 평면도와 횡단면도를 작성하여 나마의 형태를 분석하였다(Figure 3~7). 나마의 형태를 분류한 자료는 나마내 수분값이나 나마의 형성 및 지형발달이나 풍화정도를 파악할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있다.

Twidale(1982, 2005)에 의하면, 나마는 깊이가 비교적 얇고 평탄한 바닥을 가진 pan형과 바닥의 형태가 반구형인 pit형 그리고 원통형인 hollow형 3가지로 구분된다. hollow형은 다시 비대칭 외형을 가지고 하부와 상부의 경사가 20~30°인 armchair-shaped type과 평평한 바닥과 수직벽을 가지는 cylindrical type으로 세분된다. Kim and Kwon(1990)은 pan형을 바닥이 평평하고 벽면이 오목한 plate type과 바닥이 오목하고 깊이가 얇은 dish type으로 세분하였다.

본 연구에서는 이들을 종합하여, 깊이가 바닥 길이에 비해 짧은 것을 pan형, 바닥이 반구형의 형태를 보이며 깊이가 표면의 장경 길이보다 더 긴 것을 pit형으로 구분하였다. pan형은 다시 바닥이 오목한 dish type과 바닥이 평탄하고 측면이 내측으로 들어간 plate type으로 세분하였다. 그리고 바닥이 평평하고 측면이 수직인 원통형은 cylindrical hollow형, 상부방향과 하부방향의 경사도가 20° 이상이며, 바닥에 수분과 암분이 저장될 수 있는 공간을 가지는 것을 armchair-shaped hollow형으로 구분하였다(Figure 3).

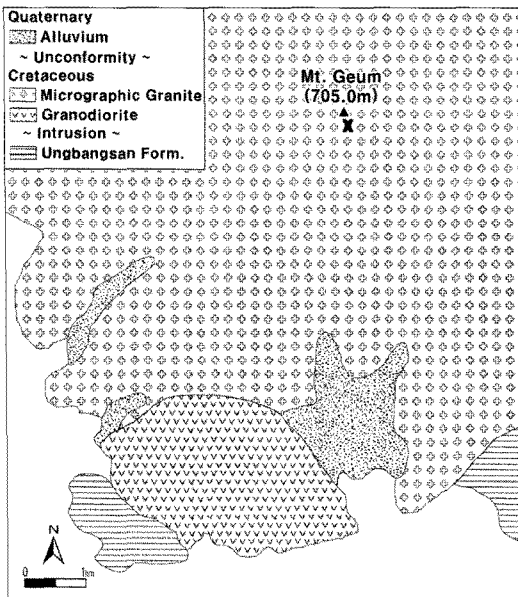


Figure 2. Distribution of bedrock around Mt. Geum.
금산 주변의 기반암 분포

2) 나마의 분포 특징

연구지역 나마 분포지는 독립 암괴를 중심으로 여섯 구역으로 나누었다. 산지쪽의 A 구역, 해안을 면한 B 구역과 측면 B' 구역, 그리고 C 구역이 있으며, B 구역 동쪽 산지 정상부 방향에 있는 독립 암괴인 D 구역과 E 구역이 위치한다. 여섯 구역 가운데 해안(남쪽)과 가장 가까운 것은 C 구역이고, 가장 먼 것이 A 구역이다 (Figure 4).

남해 금산 정상부 여섯 구역에 분포하는 나마의 장축과 단축 그리고 깊이를 측정하여 각 구역별 나마의 평면과 단면 특성을 살펴보았다(Table 1; Figure 5~7).

정상 표지석이 있는 A 구역은 북서-남동 주향의 절리를 따라 4개의 나마가 분포하며, 모두 깊이가 얇고

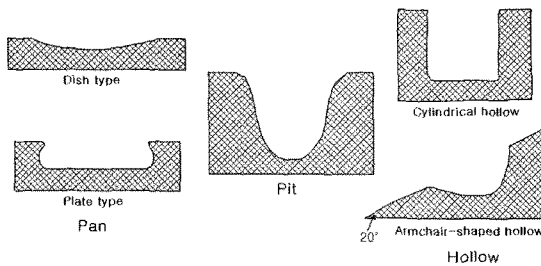


Figure 3. Classification of gnamma types and cross sections (Modified from Twidale (1982, 2005) and Kim and Kwon (1990)). 나마의 형태별 단면 분류

바닥이 평탄한 pan형이다. 전체 여섯 구역 가운데 나마의 분포밀도가 가장 낮다. B 구역에는 31개의 나마가 확인되는데, pan형이 21개, pit형이 3개, armchair-shaped hollow형이 7개이다. 기반암이 해안을 향해 약 20° 정도 기울어져 있으므로 나마는 산지쪽(북쪽) 바닥이 깊고, 해안 쪽으로 비스듬하게 경사를 이루며 열려 있거나 계단 형태를 취한다. 나마의 장축은 N-S 방향이 우세하다. B' 구역은 B 구역의 측면에 위치하며, 30개 나마 가운데 pan형이 22개, pit형이 1개, armchair-shaped hollow형이 7개이다. 기반암의 경사는 45°~50° SE이고, N-S 방향으로 개방되어 있어서 armchair-shaped hollow형이 상대적으로 많이 형성되었다(Figure 5).

C 구역은 나마의 분포 밀도가 가장 높아 50개가 확인된다. 규모가 큰 나마 내부에는 최근 형성된 소규모 나마들이 이중으로 나타나기도 한다. pan형이 38개, pit형이 6개, armchair-shaped hollow형이 6개이다. 암괴의 경사는 40° ES 정도로 기울어져 있어, 나마의 모양은 암괴가 기울어진 방향으로 측면이 개방되어 있다. D 구역은 여섯 구역 중 해발고도가 가장 높은 곳에 위치하며, 31개의 나마가 분포한다. pan형이 18개, pit형이 3개, armchair-shaped hollow형이 10개이다. pit형은 입구의 규모가 다른 형에 비해 상대적으로 작다. armchair-shaped hollow형의 분포 밀도가 상대적

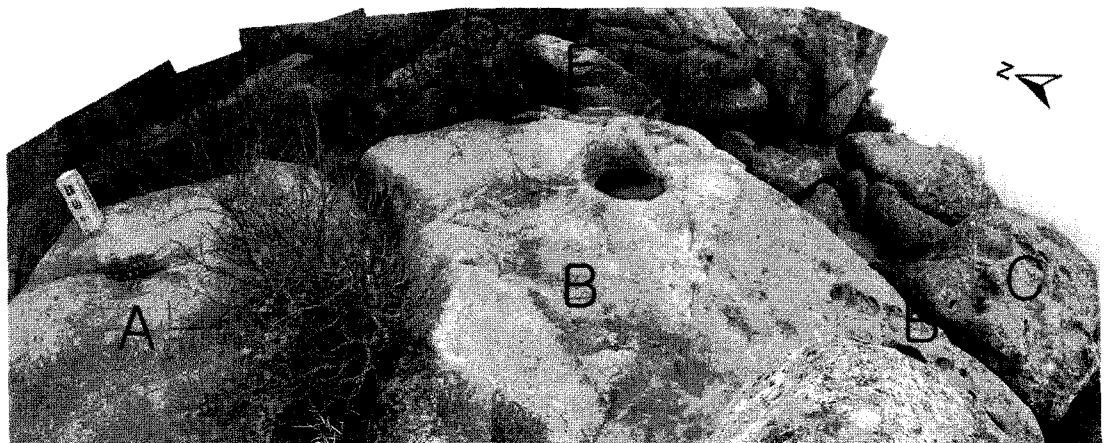


Figure 4. Landscape of study area and gnamma districts. 연구지역의 경관 및 나마 분포 구역

Table 1. Size and types of gnamma at study area. 나마의 규모와 형태

L=Long length(cm), S=Short length(cm), D=Depth(cm)

No	L	S	D	Form	No	L	S	D	Form	No	L	S	D	Form
A1	52	39	3	pan(dish)	B'18	9	7	4	pan(dish)	C40	10	8.5	6	pan(dish)
A2	48	15	5	pan(dish)	B'19	7	5	4	armchair	C41	8	3	5	pan(dish)
A3	5	4	1	pan(dish)	B'20	15	8	8	armchair	C42	3.5	3.5	4	pit
A4	11	9	2	pan(dish)	B'21	30	28	6	pan(dish)	C43	36	30	17	pan(dish)
B1	236	194	48	armchair	B'22	19	16	26	armchair	C44	41	24	2	pan(dish)
B2	16	11	2	pan(dish)	B'23	11	10	13	armchair	C45	18	11	3	pan(dish)
B3	19	13	3	pan(dish)	B'24	9	8	9	armchair	C46	11	8	4	pan(dish)
B4	23	19	3	pan(dish)	B'25	33	21	4	pan(dish)	C47	9	6	2	pan(dish)
B5	82	25	3	pan(dish)	B'26	3	2	1	pan(dish)	C48	2.5	2	2	pan(dish)
B6	14	11	1	pan(dish)	B'27	25	21	6	pan(dish)	C49	9	7	3	pan(dish)
B7	21	15	1.5	pan(dish)	B'28	34	27	10	pan(dish)	C50	23	2	2	armchair
B8	26	22	6	pan(dish)	B'29	5	4.5	4	pan(dish)	D1	22	16	8	armchair
B9	11	9	6	pan(dish)	B'30	6.5	3	2	pan(dish)	D2	39	26	17.5	pan(plate)
B10	19	13	2	pan(dish)	C1	89	63	20	armchair	D3	8	8	6	pan(plate)
B11	12	10	5	pan(dish)	C2	44	37	14	armchair	D4	10	7	6	armchair
B12	6	6	6	pit	C3	46	39	7.5	pan(plate)	D5	5	5	2	pan(dish)
B13	5	4.5	5	pit	C4	25	18	6	pan(plate)	D6	7	7	4.5	armchair
B14	57	45	11	pan(dish)	C5	32	20	6	pan(dish)	D7	20	15	9	pan(dish)
B15	94	52	7	pan(dish)	C6	58	40	11	pan(dish)	D8	13	10	7	armchair
B16	10	8	4	armchair	C7	33	20	11.5	pan(plate)	D9	4	4	2.5	armchair
B17	132	97	23	armchair	C8	80	72	15	pan(dish)	D10	11	11	3.5	armchair
B18	8	8	12	armchair	C9	59	47	3	pan(dish)	D11	30	16	5	pan(dish)
B19	53	46	20	armchair	C10	43	35	2	pan(dish)	D12	33	28	6	pan(dish)
B20	51	33	9	armchair	C11	6	5	4	armchair	D13	52	33	12	pan(dish)
B21	8	6	2	armchair	C12	7	6	3	pan(dish)	D14	23	21	8	pan(dish)
B22	6	5	6	pit	C13	8	5	4	pan(dish)	D15	7	6	8	pit
B23	9	7	3	pan(dish)	C14	11	9	7	pan(dish)	D16	14	10	9	pan(dish)
B24	7	7	4	pan(dish)	C15	20	17	15	pan(dish)	D17	10	8	9	pit
B25	28	22	9	pan(dish)	C16	33	27	17	pan(dish)	D18	6	4	3.5	armchair
B26	11	9	1.5	pan(dish)	C17	6	4	3	pan(dish)	D19	13	10	5.5	armchair
B27	8.5	6.5	1.5	pan(dish)	C18	6	5	4	pan(dish)	D20	4	3	4	pit
B28	15	9	5	pan(dish)	C19	10	8	2	pan(dish)	D21	14	13	5.5	pan(dish)
B29	12	10	7	pan(dish)	C20	4	3	4	pit	D22	11.5	9	6	pan(dish)
B30	55	35	10	pan(dish)	C21	7	7	4.5	pan(dish)	D23	19	16.5	6	pan(dish)
B31	12	10	3	pan(dish)	C22	6	3	5	pan(dish)	D24	11	8.5	2	pan(dish)
B'1	2.5	2.3	3.5	pit	C23	7	6	4.5	pan(dish)	D25	14	8	3	pan(dish)
B'2	7.5	4	10	armchair	C24	7	6	6	pan(plate)	D26	13	11	5.5	armchair
B'3	12	6	15	armchair	C25	10	10	7	pan(plate)	D27	4	3	3	pan(dish)
B'4	14	8	13	pan(dish)	C26	72	43	24	pan(dish)	D28	25	16	3	pan(dish)
B'5	8.5	8	3	pan(plate)	C27	10	7	4.5	armchair	D29	5	4	3	armchair
B'6	4	4	4	pan(dish)	C28	51	34	5	pan(dish)	D30	21	13	5	pan(dish)
B'7	8	6	4	pan(dish)	C29	6	5	3	pan(dish)	D31	75	48	8	pan(dish)
B'8	6	4	4	pan(plate)	C30	5	3	3	pan(dish)	E1	20	11	3	pan(dish)
B'9	6	3.5	3	pan(dish)	C31	4	2.5	4.5	pit	E2	30	21	5	pan(dish)
B'10	50	41	20	pan(dish)	C32	2	1.5	0.5	pan(dish)	E3	3	3	1.5	pan(dish)
B'11	7	3.5	4	pan(dish)	C33	3	3	4.5	pit	E4	5	4	2	pan(dish)
B'12	41	29.5	12	pan(plate)	C34	5.5	3.5	2.5	armchair	E5	5	4	5	pit
B'13	39	29	5	pan(dish)	C35	3.5	2.5	2.5	pan(dish)	E6	5	3	3	pan(plate)
B'14	60	46	8	pan(dish)	C36	3.5	3.5	2.5	pan(dish)	E7	27	21	5.5	armchair
B'15	9	9	5	pan(dish)	C37	42	26	18	pan(plate)	E8	50	44	7	armchair
B'16	39	30	11	pan(dish)	C38	8	5	9	pit	E9	5	3	2	pan(dish)
B'17	67	45	17	pan(plate)	C39	5	4	6	pit	E10	4	3	1	pan(dish)

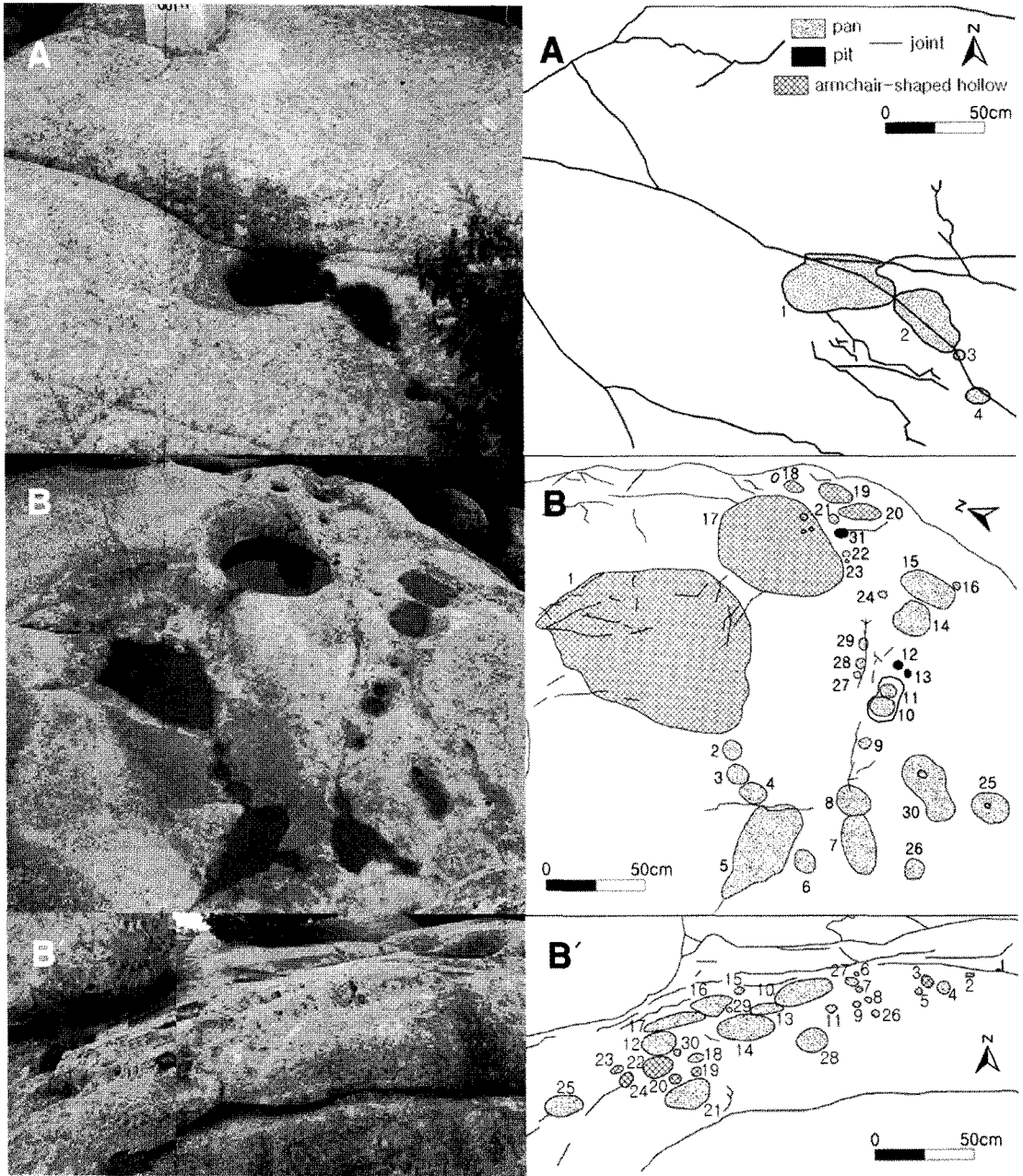


Figure 5. Distribution of gnamma at from A to B' district. A~B' 구역의 나마 분포

로 높으나 대부분 규모가 작다. 이들은 pit형에서 경사 방향으로 열리면서 경계부가 붕괴되어 armchair-shaped hollow형이 된 것이다. E 구역에서 나마는 10개이고, pan형이 7개, pit형이 1개, armchair-shaped hollow형이 2개이다. 이 암괴에는 계층에서 제외된 65

개 이상의 소규모 공동(空洞)들이 곰보자국처럼 남동쪽의 경사가 수직에 가까운 급사면에 고밀도로 분포한다. 이 가운데 2/3 정도가 pit형이며, 나머지는 armchair-shaped hollow형이고, pan형은 대체로 깊이가 얇다. 암괴 상부의 평탄한 곳에는 pan형이, 보다

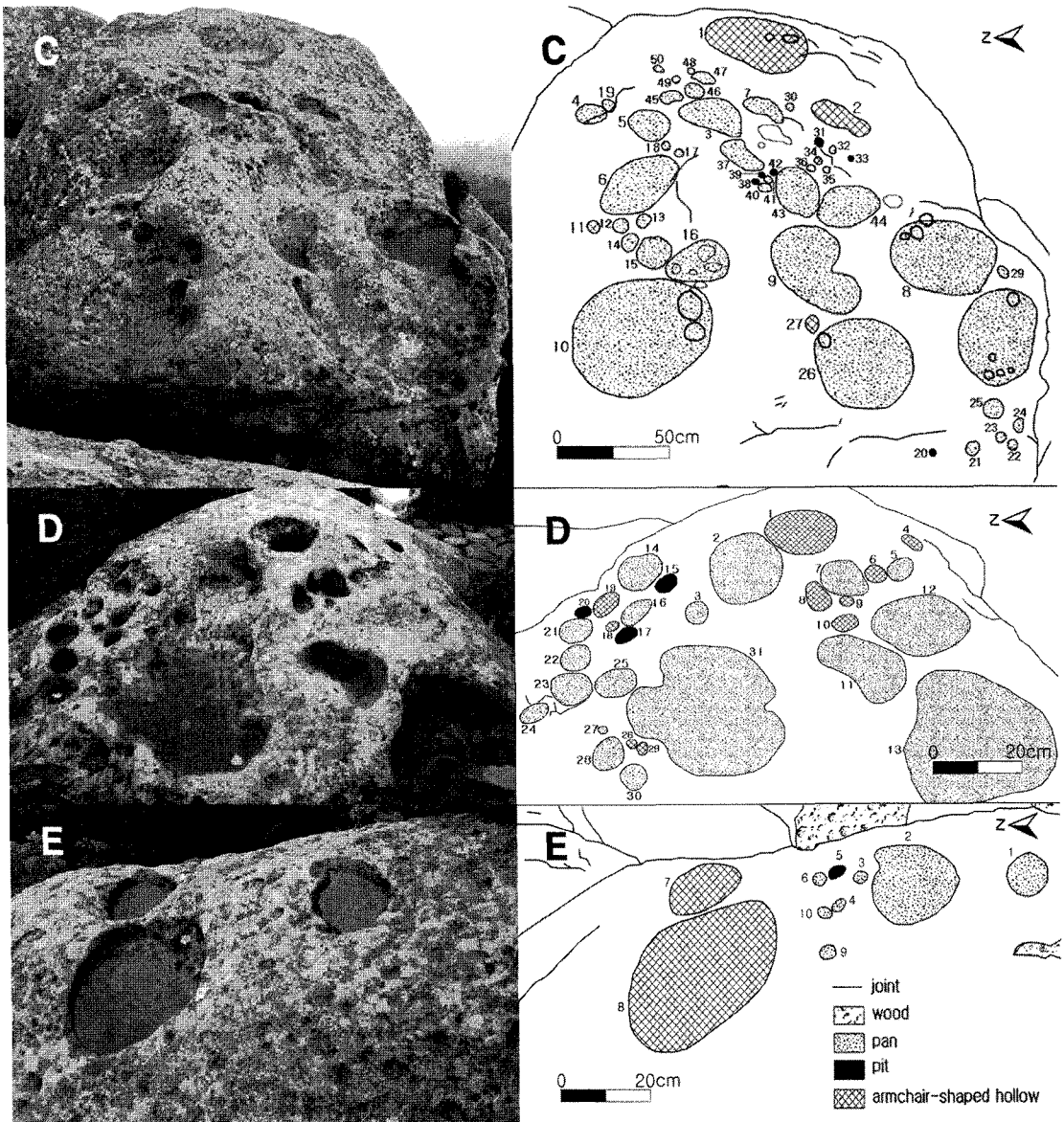


Figure 6. Distribution of gnamma at from C to E district. C~E 구역의 나매 분포

경사가 급한 남쪽에는 나매가 개방되어 armchair-shaped hollow형이 나타난다(Figure 6).

Figure 7은 나매의 수직 및 평면 형태를 상호 비교하기 위하여 조사지역 A~E 구역 내의 총 156개 나매 가운데 구역별로 대표적인 것들을 선별하여 단면도를 작성한 것이다.

4. 나매의 물리 및 화학적 특성

1) 수분측정

나매의 풍화작용에는 염분과 수분이 중요한 매개체가 된다. 염분은 추출량이 측정 도달치에 이르지 못하

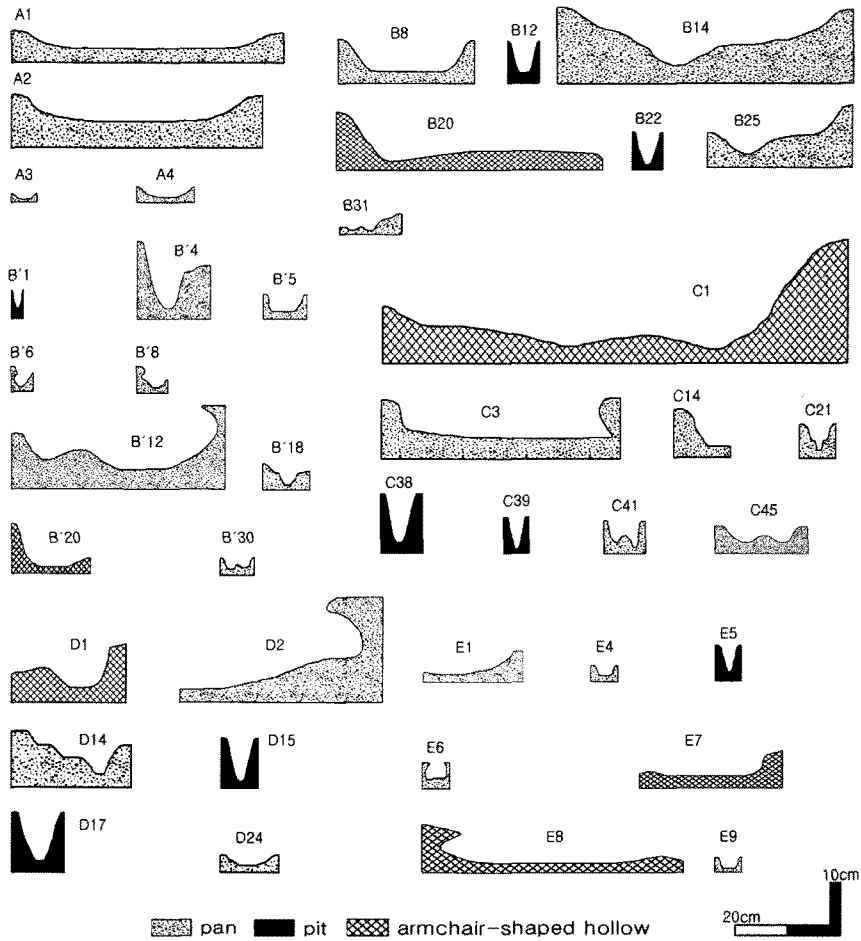


Figure 7. Sectional profiles of representative gnamma at from A to E district. A~E 구역 나마의 단면도

였으므로 논의에서 제외하고 수분값만을 측정하였다. 광물조성이 상이한 암석에 침투한 수분은 동결시 부피 팽창과 함께 광물간의 균열을 통하여 암석을 파괴시킨다. 따라서 나마의 형성에 미치는 수분값의 영향은 매우 크다. 나마에 포함된 수분값을 측정하기 위하여 기반암과 동일한 암석 시료를 20개 수집하여 흡광도와 함수율을 산출하여 기초자료를 만들었다. 각 시료의 흡광도는 7번 측정하여 최고값과 최저값을 제외한 나머지 5개 값의 평균으로 구하였다. 함수율은 시료의 중량을 측정하고, 건조기(dry oven)에서 200℃로 24시간 동안 건조시켜 얻은 중량을 함수율 공식(dry basis)에 적용하여 계산하였다. 각 시료의 기초자료를 근적외선수분측정기에 입력하여 검량선을 결정하고, 이를

바탕으로 2007년 6월 25일 오후 1시에 2cm 간격으로 수분 등치선도를 작성하였다(Figure 8).

B'4 나마는 바다의 중앙에 또 하나의 나마가 형성된 이중 구조를 보이고 있다. 이로 인해 등수분값의 분포도 바다 중앙에 분포하는 두 개의 흡을 중심으로 가장 높고, 주변으로 가면서 낮아지는 동심원 형태를 나타낸다. 그리고 북쪽과 남서쪽에 수분값이 높은 부분이 선적으로 나타나는데 이것은 깊게 패인 부분과 거의 일치하며, 이곳에서는 수분이 다른 곳보다 오랫동안 머물렀음을 알 수 있다. E1 나마의 등수분선은 북서-남동 방향으로 길게 분포하며, 북서쪽 흡에서 가장 값이 높다. 전체적으로 나마 바닥의 수분값이 높고 나마 바깥쪽으로 수분값이 낮다. 남동쪽으로 길게 늘어지는

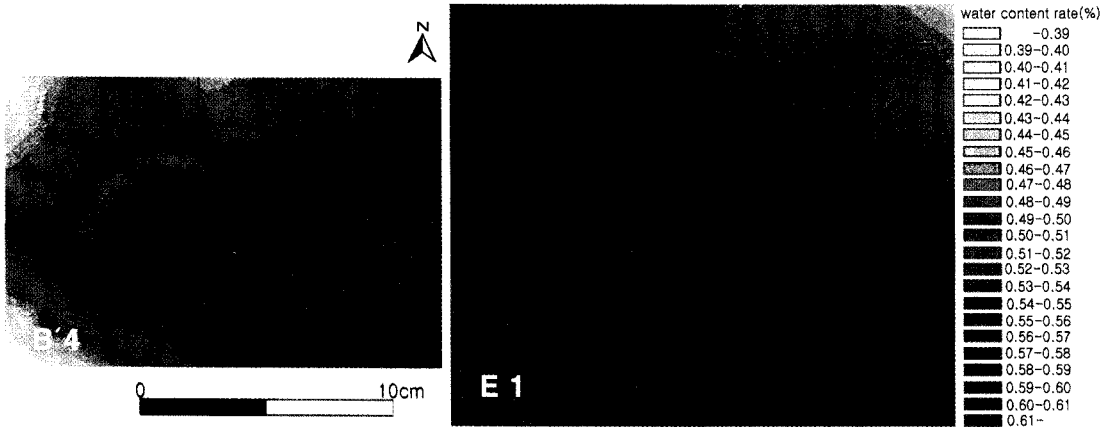


Figure 8. Distribution of water content rate of gnamma B'4 and E1. B'4와 E1 나마의 수분 등치선도

분포는 나마의 남동쪽으로 측벽이 제거되어 외부로 열려있기 때문이다. 이처럼 수분값이 높은 곳은 장기간 수분이 머무를 수 있는 흠이나 와지로서 암석내 공극의 크기와도 관계있을 것으로 판단된다.

2) 풍화 속도

연구지역내 나마의 형성 속도를 알아보기 위해 바닥이 평평하고 깊이가 비교적 일정한 C3 나마를 선정하였다. 그리고 C3 나마의 바닥과 벽면을 채색하고 일정기간 관찰한 후 도료의 손실면적과 손실량을 측정하였다. C3 나마의 장경은 46cm, 단경은 39cm이고, 깊이는 7.5cm이며, 채색은 2006년 1월 5일에 실시하였다. 이후 관찰을 통하여 2006년 9월 15일, 2007년 6월 25

일, 2009년 2월 13일에 계측이 이루어졌다. 채색은 바닥면 중앙부터 벗겨지기 시작하여 가장자리 방향으로 진행되었다(Figure 9).

채색 부분의 박리정도를 3등급으로 나누어, 채색이 유지된 상태를 1등급, 육안으로 관찰하여 채색이 50% 박리된 상태를 2등급, 90% 이상은 3등급으로 설정하였다. C3 나마의 박리정도는 2006년 1월에 채색하여 8개월이 경과한 후(2006년 9월)에는 1등급 36%, 2등급 59%, 3등급 5%였다. 그리고 17개월 후(2007년 6월)에는 1등급 14%, 2등급 47%, 3등급 39%이며, 37개월이 지난 후(2009년 2월)에는 1등급 7%, 2등급 4%, 3등급 89%로 채색 부분이 거의 대부분 벗겨진 상태였다.

나마의 면적을 기준으로 부피값을 계산하여 풍화속도를 측정하였다. 나마의 총 부피는 바닥면적 932cm²

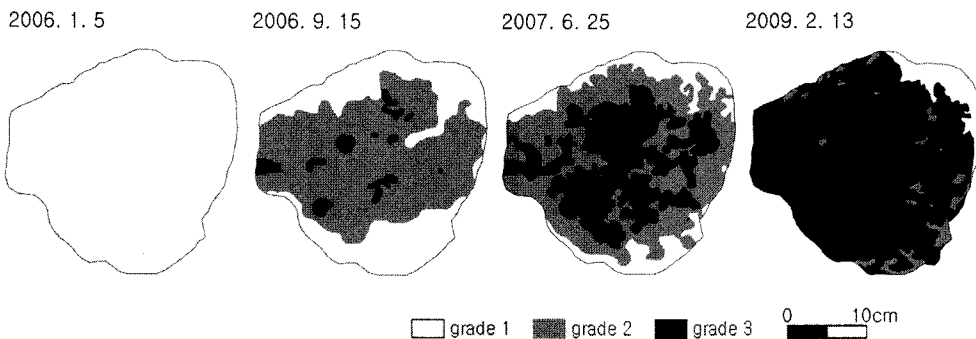


Figure 9. Exfoliating points on gnamma C3 with the passage of time. 채색한 C3 나마의 시간별 박리모습

Table 2. Weathering (Loss) area of gnamma C3. C3 나마의 풍화(손실) 면적

grade	painting date(2006.1.5)			after 8months(2006.9.15)			after 17months(2007.6.25)			after 37months(2009.2.13)		
	ES	WA		ES	WA		ES	WA		ES	WA	
1	100%	932cm ²	0cm ²	36%	336cm ²	0cm ²	14%	130cm ²	0cm ²	7%	65cm ²	0cm ²
2	0%	0cm ²	0cm ²	59%	552cm ²	276cm ²	47%	438cm ²	219cm ²	4%	37cm ²	18.5cm ²
3	0%	0cm ²	0cm ²	5%	44cm ²	39.6cm ²	39%	364cm ²	327.6cm ²	89%	830cm ²	747cm ²
total			0cm ²			315.6cm ²			546.6cm ²			765.5cm ²

* ES: Exfoliation Situation, WA: Weathering (Loss) Area

×깊이 7.5cm=6,990cm³이다. 관찰시기별 풍화로 인한 손실 부피를 보면, 1등급은 원면이 남아있으므로 손실 면적은 없으며, 2등급은 가중치 0.5, 3등급은 가중치 0.9를 주고 계산하였다. 나마에 착색한 페인트의 두께는 약 100 μ m이다¹⁾.

2006년 1월에는 채색한 원면이 100% 남아있으므로 풍화로 인한 손실 면적은 0cm²이다. 2006년 9월에 1등급은 0cm², 2등급은 552cm²×가중치 0.5=276cm², 3등급은 44cm²×가중치 0.9=39.6cm²이었다. 바닥 전체의 손실 면적은 1등급 0cm²+2등급 276cm²+3등급 39.6cm²= 315.6cm²이고, 바닥 손실 부피는 바닥 손실 면적 315.6cm²×페인트 두께 0.01cm=3.156cm³이다. 2007년 6월에는 1등급 0cm², 2등급 219cm², 3등급 327.6cm²으로 바닥 손실 전체의 면적은 546.6cm²이고, 손실 부피는 5.466cm³이었다. 마지막으로 2009년 2월에는 1등급 0cm², 2등급 18.5cm², 3등급 747cm²이고, 바닥 손실 전체의 면적은 765.5cm²이고, 손실 부피는 7.655cm³이다(Table 2).

이와 같은 과정을 통해 얻어진 풍화로 인한 손실부피를 풍화량으로 보고 풍화속도를 환산하였다. 계측에 따른 풍화속도는 2006년 9월에 바닥 손실부피 3.156cm³÷8개월=0.395cm³/month, 2007년 6월에는 0.322cm³/month, 2009년 2월에는 0.207cm³/month이다. 이들의 평균 풍화량은 월간 0.308cm³이고, 연간 3.696cm³이다. 이렇게 계산된 풍화량으로 볼 때, C3 나마가 만들어지는 기간은 C3 나마 전체 부피 6,990cm³÷연평균 풍화 부피 3.696cm³/year=약 1,891년이 걸린다. 이것을 깊이로 환산하면 C3 나마 깊이 7.5cm÷1,891년=0.004cm/year이다.

3) 나마 구성 광물의 원소 분석

연구지역의 기반암 특성을 알아보기 위하여, C17 나마의 바닥면 암석 시료를 채취하여 XRD 분석을 실시하였으며, 석영, 사장석, 정장석이 검출되었다(Figure 10). 풍화에 민감하게 반응하는 사장석이 검출되고, 점토광물이 전혀 나타나지 않은 것을 볼 때 화학적 풍화작용보다는 기반암의 동결 및 융해와 같은 물리적 풍화작용이 우세하게 작용하여 나마가 발달한 것으로 보인다. 그러나 Matsukura and Tanaka(2000)는 덕송산의 타포니 지형발달을 통해 화학적 풍화 산물인 석고(CaSO₄)를 확인하였으므로, 나마의 형성과정은 물리적 및 화학적 풍화작용이 복합적으로 작용하여 진행되는 것으로 파악된다.

나마의 풍화정도를 알아보기 위하여 나마의 바닥면과 벽면 그리고 외부 기반암의 XRF 분석에서 각 원소의 상대적인 무게비를 구하였다. 시료는 C17 나마의 내부 바닥면(C17-1), 내부 벽면(C17-2), 외부 기반암(C17-3)에서 채취하였다.

XRF 분석결과 바닥면에 비해 벽면에서 Al, Ti, Fe, Na, Mn 값이 높고 Si, Ca, K, P의 값이 낮았다(Table 3). 그리고 나마 외부 기반암은 내부 기반암에 비해서 Si, P의 값이 높고, Al, Ti, Fe, Ca의 값이 낮다. 일반적으로 풍화작용을 받으면 흑운모 등의 변질로 Fe₂O₃의 함량이 증가하고, 장석류의 풍화, 용탈의 결과로 CaO, Na₂O의 함량이 낮아지는 경향을 보인다. 그리고 상대적으로 증가하는 원소에 의해 Si는 감소하는 경향을 보이고(Eswaran and Bin, 1978), Al은 거의 변동하지 않는 것으로 알려져 있다(Nesbitt and Young, 1982).

5. 토론

1) 나마의 분포와 형태 특성

금산 정상부의 독립된 기반암체 여섯 구역에서 확인된 나마의 수는 총 156개이다. 산지 정상 방향에 위치한 A 구역은 여섯 구역 중에서 분포밀도가 가장 낮는데, 이것은 해안에서 불어오는 염을 포함한 상승기류의 영향을 가장 적게 받기 때문일 것이다. B 구역에서는 규모가 상대적으로 큰 나마가 많이 형성되어 있다. 이것은 B 구역이 나마의 성장에 유리한 넓고 평탄한 암반으로 이루어져 있기 때문으로 생각된다. B' 구역에서는 pan형 가운데 plate type의 비율이 높다. C 구역은 여섯 구역 가운데 가장 많은 50개의 나마가 분포하였다. 해안을 향해 경사진 B' 구역과 C 구역은 바다에서 불어오는 상승기류의 영향을 직접 받으므로 나마의 성장이 탁월하고, 기존 나마 내에 소규모 나마가 이 중으로 발달하므로, 현재도 활발하게 나마가 생성, 성장하고 있는 것으로 생각된다. D 구역은 armchair-shaped hollow 형태가 가장 많은데 암석표면이 경사져 있는데 기인한다. E 구역에서는 남서쪽 방향으로 깊게 파인 작은 구멍들이 높은 밀도로 분포하므로 현재에도 나마가 활발하게 생성될 가능성이 크다(Table 4).

기반암의 경사도와 나마 유형과의 상관관계를 파악하기 위하여 기반암의 경사도를 0~5°, 5~10°, 10~20°, 20~30°, 30~40°, 40~50°로 나누어 살펴보았

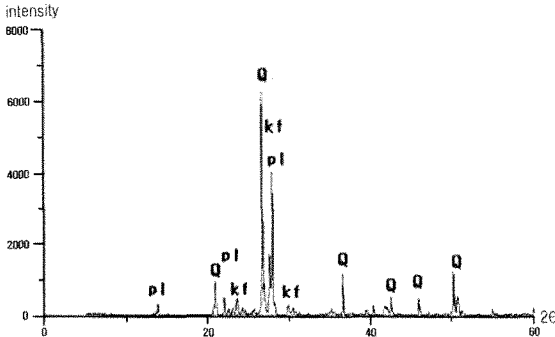


Figure 10. Results of XRD analysis at gnamma C17-1. C17-1 나마 시료의 XRD 분석 결과

Q: Quartz(석영), pl: Plagioclase(사장석), kf: K-feldspar(정장석)

C17 나마의 XRF 분석결과도 이와 유사한 양상을 보이지만 풍화를 많이 받은 내부 벽면에서 Na가 감소하지 않고, 신선한 외부 기반암에서 Ca가 증가하는 경향이 있다. 이것은 원소이동에 의해 증가되었거나 광물 조성의 불균질성에 기인하는 것으로 해석된다.

XRF 결과를 통해 풍화정도를 알아보기 위하여 CIA를 계산하였다. CIA는 값이 클수록 풍화작용을 심하게 받았음을 의미한다. 유동성이 작은 Al₂O₃에 비해 용해와 이동성이 큰 알칼리 원소는 쉽게 감소하기 때문에 풍화가 진전될수록 CIA 값은 커진다. 각 샘플의 CIA 값을 살펴보면, 나마 내부의 CIA 값이 나마 외부의 기반암 CIA 값보다 높게 나타났다. 그리고 나마 내부에서는 바닥보다 벽의 CIA 값이 높았다.

Table 3. Results of XRF analysis of gnamma C17. C17 나마 시료의 XRF 분석 결과

(unit: wt %)

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Total	CIA
C17-1 (inside bottom)	72.32	13.82	0.22	2.06	n.d.	0.27	2.80	8.21	n.d.	0.16	99.80	55.07
C17-2 (inside wall)	68.64	15.73	0.32	3.94	n.d.	0.23	3.74	6.94	0.22	0.08	99.84	59.04
C17-3 (outside)	73.39	12.91	0.15	1.61	n.d.	0.21	3.07	8.37	n.d.	0.22	99.92	52.58

* n.d.: not determined

다. 경사도가 10° 이하에서는 pan형의 밀도가 높고, 20° 이상의 경사도에서는 pit형과 armchair-shaped hollow형이 많이 분포하고 있다. 이처럼 기반암의 경사도에 따라서 나마의 유형이 다르게 나타나는 것으로부터 나마 형태의 특징과 경사도가 밀접한 연관을 가지고 있을 것으로 추정된다. 경사도가 완만한 곳에서는 바닥이 평평하고 깊이가 얇은 pan형의 발달이 우세하다. armchair-shaped hollow형은 경사 20° 이상이며, 급한 경사면에서 탁월하게 발달했음을 알 수 있다 (Table 5).

나마를 지름과 깊이별로 형태를 분류할 때, pan형의 깊이는 20cm 이하이고 지름은 깊이에 상관없이 대체로 100cm 이하였다. pit형은 지름과 깊이 모두가 10cm 이내로 규모가 작은 것이 대부분이다. armchair-shaped hollow형은 대개 지름과 깊이가 15cm 내외로

규모가 작지만 큰 것도 존재한다. 깊이 20cm, 지름 50cm 이하의 armchair-shaped hollow형은 깊이와 지름과의 관련성이 거의 없으나, 지름 100cm 이상에서는 지름이 크면 깊이가 깊어진다. 이처럼 나마의 형태에 따라 지름과 깊이가 달라진다. 연구지역에는 나마로 분류하기 어려운 소규모의 공동들이 무수히 많이 분포하는데, 이들의 형태는 대부분 pit형이다. 이와 같은 공동들은 금산화강암의 특징인 지름 1~3cm의 정동이나 화강암 표면의 장식류가 풍화되면서 형성된 것으로 보인다. 기반암에 분포하는 정동이나 작은 공동에서 나마가 만들어지기 시작할 때는 pit형이었으나, 점차 pan형이나 armchair-shaped hollow형으로 성장하는 것으로 보인다. 실제로 연구지역에서는 pan형이 전체 나마 156개 가운데 110개로 대부분을 차지한다 (Figure 11).

Table 4. Gnamma type distribution by district. 각 구역의 형태별 분포

(unit: number)

District	Type	pan-type		pit	hollow type		total
		dish	plate		cylindrical	armchair-shaped	
A		4	0	0	0	0	4
B		21	0	3	0	7	31
B'		17	5	1	0	7	30
C		32	6	6	0	6	50
D		16	2	3	0	10	31
E		6	1	1	0	2	10
total		96	14	14	0	32	156

Table 5. Relationship between gnamma type and bedrock slope. 기반암 경사와 나마 형태와의 관계

(unit: number)

District	Type	pan	pit	hollow type		total
				cylindrical	armchair-shaped	
40~50°		1	0	0	4	5
30~40°		3	1	0	18	22
20~30°		6	10	0	10	26
10~20°		43	3	0	0	46
5~10°		31	0	0	0	31
0~5°		26	0	0	0	26
total		110	14	0	32	156

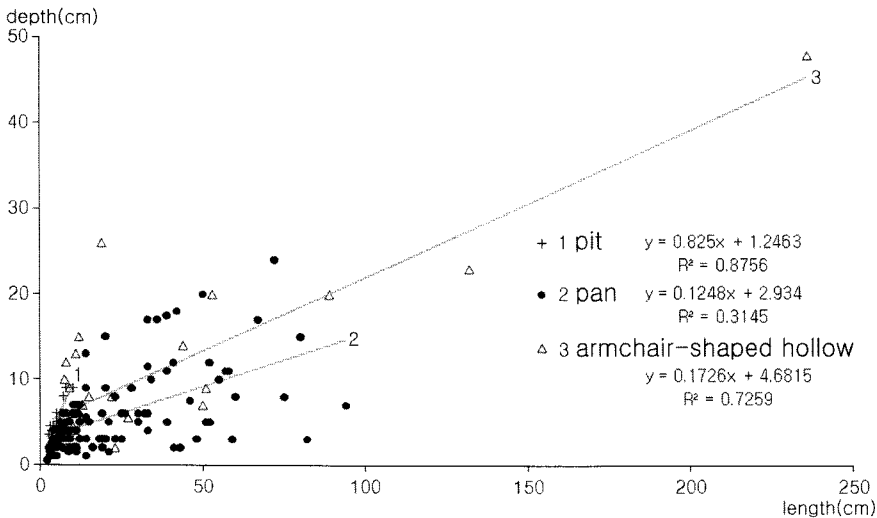


Figure 11. Gnamma distribution in relation to depth and diameter. 나마의 지름 및 깊이에 따른 나마 형태와의 관계

2) 나마의 지형발달

남해군 상주리 금산은 국립공원으로 많은 관광객이 방문한다. 특히 평탄한 암반에 형성된 나마의 내부 토양은 인위적인 오물에 의해 교란되어, 추출한 토양시료에서 P와 N의 비율이 매우 높았다. 그리고 염분에 의해 형성된 암분을 채취할 수 없으므로 화학적 분석으로 염풍화의 증거를 찾을 수 없었다. 나마의 형성원인에 대해서는 다양한 연구자들에 의해 여러 가지 견해가 제기되고 있다. 금산의 정상부는 해발고도 700m에 이르지만 해안과의 거리는 4km 정도로 인접하여 위치하므로 연구지역의 나마는 염풍화작용으로 만들어진 것으로 추정된다. 상승기류에 의해 공급된 염이 암석의 절리 사이나 화학적 풍화작용으로 형성된 정동에서 결정화 작용을 통해 기계적 풍화작용을 일으켰을 것이다. 금산 정상부는 금천천과 금양천의 하곡이 상승기류의 통로 역할을 하므로 일주적으로 발생하는 해풍에 의해 지속적으로 수증기와 염분이 공급될 가능성이 있다. 특히 태풍이나 폭풍시에는 해면에서 비말이 기류를 타고 해발고도 700m에 있는 금산 정상부까지 이동이 가능하다. 이렇게 능선을 따라 상승하던 기류는 바람맞이 사면인 남쪽의 기반암에 강한 영향을 미치는데, 이로 인해 해안 쪽에 위치한 C 구역의 나마 분

포 밀도가 산지 방향인 A 구역에 비해 높게 나타나고 있다. 이와 같은 내용들을 종합하면, 금산 정상 부근의 나마를 형성하는 염은 남해 상주리 해안에서 남풍을 따라 상승하는 기류나 안개 또는 비말에 의해 공급되는 것으로 생각된다(Figure 12).

염과 더불어 나마의 형성에 영향을 주는 것이 수분이다. 암석에 형성된 절리나 미세균열을 따라 침투한 수분은 동결과 용해에 따른 물리적 환경 변화에 의해 부피가 증가하면서 암석의 균열을 확장시켜 암석을 파괴한다. 그리고 이렇게 확장된 균열이나 절리는 수분 또는 공기와의 접촉면적이 넓어지면서 화학적 풍화작용이 가속된다. 금산 정상부에서 측정한 나마의 수분 등치선도를 보면 외부 기반암의 수분값이 가장 낮고, 나마 바닥의 수분값이 높게 나타나고 있다. 이것은 상부 평탄면에 형성되는 나마의 형태적 특징으로 인해 나마 내부에 물이 고여 수분값이 높아진 것이다. 이렇게 높은 수분값을 보이는 암석은 풍화작용을 많이 받아 공극률이 높고 강도가 약해졌음을 의미한다(Hwang *et al.*, 2010).

연구지역에서 살펴 본 나마의 발달 과정은 입상붕괴 → 공동의 형성 및 확장 → 나마의 발달 → 주변 나마의 병합 순으로 진행되는 것으로 보인다. 알칼리 장석 화강암과 같은 결정질 기반암으로 이루어진 금산 정상

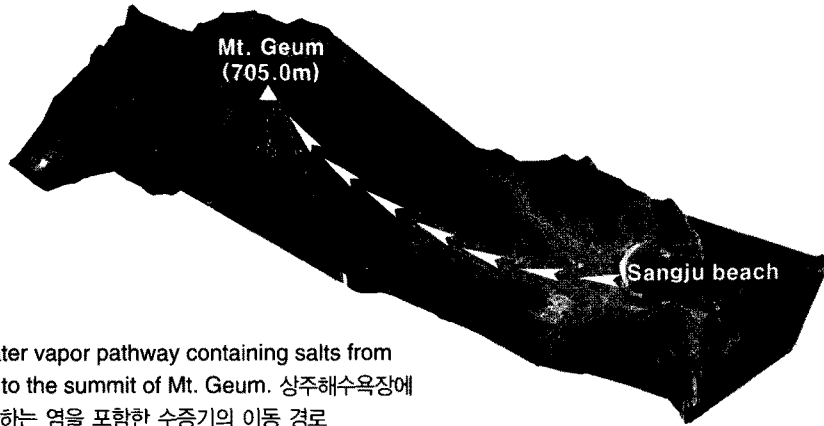


Figure 12. The water vapor pathway containing salts from the Sangju beach to the summit of Mt. Geum. 상주해수욕장에서 금산 정상부로 향하는 염을 포함한 수증기의 이동 경로

부에서는 암석 자체에 형성된 정동이나 장석류의 풍화 작용으로 석영이 탈락되면 공동이 발생한다. 이렇게 만들어진 정동이나 공동은 수분과 염으로 인한 풍화작용이 계속 진행되면서 점차 나마로 성장하고 주변 나마들과 병합하면서 확대되는 것이다.

나마 형태 가운데 pan형은 수평으로, pit형은 수직적으로 성장하며, armchair-shaped hollow형은 경사져 있는 기반암에서 수평 및 수직으로 발달한 것이다. pit형은 평균 지름과 깊이와의 관계에서 정(+)상관관계를 보이며, 평균 지름과 깊이는 대부분 5cm 이하이다. pit형의 규모가 크지 않은 것은 연구지역 기반암 특성과 절리 분포와 관련된다. 규모가 큰 pit형은 기반암에 두껍게 풍화각이 형성되어야 하지만, 산지 정상부에 노출된 기반암 풍화각은 동결과 용해에 의해 제거되므로 깊이가 얕아질 수밖에 없다. 다만 기반암에 절리가 형성된 경우에는 풍화혈이 수평, 수직으로 지속적으로 발달하므로 그 규모가 확대된 것으로 추정된다.

pan형은 pit형이 수직으로 발달하지 못하고 수평으로 확장되면서 형성되었던 것 같다. 특히 pan형 가운데 깊이가 상대적으로 깊은 plate type은 pit형에서 시작되었을 가능성이 크다. 그리고 plate type은 풍화혈의 가장자리가 풍화로 제거되면서 armchair-shaped hollow형으로 발전한 것으로 보인다. 처음부터 표면이 넓고 얇은 dish type에서 시작되어 규모가 큰 dish type으로 발전하기도 한다. 그리고 경사진 기반암 암괴에서 풍화혈 가장자리 가운데 높은 부분이 더 빨리 깊어지고, 나머지 부분은 dish type으로 남아 개방형

으로 발전한 것으로 판단된다(Figure 13).

3) 나마의 기반암 풍화 속도

나마와 타포니 등과 같은 풍화혈 지형은 암석의 종류나 형성 환경의 차이에 따라 성장속도는 현저하게 달라진다. 나마의 풍화 면적은 채색시점에서 8개월 후에는 315.6cm², 17개월 후에는 546.6cm², 37개월 후에는 765.5cm²로 확대되었다. 그러나 풍화속도는 오히려 시간이 흐를수록 완만하게 감소하는 것으로 나타나서, 8개월 후 0.05mm/y, 17개월 후에는 0.04mm/y, 37개월 후에는 0.03mm/y로 계속되었다(Figure 14). 이처럼 초기 단계에서만 빠른 속도로 풍화가 진행되고, 시간이 지날수록 발달 속도가 느려지는 것은 해안선 근처에서 타포니 발달 속도를 연구한 Matsuoka and Norikazu (1995)의 연구 결과와 유사하다. 즉, 나마가 시간이 지남에 따라 깊이가 깊어지면서 일사나 바람에 노출되기 어려워지기 때문인 것으로 추정된다.

외국의 경우 이스라엘 내륙 네게브 지방의 돌로마이트에서 풍화 속도는 0.03~0.04mm/y(Rögner, 1988)로 측정되어 연구지역의 결과와 유사한 값을 보였다. 한편 국내의 경우, Matsukura and Tanaka(2000)는 충남 덕숭산 타포니에서 깊이에 대한 성장속도를 0.125mm/y로 측정하였는데, 이것은 일본의 화강암 해안에서 밝혀진 타포니의 성장속도 0.01mm/y에 비해서 빠르다(Matsukura and Masuoka, 1996). 또한 Ikeda(2002)는 주문진에서 현재 기후에서도 타포니가

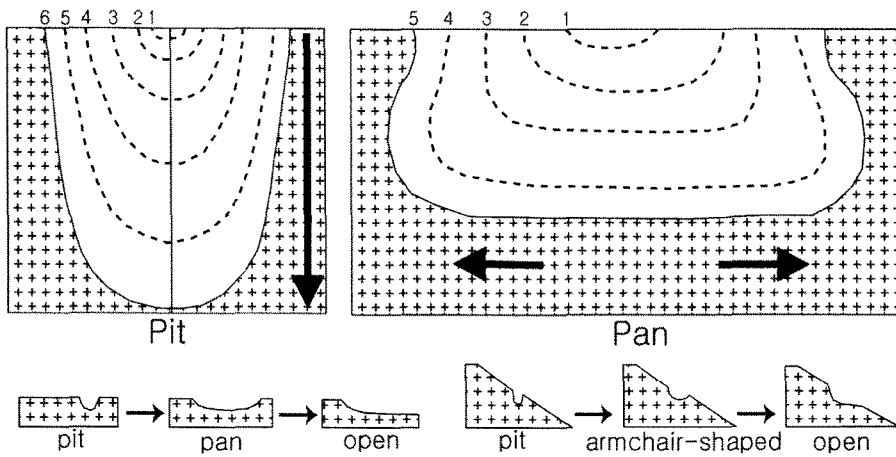


Figure 13. Developing process of each Gnamma type. 형태별 나마의 발달과정

연간 1mm씩 성장하고 있음을 확인하였는데, 이것 역시 연구지역인 금산의 나마에 비하여 매우 빠른 속도이다. 기반암의 측면에 분포하는 타포니와 정상부 평탄면에 형성되는 나마의 형성속도를 비교하여 어느 것이 더 빠르게 만들어지는지 판단하기는 어렵고 해안으로부터의 거리나 바람의 방향과 풍속 등 다양한 요인이 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 플라이스토세와 홀로세 간의 풍화속도를 단순 비교하는 것도 무리가 있으므로 추후 더 많은 연구가 축적된 후에 풍화속도가 논의되어야 할 것이다.

본 연구에서 측정된 풍화속도에 의하면 현재의 C3 나마가 만들어지기까지 약 1,891년이 걸렸다. 그러나 이는 기반암 표면에 채색된 페인트의 풍화 속도이므로 일반 암석의 풍화속도보다는 더 빠를 것으로 생각된다. 다만 지금까지 나마가 과거의 유물지형이라는 기존의 화석지형 개념과 지중풍화 기원으로 설명한 일부 의견에 대해 현재에도 나마는 형성되고 성장, 확대되고 있다는 증거로 제시될 수 있을 것이다.

6. 결론

1. 남해군 상주리 금산 정상부에 분포하는 나마는 상주리 해안에서 하곡을 거슬러 부는 바람이나 폭풍시

에 공급되는 염분과 수증기의 풍화작용으로 형성된 것이다. 그러므로 산지방향인 A 구역에 비해 해안방향의 B'와 C 구역 암괴들에서 나마 분포 밀도가 높다.

2. 측정된 나마의 수분등치선도에 의하면, 외부 기반암의 수분값이 가장 낮고, 나마 바닥의 수분값이 높았다. 이것은 나마의 형태적 특성상 나마 내부에 물이 고여 있는 환경이 조성되었기 때문이다.

3. 나마의 발달 과정은 입상붕괴 → 공동의 형성 및 확장 → 나마의 발달 → 주변 나마의 병합 순이다. 금산 정상부에서는 기반암에 포함된 장식류의 풍화작용으로 만들어진 공동이나 기반암 자체에 분포하는 정동에서부터 나마가 성장하기 시작한다.

4. 나마의 형태는 기반암의 경사도와 밀접한 관련이 있으며, 나마의 형태에 따라 규모 즉, 지름과 깊이가 달라진다. 연구지역 나마의 분포 특성은 암괴의 경사도가 10° 이하에서는 pan형의 밀도가 높고, 20° 이상에서는 pit형과 armchair-shaped hollow형이 많이 분포한다. 그리고 pan형은 깊이가 10cm 내외이지만, 지름은 짧은 것과 긴 것이 다양하게 있으며, pit형은 지름과 깊이 모두가 10cm 이내로 크기가 작은 것이 대부분이다. armchair-shaped hollow형은 지름과 깊이가 15cm 내외로 작은 것이 많지만, 지름과 깊이가 큰 것도 존재한다.

5. 금산 정상부 나마의 형성속도는 0.04mm/y이다. 초기에 0.05mm/y로 측정되었으나 시간이 지날수록

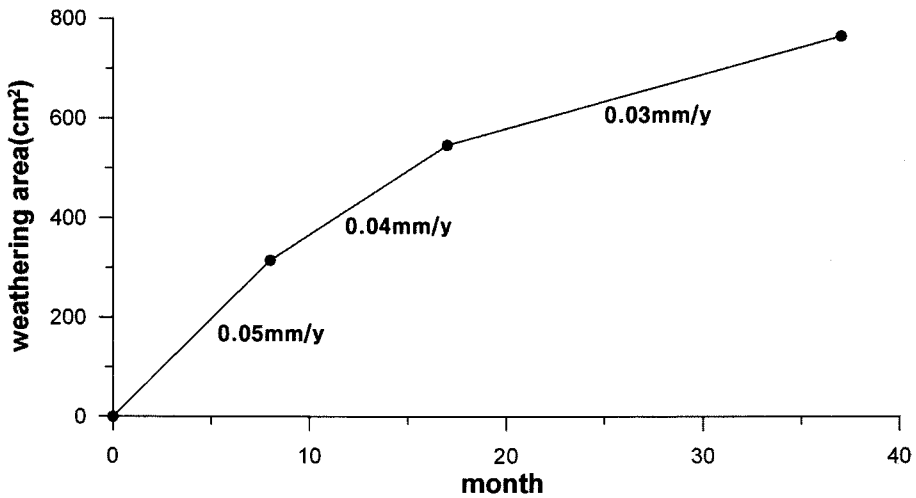


Figure 14. Weathering rate of gnamma in study area. 나마의 발달속도

발달 속도가 느려져 마지막 시기에는 0.03mm/y를 나타내었다. 이것은 나마의 성장속도가 시간이 지남에 따라 깊이가 깊어지면서 일사나 바람에 노출되기 어려워지기 때문인 것으로 추측된다.

6. 나마 C3에서 깊이 7.5cm 풍화되는 데 약 1,891년이 걸렸다. 그러나 이것은 기반암에 채색된 페인트를 기준으로 하였으므로 일반적인 암석의 풍화속도보다는 더 빠른 것으로 판단된다. 이 사실은 지금까지 나마가 과거의 유물지형이라는 기존의 화석지형 개념과 지중풍화 기원으로 설명한 일부 의견과 다른 논의를 가능하게 한다. 즉 현재에도 나마는 형성되고 성장, 확대되고 있다.

주

1) 도막 두께는 도료의 점도와 고형분 성분 그리고 도장 작업의 조건에 따라 결정되는데, 일반적으로 붓을 사용한 경우 두께 15~30 μ m, 롤러는 20~40 μ m, 스프레이는 70~150 μ m 정도의 두께를 보인다. 본 연구에서는 스프레이를 사용하였으므로, 도료의 두께는 평균값인 100 μ m로 가정하였다.

참고문헌

- Campbell, E. M., 1997, Granite landforms, *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 80(3), 101-112.
- Chang, H., 1983a, Periglacial Landforms in the Eastern Part of the Main Ridge of Mt. Jiri, South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 27, 31-50 (in Korean).
- Chang, H., 1983b, The Origin and Ages of Weathering Hollows on the Rocks in Southwestern Part of Korea, *Journal of Geography*, 10, *Seoul National University*, 305-323 (in Korean).
- Choi, S. G., 1985, A Geomorphological Study of Shore Platform in the Protected Sea Areas -A Case Study in Jindo-island-, *Journal of the Korean Geographical Society*, 31, 16-31 (in Korean).
- Chu, M. Y., 1984, A Study on the Tafoni of Mt. Deog-sung: Morphogenic Approach, *Journal of Geography*, 10, *Seoul National University*, 371-382 (in Korean).
- Eswaran, H. and Bin, W. C., 1978, A study of a deep weathering profile on granite in peninsula Malaysia: III. alteration of feldspar. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 154-158.

- Hwang, S. and Park, K. G., 2007, Tafoni Geomorphic Development in the Western Coast of Dongdo of Dokdo, Korea, *Journal of the Korean Association of Regional Geography*, 13(4), 355-370 (in Korean).
- Hwang, S., Park, K. G., and Yoon, S. O., 2009, The Climactic Change and Geomorphic Development of Tafoni at the Northwestern coast of Seodo(West Island), Dokdo Island, Korea, *Journal of the Korean geomorphological association*, 16(1), 17-30 (in Korean).
- Hwang, S., Park, K. G., and Yoon, S. O., 2010, Periodic Immersion of the Bangudae Petroglyphs and Rock Weathering Characteristics, 45(3), 342-359 (in Korean).
- Ikeda, H., 2002, *The World of Granite Landforms*, Hanul, Seoul (이케다 히로시, 권동희 역, 2002, 화강암 지형의 세계, 한울아카데미, 서울).
- Jwa, Y. J., 1997, Petrography of the Geumsan Micrographic Granite in the Namhae Area, *Journal of the Korean Earth Science Society*, 18(5), 426-432 (in Korean).
- Kim, H. J., 1982, *A Study on Tafoni in near Seoul*, Master Thesis, Sangmyung University (in Korean).
- Kim, J. H. and Kwon, D. H., 1990, A Study on Gnammas in AAMDO, *Journal of the Korean Geographical Society*, 25(2), 1-11 (in Korean).
- Kim, J. H. and Jang J. H., 1978, A Climatic-geomorphological Study of Salt Weathering Developed in Granite Rock in Korea, *Research of Geography*, 4, 29-53 (in Korean).
- Kim, S. W., Kim, H. M., Hwang, B. H., Yang, K. Y., and Kim, J. S., 2009, Petrologic and Geomorphologic Characteristics of Micrographic Granite in the Ijin-ri Area, Ulsan, *Jour. Petrol. Soc. Korea*, 18(3), 211-221 (in Korean).
- Matsukura, Y. and Masuoka, N., 1996, The effect of rock properties on rates of tafoni growth in coastal environments, *Zeit. Geomorph. Suppl.*, 106, 57-72.
- Matsukura, Y. and Tanaka, Y., 2000, Effect of Rock Hardness and Moisture Content on Tafoni Weathering in the Granite of Mount Doeg-Sung, Korea, *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 82(1), 59-67.
- Matsuoka, N. and Norikazu, 1995, Rock weathering processes and landform development in the sor Rondane mountains, Antarctica, *Geomorphology*, 12, 323-339.
- Nesbitt, H. W. and Yong, G. M., 1982, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*, 299, 715-717.
- Park, H. D., 2004, An Analysis of Weathering Hollows on the Rocks around Mt. Songnisan, *Journal of the Korean geomorphological association*, 11(4), 35-45 (in Korean).
- Park, H. J., 2008, *Gnamma geomorphology at the peak of Gumsan mountain in Sangju-ri, Namhae-gun*, Master Thesis, Kyungpook National University, Korea (in Korean).
- Park, K., 2009, A Study on Tafoni Landforms in West Coast and Islands of Korea, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 16(4), 73-84 (in Korean).
- Rögner, K., 1988, Measurements of cavernous weathering at Machtesh Hagadol(Negev, Israel): a semiquantitative study, *Catena, Suppl.*, 12, 67-76.
- Twidale, C. R., 1982, *Granite landform*, Elsevier, amsterdam.
- Twidale, C. R. and Vidal Romani, J. R., 2005, *Landforms and Geology of Granite terrains*, Balkema.
- 교신: 윤순옥, 130-701, 서울시 동대문구 회기동 1번지, 경희대학교 이과대학 지리학과(이메일: soyoon@khu.ac.kr, 전화: 02-961-0862, 팩스: 02-964-0250)
- Correspondence: Soon-Ock Yoon, Department of Geography and Research Institute for Basic Sciences, Kyung Hee University, 1 Hoegi-Dong, Dongdaemun-Gu, Seoul, 130-701, Korea (e-mail: soyoon@khu.ac.kr, phone: +82-2-961-0862, fax: +82-2-964-0250)
- 최초투고일 2011. 2. 15
수정일 2011. 4. 14
최종접수일 2011. 4. 17