

나주동문외석당간 구성암석의 암석학적 특징과 훼손양상

이상헌

강원대학교 지질학과

Petrological Characteristics and Deterioration phenomena of the rocks consisting the Naju-Dongmunoi-Seogdanggan(Stone Stele)

Lee Sang-Hun

Dept. of Geology, Kangwon National University

Corresponding Author : lsh@kangwon.ac.kr

초 록 나주동문외석당간(보물 제49호)은 심한 풍화에 의해 많이 훼손되어 있다. 이 연구의 목적은 풍화양상을 분석하여 그 요인을 파악하여 보존대책 수립의 기본 자료를 구축하는데 있다. 이 석당간을 이루고 있는 암석은 중립 내지 조립질의 흑운모화강암이며, 이 암석은 주위에 비교적 넓게 분포하고 있는 중생대의 흑운모화강암체로부터 채취한 것으로 판단된다. 이 암석을 이루고 있는 주 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리 장석 및 흑운모 등이다. 이 암석의 표면은 심한 풍화에 의해 전체적으로 입자박락과 표면박리가 잘 발달되어 있다. 또한 풍화, 오염물 그리고 철 피의 산화물 등의 영향에 의해 붉게 또는 검게 변색되어 있는 곳이 많다. 암석 표면은 전체적으로 유기물에 의해 피복되어 있다. 띠로 사용된 철의 부식물은 부분적으로 산화철 또는 수산화철로 재침전되어 표면을 피복하기도 한다. 훼손양상으로 중요한 것들은 입자박락, 표면박리, 균열, 흑화현상 및 부재들의 모서리 부분의 파손 등을 들 수 있다. 이들은 주로 풍화, 철 부식물의 영향, 유기물의 피복, 구조적 불안정 및 충격 등의 요인에 의한 것으로 판단된다. 전체적으로 볼 때 구조적으로 약간 불안정하며 풍화에 의한 균열이 계속 진행되고 있는 것으로 판단되어 이에 대한 대책이 필요하다고 생각된다.

중심어 : 흑운모화강암, 입자박락, 표면박리, 균열, 훼손

ABSTRACT The rock consisting the Naju-Dongmunoi-Seogdanggan (Stone Stele)(Treasure number 49) is biotite granite of medium to coarse grains which might be taken from nearby area. The rock is mainly composed of quartz, plagioclase, alkali feldspar and biotite. Due to strong weathering grain peel-off and surface exfoliation are well developed. The rock surface is changed into pale brown or pale black colors according to weathering, organism and weathering product of iron band. Major deterioration phenomena are grain peel-off, surface exfoliation, cracks and damage which may be originally classified into weathering, effect of weathering product of iron band, organisms, structural unstabilities and impact.

Key word : biotite granite, grain peel-off, exfoliation, crack, deterioration

1. 머리말

당(幢)이란 사찰입구에 꽂는 기의 일종으로 속칭 패불이라고도 하며 표면에는 불화가 그려져 있다. 당간은 당을 달아두는 장대인데 대개 석재나 철재로 조성되었다. 당을 매단 당간을 지지하기 돌로 1쌍을 만들어 세운 것이 당간지주이다. 이러한 당과 당간의 조성은 통일신라시대부터 각 사찰에서 성행한 것으로서 당은 내구성이 없는 것이어서 남아 있지 못하고, 당간과 그 지주만이 사찰의 입구에 세워졌던 그 모습대로 현재까지 남아 있을 뿐이다. 그러나 당간도 오랜 세월에 파손되어 남아있는 것이 극히 드물며 대개의 경우는 지주만 남아 있다. 현재 남아있는 대표적인 당간은 통일신라시대의 것으로 유일한 공주의 갑사철당간및지주(보물 256호)가 있고 나머지의 것들은 대부분 고려시대의 것으로 청주 시내의 청주용두사지철당간(국보 41호), 나주동문의석당간(보물 49호)과 담양읍내리철당간 등이 있으며, 호암미술관에 소장중인 용두보당(국보 136호)도 당간의 모습을 하고 있다.

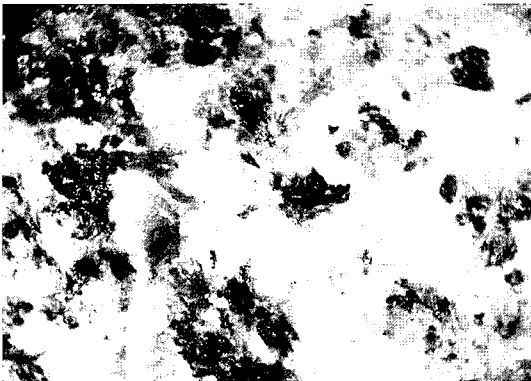
나주동문의석당간은 전체가 완전하여 매우 귀중한 유물로서 그 가치가 인정받아 1963년(1월 21일) 보물 제 49호로 지정되었으며, 위치한 자리는 원래 나주읍성의 동문 밖 지역에 해당된다. 당간의 총 높이는 11m, 양 지주의 높이는 1.8m 이고 당간 하부 둘레는 1.88m이다. 당간(幢竿(=석장(石檣)))의 고정은 지주의 내면 상단에 간구(杆溝)를 파서 조성하였는데 당간의 하부를 주물로

된 철대(鐵帶)로 양 지주의 간구에 끼워서 고정시켰다. 당간은 전체가 석재로 8각을 이루고 있으며 5간(杆)의 석재를 연결하여 간주(竿柱)를 세우고 상부에는 옥개석과 보주를 놓았다. 간주(杆柱)의 4 곳의 연결 부분에는 철제 띠(철대(鐵帶))를 둘러 건설하게 하였다³⁾.

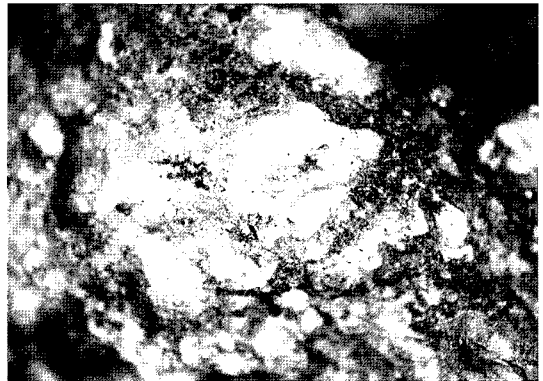
이 연구는 오랜 세월에 걸친 심한 풍화와 주변 환경의 변화에 의해 훼손되어 있는 현상을 파악하여 앞으로의 보존 대책을 수립하는데 있어 기본 자료를 구하는데 있다. 이를 위하여 야외 조사를 실시하였으며 이 때 실내 연구를 위한 암석 시료를 채취하였으며 주로 시료들은 표면박리에 의해 떨어져 나오는 부분에서 매우 작은 파편을 대상으로 4 곳에서 하였으며, 주로 육안관찰에 의존하였다. 그리고 암석 표면에서 선정된 동일 시료들에 대하여 SEM/EDX를 이용하여 표면분석을 하여 풍화와 오염 등에 의한 광물의 변질과 지화학적 거동을 살펴보고 있다. 또한 각 부분에 따라 훼손양상을 조사하여 훼손도를 작성하고 이를 원인별로 분류하였다.

2. 구성암석의 특징

구성 암석의 암상의 특징을 알기 위하여 표면박리에 의하여 떨어져 나오는 부분에서 시료를 채취하였지만 너무 작아 편광현미경 관찰을 위한 박편을 제작할 수 없어 육안관찰에 의존하였다. 이에 의하면 석당간을 이루고 있는 암석은 미량의 각섬석을 함유하고 있는 중립 내지



a



b

Figure 1. Photograph of weathered surface of rock samples(a: sample 1, b: sample 4) under stereoscope.

조립질의 흑운모화강암이다(Figure 1). 주 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석 및 흑운모이며 미량의 각섬석이 인지된다. 그 중 장석류들이 비교적 심하게 풍화를 받았다. 암석의 풍화면은 일반적으로 붉은색을 띠는데 이는 주로 장석류의 풍화에 기인하는 것으로 생각된다. 그러나 오염물질(유기물)등이 많이 흡착된 곳과 쇠 피의 부식물에 의해 영향을 받은 부분은 검게 변색되어 있는 것이 보통이다. 장석류는 화학적 풍화에 의하여 부분적으로 용해되어 매우 작은 흠들이 형성되었으며 이로 인하여 석영 입자들도 부분적으로 박락되어 전체적으로 입자박락 현상을 나타내고 있다. 이에 수반하여 전체적으로 표면박리 현상도 발달되어 있다.

한국지질도 나주도폭 설명서⁴에 의하면 이 지역은 주로 화산암류와 화강암류 그리고 국지적으로 퇴적암류와 편마암류로 구성되어 있다. 구성 암체들은 선캠브리아기의 화강암질편마암, 시대미상의 편마암류, 주라기의 화강암류, 백악기의 퇴적암류와 화성암류, 제4기의 충적층 등으로 되어 있다. 이 중 석당간의 구성 암석인 흑운모화강암과 동일한 암상을 나타내는 흑운모화강암체는 도폭 동부에서는 광산구 평동에서 남쪽으로 나주시 남외동에 이르는 지역, 도폭 중부에서는 나산면 용두리와 문평면 옥당리 일대, 도폭 서부에서는 함평읍 일대 등지에 걸쳐 넓게 분포하고 있다. 이 흑운모화강암의 주 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리 장석, 그리고 흑운모이며 부성분광물로는 각섬석, 스피, 인회석 및 불투명 광물 등이다. 알칼리 장석은 정장석, 미사장석, 퍼어사이트 등으로 산출되고 있다. 유색광물은 전반적으로 흑운모가 우세하지만 각섬석도 가끔 소량 있다. 이와 같이 이 지역에 분포하고 있는 흑운모화강암체의 암상과 당간의 구성 암석의 암상이 매우 유사하여 당간을 이루고 있는 석재는 주변 지역에서 채취한 것임을 시사한다⁵.

3. 암석표면의 지화학적 특징

구성암석의 풍화에 의한 광물의 변질 양상과 오염물질에 의해 흑화된 부분의 화학적 특징을 알아보기 위하여 풍화에 의해 떨어져 나온 암석 파편에 대하여 전자주사현미경(LV-SEM/EDX, 기초과학지원연구원 춘천분소)을 이용하여 표면분석을 실시하였다. 암석 시료는 쇠

부식물에 의해 영향을 받은 것으로 생각되는 것(시료 2; 후면 우측 당간지주 상단 철대와 접한 부위, 시료 5; 후면 당간 4단과 5단을 연결하는 하단 철대 부위)과 당간지주(시료 1; 후면 우측 당간지주 하단 부위, 시료 4; 정면 우측 당간지주 하단 부위)(Figure 2)에서 각각 채취하였다. SEM/EDX 을 이용한 암석표면 분석은 Hitachi LV-SEM S-5200N Model을 이용하였으며, 실험조건은 30kV에서 측정하였다. 분석 시료들은 전처리 시 carbon coating을 실시하였다.

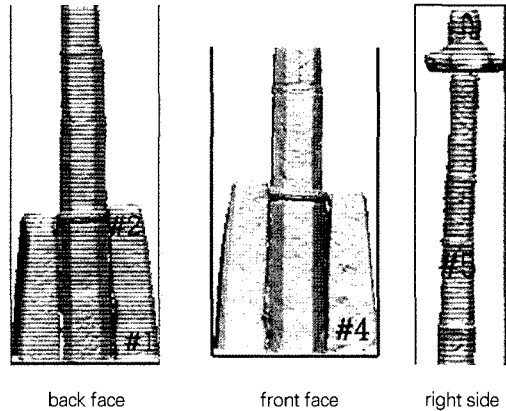


Figure 2. Sampling points of rock samples.

각 시료별로 간단히 설명하면 다음과 같다.

1) 시료 1과 4

시료 1의 표면은 풍화와 유기물의 흡착에 의해 매우 불규칙하며(Figure 3 a, b) 사진에서 보는 바와 같이 미립의 2차 광물이 생성된 것을 알 수 있다. 이것은 Table 1에서의 화학조성의 차이로부터 시사되어진다. 비교적 넓은 면적의 평균조성을 나타내는 1-1과 1-2의 경우 화학조성이 매우 비슷하나 1-3과 같이 점 분석한 경우 C, Si 및 Al의 함량이 증가하였다. 이는 주로 장석류의 풍화에 의해 2차적으로 고령토 광물이 생성^{6, 7}되었음을 시사하며 유기물이 더 많이 흡착되어진 것임을 나타낸다.

암석시료 4-1은 풍화에 의해 붉은색(R)을 띠는 부분과 검게 변색(D)된 부분으로, 그리고 시료 4-2는 흑화된 부분(D)과 밝은 부분(W)으로 나누어 분석을 실시하였다(Table 1). 붉은색 부분은 장석이 풍화된 것임을 나타

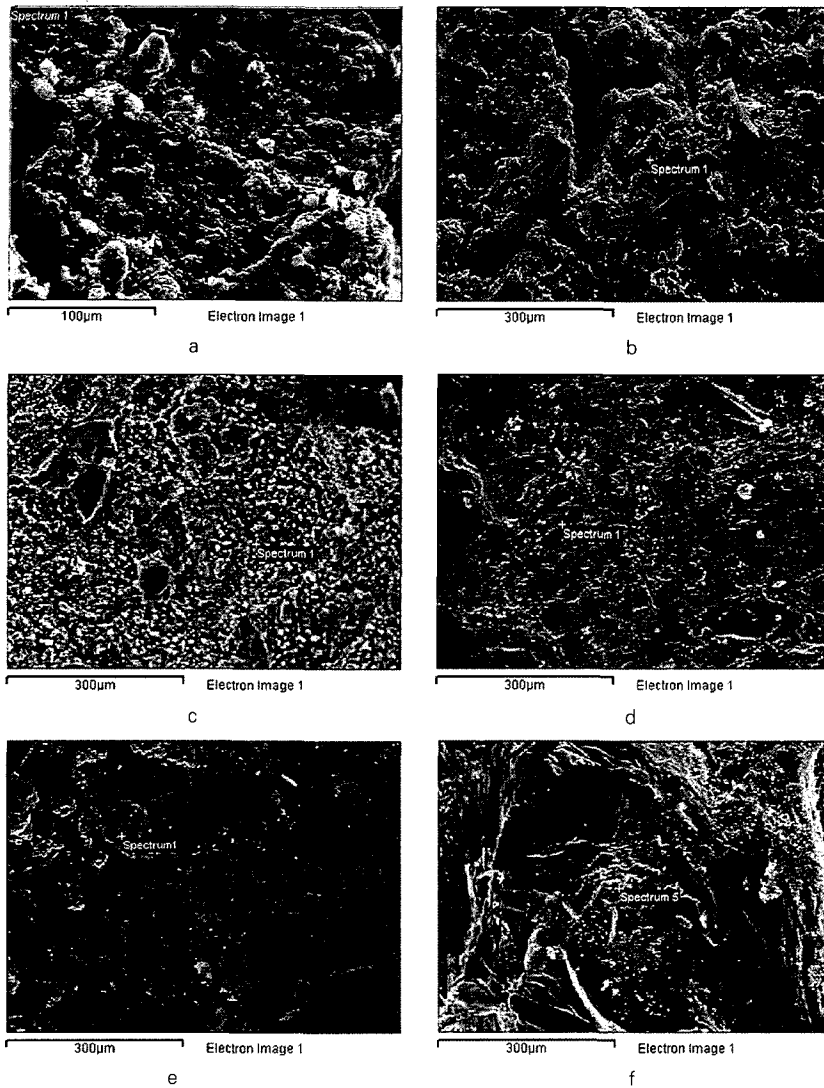


Figure 3. SEM photograph of rock surface of sample 1 and 4
 a: 1-2, b: 1-3, c: 4-1R R-1-2, d: 4-1R W-1-2, e: 4-2 D-4-2, f: 4-2 W-B-1-2

Table 1. Chemical composition of sample 1 and 4 analyzed by SEM/EDX

(wt.%)

				4-1R						4-1D				4-2D		4-2W					
	1-1	1-2	1-3	B-1-1	B-1-2	R-1-1	R-1-2	W-1-1	W-1-2	B-1-1	B-1-2	W-1-1	W-1-2	D-4-1	D-4-2	W-B-1-1	W-B-1-2	W-R-1-1	W-R-1-2	W-W-1-1	W-W-1-2
C	40.19	39.81	50.87	-	68.30	21.73	22.48	18.39	18.03	44.51	11.91	33.83	11.44	36.63	32.36	35.04	17.81	30.84	7.12	49.90	22.09
O	46.00	47.91	30.61	46.02	6.59	46.67	44.30	43.00	47.20	40.23	37.45	39.00	33.99	40.08	10.23	41.38	41.69	42.14	27.36	32.36	35.38
Na	0.33	-	0.20	1.44	0.52	0.50	-	1.08	2.08	0.73	0.41	1.47	3.79	0.49	-	0.47	-	0.59	-	0.53	0.31
Mg	0.37	0.31	0.34	4.92	1.66	-	-	-	-	0.27	-	0.17	-	0.32	1.71	1.33	0.43	1.76	4.68	-	-
Al	2.60	2.52	2.88	8.44	3.45	3.17	2.87	5.66	7.49	3.16	8.54	5.12	13.25	2.70	10.11	2.58	1.36	3.37	4.85	3.08	6.88
Si	7.01	6.32	10.23	17.00	6.65	15.27	16.93	25.22	21.66	8.01	29.35	16.04	30.64	16.43	19.91	10.44	33.73	10.36	7.78	9.94	24.36
K	0.71	0.64	1.03	0.34	0.09	0.85	2.76	2.63	0.49	0.97	12.34	2.03	0.20	0.79	0.65	0.32	0.36	0.35	-	2.65	10.99
Ca	0.40	0.16	0.17	4.13	0.20	0.50	-	0.82	0.63	0.31	-	0.84	6.41	-	-	-	-	-	-	-	-
Ti	0.21	-	0.10	2.20	0.21	-	-	-	-	0.11	-	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	1.75	1.20	1.31	15.51	12.31	11.31	10.06	3.20	2.43	1.27	-	1.11	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.42	1.12	0.93	-	-	-	-	-	-	0.42	-	0.22	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-

내며 검은 부분은 흑화 또는 흑운모 결정 부위로 생각된다. 붉은 부위(4-1R) 중에서도 약간 검게 보이는 부분인 B-1-2의 경우 C의 함량이 68.30 wt% 으로 매우 많아 유기물(또는 오염물)이 매우 많이 농집 되어 있음을 나타낸다. 그리고 4-1R B-1-2(Fe 12.31wt%)와 4-2D

D-4-2(Fe24.20wt%)의 경우 Fe함량이 매우 많은데 이는 주위의 흑운모의 풍화에 의해 철성분이 유리되어 산화철 또는 수산화철로 재침전된 것임을 시사한다.

붉은 색을 띠는 부위(4-1R R-1-1과 R-1-2)는 철의 함량이 비교적 많은 것으로부터 풍화된 흑운모와 장석류

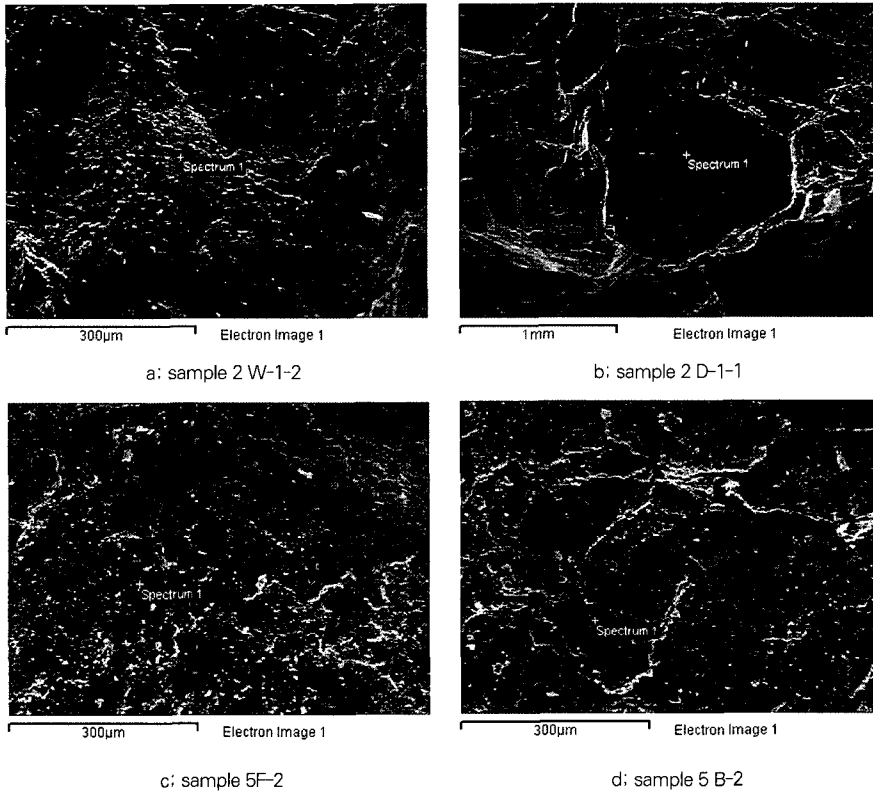


Figure 4. SEM photograph of rock surface of the sample 2 and 5

Table 2. Chemical compositions of rock surface of the sample 2 and 5

(wt %)

	W-1-1	W-1-2	D-1-1	D-1-2	D-2-1	D-2-2	F-1	F-2	B-1	B-2
C	4.71	6.27	8.67	11.67	11.78	10.24	13.60	9.94	13.63	15.82
O	49.99	49.68	18.63	17.41	23.59	23.86	50.04	43.32	46.14	45.77
Na	2.07	6.95	-	-	-	-	-	-	0.33	-
Al	5.51	9.48	6.78	6.55	7.37	7.53	1.98	2.72	4.96	4.82
Si	32.92	26.18	17.41	17.02	18.57	19.29	31.37	41.03	14.78	13.57
K	2.97	0.29	9.70	9.93	9.40	9.56	0.57	0.59	3.21	2.71
Ca	0.96	1.15	-	-	-	-	0.34	0.26	1.75	-
Ti	0.13	-	3.58	3.56	2.41	2.53	0.12	-	0.71	0.61
Fe	0.74	-	29.58	28.65	20.75	20.57	1.74	1.88	9.07	10.19
Mg			5.28	4.82	5.72	6.00	0.24	0.26	0.94	2.27
Mn			0.37	0.40	0.39	0.41				
P							-	-	4.47	4.25

가 섞인 것으로 생각되며 여기에 유기물이 흡착되어 있음을 알 수 있다(Figure 4 a). 또 붉은 색 부위에서 비교적 밝게 보이는 부분에서는(4-1R W-1-1과 W-1-2) Si와 Al의 함량이 매우 많으며 Na와 K등이 소량 함유되어 있는 것으로 보아 사장석의 풍화면임을 나타낸다^{6,7,8}. 장석류의 풍화에 의해 공극이 형성되어 여기에 유기물이 많이 흡착되었음을 C의 함량(43.00 및 47.20 wt%)으로 부터 알 수 있다.

검게 변색된 부위(4-1D)는 화학조성으로 볼 때 여러 종류의 광물들뿐만 아니라 유기물도 많이 흡착되어 있으며 주로 장석류가 풍화된 것임을 알 수 있다. 풍화산물로 생각되는 B-1-2는 정장석이 심하게 풍화된 곳에 유기물이 약간 흡착되었음을 나타낸다. 흑화된 부위 중에서 비교적 밝은 부위(W-1-1과 W-1-2)는 사장석의 풍화면임을 나타내며 여기에 비교적 많은 유기물이 흡착되어 있음을 분석치는 시사하고 있다(Figure 4 b). 부분적으로 Si의 함량이 매우 많은데 이는 장석류의 풍화에 의해 유리되어져 나온 Si가 석영으로 재침전된 것에 의한 것으로 생각된다. 이는 시료 4-2 W-B-1-2에서 잘 나타난다.

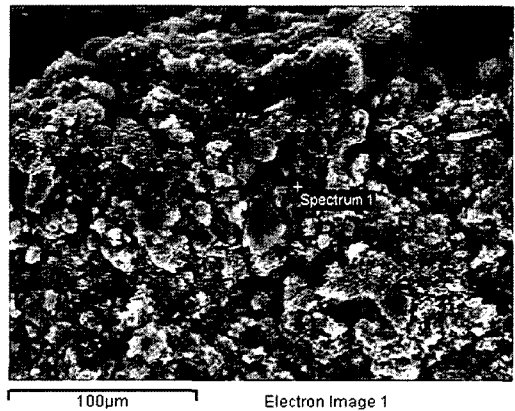
3) 시료 2와 5

쇠의 풍화에 의해 생성된 부식물의 영향을 받아 흑화된 부분의 암석시료들이다. 시료 5는 당간의 4단과 5단 사이에 있는 쇠 띠의 바로 아래에 있는 흑화된 부위의 암석시료로서 풍화면(F)과 흑화된 면(B)으로 나누어 표면 분석을 하였다(Table 2)(Figure 4). 시료 2의 경우 C의 함량이 비교적 적으며, 밝게 보이는 부위(W-1-1과 W-1-2)를 제외하고는 철의 함량이 5~6 wt%에 이르고 있어 접해 있는 쇠 띠의 영향을 받은 것임을 시사한다. 시료 2의 W-1-2는 알칼리장석, 그리고 D-1과 D-1-2는 흑운모 결정의 풍화면임을 나타내고 있다. 이 시료는 쇠 띠와 접해있지만 철 풍화물에 의한 영향은 크게 받지 않은 것으로 생각된다.

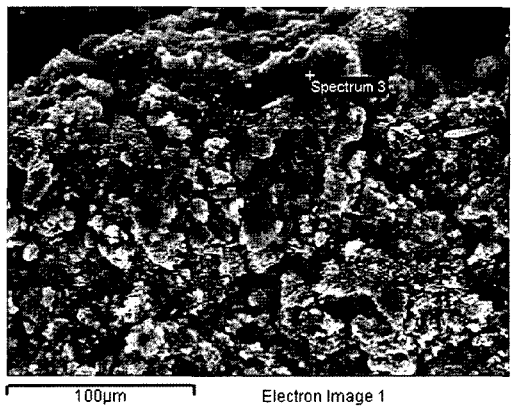
시료 5의 경우 F-1과 F-2는 풍화면으로 거의 석영만 남아있고 장석류와 운모류는 심하게 풍화되어 Al, K, Na 그리고 Ca등은 거의 용해되어 나갔으며 그곳에 유기물이 흡착되었을 뿐만 아니라 유리되어져 온 약간의 Fe 성분이 재침전-피복하고 있는 것으로 생각된다. 특히 흑화된 부위(B-1과 B-2)에 P성분이 검출되는 것으로 보아 인을 함유하고 있는 인회석이나 allanite 광물이 풍

Table 3. Weathering product of iron band (sample 3) (wt %)

	3-1	3-2-1	3-2-2	3-2-3
C	36.16	35.63	18.15	65.84
O	28.73	35.82	30.24	31.95
Mg	0.19	-	2.00	
Al	1.52	0.48	4.62	0.20
Si	3.39	24.84	12.37	0.23
Cl	0.17	-		
K	0.32	-	1.49	
Fe	29.52	3.23	30.37	1.70
Ti			0.28	
Na			0.48	



a: 3-2-1



b: 3-2-3

Figure 5. SEM photograph of the weathering product of iron band(sample 3)

화되었음을 시사하며 이들은 유기물의 영양분으로 이용되어 부분적으로 농집-잔류되어져 있는 것으로 생각된

다. P의 용해도는 산성도에 의해 영향을 많이 받음으로 P를 함유한 광물로 부터의 P의 용해가 용이하였다는 것은 주위의 조건이 비교적 강한 산성임을 나타낸다.

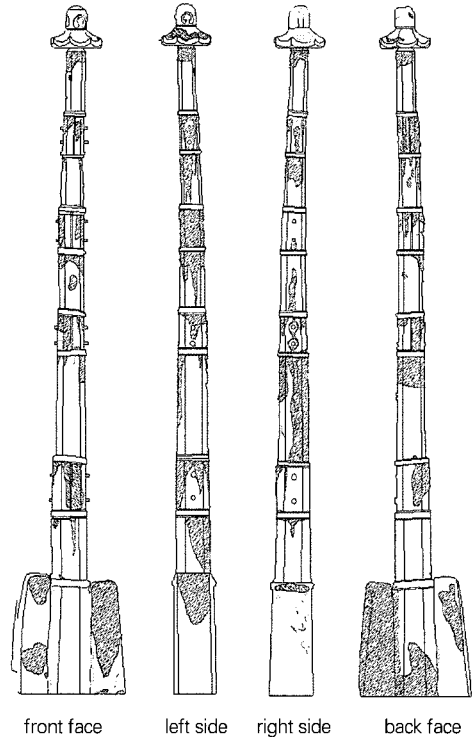
5) 시료 3 (Table 6)

당간 정면 최상단부에 있는 본래의 것으로 생각되는 매우 부식된 쇠 띠에서 부식된 부분의 부스러기를 채취하여 SEM/EDX를 통하여 화학분석을 하였다(Table 6).

분석 점 3-1은 비교적 넓은 면적으로 Fe와 C가 많은 것으로 보아 철 부식물에 유기물이 매우 많이 서식하고 있음을 시사한다(Figure 8 a). 분석 점 3-2-1은 비교적 좁은 면적으로 Fe의 함량이 매우 적으며 C와 Si의 함량은 많은 것으로 보아 풍화에 의해 유리된 SiO₂ 성분이 석영으로 재결정되어 있는 곳에 유기물이 서식하고 있음을 나타낸다. 분석 점 3-2-2는 주로 철이 부식된 곳에 암석의 풍화물이 도입되고 약간의 유기물이 흡착된 것으로 생각된다. 반면에 분석 점 3-2-3(Figure 8 b)은 거의 유기물 덩어리임을 나타낸다.

위에서의 특징으로 볼 때 철은 부식되면서 암석의 풍화물과 섞이며 그곳에 유기물이 흡착되어진 것으로 생각된다.

철 성분의 용해가 일어나 암석표면에 많은 빈 공간이 형성되어 이곳에 주로 유기물이 흡착되어 이루어진 것으로 생각된다. 유기물은 주로 대기의 오염물질과 이끼류 또는 지의류 등이라고 생각된다. 뿐만 아니라 당간에 설치



Legend	
	crack
	grain peel-off
	damage
	blackening
	surface exfoliation/disintegration
	weathering product of iron

Figure 6. Detailed sketch of deterioration phenomena in each face.

4. 흑화된 부분의 특징

많은 부분이 흑화되어 있는 바 이는 이 암석(흑운모 화강암)을 이루는 주 구성광물인 장석류와 흑운모의 화학적 풍화에 의한 고령도 광물의 생성과 흑운모에서의



Figure 7 a. grain peel-off due to weathering at the front face
 b. blackening and minor crack due to weathering
 c. blackening by weathering product of iron band and weathering of the rock at left side

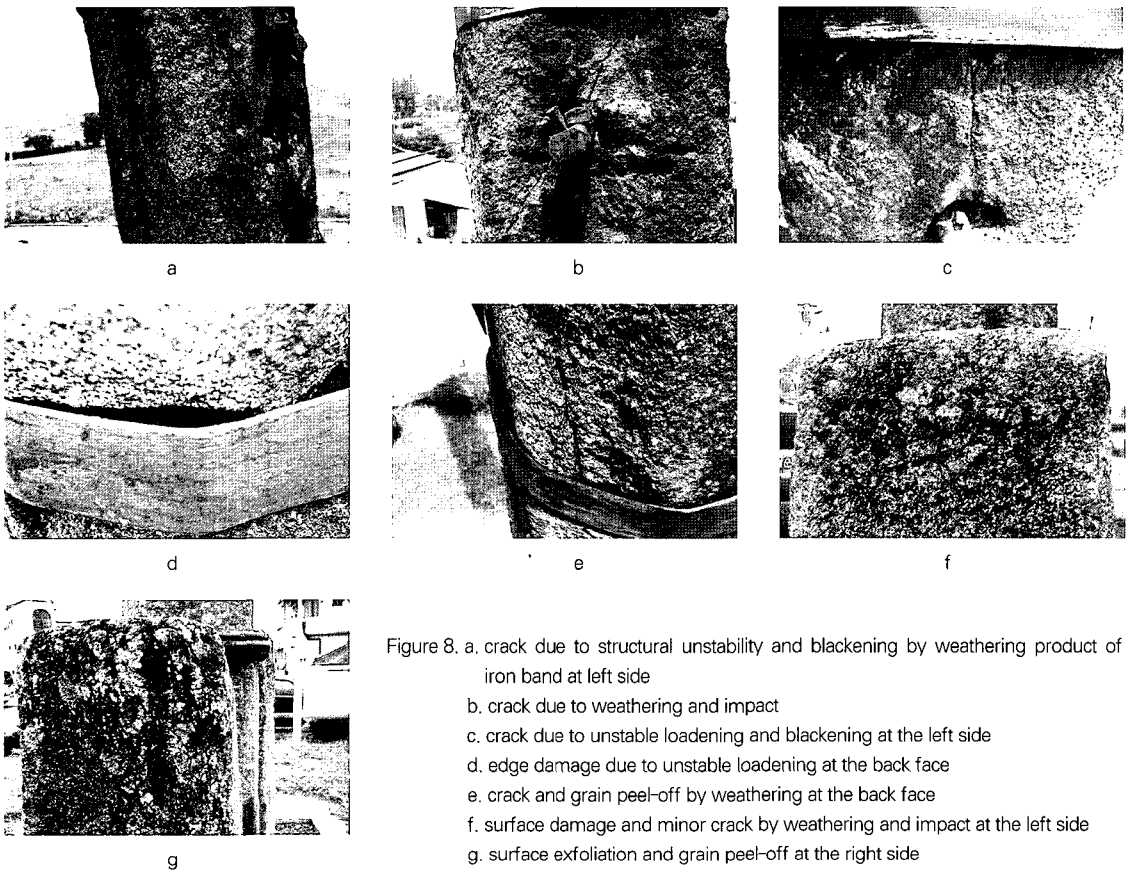


Figure 8. a. crack due to structural instability and blackening by weathering product of iron band at left side
 b. crack due to weathering and impact
 c. crack due to unstable loadening and blackening at the left side
 d. edge damage due to unstable loadening at the back face
 e. crack and grain peel-off by weathering at the back face
 f. surface damage and minor crack by weathering and impact at the left side
 g. surface exfoliation and grain peel-off at the right side

되어 있는 쇠 띠의 부식물에 의해서도 부분적으로 영향을 받은 것으로 판단된다. 이것은 대부분의 분석 점에서 비교적 많은 양의 C가 검출되고 있는 것으로부터 시사되어진다⁹.

5. 훼손양상

석당간은 전체적으로 및 부분적으로 심한 풍화와 철 부식물에 의하여 많이 훼손되어 있다. 그리고 발달 양상으로 볼 때 크게 균열, 입자박락과 표면박리, 흑화현상 및 파손 등으로 구분할 수 있다(Figure 6). 특히 1단의 경우 비교적 풍화가 심하여 표면박리와 입자박락 현상이 비교적 넓게 발달되어 있으며 수직균열과 흑화현상을 잘 볼 수 있다(Figure 7) 그리고 일반적으로 산화가 심하여 철심 주변의 보주는 철산화물에 의해 검게 변색되었고 철심도 균열이 발생하였으며, 얇은 조각으로 벗겨지고

있다. 풍화에 의해 부분적으로 균열이 발달되어 있기도 하는데 대체로 폭이 0.1mm 보다 적다(Figure 8 a). 이러한 미세균열이 상부 철제 띠와 상단 원공 주변의 2개소에 발달되어 있다. 철제 띠 하부로 철산화물에 의한 흑화(Figure 8 c)가 심하게 발생한 상태이다. 2단과 3단의 간주를 간(杆)으로 견고히 연결하기 위해 뚫어 놓은 원공 주변의 균열 양상은 좌·우측면이 서로 다른 양상을 나타내고 있다. 즉 좌면은 상단 원공을 통과하는 폭 3mm 이상의 경사균열이 상단 띠의 하부 우측에서 좌측 대각선 방향으로 배면 중앙까지 연장 발달되어 있다(Figure 8 b). 우면은 하단 원공을 통과하는 폭 3mm 이상의 수직균열이 하단 띠의 상부 중앙에서 상단 원공까지 진행되어 있는데 하단 원공을 지나 상단 원공으로 갈수록 균열 폭이 1.5mm 이하로 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 좌·우면의 원공 주변에 발생한 균열들은 상·하 간주의 변형을 구속시켜 응력집중현상이 발생하는 결구부에서 관통균열에 가까운 파괴양상을 나타

Table 4. Number of each deterioration phenomena in each face based on the factors

	crack			blackening		damage		surface exfoliation	grain peel-off
	weathering	impact	structural unstability	weathering	weathering product of iron	impact	structural unstability		
front	7			12	9	6	3	2	5
right	8			4	14		3	1	1
back	10	1	2	11	5	4	1	1	1
left	4		3	10	14	2		3	5
total	29	1	5	37	42	12	7	7	12

내고 있다. 3단과 4단의 연결 부분에도 편중하중에 의한 균열이 발달되어 있으며, 좌면의 상-하단 원공을 연결하는 수직균열과 상단 띠쇠 하부 중앙에서 상단 원공 쪽으로 폭 2mm 정도의 수직균열이 연장-발달되어 있다(Figure 8 c). 그리고 정면 좌측 간주에도 폭 1mm 정도의 수평균열이 생성되어 있다. 하단 쇠 띠 상부에서 좌면에 발생한 미세수평균열을 제외하고는 나머지 3면에서 편중하중에 의한 수평 맞댐 면의 모서리 파손이 약하게 발생되어 있다(Figure 8 d).

지주의 경우 좌측 지주의 상부 일부에 풍화에 의한 미세균열과 표면박리, 그리고 입자박락 등의 현상들이 잘 발달되어 있다(Figure 8 f). 반면 우측 지주는 우측면 상부와 후면 전체에 균열, 표면박리, 입자박락 그리고 흑화 현상 등이 잘 발달되어 있다(Figure 8 g)

상기한 바와 같은 훼손양상을 그 원인별로 나누어 보면 심한 풍화, 충격, 철 부식물의 영향 및 구조적 불균형에 의한 것^{10, 11}으로 나눌 수 있다. 즉 균열은 주로 심한 풍화와 충격에 의해서, 표면박리와 입자박락은 주로 심한 풍화에 의해서, 그리고 흑화현상은 풍화와 미생물 및 철 부식물의 영향에 의해, 그리고 파손은 주로 충격과 부분적인 불균형에 의한 편중된 하중^{6, 7, 10, 11}에 의한 것으로 분석되어진다.

입자박락은 전체적으로 많이 일어났지만 특히 심하여 거의 토양화된 부분도 있으며 부분적으로 표면박리 현상도 면적에 관계없이 발달되어 있다. 균열은 주로 심한 풍화에 의해 미세하게 발달되어 있으며 이들 중 지난번 보수 시 에폭시로 접착한 곳들도 많다. 흑화현상은 심한 풍화와 철부식물의 영향에 의한 것으로 전자는 거의 전체에 걸쳐 골고루 발달되어 있는 반면에 후자는 쇠 띠가 있는 부분에 비교적 좁은 면적으로 나타난다. 부분적으로 작게 깨어져 나간 곳도 있는데 대부분이 충격에 의한 것

으로 생각되나 구조적 불안정에 의한 하중의 편중에 의한 것도 있다. 후자의 경우 석재의 가장자리 또는 모서리 부위에서 잘 관찰 할 수 있다(Figure 8 e).

이러한 훼손양상을 위치에 따라 분석해 보면 Table 4와 같다. 표에서 보는 바와 같이 훼손양상은 주로 풍화에 의한 균열, 풍화 및 철 부식물에 의한 흑화현상이며 표면박리와 입자박락은 전체적으로 발달되어 있음을 알 수 있다. 그러나 주의해야할 사항은 구조적 불안정에 의한 균열과 파손이 부분적으로 발달되어 있다는 점이다. 이것은 앞으로 보수 시 반드시 고려해야 할 사항이라고 생각된다.

6. 보존대책에 대한 의견

전체적으로 볼 때 구조적으로 약간 불안정하며 당간의 마디를 엮어 놓은 좌대도 안정되지 못한 것으로 생각된다. 또한 부분적으로 발달된 균열들이 앞으로 풍화가 진행되면서 더욱 신장되어 내부에까지 연장될 것으로 판단됨으로 이들에 대한 접착 처리할 부분을 선정하여 보수해야 할 것으로 생각된다. 표면박리와 입자박락에 의한 부분은 아직 특별한 보수처리를 하지 않아도 좋을 것으로 생각된다.

구조적 불안정은 석당간이 차도 옆에 위치해 있으며 또 현재 주위에 많은 차들이 주차장으로 이용하고 있어 진동과 충돌 등 여러 위험 요소가 있는 것으로 판단된다. 따라서 이러한 제반 요인들에 대한 근본적인 조치뿐만 아니라 쇠 띠의 교체 등 해체복원이 필요하다고 생각된다.

7. 결론

1. 나주동문외석당간을 이루고 있는 암석은 중립 내지 조립질의 흑운모화강암이며 이는 가까운 주위 지역에서 채취한 것으로 판단된다. 이 암석을 이루고 있는 주 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리 장석 그리고 흑운모 등이다.
2. 대부분의 장석류들은 심한 풍화작용에 의하여 고풍토로 변질되었으며 이로 인하여 입자박락과 표면박리 현상 등이 전체적으로 발달되어 있다.
3. 풍화와 오염물 그리고 부분적으로 쇠 띠의 산화물에 의해 붉게 또는 검게 변색되어 있는 것이 보통이다. 쇠 띠로부터 용해되어져 나온 철 성분은 부분적으로 산화철 또는 수산화철로 재침전하여 암석 표면을 피복하고 있다.
4. 암석 표면은 전체적으로 유기물에 의해 피복되어 있으며 이에 의해 여러 색으로 변색되어 있기도 한다.
5. 훼손 양상으로 중요한 것은 표면박리, 입자박락, 균열, 흑화현상 및 파손 등을 들 수 있다. 이들의 원인을 보면 균열은 주로 심한 풍화, 충격 그리고 구조적 불안정에 의해, 흑화현상은 풍화, 철 산화물 그리고 유기물의 영향에, 파손은 충격과 구조적 불안정에 의한 것이며, 입자박락과 표면박리는 심한 풍화에 기인하는 것으로 판단된다.
6. 전체적으로 볼 때 구조적으로 약간 불안정하며 균열의 발달이 계속 진행되고 있는 것으로 생각되어 이에 대한 적절한 대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국립문화재연구소, *전국문화유적총람* 제 2집(하) (1996)
2. 민족문화추진회, *국역신증동국여지승람* (1971)
3. 나주시청, 한국건설안전기술원, “나주동문외석당간 정밀안전진단”, 169p (2004)
4. 홍승호, 최범영, “1:50,000 나주도폭 설명서”, 한국동력자원연구소 (1990)
5. 이상헌, 신철균, 최기주, “보존을 위한 석조문화재의 특징과 암석의 풍화현상에 대한 연구(III) - 전라남도 나주시, 화순군, 장흥군 일부지역”, *보존과학회지*, 6-1, p. 31-60 (1997)
6. 이상헌, “중원 미륵사지 임상석불 보호석실의 암석의 풍화와 균열의 발달 양상”, *보존과학회지*, 7-2, p. 68-79 (1998)
7. 이상헌, “석굴암을 이루는 암석의 풍화현상”, *보존과학회지*, 8-1, p.1-9 (1999)
8. Chou, L. and Wollast, R., “Steady state kinetics and dissolution mechanism of albite”, *Am. J. Sci.*, 285, p. 963-993 (1985)
9. 도진영, “석조문화재의 흑화현상에 영향을 미치는 탄소원소”, *한국문화재보존과학회, 제 23차 학술대회 발표논문집*, p. 71-74 (2006)
10. 이상헌, “승례문의 육축을 이루는 석재의 암상 특징과 박리, 박락 및 균열현상”, *보존과학회지*, 11-1, p. 1-14 (2002)
11. 이상헌, “광통교 구성암석의 석질 및 훼손양상 분석 연구”, *보존과학회지*, 17, p. 39-56 (2005)

감사의 말

이 연구를 위하여 아외 조사를 하게 도와주고 훼손도 및 아외 사진 등을 제공하여 준 한국건설안전기술원의 윤원규 박사님과 직원 여러 분, 한국구조안전연구원의 조철희 사장님, 그리고 자료 정리를 도와준 강원대학교 대학원의 민성현 군에게 감사의 말을 표하고자 한다.