

경주 남산 화강암을 대상으로 에틸실리케이트를 이용한 강화 처리에 대한 정량적 평가

Quantitative Evaluation for Effectiveness of Consolidation Treatment by using the Ethylsilicate for the Namsan Granite in Gyeongju

한 민 수 (MinSu Han) · 이 장 존 (JangJon Lee)* · 전 병 규 (ByungKyu Jun) ·
송 치 영 (ChiYoung Song) · 김 사 덕 (Sadug Kim)

국립문화재연구소 보존과학연구실
(Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage,
472 Munji-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-380, Korea)

요약 : 우리나라 석조문화재의 대부분이 특별한 보호시설 없이 옥외에 있어 물리적 및 화학적, 생물학적 풍화로 인하여 원래의 모습과 재질이 크게 손상되어 있다. 그러므로 이런 석조문화재의 내구성 증진을 위해 보존처리제를 이용하여 보존·복원되고 있으나 보존처리제를 이용한 보존효과에 대한 실증적이고 공학적인 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 경주남산 화강암을 대상으로 에틸실리케이트 계열의 수지를 이용한 처리효과를 정량적으로 분석하고자 했으며, 에틸실리케이트 함량이 다른 제품들을 처리한 후 물리적 성질 및 표면 색상을 비교분석하였다. 실험 결과, 보존처리제 처리 후 흡수율과 공극률은 감소하였으며, 탄성과 속도와 일축압축강도, 탄성계수, 인장강도, 프아송비는 증가하였다. 또한 에틸실리케이트의 함량에 따른 물성은 전반적으로 에틸실리케이트 함량이 높은 제품에서 더 좋은 결과 값이 나타났다. 이는 에틸실리케이트가 암석 내부 공극을 채우는 효과 때문으로 확인되었다. 암석의 표면색상은 수지 처리 후 변화하였고, 에틸실리케이트 함량에 따른 변화는 함량이 높은 제품에서 더 크게 나타났다.

주요어 : 석조문화재, 풍화, 경주남산화강암, 보존처리제, 에틸실리케이트

ABSTRACT : Stone cultural heritages in Korea are mostly situated out door without any notable protection thus there are severe damage from chemical and biological weathering. This in turn, causes deformation and structural damage. To counter act this problem and to increase durability, various kinds of conservation materials are used in the conservation and restoration treatment. However, there are not many practical and technological experiment done on this subject. This paper attempts quantitative evaluation of effectiveness of ethylsilicate based resin for Namsan granite in Gyeongju. When two different materials with different ethylsilicate concentration were compared, the result indicated decrease of absorption and porosity with increase of ultrasonic velocities, uniaxial compressive strength, elastic constant, tensile strength and Poisson's ratio. In addition, comparison of physical characteristic of the conservation material resulted favorably toward ones with higher concentration of ethylsilicate. This is due to the ethylsilicates characteristic to fill the internal pores of stone. There is discolouration of stone surface after treatment with conservation material. This was more prominent with the product of higher ethylsilicate concentration.

*교신저자: jang824@lycos.co.kr

Key words : stone cultural heritage, weathering, Namsan granite in Gyeongju, conservation materials, ethylsilicate

서 언

연구 방법

우리나라의 석조문화재 대부분은 건조시기가 천년이 넘는데다가 특별한 보호 시설 없이 옥외에 있어 자연적 및 인위적 훼손을 심하게 받고 있기 때문에 원래의 모습이 훼손되어 있으며, 구성암석의 강도도 약화되어 있다. 따라서 현재 석조문화재가 가지고 있는 풍화의 문제를 개선하고 방지하기 위해서는, 문화재의 내구성을 개선하기 위한 체계적이고, 과학적인 연구와 적극적인 공학적 처리가 요구된다.

석조문화재의 내구성을 개선하기 위한 공학적 처리를 도입할 때 우선적으로 고려해야 할 사항은, 문화재의 특성상 해당 문화재의 외관을 훼손하지 않도록 보다 과학적인 처리가 이루어져야 한다는 점이다. 다음으로, 이러한 처리가 해당 석조문화재를 구성하는 암석의 공학적 물성을 안정적이고, 지속적으로 개선시킬 수 있어야 하며, 마지막으로 비용과 처리법 면에서 현실적으로 적용 가능해야 한다(신기혜와 박형동, 2004).

보존처리제를 이용해 석조문화재를 구성하는 암석을 강화시키는 방법은 앞에서 언급한 조건을 가장 잘 충족하는 것으로 평가되고 있는 공학적 처리법이지만(원종옥, 2001; Witte, 1982; Leroux *et al.*, 2000) 아직까지 보존처리제를 이용한 보존 효과에 대한 실증적이고 공학적인 연구는 부족한 실정이다. 석조문화재에 보존처리제가 일단 행해지면 시간이 경과한 후에 결정적인 부작용이 발견되더라도 원상태로 회복이 어렵기 때문에, 실제 석조문화재에 적용하기 전에 부작용의 발생 여부를 확인하는 것이 필요하다. 이러한 부작용을 방지하기 위해서는 석조문화재 보존처리제의 특성을 분석하고, 처리 전·후 암석의 물성변화를 분석할 필요가 있다.

따라서 이번 연구는 사적 제 311호로 지정된 “경주남산일원”에 위치하고 있는 석조문화재의 구성암석과 유사한 암석을 대상으로 보존처리제를 적용하여 그 효과를 정량적이고 공학적으로 평가하고자 한다.

시료 채취 및 분석 방법

이번 연구 대상 시료를 채취하기 위하여 경주 남산일원의 석조문화재와 주변에 관한 지형 및 정밀지질조사를 실시하였다(그림 1). 정밀조사를 통해 채취한 암석과 경주 남산 석조문화재에서 탈락된 미세한 시편의 광물조성을 밝히고자 X-선회절분석을 실시하였으며, 암석의 주성분원소 분석을 위하여 X-선형광분석을 하였다. 또한 미량 및 희토류 원소는 유도결합플라즈마질량분석기를 이용하여 정량분석 하였으며, 풍화에 따른 광물 및 보존처리제의 처리 현상을 관찰하기 위하여 주사전자현미경을 사용하였다.

또한 보존처리제의 처리 전·후의 물성 변화를 알아보기 위하여 현장에서 채취한 암괴시료에서 NX 코어시험편(직경 54 mm)을 얻어 표면 연삭기(KSA500-HA, 유압반자동식)를 이용하여 편평도의 오차가 0.02 mm이하가 되도록 성형하였다(ISRM, 1981). 공극률과 흡수율은 5개의 시료로 실험을 하여 평균값을 얻었으며, 일축압축강도와 같은 파괴 시험은 3개의 시료로 실험을 하여 평균값을 취했다.

암석의 색상 변화를 확인 하고자 시료는 직육면체(50 mm × 35 mm × 10 mm)로 성형하였으며, 신뢰도를 높이기 위하여 시료를 5 mm 간격으로 70번을 측정하여 평균을 산출하였다. 암석의 색상 변화는 Spectro-guide로 측정하였으며, 그 결과를 KS A 0063 색차 표시 방법인 L*, a*, b*의 값으로 산출하였다. 또한 L*, a*, b* 각각의 요소에서 발생하는 차이를 제공해서 ΔE의 값을 얻을 수 있으며, 이 값은 미국 국가 표준국(NBS : National Bureau of Standards)에서 규정한 범위로 해석할 수 있고, 계산식은 아래와 같다(표 1).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

실험 대상 보존처리제 및 처리 방법

본 연구에서는 현재까지 암석의 보존처리와 관

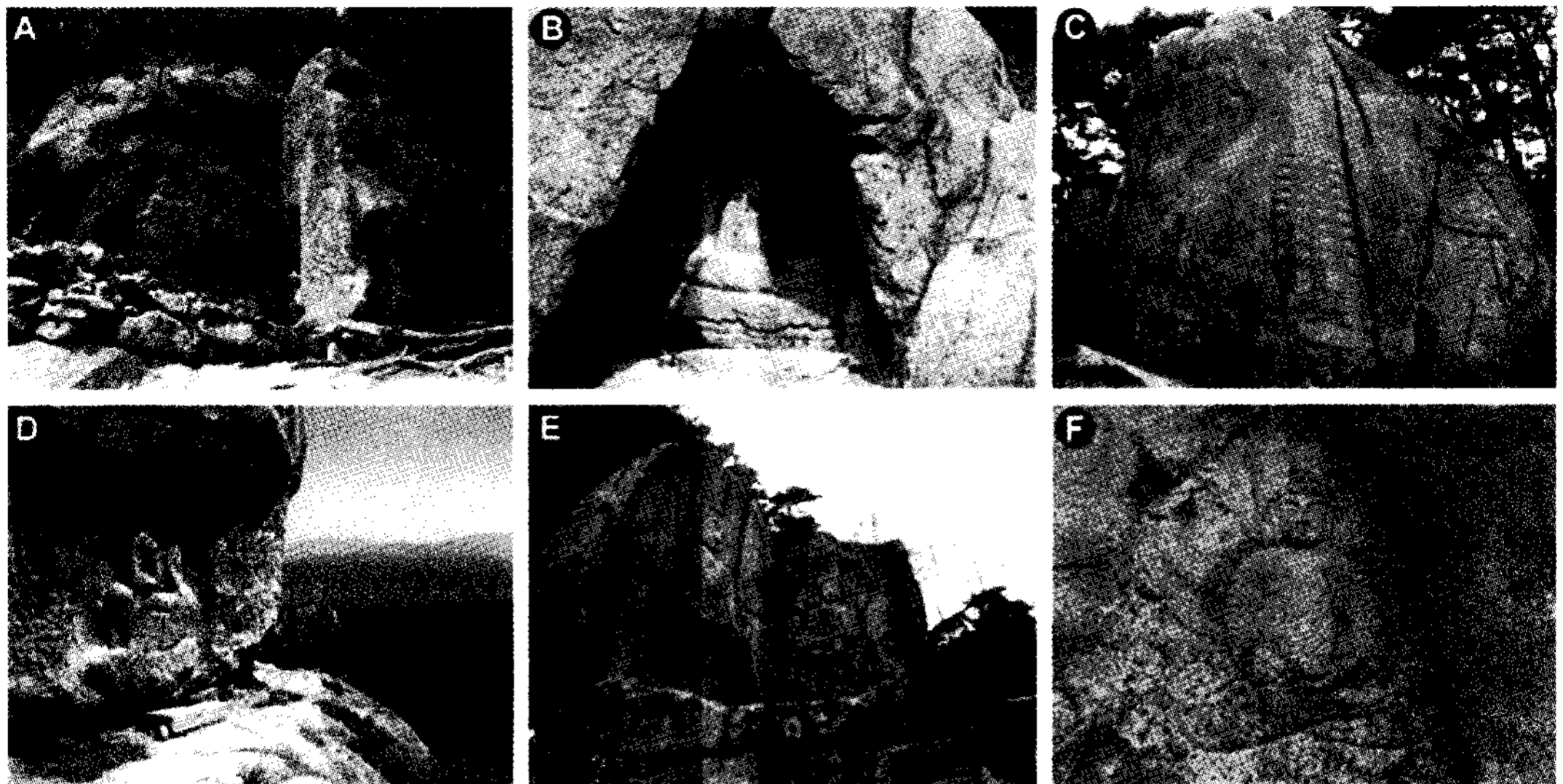


Fig. 1. Buddha images carved on rock surface in Namsan. (A) Seated Buddha image carved on rock surface of Yuneulgok in Bae-ri (Designated cultural heritage No. 195 in Gyeongsangbuk-do). (B) Seated Stone Buddha statue at Bulgok of Namsan (Treasure No. 198). (C) Buddhist images carved on rock surface at Tapgok of Namsan (Treasure No. 201). (D) Seated Buddha image carved on rock surface near Sinseonam at Namsan (Treasure No. 199). (E) Seated Buddha images carved on rock surface near Chilbulam at Namsan (Treasure No. 200). (F) Seated Yeorae image carved on rock surface at Yongjangsa site (Treasure No. 913).

Table 1. National Bureau of Standards in America

NBS	Color difference
0~0.5	trace
0.5~1.5	slight
1.5~3.0	noticeable
3.0~6.0	appreciable
6.0~12.0	much
12.0 over	very much

련한 연구에서 효과가 우수한 것으로 평가받은 에틸실리케이트 계열의 보존처리제를 사용하였다(Caselli and Kagi, 1985; Pascua *et al.*, 1995; Lukaszewicz and Kwiatkowski, 1995). 또한 실리케이트 함량에 따른 정량적이고 공학적인 평가를 하기 위해 독일의 Remmers사에서 제조된 Funcosil Stone Strengtheners 100 (KSE 100)과 Funcosil Stone Strengtheners 300 (KSE 300)을 이용하였다 (표 2).

암석 내부에 존재하는 수분을 제거하여 보존처리제의 암석 내 침투 효율을 높이기 위하여 성형된 암석시료를 24시간 동안 105℃ 오븐에 건조하였다. 보존처리제 처리방법은 진공함침기를 이용하여 보존처리제를 주입시키는 방법을 적용하였다. 본 실험에 앞서 실시한 기초실험을 통하여 보존처리제가 효과적으로 침투되는 시간과 건조시간을 확인하였다. 이 결과를 토대로 함침시간을 48시간으로 산정하였으며, 보존처리제의 효과적인 겔 형성을 위해서 항온항습기를 이용하여 20℃, 50% RH의 환경을 유지하면서 40일 동안 건조하였다.

지형 및 지질

경주는 경상북도 동남쪽에 경도 129°31', 위도 35°39' 상에 위치하고 있으며, 동쪽의 토함산(745 m), 서쪽의 선도산(380 m), 남쪽의 남산(494 m), 북쪽의 소금강산(280 m)으로 둘러싸여 있다. 이 가운데 남산은 경주의 남쪽 낮은 구릉성 산지로 형산강과 남천 사이의 침식사면 사이에 남북으로 길게 자리 잡고 있다. 남북 길이 약 8 km, 동서

Table 2. Characteristics of the used consolidants in this study

Consolidant	Content of Ethylsilicate (wt%)	Manufacturer	Density (g/cm ³) at 20°C	Gel deposit rate (wt.%)	Viscosity (mPas) at 20°C	Color
Funcosil Stone Strengthener 100	20	Remmers	0.79	10	1.1	clear, yellowish tinge
Funcosil Stone Strengthener 300	99	Remmers	1.0	30	1.2	clear, slightly yellow

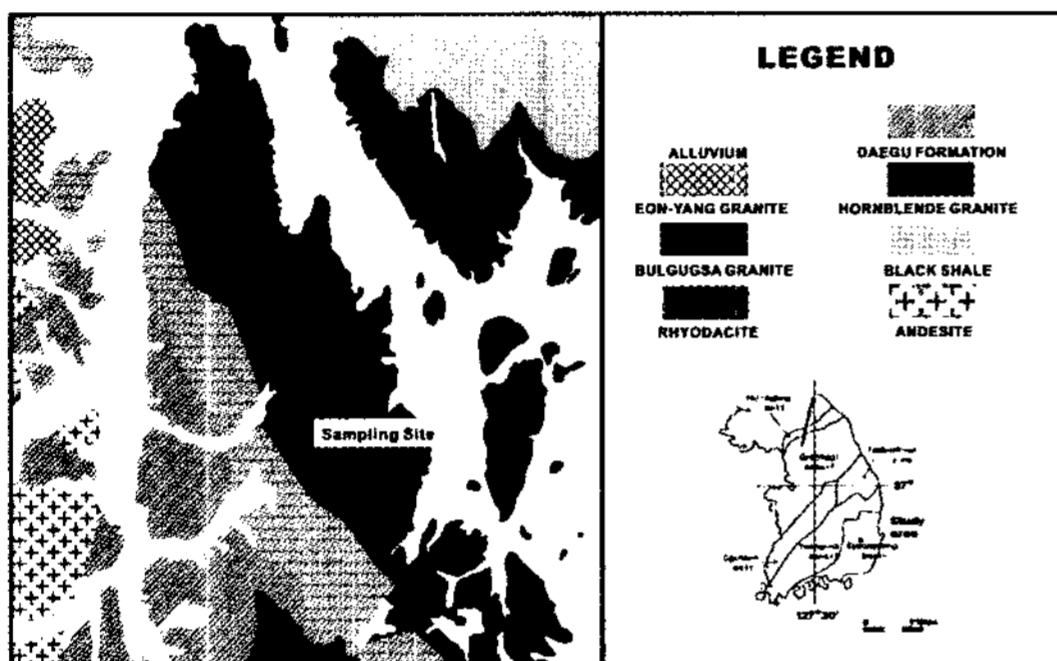


Fig. 2. Geologic and index maps of the study area.

폭 약 4 km이고, 금오산(468 m)과 고위산(494 m) 능선으로 구성되어 있으며, 전체적으로 서고동저, 남고북저의 형태를 보인다.

이 지역의 지질을 살펴보면, 백악기의 대구층과 이를 관입한 각섬석흑운모화강섬록암, 흑운모화강암과 알칼리장석화강암, 제 3기 화산암과 층적층으로 구성된다. 경주지역은 남산화강암체와 토함산화강암체로 크게 구분되는데, 연구지역이 속한 남산 화강암체는 경주시 남쪽 남산(471 m)에서 마석산(451 m)을 지나 외동읍 모화리에 이르는 연장 약 20 km, 폭 35 km의 암주이다. 북부는 담홍색을 띠는 알칼리장석화강암, 남부는 알칼리장석화강암~흑운모화강암으로 구성되며, 동쪽은 I-형의 토함산화강암체와 분리된다(윤성효와 황인호 1990). 시료를 채취한 지점의 암석은 경주배리운곡마애불좌상과도 같은 지질분포를 보이는 것을 확인하였다(그림 2).

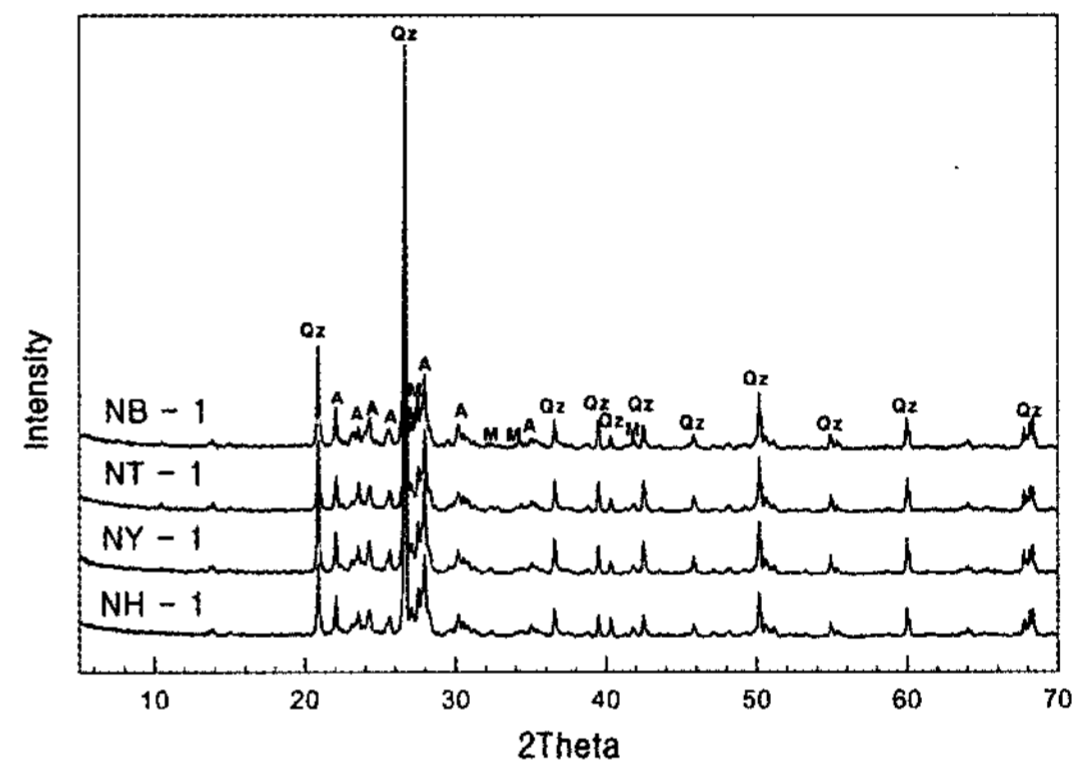


Fig. 3. X-ray diffraction patterns showing the Namsan alkali-feldspar granite and Buddha image carved on a rock surface (Qz : Quartz, M: Microcline, A: Albite).

결과 및 토의

X-선회절분석

이번 연구에 사용되는 의상 시료(NH-1)와 경주 남산 일원의 석조문화재인 경주남산불곡석불좌상(NB-1), 경주남산탑곡마애조상군(NT-1), 경주배리운곡마애불좌상(NY-1)에서 탈락된 미세 시료에 대해 X-선회절분석을 실시하였다. 그 결과, 대표적인 광물조성은 석영, 미사장석, 알바이트였으며, 모든 시료에서 구성광물의 함량비는 다소 차이가 있으나 거의 동일한 광물조성을 갖는 것으로 나타났다(그림 3).

지구화학적 특성

주성분 원소와 미량 및 희토류 원소분석을 통

Table 3. Contents of major (wt%), minor and rare earth elements (ppm) of the alkali-feldspar granite in Gyeongju

	Namsan Granite			Stone Monuments in Namsan		
	NH-1	NH-2	NH-3	NT-1	NY-2	NB-1
SiO ₂	76.09	75.31	75.67	75.18	75.44	75.99
Al ₂ O ₃	13.60	13.56	13.17	13.23	13.41	13.18
Fe ₂ O ₃	1.20	1.53	0.92	1.91	0.57	1.64
MnO	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.03
MgO	0.03	0.03	0.04	0.05	0.01	0.07
CaO	0.34	0.08	0.24	0.18	0.05	0.12
Na ₂ O	4.61	4.65	4.41	4.40	4.49	4.42
K ₂ O	4.62	4.77	3.97	4.36	4.31	4.28
TiO ₂	0.05	0.05	0.05	0.10	0.06	0.08
P ₂ O ₅	0.005	0.007	0.006	0.010	0.003	0.010
LOI	0.43	0.38	0.34	0.22	0.43	0.31
Sum	101.00	100.01	98.84	99.68	98.78	100.13
Ba	11.9	14.5	19.5	61.7	6.7	69.8
Mg	122	71.9	111	231.0	30.5	281
Mn	123.5	116.7	158.3	268.0	36.2	179.7
Sr	3.6	1.8	4.1	7.2	0.3	10.0
Ti	221	238	220	500	273	368
Cr	0.92	6.34	3.25	1.63	5.18	0.56
Li	16.67	20.07	18.81	29.91	21.16	15.78
P	21.7	29.4	25.2	44.0	11.5	43.2
S	161	150	238	115	154	172
Zr	414.7	336.4	352.4	374.5	389.9	438.4
Co	131	141	157	104	113	126
Ni	0.64	0.64	1.07	0.69	0.43	0.67
Cu	0.64	0.78	1.70	0.74	0.65	0.66
Zn	98.1	85.3	73.2	118	103	95.2
Pb	16.6	16.2	19.4	20.3	5.41	16.2
Rb	254	286	259	182	259	210
Y	58.7	28.6	79.5	54.4	25.7	27.6
Sn	7.21	7.02	6.47	5.08	7.20	5.83
Sb	0.20	0.20	0.17	0.53	0.13	0.19
Cs	2.35	1.71	1.66	1.14	1.30	1.95
La	20.3	11.2	25.6	21.9	9.01	6.15
Ce	43.1	24.3	56.1	81.3	23.5	15.5
Nd	20.8	11.6	26.9	21.2	9.79	5.80
Sm	5.70	3.25	7.46	5.01	2.77	1.43
Eu	0.07	0.05	0.11	0.15	0.04	0.06
Tb	1.14	0.71	1.61	0.99	0.62	0.33
Yb	6.26	4.25	8.14	6.51	5.06	4.74
Lu	0.93	0.65	1.20	0.98	0.78	0.77

해 암석 풍화에 의한 원소들의 거동특성과 부화
· 결핍 정도를 분석해 보았다(표 3).

물성실험에 이용된 의상시료 중 대표적으로 3

점(NH-1, NH-2, NH-3)을 분석하였고, 이는 경주
남산 석조문화재를 구성하는 암석과 동일 암석임
을 입증하기 위하여 경주남산불곡석불좌상(NB-

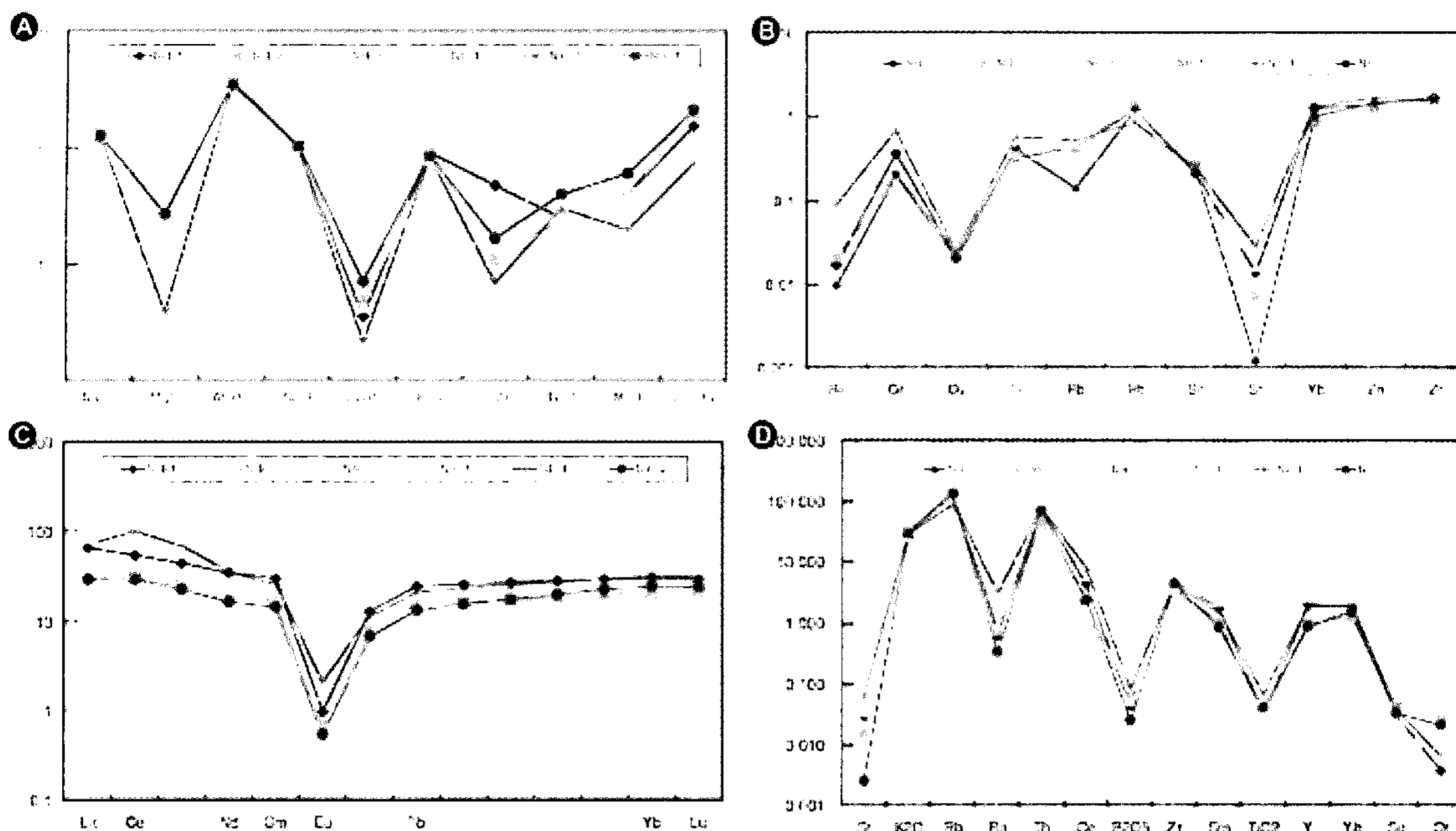


Fig. 4. Diagram showing enrichment factors, normalized major element concentration by standard granite.

1), 경주남산탑곡마애조상군(NT-1), 경주배리운을곡마애불좌상(NY-1) 등에서 세 곳의 암편을 채취하여 지구화학적 거동 특성을 살펴보았다. 주성분에 대한 각각의 조성은 일반적인 화성암의 평균함량(Nockolds and Allen, 1954)으로 표준화하였고(그림 4A), 미량성분은 Govindaraju (그림 4B), 희토류원소는 Boynton이 제시한 운석의 초생치로 표준화하였다(Govindaraju, 1989; Boynton *et al.*, 1984). 혼적 화석의 일종인 콘드라이트 운석은 용융이나 분화가 일어나지 않은 태양계 초기 물질의 상태를 가장 잘 보존하고 있어 이에 함유된 희토류 원소의 양은 지구 생성시의 초생값으로 표준 역할을 한다(그림 4C). 미량 및 희토류원소 중 호정원소(compatible elements)와 불호정원소(incompatible elements)에 대해 원시의 맨틀조성(Pearce, 1983)으로 표준화하여 거동특성을 검토하였다(그림 4). 호정과 불호정성의 동일한 경향은 같은 분화과정을 겪은 한 암체임을 시사하는 결정적인 증거이다. 분석 결과, 물성실험 시료와 경주남산에 위치한 문화재와는 주성분 및 미량, 희토류 원소들의 거동특성이 비슷한 경향을 보였고, 호정 및 불호정원소의 거동특성 역시 동일하여 같은 분화과정을 겪은 동일암체임을 입증하였다.

미세 조직 변화

광물과의 결합구조를 관찰하기 위해 KSE 100과 KSE 300 보존처리제를 대상으로 주사전자현미경 관찰을 하였다. 그 결과, 매끈한 표면과 유리질 특성인 깨짐 현상만 관찰될 뿐, 두 처리제의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다(그림 5).

보존처리제의 사용 전·후 광물의 경계면을 살펴보기 위해 석영과 흑운모를 대표로 광물 입자 하나의 경계면과 미세균열을 고배율로 관찰하였다. 보존처리제를 실시하지 않은 광물은 공극 사이가 빈 공간으로 깨끗한 결정면을 확인할 수 있는데 반해, 보존처리제를 처리한 암석 내부는 형성된 겔이 공극을 채우는 것으로 확인되었다.

물성 변화

본 연구에서는 보존처리제 처리 전·후의 암석에 대한 탄성과 속도 P파와 S파 속도를 측정하여 내부입자 조직의 변화를 간접적으로 확인하고자 하였다. 그 결과, 그림 6에서와 같이 보존처리제를 처리한 시료에서는 전반적으로 속도가 증가하는 경향을 보였으며, 이와는 반대로 공극률과 흡수율은 감소하는 것으로 나타났다. 이렇게 보

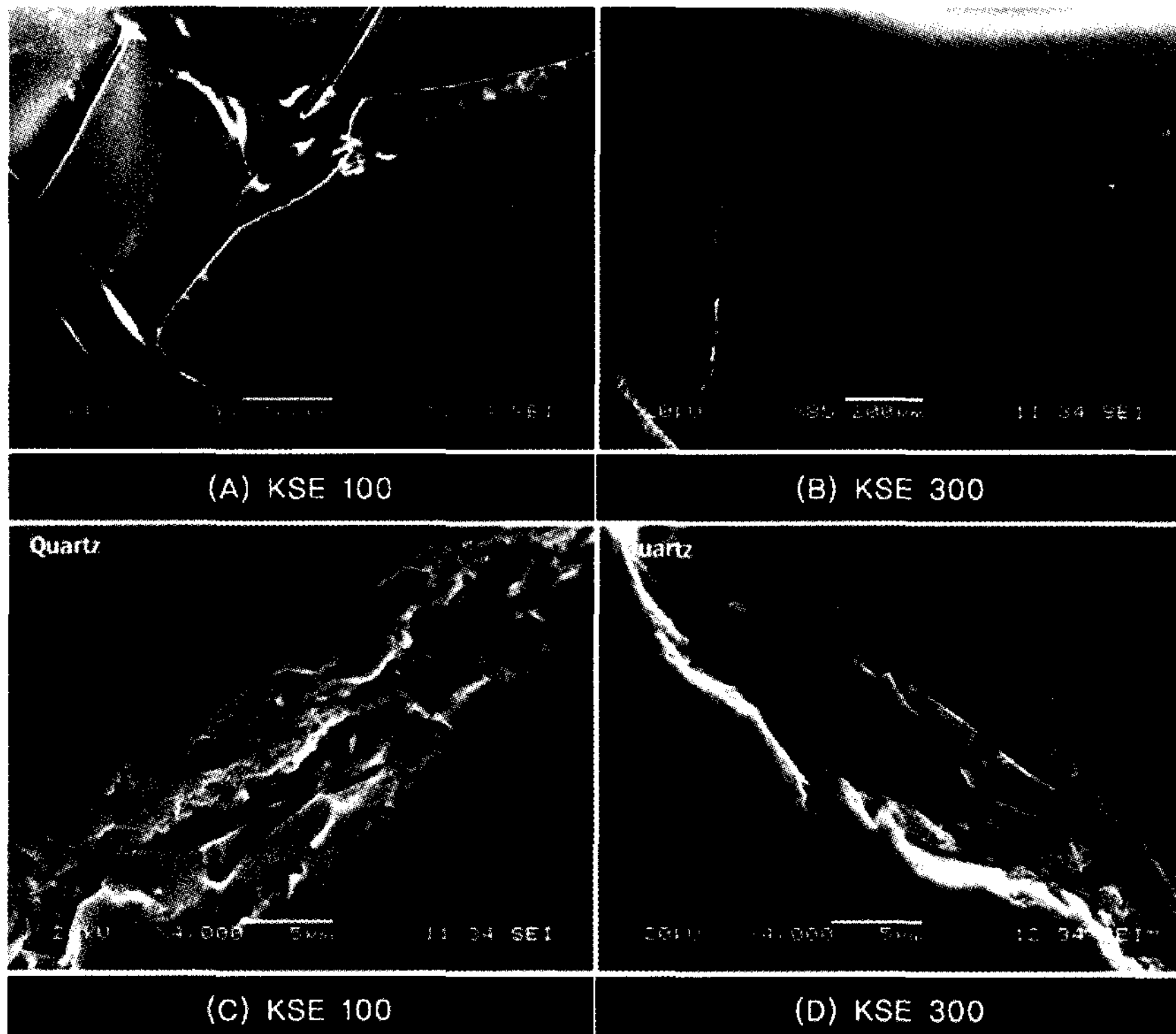


Fig. 5. Scanning electron microscopic image of consolidant surface and mineral crack (Quartz). (A) Consolidants surface image of KSE 100. (B) Consolidants surface image of KSE 300. (C, D) Combine of quartz and gel deposit image in treated rock sample.

존처리제 처리 후 암석의 물성이 변화하는 원인은 에틸실리케이트가 암석 내부의 공극에 침투하여 겔 형태의 실리콘 성분의 물질을 형성한 후 공극을 채웠기 때문으로 판단된다. 에틸실리케이트 함량에 따른 P파와 S파 속도는 큰 차이를 보이지 않았으나, 공극률과 흡수율에서 에틸실리케이트 함량이 높은 KSE 300에서 감소량이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다.

일축압축강도는 구성광물의 강도와 입자간의 결합력 등에 영향을 받아 물성평가항목 중 가장 일반적으로 사용된다. 실험결과는 그림 6과 같으며, 전반적으로 보존처리제를 처리한 암석의 일축압축강도가 증가하는 경향을 보였다. 일축압축강도 시험시 측정된 정탄성계수(영률, E_s) 또한 모든 보존처리제 처리 후 시편에서 증가하였으며, 에틸실리케이트 함량에 따른 일축압축과 탄성계수 모두 에틸실리케이트 함량이 높은 KSE 300에서 높게 나타났다. 포아송비는 KSE 300에서 평균값이 0.26이며, KSE 100에서는 평균값이

0.33으로 나타났다. 이는 축방향보다 횡방향의 변화가 적어 값의 변화폭이 작고, 미세균열의 영향이 축방향보다 횡방향으로 더 많이 받은 것으로 판단된다(표 4).

인장강도는 실험이 간편하고 신뢰성이 있는 결과를 나타내는 간접인장강도 측정법인 Brazilian test를 적용하였다. 실험결과는 그림 6과 같으며, 보존처리제 처리 후 모두 증가하였다. 그러나 실리케이트 함량에 따른 인장강도는 다른 물성과는 다르게 실리케이트 함량이 적은 KSE 100에서 더 높은 값을 보였다.

색상 변화

처리 전과 완전 건조 후로 나누어 색 변화를 측정하였으며, 그 결과는 표 5에 정리하였다. 함침직후 육안관찰 상 색상 변화는 확연히 나타나는 정도였으며, 대체적으로 어두워졌다. KSE 100의 ΔE 값은 4.87로 NBS기준에 의하여 appre-

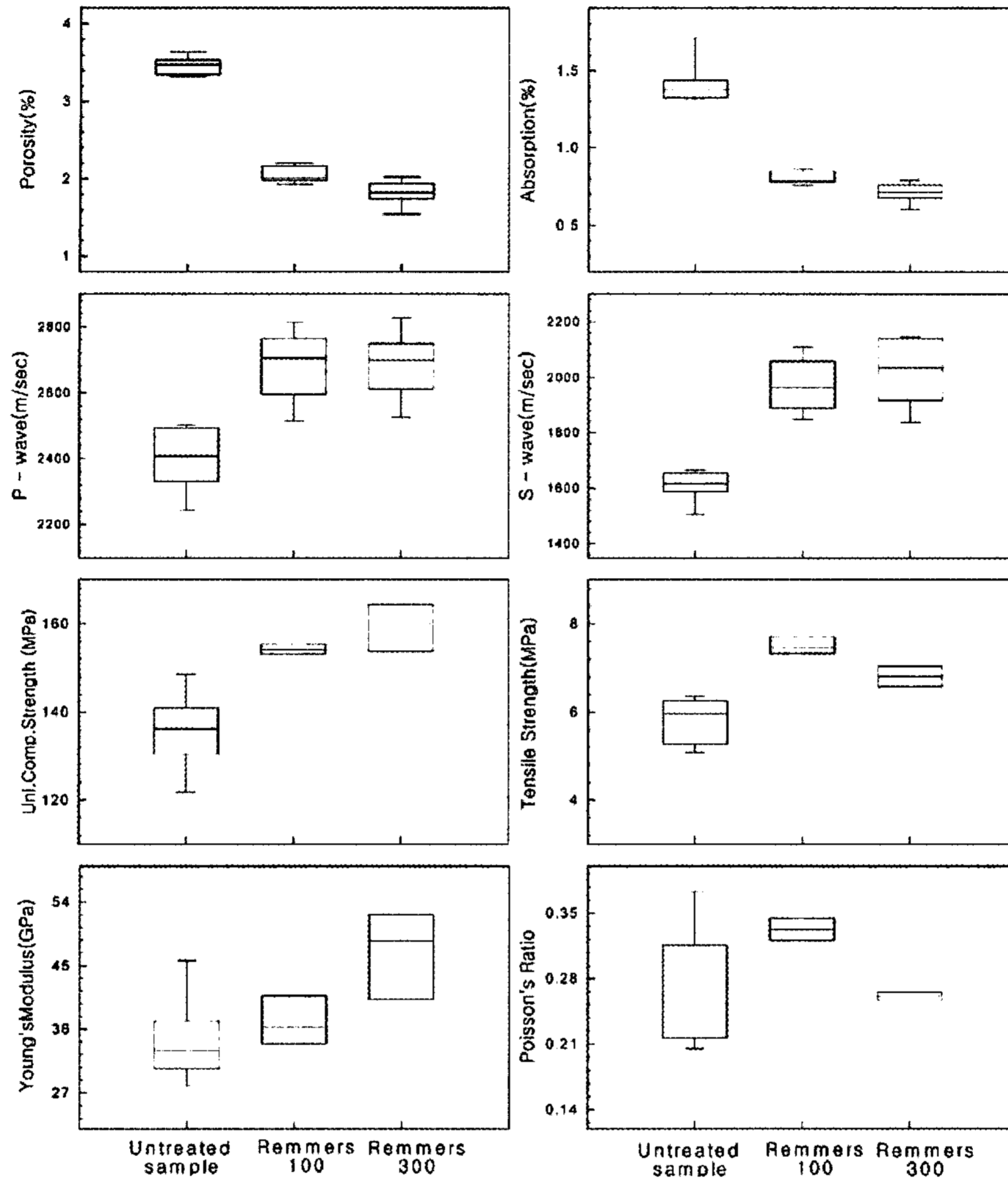


Fig. 6. Physical properties of the untreated samples and the treated samples by ethylsilicate consolidants.

Table 4. Physical properties of the Namsan alkali-feldspar granite in Gyengju

		Porosity (%)	Water Absorption (%)	Ultrasonic velocity		Uni.Comp. Strength* (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio
				P-wave (m/s)	S-wave (m/s)				
Untreated sample	Min	3.13	1.23	2231.2	1496.1	122.2	5.1	28.1	0.27
	Max	3.89	1.54	2504.5	1653.4	149.9	6.4	45.8	0.37
	Mean	3.46	1.39	2396.1	1605.5	136.8	5.8	34.5	0.27
KSE 100	Min	1.93	0.75	2506.7	1844.4	152.6	7.2	32.43	0.31
	Max	2.2	0.86	2820.9	2114.2	156.6	7.9	44.4	0.35
	Mean	2.06	0.81	2683	1972.3	154.4	7.5	37.5	0.33
KSE 300	Min	1.52	0.59	2516.7	1828.7	148.3	6.4	34.4	0.25
	Max	2.03	0.8	2836.5	2145.6	167.4	7.3	53.5	0.27
	Mean	1.81	0.71	2685.3	2016.6	159	6.8	46.3	0.26

*Uni.Comp. Strength : uniaxial Compressive Strength

Table 5. Color difference of the stone surface before and after treatment with the ethylsilicates

No	Before treatment			After complete treatment of ethylsilicates			Color difference △E
	L	a	b	L	a	b	
KSE 100	72.06	1.04	7.12	67.81	1.25	9.49	4.87
KSE 300	71.83	1.03	6.88	61.55	1.61	11.41	11.24

ciable 등급이며, KSE 300은 △E값이 11.24로 much등급이다.

결 론

본 연구에서는 현재까지 암석의 보존처리와 관련한 연구에서 효과가 우수한 것으로 평가받은 에틸실리케이트 계열의 보존처리제를 사용하여 보존처리제 처리 후 효과를 정량적이고 공학적으로 평가하고자 경주남산일원의 석조문화재와 유사한 암석을 채취하여 실험을 하였다.

1) 채취한 의상시료와 경주남산일원의 석조문화재에서 탈락된 미세시편의 x-선 회절 분석 결과, 대표적인 광물조성은 석영, 미사장석, 알바이트였다. 또한 주성분원소 및 미량성분 분석 결과 의상시료와 경주남산일원의 석조문화재는 주성분 및 미량, 희토류 원소들의 거동특성이 비슷한 경향을 보였고, 호정 및 불호정원소의 거동특성 역시 동일하여 같은 분화과정을 겪은 동일 암석임이 입증되었다.

2) 보존처리제의 사용 전·후 시료를 대상으로 주사전자현미경 관찰을 실시한 결과, 처리전 암석은 공극 사이가 빈 공간으로 깨끗한 결정면을 확인된 반면, 처리된 암석의 내부는 생성된 겔이 공극을 채우고 있음이 확인되었다.

3) 보존처리제가 처리된 암석의 흡수율과 공극률, 프아송비는 감소하였고, 탄성과 속도와 일축 압축강도, 탄성계수, 인장강도는 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 에틸실리케이트의 농도가 큰 KSE 300에서 더 큰 값으로 측정되었는데, 이는 에틸실리케이트의 함량이 물성변화에 더 큰 영향을 주어, 에틸실리케이트 함량이 클수록 암석의 공극을 채우는 효과가 더 크며, 표면도 강화시키는 효과가 있는 것으로 판단된다. 따라서 에틸실리케이트 함량이 높을수록 처리의 효과가 장기간 지속될 것으로 예상된다.

4) 보존처리제 처리 전의 시편과 보존처리제가

완전히 건조된 후의 화강암은 어두워졌으며, △E 값이 모두 3 이상이 되어 육안으로 식별이 가능할 정도의 색상 변화를 보였다. KSE 100은 KSE 300보다 색상 변화량이 상대적으로 작으며, 황변으로 볼 수 있는 b값도 더 작아 색변화에는 KSE 100이 안정적이라 볼 수 있다.

사 사

본 논문에 대한 세심한 심사와 유익한 조언을 해주신 심사위원님께 깊이 감사드립니다. 본 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 문화재보존기술연구개발(R&D)사업의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

신기혜, 박형동 (2004) 스팅크스에서 'Wacker OH 100'을 이용한 경화처리효과의 정량적 평가. 한국지구시스템공학회지, 41(1), pp.7-16.

원종욱 (2001) 석조문화재 보존을 위한 발수강화제 연구. 석조문화재 보존관리 연구집. 문화재청/연구기관: 한국문화재보존과학회, pp.403-445.

윤성효, 황인호 (1990) 경주 남산일대의 화강암의 암석학(岩石學) 및 지구화학의 특성. 한국지구과학회지, pp.51-66.

Boynton W.V., Goodrich, C. A., Taylor, Keil, K., and Hill, D. H. (1984) Petrology and chemistry of hyperferroan anorthosites and other clasts from lunar meteorite ALHA 81005, Proc. 15th Lunar Planet. Sci. Conf., J. Geophys. Res. 89, C87-C94.

Caselli, A. and Kagi. D. (1995) Methods used to evaluate efficacy of consolidants on an Austrian sandstone, Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments, ICCROM, pp.121-130.

Govindaraju, K. (1989) Compilation of working values and samples descriptin for 272 geostandards. Geostandards Newsletter, 13, pp.467-499.

ISRM (1981) Rock characterization testing & monitor-

- ing (ISRM suggested method), E. T. Brown ed, Pergamon Press, pp.211.
- Leroux, L., Verges Belmin. V., Costa, D., Delgado Rodrigues, J., Tiano, P., Sneathlage, R., Singer, B., Massey, S., and De Witte, E. (2000) Measuring the penetration depth of consolidating products : Comparison of six methods, 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venice, pp.361-369.
- Lukaszewicz, J.W. and Kwiatkowski, D. (1995) Consolidation of Gotland stone in monuments, Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments, ICCROM, pp.179-187.
- Nockolds, S.R. and Allen, R. (1954) Average chemical composition of some igneous rocks. Geological Society of American Bulletin, 65, pp.1007-1032.
- Pascua, N.G., Sanchez. De Rojas, M.I., and Frias, M. (1995) Study on porosity and physical properties as methods to establish the effectiveness of treatments used on two different Spanish stones: Limestone and sandstone, Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments, ICCROM, pp.147-160.
- Pearce, J.A. (1983) Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. (EDs), Continental basalts and mantle Xenolith, Shiva, pp.230-249.
- Witte, E.D. (1982) Resins in Conservation : Introduction to their properties and Applications, Proceedings of the symposium, Edinburgh, pp.1-6.
-
- 접수일(2008년 5월 14일), 수정일(1차 : 2008년 6월 6일, 2차 : 2008년 6월 10일), 게재확정일(2008년 6월 10일)