

## 화강암에 대한 강화제 1T1G\_5 wt 0.08 %의 야외 처리 후 효율 평가

### Evaluation of Efficiency after Treated with Consolidant of 1T1G\_5 wt 0.08 % in the Field on Granite

도진영(Jin Young Do)<sup>1</sup> · 장윤득(Yun Deug Jang)<sup>2</sup> · 김정진(Jeong Jin Kim)<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경주대학교 문화재학부

(School of Cultural Assets, Gyeongju University, Gyeongju 780-712, Korea)

<sup>2</sup>경북대학교 지질학과

(Department of Geology, Kyungpook National University)

<sup>3</sup>안동대학교 지구환경과학과

(Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University)

**요약** : 손상된 석조문화재 보존을 위한 다양한 강화제가 개발되고 있다. 강화제의 종류에는 에폭시계, 이크릴계, 이소시아네이트계, 알콕시실란계 등이 있다. 본 연구에 사용된 강화제는 1T1G\_5 wt 0.08 %로 T (TEOS: Tetraethyl Orthosilicate)와 G (GPTMS: 3-Glycidoxy propyl trimethoxy silane)로 알콕시실란계이다. 강화제 처리 결과 처리 전 쇼어경도값이 낮은 높아지며, 색도 변화는 강화제 처리 후 초기에는 약간 어두워지지만 시간이 지남에 따라 원래의 밝기로 환원된다. 초음파 속도 변화는 강화제 처리 후 초기에는 증가하지만 시간이 지남에 따라 약간 감소하여 일정하게 유지된다. 초음파 속도 증가에 대한 효율은 풍화가 많이 진행되어 초음파 속도가 느린 암석일수록 강화효율이 높다.

**주요어** : 금속급 실리콘, 고품위 규사, 분급, 비중선별, 자력선별

**ABSTRACT** : Consolidants were extended use for conservation of weathered stone heritage. Epoxy, acryl, isocyanate, and alkoxy silane consolidants are most commonly used products. Consolidant of 1T1G\_5 wt 0.08 % that consists of T (TEOS: Tetraethyl Orthosilicate) and G (GPTMS: 3-Glycidoxy propyl trimethoxy silane) were used this study. A shore hardness values show increasing after treated with consolidant in granite. Surface brightness after treated with consolidant are changing slightly dark but turns the original color over time. Ultra-sonic velocity is increased after treated with consolidant but slightly reduced over time to remain constant. It has the advantage of being effective after treated with consolidant in granite and efficiency of consolidation increase with slow velocity before treated with consolidant.

\*Corresponding author: +82-54-820-5038, E-mail: jkim@anu.ac.kr

## 서 언

암석의 특성에 따른 강화 처리제 적용 연구는 암석의 종류와 풍화정도 등 물리화학적 특성에 따라 효과가 다양하게 나타나기 때문에 암석의 특성에 따라 강화제를 선택하여 처리를 할 수 있는 지표로 활용할 수 있다. 또한, 실제 손상 석조문화재에 강화제를 처리할 경우 암석과 광물에서 나타날 수 있는 물리화학적 특성 변화를 예측하는데 활용할 수 있다. 일반적으로 석조문화재는 목재나 종이 재질에 비하여 큰 변화가 없고 변화 정도를 파악하기 어렵기 때문에 보존에 관심을 적게 가지는 경향이 있었다. 그러나 석재는 노출된 외부 환경조건에 따라 풍화와 침식의 속도와 형태가 다양하게 나타난다. 또한 석조문화재의 대부분이 아무런 보호시설 없이 옥외에 노출되어 있기 때문에 자연적, 인위적 손상을 막기가 매우 어렵다. 따라서 손상된 석조문화재를 보존처리하는 과정에서는 재질 및 환경적 특성을 파악하고 각 재질에 적합한 강화 처리제를 적용하는 것이 중요하다. 현재까지의 강화제 및 보존 처리와 관련된 연구에는 강화제 처리 전후의 암석의 표면에서 나타나는 특성변화, 인공 풍화암을 이용한 강화제의 적용연구 등이 있다 (Song *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2010, Kim *et al.*, 2012). 현재 시중에 판매되는 강화제의 종류는 다양하지만 우리나라의 석조문화재에 적용 가능한 최적의 강화제를 개발하기 위한 연구가 진행되었다(Park *et al.*, 2011; Yoon *et al.*, 2011; Choi, *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2007). 대부분의 연구는 화강암, 사암, 대리암에 대한 최적의 강화제를 선정하기 위하여 실험실과 실제 현장에 적용했을 때 발생하는 암석의 특성 변화에 대한 연구를 진행하였다. 개발한 보존 처리제를 실제 석조문화재와 유사한 야외 환경에서 적용시켜 암석의 표면과 광물에서 나타나는 변화를 연구하였으며, 석조문화재 보존을 위한 다양한 종류의 Acrylic 및 Methacrylic 중합체를 이용한 합성 고분자화합물이 수십 년 전부터 사용되고 있다(Son, *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2009, Caselli and Kagi, 1985; Pascua *et al.*, 1995; Lukaszewicz and Kwiatkowski, 1995).

개발된 강화제 중 강화처리 전후의 암석의 표면에서 나타나는 물리화학적 특성에 대한 연구결과 화강암에 적용 가능한 최적의 강화제는 1TIG\_5

wt 0.08 %이다. 본 연구에서는 개발강화제인 1TIG\_5 wt 0.08 %를 야외 현장에서 적용했을 때 강화 효율을 평가하였으며, 향후 손상된 석조문화재에 강화제 적용 시 발생할 수 있는 문제점을 해결하고 개발한 강화제의 안정성에 대한 평가 자료로 활용할 수 있을 것이다.

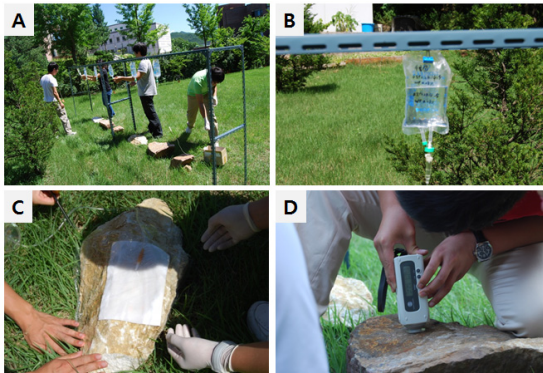
## 연구 방법

### 시료선정 및 실험과정

야외 실험에 사용한 암석은 석조문화재의 주 재료로 사용하고 있는 암종을 고려하여 문화재가 많이 분포하는 경주의 화강암과 유사한 암석을 사용하였다. 암석 시료의 크기는 가로 약 45 cm, 세로 약 25 cm, 높이 약 20 cm 정도로 1차 건식, 2차 습식 세척과정을 통해 암석의 표면에 존재하는 이물질을 제거하였다. 세척 후 자연 상태에서 건조시키고 강화제 처리 후의 변화를 비교하기 위해 강화제 처리 전 초음파측정, 경도측정, 색도측정, X-선회절분석, 주사전자현미경분석을 실시하였다.

야외에서 화강암에 적용한 강화제는 아직 상용화되지 않은 1TIG\_5 wt 0.08 %로 T (TEOS: Tetraethyl Orthosilicate)와 G (GPTMS: 3-Glycidoxy propyl trimethoxy silane)를 몰비 1:1로 혼합하고 DBLT (촉매제) 0.08 w%를 첨가한 후 에탄올을 부가하여 제조한다.

야외 실험 장소는 암석의 표면변화를 측정할 수 있는 충분한 공간이 확보되고 인적이 드문 곳으로 실험을 위한 접근이 용이한 곳으로 선정하였다. 24 시간 동안 일정한 양의 강화제를 암석표면에 처리하기 위한 장치로는 수차례 세척하여 내용물을 완전히 제거한 수액 세트를 이용하였다. 강화제 처리에 필요한 수액세트를 설치하기 위하여 가로 50 cm, 세로 250 cm, 높이 150 cm의 거치대를 제작하여 약 24시간 동안 일정량의 강화제가 지속적으로 암석 표면에 공급될 수 있도록 장치하였다 (Fig. 1A). 강화제 처리는 암석 표면에 강화제를 적신 거즈를 부착한 후 수액세트를 연결하여 일정량의 강화제를 공급할 수 있도록 벨브를 조절하였으며, 처리 부분은 비닐을 씌워 공기와의 접촉을 차단하였다(Fig. 1B, C). 강화제 처리가 끝난 24시간 후 비닐, 거즈 등을 제거하고 일정 시간간격으로 야외에서 색도, 초음파 속도, 쇼어경도를 측정하였다(Fig. 1D).

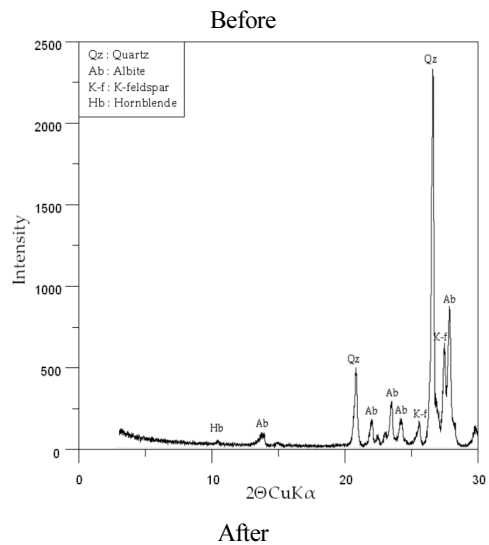
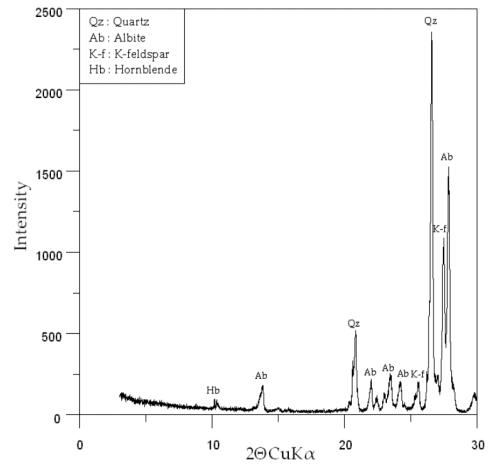


**Fig. 1.** Stand for Experimental setup. A: hanger type placer, B: Ringer set for treated with consolidant, C: gauze and wrap, D: measurement of color.

강화제 처리 후 수액세트, 비닐, 거즈를 제거하고 일정 시간 간격으로 초음파, 색도변화, 경도 변화를 측정하였으며, 강화제의 현장 적용에 따른 암석의 표면 변화와 광물학적 변화를 알아보기 위하여 시료를 채취하여 X-선회절분석 및 주사전자현미경 분석을 실시하였다.

### 분석방법

화강암에 대한 구성광물과 강화제 처리 전후 구성광물의 회절강도 변화를 밝히기 위하여 X-선회절분석(Rigaku D/Max-2000, CuK $\alpha$ , 5~30° 2  $\theta$ , 0.5 °/min)을 실시하였다. 강화제 처리 후 암석 표면 부분을 채취하여 주사전자현미경(JEOL-JSM-6,300) 분석을 수행하여 강화제 처리 전후의 표면에 대한 변화를 관찰하였다. 암석의 표면에서 나타나는 강화제의 변화와 색깔 변화를 쌍안실체현미경(NikonSMZ 1,500)을 이용하여 관찰하였다. 강화제 처리 후 시간에 따른 초음파 속도변화, 색도변화 및 강도변화를 각각 초음파 측정기(RS-232), 색차계(CR-10 Color Reader)와 쇼어경도계(C-2 type)를 이용하여 측정하였다. 경도 측정은 5곳의 측정 지점을 선정하여 30회의 측정 후 평균값으로 나타냈으며 야외 방치 후 1-2주의 간격으로 주기적으로 측정하였다. 색도 변화는 5곳의 지점을 선정하여 색도계를 이용하여 L, a, b 값을 10회 측정하여 평균값으로 나타내었다. 초음파 속도 측정은 약 8 cm 간격으로 3개의 라인을 선정하여 10회 측정하여 평균값으로 나타내었다. 처리 전후의 강



**Fig. 2.** X-ray diffraction patterns of granite before and after treated with consolidants.

화제의 효율평가는 정량적으로 측정할 수 있는 쇼어경도와 초음파 속도에 대하여 수행하였다.

### 연구결과

#### X-선회절분석(XRD)

실험에 사용한 화강암의 주 구성광물은 석영, 사장석, 정장석이며 소량의 각섬석을 포함하고 있다 (Fig. 2). X-선회절분석선 중에서 ITIG\_5 wt.0.08 % 강화제 처리 후 석영의 강도는 큰 변화가 없지만 사장석, 정장석, 각섬석의 강도는 약간 낮아지

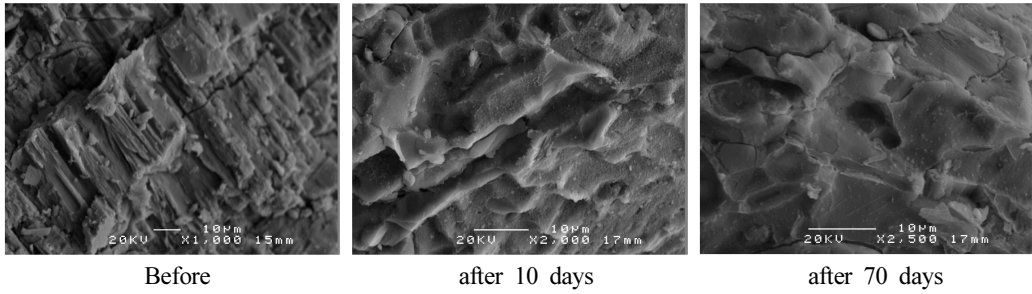


Fig. 3. SEM microphotographs of granite surface before and after treated with consolidant.

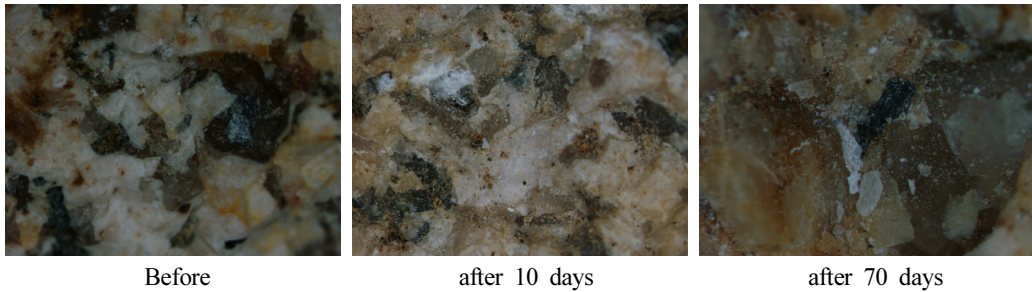


Fig. 4. Stereo-microphotographs of granite surface before and after treated with consolidant.

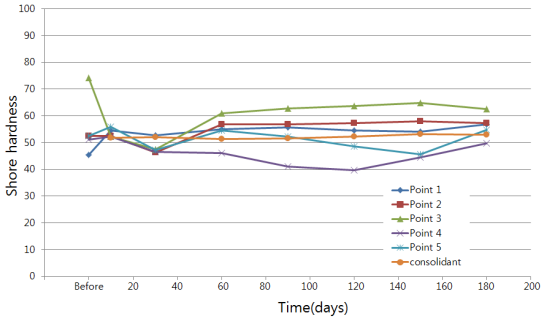


Fig. 5. Variations of shore hardness of granite before and after treated with consolidants of ITIG\_5 wt 0.08 %.

는 경향이 있다. 이는 강화제가 광물 표면에 피복되어 X-선의 회절강도를 낮추기 때문인 것으로 판단된다. 화강암에 강화제를 처리할 경우 석영, 사장석 등은 결정의 구조적 변화가 나타나지 않지만 몬모릴로나이트나 베키쿨라이트와 같은 팽윤성 광물이 존재할 경우 이들의 팽창에 의한 표면손상이 나타날 수도 있다(Kim *et al.*, 2009). 그러나 실험에 사용한 화강암에는 팽윤성 광물이 존재하지 않기 때문에 강화제에 의한 표면 손상은 없을 것으로 생각된다.

#### 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope)

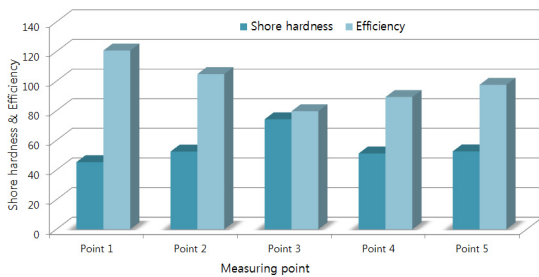
강화제 처리 후 화강암의 표면은 강화제의 피복 상태를 잘 파악할 수 있다. 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제 처리 전 시료에서는 구성광물의 형태를 뚜렷하게 관찰할 수 있지만 처리 후 강화제의 피복에 의해 광물의 형태는 관찰할 수 없다(Fig. 3). 야외에 방치할 경우 자외선이나 빗물에 의해 강화제가 손상될 것으로 예상되었지만 2개월 이상 야외에 방치하여도 강화제의 피복 상태는 큰 변화가 없었다. 따라서 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제는 화강암 표면에서의 피복 및 지속성이 우수한 것으로 판단된다.

#### 실체현미경

실체현미경 관찰 결과 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제 처리 후 암석에 존재하는 틈은 강화제에 의해 잘 충전되었으며 암석의 조직 및 광물의 형태는 모든 시료에서 큰 변화가 없다(Fig. 4). 강화제 처리 후 초기에는 약간 어두운 느낌을 나타내지만 1개월 이상 지나면 원래의 암석 표면과 유사한 색을 나타낸다. 따라서 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제의 강화효과가 입증된다면 화강암에 적용하는 것은 큰

**Table 1.** Shore hardness of granite before and after treated with consolidants of 1T1G\_5 wt 0.08 %

Time (days)	Point 1		Point 2		Point 3		Point 4		Point 5		shore hardness of consolidant
	shore hardness	efficiency (%)	shore hardness	efficiency (%)	shore hardness	efficiency (%)	shore hardness	efficiency (%)	shore hardness	efficiency (%)	
Before	45.4		52.5		74.3		51.2		52.6		liquid
10	54.6	120.3	52.5	100.0	52.2	70.3	52.2	102.0	56.0	106.5	51.8
30	52.8	116.3	46.3	88.2	47.4	63.8	46.6	91.0	47.3	89.9	52.1
60	55.0	121.1	56.8	108.2	61.0	82.1	46.0	89.8	54.5	103.6	51.3
90	55.7	122.7	56.8	108.2	62.9	84.7	41.1	80.3	52.3	99.4	51.6
120	54.5	120.0	57.3	109.1	63.6	85.6	39.8	77.7	48.6	92.4	52.3
150	54.1	119.2	57.9	110.3	64.9	87.3	44.5	86.9	45.7	86.9	53.1
180	56.9	125.3	57.4	109.3	62.5	84.1	49.7	97.1	54.8	104.2	52.9
Avg.	54.8	120.7	55.0	104.8	59.2	79.7	45.7	89.3	51.3	97.6	52.2



**Fig. 6.** Shore hardness and efficiency each point on surface of granite after treated with consolidants of 1T1G\_5 wt 0.08 %.

무리가 없을 것으로 판단된다.

#### 쇼어(shore)경도

Shore 경도는 반발경도이며 높이는 120 눈금으로 분할된 스케일을 사용한다. 화강암에서 일반적으로 나타나는 Shore 경도값은 38-95로 광물의 종류, 풍화정도 등에 따라 값이 변화하며 신선한 암석일수록 높은 값을 나타낸다. Fig. 5와 Table 1은 강화제 처리 전후의 쇼어경도를 나타낸 것으로 1T1G\_5 wt 0.08 % 강화제 경도 변화는 동일한 시료에서 측정 위치에 따라 상당히 큰 차이를 나타낸다. 강화제 처리 전 경도값이 74.3인 point 3 지점의 경우 10일 후 52.2로 낮아지며 45.4인 point 1 지점은 54.6으로 높아진다. 대체로 강화제 처리 전 낮은 값을 나타내는 지점은 처리 후 높아지는

경향을 나타낸다. 이는 강화제 처리 전에는 측정 지점의 암석에 대한 경도값을 나타내지만 처리 후 초기에는 강화제 자체의 경도 때문에 강화제의 경도값 보다 높은 지점은 대체로 낮아지고 낮은 지점은 높아지는 것으로 판단된다. 강화제가 완전히 건조되었을 것으로 판단되는 60일 이후에는 point 4를 제외한 모든 지점에서 거의 일정한 경도를 나타낸다. 처리 전 강화제의 경도값과 비슷한 경도값을 나타내는 지점은 대체로 처리 후 높아지는 경향이 있으며, 높은 값을 나타내는 지점은 낮아지는 경향이 있다. 강화제 처리 초기에는 표면에 피복된 강화제의 영향에 의해 낮아지지만 시간이 경과함에 따라 강화제가 건조되고 암석에 흡수됨에 따라 초기값으로 환원되는 것으로 판단된다. 강화제 처리 후 쇼어경도값에 의한 강화 효율은 풍화가 많이 진행되어 암석의 표면에 대한 쇼어경도값이 낮을수록 높아진다 (Fig. 6).

쇼어경도에 의한 강화 효율은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{강화효율(\%)} = \frac{[(\text{초기경도} - \text{처리 후 경도}) / \text{초기경도}] \times 100}{}$$

강화제 처리에 의한 암석의 경도 변화는 암석 표면의 강화에 의해 증가될 수도 있지만 암석 표면을 피복하는 강화제 자체의 영향에 의해 경도가 변화될 수 있기 때문에 강화제 처리 전후의 쇼어경도에 의한 강화 효율 평가는 신중을 기해야 할 것으로 판단된다.

**Table 2.** Variations of color index of granite before and after treated with consolidants

Measuring Point	Time(day)	L	a	b
point 1	before	46.17	11.13	18.51
	10	34.70	10.43	16.93
	20	34.60	9.91	16.03
	30	34.43	9.07	12.82
	40	36.40	7.81	13.21
	50	35.77	8.82	14.17
	60	37.33	8.93	14.93
	70	36.91	8.57	14.13
point 2	before	46.32	9.27	17.21
	10	40.71	8.83	15.23
	20	41.63	7.57	14.11
	30	43.13	6.33	14.43
	40	41.42	6.17	16.15
	50	46.41	8.12	18.07
	60	43.27	8.32	17.97
	70	44.62	7.77	17.53
point 3	before	45.21	9.47	18.27
	10	36.25	9.27	15.57
	20	35.37	8.93	14.93
	30	34.23	8.63	14.83
	40	37.52	8.11	14.83
	50	38.67	8.83	15.27
	60	39.01	8.63	15.63
	70	39.92	8.71	15.97
point 4	before	39.97	9.33	19.23
	10	33.93	8.77	16.63
	20	33.27	8.81	14.83
	30	33.83	7.73	14.35
	40	31.77	6.93	13.07
	50	31.47	6.31	12.33
	60	37.53	7.72	17.03
	70	34.01	8.63	16.33
point 6	before	46.27	10.87	19.33
	10	34.83	9.07	17.51
	20	33.31	8.47	14.23
	30	33.22	8.71	14.83
	40	33.72	8.03	14.53
	50	38.61	8.77	17.41
	60	37.97	9.03	18.52
	70	41.21	9.75	19.42

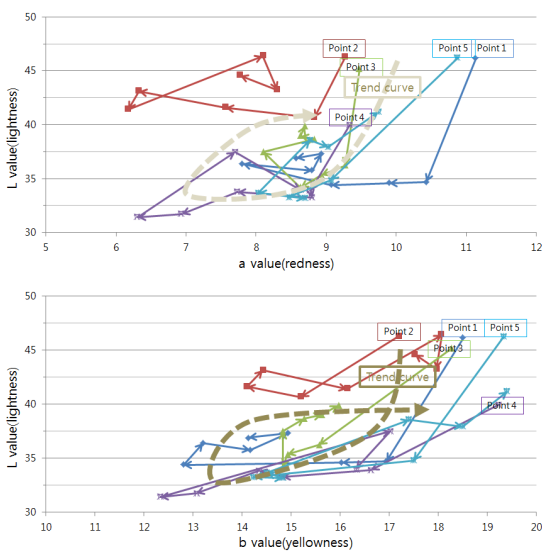
색도 변화

색도는 L, a, b 값으로 나타낼 수 있다. 여기서

L은 명도(lightness)로 색의 밝기 정도를 나타내며 수치가 높을수록 밝은색을 나타낸다. a는 양의 값인 경우 적색을 나타내며 음의 값은 녹색을 나타낸

**Table 3.** Variations of ultrasonic velocity of granite before and after treated with consolidants

Time (days)	Line 1		Line 2		Line 3	
	Ulerasonic velocity(m/s)	efficiency (%)	Ulerasonic velocity(m/s)	efficiency (%)	Ulerasonic velocity(m/s)	efficiency (%)
Before	1596.5		1451.6		1020.3	
10	2378.3	149.0	1698.7	117.0	1154.2	113.1
20	2355.7	147.6	1888.6	130.1	1613.5	158.1
30	2466.5	154.5	1265.8	87.2	1354.2	132.7
40	2136.7	133.8	1213.5	83.6	1569.4	153.8
50	1735.5	108.7	1253.9	86.4	1523.8	149.3
60	1668.5	104.5	1198.6	82.6	1588.9	155.7
70	1563.8	98.0	1216.8	83.8	1454.6	142.6
Avg.	2043.6	128.0	1390.8	95.8	1465.5	143.6



**Fig. 7.** L, a, b trend after treated with consolidant on surface of granite after treated with consolidants of 1TIG\_5 wt 0.08 %.

다. 양의 값은 커질수록 점점 더 진한 적색을 나타낸다. b는 양의 값인 경우 황색이며 음의 값은 청색을 나타내며, 양의 값이 커질수록 점점 더 진한 황색을 음의 값이 커질수록 점점 더 진한 청색을 나타낸다. Table 2는 각 색도 측정지점에서 시간에 따른 L, a, b 값을 나타낸 것이다. 강화제 처리 후 암석 표면의 명도(L)는 초기에 감소하지만 점차 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 강화제 처리 초기에

는 어두운 색을 띠고 시간이 지나면서 차츰 밝은 색으로 변하지만 2개월 후에도 강화제 처리 전 보다는 약간 어두운 색을 나타낸다. a (reddness)와 b (yellowness) 값도 L 값과 유사하게 초기에는 감소하지만 40일 정도 지나면서 차츰 증가하는 경향을 나타낸다(Fig. 7). 따라서 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제를 화강암 표면에 처리했을 경우 대체로 적색과 황색이 얼어진다는 것을 알 수 있다.

#### 초음파 속도변화

암석의 물리적 특성에 따라 초음파의 속도가 변화되는 성질을 이용하여 강화제 처리 전 시료와 강화제 처리 후 시료를 대상으로 강화제와 반응 전후의 초음파 속도변화를 측정하였다. 암석에 존재하는 간극을 강화제로 충전시킬 경우 암석의 전체 밀도가 변하게 되어 초음파의 속도가 변하게 된다. 초음파 측정은 각 지점에서 5회 측정하여 평균값을 계산하였다. 초음파 속도 측정 시 거리별 측정 구간을 4 line을 지정하여 값을 비교하였으며, 초음파 측정 구간별 평균값을 대상으로 강화제 처리 전후의 속도변화에 대해 관찰하였다. Fig. 8과 Table 3은 강화제 처리 전후 시간에 따른 초음파 속도변화를 나타낸 것이다. Line 1의 경우 강화제 처리 전 1596.5 m/s에서 10일 후 2378.3 m/s로 증가하였으나 점차 감소하여 70일 후 1563.8 m/s로 강화제 처리 전의 초음파 속도와 거의 비슷한 값을 나타낸다. Line 2는 Line 1과 유사한 경향을 나타

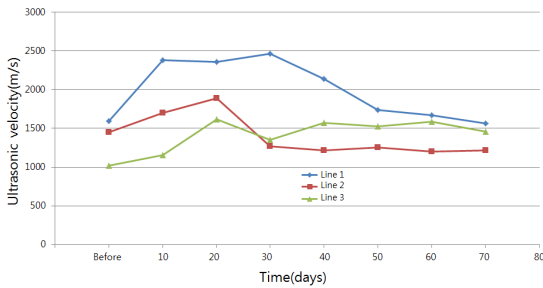


Fig. 8. Variations of ultrasonic velocity of granite before and after treated with consolidant.

내며, Line 3의 경우 초기에 강화제 처리 전 보다 증가하여 거의 일정한 초음파 속도를 유지하였다. 지금까지의 연구에서는 보존 처리제 처리 후 초음파 속도가 대체로 증가하였으며, 이는 강화제가 암석의 내부에 존재하는 공극에 침투하여 겔 형태의 실리콘 성분의 물질을 형성하여 공극을 채웠기 때문이다(Han *et al.*, 2009). 초음파 속도 증가에 대한 효율은 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{초음파에 의한 효율(\%)} = \frac{[(\text{초기 속도} - \text{처리 후 속도}) / \text{초기 속도}] \times 100$$

초음파 속도에 의한 강화 효율은 대체로 강화제 처리 전 초음파 속도가 느린 지점일수록 높다 (Fig. 9). 따라서 화강암에 대한 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제는 풍화가 많이 진행되어 초음파 속도가 느린 암석일수록 강화효율이 높을 것으로 판단된다.

### 결 론

우리나라의 석조문화재의 재질로 가장 많이 사용하는 암석은 화강암으로 전체 석조문화재 중 56% 정도 차지하고 있다. 경주지역에는 다수의 국보 혹은 보물급 석조문화재가 위치하고 있으며 대부분 주변의 화강암으로 제작되었다. 천년 이상의 세월이 지나면서 야외에 위치한 석조문화재는 물리화학적 풍화작용에 의해 상당히 손상된 상태이다. 손상된 석조문화재는 강화제나 보존처리제를 이용하여 원형을 최대한 오랫동안 유지할 수 있도록 관리해야 한다. 본 연구에서는 경주지역 일대에 산재해 있는 석조문화재와 유사한 재질인 화강암에 개발한 강화제인 1TIG\_5 wt 0.08 %를 처리하여 암석의 기본적인 특성과 표면 변화 및 정량적으

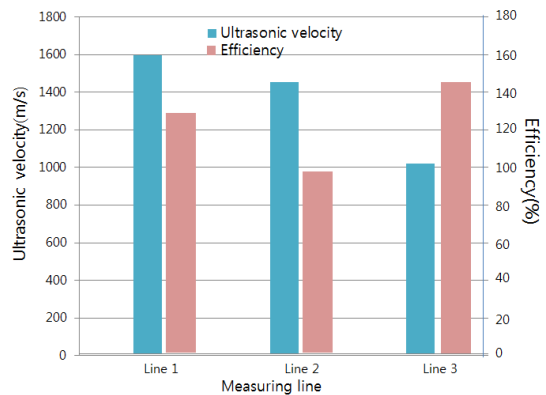


Fig. 9. Ultrasonic velocity and efficiency Shore hardness and efficiency each point on surface of granite.

로 측정할 수 있는 자료에 대해 강화효율을 평가하였다.

실험에 사용한 화강암의 주 구성광물은 석영, 사장석, 정장석, 각섬석으로 경주 화강암과 유사한 광물조성을 갖고 있으며 강화제 처리 후 X-선회절 강도가 약간 줄어드는 경향이 있지만 다른 변화는 관찰되지 않는다. 이는 강화제의 피복에 의한 X-선 흡수에 기인한 것으로 판단된다. 암석 표면에 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제의 피복 상태는 오랜 시간이 지나도 변화가 없기 때문에 피복 및 지속 상태는 매우 우수한 것으로 판단된다. 강화제 처리 전 쇼어경도값이 높은 경우 처리 후 낮아지며, 처리 전 낮은 경우 높아지는 경향이 있다. 이는 쇼어경도가 암석의 표면 부분의 경도를 측정하는 것이기 때문에 주로 강화제에 의해 경도값이 결정되는 것으로 판단된다. 따라서 표면의 쇼어경도에 대한 강화제의 효율은 초기 경도값이 낮을수록 높지만 강화제 자체에 의해 경도가 변화될 수 있기 때문에 쇼어경도에 의한 강화 효율 평가는 신중을 기해야 할 것으로 판단된다. 색도 변화는 강화제 처리 후 초기에는 약간 어두워지지만 시간이 지남에 따라 원래의 밝기로 환원되는 경향이 있다. 초음파 속도 변화는 강화제 처리 후 초기에는 증가하지만 시간이 지남에 따라 약간 감소하여 일정하게 유지된다. 초음파 속도 증가에 대한 효율은 강화제 처리 전 초음파 속도가 느린 지점일수록 높기 때문에 화강암에 대한 1TIG\_5 wt 0.08 % 강화제는 풍화가 많이 진행되어 초음파 속도가 느린 암석일수록 강화효율이 높다.



강화제 1T1G\_5 wt 0.08 %의 화강암에 대한 강화처리 결과 우수한 표면 피복 특성과 풍화가 진행되어 쇼어경도가 낮거나 초음파 속도가 느린 화강암에서 특히 높은 강화 효율을 나타내었다.

## 사 사

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 No. NRF-2010-0008911)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 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.
- Choi, Y.S., Lee, J.H., Jeong, Y.S., Kang, Y.S., Won, J.O., Kim, J.J. and Kim, S.D. (2012) Performance Improvement of Hydrogenated Bisphenol-A Epoxy Resin/Inorganic Additives Composites for Stone Conservation by Controlling Their Composition. *Journal of Conservation Science*, 28, 265-276 (in Korean with English abstract).
- Han, M.S., Lee, J.J., Jun, B.K., Song, C.Y. and Kim, S.D. (2008) Quantitative Evaluation for Effectiveness of Consolidation Treatment by using the Ethylsilicate for the Namsan Granite in Gyeongju. *Journal of Mineralogical Society of Korea*, 21, 183-192 (in Korean with English abstract).
- Kim, E.K., Park, S.Y., Cho, H.D., Won, J.O., Do, J.Y. and Kim, S.D. (2007) Development of Alkoxysilane Mixed Solution as Stone Preservation and Consolidation Materials. *Journal of Conservation Science*, 21, 21-32 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.J., Won, J.O. and Kang, Y.S. (2012) Surface Characterization of Rocks after Treated with Developed Consolidants. *Journal of Mineralogical Society of Korea*, 25, 105-115 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.D., Lee, M.S., Han, B.I., Lee, J.J. and Song, C.Y. (2009) Deterioration Diagnosis and Conservation Treatment of the Jincheon Sagongnimaeyeoraeipsang (Stone Relief of Standing Buddha in Sagok-ri), Korea. *Journal of Conservation Science*, 25, 323-333 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.H., Won, J.O., Kang, Y.S., Jang, Y.D., Kim, S.D. and Kim, J.J. (2009) Studies on Physical Characterization of Gyeongju Namsan Granite after Treated with Consolidants. *Journal of Conservation Science*, 25, 245-256 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.M., Lee, M.S., Kim, J.H. and Lee, M.H. (2010) Effect of Consolidation using Artificial Porous Material for Stone Cultural Property. *Journal of Conservation Science*, 26, 325-334 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.M., Lee, M.S., Park, S.M., Lee, M.H. and Kim, J.H. (2013) Experimental Application of Consolidants Using Artificially Weathered Stones(II): Focusing on Accelerated Weathering Test. *Journal of Conservation Science*, 29, 249-259 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., Lee, M.S., Cho, Y.H., Lee, C.H., Jeong, S.W., Kim, J.O. and Kim, S.D. (2007) Deterioration Diagnosis and Conservation Treatment of the Three-storied Stone Pagoda in the Cheongryongsa Temple, Anseong, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 40, 661-673 (in Korean with English abstract).
- 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.
- Park, S.J., Won, J.O., Do, J.Y., Kim, J.J. and Kim, S.D. (2011) Study on the Physical Properties of Alkoxysilane-based Stone Consolidants with Different Hydrolysis. *Journal of Conservation Science*, 27, 201-209 (in Korean with English abstract).
- 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.
- Son, S.H., Won, J.O., Kim, J.J., Jang, Y.D., Kang, Y.S. and Kim, S.D. (2009) Organic-Inorganic Hybrid Compounds Containing Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane for Conservation of Stone Heritage, *Applied materials and interface*, 1, 393-401.
- Song, C.Y., Han, M.S., Lee, J.J., Jun, B.K. and Do, M.H. (2009) Characteristic Analysis on Mixed Filler

of Conservation Materials for Stone Cultural Heritage. Journal of Conservation Science, 25. 439-450 (in Korean with English abstract).

Yoon, I.N., Lee, Y.S., Kang, D.K., Min, J.S., Won, J.O., Kim, M.S., Kang, Y.S., Kim, S.H. and Kim, J.J. (2011) Modification of hydrogenated Bisphenol

A epoxy adhesives using nanomaterials. International Journal of Adhesion and Adhesives, 31, 119-125.

---

접수일(2014년 9월 18일), 수정일(1차 : 2014년 9월 23일),  
게재확정일(2014년 9월 26일), 책임편집위원 : 권기덕