

경주 석조문화재 모니터링 분석조사 결과 보고서

세부과제 : 석장동 암각화 및 안심리 암각화



2015. 10.

(주)세영씨&티

국립경주문화재연구소

제 출 문

국립경주문화재연구소 귀하

귀 기관에서 의뢰하신 “경주 석조문화재 분석조사”
용역이 완료되었기에 보고서를 제출합니다.

2015년 10월

(주)세영씨엔티 대표 정현아

<제목 차례>

경주 석조문화재 모니터링 분석조사	i
석장동 암각화 위치도	iii
안심리 암각화 위치도	iv
분석조사대상 현황	v
I. 서 론	1
II. 암각화 손상도 분석조사	9
III. 암각화 암석 분석조사	32
IV. 고찰 및 결론	55

<표 차례>

표 1. 손상 현황 및 재질 분석을 위한 분석 장비	7
표 2. 석장리 암각화 주성분 분석 결과	36
표 3. 안심리 암각화 주성분 분석 결과	36
표 4. 오염물 및 안료 분석 결과	40
표 5. 석장동 암각화 초음파속도 측정 결과	41
표 6. 장동 암각화 표면수분 측정 결과(%)	44
표 7. 석장동 암각화 초음파속도 측정 결과	46
표 8. 표면수분 측정 결과(%)	48
표 9. 석장동 암각화의 물리적 특성	49
표 10. 안심리 암각화의 물리적 특성	50
표 11. 각종 암석의 건조단위중량 및 공극률	50

<그림 차례>

그림 1. 석장리 암각화 주변 현황.	10
그림 2. 안심리 암각화 주변 현황.	12
그림 3. 현황 사진1.	13
그림 4. 현황 사진2.	14
그림 5. 실체현미경 조사 사진.	15
그림 6. 석장동 암각화의 물리적 손상 사진.	16
그림 7. 석장동 암각화의 물리적 손상지도.	17
그림 8. 석장동 암각화의 화학적 손상 사진.	18
그림 9. 석장동 암각화의 화학적 손상지도.	19
그림 10. 석장동 암각화의 생물적 손상 사진1.	20
그림 11. 석장리 암각화의 생물학적 손상지도(지의류로 인한 흑화 현황)	21
그림 12. 석장리 암각화의 생물학적 손상지도(고착지의류 분포 현황)	22
그림 13. 현황 사진1.	23
그림 14. 현황 사진2.	24
그림 15. 실체현미경 조사 사진.	25
그림 16. 안심리 암각화의 물리적 손상 사진1.	26
그림 17. 안심리 암각화의 물리적 손상지도.	26
그림 18. 안심리 암각화의 화학적 손상 사진1.	27
그림 19. 안심리 암각화의 화학적 손상지도(흑색 변색).	28
그림 20. 안심리 암각화의 생물적 손상 사진1.	29
그림 21. 안심리 암각화의 생물학적 손상 사진2.	30
그림 22. 안심리 암각화의 생물학적 손상지도(지의류).	31
그림 23. 암각화 채집 암석 시료.	32
그림 24. 석장동 암각화 시료의 편광현미경 분석 결과.	33
그림 25. XRD 분석 결과.	34
그림 26. SEM 분석 결과.	35
그림 27. 조사대상 석장동 암각화의 주변지질도.	37
그림 28. 조사대상 안심리 암각화의 주변지질도.	37
그림 29. 석장동 암각화 표면오염물 현황사진.	38
그림 30. 안심리 암각화 표면오염물 사진.	39

그림 31. 석장동 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화도 분석 결과.	42
그림 32. 석장동 암각화의 초음파속도의 풍화지수 빈도 분석 결과.	42
그림 33. 석장동 암각화 물성분포도.	43
그림 34. 경주 석장동 암각화의 수분분포도.	45
그림 35. 안심리 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화도 분석 결과.	47
그림 36. 안심리 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화지수 빈도 분석 결과.	47
그림 37. 안심리 암각화의 물성분포도.	48
그림 38. 안심리 암각화의 수분분포도.	49
그림 39. 석장동 암각화 열적외선 화상 사진1.	51
그림 40. 석장동 암각화 열적외선 화상 사진2.	52
그림 41. 안심리 암각화 열적외선 화상 사진1.	53
그림 42. 안심리 암각화 열적외선 화상 사진2.	54

경주 석조문화재 모니터링 분석조사

□ 캐요

□ 주요내용

○ 암석광물 분석조사

- 마애보살에서 동질의 암석과 주변 토양을 각각 채집하여 편광현미경분석과 XRD분석을 실시하여 조암광물을 분석하고 SEM을 이용하여 미세구조를 관찰 한다.
 - SEM 분석을 실시하여 풍화산물을 분석한다.
 - 분석된 자료에 근거하여 암석 풍화상태를 해석한다.

○ 초음파 탐사를 이용한 물성 분석조사

- 마애보살상 재질의 강도 추정을 통한 정량적 풍화도를 산출하기 위해 초음파 탐사를 실시한다.
 - 측정값을 각각의 입면도에 투영하여 2D 모델링을 실시하여 풍화정도를 파악 한다.
 - 측정된 초음파속도를 이용하여 마애보살상 구성 재질의 일축압축 강도를 추정하고 풍화지수를 산출한다.
 - 수분분포도를 작성하여 물성분포도와 비교 해석한다.
 - 보존처리 전후 상태 비교를 위한 기초자료 확보한다.

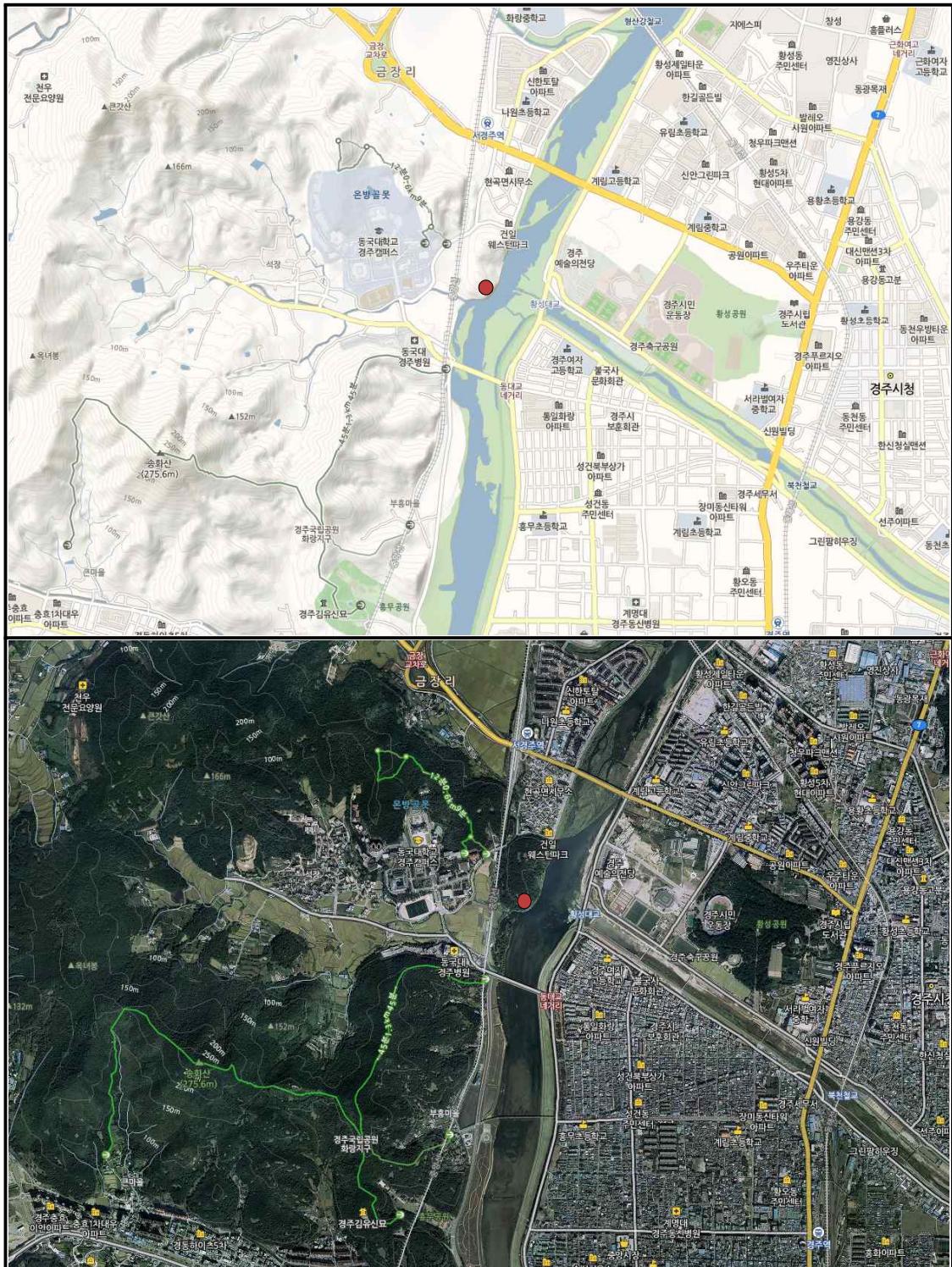
○ 표면오염물 분석조사

- P-XRF를 이용하여 마애보살 표면의 오염물을 분석한다.
 - 열적외선 카메라를 이용하여 표면오염물로 인한 변화도를 분석조사한다.

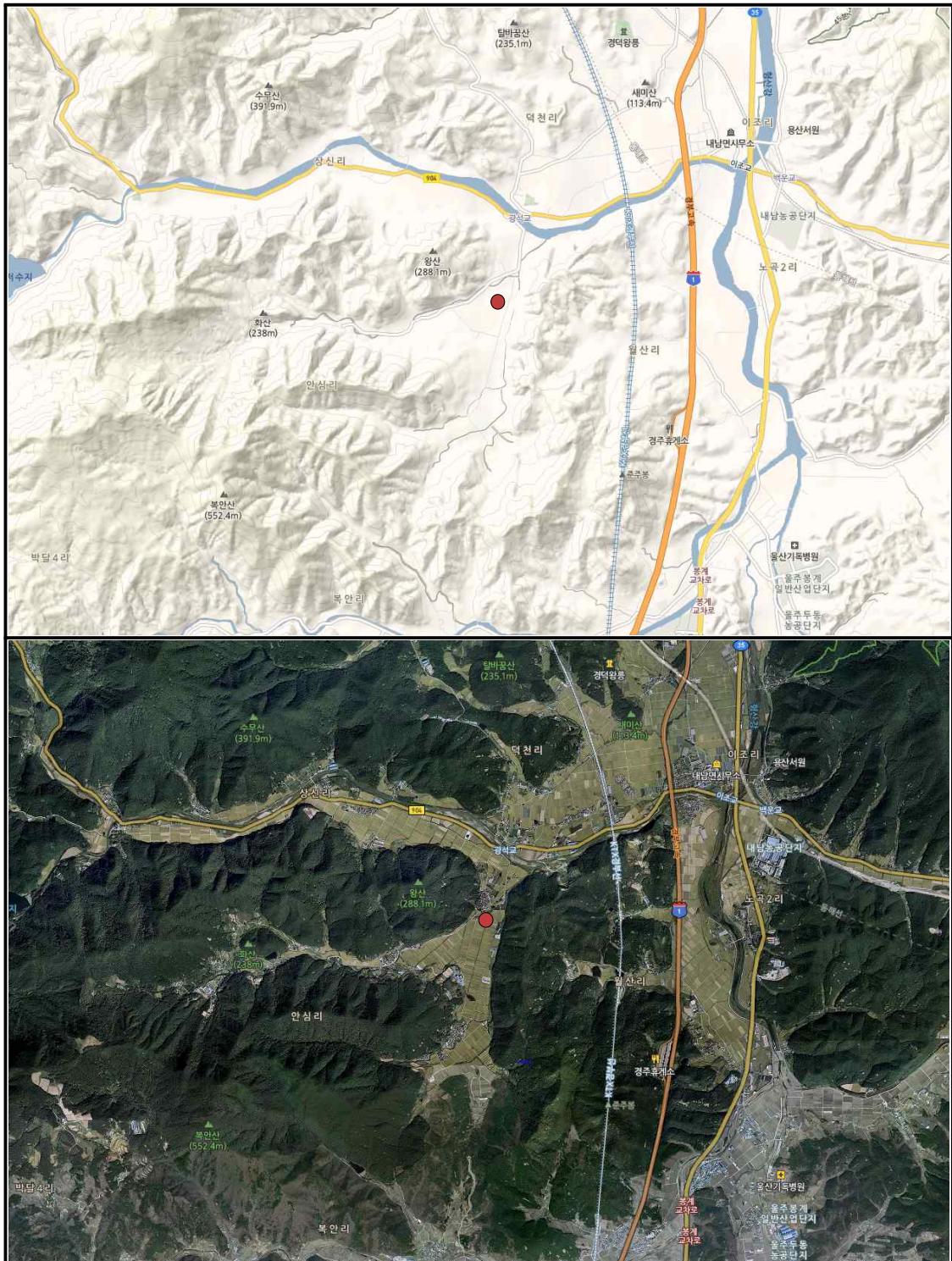
□ 분석조사 인원

- 책임연구원: ooo(공학박사/문화재학박사)
- 선임연구원: ooo(문화재학 석사, 경력 11년)
- 연구원: ooo(경주대학교 문화재학과 석사과정, 경력 6년)
- 연구원: ooo(경주대학교 문화재학과 석사과정, 경력 3년)

석장동 암각화 위치도



안심리 암각화 위치도



□ 분석조사대상 현황

석장동 암각화

암각화란 바위나 동굴의 벽면에 기호나 물건의 모양을 새겨 놓은 그림을 이른다. 이 암각화는 경주 평야를 가로지르는 두 하천이 만나는 곳의 북쪽 바위벽에 그려진 것이다. 선사시대의 것으로 추측되는 이 그림은 강물에서 약 15m 높이의 수직 절벽 윗부분에 가로 약 2m, 세로 약 9m되는 범위에 새겨져, 추상적이고 기하학적으로 표현되어 있다. 모두 27점이 확인되었는데, 기하문 8점과 검과 창의 요소를 갖춘 그림 11점, 발자국 4점, 여성기(女性器) 3점, 배 1점, 그외 동물모습과 해석이 어려운 그림 등이 있다. 서로 조금씩 형태를 달리하고 있지만 기본은 방패 모양과 도토리 모양, 꽃 모양으로 나눌 수 있는데, 이 가운데 도토리 모양과 꽃 모양의 그림은 다른 지역의 바위그림에서는 볼 수 없는 이 지역만의 독특한 특색이다. 특히 검과 결합된 여성기의 그림 등은 칠포리의 영향을 많이 받은 것으로 추정된다.



안심리 암각화

암각화란 선사시대 사람들이 바위나 동굴벽에 기호나 물건, 동물 등의 그림을 새겨놓은 것을 말하는데, 주로 농사의 풍요와 생산을 기원하는 주술행위의 결과물로 보인다. 이 암각화는 땅위에 돌출되어 있는 높이 2m 정도 되는 자그마한 암석에 새겨 놓은 것이다.

면 전체에 새겨놓은 12점의 그림은 추상적인 형태를 하고 있는데, 굿거나 파내는 방식이 아닌 쪼아서 만드는 방식을 사용하고 있다. 개개의 형상과 크기는 조금씩 차이가 나지만, 그 기본양식은 좌우에 대칭되도록 둥근 선을 두고, 그 사이에 가로로 선을 굽고, 가로선의 위 아래로 2개씩의 알구멍<성혈(性穴)>을 쪼아 넣은 모습이다.

동해안과 낙동강 유역의 강변이나 계곡에 분포하는 암각화 유적과 비슷하며, 선사시대 신앙의 대상이었던 것으로 짐작된다.



I. 서 론

우리나라 대부분의 석조문화재는 옥외에 위치하여 자연현상에 의해 풍화가 진행되고 있다. 비, 바람과 사계절 온도 차이로 발생하는 자연적 요인 이외에도 홍수, 태풍, 지진과 같은 자연 재해와 화재, 도굴 또는 반달리즘(vandalism) 등의 인위적 요인에 의해서도 손상되고 있다. 석조문화재의 손상에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 석조문화재가 위치한 환경에 의한 손상이다.

석조문화재는 석탑, 승탑, 마애불, 당간지주, 석교, 석인상 등으로 이 중 마애불은 자연상태의 암반에 음각 또는 양각으로 새긴 불상이다. 마애불을 새긴 암체는 대부분 오랫동안 외부에 노출되어 풍화가 진행된 상태에서 조각된다. 마애불을 새기면서 신선한 표면이 노출되어도 이미 암석은 풍화과정에 의해 재질이 약화된 상태가 대부분이다.

석조문화재를 구성하는 암석의 종류는 화강암, 사암, 셰일(shale) 등이며, 대부분 화강암이 주로 사용되었다. 화강암은 단단한 암석이나 풍화된 상태에서는 재질이 약화되어 표면에는 미세균열이 발생한다. 이후 자연적 풍화가 계속되면서 석조문화재 표면은 약화되어 간다. 또한 오늘날의 환경오염은 풍화와 침식 등을 가속화시켜 변화를 초래하므로 오늘날 석조문화재는 자연현상에 의한 손상에 취약하다.

석조문화재의 훼손은 여러 가지 이유로 발생하지만 크게 물리적 요인, 화학적 요인, 생물학적 요인, 구조적 요인, 인위적 요인으로 구분하여 조사연구 한다. 석조문화재의 이러한 훼손은 특정한 한 가지 요인으로 대변할 수 없고 각각의 훼손 요인들이 유기적으로 얹혀 복합적으로 발생하면서 훼손을 가속화 시킨다.

석조문화재 대부분은 축조시기가 오래되었기 때문에 재질이 약화된 것을 잘 보존하기 위해서는 훼손 원인을 하나 하나 밝혀 그 원인을 제거하는 조치를 함으로써 더 이상의 훼손이 발생되지 않도록 하는 것이다.

자연환경에 노출된 석조문화재 보존위한 연구는 자연현상에 대한 이해가 매우 중요한 요소로 작용할 수 있다. 자연현상을 이해하려면 입지에 따라 지형, 수목, 수계가 미치는 영향을 검토해야 한다. 특히 마애불 보존은 주변 환경과 암석의 상태 및 풍화 산물에 대한 연구를 통해 이루어져야 할 것이다.

석조문화재 보존을 위한 연구 중에서 자연환경과 관련한 연구로는 환경 또는 산성비를 포함한 석조문화재의 손상(정종현 외, 2005; 박성미 외 2009; 도진영 외, 2010)과 생물로 인한 석조문화재의 손상(정용재 외, 2003; 윤윤경 외, 2007)이 있으며, 암석의 풍화생성물과 관련한 연구가 있다(이상현 외 1997; 양희제 외, 2008).

제시한 연구들은 석조문화재의 손상을 해석하기 위한 요인별 연구로서 종합적인 풍화양상을 검토하기에 다소 미흡한 점이 있다. 앞서 기술한 바와 같이 마애불은 자연상태의 암반에 새진 불상으로 이미 암석의 재질이 약화된 상태로서 주변 환경이 미치는 영향을 이해하고 연구해야만 손상에 대한 예방적인 방안을 설계 할 수 있다.

이 분석조사에서는 암각화의 자연환경으로 인한 손상 특성을 분석하고 육안관찰 및 실체현미경 분석조사, 초음파속도를 이용한 물성평가, 오염물 및 안료 분석, 암석분석 등의 재질분석을 수행하였으며, 주변에 인접한 도로를 주행하는 차량으로 인한 진동에 대해 분석조사하였고 기록화 및 실측조사를 위해 3D Scanning을 수행하였다.

□ 분석조사 방법과 장비

○ 초음파■ 이용한 물성 분석조사

- 초음파의 기본이론

초음파를 이용한 비파괴 검사는 시료채취 및 표면의 연마가 불가능한 건축문화재의 강도파악을 위해 주로 사용되고 있다. 고체인 재료의 내부를 통과하는 초음파의 속도는 그 재료의 밀도와 탄성적 성질에 의해 좌우 된다. 어떤 재료의 품질은 때때로 그 탄성적 강성과 비례하기 때문에 초음파 속도를 측정함으로써 탄성적 성질의 결정뿐만 아니라 그 품질을 평가할 수도 있다. 특히 콘크리트, 암석, 목재 같은 경우에 이러한 방법으로 재료의 품질을 평가할 수 있으므로 초음파 속도의 측정이 매우 유효한 수단이 된다.



초음파속도측정기 (Ultracon-170, 엠케이씨코리아)

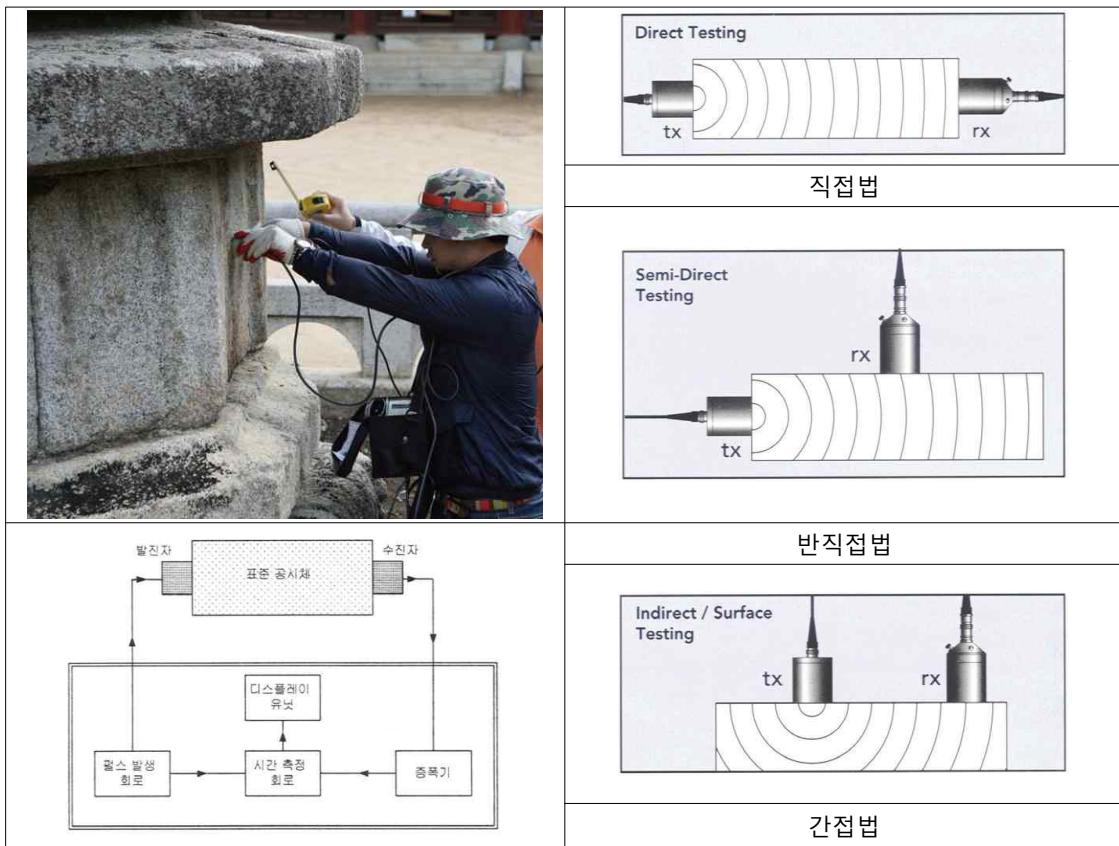
- 측정기기

초음파를 이용한 비파괴 장비로는 휴대성 및 사용성이 편리한 초음파 탐사기를 주로 많이 사용하며, 콘크리트 및 석재 등에 발진자(TX)와 수진자(RX)를 접착시킨 후 발진자로부터 발진한 초음파 펄스(20~ 200kHz의 단속음파)가 콘크리트 및 석재 등의 내부 속을 이동하여 다른 쪽의 수진자에 도달한 시간을 구하여 그 값을 전파시간으로 하며, 양단자 간의 거리를 구하여 속도를 구해 낸다.

○ 측정 방법

- 측정법으로서는 일반적으로 다음 세 가지 방법을 사용한다.

 - 1) 직접법: 진자를 재료의 마주보는 표면에 둔다.
 - 2) 반직접법: 진자를 재료의 이웃한 표면에 둔다.
 - 3) 간접법 또는 표면파법: 재료의 동일표면에 진자를 둈다.



(국립문화재연구소)

초음파탐사기를 이용하여 초음파속도를 측정할 경우 발진자(TX), 수진자(RX)와 실체의 접착도를 높이기 위해 실리콘 계열의 그리스나 알갱이 등의 함유물질이 없는 수용성의 젤을 얇게 도포한 후 사용하거나, 스너그라는 제품을 사용한다. 그러나 건축문화재의 경우에는 문화재 보존원칙에 따라 문화재를 오염시킬 수 있는 그리스나 젤은 일반적으로 사용하지 않고, 최근에는 문화재에 전혀 손상이나 오염을 주지 않는 스너그제품을 많이 이용한다.

일반적으로 건축문화재의 초음파 탐사시 발진자(TX)와 수진자(RX)의 직접법이나 간접법을 사용하여 각 측정점에서 수진자와 발진자를 서로 교대하여 측정하게 되는데 측정면은 평탄하고 균열이 없는 곳을 선정하고, 요철부분에는 발·수진자의 접촉면이 밀착 될 수 있도록 접촉제를 사용하여 밀착하고 가압한 후 3회 이상의 측정을 실시하여 그 평균값을 초음파실험의 측정값으로 한다.



(a) 스너그



(b) 젤

○ 초음파 탐사기 측정시 주의사항(압축강도분석조사)

- 초음파의 발진자(TX)와 수진자(RX) 간의 거리는 10cm 이상으로 하고 1m 이내에서 측정을 하여야 한다. 가장 근접한 측정거리로는 20 ~ 30cm가 적합하다.
- 초음파의 전파속도는 발진자(TX), 수진자(RX)와 측정부의 접착상태에 따라 ± 0.25 정도의 오차가 생기게 된다.
- 측정부위는 수분 입자가 없는 건조한 곳을 선정한다.
- 측정시 발진자(TX)와 수진자(RX)의 동일선상에 금속과 같은 물질이 위치하지 않도록 한다.

○ 통화지수 산정

- 보정계수

초음파탐사 방법은 탐촉자의 배열방법에 따라 직접법, 반직접법, 간접법으로 구분된다. 석조문화재의 정확한 물성을 파악할 수 있는 방법은 직접법이지만 대형

석조문화재은 간접법으로 초음파탐사를 실시해야 한다. 간접법으로 측정할 경우 초음파의 주시방향 및 수신감도의 차이로 인해 직접법에 비해 초음파 전달속도가 감소하게 된다. 따라서 석조문화재의 초음파속도를 측정하기 위해서는 측정방법에 따른 보정이 필요하다.

$$\text{보정계수} = \frac{\text{직접법에 의한 초음파속도 } (m/s)}{\text{간접법에 의한 초음파속도 } (m/s)}$$

- 초음파속도 측정

초음파속도는 발신자에서 수신자까지의 측정거리와 전달시간을 측정하여 계산 할 수 있으며, 산출식은 아래와 같다. 간접법으로 측정한 초음파속도는 측정방법에 따른 보정을 하기 위해 보정계수를 곱하여 계산한다. 또한 탐상기에서 측정된 초음파 전달시간은 μs 로 측정되므로 국제적으로 통용되는 ms 단위로 환산하여 초음파속도를 산출한다.

$$\text{초음파속도 } (m/s) = \frac{\text{측정거리 } (cm)}{\text{전달시간 } (\mu s)} \times \text{보정계수} \times 10^4$$

- 풍화도지수 산출

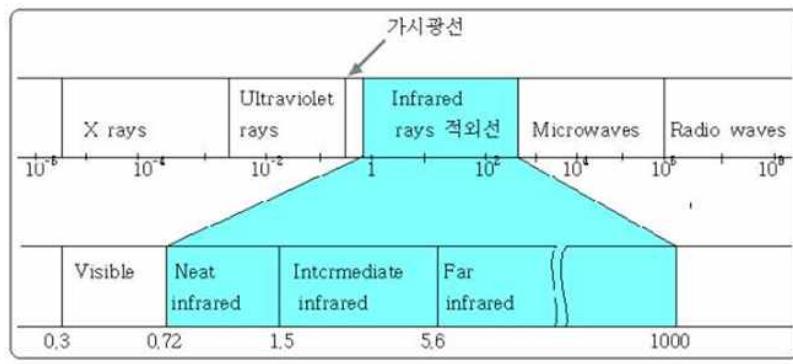
풍화도지수는 신선한 암석과 풍화된 암석의 초음파속도 차이를 이용하여 풍화도를 나타낸 것으로 풍화의 심화에 따라 민감하게 변화하는 인자들의 영향을 종합적으로 반영한다. 석조문화재의 구성재질에 따라 신선한 암석의 초음파속도는 상이하다. 따라서 풍화도지수는 해당 석조문화재와 동일한 신선한 암석의 초음파속도를 기준으로 산출한다.

$$\text{풍화도지수 } (k) = \frac{\text{신선한 암석의 초음파속도} - \text{풍화된 암석의 초음파속도}}{\text{신선한 암석의 초음파속도}}$$

풍화등급	풍화도지수(k)	초음파속도(ms)
1등급	0	> 5,000
2등급	0~0.2	5,000~4,000
3등급	0.2~0.4	4,000~3,000
4등급	0.4~0.6	3,000~2,000
5등급	0.6~1.0	< 2,000

○ 적외선 열화상 측정

적외선 비파괴검사는 대상체의 표면으로부터 복사 또는 방사되는 열에너지¹⁾를 전자파의 일종이며, 파장 범위가 약 $0.8 \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ 인 적외선 형태로 검출하고, 검출된 복사열의 강도나 양에 따른 대상체의 온도 차이 분포를 열화상 장치를 이용하여 영상으로 재현하여 검사하는 방법이다.



가시광선과 적외선 스펙트럼



적외선 열화상 비파괴 검사 원리

본 조사에서는 적외선 열화상카메라(FLIR E-60, 측정 가능 온도 범위 : $-20^\circ\text{C} \sim +650^\circ\text{C}$)를 이용하여 석조문화재의 표면에서 방출되는 열에너지를 차이를 측정하여 손상 상태 및 안정성을 조사하였다.

1) 물질을 구성하는 입자(원자, 분자, 이온)의 집단이 열에 의해 여기될 때, 열에너지를 방출하는 현상이며, 이 현상은 고온일수록 현저하게 발생하며 상온 및 저온에서도 물체가 절대온도($^\circ\text{K}$)이상의 온도에서는 반드시 일어난다.

○ 재질 및 오염물 분석 장비

표 1. 손상 현황 및 재질 분석을 위한 분석 장비

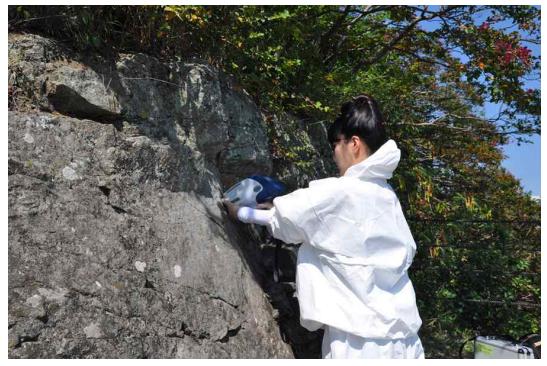
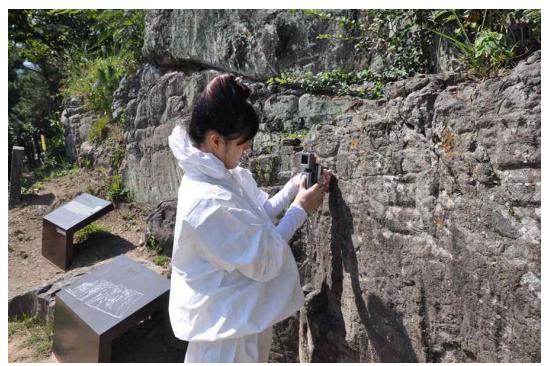
장비명	이미지	수량	제원
S-2300		1set	주사전자현미경/에너지분산형광엑스선분석기 Hitachi, Japan/Kevex, US SEM-EDX 미세조직 및 화학 성분 정성•정량 분석
P-XRF		1set	휴대용 형광엑스선분석기 Burker, USA Analysis mode : Geometry(산화물 보정, 토양 및 안료) Alloy(금속 및 합금)
적외선 열화상 측정 장치 E60		1set	FLIR E-60 측정 가능 온도 범위 : -20°C~+650°C

○ 현장 분석조사 사진

암석 및 물성 분석조사 사진



오염물 분석조사 사진



II. 암각화 손상도 분석조사

II-1. 현황

○ 주변 현황 분석조사

- 석장동 암각화

경주 석장동 암각화는 형산강 접한 높이 40여 미터의 암반에 중간에 새겨진 암각화이다. 금장대가 복원 정비되면서 암각화의 주변도 정비되었다. 암각화에 가려면 경주 동국대 앞의 길을 따라 오르면 금장대로 들어가는 입구가 있고 새로이 조성된 금장대 주차장에서 오르는 길이 있다. 암반은 형산강과 접해 있으며 암반은 풍화토가 전체적으로 덮여 있는 상태이다. 암체 주변에는 관목과 다양한 식생이 분포하고 있다.

안심리 암각화 조사표												
명칭	경주석장동암각화			지정번호	경상북도 기념물 제98호							
소재지명	경북 경주시 석장동 산38-1번지			조사기간	2015.08.28.~09.25							
조사목적	경주 석조문화재 모니터링											
규모												
제작시대	삼국 이전	고구려	백제	신라	통일 신라	고려	조선	근대	시대 미상			
종류	석탑	석불	석비	석등	승탑	마애	당간	석교	기타(암각화)			
문양	평다듬	중간 다듬	거친 다듬	매우 거친	고부 조	저부 조	양각	음각	기타()			
보존상태	약 90% (전체 크기에 비례한 보존상태)											
사이트 환경	평지	산능선	계곡	산기슭		기타()						
	충적토	풍화토	암반	저습지		기타()						
	보호각	철책	석책	없음		기타()						
재질	화성암		변성암		퇴적암	사암						
	비현정	현정	입상	반상	괴상	층리	편리	편마상	기타()			
	극세립	세립	극조립	조립	중립	거정	등립	완정	기타()			
	석영	K-장석	사장석	흑운모	각섬 석	방해 석			기타()			
	포획암		암맥				기타()					
보존상태	주석재	사암	부석재				기타()					
풍화상태	D-1	D-2	D-3	D-4		D-5						
물리적 손상	균열	박리박락	입상분해		층리		판상박락					
	전체적 절리 open	암체 상부	전체적 밟달		전체적 밟달							
화학적 손상	변색	오염물	백화									
	흑화				기타()							
생물학적 손상	균류/조류	지의류	선태류		기타(두터운 bio film 형성, 초본류 다양)							
	토양남조	유입	유입									
석장동 암각화는 금장대가 복원되면서 주변이 정비되고 수변 공간에 위치												



그림 1. 석장리 암각화 주변 현황.

- 안심리 암각화

안심리 암각화는 농경지의 가운데 위치하고 있어 논둑 길로 진입해야 한다. 주변이 평저하고 개방된 곳이며, 주변에는 수목이 없고 초본류가 다양하게 생장하고 있다.

안심리 암각화 조사표														
명 칭	경주안심리암각화			지정번호	경북 문화재자료 제312호									
소재지명	경북 경주시 내남면 안심리 14번지			조사기간	2015.08.28.~09.25									
조사목적	경주 석조문화재 모니터링													
규 모														
제작시대	삼국 이전	고구려		백제	신라	통일 신라	고려	조선	근대	시대 미상				
종 류	석탑	석불	석비	석등	승탑	마애	당간	석교	기타(암각화)					
문 양	평다듬	중간 다듬	거친 다듬	매우 거침	고부 조	저부 조	양각	음각	기타()					
보존상태	약 90% (전체 크기에 비례한 보존상태)													
사이트 환경	평지		산능선		계곡		산기슭		기타()					
	충적토		풍화토		암반		저습지		기타()					
	보호각		철책		석책		없음		기타()					
재 질	화성암				변성암		퇴적암	사암						
	비현정	현정	입상	반상	괴상	층리	편리	편마상	기타()					
	극세립	세립	극조립	조립	중립	거정	등립	완정	기타()					
	석영	K-장석	사장석	흑운모	각섬 석	방해 석			기타()					
	포획암					암맥		기타()						
보존상태	주석재		사암		부석재		기타()							
풍화상태	D-1		D-2		D-3		D-4	D-5						
물리적 손상	균열		박리박락		입상분해		층리	판상박락						
	전체적 절리 open		암체 상부		전체적 발달		전체적 발달							
화학적 손상	변색		오염물		백화		기타()							
	흑화													
생물학적 손상	균류/조류		지의류		선태류		기타(두터운 bio film 형성)							
	토양남조		유입		유입									
안심리 암각화 주변은 농경지로 둘러 쌓여 있음														

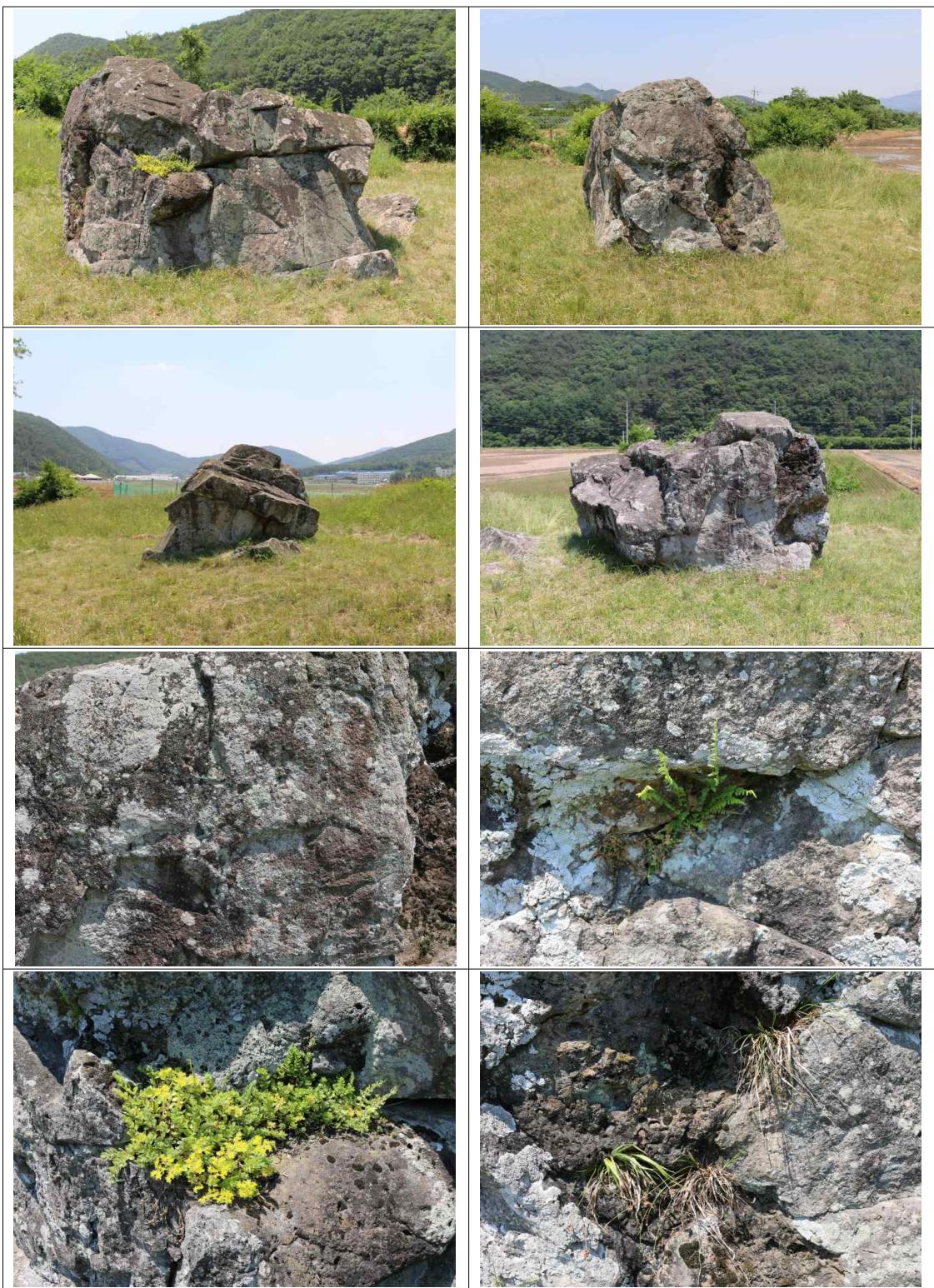


그림 2. 안심리 암각화 주변 현황.

II -2. 손상도 분석조사

○ 석장동 암각화의 요인별 훼손지도



그림 3. 현황 사진1.

석장동 암각화 암체는 절리가 상태로서 절리의 joint는 확장된 상태이다. 표면에는 박리박락과 암각화가 새겨진 암체의 상부에서는 입상분해를 관찰할 수 있다. 표면에는 다양한 고착상 지의류와 엽상지의류를 관찰할 수 있다.



그림 4. 현황 사진2.

다음에 제시한 사진은 실체현미경 사진으로 균열부위에는 토양남조류의 생장 후 미소토양과 함께 잔류물이 남아있는 사진과 고착상지의류 및 토양남조류로 인한 변색부위이며 고착상 지의류가 발생한 후 박테리아의 활동으로 인해 황색을 나타내는 고착상지의류의 관찰사진이다.

암체 표면에 발생한 침해생물들은 한동안 수분의 공급이 원활치 않으면서 대부분 표면에 균열현상이 발생한 상태이다. 이러한 상태이더라도 다습한 환경이 유지되면 표면생물들은 다시 생장활동이 활발해 진다.

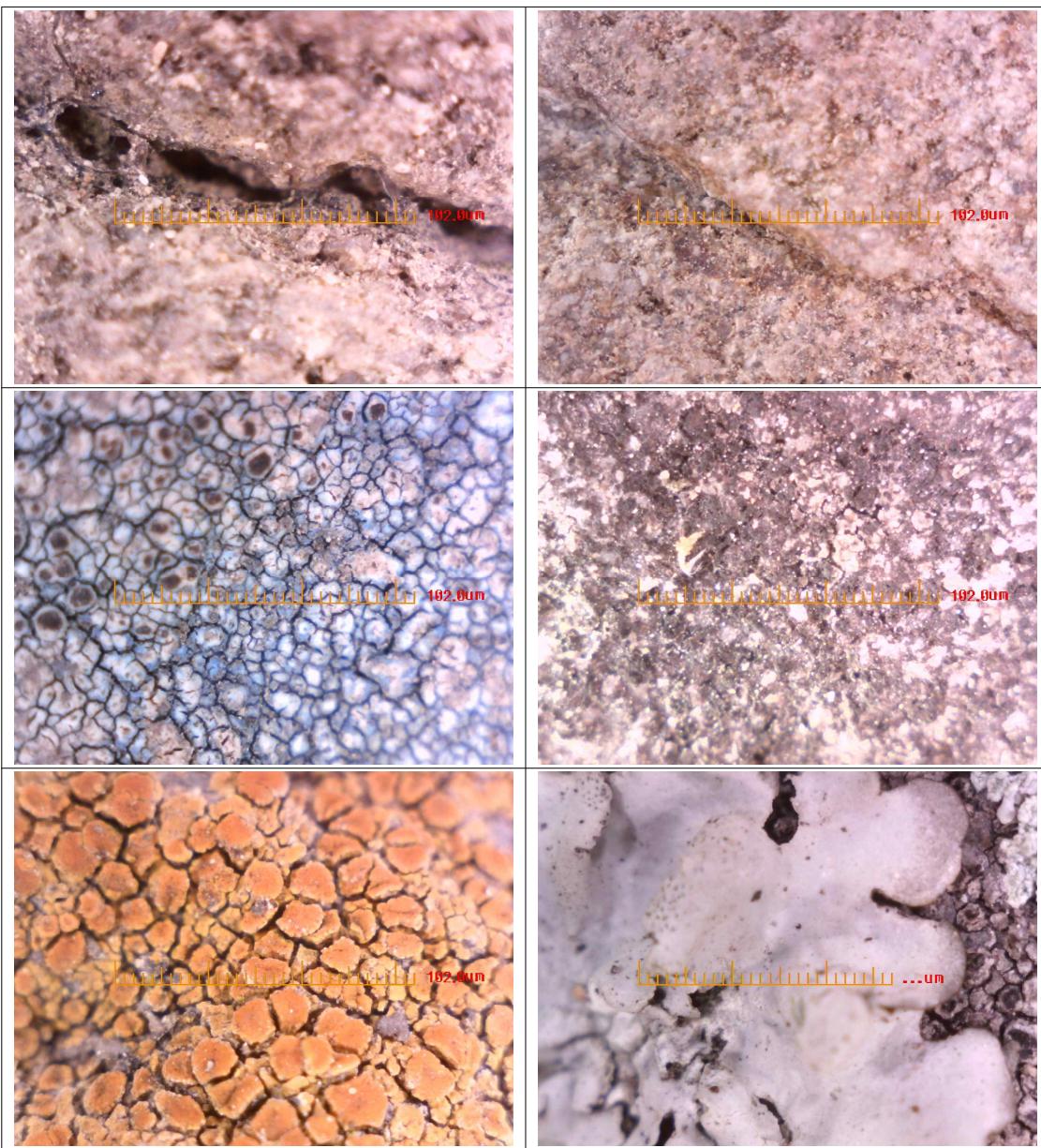


그림 5. 실체현미경 조사 사진.

석장동 암각화에 발생한 물리적 풍화현상은 암석의 생성과정에 발생한 절리로서 이 절리는 다양한 방향성을 지니고 있다. 이러한 방향성은 암석의 생성과정과 밀접하게 관련하고 있다. 제시한 사진을 보면 불규칙하고 다양한 절리를 관찰할 수 있으며 절리로 인한 균열의 진행과 확장이 복합적인 상태를 나타내고 있다.

또한 이 암체 생성은 수평적인 상태에서 생성된 후 지각운동으로 인해 지상으로 노출되면서 수평적인 절리는 수직이 되었고 수직 절리는 이미 지각운동 과정에 분리되어 확장된 상태에서 자연풍화작용을 받은 것이다. 제시한 물리적 손상지도를 살펴보면 수직절리를 볼 수 있고 정면에 미세균열을 많이 관찰할 수 있는데 이는 둥글고 편편하게 적층된 부위가 전단되면서 발생한 층리가 풍화로 인해 확장된 균열로서 확인된다.



그림 6. 석장동 암각화의 물리적 손상 사진.

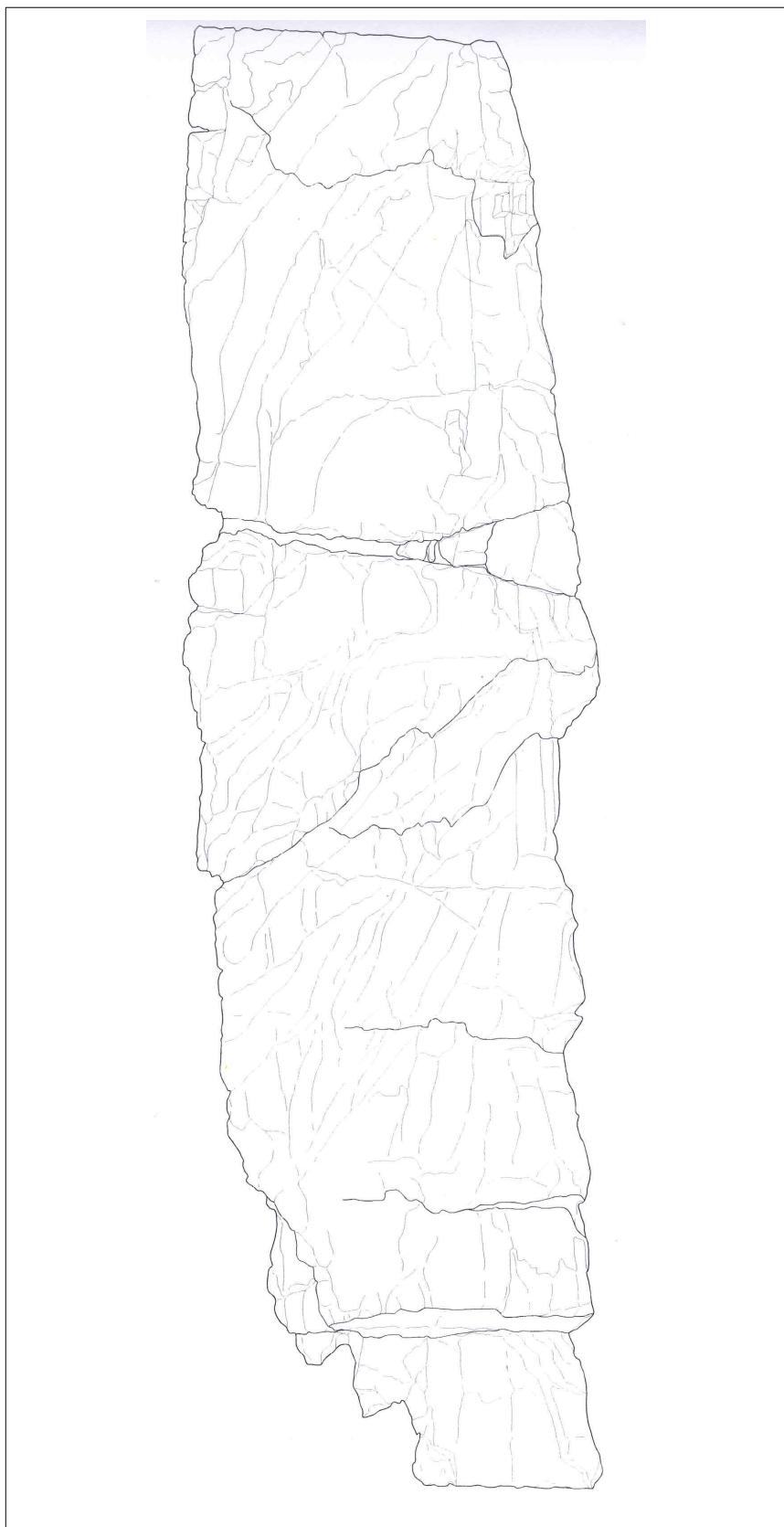


그림 7. 석장동 암각화의 물리적 손상지도.

이 암각화의 화학적 풍화현상은 전체적으로 흑화가 진행하였고 암체의 하부로는 황갈색 변색 부위를 확인할 수 있다. 암체에서 일부 부분이 깨어져 신선한 부분에서 암체의 색상을 관찰할 수 있는데, 층간이 발달한 암체로서 담회색을 나타낸다. 적층된 간격은 약 3~5mm으로 겹겹하고 층간이 밀접한 상태를 나타내고 있다.

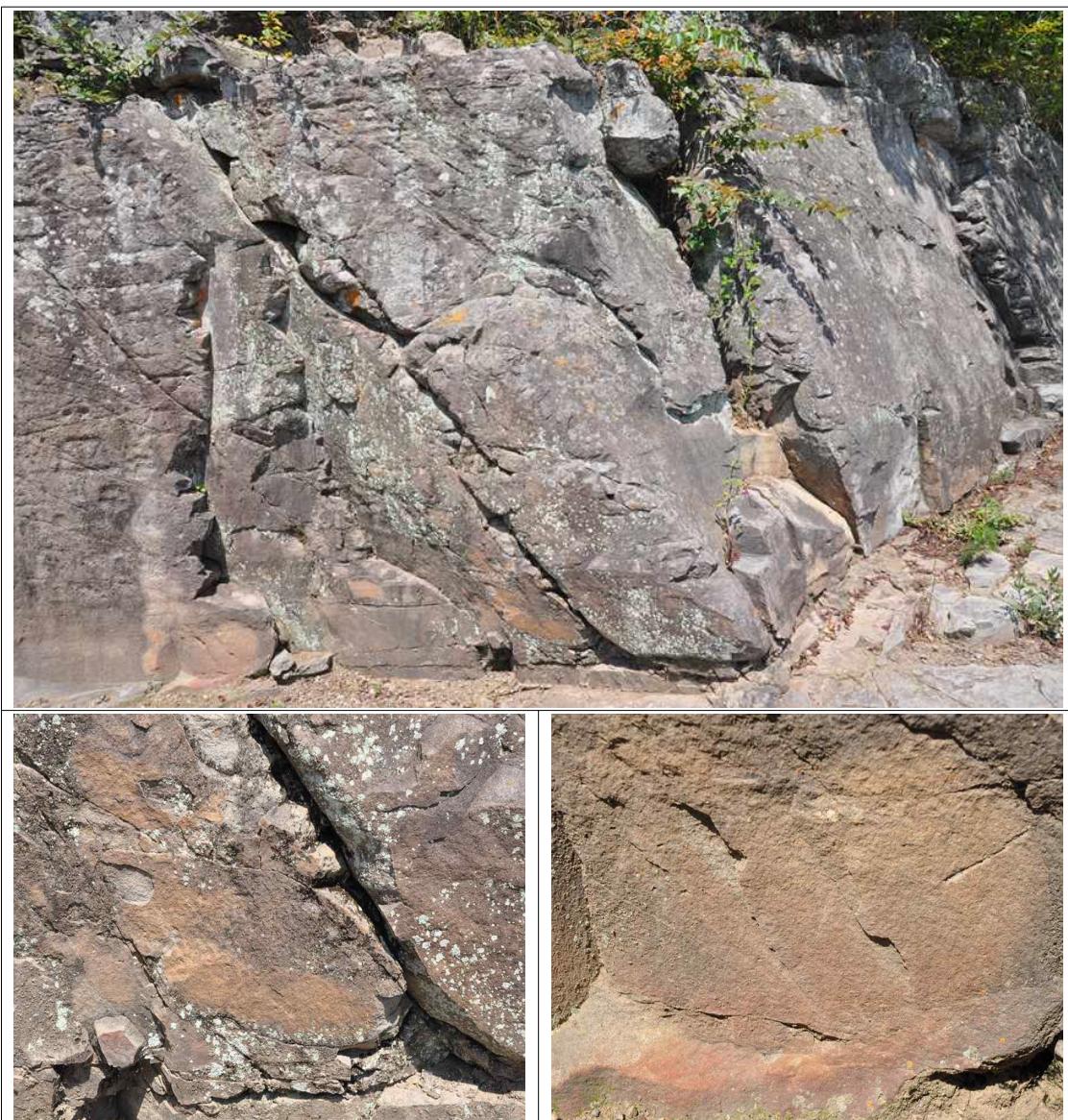


그림 8. 석장동 암각화의 화학적 손상 사진.

화학적 풍화는 암석 자체의 변색 외에도 오염물로 인한 암체의 변색을 포함하므로 응용프로그램을 이용하여 암체에서 황색변색이 나타나는 부위를 캡쳐(capture)하여 제시하였다. 그림에서와 같이 암체의 하부에서 황색 변색이 발생한 부분을 관찰할 수 있다.



그림 9. 석장동 암각화의 화학적 손상지도.

석장동 암각화의 생물학적 침해현상은 매우 다양하게 나타난다. 암체 상부의 충적토양에는 다양한 수근식물이 생장하고 암체의 절리가 확장된 부분에서 다년생 수근식물을 관찰할 수 있다.



그림 10. 석장동 암각화의 생물적 손상 사진1.

생물학적 손상지도를 응용프램을 이용하여 오염부분을 캡쳐하여 제시하였다. 암체에서 생물로 인한 변색 또는 생물 생장부위는 암체에서 전체적으로 나타난다.



그림 11. 석장리 암각화의 생물학적 손상지도(지의류로 인한 흑화 현황)

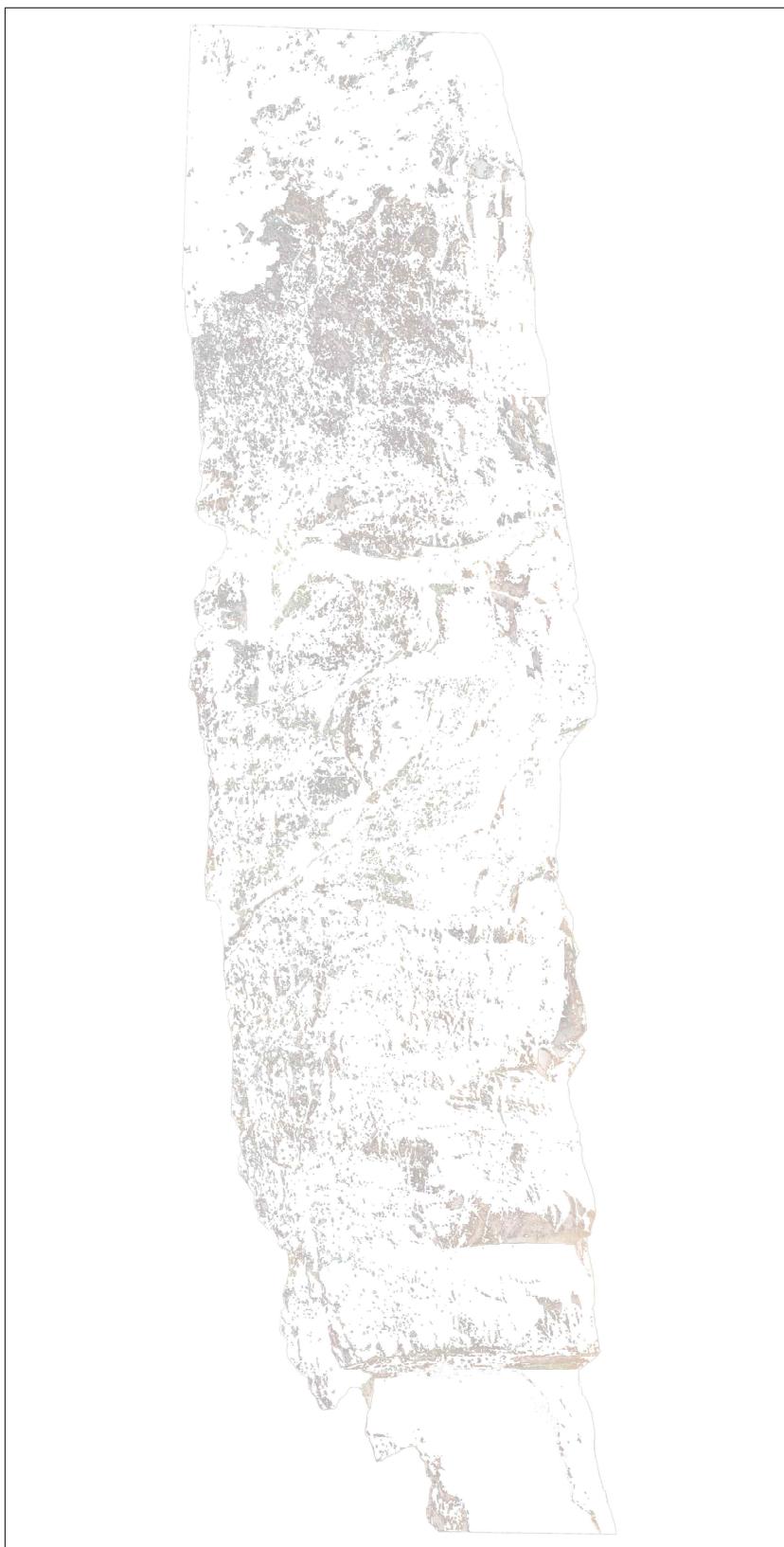


그림 12. 석장리 암각화의 생물학적 손상지도(고착지의류 분포 현황)

○ 안심리 암각화의 요인별 웨손지도



그림 13. 현황 사진1.

안심리 암각화는 풍화로 인해 암체의 표면에서는 조암광물이 빠져나간 동공이 확인되고 절리가 발달 확장된 상태이다. 수평절리가 발달된 부분에서는 다년생 수근식물이 생장하고 있다.



그림 14. 현황 사진2.

다음에 제시한 사진은 안심리 암각화의 실체현미경 사진으로 풍화로 인한 토양화, 토양남조류로 인한 변색, 고착상지의류 및 엽상체이다.

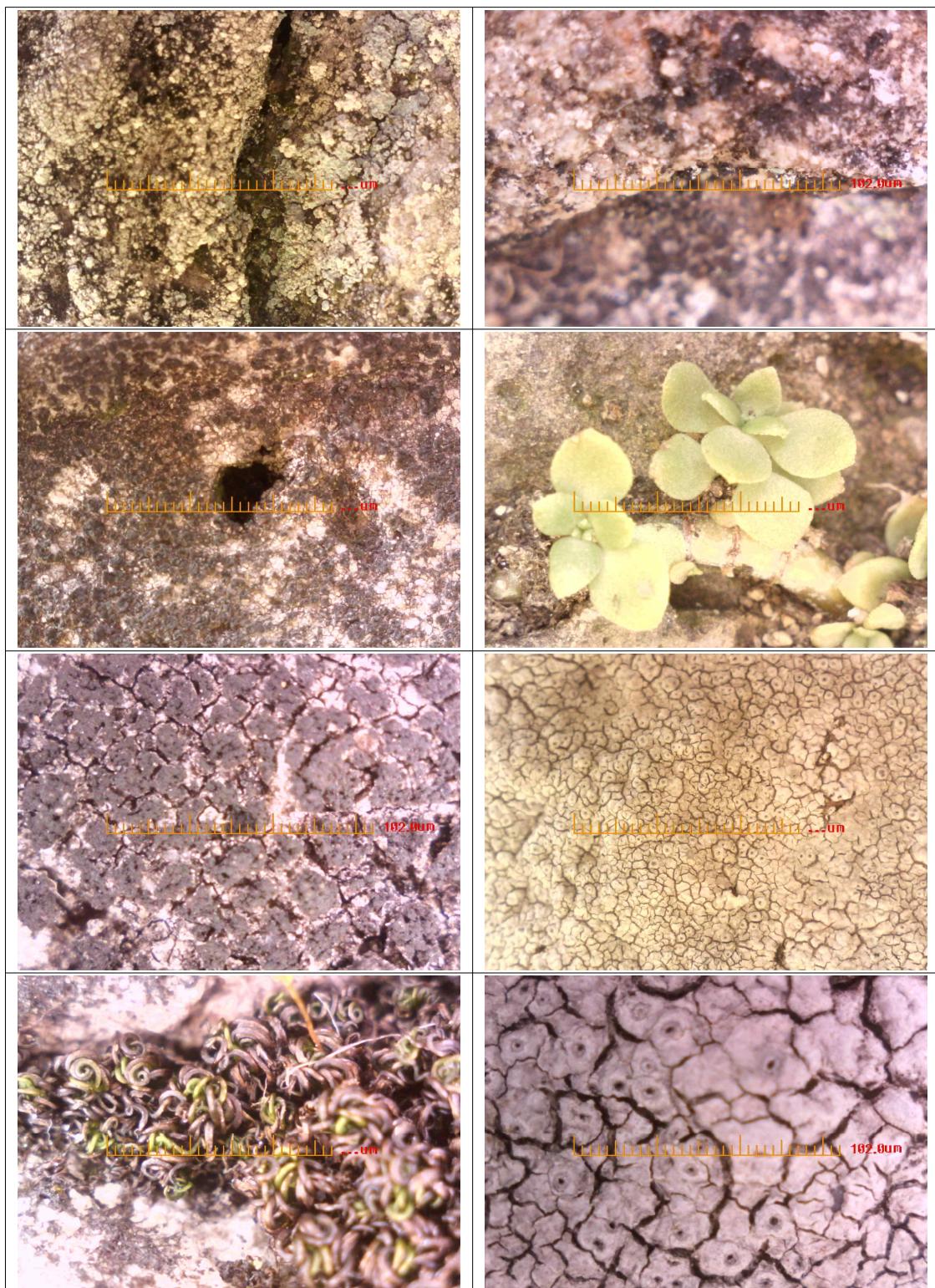


그림 15. 실체현미경 조사 사진.

안심리 암각화는 풍화로 인해 표면에 조암광물이 빠져나간 동공과 수직수평으로 발달된 절리 및 입상분해와 박리박락이 진행되고 있다.

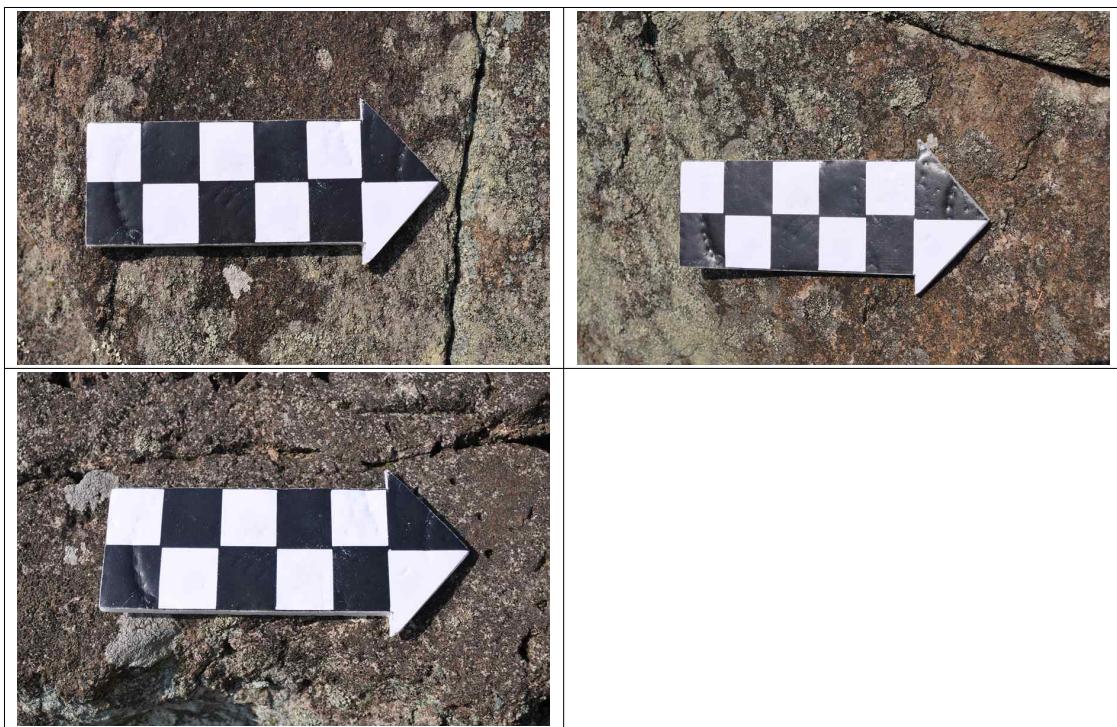


그림 16. 안심리 암각화의 물리적 손상 사진1.

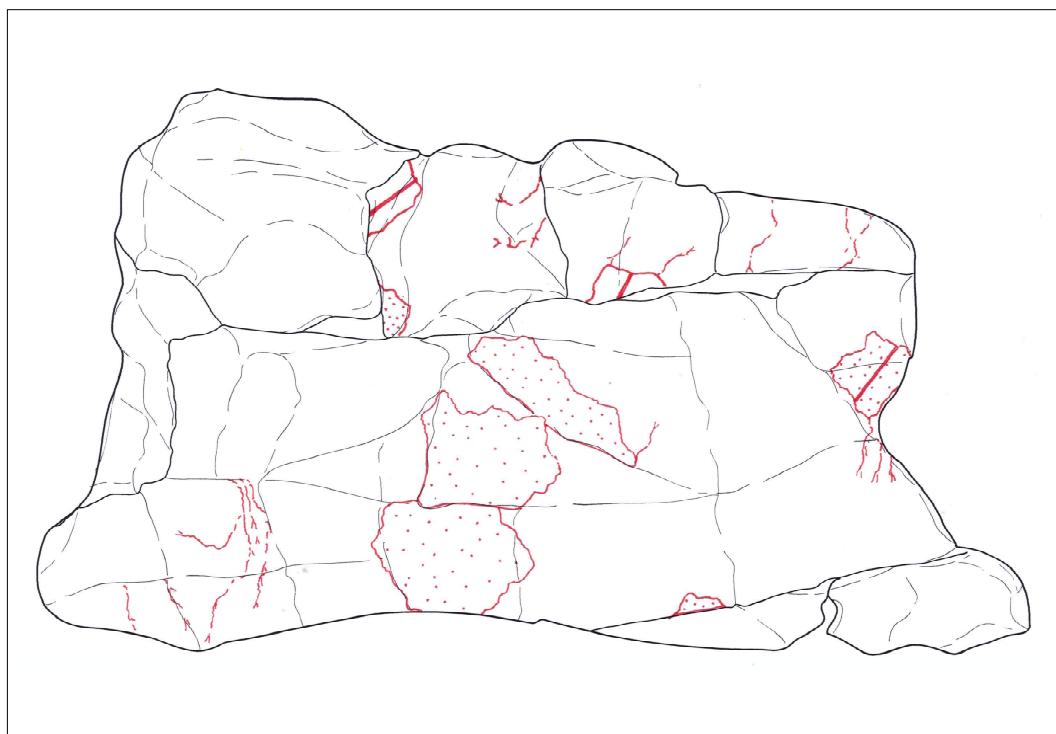


그림 17. 안심리 암각화의 물리적 손상지도.

이 암각화 암체의 화학적 풍화현상은 앞서 기술한 물리적 풍화와 연관하여 동공이 발달할 정도로 암석의 화학적 변질이 심한 상태이다. 또한 암체를 침해하는 생물의 생장활동으로 인해 발생한 갈색오염이 발생하였다.



그림 18. 안심리 암각화의 화학적 손상 사진1.

화학적 풍화는 암석 자체의 변색 외에도 오염물로 인한 암체의 변색을 포함하므로 응용프로그램을 이용하여 암체에서 흑화변색이 나타나는 부위를 캡쳐(capture)하여 제시하였다. 그림에서와 같이 암체는 전체적으로 어두운 회색을 나타내고 있다.



그림 19. 안심리 암각화의 화학적 손상지도(흑색 변색).

이 암각화의 생물학적 침해현상은 암체에 전체적으로 발생한 상태이다. 발생한 생물은 주로 각상지의류와 엽상지의류 및 선태류를 관찰 할 수 있고 균열된 부위의 틈사이로 약간의 수근식물을 관찰 할 수 있다.



그림 20. 안심리 암각화의 생물적 손상 사진1.

앞서 이 안심리 암각화의 화학적 손상은 앞서 기술한 바와 같이 자연풍화 현상에 의해 각각의 풍화요인이 복합적으로 작용하여 생물학적 침해현상이 제시한 사진에서와 같이 매우 심하게 진행한 상태이다. 토양남조류가 미소토양과 함께 암체의 표면에 고착된 후 고착상지의류가 생장하고 그 위로는 다양한 엽상지의류가 생장하였다. 또한 확장된 절리 사이로는 수근식물에 해당하는 다년생 초본류가 생장하고 있는 상황이다.

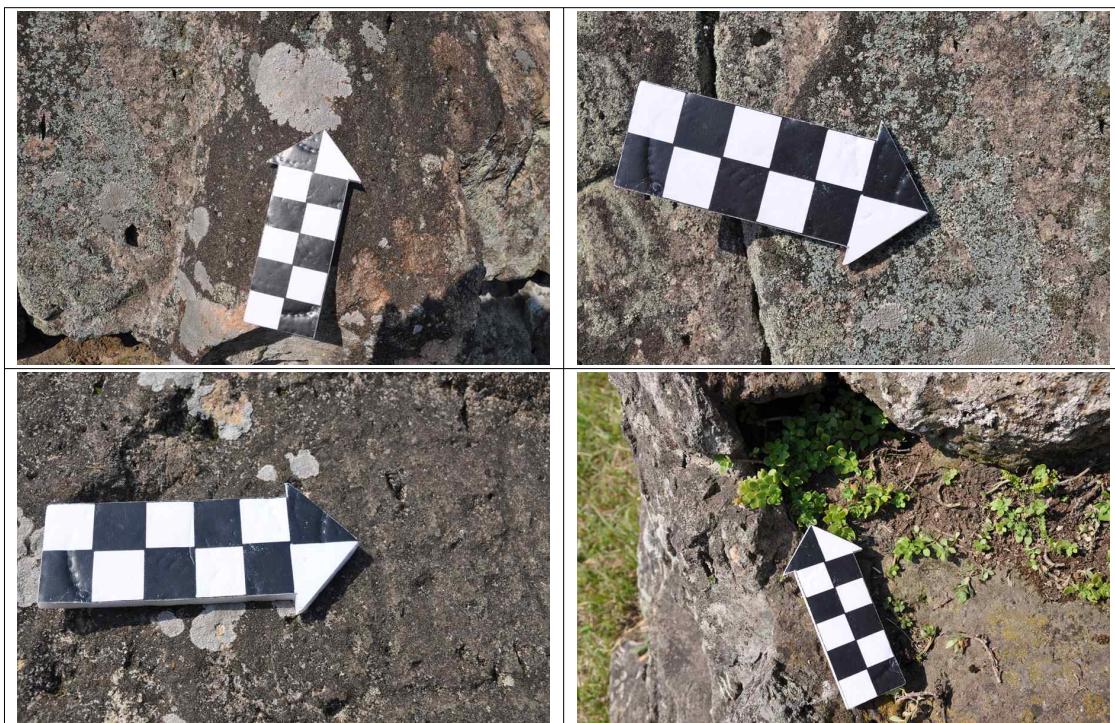


그림 21. 안심리 암각화의 생물학적 손상 사진2.

생물학적 손상지도도 응용프램을 활용하여 생물활동으로 인한 오염부분을 캡쳐하여 제시하였다. 암체에서 생물로 인해 변색되거나 생물이 생장하는 부위는 암체에서 전체적으로 발생한 상황임을 알 수 있다.



그림 22. 안심리 암각화의 생물학적 손상지도(지의류).

III. 암각화 암석 분석조사

III-1. 암석 분석조사

○ 광물 및 오염물 분석조사 결과

채집된 시료는 암각화가 새겨진 암체의 주변에서 채집한 암석으로 육안관찰 세립질 퇴적암이며, 풍화로 인해 부분적으로 황갈색을 띠고 암회색을 나타낸다.



그림 23. 암각화 채집 암석 시료.

채집된 암석시료를 사용해 박편을 제작한 후 편광현미경 관찰 결과 조암광물로는 석영, 사장석, 정장석, 흑운모, 불투명 광물 등을 관찰할 수 있다. 대부분의 광물들은 화성암이 가지는 조암광물이나 화성암의 결정화 작용의 결과와 달리 석기가 발달한 암석이다. 분석된 2개의 암석시료는 퇴적암인 사암으로서 생성과정에 입자상의 차이가 있을 뿐 거의 동일한 조성을 갖는 사암으로 석장동 암각화는 사질사암이고 안심리 암각화는 세립질 사암에 해당한다. 한편 암석의 조암광물 벽계에서 불투명 부분이 발달하였는데 이는 조암광물 벽계에 암석의 풍화생성물이 존치한 현상으로 석장동 암각화 암석시료 보다 안심리 암각화 암석시료에서 더욱 많이 나타난다.

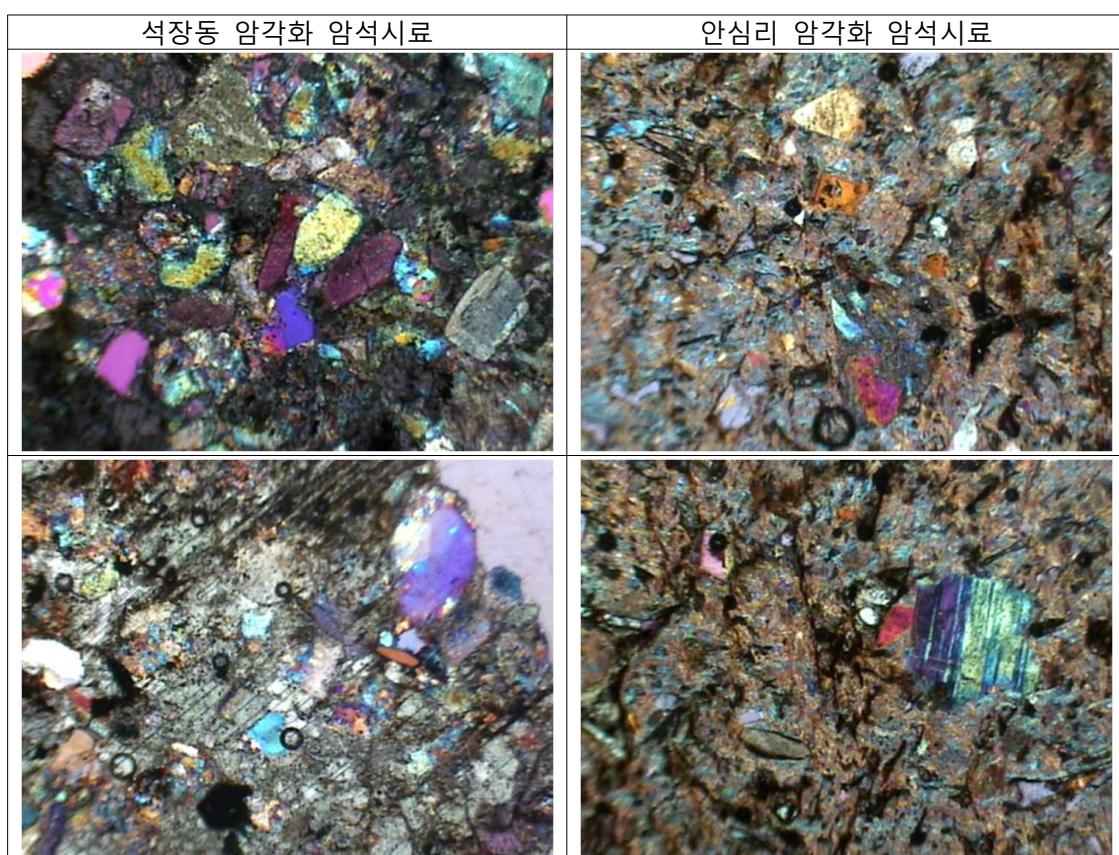
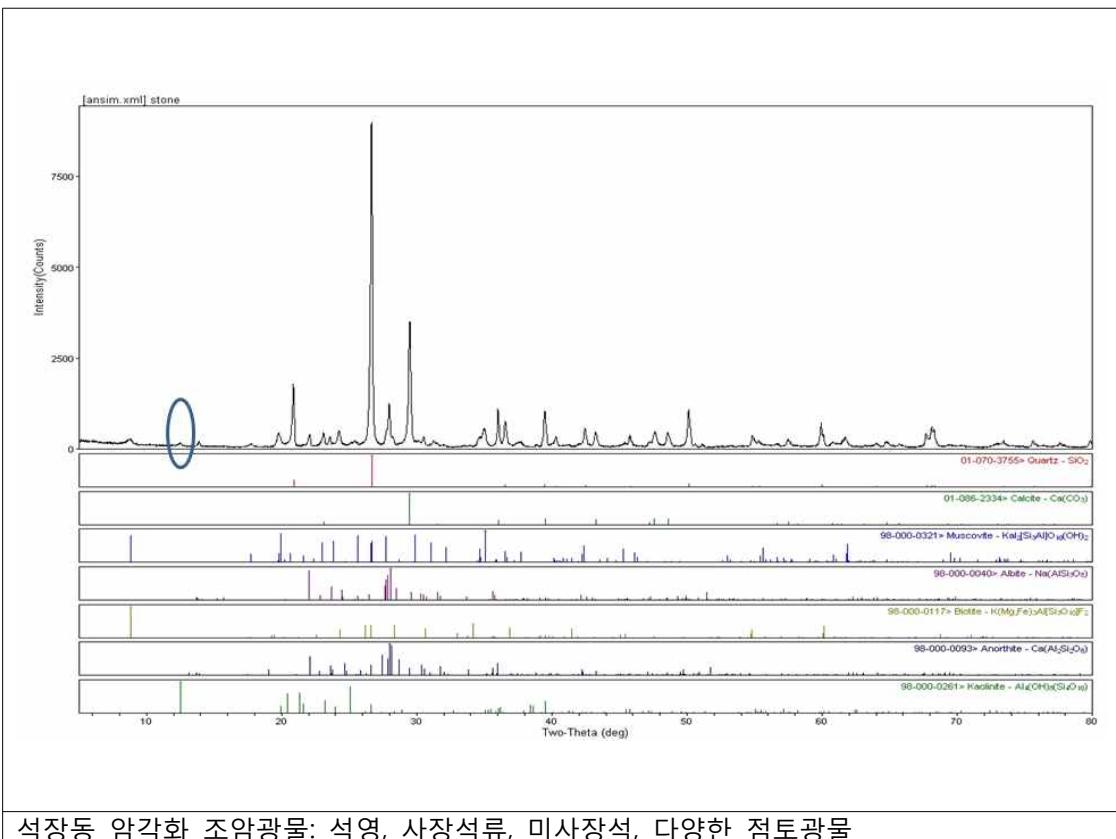
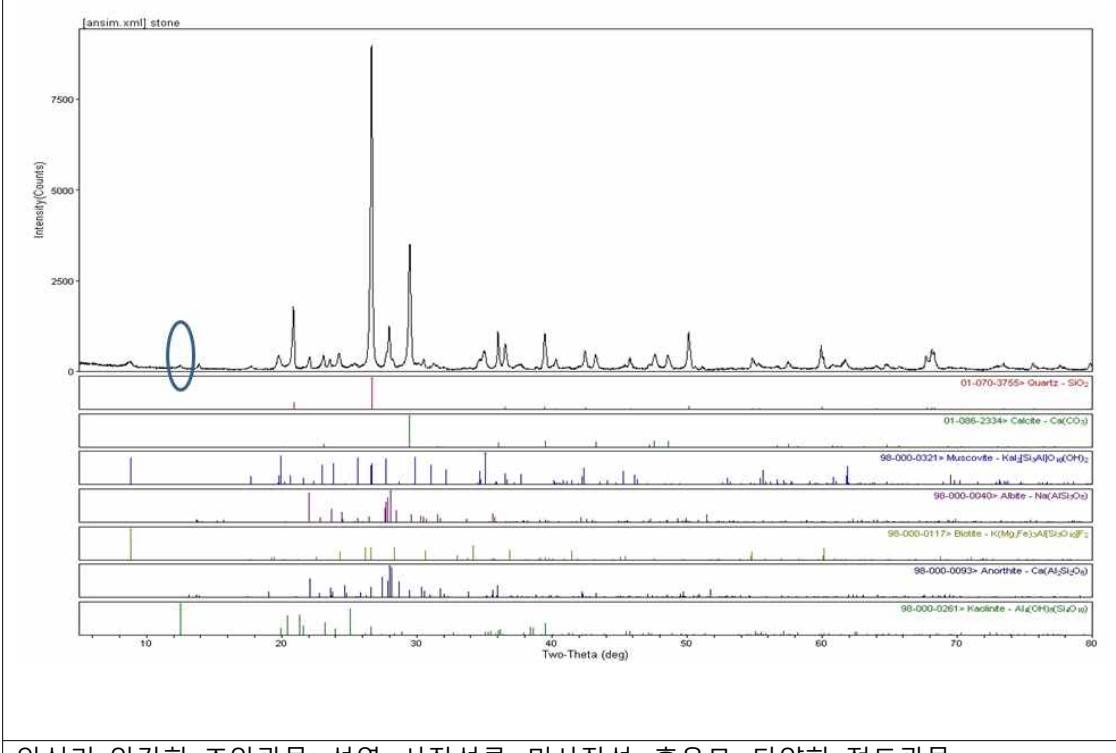


그림 24. 석장동 암각화 시료의 편광현미경 분석 결과.



석장동 암각화 조암광물: 석영, 사장석류, 미사장석, 다양한 점토광물



안심리 암각화 조암광물: 석영, 사장석류, 미사장석, 흑운모, 다양한 점토광물

그림 25. XRD 분석 결과.

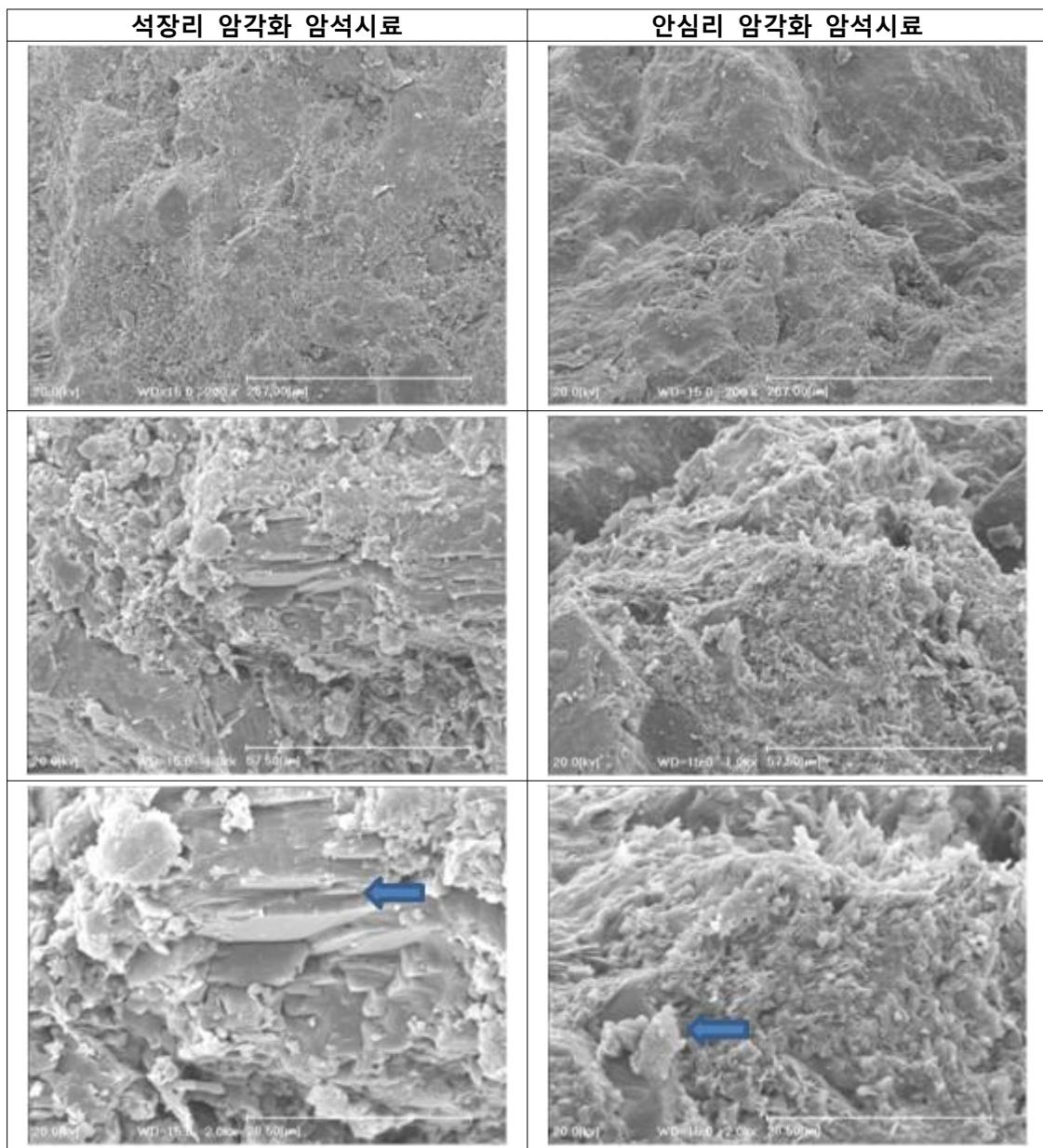


그림 26. SEM 분석 결과.

제시한 XRD분석 결과 동정된 조암광물은 석영, 사장석류, 미사장석, 흑운모이며, 분석된 암석은 모두 사암이다. 장석류가 풍화되어 다양한 점토광물이 분석된 점은 분석된 암석시료가 매우 풍화된 상태를 반영한 결과이다.

제시한 주성분석 결과는 분석된 석장동 암각화 암체인 사암은 SiO₂의 평균이 70.66%이고 Al₂O₃의 평균이 13.66%이다. 안심리 암각화 암체인 사암은 SiO₂의 평균이 74.29%이고 Al₂O₃의 평균이 10.63%이다. 분석된 2개의 사암에서 안심리 암석 시료의 경우 SiO₂의 함량이 상대적으로 높고 풍화에 약한 성분인 Al₂O₃와 MgO에서 차이를 보인다. 이는 거의 유사한 사암이면서도 주변 환경과 생성과정의 차이로 인해 차등풍화된 결과이다.

표 2. 석장리 암각화 주성분 분석 결과

No.	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	합계
1	3.95	17.35	71.19	0.23	2.13	0.32	0.54	0.11	3.82	0.01	0.02	99.67
2	2.98	18.14	70.94	0.22	2.35	0.27	0.61	0.12	4.07	0.01	0.02	99.73
3	3.86	14.52	71.49	0.16	1.41	0.58	0.42	0.15	7.02	0.01	0.01	99.62
4	2.85	15.63	71.44	0.17	1.52	0.61	0.45	0.11	6.61	0.01	0.01	99.4
5	5.09	11.02	72.25	0.220	1.41	0.54	0.39	0.15	8.75	0.01	0.02	99.85
6	5.01	10.77	64.29	0.22	1.56	0.43	0.47	0.31	16.68	0.02	0.03	99.79
7		10.98	75.27	0.29	3.19	0.55	1.38	0.05	7.18	0.03	0.06	98.98
8		13.79	70.82	0.89	3.28	0.90	1.17	0.06	7.38	0.01	0.04	98.34
9	8.10	10.81	65.69	0.79	3.31	0.59	2.55		7.30	0.05	0.05	99.24
10		12.54	73.19	0.51	3.79	0.37	2.24	0.08	5.72	0.04	0.05	98.53

표 3. 안심리 암각화 주성분 분석 결과

No.	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	합계
1	-	11.45	77.76	0.18	3.22	0.71		0.05	4.91	0.02	0.03	98.33
2	-	10.15	78.40	0.38	3.49	0.54	-	0.03	5.07	0.02	0.03	98.11
3	-	10.30	66.71	1.29	3.98	1.68	1.52	0.07	10.24	0.04	0.11	95.94

다음에 제시한 지질도는 조사대상 석장동 암각화 암체의 주변 지질도로서 지층은 상부대동계(백악-상부주라) 신라통 대구층이며 이암 혈암 및 사암이 분포하고 있다.

다음으로 제시한 지질도는 조사대상 안심리 암각화 암체의 주변 지질도로서 신라통 대구층으로 적색세일, 사암 녹회색 세일 및 호온헬스이고 시대는 중생대 백악기이다.

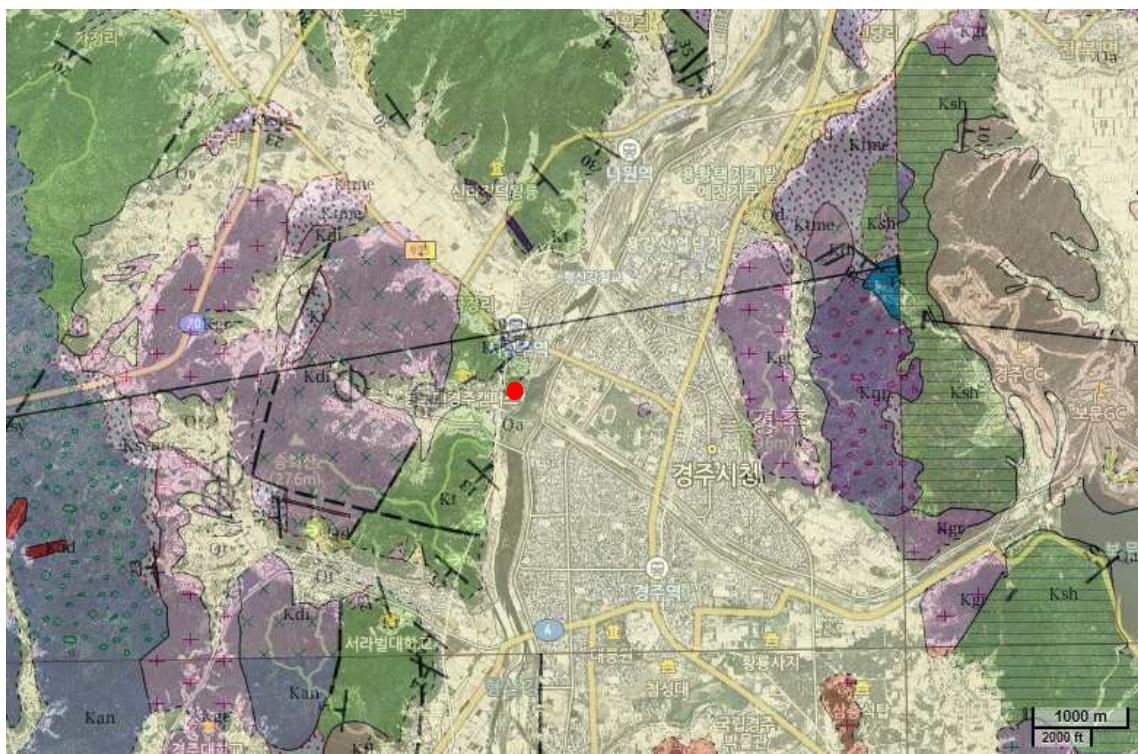


그림 27. 조사대상 석장동 암각화의 주변지질도(한국지질자원연구원, 지질주제도, 2015).

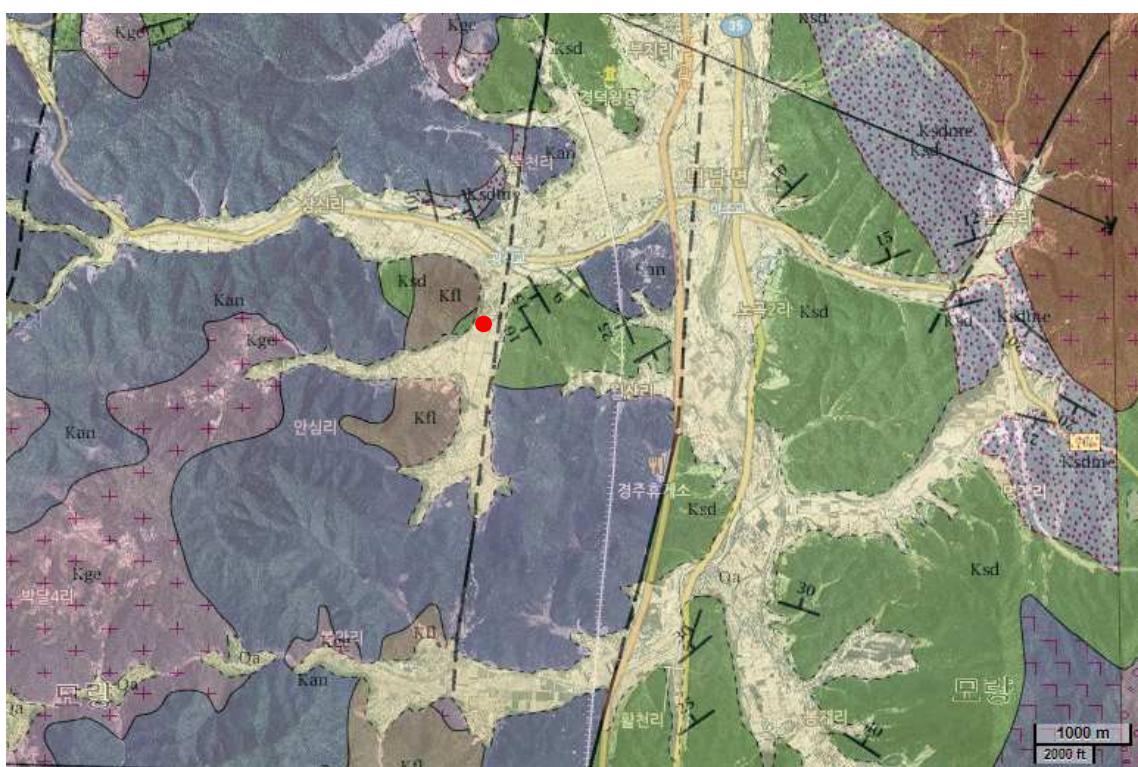


그림 28. 조사대상 안심리 암각화의 주변지질도(한국지질자원연구원, 지질주제도, 2015).

III-2. 표면오염물 분석조사

○ 표면오염물 분석조사 결과

석장동 암각화에서 확인할 수 있는 오염물은 제시한 사진에서와 같이 흑화와 암체의 하단부에 발생한 황갈색 변색이며, 일부에서 인위적으로 발생한 페인트를 제거하고 남은 오염현상을 관찰할 수 있다. 생물로 인한 흑화와 황갈색 변색은 수분으로 인해 체적 변화가 발생하는 효과가 있으며, 이 암체는 풍화도가 높아 입상분해가 발생한 경우에는 암체의 표면 풍화를 가속화 할 수 있다.

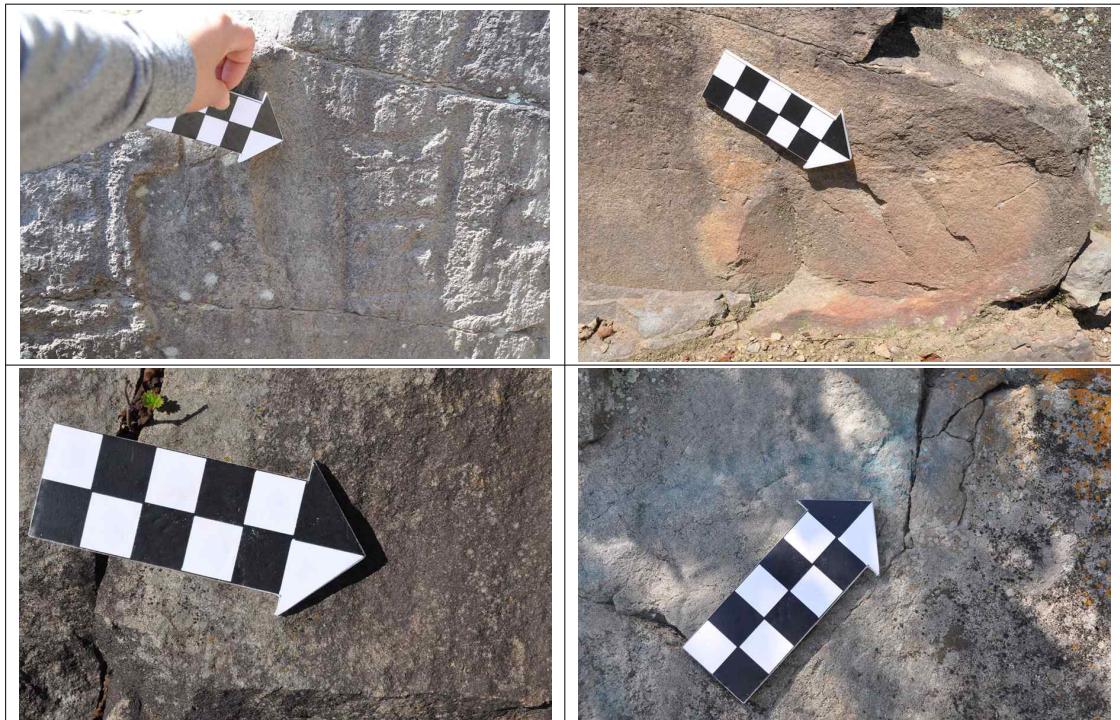


그림 29. 석장동 암각화 표면오염물 현황사진.

안심리 암각화에서 확인할 수 있는 오염물은 석장동 암각화와 같이 흑화와 암체의 풍화로 인한 황갈색 변색이다. 이 암체의 풍화도는 매우 높은 상태로서 석장동 암각화 암체의 풍화도 보다 심하다. 이 안심리 암각화에서 나타나는 표면오염물은 대부분 생물로 인한 흑화현상으로 제시한 사진에서와 같이 흑화현상은 암체의 표면에 피각과 같이 형성하였다.



그림 30. 안심리 암각화 표면오염물 사진.

P-XRF를 이용한 오염물 분석에서는 유기물로 발생한 표면오염물과 연관되는 성분이 나타나지 않았다. 암석의 풍화와 관련하여 MgO , Al_2O_3 는 자연풍화 현상에서도 결핍되는 성분으로 안심리 암각화에서는 이 2가지의 성분이 결핍되었다. 이와 반대하여 SiO_2 와 Fe_2O_3 는 부화된 상태를 나타내었다.

표 4. 오염물 및 안료 분석 결과

석장동 암각화					안심리 암각화			
No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.	No.1	No.2	No.3
	원석	변색 (갈색)	변색 (흑색)	오염물 (청색)		원석	변색 (갈색)	변색 (흑색)
MgO	2.98	3.86	0.00	0.00	MgO	0.00	0.00	0.00
Al2O3	18.14	14.52	13.79	12.54	Al2O3	11.45	10.15	10.30
SiO2	70.94	71.49	70.82	73.19	SiO2	77.76	78.40	66.71
P2O5	0.22	0.16	0.89	0.51	P2O5	0.18	0.38	1.29
S	0.14	0.12	0.99	0.78	S	0.72	0.89	2.54
Cl	0.00	0.18	0.23	0.32	Cl	0.00	0.11	0.20
K2O	2.35	1.41	3.28	3.79	K2O	3.22	3.49	3.98
CaO	0.27	0.58	0.90	0.37	CaO	0.71	0.54	1.68
TiO2	0.61	0.42	1.17	2.24	TiO2	0.00	0.00	1.52
Cr	0.00	0.00	0.03	0.00	Cr	0.00	0.02	0.11
MnO	0.12	0.15	0.06	0.08	MnO	0.05	0.03	0.07
Fe2O3	4.07	7.02	7.38	5.72	Fe2O3	4.91	5.07	10.24
Cu	0.01	0.00	0.01	0.04	Cu	0.02	0.02	0.04
Zn	0.02	0.01	0.04	0.05	Zn	0.03	0.03	0.11
Rb	0.03	0.01	0.06	0.10	Rb	0.11	0.09	0.14
Sr	0.02	0.01	0.04	0.04	Sr	0.04	0.05	0.14
Zr	0.05	0.02	0.09	0.13	Zr	0.12	0.12	0.25
Pd	0.00	0.00	0.14	0.00	Pd	0.05	0.12	0.33
Ce	0.00	0.00	0.00	0.00	Ce	0.00	0.04	0.17
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	Pb	0.00	0.06	0.08
합계	99.97	99.96	99.92	99.9	합계	99.37	99.61	99.9

IV-1. 물성 특성

○ 석장동 암각화 물성 분석조사 결과

석장동 암각화의 물성을 평가하기 위하여 총 275개소의 측점을 측정한 결과 초음파속도의 범위는 70 ~ 4133(m/sec)이고 평균 1201를 나타내었다. 이 암체가 나타난 평균 초음파속도 1201은 심하게 풍화(Highly Weathered)된 상태를 나타낸다.

표 5. 석장동 암각화 초음파속도 측정 결과

Ultra Sonic Velocity(m/s)				Weathering index(k)			
Point	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Weathered Grade
275	1201	70	4133	0.75	0.1	1.0	5
Frequency Distribution		Weathering index(k) Distribution		Grade	Weathered Condition		
Scale	Distribution	Scale	Distribution				
4500	2	1.00	213	5	Completely Weathered		
3840	13	0.60	47	4	Highly Weathered		
2880	46	0.40	13	3	Moderately Weathered		
1920	75	0.20	2	2	Weakly Weathered		
960	139	0.00	0	1	Fresh		
Raw data							
70	320	461	665	1024	1374	1886	2478
101	320	465	681	1027	1390	1890	2501
102	327	470	690	1031	1400	1900	2541
117	330	473	700	1041	1402	1920	2561
120	340	477	700	1041	1403	1926	2570
128	340	480	712	1059	1410	1930	2581
134	340	483	713	1070	1413	1946	2590
164	350	484	720	1070	1432	1951	2650
177	350	485	722	1079	1440	1972	2660
191	360	486	730	1087	1440	2078	2677
200	360	490	733	1100	1441	2100	2679
200	365	500	735	1120	1461	2111	2682
205	369	500	740	1122	1470	2150	2701
207	369	501	750	1130	1500	2150	2735
210	370	502	754	1140	1517	2201	2739
213	371	503	756	1150	1550	2204	2884
214	390	510	770	1154	1554	2213	2939
217	400	510	774	1160	1555	2241	2944
220	405	512	784	1199	1561	2249	2950
224	410	529	790	1200	1590	2254	3017
230	410	530	798	1208	1666	2260	3119
240	410	532	802	1229	1706	2270	3141
242	416	542	820	1230	1708	2270	3227
250	422	556	840	1239	1708	2290	3280
250	430	560	859	1248	1737	2300	3310
250	432	565	860	1290	1737	2319	3367
251	437	570	864	1300	1738	2329	3387
255	437	571	867	1300	1740	2355	3773
266	441	583	884	1301	1740	2392	3910
299	442	614	900	1321	1755	2425	4133
300	443	620	902	1331	1763	2429	
300	450	625	914	1344	1769	2432	
300	451	632	947	1347	1842	2444	
314	457	650	960	1358	1848	2450	
317	458	660	1017	1370	1870	2451	

석장장도 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화도 분석결과 3, 4, 5등급을 나타내었고 5등급이 많이 나타난다. 초음파속도를 이용한 풍화지수의 빈도 분석결과 풍화지수가 높은 상태인 1에 빈도가 높게 나타났다. 이는 석장동 암각화가 매우 심하게 풍화된 것을 의미한다.

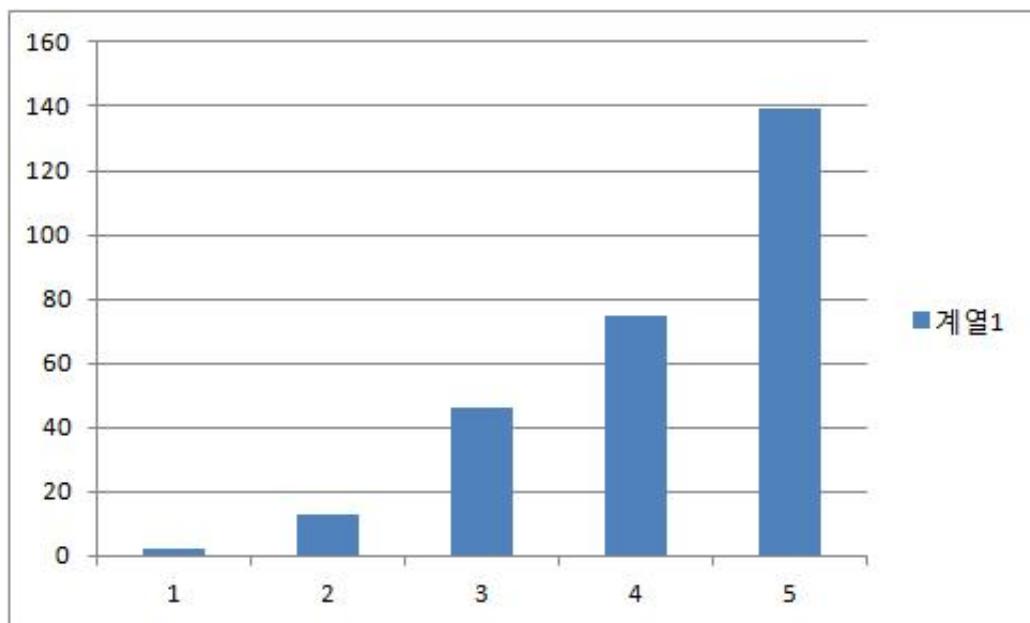


그림 31. 석장동 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화도 분석 결과.

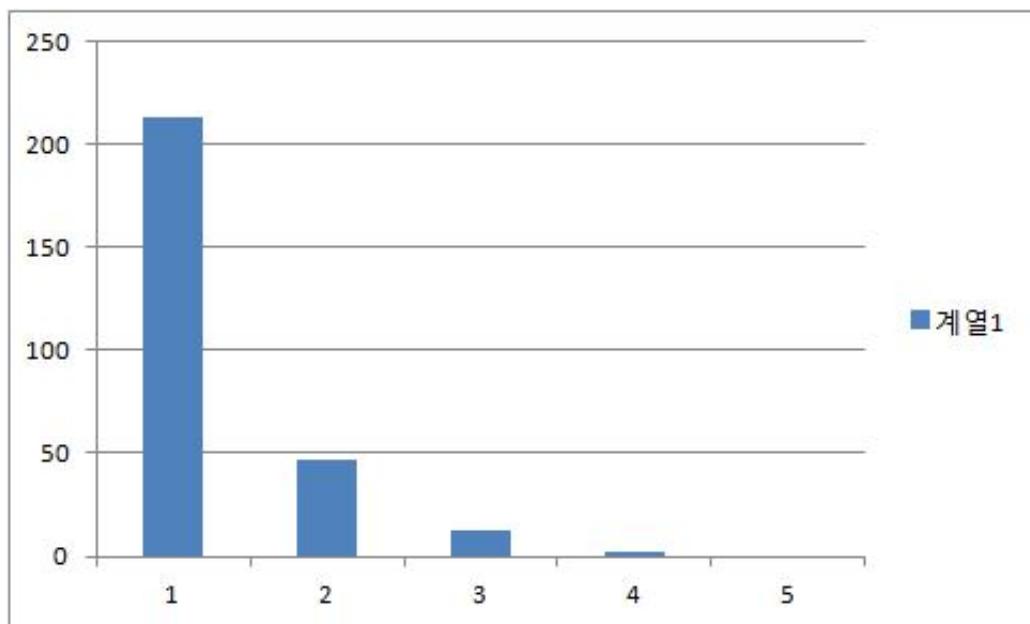


그림 32. 석장동 암각화의 초음파속도의 풍화지수 빈도 분석 결과.

다음에 제시한 석장동 암각화의 물성분포를 관찰하면 암체의 상부는 낮은 물성을 나타내고 있으며 전체 암체의 좌측에서 수직한 암체에는 암각화가 새겨져 있는 부분으로 낮은 물성을 나타내고 있다.

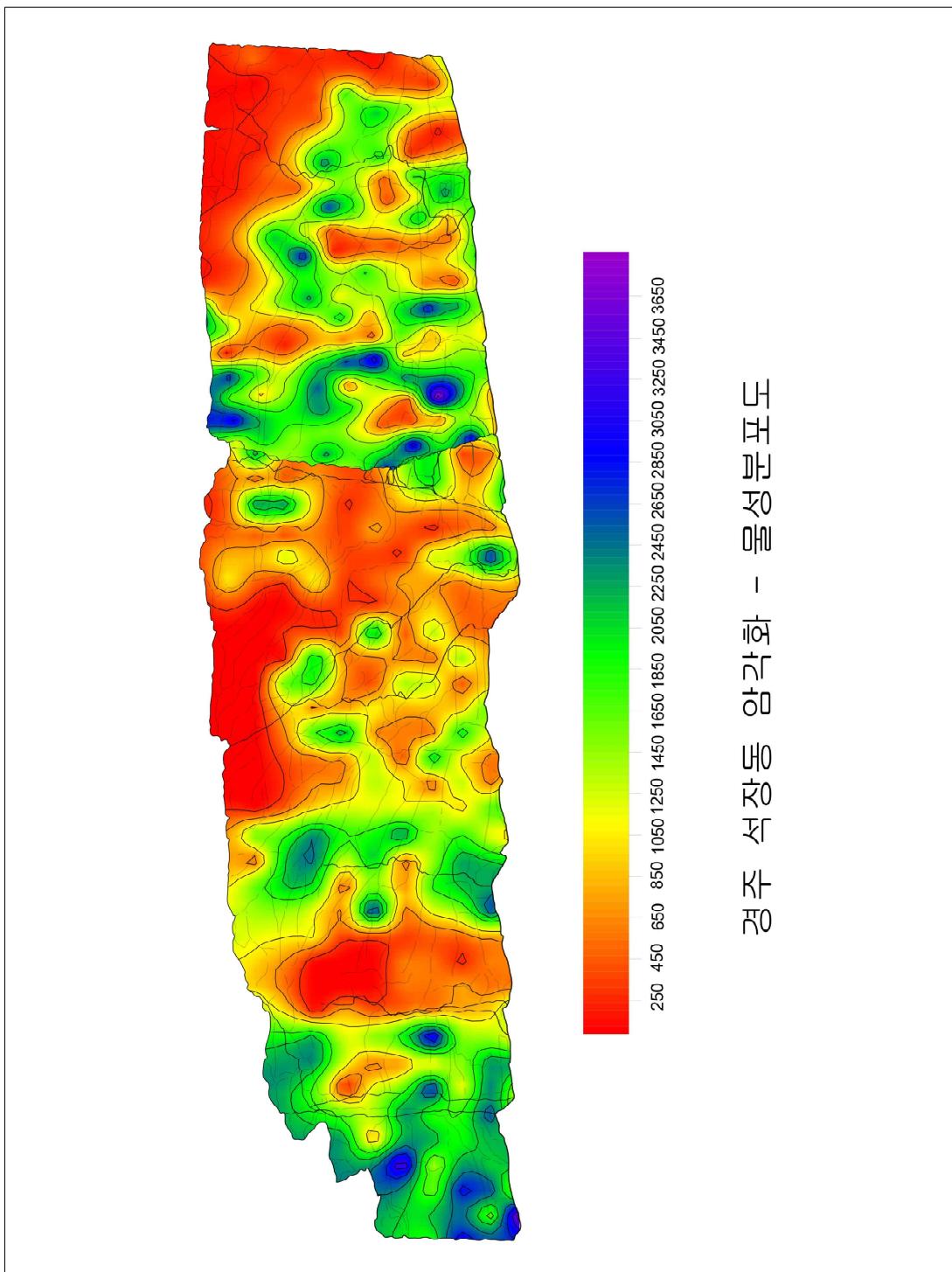


그림 33. 석장동 암각화 물성분포도.

암석의 풍화상태에 따라 암체가 지니는 수분은 같은 암체이면서도 그 부분에 따라 상대적으로 다르게 나타날 수 있다. 다음에 제시한 수분 측정 결과는 표면수분에 대한 총 275개소의 측점 값의 범위는 1.4 ~ 4.9(%)이며, 평균 3.0(%)이다.

표 6. 장동 암각화 표면수분 측정 결과(%)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.4	2.3	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.8
2	1.7	2.3	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.8
3	2	2.3	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.9
4	2	2.3	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.9
5	2	2.3	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.9
6	2	2.3	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.9
7	2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.9
8	2.1	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.5	3.9
9	2.1	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.5	3.9
10	2.1	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.5	4
11	2.1	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.5	4
12	2.1	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.5	4
13	2.1	2.4	2.6	2.8	3	3.3	3.5	4
14	2.2	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	4
15	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.5	4.1
16	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.5	4.1
17	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.5	4.1
18	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.6	4.1
19	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.6	4.2
20	2.2	2.5	2.6	2.9	3.1	3.3	3.6	4.2
21	2.2	2.5	2.6	2.9	3.1	3.3	3.6	4.3
22	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.6	4.3
23	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.7	4.4
24	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.7	4.4
25	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.7	4.5
26	2.3	2.5	2.7	2.9	3.2	3.4	3.8	4.5
27	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	4.7
28	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	4.7
29	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	4.8
30	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	4.9
31	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	
32	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	
33	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	
34	2.3	2.5	2.7	3	3.2	3.4	3.8	
35	2.3	2.5	2.8	3	3.2	3.4	3.8	
최저: 1.4, 최고: 4.9, 평균: 3.0								

석장동 암각화의 표면수분분포도를 살펴보면 물성이 낮은 부분이었던 암체의 상부는 낮은 수분량을 나타내고 하부로는 다소 높은 수분분포도를 나타내고 있다. 이는 암체의 상부가 풍화로 인해 다공질이 되면서 수분의 이동이 원활한 상태를 반영한 결과로 해석된다.

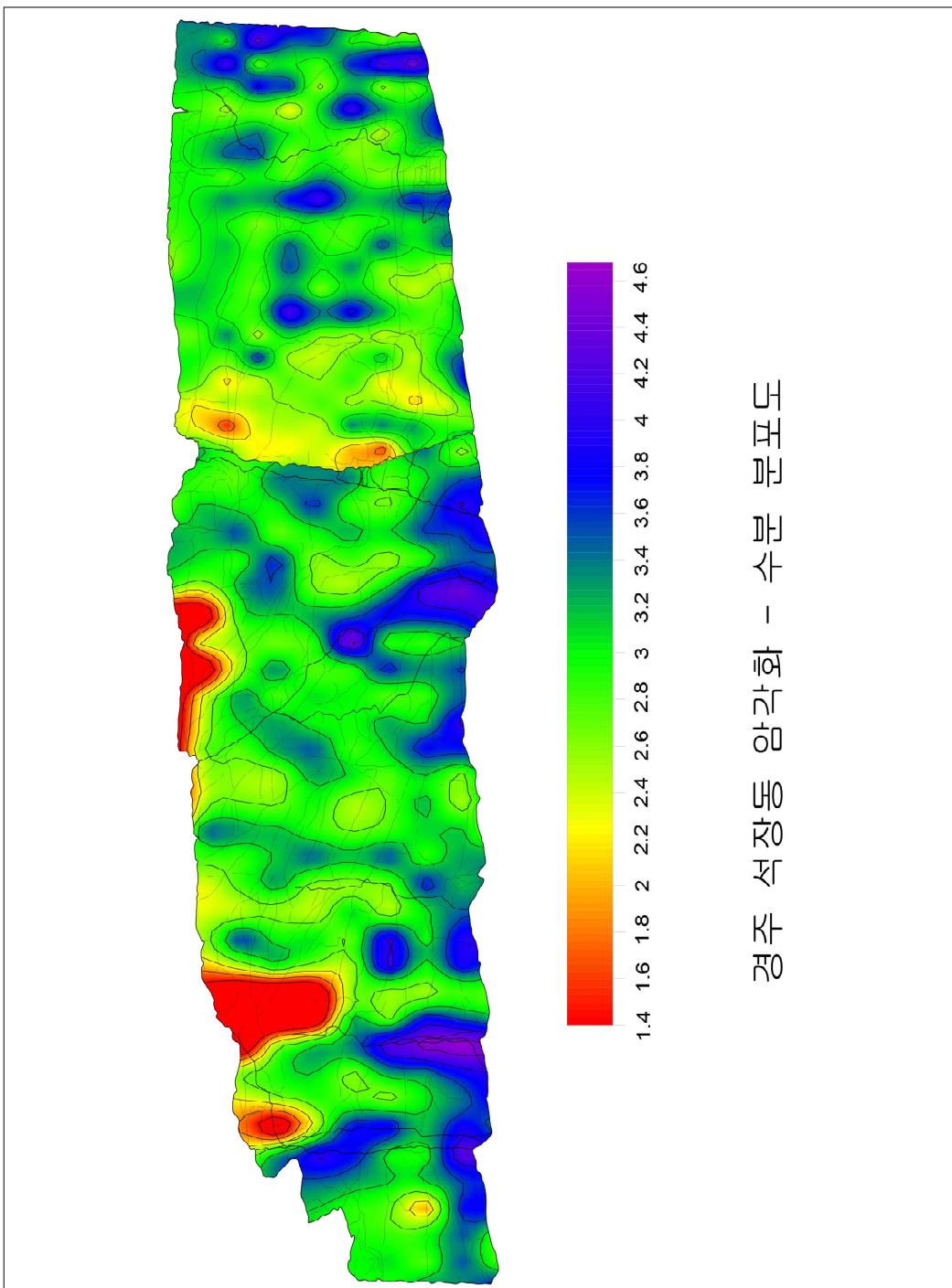


그림 34. 경주 석장동 암각화의 수분분포도.

○ 안심리 암각화 물성 분석조사 결과

이 암각화의 물성을 평가하기 위하여 총 152개소의 측점 값은 측정한 결과 초음파 속도의 범위는 199 ~ 3200(m/sec)이고 평균 978을 나타내었다. 이 암체가 나타난 평균 초음파속도 978은 심하게 풍화(Highly Weathered)된 상태이다.

표 7. 석장동 암각화 초음파속도 측정 결과

Ultra Sonic Velocity(m/s)				Weathering index(k)			
Point	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Weathered Grade
152	978	199	3200	0.80	0.3	1.0	5
Frequency Distribution		Weathering index(k) Distribution		Grade	Weathered Condition		
Scale	Distribution	Scale	Distribution				
4500	0	1.00	137	5	Completely Weathered		
3840	1	0.60	14	4	Highly Weathered		
2880	14	0.40	1	3	Moderately Weathered		
1920	46	0.20	0	2	Weakly Weathered		
960	91	0.00	0	1	Fresh		
Raw data							
199	350	430	619	747	1011	1349	1829
229	369	434	629	760	1014	1400	1840
229	370	467	630	790	1021	1400	1870
280	379	476	630	794	1024	1409	1879
289	380	480	634	810	1050	1410	2020
296	380	490	634	810	1070	1459	2100
307	400	490	638	820	1070	1476	2120
310	400	494	640	829	1090	1490	2140
310	400	500	660	880	1200	1494	2270
320	400	500	664	920	1230	1500	2310
326	400	510	690	926	1233	1542	2340
330	400	530	691	927	1234	1572	2379
339	405	534	700	930	1259	1600	2400
340	410	539	700	930	1290	1600	2470
340	410	560	720	949	1300	1610	2644
340	424	579	720	980	1300	1672	2766
341	424	590	730	1000	1300	1710	2800
344	426	600	740	1000	1341	1722	2870
350	430	609	740	1000	1349	1820	3200

안심리 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화도 분석결과 4, 5 등급에 해당하는 부분이 많이 나타났으며, 특히 5등급이 높게 나타났다. 안심리 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화지수의 빈도분석 결과 풍화지수의 빈도는 풍화도가 높은 1의 빈도가 높게 나타났다. 이는 안심리 암각화가 새겨진 암체의 풍화가 심하게 진행된 상태를 반영한 결과이다.

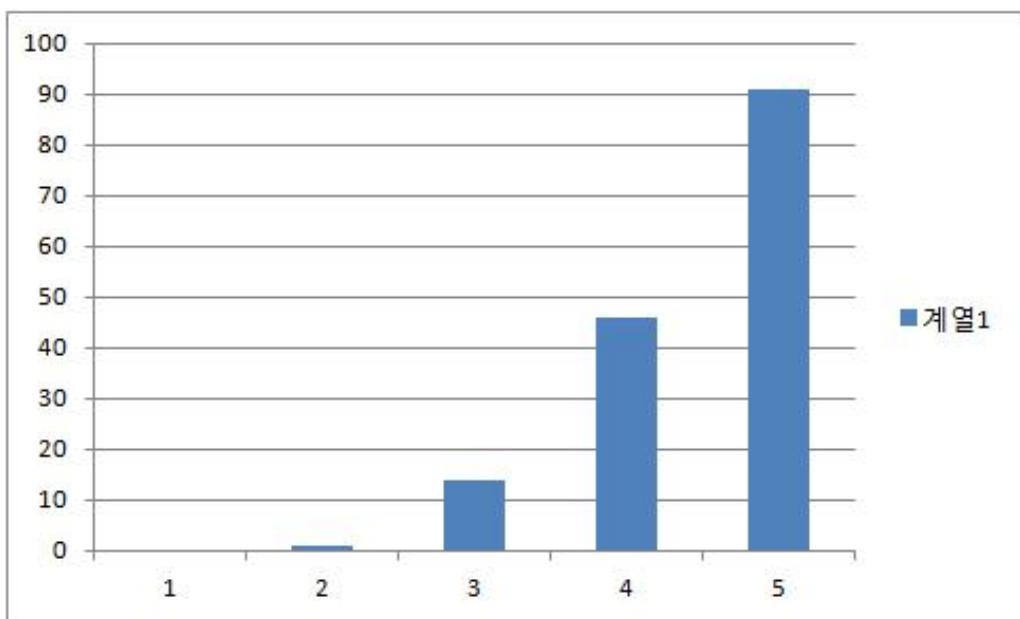


그림 35. 안심리 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화도 분석 결과.

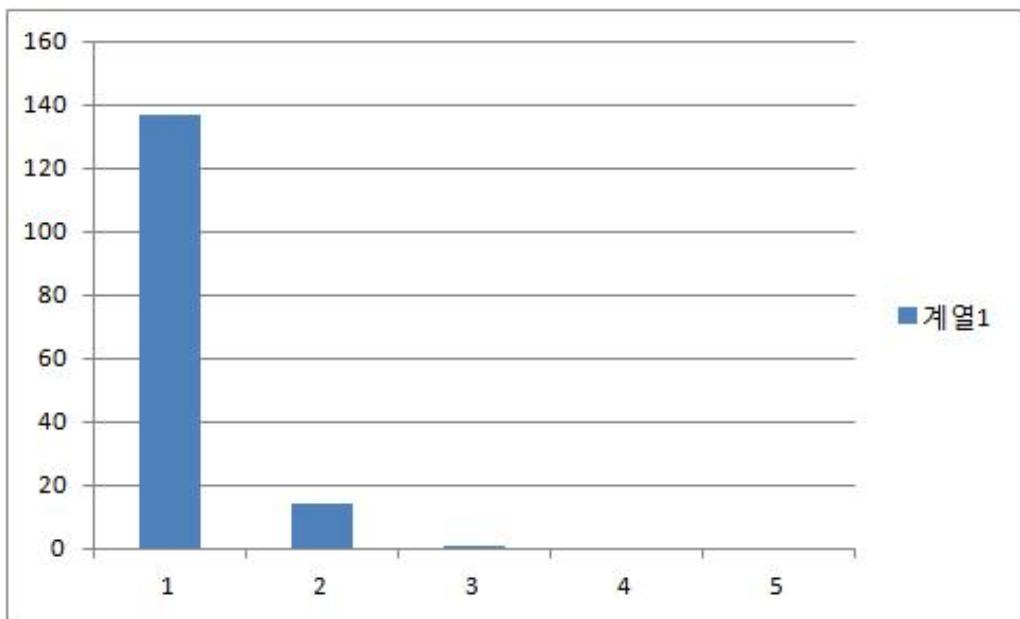


그림 36. 안심리 암각화의 초음파속도를 이용한 풍화지수 빈도 분석 결과.

안심리 암각화에 대한 물성분포도는 아래와 같이 제시하였으며, 물성분포도를 살펴보면 암체의 상부와 하부에서 낮은 물성을 나타내었다. 좌측은 상대적으로 높은 상태를 나타내고 있으나 최고 초음파속도는 2900을 넘지 못하고 있다. 같은 암체에서 다른 물성을 나타낸 점은 차등풍화의 현상이며 암각화가 새겨진 면을 정면하여 우측은 주변지형으로 바람의 영향을 많이 받는 부위이다.

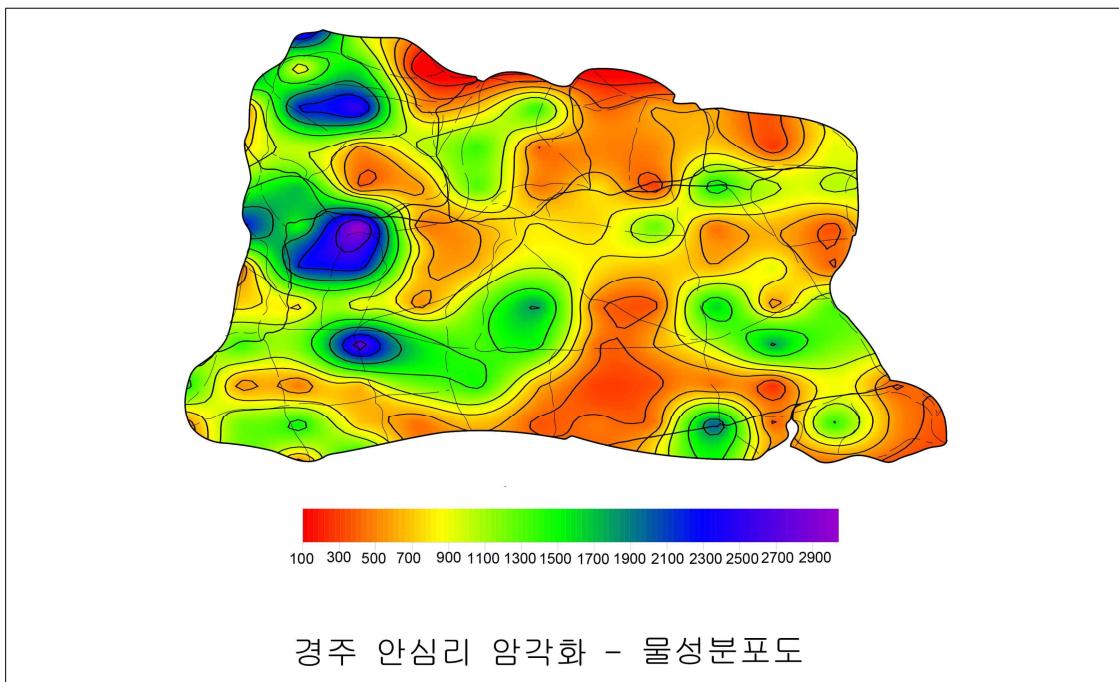


그림 37. 안심리 암각화의 물성분포도.

암석의 풍화상태에 따라 암체가 지니는 수분은 같은 암체이면서도 그 부분에 따라 상대적으로 다르게 나타날 수 있다. 다음에 제시한 수분 측정 결과는 표면수분에 대한 총 152개소의 측점 값의 범위는 1.1 ~ 7.7(%)이며, 평균 4.2(%)이다.

표 8. 표면수분 측정 결과(%)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.1	2.7	3.2	3.6	4.2	4.7	5.2	5.9
2	1.4	2.8	3.2	3.6	4.2	4.7	5.2	6
3	1.4	2.8	3.2	3.7	4.2	4.7	5.3	6.1
4	1.6	2.9	3.2	3.7	4.3	4.7	5.3	6.2
5	1.8	2.9	3.2	3.7	4.3	4.7	5.3	6.2
6	1.9	2.9	3.2	3.7	4.3	4.8	5.3	6.2
7	2	2.9	3.3	3.8	4.3	4.8	5.4	6.3
8	2.1	3	3.3	3.8	4.3	4.9	5.4	6.4
9	2.2	3	3.4	3.8	4.3	4.9	5.4	6.5
10	2.2	3	3.4	3.8	4.3	4.9	5.5	6.5
11	2.3	3	3.5	3.9	4.4	5	5.5	6.6
12	2.4	3	3.5	3.9	4.5	5	5.6	6.6
13	2.4	3	3.5	3.9	4.5	5	5.6	6.7
14	2.5	3	3.5	3.9	4.5	5.1	5.6	6.7
15	2.5	3.1	3.5	4	4.5	5.1	5.6	6.8
16	2.5	3.1	3.5	4	4.5	5.1	5.7	6.8
17	2.5	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	5.8	7.1
18	2.5	3.2	3.6	4.1	4.6	5.1	5.8	7.7
19	2.6	3.2	3.6	4.2	4.7	5.1	5.9	7.7

최저: 1.1, 최고: 7.7, 평균: 4.2

제시한 표면수분 분포도를 살펴보면 암각화가 새겨진 암체를 정면하여 우측의 수분 분포도가 높고 좌측은 낮게 나타난다. 좌측은 일조량이 많은 부분이고 우측은 지형이 약간 기운 곳이며 일조량이 낮은 부분이다. 특히 우측에서 수분이 높게 나타나고 물 성분포도에서도 낮은 물성을 나타내었다. 이는 단일한 암체이면서도 풍화가 차등적으로 발생하였고 특히 우측 하부가 매우 취약한 상태를 반영한 결과이다.

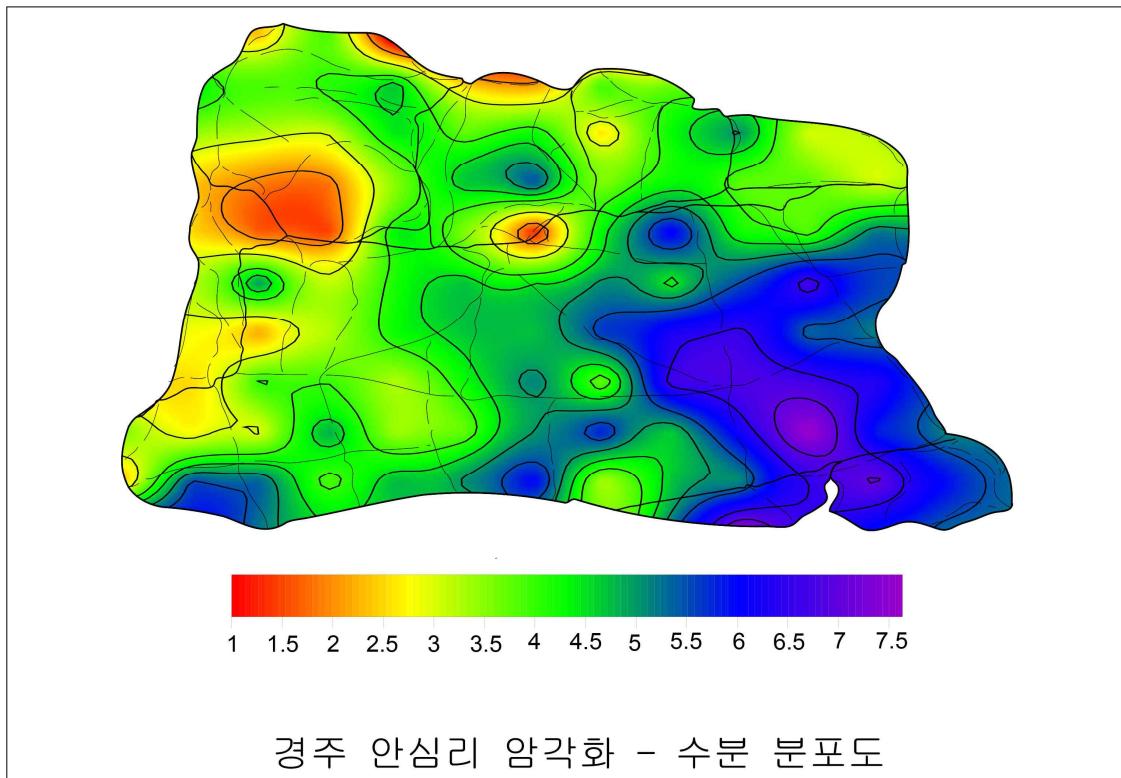


그림 38. 안심리 암각화의 수분분포도.

표 9. 석장동 암각화의 물리적 특성

	건조무게 (g)	함수무게 (g)	포수무게 (g)	겉보기밀도 (g/cm ³)	부피밀도 (g/cm ³)	공극율 (%)	흡수율 (%)
석장동	3.91	2.30	3.99	2.43	2.30	4.98	2.16
	5.14	3.10	5.25	2.51	2.38	5.17	2.17
	3.70	2.15	3.78	2.39	2.28	4.77	2.09
평균				2.44	2.32	4.97	2.14

표 10. 안심리 암각화의 물리적 특성

	건조무게 (g)	함수무게 (g)	포수무게 (g)	겉보기밀도 (g/cm ³)	부피밀도 (g/cm ³)	공극율 (%)	흡수율 (%)
안심리	2.84	1.60	2.89	2.29	2.22	3.30	1.49
	3.36	1.98	3.40	2.42	2.37	2.37	1.00
	3.50	2.07	3.54	2.44	2.38	2.39	1.00
평균					2.39	2.32	2.69
						1.16	

석장동 암각화의 물리시험 결과 암석의 공극율은 4.97, 흡수율은 2.14이고 안심리 암각화의 물리시험 결과 공극율은 2.69이고 흡수율은 1.16으로 나타났다. 표로 제시한 각종 암석의 공극율과 비교하면 사암은 1.62 ~ 26.4, 세일은 20.0 ~ 50.0이며, 2기 암체의 공극율은 다른 사암과 세일에 비하여 공극율이 낮게 나타났다.

표 11. 각종 암석의 건조단위중량 및 공극률

		건조단위중량 (t/m ³)	공극률 (%)
화성암	현무암	2.21~2.77	0.22~22.06
	휘록암	0.17~2.95	0.71~1.00
	반려암	2.72~3.00	0.00~3.57
	화강암	2.53~2.62	1.02~2.87
퇴적암	백운암	2.67~2.72	0.27~4.10
	석회암	2.67~2.72	0.27~4.10
	사암	1.91~2.58	1.62~26.4
	세일	2.00~2.40	20.0~50.0
변성암	편마암	2.61~3.12	0.32~1.16
	대리암	2.51~2.86	0.65~4.81
	규암	2.61~2.67	0.40~0.65
	편암	2.60~2.85	10.0~30.0
	점판암	2.71~2.78	1.84~3.61

IV-2. 열적외선 화상 분석조사

○ 열적외선 화상 분석조사 결과

열적외선 화상 분석조사는 균열 또는 열화부위에 발달한 미세균열에 형성한 기층의 온도변화를 이용해 분석하는 방식이다. 제시한 열적외선 화상 사진에서 석장동 암각화가 새겨진 암체의 상부에 발생한 균열은 이미 내측으로도 확장된 상태로서 기층이 발생한 것으로 판단된다.

석장동 암각화가 새겨진 암체에서 암각화를 확인할 수 있는 부위의 균열과 입상분해 현상을 관찰할 수 있다. 이 부위에 대한 열적외선 화상관찰 결과 균열 부위는 낮은 온도를 나타내고 일조량이 많은 부위는 높은 온도를 나타내고 있는데, 이는 균열 부위는 외기 온도를 반영하고 암체 표면은 일조량을 반영한 결과로 균열이 확장된 상태가 나타난 것이다.

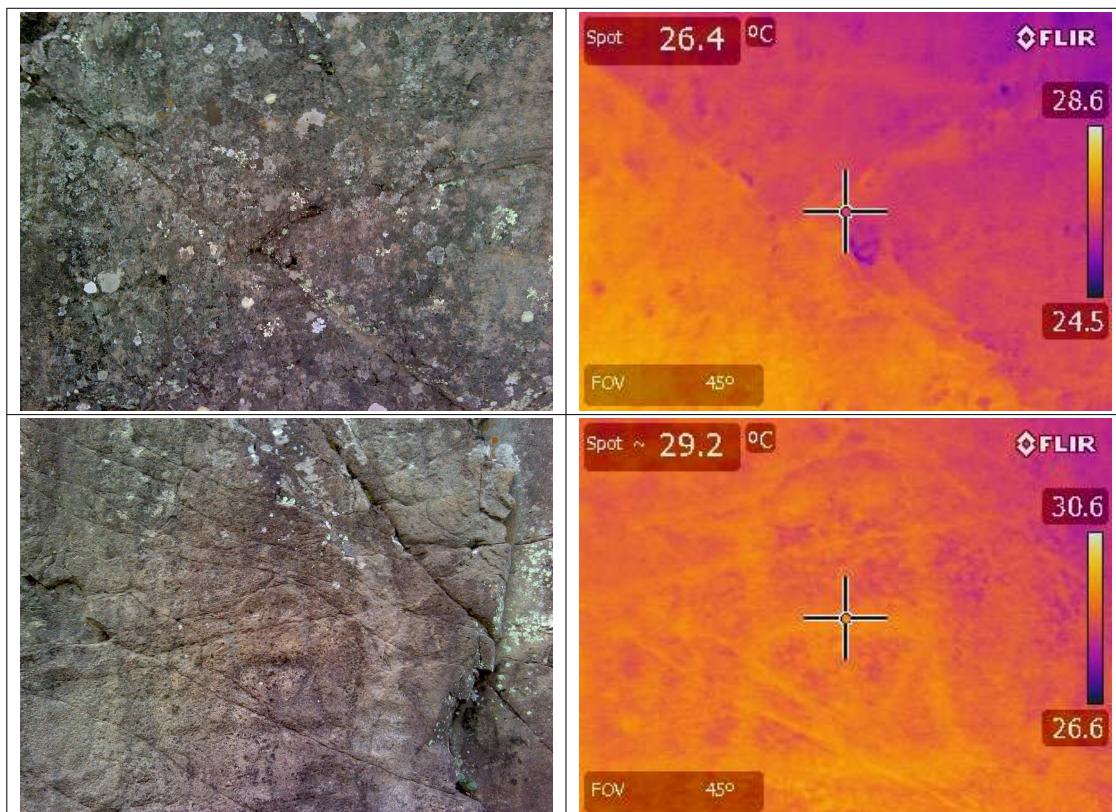


그림 39. 석장동 암각화 열적외선 화상 사진1.

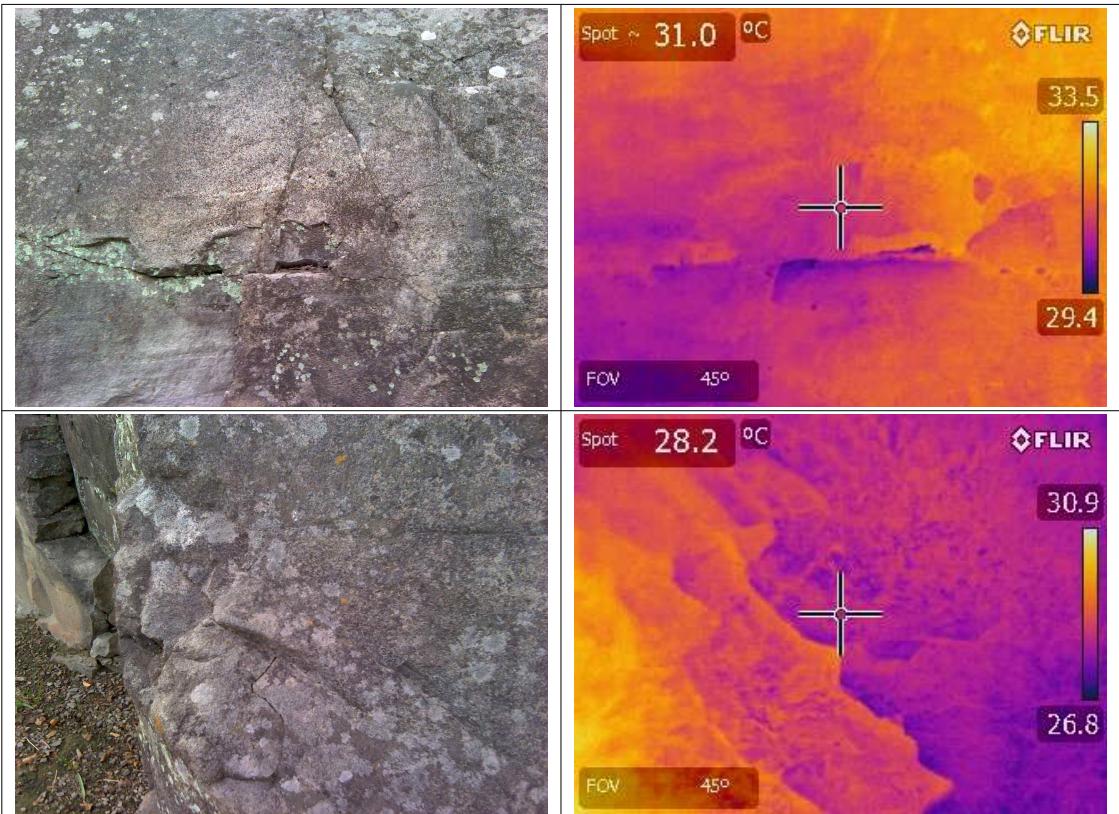


그림 40. 석장동 암각화 열적외선 화상 사진2.

균열이 발생한 보관의 우측을 중심으로 제시한 열적외선 화상 사진을 관찰하면 균열 부위를 중심으로 온도 차이로 인해 균열선을 쉽게 관찰 할 수 있으며, 이는 균열 부위 주변이 열화 되어 미세균열이 발달한 상태를 시사한다.

안심리 암각화는 수직수평 절리가 발달한 암체로서 육안으로도 균열부위가 확장된 상태를 관찰할 수 있으며, 균열과 입상분해가 발달한 부위를 대상으로 열적외선 화상을 관찰한 결과 균열부위는 외기온도를 반영하고 암체의 표면은 일조량에 의해 높은 온도를 나타내었다. 이는 앞서 기술한 석장도 암각화와 같이 암각화가 새겨진 암체의 풍화도가 높은 상태를 방증하는 결과이다.

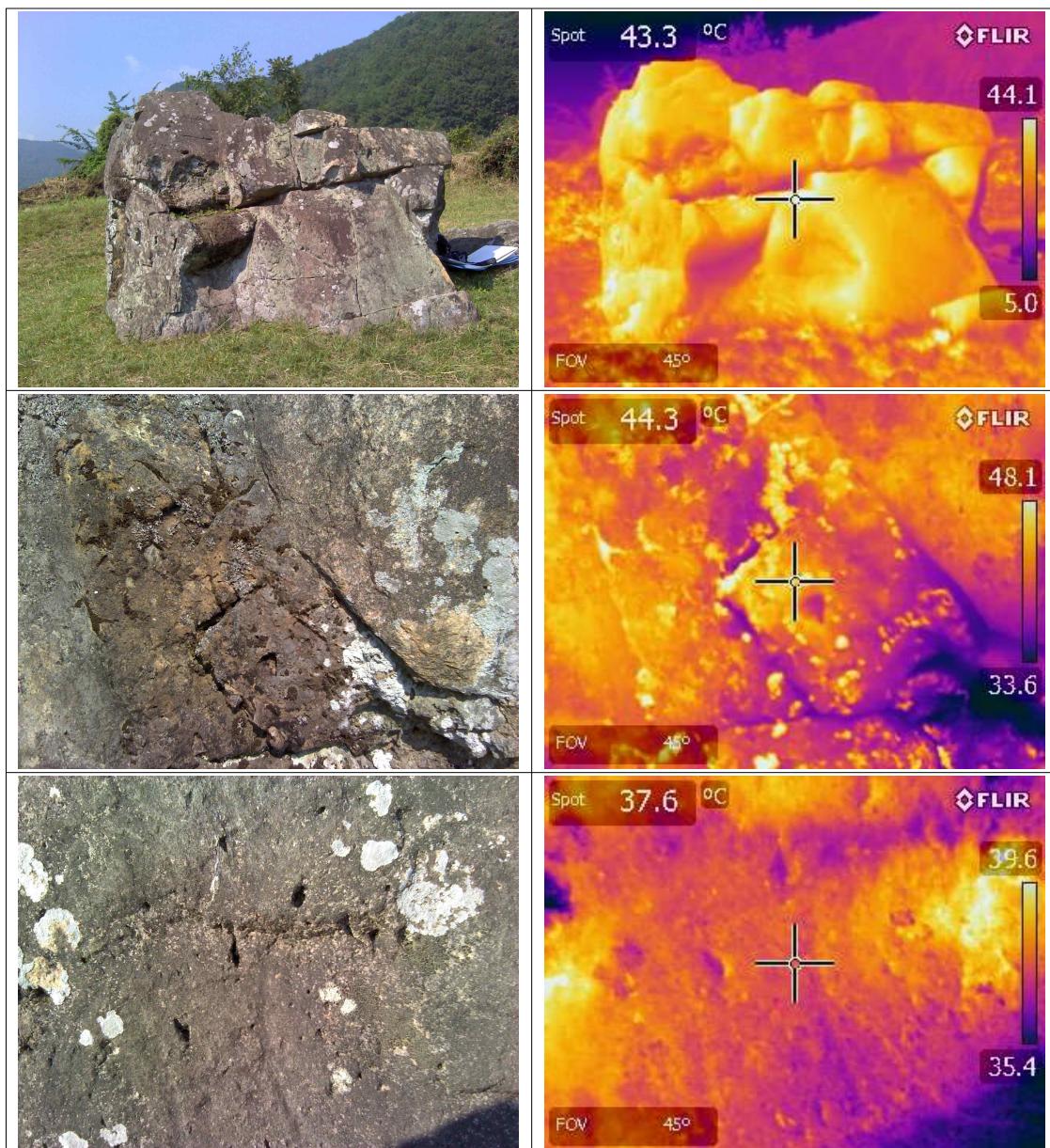


그림 41. 안심리 암각화 열적외선 화상 사진1.

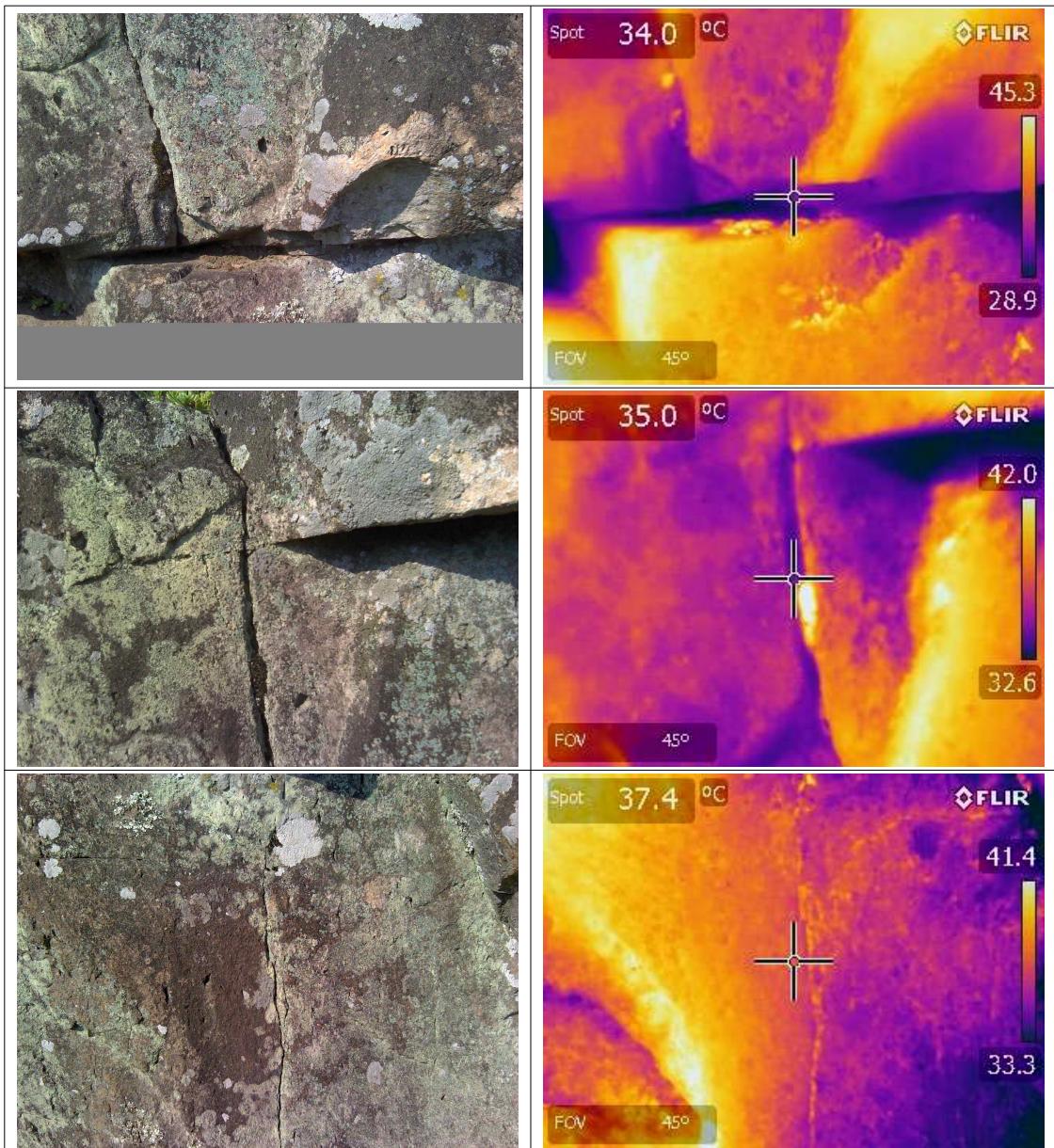


그림 42. 안심리 암각화 열적외선 화상 사진2.

IV. 고찰 및 결론

○ 손상도와 보존처리

암각화이 새겨진 2기의 암체는 흑화변색이 심화된 상태이고 암각화에는 고착상지의 류 및 엽상지의 류로 인한 침해현상이 발생하였으며, 2기의 암체 모두 상부의 풍화도가 높은 상태를 나타내고 있다. 특히 안심리 암각화의 경우에는 물성이 매우 취약한 상태이며, 하부의 수분분포도가 높아 지속적으로 풍화가 가속화 될 수 있다.

따라서 이 암각화의 보존처리는 침해생물을 제거하기 위한 건습식세척과 상부 암체의 수분을 낮추기 위한 발수강화처리가 시급히 이루어져야 할 필요성이 높다. 안심리 암각화의 균열부위로는 일년생 초본류가 생장하고 있으므로 이를 제거한 후에는 무기질 몰탈을 사용한 균열부 메움처리도 논의해야 한다.

○ 보존방안

석장동 암각화는 높지 않은 산지의 능선 지형이며 암체의 상부에는 수목과 관목으로 많이 자생하고 있다. 암체의 배면은 토양에 묻힌 상태로서 강수시에 상부 토양이 하부로 이동하여 암각화가 새겨진 표면을 흘러내릴 수 있는 상황이다. 안심리 암각화는 주변이 농경지이며 개활지에 위치하여 통기가 원활하나 암체의 주변 바닥은 일반적인 토양이며 여러 초본식물이 많이 생장하고 있다.

따라서 석장리 암각화의 장기적인 보존을 위해서는 상부에서 생장하는 관목과 초본류와 일부 토양을 제거하고 상부에 강수로 인해 토양이 암각화 표면으로 흘러내리지 못하도록 배수로 또는 차단 석축을 구축해야 할 필요성이 높다. 안심리 암각화의 경우에는 일조량이 높고 통기가 원활하나 바닥에 여러 종류의 초본식물로 인해 암체가 영향을 받고 있으므로 암체로부터 약 2M 정도 침해생물이 방지되도록 토양을 제거하고 생석회마사다짐이 필요로 한다.

〈참고문헌〉

1. 김사덕, 이태종, 김다람, 한민수, 감은사지서삼층석탑의 표면오염물 분석과 제거기술, *한국문화재보존과학회, 보존과학회지* 26(2) 203–211, 한국문화재보존과학회, 2010
2. 황정은, 김사덕, 정희수, 월정사팔각구층석탑의 손상현황과 표면오염물 제거연구, 국립문화재연구소, 보존과학연구 통권 제33호, pp.125–148, 2012
3. 도진영, 경주석빙고 구성석재에 형성된 표면오염물의 특징과 그 제거방안, *한국문화재보존과학회, 한국문화재보존과학회 제21회 발표논문집*, 2005
4. 김진형, 석조문화재 표면에 발생된 오염물 현황 및 특성에 관한 연구 : 경천사십층 석탑에 발생된 오염물을 중심으로, 국립문화재연구소, 보존과학연구 24집, pp.29–60, 2003
5. 이찬희, 이명성, 서만철, 최석원, 김만갑, 감은사지 서탑의 풍화훼손도 진단 및 석재의 산지추정, *대한자원환경지질학회, 자원환경지질 제37권 제5호* 통권168호, pp.569–583, 2004
6. 손병현, 정종현, 김현규, 유정근, 이형근, 화강암의 풍화에 미치는 염분과 산성용액의 영향, *대한환경공학회, 대한환경공학회지* 제27권 제1호, pp.101–108, 2005
7. 이정은, 이찬희, 이명성, 경주 분황사석탑의 풍화훼손도 평가와 보존과학적 진단, *한국문화재보존과학회, 보존과학회지 Vol.18* 통권 제18호, pp.19–32, 2006
8. 양희제, 益山彌勒寺址石塔의 石材에 對한 保存科學的 特性과 起源岩石의 成因的研究, 공주대학교대학원, 석사학위논문, 2004
9. 이동식, 이찬희, 양희제, 최기영, 석조문화재 표면 산화물의 산출상태와 지구화학적 거동 : 익산 미륵사지 석탑, *대한자원환경지질학회, 자원환경지질 제40권 제4호* 통권185호 pp.375–387, 2007
10. 양희제, 한민수, 김사덕, 이찬희, 익산 미륵사지석탑 화강암의 풍화에 의한 물리화학적 특성변화, *한국문화재보존과학회, 보존과학회지 Vol.23* 통권 제23호, pp.11–24, 2008
11. 양희제, 정용재, 정선혜, 황룡사지 석재유구의 보존과학적 상태조사연구, *한국전통문화대학교 한국전통문화연구소, 전통문화논총* 8호, pp.161–209, 2010
12. 송치영, 양희제, 정민경, 이찬희, 석조문화재 풍화훼손도의 정량적 평가기법 : 익산 왕궁리 오층석탑, *대한지질학회, 대한지질학회 추계학술발표회 초록집*, 2005