

진주성 축석루 성곽지반의 풍화특성과 보존방안

조영훈 · 이찬희 · 이명성 · 이선명

공주대학교 문화재보존과학과

Weathering Properties and Conservation Schemes for Bedrock under the Chokseongnu Pavilion, Jinjuseoung Fortress, Korea

Young Hoon Jo, Chan Hee Lee, Myeong Seong Lee, Sun Myung Lee

Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

1. 서 론

진주성(사적 제118호)은 조선시대 성으로 진주의 역사와 문화가 집약되어 있는 성지이다. 특히 남강가 성곽지반 위의 축석루는 역사적 및 문화적 가치가 높아 경남문화재자료 제8호로 지정되어 있다. 이 축석루 성곽지반은 사암과 세일이 호층을 이루고 있으며 구성암석의 결실 및 파손 등에 의해 재질이 손상되어 있다. 특히 암반에 발달된 균열 및 절리와 누수에 의해 파쇄대가 밀집되어 구조적인 문제도 나타난다.

축석루 일대의 성곽과 지반에 대하여는 이미 여러 차례의 보수와 정비가 수행되었으나 종합적인 진단은 실시된 바 없다. 이 연구에서는 축석루 성곽지반의 암석학적 풍화특성과 성곽지반의 훼손 상태를 파악하였으며, 성곽지반에 발달된 불연속면의 거동특성을 검토하였다. 또한 이를 바탕으로 축석루 성곽지반의 보강 및 보수를 위한 보존과학적 방안을 제시하였다.

2. 현황 및 연구방법

축석루 성곽지반의 상단면에는 뿌리를 둔 큰 수목들이 구성되어 있으며, 성곽지반은 표토층에서부터 사암층과 세일층이 일정한 높이로 호층을 이루고 있다(그림 1A). 특히 이 지반의 단면은 거의 수직으로 급경사를 이루고 있어 구조적으로 매우 불안정한 모습을 하고 있다(그림 1B). 또한 균열 및 절리대를 따라 누수가 심하여 성곽 상부

에서 흘러내린 물이 사암과 셰일층 사이에서 흘러나오고 있다. 이 수분유지대를 중심으로 암석의 분해와 변색 등의 다양한 훼손이 관찰된다(그림 1C).

이 연구를 위해 우선 구성암석의 암석학적 및 광물학적인 연구를 수행하였고, 암반사면 절리분석을 통한 향후 파괴 가능성을 예측하였다. 또한 사면 구성암석의 풍화민감도를 분석하였으며 기계적 및 물리적, 광물학적 및 화학적, 생물학적 풍화특성에 따른 훼손 상태에 대해 정밀한 조사가 실시되었다.

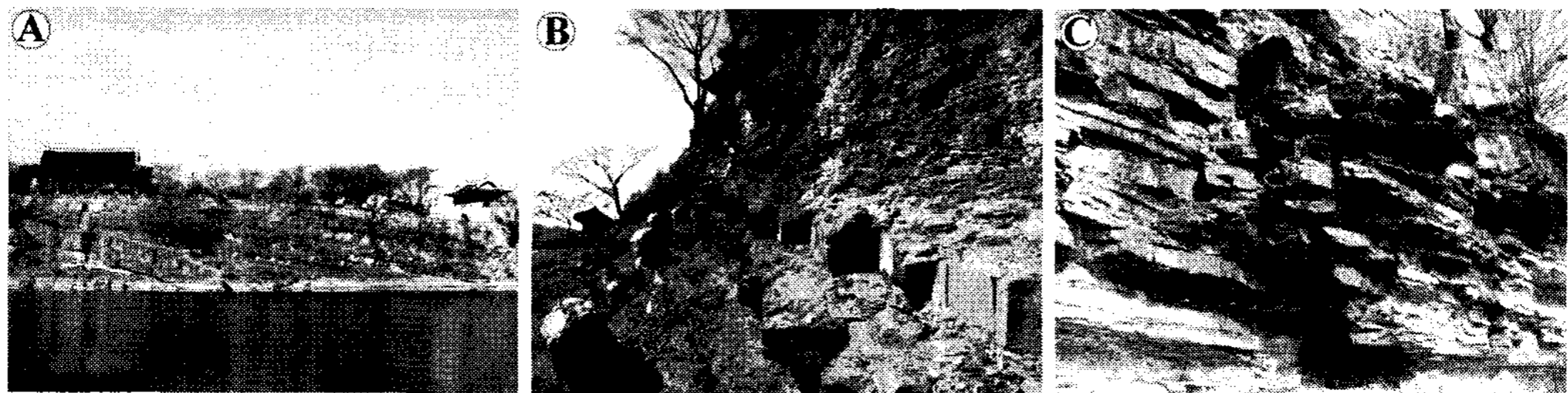


그림 1. 진주성 성곽지반의 산출상태. (A) 진주성 축석루 성곽지반의 전경. (B) 수직에 가까운 급경사를 이루는 사면. (C) 사암층과 셰일층의 누수.

3. 구성암석의 특성

축석루 성곽지반을 구성하는 암석은 암회색 내지 담갈색의 사암 및 미사암과 암흑색 계통의 셰일이다. 이 사암층과 셰일층은 교호하여 호층구조를 이루고 있다. 사암층에는 크고 작은 수직 균열이 발달하고 있으며 셰일층은 대부분 풍화와 침식작용에 의하여 여굴이 발생하였다. 또한 기반을 이루고 있는 두꺼운 사암층도 크고 작은 수직 및 수평절리들이 사교하고 있어 지반의 불안정을 야기하고 있다.

전암대자율 측정 결과에서는 점토의 구성비가 낮은 사암층이 셰일층보다 높은 대자율 값을 보이고 있다. 편광현미경 관찰에서는 평행한 방향의 엽층리가 발달되어 있는 셰일과 미사암이 관찰된다. 사암은 석영과 변질된 장석 등으로 이루어져 있으며 입자 사이를 세립의 점토광물과 불투명 광물 등이 채우고 있다. 각각의 암석에서 이차적인 변형조직은 나타나지 않았다. X-선 회절분석 결과에서는 석영, 정장석, 사장석 및 운모가 각각의 시료에서 공통적으로 검출되었으며 풍화를 많이 받은 시료에서는 방해석과 녹니석이 동정되었다. 주사전자현미경 관찰에서는 미세한 기공과 점토광물이 관찰되었으며 특히 사암에서는 사장석의 불규칙한 용식조직이 관찰되었다.

이 성곽지반을 구성하는 암석의 물성을 파악하기 위해 표면시료와 시추코아 시료에 대해 겔보기 비중과 흡수율을 측정하였다. 이 결과, 성곽지반의 기반암을 구성하는

사암이 비중이 가장 낮고 흡수율은 가장 높게 나타났다. 이는 남강과 바로 접해있는 환경적 요인으로 다른 암석에 비해 풍화가 많이 되어 치밀하지 않기 때문이라고 판단된다. 또한 표면시료가 코아시료보다 낮은 비중값과 높은 흡수율을 나타내었다. 따라서 축석루 성곽지반을 구성하는 표면 암석은 자연환경에 그대로 노출되어 있어 풍화가 더 빨리 진행되고 있음을 알 수 있다.

이 성곽지반을 구성하는 사암과 세일의 화학적 풍화지수(CIA) 및 풍화잠재지수를 구하기 위해 주성분 원소의 함량을 분석하였다. 이 결과, 화학적 풍화지수는 35.26~61.47으로 비교적 넓은 범위에서 풍화되고 있음을 알 수 있으며, 특히 사암이 세일보다 높은 값을 나타내었다. 풍화잠재지수는 -0.09~-0.37으로 풍화로 인한 성곽지반의 훼손 가능성이 잠재되어 있음을 지시한다.

4. 풍화상태와 보존방안

축석루 성곽지반 주변의 사면안정성 평가 결과 전체 사면에 발달한 대부분의 절리계는 N30~40°E와 N80~90°W의 주향과 거의 수직에 가까운 경사를 갖는 다양한 분포를 보였다. 또한 조사지역 전체 암반사면은 평면과곡에 있어 안정하고 국부적으로 소규모의 썩기과곡 가능성을 갖고 있으나, 사면 전체적으로 전도과곡에 있어 높은 불안정성을 보이는 것으로 판단된다(그림 2).

이 성곽지반의 기계적 및 물리적 훼손현황을 보면 암반사면의 수직방향으로 파쇄대가 발달하고 있으며, 호층을 이루는 사암층과 세일층에서는 아래보다 위쪽이 돌출되어 있어 붕괴의 위험성이 있다. 또한 세일층은 작은 충격에도 쉽게 부서져 세편화되었고, 성곽지반 내부 불연속면의 발달로 인한 누수현상이 관찰된다. 상부 토양에서는 거대한 수목 뿌리에 의한 근압으로 균열 및 절리 발달을 가중시켜 암반사면의 불안정성을 고조시키고 있다.

광물학적 및 화학적 훼손은 성곽지반 암반의 거의 전면에 걸쳐 나타나며 특히 수분 유지대를 중심으로 갈색 및 흑색 변색, 백화현상이 나타나고 있다. 이에 대한 정확한 규명을 위해 SEM-EDS 분석을 실시한 결과 Fe와 Mn이 높게 나타났다. 따라서 적갈색 및 흑색 변색은 암석 내의 Fe와 Mn이 수분과의 결합에 의해 생성된 변색임을 알 수 있다. 또한 성곽지반은 생물학적 오염과 훼손에 의한 피해도 심각하다. 성곽지반의 암석 표면에는 수분유지대를 중심으로 조류 및 지의류, 선대류와 같은 미생물과 초본식물 등이 분포하며 물리적 풍화와 함께 더 나아가 성곽지반의 구조적 불안정을 촉진시키고 있다.

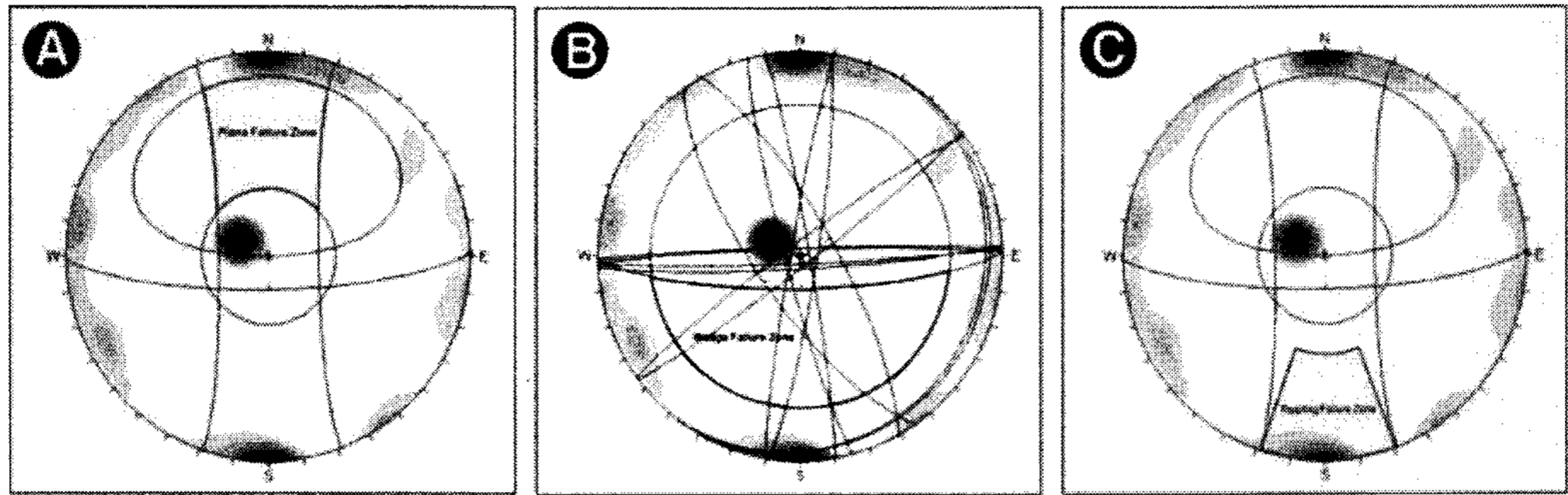


그림 2. 전체 암반 사면의 파괴 유형별 안정성 해석 결과. (A) 평면 파괴의 가능성 여부를 도시한 그림. (B) 켜기 파괴의 가능성 여부를 도시한 그림. (C) 전도 파괴의 가능성 여부를 도시한 그림.

축석류 성곽지반의 기초암반 및 사면보강 방안으로는 1차적으로 연약지반 개량공법을 적용하여 절리면이나 균열대를 채워 지반강도를 증대시켜야 한다. 이때 풍화의 요인인 우수, 지표수, 지하수의 유입을 통제하고 지하수의 유동을 억제하여 풍화를 감소시키고 안정성을 도모할 수 있는 것을 목적으로 해야한다. 표면 강화처리 방안으로는 석조문화재 강화처리에 많이 사용하고 있는 에칠 실리케이트계의 강화제를 이용한 방법과 토목공학적 방법인 숏크리트를 적절히 활용할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 방법들은 축석류 성곽지반과 같은 문화재에는 아직 적용한 예가 없어 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

이 성곽지반의 사이트 환경에서 가장 문제가 되는 것은 상부 토양에 분포하는 수목의 뿌리로 인한 구조적인 문제점이다. 그 방안으로는 최소한의 경관을 유지할 수 있는 수목 이외에는 완전히 제거하는 것이 좋을 것이며, 이때 구조적으로 가장 문제가 되는 수목을 중심으로 먼저 제거해야 하는 것이 바람직할 것이다. 또한 성곽지반 내부로의 강우 및 지하수의 유입을 방지하기 위해서는 그라우팅을 통한 차수시설 뿐만 아니라 원활하게 배수시킬 수 있는 유도 배수시설이 필요하다.

5. 결 론

1. 축석류 성곽지반은 사암층을 기반암으로 사암층과 셰일층이 호층을 이루고 있고 사암층은 크고 작은 균열이 발달되어 있으며 셰일층은 대부분 풍화와 침식작용에 의해 여굴이 발생되었다.

2. 편광현미경, X-선 회절분석, 주사전자현미경(SEM), 화학분석, 겔보기 비중과 흡수율을 통해 모든 시료에서 풍화가 상당히 진행된 것을 알 수 있었다. 특히 기반암을

이루는 사암층은 남강과 바로 접해 있는 환경적 요인에 의해 다른 암석에 비해 풍화가 상당히 진행되었다.

3. 축석루 성곽지반 주변의 사면안정성 평가 결과, 사면 전체적으로 전도파괴에 있어 높은 불안정성을 보이고 있다. 또한 수직방향의 파쇄대가 발달하고 있으며, 내부 불연속면의 발달로 인한 누수현상과 세일층의 세편화, 거대한 수목 뿌리에 의해 균열 및 절리가 발생되고 있다. 이외에도 수분 유지대를 중심으로 변색 및 생물학적 오염도 심각하다.

4. 축석루 성곽지반의 강도를 증대시키기 위해서는 기초암반 및 사면보강 방안이 적용되어야 하며, 표면 강화처리를 위해서는 석조문화재의 표면처리방법을 적절히 활용해야 할 것이다. 또한 최소한의 경관을 유지할 수 있는 수목 이외에는 제거해야 할 것이며, 강우 및 지하수를 원활하게 배수시킬 수 있는 유도 배수시설이 필요하다.