

경천사십층석탑의 암석학적 특성과 풍화훼손도 평가

이정은¹⁾ · 이찬희^{1)*} · 신은정²⁾ · 김사덕²⁾

1. 서 언

현재 국립중앙박물관의 실내에 전시된 경천사십층석탑은 국보 제86호로 지정된 석조문화재로 높이는 약 13.5m이다(그림 1A). 경천사는 경기도 개풍군 광덕면 부소산에 있던 절로, 고려시대 전기에 세워졌던 것으로 알려져 있다. 경천사터에 축조되어 있던 이 탑은 일제 시대에 해체되어 일본으로 무단 반출되었다가 환수 한 뒤 해체되어 보존처리 과정을 거쳐 재조립된 석탑이다. 이 탑의 기단은 3단으로 구성하였으며 위에서 보면 아(亞)자 모양이고, 그 위로 올려진 10층의 높은 탑신 역시 3층까지는 기단과 같은 아(亞)자 모양이었다가, 4층에 이르러 정사각형의 평면 구조를 이루고 있다. 4층부터는 각 옥신마다 난간을 둘렀으며, 옥개석은 팔작지붕 형태에 기왓골이 표현되어 있다. 또한 탑의 1층 탑신에 고려 충목왕 4년(1348년)에 세웠다는 기록이 있어 조성 연대를 정확히 알 수 있다.

이 탑은 대리암으로 구성 되어 있으며 도시의 한가운데 위치하고 있던 지리적 영향으로 인해 대기환경에 의한 피해가 심각한 수준이었다. 또한 풍화되기 쉬운 퇴적암의 특성상 부재의 표면침식이 왕성하게 진행되어 있으며, 이전에 처리된 부분과 기존 부재는 풍화양상에 차이를 보이고 있다. 따라서 이 연구에서는 경천사십층석탑을 구성하고 있는 대리암을 대상으로 지질 및 암석학적 특성, 풍화양상 및 보존상태를 검토하였으며, 탑 표면에 생성된 이차침전물을 동정하여 화학적 풍화 원인을 규명하였다. 또한 이 탑의 해체복원 및 보존처리에 사용된 신부재와 기존부재의 광물학적 및 지구화학적 정량분석을 통해 암석학적 차이점과 유사성을 평가하였다. 이 연구결과는 이와 유사한 석조문화재의 종합적 보존연구를 위한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 현황 및 연구방법

경천사십층석탑은 구성 재질과 보존 및 주변 환경의 영향으로 심각하게 훼손된 상태였고, 풍화진행 속도가 빨라 이미 결실 또는 탈락된 부분에 대해 신부재와 시멘트 콘크리트로 접합 및 보강이 이루어진 상태였다. 해체보수 전까지 경복궁 내에 세워져 있었으며, 도심에 위치하고 있어 무기오염물로 인한 변색이 심각한 상태이다. 따라서 이 석탑의 원형보존을 위해 해체보수와 표면오염물에 대한 보존처리가 진행되었다(그림 1B). 정밀진단은 1990년부터 매년 실시되었으며, 1995년 해체보수가 결정되어 2005년까지 원형복원이 진행되었다. 복원 후에는 국립중앙박물관으로 이전하여 현재 실내에서 전시되고 있다(그림 1C).

이 연구에서는 경천사십층석탑의 환경 조사와 부재의 물리화학적 및 생물학적 풍화특성, 구성암석의 재질특성과 산지추정에 관한 정밀조사를 실시하였다. 또한 실내연구를 위하여 석탑에서 탈락된 동일한 암편을 회수하여 암석학적, 광물학적 분석용 시료로 이용하였다.

주요어 : 경천사십층석탑, 대리암, 풍화훼손, 표면변색, 보존처리

1) 공주대학교 문화재보존과학과 (jeyi@kongju.ac.kr, chanlee@kongju.ac.kr)

2) 국립문화재연구소 (renew-007@hanmail.net, kimsadug@hanmail.net)

이 석탑을 구성하고 있는 암편들의 반정량적인 광물조성과 광물학적 공생관계, 조직 및 풍화에 의한 변질광물의 생성을 관찰하기 위해 편광현미경 관찰과 주사전자현미경 관찰을 하였으며, 일부 암편 시료에 대해서는 X-선 회절분석과 정량화학(XRF, ICP-MS 및 INAA) 분석을 실시하였다.

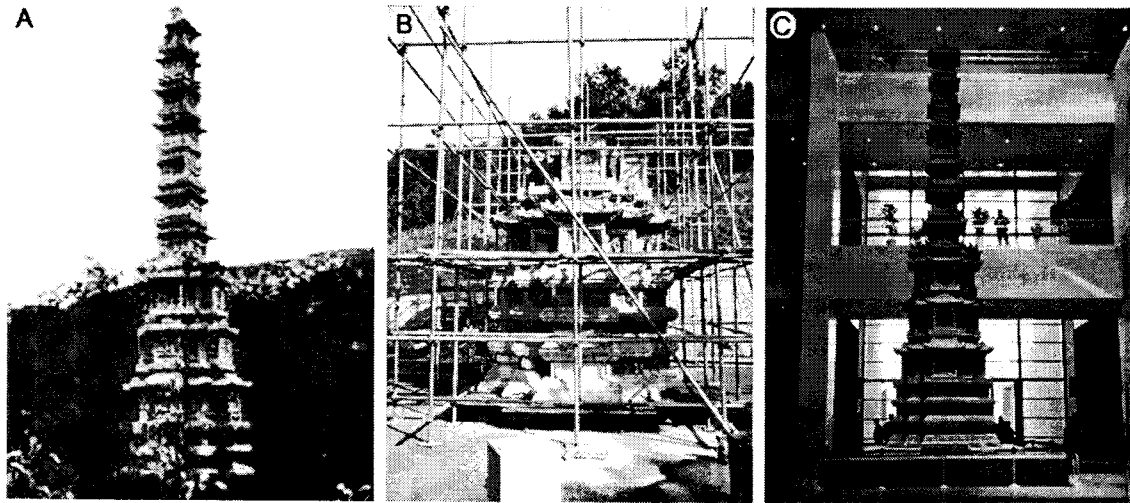


그림 1. 경천사십층석탑의 모습. (A) 1902년 『한국건축조사보고』에 수록된 전경. (B) 부재의 접합 및 보존처리가 끝난 후 구조적 안정성 테스트를 위해 구조물 설치 후 가복원한 모습. (C) 해체 복원 후 국립중앙박물관에 전시되고 있는 모습.

3. 암석학적 특징

이 탑을 이루는 원부재는 주로 담회색의 세립질의 대리암이나 구성광물, 화학조성, 조직 및 색에 따라 여러 종류의 암상으로 세분된다. 조직에 따라서는 결정질 대리암, 어란상 대리암, 피상 대리암, 분말상 대리암, 미정질 대리암 등이 있고, 조성에 따라서는 백운암질 대리암, 석회암질 대리암, 이회암질 대리암이 공존한다. 또한 색에 따라서 암회색, 회백색, 유백색 대리암으로 분류된다. 이 중에서 가장 높은 점유율을 차지하는 부재는 회백색에 미정질을 갖는 석회질 대리암이다(그림 2A, 2B).

이 석탑의 복원에서는 총 145개의 부재 중에 약 40%에 달하는 부재가 신석재와 시멘트 몰탈 및 수지의석으로 대체되었다. 구성암석은 고생대 중후기의 화석상을 갖는 석회암이 변성 작용을 받아 생성된 대리암으로서, 건축 당시의 위치와 주변의 지질학적 특성으로 보아 개성의 인근에 분포하는 임진계의 구성 암석이 사용되었을 가능성이 있다. 남한에서 이 석탑의 재질과 지질학적 및 암석학적 특성이 유사한 암석은 강원도 평창, 영월 일대에 분포하는 고생대 중부 석탄기의 요봉층 및 밤치층에 협재한 석회질 대리암이다. 그러나 석재의 원산지 추정과 유사한 암종의 규명은 보다 정밀한 연구가 필요하다. 현재 대체석으로 사용한 암석은 고생대 초기 정선석회암의 대리암질암이나 지리적 여건과 석재의 생산 가능성 및 설비 등으로 보아 적합한 선택을 한 것으로 판단된다.

4. 풍화훼손 상태

경천사십층석탑의 표면은 인위적 훼손과 물리화학적 풍화가 진행되었으며 상부 부재로 갈

수록 오염물에 의한 표면 변색이 심각하다. 이 중에서 화학적 풍화에 의한 백화현상은 시멘트 몰탈 등으로 처리된 부재에서 수직 방향의 균열과 함께 나타나며, 특히 탑신부에 많다. 이는 부재의 재하하중에 따른 압축력의 영향으로 보인다. 따라서 부재 간의 전단응력과 압축강도에 대한 안전진단과 하중 계산 등의 정밀 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이 탑의 부재에 나타난 물리적 훼손상태는 보강부분의 이격, 균열, 결실, 박리박락, 마모, 입상분해 등이다(그림 2C, 2D). 부재의 상당수에 발달된 균열은 이 탑을 이루는 구성암석이 석회암질 대리암으로 이루어져 외부의 충격과 편하중에 의해 쉽게 파손될 수 있기 때문이며, 보강부분의 이격은 접착제로 사용된 시멘트 콘크리트와 구성 석재의 풍화 진행 속도의 차이로 인한 것이다.

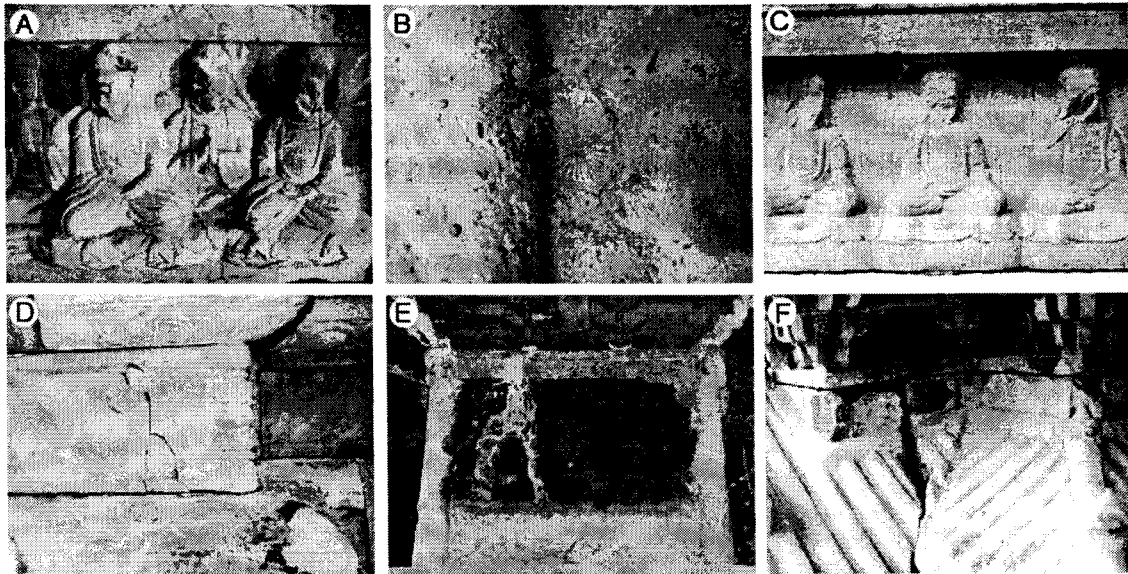


그림 2. (A) 방사상 이회질 세맥이 분포하는 회백색 피상 대리암. (B) 부재 표면에서 관찰되는 생흔 및 해백합 화석의 모습. (C) 탑신에 조각된 불상의 두상이 인위적으로 파손된 모습. (D) 부재의 수직하중으로 인해 옥개받침이 파괴된 모습. (E) 단단하게 고착된 흑색침전물 위로 시멘트 몰탈에서 발생한 회백색침전물이 강수의 유동을 따라 흘러내린 모습. (F) 부재 표면 깊숙이 고착된 흑색오염물.

한편 경천사 탑은 전체 표면 중 60% 이상이 흑색 이차침전물에 의해 피복되어 있으며, 이는 방위별로 약간의 차이를 보인다(그림 2E). 흑색의 이차오염물은 주로 석탑의 표면에 형성이 되어 있으며, 부재의 조각된 부분과 틈 사이에도 피복이 되어있다(그림 2F). 이 침전물은 특히 옥개받침 부분에 가장 많이 형성이 되어 있다. 이는 대기환경에 의해 생성된 오염물이 강수의 유입경로를 따라 이동하면서 증발잔류물을 형성할 때 수분유지 시간이 상대적으로 긴 장소에서 침전이 용이하였기 때문으로 해석된다.

5. 결 언

1. 경천사십층석탑은 1962년 국보 제86호로 지정되었으며, 고려 충목왕(1348년) 때 건립된 것이다. 총 145개의 부재로 구성되어 있으며, 총 높이는 13.5m이고 3층 기단 위에 10층의 탑신을 쌓았다. 이 탑의 옥개석 처마 구조는 목조 건물의 구조를 나타내고 있어 당시 건축양

식의 연구에 중요한 자료이다.

2. 이 탑에 대한 조사는 1902년에도 이루어졌으며, 1960년에는 석탑의 손상 및 결실된 부재에 대한 수리와 복원이 실시되었다. 정밀진단은 1990년부터 매년 실시되었으며, 1995년 해체보수가 결정되어 2005년까지 원형복원이 진행되었다. 복원 후에는 국립중앙박물관으로 이 전하였으며 현재 전시중이다.

3. 이 탑을 이루는 원부재는 대부분 세립질의 회백색 대리암으로 조직에 따라 어란상, 괴상, 분말상, 미정상 및 결정상 대리암으로 분류할 수 있다. 조직에 따라서는 백운암질 대리암, 석회암질 대리암, 이회암질 대리암으로 세분할 수 있으며, 색에 따라서 암흑색, 암회색, 회백색, 유백색을 보인다.

4. 대부분 부재의 구성광물은 방해석과 백운석이며 미정질, 거정질 및 재결정 당정질 조직이 혼재한다. 또한 일부 시료에서는 크기와 종류가 다른 여러 종류의 방추충과 해백합 화석이 다수 발견되었다. 이 방추충 미화석은 미립 또는 중립질 방해석과 공존하며, 이는 부재의 원석이 중부 석탄기를 지시하는 표준화석일 가능성이 있다.

5. 대체석으로 사용한 신부재는 회백색에 미세 층리가 발달된 괴상 대리암으로서 방해석과 백운석이 주요 조암광물이다. 주성분, 미량 및 회토류 원소를 분석하여 진화경향을 살펴본 결과, 원부재와 신부재가 서로 다른 지구화학적 진화경향을 나타냈으며, 암석의 탄소 및 산소동위원소 분석 결과에서도 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 원부재와 신부재의 구성암석은 퇴적과정과 성인이 동일하지 않는다는 것을 의미한다.

6. 이 탑의 부재에서는 보강부분의 이격, 균열, 결실, 박리박락, 마모, 파손 등이 진행되었으며, 탑의 옥개석에서는 회백색 침전물과 흑색 침전물이 피복되어 있다. 이 흑색 침전물은 대기오염물질과 부재의 용해과정에서 발생한 탄산염 복합물질이 피각상을 이루고 있는 것으로 판단된다.

7. 이 탑은 현재 보존환경이 우수한 박물관 내에 전시되어 있으나 관람객들이 발생시키는 이산화탄소와 인위적인 훼손으로 인한 피해가 예상된다. 이에 대해서는 관람객들의 유동량에 대한 정량적 데이터와 공기순환 측정시스템을 통한 이산화탄소의 흐름을 파악할 수 있어야 할 것으로 판단되며 온습도 조절장치를 이용한 지속적인 모니터링도 필요할 것이다.