

익산 미륵사지 서탑의 보존 관리와 기원암의 성인적 해석

이찬희* · 양희제** · 김사덕*** · 최석원**** · 이명성* · 이동식** · 김기남**

*공주대학교 문화재보존과학과,

**국립문화재연구소 미륵사지석탑 보수정비사업단,

국립문화재연구소 보존과학연구실, *공주대학교 지질환경과학과

Conservation Treatment and Petrogenesis for Source Rock of West Stone Pagoda at the Mireuksaji Temple Site

Chan Hee Lee*, Hee Jae Yang**, Sa Dug Kim***, Seok-Won Choi****,
Myeong Seong Lee*, Dong Sik Lee** and Gi Nam Kim**

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

**Iksan Mireuksaji Stone Pagoda Conservation Team,
National Research Institute of Cultural Properties, Iksan 570-911, Korea

***Department of Conservation Science,
National Research Institute of Cultural Properties, Deajeon 305-380, Korea

****Department of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

1. 서론

익산 미륵사지는 전북 익산시 낭산면과 금마면에 걸쳐 분포하는 미륵산의 서남쪽 능선 아래 평지에 위치한다. 삼국유사에는 백제 무왕대(AD 600~640)에 늪지를 메워 사지를 형성한 것으로 전하며, 3기의 탑이 있었던 것으로 알려져 있다. 국보 제11호인 미륵사지 서탑은 화강암으로 구성된 석탑으로 창건과 함께 조성되었을 것으로 추정되고 있다. 이 석탑은 원래 9층이었을 것으로 추정되나 정확한 붕괴시기는 알 수 없다. 1910년까지 6층으로 현존하는 석탑은 1915년경에 콘크리트로 보수되었다. 보수공사에서는 남측면 일부 부재를 바로 세우고 균열 부재의 보강을 위해 약간의 석재가 삽입되었고, 서측면은 더 이상의 붕괴를 방지하고자 전체적으로 콘크리트를 타설하였다. 당시의 보수기록은 남아 있지 않으나 같은 시기에 작성된 것으로 보이는 실측도면이 중앙박물관에 보존되어 있다.

미륵사지 석탑은 응급보수된 후 오랜 동안 외부의 환경적 영향과 구조적 불균형으로 재질의 일부가 변형, 손상, 훼손이 심하여 현재 보수정비공사를 진행하고 있다. 석탑의 구조적 불균형으로 발생한 집중 하중으로 인해 주요 부재들의 파손과 균열이 심한 상태이다. 이 석탑은 불균형적 구조와 풍화로 인해 수차례에 걸쳐 정비공사의 필요성이 제시되었다. 1998년

에는 석탑구조안전진단을 실시하였고 이를 계기로 1999년 문화재위원회에서 전격적인 해체 보수가 결정되었다. 이 석탑은 국립문화재연구소의 석탑보수정비사업단에서 해체공사를 진행하고 있으며 현재 2층까지 해체된 상태이다.

이 연구에서는 미륵사지 석탑보수정비사업단의 보존처리팀이 수행하고 있는 석탑의 보존 과학적 조사 및 연구활동에 대하여 소개할 것이다. 또한 석탑의 암석학적 특성을 파악하여 이와 유사한 석재의 분포지를 규명하고, 보존처리 시험연구에 필요한 석재 시편 및 재조립 시 필요할 것으로 예상되는 석재를 선정하고자 한다. 따라서 미륵산에 대한 정밀조사를 실시하였고 석탑의 복원 및 보존처리를 위해 부재의 암석 및 광물학적 특징과 풍화에 따른 지구화학적 거동을 검토하였다. 보존처리에 필요한 석재의 확보와 석탑 암석의 기원지를 밝히고자 주변의 암석을 대상으로 암석화학적 미량원소의 성인적 특성을 고찰하였다.

2. 현황과 보존관리

2.1. 현황과 보수정비

석탑을 구성하는 총 부재는 석축을 포함하여 1,364개이고 이 중 탑의 주요 외면 부재는 446개이다. 석탑의 외면 상태는 동측면이 179개로 가장 많이 보존되어 있고 서측면은 콘크리트로 덮혀 있어 부재를 볼 수 없다. 북측면은 4층까지 일부의 부재가 남아 있으며, 남측면은 1층 부분만이 보존되어 있다. 석탑의 내부에서는 적심석으로 장대석과 함께 작은 석재들도 많이 수습된다. 석탑의 외면을 구성하는 부재 중에 결실된 것은 39개로 8% 정도이다. 이중 1/3 이하로 결실된 부재는 21개로서 대부분 각 층별 탑신받침석이며 모서리들이 결실되어 있다. 또한 1/3 이상의 결실이 있는 부재는 옥개석이며, 이는 탑의 붕괴 시 상부부재가 낙하하면서 발생한 것으로 판단된다.

외면을 구성하는 부재 중 균열은 구조적으로 집중하중을 받게 되는 각 층의 탑신받침석들로 대부분 균열이 중첩되어 있다. 이 상태의 부재는 약 64개이고 이는 석탑 부재의 약 14% 정도이다. 일부 상옥개받침석에서는 편하중으로 인한 균열도 보인다. 이 밖의 균열과 결실은 석탑 조성시 사용한 철판으로 인하여 부분적으로 발생한 균열과 암석 생성시의 질리나 채석시 발생한 균열이다. 콘크리트로 인한 부재의 백화현상은 콘크리트와 접촉면이 많은 부분에서 발생하였다. 대부분 석탑의 상부보다 하부에 위치한 내부 적심석재에서 나타나는데, 특히 서측면 부재에서 백화현상이 심한 것은 콘크리트가 가장 많은 부분이기 때문이다.

석재의 해체는 가설덧집 상부에 있는 10 ton 용량의 호이스트를 이용하여 해체한다. 콘크리트의 제거는 수작업으로 진행하는데, 이는 진동기계를 사용하게 되면 석탑 하부구조에 충격과 변형이 예상되기 때문에 물리적인 충격을 최소화하고자 하는 것이다. 석탑에서 해체된

부재는 외부로 이동하여 적재장에 적치하고, 보존처리에 앞서 전체적인 부재의 현황에 대한 조사를 진행한다. 보존처리실에서는 석탑의 안전과 해체 부재의 보호조치를 취하며, 훼손이 심한 부재는 별도로 수습하고 있다. 균열이 심한 부재는 고무바와 자동바를 사용하여 고정하고 균열이 복합적으로 발생한 부재는 목재를 사용하여 균열의 유동을 방지한 후 자동바를 사용하여 고정한다. 균열이 아주 심한 부재는 에폭시 접착제인 L-30을 사용하여 접착처리한 후 해체한다. 현재는 보존처리방안 수립을 위한 조사를 위주로 진행하고 있으며 본격적인 보존처리는 석탑의 재조립 계획과 함께 수립될 것이다.

2.2. 보존과학적 정밀진단

2.2.1. 부재의 상태연구

기초자료 확보를 위한 단위부재 조사카드를 작성하고 있으며 부재의 결실부분, 생물침해 부분, 각 부재의 주변 관계와 해체전과 후를 설명하고 실측도면과 함께 참고사진을 활용하여 작성한다. 정밀조사를 위하여 산업용으로 제작된 실체전자현미경을 응용하여 사용하고 있으며, 필요한 부분은 화면을 영상처리하여 저장한다. 이 조사는 부재의 균열면에 대한 조암광물의 입도를 관찰하고 풍화된 석재의 표면 및 암석 선구조 발달 부분을 관찰하여 비교분석하기 위한 자료이다. 이는 균열부재와 주변부재의 관계를 종합적으로 정리하여 파손부재가 내부결함에 의한 균열인지 탑의 구조적인 문제에서 발생한 물리적 균열인지를 해석할 수 있는 자료이다.

석재의 가공수법을 알아보려고 석고를 사용하여 표본을 제작하고 있다. 이 석고표본은 단면으로 절단하여 석재의 용도별 가공방법과 단위부재의 가공수법을 비교하기 위하여 제작하는 것이다. 또한 해체현황에 대한 정밀조사도 실시하며 해체시 마다 석탑의 내부상황을 정확하게 기록을 하고 있다. 보존처리 요원들은 부재의 해체전 상황과 석재 상태에 대한 조사를 하고, 건축조사원들은 현황에 대한 실측조사를 진행한다. 모든 조사자료는 향후 학술적 및 석탑의 재조립 계획수립을 위한 방법을 모색하기 위한 자료로 구축되고 있다.

2.2.2. 생물침해와 제거실험

이 석탑의 침해생물종은 균류 7종, 조류 10종, 선태류 6종, 지의류 16종, 이끼류 8종으로 총 38종이 동정되었고 전체 피도는 85%에 달하는 것으로 나타났다. 조류에 의한 변색 부분은 동측면의 옥개석 하단을 중심으로 2단 형태의 받침석에 나타난다. 대부분 여러 차례의 생물활동으로 이어져서 상당히 검고 물이 흘러내리는 방향과 일치하며 석축 부분도 조류에 의해 검게 퇴색한 부분이 많이 나타난다.

콘크리트로 보수된 서측면의 경우도 진회색을 보이는데 이것도 조류에서 기인한 것이다. 콘크리트의 보습 효과가 조류의 활동을 유리하게 하였을 것으로 추정된다. 석탑의 퇴색부분이 검다는 것은 그 만큼 조류 활동이 왕성했다는 것을 짐작할 수 있게한다. 석탑의 수평적

인 부재인 옥개석은 엽상지의류와 고착상지의류가 혼생한다. 상부 옥개석에는 주로 고착상지의류가 기생하고 하부에 있는 옥개석은 엽상지의류와 고착상지의류가 거의 같은 비율로 분포한다. 부재와 부재사이 미소토양이 축적되는 부분은 이끼류가 기생하며, 해체 과정 중 내부에서 나무뿌리가 발견되었는데 콘크리트로 보수되기 이전에 뿌리식물이 생장했던 것이다.

생물학적 침해에 대한 적절한 처리방법을 수립하기 위하여 K201 약제를 중심으로 사용법에 대한 실험을 하였다. 실험에서는 K201을 20%, 50%로 희석하여 물리적인 제거방법을 사용하지 않으면서도 생물의 고사와 제거가 가능하고 생물이 억제되는지를 확인하기 위한 실험으로 수행하였다. 실험결과 K201 20% 희석제로도 침해생물은 고사되고 균주는 억제되었으며, 자연환경에서 제거가 되었다. K201 50% 희석제는 사용시에 분무방법만으로도 처리시에 생물이 제거되고 균주도 억제되었다. 따라서 생물의 피도가 높은 부분의 경우 50% 희석제는 처리시에 생물의 일부가 제거되도록 처리하면 생물의 재유입을 지연할 수 있는 효과를 거둘 수 있고, 20% 희석제는 생물의 유입을 예방할 수 있는 차원에서 사용할 수 있는 것이다.

2.2.3. 주변환경의 모니터링

문화재 보존을 위한 환경조사는 문화재가 위치한 국부지역의 환경특성을 파악하여 훼손원인을 규명하기 위한 자료수집으로 시작한다. 이 석탑의 환경조사는 자료를 수집하고 있는 단계이며, 조사내용은 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 보존방안 연구에 필요한 자료수집과 보수정비공사를 위해 시설한 가설덧집의 환경관리이다. 자료수집을 위하여 현장에 자동기상관측기를 설치하여 온습도, 풍향, 풍속 등의 자료를 30분 간격으로 수집하고 있다. 두 번째로 조사되는 가설덧집의 환경조사는 5층으로된 덧집의 각 층별 1개소에 무선 온습도측정기를 설치하여 5분 간격으로 자료를 수집하여 이 자료를 토대로 가설덧집의 환경을 관리하고 있다.

현재 수집된 자료로 보아 석탑의 십자통로에 습기로 인하여 일부 부재에서 박리현상이 나타나고 있다. 따라서 습도가 높아지는 장마철에는 강제통풍을 실시하고 있다. 또한 기상자료로 보아 미륵사지에 불어오는 바람의 방향은 북서풍이다. 석탑 사면에서 석재의 풍화는 바람의 영향에 따라 북서측면이 동남측면의 부재보다 우세한 마모현상이 관찰된다. 특히 6층에 위치한 귀옥개석과 옥개받침석은 부재 서측면의 풍화가 다른 부재에 비해 차이가 나고 모서리 부분도 둥글게 마모되었다. 강수에 의한 침식현상은 대부분 물의 흐름이 많을 것으로 예상되는 부분이고 주로 콘크리트와 암석의 경계 부분이다.

3. 기원암의 성인적 해석

3.1. 암석과 채석흔적의 분포

미륵사지 부근의 지질은 주로 중생대의 흑운모 화강암으로 구성되어 있다. 미륵산에 분포

하는 흑운모 화강암은 부분적인 편리구조를 가지고 있으나 대부분은 괴상으로 산출된다. 또한 규장암류, 페그마타이트, 석영반암 또는 반화강암질암이 소규모로 관입되어 있다. 대부분의 노두에는 N32°W~NS의 주향과 거의 수직에 가까운 경사를 갖는 절리가 발달되어 있다. 일부 노두의 경우는 이미 절리를 따라 분리되어 있기도 하다. 분리된 석재는 약 40~60 cm 정도로 거의 균일하다. 산의 하단부 절리는 정상부에 비해 혼재된 상태로 나타나 전체적으로는 N32°W를 향한다.

익산지역은 오래전부터 화강암 산지로서 채석이 이루어진 지역이다. 현재도 미륵사지 일대에는 여러 채석광산이 있으나, 미륵산은 1964년에 문화재보호구역으로 지정되어 채석이 금지되어 있다. 미륵산의 남쪽산체를 중심으로 남아 있는 채석흔적은 완전하게 유형별로 정리할 수는 없었으나 빈도와 형태로 구분하여 지역별로 정리하였다. A지역의 경우 주로 미륵산 하단에서 찾아볼 수 있는 흔적으로 흠의 길이와 깊이가 비슷한 형태이다. 비교적 정삼각형으로 절개면이 날카롭고 정교하며 근래에 이루어진 채석흔적으로 추정된다.

B지역의 경우는 너비가 4 cm, 길이는 6 cm 정도이며 깊이는 10 cm 정도이다. 이 지역의 것은 흠을 가공하기 위하여 가늘고 날카로운 도구를 사용한 것으로 여겨진다. C지역의 채석흔은 폭이 5 cm 정도이고 길이가 15 cm 정도로 흔적 중 가장 크다. 깊이는 평균 7 cm 정도 인데 이는 너비와 길이에 비하여 깊이가 상대적으로 낮다. 특히 C지역에서는 뚜렷한 판형태의 채석흔적 남아 있는데, 절취석재의 크기는 1800×2800×4000 mm이고 무게는 3.5 ton 정도다. D지역의 흔적은 미륵산에서 가장 독특한 형태이다. 길이는 10 cm이고 폭 6 cm 이며 깊이는 10 cm 정도이다. 가공상태는 매우 거칠고 투박하며 간격이 좁다. 또한 흠의 마모상태는 날카로운 편이고 사다리꼴이다. D지역의 흔적은 미륵산의 다른지역에는 없는 형태이다.

3.2. 대자율 분포

조사부재는 석탑의 외면을 구성하고 있는 450여개의 부재와 해체과정에서 수습된 내부 적심석, 석축을 구성하는 석재 등 200여개에서 측정되었다. 측정은 1부재 당 5회를 측정하고 평균값을 활용하였다. 전암대자율 측정값의 범위는 최저 0.19($\times 10^{-3}$ SI unit), 최고 7.78로 나타났다. 대자율의 최빈값은 3.00~5.99로서 전체 부재의 75%에 해당한다. 1 이하의 낮은 값을 나타낸 부재들은 주로 석탑 1층에 있는 십자통로의 부재와 적심석들로 약 5% 정도였다. 2.00~2.99 이하의 석재는 주로 상층에 위치한 탑신받침석으로 11%에 해당한다. 6 이상의 값을 나타낸 석재는 주로 1915년 보수시에 삽입된 석재였으며 9%에 해당한다. 전암 미세대자율 측정 결과 석탑 석재는 자철석 계열의 동일한 암석임을 확인할 수 있었다.

석탑 석재의 기원지를 추정하고자 미륵산의 하단부에서 정상에 이르기까지 18개소에서 대

자율을 측정하였고, 산의 중단부를 중심으로 서쪽에서 남쪽으로 7군대를 측정하였다. 석탑과 비슷한 대자율 값을 보이고 채석흔적이 남아있는 지역에서 또한 시료채집과 대자율을 측정하였다. 이 결과, 미륵산 화강암의 대자율 값은 석탑 석재와 마찬가지로 자철석 계열의 암석으로 나타났다. 서쪽 능선의 경우 하단부에서 0.31 정도로 낮은 대자율 값이 나타나고 중단부에 이르면 4.00~5.99의 값이 주로 나타난다. 이후 산의 정상부에 이르면 약 6.36 정도로 높아지는 점이 특징이었다. 주변 채석광산의 시료도 동일한 방법으로 자료를 확보하였다. 이 대자율 값은 석탑 석재보다 다소 높았으나 역시 자철석 계열의 암석이다.

3.3. 광물 및 화학적 특성과 풍화도

석탑 석재는 담회색의 중립내지 조립질로서 부분적으로 반상조직을 나타내는 화강암이다. 석탑의 동측면 부재에는 수 cm의 페그마타이트 세맥이 관찰된다. 석탑 석재는 미륵산 화강암류와 동일한 광물조성을 가지며 주로 석영, 사장석, 정장석, 흑운모 및 각섬석으로 조암광물을 형성한다. 이중에 장섬류는 견운모화 및 카오린화 작용을 받았고 흑운모는 녹니석으로 변질되어 있다. 이차생성물로 황갈색 또는 암흑색의 철과 망간수산화광물이 나타나며 콘크리트로 보수된 연변부에서는 방해석과 석고의 결정이 관찰된다.

미륵산 시료는 석탑보다는 다소 큰 백운모 결정이 관찰되고 주로 반자형과 타형이다. 주변의 채석광산인 삼기, 함열, 낭산면의 석재는 사장석이 큰 편이나 변질상은 동일하였다. 대부분 결정들은 석탑과 같이 자형 또는 반자형을 이루고 있으며, 석탑 석재와는 거의 동일한 조직과 입도를 나타낸다. 또한 결정의 변질상이 비슷한 것으로 보아 동일한 석재임을 추측케 한다. 석탑 석재의 전자현미경 사진에서는 콘크리트의 용식으로 발생한 회백색 침전물과 장석이 풍화된 곳에 점토광물이 생성되고 유기물이 나타난다. 또한 지의류의 관다발과 균사체가 보이며 점토광물의 생성과 미세균열상이 관찰된다.

미륵사지 석탑 암석과 주변지역 암석의 화학분석 결과 모든 시료의 전체적인 원소 조성은 SiO_2 의 함량에 상대적으로 알칼리 함량이 높은 경향이 있으며, SiO_2 의 함량은 68.27~71.75 wt.%로서 거의 균질한 조성을 가지고 있다. Al_2O_3 의 함량은 14.14~15.68 wt.%이며, Na_2O 와 K_2O 의 함량은 각각 3.65~4.10 wt.%, 3.49~4.56 wt.%로서 전형적인 산성 화강암의 범주에 속한다. 화강암의 풍화에 의한 원소들의 거동특성과 부화 및 결핍정도를 근거로 화학적 풍화지수(CIA)와 풍화잠재지수(WPI)를 구할 수 있다.

각각의 CIA의 범위는 미륵사지 석탑 = 48.56~51.16, 미륵산 화강암 = 50.74~53.57, 주변 채석광산의 화강암 = 50.22~50.71의 범위를 보여주었다. 또한 전체적인 풍화잠재지수는 4.53~10.02의 범위를 보였다. 이와 같이 주변 채석광산보다 석탑을 이루는 화강암과 미륵산에서 성분 이동폭이 크게 나타나고 있는데, 이는 석조물을 이루는 암석이 화학적인 풍화작

용을 쉽게 받는다는 것을 지시한다. 이 화학분석 결과를 가지고 주성분 원소에 대한 부화와 결핍정도를 비교하고자 일반적인 화강암의 평균함량을 기준으로 표준화 하였다. 시료들은 동일 종류의 화강암에 비하여 Al_2O_3 , MnO , K_2O , P_2O_5 를 제외한 대부분의 원소가 부화되어 있다. 부화계수를 살펴보면 석탑 석재와 미륵산 암석 및 주변지역 석재의 변화경향은 거의 동일하다.

3.4. 기원암의 성인적 고찰

미륵산의 암석, 석탑부재의 암석 및 주변의 채석장에서 생산된 석재들은 암석학적, 광물학적 및 지구화학적 특징이 거의 동일하다. 이 모든 종류의 암석에 관한 산출상태를 보면 부분적으로 방향성을 이루며 흑운모가 많고 세택이 산재하고 있다. 또한 운석의 초생치로 표준화하여 도시화 하였을때 각 그룹별 시료들은 대체로 평행한 양상을 보이며, 대부분 경회토류 원소가 중회토류 원소보다 크게 부화되어 있다. 주성분 원소와 동일한 방법으로 일부 미량 및 희토류 원소를 표준화한 결과, 거의 모든 불호정 원소의 양상이 서로 일치하고 있다. 또한 모든 암석 시료에서 Ti, Y, Yb, Sc을 제외한 다른 원소들은 부화되어 있다. 이와 같이 구성원소들의 상대적 호정과 불호정성의 변화경향이 동일하다는 것은 석탑과 미륵산 암석이 성인적으로 동일 종류의 암석임을 입증하는 것이다.

암석의 풍화양상과 성인적 결과를 종합하고 미륵산 화강암류의 산출상태와 석탑 석재의 산출상태를 비교해 보면 석탑을 구성하는 암석은 미륵산의 남쪽산채를 구성하는 중립질 화강암과 동질의 암석으로 판단된다. 따라서 석탑의 복원에는 미륵산 암석을 채석하여 사용하는 것이 가장 적합하나 용이하지 않을시 조사지역의 채석광산 석재를 사용할 수 있을 것이다. 미륵사지 주변의 3개소 채석산지 중 낭산광산의 경우 암석의 풍화가 심하고 불연속면이 많이 발달하여 골재로 생산한다. 삼기와 함열광산은 15 ton 이상의 석재를 생산하고 있다. 따라서 낭산광산의 암석은 구조보강용 석재로는 적합하지 않으나, 삼기와 함열광산의 석재는 가능하다. 그러나 성인적으로 동질의 석재일지라도 구조보강용으로 사용할 부재는 물성조사를 통하여 가장 안전한 석재를 선택하여야 할 것이다.

4. 결론

1. 미륵사지 일대에 분포하는 암석은 부분적으로 편리구조를 갖는 흑운모 화강암이다. 미륵산 화강암에 나타난 불연속면의 주향과 경사는 주로 $NE84^{\circ}\sim NS$ 이고 경사는 거의 수직에 가깝다. 미륵산의 채석흔적은 산의 하단에서 정상에 이르기까지 고르게 나타나며 정상부에는 3.5 ton 정도의 판석재 절취흔적도 있다.

2. 석탑은 6층으로 현존하다 2000년부터 해체보수공사를 진행하고 있으며, 해체전의 석탑은 구조적으로 불균형을 이루고 있었다. 훼손이 심한 부재는 주로 옥개석, 옥개받침석과 탑신받침석이다. 결실 및 균열된 부재는 석탑을 구성하는 주요 부재의 22%를 점유한다.

3. 석탑의 하등생물 피도는 85%로 나타나며, 침해생물종은 균류 7종, 조류 10종, 선대류 6종, 지의류 16종, 이끼류 8종으로 동정되었다. 이 생물침해에 대해 K201 시약과 단순세척을 적용한 생물제거 실험에서 K201을 20%로 제조한 약제로도 생물의 고사가 가능하고 환경적인 제거가 가능하였다.

4. 석탑은 현재 탑의 2층 부분이 해체되고 있으며 훼손이 심한 부재의 경우 별도의 보강재료를 사용하여 안전하게 분리하고 있다. 또한 대기과학적 보존환경에 관한 모니터링을 실시하고 있다. 모든 부재의 정밀훼손도 분석이 이루어지고 있으며 이 결과는 보존수복을 위한 자료로 이용할 것이다.

5. 분석된 모든 석재의 대자율은 $11.00(\times 10^{-3} \text{ SI unit})$ 이하이며 자철석계열의 화강암이다. 석탑 석재의 경우는 3.00~5.99에서 주류를 이룬다. 석탑 석재는 전형적인 흑운모 화강암으로 미륵산 화강암류와 동일한 광물조성을 가지며 장식류는 견운모화 및 카오린화 작용을, 흑운모는 녹니석으로 변질되어 있다.

6. 이차생성물로 황갈색 또는 암흑색의 철과 망간수산화광물이 나타나며 콘크리트로 보수된 연변부에서는 방해석과 석고의 결정이 관찰된다. 또한 조암광물의 공극에는 지의류를 비롯한 하등생물의 뿌리조직과 균사체가 암석의 미세 파괴작용을 가중시키고 있다.

7. 전암 화학분석 결과, 전체적인 암석학적 분화와 원소의 진화경향은 우리나라의 일반적인 중생대 화강암류와 동일한 양상을 갖는다. 미량 및 희토류 원소와 호정 또는 불호정원소의 부화지수와 판별분석 결과, 미륵산 일대의 화강암류와 미륵사지 석탑의 석재 및 삼기, 함열과 낭산에 분포하는 채석장의 화강암류는 성인적으로 동일기원의 암석임이 판명되었다.

8. 미륵사지 석탑의 산출상태와 암석학적 및 지구화학적 특성으로 보아 동일 종류의 암석은 미륵산의 남쪽 산체를 이루는 흑운모 화강암이다. 이 암석은 낭산 부근의 채석장에서 채석하고 있으나, 균열과 불연속면이 많다. 따라서 탑의 재조립시 사용 가능한 석재는 함열과 삼기에서 채석하는 암석을 사용할 수 있을 것이다.