조선시대 예산 목리유적 회격묘의 재질 및 제작특성과 석회의 산지 해석

이찬희¹ | 조지현* | 김지영

공주대학교 문화재보존과학과, *서울역사박물관 보존과학과

Interpretation of Limestone Provenance, Materials and Making Characteristics for Lime-Soil Mixture on Tomb Barrier of the Yesan Mokri Site in Joseon Dynasty

Chan Hee Lee¹ | Ji Hyun Cho* | Jiyoung Kim

Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju, 32588, Korea

*Division of Conservation Science, Seoul Museum of History, Seoul, 03177, Korea

¹Corresponding Author: chanlee@kongju.ac.kr, +82-41-850-8543

초록 조선시대 목리유적 회격묘의 재료학적 특성과 물성을 분석하여 석회의 제조기법 및 회격의 제작과정과 원료산지를 검토하였다. 회격의 건조밀도는 1호 회격묘 남벽이 1.82 g/cm^3 로 가장 높고, 공극률은 25.20%로 최저값을 보였다. 건조밀도와 공극률은 반비례 관계를 보이나, 일축압축강도는 2호 회격묘에서 182.36 kg/cm^2 로 최대강도를 보였으며 공극률 및 밀도와 상관관계는 보이지 않았다. 회격의 석회혼합물은 주로 황갈색 기질에 200~600 μm 의 석영, 장석 및 운모류와 방해석으로 이루어져 있다. 특히 회격에서는 하이드로탈사이트 및 포틀랜드아이트가 검출되나 토양에서는 고령석이 동정되었다. 회격의 모든 석회는 600~800°C에서 탄산칼슘의 탈탄산반응에 기인한 대대적인 중량감소와 다양한 흡열피크가 나타났다. 회격의 산출상태와 광물조성 및 열분석 결과로 보아 석회의 조성온도는 800°C 내외로 추정된다. 회격묘는 삼물(석회, 세사, 황토)의 혼합조성으로 인해 넓은 주성분원소 범위를 보이며 작열감량 또한 22.5~33.6 wt.%로 나타났다. 회격의 석회와 골재의 함량이 불균질하고 부분적으로 양생이 충분히 이루어지지 않은 것으로 밝혀져 기술수준은 다소 낮았던 것으로 판단된다. 목리유적 일대에서는 석회의 원료인 석회암질암의 분포가 여러 곳에서 확인되며 상업적으로 석회를 생산한 예산 및 홍성지역의 석회석 광산과 근거리에 있다. 석회 원료는 목리유적 인근의 산지에서 공급되었을 것으로 판단된다.

중심어: 회격묘, 삼물(석회, 세사, 황토), 일축압축강도, 산지

ABSTRACT This study investigated provenance of raw materials and making technique of lime-based materials used in the tomb barriers of the Yesan Mokri tombs from Joseon dynasty on the basis of analysis to material characteristics and physical properties. In the barrier materials, dry density and porosity are the highest value (1.82 g/cm^3) and the lowest value (25.20%) in the south wall of No. 1 tomb, respectively. Dry density and porosity are inversely proportional in all barrier materials, but unconfined compressive strength, which is the highest value of 182.36 kg/cm^2 in the No. 2 tomb, does not show an interrelation with porosity and density. Mineral components in the lime-soil mixtures of the tomb barrier are mainly quartz, feldspar, mica and calcite about 200 to 600 μm size with yellowish brown matrix. Hydrotalcite and

portlandite are detected in the lime mixture, and kaolinite in the soils. The lime materials of the tomb barrier occurred in large quantities weight loss and variable endothermic peaks caused by decarbonization reaction of CaCO_3 in the range from 600 to 800 °C in thermal analysis. Making temperature of lime for the tomb barrier is presumed approximately about 800 °C based on the occurrences, compositions and thermal analysis. The tomb barriers are revealed to very wide composition ranges of major elements and loss-on-ignition (22.5 to 33.6 wt.%) owing to mixture of the three materials (lime, sand and clay). It is interpreted that low quality construction technique was applied as the limes are very heterogeneous mixture with aggregates, and curing of the lime was poorly processed in the tomb barriers. Possible limestone sources are distributed in many areas around the Mokri site where limestone conformation and quarries for commercial production are found within Yesan and Hongseong areas. Therefore, we estimated that raw materials were possibly supplied from the local mines near the Mokri site.

Key Words: Lime-soil mixture tomb barrier, Three materials (lime, sand, soil), Unconfined compressive strength, Provenance

1. 서 언

충남도청 이전과 내포 신도시 조성사업에 따라 충남 예산군 삽교읍 수촌리 및 목리 일대에 대한 발굴이 수행되었으며, 이를 통해 청동기시대부터 조선시대에 이르기까지 다양한 성격의 유구와 유적이 조사되었다. 수촌리에서는 청동기시대 주거지, 백제시대 수혈주거지 및 저장공, 웅관묘, 통일신라에서 고려의 석곽 및 건물지, 조선시대 주거지 및 분묘, 탄요, 기와가마 등 총 281기의 유구가 발굴되었다(Chungcheong Institute of Cultural Heritage, 2011).

목리지역에서는 고려시대 석곽묘, 조선시대 수혈주거지, 분묘, 탄요 등 총 138기가 확인되었다. 특히 분묘는 회격묘 2기와 토광묘 49기가 조사되었다. 사전적 의미의 회격이란 관을 묘광에 내려놓고 그 사이를 석회로 메워서 다지는 것이다. 연구대상 회격묘는 묘광 바닥에 약 15 cm 두께로 솥을 깔고, 묘광벽에서 20~30 cm 정도 간격을 둔 뒤 삼물(석회+세사+황토)로 바닥을 시설했 후, 벽과 바닥사이 공간에 솥을 채웠다(Chungcheong Institute of Cultural Heritage, 2011).

석회는 이미 고대 벽화에서부터 성벽의 판축에 이르기까지 다양하게 사용되어 왔으며, 근대문화재 뿐만 아니라 현대건축물의 주재료이기도 하다. 조선시대 회격 및 회곽묘 관련 인문학적 연구는 Shin(2007), Yi and Ahn(2008) 등이 보고한 바 있으나, 회격묘의 구성재료에 대한 물성시험 등 자연과학적 검토는 Park *et al.*(1999)의 연구가 있을 뿐이다.

따라서 이 연구에서는 충남 예산 목리유적에서 출토된 조선시대 회격묘 2기에 대한 체계적인 자연과학적 검토를

위하여 구성부재를 대상으로 물리화학적 및 암석광물학적 분석을 수행하였으며, 석회의 제조과정과 회격의 제작과정도 검토하였다. 또한 시료별 지구화학적 분석을 통해 각 유구별 석회의 동질성을 해석하였으며 유적지 주변에서 석회 원료의 공급 가능성을 고찰하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 지형 및 지질분포

회격묘가 확인된 곳은 삽교읍 서남쪽 경계부에 해당하는데, 서쪽으로 용봉산 및 수암산 산지가 뻗어있고, 동쪽으로 수암산에서 발원한 여러 지류들이 동서로 흘러 금마천으로 합류한다. 이 일대에는 구릉성산지, 저구릉, 충적성산지, 하안단구, 범람원, 곡저평야로 분류되는 다양한 지형이 분포한다. 목리 일대는 저산성 및 구릉성 산지로 형성된 노년기 지형의 특징을 보이며 불규칙한 구형의 중순산지 형태로 도상구릉을 이루어 독립된 소지형구를 보인다.

하천은 노년기 지형의 영향으로 경사가 매우 완만하고 곳에 따라서는 S자형의 자유곡류를 이룬다. 따라서 하천의 분수계는 거의 고정되어 있는 반면에 하상은 계속 높아지고 주변에는 비교적 넓은 충적평야가 발달한다. 유적은 저구릉에 해당하며 약 20~50 m의 개석곡으로 인하여 산록과 분리되어 있다(Chungcheong Institute of Cultural Heritage, 2011).

연구지역은 한반도의 지체구조상 경기육괴의 서남부에 속한다. 이 일대는 선캄브리아기 편마암류 및 편암류와 중생대 백악기에 속하는 화강암류에 이르기까지 다양한 암

석이 분포한다. 또한 시대미상의 변성퇴적암류와 중생대로 간주되는 퇴적암층이 화강암류의 포획체로 존재하며 선캄브리아기 층과 동일한 분포양상을 보인다. 유적지 일원의 가야산, 덕숭산, 일월산, 용봉산 및 수암산은 중생대의 흑운모화강암으로 구성되어 있다(Kim, 2013).

선캄브리아기 변성퇴적암 중 가장 대표적인 월현리층은 다른 지층과의 상호관계가 복잡하며 화성암류의 관입을 받았다(Lee and Kim, 1963). 특히 석회암질암 및 이와

관련이 있는 활석과 사문암이 광천과 대흥 일대에 소규모로 분포한다. 이 일대는 주로 선캄브리아기의 덕정리편마암이고 북서쪽에서 월현리층과 접한다(Figure 1). 목리유적 주변은 중생대의 세립질 흑운모화강암이 기반암을 이루며 제4기의 충적층과 접한다. 이 화강암은 예산, 홍성, 서산 일대의 산지지형에 넓게 분포하며 유적지 주변 충적평야의 모암이기도 하다.

Figure 1. Geologic map plotted on locations around the study area (Lee and Kim, 1963).

2.2. 회격묘의 특징

회격묘가 확인된 지점은 길게 발달한 저구릉에 속하며 주변의 하천으로 인해 동쪽, 북쪽 및 남쪽 모두에서 넓은 곡지평야가 펼쳐져 있다. 회격묘는 남서사면 상단부에서 출토되었는데, 묘광을 굴토하고 이에 연결하여 사면 아래 쪽으로 연도처럼 장방형의 수혈을 조성한 형태이다(Figure 2). 묘광 바닥에 약 15 cm 두께로 숯을 깔고 묘광벽에서 약 20~30 cm 간격을 둔 뒤 삼물(석회, 세사, 황토)로 바닥을 시설했 후, 벽과 바닥사이의 공간에 숯을 채웠다.

이후 한 단의 회벽을 조성하고 숯을 채워 다시 한 단을 올리고 숯을 채우는 방법을 총 6회 반복하여 3개의 벽면을 완성하였다. 남단벽은 3면을 조성한 후 회벽을 가로로 쌓

아 마감하였는데, 한단씩 올릴 때마다 회벽안쪽은 숯을 채우고, 연도 쪽은 점토와 사질토를 반복하여 채워 넣은 방법으로 조성하였다. 4면이 모두 구성된 뒤에는 천정부에 삼물을 부어 회격을 완성하였으며, 전면에 숯을 깔아 마무리하였다(Figure 2). 묘광은 길이 약 3.2 m, 너비 1.5 m이며, 수혈의 규모는 길이 약 4 m, 너비 1.3 m이다(Chungcheong Institute of Cultural Heritage, 2011).

2.3. 시료선택

목리 회격묘에서 수습한 시료는 총 10점이다(Figure 3). 수습유구는 조선시대 분묘로 1호와 2호 회격묘이다. 시료는 회격묘의 각 방향 및 부재별로 구분하여 선정하였다. 1

Figure 2. Occurrences of lime-soil mixture tomb barrier from the Mokri site. (A) No. 1 tomb, (B) Soil layer of No. 1 tomb, (C) Enlargement of Figure 2B, (D) North wall of No. 1 tomb, (E) Wood coffin of No. 2 tomb, (F) Vertical section of No. 1 tomb.

호 회격묘에서는 덮개, 서벽, 남벽 및 바닥면 부재에서 각 1점씩 석회혼합물을 수습하였다. 또한 이와 상응하게 북벽과 바닥면 인근 토양을 수습하였고 비교를 위해 유적지의 표층토양을 채취하였다. 2호 회격묘에서는 위치미상 석회혼합물 1점과 주변토양을 수습하였다(Table 1).

분석시료의 종류와 산출상태는 Figure 3 및 4와 같이 석회혼합물과 토양시료이다. 석회혼합물은 동일한 회격묘를 구성하고 있지만 각 위치별 특성과 물성 등이 조금씩 다른 것으로 판단되며 석회, 세사, 황토 등 삼물의 혼합 상태도 상대적으로 차이를 보였다(Figure 3). 회격묘의 상부 덮개로 사용된 L-1A는 2층으로 나뉘는 혼합조성을 보였다. 덮개와 벽체의 경계부에 사용된 L-1B는 뚜렷한 층 구분 없이 상대적으로 약한 상태로 나타났다(Figure 3L-1A, 3L-1B). 서벽의 구성부재인 L-2는 회격묘 벽체를 구성하는 삼물의 한 단으로 판단된다(Figure 3L-2).

L-3은 남벽인 동시에 입구로 사용된 부재로 표면과 측면에서 불균질하게 분포하는 석회가루와 숯이 확인된다(Figure 3L-3). L-4는 묘의 바닥부재 중 가장 아래층의 구성부재로 보이며 뒷면에는 숯이 부착되어 있다. 이 바닥의 단면은 L-4B에서 관찰되는 것과 같이 층이 분리된 상태가 대부분이다(Figure 3L-4A, 3L-4B). 한편 2호 회격묘에서 위치미상으로 알려진 부재 L-5는 표면에 흙이 많이 부착되어 있으며 부분적으로 층이 구분된다(Figure 3L-5B). 이외에 회격묘 내부에서 갈색 내지 암흑색을 띠는 침출수도 발견되었다(Figure 3W-1).

또한 회격묘 부재와 주변 토양간의 상관관계 및 구성광물 차이, 이차구성광물의 함량, 물리화학적 상관관계를 규명하고자 1호 회격묘 북벽, 바닥벽, 지표면에서 각각 유구 토양을 수습하였다. 2호 회격묘에서는 원부재의 위치가 불분명하여 유구의 주변 토양을 수습하여 비교하였다(Figure

4). 수습한 토양 중 S-1은 육안상 가장 점도가 높으며 부분적으로 석회가 혼합되어 있는 것으로 보인다. 이 토양은 회격묘와 직접적으로 닿아있었던 것이다. 토양시료(Table 1)의 육안관찰 결과, S-1은 담황색, S-2는 갈색, S-3은 적갈색을 띠며 S-4는 적색으로 나타났다.

2.4. 연구방법

이 연구를 위해 회격묘 부재와 주변 토양을 대상으로 광물학적 및 지구화학적 분석을 통해 재료학적 특성을 규명하고 석회의 제조과정을 유추하였으며, 유적 일대의 지질

Figure 3. Selected samples for analysis of lime-soil mixture tomb barrier in the Mokri site. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 4. Selected samples for analysis soils around the Mokri site. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Table 1. Representative samples for analysis of lime-soil mixture tomb barrier in the Mokri site.

Site	Position	Type	No.
No. 1 tomb	coverlet		L-1
No. 1 tomb	west wall		L-2
No. 1 tomb	south wall	lime-soil mixture	L-3
No. 1 tomb	bottom		L-4
No. 2 tomb	unknown		L-5
No. 1 tomb	north wall		S-1
No. 1 tomb	bottom		S-2
No. 1 tomb	surface	paleo soil	S-3
No. 2 tomb	surroundings		S-4

조사를 통해 석회원료의 산지를 탐색하고 재료의 원산지와 공급가능성을 고찰하였다. 먼저 회격묘와 주변 토양의 자화강도를 알아보기 위해 전암대자율을 측정하였으며, 기기는 측정한계 10^{-7} SI 단위를 갖는 SM-30(ZH Instrument)을 이용하였다. 특히 토양의 정확한 색도 측정을 위해 디지털 색도계(Minolta Chroma Meter CR-300)를 적용하였다.

회격묘와 토양의 광물조성, 미세조직 및 기질특성을 관찰하기 위해 박편을 제작하였다. 관찰기기는 Nikon사의 Eclipse E600W 편광/반사 겸용현미경이다. 편광현미경에서 관찰되는 조암광물을 동정하고자 모든 시료에 대해 X-선 회절분석을 수행하였다. 분석은 일본 Rigaku사의 X-선 회절분석기 D/Max-IIIB를 이용하였으며 각 시료는 분말화하여 측정하였다. 측정시 X-선의 가속전압과 필라멘트 전류는 석회혼합물과 토양시료 모두 40 kV, 40 mV로 설정하였다. 일부 회격묘 제작에 사용된 석회의 미세조직과 정성 분석을 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하였다. 사용된 장비는 Oxford사의 에너지분산형 성분분석기가 장착된 JEOL사의 JSM 6335이다.

회격묘 부재와 각 토양시료의 지구화학적 정량분석은 지질시료 전문분석기관인 캐나다 ACTLABS에 의뢰하여 X-선 형광분석기(XRF), 유도결합 플라즈마 분광분석기와 질량분석기(ICP-OES, MS) 및 중성자방사화분석기(INAA)를 사용하여 분석하였다. 한편 회격묘 벽체의 축조과정 동안 열의 발생경로와 광물상전이 여부를 판단하고자 시료별로 열중량분석을 수행하였다. 분석에 사용한 기기는 TG-DTA, 2000S(Mac Science, Co.)이며, 20~1,000°C까지 10°C/min의 승온속도로 측정하였다. 이때 사용된 표준시료는 α - Al_2O_3 이다.

또한 각 회격묘를 구성하는 부재별 코어시료를 제작하고 위치 및 기능별 물성분석을 수행하여 강도를 비교하였다. 석회혼합물 시료를 코어로 제작하고 건조밀도, 공극률 및 압축강도실험을 수행하였다. 공시체는 직경 30 mm, 길이 40~65 mm의 크기로 하고 한국산업규격 및 ASTM(KS E 3031, ASTM D 4543, KS E 3033, ASTM D 2938)에 따라 측정하였다.

3. 결과 및 해석

3.1. 물리적 특성

3.1.1. 색도분석

회격묘 시료와 토양의 색 정보를 밝히고자 각 지점별 색

도를 측정하였다. 색도값은 CIE LAB 색 공간에 표시하였다. 이때 색 좌표는 L^* , a^* , b^* 로 표시되며 각각 명도, 적색($+a^*$)과 녹색($-a^*$)의 정도, 황색($+b^*$)과 청색($-b^*$)의 정도를 나타낸다. 색도값은 Figure 5와 같이, 명도를 따로 분리하고 a^* 와 b^* 의 상관도를 표시하였다. 회격묘는 모두 회색계열이고 토양은 모두 갈색계열이다. a^* 는 -3에서 13의 범위를 가지고, b^* 는 10에서 30의 값을 보여준다. 회격묘 부재는 전반적으로 밀집 분포하는데 반해, 유구토양은 S-1에서 S-4로 갈수록 a^* 값과 b^* 값이 높아지는 비례형태로 나타나며, b^* 보다는 a^* 의 변화량이 더 높다. 색의 명도는 모두 34~39로 거의 유사하였다.

3.1.2. 전암대자율 측정

전암대자율은 암석의 미세자기적 특성을 파악하여 석재의 동질성 규명과 산지추정의 기초자료로 널리 활용하고 있다(Lee *et al.*, 2007; 2010b). 최근에는 토양, 토기 및 석기 등의 연구에서도 원재료의 산지해석에 많이 응용한다(Kim *et al.*, 2009; 2012; Jo *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010a). 이 연구에서는 각 시료별로 21회씩 측정하였고, 주변 토양은 105°C로 24시간 건조한 후 측정하여 최소, 최대 및 평균값을 산출하였다.

이 결과, 회격의 석회혼합물은 0에서 최대 $1.13(\times 10^{-3})$ SI 범위를 보였다. L-1~4는 0에서 $0.52(\times 10^{-3})$ SI에 분포하고, L-5는 $0.73\sim 1.13(\times 10^{-3})$ SI의 범위이다(Figure 6). 토양은 $0\sim 3.78(\times 10^{-3})$ SI까지 상대적으로 넓은 분포를 보였다. S-1~2는 $0.03\sim 0.21(\times 10^{-3})$ SI의 범위를 보이고, S-3은 $0.61\sim 0.85(\times 10^{-3})$ SI, S-4는 $2.67\sim 3.78(\times 10^{-3})$ SI로 확연히

Figure 5. Diagram showing chromaticity of analysed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 6. Magnetic susceptibility of analysed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Table 2. Representative physical properties of analysed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

No.	Diameter (mm)	Length (mm)	Density (g/cm ³)	Porosity (%)	UCS* (kg/cm ²)
L-2-1	30.0	40.75	1.42	41.58	70.62
L-2-2	30.0	49.40	1.53	36.79	43.89
L-3	30.0	56.90	1.82	25.20	62.83
L-5	30.0	64.30	1.70	30.86	182.36

*unconfined compressive strength

높은 대자율을 가진다. 이는 S-4가 2호 회격묘 주변 토양인 점을 고려했을 때, 1호 회격묘 주변 토양의 대자율과 다른 자화강도를 갖는 것으로 양자의 연관성은 아주 낮을 것으로 해석된다(Figure 6).

3.1.3. 밀도, 공극률 및 압축강도

회격묘의 석회는 석곽묘와 다르게 묘광의 물성을 보완하고 최초의 매장환경을 지속적으로 유지시키는 역할을 해왔다. 목리유적 회격묘를 구성하는 석회혼합물의 내구성과 물성을 심층적으로 파악하고자 건조밀도, 공극률 및 압축강도를 분석하였고, 각각의 결과를 비교 검토하였다. 건조밀도와 공극률을 측정은 ISRM(International Society of Rock Mechanics)과 한국암반공학회 표준암석시험법을 적용하였다. 시험은 시료제작이 어려워 1회씩 하였고, 시험 전처리하는 800 Pa(6 torr)로 1시간 정도 처리하고 105℃로 건조하여 30분 상온을 유지한 후에 질량을 계산하였다. 압축강도는 암석의 압축강도를 기준으로 일축압축에 시험속

Figure 7. Diagrams showing representative physical properties of analytical samples. Sample numbers are the same as those of Table 1. UCS; Unconfined Compressive Strength.

도는 20 kgf/sec로 수행하였다(Table 2).

건조밀도 측정 결과, 1 및 2호 회격묘 모두 1.42~1.82 g/cm³로 측정되었다. 특히 1호 회격묘에서는 서벽보다 남벽이 높았다. 이는 2호 회격묘보다 상대적으로 더 높은 수치이다. 한편 각 시료의 공극률 측정 결과, 1호 회격묘의 남벽이 25.20%로 가장 낮았고, 서벽(L-2-1)에서 41.58%로 가장 많은 공극률이 측정되었다. 2호 회격묘는 30.86%였다. 일축압축강도는 1호 회격묘 서벽(L-2-2)이 43.89 kg/cm², 2호 회격묘가 182.36 kg/cm²를 보였다(Table 2).

이는 건조밀도 및 공극률에서 보여준 패턴과는 다른 상당히 불규칙한 결과이다. 특히 동일부재에서 제작한 코어 시료(L-2-1, L-2-2)의 차이는 상당하다. 이는 층상으로 쌓

여있는 석회혼합 샘플의 내부구조가 일축압축강도에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 L-3은 낮은 공극률 및 높은 밀도와 다르게 상대적으로 낮은 압축강도를 보였다. 이는 부재가 갖는 판상의 토층에 따른 영향으로 판단된다(Figure 7).

3.2. 재료학적 특성

3.2.1. 편광현미경 관찰

회격은 석회, 세사 및 황토의 샘플요소를 잘 반영하고 있으나 위치에 따라 부재별 혼합정도에 차이가 있다. 전반적으로 모든 시료는 황토의 기질에 상당히 고른 세사와 석회가 혼합된 형태이다. 덮개는 황갈색 황토기질에 800 μm

이하의 석영, 장식 및 운모류를 수반하고 석회 구성광물인 방해석이 다양한 형태로 관찰된다. 방해석은 평행쌍정을 이루며 세립에서 중조립까지 다양한 입도로 분포한다(Figure 8A). 1호 회격묘 서벽부재도 황갈색 또는 적갈색 기질에 600 μm 내외의 석영과 다양한 형태의 방해석이 무질서하게 혼합되어 있다(Figure 8B). 1호 회격묘 남북부재에서는 담갈색의 황토기질에 200~600 μm 의 석영 및 장식과 다양한 크기의 방해석이 관찰된다.

1호 회격묘 바닥 하부는 전반적으로 고른 황갈색 기질에 석영과 장식류가 혼합되어 있고 특히 미사장석이 관찰된다(Figure 8C, 8D). 이 바닥부재의 상부에서는 전반적으로 연갈색의 기질에 500 μm 미만의 석영과 평행쌍정을 이

Figure 8. Representative polarizing microphotographs of analysed lime-soil mixture samples. (A) L-1, Mixtures of large calcite and yellowish brown matrix of quartz, feldspar and mica with about 800 μm size. (B) L-2, Irregular aggregates of various calcite and yellowish brown matrix with about 600 μm of quartz. (C) L-3, Various shape calcite and pale brown matrix with 200 to 600 μm of quartz and feldspar. (D) L-4-1, Irregular calcite aggregates and yellowish brown matrix of quartz and feldspar. (E) L-4-2, Grain shape aggregate of calcite and pale brown matrix with about 500 μm of quartz. (F) L-5, Irregular aggregates calcite and pale brown matrix with about 500 μm of quartz.

Figure 9. Representative polarizing microphotographs of soil samples. (A) S-1, Soil matrix composed of quartz, feldspar and mica. (B to D) S-2 to S-4, Soils composed of yellowish brown matrix of quartz, feldspar and mica with various sorting and roundness.

루는 방해석이 관찰된다. 하부 부재에 비해 황토기질이 상대적으로 적고 세사와 석회는 고른 형태를 보인다. 2호 회격묘 부재에서는 황갈색내지 연갈색의 기질에 500 μm 미만의 석영과 방해석이 확인되었다(Figure 8E, 8F).

한편 회격묘 주변에서 수습한 토양시료도 강화처리하여 박편을 제작하고 편광현미경으로 관찰하였다. 대부분의 토양시료는 석영 및 장석과 함께 세립의 운모류가 있으나 방해석은 관찰되지 않는다. 1호 회격묘의 북벽 토양은 주로 500 μm 미만의 상당히 균질한 무색광물로 구성되어 있으며(Figure 9A), S-2~4 토양은 황갈색 내지 진갈색의 기질에 다양한 분급과 원마도를 보이는 무색광물로 이루어져 있다(Figure 9B~9D).

3.2.2. 주사전자현미경 관찰 및 분석

회격의 석회혼합층에 대한 산출상태와 미세조직을 확인하고자 주사전자현미경으로 관찰하였다. 이 결과, 각 부재에 혼합되어 있는 석회질물질은 위치 및 회격묘에 관계없이 주상, 침상, 판상, 능면상 등 다양한 형태와 불규칙한 크기로 나타났으며 일부 석회에서는 용식조직을 보이기도 하였다(Figure 10).

석회를 구성하는 원재료의 광물조성은 동일한 방해석이지만 원료광물의 조직에 따라 세립질을 보이는 것과(Figure 10L-1), 비교적 거정을 갖는 것이 있다(Figure 10L-5). 일부 단면에서는 벌집모양의 다공질 조직이 관찰

되기도 한다(Figure 10L-5). 이러한 입자간 차이는 석회제조 과정에서 소성온도와 관련이 있는 것으로 보인다. 특히 다공성 조직은 탄산칼슘의 탈탄산 반응에 의한 것으로 물질에 대한 흡수와 흡착능력이 뛰어나, 회격묘 구성부재로 암석과 같이 단단한 물성을 구성하는데 중요한 요소로 작용한 것으로 해석된다.

또한 각 석회시료의 형태별 SEM-EDS 정밀관찰과 점 및 면분석을 실시하였다. Figure 10L-1은 Ca 39.81 wt.%, C 9.81 wt.%, O 50.38 wt.%로 구성되어 있으며, 결정형태로 보아 방해석(CaCO_3)으로 동정하였다. 이러한 특징은 L-2~5까지 동일하게 나타나며 모두 동일한 조성과 미세조직을 갖는다. 한편 Figure 10L-4는 탄산칼슘 이외에도 Si, Al, Fe 등의 성분이 검출되었다. 이는 장석과 운모 등이 함께 측정된 것으로 판단된다.

3.2.3. X-선 회절분석

회격묘와 주변 토양 시료를 건조 및 분말화하여 X-선 회절분석을 수행하였다. 분석 결과, 회격묘 구성부재는 시료위치에 상관없이 방해석, 운모, 석영, K-장석, 사장석의 동일한 광물조합을 보였다. 이외에 바닥과 서벽시료에서는 석고(gypsum), 하이드로탈사이트(hydratalcite)와 포틀랜드이트(portlandite)가 동정되었다(Figure 11). 하이드로탈사이트는 석고, 방해석과 함께 시멘트 수화작용에 관여하며 수화생성물로 생기는 것이 포틀랜드이트이다. 또한

Figure 10. Scanning electron microphotographs and energy dispersive spectrum of analyzed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

광물의 성분비를 간접적으로 나타내는 회절강도를 비교하면, 석영은 1호묘 바닥과 2호묘에서 상대적으로 높고, 1호묘 덮개, 서벽 및 남벽 시료에서 방해석이 높게 검출되었다.

1호 회격묘 바닥면을 구성하는 L-4-1과 L-4-2가 서로 다른 회절강도를 갖는 것은 바닥면 층위가 서로 달라 다소 다른 광물함량비를 갖기 때문으로 보인다. 바닥면 하부 L-4-1은 석영의 회절강도가 높고, 상부 L-4-2는 방해석의 회절강도가 더 높게 나타나 상대적인 차이가 뚜렷하다(Figure 11). 한편 주변 토양에서는 석영, K-장석, 사장석 및 운모류가 검출되었고, 부분적으로 고령석도 나타난다. 육안관찰에서 상대적으로 밝은 색도를 띠는 S-1은 방해석을 일부 함유했을 것으로 예상했으나, 편광현미경 및 X-선 회절분석 결과에서는 검출되지 않았다(Figure 12).

3.2.4. 열분석

앞서 회격에서는 다양한 형태의 석회가 혼합되어 있는 것을 확인하였다. 이중 석회 가공당시 반응열과 삼물 혼합당시 반응열, 수분 접촉시 발열상태 등을 추적하고자 열중량 및 시차열분석을 하였다. 시료는 회격묘의 위치를 고려

하여 선정하였고, 1호 회격묘 바닥면에서는 Ca 함량이 높은 상부(L-4-2)와 낮은 하부(L-4-1)로 구분하였다. 이 분석에서는 기준시료와 석회물질 사이의 열 변화 차이를 측정하여 석회물질의 반응시점을 분석하였다. 또한 시료를 가열하면서 중량변화를 통해 수분이나 유기물의 소실과 구조붕괴에 따른 가스 발생 등을 유추하였다.

분석시료 L-4와 5는 100~200℃에서 소폭의 1차 중량 감소가 확인되며, 600~800℃에서 모든 시료의 대대적인 2차 중량감소가 관찰되었다(Figure 13). 이는 탄산칼슘이 탈탄산반응에 따라 발생한 것이다. 이 구간에서는 모든 시료에서 흡열피크도 나타나며 시료마다 조금씩 차이가 있으나 대부분 800℃ 이전에 발생하였다. 이중 L-1이 약 740℃에서 가장 먼저 흡열반응을 보였고, L-3이 780℃에서 최대 흡열피크를 나타냈다. 이는 CaCO_3 가 외부로부터 에너지를 흡수하여 CaO와 CO_2 로 열분해되면서 발생한 피크이다(Kim *et al.*, 2006). 이때 L-4와 5에서 23.5%로 가장 낮은 중량감소율을 보였고, L-3에서 34.8%로 최대 중량감소율을 나타냈다.

L-4를 Ca 함량에 따라 나누어 보면, 전체적인 패턴은 동일하나 Ca 함량이 상대적으로 많았던 시료에서 2% 더 높은 중량감소율을 보였다. 또한 시차열분석 곡선에서는 L-4, 5가 L-1, 2, 3에 비해 낮은 온도에서 흡열구간이 다양하게 나타났고, 800℃ 이전에 열분해가 종료되는 특징을 보였다(Figure 13). L-4와 5에서의 흡열피크는 220℃ 및 420℃ 구간에서 나타나는데, 이는 하이드로탈사이트의 흡

Figure 11. X-ray diffraction patterns of lime-soil mixture samples. M; mica, H; hydrotalcite, G; gypsum, P; plagioclase, Po; portlandite, Q; quartz, C; calcite, K; K-feldspar. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 12. X-ray diffraction patterns of soil samples. M; mica, Ka; kaolinite, K; K-feldspar, Q; quartz, P; plagioclase. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 13. Diagrams showing thermal patterns of analyzed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

열피크에 해당하며 격자수 및 이산화탄소의 이탈로 해석된다. 또한 20~280℃ 영역의 피크는 표면에 흡착된 물과 층간수의 이탈로 인한 것이다. 이는 가역적으로 일어나는 단계로 다시 수용액이나 공기 중의 수분을 흡수하여 원상태를 회복할 수 있다.

280~500℃의 영역은 세 가지의 반응이 일어나는 단계이다. 첫째는 수산화알루미늄의 수산화이온이 물로 이탈되는 과정이고, 둘째는 수산화마그네슘의 수산화이온이 물로 이탈되는 과정이다. 이들은 각각 340℃와 420℃를 중심으로 일어나고, 440℃에서 탄산이온이 이산화탄소로 전환되는 반응이 일어난다(Rhee *et al.*, 1995; Shahraki *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2010). 한편 모든 시료에서 약 800℃에 높은 중량감소율을 보이며 동시에 흡열피크가 나타나는 것으로 보아 모두 탈탄산화가 진행된 방해석의 영향임을 알 수 있다. 따라서 목리유적 회격에 사용된 석회는 석회암을 소성하여 제작했을 것으로 판단되며, 650℃부터 CO₂ 기체가 발생하기 시작하였으며 740~780℃에서 최대 흡열피크를 보이다가 약 800℃ 부근에서 열분해가 종료되는 것으로 해석된다.

3.3. 지구화학적 특성

3.3.1. 주성분원소와 거동특성

회격묘 석회혼합물의 성분비와 주변 토양과의 재료학적 동질성을 판단하기 위해 지구화학적 분석을 수행하였다(Table 3). 회격부재는 SiO₂가 17.93~35.56 wt.%, Al₂O₃가 3.88~7.15 wt.%, CaO가 28.96~39.68 wt.%로 넓은 조성을 보이며, 이외 주성분 원소들은 1.00 wt.% 내외로 정량되었다. 회격의 작열감량(LOI; loss-on-ignition)은 22.50~33.64 wt.%로 나타나 시료에 따라 차이를 보였다. 이는 유기물, 수분, 탄소함량 등을 의미하며 소성온도가 높아짐에 따라 감소한다.

회격묘 유구의 주변 토양은 SiO₂가 63.53~76.11 wt.%, Al₂O₃가 13.21~20.75 wt.%, Fe₂O₃가 1.40~4.44 wt.%, K₂O가 3.21~5.51 wt.%로서, 회격묘보다 낮은 함량변화를 보였다. LOI도 3.31~7.90 wt.%로 회격묘보다 현저히 낮다. 특히 CaO는 0.06~0.37 wt.%의 범위를 보여 회격묘의 조성고 차이가 있다. 회격 구성물질과 토양의 재료학적 동질성을 판단하고자 주성분 원소의 함량을 Nockolds(1954)가 제시한 화강암의 평균조성으로 표준화하였다. 이 결과,

Table 3. Compositions of major elements (wt.%), some minor and rare earth elements (ppm) of analysed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Element	Samples of lime-soil mixture						Samples of paleo soil			
	L-1	L-2	L-3	L-4-1	L-4-2	L-5	S-1	S-2	S-3	S-4
SiO ₂	27.40	27.58	17.93	31.45	29.38	35.56	63.53	76.11	68.34	66.28
Al ₂ O ₃	6.12	6.32	3.88	7.15	6.67	6.58	20.75	13.21	15.02	18.43
Fe ₂ O ₃ *	0.96	0.99	0.69	1.10	1.00	1.59	1.86	1.40	4.44	3.05
MnO	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.05	0.03
MgO	0.82	0.76	1.25	1.16	1.17	1.91	0.38	0.13	0.51	0.25
CaO	33.14	33.46	39.68	31.51	33.53	28.96	0.29	0.37	0.17	0.06
Na ₂ O	0.70	0.80	0.46	0.71	0.62	0.42	0.75	0.70	0.18	0.13
K ₂ O	1.88	2.09	1.23	2.16	1.88	1.62	4.48	5.51	3.21	3.74
TiO ₂	0.13	0.14	0.08	0.15	0.14	0.19	0.53	0.12	0.66	0.27
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01
LOI**	27.87	27.55	33.64	24.06	25.08	22.50	7.70	3.31	6.89	7.90
Total	99.06	99.74	98.91	99.38	99.51	99.37	100.30	100.90	99.48	100.20
Ba	226	226	193	251	221	500	659	336	467	961
Be	1	1	<1	1	1	<1	3	2	2	2
Co	3	4	3	4	3	4	5	3	12	7
Cr	9	9	<1	8	9	13	23	7	43	7
Cu	3	3	2	4	5	4	10	3	16	10
Hf	4.3	3.8	2.0	4.6	4.4	2.5	9.9	3.4	7.8	3.9
Ni	5	6	3	5	5	6	19	7	28	10
Pb	10	10	8	11	12	11	37	30	25	29
Rb	70	100	60	80	80	40	200	260	160	130
Sc	2.7	2.9	1.6	2.9	2.6	3.6	10.3	4.2	10.8	6.0
Sr	400	391	835	287	283	275	41	22	36	39
V	11	11	7	14	14	21	43	15	77	33
Yb	1.7	1.7	1.0	1.7	1.4	0.9	4.3	1.7	2.7	1.6
Zn	16	17	13	17	17	16	69	35	55	62
Zr	142	150	57	158	134	114	372	131	310	166
La	13.1	13.4	8.2	14.0	14.2	13.8	56.8	14.4	29.3	60.7
Ce	23	25	13	25	23	29	74	40	59	202
Nd	12	9	<5	13	8	9	35	10	16	33
Sm	2.3	2.2	1.4	2.5	2.2	2.2	8.8	2.9	4.7	5.5
Eu	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	<0.1	1.6	0.5	0.9	1.3
Yb	1.7	1.7	1.0	1.7	1.4	0.9	4.3	1.7	2.7	1.6
Lu	0.26	0.27	0.16	0.26	0.23	0.13	0.64	0.29	0.43	0.31

* total FeO, ** Loss on ignition

회격묘 부재는 Al₂O₃, Fe₂O₃에서 화강암 표준조성과 유사하게 나타나나, MgO와 CaO는 부화경향이 나타났고 SiO₂, MnO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅는 모두 결핍되는 경향을 보였다(Figure 14).

유구 토양시료도 같은 방법으로 표준화한 결과, SiO₂와 K₂O만이 표준함량에 근사하였고, Al₂O₃, Fe₂O₃는 부화하는 경향을, MnO, MgO, TiO₂는 부화와 결핍을 모두 보였

다. 반면 CaO, Na₂O, P₂O₅는 모두 결핍되는 양상을 나타냈다. 이 토양시료 함량비를 회격묘 구성부재의 분포범위와 비교한 결과, 회격묘 부재는 석회의 구성성분인 CaO와 MgO를 제외하고 대부분의 주성분원소에서 토양의 범위보다 상대적으로 낮은 패턴을 보였다(Figure 14).

이는 삼물을 주재료로 사용하는 회격묘 부재의 혼합물 특성에서 비롯된 것으로 판단되며, 미량 및 희토류원소의

거동특성을 검토해야 회격부재와 토양시료의 지구화학적 동질성 여부를 파악할 수 있다. 또한 회격묘 부재에 포함되어 있는 석회규산염 광물조합을 이미 알려진 CaO-MgO-SiO_2 성분계에 도시하면, 회격은 CaO-SiO_2 함량에 따라 동일한 영역에 분포한다(Figure 15).

3.3.2. 회토류, 호정 및 불호정원소와 거동특성

분석시료의 회토류, 호정 및 불호정 원소를 대상으로 주 성분원소와 동일하게 표준화하여 변화패턴과 함량차이 및 거동특성을 살펴보았다. 이들은 진화과정에 따라 서로 다른 거동을 보여주기 때문에 상호간의 동질성을 해석하는데 매우 유용하게 이용되고 있다. 회토류원소는 Taylor and McLennan(1985)이 제시한 콘드라이트 운석의 초생치를 기준으로, 호정 및 불호정원소는 Pearce(1983)가 제시한 원시 맨틀조성으로 표준화하였다.

Figure 14. Diagram showing normalized major element patterns of analyzed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 15. Plotted on CaO-MgO-SiO_2 diagram of analytical samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

회격묘 구성부재는 전반적으로 경회토류에서 중회토류 원소로 갈수록 점차 감소하는 패턴을 보이는 가운데 Eu의 결핍이 두드러진다. 또한 주변 토양은 모두 경회토류에서 크게 부화되는 패턴을 보이고 Eu를 기준으로 점차적으로 감소하는 음의 기울기로 나타난다. 특히 1호 회격묘 바닥면 부재와 동일지점의 토양은 경회토류의 일부(Ce, Nd, Sm)를 제외하고 전반적으로 미세한 부화와 결핍 차이를 보이는 동일한 경향성을 보였다(Figure 16).

한편 회격묘 구성부재의 호정 및 불호정원소는 회토류 원소에서도 확연히 구분되었던 L-3과 L-5를 제외하고 모두 동일한 거동특성을 보였다(Figure 17). 이는 회격묘를 만들 당시 사용한 재료들이 거의 유사한 모암과 동일한 풍화정도를 거친 유사한 흙임을 의미하는 것이다. 회격묘 부근의 토양도 Sr, P_2O_5 , TiO_2 , Yb, Sc, Cr을 제외하고 부화되는 패턴을 보이는 가운데 Ba, Zr, Hf, Sm, TiO_2 등과 같은 일부 함량변화를 제외하고 거의 동일한 경향을 나타낸다. 또한 회토류원소와 같이 바닥면 회격묘 부재(L-4)와 토양(S-2)은 이동성이 높은 원소(Sr, K_2O , Rb, Ba, Th, Ce)를 제외하고 전반적으로 일치하는 경향을 보였다(Figure 18).

이상의 지구화학적 특성을 종합하면, 서로 다른 위치의 시료가 대부분 유사한 거동특성을 보이며 1, 2호 회격묘에서도 동일한 지구화학적 특성을 보였다. 또한 회격묘와 동

Figure 16. Diagrams showing normalized some rare earth element patterns of analysed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

Figure 17. Diagrams showing normalized compatible and incompatible element patterns of analyzed samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

일한 지점의 토양은 희토류원소와 호정 및 불호정원소 패턴에서 거의 일치하는 특성을 보이는 것으로 보아 회격의 구성에 사용된 삼물 혼합층은 유사한 종류의 석회원료와 토양이 사용된 것으로 해석된다.

4. 보존과학적 고찰

4.1. 재료과학적 검토

목리유적 출토 석회혼합물은 동일한 회격묘 구성 재료임에도 불구하고 광물학적, 지구화학적 및 물리적 특성이 위치에 따라 다소 차이를 보였다. 회격의 구성물질은 석회, 세사 및 황토가 주성분이며 세사는 1 mm 미만의 고른 입도를 보였다. 또한 모든 회격에서 석영, 장석, 운모류와 방해석이 검출되었고 하이드로탈사이트와 포틀랜드이트 및 석고가 확인되었다.

Ryu *et al.* (2010)은 방해석과 석고가 시멘트의 수화작용을 돕고 수화생성물로 포틀랜드이트를 만드는지에 대한 모델링을 수행한 바 있다. 결론적으로 이 광물은 큰 영향을 끼치지 못하지만 석고첨가로 공극률이 낮아지는 등의 물리적 변화에 중요한 역할을 하는 것으로 보고하였다. 회격 부재 중 석회만을 골라 주사전자현미경으로 관찰하면 시

Figure 18. Diagrams showing normalized rare earth, compatible and incompatible element patterns of bottom samples. Sample numbers are the same as those of Table 1.

료와 부위에 따라 확연히 구별되는 입도를 보인다. 전자는 방해석 입자가 독립적으로 존재하고 치밀하지 못한 반면, 후자는 대부분 치밀한 판상으로 이루어져 있으며 부분적으로 벌집모양의 다공성 조직이 관찰되었다(Figure 10).

회격에 따라 재료학적 차이가 있는 시료를 대상으로 건조밀도, 공극률 및 압축강도와 비교해 보았다. L-5에서 일축압축강도가 가장 높게 나왔지만(182.36 kg/cm^2) 공극률과 건조밀도에서는 L-3 시료가 상대적으로 우수한 물성을 보였다. 석고가 동정되는 L-5는 압축강도에서도 높은 물성을 보였으나 공극률은 L-3이 상대적으로 낮은 것으로 보아 광물의 차이로 회격의 물성을 설명하는 것은 무리가 있다(Figure 7). 1호 회격묘 남벽을 구성하는 L-3은 건조밀도와 공극률에서 우수한 물성조건을 가졌음에도 불구하고 층리 구조로 인하여 일축압축강도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

한편 목리유적 회격의 물성을 안동지역 출토된 회곽묘(Park *et al.*, 1999)와 비교할 때, 안동과 예산 목리유적 모두 건조밀도와 공극률은 유사하지만 일축압축강도에서 차이를 보였다. 안동유적에서도 건조밀도와 공극률은 서로 반비례관계를 가지나, 일축압축강도는 지나치게 높은 물성을 보여 건조밀도와 공극률에 비해 상당한 차이를 보였다.

이상을 종합하면, 특히 1호 회격묘의 벽체 석회는 방해석과 석영으로 이루어진 매우 단순한 광물조성을 보인 반면 바닥 석회는 예외적으로 하이드로탈사이트, 석고, 포틀랜드아이트 등이 검출되었다. 이들은 석회를 제조할 때 의도적으로 첨가한 것은 아니며 석회의 양생 기간 또는 그 이후에 이차적으로 생성된 광물로 석회의 탄산화반응이 제대로 이루어지지 않으면서 초래된 결과이다. 특히 포틀랜드아이트의 존재는 석회의 불완전한 탄산화반응의 직접적인 증거로서 묘광에 석회를 부은 후 양생이 완전히 이루어지지 않았던 것으로 해석할 수 있다.

탄산화반응이 완결되지 않을 경우 석회는 충분한 강도를 갖지 못하기 때문에 매우 약한 물성을 보인다. 이 때문에 회격묘를 축조할 당시에도 충분한 양생을 위해 의도적으로 시간을 두고 여러 번에 걸쳐 석회를 부은 것으로 보인다. 이러한 사실은 석회벽 단면의 층상구조를 통해 확인된다. 그럼에도 불구하고 바닥면의 석회는 탄산화반응이 완결되기 위해 필요한 이산화탄소와 수분의 공급이 충분하게 이루어지지 않아 약한 물성을 보인 것으로 판단된다. 현장의 노출상태와 제작기술로 보아 2호 회격묘가 1호 회격묘보다 정교한 제작과정을 거친 것으로 보인다.

4.2. 석회의 제조과정

인류는 오래전부터 석회와 석고를 사용해왔으며 오늘날까지 남아있는 것이 바로 이집트의 피라미드이다. 한국에서도 고구려 고분 내벽에 두껍게 회를 바르고 벽화를 그렸으며, 무령왕릉의 폐쇄에 석회가 사용된 것으로 보아 삼국시대 이전에 개발되어 사용된 것으로 추정된다. 건축물에는 발해의 도성인 동경성의 옛 집터와 백제에서 전래되어 축조된 일본 나라 동대사 삼월당의 기단부에 석회를 사용한 바 있다.

조선시대에 이르러서는 석회와 관련된 정보들이 문헌에 자세히 기록되어 있는데, 동국여지승람(東國輿地勝覽), 임원십육지(林園十六誌) 등에 석회암의 산지가 자세히 조사 및 기록되어 있다. 또한 세종실록지리지(世宗實錄地理誌)에는 소성석회의 제조법을 설명하고 있으며, 문종실록에서는 강화와 양주의 석회석이 우리나라에서 가장 좋다고 전한다(Song, 2009).

박제가의 북학의(北學議) 내편(內篇) 벽조(壁條)에서는 수고(물창고)의 물재에는 “여섯 가지가 있으니 쌓는 것, 덮는 것, 바르는 것으로서 구비하게 된다” 하였다. 또한 “축조와 복개공사에는 세 가지 물재가 있으니 방석(모난 돌)

과 영적(암기와, 벽돌)과 석란(알돌)이다. 바르는 물재에는 세 가지가 있으며 석회와 모래와 기와다. 분말도로 공사의 물재 세 가지를 배합한 것을 삼화회라고 하였다. 모래나 기와의 어느 하나를 버리면 이화회라고 한다. 회를 구어 낼 때는 혹은 푸르고 혹은 희며 정밀하게 다루면 윤이 나고 그렇지 않으면 거칠고 차분하지 못하다.” 하였다.

“불을 지피 구우면 석회가 되는 것인데 2일 반이나 끓임 없이 구어야 흡족하게 되는 것이다. 이를 시험해 보려면 우선 돌 하나를 다루어 보면 알게 되는데 질이 좋지 못한 잡석을 굽는 경우에는 이를 다루는 사이에 1/3이나 파손된다. 돌의 질은 곱고 불길이 고루 가야한다” 라고 하여 석회를 굽는 방법과 시험방법 및 사용방법 등에 대해 상세히 기록되어 있다.

석회를 얻기 위해서는 석회암을 소성하는 제조과정이 필요하다. 석회암의 주성분인 방해석(calcite, CaCO_3)을 고온으로 가열하면 이산화탄소가 빠져나가고 산화칼슘(CaO)이 잔류한다. 이 산화칼슘은 공기 중의 수증기나 이산화탄소와 결합하여 수산화칼슘과 탄산칼슘으로 변한다. 각각의 반응식은 아래와 같다.

일반적으로 방해석은 650°C 에서 상분해가 시작되나 고품질 석회를 얻기 위해서는 $850\sim 900^\circ\text{C}$ 의 온도가 필요하다. 탄산칼슘은 900°C 정도에서 이산화탄소를 잃고 산화칼슘이 되는데 이는 상온에서 공기 중 수증기나 이산화탄소와 결합하여 자발적으로 수산화칼슘과 탄산칼슘으로 변하기 때문이다. 또한 수산화칼슘은 다시 공기 중의 이산화탄소와 반응하여 탄산칼슘으로 서서히 변하게 되는데 이 과정을 탄산화반응이라고 한다(Lee *et al.*, 2008).

회격 구성물질의 열분석 결과, $650\sim 800^\circ\text{C}$ 에서 대대적인 중량감소를 보이며 이 구간에서는 흡열피크도 나타난다. 특히 L-4와 5에서는 220°C 와 420°C 구간에서 뚜렷한 흡열피크를 보이는데 이는 하이드로탈사이트의 흡열피크에 해당하는 구간으로 격자수와 이산화탄소의 이탈로 발생한 것이다. 이상을 종합하면, 목리유적 회격에 사용된 석회는 650°C 정도에서 탈탄산화 반응을 시작하여 $740\sim 780^\circ\text{C}$ 에서 최대 흡열을 보이다가 약 800°C 부근에서 열분해가 종료된 것으로 판단된다. 따라서 불완전한 탈탄산화 반응에 의한 비교적 저품위의 석회가 만들어 진 것으로 보인다.

4.3. 회격의 제작과정

목리유적 회격묘는 구릉의 하부로 장방형의 수혈을 조성하였는데 묘광바닥에 두껍게 숯을 깔고 삼물로 바닥을 시설했었다. 이때 벽과 바닥사이의 공간에 숯을 채워 한단의 회벽을 조성하고 숯을 채우고, 다시 한단을 올리는 방식으로 3개의 벽면을 완성하였다. 남단은 회벽을 가로로 쌓아서 마감하였는데 회벽 안쪽에 숯을 채우는 방법으로 조성하였다. 4면을 모두 만든 후 천정에 삼물을 부어 회격을 완성하였다. 삼물 중 석회는 전체적인 조직과 조성으로 보아 석회암을 소성하여 얻는 것으로 보인다. 회격묘의 제작과정과 삼물의 혼합비에 대해서는 다양한 문헌기록이 있다.

Figure 19. Schematic diagram showing idealized vertical section of lime-soil mixture tomb barrier in the Mokri site.

목리유적 회격묘를 구성하는 위치별 회격의 주성분 원소를 대상으로 층위별 함량과 패턴을 비교해 보았다 (Figure 19). 석회의 주재료인 CaO는 바닥면과 덮개보다는 벽체에서 상대적으로 높은 함량비를 보였다. 세사와 황토의 주성분인 SiO₂는 덮개와 바닥면에서 상대적으로 높으며 CaO와 반비례 패턴을 보였다.

Al₂O₃와 K₂O는 SiO₂와 동일한 함량비를 보였는데, 이는 석영과 함께 세사와 황토의 구성광물인 장석의 영향이다. MgO는 석회를 구성하는 광물의 대표적인 구성원소로 CaO와 동일한 분포 패턴을 보였다. 이 역시 덮개와 바닥면보다는 벽체에서 상대적으로 높았다. 작열감량(LOI)은 CaO 및 MgO와 동일한 패턴을 보였다.

이상 회격의 층위별 모식도를 살펴본 결과, 목리유적 출토 회격묘는 모두 동일하게 석회, 세사 및 황토를 혼합하여 삼물을 제조하였다. 이중 덮개와 바닥면 부재보다는 벽체에서 상대적으로 석회를 더 많이 혼합하였다. 이 회격은 외부의 다양한 환경인자를 직접적으로 제어하는 역할을 하는 것으로서, 시신을 보호하는 회격묘의 주요 보존기능으로 작용한 것으로 판단된다.

4.4. 석회의 산지 해석

한반도에는 고생대 캄브리아기 조선누층군에 속하는 석회암질암이 두꺼운 지층을 형성하여 석회암의 매장량이

Table 4. Possible provenance of limestone quarries in old recording from Joseon dynasty(Song, 2009).

Province	Localities	Documents
Gyeonggi	Ganghwa Hado Manisan, Gaepung, Icheon, Yangpyeong, Anseong, Yongin, Suwon, Yangju, Paju, Jangdan, Pocheon, Yeoncheon	Sejongsilrokjiriji
	Icheon, Yanggeun, Jipyong, Juksan, Yangji, Suwon, Yangju, Paju, Jangdan, Youngpung, Pungduk, Saknyeong, Yeoncheon	Imwonsibyukji
Chungbuk	Chungju, Cheongju, Boeun, Jincheon	Imwonsibyukji
Chungnam	Asan Yeomchi Jungbangri, Gongju, Yeonggi, Misan, Daejeon, Hongseong, Dangjin, Buyeo, Yesan, Cheongyang, Boryeong	Sejongsilrokjiriji
	Asan, Gongju, Jeoneui, Eunjin, Hoeduk, Jinjam, Hongju, Hongsan, Duksan, Daeheung, Cheongyang, Boryeong	Imwonsibyukji
Jeonbuk	Sunchang, Imsil, Jinan, Jangsu, Geumsan, Iksan, Jeonju, Jeongeup, Gochang	Sejongsilrokjiriji
	Sunchang, Imsil, Jinan, Jangsu, Geumsan, Jinsan, Yeosan, Gosan, Taein, Iksan, Jeonju, Jeongeup, Gochang	Imwonsibyukji
Jeonnam	Gokseong, Suncheon, Boseong, Hwasun, Gwangju	Sejongsilrokjiriji
	Okgwa, Suncheon, Boseong, Dongduk, Hwasun, Gwangju	Imwonsibyukji

풍부하며 황해도, 평안도, 강원도, 충청북도, 경상북도, 함경남도 등지에 널리 분포한다. 또한 경기육괴와 영남육괴 및 지리산 편마암 복합체를 포함하여 선캄브리아기의 변성퇴적암류에는 석회암질암이 협재하며 변성작용에 따라 고품위의 석회암이 산출되는 경우가 아주 많으며 전국 각지에 분포한다. 이는 한국에서 시멘트 공업이 발전하게 된 원동력이며, 역사적 기록에 나타난 석회암 산지는 Table 4와 같다.

목리유적이 있는 예산과 홍성 일대에도 이와 같은 석회암의 산지가 도처에 분포하며 광산으로 개발된 예도 많고, 석회암을 생산한 광산이 ‘세종실록지리지’에도 기록되어 있다. 목리유적 출토 회격묘에 사용된 석회산지는 문헌기록으로 보아 두 가지로 추정할 수 있다. 첫째는 지질도에서 나와 있는 인근의 석회암 산출지를 탐색하는 것이고, 둘째는 석회암의 생산기록이 있으며 목리유적과 접근성이 좋은 장소를 조사하는 것이다.

Figure 20. Possible provenance for limestone quarries around the Mokri site.

전자는 서산시 해미면 휴암리 일대로 한서대학교에서 서해안고속도로로 진입하는 지점에 석회암이 분포한다(Figure 20). 이곳과 목리유적과의 거리는 16.4 km(직선거리 11.7 km)이나 현장조사 결과, 생산지로 판단하기에는 무리가 있다. 또한 예산군 대흥면 상중리 일대와 홍성군 광천읍 상정리 일대의 활석과 사문석 산지에도 양질의 석회 원료암석이 분포한다. 이 지역과 목리유적은 직선거리로 각각 11.5 km, 19.9 km 정도로 접근성은 아주 유리하나 명확한 기록이 없어 석회암의 원산지로 판단하기에는 불분명하다.

두 번째로 목리유적과 근거리에서 석회암의 생산광산으로 잘 알려진 지역을 탐색하면 공주, 연기, 미산, 홍성, 당진, 부여, 예산, 청양 및 보령 등에 최근까지도 석회암을 생산한 산지가 다수 존재한다. 따라서 석회암 조달은 목리유적을 중심으로 인근에 위치한 산지 중에서 석회암을 수급하기 수월한 입지조건을 사이트였을 것으로 추정한다(Figure 20).

목리유적에서 가장 가까이에 위치한 대규모 석회암 산지는 아산시 염치면 중문리 안말과 대동리 일대이다. 이 지역은 ‘세종실록지리지’에도 기록된 석회암 산지로, 최근 가행된 석회광산이 있으며 시대미상의 호상편마암과 후기에 관입한 편상화강암 사이에 협재하여 분포한다. 호상편마암은 염치면에 소재하는 광업소의 동남부에 주로 분포하며 부분적으로 흑운모편마암, 화강암질편마암과 흑운모편암이 노출되어 있다. 이들 암석은 중립질 내지 조립질이며 편마암층에 수매의 돌로마이트질 석회암층이 협재하여 나타난다.

목리유적 회격묘에 사용된 석회는 이미 소성단계를 거쳤기 때문에 소성전의 석회암이 고품위 또는 저품위였는지 여부는 알기 어렵다. 그러나 석회암이 산출될 수 있는 지질학적 환경을 고려했을 때 고품위 석회암이 충분히 산출될 수 있는 곳이어야 한다. 앞서 아산시 염치면과 같은 대규모 석회암 산지도 수급가능한 원산지에 해당되고, 이외에도 ‘세종실록지리지’에는 공주, 연기, 미산, 대전, 홍성, 당진, 부여, 예산, 청양 및 보령 등의 석회암 산지가 다수 언급되어 있다. 따라서 목리유적의 석회가마는 인근에 위치한 곳곳의 석회암 산지에서 비교적 수월하게 석회생산이 이뤄졌을 것으로 추정할 수 있다. 그러나 당시의 사회 및 경제적 수준과 유통체계를 고려할 때 원거리에서 이동해왔을 가능성도 충분하여 명확한 원산지를 규명하기는 어려운 상태이다.

5. 결 언

1. 예산 목리유적 조선시대 회격묘를 대상으로 구성재질과 유구토양의 재료학적 동질성, 석회의 제조기법 및 회격의 제작과정과 원료산지를 검토하였다. 회격묘 구성부재는 $0.0\sim 1.13(\times 10^{-3})$ SI의 전암대자율 범위를 보이거나 위치에 따라 다소 다르다. 1호 회격묘 주변 토양의 대자율은 $0.03\sim 0.85(\times 10^{-3})$ SI의 분포를 보이고, 2호 회격묘 주변 토양은 $2.67\sim 3.78(\times 10^{-3})$ SI으로 확연히 구별된다.

2. 건조밀도는 1호 회격묘 남벽이 1.82 g/cm^3 로 가장 높고, 공극률은 남벽에서 25.20%로 최저값을 보였다. 건조밀도와 공극률은 회격묘 부재 모두 반비례 관계를 보였다. 일축압축강도는 2호 회격묘 부재에서 182.36 kg/cm^2 의 최대강도를 나타냈으며, 공극률 및 밀도와는 상관관계를 보이지는 않았다.

3. 회격층의 석회혼합물은 주로 황갈색 기질에 200~600 μm 의 석영, 장석 및 운모류와 방해석으로 이루어져 있다. 회격묘 구성 석회의 정밀관찰 결과, 회격의 위치 및 종류와 상관없이 주상, 침상, 판상 및 능면상 등 다양한 형태의 방해석이 산출되었고, 일부 석회에서는 벌집모양의 다공성 조직이 확인된다. 회격은 방해석, 석영, K-장석, 사장석, 석고, 하이드로탈사이트 및 포틀랜드아이트로 구성되며, 주변 토양에서는 석영, 사장석, K-장석, 운모류 및 고령석이 동정되었다.

4. 회격층의 모든 시료는 600~800℃에서 대대적인 중량감소가 나타나며, 이는 탄산칼슘의 탈탄산반응에 기인한 것이다. 이 구간에서는 흡열피크도 모두 확인되었고, 1호 회격묘의 바닥과 2호 회격묘 부재는 전 구간에 걸쳐 흡열피크가 다양하게 나타났다. 회격층의 산출상태와 광물 조성 및 열분석 결과로 보아 석회의 조성온도는 800℃ 내외였을 것으로 추정된다.

5. 회격은 삼물의 혼합조성으로 인해 넓은 조성범위를 보이며 작열감량 또한 22.5~33.6 wt.%로 나타났다. 이중 1호 회격묘 바닥부재와 토양은 회토류, 호정 및 불호정 원소의 거동특성이 일치하는 패턴을 보인다. 1호 회격묘의 회격은 석회와 골재의 함량이 불균질하고 일부에서 양생이 충분히 이루어지지 않은 것으로 밝혀져, 기술수준이 다소 낮은 석회시공이 적용되었던 것으로 판단된다. 한편 회격 벽은 차수기능이 있어 시신을 보존하는데 더욱 용이한 구조로 확인되었다.

6. 목리유적 일대에서는 석회의 원료가 되는 석회암질 암의 분포가 여러 곳에서 확인되며 상업적으로 석회암을 생산한 실적이 있는 예산 및 홍성지역의 석회암 광상과 근 거리에 있다. 석회암의 조달은 목리유적을 중심으로 인근에 위치한 원산지 중에서 수급과 조달이 수월한 광산에서 이루어졌을 것으로 판단되나, 당시의 사회 및 경제적 상황과 유통체계로 보아 원거리에서 유입되었을 가능성도 배제할 수는 없다.

REFERENCES

- Álvarez, D., Collazo, A., Hernández, M., Nóvoa, X.R. and Pérez, C., 2010, Characterization of hybrid sol-gel coatings doped with hydrotalcite-like compounds to improve corrosion resistance of AA2024-T3 alloys. *Organic Coatings*, 67, 152-160.
- Chungcheong Institute of Cultural Heritage, 2011, Excavation survey of archaeological site in 3 area of new provincial town for Chungnam. Yesan Sapgyo Mokri Archaeological Excavation Site (3-3 Area). Summary Report, 1-15. (in Korean)
- Jo, Y.H., Jo, S.N. and Lee, C.H., 2010, Making techniques and provenance interpretation for molding clay of four-guardian statues in Songgwangsa temple, Suncheon, Korea. *Journal of Conservation Science*, 26(1), 43-60. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.H., 2013, Material analysis and provenance interpretation for stones of stone-walled tombs from the Mokri and Sinri sites in Yesan, Korea. Master's thesis, Kongju National University, Gongju. 1-114. (in Korean with English abstract)
- Kim, R.H., Lee, S.M., Jang, S.Y. and Lee, C.H., 2009, Interpretation of firing temperature and material characteristics of the potteries excavated from the Nongseori site in Giheung, Korea. *Journal of Conservation Science*, 25(3), 255-271. (in Korean with English abstract)
- Kim, R.H., Lee, C.H. and Yun, J.H., 2012, Material characteristics and clay source interpretation of Joseon (the 15th to 17th century) potteries from the Ssangyongdong Yongam site in Cheonan, Korea. *Journal of Conservation Science*, 28(1), 7-20. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.N., Shin, H.G. and Lee, H.S., 2006, Fabrication of slaked lime with high surface area for removal of hazard gases using domestic limestone. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 43(6), 624-632. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, J. and Lee, M.S., 2010a, Petrography and provenance interpretation of the stone moulds for bronze daggers from the Galdong prehistoric site, Republic of Korea. *Archaeometry*, 52, 31-44.
- Lee, C.H., Kim, M.Y., Jo, Y.H. and Lee, M.S., 2010b, Conservation treatment based on material characteristics, provenance presumption and deterioration diagnosis of the seven-storied Jungwon Tappyeongri stone pagoda, Chungju, Korea. *MUNHWAJAE, Korean Journal of Cultural Heritage Studies*, 43(3), 4-25. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, Y.T. and Lee, M.S., 2007, Provenance presumption for rock properties of the five storied stone pagoda in the Jeongrimsaji temple site, Buyeo, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 183-196. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.H., Kim, S.K., Kim, H.J. and Jeong, H.Y., 2008, Investigation of the Korean traditional Hobun (oyster shell W.) manufacturing technique: Centering on calcination method. *Journal of Conservation Science*, 23, 103-118. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H. and Kim, S.S., 1963, Explanatory text of the geological map of Hongseong sheet (1:50,000). *Geological Survey of Korea*, 1-33. (in Korean with English abstract)
- Nockolds, S.R., 1954, Average chemical compositions of some igneous rocks. *Geological Society of American Bulletin*, 65, 1007-1032.
- Park, H.D., Hwang, J.H. and Kim, S.S., 1999, Engineering research on the burial ground materials of the buried cultural assets in Andong. *Journal of Conservation Science*, 8, 51-57. (in Korean with English abstract)
- Pearce, J.A., 1983, Role of sub-continental lithosphere in magma genesis a activecontinental margins. In Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J., *Continental basalts and mantle xenolith Shiva*, 230-349.
- Rhee, S.W., Kang, M.J. and Moon, H., 1995, Characterization of layered double hydroxides (Mg-Al-CO₃ systems) and rehydration reaction of their calcined products in aqueous

- chromate solution. Journal of the Korean Chemical Society, 39(8), 627-634.
- Ryu, J.H., Kim, G.Y., Koh, Y.K. and Choi, J.W., 2010, Geochemical modelling of the effect of calcite and gypsum on the hydration of cements. Journal of Mineralogical Society of Korea, 23(2), 151-159. (in Korean with English abstract)
- Shahraki, B.K., Mehrabi, B. and Dabiri, R., 2009, Thermal behavior of zefreh dolomite mine (Central Iran). Journal of Mining and Metallurgy, 45, 35-44.
- Shin, M.H., 2007, The tomb with lime-soil mixture barrier and mummifications in Joseon dynasty. Journal of North-east Asian Cultures, 13, 149-176. (in Korean with English abstract)
- Song, J.T., 2009, Use of lime in Joseon dynasty. Ceramist, 12(1), 114-121. (in Korean)
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312.
- Yi, S.H. and Ahn, B.Y., 2008, A study on the excavated sab (a funeral fan) from lime-filled tomb and lime-layered tomb during the Joseon dynasty. MUNHWAJAE, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 41(2), 43-59. (in Korean with English abstract)
-