청도 불령사전탑의 해체와 복원

김선덕 서진문화유산보존연구소 소장

목차

Ⅰ. 개요
Ⅱ. 사전 조사
1. 통일신라의 전탑(사례 조사)
2. 전돌의 재료학적 연구
Ⅲ. 정밀실측 및 복원 계획
1. 정밀실측 2. 복원 계획
3. 이음부 접합물(접착성 무기바인더)
Ⅳ. 전탑 해체
1. 해체 2. 부재 실측
Ⅴ. 전돌 제작
1. 전 성형 2. 건조 3. 소성
Ⅵ. 복원
1. 복원공사

국문초록

본고는 [불령사전탑 해체 · 보수공사 보고서]의 내용을 요약하여 소개하는 것이다. 불령사전탑은 통일신라시대에 조성되된 것으로 추정되며, 정확한시기는 알 수 없지만 무너졌던 것을 1968년부터 비구니 최유화 스님이 대웅전을 창건하고 탑을 재건하였다고 한다. 그러나 재건시 고증이 미비한 상태에서 전탑을 6층으로 재건하였고, 복원에는 시멘트 모르타르를 사용하였기 때문에 전돌의 오염과 알칼리염류(수산화칼슘, 황산칼슘, 황산소다, 황산칼륨 등)에 의한 2차 풍화훼손이 진행되고 있을 뿐만 아니라 전탑의 변형된 원형을 바로잡기 위해 2008년 8월 18일부터 2009년 11월 27일까지 해체보수공사를 진행하였다.

불령사전탑의 복원을 위해 현존하는 통일신라기의 전탑과 문양이 있는 전돌에 대한 조사 및 불령사 전탑의 부재에 대한 과학적인 규명을 시도하였으며, 과학적인 조사를 바탕으로 복원에 필요한 전돌을 제작하였다. 다양한 방법에 의한 분석 결과 소성온도가 900~1,050℃ 범위로 나타났으며 전돌의 크기와 두께, 가마의 소성방식, 소성시간, 제작하는 곳의 환경 조건에 따라 제작 과정도 다르게 되고 품질도 각기 다르게 되므로 원형의 상태를 최대한 적용하기 위해 3D스캔을 통해 새로운 전돌의 제작에 적용하였다.

전 크기는 분석된 내용을 바탕으로 태토의 배합율을 각각 달리하여 실험제작한 결과로 얻은 수축율 14%를 확대 적용하였다.

또한 복원을 위해 탑의 형태 분석, 전의 종류 및 용척(用尺) 분석, 이음부 접합물질(접착성 무기바인더 *MB*, *Mineral Binder*) 등을 분

석하였다. 이번에 새롭게 발견된 1960년도 이전 사진에 의하면 층수는 3층으로 되어있고 현재로서 남아있는 최고(最古)의 증빙자료로 판단하였다.

1960년대 평균키는 35세를 기준으로 약 156~158㎝이며 평균키와 정밀실측한 부재의 크기 등을 종합하여 탑의 높이 및 폭을 추정하였다.

불령사전탑의 해체보수공사는 정밀실측과 더불어 진행되었으며, 복원은 연구된 복원(안)을 기준으로 당초 해체전 전탑이 있던 장소에 복원하였다.

전돌의 정확한 적층을 위해 전탑 각 코너에 기준점을 마련하였으며, 수직으로 기준이 되는 기준틀을 세워 각 전의 높이와 줄눈의 높이를 각각 표시하였고 대각으로 기준선을 띄워 수평수직을 정확히 맞추면서 작업을 실시하였다.

Ⅰ. 개요

불령사 전탑은 창건된 이래로 정확히는 알 수 없지만 임진왜단 때 허물어졌던 것을 1968년부터 비구니 최유화 스님이 대웅전을 창건하고 탑을 재건하였다고 한다. 그러나 재건 시 고증이 미비하여 3층의 전탑을 6층으로 재건하였다고 한다. 복원에는 시멘트 모르타르를 사용하였기 때문에 전돌의 오염과 알칼리염류(수산화칼슘, 황산칼슘, 황

산소다, 황산칼륨 등)에 의한 2차 풍화훼손이 진행되고 있을 뿐만 아니라 전탑의 변형된 원형을 바로잡기 위해 해체보수공사를 진행하였다. 본고는 전탑의 해체 · 보수공사와 같은 유사한 사례가 없는 점을 감안하여 참고자료로 활용될 수 있도록 [불령사전탑 해체 · 보수공사 보고서][1]의 내용을 요약하여 소개하는 것이다. 본 사업은 청도군청이 발주하고 한주종합건설, 서진문화유산(주)에서 2008년 8월 18일부터 2009년 11월 27일까지 시행하였다.

불령사(佛靈寺)는 경상북도 청도군 매전면 용산리 산 98번지에 위치한 대한불교조계종 제9교구 본사인 동화사(桐華寺)에 소속된 사찰로, 효양산 비룡골 계곡의 절벽 위 평탄한 곳에 자리해 있다. 용산리 호랑산의 불영계곡을 따라 올라가면 길의 끝에 기암절벽이 산재해 있으며, 그 길의 끝에는 사찰의 처음 시작으로 요사채가 위치한다. 보통 사찰은 일주문, 불이문 등 사찰내로 진입하기 전 진입공간이 위치해 있으나 본 사찰은 계곡을 따라 위치하여 사찰의 진입공간을 따로 두지 않았다.

사찰의 건물로는 대웅전, 요사채 2동, 삼성각, 전탑 등이 있다. 대웅전은 참배장을 새로 신축하였으며, 요사는 대웅전 오른편의 1동과 대웅전 바로 아래에 1동 2동이 위치한다. 대웅전과 떨어진 곳에 위치한 요사 1동은 대웅전을 창건하기 전 인법당(人法堂)으로 사용하였으며, 약 백여 년전 구 절터에서 이곳으로 옮겨왔다고 한다. 대웅전 아래의 요사는 현재 종무소로 사용하고 있으며, 삼성각은 1985년 새로 창건하였다.

---

1) 불령사전탑 해체보수공사 보고서, 2009. 12, 청도군

전탑은 대웅전에서 좌측 계단을 따라 올라가다 보면 삼성각이 있으며, 삼성각 바로 옆 축대로 이루어진 곳의 상부에 위치하고 있다. 불령사의 창건기록으로는 사적(寺蹟)이나 문헌에 직접적으로 나타나지 않으며, 다만 구전(口傳)에 의하면 선덕여왕(善德女王) 14년(645)에 원효대사(元曉大師, 617~686년)가 창건하였다고 전(傳)하고 있으나 구전이나 간접적인 추정으로 살펴볼 수 있을 뿐 그 뒤의 연혁은 알려진 것 외에 1912년에 봉주스님이 중건하고, 1930년 이종태 주지가 중수하였으며, 이후 폐사 지경에 있던 것을 1968년부터 비구니 최유화 스님이 대웅전을 창건하고 탑을 재건하였다고 한다. 그러나 재건 시 고증이 미비하여 3층의 전탑을 6층으로 재건하였으며, 1985년부터 지선(志珗)스님이 여러 건축물을 중창하면서 사찰의 면모를 갖추었다[2]고 나타난다.

전탑에 관한 연혁은 사찰과 마찬가지로 자세한 기록은 찾을 수 없으나, 문양전의 양식이나 이전의 사진을 통해 통일신라시대의 탑으로 추정되며, 매전면 장연리(長淵寺址)에서 구운 벽돌을 불자들이 한 장씩 이곳으로 옮겨와 3층의 전탑으로 조성되었다고 전한다.

탑의 조성 이후 임진왜란 때 허물어졌던 것을 다시 복원하였으나, 일제강점기에 도굴꾼이 훼손하여 오랫동안 원형을 알아볼 수 없는 상태로 쌓아 두었던 것을 1968년 이 사찰의 주지로 있던 최유화 스님이 지금의 모양인 6층탑으로 재건하였다[3]고 한다.

현재 탑의 구성은 시멘트 모르타르로 5단의 지대석을 만들어 방형기단을 형성하고 그 위에 6층의 탑신부를 이루고 있으며, 상륜부는

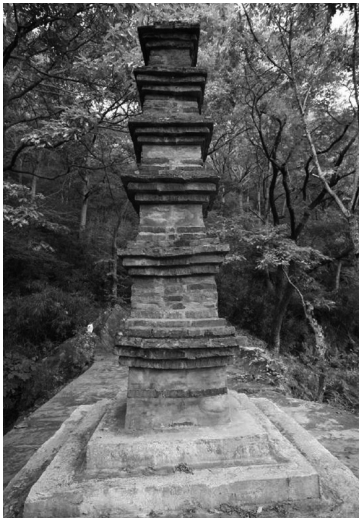
2) 김상영 외.『전통사찰총서 17 경북의 전통사찰 4』, 사찰문화연구원, 2001
3) 김상영 외.『전통사찰총서 17 경북의 전통사찰 4』, 사찰문화연구원, 2001

노반으로 보이는 단만 형성되어 있다. 층별 옥개는 체감이 매우 작아서 매우 높고 아주 세장한 형태를 이루고 있으며, 층급받침은 2단으로 구성되어 있고, 낙수면의 층단은 1층은 2단으로 나머지 층은 1단으로 되어있다.

탑신은 거의 시멘트 모르타르로 만들어져 있는데 1층의 경우에는 90%이상 시멘트 모르타르로 구성되며 전돌은 거의 사용하지 않았다. 2층과 3층의 전은 5단, 4~6층은 4단으로 탑전을 쌓아 구성하였다.

전돌의 무늬는 탑상무늬 전돌과 전각무늬 전돌, 그리고 당초무늬 전돌 등 세 종류로 구분되며, 형태는 방형과 옥개의 전각형 두 가지가 있다.

탑상무늬 전돌은 전돌의 측면에 7구의 불상과 7기의 탑을 새긴 것과 5구의 불상과 5기의 탑을 새긴 것, 그리고 4구의 불상과 4기의 탑을 새긴 것 등 세 가지 형식으로 세분되고 있어 천불천탑사상(千佛千塔思想)에서 기인하였을 것으로 추정된다.



〈그림 1〉
불령사전탑(해체전)

누각무늬 전돌은 경주 주변에서 수집된 것과 동일하여 울산 중산리 절터의 전탑과 서로 관련이 많은 것으로 보이며, 현존하고 있는 통일신라의 전탑인 안동 조탑동 5층전탑, 신세동 7층탑 및 동부동 5층전탑, 칠곡 송림사 5층전탑 등과 축조기법이 비슷한 점, 경주지역에 발굴된 전의 문양이 비슷한 점들이 있어 통일신라시대에 조성된 탑으로 추정된다.

Ⅱ. 사전 조사

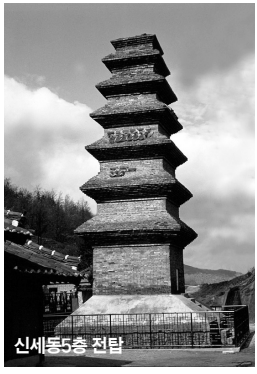
무너져 있던 전탑을 근래에 시멘트 모르타르 기단 위 6층으로 재건하였지만 유문전의 형식과 양식에 있어 경주 지역에서 수집된 여러 탑전 및 전돌과 유사하고, 통일신라의 전탑인 안동 조탑동 5층전탑, 신세동 7층탑 및 동부동 5층전탑, 칠곡 송림사 5층전탑 등과 함께 한국탑파에 있어 매우 중요한 탑이라 판단된다. 특히 울산 중산리사지의 전탑과 서로 관련이 많은 것으로 사료된다.

불령사전탑의 복원을 위해 현존하는 통일신라기의 전탑과 유문전돌에 대한 조사 및 불령사 전탑의 부재에 대한 재료학적인 규명을 시도하였으며, 과학적인 조사를 바탕으로 복원에 필요한 전돌을 제작하였다.

1. 통일신라의 전탑(사례 조사)

현재 남아 있는 통일신라의 전탑은 5기 가량으로 무문전으로 축조된 탑은 안동의 신세동 7층전탑과 칠곡 송림사 5층전탑, 동부동 5층전탑이 있으며, 문양전으로 축조된 탑은 안동 조탑동 5층전탑과 청도

조탑동 5층 전탑

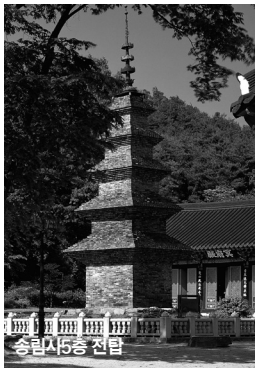

신세동5층 전탑

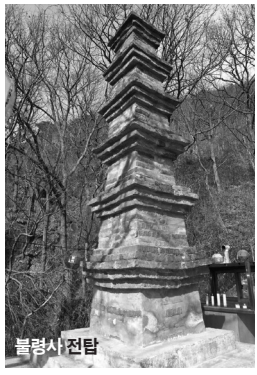
동부동 5층 전탑

불령사전탑 등이 있다.

통일신라시대 전탑의 특징은 구조적과 형태적 특징으로 나눌 수 있는데, 구조적인 특징으로는 탑전을 축조할 때 모르타르를 쓰지 않고 막힌줄눈으로 여러 겹 중첩하는 수법을 사용하고 있는 것으로 이는 자중에 의한 수직력과 막힌줄눈에 의한 횡력의 보완이라 할 수 있다. 형태적인 특징으로는 옥개부의 경우 추녀가 짧고 경사가 급하며 옥개 상하가 층단을 이루고 기와를 얹은 것을 들 수 있다. 이는 벽돌을 쌓아 긴 처마를 이룰 수 없는 재료가 갖는 한계적 특징이라 할 수 있다. 그리고 무문전으로 축조된 전탑은 거의 장방형 전을 사용하여 길이쌓기를 하며, 탑신의 모서리에는 정방형 전을 사용하는 것이 일반적인 특징이라 할 수 있다.

불령사의 탑전은 탑상무늬, 누각무늬, 당초무늬 등 세 종류로 구분할 수 있으며, 탑상무늬전은 탑전의 측면에 7구의 불상과 6기의 탑을 새긴 것과 5구의 불상과 4기의 탑을 새긴 것으로 구분할 수 있다. 이 중 기본적인 형태는 크기를 비교해본 결과, 5구의 불상과 4기의 탑을 새긴 것으로 판단된다. 특이한 점은 7구의 무늬전에서 이어붙인 선





〈그림 2〉
통일신라시대 전탑

이 발견되는 것과 전과 전 사이에는 보통 연결물질로 등으로 연결하거나 면이 만날 수 있도록 치밀하게 설치하는 방법을 주로 사용하는데 불령사의 전은 연결되는 곳에 결구를 튼튼하게 하기 위하여 Ⅰ자형 홈 및 풍경을 달수 있는 홈이 파져있는 특수전도 있어 이 탑이 치밀한 사전설계에 의하여 건립되었음을 알 수 있다.[4)]

탑상의 문양 중 불상의 형태는 불신과 몸 전체를 감싸는 거신광배, 연화대좌까지 완전히 갖추었으며, 불상은 머리에 큼직한 육계를 두고, 법의는 통견으로 한 줄기의 옷자락이 배에서 흘러내려 대좌까지 이르도록 양각되었다. 불탑은 3층으로 이중기단에 상륜부까지 완전하게 나타나며 체감율과 기단 형태 등 양식적으로 전형적인 통일신라시대 석탑을 보여준다. 그리고 석탑과 불상의 상륜부에는 구름무늬가 배치되어 여백을 적절히 활용하였다.

누각무늬 탑전은 경주 주변에서 수집된 것과 울산 중산리사지 출토 탑전과 거의 동일한 형태로 정면 3칸의 단층 건물 두체가 구름을

4) 박홍국, 『한국의 전탑연구』, 學研文化社, 1998, p. 80

사이에 두고 묘사되었다. 누각의 형태는 용마루의 양쪽 끝에 치미가 얹혀지고 기왓등과 기왓골이 나타나고 있어, 통일신라시대의 기와집 모습을 약간이나마 살펴볼 수 있는 좋은 예가 되고 있다.

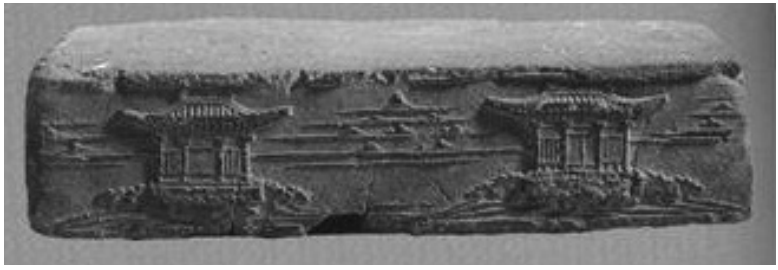
이러한 문양전은 불상과 불탑의 모습에서 통일신라 때의 양식을 발견할 수 있어 아주 중요한 자료라 판단된다. 특히 불령사 전탑처럼 벽돌에 무늬가 있는 경우는 통일신라의 전탑 중 드물게 남아 있어 문화재로서의 가치는 매우 크다고 할 수 있다.

이제까지 살펴본 바와 같이 문전(紋塼)은 전탑에 사용되는 벽돌에 탑 내지 불상, 또는 각종 문양을 새긴 것으로 7세기 후반부터 8세기에 걸쳐 제작되며, 지역적으로는 신라의 영토 안에서만 발견된다. 현재까지 발견된 전탑에 사용되는 사지 및 문전은 다음과 같다.

- 경주 석장사지 : 탑상문전, 연기법송탑상문전
- 경주 인왕동사지 : 불상문전, 탑상문전, 삼존공양상문전
- 경주 삼랑사지 : 탑상문전
- 울산 농소읍 중산리사지 : 용문전, 탑상문전, 누각문전
- 청도 불령사(佛靈寺: 중산리사지 것과 거의 동일) : 탑상문전, 누각, 문전 외
- 창녕 지역에서도 발견된 바 있다.

〈그림 3〉
누각문전, 7세기 후반(통일신라), 울산 중산리사지 (크기 9cm×7.5cm×6cm)

〈그림 4〉
누각문전(국립경주박물관 소장 – 통일신라시대)



〈그림 5〉
누각문전(국립경주박물관 소장 – 통일신라 출토지 미상 28.2×20×6.4)

〈그림 3〉은 울산 농소면 중산리 이화(二化)마을의 탑지에서(중산리 사지) 수습된 누각문전으로, 전체면 중에서 1/3 정도만이 남아있다.

〈그림 4 · 5〉는 경주국립박물관이 소장한 누각문전으로 출토지는 미상이나 불령사전탑의 누각문전과 통일한 수법으로 제작, 문양 또한 매우 유사함을 알 수 있고, 크기 또한 불령사전탑의 크기와 유사하다. 석장사에서 출토된 탑상무늬전과 불령사의 탑상무늬전이 흡사한 것을 알 수 있다.

2. 전돌의 재료학적 연구

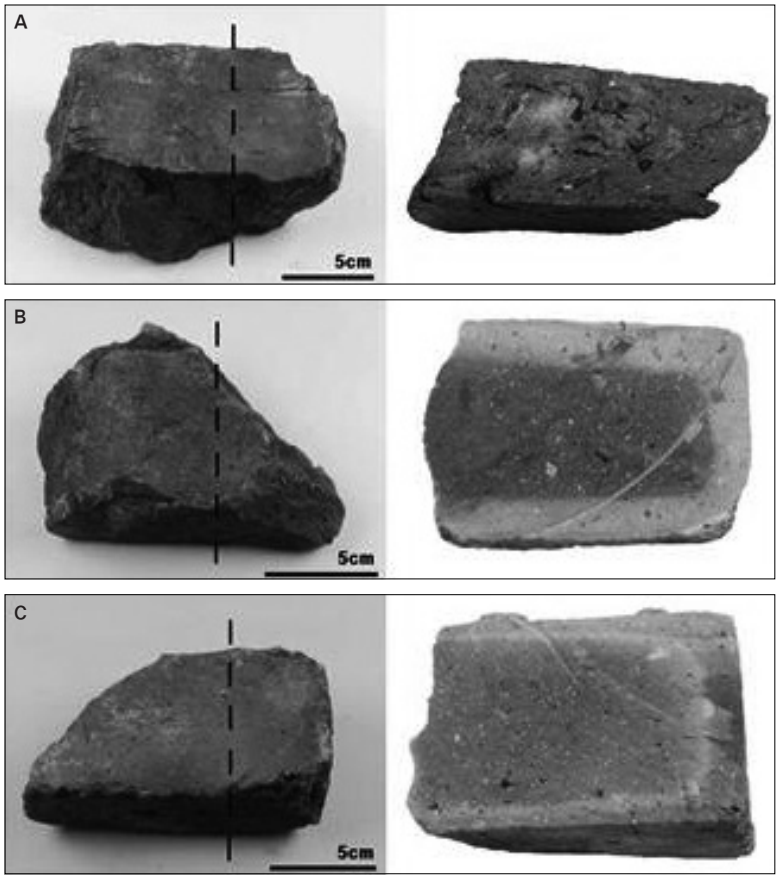
1) 산출상태 및 시료선택

청도 전돌 시료의 재료과학적 및 물리적 특성을 알아보기 위해 세 점의 시료를 선택하였다. 선택한 전돌은 각각 색도의 차이를 보이지만 환원소성된 것으로 판단되는 회색벽돌이다. 시료는 자색을 띠는 회색전돌(CB-1), 연회색 전돌(CB-2), 연황색을 띠는 회색전돌(CB-3)으로 구분된다.

자색을 띠는 회색전돌(CB-1)은 내부에 여러 방향의 균열이 발달되어 있으나, 이러한 균열은 표면까지는 진행되어 있지 않다. 이는 전돌 생성 이후에 가해진 물리적인 압력과 풍화작용에 의한 것이 아니라 소성 시 생성된 것으로 판단된다. 또한 단면 관찰 결과, 부분적으로 유상구조가 발달해 있다. 표면의 일부는 유리질화 되어 있으며, 광물 입자는 치밀하지 않다**〈그림 6A〉**.

연회색의 전돌(CB-2)은 내, 외부에 균열은 없다. 단면 관찰 결과, 내부와 외부의 색이 달라 층상을 이루고 있으며, 내부의 회색이 외부의 회색보다 진하다. 전반적으로 광물입자는 치밀하게 배열되어 있으며, 유상구조는 관찰되지 않는다**〈그림 6B〉**.

표면에 연황색을 띠는 회색전돌(CB-3)의 내부 관찰 결과, CB-2와 유사한 색조의 층상을 이루고 있다. 이는 벽돌이 제작될 때, 내부와 외부의 차이라기 보다는 장기간 대기 중에 노출되어 나타난 풍화정도의 차이를 반영하는 것으로 보인다. 한편 소성 시 형성된 작은 공극들이 불규칙하게 분포하고 있지만 광물입자는 치밀하다**〈그림 6C〉**.



〈그림 6〉 청도 전돌 시료의 산출상태와 단면의 모습

(A) CB-1; 자색을 띠는 어두운 회색전돌로 내부기질은 유상구조를 보임.

(B) CB-2; 연회색 전돌로 내부 기질이 치밀하며 공기가 빠져나간 공극이 다양한 형태로 관찰됨.

(C) CB-3; 황색을 띠는 회색 벽돌로 치밀한 기질과 다양한 공극을 포함하고 있음.

2) 연구방법

전돌의 재료과학적 특성을 밝히기 위해 다양한 비파괴분석과 파괴분석을 수행하였다. 먼저 표면의 육안관찰 후, 구성재질의 자화강도를 측정하기 위해 전암대자율 측정을 실시하였다. 측정기기는 ZH Instruments 사의 SM-30 모델을 이용하였으며, 대자율의 단위는 10-3 SI unit로 표기하였다. 또한 정확한 색도측정을 위해 색도계(Minlta Chroma Meter; CR-300)를 사용하였다.

전돌을 대상으로 가비중과 흡수율을 측정하였으며, 2cm×2cm×2cm의 시료를 만들어 각각 3회씩 측정하여 평균값을 획득하였다. 실험은 105℃ 건조기에서 24시간 건조 후, 실온에서 48시간 침수시켜 각각의 건조중량, 포화중량 및 수중중량을 측정하여 흡수율과 공극률을 산출하였다.

시료의 광물조성, 미세조직 및 기질의 특성을 관찰하기 위해 박편을 제작하여 편광현미경 관찰을 실시하였다. 또한 풍화에 의한 변질광물의 생성, 기질의 정성분석을 위해 주사전자현미경을 사용하였다. 이용된 기기는 Nikon사의 Eclipse E600W 편광/반사 겸용 현미경과 Oxford사의 에너지분산형 성분분석기(EDX Inca M/X)가 장착된 JEOL 사의 주사전자현미경(JSM6335)이다.

조암광물 및 점토광물의 정확한 동정을 위해 X-선 회절분석을 실시하였으며, 분석에 사용된 기기는 Rigaku제 D/Max-ⅡB이다. 이 때 타겟으로 사용된 X-선은 CuKα이며 양극의 가속 전압 및 필라멘트의 전류는 각각 40kV와 40mA이다.

한편 소성 과정동안 발생한 구성광물의 열이력과 상전이 여부를 확인하기 위해 열분석을 실시하였다. 기기는 TG-DTA, 2000S, Mac

Science, Co., Japan 이며 20℃에서 1,100℃까지 승온속도 10℃/min로 측정하였다. 분석에 사용된 표준시료는 α-Al2O3이다.

3) 물리적 특성

(가) 색도분석

전돌 시료 세 점을 대상으로 색도계(Minolta CR-300)를 사용하여 육안관찰로 분류된 벽돌들의 정량적인 색도를 측정하였다. 측정된 색도 값은 국제조명위원회CIE; Commission International de l'Eclairage)에서 규정한 색상 값으로 사람의 눈이 감지할 수 있는 색차와 색 공간에서 수치로 표현한 색차를 거의 일치시킬 수 있는 CIE LAB색 공간에 표시하였다. 색 좌표는 L^*, a^*, b^*로 표시되며 각각 적색(+a^*)과 녹색(-a^*)의 정도, 황색(+b^*)과 청색(-b^*)의 정도를 나타내는 입체 좌표이다.

청도 전돌시료는 자색을 띠는 회색전돌, 연회색 전돌, 연황색을 띄는 회색전돌로 구분된다. 자색을 띠는 회색전돌은 내부에 여러 방향의 균열이 발달되어 있으며, 부분적으로 유상구조가 나타난다. 다른 전돌은 내부와 외부가 풍화에 의해 층상을 이루고 있다.

2. 색도 측정 결과, 전돌 시료는 모두 환원소성된 회색계열이며 a^*와 b^*의 값이 각각 -1.55~6.91(CB-1), -2.32~16.85(CB-2), -2.16~19.08(CB-3)로 다양한 색도 분포를 나타냈다. 자색을 띄는 CB-1 시료는 청색도가 더 낮으며, 이는 나머지 두 시료와는 소성온도와 성인적 차이가 다르다는 것을 간접적으로 지시하는 것이다. **〈표 1〉**

〈표 1〉 청도 전돌의 색도측정 결과 (S.D: standard deviation)

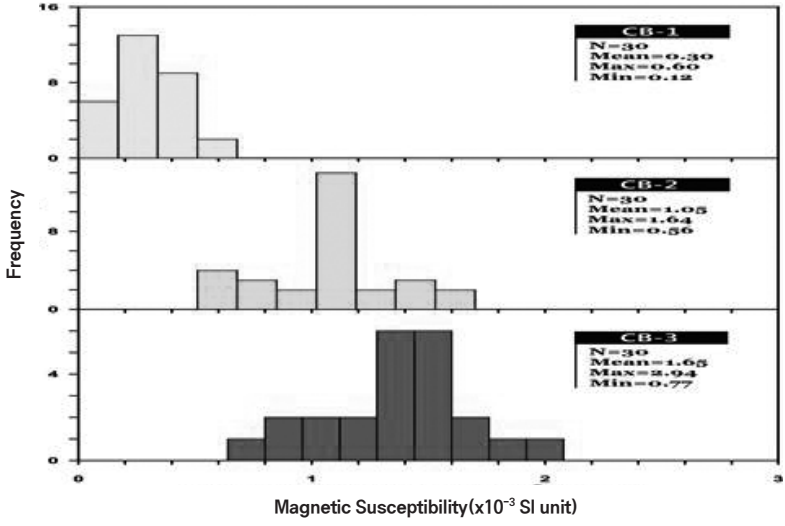
		CB-1		CB-2				CB-3			
				external		internal		external		internal	
		Average	S.D	Average	S.D	Average	S.D	Average	S.D	Average	S.D
value	L	34.79	3.30	43.17	5.54	39.50	3.94	50.24	6.40	53.32	1.54
	a*	-1.12	0.36	-0.68	0.80	-2.20	0.42	-1.31	0.57	-2.92	0.11
	b*	4.88	0.84	13.43	2.65	5.65	0.66	15.43	2.20	6.22	0.30

(나) 전암대자율

전암대자율은 암석의 지구화학적 진화와 미세 자기적 특성을 분석하여 상호간의 자기적 동질성 해석을 위해 사용되는 연구수단이나 최근 국내외 석조문화재의 재료학적 특성과 선사시대의 토기, 석기 등의 산지해석을 위한 보조수단으로 응용되고 있다. 대자율은 외부자기장에 대한 자화강도를 의미하며, I=k×H로 정의된다. 여기서 I는 자화강도(magnetic intensity), H는 자기장(magnetic field)이며, k는 대자율(magnetic susceptibility)로서 물질의 자기적 특성을 결정하는 상수이다.

전돌 시료 세 점에 대해 각각 30회씩 총 90회의 전암대자율을 측정하였다. CB-1은 0.12~0.60(×10-3 SI unit)의 대자율 분포를 보이며, 평균값은 0.30×10-3 SI unit이다. CB-2는 0.56~1.64(×10-3 SI unit)의 대자율 분포를 보이며, 평균값은 1.05×10-3 SI unit으로 CB-1보다 다소 높은 값이 측정되었다. CB-3은 0.77~2.94(×10-3 SI unit)의 대자율 분포를 보이며, 평균값은 1.65×10-3 SI unit으로 CB-1의 대자율 값의 범위가 좀 더 낮은 값을 보였다. 이는 육안관찰

과 색도분석을 통해서도 CB-1의 물성이 CB-2와 CB-3과는 차이를 보인다는 것을 입증하는 결과이다. **〈그림 7〉**



〈그림 7〉 전돌의 전암대자율 분포도

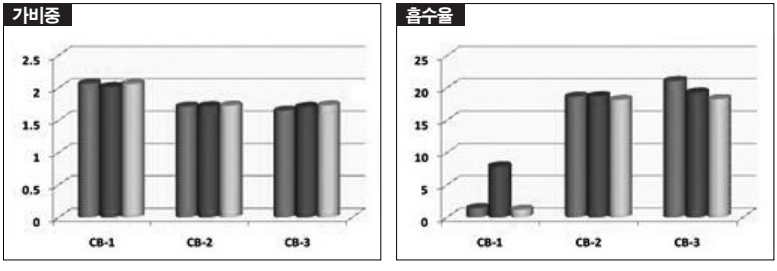
(다) 가비중과 흡수율 및 공극률

토기나 전돌 및 기와의 가비중은 내화물의 무게를 그 겉보기 부피와 같은 부피를 가진 증류수의 무게로 나눈 값을 사용하며, 이들을 사용된 태토의 동질성을 판단하고 내부 치밀도를 알아보기 위해 측정한다. 흡수율은 토기나 전돌 및 기와의 밀도, 강도, 내구성 및 열자극에 대한 저항성에 영향을 미친다. 전돌의 가비중과 흡수율 및 공극률을 측정하기 위해서 105℃의 건조기에서 24시간 동안 건조시킨 후 건조중량을 측정하였고, 상온에서 48시간 침수시킨 후 포화중량을 측정하였다. **〈표 2〉**

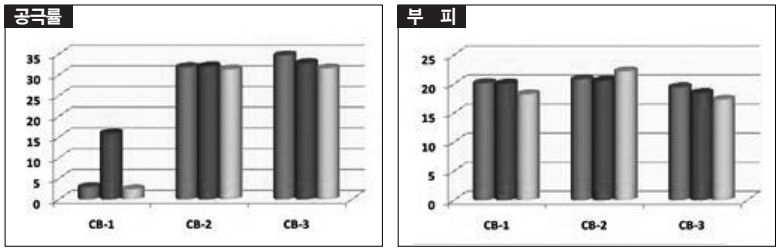
〈표 2〉 전돌의 가비중과 흡수율 및 공극률

		가비중	흡수율(%)	공극률(%)	부피
CB-1	1회	2.06	1.40	2.90	20.10
	2회	2.06	7.85	15.80	20.01
	3회	2.06	1.16	2.39	18.23
	평균값	**2.04**	**3.47**	**7.03**	**19.49**
CB-2	1회	1.71	18.63	31.83	20.76
	2회	1.71	18.66	31.98	20.55
	3회	1.72	18.14	31.26	22.17
	평균값	**1.71**	**18.48**	**31.69**	**21.16**
CB-3	1회	1.65	21.05	34.63	19.42
	2회	1.70	19.26	32.79	18.40
	3회	1.73	18.26	31.54	17.29
	평균값	**1.69**	**19.52**	**32.99**	**18.37**

측정 결과, 가비중 값은 CB-1이 2.04로 CB-2와 CB-3의 가비중 값인 1.71과 1.69보다 높은 값을 보이며, 흡수율과 공극률은 CB-1이 3.47과 7.03%를 갖는 것에 반해 CB-2와 CB-3은 각각 18.48, 31.69%, 19.52, 32.99%의 높은 값을 보였다. 이는 CB-1 시료가 다른 시료보다 고온에서 소성되었다는 것을 시사한다. **〈그림 8-1, 8-2〉**



〈그림 8-1〉 전돌의 가비중 및 흡수율 그래프



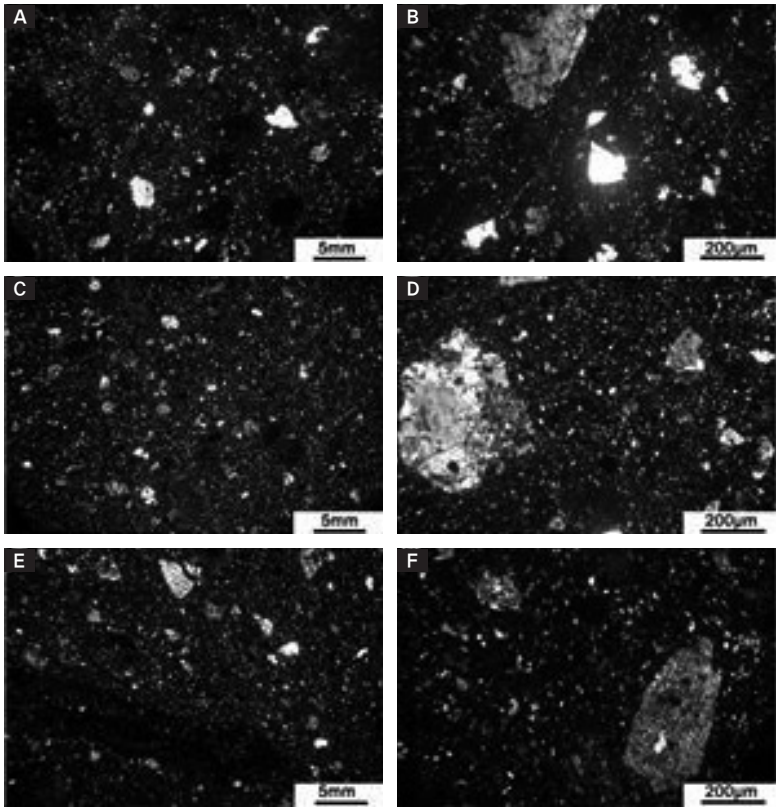
〈그림 8-2〉 전돌의 공극률 및 부피 그래프

4) 재료과학적 특성

(가) 편광현미경 관찰

전돌 시료를 구성하는 태토와 기질의 구성광물과 종류 및 산출상태를 확인하기 위해 편광현미경 관찰을 실시하였다. 전돌 시료는 모두 암회색 기질에 석영, 장석 등이 포함되며, 전체적으로 비정질 조직으로 이루어져 있다. 태토에 포함되어 있던 석영과 장석의 크기는 다양하지만 보통 0.5~2mm 정도의 크기를 보인다. 육안 관찰 결과, 내부에 유상조직과 큰 공극을 가지고 있던 CB-1 시료의 경우는 기질 또한 자색을 띄는 암회색이었으며, 석영과 장석 입자가 비교적 규칙적으로 배열되어 있다. **〈그림 9A, 9B〉**

반면에 단면에서 층상조직을 보였던 CB-2와 CB-3은 현미경 관찰 결과, 내부 광물이나 기질 자체에서 큰 차이는 보이지 않았다(그림 9C, 9D, 9E, 9F). CB-2와 CB-3 모두 암회색의 기질에 다양한 크기의 석영과 장석이 분포하고 있으며, 기질은 치밀하다.



〈그림 9〉 전돌의 편광현미경 사진

(A, B) CB-1; 자색을 띠는 암회색 기질에 2mm 내의 석영, 장석 등이 포함되어 있다.

(C, D) CB-2; 암회색 기질에 1mm 이하의 석영과 장석이 관찰된다.

(E, F) CB-3; 암회색 기질 안쪽으로 회색 기질과 교대한 유상조직이 확인되며, 기질 내에 크기가 다양한 석영과 장석이 분포한다.

(나) 주사전자현미경 관찰

전돌의 미세한 조직과 열변성 과정에서 생성된 점토광물의 존재를 확인하기 위해 주사전자현미경(SEM) 관찰을 실시하였다. 현미경 관찰 결과, 세 전돌의 시료 모두 유사한 미세조직적 특징이 관찰되나 일부 차이를 보이는 것으로 나타났다. 특히 CB-1 시료는 표면에서 열변성으로 인해 점토광물들이 유리질화 되었으며, 이는 육안 관찰과 실체현미경 관찰을 통해서도 확인된 결과이다. **〈그림 10A〉**

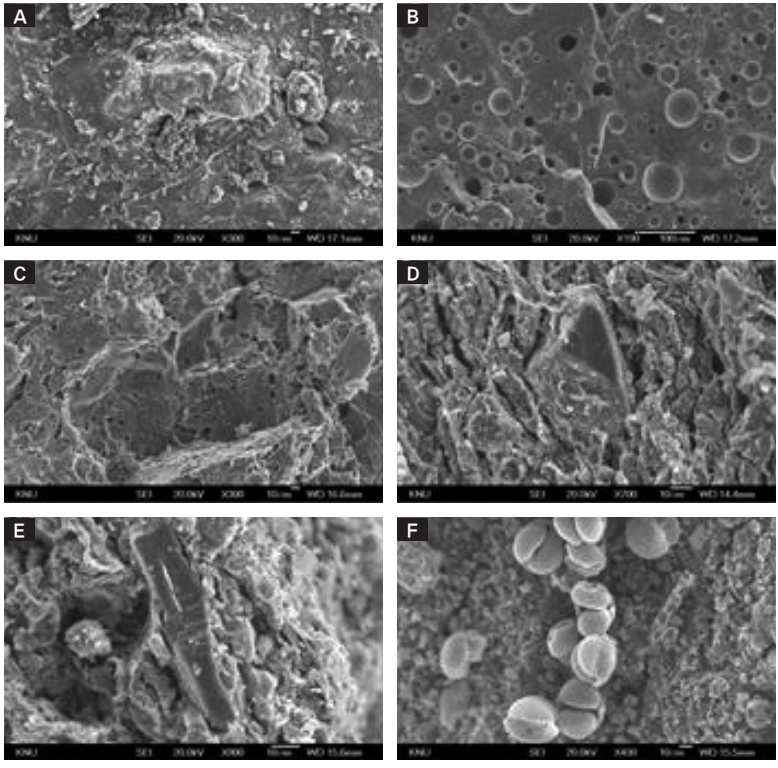
시료 CB-2와 CB-3는 유사한 재료적 특성을 나타내는데, 주사전자현미경 하에서는 치밀 견고해진 기질과 유리질화 과정에서 가스가 빠져나가면서 생성된 공극이 관찰된다. **〈그림 10B, 10C〉** 또한 이들 시료에서는 기질의 조직 사이로 석영 및 장석 등의 광물 입자가 관찰되며, 변형된 기질과 함께 작은 기공들도 관찰된다. **〈그림 10C〉**

한편 미정질 점토들이 재결정 되어 변형조직을 이루고 있으며, 석영의 변형조직도 관찰된다. **〈그림 10D, 10E〉** 이는 모든 시료에서 확인되었다. 외부에 노출되어 있던 전돌은 표면에 식물의 뿌리와 유기물들이 착생하고 있었는데, 이는 현미경 관찰 결과로 보아 내부 기질까지 침투하고 있었다. **〈그림 10F〉**

주사전자현미경으로 관찰된 내부 기질의 조성을 정확히 파악하고자 SEM-EDS 분석을 실시하였다. 이 결과, 모든 시료에서 Si, Al, O의 함량이 높게 확인되었으며 Fe, K, Mg를 소량 함유하고 있다. **〈그림 11, 11〉**

CB-2 시료의 경우, 다른 시료와 다르게 Mg와 Ca가 검출되었다. 다양한 크기의 공극을 가지고 있는 CB-1 시료의 표면에서는 흑색반점이 다수 확인되었는데, SEM-EDS 분석 결과 다른 시료에 비해 Fe의 함량이 다소 높게 검출되었다. 이는 전돌을 만들었던 태토에 포함되어

있던 철 화합물질이 환원환경에서 흑색으로 발현된 결과로 해석된다.



〈그림 10〉 점토광물

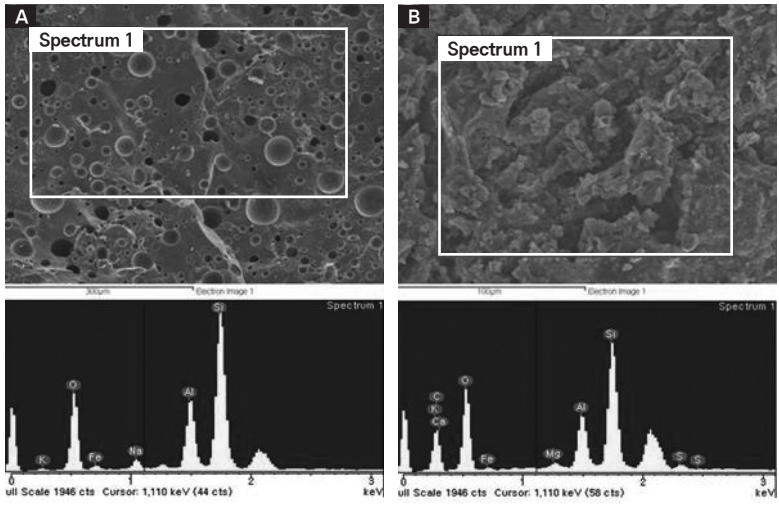
(A) CB-1; 점토광물이 열에 의해 유리질화 되어 있음.

(B) CB-2; 기질이 유리질화 되어 매우 치밀하며, 균일하게 발달한 공극이 관찰됨.

(C) CB-3; 열변성에 의해 기질이 변형되었으며, 작은 공극이 다수 관찰됨.

(D, E) CB-2, CB-3; 미정질 점토들의 변성조직 사이로 재결정이 진행되고 있는 석영이 관찰됨.

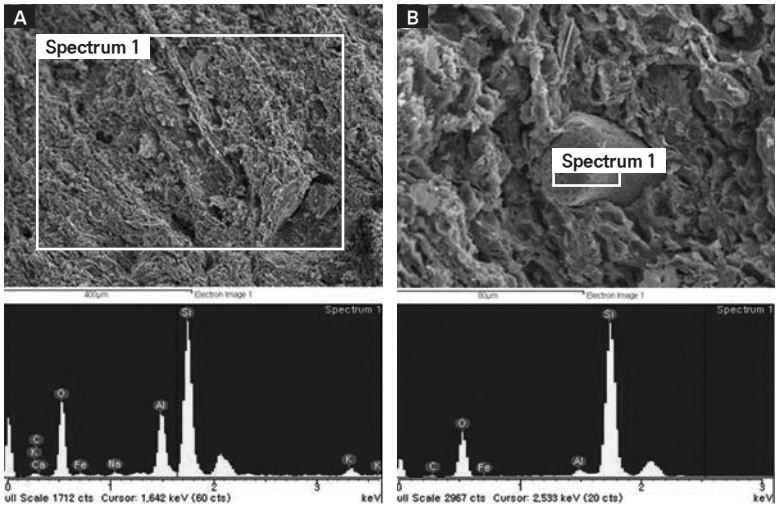
(F) CB-1; 기질 내부까지 착생되어 있는 유기물의 모습.



〈그림 11〉 청도 전돌의 SEM-EDS 결과 1. (A) CB-1, (B) CB-2

〈표 3〉 청도 전돌의 SEM-EDS 결과-1 성분 분석표

Element	A (wt.%)	Element	B (wt.%)
C	-	C	51.45
Na	2.56	Na	-
Mg	-	Mg	0.29
Al	8.94	Al	2.45
Si	23.09	Si	6.18
S	-	S	0.26
K	1.88	K	0.43
Ca	-	Ca	0.34
Fe	4.96	Fe	0.82
O	58.57	O	37.77
Total	100.00	Total	100.00



〈그림 12〉 청도 전돌의 SEM-EDS 결과 2. (A) CB-2, (B) CB-3

〈표 3〉 청도 전돌의 SEM-EDS 결과-2 성분 분석표

Element	A (wt.%)	Element	B (wt.%)
C	10.81	C	12.52
Na	0.81	Na	-
Al	7.24	Al	0.83
Si	19.90	Si	28.28
K	1.01	K	-
Ca	0.38	Ca	-
Fe	2.22	Fe	0.45
O	57.64	O	57.92
Total	100.00	Total	100.00

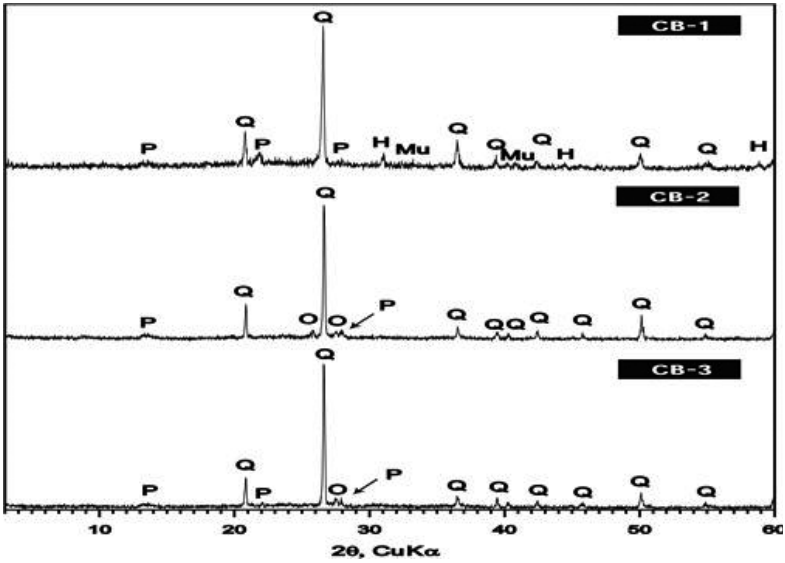
(다) X-선 회절분석

전돌 시료를 대상으로 X-선 회절분석을 실시하였으며, 동정된 광물종의 비교분석을 통하여 전돌의 소성온도 범위를 추정하였다. 모든 시료에서 석영(Q), 정장석(O) 및 사장석(P)이 검출되었으며, 운모류(M)는 동정되지 않았다. 운모류는 900℃ 정도에서 부분적으로 조직의 파괴가 일어나기 때문에 운모의 부재는 900℃ 이상의 고온소성을 지시하는 자료이다. **〈그림 13〉** CB-2와 CB-3은 비교적 유사한 광물들이 검출되었으나, 이들은 모두 전돌을 만들 때 사용한 태토의 구성광물인 것으로 판단된다. 그러나 광물종의 존재여부만으로 소성환경을 해석하기는 어려움이 있다.

전돌의 소성온도를 추정하고자 실시한 X-선 회절분석에서는 모든 시료에서 석영(Q), 정장석(O) 및 사장석(P)이 검출되었으며, 운모류(M)는 동정되지 않았다. 표면 일부에서 유리질이 확인된 CB-1 시료에서는 고온소성 생성광물인 뮬라이트(mullite)와 헤르시나이트(hercynite)가 동정되었다. 이는 CB-1 전돌의 소성온도가 1,000℃~1,050℃로 나머지 두 시료보다 고온에서 소성되었다는 것을 지시한다. 한편 CB-2와 CB-3 시료는 900~975℃ 범위의 소성을 경험한 것으로 해석된다. **〈표 4〉**

한편 고령석은 소성온도를 지시하는 대표적인 점토광물로 세 점의 전돌 시료에서 검출되지 않았다. 고령석의 부재는 모든 시료가 550℃ 이상의 소성조건을 경험한 것을 지시하며, 운모류의 부재 또한 900℃ 이상의 소성조건을 갖고 있음을 시사한다. 따라서 CB-2와 CB-3 시료는 900~975℃ 정도의 소성온도를 경험했을 것으로 해석된다.

■P : 사장석(plagioclase) ■Mu; 뮬라이트(mullite) ■O; 정장석(orthoclase),
■Q; 석영(quartz) ■H; 헤르시나이트(hercynite).dar



〈그림 13〉 청도 전돌의 X-선 회절분석 결과

〈표 4〉 X-선 회절분석결과와 추정 소성온도

	석영	사장석	정장석	뮬라이트	헤르시나이트	추정 소성온도
CB-1	○	○	-	○	○	1,000~1,050℃
CB-2	○	○	○	-	-	900~975℃
CB-3	○	○	○	-	-	900~975℃

(라) 열분석

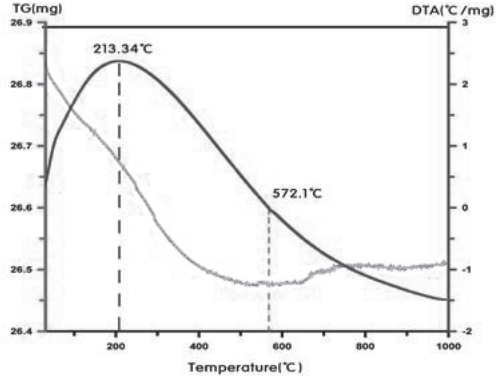
전돌의 광물상 변화를 알아보고자 X-선 회절분석과 병행하여 시차열분석(DTA)과 열중량분석(TG)을 실시하였다. DTA는 표준물질과 시료를 조절된 속도로 가열 또는 냉각시킬 때 시료와 표준물질간의 온도 차이를 측정하여 기록하는 분석법이다.

전돌 시료를 대상으로 각각 2㎛ 이하의 분말시료를 준비하여 20℃~1,100℃ 사이에서 10℃/min의 승온속도를 적용하여 열분석을 수행하였다(그림 14). 가장 많은 중량감소는 50~200℃ 영역에서 이루어졌으며, 이는 시차열분석의 흡열피크와 비교하면 물리적 흡착수의 탈수에 의한 것으로 판단된다. 전반적으로 세 전돌 시료에서 400℃ 이하의 저온영역에서 중량감소가 나타나며, CB-1 시료에서 고온영역으로 갈수록 약간의 중량증가가 발생하였다. 또한 CB-3 시료의 경우 600℃ 이상의 영역에서 큰 중량 증가가 발생하였는데, 이는 불순물의 산화에서 기인한 것으로 판단된다.

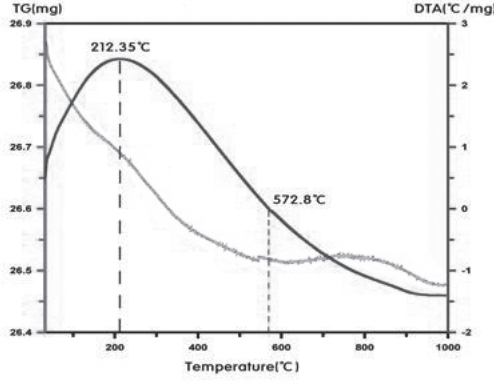
모든 전돌 시료는 완만한 발열피크를 보이다가 약 573℃ 부근에서 흡열피크를 보인다. 점토광물의 대부분은 100~200℃의 저온영역에서 흡열피크를 보이고, 500~600℃의 고온영역에서 흡열피크를 나타내며, 900~1,000℃에서 발열피크를 나타낸다. 분석곡선에서 573℃ 부근의 피크는 석영의 $\alpha \rightarrow \beta$ 전이현상에서 기인한 것이다.

한편 전돌 시료는 토양이나 토기에서 일반적으로 나타나는 고온영역의 발열피크가 나타나지 않았다. 이는 전돌이 소성될 당시 이 온도영역 이상의 온도를 경험하여 점토광물의 열분해 및 재결정이 이미 발생하였다는 것을 나타낸다.

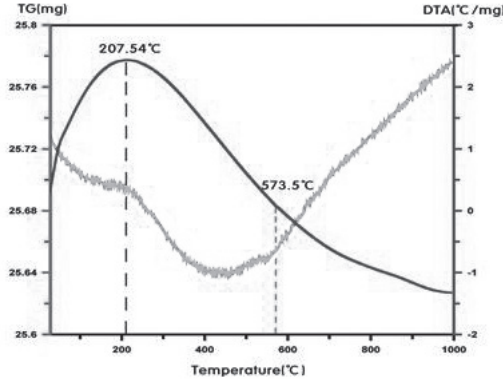
CB-1
중량감소율
8.29wt.%



CB-2
중량감소율
17.12wt.%



CB-3
중량감소율
11.48wt.%



〈그림 14〉 청도 전돌의 열분석(DTA-TG) 결과

Ⅲ. 정밀실측 및 복원 계획

1. 정밀실측

불령사전탑은 대웅전 좌측 암석 위 평탄한 대지에 시멘트모르타르로 된 3단의 기단이 축조되어 있었으며, 기단위에 6층의 탑신을 구성하고 있다. 상륜부는 모두 소실된 상태로 시멘트 모르타르가 있을 뿐 상륜부를 구성하는 부재는 찾아 볼 수 없었다.

특이한 점은 보통 노반의 받침은 1단으로 구성되는 것이 일반적인데 반해, 6층 옥개석 상부에 노반 받침은 2단으로 구성되었으며, 단이 안쪽으로 약 50㎜정도 안쪽을 들여 쌓여져 있어 마치 한 단이 더 있는 것으로 보일 수 있다. 이는 1층 탑신부의 시멘트 모르타르로 된 부분이 기단부로 추정하면 5층으로 조성된 전탑으로 볼 수 있으며, 6층상부에 2단 받침이 탑신의 하단으로 보면, 7층으로 조성된 것으로 추정해 볼 수 있다. 하지만 앞서 밝혀진 대로 원래 전탑의 층은 3층으로 구성된 것으로 밝혀졌기 때문에 형상을 위주로 실측하였다.

전탑의 전체높이는 4,687㎜이며 1, 2, 3층의 탑신은 전돌을 5단 쌓아 구성하였고 4, 5, 6층의 탑신은 전돌을 4단 쌓아 구성하였다. 모든 옥개받침은 전돌을 2단 쌓았고, 옥개부의 전각면은 전돌을 1단 쌓았으며 낙수면 또한 전돌을 1단 쌓아 구성하였다.

전돌의 접합은 시멘트 모르타르를 사용하였는데 시멘트 모르타르의 사용은 전돌의 접합에만 사용된 것이 아니라 전을 대신하여 전이 모자라는 탑신 표면에도 사용하였다. 특히 1층 탑신의 경우 서측면에는 4개, 나머지 면에는 2개씩의 전만을 사용하고 모든 면이 시멘트 모르타르로 마감해 놓았다.

옥개석의 체감은 약 87°로 수직성이 강하며, 전의 상태는 파손된 것이 많고 시멘트 모르타르로 많은 부분이 덮여있어 상태는 그리 좋지 못한 상태이다.

〈그림 15〉 정밀실측 조사

〈그림 16〉 부재 넘버링

2. 복원계획

6층으로 조성된 불령사 구(舊)전탑은 비구니 최유화 스님이 복원하였는데 고증 없이 조형하여 층수 및 문양 등이 남아있는 사진과 비교해보면 창건당시와 상이(相異)하였다. 이에 금번 해체수리 시 여러 전탑과 비교분석 및 문헌해석을 실시하고 창건당시의 조형의도를 파악하여 원형에 가깝게 복원 하고자하였다.

복원안 중 문양 및 전의 형태, 사용처 등은 앞서 전탑의 기원 및 전의 분석에서 살펴보았으며, 본 장에서는 1)탑의 형태 분석 2)전의 종류 및 용척 분석 3)이음부 접합물질(접착성 무기바인더) 등의 순으로 분석하였다.

1) 탑의 형태 분석

불령사전탑의 형태는 앞서 언급하였듯이 6층으로 구성되어 있었다. 이는 창건당시의 자료가 남아있지 않아 고증이 되지 않은 것으로, 이번에 발견된 60년도 이전 사진[5]에 의하면 층수는 3층으로 되어있고 현재로서 남아있는 최고(最古)의 증빙자료로 판단하였다.

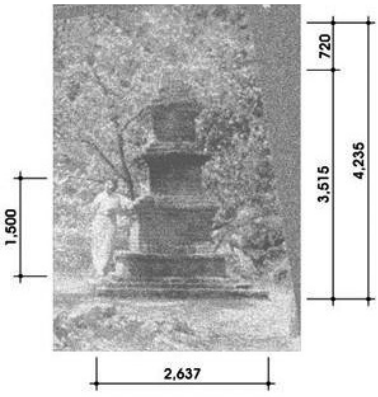
사진에 나타난 전의 층수를 보면 지대 및 받침석 3단, 기단 면석 및 갑석은 5단, 1층 탑신 8단, 2층탑신 7단, 3층 탑신 6단으로 구성되며, 옥개석은 받침이 2단, 옥개석이 3단으로 구성된다.

노반은 석재로 되어 있으며, 노반받침은 1단으로 구성되어 있다. 탑의 층수는 보통 3, 5, 7, 9등 홀수로 구성되는 것이 일반적으로 전탑의 단의 구성이 1층 탑신은 9단, 2층 7단, 3층 5단 등 홀수로 구성되었다고 생각하였으나 특이하게 불령사전탑은 층마다 1단씩 줄여가는 되는 특징이 있었다. 이를 다르게 생각해 보면 전의 두께가 단위척도로 구분되어 한개의 단위척도를 줄여가는 방법을 사용할 수도 있다는 것으로 볼 수 있다. 그런데 문제점은 탑의 높이와 폭의 치수이다.

이는 사진에 나타나는 여인을 기준으로 복원하기로 하였다. 사진을 보면 여인의 복장이 그리 오래되지 않았음을 알 수 있으며, 나이는 약 30대 초반 정도로 보여 수소문 해 보았으나 찾지는 못하였다. 그리하여 당시(60년대)의 평균키와 발굴된 유골의 추정키, 남아있는 정밀실측한 부재의 크기 등을 종합하여 높이 및 폭을 추정하였다.

---

5) 탑의 형태를 본 결과 1968년 최유화스님이 새로 창건한 현재의 석탑과 상이하며, 여인의 복장을 본 결과 그리 오래 되 지 않은 것으로 판단하여 사진 시기를 60년대로 추정하였음.



〈그림 17〉 사진 분석을 통한 전탑 크기 분석

석재 노반
받침석 1단
3층 옥개석 3단
3층 옥개받침 2단
3층 탑신 6단
2층 옥개석 3단
2층 옥개받침 2단
2층 탑신 7단
1층 옥개석 3단
1층 옥개받침 2단
1층 탑신 8단
기단 4단, 갑석 1단
지대 및 받침석 3단

〈그림 18〉 전탑 단수 분석

1960년대 평균키는 35세를 기준으로 약 156~158cm[6]이며, 경남 김해시에서 출토된 가야인의 성인 유골은 남성167.4cm, 여성 150.8cm로 조사되었으며, 고려시대 고분군의 유골은 남자 162.2cm 여자는 156.97cm로 알려져 있다. 그리고 산업자원부 산하 기술표준원이 '신체치수측정조사사업' 결과로 내놓은 '한국인 체형정보'에 따르면 1979년 남성은 167.4cm, 여성은 155.4cm였고, 2004년에는 남성이 173.2cm , 여성은 160.0cm로 나타났다.

이들을 종합해 여인의 키를 150cm로 가정하였으며, 이를 사진과 비교해 보면[7] 노반까지의 높이는 약 3,515mm, 찰주까지의 높이는 4,235mm 나타나며, 폭은 약 2,637mm로 추정 될 수 있다.

---

6) 최성진, '한국인의 신장 변화와 생활수준의 변동-식민지 시기 키 자료를 중심으로', 서울대학교 석사학위논문, 2006, p28

7) 사진은 왜곡이 있어 결과치로 분석하기엔 미약한 부분이 있으나 자료가 남아있지 않고 탑의 크기상, 탑의 치수 보정시 (척수분석 등) 미미한 차이가 있는 것으로 판단하여 이를 분석하였음.

2) 전의 종류 및 용척 분석

(가) 전의 종류

현재 불령사에 설치된 전을 정밀실측 및 해체 시 조사한 결과 불상과 탑상이 함께 양각된 전, 건물문양이 양각된 문양전, 당초문 문양전 등 3가지의 문양으로 구분할 수 있었다. 먼저 불상과 탑상이 함께 양각된 문전은 불상 5구, 탑4기가 들어있는 문양전과 불상 7구, 탑 6기가 양각된 문양으로 구분할 수 있어 유형A와 유형B로 구분하였다.

그리고 문양이 한면에만 있는 전과 두면에 문양이 있는 전으로 구분할 수 있어 두면에 문양이 있는 전은 모서리에 위치한 것으로 판단된다. 건물문양이 양각된 것은 전의 형태가 일반전과 같이 방형으로

〈그림 19〉 탑상무늬전(5불상 4탑)

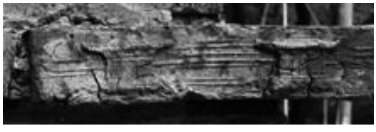
〈그림 20〉 탑상무늬전(7불상 6탑)

된 것과 옥개석과 같이 한쪽이 얇게 된 것 으로 두께의 차이가 있는 2종류로 구분할 수 있어 '가'형과 '나'형으로 구분하였다.

'가'형의 경우 두께가 약 60㎜정도인데 비해 '나'형의 경우 두께가 약 30㎜로 '가'형의 절반에 미치었다. 이는 옥개석을 표현하기 위하여 그리 제작한 듯 하며, 모서리에 위치하는 두면이 장식된 전은 나오지 않았다. 당초문양전은 모두 동일한 크기로 확인되었으며, 문양은 1면에 양각된 형태만 확인되었다.

〈그림 22〉
당초문양전(당초문양전은 모두 동일한 크기, 1면의 형태만 확인)

〈그림 23〉
누각무늬전-'가'형(두께 2寸, 약 60㎜ 내외)



〈그림 21〉
누각무늬전-'나'형 정면(두께 1寸 , 약 30㎜ 내외)

〈그림 24〉
누각무늬전-'나'형 측면

전의 잔존여부를 보면 탑상 · 불상문양전의 유형 '가'형은 1면에 문양이 있는 것이 116매이 며, 파손된 것은 94매로 모두 210매가 남아 있었으며, 2면에 문양이 있는, 즉 모서리에 위치하는 전은 파손된 8매가 전부였다. '나'형은 1면에 문양이 있는 것은 7매, 파손된 것은 2매, 두면에 양각된 것은 6매, 파손된 것은 2매로 1면에 문양이 있는 것은 모두 9매, 두면에 양각된 것은 8매로 확인되었다.

건물문양전의 경우 유형 '가'형 중 1면에 문양이 있는 전이 20매, 파손된 것은 15매, 2면에 문양이 있는 전은 1면에 양각된 1매만 확인되었다. 유형 '나'형은 1면에 문양이 있는 전만이 확인되었으며, 완전한 전 및 파손된 전 각각 6매씩 총 12매를 확인하였다.

당초문양전 역시 2면에 양각된 것은 확인하지 못하였고, 1면에만 양각된 것 중 완형은 5매, 파손된 것은 11매가 확인되었다.

전의 형태 및 문양별 개체수를 살펴보았으며, 복원을 위한 전의 제작을 위해 가장 많이 남아있는 유구를 통하여 크기 및 위치를 살펴보기로 하였다.

전의 크기는 제작을 위한 조사이므로 유형1, 유형2의 전을 기준으로 크기를 분석하였으며, 가장 완전히 남아있는 전 10매를 대상으로 측정하여 평균을 정하였다.

크기를 살펴본 결과 유형1의 경우 265~282㎜로 차이가 17㎜정도이며, 평균은 275㎜로 나타났다. 유형2의 경우에는 398~402㎜까지 나타나 차이가 4㎜정도로, 평균은 약 400㎜로 나타났다. 두께는 58~62㎜로 차이가 4㎜, 평균이 약 60㎜로 나타났다. 이러한 전탑의 크기를 안동지방의 신세동 7층전탑, 동부동 5층전탑, 조탑동 5층전탑, 송림사 7층전탑과 전의 크기를 비교해 보면 전의 크기가 유형 1과 거의 유사하게 나타나 당시 전탑을 조성할 시 전의 크기는 275㎜정도 인 것으로 나타났다.

앞서 살펴본 전의 층수는 총 45단으로 단을 쌓을 때로 전의 높이 60㎜에 사용되는 이음부 접합재의 두께27)10㎜를 더해보면 2,700+450=3,150㎜가 나타난다. 여기에 노반의 크기 약 210㎜를 더해 보면 약 3,360㎜가 나온다. 이러한 결과를 앞서 사진판독한 높이 3,700㎜를 비교해보면 차이가 410㎜정도가 크다고 할 수 있어 좀 더

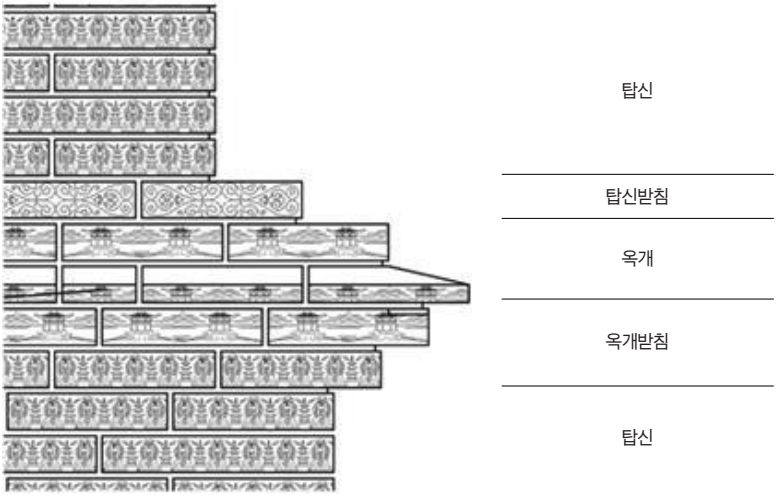
정확한 치수를 분석한 후 탑의 크기를 산정하는 것이 복원 시 원형에 가장 가깝게 분석할 수 있다는 결론을 얻었다.

(나) 문양별 塼의 배치

불령사 전은 앞서 언급하였듯이 탑상 · 불상문양전, 건물문양전, 당초문양전 등 세가지 종류의 문양전을 확인하였으며, 크기는 탑상과 불상문양이 함께 있는 전의 경우 불상 및 탑상이 5기된 전과 7기로 된 전 두 가지 종류가 확인되었다. 하지만 크기 및 문양만 확인되었을 뿐 그 배치는 사진판독, 고증 등이 확인되지 않는 실정이었기 때문에 전탑 복원을 목적으로 문양의 배치를 살펴보았다.

문양의 배치는 전의 형태에 따라 달라지는데 하나는 일반적인 전 규격에 건물문양을 넣은 유형과 전의 두께의 1/2만큼 외부로 노출되는 면의 두께를 줄여 경사면을 만든, 즉 옥개낙수면을 만든 유형으로 구분할 수 있다.

먼저 일반적인 형태의 전은 앞서 전의 종류 및 수량에서 나타났듯이 크기는 다르지만 사 각형태로 된 탑상 · 불상문양전이며, 옥개석 형태의 전은 일반적인 전탑에서는 잘 사용하지는 않지만 형태를 보면 옥개석과 형태가 같아 옥개석 전각면에 설치되는 전으로 판단하였다.



〈그림 20〉 탑상무늬전(7불상 6탑)

(다) 塼의 쌓기수법(줄눈두께) 및 의장

쌓기수법이란 불령사전탑 복원 시 상부하중을 지반에 안전하게 전달하기 위한 전들의 결구를 말한다. 쌓기 수법에 대해 알아보기위해 불령사 전탑의 정밀실측 및 안동지방의 전탑, 대구 송림사 전탑을 조사하였으며, 그 결과 거의 모든 전탑은 5~10㎜정도의 줄눈을 가지고 있었으며, 쌓기방법에는 조선고적도보의 신륵사다층전탑에서 보듯이 막힌줄눈 쌓기로 되어 있었다. 이러한 쌓기 방법은 바른층 막힌줄눈쌓기 방법으로 안동지방의 3기 및 송림사 5층전탑, 신륵사다층전탑등 모든 전탑에서 보이며 경주 첨성대에서도 볼 수 있어 전 및 돌을 이용한 쌓기 방법에 다양하게 쓰이는 것으로 보인다.

이러한 상황을 불령사전탑과 비교해 보면 불령사의 전은 다른 전

〈그림 26〉 신륵사다층전탑(조선고적도보), 신륵사다층전탑(현황)

탑과 달리 규격이 정형화 되지 않고 전 제작당시 건조수축 및 소성과정에서 변형된 것으로 보이는 많은 요철과 휨이 있어, 전과 전의 이음부는 약 10㎜정도의 두께를 가져야 안정적인 줄눈이 형성하는 것으로 보이며, 쌓기 방법은 막힌줄눈쌓기를 실시하는 것으로 판단하였다.

전탑의 의장은 해체조사 결과 당의 설치 흔적은 찾아볼 수 없었으나 풍탁(風鐸)을 설치한 흔적을 볼 수 있었지만 전이 탑의 모서리에서 발견되지 않았으며, 수량 또한 맞지 않고, 풍경도 나타나지 않아 고증의 어려움 때문에 풍탁은 추후 고증이 어느 정도 실시된 후 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단하였다.

(라) 용척 분석

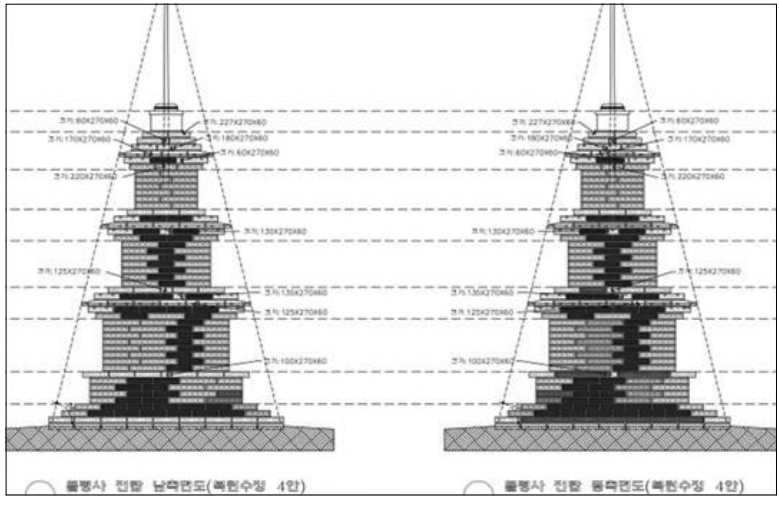
전탑에서의 용척[8]고찰은 건축영조과정에서 규범적으로 사용된 자를

8) 용척이란 건축물을 구성할 때 사용한 자를 말하며, 길이를 재는 고유한 단위이다. 보통 한 자는 10치이고 치의 1/10을 푼이라고 하며, 치는 손가락 한마디를 기준한 것이다.

고찰하는 것을 의미하며, 고찰로 인하여 전탑의 전파와 수용의 측면을 살필 수 있으며, 전탑 수리과정에서 개념을 파악하고 계획과정에 나타난 조형의지를 고찰할 수 있는 기본적인 것이다.

또한 당해 건축물의 용척을 추적해 보는 것은 복원, 보수시 건축물의 원형을 보존하기 위한 아주 중요한 작업이라 사료된다. 이에 불령사의 전탑의 용척 고찰은 남아있는 전에 대하여 정밀 실측조사를 실시한 후 그 결과에 대해서 살펴보았으며, 용척을 구하기 위한 대상 전은 앞서 살핀 사례조사와 불령사 전 중 기본적인 유형1의 크기에 대하여 살펴보았다.

불령사전탑의 조형시대는 앞서 언급하였듯이 통일신라시대로 그 당시 주로 사용된 자는 당척과 고려척으로 당척은 296.94㎜, 고려척은 356.3㎜가 된다.



〈그림 27〉 복원 안 계획 도면

용척을 분석한 표를 보면 유형1의 경우 다른 사례에서도 많이 사용한 크기로서, 앞서 사용된 자의 크기를 대입해 보면 약 9치로 나타나며, 두께는 2치로 나타난다. 그러나 전은 앞서 언급하였듯이 소성의 과정을 거쳐 완성되는 것으로 일반적인 소성시 약 10%가 줄어드는 성질이 있어 전의 제작은 1자로 추정할 수 있다.

그리하여 이번 용척 고찰에서는 불령사 전탑에 사용된 용척은 당척을 사용한 것으로 판단하였다. 이에 판단된 용척을 탑의 높이(3,360㎜)를 척수로 환산해 보면 11.32척이 나오며, 이는 탑의 전신이라고 할 수 있는 전고에서 찰주를 뺀 높이로 계산된다.

찰주의 길이는 탑의 길이에 비례하지만 보통 1.5~1.8m 이상의 길이를 가져야 탑신에 안치할 수 있으므로 3층 탑신 2단까지의 거리 약 800㎜와 찰주의 높이 약 1,200㎜를 더하면 총 전장은 4,560㎜정도가 된다. 이를 용척으로 환산하면 15.35척이 되므로 전탑의 높이는 약 15척으로 구성하는 것이 가장 맞는 복원이라 할 수 있겠다.

3. 이음부 접합물(접착성 무기바인더)

문화재 보수 시 사용되어진 처리재료는 당시 유용하고 안정성이 입증된 재료를 선택하여 그 목적에 맞게끔 현장에 적용하게 된다. 1970년대 초까지 대다수 문화재현장에 사용된 석회 · 실리카 · 알루미나 · 산화철 구성의 시멘트는 그 당시 최고의 제품으로 다양하게 사용되었으나 중화학 공업이 발전한 현재는 고분자 합성수지와 전통적 재료인 강회 등이 범용적으로 사용되고 있다.

문화재 보수현장에서 점 · 접착제로 사용되는 아크릴수지와 에폭시수지가 대표적이다. 하지만 이러한 재료는 2차 반응생성물에 의한

풍화[9]와 재료자체의 성질변화로 인해[10] 이를 대체할 수 있는 재료연구가 시급한 실정이었다. 이에 무기물을 원료로 한 바인더를 찾을 수 있었으며, 2차 피해를 줄이기 위하여 이번 보수에 사용하였다.

무기바인더(MB, Mineral Binder)

무기 바인더는 무기물이 물과의 반응을 통해 자신이 세라믹스화 되어 결합체의 조직제어에 기여하는 특징을 가지는 물질로, 소결 공정에서는 수증기가 배출된다.

이때 바인더는 성형체의 자체 중량만으로는 변형하지 않는 "보형성"과 외부의 큰 힘에는 변형되는 "유동성"을 가져야 한다. 여기에 가장 유력한 재료는 시멘트로 대표되는 수경성 재료이다. 하지만 시멘트는 보존처리적 입장에서 보면 반응생성물과 보형성 측면만 연구되었기에 슬러리(Slurry)상의 원료 입자를 형에 흘려 넣어 경화시키는 성형 방법에만 한정되어 사용되었다.

무기바인더는 보형성과 유동성이 우수하며, 수화 반응을 검토한 결과, 세라믹스 중에서 산업용으로서 가장 폭넓게 사용되고 있는 α - 알루미나(Al_2O_3)의 중간 생성물인 ρ - 알루미 나($Al_2O_3 \cdot nH_2O$,

9) 시멘트의 2차 반응생성물은 수화성분 일부가 융해하여 전체가 괴상소결물(塊狀燒結物)로 된 시멘트 덩어리 즉, 클링커 의 주성분인 $3CaO \cdot SiO_2$, $3CaO \cdot Al_2O_3$, $2CaO \cdot SiO_2$, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ 가 화학반응을 일으켜 백화물질로 나타나게 된 다. 강회 역시 소결공정 후 흡습성으로 인해 탄산칼슘이 용출되는 탈탄산화작용에 의한 수용성 염을 용출하는 경우가 보고 되고 있어 최근엔 사용이 자제되고 있다.

10) 대표적인 에폭시 수지의 경우 Bisphenol A 타입의 벤젠구조나 지방족 싸이클(Hydrogennated B.P.A) 형태로 대치된 구조이던 대기 중 환경(자외선, 온도, 습도, 산성비 등)에 의하여 색상이 변화되고 처리면이 탈락되는 현상이 발생하고 있다.

n0.5)가 수화 반응의 과정에서 뛰어난 보형성과 함께 유동성을 발휘하게 되었다. 이러한 성상을 재료적으로 선택한 후 SiO2, CaO, MgO 등을 첨가함으로써 마그네슘을 촉매로 하여 무기질을 바인딩하는 구조를 가지게 되었다. 이렇게 형성된 바인딩 구조는 각각의 Gel을 형성하기 때문에 기경성이 주어진 후 대기환경 하에서는 이차반응이 발생하지 않는다. 따라서 시멘트에서 배출되는 백화유발 물질 등의 용출이 없기 때문에 안정적으로 사용가능하다. 또한 다양한 기능성의 세라믹 분말이나 석분을 혼합할 수 있기 때문에 보수 대상 문화재에 따라 그 성상을 달리 할 수 있는 장점이 있다는 결론을 얻었다.

다음은 불령사전탑에 사용된 무기바인더의 성상과 그 배합비율, 반응 메카니즘을 나타낸 것이다.

① 물리 · 화학적 특성 - 외관 : 백색, 황색, 회색의 분말 또는 결정성 가루로 비중은 2.1

- 성분 및 함유량

〈표 5〉 무기바인더의 물리 · 화학적 특성

화학물질명	CAS NO. 또는 식별번호	함량
실리카(Quartz)	14808-60-7	55~65%
칼슘마그네슘옥사이드 (calcium magnesium oxid)	37247-91-9	10~20%
모노 칼슘인산염 (Monocalcium phosphat)	7758-23-8	10~15%

② 배합비율

MB 2(AcT-30) + Silica(silica 미분말 + 모래) 50 wt.% + ash(비정질 알루미노 실리케이트) 20wt.%

Ⅳ. 전탑 해체

1. 해체

불령사전탑의 해체보수공사는 정밀실측과 더불어 진행되었으며, 정밀실측은 호연건축문화유산연구원에서 실시하였고, 이를 바탕으로 복원 안을 작성하였다.

복원 안을 작성 후 탑의 해체를 실시하였는데 완전 해체 후 정밀실측 시 진행된 부재별 실측자료를 검증하였으며, 시멘트모르타르에 덮여 실측할 수 없었던 부재의 단면과 형태를 보완하였다. 해체 시 전은 개별 고유번호를 부여하였으며, 정밀실측 시 정해진 기준점을 중심으로 실시하였다.

해체기간은 2009년 06월 02일부터 시작하였으며, 전을 최대한 재사용하기 위해 이음부에 있는 시멘트 모르타르는 제거 시 충격에 대비하여 고무판을 깐 작업대를 만들어 그 위에서 작은 정과 망치를 이용해 조금씩 제거하였다.

전탑의 해체는 복원을 전제로 하였기에 부재의 재사용을 위하여 부재보관창고를 설치하고 분실 등 위험에 대비하여 시건장치를 하였다.

창고내부는 적재 시 층별로 적재하여 식별이 용이하도록 선반 2단을 설치하여 적재하였으며, 해체가 진행되는 순서대로 분류하였다.

전탑해체는 모든 탑의 해체 순서인 상륜부부터 진행하였다. 1968년 복원시에 시멘트 모르타르로 충진 및 접합되어 있었으며, 시멘트 모르타르는 부재의 파손이 우려되어 정, 쐬기, 망치를 사용하여 해체하였다. 쐐기로 해체 할 수 없는 부분은 진동이 적은 전동 드릴을 사

용하여 점층적으로 천공하여 부재 파손이 없도록 하였다.

해체 시 확인한 결과 아래층으로 내려갈수록 탑의 가장자리 표면에만 전을 쌓고 중앙부분에는 강자갈과 시멘트로 채운 것으로 확인되었다. 내부에 있는 시멘트 모르타르의 접합상태는 비교적 양호한 편이나 전과 접합되어 있는 부분 일부가 들떠 있어 채움 시 전과의 접합에 비중을 두지 않고 속채움을 위하여 시멘트 모르타르를 사용한 듯하였다.

해체 중 특이사항은 전탑의 2층 내부적심부에서 사리공으로 추정되는 사각형태의 공간을 발견하였는데, 내부에는 유물을 보관할 수 있는 목재상자가 출토되었다. 하지만 내부는 비어 있었으며 목재상자 또한 일부만 남아있어 도굴을 당한 것으로 추정된다. 발견된 목재상자는 수습하여 보관하였다.

〈그림 28〉 쐐기 삽입

〈그림 29〉 시멘트 모르타르 제거

〈그림 30〉 사리공 목재 내부(2층)

2. 부재 실측

해체를 완료한 후 확인된 전 부재수량은 379개로 문양은 당초문, 전각문, 탑상문, 무문 등으로 분류할 수 있었다. 문양별 수량은 당초문양 중 1면에 문양이 있는 것이 12매가 나왔으며, 2면에 문양이 있는 것은 나오지 않았다. 전각문양을 한 전은 41개로 한 면에 옥개석의 전각을 표현한 전은 10매이며, 방전은 31매가 나왔다.

탑상문양 중 작은 전은 153개, 큰 전은 14개가 나왔으며, 이중 2개씩이 양쪽에 문양이 있어 모서리에 위치한 전임을 확인하였다. 문양이 없는 전은 40개가 나왔으며, 파손이 심하여 문양을 식별할 수 없는 전은 119개가 나왔다.

전의 해체 후 앞서 언급된 내용에 따라 전의 정밀실측을 실시하였으며, 실측된 전은 사용재와 불용재를 구분하여 보관하였다. 사용재와 불용재를 구분한 결과 새로운 전을 사용해야 된다는 결론을 구하였으며, 새로운 전의 수는 당초문양 1면-84개, 2면-36개, 전각문양 중 두께 60㎜ 1면-37개, 2면24개, 두께 30㎜ 1면-30개, 2면 12개, 탑상문양 중 5불 1면-5개, 2면-18개, 7불 40개, 탑상 문양 중 전면 7불

에 우측면에 5불인 것 중 2면 47개, 탑상문양 중 7불에 좌측면에 5불인 것 2면 51개, 무문 388개 등 총 772개가 필요하였다.

〈표 6〉 전 유형별 신재 제작수량 현황

문양	면수	크기	제작량	할증율 20%적용	계
당초	1	270×270×60	84	16	100
	2	270×270×60	36	7	43
전각(60mm)	1	270×270×60	37	7	44
	2	270×270×60	24	5	29
전각(30mm)	1	270×270×60	30	6	36
	2	270×270×60	12	3	15
탑상(5불)	1	270×270×60	5	2	7
	2	270×270×60	18	4	22
탑상(7불)	1	390×270×60	40	8	48
탑상(7불)우5불	2	390×270×60	47	8	55
탑상(7불)좌5불	2	390×270×60	51	10	61
무문	–	270×270×60	388	30	418
합계			**772**	**106**	**878**

Ⅴ. 전돌 제작

전의 크기 및 문양은 해체 시 조사된 전을 기준으로 한방향에 문양이 있는 전과 양방향에 문양이 있는 전으로 구분하여 제작하였으며, 탑신에 들어가는 전의 경우 크기가 다른 것들이 조사되어 앞서 언급된 막힌줄눈 쌓기에 의한 것으로 판단하여, 270㎜각과 360㎜, 각 2가지 크기의 전을 제작하였다.

전의 제작은 문헌상 고식(古式)방법이 자세히 나타나지 않아 현재 잘 알려진 『천공개물』[11]을 기준으로 제작하였다.

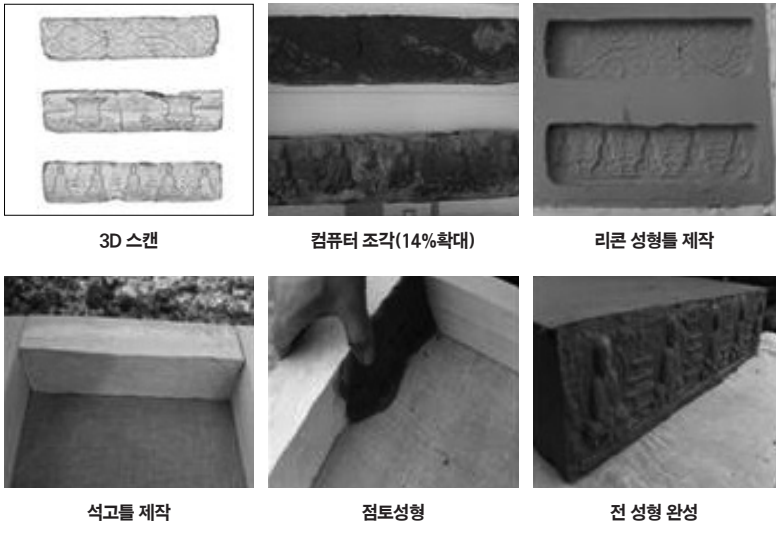
〈그림 31〉 전돌 만들기

『천공개물』을 보면 "전은 진흙을 이겨 벽돌을 만들려면 역시 땅을 파서 흙의 빛깔을 감별하여야 한다. 남(藍), 백(白), 홍(紅), 황(黃) 등의 진흙은 어느 것이나 차지며 흐트러지지 않고, 고운가루인데다 모래가 섞이지 않은 것이 가장 좋다. 진흙을 물로 추겨서 몇 마리의 소를 몰아 소가 발로 밟아 흙을 이긴다. 다음에 이 진흙을 나무틀에다 채우고 철사궁(鐵絲弓)으로 표면을 반듯하게 깎아 벽돌의

11) 저자는 송응성(宋應星 : 1587~1664)으로 장시 성[江西省] 펑신[奉新] 사람이다. 중국 고대의 농업 · 공업 · 산업 · 교통운수 · 병기제조 등에 관한 생산기술과 공예에 대해 체계적으로 기술되어 있다. 또 양식(糧食) · 유료(油料) · 당료(糖料) 작물의 재 배 · 가공, 양잠 · 양봉, 금 · 은 · 동 · 철 · 주석 · 아연 등 금속의 제련, 석탄 · 옥의 채굴, 방직 · 염색 · 지묵(紙墨) · 도자기 · 석회(石灰) · 식염 · 모피 · 수레 · 선박 · 병기 제조 등에 관해 기술되어 있다.

원형을 만든다."[12]라고 나와 전의 제작 시 흙의 종류와 흙속의 공기의 함량이 전의 색깔 및 무게 등에 영향을 주는 것으로 보고 이에 중점을 두었다. 원래 전을 제작 시 고식의 방법을 사용하여야 마땅하나 현실여건상 맞지 않고 제작되어 있는 전이 있어 이를 기준으로 질감 및 색상의 특징을 살려 제작하였으며, 점토의 성격과 수분의 함량, 전의 크기와 두께, 가마의 소성방식, 소성시간, 제작하는 곳의 환경 조건에 따라 제작 과정도 다르게 되고 품질도 각기 다르게 되므로 원형의 상태를 최대한 적용하였다.

전 크기는 앞서 조사된 내용을 바탕으로 소지율을 각각 달리하여 얻은 수축율 14%를 확대 적용하였고 소손율을 감안하여 종류별로 각각 20% 할증하여 추가제작 하였다. 전의 제작 과정은 다음과 같다.



〈그림 32〉 전돌 제작 과정

12) 송응성 지음, 최주 역, 『천공개물』, 전통문화사. 1997, p154

전의 새겨진 문양은 정확도를 높이기 위해 3D스캔을 실시하였으며, 형틀은 스캔된 문양을 토대로 실리콘성형틀을 제작하였다. 성형틀 제작 시 앞서 구한 수축율 14%를 적용하였으며, 제작된 틀을 기준으로 석고로 틀을 형성하였다.

1. 전 성형

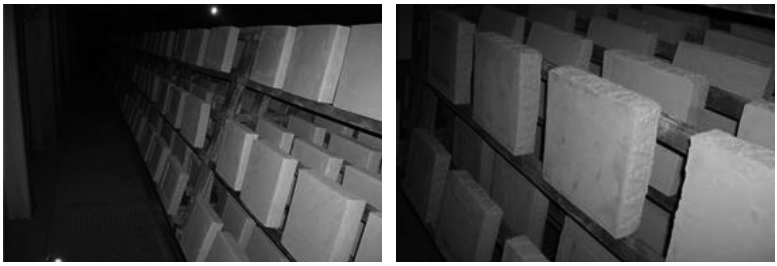
전의 성형은 소지토를 원료로 형상을 만드는 작업으로, 소지토는 성형 방법에 따라 수분 함량이 다르게 적용되는 것이 일반적이다.

이번 공사 시 사용되는 성형은 수작업으로 성형하는 것으로서 수분함량이 25~30% 정도가 적당하고 소지토 배합비는 점토80% 마사토20%로 하였다. 그리고 소지토에 포함된 공기층을 제거하기 위하여 진공토련기로 혼합하였다.

점토성형은 석고틀을 이용하여 성형하였고 이때 공기층이 많으면 전의 균열원인이 될 수 있어 공기가 생기지 않도록 밀실하게 채워 넣었다. 전의 형상은 배면을 오목하게 성형하여 소성 시 팽창으로 인한 형태변형을 방지하였다.

2. 건조

건조는 전의 성형 후 서늘한 곳에 말리는 것으로 기온과 습도 통풍은 건조에 큰 영향을 준다. 건조는 되도록 천천히 하는 것이 좋다. 건조속도는 공기의 접촉이 많은 부분부터 건조하게 된다. 이때 건조되지 않은 부분과 건조된 부분이 건조속도가 달라져 균열 및 변형이 생기게 되므로 일정한 건조속도를 가지게 하여야 한다. 이번 건조 시에는



〈그림 33〉 전돌 건조

건조대에 세워 30일 이상 건조 한 후 열을 주어 건조하였다.

3. 소성

전의 소성은『천공개물』에 '벽돌은 진흙으로 빚은 후 가마에 쟁여 넣으며, 3천근을 쟁여 넣을 때 마다 하루 밤낮으로 불을 때고, 6천근이면 그 시간은 두배 이상이다. 벽돌을 굽는 가마로는 땔나무를 쓰는 것과 석탄을 쓰는 것이 있다. 땔나무를 때어서 구어내면 청흑색(青黑色)이 되고 석탄으로 구어 낸 것은 연한 백색을 띠게 된다.... (중략) 화력이 1/10이 모자라면 벽돌에 광택이 나지 않는다. 또 3/10이 모자라면 눈화전(嫩火轉)이라 하여 원래의 흙빛깔이 곳곳에 나타나며 나중에 비바람에 침식되어 곧 부스러지고 원래의 흙으로 되돌아간다. 화력이 1/10정도 세면 벽돌 표면에 터진 무늬가 나타나며, 3/10 정도 세면 벽돌 모양이 쭈그러지고 균열이 생기며, 휘어서 곧지 않는다[13]라 하여 소성 시 불 온도에 따라 전의 형상이 달라질 수 있

13) 앞의 책, pp155-156

〈그림 34〉
전 성형 후 탑상무늬전 **누각무늬전** **당초문양전**

다고 나타난다.

이렇듯 소성은 전을 만들기 위해서는 아주 중요한 공정으로 공사 전 현재 사용 중인 소성방법을 살펴본 결과 소성에는 환원염소성과 산화염소성 두 가지가 있었으며, 환원염소성 방법[14]으로 사용하는 것이 불령사전탑의 전과 동일할 것이라 판단하였다. 소성온도는 가마의 전소성 분석자료를 참고하여 950℃~1,050℃ 로 소성하였다.

Ⅵ. 복원

복원은 앞서 연구된 복원안을 기준으로 복원하였으며, 위치는 당초 해체전 전탑이 있던 장소에 복원하였다.

전돌의 정확한 적층을 위해 전탑 각 코너에 기준점을 마련하였으며, 수직으로 기준이 되는 기준틀을 세워 각 전의 높이와 줄눈의 높이

14) 환원염소성은 전을 굽는과정에서 아궁이와 연도를 인위적으로 폐쇄하여 산소의 공급을 일시적으로 차단하여 소성시키는 방법이다.

를 각각 표시하였고 대각으로 기준선을 띄워 수평수직을 정확히 맞추면서 작업을 실시하였다.

줄눈의 간격은 10㎜로 설정하였으나 기존 전의 규격이 일정치 않아 정확한 줄눈의 간격은 맞출 수 없었으며 전적층 높이는 무기바인더의 양생시간 등을 감안하여 1일 5단 이하로 적층하였다.

전의 적층시 이음물질에 사용된 재료는 무기바인더(Mineral binder)로 사용였으며, 혼합비는 무기바인더 모래, 석분을 50:50%로 혼합하여 시공하였으며, 시공시 주의사항을 숙지하여 완벽한 시공을 기하였다. 시공시 주의사항과 특성은 다음과 같다.

〈그림 35〉 전 적층 및 기준점

■ **시공 시 주의사항**

- 접착 또는 적용하고자 하는 석재의 표면 이물질을 제거
- 무기바인더와 화강암 석분 또는 세라믹분말 등을 50~70:50~30의 범위로 혼합
- 혼합된 분말에 물을 15~20%의 범위로 첨가하여 슬러리(흐르지 않을 정도)화 함.
- 물을 첨가한 무기바인더는 약 15분을 전후로 경화(유동성 결여)되기 때문에 사용하는 부위나 사용범위에 따라서 처리자가 사용량을 계산하여 사용하는 것이 적절
- 물의 첨가량에 따라 경사면의 접착이 달라질 수 있으므로 물 양을 조절하면서 사용
- 완전히 경화되기 전에는 물리적 충격이나 물의 접촉을 피하여야 함.
- 무기바인더에 이물질(유기바인더 등)의 임의 첨가는 삼가며 10℃ 이하에서 사용 금지

1. 복원공사

1) 기초

전탑이 위치하고 있는 지형은 남측에서 높아져 북측으로 낮아지는 자연암반으로 기존 전탑조성 시 주변에 잡석으로 매립하고 지반상부엔 잡석과 흙으로 30㎝가량 복토되어 있었으나 복원 시 하중으로 인한 침하방지를 방지하기 위해 복토층을 모두 제거한 후 발견된 공동엔 흙을 밀실히 채웠으며, 바닥은 강회다짐을 실시하였다.

강회의 타설은 여러 층으로 나누어 실시하였으며, 기존의 흙과의 공극을 줄이기 위해 층별로 여러번 다짐을 실시하였다. 다짐의 장비는 콤팩터 장비를 이용하였다.

〈그림 36〉 기초다짐 및 강회다짐

2) 기단부

복원되는 기단부는 하부 바탕과 기단부로 나눌 수 있으며, 하부 바탕은 외부 테두리전과 내부 적심전으로 구분하여 설치하였다. 외부 테두리전은 사진(그림)을 판독한 결과를 바탕으로 총 3단으로 구성하였으며, 문양은 1단은 당초문양, 2단과 3단은 불상과 탑상이 있는 문양으로 구성하였다. 또한 문양의 구분이 가능한 부재는 뒷면을 신재로 보충하여 사용하는 등 구부재의 사용을 최대화 하였다.

단의 폭은 1단은 한 면당 2,510㎜로 당초문양 9장을 사용하였으며, 2단은 한 면당 2,230㎜로 불상 5구전 8장을, 3단은 한 면당 1,950㎜로 2단과 같이 불상 5구전 7장을 사용하였다. 퇴물림은 140㎜로 하여 각을 맞추었으며, 단의 체감비율은 2단은 89%, 3단은 87%로 쌓았다. 바탕의 내부 적심전은 무문전으로 밀실히 채웠으며, 이음부에는 무기바인더로 채움을 하였다.

기단부는 바탕과 동일한 방법인 외부와 내부로 나누어 시공하였

다. 외부의 경우 불상과 탑상이 있는 전 중 크기가 다른 2종류의 전을 사용하여 줄눈이 엇갈리게 쌓았으며, 면석에는 4단으로 쌓았다. 기단 폭은 한 면당 1,630㎜로 5장폭으로, 높이는 기단갑석까지 350㎜이다. 너비 : 폭 비는 바탕 3단의 폭과 비교하여 보면 84%로 바탕의 비율과 비슷하다. 기단갑석의 문양은 당초문양으로 쌓았으며, 기단 면석부 보다 75㎜ 내밀어 옥개를 표현하였다. 기단의 내부는 바탕과 동일한 방법으로 무문전을 밀실히 놓고 전의 이음부에는 무기바인더로 접착하였다.

〈그림 36〉 바탕 및 기단부 설치

3) 상층부

상층부는 탑신부와 옥개부로 나누어 볼 수 있다. 탑신부는 1, 2, 3층으로 나누어지며, 탑신의 높이는 1층 570㎜, 2층 500㎜, 3층 430㎜으로 약 86%씩 줄여가면서 쌓았으며, 단의 수는 8단, 7단, 6단으로 1단씩 줄여가면서 쌓았다. 탑신의 너비는 1층 1,350㎜, 2층 950㎜, 670㎜로 비는 70% 정도 줄여 가면서 쌓았으며, 전의 문양은 앞서 선택한 불상과 탑상이 함께 있는 문양으로 불상 7구전과 5구전을 함께 사용하여 막힌줄눈으로 설치하였다. 내부에는 기단부와 같이 무문전을 밀실히

〈그림 38〉 1층 탑신 설치, 사리공, 사리 안치 후, 1층 탑신 완성

채워 놓았으며, 1층 중앙에는 사리공을 만들었다. 3층의 탑신에는 찰주가 고정되도록 찰주공을 만들어 놓았으며, 찰주공과 찰주사이에는 무기바인더로 밀실히 고정하였다.

옥개부는 옥개받침, 옥개, 탑신받침으로 구성되며 높이는 1층 옥개가 340㎜, 2층이 340㎜, 3층이 410㎜로 쌓았다. 3층 옥개부의 높이가 큰 이유는 사진판독에 알 수 있듯이 1, 2층의 옥개전 위 탑신받침은 1단으로 구성하였으나 3층 옥개전 위에 탑신받침은 1단 이외에 1단이 더 올려져 있어 복원 시에도 이를 참고하여 1단을 더 쌓았다.

옥개부의 단 구성은 옥개받침 2단, 옥개전 2단, 탑신받침전 1단으로 구성되며, 3층은 다른 층과 다르게 1단을 더 올려놓았다.

옥개부의 문양은 옥개받침전, 옥개전, 탑신받침전이 모두 다르게 구성되도록 쌓았으며, 옥개받침전의 경우 2단으로 구성된 것 중 탑신과 만나는 전은 불상문양을 사용하였으며, 그 위에 전각문양전을 사용하였고, 옥개전은 전각문양전을 사용하였으며, 탑신받침전은 당초문양전을 사용하였다. 옥개전의 경우 형태가 달리하는 전, 즉 옥개 낙수면 및 전각면이 표현된 전을 사용하여 옥개석을 표현하였다.

옥개부의 폭은 1층이 1,810㎜, 2층 1,410㎜, 3층 1,010㎜로 아래층과 비교해 볼 때 78%, 71%로 쌓았으며, 탑신과 옥개의 비를 구해보면 1층 75%, 67%, 66%로 쌓았다. 처마의 내민 길이는 옥개받침의 경우 한단마다 80㎜정도 내밀어 쌓았으며, 옥개전에서 낙수면을 표현하기 위해 들인 길이는 150㎜정도로 내밀길이의 약 2배 정도로 쌓았다.

그 이유는 원래 옥개받침의 내밀길이보다 들인 길이를 길게 하여 낙수면의 경사를 표현하는 탑의 구성에 따른 것이며, 내밀 길이는 전에 구조적인 힘을 받게 되지만 들인 길이는 구조적인 힘이 덜 받게 되는 것을 감안하였다.

〈그림 39〉 전 이음부 줄눈 설치

〈그림 40〉 내부 전 채움

〈그림 41〉 옥개전 설치, 1층 완성, 찰주공 완성, 3층 완성

4) 상륜부

상륜부는 노반과 찰주로 구성되며, 노반은 석재를 치석하였으며, 찰주는 무쇠로 주물 성형하였다. 노반에 사용된 석재는 화강암(거창석)으로 고운잔다듬 처리하여 설치하였고 찰주는 목재로 형태를 조각하고 이를 철주조 두께 5㎜로 성형하였으며 방청처리하였다.

찰주 고정은 3층탑신 상부부터 적심 무문 전을 천공하여 비워놓았고 철주 설치는 노반상부로부터 삽입하고 중앙에 고정한 후 무기바인더를 상부로부터 밀도 있게 채워 넣었다.

〈그림 42〉 상륜부 및 노반 상부 상세

찰주 시공시 기단에서부터 설치되었던 피뢰침을 찰주하단과 연결접지 하여 천재지변에 대한 사고를 예방하였다.

복원 시 내부 공극을 없애기 위해 최대한 밀도 있게 충진하였으며, 외부의 줄눈미장은 깊이 5㎜내외로 우수고임을 고려하여 미세한 경사를 주어 시공하였다. 줄눈시공 시 생길 수 있는 오염을 방지하기위해 줄눈시공직후 오염물을 제거하였다.

부재 재사용에 따른 구 전돌의 파손된 부위는 적층 후 무기바인더를 이용하여 복원하였고 균열 부위 또한 충진 하여 우수 유입을 차

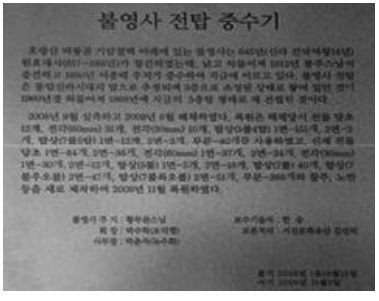
단하였다.

줄눈 시공 시 무기바인더가 외부와 직접 노출되면 습기의 유출이 빨리 진행되어 균열 및 강도 하락의 원인이 되는 것을 방지하기 위하여 시공 후 랩으로 탑을 감싸 습기의 배출을 느리게 하였으며, 신재와 구재사용으로 인한 채도차이가 있어 아크릴칼라를 이용하여 보정하였다.

5) 사리공

전탑의 사리공의 위치는 해체 시 확인된 2층 내부가 아니라 일반적인 1층 탑신내부 정중앙에 30㎝×30㎝×30㎝크기로 조성하였다. 1층에 조성한 이유는 탑을 조성 시 고증이 되지 않은 상태에서 조성한 점, 조성 시 비율 및 비례에 맞지 않게 조성한 점, 6층의 탑에서 3층의 탑으로 조성되는 점 등이 전탑의 원형과 맞지 않다고 판단하여 일반적으로 사리공이 위치한 1층에 사리공을 안치하였다. 안치되 사리공에는 동으로 제작된 함에 사찰측에서 준비한 다나리경, 진신사리, 중수기 등을 봉안하였다.

〈그림 43〉 사리함 봉안



〈그림 44〉 중수기

〈그림 45〉 복원 후 전경

6) 주변정리

전탑을 시공 후 주변절벽에 대한 안전을 위하여 전탑의 주변에 휀스를 설치하였으며, 주변의 수목에 대하여 나뭇가지 등을 정리하였다. 전탑 전면에 있던 비(碑)는 전면 우측으로 이전 설치 후 주변을 청소하였다. 전탑조성 후 남은 신재 및 구재 전은 수장고에 보관하였다.

Abstract

Disassembly and reconstruction of Bulroyngsa baked brick pagoda

Kim, Sun Duk Seojin Conservation of Cultural Heritage Co.,

This article introduces disassembly and reconstruction of Bulroyngsa temple baked brick pagoda. This unique pagoda of Unified Silla Dynasty were rebuilt by Bhikkuni Youhwa Choi in 1968. Unfortunately this overall misconducting restore has been dismantled and reconstructed during 2008 and 2009.

To restore this pagoda, new highly advanced technique with 3D scanning adapted to investigate baked brick condition and so on. Through achievements of research, Bulroyngsa temple baked brick pagoda is clarified as three story pagoda. Also original location has been revealed and pagoda is moved to its original place. For the stability of baked brick pagoda, new light on adaption with highly advanced geographical and mathematical technique in pagoda construction were found.