익산 미륵사지 석탑 사리구의 현황과 매장환경 분석

이동식¹ | 최윤숙*

국립문화재연구소 미륵사지석탑보수정비사업단, *익산시 유적전시관

A Study on the State and Preserving Conditions of Sarira Reliquary in Mireuksaji Stone Pagoda in Iksan, Korea

Dong Sik Lee¹ | Yoon Sook Choi*

Mireuksaji Stone Pagoda Conservation Team, National Research Institute of Cultural Heritage, Iksan, 570-911, Korea
*Relics Museum, Iksan, Jeollabuk-do, 570-753, Korea

¹Corresponding Author: tion@hanmail.net, +82-63-836-7932

초 록 익산 미륵사지 석탑은 백제 무왕대인 639년에 축조되었고 탑 안에 봉안된 사리유물은 1,370년 동안 석탑 심주석 사리공의 매장환경 속에 존재하였다. 현재까지 우리나라에서 확인된 사리유물은 150여 건에 이른다. 그러나 사리유물의 수습 및 유물에 대한 연구가 진행된 바 있지만 사리유물이 어떠한 환경에 노출되었는지에 대한 데이터 분석은 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 사리유물의 노출환경에 대한 훼손도를 평가함과 동시에 매장환경에 대한 분석을 진행 하고 데이터를 제시하였다. 사리구의 매장환경을 분석한 결과 목탑의 경우는 물의 영향을 가장 많이 받지만 석탑은 포화 습도의 영향을 많이 받는다는 것으로 나타났다. 따라서 사리구 내부의 환경은 1~2일 정도 완충된 외부의 온도에 비교적 민감한 영향을 받지만, 습도와는 무관한 반응을 보였다. 그러나 사리구 내부의 포화습도에 도달되는 기간은 사리를 봉안 하는 날의 외부습도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 탑은 30일이 소요되는 시점에 100% 포화습도에 이르렀다.

중심어: 석탑, 사리, 심주석, 매장환경, 온도, 포화습도

ABSTRACT Iksan Mireuksaji Stone pagoda was built A.D. 639 when King Moo was governing Baekje, in which Sarira has been enshrined in a hole dug in the stereobate for 1,370 years. In South Korea, about 150 cases of Sarira have been found so far. In this connection, many studies have been conducted on how to manage it and on its genesis, but there have been no data on environments to which it has been exposed. In this study, accordingly, researches were made into environments to which Sarira has been exposed as well as into how much it has been damaged under the environments. Sarira in wooden pagodas was influenced greatly by water, but that in stone pagodas by saturated relative humidity. Thus, Sarira in the containers was significantly influenced by the outside temperature for 1 to 2 days, but had no any reaction to humidity. The time it took for the humidity in a Sarira container to reach its maximum, varied depending upon the humidity of the day when Sarira was enshrined. In the case of this pagoda, the humidity reached its maximum 30 days later.

Key Words: Stone pagoda, Sarira, Stereobate, Preserving conditions, Temperature, Maximal humidity

1. 서 론

사적 제150호로 지정되어 있는 미륵사지는 전라북도 익산시 금마면 기양리의 미륵산 남쪽기슭에 위치하고 있으며, 사지 안에는 창건당시 3개의 탑이 조성되었으나 현재는 1962년 국보 제11호로 지정된 서탑만이 유일하게 남아 있다(Figure 1). 그리고 미륵사지에는 기단부만 남아 있는 중원 목탑지와 1992년에 복원된 동원 동탑이 있다.

본 연구는 미륵사지 서탑 안에서 발견된 사리유물의 매장환경을 주 분석대상으로 하였다. 서탑은 2009년에 발견된 발원문에 의해 사택적덕의 딸인 사씨 왕후에 의해 백제 무왕대에 창건되었음이 밝혀졌다¹. 따라서 서탑에 사리를 봉안한 시점은 639년 1월 29일이라고 할 수 있다. 진신사리를 받들어 모신 날을 기준으로 한다면 석탑의 기단부 조성은 이보다 이른 시기에 진행되었을 것이다. 따라서 사리장엄은 사리를 봉안한 날을 기준으로 약 1,370년 동안 사리공 안에 안치되어 있었다고 할 수 있다.

사리장엄이 매납된 위치는 석탑 십자형 내부 공간 중심부에 자리한 심주석 1단 상부로서 기단부 위쪽인 1층 탑신부 레벨에 해당되는 공간이다. 일반적으로 탑의 재질이 목재인 경우에는 사리공이 기단부에 위치하고, 석재인 경우는 1층 옥개석을 포함한 상부에 안치되는 경우가 대부분이다. 그러나 미륵사지 석탑에서 확인된 사리공의 위치는 목탑과 석탑에서 보이는 일반적인 사례와는 다르다. 많은 학자들이 미륵사지 석탑을 목탑에서 석탑으로 이행하는 시원양식^{2,3,4}이라 한다. 따라서 사리의 매납 위치 또한 기단부에서 1층 탑신으로 이동하는 과도기적 시기로 구분된다.

이처럼 사리장엄의 매장환경은 석탑 축조 재질의 변화와 더불어 온습도의 직접적인 노출정도에 따라 유의한 환경 차이를 보이게 되는데 이러한 노출환경은 유물의 상태 보존에 빼놓을 수 없는 중요한 정보라고 할 수 있다. 그리

나 현재까지 목탑과 석탑에서 사리장엄과 관련된 유물이 상당수 발견된 예가 있음에도 불구하고 사리유물의 매장환경에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 미륵사지 석탑에서 수습된 사리장엄의 노출환경에 대한 훼손도 평가를 진행함과 동시에 실험을 통해 제시된 데이터를 바탕으로 기상환경에 따른 매장환경의 변화를 분석해 보았다. 여기에서 제시한 사리유물의 매장환경에 관한 정보는 유물의 훼손환경을 추적할 수 있는 중요한 단서를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 현황 및 연구방법

2.1. 현 황

익산 미륵사는 백제 무왕 대에 조성되었으며 3탑 3금당 3원 병립식의 독특한 가람배치를 보인다. 발굴조사 결과 창건 이후 미륵사는 통일신라, 고려, 조선 초기까지 사역이 확장되면서 관련 시설도 증가하게 되는데 임진왜란을 전후로 사찰로서의 기능을 상실한 것으로 밝혀졌다. 현재 미륵사지에는 건물이 있었던 터 위에 기단부 초석만이 남아 있고 건조물로서는 유일하게 본 연구의 대상인 서원 서탑이 남아 있다. 그러나 서탑 또한 해체과정에서 백제시대에 창건된 석탑의 원형을 그대로 간직 한 것이 아니라 시간이 지나면서 개축된 석탑임이 밝혀진 바 있다^{5,6}. 석탑이 개축된 시기는 여러 정황상 고려후기나 조선초기로 추정되며, 석탑이 일부 지반까지 정비된 때는 해체과정에서 출토된 양각운문청자 편을 통해 12세기 중후반 경으로 추정된다.

이처럼 석탑은 창건당시의 원래 모습이 아닌 보수와 정비를 거치면서 일부 형태적인 변화를 맞이하기도 했지만 창건 당시의 원형을 유지한 심주석에서 2009년 1월 14일 사리장엄이 발견되었다(Figure 2). 이는 1998년 서탑에 대

Figure 1. General views of the Mireuksaji stone pagoda before conservation treatment in 2000 after concrete maintenance in 1915s. Eastern (A), Western (B), Southern (C) and Northern (D) views of the pagoda, respectively.

한 구조안전진단 결과 서탑 해체가 결정되고 2001년부터 해체를 실시하여 9년이라는 시간이 흐른 시점이다.

사리장엄이 발견된 1층은 사방위 모두 4개의 기둥에 의존한 3개의 칸으로 이루어져 있다. 중앙 어간은 백제 황렬식 석실분의 연도와 유사하게 탑 내부로 들어갈 수 있는 통로가 마련되었으며 이 통로는 서로 관통되어 있다. 십자형 통로가 교차되는 지점에는 1,000×1,000mm의 심주석이 초반석 위에 놓여 있다. 바로 이 심주석 상부지점에서 본 연구의 대상인 약 250×250×(260~270)mm 크기의 사리공이 발견되었다. 사리공은 탑의 중심이자 심주석의 중앙에 자리하고 있고 심주석 1단과 2단의 맞댄면 사이에는 밀착되는 부분을 완벽하게 밀봉하기 위해 바른 석회 자국이 가장자리를 따라 발라져 있으며, 심주석 외면에서는 백색오염물과 흑색오염물에 의한 훼손이 광범위하게 확인된다. 이러한 훼손은 1층 내부 공간에서만 진행된 것이다. 심주석은 석탑해체과정에서 총 17단으로 4층 탑신레벨까지 수직으로 쌓여 있는 것을 확인하였으며, 제일 위쪽에 있는 심주석 상면에는 찰주를 세웠을 것으로 보이는 직경 360mm, 깊이 95mm의 원형 홈이 확인되었다.

출토된 사리장엄은 총 4층위로 구분할 수 있으며 바닥층에는 유리관을 깬 다음 유리관 가장자리에 5개의 청동함을 올려놓았다. 이 중 한 개는 또 다른 합에 포갠 상태로 올려

져있었으며, 합의 빈 공간에는 크고 작은 유리구슬이 합의 높이만큼 깔려있었다. 이 합 위에 다시 각종 공양품이 놓였고 사리호가 놓일 사리공 중심부분과 봉영기가 놓일 남쪽면 앞쪽을 제외한 가장자리부분은 천으로 덮여 있었다.

2.2. 연구방법

사리장엄의 매장환경을 알아보기 위해 이탈리아 L.S.I.사의 DEM 801을 사용하여 온도습도를 측정하였으며 여기에서 들어오는 무선데이터를 DEC 301 모델로 수신을 받아 컴퓨터에서 Excel화하여 데이터를 분석하였다.

또한 사리공의 밀봉을 위해 바른 회백색 재료에 대한 주구성광물 동정 및 결정구조 분석은 X-선 회절 분석기를 이용하였으며, 미세 입자구조 관찰은 주사전자현미경을 사용하였다. 이에 대한 분석기와 조건은 X-선회절분석기(XRD, MAC Science, M18XAHF22)는 20kV, 90mA, 10°~90°, 2°/min이고 주사전자현미경(SEM, Jeol, JSM-5910LV)은 20kV, 70μA, spotsize 34이며 에너지분산형분광분석기(SEM-EDX, Oxford 7324)는 20kV, 70μA, spotsize 43이다.

그리고 사리공 주변의 훼손상태를 종합적으로 진단하기 위해 훼손 요인별로 훼손지도를 작성하였으며, 작성에 사용된 프로그램은 Auto CAD와 Adobe Illustrator이다.

Figure 2. Sariras found in a process of disassembly, and the container and related relics.

3. 불탑 및 사리장법의 형성과 변천

인도의 스투파(Stupa)는 본래 “쌓아 올린다”는 의미를 가진 말이다. 그러다가 점차 죽은 사람을 화장한 뒤 유골을 묻고 그 위에 흙이나 벽돌을 쌓은 돔(Dome) 형태의 무덤을 지칭하는 말이 되었다. 인도에서는 불교가 발생되기 이전인 베다시대(Veda, BC 2000~1400)부터 이러한 돔 형태의 무덤을 조성하였다. 그러나 스투파가 본격적으로 불교의 성스러운 구조물로서 종교적인 의미를 가지게 된 것은 석가모니의 사리(舍利)를 분묘(墳墓)하여 탑을 조성한 아소카왕 통치시대부터라고 할 수 있다⁷⁾.

이 당시 사리는 탑을 세우는데 있어서 가장 중요한 요인이었으며, 사리 봉안은 탑의 존재이유라고 말 할 수 있다. 탑 안에는 원래 유골 사리인 진신사리(眞身舍利), 또는 육신사리(肉身舍利)를 모셨으나, 급격하게 확산되는 모든 탑에 사리를 봉안할 수는 없었다. 그래서 불사리(佛舍利) 외에 탑 안에 불경, 치아, 손톱, 머리카락, 옷, 바리때, 지팡이 등을 포함한 법사리를 모시게 되었다. 이러한 사리신앙이 우리나라로 전래되면서 사리란 진신사리나 법사리 뿐만 아니라 승려의 화장골까지 포함하는 넓은 의미의 사리를 의미하게 되었고⁸⁾, 사리장엄은 불탑과 밀접한 관계를 가지면서 발전하게 되었다. 불탑은 부처가 열반에 이른 이후에는 중요한 의미를 가지고 있었으나 1C경에 이르러 불상이 출현함으로써 신앙의 대상이 자연스럽게 불상으로 옮겨지게 되었다.

불교가 중국에 전해진 것은 후한대인 기원후 1세기경이나, 당시의 중국 탑은 알 수 없다. 그 뒤 남북조시대의 석굴사원 벽화에 그려진 탑의 형태를 보면 목조로 누각을 세운 다음 상부에 인도의 탑을 축소한 모양을 장식하고 있다. 따라서 4~5세기 경 중국에서는 인도탑과 다른 중국식 탑을 조성하고 있었다는 것을 알 수 있다. 특히 수(隋) 문제(文帝) 때인 인수년간(仁壽年間: 601~604)에는 불사리 신앙이 최고조에 이르면서 다층누각형(多層樓閣形) 탑이 조성되었는데 이는 인도와 차별화된 중국만의 독특한 사리 봉안법이라고 할 수 있다.

삼국시대에 불교가 전래되던 당시 우리나라의 탑은 현재 남아 있지 않아 그 모습을 알 수 없다. 그러나 『삼국유사』의 기록이나 요동성총에 내부에 그려진 요동성도에 다층의 목조건물이 남아 있어 불교 도입 초기에 고려에 세워진 탑은 인도탑과 중국탑이 함께 존재한 것으로 추정되며, 삼국에서는 처음 약 200여 년 간은 팔각이나 사각의

목탑을 조성하다가 600년경에는 석탑을 조성한 것으로 보인다. 사리장법 또한 인도의 것을 수용한 중국 사리장법의 영향을 받아 인도와 중국에서 제작되었던 사리용기의 전형적인 형식을 계승하였다. 그러나 목탑에서는 심초석 아래 부분에 사리를 봉안하였고 전탑이나 석탑에는 기단층 상부에 사리를 봉안하고 있어 탑의 재질변화에 따라 사리봉안 위치가 달라지고 있음을 알 수 있다.

4. 분석 및 결과

4.1. 미륵사지 석탑의 사리장법 연구

미륵사지 석탑에서 출토된 사리장엄은 탑의 중심에 위치한 심주석의 중앙에 봉안되었다. 이점은 다른 목탑에서 발견된 위치와 별다른 특징을 보이지 않으나 층위에는 유의한 차이를 보인다. 일반적으로 목탑은 지하에, 석탑은 지상에 봉안하게 되는데 대부분 1층 탑신상부 윗부분으로 배치된다. 그러나 미륵사지 석탑의 사리공은 예외적으로 1층 탑신상부 아래 부분인 기단부 바로 윗부분에 안치되었다는 것이 특이하다. 바로 이 석탑이 목탑의 시원적 양식에서 나타나는 과도기적 형태로 볼 수 있는 점이다.

사리공이 위치한 곳을 살펴보면 먼저 1층 십자통로 교차지점에 심초석을 놓고 그 위에 방형의 심주석을 4단으로 쌓았는데 이 중 심주석 1단과 2단 사이의 맞댄면에서 사리장엄이 발견되었다. 1단 상부 중앙에는 사리를 안치할 수 있도록 방형의 공간을 만들었으며 이 때 사리공이 정중앙에 배치되도록 먹으로 표시한 먹흔이 남아 있다.

그리고 방공의 깊이는 정확한 수치로 제도하지 않아 약 10mm 정도의 오차가 있으며 또한 160mm까지는 심주석 1단 상면과 동일한 형태인 중간정다듬으로 가공된 반면, 그 이후 하단부와 바닥면까지는 거친정다듬으로 바뀌면서 약간 방공이 좁아지는 형태로 가공되었다. 이러한 거친정다듬은 1단 상면과 맞닿는 2단 심주석 바닥면에서 나타나는 가공 방법이기도 하다(Figure 3).

미륵사지 석탑에서만 나타나는 유일한 사리장법으로는 사리공의 밀봉을 들 수 있다. 사리공의 밀봉은 사리장엄이 봉안된 공간과 외부환경을 이중으로 차단하여 사리장엄을 외부환경변화로부터 보호하고 봉안유물의 영속성을 좋게 하기 위한 장치라고 할 수 있다. 이러한 밀봉방법은 사리장엄 남쪽 십자통로 하부 토층(진단구 유물)에도 동일하게 적용되었는데 사리공을 밀봉할 때 사용한 것과 같은 재질인 석회를 사용하였다. 석회층은 심주석 외곽 테두리를 중심

Figure 3. An investigation into the part surrounding Sarira-related craftworks and the preservation method.

Figure 4. Lime used for the Sarira container.

으로 깔아 놓았다. 석회층의 두께는 봉안된 심주석의 맞댄 면 가공정도에 따라 달라지며 보통 2~15mm 정도이고, 석회층은 외곽테두리에서 70~185mm 정도 위치에서 사리구를 향하여 분포되어 있다(Figure 4).

4.2. 사리 매납방법

탑 내에 사리장엄이 안치되는 위치는 고대로부터 다양하게 변화되어 왔다. 이와 더불어 사리관련 유물의 매장환경 또한 시대 상황에 따라 달라지면서 훼손에 대한 정도의 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 사리의 봉안위치가 지표면의 하단이나 상단이나에 따라 유물의 보존상태가 달라진다고 할 수 있다.

이러한 사리장법은 인도로부터 시작되었지만 서역과 중국을 거쳐 한반도로 들어오면서 봉안위치가 변하게 되는데 인도는 대체적으로 기단부, 탑신부, 상륜부에 안치하며, 중

Table 1. The positions of Sarira containers in wooden, stone and brick pagodas.

sarira reliquary enshrinement position													
foundation stone		1st		2nd		3rd		4th		5th		6th	total
podium below	podium upper	body	roof	body	roof	body	roof	body	roof	body	roof	body	
8	47	46	6	9	12	12	5	-	5	4	1	2	158

국은 인도의 방식을 따라 지공과 탑신부 그리고 전각 내부에 안치하였다. 이 중에서 지공에 안치하는 경우가 가장 흔한 봉안방식으로 중국만의 독특한 문화로 자리 잡게 되었으며, 이러한 문화는 삼국으로 전해지면서 또다시 봉안 위치의 조정을 받게 된다^{9,10}.

먼저 목탑은 현재 남아 있는 개체수가 적어 봉안 위치를 단정 지어 말할 수 없으나 일부 확인된 법주사 팔상전, 군수리 목탑지, 부소산사지(서복사지) 목탑지, 왕흥사지 목탑지, 황룡사 목탑지 등과 일본의 비조사, 산전사, 법륜사, 법륜사, 고정전사폐사지 등을 통해 볼 때 사리공이 기단부에 위치하고 있음을 알 수 있다. 이러한 사리공은 심초석의 위치에 따라 지하식과 지표식 그리고 지상식으로 구분할 수 있다.¹¹.

석탑은 석탑을 별도로 만들지 않고 기단부, 탑신, 옥개석 등에 방형이나 원형의 사리공을 마련하여 안치하였다. 봉안 장소는 확실히 정해진 것은 아니며, 1탑에 1개의 사리를 봉안하는 경우도 있지만 다층에 사리공을 마련한 석탑도 상당수 존재하고 있다. 예를 들어 통일신라시대의 송림사오층석탑은 1·2·5층 탑신에 각각 사리를 안치하였으며, 왕궁리 오층석탑은 기단과 1층 옥개에 사리를 안치하였다.

전탑은 목탑과 같이 중앙에 심주석을 마련할 필요가 없어지면서 기단부보다는 탑신에 사리를 봉안한 경우가 대부분이나 예외적으로 안동 임해사지 전탑만은 심초석 안에 석함이 있다.

현재 국내에 존재하는 탑 중 사리공의 위치가 확실하게 확인된 것은 Table 1과 같이 총 158곳으로 조사되었으나 한기의 탑 안에서도 여러 위치에 봉안한 예가 있는 점을 감안하면 총 104기의 탑에서 사리가 출토된 것을 알 수 있다. 사리가 출토된 위치의 분포를 살펴보면 기단부가 가장 많은 35%를 차지하고, 다음으로 1층부 33%, 2층 13%, 3층 11%, 4, 5층이 각각 3%, 6층이 1% 등으로 분포하고 있다. 이러한 현상은 석탑의 층수가 고층일수록 개체수가 적어지는 경향이 있기 때문이다. 그러나 사리공의 위치 분포율이 전체 개체수를 반영한 것이라고 하더라도 기단부를 포함한 1층부에 다수의 사

리공을 마련했다는 것은 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

여기에서 주목해야 할 것은 사리장엄의 매장 환경에 따른 유물의 훼손 양상이다. 사리구의 매장환경은 크게 습식과 건식으로 구분할 수 있다. 습식환경은 지표면 이하 즉 기단부를 포함한 하단부가 구조적으로 습기에 노출되어 사리함 속에 물이 가득 차 있는 상태가 지속되었다고 할 수 있다. 반면 건식 매장환경의 예로 초층을 포함해서 상단에 위치한 사리관련 유물은 기단부에 위치한 것보다는 물에 대한 노출 정도가 현저히 낮은 상태로 출토되고 있다. 그러나 미륵사지 석탑 해체과정에서 출토된 사리구를 정밀조사한 결과 바닥면에 상당한 습기가 함유되어 있었으며 포화습도는 100%에 이르렀다. 이에 관한 분석 내용은 뒤에서 상세히 다루었다.

다행스럽게 사리구 관련 유물은 대체적으로 환경에 민감하지 않은 재질(유리, 금, 은, 동, 청동, 광물, 청자, 백자)을 많이 사용하였다. 간혹 목재, 섬유, 지류, 향 등이 안치되는 경우는 유물의 보존상태가 좋지 않았다.

4.3. 훼손도 평가

사리장엄이 안치된 주변 환경을 평가하기 위해 생물학적·화학적·물리적·인위적 훼손요인 등을 훼손지도로 표현해본 결과 사리가 안치된 심주석 내면보다 외면부의 훼손율이 현저하게 높았으며 또한 다양한 훼손오염물이 관여하고 있었다(Figure 5). 특히 화학적인 변색은 중첩된 간섭현상을 보이면서 다양한 색상이 공존해 있어 피각율이 거의 100%에 이를 정도로 심각한 상황이다.

유형별 훼손원인을 고찰해보면, 생물학적 요인은 십자통로 내부 환경에 적합한 Fungi와 Bacteria가 식생하고 있으며 대부분 유분이 함유된 반점형태로 극히 부분적으로 나타나고 있다. 그리고 이 반점주위에는 기질을 녹이거나 균사와 관련된 Cell rigidity, Pigmentation, Turgor pressure 등과 함께 표면유실형 박피가 진행되고 있었다.

화학적 요인은 다양한 변색이 관여하여 대체적으로 어둡게 비춰진다. 특히 피각된 백화오염물에 흑화오염물이 재차

피각되면서 더욱 심화된 변색을 유발하고 있다. 백화현상을 유발하는 원인 물질은 석회이다. 이 석회가 대기중의 CO_2 와 결합하면서 안정화 상태인 방해석(Calcite)으로 전이된 것이다. 또한 염의 형태인 CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 으로 나타나 백화현상에 관여하기도 하나 백화변색의 주원인은 방해석이다¹². 이 방해석은 다른 결정체보다 흡습성이 탁월하여 대기오염물질의 침착을 용이하게 만들어 암회색이나 흑회색, 암갈색의 또 다른 변색을 유발하는 근본 원인물질이기도 하다.

미륵사지 석탑 사리구 주변 외면에 나타난 흑색변색이 이러한 결과의 산물이다. 변질산물 이외도 광물이 풍화되는 과정에 나타날 수 있으나 분석결과 표면 변색 피각을 유발하는 Na, Mg, Mn 등과 같은 Marker element가 관찰되지 않는 점으로 미루어 외부요인에서 기인된 것으로 볼 수 있다. 따라서 사리구 외면을 포함한 십자형 내부 공간은 대기오염물질과 촛불 기원의식과 같은 인위적인 행위에 의해서 발생된 Residual carbon이 침착하여 나타난 무기물 변색으

로 판단된다.

적갈색과 황갈색 그리고 황색오염물은 각각 상반된 원인에 의해 표출되는 결과로 나타나는데 적황갈색계통의 오염물은 암석이 생성될 때 함유된 함철광물에 의해 절리된 면이나 이 주변을 중심으로 노출된 면에 수분과 반응하여 변색을 유발하고 있으나, 황색오염물은 대기환경의 지배를 받으면서 나타나는 결과물로 직접적인 우수의 영향보다는 안개나 이슬, 박무 등에 포함된 염의 형태에 노출되면서 극히 표면에서만 발생하는 변색으로 판단된다.

물리적 훼손으로는 결실, 박리박락, 균열, 절단 등이 있고 이중 결실은 부재의 모서리 부분을 중심으로 압편의 이탈이 관찰되는 반면 박리박락은 압축력으로 나타나는 표면유실형이 대부분이다. 그리고 균열은 절단과 결실로 이어지는 유도선 역할을 하는 것으로 훼손 범주에 따라 구조적인 것과 미미한 수준의 형태로 분류된다. 구조적인 균열이 가장 심한 곳은 맨 위쪽에 놓여 있는 4단 심주석으로 중간에 절리면을 따라 발달된 수평 균열이 있으며 2, 3단에서는 수직 균열이

Figure 5. Comprehensive deterioration map of the cross passage pillar in Mireuksaji stone pagoda.

Figure 6. Comprehensive deterioration map of the sarira reliquary and around in Mireuksaji stone pagoda.

관찰되기도 한다. 이 중 사리를 봉안하기 위한 2단 심주 덮개석은 균열에 의한 취성파괴가 일어나 절단된 상태이다.

인위적인 요인으로는 목서를 들 수 있으며 모든 방위의 단 위 부재에 사람의 키 높이정도 이하 면에 한자가 쓰여 있다.

지금까지 사리구 외부 환경에 대한 평가를 해 본 결과 전반적으로 다양한 훼손인자가 관여하고 있음을 알 수 있었다. 이에 반해 사리구 내부는 외부 환경과에 비해 전반적으로 양호한 형태를 띠고 있다(Figure 6).

이처럼 사리구 내부가 양호한 상태를 유지할 수 있었던 것은 심주석 상단과 하단을 밀봉하기 위해 덧 바른 석회질 계 물질 때문인 것으로 판단된다. 일부는 이물질에 의해서 백화현상이 더 심화된 부분도 있지만 전반적으로 석회층이 사리구의 훼손을 저지하는 완충역할을 하였다고 할 수 있다. 석회질층은 심주석 가장자리를 둘러 덧발라져 있는 공극 충전제로서 두께는 맞댐면의 가공도에 따라 달라지기도 하지만 약 2~15mm 정도를 보인다. 또한 석회질층 분포 범위는 심주석 가장자리에서 사리구를 향해 약 70~185mm 정도

Figure 7. X-ray powder diffraction patterns showing lime of the cross passage pillar in Mireuksaji stone pagoda.

발라져 있다. 이러한 석회층 범위는 상하 맞댐면의 가공도와 밀봉 당시의 석회질계 물질의 도포량에 따라 유의한 차이가 발생된다는 것을 이미 앞에서 밝힌바 있다. 또한 이 석회질계 물질에서 유출된 백색오염물이 사리유물을 포함한 사리구 내부 표면에 침착된 것으로 판단되어 XRD 분석을 실시한 결과 방해석이 동정되었다(Figure 7). 이 물질은

Table 2. Daily minimum, maximum and mean values of temperature and relative humidity both outdoor and sarira reliquary of the Mireuksaji temple area.

year	month	site	temperature (°C)			relative humidity (%)		
			min	max	mene	min	max	mene
2010	7	outdoor	26.9	30.5	28.3	73	100	94
		sarira reliquary	27.9	29.8	28.7	72	92	86
	8	outdoor	25.9	30.8	28.1	92	100	98
		sarira reliquary	27.2	30.2	28.8	93	100	98
	9	outdoor	15.2	28.1	23.5	57	100	88
		sarira reliquary	18.2	28.5	25.0	100	100	100
	10	outdoor	11.2	20.1	16.3	33	100	77
		sarira reliquary	12.1	19.8	17.5	100	100	100
	11	outdoor	8.1	14.2	11.2	24	92	59
		sarira reliquary	7.4	14.3	11.2	100	100	100
	12	outdoor	-0.9	11.6	5.2	38	84	61
		sarira reliquary	0.6	11.7	5.6	100	100	100
2011	1	outdoor	-2.5	1.6	-0.9	39	73	53
		sarira reliquary	-0.6	0.9	0.1	100	100	100
	2	outdoor	-0.2	9.2	3.4	37	100	70
		sarira reliquary	-0.1	8.2	2.9	100	100	100

광물의 변질과정에서 출현되는 방해석의 영향보다는 나중
에 인입된 석회성분에서 유발된 백화현상으로 판단된다.
따라서 사리구와 암석 표면에서 산출된 하얀 백색 오염물
질 또한 같은 맥락에서 생각해 볼 수 있다.

그리고 주로 백색오염물 범주내에서 확인되는 흑색오염
물은 사리장엄이 봉안된 위치의 상면에서만 집중적으로 표
출되고 있다. 또한 흑색오염물은 석회와 접촉된 암석 표면
에서만 국한적으로 출현되고 덮개석과 이와 접촉된 부분
에서는 흑색오염물이 관찰되지 않는 점으로 보아 결로현상
에서 발생된 물이 하방으로 유동하는 과정에서 대기오염물질
과 Residual carbon이 섞여 사리구내로 혼입되면서 수분만
증발하고 일부 오염물은 암석과 석회 접촉부에 침착하는
반복적인 과정에서 나타나는 현상으로 이해된다. 또한 사
리장엄 유물 중 섬유유류와 목재 도자류에 의해 변색된 흑갈
색 부분도 사리구 바닥면과 측면에서 관찰되었다.

가장 높은 훼손율을 보이는 황갈색 변색은 사리구 주변
에서 전체적으로 관찰되어지나 색의 농도는 그리 높지 않
다. 대부분의 황갈색 변색은 암석 표면에서만 산출된다. 변
색 원인은 암석 내에 존재하는 함철광물이 외부에 노출되
는 과정에서 습기와 반응하여 색을 유발한 것이다.

4.4. 온습도 분석

유물의 상태는 온습도의 변화에 따른 보존환경에 좌우

된다고 할 수 있다. 재질에 따라 훼손정도의 차이를 보이지
만 일반적으로 지속적이면서 반복적으로 급변하는 환경이
유물의 훼손을 가중시키고 있다. 따라서 본 탑에서 출토된
사리장엄이 어떠한 매장환경에 노출되었는지를 알아보기
위해 2010년 7월 20일부터 2011년 2월 28일까지 약 7개월
동안 사리구와 가설덧집 내부 1층부에 각각 온습도계를 설
치하고 무선으로 데이터를 받았다. 측정 단위는 5분이며,
여기에서 온습도 표기는 5분단위의 측정치를 일평균으로
계산한 것이다. 이에 대한 측정값은 Table 2와 같다.

먼저 사리구와 외부온도는 7월(28.3°C와 28.7°C)과 8월
(28.1°C와 28.8°C)에는 상대적으로 안정된 온도를 유지하
였고 9월(23.5°C와 25.0°C)부터 완만한 하강곡선을 그리면
서 12월(5.2°C와 5.6°C) 하순까지 이어지다가 영하권에 진
입하였다. 이러한 경향은 1월(-0.9°C와 0.1°C)까지 이어진
다. 그러나 2월(3.4°C와 2.9°C)이 되면서 급격하게 영상의
온도를 유지하였다.

그리고 사리구의 온도는 외부온도가 내려갈 때는 외부
온도보다 높은 온도를 유지하였고, 반대의 경우에는 외부
보다 낮게 형성되었다. 이러한 경향을 전체적인 온도분포
로 살펴보면 외부온도는 환경의 변화에 민감하게 반응하여
변화의 폭이 크게 나타나는 반면, 사리구는 외부온도가 석
재 내부까지 전달되는 과정에 간섭현상이 나타나 1-2일이
소요되기 때문에 외부온도에 비해 유동적이지 않다는 것을
알 수 있다(Figure 8).

즉 370mm 두께의 석재가 외부온도의 급격한 상승이나 하강을 막아주는 완충역할을 하고 있는 것이다. 1월 영하권에 머물러 있던 날에도 사리구 온도는 영상의 온도를 유지하고 있는 것이 이를 반증하고 있다. 이 부분을 더욱 정밀하게 분석하기 위해 측정기간을 정하여 하루의 온도 변화 추이를 추적해 본 결과, Figure 9와 같은 패턴을 확인할 수 있었다. 측정은 2010년을 기준으로 매월 7/25, 8/25, 9/25, 10/25, 11/25, 12/25일에 실시하였으며 측정은 0~24

Figure 8. A temperature graph that shows the influence of external environments on the internal environments of the Sarira container hole.

Figure 9. A daily temperature curve of external environments and the Sarira container-preserving environment.

Figure 10. A comparison between temperature and humidity in the Sarira container hole-preserving environment.

시간이다. 참고로 일부 데이터가 수신되지 않은 경우도 있었으나 하루 동안의 온도 변화와 패턴을 살펴보는 데는 영향을 미치지 않았다.

전반적으로 사리구의 온도는 유효범위내에서 일정한 반면에 외부온도는 유동성이 큰 경향을 보이고 있다. 외부온도는 해 뜨기 전인 오전 6~7시간대에 가장 낮은 온도를 유지하다가 상승 국면으로 전환되어 오후 2~4시간대에 정점을 이루고 다시 하강국면으로 전환되는 패턴을 반복하는 것으로 나타났다. 이와 같은 관찰결과를 통해 사리구의 매장환경을 살펴보면 결국 사리구의 매장 온도는 하루의 외부온도에 그다지 큰 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 장기적인 관점에서 본다면 사리구의 매장온도는 1~2일의 온도와 상충된 외부의 환경조건에 의해 지배를 받고 있다는 것을 Figure 8을 통해 알 수 있다.

이와 반대로 습도는 한번 사리공간에 포화상태의 습도가 유지되면 외부 환경(온도, 습도)의 지배를 받지 않고 독립적으로 움직이는 경향을 Figure 10에서 살펴볼 수 있다. 단 최초 사리봉안일의 주변환경이 매장환경에 지대한 영향을 미치고 있으며, 사리구내에 습도함유량이 포화상태에 도달하기까지 외부 상대습도에 의존함을 알 수 있다. 따라서 사리봉안일에 외부의 상대습도가 높으면 상대적으로 사리구내의 상대습도도 이에 비례해 높아져서 포화상태의 함유량에 도달하는 시간이 짧아지는 것이다.

구체적인 사리구의 매장환경을 보면 처음에는 외부와 사리구 환경이 같은 선상에서 출발(외부: 79%)하였으나 1일이 경과된 후부터 달라지기 시작(외부: 73%, 사리구: 72%)하여, 외부는 기상애 따른 불규칙한 습도의 경향을 보이는 반면 사리구는 서서히 습도가 증가하면서 밀폐한지 30일이 경과한 시점(2010년 8월 18일)에 완전 포화상태인 100%에 도달하였고 측정이 완료된 시점(2011년 2월 28일)까지 이 상태를 유지하였다.

여기에서 중요하게 작용하는 부분이 바로 응결이다. 사리공 안의 공간이 항상 100% 상대습도를 유지할 수 있게 하는 근본 요인은 차가운 석재에 공기층이 만나면서 방출되는 잠열이 석재 표면에 액화된 응결수를 만들기 때문이다(Figure 11A). 이런 현상은 매일 반복적으로 이루어지며 실제 사리장엄 유물 표면과 바닥면은 수분에 젖어 있었다(Figure 11B).

이와 같은 조건을 가진 우리나라의 석탑의 상황이 유사할 것이라는 것을 미루사지 석탑 출토 사리장엄의 매장환경을 통해 유추해 볼 수 있다. 목탑의 경우 기단부에 위치한 사리공 내부는 이보다 더 많은 습기에 노출되었을 것이

Figure 11. A Sarira container found in Mireuksaji stone pagoda and Wangheungsaji wooden pagoda. (A) Frost formation on subsidiary materials in the cross passage, and a mark of water flow. (B) As saturated moisture in the Sarira container is formed on the surfaces of relics, the mark remains on the floor glass along with the compounds of calcium. (C) A Sarira container found in Wangheungsaji wooden pagoda.

Figure 12. A daily temperature curve of external environments and the Sarira container-preserving environment.

다. 실재 왕흥사지 목탑지에서 출토된 사리공 내부에는 물이 충만되어 있었다(Figure 11C)¹³.

한편 외부의 습도가 사리구의 내부 습도에 관여하지 않는다는 것을 증명하기 위해 특정일의 날씨를 정하여 습도의 변화 추이를 추적해 보았다. 측정일은 온도 분석과 동일한 2010년을 기준으로 매월 7/25, 8/25, 9/25, 10/25, 11/25, 12/25이며, 측정은 0~24시간이고 매 5분 단위로 데이터를 받았다.

그 결과 Figure 12와 같은 경향을 보였다. 사리봉안의 최초 달에는 외부의 습도가 사리구 내부보다 높게 유지되면서 사리구의 습도를 완만히 상승시키는 역할을 하고 있으나 8월부터는 외부습도의 경우 태양의 일일주기와 연관된 경향을 보이면서 정오까지 급격하게 습도가 낮아지다가 2~4시 경을 기준으로 다시 높아지는 현상을 보인다. 그러나 사리구의 습도는 외부습도와 무관하게 항상 100%를 유지하고 있다. 따라서 사리구의 습도가 포화점에 이르면 외부환경의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 결국 사리구에 안치된 유물은 외부의 온도에 장기적으로 영향을 미치는 계절적인 기온변화의 영향을 받지만 습도는 포화상태에 이를 때까지

만 외부환경의 영향을 받고 이후에는 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 다시 말해 외부온도는 사리구의 매장 환경에 관여하지만 외부습도와는 무관한 것으로 밝혀졌다.

5. 결 론

1. 사리장엄은 석가모니(釋迦牟尼) 입멸 후 처음으로 나타나지만 본격적인 사리장법 문화는 아소카왕 통치시대부터 형성되었다. 사리장법은 인도, 서역, 중국, 한국을 거쳐 일본까지 전해지는데 한국의 사리장법 문화는 1세기를 전후하여 인도의 것을 수용한 중국의 사리장법의 영향을 가장 많이 받았다고 할 수 있다. 그러나 삼국시대에 불교를 받아들인 이후 목탑이 석탑으로 이행하는 과정에서 사리의 매납 장소도 지하에서 지상으로 옮겨져 안치되었다.

2. 미륵사지 석탑의 사리공은 심주석 중앙부에 마련되었으며 방형의 형태를 띠고 있다. 봉안 위치는 유일하게 1층 하단부 탑신에 자리하고 있어 지하에서 지상으로 봉안 위치가 변해가는 과도기적인 시기라고 할 수 있다. 이와 같이 미륵사지 석탑의 사리봉안 위치 또한 미륵사지 석탑이 목탑의 시원적 양식임을 뒷받침하는 하나의 근거라고 할 수 있다. 사리공의 위치를 분석한 결과 석탑과 전탑을 통틀어 전체 51%가 1층에 사리공을 마련하였고, 2층 20%, 3층 17%, 4층과 5층은 각각 5%, 6층 2% 순을 보였다.

3. 사리공 내부의 변색으로는 밀봉하기 위해 사용한 석회로 인해 대체적으로 Calcite가 반영된 백화현상이 확인되며, 또한 광물내 자철광의 산화로 인해 표면에서만 국한되어 나타나는 황갈색 변색이 확인된다. 그리고 석회가 덧발라진 접착면을 중심으로 Residual carbon이 관여하여 흑화현상을 유발하고 있는데 이것은 십자통로 내부공간에서 행한 기원의식에 의한 것이다.

4. 사리공의 매장환경은 외부 온습도 조건의 영향을 받고 있는데 내부 온도는 계절에 따라 달라지는 온도의 변화 속에서 온도가 상승할 때는 외부온도보다 낮게 유지되고, 온도가 내려갈 때는 높게 유지되고 있다. 이는 외부온도가 곧바로 사리공 내부에 영향을 주는 것이 아니라 외부에서 사리공 내부에 이르기까지 석재가 차단벽 역할을 하여 1~2 일간의 완충기간을 갖기 때문이다. 그러나 습도는 최초 사리를 봉안하는 날의 초기 습도만이 영향을 미치고 이후에는 사리공의 매장환경에 관여하지 않는다. 오히려 습도는 온도 변화에 따른 응결과정을 거치면서 상승하게 된다.

5. 사리공 내부의 습도가 100% 포화습도에 도달한 시점은 사리유물을 봉안한지 30일이 지난 때인데 한번 포화습도에 도달한 후 습도는 변하지 않는다. 따라서 사리공 내의 습도는 외부습도보다 항상 높게 유지되는 경향을 보인다. 반면에 온도는 외부환경의 영향을 받으면서 완만한 곡선형태의 경향을 보이는데 외부온도는 오후 2~4시경에 가장 높고, 해뜨기 전인 오전 6~7시경에 가장 낮다. 그러나 사리구 내부 온도는 거의 일정한 수준으로 유지된다.

6. 측정기간 중 가장 높은 평균온도를 보인 달은 7월과 8월로 각각 외부환경은 28.3, 28.1℃이고 사리구 내부 환경은 28.1, 28.8℃을 보였다. 이중 최고 온도를 보인 경우는 8월 달로 외부환경(30.8℃)이 내부 환경(30.2℃)보다 약간 높은 수준이었다. 그리고 외부환경은 12월 하순부터 영하권에 진입하여 이러한 상황이 1월 기간 동안 이어졌는데 가장 낮은 때는 -2.5℃까지 내려갔고 전체적인 평균 온도는 -0.9℃를 보였다. 반면 사리구 내부 환경은 외부환경보다는 높은 온도를 유지하여 1월에도 영상권(0.1℃)을 유지하였지만 영하(최저: -0.6℃)에 도달한 날도 15일 정도가 확인되었기 때문에 사리장엄 관련 유물의 표면에 미약한 동결이 있었을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국립문화재연구소, "미륵사지석탑사리장엄". 국립문화재연구소, p12-13, (2009).
2. 고유섭, "한국탑파의 연구". 동화출판공사, (1975).
3. 장경호, "백제 사찰건축에 관한 연구". 홍익대학교 박사학위논문, (1988).
4. 천득염, "백제계 석탑의 조형특성과 변천에 관한 연구". 고려대학교 박사학위논문, (1990).
5. 이동식, "益山 彌勒寺址石塔의變形과無機汚染物質에 의한損傷 메커니즘 解釋 및 制御實驗". 공주대학교 박사학위논문, p31-69, (2010).
6. 국립문화재연구소, "미륵사지석탑 해체조사보고서 IV". 국립문화재연구소, p323-330, (2011).
7. 천득염, "인도시원불탑의 의미론적 해석-불탑건축의 전래와 양식에 관한 비교론적 고찰 I". 건축연사연구, 2, p89-90, (1993).
8. 김희경, "舍利莊嚴具의意味와意匠". 한국의미 23, 중앙일보사, p182, (1981).
9. "登封嵩岳寺塔地宮清理簡報". 河南省古代建築保護研究所, 文物, p14-25, (1992).
10. 주경미, "中國 古代 佛舍利莊嚴 研究". 서울대학교 대학원 박사학위논문, p5-10, (2002).
11. 자천정민, "일본고대목탑기단의 구축기술복원과 심초 설치형식의 변천에 관한 연구". 백제연구, 44, p00-00, (2006).
12. 이동식, 앞의 논문 5와 동일, p206-243, (2010).
13. 황진주, 한민수, 강소영, "부여 왕흥사지 출토 사리기 내 액체 성분분석". 국립문화재연구소, p113-114, (2008).