서울 동관왕묘 소조상의 비파괴진단 및 제작기법 해석

이정은 | 한나라 | 이찬희¹
공주대학교 문화재보존과학과

Interpretation of Making Techniques and Nondestructive Diagnosis for the Clay Statues in Donggwanwangmyo Shrine, Seoul

Jeong Eun Yi | Na Ra Han | Chan Hee Lee¹

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

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

초록 서울 동관왕묘(보물 제142호) 소조상은 균열, 박리, 박락 및 탈락 등의 물리적 훼손과 먼지 오염물, 색상별 안료의 부분변색 등 손상이 발생하였다. 초음파 측정을 통해 소조상 내부의 물리적 훼손상태를 확인한 결과, 우장군 전면 하단부에서 가장 낮은 지속도대가 나타났다. 안료층의 결합상태는 적외선열화상 조사를 통해 정량적으로 평가하였으며, 박락 부분에서 고온영역이 확인되었다. 감마선과 적외선 TV 촬영, 주사전자현미경 관찰 결과, 소조상은 목심으로 기초를 만들고 연결부위는 가는 철사를 이용하여 고정하였다. 고정된 목심은 새끼줄로 밀착 후 소조토로 성형하였다. 소조토는 균열과 탈락방지를 위해 벚짖을 혼합하였으며, 한지와 면섬유를 덧발라 안료층과 구분한 것으로 나타났다.

중심어: 동관왕묘, 소조상, 초음파측정, 적외선열화상, 감마선, 적외선 TV

ABSTRACT The Clay Statues of Donggwanwangmyo Shrine (Treasure No. 142) are highly damaged physical weathering which are crack, exfoliation. Pigment of surface are discolored by chemical weathering like dust. The result of ultrasonic velocity measurement, low velocity zone was measured the lowest part of Woojanggun Statue. Deficiency condition of pigment layer was evaluated quantitatively through infrared Thermography. As a result, exfoliation part was detected at high temperature. Making techniques of the Clay statues were identified by gamma rays, infrared TV, SEM. All Clay Statues were founded on wood base and joints of wood were fixed using thin iron wires. After wood base was twisted a straw rope, it was made by clay. Clay was blended with rice straw to prevention of crack and exfoliation. The upper side of clay layer was coated with Hanji(Korean handmade paper) and cotton in order to isolate the pigment layer.

Key Words: Donggwanwangmyo Shrine, Clay Statue, Ultrasonic measurement, Infrared thermography, Gamma rays, Infrared TV camera

1. 서론

동관왕묘는 서울 송인동에 위치하며, 축환의 장수인 관우를 제사하는 사당이다. 임진왜란 때 관우의 신령이 조선과 명의 군대를 도왔다 하여 선조 35년(1602)에 만세덕(萬世德)이 건립하였으며, 1963년 1월 21일 보물 제142호로 지정되었다. 정면 5칸, 측면 4칸의 단층 정자형 형태이며 중국의 묘사건축형식(廟祠建築形式)으로 지어져 그 평면이나 외관이 한국의 건축물과는 다른 모습을 보인다. 건물 내부 바닥은 벽돌이며 본실에는 중앙 뒤희에 단(壇)을 만들어 관우의 소조상을 안치하였다. 그 좌우에는 관우·장비·우장군·조자룡과 사시관우상 등이 남아 있다.

이 소조상들은 모두 소조토로 제작되었으며, 수차례의 보수를 경험한 것으로 추측되나 기록은 남아 있지 않다(Lee *et al.*, 2012). 현재 이 상들은 다양한 환경적 요인에 의해 박리, 박락, 균열 등의 물리적 손상이 발생하였으며, 안료는 변색되어 있다. 따라서 이 소조상의 지속적인 관리를 위한 정밀진단이 필요하다. 또한 비파괴 분석을 통해 제작기법을 규명하여 원형보존을 위한 자료를 확보해야 한다.

소조상에 대한 연구는 미술사학적 양식과 일부 소조상의 제작기법에 대한 보고가 있을 뿐이다(Lee, 1994; Jeon, 2009). 최근에는 소조상의 재료학적 분석을 통해 재질의 특성을 규명하고 제작기법과 재료의 원산지를 해석하는 연구도 진행되었으나, 풍화상태를 정밀진단하고 비파괴분석을 통해 제작기법을 해석하는 연구는 아직도 많이 부족한 상태이다(Jo *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2012).

따라서 이 연구에서는 동관왕묘 소조상 중 손상이 가장 심각한 우장군, 장비 및 조자룡 소조상을 대상으로 현황을 조사하고 훼손양상을 정밀 진단하였다. 또한 다양한 비파

괴 분석을 적용하여 제작기법을 규명하였다. 이 결과는 소조상 보존의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이며, 이와 유사한 조선시대 소조상의 제작기법에 대한 과학적 연구에 좋은 정보를 제공할 수 있을 것이다.

2. 현황 및 연구방법

2.1. 현황

동관왕묘의 소조상은 동묘공원 내의 현성전에 있으며, 서묘와 북묘의 합사로 인해 우장군, 우장군, 조자룡, 황보장군, 황충, 주창, 관평, 옥전대사, 장비, 관우, 유비상 등의 소조상이 현존하고 있다. 현성전 주변은 평지로 이루어져 있으며, 개방되어 관람객의 출입이 빈번하다. 동묘 내부의 지반은 풍화토 다짐으로 구성되어 있으며, 후면은 수목이 식재되어 있다.

연구대상인 우장군, 장비 및 조자룡 소조상은 안료층의 박락이 심하며, 먼지 등의 무기오염물로 인해 원색이 퇴색되어 있다. 기록은 남아 있지 않지만 동일 안료라도 여러 색을 띠고 있는 것으로 보아 수차례의 보수가 있었던 것으로 판단된다. 특히 우장군의 전면과 배면 하단부에서 안료층 박락이 심하다(Figure 1A).

장비 소조상 역시 안료층 박락이 심하며, 특히 창은 안료층이 벗겨져 목재의 원색이 드러나 있다(Figure 1B). 또한 창과 이어지는 왼손은 안료층의 박락 및 탈락으로 인해 내부 소조토와 목심이 노출되어 보존처리가 시급한 상태이다. 창 상단과 하단 연결 부위는 수지로 접합한 흔적이 관찰되며, 흑색 고무줄을 이용해 고정해두었다. 조자룡 소조상은 전면보다 배면의 손상 상태가 더 심하며, 배면 하단부

Figure 1. The present condition of the Clay Statues in the Donggwanwangmyo Shrine. (A) The front and back side of Woojanggun Statue. (B) The front and back side of Jangbi Statue. (C) The front and back side of Joaryoung Statue.

를 중심으로 안료층이 박락되어 있다(Figure 1C).

2.2. 연구방법

이 연구에서는 동관왕묘 우장군, 장비 및 조자룡 소조상의 손상상태를 평가하기 위해 훼손지도 작성, 초음파 측정 및 적외선 조사를 실시하였다. 우선 훼손상태에 대한 진단을 위해 실측도면을 바탕으로 각 요인별 훼손상태를 종합하여 훼손지도를 작성하고 각 훼손유형별 훼손율을 산출하였다. 훼손도면 작성과 훼손율 산출에 사용된 프로그램은 2D그래픽 전문 응용프로그램을 이용하였다.

또한 소조상 내부에 발생한 훼손정도를 추정하기 위해 비파괴진단 진단기법 중 초음파 측정 및 적외선열화상 조사를 실시하였다. 초음파 측정에 사용된 기기는 CNS FARNELL사의 Model PUNDIT PLUS이며 초음파 속도를 각 소조상 몸체에 투영하기 위해 전문 응용프로그램을 이용하였다. 적외선 열화상 카메라는 FLIR사의 T400의 모델을 사용하였다. 이 기기는 최고, 최저 온도를 자동으로 추적하고 60mK @+30℃의 온도 분해능으로 최소 -20℃에서 350℃까지 측정이 가능하다.

우장군, 장비 및 조자룡 소조상은 목심으로 기초를 세우고 소조토로 성형한 후 석회나 종이 위에 채색한 것으로 추정된다. 이러한 소조상의 채색 및 제작기법을 정밀하게 분

석하기 위해 감마선 촬영을 실시하였다. 감마선 촬영기기는 Model Irs100이며, 조건은 OUTPUT 30Ci, Effective focal: 3.0*2.25mm이다. 채색된 안료는 수차례 덧바른 흔적이 있어 적외선 TV 촬영을 통해 초벌 안료층과 재벌 안료층의 차이를 검증하였다. 사용된 기기는 IRRS-200이며, 적외선 램프를 이용하여 영상을 획득하였다.

3. 손상도 진단

3.1. 손상도 평가

3.1.1. 훼손현황

동관왕묘는 관람객들의 출입이 비교적 자유로우나 주변과 환경관리는 양호하다. 정전 내부에 위치한 우장군, 장비 및 조자룡 소조상은 보수 흔적이 남아 있지만 표면 박리와 박락, 균열 및 탈락 등의 물리적 훼손과 먼지, 변색 등의 화학적 훼손이 진행되어 있다. 소조상은 모두 유사한 훼손 양상을 보이며, 장비와 조자룡 소조상 장신구의 훼손도 심각하다.

우장군 소조상에서는 채색된 안료층이 종지와 함께 박락되어 있으며, 이 종이층은 보수된 층까지 2층으로 박락되어 있다(Figure 2A). 장비 소조상은 왼손에 장신구인 창이 들려져 있으며, 이음새 부분에 소조토의 탈락이 발생되

Figure 2. Representative physical damage and surface contamination of the Clay Statues. (A, C) Pigment layers peeled off to the surface. (B) The inner part of elbow is exposed by physical damage. (D, E) Surface of the Statue is coated with dust. (F) The front side of Jojaryoung Statue was discolored from artificial damage.

Table 1. Deterioration rate of the Clay Statues.

Deterioration Form		Deterioration Rate					
		Woojanggun		Jangbi		Joaryoung	
		front	back	front	back	front	back
Physical damage	crack(number)	32	11	34	10	63	28
	exfoliation(%)	20.5	37.5	18.1	15.8	12.5	15.4
	primary flake(%)	23.2	36.5	15.5	21.0	6.6	2.3
	secondary flake(%)	7.4	3.7	0.2	2.3	0.1	0.6
	resin(%)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	break-out(%)	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
	Total (except crack, %)	51.2	77.7	34.7	39.1	19.2	18.3
Discoloration and pollutant	dust(%)	34.5	13.3	24.6	54.5	11.0	27.1
	white pigment discoloration(%)	7.4	0.7	0.0	0.0	0.8	0.0
	light yellow pigment discoloration(%)	5.9	1.5	0.0	0.0	2.3	0.4
	blue pigment discoloration(%)	14.4	0.0	5.9	15.8	3.5	0.5
	green pigment discoloration(%)	2.5	18.6	7.0	17.8	6.2	0.9
	red pigment discoloration(%)	5.2	1.2	5.3	2.8	1.9	3.2
	black pigment discoloration(%)	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	1.4
	gold pigment discoloration(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0
	Total (%)	69.9	45.1	42.8	91.0	28.6	33.5

었다(Figure 2B). 박락된 소조토로 인해 내부의 목심과 고정 철심이 드러나 있으며, 접착제로 사용한 수지는 황변되었다. 조자룡 소조상도 안료층이 종이와 함께 박락되어 있다(Figure 2C).

우장군, 장비 및 조자룡 소조상에 나타난 화학적 훼손은 표면의 먼지 오염물이 가장 우세하다. 이 먼지 오염물은 표면에 단단히 고착되어 있어 제거가 쉽지 않으며, 안료의 원색이 퇴색되어 미관을 해치고 있다. 우장군 소조상 아래의 목재 단에 고정된 발부분은 먼지 오염물로 인해 회백색으로 변색되어 있으며, 단단히 고착되어 있는 상태이다(Figure 2D). 장비 소조상은 상단보다는 하단부에 오염물로 인한 변색이 심하며, 손 부분의 안료는 퇴색되었다(Figure 2E). 금색 안료가 가장 많이 사용된 조자룡 소조상은 반복된 외부 접촉으로 인하여 변색이 발생하였다(Figure 2F).

3.1.2. 훼손지도 및 훼손율

3차원 영상분석 시스템은 비파괴적인 방법으로 문화재를 정밀 실측할 수 있는 기법이다. 주로 야외에 있는 석조 문화유산의 디지털 복원과 정량적 변위산출을 실시하여 구조적 안정성을 평가하는데 사용되어 왔으며(Jun *et al.*, 2008; Jo and Lee, 2012), 최근에는 실측이 어려운 공룡발자국 화석이나 소조상 등의 정밀 실측도면의 확보를 위해 활용되기도 한다(Jo *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2012;

Yoo *et al.*, 2012).

따라서 동관왕묘 소조상의 실측도면을 제작하고, 소조상의 손상유형을 물리, 화학적으로 구분하여 훼손도면을 작성하였다. 세부 손상유형은 박리, 박락, 균열, 수지와 같은 물리적 훼손과 먼지오염물, 백색, 연황색, 청색, 녹색, 적색, 흑색, 금색안료들의 부분적 변색이 있다. 박락은 안료층이 여러 겹으로 되어 있어 1차 박락과 2차 박락으로 구분하였다(Table 1).

우장군, 장비 및 조자룡 소조상의 물리적 훼손지도 작성 결과, 박리와 1차 박락이 가장 심각하였다. 우장군 소조상은 전면보다 배면의 상태가 더 손상되었으며 장비와 조자룡 소조상은 유사한 훼손 상태를 보였다(Table 1, Figure 3). 균열은 전면과 배면에서 각각 32개와 11개였으며, 상단부보다는 하단부에 집중되어 나타났다.

장비 소조상은 전면에서 박리가 심하였으며, 배면에서는 1차 박락이 집중적으로 도시되었다(Table 1, Figure 3). 균열은 전면이 34개, 배면이 10개로 전면에서 균열이 더 많았다. 소조상 좌측 팔 부분은 수지로 접착되어 있어 우장군과 장비 소조상과는 차별되는 훼손 양상을 보였다. 이 부분에서 소조토의 균열 및 탈락이 발생하여 전면의 탈락 점유율이 0.8%였다.

조자룡 소조상은 우장군과 장비에 비해 박리와 박락은 심하지 않으나, 균열은 전면과 배면에 각각 63개, 28개로

가장 많다(Table 1, Figure 3). 우장군, 장비 및 조자룡 소조상은 배면보다 전면에서 균열이 집중되어 나타났다. 이는 빛이나 공기의 노출이 전면이 더 많으며, 관람객들의 접촉 등의 인위적 훼손요인도 전면이 배면보다 많기 때문으로 보인다.

오염물의 피복은 우장군 소조상에서 전면이 배면보다 넓은 점유율을 보였으며, 청색 안료층의 부분 변색이 다소 심하다(Table 1, Figure 3). 이는 장비와 조자룡 소조상에 비해 청색으로 채색된 부분이 많기 때문이다. 이 청색 안료층은 보수 시 새롭게 채색된 부분으로 보수 이후에도 환경 영향으로 인한 훼손이 지속되고 있는 것을 알 수 있다.

장비 소조상은 우장군과 조자룡에 비해 화학적 훼손은 양호한 편이나 먼지 오염물의 점유율이 전면은 24.6%, 배면은 54.5%로 매우 높게 나타났다(Table 1, Figure 3). 조자룡 소조상의 전면은 금색, 적색, 녹색 및 청색 안료층의 부분 변색이 심한 것으로 나타났으며, 배면은 먼지 오염물로 인한 훼손이 27.1%로 가장 심하다(Table 1, Figure 3).

종합적 훼손율을 살펴보면 물리적 손상으로는 균열, 박

리 및 박락이 가장 심각하였으며, 배면보다는 전면의 점유율이 높게 나타났다. 화학적 손상은 먼지 오염물의 점유율이 가장 높으며, 각각의 안료층 부분 변색의 차이는 주채색 안료와 부채색 안료 차이로 인한 결과이다. 상대적으로 화학적 훼손이 작은 편인 조자룡 소조상은 우장군, 장비 소조상에 비해 수지와 탈락 등 물리적 손상이 더 심각한 것으로 나타났다(Table 1).

3.2. 초음파 진단

동관왕묘 소조상의 물리적 훼손을 상대적으로 평가하기 위하여 초음파 측정을 실시하였다. 측정은 소조상의 형태를 고려하여 간접전달방식으로 실시하였으며, 균열 부위와 부재간 거리를 고려하여 측정 거리는 10~20cm로 설정하였다. 측정은 감쇄를 유발할 수 있는 균열 및 요철이 심한 지점을 피하여 우장군 소조상 78지점, 장비 소조상 86지점, 조자룡 소조상 89지점에 대해 수행하였다.

초음파 측정 결과, 우장군 소조상의 전면 초음파속도는

Figure 3. Typical deterioration map of the Clay Statues.

Table 2. Results of ultrasonic velocity for the Clay Statues.

Woojanggun				Jangbi				Joaryoung			
Front	Velocity (m/s)	Back	Velocity (m/s)	Front	Velocity (m/s)	Back	Velocity (m/s)	Front	Velocity (m/s)	Back	Velocity (m/s)
WF1	1,010	WB1	1,149	GF1	1,053	GB1	506	JF1	976	JB1	810
WF2	602	WB2	966	GF2	1,220	GB2	1,075	JF2	917	JB2	833
WF3	930	WB3	1,099	GF3	862	GB3	1,205	JF3	648	JB3	1,282
WF4	1,111	WB4	1,198	GF4	939	GB4	962	JF4	1,154	JB4	980
WF5	714	WB5	943	GF5	1,058	GB5	1,235	JF5	386	JB5	1,087
WF6	760	WB6	948	GF6	913	GB6	1,117	JF6	503	JB6	692
WF7	673	WB7	1,124	GF7	276	GB7	990	JF7	697	JB7	962
WF8	467	WB8	1,105	GF8	521	GB8	1,739	JF8	692	JB8	1,136
WF9	639	WB9	587	GF9	922	GB9	913	JF9	873	JB9	741
WF10	797	WB10	772	GF10	766	GB10	1,036	JF10	1,010	JB10	459
WF11	784	WB11	735	GF11	980	GB11	1,010	JF11	1,031	JB11	830
WF12	962	WB12	251	GF12	990	GB12	1,064	JF12	881	JB12	405
WF13	1,488	WB13	366	GF13	766	GB13	985	JF13	837	JB13	784
WF14	1,212	WB14	583	GF14	976	GB14	370	JF14	1,130	JB14	1,070
WF15	635	WB15	318	GF15	556	GB15	722	JF15	1,053	JB15	1,111
WF16	331	WB16	699	GF16	985	GB16	962	JF16	1,042	JB16	939
WF17	1,064	WB17	242	GF17	687	GB17	1,105	JF17	847	JB17	627
WF18	639	WB18	442	GF18	1,143	GB18	1,020	JF18	505	JB18	660
WF19	787	WB19	738	GF19	1,020	GB19	858	JF19	855	JB19	599
WF20	671	WB20	935	GF20	727	GB20	725	JF20	766	JB20	717
WF21	361	WB21	1,058	GF21	866	GB21	893	JF21	985	JB21	966
WF22	948	WB22	725	GF22	413	GB22	1,075	JF22	1,117	JB22	926
WF23	930	WB23	391	GF23	1,081	GB23	858	JF23	948	JB23	922
WF24	245	WB24	412	GF24	1,198	GB24	1,047	JF24	781	JB24	1,005
WF25	274	WB25	257	GF25	730	GB25	1,176	JF25	1,227	JB25	881
WF26	528	WB26	401	GF26	1,342	GB26	830	JF26	922	JB26	794
WF27	405	WB27	241	GF27	1,163	GB27	881	JF27	1,070	JB27	752
WF28	463	WB28	238	GF28	1,124	GB28	1,081	JF28	1,124	JB28	733
WF29	477	WB29	719	GF29	926	GB29	889	JF29	278	JB29	787
WF30	1,220	WB30	304	GF30	1,408	GB30	1,156	JF30	719	JB30	926
WF31	487	WB31	282	GF31	1,031	GB31	1,042	JF31	840	JB31	1,058
WF32	389	WB32	385	GF32	1,274	GB32	1,176	JF32	790	JB32	1,250
WF33	608	WB33	1,087	GF33	1,408	GB33	1,105	JF33	1,036	JB33	1,064
WF34	641	WB34	707	GF34	1,163	GB34	1,361	JF34	957	JB34	1,130
WF35	791	WB35	709	GF35	372	GB35	1,136	JF35	995	JB35	443
-	-	WB36	452	GF36	417	GB36	794	JF36	926	JB36	901
-	-	WB37	408	GF37	966	GB37	990	JF37	663	JB37	939
-	-	WB38	877	GF38	418	GB38	1,439	JF38	869	JB38	714
-	-	WB39	743	GF39	901	GB39	1,015	JF39	1,361	JB39	844
-	-	WB40	548	GF40	1,053	GB40	1,075	JF40	1,031	JB40	943
-	-	WB41	735	GF41	932	GB41	1,047	JF41	1,538	JB41	966
-	-	WB42	560	-	-	GB42	1,136	JF42	840	JB42	995
-	-	WB43	885	-	-	GB43	803	JF43	451	-	-
-	-	-	-	-	-	GB44	948	JF44	990	-	-
-	-	-	-	-	-	GB45	862	JF45	897	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	JF46	746	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	JF47	604	-	-

최저 245^{m/s}, 최대 1,488^{m/s}(평균 716^{m/s})였으며, 배면은 최저 238^{m/s}, 최대 1,198^{m/s}(평균 659^{m/s})로 전면보다 낮은 것으로 나타났다(Table 2). 장비 소조상의 전면 초음파속도는 최저 276^{m/s}, 최대 1,409^{m/s}(평균 916^{m/s})였으며, 배면의 초음파속도는 최저 370^{m/s}, 최대 1,739^{m/s}(평균 1,009^{m/s})였다(Table 2, Figure 4).

조자룡 소조상의 전면 초음파속도는 최저 278^{m/s}, 최대 1,539^{m/s}(평균 883^{m/s})였으며, 배면 초음파속도는 최저 405^{m/s}, 최대 1,281^{m/s}(평균 873^{m/s})으로 전면과 유사한 값의 범위를 보였다(Table 2, Figure 4). 우장군, 장비 및 조자룡 소조상의 초음파속도 값은 암석으로 구성된 석조문화재의 초음파속도 값에 비해 현저히 낮은 값을 보인다. 이는 소조상

의 주요 재료인 소조토가 암석에 비해 다수의 공극을 포함하고 있으며, 물성도 약하기 때문이다.

이 결과를 이차원 모델링을 통해 비교해보면, 우장군의 전면 하단부에서 황색의 저속도대가 관찰되는데 이는 이 부분이 다른 부분에 비해 상대적으로 물성이 약하다는 것을 지시하는 결과이다. 장비 소조상은 수지로 접합된 팔 부분의 물성이 취약한 것으로 나타났으며 두상, 어깨 등에서 상대적으로 저속도대를 나타냈다(Figure 4).

3.3. 적외선열화상 조사

소조상에 발생한 물리적 손상을 정량적으로 확인하기

Figure 4. Measurement points and 2D contour map showing ultrasonic velocity of the Clay Statues. Point numbers are the same as those of Table 2.

위해 적외선열화상분석을 수행하였다(Figure 5). 적외선열화상분석은 적외선 영역의 전자파를 감지하는 소자를 보유하고 있는 카메라를 사용하여 대상물의 온도분포 화상을 얻어 미세균열과 박락현상을 정량적으로 도출하는 방법이다. 이 분석법은 다양한 형태의 석조문화재의 조사에 적용된 예가 있으며(Cho *et al.*, 2010; Yi *et al.*, 2011), 최근에는 창녕 관룡사 약사전 벽화의 비파괴 훼손도 진단에도 적용되었다(Chun *et al.*, 2009).

열화상 측정은 박리와 박락 부위에 순간적인 미열을 가한 후와 자연 냉각과정에서 이미지에 대한 온도분포 변화를 살펴보고, 여기에 라인(LI01)과 포인트(SP01 ~ SP06)를 이용하여 온도 분석을 수행하였다. 측정 결과, 우장군 소조상 하단부의 안료 박락 부분에서 비정상온도 피크를 보였다.

장비 소조상 팔부분의 금색 안료는 청색, 적색 및 녹색으로 채색된 하단부보다 안료의 박리와 박락이 심하지 않은 편이었다. 그러나 적외선열화상 분석 결과, 돌출된 부분의 최고 온도는 54.0°C였으며, 박리가 발생하지 않은 부분의 최저 온도는 13.7°C였다(Figure 5). 또한 박락된 안료의 가장자리를 따라 박리된 부분도 박락되지 않은 부분과 온도차이가 나타났다.

조자룡 소조상에서는 돌출된 부분보다 이미 박락된 녹색 안료층의 주변을 중심으로 고온영역이 확인되었다. 전면 상단부 두상 아래부분에서는 균열이 발생한 금색 안료 부분과 현장조사에서 특별한 물리적 훼손이 발생하지 않은 녹색 안료 부분에서 모두 고온 영역이 확인되었으며, 매우 큰 온도차이를 나타내 차후 박락이 진행될 것으로 판단되는 부분이다.

4. 제작기법 해석

소조상의 제작기법 및 내부관찰을 위해 투과력이 강한 감마선(γ -선) 조사를 실시하였다. 감마선은 투과력이 강하며 파장이 짧은 전자파를 가진 방사선의 하나로 X-선 보다 정밀한 내부 관찰이 가능하다. 최근 감마선을 사용한 문화재 내부 관찰과 제작기법 규명이 응용되고 있으며, 소조상의 비파괴 분석에도 적용되는 추세이다(Jo *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2012).

감마선 측정은 우장군, 장비 및 조자룡 소조상의 전면에 대해 실시하였으며, 전담대자율 값의 변화가 큰 지점과 영상의 분포가 고른 부분을 선별하여 실시하였다. 이 결과, 우장군 두상 부분을 중심으로 두께가 다른 목심 부분이 확

Figure 5. Representative infrared thermography images of the Clay Statues. (A) Exfoliation part of paper layer for Woojanggun Clay Statue. (B) Part of arm for Jangbi Clay Statue. (C) Upper part of Jojaryoung Clay Statue.

연하게 드러났으며, 목심을 중심으로 표면에 토양을 매우 두껍게 부착하여 성형한 것을 알 수 있다(Figure 6A). 배 부분에서는 얇은 금속으로 제작된 복장물의 모습이 확인되었으며, 매듭이 있는 두루마리 형태의 복장물도 나타났다(Figure 6B). 장비 소조상의 옷자락 부분은 목심이 관찰되지 않아 토양으로만 성형한 것으로 추정되며, 발 부분은 가늘고 긴 못으로 고정되어 있다(Figure 6C).

또한 소조상 표면의 안료층 상태를 파악하기 위해 적외선 TV 조사를 실시하였다. 적외선 TV 카메라는 일반 적외선의 파장영역에 비해 2,000mm까지 조사하여 벽화와 회화 문화재의 밑그림 관찰에 응용되어 왔다(Kang *et al.*, 1993; Moon *et al.*, 2000).

동관왕묘 소조상의 적외선 TV 조사 결과, 오염물과 풍

화로 인해 잘 나타나지 않는 조자룡 소조상의 적색 안료층에는 연화문이 그려져 있었으며, 녹색 안료층이 박락되어 문양이 전혀 나타나지 않던 부분에서는 운문이 확인되었다(Figure 6D, 6E). 우측 다리 부분의 적색과 청색 안료층은 다른 부분에 비해 매우 선명한 선과 색을 띠고 있다. 이는 적외선 TV 촬영 결과로 볼 때 최근에 채색된 것으로 해석된다(Figure 6F).

동관왕묘 소조상의 비파괴분석 결과로 보아, 우장군, 장비 및 조자룡 소조상은 조선시대 소조상과 동일한 재료와 기법을 적용하여 제작한 것으로 판단된다. 목심으로 기조를 만들고, 내부에 복장물을 안치하고 위에 정선한 소조토로 성형하였으며, 팔과 장신구의 연결부위는 가는 철사를 이용하여 고정하였다. 또한 소조토로 성형하기 전 목심을

Figure 6. Representative results of γ -ray radiographs and infrared TV camera in ages. (A) Head of Woojanggun Statue. (B) Relics hidden in a statue of the Woojanggun Statue. (C) Foot is connected by nail on pedestal of Jangbi Statue. (D) The lower layer of red pigment was painted lotus pattern. (E) The lower layer of green pigment was painted cloud pattern. (F) It is estimated that vivid red and blue pigment of right leg part have recently been given a fresh coat of pigment.

Figure 7. Interpretation of making techniques through γ -ray radiotherapy, SEM-EDS, infrared TV camera.

새끼줄로 단단히 밀착시켰다. 이는 모두 감마선 촬영을 통해 확인되었다.

소조상에서 탈락된 토양은 토양층, 한지층, 석회층, 안료층이 모두 관찰되었다(Figure 7). 이를 주사전자현미경에서 관찰한 결과, 벚지이 토양과 혼재되어 있었으며, 그 위로 석회층과 안료층이 확인되어 안료 채색 전 석회로 소조토를 덧발라 마감하였다는 것을 알 수 있다. 안료의 채색은 벽화나 단청과 동일하게 진행되었으나, 동관왕묘 소조상의 경우 수차례의 덧칠 흔적이 있는 것으로 보아 보수 시 기존 안료층 위에 다시 안료를 채색한 것으로 해석된다(Figure 7).

5. 결 론

1. 동관왕묘 소조상은 균열, 박리, 박락 및 탈락 등의 물리적 손상과 먼지 오염물과 색상별 안료의 부분변색 등에서 화학적 손상이 발생하였다. 이 소조상들의 훼손율 산출 결과, 균열은 조자룡 소조상 전면에 63개로 가장 많았으며, 박리와 박락은 우장군 소조상 배면이 각각 37.5%, 36.5%로 높았다. 먼지 오염물의 피복도는 장비 소조상 배면이 54.5%로 가장 높았으며, 안료층 부분변색은 조자룡 소조상보다 우장군과 장비 소조상에서 더 훼손된 것으로 나타났다.

2. 소조상 내부의 물리적 훼손상태를 파악하기 위해 초음파측정을 실시한 결과, 우장군의 평균 초음파속도는 전면 716m/s, 배면은 659m/s였다. 장비 소조상은 전면과 배면

이 각각 916m/s, 1,009m/s로 높은 편이었으며, 조자룡 소조상은 각각 883m/s, 873m/s였다. 2D 모델링 결과, 가장 낮은 저속도대는 우장군 좌측 하단부이며, 육안으로 관찰되지 않는 균열과 탈락 등이 발생하여 속도의 저하가 발생한 것으로 판단된다.

3. 안료층의 결합상태를 정량적으로 평가하기 위해 적외선열화상 조사를 실시한 결과, 소조상 표면에 이미 박락이 발생한 부분 외에도 고온피크가 확인되었다. 이러한 고온영역은 1차 박락 후 2차 박락까지 이어질 수 있기 때문에 균열 부위와 내부 공동부분의 접착이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 감마선과 적외선 TV 촬영 결과, 소조상은 목심으로 기조를 만들고, 연결부위는 가는 철사를 이용하여 고정하였다. 고정된 목심은 새끼줄로 밀착시킨 후 복장물을 안치하였으며 소조토로 성형한 것으로 보인다. 소조토는 균열과 탈락 방지를 위해 벚지을 혼합하였으며, 한지와 면섬유를 덧발라 안료층과 구분하였다. 안료 채색 전에는 석회를 고루 퍼 발라 발색 효과를 최대화한 것으로 해석된다.

참고문헌

Cho, J.H., Jo, Y.H., Chun, Y.G., Choi, J.H. and Lee, C.H., 2010, Precisely nondestructive diagnosis and slope stability of the Bonghwa Bukjiri Maeyeoraewasang (Rock-Carved

- Seated Buddha Statue), Korea. Journal of Conservation Science, 26, 121-132. (in Korean with English abstract)
- Chun, Y.G., Kim, W.K., Jo, Y.H., Han, D.R., Kim, S.D. and Lee, C.H., 2009, Pigment analysis and nondestructive deterioration diagnosis of the wall paintings in Gwanyongsayaksajeon (Yaksajeon Hall of Gwanyongsa Temple), Changnyeong, Korea. Journal of Conservation Science, 25, 383-398. (in Korean with English abstract)
- Han, D.R., Lee, C.H. and Jo, Y.H., 2012, Interpretation of making techniques and material characteristics for molding clay of Four Guardian Statues in Wanju Songkwangsa Temple. Journal of Conservation Science, 28, 353-366. (in Korean with English abstract)
- Jeon, K.M., 2009, On the production and the preservation of Clay-Statues from the Northern Ho-Nam region during the Latter-Chosun era. The Art History Journal, 32, 179-209. (in Korean with English abstract)
- Jo, Y.H. and Lee, C.H., 2012, Three-dimensional digital restoration and surface depth modeling for shape analysis of stone cultural heritage: Haeundae Stone Inscription. Journal of Conservation Science, 28, 87-94. (in Korean with English abstract)
- 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, 40-60. (in Korean with English abstract)
- Jun, B.K., Lee, C.H. and Suh, M., 2008, Stability evaluation of multi-storied stone pagodain the Daewonsa Temple using Three-dimensional Image Analysis. Journal of Conservation Science, 22, 31-42. (in Korean with English abstract)
- Kang, H.T., Chung, K.Y. and Hong, D.S., 1993, Scientific survey of mural in the Daekwangjeon, Sinhungsa-X-ray TV and XRD. Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 26, 223-243. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Jo, Y.H. and Kim, S.D., 2012, Three-dimensional image analysis, deterioration evaluation and scientific conservation treatment of the Daechiri dinosaur trackways in Haman Country, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 48, 179-191. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Yi, J.E. and Han, N.R., 2012, Characterization and analysis of painted pigments for the Clay Statues in Donggwanwangmyo Shrine, Seoul. Journal of Conservation Science, 28, 101-112. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.B., 1994, The Production Techniques of the Buddha Clay Statues, 131-146. (in Korean)
- Moon, H.S., Hwang, J.J., Cho, N.C., Kang, D.I. and Yi, M.H., 2000, Investigation applications of paintings and letters using infrared reflectography system. Conservation Studies, 21, 207-232. (in Korean with English abstract)
- Yi, J.E., Lee, C.H. and Han, B.I., 2011, Material characteristics and deterioration diagnosis of the Pagoda of Buddhist Priest Jeongjin in Bongamsa Temple, Mungyeong, Korea. Journal of Conservation Science, 27, 357-369. (in Korean with English abstract)
- Yoo, J.H., Lee, C.H. and Eo, E.L., 2012, Evaluation of deterioration diagnosis and conservation environments of the large and the giant dinosaur footprint fossils in Haenam Uhangri, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 48, 325-340. (in Korean with English abstract)