



CONSERVATION STUDIES 29

부여 왕흥사지 출토 사리기 내
액체 성분분석

*Analysis of Liquid in the Sarira Container excavated
from the Wangheungsaji of Buyeo*

황진주 · 한민수 · 강소영

부여 왕흥사지 출토 사리기 내 액체 성분분석

*Analysis of Liquid in the Sarira Container excavated
from the Wangheungsaji of Buyeo*

황진주 · 한민수 · 강소영

Hwang Jin-Ju · Han Min-Su · Kang So-Yeong

<Abstract>

Gold case which is called sarira container was excavated from Wangheungsaji of Buyeo in October 2007. This case did not contain sarira, but was filled with clear liquid. This study focused on component analysis of the liquid which had filled sarira container, because we didn't know if this case had not originally contained sarira or not. It is said that original sarira can be melted by a some liquid in this case. So, many kinds of samples which are liquid, soil and ground water, was collected from a inner and outer of sarira container, and analyzed using a IC, ICP-MS, GC-MS and SEM-EDS. As a result of analysis, all of the elements composition was identified by general components of soil and ground water. Especially, phosphate which is chemical element to consist of human bone, did not found in this liquid.

I. 머리말

지난 2007년 10월 부여 왕흥사지 발굴조사에서 백제 위덕왕때 세운 왕흥사터에서 황금 사리병이 발굴되었다. 발굴 당시 황금사리병은 은으로 만든 사리 외병에 봉안됐으며 은제사리병은 다시 청동사리함에 담긴 채로 출토되었다. 금, 은, 동 사리장엄구 일체가 한꺼번에 발견되었으나, 실제 사리는 별도로 발견되지 않았고, 맑은 액체만 가득한 상태였다. 청동 사리함(높이 10.3cm)의 몸체에 새겨진 5자6행의 명문 29자를 근거로 볼 때 사리를 봉안했었을 것으로 추측되지만 어떤 이유에서인지 사리가 발견되지 않았고, 오랜 세월이 흐르며 사리가 액체에 녹았을 수도 있다는 견해가 제시됨에 따라, 사리기 내 액체의 성분을 조사하게 되었다.

본디 사리(舍利)란 석가모니나 성자의 유골을 말하였으나, 현재는 화장한 뒤에 나오는 구슬 모양의 것만을 사리라 부르고 있다. 사리에 관한 문제는 철저하게 금기의 영역이다. 고승의 사리는 엄연히 현실 속에서 공개되고 있지만 세인의 관심은 여기서 더 이상 접근할 수 없다. 사리 자체가 불교에서는 신앙의 대상이기 때문에 사리가 어떤 성분으로 이뤄져 있는지, 어떻게 사리 형태로 만들어지는지도 알기 어렵다.

II. 시료 분석

1. 출토상황 및 시료채취

사리함(높이 10.3cm)은 장방형 심초석(心礎石·건물의 중심기둥을 받치는 돌, 가로 100cm 세로 110cm) 남쪽 끝단에 가로 16cm 세로 12cm 높이 16cm의 크기로 마련된 사리공 내부에 단면 사다리꼴의 화강암 뚜껑에 덮여 봉안돼 있었다. 재질은 청동으로 원통형 동체에 보주형 손잡이가 부착된 볼록한 뚜껑을 덮었다. 함 내부에는 다시 은제사리병(외병)을 봉안하였고 이 은제 사리병 안에는 다시 금제사리병(내병)이 봉안돼 있었다.

출토 시 사리공 내부에는 진흙으로 가득 차 있었으며, 청동사리함이 묻혀있었고, 청동사리함의 뚜껑부분은 꼭지가 떨어진 상태로 물과 진흙이 내부로 유입되어 가득 찬 상태였다. 금제사리기와 은제사리기내에는 맑은 액체로 채워져 있었으며, 금제사리기 및 은제사리기 내 액체를 (약 10ml)합쳐 수집된 상태로 분석 의뢰가 되었다.



Figure 1. 석재뚜껑을 들어낸 후 사리장엄구 노출 상태
-사리구 내부에 진흙과 물로 가득 차 있는 상태-

2. 분석 필요성

청동사리함의 명문에 5자6행의 음각체로 ‘정유년 2월 15일 백제왕 창이 죽은 왕자를 위하여 절을 세우고 본래 사리 두 매를 묻었을 때 신의 조화로 셋이 되었다’ 라고 적혀 있다. 앞서 언급 하였듯이 출토 당시 사리가 발견되지 않으므로 인해 사리가 액체에 녹았을 가능성이 있다는 견해가 제시됨에 따라, 사리기 내 액체의 성분을 조사할 필요성이 있었다.

3. 사리 분석 예

사리(舍利)의 신비에 대한 많은 의문에도 불구하고, 사리의 종교적 의미 때문에 공식적인 분석이 이뤄진 예를 찾아볼 수는 없었다. 다만, 1995년 인하대 분석화학실에서 1과를 분석(정성 분석)하였다는 신문 기사를 보면,¹⁾ 사리에는 방사성동위원소인 프로트악티늄(Pa), 리튬(Li), 티타늄(Ti), 나트륨(Na), 크롬(Cr), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 칼륨(K), 인(P), 산화알루미늄(Al_2O_3), 불소(F), 산화규소(SiO_2) 등 12종이 검출(프로트악티늄 이외의 원소는 토양 속에 상당량 존재함)되었다고 나온다.

1) “사리 수행승에만 나오나” (경향신문 2003. 12. 7)

<http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=103&oid=032&aid=0000043785>

4. 분석내용 : 사리기내 액체 및 비교분석 시료 등

인하대 분석 결과를 근거로 사리병 내부의 액체를 분석하였으며, 이온크로마토그래피를 사용하여 액체시료 및 사리공 내·외 토양의 함유 수분, 주변 지하수 등의 이온성분을 분석 비교 하고, 유도결합플라즈마/질량분석기(ICP/MS)로 액체시료 및 토양 함유 수분의 무기물 성분을 분석하였다.

시료 내 프로트악티늄(Pa)의 존재여부를 확인하기 위하여 액체시료를 증발건고 시켜 주사전자현미경(SEM/EDS)으로 분석하였으며, 유기물 존재여부를 확인 하기위해 가스크로마토그래피/질량분석기(GC/MS)를 사용하였다.

Table 1. 분석시료 목록

표시	채취 부위별 분석 시료	비고
A	사리기 내 액체 -금제 및 은제 사리기 내부 액체 -	주 분석시료
B	사리공 내부토양 - 사리공 내부 진흙 함유 수분 -	비교시료
C	사리공 외부토양 - 외부토양 함유 수분 -	비교시료
D	주변 지하수 및 빗물 총 5종	비교시료



Figure 2. 사리기 내부 물 유입 경로 가상모델

우선 사리기의 출토상황을 조사하고, 출토지 주변의 지하수 채취 및 지하수의 흐름 파악하였으며, 가스크로마토그래피-질량분석법(GC/MS)을 이용하여 사리기 내 액체, 사리공 내·외부 토양 및 주변지하수 내 유기물에 대한 비교분석을 실시하였다.(극성 및 비극성용매 추출을 통한 용존 유기물 분석)

이후 이온크로마토그래피(IC), ICP질량분석법(ICP/MS), 주사전자현미경분석기(SEM/EDS)를 이용하여 사리기 내 액체, 사리공 내·외부 토양 및 주변지하수 내 무기물에 대한 비교분석을 실시하였다.

Ⅲ. 분석 결과

1. GC/MS 유기물 분석

사리기 내 액체 시료에 존재하는 유기물을 정성 분석하였고, 유기물에 대한 대조군으로 사리공 내부 토양(진흙)과 사리공 외부 토양을 분석하였다. 용매추출법(solvent extraction)을 이용하여 액체 시료 내 유기물을 CH₂Cl₂로 추출 하였고, 추출한 시료를 극성과 비극성 물질로 나누어 전처리 한 후 GC/MS를 이용하여 분석하였다.

Table 2. GC/MS 분석조건

Analytical conditions		
GC/MS	Instrument	Agilent 6890N gas chromatography/ 5973 inert mass selective detector
	Column	HP-5ms (i.d. 0.250 mm x 30 m x 0.25 μm Film thickness)
	Carrier gas	He at 1.0 mL/min
	Split mode	Splitless
	Inlet temperature	275 °C
	Detector temperature	280 °C
	Temperature program	100 °C for 3 min 10 °C/min to 280 °C

GC/MS를 이용한 분석 결과 사리기 내부 액체에서는 유기물이 거의 검출 되지 않았고, 사리기 내 액체에서보다 사리공 내부토양과 외부토양에 더 많은 유기물이 함유된 것을 확인하였다.(Figure 3, 4)

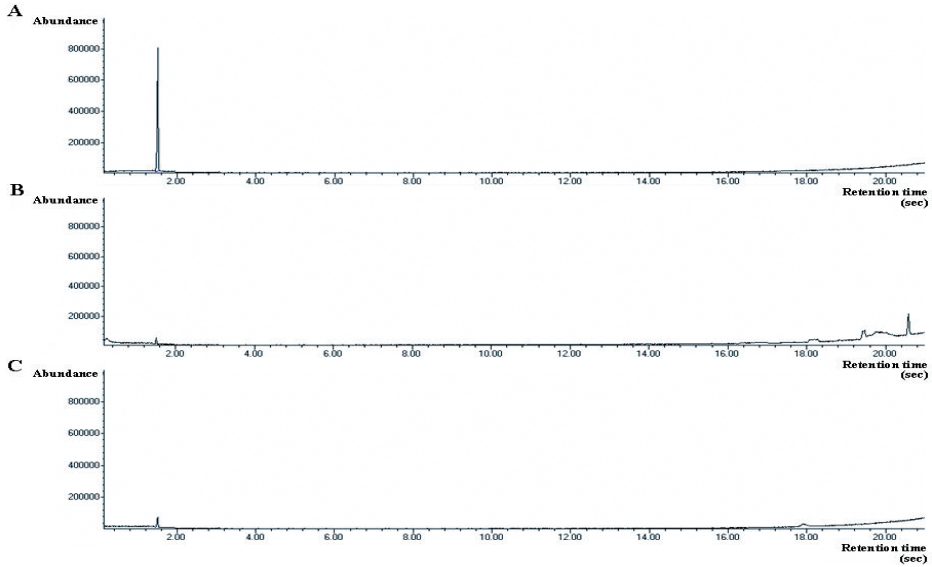


Figure 3. GC/MS 를 이용한 출토 시료 내 비극성 유기물 분석 결과.
(A) 사리기 내 액체, (B) 사리공 내부토양, (C) 사리공 외부토양

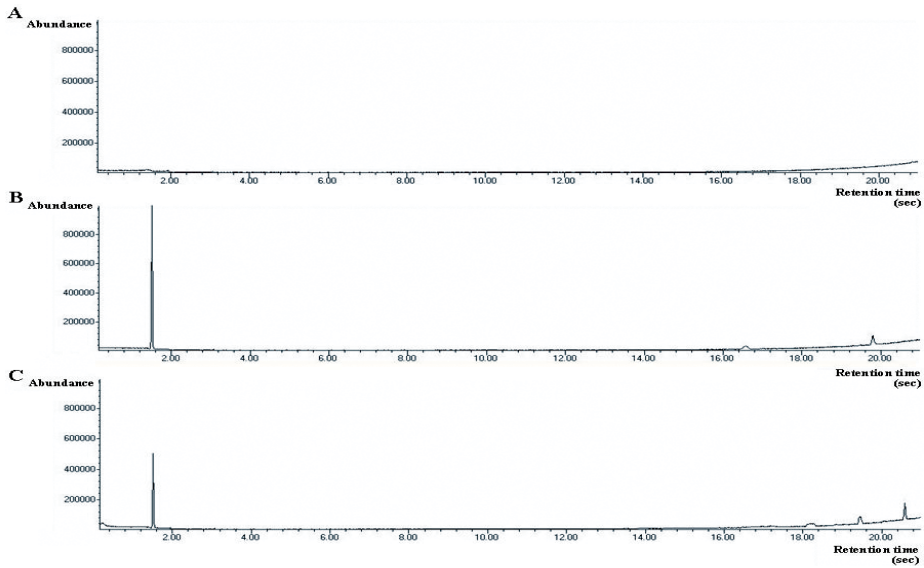


Figure 4. GC/MS 를 이용한 출토 시료 내 극성 유기물 분석 결과.
(A) 사리기 내 액체, (B) 사리공 내부토양, (C) 사리공 외부토양

2. ICP/MS 무기물 분석

액체시료 2ml를 증류수로 10배 희석하여 인(P)등 10원소를 분석하였다. 무기물 성분에 대한 대조군으로 사리공 내부 토양(진흙)과 사리공 외부 토양의 함유 수분을 분석한 후, 토양의 흡수율을 측정하고 증류수를 이용하여 희석시킨 후 (주) 한국분석기술연구소에 ICP/MS 분석을 의뢰하였다.

분석결과 리튬(Li), 티타늄(Ti), 인(P), 산화알루미늄(Al_2O_3)은 검출되지 않았고, 크롬(Cr) 및 망간(Mn)은 미량 검출되었으며, 칼슘(Ca) 등 4개 원소는 9.4~80.9ppm이 검출되었다.

ICP/MS 무기물 분석에서 사리기 내부 채취 액체에서 검출된 성분은 외부 토양에 포함된 원소 이외의 특이성분이 검출되지 않았다. 특히, 인체의 주요성분중 하나인 인(P)이 사리공 외부 토양 함유 수분에서는 2.26ppm, 사리공 내부토양 함유수분 에서는 0.42ppm이 검출 되었으나, 사리기 내 액체에서는 전혀 검출되지 않았다.

Table 3. ICP/MS 무기물 분석 결과 : (A) 사리기 내 액체, (B) 사리공 내부토양, (C) 사리공 외부토양

원소 \ 시료	A	B	C
Li	불검출	0,003	0,007
Ti	불검출	0,14	0,41
Na	15,6	8,62	4,91
Cr	0,006	0,008	0,039
Mn	0,24	0,09	0,68
Ca	80,9	10,1	4,87
K	9,40	13,0	9,41
P	불검출	0,42	2,26
Al_2O_3	불검출	30,1	62,0
Si	16,8	33,9	52,7

3. SEM/EDS 무기물 분석

액체시료 0.5ml를 증발 건조시켜 SEM/EDS로 분석 하였다. 분석결과 칼슘(Ca) 및 구리(Cu)가 검출되었으며, 마그네슘(Mg), 규소(Si)등이 미량 검출되었으나, 인하대 분석화학실에서 분

석된 방사성동위원소인 프로트악티늄(Pa)이 검출되지 않았다.(농도 $0.04 \pm 0.09\%$ 로 노이즈로 확인됨)

Table 4. SEM/EDS 분석조건

Analytical conditions		
SEM/EDS	Instrument	Jeol, JSM-5910LV, Scanning Electron Microscope Oxford Inc, OXFORD 7324, Energy Dispersive Spectrometer
	Environment	Medium Vacuum
	Measurement Time	120 sec
	Acceleration Voltage/Current	20kV, 72 μ A
	Spot Size	50

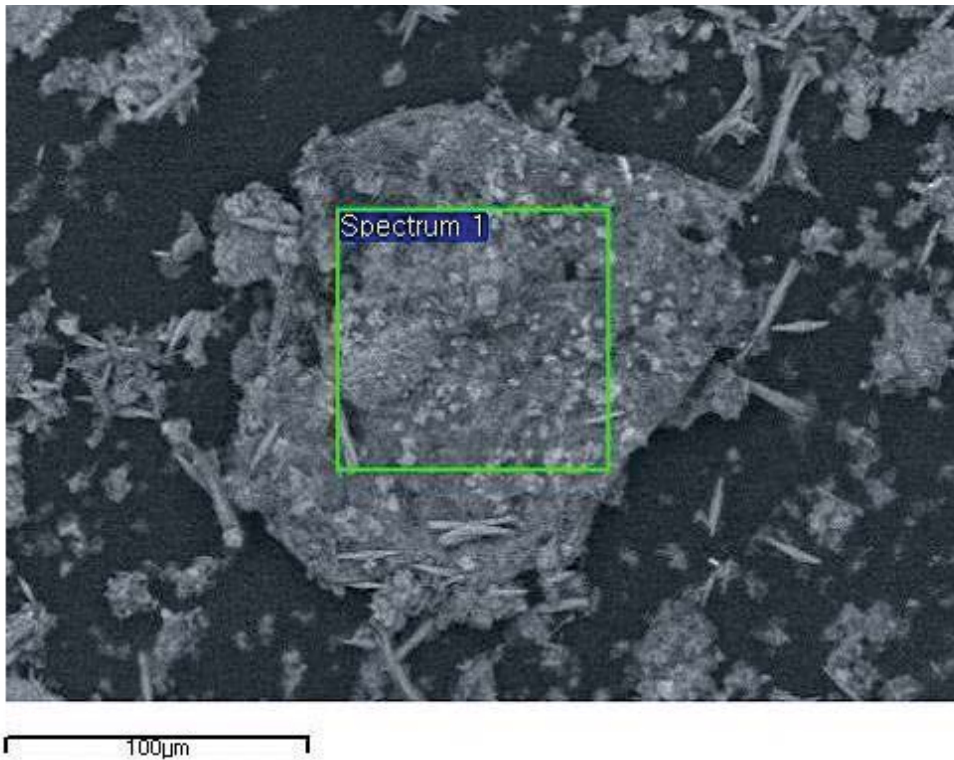


Figure 5. SEM/EDS 분석부위

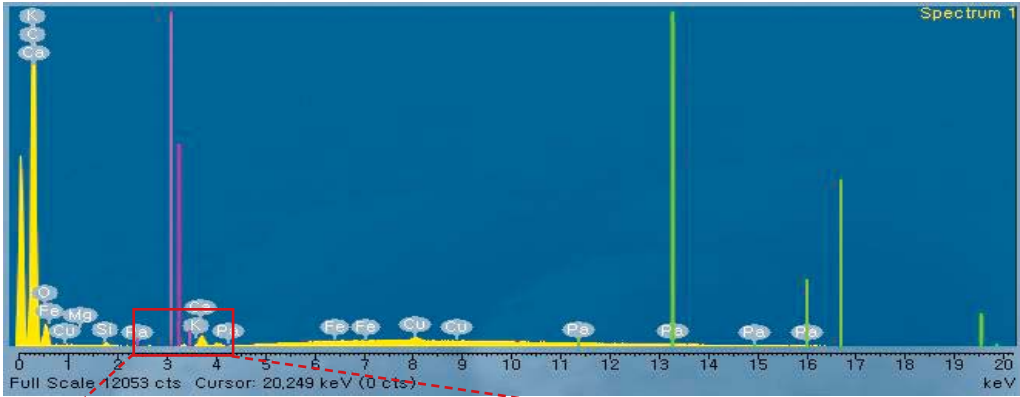


Figure 6. SEM/EDS 분석파크

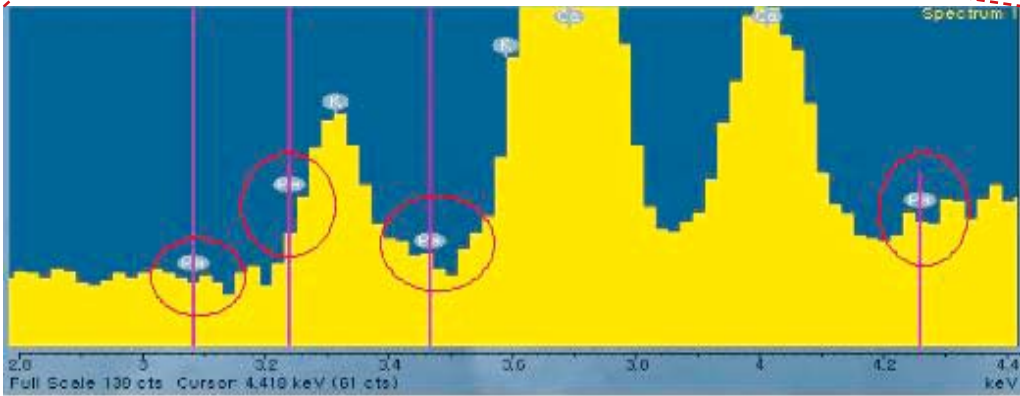


Figure 7. SEM/EDS 분석파크(Pa 부분 확대 : 노이즈임을 확인할 수 있음)

Table 5. SEM/EDS 무기물 분석 결과 : 사리기 내 액체에서 프로트악티늄(Pa) 검출되지 않음 단위: wt %

원소	시료	사리기 내 액체	± 편차	비 고
Mg		0.09	0.06	
Si		0.35	0.04	
K		0.23	0.03	
Ca		1.48	0.06	
Fe		-0.08	0.14	불검출(노이즈)
Cu		2.23	0.3	
Pa		0.04	0.09	불검출(노이즈)
O		1.64	0.19	
Totals		5.98		

4. 이온크로마토그래피(IC) 이온 분석

사리기 내 액체, 석재 사리공 내 진흙 및 외부토양, 주변지하수 및 빗물에 대한 음·양이온 분석을 통한 비교분석을 실시하였다. 분석시료는 금제사리병과 은제사리병 내 액체와, 이온성분에 대한 대조군으로 사리공 내부 진흙 함유 수분, 사리공 외부 토양 함유 수분, 사리공 주변 지하수 4개 및 빗물 1개를 분석하여 비교하였다.

Table 6. 출토 시료 목록

번호	출토위치	채취일	비고
A	사리병 내 액체	2007. 10. 17~18	
B	사리공 내부 진흙 함유 수분		함수율 : 49.8%, 2.33배 희석
C	사리공 외부 토양 함유 수분		함수율 : 14.9%, 5.29배 희석
-	사리공 주변 지하수 및 빗물	2008. 01. 25.	

Table 7. IC 분석조건

Analytical conditions		
IC	음이온 분석	ASRS-1, 4mm Suppressor 50mA, AS4A-SC컬럼 1.7mM NaHCO ₃ + 1.8mM Na ₂ CO ₃
	양이온 분석	CSRS-1, 4mm Suppressor 100mA, CG12컬럼 20mM MSA

분석결과 주변 지하수 및 빗물은 나트륨(Na), 마그네슘(Mg) 및 칼슘(Ca) 등 무기성분을 다량 함유하고 있으나, 장소에 따라 심한 편차를 보이므로 사리기 내 액체와의 비교분석으로는 적당하지 않음을 알 수 있었다.

분석된 무기물 중 나트륨(Na), 마그네슘(Mg) 및 칼슘(Ca)의 함유량은 ‘외부토양<내부진흙> 사리기 내 액체’의 순으로 증가하는 것을 볼 수 있었는데, 무기 양이온의 함량이 내부에서 높게 나타난 것은 외부보다 물의 흐름이 원활하지 못하고, 느린 증발속도에 의한 축적으로 해석할 수 있다.

인산이온(PO₄⁻³)은 외부토양<내부진흙>순으로 감소하며, 액체시료에서는 검출되지 않았다. 염소이온(Cl⁻), 질산이온(NO₃⁻) 및 황산이온(SO₄⁻²)등 음이온 성분은 청동사리함 및 은제사리병의 부식에 관여하여 감소한 것으로 추정된다.

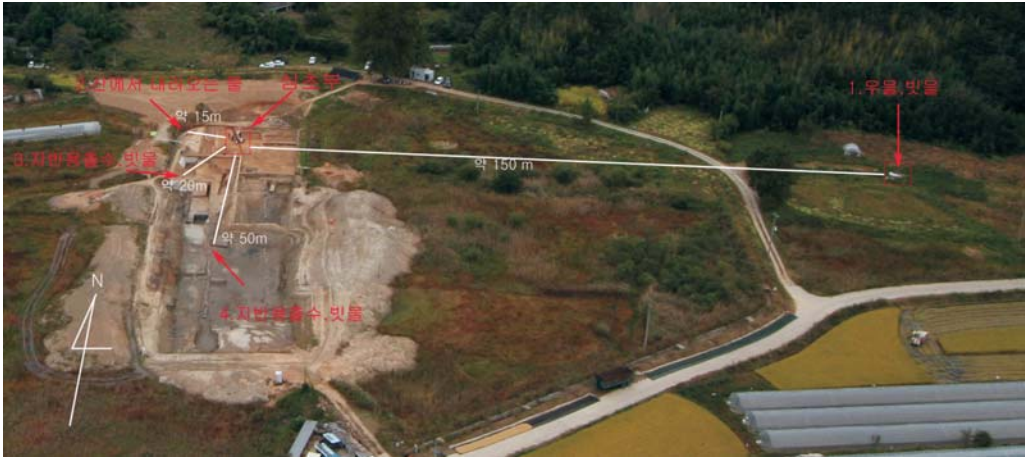


Figure 8. 주변지하수 및 빗물 채취 부위

Table 8. IC 양이온 분석 결과 : 사리기 내 액체 및 토양, 지하수 등 분석

채취장소 분석이온	금제 및 은제 사리기 내부 액체 (A)	사리공 내부 진흙 함유 수분 (B)	외부토양 함유 수분 (C)	우물지 채집 지하수	심초석 북서편 외곽 15m지점 (산에서 내려오는 물)	심초석 남서편 외곽 20m지점	심초석 남편 50m지점	유적 근처에서 채집한 빗물
Li ⁺	0.38	0.01	0.01	0	0	0	-	-
Na ⁺	15.9	12.3	13.7	9.2	6.64	5.45	9.21	2.3
NH ₄ ⁺	0.18	6.3	4.9	-	-	0.02	-	0.12
K ⁺	10.6	12.4	6.68	1.39	10.1	1.52	2.57	0.48
Mg ⁺²	23.7	5.37	3.32	8.57	15.5	6.34	19.1	1.84
Ca ⁺²	81.0	8.74	6.82	9.17	14.5	5.94	13.7	4.06

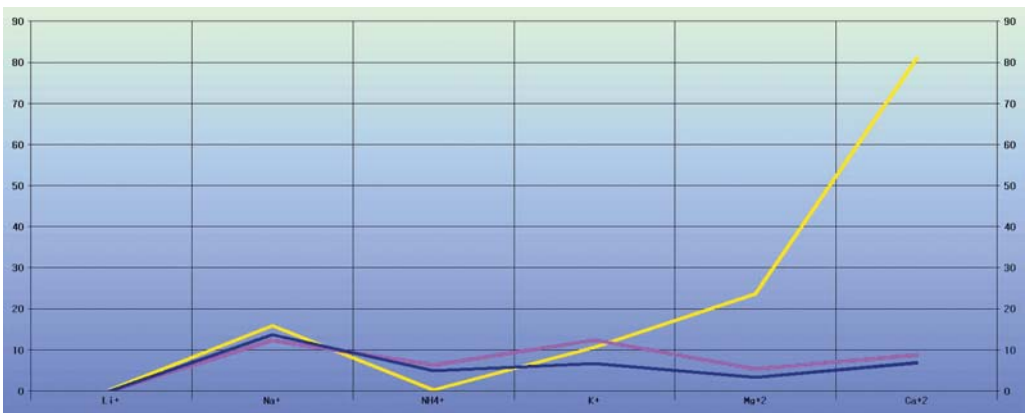


Figure 9. IC 양이온 분석 결과 : ■ 사리기 내 액체, ■ 사리공 내부토, ■ 사리공 외부토

Table 9. 이온크로마토그래피를 이용한 시료 음이온 분석 결과

채취장소 양이온	금제 및 은제 사리기 내부 액체 (A)	사리공 내부 진흙 함유 수분 (B)	외부토양 함유 수분 (C)	우물지 채집 지하수	심초석 북서편 외곽 15m지점 (산에서 내려오는 물)	심초석 남서편 외곽 20m지점	심초석 남편 50m지점	유적 근처에서 채집한 빗물
F ⁻	0.12	0.17	0.65	0.08	0.04	0.03	0.1	0.04
Cl ⁻	11.11	3.44	15.66	5	2.96	3.09	9.73	3.71
NO ₂ ⁻	0.07	0.08	-	0	-	-	-	-
Br ⁻	0.03	-	-	-	-	0	0.03	0
NO ₃ ⁻	8.58	29.01	37.28	6.29	5.07	2.45	0.36	1.55
PO ₄ ⁻³	-	0.47	1.17	0	1.11	-	-	-
SO ₄ ⁻²	10.95	31.14	52.49	3.91	6.78	6.86	10.98	4.01

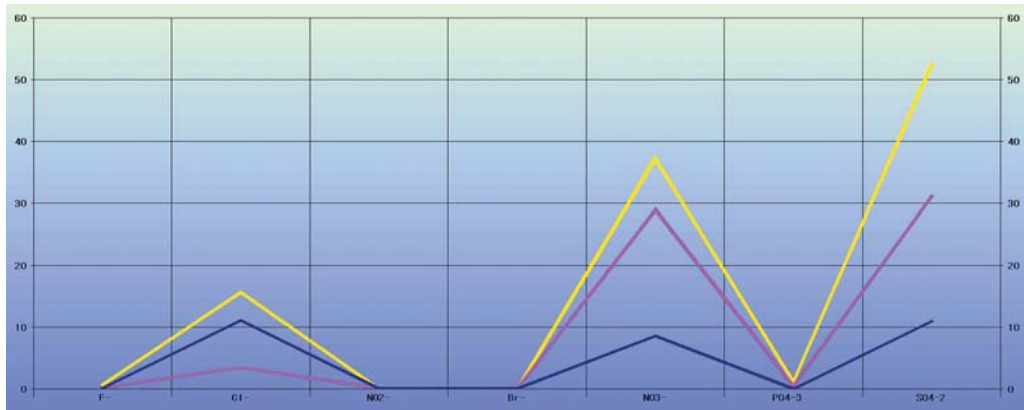


Figure 10. IC 음이온 분석 결과 : — 사리기 내 액체, — 사리공 내부토, — 사리공 외부토

IV. 마무리

부여 왕흥사지 출토 사리기 내 액체의 분석조사 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

가스크로마토그래피/질량분석법(GC/MS)을 이용한 유기물 분석에서는 사리기 내 액체에서 보다 외부 토양에서 더 많은 유기물이 함유된 것을 확인하였고, 검출정도도 매우 약하여 정확한 정성 분석은 불가하다.

이온크로마토그래피(IC) 및 ICP/질량분석법(ICP/MS)을 이용한 사리기 내 액체, 사리공 내·외부 토양 및 주변지하수 내 무기물에 대한 비교분석을 실시한 결과 나트륨(Na), 마그네슘(Mg) 및 칼슘(Ca)의 함유량이 '외부토양<내부진흙<사리기 내 액체'의 순으로 증가하는 것을 볼 수 있었고, 특히 칼슘(Ca)의 함유량이 사리기 내부액체에서 현저히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 무기물의 함량이 내부에서 높게 나타난 것은 외부보다 물의 흐름이 원활하지 못하고, 느린 증발속도에 의한 축적으로 해석할 수 있다. 염소이온(Cl^-), 질산이온(NO_3^-) 및 황산이온(SO_4^{2-}) 등 음이온 성분은 양이온성분과 반대되는 결과를 보여주는데, 청동사리함 및 은제사리병의 부식에 관여하여 감소한 것으로 추정된다.

또한, 인체의 주요성분중 하나인 인(P)이 사리기내 액체에서는 검출되지 않았으나, 사리공 주변토양에서는 검출되었다.(내부 진흙<외부토양)

주사전자현미경분석(SEM/EDS)을 실시한 결과 사리의 주요성분이라 짐작되는 방사성동위원소인 프로트악티늄(Pa)이 전혀 검출되지 않았다.

이상 여러 분석법을 실시한 결과 사리기내 액체에서 인체의 주요성분인 유기물이나 인(P)등 사리와 관련된 어떠한 성분도 검출되지 않은 점으로 미루어볼 때 주변에서 사리기 내부로 유입된 지하수로 판단된다.