

# 태안 마도출토 도자기의 효율적 탈염처리를 위한 조건도출 연구

남병직\*<sup>1</sup> | 박대우\* | 강현미\* | 장성윤\* | 정용화\*\*

\*국립문화재연구소 복원기술연구실, \*\*국립해양문화재연구소 수증발굴과

## A Study of Extracting Appropriate Conditions for Efficient Desalination for the Underwater Archaeological Ceramics from Ma Island in Taean

Byeongjik Nam\*<sup>1</sup> | Daewoo Park\* | Hyunmi Kang\* | Sungyoon Jang\* | Yonghwa Jung\*\*

\*Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

\*\*Underwater Excavation and Conservation Division, National Research Institute of Maritime Cultural Heritage,  
Mokpo, 110-820, Korea

<sup>1</sup>Corresponding Author: dolbang97@naver.com, +82-42-860-9418

**초록** 태안 마도 출토 도자기를 대상으로 도자기 탈염에 일반적으로 사용되는 물 세척법에 추가조건(탈염수 양, 교반 및 온도)을 적용하여 탈염효율을 비교 연구하였다. 탈염수 양에 따른 효율실험결과 질량비 20배가 질량비 10배보다 효율은 높았지만, 그 정도가 2배에 미치지 못하여 경제적 측면에서 질량비 10배가 보다 효율적이었다. 또한 탈염처리 중 교반 및 가온에 따라 20~30%의 효율증대는 확인되었지만, 추가기법적용을 위한 에너지사용과 물리화학적 충격에 의한 유물손상의 위해성을 종합적으로 고려한다면 교반 및 가온에 따른 효율증대는 크지 않은 것으로 판단된다.

**중심어:** 해저 출토 도자기, 수용성 염, 탈염수, 교반, 온도, 흡수율

**ABSTRACT** This paper focused on desalination method for the underwater archaeological ceramics. The desalination method applied in this study takes additional conditions such as the amount of desalting water, temperature, and agitation conditions and compares the effects of desalt process. The result of efficiency rate appears that the twenty-times of the object weight of desalting water is more effective than that of ten-times one, but shows less economic compared to the cost. In addition, the research shows that the efficiency rate has been improved around 20 to 30 %, yet such improvement is not taken into account as an effective result considering the risk of damage from the physical and chemical impact and the consumption of energy in applying additional method.

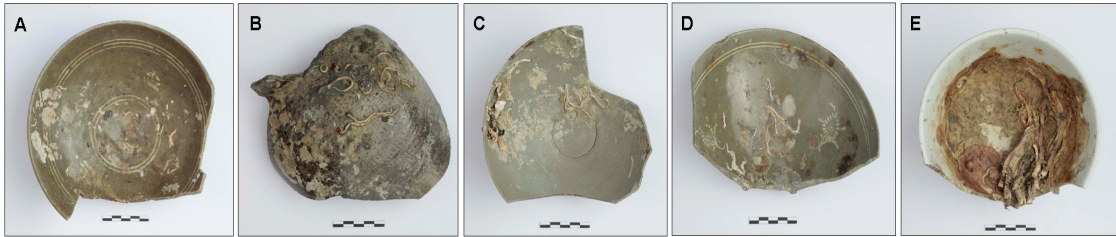
**Key Words:** Underwater archaeological ceramic, Soluble salt, Desalinating water, Agitation, Temperature, Absorption

### 1. 서론

1976년 전라남도 신안지역에서 많은 도자기들을 발굴한 이후, 충청남도 태안지역에서도 많은 양의 해저 도자기들이

확인됨에 따라 염에 의한 도자기의 손상 문제가 대두되었다<sup>1</sup>.

염(salt)은 산과 염기의 중화반응산물로 용해성에 따라 수용성 염(soluble salt)과 불용성 염(insoluble salt)으로 나뉜다. 수용성 염은 땅속에서는 지하수, 바다 속에서는 해수



**Figure 1.** Underwater archaeological ceramics from Ma Island in Taean. (A) TM-1 Celadon, (B) TM-2 Earthenware, (C) TM-3 Celadon, (D) TM-4 Celadon, (E) TM-5 Whiteware.

등의 기원에 의해 유물의 기공 속으로 침투할 수 있으며 수분증발과 함께 결정화되어 조각, 박편, 분말의 다양한 형태로 유물에 손상을 일으킨다. 또한 공기 중의 습기를 빨아들이는 흡습성으로 인해 도자기, 석조, 뼈와 같은 다공성 구조를 따라 유물 내부로 쉽게 이동하는 특징이 있다. 수용성 염의 결정성장의 힘은 유물의 표면층을 파괴할 수가 있으며 최악의 경우에는 유물 자체를 붕괴시킬 수도 있다<sup>2</sup>. 이에 반해 불용성 염은 물에 녹기 어려운 염으로 수용성 염과 같이 발굴 후 유물에 직접적인 위협을 가하지는 않지만 유물 표면에 고착되어 외관을 오염시키거나 이로 인한 2차적 손상을 유발할 수 있으므로 보존처리 과정에서 부분적 제거가 필요하다.

국내에서는 지금까지 수용성 염 제거를 위해 물 세척의 기본처리법에 온도조건 및 교반조건을 추가로 적용하였을 뿐, 이러한 추가적인 조건들이 어느 정도의 탈염효율이 있는지에 대해서는 아직 구체적으로 확인되지 않았다. 이에 본 연구에서는 도자기 탈염에 일반적으로 사용되는 물 세척에서 추가되는 조건(탈염수 양, 교반 및 온도)들의 탈염 효율에 대해 비교 연구하였다.

## 2. 연구동향

전라남도 신안 앞바다에서 약 23,000여점의 도자기를 인양한 것을 시작으로 군산(무녀도, 비안도, 야미도, 선유도, 십이동파도) 및 태안 앞바다에서 많은 도자기가 차례로 인양되어 보존 처리되었다<sup>3-6</sup>. 그러나 과거 신안선 발굴로 인양된 도자기 유물의 경우 1차적인 보존처리 후, 우리나라의 기후특성상 고습과 저습이 반복되는 환경에서 수용성 염이 결정화되어 유약이 박락되는 현상이 확인되었다<sup>7</sup>.

수용성 염에 의한 손상메커니즘연구는 도자기문화재에서는 아직 보고된 바 없으나, 석조문화재의 풍화현상에 대한 원인규명 연구결과 수화(hydration), 결정압(crystallization

pressure), 차별적 열팽창(differential thermal expansion) 및 삼투압(osmotic pressure) 등이 손상의 대표적인 요인으로 작용할 수 있음이 보고되었다<sup>8-12</sup>.

국내·외에서 지금까지 일반적으로 사용된 도자기 탈염기술은 물 세척법으로 이는 가장 손쉽고 보편적인 처리 기술이다. 물 세척법의 가장 큰 특징은 출토 유물의 상태에 따라 정지<sup>13</sup>, 교반<sup>14</sup>, 가온<sup>15</sup>의 추가기법을 각각 적용할 수 있다는 점이다. 탈염시작은 담수와 해수를 혼합하고 탈염 종료 시에는 증류수와 에탄올을 사용하여 탈염처리 중 삼투압 및 표면장력에 따른 영향을 최소화하려는 연구도 시도되었다<sup>16</sup>.

물 세척법을 사용하기 어려운 저온 소성된 유물들이나 기형이 큰 유물들은 습포법으로 처리할 수 있는데 습포물질로 탈 이온수를 적신 면포, Laponite RD, Sepiolite 등을 사용하였다<sup>17-18</sup>.

그 외 출토 유물의 표면 상태가 양호한 경우에는 초음파 세척법(ultrasonic cleaning)을, 기공이 작은 경우에는 증류수에서 1A/dm<sup>2</sup>의 전류를 사용한 전기투석법(electrodialysis)을, 안료박락이 심한 경우에는 0.5% 암모니아용액에서 1A/dm<sup>2</sup>의 전류를 사용한 전기삼투법(electro endosmosis)의 사용을 각각 권장하였다<sup>19-20</sup>.

국외에서는 다양한 연구가 시도되어 도자기 유물을 포함한 해저유물처리에 대한 처리지침서를 보고한 바 있다<sup>21-22</sup>. 하지만 앞선 연구들에서는 도자기 탈염방법을 단순 제시 및 열거하는 정도에 머물고 있어 출토유물의 상태에 따른 효율적인 탈염기준을 명확히 제시하지 못하고 있다.

## 3. 연구방법

시료는 충청남도 태안군 근흥면 마도 인근에서 수증발굴한 도자기로 국립해양문화재연구소에서 협조 받았다. 육안 관찰을 통해 확인된 시료의 가시적 특징은 아래와 같다.

**Table 1.** Experimental conditions.

Sample	Weight (g)	Water (mℓ)	Desalination conditions (hour, immersion method, temperature)	Ceramic type	
TM-1	a	33.95	340	336h, static, 25 °C	Celadon
	b	31.03	620	336h, static, 25 °C	
	c	33.26	330	336h, static, 50 °C	
TM-2	a	30.13	300	336h, agitation, 25 °C	Earthenware
	b	30.02	300	336h, static, 25 °C	
	c	30.03	300	336h, static, 50 °C	
TM-3	a	22.23	220	336h, agitation, 25 °C	Celadon
	b	28.48	280	336h, static, 25 °C	
	c	23.59	240	336h, static, 50 °C	
TM-4	a	23.38	230	336h, agitation, 25 °C	Celadon
	b	34.86	350	336h, static, 25 °C	
	c	30.13	300	336h, static, 50 °C	
TM-5	a	30.60	300	336h, agitation, 25 °C	Whiteware
	b	29.16	290	336h, static, 25 °C	
	c	29.99	300	336h, static, 50 °C	

TM-1, TM-4는 황갈색으로 선문과 국화문이 백상감으로 시문된 청자, TM-2는 회청색으로 일부 자연유의 흔적이 있는 경질도기, TM-3은 녹청색으로 음각선이 시문된 청자, TM-5는 백색으로 별다른 장식문양이 없는 순백자이다(Figure 1).

탈염시편의 선별은 도자기 시료들의 물리적 특성(흡수율, 기공률)차이에 따라 시료들에 침투할 수 있는 수용성 염의 양이 달라질 수 있음을 감안하여, 하나의 시료에서 저부(低部)를 기준으로 동일 위치에 분포한 것들 위주로 시료와 탈염수의 접촉면적 및 용출이온의 확산속도를 고려하여 50×50×5mm의 크기, 20~30g의 무게가 되도록 각각 3개의 시편을 취하는 방식을 택하였다.

탈염처리법은 가장 일반적인 물 세척을 적용하였으며, 탈염수는 1차 증류수를 사용하였다. 가장 먼저 TM-1시료의 2개 시편을 가지고 탈염수의 양을 질량비 10배와 20배로 나누어 효율을 확인하였다. TM-2~5시료의 8개 시편을 가지고 교반에 대한 효율실험을, TM-1~5시료의 10개 시편을 가지고 온도(25, 50 °C)에 대한 효율실험을 진행하였다.

국내 탈염사례조사에서 탈염시간은 1주~4주까지 다양하게 처리한 것으로 보고되었지만<sup>3-6</sup>, 위의 처리시간은 물 교체주기를 포함한 시간이므로 물 교체를 하지 않은 본 실험에서는 탈염시간을 336시간(2주)으로 설정하였다.

탈염용기는 유리비커를 사용하였으며, 용기 내부의 탈염수의 증발을 최대한 억제하기 위해 상부를 폴리에틸렌

수지로 밀봉하고 알루미늄호일로 최종 마감하였다.

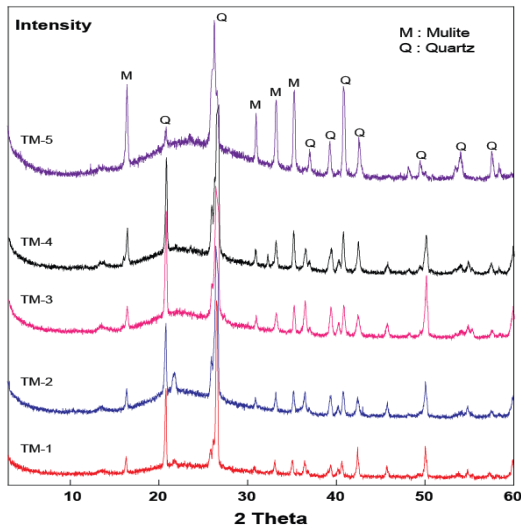
Cl<sup>-</sup>이온의 용출특성은 전기전도도측정기(Conductivity meter, Thermo scientific Orion 4star, U.S.A.)로 탈염수 내의 전체 이온총량을 모니터링한 후, 이온크로마토그래피(Dionex ICS-3000, U.S.A.)를 이용해 용출함량을 분석하였다. 시료정보 및 탈염조건을 아래와 같이 정리하였다(Table 1).

물리적 특성인 흡수율은 균열이 없고 유약층을 제거한 태토부분에 대해서 KS L 4008에서 규정한 방법으로 측정저울(Weighing machine, 202A, Precisa, Switzerland)을 사용하여 분석하였다<sup>23</sup>. 기공률 및 기공크기는 도자기 시료의 대표성을 가지도록 전체면적에서 균일하게 5×5×5mm의 크기로 10개씩 채취하여, Hg Porosimeter(Micromeritics Autopore IV, U.S.A.)로 분석하였다. Hg Porosimeter는 다공성 물질에 수은을 관입시켰을 때 관입된 수은의 양과 압력으로 다공성 물질의 기공크기와 기공률을 측정하는 것으로 이러한 기공 크기는 상대습도 변화에 따라 수용성 염이 결정화될 수 있는 공간을 제공한다.

도자기의 광물조성은 X-선 회절분석(Mac Science, M18XAHF22, Micro-area X-ray Diffraction System, Japan; Cu-Kα, 전압 40Kv, 전류 60mA, 주사속도 2° 2θ/min, 3~70° 2θ 구간)으로, 화학적 특성은 X-선 형광분석(Phillips, Magic X, Netherlands)으로 분석하였다.

**Table 2.** Concentration of major elements in bodies of the desalination samples(wt.%).

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	L.O.I.
TM-1	75.42	16.68	2.74	0.51	0.57	2.56	0.01	0.56	0.02	0.84	0.12
TM-2	75.25	16.31	3.31	0.29	0.66	2.31	0.01	0.93	0.04	0.88	0.18
TM-3	75.10	17.87	2.01	0.46	0.58	2.30	0.01	0.61	0.03	1.00	0.09
TM-4	72.49	19.85	2.50	0.50	0.61	2.54	0.03	0.54	0.03	0.87	0.27
TM-5	58.30	34.16	1.43	0.29	0.53	4.65	0.01	0.52	0.01	0.11	0.15

**Figure 2.** X-ray diffraction pattern of desalination samples.

## 4. 연구결과

### 4.1. 재질분석

#### 4.1.1. 화학조성

도자기 태토의 화학조성은 사용원료의 품질, 배합정도 등의 정보를 제공하며, 사용원료를 채취한 지역의 지질학적 상황을 반영하므로 산지에 대한 추정도 가능하게 한다. 태토조성에서 SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 분포관계는 광물학적인 면에서 점토화 정도를 판단하는 지표로 이용되는데, 일반적으로 SiO<sub>2</sub> 함량이 낮고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 높을수록 점토화가 많이 이루어진 것을 의미한다<sup>24</sup>. XRF 분석결과 시료들은 SiO<sub>2</sub> 함량이 58.30~75.42 Wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 16.31~34.16 Wt.%로 도자기 재질에 따라 Fe, Ca, K 함량은 다소 차이가 있었다. TM-1, TM-2, TM-3, TM-4의 경우는 SiO<sub>2</sub> 함량이 72.49~75.42 Wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 16.31~19.85 Wt.%로 분석되었는데, 이는 도석을 주원료로 사용한 한국

**Table 3.** Absorption, porosity of desalination samples.

Sample	Absorption(%)	Porosity(%)
TM-1	5.28	14.80
TM-2	0.80	12.28
TM-3	3.02	15.38
TM-4	1.53	14.74
TM-5	2.56	12.71

도자기의 전형적인 수치범위에 속한다. 반면 TM-5의 경우는 이와 달리 58.30 Wt.%의 낮은 SiO<sub>2</sub> 함량과 34.16 Wt.%의 높은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량을 보였다(Table 2).

#### 4.1.2. 광물조성

도자기를 구성하는 광물종류는 도자기의 사용원료에 함유되어 있는 광물이 소성과정을 거치면서 열적변화에 의해 소실 또는 새로운 광물이 생성된 결과를 반영하는 것이다. 따라서 광물종류의 차이는 광물의 소실 및 생성되는 온도에 기인한 소성온도와 소성시간과 광물의 전이 또는 생성을 촉진시키는 성분의 함량에 따라 다르다<sup>25</sup>. XRD 분석결과 모든 시료는 석영과 물라이트로 구성되었고, 장석이 모두 사라져 1,100 °C 이상의 고온에서 소성된 것으로 생각된다(Figure 2).

#### 4.1.3. 물리적 특성

흡수율 측정결과 TM-1에서는 5.28%, TM-2에서는 0.80%, TM-3에서는 3.02%, TM-4에서는 1.53%, TM-5에서는 2.56%로 측정되어 0.80~5.28의 범위를 보이며, TM-1 > TM-3 > TM-5 > TM-4 > TM-2 순으로 나타났다. 기공률 분석결과 TM-1에서는 14.80%, TM-2에서는 12.28%, TM-3에서는 15.38%, TM-4에서는 14.74%, TM-5에서는 12.71%로 측정되어 12.28~15.38의 범위를 보이며, TM-3 > TM-1 > TM-4 > TM-5 > TM-2 순으로 나타났다(Table 3). 일반적으로 경질도기인 TM-2가 가장 높은 흡수율을 가질 것으로 판단되지만, 분석결과 가장 낮은 흡수율과 기공률을 보였

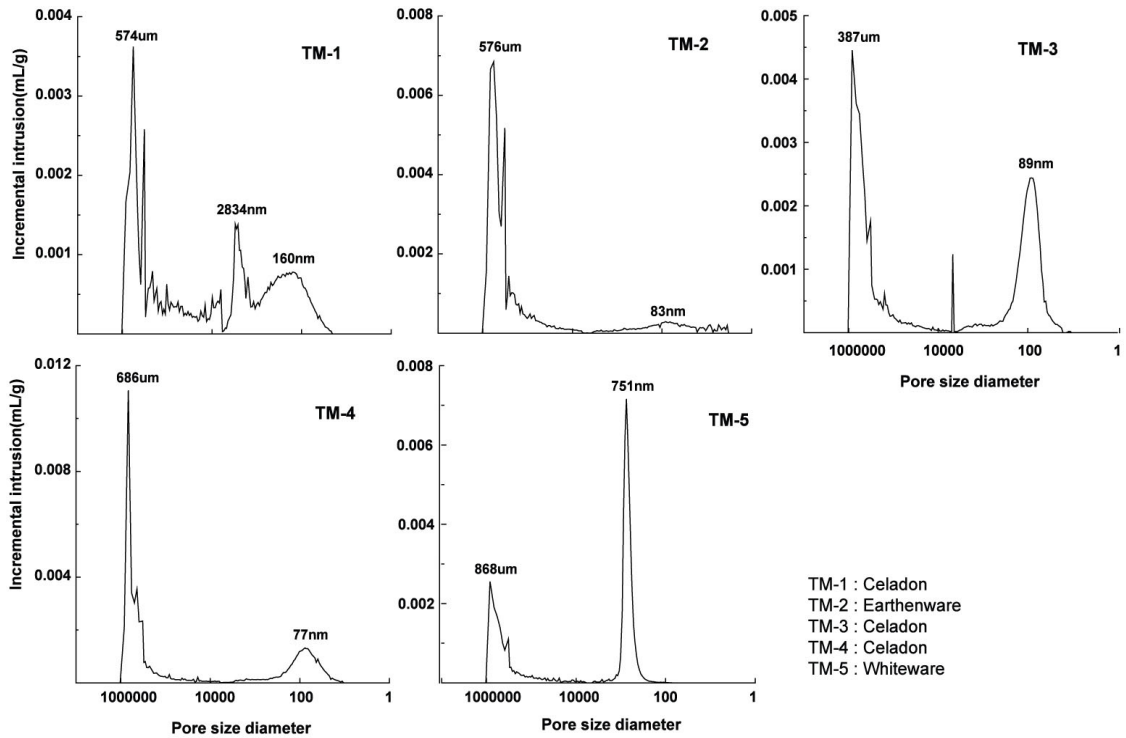


Figure 3. Pore size distribution of desalination samples.

다. 이는 육안관찰시 표면에서 확인된 자연유의 흔적과 XRD분석결과를 통해 미루어볼 때 높은 온도에서 소성된 것으로 판단된다.

기공크기 분석결과 TM-1에서는 574µm와 160nm, TM-2에서는 576µm와 83nm, TM-3에서는 837 µm와 89nm, TM-4에서는 686µm와 77nm, TM-5에서는 686µm와 751nm의 기공이 존재하였다(Figure 3). 이러한 기공은 도자기 소성과정에서 사용원료가 균일하지 않거나 다를 경우 광물 입자 주위에 다량 존재하여 치밀화되지 못하는 현상이 발생할 수 있으며<sup>26</sup>, 결과적으로 수용성 염이 결정화할 수 있는 공간들을 제공한다. 특히 수십 nm의 미세 기공들 속에 침투한 수용성 염들이 결정화되었을 경우에는 결정압에 의해 유물이 손상될 우려도 있다.

#### 4.2. 조건별 탈염효율실험

##### 4.2.1. 시료질량비와 탈염수의 양에 따른 탈염효율

TM-1 시료의 a, b 시편을 가지고 질량비를 기준으로 효율적인 탈염수의 양을 결정하기위한 실험을 진행하였다.

시편 a의 무게는 33.95g로 질량비 10배인 1차 증류수 340 ml에 침적시켰으며, 시편 b의 무게는 31.03g로 질량비 20배인 1차 증류수 620ml에 침적시켜 Cl<sup>-</sup>이온의 용출경향성을 확인하였다.

탈염 336시간동안 TM-1a에서는 Cl<sup>-</sup>이온이 129.3 ppm, TM-1b에서는 82.4 ppm이 용출되었다(Table 4). 그러나 TM-1a와 TM-1b는 탈염수로 사용한 1차 증류수의 양이 서로 달라 단순 비교가 어렵기 때문에 TM-1a의 340ml에 그 양의 2 배인 680ml로의 환산 농도를 계산하여 상호를 비교하였다. TM-1a의 환산농도는 64.7 ppm으로 계산되었다.

계산된 결과값과 비교하면 질량비 20배에 침적시킨 TM-1b에서 10배에 침적시킨 TM-1a보다 Cl<sup>-</sup>이온이 17.7 ppm 높게 용출된 것으로, 탈염수 양의 2배 증가에 따라 용출율은 대략 27.5%정도 향상되었다.

보존처리현장에서는 수전점 이상의 대량탈염이 이루어지기 때문에 질량비 20배에서의 대략 30% 효율증대는 그에 따른 물 양의 증가를 감안하면 질량비 10배가 보다 경제적인 것으로 판단된다. 따라서 이후의 조건별 효율실험은

**Table 4.** Cl<sup>-</sup> ion concentration depending on the amount of desalinating water(ppm).

Sample	Amount of water	Desalination time (hours)						
		24	48	72	96	168	240	336
TM-1a	(ml/g)×10	81.5	108.4	121.9	126.9	132.2	131.0	129.3
TM-1b	(ml/g)×20	50.5	64.3	72.6	76.5	80.9	81.4	82.4

**Table 5.** Cl<sup>-</sup> ion concentration depending on the immersion condition(ppm).

Sample	Desalination method	Desalination time (hours)						
		24	48	72	96	168	240	336
TM-2a	agitation	15.4	19.1	25.8	26.3	26.9	28.8	31.1
TM-2b	static	17.8	20.1	22.1	23.7	27.9	30.9	33.0
TM-3a	agitation	57.9	100.4	130.1	148.8	180.4	188.5	188.8
TM-3b	static	42.5	62.8	84.6	100.0	138.5	160.2	171.1
TM-4a	agitation	32.8	46.3	59.9	68.4	86.1	86.4	86.7
TM-4b	static	19.8	28.5	35.4	40.8	58.0	66.6	73.4
TM-5a	agitation	54.5	61.6	69.5	73.1	84.8	91.8	100.5
TM-5b	static	43.8	57.9	68.2	74.8	87.6	97.6	101.0

탈염수 양을 질량비 10배로 하여 실험을 진행하였다.

#### 4.2.2. 교반에 따른 탈염효율

교반에 따른 효율실험은 TM-2, TM-3, TM-4, TM-5 시료의 a, b 시편 8개로 총 4번의 실험을 진행하였다. 탈염 336시간동안에 교반을 적용한 TM-2a는 31.3 ppm, TM-3a는 188.8 ppm, TM-4a는 86.7 ppm, TM-5a는 100.5 ppm, 교반을 적용하지 않은 TM-2b는 33.0 ppm, TM-3b는 171.1 ppm, TM-4b는 73.4 ppm, TM-5b는 101.0 ppm의 Cl<sup>-</sup>이온이 용출되었다(Table 5).

교반의 적용 유무에 따른 Cl<sup>-</sup>이온 용출량의 차이를 살펴볼 때 TM-3과 TM-4에서는 교반을 적용한 경우 각각 17.7 ppm, 13.3 ppm이 더 용출되어 나왔으며, 대략 10%, 18% 정도 용출량이 향상되었다(Figure 4). 하지만 TM-2와 TM-5에서는 앞선 결과와 반대로 교반을 적용하지 않은 실험에서 각각 1.9 ppm, 0.5 ppm이 더 용출되어 효율이 없는 것으로 확인되었다.

교반에 따라 대부분의 시료에서 최대 18%의 효율증대가 확인되었지만, 추가기법 적용에 따른 에너지사용의 경제성과 유물손상의 잠재적 위해성을 함께 고려한다면 교반하지 않는 탈염조건이 보다 효율적인 것으로 판단된다.

#### 4.2.3. 온도에 따른 탈염효율

온도에 따른 효율실험은 TM-1, TM-2, TM-3, TM-4, TM-5 시료의 b, c 시편 10개로 총 5번의 실험을 하였다. 탈염 336시간

동안에 25℃의 온도를 가한 TM-1b는 129.3 ppm, TM-2b는 33.0 ppm, TM-3b는 171.1 ppm, TM-4b는 73.4 ppm, TM-5b는 101.0 ppm, 50℃의 온도를 가한 TM-1c는 156.5 ppm, TM-2c는 35.4 ppm, TM-3c는 207.7 ppm, TM-4c는 89.8 ppm, TM-5c는 224.2 ppm의 Cl<sup>-</sup>이온이 용출되었다(Table 6).

2배의 온도증가에 따른 Cl<sup>-</sup>이온 용출량의 차이를 살펴볼 때 TM-1이 27.2 ppm, TM-2가 2.4 ppm, TM-3이 37.0 ppm, TM-4가 16.4 ppm, TM-5가 123.2 ppm이 더 용출되어 나왔으며, 대략 21%, 7%, 21%, 22%, 122% 정도 용출량이 향상되었다(Figure 5).

TM-5시료는 122%의 효율증대가 있었지만, 초기 48시간을 제외한 탈염구간에서는 다른 시료와 같이 대략 30% 정도의 효율을 나타냈고, 이는 초기 48시간동안에 Cl<sup>-</sup>이온의 용출이 영향을 미친 것으로 판단된다. 이러한 48시간의 급격한 이온용출이 가온에 의한 영향일수도 있지만, 가온 조건(TM-5c: 166.5 ppm)과 교반조건(TM-5a: 61.6 ppm) 및 상온조건(TM-5b: 57.9 ppm)의 용출량을 비교해보면 시료의 준비과정 중 도자기 표면에 잔류한 수용성 염의 영향을 완전히 배제할 수는 없을 것이다. 향후 탈염초기 가온에 따른 이온용출특성에 대한 실험을 진행할 예정이다.

온도증가에 따라 대부분의 시료에서 대략 20%의 효율증대가 확인되었지만, 가온 시 많은 에너지를 사용하는 경제적인 측면과 약해진 유약층의 박락에 의한 유물손상을 감안한다면 가온하지 않는 탈염조건이 보다 효율적인 것으로 판단된다.

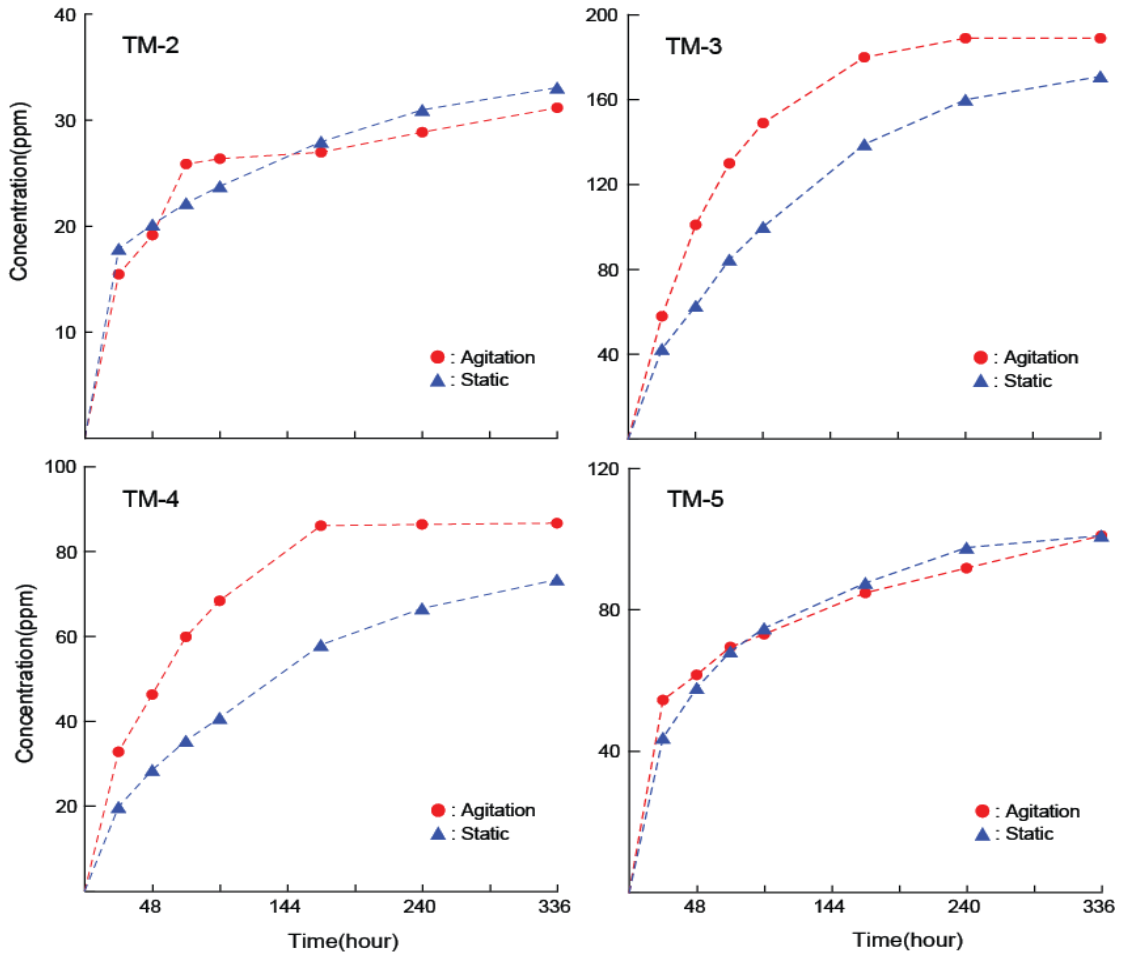


Figure 4. The desalination effect depending on the immersion condition.

Table 6. Cl<sup>-</sup> ion concentration depending on the temperature condition(ppm).

Sample	Desalination method	Desalination time (hours)						
		24	48	72	96	168	240	336
TM-1b	25℃	81.5	108.4	121.9	126.9	132.2	131.0	129.3
TM-1c	50℃	125.3	144.7	152.4	156.4	158.5	155.8	156.5
TM-2b	25℃	17.8	20.1	22.1	23.7	27.9	30.9	33.0
TM-2c	50℃	16.5	20.7	23.0	24.7	29.1	32.1	35.4
TM-3b	25℃	42.5	62.8	84.6	100.0	139.0	160.0	171.1
TM-3c	50℃	104.0	151.0	175.0	189.0	203.0	206.0	207.7
TM-4b	25℃	19.8	28.5	35.4	40.8	58.0	66.6	73.4
TM-4c	50℃	27.9	37.7	46.3	53.3	68.9	79.9	89.8
TM-5b	25℃	43.8	57.9	68.2	74.8	87.6	97.6	101.0
TM-5c	50℃	126.6	166.5	187.7	199.2	210.2	220.0	224.2

4.2.4. 흡수율과 용출경향성에 대한 고찰

실험에 사용된 시료들은 충청남도 태안군 마도 인근에

서 해저 출토된 도자기 시료들로 서로 다른 물리적인 특성

을 갖는다. 시료의 흡수율은 0.8~5.28%, 공극률은 12.3~

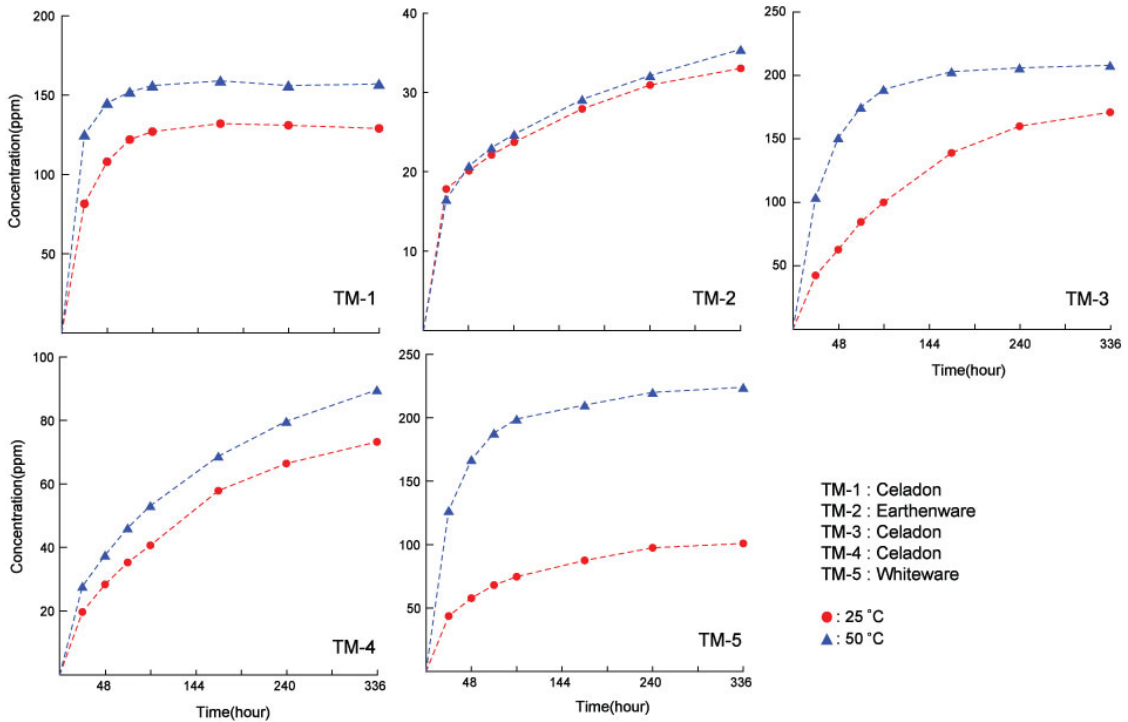


Figure 5. The desalination effect depending on the temperature condition.

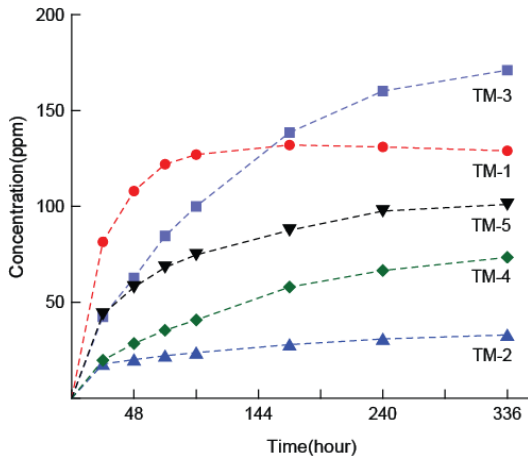


Figure 6. The desalination effect at 25°C condition.

15.4%를 나타낸다. 이는 도자기 시료의 내부에 수용성 염을 함유할 수 있는 내적인 공간의 비율은 비슷하지만, 실제 도자기 내부에 함유될 수 있는 수용성 염의 양은 대부분 시료의 흡수율에 의해 결정되는 것으로 해석이 가능하다. 이

번 실험에서도 시료의 흡수율은  $TM-1 > TM-3 > TM-5 > TM-4 > TM-2$  순이었고, 25 °C, 교반하지 않은 조건에서의 Cl<sup>-</sup>이온 용출량은  $TM-3 > TM-1 > TM-5 > TM-4 > TM-2$  순으로 관찰되었다(Figure 6). 흡수율 3.02인 TM-3이 5.28인 TM-1보다는 높은 용출량을 가지는 것으로 확인이 되었지만, 흡수율이 0.80인 TM-2의 경우에는 용출량이 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 흡수율과 이온용출량이 정비례적인 관계는 아닐지라도 흡수율에 의해서 도자기 시료가 함유할 수 있는 수용성 염의 양이 결정된다고 판단할 수 있으며 그에 따라 탈염효율에도 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인하였다. 향후 흡수율과 이온용출경향성과의 상관관계연구를 진행할 예정이다.

### 5. 결론

태안 마도 출토 도자기를 대상으로 실제적 탈염처리에 앞서 도자기탈염에 일반적으로 사용되는 물세척과 추가되는 조건들(탈염수 양, 교반 및 온도)이 탈염효율에 어느 정도 영향을 미치는지에 대하여 연구하였다.



탈염수 양에 따른 효율실험에서는 질량비 20배에 침적시킨 시료가 질량비 10배에 침적시킨 시료보다 효율은 27.5%로 향상되었다. 하지만 보존처리현장에서는 본 실험과는 달리 수 천점의 도자가 한꺼번에 탈염처리 되고, 그에 따라 많은 양의 탈염수가 필요한 것을 감안한다면 질량비 10배가 보다 효율적인 탈염수의 양으로 판단된다. 교반 및 온도를 추가로 적용한 탈염실험에서는 최대 30%미만의 효율증대가 확인되었다. 하지만 추가기법적용에 따른 에너지사용의 경제성과 물리화학적 충격에 따른 유물손상의 잠재적 위해성을 동시에 고려한다면 탈염 중 교반을 주거나 가온하는 것은 크게 효율적이지 못한 것으로 판단된다. 또한 도자기 시료가 함유할 수 있는 수용성 염의 양은 시료의 흡수율과 상관관계가 있었고 그에 따라 탈염처리에도 영향을 미칠 수 있음이 확인되었다.

이와 같은 결과는 태안 마도 출토 도자기의 과학적 보존처리에 대한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 사 사

이 연구는 2009년도 문화재청 국립문화재연구소의 문화재보존기술개발연구(R&D)사업인 '동산문화재 복원기술 개발'의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 장성운, 남병직, 박대우, 강현미, 정용화, "태안 마도 출토 도자기의 염에 의한 손상상태 연구". *보존과학연구*, 30, p189-202, (2009).
2. Jessica S. Johnson, "Soluble Salts And Deterioration of Archeological Materials". *Conserve O Gram (1998, Number 6/5)*, National Park Service, Washington. DC, p1-2, (1998).
3. 문화재청, "신안선". 국립해양유물전시관, (2006).
4. 이영범 외, "해양 출토 도자기 보존처리". 전북의 고려청자: 다시 찾은 비취색 꿈, 국립전주박물관, p200-205, (2006).
5. 김익주 외, "비안도 해저출토 도자기 보존처리". 군산 비안도 해저유적, 국립해양유물전시관, p188-191, (2004).
6. 문환석 외, "해저 발굴유물의 현장 보존처리". *보존과학연구*, 25, p133-153, (2004).
7. 국립중앙박물관, "되살린 우리 문화재 1998~2003". 국립중앙박물관, (2003).
8. Evans, I.S., "Salt crystallization and rock weathering: a review". *Revue de Geomorphologie Dynamique X IX(4)*, p153-177, (1970).
9. 민경원, 진호일, 박진동, "염풍화에 의한 석재 구조물의 부식에 관한 연구". *Journal of Advanced Mineral Aggregate Composites*, 8, p3-8, (2003).
10. Lourens Albert Rijniers, "Salt crystallization in porous materials: an NMR study". Ph.D. research at Eindhoven University of Technology, p3-5, (2004).
11. 도진영, 임권용, "수용성염이 석조문화재 표면 박리현상에 미치는 영향". *보존과학회지*, 22, p121-134, (2008).
12. Winkler, E. M., "Stone in Architecture" 3rd.. Springer-Verlag, p160-174, (1994).
13. 이상수, "해저출토 도자기의 보존처리". *문화재*, 14, p00-00, (1981).
14. Macleod, I.D. and Davies, J. "Desalination of glass, stone and ceramics recovered from shipwreck sites". In Preprints of International Council of Museums Committee for Conservation 8th Triennial Meeting, Sydney, Australia, edited by K. Grimstad. Los Angeles: Getty Conservation Institute, (1987).
15. Hodges, H., "The conservation treatment of ceramics in the field". In Proceedings of International Institute for Conservation Mexico Congress on In Situ Archaeological conservation, edited by H. Hodges. Los Angeles: Getty Conservation Institute, (1986).
16. C. Pearson, "Conservation of Marine Archaeological Objects". London: Butterworths, (1987).
17. Vanessa muros & John hirx. "The use of cyclododecane as a temporary barrier for water-sensitive ink on archaeological ceramics during desalination". *JAIC* 2004, 43, Article 6. p75-89, (2004).
18. Larson, J., "The conservation of stone sculpture in historic buildings". In Proceedings of International Institute for Conservation Vienna Congress on Conservation within Historic Buildings, edited by N. Brommelle, G. Thomson and P. Smith. London: International Institute for Conservation, (1980).
19. Susan buys and Victoria oakley, "The Conservation and Restoration of Ceramics". London: Butterworths, (1993).
20. Watkinson, D. "An investigation into possible electro and ion exchange methods for removal of soluble salts from pottery". Institute of Archaeology thesis available on microfiche, (1975).
21. Hamilton, D. L., "Basic Methods of Conserving Underwater Archaeological Material Culture". US Department of Defense Legacy Resource Management Program, Washington.

- DC, (1996).
22. Hamilton, D. L., "Methods of Conserving Archaeological Material From Underwater sites". Texas A&M University, (1999).
23. 한국표준협회, "KSL 4008-도자기의 흡수율, 부피비중, 겉보기비중 및 겉기공률의 측정방법". 한국산업규격, (1996).
24. 安田博幸, "고문화재의 자연과학적연구". *고문화재편집위원회*, 동명사, p233-241, (1984).
25. 강경인, 정창주, "전남지역에서 출토된 고대 도자기의 태토조성과 소성온도". *보존과학회지*, 6, p15-30, (1997).
26. 한민수, 홍종욱, 박지희 "소성실험을 통한 청자의 물리적 특성 변화 연구". *보존과학연구*, 27, p146-163, (2006).
-