

# 전통 호분(합분) 제조기술 연구 : 소성방법을 중심으로

이한형\*<sup>1</sup> | 김순관\* | 김호정\*\* | 정혜영\*

\*국립문화재연구소 보존과학연구실

\*\*국립경주문화재연구소 보존과학연구실

## Investigation of the Korean Traditional Hobun(Oyster shell W.) Manufacturing Technique : Centering on Calcination Method

Han Hyoung Lee\*<sup>1</sup> · Soon Kwan Kim\* · Ho Jeong Kim\*\* · Hye-Young Jeong\*

\*Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

\*\*Conservation Science Laboratory, Gyeongju National Research Institute of Cultural Heritage, Gyeongju, 780-410, Korea

<sup>1</sup>Corresponding Author : lhh1025@hanmail.net

**초 록** 호분(합분)은 패각을 주원료로 하여 체질안료 및 백색안료의 용도로 예로부터 사용되어온 물질로, 과거의 제조기술이 사라져가는 전통재료 중 하나이다. 본 연구에서는 전통재료의 제조기법을 되살리고 문화재보수재료로서 원활한 공급의 기초를 마련하기 위하여 과거 호분의 제조기법 중 패각의 소성에 의한 제조기술에 대하여 연구하였다. 연구결과 소성법의 전체공정은 크게 4단계, 소성단계 → 소화(또는 분쇄)단계 → 수비단계 → 건조단계로 요약할 수 있으며, 600℃ 이하의 소성온도에서 패각 중에 존재하는 유기질의 분해산물에 의해 백색도가 낮아지며, 좋은 백색도를 위해 최소 700℃ 이상의 소성온도가 필요함을 밝혔다. 또한 조사된 제조기술에 의거해 생산된 호분은 상당량의 수산화칼슘을 함유하며, 그대로 안료로서 사용이 부적합하고, 별도의 가공단계가 필요함을 임상실험을 통하여 확인하였다. 한편, 한국화의 안료사용기법에서 소개되고 있는 호분의 사용법은 이러한 가공단계가 될 수 있음을 실험을 통하여 확인하였으며, 이 방법은 대량생산에는 적합하지 않으므로, 소량·고품질 호분의 생산에 적합할 것으로 추론하였다.

**중심어:** 호분, 백색안료, 체질안료, 재현연구, 전통기술, 소성

**ABSTRACT** Hobun(Oyster shell W.) is a traditional material used as extender and white pigment from ancient times. The production method of it, however, has been discontinued. We have studied the traditional production method of Hobun through calcination of oyster shell, which is one of the traditional ways for preparing Hobun. Our work has the important meaning in that we can reproduce the manufacturing method of the discontinued traditional material and also it provides a solid background knowledge to stabilize the production and supply of Hobun for the cultural asset repairing materials. The result can be summarized as followings: The production processes of Hobun by calcination method are divided into 4 steps - calcination → slaking(pulverization) → separating fine powder by submergence in water → drying. In calcination step, the temperature is required to exceed 700° to get pure white color of Hobun, since organic materials in the shell cause the final powder to be less white below 600°. And the calcination methods produce significant amount of calcium hydroxide, which is incongruent for pigment materials without additional treatments. The experimental study also demonstrated that the additional treatment process introduced in traditional paintings can be a probable process since the calcium of potassium hydroxide is observed to be promoted by this treatment. It is also concluded that, the calcination method of Hobun is appropriate for a small amount and high quality production.

**Key Word :** Hobun, Oyster shell white, White pigment, Extenders, Reproducing research, Traditional technique, Calcination

## 1. 서론

호분(胡粉)은 고대부터 사용되어온 대표적인 체질안료(體質顔料)로서, 회화나 단청 등의 바탕칠이나 불화 등의 백색안료로서 사용되어왔으며, 미장재로서 회벽 등에도 사용되었던 것으로 기록되어있다.<sup>1,2,3,4,5</sup> 근래에는 문화재 보수 현장에서 주로 단청 등의 체질안료나 바탕칠용으로 중요한 비중을 차지하고 있다. 그러나 1990년대 중반에 들어 낮은 경제성으로 인하여 생산이 중단됨에 따라 한때 품귀현상이 빚어지기도 했으며, 이로 인해 문화재 단청 보수 현장에서 어려움을 겪기도 하였다. 최근 실시한 국내 시판 호분들에 대한 조사결과 현재 대부분의 단청현장에서 사용되는 호분은 구입시기마다 입도나 색도 등에 차이가 있으며, 색상 또한 회색빛이 짙어 품질개선 및 품질규격화가 시급한 것으로 드러났다. 무엇보다 문제인 것은 이 호분의 제조방법 뿐 아니라 국내 생산여부조차 확인할 방법이 없다는 것이며 당장에는 불균일한 품질이더라도 문화재보수현장에 호분이 공급되고 있지만, 향후를 전혀 보장할 수 없는 매우 우려되는 상황이다.

이에 본 연구팀에서 과거호분의 제법을 되살리고, 기술을 계승하기 위하여 호분의 제법을 조사 연구하였다. 그 결과로서 호분(胡粉)은 예전에는 연백(鉛白, 혹은 鉛粉)을 지칭하는 용어로 사용되었던 것이 시대와 지역에 따라 변천을 거듭하면서 연백, 백토, 패각분(합분) 등의 백색계 안료를 지칭하는 의미로 혼용되어 사용되었으며, 우리나라와 일본에서는 현재 패각분(貝殼粉 혹은 貝粉)인 합분(蛤粉)을 지칭하는 명칭으로 일반적으로 사용되고 있음을 확인하였다. 또한 호분(패분 또는 합분, 조개가루)은 체질안료,<sup>7,8</sup> 바탕재,<sup>1</sup> 백색안료,<sup>1,3</sup> 석회벽,<sup>2</sup> 화장품 등 다양한 용도로 사용된 것으로 기록되어있으며, 그 용도로부터 그 물질이 조개껍질을 원료로 한 칼슘계 화합물임을 알 수 있었다. 또한 문헌 및 전통장인들(단청장, 조각장, 한지장)과의 인터뷰, 90년대 중반까지 패각을 원료로 호분을 제조했던 회사 관계자와의 인터뷰 등 과거 호분의 문헌상의 제법과 민간전래제법, 근래의 제법 등을 다각도로 조사하여, 그 제법이 크게 소성법과 풍화법의 두 가지로 분류될 수 있음을 밝혔다. 소성법은 패각을 불에 구워 분말화하고 수비하는 방법이며, 풍화법은 오랜 기간 야외에

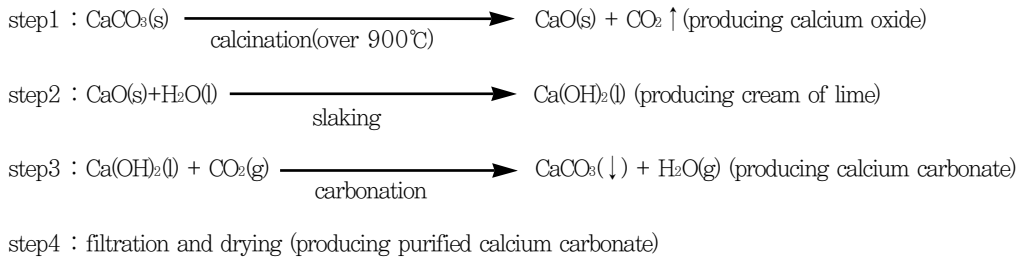
방치되어 풍화된 패각을 분말화하여 수비하는 방법으로 이들 제법이 우리나라와 중국 그리고 일본에 있어 크게 다르지 않음을 확인하였다.<sup>6</sup> 본 연구에서는 지난 연구에서 조사된 과거호분의 제법 중 소성법에 대한 제조기술을 재현실험을 통하여 연구하였다.

## 2. 이론

탄산칼슘(calcium carbonate,  $\text{CaCO}_3$ )은 자연에서 상당히 안정한 물질로 고대로부터 다양한 용도로 사용되어 왔으며, 그 중 하나가 안료로서의 용도이다. 현재 탄산칼슘은 황산바륨 등과 더불어 대표적인 체질안료로서 사용되고 있다. 구조적 특성에 따라 차이가 있으나 일반적으로 탄산칼슘은  $900^\circ\text{C}$  이상에서 이산화탄소를 잃고 산화칼슘(calcium oxide,  $\text{CaO}$ )으로 변화되는 것으로 보고되고 있다. 이 산화칼슘은 상온에서 공기 중 수증기나 이산화탄소(carbon dioxide,  $\text{CO}_2$ )와 결합하여 자발적으로 수산화칼슘(calcium hydroxide,  $\text{Ca(OH)}_2$ )과 탄산칼슘으로 변화되는데 이 과정을 소화(slaking) 또는 분화라 한다. 이 소화단계는 크게 두 가지로 산화칼슘을 물에 담가 공기가 차단된 환경에서 수행하는 습식소화법과, 공기 중에서 수행하는 건식소화법이 있다. 또한 수산화칼슘은 다시 공기 중의 이산화탄소와 반응하여 탄산칼슘으로 서서히 변화하게 되며, 이 과정을 탄산화(carbonation)반응이라 한다. 탄산칼슘의 이러한 순환특성을 적절히 이용하면 보다 정제된 탄산칼슘을 제조할 수 있는데, 그 공업적 예로서는 석회석을 이용한 침강성 탄산칼슘 생산이 대표적이다. 석회석을 이용한 침강성탄산칼슘의 대표적인 제조공정을 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다.<sup>9</sup>

이 단계들 중 가장 중요한 공정은 석회유(cream of lime)의 탄산화반응(carbonation)인 step 3로서, 반응속도가 석회유의 농도와 온도, 그리고 특히 탄산가스의 유량에 영향을 받게 됨으로 석회유에 탄산가스를 강제로 투입하는 방법을 취하게 된다.

조개껍질(이하 패각)은 탄산칼슘과 약간의 유기질(단백질, 지방, 키틴질 등)로 구성되어 있다. 따라서 패각을 적절히 가공하면 품질 좋은 탄산칼슘을 얻을 수 있으며, 과



거로부터 이를 이용한 대표적인 예가 바로 호분이라 생각된다. 우리 연구팀에서는 과거 소성법에 의한 호분(이하 소성호분) 및 유사물질(매염제, 종이충진제, 석회, 화장품)들의 제법을 조사하여 발표한바 있다.<sup>6</sup> 그 결과를 정리하면 Table 1과 같이 요약할 수 있으며, 이 제법들을 종합해 보면 다시 Scheme 1과 같이 두 가지 공정으로 분류할 수 있다.

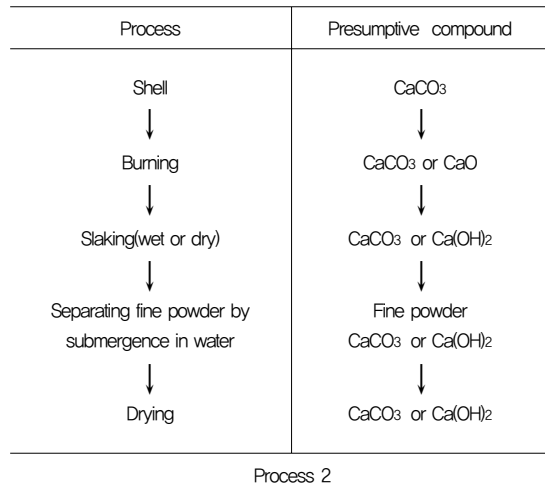
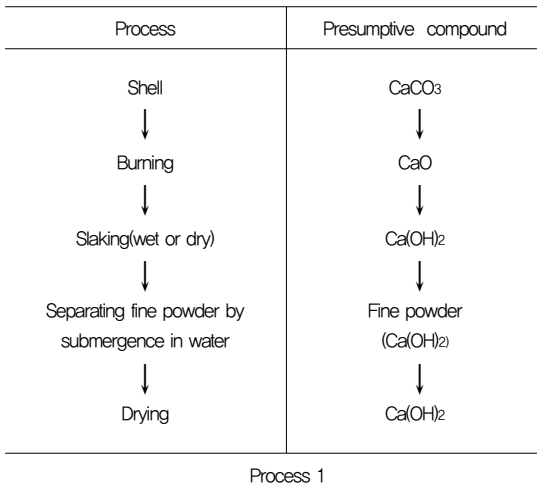
여기서 process 1의 내용은 침강성탄산칼슘의 제조과정과 유사하다. 차이점이라면 석회유의 탄산화반응단계가 제시되어 있지 않다는 것인데, 사실 이 과정은 소성과정과 함께 최종생성물을 결정하는 매우 중요한 단계이다. 탄산화반응 없이 process 1의 방법으로만 진행된다면 생성물은 수산화칼슘일 가능성이 높다. process 2 경우

는 소성단계에 따라 최종산물이 결정될 것으로 생각된다. 만일 탄산칼슘의 탈탄산반응이 진행되는 온도 이상에서 소성이 이루어진다면 process 1에서와 같은 결과를 얻게 될 것이다. 반면, 탈탄산반응이 진행되는 온도 이하에서 소성된다면 패각은 소성 후에도 탄산칼슘으로 남아있을 것이다. 실제로 갑각류에 존재하는 유기물 중 비교적 안정하여 분해가 어려운  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -키틴질의 추출 및 특성 실험에 관해 보고된 내용을 보면 이 세 키틴질은  $200^\circ\text{C} \sim 330^\circ\text{C}$  사이에서 모두 분해되는 것으로 보고하고 있다<sup>9</sup>. 따라서 가장 쉽고 경제적인 방법은 패각을 탈탄산반응 이하로 소성하여 불순물인 유기질만 제거하고 탄산칼슘은 그대로 유지되도록 하는 것이다.

일반적으로 석회유의 탄산화반응속도는 대기 중에서

Table 1. Manufacturing method summary of Hobun by calcination.

No.	Raw materials (shell)	Calcination	Powder production	Separation of fine powder and drying	Usage	Presumptive compound	Remarks
1	Oyster and flash water shells	producing lime by burning	pulverization	separating fine powder using water and drying	white pigment	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	-
2	Oyster and Shells	burning	pulverization	separating fine powder using water and drying	white pigment, extender	$\text{CaCO}_3$ or $\text{Ca}(\text{OH})_2$	about three years weathered shell should be used
3	Oyster	calcination in reduced air condition for a long time	wet slaking (calcined shell becomes powder automatically in water)	separating fine powder using water and drying	extender	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	less than two years weathered shell should be used (residual organic material and salt(NaCl) is important)
4	Oyster and Shells	calcination	wet slaking	separating fine particles	white pigment, cosmetics, plastering material	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	-
5	Oyster	burning in open air condition for 2 hours	pulverization	separating fine powder using water and drying	extender	$\text{CaCO}_3$ or $\text{Ca}(\text{OH})_2$	-
6	Oyster	burning for 12 hours	dry slaking (calcined shell becomes powder automatically in atmosphere)	-	mordant	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	-
7	Hard clam and flash water shells	burning	pulverization	separating fine powder using water	slaked lime	$\text{CaCO}_3$ or $\text{Ca}(\text{OH})_2$	-



(Scheme 1)

빠르지 않다. 또한 수산화칼슘은 별도의 가공 없이 안료로 사용하고 있는 예를 찾아보기 어려우며, 더욱이 알칼리성으로 화장품과 같이 피부에 직접 사용하는 데는 무리가 따른다. 따라서 process 1의 과정을 거쳐 호분을 생산하게 되면 별도의 탄산화과정이 필요하게 된다. 이 경우 소성의 후속단계인 소화와 수비단계에서 어떠한 물질변화가 나타나는지 실험을 통한 확인이 필요하다. 반면, process 2의 과정은 소성조건에 따라 번거로운 탄산화과정을 거치지 않고도 불순물이 제거된 탄산칼슘을 얻을 수 있을 가능성이 있다. 따라서 이 경우에는 소성조건에 대한 규명이 필요하다.

우리는 이들 두 공정에 따라 재현실험을 수행하면서 각 단계별 물질변화를 관찰함으로써, 각 단계의 조건과 목적 및 기술적 중요점을 연구하였다. 또한 이들 두 공정으로 생성된 물질이 체질안료나 백색안료로서의 사용적합성에 대한 임상실험을 단청에 사용될 경우와 회화에 사용될 경우에 대하여 수행하였다. 단청에 사용될 경우의 임상실험 방법은 문화재수리표준시방서의 단청공사<sup>1</sup> 및 단청 관련 문헌에<sup>2</sup> 따랐으며, 회화에 사용될 경우에는 한국화에서의 호분 사용기법<sup>3</sup> 이라 아래와 같이 소개하고 있는 문헌 방법에 따라 수행하면서 물질변화를 관찰하였다.<sup>13</sup>

“합분(蛤粉), 오이스터 셸 화이트(Oyster Shell White), CaCO<sub>3</sub>, 고대 회화의 주요 안료인 합분은 호분(胡粉)이라고 하기도 하고 ... 무명조개나 굴 수컷의 껍질로 만든다.

... 약한 불에서 구우면 석회질로 변한다. ... 물을 부우면 소석회로 변하게 된다. ... 아교와 배합할 때는 합분에 농도가 진한 교수를 섞어 단단한 덩어리를 만든다. 밀가루나 찹쌀가루를 반죽하듯이 많이 만지고 주무를수록 합분의 알갱이가 고와진다. ... 합분을 비빌 때는 손바닥 중간에 놓고 두 손바닥으로 비빈다. 한참 비빈 후에 약한 불로 가열한 접시에 놓고 접시 표면에 부착한다. 손으로 떼어도 떨어지지 않을 때까지 가열하면 완성된다. 사용할 때는 적당한 분량의 맑은 교수를 타서 식지로 중지를 누른 상태에서 가볍게 문지른다. 적당한 농도에 이르기까지 문지른 후 다른 접시에 넘기는데, 투명하고 맑은 색감을 원한다면 위에 뜨는 고운 입자의 합분을 사용한다.” - 정종미, 『우리그림의 색과 칠』, 학고재, 2001, p. 43~44.

### 3. 실험 방법

#### 3.1. 시험 패각

패각마다 미세구조와 분쇄 후 분말의 구조, 탄산칼슘의 결정구조 등이 다르며, 탄산칼슘의 탈탄산반응이 탄산칼슘의 상태에 따라 달라지기 때문에 시험패각의 선정은 매우 중요하다. 우리는 쉽게 구할 수 있는 패각(굴껍질은 선사유적지의 패충에서도 가장 많이 발견되는 패각으로 현

재에도 그 생산량(양식을 제외하고도)이 가장 많은 패류 입), 백색분말이 많이 제조될 수 있도록 크고, 분쇄가 쉬운 패각, 과거 호분 제법에서 그 명칭이 가장 많이 언급된 패각 등의 조건을 고려하여 굴껍질을 시험패각으로 선정하였다. 또한 각종 패각들의 전반적인 소성특성을 알아보기 위하여 몇 가지 실험에 굴 이외에 세 종류의 패각을 함께 실험하였다. 문헌에<sup>1,2,3,4,5,13,14</sup> 그 명칭이 언급되어 있는 점을 고려하여 대합을, 생산량과 분쇄의 용이함, 백색분말의 생성량 등을 고려하여 서해안과 남해안 일대에서 다량 생산되는 동죽과 꼬막을 선정하였다. 이 네 종류 패각 중 굴과 꼬막은 정확한 기간을 알 수는 없으나, 대략 2년 정도 노천에서 풍화된 것을 선정하였다. 동죽과 대합은 수산시장에서 구입한 것으로 풍화되지 않은 것을 사용하였다. 시험패각은 흐르는 물에서 플라스틱 솔로 문질러 1차 세척하고, 초음파세척기에서 1시간 세척하고 세척수를 교체하는 작업을 3회 반복하는 2차 세척을 수행하였으며, 세척 후 실내 및 건조기에서 건조하였다.

### 3.2. 실험 방법

#### 3.2.1. 패각의 열적특성 분석

패각의 소성특성을 알아보기 위하여 4종류 패각에 대하여 열분석기(America, SDT 2960, TA)를 이용한 열중량분석과 시차열분석을 실시하였으며, 전기로(Korea, Siliconit Muffle Furnace, Korea, APM, Muffle Furnace, Nuritech)를 이용한 소성실험을 수행하였다. 열분석시 비교를 위하여 시판되는 시약급 탄산칼슘

(CaCO<sub>3</sub>)을 정제 없이 사용하였다.

소성실험은 소량의 시료(10g)를 이용하여 각 온도별 1시간씩 소성하는 1차 소성실험을 수행하고, 이 결과를 토대로 보다 많은 양의 시료를 이용하여 소성시간을 조절하는 2차 소성실험을 수행하였다. 전기로 안의 분위기는 임의로 조절하지 않았으며, 전기로 챔버와 도어 사이에 약간의 틈(약 2mm)이 있어 기체의 유출입이 가능한 상태였다. 실험 조건은 Table 2에 나타내었다.

한편, 과거 선조들이 주변에서 쉽게 구할 수 있는 재료를 이용하여 특별한 장치 없이 손쉽게 얻을 수 있는 온도는 어느 정도인지 확인하기 위하여, 굴껍질을 대상으로 모닥불을 이용한 노천소성실험을 수행하였다. 먼저 공기가 풍부하게 공급되는 분위기에서 실험하기 위해 굴 패각을 모닥불의 중앙에 위치시키고, 활활 타는 모닥불에서 30~40분간 소성한 후, 패각의 상태를 관찰하였다. 다음으로 불기운을 보다 오래 지속시키고, 공기의 공급이 부족한 분위기에서 실험하기 위하여 모닥불 위에 왕겨를 덮고 약 1시간 30분 정도 더 유지하였다. 노천소성실험 시 온도 측정은 비접촉식 온도측정기(Germany, Testo, testo845)를 이용하였으며, 모닥불의 길불꽃과 속불씨 및 왕겨를 걷어낸 부위에 노출된 불씨에 대하여 온도를 측정하였다. 소성 후 시료의 특성 연구에는 X-선회절분석기(Japan, MAC Science, M18XAHF22, 40kV, 60mA)와 전자현미경(Japan, Jeol, JSM-5910LV, 20kV, 75μA, spotsize 40-55), 전자현미경에 부착된 에너지분산형 X-선 분석기(England, Oxford, 7324, , 20kV, 75μA, spotsize 50, 120sec)를 이용하였다.

Table 2. Experimental condition of thermal analysis and calcination.

Experiment	Instrument (chamber size, cm)	Heating rate	Highest temperature and keeping time(hr) at highest temp.	Chamber condition	Sample size and mass
Thermal analysis	SDT, 2960	10°C/min	1200°C	Air	0.2~0.3cm, 10~20mg
Calcination 1	Siliconit Muffle Furnace, APM (10x10x30)	5°C/min	400-1200(interval 100°C), 1hr	not controled	3~5cm, 10g
Calcination 2	Muffle Furnace, Nuritech (30x35x60)	5°C/min	400-900(interval 100°C), 1, 3, 5, 7, 9hr	not controled	3~5cm, 570g

### 3.2.2. 소화 조건 실험

패각의 소성 후 소화방법에 따른 특성을 관찰하기 위하여 소화조건을 조절하는 실험을 수행하였다. 패각은 900℃에서 2시간 소성한 것을 사용하였으며, 소화조건을 건식소화법과 습식소화법으로 조절하여 실험하였다. 건식소화법으로 소성패각을 한지에 싸서 공기 중에 보관하고, 습식소화법으로 소성패각을 분쇄하여 패각부피의 2-3배의 물에 침적하여 뚜껑을 덮어 보관하면서 12일과 29일 경과 후 패각의 상태를 전자현미경(Jeol, JSM-5910LV)과 X-선회절분석기(MAC Science, M18XAHF22)를 이용하여 관찰하였다.

### 3.2.3. 수비 조건 실험

상기 두 가지 방법으로 소화된 소성패각시료의 수비단계에서의 변화양상을 관찰하기 위하여 두 가지 종류의 수비방법에 대하여 실험하였다. 첫 번째 방법은 분말중량의 약 10배의 증류수를 가하여 400rpm의 속도로 6시간 교반한 후 상등액을 교체하는 방법이며, 두 번째 방법은 역시 분말중량의 약 10배의 증류수를 가하고 400rpm의 속도로 6시간 교반한 후 상등액을 제거하고 건조하는 과정을 반복하는 방법이다. 장시간 수비한다는 문헌내용을<sup>3</sup> 참조하여 수비는 약 3개월에 걸쳐 수행하였으며, 두 수비 과정에 대하여 각각 약 3cycle에 걸쳐 수행하면서 매 싸 이틀마다 일정량의 시료를 취하여 X-선 회절분석(MAC Science, M18XAHF22)을 실시하였다.

### 3.2.4. 임상시험

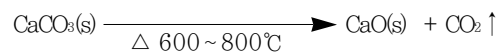
수비단계까지 거쳐 건조된 호분은 우선 단청에서의 사용방법에<sup>11,12</sup> 따라 생성된 분말을 적절한 교착제와 배합 후 이를 목재시편에 적용하고, 그 작업성과 결과물을 관찰하였다. 교착제는 전통적인 교착제로서 아교를, 현대적인 교착제로서 현재 단청현장에서 사용되고 있는 아크릴과 초산비닐계 고분자의 공중합체를 이용한 수성에멀전 형태의 교착제 포리졸506(상품명)을 사용하였다. 목재시편은 미리 각각의 교착제로 포수한 것을 사용하였으며, 이때 각 포수액은 아교와 물의 비율은 1:9, 포리졸506과 물의 비율은 1:1.5로 하였다. 교착제와 안료의 배합 비율은 칠하기에 적절한 농도가 되도록 조절하였다. 시험

에는 900℃에서 2시간 소성하고 습식소화와 습식수비단계를 거친 굴 패각 분말을 사용하였다. 한편, 비교를 위하여 탄산칼슘이 주성분인 시판되는 수입호분을 함께 시험하였다. 다음으로 회화에서 '한국화에서 호분사용 기법'으로 소개하고 있는 방법에 따라 실험을 수행하면서 물질변화를 관찰하였다. 호분은 900℃에서 2시간 소성하고 습식소화와 습식수비단계를 거친 굴 패각 분말을 사용하였으며, 분말을 진한 아교수(1:9)와 배합하여 단단한 덩어리를 만들고, 많이 주무른 다음, 가열교반기에서 약하게 가열된 살레에 눌러 부착하였다. 이후 굳어 단단해질 때까지 약하게 가열한 후, 실온에 방치하여 냉각하고, 이것을 따뜻한 물에 풀고, 따뜻한 증류수로 수세하면서 매회 수세수의 pH(Merck, pH-Indicator 0-14)를 측정하였다. 수세가 끝난 후 건조시킨 분말은 X-선회절분석으로 결정구조를 확인하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 패각의 열적특성 분석

패각의 열분석결과 그래프를 Figure 1에 나타내었다. 그래프에서 X축은 온도를 나타내며, Y축에서 좌측은 가열에 따른 중량감소율을 우측은 기준물질과의 온도 차이를 나타낸다. 또한 녹색의 그래프는 시료의 중량감소율을, 청색은 기준물질과의 온도 차이를 나타낸다. 열분석 결과 4종류의 패각은 모두 200~400℃에서 소폭의 1차 중량감소가 나타나며, 600~800℃에서 탄산칼슘의 탈탄산반응에 기인하는 2차 중량감소가 관찰된다. 시판되는 탄산칼슘은 탈탄산반응에 의한 중량감소와 흡열피크가 600~750℃ 사이에서 나타난다.

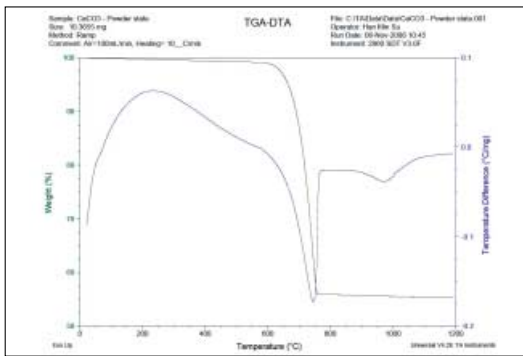


네 종류 패각의 탈탄산 반응은 시판되는 시약급 탄산칼슘과 거의 유사한 온도(600℃ 근처)에서 시작되어 800℃를 전후하여 반응이 완결됨을 볼 수 있다. 조직이 상대적으로 성긴 굴은 보다 낮은 온도에서 반응이 완결되는 것이 관찰되며, 상대적으로 조직이 치밀한 대합의 경우 약

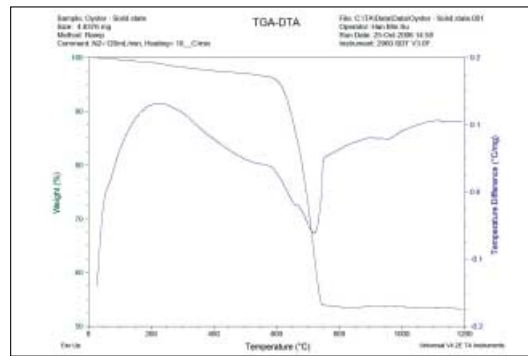
820℃ 정도로 반응완결 온도가 가장 높게 나타났다. 이상으로부터 이들 패각을 소성하면 600℃ 근처에서 탈탄산반응이 시작되며 800℃ 이상의 온도로 가열할 경우 대부분이 산화칼슘(생석회, CaO)으로 변환됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 몇몇 문헌의 실험결과와 상통한다.<sup>16,17,18</sup>

소성실험에서는 소성에 따른 패각상태의 육안관찰과, 소성온도별 결정구조와 입자구조를 관찰하였다. 먼저 소성

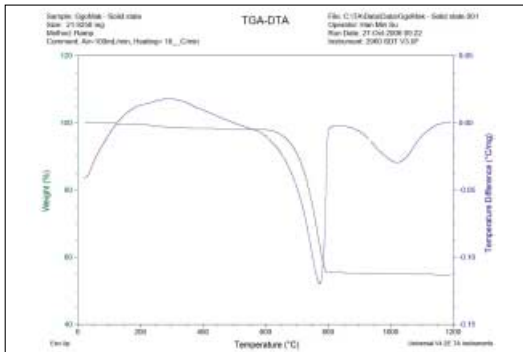
에 따른 패각의 육안관찰 결과, 1차 소성에서 400~800℃에서 소성한 패각의 경우 소성 후 패각의 전체 형태는 유지되며, 소성 온도에 따라 색의 변화가 관찰되었다 (Figure 2). 낮은 소성온도에서 패각의 색은 소성 전보다도 오히려 더욱 흑색에 가까우며, 조직이 생긴 굴껍질의 경우 600℃에서, 조직이 치밀한 대합의 경우 700℃의 소성온도에서 색이 밝아지기 시작하는 것을 볼 수 있다.



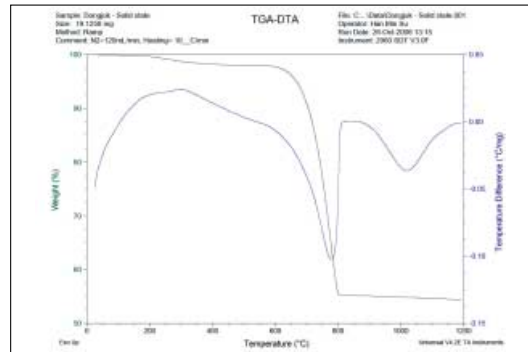
(a) Extra pure calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>)



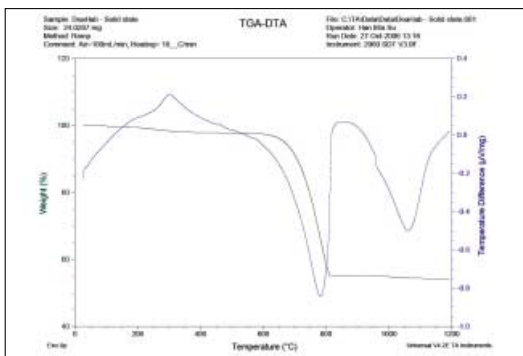
(b) Oyster Shell



(c) Ark shell



(d) Surf clam shell



(e) Hard clam

Figure 1. Thermal analysis graphs.

그렇다면, 낮은 온도에서 패각의 색상을 어둡게 만드는 요인은 무엇인가? 우리는 패각을 0.5M EDTA 용액에 5일간 침적하여 패각을 이루고 있는 유기질 조직을 노출(Figure 2(c), 광택이 있는 비닐 같은 부분)시키고, 온도별로 소성을 수행하였다. 그 결과 낮은 온도에서 높은 온도로 갈수록 노출된 유기질이 갈색에서 검은색, 검은색에서 회색으로 변하다가, 온도가 더 높아지면(700°C 이상) 사라지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 패각 중에 존재하는 유기질이 소성에 따라 분해되어 탄소형태로 변화되면서 갈색이나 검은색을 띠었다가 소성온도가 더욱 높아지면 이산화탄소 기체의 형태로 제거되는 과정을 반영하는 것으로 판단할 수 있다. 이것은 유기질이 분해된다고 해도 그 잔류물이 어느 온도까지는 남아있을 수 있음을 나타낸다.

열분석 결과(Figure 1)에서 이에 따른 현상이 관찰되지 않은 것은 아마도 이러한 반응이 패각의 탈탄산반응과 겹쳐 나타나기 때문으로 판단된다. 이렇게 낮은 온도에서 패각의 색을 어둡게 하는 원인이 패각 내에 존재하는 유기질 때문이라면, 같은 소성온도에서 더 오랜 시간을 유지한다면 이 탄소화된 물질이 제거되어 백색도가 향상될 수 있지 않을까?

굴껍질에 대한 소성시간을 늘린 2차 소성실험결과, 600°C 이하에서는 9시간 이상 소성하여도 좋은 백색도를 얻기 어려웠으며, 800°C에서 3시간 소성한 경우에 좋은 백색도를 얻을 수 있었다. 한편, 700°C에서 3시간, 5시간, 9시간에 걸쳐 소성한 결과 공기와 접촉하는 표면 부분의 백색도는 좋으나, 공기와의 접촉이 원활하지 않은 표면 아랫부분의 패각은 여전히 회색빛을 보였다. 이것은

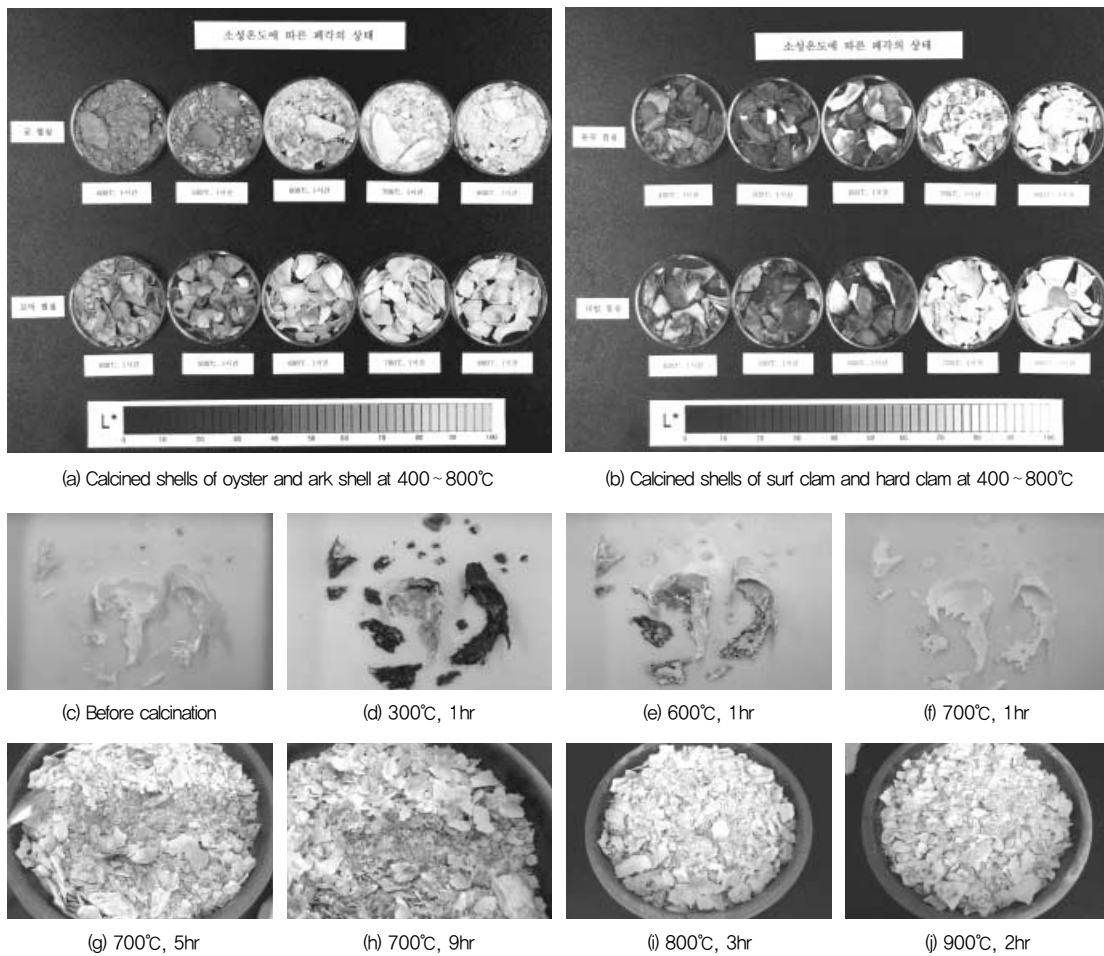


Figure 2. The calcination temperature dependence of the shells color.



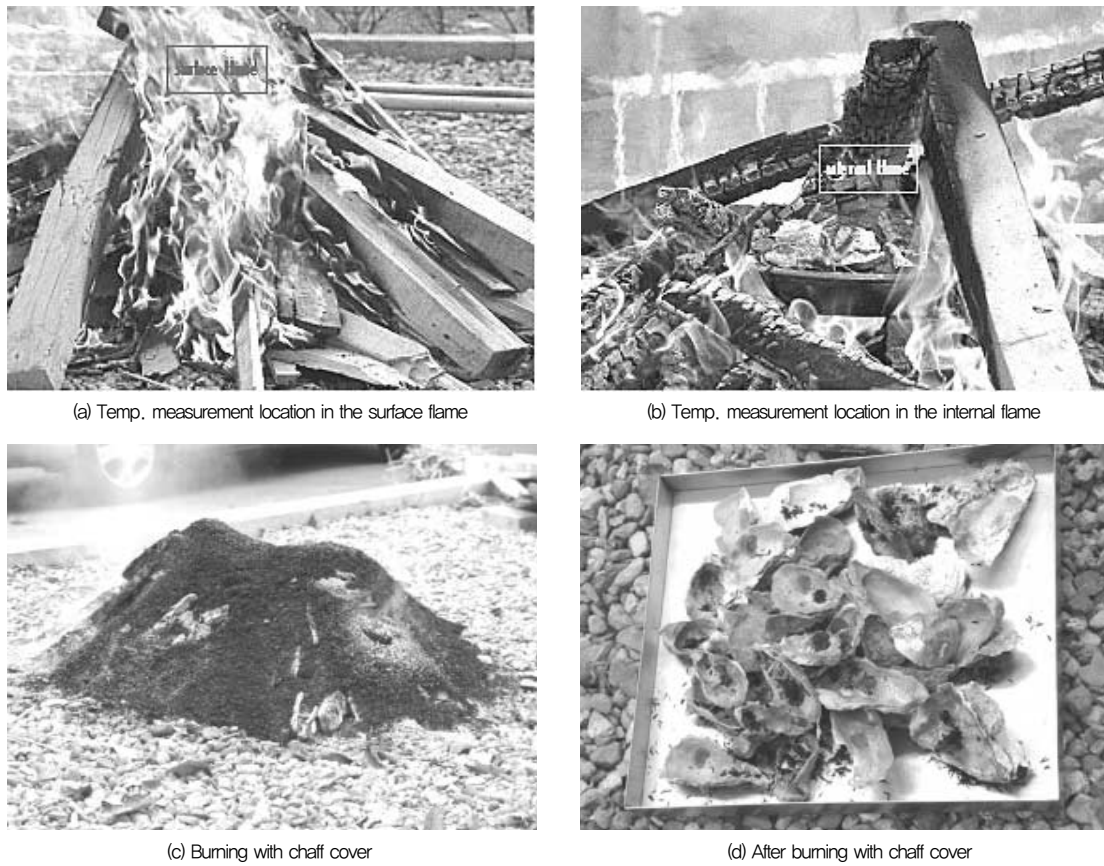


Figure 3. Open air calcination test.

비교적 낮은 온도(700℃)에서 소성에 의한 백색도 향상에는 공기와의 접촉이 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다.

한편, 모닥불을 이용한 노천소성실험에서 모닥불의 길불꽃 온도는 700~800℃, 속불씨의 온도는 850~900℃로 측정되었다(Figure 3(a), 3(b)). 먼저 활활 타는 모닥불에서 30~40분간 소성한 굴껍질은 표면이 백색으로

변하였고, 중심부분은 아직 검은색으로 남아있었다. 이것은 소성이 약간 부족함을 의미하며, 패각의 양에 따라 소성시간은 달라지겠지만 산소와의 접촉면이 풍부한 조건에서 대략적으로 1~2시간 정도면 좋은 백색도의 소성패각을 얻을 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

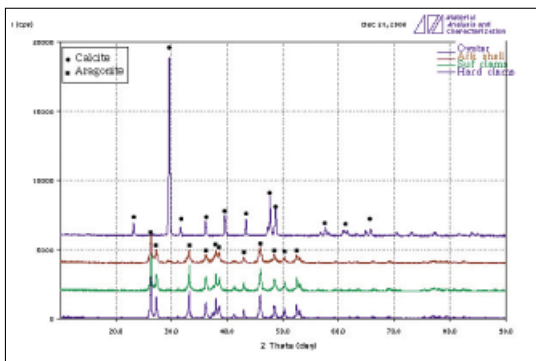
다음으로 모닥불 위에 왕겨를 덮고 약 1시간 30분 정

Table 3. Crystal structures with respect to calcination temperature.

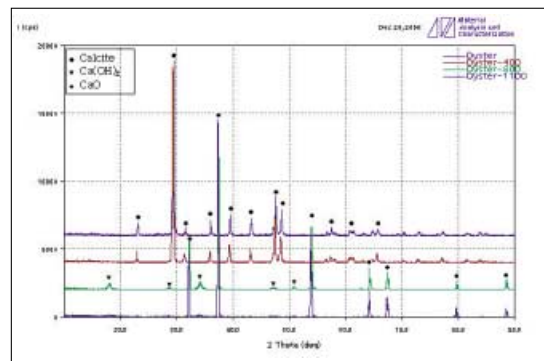
		Species	Crystal Structures
Before calcination		Oyster	CaCO <sub>3</sub> (calcite)
		Ark shell, Surf clam, Hard clam	CaCO <sub>3</sub> (aragonite)
After calcination	400℃, 1hr	Oyster, Ark shell, Surf clam, Hard clam	CaCO <sub>3</sub> (calcite)
	600℃, 1hr	Oyster, Ark shell, Surf clam, Hard clam	CaCO <sub>3</sub> (calcite)
	800℃, 1hr	Oyster, Ark shell	CaO
		Surf clam, Hard clam	CaCO <sub>3</sub> (calcite), CaO
	900℃, 1hr	Oyster, Ark shell, Surf clam, Hard clam	CaO
1100℃, 1hr	Oyster, Ark shell, Surf clam, Hard clam	CaO	

도 불기운을 더 유지하면서 왕겨 속의 온도를 측정하  
 결과 내부 불씨의 온도는 800~850℃로 모닥불의 불씨온  
 도보다 약간 낮았다. 가열이 끝난 후 굴껍질을 관찰한 결  
 과 겉 부분은 백색이던 것이 많은 부분 검게 변화했으며  
 중심부분은 회백색을 띠었는데, 이것은 불완전 연소된 탄  
 소가 굴껍질 표면의 조직사이로 흡착되어 나타난 현상  
 으로 판단된다. 이것은 몇몇 민간전래 방법과 유사물질 제  
 조방법에서<sup>19,20</sup> 언급하고 있는 것처럼 공기가 차단된 분

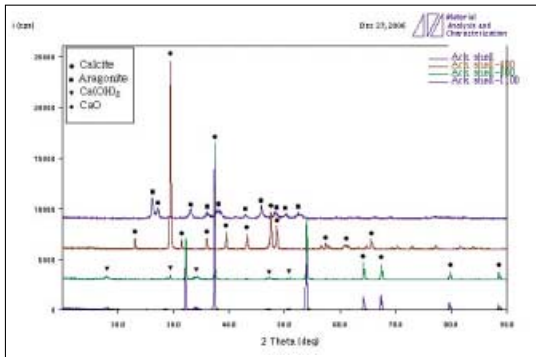
위기(환원분위기)에서 소성한다면, 좋은 백색도를 얻기 위  
 해서는 고온의 불기운을 보다 오래 지속할 수 있는 방안  
 이 필요함을 시사한다. 실제로 민간전래 제조방법을 보면  
 장작더미 위에 패각을 얹고 현 명석 등을 덮어 불기운이  
 오래(12시간 정도) 지속될 수 있도록 하는 것을 볼 수 있  
 다.<sup>19</sup> 이상으로 노천소성실험 결과는 특별한 장치나 설비  
 없이 패각을 소성할 때에도 소성온도는 700℃~900℃  
 정도임을 보여준다.



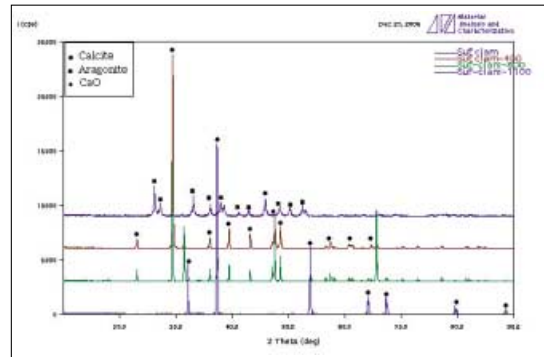
(a) XRD graph of raw shells



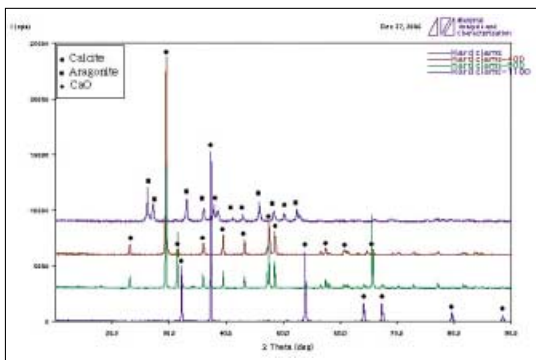
(b) XRD graph of Oyster shells



(c) XRD graph of Ark shells



(d) XRD graph of Suf clam shells



(e) XRD graph of Hard clam shells

Fig. 4. XRD graphs of shells.

상기의 소성실험결과를 종합해 볼 때, 과거에 패각을 소성하였다면, 그 온도는 최소 700°C 이상이었을 것임을 알 수 있으며, 충분한 양의 패각을 소성하려면 800°C 이상이 필요함을 알 수 있다. 따라서 소성호분 제법으로 요약되는 두 공정(Process 1과 Process 2) 중 어느 방법을 택하든 충분한 소성을 했다면 그 소성온도는 800°C 이상이었을 것임을 알 수 있다.

다음으로 온도별로 소성에 따른 패각의 결정구조 변화를 관찰하였다. 소성 전 패각 중 굵은 방해석(calcite), 꼬막, 동죽, 대합은 아라고나이트(aragonite)의 결정구조를 가지는 것으로 나타났다. 이 세 종류의 아라고나이트 결정 구조를 가진 패각은 400°C에서 1시간 소성 후 모두 방해석으로 전이되었다(Table 3, Figure 4). 이것은 일반적으로 알려진 아라고나이트의 상전이온도와 일치하는 결과이다.<sup>21</sup> 800°C에서 1시간 소성할 경우 굵과 꼬막은 거의 산화칼슘(CaO)으로 전환되며, 동죽과 대합의 경우는 일부 탄산칼슘이 남아있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 패각의 열분석결과와 일치하는 결과로서, 패각의 소성온도가 700°C 이상이 되면 패각을 이루고 있는 탄산칼슘의 일부가 산화칼슘으로 전환되며, 800°C 이상이 되면 거의 산화칼슘으로 변화되는 것을 나타낸다. 이러한 결과로 볼 때, 소성법의 두 공정 process 1과 process 2 의 어느 방법을 따르더라도 소성생성물이 일부 또는 상당량의 산화칼슘을 포함하게 됨을 알 수 있다.

마지막으로, 소성에 따른 패각의 입자구조변화를 굽겹질을 중심으로 관찰하였다. 소성 전 굽겹질 단면의 전자현미경 사진을 살펴보면(Figure 5(a)), 조직이 성긴 A부분과 치밀한 B부분을 볼 수 있는데, 확대하여 관찰하면 Figure 5의 (b)와 (c)에서와 같이 성긴 부분은 얇은 판으로 이루어진 벌집모양의 구조를 가지며, 치밀한 부분은 판상의 조직이 치밀하게 차곡차곡 쌓여있는 구조를 가짐을 알 수 있다. 이러한 구조로 볼 때, 성긴 부분은 쉽게 분쇄될 것으로 기대되며, 치밀한 부분은 상대적으로 분쇄가 어려울 것으로 기대된다. 실제로 굽지 않은 굽겹질을 분쇄하여 주사전자현미경으로 관찰한 결과 Figure 5(d)에서와 같이 미세한 크기의 얇은 판상파편들과 비교적 훨씬 큰 덩어리 상태로 남아있는 치밀 조직의 파편을 쉽게 관찰할 수 있었다. 이러한 치밀 조직의 파편들은 굽겹질 분말의 특징적 구조로서 이러한 입자구조를 이용하여 과거 사용된 백색안료의 원료를 조사한 연구가 보고된 바 있다.<sup>22</sup>

이러한 입자형태는 소성온도가 증가함에 따라 점차로 변화되는데(Figure 6), 굽기 전 판상의 구조를 가졌던 미세한 파편들은 소성온도가 올라가면서 대부분 작은 무정형의 덩어리 형태로 변해가며, 치밀 조직의 파편 덩어리들은 소성온도가 증가함에 따라 다공성의 조직으로 변해되어가는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 다공성구조는 패각을 이루는 탄산칼슘의 탈탄산 반응에 의한 것으로 판단되며, 이로 인해 물질에 대한 흡수와 흡착능력이 매우 향

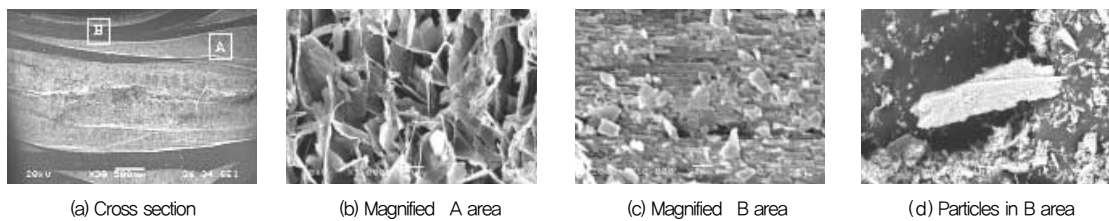


Figure 5. Scanning electron microscopic images for Oyster shell.

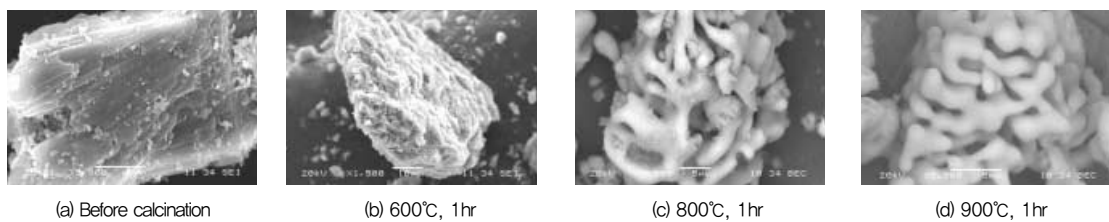


Figure 6. Varied microtexture of Oyster shell by the calcination temperature.

상될 것으로 기대된다. 모닥불을 이용한 소성실험에서, 공기가 풍부한 조건에서 이미 백색으로 변화된 패각이 왕겨를 덮어 두자 다시 검게 변화된 이유를 흡착능력이 향상된 이러한 다공성 구조에서 찾을 수 있을 것이다. 한편, 본 실험에서는 꼬막과 동죽 및 대합의 경우 굴껍질과 달리 뚜렷한 특징적 구조의 관찰이 어려웠다. 이것은 미세입자의 응집으로 인한 것으로 판단되며, 현재 입자의 응집을 막을 수 있는 적절한 방법을 고안중이다.

#### 4.2. 소화조건 실험 결과

소화조건 실험에서는 소화조건을 건식과 습식으로 조절하면서 소화된 결과물의 육안관찰과 결정구조, 입자구조, 화학조성 등의 특성변화를 관찰하였다. 먼저, 두 소화실험 조건에 대한 육안관찰 결과 습식법에서보다 건식법에서 분말화가 빠르게 진행되는 것이 관찰되었다. 12일 후 습식법은 약 50% 정도가, 건식법은 약 80% 정도가 분말화되었다. 이는 습식법에서 많은 양의 물에 의해 산화칼슘이 과소되었기 때문으로 판단된다. 또한, 패각소성으로 형성된 산화칼슘( $\text{CaO}$ )은 습식과 건식법 모두에서 시일이 경과할수록 점차적으로 수산화칼슘( $\text{Ca(OH)}_2$ )으로 변화되는 것을 확인할 수 있었으며, 결정구조와 입자구조에서 차이가 관찰되었다(Figure 7, 8, 9).

건식법의 경우 뭉툭하고 낮은 X-선 회절 피크로 생성된 수산화칼슘( $\text{Ca(OH)}_2$ )의 결정성이 낮음을, 습식법의 경우 높고 날카로운 피크 형태로 결정성이 좋은 수산화칼슘이 형성되었음을 알 수 있다. 입자구조 또한 이를 반영하는데, 건식법의 경우 수산화칼슘 분말 입자는 모서리가 거

의 발달하지 않은 무정형의 형태를 나타내며, 습식법의 경우 12일 경과 시 입자의 모서리가 발달하기 시작하고, 29일 경과 후에는 판상구조가 잘 발달되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 굴껍질에서 소성 전에 판상의 치밀 구조를 이루던 입자들이 비록 길쭉길쭉한 판상의 모양은 모두 변화되었지만, 소성 직후 및 소성 후 소화과정에도 불구하고 여전히 그 덩어리 형상을 유지하고 있음이 주목할 만하다.

한편 두 소화조건 모두에서 생성물은 수산화칼슘이 지배적이며, 탄산칼슘의 생성량은 매우 미미하였다. 산화칼슘의 경우, 어떠한 형태로든 최종생성물에 남아있게 되면, 채색 후에 공기 중의 수분이나 이산화탄소와 반응하여 팽창하게 됨으로서, 채색의 손상을 초래하게 된다. 따라서 소화단계는 산화칼슘을 수산화칼슘이나 탄산칼슘으로 전환시키기 위한 단계로 생각할 수 있다. 또한 소성법에 의한 과거호분의 제조과정 process 1과 process 2를 보면, 두 공정에서 소성과 수비의 중간단계로서 하나는 소화단계를, 다른 하나는 분쇄단계를 제시하고 있다.

만일 패각이 소성으로 모두 산화칼슘으로 변화되었다면 소화단계를 통하여 분말화될 수 있을 것이며, process 1의 공정으로 충분한 것이다. 그러나 충분한 소성이 이루어지지 않아 일부 탄산칼슘형태로 남아있는 경우에는 별도의 분쇄과정이 필요하게 되며 이 경우에는 process 2의 공정을 거쳐야 할 것이다. 또 한편, 두 소화방법에서 생성되는 수산화칼슘의 입자형태 차이를 볼 때, 임의로 무정형 또는 판상의 입자형태 등을 얻기 위한 목적으로 소화단계를 조절했을 가능성을 생각해 볼 수 있다. 일례로 제지용으로 사용되는 탄산칼슘은 그 입자의 형태에 따라 용도가 달라지는데 평판형 입자는 제지 도공용 안료로



Figure 7. Slaking of calcined shells.

서 인크수리성 및 평활성 등의 우수한 특성을 보인다고 보고되고 있다.<sup>23</sup>

이러한 결과를 종합해 보면, 소화단계의 목적은 산화칼슘의 변화와 분말화, 특정 형태의 입자구조를 가지는 물질 제조의 세 가지로 생각해 볼 수 있다. 실험결과 산화칼슘의 구조와 양에 따라 차이가 있겠지만 두 소화법 모두 충분한 기간 동안 소화한다면 산화칼슘은 모두 수산화칼슘과 소량의 탄산칼슘으로 변화됨을 알 수 있으며, 약간의 산화칼슘이 남아있다 해도 다음 단계인 수비단계에서 추가적 변화가 진행될 수 있다. 또한 분말화에 있어서는 습식소화법 보다 건식소화법이 유리하며, 입자형태를 조절하기 위해서는 충분한 소성으로 패각의 탄산칼슘을 모두 산화칼슘으로 변환시키는 것이 중요하다.

### 4.3. 수비조건 실험 결과

소화단계에서 두 방법으로 얻어진 물질에 대하여 다시 두 가지의 수비조건, 습식법과 습-건식법을 적용하였다. 각 조건에 대하여 3cycle에 걸쳐 수비를 수행하면서 매 사이클마다 일정량의 시료를 취하여 결정구조분석을 통한 물질변화 양상을 관찰한 결과, 수비 횟수가 증가함에 따라 보다 미세한 입자를 얻을 수 있었으며, 탄산칼슘의 생성량도 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 수비도중 공기 중의 이산화탄소가 수비현탁액에 용해하여 수산화칼슘을 부분적으로 탄산칼슘으로 변화시켰기 때문이다. 그러나 탄산칼슘으로의 변화속도는 매우 느려, 3개월간의 수비에도 탄산칼슘량의 큰 증가는 관찰되지 않았다.

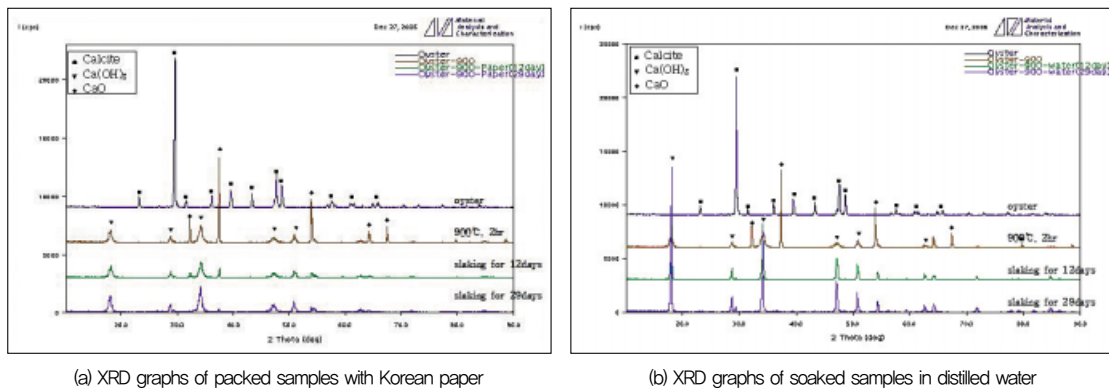


Figure 8. XRD graphs of slaked shell.

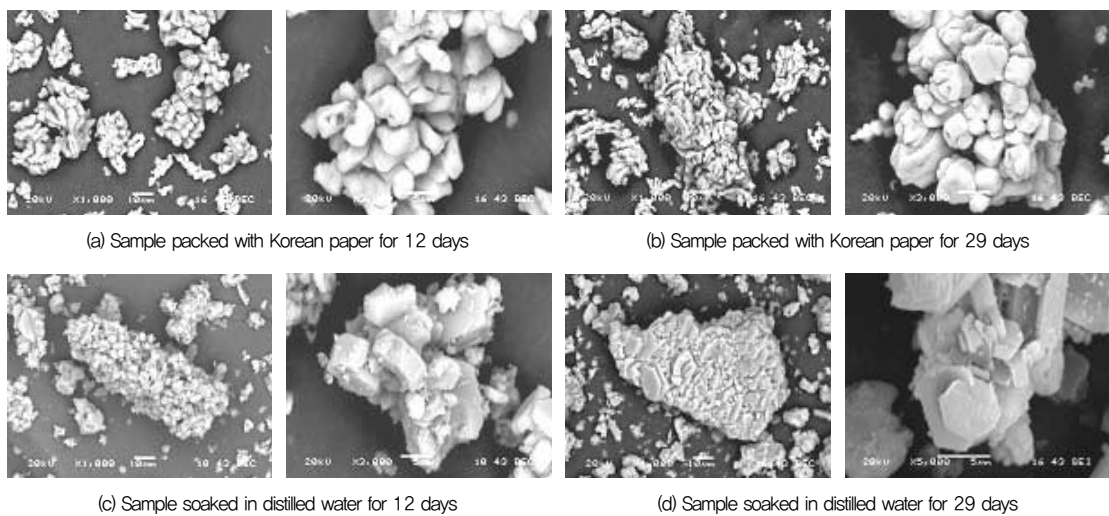


Figure 9. Scanning electron microscopic images of slaked shells.

현재 공업적으로는 이 반응을 빠르게 하기 위하여 수산화칼슘 현탁액 중에 고압의 이산화탄소기체를 가하거나 수중에서 탄산이온을 발생시키는 다른 화학물질을 첨가하여 수산화칼슘의 탄산화반응속도를 촉진시키는 것이 보통이다. 결과적으로 수비단계는 물질변화 등의 목적보다는 미세입자의 분리가 주된 목적이었을 것으로 판단된다. 한편, 장기간의 수비과정은 수산화칼슘의 재결정화를 유발할 수 있다. 따라서 소화과정의 차이에서 발생한 입자구조는 수비과정에서 상당부분 변화될 가능성이 있다.

이상으로 우리는 소성과 소화 그리고 수비단계를 거쳐 생성되는 물질이 상당량의 수산화칼슘을 함유한 물질일 수밖에 없음을 알 수 있었다. 수산화칼슘의 경우 작지만 물에 용해되어 pH 12가 넘는 강알칼리성을 띠게 됨으로 알칼리에 약한 안료나 고착제와 사용하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다. 그러나 과거제법의 조사결과에서 더 이상의 단계를 찾을 수 없으므로, 상기의 과정을 거쳐 생성된 호분(상당량의 수산화칼슘 함유)으로 임상실험을 실시하였다.

#### 4.4. 임상 실험 결과

900℃에서 2시간 소성하고 습식소화와 습식수비단계를 거친 호분(약 70% 이상의 수산화칼슘함유)을 사용하여 단청에의 적용방법에 따라 실험을 수행한 결과, 아교와 배합 시 탄산칼슘이 주성분인 시판호분보다 훨씬 빨리 경화되는 특성을 보여 배합액의 농도조절이 매우 어려웠으며, 칠 작업이 용이하지 않았다. 또한, 수성에멸전인 포리졸 506과 배합 시에는 에멸전을 멩치게 만들어 아교에서 보다 더욱 사용이 어려웠다. 뿐만 아니라, 강알칼리성으로 목재에 적용 시 목재내부로부터 알칼리에 약한 물질의 용출로 갈변이 발생하는 등 목재에 사용하기에 부적합한 특성들을 나타내었다. 결과적으로 또 다른 추가적 처리 없이 수산화칼슘 상태로는 단청 등에 안료로서 직접 사용이 부적합하며, 적절한 방법으로 탄산칼슘으로 변화시켜야 함을 알 수 있었다.

다음으로 회화에서 '한국화에서의 호분 사용기법'으로 제시되고 있는 방법에 따라 소성호분을 처리하면서 물질

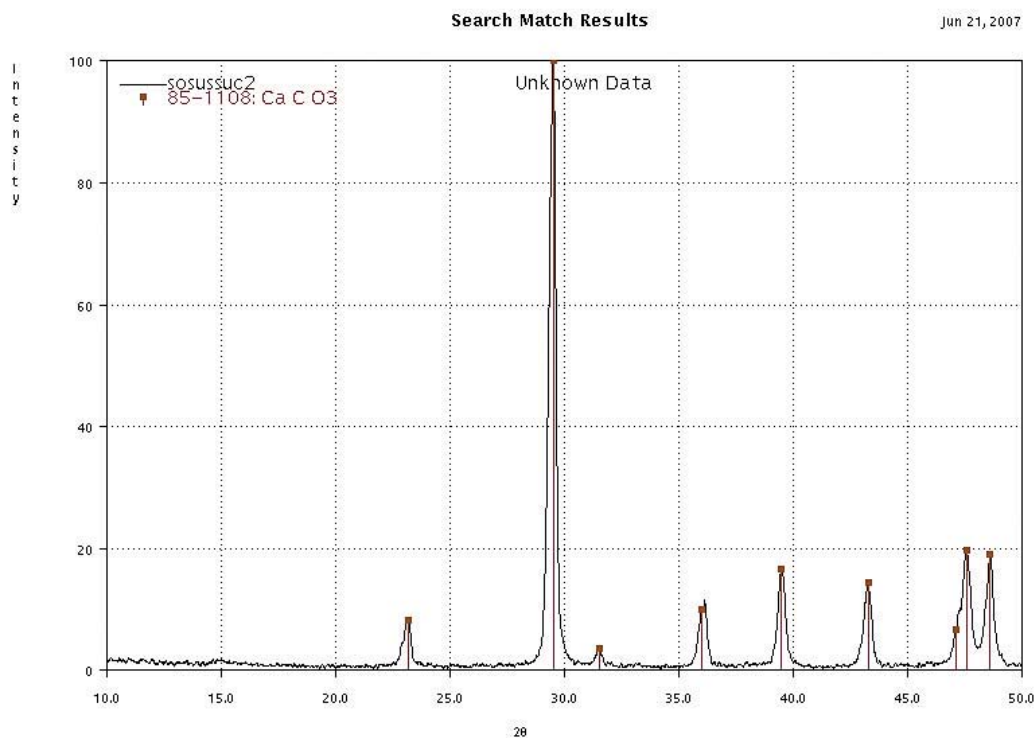


Figure 10. XRD graphs of calcium carbonate treated by glue and heat.



변화를 관찰한 결과 수산화칼슘이 주성분이던 호분이 단 시간 내에 탄산칼슘으로 변화되는 것이 확인되었다. 아교와 배합한 호분을 가열하여 단단한 덩어리가 된 것을 따뜻한 물에 풀고, 따뜻한 증류수로 수세함에 있어, 수세의 횟수가 증가함에 따라 수세수의 pH가 급격하게 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 처음 수세수의 pH가 12.5 정도로 매우 높게 나타나던 것이, 5회 수세수에서는 거의 중성(pH 측정 페이퍼의 색변화가 나타나지 않음)을 나타내었다. 수세가 끝난 후 건조시킨 분말의 결정구조 분석결과 수산화칼슘은 모두 탄산칼슘으로 변화되었으며, X-선 회절피크의 형태는 빠른 탄산화반응의 결과에 기인한 낮은 결정화도를 반영하였다(Figure 10).

이것은 화기들이 안료로서 호분을 사용하는 방법이 바로 수산화칼슘의 느린 탄산화반응을 촉진하여 빠르게 탄산칼슘을 제조하는 방법임을 나타내는 매우 흥미로운 결과이다. 그러나 이러한 방법은 대량의 호분이 소요되는 경우에는 부적합한 방법으로 판단된다. 따라서 소성법에 의한 호분 제법은 단청과 같이 대량이 소요되는 공사에서 보다는 비교적 훨씬 소량으로도 충분한 회화 등에서의 사용을 목적으로 한 제법이었을 가능성을 추론할 수 있다. 한편, 소성법을 소개하고 있는 문헌에서도<sup>15</sup> 소성호분의 주성분이 탄산칼슘이라 소개하면서, 고급 백색안료라는 점을 강조하고 있어 이러한 추론을 더욱 뒷받침한다. 그러나 이는 향후 고대 안료에 대한 분석법 개발과 지속적인 분석연구로 확인되어야 할 부분이다.

한편, 이 방법으로 제조된 호분은 결정성이 낮을 것으로 판단되며, 이 경우 소화과정에서 형성된 특성 모양의 입자형태가 유지된다고 보기 어렵다. 따라서 소화단계의 목적이 특정 형태의 입자형성은 아닐 것으로 판단되며, 더불어 안료로 사용하기 위해 수산화칼슘이 적절치 않으므로 소성시 폐각의 탄산칼슘을 모두 산화칼슘으로 변화시킬 필요는 없게 된다. 따라서 두 공정 모두에서 소성단계는 탄산칼슘의 물질변화보다는 유기질인 불순물의 확실한 제거가 가장 중요한 목적이었을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구는 사라져가는 전통재료의 제조기법을 되살리고 문화재보수재료로서 전통호분 제조를 위한 기반 마련을 위하여 전통호분의 제조기법 중 소성법에 대한 과거의 제조기술을 연구하였다. 먼저 소성법 호분의 전체적 제조공정을 밝히고, 제조 공정의 각 세부단계별 기술요건을 실험을 통하여 고찰하여, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 소성법에 의한 호분의 제조공정은 크게 4단계, 소성 → 소화(또는 분쇄) → 수비 → 건조로 요약할 수 있다.
2. 폐각(굴, 꼬막, 동죽, 대합)을 이루는 탄산칼슘은 대략 600~800℃의 온도에서 탈탄산반응이 진행되어 산화칼슘으로 변화된다.
3. 폐각 중에 존재하는 유기질은 600℃ 이하에서 소성할 경우 분해산물로 잔류하여 백색도를 저해한다. 따라서 좋은 백색도를 얻으려면 최소 700℃ 이상의 온도가 필요하며, 이 경우 공기와의 접촉면을 크게 하는 것이 유리하다.
4. 결국 폐각을 소성하여 백색도가 우수한 물질을 얻으려면 생성물은 산화칼슘을 포함한 형태로 얻어진다.
5. 소성단계의 목적은 확실한 불순물 제거로 판단되며, 충분한 소성온도와 시간(800℃, 3시간 이상)을 제공하는 것이 필요하다.
6. 소화(또는 분쇄)단계의 목적은 산화칼슘의 수산화칼슘으로의 변환과 분말화이며, 분말화를 위해서는 습식법보다 건식법이 더 유리함을 알 수 있다.
7. 수비 단계의 목적은 미세 입도의 분리와 수용성 불순물 제거로 판단되며, 세심한 반복 과정을 거치는 것이 중요하다.
8. 한국화에서 호분 사용기법으로 제시하고 있는 방법은 수산화칼슘의 탄산화반응을 촉진시킨다.
9. 지금까지의 연구결과로 보아 소성법은 대량 생산보다는 소량의 탄산칼슘형 호분생산에 적합할 것으로 추론된다.

마지막으로 본 연구에서 과거의 호분 제법 중 소성법에 의한 제조기술을 조사하고 연구하였으나, 주된 공정과 각 공정의 단계별 목적 및 그 목적에 부합하는 요소들에 초점을 맞추어 연구하였으며, 일부 인터뷰 결과에서 조사된 세부 조건들의 영향까지 심도 있게 연구하지 못하였음을

밝혀준다. 일례로, 호분의 민간전래 제법을 우리에게 소개한 장인 한 분은 패각 중 잔류하는 염분(NaCl)과 유기질이 패각 소성 시에 매우 중요함을 강조한 바 있으나, 우리는 이에 대한 연구를 뒤로 미루었다. 향후 이와 같이 부족한 부분에 대한 추가적인 연구를 수행하여 과거의 호분 제조기술을 보다 명확히 밝히고자 한다.

## 사 사

본 연구는 2006-2007년도 국립문화재연구소 박사후 연수과정 지원사업에 의해 이루어졌으며, 연구가 이루어질 수 있도록 조언해 주신 분과 조사에 협조해 주신 모든 분들께 감사를 표한다.

## 참고문헌

1. 장경인, *한국건축대계 VIII- 재료*, 화산문화, p264, (1999).
2. 국립중앙과학관, *전통과학기술 조사연구(IV)*, (1996).
3. 곽동해, *중요무형문화재-단청장*, 화산문화, p130, (2001).
4. 김혜경, "돈황 석굴 벽화에 관한 연구: 안료를 중심으로", 동국대 대학원, (2002).
5. 이태승, "고려불화에 사용된 안료와 그 기법에 대한 문헌적 고찰(II)", 용인대학교논문집, 15, p.934-937, (1998).
6. 김호정, 이한형, 김순관, 김숙경, "전통호분 제조방법에 관한 연구", *문화재과학기술*, 6, p57, (2007).
7. 桑原利秀, *顔料製法應用及試験法*, 太陽閣, p88-91, (1942).
8. 酒見恒太郎, *最新化學工業大系第9卷*, 新光社, p52-53, (1933-1937년 추정).
9. 서태수, 변윤섭, 김영순, 박윤창, 김동표, *안료화학*, (주)학술정보, p31, (2001).
10. 공병기, 김원석, 최창용, 장미경, 나재운, " $\alpha, \beta, \gamma$ -키틴의 분리와 물리화학적 특성", *응용화학*, 5, 2, p71-74, (2001).
11. 문화재청, *문화재표준수리시방서 - 1600 단청공사*, 신광사, p289, (2005).
12. 김병호, *문화재와 더불어 살아온 길*, 미광출판사, p52, (1997).
13. 정종미, *우리 그림의 색과 칠 - 한국화의 재료와 기법 -*, 학고재, p43, (2001).
14. 王概, *芥子園畫傳(原典)*, *芥子園畫譜全集*, 文化圖書, p27, (1990).
15. 장경인, 한석성, *한국건축대계 VIII- 단청*, 화산문화, p37, (1998).
16. 박홍재, 이병호, 이봉헌, 정성욱, 정징운, 정은, "재첩과 굴 패각의 소성특성", *대한환경공학회지*, 23, 11, p1835-1842, (2001).
17. 김명운, "전복각을 이용한 활성산화칼슘 제조에 관한 연구", *건대학술지*, 25, p241-247, (1981).
18. 이인곤, "패각을 이용한 고순도 칼슘계 화합물의 합성에 관한 연구" 전남대학교 대학원, (2000).
19. 이종남, *우리가 정말 알아야 할 천연염색*, 현암사, p204, (2004).
20. 김지희, 최원진, *염색장*, 화산문화, p101, (2002).
21. 김수진, *한국의 광물종*, 민음사, p133, (1986).
22. 成瀬正和, "正倉院寶物に用いられた無機顔料", *正倉院紀要第26號*기拔刷, p20. (2006).
23. 한국지질자원연구원, "제지용 염기성 탄산칼슘 기술 개발에 관한 연구", 산업자원부, p36, (2002).