



CONSERVATION STUDIES 29

# 전통 호분 제조기술 연구

*Investigation of the Korean Traditional Hobun Manufacturing Technique*

김순관 · 이한형 · 김호정 · 정혜영

## 전통 호분 제조기술 연구

- 풍화방법을 중심으로 -

*Investigation of the Korean Traditional Hobun Manufacturing Technique  
- Centering on Weathering Method -*

김순관 · 이한형 · 김호정 · 정혜영

Kim Soon-Kwan · Lee Han-Hyoung · Kim Ho-Jeong · Jeong Hye-Young

### <Abstract>

Hobun(Oyster shell White) 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 by weathering oyster shell, which is one of the traditional ways for preparing Hobun. Reproduction study of manufacturing method of the discontinued traditional material is an important accomplishment of our research. Also this study provides solid background knowledge to stabilize the production and supply of Hobun for the cultural asset repairing materials. The result can be summarized as follows: The production process of Hobun by weathering method takes 5 steps - ① weathering shells → ② washing → ③ pulverization → ④ separating fine powder by submerging in water → ⑤ drying. The major aim in step ① is to eliminate organic impurities. In the step ④, the fine particles smaller than 25 $\mu$ m are separated by extracting the supernatant from stirred suspension after heavy particles are submerged. Also, the soluble inorganic impurities can be eliminated through the powder submerge in 15 times water and stirring the suspension 6 hours and changing the water 3~4 times. The final products have high quality with 94.03, 0.52, 2.05 for L, a, b, less than 25 $\mu$ m particle size, fine resistance for discoloration by light and environmental pollution and good workability

*Key Words* : Hobun, Oyster shell white, White pigment, Extenders, Reproducing research, Traditional technique, Weathering shells

## I. 서 언

호분이란 오랜 옛날부터 사용되어온 대표적인 체질안료(體質顔料)로서, 회화나 단청 등의 바탕 칠이나 불화 등의 백색안료로서 사용되어왔으며, 미장재로서 회벽 등에도 사용되었던 것으로 기록되어있다. 호분은 주로 조개껍질을 태우거나 오랜 풍화 후 분쇄 수비하여 제조하며, 현재 국내의 문화재보수 현장에서는 주로 회화나 단청 등의 바탕칠용으로 큰 비중을 차지하고 있다.<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> 그러나 호분은 낮은 경제성으로 인하여 90년대 중반 생산이 중단되기도 하였으며, 현재 유통되고 있는 국내산 호분은 제조과정이 공개되지 않아 그 제조방법을 확인할 수 조차 없다. 그럼에도 불구하고 현재까지 국내에서 호분의 제조방법에 대한 구체적인 연구가 진행된 사례는 극히 드물다. 이에 본 연구팀에서는 과거호분의 제조방법을 되살리고자 호분의 제법에 대한 조사연구를 실시하여 그 전통적 제법으로 패각의 소성에 의한 호분제법(소성법)과 풍화된 패각을 이용한 제법(풍화법)의 두 가지가 있음을 확인하여 보고한 바 있다. 또한, 두 가지 제법 중 소성법에 대한 구체적인 재현연구를 통하여 그 제법과 용도에 대한 견해를 보고한 바 있다.<sup>7, 8</sup>

본 연구에서는 상기의 연구에 이어 전통호분의 제법 중 풍화법에 의한 호분의 제법을 연구하고, 재현연구를 실시하고자 하며, 재현된 호분에 대하여 물성 평가 및 임상실험을 통하여 문화재보수재료로서의 적용성을 평가하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 제법 조사 연구

과거 호분의 제법을 조사하기 위해 관련문헌을 조사하였으며, 민간으로 전래되는 제법을 조사하기 위한 전통 장인들과의 인터뷰, 90년대 중반까지 생산되었던 호분제법을 조사하기 위한 공장 관계자의 수소문과 인터뷰를 실시하였다.

### 2. 재현 연구

#### (1) 시험패각

시험패각은 굴껍질로 1.5~2년 정도 풍화된 것을 여수의 바닷가에서 구입하여 이용하였다. 1차로 흐르는 물에서 표면에 붙은 이물질들을 플라스틱 솔 등으로 제거하고, 2차로 초음파세척기를 이용하여 한 시간씩 3회 세척하였다.

(2) 분쇄

세척하여 건조한 패각은 암석파쇄기를 이용하여 1차로 지름 10~30mm의 크기로 조분쇄하고, 이차로 볼밀을 이용하여 미분쇄하였다.

(3) 수비조건설정

수비는 패각분말의 분쇄정도와 분말의 양, 최종산물의 입도에 따라 조건과 횟수를 임의적으로 얼마든지 조절할 수 있기 때문에 정확히 과거의 수비조건을 규명하거나 재현하는 것은 큰 의미가 없다. 따라서 본 연구에서는 임의적인 방법으로 수비조건을 설정하고 그 조건에 따라 얻어질 수 있는 입도와 불순물 제거효과를 확인하고자 하였다.

① 패각 중 수용성 무기불순물 함유량 측정

미분쇄된 패각분말을 건식 체분석을 통하여 일정 입도(75 $\mu$ m이하)의 분말만 분리하고, 이 분말시료를 뚜껑이 있는 폴리에틸렌 용기에 5g씩 취하고 100g의 증류수를 가하여 1시간, 5시간, 12시간, 24시간, 48시간별로 각각의 현탁액을 제조하였다. 이 현탁액을 300rpm의 속도로 해당시간 동안 shaking한 후 10분간 가라앉히고 상등액을 취하여 2.5 $\mu$ m 필터로 거른 뒤 이온크로마토그래피로 음이온의 함량을 분석하였다.

② 수비에 따른 수용성 무기불순물 제거 실험

약 15배에 해당하는 증류수를 분쇄된 패각분말에 가하고 프로펠러형 교반기를 사용하여 400rpm으로 6시간 교반하고, 밤새 방치하여 분말을 가라앉힌 후, 상등액을 흡입장치를 이용하여 제거하는 방식으로 수비액을 교체하였다. 이 때 매회 상등액을 취하여 용해성 무기 음이온의 농도를 측정하여 수용성무기불순물의 제거정도를 체크하였다.

③ 적절한 미세 입도 분리 조건 실험

분쇄된 패각에 대하여 KS MISO787-7(안료와 체질 안료의 일반실험 방법 : 체 잔분 측정 - 물 사용 - 수작업)에 준하여 습식체분석을 행하고, 이 방법으로 분리된 각 입도별 시료를 일정량의 증류수에 분산하여 수중낙하속도를 측정하였다. 낙하실험에 사용된 용기는 내경 3.5cm의 250mL 메스플라스크(25 $\mu$ m체 통과분에 대해서는 내경 2.5cm의 100mL 메스플라스크를 사용하였다)를 사용하였으며, 수위는 11cm로 각 시료에 대하여 일정하게 하였다. 시료는 25 $\mu$ m체 통과분, 25 $\mu$ m체 잔류분, 45 $\mu$ m체 잔류분, 75 $\mu$ m체 잔류분, 100 $\mu$ m체 잔류분을 각각 1.10g씩 사용하였으며, 낙하 시간은 초시계를 이용하여 측정하였다. 측정이 용이하고 침전시간을 늘리기 위하

여 시료와 물의 질량비가 대략 100배정도에 해당하도록 충분한 양의 물을 사용하였다. 육안으로 입자들이 90%이상 침전하였다고 판단되는 시점을 침전시간으로 측정하였으며, 같은 실험을 4회 반복하여 평균하였다.

#### (4) 건조

수비가 완료되어 상등액을 제거한 죽상태의 미세 패각분말(풍화호분)을 나무틀에 부어 실내·외에서 7일간 자연건조 하였다.

### 3. 재현호분과 시판호분의 특성분석

#### (1) 색도 및 입도

재현호분과 시판호분에 대하여 색도 및 입도를 측정하였다. 먼저 색도측정을 위하여 시료 일정량을 증류수에 풀어 교반하고, 지름 6cm의 유리 샬레에 부어 다시 잘 섞고 먼지 등이 유입되지 않도록 덮개를 한 후 실내에 방치하였다. 입자가 모두 가라앉기를 기다려 상등액을 주사기를 사용하여 조심스럽게 제거하고, 60℃ 건조기에서 6시간 건조하여 색도 측정용으로 사용하였다. 색도계는 독일 BYK Gardner사 Spectro-guide 색도계를 이용하여 측정하였으며, 사용 광원은 D65였다. 한편, 시판호분은 회화에 사용하는 고가의 수입호분 3종과 1990년대 중반에 단청재료로서 판매되다가 현재 생산이 중단된 국내호분 1종(국내호분 A), 2000년대 중반에 단청재료로서 판매된 국내시판호분 1종(시판호분 B)을 대상으로 하였다.

입도분석은 KS MISO787-7(안료와 체질 안료의 일반실험 방법 : 체 잔분 측정 - 물 사용 - 수작업)에 준하여 습식체분석을 행하였으며, 재현호분과 시판호분에 대하여 측정하였다.

#### (2) 열분석

호분에 잔류하는 유기불순물 함량을 대략적으로 확인하기 위하여 열중량분석을 실시하였다. 사용한 장비는 미국 TA사의 열분석 장치 SDT 2960이었으며, 조건은 10℃/min의 승온속도로 1200℃까지 공기(Air) 분위기에서 측정하였다. 시료량은 약 10mg 가량이었으며, 비교시료로서 시판되는 시약급 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)을 정제 없이 사용하였다.

#### (3) 결정구조 및 입자구조 분석

호분 제조에 사용된 원료 패각의 특성을 확인하기 위하여 결정구조 분석과 입자구조 분석을 수행하였다. 결정구조분석은 X-선회절분석기(Japan, MAC Science, M18XAHF22, Micro-

area X-ray Diffraction System, 40kV, 60mA, 8°C/min)를 이용하였으며, 입자구조 분석은 주사전자현미경(Japan, Jeol, JSM-5910LV, 20kV, 75µA, spotsize 34)를 이용하였다.

#### 4. 임상실험

재현호분의 단청재료로서의 적용성을 확인하기 위하여 적절한 교착제와 배합 후 이를 목재 시편에 적용하고 그 작업성과 색도를 측정하였으며, 촉진내후성시험(인공적인풍화시험) 및 내공해성 시험(가스부식시험)을 통하여 내후성을 관찰하였다. 실험에는 호분만을 이용한 백색과 단청색 중 조채시 호분의 배합비율이 가장 높은 뇌록색을 선정하였다. 고착제와 안료의 배합비율은 문헌을 참조하였으며 Table 1과 같다.

Table 1. 단청 안료 배합비율표<sup>9, 10</sup>

조채색명	배 합 량					
뇌록 (물의 양)	Cyanine green	Ultramarine blue	Titanium dioxide R760	Iron oxide yellow	패분 (호분)	아교
	41g	35.2g	4g	6g	440g	23.0g(44.5)
패분 (호분)	패분(호분)	Acryl emulsion	물			
	41.2g	29.4g	19.0g			

##### (1) 고착제 및 목제의 선정

고착제는 전통적인 고착제로서 아교를, 현대적인 고착제로서 현재 단청공사현장에서 사용되고 있는 아크릴과 초산비닐계 고분자의 공중합체를 이용한 수성에멀전 형태의 고착제 폴리졸 506(상품명)을 사용하였다. 목재시편은 함수율 15%이하의 가로세로 약 5 x 15cm, 두께 약 1cm의 육송판을 사용하였으며, 미리 사포를 이용하여 면을 고르고 각각의 고착제로 포수한 것을 사용하였다. 이때 각 포수액은 아교와 물의 비율은 1:9, 아크릴에멀전과 물의 비율은 1:1.5로 하였다. 고착제와 안료의 배합비율은 칠하기에 적절한 농도가 되도록 조절하였다. 총 시편의 종류와 개수를 Table 2에 나타내었으며, 작업사진을 Figure 1에 나타내었다.

Table 2. 적용성 시험을 위한 시편의 종류

호분종류	아교		포리졸 506	
	뇌록색	호분색	뇌록색	호분색
수입호분 A	5	5	5	5
국내산시판호분 B	5	5	5	5
재현호분	5	5	5	5



Figure 1. 적용성 시험을 위한 시편제작

(2) 촉진내후성 및 내공해성실험

촉진내후성 시험에는 미국 Atlas 사의 Weather-Ometer Ci65A를 이용하였으며, 습도 50%, 챔버 온도 45-50℃, 블랙판온도 63± 2℃의 조건하에서 200시간 및 400시간 빛을 조사하는 방법으로 이루어졌다. 내공해성시험은 미국 Atalas 사의 Gas Exposure Cabinet, GE-15를 이용하였으며, 최근 들어 단청 안료의 퇴색 및 변색을 가장 많이 발생시키는 대기오염 물질인 아황산가스(SO<sub>2</sub>)농도 2ppm, 45℃, 65%의 상대습도에서 110시간 시험하였다. 시험에 따른 도막의 열화정도는 색상의 변화로 평가하였다. 색상의 변화정도는 KS A 0063의 규정에 의거하여 Lab 표색계의 색차(ΔE)로 표시하였다. Lab 표색계에 의한 색차(ΔE) 계산방법은 다음과 같다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

※ ΔE 값

- 0 ~ 0.5 : 전문가도 식별불가
- 0.5 ~ 1.5 : 비전문가는 식별불가
- 1.5 ~ 3.0 : 비전문가도 식별가능
- 3.0 ~ : 현저한 색차

$\Delta L$ 은 2개의 물체색의 명도지수의 차,  $\Delta a$ 와  $\Delta b$ 는 색상과 채도를 나타내는 크로마체크네스 (Chromacheckness)지수의 차이이다. 시료 및 색도측정 과정을 Figure 2에 나타내었다.

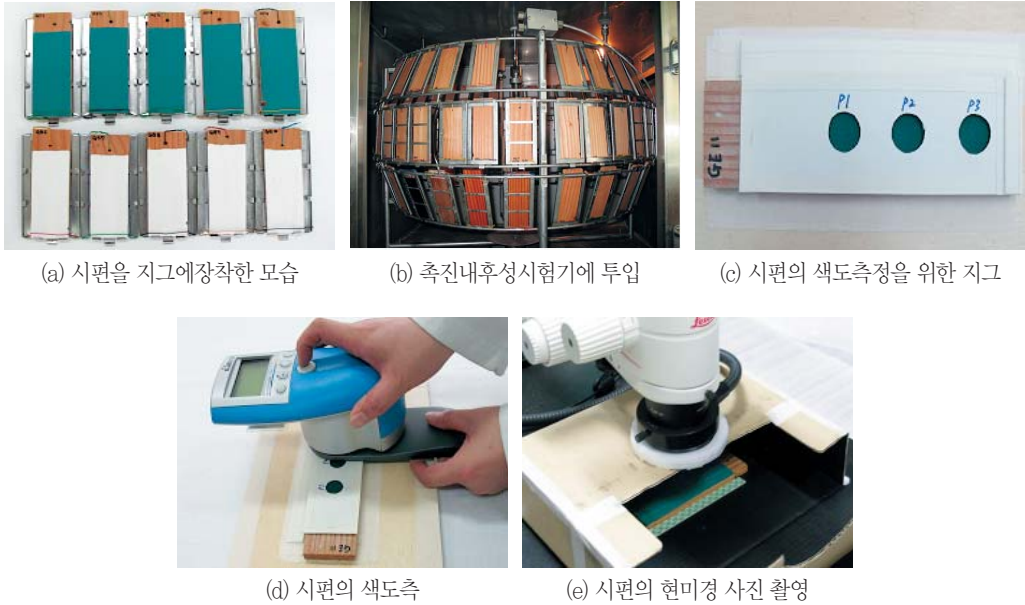


Figure 2. 축진내후설 실험 및 도막에 대한 특성 조사

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 제법 조사 연구

과거 풍화된 패각을 이용한 호분의 제법 및 용도를 정리하면 Table3와 같다. Table 3의 제조 공정을 종합하면, 크게 굴껍질의 풍화 → 세척 → 분쇄 → 수비 → 건조의 다섯 단계로 분류할 수 있다. 조개껍질(이하 패각)은 탄산칼슘과 약간의 유기질(단백질, 지방, 키틴질 등)로 구성되어 있다. 따라서 패각을 적절히 가공하면 품질 좋은 탄산칼슘을 얻을 수 있으며, 과거로부터 이를 이용한 대표적인 예가 바로 호분이라 생각된다. 따라서 첫 번째 단계인 풍화단계는 불순물이 없는 좋은 탄산칼슘을 얻기 위해 굴껍질에 존재하는 단백질등 유기질 층을 제거하기 위한 목적으로 판단되며, 풍화를 오랜 기간 시킬수록 유기질의 제거가 보다 완벽해 지며, 분쇄도 용이해 질 것이다. 두 번째로 세척단계에서는 패각의 표면에 붙은 이물질을 제거하는 단계로서



역시 최종생산품의 색상 등 품질에 영향을 미칠 수 있다. 세 번째 분쇄단계는 최종생산품의 수득율에 영향을 주게 된다. 미세하게 잘 분쇄되었을 경우 수비과정에서 분리되는 미세입자의 량이 많아질 것이고, 분쇄가 잘 되지 않은 경우 최종적으로 얻을 수 있는 미세입자의 량이 적어질 것이다. 네 번째 단계인 수비단계는 가장 중요한 단계로 매우 가벼운 비수용성 유·무기 불순물과 수용성의 무기불순물 및 무거운 무기불순물을 제거하는 단계이며 동시에 적절한 미세입도를 분리하는 단계로 판단된다. 다섯 번째 단계는 얻어진 최종분말을 건조하는 단계이다. 지금까지 살펴본 공정을 간략히 정리하면 Table 4과 같이 나타낼 수 있다.

Table 3. 풍화호분의 제조방법 조사 결과<sup>11, 12, 13, 14, 15, 16, 17</sup>

제 법	원 료	용 도
오래 풍화된 바닷가의 조개껍질을 뿔아 만든다.	풍화된 대합, 굴	백색안료
오래 풍화된 패각을 돌절구에 분쇄하여 수파(수비)하고 건조 한다.	풍화된 모래(굴), 대합	체질안료
검은 겉껍질을 벗겨내고 곱게 간다.	대합	백색 안료
오래 풍화된 범굴을 세척 후 분쇄 수비(숙성)하여 건조 한다.	7~10년 이상 풍화된 범굴, 가리비 등	체질안료, 비탄질재, 충전재 등

Table 4. 풍화호분의 제조단계

순 서	단계명	단계의 목적
1 단계	풍화	부패성 유기물 제거
2 단계	세척	표면이물질 제거
3 단계	분쇄	분말화
4 단계	수비	수용성 무기불순물 제거, 입도분리
5 단계	건조	분말의 건조

## 2. 재현실험

호분제조에 있어 품질을 좌우하는 것은 불순물의 제거 정도와 입도의 분포이다. 풍화과정을 제외하고, 불순물 제거는 패각의 세척단계 및 패각분말의 수비단계와 관계되며, 미세입도의 분리는 패각분말의 수비단계와 관계된다. 본 연구에서는 수비단계에 초점을 맞추어 세밀한 수비

조건을 확립함으로써 풍화법 호분에 대한 제법을 확립하였다.

먼저 수비법으로 제거해야 하는 수용성 무기불순물의 수비 전 함량을 조사하였다. 굴패각은 바다에서 형성된 것으로 수용성 무기불순물로서 염화나트륨(NaCl)이 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 염화나트륨의 함량을 분석함으로써 수비의 완료정도를 확인 할 수 있다.

(1) 패각 중 수용성 무기불순물 함유량 측정

이온크로마토그래피로 측정된 용출 음이온의 농도를 Table 5과 Figure 3에 나타내었다. 용출된 음이온의 종류는 염소이온(Cl<sup>-</sup>)과 질산이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 황산이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)으로, 예상했던 바와 같이 염소이온의 용출량이 두드러지게 높음을 알 수 있었다. 또한, 12시간 이후 음이온의 용출량이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있는데, 이 때 가장 용출량이 높은 염소이온의 경우 농도가 최대 40ppm 정도인 것을 알 수 있다. 실제 NaCl의 수중에서의 포화용해도는 대략 35% 정도이다. 이것을 ppm으로 환산하면 350,000ppm으로 40ppm이라는 수치는 수용액을 포화시키기에는 턱없이 부족한 양이라 할 수 있다. 그렇다면 12시간 이후 음이온의 용출량이 더 이상 증가하지 않은 원인은 시료분말중의 용출가능한 수용성무기불순물이 남아있지 않기 때문이라 생각할 수 있다.

Table 5. 패각중 염화나트륨의 함유량

호분종류	음이온	20배 용출액 내의 음이온 농도(ppm)				
		1시간	5시간	12시간	24시간	48시간
재현호분	Cl <sup>-</sup>	35	35	35	34	36
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4	4	3.5	3.6	4
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	12	12	16	17	17
국내시판호분 A	Cl <sup>-</sup>	7	4	7	7	8
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6	4	12	12	13
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9	7.17	21	20	22
수입호분 A	Cl <sup>-</sup>	12	11.71	12	12	8
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	3	3	0	2
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9	9	10	10	5.7

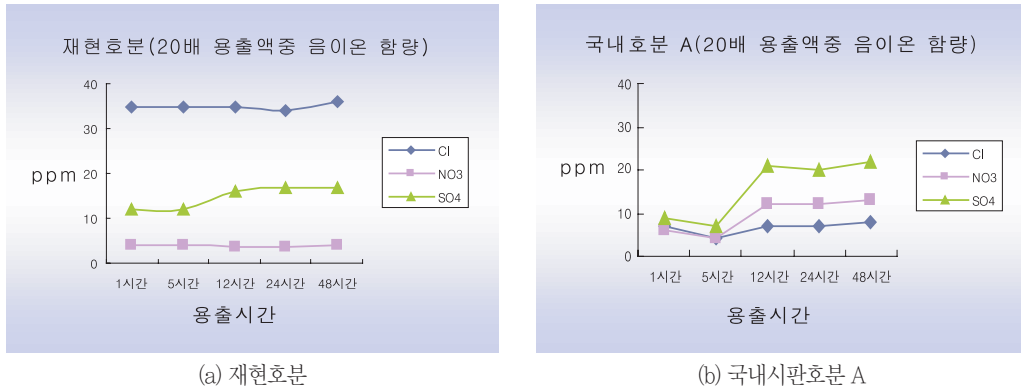


Figure 3. 용출시간에 따른 음이온농도

또한 동일 조건에서 12시간정도 shaking하게 되면 시료분말 중 수용성 무기분술물이 대체로 다 용해되어 수용액 중으로 빠져 나오는 것으로 판단할 수 있다. 한편, Figure 4에 나타난 시판호분들과 재현호분의 음이온 농도 비교 그래프를 보면 수비전 재현호분이 염소이온농도가 가장 높음을 알 수 있다. 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 시판호분과 비슷한 수준의 농도까지 수용성 무기분술물의 농도를 낮추는 것을 목표로 수비조건을 설정하였다.

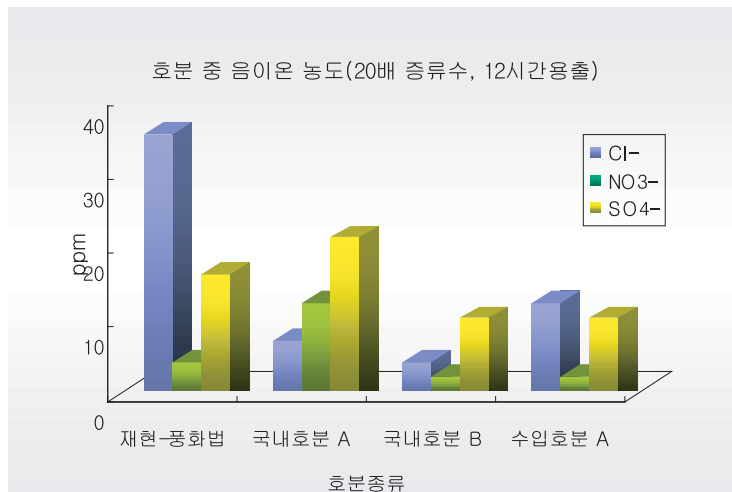


Figure 4. 호분 종류별 12시간 용출에 따른 용출수내 음이온 농도

(2) 수비에 따른 수용성 무기불순물 제거 실험

수비에 따른 수용성 무기불순물의 제거 정도를 확인하기 위한 실험 결과를 Table 6와 Figure 5에 나타내었다. Figure 5에서 볼 수 있듯이 4회 이상 수비한 경우 수비용액 중 용출된 음이온의 양이 매우 낮아지는 것을 확인 할 수 있으며, 이 농도는 시판호분을 20배의 물에 5시간 용출시 용액중에 존재하는 음이온 농도보다 더 낮다. 이러한 결과로부터 상기와 같은 수비 조건으로 약 4회정도 수비할 경우 수용성무기불순물이 거의 제거된 호분을 얻을 수 있음을 확인 하였고, 이 수비조건을 재현호분의 제법에 반영하였다.

Table 6. 수비 횟수에 따른 수비액 중 음이온 농도(ppm)

음이온	수비회수			
	1회 (1hr)	2회 (6hr)	3회 (6hr)	4회 (6hr)
Cl <sup>-</sup>	56.7	7.21	1.79	1.29
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.51	1.86	1.71	1.3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17.63	5.1	2.8	1.4

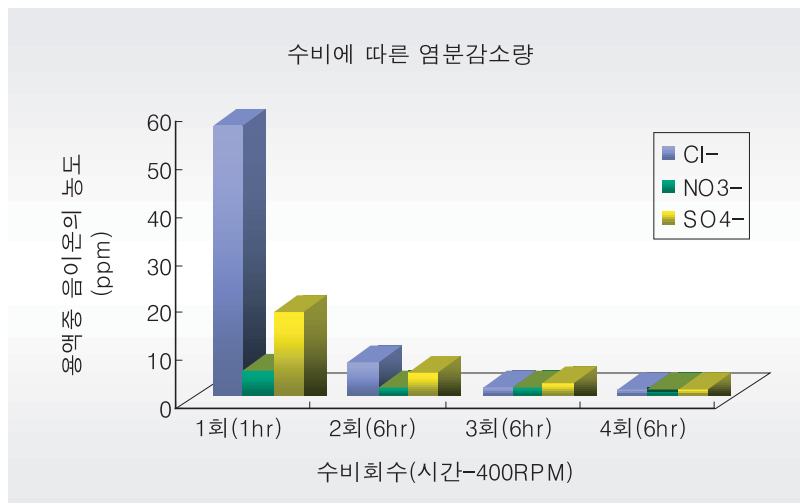


Figure 5. 수비 회수에 따른 수비액 중 음이온 농도 변화

(3) 적절한 미세 입도 분리 조건 실험

굴껍질 분말의 입도별 수중 낙하속도를 측정된 결과 분말을 충분한 물에 분산하여 5분이 경과하면 25 $\mu$ m 이상의 입자들은 90% 이상이 14cm 이상 침전하고, 25 $\mu$ m이하의 입자만이 상등액에 분포하게 됨을 알 수 있다(Table 7, Figure 6). 실제 약 50g의 분말을 4배에 해당하는 200mL의 물을 가하여 분산시키고, 5분 간격으로 3회에 걸쳐 상등액을 채취하여 습식체분석을 행한 결과 거의 전량이 25 $\mu$ m체를 통과하였다(Figure 7). 일반적으로 단청안료는 25 $\mu$ m 이하의 입도면 충분한 것으로 알려져 있다. 상기의 결과를 이용하면 쉽게 25 $\mu$ m 이하의 입도를 얻을 수 있다.

Table 7. 패각 분말 입자 크기에 따른 수중 낙하 속도

구분	침강 속도 (cm/min)						5분후 침강 거리(cm)
	1차	2차	3차	4차	평균	표준편차	
100 $\mu$ m체 잔류분	11,786	7,333	9,429	9,167	9,429	1,852	47.1
75 $\mu$ m체 잔류분	7,333	5,500	6,000	5,500	6,083	1,296	30.4
45 $\mu$ m체 잔류분	4,714	3,667	4,125	4,400	4,226	0,222	21.1
25 $\mu$ m체 잔류분	3,143	2,750	2,870	3,000	2,941	0,101	14.7
25 $\mu$ m체 통과분	-	-	-	-	-	-	0.0

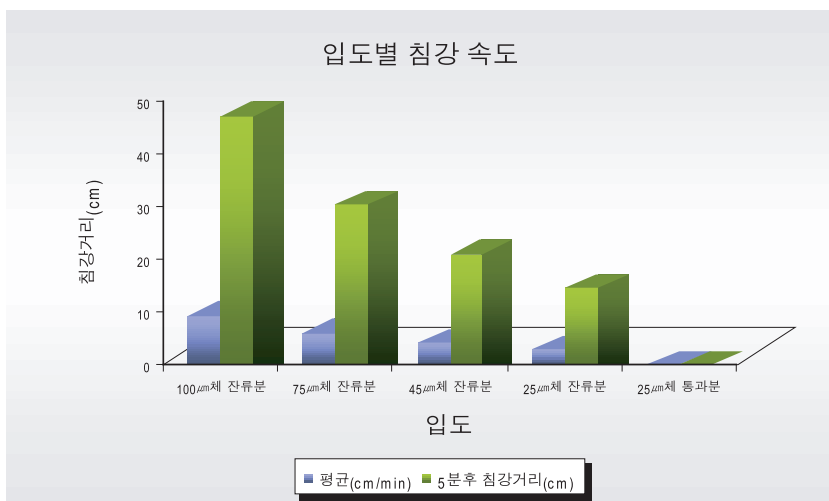


Figure 6. 굴껍질 분말의 입자크기에 따른 수중 낙하 속도



(a) 입자크기별 수중 낙하속도 측정 (b) 5분후 현탁액의 상등액을 취함 (c) 25 $\mu$ m 체를 모두 통과하는 상등액

Figure 7. 수중 굴껍질 분말 입자의 분리

(4) 재현호분 제조

수비조건에 대한 실험결과를 토대로 호분을 제조하였다. 껍각은 약 1.5~2년 정도 풍화된 여수산 굴껍질을 사용하였으며, 흐르는 물에서 솔 세척하고, 초음파세척기를 이용하여 1시간씩 3회 세척하였다. 세척이 완료된 시료는 1차로 1~3cm 내외의 크기로 조분쇄하고, 2차로 볼밀을 이용하여 미분쇄하였다. 미분쇄 된 분말은 수비를 위하여 15배의 증류수에 넣고, 6시간 동안 프로펠러형 교반기를 이용하여 400rpm으로 교반하였다. 교반이 끝난 현탁액은 5분간 방치하여 층이 분리되도록 한 뒤 상등현탁액을 흡입장치를 이용하여 분리하고, 분리된 상등현탁액을 12시간 가라앉혀 수비액을 교체하였다. 이상의 수비과정을 4회 반복하였으며, 최종적으로 얻어진 죽상태의 미세분말을 나무틀에 부어 7일간 자연건조 하였다. 이상의 제조공정을 Table 8에 나타내었다.

Table 8. 재현호분 제조 공정

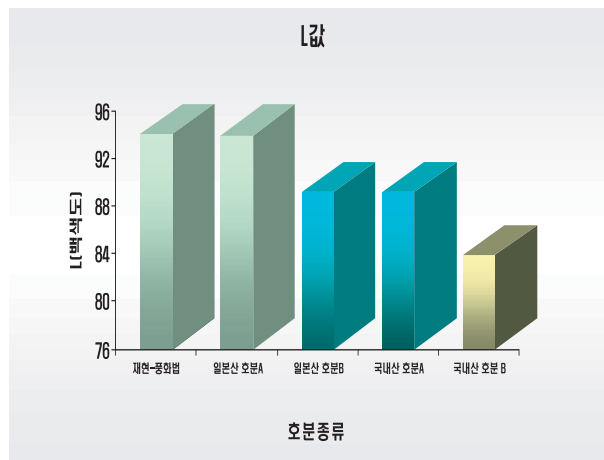
단 계	공정명	처 리 방 법	공 정 목 적
공정 1	풍화	오랜 기간(약 1.5년 이상) 풍화	부패성 유기물 제거
공정 2	세척	흐르는 물에 솔세척 및 초음파 세척(1시간, 3회)	표면이물질 제거
공정 3	분쇄	1차 조분쇄, 2차 미분쇄(볼밀 이용)	분말화
공정 4	수비	분말의 15배 증류수에서 6시간 400rpm 프로펠러 교반, 현탁액을 5분 방치 후 상등현탁액 분리, 분리된 상등현탁액 12시간 가라앉힘, 수비액 교체 (이상 과정 4회 반복)	불순물 제거, 입도분리
공정 5	건조	나무틀에 부어 자연건조(3~7일)	분말의 건조

3. 재현호분과 시판호분의 특성분석

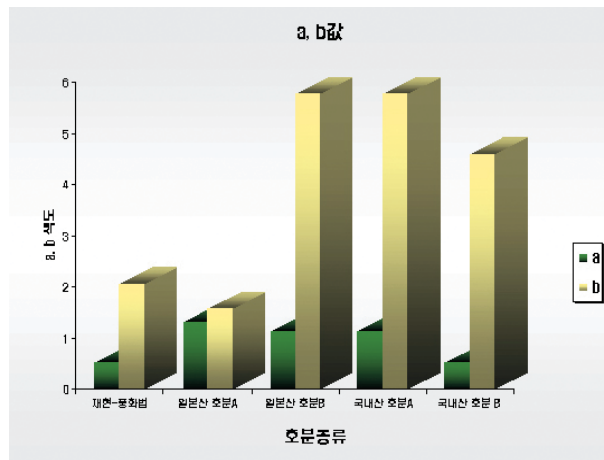
(1) 색도 및 입도

측정결과는 Figure 8에 나타내었으며, 이를 살펴보면 재현 호분의 경우, 명도값이 대략 94로

거의 백색에 가까웠으며, 90년대 후반까지 국내에서 제조 판매되었던 국내산 시판호분A와 현재 시판중인 국내산 호분B, 일본산 호분B 등은 그 명도값(L\*값)이 훨씬 낮게 나타났다. 역시 색채에 대한 값인 a\*(적색/녹색), b\*(황색/청색) 값에서도 본 연구에서 만들어진 재현호분과 일본산 수입호분A는 매우 낮은 수치를 보여 백색에 더욱 가까움을 보이고 있으나, 일본산 수입호분 B와 국내산 시판호분 A, B의 경우는 상대적으로 황색(b\*)기운이 많이 나타남을 관찰 할 수 있었다. 이상의 결과로 보아 재현 호분이 시판되는 국내산 호분보다 색도 및 탄산칼슘의 함량에 있어 훨씬 우수하며, 고가의 일본산 수입호분과 비슷한 수준의 물성을 보임을 확인 할 수 있었다.



(a) L\*



(b) a\*, b\*

Figure 8. 재현호분 및 시판호분의 색도측정 결과

(2) 열분석

재현호분과 시판호분의 열분석 결과를 Table 9 및 Figure 9에, 각각의 열분석 그래프를 Figure 10에 나타내었다. 열분석 그래프의 패턴은 측정된 모든 호분이 탄산칼슘 시약과 유사한 특징을 보이고 있어 모두 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )이 주성분임을 알 수 있다. 한편, 600~750℃사이에서의 중량감소율로부터 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )의 함량을 계산한 결과 일본산 호분과 재현 호분은 그 함량이 비슷한 반면 국내산 호분은 상대적으로 함량이 낮음을 알 수 있다. 이것으로 국내산 호분은 불순물을 많이 포함하고 있음을 알 수 있다.

Table 9. 재현호분 및 시판호분의 가열에 따른 중량감소율

시 료	600~750℃에서의 중량감소율(%)
재현호분	42.3
국내시판호분 A	39.5
국내시판호분 B	36.7
일본산 수입호분 A	42.2
일본산 수입호분 B	42.9

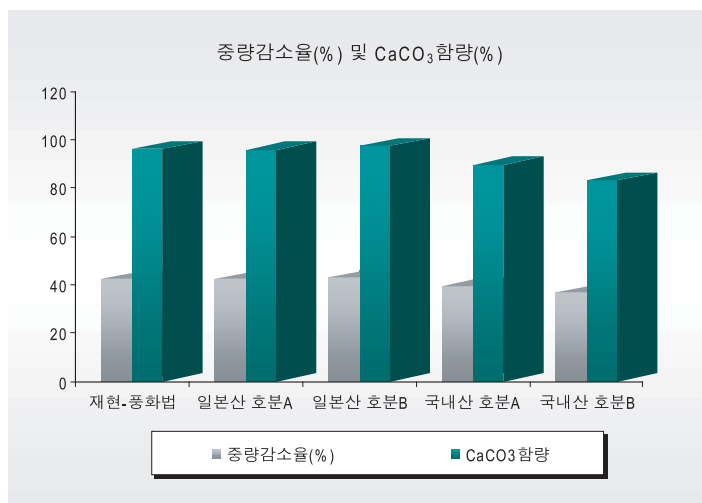
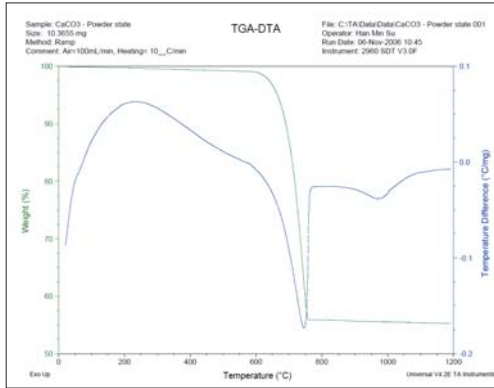
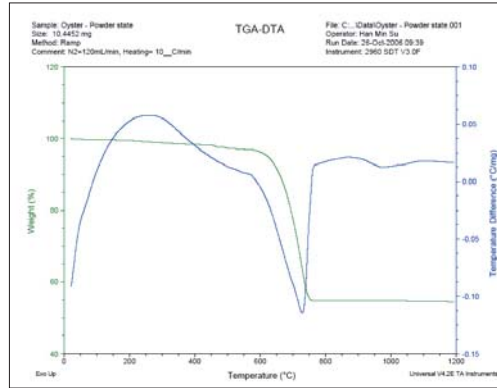


Figure 9. 가열에 따른 중량감소율로부터 환산한 탄산칼슘함량

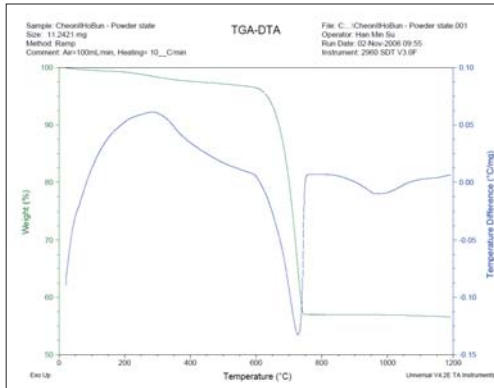




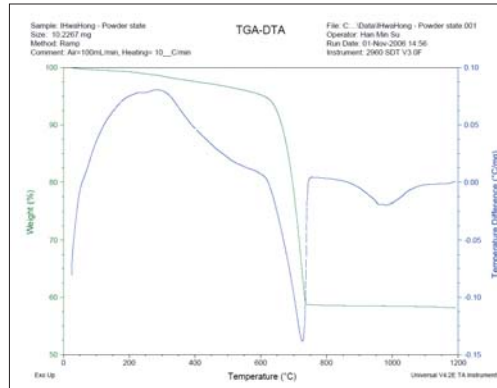
(a) 시약급 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)



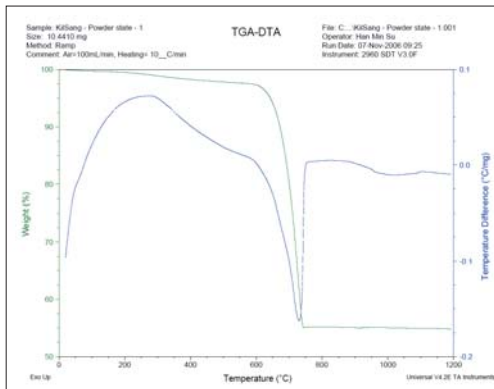
(b) 재현호분



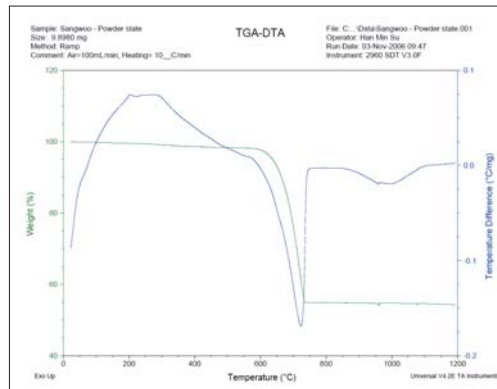
(c) 국내시판호분 A



(d) 국내시판호분 B



(e) 수입호분 A(일본)



(f) 수입호분 B(일본)

Figure 10. 시판호분의 열분석(TGA-DTA) 결과

(3) 입자구조 분석결과

시판호분에 대한 전자현미경 사진을 Figure 11에 나타내었다. 사진을 살펴보면 측정된 모든 호분이 굴껍질 분말에서 보여지는 구조와 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 이들 시판호분들이 대부분 굴껍질을 원료로 하여 제조되었을 것이란 추정을 가능하게 한다.

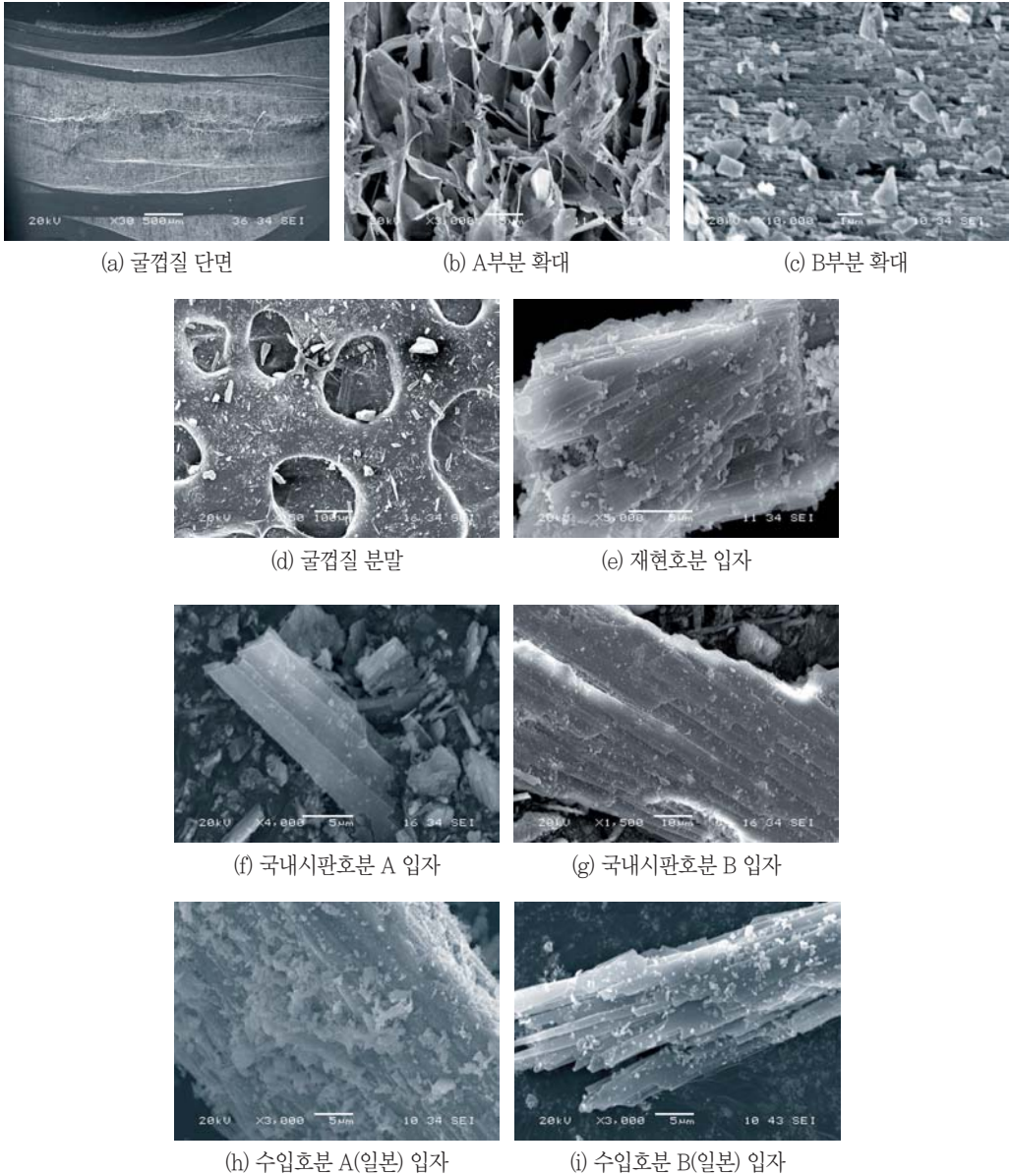


Figure 11. 시판호분의 전자현미경 사진

(4) 결정 구조 분석결과

결정구조 분석결과 실험에 사용된 국내·외 시판호분은 모두 calcite로 나타났다. 그 결과를 Table 10과 Figure 12에 나타내었다. 결정구조 분석결과를 살펴보면, 이들 시판호분이 전자현경분석에서와 같이 굴껍질을 주원료로 사용했을 가능성이 농후함을 강하게 시사한다.

Table 10. The crystal structure of Hobun in market

구분	시 료	결정 구조
시판호분	재현호분	CaCO <sub>3</sub> (calcite)
	국내산 시판호분	ACaCO <sub>3</sub> (calcite)
	국내산 시판호분	BCaCO <sub>3</sub> (calcite)
	국내산 시판호분	CCaCO <sub>3</sub> (calcite)
	일본산 수입호분A(상품)	CaCO <sub>3</sub> (calcite)
	일본산 수입호분B(상품)	CaCO <sub>3</sub> (calcite)

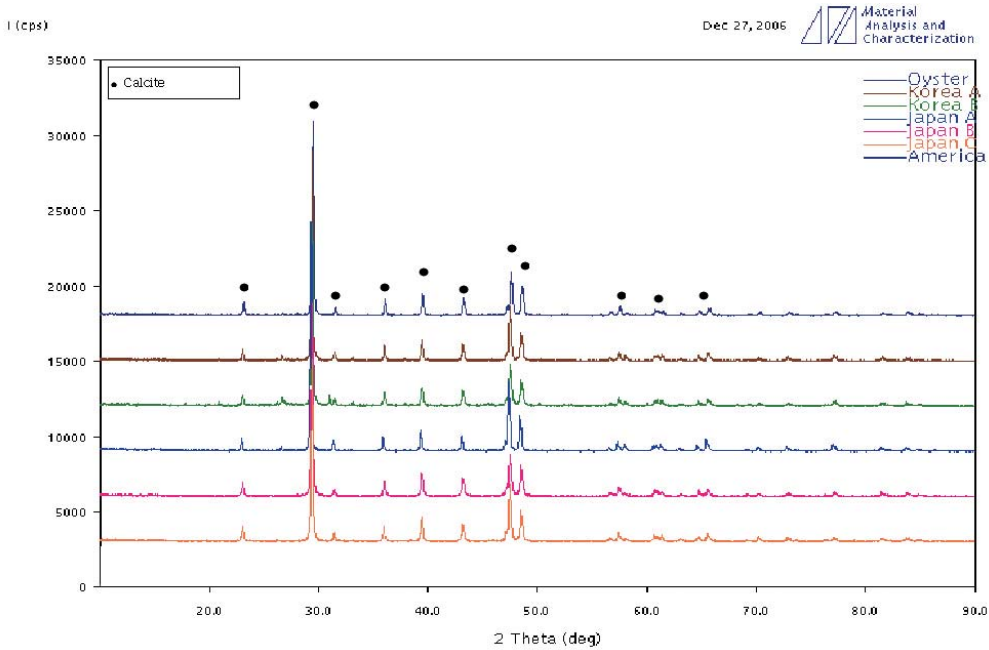
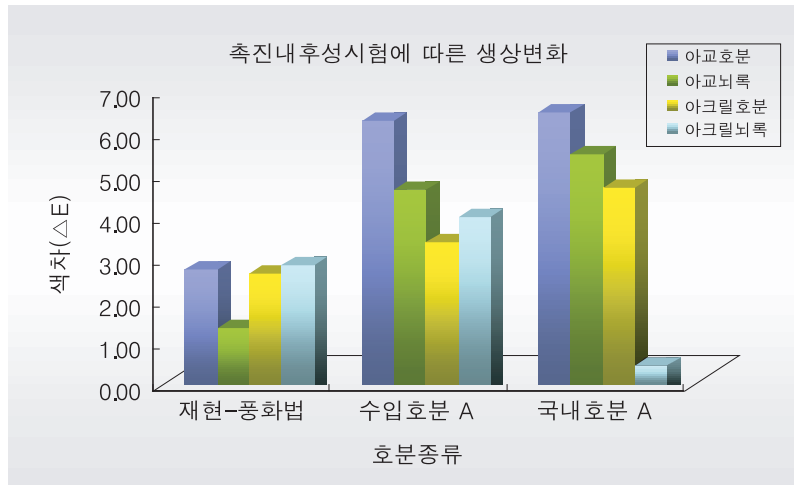


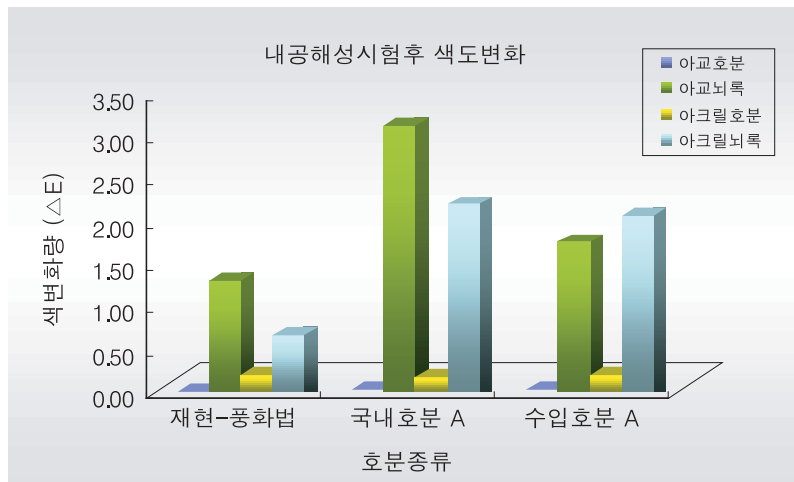
Figure 12. XRD graphs of Hobun in market

#### 4. 임상실험

Figure 13에 촉진내후성시험(400시간) 및 내공해성 시험에 따른 시편의 색상변화를 나타내었다. 촉진내후성 시험결과 재현호분의 경우 아교와 아크릴 에멀전 또 백색(호분만 배합)과 뇌록색에 있어 내후성시험 전후 색차( $\Delta E$ )가 1~3으로 매우 낮게 나타났다. 반면, 수입호분과 국내호분의 경우 3.5~6.5로 훨씬 높은 변화율을 보였다. 이것은 빛에 의한 변색에 있어 재현호분



(a) 촉진내후성 시험 후 색변화량



(b) 내공해성 시험 후 색변화량

Figure 13. 촉진내후성시험(400시간 후) 및 내공해성 시험 후 색변화량 값

이 훨씬 안정함을 의미한다. 내공해성 실험 결과에서도 재현호분의 경우는 모든 시료에서 1.3 이하의 색 변화율을 나타낸 반면, 수입호분과 국내호분은 색차가 3이하로 훨씬 높게 나타났다. 한편, 백색의 경우 아크릴에멀전 보다는 아교를 사용한 시료에서 변색이 적게 나타났으며, 뇌록의 경우에는 대체로 반대의 경향을 보였다.

이로서 재현호분이 시판호분에 비해 빛과 공해에 의한 변색저항성이 훨씬 높다는 것을 알 수 있다.

이상의 비교실험결과를 종합해 보면 실험에 사용한 국내외의 시판호분은 대부분 굴껍질을 사용하여 제조된 것으로 판단되며, 재현호분은 색도 및 순도와 작업성에 있어 매우 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 문화재 단청 보수 현장에서 중요한 비중을 차지하는 전통호분의 제법중 풍화법에 대하여 제조 방법을 조사하고 재현실험과 물성분석, 임상실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 풍화된 패각을 이용한 전통적인 호분의 제법(풍화법)은 그 제조공정이 '풍화 → 세척 → 분쇄 → 수비 → 건조'의 다섯 단계로 구분된다.
2. 오랜 기간 풍화된 패각을 사용할수록 유기불순물 제거와 분말화가 용이할 것이다.
3. 풍화법에 의한 호분제조(풍화호분) 시 가장 중요한 공정은 수비단계로 불순물의 제거와 미세입도분리가 그 목적이다.
4. 수비 현탁액을 5분간 방치한 후 상등액을 취하면 단청재료로서 적절한 25 $\mu$ m이하의 미세입도분리가 가능하다.
5. 패각분말의 15배 이상의 충분한 증류수에서 6시간 이상 교반하고 수비액을 교체하는 작업을 3~4회 반복함으로써 패각중에 존재하는 수용성무기불순물들을 충분히 제거할 수 있다.
6. 본 연구를 통하여 적절한 호분제공 공정도를 얻을 수 있었으며, 공정도에 따라 제조된 호분은 우수한 색도(L 94.03, a 0.52, b 2.05)와 적절한 미세입도(25 $\mu$ m이하) 및 빛과 공해에 대한 변색저항성과 작업성에 있어 국내 시판호분보다 우수하다.

〈참고문헌〉

1. 고정환, 「전통회화에 사용된 천연재료 연구」, 용인대, 1999.
2. 김 명, 「고려불화에 나타난 오방색 연구」, 단국대 대학원, 2003.
3. 김혜경, 「돈황 석굴 벽화에 관한 연구: 안료를 중심으로」, 동국대 대학원, 2002.
4. 이성미 · 유송옥 · 강인향, 『조선시대어진관계도감의궤연구』, 한국정신문화연구원, 1997.
5. 이성미, 「백제서화의 대외교섭」, 『백제미술의 대외교섭』, 한국미술사연구회 · 예경출판사, 1998.
6. 정유나, 「조선시대 궁궐건축의 건축채색 특성에 관한 연구」, 서울대 대학원, 1994.
7. 김호정, 이한형, 김순관, 김숙경, “전통호분 제조방법에 관한 연구”, 문화재과학기술, 6, p.57, 2007.
8. 김호정, 이한형, 김순관, 김숙경, “전통호분 제조방법에 관한 연구”, 보존화학회지, Vol. 23, p.103~118, 2008.
9. 임영주, 「단청」, 대원사, 1991.
10. 장기인 · 한석성, 「단청」, 보성각, 1998 .
11. 민순복, 「한국 전통 채색의 재료 연구」, 단국대 대학원, 2005.
12. 이태승, 「고려불화에 사용된 안료와 그 기법에 대한 문헌적 고찰(Ⅱ)」, 『용인대학교 논문집』 Vol.15 No.1, 1998.
13. 장은지, 「회화에 사용된 백색안료에 관한 연구」, 용인대학교 대학원, 2005.
14. 안은진, 「한국 채색화에 있어 분체에 관한 연구」, 단국대 대학원, 2001.
15. 윤지영, 「단청문양과 색채에 관한 연구」, 대구가톨릭대 대학원, 2001.
16. 정보연, 「불화에 사용된 안료의 특성 연구」, 중앙대 대학원, 2001.
17. 『전통과학기술 조사연구(Ⅳ)』, 국립중앙과학관, 1996.