

열처리에 의한 다양한 컬러 담수양식진주의 색 향상 연구

손수정, 서진교¹, 박종완¹

한양대학교 공학대학원 재료 및 화학공학과, ¹한양대학교 공과대학 신소재공학부

Color Enhancement of Freshwater Pearl by Heat Treatment

Soo-Jung Son, Jin-Gyo Seo¹, Jong-Wan Park¹

Department of Materials and Chemical Engineering, Graduate School of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

¹Department of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

ABSTRACT

In this study, we conducted heat-treatment on freshwater cultured pearls at various conditions in other to improve their color. Also, after heat treatment, we used the UV-Vis, ED-XRF and SEM to investigate changes freshwater cultured pearls' color, composition and internal structure. UV-Vis analysis showed the reflectivity of samples increased at most heat-treatment conditions although the reflectivity decreased at a certain temperature and duration. At 100°C/8 h, 120°C/6 h and 140°C/4 h, the reflectivity increased highest. In proportion to reflectivity increase, freshwater cultured pearls' color was improved. Ca, Mn, Sr and other micro elements were found from ED-XRF analysis. However, changes in composition of elements were not detected. It was found that the content of Mn in freshwater cultured pearl is higher than other micro elements. From SEM analysis, aragonite's shape was shown in narce and some of the narce were condensed after heat treatment.

Key words: freshwater cultured pearl, heat treatment, reflectance, color analysis, internal structure

서 론

진주는 국제보석연맹(CIBJO; Confédération Internationale de la Bijouterie, Joaillerie et Orfèvrerie)에 의해 천연진주, 양식진주, 모조진주로 분류한다. 천연진주는 천연적으로 생성된(우연한 계기로 이물질이 조개에 들어간 경우) 진주이며, 양식진주는 외피세포에 이물질(핵, 세포)을 넣어 인위적으로 키우는 진주를 뜻한다. 그 외의 천연진주와 양식진주를 제외한 모든 진주를 모조 진주로 분류한다. 일반적으로 양식진주는 해수산의 아코야양식진주(Akoya cultured pearl), 남양양식진주(South sea cultured pearl), 타이티흑양식진주(Tahitian black cultured pearl)와 담수산의 담수양식진주(freshwater cultured pearl)로 분류된다. 주로 담수양식진주는 중국에서

양식되며, 핵이 없는 무핵의 진주가 대다수였으나 최근 들어 유핵(nucleus)과 조직세포를 함께 성장시키는 담수진주가 산출되고 있다(Kenneth *et al.*, 2000). 일반적으로 해수 진주는 한 모패에서 1-2 개의 진주가 생산되지만 담수 진주의 경우는 약 10-40 개의 진주가 생산된다(Oh *et al.*, 2003).

담수조개류(*Hyriopsis cumingii*, *Hyriopsis schlegelii*)에서 나온 담수양식진주(freshwater cultured pearl)는 해수산 진주보다는 광택(luster)이 떨어지는 단점이 있으나 해수산 진주에 비해 다양한 종류의 모양과 컬러가 나타내며, 내구성이 아주 좋아 마모와 변질에 대한 저항성이 좋은 장점이 있다. 담수양식진주는 약 2-13 mm의 크기로 진주의 색은 주로 진주 고유의 단백질인 콘키올린(conchiolin)에 포함하고 있는 미량의 색소들에 의해 발색된다(Ito and Ito, 2005). 또한 크림계, 오렌지계, 파플(purple)계 등 모패(mother-of-pearl)의 컬러, 양식장의 환경상태, 모패의 상태 등도 컬러에 영향을 주기도 한다. 담수진주는 라이스형, 버튼형, 드롭형, 세미형, 바로크형 등의 다양한 종류의 진주가 생산되어 왔지만 최근 들어 중국 양식 기술의 발달로 인하여 보다 좋은 품질의 라운드형의 진주를 생산할 수 있을 만큼 그 기술이 발달하였다. 따라서 그 형태가 라운드형일 때에는 해수산 진주와의 구별이 중요한 이슈

Received April 18, 2009; Accepted May 23, 2009
Corresponding author: Park, Jong-Wan
Tel: +82 (2) 2220-0386 e-mail: jwpark@hanyang.ac.kr
1225-3480/24321

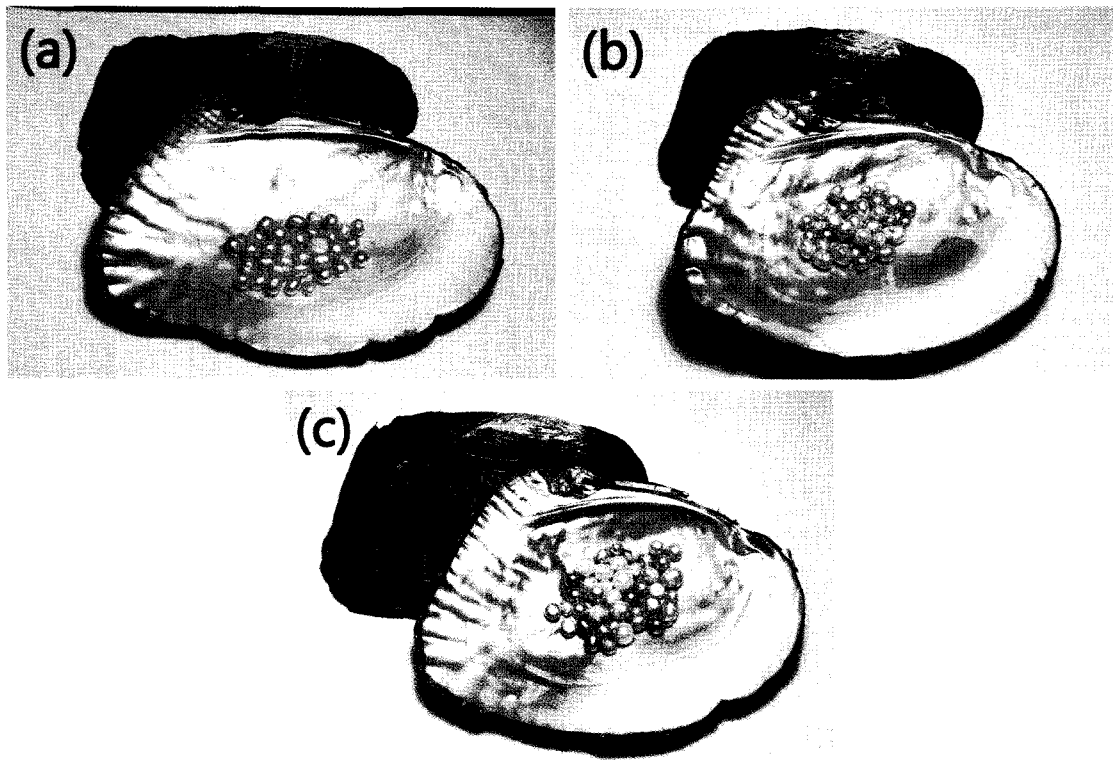


Fig. 1. Freshwater cultured pearls grown in the same MOP (mother-of-pearl). (a) Cream color freshwater cultured pearls, (b) Orange color freshwater cultured pearls, (c) Purple color freshwater cultured pearls.

가 되고 있다(Akamatsu *et al.*, 2001). 중국의 담수진주는 기지점패(*Hyriopsis cumingii*)라고 부르는 모패를 사용하여 양식하는데 이 조개를 일명 삼각패라고도 부른다. 삼각패는 부드러운 표면을 가진 담수양식진주를 생산하게 된다(Fukushima, 1993).

일반적으로 진주의 가치를 향상시키는 가공법에는 크게 열처리(heat treatment) 방법과, 화학처리(chemical treatment) 방법이 있다(Wada, 1892). 특히 열처리 방법은 담수진주에 주로 사용하는 가공 방법으로써 진주의 컬러를 향상시키는 방법이다. 화학처리방법 또한 컬러를 향상시키기 위한 방법으로써 주로 담수 흑양식진주(freshwater black cultured pearl)에 은염을 사용하여 처리하는 것으로 알려져 있다(Kim and Park, 2008). 하지만 이와 같이 진주의 컬러를 향상시키기 위한 가공 방법들은 비공개적으로 개인적인 노하우에 의해서만 행해지고 있으며, 특히 열처리 방법의 경우에 있어서는 컬러 향상을 시킬 수 있는 조건 자체가 현재까지 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 진주의 컬러 향상을 위한 최적의 열처리 조건을 확립하기 위하여 중국산 담수양식진주를 사용하여 진주를 최대한 손상시키지 않는 조건하에서 열처리 시의 최적 조건과 그에 따른 결과를 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험에서는 중국의 중요 산지인 주지(Zhuji)산 크림(cream) 계, 오렌지계, 퍼플계 등의 다양한 컬러의 모패에서 나온 담수양식진주를 사용하여 열처리 하였다. 실험에 사용된 진주는 각각 모패가 가진 컬러를 나타내었고, 이렇게 구분된 다른 컬러의 진주를 열처리 장비를 사용하여 각 온도 및 시간 별로 나누어 열처리 전과 후를 비교 관찰하였다(Fig. 1). 열처리 장비는 전자용광로(electric furnace; Shiota, Tetit, 220 V)를 사용하였다. 열처리 온도는 100°C, 120°C, 140°C로 나누어 실험하였고, 열처리 시간은 각 온도 별로 열처리 전, 2, 4, 6, 8 시간으로 나누어 실험하였다. UV-Vis spectrometer(Jasco, Japan)를 사용하여 열처리 전과 후의 반사율(reflectance)을 측정하였고, ED-XRF(energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry; Elva-X, 180 eV at 5.9 Kev)를 사용하여 진주의 성분을 분석하였다. 또한 주사전자현미경[(SEM; JSM - 6330 F, 15.0 kv, 10 um)을 사용하여 열처리 전과 후 진주층의 형태와 진주층과 층 사이의 변화를 관찰하였다. UV-Vis은 330-800 nm의 영역에서 각 온도 및 시간 별로 진주의 열처리 전과 후의 반사율의 변화를

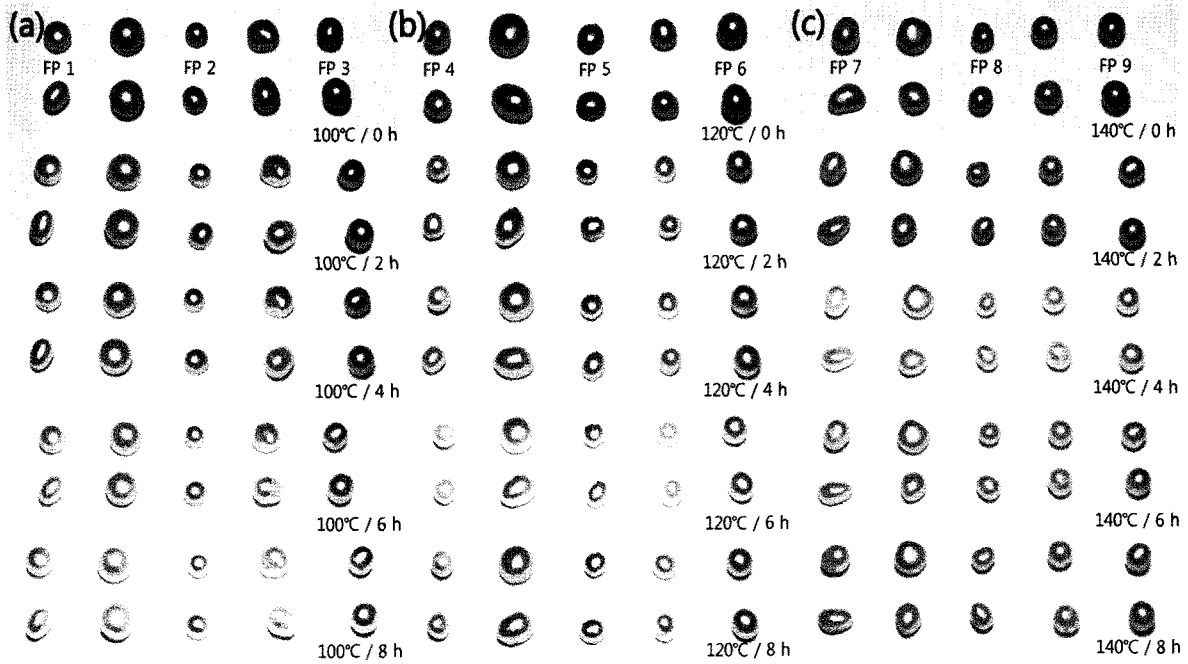


Fig. 2. Color changes of Freshwater cultured pearls as the temperature and time change.

비교 관찰하였다. 반사율을 측정할 이유는 진주가 반불투명이기 때문이다. 또한 ED-XRF 는 열처리 전과 후의 진주를 구성하고 있는 성분들의 변화를 관찰하고자 하였다. ED-XRF 측정 전 시료는 젤라틴(진주 덮는 천)를 사용하여 표면을 깨끗하게 세척하였고, 정밀한 측정을 위하여 열처리 전 시료에 표시를 하고 열처리 후에도 그와 동일한 부분을 측정하여 분석하였다. SEM 분석을 위하여 분석 전 시료를 반으로 자른 후 상부와 하부를 평편하고 매끄럽게 연마하였고, 유기질인 진주 시료의 특성상 가속된 전자에 의한 charging을 방지하기 위하여 백금 도금을 실시하였다. 열처리 전과 후의 진주층의 형태와 진주층과 층 사이의 변화를 관찰하기 위해 1000, 2000, 10000 배로 확대하여 비교 분석 하였다. 또한 열처리 전과 후의 동일한 부분을 측정하기 위해 열처리 전 진주 내부의 면에 흠집을 내어 측정 할 부분을 표시하였다.

결 과

1. 열처리로 인한 담수양식진주의 컬러 변화

Fig. 2 에서 보는 바와 같이 담수양식진주를 온도와 시간을 달리하여 열처리한 후 나타난 실험 결과는 다음과 같다. 열처리 후 모든 시료는 열처리 전에 비해 컬러가 향상되는 결과를 나타내었고, 각 온도 및 시간 별로 비교한 결과는 100°C/8 h (FP1, FP2, FP3), 120°C/6 h (FP4, FP5, FP6), 140°C/4 h (FP7, FP8, FP9) 에서 가장 향상된 결과를 나타내었다.

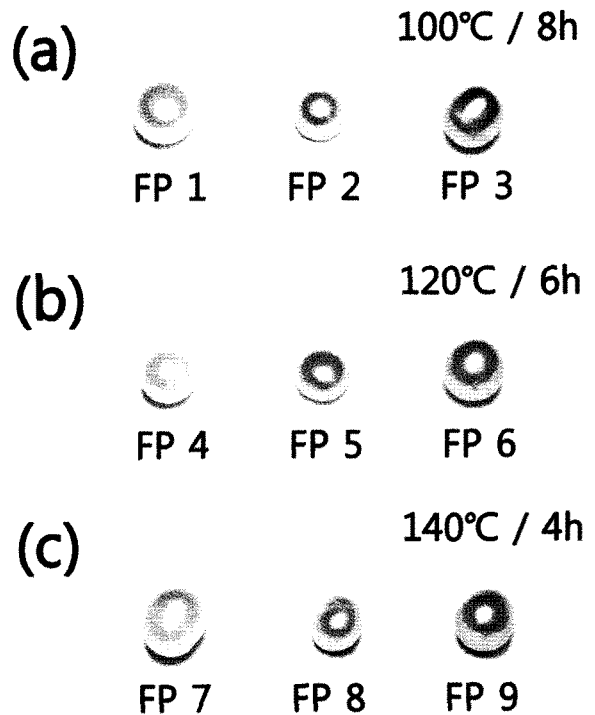


Fig. 3. Freshwater cultured pearls heat-treated at the optimized temperature and time; (a) 100 °C/8 h, (b) 120 °C /6 h, (c) 140 °C/4 h.

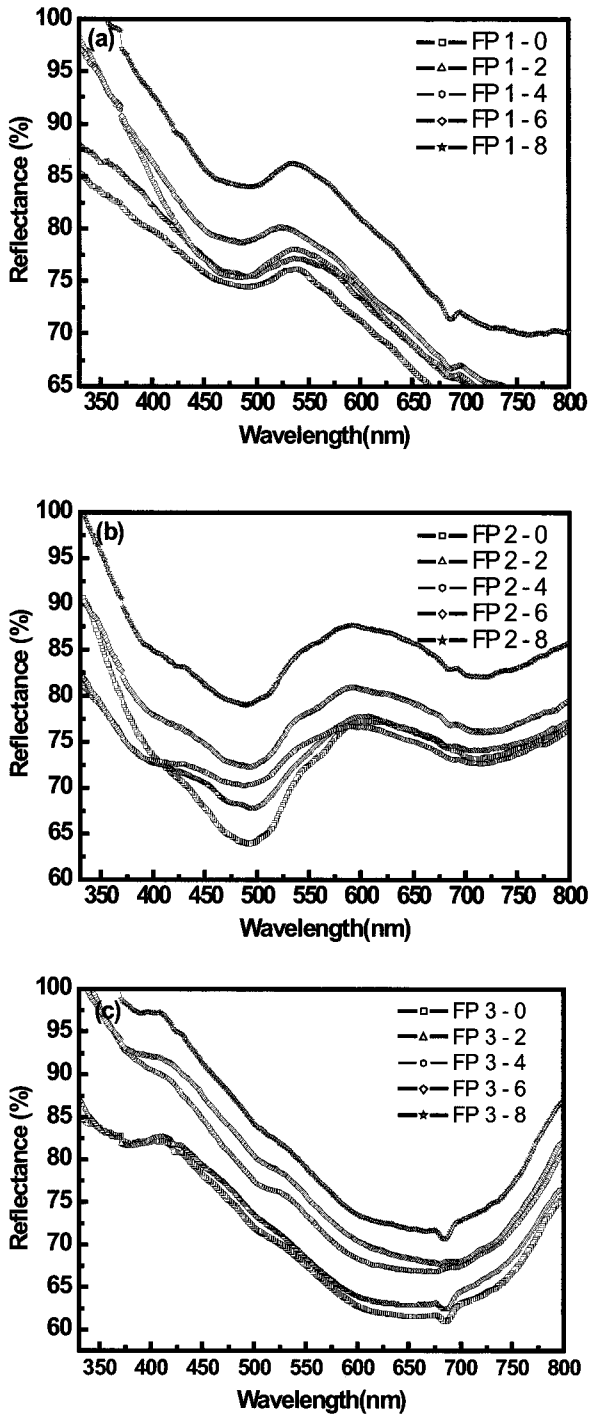


Fig. 4. UV-Vis spectra of freshwater cultured pearls after heat treatment at 100°C; (a) The change of cream colored pearls after heat treatment (FP1), (b) The change of orange colored pearls after heat treatment (FP2), (c) The change of purple colored pearls after heat treatment (FP3).

Fig. 3은 열처리 후 가장 좋은 결과를 나타내었던 조건의 시료들이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 오렌지계 컬러의 진주가 열처리 후 가장 많은 색 변화(탈색화)가 있었고, 퍼플계 컬러의 진주는 다른 컬러의 진주보다 초기에 진주가 보유한 실체 색(body color)이 짙은 이유로 인하여 다른 시료들에 비하여 열처리 후에 색의 변화가 적었다. 하지만 최적의 컬러향상 조건보다 온도와 시간을 더 늘리면 오히려 컬러가 저하되었다. 이는 진주층이 열을 견디지 못하여 발생된 현상으로 판단된다. 예를 들어 120°C에서는 6 시간이 가장 좋은 컬러를 나타내었지만, 6 시간 이상에서는 열을 견디지 못한 진주층의 컬러가 점차 갈색화 되면서 오히려 가치가 떨어지는 결과를 나타내었다. 따라서 온도를 더 높여 열처리를 하게 되면 가장 좋은 컬러를 나타내기까지 열처리에 소요되는 시간은 단축되거나 고온에서는 진주층이 상하기 쉬우므로 최상의 상품 가치성을 얻을 수 없을 것으로 판단된다. 본 실험에 사용된 조건을 비교한 결과 120°C/6 h의 열처리 조건이 가장 향상된 진주의 컬러를 나타내었다.

2. UV-Vis 분석결과

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6은 모패가 다른 담수양식진주들을 각각 100°C, 120°C, 140°C에서 열처리 후 UV-Vis로 측정된 결과이다. Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에서 보는 바와 같이 모든 시료에서 특이한 흡수 패턴은 나타나지 않았으나 크림계(Fig. 4A, Fig. 5A, Fig. 6A)의 컬러를 가지는 진주들은 500-550 nm, 오렌지계(Fig. 4B, Fig. 5B, Fig. 6B)의 컬러를 가지는 진주들은 575-650 nm, 퍼플계(Fig. 4C, Fig. 5C, Fig. 6C)의 컬러를 가지는 진주들은 375-425 nm에서 완곡한 반사 패턴이 나타났다. 열처리 후 모든 시료들은 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 컬러가 향상됨에 따라 UV-Vis 반사패턴 또한 증가하는 것을 알 수 있었다. 각 온도와 시간 별 반사 패턴을 비교해 보면 100°C에서는 8 h, 120°C에서는 6 h, 140°C에서는 4 h에서 가장 반사율이 높은 결과를 나타내었으며, 진주의 컬러도 가장 향상된 결과를 나타내었다. 또한 최상의 컬러 향상을 나타내었던 조건보다 더 높은 온도와 시간에서는 열을 견디지 못한 진주층이 갈색화 되는 현상에 의하여 반사율 또한 감소하는 경향을 나타내었다.

3. ED-XRF 분석 결과

Table 1은 담수양식진주의 (a) 열처리 전과 (b) 열처리 후를 ED-XRF로 분석한 결과를 나타낸 표이다. ED-XRF 분석 결과 모든 시료에서 칼슘(Ca), 망간(Mn), 스트론튬(Sr)이 검출되었다. 검출된 양은 담수양식진주의 주 원소인 칼슘이 가장 많이 나타났고, 망간과 스트론튬을 포함한 기타 원소들은 미량으로 나타났다. 특히 담수양식진주에서만 나타나는 망간

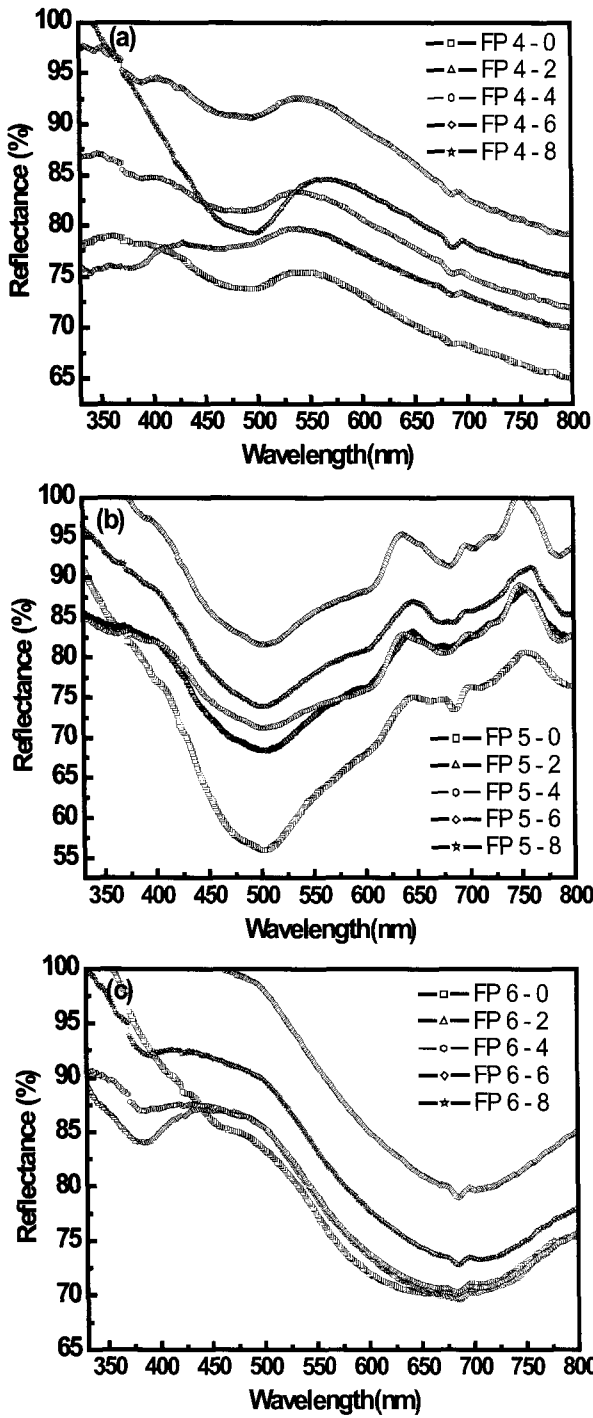


Fig. 5. UV-Vis spectra of freshwater cultured pearls after heat treatment at 120°C; (a) The change of cream colored pearls after heat treatment (FP4), (b) The change of orange colored pearls after heat treatment (FP5), (c) The change of purple colored pearls after heat treatment (FP6).

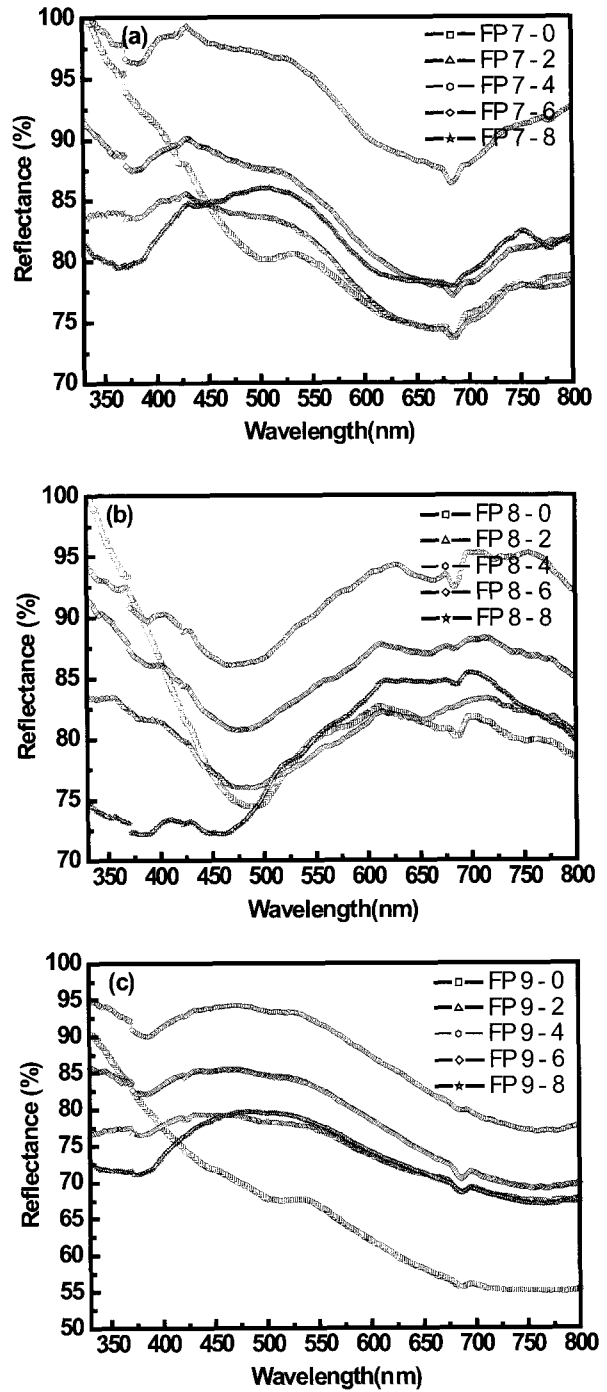


Fig. 6. UV-Vis spectra of freshwater cultured pearls after heat treatment at 140°C; (a) The change of cream colored pearls after heat treatment (FP7), (b) The change of orange colored pearls after heat treatment (FP8), (c) The change of purple colored pearls after heat treatment (FP9).

Table 1. Chemical analysis of freshwater cultured pearl specimens (ED-XRF)
a) Before heat treatment

Peals		Ion Contents (%)				
		Ca	Mn	Sr	P	K
100°C	FP1	99.542	0.375	0.009	0.033	0.013
	FP2	99.556	0.369	0.010	0.023	0.012
	FP3	99.513	0.421	0.010	0.015	0.013
120°C	FP4	99.307	0.604	0.010	0.040	0.014
	FP5	99.250	0.671	0.010	0.031	0.011
	FP6	99.078	0.850	0.009	0.024	0.015
140°C	FP7	99.629	0.276	0.018	0.013	0.013
	FP8	99.400	0.528	0.009	0.024	0.007
	FP9	99.403	0.530	0.009	0.015	0.013

b) After heat treatment

Peals		Ion Contents (%)				
		Ca	Mn	Sr	P	K
100°C	FP1	99.579	0.337	0.018	0.024	0.010
	FP2	99.237	0.680	0.012	0.023	0.013
	FP3	99.031	0.886	0.011	0.028	0.015
120°C	FP4	98.962	0.953	0.011	0.028	0.013
	FP5	99.510	0.400	0.012	0.034	0.010
	FP6	99.461	0.460	0.011	0.024	0.012
140°C	FP7	99.447	0.449	0.015	0.021	0.010
	FP8	99.476	0.463	0.008	0.017	0.005
	FP9	99.145	0.774	0.006	0.018	0.015

의 함유량은 다른 미량 원소들에 비해 높은 수치를 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 칼슘, 망간, 스트론튬의 양은 a) 열처리 전과 b) 열처리 후를 비교한 ED-XRF 결과 특정 원소의 증가와 감소는 뚜렷한 경향성을 나타내지는 않았다. 또한 열처리 후 최상의 컬러를 나타내었던 조건에서의 시료 (Fig. 3)에서도 마찬가지로 미량원소의 증감은 경향성을 나타내지 않았다. 따라서 ED-XRF 분석 결과로는 본 실험에서 사용한 시료가 망간의 존재 여부에 따라 해수산인지 담수산인지만 구별할 수 있었다.

4.SEM 분석 결과

SEM 분석은 최상의 컬러를 나타내었던 열처리 조건에서 실험된 담수양식진주의 열처리 전과 후를 비교 분석하였다. 하지만 100°C/8 h, 140°C/4 h의 경우는 진주가 유기질 보석인 특성상 가공이 많은 이유로 측정이 용이하지 않았다. 또한 본 실험에 사용된 조건을 비교한 결과 120°C/6 h의 열처리 조

건이 가장 향상된 진주의 컬러를 나타내었기 때문에 120°C/6 h 경우의 시료만 분석 하였다.

Fig. 7은 담수 양식진주의 열처리 전 진주층의 형태와 진주층을 나타낸 결과이다. (a) 1000 배 (b) 2000 배 (c) 10000 배. Fig. 7에서 보는 바와 같이 진주층 간의 경계선은 SEM 분석을 위한 가공 시 진주층의 일부가 떨어져 나가 발생된 것으로 추측된다. 또한 (c) 10000 배 확대한 결과 진주층의 형태가 아라고나이트의 형태로 뚜렷이 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 8은 담수 양식진주의 열처리 후의 SEM 측정을 나타낸 결과이다. (a) 1000 배 (b) 2000 배 (c) 10000 배. Fig. 8에서 보는 바와 같이 120°C/ 6h 열처리 후 진주층이 열처리 전에 비해 응집되는 현상이 관찰 되었으며, 이는 열처리 시 진주 내부의 수분이 증발하여 나타난 현상으로 판단된다.

고 찰

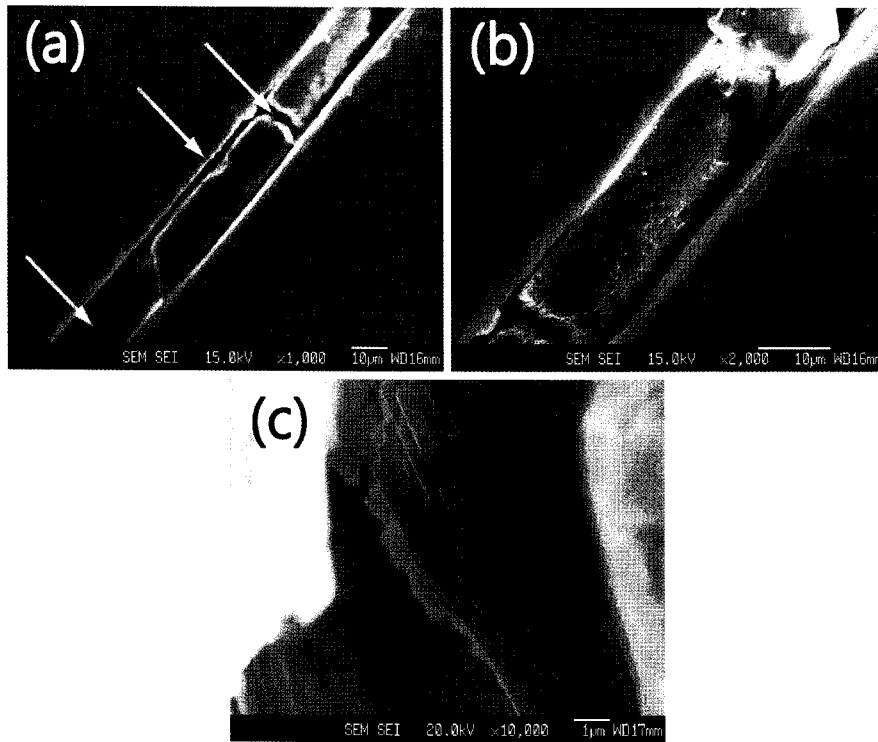


Fig. 7. SEM (scanning electron microscope) images of freshwater cultured pearls before heat treatment; (a) 1000 ×, (b) 2000 ×, (c) 10000 ×

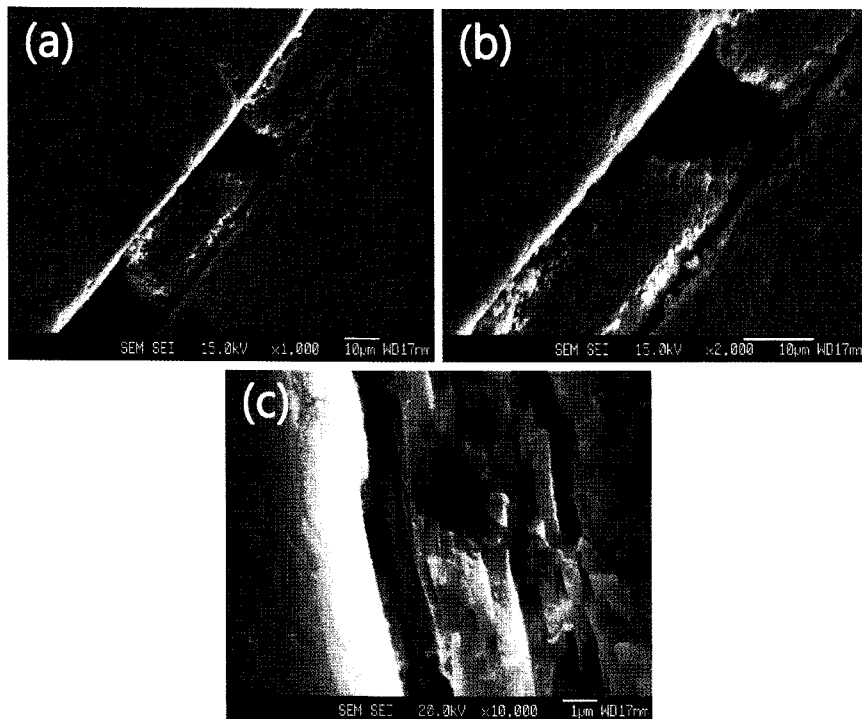


Fig. 8. SEM (scanning electron microscope) images of freshwater cultured pearls after heat treatment; (a) 1000 ×, (b) 2000 ×, (c) 10000 ×

전 세계적으로 실체색이 짙은 오렌지계 및 퍼플계의 컬러를 가지는 진주보다는 화이트계의 컬러를 지닌 진주가 가장 선호되고 있다. 이러한 담수양식진주의 다양한 컬러 (화이트계, 오렌지계, 퍼플계 등) 들은 진주층 속에 함유되어 있는 단백질 색소에 의한 영향으로 나타난다고 보고되었다(Kim and Park 2008). 따라서 오렌지계의 진주와 퍼플계의 진주는 화이트계의 진주에 비해 상품 가치성이 떨어지므로 가치 향상을 목적으로 열처리 방법이 가공법으로 많이 사용되어지고 있다. 하지만 이러한 열처리 방법은 비공개적으로 개인적인 노하우에 의해서만 행해지고 있어 컬러향상에 적합한 열처리 조건은 아직까지 보고된 사례가 없다. 따라서 본 연구에서는 중국산 담수양식진주를 사용하여 진주의 가치를 향상시키는 가공 방법 중 하나로 사용되고 있는 열처리 방법을 통하여 진주를 최대한 손상시키지 않으면서 컬러를 향상시켜 가치를 높일 수 있는 최적의 열처리 조건(온도 및 시간)을 확립하고자 하였다. 본 연구를 통해 나타난 결과로는 120°C/6 h가 가장 좋은 컬러를 나타내었으며, 열처리 시 120°C 이상 고온으로 갈수록 열처리에 소요되는 시간은 단축되나 고온에서는 매우 얇은 형태로 겹겹이 이루어진 진주층이 열에 민감하게 반응하여 쉽게 산화 (열에 견디지 못한 진주층이 손상되어 갈색으로 변함) 되는 현상이 나타난다는 것을 알 수 있었다. 따라서 열처리 시 온도 및 시간이 적절히 조화되어야만 진주 컬러를 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

본 실험에서 다양한 온도 및 시간을 통해 진주를 열처리한 후 컬러의 변화를 UV-Vis을 통해 비교 분석한 결과 각 온도 및 시간 별로 100°C/8h, 120°C/6 h, 140°C/4 h에서 가장 높은 반사율을 나타내었으며, 120°C 이상의 고온에서는 각각 120°C, 140°C 열처리 시 가장 적합하였던 6 시간 및 4 시간보다 더 오랜 시간 열처리 시 오히려 반사율이 감소하는 경향을 나타내었다. Uv-Vis 분석 결과와 마찬가지로 진주의 컬러도 반사율이 가장 높은 100°C/8 h, 120°C/6 h, 140°C/4 h에서 가장 좋은 컬러를 나타내었으며 그 중에서도 120°C/6h가 가장 좋은 컬러를 나타내었다. 열처리 시 담수양식진주의 광택 또한 좋아졌는데, 이는 열에 의한 진주층 내의 수분이 증발함에 따라 나타난 현상으로 판단된다. 따라서 본 실험에서 사용된 담수양식진주가 열처리 후 진주 내부의 수분이 증발함과 동시에 진주의 층과 층 사이를 구성하는 단백질의 산화 현상이 가치가 낮은 컬러의 진주를 열처리 후 가치가 높은 컬러의 진주로 변화 시킨 것으로 판단된다.

ED-XRF를 이용한 담수양식진주의 성분분석을 통해서 열처리 전과 후의 특정원소의 변화는 뚜렷한 경향성을 나타내지 않았고, 모든 시료에서 망간이 측정되었다. 진주를 구성하는 미량 원소들 중 망간은 담수양식진주에서 나타나는 특징으로 잘 알려져 있다(Ahmadjan *et al.*, 2004) 따라서 본 실험

에서 사용된 진주가 담수양식진주임을 판단 할 수 있었다. 일반적으로 양식진주들 중에서 해수산 양식진주에서는 주로 스트롱티움이 검출되고, 담수산 양식진주에서는 망간과 스트롱티움이 검출되므로 외관상 알 수 없을 경우 ED-XRF의 성분 분석이 주로 사용 되어져 왔다(Huang *et al.*, 2003).

진주는 98-99% 이상의 CaCO₃와 미량원소들로 진주층이 구성되며, 단백질 및 수분도 함께 존재한다. 이때 진주의 색은 진주층과 함께 존재하는 단백질의 색소에 의해 결정된다고 보고된 바 있다. 또한 열처리 전과 후에 진주의 색이 향상되었음에도 불구하고 진주의 구성 성분들의 변화는 뚜렷한 경향성을 나타내지 않은 ED-XRF 분석 결과를 통해 진주를 구성하는 원소들은 진주의 색에 많은 영향을 미치지 않으며, 단지 진주층과 층 사이를 구성하는 단백질의 색소가 진주의 색에 가장 큰 영향을 미친다는 것을 확인 할 수 있었다.

SEM 분석 결과, 열처리 후 진주층 내의 수분이 증발함에 따라 진주층이 열처리 전에 비해 응집되는 현상이 나타나는 것을 확인 할 수 있었으며, 이는 열처리에 의해 증발된 수분에 의해 진주층이 수축되어 일어나는 현상으로 보여진다. 또한 SEM분석으로 진주층이 아라고나이트의 형태로 규칙적으로 배열된 것을 명확히 확인 할 수 있었다. SEM 분석 시 진주의 성분이 유기질인 특성상 장비의 진공을 잡는데 있어 매우 어려움을 겪었고, 또한 정확한 초점을 잡기 위해 측정할 면의 상부와 하부를 평편하게 폴리싱(연마) 하는 것이 상당히 까다로웠다. 따라서 진주층을 최대한 손상시키지 않으면서 측정할 면을 평편하고 매끄럽게 폴리싱 하는 것이 SEM 분석에서 가장 좋은 이미지를 얻을 수 있는 방법이라 할 수 있겠다. 또한 담수양식진주의 다양한 컬러를 결정짓는 색소로 잘 알려져 있는 콘키올린(단백질)의 성분 및 구조적인 형태에 대한 연구 및 열처리 후의 진주층과 단백질의 구조적인 변형에 대해서도 계속 연구되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서 우리는 다양한 컬러의 담수양식진주(화이트, 오렌지, 퍼플 등)를 사용하여, 담수진주의 컬러를 변화시켜 가치 향상을 목적으로 다양한 온도 및 시간별로 열처리를 실시하였다. 진주의 손상을 최대한 막고 컬러를 향상시킬 수 있는 최적의 조건(온도 및 시간)을 정립하여, 그에 따른 진주의 컬러변화, 광택, 성분분석, 내부구조 등의 변화를 UV-Vis, ED-XRF, SEM 등을 사용하여 비교 관찰하였다.

결론적으로 우리는 열처리를 통하여 담수양식진주의 컬러와 광택 및 상품가치를 높일 수 있는 가장 적합한 조건을 제시하고자 하였다.

REFERENCES

- Akamatsu, S., Zansheng, L.T., Thomas, M.M. and Kenneth, S. (2001) The current status of Chinese freshwater cultured pearls. *Gems and Gemology*, **37**: 96-113.
- Abduriyim, A., Ito, E., Kitawaki, H. and Okano, M. (2004) Application of LA-ICP-MS to Identification of Pearl Nucleus. *Gemmological Association of All Japan*, Tokyo. Research Lab. Report.
- Fukushima, Y. (1991) The freshwater pearl in China. *Pearls of the World II*, Les Joyaux special edition, pp. 127-134. Shinsoshoku Co., Tokyo.
- Huang, F., Yun, X., Yang, M. and Chen, Z. (2003) Pearl cultivation in Donggou, Ezhou, Hubei, and cathodoluminescence of cultured pearls, *Gemmological Association and Gem Testing Laboratory of Great Britain*, **28**: 449-462.
- Ito, E. and Ito, Y. (2005) Effective Application of Raman Microspectroscopy using UV Laser and Photoluminescence Analysis to Organic Gemstones. *Gemmological Association of All Japan*, Tokyo. Research Lab. Report. (Gemmological Society of Japan)
- Kenneth, S., Tomas, M.M. and Akamatsu, S. (2000) Characteristics of nuclei in Chinese freshwater cultured pearls. *Gems and Gemology*, **36**: 98-109.
- Kim, H.Y. and Park, J.W., (2008) UV-Vis and ED-XRF analyses of natural black colored pearls from freshwater cultured shells. *Korean Journal of Malacology*, **24**(3): 243-251.
- Oh, J.U., Kim, J.S., Choi, J.K. and Kim, P.C. (2003) The estimation characteristics of cultured pearls. *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*, **13**(6): 315-319.
- Wada, K.J. (1982) Science of Pearl, pp. 95-104. Pearl Newspaper Company, Tokyo.