

아코야 진주의 화학조성과 내부구조가 진주광택에 미치는 영향에 관한 연구

성민준, 박지민, 장윤득

경북대학교 자연과학대학 지질학과

Pearl luster by chemical composition and internal structure of Akoya cultured pearl

Min-Jun Sung, Jimin Park and Yun-deuk Jang

Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

ABSTRACT

The patterns in X-ray diffraction (XRD) spectroscopy provide useful clue at 29.4° to discriminate two types of Akoya cultured pearl which occurs difference of surface luster. Using the optical microscope, we could be confirmed that the nareous layer of each sample consist of different crystal form. In Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy analysis, the nareous layer of Akoya cultured pearls with poor luster shows some peaks at 712, 699, 1435, 1444 cm⁻¹ region and these peaks depend on the Calcite. But the nareous layer of pearls with excellent luster could not observed those peaks related with Calcite, we could observed Aragonite band at 699, 1085 cm⁻¹ region. Though this result, we know that the nareous layer of Akoya cultured pearls with excellent luster is mainly composed by Aragonite. Raman bands are also clearly demonstrated to occur difference of band intensity by difference of Aragonite content. In the Scanning Electron Microscope (SEM) analysis, we found that the Akoya cultured pearl luster and surface condition is associated with internal structure.

Key Words: XRD Patterns, Akoya cultured pearl, FT-IR, Aragonite, SEM.

서 론

전 세계적으로 진주시장이 증가함에 따라 공정하고 빠른 감별을 요구하고 있는 실정이며 양식 진주의 약 30%가 높은 가치를 가진 진주로 인정되고 있으나 (Gervis and Sims., 1992), 진주의 품질에 관한 보다 자세한 학문적인 연구와 관심은 미진한 실정이다. 담수 양식진주의 경우 그들이 가지는 광택의 차이가 내부에 포함된 Vaterite에 의해 결정된다고 (Ma *et al.*, 2009; Ma and Lee., 2006) 보고되었지만 해수 양식진주에 대한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

일반적으로 양식진주는 담수 (Freshwater cultured), 아코야 (Akoya cultured), 남양 (Seawater cultured) 진주로 나뉘어지며 바다에서 양식되는 진주를 해수 양식진주라 통칭

한다. 이들의 진주는 *Pinctada fucuda*, *Pinctada maxima*, *Pinctada margaritifera*, *Hyriposos schlegelii* 등과 같은 이용 가능한 아미패류에 의해 의존하여 양식된다 (Park *et al.*, 2009). 아코야 진주의 경우 *Pinctada fucuda* 를 모패로 사용하여 생산되며 직경의 범위가 대개 3-10 mm으로 직경이 클수록 그 가치가 높아진다 (Kripa *et al.*, 2007). 진주는 일반적으로 93-95%의 아라고나이트 (CaCO₃) 층, 5%의 단단한 단백질, 베타키티 및 1%의 수분으로 구성되며 (Treccani *et al.*, 2006) 진주 내부는 패각으로 만들어진 핵을 중심으로 아라고나이트 판상이 계단상 조직처럼 중첩되어 방사상 형태를 이루어 (Jackson *et al.*, 1986) 진주 고유의 광택 효과가 발생하게 된다. 진주층은 주로 사방정계의 아라고나이트 구조를 가지고 있지만 일부의 진주에서는 삼방정계의 방해석 구조가 발견되는 경우도 있다.

진주의 화학조성을 이용하여 담수 양식진주와 해수 양식진주의 감별은 시도된 바 있으나 (Kim and Park., 2008) 아라고나이트와 방해석의 성분비에 의해 나타나는 광택에 의한 품질결과가 일정하지 않아 진주의 화학조성만으로 진주의 광택

Received: June 12, 2012 ; Accepted: June 22, 2012
Corresponding author: Yun-deuk Jang
Tel: +82 (53) 950-5358 e-mail: jangyd@knu.ac.kr
1225-3480/24438

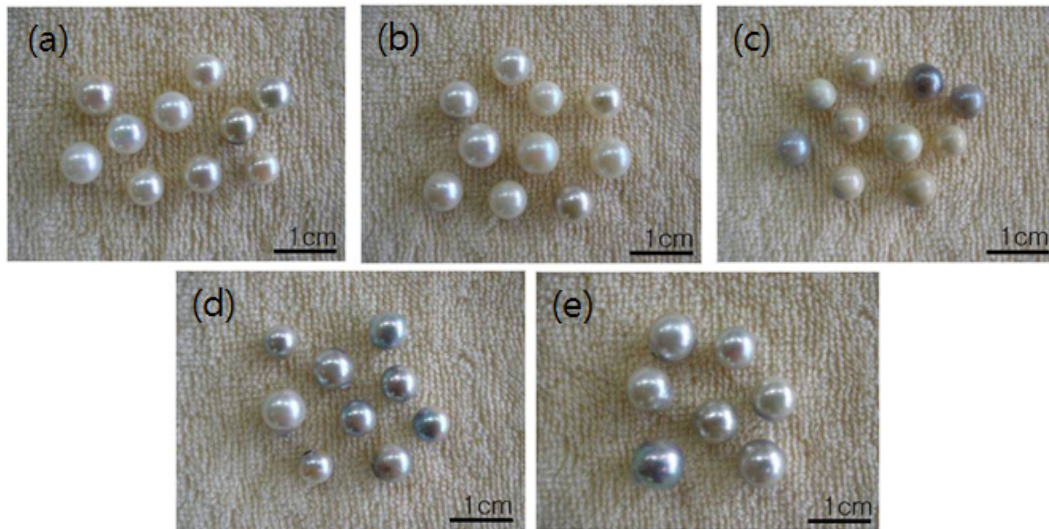


Fig. 1. The samples of Akoya cultured pearl according to the grade of visual observation. [(a)WA (b)WB (c)WC (d)DA (e)DB]

Table 1. Classified pearl group according to the grade of visual observation

Pearl	Color Affiliation	Luster	Surface Condition
WA	Lightness	Good	Good
WB1	Lightness	Normal	Good
WB2	Lightness	Good	Normal
WC	Lightness	Poor	Poor
DA	Darkness	Good	Good
DB	Darkness	Normal	Normal

Table 2. Classified pearl group to make powder and thin section

Pearl	Color	Luster	Surface Condition
WA	Pink	Good	Good
WA	Pink	Good	Good
WB	Light Yellow	Normal	Normal
WB	Light Green	Normal	Normal
DA	Green	Good	Good
DB	Green	Normal	Normal
WC	Light Yellow	Poor	Poor

을 설명하는데 한계가 있으며 진주 내부구조에 대한 지속적인 조사연구가 요구되고 있다. 본 연구에서는 다양한 분석장비를 이용하여 광택이 서로 상이한 해수양식진주에 대한 화학조성과 내부구조에 대한 특성분석을 통하여 해수양식진주의 화학조성과 내부 구조적인 특징과 진주의 광택과의 어떤 상관관계를 분석하여 진주감별의 기준을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 시료는 아코야 진주의 원주로써 2006년

에 일본 고베 지역에서 양식된 것이다. 원주의 광택과 색상을 고려하여 Fig. 1과 같이 5가지로 분류하였으며 진주의 광택, 표면상태 및 색상에 따라 Table1과 같이 5가지 등급 (WA, WB1, WB2, WC, DA, DB의 순서로) 으로 임의로 정리한 다음 각 분석장비에 적합하게 시료를 전처리 하여 실험을 진행하였다. 분말 시료와 박막시료를 만들기 위해 Fig. 1의 샘플을 임의로 1-2개씩 선택하였으며 이는 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 진주들을 다시 색상, 광택 및 표면상태에 따라 Table.2와 같이 정리한 후 5가지 등급 (WA, WB, DA, DB, WC 순서로) 으로 나누었다. 선택된 각 시료의 결정구조와 불순물의

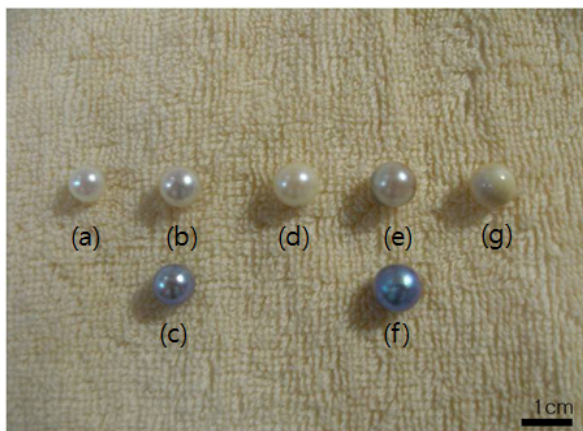


Fig. 2. Selected samples for petrographic microscope.

정도를 확인하기 위해 시료를 분말 처리하여 Philips사 X Pert APD을 이용하여 X선 회절 분석 (X-Ray Diffraction) 을 실시하였다. 진주의 내부구조를 관찰하기 위해 시료를 박편 으로 만들어 ZEISS사의 EL-Einsatz 광학 현미경으로 관찰 하였다. 광학현미경을 통해 확인된 특정 부분들을 Spectrum GX & AutoImage 모델을 이용하여 분해능 0.25 cm^{-1} , 스캔 범위 $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ 의 조건하에서 해상도 0.25 cm^{-1} 로 8회

Scan하여 실온에서 푸리에 변환 적외선분광광도기 (FT-IR) 를 사용하여 관찰하였다. 진주의 표면특징을 분석하기 위해 Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) 가 장착된 Hitachi model S-4200 이용하여 SEM (Scanning Emission Microscope) 을 사용하였다. 푸리에변환 적외선분 광광도기 (FT-IR) 의 결과를 보충하기 위해 Kaiser Optical Systems사의 광역조사 라만분광기 (Wide Illumination Raman scheme) 를 이용하여 시료의 전체 영역에 대한 특성 을 분석하였다. 실험을 위해 만들어진 진주 분말시료는 Table 1 으로 나누어진 진주군중 1-2개를 선택적으로 골라 아게이트 사발에 미립질로 분쇄한 후 제조하였다.

결 과

1. X-선 회절분석

Table 1 으로 나눈 진주군들 중 시각적으로 광택의 차이 가 현저하게 나타나는 4개의 진주군 (WA, WB1, WB2, WC) 의 진주를 골라 내부구조 분석을 위해 진주의 모패를 제외한 진주질층을 파우더로 만든 후 X-선 회절분석을 실행하였다.

Fig. 3은 4개의 진주군들에 대한 X-선 회절분석에 대한 결 과이다. 모든 진주군들에서 거의 동일한 패턴들이 나타났으며

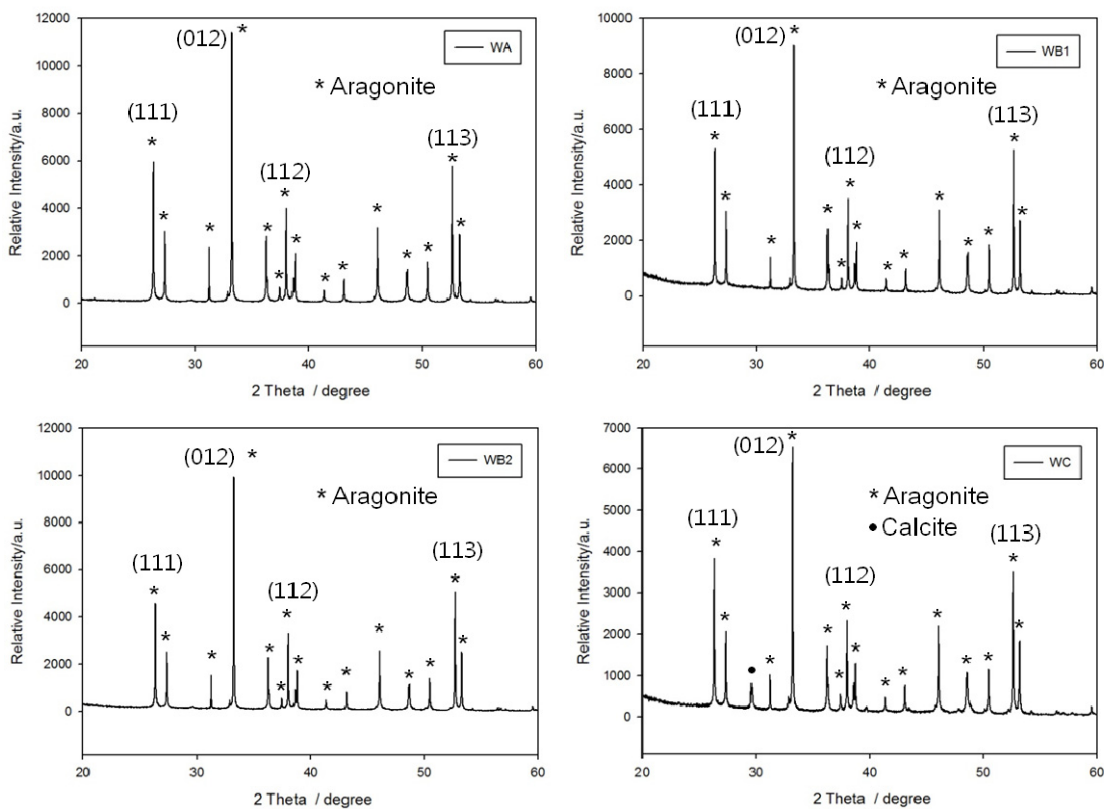


Fig. 3. The XRD patterns of different pearl group.

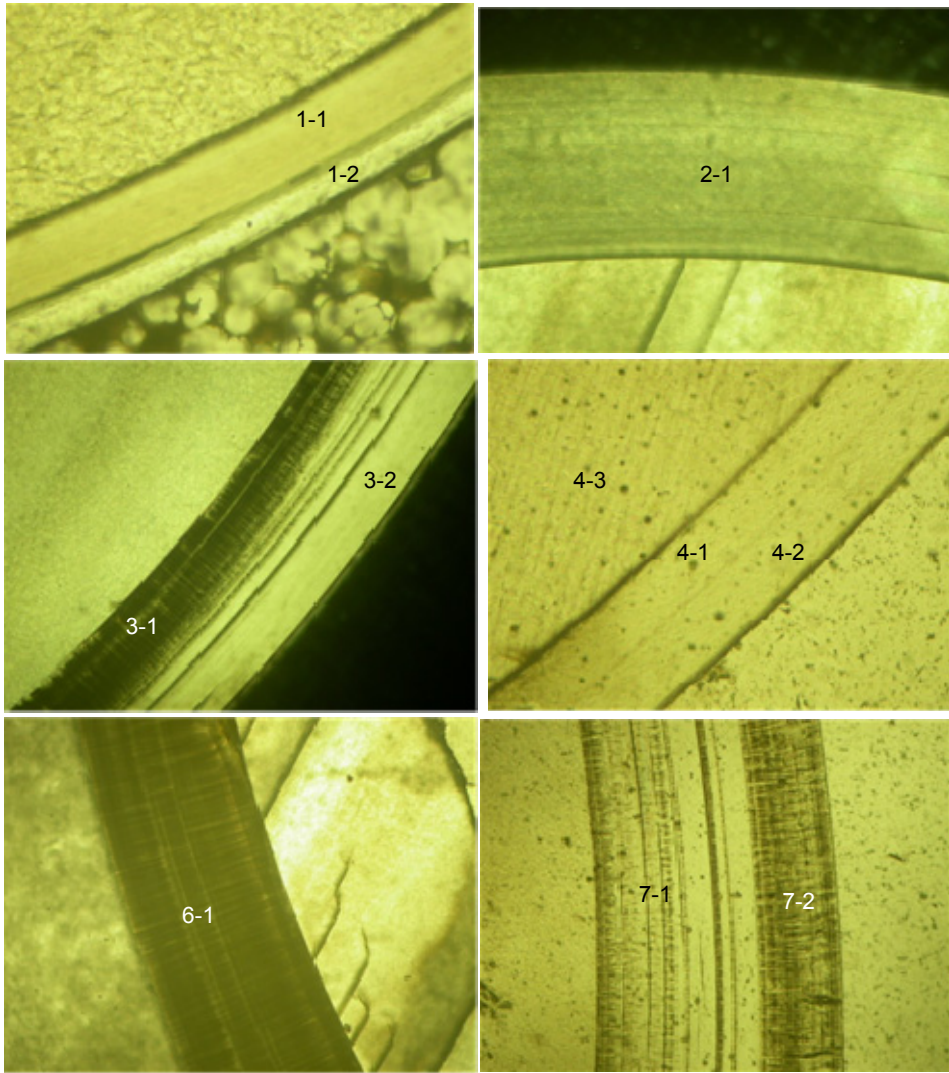


Fig. 4. The optical properties of Akoya cultured pearl observed under petrographic microscope. [(a)WA (b)WA (c)WB (d)WB (e)WB (f)WC]

이들은 아라고나이트에 의해 발생하는 패턴 (Ma *et al.*, 2009) 이다. 모든 진주군에서 나타난 상대적으로 강한 패턴들인 26.4, 33.3, 38.1 및 52.7° 들의 패턴들은 각각 아라고나이트 (111), (012), (112), (113) 면에서 나타나는 특징적인 패턴이지만 (Fig. 3) 패턴의 강도는 서로 다르게 나타났다. 시각적으로 광택이 좋은 진주군에 속해 있을수록 아라고나이트의 패턴이 강하게 나타났으며 반대의 경우 아라고나이트의 패턴이 상대적으로 약하게 나타났다. 선택된 진주군중 시각적으로 광택이 가장 떨어지는 진주군 (WC) 의 X-선 회절분석 패턴에서 29.4° 지역에 특징적인 패턴이 나타났으며 이는 방해석의 특징적인 패턴 (Ma and Lee., 2006) 으로 확인할 수 있었다. 진주의 내부 구성물질이 진주광택에 중요한 영향을 미치지만

진주의 화학조성만으로 진주의 광택을 설명하는데 한계가 있어 진주 내부구조에 대한 추가적인 분석을 진행하였다.

2. 광학현미경

Fig. 2의 7개 시료를 박편으로 만들고 광학현미경 하에서 관찰하여 진주의 내부구조를 확인하였다. Fig. 4는 아코야 진주의 광학적 특징이다. 박편으로 만든 시료를 광학현미경으로 관찰한 결과 시각적으로 진주품질이 우수한 것은 Fig. 4-a, b, d와 같이 진주층이 비교적 맑고 깨끗하게 관찰되었으며 진주 품질이 떨어지는 것은 Fig. 4-c, e, f와 같이 진주층이 탁하거나 부분적으로 거친 결정을 가지는 것으로 확인할 수 있었다. 7개 시료의 진주층을 관찰해 본 결과 진주에 따라 구조적으로

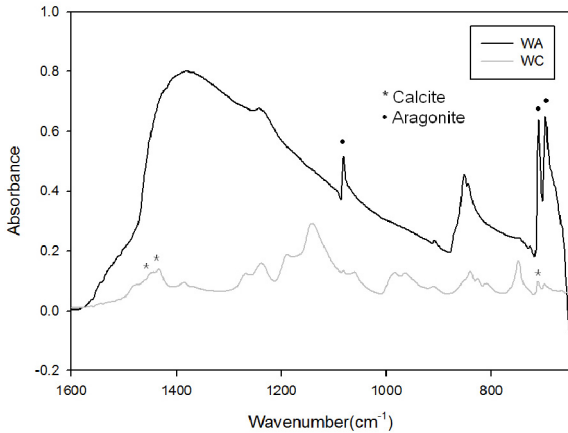


Fig. 5. FT-IR Spectroscopy result of high and low quality pearls.

능주층이 있는 경우 (Fig. 4-a, d) 와 능주층이 없는 경우 (Fig. 4-b, e) 두 가지 경우가 존재하였다. 또 진주층은 주로 아라곤나이트로 구성 (Fig. 4-b) 되어 나타나지만 생환경에 따라 불규칙하게 방해석으로 구성 (Fig. 4-e) 되기도 하고 방해석과 아라곤나이트가 공존 (Fig. 4-c) 하는 형태로 나타나기도 했다. 방해석과 아라곤나이트의 성분비를 확인하는 분석은 적외선 분광광도기 (FT-IR) ATR (Attenuated Total Reflection) Mode 를 이용한 분석과 라만 분광법 (Raman Spectroscopy) 을 통해 이루어졌다.

3. 퓨리에 변환 적외선분광광도기 (FT-IR) 분석

Fig. 2의 시료 중 시각적인 광택의 차이가 확연히 드러나는 WA 와 WC 진주군의 샘플을 각각 박편으로 만들어서 광학현미경을 통해 확인된 부분들에서 진주 층이 맑고 깨끗한 부분들인 (시각적으로 광택이 우수한 진주군) Fig. 4 의 1-1, 1-2, 2-1, 3-2, 4-1, 4-2, 4-3 영역과 진주 층이 상대적으로 탁하게 관찰된 (시각적으로 광택이 떨어지는 진주군) Fig. 4 의 3-1, 6-1, 7-1, 7-2 영역을 퓨리에 변환 적외선분광광도기 (FT-IR) 의 ATR Mode로 분석하였으며 그 대표적인 밴드의 결과는 Fig. 5와 같이 확인되었다. 적외선 분광광도기를 통해 각각의 특정부분을 분석한 결과, 아코야 진주의 진주층은 광택의 차이에 따라 아라곤나이트와 방해석의 밴드들이 각각 다르게 나타났다. 두 광물은 CaCO₃ 를 주성분으로 하는 동질이지만 시각적으로 광택이 우수한 진주군에서 699, 712, 1085 cm⁻¹ 지역에서 아라곤나이트에서 나타나는 특징적인 밴드들이 나타났으며, 이와 반대로 시각적으로 광택이 떨어지는 진주군에서 712, 1435, 1444 cm⁻¹ 지역에서 방해석에서 나타나는 특징적인 밴드 (Farmer., 1974) 가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 두 진주군에서 712 cm⁻¹ 지역에서 동일한 밴드가

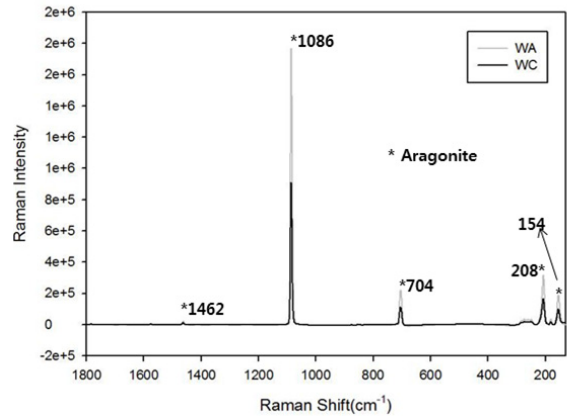


Fig. 6. The average Raman spectra of high and low quality pearls.

나타났지만 두 진주군을 구별하는데 있어서 아라곤나이트의 밴드인 699와 1085 cm⁻¹ 과 방해석의 밴드인 1435와 1444 cm⁻¹ 지역에서 나타나는 서로 다른 밴드들로 두 광물을 구별할 수 있다.

4. 라만 분광법

적외선 분광광도기 (FT-IR) 분석의 결과를 보충하기 위해 같은 크기의 표면 품질이 서로 다른 두 시료를 선택하여 라만 분광분석법을 실행하였다. 먼저 밴드들의 강도를 정확히 확인하고 두 샘플의 밴드들의 전체 영역에 나타나는 형광 및 노이즈를 최소화하기 위해 Matlab 7.0 프로그램을 이용하여 318, 412, 455, 630, 873, 1052 cm⁻¹ 영역을 바로 잡는 작업을 실시하였다. Fig. 6 은 같은 크기의 (직경 6 mm) 선택된 두 진주군들의 라만 스펙트럼들을 모두 측정하고 후 평균화하여 나타낸 것이다. 각 시료에서 얻어진 스펙트럼들의 모양은 전체적으로 유사하지만 아라곤나이트와 연관된 밴드들 (Park et al., 2009) 1462, 1086, 704, 208, 154 cm⁻¹ 을 비교 시 시각적으로 광택이 떨어지는 시료에서 밴드의 강도가 확실히 낮게 나타났다. 또한 가장 강하게 나타난 밴드인 1086 cm⁻¹ 의 밴드는 아라곤나이트에서 나타나는 가장 특징적인 밴드로 (Gauldie et al., 1997) 이 또한 밴드의 강도 차이가 확연히 다르게 나타났다.

5. 주사전자현미경

Fig. 1의 시료 WA, WB1, WB2, WC의 진주를 파괴하여 모패와 진주 층으로 분리시키고 진주 층의 표면특징과 단면을 주사전자현미경으로 관찰하였다. Fig. 7은 진주의 품질에 따른 표면 특징을 나타낸 것이다. WA는 가장 우수한 품질의 진주군으로 광택이 우수하고 표면도 깨끗한 진주로써 고 배율이

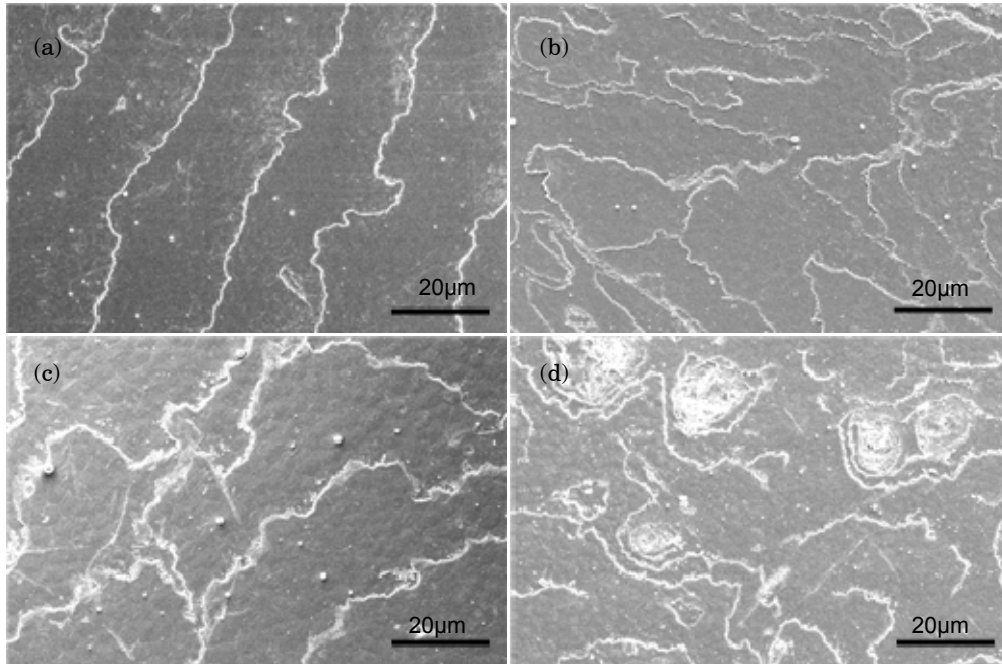


Fig. 7. The surface fracture on the different pearl quality [(a)WA (b)WB1 (c)WB2 (d)WC]

미지에서도 아라고나이트 판상의 성장라인이 선명하고 표면도 깨끗했다. WB1은 광택은 약간 떨어지지만 표면이 비교적 깨끗한 진주로서 고 배율 이미지에서는 아라고나이트 판상박편의 성장라인이 불규칙적이지만 표면은 비교적 깨끗했다. WB2는 광택은 WA와 근접할 정도로 우수하지만 표면은 약간의 주름이 느껴지는 진주로서 고 배율 이미지에서 아라고나이트 판상의 성장라인이 선명하지만 그 표면에 주름은 선명했다. WC는 광택과 표면 모두 좋지 않은 전형적인 능주 진주로서 고 배율 이미지에서 일정한 성장라인을 판단하기가 어렵고 표면도 거칠었다. Fig. 8은 진주 품질에 따른 단면 특징이다. WA는 판상의 아라고나이트가 핵을 중심으로 일정하고 규칙적으로 배열되어 있음을 알 수 있었고 아라고나이트 판상의 표면도 비교적 깨끗하게 확인되었다. 아라고나이트의 두께가 약 400 nm로 일정했다. WB1은 진주표면을 눈으로 볼 때는 비교적 깨끗했지만 확대해서 보니 성장라인이 불규칙적이고 광택이 떨어지며 표면이 약간 거칠게 나타났다. 아라고나이트의 두께가 250-350 nm로 일정하지 않았다. WB2는 판상의 아라고나이트가 일정하고 규칙적으로 잘 배열되어 있었지만 고 배율에서 아라고나이트 표면을 자세히 보면 진주표면에서 확인되었던 주름을 선명하게 확인할 수 있었다. 아라고나이트의 두께는 약 400 nm로 WA와 거의 동일하다. WC는 아라고나이트가 매우 불규칙하고 거칠게 배열되어 있고 방해석로 추정되는 광물과 뒤섞여서 복잡하게 성장한 모습을 나타내고 있으며 아라고나이트의 두께는 일정하지 않았다.

고 찰

진주의 표면 광택은 진주를 평가하는 잣대로써 가장 중요한 역할은 한다. 담수에서 양식된 진주들의 광택에 영향을 미치는 요인은 Vaterite에 의해 발생된다고 보고된 바 있지만 (Ma., 2009) 전세계 해수 진주의 막대한 양을 생산하는 일본 해수 양식 진주의 표면 품질에 관한 연구가 상당히 미흡한 실정이며 본 연구를 통해 아코야 진주의 표면 품질이 진주 내부 구조와 어떠한 연관성이 있는지 밝히고자 하였다.

X-선 회절 분석에서 표면품질이 떨어지는 진주에서 나타나는 29.4°의 방해석 패턴은 그렇지 않은 진주에서는 전혀 나타나지 않았다. 모든 진주에서 나타나는 아라고나이트 패턴들은 일치하지만 광택 및 표면 품질이 낮아질수록 강도 또한 낮아짐을 알 수 있었으며 상대적으로 표면 품질이 낮을수록 아라고나이트 함유량이 낮고 때론 방해석이 존재한다는 것을 알 수 있었다. 이는 담수 양식진주의 Vaterite와 같은 역할은 한다고 볼 수 있다.

광학현미경 관찰 결과 진주층에는 능주층과 함께 진주질층이 있는 경우와 능주층이 없이 단독으로 진주질층이 있는 경우가 확인되었다. 진주 내부의 광물질 분포는 아라고나이트만 존재하는 경우와 방해석만 존재하는 경우 그리고 아라고나이트와 방해석이 공존하는 경우 등 진주가 생성된 환경에 따라 다양하게 나타났다. 아라고나이트만 존재한 경우 표면품질이 상대적으로 우수하게 나타났으며 방해석만 존재하는 경우 표면 품질이 가장 낮게 나타났다. 이로 인해 진주 표면 품질에 아라

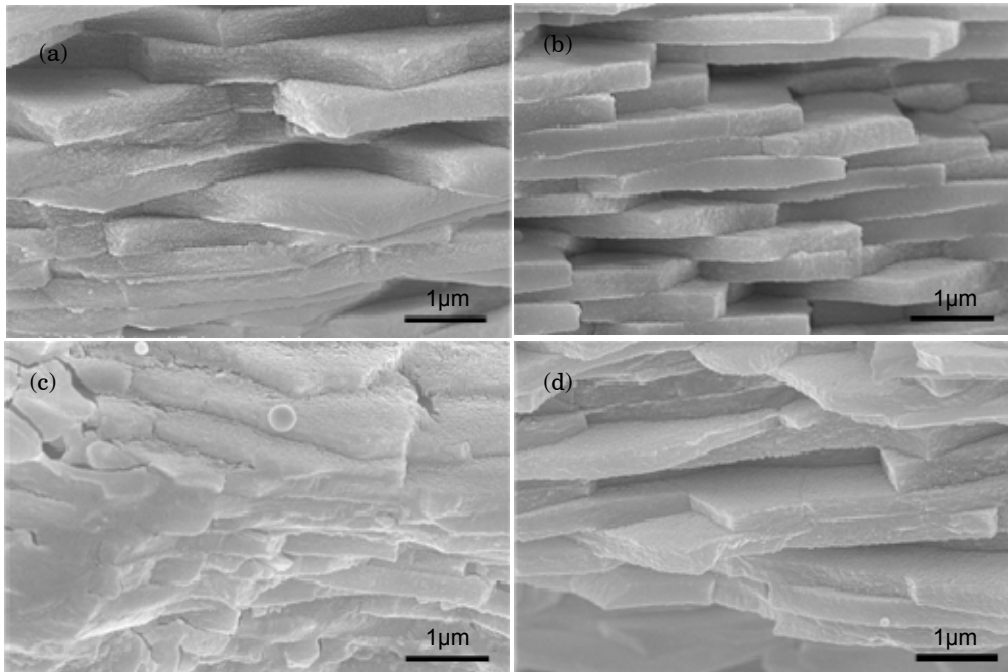


Fig. 8. The cross section fracture on the different pearl quality [(a)WA (b)WB1 (c)WB2 (d)WC]

고나이트와 방해석 함유량이 막대한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

적외선 분광광도계 실험 또한 아라고나이트와 방해석의 존재 여부를 알 수 있었으며 앞서 실행한 실험들과 동일한 결과를 나타냈다. 아라고나이트와 방해석은 동일한 CaCO_3 구조이며 CO_3^{2-} 의 진동에 의해 (Balmain *et al.*, 1999) 나타나는 712 cm^{-1} 지역에 동일한 밴드를 가진다. 아라고나이트에서 나타나는 699 와 1085 cm^{-1} 지역의 특징적인 밴드들은 각각 $\nu 1$ (symmetric stretching)와 $\nu 4$ (in-plane bending) 진동모드에 의해 발생되며 방해석에서 나타나는 1435 와 1444 cm^{-1} 지역에서 나타나는 특징적인 밴드는 모두 $\nu 3$ (asymmetric stretching) 진동모드에 의해 나타나는 밴드들 (Farmer., 1974) 이다.

적외선 분광광도계 실험을 보충하기 위한 라만 분광법 실험에서는 방해석의 밴드들을 확인 할 수 없었으며 단지 아라고나이트의 밴드들만 확인되었다. 154 와 208 cm^{-1} 지역의 밴드들은 격자 진동모드, 706 cm^{-1} 의 지역 밴드는 $\nu 4$ (in-plane bending)진동모드, 1085 cm^{-1} 지역 밴드는 $\nu 1$ (symmetric stretching) 진동모드, 1462 cm^{-1} 지역 밴드는 $\nu 3$ (asymmetric stretching) 진동모드에 의해 발생된다 (Wehrmeister *et al.*, 2009). 하지만 확인된 밴드들의 강도 차이가 확실히 나타나 정량적으로 아라고나이트의 함유량 또한 진주의 표면 품질에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며 이는 진주판상의 아라고나이트의 크기 및 두께가 진주 품질에

따라 다르게 나타난다는 것을 의미한다.

품질이 서로 다른 진주의 표면과 단면을 주사전자현미경으로 확인한 결과 진주의 광택과 표면 상태는 판상의 아라고나이트가 성장하여 배열되는 과정과 관련성이 있는데 아라고나이트의 규칙적인 배열여부, 아라고나이트의 표면상태 그리고 아라고나이트의 크기와 두께 등에 복합적으로 영향을 받고 있는 것으로 관찰되었다.

요 약

우리는 같은 지역에서 생성된 진주의 표면품질 차이점의 원인을 다양한 분석을 통해 분석하고자 하였다. 본 연구들을 토대로 진주의 표면품질은 진주를 구성하고 있는 아라고나이트와 방해석의 함유량의 차이에 의해 발생하는 것으로 추정되었다. 또한 내부 구조분석을 통해 표면품질이 서로 다른 진주의 발생원인은 내부구조와 일정한 연관성이 있는 것으로 판단되었으며 진주의 생성환경 또한 영향을 줄 것이라 사료되었다. 하지만 앞서 실시한 대부분의 실험들이 파괴분석이며 이러한 분석들은 진주와 같은 가치 있는 시료에 부적합하므로 앞으로 새로운 방법의 실험들이 진행되어야 할 것이다.

사 사

본 논문의 실험은 기초과학연구원의 도움을 받아 수행되

있으며, 논문에 대해 세심한 검토와 중요한 참고문헌들을 제시해 주신 심사위원님들께 감사를 표합니다. 그리고 이 논문의 발간을 위해 많은 수고를 하여 주신 패류학회 편집진 여러분께도 감사를 표합니다.

참고문헌

- A.P. Jackson., J.F.V. Vincent., D. Briggs., R.A., Crick., S.F. Davies., M.J. Hearn., R.M. Turner (1986) Application of surface analytical techniques to the study of fracture surfaces of mother-of-pearl. *Journal of Materials Science Letters.*, **5**: 975-978.
- B. Balmain., B. Hannover., and E. Lopez (1999) Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray diffraction analyses of mineral and organic matrix during heat of mother of pearl (nacre) from the shell of the mollusc *pinctada maxima*. *Journal of Biomedical Materials Research.*, **148**(5): 749-754.
- H. Ma., A. Su., B. Zhang., R.K. Li., L. Zhou., B. Wang (2009) Vaterite or aragonite observed in the plastic layer of freshwater-cultured pearls from South China. *Progress in Natural Science.*, **19**: 817-820.
- H.Y. Kim and J.W. Park (2008) UV-Vis and ED-XRF analysis of natural black colored pearls from freshwater cultured shells. *Korean Journal of Malacol.*, **24**(3): 243-251.
- H. Ma. and I.S. Lee (2006) Characterization of vaterite in low quality freshwater-cultured pearls. *Materials Science and Engineering: C.*, **26**: 721-723.
- L. Treccani., K. Mann., F. Heinemann., M. Fritz (2006) Perlwapin, an abalone nacre protein with three four-disulfide core (whey acidic protein) domains, inhibits the growth of calcium carbonate crystals. *Biophys Journal.*, **91**: 2601-2608.
- M.H. Gervis and N.A. Sims (1992) The biology and culture of pearl oysters (Bivalvia: Pteriidae). *ICLARM Studies and Reviews.*, **21**: 1-49.
- R.W. Gauldie., S.K. Sharma., and E. Volk (1997) Micro-Raman spectral study of vaterite and aragonite otoliths of the coho salmon, *oncorhynchus kisutch*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology.*, **118A**: 753-757.
- S.C. Park., M.J. Kim., J.M. Park., H.I. Chung., H.Y. Kim (2009) Wide area illumination Raman scheme for simple and nondestructive discrimination of seawater cultured pearls. *Journal of Raman Spectroscopy.*, **40**: 2187-2192.
- U. Wehrmeister., A.I. Soldati., D.E. Jacob., T. Häger (2009) Raman spectroscopy of synthetic, geological and biological vaterite: a Raman spectroscopic study. *Journal of Raman Spectroscopy.*, **41**: 193-201.
- V.C. Farmer (1974) The infrared spectra of minerals. pp. 239-242. Adlard & Son Ltd., London
- V. Kripa., K.S. Mohamed., K.K. Appukuttan., T.S. Velayudhan (2007) Production of Akoya pearls from the Southwest coast of India. *Aquaculture.*, **262**: 347-354.