

통영해역의 진주조개, *Pinctada fucata*에서 생산된 진주의 품질특성

서진형¹, 이상준¹, 정우건¹, 조상만²

¹경상대학교 해양과학대학 해양생명과학과·해양산업연구소, ²군산대학교 해양과학대학 해양생명과학과

The Quality Characteristic of Pearls Produced at Pearl oyster, *Pinctada fucata* cultured in Tongyeong

Jin-Hyung Seo¹, Sang-Jun Lee¹, Woo-Geon Jeong¹ and Sang-Man Cho²

¹Department of Marine biology and Aquaculture & Institute of Marine Industrial Science, Gyeongsang National University, 445 Inpyeong, Tongyoeng, Gyeongnam 650-160, Korea

²Department of Aquaculture and Aquatic Science, Kunsan National University, 558 Deahakro Kunsan, Jeonbuk 573-701, Republic of Korea

ABSTRACT

This project analyzes distinct qualities of pearl cultured in Tongyeong by physical, chemical and optical test. The result is to provide scientific data for the value of pearl from Korean seawater. It divides one year pearl, which is used as a sample in the project, into white, natural blue and yellow gold colors, and then it has been divided into A, B and C based on the quality of the last results. A chemical experiment demonstrates that the higher quality has lower protein content of less than 10%. In another test called heavy metal content test, there is no big difference among classes. In the characterization of spectroscopy, it shows 280 nm peak indicated the conchiolin. It is clear that 407 nm, 430 nm and 460 nm peak are White group that are not in processed condition.

Key words: Tongyeong, pearl, *Pinctada fucata*, protein, heavy metal, spectroscopy

서 론

우리나라의 진주양식은 1965년 진주모패인 진주조개 (*Pinctada fucata*) 를 일본으로부터 이식해오면서 시작되었고, 통영은 국내 유일의 진주 생산지이다. 오늘날 양식진주는 세계에 유통되는 진주 물량의 90% 이상을 차지하며, 국내에서 생산되는 원주는 일본 원주 생산량의 3.8%에 해당하는 750 kg이 수출되고 있다. 진주는 살아있는 생물체인 진주조개에서 탄생되는 보석으로 지각운동에 의해 탄생된 보석들과는 달리 라이프 사이클이 짧고 내구성이 영구적이지 않기 때문에 새로운 진주의 양식은 꾸준히 이루어질 수밖에 없다 (Park, 2006). 그러므로 진주 양식 산업은 기술 집약적인 고부가가치 산업으로써 성장 가능성이 매우 크다.

진주조개는 해수산으로 패각은 각피와 각질층으로 이루어져 있고, 각질층은 다시 외각층, 중각층 그리고 내각층으로 나뉜다. 외각층을 형성하고 있는 능주층은 콘키올린 (conchiolin) 이라고 부르는 경단백질과 칼사이트 (calcite) 형의 탄산칼슘 결정으로 이루어져 있다. 그리고 중각층과 내각층을 형성하고 있는 진주층은 진주패의 가장 안쪽에 진주광택이 있는 부분이며, 아라고나이트 (aragonite) 형의 탄산칼슘결정과 콘키올린으로 구성되어 있고, 패각 내면에 평행하게 쌓아올려져 있다. 진주층은 두께 0.3-0.7 μm 정도의 아라고나이트형 탄산칼슘 결정과 상당히 얇은 콘키올린이 서로 교차되면서 쌓여 층상구조를 이루고 있으며, 미세한 진주층 구조가 진주광택을 만들어 낸다. 따라서 진주조개의 패각은 진주의 진주층과 유사한 형태로 이루어져서 있기 때문에 패각의 진주층을 이용하여 그 조개에서 생산되는 진주의 특성을 연구하기도 한다 (Wada, 1972).

진주의 품질을 결정하는 요소에는 광택, 흠, 면, 형태, 진주층 두께 그리고 컬러 등 6가지가 있다. 이러한 요소가 결정되는 것은 진주의 탄생 과정에서 결정되는 것이므로 좋은 진주를 탄생시키기 위한 방법에 대한 연구는 불가결한 것이다. 진주조

Received: September 9, 2012 ; Accepted: September 20, 2012

Corresponding author: Woo-Geon Jeong

Tel: +82 (55) 772-9151 e-mail: jwg@gnu.ac.kr

1225-3480/24446

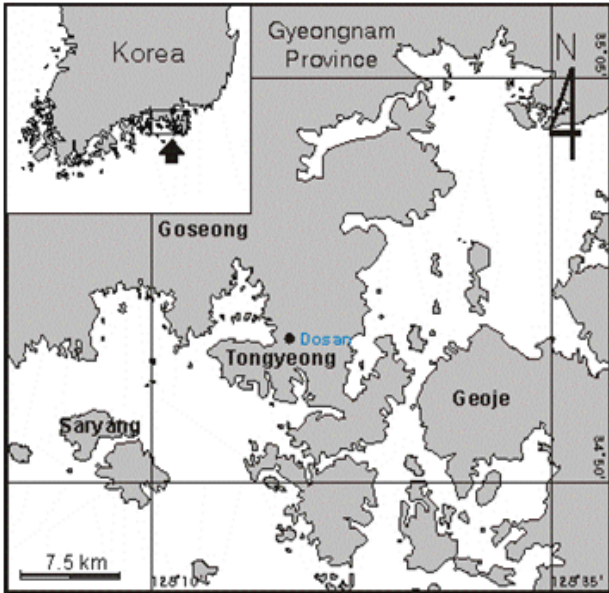


Fig. 1. A map showing the sampling station, Dosan.

개에 핵을 삽입하는 것과 핵과 함께 삽입하는 피스 조각 (Donor cell) 을 이식하는 기술, 모패 선별, 육종 기술 등 진주 양식 및 품질 개선을 위하여 다양한 연구들이 이미 보고되었다 (Doubilet, 1996; 小松, 1987). 특히 진주는 생명체로부터 얻어지고, 진주가 생성되는 조개의 종류 또한 다양해서 진주의 종류, 구조, 화학성분, 색상, 분광성, 광택, 착색 및 탈색 등의 처리방법, 가치 그리고 진주에 대한 기타 사항 등 그 연구대상이 매우 다양하다 (Webster, 1994).

진주의 품질을 평가하는 방법으로는 손으로 접촉해보는 오감에 의한 방법, 육안 또는 확대경으로 관찰하는 방법과 현미경 관찰법, 분광광도계, 자외선이나 X선 등을 사용하는 방법이 있다. 또한 적외선, 가시광선, 자외선에 대한 진주의 분광 특성을 분석하는 것도 진주감별에 있어서 중요하다 (Cornelius, 1991). 육안이나 확대경으로 진주감별을 하는 것은 상당한 기술을 요하며, 진주조개에서 채집한 진주의 다양한 특성에 대한 풍부한 지식과 가공처리에 의해 생기는 여러 변화에 관한 경험 및 예리한 통찰력을 지니고 있어야 한다. 그러나 육안적인 관찰에 의한 평가방법은 과학적이지 못하다는 지적을 받아왔다. 진주의 우수한 품질을 증명해 보이기 위해서는 과학적인 분석방법이 필요하며, X선 회절분석기 (X-ray Diffraction), 원자 방출 분광기 (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer), 자외선-가시선 분광기 (Ultraviolet-visible spectroscopy), 적외선 분광기 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) 등과 같은 과학적 분석법이 활용되어야 한다.

통영에서 생산되는 양식진주에 대한 일반적인 특성이나, 생

산성과 품질 개선을 위한 양식 방법을 달리하는 방법에 대한 연구보고는 있으나, 원주에 대한 물리·화학적 연구는 미비한 실정이다. 그리고 전문가의 육안에 의해 품질·등급별로 감정된 원주를 물리·화학적 특성을 밝혀 과학적으로 분석한 연구는 전무한 상태이다.

따라서 이 연구에서는 통영 연안에서 생산된 원주를 품질·등급별로 구분하여 물리·화학·광학적 특성을 분석함으로써 진주가 가진 품질을 밝히고, 이 결과는 한국산 해수진주의 평가를 위한 과학적인 자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시료 수집

실험에 쓰인 원주는 진주조개에서 1년간 양성하고 생산된 것으로 2005년 11월, 경남 통영시 도산면의 양식 산업체로부터 구입하였다 (Fig. 1). 원주는 6-8 mm급으로 전문가의 육안에 의해 품질·등급별로 구분하였다. 원주의 구분은 컬러별로 White, Natural blue 그리고 Yellow gold 세 그룹으로 나누었고, 등급별 구분은 둥글고 모양이 매끈한 것일수록 높은 등급, White계는 희고 맑은 것, 실체색이 좋은 것일수록 높은 등급으로 분류하였다. Natural blue와 Yellow gold 그룹도 둥글고 색이 선명하며, 매끈한 것일수록 높은 등급으로 구분하였다. 각각의 컬러그룹은 상위 그룹부터 A, B, C 등급으로 표시하였다 (Fig. 2).

2. 원주의 성분 분석

1) 원주의 일반성분 분석

원주의 탄소 및 단백질원 분석을 위해 원주로부터 진주층을 분리하여 약 10-20 mg 정도를 주석 캡슐에 넣어 원소분석기 (C, H, O, N) (EA1110 Elemental Analyzers, CE Instruments) 를 사용하여 분석하였다. Cu-WO₃ column은 1000℃에서 유지하였고, Helium carrier gas 압력은 120 μ l/min를 유지하였다. 분석은 각 등급별로 실시하였다.

2) 원주의 중금속 분석

핵으로부터 분리된 진주층을 막자사발에서 분말로 만들어 샘플을 준비하였다. 중금속 분석을 위하여 0.5 g정도 정량하여 50 ml 테프론 비이커에 넣고 10 ml의 질산을 가하고 유리커버를 덮고 실온에서 24시간 정도 반응시켰다. 이후 100 \pm 5℃에서 24시간 가열하여 진주를 완전히 용해시켰다. 그리고 용해된 용액을 여과 또는 원심 분리하여 ICP-AES (TraceScan Advantage, Thermo Jarrell Ash Corporation) 를 이용하여 분석하였다. 분석항목은 Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Pb, Zn을 분석하였고, 분석 결과는 SPSS 15.0 프로그램을 이용하여 일원변량분석 ($p < 0.05$) 으로 통계 처리하였다.

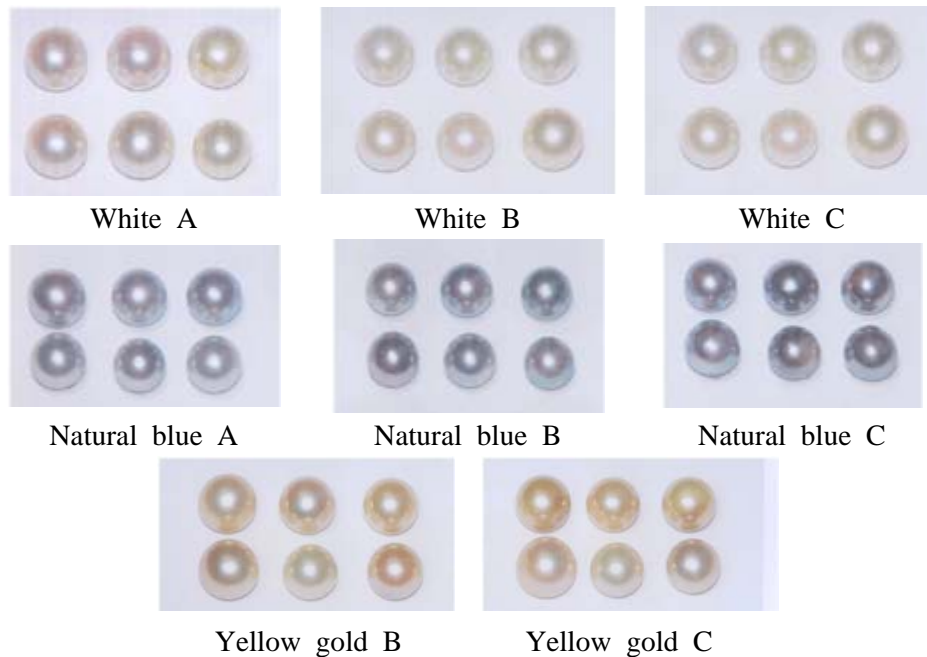


Fig. 2. Pearls are divided by a color and grades. The A is a high grade, a grade to be gradually low. A color divided it to White, Natural blue and Yellow gold.

3. 원주의 진주층 분석

1) 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope) 관찰

주사전자현미경 (SEM, JSM 6380LV, JEOL) 을 이용하여 원주의 진주층 단층구조를 분석하였다. 먼저 물리적인 방법으로 각 컬러별 A, B, C등급의 진주층을 분리한 후 각 등급별로 2개의 아라고나이트 결정을 취하였고, 길이와 두께를 조사하였다. 전자현미경을 통해 획득한 이미지는 Image analyser (Image Pro) 를 사용하여 각 진주층의 두께 및 폭을 분석하였다.

2) 연X선 분석 (Soft X ray Apparatus)

공업이나 의학 분야에서 사용되는 X선 보다 파장이 긴 X선을 연X선이라고 한다. 투과력이 soft하여 동식물 등의 내부 구조를 미세하게 촬영할 수 있다. 이러한 연X선을 조사하여 진주의 내부 구조를 관찰하였다. 연X선 분석을 통해 진주 내부에 핵의 유무와 핵의 형태분석, 핵과 경계부에서의 능주층, 유기질층의 발달 상황도 알 수 있다. 원주를 연X선 장치 (Soft X ray Apparatus) 를 사용하여 진주층의 두께를 측정하였다.

3) 분광 반사 스펙트럼 (Spectrophotometric Reflectance) 분석

빛의 파장별로 분류, 각 파장의 시료에 대한 반사율을 측정하고 그것을 그래프로 나타낸 것이 분광 반사 스펙트로포토메

터이다. 이것은 진주의 색을 수치화하고 진주층의 반사율, 투과율 등의 기초 연구에서 이용한다. 원주의 스펙트럼분석을 이용하여 파장 200-800 nm를 scan하였다. 이때 Band width는 5.0 nm였고, Scanning speed는 400 nm/min였다.

결과 및 고찰

1. 원주의 일반성분 특성

White A등급, B등급 그리고 C등급의 원주에서 각각 Nitrogen은 1.42%, 1.87%, 2.43%이었고, Carbon은 13.34%, 13.15%, 16.58%로 저급의 원주일수록 Protein이 높았고, A급 원주는 10% 미만이었다. Natural blue 컬러의 원주도 1.85%, 2.71%, 5.09%로 등급별 Nitrogen의 차이가 확연히 들어 났으며, Protein은 B등급과 C등급에서 16.96%와 31.79%로 큰 차이를 보였다. A급의 원주의 단백질 함량은 11.15%였다. Yellow gold 컬러는 등급별 큰 차이를 볼 수 없었으며, B와 C등급의 Nitrogen은 각각 2.87%, 2.42%였다. 그리고 Carbon은 12.26%, 10.29%였고, Protein은 B와 C등급 각각 17.97%와 15.11%로 저급 원주가 더 낮게 나타났다 (Fig. 3).

White와 Natural blue 컬러 모두 저급의 원주에서 Protein이 높은 것을 확인 할 수 있었다. 실험 결과, White 컬러는 9-15%, Natural blue 컬러는 11-31% 그리고 Yellow gold 컬러는 15-18%의 Protein을 포함했다. 5% 이

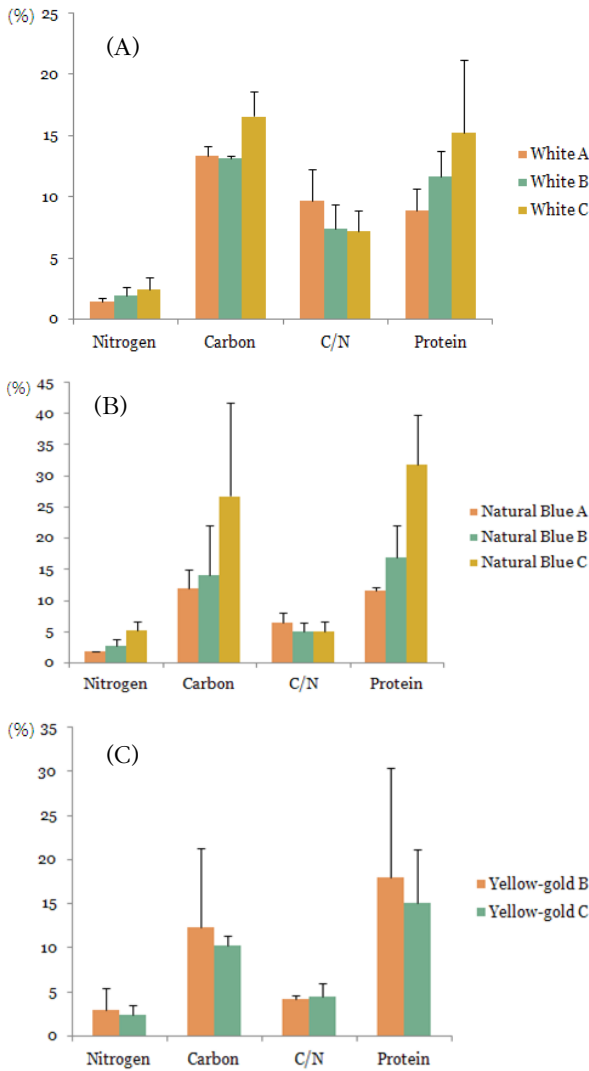


Fig. 3. The graph indicate that analyzed a general composition of a pearl. (A) White group (B) Natural blue group (C) Yellow gold group.

상 Protein의 차이가 나는 것은 시료가 유기물이 제거되지 않은 원주 상태이기 때문인 것으로 생각된다.

진주조개로부터 생산된 진주는 Green과 Pink 컬러는 진주층에 의해 컬러를 띄며, Yellow나 Blue는 진주의 유기물에 의해 컬러에 영향을 받는다 (Tadaki *et al.*, 1987). 삼핵 수술시의 출혈이나 모패의 대사이상으로 생성된 유기물은 진주층을 통해 보면 Blue 컬러로 보인다. 실험 결과 Natural blue 컬러의 경우 White, Yellow old 컬러보다 Protein이 15%나 높은 것으로 나타났다. 이것은 진주층의 Protein과 함께 진주층 아래 핵 위로 쌓인 유기물이 원인임을 알 수 있다.

일본산 진주조개에서 생산된 원주의 콘키올린은 8.52%이다

(和田活爾, 1970). 이것은 실험결과 높은 등급에서 원주의 Protein 함유비와 유사한 값이다. 따라서 진주양식 산업의 선두 국가인 일본에서 생산된 원주와 비교 했을 때 국내산 원주의 품질 또한 양호한 것으로 판단된다.

2. 원주의 중금속 성분 특성

진주조개의 진주는 모든 시료에서 중금속 성분 Cr, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn이 검출되었다. White 컬러에서는 A등급의 Cr함량은 2.38 mg/kg이었고, B등급은 2.71 mg/kg이었으며, C등급은 4.38 mg/kg로 나타났다. 상대적으로 C등급에서 Cr함량이 많은 것을 알 수 있었다. Cu함량은 A등급에서는 2.06 mg/kg이었고, B등급은 1.69 mg/kg이었으며, C등급의 Cu함량은 3.31 mg/kg이었다. K성분은 A등급에서 92.20 mg/kg, B등급 72.20 mg/kg 그리고 C등급은 66.24 mg/kg으로 나타났다. A등급의 K함량이 가장 높은 것으로 나타났다. Zn의 경우는 A등급에서 9.93 mg/kg였고, B등급에서 13.60 mg/kg이었으며, C등급에서는 18.99 mg/kg으로 나타났다. Mg 함량은 A등급이 104.67 mg/kg이었고, B등급은 114.67 mg/kg이었으며, C등급에서는 185.31 mg/kg이었다. Mg함량은 White 컬러에서 등급별로 유의적인 차이가 있었으며, 낮은 등급에서 함량이 더 높은 것으로 나타났다. Natural blue 컬러에서는 A등급에서 Cr함량이 19.62 mg/kg, B등급의 Cr함량은 3.72 mg/kg이었으며, C등급은 0.53 mg/kg이었다. Cu함량은 A등급에서 13.83 mg/kg, B등급은 4.52 mg/kg 그리고 C등급의 Cu함량은 0.74 mg/kg로 등급이 낮을수록 함량이 낮았다. Fe함량도 A등급에서 22.88 mg/kg로 높은 등급에서 높았다. 반면 Mn과 Pb의 경우 통계적인 유의성은 없었으나, 결과 값으로 볼 때에는 함량비가 높은 등급인 A등급에서부터 각각 Mn함량은 21.11 mg/kg, 10.25 mg/kg, 6.37 mg/kg이고, Pb함량은 22.51 mg/kg, 10.08 mg/kg, 5.16 mg/kg으로 높은 등급일수록 함량이 높은 것을 알 수 있었다. Yellow gold 컬러는 B와 C등급의 Cr함량이 1.52 mg/kg과 1.34 mg/kg이었고, Cu함량은 1.00 mg/kg이었다. Cr과 Cu는 B와 C등급 간의 함량비가 거의 유사했다. Fe함량은 B등급에서는 3.95 mg/kg, C등급에서는 7.30 mg/kg으로 낮은 등급에서 높게 나타났고, Pb함량은 B등급 3.23 mg/kg과 C등급 4.78 mg/kg이었다. Fe와 Pb함량은 등급별로 유의적인 차이를 보였다. 금속 성분에 대해서 컬러별로 분석해 보았을 때, K함량은 White 컬러는 76.88 mg/kg, Natural blue는 66.82 mg/kg 그리고 Yellow gold는 3.99 mg/kg로 컬러별 유의적인 차이를 볼 수 있었다. Zn함량의 경우 컬러별 유의적인 차이가 있었다 (Table 1).

White계 원주에서 Cr, Mg, Zn, Mn 등이 낮은 등급에서 높았고, K, Fe 등은 높은 등급 원주에서 높은 경향을 확인 할

Table 1. Correlation analysis of a heavy metal component by grade of pearls (F-test P < 0.05, unit : mg/kg)

Color	Grade		Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Zn	
White	A	Mean	2.38	2.06	16.24	92.20	104.67	18.02	9.13	9.93	
		Std.	0.53	0.74	10.92	14.38	11.11	6.37	5.16	2.37	
	B	Mean	2.71	1.69	18.91	72.20	114.67	16.33	7.34	13.60	
		Std.	1.09	0.50	4.47	66.82	33.24	2.38	3.00	4.03	
	C	Mean	4.38	3.31	10.28	66.24	185.31	26.31	14.79	18.99	
		Std.	1.52	1.00	3.95	14.48	27.19	5.17	3.23	21.07	
	Certificat ion	F	2.713	3.617	1.134	0.341	8.837	3.516	2.961	0.401	
		P	0.145	0.093	0.382	0.724	0.016	0.098	0.127	0.687	
	Natural blue	A	Mean	19.62	13.83	22.88	20.87	76.00	21.11	22.51	55.14
			Std.	14.04	9.79	11.62	3.99	36.94	7.76	9.27	40.07
B		Mean	3.72	4.52	9.23	43.22	214.61	10.25	10.08	66.99	
		Std.	2.38	2.06	16.24	92.20	104.67	18.02	9.13	9.93	
C		Mean	0.53	0.74	10.92	14.38	11.11	6.37	5.16	2.37	
		Std.	2.71	1.69	18.91	72.20	114.67	16.33	7.34	13.60	
Certificat ion		F	3.625	2.663	3.090	4.818	1.090	0.802	3.456	0.525	
		P	0.093	0.149	0.120	0.056	0.395	0.491	0.100	0.616	
Yellow gold		B	Mean	1.52	1.00	3.95	14.48	27.19	5.17	3.23	21.07
			Std.	3.16	2.35	15.14	76.88	134.88	20.22	10.42	14.17
	C	Mean	1.34	1.00	7.30	36.86	44.06	6.30	4.78	11.49	
		Std.	19.62	13.83	22.88	20.87	76.00	21.11	22.51	55.14	
	Certificat ion	F	0.683	0.988	19.219	1.095	3.021	0.624	20.658	3.146	
		P	0.455	0.376	0.012	0.354	0.157	0.474	0.010	0.151	

수 있었다. Zn의 경우 Natural blue와 Yellow gold 컬러에서는 높은 등급에서 함량이 높게 나타났다. 진주층에 포함된 금속 성분 중 Cu와 Ag을 많이 함유한 진주는 골드, 크림의 황색계 진주가 많고, Na, Zn는 살색 핑크계의 진주에 많이 함유되어 있고, Zn은 골드계 진주에 많이 들어있으며, Cu, Zn, Cr, Mn을 모두 다량 함유한 진주는 검정색계열이 많다 (内田洋一 上田正康, 1947). 따라서 실험결과와 비교해보면 White 컬러에서 낮은 등급의 원주는 육안으로 확인하였을 때 색이 골드 빛이 감도는 크림색에 가깝고, 높은 등급의 원주는 핑크에 가깝다. 따라서 Cu와 Zn의 함량이 낮은 등급에 높았다. 그리고 Natural blue 컬러는 Cr, Cu, Zn 그리고 Mn의 함량이 다른 컬러에 비해 높다.

Zn함량은 담수산 진주에서 높게 나타나는 성분이며 (和田活爾, 1999), 일본산 진주조개에서 생산된 양식 진주의 진주층 화학조성을 보면, Mg 함량 140 mg/kg, K함량 54 mg/kg, Cu함량 1.3 mg/kg, Fe함량 17 mg/kg 그리고 Mn 함량 16 mg/kg으로 통영산 White 컬러의 진주와 유사한 값을 나타내었다 (和田活爾, 1999). 하지만 K, Zn의 함량은 실험에 쓰인 원주가 적어도 15% 이상 높았다. 이것은 해수산 진주조개는 진주 형성 과정 중에 서식환경에 따라 진주층의 금속

성분 함량에 큰 영향을 주기 때문일 것으로 생각된다 (和田活爾, 1999; Katano *et al.*, 2003). 따라서 통영연안의 진주양식 어장의 환경적 특성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 주사 전자 현미경 (Scanning Electron Microscope) 관찰

1) 원주의 진주층 아라고나이트 결정 길이 분석 결과

White 그룹의 경우 결정 길이가 A등급은 3.1404 μm , B등급 3.6289 μm 그리고 C등급 3.1902 μm 이었다. B등급이 결정의 길이가 가장 길었으며, B > C > A 순으로 길이의 차이가 있었다. 진주의 표면만을 보고 육안으로 분류된 등급은 실험 결과와 차이가 있었다. White등급의 경우 진주층 결정의 적층구조가 규칙적인 것을 확인 할 수 있었다. Natural blue 그룹은 A등급과 B등급 결정의 길이가 각각 3.7316 μm , 3.0141 μm 그리고 C등급은 3.1029 μm 이었다. A등급의 결정 길이가 가장 길었고, B등급과 C등급은 근소한 차이를 보였다. Yellow gold 그룹도 B와 C등급의 결정 길이가 3.6087 μm 과 3.2205 μm 로 A등급의 진주층 결정의 길이가 더 길게 나타났다 (Fig. 4).

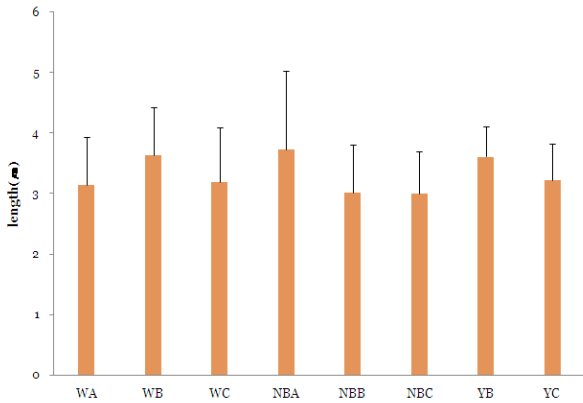


Fig. 4. Graph showed by length of nacreous layer flake in a pearl. WA is white A, NA is Natural blue ; expressed with these formats.

진주조개의 진주층과 광택은 진주층을 구성하는 결정의 크기, 두께, 형태, 층을 이루는 구조의 방향, 쌓인 상태에 따라 구분되며, 진주조개의 품종에 따라 각각 다른 특징을 가진다 (Raman *et al.*, 1954). 실험 결과 통영연안 진주조개에서 생산된 진주의 진주층 결정 길이는 컬러에 상관없이 3-4 μm 였다. 일본산 *Magaritifera margaritifera*는 보통 3-4 μm 의 아라고나이트 결정의 길이를 가지고, 담수조개 (*Haliotis schlegelii*)는 5-8 μm 의 결정 길이를 가진다. 일본산 진주조개에서 생산된 진주의 진주층 결정 길이는 2-2.5 μm 로 알려져 있다 (和田活爾, 1999). 종이 같은 진주조개에서 생산되는 진주이지만, 국내산 진주의 진주층 길이보다 일본산 진주의 진주층 길이가 더 짧은 것이다. 진주는 진주층의 결정이 길고 규칙적으로 적층되어야만 그 광택이 좋고, 결정의 길이가 3-8 μm 이면 좋은 진주광택을 낼 수 있는 조건을 가진 결정이라고 한다 (和田活爾, 1972). 따라서 국내산 진주가 일본산 진주에 비해 더 좋은 광택을 낼 수 있을 것이다.

진주의 품질은 진주를 구성하고 있는 아라고나이트 결정의 형태, 크기, 배열, 적층과 관계한다. 더구나 아라고나이트형의 층장구조와 입장구조는 진주의 간섭색에 영향을 준다. 아라고나이트 결정의 모서리 부분에서도 빛의 반사가 일어나므로 결정의 길이가 길수록 빛의 굴절이 고르게 일어나서 깊은 간섭색을 가질 수 있을 것으로 생각된다. Yellow gold 그룹의 경우 White 그룹에 비해 아라고나이트 층 배열 모양이 규칙적이지 못한 것을 알 수 있었다. White 컬러는 고른 적층 구조를 볼 수 있으며, 특히 A등급의 적층 구조는 매우 규칙적인 것을 알 수 있었다 (Fig. 5). 따라서 높은 등급의 원주에서 간섭색이 좋고 우수한 품질의 진주를 생산하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 그리고 통영연안 진주조개에서 생산된 진주의 진주층 길이가 다른 연구논문의 발표된 결과와 차이가 있는 것은 진주는

살아있는 생명체에서 생산되는 보석으로써 진주조개의 서식환경에 따른 차이로 판단되며, 이러한 부분에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

2) 원주의 진주층 아라고나이트 결정의 두께

등급별로 White A는 0.2887 μm , White B는 0.3241 μm , White C는 0.3178 μm 로 A등급의 아라고나이트 결정이 가장 얇았다. B와 C등급에서는 약 0.01 μm 차이로 C등급의 결정 두께가 더 얇았다. 근소한 차이지만 육안에 의한 감별과 분석기기를 이용한 감별의 차이에서 발생하는 오차임을 알 수 있었다.

Natural blue 그룹의 진주층 결정 두께는 A등급 0.3020 μm , B등급 0.3444 μm 그리고 C등급 0.3397 μm 로 높은 등급에서 더 얇았고, White 그룹처럼 B와 C등급이 두께의 차이는 크지 않지만 낮은 등급에서 좀 더 얇게 나타났다.

Yellow gold 그룹도 0.3295 μm 와 0.3338 μm 로 높은 등급에서 결정의 두께가 더 얇은 것을 알 수 있었다 (Fig. 6).

실험 결과 모든 컬러 및 등급에 따른 진주층 결정의 두께 범위는 0.28-0.34 μm 이었다. 진주층 결정 두께는 진주층 결정의 길이와 마찬가지로 진주의 품질을 결정하는 중요한 요소이다. 다른 연구에서 발표된 진주층 결정의 두께를 조사해 본 결과 일본산 진주조개 (*Pinctada fucata*)의 진주층 결정의 두께는 0.35-0.5 μm , 흑엽조개 (*Pinctada margaritifera*)는 보통 0.5-0.8 μm , 그리고 마베조개 (*Pinctada penguin*)은 0.3-0.6 μm , 담수조개 (*Haliotis schlegelii*)는 0.5-1.8 μm 의 결정 두께를 가진다고 한다 (Wada, 1972). 좋은 품질의 진주는 결정의 두께가 0.3-0.8 μm 가 적당한데, 실험 결과를 보면 국내산 진주의 진주층 결정 두께는 좋은 광택을 가질 수 있는 조건으로 매우 적당한 것을 알 수 있었다. 결정의 두께가 얇다고만 해서 좋은 것은 아니다. 0.5 μm 이하의 얇은 결정 두께를 가지고도 결정의 크기와 두께가 불균일해서 진주광택이 좋지 않은 진주도 있다 (和田活爾, 1972). 따라서 통영연안의 원주는 진주층 결정 두께가 사이즈 (0.28-0.34 μm)가 일정하며, 모든 컬러나 등급별로 결정의 적층 모양이 규칙적이므로 (Fig. 6), 국내 원주는 진주층의 품질 면에서 우수하다고 판단된다.

4. 연X선 분석 (Soft X ray Apparatus)

연X선을 이용해 원주의 핵을 둘러싼 진주층 두께를 분석한 결과, Natural blue는 등급별로 A급 0.52 mm, B급 0.37 mm, C급 0.32 mm로 두께의 등급별 차이가 있었으나, White 컬러 원주들은 연X선 분석에 의한 진주층 두께와 등급별 차이가 없었다. White 컬러 A등급의 진주층 두께는 0.24 mm, B등급은 0.28 mm 그리고 C등급은 0.29 mm였다.

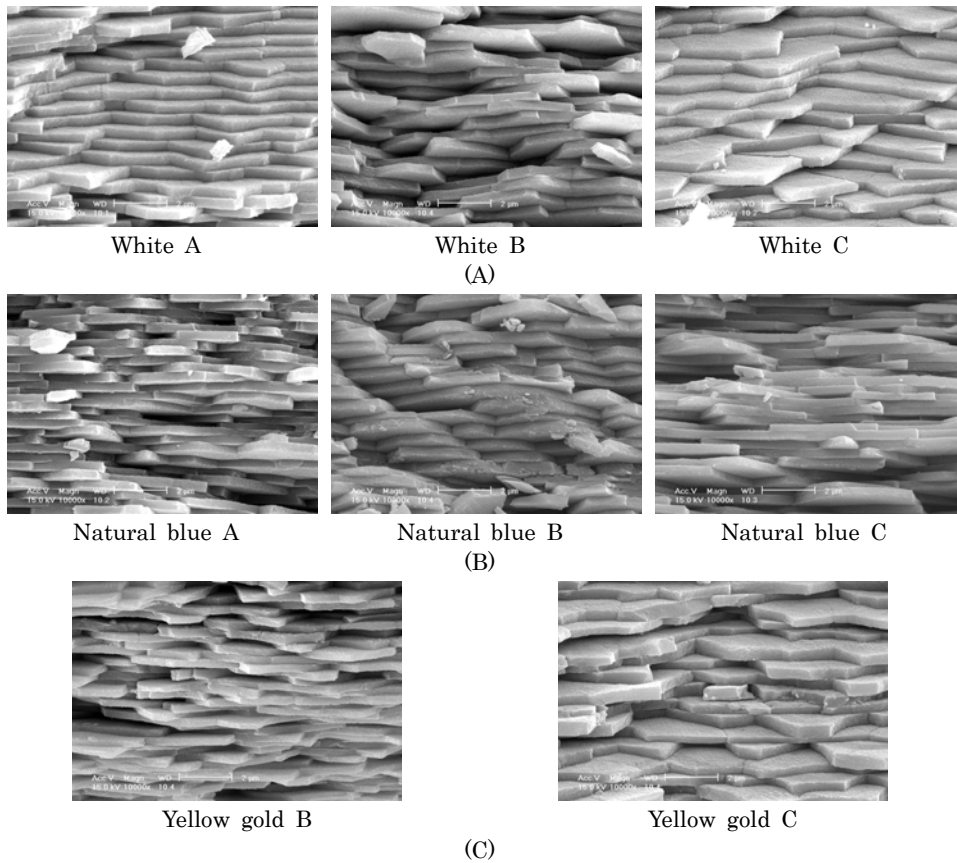


Fig. 5. The picture that photographed structure of nacreous layer flake in pearls.

Yellow gold 컬러는 B와 C등급에서 각각 0.33 mm, 0.28 mm였다 (Table 2).

보통 진주층 두께가 0.4 mm 이상이 되어야 우수한 진주이고, 0.3-0.4 mm는 medium이며, 0.3 mm 이하는 thin으로

구분되는데 실험에 사용된 원주들은 대개 0.25-0.35 mm 내외의 두께를 가지는 것으로 핵 삽입 후 1년간 양성한 진주이다. 진주층의 두께는 진주를 수확한 시기에 따라 차이가 크다.

2006년 Park의 연구보고에 따르면 핵 삽입 후 6개월간 양성한 진주는 진주층이 약 0.34-0.53 mm정도 성장한다고 한

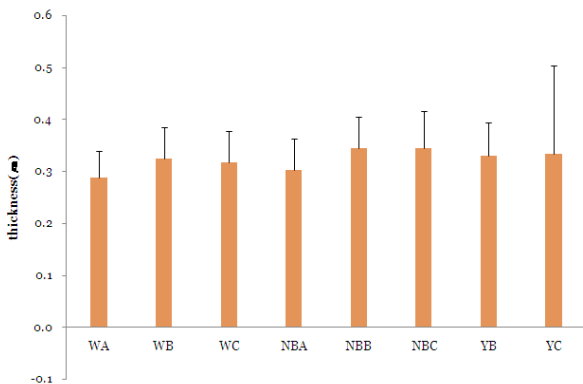


Fig. 6. The graph showed in a thickness price of nacreous layer flake in a pearl. WA is white A, NA is Natural blue ; expressed with these formats.

Table 2. Nacreous layer thickness of pearls

Sample	Thickness (mm)
White A	0.24
White B	0.28
White C	0.29
Natural blue A	0.52
Natural blue B	0.37
Natural blue C	0.32
Yellow gold B	0.33
Yellow gold C	0.28

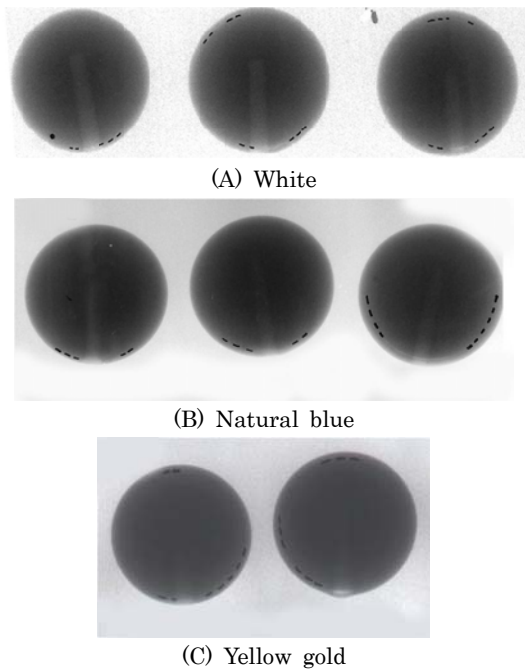


Fig. 7. The picture photographed nacreous layer of pearls to soft X-rays.

다. 실험결과와 비교 할 때 시료로 쓰인 원주의 진주층의 두께가 더 얇았다. Park의 연구에 사용된 진주 또한 통영산 진주이므로 이러한 차이는 양성한 그 해에 수온, 영양염 등과 같은 해역의 특성이나 진주조개의 건강 상태에 의한 차이로 추정된다.

White 컬러의 진주층 두께 (0.24-0.28 mm) 보다 Natural blue 컬러 (0.32-0.52 mm) 와 Yellow gold 컬러 (0.28-0.33 mm) 의 진주층 두께가 더 두꺼웠다. 이것은 진주층 두께 자체가 두꺼운 것일 수도 있지만 진주층 아래 쌓인 유기물이 두께의 일부분을 차지하는 것일 수도 있다. 하지만 Natural blue 컬러 그룹만을 본다면, A등급의 진주층 두께가 0.5 mm 이상이고 등급별로 두께의 차이가 있는 것은 등급에 따라 진주층 두께의 차이가 있음을 알 수 있다. 연X선으로 진주층을 분석한 결과는 진주층의 두께를 측정할 수도 있지만 진주층의 모양이 얼마나 고르게 진주층이 핵을 둘러싸고 있는가를 알 수 있다. 다소 불규칙한 형태의 진주층을 가진 진주는 광택감이 약하고 핑크빛의 간섭색은 거의 보이지 않는다. Natural blue 컬러 경우 색을 유기물에 의해 색을 띠기 때문에 진주층의 두께와 간섭색간의 관계는 크지 않다. 하지만 White 컬러와 같이 밝은 컬러의 진주에서는 진주층의 적층 모양에 따라 품질이 결정된다. 결정이 불규칙하게 생성되면 진주층 내에 요철부위가 발생하고 진주의 간섭 현상이 방해받기 때문이다. 통영 연안의 진주는 핵을 둘러싸고 있는 진주층의 모양이 가지런하고 핵을 따라 두께가 균일한 것을 알 수 있다

(Fig. 7). 이것은 진주의 광택이 좋은 조건을 갖춘 것이고, 다년생 진주로 생산할 경우 우수한 품질의 진주 생산을 기대할 수 있다.

5. 분광반사스펙트럼 (Spectrophotometric Reflectance) 분석

White 컬러는 모든 등급의 원주에서 파장 280 nm peak 를 보였다. 400 nm에서 500 nm 전으로 흡수 peak 들이 세 등급 모두 관찰되었다. A등급에서는 500 nm 이후로 반사율과 580 nm에서 흡수 peak가 나타났으며, 630 nm에서 peak가 나타났다. B등급은 520 nm에서 약한 반사율이 관찰되었다. C등급은 520 nm 이전에 반사율과 그 이후로 광범위한 흡수 peak를 가졌다. A등급은 반사율이 80% 이상이었으며, B와 C등급에서 파장의 반사율은 A등급보다 낮았다 (Fig. 8).

Natural blue 컬러의 분광반사스펙트럼은 높은 등급에서 파장의 반사율이 강하게 나타났다. 모든 등급에서 White 컬러와 마찬가지로 280 nm와 407nm, 430nm, 460 nm에서 흡수 peak를 관찰할 수 있었다. A와 C등급에서는 530 nm 부근에서 강한 흡수 peak가 관찰되었고, B등급에서는 관찰되지 않았다. A등급은 530 nm부근을 제외하고 반사율이 80% 이상 상회했으나, B와 C등급에서는 80% 이하를 밑도는 약한 파장을 나타냈다 (Fig. 9).

Yellow gold 컬러는 280 nm의 peak가 세 등급에서 모두 관찰되었고, 340 nm에서 강한 peak가 관찰되었다. 400 nm에서 450 nm 부근에 걸쳐 흡수 peak가 관찰되었다. 다른 컬러에서 관찰되었던 400 nm 초반에 관찰되었던 peak가 정확히 나타나지 않았다. 500-550 nm에 걸쳐 B, C등급 모두 강한 반사 peak를 나타냈다. Yellow gold 컬러의 원주는 파장별 흡수율이 현격하게 변화하였고, 40-90%에 이를 정도로 반사율의 분포 범위가 매우 넓었다 (Fig. 10).

모든 컬러의 모든 등급에서 280 nm에서 흡수 peak를 관찰할 수 있었는데 이것은 콘키올린에 의한 특정 peak로써, 이 흡수대가 변화하면 진주가 노화되거나 진주의 품질이 변화되었는지를 알 수 있다 (小松, 1987). 또한 407 nm, 430 nm 그리고 460 nm의 파장은 진주조개의 품종 고유의 특성을 나타내는 것이다 (和田活爾, 1983). 이것은 가공처리가 되지 않은 원주상태임을 증명하는 것이다 (小松, 1987). 실험 분석 결과, 각 컬러별로 흡수 파장대가 뚜렷이 나타남으로써 그룹별 진주의 분광학적 특성이 잘 들어나는 것으로 판단된다.

Natural blue 컬러의 500 nm 전후의 흡수 파장은 흑염진주조개 (*P. margaritifera*) 에서 생산된 진주의 450 nm 파장과 마베진주조개 (*P. penguin*) 의 진주 497 nm에서 파장과 비교해서 본다면 블루 컬러를 띠는 청색 파장대에서 흡수대를 가진 것으로 보인다 (Miyoshi et al, 1986). Yellow gold 컬러도 400 nm에서 흡수대를 가졌다.

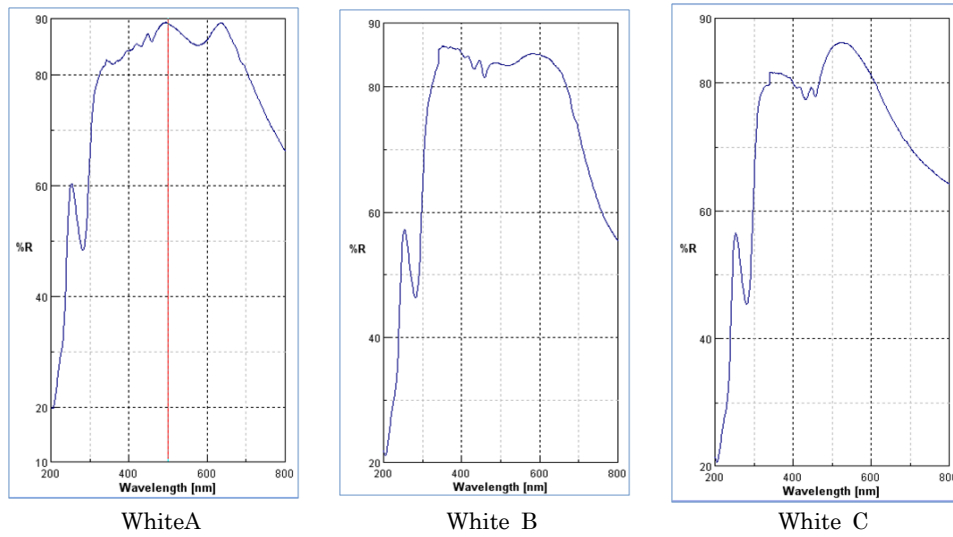


Fig. 8. A graph of the white group which used Spectral Reflectometer.

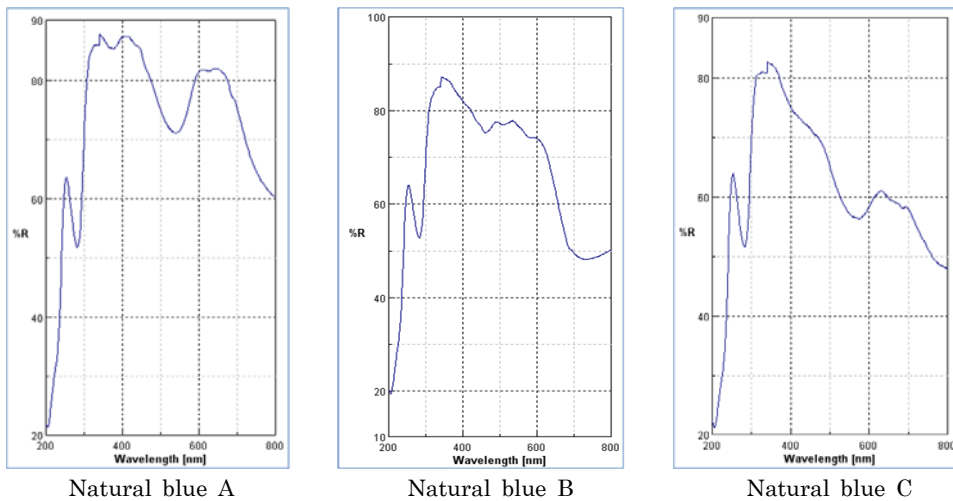


Fig. 9. A graph of the Natural blue group which used Spectral Reflectometer.

분광반사스펙트럼의 반사율이 색도에 따라 파장 범위가 변화한다 (和田活爾, 1983). 따라서 모든 컬러의 A등급 원주에서 갖는 스펙트럼의 반사율이 더욱 크게 나타났다.

광택이 예쁜 핑크 간섭색이 보이는 진주는 컬러에 관계없이 510-518 nm에 반사율을 가진다 (Wada, 1980). 이 파장 범위에서 반사율은 White 컬러 모든 등급에서 관찰할 수 있었으며, Natural blue B등급에서 약한 반사율을 보였고, Yellow gold B등급에서 관찰할 수 있었다. 바탕색은 각각 핑크색이 아니더라도 원주가 갖는 간섭색 중에 핑크 빛이 감도는 원주에서 510-518 nm의 반사율이 관찰되었다. 분광반사스펙트럼을 통해 진주의 컬러 구분이 가능하며, 이것은 진주의 발색기구와 색소성분이 고유의 파장을 가지고 있어서 식별이 가능하다.

따라서 통영연안 진주조개에서 생산된 원주는 종 특유의 고유 분광 특성을 모두 갖추고 있으며, 컬러별로 그리고 등급별로 분광학적인 특성을 뚜렷이 나타냈다. 진주 품질 평가에 있어 분광학적인 분석 방법은 매우 유용한 것으로 판단되며, 이 연구 통해 진주양식 과정에 접목함으로써 진주양식 산업의 발전을 기하는 자료로써 제공할 수 있을 것이다.

요 약

이 연구는 경남 통영시 도산면에서 진주조개 (*Pinctada fucata*) 를 1년간 양성한 시료에서 원주를 2005년 11월에 구입하여 전문가의 육안에 의해 품질등급별로 White 컬러, Natural blue 컬러, Yellow gold 컬러로 구별하였다.

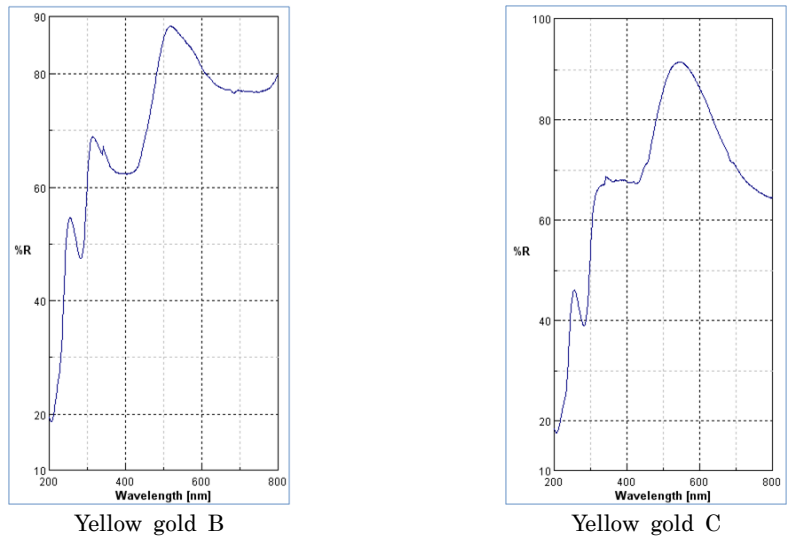


Fig. 10. A graph of the Yellow gold group which used Spectral Reflectometer.

원주의 일반성분 특성은 저급의 원주일수록 Protein 함량이 높았다. 중금속의 경우, 모든 시료에서 Cr, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn 등이 검출되었다. White계 원주에서 Cr, Mg, Zn, Mn 등이 낮은 등급에서 높았고, K, Fe 등은 높은 등급 원주에서 높은 경향을 확인 할 수 있었다. Zn의 경우 Natural blue와 Yellow gold 컬러에서는 높은 등급에서 함량이 높게 나타났다. 그리고 원주의 진주층 결정의 길이는 컬러에 상관없이 3-4 μm 였고, 두께 범위는 0.28-0.34 μm 이었다.

사 사

이 연구는 경상대학교 해양생물교육연구센터에서 수행되었으며, 감사드립니다.

참고문헌

Cornelius S. H. (1991) *Gems & Gemology*. pp. 299-303, Gemmological Institute of America, JR.
 D. Doubilet, 1996, "Pearls; from the myths to modern pearl culture" Schoeffel pearl culture, Stuttgart, Germany, p.116-117
 Katano S., Matsuo Y. and Hanaoka. K. (2003) Arsenic compounds accumulated in pearl oyster *Pinctada fucata*. *Chemosphere*, 53: 245-251.
 Miyoshi T., Matsuda Y. and Komatsu H. (1986) Fluorescence from Pearls under N2 Laser Excitation and Its Application to Distinction of Mother Oyster. *Japan journal of Applied Physics*, 25: 1606-607. [in Japanese]
 Park Ra Young (2006) A Study on the cultivation and characterization of akoya pearls using the bio-bead nuclei. pp. 1-3, Dongshin University Publishing. [in

Korean]
 Raman C. V. and Krishnamurti D. (1954) The structure and optical behaviour of pearls. *Proceedings Mathematical Sciences*, 39(5): 215-222.
 Tadaki M., Yasunori M. and Hiroshi K. (1987) Fluorescence from pearls and shells of Black Lip oyster, *Pinctada Margaritifera*, and its contribution to the distinction of mother oysters used in pearl culture. *Japan journal of Applied Physics*, 26: 1069-1072. [in Japanese]
 Wada K. (1972) Nucleation and growth of aragonite crystals in the nacre of some bivalve molluscs. *Biomaterialization*, 6: 141-159.
 Wada K. (1980) Initiation of mineralization in bivalve molluscs. pp. 79-92, Tokai University Publishing.
 Webster R. (1994) *Gems*. pp. 520-522, Butterworth-Heinemann Ltd, London.
 内田洋一·上田正康 (1947) 真珠の層状構造と iridescence に就て. *生理生態*, 1(3): 171-177.
 小松 (1987) 真珠鑑別論序設. pp. 16-37, 全國寶石學會誌出版部, 東京.
 和田活爾 (1970) しみ抜き, 漂白処理によって生ずる真珠の変花. *真珠加工の知識*, 4: 3-16
 和田活爾 (1972) 真珠袋のCa代謝機構と真珠の品質形成. *国立真珠研報*, 16: 1949-2027.
 和田活爾 (1983) 貝の種族別真珠の分光特性. *玉石学会誌*, 10: 95-103.
 和田活爾 (1999) 真珠の 科學. pp. 123-134, 全國寶石學協會, 眞珠新聞社, 東京.
 和田活爾 (1999) 眞珠の 科學. pp. 138-140, 全國寶石學協會, 眞珠新聞社, 東京.