

Characterization of abalone pearls cultured in major oceans

Giwon Choi and Jeongwon Seok^{*,†}

Graduate School of Gemological Engineering, Dongshin University, Naju 58245, Korea

*Department of Battery Engineering, Dongshin University, Naju 58245, Korea

(Received January 15, 2025)

(Revised January 23, 2025)

(Accepted February 7, 2025)

Abstract The color of abalone pearls cultured in the Indian Ocean is bluish green, in the Pacific Ocean is greenish yellow, and in the Atlantic Ocean is greenish blue. Aragonite-like lamellar structures were observed in all pearls, with nacre thickness measured at 0.5–0.7 μm . Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopy showed high reflectance at 475 nm, 500 nm, and 575 nm, corresponding to the colors of the abalone pearls. Additionally, X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the crystalline structure of aragonite. These results indicate that abalone pearls exhibit productivity, gemological characteristics, and material properties suitable for use as jewelry. If abalone pearls are produced and further developed in Korea (a country surrounded by three seas with a long history and advanced technology in abalone pearl cultivation) they could contribute to creating added value in the abalone aquaculture industry and fostering growth in the domestic jewelry sector.

Key words Abalone pearl, Aragonite-like Lamellar structure, Nacre thickness, Pearl coloration

세계 주요 해양에서 양식된 전복 진주의 특성 분석

최기원, 석정원^{*,†}

동신대학교 대학원 보석공학과, 나주, 58245

*동신대학교 배터리공학과, 나주, 58245

(2025년 1월 15일 접수)

(2025년 1월 23일 심사완료)

(2025년 2월 7일 게재확정)

요약 인도양에서 양식된 전복진주의 색상은 청록색, 태평양은 녹황색, 대서양은 녹색이다. 모든 진주에서 아라고나이트형 판상 구조가 관찰되었으며, 진주층의 두께는 0.5~0.7 μm 로 측정되었다. 자외선-가시광선(UV-Vis) 분광분석결과 475 nm, 500 nm, 575 nm 영역에서 높은 반사도가 측정되었으며, 이는 전복진주들의 색상과 일치한다. 또한, X-선 회절(XRD) 분석을 통해 아라고나이트의 결정구조가 확인되었다. 이러한 결과는 전복진주가 보석용으로 적합한 생산성, 보석학 및 재료학적 요건을 갖춘 것으로 판단된다. 삼면이 바다이고 전복진주 양식에 관한 오랜 역사와 수준 높은 기술을 가진 한국에서 전복을 이용한 진주가 생산 및 확대된다면, 전복 양식산업의 부가가치 창출과 국내 보석 산업의 발전에 기여할 수 있을 것이다.

1. 서론

전 세계적으로 전복은 약 100여종이 서식하고 있으며 [1,2], 진주 양식이 가능한 종류는 20여종 미만으로 알려져 있는데 [3], 한국에서는 북방종인 *H. discus hannai*(참전복)이 주로 양식되고 있고 [4], 남아프리카공화국에서는 *H. midae*(필러몬)이 주로 양식되는 것으로 보고되고 있다 [5]. 세계에서 전복을 가장 많이 양식하는 국가는 2020-

2021년 기준으로 중국(89%), 한국(8.2%), 남아프리카공화국(1.1%), 호주(0.59%), 칠레(0.46%), 일본(0.08%), 대만(0.07%), 미국(0.06%), 뉴질랜드(0.03%), 멕시코(0.02%) 순인데 이들 국가들의 전복 생산량의 합이 전 세계 전복 총 생산량의 약 99% 수준이다 [6]. 오래전부터 중국, 한국, 일본, 미국, 아일랜드, 호주, 칠레, 멕시코 등에서 전복진주 양식에 관한 시도가 [7] 있었지만 지속적인 연구와 개발이 부족하여 현재 미비한 상황이나 뉴질랜드에서는 *H. iris*(무지개 전복) 종에 대한 꾸준한 연구와 노력을 통해 다양한 형태의 전복진주와 이에 따른 디자인이 개발되면서 세계 전복진주 시장을 선점하며 점차 브랜드화 [8]

[†]Corresponding author
E-mail: jwseok@dsu.ac.kr

되고 확장되고 있으며, 멕시코, 칠레에서도 *H. rufescens* (붉은전복)에 대한 연구와 개발이[9] 활성화를 띄며 진전을 이루고 있다. 단백질 성분의 유기물인 콘키올린과 아라고나이트의 탄산칼슘이 규칙적인 층상구조를 이루고 있는 진주층은 아름다운 오리엔트 효과를 나타내는데 전복진주의 경우 독특한 금속성의 색상과 무지개 빛의 오버톤이 아주 매력적이고, 가치가 있어[10] 향후 다른 진주들 보다 충분히 경쟁력이 있을 것으로 예상된다[11-13]. 이와 같은 광학적인 특성을 가지고 있는 전복진주에 대한 연구는 국내에서 서남해안(완도, 진도, 제주도)을 중심으로 *H. discus hannai*(참전복)을 이용하여 부분적으로 이어져 왔으나, 최근 이러한 연구는 점차 중단되는 추세이다[14]. 본 연구는 한국 동해안에서 양식된 *H. discus hannai*(참전복)과 남아프리카 공화국의 Port Nolloth와 Hermanus에서 양식된 *H. midae*(펠러몬) 전복진주의 광학적, 구조적 특성을 평가하고자 하였다. 이를 통해 한국 양식 전복진주의 아름다움과 학문적 가치를 알리는데 기여하고자 한다.

2. 실험 방법

태평양 연안 한국의 경상북도 울진에 있는 밝은미래수산의 육상 전복양식장에서는 *H. discus hannai*(참전복)을 양식하고 있고, 먹이로는 미역과 다시마를 사용하고 있으며, 남아프리카공화국 대서양 연안의 Port Nolloth에 있는 Benguela Aquaculture Investments의 육상 전복양식장에서는 *H. midae*(펠러몬)을 양식하고 있고, 먹이로는 갈색의 다시마 켈프를 사용하고 있으며, 인도양 연안의 Hermanus에 있는 Aqua Farm 및 Roman Bay Sea Farm의 육상 전복양식장에서도 *H. midae*(펠러몬)을 양식하고 있으며, 먹이로는 켈프를 건조하여 만든 펠렛을 사용하고 있다. 각 연안에서 2년이상 육상 양식한 전복의 패각에 캐보션형 진주핵을 사용하여 6개월 동안 양

식된 전복진주를 채취하여 커팅, 연마, 광택의 가공과정을 거쳤다. 전복진주의 색상 관찰을 위해 육안 조사를 진행하였으며, 진주층과 미세구조의 관찰을 위해 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용하였고, 진주의 색상과 특징을 관찰하기 위해 자외선-가시광선(UV-Vis) 분광분석을 하였으며, 특징적인 진주층의 결정상을 관찰하기 위해 X-선 회절(XRD)분석을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

Figure 1은 인도양(IO 1~5), 태평양(PO 1~5), 대서양(AO 1~5) 연안에서 양식된 전복진주의 사진이다. 대체적으로 인도양에서 양식된 전복진주의 색상은 청록색이

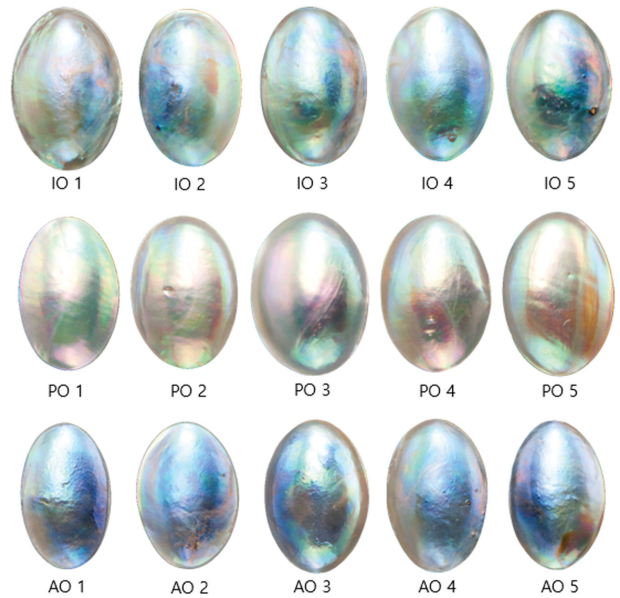


Fig. 1. Photographs of abalone pearls cultured in the Indian Ocean (IO 1~5), Pacific Ocean (PO 1~5), and Atlantic Ocean (AO 1~5).

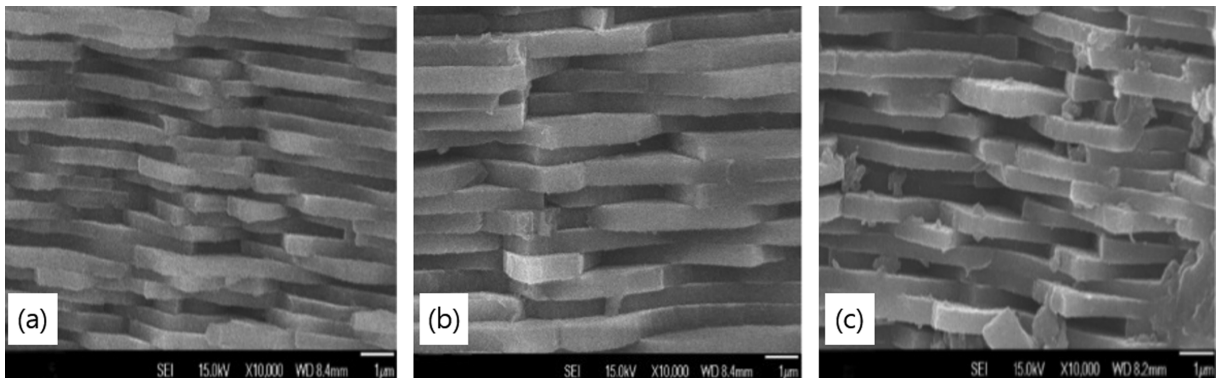


Fig. 2. SEM images of the nacre layers of abalone pearls cultured in (a) the Indian Ocean, (b) the Pacific Ocean, and (c) the Atlantic Ocean.

었으며, 태평양에서 양식된 전복진주의 색상은 녹황색이었고, 대서양에서 양식된 전복진주의 색상은 녹청색을 나타내었다.

Figure 2(a)는 인도양, (b)는 태평양, (c)는 대서양 연안에서 양식된 전복진주 진주층의 단면을 찍은 SEM 사진이다.

모든 진주에서 아라고나이트의 전형적인 판상 구조를 관찰할 수 있었으며, 진주층의 두께는 평균적으로 인도양이 약 0.5 μm , 태평양이 약 0.7 μm , 대서양이 약 0.6 μm 의 두께를 보였는데 이 결과는 전복진주 진주층의 일반적인 두께인 0.4~0.8 μm 의 범위와 동일함을 알 수 있었다[15].

Figure 3~5는 인도양, 태평양, 대서양 연안에서 양식된 전복진주들의 UV-VIS 반사도를 측정된 데이터이다. Figure 3은 인도양에서 양식된 전복진주의 UV-VIS 반사도 측정데이터로서 500 nm 영역에서 높은 반사도를 보이고 있으며, 이 파장은 청록색 영역에 해당된다. Figure 4는

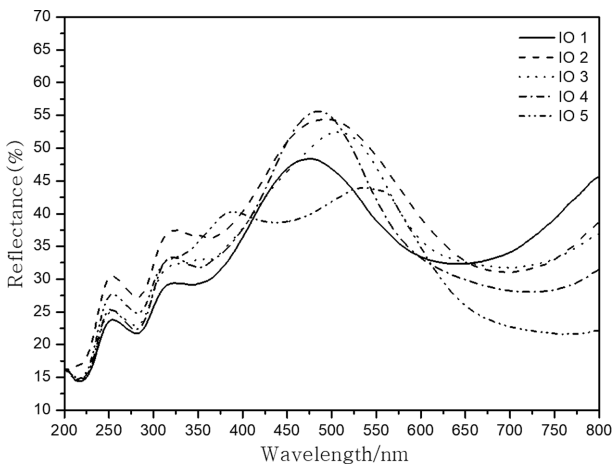


Fig. 3. UV-VIS data of abalone pearls cultured in the Indian Ocean.

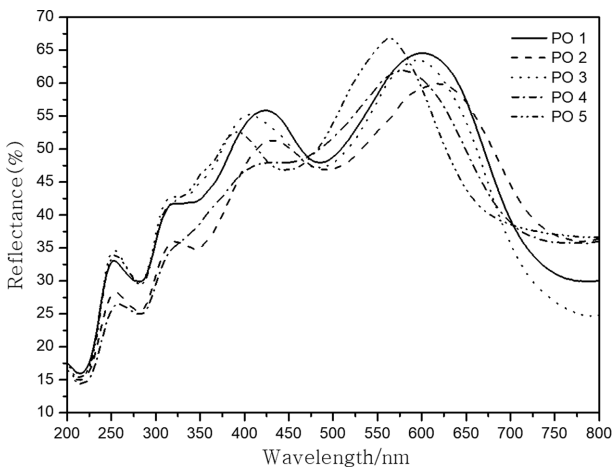


Fig. 4. UV-VIS data of abalone pearls cultured in the Pacific Ocean.

태평양에서 양식된 전복진주의 UV-VIS 반사도 측정데이터로서 575 nm 영역에서 높은 반사도를 보이고 있으며, 이 파장은 녹황색 영역에 해당되며, Fig. 5의 대서양에서 양식된 전복진주의 UV-VIS 반사도 측정데이터에서는 475 nm대의 영역에서 높은 반사도를 보이고 있으며 이 파장은 녹청색영역에 해당된다. 이러한 결과는 Fig. 1의 IO 1~5, PO 1~5, AO 1~5의 샘플들에서 보이는 전복진주들의 색상들과 일치하는 결과이다. 또한 모든 전복진주에서 나타나는 280 nm 영역에서의 흡수 패턴은 유기질(콘키오린 또는 단백질)에 의한 영향으로 판단된다[16].

Figure 6은 인도양, 태평양, 대서양 연안에서 양식된 전복진주들의 진주층을 분리한 후 미분쇄하여 측정된 XRD 데이터로서 ICDD(PDF Card No. 9015425)와 비교했을 때 주 회절 피크는 아라고나이트의 결정구조에 해당됨을 확인할 수 있다. PDF 카드의 데이터에서는 아라고나이트의 주 회절 피크가 26.23°에서 나타나는 (111) 결정면에 해당하지만, 본 연구의 측정결과에서는 주 회절피크가 (012) 결정면으로 나타났다. 각 샘플의 (012) 결정면에 해당하는 회절피크는 인도양 및 태평양 및 대서양에서 각각 33.26°, 33.28° 및 33.16°로 측정되었다. 이를 통해 양식된 전복진주에서 (012) 결정면이 우세하게 발달했음을 확인할 수 있다. 또한 모든 샘플에서 약 29° 부분에 칼사이트와 관련된 피크가 관찰되었으며, 이는 미량의 2차 상이 존재함을 알 수 있다. 이러한 2차 상의 존재는 양식 환경, 성장조건, 혹은 유기질 매트릭스의 차이에 의해 형성된 것으로 판단된다. 주 회절피크에 해당하는 (012)면의 격자 간 간격(d 값)은 인도양이 2.6927 Å, 태평양이 2.6899 Å, 대서양 2.7005 Å으로 측정되었다. 이는 각 지역의 양식 환경(수온, 염도 등) 및 결정성장 조건에 따른 영향 때문이라 할 수 있다. 특히 대서양에서 양식된 전복진주의 d 값이 가장 큰 것은 격자간 간

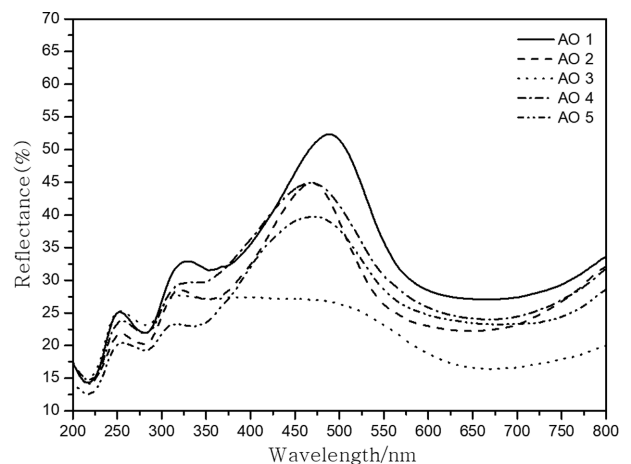


Fig. 5. UV-VIS data of abalone pearls cultured in the Atlantic Ocean.

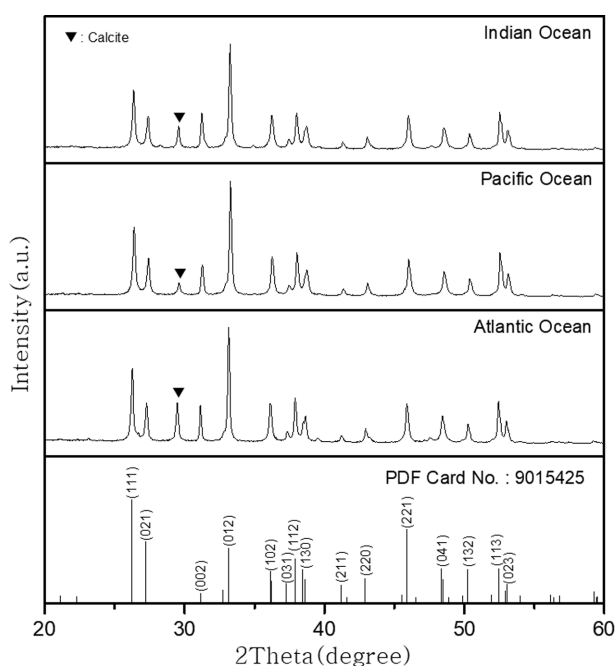


Fig. 6. XRD patterns of cultured abalone pearls from the Indian Ocean, Pacific Ocean, and Atlantic Ocean.

격이 더 넓게 형성되었음을 의미하며, 이는 진주층이 성장할 때 스트레인이 적거나 더 규칙적으로 성장한 결과라 할 수 있다. 반대로 태평양에서 양식된 전복진주의 d 값이 가장 작은 것은 압축된 격자 간격과 불순물의 영향 때문이라 해석할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 인도양, 태평양, 대서양 연안에서 육상 양식된 전복진주의 특성을 평가하였다. 각 해양에서 양식된 전복진주는 고유한 색상과 오버톤이 뚜렷하고, 진주층의 구조 및 아라고나이트 결정상이 잘 성장한 것을 확인하였으며 보석용 진주로서 상품성을 충분히 갖추고 있었다. 한국과 남아프리카공화국에서는 전문적인 전복 양식 기술과, 생산능력 및 인프라를 가지고 있으나 현재 전복진주를 상업적으로 생산할 수 있는 곳은 없는 실정이며, 진주 주얼리 소비를 위해 전량 수입에 의존하고 있다. 삼면이 바다이며 전복진주 양식에 관한 오랜 역사와 수준 높은 기술을 보유하고 있는 한국에서 전복을 이용하여 진주를 생산하고, 개발한다면 향후 전복 양식산

업의 부가 소득 창출과 국내 보석 산업의 발전에도 기여하며, 전복진주 디자인에 대한 연구 개발을 통해 한국을 대표할 수 있는 보석으로서 자리매김할 수 있을 것이다.

References

- [1] D. Haldane, "The mystery of the missing mollusks", Los Angeles Times Mag., January 5 (1992) 23.
- [2] P.V. Fankboner, "Abalone pearls: Natural and cultured", Can. Gemmol. 16 (1995) 3.
- [3] C.Y. Wentzell, "Cultured abalone blister pearls from New Zealand", Gems Gemol. 34 (1998) 187.
- [4] N.L. Kim, S.Y. Kim and D.H. Kim, "A comparison of the economic performance of abalone sea-cage", J. Fish. Mar. Educ. 32 (2020) 924.
- [5] C.A. Simon, A. Ludford and S. Wynne, "Spionid polychaetes infesting cultured abalone *Haliotis midae* in South Africa", Afr. J. Mar. Sci. 28 (2006) 167.
- [6] P.A. Cook, "Worldwide abalone production: an update", N. Z. J. Mar. Freshw. Res. 59 (2025) 4.
- [7] P.V. Fankboner, "Abalone pearls: Natural and cultured", Can. Gemmol. 16 (1995) 3.
- [8] C.Y. Wentzell, "Cultured abalone blister pearls from New Zealand", Gems Gemol. 34 (1998) 184.
- [9] M. Monteforte and H. Bervera, "Abalone pearl culture on the West Coast of the Baja California Peninsula, Mexico", World Aquacult. (2010) 12.
- [10] A. Homkrajae, A. Steen, M. Hardman, Z. Sun, R. Araya and J. Maturana-Zuñiga, "Bead culture abalone pearls from Chile", Gems Gemol. Spring (2023) 140.
- [11] P.C. Southgate, "Pearl oyster culture and pearl culture", in Molluscan Shellfish Aquaculture: A Practical Guide", (2021) 205.
- [12] M. Monteforte and H. Bervera, "Abalone pearl culture on the west coast of the Baja California Peninsula, Mexico", World Aquacult. (2010) 12.
- [13] A. Rojas-Figueroa, R. Araya, H. Acosta-Salmón, F. Chávez-Contreras, N.L. Ortiz Cornejo, and P.E. Saucedo, "Factors influencing half-pearl (mabe) production and quality in the red abalone *Haliotis rufescens*", Aquac. Res. (2019) 3392.
- [14] R.Y. Park and P.C. Kim, "The cultivation and characterization of imaged abalone pearls", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 14 (2004) 78.
- [15] K.J. Wada, Science of Pearl, Pearl Newspaper Company, Yamada, Tokyo, 1st ed. (1999).
- [16] G. Weragoda, W. Alwan and F. Zieschang, "Quantification of BSA protein using the Cary 60 UV-vis spectrophotometer", Agilent Technologies (Santa Clara, CA, USA, 2022) 4.