

# 피조개 *Anadara broughtonii* (Mollusca: Bivalvia: Arcidae) 패각의 표본 처리 방법에 따른 표면 색상 및 보존 상태 비교

신현준<sup>1,2</sup>, 김시영<sup>1</sup>, 나휘수<sup>1</sup>, 이혁<sup>1,2</sup>, 이경원<sup>1,2</sup>, 홍찬의<sup>1,2</sup>, 정준양<sup>2,3</sup>, 이용석<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>순천향대학교 자연과학대학 생명과학과, <sup>2</sup>순천향대학교 한국자생동물자원활용 융복합연구소, <sup>3</sup>순천향대학교 생명자원 바이오빅데이터 분석 및 활용 연구지원센터

## Comparison of surface color and preservation status of shells of *Anadara broughtonii* (Mollusca: Bivalvia: Arcidae) under different specimen processing methods

Hyeon Jun Shin<sup>1,2</sup>, Si Young Kim<sup>1</sup>, Hwi Su Na<sup>1</sup>, Hyeok Lee<sup>1,2</sup>, Kyoung Won Lee<sup>1,2</sup>,  
Chan-Eui Hong<sup>1,2</sup>, Jun Yang Jeong<sup>2,3</sup> and Yong Seok Lee<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology Sciences, College of Natural Sciences, Soonchunhyang University, Asan, Chungcheongnam-do 31538, Republic of Korea

<sup>2</sup>Korea Native Animal Resources Utilization Convergence Research Institute (KNAR), Soonchunhyang University, Asan, Chungcheongnam-do 31538, Republic of Korea

<sup>3</sup>Research Support Center for Bio-Bigdata Analysis and Utilization of Biological Resources, Soonchunhyang University, Asan, Chungcheongnam-do 31538, Republic of Korea

### ABSTRACT

Molluscan shells are widely used for ornamental and scientific purposes, yet their preservation quality varies depending on specimen processing methods. As shells are increasingly recognized as substrates providing morphological, chemical, and molecular information, the selection of appropriate processing strategies has become increasingly important. This study compared shell preservation characteristics of *Anadara broughtonii* under different specimen processing methods to identify relatively stable treatment conditions. Experimental groups included a water-rinsed control, natural decomposition in water followed by rinsing, ethanol fixation at 70-75% and  $\geq 99\%$ , and hot-water treatment applied at the stages of adductor muscle relaxation and soft tissue removal. Shell external structures, periostracum retention, cracking patterns, and inner surface preservation were assessed using stereomicroscopy combined with image focus stacking. Preservation outcomes differed among treatments, particularly in external appearance and periostracum retention. Overall, ethanol fixation at 70-75% was identified as a relatively stable processing method when both preservation quality and practical handling were considered. These findings highlight the importance of selecting specimen processing methods according to the intended use of molluscan shell specimens and provide baseline information for establishing preservation strategies for ornamental collections and morphological research.

**Keywords:** *Anadara broughtonii*, blood cockle, shell preservation, specimen processing methods

Received: December 17, 2025; Revised: December 23, 2025; Accepted: December 30, 2025

Corresponding author: Yong Seok Lee

Tel: +82 (41) 530-3040, e-mail: yslee@sch.ac.kr  
1225-3480/24909

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

### 서론

연체동물 (Mollusca) 은 무척추동물 중 가장 큰 규모의 문 중 하나로, 조간대에서 심해에 이르는 해양 환경뿐 아니라 담수 및 육상 환경까지 포함하는 다양한 서식지에 광범위하게 분포한다 (Sao Mai, 2014). 연체동물의 패각은 주로 탄산칼슘과 소량의 유기 기질로 구성된 생체광물 (biomineral) 로, 외부 충격과 포식자로부터 연조직을 보호하는 기본적인 기능

을 수행한다 (Suzuki and Nagasawa, 2013).

패각의 미세구조와 화학 조성은 형성 과정에서 주변 환경 변화에 민감하게 반응하는 특성을 지니며 (Huang and Zhang, 2022), 온도, 염도, 먹이 공급 등 다양한 환경 요인과 개체의 생리 상태를 반영하는 장기적 환경 기록 매체로 활용될 수 있다 (Telesca *et al.*, 2018). 이러한 특성으로 인해 패각은 화석 기록뿐 아니라, 최근의 급격한 환경 변화로 더 이상 서식이 유지되지 않는 지역에서도 현장에 잔존하는 패각을 통해 과거 해당 종의 서식 여부나 환경 변화의 흔적을 간접적으로 추론할 수 있는 자료로 활용될 수 있다 (Der Sarkissian *et al.*, 2017; Martin *et al.*, 2021).

이러한 특성을 바탕으로 최근에는 패각이 물질적 및 화학적 특성을 기반으로 환경 변화에 따른 생태적 정보를 간접적으로 반영할 수 있는 기질로 인식되기 시작하였다 (Telesca *et al.*, 2018; Paleček *et al.*, 2024). 더 나아가 연체동물의 연조직이 아닌 패각으로부터도 분자유전학적 정보를 확보할 수 있는 것이 보고되면서 (Ferreira *et al.*, 2020), 고대 DNA (ancient DNA) 를 포함한 다양한 상태의 패각을 유전형 분석에 활용할 수 있는 가능성이 제시되고 있다 (Der Sarkissian *et al.*, 2020; Martin *et al.*, 2021).

특히 자연풍화, 조리 (cooking) 과정 등을 거친 패각에서도 PCR 증폭이 가능한 수준의 DNA가 검출된 사례가 보고된 바 있으며 (Ferreira *et al.*, 2020), 이러한 결과는 생체 조직 확보가 어려운 IUCN 적색목록의 위급 (Critically Endangered, CR), 위기 (Endangered, EN), 취약 (Vulnerable, VU) 범주에 해당하는 종을 포함하여 다양한 분류군에서 패각 표본이 유전정보 분석에 활용되고 있다 (Martin-Roy *et al.*, 2024). 이는 기존 생체 시료 중심의 분자생물학적 연구 접근을 보완할 수 있는 대안적 자료원의 가능성을 제시할 수 있다.

한편 패각은 연구 자원으로서의 가치뿐 아니라 관상용 및 교육용 표본으로도 널리 활용되고 있으며, 전 세계적으로 Conchology (<https://conchology.be>) 및 Allspira (<https://allspira.com/>) 등 다양한 플랫폼을 통해 패각 표본이 유통되고 있다. 이러한 상업적 활용은 표본의 외형적 보존 상태와 처리 방식에 대한 관심을 더욱 증대시키고 있다. 그러나, 관상용 표본과 연구용 표본은 보존 목적에서 차이가 있는데 관상용 표본은 표면 오염물과 불필요한 유기층을 제거하여 본연의 색을 선명하게 유지하는 것이 중요하며 (Ubal dini *et al.*, 2024), 연구용 표본은 연체부, 각피, 표면 미세구조의 손상을 최소화하는 방식으로 처리되는 것이 요구된다 (Nijman *et al.*, 2015; Telesca *et al.*, 2018; Nijman, 2019).

표본의 보존 목적에 따라 최적의 처리 방법이 달라진다. 예컨대 연구용 표본의 경우에는 연조직 및 유전 물질 보존이 가

능한 방식으로 즉각적인 조직 분리와 적절한 고정 및 저장 조건 설정이 권장된다. 반면, 외형 보존을 우선하는 관상용 표본 처리 과정에서는 화학적 세척 및 건조 처리 등이 주로 수행되며, 이는 연조직의 손실 및 DNA 품질 저하 등의 제약이 발생하는 경우가 많다 (Natural History, 2011). 이처럼 활용 목적에 따라 요구되는 표본 처리 조건이 상이함에도 불구하고, 연체동물 패각의 보존 방법에 관한 연구는 현재까지 상대적으로 제한적이며, 다양한 처리 방법을 동일 조건에서 체계적으로 비교한 연구는 아직 충분하지 않은 것으로 알려져 있다 (Crippa *et al.*, 2016). 따라서 해당 연구에서는 피조개 (시장명: 피꼬막) 를 대상으로 대표적인 표본 처리 방법을 적용하고, 각 처리 조건에서의 패각 보존 특성을 비교함으로써 관상용 및 연구용 표본 제작 과정에서 고려될 수 있는 처리 방법의 특성과 한계를 종합적으로 검토하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 대상종 선정 및 확보

온양온천전통시장에서는 복족강 3과 3속 3종, 이매패강 5과 9속 10종의 연체동물이 식용으로 유통되고 있었다 (Table 1). 실험 대상 종 선정에 위해 패각 외형의 균일성, 개체 변이 수준, 표면 상태, 단가 및 개체 확보의 용이성 등을 종합적으로 고려하였다.

이에 따라 충청남도 아산시 온양동에 위치한 온양온천전통시장 내 형제수산 (충청남도 아산시 시장남길 25-1; 36°46'57.8"N, 127°00'12.1"E) 에서 식용으로 유통되는 피조개 *Anadara broughtonii* (Schrenck, 1867) 를 실험 대상으로 선정하여 구매하였다. 피조개는 비교적 얇은 패각과 규칙적인 방사륜 구조, 털 모양의 각피를 지니며, 표본의 대량 확보가 용이하여 반복 실험에 적합하였다.

구매 시 약 5 L의 해수를 함께 확보하였으며, 이동식 케이스와 휴대용 기포발생기 (AP-1500, SAPA F&C Co., Ltd., Republic of Korea) 를 사용하여 실험실로 운반하였다. 실험실 운반 후 개체의 외형 이상 여부를 육안으로 확인한 뒤, 크기와 상태가 유사한 개체를 선별하여 표본 처리 실험에 사용하였다.

### 2. 표본 실험군 설정 및 처리 절차

해당 연구에서는 일반적으로 사용되는 패각 표본 처리 방법을 기준으로 단순 세척, 부패 유도 후 세척, 에탄올 고정 (70-75%, ≥ 99%), 열수 처리 (패각근 개방 시점, 완전 분리 시점) 의 총 여섯 가지 실험군을 설정하였다. 각 실험군에는 경향성을 확인하기 위해 3개체씩 반복 실험 수를 설정하였다.

단순 세척군에서는 개체를 흐르는 수돗물에서 약 30-60초 동안 니트릴 장갑을 착용한 손으로 세척하여 물리적 충격을

**Table 1.** Molluscan species commercially available at Onyangoncheon-Traditional Market during October-November 2025

Class	Order	Family	Species name	Korean name
Bivalvia	Arcida	Arcidae	<i>Anadara broughtonii</i> (Schrenck, 1867)	피조개
			<i>Tegillarca granosa</i> (Linnaeus, 1758)	꼬막
	Ostreida	Pinnidae	<i>Atrina pectinata</i> (Linnaeus, 1767)	키조개
	Pectinida	Pectinidae	<i>Mizuhopecten yessoensis</i> (J. C. Jay, 1857)	큰가리비
			<i>Scaeoclamys farreri</i> (H. K. Jones & Preston, 1904)	해만가리비
			Mactridae	<i>Mactra quadrangularis</i> Reeve, 1854
	Venerida	Veneridae	<i>Meretrix lusoria</i> (Röding, 1798)	백합
			<i>Meretrix petechialis</i> (Lamarck, 1818)	말백합
			<i>Ruditapes philippinarum</i> (A. Adams & Reeve, 1850)	바지락
			<i>Saxidomus purpurata</i> (G. B. Sowerby II, 1852)	개조개
Gastropoda	Lepetellida	Haliotidae	<i>Haliotis discus hannai</i> Ino, 1953	북방전복
	Neogastropoda	Buccinidae	<i>Neptunea cumingi</i> Crosse, 1862	갈색띠매물고둥
		Muricidae	<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)	피빨고둥

최소화하며 표면 오염물을 제거하였다. 이후 패각 하단부 (ventral margin) 또는 음보 (umbo) 와 힌지 (hinge) 방향 중 개방이 가능한 부위에 메스를 삽입하여 패각근을 절단한 뒤 패각을 개방하였다. 내부 연조직과 체액을 제거하기 위해 추가 세척을 실시하였으며, 처리 과정 중 발생한 균열 또는 파손 여부를 기록하였다. 처리 후 패각은 실온에서 건조하여 보관하였다.

부패 유도 후 세척군에서는 개체를 약 200 ml 용기에 넣고 증류수로 완전히 잠기도록 한 뒤 랩으로 밀봉하였다. 해당 용기는 직사광선을 차단한 흙 후드 내 실온 조건에서 7일간 보관하여 자연적 부패가 진행되도록 하였다. 부패 종료 후 패각을 회수하여 흐르는 물로 세척하고, 상태를 기록한 뒤 건조하여 보관하였다.

에탄올 고정군 (70-75%,  $\geq 99\%$ ) 에서는 개체를 각각 450 ml 용기에 넣고 70-75% 및  $\geq 99\%$  에탄올로 완전히 잠기도록 한 뒤 밀봉하여 실온에서 7일간 보관하였다. 이후 동일하게 패각 하단부 (ventral margin) 또는 음보 (umbo) 과 힌지 (hinge) 방향 중 개방이 가능한 부위에 메스를 삽입하여 패각근을 절단한 뒤 패각을 개방하였다. 내부 연조직을 제거하고 처리 과정 중 발생한 균열 또는 파손 여부를 기록하였다. 이후 패각은 실온에서 건조하여 보관하였다.

열수 처리군에서는 1000 ml의 물을 끓는 상태로 가열한 후 개체를 개별적으로 투입하였다. 패각이 최초로 개방되는 시점에 개체를 회수하여 연조직을 제거한 조건과 패각과 연조직이 완전히 분리될 때까지 가열을 지속한 조건으로 구분하였다.



**Fig. 1.** Schematic overview of image acquisition and focus stacking for shell surface observation.

### 3. 처리에 따른 패각의 물리적 변화 및 미세구조 관찰

패각의 물리적 변화와 표면 미세구조를 관찰하기 위해 실체현미경 (HUVITZ Stereo Microscope HSZ; Huvitz Co., Ltd., Anyang, Republic of Korea) 을 사용하였으며, 관찰 배율은 0.67x로 설정하였다. 관찰 대상은 패각의 각 부위의 손상 여부 (Fig. 1. A, B, C, D, E), 표면 거칠기 변화, 각피 잔존 여부 등이었다.

각 샘플은 패각이 수평을 유지하도록 위치를 조정한 후, 현미경에 연결된 디지털 카메라 (Optinity 4K HD Camera KCX-80; K-optical Co., Ltd., Seoul, Republic of Korea) 를 이용하여 촬영하였다. 촬영된 이미지는 Optinity Optiview software (ver. 3.2.1; K-optical Co., Ltd., Seoul, Republic of Korea) 를 통해 노트북 컴퓨터 (ASUS TUF Gaming F17 FX706HE; ASUSTeK Computer Inc., Taipei, Taiwan) 에 실시간으로 저장하였다.

모든 이미지는 동일한 배율과 스케일 바 조건에서 확보하였으며, 확대 또는 축소 없이 개체만 교체하여 촬영하였다. 초점은 수동으로 조정하였고, 노출시간 20초로 고정하였다. 화이트밸런스 (R 88, G 102, B 93), 화면 반전 없음, 선명도 10 등 촬영 파라미터를 동일하게 유지하여 조명 및 색상 편차를 최소화하였다.

이미지 스테킹은 Helicon Focus (ver. 8.1.0) 를 이용하여 수행하였다. 해당 소프트웨어는 서로 다른 초점 거리에서 촬영된 다수의 이미지를 합성하여 입체적 구조를 지닌 시료의 전체 영역을 선명하게 표현할 수 있는 포커스 스테킹 전용 소프트웨어이다. 이러한 원리를 적용하여 각 샘플을 고정된 뒤 Fig. 1의 A-E 영역을 중심으로 최소 초점거리부터 최대 초점거리까지 초점을 단계적으로 변경하며 연속적인 이미지를 촬영하였다. 이후 해당 소프트웨어 구동 및 결과 합성 작업은 순천향대학교 생명자원 바이오빅데이터 분석 및 활용 연구지원 센터의 머신러닝 서버 (Z-202410106770) 를 지원받아 GeForce RTX 3090 Ti 16GB × 4 환경에서 수행하였다. 이미지 스테킹에는 복합 표면에서 안정적인 결과를 제공하는 합성 알고리즘 Method C (Pyramid) 를 적용하였으며, Smoothing 설정 값은 기본 권장 값인 4로 설정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 패각 외부구조의 보존 상태

해당 연구에서는 단순 세척군을 대조군으로 설정하고, 이를 기준으로 부패 유도 후 세척군, 에탄올 고정군 (70-75%, ≥99%), 열수 처리군 (패각근 개방 시점, 완전 분리 시점) 의 패

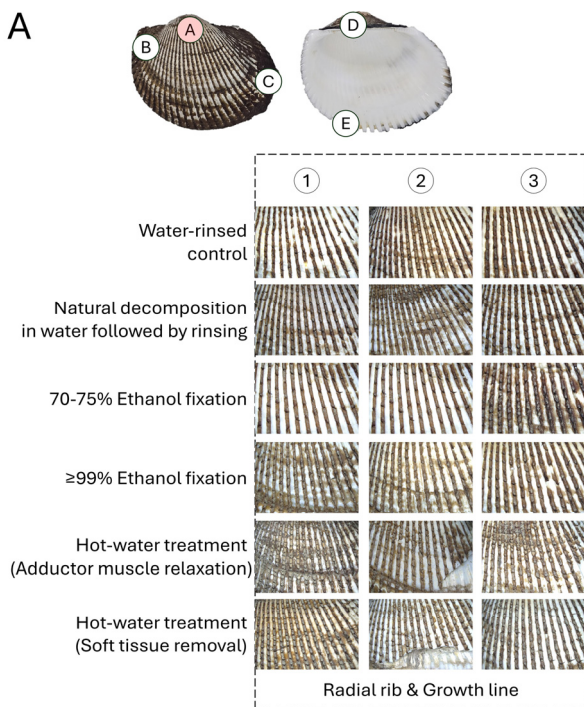


Fig. 2. Comparison of shell preservation states of region A on the left valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments.

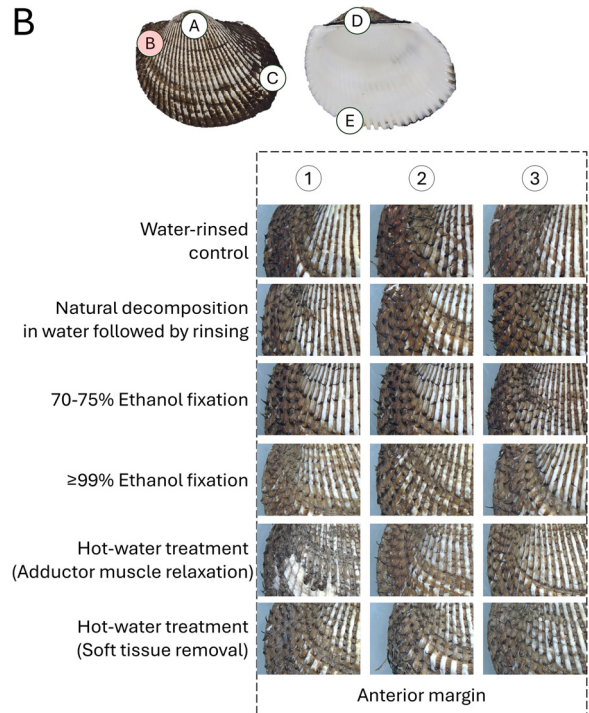
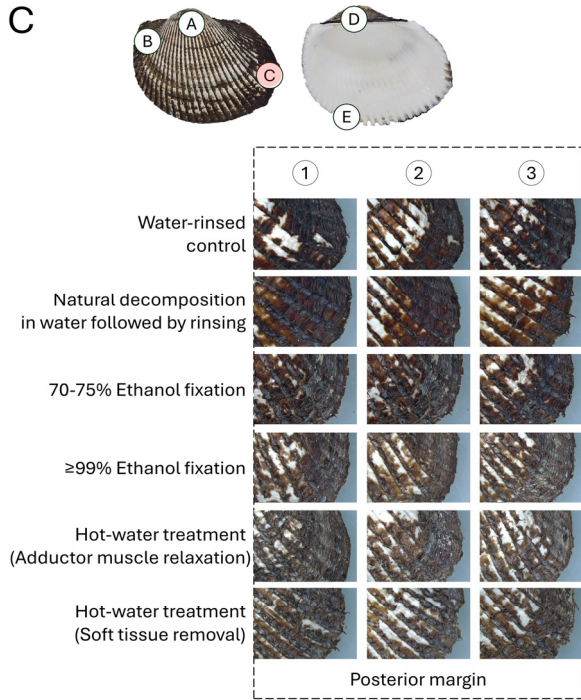
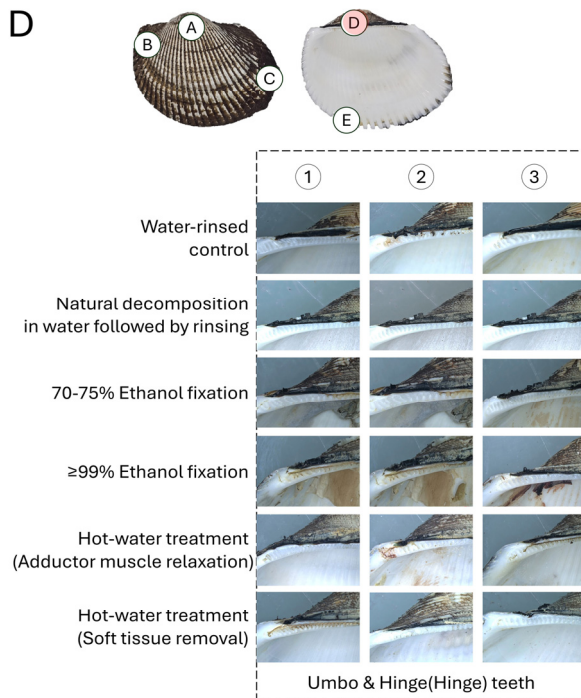


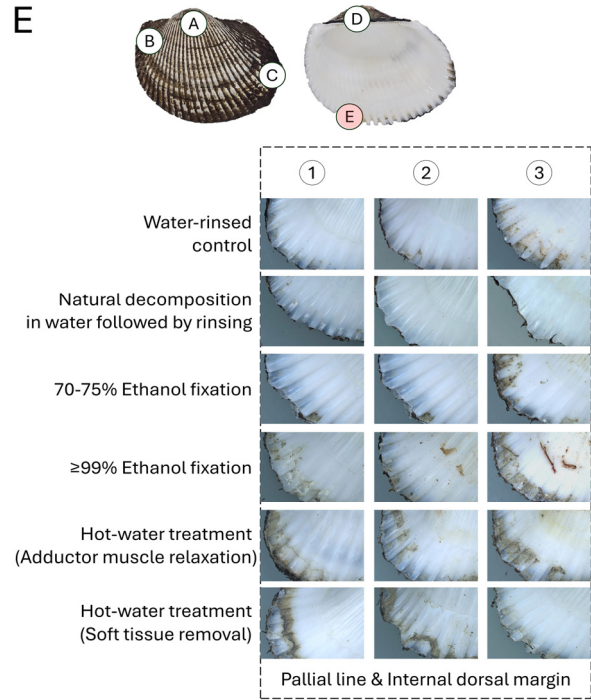
Fig. 3. Comparison of shell preservation states of region B on the left valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments.



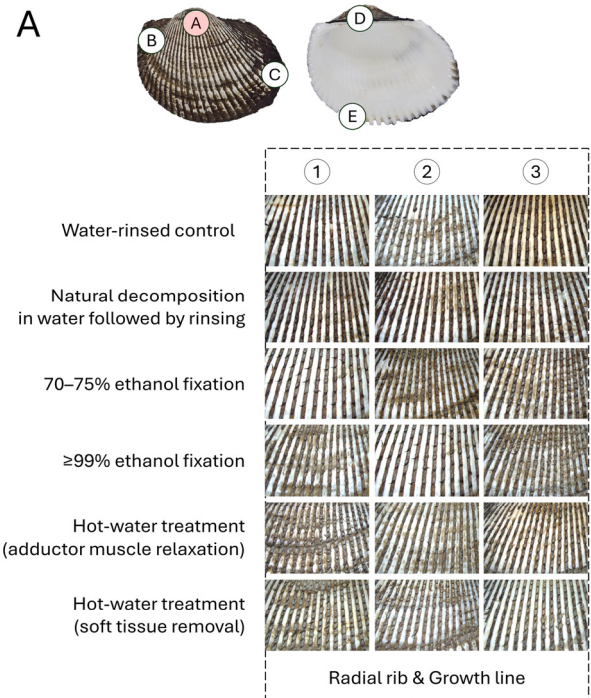
**Fig. 4.** Comparison of shell preservation states of region C on the left valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments.



**Fig. 5.** Comparison of shell preservation states of region D on the left valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments.



**Fig. 6.** Comparison of shell preservation states of region E on the left valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments



**Fig. 7.** Comparison of shell preservation states of region A on the right valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments.

피조개 패각의 표본 처리 방법에 따른 표면 색상 및 보존 상태 비교

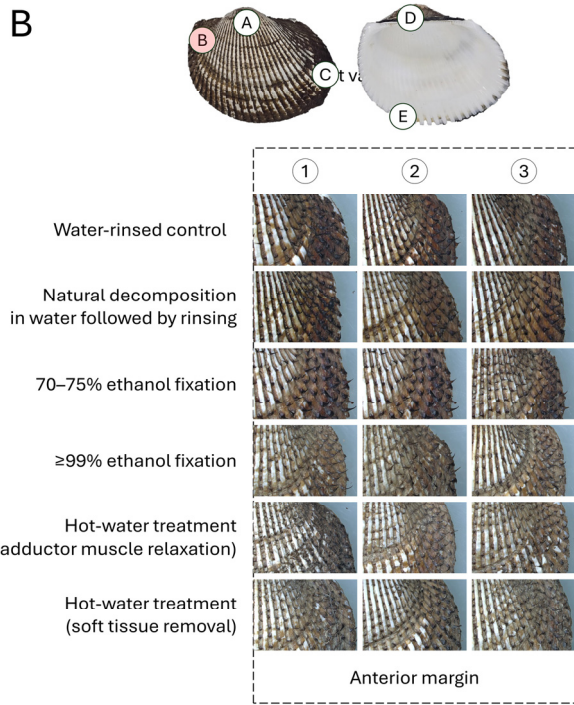


Fig. 8. Comparison of shell preservation states of region B on the right valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments.

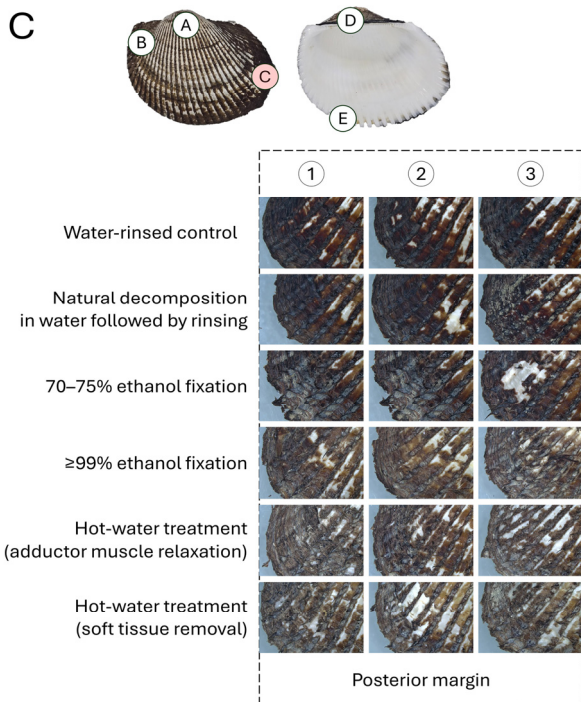


Fig. 9. Comparison of shell preservation states of region C on the right valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments.

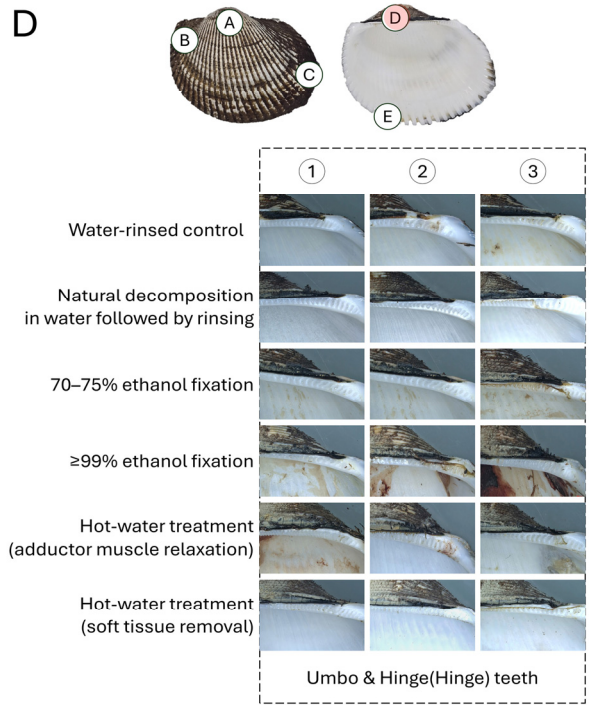


Fig. 10. Comparison of shell preservation states of region D on the right valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments

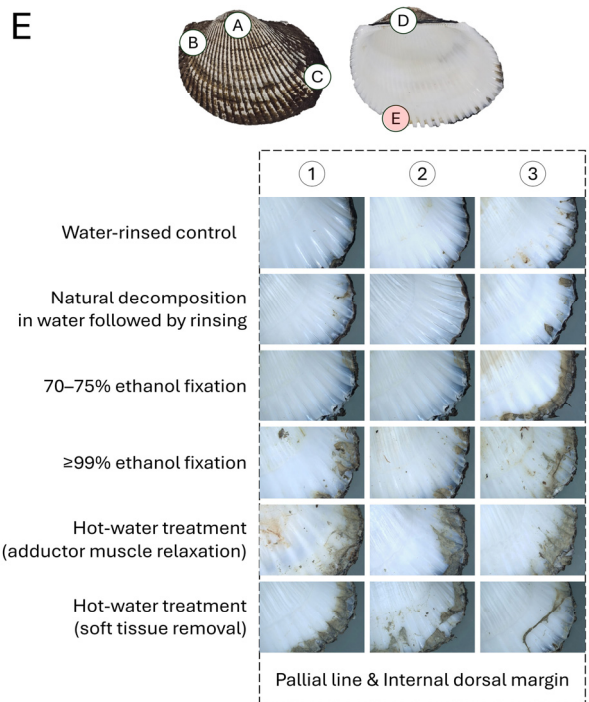


Fig. 11. Comparison of shell preservation states of region E on the right valve of *Anadara broughtonii* under different specimen preparation treatments

각 외부 구조 보존 상태를 비교하였다. 단순 세척군은 화학적 처리를 배제한 최소 표본 처리 조건으로, 패각에 가해지는 외부 인위적 영향을 비교적 적게 반영하는 기준으로 설정하였다.

패각 외부의 각피와 방사륜 내 각피는 처리 방법에 따른 차이가 비교적 뚜렷한 경향이 나타나는 부위였다 (Fig. 2, 4, 7, 9). 단순 세척군에서는 자연 상태에 가까운 색조 및 방사륜 사이의 색이 비교적 잘 유지되는 양상이 관찰되었다. 그러나 패각을 개방하는 과정에서 균열 및 파손이 빈번하게 발생하였다. 이러한 파손은 패각이 탄산칼슘 ( $\text{CaCO}_3$ ) 을 주성분으로 하는 생체 복합 구조로 이루어져 있으며, 연성보다는 취성에 가까운 물성의 특성을 지니는 특성과 관련된 결과로 해석될 수 있다 (Yang *et al.*, 2019; Yarra *et al.*, 2021; Osa *et al.*, 2022). 특히 패각 하단부 또는 각정과 힌지 방향에서 패각근을 절단하는 과정에서 파손이 집중적으로 발생하였다. 이러한 경향은 단순 세척군뿐 아니라 에탄올 고정군 (70-75%,  $\geq 99\%$ ) 에서도 공통적으로 관찰되었다.

부패 유도 후 세척군에서는 각피의 탈락과 함께 방사륜 사이의 색 대비가 감소하였으며, 성장륜의 경계가 전반적으로 흐려지는 양상이 나타났다. 이는 부패 과정 중 연체 조직의 분해와 미생물 활성에 의해 패각 표면 유기층의 안정성이 저하된 결과로 해석된다 (Topić Popović *et al.*, 2023; Martin-Roy *et al.*, 2024). 해당 연구에서는 고여 있는 물에서 자연 부패를 유도하였으며, 일부 개체에서는 수질 오염으로 인한 국소적 변색이 관찰되어 정성적 관찰 기준에서 외형적 색상 보존이 저하되는 경향이 관찰되었다.

에탄올 고정군 중 70-75% 조건에서는 변색이 최소화되었고, 각피가 비교적 잘 유지되었으며 방사륜과 성장륜의 미세한 질감이 대조군과 비교적 일치하는 경향을 관찰하였다. 반면  $\geq 99\%$  에탄올 고정군에서는 급격한 탈수로 인해 패각 표면이 건조해지고 갈라져 보이는 형상이 관찰되었다. 이는 에탄올 농도가 높을수록 외형 보존에 항상 유리한 것은 아니며, 과도한 탈수가 표면 구조의 안정성을 저하시킬 수 있음을 시사하는 것으로 나타났다.

## 2. 인대면 및 경첩의 구조적 안정성

인대면과 경첩의 교선, 교치, 교판은 패각의 기능적 및 형태학적 중요도가 높은 구조이다. 처리 방법에 따른 뚜렷한 구조적 변형은 대부분의 개체에서 관찰되지 않았으며, 인대면과 교치의 기본적인 형태는 대부분의 개체에서 비교적 안정적으로 유지되는 경향이 관찰되었다 (Fig. 5, 10).

다만 부패 유도 후 세척군 및 열수 처리군의 일부 개체에서는 상태에 따라 해당 부위에 오염물이 잔존하는 양상이 나타났으며, 이를 통해 관찰이 제한되는 경향이 나타났다. 이러한 차이는 실험 조건의 특성상 균일하게 통제되지 않았으며, 처

리 방법의 표준화를 어렵게 만드는 요인으로 작용할 수 있다. 향후 세척 조건 및 화학적 후속 처리를 병행한 추가 연구를 통해 보다 정밀한 비교가 가능할 것으로 판단된다.

## 3. 외투선흔 및 내부 패각 표면의 보존 특성

외투선흔과 내부 패각 표면에서는 처리 방법에 따른 차이가 외부 구조에 비해 상대적으로 완만하게 나타났다 (Fig. 6, 11). 외투선흔의 연속성은 비교적 잘 유지되는 양상이 관찰되었으나, 일부 부패 유도 후 세척군,  $\geq 99\%$  에탄올 고정군, 열수 처리군에서 패각 내부 표면에 오염물이 잔존하거나 불균일한 표면 상태가 관찰되는 경향이 나타났다. 그럼에도 불구하고 외투선흔 자체의 구조적 연속성은 대부분의 개체에서 유지되는 양상이 나타났다.

## 4. 처리 방법 간 종합 비교 및 연구의 한계

처리 방법을 종합적으로 비교한 결과, 부패 유도 후 세척군과 에탄올 고정군 (70-75%) 에서 패각 외형 보존과 각피 유지 측면에서 상대적으로 양호한 결과가 관찰되었다. 이 중 에탄올 고정군 (70-75%) 은 구조적 안정성과 작업 편의성을 함께 고려할 때, 해당 연구 조건에서 비교적 균형적인 특성을 보이는 처리 방법으로 해석될 수 있다. 단순 세척군은 자연 상태에 가까운 외형을 비교적 잘 유지할 수 있었으나, 패각 분리 과정에서 물리적 파손 위험이 상대적으로 높은 경향이 관찰되었다. 부패 유도 후 세척군은 처리 과정에서 악취 발생과 실험 환경 오염이 동반되어 관찰 및 재현성 측면에서 제약이 있었으며, 다른 처리군에 비해 연조직 확보에 제한이 큰 것으로 나타났다.

$\geq 99\%$  에탄올 고정군과 열수 처리군은 특정 목적에서는 활용 가능성이 있으나, 과도한 탈수 또는 개체 간 반응 편차로 인해 패각의 장기적 보존과 형태 안정성을 동시에 확보하기에는 제약이 있었다. 선행 연구에 따르면 연체동물 패각은 DNA를 장기적으로 보존할 수 있는 기질이지만, 가열이나 강한 화학 처리는 패각 내 유기 기질을 손상시켜 DNA 분절화 및 회수를 저하할 수 있다고 알려져 있다 (Ferreira *et al.*, 2020; Martin-Roy *et al.*, 2024; Kamilari *et al.*, 2025). 해당 연구에서는 패각의 DNA 회수를 수행하지는 않았지만, 가열에 의한 외형 손상은 이러한 기작의 영향을 받을 수 있을 것으로 사료된다.

해당 연구에서는 각 처리 조건에 대해 반복 실험을 수행하였으나, 사용된 개체 간 패각 크기, 표면 상태, 형태적 차이가 일부 존재하였다. 이러한 개체 간 변이는 처리 반응과 보존 결과에 영향을 미쳤을 가능성이 있으며, 처리 효과가 개체별로 다르게 나타나는 경향을 유발했을 수 있다. 향후 다양한 크기와 성장 단계의 개체를 포함한 확대된 표본군을 대상으로 추

가 검증이 수행된다면, 피조개를 포함한 이매패류 패각 보존 연구에서 처리 방법의 신뢰성과 재현성을 더욱 강화할 수 있을 것으로 판단된다.

### 요 약

해당 연구에서는 관상용 및 연구용으로 모두 활용되고 있는 패류를 대상으로, 표본 처리 방법에 따라 패각의 보존 상태가 어떻게 달라지는지를 비교 및 평가하였다. 이를 위해 단순 세척군, 부패 유도 후 세척군, 에탄올 고정군 (70-75%, ≥99%), 열수 처리군 (패각근 개방 시점, 완전 분리 시점) 을 설정하고, 각 처리 방법이 패각의 외형 보존, 각피 유지 여부, 균열 및 파손 양상에 미치는 영향을 비교하였다.

그 결과, 단순 세척군은 자연 상태에 가까운 색조를 유지하는 경향을 보였으나, 패각 분리 과정에서 물리적 파손 위험이 상대적으로 높게 나타났다. 부패 유도 후 세척군에서는 각피 탈락과 색 대비 감소가 관찰되었으며, 약취 발생과 외형 변색, 연조직 확보의 제한으로 인해 실험 환경 관리 및 재현성 측면에서 제약이 확인되었다. 에탄올 고정군 중 70-75% 조건에서는 외형 보존과 각피 유지가 비교적 균형적으로 나타난 반면, ≥ 99% 조건에서는 과도한 탈수와 관련된 각피 탈락 및 미세 균열이 관찰되었다. 열수 처리군에서는 개체 간 반응 편차로 인해 처리 결과의 변동성이 나타났으며, 패각 및 연조직 유래 오염물의 영향으로 외형 변색과 각피 탈락이 동반되는 경향이 확인되었다.

종합적으로, 에탄올 고정군 (70-75%) 이 외형 보존과 작업 편의성 등을 동시에 고려할 때 설정한 조건 하에서 다른 처리군에 비해 비교적 안정적인 경향을 보였다. 이러한 결과는 연체동물 패각 표본의 보존 목적과 연구 활용도를 함께 고려한 선택적 표본 처리 전략의 필요성을 시사한다.

### 사 사

해당 연구는 교육부에서 지원하는 이공학학술연구기반구축 (한국연구재단, RS-2024-00411611), 이공분야 대학중점연구소 (한국연구재단, RS-2021-NR060121), 지역대학 우수과학자 (한국연구재단, 2017R1D1A3B06034971), 한국기초과학지원연구원 (국가연구시설장비진흥센터) (RS-2022-NF000922) 및 순천향대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행하였습니다.

### REFERENCES

Crippa, G., Ye, F., Malinverno, C., and Rizzi, A. (2016) Which is the best method to prepare invertebrate shells for SEM analysis? Testing different techniques

on recent and fossil brachiopods. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, **55**: 112.  
Der Sarkissian, C., Möller, P., Hofman, C.A., Ilsoe, P., Rick, T.C., Schiötte, T., Sørensen, M.V., Dalén, L., and Orlando, L. (2020) Unveiling the ecological applications of ancient DNA from mollusk shells. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **8**: 37.  
Der Sarkissian, C., Pichereau, V., Dupont, C., Ilsoe, P.C., Perrigault, M., Butler, P., Chauvaud, L., Eiriksson, J., Scourse, J., Paillard, C., and Orlando, L. (2017) Ancient DNA analysis identifies marine mollusk shells as new metagenomic archives of the past. *Mol. Ecol. Resour.*, **17**: 835-853.  
Ferreira, S., Ashby, R., Jeunen, G.J., Rutherford, K., Collins, C., Todd, E.V., and Gemmell, N.J. (2020) DNA from mollusc shell: a valuable and underutilised substrate for genetic analyses. *PeerJ*, **8**: e9420.  
Huang, J., and Zhang, R. (2022) The Mineralization of Molluscan Shells: Some Unsolved Problems and Special Considerations. *Frontiers in Marine Science*, **9**.  
Kamilari, M., Papaioannou, C., Augustinos, A., Spinos, E., Giantsis, I.A., Ramfos, A., Theodorou, J.A., and Batargias, C. (2025) From Shell to Sequence: Optimizing DNA Extraction and PCR for Pen Shell Identification. *Water*, **17**: 1162.  
Martin, K.R., Waits, L.P., and Parent, C.E. (2021) Teaching an old shell new tricks: Extracting DNA from current, historical, and ancient mollusk shells. *Bioscience*, **71**: 235-248.  
Martin-Roy, R., Thyrring, J., Mata, X., Bangsgaard, P., Bennike, O., Christiansen, G., Funder, S., Gotfredsen, A.B., Gregersen, K.M., and Hansen, C.H. (2024) Advancing responsible genomic analyses of ancient mollusc shells. *Plos one*, **19**: e0302646.  
Natural History, M. (2011) Standards in the Care of Wet Collections Natural History Museum Conservation.  
Nijman, V. (2019) Souvenirs, shells, and the illegal wildlife trade. *Journal of Ethnobiology*, **39**: 282-296.  
Nijman, V., Spaan, D., and Nekaris, K.A.-I. (2015) Large-scale trade in legally protected marine mollusc shells from Java and Bali, Indonesia. *PLoS One*, **10**: e0140593.  
Osa, J., Mondragón, G., Ortega, N., Marzo, F., and Peña-Rodríguez, C. (2022) On the friability of mussel shells as abrasive. *Journal of Cleaner Production*, **375**: 134020.  
Paleček, D., Milano, S., Gutiérrez-Zugasti, I., and Talamo, S. (2024) Stable isotopes in the shell organic matrix for (paleo)environmental reconstructions. *Communications Chemistry*, **7**.  
Sao Mai, D. (2014) SHELLFISH (MOLLUSCS AND CRUSTACEA) | Characteristics of the Groups. In: Batt CA, Tortorello ML (eds) Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition). Academic Press, Oxford, pp 376-388  
Suzuki, M., and Nagasawa, H. (2013) Mollusk shell structures and their formation mechanism. *Canadian*

- Journal of Zoology*, **91**: 349-366.
- Telesca, L., Michalek, K., Sanders, T., Peck, L.S., Thyrring, J., and Harper, E.M. (2018) Blue mussel shell shape plasticity and natural environments: a quantitative approach. *Scientific Reports*, **8**: 2865.
- Topić Popović, N., Lorencin, V., Strunjak-Perović, I., and Čož-Rakovac, R. (2023) Shell waste management and utilization: mitigating organic pollution and enhancing sustainability. *Applied Sciences*, **13**: 623.
- Ubal dini, A., Cicconi, F., Calistri, S., Salvi, S., Telloli, C., Marghella, G., Gessi, A., Bruni, S., Falsini, N., and Rizzo, A. (2024) Removal of Organic Materials from Mytilus Shells and Their Morphological and Chemical-Physical Characterisation. *Crystals*, **14**: 464.
- Yang, D., Yan, Y., Yang, X., Liu, J., Zheng, G., Xie, L., and Zhang, R. (2019) A basic protein, N25, from a mollusk modifies calcium carbonate morphology and shell biomineralization. *Journal of Biological Chemistry*, **294**: 8371-8383.
- Yarra, T., Ramesh, K., Blaxter, M., Hüning, A., Melzner, F., and Clark, M.S. (2021) Transcriptomic analysis of shell repair and biomineralization in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *BMC genomics*, **22**: 437.

