Korean J. Malacol. 39(4): 141-148 2023
https://doi.org/10.9710/kjm.2023.39.4.141

경포호 서식 연체동물 유전자원 조사를 통한 환경변화 모니터링 기초자료 확보

신현준[1,2], 정준양[1,2], 홍찬의[1,2], 김용태[1,2], 이혁[1], 장이선[1], 상민규[2,3], 박지은[2,3], 송대권[2,3], 박홍석[4], 조용훈[1,2], 이준상[2], 이용석[1,2,3]

[1]순천향대학교 자연과학대학 생명과학과, [2]한국자생동물자원활용 융복합연구소, [3]생명자원 바이오빅데이터 분석 및 활용 연구지원센터, [4](주)지앤시바이오

Acquisition of Basic Data for Environmental Change Monitoring through the Investigation of Genetic Resources of Molluscs Inhabiting Gyeongpo Lake

Hyeon Jun Shin[1,2], Jun Yang Jeong[1,2], Chan Eui Hong[1,2], Yong Tae Kim[1,2], Hyeok Lee[1], Yi Seon Jang[1], Min Kyu Sang[2,3], Jie Eun Park[2,3], Dae Kwon Song[2,3], Hong Seog Park[4], Yong Hun Jo[1,2], Jun Sang Lee[2] and Yong Seok Lee[1,2,3]

[1]*Department of Biology, College of Natural Sciences, Soonchunhyang University, Asan, Chungnam, 31538, South Korea*
[2]*Korea Native Animal Resources Utilization Convergence Research Institute (KNAR), Soonchunhyang University, Asan, Chungnam, South Korea*
[3]*Research Support Center for Bio-Bigdata Analysis and Utilization of Biological Resources, Soonchunhyang University, Asan, Chungnam, South Korea*
[4]*Research Institute, GnC BIO Co., LTD., 621-6 Banseok-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 34069, Korea*

ABSTRACT

In this study, a list of mollusca species was obtained by reviewing previous reports from 1997 to 2018. Also, the survey to fundamental data for monitoring environmental changes on mollusca inhabiting Gyeongpo Lake was conducted in May 2023. Precedent research was reviewed using databases such as ScienceOn (Web based DB) and NTIS, from 1997 to 2018. We confirmed that 19 species of 16 families of 11 orders have been reported.
In this study, 5 species of 4 families were found; *Magallana gigas* (Bivalvia: Ostreidae), *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia: Mytilidae), *Arcuatula senhousia* (Bivalvia: Mytilidae), *Potamocorbula amurensis* (Bivalvia: Corbulidae), and *Batillaria cumingii* (Gastropoda: Batillariidae). The relationship between salinity change and the appearance of mollusca is not clear, according to previous studies as 7.4‰ in 1997, and in this study, it was confirmed that the salinity had 22-30‰. As a result of morphological identification and molecular phylogenetic analysis (Cytochrome Oxidase I (CO1)) of the collected mollusca, they were confirmed to be the same species. Comparative analysis with previously analyzed sequences, subtle genetic differences within the same species were confirmed. Taken together, it can be used for basic research related to species identification of molluscs living in lagoons and follow-up research related to DNA barcoding.

Keywords: Gyeongpo Lake, Environmental change, Mollusca, DNA Barcode, CO1

서 론

석호 (lagoon) 는 전 세계적으로 약 13%를 차지하며 독특한 해양 생태계로 학술적 가치가 높다 (Josefina Garrido. *et al.*, 2011). 연구 대상인 석호는 동해안에 7 곳이 형태를 보존하고 있으며, 한반도 북쪽에서 남쪽으로 화진포, 송지호, 광포호, 영랑호, 매호, 향호, 경포호가 위치하고 있는 것으로 알려져 있다 (Yoon *et al.*, 2008). 석호는 담수, 해양 및 기수성 환경으로 생물다양성이 높은 곳으로 평가되며 다양한 연구가 선행되었다 (Park *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2017). 본 연구의

Received: December 16, 2023; Revised: December 26, 2023; Accepted: December 31, 2023
Corresponding author: Yong Seok Lee
Tel: +82 (41) 530-3040, e-mail: yslee@sch.ac.kr
1225-3480/24850
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.

Fig 1. Location indicated on satellite image.

대상지인 경포호는 1986 년부터 선행 연구된 기록을 확인할 수 있었으며, 현재까지는 조류 (Park *et al*., 2002; Cho and Choi, 2018), 어류 (Park *et al*., 2006), 양서·파충류 (Lim and Jung, 2018), 대형무척추동물 (Bae and Kang, 2018), 플랑크톤 (이진환, 1988; Lee and Lee, 2014) 등 다양한 생물 다양성 및 생태를 주제로 많은 연구가 진행되었다. 또한, 원주지방환경청은 경포호에 대한 장기적인 모니터링 및 관리 이행 보고서를 발간한 바 있다 (원주지방환경청, 1997; 원주지방환경관리청, 2002; 원주지방환경청, 2003; 원주지방환경청, 2006; 원주지방환경청, 2008; 원주지방환경청, 2017; 원주지방환경청, 2020).

지속가능한 관리 및 활용을 위해서는 서식지 내 생물다양성을 파악하는 일이 중요하다. 그 중 연체동물은 저서환경 변화에 매우 민감하며, 기질 특성에 따른 분포 양상 및 유생의 서식처 선택 등 환경의 대표성을 잘 나타내는 지표종으로 알려져 있다 (Yoon *et al*., 2009; Hwang, 2014). 이러한 선행 연구들은 최근 도시개발사업 및 기후변화 예측, 생물지리학적 장기 예측·관리시스템의 기초자료로 활용되고 있다 (김병도 *et al*., 2012; 김내수 *et al*., 2013). 그러나 선행 연구 결과, 동정 방법은 도감 및 외부형질만을 활용하여 이루어지고 있었으며, 유전자 분석법을 활용한 2차 동정 및 검증은 미비한 상황이었다. 외부형질을 활용한 종 동정은 과거 폭넓게 이루어진 방법이지만 크기, 동종이형, 지리적 환경 차이 등으로 종을 식별하는데 어려움이 발생할 수 있다 (Cho, 2023). 최근 이러한 영향을 최소화하기 위해 유전자 마커 및 생물정보학 분석을 활용한 방법이 폭넓게 이루어지고 있으나 (Conde-Padín *et al*., 2007; Nicolas Puillandre. *et al*., 2009; Urdy *et al*., 2010; Scalici *et al*., 2016), 기수 및 석호에서 서식하는 연체동물 유전자원 연구는 미비한 실정이다 (Habib *et al*., 2021). 따라서 본 연구는 경포호에 서식하는 연체동물 조사 및 연구를 통해 석호에 서식하는 연체동물의 참조 데이터를 구축하여 DNA 바코드 연구 등 분자생물학적 기초 자료를 확보하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 구역 및 시기

경포호는 강원도특별자치도 강릉시 (37º 47’ 50”N, 128º 54’ 10”E) 에 위치하고 있다. 현장 조사는 2023년 05월 12일 1회에 걸쳐 경호교 (A site) 와 경포가시연습지 인근 (B site) 에서 수행하였다.

2. 채집 및 처리 방법

현장에서 채망과 손을 활용하여 샘플을 채집하였고, 아이스박스를 이용하여 연구실로 운반하였다. 이후 시료 전처리를 위해 동정 (민덕기 *et al*., 2004) 및 국가생물종목록의 분류체계에 따라 종 목록을 정리하였다 (Park *et al*., 2020). 동정한 샘플은 DNA 분석을 위해 해부하여 whole body 또는 tissue를 분리하였고 증류수에 2회 세척하였다. 이후 약 80% 알코올로 보관하였다.

3. Total DNA 추출

DNA 추출은 DNeasy Blood & Tissue Kits (QIAGEN, Germany) 를 활용하였고, 제조사에서 제공하는 매뉴얼에 따라 수행하였다. 시료 전처리를 위해 샘플 (약 25 mg 이하) 을 작은 조각으로 자른 뒤, 각 2시간 동안 Air dry/DW incubating/Air dry 처리하였다. 전처리가 끝난 샘플은 1.5 ml microcentrifuge

Table 1. Location information

조사 위치	광역시·도	시군구	도로명 주소	위도 (N)	경도 (E)
A	강원특별자치도	강릉시	강문동 264	37° 47’ 53.72”	128° 54’ 38.57”
B			운정동 984	37° 47’ 26.99”	128° 54’ 01.66”

tube에서 ATL 버퍼 180 μl와 proteinase K 20 μl를 분주 및 vortexing하고 56℃에서 배양하였다. 배양된 혼합액에 AL 버퍼 200 μl과 에탄올 (96-100%) 200 μl를 넣고 inverting하였다. 혼합물은 Collection tube에 결합된 DNeasy Mini spin Column 안으로 분주하였다. 1분 동안 8000 rpm (≥ 6000 x g)으로 원심분리하여 유출액이 담긴 Collection tube를 버렸다. 기존의 DNeasy Mini spin Column은 새로 준비한 Collection tube와 결합하고 AW1 버퍼 500 μl를 첨가하여 1분 동안 8000 rpm (≥ 6000 x g)으로 원심분리하였다. 유출액이 담긴 Collection tube는 버리고 DNeasy Mini spin Column을 새로 준비한 Collection tube에 넣고, AW2 버퍼 500 μl를 첨가하고 3분 동안 14,000 rpm (≥ 20,000 x g)으로 원심분리를 하였다. Collection tube는 유출액과 함께 버린 후, DNeasy Mini spin Column을 새로 준비한 1.5ml microcentrifuge tube로 옮겼다. Buffer AE 50 μl를 DNeasy Mini spin Column 중앙에 추가한 뒤 실온 (20-22℃) 에서 1분 동안 배양하였다. 이후 1분 동안 8000 rpm (≥ 6000 x g) 으로 원심분리하였다.

4. Polymerase Chain Reaction (PCR) 반응조건

추출한 DNA를 CO1 universal primer를 사용하여 증폭하였다 (Table 2, Folmer *et al*., 1994). PCR 반응은 PCRBIO HS Taq DNA Polymerase (PCR Biosystems Ltd, Royal College Street, London) 를 사용하였으며, 반응 조건은 다음과 같다. HS-Taq 0.2 μl, 10X buffer 2 μl, 각각 2.5mM의 dNTP 2 μl, 10pmole Primer F/R 각 1 μl, genomic DNA 3 μl, DW 10.8 μl로 Total volume은 vial당 20 μl를 맞추었다. PCR조건은 96℃에서 5분 동안 denaturation을 진행한 후, 96℃에서 30초, 50℃/45℃/42℃에서 30초, 72℃에서 1분으로 40 cycles 반복하였다. 마지막으로 72℃에서 7분 동안 extension을 진행하고 4℃에서 종료하였다.

5. Cytochrome c oxidase subunit I (CO1) data의 서열 확보 및 종간 유연관계 분석

Next Generation Sequencer 3730xl을 이용해 분석을 실시하였다. 양방향으로 시퀀싱된 abI 파일들은 Phred 프로그램 (Ewing and Green, 1998; Ewing *et al*., 1998) 의 phred score 20의 조건으로 base calling한 후, FASTA 포맷으로 변환하였다. FASTA 파일은 cap3 프로그램 (Huang and Madan, 1999) 을 사용하여 assembly하여 최종적으로 CO1서열을 확보하였다. CO1 서열들은 NCBI와 본 연구실에서 구축한 PANM Database (Ver 5.1) (Kang *et al*., 2015; Kang *et al*., 2016; Kang *et al*., 2019; Sang *et al*., 2021; Jeong *et al*., 2022; Song *et al*., 2023)을 활용하여 annotation을 수행하였다. ClustalX2 (Larkin *et al*., 2007) 프로그램을 이용하여 다중 정렬을 진행하고, 이를 기반으로 MEGA 11 version 11.0.13 (Tamura *et al*., 2021) 프로그램을 통해 Maximum likelihood (bootstrap 1000) 방식으로 Phylogenetic tree를 도식화하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서 확인된 연체동물은 총 4목 4과 5종이며, 분류군별로 복족강 (Gastropoda) 1 종, 이매패강 (Bivalvia) 4 종이 관찰되었다 (Table 3). 모두 기수성 종으로 Site 1에서 4과 5 종, Site 2 에서 3 과 4 종으로 중복으로 관찰된 종은 쇄방사늑조개 (*Potamocorbula amurensis*), 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*), 종밋 (*Arcuatula senhousia*), 굴 (*Magallana gigas*)이다. 댕가리 (*Batillaria cumingii*)는 Site 1에서만 관찰되었다.

선행된 연구결과에 의하면 경포호에서 관찰된 연체동물은 10 목 14 과 18 종으로 복족강 12종, 이매패강 6종으로 확인하였다 (원주지방환경청, 1997; 원주지방환경청, 2008; 원주

Table 2. CO1 primers used in this study

Site	Primer name	Sequence (5' - 3')	Direction
CO1	LCO1490	GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG	Forward
	HCO2198	TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA	Reverse

Table 3. Collected mollusca from the Gyeongpo lake

목 (Order)		과 (Family)		종 (Species)	국명 (Korea name)
-	-	Batillariidae	갯고둥과	*Batillaria cumingii*	댕가리
Myoida	우럭목	Corbulidae	쇄방사늑조개과	*Potamocorbula amurensis*	쇄방사늑조개
Mytiloida	홍합목	Mytilidae	홍합과	*Mytilus galloprovincialis*	지중해담치
				Arcuatula senhousia	종밋
Ostreoida	굴목	Ostreidae	굴과	*Magallana gigas*	굴

Table 4. Records of past and present mollusca fauna by 1997-2023 (years)

강 (Class)	과 (Family)		종 (Species)	국명 (Korea name)	1997	2008	2013	2016	2018	2023	비고 (Remark)
Gastropoda 복족강	Viviparidae	논우렁이과	*Cipangopaludina chinensis malleata*	논우렁이	+						
	Physidae	왼돌이물달팽이과	*Physa acuta*	왼돌이물달팽이					+		담수성
	Planorbidae	또아리물달팽이과	*Hippeutis cantori*	수정또아리물달팽이					+		
			Gyraulus convexiusculus	또아리물달팽이	+						
	Iravadiidae	깨고둥붙이과	*Nozeba ziczac*	기수깨고둥붙이		+					
	Assimineidae	기수우렁이과	*Assiminea lutea*	좀기수우렁이		+	+				기수성
			Assiminea japonica	기수우렁이					+		
	Barleeiidae	깨고둥과	*Ansola angustata*	깨고둥			+				
			Ansola sp.	깨고둥 sp.				+			
	Nassariidae	좁쌀무늬고둥과	*Nassarius livescens*	좁쌀무늬고둥				+	+		해수성
	Buccinidae	물레고둥과	*Volutharpa ampullacea*	꼬마수랑					+		
	Batillariidae	갯고둥과	*Batillaria cumingii*	댕가리					+	+	
Bivalvia 이매패강	Corbulidae	쇄방사늑조개과	*Potamocorbula amurensis*	쇄방사늑조개			+			+	기수성
	Psammobiidae	자패과	*Nuttallia ezonis*	흑빛자패		+					
	Mytilidae	홍합과	*Mytilus galloprovincialis*	지중해담치		+		+		+	
			Arcuatula senhousia	종밋		+	+	+	+	+	해수성
	Ostreidae	굴과	*Magallana gigas*	굴		+			+	+	
	Veneridae	백합과	*Ruditapes philippinarum*	바지락					+		

지방환경청, 2017; Bae and Kang, 2018). 본 연구 결과 및 선행 연구를 비교하였을 때 출현 종은 일치하나 다양성은 적게 관찰되었다. 최대 종 다양성은 2018 년 조사에서 가장 높았으나, 종 수의 차이는 조사 시기 및 빈도, 채집 구역, 방법 등의 차이로 사료된다 (Table 4).

경포호는 도시개발 및 제방 및 수면 보 조성 등 여러 영향으로 인해 염도가 지속적으로 변화한 것으로 알려져 있다 (Heo *et al*., 1999; 박상덕, 2002; Lee and Lee, 2014; Kwak *et al*., 2015). 본 연구에서 수행한 염도는 경호교 (A site) 는 30 ‰, 경포가시연습지 인근 (B site) 는 22 ‰로 나타났다. 1997 년 기록된 경포호의 염도는 7.4‰로 (원주지방환경청, 1997), 현재와 비교하였을 때 14.6-22.6‰로 큰 차이를 나타냈다. 또한, 각 년도별 조사된 염도를 산점도로 표현하였을 때의 염도는 지속적으로 상승하고 있는 것으로 사료된다 (Fig 2) (원주지방환경청, 1997; 원주지방환경청, 2003; 원주지방환경청, 2008; 허우명, 2013). 채집한 쇄방사늑조개 (*P. amurensis*), 지중해담치 (*M. galloprovincialis*), 종밋 (*A. senhousia*), 굴 (*M. gigas*), 댕가리 (*B. cumingii*) 5 종을 대상으로 NCBI 공

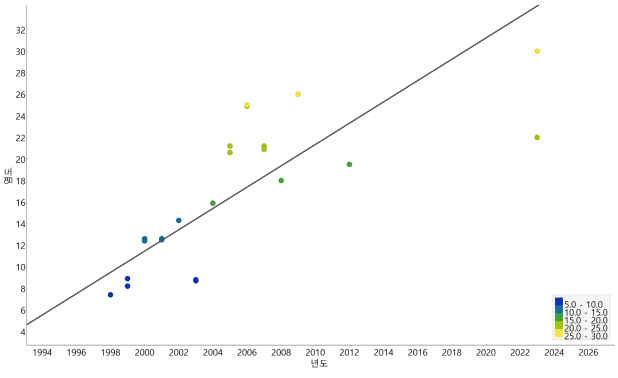

Fig 2. Changes in Gyeongpo-lake salinity (1998 – 2023). In this study, the changes in Gyeongpo-lake salinity was constructed through precedent research review from 1994 to 2012 and this study. The results show a continuous increase. Salinity changes; 7.4‰ in 1998, 8.9‰ and 8.2‰ in 1999, 12.4‰ and 12.6‰ in 2000, 12.5 and 12.6‰ in 2001, 14.3‰ in 2002, 8.8‰ and 8.7‰ in 2003, 2004 15.9‰, 20.6‰ in 2005 and 21.2‰, 24.9‰ in 2006, 20.9 and 21.2‰ in 2007, 18‰ in 2008, 26‰ in 2009, 19.5‰ in 2012, 22‰ and 30‰ in 2023.

Table 5. Status of Batillariidae, Corbulidae, Mytilidae, Ostreidae genetic sequence data in NCBI

과 (Family)		Nucleotide	CO1	Protein	SRA	Genome
Batillariidae	갯고둥과	1,331	266	30,156	50	1
Corbulidae	쇄방사늑조개과	220	63	124	4	0
Mytilidae	홍합과	452,888	9683	300,891	5,320	12
Ostreidae	굴과	652,176	2065	281,154	14,720	12

공 데이터베이스를 확인한 결과 전체 유전정보는 Nucleotide 1,106,615, CO1 (Cytochrome c oxidase subunit I) 12,077, Protein 612,325, SR 20,094, Genome 25로 확인하였다 (2023.12.26.). 댕가리 (*B. cumingii*), 지중해담치 (*M. galloprovincialis*), 굴 (*M. gigas*) 은우리나라 연안의 조간대 또는 조하대에서 쉽게 관찰 가능하지만 형태적 유사성으로 인해 다른 종으로 오인하기 쉽다. 또한 환경 영향으로 외형적인 특징이 달라지거나 패각이 깨지는 등의 영향으로 형태적으로 동정이 필요할 때 오동정의 문제가 발생할 수 있다. 관련 정보 및 형태학적으로 동정한 샘플을 활용하여 분자 계통 분석을 진행하였고, 그 결과 일치한 결과를 나타냈다 (Fig 4). 본 연구 결과에서 확인된 유전 분석 데이터 (mtCO1) 는 연체동물의 분자 동정을 하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

결 론

선행연구에 의하면 경포호에는 연체동물이 10 목 14 과 18 종 (복족류 12 종, 이매패류 6 종) 이 관찰된 것으로 알려진 바 있으나, 본 연구에서는 4 과 5 종 (복족류 1 종, 이매패류 4 종) 으로, 쇄방사늑조개 (*P. amurensis*), 지중해담치 (*M. galloprovincialis*), 종밋 (*A. senhousia*), 굴 (*M. gigas*), 댕가리 (*B. cumingii*) 가 관찰되었다. 염도 변화와 연체동물상의 상관관계를 명확하게 확인할 수는 없었지만, 1997년 기록된

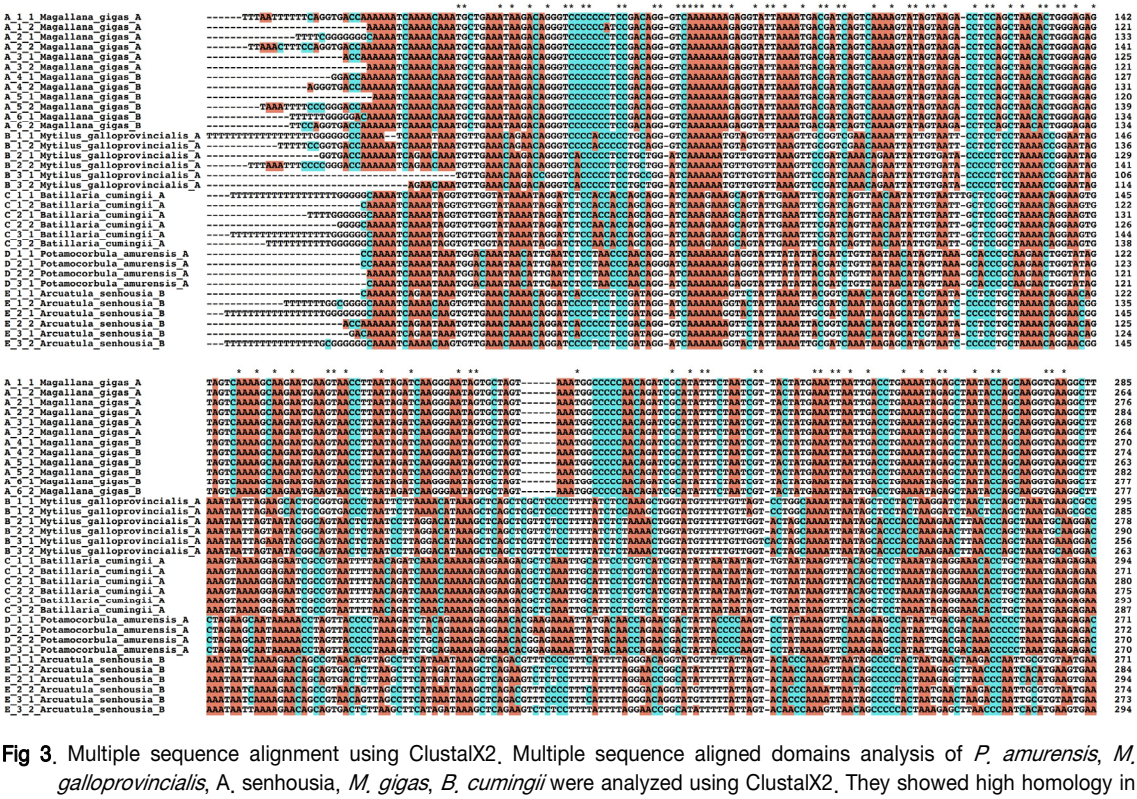

Fig 3. Multiple sequence alignment using ClustalX2. Multiple sequence aligned domains analysis of *P. amurensis*, *M. galloprovincialis*, A. senhousia, *M. gigas*, *B. cumingii* were analyzed using ClustalX2. They showed high homology in conserved domains indicated by asterisk (*).

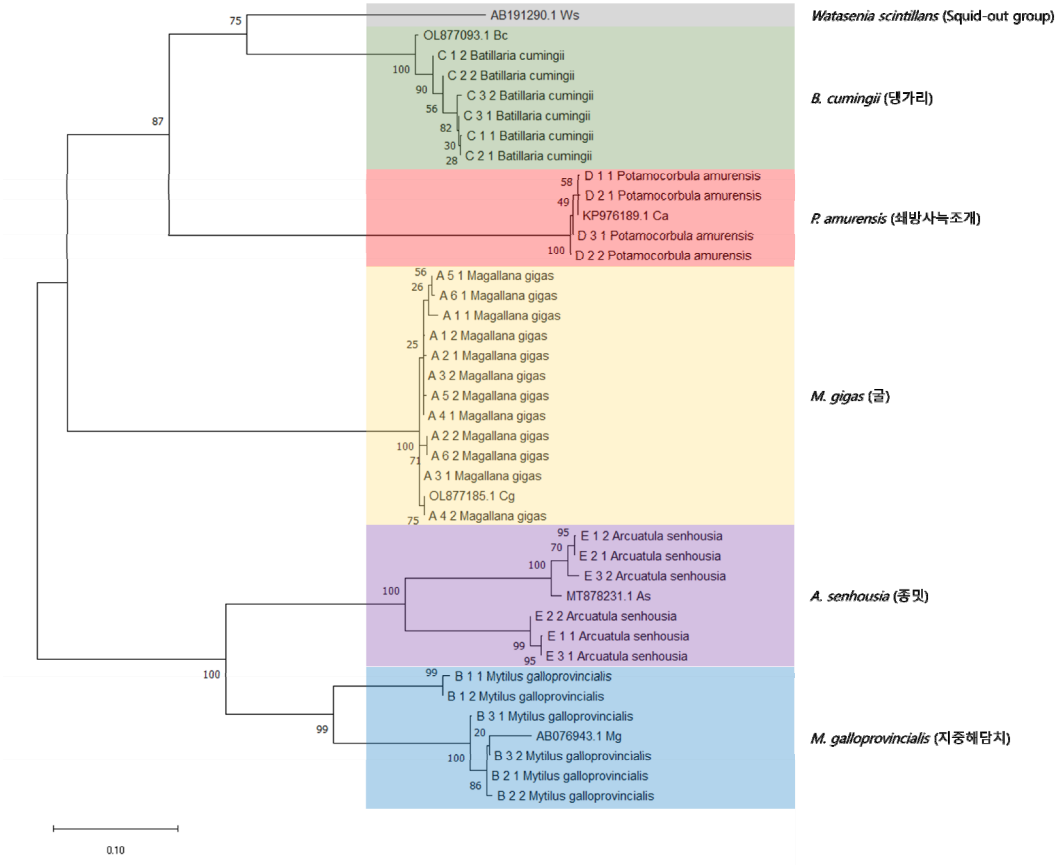

Fig 4. Molecular phylogenetic analysis using MEGA_64 (Maximum Likelihood method).

7.4‰에서 현재 22-30‰로 염도가 상승하고 있는 것으로 나타났다. 채집된 연체동물의 형태 및 분자계통분석 (Cytochrome Oxidase 1 (CO1)) 결과 동일한 종으로 확인되었으며, 기존에 분석된 서열과 비교한 결과 동일 종 내 미세한 유전적 차이점이 확인되었다. 이러한 결과는 형태 및 분자 동정을 통한 종 검증 및 석호에 서식하는 연체동물의 유전 데이터 구축을 통해 DNA 바코드 관련 후속 연구의 선행 연구로서 추후 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 교육부에서 지원하는 지역대학 우수과학자 (한국연구재단, NRF-2017R1D1A3B03034971), 중점연구소 (NRF-2021R1A6A1A03039503) 및 국가연구시설장비진흥센터 (2022R1A6C101B794), 순천향대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행하였습니다.

REFERENCES

Bae, K.S., and Kang, M.H. (2018) Water Quality Environments and Benthic Macroinvertebrates at the Gyeongpo Provincial Park (Gyeongpo Reservoir · Soonpo Wetland) in Korea. *Korean Journal of Nature Conservation,* **17**(1): 1-32.

Brent Ewing., and Green., P. (1998) Base-calling of automated sequencer traces using phred. II. Error probabilities. *Genome Research,* **8**(3): 186-194.

Brent Ewing., LaDeana Hillier., Michael C. Wendl., and Green., P. (1998) Base-calling of automated sequencer traces using phred. I. Accuracy assessment. *Genome Research,* **8**(3): 175-185.

Cho, S.-R., and Choi, H.-I. (2018) Avifauna and Maintenance Strategy of Gyeongpo Lake, Gangneung. *Korean Journal of Nature Conservation,* **17**(1): 45-54.

Cho, S.H., Yang, In Ho., Khim, Jong Seong., Park, Jin Soon. (2023) First confirmed report of *Nassarius sinarum* (Mollusca, Gastropoda) in Korea. *Biodiversity Data Journal,* **11**: e99661.

Conde-Padín, P., Grahame, J.W., and Rolán-Alvarez, E. (2007) Detecting shape differences in species of the

Littorina saxatilis complex by morphometric analysis. *Journal of Molluscan Studies,* **73**: 147-154.

Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., and Vrijenhoek, R. (1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.*, **3**: 294-299.

Habib, K.A., Neogi, A.K., Rahman, M., Oh, J., Lee, Y.-H., and Kim, C.-G. (2021) DNA barcoding of brackish and marine water fishes and shellfishes of Sundarbans, the world's largest mangrove ecosystem. *PLOS ONE,* **16**: e0255110.

Heo, W.-M., Kim, B.C., and Jun, M.-S. (1999) Evaluation of Eutrophication of Lagoons in the Eastern Coast of Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment,* **32**(2): 141-151.

Hwang, H.S., Han, Jeong Ho., Paek, Woon Kee., Lee, Seok Hyun. (2014) A Study on Biodiversity of Benthic Invertebrate in the Namhae Island Coast. *Korean Journal of Environment and Ecology,* **24**(2): 106-107.

Jeong, J.Y., Park, J.E., Song, D.K., Hong, C.-E., Kim, Y.T., Shin, H.J., Liu, Z., Jo, H., Sang, M.K., Patnaik, H.H., Bharat Bhusan Patmaik., Kang, S.W., Park, S.Y., Lee, J.S., Han Yeon Soo., Park, H.S., and Lee, Y.S. (2022) PANM DB ver 5.0: An update of PANM, Database for invertebrate NGS data analysis. *Korean Journal of Malacology,* : 267-267.

Josefina Garrido., Amaia Pérez-Bilbao., and Benetti., C.J.o. (2011) Biodiversity and Conservation of Coastal Lagoons pp. Intech.

Kang, S.W., Park, S.Y., Patnaik, B.B., Hwang, H.J., Chung, J.M., Song, D.K., Park, Y.-S., Lee, J.S., Han, Y.S., and Park, H.S. (2016) The Protostome Database (PANM-DB): Version 2.0 release with updated sequences. *The Korean Journal of Malacology,* **32**: 185-188.

Kang, S.W., Park, S.Y., Patnaik, B.B., Hwang, H.J., Kim, C.M., Kim, S.O., Lee, J.S., Han, Y.S., and Lee, Y.S. (2015) Construction of PANM Database (Protostome DB) for rapid annotation of NGS data in Mollusks. *The Korean Journal of Malacology,* **31**(3): 243-247.

Kang., S.W., Park, S.Y., Hwang, H.J., Chung, J.M., Sang, M.K., Min Hye Rin., Park, j.e., Cho, H.C., Bharat Bhusan Patnaik., and Lee., Y.S. (2019) PANM DB ver 3.0: an update of the bioinformatics database for annotation of large datasets from sequencing of species under Protostomia clade. *Korean Journal of Malacology,* **35**: 73-75.

Kim, J.-H., Kim, S.-Y., Hong, J.-K., Nam, G.-H.A., Ji-Hong.,, Lee, B.Y., and Kim, J.-S. (2017) Floristic study of lagoon areas on the eastern coast in Korean peninsula. *Korean Journal of Plant Taxonomy,* **47**: 51-93.

Kwak, S.J., Bhattrai Bal Dev., Choi, K.S., and Myung., H.W. (2015) Long-term Variations of Water Quality Parameters in Lake Kyoungpo. *Korean Journal of Ecology and Environment,* **48**(2): 95-107.

Larkin, M.A., Blackshields, G., Brown, N.P., Chenna, R., McGettigan, P.A., McWilliam, H., Valentin, F., Wallace, I.M., Wilm, A., and Lopez, R. (2007) Clustal W and Clustal X version 2.0. *bioinformatics,* **23**(21): 2947-2948.

Lee, E.J., and Lee, K.S. (2014) Changes of Phytoplankton Community with Inflow of Sea Water in Gyoungpo Lake Comparison between 1998 and 2012. *Korean Journal of Ecology and Environment,* **47**: 48-56.

Lim, H.Y., and Jung, J.H. (2018) The Amphibia and Reptila Fauna around Gyeongpo Provincial Park. *Korean Journal of Nature Conservation,* **17**(1): 55-74.

Nicolas Puillandre., Michel Baylac., Marie-Catherine Boisselier., Corinne Cruaud., and valentin, F. (2009) An integrative approach to species delimitation in Benthomangelia (Mollusca: Conoidea). *Biological Journal of the Linnean Society,* **96**: 696-708.

Park, J.M., Choe, S.G., and Kim, S.I. (2002) A Study on the Bird Diversity of Gang-neung Watersheds Region. *The Korean Journal of Ornithology,* **9**(2): 123-133.

Park, J.S., An, J.-H., Kim, Y.S., Kim, D.H., Yang, B.-G., and Kim, T.H. (2020) Database of National Species List of Korea: the taxonomical systematics platform for managing scientific names of Korean native species. *Journal of species research* **9**(3): pp.233-246.

Park, S.-C., Jang, Y.-S., Lee, K.-Y., Choi, J.-S., and Choi, J.-K. (2006) The Characteristics of Ichthyofauna and Fish Community in the Lagoon Gyeongpo, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment,* **39**: 157-166.

Park, S.C., Jang, Y.S., Lee, K.Y., Heo, W.Y., Cho, K.H., and Choi, J.S. (2014) Analysis of Fish Community of Lagoons in the East Seashore According to Hydrach Succession. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**: 83-99.

Sang, M.K., Park, J.E., Song, D.K., Jeong, J.Y., Hong, C.-E., Kim, Y.T., Hwang, H.J., Kang, S.W., Park, S.Y., Lee, J.S., Han, Y.S., Park, H.S., and Lee, Y.S. (2021) PANM DB ver 4.0: an update of the bioinformatics database for annotation of large datasets from sequencing of species under Invertebrates. *Korean Journal of Malacology* **37**(1): 33-36.

Scalici, M., Traversetti, L., Spani, F., Bravi, R., Malafoglia, V., Persichini, T., and Colasanti, M. (2016) Using 3D virtual surfaces to investigate molluscan shell shape. *Aquatic Living Resources,* **29**: 207.

Song, D.K., Sang, M.K., Park, J.E., Jeong, J.Y., Hong, C.-E., Kim, Y.T., Shin, H.J., Liu, Z., Lee, H., Hongray Howerelia PATNAIK., Bharat Bhusan Patnaik., Jo, Y.H., Park, S.Y., Kang, S.W., and Lee, Y.S. (2023) An update of PANM database- version 5.1 for filtering the contaminating fungal gene sequences from molluscan transcriptome data. *The Korean Journal of Malacology,* **39**(1): 1-4.

Tamura, K., Stecher, G., and Kumar, S. (2021) MEGA11:

Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution,* **38**(7): 3022-3027.

Urdy, S., Goudemand, N., Bucher, H., and Chirat, R. (2010) Growth-dependent phenotypic variation of molluscan shells: implications for allometric data interpretation. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution,* **314B**: 303-326.

Xiaoqiu Huang., and Madan., A. (1999) CAP3: A DNA sequence assembly program. *Genome Research* **9**(9): 868-877.

Yoon, K.-T., Seo, I.-S., Kim, K.B., Choi, B.-M., and Son, M.H. (2009) Community Structure of Macrobenthic Fauna in the Hallyeohaesang National Park from Korea Strait, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology,* **27**(1): 125-134.

Yoon, S.-O., Hwang, S.I., Park, C.-S., Kim, H.-S., and Moon, Y.-R. (2008) Landscape Changes of Coastal Lagoons during the 20th Century in the Middle East Coast, South Korea. *Journal of the Korean Geographical Society,* **43**(4): 449~465.

김내수, 표철식, 오충현, and 김은식 (2013) 생태계 변화 모니터링과 IoT 융합 기술 동향. 한국전자통신연구원

김병도, 강신구, 유성태, 신현탁, 박기환, 이명훈, 윤정원, 김기송, and 성정원. (2012) 가야산국립공원 식물종의 생물계절성 연구. *기후연구,* **7**: 174-186.

민덕기, 이준상, 고동범, and 제종길. (2004) 한국패류도감 pp. 1-566, 한글

박상덕. (2002) 경포호(鏡浦湖)의 변천. *대한토목학회지,* **50**(4): 52-56.

원주지방환경관리청 (2002) 생태계 변화관찰 보고서

원주지방환경청 (1997) 동해안 3개 석호 자연생태계 조사 연구용역사업

원주지방환경청 (2003) 석호(潟湖) 연구 보고서(Ⅲ)

원주지방환경청 (2006) 2004~2005 생태계 변화관찰 보고서

원주지방환경청 (2008) 동해안 석호 보전 및 복원을 위한 생태계 정밀조사 및 관리방안 연구

원주지방환경청 (2017) 2016년 호소환경 및 생태조사 연구(괴산호, 충주호조정지, 경포호)

원주지방환경청 (2020) 2019년 호소환경 및 생태조사(경포호, 괴산호, 충주조정지댐, 화천호, 소양호, 춘천호)

이진환. (1988) 경포호의 식물플랑크톤군집의 분류학적 연구. *한국하천호수학회지,* **21**(3): 201-201.

허우명 (2013) 경포호의 수질과 수환경 관리방안 하천과 문화. 한국하천협회, pp 31-38.