

기본연구 최종보고서

① 부처사업명(대)	기초연구사업	보안등급(보안, 일반)	일반					
② 사업명(중)	기본연구	공개가능여부(공개, 비공개)	공개					
③ 세부사업명(소)	기본연구							
④ 과제성격(기초, 응용, 개발)	기초	④-1 실용화 대상여부(실용화, 비실용화)	비실용화					
⑤ 연구개발과제명	국문	동해 해양환경변화에 의한 해양생태계 먹이망 구조 변동 연구						
	영문	Variation of food web structure in East Sea marine ecosystem in relation to oceanographic changes						
⑥ 주관연구개발기관	한국해양과학기술원							
⑦ 연구책임자	성명	박주면	직급(직위) 책임연구원					
	소속부서	독도전문연구센터	전공 해양생태학					
⑧ 연구개발비 및 참여연구원수 (단위: 천원, M·Y)								
연도	정부지원 연구개발비 (A)	기업체부담금			정부외 출연금 (B)	상대국 부담금 (F)	합계 G=(A+B+E)	참여 연구원수
		현금 (C)	현물 (D)	소계 E=(C+D)				
1년차	37,500			0			37,500	2
2년차	50,000			0			50,000	1
3년차	50,000			0			50,000	1
4년차				0			0	
5년차				0			0	
합계	137,500	0	0	0	0	0	137,500	4
⑨ 총연구개발기간	2020. 06. 01 ~ 2023. 02. 28 (57개월)							

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 3월 30일

연구책임자 : 박 주 면

주관연구개발기관의 장 : 강 도 형

과학기술정보통신부장관 귀하

※ 전자접수이므로 연구책임자 및 주관연구개발기관의 장 서명(인, 직인)은 생략

〈 연구결과 요약문 〉

연구개요	<p>생물 다양성과 생태계 지위가 복잡한 해양생태계는 외부의 영향에 매우 변동성이 크며, 그 영향을 지속되기 쉽다. 해양생태계의 먹이망 구조의 연구는 생물종 상호관계를 정량화하고 해양생물 군집 변동을 예측하는 생태계 모델링을 구축하기 위해 중요한 자료가 된다. 본 연구는 포식자(어류)의 소화관내용물 분석과 포식자 및 먹이생물 종의 안정동위원소 분석을 통하여 현재 동해 주변 해역 해양생태계의 정량적 먹이망 구조를 밝히고, 동해 해양환경(수주구조) 변화에 따라 이러한 먹이망 구조에서 어떤 변화가 발생할지 연구하였다. 1) 동해 중장기 해양환경변화와 생물상변화 탐색, 2) 포식자와 피식자의 소화관내용물과 안정동위원소(탄소 및 질소) 분석 결과를 통합하여 해양생태계 먹이망 구조 정량적 해석, 3) 동해 연안 수괴 구조 변동에 따른 먹이망 구조의 변동성 분석</p>
연구 목표대비 연구결과	<p>I. 동해 중장기 해양환경변화와 생물상변화 탐색</p> <p>○ 장기간 수온관측자료와 위성영상 자료를 바탕으로 동해 수온변동 파악</p> <p>지난 약 40년간 우리나라 남해와 동해의 표층 수온은 점점 증가하는 경향을 나타냈다. 겨울철 12℃ 등온선은 동해 남부 연안역을 따라 지속적으로 북상하였으며, 주로 여름철 동해 남부해역에 위치하는 22℃ 등온선은 2010년대에 북위 40N 부근까지 북상하였다. 이처럼 남해와 동해 연안의 상층부 수온은 지속적으로 상승함과 동시에 고온 수괴의 boundary는 점차 고위도 지역으로 북상하였다.</p> <p>○ 문헌자료와 어업생산 자료를 바탕으로 동해 수온변동에 따른 생물상변화 탐색</p> <p>문헌자료에 의하면 지난 30년간(1984-2010) 주요 어획 수산생물(멸치, 고등어, 갈치, 참조기, 살오징어 등)의 어획 위치가 북상하는 경향을 보였고, 소라(<i>Turbo sazae</i>)의 경우 최근 약 10년간(2009-2018) 북방 분포 한계위도가 약 340km 북상하였다.</p> <p>II. 포식자와 피식자의 소화관내용물과 안정동위원소(탄소 및 질소) 분석 결과를 통합하여 해양생태계 먹이망 구조를 정량적으로 해석</p> <p>○ 반복 시료채집을 통한 동해 연안 생태계내 우점종 파악 및 안정동위원소값 분석</p> <p>2020년-2022년 동해 북부(고성), 중부(울진), 외해(울릉도) 연안에서 상위생태계 및 먹이생물 시료를 채집하였다. 고성 연안에서 가장 많이 채집된 어종은 기름가자미(<i>Glyptocephalus stelleri</i>)였고, 그 다음으로 대구(<i>Gadus macrocephalus</i>), 용가자미(<i>Cleisthenes pinetorum</i>), 대구횃대(<i>Gymnocanthus herzensteini</i>) 순이었다. 울진 연안에서도 기름가자미가 가장 많이 채집되었고, 그 다음으로 홍가자미(<i>Hippoglossoides dubius</i>), 용가자미, 대구횃대가 많이 채집되었음. 울릉도 연안에서는 긴꼬리뱅이돔(<i>Girella melanichthys</i>)이 가장 많이 채집되었고, 그 다음으로 말쥐치(<i>Thamnaconus modestus</i>), 띠볼락(<i>Sebastes zonatus</i>), 돌돔(<i>Oplegnathus fasciatus</i>) 순이었다.</p> <p>고성 연안에서 주요 우점종 중 대구횃대가 상대적으로 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 및 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈고, 용가자미가 상대적으로 낮은 값을 나타냈다. 전체 어류 군집내에서 청어(<i>Clupea pallasii</i>)는 가장 낮은 질소 및 탄소 안정동위원소 값을 나타냈다. 울진 연안에서 고무꼭정어(<i>Dasycottus setiger</i>)가 가장 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값, 참홍어(<i>Beringraja pulchra</i>)가 가장 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈으며, 주요 우점종들은 중간 정도의 생태지위를 나타냈다. 그리고 청어와 멸치(<i>Engraulis japonica</i>)가 상대적으로 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 및 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈다. 울릉도 연안에서는 흑돔(<i>Semicossyphus reticulatus</i>)가 가장 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 및 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈고, 쥐치(<i>Stephanolepis cirrhifer</i>)가 가장 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 값, 긴꼬리뱅이돔이 가장 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈다. 계절별로 각 지역에서 주요 우점종들의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 큰 차이를 보이지 않았으나, 고성과 울진 연안에서 용가자미가 고수온기에 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈고, 울릉도 연안에서 돌돔이 저수온기에 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈다. 용존유기물(POM)을 기준으로 고성과 울진 연안 어류군집은 약 7% 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였지만, 울릉도 연안 어류군집은 약 5% 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였다.</p> <p>계절별 고성, 울진, 울릉도 연안 어류군집의 안정동위원소 기반 생태지위를 살펴보면, 고수온기에 울릉도 연안 어류군집이 상대적으로 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였고 울진 연안 어류군집이 상대적으로 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였지만, 저수온기에는 이러한 지역별 차이가 적었다.</p> <p>○ 각 지역별 포식자 소화관 내용물 분석을 통한 포식-피식관계 분석</p> <p>연구기간동안 채집된 각 서식지별 주요 어종의 소화관내용물 분석 결과, 고성 연안에서 출현한 기름가자미는 갯지렁이류(Polychaeta)를 가장 많이 섭식하였고, 대구는 두족류(Cephalopoda)와 어류(Teleostei), 대구횃대는 새우류(Caridea)와 어류, 송곳횃대(<i>Taurocottus bergii</i>)는 어류, 용가자미는 난바다곤쟁이류(Euphausiacea)를 가장 많이 섭식하였다. 울진 연안에서 갯지렁이류와 이매패류(Bivalvia)는 기름가자미의 주요 먹이생물이었고, 두족류와 어류는 대구, 어류는 대구횃대와 용가자미, 갯지렁이류와 거미불가사리류(Ophiuroidea)는 홍가자미의 주요먹이생물이었다. 울릉도 연안에서 긴꼬리뱅이돔은 해조류(Macroalgae), 돌돔은 갯지렁이류, 다판류(Polyplacophora), 이매패류, 띠볼락은 두족류, 말쥐치는 해조류, 쥐치는 새우불이류(Galatheidae)를 주로 섭식하였다</p> <p>○ 동해 연안 생태계내 생물종의 생태지위와 포식-피식관계를 이용한 먹이망 구조 해석</p> <p>포식자 소화관내용물 분석 결과 기반 동해 연안 지역별 최상위 포식자를 살펴보면, 고성 연안에서는 대구, 울진 연안에서는 미거지와 대구횃대, 울릉도 연안에서는 살살치와 띠볼락으로 나타났다. 포식자와 먹이생물의 포식-피식관계 분석에 의하면, 고성 아야진 해역에서 주요 어종의 주요 먹이생물은 단각류(Amphipoda)와 어류(Teleostei), 울진 후포에서는 어류, 새우류(Caridea), 곤쟁이류(Mysidacea), 울릉도 도동에서는 해조류(Seaweed), 단각류, 십각류(Decapoda) 임을 알 수 있었다.</p> <p>III. 동해 연안 수괴구조 변동에 따른 먹이망 구조의 변동성 분석</p> <p>○ 연간, 계절별 수괴구조 변동에 따른 먹이망 구조 차이 해석</p>

	<p>동해 고성, 울진, 울릉도 연안에서 저수온기에 수심별 수온 및 염분은 균일한 상태를 보였지만, 2021년 저수온기에 울진 연안 수심 60m 이하에서 수온이 감소하는 경향을 보였다. 고수온기에 수온은 표층에서 수심이 깊어짐에 따라 일정하였으나, 고성에서는 약 25m, 울진에서는 약 20m, 울릉도에서는 약 50m 이하 수심에서 수온이 감소하는 경향을 보였다. 고수온기에 염분의 지역별, 수심별 변동은 수온과 반대의 경향을 나타냈다.</p> <p>본 연구의 시료채집 수심(약 80m)에서 수온은 울릉도에서 10℃~18℃로 가장 높았고, 고성과 울진에서는 10℃ 보다 낮은 수온을 보였다. 고성에서 수심별 수온과 염분의 연도별 차이는 거의 없었으나, 울진과 울릉도에서 수온과 염분은 저수온기와 고수온기에 모두 연도별 차이를 나타냈다(고수온기 표층수온은 2021년에 더 높음)</p> <p>○ 먹이망 구조에서 일차생산자의 기여도와 상위포식자의 Top-down 영향 분석</p> <p>동해 연안 상위생태계 먹이망 구조와 주요 포식자의 생태지위는 시기 및 공간별 해양환경 차이에 따른 변화를 나타냈다. 동해 북부 명태 개체군의 생태지위는 서식지내 연도별 해양환경 차이(수온 변화)에 따라 주요 먹이자원(euphausia) 현존량의 변화(감소)가 나타났고, 이에 따라 명태 생태지위가 감소하는 현상을 나타냈다. 동해 연안 북부(고성 연안)와 중부(울진 연안)은 수층별 수괴구조에서 차이를 보였는데, 이에 따라 주요 포식자 먹이자원 종류의 차이를 보였다. 그 결과 동해 중부(울진) 연안 어류 군집이 더 높은 영양단계와 저서 먹이원의 높은 기여도를 보였다.</p> <p>이러한 동해 연안에서 해양환경 변화는 단기적으로는 계절 및 위도별 변화, 장기적으로는 기후변화 등이 원인이 될 수 있다. 해양생태계 주요 포식자는 현존량 변화는 먹이자원에 영향을 많이 받기 때문에 해양환경 변화에 따른 먹이 현존량 변화가 해당 먹이생물을 섭식하는 포식자 자원량 및 어업 생산성에 영향을 미칠 수 있다.</p>					
<p>연구개발성과의 활용 계획 및 기대효과 (연구개발결과의 중요성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 어류 소화관내용물 분석 기술을 통하여 해양생태계 서식지에서 이용 가능한 먹이자원 중 소화가 진행되는 분류가 어려운 먹이생물에 대한 보다 높은 분류학적 해상도를 제시 가능 - 안정동위원소 분석 방법을 이용하여 넓은 범위에 분포하는 종(또는 그룹)에 대한 생태지위의 정보를 빠르고 정확하게 분석 가능 - 해양생태계 먹이망 구조의 정확한 해석은 장기간 기후변화 및 해양환경 변화에 따른 해양생태계 반응을 탐지하기 위한 중요한 도구로 제시 - 해양환경 변화가 해양생태계 먹이망 구조 변화에 미치는 영향 연구를 통하여 향후 기후변화에 따른 해양생태계 영향 예측연구를 위한 생태계 모델링 정확도 향상에 기여할 수 있음 - 먹이자원 변동 기반 주요 수산생물 분포 변동 예측을 통한 미래 수산자원 관리 및 어업관리 정책 수립에 기여할 수 있음 - 기후변화에 의한 수산자원 변동 연구의 주제로 인력양성에 기여할 수 있음 - 소화관내용물-안정동위원소 분석을 통합한 해양생태계 먹이망 구조 해석 결과는 관련 분야 국내 상위생태계 먹이망 연구의 질을 높이는데 기여 - 연안 생태계 먹이망 구조와 에너지 흐름에 관한 연구 방법(먹이망 기반 생태계 모델링)을 개선시킬 수 있음 - 기후변화 위기에 대한 국가적 생물다양성 보존 및 생물자원 관리를 위한 중요한 자료로 활용 - 해양생태계 먹이망 기반 상위생태계 변동에 대한 기후변화 영향 연구를 위한 장기간 모니터링 연구의 필요성 제시 					
<p>중심어</p>	<p>국문</p>	<p>먹이망 구조</p>	<p>수주구조</p>	<p>포식-피식관계</p>	<p>안정동위원소</p>	<p>해양환경변화</p>
<p>중심어</p>	<p>영문</p>	<p>Food web structure</p>	<p>Water column structure</p>	<p>Predator-prey relationship</p>	<p>Stable isotope</p>	<p>Oceanographic change</p>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	1
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	2
4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	10
5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	10
6. 자체점검표	10
7. 참고문헌	11
<붙임1 세부 정량적 연구개발성과>	12
<붙임2 연구책임자 대표적 연구실적 및 증빙(요약문 및 사본)>	13

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발의 목적

생물 다양성과 생태계 지위가 복잡한 해양생태계는 외부의 영향에 매우 변동성이 크며, 그 영향을 지속되기 쉽다. 해양생태계의 먹이망 구조의 연구는 생물종 상호관계를 정량화하고 해양생물 군집 변동을 예측하는 생태계 모델링을 구축하기 위해 중요한 자료가 된다(Coll and Libralato, 2012). 본 연구는 포식자(어류)의 소화관내용물 분석과 포식자 및 먹이생물의 안정동위원소 분석을 통하여 현재 동해 주변 해역 해양생태계의 정량적 먹이망 구조를 밝히고, 동해 해양환경(수주구조) 변화에 따라 이러한 먹이망 구조에서 어떤 변화가 발생할지 연구하였다.

2) 연구개발의 필요성

해양생태계 먹이망 구조(food web structure)에 대한 연구는 인간 활동 또는 해양환경변화에 의한 생물다양성 손실과 수산자원 변동을 나타낼 수 있는 대표적인 연구 분야 중 하나이다. 지속적인 어업은 상위 영양단계(trophic level)의 포식자 종을 감소시키고, 간접적으로 전반적인 생태계 영양단계를 낮출 수 있다(Pauly et al., 1998; Ward and Myer, 2005). 또한 기후변화는 해양의 수온상승, 해류의 강도 및 방향의 변화, 수괴구조의 변화 등을 야기하고, 생물상 구조에 영향을 미쳐 피식-포식관계와 먹이망 구조를 변동시킴. 따라서 미래 해양생태계와 생물자원 변화에 대응하기 위해 현시점에서 먹이망 구조 변화 관련 연구는 반드시 필요하다.

3) 연구개발의 내용 및 범위

가. 동해 중장기 해양환경변화와 생물상변화 탐색

- 장기간 수온관측자료와 위성영상 자료를 바탕으로 동해 수온변동 파악
- 문헌자료와 어업생산 자료를 바탕으로 동해 수온변동에 따른 생물상변화 탐색

나. 포식자와 소화관내용물과 안정동위원소(탄소 및 질소) 분석 결과를 통합한 해양생태계 먹이망 구조 정량 해석

- 동해 연안 생태계 내 생물종의 안정동위원소값 분석
- 각 지역별 포식자 소화관내용물 분석을 통한 포식-피식관계 분석
- 동해 연안 생태계 내 생물종의 생태지위와 포식-피식관계를 이용한 먹이망 구조 해석

다. 동해 연안 수괴구조 변동에 따른 먹이망 구조의 변동성 분석

- 연간, 계절별 수괴구조 변동에 따른 먹이망 구조 차이 해석
- 먹이망 구조에서 일차생산자의 기여도와 상위포식자의 Top-down 영향 분석

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 주요 연구 변경사항: 해당없음

2) 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가. 시료채집 및 해양환경 조사

- 조사지역 및 시기: 동해 북부(고성), 중부(울진), 외해(울릉도); 동계와 하계
- 시료채집: 포식자(상용어구), 부유생물(플랑크톤네트), 저서동물(상용어구+그랩샘플러)
- 해양환경(수주구조변동 분석): CTD을 이용한 수심별 수온, 염분, 용존산소 등 측정

나. 포식자의 소화관내용물 조사

- 소화관내용물: 광학현미경을 이용하여 가능한 중 수준까지 동정 후 중량을 측정함
- 분석결과는 전체 먹이생물 중량에 대한 각 먹이생물의 중량비(%W)로 나타냄

다. 탄소($\delta^{13}\text{C}$) 및 질소($\delta^{15}\text{N}$) 안정동위원소 조사

- 분석시료: 포식자 각 개체의 등쪽 근육의 약 $1 \times 1 \times 0.5$ cm (소형 개체와 먹이생물의 경우 몸 전체)을 떼어내어 60°C 로 24-48시간 건조시킨 뒤 분쇄하여 가루로 만들
- 안정동위원소 분석: 안정동위원소질량분석기(IRMS)를 이용하여 분석결과를 각각 탄소(Pee Dee

Belemnite)와 질소(atmospheric N2) 동위원소의 δ 표기법으로 나타냄

라. 먹이망 구조 및 해양환경 변화에 따른 차이 분석

- 생태지위(trophic niche): 안정동위원소 분석, 포식자 소화관내용물 분석(포식-피식 관계)
- 동해 해역별 수주구조 차이에 따른 저차생태계 차이 분석
- 저차생태계 차이에 따른 상위생태계 먹이원 차이와 생태지위 차이 분석

마. 주요어종의 생태지위(영양단계) 추정

- $TLS (TROPH_i) = 1 + (\sum DC_{ij} \times TROPH_j)$
- $TLI = a + [(\delta^{15}N_{fish} - \delta^{15}N_{baseline})/3.4]$
- DC_{ij} : 포식자 i 소화관내용물 중 먹이생물 j의 비율, $TROPH_{i(j)}$: 포식자 i 또는 먹이생물 j의 영양단계, a: 기초생산자 또는 1차 소비자의 영양단계(1 또는 2), $\delta^{15}N_{fish(baseline)}$: 포식자(어류)와 기초생산자 또는 1차 소비자의 질소 안정동위원소 값

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 수준

1) 정성적 연구개발성과(연구개발결과)

가. 주요 포식자(어류) 종조성

2020년-2022년 저수온기와 고수온기 동해 3개 지점에서 총 62종(고성 아야진 24종, 울진 후포 21종, 울릉도 29종)의 어류가 채집되었다<표 1>.

고성에서 가장 많이 채집된 어종은 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*)였고, 그 다음으로 대구(*Gadus macrocephalus*), 용가자미(*Cleisthenes pinetorum*), 대구횃대(*Gymnocanthus herzensteini*) 순이었다. 울진에서도 기름가자미가 가장 많이 채집되었고, 그 다음으로 홍가자미(*Hippoglossoides dubius*), 용가자미, 대구횃대가 많이 채집되었음. 울릉도에서는 긴꼬리빙이돔(*Girella melanichthys*)이 가장 많이 채집되었고, 그 다음으로 말쥐치(*Thamnaconus modestus*), 띠볼락(*Sebastes zonatus*), 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*) 순이었다.

<표 1> 2020년-2022년 동해 북부(고성), 중부(울진), 외해(울릉도) 연안에서 채집된 어류 종조성

Species	Scientific name	Code	AY		HP		UL		전체	
			N	W	N	W	N	W	N	W
각시서대	<i>Pseudaesopia japonica</i>	PJA					2	289.2	2	289.2
고무꺼정어	<i>Dasycottus setiger</i>	DSE	1	495.01	14	5,549.2			15	5,598.2
기름가자미	<i>Glyptocephalus stelleri</i>	GST	646	70,368.9	172	18,747.4			818	89,116.3
긴꼬리빙이돔	<i>Girella melanichthys</i>	GME					100	33,594.5	100	33,594.5
긴코줄고기	<i>Leptagonus leptorhynchus</i>	LLE	2	33.66					2	33.7
낫쟁방어	<i>Seriola rivoliana</i>	SRI					1	828.2	1	828.2
노랑볼락	<i>Sebastes steindachneri</i>	SST	3	553.86					3	553.9
달고기	<i>Zeus faber</i>	ZFA					1	588.4	1	588.4
대구	<i>Gadus macrocephalus</i>	GMA	182	40,151.0	29	43,783.5			211	83,934.5
대구횃대	<i>Gymnocanthus herzensteini</i>	GHE	23	4,894.9	100	19,531.0			123	24,425.9
도다리	<i>Pleuronichthys cornutus</i>	PCO					1	274.3	1	274.3
도루묵	<i>Arctoscopus japonicus</i>	AJA	1	54.5	1	56.7			2	111.1
도화볼락	<i>Sebastes joyneri</i>	SJO					2	362.8	2	362.8
돌돔	<i>Oplegnathus fasciatus</i>	OFA					24	6141.3	24	6,141.3
동갈횃대	<i>Hemilepidotus gilberti</i>	HGI	2	335.8					2	335.8
띠볼락	<i>Sebastes zonatus</i>	SZP					39	17,543.9	39	17,543.9
말쥐치	<i>Thamnaconus modestus</i>	TMO					53	12,767.7	53	12,767.7
망상어	<i>Ditrema temminckii</i>	DTE					5	1,421.0	5	1,421.0
멸치	<i>Engraulis japonica</i>	EJA			23	485.0			23	485.0
명태	<i>Gadus chalcogrammus</i>	GCH	3	1,154.1					3	1,154.1
모조리상어	<i>Squalus brevirostris</i>	SBR	1	1,536.8					1	1,536.8
물가자미	<i>Eopsetta grigorjewi</i>	EGR			5	1,023.3	1	185.8	6	1,209.1
물미거지	<i>Crystallichthys matsushimae</i>	CMA	1	197.5					1	197.5
미거지	<i>Liparis ingens</i>	LIN			3	201.5			3	201.5
민달고기	<i>Zenopsis nebulosa</i>	ZNE			1	449.2			1	449.2
빙이돔	<i>Girella punctata</i>	GPU					7	2,990.4	7	2,990.4
볼락	<i>Sebastes inermis</i>	SIN					9	2,988.6	9	2,988.6
분홍꼼치	<i>Careproctus rastrinus</i>	CRA			1	343.6			1	343.6
불볼락	<i>Sebastes thompsoni</i>	STH			1	134.1			1	134.1
뽕바리	<i>Epinephelus akaara</i>	EAK					1	485.6	1	485.6

빨간횃대	<i>Alicichthys elongatus</i>	AEL	1	42.0	4	329.5			5	371.5
뿔횃대	<i>Enophrus diceraus</i>	EDI	1	140.6					1	140.6
살살치	<i>Scorpaena neglecta</i>	SNE					2	859.9	2	859.9
세줄볼락	<i>Sebastes trivittatus</i>	STR					1	713.3	1	713.3
송곳횃대	<i>Taurocottus bergii</i>	TBE	9	749.1					9	749.1
실줄고기	<i>Freemanichthys thompsoni</i>	FTH	1	14.2					1	14.2
섬뱅이	<i>Sebasticus marmoratus</i>	SMA					9	3,087.8	9	3,087.8
쭈기미	<i>Inimicus japonicus</i>	IJA					1	600	1	600.0
아홉동가리	<i>Cheilodactylus zonatus</i>	CZO					1	533.2	1	533.2
얼룩피도라치	<i>Askoldia variegata</i>	AVA	1	514.5					1	514.5
용가자미	<i>Cleisthenes pinetorum</i>	CPI	94	18,939.5	102	23,616.0			196	42,555.5
임연수어	<i>Pleurogrammus azonus</i>	PAZ	3	1,475.7	1	200.3			4	1,676.0
잣방어	<i>Seriola dumerili</i>	SDU					1	633.9	1	633.9
전갱이	<i>Trachurus japonicus</i>	TJA					1	149.6	1	149.6
점가자미	<i>Pseudopleuronectes schrenki</i>	PSC					1	143.1	1	143.1
조피볼락	<i>Sebastes schlegelii</i>	SSC					1	440.1	1	440.1
줄단횃대	<i>Triglops jordani</i>	TJO	1	31.1					1	31.1
줄가시횃대	<i>Icelus cataphractus</i>	LCA	3	168.8					3	168.8
줄가자미	<i>Clidoderma asperrimum</i>	CAS	1	577.9	4	467.3			5	1,045.2
쥐노래미	<i>Hexagrammos otakii</i>	HOK					1	611.8	1	611.8
쥐치	<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	SCI					26	4,697.8	26	4,697.8
쭈굴감펍	<i>Scorpaena miosstoma</i>	SMI					2	212.7	2	212.7
참가자미	<i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	PHE			48	11,747.0			48	11,747.0
참돔	<i>Pagrus major</i>	PMA					4	1,315.6	4	1,315.6
참홍어	<i>Beringraja pulchra</i>	BPU			2	20,998.0			2	20,998.0
청어	<i>Clupea pallasii</i>	CPA	7	2,699.1	5	1,269.3			12	3,968.4
흑돔	<i>Semicossyphus reticulatus</i>	SRE					2	1,798.1	2	1,798.1
홍가자미	<i>Hippoglossoides dubius</i>	HDU	8	2,023.0	118	37,174.0			126	39,197.0
홍감펍	<i>Helicolenus hilgendorfi</i>	HHI			1	86.0			1	86.0
황놀래기	<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	PSI					7	798.6	7	798.6
황볼락	<i>Sebastes owstoni</i>	SOW	6	563.7					6	563.7
황아귀	<i>Lophius litulon</i>	LLI			11	11,518.2			11	11,518.2
총합계			318	149,496.4	402	197,710.1	316	101,920.7	1,953	442,036.5

나. 주요 포식자의 먹이원 분석

연구기간동안 채집된 각 서식지별 주요 어종의 소화관내용물 조성은 <표 2>와 같다. 고성 연안에서 출현한 기름가자미는 갯지렁이류(Polychaeta)를 가장 많이 섭식하였고, 대구는 두족류(Cephalopoda)와 어류(Teleostei), 대구횃대는 새우류(Caridea)와 어류, 송곳횃대(*Taurocottus bergii*)는 어류, 용가자미는 난바다곤쟁이류(Euphausiacea)를 가장 많이 섭식하였다. 울진 연안에서 갯지렁이류와 이매패류(Bivalvia)는 기름가자미의 주요 먹이생물이었고, 두족류와 어류는 대구, 어류는 대구횃대와 용가자미, 갯지렁이류와 거미불가사리류(Ophiuroidea)는 홍가자미의 주요먹이생물이었다. 울릉도 연안에서 긴꼬리뱀에돔은 해조류(Macroalgae), 돌돔은 갯지렁이류, 다판류(Polyplacophora), 이매패류, 띠볼락은 두족류, 말쥐치는 해조류, 쥐치는 새우붙이류(Galatheidae)를 주로 섭식하였다<그림 1>.

<표 2> 2020년-2022년 동해 북부(고성), 중부(울진), 외해(울릉도) 연안에서 채집된 어류 종조성(Species code: GST=기름가자미, GMA=대구, GHE=대구횃대, TBE=송곳횃대, CPI=용가자미, PHE=참가자미, HDU=홍가자미, GME=긴꼬리뱀에돔, OFA=돌돔, SZO=띠볼락, TMO=말쥐치, SCI=쥐치)

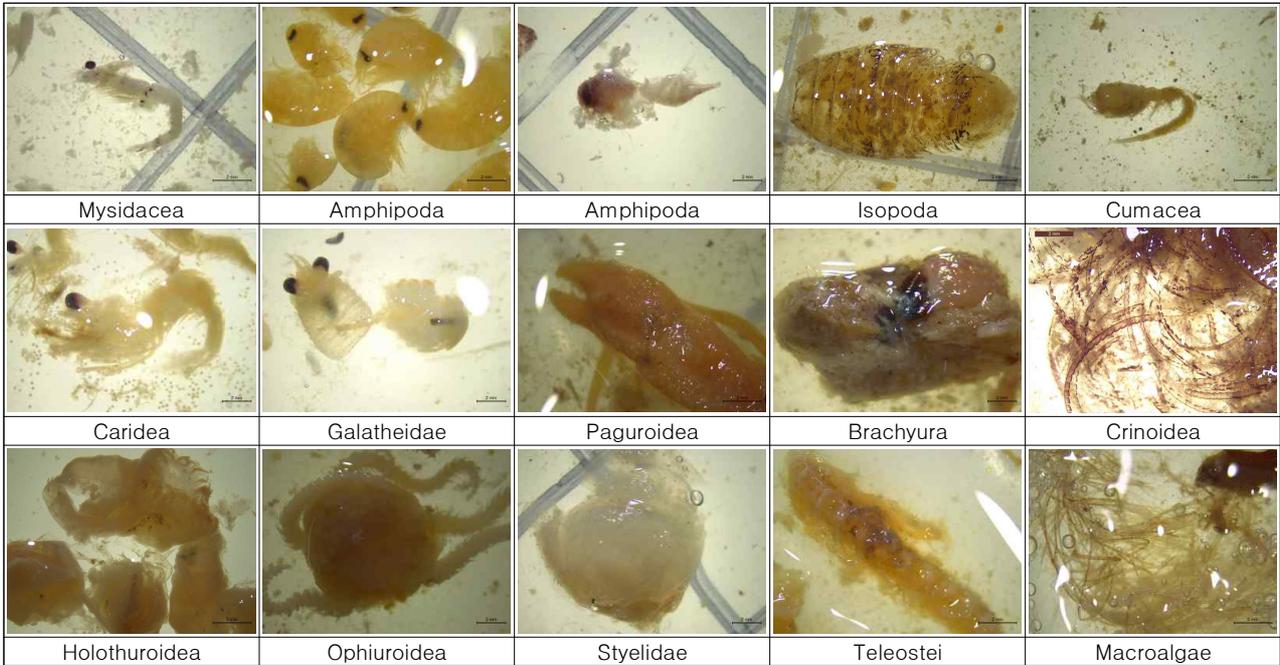
Phylum	Taxa	AY					HP		
		GST	GMA	GHE	TBE	CPI	GST	GMA	GHE
PLATYHELMINTHES	Turbellaria	1.9							
NEMATODA	Nematoda		0.1				<0.1	0.1	
CNIDARIA	Actiniaria								0.7
ANNELIDA	Polychaeta	64.0		0.7			39.4	0.2	7.5
MOLLUSCA	Polyplacophora								
	Gastropoda	<0.1	1.1				0.1		
	Bivalvia	4.0					15.0	1.3	<0.1
	Cephalopoda		47.4	0.1	6.8			31.6	10.0
ARTHROPODA	Cirripedia								
	Euphausiacea	12.5	6.5	5.7	7.1	89.5	6.5		<0.1
	Mysidacea	0.1			1.7		<0.1	0.7	
	Amphipoda	8.4	16.9		2.0	10.5	3.4	<0.1	
	Tanaidacea						<0.1		

	Isopoda			1.4					
	Cumacea	0.1							
	Caridea	1.4	1.5	48.5	2.8		8.8	19.3	0.7
	Galatheidae								
	Paguroidea							1.2	
	Brachyura	0.1	<0.1				1.2		1.3
ECHINODERMATA	Crinoidea		0.5						
	Holothuroidea						3.5		
	Ophiuroidea	0.4					<0.1		
CHORDATA	Styelidae			2.5					
	Teleostei		25.4	41.1	79.5			45.5	73.8
Others	Macroalgae	0.4					1.9		
	Unid. Invertebrate								4.1
	Unidentified	6.5	0.6	0.1			20.0		1.8

<표 1> 계속

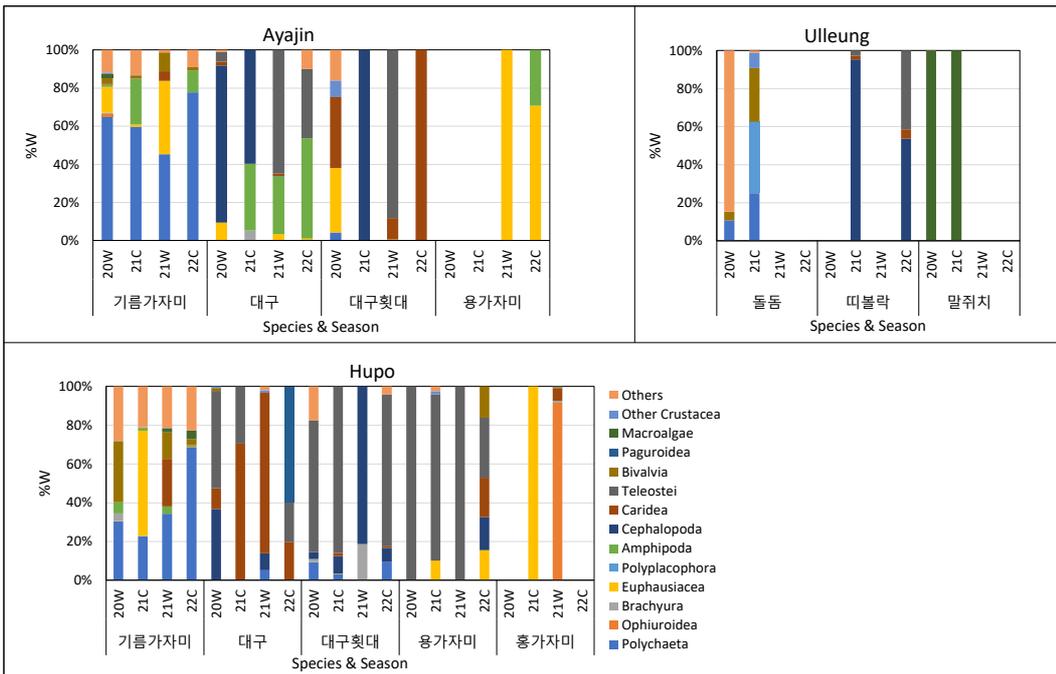
Phylum	Taxa	HP			UL				
		CPI	PHE	HDU	GME	OFA	SZO	TMO	SCI
PLATYHELMINTHES	Turbellaria			<0.1					
NEMATODA	Nematoda								
CNIDARIA	Actinaria								
ANNELIDA	Polychaeta		38.5			21.4			
MOLLUSCA	Polyplacophora					28.1			
	Gastropoda					0.8		<0.1	
	Bivalvia	3.8	20.7	0.6		22.2			
	Cephalopoda	4.0					81.4		
ARTHROPODA	Cirripedia					6.0			
	Euphausiacea	10.3		0.8					
	Mysidacea	1.1		<0.1					
	Amphipoda				1.6				
	Tanaidacea								
	Isopoda								
	Cumacea								
	Caridea	4.7		6.4			3.1		
	Galatheidae						0.0		30.2
	Paguroidea								
	Brachyura			1.0					
ECHINODERMATA	Crinoidea								
	Holothuroidea		<0.1						
	Ophiuroidea		40.4	90.9					
CHORDATA	Styelidae								
	Teleostei	74.5					15.5		
Others	Macroalgae			0.2	20.6			99.9	
	Unid. Invertebrate								
	Unidentified	1.6	0.4		77.8	21.5		<0.1	69.8





<그림 1> 주요 어종의 소화관내용물에서 발견된 먹이생물 사진

고성 연안에서 기름가자미는 갯지렁이류를 가장 많이 섭식하였지만, 고수온기에 난바다곤쟁이류, 저수온기에 단각류의 섭식이 증가하는 경향을 보였다. 대구는 계절별 먹이생물의 차이를 보이지 않았지만, 연도별로 초기 조사에서 두족류, 후기 조사에서 어류의 섭식비율이 높았다. 대구횃대와 용가자미는 연도와 계절에 따라 먹이섭식 차이를 나타내지 않았다<그림 2>. 울진 연안에서 기름가자미는 2021년 저수온기에 난바다곤쟁이류, 2021년 고수온기에 새우류의 섭식이 높았다. 대구와 대구횃대는 어류를 주로 섭식하였지만, 2021년 고수온기에 각각 새우류와 두족류의 섭식이 가장 높았다. 용가자미는 전 조사시기동안 어류를 주로 섭식하였고, 홍가자미는 저수온기에 난바다곤쟁이류, 고수온기에 거미불가사리류를 주로 섭식하였다<그림 2>. 울릉도 연안에서 돌돔은 고수온기에 기타 먹이생물, 저수온기에 갯지렁이류, 다판류, 이매패류를 많이 섭식하였다. 띠볼락은 저수온기에 주로 채집되었고, 두족류와 어류를 주로 섭식하였음. 말쥐치는 계절과 관계없이 해조류를 주로 섭식하는 초식성어류(herbivore)로 판단되었다<그림 2>.



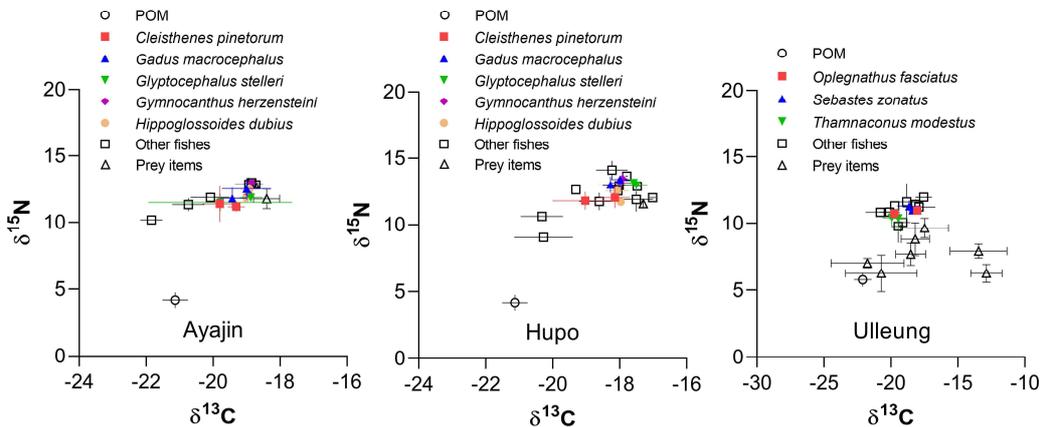
<그림 2> 고성, 울진, 울릉도 연안 주요 우점종의 연도별, 계절별 소화관내용물 조성의 변화

다. 안정동위원소 기반 먹이망 구조

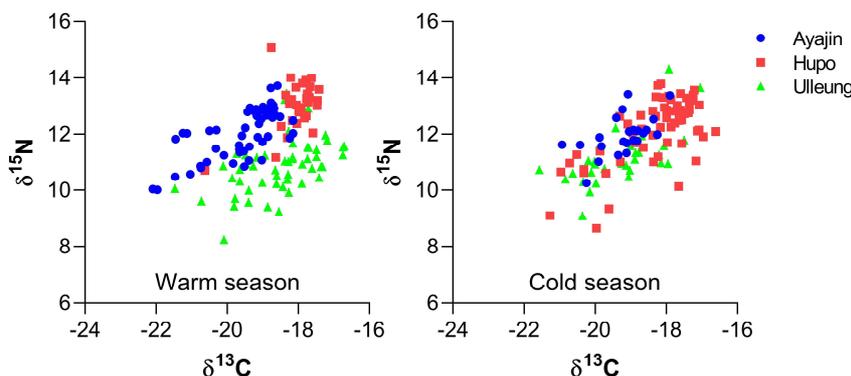
고성 연안에서 주요 우점종 중 대구횃대가 상대적으로 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 및 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈고, 용가자미가 상대적으로 낮은 값을 나타냈다. 전체 어류 군집내에서 청어(*Clupea pallasii*)는 가장 낮은 질소 및 탄소 안정동위원소 값을 나타냈다<그림 3>. 울진 연안에서 고무꺼정어(*Dasycottus setiger*)가 가장 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값, 참홍어(*Beringraja pulchra*)가 가장 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈으며, 주요 우점종들은 중간 정도의 생태지위를 나타냈다. 울진 연안에서는 청어와 멸치(*Engraulis japonica*)가 상대적으로 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 및 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈다. 울릉도 연안에서는 흑돔(*Semicossyphus reticulatus*)이 가장 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 및 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈고, 쥐치가 가장 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 값, 긴꼬리뱀에돔이 가장 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈다. 계절별로 각 지역에서 주요 우점종들의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 큰 차이를 보이지 않았으나, 고성과 울진 연안에서 용가자미가 고수온기에 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈고, 울릉도 연안에서 돌돔이 저수온기에 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타냈다.

용존유기물(POM)을 기준으로 고성과 울진 연안 어류군집은 약 7% 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였지만, 울릉도 연안 어류군집은 약 5% 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였다<그림 3>.

계절별 고성, 울진, 울릉도 연안 어류군집의 안정동위원소 기반 생태지위를 살펴보면, 고수온기에 울릉도 연안 어류군집이 상대적으로 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였고 울진 연안 어류군집이 상대적으로 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였지만, 저수온기에는 이러한 지역별 차이가 적었다<그림 4>.



<그림 3> 고성(Ayajin), 울진(Hupo), 울릉도(Ulleung) 연안 어류군집 및 용존유기물질(POM)의 안정동위원소 값 분포



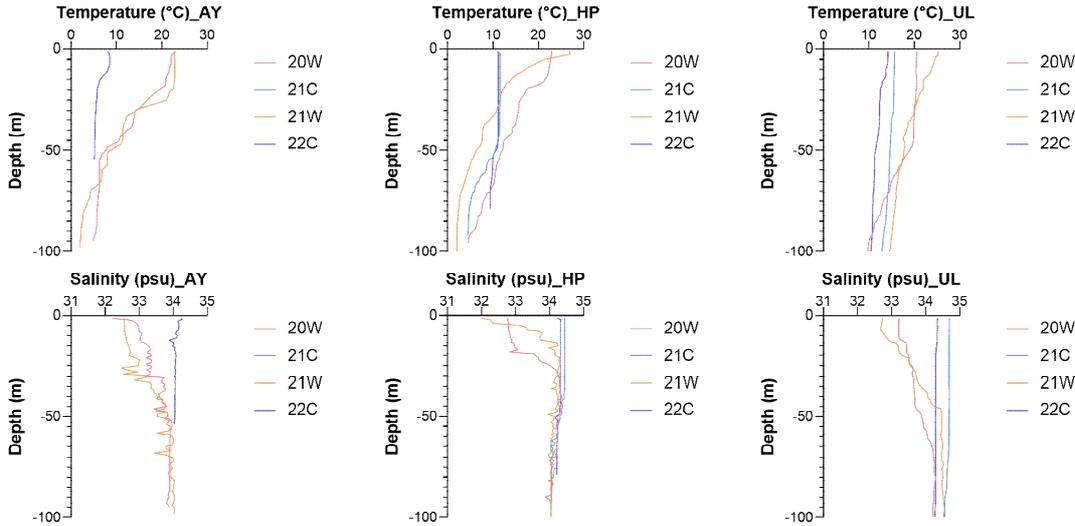
<그림 4> 안정동위원소 분석에 의한 2020년 하계 울릉도 연안 생태지위

라. 동해 서식지별 수괴구조와 장기간 해양환경변화

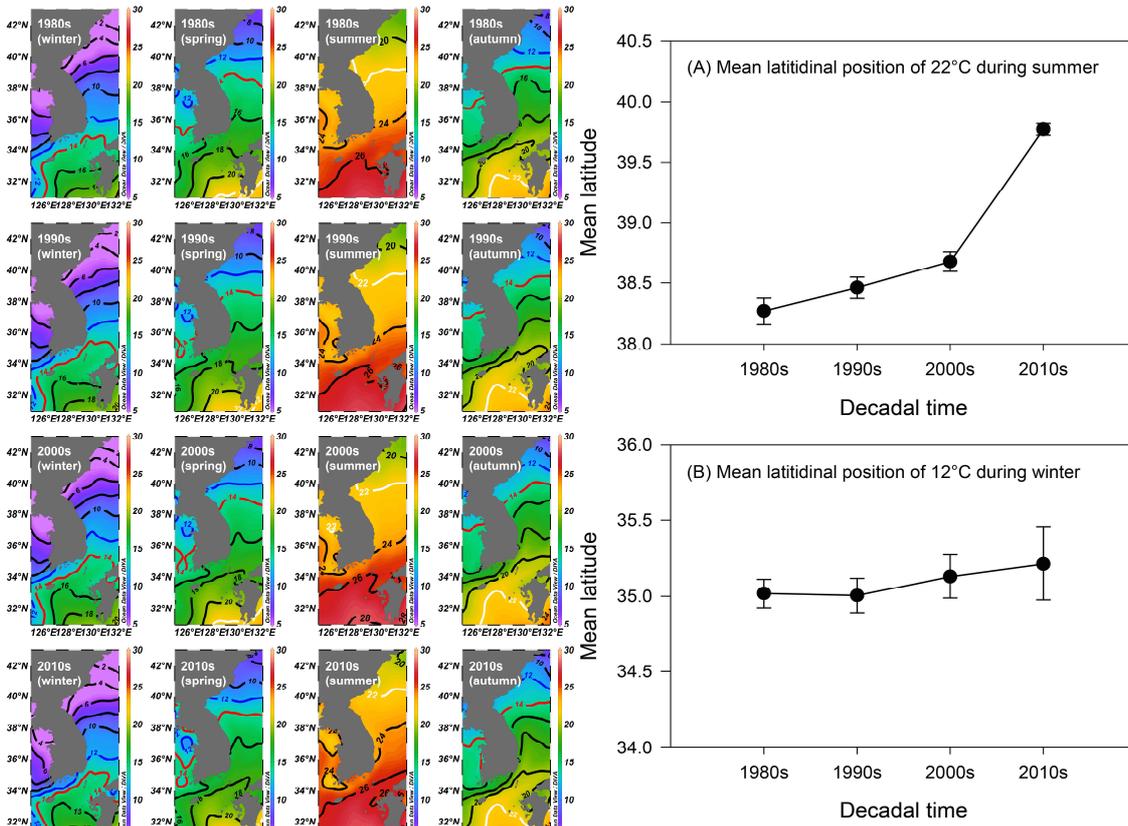
동해 고성, 울진, 울릉도 연안에서 저수온기에 수심별 수온 및 염분은 균일한 상태를 보였지만, 2021년 저수온기에 울진 연안 수심 60m 이하에서 수온이 감소하는 경향을 보였다<그림 5>. 고수온기에 수온은 표층에서 수심이 깊어짐에 따라 일정하였으나, 고성에서는 약 25m, 울진에서는 약 20m, 울릉도에서는 약 50m 이하 수심에서 수온이 감소하는 경향을 보였다. 고수온기에 염분의 지역별, 수심별 변

동은 수온과 반대의 경향을 나타냈다.

본 연구의 시료채집 수심(약 80m)에서 수온은 울릉도에서 10°C~18°C로 가장 높았고, 고성과 울진에서는 10°C 보다 낮은 수온을 보였다. 고성에서 수심별 수온과 염분의 연도별 차이는 거의 없었으나, 울진과 울릉도에서 수온과 염분은 저수온기와 고수온기에 모두 연도별 차이를 나타냈다(고수온기 표층수온은 2021년에 더 높음).



<그림 5> 2020년-2022년 동해 북부(고성), 중부(울진), 외해(울릉도) 연안 수심별 수괴구조(수온, 염분)의 계절 변동



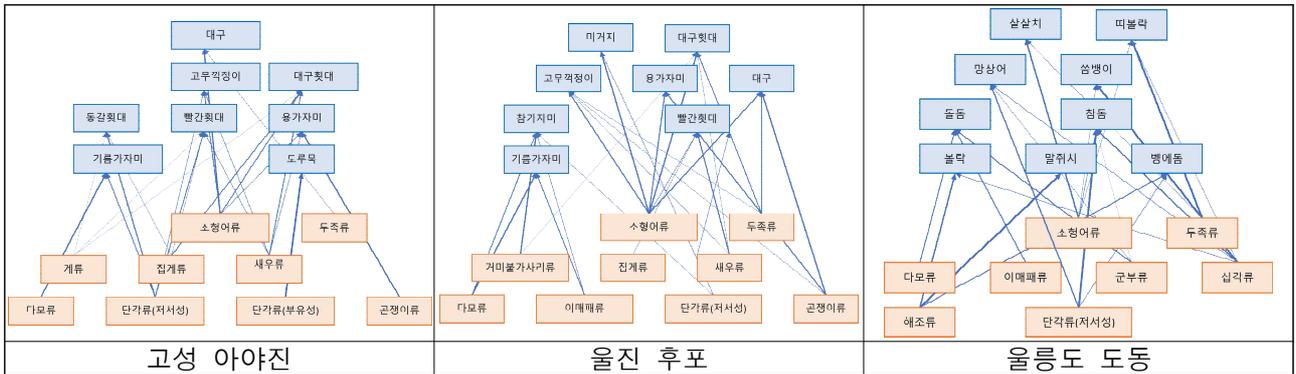
<그림 6> 우리나라 주변해역에서 1980s에서 2020s 사이에 10년 평균 수온분포(좌)와 겨울철 12°C 및 여름철 22°C 등온선 평균 위도 차이(우)

지난 약 40년간 우리나라 남해와 동해의 표층 수온은 점점 증가하는 경향을 나타냈다<그림 6>. 겨울철 12°C 등온선은 동해 남부 연안역을 따라 지속적으로 북상하였으며, 주로 여름철 동해 남부해역에 위

치하는 22℃ 등온선은 2010s에 북위 40N 부근까지 북상하였다. 이처럼 남해와 동해 연안의 상층부 수온은 지속적으로 상승함과 동시에 고온 수괴의 boundary는 점차 고위도 지역으로 북상하였다. 연도별 겨울철 12℃ 등온선과 여름철 22℃ 등온선의 평균 위도는 증가하는 양상을 보였지만, 2010s 여름철에 그 정도가 가장 컸다. 이에 따라 지난 30년간(1984-2010) 주요 어획 수산생물(멸치, 고등어, 갈치, 참조기, 살오징어 등)의 어획 위치가 북상하는 경향을 보였고(June et al., 2014), 소라(*Turbo sazae*)의 경우 최근 약 10년간(2009-2018) 북방 분포 한계위도가 약 340km 북상하였다(Son et al., 2020).

마. 주요 어종과 먹이생물간 포식-피식 관계

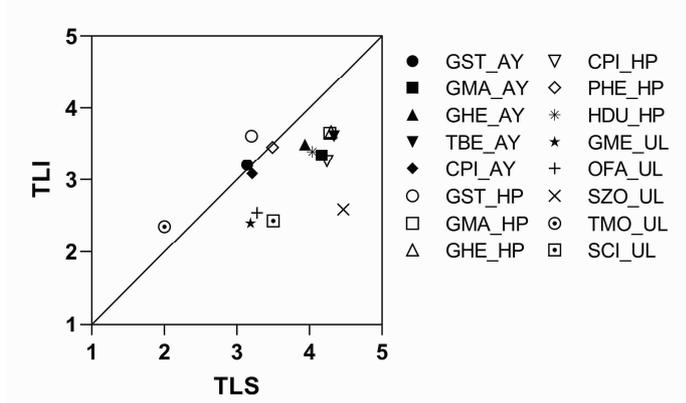
포식자 소화관내용물 분석 결과 기반 동해 연안 지역별 최상위 포식자를 살펴보면, 고성 연안에서는 대구, 울진 연안에서는 미거지와 대구횃대, 울릉도 연안에서는 살살치와 띠볼락으로 나타났다<그림 7>. 포식자와 먹이생물의 포식-피식관계 분석에 의하면, 고성 아야진 해역에서 주요 어종들의 주요 먹이생물은 단각류(Amphipoda)와 어류(Teleostei), 울진 후포에서는 어류, 새우류(Caridea), 곤쟁이류(Mysidacea), 울릉도 도동에서는 해조류(Seaweed), 단각류, 십각류(Decapoda) 임을 알 수 있었다.



<그림 7> 포식자 소화관내용물 분석을 이용한 고성 아야진, 울진 후포, 울릉도 도동 연안 포식-피식 관계

바. 동해 연안 주요 우점어류의 영양단계 분석

동해 연안 지역별 주요 포식자의 소화관내용물 분석과 δ¹⁵N 분석을 통하여 추정된 종별 생태지위(영양단계)를 추정하였다<그림 8>. 소화관내용물과 δ¹⁵N을 통하여 추정된 영양단계는 공통적으로 고성 연안에서 송곳횃대, 울진 연안에서 대구횃대, 울릉도 연안에서 띠볼락이 가장 높았다. 반면 영양단계가 상대적으로 낮은 어종은 고성과 울진 연안에서는 기름가자미, 울릉도 연안에서는 말쥐치였다. 동해 연안 주요 포식자의 생태지위(영양단계)는 대부분 어종에서 소화관내용물 기반 추정치가 더 높은 값을 보였다. 이러한 방법은 각 먹이생물의 분류군별로 고정된 영양단계 값을 사용하기 때문에 서식지별 차이를 반영하지 못한다(Pauly et al., 2000). 동해 남부 연안에 출현하는 주요 어종 중 기름가자미는 본 연구와 유사하게 δ¹⁵N 추정치가 더 높은 값을 보였지만, 대부분 어종은 소화관내용물 추정치가 더 높은 값을 나타내는 경향을 보였다(Kang et al., 2023).

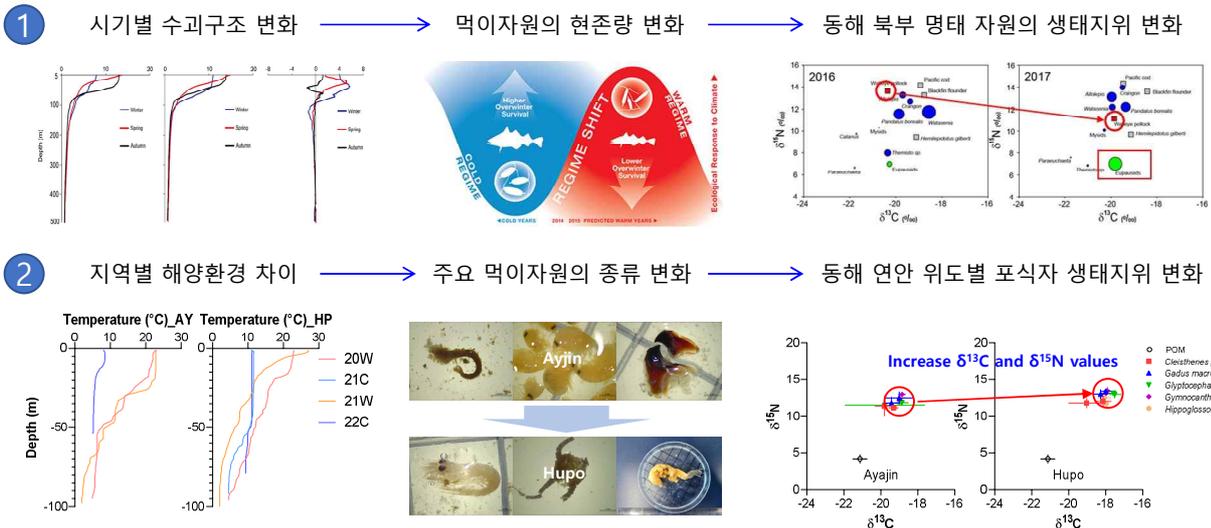


<그림 8> 소화관내용물 분석(TLS)과 안정동위원소 분석(TLI)에 정점별 주요 어종의 생태지위(영양단계) 추정값

사. 해양환경변화에 따른 해양생태계 먹이망 구조 변화

동해 연안 상위생태계 먹이망 구조와 주요 포식자의 생태지위는 시기 및 공간별 해양환경 차이에 따른 변화를 나타냈다<그림 9>. 동해 북부 명태 개체군의 생태지위는 서식지내 연도별 해양환경 차이(수온 변화)에 따라 주요 먹이자원(euphausia) 현존량의 변화(감소)가 나타났고, 이에 따라 명태 생태지위가 감소하는 현상을 나타냈다(Park et al., unpublished). 동해 연안 북부(고성 연안)와 중부(울진 연안)은 수층별 수괴구조에서 차이를 보였는데, 이에 따라 주요 포식자 먹이자원 종류의 차이를 보였다. 그 결과 동해 중부(울진) 연안 어류 군집이 더 높은 영양단계와 저서 먹이원의 높은 기여도를 보였다.

이러한 동해 연안에서 해양환경 변화는 단기적으로는 계절 및 위도별 변화, 장기적으로는 기후변화 등이 원인이 될 수 있다. 해양생태계 주요 포식자는 현존량 변화는 먹이자원에 영향을 많이 받기 때문에 해양환경 변화에 따른 먹이 현존량 변화가 해당 먹이생물을 섭식하는 포식자 자원량 및 어업 생산성에 영향을 미칠 수 있다(Harvey et al., 2003; Hočevár and Kuparinen, 2021).



<그림 9> 동해 연안 시기별, 서식지별 해양환경 차이에 따른 상위생태계 먹이망 구조 및 포식자 생태지위 변화

2) 세부 정량적 연구개발성과: [붙임1] 참조

3) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도 (%)
- 시료채집 및 현장조사	- 2020년 하계, 2021년 동계 및 하계, 2022년 동계 동해 북부(고성 아야진), 중부(울진 후포), 외해(울릉도 도동) 4계절×3지역 =12회 채집 후 종 리스트 및 우점종 제시(표 1)	100%
- 기초생산자(POM)와 1차소비자(먹이생물)의 탄소(13C) 및 질소(15N) 안정동위원소 분석을 통하여 생태지위 추정	- 각 지역별 기초생산자, 1차 소비자 및 상위 포식자의 탄소 및 질소 안정동위원소 값을 이용한 동해 연안 생태지위 도표 제시(그림 3, 그림 4)	100%
- 동해 과거-현재 물리환경변동 탐색	- 1980년대에서 현재까지 동해 표층 수온분포 변화와 등온선 변화 분석(그림 6)	100%
- 포식자의 소화관내용물 분석을 이용하여 해양생태계 내 포식-피식관계 완성	- 2020년~2021년 동해 북부(고성 아야진), 중부(울진 후포), 외해(울릉도 도동) 연안 포식-피식 관계도 제시(그림 7)	100%
- 안정동위원소 분석을 이용한 포식자와 먹이생물의 생태지위 추정	- 동해 울진, 고성, 울릉도 연안에서 채집된 주요 포식자의 소화관 내용물 분석과 질소 안정동위원소 분석을 통하여 각 종의 생태지위(영양단계)를 추정함(그림 8)	100%
- 안정동위원소와 포식-피식관계를 이용하여 먹이망 구조 완성	- 안정동위원소 분석에 의한 포식자와 먹이생물의 생태지위 도식화 및 포식자 먹이 분석에 의한 먹이망 구조 도식화(그림 3, 그림 7)	100%
- 동해 연안 해양환경 차이에 따른 먹이망 구조 특성 해석	- 동해 연안 시기별, 지역별 해양환경 차이에 따른 상위생태계 먹이망 구조 및 포식자 생태지위 모식도 제시(그림 9)	100%
- 어업 및 기후변화 등의 해양생태계 영향 해석	- 문헌을 통하여 해양환경 변화에 따른 먹이자원 변화가 해양생태계 및 포식자 자원 변화에 미치는 영향 해석	80%

4) 목표 미달 시 원인 분석(해당 시)

- 동해 연안 주요 포식자 어업생산성 자료의 부재와 비공개로 인해 “어업 및 기후변화 등의 해양생태계 영향 해석” 은 참고문헌을 통해 간접적으로 해석함

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도(연구개발결과의 중요성)

- 어류 소화관내용물 분석 기술을 통하여 해양생태계 서식지에서 이용 가능한 먹이자원 중 소화가 진행되어 분류가 어려운 먹이생물에 대한 보다 높은 분류학적 해상도를 제시 가능
- 안정동위원소 분석 방법을 이용하여 넓은 범위에 분포하는 종(또는 그룹)에 대한 생태지위의 정보를 빠르고 정확하게 분석 가능
- 해양생태계 먹이망 구조의 정확한 해석은 장기간 기후변화 및 해양환경 변화에 따른 해양생태계 반응을 탐지하기 위한 중요한 도구로 제시
- 해양환경 변화가 해양생태계 먹이망 구조 변화에 미치는 영향 연구를 통하여 향후 기후변화에 따른 해양생태계 영향 예측연구를 위한 생태계 모델링 정확도 향상에 기여할 수 있음
- 먹이자원 변동 기반 주요 수산생물 분포 변동 예측을 통한 미래 수산자원 관리 및 어업관리 정책 수립에 기여할 수 있음
- 기후변화에 의한 수자자원 변동 연구의 주제로 인력양성에 기여할 수 있음

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 소화관내용물-안정동위원소 분석을 통합한 해양생태계 먹이망 구조 해석 결과는 관련 분야 국내 상위생태계 먹이망 연구의 질을 높이는데 기여
- 연안 생태계 먹이망 구조와 에너지 흐름에 관한 연구 방법(먹이망 기반 생태계 모델링)을 개선시킬 수 있음
- 장기간 기후변화에 따른 생태계 반응을 탐지하는 기준을 제시
- 상위생태계 포식자 먹이원 분석을 통한 저차 생태계 생물종(먹이생물) 출현양상 모니터링에 활용
- 생태계 기반 생물자원 관리 정책에 활용
- 기후변화 위기에 대한 국가적 생물다양성 보존 및 생물자원 관리를 위한 중요한 자료로 활용
- 해양생태계 먹이망 기반 상위생태계 변동에 대한 기후변화 영향 연구를 위한 장기간 모니터링 연구의 필요성 제시

6. 자체점검표

구분	아주 우수	우수	보통	미흡	불량	비고
연구성과의 우수성/창의성		○				
연구성과의 파급 효과		○				
연구성과에 대한 활용 가능성		○				
연구수행의 성실도	○					
연구성과에 대한 종합의견 기술						

7. 참고문헌

- Coll, M., & Libralato, S. (2012). Contributions of food web modelling to the ecosystem approach to marine resource management in the Mediterranean Sea. *Fish and fisheries*, 13(1), 60–88.
- Harvey, C.J., Cox, S.P., Essington, T.E., Hansson, S., Kitchell, J.F. (2003). An ecosystem model of food web and fisheries interactions in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 60(5), 939–950.
- Hočevár, S., Kuparinen, A. (2021). Marine food web perspective to fisheries?induced evolution. *Evolutionary Applications*, 14(10), 2378–2391.
- Jung, S., Pang, I.C., Lee, J.H., Choi, I., Cha, H.K. (2014). Latitudinal shifts in the distribution of exploited fishes in Korean waters during the last 30 years: a consequence of climate change. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24, 443–462.
- Kang, M.G., Lee, S.H., Kim, M.J., Kwak, S.N., Han, I.S., Park, J.M. (2023). Resource Use among Six Commercial Fish Species from the South–Eastern Gill Net Fisheries, Korea. *Water*, 15(6), 1146.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., Torres, Jr F. (1998). Fishing down marine food webs. *Science*, 279, 860–863.
- Pauly, D., Froese, R., Sa-a, P.S., Palomares, M.L., Christensen, V., Rius, J. (2000). *TrophLab manual*. Iclarm, Manila, 3.
- Son, M.H., Lee, C.I., Park, J.M., Kim, H.J., Riedel, R., Hwang, I., Kim, Y.N., Jung, H.K. (2020). The northward habitat expansion of the Korean top shell *Turbo sazae* (Gastropoda: Vetigastropoda: Turbinidae) in the Korean Peninsula: effects of increasing water temperature. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10), 782.
- Ward, P., Myers, R.A. (2005). Shifts in open-ocean fish communities coinciding with the commencement of commercial fishing. *Ecology*, 86, 835–847.

※ 필수제출 자료입니다. 임의로 서식을 삭제하지 마시고 반드시 작성하여 제출해 주시기 바랍니다.

[붙임1] 세부 정량적 연구개발성과

전문학술지 논문게재 성과정보											
과제번호	게재연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지구분	sci여부	impact Factor	국제공동 연구논문	기여도
2020R1F1 A1051773	202110	New record of <i>Neoclinus lacunicola</i> (Actinopterygii: Perciformes: Chaenopsidae) from Ulleung Island, Korea revealed by body morphometry and mitochondrial DNA barcoding	Myoung, Se Hun; Jawad, Laith A.; Park, Joo Myun;	SCI	ACTA ICHTHYOLOGICA ET PISCATORIA	51(0)	국외	SCI등재	0.928	예	50
2020R1F1 A1051773	202111	Factors Influencing Dietary Changes of Walleye Pollock, <i>Gadus chalcogrammus</i> , Inhabiting the East Sea off the Korean Coast	Park, Joo-Myun; Jung, Hae-Kun; Lee, Chung-Il;	SCI	JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING	(0)	국외	SCI등재	2.458	아니오	50
2020R1F1 A1051773	202111	Recent Trends in Oceanic Conditions in the Western Part of East/Japan Sea: An Analysis of Climate Regime Shift That Occurred after the Late 1990s	Jung, Hae-Kun; Rahman, S. M. Mustafizur; Choi, Hee-Chan; Park, Joo-Myun; Lee, Chung-Il;	SCI	JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING	(0)	국외	SCI등재	2.458	예	33.3
2020R1F1 A1051773	202206	동해 연안에 출현하는 고무꼭정 이(<i>Dasycottus setiger</i>)의 섭식 생태	박주면; 정해근; 김범식; 정용우; 이충일	KCI	한국수산과학 회지	55(3)	국내	SCI미등재	-	아니오	50
2020R1F1 A1051773	202206	위내용물 분석과 안정동위원소 분석을 이용한 겨울철 동해 북부 연안에 출현하는 명태 (<i>Gadus chalcogrammus</i>)와 대구 (<i>G. macrocephalus</i>)의 먹이 분할 연구	박주면; 정해근; 이충일; 박현제;	KCI	한국어류학회 지	34(2)	국내	SCI미등재	-	아니오	50

학술대회 논문발표 성과정보							
과제번호	발표연월	학술대회명	저자	논문제목	학술대회구분	개최국	온라인개최
2020R1F1 A1051773	202105	2021년 한국어류학회 온라인 춘계학술대회	명세훈, 민원기, 우민수, 김윤배, 신진용, 박주면	New record of <i>Neoclinus lacunicola</i> (Perciformes: Chaenopsidae) from Ulleung Island, East Sea, Korea	국내학술대회	대한민국	Y
2020R1F1 A1051773	202111	2021 한국해양학회 추계학술발표 대회	박주면, 정해근, 박태희, 박현제, 이충일	겨울철 동해 연안에 출현하는 대구 (<i>Gadus macrocephalus</i>)와 명태(<i>G. chalcogrammus</i>)의 먹이분할	국내학술대회	대한민국	
2020R1F1 A1051773	202111	2021년도 한국수산과학총연합회 국제학술대회	박주면, 정해근, 김범식, 정용우, 이충일	Dietary habits of spinyhead sculpin, <i>Dasycottus setiger</i> inhabiting eastern coast of Korea	국내학술대회	대한민국	

※ 필수제출 자료입니다. 임의로 서식을 삭제하지 마시고 반드시 작성하여 제출해 주시기 바랍니다.

[붙임2-1] 연구책임자 대표적 연구실적

○ 논문 및 특허 실적(최대 5개 작성)

번호	구분 (논문/특허)	논문명/특허명	소속기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	논문게재일 /특허등록일	특기사항 (I.F. 등)
1	논문	Factors influencing dietary changes of walleye pollock, <i>Gadus chalcogrammus</i> , inhabiting the east sea off the Korean coast	한국해양과학기술원	주저자	Journal of Marine Science and Engineering	2021.11.00	2.744
2	논문	Recent trends in oceanic conditions in the western part of east/japan sea: An analysis of climate regime shift that occurred after the late 1990s	한국해양과학기술원	공동저자	Journal of Marine Science and Engineering	2021.11.00	2.744
3	논문	New record of <i>Neoclinus lacunicola</i> (Actinopterygii: Perciformes: Chaenopsidae) from Ulleung Island, Korea revealed by body morphometry and mitochondrial DNA barcoding	한국해양과학기술원	교신저자	Acta Ichthyologica et Piscatoria/ 폴란드	2021.10.01	0.913
4	논문	동해 연안에 출현하는 고무꺼정어(<i>Dasycottus setiger</i>)의 섭식생태	한국해양과학기술원	주저자	한국수산과학회지	2022.06.30	-
5	논문	위내용물 분석과 안정동위원소 분석을 이용한 겨울철 동해 북부 연안에 출현하는 명태 (<i>Gadus chalcogrammus</i>)와 대구 (<i>G. macrocephalus</i>)의 먹이분할 연구	한국해양과학기술원	주저자	한국어류학회지	2022.06.30	-

○ 기타 실적(논문 및 특허 외 기타 실적 입력)

※ 논문과 특허를 제외한 기타 실적을 자유 서식으로 작성

※ 필수제출 자료입니다. 임의로 서식을 삭제하지 마시고 반드시 작성하여 제출해 주시기 바랍니다.

[붙임2-2] 주관연구책임자 대표적 논문·특허실적 요약문

연구실적 유형		논문(●) 특허()		
연구책임자 성명		연구책임자(박주면)		
논문/특허명		Factors influencing dietary changes of walleye pollock, <i>Gadus chalcogrammus</i> , inhabiting the east sea off the Korean coast		
논문실적정보 <input type="checkbox"/>	게재지(저널명)	Journal of Marine Science and Engineering		
	SCI 등재 여부	등재	Impact Factor 및 인용횟수(SCI)	2.744(00회)
	SCOPUS 등재 여부	등재	인용횟수(SCOPUS)	00회
	ISSN	2077-1312	게재년월	2021.11
	역할(제1, 교신, 참여)	제1및교신저자	참여자수	3명
특허실적정보 <input type="checkbox"/>	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	

요약문

Abstract: 본 연구는 2016년 1월부터 2017년 12월까지 우리나라 동해 중부 연안에서 출현하는 명태 (*Gadus chalcogrammus*)의 먹이섭식 특성을 조사하여 다양한 인자가 섭식 변화에 미치는 영향을 규명하였다. 위 내용물 분석에 따르면, 명태는 주로 새우류, 난바다곤쟁이류, 곤쟁이류, 어류, 두족류를 섭식하는 육식성 동물로 밝혀졌다. 명태의 먹이에서 확인된 주요 먹이 종은 *Euphausia pacifica* (euphausiids), *Temisto japonicus* (amphipods), *Neomysis* spp.였다. (mysids), *Neocrangon communis*, *Pandalus borealis* (carid shrimps), *Watasenia scintillans* (cephalopods)과 *Bothrocara hollandi* (teleosts)였다. 다양한 먹이 분류군의 소화관내용물 기여도에 분석은 어류의 크기, 수심, 계절에서 먹이생물 구성에 상당한 차이가 있음을 보여주었고, 이는 종내 먹이 분할을 암시했다. 난바다곤쟁이류는 작은 개체(<30cm TL)의 먹이생물에 기여도가 높은 반면, 새우류, 어류, 두족류의 기여도는 체장 크기가 증가함에 따라 증가했다. 또한, 후자의 먹이생물은 더 깊은 수심에 서식하는 개체의 중요한 먹이 자원이었다. PERMEROVA 결과는 개체 크기와 관련된 공간 및 시간적 먹이 조성의 유의한 차이를 보여줬다. 크기와 깊이의 상호 효과는 수심에 따른 어류 크기 분포의 차이를 나타내며, 더 큰 개체가 더 깊은 서식지에 분포하는 경향을 보여줬다. 또한, 수괴 구조의 계절적 및 연간적 변화는 먹이생물 변화에 영향을 미쳤으며, 이는 위내용물 분석에서 관찰된 계절적 변화를 부분적으로 설명할 수 있었다. 명태의 섭식 분석은 저서 먹이망에서 종의 기능적 역할을 찾고 환경 및 인위적 섭동의 영향을 예측하기 위한 이해력을 향상시킬 것이다.

공동사사: 장기해양생태계 연구(해양수산부)

연구 목표 및 연구내용과의 연관성	기대성과 및 파급 효과
<ul style="list-style-type: none"> - 본 연구의 목표 중 하나는 상위포식자의 먹이생물 분석을 통하여 포식자와 먹이생물의 포식-피식 관계를 밝히는 것임 - 본 논문은 동해 중북부 연안 생태계에서 우점하는 명태의 먹이생물 분석을 통하여 주요 먹이생물 섭식에 대한 종내 변동 및 계절별 해양환경 변화에 따른 섭식특성 변화의 결과를 제시하였음 	<ul style="list-style-type: none"> - 동해 중북부 연안 상위생태계 우점종이고 중요한 상업성 어종인 명태의 섭식생태를 밝혀 생태계내 명태의 역할을 규명할 수 있음 - 계절별 해양환경 변화에 따른 먹이생물 출현량이 명태 출현량 및 어업 생산성 변화에 대한 단서를 제공할 수 있음

Article

Factors Influencing Dietary Changes of Walleye Pollock, *Gadus chalcogrammus*, Inhabiting the East Sea off the Korean Coast

Joo-Myun Park ^{1,*}, Hae-Kun Jung ² and Chung-II Lee ³

¹ Dokdo Research Center, East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Uljin 36315, Korea

² Fisheries Resources and Environment Research Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Korea; hkjung85@korea.kr

³ Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea; leeci@gnu.ac.kr

* Correspondence: joomyun.park@kiost.ac.kr; Tel.: +82-54-780-5344

Abstract: This study examined the dietary patterns of walleye pollock, *Gadus chalcogrammus*, off the middle eastern coast of Korea between January 2016 and December 2017 to determine the influences of various predictors on dietary changes. Based on stomach content analyses, walleye pollock was found to be a demersal carnivore that mainly consumes carid shrimps, euphausiids, mysids, teleosts, and cephalopods. The main prey species identified in the diets of walleye pollock were *Euphausia pacifica* (euphausiids), *Themisto japonicus* (amphipods), *Neomysis* spp. (mysids), *Neocrangon communis*, *Pandalus borealis* (carid shrimps), *Watasenia scintillans* (cephalopods), and *Bothrocara hollandi* (teleosts), which are hyper-benthic and benthopelagic organisms. Dietary analyses based on the weight contributions of different prey taxa to the diets revealed significant variations in dietary composition in terms of fish size, water depth, and season, implying intraspecific dietary segregation. Euphausiids dominate the diets of smaller individuals (<30 cm TL), whereas the contributions of carid shrimps, teleosts, and cephalopods increase as body size increases. Similarly, the latter three prey items are dominant food resources in deeper habitats. The PERMANOVA results revealed that the size-related spatial and temporal changes in dietary composition are all significant for the species, as well as their two- or three-way interactions among those factors, except for the size-depth interaction. The coupling effect of size and depth is indicative of depth-dependent differences in fish sizes, with the tendency for larger individuals to be distributed in deeper habitats. In addition, seasonal and interannual variations in water column structures are also evident in the diets, which may, in part, account for the diet seasonality observed in the stomach content analysis. The dietary analyses of walleye pollock will improve our understandings to seek functional role of the species in benthic food webs, and to predict the effects of environmental and anthropogenic perturbations.

Keywords: stomach contents; walleye pollock; diet variations; East Sea; bottom gill net



Citation: Park, J.-M.; Jung, H.-K.; Lee, C.-I. Factors Influencing Dietary Changes of Walleye Pollock, *Gadus chalcogrammus*, Inhabiting the East Sea off the Korean Coast. *J. Mar. Sci. Eng.* **2021**, *9*, 1154. <https://doi.org/10.3390/jmse9111154>

Academic Editor: Gabriella Caruso

Received: 16 September 2021

Accepted: 17 October 2021

Published: 20 October 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Dietary analysis is key to understanding the prey choice and niche breadth of a predator's diet, which ultimately identifies the functional role of the predator in an ecosystem [1–3]. The data are also an essential component for developing management and conservation frameworks of regional fishery species [4,5]. Superjacent to temporal and spatial resource use are the ontogenetic changes in prey choice, where individuals of different sizes and/or ages within a species target different prey types, consequently reducing direct intraspecific competition that may detract from the success of subsequent cohorts [6–8]. In addition, trophic niche analyses are increasingly being used to reflect food web structures and quantify the impacts of environmental changes on individual species and/or populations [9–12]. Understanding how the diet structure in a population can be used to

eastern coast of Korea. The stomach contents indicate that this species is associated with the benthic food web, feeding mainly on abundant hyper-benthic and benthic-pelagic species. While euphausiids were most commonly consumed, carid shrimps and teleosts were also frequently ingested by larger specimens. Although ontogenetic, spatial, and temporal dietary changes were observed within the species studied, the lack of samples covering wider regions and/or all possible size ranges imposes limitations on describing the absolute diets of walleye pollock throughout their entire life history. Studies of the dietary habits of walleye pollock are essential for understanding prey-predator relationships in benthic ecosystems, and are important baseline studies for management and conservation efforts in eastern Korean waters. In addition, the knowledge of the relative importance of these findings need to be placed in the context of the overall community structure in this area.

Author Contributions: J.-M.P.; conceptualization, methodology, validation, formal analysis and writing—original draft, C.-I.L.; supervision, project administration and funding acquisition, H.-K.J.; data curation and visualization. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was parts of the project entitled “Long-term change of structure and function in marine ecosystems of Korea” funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea. This research was also supported by the Korea Institute of Ocean Science & Technology project (PN90190) and the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2020R1F1A1051773).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: We would like to thank to members of Fisheries Oceanography Laboratory at Ganeneung-Wonju National University for their assistance in the sample collections and measurements of the fish.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Colwell, R.K.; Futuyma, D.J. On the measurement of niche breadth and overlap. *Ecology* **1971**, *52*, 567–576. [\[CrossRef\]](#)
- Scharf, F.S.; Juanes, F.; Rountree, R.A. Predator size-prey size relationships of marine fish predators: Interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **2000**, *208*, 229–248. [\[CrossRef\]](#)
- Depczynski, M.; Bellwood, D.R. The role of cryptobenthic reef fishes in coral reef trophodynamics. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **2003**, *256*, 183–191. [\[CrossRef\]](#)
- Zabel, R.W.; Harvey, C.J.; Katz, S.L.; Good, T.P.; Levin, P.S. Ecologically sustainable yield: Marine conservation requires a new ecosystem-based concept for fisheries management that looks beyond sustainable yield for individual fish species. *Am. Sci.* **2003**, *91*, 150–157.
- Bizzarro, J.J.; Yoklavich, M.M.; Wakefield, W.W. Diet composition and foraging ecology of US Pacific Coast groundfishes with applications for fisheries management. *Environ. Biol. Fishes* **2017**, *100*, 375–393. [\[CrossRef\]](#)
- Platell, M.; Potter, I. Partitioning of food resources amongst 18 abundant benthic carnivorous fish species in marine waters on the lower west coast of Australia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **2001**, *261*, 31–54. [\[CrossRef\]](#)
- Lek, E.; Fairclough, D.V.; Platell, M.E.; Clarke, K.R.; Tweedley, J.R.; Potter, I.C. To what extent are the dietary compositions of three abundant, co-occurring labrid species different and related to latitude, habitat, body size and season? *J. Fish Biol.* **2011**, *78*, 1913–1943. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Park, J.M.; Gaston, T.F.; Williamson, J.E. Resource partitioning in gurnard species using trophic analyses: The importance of temporal resolution. *Fish. Res.* **2017**, *186*, 301–310. [\[CrossRef\]](#)
- Lamb, J.F.; Kimmel, D.G. The contribution of diet to the dramatic reduction of the 2013 year class of Gulf of Alaska walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*). *Fish. Oceanogr.* **2021**, *30*, 1–15. [\[CrossRef\]](#)
- Kelly, D.J.; Schallenberg, M. Assessing food web structure in relation to nutrient enrichment, macrophyte collapse and lake resilience in shallow lowland lakes. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* **2019**, *53*, 603–619. [\[CrossRef\]](#)
- Bowes, R.E.; Thorp, J.H.; Reuman, D.C. Multidimensional metrics of niche space for use with diverse analytical techniques. *Sci. Rep.* **2017**, *7*, 1–11. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Roessig, J.M.; Woodley, C.M.; Cech, J.J.; Hansen, L.J. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Rev. Fish Biol. Fish.* **2004**, *14*, 251–275. [\[CrossRef\]](#)

[붙임2-2] 주관연구책임자 대표적 논문·특허실적 요약문

연구실적 유형		논문(●) 특허()		
연구책임자 성명		연구책임자(박주면)		
논문/특허명		Recent trends in oceanic conditions in the western part of east/japan sea: An analysis of climate regime shift that occurred after the late 1990s		
논문실적정보 <input type="checkbox"/>	게재지(저널명)	Journal of Marine Science and Engineering		
	SCI 등재 여부	등재 또는 미등재	Impact Factor 및 인용횟수(SCI)	2.744(2회)
	SCOPUS 등재 여부	등재 또는 미등재	인용횟수(SCOPUS)	00회
	ISSN	2077-1312	게재년월	2021.11
	역할(제1, 교신, 참여)	참여저자	참여자수	5명
특허실적정보 <input type="checkbox"/>	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	
요약문				
<p>Abstract: 동해 서부(WES)는 기후 변화 과정과 대기와 해양 조건 간의 상호 작용을 이해하는 데 중요한 해역이다. 1990년대 후반 북태평양에서 발생한 최근 기후체제 변화(climate regime shift, CRF) 이후 WES의 최근 해양 상황 동향을 분석했다. 우리는 해양 조건에 영향을 미치는 가장 중요한 기후 요인을 탐색하고 기후 변화에 대한 그들의 반응을 결정했다. 1980년대 후반에 발생한 CRS에서 WES의 해양 조건 변화는 기후 요인의 강도 변화의 영향을 받았고, 1990년대 후반에는 기후 요인의 공간 변화의 영향을 받았다. 알류산 저기압(AL)의 위도 이동은 WES의 해양 및 대기 조건의 최근 변화에 영향을 미친다. AL 압력의 위도 이동과 관련된 쿠로시오 확장 지역의 해수면 압력과 쿠로시오 해류의 강도는 WES와 그 대기 상태로 유입되는 따뜻하고 염분이 많은 물 덩어리의 수송량에 영향을 미친다. 또한, WES의 해양 조건의 변동은 다양한 지역과 깊이 층에 다르게 영향을 미치며, 이러한 변화는 WES 내에서도 명백하다.</p> <p>공동사사: 동해 연안 어업 및 환경생태 조사(국립수산과학원), 장기해양생태계 연구(해양수산부)</p>				
연구 목표 및 연구내용과의 연관성		기대성과 및 파급 효과		
<ul style="list-style-type: none"> - 본 연구의 목표 중 하나는 물리환경변동에 따른 해양생태계 변동을 탐색하는 것임 - 본 논문은 연구해역을 포함하는 동해 서부에서 1990년대 이후 기후체제 변화에 따른 해양환경변화의 경향을 분석하여 어떤 요인이 이러한 변화에 영향을 미치는지에 대한 결과를 제시하였음 		<ul style="list-style-type: none"> - 장기간 기후변화(기후체제변화)의 경향을 밝혀 이러한 변화에 해양생태계 변화에 미치는 영향을 제시할 수 있음 - 향후 지속적인 기후변화의 영향이 해양생태계 구조 변동에 미치는 영향을 예측하기 위한 중요한 자료가 될 수 있음 		

Article

Recent Trends in Oceanic Conditions in the Western Part of East/Japan Sea: An Analysis of Climate Regime Shift That Occurred after the Late 1990s

Hae-Kun Jung ^{1,*}, S. M. Mustafizur Rahman ², Hee-Chan Choi ¹, Joo-Myun Park ³ and Chung-Il Lee ⁴

- ¹ Fisheries Resources and Environment Research Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Korea; gmickschl82@korea.kr
² Department of Oceanography and Hydrography, Faculty of Earth and Ocean Science, Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Maritime University, Mirpur, Dhaka 1216, Bangladesh; mustafizur.ocn@bsmrmu.edu.bd
³ Dokdo Research Center, East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Uljin 36315, Korea; joomyun.park@kiost.ac.kr
⁴ Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea; leeci@gwnu.ac.kr
* Correspondence: hkjung85@korea.kr; Tel.: +82-33-660-8533

Abstract: The western part of East/Japan Sea (WES) is an important area for understanding climate change processes and interactions between atmospheric and oceanic conditions. We analyzed the trends in recent oceanic conditions in the WES after the recent climate regime shift (CRS) that occurred in the late 1990s in the North Pacific. We explored the most important climate factors that affect oceanic conditions and determined their responses to changes in climate change. In the CRS that occurred in the late 1980s, changes in oceanic conditions in the WES were influenced by intensity changes in climate factors, and, in the late 1990s, it was by spatial changes in climate factors. The latitudinal shift of the Aleutian low (AL) pressure influences recent changes in oceanic and atmospheric conditions in the WES. The intensity of the Kuroshio Current and the sea level pressure in the Kuroshio extension region associated with the latitudinal shift of the AL pressure affects the volume of transport of the warm and saline water mass that flows into the WES and its atmospheric conditions. In addition, the fluctuations in the oceanic conditions of the WES affect various regions and depth layers differently, and these variations are evident even within the WES.

Keywords: western part of East/Japan Sea; climate regime shift; Kuroshio extension; Aleutian low pressure; pressure gradient



Citation: Jung, H.-K.; Rahman, S.M.M.; Choi, H.-C.; Park, J.-M.; Lee, C.-I. Recent Trends in Oceanic Conditions in the Western Part of East/Japan Sea: An Analysis of Climate Regime Shift That Occurred after the Late 1990s. *J. Mar. Sci. Eng.* **2021**, *9*, 1225. <https://doi.org/10.3390/jmse9111225>

Academic Editor: Christos Stefanakos

Received: 29 September 2021

Accepted: 4 November 2021

Published: 5 November 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The western part of East/Japan Sea (WES, also known as Sea of Japan) is geographically located in the Northwest Pacific Ocean, on the boundary between the North Pacific Ocean (NPO) and the Asian continent. Because cold and warm currents coexist in the WES, a thermal front is clearly formed at the boundary between the cold and warm regions [1,2]; additionally, physical environmental characteristics, such as eddies and deep ocean circulation, occurring in large oceans are formed [3]. In addition, the WES is located at the boundary between oceanic air masses and continental air masses; therefore, the atmospheric conditions of the WES are affected by various atmospheric pressure systems simultaneously [4–7]. As a result, seasonal and inter-annual changes are clearly observed in atmospheric conditions, such as wind and air temperature [8–10].

The oceanographic conditions in the WES are related to the oceanic and atmospheric circulation systems in the NPO. In particular, climate regime shifts (CRSs) that occurred in the North Pacific in the mid-1970s, late 1980s, and late 1990s caused a change in the thermal energy flowing into the WES through the oceanic and atmospheric circulation systems in the NPO [5,7]. Consequently, the oceanic conditions in the WES repeatedly fluctuated

the offshore region were mainly affected by changes in oceanographic conditions, such as eddy activity.

Our study provides important insights into the recent oceanic conditions in the WES associated with recent climate change, and explores the main climate factors that influence the changes in the oceanic conditions in the WES. After recent CRS, the component of spatial change in climate factors was more dominant than changes in intensity, and thus, climate change after the late 1990s influenced changes in the oceanic conditions of the WES through different mechanisms and processes from the previous CRS. In particular, after the late 1980s CRS, changes in the intensity of AL acted as major factors affecting the changes in oceanic conditions of the WES. However, after the CRS that occurred in the late 1990s, recent changes in the oceanic conditions of the WES were more influenced by the spatial changes in the central part of AL than that by intensity. In addition, the response of oceanic conditions to climate change was different for each region and depth layer. In this study, we obtained a better understanding of the responses and mechanisms of the fluctuation of oceanic conditions in the WES with respect to climate change and this can contribute to research aiming at the prediction of future oceanic conditions. In a further study, based on these results, it will be necessary to investigate and understand the key factors that affect the changes in the oceanic conditions of the WES by each CRS period through long-term analysis in oceanic conditions of the WES and climate variability in the NPO.

Author Contributions: H.-K.J.; conceptualization, methodology, validation, formal analysis and writing—original draft, C.-I.L.; supervision, project administration and funding acquisition, S.M.M.R. and H.-C.C.; data curation and visualization, J.-M.P.; writing—review and editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was supported by the National Institute of Fisheries Sciences R&D project (R2021032). This research was a part of the project entitled “Long-term change of structure and function in marine ecosystems of Korea” funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea. This research was also supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2020R1F1A1051773).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: We would like to thank the members of the Fisheries Resources and Environment Research Division for their assistance in field observations and data analyses.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Cho, Y.K.; Kim, K. Seasonal Variation of the East Korea Warm Current and Its Relation with the Cold Water. *Mer* **1996**, *34*, 172–182.
2. Cho, Y.K.; Kim, K. Branching Mechanism of the Tsushima Current in the Korea Strait. *J. Phys. Oceanogr.* **2000**, *30*, 2788–2797.
3. Lim, S.; Jang, C.J.; Park, J. Climatology of the Mixed Layer Depth in the East/Japan Sea. *J. Mar. Syst.* **2012**, *96–97*, 1–14. [[CrossRef](#)]
4. Tian, Y.; Kidokoro, H.; Watanabe, T.; Iguchi, N. The Late 1980s Regime Shift in the Ecosystem of Tsushima Warm Current in the Japan/East Sea: Evidence from Historical Data and Possible Mechanisms. *Prog. Oceanogr.* **2008**, *77*, 127–145. [[CrossRef](#)]
5. Jung, H.K.; Rahman, S.M.; Kang, C.K.; Park, S.Y.; Lee, S.H.; Park, H.J.; Kim, H.W.; Lee, C.I. The influence of climate regime shifts on the marine environment and ecosystems in the East Asian Marginal Seas and their mechanisms. *Deep. Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* **2017**, *143*, 110–120. [[CrossRef](#)]
6. Rahman, S.M.; Lee, C.I. Temperature Variabilities at Upper Layer in the Korean Marine Waters Related to Climate Regime Shifts in the North Pacific. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.* **2016**, *22*, 145–151. [[CrossRef](#)]
7. Rahman, S.M.; Jung, H.K.; Park, H.J.; Park, J.M.; Lee, C.I. Synchronicity of climate driven regime shifts among the East Asian marginal sea waters and major fish species. *J. Environ. Biol.* **2019**, *40*, 948–961. [[CrossRef](#)]
8. Jhun, J.G.; Lee, E.J. A New East Asian Winter Monsoon Index and Associated Characteristics of the Winter Monsoon. *J. Clim.* **2004**, *17*, 711–726. [[CrossRef](#)]
9. Gong, D.Y.; Wang, S.W.; Zhu, J.H. East Asian Winter Monsoon and Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.* **2001**, *28*, 2073–2076. [[CrossRef](#)]

[붙임2-2] 주관연구책임자 대표적 논문·특허실적 요약문

연구실적 유형		논문(●) 특허()		
연구책임자 성명		연구책임자(박주면)		
논문/특허명		New record of <i>Neoclinus lacunicola</i> (Actinopterygii: Perciformes: Chaenopsidae) from Ulleung Island, Korea revealed by body morphometry and mitochondrial DNA barcoding		
논문실적정보 <input type="checkbox"/>	게재지(저널명)	Acta Ichthyologica et Piscatoria		
	SCI 등재 여부	등재	Impact Factor 및 인용횟수(SCI)	12.353(0회)
	SCOPUS 등재 여부	등재	인용횟수(SCOPUS)	1회
	ISSN	0137-1592	게재년월	2021.10
	역할(제1, 교신, 참여)	교신저자	참여자수	4명
특허실적정보 <input type="checkbox"/>	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	
요약문				
<p>Abstract: 본 연구는 비늘배도라치과(Chaenopsidae)에 속하는 국내 미기록종 <i>Neoclinus lacunicola</i> Fukao, 1980 1개체(38.3mm SL)를 2021년 1월 5일 대한민국의 울릉도에서 처음 채집하였다. 이 종은 새개골 위쪽 가장자리에서 이어지는 불완전한 측선의 한 쌍의 외부 기공이 특징이며, 7쌍의 안와 상륜부가 두 개로 배열되어 있고, 한 쌍의 cirri가 있는 후두부, 그리고 13개의 가슴지느러미 가닥을 가진다. 이 종은 형태적으로 <i>Noclinus tosimaensis</i> Fukao 1980과 유사하지만, 안와 위에 있는 cirri의 수가 다르다(6-7 vs. 9-11). 본 연구는 한국 해역에서 발견된 최초의 <i>N. lacunicola</i> 보고를 문서화하고, 이 종에 대한 새로운 한국어 명칭인 '얼룩비늘도라치'를 제안한다. 그리고 이 종의 종분류 확인을 위해 처음으로 mt COI(570 bp)의 유전자 염기서열을 얻었다.</p> <p>공동사사: 한국 주변 해양생태계 변동 이해 및 대응 기반 연구(한국해양과학기술원)</p>				
연구 목표 및 연구내용과의 연관성		기대성과 및 파급 효과		
<ul style="list-style-type: none"> - 본 연구의 목표 중 하나는 동해 연안 상위포식자(어류)의 채집을 통하여 지역별 종 구성을 밝히는 것임 - 본 논문은 동해 외해 울릉도 연안에서 상위포식자 채집 중 국내 미기록종 1종의 신규 출현을 보고하였고 국명을 최초로 제시하였음 		<ul style="list-style-type: none"> - 해양에서 신규생물종의 발견은 국내 해양생물 다양성 증가와 생물자원 확보 측면에서 중요한 연구결과임 - 국내 희귀 미기록종에 대한 출현보고와 국명 국명제시를 통하여 해양환경변화에 따른 생물종 신규 출현에 대한 생태계 영향연구에 대한 중요성을 제시할 수 있음 		



New record of *Neoclinus lacunicola* (Actinopterygii: Perciformes: Chaenopsidae) from Ulleung Island, Korea revealed by body morphometry and mitochondrial DNA barcoding

Se Hun MYOUNG¹, Laith A. JAWAD², Joo Myun PARK¹

¹ Dokdo Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Uljin 36315, Republic of Korea

² School of Environmental and Animal Sciences, Unitec Institute of Technology, 139 Carrington Road, Mt Albert, Auckland 1025, New Zealand

<http://zoobank.org/5376D968-C0BE-4E04-95C4-4D930E9444F3>

Corresponding author: Joo Myun Park (joomyun.park@kiost.ac.kr)

Academic editor: Ronald Fricke ♦ Received 7 April 2021 ♦ Accepted 30 May 2021 ♦ Published 1 October 2021

Citation: Myoung SH, Jawad LA, Park JM (2021) New record of *Neoclinus lacunicola* (Actinopterygii: Perciformes: Chaenopsidae) from Ulleung Island, Korea revealed by body morphometry and mitochondrial DNA barcoding. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 51(4): 339–344. <https://doi.org/10.3897/aiep.51.67056>

Abstract

One specimen (38.3 mm SL) of *Neoclinus lacunicola* Fukao, 1980, belonging to the family Chaenopsidae, was first recorded from Ulleung Island, Korea (East Sea, otherwise known as the Sea of Japan) on 5 January 2021. This species was characterized by paired external pores of incomplete lateral line running from the upper margin of the opercle, seven pairs of supraorbital cirri arranged in two rows, occipital region with a pair of cirri, and 13 rays of pectoral fin. This species is morphologically similar to the *Neoclinus toshimaensis* Fukao, 1980, but differs in the number of cirri on the supraorbital (6–7 versus 9–11 cirri). This study documents the first report of *N. lacunicola* in Korean waters and proposes the new Korean name of ‘eol-lug-bi-neul-be-do-la-chi’ for the species. For the confirmation of the identity of the species, a partial gene sequence of the mt COI (570 bp) of *N. lacunicola* was obtained for the first time.

Keywords

Neoclinus species, tube blenny, new record, rocky shore, East Sea, Sea of Japan

Introduction

The family Chaenopsidae comprises 96 species belonging to 14 genera distributed worldwide, with one genus and eight species occurring in Japanese waters (Aizawa and Doiuchi 2013; Nelson et al. 2016), but only two species representing a single genus have recently been recorded in Korean waters (Kim and Kang 1991; Myoung et al. 2021). The tube blennies (Chaenopsidae) are reef-associated marine fishes, mainly distributed in warm North and South American waters (Nelson et al. 2016). Generally, small-sized, usually elongated and compressed, with a large mouth. The supraorbital and nasal cirri are present

or absent (Murase et al. 2015). They exhibit a hiding behavior in crevices between rocky matrices, but occasionally inhabit empty gastropod shells (empty barnacles and empty worm shells) (Stephens and Springer 1971; Fukao 1980; Fukao and Okazaki 1987). Such behavior is advantageous to protect their bodies from potential predators and to care for their spawned eggs within the habitats (Murase and Sunobe 2011; Froese and Pauly 2020).

Neoclinus lacunicola Fukao, 1980 was firstly reported as a new species in 1980 (Fukao 1980) and later, several studies have reported on the taxonomic checklists, phylogeny, and encyclopedic information (Patzner et al. 2009; Aizawa and Doiuchi 2013; Lin and Hastings 2013;

was well distinguished from *Neoclinus nudus* Stephens et Springer, 1971 and *N. bryope* was well separated from other congeners by genetic distances (d) of range 0.141 and 0.191 when a comparison of mitochondrial DNA COI sequences is made (Fig. 3). Therefore, this study documents the first record of *N. lacunicola* in Korean waters and suggests the new Korean name of ‘eol-lug-be-neul-be-do-la-chi’ for the species.

Chaenopsid fishes, occurring in Korean waters, have previously been known only as two species (*N. bryope* and *N. chihiroe*), but an additional species has now been reported through this study. The ecological characteristics of chaenopsid fishes are known that they do not have large movements and inhabit small caves between rocks or in empty gastropod tubes (Stephens and Springer 1971; Fukao and Okazaki 1987; Fukao 1990). Due to this characteristic, their distribution ranges are expected to be considerably narrow (Hongjamrassilp et al. 2020). However, although the mobile abilities are limited within the habitat ranges, their larvae have potential dispersal possibilities through the oceanographic processes, including currents (Murase et al. 2015). According to Murase et al.

(2015), the distribution range of *N. lacunicola* has been extended northwards along with the Tsushima Current and this study confirmed such northern distribution of the species. Although this species has firstly been reported to Korean waters, it is also expected that a number of individuals live in eastern Korean waters as well as Dokdo. In addition, because of the scarcity and the narrow habitat range of the species, there is a need for more ecological information, including their genetic group structure, geographic distribution range, and larval dispersals.

Acknowledgments

We are grateful to Mr. Min-Su Woo and Mr. Jin Young Shin, Korea Institute of Ocean Science and Technology for their assistance with sampling. This research was funded by the Korea Institute of Ocean Science and Technology (grant numbers PE99913, PN90190). This work was also supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIT) (No. 2020R1F1A1051773).

References

- Aizawa M (2002) Chaenopsidae. Pp. 1088, 1089. In: Nakabo T (Ed.) Fishes of Japan with pictorial keys to the species, English edition. Tokai University Press, Tokyo.
- Aizawa M, Doiuchi R (2013) Chaenopsidae. Pp. 1292–1294. In: Nakabo T (Ed.) Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species, 3rd ed. Tokai University Press, Hadano, [In Japanese]
- Froese R, Pauly D (2020) FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (12/2020).
- Fukao R (1980) Review of Japanese fishes of the genus *Neoclinus* with description of two new species and notes on habitat preference. Publications of the Seto Marine Biological Laboratory 25(1–4): 175–209. <https://doi.org/10.5134/175985>
- Fukao R (1987) Fishes of *Neoclinus bryope* species complex from Shirahama, Japan, with description of two new species. Japanese Journal of Ichthyology 34(3): 291–308. <https://doi.org/10.11369/jji1950.34.291>
- Fukao R (1990) Fishes of *Neoclinus* from Okinawa with notes on the traits of their habitats. Japan. Japanese Journal of Ichthyology 37(2): 116–126. <https://doi.org/10.1007/BF02905379>
- Fukao R, Okazaki T (1987) A study on the divergence of Japanese fishes of the genus *Neoclinus*. Japanese Journal of Ichthyology 34(3): 309–323. <https://doi.org/10.11369/jji1950.34.309>
- Hall TA (1999) BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symposium Series 41(41): 95–98.
- Hongjamrassilp W, Murase A, Miki R, Hastings PA (2020) Journey to the West: Trans-Pacific historical biogeography of fringehead blennies in the genus *Neoclinus* (Teleostei: Blenniiformes). Zoological Studies (Taipei, Taiwan) 59: 9. <https://doi.org/10.6620/ZS.2020.59-09>
- Hubbs CL, Lagler KF (1958) Fishes of the Great Lakes Region. Bulletin of Cranbrook Institution of Science 26: 1–213.
- Jordan DS, Snyder JO (1902) A review of the blennoid fishes of Japan. Proceedings of the United States National Museum 25(1293): 441–504. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.25-1293.441>
- Kim IS, Kang EJ (1991) Taxonomic revision of the suborders Blennioidei and Zoarcoidei (Pisces, Perciformes) from Korea. Tongmul Hakhoe Chi 34(4): 500–525.
- Kimura M (1980) A simple method for estimating evolutionary rate of base substitution through comparative studies of nucleotide sequences. Journal of Molecular Evolution 16(2): 111–120. <https://doi.org/10.1007/BF01731581>
- Lin HC, Hastings PA (2013) Phylogeny and biogeography of a shallow water fish clade (Teleostei: Blenniiformes). BMC Evolutionary Biology 13(1): 1–18. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-13-210>
- MABIK (Marine Biodiversity Institute of Korea) (2020) National List of Marine Species. Namu Press, Seocheon.
- Murase A, Sunobe T (2011) Interspecific territoriality in males of the tubebelly *Neoclinus bryope* (Actinopterygii: Chaenopsidae). Journal of Ethology 29(3): 467–472. <https://doi.org/10.1007/s10164-011-0276-y>
- Murase A, Aizawa M, Sunobe T (2010) Two new chaenopsid fishes, *Neoclinus monogrammus* and *Neoclinus nudiceps* (Teleostei: Perciformes: Blennioidei), from Japan. Species Divers 15(2): 57–70. <https://doi.org/10.12782/specdiv.15.57>
- Murase A, Tashiro F, Awata S (2015) The northernmost records of two *Neoclinus* blennies (Teleostei: Chaenopsidae) from the Sea of Japan. Marine Biodiversity Records 8: e124. <https://doi.org/10.1017/S1755267215001037>
- Myoung SH, Min W-G, Woo M-S, Kim Y-B, Shin JY, Park JM (2021) New record of *Neoclinus chihiroe* Fukao, 1987 (Perciformes: Chaenopsidae) in Dokdo, East Sea, Korea. Korean Journal of Ichthyology 33(2): 142–147. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.2.10>

[붙임2-2] 주관연구책임자 대표적 논문·특허실적 요약문

연구실적 유형		논문(●) 특허()		
연구책임자 성명		연구책임자(박주면)		
논문/특허명		동해 연안에 출현하는 고무걱정어(<i>Dasycottus setiger</i>)의 섭식생태		
논문실적정보 <input type="checkbox"/>	게재지(저널명)	한국수산과학회지		
	SCI 등재 여부	미등재	Impact Factor 및 인용횟수(SCI)	N/A(00회)
	SCOPUS 등재 여부	미등재	인용횟수(SCOPUS)	00회
	ISSN	(예시)2041-1723	게재년월	2022.06
	역할(제1, 교신, 참여)	제1및교신저자	참여자수	5명
특허실적정보 <input type="checkbox"/>	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	

요약문

Abstract: 본 연구에서는 2018년 5월부터 2019년 2월까지 우리나라 동해 중부와 북부연안에서 계절별로 채집한 고무걱정어(*Dasycottus setiger*) 156개체의 섭식생태를 조사하였다. 먹이생물의 중량비(%W)를 기준으로 고무걱정어의 주요 먹이생물은 어류(33.5%)로 나타났고, 그 다음으로 새우류(13.8%), 단각류(13.3%), 두족류(12.0%), 다모류(7.1%) 순으로 나타났다. 고무걱정어의 소화관내용물에서 다른 먹이생물의 중량 기여도에 따라 채집 지역과 개체 크기에 따라 먹이 구성에 상당한 차이가 있음이 밝혔다. 동해 북부에 출현하는 고무걱정어는 체장 증가에 따라 단각류에서 새우류와 어류로 변하는 경향을 보였고, 동해 중부에서는 새우류와 곤쟁이류에서 어류와 두족류로 먹이 생물이 변하는 체장에 따른 변화 경향을 보여주었다. 이러한 먹이생물 변화에 대한 다변량 분석 결과 고무걱정어의 먹이생물 조성은 채집 지역에 따라 유의한 차이를 보였지만 체장에 따라 유의한 차이는 없었다. 즉, 단각류는 북부 개체군의 먹이원에 더 많은 기여를 한 반면, 곤쟁이류는 중부 연안에 서식하는 고무걱정어의 먹이원으로써 기여도가 높아 두 연구 지역 간 이용 가능한 먹이 자원의 차이를 보여주었다.

공동사사: 기후변화에 따른 동해 연안 갯녹음 유발요인 검증 원천기술 개발(한국해양과학기술원)

연구 목표 및 연구내용과의 연관성	기대성과 및 파급 효과
<ul style="list-style-type: none"> - 본 연구의 목표 중 하나는 상위포식자의 먹이생물 분석을 통하여 포식자와 먹이생물의 포식-피식 관계를 밝히는 것임 - 본 논문은 동해 중북부 연안 생태계에서 우점하는 고무걱정어의 먹이생물 분석을 통하여 주요 먹이생물 섭식에 대한 종내 변동 및 계절별 해양환경 변화에 따른 섭식특성 변화의 결과를 제시하였음 	<ul style="list-style-type: none"> - 동해 중북부 연안 상위생태계 우점종이고 중요한 상업성 어종인 고무걱정어의 섭식생태를 밝혀 생태계내 고무걱정어의 역할을 규명할 수 있음 - 계절별 및 서식지별 해양환경 차이에 따른 먹이생물 출현량이 고무걱정어 출현량 및 어업생산성 변화에 대한 단서를 제공할 수 있음

동해 연안에 출현하는 고무걱정어(*Dasycottus setiger*)의 섭식생태

박주연* · 정해근¹ · 김범식² · 정용우² · 이충일²

한국해양과학기술원 독도전문연구센터, ¹국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과, ²강릉원주대학교 해양생태환경학과

Dietary Habitats of Spinyhead Sculpin *Dasycottus setiger* in the Coastal Waters of the East Sea, Korea

Joo Myun Park*, Hae Kun Jung¹, Beon Sik Kim², Young Woo Jung² and Chung Il Lee²

Dokdo Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Uljin 36315, Republic of Korea

¹Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Republic of Korea

²Department of Marine Ecology and Environment, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea

In this study, the dietary habits of the spinyhead sculpin *Dasycottus setiger* were investigated based on 156 specimens collected seasonally between May 2018 and February 2019 from the East Sea off the Korean coast. In terms of the weight contribution (%W), the main food items of the spinyhead sculpin were found to be teleosts (33.5%), followed by carid shrimps (13.8%), amphipods (13.3%), cephalopods (12.0%), and polychaetes (7.1%). Dietary analyses based on the weight contribution of different prey taxa in the diet of the spinyhead sculpin revealed considerable variation in the dietary composition in terms of the sampling region and fish size implying intra-specific dietary segregation. The spinyhead sculpin showed a size-related trends in dietary shift from amphipods to carid shrimps and teleosts in northern region, and from carid shrimps and mysids to teleosts and cephalopods in middle eastern coast. Multivariate analyses of dietary changes revealed that the dietary composition of spinyhead sculpin is significantly associated with the sampling site, but not the fish size. Amphipods contributed more to the diets of the northern population, while mysids typified the diets of spinyhead sculpin inhabiting the middle eastern coast, indicating differences in available food resources between the two study regions.

Keywords: Stomach contents, Sculpins, Maturity, Coastal habitat, East Sea

서론

동해는 반폐쇄형 연안해(marginal sea)로, 동해 연안의 생태계는 북쪽에서 연안을 따라 남하하는 북한한류와 남쪽에서 북상하는 고온-고염의 대마난류의 영향을 받는 특징을 가지고 있다(Naganuma, 2000; Lee et al., 2009). 또한, 동해는 외양으로 갈수록 수심이 급격히 깊어지는 지형적 특성과 여름철에 저층수의 용승에 의한 냉수대 출현(Kim and Kim, 1983)으로 인해 우리나라 남해 또는 서해와 뚜렷이 구분되는 다른 물리적, 생태학적 구조를 보이고 있다. 이러한 특징으로 동해(특히 우리나라 동해 중북부) 연안 생물상은 동해 남부 또는 남해 동부와 다른 특징을 가지고 있으며, 우리나라 연안역 중 동해 연안

에만 출현하는 고유종이 다수 분포한다(Kim et al., 2005; Park et al., 2007; Yang et al., 2008). 고무걱정어(spinyhead sculpin *Dasycottus setiger*)는 농어목(Perciformes), 물수배기과(Psychrolutidae)에 속하는 냉수성 저어류로 우리나라를 포함한 북태평양 연안해역(66°N-46°N)의 수심 약 800 m까지 서식하는 것으로 알려져 있다(Fedorov et al., 2003). 우리나라에서 고무걱정어는 동해에서만 서식하는 것으로 알려져 있으며, 주로 경북과 강원도 연안의 100 m 보다 깊은 수심에서 저인망, 트롤 및 자망어업 등에서 어획되는 상업성 어종 중 하나이다(Park et al., 2007; Yang et al., 2007; Sohn et al., 2010, 2015a). 과거 동해 어류군집 연구에서 고무걱정어는 수심별로 수온약층 보다 깊은 수심에서 우점하였고, 수심 900 m까지 분포하는 것으로 조

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 780. 5344 Fax: +82. 54. 780. 5349
E-mail address: joomyun.park@kiost.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0345>

Korean J Fish Aquat Sci 55(3), 345-352, June 2022

Received 21 March 2022; Revised 21 April 2022; Accepted 30 April 2022

저자 직위: 박주연(책임연구원), 정해근(연구사), 김범식(대학원생), 정용우(대학원생), 이충일(교수)

가능성을 높이기 위하여 서식지 주변에 풍부하게 서식하는 먹이생물을 주로 섭식한다(Persson and Diehl, 1990). 본 연구의 두 해역에서 고무꺼정이의 먹이생물 차이는 각 해역의 서식지 환경에서 큰 크기군의 고무꺼정이가 선호하는 먹이생물은 유사하였지만, 작은 크기군 개체들이 섭식하기 쉬운 작은 크기의 먹이생물 종류가 달랐기 때문에 판단된다. 아야진에서 작은 크기군의 고무꺼정이가 주로 섭식한 단각류는 *Anonyx* sp.였는데, *Anonyx*속 단각류는 비교적 크기가 큰 종으로 극지방에 가까운 해역 또는 심해에 주로 분포한다(Sainte-Marie, 1992; Takekawa and Ishimaru, 2001). 최근 우리나라 동해 북부연안에서 *Anonyx*속 단각류의 미기록종이 다수 보고되고 있으며(Heo and Kim, 2018, 2021), 동해 북부 해역에 출현하는 명태(*Gadus chalcogrammus*)의 위내용물에서도 발견되었다(Park et al., 2021). 이러한 특징으로 미뤄 보아 *Anonyx*속 단각류는 본 연구 해역 중 아야진 해역에 주로 분포할 것으로 생각된다. 반면, 곤쟁이류는 우리나라 동해에서 넓게 분포하기 때문에(Jo and Jeon, 2007) 조사해역간 먹이 자원에서 큰 차이가 없을 것으로 생각된다. 다만 곤쟁이류는 무리를 지어 이동하는 특성 때문에 후포 연안역의 특정 환경조건에서 출현량이 많았기 때문에 작은 크기군의 고무꺼정이에 의해 많이 섭식 된 것으로 판단된다. 향후 동해 연안에서 위도별 또는 서식지별 주요 어종의 섭식 변동을 밝히기 위해 잠재적 먹이생물 현존량에 대한 조사도 병행되어야 될 것으로 판단된다.

일반적으로 성장에 따른 먹이생물의 변화는 어류에서 나타나는 일반적인 현상이고, 섭식되는 먹이의 에너지 효율과 관련 있다(Gerking, 1994). 어류는 성장하면서 몸과 입크기가 증가하고 활동성이 증가하기 때문에, 크기가 커질수록 좀 더 많은 종류의 먹이 또는 먹이 포획을 위한 노력에 비해 에너지 효율이 높은 먹이를 섭식할 수 있다(Stoner and Livingston, 1984; Scharf et al., 2000). 고무꺼정이는 많은 저서성 어식성 어류와 유사하게 성장함에 따라 갑각류에서 에너지 효율이 어류로 위내용물 조성의 변화를 보였다. 물수배기과에 속하는 어류 중 베링해에 출현하는 *Malacocottus zonurus*는 성장함에 따라 갯지렁이류와 새우류에서 어류로 먹이가 바뀌는 양상을 보였고(Napazakov and Chuchukalo, 2006), 동해 심해에 서식하는 주먹물수배기는 전장 20 cm 이상에서 어류의 섭식이 증가하는 경향을 보였다(Choi et al., 2009). 이러한 변화는 먹이 자원 또는 공간에 대한 종내 경쟁을 감소시키는 결과를 가져온다(Langton, 1982; Chizinski et al., 2007).

본 연구는 동해 북부와 중부 해역에 출현하는 고무꺼정이의 먹이생물과 크기 및 해역에 따른 먹이생물 차이에 대한 정보를 제공해 주었다. 위내용물 분석 결과 고무꺼정이는 저서 갑각류와 어류를 주로 섭식하는 어류-갑각류 식자임을 나타냈다. 어류의 섭식생태에 관한 연구는 해양 생태계의 포식-피식 관계를 바탕으로 생태계 먹이망 구조 연구를 위한 기초 연구이고, 생태계 관리와 보전의 관점에서 중요한 자료가 된다. 그럼에도 불구하고

고 본 연구는 고무꺼정이의 비교적 작은 크기군에 대한 먹이생물을 밝혔고, 최대 체장까지 충분한 시료를 확보하지 못하여 고무꺼정이의 섭식생태를 완전히 밝히지 못하였다. 따라서 향후 이러한 관점에서 연구를 위한 충분한 표본 확보 후 분석이 필요할 것이다.

사 사

이 논문은 한국연구재단 개인기초연구(NRF-2020R1F1A1051773)와 한국해양과학기술원 주요사업(PEA0013)의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 연구의 시료 채집과 분석에 도움을 준 강릉원주대학교 수산해양학 연구실 학생들에게 감사드립니다.

References

- Anderson MJ, Gorley RN and Clarke KR. 2008. PERMANOVA+ for Primer: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, U.K., 214.
- Baeck GW, Park JM, Choi HC and Huh SH. 2013. Diet composition in summer of rosefish *Helicolenus hilgendorffii* on the southeastern coast of Korea. *Ichthyol Res* 60, 75-79. <https://doi.org/10.1007/s10228-012-0306-y>.
- Chizinski CJ, Huber CG, Longoria M and Pope KL. 2007. Intra-specific resource partitioning by an opportunistic strategist, inland silverside *Menidia beryllina*. *J Appl Ichthyol* 23, 147-151. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00811.x>.
- Choi JH, Hong BK, Jun YY, Kim JN, Choi YM and Yoo OH. 2009. Feeding comparison of three deep-sea fish, *Lumpenella longirostris*, *Malacocottus gibber* and *Bothrocara hollandi*, in the East Sea. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 151-156. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.2.151>.
- Clarke KR and Gorley RN. 2015. Primer v7: User manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth, U.K., 296.
- Fedorov VV, Chereshev IA, Nazarkin MV, Shestakov AV and Volobuev VV. 2003. Catalog of marine and freshwater fishes of the northern part of the Sea of Okhotsk. *Dal'nauka, Vladivostok, Russia*, 204.
- Ferry LA and Cailliet GM. 1996. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly?. In: International Congress on the Biology of Fishes. MacKinlay D and Shearer K, eds. University of California, San Francisco, CA, U.S.A., 71-80.
- Gerking SD. 1994. Feeding ecology of fish. Academic Press, San Diego, CA, U.S.A., 416.
- Gibson RN, Robb L, Wennhage H and Burrows MT. 2002. Ontogenetic changes in depth distribution of juvenile flatfishes in relation to predation risk and temperature on a shallow-water nursery ground. *Mar Ecol Prog Ser* 229, 233-244. <https://doi.org/10.3354/meps229233>.

[붙임2-2] 주관연구책임자 대표적 논문·특허실적 요약문

연구실적 유형		논문(●) 특허()		
연구책임자 성명		연구책임자(박주면)		
논문/특허명		위내용물 분석과 안정동위원소 분석을 이용한 겨울철 동해 북부 연안에 출현하는 명태(<i>Gadus chalcogrammus</i>)와 대구(<i>G. macrocephalus</i>)의 먹이분할 연구		
논문실적정보 <input type="checkbox"/>	게재지(저널명)	한국어류학회지		
	SCI 등재 여부	미등재	Impact Factor 및 인용횟수(SCI)	N/A(00회)
	SCOPUS 등재 여부	미등재	인용횟수(SCOPUS)	00회
	ISSN	1225-8598	게재년월	2022.06
	역할(제1, 교신, 참여)	제1및교신저자	참여자수	4명
특허실적정보 <input type="checkbox"/>	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	
요 약 문				
<p>Abstract: 본 연구는 위내용물 분석과 안정동위원소 ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) 분석을 통하여 우리나라 동해 북부 연안에 출현하는 명태(<i>Gadus chalcogrammus</i>)와 대구(<i>G. macrocephalus</i>)의 종내 및 종간 먹이자원 분할을 조사하였다. 두 종은 중층성 육식성 어종으로 명태는 저서성 및 중층성 갑각류를 주로 섭식하였고, 대구는 어류를 주로 섭식하였다. 위내용물 분석 결과에 대한 Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination과 permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA)은 두 종의 종내 및 종간 먹이조성의 차이와 먹이자원 분할을 보여줬다. 안정동위원소 분석 결과 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 종간 유사하였지만, $\delta^{13}\text{C}$ 값은 대구가 높은 값을 나타내어 두 종간 생태지위 차이를 보여줬다. 명태는 체장 증가에 따라 큰 체장군에서 새우류와 두족류를 더 많이 섭식하는 먹이 전환을 나타냈지만, 대구는 체장군 간 먹이조성이 유사하였다. 안정동위원소 분석에서도 체장군 간 차이를 보였는데, 두 종의 큰 체장군은 작은 체장군에 비해 더 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 나타낸다. 결론적으로 본 연구는 명태와 대구의 위내용물 분석과 안정동위원소 분석을 통하여 종내 및 종간 먹이 차이와 생태지위 분할의 증거를 보여줬다</p> <p>공동사사: 동해 연안 어업 및 환경생태 조사(국립수산과학원)</p>				
연구 목표 및 연구내용과의 연관성		기대성과 및 파급 효과		
<ul style="list-style-type: none"> - 본 연구의 목표 중 하나는 상위포식자의 먹이 생물 분석을 통하여 포식자와 먹이생물의 포식-피식 관계를 밝히는 것임 - 본 논문은 겨울철 동해 북부 연안 생태계에서 상위 포식자인 명태와 대구의 소화관내용물 및 안정동위원소 분석을 통하여 먹이생물에 대한 섭식관계 생태지위 분할 관계에 대한 결과를 제시하였음 		<ul style="list-style-type: none"> - 동해 중북부 연안 상위생태계 우점종이고 중요한 상업성 어종인 명태와 대구의 섭식생태를 밝혀 생태계내 두 종의 역할을 규명할 수 있음 - 상위생태계 우점종의 생태지위를 밝혀 환경변화에 따른 먹이생물 변동이 포식자 증별 현존량에 미치는 영향 정도를 밝힐 수 있음 		

위내용물 분석과 안정동위원소 분석을 이용한 겨울철 동해 북부 연안에 출현하는 명태(*Gadus chalcogrammus*)와 대구(*G. macrocephalus*)의 먹이분할 연구

박주면* · 정해근¹ · 이충일² · 박현제²

한국해양과학기술원 독도전문연구센터, ¹국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과,
²강릉원주대학교 해양생태환경학과

Winter Food Resource Partitioning between Sympatric *Gadus macrocephalus* and *G. chalcogrammus* in the Northern Coast of East Sea, South Korea Inferred from Stomach Contents and Stable Isotopes Analyses by Joo Myun Park*, Hae Kun Jung¹, Chung Il Lee² and Hyun Je Park² (Dokdo Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Uljin 36315, Republic of Korea; ¹Fisheries Resources and Environment Research Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Republic of Korea; ²Department of Marine Ecology and Environment, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea)

ABSTRACT This study investigated dietary habits and intra- and inter-specific food resource partitioning of co-occurring walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) and Pacific cod (*G. macrocephalus*) from the waters off the north-eastern coast of South Korea using stomach contents and stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) analyses. Both species are mesopelagic carnivores that consumed mainly benthopelagic crustaceans, but teleosts were also abundant in the diet of Pacific cod. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination and permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) of dietary data revealed significant intra- and inter-specific dietary differences, i.e., food resource partitioning. Nitrogen stable isotope values ($\delta^{15}\text{N}$) were similar between walleye pollock and Pacific cod, but carbon stable isotope values ($\delta^{13}\text{C}$) were significantly different, suggesting different trophic positioning. Canonical analysis of principal coordinate (CAP) ordination plot further demonstrated that differences in the type and range of prey ingested by the two species contributed such an inter-specific difference in the diet compositions. Ontogenetic changes in diet compositions were evident. As walleye pollock, they preyed more upon carid shrimps and cephalopods, but no such trend was observed in the diets of Pacific cod. While stable isotope values indicated that large-sized specimens of both species were significantly enriched in ^{15}N relative to smaller conspecifics thus supporting these data. Consequently, in this study, both methodologies, i.e., stomach contents and stable isotope analyses, provided evidence of inter- and/or intra-specific dietary segregations and trophic niche partitioning between co-occurring walleye pollock and Pacific cod off eastern Korean waters.

Key words: Resource partitioning, stomach contents, stable isotope, Gadidae, East Sea

서 론

저자 직위: 박주면 (책임연구원), 정해근 (해양수산연구사), 이충일 (교수), 박현제 (부교수)
*Corresponding author: Joo Myun Park Tel: 82-54-780-5344,
E-mail: joomyun.park@kiost.ac.kr

해양생태계에서 동소종(Sympatric species)은 종종 서식지 내 공간과 먹이자원을 공유하면서 서식한다(Platell and Potter,

값을 나타낸다. 결론적으로 본 연구는 명태와 대구의 위내용물 분석과 안정동위원소 분석을 통하여 종내 및 종간 먹이 차이와 생태지위 분할의 증거를 보여줬다.

사 사

이 논문은 한국연구재단 개인기초연구(NRF-2020R1F1A1051773)와 2022년 국립수산물연구원 수산과학연구소(동해 연안 어업 및 환경생태 조사, R2022035)의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 연구의 시료 채집과 분석에 도움을 준 강릉원주대학교 수산해양학 연구실 학생들에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Adams, C.F., A.I. Pinchuk and K.O. Coyle. 2007. Seasonal changes in the diet composition and prey selection of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the northern Gulf of Alaska. *Fish. Res.*, 84: 378-389. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.11.032>.
- Albers, W.D. and P.J. Anderson. 1985. Diet of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, and predation on the northern pink shrimp, *Pandalus borealis*, in Pavlof Bay, Alaska. *Fish. Bull.*, 83: 601-610.
- Alcaraz, C. and E. García-Berthou. 2007. Food of an endangered cyprinodont (*Aphanius iberus*): ontogenetic diet shift and prey electivity. *Environ. Biol. Fish.*, 78: 193-207. <https://doi.org/10.1007/s10641-006-0018-0>.
- Anderson, M.J., R.N. Gorley and K.R. Clarke. 2008. PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK, 214pp.
- Barnes, L.M., M. Leclerc, C.A. Gray and J.E. Williamson. 2011. Dietary niche differentiation of five sympatric species of platycephalidae. *Environ. Biol. Fish.*, 90: 429-441. <https://doi.org/10.1007/S10641-010-9752-4>.
- Bearhop, S., C.E. Adams, S. Waldron, R.A. Fuller and H. MacLeod. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *J. Anim. Ecol.*, 73: 1007-1012. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8790.2004.00861.x>.
- Buchheister, A. and R.J. Latour. 2010. Turnover and fractionation of carbon and nitrogen stable isotopes in tissues of a migratory coastal predator, summer flounder (*Paralichthys dentatus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 67: 445-461. <https://doi.org/10.1139/F09-196>.
- Cha, H.K., S.I. Lee, S.C. Yoon, Y.S. Kim, Y.Y. Chun, D.S. Chang and J.H. Yang. 2007. Maturation and spawning of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus* TILESIIUS in East Sea of Korea. *J. Korean Soc. Fish. Ocean Technol.*, 43: 320-328. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2007.43.4.320>.
- Chizinski, C.J., C.G. Huber, M. Longoria and K.L. Pope. 2007. Intra-specific resource partitioning by an opportunistic strategist, inland silverside *Menidia beryllina*. *J. Appl. Ichthyol.*, 23: 147-151. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00811.x>.
- Clarke, K. and R. Gorley. 2015. PRIMER v7: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK, 296pp.
- Cortés, E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 726-738. <https://doi.org/10.1139/f96-316>.
- Cresson, P., S. Ruitton, M. Ourgaud and M. Harmelin-Vivien. 2014. Contrasting perception of fish trophic level from stomach content and stable isotope analyses: a Mediterranean artificial reef experience. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 452: 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.11.014>.
- Duarte, L.O. and C.B. García. 1999. Diet of the mutton snapper *Lutjanus analis* (Cuvier) from the gulf of Salamanca, Colombia, Caribbean Sea. *Bull. Mar. Sci.*, 65: 453-465.
- Elmqvist, T., C. Folke, M. Nyström, G. Peterson, J. Bengtsson, B. Walker and J. Norberg. 2003. Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Front. Ecol. Environ.*, 1: 488-494. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2).
- Ferry, L.A. and G.M. Cailliet. 1996. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly? In: MacKinlay, D., K. Shearer (eds.), International congress on the biology of fishes. University of California, San Francisco, California, U.S.A., pp. 71-80.
- Froese, R. and D. Pauly. Eds. 2022. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2022).
- Fry, B. 2006. Stable Isotope Ecology. Springer-Verlag, New York, U.S.A., 308pp.
- Fry, B. and E.B. Sherr. 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contrib. Mar. Sci.*, 27: 13-47.
- Gerking, S.D. 1994. Feeding ecology of fish, 1st ed. Academic Press, San Diego, U.S.A., 416pp.
- Greenstreet, S.P. and S.I. Rogers. 2006. Indicators of the health of the North Sea fish community: identifying reference levels for an ecosystem approach to management. *ICES J. Mar. Sci.*, 63: 573-593. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.12.009>.
- Hesslein, R.H., M.J. Capel, D.E. Fox and K.A. Hallard. 1991. Stable isotopes of sulfur, carbon, and nitrogen as indicators of trophic level and fish migration in the lower Mackenzie River basin, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 2258-2265. <https://doi.org/10.1139/f91-265>.
- Huh, S.H., J.M. Park and G.W. Baeck. 2016. Diet partitioning between co-occurring *Amblychaeturichthys hexanema* and *Amblychaeturichthys sciistius* in the southeastern Korean waters. *Korean J. Ichthyol.*, 28: 79-86.
- Huveneers, C., N.M. Otway, S.E. Gibbs and R.G. Harcourt. 2007. Quantitative diet assessment of wobbegong sharks (genus