

우리나라 연안-하구에 서식하는 어류의 식성 관련 연구 현황

조현빈 · 김동균 · 박기연 · 이완옥 · 곽인실^{1,*}

전남대학교 수산과학연구소, ¹전남대학교 환경해양학전공

A Literature Review of Fish Feeding Research in the Coast - Estuary Areas of Korean Peninsula.

Hyunbin Jo (0000-0001-8064-7880), Dong-Kyun Kim (0000-0003-3801-8671), Kiyun Park (0000-0003-2965-6970), Wan-Ok Lee (0000-0001-5063-3357) and Ihn-Sil Kwak^{1,*} (0000-0002-1010-3965) (Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ¹Department of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

Abstract We carried out a literature review of fish food sources research in the coast - estuary areas of Korean peninsula for the last fifty years (1969~2018). A total of 101 research papers were reviewed, of which 81 were published in domestic journals, 7 were published in domestic reports and 14 were published in international journals. When divided into the decade periods, 21 papers (19.4%) between 1990 and 1999 and 26 papers (24.1%) between 2000 and 2009, and 42 papers (48.1%) were published in 2010 and 2018, respectively. When divided into the survey area by a bearing (East sea, South-East sea, South Sea, and West Sea), 65 papers (69.1%) were carried out in the South Sea. Followed by 13 papers (13.8%) in the East Sea and 8 papers (8.5%) in the West Sea and the South-East Sea, respectively. The surveyed area was dominant in Gwangyang Bay (18 papers; 24.3%), followed by Gadeok-do (8 papers; 10.8%). Of the diversity indices, 14 indices were used to calculate the ecological status. The dominant indices were IRI (Index of relative importance), Pi (Prey-specific abundance) followed by E (electivity index) and Bi (dietary breadth index). A total of 11 statistical methods were used to find feeding strategy. The correlation analysis and Bray-Curtis similarity matrix were applied most frequently. In terms of ecological research topics, the papers focused on seasonal or spatial differences before 2000. Since 2000, specifically, the international journal papers have been published based on competition, sympatric, niche overlap and other ecological topics.

Key words: coast - estuary areas, fish food sources research, Index of relative importance, statistical methods, ecological research topic

서 론

연안 (coastal) - 하구 (estuarine) 생태계 (ecosystem)는 높은 생산성 (productivity)과 생물다양성 (biodiversity)을 바탕으로 경제적, 인문-사회학적, 생태학적 가치를 인정 받

고 있다 (Barbier *et al.*, 2011). 이러한 연안과 하구에 서식하는 어류는 인류의 주요 단백질 공급원으로서 전 세계의 중요한 자원이다 (Pauly *et al.*, 2002). 최근에는 단백질 공급원으로서의 경제적 가치뿐만 아니라, 스포츠 낚시 (sports fishing)나 관상어 (aquarium fish)와 같은 심미적 가치도 경제적인 가치로 인정되고 있다. 또한 생태학적 관점에서 어류는 수서생태계의 최상위 포식자로서 생태계 건강성 유지 및 상위포식자조절 (top-down control)을 위한 중요한

Manuscript received 1 January 2019, revised 21 May 2019, revision accepted 12 June 2019

* Corresponding author: Tel: +82-61-659-7148, Fax: +82-61-653-6620, E-mail: iskwak@jnu.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

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, provide the original work is properly cited.

인자로 인식되고 있다(Jeppesen *et al.*, 1997).

연안-하구와 같은 독특한 수생태계에서 생산자(producer)와 소비자(consumer)를 이어주는 요소에는 종간 상호작용(intraspecific interaction), 종내 경쟁(interspecific competition), 포식(predation), 상리공생(symbiosis) 등이 있다. 종간 상호작용과 포식은 직접적인 영향을 주고받기 때문에 수생태계에서 상대적으로 중요한 요소이다(Carreon-Martinez and Heath, 2010). 포식-피식 상호작용(predator-prey interaction)을 연구하는 것은 수생태계의 상호작용을 직접적으로 파악할 수 있다. 따라서 최상위 포식자인 어류가 소비자로서 무엇을 먹고 성장을 하는지, 어떠한 먹이원이 중요한지에 대한 정보는 어류의 개체군을 보전-유지하는데 중요한 기초 정보가 된다.

국내에서도 먹이원 연구의 중요성을 인식하여 많은 연구가 연안-하구 생태계에서 수행되었다(Choi and Shin, 2018). 국내 주요 연구사례로는 2000년대 이후 연안생태계에서 일차생산자인 저서미세조류와 잘피(*Zostera marina*)의 먹이원 기여도에 대한 연구가 있었으며(Ha *et al.*, 2014), 중형저서동물의 영양 생태적 연계성, 독살 생태계 구조 연구(Jeong *et al.*, 2014), 조간대 갯벌의 먹이망 구조 연구(Kang *et al.*, 2016) 등 다양한 연구-하구 생태계의 먹이원 연구가 진행되었다.

하지만 어류 먹이원에 대한 체계적인 연구는 부족하며 이에 대한 문헌 연구가 정리되지 않아 국내 연안-하구에 서식하는 어류먹이원의 연구 논문 현황에 대한 정리가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 국내-외에서 출판된 우리나라 연안-하구 어류의 먹이원 연구 현황을 파악하고 향후 연구 방향에 대해서 논의하고자 한다.

재료 및 방법

1. 국내 어류먹이원 연구 문헌 수집

본 연구는 지난 50년간(1969~2018년) 국내 연안-하구(만조수위선으로부터 영해의 외측한계까지의 바다)에서 수행된 어류먹이원 분석과 관련된 연구 문헌을 학술 Data Base인 NDL(National Digital Library), KISS(Korean studies Information Service System), KISTI(Korea Institute of Science and Technology Information), DBpia, Google Scholar에서 “식성(feeding strategy)”, “위 내용물 조성(diet composition)”, “섭식 생태(feeding ecology)”, “먹이 습성(feeding habits)” 등의 키워드를 검색하여 수집하였다. 이와 더불어 수집된 연구 문헌의 주요 저자 목록을 작성하고, 저자별로 작성된 논문을 저자이름으로 검색하여, 저자

가 국내에서 수행한 국내-국제 연구 문헌을 추가적으로 수집하였다. 이를 통해 국내의 연안-하구에서 수행된 어류 먹이원 관련 연구 문헌을 최대한 전수 수집하였다. 수집된 연구 문헌 정보의 신뢰성 향상을 위해 수집된 연구 문헌 중 KCI등재 후보지 이상에 출판된 논문과 국립연구소에서 출판된 문헌을 분석에 사용하였으며, 이 중 정보를 수집할 수 없는 학술대회 발표용 단순 초록 형태의 논문은 문헌 분석 대상에서 제외하였다.

2. 분석 및 통계

수집된 연구 문헌은 본문의 내용을 분석하여 핵심 정보(출판일, 조사지역, 서식처, 채집 방법, 분석 방법, 서식처 특성, 중요 단어, 분석 개체수, 생태학적 주제)를 추출하였다. 출판사 및 저널의 경우 KCI등재 및 KCI후보일 경우 국내 학회지로, SCI(E) 또는 Scopus 등재일 경우 국제 학회지로 표시하였다. 조사된 연구 문헌은 관련 논문이 급격히 늘어나기 시작한 1990년 이전을 초기단계(early stage, 1969~1989), SCI(E)가 처음 출판되기 시작한 2003년 전후로 발전단계(development stage, 1990~2003) 그리고 성숙단계(maturity stages, 2004~2018)로 나누어 분석하였다. 조사된 연구 문헌 분석 데이터는 기술 통계를 통해 시간적 변화는 막대그래프(bar graph)로 공간적 변화는 원그림표(pie-chart)로 도식화 및 수치화 하였으며, 기술 통계 수치는 Excel(Microsoft co. USA)를 사용하여 계산하였다.

결 과

1. 연구논문편수의 시간적 변이

지난 50년간(1969~2018년) 우리나라 연안과 하구에서 서식하는 어류먹이원 분석에 관련된 연구 논문은 총 101편이 발표되었다. 이 중 국내 학회지에 발표된 논문은 81편, 보고서는 6편 그리고 국제 학회지에 발표된 논문은 14편이었다. 발표된 연구 논문을 10년 단위로 나누어 보면 1990~1999년에 21편(19.4%; 2.1 ± 3.0 /년 [평균±표준편차]), 2000~2009년에 26편(24.1%; 2.6 ± 1.3 /년)으로 비슷한 수준을 유지하다가, 2010~2018년에 크게 증가하여 전 기간의 2배에 가까운 52편(48.1%; 5.8 ± 2.3)의 논문이 출판되었다(Fig. 1A). 연도별로 보면, 1997년 7편을 기점으로 크게 증가하기 시작하여 1998년에 8편으로 최대 논문 출판 편수에 도달한 뒤 이후 2~6편이 매년 꾸준히 출판되는 추세를 보였다(Fig. 1B). 국제 학회지 논문은

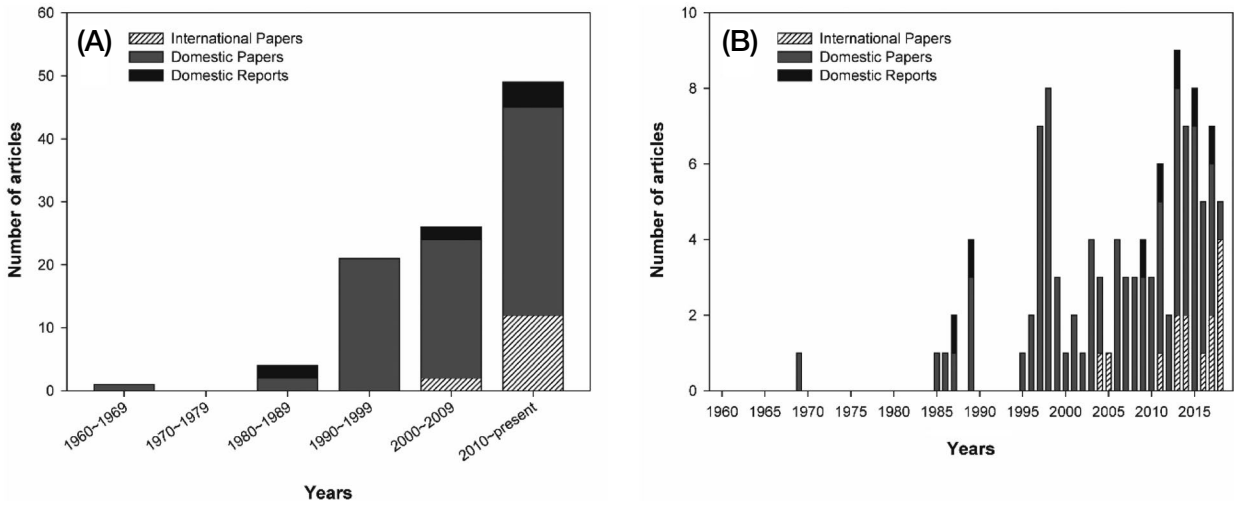


Fig. 1. Changes in number of papers about fish gut-contents analysis in Korean estuarine-coastal area in the last 50 years (1969~2018) (A: decade, B: annual, diagonal line: international papers, gray: domestic papers, black: domestic reports).

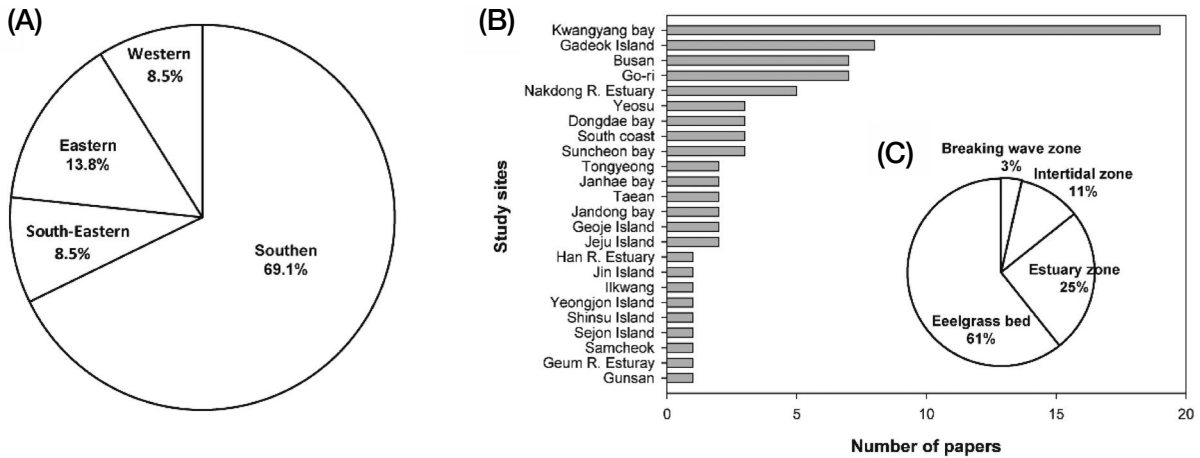


Fig. 2. Study areas of the papers published in the domestic and international journal (A: division of Korean estuarine-coastal area, B: study sists, C: specific habitat types).

2004년에 처음 출판되었으며, 이후 꾸준히 편수가 증가하여 2018년도에는 4편의 연구 논문이 출판되었다.

2. 조사지 공간 및 종별 분포

국내 연안-하구에서 어류먹이원 분석이 수행된 조사지역의 해역을 방위(남해, 남-동해, 동해, 서해)로 나누어보면, 남해에서 65편(69.1%)으로 가장 많은 연구가 이루어졌으며, 그 뒤를 동해가 13편(13.8%), 서해와 남-동해에서 각각 8편씩(8.5%) 연구가 수행되었다(Fig. 2A). 조사지역의 분포를 보면 광양만에서 18편(24.3%)으로 가장 많은

연구가 수행되었으며, 가덕도에서 8편(10.8%)으로 그 뒤를 이었다. 그리고 부산과 고리에서 각각 7편(9.5%)씩 연구가 수행되었고, 낙동강하구에서 5편(6.8%), 나머지 조사지역은 각각 1~3편에 불과하였다(Fig. 2B). 조사지점의 세부 서식처 유형 정보가 제시된 논문의 서식처 유형을 구분해 보면, 잘피밭(eelgrass)이 60.7%로 가장 많이 조사되었으며, 하구가 25.0%, 조간대가 14.3%를 차지하였다(Fig. 2C). 수행된 논문의 대상종은 총 97종이었다. 이 중 주둥치가 3회, 볼락, 전어, 풀망둑, 황아귀가 각각 2회씩 연구되었으며, 나머지는 한 번씩만 연구되었다(Appendix 1).

Table 1. Summary of analytical methods in the papers.

Types	Name	etc.
Indices or values	E (electivity index)	Ii, C
	H' (Shannon-Weaver index)	
	D' (Margalef's dominance index)	
	J' (Pielou's richness index)	
	Pi (prey-specific abundance)	
	IRI (index of relative importance)	
	Bi (dietary breadth index/Levin's standardized niche breadth)	
	DOI (diversity overlap index)	
	SCI (stomach content index)	
	IF (stomach fullness index)	
	RI (ranking index)	
	VI (vacuity index)	
	C (Schoener's index)	
	TROPH value	
	Graphical method	
t-test		
Statistical approach	chi-square test	Begin to appear from 2004
	Pearson correlation analysis	
	Spearman correlation analysis	
	ANOVA (analysis of variance)	
	PERMANOVAs (permutational multivariate ANOVAs)	
	ANOSIM (analysis of similarity)	
	DISTML (distance-based linear modeling)	
	Bray-Curtis similarity matrix	
	CPC (cumulative prey curve)	
	nMDS (non-metric multidimensional scaling ordination)	

3. 방법론적 특성

국내에서 수행된 먹이원 분석 연구는 대부분 광학현미경을 이용한 육안 동정에 의존하고 있었으며, 중-속 수준의 높은 동정을 하기도 하였지만 대부분은 과-목 수준의 동정에 그치고 있었다. 육안 동정과 함께 확인된 먹이원의 건조 혹은 습성 생체량(biomass)은 최소 0.1 g 단위로 측정되었다. 먹이원 분석에 사용된 종당 개체수의 평균은 361.8±37.5이었다. 이를 국내-국제 학회지 논문으로 나누어 보면 국내 학회지 논문에 사용된 종당 개체수 평균은 342.6±42.0이었고, 국제 학회지 논문은 평균 438.3±41.3 개체였다. 이렇게 획득된 먹이종 목록과 생체량 데이터는 총 25개의 분석 방법으로 분석되었다(Table 1).

먹이원의 중요도나 생태적 지위 범위를 나타내는 지표를 계산하는 방법은 총 14개가 있었으며, 이 중 가장 많이 사용된 지수는 IRI (Index of relative importance, 68회)와 E (electivity index, 15회)였으며, Bi (dietary breadth

Table 2. Summary of key words among three stages.

Types	Key words	Ecological indices
Early stage (1969~1989)	Spatial differences	E
	Seasonal changes	H'
	Juvenile fish preference	D'
	Size classes	J'
		Pi
Development stage (1990~2003)	+ (added)	+ (added)
	Index of relative Importance	IRI
	Southern sea	Bi
	Kwangyang bay	
Maturity stage (2004~2018)	Eelgrass	
	+ (added)	+ (added)
	Ontogenetic shift	DOI
	Diel changes	SCI
	Sympatric	IF
	Feeding strategy	RI
	Niche overlap	VI
	Competition	C
	Gadeok Island	TROPH
	Go-ri	
Nakdong R. Esturay		

E: electivity index, H': Shannon-Weaver index, D': Margalef's dominance index, J': Pielou's richness index, Pi: Prey-specific abundance, IRI: index of relative importance, Bi: dietary breadth index / Levin's standardized niche breadth, DOI: diversity overlap index, SCI: stomach content index, IF: stomach fullness index, RI: ranking index, VI: vacuity index, C: Schoener's index

index, 12회)와 Pi (Prey-specific abundance, 7회)가 그 뒤를 이었다. 먹이원 선호도를 도식화시키는 방법은 Costello method가 사용되었다. 통계적 방법은 총 11개를 사용되었으며, 이 중 correlation analysis와 Bray-Curtis similarity matrix가 각각 36회와 4회로 가장 많이 사용되었다. t-test와 correlation analysis (Pearson, Spearman)를 제외한 통계적 방법은 2000년대에 들어서 사용되기 시작하였다. 채집 방법의 경우 주로 저인망 (bottom trawl)을 이용하였으며, 삼각망 (fyke net), 자망 (gillnet), 주낙 (long line) 또는 대형 플랑크톤 네트 (plankton net)를 사용하였다. 현장에서 채집이 힘든 경우에는 공동 어시장 또는 부두 공판장에서 구매하여 분석에 사용되었다.

4. 생태학적 주제 변화

국내-외에서 출간된 연구 논문을 초기-발전-성숙 단계 (early-development-maturity stages)로 나누어 중요 단어 (key words) 및 주제를 정리해 보면, 초기 단계 (1969~1989)의 논문들은 주로 먹이원의 지점별 차이, 계절적 변화, 치어의 먹이원, 개체 크기별 먹이원 변화와 같은 전통적인 생태학적 주제에 초점을 맞추고 있었다. 발전 단계

(1990~2003)에서는 초기 단계의 생태학적 주제에 더하여 IRI, Bi를 계산하는 등의 종별 중요먹이원을 찾기 위한 노력을 시작하였다. 그리고 특정 지점에서 연구가 집중되기 시작하였고, 갈피밭(eelgrass)과 같은 특정 서식처에 대한 관심을 가지기 시작하였다. 마지막으로 성숙단계(2004~2018)에서는 종간 경쟁(competition), 동소성(symptatic), 생태지위(niche overlap) 등과 같은 더욱 세부적인 생태학적 주제에 관심을 갖기 시작하였다. 그리고 계절적 변화와 더불어 낮-밤의 변화에도 관심을 갖기 시작하였으며, 단순 중요먹이원의 확인에서 벗어나 섭식 전략(feeding strategy)에 대한 연구도 시작되었다(Table 2).

고 찰

1. 우리나라 연안-하구 어류먹이원 연구의 현황

연구논문 발간 수의 시-공간적 변화는 연구자들의 관심과 국가적 대중의 관심을 대변한다(Do *et al.*, 2015). 본 연구결과 환경 오염과 이에 대한 보호 및 보전에 대한 국가적 관심이 집중되던 시기인 1990년대 이후 우리나라 연안-하구에서 수행된 어류먹이원 분석 논문이 크게 증가하고 있음을 알 수 있었다. 뿐만 아니라 1990년대 이후에 개발된 공단이 다수 위치한 남해에서 연구가 집중되었으며, 특히 광양만에서 가장 많은 연구가 수행되었다(Fig. 2). 그리고 신항이 개발된 거제도, 원자력발전으로 사회적 관심을 받고 있는 고리 지역에서의 연구가 뒤를 잇고 있음을 알 수 있었다. 이에 따른 연구 증가가 2000년대 이후에 들어서 이루어진 학문적 성취의 밑거름이 되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 학문적 성취를 이어가기 위해서는 지속적인 사회적 관심을 유도할 수 있어야 할 것이며, 장기적 관점의 연구지원이 이루어져야 할 것이다. 사회적 관심을 유도하고, 장기적 관점의 연구를 계획하고 수행하기 위해서는 기존의 연구에 대한 이해가 필수적이다.

본 연구를 통해 지난 50년간의 우리나라 연안-하구에서 이루어진 어류먹이원 연구의 성과는 다음과 같다. 첫째, 어류먹이원 채집 및 분석 방법론의 정리가 이루어졌다. 대상 어종의 정량적 채집을 위해 동일한 채집 방법을(저인망, 자망, 삼각망 등) 일정하게 사용하기 시작하였다. 또한 정량적 먹이원 데이터를 산출하기 위해 건조하거나 습식 상태에서 생체량을 측정하였으며, 0.1 g 단위로 측정하였다.

둘째, 어류먹이원 데이터 분석 방법이 정립되었다(Table 1). 1990년대 이후 먹이원의 중요도를 나타내 줄 수 있는 다양한 지표를 사용하기 시작하였는데, 이 중 대표적인 지

표가 IRI와 Bi가 있었다. 특히 IRI 지표의 경우 국내 학술지에 출판되는 거의 모든 논문에서 사용되고 있어, 이를 취합하여 종간-지점간 먹이원 중요도를 간접적으로 비교할 수 있는 중요한 지표로 사용될 수 있을 것이다.

마지막으로 기초 먹이원 정보 제공에서 벗어나 기본 생태학적 주제를 증명하고 주요한 근거로 사용될 수 있는 논문들이 국제 학술지를 통해 출판되고 있다(Table 2). 이 논문들은 단순한 어류먹이원의 계절적 변이, 공간적 변이, 크기별 먹이원 변화에 대한 생태정보 제공과 더불어 종간 경쟁(interspecies competition), 생태직위분할(ecological niche partitioning), 공생(symbiosis) 등과 같은 생태학의 핵심적 주제를 담고 있다. 그러나 다양한 분석법이 새롭게 적용-시도되고 있는 국제 학회지에 출판된 논문들과는 달리 국내 학회지에 출판된 논문들의 경우 다소 정형화된 형태의 연구가 수행되고 있다. 또한 조사되지 않은 종에 대한 기초자료 제공 형태가 주류를 이루고 있었는데, 향후 국내 학술지 발표 연구에서도 종간 경쟁, 먹이망 구조 파악 등과 같은 생태학적 주제를 반영할 수 있는 연구 방향이 지향되어야 할 것이다.

2. 우리나라 연안-하구 어류먹이원 연구의 향후 발전 방향

현재 우리나라 생태계의 중요성에 대한 사회적인 인식이 차츰 높아지고 있다(Do *et al.*, 2015). 그러나 연안-하구 생태계의 중요성을 입증할 수 있는 과학적 증거는 해외에서 연구된 자료를 인용-제시하고 있는 실정이다. 국내에서 연구를 실시하더라도 앞서 언급한 바와 같이 기초 자료 제시 수준에 그치고 있어 이를 적절히 보전하고 관리할 수 있는 방안을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 이를 위해 본 연구를 통해 얻어진 연안-하구 어류먹이원 연구 현황을 바탕으로 앞으로 연구를 수행하여야 할 연구 방향을 제시해 보았다.

첫째, 안전성동위원소(isotope analysis) 분석과 DNA 서열 분석과 같은 최신 분석기법의 적용 및 기존 분석 기법과의 통합이 이루어져야 할 것이다(Carreón-Martínez and Heath, 2010). 기존의 어류 위 내용물을 분석하는 것은 ‘snap shot’ 즉 순간적인 현상을 관찰하는 것에 불과하다. 이를 보완하기 위해서 연구자들은 대상종의 개체수를 충분히 늘려서 분석을 실시하고, 계절별 혹은 월별 조사를 실시하였다(Table 2). 반면에 안전성동위원소 분석은 상대적으로 적은 양의 샘플을 이용하여 조사 대상 분류군의 해당 생태계의 먹이사슬의 위치를 정량적으로 알 수 있는 장점을 가지고 있다(Choi and Shin, 2018). 따라서 육안 분석을 통해 얻어진 정보와 안전성동위원소 분석 정보를 같이 이용한다면 생태학적 지위 연구의 정확성을 증진시킬 수

있을 것이다. 하지만 안정성동위원소의 분석 방법도 시료 전처리 과정의 어려움과 종수준의 분류에 대한 확인을 가질 수 없는 한계가 존재한다. 또한 위 내용물을 육안으로 동정하는 것은 숙달된 전문연구자가 필요할 뿐만 아니라, 소화로 인해 오동정의 가능성이 상시 존재한다(Jo *et al.*, 2014). 이를 극복하기 위해 최근 들어 DNA barcoding을 어류 위내용물 분석에 적용하여 육안 동정보다 정확하고 향상된 종-속 수준의 종 동정이 가능함을 보여주었다(Jo *et al.*, 2014; Jo *et al.*, 2018). 또한 Jo *et al.* (2016)은 위내용물의 육안 동정 결과와 DNA barcoding 결과를 직접 비교-융합 적용의 가능성을 제시하였으며, 더 나아가 eDNA 개념을 적용해야 하는 필요성을 제기하였다. 향후 위 내용물 분석시 육안 동정을 통한 정량적 정보(생체량 g)와 DNA 분석을 통한 종-속 수준의 높은 종 동정 정보를 통합 적용한다면 기존의 연구보다 설명력이 높은 연구결과를 얻어 낼 수 있을 것이다.

둘째, 어류먹이원 분석 데이터의 통계학적 틀의 이용이 필요하다. 지난 50년간 다양한 연구자들의 연구를 통해 제시된 먹이원 분석 결과들은 주로 IRI와 같은 지표 수치 제시에 국한되어 있다. 2000년 이후 최근 논문에서 nMDS (non-metric multidimensional scaling ordination)와 같은 통계적 틀이 적용되고 있으나 아직 미미한 실정이다(Kwak *et al.*, 2014). 향후 먹이원 분석에 통계학적 틀이 적용된다면, 더욱 신뢰성 있는 먹이원 분석결과와 대상 종에 대한 적절한 보전 및 관리 전략 마련이 가능할 것이다.

마지막으로, 어류 먹이원 분석 자료는 수생태계의 먹이사슬 구조와 기능을 이해하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 이러한 연구를 위하여 본 연구에서 지향하는 먹이원 연구의 자료들을 이용하여 효율적인 데이터 베이스로 전환이 가능하며, 생태계 먹이사슬 기반의 모델을 구축하는 데에 있어서 매우 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 특히, 최근 들어 EcoPath 혹은 AQUATOX 등과 같은 먹이사슬을 기반으로 하는 생태모델들의 활용성이 부각되고 있으나, 피포식자간의 관계에 대한 데이터가 부족하기 때문에 대부분의 모델링 연구들이 실측 데이터가 아닌 문헌 자료에 의존하고 있다. 더구나, 이러한 참고문헌도 국내의 연구에 비해서 해외의 연구가 대부분이어서, 국내 생태계의 먹이사슬 구조를 규명하고 해석하는 데에 있어서 현실적인 어려움이 많다. 따라서, 향후 국내의 자료를 효율적으로 데이터베이스화 하고, 이를 바탕으로 필요한 현장 실측 자료에 대한 선별이 이루어진다면 수생태계의 먹이사슬 구조와 기능에 대한 연구수행에 혁신적인 전환점이 될 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

본 연구는 지난 50년간(1969~2018년) 우리나라 연안-하구에서 수행된 어류먹이원 분석과 관련된 논문을 수집하여 현황을 파악하였다. 확인된 연구논문은 총 101편이었으며, 이 중 국내 학회지에 발표된 논문은 81편, 보고서는 6편 그리고 국제 학회지에 발표된 논문은 14편이었다. 발표된 연구 논문을 10년 단위로 나누어 보면, 1990~1999년에 21편(19.4%; 2.1편±3.0/년 [평균±표준편차]), 2000~2009년에 26편(24.1%; 2.6편±2.3/년) 이후 크게 증가하여 2010~2018년에는 52편(48.1%; 5.8편±2.3/년)의 논문이 출판되었다. 국내 연안-하구에서 어류먹이원 분석을 수행한 조사수역의 해역을 방위(남해, 남-동해, 동해, 서해)로 나누어보면, 남해에서 65편(69.1%)으로 가장 많은 연구가 이루어졌다. 그 뒤를 동해가 13편(13.8%), 서해와 남-동해에서 각각 8편씩(8.5%) 연구가 수행되었다. 조사 지역의 분포를 보면 광양만에서 18편(24.3%)으로 가장 많은 연구가 수행되었으며, 가덕도에서 8편(10.8%)으로 그 뒤를 이었다. 출간된 논문의 방법론적 특성을 보면, 먹이원 중요도나 생태적 지위의 범위를 나타내주는 지표를 계산하는 방법은 총 14가지가 사용되었으며, 이 중 가장 많이 사용된 지수는 IRI (Index of relative importance)와 Pi (Prey-specific abundance)였으며, E (electivity index)와 Bi (dietary breadth index)가 그 뒤를 이었다. 총 11가지 통계적 방법을 사용하였으며 이 중 correlation analysis와 Bray-Curtis similarity matrix를 가장 많이 적용하였다. 생태학적 연구 주제 변화를 살펴보면 초기 논문들은 계절적 또는 조사 지점별 차이에 초점을 맞추고 있었으나, 2000년도 이후부터는 국제 학회지에 출판되기 시작한 논문들은 종간 경쟁 (competition), 동소성 (sympatric), 생태직위중첩 (niche overlap) 등과 같은 세부적인 생태학적 연구가 이루어졌다. 국내 학회지에 출판된 논문들의 경우 다소 정형화된 형태로 연구가 수행되고 있었으며 조사되지 않은 종에 대한 기초자료 제공 형태가 주류를 이루고 있었는데, 향후 국내 학회지에 발표되는 연구논문에서도 종간 경쟁, 먹이망 구조 파악 등과 같은 생태학적 주제를 반영할 수 있는 연구 방향이 지향되어야 할 것이다.

저자기여도 개념설정: 모든 저자, 방법론 및 분석: 모든 저자, 원고 초안작성: 조현빈, 원고 교정: 모든 저자, 원고 편집: 모든 저자. 모든 저자들은 논문의 결과에 동의하였고, 출판될 최종본을 검토하고 동의하였습니다.

이해관계 본 논문에 포함된 모든 저자들은 연구에 있어서

의 학술출판에 있어서 어떠한 이해충돌도 없음을 알려드립니다.

연구비 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다 (NRF-2018R1A6A1A03024314).

사사 본 논문을 작성하기 위한 자료 수집에 도움을 준 심가영 연구원과 정명철 군에게 감사의 마음을 전합니다.

REFERENCES

- Barbier, E.B., S.D. Hacker, C. Kennedy, E.W. Koch, A.C. Stier and B.R. Silliman. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecology Monography* **81**(2): 169-193.
- Carreon-Martinez, L. and D.D. Heath. 2010. Revolution in food web analysis and trophic ecology: diet analysis by DNA and stable isotope analysis. *Molecular Ecology* **19**: 25-27.
- Choi, B.H. and K.H. Shin. 2018. Applications and Prospects of Stable Isotope in Aquatic Ecology and Environmental Study. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**(1): 96-104.
- Do, Y., E.J. Ko, Y.M. Kim, H.G. Kim, G.J. Joo, J.Y. Kim and H.W. Kim. 2015. Using text-mining method to identify research trends of freshwater exotic species in Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **48**(3): 195-202.
- Ha, S., W.K. Min, D.S. Kim and K.H. Shin. 2014. Trophic importance of meiofauna to polychaetes in a seagrass (*Zostera marina*) bed as traced by stable isotopes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **94**(1): 121-127.
- Jeong, S.J., M.S. Yoon, C.R. Lee, J.K. Ahn, H.S. Noh and J.B. Jeong. 2014. Assessing the ecological function of Doksal in Taeanhaean National park. *Journal of National Park Research* **5**: 68-75.
- Jeppesen, E., J.P. Jensen, M. Søndergaard, T. Lauridsen, L.J. Pedersen and L. Jensen. 1997. Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. In *Shallow Lakes* (pp. 151-164). Springer, Dordrecht.
- Jo, H., J.A. Gim, K.S. Jeong, H.S. Kim and G.J. Joo. 2014. Application of DNA barcoding for identification of freshwater carnivorous fish diets: Is number of prey items dependent on size class for *Micropterus salmoides*?. *Ecology and Evolution* **4**(2): 219-229.
- Jo, H., E. Jeppesen, M. Ventura, T. Buchaca, J.S. Gim, J.D. Yoon and G.J. Joo. 2018. Responses of fish assemblage structure to large-scale weir construction in riverine ecosystems. *Science of The Total Environment* **657**(20): 1334-1342.
- Jo, H., J.D. Yoon, J.H. Kim, K.S. Jeong, Y. Do and G.J. Joo. 2016. Diet shifts and delayed piscivory specialization during the ontogenesis of the largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepede, 1802) in the Nakdong River and Upo Wetlands, South Korea. *Indian Journal of Fisheries* **63**(4): 48-54.
- Kang, S., B. Choi, Y. Han and K.H. Shin. 2016. Ecological importance of benthic microalgae in the intertidal mud flat of Yeongheung Island; application of stable isotope analysis (SIA). *Korean Journal of Ecology and Environment* **49**: 80-88.
- Kwak, S.N., S.H. Huh and D.W. Klumpp. 2004. Partitioning of food resources among *Sillago japonica*, *Ditremma temmincki*, *Tridentiger trignocephalus*, *Hippocampus japonicus* and *Petroscirtes breviceps* in an eelgrass, *Zostera marina*, bed. *Environmental Biology of Fishes* **71**: 353-364.
- Park, J.M., H.S. Huh, J.M. Jeong and G.W. Baeck. 2014. Diet composition and feeding strategy of yellow goosfish, *Lophius litulon* (Jordan, 1902), on the southeastern coast of Korea. *Journal of Applied Ichthyology* **30**(1): 151-155.
- Pauly, D., V. Christensen, S. Guénette, T.J. Pitcher, U.R. Sumaila, C.J. Walters, R. Watson and D. Zeller. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* **418**: 689.

Appendix 1.

No	제목	저자	발행기관	발행일
1	고리 주변해역에서 출현하는 줄비늘치의 식성	허성희, 백근욱, 추현기, 박주면	한국어류학회	2013
2	남해안 동대만 갈피발에서 서식하는 해마의 출현량 및 먹이습성	허성희, 박주면, 박석남, 성봉준	한국수산해양기술학회	2014
3	동해 남부 연안에서 출현하는 도화망둑과 수염문질의 먹이분할	허성희, 박주면, 백근욱	한국어류학회	2016
4	동해 남부 고리 주변해역에서 출현하는 돛양태의 식성	허성희, 오현수, 박주면, 백근욱	한국어류학회	2013
5	남해안에서 출현하는 눈볼치의 식성	허성희, 이동진, 추현기, 박주면, 백근욱	한국수산과학회	2011
6	태안 연안에서 서식하는 넙치의 식성	허성희, 박주면, 박세창, 김지영, 백근욱	한국수산과학회	2010
7	남해안에서 출현하는 상어류 6종의 식성	허성희, 박주면, 박세창, 정달상, 박찬일, 백근욱	한국어류학회	2009
8	여수 돌산도 주변해역에서 출현하는 농어의 식성	허성희, 남기문, 추현기, 백근욱	한국수산과학회	2008
9	부산 주변 해역에서 채집된 불볼락의 식성	허성희, 박주면, 남기문, 박세창, 박찬일, 백근욱	한국어류학회	2008
10	부산 주변해역에서 출현하는 살살치의 식성	허성희, 박주면, 백근욱	한국어류학회	2007
11	부산 주변 해역에서 출현하는 성대의 식성	허성희, 김하원, 백근욱	한국어류학회	2006
12	부산 주변 해역에서 출현하는 참돔의 식성	허성희, 박주면, 백근욱	한국수산과학회	2006
13	남해에 출현하는 삼치의 식성	허성희, 박주면, 백근욱	한국수산과학회	2006
14	고리 주변해역에서 출현하는 달고기의 식성	허성희, 박주면, 백근욱	한국수산과학회	2006
15	고리 연안에서 채집된 용가자미의 식성	허성희, 백근욱	한국어류학회	2003
16	한국 남해 가덕도 주변에서 채집된 등가시치의 식성	허성희, 백근욱	한국어류학회	2000
17	광양만 갈피발에서 서식하는 문절망둑의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1999
18	갈치의 식성	허성희	한국어류학회	1999
19	광양만 갈피발에서 서식하는 감성돔 유어의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1998
20	광양만 갈피발에서 서식하는 불낙의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1998
21	가시망둑의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1998
22	광양만 갈피발에서 서식하는 날개망둑의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1998
23	광양만 갈피발에서 서식하는 분강어의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1998
24	광양만 갈피발에서 서식하는 줄망둑의 식성	허성희, 박석남	한국어류학회	1998
25	광양만 갈피발에서 서식하는 복섬 유어의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1998
26	광양만 갈피발에서 서식하는 실고기의 식성	허성희, 박석남	한국수산과학회	1997
27	광양만 갈피발에서 서식하는 주둥치의 식성	허성희, 박석남	한국어류학회	1997
28	폼치의 식성	허성희	한국어류학회	1997
29	베도라치의 식성	허성희, 박석남	한국어류학회	1997
30	미끈날망둑의 자치어기의 연령, 성장 및 식성	이태원, 허성희	한국수산과학회	1989
31	광양만 전어 후기자어의 먹이생물	박광재, 차성식, 허성희	한국수산과학회	1996
32	여름철 동해 남부에 출현하는 청어 유어의 일일식 변동	박주면, 허성희	한국어류학회	2017
33	서해 중부 연안에서 출현하는 쥐노래미의 성장과 계절에 따른 식성변화	최희찬, 허성희, 박주면	한국어류학회	2017
34	광양만 갈피발에서 서식하는 문치가자미의 식성	박석남, 허성희	한국수산과학회	2003
35	고리 주변 해역에서 채집된 황아귀 유어의 식성	백근욱, 허성희	한국수산과학회	2003
36	여수 주변 해역에서 채집된 개서대의 식성	백근욱, 허성희	한국어류학회	2004
37	가덕도 주변 해역 꼬치고기의 식성	박석남, 허성희	한국수산과학회	2004
38	그물코쥐치의 먹이습성의 일일 변화: 낮은 잡식성, 밤은 육식성	박석남, 허성희, 성봉준	한국어류학회	2006
39	동대만 갈피발에서 서식하는 산호해마의 식성	박석남, 허성희, 김하원	한국어류학회	2008
40	해초지에서 서식하는 점줄망둑의 먹이습성	박근욱, 허성희, 최희찬, 박주면	수산해양기술연구	2010
41	고리 주변해역에서 출현하는 꼬마달래의 식성	최희찬, 허성희, 박주면, 백근욱, 서영상	한국수산과학회	2011
42	낙동강 하구역에서 출현하는 폼치 자치어의 식성		한국수산과학회	2015

Appendix 1.

No	제목	저자	발행기관	발행일
43	광양만 멸치 후기자어의 먹이생물	박광재, 차성식	한국수산과학회	1995
44	광양만 주둥치 후기자어의 먹이생물과 탄생	차성식, 박광재	한국수산과학회	2001
45	광양만 보구치 후기자어의 먹이 선택성	차성식, 박광재	한국수산과학회	2001
46	한국 남해안 새조도 주변 해역에 출현하는 보구치의 식성	고은혜, 안영수, 백근욱, 장충식	경상대학교	2012
47	가덕도 주변해역에 출현하는 주둥치의 위내용물 조성	정재묵, 박주면, 허성희, 김현지, 백근욱	한국어류학회	2015
48	거문도 주변해역에 출현하는 말죽치의 식성	백근욱, 박주면, 정재묵, 이상진, 안영수	한국수산과학회	2012
49	근산연안 내초도 조간대에 서식하는 왜불망둑의 섭식생태	김종연, 노용태	한국수산과학회	1997
50	블락의 섭식실태	김종관, 강용주	한국수산과학회	1999
51	부산동백섬 연안에 서식하는 노래미의 먹이생물	김종관, 강용주	한국수산과학회	1986
52	서부 열대 태평양의 눈다랑어와 황다랑어의 먹이에 관한 연구	김종빈, 문대연, 권정노, 김태기, 주현수	한국수산과학회	1997
53	항하구의 식성	차병열, 홍병규, 조현수, 손호선, 박영철, 양원식, 최옥인	한국수산과학회	1997
54	금강하구 폴망둑의 생태	최윤, 김의수, 유봉식, 박종영	한국수산과학회	1996
55	영종도 조수웅덩이에 서식하는 미끈망둑의 식성	김병기, 김지혜, 정수환, 한정남	한국수산과학회	2014
56	통연 연안 조간대의 조수웅덩이에 출현하는 점망둑	조갑자, 김현지, 박종혁, 최희찬, 백근욱	한국어류학회	2016
57	폴망둑의 먹이 조사	백의인	한국어류학회	1969
58	한강 하구역에 출현하는 황강달어의 섭식생태	정수환, 김병기, 김지혜, 김민규, 한정남	한국어류학회	2014
59	한국 남동부해역 대구의 식성	이정훈, 김정년, 박준수, 박탐이나, 남기문	한국어류학회	2018
60	한국 남해 연안 해역에서 출현하는 동물플랑크톤의 분포에 따른 멸치 섭이 특성	김민정, 윤석현, 김진영, 오철용	한국환경생물학회	2013
61	흰배도라지 치자어의 식성	김종만, 김동열, 유재평, 허형택	한국수산과학회	1985
62	나동강 하구역 해면 채파대에서 출현하는 꼬리 유어의 위내용물 조성	백근욱, 허성희, 박주면	수산해양기술연구	2014
63	가덕도 주변해역에 서식하는 돌가자미와 줄가자미의 위내용물 조성	남기문, 허성희, 허유심, 정재묵, 김현지, 백근욱	수산해양기술연구	2013
64	가덕도 주변해역에 출현하는 흥어의 식성	김현지, 정재묵, 이상진, 백근욱, 허성희	한국어류학회	2016
65	경남 거제 연안에 출현하는 살망둑 치어의 식성	백근욱, 박주면, 추현기, 허성희	한국어류학회	2011
66	고리 주변해역에서 출현하는 용어의 위내용물 조성	최희찬, 한인성, 서영창, 허성희	한국수산학회	2015
67	낙동강 하구역에 출현하는 전어 자치어의 식성	최희찬, 박주면, 윤석현, 허성희	한국수산학회	2015
68	낙동강 하구역에 출현하는 청어 자치어의 식성	허성희	한국수산학회	1989
69	덕대의 식성	차병열, 김주일, 김진영, 허성희	한국수산학회	1998
70	엘퐁이의 산란생태 및 식성	박경동, 강용주, 허성희, 박석남, 김하연, 이혜원	한국어류학회	2007
71	통영 바다묵장해역에 서식하는 쥐치의 먹이습성	곽석남, 백근욱, 허성희	한국어류학회	2003
72	갈파발에 서식하는 쥐치의 먹이습성	김현지, 정재묵, 박종혁, 백근욱, 허성희	한국수산과학회	2017
73	진해만 동부 주변해역에 출현하는 청배도라지 후기자어의 소화관 내용물 조성	김광수, 손민호, 광성남, 박주면, 허성희	한국수산과학회	2009
74	진해만 참도 주변해역에서 서식하는 방류산 블락의 식성	최희찬, 윤석현, 박주면, 허성희	한국수산과학회	2016
75	태안 주변해역에 출현하는 날뚝양태의 식성	백근욱, 여영미, 정재묵, 박주면, 허성희	한국어류학회	2011
76	통영 연안에 출현하는 썸뱅이의 식성	이혜원, 강용주, 허성희, 백근욱	한국어류학회	2007
77	한국 동해에서 채집된 도루묵의 식성	정재묵, 김현지, 이상진, 염시동, 박종혁, 백근욱	한국어업기술학회지	2015
78	순천 상내리 갯골에 출현하는 농어 (<i>Lateolabrax japonicus</i>) 치어의 식성	이상진, 정재묵, 김현지, 박주면, 허성희, 백근욱	한국수산과학회지	2014
79	순천상내리 갯골에 출현하는 민물두줄망둑 (<i>Tritalotiger bifasciatus</i>)의 식성	곽성남, 허성희	한국어류학회	2002
80	광양만 갈파발에 서식하는 양태 (<i>Platycephalus indicus</i>)의 식성	최영민, 윤병선, 김효호, 박기영, 이재봉, 양재평, 손영호	한국수산과학회지	2013
81	동해 중부연안 벌레문지 (<i>Lycodes tanakae</i>)의 식성		한국수산과학회지	2013
82	Feeding habits of ocellate spot skate, <i>Okamejei konojei</i> (Müller & Henle, 1841), in coastal waters of Taean, Korea	G. W. Baeck, C.-I. Park, H. C. Choi, S.-H. Huh, J. M. Park	Journal of Applied Ichthyology	2011

Appendix 1.

No	제목	저자	발행기관	발행일
83	Diet composition and feeding strategy of yellow goosefish, <i>Lophius litulon</i> (Jordan, 1902), on the southeastern coast of Korea	Park, J. M., Huh, S. H., Jeong, J. M., & Baeck, G. W.	Journal of Applied Ichthyology	2014
84	Comparative feeding ecology of two sympatric greenling species, <i>Hexagrammos otakii</i> and <i>Hexagrammos agrammus</i> in eelgrass <i>Zostera marina</i> beds	Seok Nam Kwak, Gun Wook Baeck & David W Klumpp	Environmental Biology of Fishes	2005
85	Day-Night and Gastrointestinal Changes in Winter Feeding Intensity and Prey Composition of <i>Apeogon lineatus</i> Inhabiting the Southeastern Waters of Korea	Joo Myun Park, Hae Kun Jung, Chung Il Lee, and Sung-Hoi Huh	Ocean Science Journal	2018
86	Diet Composition and Feeding Habits of Two Engraulid Fish Larvae (<i>Engraulis japonicus</i> and <i>Coilia nasus</i>) in the Nakdong River Estuary, Korea	Hee Chan Choi, Seok Hyun Youn, Sung-Hoi Huh, and Joo Myun Park	Journal of Coastal Research	2018
87	Diet composition in summer of rosefish <i>Helicolenus tiligendrorfii</i> on the southeastern coast of Korea	Gun Wook Baeck, Joo Myun Park, Hee Chan Choi, Sung-Hoi Huh	Ichthyological Research	2013
88	Dietary habits and feeding strategy of the fivespot flounder, <i>Pseudorhombus pentophthalmus</i> in the southeastern coast of Korea	Joo Myun Park, Sung-Hoi Huh	Ichthyological Research	2017
89	Diet Patterns of the Marbled Flounder, <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> , in the Mid-Western Coast of Korea	Joo Myun Park, Seok Nam Kwak, Hee Chan Choi, Laith A. Jawad and Ralf Riede	Science International	2016
90	Diets and niche overlap among nine co-occurring demersal fishes in the southern continental shelf of East/Japan Sea, Korea	Joo Myun Park, Seok Nam Kwak, Sung-Hoi Huh, In-Seong Han	Deep-Sea Research Part II	2017
91	Feeding habits of Kammal thryssa <i>Thryssa kammalensis</i> (Bleeker, 1849) in the coastal waters of Gadeok-do, Korea	Gun Wook Baeck, Joo Myun Park, Sung Hoi Huh, Hyeon Ji Kim & Jae Mook Jeong	Animal Cells and Systems	2014
92	Feeding Relationships among Six Seagrass-associated Fishes in the Northeastern Gwangyang Bay, Southern Korea	Joo Myun Park, Seok Nam Kwak, and In-Seong Han	Ocean Science Journal	2018
93	Ontogenetic and diel changes in diets of two sympatric mudskippers <i>Periophthalmus modestus</i> and <i>Periophthalmus magnuspinnatus</i> on the tidal flats of Suncheon Bay, Korea	Gun Wook Baeck, Yang Ho Yoon, Joo Myun Park	Fish Science	2013
94	Ontogenetic and seasonal changes in the diets of the glowbelly <i>Acropoma japonicum</i> Gunther, 1859 in the south-eastern waters of Korea	JOO MYUN PARK AND SUNG-HOI HUH	Indian Journal of Fisheries	2018
95	Partitioning of food resources among <i>Sillago japonica</i> , <i>Ditrema temminckii</i> , <i>Tridentiger trignocephalus</i> , <i>Hippocampus japonicus</i> and <i>Petroscirtes breviceps</i> in an eelgrass, <i>Zostera marina</i> , bed	Seok Nam Kwak, Sung-Hoi Huh & David W. Klumpp	Environmental Biology of Fishes	2004
96	공공수역 어류상 및 서식지 환경변화 특성 연구	변명섭, 김수경, 이재안, 류택희, 문정숙, 이재운, 장민호, 백승호, 박상현, 이진웅	환경부	2015
97	남해안에 서식하는 저어류 사이의 trophic relationship에 관한 연구	허상희	한국과학재단	1987
98	제주도 북부 연안 수산자원 유영생물의 출현과 먹이연쇄에 관한 연구	고우봉	한국과학재단	1989
99	제주연안의 영양적 환경조사	최광식, 허문수, 김성삼, 김주상, 오대환, 고경용, 송진우	한국과학재단	2009
100	北太平洋 명태, <i>Theragra chalcogramma</i> (Pallas)의 分析 및 資源生態學的 研究 Study on Distribution and Resources Ecology of Walleye Pollock in the North Pacific	김수암, 공영, 양원식, 문대연, 김영승, 김순승, 안두해, 최석관, 오택윤, 김정배, 환선재	국무조정실	2013
101	연안어장 생태계 통합평가 및 관리 연구- 남해 강진만을 중심으로	김형철, 장원성, 류종성, 김진구, 강대식,곽석남, 김윤관, 현정호, 서인수	국립수산과학원	2017