

ORIGINAL ARTICLE

한국 남해와 동해 연안역 주요 먹이 어종의 풍도변화에 따른 삼치 개체군의 변동

김진영* · 김영순¹⁾ · 김희용²⁾

경북대학교 자연과학대학 수리융합연구소, ¹⁾경상국립대학교 정보통계학과, ²⁾국립수산물연구원 남해수산연구소

Population Variation of Spanish Mackerel (*Scomberomorus niphonius*) according to Its Major Prey Abundance in Southern and Eastern Coastal Waters of Korea

Jin Yeong Kim*, Youngsoon Kim¹⁾, Heeyong Kim²⁾

Institute for Mathematical Convergence, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

¹⁾*Department of Information and Statistics division, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea*

²⁾*South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59789, Korea*

Abstract

The population variation of Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) according to its major prey abundance was analyzed using monthly catches of coastal set net fisheries in the southern waters off Gyeongsangnam-do and eastern waters off Gyeongsangbuk-do of Korea from 2006 to 2019. The abundance of Spanish mackerel and its prey species fluctuated almost simultaneously with time lags of +2 to -2 months between the set net fisheries in the southern and eastern waters. The generalized additive model revealed that the abundance of Spanish mackerel was influenced by its prey species such as hairtail and anchovy in southern waters, and common mackerel and horse mackerel in eastern waters. The model deviance explained 49% and 42% of Spanish mackerel abundance in southern and eastern waters respectively. These results suggest that the abundance of Spanish mackerel is affected by seasonal migratory prey fish species in the coastal areas and can be linked to their northerly migration.

Key words : *Scomberomorus niphonius*, Prey species, Population variation, Generalized additive model, Korean coastal fishery

1. 서론

먹이 그물 구조의 변동은 생태계에서 에너지와 물질의 흐름, 생물군집의 역학과 안정성 등에 영향을 미칠 수 있으므로 그러한 구조를 결정하는 요소를 이해하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다(Scharf et al., 2000; Kempf

et al., 2010; Chen et al., 2018). 연안에 회유하는 어류는 산란과 성장, 어린 유치어의 가입 과정에서 먹이생물의 변화에 매우 민감하게 반응하여 분포역과 풍도가 변화하므로 수산자원의 장·단기적 풍흉을 좌우한다(Kim et al., 2014; Bachiller and Irigoien, 2015; Allen and Wesner, 2016).

Received 16 July, 2021; Revised 4 October, 2021;

Accepted 8 October, 2021

*Corresponding author: Jin Yeong Kim, Institute for Mathematical Convergence, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea
Phone : +82-51-248-4960
E-mail : jinykim3@gmail.com

© The Korean Environmental Sciences Society. 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, provided the original work is properly cited.

남해안 연안 해역은 다양한 어종이 회유하여 산란장과 치어의 성육장이 이루어지므로 이들을 대상으로 어업이 이루어진다. 특히 봄철에 내유하는 멸치는 정치망과 낭장망 어업에 거의 연중 어획되고, 이들은 삼치, 갈치, 전갱이, 고등어 등과 먹이망을 이루며 정치망 어획물의 주종을 이루는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2013; Jung et al., 2014). 동해남부해역은 한류와 난류의 전선이 형성되고 연안역에 용승이 이루어지므로 먹이생물을 찾아 다양한 어종이 계절 회유를 한다(Lee et al., 2014; Han et al., 2017)

삼치는 우리나라 남해안을 중심으로 연근해에 널리 분포하고, 표층에서 어군을 형성하면서 이동하는 군집성 어류로서 봄부터 산란장을 찾아서 동·서·남해 연안으로 이동하며, 여름철 이후 연안어장에 유어의 가입이 이루어져서 가을까지 연안에서 정치망 어업에 의하여 어획된다(Lee et al., 2011; Kim et al., 2016). 삼치의 먹이생물에 관한 연구에서는 위내용물에서 차지하는 어류의 중량이 전체적으로 90% 이상이며, 치·유어기에는 갑각류와 어류의 치어를 먹고, 성장할수록 먹이생물의 크기는 커진다. 미성어에서 성체로 성장하면서 삼치의 주요 먹이생물은 멸치, 갈치, 전갱이, 고등어 등으로 순차적인 변화를 보인다(Huh et al., 2006).

생태계의 포·포식(Prey-Predator) 관계에 대한 수리적인 분석은 생태계의 변동을 인지하고 예측하는 주요한 수단이다. 메타분석을 통한 먹이 소비자의 유입효과(Allen and Wesner, 2016), 소형 부어류간 포포식 어류의 동시 출현과 영양역학(Bachiller and Irigoien, 2015), 삼치와 갈치의 먹이(Bakhom, 2007) 등에 관하여 수리모델링을 사용하여 연구된 바 있다. 한국 남해안과 동해안에도 다양한 어종이 회유하여 포포식 관계를 이루며 생태계를 구성하므로, 먹이망 구성요소의 변화와 양적인 변동이 일어난다. 또한 대부분의 어류가 물리적인 해양환경의 변화와 먹이생물의 밀집상황에 따라서 계절회유를 하며, 상호간의 포포식 관계가 매우 복잡하게 혼재하므로 먹이환경에 대한 다양한 연구가 필요하다(Lee et al., 2011; Jung et al., 2014; Kim et al., 2016; Nøttestad et al., 2016; Kvaavik et al., 2019).

본 연구에서는 먹이 어류의 풍도가 변동함에 따른 삼치 개체군의 시공간적인 풍도 변화를 알고자 삼치가 봄~가을철에 연안으로 회유하여 산란장과 성육장이 형성되

는 남해안과 동해안에서 삼치와 함께 정치망에서 어획되는 주요 먹이어종들의 풍도 변화를 분석하였다. 또한, 삼치의 풍도 변동에 미치는 주요 먹이 어종들의 영향을 분석하기 위하여 일반화 가법모델(GAM; Generalized Additive Model)에 의한 삼치와 먹이 어종 풍도의 비선형 모형을 구성하여 삼치의 연안역 회유와 먹이환경의 특성을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 분석자료

연안역은 산란장과 치·유어의 성육장으로 이용되므로 먹이풍도를 비롯한 서식환경은 어류의 연안 회유에 중요한 역할을 한다. 한국 남해안에 서식하는 연안어종 중에서 삼치의 먹이가 된다고 알려진 어종은 갈치, 고등어, 전갱이, 멸치 등이며 30 cm 내외에서는 멸치의 비율이 높고, 50 cm 내외로 성장하면서 갈치, 60 cm 이상에서는 고등어와 전갱이의 비율이 높아진다(Huh et al., 2006).

삼치는 연안에서 정치망어업으로 멸치, 전갱이, 갈치, 고등어 등의 주요 먹이어종과 함께 어획된다(Cha, 2009; Lee et al., 2014; Kim et al., 2016). 본 연구에서는 연안역의 성체 산란장 및 치어의 성육장에 내유하는 삼치와 먹이어종(멸치, 갈치, 전갱이, 고등어)의 풍도에 경상남도과 경상북도의 연안역에서 조업하는 정치망 어업의

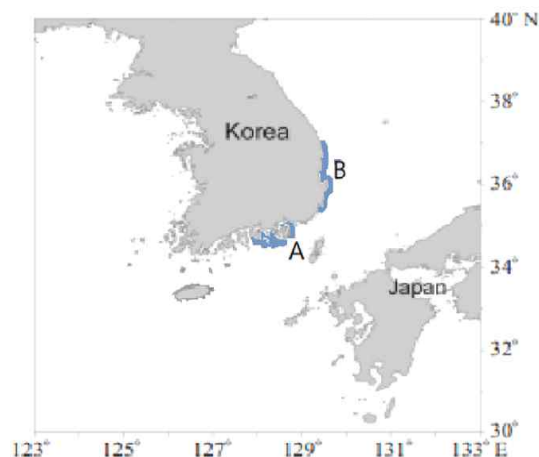


Fig. 1. Typical fishing grounds of set net fishery in southern waters off Gyeongsangnam-do (A) and eastern waters off Gyeongsangbuk-do (B) in Korea.

어획 통계를 사용하였다(Fig. 1). 어획통계는 2006-2019년 간 월간 어획량 자료를 통계청 국가통계포털(KOSIS; Korean Statistical Information Service, <http://kosis.kr>)에서 구하였다.

개체군의 풍도를 분석하기 위하여 경상남도과 경상북도에서 조업하는 정치망어업의 면허 건수를 사용한 단위 노력당 어획량(CPUE: Catch Per Unit Effort)을 풍도 지수로 사용하였다. 풍도 지수는 어업별 어종별 CPUE의 평균과 표준편차를 이용하여 표준화하였다.

2.2. 회귀분석

회귀분석은 종속(반응 또는 결과)변수와 하나 이상의 독립(예측 또는 설명) 변수 간의 관계를 모델링하여, 중대한 영향을 미치는 요인을 찾고 미래의 종속 변수를 예측하는데 사용된다. 본 연구에서는 남해와 동해의 연안역 정치망어업에서 종속변수인 삼치(포식자)의 풍도 변동과 관련된 먹이어종(피식자)의 풍도 변동의 설명변수를 삼치의 먹이에 관한 문헌(Huh et al., 2016)을 기준으로 갈치, 고등어, 전갱이, 멸치 등의 4 어종의 풍도 변동으로 하였다.

교차상관함수(CCF; Cross Correlation Function)에서 시차는 과거의 독립변수(x)가 미래의 종속변수(y)를 앞서 변동하며(leading), 종속변수는 시차를 두고 독립변수를 따른다(following) 형태로 해석한다(<https://online.stat.psu.edu/stat510/lesson/8/8.2>). 따라서 연안역 정치망어업의 삼치의 풍도를 종속변수로, 먹이어종을 독립변수로 교차상관함수를 분석하여 먹이 어종과 삼치의 회유시기의 시차를 분석하였다. 회귀분석은 연안역에서 경남과 경북 정치망어업의 먹이 어류의 풍도를 독립변수로 하고 종속변수인 정치망어업의 삼치의 풍도 변동을 구하였다. 회귀관계에 대한 모델을 적합화하기 위하여 통계적 가정을 충족하는지 확인하였다. 통계적 가정은 정규성(Normality), 독립성(Independence), 선형성(Linearity), 등분산성(Homoscedasticity), 분산팽창요인(VIF; Variance Inflation Factor)등을 확인하였다.

모델의 적합성을 평가한 결과, 회귀관계가 선형성에 대한 적합성이 충족되지 않으므로 평활함수(Smooth Function)를 이용한 비선형적 독립변수를 처리할 수 있게 확장하여 비선형에 적합한 GAM 모형에 의한 분석을 실시하였다. GAM 분석에서는 gaussian 분포와 identity

연결함수를 사용하였다. GCV (Generalized Cross Validation) 값은 모형 선택의 비교 값으로 사용하였다. GAM 모형은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

GAM 모형 :

$$f(y_i) = \alpha_0 + f_1(x_{i1}) + f_2(x_{i2}) + \dots + f_p(x_{ip}) + \epsilon_i$$

여기서 y_i 는 삼치의 풍도를 나타내고, 오차항은 $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 이며, 서로 독립임을 가정한다. i 는 조사횟수(2006~2019년 간 격월 자료)를 나타낸다. f_i 는 x_i 의 계절조정 값이며, y_i 는 계절을 조정된 오른쪽 항의 모든 변수들 간의 상관성을 대변하는 연결함수이다. 본 연구에서는 비선형으로 적합하여 더욱 정확한 예측이 가능하나 과도한 적합도를 고려하여 기저함수(k)의 값은 3으로 고정하였다.

CCF와 회귀모형의 적합성 분석에는 R (<http://cran.r-project.org>)의 car 패키지(Companion to Applied Regression, Version: 3.0-11, 2021)를 사용하였으며, GAM 분석에는 mgcv 함수(mgcv, Version: 1.8-36, 2021)를 사용하였다. 최종적으로 결정된 모델은 피포식 관계와 위내용물 분석에 관한 국내외의 연구 결과와 비교하고 고찰하였다.

3. 결 과

3.1. 삼치와 먹이어종 어획량의 변동특성

연안에서 삼치를 어획하는 경상남도 및 경상북도의 정치망어업에서 조업한 2006~2019년 삼치의 어획량 변동을 Fig. 2에서 나타내었다. 삼치는 경상남도과 경상북도의 정치망어업에서 6월 이후 어획되기 시작하여 8~10월에 증가한 이후 감소되고 있다. 어획량이 많은 시기를 기준으로 여기를 비교하면, 경남 연안에서 여기가 길게 형성되었고, 연간변동이 크게 나타났다. 반면에 경북 연안에서는 2015년 이후 급격하게 어획량이 증가하였고, 여기는 경남에 비하여 상대적으로 짧았다.

정치망어업에서 삼치의 먹이로 알려져 있는 어종들의 어획량은 남해안의 경상남도 연안과 동해안의 경상북도 연안을 구분하여 나타내었다(Fig. 3). 경남 연안의 정치망어업에서 고등어와 갈치는 간헐적으로 6~10월에 최고치를 보였으며, 경북 연안에서 고등어와 갈치가 8~10월경

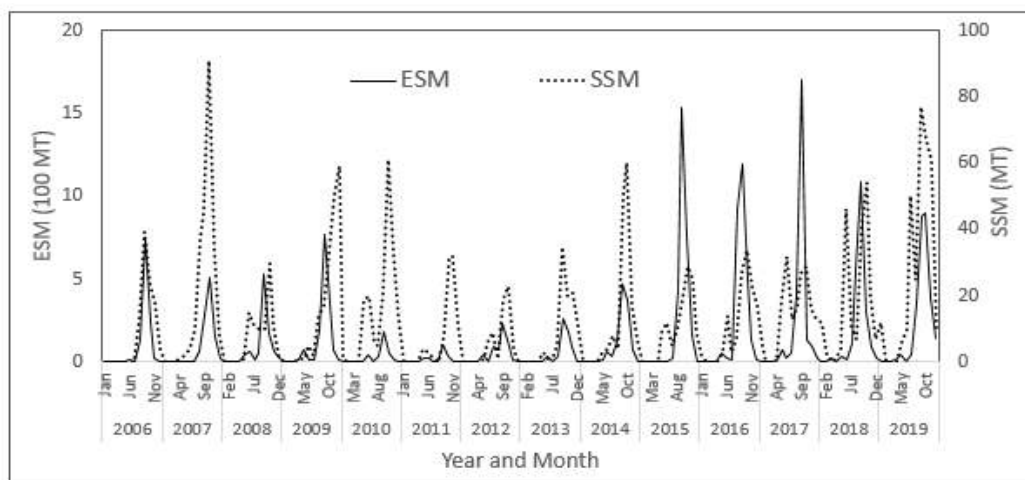


Fig. 2. Catch statistics of Spanish mackerel (SM) by set net fishery in southern (S) waters off Gyeongsangnam-do and eastern (E) waters off Gyeongsangbuk-do.

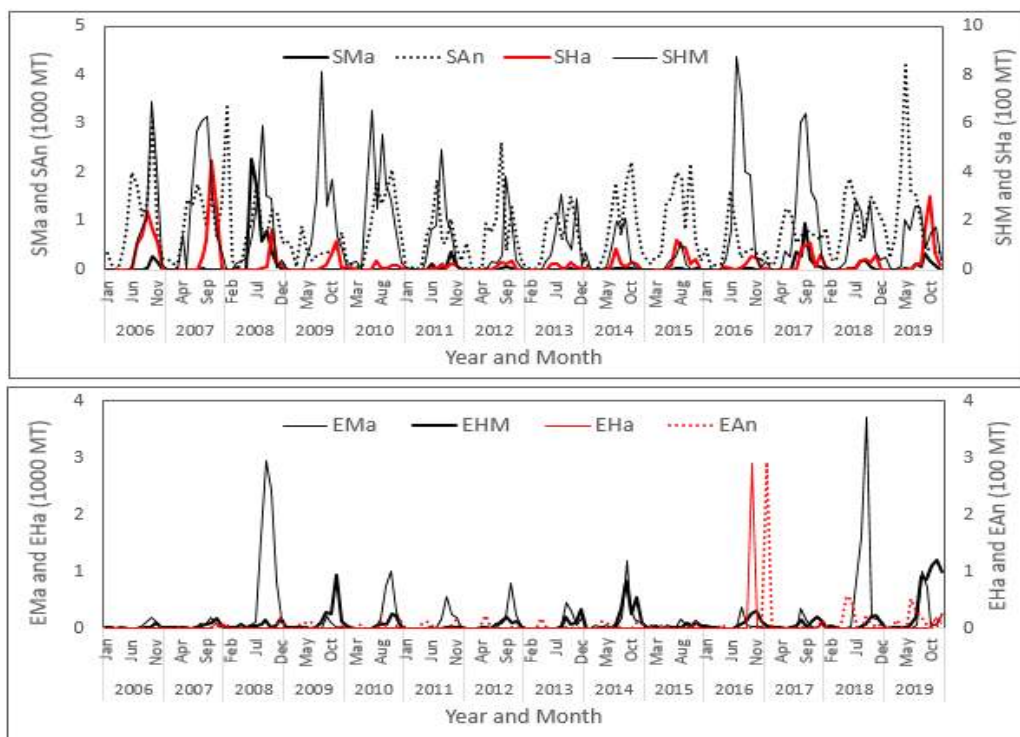


Fig. 3. Catch statistics of the major prey species of Spanish mackerel by set net fishery in southern (S) coastal waters off Gyeongsangnam-do and eastern (E) waters off Gyeongsangbuk-do. Abbreviations: Ha, hairtail; Ma, common mackerel; HM, horse mackerel; An, anchovy.

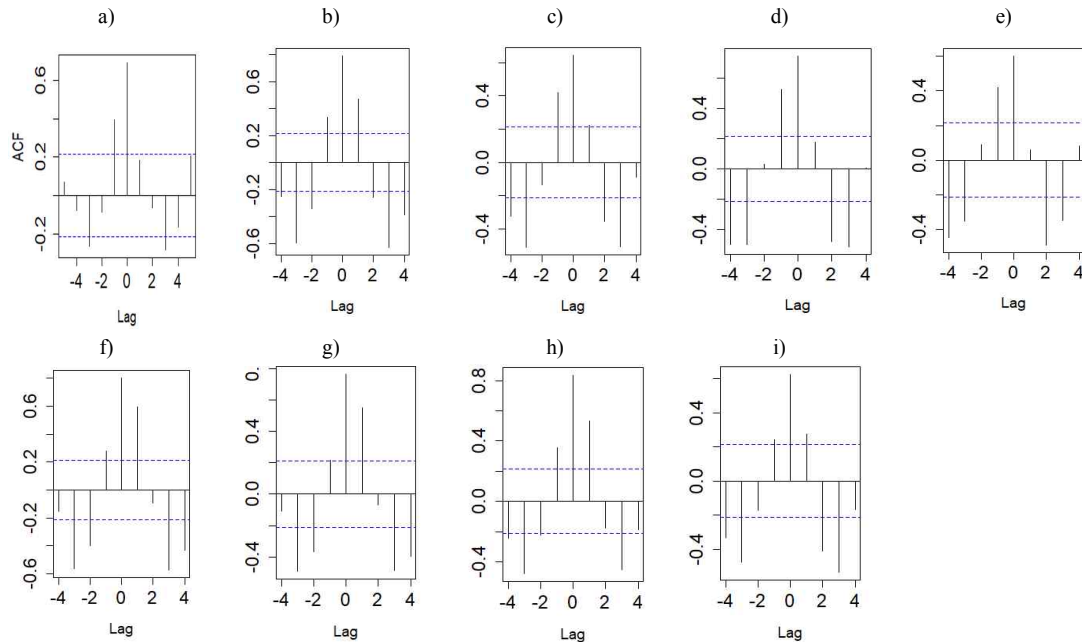


Fig. 4. Cross correlation function (CCF) analysis of time lags with 2 month unit between Spanish mackerel (SM) by set net fishery in off Gyeongsangnam-do (GN) and Gyeongsangbuk-do(GB, a). CCF between Hairtail (Ha) and SM (b), Common Mackerel (Ma) and SM (c), horse mackerel (HM) and SM (d), Anchovy (An) and SM (e) in southern waters off GN. CCF between Ha and SM (f), Ma and SM (g), HM and SM (h), An and SM (i) in eastern waters off GB. Blue line means significant.

간헐적으로 최고치를 보였다. 경남과 경북 연안에서 멸치와 전갱이는 6월 이후 증가하기 시작하여 8~10월에 최고치를 이루고 12월 이후 대부분 감소하였다. 최근에는 주여기가 이루어진 후 어획량이 다소 증감을 반복한 후 다음해 어획량이 증가하며 경북 연안의 정치망에서 지속적으로 멸치가 어획되는 특성을 보였다.

남해안의 경상남도 연안과 동해안의 경상북도 연안에서 정치망어업의 삼치어획량 변동에 상관관계를 이루는 시차를 확인하기 위하여 교차상관함수(CCF)를 분석하였다(Fig. 4). 경상남도 연안과 경상북도 연안에서 삼치가 어획되는 시기는 -2~0개월에서 유의성을 보이므로 경상남도에서 2개월여 앞서거나 대체로 일치하는 것으로 해석된다(Fig. 4a). 경상남도와 경상북도에서 삼치와 먹이 어종의 풍도변동은 연안역 정치망 어업에서 거의 +2~-2개월의 범위의 시차에서 유의성을 나타내었고 동시 출현(0)에서 가장 높은 상관함수를 보였다(Fig. 4b~i).

3.2. 삼치와 먹이 어종의 풍도 변동에 대한 회귀분석

삼치와 먹이 어종의 풍도 변동에 대한 회귀분석은 교차상관함수를 기준으로 동시 출현을 적용하여 연안역에서 경남과 경북 정치망어업의 먹이 어류의 풍도를 남해안과 동해안의 독립변수로 하고 종속변수인 정치망 어업의 삼치의 풍도를 분석하였다(Table 1; 모델 I 과 모델 II, Fig. 5a~d).

남해와 동해의 연안역 정치망어업에서 종속변수인 삼치(포식자)의 풍도 변동과 관련된 먹이 어종(피식자)의 풍도 변동을 나타내는 비선형 회귀모형은 통계적 적합성이 충족되는 결과를 Table 1에서 나타내었다. 통계적 가정은 Durbin Watson Test에서 모든 모델이 유의미하지 않은 p값 ($p > 0.05$)으로 자기상관이 낮게 나타나서 예측 변수들의 독립성을 확인하였다. 다중공선성(multicollinearity)을 파악하는 지표로서 분산팽창요인(VIF)을 분석한 결과에서는 2 이하의 값을 보이므로서 각 모델에서 다중공선성이 없음을 확인하였다.

Table 1. GAM numerical results of Spanish mackerel and major prey species in the set net fisheries of southern and eastern coastal waters off Gyeongsangnam-do and Gyeongsangbuk-do. Reported statistics include the estimated degrees of freedom (edf) and significant values of test based on model deviance

Species	Spanish Mackerel					
	Model I			Model II		
Area	Southern coastal waters (Gyeongsangnam-do)			Eastern coastal waters (Gyeongsangbuk-do)		
	Estimate	Std.Error	t-value	Estimate	Std.Error	t-value
Intercept	0.000	0.079	0.000	-0.009	0.084	0.000
Approximate significance of smooth terms:						
	edf	F	p-value	edf	F	p-value
Hairtail	1.408	20.19	0.000***			
Common Mackerel				1.351	9.14	0.001**
Horse Mackerel				1.000	15.46	0.000***
Anchovy	1.000	13.02	0.000***			
R-sq.(adj)		0.472			0.405	
Deviance explained (%)		48.7%			42.2%	
GCV		0.550			0.619	

(*** <0.001, **0.01, * <0.05, · <0.1)

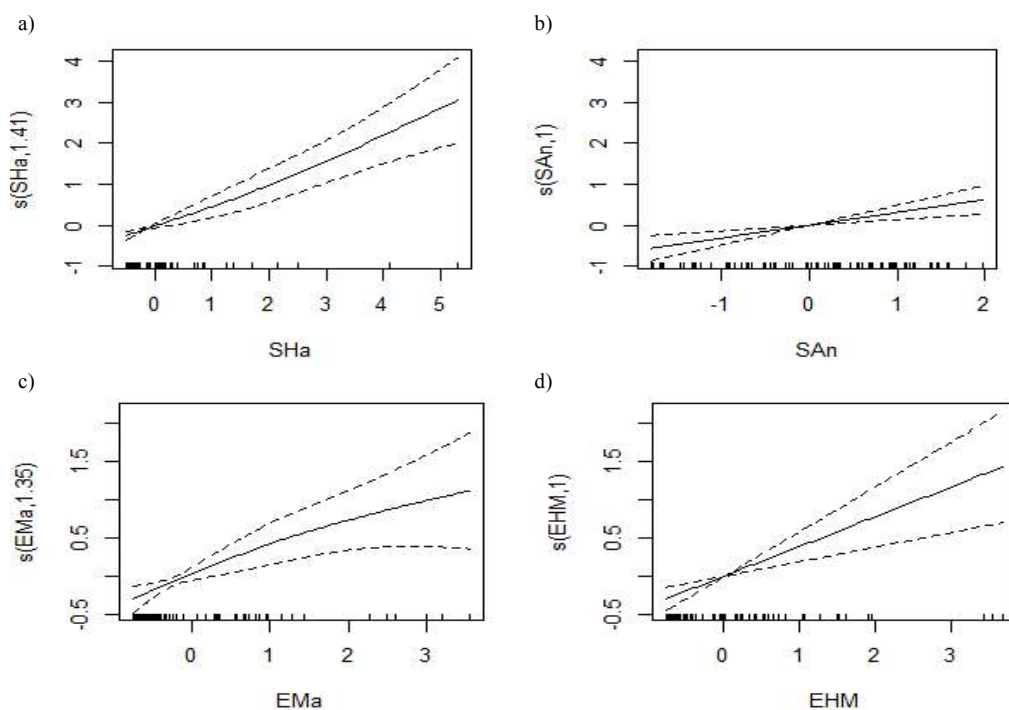


Fig. 5. GAM-predicted smooth splines for Spanish mackerel (SM) caught by coastal set net fisheries for hairtail (a) and anchovy (b) in southern waters off Gyeongsangnam-do, and common mackerel (c) and horse mackerel (d) in eastern waters off Gyeongsangbuk-do. Dashed curves indicate standard error bounds.

본 모델에서는 남해안에서 갈치의 설명력이 가장 높게 나타났고 ($p < 0.000$, partial $rsq=0.34$), 멸치도 유의한 결과를 보였으나 설명력은 낮았다 ($p < 0.000$, partial $rsq=0.14$). 전갱이와 고등어는 유의하지 않으므로 ($p > 0.05$) 예측변수에서 제외하였다(Table 1, Model I). 동해안(Table 1, Model II)에서는 고등어와 전갱이의 설명력이 높았으며(partial $rsq=0.15$ 및 0.19), 갈치와 멸치가 유의하지 않은 값($P > 0.05$)을 보여서 예측변수에서 제외하였다. 회귀모형의 설명력은 남해안에서 갈치와 멸치 등 두 어종의 예측변수에 의하여 49% (adj R-square = 0.472, Deviance explained = 48.72%), 동해안에서 고등어와 전갱이 등 2개의 예측변수에 의하여 42% (adj R-square = 0.405, Deviance explained = 42.2%)를 보였다. 남해안과 동해안의 정치망어업에서 삼치와 동시에 어획된 전갱이와 멸치의 예측변수가 증가할수록 삼치의 풍도는 선형으로 증가하거나(Fig. 5a, b), 점근선을 그리며 갈치 및 고등어의 밀도가 증가할수록 삼치의 증가가 다소 빨라지거나 둔화되었다(Fig. 5c, d).

4. 고찰

4.1. 어획 통계 자료와 통계모형

삼치는 연근해 어업에서 3만여 톤을 어획하며, 근해어업의 비중이 크다. 최근에는 연안어업에서 삼치의 어획량은 증가하는 추세에 있으며, 특히 정치망 어업에서 연간 5천 톤 내외를 어획하였다(KOSIS, 2017~2019). 정치망은 연안으로 회유하는 어종을 어획하기 위하여 설치된 수동적인 어구이며, 특정한 종에 대한 선택이 강한 반면에, 장기간 동일한 샘플링 기법으로 채집할 수 있어 어획 결과의 정량화에 이점이 있다. 이에 연안어류의 서식 생태 및 분포의 연구에는 소수의 정치망 어장을 일정한 기간에 직접 방문하여 채집하거나 어가의 생산자료를 수집한 자료를 사용하므로 자료의 정도가 높아서 연안에 내유하는 어종의 구성과 밀도, 어장 특성에 대한 연구가 이루어졌다(Cha, 2009; Jung et al., 2014; Lee et al., 2014).

예측치를 분석하는 통계기법의 사용에는 장기간의 넓은 해역에 대한 자료가 통계의 신뢰도를 높일 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 국가통계시스템으로 수집된 통계포털자료로부터 2006-2019년간 월간 어업

별 어종별 어획 통계 자료를 사용하여, 경상남도과 경상북도 연안의 정치망 어획 통계에서 우점종을 이루는 갈치, 고등어, 전갱이, 멸치 등의 회유성 어류의 통계를 분석하였다. 이를 직접조사에 의한 정치망 연구(Cha, 2009; Jung et al., 2014; Lee et al., 2014)의 결과와 비교하면 갈치, 멸치, 삼치, 전갱이 등이 전체 어획물의 50% 이상을 차지하는 우점종으로 구성되어 통계포털과 유사한 경향을 보였다. 그러나 직접적인 어장조사의 연구자료가 축적되어 장기간의 자원조사 결과를 사용하면 동시에 출현하는 어종의 먹이관계에 대한 더욱 정도 높은 연구가 가능하다고 생각된다.

GAM은 선형모형(LM, linear model)의 주요 가정인 반응변수(dependent variable)의 정규성과 오차항의 등분산을 상정하지 않고, 높은 해석력을 유지하면서 변수 간 비선형적인 변동에 대하여 포괄적 적용이 가능한 회귀분석 모형이므로 최근에 생물과 환경 간의 변동 관계를 탐구하는 중요한 방법이 되고 있다(Brynjarsdóttir and Stefánsson, 2004; Marini et al., 2015; Kvaavik et al., 2019; Kim et al., 2020). 본 연구에서는 CCF 결과를 통하여 시차를 앞서고 따라가는 변수를 찾아서 삼치의 어획량에 대하여 인근 해역을 회유하며 상호 교류가 있다고 알려진 삼치의 풍도 및 먹이어종 출현에 관한 GAM 분석을 실시하였다. 그 결과 삼치와 먹이어종은 2개월의 시차가 유의한 경우도 있으나 본 연구에서는 유의성이 가장 높게 나타나는 동시 출현으로 한 예측변수를 사용하여 GAM으로 모델을 구성하였다.

4.2. 삼치와 먹이 어종간의 GAM 결과 비교

삼치의 회유에 관한 Kim et al.(2016)의 연구에서 삼치는 11월부터 월동장으로 남하 이동하여 이듬해 봄까지 어획된다고 하였다. 삼치의 어장 중심은 2000년대에 제주도 서쪽에 위치하였으나 최근 겨울철을 중심으로 수온의 상승 경향과 함께 표층에서 회유하는 소형 어종의 분포해역과 함께 점차 북상하고 있으며 동해안으로 북상하는 경향이 뚜렷하다(Lee et al., 2011; Lee et al., 2012). 본 연구에서도 삼치의 어획 수준이 최근 동해안의 정치망에서 높아지며, 동해와 남해의 정치망에서도 고등어의 어획량이 많아졌고(Fig. 2, 3), 동해안의 삼치 풍도의 변동에서도 고등어가 중요한 독립(예측)변수로 분석되었다(Table 1). 또한 고등어는 삼치가 60 cm 이상으로 자랐을

때 삼치의 먹이로 유용하며, 먹이의 크기는 25 cm가 최대치로 나타났음(Huh et al., 2016)을 비교하면 동해안으로 북상 회유하는 대형삼치에게 먹이 풍도가 높은 서식처가 될 수 있지만, 어장에 출현하는 고등어의 크기 조성의 영향을 받을 것으로 예상된다.

Lee et al.(2011)은 계절별 삼치 어획량과 삼치의 주요 먹이인 고등어와 멸치 그리고 수온과의 대응관계에 대한 상관분석의 결과에서, 남해에서 여름을 제외한 모든 계절의 삼치 어획량과 변수들 사이에 상관성이 나타났다고 하였다. 남해안의 정치성 어구에서도 삼치와 갈치, 전갱이, 고등어, 멸치 등이 우점종으로 나타나며 출현시기가 유사한 어종간에 피포식 관계가 이루어지는 것으로 추정되는 연구결과가 있다(Lee et al., 2011). 본 연구에서도 남해와 동해 연안역의 먹이어종과 삼치풍도의 CCF 분석에서 먹이어종이 다소 앞서 변동하는 경향을 가지며, 동시 출현에서 유의성이 높고, 삼치 풍도를 예측하는 GAM 모형에서도 이들 어종이 삼치의 중요한 예측변수로 해석되었다. 그러나 남해 연안에서는 갈치와 멸치가 유의한 예측변수가 되었으나 동해 연안에서는 고등어와 전갱이가 유의한 예측변수로 분석되므로서 해역에 따라 먹이어종의 회유시기와 밀도, 크기조성 등의 차이에 대한 구체적인 연구가 필요하다.

연안역 정치망 어장에는 갈치의 어획비율이 높으며(Jung et al., 2014), 삼치는 강한 이빨을 사용하여 섭식하고 성장하면서 갈치를 먹이로 선호하는 특성이 있다(Huh et al., 2006; Ferguson et al., 2015). 또한 삼치의 먹이구성은 성장단계에 따라 변화하여 40 cm 미만에서는 멸치의 비율이 높지만, 갈치의 비율도 점차 증가하기 시작하여 70 cm 미만까지 갈치를 먹는다(Huh et al., 2006). 중형(40~60 cm) 삼치는 6~11월에 연안역에 내유하므로(Kim et al., 2016), 본 연구의 결과(Fig. 4, 5 and Table 1)와 같이 삼치와 갈치가 연안역에서 같은 시공간에서 머물게 되면서 갈치가 삼치의 선호하는 먹이가 될 수 있음을 보여준다.

전갱이는 동해와 남해에서 모두 높은 유의성이 나타나므로서 삼치의 풍도 변화에 전갱이의 풍도가 유의함을 나타내었다. Kim et al.(2013)은 멸치와 전갱이의 연안 유입이 삼치를 연안으로 가입하게 만드는 환경요인으로 작용할 수 있다고 하였다. 또한, 전갱이 어획물은 대부분 치어와 미성숙한 개체로 이루어진 소형어로 구성되어 있

다(Jung et al., 2014). 삼치는 30~90 cm간 성장하면서 전갱이가 위내용물에서 꾸준히 출현하였다(Huh et al., 2006). 본 연구에서도 동해안의 정치망에서 전갱이가 삼치 풍도의 중요한 예측변수가 되므로서 기존연구의 성장 및 먹이습성과 연관되는 결과를 보였다.

본 연구에서는 경남연안에서 삼치의 변동에 먹이어종인 멸치가 중요한 요인으로 나타났다($p < 0.000$, Table 1). 이러한 현상은 멸치가 연안역에서 4~8월에 주로 산란장을 이루고 자치어의 성육장을 이루므로 여름 이후 남해안 연안에 내유하는 삼치의 중요한 먹이가 될 수 있다고 생각된다. 그러나 남해안에는 소형멸치와 중·대형멸치가 다양하게 분포하며, 삼치의 먹이구성은 성장단계에 따라 변화하므로(Huh et al., 2016) 내유하는 삼치의 크기에 따라 먹이가 되는 멸치의 크기도 다를 것으로 예상된다.

먹이생물의 분포에 따라 포식자 어류의 분포역과 풍도가 변화하므로 수온과 염분 등의 물리적인 환경과 아울러 먹이생물의 밀도는 어류 군집을 이루는 어장의 형성에 기반이 된다(Bakhom, 2007; Kim et al., 2014; Bachiller and Irigoien, 2015; Allen and Wesner, 2016). 어장에서 동시에 출현하는 공간과 먹이의 중복현상은 피포식 관계의 정량적인 연구에 매우 유용하다(Bakhom, 2007; Kempf et al., 2010; Bachiller and Irigoien, 2015). 특히 해양생태계의 피포식 관계는 큰 어체가 작은 어체를 포식하는 경향(Scharf et al., 2000)과 특정한 종류를 선호하기보다 서식처에서 이용이 가능한 먹이를 섭식하는 특성(Bachiller and Irigoien, 2015)이 있다. 본 연구에서 보여진 삼치의 풍도와 먹이어종의 관계는 계절적인 회유상황으로 동시 출현하여 피포식 관계가 이루어질 수 있으며, 이들의 피포식관계가 삼치자원이 연안으로 회유하는 시기와 양적변동의 요인으로 작용할 수 있음을 보여준다.

생태계는 먹이망으로 어종간 및 플랑크톤을 섭식하는 먹이 관계를 해양환경 요소와 더불어 다양하게 나타낼 수 있다(Chen et al., 2018). 한국 주변 해역에서는 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 멸치, 고등어, 삼치로 이어지는 먹이사슬이 있으며, 생태계에서는 포식압에 의한 먹이생물의 감소도 일어난다(Lee et al., 2011; Bachiller and Irigoien, 2016). 본 연구에서는 삼치의 환경생물로서 문헌(Huh et al., 2006; Bakhom, 2007)

에서 확인된 주요한 먹이 어종의 어획통계로서 삼치가 동해와 남해에서 시공간적으로 일치하는 정도를 분석하여 간접적으로 삼치의 먹이 가능성을 제시하였다. 서식처의 먹이생물의 종류와 크기 구성의 변화가 생태계의 먹이망 구조에 미치는 영향 등에 대하여 금후 자원생물의 위내용물 조사와 서식밀도, 수리생태 등을 기반으로 하는 해양생물의 피포식 관계의 연구가 이루어진다면 먹이생물에 의한 수산자원의 정량적 변동에 측에 더욱 기여할 수 있을 것이다.

5. 결론

삼치는 한국 연근해에서 소형 어류를 주로 섭이하며 계절회유를 하고 다양한 어업에 어획된다. 본 연구에서는 삼치를 경남 및 경북 연안에서 어획하는 정치망 어업에 의한 2006-2019년 어획량의 해역간 차이를 비교하고, 주요 먹이어종의 풍도를 예측변수로 사용한 삼치의 풍도 변동의 요인을 찾고자 하였다. 경남과 경북 연안에서 정치망 어업에 의한 삼치와 먹이어종의 출현시기를 CCF 분석으로 볼 때, 시차가 -2~2개월에서 유의성이 인정되나, 동일시기에 유의성이 가장 높았다.

연안역에 회유하는 삼치와 먹이어종의 관계를 GAM 모형으로 분석한 결과에서는 경남 연안에서 갈치와 멸치를, 경북 연안에서는 고등어와 전갱이를 예측변수로 하는 모형이 적합하다고 분석되었다. 종속변수인 삼치 풍도의 변동은 각각 2종류의 먹이 어종을 예측변수로 할 때 경남 연안에서 49%, 경북 연안에서 42%가 GAM 비선형 회귀를 통하여 설명되었다. 이러한 결과는 삼치가 남해안과 동해안에 계절회유를 하며 남해안에서 산란과 치어의 성장이 이루어지고, 가을철 이후 성육 단계에 따른 먹이를 찾아 회유하므로 적절한 크기의 먹이 어종의 풍흉에 따라 삼치의 풍도가 변동할 수 있음을 제시한다. 따라서 연안 해역의 삼치의 풍도는 연안에 계절적으로 회유하는 먹이 어종의 종류와 성장단계의 풍도 영향을 대체로 받으며, 특히 해역에 따라 갈치, 전갱이, 고등어, 멸치 등의 정량적인 풍도 변화에 반응한다고 생각된다. 따라서, 다양한 자원생물의 먹이망 및 해양환경의 변동과 관련된 수리생태 연구가 확장된다면 피·포식 관계에 의한 자원변동의 원인과 예측의 설명력도 향상될 것이다.

감사의 글

이 논문은 2018학년도 경북대학교 국립대학육성사업 지원비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Allen, D. C., Wesner, J. S., 2016, Synthesis: comparing effects of resource and consumer fluxes into recipient food webs using meta-analysis, *Ecology*, 97, 594 - 604.
- Bachiller, E., Irigoien, X., 2015, Trophodynamics and diet overlap of small pelagic fish species in the Bay of Biscay, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 534, 179-198.
- Bakhom, S. A., 2007, Diet overlap of immigrant narrow - barred Spanish mackerel *Scomberomorus commerson* (Lac., 1802) and the largehead hairtail ribbonfish *Trichiurus lepturus* (L., 1758) in the Egyptian Mediterranean coast, *Animal Biodiversity and Conservation* 30, 147-160.
- Brynjarsdóttir, J., Stefánsson, G., 2004, Analysis of cod catch data from Icelandic groundfish surveys using generalized linear models, *Fisheries Research*, 70, 195-208.
- Cha, B. Y., 2009, Composition and catch variation of fisheries resources by set net in the Mizo fishing ground off Namhae Island, *Kor. J. Ichtho.*, 21, 191-199.
- Chen, M., Kim, D., Liu, H., Kang, C. K., 2018, Variability in copepod trophic levels and feeding selectivity based on stable isotope analysis in Gwangyang Bay of the southern coast of the Korean Peninsula, *Biogeosciences*, 15, 2055-2073.
- Ferguson, A. R., Huber, D. R., Lajeunesse, M. J., Motta, P. J., 2015, Feeding performance of king mackerel, *Scomberomorus Cavalla*, *J. Exp. Zool.* 323A, 399-413.
- Han, I., Oh, W., Yoon, E. A., Suh, Y., Lee, K., Shin, H., 2017, The relationship between fish and zooplankton in south-western region of the East Sea using hydroacoustics, *J. Korean Soc. Fish. Technol.*, 53, 376-385.
- Huh, S. H., Park, J. M., Baeck, G. W., 2006, Feeding habits of Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) in the southern sea of Korea, *J. Kor. Fish. Soc.*, 39, 35-41.
- Jung, K. M., Lee, D. J., Kang, S., Choi, K. H., 2014, Species composition and distribution of set-net catches on the coast of Dapo, Geoje Island, *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47,

- 997-1005.
- Kempf, A., Dingsør, E. G., Huse, G., Vinther, M., Floeter, J., Temming, A., 2010, The importance of predator - prey overlap: predicting North Sea cod recovery with a multispecies assessment model, ICES J. Mar. Sci., 69, 1989-1997, doi:10.1093/icesjms/ fsq114.
- Kim, H., Song, S. H., Lee, S., Kim, J. B., Yoo, J. T., Jang, D. S., 2013, Dominant causes on the catch fluctuation of a set net fishery in the mid-south sea of Korea, J. Kor. Soc. Fish. Tech., 49, 250-260.
- Kim, H., Lim, Y. N., Song, S. H., Kim, Y. H., 2016, Understanding the migration path of Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* using catch distributions, Korean J. Fish. Aquat. Sci., 49, 376-384.
- Kim, J. Y., Kim, H., Choi, M. S., Lee, H. M., Bai, S., 2014, Spatial and temporal variations of the trophodynamics of anchovy (*Engraulis japonicus*) in the southern coastal waters of Korea using fatty acid trophic markers, Animal Cells and Systems, 18, 425-434.
- Kim, J. Y., Lee, J. B., Suh, Y. S., 2020, Oceanographic indicators for the occurrence of anchovy eggs inferred from generalized additive models. Fisheries and Aquatic Sciences., 23, 1-14, <https://doi.org/10.1186/s41240-020-00161-y>.
- KOSIS, Korean Statistical Information Service, <http://kosis.kr>
- Kvaavik, C., Óskarsson, G. J., Danielsdóttir, A. K., Marteinsdóttir, G., 2019, Diet and feeding strategy of Northeast Atlantic mackerel (*Scombrus scomber*) in Icelandic waters, PLoS ONE 14, e0225552, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225552>.
- Lee, D. J., Kang, S., Choi, K. H., Jung, K. M., 2014, Species composition and seasonal variations of fishes collected by set net in coastal waters of Gijang, Korea, Kor. J. Fish. Aquat. Sci., 47, 983-996.
- Lee, J. H., Lee, J. B., Zhang, C. I., Choi, Y. M., Lee, D. W., 2012, A Study on fluctuation of the fishing grounds of target fishes by the Korean large purse seine fishery, J. Kor. Soc. Fish. Tech., 48, 107-117.
- Lee, S. J., Kim, B. Y., Chang, D. S., 2011, Long-term variation in catch of Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) related to environmental change in Korean waters, J. Kor. Soc. Fish. Tech., 47, 99-107.
- Marini, C., Fossa, F., Paoli, C., Bellingeri, M., Gnone, G., Vassallo, P., 2015, Predicting bottlenose dolphin distribution along Liguria coast (northwestern Mediterranean Sea) through different modeling techniques and indirect predictors. J. Environ. Manag., 150, 9-20.
- Nøttestad, L., Diaz, J., Penã, H., Søiland, H., Huse, G., Fernø, A., 2016, Feeding strategy of mackerel in the Norwegian Sea relative to currents, temperature, and prey, ICES Journal of Marine Science, 73, 1127-1137.
- Scharf, F. S., Juanes, F., Rountree, R. A., 2000, Predator size - prey size relationships of marine fish predators: interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth, Mar.Eco.Prog.Ser., 208, 229-248.

-
- Dr. Jin-Yeong Kim
Institute for Mathematical Convergence, Kyungpook National University
jinykim3@gmail.com
 - Professor. Young-Soon Kim
Department of Information and Statistics division, Gyeongsang National University
younsoonkim@gnu.ac.kr
 - Senior Scientist Hee-Yong Kim
South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science
heeyongkim@korea.com