

기후변화와 서식지 수온 변화에 따른 북서태평양 살오징어(*Todarodes pacificus*)의 어획량 변동

송혜진

부경대학교 지오메틱연구소

Fluctuations of Common Squid *Todarodes pacificus* Catches in the Northwestern Pacific under Changing Climate and Habitat Temperature

Hyejin Song

Institute of Geomatics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Recently, commercial catches of the common squid *Todarodes pacificus* have dramatically decreased in Korean and Japanese waters. The relationship between common squid catches and environmental factors was investigated using squid catches, climate indices and observed seawater temperatures in Korean waters. Common squid consist of three spawning stocks: autumn, winter, and summer. The autumn stock is the largest in Korea, and its main fishing season appears to have shifted from September in the 1980s to October in the 1990s. We observed negative correlations between the spring Southern Oscillation Index and Korean catches and between the winter Pacific Decadal Oscillation and Japanese catches. Despite global warming, no conspicuous increases in October seawater temperatures have been observed at 10 and 50 m in Korean waters since the mid-1900s. Instead, the 50 m water layer of the East Sea appears to be gradually cooling. Moreover, temperatures at 50 m in the East Sea and the South Sea were significantly negatively correlated with squid catches in Korea and Japan, respectively. Our preliminary analysis indicates a link between climate change, seawater temperature, and squid catches in Korean waters, which helps to inform the direction of subsequent research to identify the cause of rapid decreases in this squid resource.

Key words: *Todarodes pacificus*, Common squid, Climate change, Optimal temperature, East Sea

서론

해양생태계에 영향을 미치는 환경적 요인은 여러 가지가 있으나, 생물군집의 구조는 생물서식지의 수온에 가장 큰 영향을 받는다. 더욱이 기후변화에 의하여 발생하는 기온의 변화는 수십 년의 주기를 가지고 온난과 한랭 현상을 반복하고 있으며, 해면수온(sea surface temperature, SST)은 기온의 변화에 상응하며 변화한다. 이러한 기후의 체제변환(climate regime shift)은 그 해역 생태계의 생산력, 종 조성 등의 변화를 유발하여 생태계 체제변환(ecological regime shift)을 발생하게 만든다(Lluch-Belda et al., 1992). 특히 두족류는 대부분 2년 이내의 수명을 가지고 있으므로(Boyle, 1987), 이러한 짧은 생활사 특성으로 인해 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위한 좋은 모델로 여겨져 왔다. 우리나라와 일본 주변해역에 널리 분포

하는 살오징어(common squid *Todarodes pacificus*)는 양국의 주요 상업 생물종으로, 계절적으로 광범위하게 회유하고 있다(Nakamura and Sakurai, 1993; Kidokoro et al., 2010). 이들 살오징어 자원은 산란되는 시기에 따라 구분되는데, 생산량의 대부분을 차지하는 가을 발생군(혹은 계군)과 겨울 발생군은 그 회유 경로를 서로 달리 한다. 가을 발생군은 주로 우리나라 제주도 부근 해역을 포함하는 남해, 그리고 일본의 큐슈 서부 해역을 산란장으로 이용하기 때문에, 부화한 어린 유생은 대마난류를 타고 동해로 들어가고, 그 곳에서 성장을 하게 된다. 한편, 겨울 계군은 가을 계군보다 더 남쪽에서 산란을 하여, 동중국해에서 부화한 유생은 쿠로시오해류를 타고 일본의 동해안을 따라 북상하면서 성장을 한다. 이들은 오야시오해류를 만나는 지점까지 이동하고, 그 이후에는 혼슈와 홋카이도 사이의 쓰가루해협을 건너 동해로 들어갔다, 동중국해의 산란장을 향하여 남하

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0338>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 51(3) 338-343, June 2018

Received 5 June 2018; Revised 20 June 2018; Accepted 22 June 2018

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5923 Fax: +82. 51. 629. 5923

E-mail address: shj.squid@gmail.com

한다. 이에 따라, 우리나라에서 어획되는 살오징어의 주된 어장은 각 계군의 섭이장과 성육장을 포함하는 동해에서 형성된다. 즉, 살오징어는 어릴 때에는 차가운 섭이장으로 북상 이동을 하면서 성장하고, 그 이후에는 따뜻한 산란장을 향하여 남하 하는 수온의존적인 생활사를 보여준다(Okutani, 1983).

현재까지 밝혀진 살오징어의 산란 및 부화에 관한 보고에 따르면(Bower and Sakurai, 1996; Sakurai et al., 1996; Bower, 1997; Puneeta et al., 2015), 성숙한 암컷이 대략 수심 50 m의 대륙붕과 대륙사면에 인접해 있는 수온약층에서 부유성의 젤라틴 난괴를 생산하면, 일주일 내에 부화된다. 이러한 재생산과정에서 적정수온은 조금씩 차이를 보이는데, 난 발생은 15-23℃의 수온범위에서 일어나고 부화 유생은 그 보다 높은 17-23℃에서 채집이 가능했다. 사육실험에 의한 이들 개체의 성장과 성숙은 13-15℃의 수온범위에서 성장이 빨랐고, 19℃이상에서 성공적인 재생산이 가능했다(Song, 2012). 이와 같이 산란장의 물리적인 환경요건과 성장과 성숙에 대한 적정수온은 가입의 성패를 결정짓는 주요변수로 작용한다(Lipinski et al., 1998).

살오징어는 과거 해양의 체제변화에 반응하여 해면수온이 높으면 어획량이 많아지고, 수온이 낮아지면 어획량도 감소하는 경향을 보였다(Sakurai et al., 2000). 살오징어의 자원량 급감의 주된 원인 중 하나로써 북한해역에서의 중국의 불법 조업이 대두되고 있지만(Lee et al., 2017), 우리나라와 본 종의 서식지 일부만을 공유하는 일본해역에서의 살오징어 어획량 또한 최근 크게 줄고 있는 추세이다. 21세기 들어와서 살오징어 서식해역에서의 해수온이 상승하고 있음에도 어획량은 계속 감소하고 있으며, 최근 급감하는 살오징어 생산량에 대한 기후변화와 수온의 영향에 대해서는 아직 보고된 바가 없다. 이처럼 종래의 이론으로 명확히 설명될 수 없는 살오징어 자원량의 급격한 감소에 대응하기 위해서는, 먼저 이를 조절하는 주요인자인 수온의 영향에 대한 새로운 해석이 시급히 요구된다.

본 논문은 최근 심각하게 감소하고 있는 살오징어 자원량에 대한 결정적 요인으로 생애 주기에 걸친 성장·성숙에의 “종 특이적인 적정수온에 대한 경험치(experiences on species-specific optimal temperature)”에 있음을 주목하고, 이를 바탕으로 어획과 가입의 장기 변동에 미치는 기후지수들의 간접적 영향과 서식지 수온의 직접적 상관성을 분석하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 연도별, 월별, 해역별 살오징어의 어획량 변동을 파악하기 위하여 우리나라 통계청의 자료를 이용하였고(Korean statistical information services; <http://kosis.kr>), 일본의 연도별 어획량은 FAO에서 발췌되었다(FAO; www.fao.org). 또한 기후변화가 살오징어 자원량에 미치는 영향을 알아보기 위해, 태평양순년진동지수(Pacific decadal oscillation index, PDOI; <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>), 남방진동지수(southern oscillation index, SOI; [\[search.jisao.washington.edu/data/walker/wbso18751933\]\(http://search.jisao.washington.edu/data/walker/wbso18751933\)\), 북극진동지수\(arctic oscillation index, AOI; \[ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks/norm.daily.ao_index.b500101.current.ascii\]\(http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks/norm.daily.ao_index.b500101.current.ascii\)\)와 같은 한반도 주변 해양환경과 관련이 있을 것으로 사료되는 기후지수들과 살오징어의 어획량 간의 상관관계를 분석하였다. 각 기후지수는 1950년부터 2017년까지 월별로 제공된 값을 사용하였다.](http://re-</p>
</div>
<div data-bbox=)

살오징어 서식지의 환경변화를 규명하기 위해 국립수산물학원 한국해양자료센터(Korea oceanographic data center, KODC; <http://kode.nifs.go.kr>)에서 수집한 정선 해양관측자료를 이용하였다. 어획량의 대부분을 차지하는 가을 발생 계군의 산란장으로 추정되는 남해(정점 203-207, 400, 31302, 31400-31406)와 주요어장을 형성하는 동해(정점 102-105, 208, 209, 500, 501)의 수심 10 m와 50 m의 10월 수온을 특정하여 1965년부터 2017년까지 장기적 관점의 체제 변환을 규명하였다. 체제변환분석을 위하여 Rodionov (2004)가 개발한 SRSD (sequential regime shift detector, STARS) version 5.0을 이용하였으며, 이는 연속적인 t-test를 기반으로 한 알고리즘으로 체제변환(regime shift)을 밝힐 수 있다. SRSD는 target significance level (p), cut-off length (l), hurber weight parameter (h)를 필수 파라미터로, 이번 연구에서는 $p=0.5$, $l=10$, $h=1$ 로 설정하였다. 그 외 통계적 분석으로는 SPSS statistic software (version 23, international business machines corporation, USA)을 사용하여, 기후지수와 어획량의 관계를 입증하기 위한 이변량상관분석(pearson correlation)과 수온이 어획량에 미치는 영향을 파악하기 위한 시계열분석으로 교차상관분석(cross correlation function, CCF)을 실시하였다.

결과 및 고찰

일본의 살오징어 어획량이 높았던 1960년대에서 1970년대 초반에 우리나라의 어획량은 미미했다. 그 주요원인은 우리나라 어선의 어구·어법이 일본에 비하여 크게 뒤져 있었기 때문이라고 여겨진다. 하지만 우리나라 살오징어 어구·어법이 많이 향상되고, 아울러 자원량도 많이 증가하였던 1990년대에는 어획량이 크게 증가하여, 1996년에는 우리나라와 일본에서 각각 25만톤과 44만톤의 연어획량을 기록했다. 양국에서 최고 어획량을 보였던 1996년부터 2년 동안은 계속 어획이 급격히 감소하여 1998년에는 1996년에 비하여 일본에서는 50-60%, 한국에서는 60-70%정도의 어획량을 기록하였다. 그 이후 약간의 증감은 있었지만 대체로 감소현상이 양국에 공통적으로 나타났다. 최근 우리나라의 살오징어 어획량은 2016년, 2017년에 걸쳐 1990년대 이후 최저 8만7천톤까지 급격하게 감소하였고, 일본의 경우에는 이보다 좀 더 앞선 2015년부터 현재까지 뚜렷한 감소 추세를 보이고 있다(Fig. 1a).

어획량을 계절별로 보면 항상 가을 계군이 가장 많았다(Fig. 1b). 9-11월에 어획되는 가을 계군의 어획량은 1990년대부터

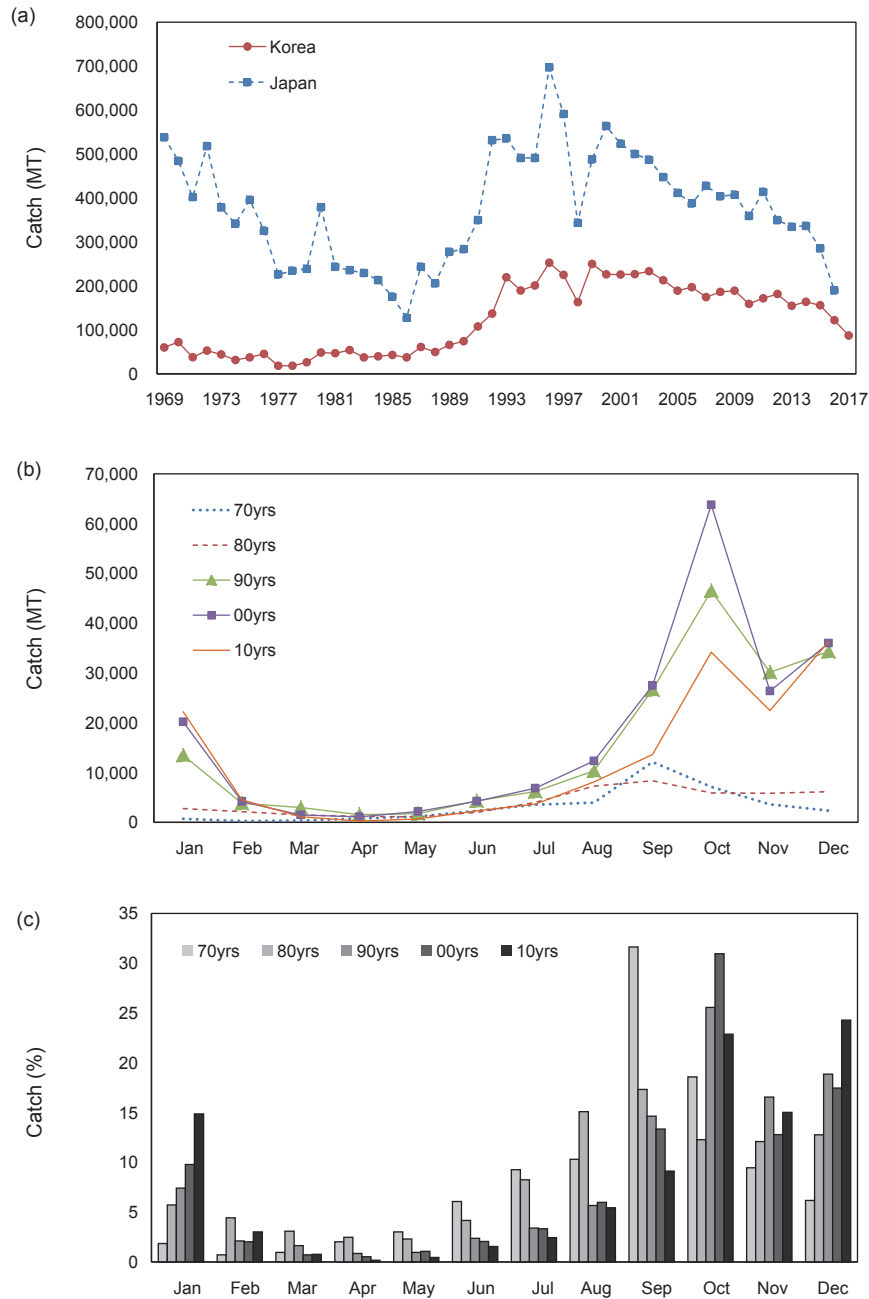


Fig. 1. Catches of common squid *Todarodes pacificus*. (a) Annual catches by Korean and Japanese fishers during 1969-2017 and (b) Monthly catches and (c) Relative frequency of monthly catches in Korean waters during 1970-2017.

꾸준하게 증가하여 2000년대 10월에 6만3천톤에 이르렀으나, 최근 들어 절반 가까이 감소하였다. 그에 반해 12-1월을 가입시기로 하는 겨울 계군은 자원량이 감소하는 최근 추세에도 불구하고 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 1970년대와 80년대에 상대적으로 9월의 어획량 비율이 가장 높았으나, 90년대부터 한 달 늦게 최고 어획량이 나타나 2000년대에는 30%

를 상회하는 살오징어 생산량이 10월에 집중되었다. 덧붙여 12월과 1월에 어획되는 겨울 계군의 생산량 비율도 90년대 이후 뚜렷하게 증가하여 최근 2010년대에는 한 해 총 어획량의 약 40%를 차지했다(Fig. 1c). 이는 곧 최근의 살오징어 어획량 급감은 곧 최근의 살오징어 어획량 급감은 가을 계군에서 기인한다고 볼 수 있고, 그와 더불어 주된 가입시기가 조금씩 늦춰지는 경향으로 해석될 수 있다.

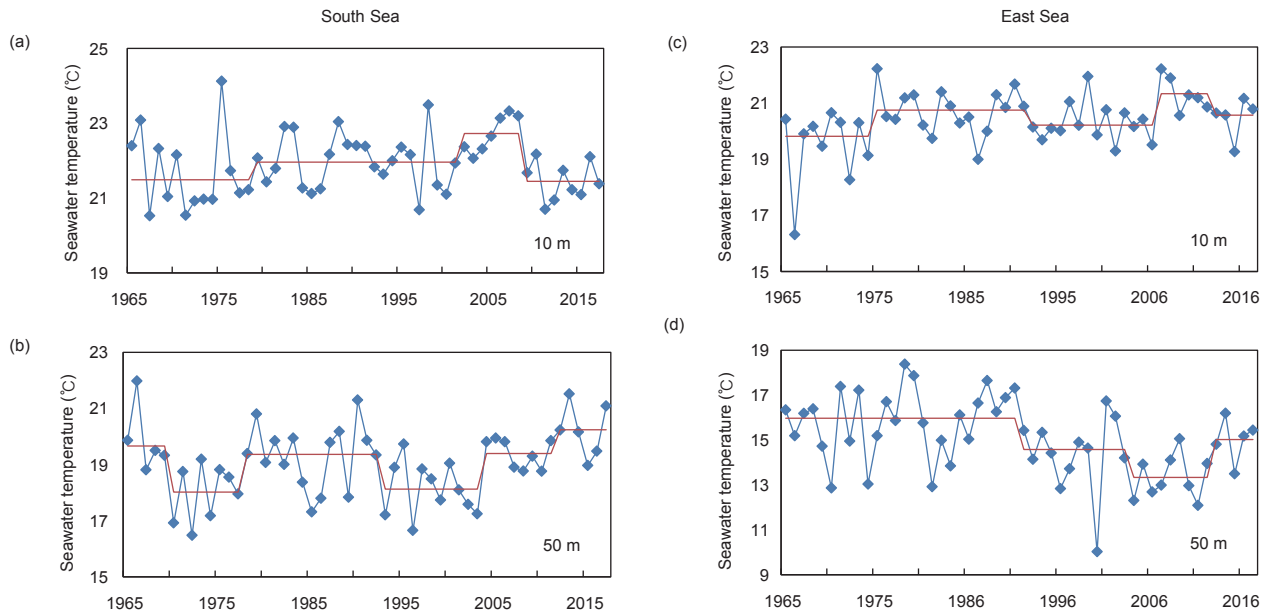


Fig. 2. Variation of October seawater temperature in main fishing and spawning area of common squid *Todarodes pacificus* catches in Korean waters during 1965-2017. (a) 10 m in the South Sea, (b) 50 m in the South Sea, (c) 10 m in the East Sea, (d) 50 m in the East Sea.

살오징어의 서식지를 포함하는 북서태평양에 영향을 주는 주요 기후지수들 간의 상관관계를 분석하였다. 최근 2014년을 기점으로 PDO는 양의 값을 보이며 급격하게 높아졌고, SOI와 AOI는 PDO와 유의한 음의 상관관계를 보이며 반대의 패턴을 보였다(SOI, $r=-0.57$; AOI, $r=-0.35$). 실제로 이들 기후지수는 우리나라와 일본의 어획량과 유의한 상관관계를 보여주는데, 우리나라의 경우 5월 SOI가 어획량과 음의 상관관계를 보이고, 일본의 경우 1월부터 4월의 PDO지수와 강한 음의 상관성을 나타냈다(Table 1). Tian et al. (2008)에서는 PDO와 SOI가 과거 동해의 해양환경에 큰 영향이 없었다고 보고하였지만, Sakurai et al. (2002)는 SOI와 살오징어 자원량과의 연관성을 제시하는 등, 그 메커니즘은 현재까지도 불명확하다(Kidokoro et al., 2010). 본 연구결과에서 PDO와 SOI가 살오징어 어획량과 계절적으로 강한 음의 상관관계를 보이는 것과, 일본 어획량의 급격한 감소가 나타난 2015년의 바로 전년도에 PDO의 패턴이 음

에서 양으로 크게 전환된 것으로 보아 기후체제변화와 최근의 살오징어 자원량의 급감이 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 이에 따라 향후, 위의 3개의 기후지수 이외의 북서태평양에 영향을 주는 다양한 지수를 대상으로 최신의 자료를 수집하여, 기후변화와 살오징어 자원량과의 상관 메커니즘이 명확히 설명될 수 있는 분석이 필요하다.

추계 발생군의 산란장으로 알려진 남해와 주요어장이 형성되는 동해의 10월 연평균 장기수온변동 추이는 수심 10 m와 50 m에서 뚜렷한 증가 없이 평이한 수준을 보였다(Fig. 2). 남해에서는 대체로 1970년대 중반부터 1990년대 초반까지 온난했던 수온이 2000년대 초반까지 한랭한 수온을 보였고, 그 이후부터 현재까지 온난한 상태를 유지하고 있다(Fig. 2a, 2b). 즉, 살오징어 산란장은 비교적 따뜻한 해황이 유지되고 있음을 보여준다. 살오징어의 성육장이 동해의 경우 1990년대 이후 10 m 수층은 온난화 경향을 보이고 있지만, 50 m 수층의 수온은 최근의 증가

Table 1. Monthly correlation between climate indices and common squid *Todarodes pacificus* catches of Korea and Japan during 1970-2017

Catch	Indices	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Korea	AOI	0.12	0.22	0.04	-0.01	0.04	-0.05	-0.06	-0.01	-0.05	-0.21	0.03	-0.15
	SOI	0.12	0.16	0.03	-0.02	-0.29*	-0.16	-0.03	-0.22	-0.07	-0.09	-0.08	0.10
	PDO	0.03	0.01	-0.02	0.02	0.10	0.14	-0.04	-0.09	-0.18	-0.24	-0.13	0.01
Japan	AOI	0.14	0.21	-0.15	-0.13	-0.05	0.08	0.09	0.17	-0.26	0.09	-0.05	-0.09
	SOI	0.06	0.26	0.20	0.05	-0.10	0.01	-0.10	0.11	0.03	0.06	0.19	0.12
	PDO	-0.44**	-0.42**	-0.38**	-0.35*	-0.24	-0.22	-0.16	-0.05	-0.07	-0.14	-0.20	-0.28

AOI, arctic oscillation index; SOI, southern oscillation index; PDO, Pacific decadal oscillation index; *, $P<0.05$; **, $P<0.01$.

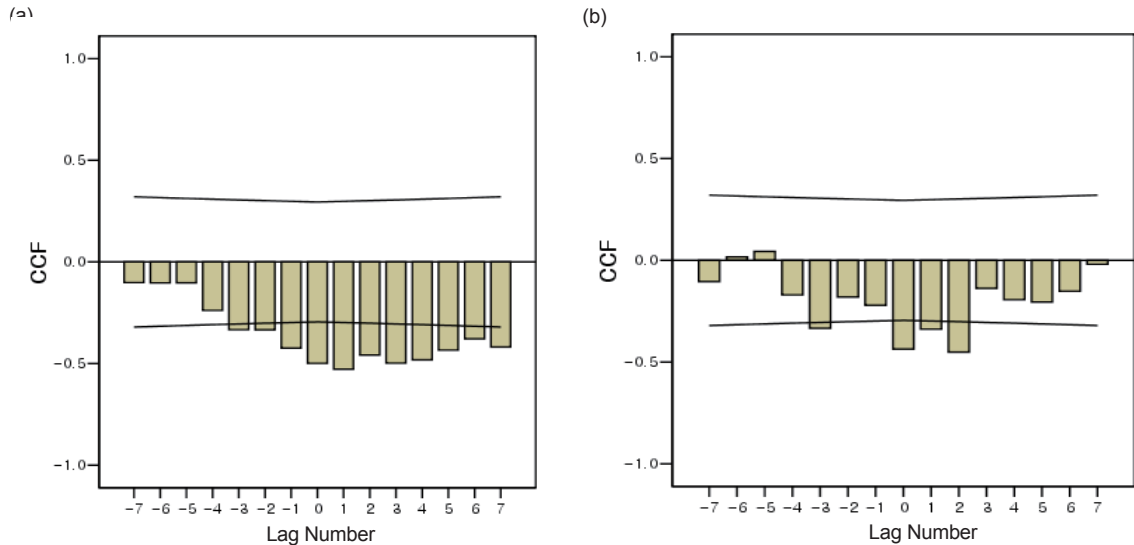


Fig. 3 Cross correlation between October seawater temperature and common squid *Todarodes pacificus* catches during 1970-2017. Bars indicate the coefficient, and dotted lines mean upper and lower confidence limits. (a) 50 m of East Sea and catch of Korea (b) 50 m of South Sea and catch of Japan. CCF, cross correlation function.

를 제외하면 오히려 낮아지고 있다(Fig 2c, 2d).

특정 깊이의 수온과 어획량의 교차분석을 수행한 결과, 우리나라 어획량은 동해 50 m 수온과 0-3년의 시간차를 두고 음의 유의한 상관관계를 나타냈고($-0.49 \leq r \leq -0.33$), 일본의 어획량은 남해의 50 m 수온과 시간차를 두지 않고 음의 유의한 상관관계를 보였다($r = -0.43$) (Fig. 3). 이러한 결과는 Sakurai et al. (2000)에서 제시한 것과 같은 “온난수온-높은어획” 관계와는 다른 것이다. 대체로 1990년대 중반이래, 어획량은 감소되었지만 표층 10-50 m 에서의 수온은 큰 변화가 없거나 오히려 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 통계적인 결과는, 살오징어 자원 흥풍이 단지 수온에만 의존하는 것이 아니라, 서식해역에서의 다른 생태학적인 요소인 먹이, 포식자, 이상기후, 일차생산력 등에 의하여 좌우됨을 의미한다. 또한 2000년대 초중반의 이전 연구들에서는 우리나라 해역은 지구온난화의 영향을 밀접하게 받으며 꾸준히 수온이 증가한다고 보고되어 왔지만(Kim et al., 2001), 동해와 남해에서 2000년대 후반 이후 수온의 상승은 미비하고 표층과 중층의 수온변화 패턴이 상이해지면서 살오징어 자원량에 부정적인 영향을 주었을 것으로 예상된다. 이러한 수온 체제 변환으로 인하여 우리나라는 동해의 어장형성에, 일본의 경우 남해를 포함하는 산란장 환경 변화에 기인하여 최근의 살오징어의 어획량 급감을 초래했을 가능성을 시사한다. 하지만, 본 연구에서 사용한 해양환경 자료는 살오징어 서식지의 일부 부분에서만 수집되었기 때문에 보다 명확한 증거를 제시할 필요가 있다. 이를 위해서, 살오징어가 전 생활사에 걸쳐 회유함에 따라 경험하는 수온 이외의 물리 생물학적인 주요 변수들의 영향을 종합적으로 고려하여, 살오징어 자원 관리 및 예측 가능한

모델을 위한 후속 연구를 진행하고자 한다.

사 사

이 논문은 기상청 KMIPA 2015-6050의 지원으로 수행되었으며, 연구 수행에 도움을 주신 김수암 교수님을 비롯하여, 이화현 박사님, 방민경님, 김무진님께 감사의 마음을 전합니다.

References

- Bower JR and Sakurai Y. 1996. Laboratory observations on *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) egg masses. *Amer Mal Bull* 13, 65-71.
- Bower JR. 1997. A biological study of egg masses and paralarvae of the squid *Todarodes pacificus*. Ph.D. Dissertation, Hokkaido University, Hakodate, Japan.
- Boyle PR. 1987. Cephalopod life cycles: Volume II: Comparative Reviews. Academic Press, London, UK, 5-31.
- Kidokoro H, Goto T, Nagasawa T, Nishida H, Akamine T and Sakurai Y. 2010. Impact of a climate regime shift on the migration of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in the Sea of Japan. *ICES J Mar Sci* 67, 1314-1322. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsq043>.
- Kim K, Kim KR, Min DH, Volkov Y, Yoon JH and Takematsu M. 2001. Warming and structural changes in the East (Japan) Sea: a clue to future changes in global oceans?. *Geo Res Lett* 28, 3293-3296. <https://doi.org/10.1029/2001GL013078>.
- Lee J, Ryu J and Kee H. 2017. A Study on the Status of Chinese Fishing in the East Sea off North Korea and Directions for

- Countermeasures. *J Fish Bus Adm* 48, 61-74. <http://dx.doi.org/10.12939/FBA.2017.48.3.061>.
- Lipinski MR, Durholtz MD and Underhill LG. 1998. Field validation of age readings from the statoliths of chokka squid (*Loligo vulgaris reynaudii* d'Orbigny, 1845) and an assessment of associated errors. *ICES J Mar Sci* 55, 240-257. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1997.0274>.
- Lluch-Belda D, Lluch-Cota DB, Hernández-Vázquez and Salinas-Zavala CA. 1992. Sardine population expansion in eastern boundary systems of the Pacific Ocean as related to sea surface temperature. *S Afr J mar Sci* 12, 147-155. <https://doi.org/10.2989/02577619209504698>.
- Nakamura Y and Sakurai Y. 1993. Age determination from daily growth increments in statoliths of some groups of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*. In: Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology, T Okutani, RK O'Dor and T Kubodera, eds. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 339-344.
- Okutani T 1983. *Todarodes pacificus*. In: Cephalopod life cycles: volume I: Species Accounts. Boyle PR, ed. Academic press, London, UK, 201-214.
- Puneeta P, Vijai D, Yoo HK, Matsui H and Sakurai Y. 2015. Observations on the spawning behavior, egg masses and paralarval development of the ommastrephid squid *Todarodes pacificus* in a laboratory mesocosm. *J Exp Bio* 218, 3825-3835. <http://doi:10.1242/jeb.127670>.
- Rodionov SN. 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geo Res Let* 31. L09204. <https://doi.org/10.1029/2004GL019448>.
- Sakurai Y, Bower JR, Nakamura Y and Yamamoto S and Watanabe K. 1996. Effects of temperature on development and survival of *Todarodes pacificus* embryos and paralarvae. *Amer Mal Bull* 13, 89-95.
- Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S, Goto T and Hiyama Y. 2000. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J Mar Sci* 57, 24-30. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0667>.
- Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh SI, Yamamoto J, Goto T, Mori K and Kinoshita T. 2002. Stock fluctuations of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, related to recent climate changes. *Fish sci* 68, 226-229. https://doi.org/10.2331/fishsci.68.sup1_226.
- Song H. 2012. Studies on growth and reproduction of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae). Ph.D. Dissertation, Hokkaido University, Hakodate, Japan.
- Tian Y, Kidokoro H, Watanabe T and Iguchi N. 2008. 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* 77, 127-145. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.03.007>.