

Article

엘니뇨/라니냐가 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의
중형동물플랑크톤 생체량에 미치는 영향

강형구^{1*} · 신창웅² · 전동철³

¹한국해양과학기술원 생물·생태계연구본부

²한국해양과학기술원 한·페루 해양과학기술 공동연구센터

³한국해양과학기술원 해양물리연구본부

(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

Effect of El Niño/Na Niña on Mesozooplankton Biomass in the Northwestern
Subtropical Pacific Warm Pool and the Northern East China Sea

Hyung-Ku Kang^{1*}, Chang-Woong Shin², and Dongchull Jeon³

¹Marine Life and Ecosystem Division, KIOST

²Peru-Korea Joint Ocean Research Center, KIOST

³Physical Oceanography Division, KIOST

Ansan 426-744, Korea

Abstract : Mesozooplankton biomass including total biomass and size-fractionated biomass and the abundance of major taxonomic groups of copepods were studied in the Northwestern Subtropical Pacific Warm Pool (NSPWP) and the Northern East China Sea (NECS) from 2006 to 2014. Mesozooplankton biomass ranged from 0.69 to 3.08 mgC/m³ (mean 1.12 mgC/m³) in the NSPWP and from 10.60 to 69.10 mgC/m³ (mean 30.33 mgC/m³) in the NECS with higher values in spring than fall. Percent composition in the biomass of each size group of mesozooplankton varied interannually both in the NSPWP and in the NECS. The smallest size group (0.2~0.5 mm) contributed the least to total biomass in both regions, but significantly higher in the NSPWP than in the NECS. The percent composition in abundance of copepod taxonomic groups (i.e. Calanoida, Cyclopoida, and Poecilostomatoida) also fluctuated interannually. Mean composition of calanoid copepods was higher in the NECS than in the NSPWP, but the opposite pattern was observed for poecilostomatoid copepods. Mesozooplankton biomass both in the NSPWP and in the NECS was negatively correlated with Oceanic Niño Index (ONI), indicating declines in biomass during El Niño periods and *vice versa* during Na Niña period. The effect of El Niño on variation of mesozooplankton biomass was more prominent in the NSPWP than in the NECS. These results suggest that mesozooplankton biomass both in the NSPWP and in the NECS responded to El Niño events, although the biological process that explain the reduced mesozooplankton biomass might be different in both regions.

Key words : Northwestern Subtropical Pacific Warm Pool, Northern East China Sea, mesozooplankton biomass, copepods, El Niño/Na Niña

*Corresponding author. E-mail : kanghk@kiost.ac.kr

1. 서 론

해양에서 중형동물플랑크톤은 식물플랑크톤과 어류 사이의 에너지 흐름을 이어주는 연결고리이고(Banse 1995), 식물플랑크톤 양의 조절자로서 뿐만 아니라 어류 초기 생활사의 먹이원으로서 중요하며(Last 1980), 미세생물 먹이망과도 연결되어 있다(Naganuma 1996; Lenz 2000; Calbet and Saiz 2005). 이와 같은 중형동물플랑크톤의 생태학적인 중요성 때문에 중형동물플랑크톤은 기후변화 또는 해양환경변화를 진단하는데 활용되고 있다(Beaugrand et al. 2002; Chiba and Saino 2003; Richardson and Schoeman 2004).

서태평양의 적도해역에 주로 분포하는 난수역(warm pool)은 높은 표층 수온(> 29°C; McPhaden and Picaut 1990)의 빈영양 해역으로서 낮은 질산염, 상대적으로 낮은 염분, 높은 수온, 깊은 수온약층, 낮은 질산염, 낮은 표층 염류소 농도가 특징이며, 엘니뇨 남방진동(El Niño-Southern Oscillation: ENSO)에 의해서 난수역의 규모와 위치가 변한다(Yan et al. 1992; Longhurst 1995; Picaut et al. 1996; Cravatte et al. 2009). 일반적으로 라니냐 시기에는 적도 태평양에서 더 서쪽으로 난수역의 크기가 감소되지만, 엘니뇨 시기에는 동쪽으로 이동하면서 난수역의 크기가 확장되는데, 수온약층과 질산염층의 수심이 얕아지면서 더 많은 질산염이 유광층 내로 유입하게 되어 신생산력이 증가하기도 한다(Turk et al. 2001; Borgne et al. 2011). 서태평양의 난수역 또는 난수역의 북쪽 경계면에 위치한 북적도해류로부터 기원한 쿠로시오 및 그 지류인 대마난류는 우리나라 주변 해역의 해양생태계에 직접 또는 간접적인 영향을 주고 있다(Kim and Kang 2000; Kim et al. 2005, 2014). 한편, 동중국해는 쿠로시오 해류의 영향을 받는 상대적으로 생산성이 낮은 해역과 중국대륙으로부터 장강 유입 및 연안 용승으로 상대적으로 생산성이 높은 해역이 혼재하고 있다(Chen et al. 2001; Kim et al. 2006; 김 등 2009). 특히 여름철에는 중국대륙으로부터 장강 유출수가 동중국해 북부해역에서 장강희석수를 형성하여 주변해역의 생산성과 성층구조에 영향을 준다(Su and Weng 1994; Lie et al. 2003; Kim et al. 2009; Park et al. 2011). 또한 동중국해 동쪽으로 쿠로시오 저층수가 대륙붕으로 올라오는 용승작용에 의하여 물질교환이 상당히 이루어지기도 한다(Liu et al. 1992; Chen and Wang 1999). 그러므로 동중국해는 대륙과 외해의 영향을 동시에 받는 복잡한 해양환경을 갖는다. 따라서 기후변화와 같은 지구적 규모의 해양환경 변화가 우리나라 주변 해역에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 서태평양 적도해역에 주로 분포하는 난수역과 우리나라 주변 해역(예, 북부동중국해)의 중형동물플랑크톤의 생태학적 특성을 비교하여 상호 연관

성을 파악할 필요가 있다.

북동태평양에서 중형동물플랑크톤 생체량 변동과 엘니뇨와의 관계 연구는 비교적 많다. 일반적으로 엘니뇨 시기에 북동태평양의 식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 생물량은 낮다(Marinovic et al. 2002; Rebstock 2003; Fernández-Álamo and Färber-Lorda 2006; Hooff and Peterson 2006; Mackas et al. 2006; Kang and Ohman 2014). 또한 북동태평양 연근해에서 Calanoida 요각류 개체수가 엘니뇨 시기에 감소하는 경향을 보이기도 한다(Hernández-Trujillo and Suárez-Morales 2000; Kozak et al. 2014). 그러나 북서태평양 아열대 난수역에서 중형동물플랑크톤 생체량 변동과 엘니뇨와의 관계 연구는 거의 없다.

본 연구는 2006년부터 2014년까지 9년간 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 총 생체량, 크기그룹별 생체량, 요각류 분류군 개체수의 경년변화와 엘니뇨/라니냐와의 상관관계를 분석하여, 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해 중형동물플랑크톤의 생태학적 특성 변화를 이해하고자 한다.

2. 재료 및 방법

조사해역

현장 조사는 한국해양과학기술원 연구선 온누리호를 이용하여 2006년 9월, 2007년 10월, 2008년 6월, 2009년 6월, 2010년 5~6월, 2011년 5월, 2012년 6월, 2013년 5월, 2014년 5월에 걸쳐 모두 9회 수행하였다. 그러나 조사 시기에 따라 조사 정점의 수나 위치는 차이가 있다(난수역: 3~7개 정점, 북부동중국해: 4~6개 정점; Table 1). 본 연구는 북서태평양 아열대 난수역(11°30'N~1°12'N, 134°35'E~136°04'E)과 북부동중국해(30°30'N~34°10'N, 124°30'E~

Table 1. Summary of the cruises during 2006~2014 for collecting mesozooplankton in the Warm Pool and in the Northern East China Sea of the Northwestern Pacific

Year	Date	Number of sampling station	
		Warm Pool	NECS
2006	Sept. 9~30	7	4
2007	Oct. 1~16	5	4
2008	June 2~19	5	6
2009	June 22~July 1	5	-
2010	May 28~June 11	5	4
2011	May 4~19	3	6
2012	June 4~17	4	5
2013	May 14~27	5	5
2014	May 13~25	5	5

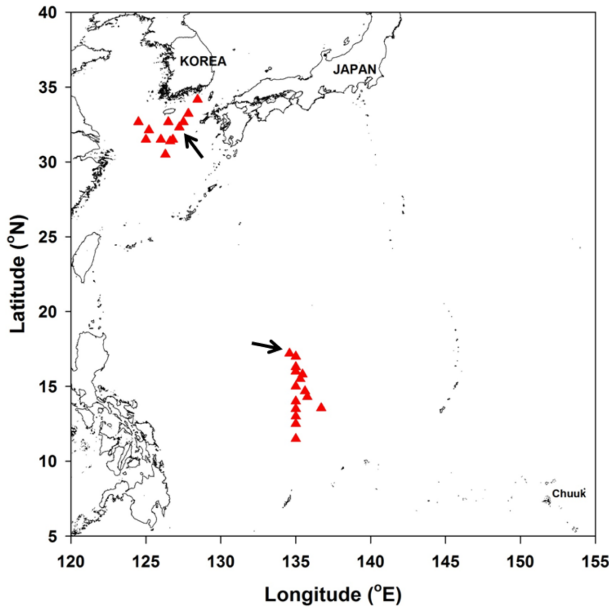


Fig. 1. Study area and sampling stations of mesozooplankton in the Warm Pool and in the Northern East China Sea of the Northwestern Pacific. The black arrows indicate the representative stations in the both regions for the vertical profiles of temperature and salinity (see Fig. 2 and 3)

128°27'E)의 정점들을 포함한다(Fig. 1).

중형동물플랑크톤 채집, 요각류 분류군 개체수 및 중형동물플랑크톤 총 및 크기그룹별 생체량

조사정점에서 수온과 염분을 CTD(SeaBird 911 plus)를 이용하여 측정하였다. 중형동물플랑크톤 채집은 봉고네트(망목 200 μm)를 이용하여 수심이 깊은 난수역에서는 표층에서 약 250 m 수층까지, 상대적으로 수심이 낮은 북부동중국해는 표층부터 바닥 수심의 약 10 m 상층부까지 경사채집을 하였다. 채집된 시료 중 일부를 중형동물플랑크톤 생체량과 요각류 분류군을 분석하기 위해 현장에서 5~8% 농도가 되도록 중성 포르말린으로 고정하였다. 요각류 분류군의 경우, 실험실에서 부차 시료를 취한 후, 계수관(Bogorov counting chamber)으로 옮겨 해부 현미경(Leica MZ16) 하에서 Calanoida, Cyclopoida, Poecilostomatoida와 같이 3개 분류군으로 동정하였다. 생체량의 경우, 2006년부터 2009년까지는 포르말린에 고정된 시료를 사용하여 건중량을 측정하였으며, 2010년부터 2014년까지는 포르말린에 고정되지 않은 현장에서 냉동된 크기그룹별 시료를 이용하여 건중량을 측정하였다. 포르말린에 고정된 시료를 사용한 경우, 시료의 중량이 거의 변하지 않은 1개월 후에 건중량을 측정하였으며, 포르말린 고정에 의한 건중량 손실을 25%로 가정하였다(McLaren

et al. 1989).

중형동물플랑크톤 크기그룹의 생체량을 파악하기 위하여 중형동물플랑크톤 가운데 포르말린으로 고정하지 않은 일부 시료를 선상에서 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 mm 크기의 스테인리스 체를 이용하여, 5개의 중형동물플랑크톤 크기그룹(0.2~0.5, 0.5~1.0, 1.0~2.0, 2.0~5.0 > 5.0 mm)으로 선별하였다. 2006년부터 2009년까지는 > 5.0 mm 크기를 제외한 4개의 크기그룹으로 나누었으며, 2010년부터 2014년까지는 5개 크기그룹으로 나눈 후, 중형동물플랑크톤 생체량은 5개의 크기그룹의 합으로서 계산하였다. 현장에서 각 크기그룹으로 분리한 중형동물플랑크톤 시료를 미리 무게를 측정한 여과지(Whatman GF/C)에 여과하였으며, 마지막에 증류수로 세척하여 시료에 포함된 염분을 제거하였다. 여과가 끝난 여과지는 페트리디쉬에 담아 -20°C에서 냉동 보관한 뒤 실험실로 운반한 후, 건조기(Sanyo MOV-212F)에서 60°C 24시간 건조시킨 후, microbalance (Satorius BP2215)를 사용하여 중형동물플랑크톤 크기그룹의 건중량을 측정하였다. 중형동물플랑크톤의 생체량(탄소량)은 건중량의 45%로 가정하여 추정하였다(Ara 2001; Peterson et al. 2002).

엘니뇨/라니냐 발생 시기

조사기간 엘니뇨와 라니냐 발생 여부를 파악하기 위하여, 미국 국립해양대기청 기후예측센터의 월별 Niño 3.4 지수(monthly Niño-3.4 Index)를 사용하였다(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>).

통계 처리

난수역과 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 크기그룹 생체량의 평균 조성률 차이 및 요각류 분류군 개체수의 평균 조성률 차이를 비교하기 위하여 Mann-Whitney U test를 수행하였다. 통계 분석은 SYSTAT(Systat Software, Inc. Ver. 13) 프로그램을 사용하였다.

3. 결 과

수온과 염분의 연직구조

북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 해양환경 특성을 이해하기 위하여, 난수역 대표 정점(예, F01; 134°35.10'E, 17°11.68'N)과 북부동중국해 대표 정점(예, A05; 127°13.40'E, 32°18.60')의 수온과 염분의 연직구조를 살펴보았다(Fig. 1). 난수역 10 m 수층의 수온은 28.7~30.3°C 범위였으며, 표층 혼합층(여기서는 표층 수온이 급격하게 감소하기 시작하는 수심으로 정의)이 2008년~2014년까지 13~40 m 범위였으나, 2007년에는 예외적으로 약 70 m 까지 깊어졌다. 북부동중국해 10 m 수층의 수

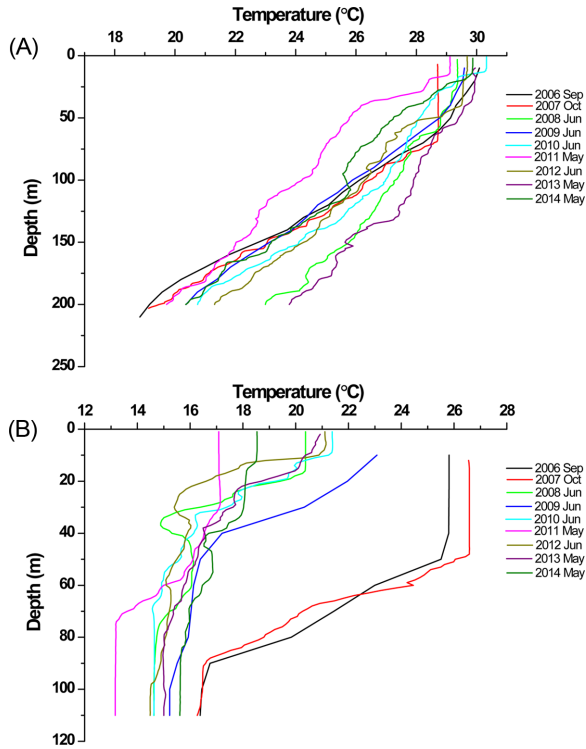


Fig. 2. Vertical profiles of temperature at the representative stations (see Fig. 1) in the Warm Pool (A) and in the Northern East China Sea (B) from 2006 to 2014

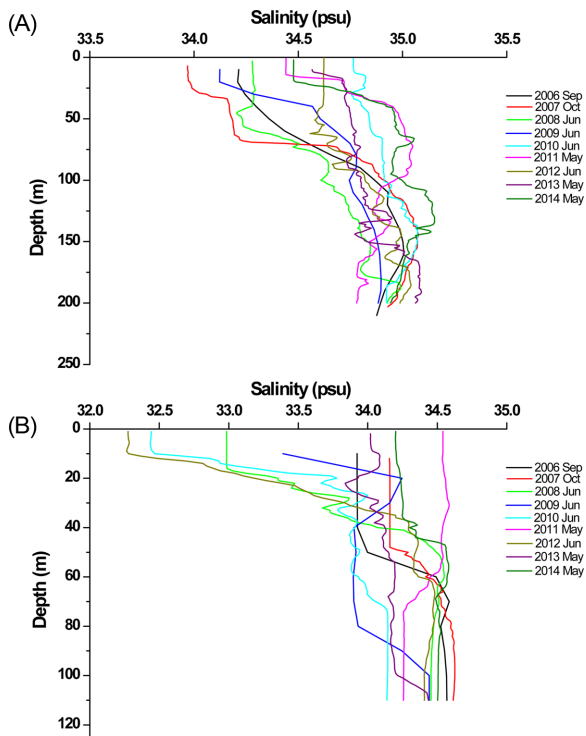


Fig. 3. Vertical profiles of salinity at the representative stations (see Fig. 1) in the Warm Pool (A) and in the Northern East China Sea (B) from 2006 to 2014

온은 17.1~26.6°C 범위였으며, 표층 혼합층은 2008년부터 2014년까지(조사시기 5월과 6월)는 10~30 m 범위였으며, 2006년~2007년까지(조사시기 9월과 10월)는 표층 혼합층이 50 m까지 형성되었다. 북부동중국해는 가을철의 표층 혼합층이 봄철보다 깊었으며, 봄철에는 수온약층이 상대적으로 강하게 형성되지 않아 표층 혼합층이 뚜렷하지 않았다(Fig. 2).

염분의 경우, 난수역 10 m 수층의 염분은 33.97~34.77 psu 범위였으며, 2007년에는 수온과 마찬가지로 약 70 m 부터 염분약층이 시작되었으며, 2008년부터 2014년까지는 13~40 m 범위의 수심에서 염분약층이 시작되었다. 북부동중국해 10 m 수층의 염분은 32.28~34.54 psu 범위였으며, 2006년과 2007년은 수온과 마찬가지로 50 m 부터 염분약층이 시작되며, 2008년~2014년까지는 10~35 m 범위의 수심에서 염분약층이 시작되었다. 2010년과 2012년은 장강희석수의 영향으로 표층 10 m까지 염분 32.5 psu 이하를 보였다(Fig. 3).

중형동물플랑크톤 생체량 변화

북서태평양 아열대 난수역의 중형동물플랑크톤 평균 생체량은 0.69~3.08 mgC/m³ 범위로서 2011년 5월에 가장

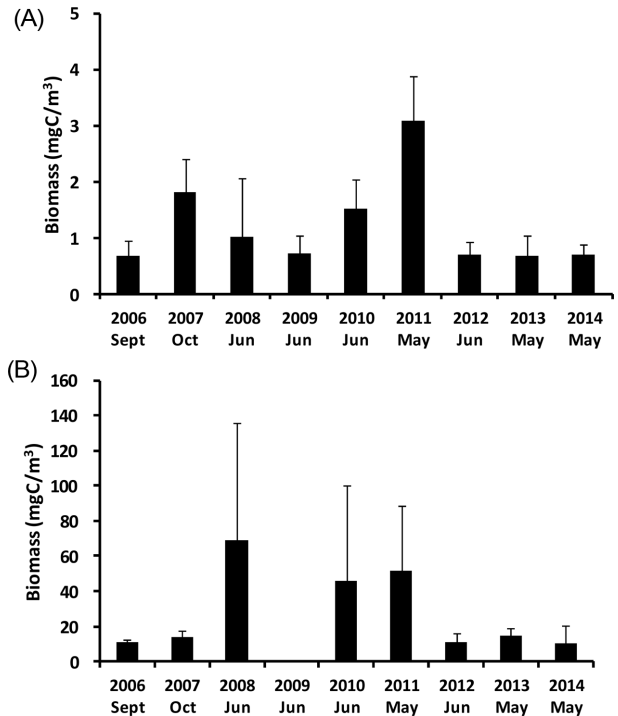


Fig. 4. Variations of mean biomass of mesozooplankton in the Warm Pool (A) and in the Northern East China Sea (B) from 2006 to 2014. No data in 2009 in the Northern East China Sea. The vertical lines indicate standard deviations

높았고, 2006년, 2009년, 2012년~2014년까지 1 mgC/m³ 이하로 상대적으로 낮았다(Fig. 4A). 난수역에서 생체량의 경년변화는 보이지만, 계절에 따른 생체량 변화는 뚜렷하지 않았다. 9년간 난수역의 중형동물플랑크톤 평균 생체량은 1.12 mgC/m³이었다.

북부동중국해의 중형동물플랑크톤 평균 생체량은 10.60~69.10 mgC/m³ 범위로서 2008년 6월에 가장 높았고,

2010년과 2011년을 제외하면, 나머지 연도는 20 mgC/m³ 이하로 상대적으로 낮았다(Fig. 4B). 생체량은 가을철(2006년~2007년)보다 봄철에 높은 경향을 보였으나, 2012년~2014년은 예외적으로 가을철의 생체량 수준과 비슷하면서 다른 연도의 봄철보다 상대적으로 낮았다. 9년간 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 평균 생체량은 30.33 mgC/m³로서 난수역의 평균 생체량보다 약 27배 높았다.

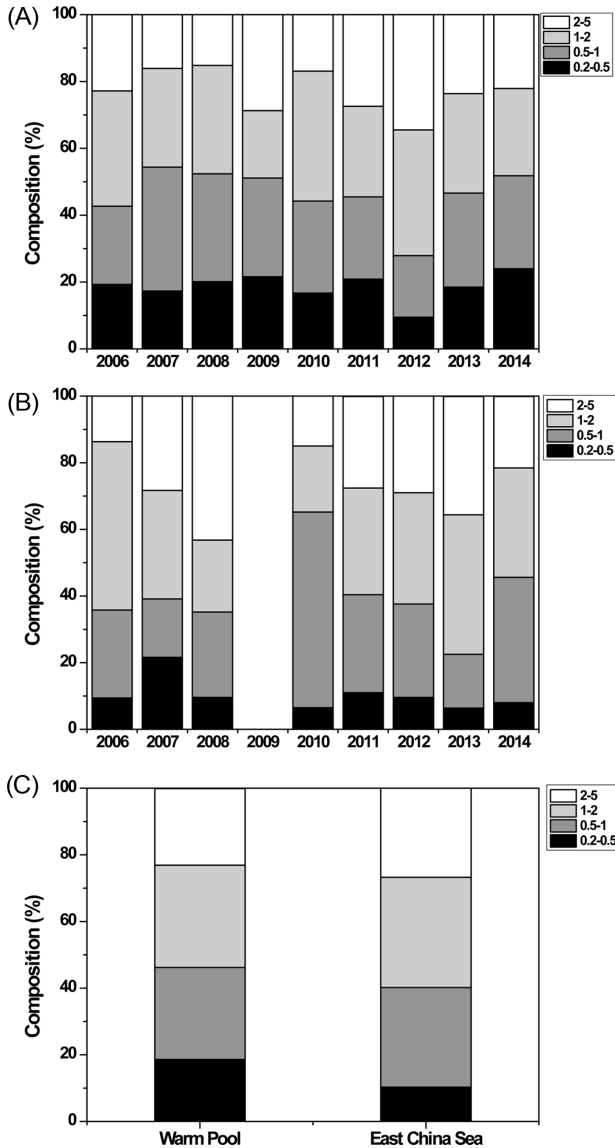


Fig. 5. Variations of percent composition of the size-fractionated mesozooplankton (0.2~0.5 mm, 0.5~1.0 mm, 1.0~2.0 mm, and 2.0~5.0 mm) biomass in the Warm Pool (A) and in the Northern East China Sea (B) from 2006 to 2014, and the comparison of mean composition of the sized-mesozooplankton biomass between the two regions (C). No data in 2009 in the Northern East China Sea

중형동물플랑크톤 크기그룹 생체량 조성률의 변화

북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 4개 크기그룹의 생체량 조성률은 연간변화를 보였다(Fig. 5A, B). 난수역의 경우, 0.2~0.5 mm 크기그룹은 9.5~24.0% 범위, 0.5~1.0 mm는 18.4~37.1% 범위, 1.0~2.0 mm는 20.2~38.9% 범위, 2.0~5.0 mm는 15.2~34.5% 범위를 보였다. 북부동중국해의 경우, 0.2~0.5 mm 크기그룹은 6.4~21.6% 범위, 0.5~1.0 mm는 16.1~58.7% 범위, 1.0~2.0 mm는 19.8~50.5% 범위, 2.0~5.0 mm는 13.7~43.2% 범위였다. 9년간(단, 북부동중국해의 경우 2009년을 제외하면 8년간) 중형동물플랑크톤 크기그룹 생체량의 평균 조성률은 0.2~0.5 mm 크기그룹이 두 해역 모두 가장 낮았다(Fig. 5C; Table 2). 두 해역 사이에 중형동물플랑크톤 크기그룹 생체량 조성률은 0.2~0.5 mm 크기그룹에서 유의한 차이를 보여(Table 2; $p < 0.05$, Mann-Whitney U test), 난수역이 북부동중국해보다 0.2~0.5 mm 크기그룹이 더 중요하였으며, 나머지 크기그룹의 생체량 조성률은 두 해역 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 2; $p > 0.05$, Mann-Whitney U test).

요각류 분류군 개체수 조성률의 변화

북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 요각류 분류군의 개체수 조성률도 연간변화를 보였다(Fig. 6A, B). Calanoida 그룹의 조성률이 난수역에서 50.0~66.7% 범위, 북부동중국해에서 51.3~86.9% 범위로서 다른 분류군(예, Cyclopoida와 Poecilostomatoida)보다 높았다. Cyclopoida 그룹은 난수역에서 9.0~29.0% 범위, 북부동중국해에서 9.0~32.1% 범위였으며, Poecilostomatoida 그룹은 난수역에서 12.9~38.9% 범위, 북부동중국해에서 0.2~28.5% 범위를 보였다. 8년간(단, 2009년은 제외) 두 해역의 요각류 분류군의 평균 조성률은 모두 Calanoida 그룹의 조성률이 가장 높았지만(난수역: 60.3%, 북부동중국해 67.6%), 난수역은 북부동중국해보다 Poecilostomatoida 그룹의 조성률이 상대적으로 높았으며, 북부동중국해는 난수역보다 Calanoida 그룹의 조성률이 상대적으로 높았다. 그러나 두 해역 사이에 요각류 분류군 평균 조성률의 유의한 차이는 없었다(Table 2; $p > 0.05$, Mann-Whitney U test).

Table 2. Comparisons in percent composition of the biomass of each size class of mesozooplankton and in percent composition of the abundance of copepod groups from 2006 to 2014 between the Warm Pool and the Northern East China Sea (NECS). Mean and standard deviation (sd) were calculated from the percent data. Difference in both categories between the Warm Pool and NECS was tested with Mann-Whitney U test

	Percent composition (mean \pm sd)		Significance (<i>p</i> value)
	Warm Pool	NECS	
Biomass of each size class			
Small (0.2~0.5 mm)	18.6 \pm 4.1	10.3 \pm 4.9	0.014*
Medium (0.5~1.0 mm)	27.6 \pm 5.3	29.9 \pm 13.4	0.962
Large (1.0~2.0 mm)	30.7 \pm 5.9	33.1 \pm 9.9	0.630
Macro (2.0~5.0 mm)	23.0 \pm 6.4	26.7 \pm 9.9	0.531
Abundance of each copepod group			
Calanoida	60.3 \pm 31.4	67.6 \pm 9.9	0.140
Cyclopoida	15.4 \pm 8.0	17.8 \pm 9.2	0.833
Poecilostomatoida	24.3 \pm 12.3	14.6 \pm 10.5	0.189

*Significant at $p < 0.05$

조사기간의 ENSO 변화

북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해 중형동물플랑크톤 생체량 변화와 엘니뇨/라니냐와의 상관을 이해하기 위하여, 조사 시기에 엘니뇨와 라니냐 발생 여부를 파악하였다. ONI(Oceanic Niño Index)는 엘니뇨와 라니냐를 구별하기 위하여 미국 NOAA에서 표준지수로 사용하고 있다. Niño 3.4 영역에 대한 해면수온을 3개월 이동 평균하고 30년(예, 1971년~2000년) 평균하여 수온이상(또는 수온편차)을 구하는데, 지구온난화에 의한 수온상승 효과를 제거하여 수온변동이 잘 나타나게 하려고 30년 평균 기간을 5년 단위로 증가하면서 수온이상을 구한다. 일반적으로 지수가 5개월 이상 +0.5 이상이면 엘니뇨 시기, -0.5 이하이면 라니냐 시기라고 한다(신 등 2011). 본 연구에서는 2006년부터 2014년까지의 월별 Niño 3.4 지수(monthly Niño-3.4 Index)를 엘니뇨와 라니냐 변화를 판단하는데 사용하였다. 조사기간인 2006년부터 2014년까지 엘니뇨는 2006년, 2009년~2010년에 강하게 있었고, 라니냐는 2007년~2008년, 2010년~2011년에 강하게 있었다(Fig. 7).

중형동물플랑크톤 생체량, 크기그룹별 생체량, 요각류 분류군 개체수와 ENSO와의 상관관계

중형동물플랑크톤 생체량(예, 조사정점의 중형동물플랑크톤 생체량을 \log_{10} 변환)과 조사 월을 포함한 2개월, 3개월, 4개월 이전 월의 평균 ONI와의 상관을 살펴보았다(Table 3). 난수역의 경우, 중형동물플랑크톤 생체량은 조사 월과 직전 월을 포함하는 2개월과 3개월의 평균 ONI와 음의 상관을 보였으며, 2개월의 평균 ONI와 가장 높은 상관을 보였다(Table 3). 북부동중국해의 경우, 난수역과

마찬가지로 중형동물플랑크톤 생체량은 평균 ONI와 음의 상관을 보였다(Table 3). 난수역과 북부동중국해 모두 ONI가 양의 방향으로 갈수록 즉, 엘니뇨 경향이 강해질수록 중형동물플랑크톤 생체량이 감소하였으며, ONI가 음의 방향으로 갈수록 즉, 라니냐 경향이 강해질수록 생체량이 증가하였다(Fig. 8). ENSO가 중형동물플랑크톤 생체량 변화를 설명하는 정도는 북부동중국해(13.2%의 설명력; $p < 0.05$)보다 난수역(22.1% 설명력; $p < 0.01$)에서 상대적으로 높아, 북부동중국해보다 난수역에서 ENSO에 의한 중형동물플랑크톤 생체량 변화가 더 잘 설명되었다.

한편, 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해 중형동물플랑크톤 4개 크기그룹의 생체량 및 요각류 분류군(Calanoida, Cyclopoida, Poecilostomatoida) 개체수는 조사 월과 직전 월을 포함하는 2개월 평균 ONI와 유의한 상관을 보이지 않았다(Table 4).

4. 고찰

북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 수온 특성

본 연구에서 북서태평양 아열대 난수역 조사정점(F01)의 수온약층 깊이는 2007년(약 70 m)을 제외하면 13~40 m 범위를 보였다. 일반적으로 서태평양 적도 난수역의 정상 시기에 수온약층의 깊이는 약 80 m로서 비교적 깊으며, 엘니뇨 시기에는 약 40 m까지 얕아진다(Borgne et al. 2011). 따라서 본 연구의 조사수역은 북위 10도에서 북위 20도 사이에 위치하고 있어서 서태평양 적도 난수역과 달리 북서태평양 아열대 난수역(예, Kim et al. 2014)의 특징을 나타내고 있음을 알 수 있다.

과거 북부동중국해 해양환경 및 생태계 변동 연구에서

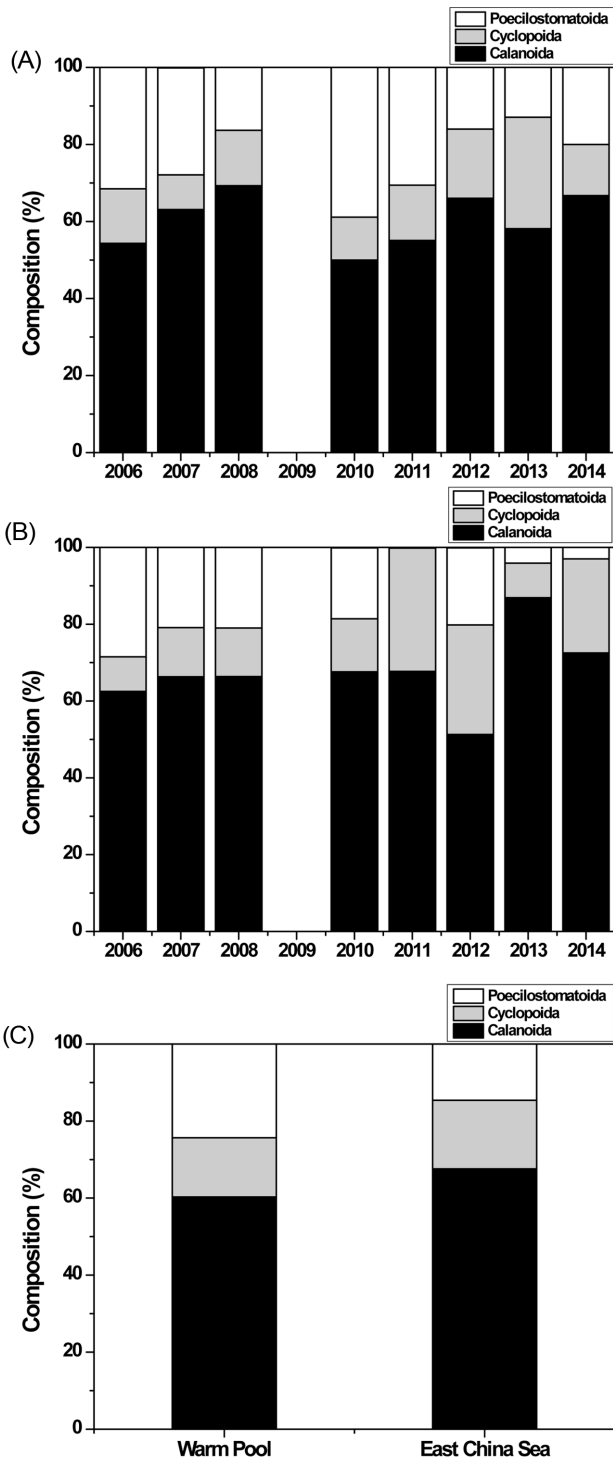


Fig. 6. Variations of percent composition of the three taxa of copepods (Calanoida, Cyclopoida, and Poecilostomatoida) based on abundance in the Warm Pool (A) and in the Northern East China Sea (B) from 2006 to 2014, and the comparison of mean composition of the copepods between the two regions (C). No data in 2009 in both regions

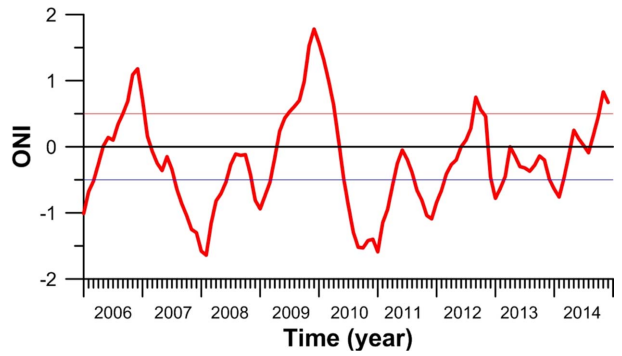


Fig. 7. Variation of monthly Oceanic Niño Index (ONI) from 2006 to 2014

Table 3. Correlation coefficient (*r*) and significance (*p*) between biomass (\log_{10}) of mesozooplankton and the various mean Oceanic Niño Index (ONI) in the Warm Pool and in the Northern East China Sea

Period of Mean ONI (including months prior to the sampling month)	Warm Pool		NECS	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
2 months	-0.47**	0.001	-0.35*	0.025
3 months	-0.41**	0.006	-0.33*	0.043
4 months	-0.28	0.066	-0.29	0.077

*Significant at $p < 0.05$; **Significant at $p < 0.01$

봄철(주로 4월)에는 수온약층이 강하게 형성되지 않고 겨울철 조건이 남아 있으며, 여름철에는 수온약층이 10~15 m로 비교적 얇으며, 가을철에는 70 m까지 거의 균일한 수온 분포를 보였다(국토해양부 2010). 본 조사에서도 북서태평양 아열대 난수역의 수온약층은 계절에 관계없이 40 m 이심에 형성되었으나, 북부동중국해는 계절에 따른 수온약층이 가을철에 깊어지고(약 50 m), 봄철에는 수온약층이 뚜렷하지 않고, 수온약층의 깊이도 상대적으로 얕아지면서 봄철에서 여름철로 변하는 특성을 보였다.

중형동물플랑크톤 크기그룹의 조성률

본 연구에서 중형동물플랑크톤 크기그룹의 생체량 조성률은 소형 크기그룹(0.2~0.5 mm)의 조성률만 북부동중국해보다 북서태평양 아열대 난수역에서 유의하게 높았으며, 나머지 크기그룹의 조성률은 두 해역 사이에 유의한 차이가 없었다(Table 2).

Hopcroft et al. (2001)는 열대에서 온대해역으로 갈수록 요각류 크기 스펙트럼이 단순히 큰 종으로 변하지 않고, 보통은 작은 종이 우점하면서 큰 크기의 종이 추가되는 경향을 보인다고 하였으며, 일반적으로 작은 크기의 요각류(예, 1 mm 이하)와 요각류의 초기발생단계가 모든 군집

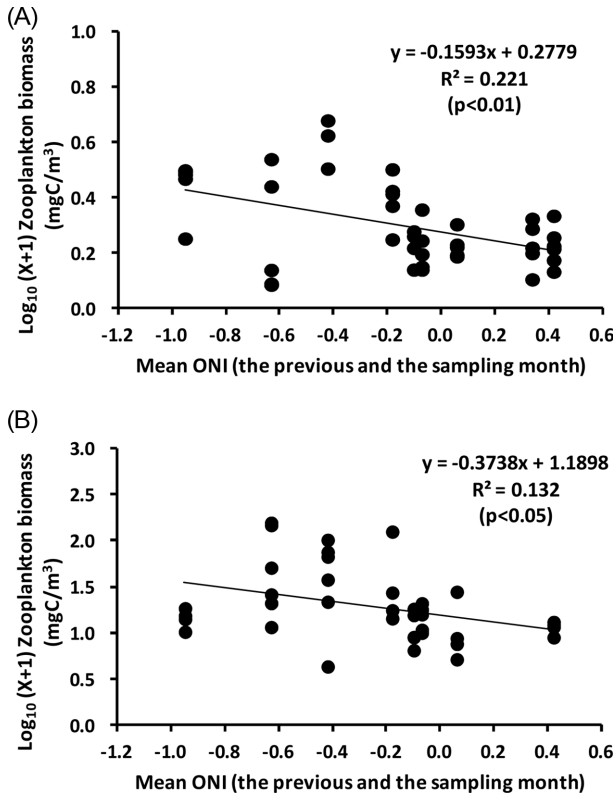


Fig. 8. Relationship between mean Oceanic Niño Index (ONI) of the previous and the sampling month and mesozooplankton biomass in the Warm Pool (A) and in the Northern East China Sea (B)

에서 우점 한다고 보고하였다. 본 연구에서 요각류를 크기 그룹으로 나누지 않아 요각류 크기 스펙트럼을 알 수 없지만, 중형동물플랑크톤의 대부분(64~98%)이 요각류로 구성되어 있는 점을 고려하면(한국해양과학기술원 2013), 요각류의 크기가 1 mm 이하의 조성률은 북부동중국해에서 약 40%, 난수역에서 약 46%가 된다(Table 2). 비록 소형 크기그룹(0.2~0.5 mm)의 중형동물플랑크톤 조성률이 난수역에서 유의하게 높았으나(Table 2), 두 해역 모두 1 mm 이하의 중형동물플랑크톤 크기그룹이 중요하였으며, 1 mm 이상의 크기그룹은 난수역보다는 온대해역인 북부동중국해에서 높은 경향을 보였다. 따라서 본 연구에서 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 크기그룹의 조성률은 Hopcroft et al. (2001)의 결과와 비슷하다고 할 수 있다.

북부동중국해의 중형동물플랑크톤 생체량과 엘니뇨

본 연구에서 북부동중국해 중형동물플랑크톤 생체량(비록 2006년~2007년은 가을철 생체량 자료이고 나머지 연도는 봄철 생체량 자료이지만)은 엘니뇨와 유의한 상관을 보여, 엘니뇨 시기에 생체량이 감소하는 경향을 보였다

Table 4. Correlation results among biomass of the sized-mesozooplankton and abundance of the copepod groups in the Warm Pool and the Northern East China Sea with the mean Oceanic Niño Index (ONI) of the previous and the sampling month

Parameters of mesozooplankton	Correlation coefficient	
	Warm Pool	NECS
Biomass of sized-mesozooplankton		
Small (0.2~0.5 mm)	-0.18	-0.52
Medium (0.5~1.0 mm)	-0.49	-0.18
Large (1.0~2.0 mm)	0.05	-0.05
Macro (2.0~5.0 mm)	-0.37	-0.45
Abundance of copepod groups		
Calanoida	-0.66	0.04
Cyclopoida	-0.54	-0.12
Poecilostomatoida	-0.50	0.39

(Fig. 8). 이와 같은 결과는 북부동중국해가 쿠로시오 및 대마난류, 장강희석수, 용승 현상에 의하여 복잡한 해양환경을 형성하고 있어서(Chen and Wang 1999; Chen et al. 2001; Lie et al. 2003; Kim et al. 2006), 이 해역의 해양생물 및 생태계 변동 원인을 정확하게 알 수는 없지만(유 등 2013), 쿠로시오 및 대마난류의 영향을 받고 있기 때문에 엘니뇨의 영향을 배제할 수 없음을 암시한다.

Kang et al. (2012)은 북동아시아 주변해역 해양의 regime shift에 대한 중형동물플랑크톤 반응의 지역적 차이 연구에서, 1982/1983년 엘니뇨 시기에 한국해에서 동물플랑크톤 군집과 어획량의 증가를 보고하면서, 이것이 엘니뇨와 관련이 있는 것으로 추론하였다. 또한, 1997/1998년 강한 엘니뇨 시기에 남해 연근해 동물플랑크톤 개체수가 증가했는데, 이것은 이 시기에 대마난류를 따라 유입된 난수종인 살파류 때문이었다(Kang and Ohman 2014). 한편, 남해 근해역의 자치어의 군집구조는 2009/2010년 엘니뇨와 관련이 없었으며(유 등 2013), 북부동중국해 멸치와 갈치 초기생활사 단계의 분포와 1997/1998년 엘니뇨와의 관련성 연구에서도, 두 어류 초기단계의 분포 특성은 엘니뇨뿐만 아니라 장강의 영향도 관련되어 있었다(Kim et al. 2005). 이와 같이, 북부동중국해에서 엘니뇨에 대한 해양생물 반응 결과는 다양하지만, 본 연구에서 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 생체량 특히 5월부터 6월의 생체량은 동중국해의 다양한 변수(예, 쿠로시오 및 대마난류, 장강희석수, 용승 현상 등)와 함께 알려지지 않은 생물학적인 과정을 거쳐 엘니뇨의 직접적인 영향을 받은 것으로 보인다. 그러나 북부동중국해에서 엘니뇨 시기에 중형동물플랑크톤 생체량이 감소하게 되는 생물학적 과정을 이해하기 위해서는 향후 더 연구가 필요하다.

동태평양 온대와 아열대 해역의 중형동물플랑크톤 생체량과 엘니뇨

엘니뇨 시기에 동태평양 온대와 아열대 해역의 중형동물플랑크톤 생체량은 일반적으로 감소하였다. 1997/1998년 강한 엘니뇨 시기에 동태평양의 California Current System (CCS) 해역에서 동물플랑크톤 생체량이 정상 시기보다 감소하는 경향을 보였다. 캐나다 연근해 Line P 정점 (Mackas and Galbraith 2002), 남부 캘리포니아 외해역 (Lavaniegos and Ohman 2003; Rebstock 2003; Kang and Ohman 2014), 오리건 외해역 (Peterson et al. 2002; Keister and Peterson 2003; Hooff and Peterson 2006) 등에서 1997/1998년 엘니뇨 시기에 기초생산력이 감소하고, 동물플랑크톤 생체량의 감소 및 한대성(boreal) 연안 요각류 대신 아열대성 요각류가 우점하였다. 한편 CCS 해역의 멕시코 연근해에서는 1997/1998년 엘니뇨 시기에 동물플랑크톤 생체량이 증가하였고, 1999년 라니냐 시기에 감소하였는데, 이것은 엘니뇨 시기에 난수종인 살파의 대량 유입과 관련이 있었다(Lavaniegos et al. 2002). 북태평양 아열대 순환역의 하와이 ALOHA 정점에서는 1994년부터 2002년까지 중형동물플랑크톤 생체량이 증가하였으나, 엘니뇨와의 관련성은 명확하지 않았다(Sheridan and Landry 2004). 동태평양 온대 및 아열대 해역에서 강한 엘니뇨 시기에 중형동물플랑크톤 생체량이 감소한 이유는 정상 시기에 왕성했던 용승의 감소와 수온 증가로 인하여 식물플랑크톤 현존량이 감소하였기 때문이다(Marinovic et al. 2002; Mackas et al. 2006).

북서태평양 아열대 난수역의 중형동물플랑크톤 생체량과 엘니뇨

본 연구에서 난수역의 중형동물플랑크톤 생체량은 엘니뇨 시기에 감소하였고, 라니냐 시기에 증가하였다(Fig. 8). 본 연구와 동일한 해역에서 2007년 10월부터 2011년 5월 까지 sediment trap을 이용한 월별 침강 플럭스 연구에서도 2009/2010년의 강한 엘니뇨 시기에 표층의 생산성 감소로 인하여 연간 총 침강플럭스의 양이 정상 시기보다 약 50% 감소하였다(Kim et al. 2014).

북서태평양 아열대 난수역에서 엘니뇨 시기에 중형동물플랑크톤 생체량이 감소한 이유는 무엇인가? 일반적으로 엘니뇨 시기에 무역풍의 약화로 인하여 난수역이 보다 동쪽으로 이동하게 되면(Picaut et al. 1996; Cravatte et al. 2009), 서태평양 아열대 해역의 강우량이 현저하게 감소하고, 대기로부터 유입되는 질소 공급이 감소하면서 빈영양 상태가 강화된다(Kim et al. 2014). 한편, 서태평양 열대 난수역은 엘니뇨 시기에 용승에 의하여 아표층으로부터 표층으로 어느 정도 영양염 공급이 일어나 표층 생물생산력이 정상 시기보다 증가하지만(Borgne et al. 2011; Kim

et al. 2014), 공급된 소량의 영양염이 적도 난수역의 표층에서 대부분 소비되고 보다 북쪽 해역인 북서태평양 아열대 난수역(본 연구의 조사해역)으로 공급되지 않기 때문이다.

중형동물플랑크톤 크기그룹 생체량 및 요각류 분류군 개체수와 엘니뇨

본 연구에서 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 4개 크기그룹의 생체량은 엘니뇨와 상관이 없었으나(Table 4), 중형동물플랑크톤 생체량은 두 해역에서 엘니뇨 시기에 모두 감소하는 경향을 보였다(Fig. 8). 이러한 차이의 원인을 본 연구에서 알 수 없지만, 중형동물플랑크톤 크기그룹의 생체량의 경우, 중형동물플랑크톤 생체량에 포함된 > 5.0 mm 크기그룹의 생체량이 제외되었던 것과 관련이 있을 것으로 보인다. 특히, 북부동중국해의 경우, 주로 > 5.0 mm 크기그룹에 속하는 젤라틴성 동물플랑크톤(예, 살파류)이 엘니뇨 시기에 대량 출현하는 경우도 있기 때문이다(Kang and Ohman 2014). 그러나 난수역에서는 중형동물플랑크톤 생체량에 대한 > 5.0 mm 크기그룹의 기여도가 낮기 때문에(한국해양과학기술원 2013), 이러한 해석을 난수역에 적용하는 데는 한계가 있다.

한편, 중형동물플랑크톤 4개 크기그룹의 생체량과 엘니뇨와의 이러한 경향은 요각류 분류군의 개체수에서도 동일하게 나타났는데, 본 연구에서 난수역과 북부동중국해 요각류 분류군의 개체수는 엘니뇨와 어떠한 상관도 보이지 않았다(Table 4). Hernández-Trujillo and Suárez-Morales (2000)는 Baja 캘리포니아 남쪽 외해에서 1983년 엘니뇨 시기에 Calanoida 요각류 개체수가 정상 시기(예, 1984년)보다 감소하는 경향을 보고하였으며, Kozak et al. (2014)도 멕시코 외해의 열대 대륙붕에서 1997/1998년 엘니뇨 시기에 Calanoida 요각류 개체수가 엘니뇨 아닌 시기보다 유의하게 감소함을 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서 서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해 요각류 분류군의 개체수가 엘니뇨와 상관을 보이지 않은 이유는 분명하지 않다. 다만, 엘니뇨의 영향이 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 특정 요각류 분류군에 선택적으로 작용하기보다 요각류 군집 전체에 총체적으로 작용하는 것으로 보인다.

5. 결 론

본 연구에서 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해의 중형동물플랑크톤 생체량은 엘니뇨 시기에 모두 감소하였다. 난수역의 경우 엘니뇨 시기에 서태평양 난수역이 보다 동쪽으로 확산 및 이동하면서, 이 해역의 강우량 감

소로 인한 표층의 생물생산력의 감소가 주된 원인인 것으로 보인다. 북부동중국해의 경우, 이 해역의 다양한 수괴 및 이들의 변동성, 그리고 확인되지 않은 생물학적인 과정을 통하여 중형동물플랑크톤 생체량에 영향을 준 것으로 보인다. 중형동물플랑크톤 크기그룹 생체량의 조성률과 요각류 분류군 개체수의 조성률은 두 해역 사이 유의한 차이를 보이지 않아 두 해역의 특성이 비슷하였다. 그러나 중형동물플랑크톤 크기그룹 생체량 조성률의 경우, 소형 크기그룹(0.2~0.5 mm)의 중형동물플랑크톤이 북부동중국해보다 아열대 난수역에서 더 높아, 빈영양 해역으로 갈수록 상대적으로 작은 크기의 중형동물플랑크톤이 더 중요하였다. 두 해역의 중형동물플랑크톤 4개 크기그룹의 생체량과 요각류 분류군(Calanoida, Cyclopoida, Poecilostomatoida)의 개체수는 엘니뇨와 상관을 보이지 않았다. 본 연구를 통하여, 북서태평양 아열대 난수역과 북부동중국해 중형동물플랑크톤 생체량이 엘니뇨의 영향을 받고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는, 향후 기후변화에 따른 북서태평양 중형동물플랑크톤의 생태학적 특성 변화를 이해하는데 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 논문을 심사해 주신 두 심사위원께 감사드립니다. 현장 조사에 도움을 준 온누리호 선장님과 여러 승무원, 동물플랑크톤 시료 채집에 도움을 준 국립공원연구원의 이창래 박사님께 감사드립니다. 본 연구는 한국해양과학기술원의 연구사업인 ‘한반도 해역 신해양자원도 작성 연구(PE9931A)’의 지원을 받았습니다.

참고문헌

- 국토해양부 (2010) 기후변화에 따른 남해(동중국해 북부)의 해양환경 및 생태계 변동 연구. 한국해양연구원, BSPM 55670-2202-1, 300 p
- 김동선, 최상화, 김경희, 김철호 (2009) 동중국해 북부해역에서 부유물질과 입자성유기탄소의 분포 특성 및 연간 변화. *Ocean Polar Res* **31**:219-229
- 신창웅, 김동국, 전동철, 김웅 (2011) 2006년과 2007년 여름에 관측한 Hawaii-Chuuk 사이의 물리특성. *Ocean Polar Res* **33**:371-383
- 유준택, 최정화, 김진영, 김중빈, 최광호 (2013) 엘니뇨/라니냐와 정상 기간 동중국해 북부해역의 자치어의 군집구조 비교. *한국수산과학회지* **46**:907-916
- 한국해양과학기술원 (2013) 북서태평양의 해양환경 변화가 한반도 주변해에 미치는 영향 연구. 한국해양과학기술원, BSPE99162-10322-1, 220 p
- Ara K (2001) Length-weight relationship and chemical content of the planktonic copepods in the Cananéia Lagoon estuarine system, São Paulo, Brazil. *Plankton Biol Ecol* **48**:35-45
- Banase K (1995) Zooplankton: pivotal role in the control of ocean production. *ICES J Mar Sci* **52**:265-277
- Beaugrand G, Reid PC, Ibanez F, Lindley JA, Edwards M (2002) Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science* **296**:1692-1694
- Borgne RL, Allain V, Griffiths SP, Matear RI, McKinnon AD, Richardson AJ, Young JW (2011) Vulnerability of open ocean food webs in the tropical Pacific to climate change. In: Bell JD, Johnson JE, Hobday AJ (eds) *Vulnerability of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change*. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, pp 189-249
- Calbet A, Saiz E (2005) The ciliate-copepod link in marine ecosystem. *Aquat Microb Ecol* **38**:157-167
- Chen CTA, Wang SL (1999) Carbon, alkalinity and nutrient budgets on the East China Sea continental shelf. *J Geophys Res* **104**:20675-20686
- Chen YL, Chen HY, Lee WH, Hung CC, Wong GTF, Kanda J (2001) New production in the East China Sea, composition between well-mixed winter and stratified summer conditions. *Cont Shelf Res* **21**:751-764
- Chiba S, Saino T (2003) Variation in mesozooplankton community structure in the Japan/East Sea (1991-1999) with possible influence of the ENSO scale climatic variability. *Prog Oceanogr* **57**:317-339
- Cravatte S, Delcroix T, Zhang D, McPhaden M, Leloup J (2009) Observed freshening and warming of the western Pacific warm pool. *Clim Dynam* **33**:565-589
- Fernández-Álamo MA, Färber-Lorda J (2006) Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: a review. *Prog Oceanogr* **69**:318-359
- Hernández-Trujillo S, Suárez-Morales E (2000) Interannual changes in the calanoid copepod community off southern Baja California, Mexico City, CalCOFI Rep **41**:177-185
- Hooff RC, Peterson WT (2006) Copepod biodiversity as an indicator of changes in ocean and climate conditions of the northern California current ecosystem. *Limnol Oceanogr* **51**:2607-2620
- Hopcroft RR, Roff JC, Chavez FP (2001) Size paradigms in copepod communities: a re-examination. *Hydrobiologia* **453/454**:133-141
- Kang YS, Jung S, Zuenko Y, Choi I, Dolganova N (2012) Regional differences in the response of mesozooplankton to oceanographic regime shifts in the northeast Asian marginal seas. *Prog Oceanogr* **97-100**:120-134
- Kang YS, Ohman MD (2014) Comparison of long-term

- trends of zooplankton from two marine ecosystems across the North Pacific: Northeastern Asian Marginal sea and Southern California current system. *CalCOFI Rep* **55**:169–182
- Keister JE, Peterson WT (2003) Zonal and seasonal variations in zooplankton community structure off the central Oregon coast, 1998–2000. *Prog Oceanogr* **57**:341–361
- Kim D, Shim JH, Yoo S (2006) Seasonal variations in nutrients and chlorophyll-*a* concentrations in the northern East China Sea. *Ocean Sci J* **41**:125–137
- Kim HC, Yamgguchi H, Yoo SJ, Zhu J, Okamura K, Kiyomoto Y, Tanaka K, Kim SW, Park TW, Oh IS, Ishizaka J (2009) Distribution of Changjiang diluted water detected by satellite chlorophyll-*a* and its interannual variation during 1998–2007. *J Oceanogr* **65**:129–135
- Kim HJ, Hyeong K, Park JY, Jeong JH, Jeon D, Kim E, Kim D (2014) Influence of Asian monsoon and ENSO events on particle fluxes in the western subtropical Pacific. *Deep-Sea Res Pt I* **90**:139–151
- Kim JY, Kang YS, Oh HJ, Suh YS, Hwang JD (2005) Spatial distribution of early life stages of anchovy (*Engraulis japonicus*) and hairtail (*Trichiurus lepturus*) and their relationship with oceanographic features of the East China Sea during the 1997–1998 El Niño Event. *Estuar Coast Shelf S* **63**:13–21
- Kim S, Kang S (2000) Ecological variations and El Niño effects off the southern coast of the Korean Peninsula during the last three decades. *Fish Oceanogr* **9**:239–247
- Kozak ER, Franco-Gordo C, Suárez-Morales E, Palomares-García R (2014) Seasonal and interannual variability of the calanoid copepod community structure in shelf waters of the Eastern Tropical Pacific. *Mar Ecol-Prog Ser* **507**:95–110
- Last JM (1980) The food of twenty species of fish larvae in the west-central north sea. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft, 44 p
- Lavaniegos BE, Jiménez-Pérez LC, Gaxiola-Castro G (2002) Plankton response to El Niño 1997–1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current. *Prog Oceanogr* **54**:33–59
- Lavaniegos BE, Ohman MD (2003) Long-term changes in pelagic tunicates of the California Current. *Deep-Sea Res Pt II* **50**:2473–2498
- Lenz (2000) Introduction. In: Harris RP, Wiebe PH, Lenz J, Skjoldal HR, Huntley M (eds) ICES zooplankton methodology manual. Academic Press, London, pp 1–32
- Lie HJ, Cho CH, Lee JH, Lee S (2003) Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea. *J Geophys Res* **108**(C3):3077. doi:10.2912/2001JC001194
- Liu KK, Gong GC, Shyu CZ, Pai SC, Wei CL, Chao SY (1992) Response of Kuroshio upwelling to the onset of the northeast monsoon in the sea north of Taiwan: observations and a numerical simulation. *J Geophys Res* **97**:12511–12526
- Longhurst A (1995) Seasonal cycles of pelagic production and consumption. *Prog Oceanogr* **36**:77–167
- Mackas DL, Galbraith M (2002) Zooplankton community composition along the inner portion of Line P during the 1997–1998 El Niño event. *Prog Oceanogr* **54**:423–437
- Mackas DL, Peterson WT, Ohman MD, Lavaniegos BE (2006) Zooplankton anomalies in the California Current system before and during the warm ocean conditions of 2005. *Geophys Res Lett* **33**:L22S07. doi:10.1029/2006GL027930
- Marinovic BB, Croll DA, Gong N, Benson SR, Chavez FP (2002) Effects of the 1997–1999 El Niño and La Niña events on zooplankton abundance and euphausiid community composition within the Monterey Bay coastal upwelling system. *Prog Oceanogr* **54**:265–277
- McLaren IA, Tremblay MJ, Corkett CJ, Roff JC (1989) Copepod production on the Scotian Shelf based on life-history analyses and laboratory rearings. *Can J Fish Aquat Sci* **46**:560–583
- McPhaden MJ, Picaut J (1990) El Niño-Southern Oscillation displacements of the western equatorial Pacific warm pool. *Science* **250**:1385–1388
- Naganuma T (1996) Calanoid copepod: linking lower-higher trophic levels by linking lower-higher Reynolds numbers. *Mar Ecol-Prog Ser* **136**:311–313
- Park T, Jang CJ, Jungclaus JH, Haak H, Park W, Oh IS (2011) Effects of the Changjiang river discharge on sea surface warming the Yellow and East China Seas in summer. *Cont Shelf Res* **31**:15–22
- Peterson WT, Gómez-Gutiérrez J, Morgan CA (2002) Cross-shelf variation in calanoid copepod production during summer 1996 off the Oregon coast, USA. *Mar Biol* **141**:353–365
- Picaut J, Ioualalen M, Menkes C, Declercq T, McPhaden MJ (1996) Mechanism of the zonal displacements of the Pacific warm pool: implications for ENSO. *Science* **274**:1486–1489
- Rebstock GA (2003) Long-term change and stability in the California Current System: lessons from CalCOFI and other long-term data sets. *Deep-Sea Res Pt II* **50**:2583–2594
- Richardson AJ, Schoeman DS (2004). Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*

305:1609–1612

Sheridan CC, Landry MR (2004) A 9-year increasing trend in mesozooplankton biomass at the Hawaii Ocean Time-series Station ALOHA. *ICES J Mar Sci* **61**:457–463

Su Y, Weng X (1994) Water masses in China Seas. In: Zhou D, Liang YB, Zeng CK (eds) *Oceanography of China Seas*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, pp 3–16

Turk D, Lewis MR (2001) Geographical distribution of new production in the western/central equatorial Pacific during El Niño and non-El Niño conditions. *J Geophys Res* **106**:4501–4515

Yan XH, Ho CR, Zheng Q, Klemas V (1992) Temperature and size variabilities of the Western Pacific Warm Pool. *Science* **258**:1643–1645

국문 참고자료의 영어 표기

English translation / Romanization of references originally written in Korean

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) Study of the variations in ocean environment and marine ecosystem in the South Sea (northern East China Sea) due to the climate change. KORDI, BSPM 55670-2202-

1, 300 p (in Korean)

Kim D, Choi SH, Kim KH, Kim CH (2009) The distribution and interannual variation in suspended solid and particulate organic carbon in the northern East China Sea. *Ocean Polar Res* **31**:219–229 (in Korean)

Shin CW, Kim DG, Jeon D, Kim E (2011) Physical oceanographic characteristics between Hawaii and Chuuk observed in summer of 2006 and 2007. *Ocean Polar Res* **33**:371–383 (in Korean)

Yoo JT, Choi JH, Kim JY, Kim JB, Choi KH (2013) Comparison of community structure of fish larvae in the northern East China Sea in normal and El Niño/Na Niña Periods. *Korean J Fish Aquat Sci* **46**:907–916 (in Korean)

Korea Institute of Ocean Science & Technology (2013) Northwestern Pacific ocean study on environment and interactions between deep ocean and marginal seas (POSEIDON). KIOST, BSPE99162-10322-1, 220 p (in Korean)

Received Jul. 20, 2015

Revised Aug. 19, 2015

Accepted Sep. 1, 2015