



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

여름철 북부 동중국해의 중형동물플랑크톤 분포와
요각류 *Calanus sinicus*의 개체군 동태



2008년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

강 경 아

이학석사 학위논문

여름철 북부 동중국해의 중형동물플랑크톤 분포와
요각류 *Calanus sinicus*의 개체군 동태

지도교수 강 용 주

이 논문을 이학석사학위 논문으로 제출함.



2008년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

강 경 아

강경아의 이학석사 학위논문을 인준함.

2008. 2.



주 심 이 학 박 사 강 형 구 (인)

위 원 이 학 박 사 윤 원 득 (인)

위 원 농 학 박 사 강 용 주 (인)

목 차

List of figures

List of tables and appendices

Abstract

I. 서론	1
II. 재료 및 방법	4
2.1 시료 채집	4
2.2 군집구조	5
2.3 <i>Calanus sinicus</i> 개체군 동태	6
2.4 총 생체량과 크기그룹별 생체량	8
III. 결과	10
3.1 환경요인	10
3.1.1 수온-염분 분포도(T-S diagram)	10
3.1.2 수온과 염분의 수평 분포	10
3.1.3 수온과 염분의 수직 분포	15
3.1.4 Chlorophyll <i>a</i> 의 분포	15
3.2 중형동물플랑크톤(mesozooplankton)	16
3.2.1 총 출현 분류군수	16
3.2.2 출현 개체수	16
3.2.3 생체량 및 크기그룹별 생체량	17
3.2.4 우점종	23

3.2.5 다양성 지수	24
3.2.6 군집구조	25
3.3 <i>Calanus sinicus</i> 개체군 동태	38
3.3.1 출현 개체수	38
3.3.2 발생 단계별 개체수	38
3.3.3 발생 단계별 조성률	39
3.3.4 발생 단계별 체장범위	39
3.3.5 생체량	39
3.3.6 몸 생산력(somatic production)	40
3.3.7 환경요인과 <i>Calanus sinicus</i> 의 생체량, 몸 생산력 간의 상관성	40
IV. 고찰	49
V. 요약	57
VI. 참고문헌	59
VII. 감사의 글	80

List of figures

Fig. 1. Map of sampling stations in the northern East China Sea in July 2006.	9
Fig. 2. Temperature–Salinity diagram in the northern East China Sea in July 2006.	12
Fig. 3. Horizontal distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity (psu) and chlorophyll a (mg m^{-3}) at 10 m and bottom layer in the study area in July 2006.	13
Fig. 4. Vertical distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$, solid lines) and salinity (psu, dotted lines) in the study area in July 2006.	14
Fig. 5. Horizontal distribution of the number of zooplankton taxa in the northern East China Sea in July 2006.	18
Fig. 6. Composition of mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006.	19
Fig. 7. Horizontal distribution of mesozooplankton abundance (ind. m^{-3}) in the northern East China Sea in July 2006.	20
Fig. 8. Horizontal distribution of mesozooplankton biomass (mgC m^{-3}) in the northern East China Sea in July 2006.	21

Fig. 9. Biomass (mgC m^{-3}) of the size-fractionated mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006.	22
Fig. 10. Spatial distribution of representative species abundance (ind. m^{-3}) occurred in the northern East China Sea in July 2006.	28
Fig. 11. Horizontal distribution of the mesozooplankton diversity index in the northern East China Sea in July 2006.	30
Fig. 12. Diversity index and abundance (ind. m^{-3}) of mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006.	31
Fig. 13. Dendrogram issued from the hierarchical clustering of 15 stations using the Bray-Curtis similarity index.	32
Fig. 14. Grouping of the sampling sites by the hierarchical clustering of 15 stations using the Bray-Curtis similarity index.	33
Fig. 15. Dendrogram issued from the hierarchical clustering of major 20 taxa of mesozooplankton using the Bray-Curtis similarity index.	34
Fig. 16. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot with first two axes from CCA of sampling stations and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006.	36

Fig. 17. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot with first two axes from CCA of zooplankton species and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006.	37
Fig. 18. Horizontal distribution of abundance (ind. m ⁻³) of <i>Calanus sinicus</i> in the northern East China Sea in July 2006.	42
Fig. 19. Stage specific abundance of <i>Calanus sinicus</i> in the northern East China Sea in July 2006.	43
Fig. 20. Variation of prosome length of <i>Calanus sinicus</i> in the developmental stages.	44
Fig. 21. Horizontal distribution of biomass (mgC m ⁻³) of <i>Calanus sinicus</i> in the northern East China Sea in July 2006.	45
Fig. 22. Biomass (mgC m ⁻³) of mesozooplankton and <i>Calanus sinicus</i> in the northern East China Sea in July 2006.	46
Fig. 23. Horizontal distribution of somatic production rate (mgC m ⁻³ day ⁻¹) of <i>Calanus sinicus</i> in the northern East China Sea in July 2006.	47
Fig. 24. Relationship between biomass (mgC m ⁻³) and somatic production rate (mgC m ⁻³ day ⁻¹) of <i>Calanus sinicus</i> and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006.	48

List of tables and appendices

Table 1. Mean abundance (ind. m ⁻³) and composition (%) of mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006	27
Table 2. Summary statistics for the first two axes from canonical correspondence analysis (CCA) of dominant species of mesozooplankton, station and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006	35
Table 3. Comparison of egg production rate (eggs female ⁻¹ day ⁻¹) of <i>Calanus sinicus</i> in different regions	56
Appendix 1. Distribution of total mesozooplankton abundance (ind. m ⁻³) in the northern East China Sea in July 2006	67
Appendix 2. Distribution of abundance (ind. m ⁻³) of size fractionated mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006	78

Mesozooplankton distribution and population dynamics of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the northern East China Sea in summer

Kyoung-A Kang

Department of Marine Biology, Pukyong National University

Abstract

Mesozooplankton community in the northern East China Sea was investigated at 15 stations in July 2006 with total biomass and size fractionated biomass of mesozooplankton and also biomass and somatic production of copepod *Calanus sinicus*. A total of 187 mesozooplankton taxa were identified. The most abundant taxa identified were small sized copepods, mainly *Paracalanus parvus*, *Oithona similis* and *Oithona* copepodite. The average carbon biomass of total mesozooplankton varied from 3.8 to 65.7 mgC m⁻³ (mean 16.5 mgC m⁻³), and the maximum value of total biomass was observed in the northwestern part and the minimum value in the southeastern part of the study area. The mesozooplankton biomass in the 1-2mm size fraction was the highest in the four size fractionated groups (0.2-0.5mm, 0.5-1mm, 1-2mm and 2-5mm). The

copepodites and adults of *C. sinicus* occurred in the most of stations and the biomass of *C. sinicus* ranged from 0.24 to 11.41 mgC m⁻³ (mean 4.34 mgC m⁻³), with higher in the western part of the study area. The estimated somatic production of *C. sinicus* was 0.03~1.40 mgC m⁻³ day⁻¹ (mean 0.50 mgC m⁻³ day⁻¹). The water mass of the northern East China Sea can be divided into four type: the Changjiang diluted water, the Yellow Sea Cold Bottom Water, the Tsushima Warm Current, and the maxed water containing the Changjiang diluted water, the Yellow Sea Cold Bottom Water and the Tsushima Warm Current. Variations in zooplankton composition and abundance might be used as proxies to observe long term changes in marine ecosystems. The future plan is to continually monitor this ecosystem to understand seasonal and inter-annual variations in relation to the climate and environmental changes.

I. 서론

동중국해 북부 해역은 북쪽으로는 황해와 이어지며 대한 해협에 의해 구분되고, 동쪽으로는 쓰시마 열도에서 큐슈에 접하며, 서쪽으로는 중국 본토로 둘러싸여있다(이, 1992). 이 해역은 쿠로시오 해류에 기원을 둔 대마난류(Tsushima Warm Current)와 그 지류인 제주 난류(Cheju Warm Current)와 황해 난류(Yellow Sea Warm Current), 황해 저층 냉수(Yellow Sea Cold Bottom Water), 장강 희석수(Changjiang diluted water) 등 물리적으로 서로 다른 특성을 갖는 다양한 수괴의 영향을 받는다(Nitani, 1972; Beardsley *et al.*, 1985; Fang *et al.*, 1991; Lie and Cho, 2002; Teague *et al.*, 2003). 특히, 동중국해는 제주 난류와 황해 난류를 포함한 대마난류가 쿠로시오 해류에서 분지하는 위치이므로 해양학적으로 중요하며, 계절에 따라 수괴의 분포 양상이 달라진다(Zhang and Weng, 1996). 동중국해에서 담수는 대부분이 장강에서 유입되는데 그 양은 연평균 약 900 km^3 이며, 특히 7월에 최고치를 나타낸다(Zhang, 1996). 따라서 하계에는 담수의 영향으로 영양염류가 다량 공급되고, 탁도가 낮아 태양광선의 침투가 잘되므로 1차 생산력이 높아지고(Edmond *et al.*, 1985), 이를 먹이로 하는 동물플랑크톤의 개체수도 역시 높아진다. 하계의 또 하나의 특징으로는 황해 저층 냉수의 유입인데, 황해 저층 냉수는 황해 중앙 해역에서 지난 겨울동안 형성되어 잔류한 차가운 해수($<10^\circ\text{C}$)로써 제주도 주변까지 확장되어 동중국해로 이동한다(Nakao, 1977; Kim *et al.*, 1991; Pu *et al.*, 2004b).

동물플랑크톤은 해양생태계에서 식물플랑크톤을 먹이로 하며 식물플랑크톤의 군집을 조절하고, 섭취한 에너지를 보다 상위 영양단계의 생물에게 전달하며, 또한 생물기원의 유기물질을 배출함으로써 해양생태계에서 중요한 역할을 한다(Banse, 1994; Al-Mutairi and Landry, 2001; Legendre and Rivkin,

2002). 특히 동물플랑크톤의 알과 유생은 어류의 자치어 시기의 주요 먹이가 되며, 따라서 동물플랑크톤의 현존량은 결과적으로 어류와 패류의 현존량에 영향을 미친다(Cushing, 1990). 동물플랑크톤의 분포는 수온, 염분과 같은 해양 환경 요인과 먹이, 경쟁, 포식과 같은 생물학적 요인에 의해 영향을 받으므로(Dauvin *et al.*, 1998), 동물플랑크톤 군집에 대한 연구를 통하여 현재의 해양생태계의 특성을 파악할 수 있고, 향후 환경변화에 대한 간접적인 척도로서 동물플랑크톤이 이용될 수 있다. 동중국해에서의 동물플랑크톤에 대한 국내 연구로는 수괴에 따른 동물플랑크톤 분포에 대한 연구(Seo, 2000; Lee, 2004; Son, 2006)가 있으나 타 해역에 비해 미미하다.

요각류는 해양 동물플랑크톤의 대부분을 구성하고 어류 자치어의 주요 먹이원으로 이용되므로 해양생태계에서 중요한 역할을 한다(Lan *et al.*, 2004). 요각류의 현존량과 분포는 요각류가 살고 있는 해양 환경에 강하게 영향을 받으므로, 요각류는 수괴에 대해 매우 뛰어난 생물학적 지표가 되기도 한다(Boucher, 1984; Boucher *et al.*, 1987; Shih and Chiu, 1998). 주요 요각류 중 하나인 *Calanus sinicus*는 동중국해를 비롯하여 황해와 일본에서 우점 하는 동물플랑크톤이다(Uye, 1988; Uye *et al.*, 1990; Uye, 2000; Wang *et al.*, 2003; Wang and Zuo, 2004; Zhang *et al.*, 2005, 2007). *C. sinicus*는 다양한 크기의 많은 포식자의 먹이로 이용되고 있으며(Uye *et al.*, 1990; Kang *et al.*, 2007b), 해양환경조사에 주요 대상종이다. 그리고 황해와 동중국해에서 전체 동물플랑크톤 생체량의 약 80%를 차지하는 매우 중요한 종이다(Zhang *et al.*, 2005). 과거 연구에서는 *C. sinicus*의 분포 수온은 5~23℃ 사이이며(Uye, 1988), 24℃ 이상이 되면 사망한다고 하였으나(Uye *et al.*, 1990), Wang *et al.*(2003)에 의하면 수온이 23℃ 이상이 되면 재생산을 멈추게 되고, 27℃에 이르면 사망한다고 하였다. *C. sinicus*에 대한 연구로는 중국 청도에서 제주도 서부해역까지의 *C. sinicus*의 여름철 생활사에 대한 연구(Wang and Zuo, 2004), 타이완

주변과 동중국해 남부 해역에서 *C. sinicus*의 분포에 대한 연구(Hwang and Wong, 2005)가 있다. 동중국해 남부 해역에서 *C. sinicus*의 분포는 수온이 낮은 겨울과 봄에 한정되어있으며, 이들은 황해에서 중국 연안수의 흐름을 따라 이동한다(Hwang and Wong, 2005). 그러나 제주도 이남의 동중국해 북부 해역에서 *C. sinicus*의 분포 자료는 빈약하다. 황해의 여름철 수온은 26℃ 이상이지만 *C. sinicus* 개체수의 감소는 매우 적은데, 이는 *C. sinicus*가 여름철의 높은 수온을 피하기 위해 지난 겨울동안 형성된 황해 저층 냉수에 집중되어 분포하기 때문이다(Wang *et al.*, 2003). 그리고 이러한 황해 저층 냉수가 동중국해까지 영향을 미칠 것이라 추측하고 있으나(Wang *et al.*, 2003), 연구된 바는 없다. 따라서, 수심이 비교적 얇아 여름철 수온이 높은 북부 동중국해에서 *C. sinicus*의 분포는 황해 저층 냉수의 남하를 간접적으로 나타낼 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 첫째, 북부 동중국해 해역의 중형동물플랑크톤의 분포 특성과 환경요인간의 관계를 파악하고, 둘째, 주요 요각류 중 하나인 *Calanus sinicus*의 개체군 동태에 대하여 조사하여, 본 조사 해역에서 중형동물플랑크톤의 생태학적인 역할에 대한 기초 자료를 얻는데 있다.

II. 재료 및 방법

2.1 시료 채집

동물플랑크톤 조사는 2006년 7월 19일부터 7월 25일까지 동중국해 북부해역(북위 31°~34°, 동경 123°~128°)의 총 15개 정점에서 이루어졌다(Fig. 1). 수온과 염분 자료는 동일한 조사에서 CTD (SeaBird 911 plus)로 측정하였으며, 표층에서 1m 간격으로 조사되었다. Chlorophyll *a* (Chl *a*) 농도는 90% 아세톤 10mL로 24시간 동안 추출한 후에 TD-700 fluorometer (excitation filter 436 nm, emission filter 680nm)를 이용하여 측정하였다.

동물플랑크톤 채집은 망구 62 cm, 망목 200 μ m의 원추형네트를 이용하여 표층에서 최대 118m 수심까지 두 번의 연속적인 수직채집을 하였으며, 망구를 통과한 물의 양은 망구에 부착한 유량계(Hydro-Bios flowmeter)를 이용하여 측정하였다. 여수량은 각 해역에 따라 최소 14.0 m³에서 최대 62.8 m³ (평균 36.7 m³)이었다. 첫 번째 채집된 동물플랑크톤 시료는 전체 동물플랑크톤 종조성과 출현량을 파악하고, *Calanus sinicus* 개체군을 분석하기 위해 현장에서 중성포르말린으로 고정하여 최종 농도가 약 5%가 되도록 하였다. 두 번째 채집된 동물플랑크톤 시료는 1/2씩 분할하여 반은 총 생체량을 측정하기 위하여 현장에서 중성포르말린으로 고정하여 최종 농도가 약 5%가 되도록 하였고, 나머지는 0.2, 0.5, 1, 2, 5mm의 체를 이용하여 4개의 크기그룹으로 나누었다. 크기그룹별 생체량을 파악하기 위하여 크기별로 분리된 시료를 미리 무게를 측정한 여과지(Whatmann GF/C)에 여과하였으며, 시료에 포함된 염분은 증류수로 순간적으로 세척하여 제거하였다. 여과가 끝난 여과지는 페트리디쉬에 담아 냉동 보관하였다(Omori and Ikeda, 1984). 동물플랑크톤을 크기그룹으로 나누어 생체량을 측정한 이유는 많은 종과 다양한 발생단계의 생물들이

존재하는 해양의 경우, 여러 종과 발생단계의 다양성을 평가하는 것이 쉽지 않으며, 다양한 각 종에 대한 개별적인 평가를 한다 하더라도 해양 생태계에서 동물플랑크톤의 역할을 설명하기 어려울 수 있으며, 또한 동물플랑크톤의 대부분의 생물학적인 반응에 있어서 75% 이상이 생물의 크기에 의하여 설명될 수 있으며, 그 밖에 플랑크톤 군집의 모델 연구에 있어서도 동물플랑크톤 크기에 대한 정보가 중요할 수 있기 때문이다(Roman *et al.*, 1986; Small *et al.*, 1987, 1989; Morales *et al.*, 1990, 1991; Dam *et al.*, 1993).

2.2 군집구조

실험실로 운반된 동물플랑크톤 시료에서 요각류는 종 수준까지, 다른 분류군은 보다 상위 수준까지 해부현미경(ZEISS Stemi 2000-C)하에서 동정, 분류하였다. 보다 상세한 관찰이 필요할 경우 광학현미경(ZEISS Axioskop)을 이용하였다. 출현 개체수는 단위체적당 개체수(ind. m⁻³)로 환산하였다. 종의 동정은 일본 해양플랑크톤 도감(Chihara *et al.*, 1997)과 한국동식물도감 제35편 해양동물플랑크톤(교육부, 1995)의 분류체계를 따랐고, 모악류의 경우는 한국산 모악류의 분류학적 연구(김, 1987)를 참고하였다. 동물플랑크톤 군집의 종다양성을 분석하기 위하여 Shannon-Wiener의 종다양성지수(H')를 다음 식에 의해 구하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

여기서 s 는 출현종수, N 은 총 출현 개체수, n_i 는 i 번째 종의 개체수이다.

조사 해역에서 동물플랑크톤의 분포양상을 파악하기 위해 통계프로그램인

PRIMER 5 (Primer-E Ltd)를 이용하여, 가장 우점 하였던 상위 20개 분류군의 정점별 동물플랑크톤 개체수를 대상으로 종간, 정점간의 Bray-Curtis 유사도 지수를 구하였다. 이 유사도 지수를 토대로 집괴분석(Hierarchical cluster analysis)을 한 뒤 dendrogram으로 나타내었다.

수괴내 환경 특성에 따른 동물플랑크톤 군집 분포를 파악하기 위해 정준대응분석(CCA, Canonical Correspondence Analysis)을 다변량 통계패키지 프로그램(MVSP 3.0)을 이용하여 실시하였다. 동물플랑크톤 자료는 전체 출현 개체수의 0.5% 이상의 상위 20개 분류군을 대상으로 하였다. 환경 요인은 수온($^{\circ}\text{C}$), 염분(psu), Chl *a* (mg m^{-3}) 자료를 이용하였는데, 수온은 전 수심을 평균한 값을, 염분은 그 범위가 좁고 장강 유출수의 영향에 대해 알아보하고자 표층 염분(10m 평균)을, Chl *a* 농도는 전 수심을 평균하여 사용하였다.

2.3 *Calanus sinicus* 개체군 동태

전체 동물플랑크톤 군집내에서 *Calanus sinicus*의 분포, 생체량, 몸 생산력을 파악하기 위하여 해부현미경(ZEISS Stemi 2000-C)을 이용하여 *C. sinicus*의 유생단계에서 성체단계까지 발생 단계별로 동정 및 계수하였다. *C. sinicus* 성체와 유생의 동정은 Lee (1986)의 요각류 유생에 대한 자료를 기초로 하였다.

*Calanus sinicus*의 탄소량으로 나타낸 생체량을 구하기 위하여 영상분석프로그램인 i-solution (IMT Technology)을 이용하여 성체와 유생의 두흉부 길이(Prosoma length, PL)를 측정한 뒤, Uye (1988)의 본 종에 대한 길이-무게 관계식을 이용하여 두흉부 길이로부터 무게를 추정하였다. 길이-무게 관계식은 다음과 같다.

$$C = PL^{3.378} \times 10^{-9.416}$$

여기서, C는 탄소량(mgC), PL은 두흉부 길이(mm)이다.

*Calanus sinicus*의 생산력(P , mgC m⁻³ day⁻¹)은 다음과 같은 식으로 추정될 수 있다(Liang and Uye, 1996; Runge and Roff, 2000; Kang *et al.*, 2007a).

$$P = \sum_{i=NI}^{CV} (B_i \times g_i) + B_f \times g_f$$

여기서, B_i 와 B_f 는 i 단계에 속하는 개체와 성체 암컷의 총 생체량(mgC m⁻³)이고, g_i 는 i 단계에서의 성장률(instantaneous growth rate, day⁻¹), g_f 는 성체 암컷의 단위 무게당 일일 알 생산률(specific egg production rate, day⁻¹)이다. 본 연구에서는 nauplius 전 단계와 성체 암컷의 알 생산력을 제외하였다. 그 이유는 본 조사에 사용된 네트로써 nauplius 개체의 정량적인 채집이 어려웠고, 또한 2005년 봄철 자료에 의하면(Kang, unpublished data), *C. sinicus* 전체 생산력에 대한 알 생산력의 기여도는 평균 3.2%로 대체로 낮았기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 식을 이용하여 성장에 의한 생산력인 몸 생산력(somatic production)만을 계산하였다.

$$P = \sum_{i=CI}^{CV} (B_i \times g_i)$$

생산력 계산에 필요한 변수는 직접 또는 간접적으로 얻을 수 있었는데, 생체량(B_i)은 앞서 길이-무게 관계식을 이용하여 구하였고, 성장률(g_i , day⁻¹)은 본

종에 대한 Uye (1988)의 논문을 인용하였는데, 성장률은 수온(T , $^{\circ}\text{C}$)의 함수로 다음과 같다:

$$g = 0.0193(T + 0.7)^{1.392} \quad \text{CI기와 CII기}$$

$$g = 0.0289(T + 0.7)^{0.988} \quad \text{CIII기와 CIV기}$$

$$g = 0.00391(T + 0.7)^{1.292} \quad \text{CV기.}$$

2.4 총 생체량과 크기그룹별 생체량

전체 동물플랑크톤 생체량 측정을 위하여 고정하였던 시료를 중량이 거의 변하지 않는 1개월까지 보존하였다가 전체 또는 분할 시료를 증류수로 헹군 뒤, 미리 무게를 측정한 여과지(Whatmann GF/C)에 여과하였다. 여과가 끝난 여과지는 페트리디쉬에 담아 뚜껑을 반쯤 열고 건조기(SANYO Convection oven)에서 60°C , 24시간 동안 건조시켰다(Omori and Ikeda, 1984). 건조가 끝난 시료는 실리카겔이 들어 있는 유리 건조기에 넣어 측정실의 온도 조건에 맞도록 순응시킨 후, microbalance (Satorius BP2215)를 사용하여 무게를 측정하였다.

크기그룹별 생체량을 측정하기 위하여 페트리디쉬에 넣어서 냉동 보관하였던 시료는 뚜껑을 반쯤 열어 건조기에 넣어 60°C , 24시간 동안 건조시켰다(Omori and Ikeda, 1984). 건조가 끝난 시료는 실리카겔이 들어 있는 유리 건조기에 넣어 측정실의 온도 조건에 맞춘 후, microbalance를 사용하여 무게를 측정하였다.



Map of sampling stations in the northern East China Sea. The map shows a coordinate grid from 124°E to 128°E and 38°N to 42°N. Sampling stations are marked with numbers 1 through 10. A large, faint circular watermark of Pukyong National University is visible in the background.

III. 결과

3.1 환경요인

3.1.1 수온-염분 분포도(T-S diagram)

2006년 여름철 북부 동중국해 해역의 수온-염분 분포도는 Fig. 2에 나타내었다. 수온-염분 분포는 전 정점을 대상으로 전 수심을 나타내었고, 그 중 장강 희석수와 황해 저층냉수의 영향을 알기 쉽도록 표층과 저층을 분리하여 나타내었다. 전체 수온과 염분의 범위는 각각 10.2~26.8℃와 27.1~34.6 psu이었다. 대체로 고온-저염수, 저온-고염수, 중온-고염수, 그리고 혼합수로 분리되었다. 수괴 별로 수온-염분 분포를 보면 고온-저염수는 23℃ 이상, 30 psu 이하이며, 저온-고염수는 14℃ 이하, 32 psu 이상이고, 중온-고염수는 20℃ 이상, 32 psu 이상이었다. 고온-저염수는 장강 희석수로 판단되며, 영향을 미치는 주요 정점은 1-2, 2-1, 2-5, 2-9, 6-1로 조사 해역의 서쪽에서 제주도를 향하여 고온-저염수가 유입되는 경향을 보였다. 저온-고염수는 황해 저층 냉수로 판단되며, 영향을 많이 받는 해역은 정점 1-5, 1-9, 2-9로 제주도 북서쪽에 위치하였다. 중온-고염수는 쿠로시오 기원의 대마난류로 생각되며, 주로 영향을 크게 받는 정점은 5-3, 7-1로 제주도 동쪽에 위치하였다. 그리고 나머지는 다양한 수온과 염분의 범위로 여러 가지 수괴가 섞여 형성되는 혼합수괴가 형성되었다.

3.1.2 수온과 염분의 수평 분포

수온과 염분의 수평 분포는 표층과 저층에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 표

층은 수심 10m의 수층을, 저층은 정점에 따라 가장 깊은 수심을 대상을 하였다.

전 수심에 대한 전체 조사 해역의 평균 수온은 17.1℃이었으며, 정점별 평균 수온의 범위는 12.9~21.9℃이었다. 표층에서 수온 범위는 17.1~25.6℃이었으며, 대부분의 해역에서 20℃ 이상의 수온이 분포하였으나, 제주도 남부의 최남단 해역에서만 20℃이하의 낮은 수온이 분포하였다. 조사대상 해역의 서쪽에서 25℃이상의 고온수가 우측으로 유입되는 경향을 보였다. 저층의 수온 분포는 대부분 해역에서 16℃ 이하이었으나 조사 해역의 남서부 해역에서 20℃이상의 수온이 제한적으로 분포하였다. 표층과 저층 간에 수온차이가 크게 나타났다으며, 이는 수심 20m 전후에서 수온 약층이 형성되어 표층과 저층 간에 수직 혼합이 잘 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

전 수심에 대한 전체 조사 해역의 평균 염분은 32.4 psu이었으며 정점별 평균 염분의 범위는 30.1~33.9 psu이었다. 표층 염분은 27.5~32.5 psu의 범위로 다소 낮았으며, 저염수가 조사 해역의 서쪽에서 동쪽으로 확장되는 경향을 보였다. 저층에서의 염분은 30.9~34.6 psu이었으며 대부분의 해역에서 32 psu 이상으로 고염수가 분포하였다. 30.3 psu 이하의 저염수는 조사 해역의 남서단 일부에서만 나타났다.

표층과 저층에서 수온과 염분이 확장되는 형태가 매우 유사하므로 각 수괴를 구분할 수 있었다. 표층에서 고온수와 저염수의 분포가 남서쪽에서 북동쪽으로 확장되는 형태가 나타났는데, 이는 고온-저염수인 장강 희석수로 사료된다. 황해와 이어지는 해역의 저층에서는 저온-고염수가 분포하였으며, 이는 황해 저층 냉수로 판단된다. 제주도 남부 해역과 동부 해역의 표층과 저층에서는 중온-고염수가 분포하며 이는 쿠로시오 기원의 대마난류로 판단된다. 각 수괴가 만나는 해역에서는 고온-저염수, 저온-고염수 그리고 중온-고염수가 섞이면서 혼합수가 존재하였다.

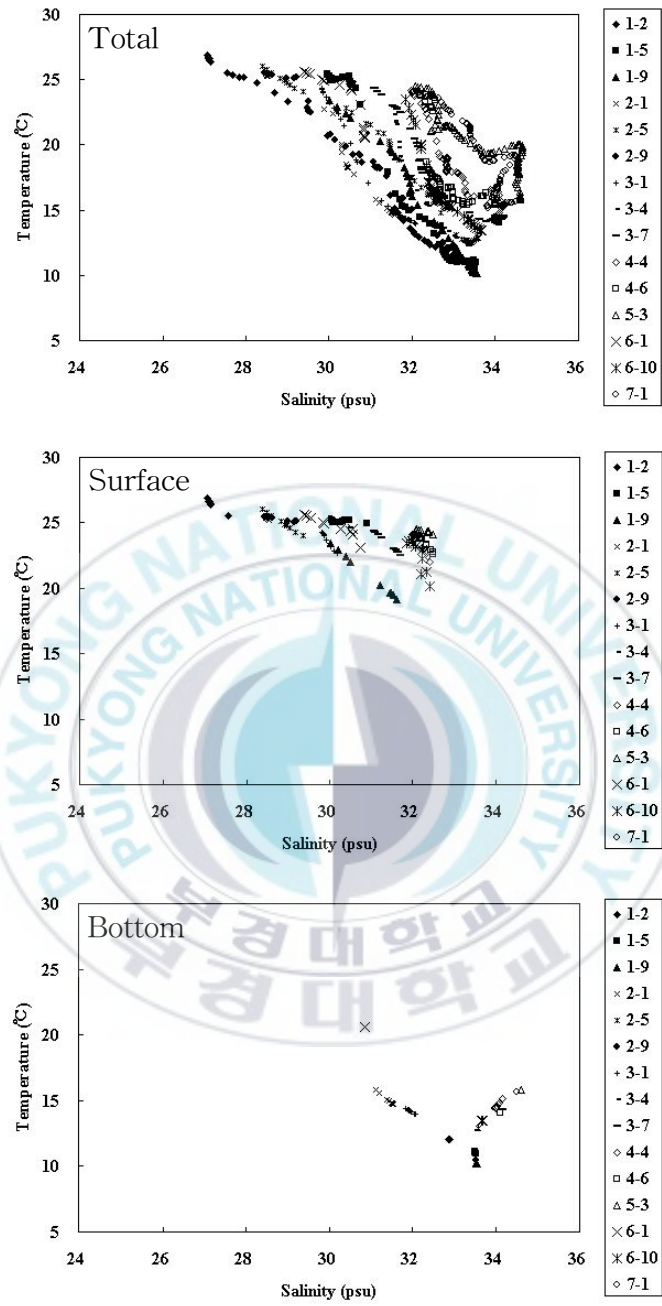


Fig. 2. Temperature-Salinity diagram in the northern East China Sea in July 2006.

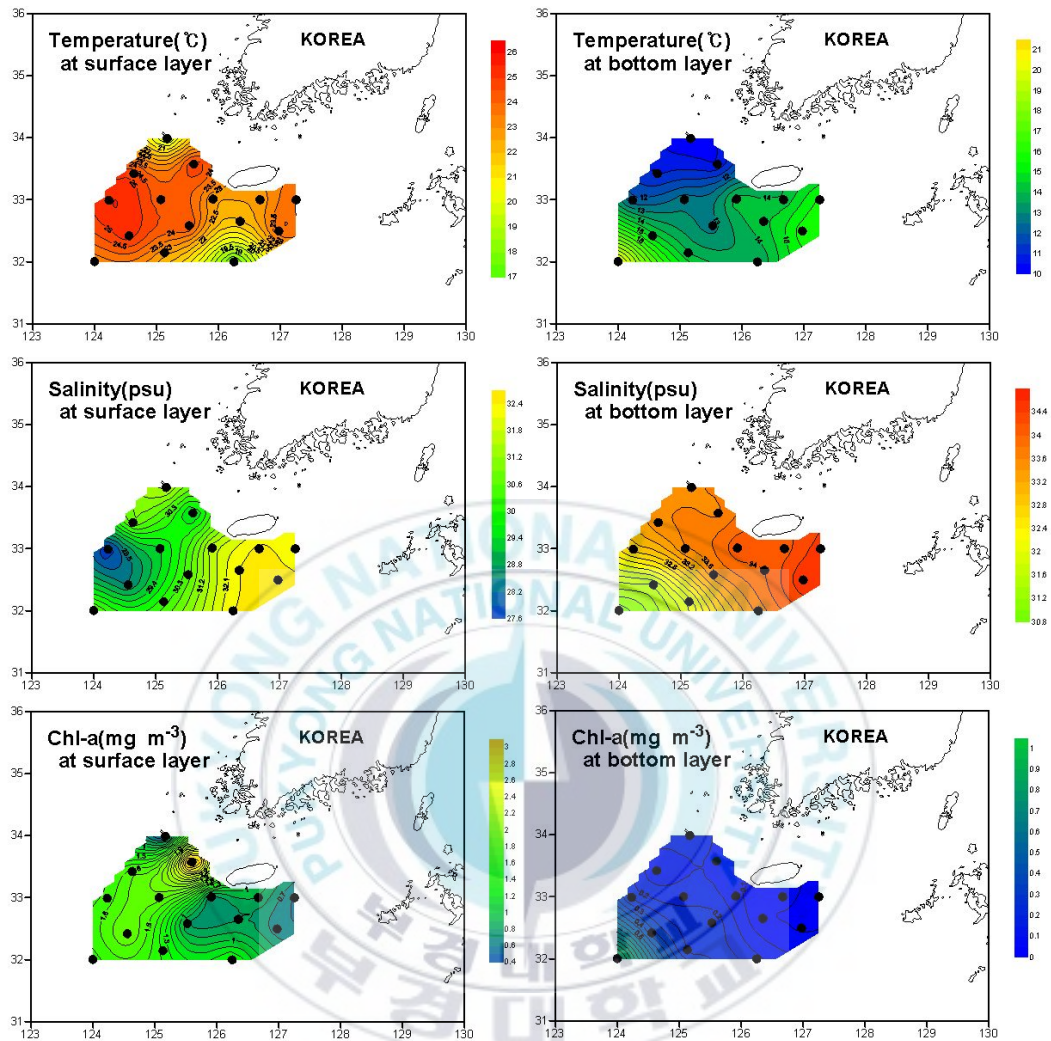


Fig. 3. Horizontal distribution of temperature (°C), salinity (psu) and chlorophyll *a* (mg m⁻³) at 10 m and bottom layer in the study area in July 2006.

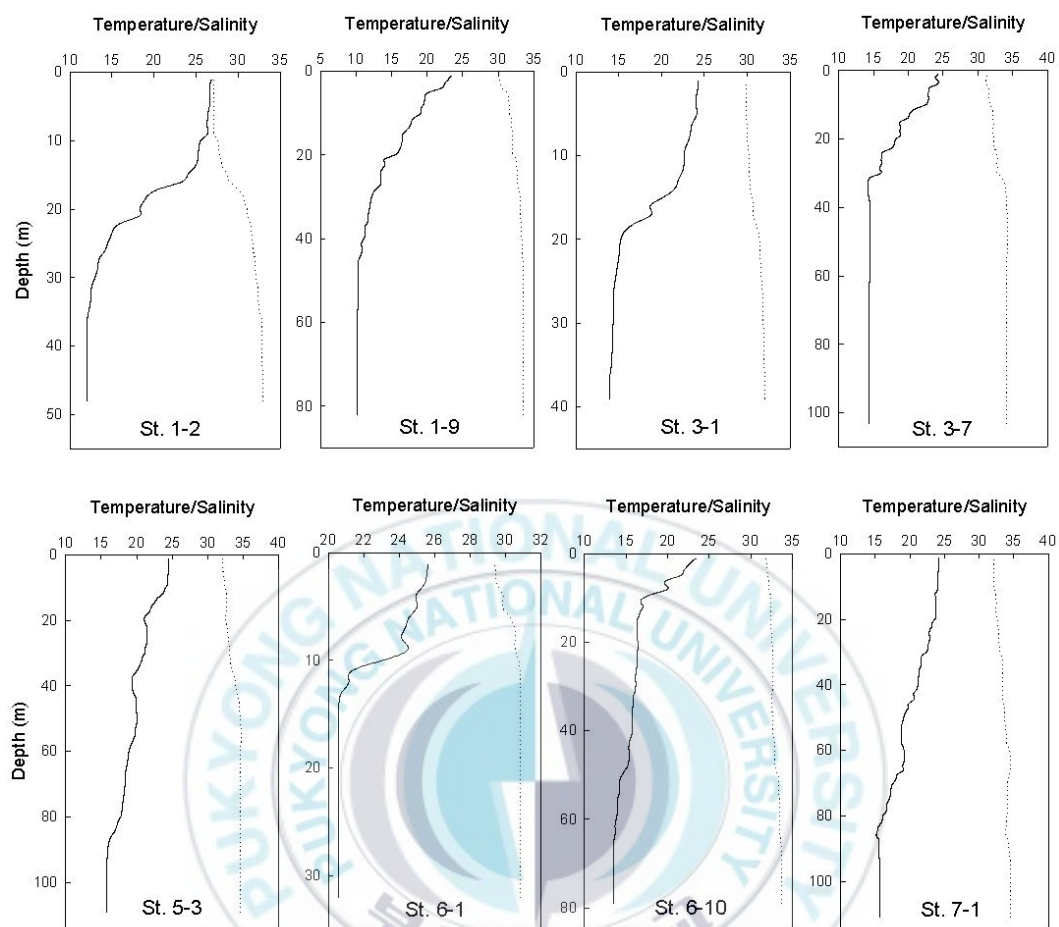


Fig. 4. Vertical distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$, solid lines) and salinity (psu, dotted lines) in the study area in July 2006.

3.1.3 수온과 염분의 수직 분포

주요 정점의 수온과 염분의 수직 분포는 Fig. 4에 나타내었다. 제주도 남서부 해역의 정점 1-2, 3-1, 6-1에서 수심 10~20m 사이에 수온약층이 위치하고 있었으며, 나머지 정점에서는 표층에서부터 급격히 수온이 감소하다가, 저층으로 갈수록 수온의 변화가 거의 없었다. 염분의 수직 분포는 정점 1-2과 6-1을 제외하고는 30~35 psu 사이로 수심이 깊어질수록 염분도 차츰 증가하였다. 담수의 영향을 많이 받는 것으로 나타난 정점 1-2에서는 27~33 psu의 범위로 표층과 저층간의 차이가 컸으며 10~20m 사이에 염분약층이 형성되었다. 또한 제주도 남서쪽 끝 정점 6-1에서도 장강 유출수의 영향을 많이 받아 염분의 범위가 29~31 psu이고 표층에서 염분이 30 psu 이하이었다.

3.1.4 Chlorophyll *a*의 분포

Chlorophyll *a*는 식물플랑크톤 색소체 중 가장 많은 양이 나타내는 색소로 Chl *a* 농도의 조사로 식물플랑크톤의 양적인 변동을 알 수 있다. Chl *a*의 수평 분포를 표층과 저층에 대하여 나타내었다(Fig. 3).

전 수심에 대한 전체 조사 해역의 평균 Chl *a* 농도는 0.72 mg m^{-3} 이었으며, 정점별 평균 Chl *a* 농도의 범위는 $0.31 \sim 1.17 \text{ mg m}^{-3}$ 로 정점 2-1에서 가장 높았고 정점 7-1에서 가장 낮았다. 대체로 대마난류의 영향을 크게 받는 제주도 남부와 남동부 해역에서 평균 Chl *a* 농도가 낮게 나타났다. 표층에서 Chl *a*의 농도 분포는 $0.37 \sim 3.25 \text{ mg m}^{-3}$ 범위이었는데 거의 모든 정점에서 2 mg m^{-3} 이하이었으나 제주도 서부 해역에서 눈에 띄게 높은 농도가 분포하였다. 저층에서의 Chl *a*의 농도 분포는 $0.04 \sim 0.97 \text{ mg m}^{-3}$ 의 범위로 매우 낮았으며, 표층과 저층간의 차이가 컸다. 제주도 남서부 해역의 저층에서의 농도

가 상대적으로 높았으나, 이는 수심이 매우 얇았기 때문으로 생각된다.

3.2 중형동물플랑크톤(mesozooplankton)

3.2.1 총 출현 분류군수

2006년 여름철에는 12개 문(phylum)에 속하는 총 187 분류군, 79종이 출현하였다. 출현 분류군수는 절지동물이 140 분류군(71종)으로 가장 많았고, 그 외 자포동물 11, 연체동물 8, 모악동물 6, 극피동물 5 분류군이었다. 절지동물문에서는 요각류가 가장 많은 107 분류군(69종)으로 전체의 59.9%를 차지하였으며, 단각류 15, 난바다곤쟁이류 7, 십각류 4, 지각류 3, 패충류, 만각류, 곤쟁이류와 등각류가 각각 1 분류군이 출현하였다(Appendix 1).

정점별로는 평균 52 분류군이 출현하였으며 정점 7-1에서 119 분류군으로 가장 많았고, 정점 1-9에서 33 분류군으로 가장 적었다. 제주도를 중심으로 서쪽에 위치한 정점들보다 남동쪽에 위치한 정점 4-6, 5-3, 7-1에서 보다 많은 수의 분류군이 출현하였다. 분류군 수가 적게 나타난 정점에서는 자포동물, 연체동물, 절지동물문에 속하는 분류군이 적게 나타났으며, 특히 절지동물문에서 요각류의 분류군 수가 적었다(Fig. 5).

3.2.2 출현 개체수

전체 해역에서 동물플랑크톤 평균 출현 개체수는 2439 ind. m^{-3} 이었다. 상위 분류군별 출현 개체수는 요각류가 2128 ind. m^{-3} (87.2%)로 가장 많았고, 척삭류가 178 ind. m^{-3} (4.8%), 그 외 분류군은 $3 \sim 65 \text{ ind. m}^{-3}$ 로 전체의 1.0~2.7%이었다(Fig. 6). 정점별로 요각류가 한 정점을 제외한 모든 정점에서 최우

점 하였으며(55.0~99.4%), 특이하게 정점 6-1에서만 척삭동물이 52.4%로 가장 우점 하였으며, 요각류의 출현 비율은 33.6%로 상대적으로 낮았다.

정점별 총 출현 개체수는 제주도 북서쪽과 남서쪽에 위치한 정점에서 많이 나타났으며(2087~5022 ind. m^{-3}), 이는 우점종인 *Paracalanus* copepodite, *Pracalanus parvus*, *Oithona similis*, *Oithona* copepodite의 많은 출현에 기인하였다(Fig. 7). 제주도 주변 및 남동부 해역에 위치한 정점 3-7, 4-4, 4-6, 5-3, 6-10, 7-1에서는 매우 적은 개체가 출현하였다(618~1414 ind. m^{-3}).

3.2.3 생체량 및 크기그룹별 생체량

전체 해역에서 총 동물플랑크톤 생체량은 평균 16.5 mgC m^{-3} 이었으며, 정점별 총 생체량은 제주도 북서쪽 황해 인접 정점인 정점 1-9에서 65.7 mgC m^{-3} 로 가장 높았으며, 제주도 남부 외양 정점인 정점 6-10에서 3.8 mgC m^{-3} 로 가장 낮았다(Fig. 8).

크기그룹별 생체량에서 >5mm 크기그룹은 큰 중형동물플랑크톤과 작은 소형 유영동물로서 네트 회피 능력에 의해 오차가 크게 발생할 수 있기 때문에 측정에서 제외하였다. 총 4개의 크기그룹 중 1.0-2.0mm 크기그룹의 생체량이 5.6 mgC m^{-3} 로 가장 높았으며, 그 다음으로 0.5-1.0mm 크기그룹이 4.7 mgC m^{-3} 이었으며, 0.2-0.5mm와 2.0-5.0mm 크기그룹의 생체량은 각각 3.5 mgC m^{-3} 와 3.7 mgC m^{-3} 으로 비슷한 경향을 나타내었다. 0.2-0.5mm 크기그룹의 생체량은 제주도 서쪽 끝과 북서쪽 해역에서 높았으며, 0.5-1.0mm 크기그룹은 황해와 가장 가까운 해역에서 가장 높았다. 1.0-2.0mm 크기그룹의 생체량은 제주도 서쪽 끝에서 가장 높은 값이 나타났으며 2.0-5.0mm 크기그룹에서는 제주도 서부 중앙 해역에서 가장 높은 값을 보였다(Fig. 9).

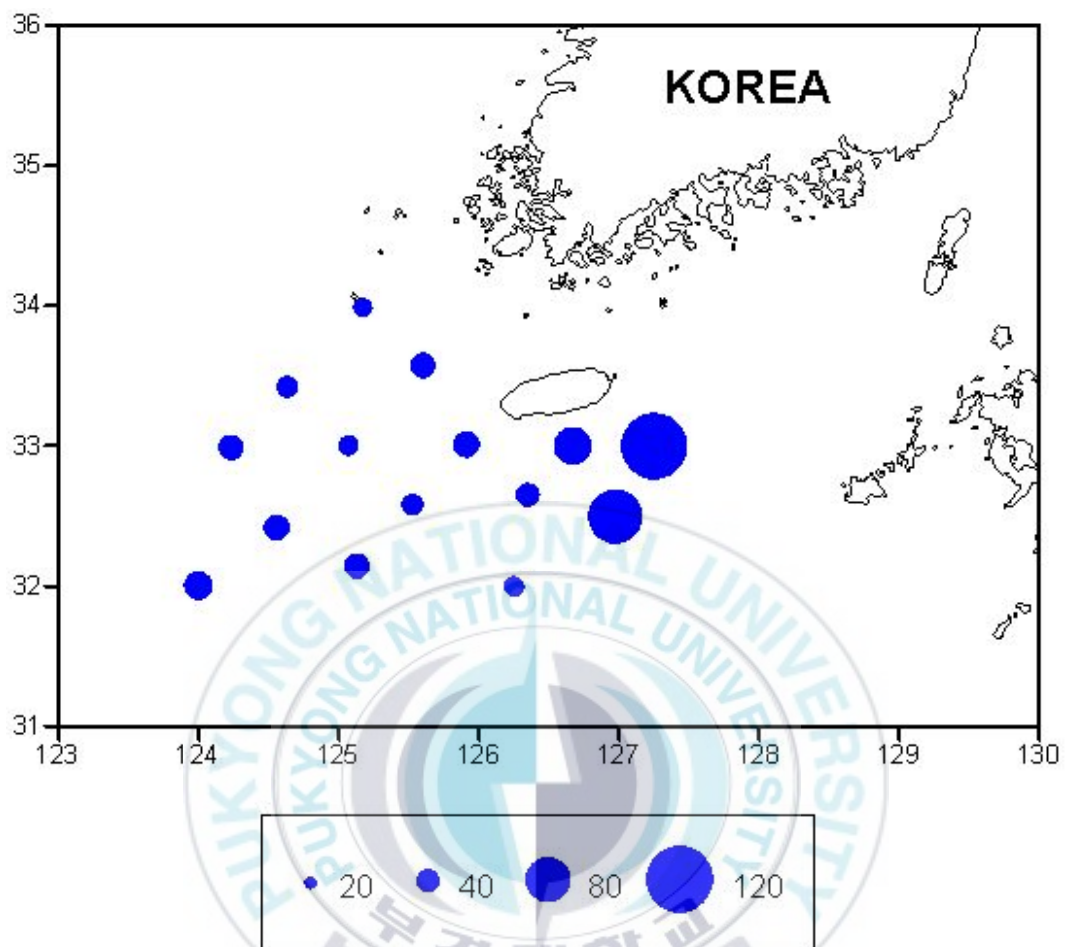


Fig. 5. Horizontal distribution of the number of zooplankton taxa in the northern East China Sea in July 2006.

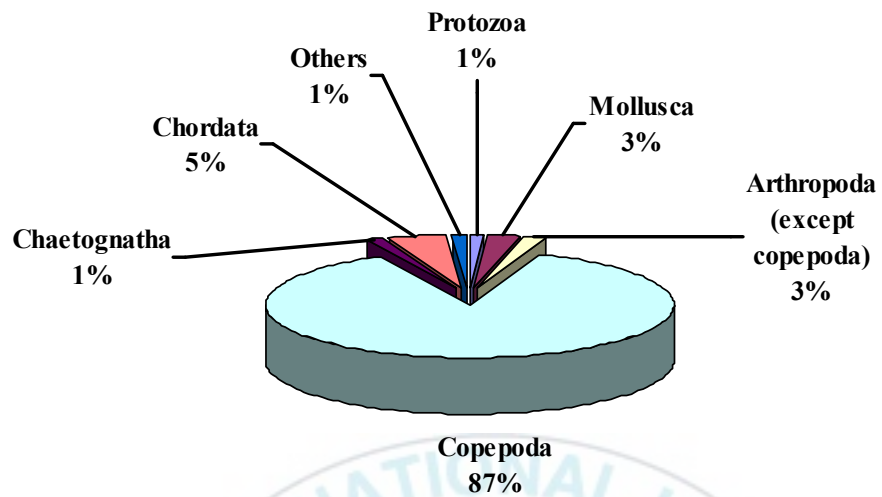


Fig. 6. Composition of mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006.

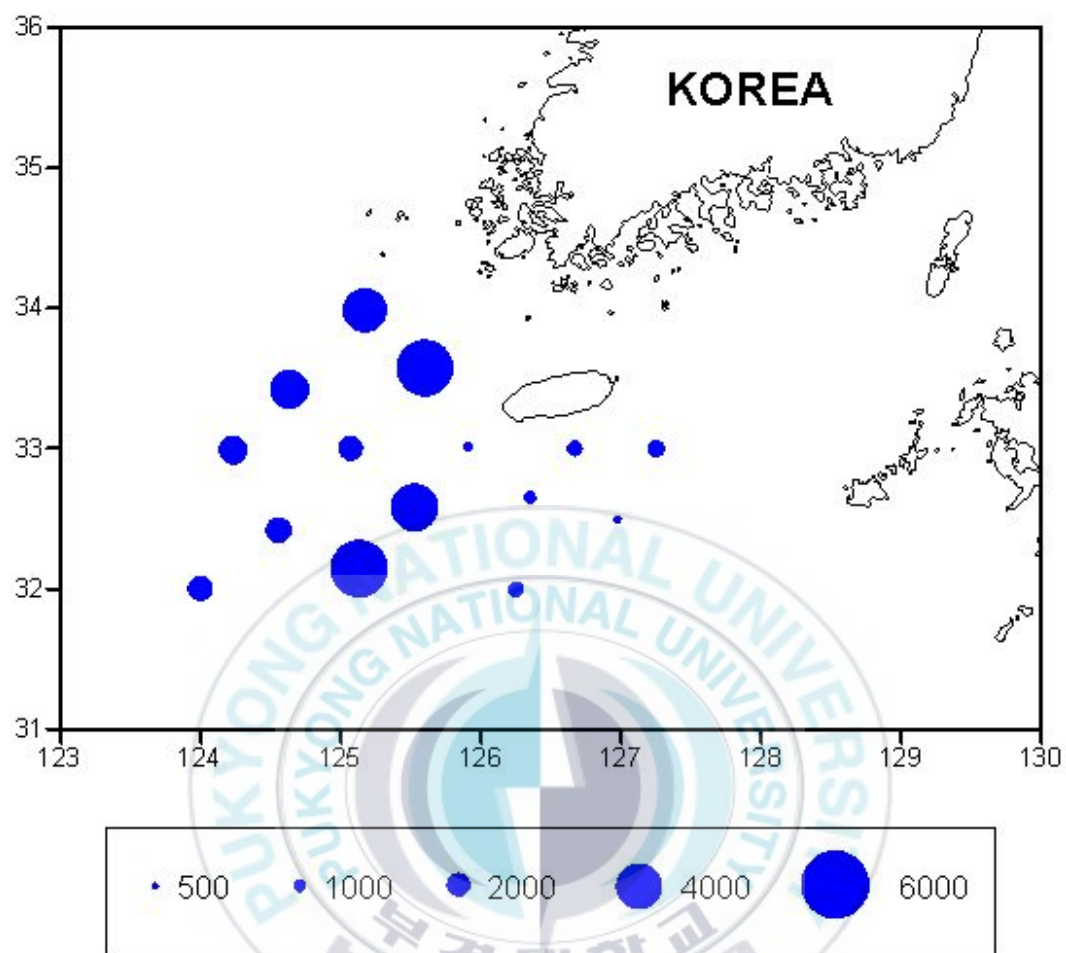


Fig. 7. Horizontal distribution of mesozooplankton abundance (ind. m⁻³) in the northern East China Sea in July 2006.

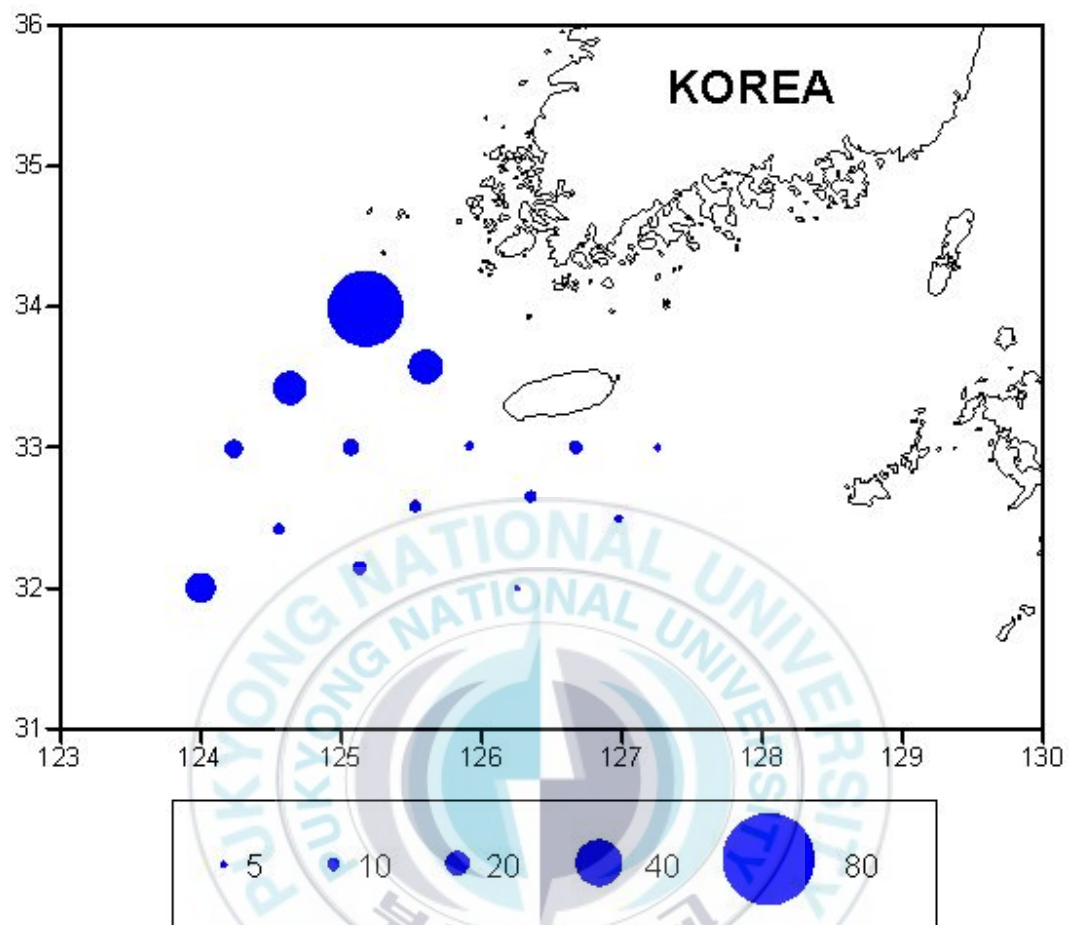


Fig. 8. Horizontal distribution of mesozooplankton biomass (mgC m⁻³) in the northern East China Sea in July 2006.

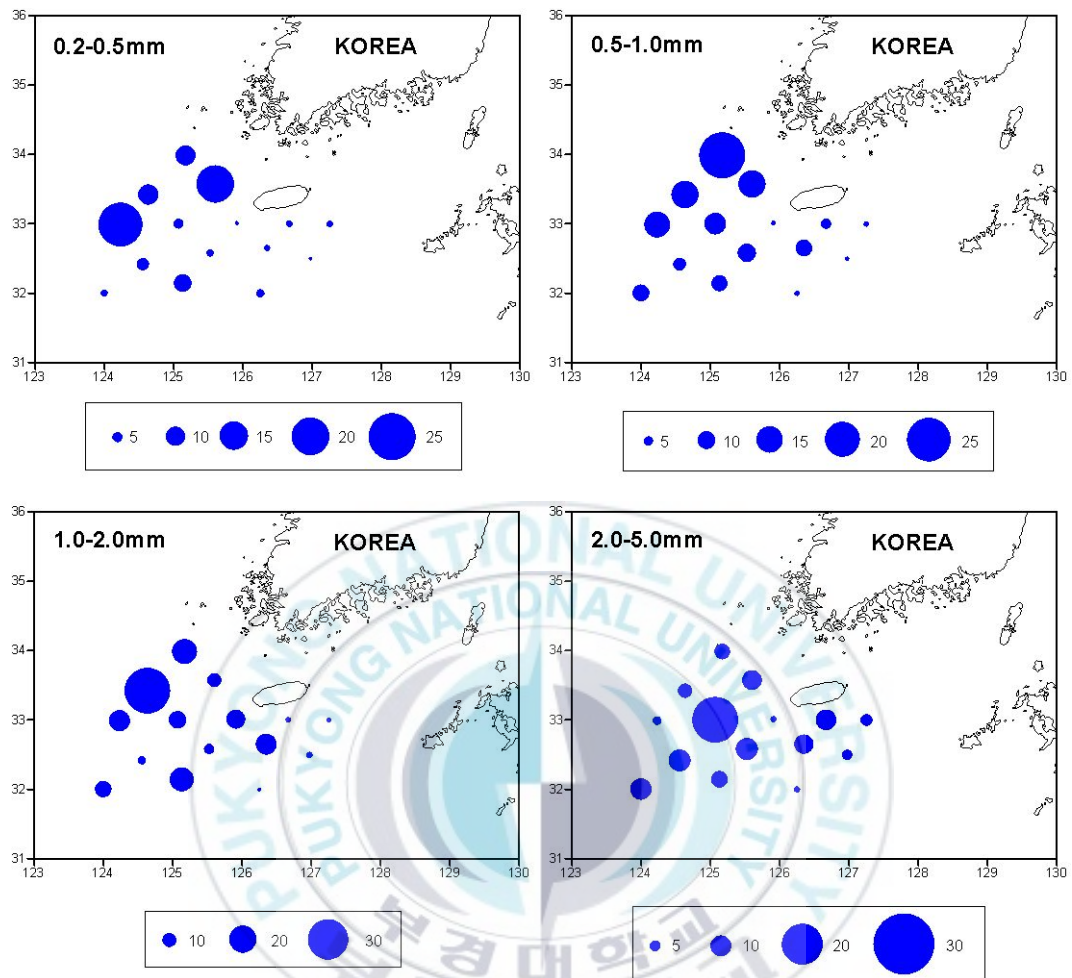


Fig. 9. Biomass (mgC m⁻³) of the size-fractionated mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006.

3.2.4 우점종

전체 동물플랑크톤 군집에서 주요 우점종으로는 요각류인 *Paracalanus* copepodite가 36.6% (893 ind. m^{-3})로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 *Paracalanus parvus* (15.0%, 365 ind. m^{-3}), *Oithona similis* (14.9%, 364 ind. m^{-3}), *Oithona* copepodite (6.1%, 148 ind. m^{-3}), Doliolida (3.3%, 81 ind. m^{-3}), *Calanus* copepodite (3.0%, 74 ind. m^{-3}), *Oithona atlantica* (2.9%, 71 ind. m^{-3}) 순이었다. 주요 우점 하는 20종이 전체의 94.2% (2298 ind. m^{-3})의 비율로 전체 동물플랑크톤의 대부분을 차지하였다(Table 1). 주요 우점종과 난류 지표종의 분포를 따로 나타내었는데 *Paracalanus* copepodite는 주로 제주도 서쪽 근해에서 많이 출현하였고, *Paracalanus parvus*는 제주도 북서쪽과 남서쪽 해역에서 우점적으로 출현하였다. *Oithona similis*는 제주도 남서쪽 해역에서 많이 출현하였으며, Doliolida는 특이하게도 제주도 남서부 끝 정점인 정점 6-1에서만 크게 우점 하였다. 난류성 지표종인 *Cosmocalanus darwini*, *Nannocalanus minor*, *Undinula vulgaris*와 *Mesocalanus tenuicornis*는 매우 적은 개체가 출현하였으나 제주도 남동부 해역인 정점 4-6, 5-3, 7-1에 국한하여 출현해 눈에 띄었다(Fig. 10).

0.2-0.5mm 크기그룹에서 우점종은 요각류인 *Paracalanus* copepodite가 34.5% (981 ind. m^{-3})로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 *Paracalanus* spp. (25.8%, 735 ind. m^{-3}), *Oithona* spp. (11.9%, 339 ind. m^{-3}), Bivalvia larvae (7.9%, 223 ind. m^{-3}), Paracalanidae copepodite (5.9%, 167 ind. m^{-3}), *Corycaeus* spp. (4.6%, 130 ind. m^{-3}) 순으로 주로 소형 요각류와 어린 발생단계의 생물들이 우점 하였다. 0.5-1.0mm 크기그룹에서는 *Paracalanus* spp.가 26.2% (159 ind. m^{-3})로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 *Oithona* spp. (14.8%, 90 ind. m^{-3}), *Paracalanus* copepodite (11.7%, 71 ind. m^{-3}), *Calanus*

copepodite (9.2%, 56 ind. m^{-3}), Paracalanidae copepodite (6.9%, 42 ind. m^{-3}), *Acartia* spp. (4.6%, 28 ind. m^{-3}) 순이었으며, 소형 요각류의 성체와 유생이 우점 하였고 대형 요각류의 유생이 우점종에 출현하기 시작하였다. 1.0-2.0mm 크기그룹에서는 *Paracalanus* spp.가 22.6% (70 ind. m^{-3})로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 *Calanus* copepodite (12.5%, 39 ind. m^{-3}), *Acrocalanus* spp. (11.0%, 34 ind. m^{-3}), *Oithona* spp. (10.5%, 33 ind. m^{-3}), *Calanus sinicus* (10.1%, 31 ind. m^{-3}), *Sagitta* spp. (9.2%, 29 ind. m^{-3}) 순으로 소형 요각류의 성체와 대형 요각류의 유생과 성체가 높은 비율로 출현하였다. 2.0-5.0mm 크기그룹에서는 *Sagitta* spp. (37.6%, 7 ind. m^{-3})가 가장 많이 출현하였으며, Eupausiacea larvae (20.3%, 4 ind. m^{-3}), *Calanus* copepodite (12.5%, 2 ind. m^{-3}), *Calanus sinicus* (7.5%, 1 ind. m^{-3}), Decapoda larvae (4.4%, 0.8 ind. m^{-3}), *Paraeuchaeta* copepodite (4.3%, 0.8 ind. m^{-3}) 순으로 우점 하였다. 이 크기그룹에 속하는 개체들은 매우 적었으며, 모악류와 대형 요각류의 유생과 성체 그리고 난바다곤쟁이류와 십각류 등 대형 절지동물류가 많이 출현하였다 (Appendix 2).

3.2.5 다양성 지수

전체 해역에서 종다양성 지수는 평균 2.0이었으며, 제주도 북서부 해역에 위치한 정점 2-9에서 1.2로 가장 낮았다. 정점 1-2, 1-5, 2-1, 3-7, 5-3, 7-1에서 값이 2 이상 이었고, 특히 제주도 남동부 해역인 정점 5-3과 7-1에서 각각 2.7, 2.8로 다른 해역에 비해 높았다. 종다양성 지수는 담수의 영향을 받는 해역인 제주도 남서쪽 외양과 대마난류의 영향을 받는 해역인 제주도 남동부 해역에서 높게 나타났다(Fig. 11). 종다양성 지수와 총 출현 개체수는 비례하지 않으며, 제주도 남부와 남동부 해역에서는 다른 해역에 비해 출현한 개체수는

가장 적었으나 종다양성 지수는 매우 높았다(Fig. 12).

3.2.6 군집구조

주요 우점 하는 20종의 개체수를 대상으로 정점간 집괴분석의 결과, 유사도 지수 69% 수준에서 크게 4개의 정점 그룹으로 나눌 수 있었다. 각 그룹은 지리적으로 서에서 동으로 나누어졌으며 그룹 A는 제주도 남서부 정점으로 장강 유출수의 영향을 많이 받는 고온-저염수가 존재하는 해역이었으며, 그룹 D는 제주도 동쪽 끝 두 정점으로 대마난류의 영향을 많이 받는 중온-고염수가 존재하는 해역이었다(Fig. 13, 14).

주요 우점 하는 20종의 개체수를 대상으로 종간 집괴분석을 한 결과, 유사도 지수 54% 수준에서 크게 4개의 종 그룹으로 나눌 수 있었다. 그룹 A는 copepoda nauplius, immature *Sagitta*, *Corycaeus affinis*, *Corycaeus* copepodite 등이 속한 그룹으로 상대적으로 낮은 값이나 전 해역에 걸쳐 고루 분포하였다. 그룹 B는 *Ophiopleura* larvae와 *Doliolida*가 속한 그룹이며, 조사 해역의 최남단 정점과 제주도 동부 정점에서 많이 출현하였다. 특히, *Doliolida*는 정점 6-1에서 크게 우점 하였다. 그룹 C는 *Paracalanus parvus*, *Paracalanus* copepodite, *Oithona similis*, *Calanus sinicus*, *Calanus* copepodite 등이 속한 그룹으로 전 해역에서 높은 출현량을 보였다. 그룹 D는 *Pyrocystis noctiluca* 한 종만이 속하였으며, 제주도 남동부 정점 4-4, 5-3, 7-1에 한해 출현하였다(Fig. 15).

정준대응분석 결과, 제 1축과 제 2축의 고유값(Eigenvalues)은 0.30과 0.20이었으며, 제 1축과 2축의 전체 자료 분산에 대한 누적 기여율은 18.40과 30.87이었다. 그리고 제 1축과 2축에 대한 동물플랑크톤 정점과 환경요인의 상관계수는 0.87과 0.73으로 2축에 비해 1축에서 비교적 높았다(Table 2). 정점

과 환경변수간의 관계의 결과에서(Fig. 16), 수온의 영향을 크게 받는 해역은 제주도 남서부 끝 정점 6-1이었고, 염분의 영향을 많이 받는 해역은 정점 3-4, 3-7, 4-4, 4-6, 5-3, 6-10, 7-1로 제주도 남부와 남동부에 위치하였다. 제주도 서쪽에 위치한 정점 1-2와 2-1에서는 Chl *a*의 영향을 받지만 나머지 정점은 환경요인에 크게 좌우되지 않는 것으로 나타났다. 동물플랑크톤 종과 환경 변수간의 관계의 결과에서(Fig. 17), 수온과 매우 높은 상관성을 보인 종은 Doliolida이었으며, 염분의 영향을 크게 받는 종으로는 *Pyrocystis noctiluca*, Euchaetidae copepodite 등이 나타났다. Chl *a* 농도와 상관성이 있는 것으로 나타난 종은 Ophiopluteus larvae와 Bivalvia larvae이었으며, 나머지 종들은 여러 가지 환경요인에 복합적으로 영향을 받는 것으로 나타났다.



Table 1. Mean abundance (ind. m⁻³) and composition (%) of mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006

Species	Mean abundance (ind. m ⁻³)	Composition (%)
<i>Paracalanus</i> copepodite	892.6	36.6
<i>Paracalanus parvus</i>	364.8	15.0
<i>Oithona similis</i>	364.3	14.9
<i>Oithona</i> copepodite	147.7	6.1
Doliolida	81.1	3.3
<i>Calanus</i> copepodite	74.2	3.0
<i>Oithona atlantica</i>	71.3	2.9
Bivalvia larvae	41.4	1.7
Oikopleuridae	36.4	1.5
<i>Acartia omorii</i>	33.9	1.4
<i>Corycaeus affinis</i>	23.6	1.0
Immature <i>Sagitta</i>	23.5	1.0
Gastropoda larvae	22.4	0.9
<i>Calanus sinicus</i>	21.3	0.9
Euchaetidae copepodite	20.2	0.8
Copepoda nauplius	20.1	0.8
<i>Corycaeus</i> copepodite	16.8	0.7
<i>Pyrocystis noctiluca</i>	16.7	0.7
Ophiopluteus larvae	13.3	0.5
<i>Acartia</i> copepodite	12.5	0.5
Sum of 20 major taxa	2,298.1	94.2
Others	141.3	5.8
Total	2,439.4	100.0

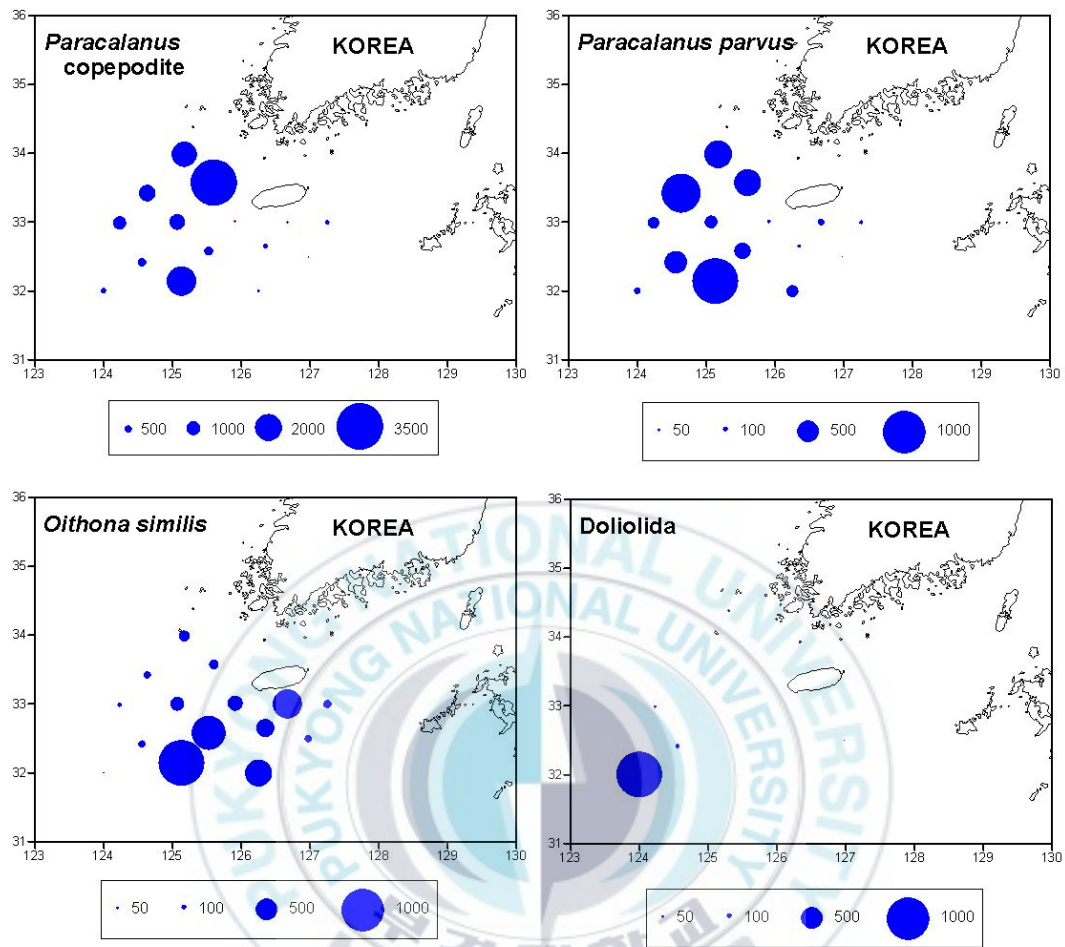


Fig. 10. Spatial distribution of representative species abundance (ind. m⁻³) occurred in the northern East China Sea in July 2006.

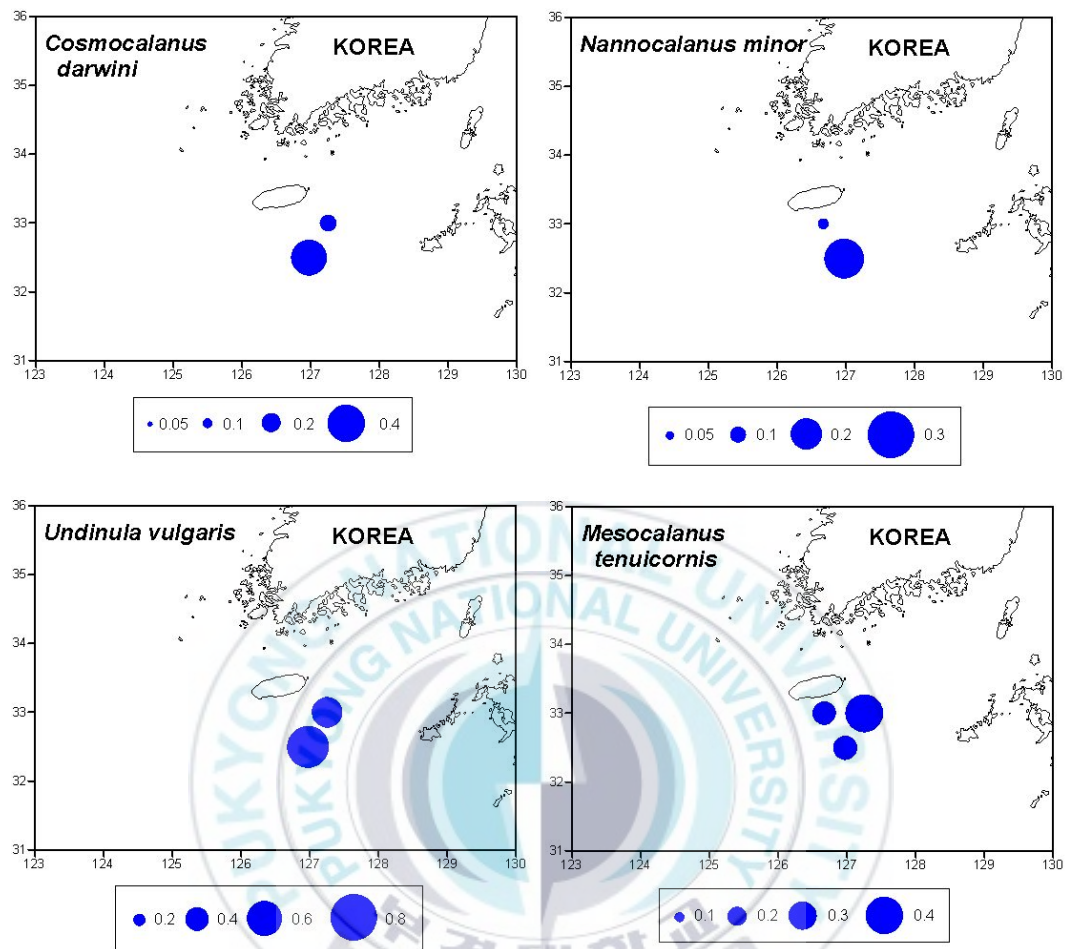


Fig. 10. continued.

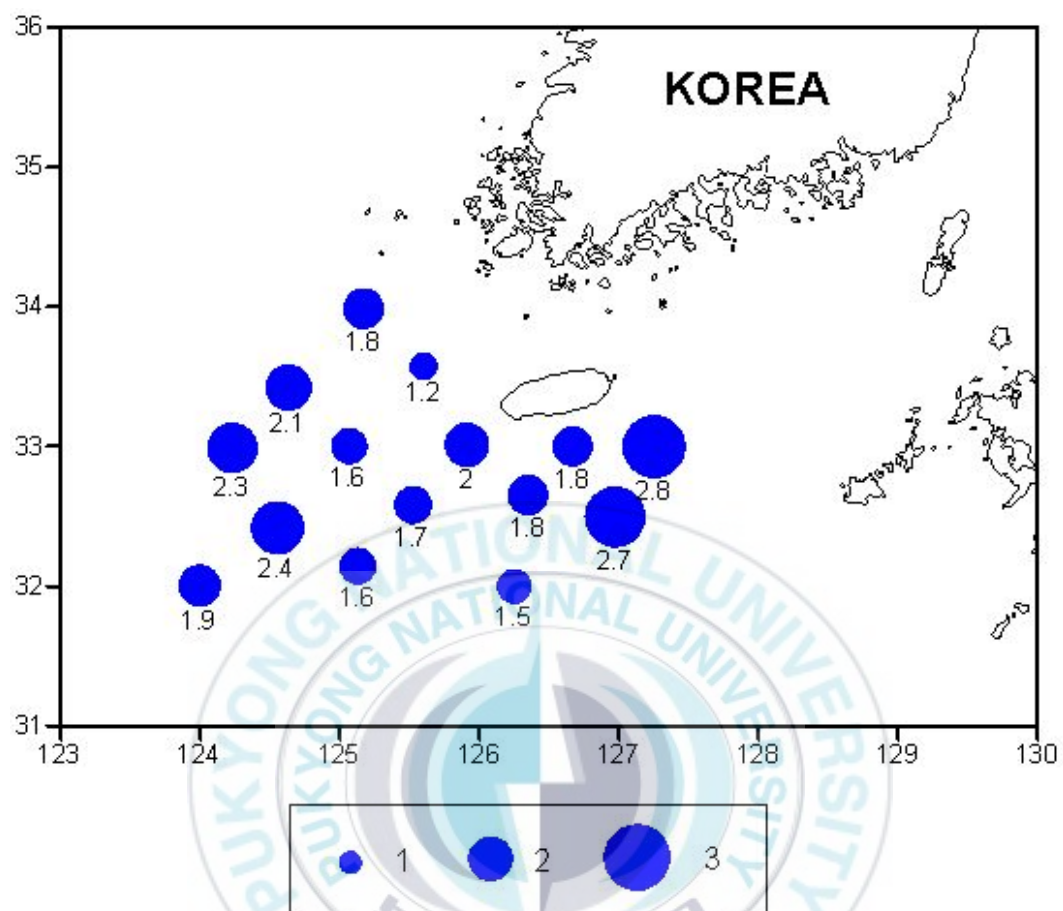


Fig. 11. Horizontal distribution of the mesozooplankton diversity index in the northern East China Sea in July 2006.

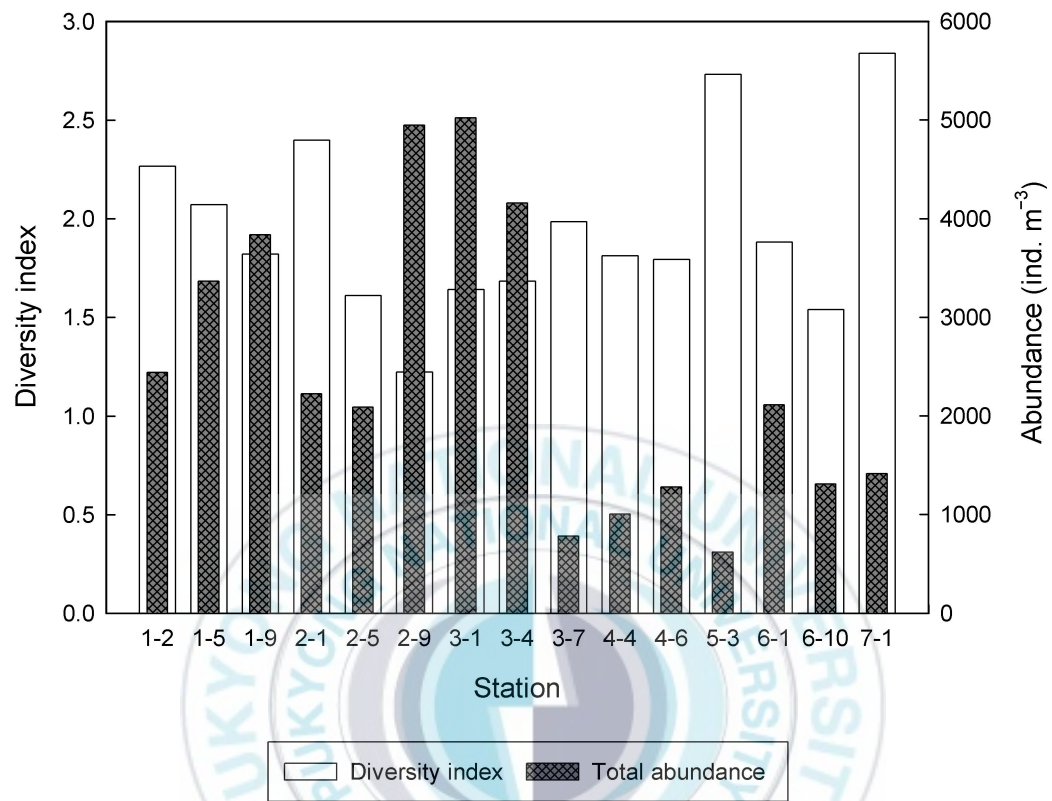


Fig. 12. Diversity index and abundance (ind. m³) of mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006.

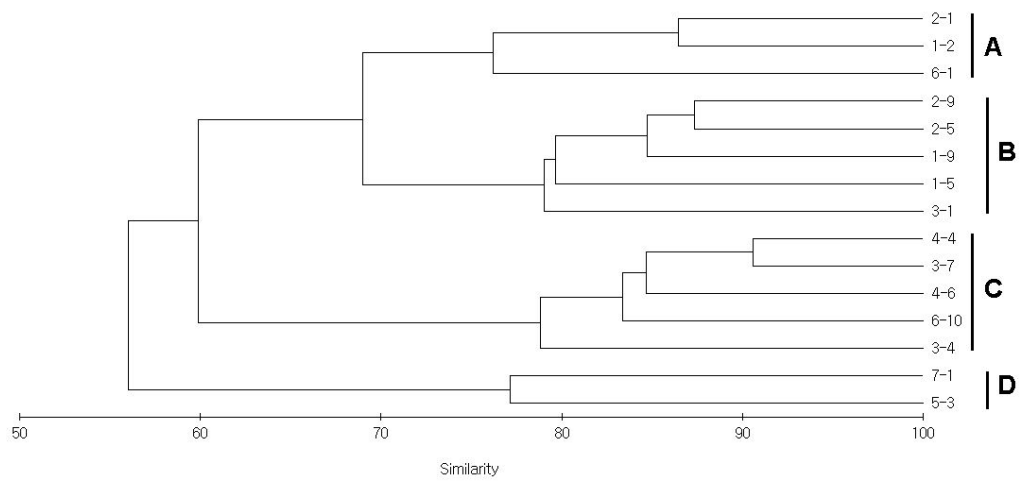


Fig. 13. Dendrogram issued from the hierarchical clustering of 15 stations using the Bray-Curtis similarity index.

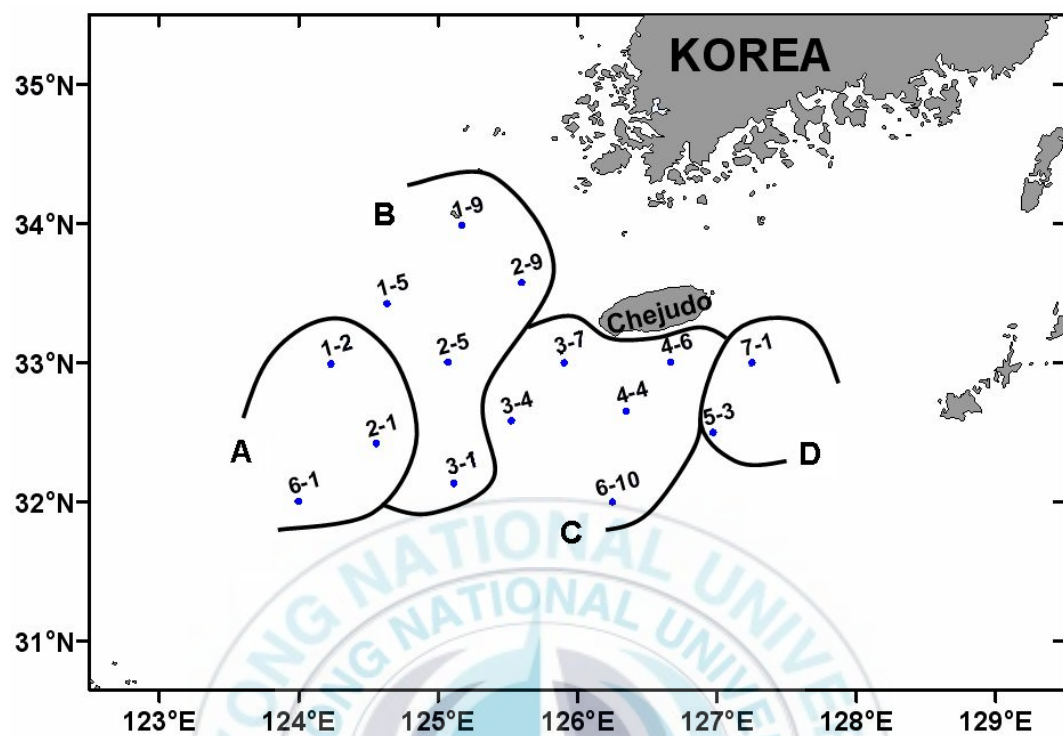


Fig. 14. Grouping of the sampling sites by the hierarchical clustering of 15 stations using the Bray-Curtis similarity index.

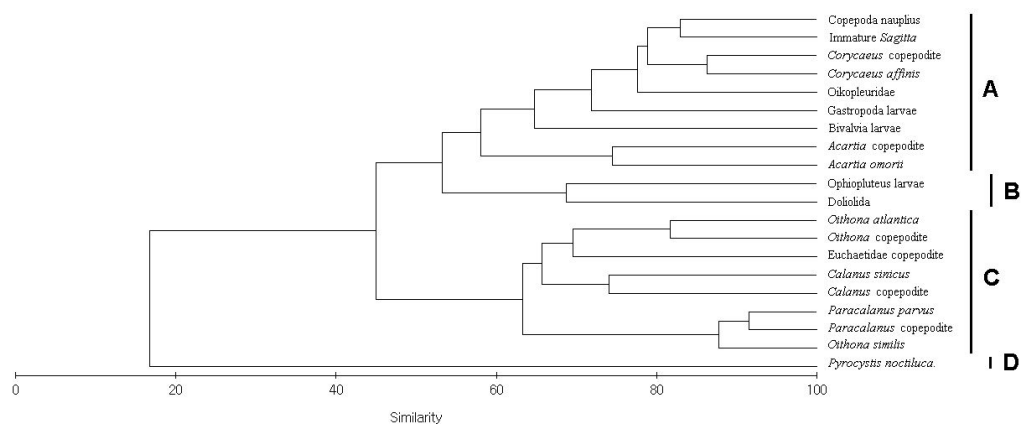


Fig. 15. Dendrogram issued from the hierarchical clustering of major 20 taxa of mesozooplankton using the Bray-Curtis similarity index.

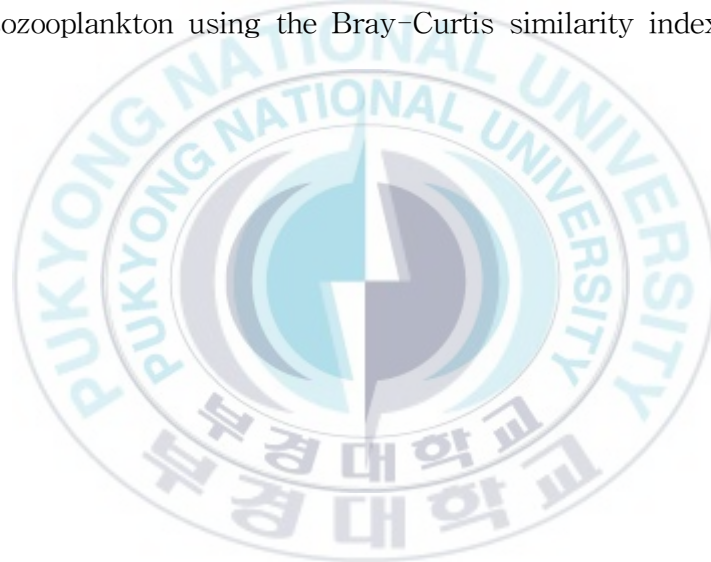
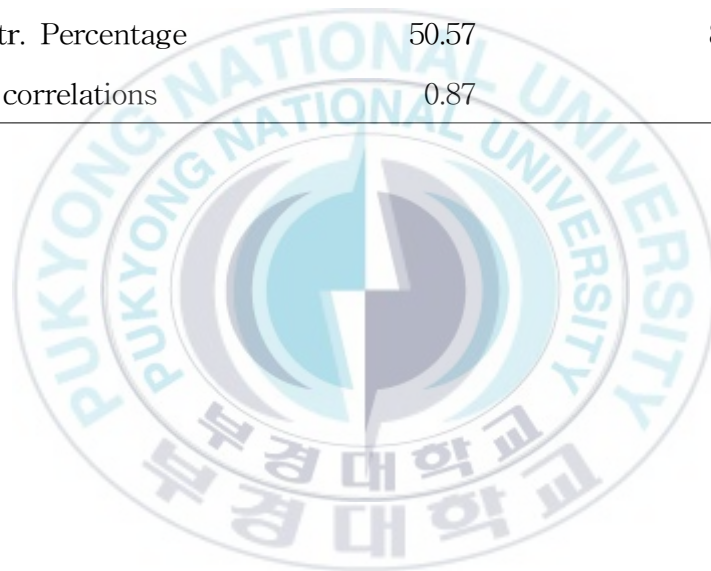


Table 2. Summary statistics for the first two axes from canonical correspondence analysis (CCA) of dominant species of mesozooplankton, station and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006

Axis	Axis 1	Axis 2
Eigenvalues	0.30	0.20
Percentage	18.40	12.48
Cum. Percentage	18.40	30.87
Cum. Constr. Percentage	50.57	84.87
Spec.-env. correlations	0.87	0.73



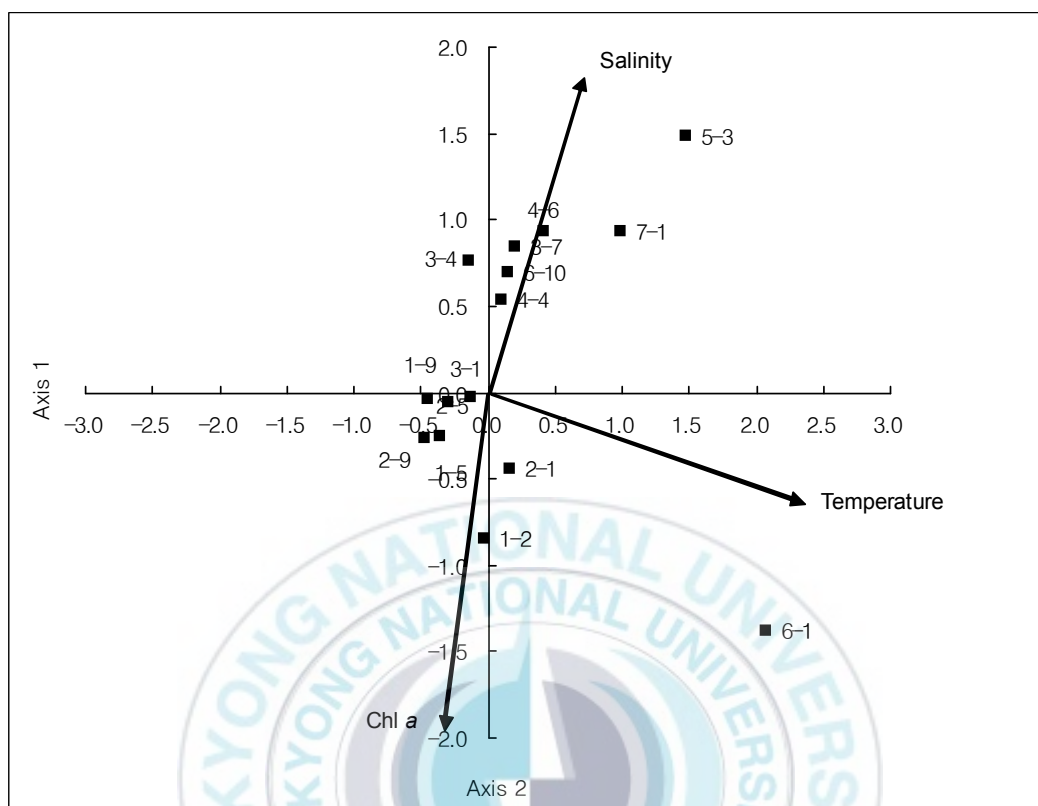


Fig. 16. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot with first two axes from CCA of sampling stations and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006.

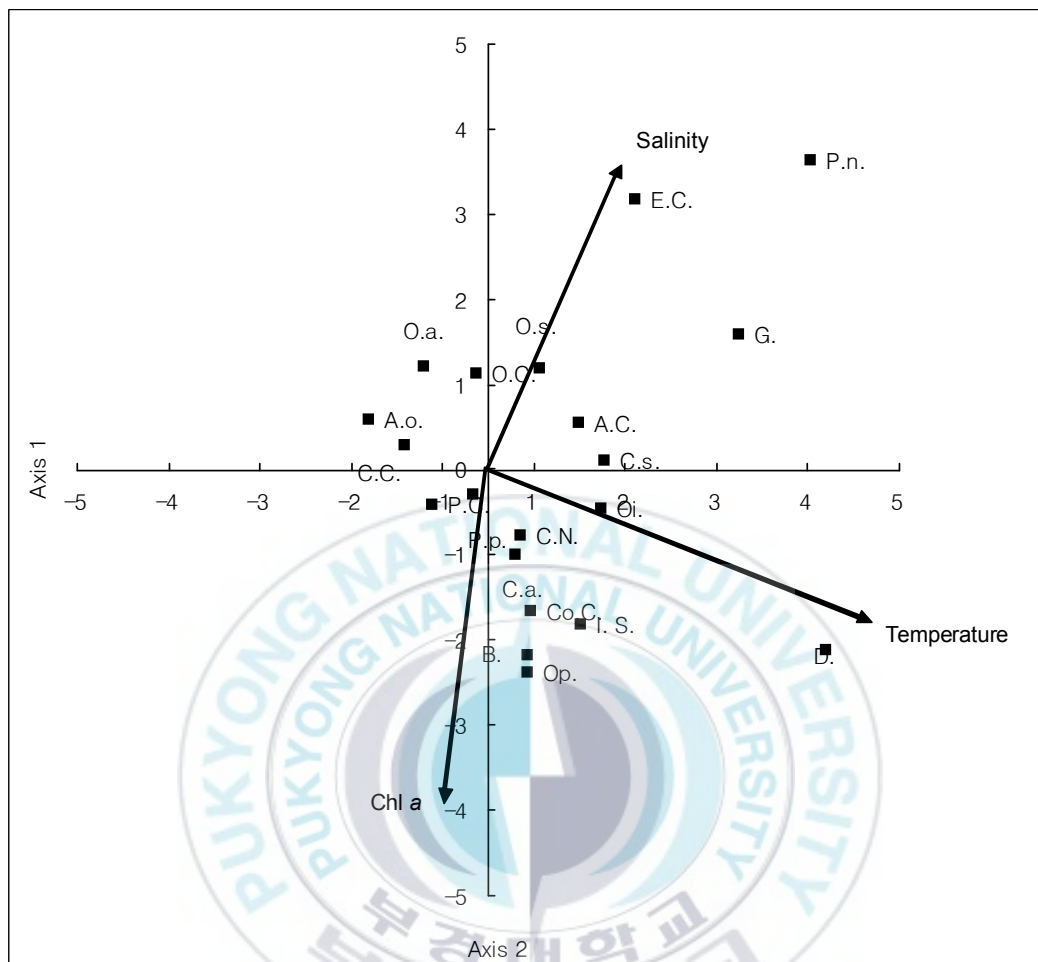


Fig. 17. Canonical correspondence analysis (CCA) biplot with first two axes from CCA of zooplankton species and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006.

P.C.: *Paracalanus* copepodite, P.p.: *Paracalanus parvus*, O.s.: *Oithona similis*, O.C.: *Oithona* copepodite, D.: Doliolida, C.C.: *Calanus* copepodite, O.a.: *Oithona atlantica*, B.: Bivalvia larvae, Oi.: Oikopleuridae, A.o.: *Acartia omorii*, C.a.: *Corycaeus affinis*, I.S.: Immature *Sagitta*, G.: Gastropoda larvae, C.s.: *Calanus sinicus*, E.C.: Euchaetidae copepodite, C.N.: Copepoda nauplius, Co.C.: *Corycaeus* copepodite, P.n.: *Pyrocystis noctiluca*, Op.: Ophiopluteus larvae, A.C.: *Acartia* copepodite.

3.3 *Calanus sinicus* 개체군 동태

3.3.1 출현 개체수

전체 해역에서 성체 및 copepodite기 유생을 합한 *Calanus sinicus*의 평균 출현 개체수는 96 ind. m⁻³이었으며, 전체 동물플랑크톤 개체수의 3.9%를 차지하였다. *C. sinicus*의 정점별 평균 출현 개체수는 정점 1-5와 1-9에서 각각 227 ind. m⁻³와 211 ind. m⁻³로 다른 해역에 비해 매우 많이 출현하였으며, 제주도 남부와 남동부 해역에서는 매우 적은 개체가 출현하였다. 특히 남동쪽 정점 5-3에서는 *C. sinicus*가 전혀 출현하지 않았다. 정점별로 전체 동물플랑크톤에서 본 종이 차지하는 비율은 제주도 서부 연안의 정점 3-7에서 7.5%로 가장 높았고, 전혀 출현하지 않은 정점 5-3을 제외하면 제주도 남부 먼 해역의 정점 6-10에서 0.5%로 가장 낮았다(Fig. 18).

3.3.2 발생 단계별 개체수

전체 해역에서 *Calanus sinicus*의 발생 단계별 평균 개체수는 Copepodite 5기(C5기)가 47 ind. m⁻³로 가장 높았고, 다음으로 성체 암컷(C6f)이 16 ind. m⁻³이었다. 가장 적은 개체가 출현한 발생 단계는 C1기로 2 ind. m⁻³이었다. 정점별로 C5기가 31~178 ind. m⁻³ (46.2~84.6%)로 대부분의 정점에서 최우점 하였으나, 정점 2-1에서는 C2기(53 ind. m⁻³, 50.0%), 정점 1-2, 6-10, 7-1에서는 C3기(2~42 ind. m⁻³, 27.2~56.9%), 제주도 남부 연안에 근접한 정점 4-6과 제주도 남서부 먼 해역인 정점 6-1에서는 성체 암컷이 각각 20 ind. m⁻³ (54.5%)와 58 ind. m⁻³ (71.7%)로 우점 하였다(Fig. 19).

3.3.3 발생 단계별 조성률

전체 해역에서 *Calanus sinicus*의 copepodite기 유생과 성체의 비율을 살펴보면, 유생의 개체수가 76 ind. m⁻³(79.8%), 성체 개체수가 19 ind. m⁻³(20.2%)로 유생이 우점 하였다. 정점별 유생과 성체의 비율을 살펴보면, 대부분의 정점에서 유생이 성체보다 우점 하였지만 제주도 남부 연안에 근접한 정점 4-6과 제주도 남서부 먼 해역인 정점 6-1에서는 성체의 개체수가 각각 25 ind. m⁻³ (67.5%)와 61 ind. m⁻³ (76.1%)로 유생의 개체수보다 많았으며, 특히, 성체 암컷이 각각 19.5 ind. m⁻³ (54.5%)와 57.6 ind. m⁻³ (71.7%)로 우점 하였다(Fig. 19).

3.3.4 발생 단계별 체장범위

전체 해역에서 *Calanus sinicus*의 발생 단계별 두흉부 길이를 파악하기 위하여 발생 단계별로 최소 31 개체에서 최대 307 개체의 두흉부길이를 측정하였다. C1기에서의 두흉부 길이는 0.569~0.719mm의 범위였으며, C2기에서는 0.755~0.927mm, C3기에서는 1.021~1.246mm, C4기에서는 1.260~1.586mm, C5기에서는 1.548~2.337mm, 성체 암컷(C6f)은 2.025~2.588mm, 성체 수컷(C6m)은 1.884~2.367mm으로 성체 암컷의 두흉부 길이가 성체 수컷보다 길었다(Fig. 20).

3.3.5 생체량

전체 해역에서 *Calanus sinicus*의 평균 생체량은 4.3 mgC m⁻³이었으며, 전체 동물플랑크톤 생체량의 26.4%를 차지하였다. 정점별 평균 생체량은 황해와

가장 인접한 제주도 북서쪽 해역의 정점 1-9에서 11.4 mgC m^{-3} 로 가장 높았고, *C. sinicus*가 출현하지 않은 정점 5-3을 제외하면 정점 6-10에서 0.2 mgC m^{-3} 로 가장 낮았다(Fig. 21). 정점별 전체 동물플랑크톤 생체량에 대한 본 종의 생체량의 비는 0~84.9%로 다양하였다. 제주도 남서쪽 먼 해역의 정점 3-1에서 84.9%로 가장 높았으며, *C. sinicus*가 출현하지 않은 정점 5-3을 제외하면 정점 2-1에서 6.4%로 가장 낮았다(Fig. 22). 그리고 정점 4-6과 6-1은 다른 정점에 비해 개체수가 적은 반면에 상대적으로 생체량은 높았는데 이는 생체의 비율이 다른 정점보다 월등히 높았기 때문이다(Fig. 19).

3.3.6 몸 생산력(somatic production rate)

*Calanus sinicus*의 몸 생산력은 $0.03 \sim 1.40 \text{ mgC m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ (평균 $0.50 \text{ mgC m}^{-3} \text{ day}^{-1}$)로 정점 1-5에서 가장 높았으며, *C. sinicus*가 출현하지 않은 정점인 5-3을 제외하면 정점 6-10에서 $0.03 \text{ mgC m}^{-3} \text{ day}^{-1}$ 으로 가장 낮았다. 전체 해역에서 *C. sinicus*의 몸 생산력은 제주도를 중심으로 서쪽 해역에서 높았으며 제주도 남쪽 및 남동쪽 해역에서는 낮았다(Fig. 23). 그리고 *C. sinicus*의 생체량은 정점 1-9에서 가장 높았으나 몸 생산력은 정점 1-5에서 가장 높았다. 정점 1-2과 2-1은 생체량은 낮았지만 그에 비해 몸 생산력은 높았으며 정점 6-1에서 생체량은 높았으나 몸 생산력은 낮았다(Fig. 21, 23).

3.3.7 환경요인과 *Calanus sinicus*의 생체량, 몸 생산력 간의 상관성

*Calanus sinicus*의 생체량, 몸 생산력에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 파악하기 위하여, 각각 평균 수온($^{\circ}\text{C}$), 평균 염분(psu), 평균 Chl *a* (mg m^{-3})와 상관분석을 하였다. 상관분석 결과, *C. sinicus*의 생체량은 평균 수온에 따라

감소하였으며($P < 0.05$), 평균 염분과 평균 Chl *a*와의 상관성은 낮은 것으로 나타났다. *C. sinicus*의 몸 생산력과 환경요인과의 상관성분석 결과 역시, 수온이 낮아질수록 감소하는 것으로 나타났으며($P < 0.05$), 나머지 요인들과 유의한 관계를 찾을 수 없었다(Fig. 24).



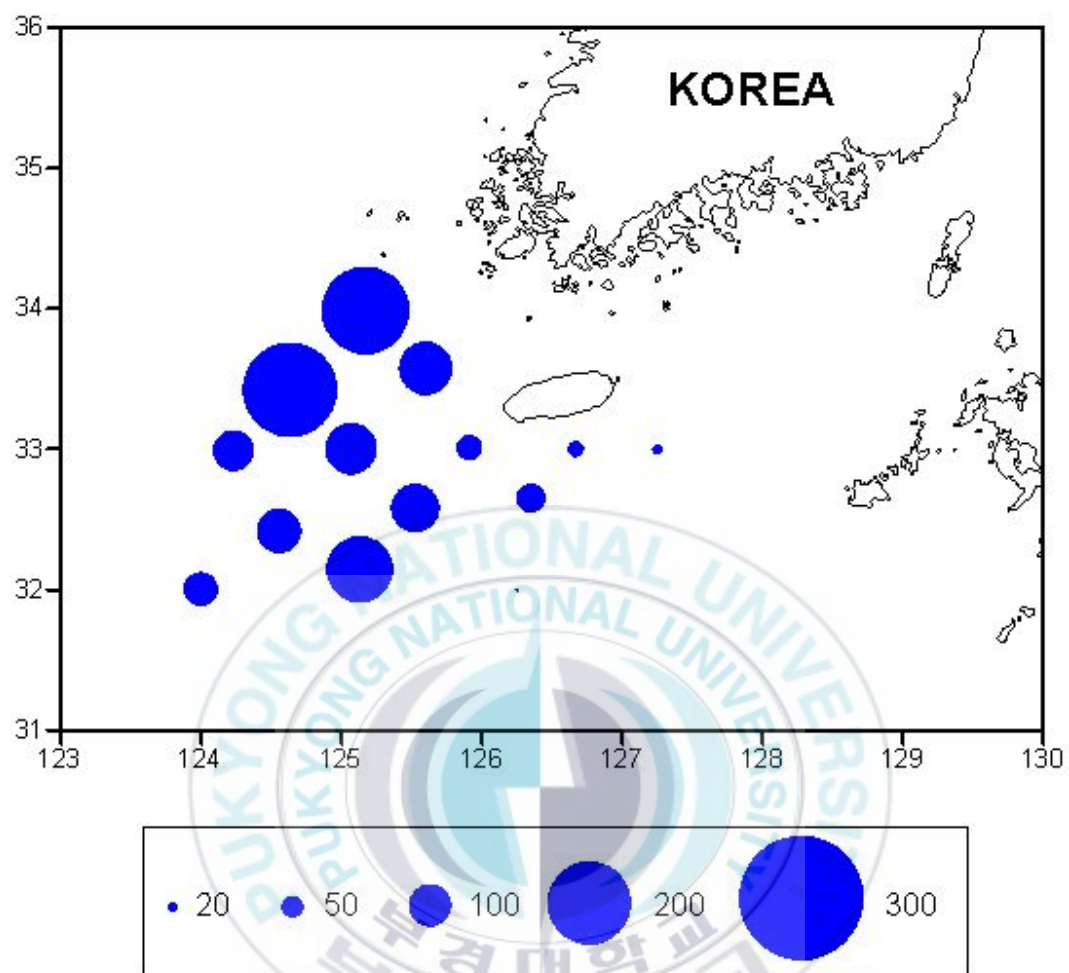


Fig. 18. Horizontal distribution of abundance (ind. m⁻³) of *Calanus sinicus* in the northern East China Sea in July 2006.

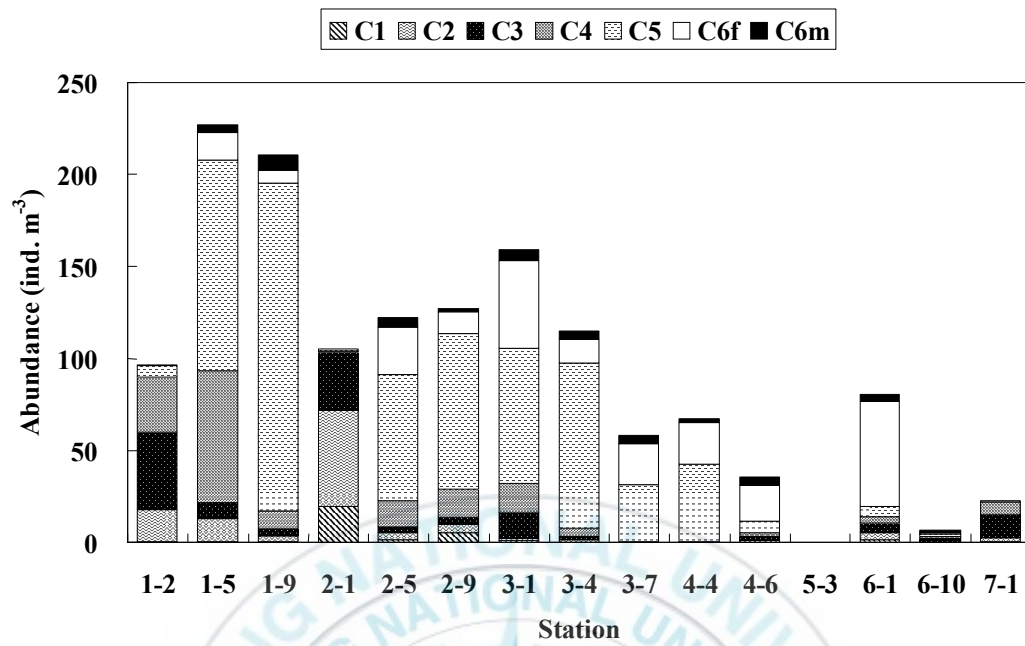


Fig. 19. Stage specific abundance of *Calanus sinicus* in the northern East China Sea in July 2006.

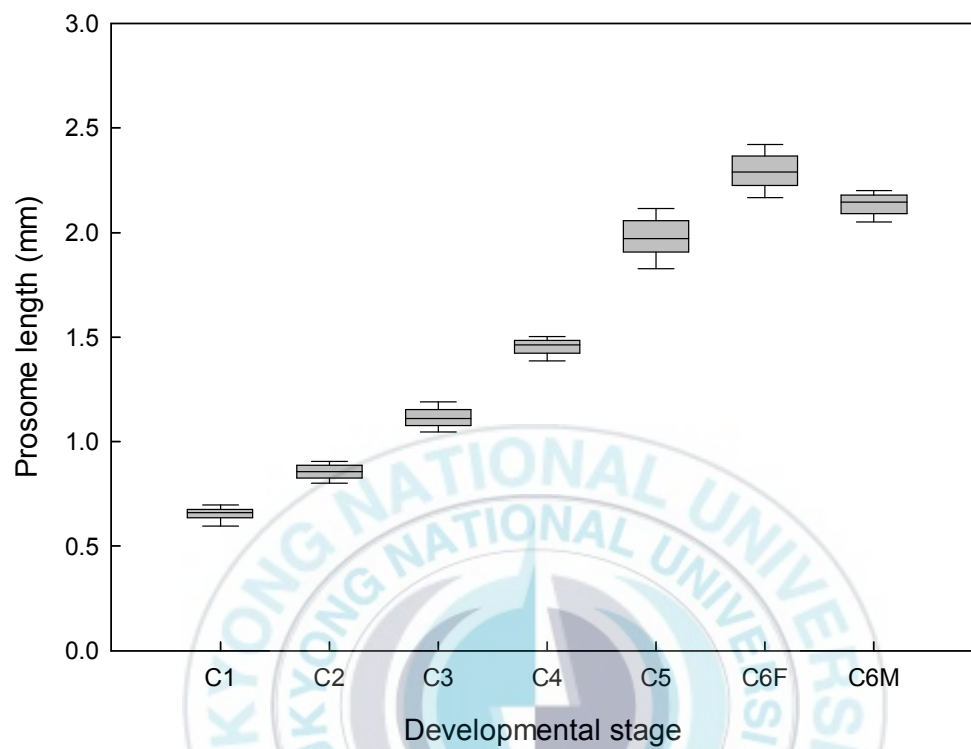


Fig. 20. Variation of prosome length of *Calanus sinicus* in the developmental stages.

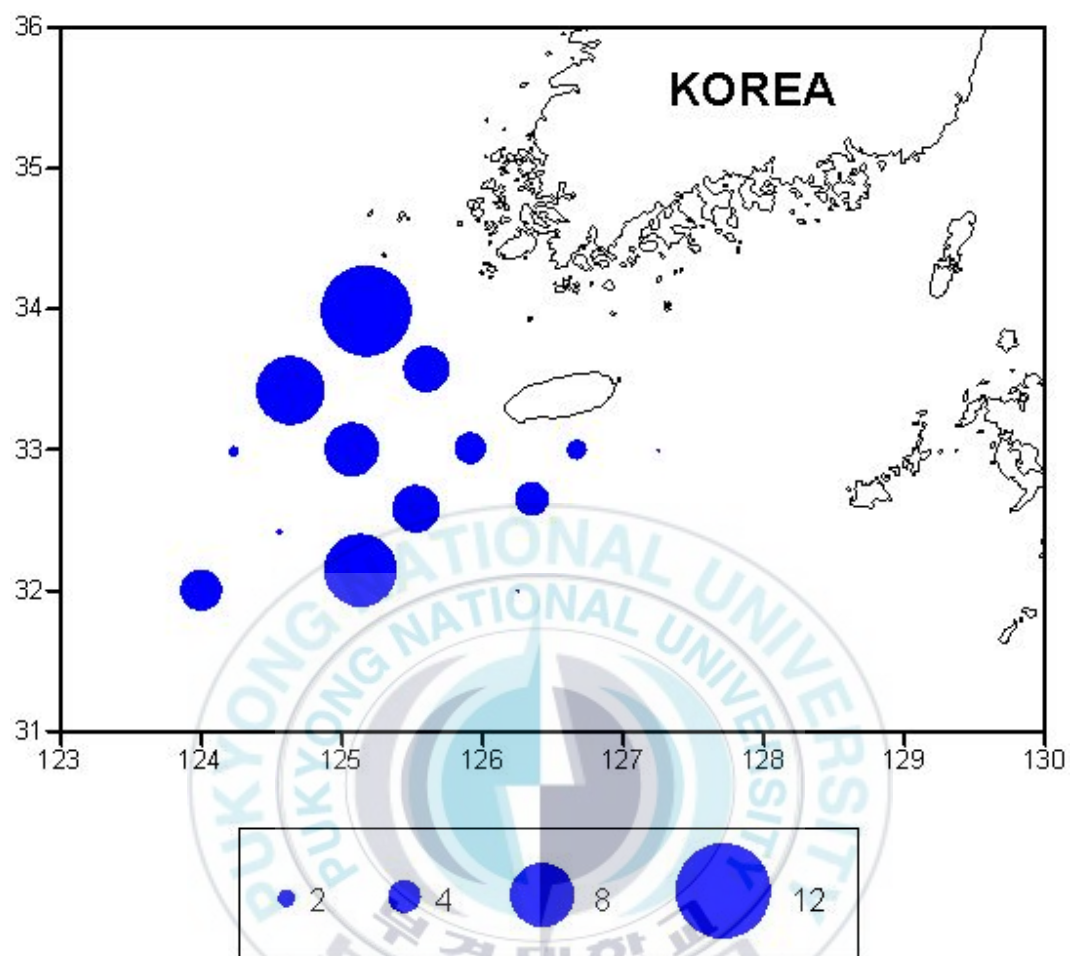


Fig. 21. Horizontal distribution of biomass (mgC m^{-3}) of *Calanus sinicus* in the northern East China Sea in July 2006.

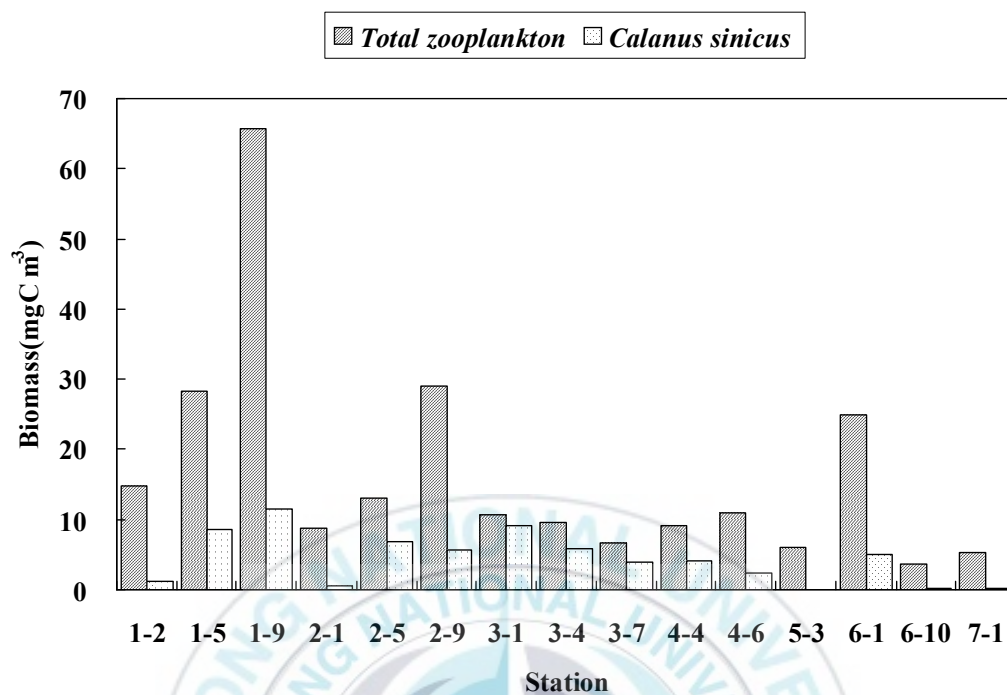


Fig. 22. Biomass (mgC m^{-3}) of mesozooplankton and *Calanus sinicus* in the northern East China Sea in July 2006.

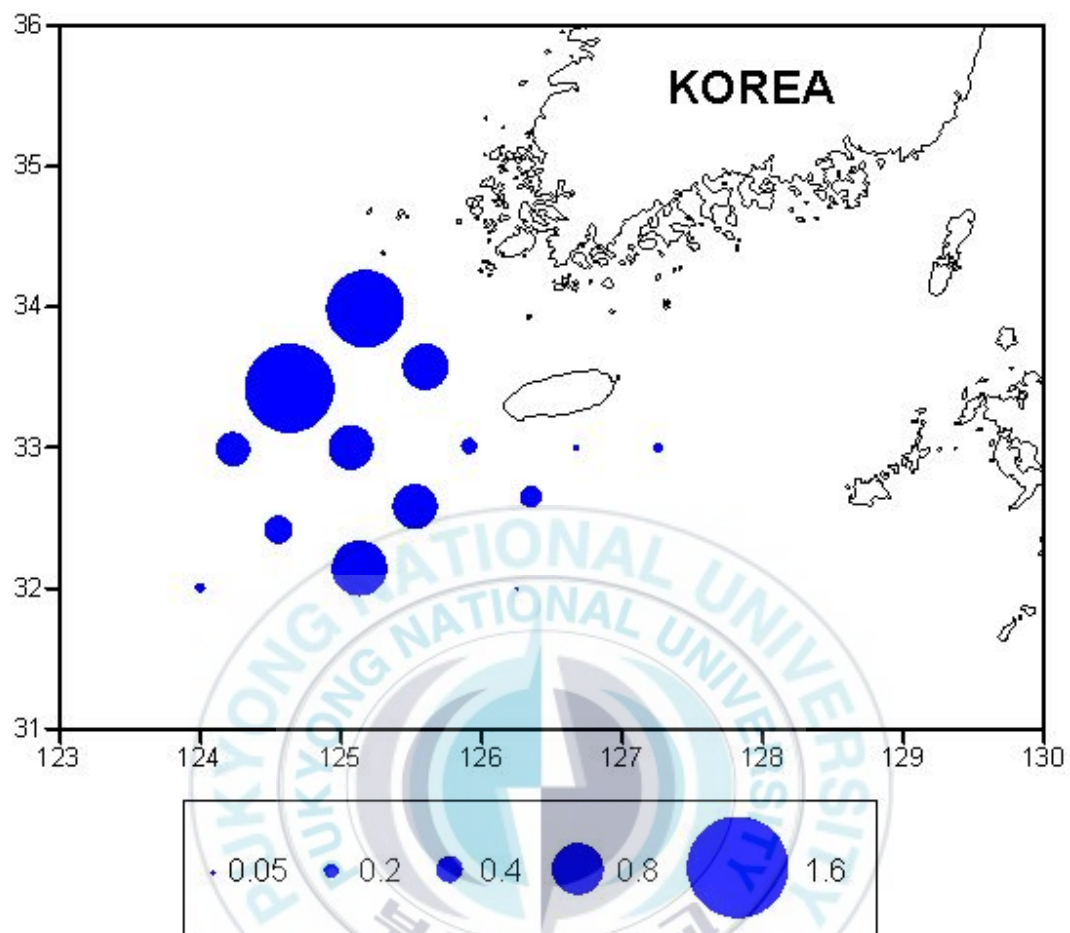


Fig. 23. Horizontal distribution of somatic production rate ($\text{mgC m}^{-3} \text{ day}^{-1}$) of *Calanus sinicus* in the northern East China Sea in July 2006.

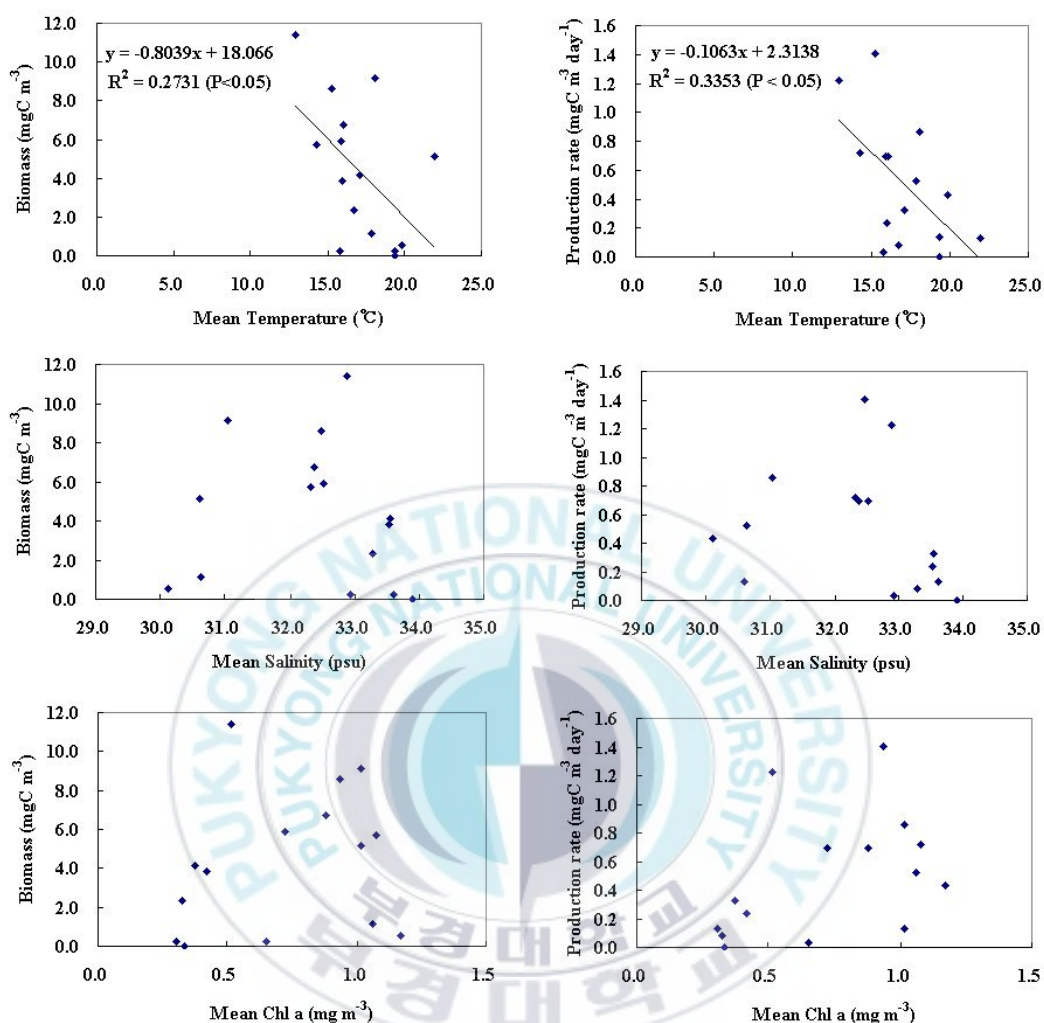


Fig. 24. Relationship between biomass (mgC m⁻³) and somatic production rate (mgC m⁻³ day⁻¹) of *Calanus sinicus* and environmental variables in the northern East China Sea in July 2006.

IV. 고찰

여름철 동물플랑크톤 개체수 분포는 Lee (2004)가 동일한 해역에서 1997년 8월과 2000년 7월에 조사를 실시하였으며, 평균 개체수는 각각 583 ind. m^{-3} , 224 ind. m^{-3} 이었다. 또한, 1997년 8월의 공간적 분포 양상은 황해 남부 해역과 제주도 남서쪽 해역에서 동물플랑크톤 개체수가 많았으며, 2000년 7월은 남해 연안역에서 개체수가 많았다고 보고하였다. 본 연구 결과에서는, 전체 해역에서 동물플랑크톤 평균 개체수는 2439 ind. m^{-3} 이었으며, 제주도 서쪽에 위치한 해역에서 많은 개체가 출현하였으며, 제주도 주변 및 남동부 해역에 위치한 해역에서는 매우 적은 개체가 출현하였는데, Lee (2004)의 1997년 8월의 결과와 동일하였고, 2000년 7월 결과와는 다른 양상이었다. 이는 2000년 7월에 저염분수의 유입이 적어 최고 수온과 최저 수온이 1997년 7월의 범위보다 조금 낮았고, 1997년 8월에는 고온-저염수인 담수의 영향이 컸다고 보고하였는데(Lee, 2004), 본 조사 해역의 해양환경은 1997년 8월과 매우 유사하였기 때문으로 생각된다.

Kang과 Lee (1991)는 1977~1986년간에 걸쳐 채집된 동물플랑크톤의 현존량에 관한 연구를 하였다. 이 연구 결과는 동물플랑크톤 생체량을 습중량(mg m^{-3})으로 표현하였기 때문에 탄소량(mgC m^{-3})으로 나타낸 본 연구 결과와 직접적인 비교는 어렵지만 동물플랑크톤의 양적 변동에 대한 정보는 줄 수 있을 것이다. 2006년 7월에 조사한 동물플랑크톤 생체량은 16.5 mgC m^{-3} 로 제주도 북서쪽의 황해와 인접한 해역에서 높게 나타났으며, 나머지 조사 해역에서는 낮았다. Kang과 Lee (1991)는 8월의 경우, 우리나라 전 해역 동물플랑크톤의 생체량 범위는 $25 \sim 221 \text{ mg m}^{-3}$ 이었으며, 서해의 태안반도 서쪽 해역과 제주도 동쪽 외해역이 타해역에 비해 높게 나타났다고 보고하여, 본 연구 결과와 차이가 있었다. 한 등(1998)의 연구 결과에서는 6월에 제주도 서쪽 해역에서

생물량이 많았고, 남해 연안역과 제주도 동쪽 해역은 생체량이 적었으며, 8월의 경우, 제주도 북서 해역과 남해안 서쪽에서 높은 생체량이 그 외 지역에서는 생체량이 낮았음을 보고하여, 본 연구 결과와는 비슷하였다. 본 연구에서 황해와 인접한 정점에서 생체량이 최대였던 이유로는 다른 정점에서 매우 적게 출현하거나 출현하지 않았던 난바다곤쟁이류가 상대적으로 많았기 때문으로 생각된다.

주요 상위 분류군별 조성률을 보면, 가장 우점한 분류군은 요각류로 87.2% 이었고, 이러한 결과는 Kang과 Lee (1991)의 서해 남부지역에서의 8월의 결과와 유사하였다. Lee (2004)는 요각류의 조성률이 1997년 8월에는 56.4%, 2000년 7월에는 59.0%라는 결과를 보고하여 본 연구와 다소 차이가 있었다. 평균 개체수와 조성률에서 차이를 보이는 이유는 연구 해역이 정확히 일치하지 않은 점과 채집 방법, 채집 도구, 연간변동의 차이 때문으로 판단된다. 특히, Lee (2004)는 망구 1×1 m, 망목 크기 333 μm 인 네트를 부착한 MOCNESS를 사용하였고 본 연구에서는 망구 65 cm, 망목 크기 200 μm 인 원추형네트를 사용하였다. 동일한 지역에서 같은 방법으로 채집을 하더라도 채집 도구의 차이에 따라 군집구조가 달라질 수 있다. 즉, 망구가 작을 경우에는 비교적 크고 유영 능력이 있는 동물플랑크톤은 네트 회피 능력에 의해 채집에 어려움이 있을 수 있고, 망목 크기가 작을 시에는 작은 개체만을 선택적으로 많이 채집할 가능성이 있다(Lee and Park, 2004). 또한, 동물플랑크톤은 불균등(patchy) 분포를 하기 때문에 수직으로 네트를 끌었을 경우, 수평채집 또는 경사채집의 결과와 다를 수도 있을 것이다. 하지만 수직채집은 낮과 밤을 고려하지 않는 현장 조사에서 동물플랑크톤의 수직이동에 의한 영향을 최소화 할 수 있다는 이점이 있다.

채집된 동물플랑크톤 군집을 분석한 결과, 제주도 남서부 끝 정점 6-1에서만 척삭동물이 가장 우점 하였으며, 요각류의 출현 비율은 상대적으로 낮았다.

척삭동물은 먹이 크기에 대한 제한이 적고, 연중 일정한 양으로 분포하는 것으로 알려진 picoplankton과 같은 매우 작은 먹이도 섭이할 수 있기 때문에 열악한 환경에서도 잘 번식할 수 있는 능력이 있다(Katechakis *et al.*, 2004). 또한 본 연구에서는 특히, 척삭동물이 대마난류에 의해 남해안으로 대량 수송되어 영양염 농도가 높은 장강 유출수의 영향을 받아 충분한 먹이생물이 공급되어 급격히 증가하였고, 이러한 척삭동물의 대량 발생이 상대적으로 먹이 경쟁관계에 있는 요각류의 개체수에 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다(Kang *et al.*, 2000).

전체 해역에서 주요 우점 동물플랑크톤은 *Paracalanus* copepodite, *Paracalanus parvus*, *Oithona similis*, *Oithona* copepodite 등의 소형 요각류가 대부분이었다. 이러한 소형 요각류는 각 개체가 동물플랑크톤 군집과 생체량에 미치는 부분은 미미하나 대량번식을 하기 때문에 해양생태계에서 중요한 종들이다(Turner, 2004). Noda *et al.* (1998)은 쿠로시오 난류종에 대하여 보고한 바가 있는데, 본 연구에서 출현한 난류성 요각류인 *Cosmocalanus darwini*, *Nannocalanus minor*, *Undinula vulgaris*와 *Mesocalanus tenuicornis*의 분포를 살펴본 결과, 매우 적은 개체가 제주도 남동부 해역에 국한되어 출현하였는데, 이는 쿠로시오의 지류인 대마난류의 영향이 제주도 동쪽에서 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 최근 기후변화에 따른 해양 환경 변화는 쿠로시오해류 및 대마난류의 수송량 변화를 야기 시킬 수 있기 때문에, 이러한 난류성 동물플랑크톤을 모니터링 함으로써 기후변화에 따른 해양 환경 변화가 북부 동중국해를 포함하는 한국 주변 해역에 미치는 영향을 간접적으로 파악할 수 있을 것이다.

조사 해역인 북부 동중국해의 수괴는 4개로 나눌 수 있었다. 첫째, 제주도를 기준으로 남서부 해역에 분포하며 장강 유출수의 영향을 받은 고온-저염수, 둘째, 제주도 북서쪽의 황해와 인접한 해역에 분포하며 황해 저층 냉수의

영향을 받은 저온-고염수, 셋째, 제주도 남부 해역과 남동부 해역에서의 대마난류의 영향을 받은 중온-고염수, 넷째, 각 수괴가 만나는 해역에서는 고온-저염수, 저온-고염수 그리고 중온-고염수가 섞이면서 혼합수가 존재하였다. 여름철 동중국해의 해양 환경에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 장강 유출수가 우리나라 근해인 동중국해 북부 해역으로 유입되는지 여부는 유출된 담수의 양보다는 바람의 방향에 의해 주로 결정된다고 알려졌으며(Beardsley *et al.*, 1985; Su and Weng, 1994), Kim *et al.* (2007)은 2006년 7월 장강 유출수는 이전 조사에 비해 상당한 양이 유입되었고, 표층에서 질산염과 인산염 농도가 증가하였기 때문에 식물플랑크톤 번성이 일어나 Chl *a* 농도가 증가하였다고 보고하였다. 또한 표층 수온은 대마난류의 영향을 받는 제주도 동부 해역보다 장강에 인접한 서부 해역에서 높았는데 이는 동중국해에서 장강을 통해 해양으로 유입된 담수가 해수와 섞여서 표층에 수 미터 두께의 렌즈 형태로 존재하고 여름동안 강한 태양 에너지를 받으면서 주변 해수보다 높은 수온을 나타내게 되기 때문이다(Gong *et al.*, 1996).

우리나라에서 주요 요각류 중 하나인 *Calanus sinicus*에 대한 연구는 황해(김과 임, 1999), 아산만 지역(Park and Lee, 1995), 남해와 제주도 동부 해역(Kang and Hong, 1998)에서 이루어졌으며, 난류의 영향을 받는 북부 동중국해에서의 *C. sinicus* 개체군에 대한 연구는 없었다. 김과 임(1999)은 황해 전체 해역에서 조사를 실시한 결과, 황해에서 *C. sinicus*의 출현 양상은 위도나 연안이나 근해에 따른 차이가 없는 것으로 보고하였다. 또한, *C. sinicus*의 출현량은 6월에 262 ind. m^{-3} , 8월에 179 ind. m^{-3} , 10월부터 감소하기 시작하여 12월에 32 ind. m^{-3} , 2월부터 다시 증가하기 시작하여 4월에 239 ind. m^{-3} 인 것으로 나타났다. 본 연구에서 2006년 7월의 *C. sinicus* 출현량은 95.6 ind. m^{-3} 로 황해의 여름철보다는 적었으나, 겨울철보다는 많은 개체가 출현하였다. Kang과 Hong (1998)은 남해에서 제주도 동부해역까지 일직선으로 조사한 결

과, *C. sinicus*는 겨울에서 이른 봄까지 많이 출현하였고, 8월이면 대부분 사라진다고 하였다. 본 연구에서 Kang과 Hong (1998)의 조사 해역과 가장 근접한 제주도 남동부 해역에서 *C. sinicus* 출현량은 매우 적거나 출현하지 않아 과거 결과와 유사하였다.

*Calanus sinicus*에 대한 중국의 연구는 Wang과 Zuo (2004)가 황해에서 제주도 서쪽 해역까지 조사하였으며, *C. sinicus*는 여름철의 높은 수온을 피하기 위해 황해 저층 냉수에서 분포하고, 황해 저층 냉수는 동중국해 중부까지 영향을 미친다고 하였다. 그러나 우리나라와 근접한 북부 동중국해에서의 조사는 이루어지지 않았다. 본 연구 결과에서 *C. sinicus*의 생체량은 황해와 가장 인접한 해역에서 높았다. 이는 *C. sinicus*가 황해에서의 우점종이며 겨울철 동안 형성된 황해 저층 냉수가 여름철에 황해로부터 동중국해로 유입함을 의미한다. *C. sinicus*의 생체량은 제주도를 기준으로 서쪽에 분포한 정점에서 비교적 고르게 분포하여 황해 저층 냉수가 조사 해역의 남서부 끝 해역까지 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

*Calanus sinicus*의 생체량과 몸 생산력은 제주도를 기준으로 서쪽에 위치한 해역에서 높았다(Fig. 21, Fig. 23). *C. sinicus*의 생체량과 몸 생산력의 분포는 동일한 경향을 보이지 않았는데, 생체량은 황해와 가장 인접한 해역인 정점 1-9에서 가장 높았고, 몸 생산력은 정점 1-5에서 가장 높았다. 정점별로 생체량과 몸 생산력을 비교하면, 정점 1-2와 2-1에서는 생체량은 낮았지만 그에 비해 몸 생산력은 높았고, 정점 6-1에서는 생체량은 높았으나 반면에 몸 생산력은 낮았다. 이는 정점 1-2와 2-1에서는 활발히 성장하는 유생 단계의 개체들이 많았기 때문이며, 정점 6-1에서는 성체의 비율이 상대적으로 높아 생체량은 높았지만 몸 생산력은 낮았던 것으로 추정된다. 본 연구에서 몸 생산력 계산에 필요한 성장률의 계산은 Uye (1988)의 식을 사용하였는데, 동일한 종을 대상으로 한 계산식이긴 하나, 서식 환경 조건에 따라 다양한 적응

기작을 가질 수 있기 때문에 실제 조사 해역에서 직접적으로 성장률을 추정하는 것이 가장 바람직하다. 그러나 이러한 세부적인 연구 주제는 향후 연구가 더 필요한 분야이며, 본 논문의 연구 범위를 벗어난다고 판단된다.

한편 개체군 생산력은 성장에 의한 생산력과 성체 암컷의 알 생산력이 모두 포함된 의미이나, 본 연구에서는 현장 실험의 어려움과 과거 성체 암컷의 알 생산력의 기여율이 낮았던 바, 알 생산력 실험을 제외하였다. 그러나 알 생산력은 개체군의 관점에서 보면 사망과 대응되는 재가입의 변수로서 매우 중요하며, 개체의 관점에서 보면 성체로 성장한 후의 성장으로 간주될 수 있다는 점에서 매우 중요한 변수이다(Sekiguchi *et al.*, 1980; Uye, 1981; Park and Landary, 1993). 따라서 알 생산력에 대한 다른 연구 결과를 살펴보았다(Table 3). Park과 Lee (1995)는 먹이가 충분한 조건에서 본 종의 여름철 알 생산력은 $0 \text{ eggs female}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 라고 하였으며, Kang (unpublished data, 2004)은 *C. sinicus*가 가장 활발히 번식하는 것으로 알려진 봄철에도 알 생산력은 $5.8 \text{ eggs female}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 로, 전체 생산력에 대한 알 생산력의 비율은 평균 3.2%로 상대적으로 낮다고 보고하였다. Zhang *et al.* (2005)은 여름철 황해에서의 알 생산력은 평균 $3.6 \text{ eggs female}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 이었고, 이 계절에는 높은 수온을 피해 황해 저층 냉수에서 C5기가 우점 하여 분포하고 번식을 멈춘다고 하였다(Wang *et al.*, 2003). 여름철 *C. sinicus*의 성체 암컷 한 개체가 하루에 생산하는 알 개수(Zhang *et al.*, 2005)에 알 하나당 탄소량인 $0.36 \mu\text{g}$ (Kjørboe *et al.*, 1985)을 곱하고, 본 조사에서 얻은 결과인 성체 암컷 한 개체의 평균 무게로 나누어, 성체 암컷의 단위 무게당 일일 알 생산률(specific egg production rate, day^{-1})을 계산하였다. 성체 암컷의 단위 무게당 일일 알 생산률을 본 연구에서 조사된 정점별 *C. sinicus* 성체 암컷 총 생체량에 곱하여 전체 생산력(몸 생산력(본 조사 결과)+알 생산력(추정치))을 추정하였다. 그 결과, 조사 해역에서 *C. sinicus*의 전체 생산력에 대한 알 생산력의 비율은 평균

4.26%이고, 정점별로 전체 생산력에 대한 알 생산력의 비는 대부분 0.01~10.88%이었으며, 정점 4-6과 6-1에서는 각각 22.81%와 34.06%이었다. 두 정점에서 전체 생산력에 대한 알 생산력의 비율이 매우 높았던 이유는 다른 해역에 비해 성체 암컷의 출현량은 많았지만 유생 단계와 성체 수컷의 출현량은 상대적으로 낮았기 때문이다.

본 조사에서 *Calanus sinicus*의 생체량은 수온이 높아질수록 감소하였고 ($P<0.05$), 염분과의 상관성은 뚜렷하지 않았는데, 본 종이 염분에 대한 영향을 거의 받지 않는다는 과거 연구 결과와 동일하였다(Uye, 2000). 또한, Chl *a* 농도에도 큰 상관성을 보이지 않았는데 이는 *C. sinicus*가 식물플랑크톤 이외의 다른 먹이를 이용하였을 가능성도 있기 때문이다. 또 다른 요인으로 먹이조건이 *C. sinicus*의 건강상태에 많은 영향을 끼치는 것으로 알려졌지만(Pu *et al.*, 2004a), *C. sinicus*는 고온의 여름철에서 살아남기 위하여 C5기 이전에 에너지를 대부분 축적하고 에너지 소비를 늦춘 채 황해 저층 냉수에서 휴면상태로 여름을 지내는 생존 전략을 가지고 있는 것과 연관이 있을 것이다(Pu *et al.*, 2004b). *C. sinicus*의 몸 생산력 역시 수온이 증가함에 따라 감소하였으며 ($P<0.05$), 염분이나 Chl *a*와 유의한 상관성이 없었다. 이러한 이유는 몸 생산력 계산식에 이용되는 성장률은 수온의 함수로 수온이 증가할수록 성장률도 증가하기 때문이라 생각된다.

Table 3. Comparison of egg production rate (eggs female⁻¹ day⁻¹) of *Calanus sinicus* in different regions

Species	Date	Temp. (°C)	Egg production rate		Region	Source
			(eggs female ⁻¹ day ⁻¹)	(mgC female ⁻¹ day ⁻¹)		
<i>Calanus sinicus</i>	Sep. 20	22.1	7.6	—	Asan Bay	Park and Lee (1995)
	Oct. 16	19.3	1.2	—		
	Nov. 29	10.1	0.2	—		
	Feb. 17	3.9	0	—		
	Apr. 9	6.4	16.3	—		
	May 14	13.6	12.1	—		
	May 31	14.4	2.7	—		
	Jul. 3	18.1	0	—		
	Aug. 6	24.1	0	—		
<i>C. sinicus</i>	April		5.8	1.6	Northern East China Sea	Kang (unpublished data, 2004)
<i>C. sinicus</i>	Jan.		3.31	1.19	Southern Yellow Sea	Zhang <i>et al.</i> (2005)
	Mar.		3.17	1.14		
	May		5.97	2.15		
	Jun.		5.36	1.93		
	Jul.		5.78	2.08		
	Aug.		1.36	0.49		
	Sep.		1.87	0.67		
	Oct.		1.07	0.39		
	Nov.		4.31	1.55		
<i>C. sinicus</i>		27.0	4.1	—	Yellow Sea	Zhang <i>et al.</i> (2007)
	Aug.	12.0	8.1	—		
		9.8	9.0	—		

V. 요약

여름철 북부 동중국해는 제주도를 기준으로 남서쪽은 장강 유출수, 북서쪽은 황해 저층 냉수, 남동쪽은 대마난류의 영향을 받으며, 제주도 남부 해역에서는 그 중간 수역으로 여러 수괴가 혼합되어 나타났다. 제주도 남서부 해역에서는 장강 유출수인 담수의 영향으로 고온-저염수가 분포하였다. 영양염이 풍부한 장강 유출수로 인하여 식물플랑크톤의 번성이 일어나 Chl *a* 농도가 증가하였다. Chl *a* 농도의 증가는 식물플랑크톤을 먹이로 하는 동물플랑크톤의 분포에 영향을 주었다. 본 연구에서 담수의 영향으로 인하여 제주도 서부 해역이 난류의 영향을 많이 받는 제주도 남동부 해역보다 수온이 더 높게 나타났다. 제주도 남서부 끝 정점 6-1에서 척삭동물이 크게 번성하였다. 제주도 북서쪽 황해와 인접한 해역에서는 황해에서 겨울동안 형성된 황해 저층 냉수에 기원한 저온-고염수가 분포하였다.

수심이 얕고 평균 수온이 높은 여름철 북부 동중국해에서 대부분 출현하지 않을 것이라 예상하였던 요각류 *Calanus sinicus*가 황해 저층 냉수의 영향으로 거의 모든 해역에서 출현하였다. 여름철 높은 수온에도 불구하고 연구 해역에서 본 종이 출현하였으므로, 여름 이외의 계절에서 출현량은 더 많을 수도 있을 것이다. 또한 여름동안 *C. sinicus*의 생산력에서 알 생산력이 차지하는 비율은 낮았으나, 재생산력 관점에서 중요하기 때문에 향후 알 생산력 실험이 요구된다. 그리고 북부 동중국해에서 *C. sinicus*의 계절에 따른 분포 양상과 생산력을 제대로 알기 위해서는 지속적인 조사가 필요하다.

제주도 남동부 해역에서는 쿠로시오해류의 지류인 대마난류의 영향을 받아 중온-고염의 수괴가 존재하였으며, 다른 해역에 비해 동물플랑크톤의 총 출현 개체수는 적었으나 다양한 종이 나타났으며, 특히 난류성 요각류인 *Cosmocalanus darwini*, *Nannocalanus minor*, *Undinula vulgaris*와

*Mesocalanus tenuicornis*가 특징적으로 분포하였다. 전체 조사 해역에서는 *Paracalanus* copepodite, *Paracalanus parvus*, *Oithona similis*, *Oithona* copepodite 등의 소형 요각류가 우점 하였다.

북부 동중국해는 다양한 환경의 영향을 복합적으로 받기 때문에 기후변화에 따라 북부 동중국해의 해양 환경이 어떠한 영향을 받는지를 이해하기 위해서는 향후 지속적인 모니터링이 필요할 것이다.



VI. 참고문헌

- 교육부, 1998. 한국 동식물 도감 제35편 해양동물플랑크톤 편. 교육부, pp. 415.
- 김세화, 임동현, 1999. 황해 *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida)의 시공 분포와 체장변동. 용인대학교 논문집, 제17집, 215-225.
- 김원록, 1987. 한국산 모악류의 분류학적 연구. 부산수산대학교 박사학위논문, pp. 55.
- 이석우, 1992. 한국 근해 해상지. 집문당, pp. 334.
- 한상복, 강영실, 오현주, 장이현, 1998. 한국 근해 30년 평균 동물플랑크톤 현존량 및 변동범위(1966-1995). 국립수산진흥원, pp. 116.
- Al-Mutairi, H. and Landry, M. R., 2001. Active export of carbon and nitrogen at Station ALOHA by diel migrant zooplankton. Deep-Sea Res. II, 48, 2083-2103.
- Banse, K., 1994. Grazing and zooplankton production as key controls of phytoplankton production in the open ocean. Oceanography, 7, 13 - 20.
- Beardsley, R. C., Limeburner, R., Yu, H. and Cannon, G. A., 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Cont. Shelf Res., 4, 57-76.
- Boucher, M., 1984. Localization of zooplankton populations in the Ligurian marine front: role of ontogenic migration. Deep-Sea Res., 29, 953-965.
- Boucher, M., Ibanez, F. and Prieur, L., 1987. Daily and seasonal variations in the spatial distribution of zooplankton populations in relation to the physical structure in the Ligurian Sea Front. J. Mar. Res., 45,

133-173.

- Chihara, M. and Murano, M., 1997. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai University Press, pp. 1574.
- Cushing, D. H., 1990. Plankton production and year-class strength in fish-populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv. Mar. Biol.*, 26, 249-293.
- Dam, H. G., Miller, C. A. and Jonasdottir, S. H., 1993. The trophic role of mesozooplankton at 47°N, 20°W during the North Atlantic Bloom Experiment. *Deep-Sea Res.*, 40, 197-212.
- Dauvin, J.-C., Thiebaut, E. and Wang, Z., 1998. Short-term changes in the mesozooplanktonic community in the Seine ROFI (Region of Freshwater Influence) (eastern English Channel). *J. Plankton Res.*, 26, 1049-1057.
- Edmond J. M., Spivack, A., Grant, B. C., Hu, M.-H., Chen, Z., Chen, S. and Zeng, X., 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. *Cont. Shelf Res.*, 4, 17-36.
- Fang, G., Zhao, B. and Zhu, Y., 1991. Water volume transport through the Taiwan Strait and the continental shelf of the East China Sea measured with current meters. In: Takano, K., ed., *Oceanography of Asian Marginal Seas*. Elsevier, New York, pp. 345-358.
- Gong, G.-C., Chen, Y.-I. and Liu, K.-K., 1996. Chemical hydrography and chlorophyll *a* distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrient dynamics. *Cont. Shelf Res.*, 16, 1561-1590.
- Hwang, J.-S. and Wong, C. K., 2005. The China Coastal Current as a driving force for transporting *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida)

- from its population centers to waters off Taiwan and Hong Kong during the winter northeast monsoon period. J. Plankton Res., 27, 205-210.
- Kang, Y. S. and Hong, S. Y., 1998. Seasonal variations in distribution, population structure and prosome length of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the Southern Waters of Korea. J. Korean Soc. Oceanogr., 33, 28-34.
- Kang, H.-K., Kang, Y. J. and Park, C., 2007a. Production of *Acartia omorii* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, southeastern coast of Korea. J. Marine Syst., 67, 236-244.
- Kang, J.-H., Kim, W.-S., Jeong H. J., Shin, K. S. and Chang, M., 2007b. Why did the copepod *Calanus sinicus* increase during the 1990s in the Yellow Sea? Mar. Env. Res., 63, 82-90.
- Kang, Y. S., Jo, Y. J., Go, W. J., Kim, S. S., Jeon, K. A. and Oh, H. J., 2000. Swarm of Salps (Tunicata: Thaliacea) and its impact on marine ecosystem in the South Sea of Korea. J. Korean Soc. Oceanogr., 5(1), 47-58.
- Kang, Y. S. and Lee, S. S., 1991. Seasonal fluctuation of zooplankton biomass in the adjacent of Korea. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 45.
- Katechakis, A., Stibor, H., Sommer, U. and Hansen, T., 2004. Feeding selectivities and food niche separation of *Acartia clausi*, *Penilia avirostris* (Crustacea) and *Doliolum denticulatum* (Thaliacea) in Blanes Bay (Catalan Sea, NW Mediterranean). J. Plankton Res., 26, 589-603.

- Kim, D., Kim, K. H., Shim, J. H. and Yoo, S. J., 2007. The distribution and interannual variation in nutrients, chlorophyll-*a* and suspended solids in the northern East China Sea during the summer. *Ocean and Polar Res.*, 29(3), 193-204.
- Kim, K., Rho, H. K. and Lee, S. H., 1991. Water masses and circulation around Cheju-Do in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26(3), 262-277.
- Kjørboe, T., Møhlenberg, F. and Nicolajsen, H., 1985. Bioenergetics of the planktonic copepod *Acartia tonsa*: Relation between feeding, egg production and respiration, and composition of specific dynamic action. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 26, 85-97.
- Lan, Y.-C., Shih, C.-T., Lee, M.-A. and Shieh, H.-Z., 2004. Spring Distribution of Copepods in the Northern Taiwan Strait. *Zool. Stud.*, 43(2), 332-343.
- Lee, P. G., 2004. Characteristics of water mass and mesozooplankton community in the Northern East China Sea. Ph.D. Thesis, Chungnam National University, pp. 202.
- Lee, P. G. and Park, C., 2004. Impact of mesh size difference on zooplankton distribution data and community interpretation. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 9(1), 13-19.
- Lee, S. S., 1986. Morphological studies of developmental copepodid stage of Calanoids in the Southern costal Water of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 37, 45-150.
- Legendre, L. and Rivkin, R. B., 2002. Fluxes of carbon in the upper ocean: regulation by food-web control nodes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 242, 95 - 109.

- Liang, D. and Uye, S., 1996. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. II. *Acartia omorii*. Mar. Biol., 125, 109-117.
- Lie, H.-J. and Cho, C.-H., 2002. Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea. Fish. Oceanogr., 11(6), 318-328.
- Morales, C. E., Bautista, B. and Harris, R. P., 1990. Estimates of ingestion in copepod assemblages: gut fluorescence in relation to body size. In: Trophic relationships in the marine environment, proceedings of the 24th European Marine Biology Symposium, Barnes, M. and Gibson, R. N., ed., Aberdeen University Press, 565-577.
- Morales, C. E., Bedo, A., Harris, R. P. and Tranter, P. R. G., 1991. Grazing of copepod assemblages in the north-east Atlantic: the importance of the small size fraction. J. Plankton Res., 13, 455-472.
- Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. Mar. Sci. Technol., Spec. no., 199-367.
- Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio. In: Stommel, H. and Yoshida, K. eds., Kuroshio University of Tokyo Press, Tokyo, Japan, 353-369.
- Noda, M., Ikeda, I., Ueno, S., Hashimoto, H. and Gushima, K., 1998. Enrichment of coastal zooplankton communities by drifting zooplankton patches from the Kuroshio front. Mar. Ecol. Prog. Ser., 170, 55-65.
- Oh, H. J., Kang, Y. S. and Park, J. H., 1999. Distributional characteristics of Chlorophyll-*a* and oceanographic conditions in the Northern part of

- Esat China Sea. J. Korean Fish. Soc., 32(1), 88-97.
- Omori, M. and Ikeda, T., 1984. Methods in Marine Zooplankton Ecology. John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 311.
- Park, C. and Landary, M. R., 1993. Egg production by the subtropical copepod *Undinula vulgaris*. Mar. Biol., 117, 415-421.
- Park, C. and Lee, P. G., 1995. Egg production by Marine Copepod *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 28(1), 105-113.
- Pu, X.-M., Sun S., Yang, B., Ji, P., Zhang, Y.-S. and Zhang F., 2004a. The combined effects of temperature and food supply on *Calanus sinicus* in the southern Yellow Sea in summer. J. Plankton Res., 26, 1049-1057.
- Pu, X.-M., Sun, S., Yang, B., Zhang, G.-T. and Zhang, F., 2004b. Life history strategies of *Calanus sinicus* in the southern Yellow Sea in summer. J. Plankton Res., 26, 1059-1068.
- Roman, M. R., Yentsch, C. S., Gauzens, A. L. and Phinney, D. A., 1986. Grazer control of the fine-scale distribution of phytoplankton in warm-core Gulf Stream rings. J. Mar. Res., 44, 795-813.
- Runge, J. A. and Roff, J. C., 2000. The measurement of growth and reproductive rates. In: ICES Zooplankton Methodology Manual. Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H. R. and Huntly, M. eds. Academic Press, London, 401-454.
- Sekiguchi, H., McLaren, I. A. and Corkett, C. J., 1980. Relationship between growth rate and egg production in the copepod *Acartia clausi hudsonica*. Mar. Biol., 58, 133-138.
- Seo, J. W., 2000. Water mass and zooplankton distribution in the Northern

- East China Sea in summer of 1997 and winter of 1998. MS Thesis, Chungnam National University, pp. 64.
- Shih, C.-T. and Chiu, T.-S., 1998. Copepod diversity in the water masses of the southern East China Sea north of Taiwan. *J. Marine Syst.*, 15, 533-542.
- Small, L. F., Knauer, G. A. and Tuel, M. D., 1987. The role of sinking fecal pellets in stratified euphotic zones. *Deep-Sea Res.*, 34, 1705-1712.
- Small, L. F., Landary, M. R., Eppley, R. W., Azam, F. and Carlucci, A. F., 1989. Role of plankton in the carbon and nitrogen budgets of Santa Monica Basin, California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 56, 57-74.
- Son, Y.-U., 2006. Distribution of zooplankton in the East China Sea in summer from 2001 to 2003. MS Thesis, Yosu National University, pp. 45.
- Su, Y. and Weng, X., 2004. Water mass in China Sea. In: *Oceanography of China Sea*, Zhou, D., Liang, Y.-B. and Zeng, C. K., eds., Kluwer Academic, Netherlands, 3-16.
- Teague, W. J., Jacobs, G. A., Ko, D. S., Tang, T. Y., Chang, K.-I. and Suk, M.-S., 2003. Connectivity of the Taiwan, Cheju, and Korea straits. *Cont. Shelf Res.*, 23, 63-77.
- Turner, J. T., 2004. Importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zool. Stud.*, 43(2), 255-266.
- Uye, S., 1981. Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smimov: a simple empirical model of daily egg production. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 50, 255-271.
- Uye, S., 1988. Temperature-dependent development and growth of *Calanus*

- sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory. *Hydrobiologia*, 167/168, 285-293.
- Uye S., 2000. Why does *Calanus sinicus* prosper in the shelf ecosystem of the Northwest Pacific Ocean? *ICES J. Mar. Sci.*, 57, 1850-1855.
- Uye, S., Huang, C. and Onbe, T., 1990. Ontogenetic diel vertical migration of the planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan. *Mar. Biol.*, 104, 389-396.
- Wang, Rong and Zuo, T., 2004. The Yellow Sea Warm Current and the Yellow Sea Cold Bottom Water, Their Impact in the Distribution of Zooplankton in the Southern Yellow Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 39(1), 1-13.
- Wang, R., Zuo, T. and Wang, K., 2003. The Yellow Sea Cold Bottom Water – *Calanus sinicus* (Copepoda, Crustacea). *J. Plankton Res.*, 25, 169-183.
- Zhang, G.-T., Sun, S. and Zhang F., 2005. Seasonal variation of reproduction rates and body size of *Calanus sinicus* in the Southern Yellow Sea, China. *J. Plankton Res.*, 27, 135-143.
- Zhang, G.-T., Sun, S. and Yang, B., 2007. Summer reproduction of the planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Yellow Sea: influences of high surface temperature and cold bottom water. *J. Plankton Res.*, 29, 179-186.
- Zhang, J., 1996. Nutrient elements in large Chinese estuaries. *Cont. Shelf Res.*, 16, 1023-1045.
- Zhang, Q. L. and Weng, X. C., 1996. Analysis of water masses in the south Yellow Sea in spring. *The Yellow Sea*, 2(1), 74-82.

Appendix 1. Distribution of total mesozooplankton abundance (ind. m⁻³) in the northern East China Sea in July 2006

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
Protozoa	Dinoflagellata	<i>Noctiluca scintillans</i>	2.00	6.36	1.68	22.86		66.13	3.97								
		<i>Pyrocystis noctiluca.</i>											0.72	105.53			144.48
Cnidaria	Foraminifera	Foraminifera							7.94	3.30	0.45		0.54				1.23
	Hydroida	Hydroida	14.00	3.18		5.00	0.13	3.39	10.42				0.02	9.73	2.03		1.23
		<i>Obelia</i> spp.				0.43											
	Trachylina	Trachylina	2.00			1.57								0.03			
		<i>Liriope</i> spp.	4.00	1.85		0.57		1.75	0.50						0.22		0.02
		<i>Solmundella</i> sp.															0.02
		<i>Solmaris</i> spp.				1.21											
	Siphonophora	Siphonophora				0.29	0.05	0.11						3.35			2.78
		<i>Muggiaea</i> spp.	0.50			0.29	0.05	0.05						0.02			
		<i>Diphyes</i> spp.						1.70									0.08
		<i>Abylopsis</i> spp.												0.16			0.50
	Scyphozoa	<i>Nemopilema nomurai</i>	0.04												0.05		
Ctenophora	Atentaculata	<i>Beroe</i> spp.	0.58			0.07			1.05						0.44		
	Tentaculata	Tentaculata				0.14											
Platyhelminthes	Turbellaria	Turbellaria							0.06								
Phoronida		Actinotroch larvae							0.12								

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
Mollusca	Gastropoda	<i>Atlanta</i> spp.												0.25	3.49		0.17
		<i>Creseis</i> spp.												0.13	10.48		0.25
		<i>Diacria</i> spp.												0.06			
		<i>Desmopterus</i> spp.												0.02			0.17
		Gastropoda larvae	6.00	10.60	1.68	8.00	1.29	8.48	44.86	1.36	0.72	1.61	2.60	37.34	48.90	1.83	160.53
	Bivalvia	Bivalvia larvae	409.92	91.13	1.68	5.72	0.43	3.39	1.43	0.39	1.43	1.29	0.27	0.53	101.30	0.10	2.47
	Cephalopoda	Cephalopoda larvae												0.02			0.06
		Cephalopoda egg												0.03			0.10
Annelida	Polychaeta	Polychaeta larvae	29.99	5.30		8.00		11.87	1.30		0.27		0.11	3.97	20.96		4.90
Crustacea	Cladocera	<i>Penilia avirostris</i>	8.00														0.10
		<i>Evadne tergestina</i>	22.00		18.48			0.42									0.10
		<i>Podon</i> sp.	2.00														
	Ostracoda	Ostracoda				36.58		3.39			0.02	0.62	0.47	4.21	10.48	0.50	3.40
	Cirripedia	Cirripedia nauplius			3.36												
	Calanoida	<i>Acartia danae</i>												0.25			0.87
		<i>Acartia negligens</i>															0.15
		<i>Acartia omorii</i>	47.99	199.23	201.65	18.29	8.61	27.13	1.49	3.30	0.54		0.02				
		<i>Acartia pacifica</i>													1.31		0.02

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		<i>Cosmocalanus darwini</i>												0.38			0.17
		<i>Nannocalanus minor</i>											0.07	0.25			
		<i>Calanus sinicus</i>	0.29	23.38	13.65	0.43	29.28	6.89	47.65	40.36	14.3 4	28.37	22.23		90.82	2.21	0.08
		<i>Undinula vulgaris</i>												0.72			0.52
		<i>Neocalanus gracilis</i>											0.04				0.06
		<i>Mesocalanus tenuicornis</i>											0.25	0.25			0.41
		<i>Calanoides philippinensis</i>											0.02				
		<i>Calocalanus</i> sp.															0.02
		<i>Candacia bipinnata</i>															0.02
		<i>Candacia curta</i>															0.02
		<i>Candacia pachydaetyla</i>															0.02
		<i>Centropages abdominalis</i>			2.10		0.11										
		<i>Clausocalanus arcuicornis</i>												0.25			0.66
		<i>Clausocalanus farrani</i>											2.87	0.78			1.85
		<i>Clausocalanus minor</i>									0.99			0.76			2.47
		<i>Clausocalanus furcatus</i>												0.38		0.10	2.49
		<i>Clausocalanus pergens</i>									0.63						
		<i>Ctenocalanus vanus</i>					3.45	0.65		10.96	22.1 9	3.22	5.74	2.68		2.46	16.11

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		<i>Rhincalanus cornutus</i>									0.11	0.18	0.04	0.05			0.02
		<i>Rhincalanus nasutus</i>										0.06	0.04	0.02			0.04
		<i>Eucalanus attenuatus</i>												0.03			
		<i>Eucalanus crassus</i>												0.14			
		<i>Eucalanus hyalinus</i>												0.02			
		<i>Eucalanus mucronatus</i>						0.06	0.19	0.22	0.46	0.67	0.69				0.37
		<i>Eucalanus subcrassus</i>											0.03				0.02
		<i>Eucalanus subtenius</i>										0.07					0.02
		<i>Euchaeta rimana</i>															0.08
		<i>Paraeuchaeta concinna</i>													0.22	0.03	0.15
		<i>Paraeuchaeta plana</i>			1.26		1.72	1.48	0.56	0.92	0.18	12.90	20.80	0.64	0.22	0.03	1.00
		<i>Paraeuchaeta russelli</i>		0.07			6.46	0.42		0.58	2.42	2.90	1.79	1.40		0.40	
		<i>Lucicutia flavicornis</i>									2.87		0.36				0.31
		<i>Mecynocera clausi</i>															0.46
		<i>Pleuromamma gracilis</i>											0.04				0.15
		<i>Pleuromamma robusta</i>							0.19	0.02			0.22				
		<i>Paracalanus aculeatus</i>										0.32		0.51			1.23
		<i>Paracalanus parvus</i>	259.95	915.59	645.28	521.30	289.40	623.96	1,080.14	372.60	68.85	61.91	144.88	2.04	139.72	269.70	76.56

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		<i>Paracalanus</i> spp.	39.99	33.91													
		<i>Labidocera euchaeta</i>													0.28		
		<i>Labidocera rotunda</i>	0.50	0.53											0.22		
		<i>Pontella chierchiae</i>						0.11									
		<i>Scolecithricella bradyi</i>										0.02					
		<i>Scolecithricella minor</i>						0.16									
		<i>Scolecithrix danae</i>									0.02		0.02	0.37			0.31
		<i>Scolecithrix nicobarica</i>								0.05	0.49		0.13	0.13			0.04
		<i>Scolecithrix</i> sp.								0.05							
		<i>Temoropia mayumbaensis</i>									0.18						
		<i>Temora discaudata</i>												0.16	0.22		0.08
Cyclopoida		<i>Oithona atlantica</i>			198.29		56.85	122.08	3.97	521.64	51.64	14.19	21.52			73.85	4.94
		<i>Oithona brevicornis</i>					10.34										
		<i>Oithona longispina</i>											57.38	25.49			83.97
		<i>Oithona plumifera</i>					15.50					2.58		5.61			24.70
		<i>Oithona setigera</i>	2.00	27.55								2.58	21.52	4.59			
		<i>Oithona similis</i>	85.98	154.72	245.34	160.05	315.24	210.25	1,080.14	794.88	344.26	412.72	681.36	154.98	17.47	629.30	177.82
Harpacticoida		<i>Clytemnestra rostrata</i>				9.15							0.02	0.51	10.48	0.43	

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		<i>Clytemnestra scutellata</i>										0.32					1.08
		<i>Clytemnestra</i> spp.	6.00	2.12				0.16	17.37		0.36						
		<i>Microsetella norvegica</i>													0.87		
		<i>Microsetella rosea</i>															0.12
		<i>Microsetella</i> sp.									0.09						
		<i>Macrosetella gracilis</i>									0.00					0.10	1.23
Poecilostomatoida		<i>Corycaeus affinis</i>	57.99	91.13	16.80	36.58	3.45	39.00	44.68	0.19	0.27	0.32	0.56	0.76	34.93	2.68	25.20
		<i>Corycaeus pacificus</i>												0.27			1.29
		<i>Corycaeus speciosus</i>												0.27			0.02
		<i>Oncaea clevei</i>									0.36			0.51			
		<i>Oncaea media</i>				1.14					0.18	0.32	0.36	5.10			8.64
		<i>Oncaea mediterranea</i>											0.02	4.08			3.70
		<i>Oncaea venusta</i>					0.03		0.25	0.24	1.93		0.36	23.45	0.87		40.75
		<i>Oncaea</i> spp.				0.14											
		<i>Sapphirina darwinii</i>												0.14			0.12
		<i>Sapphirina opalina</i>												0.89			0.08
		<i>Sapphirina scarlata</i>													0.06		
		<i>Sapphirina</i> sp.													0.22		

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		Unidentified												0.02			0.08
		Poecilostomatoida															
	Copepodite	<i>Acartia</i>	10.00	69.94	77.30	22.86		1.70	0.50	1.75					2.62		0.31
		<i>Cosmocalanus</i>															0.02
		<i>Calanus</i>	51.99	210.09	255.43	1.50	89.58	183.12	135.02	100.91	30.12	36.11	2.87		10.48	5.82	0.71
		<i>Undinula</i>												0.13			
		<i>Neocalanus</i>															0.02
		<i>Mesocalanus</i>									0.09				0.87		0.23
		<i>Candacia</i>															0.08
		<i>Centropages</i>						1.70									
		<i>Clausocalanus</i>												0.89			0.31
		<i>Ctenocalanus</i>								3.10			7.17	2.80		1.40	3.15
		<i>Rhincalanus</i>											0.02				
		<i>Eucalanus</i>											0.16	3.46			0.08
		<i>Lucicutia</i>															1.23
		<i>Mecynocera</i>															0.08
		<i>Pleuromamma</i>															0.08
		<i>Paracalanus</i>	939.8	1,203.8	1,868.6	594.5	1,131.8	3,472.5	2,192.1	621.0	109.0	304.4	127.7	46.4	349.3	154.1	274.1
		<i>Labidocera</i>	1.00			0.29									0.87		

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		<i>Scaphocalanus</i>												0.13			
		<i>Scolecithricella</i>															1.23
		<i>Scolecithrix</i>										0.32	0.09	0.13			0.50
		<i>Oithona</i>		19.07	107.55		25.84	33.91	79.42	1,639.43	45.90	36.11	21.52	8.16		130.03	69.15
		<i>Corycaeus</i>	55.99	63.58	1.68	45.73	5.17	6.78	48.65	0.19	0.27		0.36	0.25	17.47	0.60	4.69
		<i>Oncaea</i>								0.19	0.27			2.55			6.17
		<i>Sapphirina</i>												0.02			
		Calanidae copepodite				68.59	15.50					6.45	2.87	0.13	3.49		9.57
		Euchaetidae copepodite		0.53	3.78		3.45	5.56	10.73	11.01	45.18	32.24	96.11	22.53	1.75	18.46	51.63
		Calanoida copepodite									0.09			10.32			
		Harpacticoida copepodite									0.09						
		Copepoda egg	2.00	110.21	3.36	27.44						0.32	0.09	0.51		0.93	3.72
		Copepoda nauplius	25.99	29.67	33.61	64.02	31.01	22.04	32.76	5.63	5.02	9.35	5.74	1.91	24.45	5.62	4.01
	Mysidacea	Mysidae											0.07		1.75		
	Isopoda	Isopoda												0.13			
	Amphipoda	Amphipoda						0.21									
		<i>Lanceola</i> spp.					0.05					0.02					
		<i>Vibilia</i> spp.						0.08		0.02			0.38				0.02

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		<i>Hyperia</i> spp.	1.00										0.02	0.38			0.06
		<i>Hyperionides</i> sp.												0.13			
		<i>Lestrignus</i> sp.															0.02
		<i>Themisto</i> spp.	1.00	3.25	12.60		0.54	3.31	0.12	7.59	9.68	3.55	0.67	0.13	0.50	1.00	0.04
		<i>Primno</i> spp.												0.25			0.02
		<i>Brachyscelus</i> sp.															0.02
		<i>Oxycephalus</i> sp.												0.02			
		<i>Platyscelus</i> sp.												0.02			
		<i>Hemityphis</i> sp.															0.02
		<i>Synopia</i> spp.										0.04					
		Immature Amphipoda		3.25	1.68		1.40	10.70		0.97	2.51	16.12	3.59	3.31	0.22	2.71	3.24
		Amphipoda egg			20.17				0.68	4.66	13.99	1.61		1.02			0.62
	Euphausiacea	Euphausiacea					3.45	6.78	7.45	6.99		2.90					0.02
		<i>Nematoscelis</i> sp.										0.02					
		<i>Stylocheiron</i> spp.										0.04	0.04	0.02			0.02
		Euphausiacea nauplius		8.48	10.08	3.43		6.78	1.61								3.11
		Euphausiacea zoea		2.12	16.38				0.50					4.08			0.08
		Euphausiacea larvae	2.50	0.73	4.20	4.57	0.11		2.23	0.12			1.97	0.05	0.44		41.08

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
		Euphausiacea egg	1.00			150.90	1.29	0.16	0.06				1.17				25.66
	Decapoda	<i>Lucifer</i> spp.	1.50									0.16	5.83	39.76	0.22	0.03	5.71
		<i>Squilla</i> spp.	0.58							0.02	0.02	0.02	0.22	0.29	1.75	0.08	0.25
		Decapoda larvae	4.04	10.66	0.42	1.71	1.00	0.05	6.45	0.29	0.09	0.58	0.45	2.28	20.30	0.28	1.41
		Decapoda egg													3.49		
Chaetognatha	Sagittoidae	<i>Sagitta crassa</i>								0.02							
		<i>Sagitta ferox</i>															0.08
		<i>Sagitta enflata</i>	10.00	1.59		0.21						0.04	0.18	1.91	3.27	0.03	3.84
		<i>Sagitta nage</i>	16.00	23.31	0.95	22.86	1.51	2.54	2.92	0.36	0.67	4.19	1.43	0.64	6.11	0.93	2.86
		<i>Pterosagitta draco</i>															0.08
		<i>Immature Sagitta</i>	33.99	16.96	2.52	86.88	20.67	32.22	94.81	0.34	0.02	2.90	3.77	1.02	52.40	0.43	3.78
Hemichordata		Tornaria larvae							1.05								
Echinodermata		Echinodermata				2.29							0.11				
		Bipinnaria larvae	2.00	0.53	1.68	0.29											
		Ophiopluteus larvae	133.97	2.12		26.29		0.16	26.43					3.09	3.49		3.55
		Juvenile sea star	2.00		1.68	2.29			0.19					0.25			2.80
		Juvenile urchin							0.06								
Chordata	Pyrosomatida	<i>Pyrosomella</i> spp.												0.18			

Appendix 1. continued

Phylum	Order(Class)	Species	1-2	1-5	1-9	2-1	2-5	2-9	3-1	3-4	3-7	4-4	4-6	5-3	6-1	6-10	7-1
	Doliolida	Doliolida	49.99			82.31			1.92					2.25	1,075.88		3.78
	Salpida	Salpida															0.66
	Appendicularia	Oikopleuridae	67.99	19.07	62.18	173.77	12.49	22.04	27.86		0.09		6.10	49.96	31.44	0.03	72.86
		Fritillariidae												0.51			3.70
Fish egg		Fish egg		0.53		0.21							0.04	0.62	1.06		0.35
Fish larvae		Fish larvae				2.07		0.11					0.11	0.29	1.53		0.08
Unidentified egg		Unidentified egg	24.00						0.56		0.45					1.61	
합계			2,440	3,366	3,837	2,223	2,087	4,945	5,022	4,156	780	1,004	1,279	618	2,111	1,308	1,414

Appendix 2. Distribution of abundance (ind. m⁻³) of size fractionated mesozooplankton in the northern East China Sea in July 2006

0.2–0.5mm			0.5–1.0mm		
Species	Mean abundance (ind. m ⁻³)	Composition (%)	Species	Mean abundance (ind. m ⁻³)	Composition (%)
<i>Paracalanus</i> copepodite	980.6	34.5	<i>Paracalanus</i> spp.	159.0	26.2
<i>Paracalanus</i> spp.	735.1	25.8	<i>Oithona</i> spp.	89.8	14.8
<i>Oithona</i> spp.	338.9	11.9	<i>Paracalanus</i> copepodite	71.3	11.7
Bivalvia larvae	223.4	7.9	<i>Calanus</i> copepodite	56.1	9.2
Paracalanidae copepodite	167.1	5.9	Paracalanidae copepodite	42.0	6.9
<i>Corycaeus</i> spp.	130.3	4.6	<i>Acartia</i> spp.	27.7	4.6
<i>Acartia</i> spp.	85.7	3.0	Calanidae copepodite	20.6	3.4
Euphausiacea nauplius	44.1	1.5	Oikopleuridae	20.5	3.4
Euphausiacea egg	25.6	0.9	<i>Sagitta</i> spp.	14.1	2.3
Calanidae copepodite	17.6	0.6	<i>Corycaeus</i> spp.	12.6	2.1
Copepoda egg	14.6	0.5	Bivalvia larvae	10.6	1.7
Gastropoda larvae	12.0	0.4	<i>Calanus sinicus</i>	10.3	1.7
Oikopleuridae	11.0	0.4	Copepoda egg	10.1	1.7
<i>Clytemnestra</i> spp.	10.4	0.4	Salpidae	8.5	1.4
<i>Paraeuchaeta</i> copepodite	7.1	0.2	<i>Paraeuchaeta</i> copepodite	7.9	1.3
Polychaeta larvae	6.4	0.2	Euphausiacea egg	6.0	1.0
Copepoda nauplius	6.0	0.2	Euphausiacea nauplius	5.8	1.0
Cladocera	6.0	0.2	Decapoda larvae	5.2	0.9
Unidentified egg	4.0	0.1	<i>Clytemnestra</i> spp.	4.5	0.7
<i>Ctenocalanus vanus</i>	3.8	0.1	Echinodermata	4.5	0.7
Sum of 20 major taxa	2,829.5	99.4	Sum of 20 major taxa	587.0	96.8
Others	15.9	0.6	Others	19.7	3.2
Total	2,845.4	100.0	Total	606.7	100.0

Appendix 2. continued

1.0–2.0mm			2.0–5.0mm		
Species	Mean abundance (ind. m ⁻³)	Composition (%)	Species	Mean abundance (ind. m ⁻³)	Composition (%)
<i>Paracalanus</i> spp.	70.1	22.6	<i>Sagitta</i> spp.	6.77	37.61
<i>Calanus</i> copepodite	38.8	12.5	Euphausiacea larvae	3.66	20.34
<i>Acrocalanus</i> spp.	34.2	11.0	<i>Calanus</i> copepodite	2.25	12.52
<i>Oithona</i> spp.	32.6	10.5	<i>Calanus sinicus</i>	1.35	7.50
<i>Calanus sinicus</i>	31.2	10.1	Decapoda larvae	0.80	4.44
<i>Sagitta</i> spp.	28.5	9.2	<i>Paraeuchaeta</i> copepodite	0.78	4.34
<i>Acartia</i> spp.	9.9	3.2	Amphipoda	0.58	3.21
<i>Corycaeus</i> spp.	7.7	2.5	<i>Paraeuchaeta</i> spp.	0.56	3.09
Amphipoda	6.3	2.0	Hydroida	0.49	2.70
Echinodermata	6.3	2.0	Oikopleuridae	0.38	2.10
Oikopleuridae	5.0	1.6	Echinodermata	0.16	0.88
Paracalanidae copepodite	4.9	1.6	Fish larvae	0.06	0.36
Bivalvia larvae	4.8	1.5	Polychaeta larvae	0.06	0.32
<i>Paraeuchaeta</i> spp.	4.2	1.4	Siphonophora	0.05	0.29
<i>Paraeuchaeta</i> copepodite	4.2	1.4	Euphausiacea zoea	0.03	0.15
Copepoda egg	4.1	1.3	Salpidae	0.02	0.08
<i>Clytemnestra</i> spp.	3.3	1.1	<i>Rhincalanus</i> spp.	0.01	0.07
Decapoda larvae	3.1	1.0			
Salpidae	1.5	0.5			
Copepoda nauplius	1.0	0.3			
Sum of 20 major taxa	301.8	97.3	Total	18.01	100.00
Others	8.5	2.7			
Total	310.3	100.0			

VII. 감사의 글

본 논문을 위해 조언과 지도를 아끼지 않으신 강형구 박사님, 윤원득 박사님께 감사드립니다. 특히 부족한 저에게 질타 한번 하지 않으시고 끊임없는 관심과 사랑으로 지도 해주신 강형구 박사님의 은혜에 감사드립니다. 항상 집 떠나 있는 제자를 자식처럼 걱정 해주신 강용주 교수님께 진심을 담아 감사드립니다. 타지 생활의 활력소가 되어주신 한국해양연구원의 주세종 박사님께 감사드리며, 항상 새로운 정보로 학문에 대한 끊임없는 호기심을 가질 수 있도록 도와주신 점 감사드립니다. 논문을 핑계로 하지 못한 일들을 묵묵히 대신해주시고, 지난 시간동안 좋은 논문을 쓸 수 있도록 염려해주신 이창래 박사님께 감사드립니다. 그리고 언제나 옆에서 친구처럼 외롭지 않게 배려해준 오지나 언니에게도 고마움을 전합니다.

항상 저를 배려해주신 강충배 박사님과 김진희 박사님, 못난 후배의 고민을 자신의 일처럼 걱정해주시는 저의 정신적 지주 이해원 선배님, 항상 따뜻한 마음으로 후배를 챙겨주시는 박경동 선배님, 제가 자리를 비운 동안 모든 일을 도맡아 해준 이준모 선배님, 동기지만 오빠처럼 든든한 박수현 님, 자리를 비운 동안 새로운 식구가 된 귀엽고 발랄한 구정은 후배님, 지금은 연구실을 떠나 사회에서 묵묵히 제 할일을 하고 있는 김정현 선배님, 이성희 선배님과 그리고 모든 수산자원학실험실 식구들에게 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

마음을 털어놓을 수 있는 나의 오랜 벗 최승은 님, 항상 순수함을 간직한 김효원 님과 학부 시절부터 지금까지 비슷한 점이 많아 줄곧 맘이 맞는 친구 김민경 님께 고마움을 전하며, 항상 마음의 버팀목이 되어준 이종욱 선배에게도 감사의 뜻을 전합니다.

무뚝뚝하시지만 언제나 저의 앞날을 위해 걱정을 해주시고 끝까지 딸의 선택을 믿어 주신 어머니와 아버지, 누나 대신 집안의 만이 노릇을 해준 사랑하는 동생 건욱이에게 고마움을 전합니다.

많은 이들의 도움을 받아 이 논문이 나올 수 있었으며, 이번 일을 계기로 언제나 노력하는 사람이 되겠습니다.