

인천 연안에서 와편모류 *Noctiluca scintillans*의 시간적 변동과 생태학적 특성

유 정 규* · 윤 석 현¹ · 최 중 기²

(주) 이엔씨 기술연구소, ¹국립수산과학원 동해수산연구소,
²인하대학교 해양학과

Temporal Fluctuation and Ecological Characteristics of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in the Coastal Waters of Incheon, Korea

Jeong Kyu Yoo*, Seok Hyun Youn¹ and Joong Ki Choi²

Environmental Engineering and Consultant Technology Institute, Incheon 405-839, Korea

¹East Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangnung 210-861, Korea

²Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

Abstract – In order to study temporal fluctuation and ecological characteristics of *Noctiluca scintillans*, its abundance was investigated in correlation with water temperature, salinity, precipitation, chlorophyll *a* concentration and copepods abundance in the coastal waters of Incheon from January 1999 to December 2000. *N. scintillans* was seasonally abundant during spring and autumn with temperature ranging from 10.3 to 21.5°C, but depleted in winter and summer. Low temperature below 4.5°C in winter and low salinity due to high rainfall in summer led *N. scintillans* to disappear. A Cross Correlation Analysis (CCA) showed that chlorophyll *a* concentration was positively correlated with abundance of *N. scintillans* at the time lags of 10 days. This suggests that phytoplankton may be a contributing factor for increasing abundance of *N. scintillans*. During spring, eggs of *Acartia hongii* were found in 2.9 to 21.1% of individuals of *N. scintillans*. It was deduced that 1.2 to 49.5% of the eggs produced by *A. hongii* was preyed upon by *N. scintillans*. Therefore, *N. scintillans* may control the population size of initial developmental stage of *A. hongii* in the coastal waters of Incheon.

Key words : *Noctiluca scintillans*, temperature, rainfall, chlorophyll *a*, *Acartia hongii* eggs

서 론

종속영양 와편모류 *Noctiluca scintillans*는 적조생물로

전 세계 연안에서 대량 출현한다. *N. scintillans*는 무독성이나 암모니아를 생산하고 산소 고갈을 유도하여 수산생물에 피해를 주는 것으로 알려져 있다 (Huang and Qi 1997; Smayda 1997; Montani *et al.* 1998). 그러나 한편으로 적조 생물을 제거함으로써 자연 상태에서 적조 생물의 잠재적인 독성 요소를 감소시키는 역할을 하기도 한

* Corresponding author: Jeongkyu Yoo, Tel. 032-467-5753, Fax. 032-471-5752, E-mail. jkyoo@ecocean.co.kr

다 (Rodríguez *et al.* 2005). *N. scintillans* 개체군은 대부분 표층에서 대증식을 형성하며, 군집은 바람, 조류 그리고 해류를 타고 이동하며 모이고 흩어진다 (Schaumann *et al.* 1988; Huang and Qi 1998). 따라서 *N. scintillans*의 수평적인 확산 및 이동에 따른 불균등 분포는 개체군 성장의 측정을 어렵게 만들며 환경 요인과의 상관성은 지역적으로 다양하게 나타나게 한다. 일반적으로 *N. scintillans* 개체군은 수온, 염분, 용존 산소, 용존 무기염 그리고 먹이 농도 등에 의해 조절되며 (Uhlig and Sahling 1990; Huang and Qi 1997), 먹이 생물로서 식물플랑크톤, 요각류 알, 어란, 원생동물 그리고 박테리아 등이 보고된다 (Hattori 1962; Sekiguchi and Kato 1976; Kirchner *et al.* 1996; Nakamura 1998a; Quevedo *et al.* 1999; Strom 2001).

조사 해역인 인천 연안은 한강 및 임진강을 통해 담수가 유입되고 조석간만의 차가 9~10 m로 매우 크며 낮은 수심으로 인하여 수괴 혼합이 활발하다. 영양염과 미량 원소를 포함한 담수 유입과 인근 공업단지 및 인간 활동의 증가에 따른 오폐수의 유입은 인천 연안의 부영양화를 더욱 심화시키고 있다 (Choi and Shim 1986). 따라서 동물플랑크톤 군집은 환경 변이가 크고 불안정한 수괴 특성으로 인해 소수종에 의해 유지되는 특징을 보인다 (윤과 최 1997). *N. scintillans* 대증식은 연안의 부영양화와 관련이 있다 (Umani *et al.* 2004). 인천 연안에서는 동계를 제외하고 식물플랑크톤 대증식과 동 시기에 매우 높은 출현량을 나타내어 소수종에 의한 우점 현상을 심화시킨다 (윤과 최 2003). 국내 연안의 동물플랑크톤 조사에서 *N. scintillans*는 연중 출현하며, 후생 동물플랑크톤 현존량을 초과하는 경우가 빈번하다 (강 등 1996; 서 등 2002; 장 등 2004; Shim and Yun 1990). *N. scintillans*는 분류학상 원생동물에 속하지만 직경이 200~2,000 μm 범위를 보이고 대부분이 500~600 μm 사이 (Umani *et al.* 2004)로 크기 때문에 네트에 의한 중형 동물플랑크톤 채집 시 매우 높은 우점율을 보이는 바 연안에서 생태학적 역할이 중요할 것으로 기대된다. 그러나 국내에서 *N. scintillans*의 생태학적 연구는 이 (1995)와 강 등 (2005)을 제외하고 미비하였다. 따라서 본 연구는 인천 연안에서 단주기 시료 채집을 통해 *N. scintillans*의 시간적 변화 특성을 이해하고 환경 인자와의 관계를 통해 생태학적 역할을 파악하고자 한다.

조사 방법

조사는 인천 연안수와 순환이 원활한 연안부두 근처의 한 부교에서 만조를 기준으로 수행하였으며, 수심은

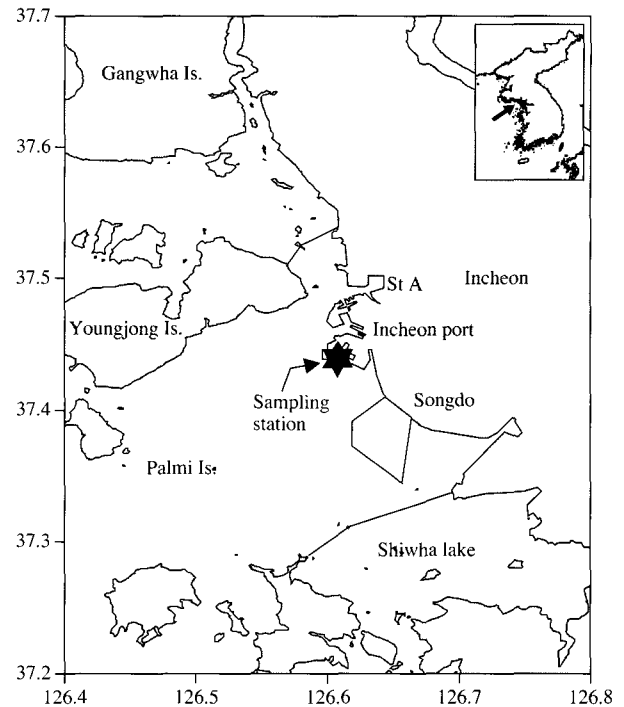


Fig. 1. Location of sampling station in Incheon coastal area.

10~13 m 범위였다 (Fig. 1). 시료 채집은 부교의 한 정점에서 1999년 1월부터 2000년 12월까지 10~15일 간격으로 총 66회가 수행되었다. 채집은 원추형 네트 (망구 45 cm, 망목 60 μm)를 이용하여 저층 바닥부터 표층까지 수직 인양하였다. 채집된 시료는 채집병으로 옮긴 후 즉시 중성 포르말린으로 시료 내 최종 농도가 4~5% 되도록 고정하였다. 정량 채집 시 네트에 의해 여과된 해수의 양은 네트의 망구 면적과 수심을 곱하여 계산하였다. 정량 채집된 시료는 실험실에서 해부현미경 (Olympus SZ60) 하에서 부표품을 취하여 *Noctiluca scintillans*와 요각류를 계수하였다. 또한 *N. scintillans* 계수 시 고배율에서 체내 내용물을 확인하였다.

환경 요인으로 수온, 염분 그리고 엽록소 *a* 농도를 측정하였으며, 강수량은 기상청 홈페이지 (<http://www.kma.go.kr>)에서 자료를 인용하였다. 엽록소 *a* 농도는 전체 엽록소 *a* 농도 (total chlorophyll)와 크기가 20 μm 이하인 엽록소 *a* 농도 (nano chlorophyll)를 구분하여 측정하였다. 수온과 염분은 현장에서 YSI-30으로 측정하였다. 엽록소 *a* 농도 측정을 위해 수심 1 m에서 해수 600 mL를 취수하여 300 mL은 여과지 (Whatman GF/C, 1.2 μm pore size)로 여과하였다. 나머지 300 mL은 미소플랑크톤의 엽록소 *a* 농도 측정을 위해 20 μm 체 (screen)로 여과한 후 통과된 해수를 여과지로 여과하였다. 여과지는 패트리디

위에 넣은 후 빛을 차단하기 위해 호일로 감싼 후 드라이 아이스가 보관된 아이스 박스에서 냉동 보관하였다. 실험실에서 90% 아세톤에 여과지를 넣고 냉암소에서 24시간 동안 보관 후 형광 광도계 (Turner design fluorometer)로 엽록소 *a* 농도를 측정하였다 (Parsons *et al.* 1984). 크기가 20 μm 이상인 식물플랑크톤의 엽록소 *a* 농도 (net chlorophyll)는 전체 엽록소 *a* 농도와 20 μm 이하 엽록소 *a* 농도의 차로 구하였다.

*N. scintillans*와 환경 요인 사이의 관계는 3 구간 이동 평균값의 추세로 파악하였으며, 교차상관분석 (Cross Correlation Analysis)에서 시간차 상관계수를 구하여 상관관계를 분석하였다. 교차상관분석은 통계 패키지 프로그램 SPSS v.12.0으로 수행하였다.

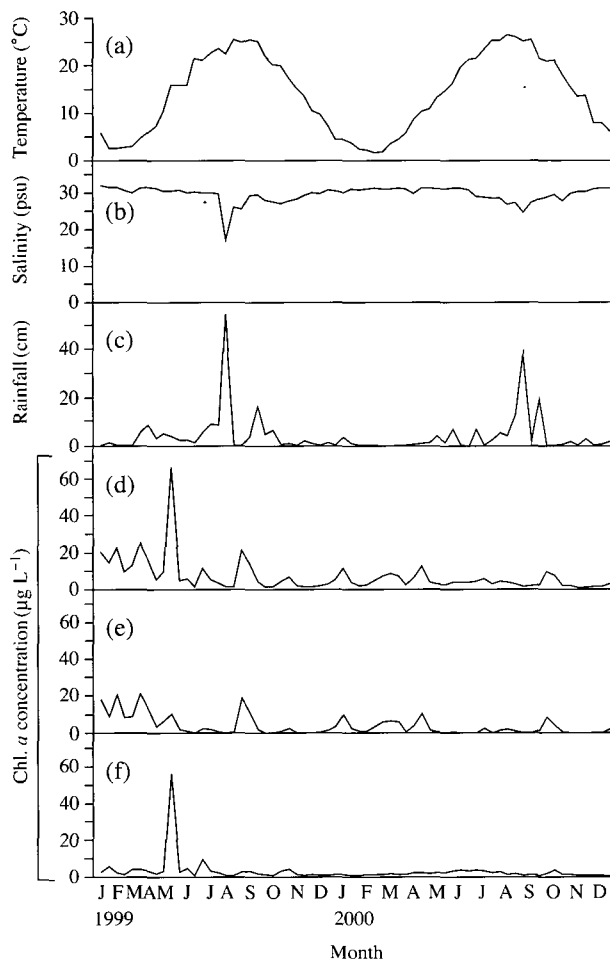


Fig. 2. Temporal change of environmental variables in the Incheon coastal waters. (a) water temperature, (b) salinity, (c) amount of rainfall, (d) total chlorophyll *a* concentration, (e) net (>20 μm) chlorophyll *a* concentration and (f) nano (<20 μm) chlorophyll *a* concentration. Data on the amount of rainfall was obtained from Korea Meteorological Administration.

결 과

1. 환경 요인

수온 변화에서 최저 수온은 2000년 2월 중순에 1.6°C였으며, 최고 수온은 2000년 8월 초에 26.5°C였다 (Fig. 2a). 염분은 17.1~31.8 psu 범위를 나타냈으며 최저 염분은 1999년 8월 초에 관측되었다 (Fig. 2b). 이 시기에는 강수량이 54.3 cm로 가장 높았던 시기였다 (Fig. 2c). 전체 엽록소 *a* 농도는 2000년보다 1999년에 전체적으로 높았다. 1999년 5월 중순에는 66.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높은 농도를 보였다 (Fig. 2d). 가장 낮은 엽록소 *a* 농도는 2000년 11월 중순에 0.9 $\mu\text{g L}^{-1}$ 였다. 엽록소 *a* 농도가 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상을 보인 시기는 1999년 1월~6월, 8월, 그리고 2000년 1월과 4월이었다. 식물플랑크톤 크기가 20 μm 이상인 엽록소 *a* 농도는 저수온기에 전체 엽록소 *a* 농도에서 차지하는 비중이 높았으며, 20 μm 이하의 엽록소 *a* 농도의 비중은 5월에서 7월 사이에서 높았다. 20 μm 이상의 최대 엽록소 *a* 농도는 1999년 3월 말에 21.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ 였으며, 20 μm 이하의 최대 엽록소 *a* 농도는 1999년 5월 중순에 56.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ 였다 (Fig. 2e, f).

2. 출현 개체수

조사 기간 동안 유생과 성체를 모두 포함한 요각류 개체수는 1.126~48.063 $\times 10^3$ indiv. m^{-3} 의 범위를 보였으며, 하계에 높게 나타났다 (Fig. 3a). 1999년에는 8월 말과 9월 초 사이, 2000년에는 7월 말에 출현 개체수가 높았다. 1999년에는 3월부터 개체수가 증가하기 시작하였

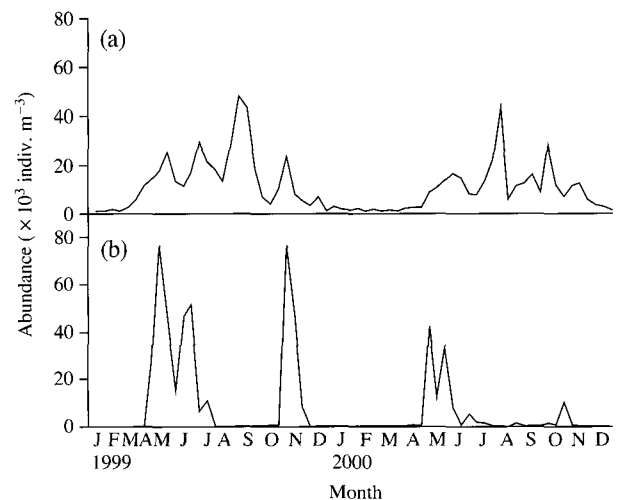


Fig. 3. Temporal change in abundances of (a) copepods and (b) *Noctiluca scintillans*.

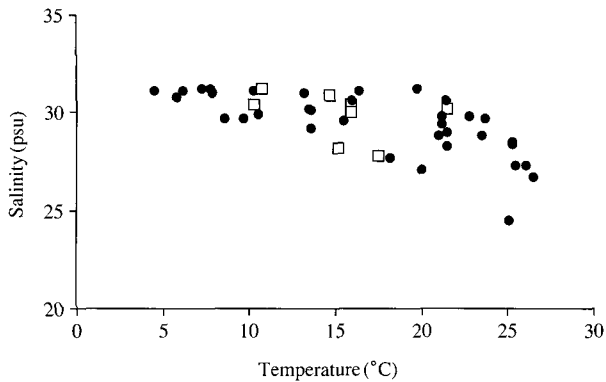


Fig. 4. Temperature-Salinity diagram about the occurrence of *Noctiluca scintillans*. Squares indicate high abundance above 3×10^4 indiv. m^{-3} .

으나 2000년에는 한달 늦은 4월부터 개체수가 증가하기 시작하였다. 공통적으로 1999년과 2000년에 크고 작은 5번의 피크(peak)가 나타났으며, 1월부터 3월 사이에는 개체수가 낮게 유지되었다.

*N. scintillans*는 $0 \sim 76.879 \times 10^3$ indiv. m^{-3} 의 범위로 출현하였다 (Fig. 3b). 1999년과 2000년에 공통적으로 춘계와 추계에 출현 개체수가 높게 나타났다. 전체적인 출현 개체수는 2000년보다 1999년에 상대적으로 높았다. 1999년 춘계에는 4월부터 6월까지 2개월 동안 높은 개체수를 유지하였으며, 추계에는 10월부터 11월까지 높은 개체수가 나타났다. 2000년 춘계에는 4월말부터 5월말까지 1999년보다 짧은 기간 동안 높은 개체수가 유지되었으며, 10월에 작은 개체수 피크를 보였다. 춘계에 3회 그리고 추계에 1회의 개체수 피크가 나타난 것은 1999년과 2000년의 공통적인 특징이다. *N. scintillans*가 출현하지 않는 시기는 1999년 1월부터 4월 초순, 8월부터 10월 초순 그리고 1999년 12월 중순부터 2000년 3월 초순까지였다.

수온 및 염분 범위에 따른 출현 양상을 보면 Fig. 4와 같다. *N. scintillans*는 수온 $4.5 \sim 26.5^\circ\text{C}$, 염분 $24.5 \sim 31.2$ psu 범위에서 출현하였으며, 3×10^4 indiv. m^{-3} 이상 개체수가 나타난 수온은 $10.3 \sim 21.5^\circ\text{C}$, 염분 $27.8 \sim 31.2$ psu 범위였다. 가장 높은 출현 개체수는 수온 17.5°C , 염분 27.8 psu에서 나타났으며, 3×10^4 indiv. m^{-3} 이상의 개체수는 대부분 수온 $14.7 \sim 17.5^\circ\text{C}$ 사이에서 가장 많이 나타났다.

토 의

Noctiluca scintillans 개체군을 조절하는 요인으로 수

온, 염분, 먹이 농도는 가장 중요한 인자로 여겨지며, 이에 따른 출현 특성은 조사 해역에 따라 다양하게 나타난다 (Uhlig and Sahling 1990; Huang and Qi 1997). *N. scintillans*는 경기만에서 5월과 10월에 높은 출현량을 보이는데 외해역보다 비교적 담수의 영향을 크게 받는 내만 수역에서 식물플랑크톤의 대증식 시기와 관련되어 나타난다 (윤과 최 2003). 진해만에서는 대부분 조사 시기에서 전체 동물플랑크톤 개체수의 90% 이상을 점유하는데 이는 부영양화가 심화된 수역의 특성을 반영하는 것이다 (강 등 1996). 광양만 및 가막만에서는 전 계절에 걸쳐 출현하며, 광양만에서는 동계 및 춘계, 가막만에서는 추계에 높은 출현량을 나타낸다 (서 등 2002; 장 등 2004).

본 연구에서 *N. scintillans*는 수온 $4.5 \sim 26.5^\circ\text{C}$ 범위에서 출현하였다. 윤과 최 (2003)의 결과에서 *N. scintillans*는 수온이 4.5°C 이하에서도 출현하였으나 내만수역보다 외해에 위치한 해역에서 극히 미약하게 출현하였다. 따라서 동계에는 저수온에 의해 출현이 제한되며 미약하나 분포역이 내만 수역에서 외해역으로 이동하는 것으로 판단된다. *N. scintillans*의 출현 최고 수온은 25.6°C 였으나 수온 25°C 이상에서 개체수가 급격히 감소하거나 출현하지 않는 경향을 보였다. Dapeng 만에서도 수온이 25°C 이상이면 개체수가 급감하며 배양실험에서 26°C 이상에서 생존하기 힘든 것으로 나타났다 (Huang and Qi 1997). 따라서 인천 연안에서 *N. scintillans*는 연중 출현하지만 동계의 저수온 및 하계 고수온에 의해 출현 및 성장에 제한을 받는 것으로 보인다. *N. scintillans*의 대증식이 발생하는 수온 범위는 조사 해역별로 다양하게 나타난다. 본 연구에서 *N. scintillans*의 출현 개체수가 3×10^4 indiv. m^{-3} 이상 나타난 시기는 수온 $10.3 \sim 21.5^\circ\text{C}$ 범위였으며, 수온 $14.7 \sim 17.5^\circ\text{C}$ 범위에 집중되는 경향을 보였다. 이 전 연구를 보면 *N. scintillans* 대증식이 나타나는 수온 범위는 $15.2 \sim 24.5^\circ\text{C}$ 로 넓게 제시된다 (Marshall 1995; Huang and Qi 1997; Elbrächter and Qi 1998; Miyaguchi et al. 2006). 본 결과에서 *N. scintillans*는 위의 결과보다 다소 낮은 수온범위에서 출현량이 높게 나타나 인천 연안에서 비교적 저온에 대한 적응력이 높은 것으로 판단된다.

*N. scintillans*는 염분 $24.5 \sim 31.2$ psu 범위에서 나타났으며, $27.8 \sim 31.2$ psu 사이에서 출현 개체수가 높게 나타났다. 1999년 8월에는 수온이 22.6°C 를 나타내었으나 염분이 17.1 psu로 매우 낮아 *N. scintillans*의 출현이 없었다. 이는 수온과 상관없이 염분에 의해 출현이 제한될 수 있다는 것을 의미한다. Dapeng 만에서 *N. scintillans*는 $19.1 \sim 33.4$ psu 범위에서 출현하며 29 psu 이상에서

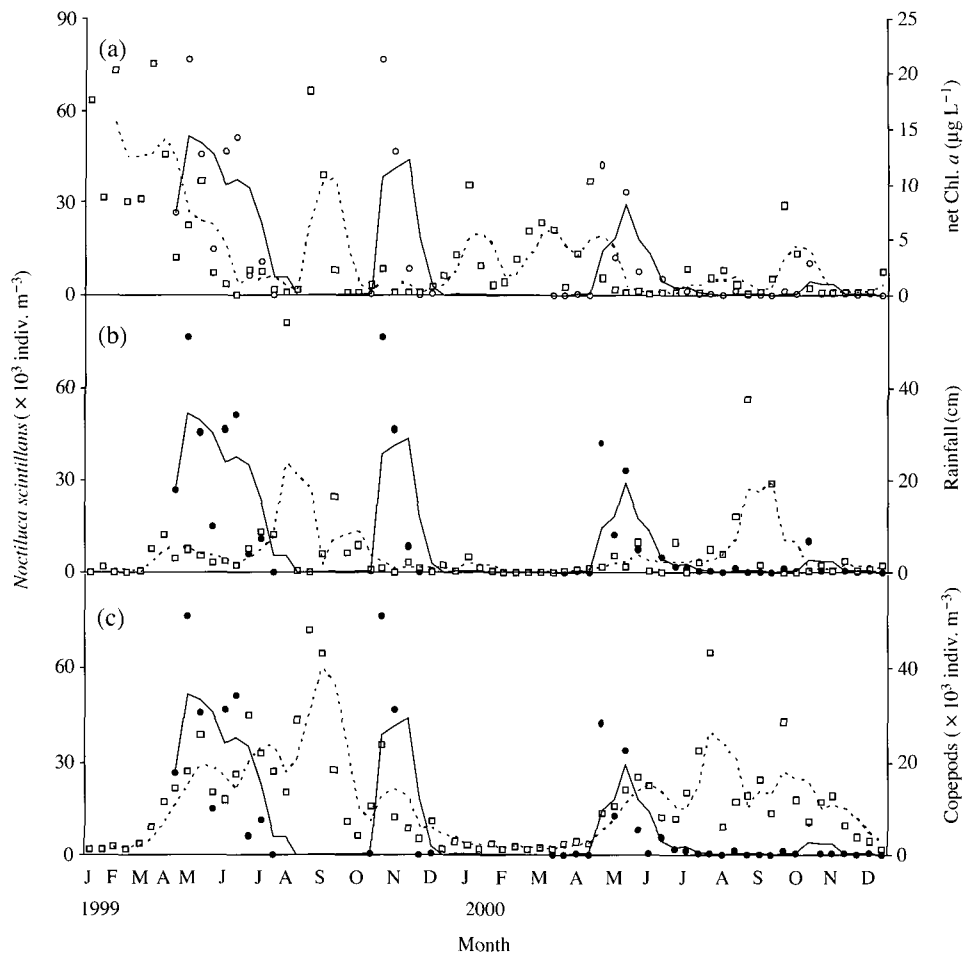


Fig. 5. Temporal variation of partialled moving averages in abundance of *Noctiluca scintillans*, concentration of net chlorophyll *a*, the amount of rainfall and abundance of copepods. Circles and solid lines indicate abundance of *N. scintillans*, and Square and dotted lines indicate (a) concentration of net chlorophyll *a*, (b) the amount of rainfall and (c) abundance of copepods, respectively.

대증식이 일어난다. 또한 염분 27 psu 이하에서 개체수 감소가 나타나고 12.5 psu 이하로 떨어지면 개체군이 소멸한다(Huang and Qi 1997). 염분 변화는 강우량에 크게 의존하게 된다. 대증식 기간에도 높은 강우량에 의한 염분 감소로 개체군이 소멸하거나 급격히 감소한다(Huang and Qi 1997; Miyaguchi 2006). 본 조사에서도 강우는 *N. scintillans*의 출현 개체수에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았으나 월 평균에 해당하는 3 구간 이동 평균 결과에서 보면 강우가 적은 시기에는 출현 개체수가 높고 강우가 많은 시기에는 출현 개체수가 낮은 경향을 보였다(Fig. 5a). 또한 시간적인 간격을 두고 강우의 증감은 *N. scintillans* 출현 개체수 증감과 서로 교차하는 양상을 보이기도 했다. 따라서 강우의 빈도 및 양은 *N. scintillans*의 출현을 제한할 수 있는 요인이 될 수 있을 것으로 본다.

수온과 염분은 출현 분포를 결정하는 주된 인자가 되

지만 먹이 농도는 개체군 크기를 조절하는 가장 중요한 인자가 된다(Miyaguchi 2006). *N. scintillans*은 식물플랑크톤을 주 먹이원으로 이용하며, 그 중 돌말류는 가장 중요한 먹이원으로 알려져 있다(Burskey 1995; Kirchner *et al.* 1996). 특히 돌말류 대증식은 *N. scintillans* 개체군의 초기 증가에 크게 기여한다(Miyaguchi 2006). *N. scintillans*는 일반적으로 식물플랑크톤 농도가 높고 크기가 10 µm 이상일 경우 성장률이 높아진다(Nakamura 1998a). 본 조사에서 동계부터 춘계까지 엽록소 *a* 농도가 높았던 1999년의 *N. scintillans* 개체수가 2000년보다 높은 것은 먹이 농도가 개체군 크기를 결정한다는 결과와 일치한다. 또한 엽록소 *a* 농도와 *N. scintillans* 출현량 사이에는 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았으나 크기가 20 µm 이상인 엽록소 *a* 농도와 *N. scintillans*의 이동 평균 변화를 보면 엽록소 *a* 농도가 증가 후 시간적인 간격을 두고 *N. scintillans*의 개체수가 증가하는 경향을 볼

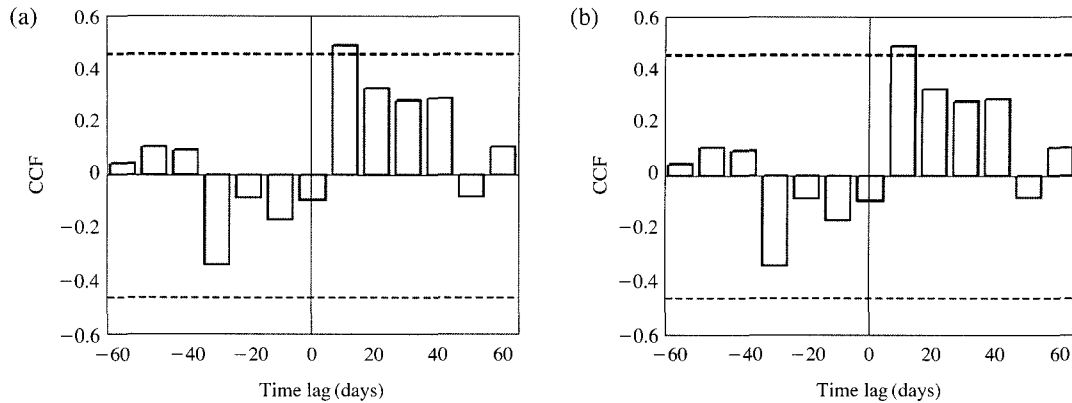


Fig. 6. Cross Correlation Analysis. Correlation coefficient (CCF) (a) for total chlorophyll *a* concentration with abundance of *Noctiluca scintillans* and (b) net chlorophyll *a* concentration with abundance of *N. scintillans*. Dotted lines indicate upper and lower confidence limit at the 0.01 level.

수 있다 (Fig. 5b). 동 시간에서 상관관계가 뚜렷이 나타나지 않는 것은 먹이 농도에 대한 포식 효과가 시간적인 간격을 두고 나타나기 때문이다 (Miyaguchi 2006). 따라서 전체 엽록소 *a* 농도 및 크기가 20 μm 이상인 엽록소 *a* 농도와 *N. scintillans* 출현 개체수와의 교차상관분석 결과를 보면 10일의 시간차를 두고 유의한 양의 상관관계가 나타난다 (Fig. 6). 따라서 엽록소 *a* 농도는 *N. scintillans*의 개체군 크기 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 출현 개체수가 높은 시기인 4~5월 사이에 개체수 증가에 따라 엽록소 *a* 농도가 감소하는 추세를 보인다. 이는 *N. scintillans* 대증식 기간에는 식물플랑크톤에 대한 포식압이 크게 작용한다는 Huang and Qi (1997)의 결과로 볼 때 인천 연안에서도 *N. scintillans*의 대증식은 식물플랑크톤을 제한할 가능성이 있으며 향후 이에 대한 면밀한 검토가 수행되어야 할 것이다.

*N. scintillans*는 요각류 알을 포식하여 요각류 개체군 형성에 영향을 미친다 (Sekiguchi and Kato 1976; Quevedo *et al.* 1999). 일본 Ise 만에서 *Acartia* 속에 의해 생산된 알의 5~74%가 *N. scintillans*에 의해 포식된다 (Sekiguchi and Kato 1976). 또한 스페인 Cantabria 중부 연안에서 생산된 *Acartia clausi* 알의 73%가 *N. scintillans*에 의해 제거되어 상위 성장 단계로의 가입에 큰 영향을 미친다 (Quevedo *et al.* 1999). 그리고 Uye (1982)에 의하면 *N. miliaris*는 *A. clausi*와 같은 시기에 다량 출현하며 알 사망률에 큰 영향을 미친다고 한다. 본 조사 결과에서 4월부터 6월까지 출현한 *N. scintillans*에서 다량의 *Acartia hongii* 알이 관찰되었으며, 이는 같은 시기에서 전체 *A. hongii* 개체군에 의해 생산된 알 생산의 1.2~49.5%에 해당한다 (Table 1). 요각류와 *N. scintillans*의 이동 평균 변화에서도 *N. scintillans*가 높은 시기에는 요각류 개체

Table 1. Changes of relative abundance of *Noctiluca scintillans* containing *Acartia hongii* eggs (RAE), the number of eggs of *A. hongii* predated by *N. scintillans* (PE) and population egg production rate of *A. hongii* (PEPR) in spring. Data on PEPR was cited from Youn (2004)

Year	Date	RAE (%)	PE (eggs)	PEPR (eggs d ⁻¹)	PE/PEPR (%)
1999	May 12	8.4	3,816	138,121	2.8
	May 22	10.6	2,102	49,118	4.3
	Jun. 1	21.1	7,394	50,022	14.8
	Jun. 16	4.4	2,114	11,291	18.7
	Jun. 28	12.8	890	72,484	1.2
2000	Apr. 7	8.7	341	4,956	6.9
	Apr. 14	6.7	1,125	2,388	47.1
	Apr. 27	4.9	1,491	3,011	49.5
	May 11	10.3	1,192	5,595	21.3
	May 18	2.9	646	16,509	3.9
	May 31	3.2	304	7,304	4.2
	Jun. 20	10.9	967	2,508	38.6

수가 낮은 특징을 보였으며, 시간의 간격을 두고 둘 간의 개체수 피크 (peak)가 교차하는 경향을 보였다 (Fig. 5c). 그러나 *N. scintillans*가 요각류 알을 포식하지만 요각류 개체군 변화에는 큰 영향을 주지 않을 수도 있다 (Daan 1987). 요각류의 초기 사망률에 *N. scintillans*가 관여할 수 있는 가능성은 있으나 (Uye 1982) 전체 개체군의 영향 요인으로 인식하기에는 무리가 있다는 것이다. 이는 *N. scintillans*와 요각류 사이의 식물플랑크톤에 대한 먹이 경쟁 관계를 정의하는데 어려운 부분이 많기 때문이다. *N. scintillans*는 같은 크기의 동물플랑크톤보다 섭식률이 현저히 낮다 (Nakamura 1998b). 이는 *N. scintillans*의 대증식에 따라 다른 동물플랑크톤이 감소하는 생태학적 현상이 증명되기 어렵다는 것을 의미한다 (Miyaguchi *et al.* 2006). 본 결과에서 1999년보다 2000년

에 *N. scintillans* 개체수가 크게 감소하였으나 요각류 개체수도 감소하였다. 이는 요각류 개체군이 *N. scintillans*의 대증식보다 먹이 농도 등 다른 요인에 의해 더 큰 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 실제 본 결과에서도 엽록소 *a* 농도는 1999년보다 2000년에 큰 폭으로 감소하였다. 따라서 *N. scintillans*가 요각류 알을 포식하지만 성체 개체군 크기를 조절하는 능력은 미약할 것으로 판단되며, *N. scintillans* 내에서 발견된 대부분의 알이 *Acartia hongii*에 의해 생산된 것으로 보아 대증식 기간 동안 동 시간의 우점종 또는 일부종의 초기 발달 단계 개체군에만 영향이 국한될 가능성이 높다.

인천 연안에서 *N. scintillans*는 연중 출현하며 수온 4.5°C 이하와 25°C 이상에서 개체군이 제한받는 것으로 조사되었다. 또한 염분은 하계 집중 호우를 포함하여 강우 변화에 따라 개체군이 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 수온은 장주기적인 관점에서 *N. scintillans*의 출현 시기를 결정하며 강우 및 염분 변화는 단주기적인 관점에서 출현 개체수의 증감에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 식물플랑크톤 농도는 *N. scintillans*의 개체군 크기를 조절하는 가장 큰 영향 요소로 제시되며, 시간차를 두고 둘 사이에 Bottom-up control과 Top-down control이 나타날 수 있는 가능성을 보였다. 그러나 이는 크기가 20 µm 이상인 엽록소 *a* 농도와 변화 추세에서 유추된 것이고, 또한 *N. scintillans*의 섭식률 측정이 수행되지 않은 바 이에 대한 결론은 추후에 면밀히 검토되어야 할 것으로 본다. 또한 *N. scintillans*가 상위 단계 생물군과의 관계에서 요각류 알을 포식하는 것이 확인되었으나 *N. scintillans*가 상위 단계 생물의 개체군 크기를 조절하는 것은 확인할 수 없었다. 따라서 이에 대한 연구도 추후에 논의되어야 할 것으로 본다.

적 요

*Noctiluca scintillans*의 시간적 변동과 생태학적 특성을 파악하기 위해 *N. scintillans*의 현존량과 수리-생물학적 요인에 대한 조사가 1999년 1월부터 2000년 12월까지 인천 연안에서 수행되었다. *N. scintillans*는 수온 10.3~21.5°C 범위를 보인 춘계 및 추계에 출현 개체수가 높았으며 동계 및 하계에 낮았다. 동계에는 4.5°C 이하 수온에서 출현이 제한되는 것으로 보이며 하계에는 고온과 높은 강우량에 따른 급격한 염분 감소가 제한 요인으로 판단된다. 교차 상관분석에서 엽록소 *a* 농도는 *N. scintillans* 개체수와 10일 시간 지연에서 유의한 상관관계를 나타냈다. 이는 식물플랑크톤이 *N. scintillans* 개

체군 증가에 중요한 요인이 될 수 있음을 암시한다. 춘계에 전체 개체수의 2.9~21.1%의 *N. scintillans*에서 요각류 특히 *Acartia hongii* 알이 관찰되었다. 이는 동일 시기에 *A. hongii*가 생산해낸 알의 1.2~49.5%에 해당하는 것이다. 따라서 *N. scintillans*는 인천 연안에서 *A. hongii*의 초기 성장 단계의 개체군 크기에 영향을 미칠 것으로 추측된다.

참 고 문 헌

- 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용. 1996. 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. 한국수산학회지. 29:415-430.
- 강정훈, 장민철, 이우진, 장풍국, 이재도, 윤미란, 신경순, 장만. 2005. On the relationships of *Noctiluca scintillans* with hydrological features and plankton characteristics in the marine station of the South Sea, Korea. 2005년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 초록집. 한국해양학회. 281pp.
- 서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노, 한명일, 김병섭, 강운호, 이우범. 2002. 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상. 환경생물. 20:118-129.
- 윤석현, 최중기. 1997. 인천연안 동물플랑크톤 군집의 계절적 분포에 관한 연구. 황해연구. 7:91-104.
- 윤석현, 최중기. 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포. 한국해양학회지. 8:243-250.
- 이정근. 1995. 야광충 (*Noctiluca scintillans*)의 증식과 환경조건에 관한 기초연구. 1995년 춘계 수산관련 공동학회 발표요지집, 한국수산학회지. 19-41pp.
- 장민철, 장풍국, 신경순, 박동원, 장만. 2004. 광양만 동물플랑크톤 군집의 계절 변화. 환경생물. 22:11-29.
- Buskey EJ. 1995. Growth and bioluminescence of *Noctiluca scintillans* on varying algal diets. J. Plankton Res. 17:29-40.
- Choi JK. and JH Shim. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. Environmental characteristics. J. Korean Soc. Oceanogr. 21:56-71.
- Daan R. 1987. Impact of egg predation by *Noctiluca miliaris* on the summer development of copepod populations in the southern North Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 37:9-17.
- Elbrächter M and YZ Qi. 1998. Aspects of *Noctiluca* (Dinophyceae) population dynamics. pp. 315-335. In Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms (Anderson DM, AD Cembella and GM Hallegraeff eds.). NATO ASI Ser. Vol. G 41. Springer-Verlag, Berlin.
- Hattori S. 1962. Predatory activity of *Noctiluca* on anchovy eggs. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 9:211-220.
- Huang C and Y Qi. 1997. The abundance cycle and influence

- factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. *J. Plankton Res.* 19:303-318.
- Kirchner M, G Sahling, G Uhlig, W Gunkel and KW Klings. 1996. Does the red tide-forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* feed on bacteria?. *Sarsia*, 81:45-55.
- Miyaguchi H, T Fujiki, T Kikuchi, VS Kuwahara and T Toda. 2006. Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. *J. Plankton Res.* 28:313-324.
- Nakamura Y. 1998a. Growth and grazing of a large heterotrophic dinoflagellate, *Noctiluca scintillans*, in laboratory cultures. *J. Plankton Res.* 20:1711-1720.
- Nakamura Y. 1998b. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *J. Plankton Res.* 20:2213-2222.
- Marshall HG. 1995. Succession of dinoflagellate blooms in the Chesapeake Bay, U.S.A. pp.615-620. In *Harmful Marine Algal Blooms* (Lassus P, G Arzul, E Erard, P Gentian and C Marcaillou eds.). Nantes. France.
- Montani S, S Pithakpol and K Tada. 1998. Nutrient regeneration in coastal seas by *Noctiluca scintillans*, a red tide-causing dinoflagellate. *J. Mar. Biotechnol.* 6:224-228.
- Parsons TR, Y Maita and CM Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. pp.173. Pergamon Press.
- Quevedo M, R González-Quirós and R Anadón. 1999. Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain). *Oceanol. Acta.* 22:127-131.
- Rodríguez RA, JL Ochoa and MU Alcocer. 2005. Grazing of heterotrophic dinoflagellate *Noctiluca scintillans* (Mcartney) Kofoid on *Gymnodinium catenatum* Graham. *Microbiol.* 47:6-10.
- Schaumann K, D Gerdes and KJ Hesse. 1988. Hydrographic and biological characteristics of a *Noctiluca scintillans* red tide in the German Bight, 1984. *Meeresforschung.* 32:77-91.
- Sekiguchi H and T Kato. 1976. Influence of *Noctiluca's* predation on the *Acartia* population in Ise Bay, Central Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 32:195-198.
- Shim JH and KH Yun. 1990. Seasonal variation and production of zooplankton in Chonsu Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 25:229-239.
- Smayda TJ 1997. What is bloom? A commentary. *Limnol. Oceanogr.* 42:1132-1136.
- Strom SL. 2001. Light-aided digestion, grazing and growth in herbivorous protists. *Aquat. Microb. Ecol.* 23:253-261.
- Uhlig G and G Sahling. 1990. Long-term studies on *Noctiluca scintillans* in the German Bight population dynamics and red tide phenomena 1968-1988. *Neth. J. Sea Res.* 25:101-112.
- Umami SF, A Beran, S Parlato, D Virgilio, T Zollet, AD Olazabal, B Lazzarini and M Cabrini. 2004. *Noctiluca scintillans* Macartney in the Northern Adriatic Sea: long-term dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web. *J. plankton Res.* 26: 545-561.
- Uye S. 1982. Population dynamics and production of *Acartia clausi* Giesbrecht (Copepoda: Calanoida) in inlet waters. *J. Exp. Mar. Ecol.* 57:55-83.
- Yoon SH. 2004. Spatial and temporal distribution of zooplankton community and production of copepod *Acartia hongii* in Kyeonggi Bay, Korea. Ph. D. Thesis. Inha Univ. pp.306.

Manuscript Received: July 28, 2006
Revision Accepted: September 4, 2006
Responsible Editor: Jae Hoon Noh