

인천항 내, 외에서 식물플랑크톤 위해종의 분포특성

권오윤^{1,2}, 강정훈^{2*}

¹상명대학교 생명과학과

²한국해양과학기술원 남해특성연구부

Distributional characteristics of risky phytoplankton species at inner and outer sites around Incheon seaport of Korea

Oh Youn Kwon^{1,2}, Jung-Hoon Kang^{2*}

¹Department of Life Science, SangMyung University

²South Sea Environment research Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology

요약 인천항에서 선박평형수 배출수에 기인한 외래종을 고려한 항만환경 관리수준 설정을 위해 식물플랑크톤의 잠재적 위해종 출현 특성과 관련된 환경영향 요인을 2007년 2월부터 2009년 11월까지 인천항 내측 및 외측에서 계절조사를 수행하였다. 조사결과, 한국 주변해역에서 출현한 바 있는 식물플랑크톤 62종이 관찰되었고, 그 중에 적조원인종 13종과 독소생산종 7종의 잠재적 위해종이 관찰되었다. 잠재적 위해종은 여름철과 겨울철에 인천항 외측에서 더 다양하게 출현하였다. 봄과 겨울철에는 적조원인종인 *Skeletonema* spp., *Thalassiosira nordenskioldii*, *Paralia sulcata*가 항만 내측 (평균 72.4%) 및 외측 (평균 77.6%)에서 모두 우점하였고, 수소이온과 부유물질의 농도와 양의 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$). 여름철에는 인천항 내측에서 적조원인종(*Skeletonema* spp.) 및 독소생산종(*Alexandrium catenella*, *A. tamarense*, *Dinophysis acuminata*, *Pseudo-nitzschia* spp.)이 혼합 우점 (평균 74.2%) 하였으나, 외측에서는 *Skeletonema* spp.와 *P. sulcata*가 우점 (평균 67.2%) 하였다. 연구기간 동안 출현한 독소생산종 들은 용존 무기질산염, 규산염, 인산염 및 화학적 산소요구량과 양의 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$). 식물플랑크톤 엽록소-a 농도는 봄과 여름 및 가을철에 인천항 외측에서 각각 평균 3.05 $\mu\text{g/L}$, 1.49 $\mu\text{g/L}$, 5.46 $\mu\text{g/L}$ 로 내측보다 3-5배 높은 농도가 높았고, 겨울철에는 내측 (평균 0.94 $\mu\text{g/L}$) 및 외측 (평균 0.95 $\mu\text{g/L}$) 간 농도 차이가 없었다. 요약하면, 인천항 외측은 다양한 적조원인종이 우점하며 엽록소-a 농도가 높았으나, 항만 내측은 여름철 독소생산종의 출현 중수가 높게 나타났고, 외측에 비해 엽록소-a 농도가 낮았다. 각 위해종들의 대 발생 가능성은 영양염, 화학적 산소요구량 및 부유물질의 농도와 비례한 것으로 나타나, 항만 내, 외측의 환경특성을 고려한 잠재적 위해종 관리가 요구된다.

Abstract This study examined the occurring pattern of potential risky species and the related abiotic factors for port-specific environmental management considering the control of ballast water-induced foreign species at Incheon seaport. From a total of 62 species observed during the study, 13 red-tide and 7 toxic phytoplankton, normally occurring species in Korean waters, occurred from the seasonal investigation at the inner and outer sites of the Incheon seaport from 2007 to 2009. The number of potential risky phytoplankton was relatively high at the outer site of the port during summer and winter. Red-tide species, such as *Skeletonema* spp., *Thalassiosira nordenskioldii*, and *Paralia sulcata*, dominated the total standing crops at the inner site (avg. 72.4%) and outer site (avg. 77.6%) in spring and summer, being positively correlated with the concentrations of total suspended solids (TSS) and pH ($p < 0.05$). In summer, the red-tide species (*Skeletonema* spp.) and toxic species (*Alexandrium catenella*, *A. tamarense*, *Dinophysis acuminata* and *Pseudo-nitzschia* spp.) co-dominated (avg. 74.2%) at the inner site, while *Skeletonema* spp. and *P. sulcata* predominated (avg. 67.2%) at the outer site. During the study periods, the toxic species were significantly and positively correlated with the chemical oxygen demand (COD), dissolved inorganic nitrogen, silicate and phosphate ($p < 0.05$). The chlorophyll-a (chl-a) concentration of phytoplankton at the outer site ranged from 1.49 to 5.46 $\mu\text{g/L}$ on average, which was 3-5 times higher than that at the inner site in spring, summer and autumn, whereas there was no difference in the concentration between inner (avg. 0.94 $\mu\text{g/L}$) and outer (avg. 0.95 $\mu\text{g/L}$) sites in winter. In summary, diverse red-tide species dominated and a relatively high chl-a concentration existed at the outer site, whereas a relatively high number of toxic species and low chl-a concentration was observed at the inner site in summer. The potential risky species can outbreak in association with the concentration of nutrients, COD and TSS, suggesting that distinctive management of potential risky species is needed considering the environmental characteristics of Incheon seaport.

Key Words : Dock, Incheon seaport, Phytoplankton, Risky species

본 논문은 한국해양과학기술원의 연구과제[황해 저층냉수괴의 거동과 생태계에 미치는 영향연구(PE99233)]로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jung-Hoon Kang(Korea Institute of Ocean Science & Technology)

Tel: +82-55-639-8517 email: jhkang@kiost.ac

Received July 28, 2014

Revised (1st September 3, 2014, 2nd November 5, 2014)

Accepted November 6, 2014

1. 서론

연안 해역은 인간 활동에 의한 여러 오염물질의 유입이 활발하게 나타나는 곳으로 적조(red-tide)와 부영양화(eutrophication) 현상 같은 다양한 오염 문제가 발생한다 [1,2]. 그 중 항구는 수많은 선박이 드나들며 대량의 화물이 선적 및 하역되는 곳으로 연안에서 일어나는 오염 문제 뿐만 아니라 선박에서 배출되는 선박 평형수(ballast water)에 직접적으로 노출되는 곳이다. 최근 전 세계적으로 문제가 되고 있는 선박 평형수는 화물 적재량이 적을 때 선박 안전성 유지와 조종성 향상을 위해 대부분의 선박에 저장되어 있다. 선박평형수를 통해 수송된 다양한 해양생물들은 새로운 환경에 적응하지 못하고 대부분 사멸하나, 이를 극복하고 살아남은 일부 생물은 강한 번식력으로 항만의 고유생태계를 교란시킬 수 있는 잠재적 능력을 가지고 있다[3,4]. 이러한 생물들의 생존에 영향을 끼치는 대표적 요인들은 항만 수역의 물리 및 이화학적 환경이다. 특히 선박평형수를 통한 유입 및 확산이 잘 알려져 있는 생물군 중 플랑크톤이 적조발생과 고유생태계 교란을 야기할 수 있음에도 분포특성과 연관된 기초 환경 연구가 특히 미흡하다[5,6]. 1차 생산자인 식물플랑크톤은 해수 기초 환경요인에 빠른 속도로 반응하며, 1차 소비자의 먹이원 역할을 하여 해양 부유생태계 먹이사슬의 근간이 된다[7]. 항만경계(harbor limit) 내 수역에서 일상적으로 출현하는 식물플랑크톤의 분포특성과 해수 환경 변이와의 상호관계 이해는 외래 부유생물(foreign plankton)의 유입 후 적응 혹은 확산에 대한 예측의 기초 자료로 활용될 수 있다. 이러한 선박 평형수를 통한 외래 부유생물의 유입 및 이동에 관한 연구는 최근 들어 많은 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 외편모조류인 *Gymnodinium catenatum*은 일본에서 호주 및 스페인 등으로 이동되었다는 연구 결과가 있으며[8,9], 규조류인 *Coscinodiscus wailesii*는 인도 및 태평양에서 북해 지역으로 선박 평형수에 의한 이동이 보고 되었다[10,11]. 또한 이러한 외래 유입 생물들은 그 해역의 고유 생태계의 교란 뿐 아니라 적조 및 다양한 독소를 생산하여 많은 문제점을 유발하고 있다[12]. 따라서 본 연구는 인천항 내, 외측 환경에서 식물플랑크톤 위해종의 분포 특성을 비교 및 파악하여, 향후 이들에 의한 공간 및 계절적인 잠재적 위해성 정보에 따른 항만환경 관리대책을 수립하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

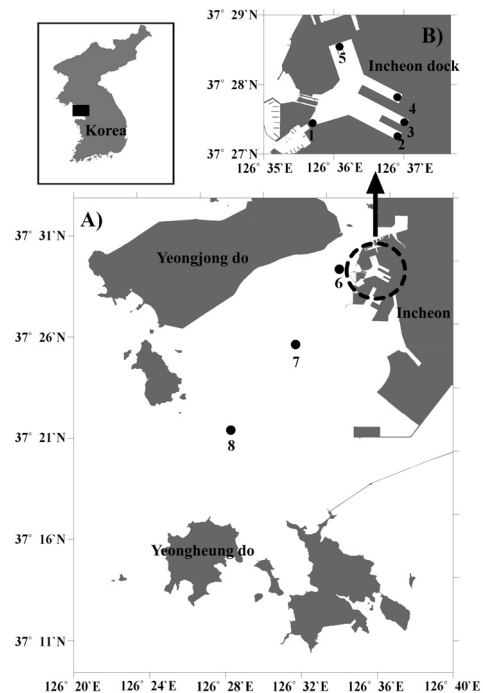
2. 재료 및 방법

2.1 연구지역

인천항은 경기만에 위치하며, 최대 10 m의 조석 간만의 차를 가진다. 이러한 조석간만의 차이로 인천항은 선거(dock)란 구조적 특징이 불가피하여 파도나 조석의 변동이 없는 폐쇄적인 구조가 특징이다. 또한 선박 이용에 따른 물의 유출로 약 2주 간격으로 해수를 보충시켜 수위를 조절한다[13]. 인천항 선거 내는 총 면적 $1.85 \times 10^7 \text{m}^2$ 이며, 평균 수심은 약 12 m이다. 조사 정점은 인천항 선거 내(인천항내)에 5개 정점, 인천항외 3개 정점으로 총 8개 정점에서 실시하였고(Fig. 1), 모든 환경요인 및 생물요인의 데이터 분석은 내측 및 외측으로 구분하여 정리하였다.

2.2 연구방법

본 연구는 2007년 2월부터 2009년 11월까지 3년간 계절조사를 기본으로 총 12회 실시하였다.



[Fig. 1] A map showing the sampling stations at Incheon seaport from 2007 to 2009.

표층 수온과 염분은 CTD (Seabird SBE 19 plus)를 이

용하여 측정하였고, 용존산소(Dissolved oxygen)와 수소이온농도(pH) 측정은 DO meter (YSI-58)와 pH meter (Orion 3 star)를 이용하였다.

화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand)은 선상에서 Niskin sampler를 이용하여 표층에서 채수한 후 시료 100 mL을 폴리에틸렌 병에 담아 냉동 보관 후 실험실로 옮겨 분석하였다[14]. 총 부유물질(Total suspended solids)은 채수한 시료를 미리 무게를 잰 GF/F filter (47 mm diameter, Whatman)를 이용하여 일정량을 여과한 뒤 실험실에서 여과 전, 후의 무게차를 이용하여 계산하였다. 엽록소-a 농도는 일정량의 시료를 GF/F filter로 여과한 후 90% 아세톤에 담귀 24시간동안 엽록소를 추출한 뒤, 형광광도계(Turner Designs 10-AU)를 이용하여 측정하였다. 무기영양염 (inorganic nutrients) 분석을 위한 시료는 현장 해수 일정량을 유리섬유여과지로 거른 뒤 여과해수를 원심분리튜브 (50 ml)에 담아 급속 냉동한 후 실험실에서 질산염(nitrate), 규산염(silicate), 및 인산염(phosphate)을 영양염 자동 분석기(Quickchem 8000, LACHAT)로 분석하였다[14].

식물플랑크톤 현존량 분석은 현장에서 표층 시료 500 mL을 채수하여 루골용액을 이용해 최종농도 1%가 되도록 고정한 다음 실험실로 운반하여 침전법으로 농축하여, Sedgwick counting chamber를 이용하여 광학현미경 (Primo Star, Zeiss) ×100배하에서 3회 계수하여 계산하였다. 정성분석은 ×400-1000배 하에서 동정하였다.

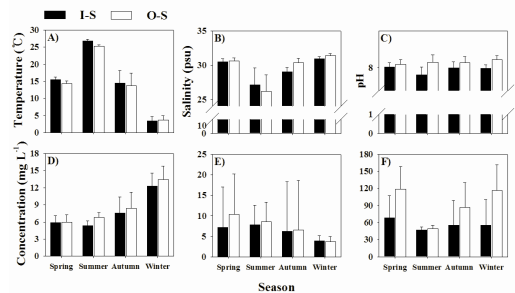
식물플랑크톤 위해종은 다양한 참고문헌을 통하여 적조 원인종과 독 생산종으로 구분하였다[2, 3]. 잠재적 위해종의 환경요인과의 관계를 파악하기 위하여 중회귀 분석을 실시하였고, 통계분석은 SPSS (v. 12.0)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 환경요인의 변화

조사기간 중 인천항 내에서 측정된 수온은 1.97-28.15°C의 범위에서 최대값은 여름철 (평균 26.26°C)에, 최저값은 겨울철 (평균 3.52°C)에 나타나 전형적인 온대성 계절특성을 나타냈다[Fig. 2-A]. 인천항만 내, 외측의 분포 측면에서 내측 수온 (평균 15.04°C)이 외측 (평균 14.25°C)보다 높았으며, 특히, 여름철에 내측 (평균 26.86°C) 과 외측(평균 25.26°C)의 수온차이가 1.6°C로 가장 컸다.

염분은 21.09-31.77 psu의 범위에서 변이를 나타냈고, 내측 (평균 29.41 psu)이 외측 (평균 29.63 psu)보다 다소 낮았다[Fig. 2-B]. 봄철과 가을철 및 겨울철에는 외측에서 높았으나, 여름철에는 내측이 평균 27.16 psu로 외측 (평균 26.14 psu)보다 약 1 psu이상 높았다. 여름철 낮은 염분은 집중강우에 의한 담수 유입에 기인한 것으로 판단되며, 외측의 낮은 염분은 본 조사 지역이 한강 하류에 인접하기 때문에 내측보다 담수의 유입에 따른 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 용존산소(Dissolved Oxygen)는 4.30-16.36 mg/L의 범위로 나타났고, 겨울철에 내측 및 외측에서 각각 평균 12.27 mg/L와 13.44 mg/L로 가장 높았다[Fig. 2-D]. 용존산소는 식물플랑크톤 광합성과 같은 생물학적인 요인뿐만 아니라 수온 및 해황과 같은 물리학적 요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있다[15]. 내측에서 용존산소량은 평균 7.76 mg/L로 외측 (평균 8.66 mg/L)보다 다소 낮았다. 이는 해수의 유동이 거의 없는 폐쇄적인 환경에 기인한 것으로 판단된다.

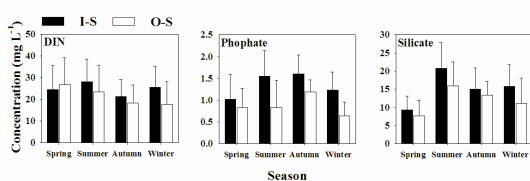


[Fig. 2] Seasonal variation of environmental factors at inner and outer stations of Incheon seaport, Korea. (I-S: Inner sites, O-S: Outer sites, A) Water temperature, B) Salinity, C) pH, D) Dissolved oxygen, E) Chemical oxygen demand, F) Total suspended solids)

수소이온농도(pH)는 7.65-8.37의 범위로, 내측과 외측 모두 계절 변동 폭이 크지 않았다[Fig. 3-C]. 또한, 외측에서 평균 8.12로 내측(평균 7.96) 보다 다소 높았다. 화학적 산소요구량은 0.56-38.69 mg/L의 범위였고, 봄철에 내측 (평균 7.15 mg/L) 및 외측 (평균 10.35 mg/L)에서 가장 높았다.

연구기간동안 총 부유 물질 농도는 40.32-180.12 mg/L의 범위를 나타냈고, 봄철 및 가을철과 겨울철에 내측 (평균 59.55 mg/L) 및 외측 (평균 107.15 mg/L)간의 농도

차가 컸다. 특히, 총 부유물질 농도는 외측에서 내측보다 모든 계절에 높았다. 이는 해류의 흐름이 거의 없는 내측에 비해 외측은 조석 및 빠른 해류에 의한 수직 혼합에 의하여 많은 저층의 부유물질이 유입된 것으로 판단된다.



[Fig. 3] Seasonal variation of DIN (dissolved inorganic nitrogen), phosphate and silicate concentration at inner and outer stations of Incheon seaport, Korea. (I-S: Inner sites, O-S: Outer sites)

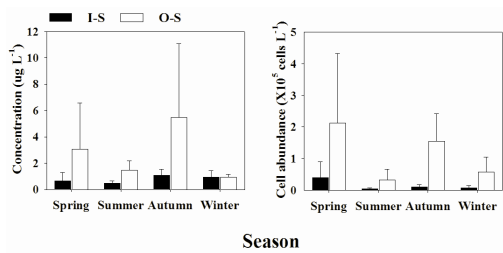
조사기간 중 용존 무기질산염 (dissolved inorganic nitrogen)은 3.89–47.22 μM 의 범위였고, 모든 계절에 내측 (평균 24.87 μM)에서 외측 (평균 21.64 μM)보다 높았다[Fig. 3]. 계절별로는 여름철에 내측과 외측에서 각각 평균 27.98 μM 과 23.49 μM 로 가장 높았고, 가을철에 내측에서 평균 21.31 μM 로, 겨울철에 외측에서 평균 17.78 μM 로 가장 낮았다. 인천항의 용존 무기질산염 농도는 같은 시기의 울산항 (평균 10.48 μM)과 부산항 (평균 12.41 μM)보다 약 2배 이상 높은 농도였다. 이는 상대적으로 폐쇄적인 구조를 가지는 인천항의 구조적 특징으로 인해 용존 무기질산염이 지속적으로 축적되는데 반해 영양염의 배출이 원활치 못한 데에서 기인할 수 있다. 또한 주변 생태계에서 유입되는 각종 오염 부하의 가중과 이들이 퇴적된 침전물로부터 분해되는 유기물이 크게 기여하는 것으로 판단된다[13,16]. 인산염(phosphate)은 계절에 관계없이 내측에서 평균 1.35 μM 로 외측 (평균 0.87 μM)보다 높았다. 가을철 내측에서 평균 0.90 μM 로 가장 높았고, 봄철에 0.42 μM 로 가장 낮았다. 일반적으로 연안 해역에서 질산염 및 인산염 농도 변동은 하천이나 강과 같은 담수의 영향을 주로 받는 것으로 알려져 있다[17]. 그러나 인천항 내측 인산염 농도는 강이나 하천수의 유입 대신 질산염과 같이 배출이 쉽지 않은 폐쇄적인 구조에 더 영향을 받는 것으로 판단된다. 또한 유 등[18]은 인천항 내측은 하역 작업 시 유출되는 고형물질들에 의해 기인한다고 보고하였다. 규산염은 1.22–29.95 μM 의 범위로 나타났고, 여름철에 내측에서 평균 20.80 μM 을, 외측에

서 평균 15.98 μM 로 다른 계절에 비해 높았다. 규산염도 용존 무기질산염 및 인산염과 같이 내측에서 평균 15.21 μM 로 외측 (평균 12.05 μM)보다 높았다. 일반적으로 식물플랑크톤의 성장에 필요한 질산염의 최소농도는 2–10 μM 로 알려져 있고[19], 규산염은 식물플랑크톤 중 큰 비중을 차지하는 규조류의 증감을 조절하는 필수 요소로 성장에 필요한 최소농도는 2–5 μM 이다[20]. 본 조사에서 인천항 내 외측 모두 질산염 및 규산염의 농도는 지속적으로 성장에 필요한 최소농도 이상의 값을 나타내, 성장에 필요한 농도가 충분히 공급되는 것으로 여겨진다.

3.2 식물플랑크톤 생체량 및 현존량의 변동

조사기간 중 엽록소-*a* 농도는 0.07–17.26 $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 나타났다. 계절별로는 가을철에 내측 (평균 1.10 $\mu\text{g/L}$) 및 외측 (평균 5.46 $\mu\text{g/L}$)에서 가장 높았고, 내측에서는 봄철에 평균 0.47 $\mu\text{g/L}$ 을, 외측에서는 겨울철에 0.95 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮았다[Fig. 4]. 온대해역에서 식물플랑크톤의 현존량과 생체량이 일반적으로 봄철과 가을철에 높은 것으로 보고되어 있다[21,22]. 외측에서 엽록소-*a*의 계절변동은 이와 유사하였으나, 내측에서는 계절변동이 뚜렷하게 나타나지 않았다. 또한, 엽록소-*a*는 높은 영양염 농도에 영향을 받는 것으로 알려져 있다[23]. 그러나 본 조사 기간에는 용존 무기질산염과 인산염 및 규산염 농도가 높은 내측에서 엽록소-*a* 농도가 낮았고, 오히려 외측에서 더 높았다.

식물플랑크톤 현존량은 엽록소-*a*농도 변화와 유사하였다. 식물플랑크톤 현존량은 연구기간동안 0.2–67.1 $\times 10^4$ cells/L의 범위를 나타냈다. 내측에서 식물플랑크톤 현존량의 계절변동은 봄철에 평균 3.9 $\times 10^4$ cells/L로 가장 높았고, 여름철에 평균 0.4 $\times 10^4$ cells/L로 낮았다. 가을과 겨울철에는 각각 평균 1.1 $\times 10^4$ cells/L와 0.8 $\times 10^4$ cells/L로 나타났다. 외측에서는 내측과 같이 봄철에 평균 21.3 $\times 10^4$ cells/L로 가장 높은 현존량이 나타났고, 여름철에 평균 3.3 $\times 10^4$ cells/L로 가장 낮았다. 가을철에는 평균 15.5 $\times 10^4$ cells/L로 높았고 겨울철에는 평균 5.7 $\times 10^4$ cells/L로 현존량이 낮게 나타났다. 내측과 외측에서 식물플랑크톤 현존량의 계절 변동양상은 유사하게 나타났으나, 계절에 상관없이 외측에서 높았다.



[Fig. 4] Seasonal variation of chlorophyll-a concentration and phytoplankton standing crops at Incheon seaport, Korea. (I-S: Inner sites, O-S: Outer sites)

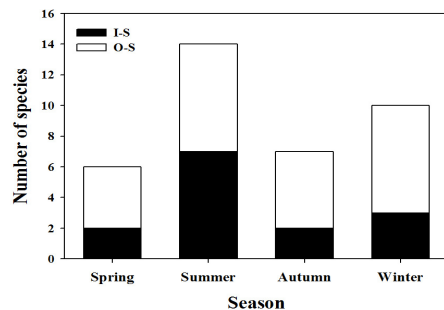
3.3 잠재적 위해종의 분포

조사기간 중 인천항에서 출현한 잠재적 위해종은 총 20종이었고(Table 1), 이 중에 적조 원인종이 13종, 독소 생산종이 7종이었다. 계절별 출현양상은 봄철과 가을철에 각각 5종과 7종이 출현하였고, 여름철과 겨울철에 각각 14종과 10종으로 출현하여 더 다양하였다[Fig. 5]. 공간적 출현양상은 연구기간동안 내측에서의 잠재적 위해종 출현 종수가 외측보다 적었으나, 예외적으로 여름철에 독소생산종이 여름철에 6종이 출현하여 2종이 출현한 외측보다 다양하였다. 조사 결과 인천항에서 대표적 우점종인 *Skeletonema* spp., *Paralia sulcata*, *Alexandrium catanella*, *A. tamarensense*, *Dinophysis acuminata* 및 *Pseudo-nitzschia* spp.의 6종을 대상으로 환경요인과의 관계를 Table 2에 정리하였다. 연구기간동안 출현한 *Alexandrium*속의 종은 총 5 종이었고, 총 출현현존량이 평균 467 cells/L이었다.동정된 2종인 *A. catanella* (평균 29.1%)와 *A. tamarensense* (평균 62.5%)가 *Alexandrium*속의 총 현존량의 평균 91.6%를 차지하여 최 우점 하였다. 그 외 미 동정된 3종의 *Alexandrium*속의 종들은 평균 8.4%의 점유율 나타냈고, 환경요인들과 유의한 관계는 없었다. 적조원인종인 *Skeletonema* spp.는 인천항 내, 외측에서 계절에 관계없이 우점하였고, 수소이온농도 및 부유물질과 양의 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$). 이 종은 우리나라 전역에서 항상 출현하는 종으로서 대표적인 연안종으로 알려져 있다[24]. 본 조사에서도 전 조사 지역에서 상시 출현하였다. 또한 이 등[25]은 *Skeletonema* spp.이 여름철 내측에서 $0.7 - 1.25 \times 10^7$ cells/L의 범위로 대 발생을 일으켰고, 이는 높은 수온에 기인한다고 보고하였다. 외측에서 대표적 우점종으로 출현한 *P. sulcata*는 수온 및 부유물질과 양의 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$).

[Table 1] Distribution of potential risky species at Incheon seaport, Korea. (I-S: Inner site, O-S: Outer site, DA: domoic acid, PSP: paralytic shellfish poisoning, DSP: diarrhetic shellfish poisoning)

Potential risky species		
Diatoms	Character	Distribution
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Red tide	I-S, O-S
<i>Chaetoceros compressus</i>	Red tide	I-S, O-S
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Red tide	I-S
<i>Chaetoceros socialis</i>	Red tide	O-S
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Red tide	I-S, O-S
<i>Ditylum brightwellii</i>	Red tide	O-S
<i>Eucampia zodiacus</i>	Red tide	I-S, O-S
<i>Paralia sulcata</i>	Red tide	O-S
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	Toxic (DA)	I-S
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	Toxic (DA)	I-S, O-S
<i>Skeletonema</i> spp.	Red tide	I-S, O-S
<i>Thalassiosira rotula</i>	Red tide	O-S
Dinoflagellates		
<i>Alexandrium catanella</i>	Toxic (PSP)	I-S
<i>Alexandrium tamarensense</i>	Toxic (PSP)	I-S
<i>Alexandrium</i> spp.	Toxic (PSP)	I-S
<i>Dinophysis acuminata</i>	Toxic (DSP)	I-S
<i>Dinophysis</i> spp.	Toxic (DSP)	I-S, O-S
<i>Heterocapsa triquetra</i>	Red tide	O-S
<i>Prorocentrum micans</i>	Red tide	O-S
Euglenoides		
<i>Eutreptiella gymnastica</i>	Red tide	O-S

신경독의 일종으로 기억상실성 패독인 도모익 산(Domoic acid)을 배출하는 것으로 알려진 *Pseudo-nitzschia* spp.는 여름철에 내측 및 외측에서 모두 출현하였고, 질산염 및 규산염 농도와 양의 상관관계를 나타냈다 ($p < 0.01$).



[Fig. 5] Species number of potential risky species at Incheon seaport, Korea. (I-S: Inner sites, O-S: Outer sites)

[Table 2] Multiple regression of potential risky species and environmental factors at Incheon seaport (**:p<0.01, *:p<0.05)

Species	Variables	β	Remark
<i>Skeletonema</i> spp.	pH	0.678**	n=64 $r^2 = 0.789$
	TSS	0.428*	F = 32.654
<i>Paralia sulcata</i>	TSS	0.423*	n=64 $r^2 = 0.425$
			F = 14.578
<i>Alexandrium catanella</i>	COD	0.578**	n=64 $r^2 = 0.422$
	DIN	0.422*	F = 21.654
<i>Alexandrium tamarense</i>	DIN	0.577*	n=64 $r^2 = 0.406$
			F = 19.275
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	DIN	0.977*	n=64 $r^2 = -0.967$
	Silicate	0.621*	F = 104.171
<i>Dinophysis acuminata</i>	Phosphate	0.702**	n=64 $r^2 = 0.514$
			F = 27.636

또한 설사성 마비패독(Diarrhetic shellfish poisoning)을 일으키는 *D. acuminata*와 기억마비성 패독(Paralytic shellfish poisoning)을 유발하는 *A. catanella*와 *A. tamarense*는 질산염과 인산염 및 화학적 산소 요구량과 유의한 양의 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$). 특히, *A. tamarense*는 진해만을 포함한 남해안에서 출현하는 것으로 보고되었고[26], 가막만에서 분리된 개체에서 기억성 마비패독을 가지고 있는 것으로 확인되었다[27]. 이 같은 독소생산종들은 내측에서 낮은 현존량으로 출현하였으나, 여름철에 더 많은 종수가 출현하였고, 내측의 상대적으로 높은 영양염 농도 및 수온 등에 의하여 대량으로 증가할 수 있는 잠재성을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

2007년부터 2009년까지 모든 계절에 인천항 내측의 식물플랑크톤 엽록소-*a* 농도는 외측보다 낮았고, 잠재적 위해종의 출현 종수도 적었다. 그러나 여름철 인천항 내측에서 독소 생산종이 차지하는 비율이 외측보다 높았고, 대 발생을 일으킬 수 있는 환경특성 (최소 수온 및 영양

염 농도조건)을 유지하고 있어 주의가 필요한 것으로 판단된다. 또한 외측에서는 적조원인종의 출현 종수가 내측 보다 상대적으로 많았고, *Skeletonema* spp.와 *P. sulcata*와 같은 적조원인종이 계절에 상관없이 우점하였다. 따라서 인천항에서 식물플랑크톤 잠재적 위해종은 내측과 외측에서 서로 다른 분포 특성을 나타내어, 이들 종의 항만 내 위해성 관리를 위해 내, 외측의 출현특성을 구분하여 고려해야 할 것으로 판단되었다.

References

- [1] T. J. Smayda, "Novel and nuisance phytoplankton bloom in the sea: evidence for a global epidemic", p. 29-40, In: Toxic marine phytoplankton, ed. by E. Graneli, B. Sundstrom, L. Elder, D. M. Anderson. Elsevier, New York, 1990.
- [2] G. M. Hallegraeff, "Harmful algal blooms: a global overview", p. 25-49, In: Manual on Harmful Marine Microalgae, ed. by G. M. Hallegraeff, D. M. Anderson, A. Cembella, UNESCO Publishing, Paris. 2003.
- [3] G. M. Hallegraeff, "Transport of toxic dinoflagellates via ship's ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies", Mar. Ecol. Prog. Ser., 168, 297-309, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/meps168297>
- [4] T. J. Smayda, "Reflection on the ballast water dispersal harmful algae bloom paradigm". Harmful algae, 6, 601-622, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2007.02.003>
- [5] J.-H. Kang, "Distributional characteristics and carrying capacity of the potentially risky species *Noctiluca scintillans* at Korean Seaports", Ocean and Polar Res., 32, 449-462, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2010.32.4.449>
- [6] O. Y. Kwon, J.-H. Kang, "Distribution of potential risky species on phytoplankton at ports in Korea", J. Korea Academia-industrial. 14, 506-510, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.1.506>
- [7] J. E. Cloern, R. Dufford, "Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay", Mar. Ecol. Prog. Ser., 285, 11-28, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/meps285011>
- [8] G. M. Hallegraeff, S. Fraga, "Bloom dynamics of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*, with emphasis on Tasmanian and Spanish coastal waters", p.

- 261-287, In: *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*, ed. by D. M. Anderson, A. D. Cembella, G. M. Hallegraeff, Springer-Verlag, Berlin, 1998.
- [9] E. L. Lilly, D. M. Kulis, P. Gentien, D. M. Anderson, "Paralytic shellfish poisoning toxins in France linked to a human-introduced strain of *Alexandrium catenella* from the western Pacific: evidence from DNA and toxin analysis", *J. Plankton Res.*, 24, 443-452, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/24.5.443>
- [10] M. Edwards, A. W. G. John, D. G. Johns, P. C. Reid, "Case history and persistence of the non-indigenous diatom *Coscinodiscus wailesii* in the north-east Atlantic", *J. Mar. Biol.*, 81, 207-211, 2001.
- [11] G. T. Boalch, D. S. Harbour, "Unusual diatom off the coast of south-west England and its effect on fishing", *Nature*, 269, 687 - 688, 1977.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/269687a0>
- [12] D. M. Anderson, "Toxic algal blooms and red tides: a global perspective" p. 11-16, In: *Red tides: biology, environmental science and toxicology*, ed. by T. Okaich, D. M. Anderson, T. Nemoto, Elsevier, New York, 1989.
- [13] J.-S. Yoo, J. H. Lee, I.-K. Lee, "Characteristics of physicochemical factors of Incheon dock ecosystem, Korea", *Korean J. Ecol.*, 20(1), 61-68, 1997.
- [14] T. R. Parsons, Y. Maita, G. M. Lalli, "A manual of chemical and biological methods for seawater analysis", Pergamon press, 1984.
- [15] J. W. Nybakken, M. D. Bertness, "Marine Biology", Benjamin Cummings, San Francisco, 2005.
- [16] I.-K. Lee, J. H. Lee, S. A. Yoo, "Annual fluctuations of physicochemical factors in Incheon dock, Korea", *Korean J. Biol.*, 9, 88-103, 1991.
- [17] N. N. Rabalais, R. E. Turner, R. J. Diaz, D. Justic, "Global change and eutrophication of coastal waters", *J. Mar. Sci.*, 66, 1528-1537, 2009.
- [18] J.-S. Yoo, J. H. Lee, Y. H. Kim, I.-K. Lee, "Fluctuation of phytoplankton biomass and primary productivity in closed marine ecosystem, Incheon Dock", *Korean J. Bot.*, 35(4), 323-332, 1992.
- [19] J. C. Goldman, P. M. Gilbert, "Kinetics of inorganic nitrogen uptake by phytoplankton", p. 233-274. In: *Nitrogen in the marine environment*, ed. by G. C. Douglas, A. B. Deborach, R. M. Margaret, J. C. Carpenter, Academic Press, New York, 2008.
- [20] M. A. Brzezinski, D. R. Phillips, F. P. Chavez, G. E. Friederich, R. C. Dugdale, "Silica production in the Monterey, California, upwelling system", *Limnol. Oceanogr.* 42, 1694-1705, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1997.42.8.1694>
- [21] C.-D. Alejandra, G. M. X. Anelu, "Seasonal dynamics of picoplankton in shelf waters of the southern bay of Biscay", *Aquat. Microb. Ecol.*, 42, 159-174, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/ame042159>
- [22] G. A. Tarran, M. A. Zubkov, M. A. Sleigh, P. H. Burkill, "Microbial community structure and standing stocks in the NE Atlantic in June and July of 1996", *Deep-Sea Res. II*, 48, 963-985, 2001.
- [23] T. Ault, R. Velzeboer, R. Zammit, "Influence of nutrient availability on phytoplankton growth and community structure in the Port Adelaide River, Australia: bioassay assessment of potential nutrient limitation", *Hydrobiol.* 429, 89-103, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004024630413>
- [24] K. H. Ann, J. Yoo, J. N. Kwon, C. S. Jung, "The clarification of spatial-temporal patterns of phytoplankton from southern Korea coastal waters in 2004", *Korean J. Environ. Biol.*, 15, 539-562, 2006.
- [25] J. H. Lee, J. S. Byun, "Annual dynamics of phytoplankton diatoms in Incheon dock", *Korean J. Phycol.*, 6, 69-82, 1991.
- [26] M. S. Han, J. K. Jeon, Y. O. Kim, "Occurrence of dinoflagellate *Alexandrium tamarense*, a causative organism of paralytic shellfish poisoning in Chinhae bay, Korea", *J. Plankton Res.*, 14, 1581-1592, 1992.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/14.11.1581>
- [27] H. H. Shin, Y. H. Yoon, H. Kawami, M. Iwataki, K. Matsuoka, "The first appearance of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* (Gonyaulacales, Dinophyceae) responsible for the PSP contaminations in Gamak bay, Korea", *Algae*, 23, 251-255, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2008.23.4.251>

권오윤(Oh Youn Kwon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 상명대학교 생물학과 (이학석사)
- 2013년 2월 : 상명대학교 생물학과 (박사수료)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연구사업인력

<관심분야>

해양생물학, 식물플랑크톤 생태학

강 정 훈(Jung-Hoon Kang)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 해양학과 (이학석사)
- 2004년 8월 : 서울대학교 지구환경과학부 (이학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>

해양생물학, 외래생물생태학