

항만 환경에서 식물플랑크톤 잠재적 위해종의 분포

권오윤^{1,2}, 강정훈^{2*}

¹상명대학교 그린생명과학과, ²한국해양과학기술원 남해특성연구부

Distribution of potential risky species on phytoplankton at ports in Korea

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

¹Department of Green Life Science, SangMyung University

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

요약 본 연구의 목적은 국내 주요항에서 출현하는 식물플랑크톤 잠재적 위해종의 시 공간적 변화를 파악하고, 환경요인과의 관계를 이해하는데 있다. 부산, 울산, 인천 및 광양항에서 2007년 1월부터 12월까지 잠재적 위해종 및 환경요인을 계절별로 총 4회 조사하였다. 조사기간 중 출현한 잠재적 위해종은 총 25종으로, 이 중 적조 원인종이 20종이었으며 독소 생산종이 5종이었다. 적조 원인종인 *Skeletonema costatum*은 전 조사 지역에서 우점종으로 나타났다. 이 종은 부산항에서 수소이온농도와 양의 상관관계를, 용존산소와 음의 상관관계를 보였고($p<0.05$), 울산항에서는 부유물질과 수소이온농도와 양의 상관관계를, 염분과 음의 상관관계를 보였다($p<0.05$). 또한, 광양항에서는 염분 및 질산염과 양의 상관관계를, 수소이온농도와 음의 상관관계를 보였고($p<0.05$), 인천항에서는 질산염과 양의 상관관계를 보였고($p<0.01$). 독소 생산종 중 기억 상실성 패독인 도모의 산을 배출하는 것으로 알려진 *Pseudo-nitzschia* spp.는 전 조사지역에서 출현하였고, 질산염 및 규산염과 양의 상관관계를 보였고($p<0.05$). 그리고 설사성 마비패독을 일으키는 *Dinophysis acuminata* 및 기억성 마비패독을 유발하는 *Alexandrium* spp.는 화학적 산소 요구량과 양의 상관관계를 보였고($p<0.01$). 적조 원인종은 항구의 물리적 환경 요인에 영향을 받은 반면 독소 생산종은 영양염류와 같은 화학적 요인에 영향을 받는 것으로 나타났다.

Abstract This study aimed to understand relationship between potential risky species and environmental factors at ports in Korea. During the study periods, 25 potential risky species (red tide and toxic species) representing 20 red-tide species, 5 toxic species were observed in the all ports. *Skeletonema costatum* (red-tide species) was predominated in all study area. This species showed positive correlation with pH, while negative correlation with dissolved oxygen ($p<0.05$) at Busan port. Also, this species showed positive correlation with total suspended solids and pH ($p<0.05$) at Ulsan port. However, *Sk. costatum* showed positive correlation with nitrate at Incheon port ($p<0.01$). *Pseudo-nitzschia* spp. producing amnesic shellfish poison (domoic acid) showed positive correlation with nitrate and silicate in all study areas ($p<0.05$). *Alexandrium* spp. (paralytic shellfish poison) and *Dinophysis acuminata* (diarrhetic shellfish poison) were affected by chemical oxygen demand ($p<0.01$). Our results indicated that red-tide species were affected by physical factors, while chemical factors affected toxic species.

Key Words : Potential risky species, Port, Phytoplankton

1. 서론

전 세계적으로 HABs (Harmful algal blooms)가 빈번

하게 발생하고 있으며, 연안해역의 부영양화로 인하여 그 발생빈도와 강도가 점점 강해지고 있다 [1-2]. 전 세계적으로 5000여 종의 해양 식물플랑크톤 중 약 300여종이

본 논문은 해양과학기술원 (PE99165)의 연구과제로 수행되었음.

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

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

Received October 31, 2012 Revised December 13, 2012 Accepted January 10, 2013

적조 원인 종으로 알려져 있으며, 독소를 생산하여 어류나 패류 그리고 인간에게 피해를 줄 수 있는 종은 약 80여 종으로 알려져 있다 [3]. 우리나라 연안 해역은 여러 요인들에 의하여 대부분 부영양화(eutrophic) 상태를 보이고 있으며, 이에 기인하여 많은 적조가 발생하고 있다 [4-5]. 또한, 적조를 유발하는 유해성 식물플랑크톤에 관한 연구도 수행되어 지고 있다 [6-8].

항구는 해수의 유동이 적고 수심이 낮으며, 수위가 안정적인 반 폐쇄적인 구조를 가진다. 그리고 산업 활동을 위해 수많은 선박이 정박 및 이동하고 경제활동의 증가로 인하여 그 수는 매년 증가하고 있다. 이러한 특징으로 인하여 항만 환경은 부영양화가 빈번히 발생하며, 식물플랑크톤 대 발생이 일어난다 [9]. 또한, 항만환경은 선박에서 배출되는 선박 평형수에 직접 노출되어 있고, 외래 생물유입(박테리아, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤 등)에 의한 토착 생물과의 경쟁으로 인해 생태계 교란이 일어날 수 있다 [10].

항만 생태계에 관한 지금까지의 연구는 접근성의 어려움 등으로 이화학적 특성 및 식물플랑크톤군집에 대한 간헐적인 단편적 조사가 일부 수행 되었을 뿐 [9,11], 항구 특성에 따른 잠재적 위해종의 분포와 환경요인과의 연구는 찾아보기 힘들다. 최근 들어 항만은 경제적인 가치와 더불어 환경 및 생태적 중요성이 대두되고 있다. 따라서 본 연구는 국내 주요 무역항인 부산, 울산, 인천, 광양항에서 출현하는 잠재적 위해종의 분포를 파악하고, 이들과 환경요인과의 관계를 이해하여 항후 항만환경 관리의 기초 자료로 제공될 수 있다.

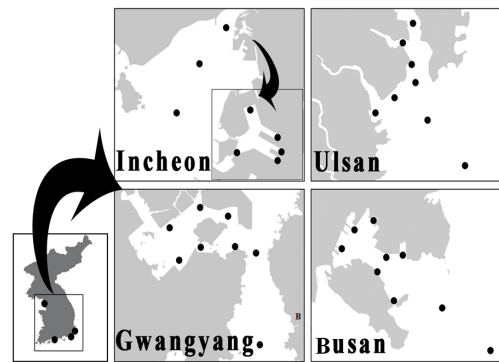
2. 재료 및 방법

본 연구는 2007년 1월부터 12월까지 인천, 광양, 울산 및 부산항에서 계절별로 총 4회 실시 하였다. 조사 정점은 Fig. 1과 같다. 수온과 염분은 CTD (SBE 19 plus, USA)를 이용하여 현장에서 수직 분포를 얻었고, 용존산소(Dissolved oxygen)와 수소이온농도(pH)는 각각 DO meter (YSI-58)와 pH meter (Orinon 3-star)를 이용하였다. 화학적산소요구량(Chemical oxygen demand)은 선상에서 Niskin sampler를 이용하여 채수한 후 시료 100 mL을 폴리에틸렌 병에 담아 냉동 보관 후 실험실로 옮겨 분석하였고 [12], 총 부유물질(Total suspended solids)은 채수한 시료를 미리 무게를 잰 GF/F filter (47 mm diameter, Whatman)를 이용하여 일정량을 filter한 다음 실험실로 옮겨 여과 후와 여과전의 무게차를 이용하여 측정하였다. 엽록소 a는 일정량의 시료를 GF/F filter로 여과한 후 아세

톤으로 색소를 추출한 다음 형광광도계(Turner Designs 10-AU)를 이용하여 측정하였다. 영양염류(질산염, 아질산염, 암모니아, 인산염, 규산염)는 여과한 시료를 50 mL Falcon tube에 담아 냉동시킨 후 실험실로 옮겨 자동영양염분석기(Quickchem 8000, LACHAT)를 이용하여 각각 분석하였다.

식물플랑크톤은 현장에서 시료 500 mL을 채수하여 루골용액을 이용해 최종농도 1%가 되도록 고정된 다음 실험실로 운반하여 침전법으로 농축하여 정량시료로 사용하여, Sedwick counting chamber를 이용하여 광학현미경(Primo Star, Zeiss) ×100배하에서 3회 계수하여 계산하였다. 정성분석은 ×400-1000배하에서 동정하였다.

잠재적 위해종은 여러 참고문헌을 통하여 적조 원인종과 독 생산종을 선정하였다 [1-3]. 잠재적 위해종의 환경요인과의 관계를 파악하기 위하여 중회귀 분석을 실시하였고, 통계분석은 SPSS (v. 12.0)을 이용하였다.



[Fig. 1] A map showing the sampling stations at Busan, Ulsan, Incheon and Gwangyang ports.

3. 결과 및 고찰

3.1 항만별 잠재적 위해종의 분포

조사기간 중 출현한 잠재적 위해종은 총 25종으로, 부산항에서 22종이 출현하였고, 울산항에서 25종으로 가장 많은 잠재적 위해종이 나타났다 (Table 1). 또한, 광양항에서 24종이 출현하였고, 인천항에서는 11종이 출현하여 가장 낮은 출현종수를 보였다. 부산항에서 출현한 잠재적 위해종 중 *Chaetoceros socialis*와 *Skeletonema costatum*은 각각 가을과 봄철에 우점종으로 나타났다. 이 두 종은 적조 원인종으로서 *Ch. socialis*는 북 온대 연안지역에서 빈번히 출현하는 종으로 [13], 우리나라에서도 남해연안에서 가을철에 높은 출현을 보이는 것으로 알려져 있다

[14]. *Sk. costatum*은 서해안 및 남해안과 동해안에서 항시 출현하는 종으로서 대표적인 연안종으로 알려져 있다
 [15]. 본 조사에서도 전 조사 지역에서 상시 출현하는 것으로 나타났다.

[Table 1] Distribution and frequency of potential risky species at Busan, Ulsan, Incheon and Gwangyang ports in Korea (B: Busan, U: Ulsan, I: Incheon and G: Gwangyang, DA : domoic acid, PSP : paralytic shellfish poisoning : DSP : diarrhetic shellfish poisoning)

Potential risky species		
Diatoms	Character	Distribution
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Red tide	B, U, G
<i>Chaetoceros affinis</i>	Red tide	B, U, G
<i>Chaetoceros compressus</i>	Red tide	B, U, G
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Chaetoceros debilis</i>	Red tide	B, U, G
<i>Chaetoceros didymus</i>	Red tide	B, U, G
<i>Chaetoceros socialis</i>	Red tide	B, U, G
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Ditylum brightwellii</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Eucampia zodiacus</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Guinardia striata</i>	Red tide	B, U, G
<i>Leptocylindrus danicus</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	Toxic (DA)	B, U, G
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	Toxic (DA)	B, U, I, G
<i>Rhizosolenia setigera</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Skeletonema costatum</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Thalassiosira rotula</i>	Red tide	B, U, G
Dinoflagellates		
<i>Alexandrium</i> spp.	Toxic (PSP)	B, U, G
<i>Dinophysis acuminata</i>	Toxic (DSP)	U, G
<i>Dinophysis fortii</i>	Toxic (DSP)	U
<i>Gyrodinium spirale</i>	Red tide	B, U, G
<i>Heterocapsa triquetra</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Prorocentrum micans</i>	Red tide	B, U, I, G
<i>Prorocentrum triestinum</i>	Red tide	B, U, I, G
Euglenoides		
<i>Eutreptiella gymnastica</i>	Red tide	B, U, I, G

울산항에서 출현한 위해종 중 *Sk. costatum*은 봄과 여름철에 우점종으로 나타났고, 그 외 적조원인종과 독소원인종은 간헐적으로 분포하였다. 특히, 설사성마비패독을 유발하는 *Dinophysis acuminata*는 여름철에 높은 현존량과 분포를 보였다. 광양항에서는 *Sk. costatum*이 전 계절에 걸쳐 가장 높은 우점종으로 나타났고, 겨울과 여름철에 특히 높은 우점률을 보였다. 그 외 잠재적 위해종은 전 항구 중 가장 높은 출현 종수를 보인 것에 반하여 그 분포와 현존량은 적었다.

[Table 2] Multiple regression of dominant species and environmental factors at major ports in Korea (**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, DO: dissolved oxygen, WT: water temperature, TSS: total suspended solids)

Ports	Dominant species	Variables	β	Remark
Busan	<i>Chaetoceros socialis</i>	Salinity	-0.683**	n=36
		Phosphate	-0.271*	$r^2 = 0.64$
		DO	0.229*	F = 21.86
	<i>Chaetoceros pseudocrinatus</i>	Salinity	-0.879**	n=36
		pH	0.489**	$r^2 = 0.54$
		WT	-0.491*	F = 15.09
Ulsan	<i>Skeletonema costatum</i>	pH	0.411**	n=36
		DO	-0.328*	$r^2 = 0.34$ F = 10.05
	<i>Detonula pumila</i>	Salinity	0.421*	n=36
		TSS	0.339*	$r^2 = 0.34$ F = 10.05
	<i>Skeletonema costatum</i>	TSS	0.577**	n=32
		Salinity	-0.303**	$r^2 = 0.77$ F = 35.95
Incheon	<i>Skeletonema costatum</i>	Nitrate	0.439**	n=32
				$r^2 = 0.16$ F = 7.17
	<i>Paralia sulcata</i>	Nitrate	0.672**	n=32
Gwang-yang	<i>Skeletonema costatum</i>	Phosphate	-0.512**	$r^2 = 0.38$ F = 10.82
		Salinity	1.226**	n=32
	pH	-0.447**	$r^2 = 0.55$ F = 13.62	
	<i>Odontella longicruris</i>	Nitrate	0.584*	n=36
	WT	0.478*	$r^2 = 0.34$ F = 10.05	

인천항도 *Sk. costatum*이 겨울과 여름철에 높은 우점률을 보인 반면, 잠재적 위해종은 다른 항과 비교하여 적은 수를 나타냈다. 이는 다른 항과는 다르게 인천항은 갑문으로 인하여 해수의 흐름이 원활하지 않아, 출현한 식물플랑크톤 군집의 낮은 출현 종수에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 이전 연구와 비교하면 안정된 수괴 내에서 일부 소수의 종이 대발생을 일으킨다는 보고가 있다 [16].

3.2 잠재적 위해종과 환경요인과의 관계

부산항에서 적조 원인종과 환경요인과의 관계는 Table 2와 같다. 부산항 우점종 및 적조 원인종으로 알려진 *Ch. socialis*, *Ch. pseudocrinatus* 및 *Sk. costatum*은 염분, 용존 산소, 수온 및 수소이온농도와 같은 물리환경적인 요인에

유의한 상관관계를 보였다 (Table 2). 울산과 광양항에서도 부산항과 유사한 경향을 보였다. 인천항에서는 최고 우점종인 *Sk. costatum*이 질산염과 양의 상관관계를 보였고 ($p<0.01$), 다음으로 우점한 *Paralia sulcata*는 질산염과 양의 상관관계를 보였으나 인산염과는 음의 상관관계를 보였다 ($p<0.01$).

이는 앞서 언급했던 인천항내 갑문에 의한 항만내 해수의 낮은 유동성 때문으로 판단된다. 인천항을 제외한 부산과 울산 및 광양항에서 출현하는 적조 원인종은 대부분 우리나라 연안해역에서 일반적으로 출현하는 종으로서 [9, 15], 화학적인 환경요인의 변화보다는 성장에 알맞은 수온이나 염분에 더 많은 영향을 받는 것으로 판단된다. 독소 생산종과 환경요인과의 관계는 Table 3과 같다. 신경독의 일종으로 기억상실성 패독인 도모익 산 (domoic acid)을 배출하는 것으로 알려진 *Pseudo-nitzschia* spp.는 질산염 및 규산염과 양의 상관관계를 보였다 ($p<0.01$). 또한 설사성 마비패독을 일으키는 *Dinophysis acuminata*와 기억마비성 패독을 유발하는 *Alexandrium* spp.는 화학적 산소 요구량과 높은 양의 상관관계를 보였다. 따라서 적조 유발종과는 다르게 독소 생산종은 물리적인 영향 보다 영양염류와 같은 화학적 요인에 더 영향을 받는 것으로 나타났다.

[Table 3] Multiple regression of potential risky species and environmental factors at major ports in Korea (*: $p<0.01$, *: $p<0.05$)

Species	Variables	β	Remark
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	pH	1.295**	n=132 $r^2 = 0.926$
	Ammonia	-0.889*	F = 156.920
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	Nitrate	0.961**	n=132 $r^2 = 0.897$
			F = 35.899
<i>Alexandrium</i> spp.	COD	0.625**	n=132 $r^2 = 0.371$
			F = 19.253
<i>Heterocapsa triquetra</i>	Ammonia	1.071**	n = 132
	DO	0.476**	$r^2 = 0.994$
	pH	0.444*	F = 279.996
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	pH	0.986**	n=132 $r^2 = 0.506$
	Ammonia	-0.733*	F = 13.823
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	Silicate	0.983**	n=132 $r^2 = 0.957$
			F = 113.183
<i>Dinophysis acuminata</i>	COD	0.702**	n=132 $r^2 = 0.476$
			F = 29.156
<i>Prorocentrum micans</i>	Nitrate	-0.580**	n=132
	DO	0.416**	$r^2 = 0.468$
	Silicate	-0.292*	F = 16.285

4. 결론

국내 주요항에서 출현하는 잠재적 위해종은 총 25종이며, 이 중 적조 원인종이 20종을, 독소 생산종이 5종으로 나타났다. 부산과 울산 및 광양항은 그 출현 종수가 유사하였고 인천항에서 가장 낮았다. 적조 원인종은 대부분 규조류였으며, 일부 와편모조류가 포함되었다. 독소 생산 종은 대부분 와편모조류로 여름철에 높은 출현을 보였다. 적조 원인종은 항구의 물리적 환경 요인에 영향을 받은 반면 독소 생산종은 영양염류와 같은 화학적 요인에 영향을 받는 것으로 나타났다.

References

- [1] 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 Okaich T., Anderson D.M. & T. Nemoto. Elsevier, New York. 1989.
- [2] 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 Graneli E., Sundstrom B., Elder L., and D.M. Anderson. Elsevier, New York. 1990.
- [3] G. M. Hallegraeff, "Harmful algal blooms: a global overview", p. 25-49. In: Manual on Harmful Marine Microalgae, ed. by Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M. and A. Cembella. UNESCO Publishing, Paris. 2003.
- [4] J. H. Lee, E. H. Lee, "Water quality and phytoplankton red tide in Deukryang bay of Korea". Korean J. Environ. Biol. 17(3), 271-278, 1999.
- [5] Y. S. Kang, J. N. Kwon, J. K. Shon, S. J. Hong, J. Y. Kong, "Interrelation between water quality and community structure of phytoplankton around the season of red tide outbreak off the coast of Tongyeong area, 2002". J. Korean Fish. Soci. 36(5), 515-521, 2003.
- [6] Y. D. Yoo, H. J. Jeong, J. H. Shim, J. Y. Park, K. J. Lee, W. Yih, H. K. Kweon, S. J. Pae, J. K. Park, "Outbreak of red tides in the coastal waters off the Southern Saemankeum areas, Jeonbuk, Korea". The sea. 7(3), 129-139, 2002.
- [7] H. J. Jeong, Y. D. Yoo, J. S. Kim, "Outbreak of red tides in the coastal waters off the Southern Saemankeum areas, Jeonbuk, Korea 2. Temporal variation in the heterotrophic dinoflagellates and ciliates in the summer-fall of 1999". The sea. 7(3), 140-147,

- 2002.
- [8] E. S. Cho, Y. K. Chio, "The characteristics of marine environment and phytoplankton community around southwestern waters for ichthyotoxic dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* monitoring programme". J. Environ. Sci. 14, 177-184, 2005.
- [9] J. H. Lee, H. S. Song, E. H. Lee, "Red-tide on phytoplankton diatoms in Incheon Dock of Korea". Korean J. Environ. Biol. 15(2), 119-129, 1997.
- [10] G. M. Ruiz, J. T. Carlton, D. Grosholz, A. Hines, "Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences. Amer. Zoologist, 37, 621-632, 1997.
- [11] I. K. Lee, J. H. Lee, S. A. Yoo, "Annual fluctuations of physicochemical factors in Incheon Dock, Korea". Korean J. Environ. Biol. 9(2), 88-103, 1991.
- [12] T. R. Parsons, Y. Maita, G. M. Lalli, "A manual of chemical and biological methods for seawater analysis". Pergamon press. 1984.
- [13] M. E. Sieracki, D. J. Gifford, S. M. Gallager, C. S. Davis, "Ecology of a *Chaetoceros socialis* Lauder patch on Georges Bank: distribution, microbial associations, and grazing losses". Oceanography, 11, 30-35, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.1998.12>
- [14] J.-B. Lee, M.-S. Han, H.-S. Yang, "The ecosystem of the Southern coastal waters of the East sea, Korea. I. Phytoplankton community structure and primary productivity in September, 1994". J. Korean Fish. Soc. 31(1), 45-55, 1998.
- [15] E.S. C, J.B. K, 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..
- [16] J.H. Lee, H.S. Song, E.H. Lee, "Red-tide on phytoplankton diatoms in Incheon Dock of Korea". Korean J. Environ. Biol. 15,119-129,1997.

권 오 윤(Oh Youn Kwon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 상명대학교 생물학과 (이학석사)
- 2008년 1월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연수생 및 상명대학교 생물학과 박사과정 중

<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