해양환경안전학회지 제16권 제4호 pp. 381-386, 2010. 12. 31. (ISSN 1229-3431)
Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety

참다랑어 양식 : 욕지도 식물플랑크톤 군집구조 및 부침식 가두리 적정 침강수심

조은섭* · 황형규**
*, ** 국립수산과학원 남서해수산연구소

Bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) Aquaculture in Yokjido, Tongyeong : Fluctuation of Phytoplankton and Reasonable Sinking Depth in Floating Cage

Eun-Seob Cho* · Hyung-Kyu Hwang**
*, ** Southwest Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

요 약 : 본 연구에서는 경남 통영 욕지도에 참치양식용 내파성 가두리 설치시 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생에 대한 적정 침강 깊이를 설정하기 위하여 24시간 동안 *C. polykrikoides*의 수직이동 현상을 조사하였다. 욕지도 근해의 식물플랑크톤 총 세포밀도는 월별에 따라 매우 큰 변동폭을 보이고 있으며, 대부분 규조류가 우점종으로 출현하고 있다. 여름철 와편모조류의 종 조성을 보면 *Gymnodinium* sp.가 총 19회로 가장 많은 출현 횟수를 보였고, 특히 *C. polykrikoides*도 총 8회로 나타났다. 또한 *Karenia brevis* 및 *Fibrocapsa japonica*와 같은 유독성 적조생물도 출현하여 이 지역에서 식물플랑크톤에 대한 장기적 모니터링이 필요할 것이다. 일출과 일몰에 따른 Chl-*a* 농도의 변화와 총 세포수의 변화는 상호 유의한 상관성을 나타내어 부침식 가두리 양식장은 표층으로부터 최소한 3 m 침강시켜야 *C. polykrikoides* 적조로 인한 피해를 현저히 감소시킬 수 있을 것이다.

핵심용어 : 참치양식, 욕지도, *C. polykrikodes*, 적조, 수직이동, 침강수심

Abstract : *We have cultured the bluefin tuna in Yokjido, Tongyeong with floating cage which was vulnerable to harmful dinoflagellate, Cochlodinium polykrikoides. This study inspected a vertical migration of phytoplankton and Chl-a for reasonable sinking depth in floating cage. Furthermore, we analyzed the fluctuation of the phytoplankton including harmful dinoflagellates occurring in Yokgido for 6 years. Total cell density showed a significant monthly variation and the flora was predominated with diatoms. Gymnodinium sp. occurred 19 times, the greatest number of occurrence in all kinds of dinoflagellates during summer. In particular, the total number of occurrence of C. polykrikoides was 8, and harmful dinoflagellates such as Karenia brevis/Fibrcapsa japonica occurred. The relationship between Chl-a concentration/total cell number and sunset/sunrise was significant and reasonable sinking depth in floating cage was found to be at least 3m from the water surface, whicht was associated with massive fish kills caused by C. polykrikoides.*

Key Words : *Bluefin tuna culture, Yokgido, C. polykrikoides, Red tide, Vertical migration, Sinking depth in cage*

1. 서 론

참치(*Thunnus thynnus* L. 1758)는 수명이 길고, 성장속도가 빠른 표층 유영어류로서 회유성이 매우 강하기 때문에 폭넓게 서식하고 있다(Block and Stevens, 2001). 또한 본 어종은 해산 양식어류 중 가장 고가로 취급되고 있으며, 지중해, 북미, 호주에서 전 세계 생산량의 약 절반 이상을 양식하고 있다(Miyake et al., 2003). 참치 생산국의 대부분은 바다에서 참치 치어를 포획한 후 해상가두리 양식장으로 이동시켜 양식한 후 일본으로 수출하고 있다. 그러나 일본에서 참치어미로부터 인공 산란시켜 성어까지 사육될 수 있는 완전양식을 최초로 성공시켰다(Kumai, 1997). 최근 우리나라에서도 참치치어가 어획되어 현재 통영 욕지도와 제주도 외해에서 양식하고 있다(NFRDI, 2010). 그러나 일본처럼 참치 종묘생산기술은 아직까지 확립되어 있지 않고 단지 치어를 포획하여 가두리 양식장에서 사육하고 있는 실정이다.

* 대표저자 : 정회원, escho@nfrdi.go.kr, 061-690-8959

욕지도는 해양지리적으로 통영 남동방에 위치하여 외해수의 영향을 많이 받기 때문에 조류소통이 원활하여 어류양식에 적합한 지형을 형성하고 있지만, 여름철 *Cochlodinium polykrikoides* 적조에 의한 대규모 어류폐사가 발생한 사례도 있기 때문에(NFRDI, 2010), 욕지도 인근해역에서의 안전한 어류양식 성공에 *C. polykrikoides* 적조 모니터링은 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 참치는 유영속도가 매우 빠르기 때문에 체내산소 공급을 위하여 용존산소에 매우 민감한 어류이다(Miyashita et al., 1999). Lee et al.(2003)의 보고에 의하면 *C. polykrikoides* 농도가 8,000 cells ml^{-1} 정도에서 8시간 정도 노출되면 대부분 어류폐사가 발생된다고 하였다. 물론 어류에 따라 폐사율이 상이할 수 있지만, 참치처럼 등푸른생선의 경우는 백색어류보다 훨씬 더 높은 치사율을 보인다고 한다(Lee et al., 2003). 따라서 욕지도에서 양식되고 있는 참치의 안정적 생산을 위해서는 *C. polykrikoides* 모니터링은 매우 절실히 요구되는 바이다. 최근 수년 동안 욕지도 근해에서는 *C. polykrikoides* 적조가 발생되지 않았지만(NFRDI, 2010), 주변해역에 대한 식물플랑크톤 군집변동 및 동태 파악은 참치양식의 성공을 위한 기초정보 제공에도 큰 의의가 있다고 할 수 있다.

최근 국립수산과학원에서 욕지도 연안에서 약 1년간 참치 사육시험 결과 수질환경, 질병, 성장도 등의 종합적 결과로부터 적조, 태풍대비 부침식 가두리를 도입하면 남해안에서 참치양식이 산업적으로 충분히 가능할 것으로 생각되어 현재 내파성 가두리를 개발 중에 있다. 그러나 문제는 부침식 가두리를 효율적이고 경제적인 측면에서 어느 정도까지 침강시키는 것이 큰 문제이다.

따라서 본 연구에서 24시간 수직이동 조사를 통하여 가두리 침강 깊이를 설정하고자 한다.

2. 재료 및 방법

식물플랑크톤 수직이동조사는 2009년 9월 10일 경남 통영시 욕지면 서산리 유동연안에 설치된 참치양식장 근해 해역 (34° 37′32.666″, 128°13′52.780″)에서 24시간 실시했다(Fig. 1). 시간은 17:00에서 시작하여 3시간 간격으로 0 m, 1 m, 3 m, 10 m 수심에서 채수한 후 드라이아이스로 급냉 시켰다. Chl-*a*는 해수시료를 0.45 μm membrance filter로 여과하여 90 % acetone으로 추출한 후 Spectrophotomer(Perkin Elmer, LS50B)로 비색 정량하였다. 식물플랑크톤의 총 세포수를 계수하기 위하여 시간별 및 수심별로 채수된 해수 1 L를 Lugol's solution으로 고정한 후 실험실로 운반하여 3일 이상 침강시킨 후 상등액을 제거하여 5 mL로 농축시켰다. 농축 시료는 Sedgwick-Rafter에 분산시킨 뒤 광학현미경(Olympus, BX50)하에서 검경하였다. 욕지도 근해 해역에 대한 식물플랑크톤 군집 변동을 분석하기 위하여 2004년부터 2009년까지 국립수산과학원 양식환경연구소에서 3월부터 11월까지 매월 1회 실시하는 적조정기조사 자료를 이용하였다(NFRDI, 2010). 분석자료 정점은 욕지도 근해 해역과 인접한 통영 외안 3정점을 가지고 분석했다.

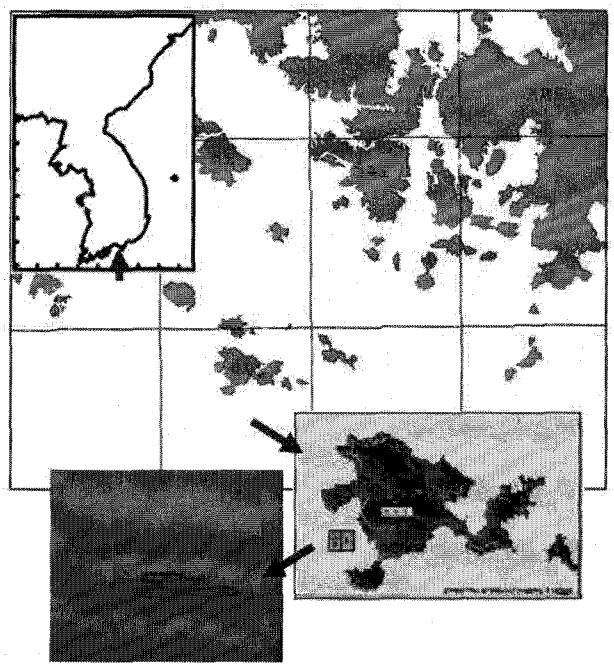

Fig. 1. Map showing the study area.

3. 결과 및 고찰

3.1 식물플랑크톤 총 세포 수 변동

Fig. 2는 2004년부터 2009년까지 6년 동안 욕지도 근해 해역에 대한 3월부터 11월까지의 식물플랑크톤 총 세포밀도의 변동을 나타낸 것이다. 3월의 경우 6년 동안의 세포밀도 평균치보다 낮은 연도가 2004년, 2008년, 2009년으로, 특히 2009년은 평균 세포밀도가 50 cells ml^{-1} 이하로 다른 연도에 비하여 매우 낮은 세포밀도를 보이고 있다. 4월이 되면 세포밀도가 3월에 비하여 큰 폭으로 상승되어 6년 동안의 평균 세포밀도가 약 250 cells ml^{-1} 정도로 3월에 비하여 약 2배 이상 증가되었다. 2006년을 제외한 나머지 연도에서는 거의 평균 세포밀도에 근접하였으나, 2006년에는 약 3배 정도 높은 평균 700 cells ml^{-1}을 나타내고 있다. 5월과 6월에도 4월에 나타난 추이처럼 2006과 2008년에만 평균 세포밀도보다 유일한 높은 세포밀도를 나타내고 있다. 4월부터 6월까지의 평균 세포밀도는 약 180-300 cells ml^{-1} 범위였으나 7월부터 9월까지는 약 800 cells ml^{-1} 세포밀도가 약 2배 정도 증가된 것을 알 수 있다. 따라서 욕지도 근해 해역에 출현되는 식물플랑크톤 총 세포밀도 및 평균 세포 밀도는 월별에 따라 변동 될 수 있으나 대부분 평균 세포밀도 범위 내의 연도가 많이 나타나는 관계로 욕지도 근해 해역에서의 식물플랑크톤 출현 양상은 비교적 안정적인 것으로 추측된다.

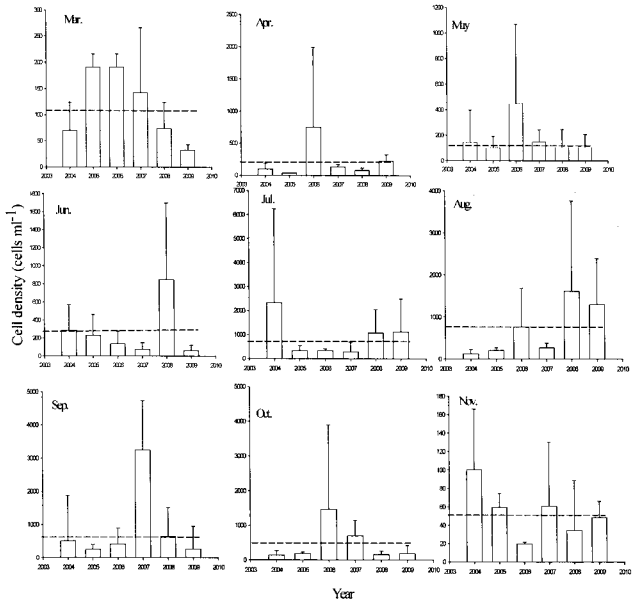

Fig. 2. Monthly fluctuation of phytoplankton cell density around Yokjido, Tongyeong during the period of 2004-2009. Dash line shows the mean cell number of 2004-2009. Error bar represents mean ± S.E. (n=3).

3.2 식물플랑크톤 군집구조

Fig. 3은 월별 규조류 및 와편모조류의 비율을 나타낸 것으로 3월부터 5월까지 규조류의 점유율이 약 90 % 이상을 보여 그 기간 동안 욕지도 근해해역은 규조류로 조성되고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 6월과 7월에는 와편모조류의 비율이 현저히 상승되어 50-60 % 정도를 보이고 있다. 8월부터 11월까지는 거의 규조류의 상대비율이 90 % 이상의 높은 수치를 나타내고 있다. 이러한 상대비율은 조 등(2006, 2007)이 발표한 남해안 중부연안의 식물플랑크톤 군집생태와 거의 비슷한 양상을 보였다. 따라서 욕지도 근해 해역은 규조류로 군집을 형성하고 있고 점유율 또한 매우 높아서 와편모조류의 점유세력이 쉽게 천이되지 않는 건강한 기초 해양생태계를 형성하고 있는 것 같다. Table 1은 6월부터 9월까지의 6년 동안 욕지도 근해 해역에 출현한 와편모조류를 나타낸 것으로 총 28속 49종이 분류되었다. 가장 많이 출현한 종은 *Gymnodinium* sp.로 총 19회, *Scrippsiella trochoidea*가 15회, *Prorocentrum minimum*이 14회 순으로 나타났다. 특히 *C. polykrikoides*는 2004년, 2009년 제외한 나머지 연도에서 출현하여 총 8회 나타났다. 또한 *Gyrodinium fissum*, *Karenia brevis*, *Protoperinidium depressum* 등은 6년동안 1회만 단독 출현되어 여름철 종 조성 횟수는 종에 따라 많은 차이를 볼 수 있다. *C. polykrikoides* 외 *K. brevis*, *Fibrocapsa japonica* 등은 어류 치사종으로 알려져 있기 때문에 욕지도 참치 양식장에 대한 식물플랑크톤 군집 변화는 매우 중요하다고 할 수 있다.

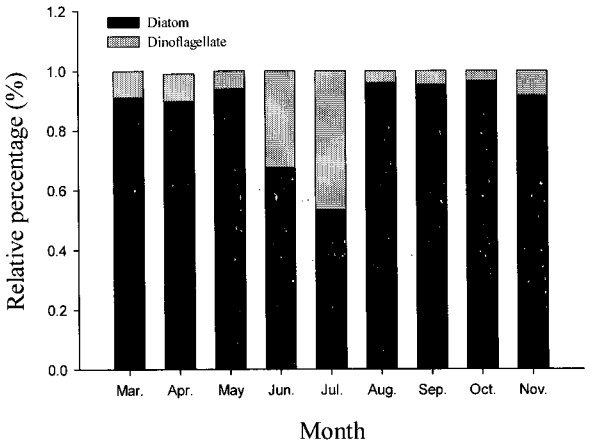

Fig. 3. Monthly relative percentage of diatom and dinoflagellate around Yokgido, Tongyeong during the period of 2004-2009.

3.3 수직이동

Fig. 4는 시간별에 따른 수심별 Chl-*a* 농도 변화를 나타낸 것으로 17시 경을 보면 표층과 수심 1 m, 3 m 에서의 농도는 0.7-1.0 μg l^{-1} 범위로 표층으로부터 수심 3 m까지는 큰 차이를 볼 수 없었으나, 수심 10 m의 경우 약 2배 이상 감소되는 0.4 μg l^{-1}로 보였다. 그러나 20시부터 05시까지 17시에 나타난 Chl-*a* 농도 추세선이 완전히 전이되는 경향을 보였다. 즉 표층보다 수심 10 m에서 Chl-*a* 농도가 가장 높은 값을 보였다. 일출이 시작되는 08시부터 다음날 17시까지는 밤에 보여준 곡선과는 상이한 추세선을 보이고 있어, 일출과 일몰에 따른 Chl-*a* 농도변화는 뚜렷한 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 또한 총 세포수의 변화를 보아도 17시 경에는 표층에서 평균 900 cells ml^{-1}로 수심이 높아짐에 따라 세포 수는 점점 감소하는 경향을 보여 수심 10 m의 경우 평균 100 cell ml^{-1} 정도로 표층과는 약 8배 이상의 차이를 보여주고 있다(Fig. 5). 20시부터 02시까지는 수심이 증가함에 따라 거의 직선적으로 세포밀도가 높아지는 것을 알 수 있다. 일출이 거의 시작되는 시점인 05시 경우 표층의 세포밀도는 02시에 비하여 증가되는 것을 알 수 있었고 수심 1 m, 3 m에서의 세포수도 수심 10 m와 거의 비슷한 밀도를 보이고 있다. 그러나 08시부터 17시까지는 05시에 비하여 수심에 따른 세포수의 변화는 뚜렷이 나타났다. 따라서 일출과 동시에 식물플랑크톤은 표층으로 많이 이동하며 일몰이 되면 신속히 저층으로 움직이는 전형적인 상하 수직이동을 보여주고 있다.

본 조사기간 동안 욕지도 근해 해역에서서 *C. polykrikoides* 적조는 발생되지 않았지만, 본 종은 식물플랑크톤이기 때문에 본 해역을 대상으로 수직이동 조사 시 일출과 일몰에 따라 Chl-*a* 및 세포수도 동일하게 표층과 저층으로 이동되는 것을 보았다. 따라서 참다랑어 양식장에 적조가 발생되어도 상하수직이동에 따른 부침식 가두리를 표층에 부상시키는 것 보다

Table 1. List of the dinoflagellate species sampled from the Yokjido waters during summer (Note: J, January; Ju, July; A, August; S, September)

Species	2004				2005				2006				2007				2008				2009			
	J	Ju.	A	S	J	Ju.	A	S	J	Ju.	A	S	J	Ju.	A	S	J	Ju.	A	S	J	Ju.	A	S
Ceratium fusus	*	*		*	*		*	*						*						*	*	*		
Katodinium glucum															*						*			
Akashiwo sanguineae	*		*													*					*			
Scrippsiella trochoidea	*		*		*	*	*		*			*	*	*	*			*	*		*		*	*
Ceratium furca	*	*		*			*	*				*		*	*	*					*			
Oxyphysis oxytoxoides	*																						*	*
Protoperidinium ovum	*												*		*							*	*	
Dictyocha fibula	*		*	*										*	*						*			
Prorocentrum triestimum	*				*								*									*		
Dinophysis ovum	*	*						*							*									
Prorocentrum dentatum	*	*					*						*									*		
Prorocentrum triestinum		*	*	*		*			*	*			*					*			*			
Ceratium tripos			*												*						*			
Protoperidinium bipes			*						*					*			*	*			*	*		
Protoperidinium conicum			*																			*		
Alexandrium sp.				*					*	*			*										*	
Gonyaulax polygramma				*									*	*					*			*		
Distephanus speculum				*											*							*		
Protoperidinium sp.					*	*	*															*		
Dinophysis sp.						*									*									
Ebria tripartita						*																		
Cochlodinium polykrikoides							*	*			*			*		*		*	*	*				
Eutreptiella gymnastica			*				*	*	*	*			*	*					*			*	*	
Gyrodinium sp.			*				*	*				*		*		*								
Fibrocapsa japonica									*						*									
Heterocapsa sp.									*															
Prorocentrum minimum			*				*		*		*	*		*		*	*	*		*	*	*	*	*
Gyrodinium spirals									*			*		*				*				*	*	
Noctiluca scintilans									*															
Destephanus speculum										*											*			
Mesodinium ruburum										*												*		
Chattonella antiqua											*		*		*									
Pronoctiluca sp.											*							*	*		*			
Prorocentrum micans											*	*		*										
Dictyocha specula												*				*								
Protoperidinium pellucidum												*	*									*		
Protoperidinium oceanicum												*		*										
Protoperidinium pellucidum												*												
Distephanus specula													*											
Gymnodinium vestifici															*	*	*			*			*	
Gymnonidium sp.			*			*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
Gymnodinium simplex																					*			
Heterocapsa triquetra																					*			
Dinophysis acuminata																					*			
Protoperinidium depressum																								*
Karenia brevis												*												
Gyrodinium fissum																	*							

침강시키는 것이 훨씬 더 *C. polykrikoides* 적조로부터 피해를 현저히 감소시킬 수 있을 것 같다. 본 조사결과 수심 10 m 정도까지 침강시키면 표층과 현저한 Chl-*a* 혹은 총 세포 수 차이를 볼 수 있지만, 경제적 비용 및 기술적 어려움이 수반되게 된다. 따라서 본 연구 결과 표층으로부터 최소한 3 m 이상만 침강시켜도 Chl-*a* 및 총세포수는 표층에 비하여 약 50 % 이상 희석되기 때문에 적절한 침강수심으로 생각된다. 실질적으로 1996년 남해도에서 1시간 간격으로 *C. polykrikoides* 세포밀도를 수심별로 조사한 결과에 따르면 06시에 표층으로 상승되기 시작하여 16시에 표층에 대부분 밀집되어 20시에는 15 m 정도까지 내려가는 것으로 보고하고 있다(Park et al., 2001). 또한 실내실험에서도 소등과 점등에 따라 *C. polykrikoides* 세포이동은 현저한 차이를 볼 수 있을 뿐만 아니라 세포자체내의 DNA/RNA 변화량도 많은 차이를 보여주고 있다고 하였다(조와 이, 2005). 따라서 *C. polykrikoides* 적조생물은 일출과 일몰에 따라 상하 수직이동이 빠르기 때문에 적조발생시 부침식 가두리를 신속하게 대응하지 않으면 대량폐사로 전이될 수 있다. Park et al.(2001)에서도 최대 일조시간시 수심 2 m 이상에서는 표층에 비하여 현저히 감소되는 것을 보여주고 있으므로, 본 연구에서 나타난 부침식 가두리 양식장의 적정 수심과 현장에서 발생한 *C. polykrikoides* 수직이동 밀도를 비교해보면 상당히 일치되는 것을 알 수 있으므로 어느 정도 타당한 적정 침강수심으로 판단된다. 참다랑어는 용존산소를 많이 요구하는 어류이기 때문에(Myashita et al., 1999) 적조발생시 표층의 용존산소농도는 매우 높아지므로 참다랑어에게는 호적조건이나 *C. polykrikoides* 적조 점액질에 의하여 대량폐사를 초래한다(Cho et al., 1999).

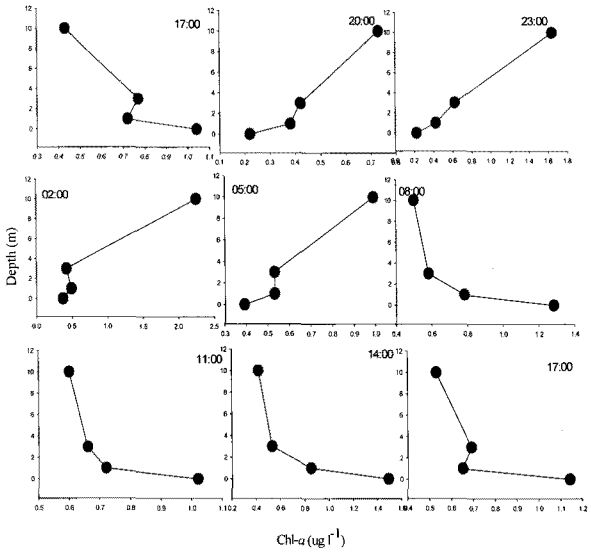

Fig. 4. Variation of Chl-*a* according to elapsed times and water depth.

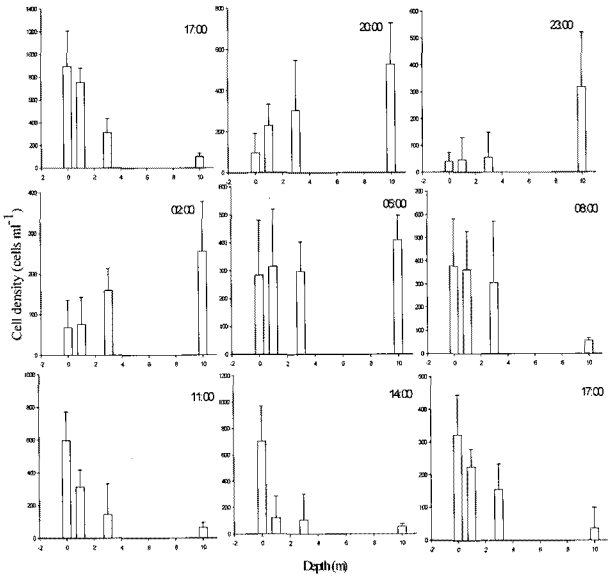

Fig. 5. Fluctuation of total cell density at different times and water depth. Error bar represents mean±S.E. (n=3).

5. 결 론

6년 동안의 욕지도 근해해역에 출현한 식물플랑크톤 군집은 대부분 규조류가 와편모조류보다 훨등히 높은 우점으로 나타나고 있으나, 6월과 7월에는 와편모조류의 비율이 40 % 이상을 보이고 있다. 특히 여름철에는 *Gymnodinium* sp.는 거의 6년 동안 출현하고 있다. 또한 *C. polykrikoides*도 8회 출현되었고, *K. brevis* 등과 같은 유해성 적조생물도 나타났다. 수심별에 따른 Chl-*a*와 총 세포수도 일출과 일몰에 따라 상하 수직 이동되며, *C. polykrikoides* 적조발생시 참치용 부침식 가두리 양식장은 표층으로부터 최소한 3 m 정도 침강시키는 것이 *C. polykrikoides* 적조생물에 의한 피해 최소화에 적정한 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원(외해참다랑어 양식기술 연구개발, RP-10-AQ-085)의 지원에 의해 운영되었습니다. 익명의 심사자님에게 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 조은섭, 김정배, 안경호, 유준, 권정노, 정창수(2006), 2004년 한국 남해연안 해역에 출현하는 식물플랑크톤의 시공간적 특성 조사, 한국환경과학회지, 제15권, pp. 539-562.

[2] 조은섭, 이상용, 김상수, 최윤석(2007), 2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군

집생태, 한국환경과학회지, 제16권, pp. 941-957.

[3] 조은섭, 이영식(2005), 염분 구배가 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef의 수직이동 및 DNA/RNA 비율에 미치는 영향, 한국생명과학회지, 제15권, pp. 468-473.

[4] Block, B. A. and E. D. Stevens(2001), *Tunas: Physiology, Ecology and Evolution (Fish physiology)*, Academic Press, San Diego, CA, USA. p. 245.

[5] Cho, E. S., C. S. Kim, S. G. Lee and Y. K. Chung(1999), Binding of alcian blue applied to harmful microalgae from Korean coastal waters, Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute, Vol. 55, pp. 133-138.

[6] Kumai, H.(1997), Present state of bluefin tuna aquaculture in Japan, Susianzoshoku, Vol. 45, pp. 293-297.

[7] Lee, S. G., H. G. Kim, E. S. Cho and C. K, Lee(2003), Mortality of fishes and shellfies to harmful algal blooms. Jorunal of Fisheries Science and Technology, Vol. 6, pp. 160-163.

[8] Miyake, P. M., J. M. de la Serna, A. T. Natale, A. Farrugia, I. Katavie, N. Miyabe and V. Ticina(2003), General review of fluefin funa farming in the Mediterranean area. Collective Vlume of Scientific Papers ICCAT, Vol. 55, pp. 114-124.

[9] Miyashita, S., N. Hattori, Y. Sawada, Y. Ishibashi, H. Nakatsukasa, T. Okada, O. Murata and H. Kumai(1999), Ontogenetic change in oxygen consumption of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, Suisanzoshoku, Vol. 47, pp. 269-275.

[10] NFRDI(2010), http://www.nfrdi.re.kr

[11] Park, J. G., M. K. Jeong, J. A. Lee, K. J. Cho and O. S. Kwon(2001), Diurnal vertical migration of a harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae), during a red tide coastal waters of Namhae Island, Korea, Phycologia, Vol. 40, pp. 292-297.

원고접수일 : 2010년 10월 12일
원고수정일 : 2010년 11월 19일 (1차)
: 2010년 12월 17일 (2차)
게재확정일 : 2010년 12월 23일