

통영 바다목장 자원조성을 위한 연구 I. 야간점등에 의한 동물플랑크톤 유도효과

윤 호 섭* · 최 상 덕¹

전남대학교 해양학과, ¹전남대학교 수산해양대학 양식생물학전공

Study on Resources Annexation in Tongyeong Marine Ranching I. Effects of Zooplankton Attraction by Night-lights

Ho Seop Yoon* and Sang Duk Choi¹

Department of Oceanography, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

¹Aquaculture Program, Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

Abstract – Effect of night-lights on zooplankton attraction has been studied in Tongyeong marine ranch area during the period from 12 July to 30 August, 2004. Each sampling has been carried out to collect zooplankton from both control area in natural waters experiment area of night-lights waters at night.

A total of 43 taxa of zooplankton occurred during the study. Copepods showed the prosperity in species number with 15 species. *Acartia erythraea* and Copepodite occurred abundantly in night-lights waters. Zooplankton abundance appeared to increase in night-lights mainly due to the gathering of copepods and larvae through the study period. Average 3~166 times of zooplankton abundance was recorded in night-lights when compared with that in control area of natural waters due to the gathering of copepods and larvae. Cluster analysis, based on monthly abundance data of the 13 most frequent species, showed that the species were seperated into two different groups: the photo-positive group and the photo-negative group.

Key words : night-lights, tongyeong, zooplankton, copepods, larvae

서 론

동물플랑크톤 행동양상에 영향을 주는 요인으로는 빛, 수온, 먹이 그리고 포식에 대한 도피행동 등의 요인들이 언급되었으나, 주로 빛이 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Schuyler and Sullivan 1997). 또한 해양환경에서 관찰되는 빛에 관련된 대표적인 동물플랑크톤 행

동양상으로는 일주 수직이동(diel vertical migration)이 있는데, 이러한 행동양상들은 여러 환경요인들과 조류에 따라 상이한 양상을 보이며 수심별로 상이한 개체수를 나타내기도 한다(Williamson *et al.* 1996). 또한 빛의 세기(intensity)가 바뀌는 시점에 반응하여 일주수직 이동의 양상이 바뀐다고 보고하였으며(Ringelberg 1995), 절대적인 빛의 세기가 더 중요하다는 주장도 있다(Forward 1988). 이처럼 동물플랑크톤의 행동 및 이동은 다른 요인에 비해 빛에 대한 반응이 많이 언급되어 왔는데, 이는 그 만큼 동물플랑크톤의 행동기작에 있어 빛이 중요

* Corresponding author: Ho Seop Yoon, Tel. 061-659-3166, Fax. 061-659-3166, E-mail. yoonhs7409@hotmail.com

하다는 사실을 내포하고 있음을 의미한다.

빛이 동물플랑크톤의 분포 및 행동에 미치는 영향을 이해하기 위한 연구가 실시되어져 왔으며 (Bougis 1976; Buskey *et al.* 1995; Schuyler and Sullivan 1997), 최근에는 가두리 양식장에서 야간 점등(빛)을 이용하여 동물플랑크톤을 유도함으로써 어류 먹이로서의 자연산 먹이생물 활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Mamcarz and Szczerbowski 1984; Szczerbowski and Mamcarz 1984; Rosch and Eckmann 1986; Champigneulle and Rojas-Beltran 1990; Mamcarz and Kozlowski 1992; Mamcarz 1995; Yoon 2005).

해양생태계내에서 동물플랑크톤은 기초생산자로 대표되는 식물플랑크톤을 먹이로 하여 보다 상위 영양단계인 어류 등에 에너지를 전달하는 중간고리로서 중요한 역할을 수행한다. 이와 같이 생태적으로 중요한 위치를 차지하고 있는 동물플랑크톤을 야간에 점등 (night-lights)을 이용하여 인위적으로 원하는 지점으로 유도할 수 있어, 연안 어류자원 양식에 적용할 수 있다면, 다양한 면에서 긍정적인 결과가 예상된다. 따라서 본 연구에서는 통영 바다목장 해역에서 방류어의 중간육성에 있어 자연상태에 존재하는 동물플랑크톤을 먹이생물로 활용하기 위한 기초연구의 일환으로 야간에 점등 (night-lights)을 이용하여 빛에 의해 유집되는 동물플랑크톤의 분포 및 유집평가에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

1. 조사방법

점등 효과에 따른 동물플랑크톤 군집동태의 변화를 관찰하기 위하여 바다목장 해역내 한국해양연구원 가두리 설치 지역에서 2004년 7월부터 2004년 8월까지 채집을 실시하였다. 점등 효과를 알아보기 위한 시료 채집은 야간에 점등구간에서 NORPAC 네트(구경 30 cm, 망목 330 μm)를 사용하였으며, 가능한 저층에서 표층까지 균등하게 예망하였으며, 망구에 설치한 flowmeter (Hydro-bios, Model 438-110)의 회전수를 바탕으로 네트를 통과한 여과 수량을 정량화하였다. 채집은 불균등 분포 등에 의한 오차를 줄이기 위하여 한 정점에서 3~5회 반복 실시하였고, 시료는 현장에서 500 mL 폴리에틸렌 병에 넣고 중성포르말린을 사용하여 최종농도가 4%가 되도록 고정된 후 실험실로 운반하였다. 또한 자연상태의 동물플랑크톤 군집과 비교분석을 위하여 같은 시간에 인접 지역에서 점등에 영향을 받지 않는 장소를 선정하여 점등 시료와 동일한 방법으로 채집하여 비교 분석하였다.

정량분석은 Folsom 타입의 분할기구로 균등하게 분할한 시료 가운데 일정량 (1/2~1/8)을 Bogorove 계수판에 넣고 해부현미경 (Olympus, SZ40)에서 각 동물군에 따라 계수하였다. 이를 5회 이상 반복하여 단위 체적내의 개체수 (ind. m^{-3})로 환산하였다. 정성분석은 시료를 동물군에 따라 분획하고 각 동물군은 속 또는 종까지 동정하였다. 동물플랑크톤을 동정할 때보다 세밀한 관찰이 필요한 경우는 동정에 필요한 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경 (Nikon Axiophot)하에서 관찰하였다. 조사해역의 수온과 염분을 파악하기 위하여 CTD (ACL, 1183-PDK)를 사용하여 표층에서 수온과 염분을 측정하였으며, 유속은 유속계 (Kneck, VO-203A)를 사용하여 측정하였다. 또한, 조도에 따른 동물플랑크톤 반응실험은 야간 자정을 기점으로 점등을 이용하여, 광원에서부터 빛이 소멸하는 거리까지의 광량 (irradiance)을 1 m 간격으로 광량계 (Li-Cor quantum meter, Li-1000)를 이용하여 측정하였다. 점등구간과 비점등구의 비교를 위한 동물플랑크톤 채집은 18:00시부터 실시하였으며, 점등의 설치는 250 W 메탈 할라이드 전구 (metal halide lamp)를 이용하여 수면에서 약 0.5 m 높이에 시설하였다.

2. 자료분석

조사기간중 야간점등과 비점등에 따른 출현종의 변화 양상을 파악하기 위해 각 시기별 출현종수와 출현개체수를 구하였다. 조사기간 동안 점등에 의해 유집된 동물플랑크톤의 종조성과 그에 따른 종별 유사도 측정을 위해 채집된 전체 개체수 중 1% 이상의 출현빈도를 나타낸 우점 출현종에 대해 Bray-Curtis의 유사도지수를 구하였으며, 지수값들을 비가중산술평균법 (UPGMA)에 의하여 수상도 (dendrogram)를 작성하여, 군집화하는 계보적 집괴분석 (hierarchical cluster analysis)을 수행하였다. 이때 점등에 의해 유집된 종간의 심한 밀도차이에 의한 자료의 편중을 피하고 대상자료의 분포를 정규화하기 위하여 계산에 이용된 모든 자료는 대수변환 [$\log(x+1)$]한 자료를 이용하였다. 또한 점등에 의한 동물플랑크톤 유집 비교를 위한 배열법으로서 다차원 척도법 (multidimensional scaling, MDS)을 이용하였다 (Clarke 1993).

결 과

1. 수온과 염분

통영바다목장 해역내 중간육성장에서 조사기간 동안 관측된 수온을 살펴보면, 21.8~23.7°C의 분포로 2004년

8월 3차조사시 가장 높은 수온분포를 나타내었으며, 7월 1차조사시 21.8°C로 조사기간 중 가장 낮은 수온분포를 보였다 (Fig. 1). 염분의 경우 30.1~31.2 psu의 범위로 7월부터 꾸준히 감소하여 8월 5차조사시 30.1 psu의 비교적 저염분임을 알 수 있었다 (Fig. 1).

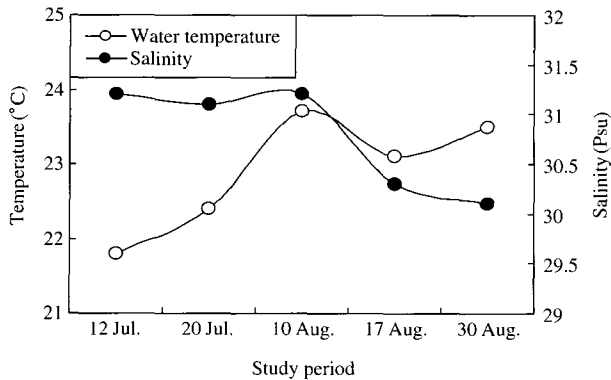


Fig. 1. Variation of water temperature (°C) and salinity (psu) at cage in study period.

2. 유속

조사기간 동안 관측된 유속의 변화를 살펴보면, 10.41~11.31 cm sec⁻¹의 범위로 2004년 7월 1차조사시 가장 빠른 유속의 변화를 나타내었으며, 8월 3차조사시 10.41

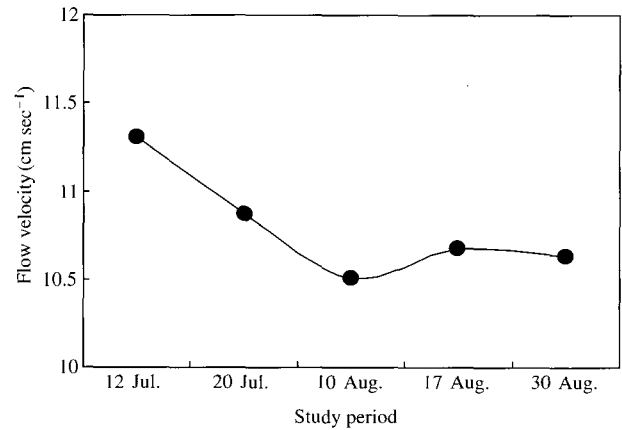


Fig. 2. Variation of flow velocity at cage in study period.

Table 1. Species composition and abundance of light-attracted zooplankton in 12 July, 2004

Taxon	Time	18:00		After 3 (h)		After 6 (h)		After 9 (h)		06:00	
		Sunset	C	N	C	N	C	N	C	N	
<i>Noctiluca scintillans</i>		24	0	0	0	0	0	0	0	78	0
unidentified Siphonophorids		5	0	0	0	0	11	0	0	0	34
unidentified Trachymedusae		24	11	0	16	0	38	0	17	0	0
<i>Podon leukarti</i>		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Evadne tergestina</i>		47	0	48	0	56	43	0	78	268	
<i>Acartia omorii</i>		18	54	72	26	84	141	101	117	939	
<i>Calanus sinicus</i>		0	27	575	21	28	184	604	17	168	
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.		55	330	48	199	280	395	403	212	268	
<i>Pseudodiaptomu marinus</i>		0	38	0	377	56	65	101	11	67	
<i>Labidocera rotunda</i>		0	5	144	0	0	11	67	22	201	
<i>Paraeuchaeta elongata</i>		0	5	0	0	0	0	0	11	0	
<i>Corycaeus affinis</i>		21	5	0	26	0	16	0	0	67	
<i>Oithona</i> sp.		24	49	0	10	56	22	101	28	101	
unidentified Harpacticoids		8	0	48	0	0	0	0	0	0	
Copepod nauplii		16	0	0	0	0	0	0	0	101	
Copepodites		18	76	216	89	224	114	201	67	805	
unidentified Amphipods		34	22	288	16	224	16	0	22	0	
<i>Sagitta crassa</i>		68	70	791	126	336	54	772	302	2214	
<i>Sagitta enflata</i>		0	0	0	0	0	16	0	0	0	
<i>Oikopleura dioica</i>		0	11	0	0	0	0	0	0	0	
Decapod larvae		8	60	312	21	56	32	1980	22	201	
Euphausiid larvae		0	0	0	0	0	0	67	11	0	
<i>Euphausia pacifica</i>		8	11	72	0	0	0	0	11	34	
<i>Squilla</i> sp.		0	168	0	0	252	11	336	0	0	
Polycheate larvae		18	16	48	21	0	11	0	17	134	
Mollusk larvae		0	22	48	16	0	0	0	0	0	
Banacle larvae		0	11	0	0	0	16	0	0	0	
Ostracoids		5	0	24	16	224	22	0	45	101	
<i>Ophiopleuteus</i> larvae		0	0	0	0	56	0	604	0	0	
Total ind. m ⁻³		409	990	2732	980	1929	1218	5335	1090	5704	

N : Night-lights, C : Control (dark)

cm sec⁻¹로 조사기간 중 가장 완만한 유속의 변화를 보였다(Fig. 2).

3. 조도

자연상태 특히 수중에서 빛의 밝기가 확산되는 거리를 확인하여 본결과는 Fig. 3과 같다. 8월 자정을 기점으로 수행된 바다에서의 야간 점등에 의한 빛의 세기 거리에 따라 즉 0 m, 1 m, 3 m, 6 m, 9 m, 그리고 13 m에서 각각 700, 50, 3.2, 0.7, 0.2, 0.03 μE m⁻² s⁻¹ 밝기를 나타내어 2 m를 벗어나는 시점에서 빛의 강도가 급격히 감소하며, 거의 감지하기 힘든 상태였다. 또한 해수중에서는 빛의 강도가 거리에 따라 급격히 감소한다는 사실을 확인하였다.

4. 동물플랑크톤의 종조성 및 출현량

조사기간 중 출현한 동물플랑크톤은 야광층, 모악동

물, 지각류, 십각류, 단각류, 기타 유생 등으로 종 수준까지 동정한 21종을 포함하여 총 43개 분류군이였다

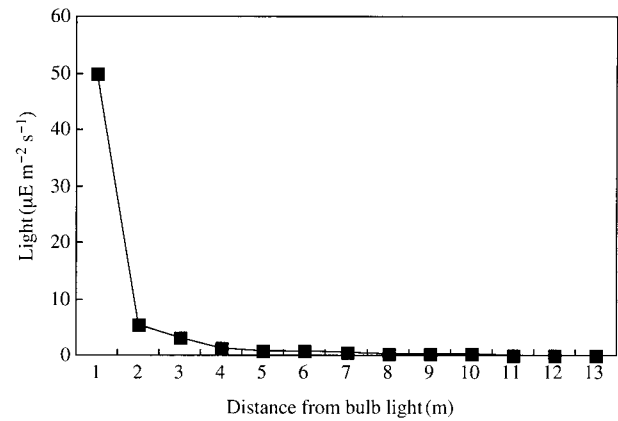


Fig. 3. Light intensity by the distance from bulb light (24:00 August, 2004).

Table 2. Species composition and abundance of light-attracted zooplankton in 20 July, 2004

Taxon	Time	18:00		After 3 (h)		After 6 (h)		After 9 (h)		06:00	
		Sunset	C	N	C	N	C	N	C	N	
<i>Noctiluca scintillans</i>		19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
unidentified Siphonophorids		10	22	447	0	0	12	0	0	0	0
unidentified Trachymedusae		58	43	671	12	42	6	0	0	0	0
<i>Podon leukarti</i>		14	11	0	0	126	0	0	0	0	0
<i>Evadne tergestina</i>		134	49	0	0	84	0	0	17	42	
<i>Acartia omorii</i>		10	49	1118	19	42	17	56	12	210	
<i>Calanus sinicus</i>		0	49	14539	168	671	81	1706	29	503	
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.		14	97	0	31	336	359	196	12	84	
<i>Pseudodiaptomu marinus</i>		0	11	0	25	0	17	56	0	0	
<i>Labidocera rotunda</i>		0	11	4697	31	0	12	447	0	545	
<i>Paraeuchaeta elongata</i>		0	16	0	12	84	12	0	0	0	
<i>Corycaeus affinis</i>		43	22	0	19	0	12	0	0	0	
<i>Oithona</i> sp.		43	81	0	68	84	17	56	29	126	
unidentified Harpacticoids		14	0	224	12	0	12	0	12	0	
Copepod nauplii		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Copepodites		24	49	2460	56	168	87	168	23	294	
unidentified Amphipods		0	22	2684	12	168	12	112	12	126	
<i>Sagitta crassa</i>		115	336	88798	255	881	69	224	23	0	
<i>Sagitta enflata</i>		0	0	0	0	0	17	0	0	0	
<i>Oikopleura dioica</i>		14	0	0	0	0	0	0	0	0	
Decapod larvae		19	27	35564	56	629	52	112	40	168	
Euphausiid larvae		14	11	2013	0	0	0	0	12	84	
<i>Euphausia pacifica</i>		0	0	224	0	0	0	0	0	0	
<i>Squilla</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Polychaete larvae		34	38	1566	25	0	17	84	12	1719	
Mollusk larvae		5	0	0	0	0	0	0	0	0	
Banacle larvae		62	49	0	81	0	0	0	17	0	
Ostracoids		0	27	0	0	0	0	0	12	0	
<i>Ophiopleuteus</i> larvae		10	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fish eggs		0	16	0	19	126	6	0	46	84	
Fish larvae		0	43	17446	0	377	0	531	0	0	
Total ind. m ⁻³		657	1077	172452	901	3816	816	3747	307	3984	

N : Night-lights, C : Control (dark)

Table 3. Species composition and abundance of light-attracted zooplankton in 10 August, 2004

Taxon	Time	18:00		After 3 (h)		After 6 (h)		After 9 (h)		06:00	
	Sunset	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N
<i>Noctiluca scintillans</i>	5924	6699	22060	2908	0	648	0	567	2349		
unidentified Siphonophorids	62	38	0	0	0	35	0	0	0		
unidentified Trachymedusae	29	16	56	0	168	23	0	0	0		
<i>Podon leukarti</i>	67	22	0	0	1258	266	0	23	0		
<i>Evadne tergestina</i>	110	65	0	50	0	23	0	23	0		
<i>Acartia omorii</i>	34	11	56	37	2852	174	12526	46	1090		
<i>Acartia erythraea</i>	10	222	224	186	107866	2881	1681123	208	10569		
<i>Calanus sinicus</i>	10	0	28	0	0	0	0	0	0		
<i>Centropages abdominalis</i>	10	27	503	112	2852	150	48313	0	168		
<i>Centropages furcatus</i>	10	0	0	0	0	23	0	0	0		
<i>Paracalanus parvus</i> s. l	273	206	671	137	168	0	0	81	4697		
<i>Pseudodiaptomu marinus</i>	0	11	0	0	168	35	0	0	0		
<i>Pontella securifer</i>	0	0	0	0	168	0	0	0	0		
<i>Pontella fera</i>	0	0	0	0	0	0	0	12	84		
<i>Labidocera rotunda</i>	19	16	84	62	15433	486	220989	0	1174		
<i>Tortanus forcipatus</i>	0	0	0	0	168	0	0	0	0		
<i>Corycaeus affinis</i>	115	65	0	0	0	0	0	0	168		
<i>Oithona</i> sp.	24	49	0	37	503	0	0	0	168		
unidentified Harpacticoids	10	0	0	0	336	0	0	0	0		
Copepodites	417	97	196	298	27596	914	783749	93	1090		
unidentified Amphipods	10	22	112	0	419	0	11631	23	503		
<i>Sagitta crassa</i>	115	119	168	174	4026	127	2684	23	252		
<i>Oikopleura dioica</i>	53	114	363	75	1007	35	0	81	0		
Decapod larvae	14	119	252	75	4110	544	306879	23	2768		
Euphausiid larvae	14	11	112	25	4865	81	30419	0	0		
Mysis	10	0	0	0	0	0	0	0	0		
Cumacea	0	0	0	0	168	0	0	0	0		
Polycheate larvae	0	0	0	0	252	46	3579	23	252		
Banacle larvae	0	0	0	0	755	0	0	0	0		
Ostracoid	0	0	0	0	2852	174	25051	150	10401		
Fish eggs	19	16	56	37	419	69	6263	46	0		
Fish larvae	10	0	56	25	168	0	2684	12	0		
Total ind. m ⁻³	7367	7944	24995	4237	178575	6733	3135890	1435	35732		

N : Night-lights, C : Control (dark)

(Tables 1-5).

조사시기별 점등구에 나타난 출현 분류군 수는 24~32개로 3차조사시(8월 10일) 가장 다양한 분류군이 나타난 반면(Table 3), 4차조사시(8월 17일) 가장 적은 분류군 수를 보였다. 이 중 요각류는 총 15종이 출현하여 가장 다양한 분류군이었다. 요각류의 출현종수는 조사시기별로 뚜렷한 양상을 보이지 않았으나, 대체로 3, 4, 5차 때 출현종수가 많았고, 1, 2차 조사때 낮았다. 동물플랑크톤의 평균 출현량은 조사시기에 따라 15,112~3,375,192 ind. m⁻³ 범위였으며, 3, 4차조사시 가장 많은 출현량을 보였다. 특히, 3, 4차조사시 비점등구에 비해 많은 출현량이 나타난 것은 요각류(*Acartia erythraea*, *Labidocera rotunda*, Copepodite)와 야광충(*Noctiluca scintillans*)의 폭발적인 유집에 의한 것으로 나타났으며, 특히 요각류의 경우 점등구에 있어 전 조사기간 중 가장 많은 출현량을 나타내었다.

조사시기별 비점등구에 나타난 출현 분류군 수는 25~29개로 4, 5차 조사시에 가장 다양한 분류군이 나타난 반면(Tables 4, 5), 1차조사시(7월 12일)에 가장 적은 분류군 수를 나타내었다(Table 1). 이 중 요각류는 총 13종이 출현하여 가장 다양한 분류군이었다. 동물플랑크톤의 평균 출현량은 조사시기에 따라 3,100~63,324 ind. m⁻³ 범위였으며, 4차조사시(8월 17일)에 가장 많은 출현량을 보였다. 특히 4차조사시 가장 많은 출현량이 나타난 것은 패충류인 Ostracoids와 야광충인 *Noctiluca scintillans*의 출현에 기인한 것으로 나타났었다(Table 4).

5. 조성률

전체 동물플랑크톤에 의한 주요 분류군의 조성비율 기준으로 출현율(%)을 비교하면 1차조사시(7월 12일) 점등구내 조성률을 살펴보면 기타 분류군을 비롯하여

Table 4. Species composition and abundance of light-attracted zooplankton in 17 August, 2004

Taxon	Time	After 3 (h)		After 6 (h)		After 9 (h)		06:00	
	18:00 Sunset	C	N	C	N	C	N	C	N
<i>Noctiluca scintillans</i>	10645	14914	49180	15110	3607	10973	33439	16116	51752
unidentified Siphonophorids	10	103	56	50	0	12	0	17	42
unidentified Trachymedusae	0	11	0	0	0	0	0	12	0
<i>Podon leukarti</i>	129	1510	56	25	84	0	0	12	0
<i>Evadne tergestina</i>	302	1071	363	112	419	0	0	35	0
<i>Penilla avirostris</i>	0	38	0	12	84	0	168	23	0
<i>Acartia erythraea</i>	302	1071	363	112	419	0	0	35	0
<i>Calanus sinicus</i>	58	76	252	68	1719	81	895	23	3313
<i>Centropages abdominalis</i>	0	0	0	0	377	12	0	0	42
<i>Paracalanus parvus</i> s. 1	14	97	140	224	336	12	0	69	0
<i>Pseudodiaptomu marinus</i>	0	11	0	19	42	6	0	0	0
<i>Pontella fera</i>	0	0	28	6	168	0	615	12	587
<i>Labidocera rotunda</i>	0	22	28	19	1552	12	1230	6	671
<i>Tortanus forcipatus</i>	0	5	0	12	0	0	0	0	0
<i>Corycaeus affinis</i>	5	11	0	19	0	0	0	6	0
<i>Oithona</i> sp.	0	11	0	0	0	0	0	0	0
unidentified Harpacticoids	0	11	0	0	0	0	0	0	0
Copepodites	43	60	112	75	419	35	727	40	1090
unidentified Amphipods	10	11	28	0	0	17	280	23	797
<i>Sagitta crassa</i>	48	60	28	68	3187	12	895	40	545
<i>Oikopleura dioica</i>	0	0	0	0	0	0	0	35	0
Decapod larvae	24	168	336	168	2894	35	2740	17	545
Euphausiid larvae	10	0	56	0	84	0	168	12	0
Cumacea	0	0	0	0	0	0	168	12	0
Polychaete larvae	0	11	28	0	84	0	112	0	1803
Banacle larvae	10	76	56	31	126	0	0	0	0
Ostracoid	0	0	84	12	629	17	0	0	18117
Fish eggs	19	0	0	0	0	0	0	0	210
Fish larvae	34	11	0	25	168	12	1286	23	42
Total ind. m ⁻³	11661	19357	51193	16167	16398	11234	42721	16567	79558

N : Night-lights, C : Control (dark)

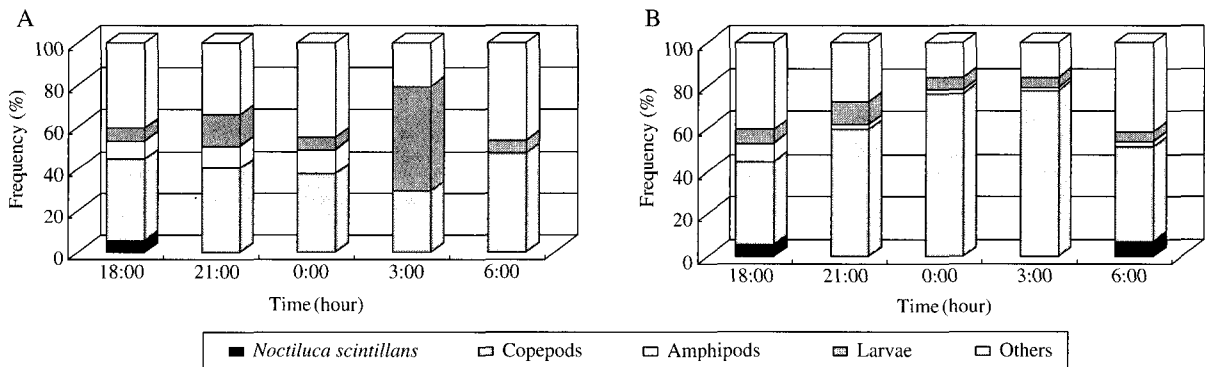


Fig. 4. Variation of the abundance of major groups according to the night time (12 July). A: Night-lights, B: Control.

요각류가 모든 시간대에 걸쳐 우점 출현함을 알 수 있으며, 점등후 9시간 경과후 유생이 높은 비율로 출현하였다 (Fig. 4). 비점등구에서는 일몰경 (18:00)을 제외한 모든 시간대에 걸쳐 요각류가 전체 출현 개체수의 40% 이상을 차지하였으며, 기타 분류군과 유생이 비교적 고

른 비율로 각 시간대에 분포하는 양상을 나타내었다 (Fig. 4). 2차조사시 (7월 20일) 점등구내 시간대별 조성을 살펴보면 점등 3시간 이후부터 단각류의 출현 비율이 두드러졌으며, 그 다음으로 유생과 야광충도 상당수 출현함을 알 수 있었다 (Fig. 5). 같은 시간대 비점등구를

Table 5. Species composition and abundance of light-attracted zooplankton in 30 August, 2004

Taxon	Time	18:00	After 3 (h)		After 6 (h)		After 9 (h)		06:00	
		Sunset	C	N	C	N	C	N	C	N
<i>Noctiluca scintillans</i>		6108	2220	1370	3077	5200	2695	1258	1064	37158
unidentified Siphonophorids		39	0	0	0	28	32	0	46	545
unidentified Trachymedusae		20	0	0	16	0	0	0	17	252
<i>Evadne tergestina</i>		113	268	224	47	84	54	252	23	545
<i>Acartia omorii</i>		35	17	28	10	867	65	755	12	84
<i>Acartia erythraea</i>		54	11	0	16	3187	162	2097	23	168
<i>Calanus sinicus</i>		15	22	0	0	56	0	168	0	84
<i>Centropages furcatus</i>		0	11	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paracalanus parvus</i> s. 1		414	593	84	241	112	519	252	0	881
<i>Pseudodiaptomu marinus</i>		0	0	0	5	0	0	0	6	0
<i>Labidocera rotunda</i>		0	34	391	10	2125	173	10401	93	126
<i>Temora discaudata</i>		10	0	84	10	28	43	3103	0	0
<i>Tortanus forcipatus</i>		0	0	0	0	0	11	0	0	0
<i>Corycaeus affinis</i>		15	11	56	10	0	0	0	0	84
<i>Oithona</i> sp.		25	0	0	16	0	0	0	12	126
unidentified Harpacticoids		0	0	28	10	56	11	0	0	42
Copepodites		79	78	84	73	671	162	3020	40	503
unidentified Amphipods		10	34	252	21	1314	130	1929	64	126
unidentified Isopods		0	0	28	0	0	0	168	17	84
<i>Sagitta crassa</i>		104	50	56	21	56	11	419	12	126
<i>Sagitta enflata</i>		138	73	112	37	84	22	252	23	336
<i>Oikopleura dioica</i>		20	11	0	16	0	22	0	0	168
Decapod larvae		10	45	559	42	1706	693	22479	104	545
Euphausiid larvae		15	22	280	10	112	0	252	0	84
<i>Lucifer</i> sp.		0	6	56	0	0	0	168	0	168
Polycheate larvae		10	17	56	10	28	22	84	17	0
Banacle larvae		0	0	84	0	0	0	0	0	0
Dolioida		0	22	28	0	0	22	0	17	336
Fish eggs		49	22	363	21	56	32	671	17	84
Fish larvae		10	17	671	10	391	22	587	0	0
Total ind./m ³		7292	3584	4893	3733	16160	4903	48313	1608	42652

N : Night-lights, C : Control (dark)

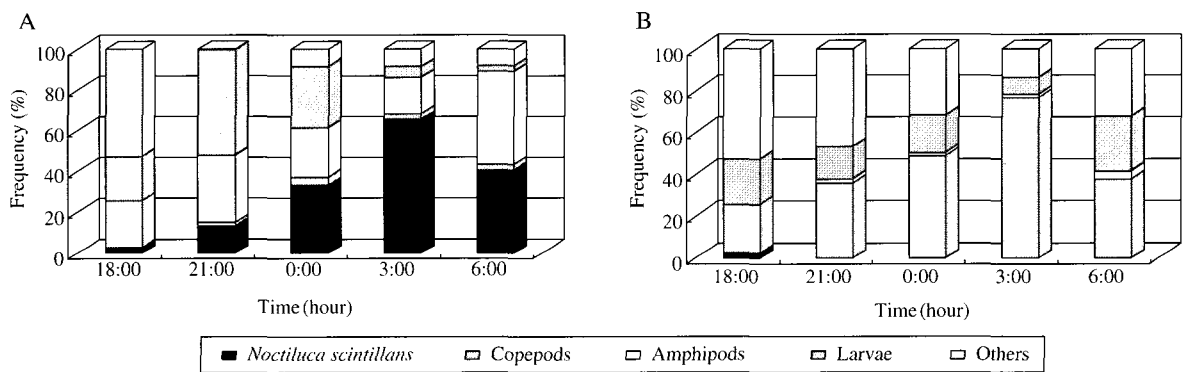


Fig. 5. Variation of the abundance of major groups according to the night time (20 July). A: Night-lights, B: Control.

살펴보면 요각류가 우점 출현하였으며, 기타 분류군과 유생등이 고루 분포하였다(Fig. 5).

3차조사시(8월 10일) 점등구내 시간대별 조성률은 점 등 약 3시간 이후까지는 야광층이 높게 출현하다가 점

등 약 6시간 이후부터 요각류의 출현이 두드러졌으며, 일출경(06:00)에 기타 분류군(40%)의 비율이 상당수 증가함을 알 수 있었다(Fig. 6). 이러한 분포는 요각류 중 *Acartia erythraea*와 *Labidocera rotunda*가 불빛에 의해

대량 유집된 결과인 것으로 나타났다. 비점등구에서는 야광충이 높은 출현 비율을 나타내었다(Fig. 6). 4차조사시(8월 17일)에는 점등, 비점등구 모든 시간대에 걸쳐 야광충이 높은 비율로 출현하였다(Fig. 7).

5차조사시(8월 30일) 점등구내 시간대별 조성률은 일몰경(18:00)에 야광충이 높은 출현 비율을 보이다가 점등 3시간 이후부터 요각류, 유생, 단각류 등이 고루 분포

함을 알 수 있었다(Fig. 8). 비점등구에서는 모든 시간대에 걸쳐 야광충이 50% 이상의 비율로 높게 출현하였다(Fig. 8).

6. 출현종의 변화 양상

조사기간 중 출현종 수를 살펴보면, 점등구에 비해 비

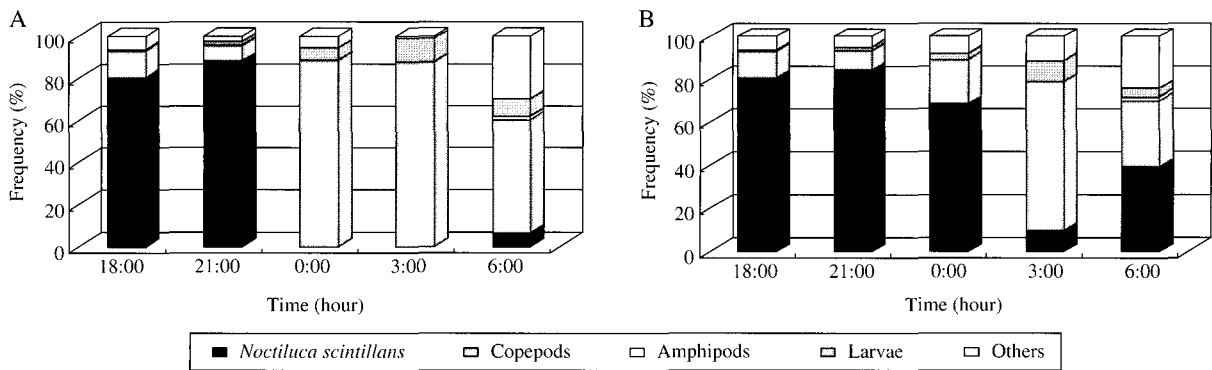


Fig. 6. Variation of the abundance of major groups according to the night time (10 August). A: Night-lights, B: Control.

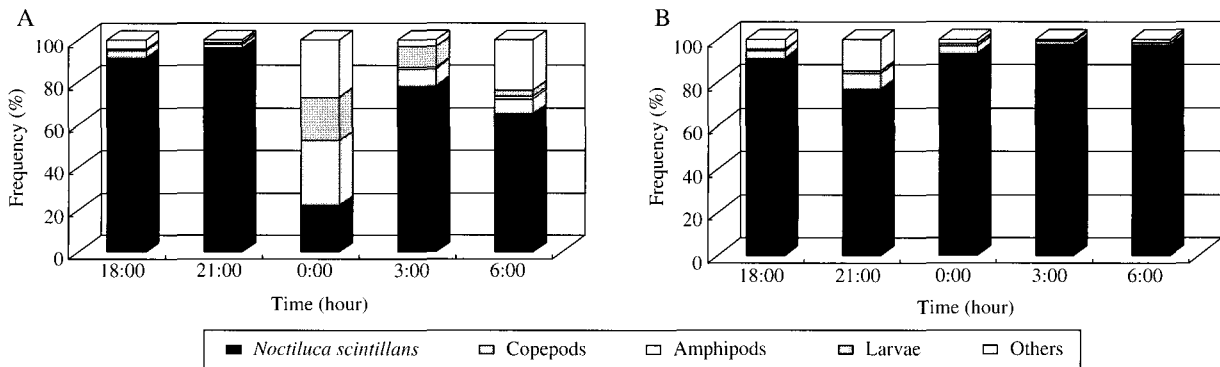


Fig. 7. Variation of the abundance of major groups according to the night time (17 August). A: Night-lights, B: Control.

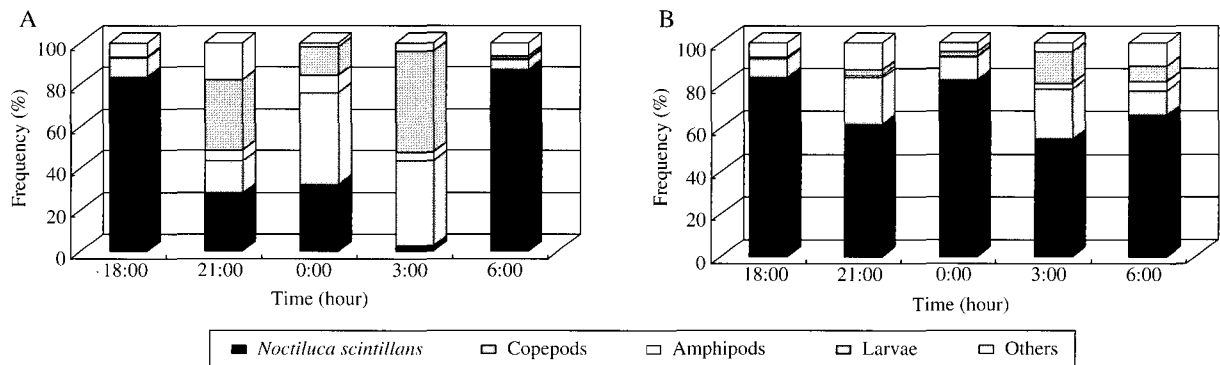


Fig. 8. Variation of the abundance of major groups according to the night time (30 August). A: Night-lights, B: Control.

점등구에서 다소 많은 출현종 수를 나타내었으며, 점등구의 경우 3차조사시(8월 10일) 32종으로 가장 많은 출현종 수를 보였고, 비점등구에서는 4, 5차시기에 29종으로 최대값을 나타내었다 (Fig. 9A). 출현 개체수의 경우 출현종 수와는 전혀 다른 양상으로, 점등구에서 폭발적으로 많은 개체가 출현하였으며, 3차조사시(8월 10일) 33,822,558 ind. m⁻³로 가장 많은 개체가 채집되었고, 1차조사시(7월 12일) 가장 적은 16,108 ind. m⁻³가 채집되었다. 비점등구에서는 4차조사시(8월 17일) 74,985 ind. m⁻³로 가장 많이 출현하였으며, 2차조사시(7월 20일) 3,756 ind. m⁻³로 가장 적게 출현하였다 (Fig. 9B).

출현개체수의 경우 비점등구에 비해 점등구에서 약 2~1220배 많은 출현 개체 차이를 나타내어, 동물플랑크

톤이 점등(불빛)에 의해 상당수 유집됨을 알 수 있었다.

7. 점등에 유집된 출현종의 유사성

총출현 개체수비 1% 이상 출현한 13종의 주요 우점종의 월별 출현 양상을 Fig. 10에 나타내었다. 이들의 출현 빈도에 대한 Bray-curtis 상관계수로부터 구한 수상도에 의한 중간(r-mode) 집괴분석을 실시한 결과, 점등(불빛)으로 유집되는 동물플랑크톤 군집의 반응양상은 2개의 무리로 대별하여 특징지을 수 있는 것으로 나타났다. "A"그룹은 조사시기별 높은 출현 빈도를 나타낸 종들로 불빛에 명확한 양주광성 (photo-positive) 종들로 구성됨을 알 수 있었다. "B"그룹에 속하는 종들은 약간의 차이

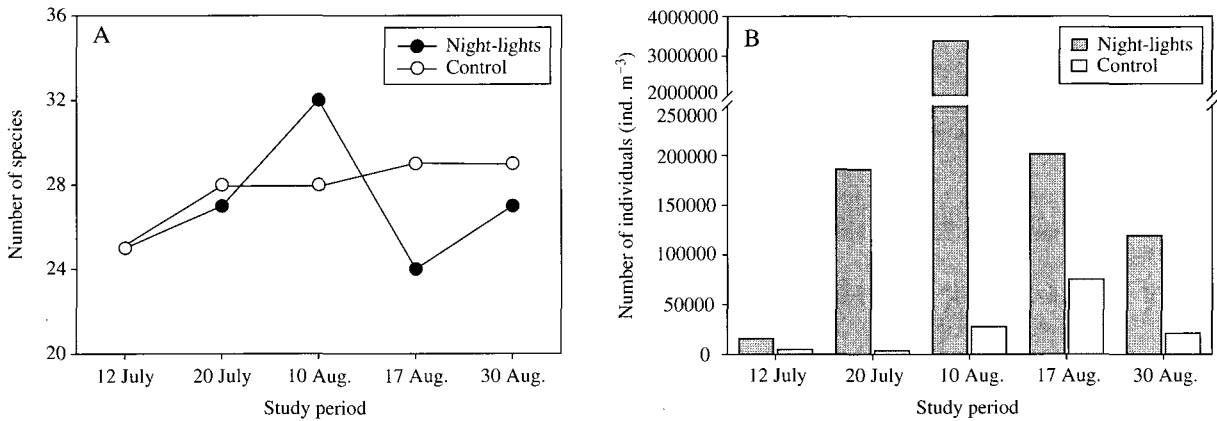


Fig. 9. Variation in (A) number of species, (B) number of individuals of the zooplankton collected during study period.

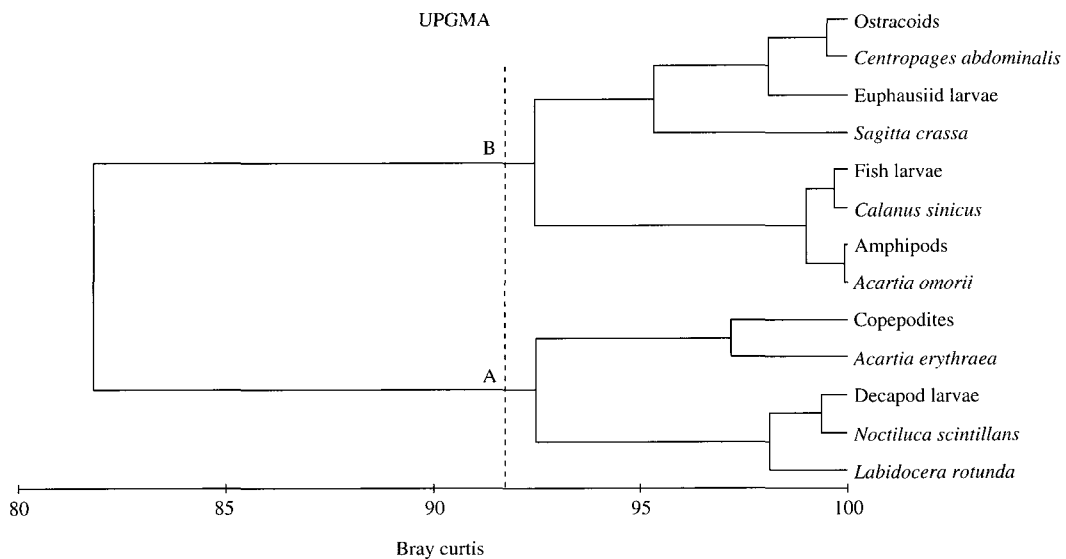


Fig. 10. Dendrogram (UPGMA) illustrating species (r-mode) derived from monthly abundance of the 13 most dominant zooplankton by night-lights.

는 있으나, 대부분이 점등(불빛)에 소극적으로 반응하는 음주광성(photo-negative)으로 나타났다(Fig. 10).

고 찰

본 연구해역에서 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정한 21종을 포함하여 총 43개 분류군이였다. 불을 밝힌 점등구에서의 출현 분류군수는 비점등구에 비해 상대적으로 적은 개체수가 나타났으며, 이러한 결과는 동일해역에서 비점등구에 비해 점등구에서 출현 분류군수가 2배 이상 출현한다고 보고한 Kim and Park (2002)의 보고와 여수해역에서 Yoon (2005)의 보고와는 상반되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 조사시기 및 조사해역에 따른 출현 분류군과 분류군수의 차이로 여겨진다. 가장 다양한 출현 분류군중 하나인 요각류의 출현수도 점등구에서 총 15종, 비점등구에서 총 13종이 출현하여 점등구에서 더 많은 요각류가 출현함을 알 수 있었다. 또한 두 구간에서의 동물플랑크톤 평균 출현량에서도 비점등구에 비해 점등구에서 약 3~166배 높은 출현량을 나타내었으며, 이는 조사시기를 달리한 동일해역에서의 20배 (Kim and Park 2002), 여수해역에서 6~17배 (Yoon 2005), 비점등에 비해 점등구에서 7~8배 이상 출현한다고 보고한 결과 (Mamcarz 1995)와 일치하는 양상을 보였으며 특히, 점등구에서의 폭발적인 유집이 주목할만하다. 이러한 출현량에서의 차이 즉, 비점등구에 비해 점등구에서 폭발적으로 출현, 분포한다는 것은 동물플랑크톤이 점등(불빛)에 의해 상당수 반응, 유집된다는 사실을 시사한다.

또한 조사기간 중 점등, 비점등구에서 시간대별 조성을 살펴본 결과 점등구에서는 대체로 요각류가 상당수 반응함을 알 수 있었으며, 점등 3시간 이후부터 다양한 분류군이 불빛에 의해 대량 유집되었다. 이러한 결과는 일부 종들에 있어 불빛에 즉각적인 반응을 나타내기 보다는 일정 시간 경과후 서서히 반응을 보이는 것으로 판단되며, 20:00~04:00시 사이 가장 많은 동물플랑크톤 군집이 유집된다는 보고와 일치한다 (Fermin and Seronay 1997).

시간대별 비점등구 조성을 살펴보면 전 시간대에 걸쳐 요각류와 야광충이 우점함을 알 수 있었으며, 점등구와는 시간대별 조성에 있어 상이한 결과를 나타내었다. 점등(불빛)에 의한 시간대별 조성의 차이는 점등에 대한 반응이 생물개체군에 따라 다양하게 나타남을 시사하였으며, 나아가 동물플랑크톤의 시공간적인 변화에 큰 영향을 줄 것으로 사료된다.

요각류중 *Acartia erythraea*와 *Labidocera rotunda*는 조사기간중 점등구에서 폭발적으로 반응하며 높은 출현량을 보였다. *Acartia erythraea*의 경우 여수 근해 및 가막만 일원에서는 여름철에, 마산만과 득량만에서는 가을철에 출현량이 높은 것으로 보고하였다(심과 노 1982; Yoo et al. 1991; 한 등 1995; 서 등 2002). 본 조사에서도 3차 조사(8월 10일) 이후부터 높은 밀도로 출현하여 유사한 결과를 나타내었다. 또한 *Labidocera rotunda*의 경우 조사시기에 따른 출현특성은 선행 연구 자료 미비로 정확히 비교하기는 어려우나 2002년 통영바다목장 해역의 10개 정점에서 조사한 KORDI (2003)의 결과와 비슷하였다. 그러나 이들종이 점등에 반응하는 명확한 주광성 종인지 아니면 단지 조사해역내 우점하게 출현하는 종인지는 특정시기가 아닌 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

수중에서 빛의 밝기가 확산되는 거리를 확인하여 본 결과 해수중에서는 빛의 강도가 거리에 따라 급격히 감소하였으며, 이와 같은 현상은 제반 환경요인들도 있겠으나, 조사지역의 탁도에 의하여 크게 좌우되는 것으로 생각된다. 또한 거리에 따른 빛의 급격한 감소는 빛이 미치는 영향은 극히 제한된 지역에서만 나타나는 현상으로 자연생태계에 미치는 영향에 관한 전반적인 문제가 없는 것으로 판단된다. 조사시기별 유속환경에 따른 동물플랑크톤의 출현종 수와 출현량을 살펴보면 유속이 가장 완만하였던 3차조사시(10.41 cm sec⁻¹) 점등, 비점등구에서 출현종 수와 출현량 모두 가장 높게 나타났으며, 가장 빠른 유속의 변화를 나타낸 1차조사시(11.31 cm sec⁻¹) 출현종 수와 출현량에서 가장 적게 나타났다. 이러한 결과는 조사시기에 따른 출현종 수와 출현량의 차이에 기인할 수 있으나 환경요인 및 조사기간 중 출현종 수와 출현량을 고려해볼때 유속이 동물플랑크톤의 출현 및 유집을 결정시키는 중요한 환경 인자 중 하나인 것으로 판단된다. 따라서 다양한 유속환경에 대한 동물플랑크톤의 출현양상 및 행동특성 등의 실내실험이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

야간에 점등(night-lights)기법을 이용하여 빛(光)이 동물플랑크톤의 분포 및 행동에 미치는 영향에 대하여 살펴본 결과 *Acartia erythraea*와 Copepodite를 비롯한 일부 요각류 및 기타 유생들에 있어 명확한 양주광성 반응을 나타내었으며, 음주광성의 반응을 나타내는 종들도 있는 것으로 판단되지만, 정확한 파악에는 한계를 갖게 된다. 또한, 주요 우점종의 출현빈도를 근거로 하여 다차원척도법(MDS)에 의해 도식화 결과, 점등에 의해 유집된 동물플랑크톤은 2차평면에 고루 분포하였는데, 양주광성 종들은 2차평면의 중심을 기준으로 왼쪽에 분

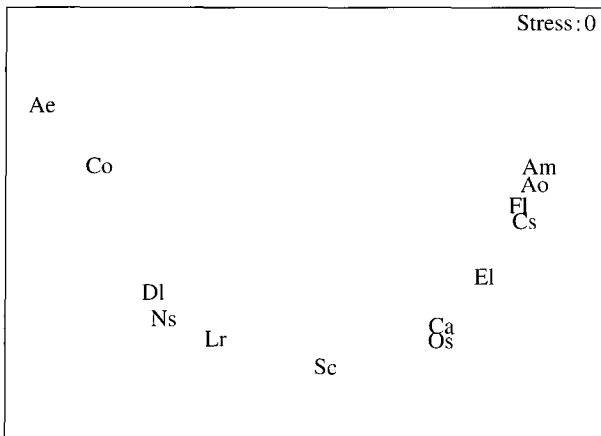


Fig. 11. Multidimensional scaling ordinations (MDS) plot of the species based on the 13 most dominant zooplankton by night-lights.

포함을 알 수 있었고, 음주광성 종들은 오른쪽에 뚜렷이 분포하여, 점등에 의해 중간 반응양상이 뚜렷이 구분된다는 것을 나타내었다(Fig. 11).

일반적으로 갑각류는 빛에 의해 반응하며 (Szalauer's 1967), 특히 동물플랑크톤의 경우 빛에 의해 강하게 양적으로 유집되지만 양적변동을 결정함에 있어 다른 환경 요인 즉, 수온, 용존산소, 생물학적 연관관계도 중요한 요인이다(Lynch 1979). 따라서 점등(night-lights)과 비점등(control)에 따른 동물플랑크톤의 종조성 및 분포 특성을 보다 정확히 파악하기 위해서는 수온 및 염분의 수평적 수직적 분포를 분석함과 동시에 이들과 밀접한 관계가 있는 해수유동 등에 관한 해양환경에 대해서도 보다 면밀한 연구가 요구되어진다.

적 요

점등 효과에 따른 동물플랑크톤 군집동태의 변화를 관찰하기 위하여 통영 바다목장 해역내 한국해양연구원 가두리 설치 지역에서 2004년 7월부터 2004년 8월까지 채집을 실시하였다. 점등 효과를 알아보기 위한 시료 채집은 야간에 점등구간에서 또한 자연상태의 동물플랑크톤 군집과 비교분석을 위하여 같은 시간에 인접 지역에서 점등에 영향을 받지 않는 장소를 선정하여 점등 시료와 동일한 방법으로 채집하여 비교 분석하였다.

조사기간 중 출현한 동물플랑크톤은 중 수준까지 동정한 21종을 포함하여 총 43개 분류군이였다. 불을 밝힌 점등구에서의 출현 분류군수는 비점등구에 비해 많은 개체수가 나타났으며, 두 구간에서의 동물플랑크톤 평균

출현량에서도 비점등구에 비해 점등구에서 약 3~166배 높은 출현량을 나타내었다. 본 연구에서 점등(불빛)으로 유집되는 동물플랑크톤 군집의 반응양상은 2개로 대별하여 특정지를 수 있는 것으로 나타났다. "A"그룹은 조사시기별 높은 출현 빈도를 나타낸 종들로 불빛에 명확한 양주광성(photo-positive) 종들로 구성됨을 알 수 있었다. "B"그룹에 속하는 종들은 약간의 차이는 있으나, 대부분이 점등(불빛)에 소극적으로 반응하는 음주광성(photo-negative)으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노, 한명일, 김병섭, 강운호, 이우범. 2002. 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상. 환경생물. 20:118-129.
- 심재형, 노일. 1982. 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적 분포. 서울대학교 자연과학연구 논문집. 7:165-183.
- 한동훈, 홍성윤, 마채우. 1995. 득량만 동물플랑크톤의 분포. 한국수산학회지. 28:517-532.
- Bougis P. 1976. Marine Plankton Ecology. Amsterdam. North-Holland Publ. Com. 355pp.
- Buskey EJ, JO Peterson and JW Ambler. 1995. The role of photoreception in the swarming behavior of the copepod *Dioithona oculata*. Mar. Freshwat. Behav. Physiol. 26:273-285.
- Champigneulle A and R Rojas-Beltran. 1990. First attempts to optimize the mass rearing of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) larvae from Lemans and Bourget lakes (France) in tanks and cages. Aquat. Living Resour. 3:217-228.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust. J. Ecol. 18:117-143.
- Fermin AC and GA Seronay. 1997. Effects of different illumination levels on zooplankton abundance, feeding periodicity, growth and survival of the Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch) fry in illuminated floating nursery cages. Aquaculture 157:227-237.
- Forward Jr RB. 1988. Diel vertical migration: zooplankton photobiology and behaviour. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 26:361-393.
- Kim SW and CW Park. 2002. Impact of artificial illumination on zooplankton dynamics. Korean J. Environ. Biol. 20:312-315.
- KORDI. 2003. Studies on the development of marine ranching program in Tongyeong, Korea. KORDI. Seoul. 708pp.
- Lynch M. 1979. Predation, competition and zooplankton community structure: an experimental study. Limnol. Oceanogr. 2:253-272.
- Mamcarz A and JA Szczerbowski. 1984. Rearing of coregonid

- fishes (Coregonidae) in illuminated lake cages. I. Growth and survival of *Coregonus lavaretus* L. and *Coregonus peled* Gmel. *Aquaculture* 40:135-145.
- Mamcarz A and J Kozłowski. 1992. Rearing peled (*Coregonus peled* Gmel.) larvae in illuminated cages with supplemental utilization of artificial feed. In : Todd, T.N. and M. L. Lucynski, Eds., *Biology and Management of Coregonid Fishes*. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 39:703-711.
- Mamcarz A. 1995. Changes in zooplankton structure around illuminated cage culture. *Aquacult. Res.* 26:515-525.
- Ringelberg J. 1995. Changes in light intensity and diel vertical migration: a comparison of marine and freshwater environments. *J. Mar. Biol. Assoc. UK.* 75:15-25.
- Rosch R and R Eckmann. 1986. Survival and growth of puffed *Coregonus lavaretus* L. held in illuminated net cages. *Aquaculture* 52:245-252.
- Schuyler Q and BK Sullivan. 1997. Light responses and diel migration of the scyphomedusa *Chrysaora quinquecirrha* in mesocosms. *J. Plankton Res.* 19:1417-1428.
- Szczerbowski JA and A Mamcarz. 1984. Rearing of coregonid fishes (Coregonidae) in illuminated lake cages. II. Environmental conditions during fish rearing. *Aquaculture* 40:147-161.
- Szlauer I. 1967. Response of lake fauna to light. *Polskie. Archiwum. Hydrobiology* 22:215-230.
- Williamson CE, RW Sanders, RE Moeller and PL Stutzman. 1996. Utilization of subsurface food resources for zooplankton reproduction: Implications for diel vertical migration. *Limnol. Oceanogr.* 41:224-233.
- Yoo KI, HK Hue and WC Lee. 1991. Taxonomical revision on the genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Korean waters. *J. Kor. Fish. Soc.* 24: 255-265.
- Yoon HS. 2005. Effects of natural food for resources annexation in marine ranching. Ph. D. thesis, Yeosu National University Yeosu Korea 121pp.

Manuscript Received: December 5, 2005

Revision Accepted: May 1, 2006

Responsible Editorial Member: Wonchoel Lee
(Hanyang Univ.)