

Article

마이크로네시아 축 주의 석호환경 내 동물플랑크톤 군집: 종조성 및 개체수

강정훈¹ · 김웅서² · 조규희^{2*}

¹한국해양연구원 남해연구소
(656-830) 경남 거제시 장목면 장목리 391번지

²한국해양연구원 해양자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

Mesozooplankton Community in the Chuuk Lagoon of the Federated States of Micronesia

Jung-Hoon Kang¹, Woong-Seo Kim², and Kyu Hee Cho^{2*}

¹South Sea Institute, KORDI
Geoje 656-830, Korea

²Marine Resources Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : Mesozooplankton samples were collected to investigate the spatial distribution in the Chuuk lagoon of the Federated States of Micronesia through three surveys from 2002 to 2004. Average temperature was 28.70°C in August 2002, 30.17°C in October 2003 and 29.18°C in July 2004 at a water depth of 2 m. Average salinity was 33.95 psu in August 2002, 33.56 psu in October 2003 and 33.77 psu in July 2004. Total mesozooplankton consisted of 70 taxa during the study period, among which copepods were the most diverse group. Foraminiferans, radiolarians, copepods and appendicularians, which comprised about 70% of total zooplankton abundance, were important components in the zooplankton community. Within the copepod group, *Acartia* spp., *Centropages* spp. and *Undimula* spp. were dominant in August 2002, *Acartia* spp., *Centropages* spp., and *Oithona* spp. in October 2003, and *Acartia* spp., *Undimula* spp., and *Oithona* spp. in July 2004. Total zooplankton abundance was high around Weno Island, while low in stations located in the northern part of Weno Island. High abundances of appendicularians were found in the southern part of Weno Island as well as around Weno Island. Appendicularians, foraminiferans, radiolarians, *Sagitta* spp. and immature copepods accounted for most of the distribution pattern of the mesozooplankton community throughout the study area. These results suggest that appendicularians may be potential food items for fish larvae around Weno Island in the Chuuk lagoon states.

Key words : 요각류(copepods), 유형류(appendicularians), 모악류(chaetognaths), 웨노섬(Weno Island), 축 라군(Chuuk lagoon)

1. 서 론

산호초(coral reefs) 해역은 해양생태계 내에서 생물다양

성이 가장 높은 곳으로 어류, 해조류 및 무척추동물 등 많은 해양생물에게 서식처와 먹이를 제공한다. 또한 자연관 광지로서 경제적인 가치가 높아지면서 사람들의 접근이 증가하고, 어업활동이 활발해지면서 산호초 생태계를 보존하기 위한 필요성이 높아지고 있다(Spurgeon 1992;

*Corresponding author. E-mail : chokh@kordi.re.kr

Hughes 1994; Moberg and Folke 1999; Hughes et al. 2003; Lesser 2004). 한편 산호초 생태계는 태풍과 엘니뇨 시기의 해수 표면 온도 증가로 인한 백화현상에 취약하다 (Marshall and Baird 2000; McClanahan et al. 2001; Yap 2004). 산호초 파괴는 산호의 먹이생물로 중요한 동물플랑크톤의 생물량 및 종조성에 영향을 준다(Wilson et al. 2003; Franco-Gordo et al. 2004).

산호는 환경 조건에 따라 골격의 구성 밀도가 달라져 기후 기록자로서의 역할을 하는 것으로 알려졌으며 (Wellington and Dunbar 1995; Gagan et al. 1998), 온도에 민감하게 반응하는 특성 때문에 전 지구적 규모의 기후 변화 감지자로서의 역할이 기대되고 있다. 따라서 산호초 및 그 주변 생태 환경을 조사하는 것은 앞으로 발생 가능한 전 지구적 규모의 환경변화에 따른 영향을 파악하는데 일조할 것이다.

산호초 주변 환경에서의 높은 생물다양성은 자원 활용의 측면에서도 중요성을 갖고 있다. 최근 어업의 양상이 점차 기르는 어업의 형태로 바뀌면서 미래를 위한 새로운 어장 개척의 필요성이 증대되는 가운데, 축 라군(Chuuk lagoon) 해역이 그 가능성을 갖고 있는 것으로 나타났다 (권 1999). 그러나 산호초는 어장 환경오염에 취약하므로, 산호초를 보호하기 위해서는 인공 사료보다 자연상태의 먹이를 제공하는 것이 산호초 환경을 보호할 수 있는 길이 될 것이다. 이러한 측면에서 생물자원의 이용가치가 높은 축 라군 주변해역에서 동물플랑크톤 군집을 조사하는 것은 중요하다.

해양생태계에서 동물플랑크톤은 1차 생산자와 상위 영양단계 사이를 이어주는 역할을 할 뿐만 아니라 산호초 생태계에서는 에너지 및 무기물, 비타민, 필수 아미노산과 같은 생존에 필요한 물질을 제공하는 역할을 한다 (Johannes et al. 1970; Heidelberg et al. 2004). 그러므로 생태학적 연구가 거의 수행되지 않은 축 주변의 동물플랑크톤 군집연구는 이곳의 부유생태계를 이해하는데 기초가 될 것이다. 본 연구에서는 산호초 해역인 마이크로네시아 축 주의 웨노(Weno) 섬 주변, 섬의 북부와 남부에서 동물플랑크톤 군집의 종 조성 및 개체수를 조사하였고, 이를 통해 수산자원생물의 먹이로서 잠재성이 높은 분류군을 파악하고 나아가 동물플랑크톤의 군집구조를 이해하고자 하였다. 이 결과는 축 주의 수산자원 개발과 양식 사업을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2002년부터 2004년까지 축 주의 웨노섬 주변 총 22개의 정점에서 동물플랑크톤을 주간 채집하였다(Fig. 1). 1차 조사에서는 11개 정점에서 2002년 8월에 웨노섬 주변

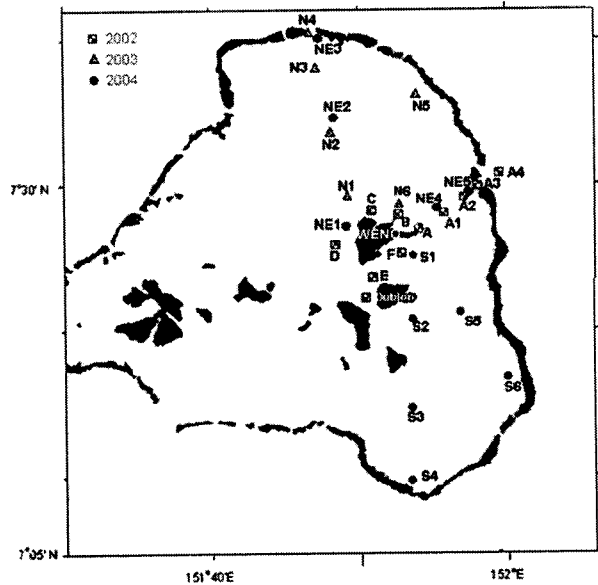


Fig. 1. Map showing surveyed stations in Chuuk lagoon in August 2002, October 2003, July 2004.

과 웨노섬의 북동 수로상에서 네트(망구직경 45 cm, 망목 200 μm)를 수심 20 m까지 내린 후 수직 예인하였으며, 충분한 개체수 확보를 위해 4회 반복하여 채집하였다. 2차 조사에서는 2003년 10월에 웨노섬 북수로 상의 정점들과 웨노섬과 북동쪽 환초사이의 6개 정점에서 수심 10 m까지 내린 후 표층까지 수직 예인하였으며, 2회 반복하였다. 3차 조사에서는 2004년 7월에 11개 정점에서 수심 30 m까지 내린 후 수직예인하였고, 예외적으로 정점 NE1에서는 수심 15 m부터 표층까지 예인하였다. 채집된 동물플랑크톤은 시료병에 옮겨 담은 후 중성포르말린으로 최종 농도가 약 5%가 되도록 처리하여 보관하였다. 실험실에서 동물플랑크톤 시료를 균등하게 섞은 후 부표품을 뽑아내어 해부현미경(Olympus Zoom Stereo-microscope, model SZ-ILZ-LSGA)하에서 최대 110배의 배율로 동정하였다. 연구수역의 수온 및 염분은 CTD(Idronaut)를 이용하여 동물플랑크톤 채집과 동시에 측정하였다.

동물플랑크톤의 동정(identification)은 요각류의 경우 속 수준까지 하였고, 그 외의 생물군은 보다 광범위한 분류군으로 구분하였으며, 분석된 동물플랑크톤은 단위체적당 개체수(개체 $\cdot \text{m}^{-3}$)로 환산하였다. 군집분석(cluster analysis)은 동물플랑크톤의 조성 및 개체수 자료를 토대로 전체 동물플랑크톤 군집의 1% 이상 점유하는 분류군을 대상으로 수행하였고, 정점간 비유사도(Bray-curtis dissimilarity index)를 토대로 결과를 수상도(dendrogram)로 표시하였다. 군집분석은 MVSP version 3.13b를 이용하였다.

3. 결 과

수온 및 염분

축 라군 내 웨노(Weno)섬을 중심으로 동물플랑크톤 채집과 동시에 수온과 염분을 측정하였다. 모든 정점에서 수심 2 m를 기준으로 수온 및 염분자료를 처리하였다 (Fig. 2).

2002년 8월의 수심 2 m의 수온분포는 28.44°C에서 28.93°C의 범위였으며 평균수온은 28.70°C이었고, 염분은 33.91~33.99 psu 범위로 평균 33.95 psu였다. 2003년 10월의 수심 2 m의 수온이 29.93°C에서 30.85°C의 범위로 정점 N4와 N5에서는 수온이 30°C 이상이어서 조사기간 중 가장 높았다(Fig. 2). 염분은 33.50~33.61 psu 범위로 조사 기간 중 가장 낮은 염분 분포를 보였고 평균도 33.56 psu로 낮게 나타났다. 2004년 7월의 수심 2 m의 평균 수온이 29.18°C로 정점 S6에서 28.85°C로 가장 낮았고 나머지 정점들에서는 29°C 이상으로, 정점 S2에서 29.37°C로 가장 높았다. 염분은 평균 33.77 psu로 정점별 염분 분포

는 33.75~33.82 psu 범위를 보여 수온에 비하여 정점별 차이가 없었다(Fig. 2).

동물플랑크톤 분포

연구기간동안 채집된 동물플랑크톤 군집은 총 70종류로 구성되어 있었다. 대표적인 분류군은 관해파리류(siphonophores), 히드로메두사(hydromedusae), 모악류(chaetognaths), 지각류(cladocerans), 패충류(ostracods), 요각류(copepods), 십각류(decapods), 단각류(amphipods), 난바다곤쟁이류(euphausiids), 곤쟁이류(mysids), 복족류(gastropods), 유형류(appendicularians), 탈리아류(thaliaceans), 유공충류(foraminiferans), 방산충류(radiolarians), 유즐동물(ctenophores)을 비롯하여, 저서생물인 극피동물(echinoderms)과 다모류(polychaetes)의 부유유생을 포함하는 기타 유생류였다(Table 1).

웨노섬 주변 및 북동 수로역(2002년 8월)

웨노섬 주변 및 북동 수로역에서 채집된 동물플랑크톤

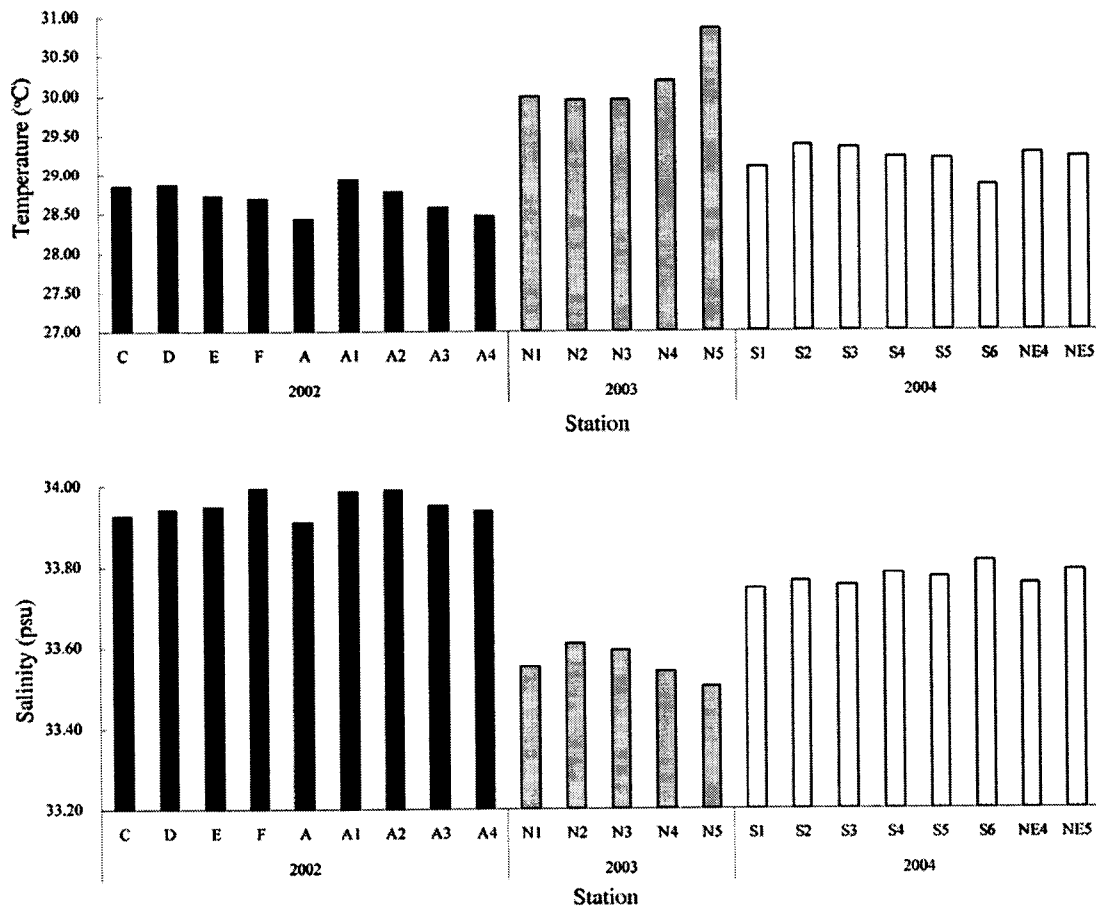


Fig. 2. Temperature and salinity at a water depth of 2 m throughout all the stations in Chuuk lagoon in August 2002, October 2003, July 2004.

Table 1. Species composition and abundance of zooplankton collected at each station around Weno Island in Chuuk lagoon.

Taxon/Station	2002												2003												2004											
	A	A1	A2	A3	A4	B	C	D	E	F	Dublon	NI	N2	N3	N4	N5	N6	SI	S2	S3	S4	S5	S6	NE1	NE2	NE3	NE4	NE5								
Siphonophores	3	4	1	6	10	4	38	1	8	3	*	8	25	8	*	*	27	4	*	*	*	*	11	*	*	*	8	*								
Hydromedusae	6	1	2	5	13	3	14	2	13	1	1	8	8	*	*	*	18	13	*	3	*	*	11	8	*	4	*	*								
Sagitta spp.	24	4	4	36	9	80	227	118	178	47	36	32	8	8		33	27	30	15	13	19	8	29	133	12	4	7	29								
<i>Pterosagitta</i> sp.	1	1						*													4			4			*									
Ostracods				*	1		12	*	*	9							*	4				*														
<i>Evadne</i> spp.													*	*																						
<i>Acartia</i> spp.	10	20	18	20	4	21	106	17	26	16	34	8	8	8	*	8	*	3	4	3	*	8	31	8	8	7	7	7								
<i>Acrocalanus</i> spp.	3	*	3	4	1			*			2	8	8	16	*	*	*			*				*	*											
<i>Calanopia</i> spp.						1	3	5									*	3			*		*		*	7	4	4								
<i>Catocalanus</i> spp.	3	*	1	3	5	3				*	*										*		4													
<i>Candacia</i> spp.	1	*	1	2	5	3	*	*	*	*	*										*															
<i>Canthocalanus</i> sp.				*	*																															
<i>Centropages</i> spp.		*	*	2	1	30	25	5	1	30	73	16	*	*	116				*	4	*	*	23	*	4	*	*	*								
<i>Clausocalanus</i> spp.	*	*	1	4	4	*				1							7	*	*	11	*	*	*	*	8	8	*	*								
<i>Clytemnestra</i> sp.				*	*																															
<i>Copilia</i> spp.		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*									*	*	*	*													
<i>Corycaeus</i> spp.	1	*	*	2	1	3	9	3	2	5		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	23	8	*	*	*	11								
<i>Cosmocalanus</i> sp.				3	3	*														8	*	4	*	4	*	*	*									
<i>Eucalanus</i> spp.	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										*	*	*		*	*	*	*								
<i>Euchaeta</i> spp.				*	*																*	*	*		*	*	*	*								
<i>Farranula</i> spp.	*	*	1	1	*	2	1			1		*	*	*	*	*				8	*	*	*	*	*	4	*	4								
<i>Labidocera</i> spp.	*	*	*	*	*	2	4	6	8	2	2	16	*	*	*	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
<i>Lucicutia</i> spp.						2																*					*									
<i>Macrosetella</i> sp.	*																										*									
<i>Mecynocera</i> sp.																											*									

Table 1. Continued.

Taxon/Station	2002												2003						2004										
	A	A1	A2	A3	A4	B	C	D	E	F	Dublon	N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	NE1	NE2	NE3	NE4	NE5	
<i>Nannocalanus</i> sp.	1	*	4	3								*	*	9	*	18	*	*	10		4	*	8	8	15	11	4		
<i>Oithona</i> spp.	3	1	3	3	11	7	5	6	2	4																			
<i>Oncaea</i> spp.	3	1	*	3	2	4	*	*	2	2									*	4	*	15			*	*	*	*	
<i>Paracalanus</i> spp.	2	1	1	2	3	10	1	8	12	14										*									
<i>Paracandacia</i> spp.		*	3		*	*	1	*	*	*										*									
<i>Pontellina</i> sp.																			*										
<i>Rhincalanus</i> spp.	*		*	*	*																								
<i>Sapphirina</i> sp.																				*								4	
<i>Scolecithricella</i> sp.	2				*					*										*									
<i>Scolecithrix</i> sp.	*	1	3	*	*																								
<i>Temora</i> spp.							2	1		*																			
<i>Tortanus</i> spp.	5	*	1	31	*	5	9	2	9	2	14	*								8	23	8	4	15	*	8	4	4	*
<i>Undinula</i> sp.					*	*	7	1	2																				
Paracalanidae	*	*	*	1	*		*																						
Calanoidae																													
Harpacticoids							1																						
Copepodite	35	21	25	53	47	36	211	71	82	34	168	57	8	*	9	9	20	4	3	19	12	*	23	*	8	7	14		
Copepod nauplii		*	*	*	*	*				2																		4	
Decapods(Luciferidae)					1																		*						
Amphipods	*	*	*	*	1	1			*	*																			
Euphausiids		*	1							1																			
Mysids						*		*		4										*			*					*	
Foraminiferans	2	7	8	10	17	5	8	3	8	15	1	*	33	32	34	17	27	*	*	10	8	16	11	*	16	26	*	25	
Radiolarians	75	82	164	534	118	119	251	395	586	814	12							73	46	23	15	281			20	*		4	
Gastropods	4	20	20	21	10	45	23	3	19	11	31	8	*	*	*	*	9	7	4	3	*	*	4	16	*	19	7	7	
<i>Onkopleura</i> spp.	55	12	1	31	4	135	369	143	182	190	57	81	8	*	*	25	9	59	92	100	53	111	196	55	43	68	*	18	

Table 1. Continued.

Taxon/Station	2002												2003						2004											
	A	A1	A2	A3	A4	B	C	D	E	F	Dublon	N1	N2	N3	N4	N5	N6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	NE1	NE2	NE3	NE4	NES		
<i>Fritillaria</i> spp.	*		*	5	5	26	29	27	33	21	50	*	*	*	*			*		3		*		*	8		4			
Thaliaceans	10	8	1	1	5	2	2		1		*	*	*																*	
Decapod larvae	5	1	4	15	9	5	85	16	23	8	23	32	*	*	*	8	27													
Megalop larvae							*		*																					
Decapod zoea	1	2	2	9	3	1	10	21	8	2	8	8	*		*	*	*	3	11	7	*	8	4	16	*		*		2	
Mysid larvae																		7	8	13	4	4	4	8	*		*	11		
Euphausiid larvae																		13	8	3		4	4	8	*		*	19		*
Alima larvae											2																		*	
Lepas nauplii				*				1													*			*					*	
Penaeus zoea							2																							
Pocellanid zoea					1																									
Ctenophore larvae	1	*	1	5	1	7			2	1	*	*	*		*	*	*	3		7	*	4	*	*	*	*	4	*	*	
Polychaete larvae	2	1	*	2	1	4	4	*	3	2	2	*	*	*				*			8	*	*	*	*	*	*	*	*	
Planula	1	1	*	*			1																							
Echinoderm larvae	1	*	1	*	1	15	40	54	105	27	4				*	*	*	13	4	*	*	16	*	*	*	*	*	*	*	
Starfish larvae																						*							*	
Tentaculata						3	1	1	1	1																				
Fish eggs		*	3	3	2	8	2	*	8	3	3	*	*		26	*	*	*	4	*	*	*		8	*	*	4	*	*	
Fish larvae	*		*	*	*	1	3	4	5	2	1	*			*	*	*	3	*	3	4	*	*	*	*	*	*	*	*	
Total	260	192	263	825	291	539	1,538	928	1,328	1,234	519	333	115	73	77	207	172	264	218	229	171	484	309	368	134	218	53	132		

* < 1 inds.m³

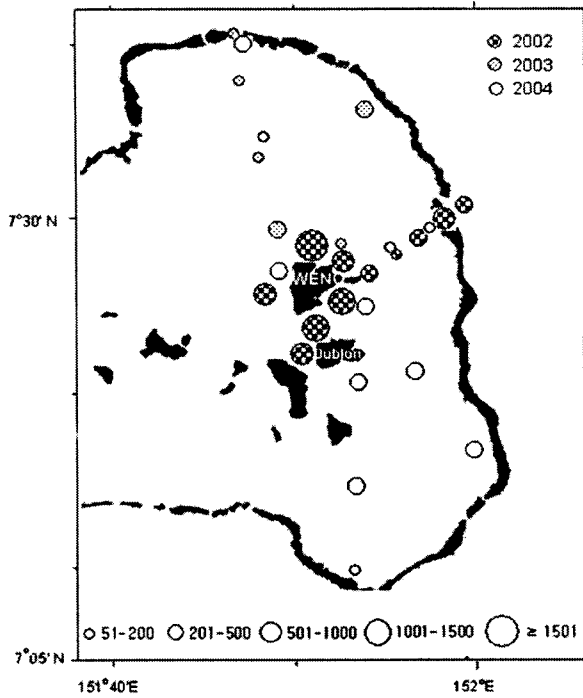


Fig. 3. Spatial distribution of mesozooplankton abundance in Chuuk lagoon in August 2002, October 2003, July 2004. (unit : inds · m⁻³).

의 전체 개체수는 192~1,538개체 · m⁻³의 범위로, 웨노섬 주변에서 가장 높게 나타났고, 이에 비해 북동 수로역에서 낮은 값을 보였다(Fig. 3). 특히 웨노섬 가까이 북부와 남부(정점 C, E, F)에서 개체수가 1,000개체 · m⁻³ 이상으로 높았고, 북동수로에서는 정점 A1에서 192개체 · m⁻³로 낮게 나타났다(Table 1, Fig. 3).

모든 정점에서 방산충류가 높은 개체수를 나타냈고, 유형류와 모악류 및 요각류 미성숙체(copepodite)가 높은 개체수를 나타냈다. 일반적으로 웨노섬 주변에서 높게 나타났는데, 방산충류의 경우 정점 F(814개체 · m⁻³)에서 가장 높게, 정점 Dublon(12개체 · m⁻³)에서 가장 낮게 나타났다. 유형류도 북동 수로역에 비해 섬 주변에서 높게 나타났고(Fig. 5B), 정점 C(398개체 · m⁻³)에서 가장 높았다. 섬 주변에서 유형류의 개체수는 107~398개체 · m⁻³의 범위를 보였고, 북동 수로역은 1~55개체 · m⁻³의 범위를 나타내 지역적인 차이가 뚜렷하였다. 모악류 또한 이와 유사한 양상으로 웨노섬 주변 정점에서 주로 분포하였다(Fig. 5D). 섬 주변에서 47~227개체 · m⁻³의 범위를, 수로역에서 4~36개체 · m⁻³의 범위를 나타내 뚜렷이 대비되었다. 정점별로는 정점 C에서 가장 높게(227개체 · m⁻³), 정점 A1과 A2에서 가장 낮게(4개체 · m⁻³) 나타났다. 성체 요각류는 정점 C에서 191개체 · m⁻³로 나타난 것을 제외하고 대부분 100

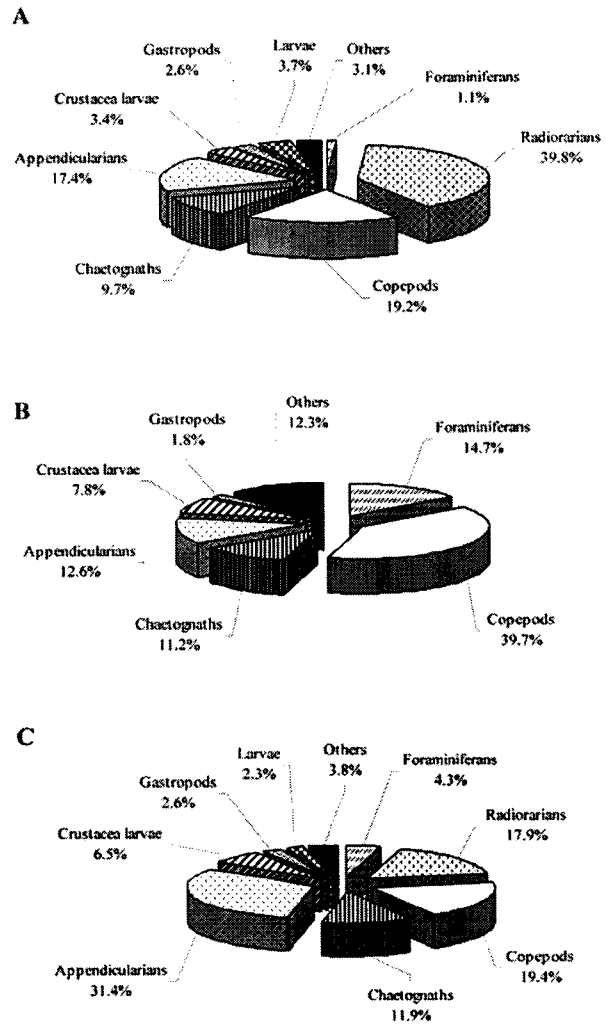


Fig. 4. Relative abundances of taxonomic groups in mesozooplankton community collected in Chuuk lagoon (A: 2002, B: 2003, C: 2004).

개체 · m⁻³ 미만으로 분포하였다. 요각류 미성숙체는 정점 C(211개체 · m⁻³)와 정점 Dublon(168개체 · m⁻³)에서 높은 개체수를 나타냈고, 그 외의 정점에서는 100개체 · m⁻³ 미만의 범위를 보였다(Table 1).

동물플랑크톤의 평균 출현비율은 방산충류가 39.8%로 가장 높은 비율을 나타냈고, 다음으로 요각류 미성숙체를 포함한 요각류(19.2%), 유형류(17.4%), 모악류(9.7%), 갑각류 유생(3.4%) 그리고 복족류(2.6%) 순으로 나타났다(Fig. 4A). 요각류 그룹 내에서는 미성숙체가 가장 높은 비율(9.8%)을 차지하였고, *Acartia* spp.(3.7%), *Centropages* spp.(1.2%), *Undimula* spp.(1.0%), *Paracalanus* spp.(0.7%), 그리고 *Oithona* spp.(0.6%)의 순으로 나타났다.

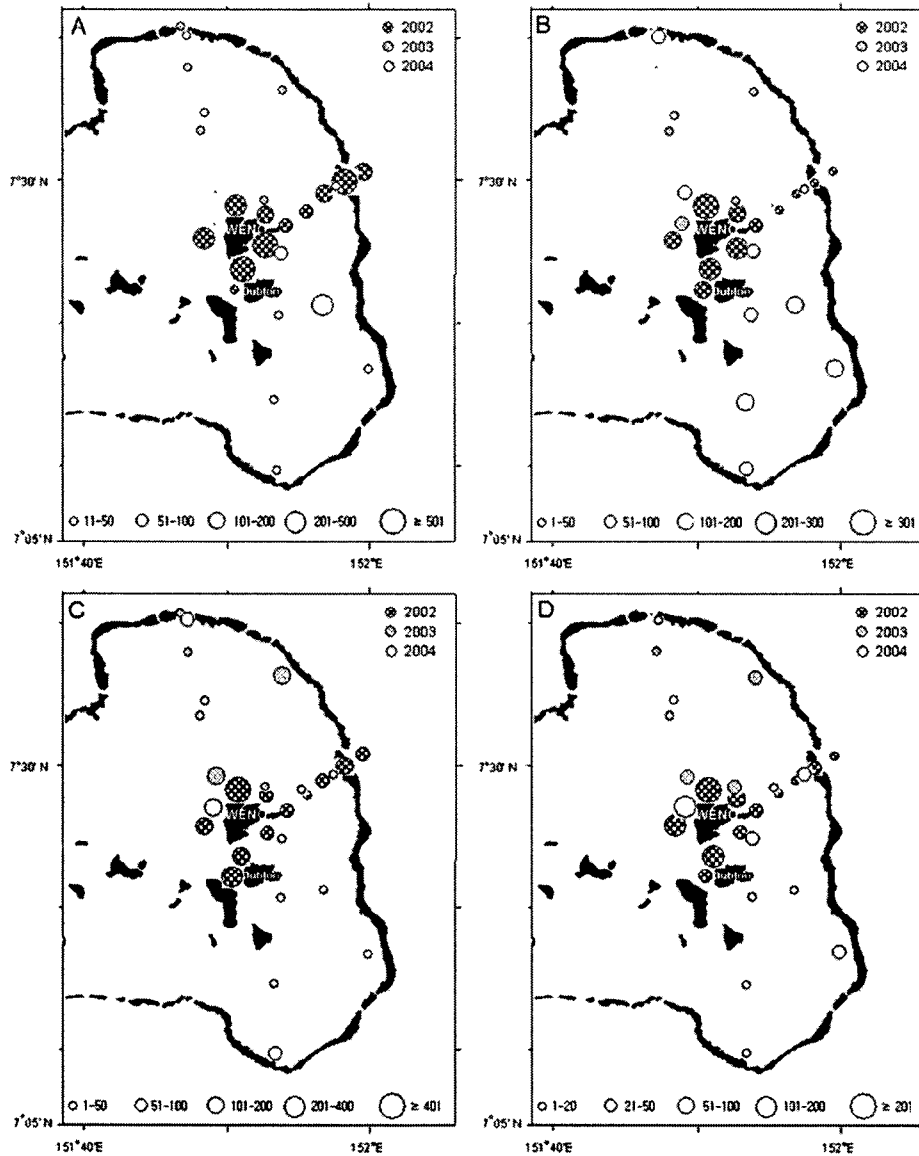


Fig. 5. Variation of mesozooplankton abundance in Chuuk lagoon in August 2002, October 2003, July 2004. A: foraminiferans and radiolarians, B: appendicularians, C: copepods, D: chaetognaths (unit : inds \cdot m $^{-3}$).

웨노섬 북부역(2003년 10월)

웨노섬 북부역에서 채집된 동물플랑크톤은 73(정점 N3)~333개체 \cdot m $^{-3}$ (정점 N1)의 범위를 나타냈으며, 총 3회 조사기간 중 가장 낮은 개체수 범위였다(Table 1, Fig. 3). 분류군별 출현비율의 측면에서 미성숙체를 포함한 요각류가 평균 39.7%로 가장 높은 비율을 나타냈고, 그 다음으로 유공충류(14.7%), 유형류(12.6%), 모악류(11.2%), 갑각류 유생(7.8%) 그리고 복족류(2.6%)가 차지하였다(Fig. 4B). 요각류 그룹내에서 가장 높은 비율을 차지한 분류군은 21.0%를 차지한 *Centropages* spp.였다. 그 다음으로

요각류 미성숙체가 8.4%의 비율을 나타냈고, *Acartia* spp.(3.4%), *Oithona* spp.(2.7%), *Acrocalamus* spp.(2.5%), *Labidocera* spp.(1.7%)의 순서로 나타났다.

우점 분류군별 개체수 측면에서 성체 요각류는 9~124 개체 \cdot m $^{-3}$ 의 범위였고, 이 중에서 *Centropages* spp.가 평균 34개체 \cdot m $^{-3}$ 로 가장 높은 비율을 차지하였다. 유공충류는 정점 N1을 제외한 모든 정점에서 17~34개체 \cdot m $^{-3}$ 범위를, 모악류는 정점 N4를 제외한 정점들에서 8~33개체 \cdot m $^{-3}$ 의 범위를 나타냈다(Table 1). 요각류 미성숙체도 정점 N1에서 57개체 \cdot m $^{-3}$ 로 나타난 것을 제외하고 다른

정점에서 현저히 낮게 출현하였다. 웨노섬 북부역은 웨노섬 주변부와 북동수로역에 비해 출현 종수가 적었으며, 그 개체수 또한 낮은 범위를 보였다. 조사정점들 중 정점 N1에서 가장 높은 개체수가 출현하였는데, 요각류 미성숙체와 성체 *Centropages* spp., 유형류, 모악류가 주도하였다.

웨노섬 남부역과 북동 및 북수로역(2004년 7월)

본 조사에서는 웨노섬 남부역의 여섯 정점(S1-S6), 북수로역의 세 정점(NE1-NE3), 북동수로역의 두 정점(NE4, NE5)에서 동물플랑크톤을 채집하였다. 총 출현개체수가 53개체·m⁻³(정점 NE4)부터 484개체·m⁻³(정점 S5)의 범위를 보여 남부역에서 개체수가 가장 높게 나타났다(Table 1). 이는 방산충류와 유형류에 의한 것으로 북쪽 정점의 평균 개체수(방산충류 5개체·m⁻³, 유형류 39개체·m⁻³)보다 높은 남쪽 정점의 평균 개체수(방산충류 73개체·m⁻³, 유형류 102개체·m⁻³)에 기인한 것으로 나타났다. 평균 출현비율 관점에서 유형류가 가장 우점하였으며(31.4%), 다음으로 요각류(19.4%), 방산충류(17.9%), 모악류(11.9%), 갑각류 유생(6.5%), 유공충류(4.3%) 그리고 복족류(2.6%)의 순으로 나타났다(Fig. 4C). 요각류 그룹내에서는 요각류 미성숙체가 가장 높은 비율(4.3%)을 나타냈으며, *Acartia* spp.(3.1%), *Undimula* spp.(2.8%), *Oithona* spp.(2.3%), *Corycaeus* spp.(1.7%), *Centropages* spp.(1.5%) 순으로 나타났다.

우점 분류군별 개체수는 유형류의 경우 웨노섬의 남부 정점에서 높은 범위를 나타냈고, 그 중에서 정점 S6에서 196개체·m⁻³로 가장 높았다. 방산충류는 0-281개체·m⁻³의 범위를 보였으며, 그 중에서도 정점 S5에서 가장 높은 개체수 (281개체·m⁻³)를 나타냈다. 요각류 성체는 정점 NE2에서 11개체·m⁻³로 가장 낮게, 정점 NE1에서 86개체·m⁻³로 가장 높게 나타났다. 모악류는 4개체·m⁻³(정점 NE3)부터 최대 133개체·m⁻³(정점 NE1)의 범위로 출현하였다(Table 1). 요각류 그룹 내에서 가장 높은 출현 비율을 보였던 요각류 미성숙체의 경우 정점 S1과 NE1에서 각각 20, 23개체·m⁻³를 보였고, 다른 정점에서는 20개체·m⁻³ 미만을 나타냈다.

군집 분석

각 조사 시기별 동물플랑크톤 군집의 구조는, 1차 조사(2002년 8월)의 경우 세 그룹(A그룹, B그룹, C그룹)으로 나뉘어졌다. 'A' 그룹에는 북동 수로상에 위치한 (A와 A1-A4) 정점이 속하였고 'B' 그룹에는 웨노섬 주변의 정점(B, C, D, E, F)들이, 그리고 세 번째 그룹인 'C' 그룹에 정점 Dublon 정점이 속하였다(Fig. 6). A그룹은 방산충류의 기여도가 57.8%로 가장 높고 다음으로 요각류 미성숙

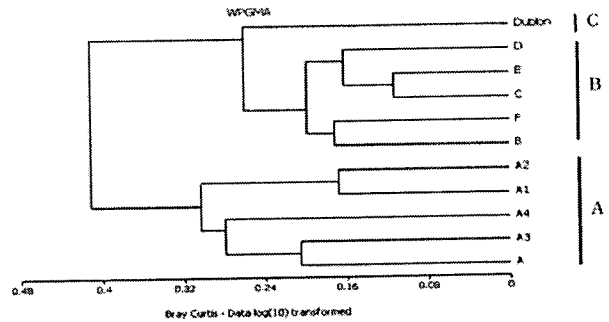


Fig. 6. Dendrogram of clustered groups by the Bray-Curtis dissimilarity based on zooplankton abundance in the vicinity of Weno Island in August 2002.

체(10.7%)와 유형류인 *Oikopleura* spp.(6.1%)가 높은 기여율을 보였다. 그룹 'B'도 방산충류의 기여도가 40.7%로 가장 높았고 다음으로 *Oikopleura* spp.(18.9%)와 모악류(12.6%)의 기여도가 높았다. 반면에 그룹 C는 요각류 미성숙체가 34.5%로 가장 높게 나타났으며 다음으로 유형류(*Oikopleura* spp.와 *Fritillaria* spp.)(22.0%)가 높은 기여율을 보였다(Table 2).

2차 조사(2003년 10월)의 군집 구조의 경우도 세 그룹(I, II 그리고 III)으로 나뉘어졌다(Fig. 7). 그룹 'I'에는 정점 N1, N2, N5 그리고 N6이 속하며 요각류인 *Centropages* spp.(24.9%)의 점유율이 가장 높았고, 다음으로 *Oikopleura* spp.(14.9%)와 모악류(12.2%)가 높았다. 그룹 'II'는 정점 N3이 속하였는데 이 정점에서는 유공충류(44.4%)와 요각류인 *Acrocalamus* spp.(22.2%)으로 대표된다. 그룹 'III'의 경우 북수로에 위치한 정점 N4는 유공충류(44.4%)와 어류의 알(33.3%)로 대표된다(Table 2).

3차 조사(2004년 7월)의 경우 동물플랑크톤 군집이 네 개의 그룹(a, b, c, 그리고 d)으로 나뉘어졌다(Fig. 8). 'a' 그룹에는 정점 S4를 제외한 웨노섬 남부역의 정점과 NE3이 속하며 이들 그룹은 *Oikopleura* spp.(37.1%)와 방산충류(25.1%)로 대표된다. 'b' 그룹은 정점 S4, NE2, 그리고 NE5가 속한 그룹으로 *Oikopleura* spp.의 기여도가 27.9%로 가장 높았고 다음으로 유공충류(11.8%)와 모악류(14.5%)로 대표되었다. 그리고 'c' 그룹은 정점 NE1이 속하였는데 이 정점에서는 비교적 다양한 생물군이 고른 분포를 나타냈다. 그 중 모악류의 기여도가 36.2%로 가장 높았으며, 다음으로 *Oikopleura* spp.가 14.9%를 나타내 'c' 그룹을 대표하였다. 'd' 그룹은 정점 NE4가 속해 있으며 출현 개체수가 가장 적은 그룹이었다. 요각류 중에 *Oithona* spp가 20.0%로 가장 우점하였고, 모악류, *Acartia* spp., *Calocalamus* spp., 요각류 미성숙체 그리고 복족류가 각각 13.3%의 기여도를 나타냈다(Table 2).

Table 2. Contribution of average abundance in the zooplankton community groups divided by the cluster analysis during the study period.

Species	2002			2003			2004			(Unit: %)	
	A	B	C	Species	I	II	III	a	b		c
Siphonophores	1.45	1.00	-	Siphonophores	7.25	11.11	-	1.32	-	-	-
Hydromedusae	1.55	0.59	0.15	Hydromedusae	3.17	-	-	1.85	-	2.13	-
<i>Sagitta</i> spp.	4.58	12.06	7.39	<i>Sagitta</i> spp.	12.21	11.11	-	5.88	14.47	36.17	13.33
<i>Acartia</i> spp.	4.26	3.46	6.97	<i>Acartia</i> spp.	2.98	11.11	-	1.54	3.66	8.51	13.33
<i>Centropages</i> spp.	0.13	1.12	6.16	<i>Acrocalanus</i> spp.	0.99	22.22	-	0.20	0.87	-	13.33
<i>Oithona</i> spp.	0.73	0.57	0.73	<i>Centropages</i> spp.	24.85	-	-	0.61	0.93	6.38	-
<i>Paracalanus</i> spp.	0.38	0.62	2.93	<i>Labidocera</i> spp.	1.96	-	-	0.45	4.70	-	-
<i>Undinula</i> sp.	2.14	0.50	2.81	<i>Oithona</i> spp.	2.19	-	11.11	-	4.53	6.38	-
Copepodite	10.67	8.04	34.46	Copepodite	8.96	-	11.11	0.22	2.72	-	-
Foraminiferans	2.61	0.74	0.30	Foraminiferans	9.26	44.44	44.44	1.72	2.79	2.13	20.00
Radiolarians	57.37	40.18	2.54	Gastropods	2.08	-	-	0.86	0.93	-	-
Gastropods	4.38	1.87	6.31	<i>Oikopleura</i> spp.	14.91	-	-	3.15	3.77	-	6.67
<i>Oikopleura</i> spp.	6.06	18.91	11.65	Decapod larvae	8.21	-	-	2.75	8.11	6.38	13.33
<i>Fritillaria</i> spp.	0.60	2.542	10.35	Decapod zoea	0.98	-	-	3.74	11.78	-	-
Decapod larvae	2.00	2.56	4.80	Fish eggs	-	-	33.33	25.11	9.37	-	-
Decapod zoea	0.97	0.78	1.60					2.14	1.74	4.26	13.33
Echinoderm larvae	0.12	4.47	0.85					37.11	27.86	14.89	-
								0.42	-	2.13	-
								1.96	0.87	4.26	-
								2.75	0.93	2.13	-
								3.00	-	2.13	-
								1.05	-	-	-
								1.95	-	-	-
								0.23	-	2.13	6.67

Bold letters indicates high percentage of occupation in each group.

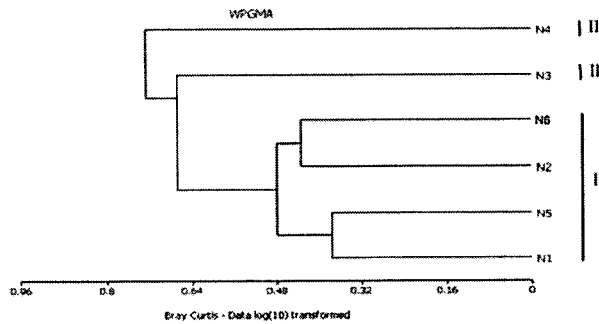


Fig. 7. Dendrogram of clustered groups by the Bray-Curtis dissimilarity based on zooplankton abundance in the northern part of Weno Island in October 2003.

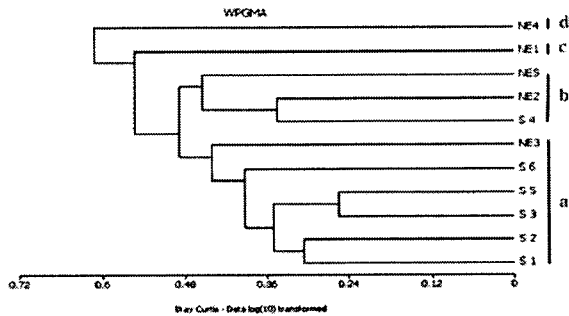


Fig. 8. Dendrogram of clustered groups by the Bray-Curtis dissimilarity based on zooplankton abundance in the southern part of Weno Island in July 2004.

4. 고찰

마이크로네시아 측 라군 환경은 산호초로 인해 생물다양성과 생산력이 높은 해역으로 알려져 있어서 상업적으로 유용한 수산자원 생산을 위해 가두리 양식의 적용가능성에 대한 관심이 집중되고 있다(권 1999). 이의 일환으로 환경친화적으로 자연상태의 먹이를 충분히 제공할 수 있는 해역을 선택하고자 2002년부터 2004년에 걸쳐 측 라군 주변해역에서 총 3회의 조사를 통해 측 주변의 동물플랑크톤의 종조성 및 개체수 분포를 조사하였다.

동물플랑크톤 개체수는 웨노섬 주변에서 높게 나타났고, 섬에서 멀어지면서 점차 감소하였으며, 특히 외해와 해수 교환이 이루어지는 수로에서 낮게 나타났다. 이는 열대 및 아열대 태평양 해역의 산호초 환경에서 주로 나타나는 현상이며, New Caledonia의 남서쪽에 위치한 산호초 환경이 그 대표적인 예이다(Champalbert 1993). Loyalty 군도의 Uvea 환초에서도 수로에 위치한 정점에서의 동물

플랑크톤 개체수가 환초내의 다른 정점보다 낮게 나타났다. Uvea 환초는 외해수의 유입이 자유로운 곳으로 Tikehau 환초와 New Caledonia 남서쪽에 위치한 산호초 환경보다 동물플랑크톤 생물량이 낮게 나타나 외해수가 동물플랑크톤 개체수에 영향을 주는 것으로 관측되었다(Le Borgne 1997). 대보초(Great Barrier Reef)를 기준으로 동물플랑크톤 개체수가 상대적으로 낮게 출현하는 외해수가 유입된 후 혼합되는 구역에서 동물플랑크톤 개체수가 낮게 관찰되는 것은 일반적이다. 반면 수로에서 가장 먼 곳에 위치한 웨노섬 남부역에서의 동물플랑크톤 개체수는 북부 및 북동 수로역 보다 높았으나, 섬 주변역 보다는 낮게 나타났다. 수로역 부근에서의 개체수가 웨노섬 남부역에 비해 낮게 나타난 것은, 상대적으로 적은 개체수를 갖는 외해수 유입에 의한 희석효과와 이송되어 누적된 효과의 결과차이에 기인하는 것으로 유추할 수 있다(Champalbert 1993; Rissik *et al.* 1997; Carleton *et al.* 2001). 통상적으로 산호초에서의 동물플랑크톤 조성은 시공간적으로 변이가 클 뿐만 아니라, 물리적 및 생물적 요인에 의해서 개체수 및 군집구조가 변하는 것으로 알려져 있다(Heidelberg *et al.* 2004). 특히, 산호초 섬 환경은 소용돌이, 수렴(convergence)과 발산(divergence)과 같은 섬 효과(island mass effect)와 관련하여 증가된 동물플랑크톤 개체수가 관찰된다(Hammer and Hauri 1981). 오스트레일리아의 대보초 내부의 산호초 라군 해역에서 나타난 동물플랑크톤 분포는 해류의 교환패턴과 섬 주변에서 일어나는 현상에 의해 주로 대표되었다(Hammer and Hauri, 1981). 앞서 언급된 물리적 요인들 외에, 조류(tides), 계절(season) 및 강우(rainfall)에 의한 요인들도 영향을 미친다(Sammarco and Crenshaw 1984). 본 연구의 조사시기 및 측정항목의 제한성으로 조류, 계절, 강우 및 이송과 관련된 동물플랑크톤의 개체수 분포를 이해하는 데에는 한계가 있다. 그러나 수로와 근접한 해역에서 개체수가 가장 낮고, 웨노섬 주변에서 가장 높았던 점에서 섬이 동물플랑크톤 개체수 증가에 큰 영향을 주었다는 것을 충분히 알 수 있다.

열대 및 아열대 해역의 표층수는 매우 낮은 농도와 현존량의 영양염과 식물플랑크톤이 특징적이지만, 산호초 환경은 예외적이라 할 수 있다(Furnas and Mitchell 1986). 본 연구기간 동안 정점 표층의 평균 엽록소 농도는 2002년에 $0.31 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, 2003년에 $0.38 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, 2004년에 $0.17 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 를 나타냈고, 웨노섬 주변 정점의 엽록소 농도가 $0.31 \sim 0.48 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 범위로 나타나 북동 수로($0.22 \sim 0.32 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)보다 높게 나타났다. 북 수로에 위치한 정점 N2에서 $1.46 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 높은 것을 제외하고는 북동 수로 및 북수로 정점에서 모두 $0.12 \sim 0.37 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위를 나타냈고, 웨노섬 남부역에서 $0.08 \sim 0.27 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 범위로 나타나 웨노섬

주변 정점에 비해 낮았다(권 2004). 또한 초미세 플랑크톤이 전체 식물플랑크톤 군집의 70~88%를 차지하고, *Synechococcus*가 우점하여 전형적인 열대 산호초 해역의 특성을 나타냈다(Furnas and Mitchell 1986; Charpy 1996; Charpy and Blanchot 1998, 1999; Tada et al. 2003). 특히 웨노섬 주변에서 높게 나타났으며, 그 중 정점 C에서 가장 높았고($0.48 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$), 동시에 동물플랑크톤 전체 개체수가 $1,538 \text{ 개체} \cdot \text{m}^{-3}$ 로 최대를 기록하였다. 이러한 경향은 호주의 대보초(Great Barrier Reef)에서 조사된 엽록소 농도와 동물플랑크톤 개체수간의 관계와 유사하다(Williams et al. 1988). 방산충류는 엽록소가 높았던 웨노섬 주변에서 동물플랑크톤 개체수가 높았던 정점들에서 높은 비율로 출현하였다(Table 1). 방산충류는 박테리아, 조류, 원생생물, 요각류, 유형류 그리고 작은 동물플랑크톤 등을 섭식하는 잡식성으로 (Laybourn-Parry 1992; Boltovskoy 1999; Kling and Boltovskoy 1999), 축 라군 내에서 먹이가 풍부한 곳에서 높게 나타났다. 요각류와 유형류의 개체수도 축 라군에서 높게 나타났으며, 다른 산호초 해역에서도 동일한 분류군들이 높은 개체수를 나타냈다(Hamner et al. 1988). 본 연구에서 이 세 분류군은 전체 동물플랑크톤 군집의 70% 정도를 점유하여 모악류와 함께 군집분석시 그룹을 결정짓는 주요 분류군이었다(Table 2). 예외적으로 2003년 조사시, 관해파리류(siphonophores)가 그룹을 구분 지을 때 성체요각류, 요각류 미성숙체, 유공충류와 함께 주요종으로 나타났고, 2004년에는 복족류가 특징적으로 나타났다. 요각류는 연구기간동안 공히 성체 *Acartia* spp., *Centropages* spp., *Undimula* spp., *Oithona* spp.가 우점하였으며, 더불어 요각류 미성숙체가 우점하였다. 이들은 대부분 난수(warm water)를 선호하는 종들이며, 엽록소 농도가 낮고 먹이크기가 작은 산호초 환경에서 우점하는 종들도 이런 분류군이다(Williams et al. 1988; Champalbert 1993). 유형류는 점액질의 집(house)에 미세한 여과망을 가지고 있어서 미소플랑크톤에서부터 초미세 플랑크톤 그리고 용존유기물까지 여과섭식할 수 있는 능력이 있다(Flood et al. 1992; Raymont 1983). 또한 유형류에 의해 버려진 집은 다른 생물들에게 중요한 먹이원으로 역할을 하는 것으로도 알려져 있다(Alldredge 1972). 이와같이 유형류의 개체수가 섬 주변에서 높게 나타났던 것은 축 라군 생태계에서 초미세 플랑크톤인 *Synechococcus*의 높은 현존량(권 2004)과 이를 섭식하는 여과섭식자간의 상호관계의 결과로 판단된다.

요각류와 유형류는 웨노섬 주변에서 높은 개체수를 나타낼 뿐만 아니라, 광범위한 분포를 나타내고 있어 어류 먹이 생물로 이용가능성이 가장 높을 것으로 생각된다. 축 라군의 주요 어종은 자리돔류, 쥐돔류, 놀래기류, 파랑비늘돔류, 갈돔류, 바리과어종이 주를 이루는 것으로 조사되

었다(이 2003). 축 라군에 서식하는 주요 어류들과 행동 습성이 비슷한 고등어(*Scomber japonicus*) 치자어의 주된 먹이원은 유형류, 갑각류의 알, 지각류인 *Evadne* spp. 그리고 요각류인 *Oithona* spp.이며, 특히 유형류의 출현 빈도가 가장 높았다(Ozawa et al. 1991). 저서성인 놀래기류와 먹이섭식습성이 비슷한 가자미류인 *Parophrys vetulus*, 점목탁가자미(*Pseudorhombus pentaphtalmus*) 그리고 도다리(*Pleuronichthys cornutus*)의 치자어는 성장하면서 유형류를 섭식하는 양 뿐만 아니라 그 비율도 증가하였다(Kuwahara and Suzuki 1983; Gadomski and Boehlert 1984). 이와 같은 자연 상태의 먹이가 많이 분포하고 있는 지역을 선정하게 되면 가두리 양식에 수반되는 오염을 배제할 수 있게 된다. 자연 상태 먹이의 영양학적 우수성이 이미 밝혀진 바가 있어, 인공조명에 대해 자연 상태에서와는 다르게 양주광성을 갖는 동물플랑크톤의 특성을 살려 인공광을 이용하여 양식장내 개체수를 높이는 연구를 한 예가 있다(김 1999; Park et al. 2003). Hamner et al. (1988)은 동물플랑크톤 조사와 함께 산호초에 서식하는 부유성 어류의 위 내용물 조사를 함께 실시하였는데 유형류의 출현 개체수가 높았던 시기에 어류의 주된 먹이로 유형류가 나타남을 보고하였다. 이로 미루어 볼 때 축 라군 해역에서 풍부하게 출현하는 유형류는 어류 먹이원으로 높은 가치를 내포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 요각류와 유형류가 가장 높은 개체수를 나타내는 곳인 웨노섬 주변부에서 수산자원 이용을 위한 양식장 운영이 적합할 것으로 여겨진다.

축 라군 내 웨노섬 주변에서 향후 동물플랑크톤 군집을 조사할 때 요각류 유생 및 알에 대한 자료가 추가되어야 할 필요가 있다. 첫 번째로는 서태평양에 위치한 빈영양환경에서는 일반적으로 35~200 μm 범위에 속하는 작은 플랑크톤의 역할이 매우 중요하다(Le Borgne 1997). 본 연구결과에서 요각류 미성숙체의 개체수가 전반적으로 높았던 점을 볼 때 유생과 알의 갯수가 높게 나타날 것은 자명하지만 먹이생물의 크기분급에 따른 분포를 알기 위해서는 정확한 정량화가 필요하다. 두 번째로는 유공수산어류 등을 부양할 수 있는 먹이원의 수용력을 유추하려면 개체수와 함께 2차 생산력에 대해 이해해야 하므로, 생식력(fecundity)을 파악하는 일환으로서도 유생과 알의 현존량의 조사가 병행되어야 한다.

요약하면, 축 라군 해역내에서 채집된 동물플랑크톤 군집은 방산충류, 유공충류, 요각류, 유형류 및 모악류가 우점하였고, 이 중에서 유형류와 요각류가 가장 풍부하게 분포하였다. 웨노섬을 기준으로 북부역, 북동수로역 및 남부역에 비해 웨노섬 주변에서 높은 개체수를 나타냈고, 방산충류, 유형류 및 요각류가 그 개체수를 주도하였다. 이와 함께 모악류가 다른 해역보다 높게 나타나 군집분석 결과

를 보았을 때, 웨노섬 주변군집이 다른 정점들과 계속 구분되어 나타났다. 방산충류와 유공충류는 개체수가 많았으나 어류의 먹이생물로서는 거의 알려진 바가 없다. 반면 잡채 먹이생물로서의 가능성이 높은 유형류와 요각류의 개체수가 다른 곳보다 웨노섬 주변에서 더 높았다.

사 사

본 연구는 “남태평양에서의 해양 및 신재생에너지 잠재력 조사 연구 PE83101(2002-2003), PE85801(2003), PE87601(2004)” 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 권문상. 1999. 남서태평양 해양자원 개발조사. 해양수산부, BSPM99042-00-1204-7, 461 p.
- 권문상. 2004. 남태평양에서의 해양 및 대체에너지 잠재력 조사연구 : 제 1단계(2002-2004). 한국해양연구원, BSPE 87601-1680-7, 333 p.
- 김중만. 1999. '99 통영해역의 바다목장화 개발용역 사업 보고서. 해양수산부, BSPM99021-00-1203-3, 902 p.
- 이순길. 2003. 2002년 남서태평양 해양생물자원 개발 연구. 해양수산부, BSPM169-00-1529-3, 198 p.
- Allredge, A.L. 1972. Abandoned larvacean houses: a unique food source in the pelagic environment. *Science*, 177, 885-887.
- Boltovskoy, D. 1999. Radiolarian Polycystina. p. 149-212. In: *South Atlantic zooplankton*. ed. by D. Boltovskoy. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Carleton, J.H., R. Brinkman, and P.J. Doherty. 2001. Zooplankton community structure and water flow in the lee of Helix Reef (Great Barrier Reef, Australia). *Mar. Biol.*, 139, 705-717.
- Champalbert, G. 1993. Plankton inhabiting the surface layer of the southern and southwestern lagoon of New Caledonia. *Mar. Biol.*, 115, 223-228.
- Charpy, L. 1996. Phytoplankton biomass and production in two Tuamotu atoll lagoons (French Polynesia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 145, 133-142.
- Charpy, L. and J. Blanchot. 1998. Photosynthetic picoplankton in French Polynesian atoll lagoons: estimation of taxa contribution to biomass and production by flow cytometry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 162, 57-70.
- Charpy, L. and J. Blanchot. 1999. Picophytoplankton biomass, community structure and productivity in the Great Astrolabe Lagoon, Fiji. *Coral Reefs*, 18, 255-262.
- Flood, P.R., D. Deibel, and C.C. Morris. 1992. Filtration of colloidal melanin from sea water by planktonic tunicates. *Nature*, 355, 630-632.
- Franco-Gordo, C., E. Godínez-Domínguez, A.E. Filonov, I.E. Tereshchenko, and J. Freire. 2004. Plankton biomass and larval fish abundance prior to and during the El Niño period of 1997-1998 along the central Pacific coast of México. *Prog. Oceanogr.*, 63, 99-123.
- Furnas, M.J. and A.W. Mitchell. 1986. Phytoplankton dynamics in the central Great Barrier Reef-I. Seasonal changes in biomass and community structure and their relation to intrusive activity. *Cont. Shelf Res.*, 6, 363-384.
- Gadomski, D.M. and G.W. Boehlert. 1984. Feeding ecology of pelagic larvae of English sole *Parophrys vetulus* and butter sole *Isopsetta isolepis* off the Oregon coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 20, 1-12.
- Gagan, M.K., L.K. Ayliffe, D. Hopley, J.A. Cali, G.E. Mortimer, J. Chappell, M.T. McCulloch, and M.J. Head. 1998. Temperature and surface-ocean water balance of the mid-holocene tropical western Pacific. *Science*, 279, 1014-1018.
- Hamner, W.M. and I.R. Hauri. 1981. Effects of island mass: water flow and plankton pattern around a reef in the Great Barrier Reef lagoon, Australia. *Limnol. Oceanogr.*, 26, 1084-1102.
- Hamner, W.M., M.S. Jones, J.H. Carleton, I.R. Hauri, and D.McB. Williams. 1988. Zooplankton, planktivorous fish, and water currents on a windward reef face: Great Barrier Reef, Australia. *Bull. Mar. Sci.*, 42, 459-479.
- Heidelberg, K.B., K.P. Sebens, and J.E. Purcell. 2004. Composition and sources of near reef zooplankton on a Jamaican forereef along with implications for coral feeding. *Coral Reefs*, 23, 263-276.
- Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265, 1547-1551.
- Hughes, T.P., A.H. Baird, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J.B.C. Jackson, J. Kleypas, J.M. Lough, P. Marshall, M. Nyström, S.R. Palumbi, J.M. Pandolfi, B. Rosen, and J. Roughgarden. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301, 929-933.
- Johannes, R.E., S.L. Coles, and N.T. Kuenzel. 1970. The role of zooplankton in the nutrition of some scleractinian corals. *Limnol. Oceanogr.*, 15, 579-586.
- Kling, S.A. and D. Boltovskoy. 1999. Radiolarian Phaeodaria. p. 213-264. In: *South Atlantic zooplankton*. ed. by D. Boltovskoy. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Kuwahara, A. and S. Suzuki. 1983. Vertical distribution and feeding of two larval flatfish *Pseudorhombus pentophthalmus* and *Pleuronichthys cornutus*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*

- 49, 875-881. (In Japanese)
- Laybourn-Parry, J. 1992. Protozoan plankton ecology. Chapman & Hall. 231 p.
- Le Borgne, R., M. Rodier, A. Le Bouteiller, and M. Kulbicki. 1997. Plankton biomass and production in an open atoll lagoon: Uvea, New Caledonia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 212, 187-210.
- Lesser, M.P. 2004. Experimental biology of coral reef ecosystems. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 300, 217-252.
- MaClanahan, T.R., N.A. Muthiga, and S. Mangi. 2001. Coral and algal changes after the 1998 coral bleaching: interaction with reef management and herbivores on Kenyan reefs. *Coral Reefs*, 19, 380-391.
- Marshall, P.A. and A.H. Baird. 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs*, 19, 155-163.
- Moberg, F. and C. Folke. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecol. Econ.*, 29, 215-233.
- Ozawa, T., K. Kawai, and I. Uotani. 1991. Stomach content analysis of chub mackerel *Scomber japonicus* larvae by quantification I method. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1241-1245. (In Japanese)
- Park, C.-W., M.-S. Kim, C.K. Cho, Y.-J. Park, S.W. Kim, and J.-M. Kim. 2003. Stomach contents of Rockfish (*Sebastes schlegelii*) in artificially illuminated sea cage. *J. Aquacult.*, 16, 84-87.
- Raymont, J.E.G. 1983. Plankton and productivity in the oceans. Pergamon Press, 2nd ed. 824 p.
- Rissik, D., I.M. Suthers, and C.T. Taggart. 1997. Enhanced zooplankton abundance in the lee of an isolated reef in the south Coral Sea: the role of flow disturbance. *J. Plankton Res.*, 19, 1347-1368.
- Sammarco, P.W. and H. Crenshaw. 1984. Plankton community dynamics of the central Great Barrier Reef Lagoon: analysis of data from Ikeda *et al.* *Mar. Biol.*, 82, 167-180.
- Spurgeon, J.P.G. 1992. The economic valuation of coral reefs. *Mar. Pollut. Bull.*, 24, 529-536.
- Tada, K., K. Sakai, Y. Nakano, A. Takemura, and S. Montani. 2003. Size-fractionated phytoplankton biomass in coral reef waters off Sesoko Island, Okinawa, Japan. *J. Plankton Res.*, 25, 991-997.
- Wellington, G.M. and R.B. Dunbar. 1995. Stable isotopic signature of El Niño-Southern Oscillation events in eastern tropical Pacific reef corals. *Coral Reefs*, 14, 5-25.
- Williams, D.McB., P. Dixon, and S. English. 1988. Cross-shelf distribution of copepods and fish larvae across the central Great Barrier Reef. *Mar. Biol.*, 99, 577-589.
- Wilson, S.G., J.H. Carleton, and M.G. Meekan. 2003. Spatial and temporal patterns in the distribution and abundance of macrozooplankton on the southern North West Shelf, Western Australia. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 56, 897-908.
- Yap, H.T. 2004. Differential survival of coral transplants on various substrates under elevated water temperatures. *Mar. Pollut. Bull.*, 49, 306-312.

Received Nov. 2, 2005

Accepted Dec. 14, 2005