

동해안 조간대 3개 지역에서 해조류의 군집과 생물지표종

정희동* · 홍성익**† · 김상우*** · 한명석** · 장성호****

*, *** 국립수산물과학원 동해수산연구소 자원환경과, ** 바다생태리서치, **** 부산대학교 바이오환경에너지학과

Community Structure and Biological indicator species of Marine Benthic Algal at Intertidal zone in the Three Areas of the East Coast of Korea

Hee-Dong Jeong* · Sung-Eic Hong**† · Sang-Woo Kim*** · Myung-Seog Han** · Seong-Ho Jang****

*, *** East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-860, Korea

** Bada Ecology Research, Gangneung 210-852, Korea

**** Department of Bioenvironmental Energy, Pusan National University, Miryang-si, Gyeongsangnam-Do, 1268-50, Korea

요 약 : 본 연구에서는 동해 북부지역 거진, 중부지역 죽변 및 남부지역 감포의 조간대에 분포하고 있는 해조상의 지리적 종조성과 우점종 및 서식 특성을 2014년 5월과 8월에 조사하였다. 해조상의 지리적 종조성을 보면 거진, 죽변 및 감포는 모두 온대성 해조상의 특성으로서 거진은 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 염주말(*Chaetomorpha moniligera*)이 우점하였고, 죽변은 염주말(*C. moniligera*), 개서실(*Chondria crassicaulis*)이 우점하였다. 그리고 감포는 지층이(*Sargassum thunbergii*), 구멍갈파래(*U. pertusa*), 솜털류(*Ectocarpus* sp.)가 우점하였다. 지역 별 해조상을 대표적으로 나타낼 수 있는 C/P, R/P와 (R+C)/P의 비율에서 거진은 각각 0.85, 2.10, 2.94, 죽변은 각각 0.58, 3.15, 3.73 그리고 감포는 각각 0.80, 3.91, 4.71로 전체 지역이 온대성 특성의 해조상이 뚜렷하게 나타났다. 군집분석의 결과에 의하면, 이들 지역은 거진의 A 그룹과 죽변과 감포 지역의 B 그룹으로 나누어졌으며, 이것은 지리적 종조성에서 죽변과 감포는 거진보다 온대성 해조상 특성이 강하게 반영되어 나타났다.

핵심용어 : 조간대, 해조류, 우점종, 군집, 생물지표종

Abstract : We have been studied for geographic distribution, dominance and inhabitation characteristics of marine algal species at intertidal zones of Geojin in the northern part of east coast of Korea, Jukbyeon in the middle part and Gampo in the southern part in May and August 2014. For the geographic distribution, the three areas (Geojin, Jukbyeon and Gampo) were a characteristic of the temperate region. Geojin dominated with *Ulva pertusa* and *Chaetomorpha moniligera*, Jukbyeon dominated with *C. moniligera* and *Chondria crassicaulis*, Gampo dominated with *Sargassum thunbergii*, *U. pertusa* and *Ectocarpus* species. C/P, R/P and (R+C)/P, which can represent the marine algal flora, were 0.85, 2.10, 2.94 in Geojin, 0.58, 3.15, 3.73 in Jukbyeon and 0.80, 3.91, 4.71 in Gampo. As a result of cluster analysis, Those regions were divided in two groups, which were a group A of Geojin and group B of Jukbyeon and Gampo. This result was well matched with Jukbyeon and Gampo shared their temperate region character in the geographic distribution study.

Key Words : Intertidal zone, Marine benthic algal, Dominant species, Community structure, Biological indicator species

1. 서 론

생물은 그들이 서식하는 환경과 생태적 지위에서 최적의 생태적 적응도를 선택하여 안정적인 균형을 유지하도록 진화되었다. 생물은 서식환경에 대한 과거의 경험과 유전정보

에 의한 전략과 최적행동의 선택을 통해 그 균형을 유지한다(Roff, 2002). 그러나 지구온난화로 인한 기후변화는 직·간접적으로 생물의 번식, 성장, 이동, 면역, 분포 등에 영향을 미쳐(Fleming and Candau, 1998; Walther et al., 2002; Parmesan, 2006), 생물의 생태적 스트레스를 증가시킨다(Heidkamp, 2010). 특히 해양 기후의 변화에 해양생물의 생리와 생태 및 분포 뿐 아니라 해양의 물질순환과 생태계의 기능 및 역할에 변

* First Author : hdjeong@nfrdi.go.kr, 033-660-8530

† Corresponding Author : strtac1234@naver.com, 033-644-1723

화를 일으킨다(KNPRI, 2012). 이러한 물리환경의 변화는 서식하는 동·식물에 영향을 미쳐 서식종의 자연환경의 변화에 대한 부적응과 먹이자원의 부족 등에 의한 군집구조의 변화를 야기한다(Kim, 2010).

동해안의 해조류 연구는 해조상의 서식 특성, 해역에 따른 해조상 분포 및 계절변화와 대형 갈조류 성장양식의 구명 등 해조군집의 구조적 특성 등 다양한 형태의 해조류에 관한 연구가 이루어졌다(Boo, 1987; Kang et al., 1993; Choi et al., 2006; Sohn et al., 2007; Shin et al., 2008; Shin et al., 2008; Ahn et al., 2009; Kim et al., 2012; Kim et al., 2014). 이들 연구는 특정 해역에서 시기별 해조 서식과 특성을 분석한 연구로서 동해 연안의 해조류 서식 및 군집구조를 이해할 수 있는 중요한 연구 자료이다(Kim et al., 2012). 그러나 NIBR(2010)에서 지정한 기후변화 생물지표종(Climature-sensitive Biological indicator Species: CBIS)은 기후변화로 인한 계절활동 분포역 및 개체군 크기 변화 등에 대하여 지표화하여 정부에서 지속적인 조서관리가 필요한 생물 100종을 선정하였다. 여기서 해양생물은 12종에 불과하며, 이중 해조류는 5종으로 육상생물에 비해 해양생물의 기후변화 생물지표종 연구가 많이 부족한 것을 알 수 있다. 또한 해양생물 중 해조류는 대부분이 조간대에 분포하는 생물로 이루어져 있다. 조간대는 공간구조에서 육상과 해양을 연결하는 전이지역이지만 해양생태계에 속하며(Reise, 1985) 연안에 서식하는 생물들에게 생육장 및 서식처를 제공하고 생물학적 오염정화 기능 등 중요한 역할을 하고 있다(Heip et al., 2005).

따라서 본 연구는 우리나라의 동해 북부지역 거진과 중부지역 죽변 그리고 남부지역 감포의 연안 조간대에 분포하고 있는 해조류의 지리적 종조성과 서식 특성을 통해 기후변화에 따른 생물지표종을 찾는 데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 지리적 위치에 따른 동해 연안 조간대 해조상을 파악하기 위하여 동해 북부에 위치한 강원도 고성군 거진, 동해남부와 중부해역의 동·식물상의 천이지역으로 예상되는 경상북도 울진군 죽변, 하계 연안용승에 의하여 냉수의 발생과 함께 동한난류가 유입되는 통로에 위치한 경주시 감포에서 2014년 5월과 8월에 조사하였다(Fig. 1).

거진과 죽변 그리고 감포에서 조간대를 상부와 하부로 나누어 정성 및 정량조사를 하였다. 정성조사는 자연암반을 육안관찰 및 수중 사진촬영을 통하여 출현 유무를 조사하였으며, 정량조사는 50×50 cm 방형구를 사용하여 채집하였으며, 동정된 표본은 단위면적당 습중량(g.w.wt./m²)으로 환산하여 나타내었다. 채집된 종에 대하여 Kang(1968), Lee and Kang

(2001), MIFAFF NFRDI(2010), NFRDI ESFRI(2007) 등을 참고하여 종을 동정하였다.

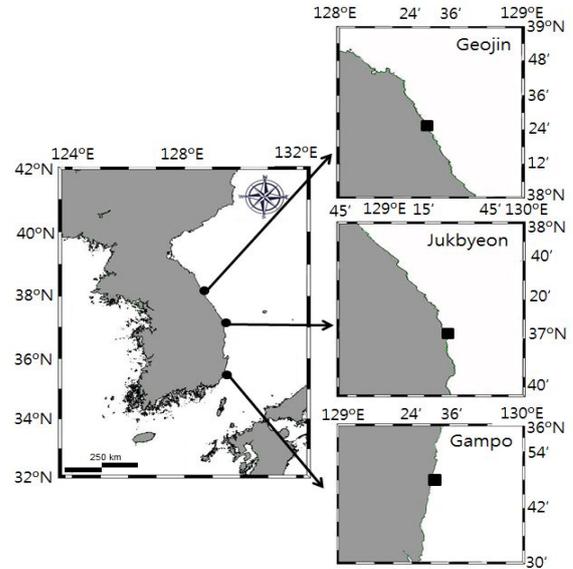


Fig. 1. Study sites at Geojin, Jukbyeon and Gampo in the East Coast of Korea.

정량조사에서 채집된 해조류의 군집구조를 파악하기 위하여 출현종수 및 생물량 자료를 이용하여 종풍부도지수(R: Richness) (Margalef, 1963), 종균등도지수(E: Evenness) (Pielou, 1966), 종다양도지수(H': Diversity) (Pielou, 1977)를 구하였다. 각 지수에 대한 계산은 식 (1), (2), (3)과 같으며, 여기서 S는 출현종수, N은 출현 생물량, P_i는 전체 생물량에 대한 i번째 종의 생물량 비율을 나타낸다.

$$R = \frac{(S-1)}{\ln(N)} \quad (1)$$

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (2)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \times \ln(P_i) \quad (3)$$

유사도(similarity analysis)는 지역별로 출현종수와 생물량 자료를 Fourth root로 변환하여 Bray and Curtis(1957)의 방법을 활용하여 분석하였다. 유사도에서 그룹간의 연결방식은 Complete linkage를 사용하였으며, 그룹 간 유사도를 바탕으로 수치도(Dendrogram)를 작성하였다. 또한 해조상의 특성을 파악하기 위한 해석 지표로 C/P(Segawa, 1956), R/P(Feldmann, 1937), (R+C)/P(Cheney, 1977)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 정성조사에 의한 지역별 출현종수

거진과 죽변 그리고 감포에서 출현한 해조류는 녹조류 9종, 갈조류 12종, 홍조류 32종 그리고 해산중자식물 1종으로 총 54종이 출현하였다.

지역별 종조성을 보면, 거진은 녹조류 6종, 갈조류 10종, 홍조류 17종으로 총 33종이 출현하였으며, 죽변은 녹조류 4종, 갈조류 8종, 홍조류 26종 그리고 해산중자식물 1종으로 총 39종이 관찰되었다. 감포는 녹조류 7종, 갈조류 9종, 홍조류 26종으로 총 42종이 출현하였다(Table 1). 동해 북부지역에 위치한 고성군 저도지역은 녹조류 5.3%, 갈조류 44.7%, 홍조류 50.0%가 출현하였으며(Kim et al., 2012), 그보다 남쪽인 강릉은 녹조류 12.9%, 갈조류 26.7%, 홍조류 60.3%가 관찰되었다(Shon et al., 2007). 본 연구에서 고성과 강릉에 인접한 거진은 녹조류 18.2%, 갈조류 30.3%, 홍조류 51.5%를 차지하였다. 동해 중부지역의 죽변은 녹조류 10.2%, 갈조류 20.5%, 홍조류 66.7%, 해산중자식물 2.6%로 나타났다. 본 연구와 인접한 삼척시 갈남은 녹조류 12.5%, 갈조류 29.5%, 홍조류 58.0%로 보고하였다(Kim et al., 2014). 또한, 울진군 임원은 녹조류 16.7%, 갈조류 50.0%, 홍조류 33.3%가 출현한 것으로 보고하였다(Kim et al., 2012). 동해 남부지역인 감포는 녹조류 16.7%, 갈조류 21.4%, 홍조류 61.9%로 나타났다. Kim et al.(2012)의 보고에서 녹조류 13.3%, 갈조류 33.3%, 홍조류 53.3%를 보고하였다. 본 연구의 3개 지역에서 해조류의 출현율을 보면, 녹조류는 조금 높은 반면에 갈조류는 낮게 나타난 것이 선행연구와 일치하였다. 또한 홍조류의 출현율은 선행연구와 유사하게 나타났다.

조간대 상·하부의 종조성은 거진의 5월 상·하부에 각각 6종과 26종이 관찰되었고, 8월은 1종과 20종이 나타났다. 죽변은 5월에 각각 5종과 33종, 8월은 4종과 32종이 출현하였다. 감포는 5월에 각각 9종과 35종, 8월에는 2종과 29종이 관찰되었다.

월별 출현종수는 거진의 5월은 총 26종으로 녹조류 4종, 갈조류 9종, 홍조류 13종 출현하였으며, 8월은 녹조류 5종, 갈조류 4종, 홍조류 11종으로 총 20종 나타났다. 죽변의 5월 출현종은 총 34종으로 녹조류 4종, 갈조류 8종, 홍조류 21종, 해산중자식물 1종 나타났으며, 8월은 총 33종으로 녹조류 4종, 갈조류 6종, 홍조류 22종, 해산중자식물 1종이 출현하였다. 감포의 5월 출현종은 총 38종으로 녹조류 7종, 갈조류 7종, 홍조류 24종 나타났으며, 8월은 녹조류 4종, 갈조류 5종, 홍조류 22종으로 총 31종이 관찰되었다(Table 2).

각 지역에 따른 종조성 비율은 본 연구뿐만 아니라 선행 연구에서도 모두 홍조류 > 갈조류 > 녹조류 순으로 나타났다. 이는 해조류간의 경쟁과 빛의 유용성이 감소하여 해조

류의 밀도가 줄어들고 특정한 종이 제거되기 때문에 조간대 하부에 서식하는 홍조류가 생존경쟁과 광합성 이용에 유리하여 높은 비율을 보이는 것으로 판단된다.

3.2 정성조사에 의한 지역별 해조상 특성

각 지역에 따른 해조류의 서식 특성을 분류하는 대표적인 3가지 방법 중에서 Segawa(1956)의 갈조류(P)에 대한 녹조류(C)의 비(C/P)를 이용하여 한대지역은 0.4, 아열대지역은 1.5, 그 사이 값은 온대지역으로 구분하였다. Feldmann(1937)은 갈조류(P)에 대한 홍조류(R)의 비(R/P)를 이용하여 한대·온대지역은 1.1, 열대지역은 4.3을 제시하였다. Cheney(1977)는 갈조류(P)에 대한 홍조류(R)와 녹조류(C)에 대한(R+C)/P의 값을 이용하여 이 값이 3보다 작을 때는 한대·온대성 해조상, 그 값이 6이상이면 열대성 해조상을 그리고 그 중간 값이면 혼합성 해조상의 특성을 제시하였다.

본 연구에서 지역별 출현종수를 이용하여 해조상의 특성을 비교할 수 있는 C/P, R/P 및 (R+C)/P에 대한 각각의 비를 Table 3에 나타내었다. 여기서 지역별 평균값으로 구한 각 비들을 보면, 거진은 C/P가 0.85로 Segawa(1956)가 제시한 한대(0.4)와 아열대(1.5)의 중간 값으로 온대성 특성을 나타내었다. R/P는 2.10으로 한대·온대지역의 1.1보다는 크고 열대지역의 4.3보다 작은 온대지역의 특성이 나타났고, (R+C)/P도 Cheney(1977)가 제시한 값의 중간인 온대성 해조상의 서식특성을 보였다. Kim et al.(2012)에 의하면 거진과 인접한 고성군 저도에서 4계절에 대하여 조사한 C/P가 0.12, R/P는 1.1, (R+C)/P는 1.24로 한대성 해조상의 특성을 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 5월과 8월만의 자료를 이용했기 때문에 온대성 해조상이 특성이 뚜렷하였다. 죽변은 C/P가 0.58, R/P가 3.15, (R+C)/P가 3.73이었고, 감포는 C/P가 0.8, R/P가 3.91, (R+C)/P가 4.71로 두 해역 모두 해조류 서식특성에 의하면 온대성 해조상 특성을 나타내었다. 본 조사지역인 죽변과 근접한 삼척시 임원은 C/P는 0.33, R/P는 0.67, 그리고 (R+C)/P는 1.0으로 나타나 한대성 해조상의 특성(Kim et al., 2012), 삼척시 갈남은 C/P는 0.40, R/P는 2.0으로 한대·온대성 해조상의 특성(Kim et al., 2014), 울진군은 C/P는 0.43, R/P는 1.87, 그리고 (R+C)/P는 2.30으로 나타나 한대·온대성 해조상의 특성(Shon et al., 2007)을 보였다. 그러나 본 연구에서는 5월(봄)과 8월(여름)의 자료만 이용하였기 때문에 여러 연구자가 4계절에 대하여 연구한 결과인 한대·온대성 해조상의 특성이 아닌 온대성 특성이 나타났다. 또한 동해 남부지역 감포에서 Kim et al.(2012)는 C/P는 0.4, R/P는 4.0, 그리고 (R+C)/P는 1.2로 열대성 해조상의 특성이라고 제시했지만 이 결과는 잘못 해석한 것으로 특히 Segawa(1956)가 제시한 C/P 값에 따르면 0.4는 열대성보다 한대성 해조상의 특성을 보인다.

Table 1. A list of marine algal species at Geojin, Jukbyeon and Gampo. H and L indicate High and Low, respectively

Species	Geojin				Jukbyeon				Gampo			
	May		Aug.		May		Aug.		May		Aug.	
	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
Chlorophyta												
<i>Chaetomorpha moniligera</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*		*
<i>Cladophora sakaii</i>		*										
<i>Cladophora</i> sp.				*		*		*	*	*		
<i>Codium fragile</i>				*								
<i>Enteromorpha compressa</i>									*			
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	*	*		*	*	*	*	*	*	*		*
<i>Enteromorpha linza</i>									*			
<i>Monostroma nitidum</i>												
<i>Ulva pertusa</i>	*	*		*	*	*		*	*	*	*	*
Phaeophyta												
<i>Colpomenia sinuosa</i>				*		*		*		*		*
<i>Costaria costata</i>				*								
<i>Dictyopteris divaricata</i>				*								
<i>Dilophus okamurae</i>				*		*		*		*		*
<i>Ectocarpus</i> sp.	*	*	*	*	*	*	*	*				*
<i>Leathesia difformis</i>						*				*		
<i>Sacharrina japonica</i>				*						*		
<i>Sargassum fulvellum</i>				*		*				*		
<i>Sargassum horneri</i>				*		*		*				*
<i>Sargassum macrocarpum</i>										*		
<i>Sargassum thunbergii</i>				*		*		*		*		*
<i>Undaria pinnatifida</i>				*		*		*		*		
Rhodophyta												
<i>Acrosorium polyneurum</i>				*		*				*		*
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>									*	*		*
<i>Amphiroa beauvoisii</i>				*		*		*		*		*
<i>Champia parvula</i>				*				*		*		*
<i>Chondria crassicaulis</i>				*		*		*		*		*
<i>Chondracanthus intermedia</i>						*		*		*		*
<i>Chondracanthus tenellus</i>						*		*		*		*
<i>Chondrus crispus</i>						*		*		*		*
<i>Chondrus ocellatus</i>						*		*		*		*
<i>Corallina officinalis</i>				*		*		*		*		*
<i>Corallina pilulifera</i>				*		*		*		*		*
<i>Dumontia simplex</i>				*						*		
<i>Gloiopeltis furcata</i>									*		*	
<i>Gratelopia filicina</i>				*		*		*		*		*
<i>Grateloupia turuturu</i>				*		*		*		*		*
<i>Hildenbrandtia rubra</i>				*		*		*		*		*
<i>Hypnea saidana</i>								*		*		*
<i>Laurencia</i> sp.				*		*		*		*		*
<i>Laurencia okamurae</i>				*				*		*		*
<i>Lithophyllum okamurae</i>				*		*		*		*		*
<i>Lithothamnion cystocarpioideum</i>										*		*
<i>Lomentaria catenata</i>						*		*		*		
<i>Nemalion vermicylare</i>				*			*					
<i>Pachmeniopsis ellitica</i>						*		*		*		*
<i>Polyopes affinis</i>						*				*		
<i>Polyopes prolifera</i>												*
<i>Polysiphonia</i> sp.	*	*		*		*		*		*		*
<i>Porphyra</i> sp.	*	*			*							
<i>Plocamium telfairiae</i>								*				
<i>Prionitis cornea</i>				*		*		*		*		*
<i>Pterocladia capillacea</i>						*		*		*		*
<i>Symphyocladia latiuscula</i>				*						*		*
Phanerogams												
<i>Phyllospadix japonica</i>						*		*				
Species	6	26	1	20	5	33	4	32	9	35	2	29

동해안 조간대 3 지역에서 해조류의 군집과 생물지표종

Table 2. Division of the marine algal and floristic composition at Geojin, Jukbyeon and Gampo

(unit : species)

Division	Geojin		Jukbyeon		Gampo	
	May	Aug.	May	Aug.	May	Aug.
Chlorophyta	4	5	4	4	7	4
Phaeophyta	9	4	8	6	7	5
Rhodophyta	13	11	21	22	24	22
Phanerogams			1	1		
Total	26	20	34	33	38	31

Table 3. The two seasonal change of C/P, R/P and (R+C)/P at Geojin, Jukbyeon and Gampo

Value	Geojin			Jukbyeon			Gampo		
	May	Aug.	Mean	May	Aug.	Mean	May	Aug.	Mean
C/P	0.44	1.25	0.85	0.50	0.67	0.58	1.00	0.60	0.80
R/P	1.44	2.75	2.10	2.63	3.67	3.15	3.43	4.40	3.91
(R+C)/P	1.89	4.00	2.94	3.13	4.33	3.73	4.43	5.00	4.71

Kang et al.(2008)은 기장군 일광지역에서 C/P값이 0.59, R/P값이 4.47, (R+C)/P값이 5.06으로 온대·아열대의 해조상의 특성(Kang et al., 2008)을 보고하였지만, 본 연구지역인 감포에서는 온대성 해조상이 특징적이었다. 전체적인 지역별 해조상의 경향은 동해 중부 이북의 거진에서 동해 남부의 감포로 갈수록 R/P 및 (R+C)/P는 높은 값을 보였다. 특히 동해 남부의 감포는 이 두 개의 비율이 열대지역에 가까운 수치를 나타내었다.

3.3 정량조사에 의한 지역별 우점종

동해 연안 3개 지역의 조간대에 대해 5월과 8월에 정량조사를 중량별 우점종을 Table 4에 나타내었다. 5월 조사에서 지역별 우점종은 거진의 조간대 상부는 구멍갈파래(*Ulva pertusa*) 33.7g(46.8%)을 차지하였으며, 다음으로 염주말(*Chaetomorpha moniligera*)이 30.0 g(41.7%)으로 우점하였다. 조간대 하부는 지충이(*Sargassum thunbergii*)가 195.5 g(39.4%)을 보였으며, 개서실(*Chondria crassicaulis*)은 87.4 g(17.6%), 참도박(*Gratelopia elliptica*)은 77.0 g(15.5%)를 차지하였다. 죽변의 조간대 상부는 염주말(*C. moniligera*)이 43.6 g(48.5%)을 차지하였으며, 다음으로 창자파래(*Enteromorpha intestinalis*)가 25.0 g (27.8%)를 차지하였다. 조간대 하부는 개서실(*C. crassicaulis*)이 473.7 g(28.0%)을 차지하였으며, 참까막살(*Polyopes affinis*)은 243.0 g(14.4%)을 나타내었다. 감포의 조간대 상부는 지충이(*S. thunbergii*)가 34.9 g(36.6%)을 보였으며, 다음으로 구멍갈파래(*U. pertusa*)로 30.5 g(32.0%)을 차지하였다. 창자파래(*E. intestinalis*)는 23.4 g(24.5%)으로 나타났다. 조간대 하부는 개서실(*C. crassicaulis*)은 455.7 g(26.2%)을 차지하였으며, 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)은 233.0 g(13.4%)을 보이며 우점

하였다(Table 4).

8월 조사에서 지역별 우점종을 보면, 거진의 조간대 상부에는 솜털류(*Ectocarpus* sp.)가 0.04 g(100%)를 차지하며 극우점 하였으며, 조간대 하부에는 염주말(*C. moniligera*)이 16.4 g (30.0%)으로 우점하였다. 다음으로 지충이(*S. thunbergii*)가 14.4 g(26.3%)를 차지하였다. 죽변의 조간대 상부에는 염주말(*C. moniligera*)은 22.4 g(85.8%)로 극우점 하였으며, 조간대 하부는 잎꼬시래기(*Gracilaria textorii*)가 303.2 g(17.1%)을 나타내었으며, 개서실(*C. crassicaulis*)은 279.4 g(15.7%)을 차지하였다. 감포의 조간대 상부는 솜털류가 0.04 g(100%)를 차지하며 극우점 하였다. 조간대 하부는 구멍갈파래(*U. pertusa*)가 394.4 g(47.7%)를 차지하였으며, 다음으로 사이다가시우무(*Hypnea saidana*)가 253.8 g(30.7%)으로 우점하였다.

Shin et al.(2008)의 보고에서 동해 북부지역인 고성군 대진은 왜모자반(*Sargassum yezoense*), 무절석회조류(melobesioidean algae), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 진두발(*Chondrus ocellatus*)이 우점하였다. Boo(1987)는 강원도 고성군 오호리에서 염주말(*C. moniligera*), 참국수나물(*Nemalion vermicylare*), 툫(*Hizikia fusiformis*), 바위두릅(*Leathesia difformis*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*)이 우점하였다. 1993년의 선행연구에서 같은 지역인 고성군 오호리의 봄철과 여름철에 개서실(*C. crassicaulis*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 지충이(*S. thunbergii*), 왜모자반(*S. yezoense*)이 조간대 상부에서 하부까지 우점하였다(Lee et al., 1993). 본 연구에서 거진은 구멍갈파래(*U. pertusa*), 염주말(*C. moniligera*), 지충이(*S. thunbergii*), 참도박(*G. elliptica*) 등이 우점하는 것으로 나타나 선행연구와 약간의 차이는 보였지만 수직분포에 대한 차이는 볼 수 없었다. Boo(1987)는 강원도 전체해역에서

Table 4. The two seasonal change in biomass of major marine algal according to the investigated localities. H and L indicate High and Low, respectively (unit : g wet wt/m²)

Species	Geojin				Jukbyeon				Gampo			
	May		Aug.		May		Aug.		May		Aug.	
	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
Chlorophyta												
<i>Chaetomorpha moniligera</i>	30.0			16.4	43.6	0.5	22.4	218.2				
<i>Cladophora</i> sp.		0.4			12.5	3.0			0.4			
<i>Codium fragile</i>				4.2				35.5				
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	5.1	5.1		2.8	25.0	2.8	1.6		23.4	50.0		
<i>Ulva pertusa</i>	33.7	16.5		10.8		20.0		59.1	30.5	28.1		394.4
Phaeophyta												
<i>Colpomenia sinuosa</i>						1.4						
<i>Dictyota coriacea</i>										6.5		
<i>Dilophus okamuræ</i>								11.5		38.0		5.4
<i>Ectocarpus</i> sp.			0.04								0.04	
<i>Leathesia difformis</i>	0.4									5.6		
<i>Padina arborescens</i>												3.4
<i>Sargassum fulvellum</i>								64.9		214.4		
<i>Sargassum miyabei</i>						21.0						
<i>Sargassum macrocarpum</i>										14.8		
<i>Sargassum thunbergii</i>		195.5		14.4					34.9	174.6		
<i>Undaria pinnatifida</i>										162.6		
Rhodophyta												
<i>Acrosorium polyneurum</i>		0.6				6.3		21.5				
<i>Champia parvula</i>						13.6				16.9		
<i>Chondracanthus tenellus</i>						31.4				31.8		115.5
<i>Chondracanthus intermedia</i>						31.0		3.3				
<i>Chondria crassicaulis</i>		87.4		4.7		473.7		279.4		455.7		0.4
<i>Chondrus crispus</i>						111.0						
<i>Chondrus ocellatus</i>						31.7		28.9		8.6		
<i>Chondrus pinnulatus</i>								55.4				
<i>Corallina officinalis</i>		19.7				103.1		22.2				
<i>Corallina pilulifera</i>										233.0		0.6
<i>Dumontia simplex</i>		45.1										
<i>Gratelapia turuturu</i>								3.0		40.4		
<i>Grateloupia filicina</i>							83.9	86.0				
<i>Gelidium pacificum</i>								19.8				
<i>Gracilaria textorii</i>								303.2				
<i>Gloiopeltis furcata</i>									6.2			
<i>Heterosiphonia japonica</i>								1.1				
<i>Hypnea saidana</i>								54.8				253.8
<i>Laurencia okamuræ</i>						90.4		48.1		123.7		6.9
<i>Laurencia</i> sp.		25.2		1.4				4.7				
<i>Lithothamnion cystocarpioideum</i>										1.4		
<i>Lomentaria catenata</i>						35.4						
<i>Nemalion vermicylare</i>		9.3						2.1				
<i>Pachmeniopsis ellitica</i>		77.0					94.1			73.6		
<i>Polyopes affinis</i>							243.0					
<i>Polyopes prolifera</i>												1.5
<i>Polysiphonia</i> sp.		0.2						20.6				
<i>Porphyra</i> sp.	2.8					8.8						
<i>Prionitis angusta</i>							184.4			53.3		
<i>Prionitis cornea</i>		14.8						183.2				
<i>Pterocladia capillacea</i>						41.9		0.7		9.2		44.6
Phanerogams												
<i>Phyllospadix japonica</i>						65.3		251.1				
Total	72.0	496.8	0.04	54.7	89.9	1,688.9	26.1	1,776.2	95.4	1,742.2	0.04	826.5
species/m²	5	13	1	7	4	22	3	23	5	20	1	10

동해안 조간대 3 지역에서 해조류의 군집과 생물지표종

6월과 8월의 조간대 상부에서 불등풀가사리, 염주말, 참국수나물, 흐린대마디말 등이 우점하였으며, 조간대 중·하부는 툇, 작은구슬산호말, 모로우붉은실, 개서실 등이 우점하는 것으로 보고하였다. 본 연구에서 죽변은 염주말(*C. moniligera*), 창자과래(*E. intestinalis*), 대마디말류(*Cladophora* sp.), 개서실(*C. crassicaulis*), 쌍발이서실(*Laurencia okamurae*), 지누아리(*Grateloupia filicina*), 참산호말(*Corallina officinalis*) 등이 우점하여 선행연구와 유사하게 나타났다.

동해 남부지역인 감포는 구멍갈과래(*U. pertusa*), 개서실(*C. crassicaulis*), 솜털류(*Ectocarpus* sp.), 쌍발이서실(*L. okamurae*), 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*)이 우점하였다. Lee et al. (1984)는 감포보다 남부에 위치한 기장에서 김류(*Porphyra* sp.), 개서실(*C. crassicaulis*), 풀가사리류(*Gloiopeltis* sp.)이 우점하는 것으로 보고하였다(Table 5).

동해 남부지역 중에서 특히 제주도에서 관찰되어왔던 온대성과 아한대성 해조류인 갈조류인 쇠꼬리산말(*Desmarestia viridis*), 홍조류인 참빛풀(*Odonthalia corymbifera*), 참국수나물(*N. vermiculare*), 비단풀(*Ceramium kondoi*) 등이 감소하면서 점차적으로 아열대성 해조류들이 나타나기 시작했다(KNPRI, 2012). 이것은 지구온난화에 따른 대마난류 세력의 증가가 우리나라 연안에 많은 열을 수송하면서 수온을 상승시키고, 이것은 궁극적으로 기후변화에 따른 해양생태계의 변화까지 일으켜 해조류 분포의 변화에도 그 영향이 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 제시된 각 지역별 해조상의 특성을 보면, 조간대 상부는 녹조류가 우점하였고, 조간대 하부는 갈조류 및 홍조류가 우점한 것으로 나타나 해조류의 수직분포에 대한 차이를 볼 수 없었다. 그러나 참국수나물(*N. vermiculare*)은 주로 온대성에 서식하는 해조류(KNPRI, 2012)로 본 조사에서 동해 중부지역인 죽변과 동해 북부지역의 거진에서 출현하였다. Boo(1987)는 강원도 전체해역의 조간대 상부에서 6월과 8월에 참국수나물이 우점하는 것으로 보고하였다. 이를 토대로 보았을 때, 제주도에서 관찰되던 참국수나물의 생물량이 감소하면서(KNPRI 2012), 점차적으로 생태학적 위치가 북상하여 동해 중부 및 북부지역에 이르기까지 출현하는 것은 동해 연안의 온대화가 가속되고 있음을 알 수 있다.

3.4 정량조사에 의한 지역별 생태지수 및 군집분석

지역별 출현종의 생물량에 의한 생태학적 지수를 분석한 결과, 거진은 모든 생태학적 지수에서 종풍부도(R)가 2.64, 종균등도(E)가 0.72, 종다양도(H')가 2.07로 나타났다. 본 조사와 유사지역인 고성군 저도에서 종풍부도(R)는 2.12~3.95, 종균등도(E)는 0.60~0.81, 종다양도(H') 1.63~2.60으로 겨울에 생태학적 지수가 높게 나타난 반면 봄과 여름에 생태학적

Table 5. Intertidal marine algal zonation patterns in the coastal areas of the East Sea

Localities	Dominant species	Reference
GangWon-DO		
Daejin	<i>Sargassum yezoense</i> , melobesioidean algae, <i>Sargassum horneri</i> , <i>Corallina pilulifera</i> , <i>Chondrus ocellatus</i>	Shin et al.(2008)
Ohuri	<i>Nemalion vermiculare</i> , <i>Hizikia fusiformis</i> , <i>Chaetomorpha moniligera</i> , <i>Leathesia difformis</i> , <i>Corallina pilulifera</i> , <i>Sargassum</i> spp., <i>Undaria pinnatifida</i>	Boo(1987)
Geojin	<i>Ulva pertusa</i> , <i>Chaetomorpha moniligera</i> , <i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Gratelopia elliptica</i>	This study
Uljin-Gun		
Hosan	<i>Nemalion vermiculare</i> , <i>Cladophora opaca</i> , <i>Hizikia fusiformis</i> , <i>Corallina pilulifera</i> , <i>Dictyota dichotoma</i> , <i>Sargassum yezoensis</i> , <i>Undaria pinnatifida</i>	Boo(1987)
Jukbyeon	melobesioidean algae, <i>Hizikia fusiformis</i> , <i>Phyllospadix japonica</i> , <i>Corallina pilulifera</i>	Shin et al.(2008)
Jukbyeon	<i>Chaetomorpha moniligera</i> , <i>Cladophora</i> sp., <i>Laurencia okamurae</i> , <i>Enteromorpha intestinalis</i> , <i>Chondria crassicaulis</i> , <i>Grateloupia filicina</i> , <i>Corallina officinalis</i>	This study
GyeongSangBukDo		
Kijang	<i>Gloiopeltis</i> spp., <i>Porphyra</i> spp., <i>Chondria crassicaulis</i>	Lee et al.(1984)
Gampo	<i>Ulva pertusa</i> , <i>Chondria crassicaulis</i> , <i>Ectocarpus</i> sp., <i>Chondracanthus tenellus</i> , <i>Laurencia okamurae</i>	This study

지수가 낮게 나타난다(Kim et al., 2012). 본 조사는 봄과 여름에 해당하는 것으로 고성군 저도의 봄과 여름의 결과에 비해 모든 생태학적 지수가 다소 높게 나타났다.

죽변은 종풍부도(R)가 3.17, 종균등도(E)가 0.78, 종다양도(H')가 2.55로 나타났다. 본 조사와 유사지역인 울진군 임원의 종풍부도(R)가 0.92~1.86, 종균등도(E)는 0.61~0.76, 종다양도(H')가 1.23~1.88으로 여름에 생태학적 지수가 높게 나타났다(Kim et al., 2012). 특히, 봄과 여름에 조사된 생태학적 지수는 본 연구지역인 죽변과 기존에 연구된 임원의 결과가 유사한 경향을 나타내었다.

감포는 종풍부도(R)가 4.28, 종균등도(E)가 0.80, 종다양도(H')가 2.88으로 갈조류와 홍조류의 출현종이 많으면서 종풍부도(R), 종다양도(H')에서 높은 값을 보였다(Fig. 2). Kim et al.(2012)의 보고에서 감포에는 종풍부도(R)는 0.81~1.84, 종균등도(E)는 0.40~0.81, 종다양도(H')는 0.64~2.02로 겨울에 생태학적 지수가 최대값을 보였으며, 봄에는 상대적으로 최소값을 보였다.

지역별 출현종의 생물량을 바탕으로 군집분석한 결과에 의하면 2개의 그룹으로 구분되었다. Group A는 죽변과 감포에서 45.3%의 유사도를 보였으며, 여기에는 홍조류의 생물량이 두 지역의 유사도를 결집하는데 기여하였다. Group B는 두 지역과 분리된 거진에서 31.2%의 유사도를 보였다 (Fig. 3). 본 조사와 유사지역인 저도와 감포 그리고 임원의 조하대 해조상 군집조사에서 계절별 유사도 분석에서 감포와 임원 사이에서 24.4% 유사도를 보였으며, 저도와 감포·임원에서 23.19%의 유사도가 관찰되었다(Kim et al., 2012). 이는 본 조사결과와 유사한 것으로 동해안의 수온 변동 자료를 보면, 동해안의 북부지역에 가까울수록 겨울철에 수온이 낮은 반면 여름철에는 수온약층이 약해져 표층과 저층의 수온이 비슷한 경향을 보이며(NFRDI, 2011), 여름에 해양환경적으로 타 지역간의 차이를 보이며 해조류의 군집형성에 영향을 줄 수 있을 것을 판단된다.

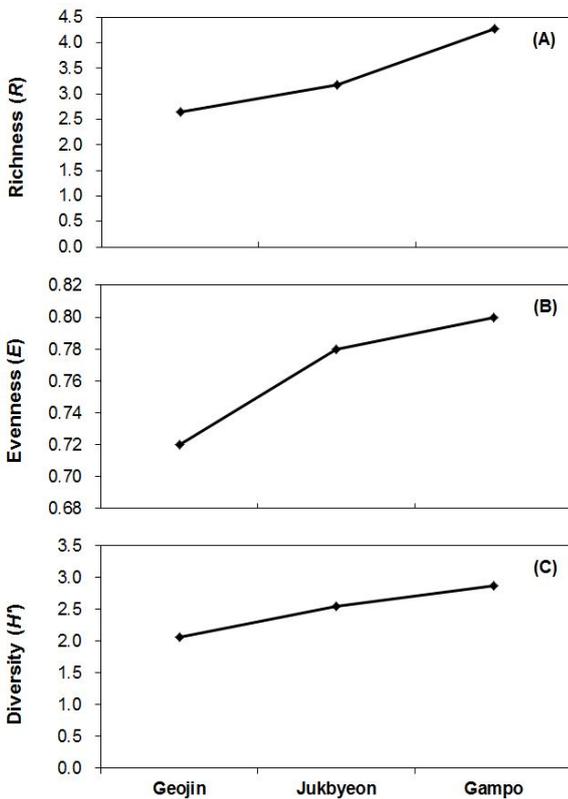


Fig. 2. Richness (A), Evenness (B), Diversity (C) of the marine algal species in Geojin, Jukbyeon and Gampo.

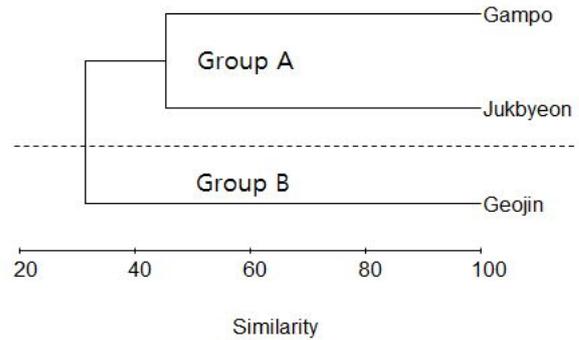


Fig. 3. Bray-Curtis similarity matrix of fourth root transformed data of biomass in the study area.

4. 결론

본 연구는 2014년 5월과 8월에 거진과 죽변 그리고 감포에서 해조상의 군집 및 생물지표종 조사를 하였다.

정성조사에 의한 지역별 종조성 비율은 3개 해역 모두 홍조류 > 갈조류 > 녹조류 순으로 나타났다. 지역별 해조상의 특성을 C/P, R/P 및 (R+C)/P에 대한 결과는 3개 지역 모두 온대성 해조상의 특성을 보였다. 정량조사에서 거진과 죽변에 관찰된 온대성 해조류인 참국수나물(*N. vermiculare*)이 동해 중부 이북의 조간대 상부에서도 출현하면서 점차적으로 동해 중부 및 북부지역에 이르기까지 생태학적 위치가 북상하고 있는 것으로 판단되어진다.

중량별 우점종을 보면, 거진은 구멍갈파래, 염주말, 지층이, 솜털류가 우점하였고, 죽변은 염주말, 개서실, 창자파래가 관찰되었다. 그리고 감포는 지층이, 구멍갈파래, 창자파래, 개서실, 솜털류로 조사되었다. 지역별 출현종의 생물량에 대해 군집분석한 결과 거진을 제외한 죽변과 감포에서 홍조류의 생물량이 두 지역간의 유사도를 결집하는데 기여한 것으로 보인다.

본 연구에서는 단기간의 연구에 대하여 분석하였지만, 장기간에 대한 조사와 분석이 이루어지면 기후변화에 따른 생물지표종으로서 조간대 해조상을 대표적으로 선택할 수 있는 기초자료를 확보하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 국립수산물연구원 동해수산연구소 “동해 연안어업 및 환경생태조사” 연구사업과제 (RP-2014-ME-062)의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Boo, S. M.(1987), Distribution of marine algae from shore area of Kangwon Province, Korean J. Phycol., 2:223-235. (in Korean with English abstract).
- [2] Bray, J. R. and J. T. Curtis(1957), An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin, Ecol Monogr 27, pp. 325-349.
- [3] Cheney, D. P.(1977), R&C/P-A new and improved ratio for comparing seaweed floras, Suppl., J., Phycol., 13, p. 129.
- [4] Choi, C. G., S. N. Kwak and C. H. Sohn(2006), Community structure of subtidal marine algae at Uljin on the east coast of Korea, Algae, Vol. 21, No. 4, pp. 463-470.
- [5] Feldmann, J.(1937), Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee, La cote des Alberes Rev., Algol, 10, pp. 1-339.
- [6] Fleming, R. A. and J. N. Candau(1998), Influences of climatic change on some ecological processes of an insect outbreak system in Canada's boreal forests and the implications for biodiversity, Environ. Monit. Assess., 49, pp. 235-249.
- [7] Heidkamp, E.(2010), The recurring dark ages: ecological stress, climate change, and ststem transformation, Environ Hist 15, pp. 336-338.
- [8] Heip, C. H. R., P. M. J. Herman, J. J. Middelburg, L. Moodley, K. E. R. Soetaert and T. Ysebaert(2005), The ecology of estuarine intertidal flats- The example of the westerschelde, Dublin, Royal Irish Academy, p. 179.
- [9] Kang, J. W.(1966), On the geographical distribution of marine algae in Korea, Bull. Pusan fish. Coll., 7, pp. 1-25.
- [10] Kang, J. W.(1968), Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea Vol. 8, Marine algae, Ministry of education, p. 465.
- [11] Kang, P. J., I. K. Young and W. N. Ki(2008), Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkawang bay, korea, Algae, Vol. 23, No. 4, pp. 317-326.
- [12] Kang, R. S., J. G. Je and J. S. Hong(1993), Summer Algal Communities in the Rocky Shore of the South Sea of Korea, Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 26, No. 1, pp. 49-62.
- [13] Kim, C. S., J. Kim, M. O. Moon, H. J. Hyun, K. M. Song, J. E. Kim and H. A. Lim(2012), Impact Assessment and Monitoring for Terrestrial Ecosystems to Climate Change on Jeju Island, KFRI Korea forest research institute, p. 180.
- [14] Kim, C. S., Y. S. Kim, H. G. Choi and K. W. Nam(2014), Variations of Seaweed Community Structure and Distribution of Crustose Coralline Algae at Gallam, samchuk, Eastern Coast of Korea, korean J. Environ. Ecol., Vol. 28, No. 1, pp. 10-23.
- [15] Kim, Y. J.(2010), Change and ecosystem respond to the Climate change, Global Green Growth Policy, 27, p. 14.
- [16] Kim, Y. D., Y. G. Gong, C. Y. Jeon, H. I. Song, M. S. Park, C. S. Lee, H. I. Yoo and Y. H. Kim(2010), Marine algal flora and community structure in daejin on the mid-east coast of Korea, for. J. Fish Aquat. Sci., Vol. 43, No. 5, pp. 532-539.
- [17] Kim, Y. D., M. S. Park, H. I. Yoo, S. W. Kim and H. D. Jeong(2012), Characteristics of seasonal variations of subtidal seaweed community structure at three areas in the East coast of Korea, Journal of the Environmental sciences, Vol. 21, No. 11, pp. 1407-1418.
- [18] KNPRI(2012), Korea National Park Research Institute, Distribution shifts in marine organisms due to climate change, p. 27.
- [19] Lee, I. K., H. S. Kim, C. H. Koh, J. W. Kang, S. Y. Hong, S. M. Boo, I. H. Kim, Y. C. Kang(1984), Studies on the marine benthic communities in inter and subtidal zones, Qualitative and quantitative analysis of the community structure in south-eastern coast of Korea, College of Natural Sciences Paper, Seoul National University College of Natural Sciences, Vol. 9, No. 1, pp. 71-126.
- [20] Lee, J. W., L. B. Lee and I. K. Lee(1993), A study on the community structure of intertidal marine benthic algae in the east coast of Korea. I. An intertidal marine benthic algal community at Sokcho, Korean J. Phycol., 8, pp. 67-75.
- [21] Lee, Y. P. and S. Y. Kang(2001), Check Lish of the Marine Algae in Korea, Jeju university, p. 662.
- [22] Marglef, R.(1963), On certain unifying principles in ecology, Amer. Nature, 97, pp. 357-374.
- [23] MIFAFF and NFRDI(2010), Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries and National Fisheries Research & Development Institute, Guidebook of marine life ecology at the marine afforestation area, Hanguel graphics, p. 922.
- [24] NFRDI(2011), Annual report of oceanographic observations for 2001.
- [25] NFRDI ESFRI(2007), East Sea Fisheries Research Institute, Marine Algae Ecology on the East Coast of Korea, p. 165.
- [26] NIBR(2010), National Institute of Biological Resources, Climate-sensitive Biological indicator Species.
- [27] Parmesan, C.(2006), Ecological and evolutionary responses to recent climate change, Annu. Rev. Evol. S., 37, pp.673-669.
- [28] Pielou, E. C.(1966), The measurement of diversity in different

- types of biological collection, *J. Theoret. Biol.*, 13, pp. 131-144.
- [29] Pielou, E. C.(1977), *Mathematical ecology*, 2nd. John Wiley and Sons. Inc., New York, U.S.A., p. 358.
- [30] Reise, K.(1985), *Tidal flat ecology*, Springer-Verlag, Berlin, p. 191.
- [31] Roff, D. A.(2002), *Life history revolution*. Sinauer, New York, p. 465.
- [32] Segawa, S.(1956), *Coloured illustrations of the seaweeds of Japan*, Hokkusha, Osaka.
- [33] Shon, C. H., C. G. Choi and H. G. Kim(2007), Algal communities and useful seaweed distribution at gangnung and it's vicinity in east coast of Korea, *Algae*, Vol. 22, No. 1, pp. 45-52.
- [34] Shin, J. D., J. K. Ahn, Y. H. Kim, S. B. Lee, J. H. Kim and I. K. Chung(2008), Community Structure of Benthic Marine Algae at Daejin and Jukbyeon on the Mid-East Coast of Korea, *Algae*, Vol. 23, No. 3, pp. 231-240.
- [35] Shin, J. D., J. K. Ahn, Y. H. Kim, S. B. Lee, J. H. Kim and I. K. Chung(2008), Temporal Variations of Seaweed Biomass in Korean Coasts: Daejin, Gangwondo, *Algae*, Vol. 23, No. 4, pp. 327-334.
- [36] Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. C. Beebee, J. M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg and F. Bairlein(2002), Ecological responses to recent climate change, *Nature*, 416, pp. 389-395.

Received : 2014. 11. 05.

Revised : 2014. 12. 12. (1st)

: 2014. 12. 22. (2nd)

Accepted : 2014. 12. 26.