한국환경생태학회지 28(1): 10-23, 2014 pISSN 1229-3857 eISSN 2288-131X
Korean J. Environ. Ecol. 28(1): 10-23, February 2014 http://dx.doi.org/10.13047/KJEE.2014.28.1.10

한국 동해 삼척시 갈남 해역의 해조 군집구조와 무절산호조류의 분포 변화[1a]

김찬송[2] · 김영식[3*] · 최한길[4] · 남기완[5]

Variations of Seaweed Community Structure and Distribution of Crustose Coralline Algae at Gallam, Samchuk, Eastern Coast of Korea[1a]

Chansong Kim[2], Young Sik Kim[3*], Han Gil Choi[4], Ki Wan Nam[5]

요 약

한국 동해안 삼척시 갈남 해역의 조간대와 조하대에 생육하는 해조류의 군집구조 변화와 무절산호조류의 분포현황을 2010년 8월부터 2011년 5월까지 계절별로 총 4회 조사하였다. 연구기간에 녹조류 14종, 갈조류 33종, 홍조류 65종이 출현하여 총 112종 채집 및 동정되었다. 이 중 29종은 일 년 내내 출현하였다. 생물량을 근거로 한 우점종은 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 불레기말류(*Colpomenia* spp.), 모자반(*Sargassum fulvellum*), 톳(*Sargassum fusiforme*), 몽당잎모자반(*Sargassum muticum*), 지충이(*Sargassum thunbergii*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)과 우뭇가사리(*Gelidium elegans*)였다. 해조류의 연평균 생물량은 건중량으로 66.7 gm^{-2}이었고, 여름에 107.5 gm^{-2}로 최대였고 가을에 36.2 gm^{-2}로 최소값을 기록하였다. 기능형군 분석에서는 성긴분기형(coarsely branched form)이 전체 해조에서 40.0~48.6%를 차지하였다. 엽상형(sheet form), 사상형(filamentous form) 및 성긴분기형을 포함한 기회종인 생태학적 상태그룹 ESG II는 46～61종으로서 76.7～82.4%를 차지하였다. 각상형의 무절산호조류는 모든 계절에 출현하였으며, 대표적인 종이 혹쩍(*Lithothamnion lemoineae*), 혹돌잎(*Lithophyllum okamurai*), 납작돌잎(*Lithophyllum yessoense*), 나팔가시돌잎(*Hydrolithon gardineri*)이었다. 동해안 갈남 해역에서 무절산호조류의 피도는 선행 연구에서 36.8%였으나, 금번에 11%로서 감소하고 있음을 확인하였다.

주요어: 해조상, 생물량, 기능형군

ABSTRACT

This study was carried out to examine seaweed community structure and distribution of crustose coralline algae at the intertidal and subtidal zones of Gallam, Samchuk, eastern coast of Korea. Total 112 species including 14 of green algae, 33 of brown algae, and 65 of red algae were collected and identified. Among these species, 29 species were found throughout the year. The dominant species which contributed significantly to the total biomass were *Ulva pertusa, Colpomenia* spp.*, Sargassum fulvellum, Sargassum fusiforme, Sargassum muticum, Sargassum thunbergii, Corallina pilulifera,* and *Gelidium elegans*. Annual seaweed biomass in dry

1 접수 2013년 12월 16일, 수정(1차: 2014년 2월 12일, 2차: 2014년 2월 25일), 게재확정 2014년 2월 26일
Received 16 December 2013; Revised (1st: 12 February 2014, 2nd: 25 February 2014); Accepted 26 February 2014
2 군산대학교 해양생물공학과 Dept. of Marine Biotechnology, Kunsan Nat'l Univ., Kunsan 573-701, Korea (cskim0328@naver.com)
3 군산대학교 해양생물공학과 Dept. of Marine Biotechnology, Kunsan Nat'l Univ., Kunsan 573-701, Korea (kimys@kunsan.ac.kr)
4 원광대학교 생명과학부 Faculty of Biological Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea (hgchoi@wku.ac.kr)
5 부경대학교 자원생물학과 Dept. of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea (kwnam@pknu.ac.kr)
a 이 논문은 해양수산부의 재원으로 해양생물공학기술개발사업 연구개발비 지원에 의하여 수행되었음.
* 교신저자 Corresponding author: kimys@kunsan.ac.kr

weight was 66.7 gm^{-2} and maximum biomass was recorded seasonally in summer (107.5 gm^{-2}), while minimum was recorded in autumn (36.2 gm^{-2}). In seaweed functional group analyses, coarsely branched form was the most dominant functional group constituting from 40.0 to 48.6% of the total flora. Ecological state group ESG Ⅱ, as an opportunistic species, including sheet form, filamentous form, and coarsely branched form, consisted of 46～61 species, constituting 76.7～82.4%. Crustose coralline algae was observed throughout all seasons. Species of the crustose coralline algae were largely classified into *Lithothamnion lemoineae, Lithophyllum okamurai, Lithophyllum yessoense,* and *Hydrolithon gardineri.* The coverage of crustose coralline algae seems to be lower than that of other studies from 36.8% to 11% on average.

KEY WORDS: BENTHIC MARINE ALGAL FLORA, BIOMASS, FUNCTIONAL GROUP

서 론

해조류는 식물플랑크톤과 함께 바다에서 일차 생산자로서 조식성 동물에게는 직접적인 먹이가 되며, 바다숲(sea forest)의 구성원으로 어류를 비롯한 많은 해양 생물의 주된 서식지와 산란장으로 제공될 뿐만 아니라 그 자체가 중요한 해양생물자원으로 이용되고 있으므로 해조류의 중요성은 더욱 부각되고 있다(Dring, 1992; Graham and Wilcox, 2000).

그러나 다양한 원인에 의해 바다숲이 파괴되어 해조류가 있던 암반에 각상형의 무절산호조류(Crustose coralline algae)가 피복되어 다른 다년생 해조류가 착생할 수 있는 공간이 사라지고, 이로 인하여 조식자(藻食者)인 유용 수산생물자원(전복, 소라, 성게 등)이 감소되어 어업생산량이 급감하는 등 해양생태계의 전반에 구조적 변동을 일으키는 갯녹음 현상이 진행되고 있는 실정이다(Sohn *et al*., 2007). Kim(1999)은 갯녹음 현상을 생태학적 천이 관점에서 대형 해조류의 양적 쇠퇴를 초래하는 무절산호조류의 극상(climax) 상태가 비교적 장기간 유지되는 것이라고 정의한 바 있다. 비록 자연 생태계에서 대형 해조류와 무절산호조류가 공존하고 있기도 하지만 무절산호조류는 선천적으로 물리・화학적 방오(antifouling) 기작을 갖고 있는 것으로 알려져 있다(Johnson and Mann, 1986; Keats *et al*., 1993; Suzuki *et al*., 1998). 즉, 분비된 화학물질이 해조류의 유주자를 파괴시키기도 한다든지(Suzuki *et al*., 1998), 무절산호조류의 표면 세포층이 벗겨나가는 박리(sloughing) 현상 때문에(Johnson and Mann, 1986), 무절산호조류가 증가하게 되면 대형 해조류의 피도 및 생물량이 감소되어 해양생태계에 영향을 줄 수 있다. 이러한 갯녹음 현상은 제주도(Chung *et al*., 1998), 및 동해 연안(MOMAF, 2002; Choi *et al*., 2006; Sohn *et al*., 2007; Kim *et al*., 2012, 2013)에 급격히 진행되고 있어 해양생태계의 자원조성 및 관리에 있어 커다란 문제점으로 대두되고 있어 이 점을 해결하기 위한 다양한 연안생태계 복원 노력이 필요한 시점이다.

한국 동해안 해조류에 관한 연구는 서해안과 남해안에 비하여 상대적으로 발달된 암반으로 인하여 해조식생이 풍부하여 1980년대 이후 많은 연구자에 의해 생태학적 연구가 활발히 수행된 바 있다(Boo, 1985, 1987; Boo and Lee, 1986; Lee and Lee 1988; Chung *et al*., 1991; Kim *et al*., 1997; Kim *et al*., 2004; Choi *et al*., 2006; Sohn *et al*, 2007; Shin *et al*., 2008a, b; Park and Choi, 2009; Choi and Rho, 2010; Kim *et al*., 2010, 2011, 2013). 지금까지 동해 연안 일대의 연구는 한 지역 해조상의 특성을 구명하고, 이를 구계론적으로 해석하거나 생태학적 자료를 얻기 위한 기초적 연구가 대부분이다. 본 연구 해역인 갈남은 Chung *et al*.(1991)에 의해 동해안 중부 해역의 해조상 특성에 대한 연구가 수행된 바 있고, 그 후 이 연구해역에서의 갯녹음 발생현황, 해조식생의 수직분포 특성, 무절산호조류의 종류와 분포 등 다양하고 광범위한 연구가 수행된(MOMAF, 2002)이후 추가적인 연구가 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 10여 년 전에 갯녹음 심화해역으로서 무절산호조류에 대한 집중적인 연구가 수행되었던 강원도 동해시 갈남 해역의 조간대와 조하대에서 계절 및 수심별 정성적 분석을 통해 해조상의 변화를 구명하고, SCUBA diving 및 파괴적인 방법(destructive method)을 이용한 정량적 분석 방법으로 생물량과 우점종을 계측하여 해조군집 특성을 분석하였다. 이를 통해 과거와 현재의 식생을 비교분석하고 이 지역 해조류의 시・공간적 변화를 명확히 구명하고자 하였다. 또한 본 연구 지역에서 갯녹음 발생원인 해조류인 무절산호조류의 계절적, 수직적 변화를 파악하고, 선행 연구의 결과(MOMAF, 2002)와 비교하여 갯녹음 현상의 현황 파악 및 대책을 모색하기 위한 기초자료를 확보하고자 수행되었다.

연구방법

본 연구가 수행된 갈남 해역은 하계에 동해 연안의 난류성 해류, 동계에는 한류성 해류의 영향을 크게 받는 곳으로, 비교적 연안의 지형이 복잡하고 수심이 완만하며, 암초가 많이 발달되어 있다(Chung *et al*., 1991). 해조상과 군집연구는 동해안 중부에 위치한 강원도 동해시 갈남항(37°15' N, 129°19' E) 해역에서 2010년 8월부터 2011년 5월까지 계절별로 2개의 정점에서 수행되었다(Figure 1). 연구는 조간대부터 조하대까지 수행되었으며 조하대의 경우 SCUBA diving에 의해 채집되었다. 두 정점 중 Line 1은 갈남항 외측에 위치하고 있어 파도의 영향에 직접적으로 노출되어 있고 조류의 소통이 원활하며, Line 2는 갈남항 내측에 위치하고 있어 파도의 노출이 비교적 적으며 조류소통이 정체되어있는 특성을 갖고 있다. 각 정점에서 Line transect법을 이용하여 조사하였으며, 각 Line 마다 수심을 5등분하여 각 수심에서 0.5×0.5m 크기의 방형구를 5회 옮기면서 파괴적인 방법(destructive method)으로 정량채집 및 사진 촬영을 하였고, 채집 및 촬영된 사진에 의해 출현종의 피도와 빈도를 조사하였다(Saito and Atobe, 1970). 채집된 해조류는 현장에서 바로 5-10% 포르말린 해수용액으로 고정시켜 실험실로 운반하였다. 종 동정은 녹조류, 갈조류, 홍조류로 국한하여 분류하였고, 동정된 해조류의 학명과 국명의 목록 정리는 Lee and Kang(2002)의 분류체계를 따랐다.

채집된 해조류는 담수로 수 회 세척하여 모래와 불순물을 제거하여 동정한 후 60℃ 건조기에서 7일 동안 건조하여 0.01g 수준까지 건중량을 측정하여 단위면적당 생물량(g dry wt m^{-2})으로 환산하였다. 채집된 해조류의 종조성, 피도, 빈도 등 군집분석에서 보완적인 자료를 산출하기 위하여 상대 피도(RC, relative coverage), 상대 빈도(RF, relative frequency) 및 중요도(IV, important value)는 각 방형구에서 출현한 해조류 각 종의 피도(coverage)와 빈도(frequency)를 구한 후에 아래와 같은 방법으로 산정하였다(Barbour *et al*., 1987).

상대피도(RC) = (i종의 피도 합/전 종의 피도 합) × 100

상대빈도(RF) = (i종의 빈도 합/전 종의 빈도 합) × 100

중요도(IV) = (RC+RF) / 2

출현종의 생물량자료를 이용하여 *k*-dominance 곡선으로 계산 및 도식화하여 출현종에 대한 우점도 경향을 비교하였다(Lambshead *et al*., 1983). 해조상 특성을 해석하는 지표로는 R/P (Feldmann, 1937), (C/P (Segawa, 1956), R+C)/P (Cheney, 1977)를 이용하였다.

Littler and Littler (1984)에 의한 해조류의 기능형 분류를 근거로 본 연구기간에 출현한 해조류를 외부 형태 및 내부 구조에 따라 6개의 기능형군, 엽상형(sheet form; S), 사상형(filamentous form; F), 성긴분기형(coarsely branched form; CB), 다육질형(thick leathery form; TL), 유절산호말형(jointed calcareous form; JC), 각상형(crustose form; C)으로 나누어 분석하였으며(Littler and Littler, 1984; Steneck and Dethier, 1994), 이를 근거로 하여 생태학적 상태 그룹 (Ecological State Group, ESG) ESG Ⅰ(다육질형, 유절산호말형, 각상형)과, ESG Ⅱ(엽상형, 사상형, 성긴분기형)로 구분하였다(Orfanidis *et al*., 2003).

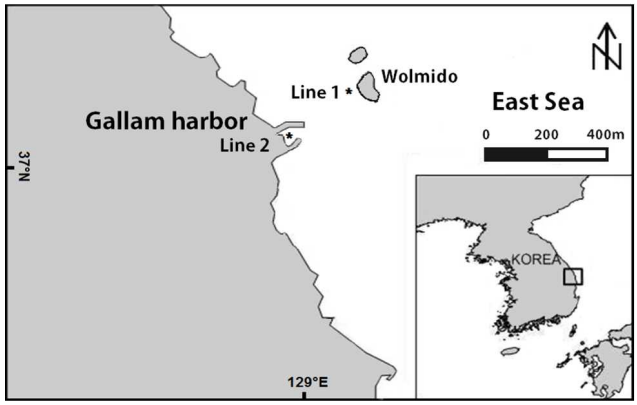

Figure 1. A map showing the sampling sites at Gallam, Samchuk, eastern coast of Korea

결과 및 고찰

1. 종조성

연구 지역 해조류의 분류군별 출현종수는 녹조 14종, 갈조 33종, 홍조 65종으로 총 112종이었다(Table 1). 이러한 출현종수는 Shin *et al*.(2008b)이 대진 연구를 통해 보고한 94종(녹조 11종, 갈조 26종, 홍조 57종), Boo and Lee (1986)가 속초 연안에서 보고한 96종(녹조 14종, 갈조 28종, 홍조 54종), Choi *et al*.(2006)이 울진에서 보고한 87종(녹조 11종, 갈조 29종, 홍조 47종), Kim *et al*.(2012)이 비화해역에서 보고한 57종(녹조 7종, 갈조 15종, 홍조 35종)보다 많은 종이 출현한 것으로 나타났다. 본 연구가 수행된 갈남 해역에서 출현한 해조류는 1991년에 91종(녹조 8종, 갈조 21종, 홍조 61종)이었고(Chung *et al*.(1991), 2002년의 45종(녹조 5종, 갈조 11종, 홍조 29종)이었다(MOMAF, 2002). 이처럼 동일한 조사해역에서 해조류 출현종수 변동은 갯녹음 현황, 연구방법과 연구자 변화 등 다양한 요인이 있을 수 있으나, 무절산호조류의 피도가 종다양성이 45종인 2000년대 초의 36.8%에서 11%로 감소하였기 때문으로 사료된다. 특히, 본 연구에서는 현미경적 미소해조류인 미첼긴

Table 1. Marine algal lists and functional (F)-form at the study sites at Gallam, Samchuk, Korea

Species	Summer		Autumn		Winter		Spring		Total		F-form
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Chlorophyta											
Monostroma sp.						+				+	S
Ulva compressa			+	+		+		+	+	+	S
Ulva intestinalis									+		S
Ulva linza	+			+			+	+	+	+	S
Ulva pertusa	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	S
Ulva prolifera		+								+	S
Ulva taeniata			+	+					+	+	S
Cladophora japonica	+				+		+		+		F
Cladophora sakaii	+								+		F
Cladophora sp.	+		+						+		F
Chaetomorpha moniligera	+								+		F
Caulerpa okamurae				+						+	F
Codium arabicum	+	+	+	+		+	+	+	+	+	TL
Codium fragile	+		+			+	+		+	+	CB
Phaeophyta											
Hincksia mitchelliae		+			+				+	+	F
Sphacelaria fusca		+						+		+	F
Sphacelaria subfusca		+						+		+	F
Ralfsia expansa	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	C
Ralfsia verrucosa	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	C
Dictyota dicotoma	+			+	+	+	+	+	+	+	S
Dictyota friabilis	+	+	+	+	+	+	+		+	+	S
Dictyota okamurae				+						+	S
Dictyopteris divaricate	+				+		+		+		CB
Dictyopteris undulata	+								+		CB
Leathesia difformis		+		+	+	+	+	+	+	+	TL
Desmarestia viridis	+	+			+	+	+	+	+	+	CB
Desmarestia sp.											CB
Myelophycus simplex								+		+	F
Colpomenia bullosa		+			+	+	+	+	+	+	CB
Colpomenia expansa		+						+		+	CB
Colpomenia peregrina		+				+	+	+	+	+	CB
Colpomenia sinuosa		+		+	+	+	+	+	+	+	CB
Colpomenia tyberculata								+		+	CB
Petalonia binghamiae					+	+		+	+	+	S
Petalonia fascia	+					+			+	+	S
Petalonia sp.						+				+	S
Scytosiphon lomentaria		+			+			+	+	+	CB
Agarum clathratum				+	+	+			+	+	TL
Undaria pinnatifida	+	+			+		+	+	+	+	TL
Saccharina japonica						+				+	TL
Sargassum fulvellum	+	+		+	+	+	+	+	+	+	CB
Sargassum fusiforme	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	CB
Sargassum horneri	+	+	+	+	+	+		+	+	+	CB
Sargassum macrocarpum					+				+		CB
Sargassum muticum						+		+		+	CB
Sargassum sp.				+		+				+	CB
Sargassum thunbergii		+		+		+		+		+	CB
Rhodophyta											
Erythrotrichia carnea					+				+		F
Bangia atropurpurea				+	+	+	+		+	+	F
Pyropia sp.		+		+		+		+		+	S
Audouinella codii			+						+		F

(Table 1. Continued)

Species	Summer		Autumn		Winter		Spring		Total		F-form
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Acrochaetium sp.					+	+	+		+	+	F
Nemalion vermiculare	+								+		F
Dichotomaria falcata					+		+		+		CB
Gelidium elegans	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	CB
Pterocladiella capillacea				+	+	+	+		+	+	CB
Lithothamnion lemoineae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	C
Lithophyllum okamurai	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	C
Lithophyllum yessoense	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	C
Hydrolithon gardineri	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	C
Corallina officinalis							+		+		JC
Corallina pilulifera	+			+	+		+		+	+	JC
Gloiopeltis furcata							+	+	+	+	CB
Gloiopeltis tenax		+								+	CB
Carpopeltis affinis		+	+	+	+				+	+	CB
Grateloupia crispata	+								+		CB
Grateloupia elata		+			+				+	+	CB
Prionitis cornea	+		+	+					+	+	CB
Grateloupia prolongata			+	+	+				+	+	CB
Grateloupia sp.					+				+		CB
Grateloupia elliptica	+	+	+	+	+	+	+		+	+	TL
Grateloupia lanceolata	+		+	+	+		+		+	+	TL
Caulacanthus ustulatus			+	+					+	+	F
Plocamium telfairiae	+		+		+	+	+		+	+	CB
Plocamium uncinatum	+	+	+	+	+	+		+	+	+	CB
Gracilaria textorii				+						+	TL
Ahnfeltiopsis flabelliformis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	CB
Peyssonnelia japonica	+	+		+		+			+	+	C
Chondrus giganteus				+						+	CB
Chondrus nipponicus	+	+	+	+	+	+	+		+	+	CB
Chondrus ocellatus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	CB
Chondracanthus intermedius	+	+		+	+	+			+	+	CB
Chondracanthus tenellus			+	+	+	+	+		+	+	CB
Chrysymenia wrightii	+	+							+	+	CB
Rhodymenia intricata		+		+						+	S
Champia parvula	+	+	+	+		+			+	+	F
Lomentaria catenata	+	+			+				+	+	CB
Lomentaria hakodatensis			+		+			+	+	+	CB
Antithamnion densum	+								+		F
Aglaothamnion callophyllidicola	+						+		+		F
Bonnemaisonia hamifera							+		+		CB
Campylaephora crassa	+								+		F
Ceramium flaccidum			+						+		F
Ceramium kondoi	+				+		+	+	+	+	F
Ceramium sp.			+		+		+		+		F
Ceramium tenerrimum	+								+		F
Heterosiphonia japonica					+	+	+	+	+	+	F
Heterosiphonia pulchra	+	+		+	+	+	+		+	+	F
Acrosorium yendoi					+			+	+	+	S
Acrosorium sp.	+								+		S
Cryptopleura membranacea	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	S
Chondria crassicaulis			+		+	+	+		+	+	CB
Chondria pellucida	+								+		CB
Chondrophycus intermedia	+	+			+		+		+	+	CB
Laurencia intricata	+								+		CB

(Table 1. Continued)

Species	Summer		Autumn		Winter		Spring		Total		F-form*
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Laurencia venusta		+	+				+		+	+	CB
Laurensia okamurae	+								+		CB
Laurencia sp.	+	+			+				+	+	CB
Odonthalia corymbifera	+			+					+	+	F
Neosiphonia savatieri			+						+		F
Polysiphonia morrowii			+		+				+		F
Symphyocladia latiuscula	+	+	+	+	+	+	+		+	+	CB

*S: Sheet form; F: Filamentous form; CB: Coarsely-Branched form, TL: Thick-Leathery form. JC: Jointed - Calcareous form, C: Crustose form

털실말(*Hincksia mitchelliae*), 갯쇠털류(*Sphacelaria* sp.), 붉은털(*Erythrotrichia carnea*), 나룻말류(*Acrochaetium* sp.), 윗가지참깃풀(*Antithamnion densum*), 털비단풀(*Ceramium tenerrimum*) 등이 기록되어 종다양성이 크게 증가한 것으로 확인되어, 향후 갯녹음 현황, 종다양성 및 미세조류의 출현종수와의 상호 관계에 대한 세밀한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

출현종수에 대한 각 분류문(division)별 비율은 녹조류 12.5%, 갈조류 29.5%, 홍조류 58.0%로 홍조류가 가장 높은 비율로 출현하였고, 이는 Boo(1987)가 강원도 해역 해조류의 분포에서 해조류 분류군별 구성 비율을 녹조류 10.0%, 갈조류 25.0%, 홍조류 65.0%, Sohn *et al*.(2007)이 강릉 연안에서 녹조류 12.9%, 갈조류 26.7%, 홍조류 60.3%로 보고한 것과 비교하여 볼 때 유사한 비율로 확인되었다. 정점별 출현종수를 비교해 보면 갈남항 외측에 위치하고 있는 Line 1에서 총 92종으로 갈남항 내측에 위치한 Line 2의 83종보다 많았다(Table 1). 이 결과는 외해로부터 보호된 내부지역이 외해에 노출된 지역보다 종의 다양성은 빈약하지만 생물량 및 일차 생산력은 더 높게 나타난다고 보고된 Seapy and Littler(1978), Nam *et al*.(1996)의 연구 결과에 부합된다. Shepherd and Womersley(1981)는 녹조류나 홍조류가 해수의 유동이 강한 곳에서 많이 발견되고, 갈조류는 유동이 약한 곳에서 발견되는 분포특성을 보인다고 보고한바 있으며, 본 연구 결과에서도 외해로 노출되어 있는 Line 1에서는 홍조류의 비율이 약 65.2%로, 보호되어 있는 Line 2의 54.2%에 비해 높게 나타났다. 녹조류 역시 Line 1, 2에서 각각 12.0%와 10.8% 비율로 나타나 Line 1이 소폭 높았으며, 갈조류 비율은 Line 2가 Line 1 22.8%에 비해 12.1% 높은 34.9%로 나타나 Shepherd and Womersley (1981)의 연구와 일치하였다. 각 계절별로 출현한 해조류의 종수는 하계에 74종으로 가장 많이 출현하였으며, 동계 72종, 춘계 63종, 추계에 60종 순으로 나타났다(Figure 2). 계절별 출현종수를 조간대와 조하대로 구분하여 보면, 조간대에서 47～61종, 조하대에서는 25～32종으로 조간대에서 출현종수가 높게 나타났다(Figure 3). 전체적으로 조간대에서 103종, 조하대에서 62종이 출현하였으며, 조하대에서는 수심이 깊어지면서 출현종수가 감소하는 경향을 보였다(Figure 4). Oh *et al*.(2005)에 의하면 해조류의 출현종수는 기질로 작용하는 암반의 발달정도와 관계가 있다고 하였으며, Choi *et al*.(2008)는 바닥이 펄로 구성된 수심에서 해조류의 착생 및 서식이 불리하여 상대적으로 출현하는 해조류의 출현종수가 낮았다는 보고가 있는데, 해당 연구 지역의 조하대 일부 바닥이 바위와 모래가 함께 구성되어있었던 점도 바위로만 구성되어있던 조간대에 비해 출현종수가 적었던 것으로 사료된다. 이러한 조간대의 높은 종 다양성은 선행된 MOMAF(2002)의 결과와도 일치하였다.

특정 해역의 해조상을 해석하는데 있어서 Feldmann(1937)은 R/P 값이 한·온대 지역(1.1)과 열대지역(4.3)을 나타낸다고 하였고, Segawa(1956)는 C/P 값을 한대지역(0.4)과 아열대지역(1.5)으로 구분하였으며, Cheney(1977)는 (R+C)/P의 값이 3보다 작을 때는 온대성 내지 한대성 해조상, 6 이상이면 열대성 해조상을, 그리고 그 중간 값이면 혼합성 해조상의 특징을 나타낸다고 하였다. 갈남의 해조상은 전체적으로 R/P의 값은 2.0로 한·온대 지역과 열대지역의 사이 값을 나타냈으나 한·온대 지역에 더 가까웠다. C/P의 값은 0.4로 한대지역을, (R+C)/P의 값은 2.4를 나타내어 온대 내지 한대성 해조상인 것으로 나타났다. 이를 종합해 본 결과 본 연구 지역인 갈남은 온대 내지 한대성 해조상 특성을 나타낸 것으로 판단 할 수 있다. 본 연구와 동일한 해역에서 수행된 이전 자료와 비교해 보면 Chung *et al*.(1991)의 연구에서 R/P의 값은 2.9, C/P의 값은 0.4, (R+C)/P의 값은 3.3을 나타냈고, MOMAF(2002)의 연구에서 R/P 값은 2.5, C/P 값은 0.7, (R+C)/P 값은 3.2을 나타냈으며, 본 연구에서는 (R+C)/P의 값이 다소 감소하여 혼합성 해조상에서 온대 내지 한대성 해조상으로 변화한 것으로 확인되었다.

연구기간 내 모든 계절에 관찰된 해조류는 총 29종으로, 녹조류 3종 구멍갈파래(*Ulva Pertusa*), 떡청각(*Codium arabicum*), 청각(*Codium fragile*)이었으며, 갈조류는 9종으로

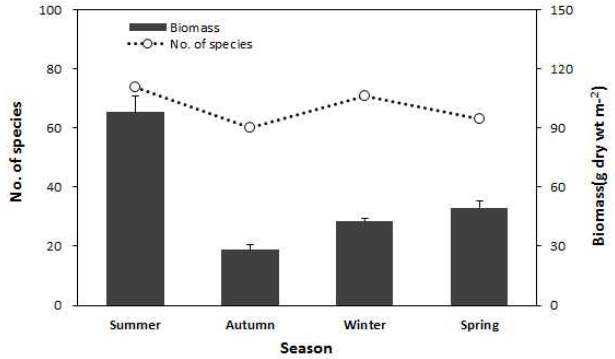

Figure 2. Seasonal variation in the number of species and mean biomass collected at Gallam, Samchuk, Korea (Bars mean standard deviation)

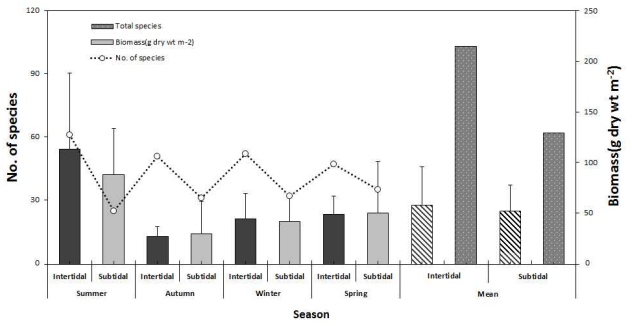

Figure 3. The number of species and mean biomass at intertidal zone and subtidal zone collected at Gallam, Samchuk, Korea (Bars mean standard deviation)

먹돌바위딱지(*Ralfsia expansa*), 바위딱지(*Ralfsia verrucosa*), 기는그물바탕말(*Dictyota friabilis*), 바위두둑(*Leathesia difformis*), 불레기말(*Colpomenia sinuosa*), 모자반(*Sargassum fulvellum*), 괭생이모자반(*S. horneri*), 지충이(*S. thunbergii*)였다. 홍조류는 17종으로 김류(*Pyropia* sp.), 우뭇가사리(*Gelidium elegans*), 혹쩍(*Lithothamnion lemoineae*), 혹돌잎(*Lithophyllum okamurai*), 납작돌잎(*L. yessoense*), 나팔가시돌잎(*Hydrolithon gardineri*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 도박(*Grateloupia elliptica*), 가는개도박(*G. lanceolata*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*), 갈고리참곱슬이(*P. uncinatum*), 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 가락진두발(*Chondrus nipponicus*), 진두발(*C. ocellatus*), 털엇가지풀(*Heterosiphonia pulchra*), 민잎맥(*Cryptopleura membranacea*), 보라색우무(*Symphyocladia latiuscula*)로 홍조류가 전체에서 약 59%의 점유율로 가장 높았다(Table 1).

2. 생물량과 중요도

생물량 자료는 군집의 특성을 이해하는데 있어서 중요한 척도가 되며, 각 연안 해조군집의 특성을 정량적으로 파악하고 서로 비교하기 위해서는 다양한 정점들에서 생물량 자료를 확보함이 바람직하다(Kim *et al*., 1995). 연구기간 동안 갈남 해역의 계절별 생물량은 하계에 98.01 g dry wt m^{-2}으로 가장 높은 값을 기록하였으며 춘계 49.50 g dry wt m^{-2}, 동계 42.72 g dry wt m^{-2}, 추계에 28.30 g dry wt m^{-2} 순으로 나타났다(Figure 2). 일반적으로 특정 해역에 서식하는 해조류의 생물량은 습중량 또는 건중량으로 측정되며, 이 두 값을 서로 정확하게 환산하는 것은 출현한 종에 따라 건조시 감소하는 무게의 비율이 달라 어려움이 따르지만, 일반적으로 건중량은 습중량의 약 1/5로 추정된다(Sohn *et al*., 2002). 본 연구지역과 동일한 지역에서 이루어진 이전 연구에서의 생물량 표현 단위를 습중량(g wet wt. m^{-2})으로 환산한 뒤 생물량을 서로 비교하였다(Table. 2). 그 결과 생물량은 MOMAF(2002)에 비해 크게 감소하였으나, Chung *et al*.(1991)의 연구 결과와는 유사하였다.

갈남 해안에서 계절별 해조류의 생물량을 조간대와 조하대로 구분하여 보면, 평균 생물량이 조간대와 조하대에서 58.12 g dry wt m^{-2}과 52.24 g dry wt m^{-2}으로 조하대가 다소 낮았다(Figure 2). 조위별 평균 생물량은 조하대 수심 4.5 m에서 평균 94.4 g dry wt m^{-2}로 생물량이 높게 나타났다(Figure 4). 수심별 생물량은 하계에 4.5 m와 조간대에서, 추계와 동계에는 조하대 4.5 m에서 춘계에는 조하대 3.0 m와 6.0 m에서 높은 생물량을 나타냈다(Figure 4).

계절별로 출현종에 대한 우점도 경향을 비교하기 위해 해조류 평균 생물량을 이용해 나타낸 *k*-dominance 곡선을 보면, 하계에는 지충이(*S. thunbergii*), 우뭇가사리(*G. elegans*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*)이 전체 생물량의 66.6%를 차지하였으며, 추계에는 모자반(*S. fulvellum*), 지충이(*S. thunbergii*), 우뭇가사리(*G. elegans*)가 69.3%, 동계에는 모자반(*S. fulvellum*), 몽당잎모자반(*S. muticum*), 우뭇가사리(*G. elegans*)가 78.8%, 춘계에는 모자반(*S. fulvellum*), 지충이(*S. thunbergii*), 우뭇가사리(*G. elegans*)가 70.4%로 나타나 상위 우점한 세 종이 전체 생물량의 높은 비율을 차지하고 있었다(Figure 5).

Table 2. Comparison of number of species and biomass (g wet wt. m^{-2}) investigated at Gallam, Samchuk, Korea

References	No. of species	Biomass (g wet wt. m^{-2})
Chung *et al*., 1991	93	928.0
MOMAF, 2002	81	1,885.0
This study	112	1,067.6

이번 연구에서 분석된 주요종(Important Value, IV > 15)의 중요도는 Table 3과 같다. 계절별로 중요도 15 이상을 나타낸 해조류는 하계에 구멍갈파래(*U. pertusa*), 모자반(*S. fulvellum*), 톳(*S. fusiforme*), 지충이(*S. thunbergii*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 우뭇가사리(*G. elegans*), 무절산호조류(crustose coralline algae), 갈고리참곱슬이(*P. uncinatum*)로 나타냈으며, 추계에 납작파래(*U. compressa*), 우뭇가사리(*G. elegans*), 무절산호조류(crustose coralline algae), 동계에 모자반(*S. fulvellum*), 몽당잎모자반(*S. muticum*), 부챗살(*A. flabelliformis*), 우뭇가사리(*G. elegans*), 무절산호조류(crustose coralline algae), 춘계에 모자반(*S. fulvellum*), 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata*), 불레기말(*C. sinuosa*),

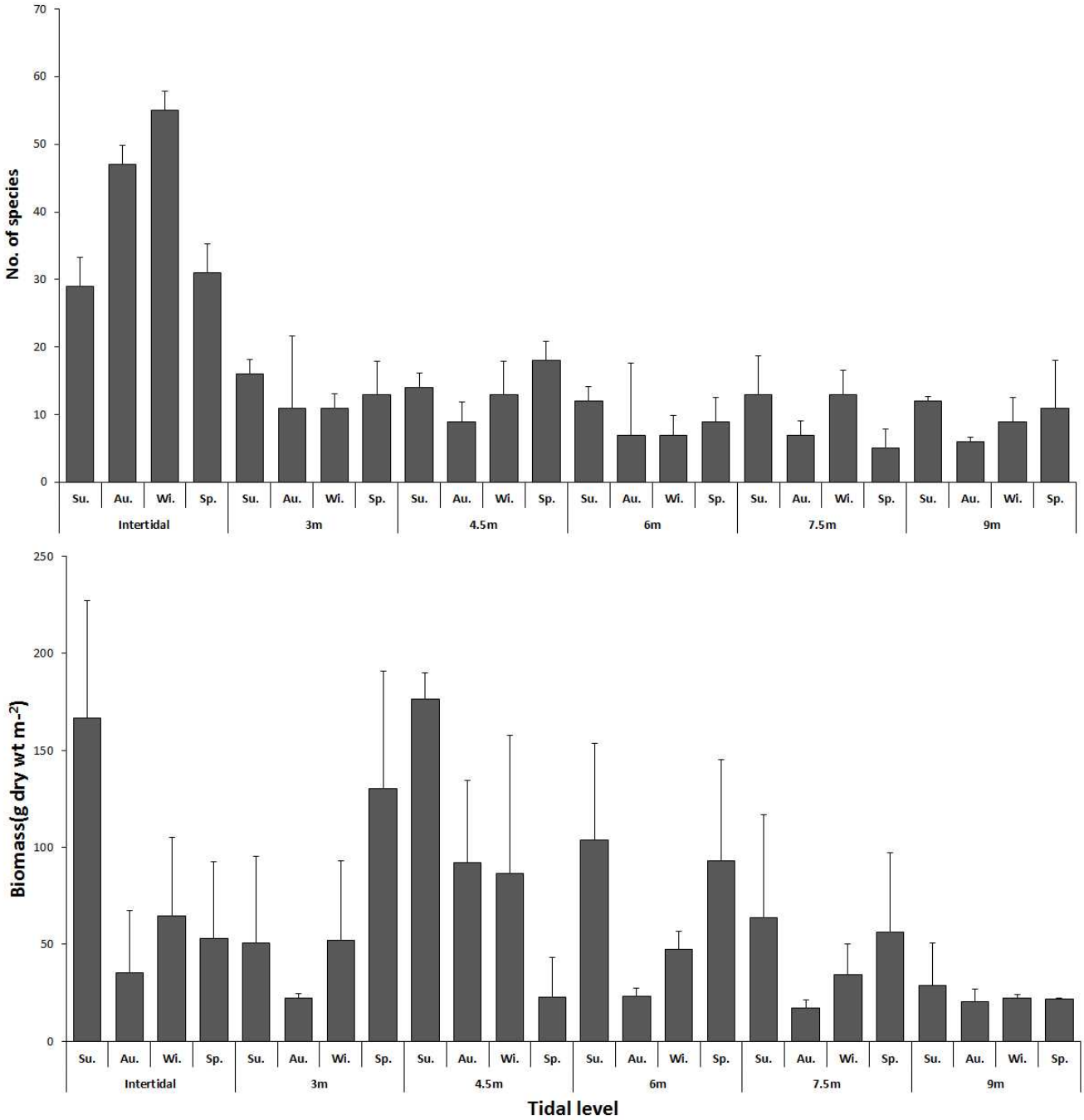

Figure 4. Seasonal and vertical variations in the number of species and mean biomass at Gallam, Samchuk, Korea (Bars mean standard deviation, Au: autumn, Sp: spring, Su: summer, Wi: winter)

우뭇가사리(*G. elegans*), 무절산호조류(crustose coralline algae)였으며, 그 중 우뭇가사리(*G. elegans*)와 무절산호조류(crustose coralline algae)는 조하대에서 연간 높은 중요도를 나타냈다.

계절에 따라 우점종의 변화는 있었지만 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 모자반(*S. fulvellum*), 우뭇가사리(*G. elegans*), 무절산호조류(crustose coralline algae) 등이 우점종으로 확인되었다(Table 4). 본 연구지역인 갈남의 우점종에 관한 연구는 Chung *et al*.(1991)이 하계와 동계에, MOMAF(2002)에 의해 4 계절의 연구를 바탕으로 수행된 바 있는데, Chung

Table 3. Seasonal important values (IV) of the major algal species (IV > 15.0) observed in intertidal and subtidal zone of Gallam, Samchuk, Korea

Species	Intertidal zone							
	Summer		Autumn		Winter		Spring	
	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2
Ulva compressa				17.8				
Colpomenia sinuosa								
Sargassum fulvellum	16.1					18.3		22.4
Sargassum fusiforme		22.7						
Sargassum muticum						16.5		
Sargassum thunbergii		23.5						
Corallina pilulifera	29.8							
Gloiopeltis furcata							35.3	
Ahnfeltiopsis flabelliformis						24.3		
Species	Subtidal zone							
	Summer		Autumn		Winter		Spring	
	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2	Line 1	Line 2
Ulva pertusa		20.9						
Colpomenia sinuosa								28.9
Gelidium elegans	30.8	26.7	32.5	25.0	45.5	48.6	58.7	22.2
Crustose coralline algae	55.7	24.3	49.5	45.5	30.4	38.3	27.8	31.3
Plocamium uncinatum		16.8						

Table 4. Comparison of dominant macroalgal species investigated at Gallam, Samchuk, Korea

References	Chung *et al*. (1991)	MOMAF (2002)	This study
Summer	*Caulerpa okamurae* *Corallina pilulifera* *Symphyocladia latiuscula*	*Sargassum horneri* *Gelidium elegans* Crustose coralline algae	*Corallina pilulifera* *Sargassum thunbergii* *Sargassum fulvellum* *Gelidium elegans* Crustose coralline algae
Autumn	nd	*Sargassum comfusum* *Chondracanthus tenellus* *Lomentaria hakodatensis* Crustose coralline algae	*Sargassum fulvellum* *Sargassum horneri* *Gelidium elegans* Crustose coralline algae
Winter	*Undaria pinnatifida* *Sargassum yezoense* *Dictyota okamurae*	*Codium arabicum* *Sargassum horneri* *Lomentaria catenata* Crustose coralline algae	*Sargassum fulvellum* *Sargassum muticum* *Gelidium elegans* *Grateloupia lanceolata* Crustose coralline algae
Spring	nd	*Ulva pertusa* *Leathesia difformis* *Sargassum comfusum* Crustose coralline algae	*Sargassum fulvellum* *Colpomenia sinuosa* *Gloiopeltis furcata* *Gelidium elegans* Crustose coralline algae

nd: no data

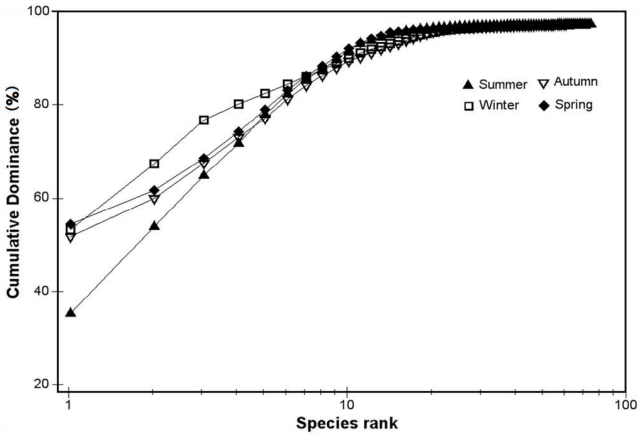

Figure 5. *k*-dominance curves (X-axis logged) for average algae biomass at four season of Gallam, Samchuk, Korea

et al.(1991)의 연구에서는 우점종 중 대형 갈조류가 차지하는 비율이 본 연구에 비해 적은 편이었으나, 4 계절 연구가 수행되지 않았기에 직접적인 비교는 무리가 있다고 판단되며, MOMAF(2002)의 연구에서는 대형 갈조류인 모자반류와 소형 홍조류, 무절산호조류가 우점종으로 출현하였으며, 본 연구에서도 조간대에서 대형 갈조류 모자반류와 무절산호조류가 우점종으로 출현한 점이 유사하였다. 주목할 점은 MOMAF(2002)의 연구에서 하계에만 우점종으로 출현한 우뭇가사리(*G. elegans*)가 본 연구에서는 모든 계절에 걸쳐 우점종으로 출현한 것으로 나타났다.

3. 수직분포

갈남 지역의 해조류의 수직분포는 조간대에서 납작파래(*U. compressa*), 불등풀가사리(*G. furcata*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 불레기말(*C. sinuosa*), 모자반(*S. fulvellum*), 톳(*S. fusiforme*), 지충이(*S. thunbergii*), 가락진두발(*C. nipponicus*), 도박(*G. elliptica*), 가는개도박(*G. lanceolata*), 보라색우무(*S. latiuscula*)가 분포하고 있었다. 조하대의 경우 상부에서 구멍갈파래(*U. pertusa*), 불레기말(*C. sinuosa*), 중부에 갈고리참곱슬이(*P. uncinatum*)가 분포하였으며, 우뭇가사리(*G. elegans*), 와 무절산호조류(crustose coralline algae)는 상부에서 하부까지 고르게 분포하였다.

4. 종다양성과 생태적 특징

Orfanidis *et al*.(2001)는 안정된 환경에서 서식하며 생장이 느린 해조류 다육질형(thick leathery form; TL), 유절산호말형(jointed calcareous form; JC), 각상형(crustose form; C)을 ESG I, 환경적 스트레스가 심한 교란 혹은 오염지역에서 빠른 생장을 하며 생산력이 높은 해조류 엽상형(sheet form; S), 사상형(filamentous form; F), 성긴분기형(coarsely branched form; CB)을 ESG II로 구분하였다. 연구기간에 2개의 Line에서 출현한 해조류를 형태 및 내부구조에 따라 6개의 기능형군으로 구분한 결과, 출현종 총 112종에서 생태학적 상태 그룹Ⅰ(ESGⅠ)에 속하는 종은 17종(15.3%)으로 다육질형 8종(7.2%), 각상형 7종(6.3%), 유절산호말형 2종(1.8%)이며, 생태학적 상태 그룹Ⅱ(ESGⅡ)에 속하는 종은 95종(84.7%)으로 성긴분기형 49종(43.2%), 사상형 28종(25.2%), 엽상형 18종(16.2%)으로 나타났다(Table 5). Line 별로는 Line 1에서는 ESGⅠ과 ESGⅡ는 각각 15종(16.3%), 77종(83.7%), Line 2에서는 ESGⅠ과 ESGⅡ는 각각 16(19.0%), 68(81.0%)으로 나타났다. 계절

Table 5. The number of algal functional forms occurred at Gallam, Samchuk, Korea

Functional form*	Line		Season				Total
	1	2	Summer	Autumn	Winter	Spring	
S (ESGⅡ)	12(13.0%)	16(19.0%)	11(14.9%)	10(16.7%)	11(15.3%)	9(14.3%)	18(16.2%)
F (ESGⅡ)	24(26.1%)	14(16.7%)	16(21.6%)	12(20.0%)	11(15.3%)	11(17.5%)	28(25.2%)
CB (ESGⅡ)	41(44.6%)	38(45.2%)	34(45.9%)	24(40.0%)	35(48.6%)	30(47.6%)	49(43.2%)
TL (ESGⅠ)	6(6.6%)	8(9.5%)	5(6.8%)	6(10.0%)	7(9.7%)	6(9.5%)	8(7.2%)
JC (ESGⅠ)	2(2.2%)	1(1.2%)	1(1.4%)	1(1.7%)	1(1.4%)	2(3.2%)	2(1.8%)
C (ESGⅠ)	7(7.6%)	7(8.3%)	7(9.5%)	7(11.7%)	7(9.7%)	6(9.5%)	7(6.3%)
No. of ESGⅡ	77(83.7%)	68(81.0%)	61(82.4%)	46(76.7%)	57(79.2%)	50(79.4%)	95(84.7%)
No. of ESGⅠ	15(16.3%)	16(19.0%)	13(17.6%)	14(23.3%)	15(20.8%)	13(20.6%)	17(15.3%)
Total	92(100%)	84(100%)	74(100%)	60(100%)	72(100%)	63(100%)	112(100%)

*S: Sheet form; F: Filamentous form; CB: Coarsely-Branched form, TL: Thick-Leathery form. JC: Jointed - Calcareous form, C: Crustose form

별 기능형군 구성 종을 살펴보면 모든 계절에서 성긴분기형이 40.0～48.6% 범위로 높은 비율을 나타냈으며, 사상형, 엽상형, 각상형, 다육질형, 유절산호말형 순이었다. 생태학적 상태 그룹은 ESG Ⅰ이 13～15종(17.6～23.3%), ESG Ⅱ 46～61종(76.7～82.4%)로 나타났다. 계절별로 기회 종인 생태학적 상태그룹 ESG II에 속하는 출현종수는 하계에 61종(82.4%), 추계에 46종(76.7%), 동계에 57종(79.2%), 춘계에 50종(79.4%)으로 하계에 출현 종수와 출현 비율에서 가장 높은 값을 나타났다. 해조류의 생물량과 기능형군의 다양성은 환경상태와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으므로(Arevalo *et al*., 2007; Pinedo *et al*., 2007; Wells *et al*., 2007), 이번 연구에서 전체적으로 ESG II의 비율이 높게 출현한 것은 연구 해역이 갈남항, 방파제 및 인가와 근접한 특성상 교란 및 오염과 같은 환경적인 스트레스가 강하게 작용하는 것으로 생각된다. 실제로 연구기간 동안에 본 연구 해역에서 방파제 건설과 관련된 공사가 진행 중이었으며, 이 점도 일부 상관 관계가 있었을 것으로 예상된다.

5. 출현 무절산호조류 종류 및 피도 변화

갯녹음 현상의 원인종인 무절산호조류는 이번 연구에서 총 4종이 출현하였다. 혹쩍(*Lithothamnion lemoineae*), 혹돌잎(*Lithophyllum okamurai*), 납작돌잎(*L. yessoense*), 나팔가시돌잎(*Hydrolithon gardineri*)이었으며, 모든 계절에 걸쳐 출현하였다(Table 1). 그러나 2000년 이전에 수행된 Chung *et al*.(1991)의 연구에서는 무절산호조류에 대한 기록이 부재하여 출현 무절산호조류를 비교할 수 없었다. 무절산호조류에 대한 중점적 연구가 수행된 MOMAF(2002)에 의하면 이번 연구에 출현종으로 확인된 혹돌잎(*L. okamurai*)과 납작돌잎(*L. yessoense*) 이외에도 사모아이끼쩍(*Hydrolithon samoense*), 흰점박이쩍(*Lithothamnion sonderi*)이 출현하는 것으로 보고되었다.

직립해조류와 무절산호조류의 상대적인 피복 정도를 비교해 볼 수 있는 상대피도를 살펴보면(Figure 6), 하계에 Line 1은 수심 3.0 m(61.7%)와 7.5 m(88.0%), 9.0 m(97.4%)인 깊은 수심에서 무절산호조류의 피도가 높게 나타났으며, Line 2에서는 3.0 m(78.2%)에서 높은 피도를 나타냈지만, 그 외 수심에서는 낮은 피도를 나타냈다. 추계에는 대부분 수심에서 무절산호조류가 높은 피도를 나타냈으며 Line 1, 9.0 m(67.8%)에서 가장 높게 나타났으며, Line 2는 3.0 m(72.5%)에서 높은 피도를 나타냈다. 동계에는 Line 1, 9.0 m(84.4%)와, Line 2, 7.5 m(40.1%)에서 높게 나타났지만, Line 1에 비해 낮은 수치를 보였다. 춘계에는 다른 계절에 비해 낮은 값을 나타냈는데 Line 1에서는 9.0 m(29.6%), Line 2에서 4.5 m(63.7)에서 높은 값을 나타냈다. Line 1의 경우 수심이 깊어질수록 상대피도가 증가 하였으며, Line 2의 경우 중간 수심에서 높은 값을 나타냈다. 무절산호조류의 절대피도 값은 수심별로 2.3～33.5%를 차지하였으며, 하계인 8월 Line 1은 깊은 수심, Line 2는 낮은 수심에서 무절산호조류의 피도가 다소 높게 나타났으나, 추계 11월,

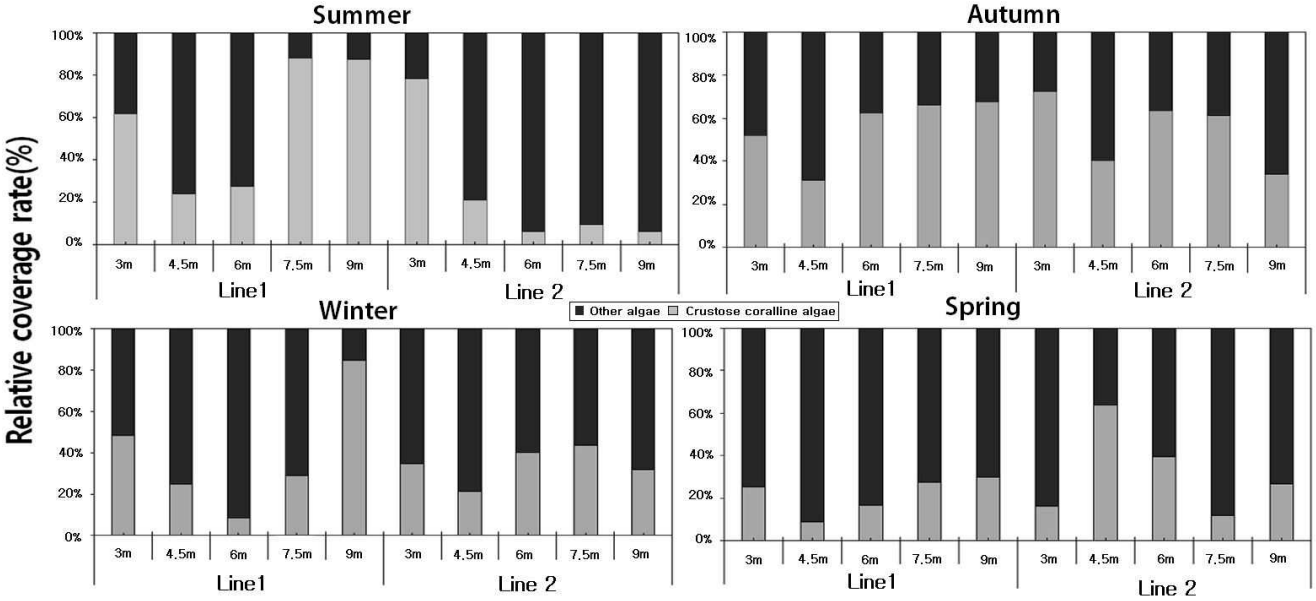

Figure 6. The relative coverage rate of crustose coralline algae and other algae at four seasons of Gallam, Samchuk, Korea

동계 2월, 춘계 연구에서는 수심에 따른 일정한 경향성은 나타나지 않았다(Figure 6). Line 1의 평균 무절산호조류의 피도는 14.7%로 수심 9 m에서 18.3%로 높게 나타났으며, Line 2에서는 수심 3 m에서 16.0%로 나타났다. 계절별 무절산호조류의 피도는 추계에 피도 26%로 최대, 춘계에 4.2%로 가장 낮은 피도를 나타났으며, 4계절 평균으로는 약 11.0%를 보였다(Figure 7).

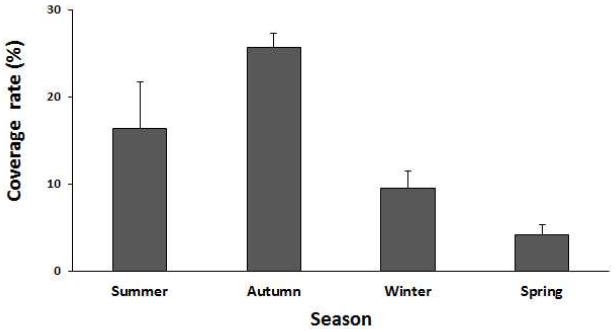

Figure 7. Seasonal changes of coverage rate of crustose coralline algae at Gallam, Samchuk, Korea (Bars mean standard deviation)

선행된 비교 자료가 없어서 경향을 정확히 단정 지을 수 없지만 무절산호조류의 피복도가 2001～2002년에 걸쳐서 수행된 선행 연구(MOMAF, 2002) 결과의 약 36.8%에서 이번 연구에서 11.0%로 크게 감소하였음을 확인할 수 있었다. 또한 MOMAF(2002)에 의하면 수심 3 m 이하에는 상대피도로 연구 면적의 80% 이상이 독점적으로 무절산호조류만 분포한다고 하였지만 본 연구에서는 39.7%로 약 1/2 수준이었다. 이러한 연구 결과는 일반적으로 연안에서 예상되는 인구의 증가로 인한 생활하수의 유입, 매립 및 건설로 인한 오염원 증가로 시간의 경과에 따라 무절산호조류의 피복도가 좀 더 심화되었을 것으로 예상했던 것과는 상이하였다. 즉, 이번 연구를 통하여 갈남 해역에서 인간의 의도적이고 지속적인 회복 노력 없이 무절산호조류의 피복도가 10 여년 전의 선행 연구에 비하여 감소되었음을 확인한 점은 이례적인 결과로 생각된다. 이것은 동일한 지역에서 선행된 연구(Chung *et al*., 1991; MOMAF, 2002)에 비하여 본 연구에서는 대형 갈조류(*Sargassum* spp.)가 4계절 내내 우점하고 있는 것으로 확인된 결과가 재확인 시켜주고 있다(Table 4). Kim *et al*.(2011)은 해조류의 섭식자인 성게류의 분포가 갯녹음 현상과 아주 밀접한 관련이 있다고 하였다. MOMAF(2002)는 동해안 바다숲의 주요 섭식자는 둥근성게(*Strongylocentrotus nudus*), 북쪽말똥성게(*S. intermedius*), 말똥성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*) 등 이고 둥근성게는 2002년에 단위면적(m^{-2})에서 22-42마리가 출현하였다고 기록하였다. 그러나 본 연구에서 초식자인 성게류는 단위면적당 2마리 이하로 관찰되었던 점도 무절산호조류의 피도 감소와 관련이 있을 것으로 추정된다. 연구 해역에서 생활하는 어업인도 이곳에서 체계적인 자원관리 및 조식동물 구제 등을 하지 않았음에도 최근 몇 년전부터 이러한 무절산호조류의 피도가 감소한다고 하였다. 그러나 무절산호조류의 피복에 의한 갯녹음 현상은 조식동물의 섭식압 증가 이외에도 환경오염, 수온, 해류 흐름, 등 다양한 환경요인이 복합적으로 작용하는 것으로 알려져 있기 때문에 (Johansen and Mann, 1986; Figueiredo *et al*., 1996; Suzuki *et al*., 1998; Terawaki *et al*., 2001; Wilson *et al*., 2004; Fujita, 2010), 이번 연구로 갈남 해역의 무절산호조류 피복률 감소 원인을 정확하게 추정하기에는 다소 무리가 있다. 따라서 이 해역 해조상과 무절산호조류의 변화를 계속적으로 모니터링하면서 주변의 여러 환경 요소도 세밀하게 추적해보는 것이 매우 바람직할 것으로 판단된다.

LITERATURE CITED

Arevalo, R., S. Pinedo and E. Ballesteros(2007) Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. Mar. Poll. Bull. 55: 104-113.

Barbour, M.G., J.H. Burk and W.D. Pitts(1987) Terrestrial Plant Ecology (2nd ed.). The Benjaminn/Cumming Pub. Co., Inc. California, 634pp.

Boo, S.M. and I.K. Lee(1986) Studies on benthic algal community in the east coast of Korea. I. Floristic composition and periodicity of Sokcho rocky shore. Korean J. Phycol. 1: 107-116. (in Korean with English abstract)

Boo, S.M.(1985) Vertical distribution patterns of the intertidal algal community on a Kangreung rocky shore, east coast of Korea. Proc. Nat. Sci. Res. Inst. KANU 1: 46-53. (in Korean with English abstract)

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)

Cheney, D.P.(1977) R & C/P-A new and improved ratio for comparing seaweed floras. Suppl. J. Phycol. 11: 129.

Choi, C.G. and H.S. Rho(2010) Marine algal community of Ulsan on the east coast of Korea. Kor. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 246-253. (in Korean with English abstract)

Choi, C.G., J.H. Kim and I.K. Chung(2008) Temporal variation of seaweed biomass in Korean coasts: Yokjido, Gyengnam province. Algae 23: 311-316. (in Korean with English abstract)

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 21: 463-470. (in Korean with English abstract)

Chung, H.S., H.J. Lee and I.K. Lee(1991) Vertical distribution of marine algae on a Gallam rocky shore of the mid-east coast of Korea. Korean J. Phycol. 6: 55-67.

Chung, H.S., K.W. Cho , K.H. Chung, J.H. Kim, J.H. Shin , Y.W. Seo, J.S. Kang and I.K. Lee(1998) Ecological characteristics of algal whitening in coastal zone of Seogwipo area Cheju Island. Algae 13: 361-374. (in Korean with English abstract)

Dring, M.J.(1992) The Biology of Marine Plants. Cambridge University Press, Cambridge, 199pp.

Feldmann, J.(1937) Recherches sur la vegetation marine de la Miditerranee. La cote des Alveres. Rev. Algol. 10: 1-339. (in French)

Figueiredo, M.A., J.M. Kain and T.A. Norton(1996) Biotic interactions in the colonization of crustose coralline algae by epiphytes. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 199: 303-318.

Fujita, D.(2010) Current status and problems of isoyake in Japan. Bull. Fish. Res. Agen. 32: 33-42.

Graham, L.E. and L.W. Wilcox(2000) Algae. Prentice Hall, NJ, 640pp.

Johnson, C.R. and K.H. Mann(1986) The crustose coralline alga, *Phymatolithon* Foslie, inhibits the overgrowth of seaweeds without relying on herbivores. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 96: 127-146.

Keats, D.W., A. Groener and Y.M. Chamberlain(1993) Cell sloughing in the littoral zone coralline alga, *Spongites yendoi* (Foslie) Chamberlain (Corallinales, Rhodophyta). Phycologia 32: 143-150.

Kim, N.G.(1999) Study on the barren ground. Korean Aquaculture 11: 43-55. (in Korean)

Kim, Y.D., J.K. Ahn, M.S. Park, H.G. Kim, B.H. Min, S.Y. Yeon and Y.H. Kim(2013) Characteristics of subtidal marine plant community structure at Gangneung Saegeunjin in the east coast of Korea. J. Environ. Sci. Int. 22: 761-771. (in Korean with English abstract)

Kim, Y.D., M.S. Park, H.I. Yoo, BH Min, T.S. Moon and H.G. Choi(2011) Seasonal variation in subtidal seaweed community structure at Hajung, on the southeast coast of Korea. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 740-746. (in Korean with English abstract)

Kim, Y.D., M.S. Park, H.I. Yoo, B.H. Min, T.S. Moon and H.J. Jin(2012) Seasonal variations in seaweed community structure at the subtidal zone of the east coast of Korea. Korea. J. Fish. Aquat. Sci. 45: 262-270. (in Korean with English abstract)

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. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 532-539. (in Korean with English abstract)

Kim, Y.H., H.J. Yoon and J.S. Yoo(1995) Species composition and biomass of marine algal community on the mid-western coast of Korea. J. Plant Biol. 38: 389-398. (in Korean with English abstract)

Kim, Y.H., J.K. Ahn, J.I. Lee and H.M. Eum(2004) Effects of heated effluents on the intertidal macroalgal community near Uljin, the east coast of Korea. Algae 19: 257-270. (in Korean with English abstract)

Kim, Y.H., K.W. Nam and C.H. Sohn(1997) Intertidal benthic algae at Chumunjin in the east coast of Korea: Flora, distribution and community structure. Algae 12: 117-130. (in Korean with English abstract)

Lambshead, P.J.D., H.M. Platt and K.M. Shaw(1983) The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. J. Nat. Hist. 17: 859-874.

Lee, J.W. and H.B. Lee(1988) A floristic study on marine benthic algae of Yongil Bay and adjacent areas, easter coast of Korea. The Korean J. Phycol. 3: 165-182. (in Korean with English abstract)

Lee, Y.P. and S.Y. Kang(2002) A Catalogue of the Seaweeds in Korea. A publishing Department of Jeju National University, 662pp. (in Korean)

Littler, M.M. and D.S. Littler(1984) Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 74: 13-34.

MOMAF(2002) Cause of Phenomena of Getnokgum and the Way to Control it. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF), 263pp. (in Korean with English abstract)

Nam, K.W., Y.S.Kim, Y.H. Kim and C.H. Sohn(1996) Benthic marine algae in east coast of Korea: Flora distribution and community structure. J. Korean Fish. Soc. 29:727-743. (in Korean with English abstract)

Oh, B.G., J.W. Lee and H.B. Lee(2005) Summer marine algal vegetation of uninhabited islands in Sinangun, southwestern coast. Algae 20: 53-59. (in Korean with English abstract)

Orfanidis, S., P. Panayotidis and N. Stamatis(2001) Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes - based model. Medit. Mar. Sci. 2: 45-65.

Orfanidis, S., P. Panayotidis and N. Stamatis(2003) An insight to the ecological evaluation index (EEI). Ecol. Indic. 3: 27-33

Park, G.J. and C.G. Choi(2009) A study on the community structure of intertidal benthic marine algae in Youngil Bay, eastern coast of Korea. Korea. Kor. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 664-673. (in Korean with English abstract)

Pinedo, S., M. Garcia, M.P. Satta, M. Torres and E. Ballesteros(2007) Rocky shore communities as indicators of water quality; a case study in the north-western Mediterranean.

Mar. Poll. Bull. 55: 126-135.

Saito, Y. and S. Atobe(1970) Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 21: 37-69.

Seapy, R.R. and M.M. Littler(1978) The distribution, abundance, community structure, and primary productivity of macro organisms from two central California rocky intertidal habitats. Pac. Sci. 32(3): 293-314.

Segawa, S.(1956) Coloured Illustrations of the Seaweeds of Japan. Hoikusha Publ. Co. Osaka, 175pp. (in Japanese)

Shepherd, S.A. and H.B.S. Womersley(1981) The algal and seagrass ecology of Waterloo bay, South Australia. Aquat. Bot. 11: 305-371.

Shin, J.D., J.K. Ahn, Y.H. Kim, S.B. Lee, J.H. Kim and I.K. Chung(2008a) Community structure of benthic marine algae at Daejin and Jukbyeon on the mid-east coast of Korea. Algae 23: 231-240. (in Korean with English abstract)

Shin, J.D., J.K. Ahn, Y.H. Kim, S.B. Lee, J.H. Kim and I.K. Chung(2008b) Temporal variations of seaweed biomass in Korean coast: Daejin, Gangwondo. Algae 23: 327-334. (in Korean with English abstract)

Sohn, 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 22: 45-52. (in Korean with English abstract)

Sohn, C.H., H.G. Kim and H.S. Han(2002) From Barren Ground to Seaweed Forest. Cheongmungak, Seoul, 163pp. (in Korean)

Steneck, R.S. and M.N. Dethier(1994) A functional group approach to the structure of algal dominated communities. Oikos 69: 476-498.

Suzuki, Y., T. Takabayashi, T. Kawaguchi and K. Matsunaga (1998) Isolation of and allelopathic substance from the crustose coralline algae, *Lithophyllum* spp. and its effect on the brown alga, *Laminaria religiosa* Miyabe (Phaeophyta). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 225: 69-77.

Terawaki, T., H. Hasegawa, S. Arai and M. Ohno(2001) Management-free techniques for restoration *Eisenia* and *Ecklonia* beds along the central Pacific coast of Japan. J. Appl. Phycol. 13: 13-17.

Wells, E., M. Wilkionson, P. Wood and C. Scanlan(2007) The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European water framework directive. Mar. Poll. Bull. 55, 151-161.

Wilson, S., C. Blake, J.A. Berges and C.A. Maggs(2004) Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): Implications for European marine conservation. Biological Conservation 120: 283-293.