

## 서해안 태안반도 해조군집의 종조성과 수직분포

안중관 · 유경동<sup>1</sup> · 오지철 · 이재일<sup>1</sup> · 윤희동<sup>1</sup> · 김영환<sup>1\*</sup>

국립공원관리공단 국립공원연구원 해양연구센터, <sup>1</sup>충북대학교 생물학과

## Species Composition and Vertical Distribution of Marine Algal Communities at the Taean Peninsula of the West Coast of Korea

Jung Kwan Ahn, Kyong Dong Yoo<sup>1</sup>, Ji Chul Oh, Jae Il Lee<sup>1</sup>, Hee Dong Yoon<sup>1</sup> and Young Hwan Kim<sup>1\*</sup>

Marine Research Center, National Park Research Institute, Korea National Park Service, Yeosu 59769, Korea

<sup>1</sup>Department of Biology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Seasonal variability in algal community structure was examined at the intertidal zones of five study sites on the Taean Peninsula, on the western coast of Korea, from February 2014 to November 2015. A total of 118 species of marine algae, comprising 17 green, 24 brown and 77 red algae, were identified. The maximum number of species was observed at the Mohang site (75 species), and the minimum at the Yeonpo site (46 species). The seaweed biomass was 160.24 g dry wt./m<sup>2</sup> on average, and was maximal at Uihang (519.04 g dry wt./m<sup>2</sup>) and minimal at Yeonpo (19.03 g dry wt./m<sup>2</sup>). Based on biomass, the dominant seaweeds at Taean peninsula were *Sargassum thunbergii* and *Coralina pilulifera*. Community indices were as follows: richness index (R), 3.21-5.01; evenness index (J'), 0.33-0.38; and diversity index (H'), 0.90-1.12. Based on evaluation of the environmental states by the community indices, the ecological evaluation index (EEI) of Taean peninsula was "moderate". The overall species and biomass of seaweeds decreased after the oil spill. However, Hakampo previously showed a similar algal community structure. In conclusion, the algal community was temporarily affected by the oil spill, but rapidly recovered.

Key words: Algae, Oil spill, Taean, EEI

### 서론

고착성 해조류는 연안 생태계에서 1차 생산자의 역할 뿐만 아니라 해양생물 서식지, 물질순환 등 생태학적으로 매우 중요한 기능을 수행하고 있다(Whitaker et al., 2010; Janiak and Whitlatch, 2012; Perkol-Finkel et al., 2012; Satheesh and Wesley, 2012; Kim et al., 2016). 이외에도 해조류는 생물학적 혹은 비생물적 환경변화에 따라 해조군집의 종다양성, 출현종 및 생물량이 변화하는 특징으로 환경변화를 알 수 있는 훌륭한 지표 생물(indicator organism) 또는 생물지시자(bio-indicator)로의 사용에 주목하고 있다(Abbott and North, 1971; Orfanidis et al., 2001; Wells et al., 2007; Yoo et al., 2007; Scherner et al., 2013). 환경에 따른 해조류의 생존전략과 형태에 따라 엽상형, 사상형, 성긴분기형, 다육질형, 유절산호말형 그리고 각상형의 6개 기능형 그룹으로 구분하고, 기능형의 구성비율로 연안의

환경상태에 대한 평가가 시도되었다(Littler and Littler, 1984; Steneck and Dethier, 1994; Padilla and Allen, 2000). Orfanidis et al. (2003)은 출현 해조류의 체형, 성장률, 표현형의 적응성, 수명 및 천이 속도를 고려하여 5개의 보다 단순한 기능형으로 구분한 후 생태학적평가지수(EEI, ecological evaluation index)를 제시하였고, Oh et al. (2016)은 생태학적평가지수를 활용하여 국내 해양국립공원 6곳에 대한 평가를 실시하여 보통 이상의 양호한 연안생태계로 판정하였다.

우리나라 서해안의 해조류는 Kang (1966)이 지리적 분포의 체계론적 연구를 통해 104종을 보고하였으며, 이후 Kim and Lee (1985)는 다변량분석법, 직접구배분석법 그리고 집괴분석법 등 정량생태학적 기법을 도입하여 해조군집 특성을 구명하고자 하였다. 태안반도 해조류 군집에 관한 연구는 Lee and Lee (1982)의 가로림만 연구를 시작으로 Lee and Lee (1990)는 체계론적 연구로 태안반도 15개 지점을 조사하여 외해안, 내해안

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2017.0055>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 50(1) 055-064, February 2017

Received 13 December 2016; Revised 1 February 2017; Accepted 6 February 2017

\*Corresponding author: Tel: +82. 43. 261. 2295 Fax: +82. 43. 276. 6180

E-mail address: kimyh@chungbuk.ac.kr

그리고 아산만 연안의 3개 지역으로 구분하였다. 하계에 국한되지만, Kim et al. (1995)은 태안반도 12개 지역의 해조류 우점종과 생물량을 보고하였고, Yoo et al. (2007)도 5개 지역의 해조군집 구조를 비교하여 상대적인 오염정도를 파악하였다. Lee et al. (1997)은 파도리 이외의 3개 지역에서, Oh and Lee (1998)는 의항 지역의 식생을 조사하였다. Lee (2004)는 백리포, Yoo and Kim (2003a), Heo et al. (2015)은 학암포, Yoo and Kim (2003b)은 태안화력발전소 주변을 조사하였고, 이외의 대부분의 연구들은 파도리에 집중되어 있다.

태안반도 인근 해역에서 2007년 12월 7일에 충남 태안군 원북면 신도 남서방 6마일 해상에서 홍콩 선적의 유조선 *Hebei Spirit*호와 해상 크레인선과의 충돌로 원유 약 10,900 ton이 유출되는 사고가 발생하였다. 유출된 원유는 물리·화학적 원인으로 주변 생태계에 악영향을 미치게 되는데, Hong et al. (2014)에 따르면 수질은 2009년에 모두 회복되었고, 저서군집은 4년 후인 2011년에나 상당히 회복되는 것으로 나타났다. 하지만 다양한 저서군집에 대한 유류오염에 대한 연구가 부족하며 특히, 고착성 해조군집에 대한 영향연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 과거 태안반도 해조군집과 *Hebei Spirit*호 유류유출 사고 이후에 나타난 해조군집을 비교함으로써 태안반도 해조군집의 변동 특성을 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

태안반도 해안가 5개 정점(학암포, 의항, 모항, 통개, 연포)에서 2014년 2월부터 2015년 11월까지 2년동안 각 계절별로 조간대 해조군집에 대한 조사를 실시하였다(Fig. 1). 해조상을 파악하기 위한 정성 조사는 최 간조기 조사지역에 나타나는 해조류를 최대한 채집하였다. 정량조사는 조간대 상, 중, 하부에 25개의 소방형구(10 cm × 10 cm)로 나누어진 방형구(50 cm × 50 cm)를 2-3회 무작위적으로 설치하고 방형구 내에 존재하는 해조류의 피도(coverage)를 측정하고, 전량 채집하였다. 채집된 해조류는 5-10% 포르말린-해수 용액으로 현장에서 고정하여 실험실로 운반 후 검경 동정하였다. 출현 해조류의 목록 및 국명은 국가 생물종목록집에 따랐다(Kim et al., 2013). 정량 채집한 해조류는 담수로 세척하고 종별로 구분하여 105°C 건조로(drying oven)에서 48시간 동안 건조시킨 후 0.01 g 수준으로 측정하고 생물량(g dry wt./m<sup>2</sup>)으로 환산하였다. 해조류 종별 평균 생물량과 단위면적당 생물량 구성비(%)를 구하여 생물량 구성비가 30% 이상을 우점종으로, 10% 이상 30% 미만의 종을 준우점종으로 구분하였다(Kim et al., 1995; Kim et al., 1997). 또한, 정점별 출현종과 생물량 자료를 바탕으로 풍부도 지수(richness index, R), 다양도지수(diversity index, H')와 균등도지수(evenness index, E)를 계산하였다(Margalef, 1958; Fowler and Cohen, 1990).

Orfandis et al. (2003)은 Littler and Littler (1984)의 6개 기능형을 바탕으로 해조류 엽상체의 체형, 성장속도, 표현형의 적응

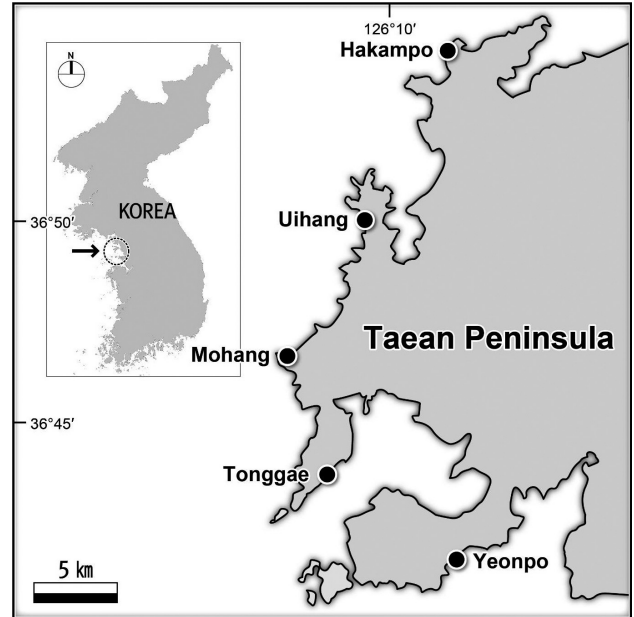


Fig. 1. A map showing the five study sites and the location of Taean peninsula at Korea.

성 그리고 엽상체의 수명 및 천이속도를 고려하여 생태학적상태그룹 I, II(ecological status group, ESG I, II)로 구분하였다. 각 그룹에 속하는 종별 연평균 피도를 이용하여 생태학적 평가 지수(ecological evaluation index, EEI)를 산출하고 지수 값 2 이하 나쁨, 2-4 낮음, 4-6 보통, 6-8 좋음, 10 이상 높음으로 판정하였다(Orfandis et al. 2011).

분류군별 출현종수로 갈조류에 대한 녹조류의 비(C/P), 갈조류에 대한 홍조류 비(R/P), 갈조류에 대한 녹조류 및 홍조류의 비로 (R+C)/P를 구하여 해조상의 특성을 파악하였다(Feldmann, 1937; Segawa, 1956; Cheney, 1977).

## 결 과

### 출현종

2014년 겨울부터 2015년 가을까지 태안반도 5개 정점에서 조사된 해조류는 총 118종(녹조류 17종, 갈조류 24종, 홍조류 77종)으로 모항에서 가장 많은 75종의 해조류가 출현하였으며, 연포에서 46종으로 해조류 출현이 적게 나타났다. 계절별로는 봄에 계절 평균 23종으로 많았고, 가을에 평균 18종으로 적게 출현하였다. 모항에서 2015년 겨울과 봄에 각기 33종의 해조류가 출현하여 가장 많았으며, 최소 해조류 출현은 연포에서 2015년 가을에 7종으로 나타났다. 정점별 평균 해조류 출현은 모항에서 조사 기간 평균 26종으로 많았으며, 연포에서 평균 16종으로 적었다(Table 1).

전체 출현 해조류의 분류군별 구성비율은 홍조류가 65.25%

Table 1. The number of algal species observed at the five study sites of Taean peninsula from winter, 2014 to autumn, 2015

Site	Taxon	2014				2015				Total
		Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	
Hakampo	Chlorophyta	1	1	1	2	2	4	2	1	6
	Phaeophyta	2	2	3	1	2	6	4	2	10
	Rhodophyta	15	13	12	12	10	21	15	11	39
	Subtotal	18	16	16	15	14	31	21	14	55
Uihang	Chlorophyta	2	1	1	2	3	2	1	1	6
	Phaeophyta	2	2	5	4	4	4	4	3	8
	Rhodophyta	17	13	15	13	11	22	16	12	37
	Subtotal	21	16	21	19	18	28	21	16	51
Mohang	Chlorophyta	1	1	1	3	3	6	1	1	8
	Phaeophyta	8	5	7	8	7	8	9	8	21
	Rhodophyta	15	9	12	18	23	19	17	15	46
	Subtotal	24	15	20	29	33	33	27	24	75
Tonggae	Chlorophyta	4	2	3	2	3	4	2	2	10
	Phaeophyta	2	5	4	6	7	7	4	5	13
	Rhodophyta	24	16	11	19	12	18	14	14	46
	Subtotal	30	23	18	27	22	29	20	21	69
Yeonpo	Chlorophyta	2	3	1	2	3	5	1	1	5
	Phaeophyta	7	6	2	3	3	7	5	2	13
	Rhodophyta	8	6	5	5	13	9	10	4	28
	Subtotal	17	15	8	10	19	21	16	7	46

를 차지하며 출현빈도가 다른 분류군에 비해서 높게 나타났다. 정점별로는 의항에서 홍조류 평균 출현비율 72.55%로 가장 높았으며, 연포에서 평균 60.87%로 낮은 반면, 갈조류의 출현빈도가 평균 28.26%로 가장 높게 나타났다. 녹조류는 통개에서 높았고 모항에서 낮은 구성비율로 나타났다.

현존량 및 우점종

태안반도 5개 정점의 조간대에 서식하는 해조류의 연평균 생물량은 160.24 g dry wt./m<sup>2</sup>였으며, 의항에서 평균 241.20 g dry wt./m<sup>2</sup>로 많았고, 연포에서 평균 75.65 g dry wt./m<sup>2</sup>로 적었다. 계절별로는 여름에 평균 220.76 g dry wt./m<sup>2</sup>로 많았고, 봄에 평균 110.32 g dry wt./m<sup>2</sup>로 적었다. 조사기간 중 최대 해조류 생물량은 의항에서 2014년 여름에 519.04 g dry wt./m<sup>2</sup>였으며, 최소 생물량은 연포에서 2014년 가을에 19.03 g dry wt./m<sup>2</sup>이었다(Fig. 2). 해조류의 분류군별 생물량 비율은 갈조류가 평균 47.81%로 가장 높았으며, 홍조류 34.17% 그리고 녹조류 18.02%의 순이었다. 녹조류의 생물량 구성비가 가장 높은 정점은 연포에서 평균 48.86%였으며, 갈조류의 구성비율은 통개에서 평균 64.67% 그리고 홍조류의 구성비율이 높은 정점은 학암포에서 평균 57.56% 이었다. 생물량을 바탕으로 판정한 태안

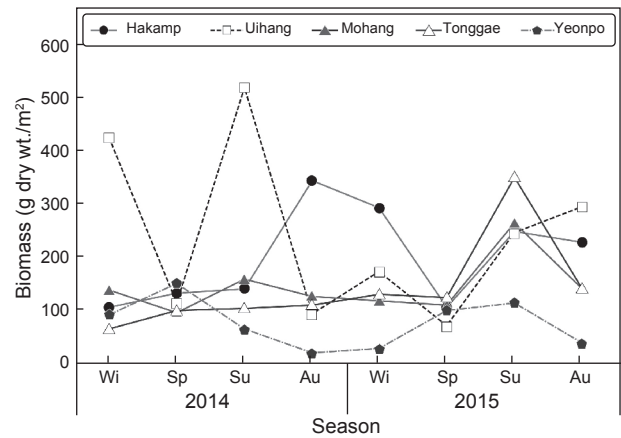


Fig. 2. Seasonal variation of the mean biomass value of algal species in Taean peninsula from winter, 2014 to autumn, 2015.

반도 해조류의 우점종은 지층이(*Sargassum thunbergii*)로 평균 해조류 생물량의 39.11%를 차지하였다. 준우점종으로는 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*, 14.96%)과 구멍갈파래(*Ulva australis*, 10.77%)로 판정되었다. 정점별로는 먼저, 학암포에서 작은구슬산호말(평균 생물량 구성비율 37.84%)이 우점하는 가운데 지층이(27.13%)와 구멍갈파래(14.46%)가 준우점종으로 나타났다. 이후 모든 정점에서 지층이가 생물량 구성의 31.86-61.93%의 비율범위를 차지하며 우점종이었고, 정점에 따라 작은구슬산호말과 구멍갈파래 이외에 진두발(*Chondrus ocellatus*)과 다시마(*Saccharina japonica*) 등이 준우점종이었다(Table 2).

수직분포

평균 피도를 바탕으로 나타난 각 정점별 해조류 수직분포는 다음과 같다(Fig. 3). 먼저, 학암포 조간대 상부 구멍갈파래, 조수웅덩이에서 작은구슬산호말로 대표되며, 중부에는 구멍갈파래, 지층이, 작은구슬산호말 그리고 하부에 구멍갈파래, 지층이, 작은구슬산호말, 진두발, 미끌풀(*Dumontia simplex*)로 대표할 수 있다. 의항은 조간대 상부에 지층이와 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcate*), 중부에 지층이, 불등풀가사리 그리고 진두발, 하부에는 다시마, 작은구슬산호말, 진두발, 구멍갈파래 순으로 나타났다. 모항에서는 상부에 애기우뭇가사리(*Gelidium freshwater*), 지층이, 불등풀가사리, 중부에서 지층이, 툫(*S. fusiforme*), 구멍갈파래, 미끌풀 그리고 하부에 작은구슬산호말, 툫, 구멍갈파래, 지층이, 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*) 순으로 분포하였다. 통개에서는 해조류 수직분포가 비교적 단순하게 나타나서 상부에 지층이와 비단풀(*Ceramium kondoi*), 중부에 지층이와 구멍갈파래 그리고 하부에서 지층이, 진두발, 구멍갈파래, 작은구슬산호말 순으로 나타났다. 연포 조간대 상부에는 납작파래(*U. compress*), 구멍갈파래, 잎파래(*U. linza*)

Table 2. Spatial and temporal patterns of dominant (⊙) and subdominant (△) species in biomass at Taean peninsula from winter, 2014 to autumn, 2015 (Wi, winter; Sp, spring; Su, Summer; Au, Autumn)

Site	Species	2014				2015			
		Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au
Hakampo	<i>Corallina pilulifera</i>	⊙			⊙	⊙	⊙		⊙
	<i>Sargassum thunbergii</i>	△	⊙			⊙		△	⊙
	<i>Ulva australis</i>			⊙				⊙	
	<i>Chondrus ocellatus</i>			⊙				△	
	<i>Gracilaria textorii</i>				⊙				
	<i>Ulva compressa</i>	△							
	<i>Dumontia simplex</i>		△						
Uihang	<i>Sargassum thunbergii</i>	⊙	⊙	⊙	⊙	△	⊙	⊙	⊙
	<i>Saccharina japonica</i>	⊙		⊙		△			
	<i>Chondrus ocellatus</i>			⊙					
	<i>Corallina pilulifera</i>	△				⊙			⊙
	<i>Ulva australis</i>							⊙	
	<i>Gracilaria textorii</i>	△			△				
	<i>Sargassum fusiforme</i>		△						
<i>Gloiopeltis tenax</i>						△			
Mohang	<i>Sargassum thunbergii</i>	⊙	⊙	△			⊙	⊙	⊙
	<i>Dumontia simplex</i>		⊙						
	<i>Chondrus ocellatus</i>			⊙	△			△	
	<i>Corallina pilulifera</i>				⊙	⊙			
	<i>Sargassum fusiforme</i>	△			△	△			
	<i>Neorhodomela aculeata</i>		△						
	<i>Ulva australis</i>			△				△	
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>				△					
<i>Gelidiophycus freshwateri</i>					△				
Tonggae	<i>Sargassum thunbergii</i>	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
	<i>Chondrus ocellatus</i>			⊙		△			
	<i>Gracilaria textorii</i>				⊙	△			
	<i>Sargassum fulvellum</i>	△	△						
	<i>Corallina pilulifera</i>	△							△
	<i>Ulva australis</i>		△					△	
	<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>				△				
<i>Corallina officinalis</i>						△			
Yeonpo	<i>Sargassum thunbergii</i>	⊙	⊙	△				△	⊙
	<i>Ulva australis</i>	△		⊙	⊙			⊙	
	<i>Ulva compressa</i>		△			⊙			
	<i>Pyropia tenera</i>		△			⊙			
	<i>Corallina officinalis</i>						⊙		
	<i>Ulva linza</i>		△						
	<i>Ulva prolifera</i>						△		
<i>Gelidiophycus freshwateri</i>								△	

Dominant species, 30% ≤ biomass proportion; subdominant species, 10% ≤ &lt; 30%.

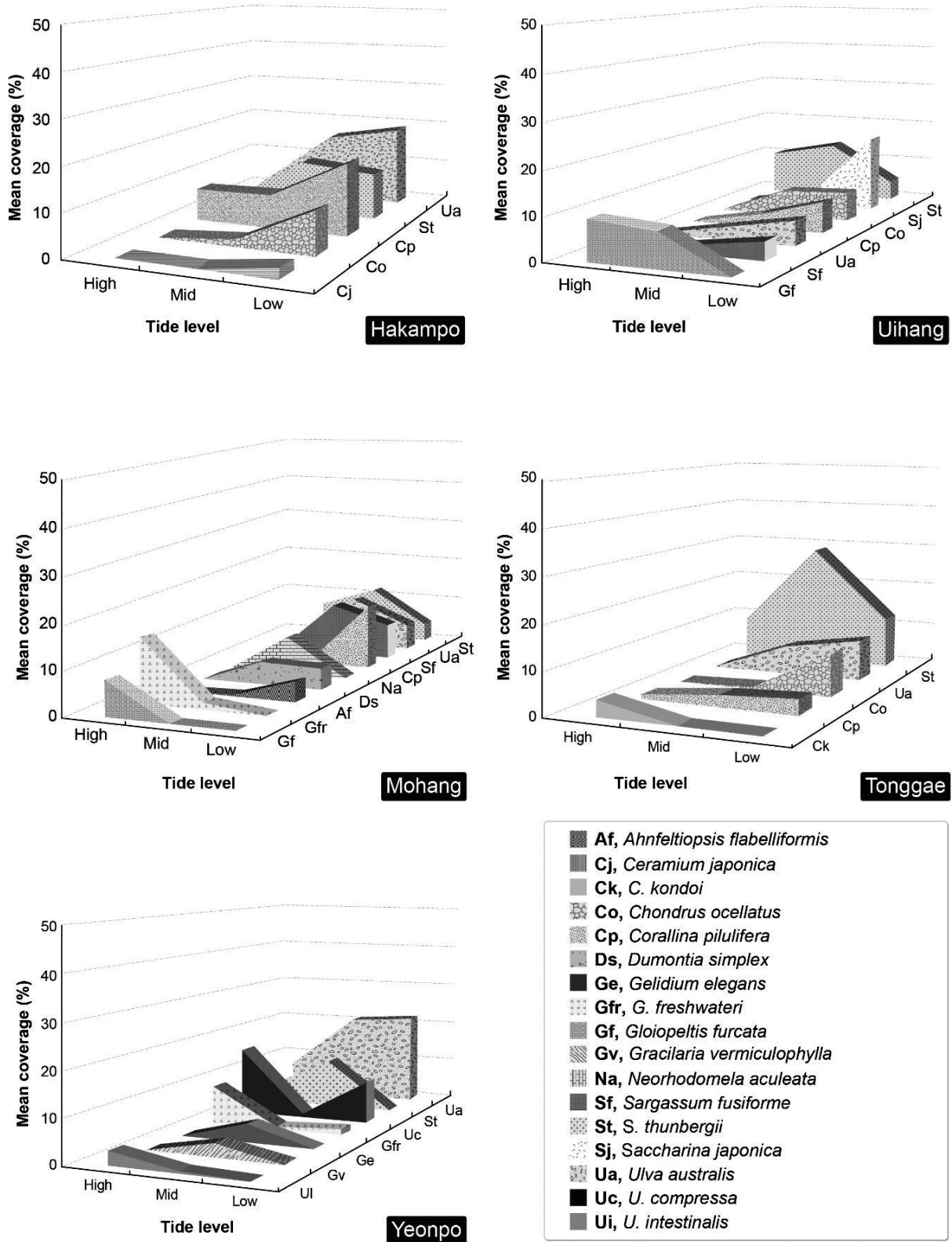


Fig. 3. Vertical algal distribution patterns by mean coverage of five study sites at Taean peninsula.

등 파래류와 함께 애기우뚝가사리, 중부에 구멍갈파래, 지층이, 우뚝가사리(*Gelidium elegans*) 그리고 하부에서 구멍갈파래와 납작파래로 대표되는 분포가 나타났다.

군집지수

태안반도 해조류의 정성과 정량 자료를 바탕으로 분석된 군집지수 중 종다양성지수(H')는 조사기간 평균 1.03으로 의항에서 1.12로 높았고, 연포(0.90)에서 낮았다. 계절별로는 2014년 겨울에 계절 평균 1.32로 높았고, 2015년 가을에 계절 평균 0.76으로 낮았다. 풍부도지수(R)는 조사기간 평균 4.01로 모항(5.01)에서 높았고, 연포(3.21)에서 낮았다. 계절별로는 2015년 봄에 계절 평균 5.95로 높았고, 2014년 여름에 3.06으로 낮았다. 균등도지수(J')는 정점별로 평균 0.33-0.38의 범위 조사기간 평균 0.35로 나타났다. 계절별로는 2014년 겨울에 0.43으로 높았고, 2015년 가을에 0.28로 낮았다. 해조상의 지역적 특성을 나타내는 C/P 값은 평균 0.58(0.38-0.77 범위), R/P 값은 평균 3.28(2.15-4.63 범위) 그리고 (R+C)/P 값은 평균 3.86(2.54-5.38 범위)이었다(Table 3, Fig. 4).

기능형군

성긴분지기형, 다육질형, 유절산호말형 그리고 각상형 해조류가 속하는 ESG I은 전체 출현 해조류 118종 중 78종(66.10%)으로 우세하였으며, 엽상형과 사상형 해조류의 ESG II는 40종(33.90%)으로 적었다. ESG I 그룹에 속하는 해조류 피도는 평균 17.94%로 의항에서 높았고, 연포에서 낮았다. ESG II 그룹의 피도는 평균 17.76%로 연포에서 높고 의항에서 낮았다. 피도를 바탕으로 산출한 생태학적 평가지수(EEI)는 정점 평균 5.93으로 의항에서 가장 높은 7.33이었으며, 연포에서 3.77로 낮았다(Table 4).

고찰

2014년부터 2015년까지 계절별로 태안반도 조간대에서 출현

Table 3. A various community indices of seaweeds at the study site in Taean peninsula

Community indices	Hakampo	Uihang	Mohang	Tonggae	Yeonpo
Diversity index (H')	0.98	1.12	1.06	1.11	0.90
Richness index (R)	3.36	3.70	5.01	4.79	3.21
Evenness index (J')	0.34	0.38	0.33	0.35	0.34
C/P	0.6	0.75	0.38	0.77	0.38
R/P	3.9	4.63	2.19	3.54	2.15
(R+C)/P	4.5	5.38	2.57	4.31	2.54

C, Chlorophyta; P, Phaeophyta; R, Rhodophyta.

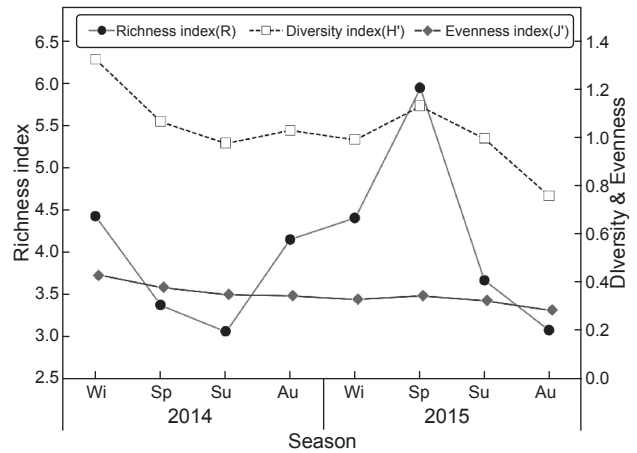


Fig. 4. Seasonal variation of community indices in Taean peninsula from winter, 2014 to autumn, 2015.

한 해조류는 총 118종(녹조류 17종, 갈조류 24종, 홍조류 77종)이었으며, 정점별로 46-85종이었다. 태안반도에서 조사된 자료를 종합해보면 조사정점에 따라 33-91종의 범위로 해조류 출현 종이 조사되었다. 최대 해조류 출현종수는 학암포 북쪽 분점도에서 91종(Yoo and Kim, 2003a)인 반면, 최소 해조류 출현은 안흥에서 33종(Lee and Lee, 1990)이었다(Table 5).

조사정점별로는 분점도를 포함한 학암포 지역에서 본 연구를 포함하여 7번의 연구가 이루어 졌으며, 평균 해조류 출현종수는 61종이었다. 최소 해조류 출현종수는 Yoo et al. (2009)이 보고한 46종이었으며, 본 연구에서는 55종의 해조류가 출현하여 다소 증가하였다. 하지만 Yoo and Kim (2003a)이 보고한 91종에는 턱없이 부족하였고, 최근에 보고된 64종(Heo et al., 2015)보다도 감소하였다. 학암포 북쪽의 분점도는 간조시에 육지와 연결되는 육계도였으나, 현재는 제방도로 건설과 분점도 동측

Table 4. Evaluation of ecological status classes and community stability using ESG based on algal coverage (%) as modified by Orfanidis et al. (2003; 2011)

ESG	Hakampo	Uihang	Mohang	Tonggae	Yeonpo
ESG IA	4.47	12.62	3.93	4.53	0.14
ESG IB	9.18	13.46	16.94	14.98	6.12
ESG IC	13.32	4.26	5.16	2.73	0.36
ESG IIA	3.63	5.23	16.27	4.73	8.41
ESG IIB	15.69	3.25	6.81	5.75	26.67
ESG I	19.80	25.94	20.57	18.15	5.25
ESG II	18.59	7.44	19.82	9.54	33.40
EEI/ESC	6.05/	7.33/	6.00/	6.51/	3.77/
	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Low

IA, thick perennial; IB, thick plastic; IC, shade-adapted plastic; IIA, fleshy opportunistic; IIB, filamentous sheet-like opportunistic.

Table 5. Floristic comparisons of seaweed for several location in Taean peninsula (Wi, winter; Sp, spring; Su, Summer; Au, Autumn)

Locality	Season	C	P	R	Total	Dominant species	Reference
Bunjeomdo (Hakampo)	Su	3	12	44	59	ND	Lee and Lee (1990)
	Wi, Sp, Su, Au	7	9	40	56	ND	Lee et al. (1997)
	Wi, Sp, Su, Au	12	13	66	91	<i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Gloiopeltis furcata</i> , <i>Corallina</i> spp.	Yoo and Kim (2003a)
	Wi, Sp, Su, Au	9	8	37	54	<i>S. thunbergii</i> , <i>Corallina</i> spp.	Yoo and Kim (2003b)
	Wi, Sp, Su, Au	7	3	36	46	<i>Corallina</i> spp., <i>S. thunbergii</i>	Yoo et al. (2009)
Hakampo	Wi, Sp, Su, Au	6	12	46	64	<i>Corallina pilulifera</i> , <i>S. thunbergii</i> , <i>Ulva australis</i>	Heo et al. (2015)
	Wi, Sp, Su, Au	6	10	39	55	<i>C. pilulifera</i> , <i>S. thunbergii</i>	This study
Maoe	Wi, Sp, Su, Au	11	12	52	75	<i>Corallina</i> spp., <i>Gloiopeltis furcata</i> , <i>S. thunbergii</i>	Yoo and Kim (2003a)
	Wi, Sp, Su, Au	7	7	35	49	<i>Neorhodomela aculeata</i> , <i>Corallina</i> spp., <i>G. furcata</i>	Yoo and Kim (2003b)
Uihang	Su	5	15	42	42	ND	Lee and Lee (1990)
	Wi, Sp, Su, Au	7	7	35	49	ND	Lee et al. (1997)
	Wi, Sp, Su, Au	6	15	57	78	<i>S. thunbergii</i> , <i>U. australis</i>	Oh and Lee (1998)
	Su	6	11	45	62	<i>S. thunbergii</i> , <i>Corallina</i> spp.	Kim et al. (1995)
	Wi, Sp, Su, Au	6	8	37	51	<i>S. thunbergii</i> , <i>C. pilulifera</i> , <i>Saccharina japonica</i>	This study
Baekripo	Sp	3	5	30	38	ND	Lee (2004)
Chollipo	Su	9	18	31	58	<i>S. thunbergii</i>	Kim et al. (1995)
Manripo	Su	2	11	24	37	ND	Lee and Lee (1990)
Oundol	Su	7	18	36	61	ND	Lee and Lee (1990)
Mohang	Su	5	15	24	44	ND	Lee and Lee (1990)
	Su	8	15	23	46	<i>S. thunbergii</i> , <i>Corallina</i> spp.	Kim et al. (1995)
	Wi, Sp, Su, Au	8	21	46	85	<i>S. thunbergii</i> , <i>C. pilulifera</i>	This study
Padori	Wi, Sp, Su, Au	11	21	62	94	<i>Silvetia siliquosa</i> , <i>S. thunbergii</i>	Lee and Chang (1989)
	Wi, Sp, Su, Au	9	16	42	67	<i>C. pilulifera</i>	Lee et al. (1997)
	Wi, Sp, Su, Au	6	15	29	50	<i>C. pilulifera</i>	Lee et al. (2000)
	Wi, Sp, Su, Au	3	13	28	44	ND	Lee (2003)
	ND	3	13	28	44	<i>S. thunbergii</i>	Lee and Lee (2004)
	Su	3	7	26	37	<i>C. pilulifera</i>	Yoo et al. (2007)
Tonggae	Wi, Sp, Su, Au	10	13	46	69	<i>S. thunbergii</i>	This study
Yeonpo	Su	7	10	22	39	ND	Kim et al. (1995)
	Wi, Sp, Su, Au	5	13	28	46	<i>S. thunbergii</i> , <i>Ulva australis</i>	This study
Anhung	Su	3	7	23	33	ND	Lee and Lee (1990)

C, Chlorophyta; P, Phaeophyta; R, Rhodophyta; ND, No data.

에 제방이 건설되어 과거의 지형과는 큰 차이가 있다. Yoo and Kim (2003a)의 연구는 1987년의 조사를 바탕으로 보고하였으며, 이때 분점도는 자연적인 육계사주로 연결되었던 지형인 반면, 본 연구는 지형변화가 크게 나타난 이후의 연구결과로 지형 변화에 따라 해조상의 변화가 나타난 것으로 사료된다.

학암포 남쪽의 마외에서는 평균 62종의 해조류 출현이 보고

되어(Yoo and Kim, 2003a; 2003b) 본 연구에서 나타난 정점별 평균 해조류 출현종수 59종과 유사하였다. 의항에서 5번의 연구보고를 통해 평균 56종의 해조류가 출현하는 것으로 나타났으며, 최대 78종(Oh and Lee, 1998), 최소 42종(Lee and Lee, 1990)의 해조류 출현이 확인되었다. 모항에서는 44-46종(Lee and Lee, 1990; Kim et al., 1995)의 해조류 출현이 보고된 것에

비해 본 연구에서는 상당히 증가한 85종의 해조류 출현이 확인되었다. 과거의 조사가 해조류 생육이 저조한 여름에 실시되어 본 조사보다 출현종수가 적은 것으로 판단된다. 파도리에서는 94종(Lee and Chang, 1989)의 해조류가 보고된 이후 지속적으로 출현종수의 감소가 나타났는데, Yoo et al. (2007)은 관광객 증가에 따른 간섭을 원인으로 주목하였고, 현재도 숙박시설 등 주변 환경변화가 지속되고 있는 실정이다. 파도리 인근의 통계에서는 본 연구를 통해 69종의 해조류가 나타났으며, 이는 파도리에서 67종을 보고한 Lee et al. (1997)과 비슷한 수준이었다. 연포에서는 과거 하계에 조사된 39종(Kim et al., 1995)보다 다소 증가한 46종이 출현하였다. 조사지역을 포함한 서해안은 일반적으로 탁도가 높고 암반이 굴 껍질로 덮여 있어 부착할 기질이 부족하여 해조류 출현종수가 적으며, 해조상은 남북의 위도에 의한 차이보다는 내해와 외해 즉, 동서로 구분된다고 알려 졌다(Koh and Lee, 1982; Lee and Lee, 1990; Kim et al., 1995). 이는 탁도의 차이로 탁도가 높은 내해보다는 외해에서 해조상이 풍부한 것을 대변하고 있으며, 이런 결과는 일부 남해안에서도 확인되었다(Ahn et al., 2014).

태안반도 조간대 해조군집의 우점종은 지층이와 작은구슬산호말로 대표할 수 있다(Table 2). 정점에 따라 구멍갈파래, 불등풀가사리 등이 우점종으로 출현하지만, 지층이와 작은구슬산호말의 우점적 생육은 지속되었으며, 이는 서해안 중부와 남해안에서도 공통적으로 나타났다(Kim et al. 1995; Lee et al., 2000; Oh et al., 2015; Oh et al., 2016). Lee and Chang (1989)은 파도리, Kim et al. (1995)은 안면도지역(방포한, 장고도, 고대도) 그리고 Kim and Lee (1985)는 무창포에서 뜬부기(*Silvetia liquosa*)를 우점종으로 보고하였으나, Lee and Lee (2004)는 파도리, Hwang et al. (2015)은 남해안과 서해안 연안에서 뜬부기의 쇠퇴를 보고하였다. 뜬부기 쇠퇴의 원인이 불분명 함으로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서 의항 지역 우점종으로 다시마가 나타났는데, Lee (2003)는 파도리의 미역(*Undaria pinnatifida*)과 다시마는 해류를 타고 중국에서 기인한 것으로 판단하였고, Baek et al. (2007)은 1990-1997년 사이에 서해안 중부지역에서 다시마 생육이 시작되었음을 추정하였다. 현재는 태안반도 일대를 포함한 서해안 지역에서 미역과 다시마가 다수 양식되고 있어 이들의 기원을 밝히기 어려운 실정이다.

해조군집은 급변하는 환경에서 빠른 증가를 보이는 r-전략의 계절형 출현종 보다는 일년생 내지 다년생의 K-전략 종들이 증가하는 즉, 안정적인 군집으로 천이단계가 진행된다고 Littler and Littler (1984)가 제안하였다. Lee et al. (1997; 2000)도 파도리에서 일년생 혹은 다년생 해조류가 증가함을 확인하였다. Orfanidis et al. (2001; 2003; 2011)는 이러한 해조군집의 특성을 이용하여 해조류가 서식하는 환경상태를 평가하고자 생태학적상태지수(EEI)를 제시하였고, EEI 값 6을 기준으로 높으면 양호하거나 매우 양호한 것으로 판정하였고, 낮은 경우 생

태계 복원이 필요하다고 평가하였다. 이를 활용하여 Yoo et al. (2007)은 태안반도 파도리에서 2.29, 마섬 0.89, 채석포 0.80, 꽃지 1.01 그리고 바람아래 0.85 등 EEI 값을 구하였고, 태안반도 해역의 해조군집은 안정도가 낮고 서식환경이 매우 불리한 것으로 판정하였다. 반면에 Oh et al. (2016)은 국내 해양국립공원의 생태학적 평가를 통해 통계 EEI 값 5.70, 변산 하섬 5.15 등 해양국립공원의 해조류 생육환경이 보통(moderate)임을 확인하였다. 연포에서 EEI 값이 3.77로 낮았고, Kim et al. (1995)도 연포에서는 생물량을 측정할만한 해조 식생을 발견하지 못하였음을 밝히고 있어 백사장이 발달하고 암반이 적은 연포 지역은 해조류 생육이 매우 열악함을 확인하였다. 연포를 제외한 태안반도 조사정점에서는 EEI 값이 6.00-7.33으로 해조류 생육환경은 보통 상태로 판단된다.

해조군집의 수평분포 특징을 파악하기 위한 해조류 분류군별 출현종수 비율은 C/P 값이 0.4-1.5이면 한대에서 아열대지역(Segawa, 1956), R/P 값이 1.1-4.3이면 한온대에서 열대지역(Feldmann, 1937), (R+C)/P 값이 3 이하는 온대성 내지 한대성, 6 이상이면 열대성 해조상 그리고 3-6이면 혼합형 해조상의 특징으로 판단하였다(Cheney, 1977). Oh and Lee (1998)와 Lee (2003)는 파도리의 해조상을 혼합형 해조상으로 판단한 반면, Lee et al. (1997)은 온대성에 가까운 혼합형 해조상으로 Lee et al. (2000)은 한온대의 해조상으로 판단하였다. 본 연구에서는 C/P 0.38-0.77, R/P 2.15-4.63 그리고 (R+C)/P 2.54-5.38의 범위로 나타나 태안반도 해조상은 온대성에 가까운 혼합형 해조상으로 볼 수 있다.

*Hebei spirit*호 유류유출 사고 이전과 현재의 태안반도 해조군집 변화는 크지 않은 것으로 판단된다. Heo et al. (2015)은 유류피해가 가장 심했던 학암포지역의 사고 전후 연구를 통해 사고 3년 후인 2010년에는 해조군집구조가 안정되고 있다고 판단하였다. 하지만, 해조류 생물량은 1987년 분점도 평균 144.11 g dry wt./m<sup>2</sup> (Yoo and Kim, 2003a)과 1993년 평균 355.06 g dry wt./m<sup>2</sup> (Yoo and Kim, 2003b)보다 생물량이 감소한 75.81-102.06 g dry wt./m<sup>2</sup>를 보고하며 해조군집의 양적 회복은 미흡함을 보고하였다. 그러나 본 연구에서 분점도 해조류의 생물량은 106.04-343.61 g dry wt./m<sup>2</sup>의 범위, 조사기간 평균 199.70 g dry wt./m<sup>2</sup>로 과거의 수준으로 회복된 것으로 사료된다. 따라서 유류유출 사고 이후 태안반도 해조군집의 회복이 비교적 빠르게 나타나 해조류 출현 종수, 생물량 그리고 우점종 등에 별다른 변화가 없었으며, 해조군집의 생육환경이나 수평분포 특성도 과거와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 평가 된다. 하지만 연안환경이 급변하고 장기적인 기후변화 등이 태안반도 해조군집에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 국내 대표적인 관광지이며, 해양보호구역인 태안반도국립공원 지역의 해조류 서식지 보호를 위해서 장기적인 추적과 보전관리방안의 마련이 필요하다.



## 사 사

이 논문은 2015년도 충북대학교 학술연구지원사업의 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

- Abbott TA and North WJ. 1971. Temperature influences on floral composition in California coastal waters. Proc Intl Seaweeds Symp 7, 72-79.
- Ahn JK, Oh JC, Kim BK and Jeong JB. 2014. Characteristic of marine algal community in island on the Hallyohaesang national park, southern coast of Korea. J NP Res 5, 209-218.
- Baek JM, Hwang MS, Lee JW, Lee WJ and Kim JI. 2007. The macroalgal community of Bagryoungdo island in Korea. Algae 22, 117-123. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2007.22.2.117>
- Cheney DP. 1977. R & C/P - A new and improved ratio for comparing seaweed floras. Suppl J Phycol 13, 129.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alberes. Rev Algol 10, 1-339.
- Fowler J and Cohen C. 1990. Practical Statistics for Field Biology. John Wiley and Sons, New York, USA. 1-227.
- Heo JS, Han SJ, Choi HG and Nam KW. 2015. A study on long-term monitoring of seaweed flora and community structure at Hakampo, western coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 48, 969-976. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0969>
- Hong SJ, Khim JS, Ryu JS, Kang SG, Shim WJ and Yim UH. 2014. Environmental and ecological effects and recoveries after five years of the Hebei Spirit oil spill, Taean, Korea. Ocean Coast. Manage. 102, 522-532. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.01.006>
- Hwang EK, Yoo HC, Ha DS and Park CS. 2015. Growth and maturation period of *Silvetia siliquosa* in the natural population in Jindo, south Korea. Korean J Fish Aquat Sci 48, 745-751. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0745>
- Janiak DS and Whitlatch RB. 2012. Epifaunal and algal assemblages associated with the native *Chondrus crispus* (Stackhouse) and the non-native *Grateloupia turuturu* (Yamada) in eastern Long Islands Sound. J Exp Mar Biol Ecol 413, 38-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2011.11.016>
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull Pusan Fish Coll 7, 1-136.
- Kim HS, Boo SM, Lee IK and Sohn CH. 2013. National List of Species of Korea [Marine Algae]. Lee SP, Incheon, Korea, 1-336.
- Kim YD, Ahn JK, Nam MM, Lee C, Yoo HI, Yeon SY, Kim YH, Kim JK and Choi JS. 2016. Characteristics of algal succession following rock scraping at Imwon area in the east coast of Korea. J Ocean Univ China 15, 1087-1093. <https://dx.doi.org/10.1007/s11802-016-2743-0>
- Kim YH and Lee IK. 1985. The structure analysis of intertidal algal community in Muchangpo, western coast of Korea. Korean J Bot 28, 149-164.
- Kim YH, Nam KW and Sohn CH. 1997. Intertidal benthic marine algae at Chumunjin on the east coast Korea: Flora, distribution and community structure. Algae 12, 117-130.
- Kim YH, Yoon HJ and Yoo JS. 1995. Species composition and biomass of marine algal community on the mid-western coast of Korea. J Plant Biol 38, 389-398.
- Koh CH and Lee HB. 1982. Distributional pattern of macroalgae in coast of Deogjeog island. Rep Surv Natur Environ Korea 1, 229-248.
- Lee HB and Chang RH. 1989. A qualitative and quantitative analysis of seasonal change of an algal community at Padori of Tae-an peninsula, west coast of Korea. Korean J Phycol 4, 19-40.
- Lee HB and Lee JW. 2004. Change patterns of marine benthic algal community in Taean peninsula, west coast of Korea. J Ind Sci Res Chongju Unive 22, 51-55.
- Lee HB. 2004. A spring intertidal flora of Baekripo in Tae-an peninsula, west coast of Korea. J Ind Sci Res Chongju Unive 21, 73-80.
- Lee IK and Lee HB. 1982. A study on the algal vegetation in Garolim bay, western coast of Korea. Bull KACN 4, 325-337.
- Lee JW. 2003. Marine benthic algal flora and community of Taean peninsula, west coast of Korea. J Ind Sci Res Chongju Unive. 21, 53-56.
- Lee JW and Lee HB. 1990. A distribution of marine algae in Taean peninsula, west coast of Korea. J Ind Sci Res Chongju Unive 8, 245-257.
- Lee JW, Oh BG and Lee HB. 1997. Marine algal flora and community of Padori area in the Taean peninsula, the west coast of Korea. Algae 12, 131-138.
- Lee JW, Oh BG and Lee HB. 2000. Marine benthic algal community at Padori, west coast of Korea. Algae 15, 111-117.
- Littler MM and Littler DS. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system. J Exp Mar Biol Ecol 74, 13-34. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(84\)90035-2](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(84)90035-2)
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Systematics 3, 36-71.
- Oh BG and Lee HB. 1998. Marine algal flora and community of Uihang in Tae-an peninsula, western coast of Korea. Korean J Environ Biol 16, 181-192.
- Oh JC, Ahn JK, Kim CD, Jeong JB and Choi HJ. 2015. Seasonal variations in the macroalgal flora and community structure in Hallyeohaesang national park on the south coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 48, 768-775. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0768>
- Oh JC, Choi HG, Kim CD and Ahn JK. 2016. Ecological evaluation of marine national parks based on seaweed community index. Korean J Fish Aquat Sci 49, 385-392. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0385>

- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: A marine benthic macrophytes-based model. *Mediterr Mar Sci* 2, 45-65. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.266>
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2003. An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecol Indic* 3, 27-33. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(03\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(03)00008-6)
- Orfanidis S, Panayotidis P and Ugland KI. 2011. Ecological evaluation index continuous formula (EEI-c) application: a step forward for functional groups, the formula and reference condition values. *Medit Mar Sci* 12, 199-231. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.60>
- Padilla DK and Allen BJ. 2000. Paradigm lost : reconsidering functional form and group hypotheses in marine ecology. *Exp Mar Biol Ecol* 250, 207-221. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00197-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00197-0)
- Perkol-Finkel S, Ferrario F, Nicotera V and Airoidi L. 2012. Conservation challenges in urban seascapes: Promoting the growth of threatened species on coastal infrastructures. *J Appl Phycol* 49, 1457-1466. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02204.x>
- Satheesh S and Wesley SG. 2012. Diversity and distribution of seaweeds in the Kudankulam coastal waters, south-eastern coast of India. *Biod J* 3, 79-84.
- Schermer H, Horta PA, de Oliveira EC, Simonassi JC, Hall-Spencer JM, Chow F, Nunes JMC and Pereira SMB. 2013. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Mar Pollut Bull* 76, 106-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.019>
- Segawa S. 1956. *Colored Illustrations of the Seaweeds of Japan*. Osaka, Pub. Co., LTD. Osaka, Japan.
- Steneck RS and Dethier MN. 1994. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos* 69, 476-498. <http://dx.doi.org/10.2307/3545860>
- Wells E, Wilkinson M, Wood P and Scanlan C. 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 Pollut Bull* 55, 151-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.031>
- Whitaker SG, Smith JR and Murray SN. 2010. Reestablishment of the southern California rocky intertidal brown alga, *Silvetia comperessa*: An experimental investigation of techniques and abiotic and biotic factors that affect restoration success. *Restor Ecol* 18, 18-26. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00717.x>
- Yoo HI, Lee JH, Lee KH, Baek SH, Heo YB, Noh HS and Choi HG. 2007. Summer marine algal floras and community structures in Taean peninsula. *Korea. J Kor Fish Soc* 40, 210-219. <https://dx.doi.org/10.5657/kfas.2007.40.4.21>
- Yoo HI, Park HH and Choi HG. 2009. Marine algal floras and community structure in the vicinity of the Taean power plant in Korea. *Korea J Fish Aquat Sci* 42, 387-394. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2009.42.4.387>
- Yoo JS and Kim YH. 2003a. Community dynamics of the benthic marine algae in Hakampo, the western coast of Korea. *Korean J Environ Biol* 21, 428-438.
- Yoo JS and Kim YH. 2003b. Ecological study of the marine algal community at the coast of Taean thermal power plant, Korea. *Algae* 18, 311-320. <https://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2003.18.4.311>