

한국 서해안 학암포 해조상 및 군집구조의 장기모니터링 연구

허진석 · 한수진 · 최한길* · 남기완¹

원광대학교 생명과학부/기초자연과학연구소, ¹부경대 자원생물학과

A Study on Long-term Monitoring of Seaweed Flora and Community Structure at Hakampo, Western Coast of Korea

Jin Suk Heo, Su Jin Han, Han Gil Choi* and Ki Wan Nam¹

Faculty of Biological Science and Institute for Basic Science, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

¹Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Macroalgal community structure was seasonally examined at Hakampo (Taeon) in western coast of Korea from February 2007 to October 2010. Also, the effects of “Hebei Spirit” oil spill on the seaweed community structure were evaluated. A total of 101 macroalgal species were identified, comprising 12 green, 18 brown and 71 red algae. Species richness ranged 58–65 species with maximal in 2008 and minimal in 2009. Seaweed biomass ranged 75.81–102.06 g dry wt./m² (mean, 88.78 g/m²) with maximal in 2008 and minimal in 2010. Vertical distribution from the high to low intertidal zone was *Neorhodomela aculeata* and *Polyopes affinis*; *Corallina pilulifera* and *Chondrus ocellatus*; *Sargassum thunbergii* and *Ulva australis*. Coarsely-branched seaweeds comprised the highest proportion of biomass (37.17 g/m², or 41.86% of the total biomass) and ecological state group I (ESG I) seaweed biomass was between 81.67–85.44%. Also, ephemeral macroalgae including *Ulva* species sharply increased in species number and biomass within 1–2 year from the “Hebei Spirit” oil spill in the mid and low intertidal zone. Hakampo rocky shore is still good condition as evaluated based on macroalgal species number, biomass, and composition in functional form and ESG I seaweeds.

Key words: Biomass, Hakampo, Oil spill, Seaweed, Vertical distribution

서론

해조류는 암반 부착생물이며 연안생태계의 일차생산자로서 어패류와 갑각류의 먹이장, 은신장 및 산란장을 제공하는 생태적으로 중요한 기능을 수행하고 있다(Haglund et al., 1996; Tribollet and Vroom, 2007; Whitaker et al., 2010). 또한, 해조류가 생물·무생물적 환경스트레스(교란, 퇴적, 생활하수 유입)에 노출되면 종다양성, 생물량 및 피도, 그리고 홍조류와 갈조류의 출현종수가 감소되고, 반면에 기회종인 녹조류의 출현종수와 생물량 비율이 증가되는 특성을 보이기 때문에 생물지표자(biological indicator)로 이용되고 있다(Orfanidis et al., 2001; Arévalo et al., 2007; Pinedo et al., 2007; Wells et al., 2007; Scherner et al., 2013).

온대해역에서 서식하는 해조류의 군집구조는 계절변화와 장

기간에 일어나는 천이(succession)에 따른 변화가 동시에 발생하므로 장기적인 모니터링을 통한 지속적인 관찰 및 연구가 필요하다(Spellerberg, 1991; Lee et al., 2009). 하지만, 우리나라 연안에서 수행된 해조류 군집구조에 대한 연구는 대부분 1-2년의 단기 연구인데, 장기연구는 해조군집의 변화과정을 파악하고 예상하지 못하는 각종사고(예, 유류오염)가 발생하였을 때 해조군집에 미치는 영향 및 변화를 파악할 수 있다. 해조류 군집구조와 환경을 살펴보면, 교란이 없는 안정된 해역에서는 경쟁종(다년생 해조류)이, 교란(부영양화, 퇴적물 증가 등)이 증가된 곳에서는 스트레스내성종이, 그리고 심각한 환경스트레스 해역에서는 일년생 기회종(갈파래류, 대마디말류, 염주말류 등)이 우점하며(Díez et al., 1999; Arévalo et al., 2007; Wells et al., 2007), 환경스트레스 강도와 군집구조의 변화는 밀접한 관련이 있으며(Fujita, 1985; Orfanidis et al., 2001, 2003), 계절에

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0969>



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 48(6) 969-976., December 2015

Received 27 October 2015; Revised 24 December 2015; Accepted 24 December 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 63. 850. 6579 Fax: +82. 63. 857. 8837

E-mail address: hgchoi@wku.ac.kr

따른 수온에 따라 갈파래 풍도(abundance)도 영향을 받는다고 하였다(Anderson et al., 1996).

또한, 해조류는 형태, 내부구조, 광합성 및 초식자의 섭식에 대한 생존전략에 따라 다육질형, 유절산호말형, 각상형, 성긴분기형, 엽상형, 사상형의 6개 그룹으로 구분되었으며(Littler and Littler, 1984; Steneck and Dethier, 1994; Padilla and Allen, 2000), 이들 그룹을 다시 생태학적상태그룹(Ecological State Group)인 ESG I(성긴분기형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형)과 EGS II(엽상형, 사상형)로 분류하였다(Orfanidis et al., 2003, Arévalo et al., 2007). 어떤 해역의 해조 군집에서 ESG I에 속하는 해조류의 풍도(피도, 생물량)가 높으면 환경스트레스가 낮은 안정된 해역이고, ESG II에 속하는 해조류가 번무하면 오염된 지역으로 판정하였다. 연구기간 중 2007년 12월에 충남 태안군 만리포 북서방 10 km 해안에서 “Hebei Spirit” 호의 원유 유출사고가 발생하였다. 유출된 원유는 12,547 톤(Kim, 2008)으로 해조상에 영향을 미치는 중요한 스트레스 요인으로서 해조류의 군집구조에 커다란 변화가 있을 것으로 예견되어 본 연구에서는 유류사고 전(before)과 후(after)의 해조류의 종조성, 생물량, 기능형군 및 ESG 그룹 변화를 비교 및 분석하여 유류오염이 해조류의 군집구조에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

해조류는 충청남도 태안군 원북면에 위치한 학암포 해수욕장 북쪽의 암반 조간대에서(Fig. 1) 2007년 2월부터 2010년 10월 까지 계절별로 16회 정량 및 정성 채집되었다. 정량 채집은 간조때 정점을 대표하는 해조상과 생물량을 보이는 곳을 선정하여 방형구(50 cm × 50 cm)를 조간대 상, 중부 및 하부 각각 3

개씩 무작위로 놓고 방형구내의 모든 해조류를 끝갈로 전량 채집하였다. 해조상을 파악하기 위해서는 정량샘플에 포함되지 않은 해조류까지 정성 채집하였다. 샘플은 현장에서 포르말린-해수 용액(5-10%)으로 고정시켜 실험실로 운반하여 Lee and Kang (2002)의 분류체계를 기준으로 출현종 목록 및 국명을 정리하였다. 해조류의 기능형은 출현종의 형태 및 내부구조에 따라 6개 기능형 그룹으로 구분되었으며(Littler and Littler, 1984; Steneck and Dethier, 1994; Padilla and Allen, 2000), 다시 ESG I과 EGS II로 분류하였다(Orfanidis et al., 2003, Arévalo et al., 2007).

정량 채집된 해조류는 담수로 수회 세척하여 모래 및 불순물을 제거하고 동정한 후 60℃로 세팅된 건조기에서 10일간 건조하여 생물량(g dry wt./m²)으로 환산하였다. 해조류 평균 생물량과 출현종수를 근거로 하여 풍도지수(richness index, R), Shannon's 다양도지수(diversity index, H')와 균등도지수(evenness index, J), 우점도지수(dominance index, DI)는 이전 연구자와 동일하게 계산하였다(Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Fowler and Cohen, 1990; Lee et al., 2007). 군집지수의 산출 및 유사도 분석(Bray and Curtis, 1957)은 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)을 사용하였으며 유사도 분석에 따른 각 그룹의 유의차는 SIMPROF (similarity profile) tests를 실시하여 검정하였다.

결 과

종조성 및 유사도 분석

학암포 해안에서 연구기간에 수행된 16회의 계절별 채집에서

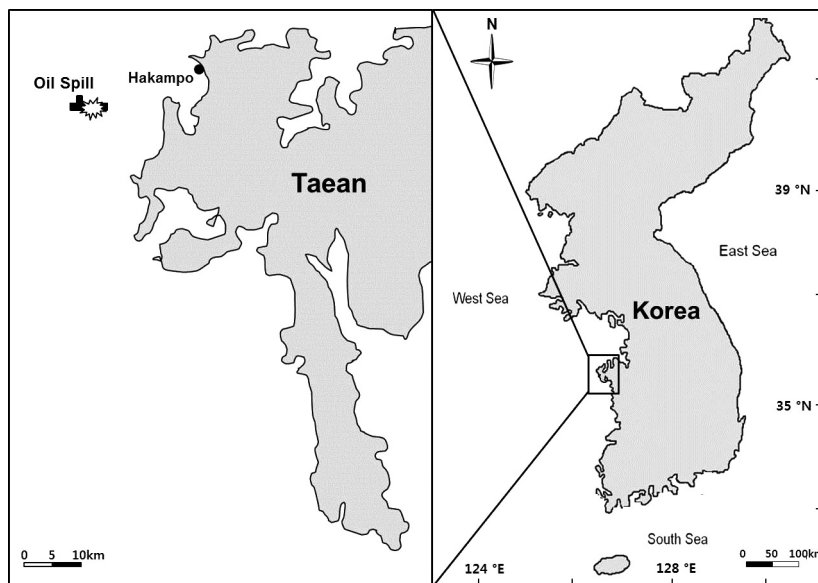


Fig. 1. Location of the oil spill site and Hakampo (Taeon) in western coast of Korea.

Table 1. Seasonal variations in the number of macroalgal species occurred at Hakampo, western coast of Korea from February 2007 to October 2010

Taxon	2007					2008					2009					2010				
	Feb.	May	Aug.	Oct.	Total	Feb.	May	Aug.	Oct.	Total	Feb.	May	Aug.	Oct.	Total	Feb.	May	Aug.	Oct.	Total
Green	5	3	5	4	8	3	4	4	7	8	5	3	6	5	8	3	3	3	3	6
Brown	5	3	4	4	10	2	5	8	5	11	3	4	8	4	10	4	7	4	4	12
Red	26	25	29	31	42	26	29	29	25	46	28	24	28	26	40	23	24	25	25	46
Total	36	31	38	39	60	31	38	41	37	65	36	31	42	35	58	30	34	32	32	64

해조류 출현종은 101종(녹조 12, 갈조 18, 홍조 71종)이었으며, 구성비는 홍조류(70.30%)가 최대였고 갈조류(17.82%)와 녹조류(11.88%)의 순서였다. 연도별 해조류 출현종수는 58-65종으로 2009년에 최소였고 유류사고 직후인 2008년에 최대였다. 연구기간 계절별 출현종수는 2월(겨울)에 58종이었으며, 5월(봄)에 63종, 8월(여름)에는 59종, 10월(가을)에 65종으로서 가을에 최대였고 겨울에는 최소였다(Table 1).

유류사고 발생(2007년 말)전과 후의 해조류 출현종수를 보면, 사고 이전인 2007년에는 60종(녹조 8, 갈조 10, 홍조 42종)이었고, 2008년에는 65종(녹조 8, 갈조 11, 홍조 46종)으로 유류사고 전에 비해 갈조류와 홍조류가 증가하였다. 연구기간 5년 동안에 수행된 16회의 샘플에서 모두 출현한 종은 7종(지층이, 우뚝가사리, 작은구슬산호말, 까막살, 진두발, 잔금분홍잎, 새빨간검둥이)이었고, 15회 출현한 종은 4종(개지누아리, 비단풀, 누은분홍잎, 참보라색우무)으로 확인되었다.

해조류의 연도별 출현종의 유·무로 유사도를 분석하면, 3개 그룹으로 구분되었고(Fig. 2), 그룹A(2007년)와 그룹B(2008·2009년)의 유사도는 71.59%였고 그룹A·B와 그룹C(2010년) 사이의 유사도는 68.83%로 유의차를 보였다($P < 0.05$).

생물량

학ampo 해안에서 연구기간 동안 해조류의 평균 생물량(g dry wt./m²)은 88.78 g 이었고, 연도별 평균 생물량은 75.81-102.06 g으로 2008년에 최대였고 2010년에 최소였다. 연구기간에 홍조류의 생물량은 63.14-83.06 g으로 녹조류(6.04-13.11 g), 갈

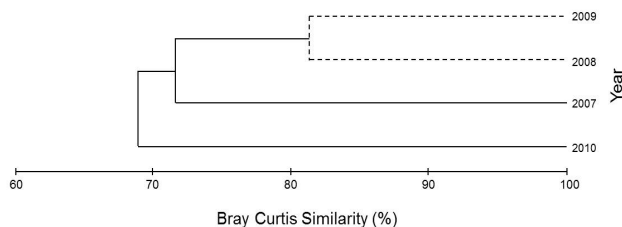


Fig. 2. Results of cluster analysis performed on Bray Curtis Similarity using presence/absence date of occurred at Hakampo, western coast of Korea during the study period.

조류(5.67-11.82 g)에 비해 높았으며, 평균 생물량은 홍조류가 71.21 g로 최대였고 녹조류(9.00 g)와 갈조류(8.56 g)의 순서를 보였다. 특히, 녹조류의 생물량은 유류사고가 발생 전인 2007년의 6.04 g에서 2008년에는 약 2배 이상 증가한 13.11 g으로 피크(peak)를 보인 후 점진적인 감소를 보였다(Fig. 3). 유류오염 이후 홍조류 진두발과 참보라색우무의 생물량 감소(2007년)와 작은구슬산호말의 생물량 감소(2009, 2010년)는 홍조류의 생물량 급감과 밀접하게 관련되었다(Fig. 3).

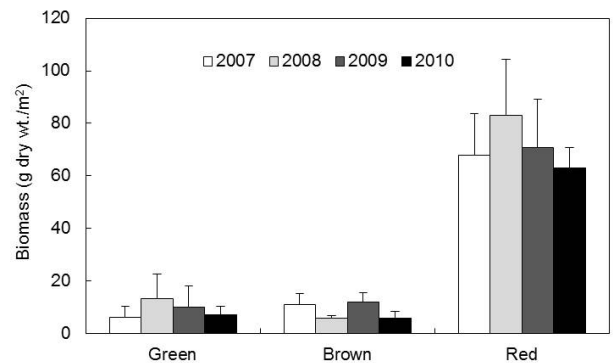


Fig. 3. Seaweed biomass (g dry wt./m²) of each taxon group occurred at Hakampo, western coast of Korea during the study period.

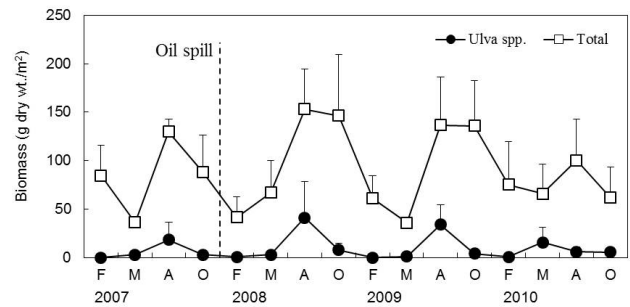


Fig. 4. Vertical distribution of dominant seaweeds in average biomass (g dry wt./m²) at Hakampo, western coast of Korea during the study period.

Table 2. Vertical distribution of dominant species (> 7.00 g in biomass) based on annually-averaged biomass (g dry wt./m²) at Hakampo, western coast of Korea from February 2007 to October 2010

Tidal level	2007	2008	2009	2010	
High	<i>Polyopes affinis</i> (16.01)	<i>P. affinis</i> (15.66)	<i>P. affinis</i> (10.75)	<i>N. aculeata</i> (14.38)	
	<i>Gelidium amansii</i> (15.37)	<i>N. aculeata</i> (8.48)	<i>N. aculeata</i> (10.48)	Other species (13.75)	
	Other species (21.38)	Other species (18.13)	<i>Hypnea charoides</i> (7.50) Other species (14.75)		
Total	52.76	42.27	43.47	28.13	
Mid	<i>Corallina pilulifera</i> (81.42)	<i>C. pilulifera</i> (80.74)	<i>C. pilulifera</i> (33.59)	<i>C. pilulifera</i> (49.51)	
	<i>Chondrus ocellatus</i> (7.25)	<i>C. ocellatus</i> (9.86)	<i>C. ocellatus</i> (15.75)	<i>C. ocellatus</i> (13.35)	
	Other species (21.82)	Other species (18.47)	<i>C. officinalis</i> (11.60) <i>Ulva australis</i> (9.09) Other species (17.87)	Other species (14.06)	
	Total	110.50	109.08	87.90	76.92
Low	<i>Corallina pilulifera</i> (37.37)	<i>C. ocellatus</i> (47.10)	<i>C. pilulifera</i> (39.69)	<i>C. pilulifera</i> (40.29)	
	<i>Sargassum thunbergii</i> (26.89)	<i>C. pilulifera</i> (40.96)	<i>C. ocellatus</i> (34.29)	<i>C. ocellatus</i> (32.14)	
	<i>Ulva australis</i> (18.12)	<i>U. australis</i> (34.79)	<i>S. thunbergii</i> (26.81)	<i>U. linza</i> (10.64)	
	Other species (8.68)	<i>S. thunbergii</i> (10.77) <i>Pyropia tenera</i> (7.87) Other species (13.35)	<i>U. australis</i> (18.97) <i>S. latiuscula</i> (8.97) <i>Saccharina japonica</i> (7.27) Other species (10.05)	<i>S. thunbergii</i> (8.78) <i>P. tenera</i> (7.20) Other species (23.35)	
	Total	91.07	154.84	146.04	122.39

수직분포

연구기간에 해조류의 조위별 평균 생물량(g dry wt./m²)은 조간대 중부(96.10 g)와 하부(128.59 g)에서 높았으며 조간대 상부(41.66 g)에 비해 2-3배 높은 생물량을 보였다(Table 2). 해조류의 조위별 생물량을 연도별로 보면, 조간대 상부에서 28.13-52.76 g으로 2007년에 최대였으며 2010년에 최소값을 보였다. 중부의 해조류 생물량은 2007년에 최대(110.50 g)였고 2010년에 76.92 g으로 최소였으며 2007년 이후 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 조간대 하부에서 해조류 생물량은 91.07-154.84 g으로 2007년에 최소였고 2008년에 최대를 기록한 후 점차 감소하였다(Table 2).

학암포 조간대에 서식하는 해조류 생물량의 수직분포를 보면, 연구기간에 조간대 상부 생물량의 40% 이상은 새빨간검둥이와 까막살이 차지하였고, 중부 생물량의 50% 이상은 작은구슬산호말과 진두발이 차지하였다. 특히, 중부에서 구멍갈파래의 생물량은 2009년에 높게 나타났다. 하부에서는 지층이, 구멍갈파래와 작은구슬산호말이 생물량의 50% 이상을 차지하는 주요종이었으며, 이들의 생물량은 지속적으로 증가하였다

(Table 2).

기능형 및 생태학적 상태그룹

학암포에서 연구기간에 출현한 해조류 101종은, 성긴분기형 47종(46.53%), 사상형 14종(13.86%), 엽상형 21종(20.79%), 다육질형 4종(3.96%), 유절산호말형 7종(6.93%), 각상형 8종(7.92%)으로 성긴분기형이 가장 우점하였고 다육질형이 가장 적었다(Table 3). ESG I에 속하는 해조류가 66종(65.35%)으로 ESG II 해조류(35종, 34.65%)에 비해 많았다. 연구기간 해조류의 평균 생물량(88.78 g dry wt./m²)은 성긴분기형(37.17 g, 41.86 %)과 유절산호말형(35.58 g, 40.07%)이 대부분을 차지하였으며, 엽상형(13.34 g, 15.03 %)이 다음 순서였다. 해조류의 성긴분기형은 많은 출현종으로 인하여 생물량이 높았고, 유절산호말형은 출현종이 적지만 타해조류에 비해 무게가 많은 산호말류이기 때문에 높은 생물량을 보였다.

연구기간에 연도별로 ESG I과 ESG II의 생물량 백분율을 보면, ESG I은 81.67-85.44% (2008년 최소, 2010년 최대)였고 ESG II의 비율은 14.56-18.33%로 2010년에 최소였고 2008년에 최대였다. 해조류의 전체 생물량 중 ESG II의 비율은 2008

Table 3. Annual variations in the number of species and biomass (g dry wt./m²) of each functional (F) form seaweed and ecological state group occurred at Hakampo, western coast of Korea during the study period

Functional form	Biomass (g dry wt./m ²)				Species number			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
ESG I								
CB	31.08	41.51	44.15	31.92	27	32	25	31
TL	0.00	0.27	2.88	2.14	3	4	4	3
JC	40.16	41.57	30.42	30.15	4	5	4	3
C	0.61	0.00	0.24	0.57	5	4	5	5
ESG II								
S	10.59	18.07	13.79	10.92	13	14	13	15
F	2.33	0.64	1.00	0.11	8	6	7	7
Total	84.78	102.06	92.47	75.81	60	65	58	64

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

년을 기준으로 하여 크게 증가하였다가 계속적으로 감소하는 경향을 보였다(Table 3). 해조류 ESG II의 생물량 증가는 엽상형 해조류인 갈파래류의 증가와 정비례적인 관계를 나타냈다.

군집지수

우점도지수(DI)는 2009년에 0.46으로 최소였고 2010년에 0.59로 최대를 보였으며, 2007년에는 제 1, 2우점종이 작은구슬산호말과 지층이었으나, 2008년 이후부터는 작은구슬산호말과 진두발로 바뀌었다. 종다양도지수(H')는 2.04-2.39의 변화를 보였으며, 풍도지수(R)는 58종이 출현한 2009년에 최소(12.58)였고 64종이 동정된 2010년에 14.54로 최대였다(Table 4). 균등도지수(J')는 2007년에 0.50으로 최소였고 2009년에 0.59로 최대를 보였으며 2009년까지 계속적으로 증가하다가 2010년에 감소하였다.

고찰

태안반도의 학암포에서 4년의 연구기간에 출현한 해조류는 101종(녹조 12종, 갈조 18종, 홍조 71종)이었으며 매년 출현종수는 58-65종으로 변화되었다. 학암포 인근의 해조상은 1987년에 실시된 연구에서 분점도의 91종, 마외에서 75종, 도랑골에서 55종이 기록되었다(Yoo and Kim, 2003a). 이후 1993년에

분점도에서 54종(Yoo and Kim, 2003b), 2006년에 46종(Yoo et al., 2009)이 출현하였고, 본 연구에서의 2007-2010년까지 60종, 65종, 58종, 64종으로 1987년도 이후로는 출현종수가 크게 감소하여 비슷한 양상을 보였다.

본 연구기간에 학암포에서 홍조류 4종(작은구슬산호말, 까막살, 진두발, 새빨간검둥이)과 갈조류 지층이는 16회 채집에서 모두 기록되고 생물량이 많은 대표종이었다. 선행연구에서 갈조류 지층이는 영광(Hwang et al., 1996), 의항(Oh and Lee, 1998), 꽃지(Lee et al., 2007), 주삼도(Heo et al., 2011)에서, 그리고 서해안의 11개 정점(Kim et al., 1995)에서 우점하는 서해안의 대표종이었다. 하지만, 본 연구 정점인 학암포에서 주요종은 작은구슬산호말, 진두발, 지층이와 갈파래류로 나타났다. 특히, 지층이가 주로 서식하는 조건대 하부에서도 진두발, 작은구슬산호말과 갈파래류에 비해 생물량이 낮은 것으로 확인되었다. 학암포 조건대 암반은 참굴(*Crassostrea gigas*)과 같은 이매패류가 넓게 분포하고 있어 위다년생 해조류인 지층이는 다년생인 진두발과 작은구슬산호말, 기회종인 갈파래류, 그리고 참굴과 착생을 위한 공간경쟁에서 상대적으로 약한 것으로 사료된다.

서해안 해조류의 생물량(건중량, g dry wt./m²)은 1987년에 분점도(144.11 g)와 마외에서 171.10 g을 보였고(Yoo and Kim, 2003a), 1993년에 분점도에서 355.06 g을 기록하였으며(Yoo and Kim, 2003b), 본 연구지역인 학암포에서의 해조류 생물량은 75.81-102.06 g (2010년 최소, 2008년 최대)으로서 선행연구와 비교했을 때 생물량은 많이 감소된 것으로 확인되었다. 선행 연구에서 생물량의 주요 구성종은 산호말류, 지층이, 불등풀가사리로서 이들이 생물량의 50% 이상을 차지하는 것으로 기록되었는데, 본 연구에서도 산호말류의 생물량이 상당히 높았으나, 이전 기록에 비해 감소한 경향을 보였다(Yoo and Kim, 2003a; 2003b). 또한, 지층이와 불등풀가사리가 1993년 연구까지 학암포에서 우점한 것으로 기록되었지만, 본 연구에서 낮

Table 4. Annual seaweed community indices based on seaweed biomass at Hakampo, western coast of Korea during the study period

Community index	2007	2008	2009	2010
Dominance index (DI)	0.57	0.58	0.46	0.59
Richness index (R)	13.28	13.83	12.58	14.54
Evenness index (J')	0.50	0.51	0.59	0.53
Diversity index (H')	2.04	2.09	2.39	2.19

은 생물량을 보이는 것은 향후 관심이 갖고 보아야 할 것이다.

해조류가 유류오염에 의해 받는 피해는 조건대 상부에서 최대였고 중부와 하부로 갈수록 감소하였으며, 군집구조의 회복은 하부, 중부, 상부 순서로 일어나는 것으로 알려져 있다(Jones et al., 1998; Shin et al., 2008). 학ampo 조건대 중부에서 2008년에는 탄산칼슘의 세포벽을 가진 다년생 작은구슬산호말이 생물량의 80%이상을 차지하였는데, 이러한 결과는 유류오염에 민감한 다른 해조류의 생물량 감소 때문으로 나타났다. 이후 2009년에는 진두발을 비롯한 다양한 해조류가 골고루 분포하였지만 오염지표종인 구멍갈파래의 생물량이 급증하여 생태계 회복을 예단하는 것은 어려운 것으로 판단된다. 조건대 하부에서는 원유유출사고 이후 구멍갈파래 생물량이 급증하였으나 시간이 경과함에 따라 감소되었고 다양한 해조류가 번무함으로써 유류오염 발생 후 3년이 지난 2010년에는 해조류의 군집구조가 점차 안정되고 있는 것으로 사료된다.

Orfanidis et al. (2001)는 ESG I에 속하는 해조류의 피도(혹은 생물량)가 많으면 인간활동으로 인한 환경스트레스가 상대적으로 적은 해역이고 EGS II에 속하는 해조류가 많으면 환경오염이 심각한 해역으로 판정하였다(Yoo et al., 2007; Choi et al., 2008). 유류사고 이후 EGS II에 속하는 해조류 중에서 사상형의 출현종수와 생물량이 감소하였고 반대로 엽상형 해조류의 출현종수와 생물량이 증가하였다. 특히, 갈파래류의 생물량이 급증하였는데, 이는 유류오염으로 인하여 다른 해조류와 동물들의 사망으로 인하여 생성된 새로운 공간에 기회종인 갈파래류가 가입되었거나, 원유제거를 위해 사용되는 유화제로 인한 영양염이 제공되었기 때문으로 사료된다(Chasse, 1978; Felder et al., 2014). 학ampo에서 해조상은 계절성을 보였으며 갈파래류는 여름과 가을(8-10월)에 주로 우점하는 것으로 나타났다. 갈파래류의 생물량은 유류사고 전인 2007년 8월에 18.33 g dry wt./m²이었으나, 사고 발생 후 2008년에 크게 증가하여 8월에 41.27 g으로 최대값을 기록한 후 2009-2010년에 점차 감소하여 유류사고 이전과 유사한 생물량을 보였다. Anderson et al. (1996)은 갈파래류는 계절성을 보이고 환경오염이나 부영양화, 혹은 환경스트레스가 심한 해역에서 주로 대발생(bloom)하였다가 안정되면 생물량이 감소하는 것으로 기록하였다. Fujita (1985)는 갈파래류의 번무원인은 다른 해조류에 비해 질소와 인을 빠르게 흡수 및 사용할 수 있기 때문이라고 하였다. 따라서, 갈파래류의 생물량 변화는 유류오염으로 인한 암반생태계의 피해 및 회복 정도를 나타내는 척도라고 볼 수 있다.

결론적으로 2007년 “Hebei Spirit”호의 유류오염은 사상형 해조류(납작솜털, 민자루갯쇠털)의 일시적 증가 후 지속적인 출현종 감소를 초래하였으며, 갈파래류의 대발생(bloom)으로 군집의 단순화, 나아가 해양생물다양성 감소를 가져왔다. 일반적으로 유류오염으로 발생한 생태계 피해가 회복되는 기간은 3-10년이라고 한다(Stekoll and Deysher, 2000; Kawai et al. 2007). 본 연구에서 해조류의 종다양성, 생물량 및 우점종은 유류오염

전의 상태로 회복양상을 보이고 있지만 암반부착 저서생물인 따개비, 담치와 굴 등 바위틈에 일부 원유의 잔존물이 5년 이상 존재하므로 크지는 않지만 해조류에게도 지속적인 피해를 미칠 것으로 판단된다(Shin et al., 2008). 따라서, 학ampo 해안의 해조류 출현종 모니터링 및 유류오염을 포함한 인간활동에 기인한 환경오염을 줄이기 위한 꾸준한 관심과 노력이 필요하며 유류오염 이후 지속적인 관리를 통하여 기초생산자인 해조류를 포함한 연안생태계가 빠르게 회복될 수 있도록 해야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 연구(과제번호 NRF-2011-0012519)로서 이에 감사 드립니다. 또한, 이 논문은 해양수산부의 재원으로 해양생명공학기술개발사업 연구개발비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Anderson Robert J, Monterio Pedro MS and Levitt Graham J. 1996. The effect of localised eutrophication on competition between *Ulva lactuca* (Ulveaeae, Chlorophyta) and a commercial resource of *Gracilaria verrucosa* (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 326/327, 291-296. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-1659-3_41.
- Arévalo R, Pinedo S and Ballesteros E. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.023>.
- Bray JR and Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27, 325-349. <http://dx.doi.org/10.2307/1942268>.
- Chasse C. 1978. The ecological impact on and near shores by the *Amoco Cadiz* oil spill. *Mar Poll Bull* 9, 298-301. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(78\)90253-9](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(78)90253-9).
- Choi HG, Lee KH, Wan XQ, Yoo HI, Park HH, Kim JH and Chung IK. 2008. Temporal variations in seaweed biomass in Korean coasts: Woejodo and Jusamdo, Jeonbuk. *Algae* 23, 335-342. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2008.23.4.335>.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Díez I, Secilla A, Santolaria A and Gorostiaga JM. 1999. Phytobenthic intertidal community structure along an environmental pollution gradient. *Mar Poll Bull* 38, 463-472. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)90161-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(98)90161-8).
- Felder DL, Thoma BP, Schmidt WE, Sauvage T, Self-Krayesky SL, Chistoserdov A, Bracken-Grissom HD and Fredericq S. 2014. Seaweeds and decapod crustaceans on gulf deep banks after the *Macondo* oil spill. *BioScience* 64, 808-819.

- <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biu119>.
- Fowler J and Cohen L. 1990. Practical Statistics for Field Biology. John Wiley and Sons, New York, U.S.A., 1-227.
- Fujita RM. 1985. The role of nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae. *J Exp Mar Biol Ecol* 92, 283-301. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(85\)90100-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(85)90100-5).
- Haglund K, Björklund M, Gunnare S, Sandberg A, Olander U and Pedersen M. 1996. New method for toxicity assessment in marine and brackish environments using the macroalga *Gracilaria tenuistipitata* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 326/327, 317-325. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-1659-3_45.
- Heo JS, Park SK, Yoo HI, Song JN, Kim BY and Choi HG. 2011. Macroalgal community structure on the rocky shores of Ongdo, Jusamdo and Woejodo Islands of the Yellow Sea, Korea. *Fish Aquat Sci* 14, 389-397. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2011.0389>.
- Hwang EK, Park CS, Sohn CH and Koh NP. 1996. Analysis of functional form groups in macroalgal community of Yonggwang vicinity, western coast of Korea. *J Kor Fish Soc* 29, 97-106.
- Jones DA, Plaza J, Watt I and Sanei MA. 1998. Long term monitoring of the intertidal biota of Saudi Arabia after the 1991 Gulf War oil spill. *Mar Poll Bull* 36, 472-489. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00009-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00009-5).
- Kawai H, Kamiya M, Komatsu T, Nakaoka M and Yamamoto T. 2007. Ten years' monitoring of intertidal macroalgal vegetation of Hyogo prefecture, northwestern coast of Honshu, Japan to assess the impact of the *Nakhodka* oil spill. *Algae* 22, 37-44. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2007.22.1.037>.
- 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.
- Kim SJ. 2008. *Hebei Spirit* oil spill accident. *Env Eng Res Special Feature*, 146-152.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Jeju, Korea.
- Lee KH, Yoo HI and Choi HG. 2007. Seasonal community structure and vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji in Taean Peninsula, Korea. *Algae* 22, 209-219. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2007.22.3.209>
- Lee DJ, Yoon CS, Lee JC, Sung SH, Park DR and Cheong SW. 2009. Fundamental investigation for long-term ecological monitoring on community of benthic macroinvertebrates in Wetland Woopo. *J Env Sci* 18, 1399-1410. <http://dx.doi.org/10.5322/JES.2009.18.12.1399>
- Littler MM and Littler DS. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *Mar Biol* 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 DR. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216, 168-169. <http://dx.doi.org/10.1038/216168b0>
- Oh BG and Lee HB. 1998. Marine algal flora and community of Uihang in Taean Peninsula, western coast of Korea. *J Kor Environ Biol* 16, 181-192.
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model. *Medit 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 Indicators* 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)
- 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)
- Pinedo S, Garcia M, Satta MP, Torres M and Ballesteros E. 2007. Rocky-shore communities as indicators of water quality; a case study in the north-western Mediterranean. *Mar Poll Bull* 55, 126-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.044>.
- Schermer F, 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>.
- Shin HC, Lee JH and Lim KH. 2008. Assessment of the impacts of 'Sea Prince' oil spill on the rocky intertidal macrobenthos community. *Kor J Environ Biol* 26, 159-169.
- Spellerberg IF. 1991. Monitoring Ecological Change. Cambridge University press, Cambridge, 334.
- Stekoll MS and Deysner L. 2000. Response of the dominant alga *Fucus gardneri* (Silva) (Phaeophyceae) to the *Exxon Valdez* oil spill and clean-up. *Mar Poll Bull* 40, 1028-1041. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00047-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00047-3).
- 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>
- Tribollet AD and Vroom PS. 2007. Temporal and spatial comparison of the relative abundance of macroalgae across the Mariana Archipelago between 2003 and 2005. *Phycologia* 46, 187-197. <http://dx.doi.org/10.2216/06-46.1>.
- Wells E, Wilkionson 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 Poll 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. *Restoration Ecol* 18, 18-26. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00717.x>.

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. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2003.18.4.311>.

Yoo HI, Lee JH, Lee KH, Beak 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. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2007.40.4.210>

Yoo HI, Park HH and Choi HG. 2009. Marine algal floras and community structures in the vicinity of the Taean power plant in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 387-394. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2009.42.4.387>