

동해안 3개 원전 주변 산호말류의 시·공간적 분포양식

안 중 관 · 김 영 환*

충북대학교 생물학과

Spatial and Temporal Patterns of Coralline Algae around Three Nuclear Power Plants on the East Coast of Korea

Jung Kwan Ahn and Young Hwan Kim*

Department of Biology, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract – The species composition and biomass of coralline algae around three (Uljin, Wolsong and Gori) nuclear power plants on the east coast of Korea were investigated seasonally from February 1997 to October 2006. As a result, 13 species of coralline algae were found during the past ten years. Among them, *Corallina pilulifera*, *C. officinalis*, *Amphiroa zonata* and *Pneophyllum zosteriolum* were common species that occurred more than 50% in frequency during the study period. Species number of coralline algae were between 10~12 species at the breakwaters near the outfalls of power plants and 8~12 species at the control area, and differences in species composition were not observed among study sites. Seasonal fluctuations of mean biomass were 0~2,530 g dry wt m⁻² and dominant species in biomass was *Corallina pilulifera* at all the study sites. The breakwaters of power plants generally had a greater coralline algal biomass than the control area. Biomass proportions of coralline algae at the breakwaters of power plants were also higher than those at the control area. At the Uljin sites, particularly, biomass of coralline algae showed greatest in summer and biomass proportion showed highest during the summer season. Differences in the spatio-temporal patterns of coralline algae around three nuclear power plants on the east coast of Korea were presumably due to the regional temperature variations.

Key words : coralline algae, nuclear power plant, species composition, biomass

서 론

홍조식물문 산호말과(Corallinaceae)에 속하는 산호말류는 방해석(calcite)의 형태로 탄산칼슘이 세포벽에 침적되는 독특한 특징을 지닌다(Hoek *et al.* 1995; Graham and Wilcox 2000). 산호말류는 형태적으로 각상 또는 덩

어리로 구성되는 민산호말류(무절산호말류, non-geniculate coralline algae)와 마디가 있는 마디산호말류(유절산호말류, geniculate coralline algae)의 2가지로 구분된다(Sze 1998). 전 세계적으로 24속에 속하는 약 1,600종의 민산호말류와 15속에 속하는 약 400종의 마디산호말류가 보고되었으며(Graham and Wilcox 2000; Kim 2000), 국내에는 19속 55종 1품종이 출현하는 것으로 집계되었다(이와 강 1986, 2002).

광합성에 의한 생산성과 섭식에 대한 민감성을 바탕

* Corresponding author: Young Hwan Kim, Tel. 043-261-2295, Fax. 043-276-6180, E-mail. kimyh@cbnu.ac.kr

으로 구분한 6개의 기능형 (functional form) 모델에서 산호말류 가운데 마디산호말류는 유절석회조류군 (jointed-calcareous group)으로 그리고 민산호말류는 각상형군 (crustose group)으로 각각 분류된다 (Littler 1980; Littler and Arnold 1982). 이들 산호말류는 다른 기능군과 달리 초식동물에 대한 저항성이 크고 엽체의 강인성 (toughness)이 높은 특징을 갖는다. 이러한 특징에 기인하여 산호말류는 군집의 천이 단계에서 전형적인 만기 천이형 (late successional form)으로 간주되고 있다 (Saito *et al.* 1977; Borowitzka *et al.* 1978; Littler and Littler 1980; Kim and Yoo 1994).

산호말류는 전 세계의 해양에 분포하며 그 서식지는 조간대로부터 투광대의 하한에 이르는 광범위한 구역에 걸쳐있다 (Leukart 1994). 이들 조류는 저서 해양군집의 중요한 구성원으로써 연안생태계의 1차생산자일 뿐만 아니라 다른 많은 해양생물의 서식 공간을 제공한다는 점에서 중요한 역할을 한다 (Lobban and Harrison 1994; Graham and Wilcox 2000). 이러한 연유로 산호말류를 대상으로 그간 많은 생태학적 및 생리학적 연구들이 수행되었다.

이들테면 일부 산호말류 (*Lithothamnium glaciale*와 *Lithophyllum* spp. 등)에서는 초식동물의 성장을 억제하는 화학물질과 다시마류 등과 같은 대형해조에 영향을 미치는 타감작용물질 (allelopathic substance)이 발견되었다 (Morse and Morse 1984; Suzuki *et al.* 1998). 광합성유효방사 (PAR: 400~700 nm)에 노출되었을 때보다 자외선방사 (UVR: 280~400 nm)와 함께 노출되었을 때 참산호말 (*Corallina officinalis*)에서는 자외선 흡수화합물의 농도가 증가하는 것으로 나타났다 (Helbling *et al.* 2004).

한편 민산호말류의 과증식 (overgrowth)은 엽체 내의 영양소 전위에 기인하고 (Bulleri 2006), 조간대에서 흔히 관찰되는 일시성 (ephemeral) 해조인 참갈파래 (*Ulva lactuca*)는 동일한 조고에서 단독으로 자랄 때보다 참산호말과 함께 자랄 때 피도와 개체별 건조중량이 감소하였다 (Daleo *et al.* 2006). 참산호말이 자라는 조간대 조수웅덩이에 출현하는 무척추동물은 수심에 따라 차이를 보이는데, 웅덩이의 깊은 곳보다 가장자리 부근의 얕은 곳에서 참산호말의 체장이 짧고 개체군의 밀도가 높았고, 무척추동물의 다양성과 풍부도 역시 훨씬 높았다 (Bussell *et al.* 2007). 나아가서 산호말류는 연안생태계의 탄소와 탄산염 순환에서 중요한 기능을 담당하고 (Martin *et al.* 2006), 대기 중 이산화탄소의 효율적인 흡수원으로 주목받고 있다 (Bensoussan and Gattuso 2007).

산호말류는 다른 한편으로 연안생태계 변화의 일익을 담당하기도 한다. 즉 연안의 환경이 다양한 요인으로 인

하여 켈프종 또는 모자반류로 구성된 바다숲이 급격히 줄어들거나 소멸되고 석회질로 된 민산호말류가 암반을 뒤덮게 되는데, 이러한 현상을 갯녹음 또는 백화현상이라 부른다 (정 등 1998; 김 2002). 1980년대부터 제주도와 남해안 일대에 갯녹음 현상에 의한 피해 해역이 확산되기 시작한 이래, 1990년대 이후에는 동해안으로 확산되었다. 다양한 해조류가 사라지면서 이들을 먹이로 삼는 성게나 전복 등의 자원 감소는 물론이고 바다숲을 서식지나 산란장으로 이용하는 모든 수중생물의 자원이 감소하게 되어 결국 어장이 황폐화되는 결과를 초래하게 된다 (손 등 2002).

이와 같이 연안생태계에서 중요한 역할을 담당하는 산호말류가 최근 동해안의 원자력발전소 주변 방파제에서 우점적으로 출현하고 있음이 장기적 모니터링을 통하여 확인되고 있으며, 산호말류의 이러한 분포 양식이 과연 자연적인 극상군집에 해당하는지에 관한 상세한 연구의 필요성이 제기되고 있다. 이에 저자들은 실험적 접근을 병행한 종합적 연구에 착수하기에 앞서 최근 10년간 동해안의 3개 원자력발전소 주변에서 출현한 산호말류의 종조성과 생물량 조사 결과를 종합하고 시·공간적 분포 양식을 비교한 결과를 우선 보고하고자 한다. 환경영향 평가와 적절한 대책 수립에 있어서 군집구조의 장기적 변동 추적이 중요하다는 점을 고려할 때 (Schiel *et al.* 2004; Steinbeck *et al.* 2005), 이 연구 결과는 향후 국내의 산호말류 연구에 중요한 정보를 제공할 수 있다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있을 것이다.

재료 및 방법

1997년 2월부터 2006년 10월에 이르기까지 10년간 계절별로 동해안에 위치한 3개 원자력발전소 (울진, 월성 및 고리)의 배수구 부근 방파제에서 산호말류의 종조성과 생물량을 조사하였다. 한편 발전소별로 온배수의 영향을 받지 않을 것으로 판단되는 지점을 대조구로 선정하고 동일한 내용의 조사를 실시하여 그 결과를 비교 검토하였다 (Table 1). 조사가 이루어진 3개 발전소의 개황과 조사정점은 김과 안 (2005)에 상세하게 언급되어 있다.

먼저 발전소 주변에 생육하는 산호말류의 종조성을 파악하기 위하여 발전소별로 배수구 부근 방파제와 대조구에 생육하는 산호말류를 가능한 한 넓은 범위에서 채집하였다. 대부분의 마디산호말류와 착생 민산호말류는 끌 (chisel)을 이용하여 채집하였고, 기질에 고착하는 민산호말류는 망치를 이용하여 암반에서 제거하였다

Table 1. Location of sampling sites

Power plant	Breakwater		Control area	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Uljin	37° 5'57.70"N	129° 22'55.06"E	37° 3'27.71"N	129° 25'48.65"E
Wolseong	35° 42'59.64"N	129° 28'52.01"E	35° 48'35.32"N	129° 30'39.70"E
Gori	35° 19'6.63"N	129° 17'20.42"E	35° 21'17.07"N	129° 21'1.68"E

Table 2. List of coralline algae occurred at three nuclear power plant sites on the east coast of Korea from 1997 to 2006 and their frequencies (%) of occurrence

Species	Uljin		Wolseong		Gori	
	BW	CA	BW	CA	BW	CA
<i>Amphiroa anceps</i>	-	-	10.0	-	-	-
<i>A. ephedraea</i>	2.5	5.0	-	-	17.5	5.0
<i>A. zonata</i>	55.0	57.5	62.5	55.0	100.0	72.5
<i>Corallina officinalis</i>	72.5	60.0	65.0	65.0	67.5	70.0
<i>C. pilulifera</i>	100.0	100.0	100.0	92.5	100.0	100.0
<i>Hydrolithon sargassi</i>	15.0	27.5	-	-	2.5	5.0
<i>Lithophyllum okamurae</i>	5.0	10.0	10.0	12.5	15.0	17.5
<i>Lithothamnion cystocarpioideum</i>	10.0	12.5	12.5	10.0	10.0	7.5
<i>Marginisporum aberrans</i>	17.5	40.0	7.5	22.5	27.5	42.5
<i>M. crassissimum</i>	15.0	22.5	17.5	7.5	27.5	17.5
<i>Pneophyllum zostericolum</i>	55.0	55.0	45.0	55.0	65.0	75.0
<i>Spongites yendoii</i>	2.5	-	-	-	2.5	2.5
<i>Titanoderma tumidulum</i>	7.5	5.0	2.5	-	17.5	5.0

※ BW : Breakwater, CA : Control area

(Kim 2000). 채집된 재료는 현장에서 5% 포르말린-해수 용액으로 고정시켜 실험실로 운반하여 검경 동정하였다. 동정된 산호말류의 국명은 이와 강(1986, 2002)에 따랐다.

한편 산호말류를 포함한 해조류의 생물량 측정을 위하여 조사정점별 해조군집을 대표할 수 있는 압반 또는 방파제 테트라포드 상에 5개씩의 0.5 m×0.5 m 방형구를 설치하고, 방형구 내의 모든 해조류를 호미나 끌 등으로 완전히 수거한 후 5% 포르말린-해수 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다.

이렇게 각 방형구별로 채집된 재료는 실험실에서 담수로 충분히 씻고 종류별로 구분하여 건조로(drying oven)에서 105°C로 48시간 건조시켰다. 완전히 건조된 시료를 건조기(desiccator)에서 식힌 다음, 그 무게를 측정하여 단위면적(m²)당 무게로 환산하고, 산호말류를 포함한 해조류의 종류별 생물량 평균치와 단위면적당 현존량 구성비(%)를 구하였다(김 등 1995, 1997; 김과 허 1998). 10년간 계절별로 얻어진 산호말류의 생물량 자료와 단위면적당 생물량 구성비율 자료를 바탕으로 SPSS 통계 패키지(SPSS 12.0K for Windows)를 이용하여 t-검정과 분산분석을 수행하고 유의성을 파악하였다.

결 과

1. 산호말류의 종조성

동해안의 3개 원자력발전소 주변에서는 10년에 걸친 조사를 통하여 13종의 산호말류가 관찰되었다(Table 2). 이는 국내에서 보고된 산호말류 56분류군(이와 강 2002)의 약 1/4에 해당한다.

관찰된 산호말류 가운데 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)이 월성원자력발전소의 대조구인 갑포에서만 출현빈도 92.5%를 보였을 뿐, 다른 모든 조사정점에서 40회에 걸친 조사를 통하여 모두 출현하였다. 그밖에 고리마디게발(*Amphiroa zonata*), 참산호말 및 잘피껍데기(*Pneophyllum zostericolum*)의 3종은 거의 모든 조사정점에서 지난 10년간 50.0% 이상의 출현빈도를 보이는 보편종으로 밝혀졌다. 특히 고리마디게발은 고리원자력발전소 방파제에서 작은구슬산호말과 함께 100%의 빈도로 관찰되었다.

반면에 넓은게발(*Amphiroa anceps*=*A. dilatata*)은 동해안의 3개 원자력발전소 가운데 월성원자력발전소 배수구 부근의 방파제에서만 관찰되었고, 에페드라게발(*A. ephedraea*), 모자반껍데기(*Hydrolithon sargassi*=*Pneo-*

phyllum sargassi) 및 엔도혹돌잎 (*Spongites yendoi*=*Litho-phyllum yendoi*)의 3종은 오히려 월성원자력발전소 주변에서만 나타나지 않는 독특함을 보였다.

조사정점별로는 발전소 방파제에서 10~12종이 출현하고 대조구에서 8~12종이 관찰되어 출현종수는 정점 간에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나 10년간의 산호말류 출현빈도 합계는 발전소에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다. 즉 고리의 경우 산호말류의 10년간 출현빈도 합계는 발전소 방파제에서 452.5% 그리고 대조구에서 420.0%로 높은 반면, 울진에서는 발전소에서

357.5% 그리고 대조구에서 395.0%이었으며, 월성에서는 발전소에서 332.5% 그리고 대조구에서 320.0%로 적었다.

2. 산호말류의 생물량

동해안의 3개 원자력발전소 주변에서 지난 10년간 계절별로 조사된 산호말류의 단위면적당 평균 생물량은 0~2,530 g dry wt m⁻²의 넓은 범위로 나타났다(Fig. 1).

3개 발전소별로 계절에 따른 산호말류의 생물량 평균을 비교하면 다음과 같다(Table 3). 먼저 울진원자력발전소의 경우, 발전소 방파제에서는 20~2,530 g dry wt m⁻²의 범위를 보였으며, 계절별로는 여름에 평균 1,127 g dry wt m⁻²로 가장 많았고 가을에 평균 271 g dry wt m⁻²로 가장 적었다. 대조구에서는 0~1,427 g dry wt m⁻²의 범위를 보였고, 여름에 평균 529 g dry wt m⁻²로 가장 많았고 봄에 평균 111 g dry wt m⁻²로 가장 적었다. 울진원자력발전소 주변에서 조사된 산호말류의 생물량은 발전소 방파제와 대조구 모두에서 여름에 다른 계절과 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(*p*<0.05). 울진원자력발전소 주변에서는 발전소 방파제와 대조구 모두 작은구슬산호말이 생물량의 거의 대부분을 차지하고 일부 참산호말이 혼생하는 특징을 보였다.

월성원자력발전소의 경우, 발전소 방파제에서는 0~786 g dry wt m⁻²의 범위를 보였으며, 봄에 평균 206 g dry wt m⁻²로 가장 많았고 겨울과 가을에 평균 121 및 122 g dry wt m⁻²로 적었다. 대조구에서는 0~769 g dry wt m⁻²의 범위를 보였고, 여름에 평균 176 g dry wt m⁻²로 가장 많았으나 기타 계절에는 59~82 g dry wt m⁻²의 범위로 적었다. 그러나 울진원자력발전소 주변의 경우와는 달리 월성원자력발전소 주변에서 조사된 산호말류의 생물량은 계절에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. 월성원자력발전소 주변에서도 울진의 경우와 비슷하게 발전소 방파제와 대조구 모두 작은구슬산호말이 생물량의 거의 대부분을 차지하고 일부 참산호말이 혼생하는 특징을 보였다. 그런데 발전소 방파제에서는 일부 조사시

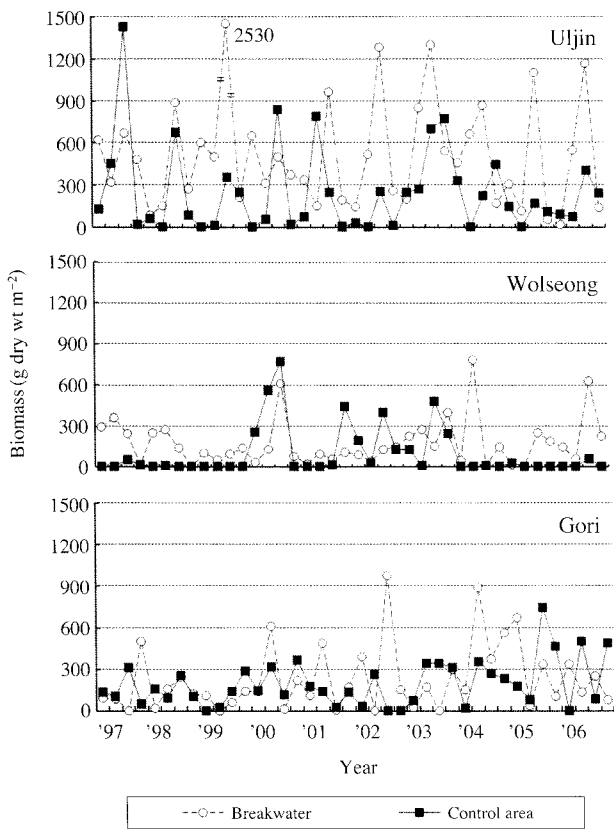


Fig. 1. Seasonal fluctuation of the mean biomass value of coralline algae found at the breakwater of three nuclear power plants and the control area on the east coast of Korea from 1997 to 2006.

Table 3. Comparison of mean biomass (±SD) of coralline algae for each season at different sampling sites

Power plant	Site	Mean biomass (g dry wt m ⁻²)			
		Winter	Spring	Summer	Autumn
Uljin	Breakwater	342 ± 231	414 ± 244	1127 ± 556	271 ± 154
	Control area	111 ± 108	165 ± 264	529 ± 391	195 ± 247
Wolseong	Breakwater	121 ± 103	206 ± 237	168 ± 178	122 ± 119
	Control area	60 ± 94	59 ± 176	176 ± 273	82 ± 150
Gori	Breakwater	204 ± 203	258 ± 302	227 ± 302	236 ± 168
	Control area	92 ± 74	222 ± 155	229 ± 216	242 ± 170

기에 고리마디계발도 1~120 g dry wt m⁻²의 범위로 출현하였다.

한편 고리원자력발전소의 경우, 발전소 방파제에서는 0~977 g dry wt m⁻²의 범위를 보였으며, 모든 계절에 걸쳐 204~258 g dry wt m⁻²의 계절 평균을 보였다. 대조구에서도 겨울에 평균 92 g dry wt m⁻²로 다소 적었을 뿐 기타 계절에는 222~242 g dry wt m⁻²로 비슷한 수준의 계절 평균을 보였다. 고리원자력발전소 주변에서도 월성원자력발전소 주변과 마찬가지로 산호말류의 생물량은 계절에 따라 유의한 차이를 나타내지 않았다. 고리원자력발전소 주변에서도 울진이나 월성의 경우와 비슷하게 발전소 방파제와 대조구 모두 작은구슬산호말이 생물량의 상당 부분을 차지하고 일부 참산호말이 혼생하는 특징을 보였다. 그런데 발전소 방파제에서는 작은구슬산호말이나 참산호말 등의 산호말 무리뿐만 아니라 고리마디계발이 40회의 조사 가운데 28회에 걸쳐 1~638 g dry wt m⁻²의 생물량을 기록하는 독특함을 보였다.

배수구 부근 방파제 구역에서 측정된 산호말류의 단위면적당 생물량은 온배수의 영향을 받지 않을 것으로 판단되는 대조구의 생물량보다 전반적으로 많이 나타났다(Table 4). 특히 울진원자력발전소 방파제의 경우 10년간 조사된 산호말류 생물량의 총 평균은 대조구보다 2배 이상 많았고($p < 0.05$), 월성원자력발전소에서도 방파제의 산호말류 생물량의 평균이 대조구보다 2배 가량 많았다($p < 0.05$). 물론 고리원자력발전소의 경우에도 방파제의 평균 생물량이 대조구보다 다소 많았지만, 계절에 따른 차이가 크지 않고 방파제와 대조구의 생물량 차이가 크지 않은 탓에(Table 3) 통계적인 유의성은 나

타나지 않았다.

3. 군집내 산호말류의 비중

동해안의 3개 원자력발전소 주변에서 지난 10년간 계절별로 조사된 단위면적당 해조류 생물량 가운데 산호말류가 차지하는 구성비율의 평균은 0~95.0%의 넓은 범위로 나타났다(Fig. 2).

3개 발전소별로 계절에 따른 산호말류의 구성비율 평균을 비교하면 다음과 같다(Table 5). 먼저 울진원자력발

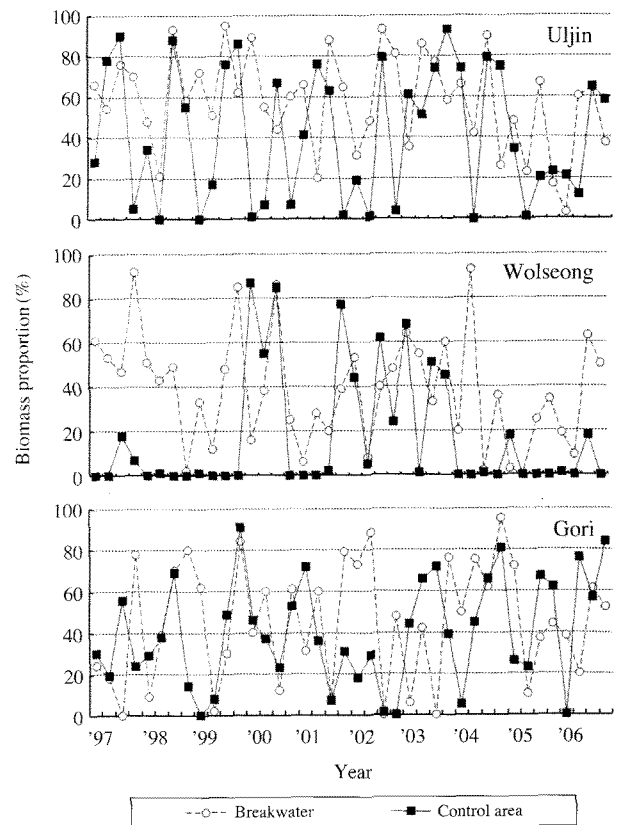


Fig. 2. Seasonal variation of biomass proportion of coralline algae at the breakwater of three nuclear power plants and the control area on the east coast of Korea from 1997 to 2006.

Table 4. Comparison of mean biomass (±SD) of coralline algae for each sampling site at different power plants

Power plant	Mean biomass (g dry wt m ⁻²)	
	Breakwater	Control area
Uljin	538 ± 473	250 ± 309
Wolsong	175 ± 177	94 ± 184
Gori	231 ± 242	196 ± 168

Table 5. Comparison of mean biomass proportion (±SD) of coralline algae for each season at different sampling sites

Power plant	Site	Mean biomass proportion (%)			
		Winter	Spring	Summer	Autumn
Uljin	Breakwater	52.4 ± 24.7	46.0 ± 20.6	78.7 ± 16.5	53.4 ± 20.2
	Control area	31.3 ± 23.5	24.3 ± 31.7	70.1 ± 19.7	40.8 ± 36.5
Wolsong	Breakwater	32.6 ± 23.0	33.9 ± 28.6	35.0 ± 25.3	42.1 ± 30.7
	Control area	21.9 ± 32.7	6.2 ± 17.2	23.7 ± 31.1	15.3 ± 26.3
Gori	Breakwater	40.5 ± 23.9	41.4 ± 28.9	28.0 ± 28.1	69.7 ± 17.2
	Control area	27.0 ± 22.8	37.7 ± 20.6	46.7 ± 26.5	47.9 ± 31.4

Table 6. Comparison of mean of seasonal biomass proportion (\pm SD) of coralline algae for each sampling site at different power plants

Power plant	Mean of seasonal biomass proportion (%)	
	Breakwater	Control area
Uljin	57.6 \pm 23.6	41.6 \pm 32.7
Wolseong	38.7 \pm 25.3	16.8 \pm 27.3
Gori	44.9 \pm 28.5	39.8 \pm 26.1

전소의 경우, 발전소 방파제에서는 3.2~95.0%의 범위를 보였으며, 계절별로는 여름에 평균 78.7%로 가장 높았고 봄에 평균 46.0%로 가장 낮았다. 대조구에서는 0~92.8%의 범위를 보였고, 여름에 평균 70.1%로 가장 높았고 봄에 평균 24.3%로 가장 낮았다. 울진원자력발전소 주변에서 조사된 단위면적당 해조류 생물량 가운데 산호말류가 차지하는 평균 구성비율은 발전소 방파제와 대조구 모두에서 여름에 다른 계절과 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다($p < 0.05$).

월성원자력발전소의 경우, 발전소 방파제에서는 0~93.2%의 범위를 보였으며, 가을에 평균 42.1%로 다소 높았으나 기타 계절에는 평균 구성비율이 32.6~35.0%의 범위로 비슷한 수준을 보였다. 대조구에서는 0~87.3%의 범위를 보였으며, 여름에 평균 23.7%로 가장 높았고 봄에 평균 6.2%로 가장 낮았다. 그러나 울진원자력발전소 주변의 경우와는 달리 월성원자력발전소 주변에서 조사된 단위면적당 해조류 생물량 가운데 산호말류가 차지하는 평균 구성비율은 계절에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다.

한편 고리원자력발전소의 경우 발전소 방파제에서는 0~95.1%의 범위를 보였으며, 가을에 평균 69.7%로 가장 높았고 여름에 평균 28.0%로 가장 낮았다. 대조구에서는 여름과 가을에 평균 47.0% 내외로 높았으며 겨울에 27.0%로 낮았다. 고리원자력발전소 주변에서는 방파제의 경우 산호말류가 차지하는 평균 구성비율이 계절에 따라 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다지만($p < 0.01$), 대조구에서는 계절에 따른 차이에서 유의성을 보이지 않았다.

산호말류의 생물량 변동(Table 4)과 마찬가지로 발전소 방파제 구역에서 측정된 해조류 생물량 가운데 산호말류가 차지하는 비율은 대조구에 비해 전반적으로 높게 나타났다(Table 6). 먼저 울진원자력발전소의 경우 10년간 조사된 산호말류 구성비율의 총 평균은 발전소 방파제에서 57.6%로 나타나 대조구의 평균 41.6%보다 높았고($p < 0.01$), 특히 월성원자력발전소에서는 방파제에서 측정된 산호말류 생물량 구성비율의 평균(38.7%)이

대조구(16.8%)보다 2배 이상 높았다($p < 0.01$). 물론 고리원자력발전소의 배수구 방파제에서도 산호말류의 생물량 구성비율은 대조구에 비해 다소 높았지만, 생물량의 조사결과(Table 3)와 마찬가지로 통계적인 유의성은 나타나지 않았다.

고 찰

지난 10년간 동해안의 3개 원자력발전소 주변에서 관찰된 산호말류는 넓은게발, 에페드라게발, 모자반겉테기 또는 엔도혹돌일 등 일부의 종들을 제외하면 민산호말류와 마디산호말류의 구분 없이 대체로 폭넓은 분포를 나타내는 것으로 판단된다. 대부분 다년생 해조로 간주되는 산호말류는 그간 국내에서 제주도과 울릉도 또는 독도를 포함하여 우리나라 연안에서 고루 관찰되고 있다(최 1989; Kim 2000; 이와 강 2002). 더구나 산호말류의 몇몇 종은 주변 해수보다 수온이 높은 온배수가 흐르는 배수구에서도 흔하게 관찰되는 내열종(warm-tolerant species)으로 보고된 바 있다(김 등 1998, 2004, 2007; 김과 안 2006). 따라서 최근 10년간 동해안의 3개 원자력발전소 주변에서 관찰된 산호말류의 정성적 측면 조사결과에서는 시·공간적 분포양식에 있어서 뚜렷한 경향을 보이지 않는 것으로 판단된다.

그간 우리나라 동해안의 해조류 분포를 조사한 자료는 많지만(이 1991; Lee and Kim 1999 참조), 해조류의 생물량을 비교한 결과는 많지 않은 실정이다. 그 가운데 강원도 주문진 조간대에서 1995년 여름부터 1996년 봄에 걸쳐 계절별로 수행된 해조군집 조사에서 작은구슬산호말은 갈조식물 지층이(*Sargassum thunbergii*)와 더불어 4계절 모두 우점종으로 나타났지만, 작은구슬산호말의 계절별 생물량 평균은 35~167 g dry wt m⁻²의 범위로 나타났을 뿐이다(김 등 1997). 한편 강원도 대진에서 2006년 여름부터 2008년 봄에 이르기까지 2년간 계절별로 조간대와 조하대의 해조류 분포를 조사한 결과, 작은구슬산호말은 갈조류 모자반 무리(괘생이모자반 *Sargassum horneri*, 왜모자반 *S. yezoense*)와 함께 지역을 대표하는 우점종의 하나로 밝혀졌는데, 습중량(wet weight)으로 측정된 생물량의 계절 평균은 13~126 g wet wt m⁻²의 범위에 불과하였다(신 등 2008). 따라서 이번 조사를 통하여 최근 10년간 동해안의 3개 원자력발전소 주변에서 측정된 산호말류의 생물량은 이제까지 동해안을 대상으로 조사된 산호말류의 생물량보다 훨씬 많은 수준임을 알 수 있다.

지난 10년간 계절별로 동해안의 원자력발전소 주변에

출현하는 산호말류를 조사한 결과를 종합해 볼 때, 시·공간적 분포양식에 있어서 뚜렷한 경향을 보이지 않은 정성적 측면 조사결과와는 달리, 동해안의 다른 지역보다 산호말류의 생물량이 많았다. 조사된 3개 발전소 모두에서 발전소 방파제의 평균 생물량이 대조구보다 많았으며 (Table 4), 해조류 생물량 가운데 산호말류가 차지하는 구성비율 역시 방파제에서 대조구보다 높았다 (Table 6). 울진원자력발전소와 월성원자력발전소에서는 방파제와 대조구의 산호말류 구성비율의 차이가 통계적인 유의성을 보였다. 한편 산호말류의 생물량 (Table 3)과 구성비율 (Table 5)의 계절적인 변동에서도 울진원자력발전소의 경우 여름에 다른 계절과 유의한 차이를 보이는 것으로 밝혀졌다.

이와 같은 동해안 3개 원자력발전소 주변 산호말류의 시·공간적 분포 양식의 특징은 고착성 해조류의 분포를 좌우하는 다양한 물리·화학적 또는 역학적 요인 (Round 1981; Dring 1992; Lobban and Harrison 1994) 가운데 특히 외해에 대한 노출과 그에 따른 파도의 영향, 부착기질의 조성 시기와 표면의 특징 또는 수온의 차이 등에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다.

먼저 해조류 서식지의 외해에 대한 노출의 정도가 달라지면서 파도가 조간대의 암반에 부딪쳐 생겨나는 기계적인 힘이 차이를 나타내고, 이와 같은 해수의 운동은 해조류 식생과 형태에 영향을 미치게 된다 (Mathieson *et al.* 1977; Paula and Oliveira 1982). 따라서 조간대의 경우 해수의 운동은 간조시에 일어나는 햇빛에의 노출과 더불어 해조류 생육에 중요한 압박 요인으로 해석된다 (Norton *et al.* 1982). 조하대 역시 예외는 아니어서, 이를테면 동해안의 죽도에서 해수의 운동이 약하고 경사가 완만한 지역에서는 알송이모자반 (*Sargassum confusum*) 이 주된 식생을 이루는 반면, 외해에 노출되어 해수의 운동이 강한 쪽에서는 쇠미역사촌 (*Costaria costata*) 이 우점하는 것으로 나타났다 (고 1983; 고와 성 1983).

그런데 원자력발전의 가동이 주변 생태계에 미치는 영향을 모니터링하는 장기적 조사의 일환으로 수행된 이 연구에서 조사가 이루어진 3개 원자력발전소의 방파제는 물론 대조구 역시 파도로부터 보호된 지역은 제외시키고 가능한 외해에 면하고 파도에 직접 노출되는 지점들을 조사정점으로 선정하였다. 그러므로 이 연구에서 얻어진 발전소 주변 산호말류의 독특한 시·공간적 분포 양식의 논의에서 외해에 대한 노출과 그에 따른 파도의 영향은 일단 제외하기로 한다.

다음으로 산호말류를 포함하는 다양한 해조류의 출현에 있어서 부착기질의 조성 시기와 표면의 특징 또는 화학적 조성 역시 중요한 요인이 되고 있음은 주지의

사실이다 (Dawson 1966; Lobban and Harrison 1994; Graham and Wilcox 2000). 조간대 또는 조하대에 표면의 결 (texture)과 다공성이 서로 다른 다양한 인공기질을 설치하거나 자연 식생을 제거한 고전적 연구를 통하여 착생하는 해조류의 종류와 천이양식이 부착기질의 종류에 따라 다른 것으로 나타났다 (Tsuda and Kami 1973; Borowitzka *et al.* 1978; Hruby and Norton 1979; Niell 1979). 국내에서 수행된 몇몇 연구에서도 인공기질의 유형이나 자연식생을 제거한 영구방형구의 설치 부위 또는 시기에 따라 해조군집의 천이 양식이 상이한 것으로 확인된 바 있다 (김 1987; Kim *et al.* 1992; Kim 1994; Kim and Yoo 1994; 김과 박 1997).

이번 연구에서 발전소 방파제에서는 주로 콘크리트 제작된 테트라포드에서 조사가 수행되었고 대조구에서는 대체로 자연암반을 대상으로 조사가 이루어졌으므로 발전소와 대조구간에서 부착기질 표면의 구조적 특징이나 화학적 조성이 다르다는 점을 지적하지 않을 수 없다. 그런데 울진원자력발전소 1호기가 1988년에 상업운전을 시작하였고, 월성원자력발전소 1호기는 1983년 그리고 고리원자력발전소 1호기는 1978년에 가동을 시작하였다 (김 2003). 발전소의 방파제는 이보다 몇 년 앞서 축조되었으므로 이번 조사가 시작된 1997년에는 방파제 설치 이후 10년에서 20년 이상 경과하였음을 알 수 있다.

일본 북해도의 인위적으로 조성된 방파제에서 해조군집의 천이를 조사한 결과, 일년생 해조와 다년생 해조의 피도가 균형을 이루는 극상기 (climax phase)는 3~4년이 소요되고 (Saito *et al.* 1976), 우점종이 서식지에 지속적으로 출현하는 극상군집은 약 7년이 소요되는 것으로 보고된 바 있다 (Saito *et al.* 1977). 한편 조하대의 다양한 수심에 자연석과 콘크리트 인공어초를 투입한 후 2년 이내에 마디산호말류와 민산호말류를 포함하여 다양한 다년생 해조류들이 자연석과 인공어초의 구분 없이 출현하는 것으로 관찰되었다 (Ohno *et al.* 1990). 따라서 부착기질의 조성 시기나 표면의 특징 등에 따른 영향은 이번 연구를 통하여 나타난 발전소 주변 산호말류의 독특한 시·공간적 분포 양식을 해석하는데 있어서 큰 의미를 지니지 않는 것으로 볼 수 있다.

마지막으로 수온은 빛과 더불어 해조류의 출현과 생육에 영향을 미치는 가장 중요한 요인이 되고 있다 (Round 1981; Dring 1992; Lobban and Harrison 1994; Graham and Wilcox 2000). 동해안의 3개 원자력발전소 주변에서 비슷한 시기에 측정된 수온 자료들을 비교해 보면 배수구 주변의 수온과 대조구의 수온은 계절에 따라 3~7°C 범위의 차이를 나타내고 있다 (김과 안 2005; 한

국전력공사 2007a, b, c). 이와 같은 수온의 차이는 출현하는 해조류의 분포에 중대한 영향을 미칠 것으로 판단되고, 따라서 이 연구에서 얻어진 발전소 주변 산호말류의 독특한 시·공간적 분포 양식은 조사정점간의 국지적 수온 차이와 무관하지 않은 것으로 추정된다. 특히 울진원자력발전소의 경우 수온이 높아지는 여름에 생물량이 가장 많고 단위면적당 해조류 생물량 가운데 산호말류가 차지하는 구성비율 역시 가장 높게 나타나면서 다른 계절과 유의한 차이를 보이는 점이 이러한 추정을 뒷받침한다.

탄산칼슘이 세포벽에 침적되는 산호말류는 해조류 가운데 생장률이 가장 낮은 집단으로 알려져 있지만(Littler 1980; Littler and Arnold 1982; Littler *et al.* 1983), 수온의 상승이 산호말류의 출현을 촉진시킨다는 간접적인 증거는 도처에서 찾을 수 있다. 이를테면 발전소 냉각시스템의 가동에 따라 수온이 증가된 냉각수가 흐르는 배수로에서는 에페드라게발, 고리마디게발, 참산호말, 작은구슬산호말, 돌레게발혹(*Marginisporum crassissimum*) 등의 마디산호말류와 모자반껍데기와 잘피껍데기 등의 민산호말류가 보편적으로 출현하고 있다(김 등 1992, 1998, 2004; 김과 안 2005). 한편 제주도를 비롯하여(정 등 1998) 동해안은 물론(김 2002) 심지어 울릉도와 독도에 이르기까지(김과 김 2000; 김 등 2004) 폭넓은 해역에서 해조류 종조성이 감소하고 민산호말류가 번무하며 해조상이 변화하는 이른바 갯녹음 현상의 많은 원인 가운데 수온의 상승을 많은 연구자들이 주된 요인으로 지목하고 있다(김 등 2002).

비록 산호말류는 다양한 해조류 가운데 성계와 같은 초식동물의 기호성(palatability)이 가장 낮은 집단이기는 하지만(Littler 1980; Littler and Arnold 1982), 초식동물에 의한 섭식 역시 산호말류의 출현과 번식에서 무시할 수 없는 변수로 간주된다(Korpinen *et al.* 2007). 따라서 발전소 주변 산호말류의 독특한 정성·정량적 측면에 미치는 영향에 관한 향후의 연구 조사에서는 이를 포함하여 다각적인 측면에 대한 면밀한 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

적 요

1997~2006년의 10년간 계절별로 동해안에 위치한 3개 원자력발전소(울진, 월성 및 고리)의 배수로 부근 방파제와 대조구에서 산호말류의 종조성과 생물량을 조사하였다. 조사를 통하여 13종의 산호말류가 관찰되었으며, 작은구슬산호말, 고리마디게발, 참산호말 및 잘피껍데

기의 4종은 거의 모든 조사정점에서 지난 10년간 50% 이상의 출현빈도를 보이는 보편종으로 밝혀졌다. 조사정점별로는 발전소 방파제에서 10~12종이 출현하고 대조구에서 8~12종이 관찰되어 출현종수는 정점간에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 산호말류의 단위면적당 평균 생물량은 $0 \sim 2.530 \text{ g dry wt m}^{-2}$ 의 넓은 범위로 나타났으며, 생물량으로 본 우점종은 공통적으로 작은구슬산호말이었다. 배수로 부근 방파제 구역에서 측정된 산호말류의 단위면적당 생물량은 대조구의 생물량보다 전반적으로 많았다. 단위면적당 해조류 생물량 가운데 산호말류가 차지하는 구성비율의 평균은 0~95.0%의 넓은 범위로 나타났으며, 발전소 방파제 구역에서 대조구보다 전반적으로 높게 나타났다. 특히 울진원자력발전소의 경우 수온이 높은 여름에 생물량이 가장 많고 구성비율 역시 가장 높게 나타나면서 다른 계절과 유의한 차이를 보였다. 이와 같은 발전소 주변 산호말류의 독특한 시·공간적 분포 양식은 조사정점간의 국지적 수온 차이와 무관하지 않은 것으로 추정된다.

사 사

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었다. 이 연구를 위하여 현장 채집과 실험실 분석을 도와준 충북대학교 조류학연구실 윤희동 군과 김현경 군, 그리고 자료 정리를 도와준 김수지 양에게 감사하며, 논문을 심사하고 유익한 조언을 아끼지 않으신 편집위원장과 심사위원들에게 사의를 표한다.

참 고 문 헌

- 고철환. 1983. 저서식물의 군집구조와 생산성(동해안, 죽도) II. 해조류 식생의 계절변화와 대형갈조류 성장양상의 관계. 식물학회지. 26:181-190.
- 고철환, 성낙길. 1983. 저서식물의 군집구조와 생산성(죽도, 동해안) I. 해조류의 식생과 환경. 식물학회지. 26:119-130.
- 김미경, 김기태. 2000. 울릉도·독도의 해조류 연구 I. 해조류의 종조성 감소와 해조상의 변화. 조류학회지. 15:119-124.
- 김미경, 신재기, 차재훈. 2004. 하계 독도 연안 해조류의 종조성 변동과 갯녹음현상. 조류학회지. 19:69-78.
- 김영환. 1987. 인공저층을 이용한 해조류의 착생 및 천이에 관한 연구. 조류학회지. 2:73-91.

- 김영환. 2003. 원자력발전과 온배수: 그 현황과 대책. 전파과학사, 서울. 151pp.
- 김영환, 남기완, 손철현. 1997. 동해안 주문진 조간대의 저서 해조류: 해조상, 분포 및 군집구조. 조류학회지. 12:117-130.
- 김영환, 박선홍. 1997. 제주도 조간대 해조군집의 천이양식. 조류학회지. 12:23-30.
- 김영환, 안중관. 2005. 동해안 3개 원전 배수로 해조군집의 특성. 조류학회지. 20:217-224.
- 김영환, 안중관. 2006. 동해안 월성원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향. 조류학회지. 21:453-461.
- 김영환, 안중관, 윤희동, 장민아. 2007. 고리원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향. 조류학회지. 22:297-304.
- 김영환, 안중관, 이재일, 엄희문. 2004. 동해안 울진원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향. 조류학회지. 19:257-270.
- 김영환, 엄희문, 강연식. 1998. 한국산 내열종 해조류의 정성·정량적 분석 1. 고리원자력발전소. 조류학회지. 13:213-226.
- 김영환, 윤현주, 유종수. 1995. 서해 중부 연안 해조군집의 종조성과 생물량. 식물학회지. 38:389-398.
- 김영환, 허성희. 1998. 서해안 영광원자력발전소 주변 해조군집의 종조성과 생물량. 한국수산학회지. 31:150-161.
- 김형근. 2002. 강릉하천 하구역에 발생하는 갯녹음(백화)현상의 진단. 강원지역환경기술개발센터. 32pp.
- 김형근, 강래선, 손철현. 1992. 고리 원자력발전소 연안의 해조군집에 대한 온배수의 영향. 조류학회지. 7:269-279.
- 김형근, 손철현, 홍용기, 전방욱, 손용수, 강래선, 황은경, 최창근, 박중규, 조규남, 최재석, 신원준, 박운남, 박주영, 이주일, 전찬길, 원기식, 김미정, 이승복, 김동삼, 한규삼. 2002. 갯녹음(백화) 현상의 원인 규명 및 대책. 해양수산부 연구보고서, 263pp.
- 손철현, 김형근, 한현섭. 2002. 갯녹음 연안을 바다숲으로. 청문각, 서울. 163pp.
- 신재덕, 안중관, 김영환, 이승복, 김정하, 정익교. 2008. 한국 연안 해조류 생물량의 연간 변동 양상: 강원도 대진지역. 조류학회지. 23:327-334.
- 이용필, 강서영. 2002. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교 출판부. 제주. 662pp.
- 이인규, 강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 조류학회지. 1:311-325.
- 이재완. 1991. 한국 동해안 조간대의 해조류 군집구조와 지리적 분포. 서울대학교 박사학위논문. 210pp.
- 정호성, 조기웅, 정경호, 김지희, 신종현, 서영완, 강제신, 이인규. 1998. 제주도 서귀포 연안의 백화현상에 대한 생태학적 특성. 조류학회지. 13:361-374.
- 최도성. 1989. 한국산 홍조 산호말과 개발속 식물에 대한 분류학적 연구. 서울대학교 박사학위논문. 320pp.
- 한국전력공사. 2007a. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서 (2006년보). 한국전력공사 전력연구원, '07전력연-단0255. 358pp.
- 한국전력공사. 2007b. 울진원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서 (2006년보). 한국전력공사 전력연구원, '07전력연-단0258. 355pp.
- 한국전력공사. 2007c. 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서 (2006년보). 한국전력공사 전력연구원, '07전력연-단0256. 395pp.
- Bensoussan N and JP Gattuso. 2007. Community primary production and calcification in a NW Mediterranean ecosystem dominated by calcareous macroalgae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 334:37-45.
- Borowitzka MA, AWD Larkum and LJ Borowitzka. 1978. A preliminary study of algal turf communities of a shallow coral reef lagoon using an artificial substratum. Aquat. Bot. 5:365-381.
- Bulleri F. 2006. Duration of overgrowth affects survival of encrusting coralline algae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 321:79-85.
- Bussell JA, IAN Lucas and R Seed. 2007. Patterns in the invertebrate assemblage associated with *Corallina officinalis* in tide pools. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 87:383-388.
- Daleo P, M Escapa, J Alberti and O Iribarne. 2006. Negative effects of an autogenic ecosystem engineer: interactions between coralline turf and an ephemeral green alga. Mar. Ecol. Prog. Ser. 315:67-73.
- Dawson EY. 1966. Marine Botany; An Introduction. Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York. 371pp.
- Dring MJ. 1992. The Biology of Marine Plants. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 199pp.
- Graham LE and LW Wilcox. 2000. Algae. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River. 640pp.
- Helbling EW, ES Barbieri, RP Sinha, VE Villafane and DP Hader. 2004. Dynamics of potentially protective compounds in Rhodophyta species from Patagonia(Argentina) exposed to solar radiation. J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 75:63-71.
- Hoek C van den, DG Mann and HM Jahns. 1995. Algae: an Introduction to Phycology. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 623pp.
- Hruby T and TA Norton. 1979. Algal colonization on rocky shores in the Firth of Clyde. J. Ecol. 67:65-77.
- Kim JH. 2000. Taxonomy of the Corallinales, Rhodophyta in Korea. Ph.D. Thesis. Seoul National University. 349pp.
- Kim YH. 1994. Experimental observation of algal successions in a rocky intertidal community. Proc. Korea-Japan Sem. Biol. 2:159-174.
- Kim YH and JS Yoo. 1994. Patterns of algal succession in a *Sargassum thunbergii* (Phaeophyta) dominated rocky intertidal community. Korean J. Phycol. 9:59-65.
- Kim YH, JS Yoo and JH Kim. 1992. Marine algal succession

- in a perturbed intertidal community. *Korean J. Phycol.* 7:131-137.
- Korpinen S, V Jormalainen and T Honkanen. 2007. Effects of nutrients, herbivory and depth on the macroalgal community in the rocky sublittoral. *Ecology* 88:839-852.
- Lee IK and YH Kim. 1999. Biodiversity and distribution of marine benthic organisms and uses of algal resources in the coastal zone of Korea and Japan I. Benthic marine algae in the east coast of Korea. *Algae* 14:91-110.
- Leukart P. 1994. Field and laboratory studies on depth dependence, seasonality and light requirement of growth in three species of crustose coralline algae (Corallinales, Rhodophyta). *Phycologia* 33:281-290.
- Littler MM. 1980. Morphological form and photosynthetic performances of marine macroalgae: Tests of a function/form hypothesis. *Bot. Mar.* 23:161-165.
- Littler MM and KE Arnold. 1982. Primary productivity of marine macroalgal functional-form groups from southwestern North America. *J. Phycol.* 18:307-311.
- Littler MM and DS Littler. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic macroalgae: Field and laboratory tests of a functional model. *Amer. Natur.* 116:25-44.
- Littler MM, DS Littler and PR Taylor. 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: Functional-form groups of marine macroalgae. *J. Phycol.* 19:229-237.
- Lobban CS and PJ Harrison. 1994. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 366pp.
- Martin S, MD Castets and J Clavier. 2006. Primary production, respiration and calcification of the temperate free-living coralline alga *Lithothamnion corallioides*. *Aquat. Bot.* 85:121-128.
- Mathieson AC, E Tvetter, M Daly and J Howard. 1977. Marine algal ecology in a new Hampshire tidal rapid. *Bot. Mar.* 20:277-290.
- Morse AN and DE Morse. 1984. Recruitment and metamorphosis of *Haliotis* larvae induced by molecules uniquely available at the surfaces of crustose red algae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 75:191-215.
- Niell FX. 1979. Structure and succession in rocky algal communities of a temperate intertidal system. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 36:185-200.
- Norton TA, AC Mathieson and M Neushul. 1982. A review of some aspects of form and function in seaweeds. *Bot. Mar.* 25:501-510.
- Ohno M, S Arai and M Watanabe. 1990. Seaweed succession on artificial reefs on different bottom substrata. *J. Appl. Phycol.* 2:327-332.
- Paula EJ de and EC de Oliveira. 1982. Wave exposure and ecotypic differentiation in *Sargassum cymosum* (Phaeophyta, Fucales). *Phycologia* 21:145-153.
- Round FE. 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 653pp.
- Saito Y, S Naganawa and H Miyasaka. 1977. The climax phase and its recognition in intertidal algal vegetation. *Jap. J. Ecol.* 27:33-43. (in Japanese)
- Saito Y, H Sasaki and K Watanabe. 1976. Succession of algal communities on the vertical substratum faces of breakwaters in Japan. *Phycologia* 15:93-100.
- Schiel DR, JR Steinbeck and MS Foster. 2004. Ten years of induced ocean warming causes comprehensive changes in marine benthic communities. *Ecology* 85:1833-1839.
- Steinbeck JR, DR Schiel and MS Foster. 2005. Detecting long-term change in complex communities: A case study from the rocky intertidal zone. *Ecological Applications* 15:1813-1832.
- Suzuki Y, T Takabayashi, T Kawaguchi and K Matsunaga. 1998. Isolation of an 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.
- Sze P. 1998. *A Biology of the Algae*. WCB/McGraw-Hill. Boston. 278pp.
- Tsuda RT and HT Kami. 1973. Algal succession on artificial reefs in a marine lagoon environment in Guam. *J. Phycol.* 9:260-264.

Manuscript Received: February 3, 2009
Revision Accepted: March 2, 2009
Responsible Editor: Mi-Kyung Kim