

함평만 갯벌의 저서규조류 분포 특성

이 학 영* · 정 명 화

전남대학교 자연과학대학 생물학과

Distribution of Benthic Diatoms in Tidal Flats of Hampyeong Bay, Korea

Hak Young Lee* and Myounghwa Jung

Department of Biological Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract – The distributional pattern of benthic diatoms in tidal flats of Hampyeong Bay, Korea, was studied from January to October in 2009. As benthic diatoms of Hampyeong Bay tidal flats, 45 species were identified, and the most dominant species was *Paralia sulcata*. The most diverse flora was observed at Gaip and Songseok sites in April with 22 species, and the least at Hyeonhwa site in January. The ranges of chlorophyll-*a* concentration in tidal flats were 21.2~31.8 mg m⁻² at Hyeonhwa site, 23.6~35.4 mg m⁻² at Gaip site, and 24.2~34.3 mg m⁻² at Songseok site. The concentrations of pheopigment ranged between 25.3 and 45.2 mg m⁻². The standing crops of benthic diatoms showed highest density in April and lowest in January, February, and October. The cell volumes of benthic diatoms were highest in April. The taxa and biomass of benthic diatoms showed correlations with temperature. On temperature variables, the benthic diatoms showed optimal occurrences at the range of 14~17°C.

Key words : benthic diatoms, chlorophyll, tidal flats, temperature, Hampyeong Bay

서 론

갯벌은 주변의 환경에 의해 조성되는 다양한 서식처가 갖추어지면서 생물체의 분포가 다양해 일반적으로 생산성이 높은 생태공간으로 알려져 있다 (Teal 1962; Hopner and Wonneberger 1985; Rizzo 1990; Mulamootil *et al.* 1996; 고 등 1997; 박 1998; Archambault and Bourget 1999; Boschker *et al.* 1999; Broitman *et al.* 2001; Levington 2001). 높은 생산성으로 인해 연안에 발달하는 갯벌은 수산자원으로써의 경제적 가치뿐만 아니라, 육상과

바다의 인접부인 연안에서 먹이 그물 및 상호 작용 등에 의해 안정된 생태계를 이룬다는 점에서 매우 중요한 역할을 한다 (Valiela and Teal 1979; Kendrick *et al.* 1998; Sze, 1998). 최근에는 갯벌이 육상으로부터 유입되는 오염물질을 정화시켜주는 공간으로 인식되면서 지구생태계의 자정적인 측면에서도 중요한 지역으로 보호와 관리의 지대한 관심을 받고 있다 (고 등 1997).

성인과 규모가 상이한 갯벌 생태계는 특유의 다양한 영양단계의 생물군들이 공생하면서 에너지 흐름을 완성하고 있다 (Sand-Jensen and Borum 1991; Pinckney *et al.* 1994). 갯벌 저서동물들은 갯벌에서 자체 생산되는 유기물과 해수로부터 공급되는 유기물을 먹이로 하여 살아가는데, 갯벌의 표면에 서식하는 저서 미세조류는 중요한

* Corresponding author: Hak Young Lee, Tel. 062-530-3401, Fax. 062-530-3409, E-mail. haklee@chonnam.ac.kr

유기물원이 된다(de Jonge and van Beusekom 1995; Dawes 2005). 그런데 이들 미세 조류의 90% 이상이 규조류이다(Lucas *et al.* 2001). 따라서 갯벌 저서규조류의 연구는 연안 생태계의 특성을 해석하는데 기초적이고 필수적인 연구 분야라 하겠다.

20세기 후반에 시작된 국내의 갯벌 저서규조류에 관한 연구는 주로 형태학적 및 분류학적 측면의 기초 연구에 초점을 맞추고 있다. 국내 갯벌에서의 저서규조류 분포 및 환경요인과의 상관성에 관한 생태학적 연구가 시도된 바 있으나 그 수가 매우 적다(이 2002). 연안 생태계의 특성변화 및 생물다양성 변화를 연구하기 위해서는 갯벌의 일차생산자인 저서규조류에 관한 기초적 및 체계적인 분류 및 생태학적 연구가 반드시 선행되어야 한다. 더구나 지구온난화로 인한 환경의 점진적인 변화가 이루어지고 있는 상황에서 온난화에 따른 갯벌 생물의 서식패턴 변화를 분석하는 데 일차생산자인 저서규조류의 연구는 필수적이다.

본 연구에서는 우리나라의 대표적인 갯벌인 함평만 갯벌에서 3 지점을 선택하여 서식 저서규조류의 구성과 분포의 양상을 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

갯벌의 주 생산자인 저서규조류의 종 다양성 파악을 위해 전라남도 함평군의 현화리, 가입리, 송석리의 세 곳의 조간대에서 각각 1개 정점을 선택하여 표층 퇴적물 시료를 채취하였다(Table 1).

퇴적물 환경요인의 파악을 위해 저서규조류 생물량 측정을 위해 선정된 동일 정점에서 퇴적물 시료를 채취하여 퇴적물 시료의 입도를 측정하여 사질, 니질, 실트로 구분하였다(Folk 1966). 퇴적물의 조성은 동일한 지점에서 조사시기와 조사지점, 샘플의 채취장소 등에 따른 변이가 매우 컸다. 함평만의 입구에 위치한 송석리 지점은 좁은 조간대 폭(약 500m)을 가지고 퇴적물도 표층은 니질로 구성되었다. 함평만의 중앙부에 위치한 가입리는 넓은 조간대 폭(약 2km)으로 인해 가장 다양한 갯벌 입도를 보여 주었다. 함평만의 가장 내 측에 위치하고 조간대의 폭도 비교적 넓은(약 1.5km) 현화리도 가입리와 마

찬가지로 입도의 다양도가 높았다. 전체적으로 사질이 우세한 가운데 니질과 실트 성분도 포함하고 있었다.

저서규조류 분석은 다음의 과정을 거쳐 수행하였다.

1. 저서규조류 다양성

갯벌 표층 5 mm 깊이까지의 퇴적물을 스파톨라를 이용하여 채취하여 고정액(10% 포르말린+10% 아세트산)으로 고정한 후에 실험실로 운반하였다. 과산화수소수와 염산을 이용하여 유기물을 제거한 후 각 정점 당 1개씩의 프레파라트를 만들어 동정하였다. 개체수를 계수하기 위하여 1/10~1/500로 희석하여 프레파라트를 만들었다. 프레파라트 커버슬립 면적의 20% 이상을 계수하고 출현 개체수가 250 개체 이상이 되게 하여 통계분석을 하였다.

2. 표층퇴적물 내 chlorophyll *a* 와 pheopigment 농도

Core sampler(지름 1.4 cm)를 이용하여 퇴적물 표층 5 cm를 4회 채취하여 50 mL 튜브에 넣어 냉동 보관 상태로 실험실로 운반하였다. 퇴적물 시료에 100% 아세톤 15 mL을 넣고 약 1분간 초음파 처리를 한 후 4°C 암실에 24시간 동안 저온 추출한 후 시료를 1,500 rpm에서 5분간 원심분리하고 상등액을 따라내어 Spectrophotometer를 이용하여 추출 시료의 흡광도를 665, 750 nm에서 각각 측정 후 시료에 1 N HCl을 첨가하여 잘 흔들어 주고 약 5분 후에 665, 750 nm에서 시료의 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도 값을 Lorenzen 식(1967)에 대입하여 chlorophyll *a*의 농도와 pheopigment의 농도로 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 저서규조류 다양성

함평만 갯벌에서 2009년 1월부터 10월까지의 조사에서 동정된 저서규조류 중 우점종으로 출현한 종은 총 45종이었으며 우리나라의 서해안에서 부유 또는 부착 규조류로 널리 분포하는 *Paralia sulcata*가 전 지역을 통틀어 가장 우점하는 것으로 나타났다(이 2002). *Cyclotella* sp.와 *Navicula gregaria*도 우점빈도가 높았으며 *Cyclotella litoralis*, *Diploneis* sp., *Entomoneis alata*, *Gyrosigma* sp., *Navicula abunda*, *Navicula* sp. 1., *Navicula* sp. 2., *Nitzschia palea*, *Nitzschia* sp. 등도 주요 우점종으로 조사되었다. 우점종은 지역별, 조사시기별로 일부 변화하는 것으로 조사되었다.

저서규조류 출현종의 지역별 현황을 살펴보면, 현화리

Table 1. Locations and sediment types of studied sites in Hamyeong Bay.

Site	Latitude	Longitude	Sediment type
Hyeonhwa	N35° 03'14.62"	E126° 26'60.93"	Sandy > Silty-Clay
Gaip	N35° 05'33.83"	E126° 21'13.08"	Sandy > Silty-Clay
Songseok	N35° 09'11.56"	E126° 20'49.39"	Silty-Clay > Sandy

지점에서 총 23종이 동정되어 가장 낮은 다양도를 보여 주었고, 가입리 지점에서는 26종이 출현하였으며, 송석리 조사지점에서는 총 29종이 동정되어 가장 다양한 종조성을 보여주었다. 조사지점별 출현종 수 분포에서는 평균 15종(1월 가입리)에서 22종(4월 가입리, 4월 송석리)의 범위를 보여주었다 (Fig. 1).

조사시기에 따른 출현종 분포에서는 전 지점에서 4월에 가장 다양했고 1월에 가장 단순한 종조성을 나타냈으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 서해안의 다른 갯벌 조사결과(이 2002)와도 일치하였다. Hopkins (1964)는 영국의 Sussex 갯벌에서 저서규조류의 다양도가 7월에 높고 2월에 낮다는 것을 보고 했고, Lucas *et al.* (2001)은 네덜란드의 Westerschelde 하구 갯벌에서 7월부터 9월 사이에 20종 이상의 높은 다양도를 확인하여 고온기에 상대적으로 종 다양도가 높다고 보고하였으나 본 조사에서는 고온기의 높은 다양도는 나타나지 않았다.

2. 저서규조류 생물량

함평만 조사대상지역의 조간대 표층퇴적물 시료의 chlorophyll *a* 농도는 19.7~35.2 mg m⁻²이었고 평균 28.7 mg m⁻²로 나타났다 (Fig. 2). 이 결과는 1999년 8월의 함평만 조사 결과인 5.51~214.5 mg m⁻² (해양수산부 1999)와 비교해보면 약간 낮은 값을 보이며, 2003년 11월 조사 결과인 9.3~26.0 mg m⁻² (환경부 2004) 보다는 약간 높은 값을 보였으나 평균값에서는 큰 차이가 없었고, 네덜란드의 Westerschelde 하구 갯벌 (Lucas *et al.* 2000)이나 Wadden Sea의 갯벌 (Colijn and Dijkema 1981), 그리고 Ems-Dollard 하구의 갯벌에서 측정된 chlorophyll *a*의 농도 (Admiraal and Peletier 1980)와도 비슷한 평균농도 분포였다.

chlorophyll *a* 농도의 조사지점별 분포는 함평만의 가장 내측에 위치한 현화리 표층퇴적물에서의 농도 범위는 19.7~31.8 mg m⁻²이었고, 평균 농도는 26.9 mg m⁻²이었다. 조사기간 중 4월에 가장 높고 1월에 가장 낮았으나 조사시기에 따른 농도의 차이는 크지 않았다. 가입리의 chlorophyll *a* 농도 범위는 23.6~32.5 mg m⁻²이었고, 평균 농도는 30.2 mg m⁻²이었으며, 조사시기에 따른 농도 분포에서는 2월에 가장 높고 10월에 가장 낮았다. 만의 유입부에 위치한 송석리의 chlorophyll *a* 농도 범위는 24.2~32.3 mg m⁻²이었고, 평균 25.8 mg m⁻²이었으며, 4월에 가장 높고 10월에 가장 낮았다. 전체적으로 각 지점의 chlorophyll *a* 농도는 큰 차이가 없었고 조사시기에 따른 변이도 적었다. 그리고 chlorophyll *a* 농도는 4월에서 10월로 진행되면서 감소하는 경향을 보여주었다. 이

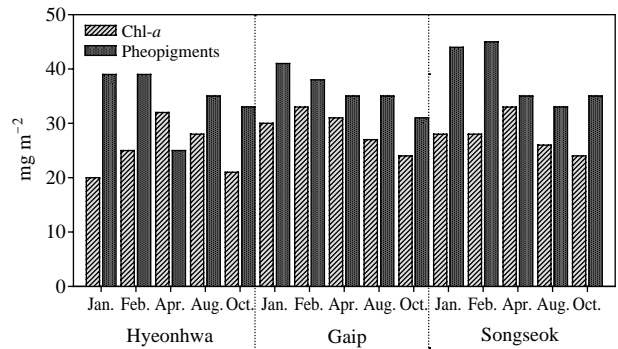


Fig. 1. Species numbers of benthic diatoms in Hampyeong Bay.

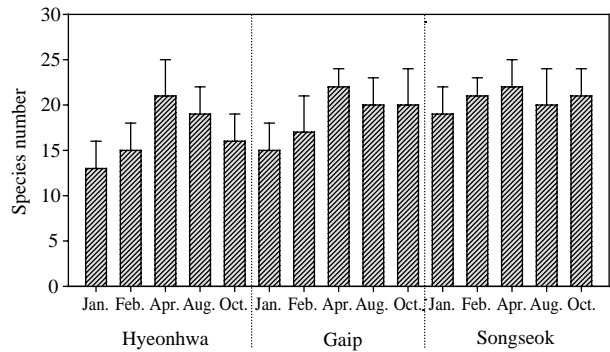


Fig. 2. Concentrations of chlorophyll *a* and pheopigment Hampyeong Bay.

결과는 Admiraal and Peletier (1980)가 Ems-Dollard 하구의 갯벌에서 chlorophyll *a*의 농도가 겨울(1~3월)에 최저, 늦은 봄(4월 이후)에 최고로 보고한 것과 Lucas *et al.* (2000)이 네덜란드 Westerschelde 하구의 갯벌에서 7월에 최고의 농도, 9월에 상대적으로 낮은 농도로 분포한다고 보고한 것과 차이가 있는데 이는 유기물의 계절적 유입이 없는 함평만 갯벌에서 농도 분포가 전반적으로 균일한 것에 기인한 것으로 보인다.

표층 퇴적물 내 pheopigment의 농도 범위는 25.3~45.2 mg m⁻²이었고 (Fig. 2) 평균 36.2 mg m⁻²로 다른 지역의 결과와 차이가 없었다 (Colijn and Dijkema 1981). Pheopigment 농도의 지역별 분포를 살펴보면, 현화리에서 채집된 표층 퇴적물에서의 pheopigment 농도 범위는 25.3~38.8 mg m⁻², 평균 농도는 34.3 mg m⁻²이었고, 조사시기에 따른 변동에서는 1월과 2월에 가장 높은 값을 보였으며 4월에 가장 낮은 값을 보였다. 가입리의 pheopigment 농도 범위는 31.2~41.2 mg m⁻², 평균농도는 36.1 mg m⁻²이었으며 조사시기별로는 1월에 가장 높고 점차 감소하여 10월에 가장 낮은 값을 보였다. 송석리의 pheopigment 농도 범위는 33.2~45.1 mg m⁻², 평균농도는 38.3

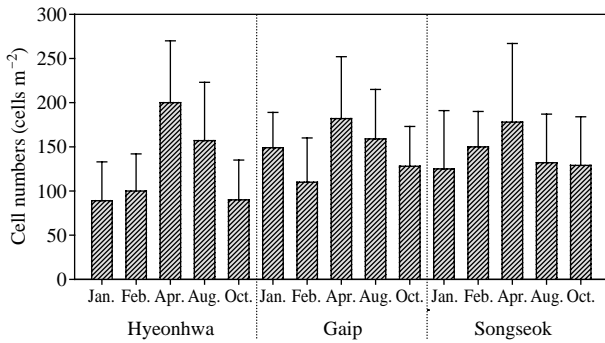


Fig. 3. Cell numbers of benthic diatoms in Hampyeong tidal flats.

mg m⁻²이었으며 조사기간 동안 1월과 2월에 농도가 높고 4월 이후는 거의 비슷한 값을 보였다.

3. 저서규조류 개체수와 생물량 현황

2009년 함평 갯벌의 저서규조류 단위면적당 출현 개체수는 지점별, 조사시기별 큰 차이를 보여주었다(Fig. 3).

현화리의 조사지점에서의 출현 개체수 평균은 1월에 총 89 cells cm⁻²로 조사되었고 2월에는 100 cells cm⁻²로 조사되었으며 4월에는 200 cells cm⁻², 8월에는 157 cells cm⁻²로 나타났다. 10월에는 90 cells cm⁻²이었다. 가입리에서의 출현 개체수 평균은 1월에 149 cells cm⁻², 2월에는 110 cells cm⁻², 4월에는 182 cells cm⁻², 8월에는 159 cells cm⁻², 그리고 10월에는 128 cells cm⁻²로 나타났다. 송석리에서의 출현 개체수 평균은 1월에 가장 밀도가 낮은 150 cells cm⁻²로 출현하였고 2월에는 150 cells cm⁻²로, 4월에는 178 cells cm⁻², 8월에는 132 cells cm⁻², 그리고 10월에는 129 cells cm⁻²로 출현하였다. 전 조사지점에서 4월에 가장 많은 개체수 밀도를 나타냈고 1월, 2월, 10월에 상대적으로 낮은 출현개체 밀도를 나타냈다.

함평만 갯벌의 저서규조류 개체군 밀도는 영국의 Sussex의 갯벌(Hopkins 1964)에서 조사된 180~1,380 cells cm⁻²보다 많이 낮았는데 이는 Sussex의 갯벌이 River Ouse의 하구에 위치하여 많은 영양분을 공급받을 수 있었는데 반해 함평만으로 유입되는 큰 하천이 없기 때문으로 보인다.

출현 규조류 종의 기하학적 형태를 토대로 산출한 생물량의 분포는 개체수 밀도의 분포와 유사한 양상을 나타냈다(Fig. 4). 이것은 생물량이 출현종수에서 산출되는 관계로 출현종수와 출현종수는 높은 상관성을 보여주는 것이며(Wetzel and Likens 2000) 또한 함평만에 출현하는 저서규조류의 종 조성이 비교적 동일하고 생물량의 편차가 그다지 크지 않은 때문으로 보인다.

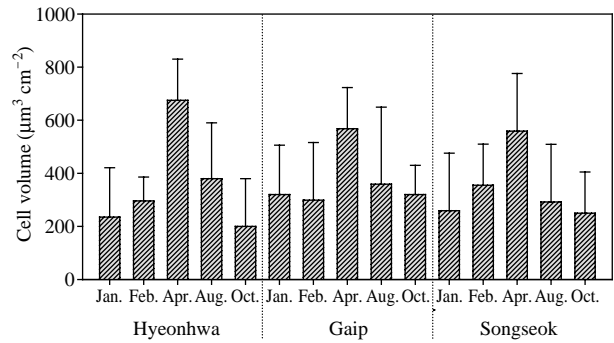


Fig. 4. Variation of benthic diatom cell volumes in Hampyeong Bay.

저서규조류 생물량은 4월에 함평만 갯벌의 전 조사지점에서 가장 높게 나타났고 1월과 2월, 그리고 10월의 조사에서 상대적으로 낮게 나타났으며, 4월 이후에는 뚜렷한 감소의 경향을 나타냈다. 감소의 경향은 현화리 갯벌에서 가장 컸고 가입에서 가장 작았다.

4. 온도와 저서규조류 분포

함평만 갯벌의 저서규조류 분포양상을 기후변화와 관련하여 해석하기 위해 온도에 따른 저서규조류의 분포양상을 분석하였다. 출현종수와 생물량은 온도에 대해 일차원 선형회귀분석에서는 상관성이 거의 없는 것으로 나타났고 2차원 회귀분석에서 비교적 높은 상관성을 나타냈으며 6차원 회귀분석에서 가장 높은 상관성을 보여주었다. 그러나 6차원 회귀분석에 높은 상관성을 가진 것은 특정 조사에서의 튀는 결과에 의한 것이고 이 분석에 따르면 저온과 고온에서 상대적으로 높은 다양도와 생물량을 갖는 것으로 해석될 수 있으므로 2차원 회귀분석에 적합한 것으로 판단된다.

온도에 따른 출현종수의 2차 회귀분석 결과는 일차 선형회귀분석 결과보다 훨씬 상관성이 높은 것으로 나타났다(Fig. 5). 온도에 따른 저서규조류 출현종수 $Y = -0.066X^2 + 2.0968X + 12.434$ 의 식으로 표현되었다. 최고의 종 다양도는 17°C에서 29.0종인 것으로 나타났고 18°C 이상의 온도에서는 출현종수가 감소하는 것으로 나타나 중간교란가설(intermediate disturbance hypothesis)과 유사한 모델을 나타냈다.

온도에 따른 저서규조류의 생물량 분포도 2차원 회귀분석에서 비교적 높은 상관성을 보여주었다(Fig. 6). 온도에 따른 저서규조류 생물량 $Y = -1.8667X^2 + 57.067X + 118.52$ 의 식으로 표현되었다. 최고의 생물량은 15°C에서 553.5 µm³ cm⁻²인 것으로 나타났고 16°C 이상의 온도에서는 온도가 상승함에 따라 생물량이 감소하는 것으로

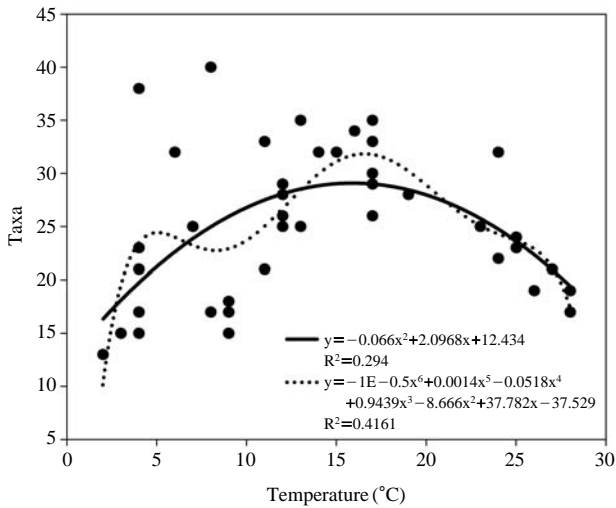


Fig. 5. Regressions of relationship between benthic diatom taxa and temperature.

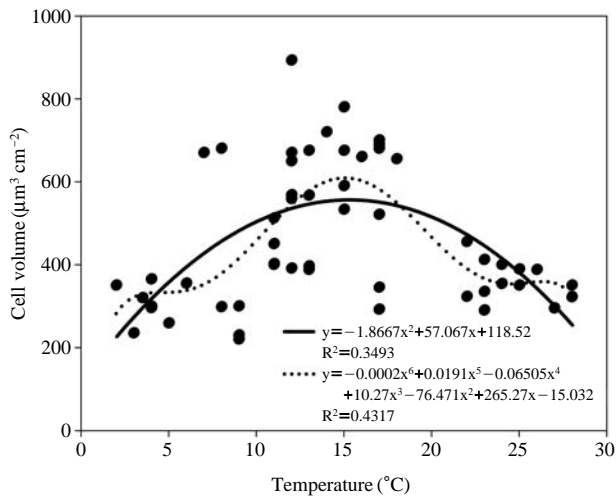


Fig. 6. Regressions of relationship between cell volume and temperature.

나타나 온도와 생물량에서도 중간교란가설 (intermediate disturbance hypothesis)과 유사한 모델이 나타났다.

고온에서 종다양도가 감소한 것은 광합성 생물이 갖는 강광에 대한 저해 (Wetzel and Likens 2000; Nobel 2009)와 관련이 있는 것으로 추정된다. 그런데 Admiraal and Peletier (1980)는 갯벌의 저서규조류의 성장에 가장 중요한 요인이 온도라고 했으며 갯벌에서 여름철의 낮은 저서규조류 밀도는 강광과 온도요인이 아닐 것이라고 했다. 따라서 고온과 관련하여 위도별, 지점별, 온도별 저서규조류의 분포에 대한 연구가 이루어져야 정확한 설명이 가능할 것으로 판단된다.

현재까지 분석된 결과로 함평만 갯벌 저서규조류의

분포가 온도에 의존적이며 중간교란가설의 패턴을 따른다고 판단할 수는 없지만 지속적인 조사를 통해 온도변화와 저서규조류 분포의 상관성을 다각도로 분석하면 기후변화에 따른 갯벌생태계의 반응에 대한 한 단면이 밝혀질 것으로 생각된다.

적 요

함평만 갯벌에 출현한 저서규조류는 총 45종이었으며 *Paralia sulcata*가 가장 우점하는 것으로 나타났다. 출현종 분포에서는 전 지점에서 4월에 가장 다양했고 1월에 가장 단순한 종조성을 나타냈으나 큰 차이가 없는 것으로 나타나 고온기의 높은 다양도를 볼 수 없었다. 표층 퇴적물 시료의 chlorophyll *a* 농도는 19.7~35.2 mg m⁻² 이었고 평균 28.7 mg m⁻²로 나타났다. 표층 퇴적물 내 pheopigment의 농도 범위는 25.3~45.2 mg m⁻²이었고 평균 36.2 mg m⁻²로 다른 지역의 결과와 차이가 없었다. 저서규조류 단위면적당 출현 개체수는 지점별, 조사시기별 큰 차이를 보여주었다. 전 조사지점에서 4월에 가장 많은 개체수 밀도를 나타냈고 1월, 2월, 10월에 상대적으로 낮은 출현개체 밀도를 나타냈다. 생물량의 분포는 개체수 밀도의 분포와 유사한 양상을 나타냈다. 생물량은 4월에 함평만 갯벌의 전 조사지점에서 가장 높게 나타났고 1월과 2월, 그리고 10월의 조사에서 상대적으로 낮게 나타났으며, 4월 이후에는 뚜렷한 감소의 경향을 나타냈다. 생물량과 출현종 다양도는 온도와 2차원의 회귀에 적합한 상관성을 보였으며 중간교란가설 (intermediate disturbance hypothesis)과 유사한 모델로 나타났다. 그러나 함평만 갯벌 저서규조류의 분포가 온도에 의존적이며 중간교란가설의 패턴을 따른다고 판단할 수는 없었다.

사 사

본 연구는 국가장기생태연구사업의 지원으로 수행된 연구입니다.

참 고 문 헌

- 고철환, 박 철, 유신재, 이원재, 이태원, 장창억, 최중기, 홍재상, 허형택. 1997. 해양생물학, 서울대학교출판부, 서울.
- 박용안. 1998. 바다의 과학-해양학 원론, 서울대학교출판부,

- 서울.
- 이학영. 2002. 한국 남서부 갯벌의 저서성 미세조류의 대상 분포와 수직분포에 미치는 이화학적 요인의 효과에 관한 비교. *한국환경과학회지*. 11:529-535.
- 해양수산부. 1999. 갯벌 생태계조사 및 지속가능한 이용방안 연구-함평만 갯벌을 중심으로.
- 환경부. 2004. 장기생태연구 시범사업 연구보고서.
- Admiraal W and H Peletier. 1980. Influence of seasonal variations of temperature and light on the growth rate of cultures and natural populations of intertidal diatoms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2:35-43.
- Archambault P and E Bourget. 1999. Influence of shoreline configuration on spatial variation of meroplanktonic larvae, recruitment and diversity of benthic subtidal communities. *Exp. Mar. Biol. Ecol.* 238:161-184.
- Boschker HTS, JFC de Brouwer and TE Cappenberg. 1999. The contribution of macrophyte-derived organic matter to microbial biomass in salt-marsh sediments: stable carbon isotope analysis of microbial biomarkers. *Limnol. Oceanogr.* 44:309-319.
- Broitman BR, SA Navarrete, F Smith and SD Gaines. 2001. Geographic variation of southeastern Pacific intertidal communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 224:21-34.
- Colijn F and KS Dijkema. 1981. Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll a on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 4: 9-21.
- Dawes CJ. 2005. *Marine Botany*, 2nd Ed. John Wiley and Sons Inc, New York.
- de Jonge VN and JEE van Beusekom. 1995. Wind- and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnol. Oceanogr.* 40: 766-778.
- Folk RL. 1966. A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6:73-93.
- Hopkins JT. 1964. A study of the diatoms of the Ouse Estuary, Sussex II. The ecology of the mud-flat diatom flora. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 44:333-341.
- Hopner T and K Wonneberger. 1985. Examination of the connection between the patchiness of benthic nutrient efflux and epiphytobenthos patchiness on intertidal flats. *Netherlands J. Sea Res.* 19:277-285.
- Kendrick GA, LS Langtry, J Fitzpatrick, R Griffiths and CA Jacoby. 1998. Benthic microalgae and nutrient dynamics in wave-disturbed environments in Marmion Lagoon, Western Australia, compared with less disturbed mesocosms. *Exp. Mar. Biol. Ecol.* 228:83-105.
- Levinton JS. 2001. *Marine Biology: Function, Biodiversity and Ecology*, 2nd Ed. Oxford University Press, Oxford.
- Lorenzen CJ. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12:343-346.
- Lucas CH, C Banham and PM Holligan. 2000. Benthic-pelagic exchange of microalgae at a tidal flat. 1. Pigment analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 196:59-73.
- Lucas CH, C Banham and PM Holligan. 2001. Benthic-pelagic exchange of microalgae at a tidal flat. 2. Taxonomic analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212:39-52.
- Mulamoottil G, BG Warner and EA McBean. 1996. *Wetlands - Environmental gradients, boundaries, and buffers*. Lewis Publishers, London.
- Nobel PS. 2010. *Physicochemical and environmental plant physiology*, 4th Ed. Academic Press.
- Pinckney J, Y Piceno and CR Lovell. 1994. Short-term changes in the vertical distribution of benthic microalgal biomass in intertidal muddy sediments. *Diatom Res.* 9:143-153.
- Rizzo W. 1990. Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community. *Estuaries* 13:219-226.
- Sand-Jensen K and J Borum. 1991. Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany* 41:137-175.
- Sze P. 1998. *A Biology of the Algae*. WCB McGraw-Hill, Boston.
- Teal JM. 1962. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology* 43:473-490.
- Valiela I and JM Teal. 1979. Nitrogen budget of a salt marsh ecosystem. *Nature* 280:702-724.
- Wetzel RG and GE Likens. 2000. *Limnological Analysis*, Springer-Verlag.

Manuscript Received: December 16, 2010

Revision Accepted: January 12, 2011

Responsible Editor: Han Soon Kim