J. Kor. Fish. Soc. 39(Special Issue), 189-197 한수지, 39(특집호), 189-197, 2006

안정동위원소 분석을 이용한 통영 연질조하대 대형저서동물의 유기물 기원 추적

윤성규 · 윤병선 · 백상규[1] · 강창근[2]
대구대학교 과학교육학부, [1]한국해양연구원, [2]부산대학교 생명과학부

The Origin of Organic Matters Utilized by Soft Bottom Macrozoobenthos in Tongyeong

Sung Gyu YUN, Byoung Sun YOON, Sang-Gyu PAIK[1] and Chang-Keun KANG[2]
Department of Science Education, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea
[1]Marine Living Resources Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 425-600, Korea
[2]Division of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

To elucidate the organic matter sources in soft-bottom macrozoobenthos at Tongyeong, Korea, macrozoobenthos and their potential food sources were sampled in May 2004, and their C and N stable isotope compositions were analyzed. In total we collected 128 macrozoobenthic species, which ranged from 465 to 3,775 individuals/m^2 (average 2,108 ind./m^2) in density and from 47.8 to 539.9 gwwt/m^2 (average 366.0 gwwt/m^2) in biomass. Cluster and multi-dimensional scaling analyses indicated that the macrozoobenthic community was divided into two distinct groups. Coastal inner stations, where commercial fish cages were established, were dominated by *Amphioplus ancistrotus*, *Scoletoma longifoila* and *Tharyx* sp., whereas open sea stations were dominated by *Chaetozone spinosa*, *Scoletoma longifolia* and *Capitella capitata*. $\delta^{13}C$ values of sedimentary organic matter showed a distinct gradient in the range of -18.4 to -15.2‰, with a declining trend from the coastal inner stations to open sea stations. This probably reflects the settling rate of organic wastes such as feces and pellets from fish cages near the coastal inner stations. The macrozoobenthos showed a broad $\delta^{13}C$ range from -19.5 to -8.9‰ at the coastal inner stations, and a relatively narrow range from -21.3 to -12.9‰ at the open sea stations. $\delta^{13}C$ values of macrozoobenthos paralleled those of sedimentary organic matter. Our isotope results suggested that macrozoobenthos near the coastal inner stations used organic wastes derived from fish cages along with phytoplankton, whereas the macrozoobenthos near the open sea stations used organic wasters derived mainly from phytoplankton.

Key words: Macrozoobenthos, Stable isotope, $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$, Organic matter

서 론

해양생태계내에서의 에너지흐름과 물질순환 과정을 이해하기 위해서는 생태계 내의 일차생산량 및 생산자에서 소비자로 이어지는 피식·포식 관계를 나타내는 영양구조(trophic structure)에 대한 연구가 필수적이다. 해양생태계를 이루는 많은 요소 중 저서동물은 해양생태계 내에서 생산자와 고차소비자에 이르는 영양연결자(trophic mediator)의 역할 뿐만 아니라 저층 퇴적물 내의 물질순환에 있어서도 대단히 중요한 역할을 수행한다(Daan, 1973; Snelgrove, 1998).

저서동물을 통한 생물간 피식·포식에 관한 연구는 주로 연안역에 서식하는 어류 등 대형동물의 소화관 내용물 분석에 의존해 왔다(Park and Cha, 1995; Huh and Kwak, 1998). 하지만 이러한 연구방법은 소화가 진행되었거나 먹이생물의 크기가 작을 경우 형태적 동정이 어려울 뿐만 아니라 소화가 진행된 먹이는 실제 먹이원으로 반영하지 못하며, 고차소비자가 이용하는 유기물 기원을 추적하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 최근 이러한 문제점을 보완하고 소비자들이 이용하는 유기물 기원을 추적하는 방법으로 안정동위원소가 사용되고 있다(Fry and Sherr, 1984; Michener and Schell, 1994; Kang et al., 2001).

일차생산자는 광합성 방식(C3, C4, Hatch-Slack cycles)과 무기영양환경에 따라 뚜렷한 안정동위원소 조성을 나타내는 분별효과(isotopic fractionation)를 가지며, 소비자가 이들 일차생산자를 섭취·소화할 경우 먹이원의 안정동위원소 조성이 소비자의 안정동위원소 조성에 그대로 반영되므로 먹이원의 추적이 가능하다(DeNiro and Epstein, 1979; 1981). 또한 안정동위원소가 가지는 분별효과를 통해 소비자가 가지는 영양단계를 해석하는데 있어서도 유용하게 이용될 수 있다(Minagawa and Wada, 1984; Owens, 1987).

본 연구는 경상남도 통영 바다목장 해역의 연질조하대에 서식하는 대형저서동물에 이용되는 유기물의 기원 및 해역에 따른 기원 유기물의 차이가 대형저서동물군집의 공간분포에

*Corresponding author: sgyun@daegu.ac.kr

미치는 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

저서동물의 채집

2004년 5월에 경남 통영시 산양읍 대장두도 인근해역의 4개 정점을 대상으로 생물시료를 채집하였다. 각 정점은 가두리양식장이 위치한 대장두도 사이의 정점 1, 2와 정점 2로부터 외해쪽에 위치한 정점 3, 4로 구성되며, 각 정점간 거리는 약 300 m 정도이며, 정점 1과 2의 가두리간 이격거리는 약 150 m 정도이다(Fig. 1). 각 정점 당 5회씩 채니기 (Smith-McIntyre grab, 0.05 m^2)를 통해 퇴적물을 인양하였으며, 5회의 반복 시료 중 4회는 대형저서동물의 종조성 및 분포특성 파악을 위해 사용되며, 1회 시료는 안정동위원소 분석에 사용되었다. 따라서 안정동위원소측정에 사용된 대형저서동물의 정점간 종 및 종수의 차이가 나며, 가능한 모든 출현종을 대상으로 분석을 실시하였다. 인양된 퇴적물은 망목 1.0 mm 크기의 체를 사용하여 거른 후 군집분석용 시료는 10% 중성포르말린으로 고정하였으며, 안정동위원소 분석용 시료는 냉동하여 실험실로 운반하였다. 채집된 대형저서동물은 해부현미경하에서 종 수준까지 동정·계수한 다음 생체량을 측정하였고 명확한 동정이 어려운 분류군에 대해서는 code를 부여하여 각기 다른 종임을 표시하였다.

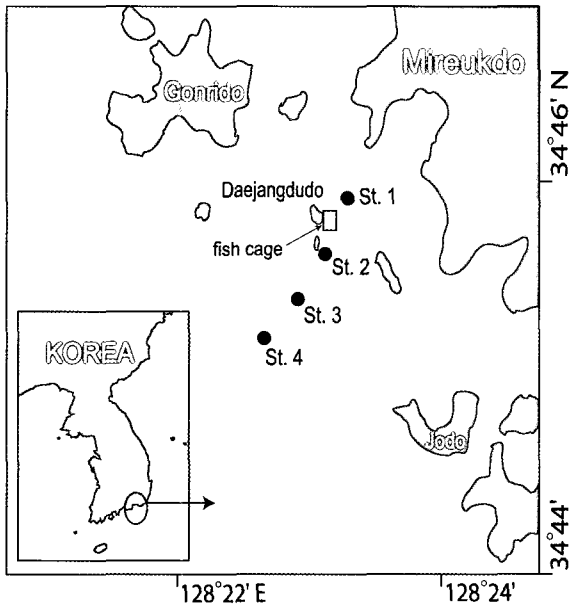

Fig. 1. Location of sampling stations for soft bottom macrozoobenthos in Tongyeong, Korea.

환경요인

환경요인의 측정은 대형저서동물 채집과 동시에 수행되었으며, 수온과 염분(YSI-30), 퇴적물 온도(HI 9063), 퇴적물의 총유기탄소량(TOC, Total Organic Carbon), 입도조성을 측정하였다. TOC의 경우 총유기체탄소분석기(TOC5000A, Shimadzu Co.)를 사용하였으며, 입도조성의 경우 조립질 부분(>4 ø)은 건식체질법에 의했으며, 세립질 부분(<4 ø)은 입도분석기(Sedigraph 5100D, Macromaritic Co.)를 사용하여 측정하였다.

잠재먹이원의 채집

조사해역에 서식하는 대형저서동물이 섭식할 것으로 추정되는 잠재먹이원을 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 퇴적유기물(SOM, Sedimentary Organic Matter), 부유성입자물질(POM, Particulate Organic Matter), 해조류 그리고 양식장에서 어류먹이로 공급되는 사료(Pellets and raw fish) 등으로 정의한 후 조사를 실시하였다. 동·식물플랑크톤의 경우 플랑크톤네트(100 μm, 20 μm)를 사용하여, 정점 1과 2, 정점 3과 4 사이에서 시료를 채집하였다. SOM의 경우 대형저서동물채집 시 인양된 퇴적물의 표층에서 4회 반복하여 시료를 채취하였으며, POM은 각 조사정점의 해수 10 L를 채취하여 실험실로 운반한 후 GF/F (24 μm)로 여과하여 농축하였다. 해조류의 경우 조사해역 인근의 대장두도 및 소장두도 암반해역을 대상으로 스쿠버다이버에 의해 채집되었다. 채집된 모든 잠재먹이원은 냉동보관하여 실험실로 운반한 후 -20℃ 이하에서 보관하였다.

안정동위원소 분석

정동위원소 조성은 CNS 원소분석기와 연결된 IsoPrime급 안정동위원소 질량분석기(IRMS, Isotope Ratio-Mass Spectrometer, Mcromass Co.)를 이용하여 분석하였다. 저서동물 및 잠재먹이원이 가지는 안정동위원소 비 값은 표준물질에 대한 시료의 비 값 변위를 천분율(‰)로 나타내어 기호(δ)로 표현하였다.

$$\delta X = [(\frac{R_{sample}}{R_{standard}}) - 1] \times 1000$$

$X = {}^{13}C,\ {}^{15}N$

$R = {}^{13}C : {}^{12}C,\ {}^{15}N : {}^{14}N$

분석에 사용된 표준물질은 국제 표준기준에 따라 탄소의 경우 PDB (Pee Dee Belmnite), 질소의 경우 air N_2를 사용하였고, 채집된 시료의 동위원소분석을 위해서는 원소분석기의 온도를 1,030℃로 조절하여 모든 유기물을 완전 연소시킨 후 헬륨(He)을 유도기체로 사용하여 CO_2와 N_2 기체를 안정동위원소 질량분석기로 주입하였다. 한편, 시료 분석 전 동위원소 비 값을 알고 있는 Peptone과 Lysine을 사용하여 각각 20회씩 반복 분석 하여 IRMS의 정밀도와 재현성을 확인하였다(C: ± 0.1‰, N: ± 0.2‰).

자료분석

각 정점으로부터 얻은 저서동물 종별 개체수 및 생체량 자료는 단위 면적당(m^2)으로 환산하여 표시하였으며, 군집분석 시 생물자료간의 편중을 피하기 위해 모든 자료는 fourth root로 변환하여 분석을 실시하였다. 또한 Bray-Curtis similarity를 이용한 집괴분석(Cluster analysis)과 다차원척도

분석(MDS, Multi Dimensional Scaling)을 통해 대형저서동물 군집의 공간 분포특성을 파악하였으며, 각 정점군간 유사성 및 비유사성에 기여하는 종을 파악하기 위해 SIMPER 분석을 실시하였다(Clarke, 1993). 대형저서동물에 대한 각 유기물의 기여도를 파악하기 위해서는 Isotopic mixing model (Fry and Sherr, 1984)을 사용하였다.

결 과

환경요인

연구해역의 표층수온, 퇴적물온도, 염분도는 각각 평균 15.7 (±0.3)℃, 14.5 (±0.6)℃, 34.4 (±0.3) psu로 정점간 비슷한 양상을 보이고 있었으며, 조사정점의 수심은 28.8-46.0 m 범위로 정점 2를 제외한 나머지 정점에서는 30 m 내외로 비슷한 양상을 보였다(Fig. 2). 퇴적환경의 경우 TOC가 평균 428.7 (±26.2) ppm으로 정점 1에서 정점 4로 갈수록 낮아지는 경향을 보였으며, 입도조성에서는 정점 2의 평균입도와 니질의 함량이 각각 -0.09 ø, 31.3%로 다른 정점에서의 6.76-8.01 ø, 75.3- 89.9%와 비교하여 낮은 값을 보였다(Fig. 2).

저서동물군집

4개의 조사정점에서 총 128종의 저서동물이 출현하였으며, 평균 2,108 (±928) ind./m^2의 서식밀도와 평균 366.0 (±229.9) gwwt/m^2의 생체량을 보였다. 동물군별로 보면 다모류가 66종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 갑각류가 12종 출현하였다(Fig. 3). 개체수에서는 다모류가 1,341 ind./m^2으로 가장 많이 출현하였고, 극피동물이 465ind./m^2로 다모류 다음으로 많이 출현하였다(Fig. 3). 전체적으로 볼 때 전 정점에 걸쳐 다모류의 종수·개체수 비율이 높은 것으로 나타났으며, 특히 정점 3과 4에서는 70% 이상을 차지하고 있었다. 또한 정점 1과 2에서는 극피동물이 각각 590 ind./m2, 1,200 ind./m2로 출현한 반면 정점 3과 4에서는 거의 출현하지 않았으며, 정점 2에서는 연체동물이 출현하지 않았다. 한편, 생체량의 경우 정점 1과 2에서는 극피동물인 거미불가사리류가 각각 161.0 gwwt/m^2, 397.4 gwwt/m^2로 높은 생체량을 보인 반면 정점 3과 4에서는 연체동물 이매패류(28.7 gwwt/m^2)와 극피동물 성게류(573.4 gwwt/m^2)의 생체량이 높았다(Fig. 3).

출현한 저서동물의 종수·개체수 자료를 이용하여 집괴분석과 MDS분석을 실시한 결과 조사해역은 크게 두개의 정점군으로 구분되었다(Fig. 4). 정점군 A는 정점 1과 2로 구성되며, 정점군 B와 비교하여 상대적으로 조립한 퇴적상이며, TOC 함량도 낮았다(Table 1). 한편 출현종수, 개체수, 생체량 측면에서는 정점군 B와 비교하여 상대적으로 높았으며, 개체수 우점종은 극피동물 거미불가사리류인 *Amphioplus ancistrotus*와 다모류인 *Scoletoma longifolia*, *Tharyx* sp. 등으로 이들 상위 3종은 전체 출현개체수의 40% 이상을 차지하고 있었다. 정점군 B는 정점 3과 4로 구성되며, 정점군 A와 비교하여 상대적으로 세립한 퇴적상을 보였다. 다모류인 *Capitella capitata*,

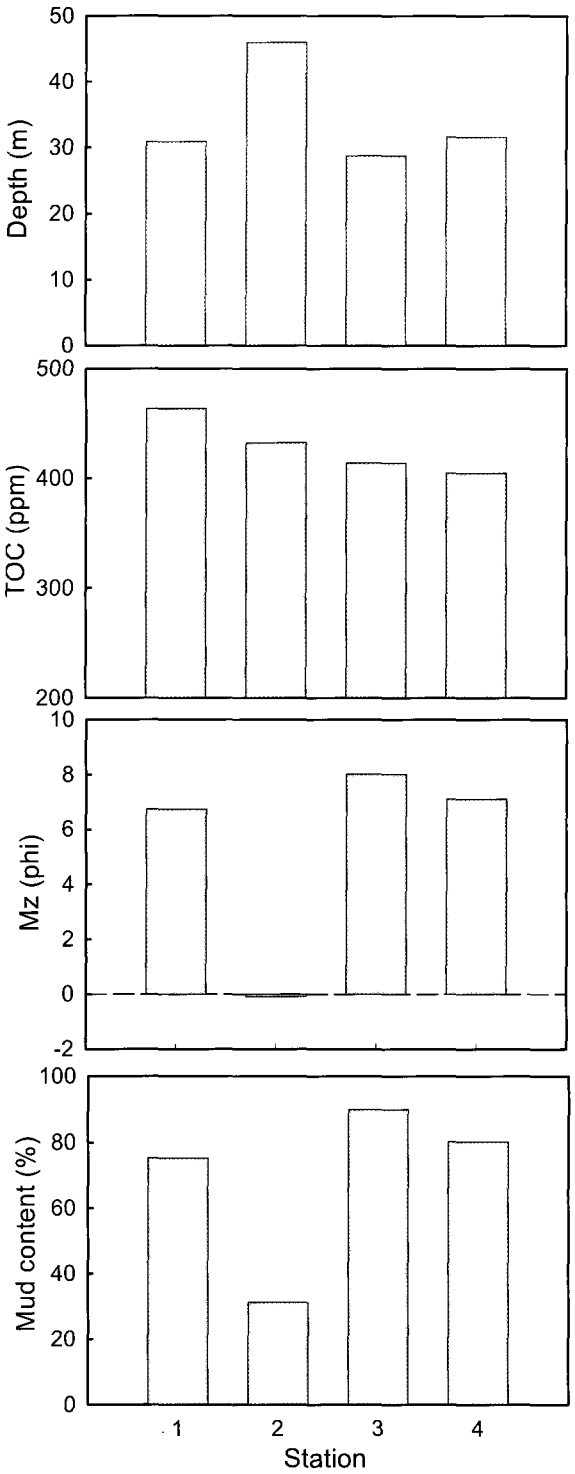

Fig. 2. Spatial distribution of environmental factors at each station in Tongyeong, Korea.

Chaetozone spinosa, *S. longifolia* 등이 개체수 측면에서 우점하였으며, 이들 종은 전체 출현개체수의 50% 이상을 차지하고 있었다. 한편, SIMPER 분석 결과 각 정점군에서 나타난 우점종들이 정점군내의 유사도를 높이는 기여종의 역할을 겸하고

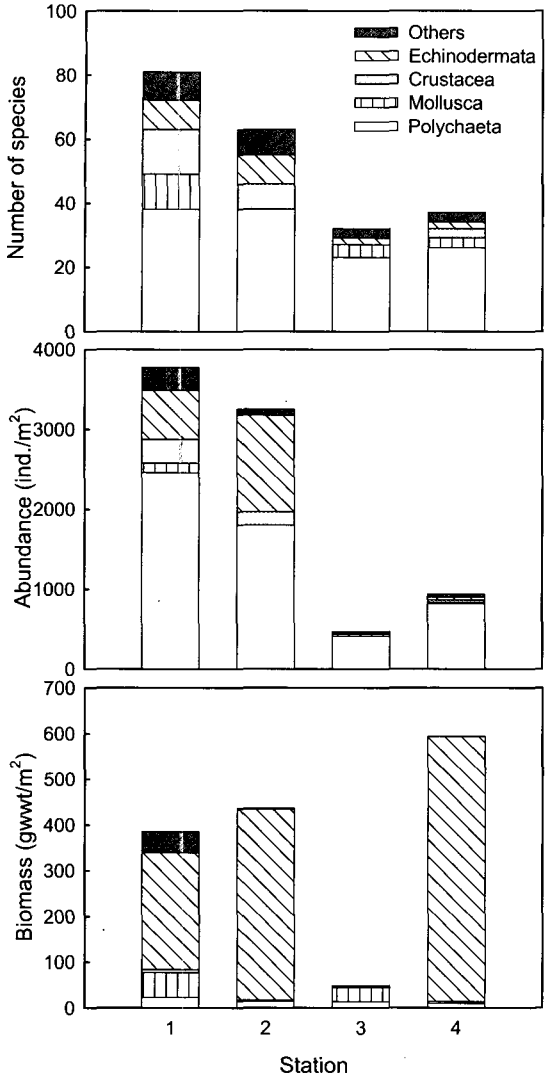

Fig. 3. Number of species, abundance and biomass of soft bottom macrozoobenthos at each station in Tongyeong, Korea.

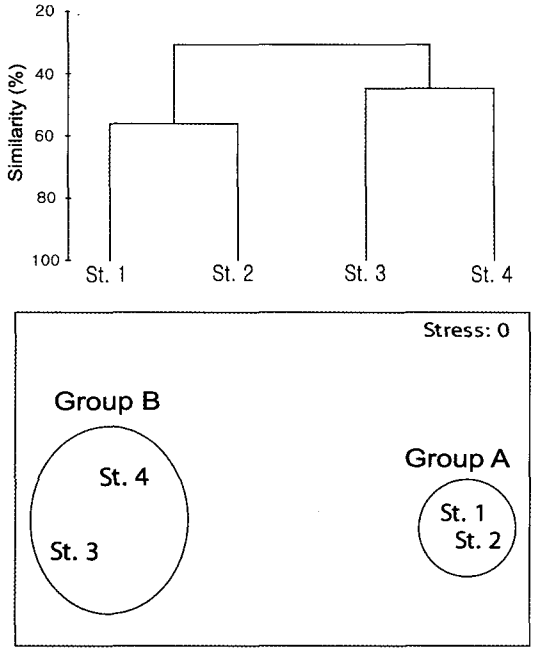

Fig. 4. Cluster and MDS ordination of the 4 stations in Tongyeong, based on 4th root transformed abundances and Bray-Curtis similarities.

있었으며, 정점군간의 비유사도를 높이는 종은 *A. ancistrotus*, *Harmothoe* sp., Gammaridea unid., *Tharyx* sp. 등으로 모두 정점군 A에서만 출현하는 종들로 구성되었다.

안정동위원소 분석

잠재먹이원의 $\delta^{13}C$ 값을 보면 식물플랑크톤 -20.1 (±0.2)‰, 동물플랑크톤 -19.9 (±0.0)‰, POM -23.4 (±0.5)‰, SOM -17.4 (±1.5)‰, 어류사료 중 배합사료 (pellet) -21.7 (±0.1)‰, 생사료 (raw fish) -20.7 (±0.4)‰, 해조류 -14.8 (±2.6)‰로 나타났다 (Table 2). 한편, δ 15N 값의 경우 식물플랑크톤 7.2 (±0.9)‰, 동물플랑크톤 14.7 (±0.9)‰, POM 9.5 (±3.1)‰, SOM 7.8

Table 1. Environmental and ecological characteristics at each stational group based on cluster and MDS analysis

Indices	Group A	Group B
Environmental		
Depth range (m)	38.5 ± 10.7	30.2 ± 2.0
TOC (ppm)	448.0 ± 22.1	409.3 ± 6.6
Mean grain size (ø)	3.34 ± 4.84	7.56 ± 0.64
Silt-clay content (%)	53.2 ± 31.3	85.1 ± 6.8
Ecological		
Number of species	72 ± 13	35 ± 4
Density (ind./m^2)	3,515 ± 368	700 ± 332
Biomass (gwwt/m^2)	411.1 ± 36.5	320.8 ± 386.2
Contribute species by SIMPER	*Amphioplus ancistrotus* (Op) *Scoletoma longifolia* (Po) *Tharyx* sp. (Po) *Harmothoe* sp. (Po) *Capitella capitata* (Po)	*Capitella capitata* (Po) *Scoletoma longifolia* (Po) *Magelona japonica* (Po) *Scoletoma heteropoda* (Po) *Glycera chirori* (Po)

Op, Ophiuroidea; Po, Polychaeta.

Table 2. $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values (‰) of potential food items for soft bottom macrozoobenthos in Tongyeong, Korea

Food sources	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
Phytoplankton	-20.1 (±0.2)	7.2 (±0.9)
Zooplankton	-19.9 (±0.0)	14.7 (±0.9)
POM	-23.4 (±0.5)	9.51 (±3.1)
SOM	-17.4 (±1.5)	7.8 (±0.7)
Fish feed		
pellet	-21.7 (±0.1)	8.9 (±0.0)
raw fish	-20.7 (±0.4)	12.3 (±0.6)
Macroalgae		
Cladophora sakaii	-18.1	10.5
Desmarestia viridis	-17.8	12.4
Undaria pinnatifida	-16.6	11.8
Collinsiellopsis expansa	-15.6	15.0
Ceramium tenerrimum	-15.1	12.5
Desmarestia ligulata	-15.0	12.2
Sargassum horneri	-14.8	15.7
Ulva japonica	-14.5	12.0
Ulva pertusa	-10.5	11.3
Acrosorium flabellatum	-10.0	10.4

(±0.7)‰, 어류사료 각 8.9 (±0.0)‰, 12.3 (±0.6)‰, 해조류 12.4 (±1.6)‰로 나타났다 (Table 2).

안정동위원소 분석에 사용된 대형저서동물은 환형동물 다모류 16종, 극피동물 11종, 절지동물 갑각류 6종, 연체동물 5종, 기타 동물군에서 4종으로 총 42종이 이용되었다(Table 3). $\delta^{13}C$ 값의 경우 정점 1은 -18.5‰에서 -8.9‰ 범위, 정점 2는 -19.5‰에서 -9.9‰ 범위, 정점 3은 -21.3‰에서 -16.7‰ 범위, 정점 4는 -18.5‰에서 -12.9‰ 범위였다(Table 3). δ 15N 값의 경우 정점 1은 8.8‰에서 18.8‰ 범위, 정점 2는 8.3‰에서 20.6‰ 범위, 정점 3은 8.6‰에서 17.7‰ 범위, 정점 4는 9.9‰에서 18.8‰ 범위였다(Table 3).

유기물 기원 및 기여도

소비자의 안정동위원소 비 값은 섭식하는 먹이원의 비 값에 대해서 영양단계(trophic level) 당 $\delta^{13}C$ 값의 경우 1‰ 이내, $\delta^{15}N$ 값의 경우 3‰ 정도 높아지는 동위원소 분별효과를 가지며, 이러한 분별효과는 통영해역에서 채집된 대형저서동물과 잠재먹이원의 안정동위원소 값의 비교에서도 잘 나타나고 있다(Fig. 5). 정점 1에서 안정동위원소 값이 측정된 대형저서동물의 경우 주로 식물플랑크톤과 SOM 기원 유기물에 대한 의존도가 높은 것으로 보이며, 한 단계 혹은 두 단계 정도의 영양연결자(trophic mediater)를 거치는 것으로 나타났다(Fig. 5). 식물플랑크톤 기원 유기물의 기여도가 80% 이상인 종은 *Harmothoe* sp., Sipunculida unid., *Lumbrineris* sp, *Glandiceps hacksi*였으며, *Zeuxis castus*, *Pagurus barbatus*, *Nitidotellina nitidula*, *Glycera chirori*, *Diogenes edwardsii*의 경우 30-70% 범위의 기여도를 보여 SOM 기원 유기물을 같이 이용하는 것으로 나타났다. *G. chirori*의 경우 식물플랑크톤 기원 유기물과 함께 배합사료(pellet) 기원 유기물의 영향도 받는 것으로 타나났으며, 배합사료기원 유기물의 기여도가 32%였다. 한편, *Nucula paulula*, Brachyura unid., *A. tricoides*, *Ophiothrix exigua*, *A. ancistrotus*, *Protankyra bidentata*의 경우 식물플랑크톤 및 SOM 기원 유기물 소비자들에 비해 현저히 높은 $\delta^{13}C$ 값을 보였다. 정점 2에서 안정동위원소 값이 측정된 출현한 대형저서동물은 식물플랑크톤, SOM, 배합사료(pellet) 기원 유기물에 대한 의존도가 높게 나타났다(Fig. 5). 식물플랑크톤 기원 유기물의 기여도가 80% 이상으로 나타난 종은 *G. chirori*, Sipunculida unid., *Arabella iricolor*, *Corophium acherusicum*였으며, SOM 기원 유기물에 대한 기여도가 80% 이상인 종은 *O. exigua*, *Melita* sp., *Ammotrypane aulogaster*, *Terebella punctata*, *Cucumaria echinata*, *D. edwardsii*였다. *Clinocardium californiense*, *Micropodarke dubia*, *Acrocirrus validus*는 식물플랑크톤과 SOM 기원 유기물의 기여도가 거의 비슷한 비율로 나타났으며, *Phyllophorus ordinatus*, *Chrysopetalum occidentale*, *Z. castus*의 경우 배합사료(pellet) 기원 유기물의 기여도가 각각 95%, 54%, 38%였다. 한편, 상대적으로 높은 $\delta^{13}C$ 값을 보이는 종은 모두 거미불가사리류인 *A. ancistrotus*, *Ophiopholis mirabilis*, *A. tricoides*, *Stegophiura sladeni*였다. 정점 3에서 안정동위원소 값이 측정된 대형저서동물은 SOM과 식물플랑크톤 기원 유기물에 대한 의존도가 높았다(Fig. 5). SOM 기원 유기물에 대한 기여도가 높은 종은 Sipunculida unid., *L. japonica*로 기여도는 각각 81%, 70.8%였으며, *G. chirori*의 경우 식물플랑크톤 기원 유기물에 대한 기여도가 90%였다. *Schizaster lacunosus*, *A. validus*는 식물플랑크톤과 SOM 기원 유기물의 기여도가 거의 비슷한 비율로 나타났으며, *S. longifolia*의 경우 식물플랑크톤과 기원 유기물의 기여도가 높으나 사료(pellet) 기원 유기물에 대해서도 23%의 기여도를 보였다. 정점 4에서는 안정동위원소 값이 측정된 대형저서동물은 주로 식물플랑크톤 기원의 유기물을 주로 이용하는 것으로 나타났다(Fig. 5). *S. longifolia*, *Acila divaricata*, *A. tricoides*, Anthuridae unid., *Armandia simodaensis*, *P. bidentata*, Sipunculida unid.는 70% 이상의 식물플랑크톤 기원 유기물의 기여도를 보인 반면, *S. lacunosus*의 경우 SOM 기원한 유기물에 대해 85%의 기여도를 보였다.

고 찰

저서동물 즉 소비자의 안정동위원소 비 값은 섭식하는 먹이원의 비 값에 대해서 한 영양단계(trophic level) 당 $\delta^{13}C$ 값의 경우 1‰ 이내, $\delta^{15}N$ 값의 경우 2-4‰ 정도 높아지는 안정동위원소 분별효과를 나타낸다(DeNiro and Epstein, 1979: 1981; Minagawa and Wada, 1984; Kang et al., 2003). 통영해역에서 조사된 잠재먹이원과 대형저서동물의 안정동위원소 비 값을 통한 분별효과를 고려할 때 대형저서동물을 구성하는 유기물에 대한 동물플랑크톤, POM, 해조류 기여도는 낮은 것으로 판단된다. 조사 정점간에 차이는 있으나 전체적으로 볼 때 통영해역에서 출현한 대형저서동물은 주로 식물플랑크톤과 SOM 기원 유기물에서부터 대형저서동물로 연결되는 영양단계별 먹이－포식자 관계를 나타내어 통영해역의 대형저서동물이 주로 식물플랑크톤과 SOM 기원 유기물을 영양기저

Table 3. $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values (‰) of soft bottom macrozoobenthos in Tongyeong, Korea

Species	Station 1		2		3		4	
	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
Polychaeta								
Acrocirrus validus	-		-18.4	8.3	-17.0	13.8	-	
Ammotrypane aulogaster	-		-16.9	9.3	-		-	
Armandia simodaensis	-		-		-		-18.4	14.2
Arabella iricolor	-		-17.5	15.5	-		-	
Chrysopetalum occidentale	-		-16.6	20.6	-		-	
Diogenes edwardsii	-16.4	13.4	-16.4	10.8	-		-	
Eunice mucronata	-		-18.6	15.8	-		-	
Eunice northioidea	-18.5	16.5	-		-		-	
Glycera chirori	-17.1	18.8	-17.5	16.8	-16.7	17.7	-18.3	18.8
Harmothoe sp.	-18.2	14.7	-		-		-	
Lumbrineris japonica	-		-		-16.7	12.4	-	
Lumbrineris sp.	-17.9	14.5	-		-		-	
Nephtys polybranchia	-		-18.6	16.7	-		-	
Scoletoma longifolia	-		-17.3	17.8	-17.9	16.2	-17.8	13.7
Terebella punctata	-		-17.2	8.5	-		-	
Mollusca								
Acila divaricata	-		-		-		-16.6	17.3
Clinocardium californiense	-		-18.7	9.8	-		-	
Nitidotellina nitidula	-16.9	14.3	-		-		-	
Nucula paulula	-10.3	8.9	-		-		-	
Zeuxis castus	-17.0	15.1	-19.5	11.6	-		-	
Crustacea								
Brachyura unid.	-8.9	12.0	-		-		-	
Corophium acherusicum	-		-17.3	14.9	-		-	
Isopoda unid.	-		-		-		-18.1	14.7
Melita sp.	-		-17.1	9.0	-		-	
Micropodarke dubia	-		-17.0	14.4	-		-	
Pagurus barbatus	-17.0	14.1	-		-		-	
Echinodermata								
Amphioplus ancistrotus	-11.8	13.0	-13.0	9.5	-		-18.1	16.4
Amphipholis kochii	-		-		-21.3	12.9	-	
Amphipholis sobrina	-14.9	12.2	-		-		-	
Amphioplus tricoides	-9.9	11.9	-10.6	13.2	-		-18.5	12.6
Ophiopholis mirabilis	-		-11.8	11.2	-		-	
Ophiothrix exigua	-10.0	11.4	-17.0	9.8	-		-	
Stegophiura sladeni	-		-9.9	12.0	-		-	
Protankyra bidentata	-12.2	8.8	-		-		-16.8	15.9
Cucumaria echinata	-		-15.8	11.1	-		-	
Phyllophorus ordinatus	-		-18.8	14.7	-		-	
Schizaster lacunosus	-		-		-18.6	8.6	-17.1	9.9
Others								
Actinaria unid.	-		-		-		-12.9	11.4
Sipunculida unid.	-17.9	14.6	-16.7	18.6	-16.9	11.0	-17.2	14.8
Glandiceps hacksi	-17.5	15.3	-		-		-	

(food base)로 하고 있음을 알 수 있었다. 또한 이러한 주요 유기물들은 직접적으로 이용되기 보다는 대부분 한 단계 혹은 두 단계 정도의 영양연결자를 거쳐 섭식되는 것으로 나타났다. 일반적으로 소비자의 주요 먹이원과 유기물기원을 산정하는 방법으로 Isotpic mixing model (Fry and Sherr, 1984)이 사용되고 있으며, 각 소비자들에 대한 유기물 기원 물질의 기여도를 통해 명확한 유기물 추적 정보를 제공해 준다. 본 조사의 경우 동위원소 측정이 이루어진 총 41종의 대형저서동물 중 식물플랑크톤과 SOM 기원 유기물에 대한 기여도가 60% 이상인 종이 각각 17종, 10종이며, 공통적으로 이용하는 생물이 4종으로 대부분을 차지하고 있었다. 동위원소 측정을 위한 대형저서동물 시료가 각 정점당 1회 채집되어 정점간 종조성에 차이가 존재한다. 따라서 유기물 기원에 대한 단순 출현 종수의 차이를 통한 해역의 유기물 기원 추적은 실제 자연현

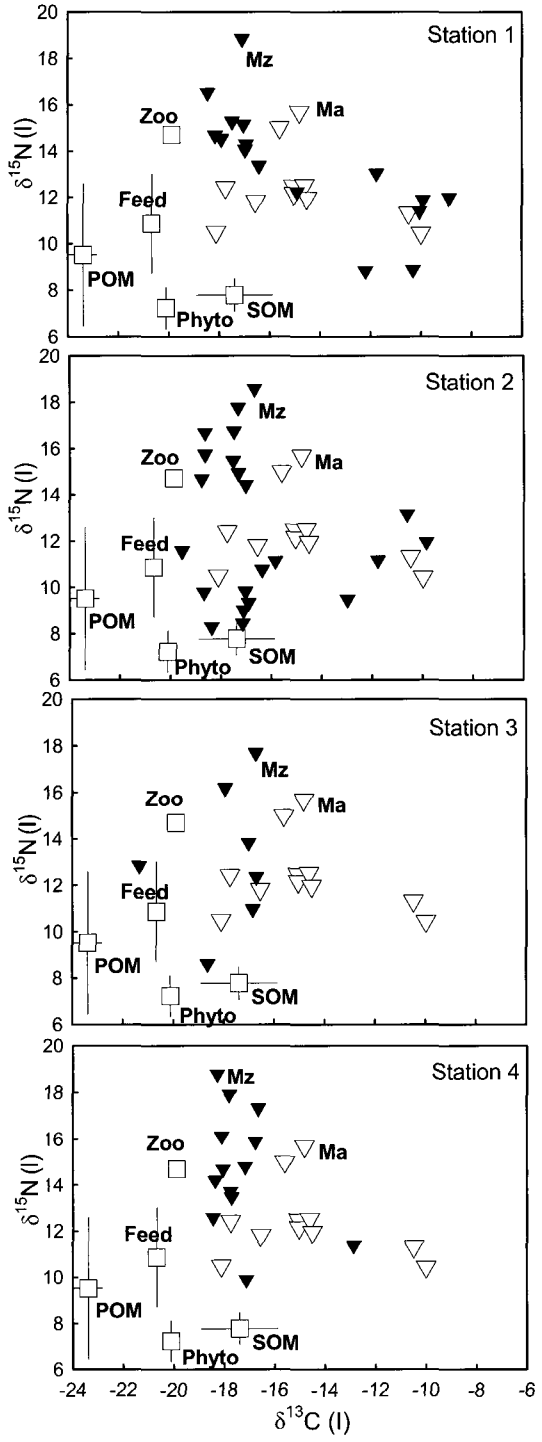

Fig. 5. $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values of the main organic matter sources (POM; SOM; Zoo, zooplankton; Phyto; phytoplankton; Ma, macroalgae) and consumer (Mz, macrozoobenthos) at 4 stations in Tongyeong, Korea.

상을 확대 해석할 우려가 있다. 그러나 각 정점에서 채집된 종들이 다양한 분류군 및 육식자, 현탁물식자, 퇴적물식자 등의 다양한 섭식유형을 포함하고 있으며, *O. exigua*, *P. bidentata*, *S. lacunosus*, *S. longifolia*, Sipunculida unid., *Z. castus*와 같이 동일한 종에서도 유기물 기원이 다르게 나타나고 있어 일부 종을 대상으로도 해역의 기원유기물 추적은 가능한 것으로 판단된다. 가두리 양식장을 사이에 둔 정점 1과 2에서 출현한 *G. chirori*, *P. ordinatus*, *C. occidentale*, *Z. castus*의 경우 가두리에서 투입되는 사료의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 생사료(raw fish)에 비해 상대적으로 낮은 $\delta^{15}N$ 값을 보이는 배합사료(pellet)에 의한 영향을 많이 받고 있었다. 가두리양식장은 해역에 직접적으로 투입되는 사료, 어분 등의 영향으로 인해 저층에 유기물의 축적이 일어나게 되며 결국 생물상의 변화와 함께 자연적인 먹이망의 변화를 초래하게 된다(Vizzini and Mazzola, 2004). 본 연구결과로 가두리양식장의 영향 범위 및 상태를 명확히 파악할 수는 없으나, 가두리양식장 인근 정점에서 출현하는 일부 종들의 유기물 기원이 사료인 점으로 미루어 볼 때 영향을 받고 있는 것으로 보인다. 또한 해역의 물리적 환경 및 양식방법에 따라 차이는 있겠으나, 가두리양식장 주변에서 출현한 저서동물의 동위원소 분석을 통해 가두리양식장의 유기물 영향범위를 25-60 m로 밝힌 연구(Gowen and Bradbury, 1987; Ye et al., 1991)와 본 조사에서 가두리 영향을 받고 있는 정점이 가두리로부터 약 150 m 떨어진 것을 고려해 볼 때, 통영해역에서의 가두리영향 범위가 상대적으로 넓다는 것을 시사한다. 일반적으로 해조류의 생물량이 높은 지역에서는 SOM이 높은 $\delta^{13}C$ 값을 가지게 된다(Vizzini et al., 2002). 통영해역의 경우 SOM이 가지는 $\delta^{13}C$ 값이 대부분의 해조류에 비해 상대적으로 낮고, 분별효과에 따른 대형저서동물과의 먹이-포식관계를 나타내고 있지 않았다. 따라서 통영해역에서 대형저서동물에 대한 해조류 기원 유기물이 차지하는 기여도는 낮은 것으로 판단된다.

환경요인의 시·공간적인 변화는 대형저서동물 군집의 차이를 발생시키고, 특히 퇴적물환경은 저서동물의 분포특성을 결정하는 가장 큰 요인이다(Rhoads, 1974). 또한 퇴적상과 퇴적물 유기물함량 등에 따라 저서환경이 특징되고, 우점종의 분포가 달라지며, 결국 이들 우점종에 따라 저서동물군집의 구조가 조절된다(Lim and Hong, 1997). 본 조사에서도 해역에 따른 우점종 및 SIMPER 분석에 의한 특징종에 의해 군집의 구조가 결정되는 것으로 나타났다. 또한 군집분석에서 나타난 정점군과 대형저서동물에 이용되는 유기물 기원이 유사한 정점들이 일치하고 있어, 대형저서동물에 섭식되는 유기물의 기원에 따른 군집 분포의 차이를 시사하고 있다. 군집조사에서 밝혀진 각 정점군을 바탕으로 두 정점군에서 공통적으로 출현한 6종의 안정동위원소 비 값을 비교해보면 이러한 차이가 뚜렷이 나타난다(Fig. 6). 정점군 A에 속한 종들의 경우 식물플랑크톤과 SOM을 영양기저로 하고 있음을 나타내며, 정점군 B의 경우 식물플랑크톤에 전적으로 의존하는 것으로 나타낸다. *A. ancistrotus*, *A. tricoides*, *P. bidentata*의 경우 동일종 내에서도 정점군간 $\delta^{13}C$ 값 및 $\delta^{15}N$ 값의 차이가 뚜렷하여, 두 정점군에 영향을 미치는 유기물의 차이가 있음을 보여주고

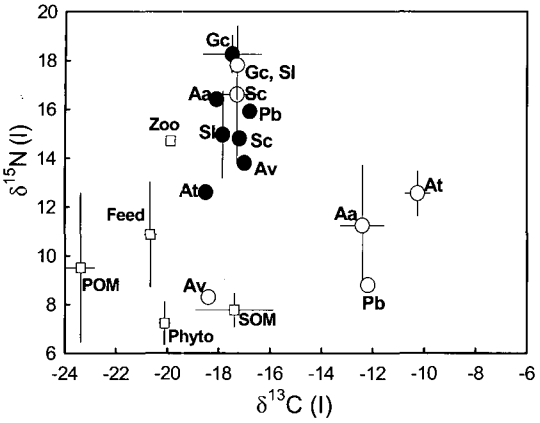

Fig. 6. $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values of the main organic matter sources (POM; SOM; Zoo, zooplankton; Phyto; phytoplankton) and consumers (Aa; *Amphioplus ancistrotus*, Pb; *Protankyra bidentata*, Sl; *Scoletoma longifolia*, Sc; Sipunculida unid., Av; *Acrocirrus validus*, At; *Amphioplus tricoides*, Gc; *Glycera chirori*) at two stational groups (○; group A, ●; group B) in Tongyeong, Korea.

있다. 이들 종은 특히 정점군 A에서 높은 $\delta^{13}C$ 값을 보이고 있었는데, 이러한 원인으로는 정점군 B에 비해 정점군 A의 SOM $\delta^{13}C$ 값이 더 높기 때문이며, 이와 함께 SOM 보다 더 높은 $\delta^{13}C$ 값을 가진 다른 먹이원이 영향을 미치기 때문으로 보인다. 가두리양식장에서 사용되는 배합사료(moisture pellet)는 각 재료의 점착을 위해 -12‰ 이상의 $\delta^{13}C$ 값을 가지는 밀 또는 옥수수가루를 첨가한다(Schroeder, 1983). 따라서 가두리양식장에서 유입되는 배합사료의 영향으로 추론해 볼 수 있으나, 본 조사에서 측정된 사료에 대한 영향은 찾을 수 없었다.

참 고 문 헌

Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. Aust. J. Ecol., 18, 117-143.

Daan, N. 1973. A quantitative analysis of the food of North Sea cod (*Gadus morhua*). Neth. J. Sea. Res., 6, 479-517.

DeNiro, N.J. and S. Epstein. 1979. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochim. Cosmochim. Acta, 42, 495-506.

DeNiro, N.J. and S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochim. Cosmochim. Acta, 45, 341-351.

Fry, B. and E.B. Sherr. 1984. $\delta^{13}C$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. Cont. Mar. Sci., 27, 13-47.

Gowen, R.J. and N.B. Bradbury. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 25, 563-575.

Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1998. Feeding habits of *Favonigobius gymnauchen* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. J. Kor. Fish. Soc., 31, 372-379.

Kang, C.K., J.B. Kim, J.B. Kim, P.Y. Lee and J.S. Hong. 2001. The importance of intertidal benthic autotrophs to the Kwangyang Bay (Korea) food webs: $\delta^{13}C$ analysis. J. Kor. Soc. Oceanogr., 36, 109-123.

Kang, C.K., J.B. Kim, K.S. Lee, J.B. Kim, P.Y. Lee and J.S. Hong. 2003. Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. Mar. Ecol. Prog. Ser., 259, 79-92.

Lim, H.S. and J.S. Hong. 1997. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 2. Distribution pattern of the major dominant species. J. Kor. Fish. Soc., 30, 161-174.

Michener, R.H. and D.M. Schell. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. In: Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Lajtha, K. and R.H. Michener, eds. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 138-157.

Minagawa, M. and E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between ^{15}N and animal ate. Geochim. Cosmochim. Acta, 48, 1135-1140.

Owens, N.J.P. 1987. Natural variations in 15N in the marine environment. In: Advances in Marine Biology, Vol. 24, Baxter, J.H.S. and A.J. Southward, eds. Academic Press, London, 389-451.

Park, K.J. and S.S. Cha. 1995. Food organisms of post larvae of Japanese anchovy (*Engraulis japonica*) in Kwangyang Bay. J. Kor. Fish. Soc., 28, 247-252.

Rhoads, D.C. 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 12, 263-300.

Schroeder, G.L. 1983. Stable isotope ratios as naturally occurring tracers in the aquaculture food web. Aquaculture, 30, 203-210.

Snelgrove, P.V.R. 1998. The biodiversity of macrofaunal organic in marine sediments. Biodiv. Conserv., 7, 1123-1132.

Vizzini, S. and A. Mazzola. 2004. Stable isotope evidence for the environmental impact of a land-based fish farm in the western Mediterranean. Mar. Poll. Bull., 49, 61-70.

Vizzini, S., G. Sara, R.H. Michener and A. Mazzola. 2002. The role and contribution of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile organic matter for secondary

consumers as revealed by carbon and nitrogen stable isotope analysis. Acta Oecol., 23, 277-285.

Ye, L.X., D.A. Ritz, G.E. Fenton and M.E. Liwis. 1991. Tracing the influence on sediments of organic waste from a salmonid farm using stable isotope analysis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 145, 161-174.

2005년 10월 9일 접수
2006년 5월 24일 수리