

동해안 암반 조간대의 먹이사슬에 대한 연구

- 암반식물의 생산과 암반동물의 소비 pattern -

Predation analyses of simple benthic communities on
the tidal rock bottoms in OhSan, East Sea

- oxygen budget between phytobenthos & zoobenthos -

1994. 11.

한국해양연구소

제출문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 <동해안 암반 조간대의 먹이사슬에 대한 연구: 암반
식물의 생산과 암반동물의 소비 pattern> 사업의 최종보고서로 제출
합니다.

1994년 11월

한국해양연구소

연구책임자: 강 영 철

연 구 원: 김 해 철
양 영 선
이 창 훈
장 원 근

요약

1993년 9월 강원도 오산해변에서 암반생물의 분포를 관찰하고, 암반군집의 산소생산능력을 추정하였다. 생물시료는 방형구를 사용하여 정량채집하고, 수중카메라로 서식지풍경을 기록하였다. 암반군집의 산소생산량은, 소량의 생물시료를 2,000 ml 투명병에 담아 현장에서 배양한 뒤, 용존산소의 변화량을 Winkler-Azide 방법으로 측정하여 계산하였다.

주요 출현종의 산소수지를 측정한 결과는 다음과 같다: 1) 부착해조류의 산소생산능력은, 산호조류인 *Corallina pilulifera* (18.1 mg-O₂/h/g-AFDW[^])가 녹조류인 *Ulva pertusa* (14.9 mg-O₂/h/g-AFDW), 홍조류인 *Polysiphonia* spp. (4.9 mg-O₂/h/g-AFDW), 대형갈조류인 *Sargassum thunbergi* (0.8 mg-O₂/h/g-AFDW)와 *S. confussum* (0.3 mg-O₂/h/g-AFDW) 보다 훨씬 크다. 2) 저서동물의 산소소비는 고둥류인 *Ceratostoma rorifluum* (13.9 mg-O₂/h/g-AFDW)과 *Nucella freycineti* (9.6 mg-O₂/h/g-AFDW)가 담치류인 *Septifer virgatus* (1.3 mg-O₂/h/g-AFDW) 보다 소비율은 크지만, 생물량의 대부분을 차지하는 *Septifer virgatus* (ca. 850 g dry wt/0.1 m²)가 암반군집 총 산소 소비량의 80% 이상을 소비한다.

주요종의 생물량과 산소수지를 고려하여 계산한 가을철 동해안 오산해변 암반군집의 산소생산능력(ca. 770 mg-O₂/0.1 m²)은 소비량(ca. 650 mg-O₂/0.1 m²)과 비슷한 수준을 유지하며, 조간대에 집중 분포하는 산호조류 *Corallina pilulifera*와 담치류 *Septifer virgatus*의 역할이 매우 중요함을 시사한다.

[^] AFDW: ash free dry weight

ABSTRACT

Benthic production with distributional pattern of benthic organisms was estimated on the tidal rock bottom near OhSan (East Sea) in Sept. 1993. Quantitative samples were taken with depth (upto 8 m) and the changes of dissolved oxygen in bottles(2,000 ml) containing benthic species were measured by Winkler-Azide method through *in situ* culture experiments.

Followings are results on the capacities of benthic organisms for oxygen production (or consumption): 1) oxygen production rate per g-AFDW[^] of red alga *Corallina pilulifera* (18.1 mg-O₂/h) is higher than any other algal species such as green alga *Ulva pertusa* (14.9 mg-O₂/h), red alga *Polysiphonia* spp. (4.9 mg-O₂/h), brown algae *Sargassum thunbergi* (0.8 mg-O₂/h) and *S. confusum* (0.3 mg-O₂/h). 2) mussel *Septifer virgatus*, which consists most of benthic biomass (ca. 850 g dry wt./ 0.1 m²), consumes about 80% of total oxygen consumption in the tidal community even though the rate is much lower (1.3 mg-O₂/h/g-AFDW) than gastropods *Ceratostoma rorifluum* (13.9 mg-O₂/h/g-AFDW) and *Nucella freycineti* (9.6 mg-O₂/h/g-AFDW).

Estimated oxygen budget of an benthic community on the tidal rock bottom near OhSan beach (East Sea) shows balanced pattern between production of phytobenthos (ca. 770 mg-O₂/0.1 m²) and consumption of zoobenthos (ca. 650 mg-O₂/0.1 m²). Calcareous red alga *Corallina pilulifera* and mussel *Septifer virgatus*, both littoral species, seem to make important role in autotrophic production.

[^] AFDW: ash free dry weight

목차

요약	3
그림 목록	11
표 목록	12
I. 서론	13
II. 조사지역	17
III. 조사방법	18
1. 시료의 채집	18
2. 주요 출현종의 산소소비량(생산량) 측정	18
3. 생물자료의 정량과 암반군집의 생산성 계산	19
IV. 결과와 고찰	21
1. 암반생물의 수직분포	21
2. 부착해조와 저서동물의 생물량 구성	22
3. 생물량과 산소소비량(생산량)의 분포양상	23
4. 가을철 암반군집의 산소수지	24
V. 결론	25
참고문헌	27

CONTENTS

Abstract	5
List of Figures	11
List of Tables	12
I. Introduction	13
II. Study Area	17
III. Materials and Methods	18
1. Sampling	18
2. Measurement of Oxygen Consumption & Production	18
3. Biomass Estimation	19
IV. Results and Discussion	21
1. Vertical Distribution of Benthic Species	21
2. Composition of Benthic Species	22
3. Distributional Pattern of Benthic Biomass	23
4. Oxygen Budget	24
V. Conclusions	25
References	27

List of Figures

- Fig. 1. Geological map of KangWon-Do showing the rock type of the study area. Arrow indicates OhSan beach. ————— 33
- Fig. 2. Diurnal variation of temperature and light intensity in the surface water on a tidal community in OhSan, Sept. 1993. — 34
- Fig. 3. Modified distributional pattern of dominant benthic species on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993. Numeral is the area of each habitat defined with 1 m width. ————— 35
- Fig. 4. Composition of benthic biomass on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993. ————— 36
- Fig. 5. Distribution of benthic biomass within each zone defined in Fig. 3. on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993. ————— 37
- Fig. 6. Biomass of dominant benthic species on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993. ————— 38
- Fig. 7. Oxygen consumption(or production) rates of benthic organisms on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993. ————— 39
- Fig. 8. Percentage ratios of ash free dry weights (AFDW) in dry weights of benthic species on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993. ————— 40
- Fig. 9. Oxygen production of phytobenthos(a), and oxygen consumption of zoobenthos (b) of a tidal community in OhSan, Sept. 1993. ————— 41

Fig. 10. Comparison of benthic biomass with oxygen consumption or production of dominant species on a tidal community in OhSan, Sept. 1993. _____	43
Fig. 11. Zonal distribution of oxygen consumption or production on a tidal community in OhSan, Sept. 1993. _____	44

List of Tables

Table 1. Species list of Macrobenthic organisms sampled in a tidal community in OhSan, Sept. 1993. _____	30
Table 2. Quantitative distribution of benthic species sampled from each zone of a tidal community in OhSan, Sept. 1993. _____	32

List of Appendices

Appendix 1. Winkler-Azide titration method for dissolved oxygen measurement. _____	45
--	----

1. 서론

어떤 임의의 시간에 생물종들이 주어진 공간에 어떤 양상으로 존재하는가? 분포를 연구하는 목적은, 군집구조(community structure)와 군집의 기능(function)을 정확하게 이해하려는 것이다 (구조는 기능을 반영한다). 먹이사슬(food chain)에 대한 연구는 먹이사슬구조를 파악하고, 먹이사슬을 통해 이루어지는 energy flow (or material flow)를 정량적으로 파악하려는 것이다. 나아가 생태계 연구의 최종목적은, 생물-생태계내 군집의 변동과 경향을 예측하는 것이다.

먹이사슬 또는 먹이망(food web)의 의미는 생물군집내부에서 일어나는 피식과 포식에 대한 분명하고 정확한 연결구조이다 (Cohen, 1978). Predation analysis는 포식과 피식관계를 수학으로 표현하는 것이며, Lotka-Volterra equation이 잘 알려진 model이다. 먹이망의 입장에서 종(trophic species)은, 한 생물집합(a common set of organisms)을 먹이로 하며, 동시에 다른 한 생물집합에 의해 먹히는 생물 집단이다(Briand and Cohen, 1984). 이때, 연결(link)은 먹고 먹히는 두 종간의 관계이며, 사슬(chain)은 연속된 연결의 전체 구조이다 (an energy path or sequence of links).

먹이사슬에 대한 에너지 가정(energetic hypothesis)은 다음과 같다: 일차생산(primary productivity)이 활발한 생태계의 먹이사슬이 길다 (Hutchinson, 1959). 이때, 먹이사슬의 길이란 연결 수(the number of links)를 의미한다. 먹이사슬에 대한 군집의 안정성 가정 (dynamical stability hypothesis)은 다음과 같다: 사슬의 길이가 긴 군집일수록

한번 교란되면 다시 평형상태로 돌아가기 어렵다. 따라서 자연상태의 교란이 없다면 사슬의 길이는 더 길어질 것이다(Pimm and Lawton, 1977). 그러나 에너지 가정을 뒷받침하는 아무런 증거를 발견할 수 없다는(Pimm, 1982) 의문이 제기되었고, Briand and Cohen (1987)은 에너지 가정과 군집의 안정성 가정에 대치되는 결과를 발표하였다. 한편, Briand (1983)는, 34개의 먹이망을 검토하고, 2차원 환경(two dimensional environments)보다 3차원 환경에서 먹이사슬의 길이가 더 길다는 점을 제안하였다. 피식과 포식은 생태계 내의 물질이동과 군집의 안정성을 판단하는 기초자료이며, Predation analysis를 통해 군집의 앞날을 결정할 수 있다. 먹이사슬에 대한 에너지가정과 군집의 안정성 가정은 논란의 여지가 남아 있는 생태학의 중요한 주제이며, 국내 연안에서의 검증이 필요하다.

저서 암반생태계(2-dimensional)는 원양생태계(3-dimentional) 보다 단순한 먹이연쇄 구조를 갖는다 (Briand and Cohen, 1987). 비교적 구조가 단순한 암반 조간대에서 trophic species에 대한 정량자료를 수집하여 Lotka-Voterra equations에 적용하면 사망율과 성장율을 계산할 수 있다. 이것은 material flow의 계산이 가능함을 의미한다. 현상을 수학으로 표현하는 까닭은, 수학이 갖는 장점, 현재를 바탕으로 앞으로의 경향과 변동을 예측할 수 있기 때문이다.

육지와 바다가 만나는 연안은 먼바다에 비해 생물의 서식밀도가 높고 생산성도 훨씬 높다(Holme & McIntyre, 1984; Raymont, 1980). 연안 저서생물의 분포는 저질의 종류와 안정성에 따라 크게 변하며 (Thorson, 1957; Nybakken, 1988), 저질이 안정한 암반 조하대에는 대형 해조류가 번무한다 (Mann, 1982).

바다로 유입된 태양에너지는 일차생산자의 탄소동화작용에 의해

유기물로 전환되고, 생태계의 먹이연쇄를 통해 상위 영양단계로 이동한다 (Lindeman, 1942). 에너지 유동은 생물-생태계의 매우 중요한 현상으로 알려져 있으며(Odum, 1971), 생물의 생산성에 대한 연구는 생태계의 기능적인 측면을 분석하는 매우 중요한 수단으로 인식되고 있다. 그러나, 우리나라 동해 연안에 대한 연구는 생물분포와 군집의 구조에 관한 것이 대부분이며, 군집의 기능에 대한 연구는 매우 빈약하다. 안(1984)과 조(1987)만이 알송이모자반(*Sargassum confusum*)의 성장과 생산성, 해조표면서식동물의 생산성에 대해 연구했을 뿐이다. 알송이모자반은 동해안 암반조하대 생물량의 많은 부분을 차지하며 (Koh & Sung, 1983), 상당한 생산성을 보인다 (Koh & Ahn, 1985). 동해안 암반조하대의 식생은, 여름에는 모자반류에 의해, 겨울에는 미역과 다시마류와 같은 대형갈조류에 의해 크게 영향을 받는다 (Koh, 1983; Koh & Sung, 1983). 대형갈조류가 번무하는 시기에는 해조표면서식동물의 생물량과 생산성이 군집내에서 차지하는 비중이 매우 크다(임, 1986; 조, 1987). 그러나 여름철 암반조하대 생물량의 대부분을 차지하는 모자반류가 쇠퇴하고, 겨울철 암반식생을 주도할 미역과 다시마류가 아직 번무하기에는 이른 가을에는 부착해조류의 생물량이 현저하게 감소한다. 따라서 해조표면 서식동물의 생물량도 함께 감소하며, 결국 순수한 암반동물이 암반군집 생물량의 대부분을 차지하게 된다.

황해와 남해가 외해로 노출되어 있는 열린 바다라면, 동해는 우리나라와 일본열도로 가로막혀 있는, 외해와 단절되어 있는 바다이다. 따라서 동해 생물-생태계, 특히 저층생태계의 이해를 위해서는 동해 암반을 포함한 연안군집의 생물량과 생산성 분석이 선행되어야 한다. 동해 심층의 동물군집에 대한 연구도 아직 부족하다. 동해 대륙붕과

대륙사면의 저서동물군집에 대해서는 최(1990)가 저서다모류에 대해, 제(1993)가 연체동물의 분포를, 신(1989)과 Shin & Koh(1993)가 거미 불가사리류의 분포를 연구했을 뿐이다. 동해 system의 계절변동과 안정성, 에너지와 물질흐름의 정량을 위해, 연안생태계와 먼바다의 저층생태를 연결하는 고리가 필요하다. 필요한 자료는 각각의 군집이 생산하고 소비하는 에너지 또는 물질수지에 관한 것이며, 대상군집이 에너지를 방출하는 system인지 아니면 흡수하는 system인지 확인할 필요가 있다.

가을철 동해 암반군집의 군집구조는 비교적 단순하다 (강, 1988). 동해 연안 암반군집의 역할과 계절변동을 이해하기 위해, 모자반류가 쇠퇴하는 가을철의 군집구성을 관찰하고 암반군집의 생산성 추정을 위해 다음 문제를 검토하였다: 1) 동해 암반군집의 net production은 항상 plus(+)인가? 2) 대형갈조류는 암반군집 1차생산의 주역인가? 3) 조간대의 생물량과 생물활동은 과연 조하대 보다 작은가? 연구는 부착식물에 의한 생산과 대형저서동물에 의한 소비 pattern에 초점을 맞추었으며, 암반군집의 생물량 분포양상을 관찰하고 주요종의 현장 배양을 통해 암반군집의 산소수지(oxygen budget)를 계산하였다.

II. 조사지역

가을철 동해 암반군집의 생산성을 추정하기 위해, 암반군집에 대한 연구가 비교적 빈번하게 수행된 강원도 고성군 오호리지역과 강원도 명주군 주문진에서 멀지 않은 강원도 양양군 오산해변을 선정하였다 (Fig. 1). 오산해변을 조사지역으로 선정한 동기는 다음과 같다: 1) 동해안의 다른 해안처럼 암반해안과 모래해안이 교대되는 전형적인 동해안 해변의 모습을 갖추고 있으며, 암반의 발달상태가 양호하다. 2) 덜 알려져 동해 다른 해변에 비해 암반군집의 보존상태가 비교적 양호하다. 3) 해안으로의 접근이 용이하며, 군부대의 간섭을 면할 수 있다. 4) 주변에 양식장이 없다. 따라서 잠수장비의 사용에 따른 현지 어민과의 불필요한 마찰을 피할 수 있다. 5) 조하대 군집의 관찰과 생물채집에 꼭 필요한 잠수장비의 조달이 용이하며, 환경의 교란없이 현장실험이 가능하다.

조사지역의 암반은 변성암계열의 흑운모편암으로 이루어져 있으며, 주변의 모래해안은 분급상태가 양호한 모래알갱이(입자크기 약 0.25 mm)로 구성되어 있다. 조사기간 동안 (1993년 9/11-9/14) 표층수의 수온은 20°C-22°C(Fig. 2), 염분은 33 ‰이었다. 이 값은 오산해변의 해수환경이 오호리와 주문진의 가을철 해수환경과 큰 차이가 없음을 시사한다(성, 1983; 안, 1984; 조, 1987). 오산해변의 조석간만의 차는 매우 작아(<0.5 m) 조간대 암반생물의 분포는 동해의 다른 지역과 마찬가지로 조석 보다는 파도의 영향을 크게 받는 것으로 판단된다.

III. 조사방법

가을철 동해 암반군집의 생산성을 추정하기 위해, 암반군집의 생물량 분포양상을 관찰하고, 생물량면에서 우세한 주요 출현종의 산소생산(또는 산소소비) 능력을 현장에서 측정하였다.

1. 시료의 채집

모든 시료는 방형구(16.5 cm * 24 cm, ca. 0.04 m²)를 사용하여 서식지별로 3회 - 7회 반복채집하고, 평균값을 단위면적 당 생물량값으로 사용하였다. 조하대의 경우에는 잠수하여 시료를 채집하였고, 필요한 경우에는 수중카메라를 사용하여 서식지 풍경을 기록하였다. 조사는 생물량 면에서 우세한 대형 저서생물에 의한 생산과 소비에 초점을 맞추었다. 따라서 채집과 실험이 곤란한 micro benthic algae, 미소형 저서동물의 생물량 분포와 생산성은 암반군집 전체 생산성을 계산하는데 포함되지 않았다.

2. 주요 출현종의 산소소비량(생산량) 측정

현장관찰을 통해 생물량 면에서 우세하다고 판단한 10여종의 암반식물과 10여종의 암반동물을 선별하여 현장에서 2,000 ml 투명병에 가두어 배양하였다. 모든 생물시료는 배양전에 표면을 주변 해수로 깨끗이 닦고 반시간 가량 순화(acclimation) 시킨후 현장해수를 이용하여 배양하였다. 배양시간은 시료의 종류와 양을 고려하여 약 40분-1시간 정도로 조절하였고, 배양시의 해수 온도와 광량을 측정하였다.

해수중의 부유생물에 의한 생산과 소비량을 보정하기 위해 해수만을 채운 빈 병(blank bottle)을 다른 배양병과 함께 동일한 조건하에서 방치하였다.

일정시간이 경과한 뒤, 배양이 끝난 생물시료를 포함한 투명병안의 용존산소량을 주변해수의 용존산소량과 비교하여, 용존산소의 차이를 해당 생물에 의한 산소소비(또는 산소생산)량으로 간주하였다. 이때, 해수만을 채운 명병과 암병(light & dark bottles)의 용존산소 변화를 고려하여 생물시료를 포함한 배양병의 용존산소량 값을 계산하였다. 용존산소량의 측정은 Winkler-Azide 변법으로 현장에서 적정하였다. 적정에 사용한 티오황산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)의 부피를 0.1 ml까지 읽어 용존산소량을 계산하였고, 배양에 사용된 생물시료는 Dry Oven에서 60°C로 약 72시간 건조한후 건중량을, Furnace에서 550°C로 태운후 ash free dry weight(AFDW)를 0.01 mg까지 측정하였다 (AFDW는 건중량에서 태우고 남은 무게를 공제한 무게를 사용하였다).

주요 출현종에 의한 산소생산량과 소비량은 모든 시료에 대해 4회 반복실험하였고, 4개의 측정값중에서 최고값과 최저값을 버리고 남은 중앙 2값의 평균을 해당 생물에 의한 단위시간당 산소생산(또는 산소 소비)율로 사용하였다. 본 조사에 이용한 용존산소량 적정법(Winkler-Azide method)은 부록에 정리하였다(Appendix 1).

3. 생물자료의 정량과 암반군집의 생산성 계산

방형구를 사용하여 채집한 생물시료는 현장에서 거칠게 분류하여 일단 10% Formalin으로 방부처리한 뒤, 실험실에서 종별로 분리하여 각각의 건중량을 측정하였다. 각각의 시료로부터 얻은 건중량자료를 이용하여 서식지별 단위면적당 생물량 자료를 만들었다. 단위면적당

생물량 자료를 이용하여 암반군집 폭 1 m당 전체 암반군집의 생물량 자료를 구하고, 주요 출현종의 단위 건중량 당 산소생산량(또는 산소 소비량) 자료를 곱하여 암반군집의 생산성을 추정하였다, 계산과정을 간단히 전개하면 다음과 같다:

1) 암반군집의 서식지별 생물량

방형구(0.04 m^2) 안 생물의 건중량 평균 * 서식지 면적 / 0.04

2) 암반군집 폭 1 m 당 전체생물량

서식지별 생물량의 총 합 (상조간대+조간대+조하대)

3) 암반군집의 생산성

주요종의 암반군집 폭 1 m 당 산소생산량(또는 소비량)의 합

(* 주요종의 산소생산량 = 단위 건중량당 산소생산량 * 생물량)

IV. 결과와 고찰

1. 암반생물의 분포

1993년 9월, 동해 오산해변 암반에서 채집된 암반생물의 종목록은 Table 1.과 같으며, 서식지에 따른 생물량 분포는 Table 2.와 같다. Fig. 3.은 주요 출현종의 수직분포를 모식도로 나타낸 것이다. 조간대 상부에는 총알고둥(*Littorina brevicula*)과 좁쌀무늬총알고둥(*Granulilittorina exigua*)이 분포한다. 조무라기따개비(*Chthamalus challengeri*)는 조간대 상부에서 해수면 부근까지 넓게 밀생하며, 진주배말(*Cellana grata*)과 두드럭배말(*Collisella dorsuosa*)이 해수면 부근에 듦성듦성 분포하고 있다. 조간대(약 수심 1 m까지)는 굵은줄격판담치(*Septifer virgatus*)가 암반표면에 겹겹이 밀집분포하며, 구멍갈파래(*Ulva pertusa*)와 붉은실(*Polysiphonia* spp.), 작은구슬산호말(*Coralina pilulifera*)이 상당한 밀도로 분포한다. 모자반류는 예상과는 달리 지충이(*Sargassum thunbergii*)만 약간 보일 뿐, 알송이모자반(*Sargassum confusum*)은 드물게 분포한다. 군데군데 잘피류인 게바다말(*Phyllospadix japonica*)이 분포하는 것이 관찰되었다.

조하대(수심 1 m 이하)에 이르면 암반식물은 거의 보이지 않으며, 해면류, 말미잘류, 불가사리류와 말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*), 돌조개(*Arca* sp.) 등의 암반동물이 군집의 외관을 결정한다. 암반식물은 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*), 지누아리(*Grateloupia* spp.)가 빈약하게 출현하며, 다만 그물바탕말(*Dictyota* spp.)만이 듦성듦성 patch를 이루고 있다. 암반이 끝나는 수심 7-8 m에 이르면

저층은 모래로 이루어져 있으며, 모래 사이로 들출되어 있는 암반의 표면에는 다시마(*Laminaria japonica*)가 여기저기 부착되어 있으나, 군집의 밀도는 그다지 높지 않다.

2. 부착해조와 저서동물의 생물량 구성

건중량으로 비교한 암반군집 생물량은 암반식물이 약 30%, 암반동물이 약 70%를 차지하여, 가을철 동해 암반군집은 암반식물 보다 암반동물이 군집 생물량의 대부분을 이루고 있다(Fig. 4). 서식지 별 생물량 구성은, 암반군집 전체 생물량의 약 60%가 수심 1 m이내의 조간대 부근에 밀집되어 있고, 조하대는 조간대 보다 서식지 면적은 훨씬 넓지만 약 30%의 생물량만이 분포한다(Fig. 5). 조간대 상부는 총알고둥(*Littorina brevicula*)과 조무라기따개비(*Chthamalus challenger*)같은 암반동물만 분포하며, 암반식물은 서식하지 않는다. 반면에 암반이 끝나는 바닥의 모래층은, 다시마(*Laminaria japonica*)가 거의 모든 생물량을 결정한다. 가을철 동해 암반군집의 생물량은 조간대에 밀생하는 굵은줄격판담치(*Septifer virgatus*)가 총 생물량의 40%를 차지한다(Fig. 6). 전체 생물량의 60%가 담치와 말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*), 돌조개(*Arca* sp.) 3종에 의해 점유되어 있다. 암반식물은 지층이(*Sargassum thunbergii*), 다시마(*Laminaria japonica*), 그물바탕말(*Dictyota* spp.), 게바다말(*Phyllospadix japonica*)이 상당량의 생물량을 보이지만, 각각 전체 생물량의 약 4%-6% 정도를 차지할 뿐이다(Fig. 6). 구멍갈파래(*Ulva pertusa*)와 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)은 조간대에 밀생함에도 불구하고 암반군집 총 생물량에서 차지하는 부분은 매우 작다.

3. 생물량과 산소소비량(생산량)의 분포양상

암반군집 주요 출현종의 단위시간당 산소생산량(또는 산소소비량) pattern은 Fig. 7과 같다. 암반동물의 단위 건중량당 산소소비량은 2 mg-O₂/h에서 5 mg-O₂/h로 대체로 비슷한 수준을 보인다. 생물량의 대부분을 차지하는 굽은줄격판담치(*Septifer virgatus*)의 산소소비가 가장 적으며, 고등류인 진주배말(*Cellana grata*)과 두드럭배말(*Colli-sella dorsuosa*)의 소비량이 상대적으로 많다. 그러나 ash free dry weight(AFDW)당 산소소비 양상을 비교하면, 진주배말과 두드럭배말(>10 mg-O₂/h/g-AFDW)이 담치(ca. 2 mg-O₂/h/g-AFDW) 보다 5 배 이상의 산소를 소비한다.

암반식물의 단위 건중량당 산소생산량은 <1mg-O₂/h에서 10 mg -O₂/h로 종에 따라 큰 변화를 보인다. 모자반류인 지충이(*Sargassum thunbergii*)와 알쑥이 모자반(*Sargassum confusum*)의 산소생산능력 (<2 mg-O₂/h)은 아주 작으며, 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 작은구슬 산호말(*Corallina pilulifera*), 붉은실(*Polysiphonia spp.*)의 산소생산량 (>5 mg-O₂/h)이 월등히 크다. AFDW당 산소생산 pattern도 비슷한 양상을 보인다. 암반동물과 마찬가지로 생물량의 많은 부분을 점하는 지충이(*Sargassum thunbergii*) 보다 생물량이 훨씬 적은 구멍갈파래 (*Ulva pertusa*)와 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)의 산소생산량 (>15 mg-O₂/h/g-AFDW)이 훨씬 크다. 특이한 점은 AFDW당 산소 생산은 산호조류인 *Corallina pilulifera*가 녹조류인 *Ulva pertusa*보다 더 높은 생산성을 보인다는 점이다.

Fig. 8은 주요 출현종의 AFDW가 자신의 건중량에서 차지하는 비 값을 백분율로 나타낸 것이다. 암반동물은 건중량의 약 20-30%가, 암반식물은 건중량의 약 >80%가 순수한 유기물 생물량값임을 알 수

있다. 담치류인 *Septifer virgatus*가 암반동물로서는 높은 값을(50%), 산호조류인 *Corallina pilulifera*가 암반식물중에서는 가장 낮은 값을(40%) 보인다.

4. 가을철 암반군집의 산소수지

동해안 암반군집의 가을철 군집구성과 생물량 분포, 주요종의 산소 생산(또는 산소소비) 능력을 고려하여 계산한, 동해 암반군집의 전체 산소수지와 서식지 별 산소수지 양상은 다음과 같다 (Figs. 8 - 11): 조간대 상부는 암반동물에 의한 산소의 소비작용만 있고, 대부분의 생산과 소비활동이 조간대에 집중되어 있다. 암반식물에 의한 산소 생산과 암반동물에 의한 산소소비는 대체로 비슷한 수준을 유지하여, 동해 암반군집이 항상 순생산량이 넘치는 생태계로 보기는 어렵다 (적어도 가을철에는 에너지를 방출하는 system으로 보기는 어렵다. 오히려 조하대의 포복성 암반동물과 조간대 상부에서 고려되지 않은 조무래기따개비(*Chthamalus challengeri*)의 소비를 고려하면, 산소를 흡수하는 system일 가능성이 있다). 현장조건과 피복성 동물의 서식 특성때문에 생물량과 생산성의 추정이 이루어지지 않은 암반동물의 생물량과 산소소비, 그리고 microalgal species와 미소종에 대한 현장 실험이 이루어지면 보다 정확한 계산이 가능할 것이다. 동해 생태계 전체를 고려하는 에너지와 물질의 유동을 정량화 하기 위해서는 동해 연안군집의 생산성에 대한 보다 정밀한 연구가 필요하다.

V. 결론

1993년 9월, 동해안 오산해변 암반군집의 구성과 생물량 분포, 주요 출현종의 산소생산(또는 산소소비) pattern을 간추리면 다음과 같다: 1) 암반동물이 생물량의 대부분을 차지한다(>70%). (굵은줄격판담치, *Septifer virgatus* ca. 40%). 2) 반이상의 생물량이 조간대부근 (수심 1 m이내)에 집중되어 있다(ca. 60%). 3) 갈조류 *Sargassum thunbergii*(지충이)는 암반식물 생물량의 약 25%를 차지하지만, 1차생산(산소생산)량은 상대적으로 적다. 4) 조간대에 집중 분포하는 파래와 산호말에 의한 산소생산량이 생물량에 비해 상당히 크다 (>7000mg-O₂/h/1 m). 5) 암반군집의 산소생산량은 소비량에 비해 충분히 크지 않다 (따라서 oxygen source로 보기 어렵다).

주요결과를 토대로 다음과 같은 추론이 가능하다: 동해 암반군집이 여름철에는 모자반류에 의해, 겨울에는 미역과 다시마와 같은 대형 갈조류에 의해 암반군집의 생물량과 생산이 주도되지만, 모자반류가 쇠퇴하는 가을에는 부착해조류의 생물량이 현저하게 감소하며, 해조 표면서식동물의 생물량도 따라서 감소한다. 결국 순수한 암반동물이 군집의 외관과 생물량을 주도한다. 부착해조류의 퇴조는 조하대 생물 분포를 왜곡하여, 결과적으로 해수면 부근의 조간대를 따라 밀생하는 담치류 *Septifer virgatus*가 암반군집 전체 생물량을 주도하게 되어 조간대의 생물량이 조하대의 생물량을 능가하게 된다. 가을철 암반군집의 1차생산은, 모자반류가 여전히 암반식물생물량의 많은 부분을 차지하지만, 생물량이 작은 파래류와 산호말류에 의해 주도된다. 암반

군집의 생산성은 암반식물에 의한 산소생산이 암반동물에 의한 산소 소비에 비해 충분히 크지 않기 때문에, oxygen source로 간주하기는 어렵다. 오히려 현장조건과 서식특성 때문에 계산에 포함되지 않은 조간대 상부의 조무래기따개비(*Chthamalus challengeri*)와 조하대의 해면류와 같은 피복성 암반동물의 소비를 고려하면 산소를 흡수하는 system일 가능성이 있다. Microalgal species와 박테리아를 포함하는 보다 정밀한 분석을 통해 동해 암반군집의 에너지 방출과 흡수량이 계산될 수 있으면, 동해 전체의 에너지와 물질수지, 특히 동해 저층 생태계로 유입되는 에너지의 정량이 가능하다.

V. 참고문헌

- 강영철. 1988. 동해안 오토리지역 조하대 암반의 저서생물 분포. 이학석사학위 논문. 서울대학교. 41 pp.
- 성낙길. 1983. 동해, 죽도지역 조하대 저서생물의 군집구조에 관한 연구. 이학석사학위 논문. 서울대학교. 65 pp.
- 신형철. 1989. 한국 동해 대륙붕과 대륙사면의 거미불가사리의 분포. 이학석사학위 논문. 서울대학교. 52 pp.
- 안병옥. 1986. 조간대에 서식하는 삿갓조개류 *Cellana grata*와 *Collisella dorsuosa*의 서식지 선택에 관한 연구. 이학석사학위 논문. 서울대학교. 51 pp.
- 안인영. 1984. 동해안 오토리산 *Sargassum confusum*(갈조류, 모자반과)의 성장과 생산성. 이학석사학위 논문. 서울대학교. 46 pp.
- 임주백. 1986. *Sargassum confusum*에 서식하는 해조표면 서식동물에 대한 연구. 이학석사학위 논문. 서울대학교. 34 pp.
- 제종길. 1993. 한국 주변해역 연성저질에 서식하는 연체동물의 분포. 이학박사학위 논문. 서울대학교. 296 pp.
- 조성익. 1987. 알송이 모자반(*Sargassum confusum*)과 해조표면 서식동물의 생산성. 이학석사학위 논문. 서울대학교. 71 pp.
- 최진우. 1990. 한국 동해 대륙붕과 대륙사면에 서식하는 저서다모류 군집. 이학박사학위 논문. 서울대학교. 166 pp.
- Briand, F. 1983. Environmental control of food web structure. *Ecology*, 64: 253-263.

- Briand, F. and J. E. Cohen. 1984. Community food webs have scale-invariant structure. *Nature* (London), 307: 264-266.
- Briand, F. and J. E. Cohen. 1987. Environmental correlates of food chain length. *Science*, 238: 956-960.
- Cohen, J. E. 1978. Food Web and Niche Space (Monograph in Population Biology, 11. Princeton Univ. Press). 189 pp.
- Holme, N. A. and A. D. McIntyre (eds.). 1984. Methods for the study of marine benthos. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 387 pp.
- Hutchinson, G. E. 1959. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? *Am. Nat.* 93: 145-159.
- Koh, C. H. 1983. Community structure and productivity of phyto-benthos in Juckdo (Eastern Coast of Korea) II. seasonal changes of algal vegetation in relation to annual growth of large brown algae. *Korean. J. Botany*, 26(4): 181-190.
- Koh, C. H. and N. K. Sung. 1983. Community structure and productivity of phytobenthos in Juckdo (Eastern Coast of Korea) I. benthic marine algal vegetation and its environment. *Korean. J. Botany*, 26(3): 119-130.
- Koh, C. H. and I. Y. Ahn. 1985. Community structure and productivity of phytobenthos in Juckdo (Eastern Coast of Korea) III. growth pattern and productivity of *Sargassum confusum* (Phaeophyta). *Korean. J. Botany*, 28(2): 119-126.
- Lindeman, R. L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 23(4): 399-418.

- Mann, K. H. 1982. *Ecology of Coastal Waters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 322 pp.
- Nybakken, J. W. (ed.). 1988. *Marine Biology: An Ecological Approach*. 2nd ed. Harper & Row Publishers. N. Y. 514 pp.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. 3rd ed. W. B. Saunders company. Philadelphia. 574 pp.
- Pimm, S. L. and J. H. Lawton. 1977. The number of trophic levels in ecological communities. *Nature (London)*, 268: 329-331.
- Raymont, J. E. G. 1980. *Plankton and productivity in the oceans*, 2nd ed. Macmillan, N. Y. Vol. 1, Phytoplankton, 489 pp. Vol. 2, Zooplankton, 824 pp.
- Shin, H. C. and C. -H. Koh. 1993. Distribution and abundance of ophiuroids on the continental shelf and slope of the East Sea (southwestern Sea of Japan), Korea. *Marine Biology*, 115: 393-399.
- Thorson, G. 1957. Bottom community (sublittoral or shallow shelf), pp. 461-534. In: *The treatise on marine ecology and paleoecology*, Vol. 1. Memoir 67, Geol. Soc. Amer.

Table 1. Species list of Macrobenthic organisms sampled in a tidal community in OhSan, Sept. 1993.

녹조류

Ulva pertusa 구멍갈파래

Chaetomorpha sp. 염주말

홍조류

Polysiphonia spp. 붉은실

Corallina pilulifera 작은구슬산호말

Pachymeniopsis lanceolata 개도박

Grateloupia spp. 지누아리

Dictyota spp. 그물바탕말

갈조류

Sargassum thunbergii 지충이

Sargassum confusum 알송이모자반

Laminaria japonica 다시마

잘피류

Phyllospadix japonica 개바다말

복족류

Granulilittorina exigua 좁쌀무늬총알고둥

Littorina brevicula 총알고둥

Collisella dorsuosa 두드럭배말

Cellana grata 진주배말

Ceratostoma rorifluum 맵사리

Reishia clavigera 대수리

Nucella freycineti 염주름고둥

Chlorostoma xanthostigma 명주고둥

Umbonium costatum 비단고둥

(Unidentified gastropod)

Table 1. (continued)

부족류

Septifer virgatus 굵은줄격판담치

Arca sp. 돌조개

(*Gomphina veneriformis* 대복)

군부류

Acanthochiton sp. 털군부

(Unidentified chitons)

기타

Chthamalus challengerii 조무라기따개비

Pachygrapsus crassipes 바위게

Hemicentrotus pulcherrimus 말뚝성게

Amphipods 단각류

Sea anemones 말미잘류

Hermit crabs 집게류

Sponges 해면류

Star fishes 불가사리류

Polychaete worms 갯지렁이류

Table 2. Quantitative distribution of benthic species sampled from each zone of a tidal community in OhSan, Sept. 1993.

Species	g dry wt. (numbers)/1 m-width				
	A zone	(B zone)	C zone	D zone	T
<i>Granulilittorina exigua</i>	41(<394)				40
<i>Littorina brevicula</i>	1183(<319)				1180
<i>Chthamalus challengerii</i>	?(<3750)	?(>12500)	+		?
<i>Collisella dorsuosa</i>	+	104(63)			100
<i>Cellana grata</i>	+	93(75)			90
<i>Ulva pertusa</i>		51	285	165	500
<i>Septifer virgatus</i>		119(+)	8500(>12500)		8620
<i>Reishia clavigera</i>			+		+
<i>Ceratostoma roriflum</i>			198(100)	+	200
<i>Nucella freycineti</i>			180(75)	+	180
<i>Acanthochiton</i> sp.		+	+		+
<i>Pachygrapsus crassipes</i>		+	+		+
<i>Polysiphonia</i> spp.		+	208		210
<i>Corallina pilulifera</i>		+	398	+	400
<i>Sargassum thunbergii</i>			1618		1620
<i>Sargassum confusum</i>			150		150
<i>Pachymeniopsis lanceolata</i>			+		+
<i>Phyllospadix japonica</i>			778		780
<i>Grateloupia</i> spp.			250	+	250
<i>Dictyota</i> spp.			+	1155	1160
<i>Arca</i> sp.				2385(450)	2390
<i>Chlorostoma xanthostigma</i>			+	+	+
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>				2745(750)	2750
Sea anemones				+	+
Sponges				225	230
Star fishes				+	+
Hermit crabs				120(150)	120
(<i>Umbonium costatum</i>)				120(75)	120
(<i>Laminaria japonica</i>)				1410	1410
구간별 생물량	>1220	>370	12570	8330	(22500)

^ :	(수직거리)	(상대면적 m ²)	Factor
A zone: supralittoral	ca. 75 cm	0.75	18.75
(B zone: transitional)	ca. 50 cm	0.5	12.5
C zone: littoral	ca. 100 cm	1.0	25.0
D zone: sublittoral	ca. 700 cm	7.0	150.0
(D zone: bottom)	ca. 100 cm	1.0	25.0

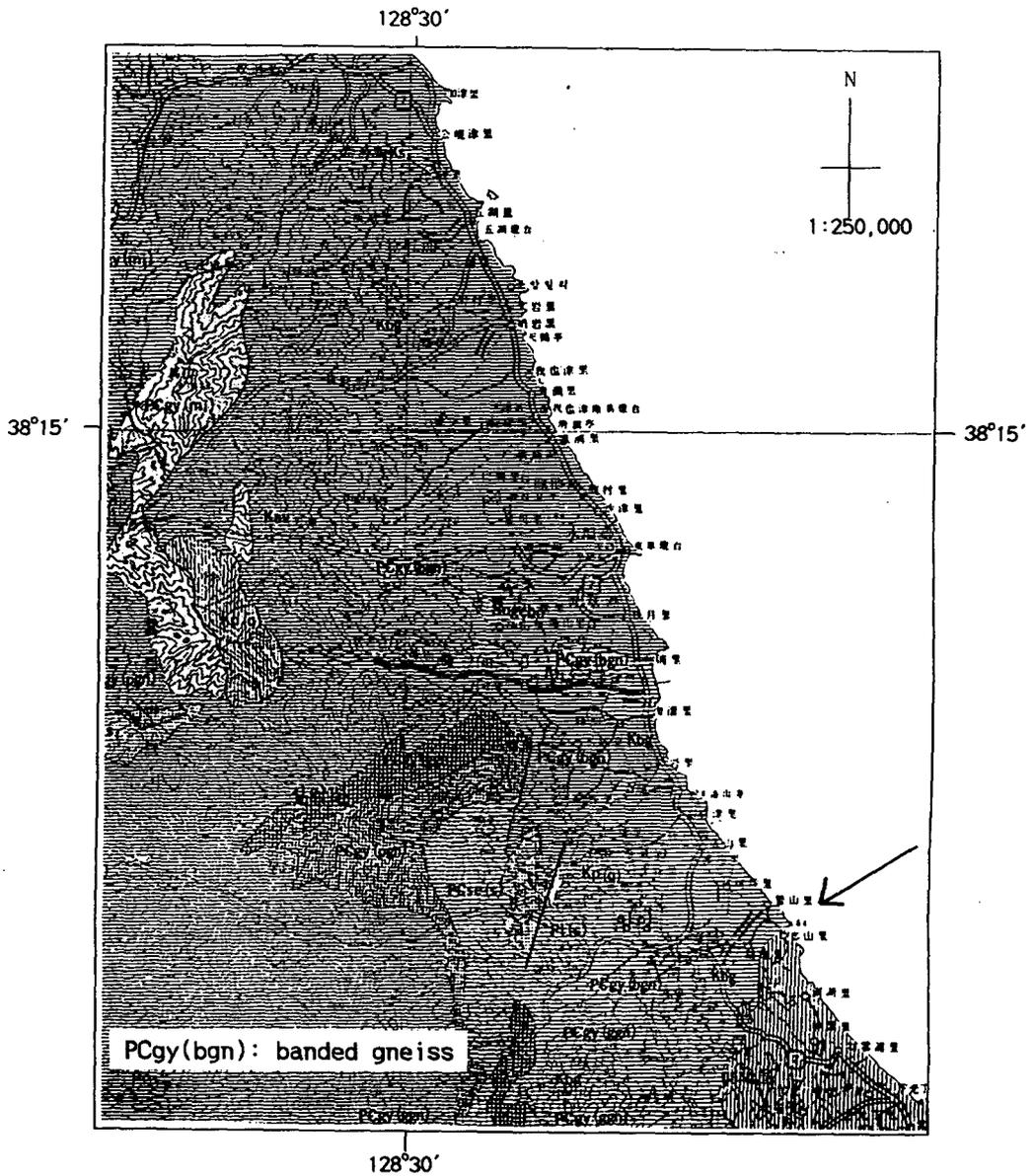


Fig. 1. Geological map of Kangwon-Do showing the rock type of the study area. Arrow indicates OhSan beach.

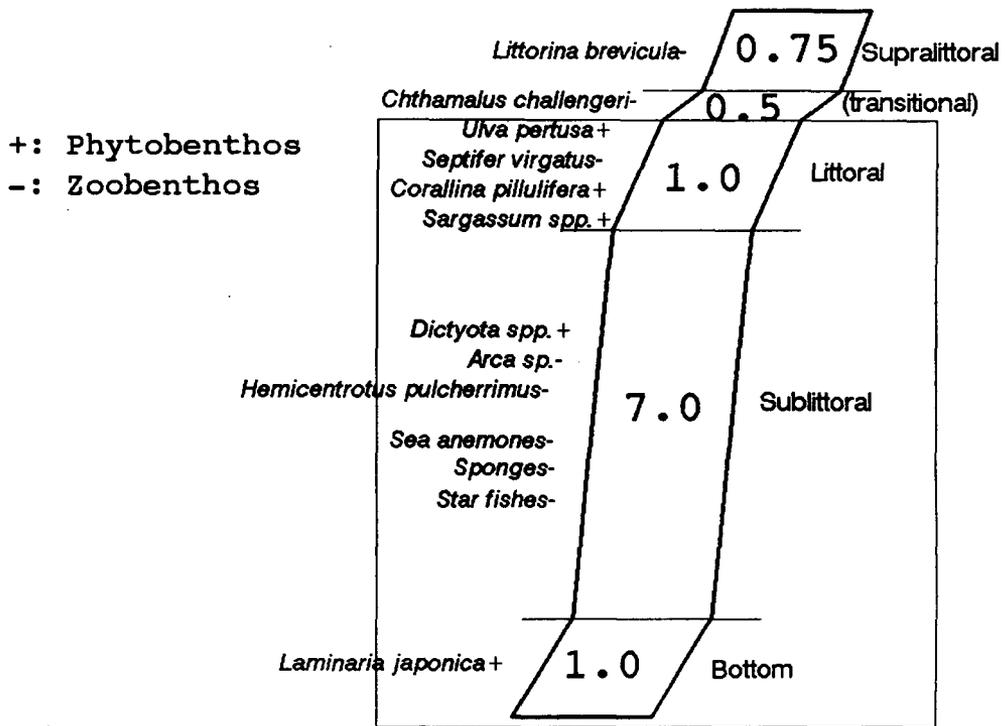
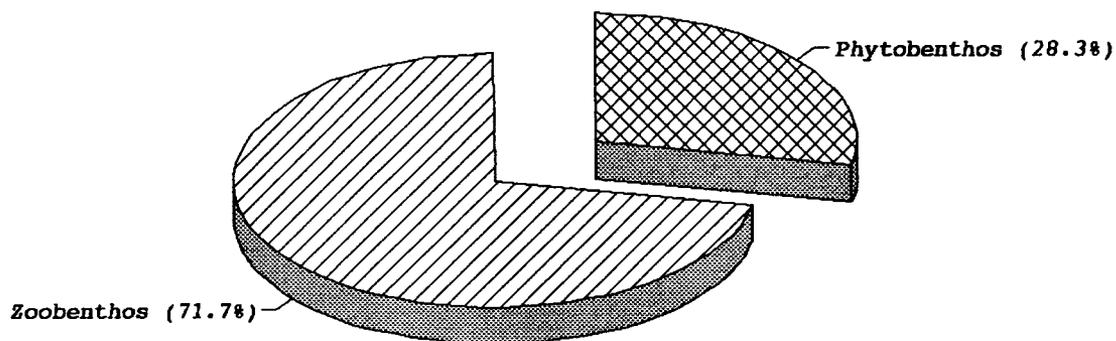


Fig. 3. Modified distributional pattern of dominant benthic species on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993. Numeral is the area of each habitat defined with 1 m width.

Composition of Benthic Biomass
(OhSan, Sept. 1993)



(Biomass unit: g dry weight)

Fig. 4. Composition of benthic biomass on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993.

Distribution of Benthic Biomass
(OhSan, Sept. 1993)

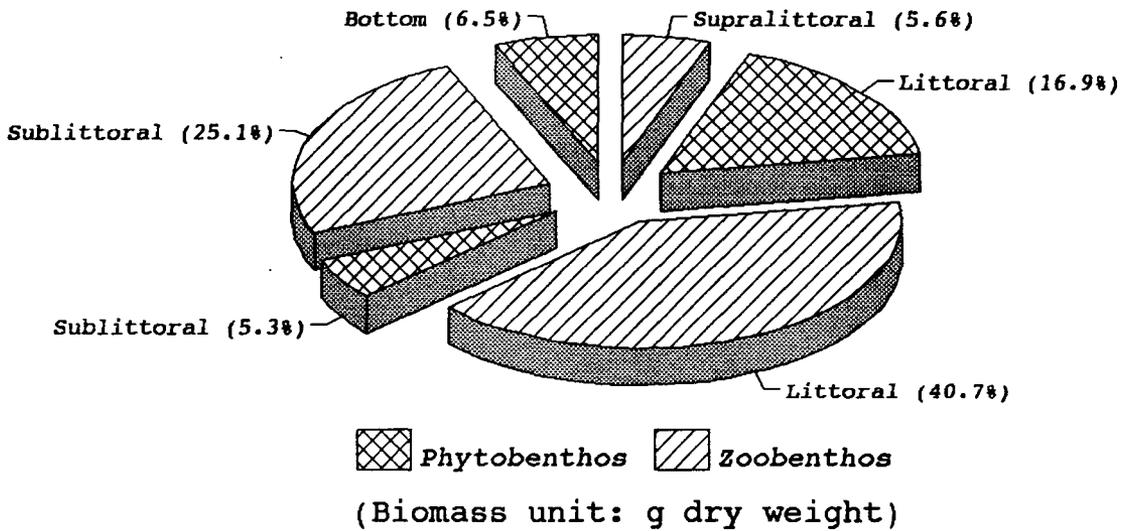


Fig. 5. Distribution of benthic biomass within each zone defined in Fig. 3. on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993.

Biomass of Benthic Species (OhSan, Sept. 1993)

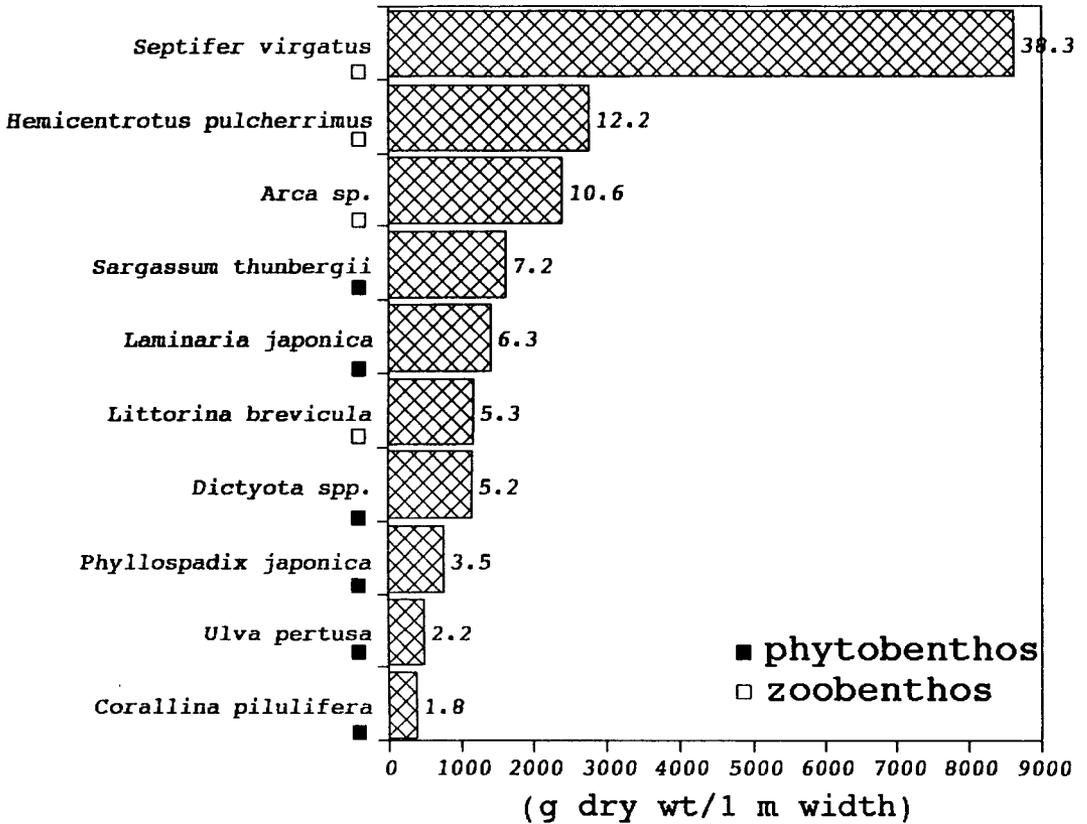


Fig. 6. Biomass of dominant benthic species on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993.

O₂ Consumption(or Production)Rates of Benthic Organisms(OhSan, Sept. 1993)

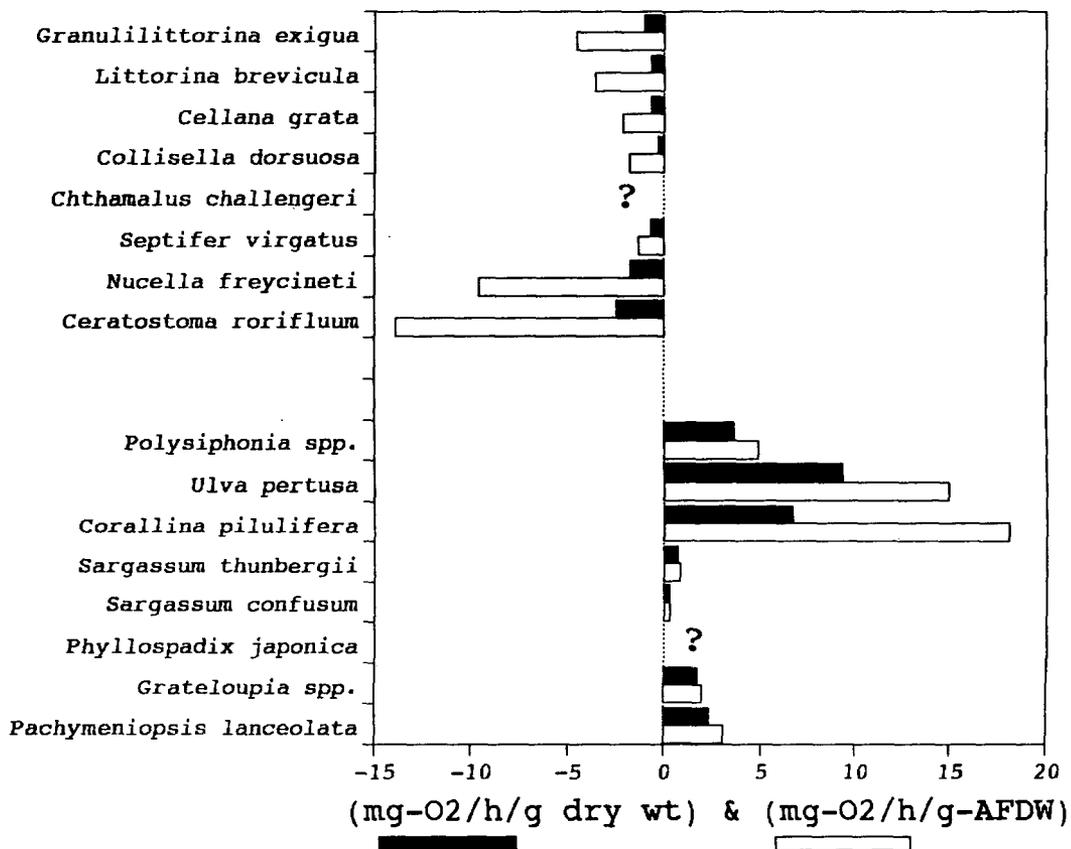


Fig. 7. Oxygen consumption(or production) rates of benthic organisms on a tidal rock bottom in OhSan, Sept. 1993.

Percentage Ratio of AFDW in Dry Weight
of Benthic Species(OhSan, Sept. 1993)

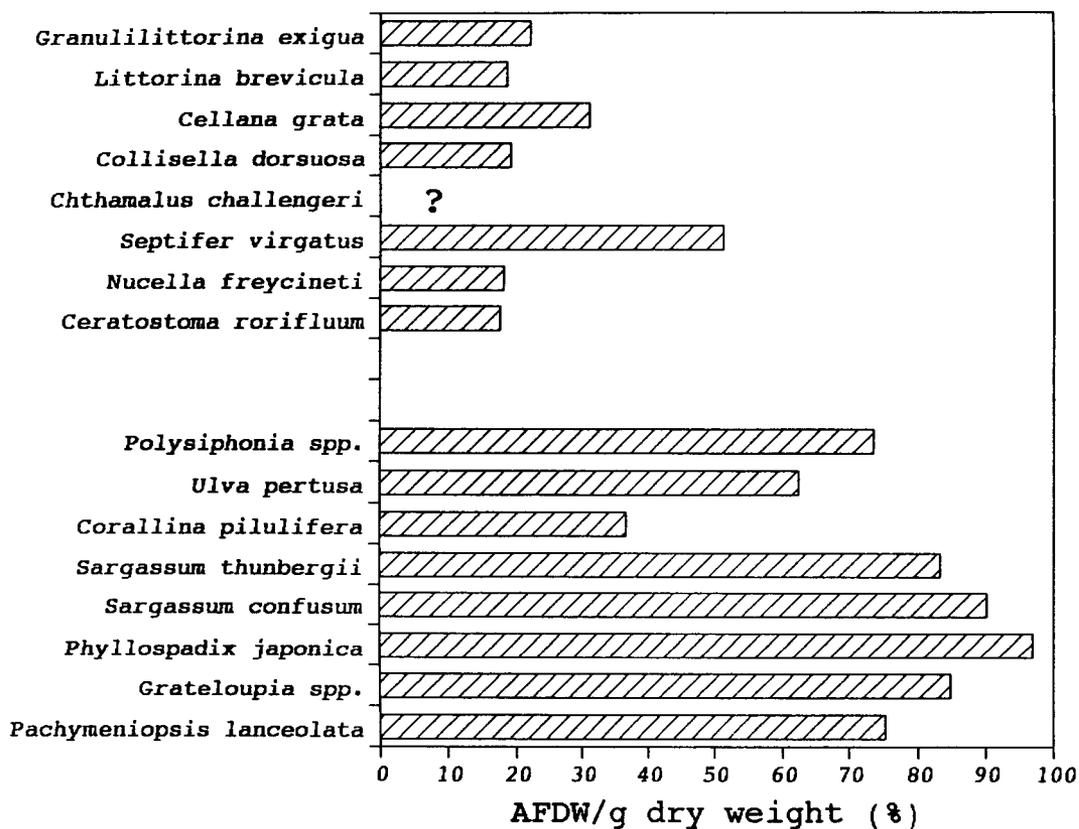


Fig. 8. Percentage ratios of ash free dry weights (AFDW) in dry weights of benthic species on a tidal rock bottom in Oh-San, Sept. 1993.

A) Oxygen Production of Phytobenthos
(OhSan, Sept. 1993)

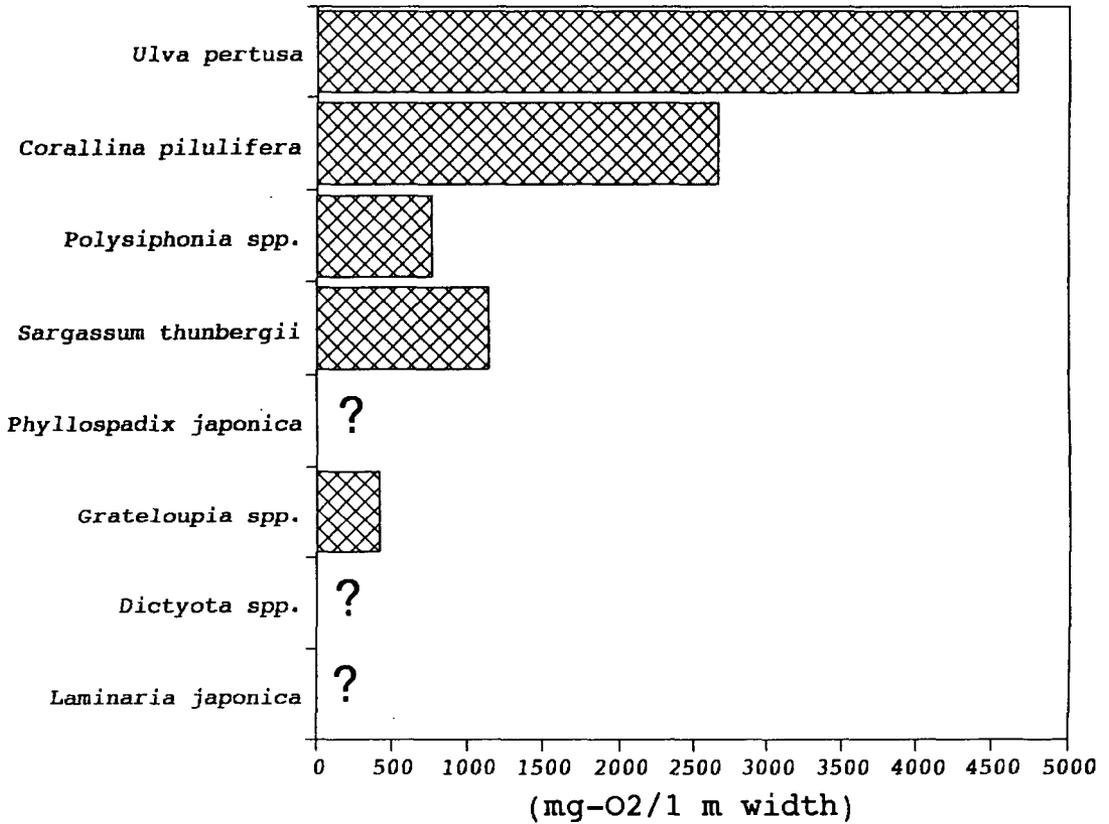


Fig. 9. Oxygen production of phytobenthos(a), and oxygen consumption of zoobenthos (b) of a tidal community in OhSan, Sept. 1993.

B) Oxygen Consumption of Zoobenthos
(OhSan, Sept. 1993)

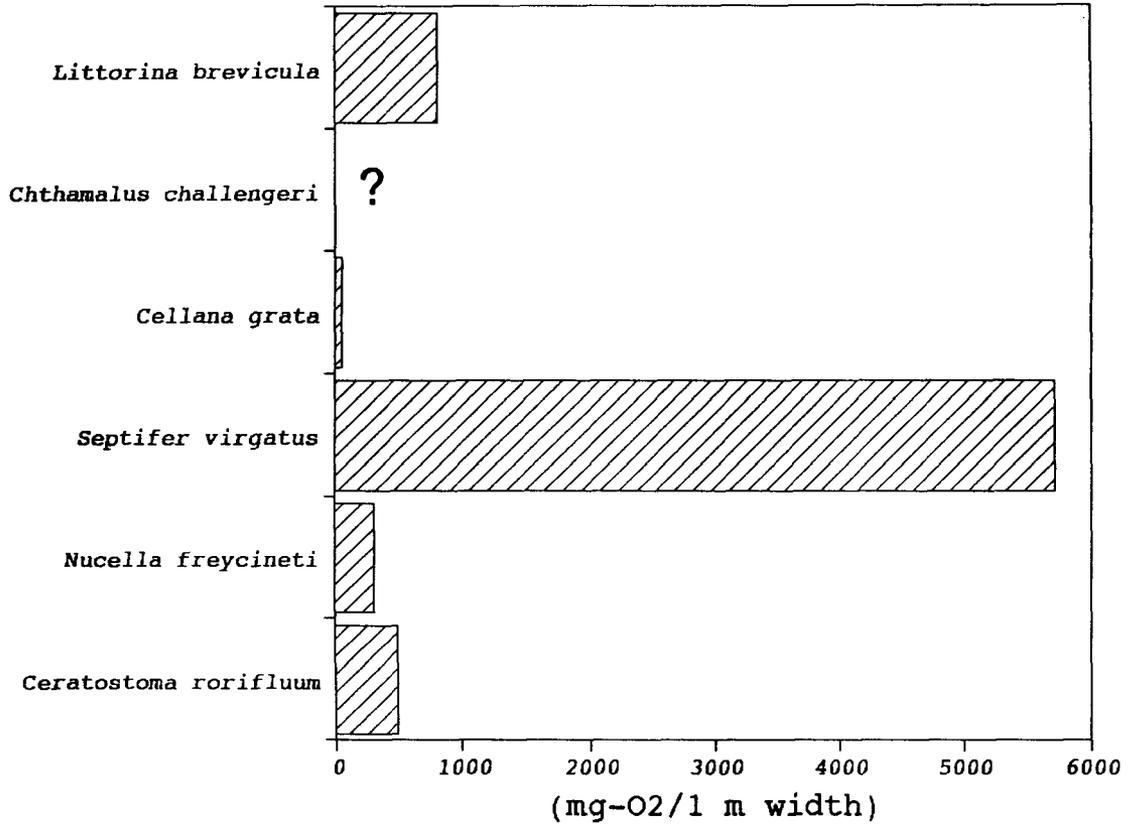


Fig. 9. (continued)

Biomass & O₂ Consumption(or production)
of Benthic Organisms(OhSan, Sept. 1993)

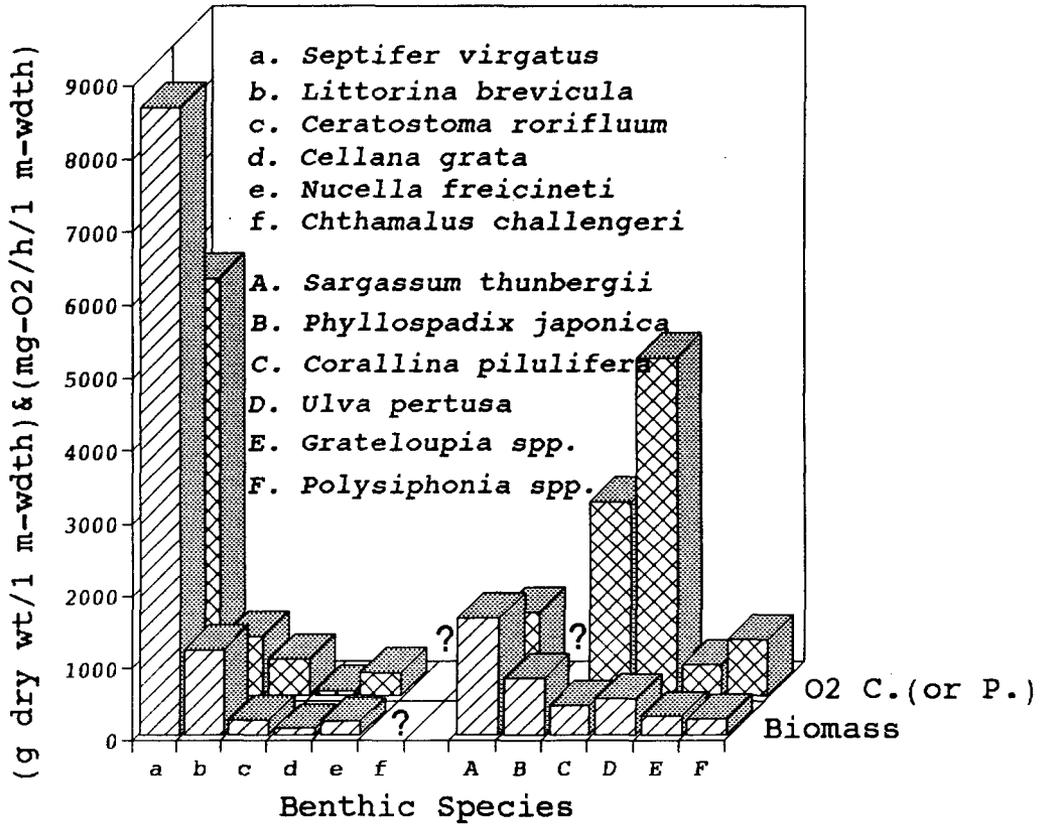


Fig. 10. Comparison of benthic biomass with oxygen consumption or production of dominant species on a tidal community in OhSan, Sept. 1993.

Oxygen Consumption & Production in Tidal Communities

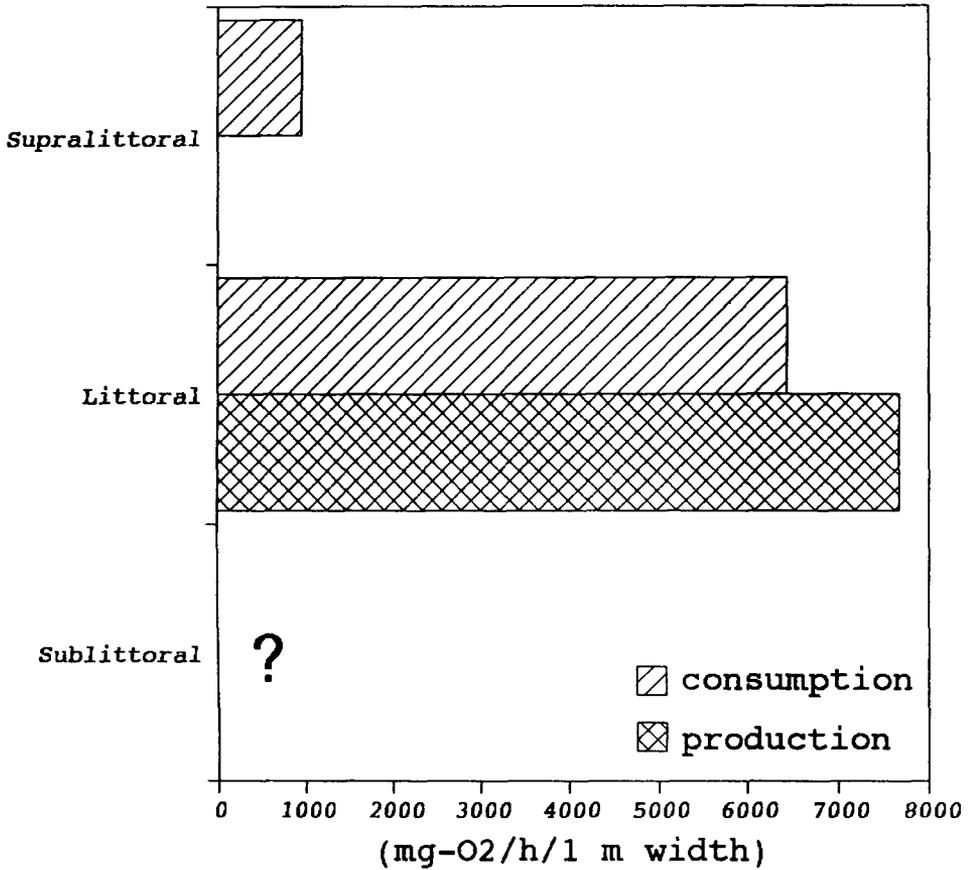


Fig. 11. Zonal distribution of oxygen consumption or production on a tidal community in OhSan, Sept. 1993.

Appendix 1. Winkler-Azide titration method for dissolved oxygen measurement.

- 측정원리: 시료에 <황산망간>과 <수산화나트륨>을 가하면 수산화제 1망간침전(백색)이 형성되며, 이 침전이 용존산소에 대응하는 양만큼 산화된다(갈색침전).
침전을 I- 존재하에 산을 가하여 용해하면 용존산소량에 대응하는 I₂가 유리된다. 유리된 I₂를 Na₂S₂O₃ 용액으로 적정한다.

- 시약: MnSO₄·4H₂O 480 g + 물 ---> 1 liter
KOH 700 g + KI 150 g + NaN₃ 10 g ---> 1 liter (Azide)
전분용액 (전분 1 g + 물 100 ml --->약 1분간 가열)
0.025 N Na₂S₂O₃ 표준용액 (0.05 N KIO₃로 표정)
0.05 N KIO₃ 표준용액
50% KI 용액
(1+2) 황산용액

- 방법: 1) 0.05 N KIO₃를 0.025 N Na₂S₂O₃로 표정
2) 시료 100 ml 당 MnSO₄액 0.5 ml과 Azide액 0.5 ml 주입
3) 강하게 흔들어 용존산소를 고정하고, 갈색침전물이 가라앉은 뒤 황산 1 ml 첨가하여 침전을 녹인다 (I₂ 유리).
4) Na₂S₂O₃ 표준용액으로 적정

적정에 쓰인 Na₂S₂O₃의 N 수 * 0.2 * 1000

- 계산: O₂ (mg/liter) = $\frac{\text{적정에 쓰인 Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\text{의 N 수} * 0.2 * 1000}{\text{산소병의 내용적(ml)} - 1(\text{ml})}$