

간석지 개흙속의 온도변화와 간극수내의 영양염농도 분포특성

Temperature Variations in the Sediments and the Concentration of Nutrients in Interstitial Water at the Tidal Flats

박 중 화*
Park, Jong-hwa

Abstract

Spatial distributional patterns of temperature in the sediments and the concentration of nutrients in interstitial water were particular interests on the ecological research of tidal flats. It was the aim of this paper to grasp inhabiting environment of tidal flat benthic organism and influence factor for environmental change forecast of tidal flats. Field observations and physico-chemical experiment were performed. Thereafter the temporal and vertical temperature distribution, thermal conductivity, redox potential, nutrients concentration in interstitial water have been discussed.

The experimental results showed that both the sea water level and the weather condition were a significant influential factors. Such as, temperature and nutrients just on the surface and the shallow layer of seabed sediments were varied largely with time and weather conditions, but that its deeper layers (such as, nearby 30cm depth) was almost constant. In addition, temperature on the seabed sediments was strongly influenced by irradiance and water depth. Temporal and vertical variations of thermal conductivity of the seabed sediments was largely varied, but its mean value was about $4 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$. Moreover, the temperature variation of the tidal flat and the variation characteristics of the nutrient concentration depend greatly on the inhabiting environment of the tidal flat benthic organism.

I. 서론

연안역의 갯벌은 강과 하천을 통해 흘러들어 오는 탁수와 토립자의 유송작용에 의한 특유의

지형을 형성하며, 특히 이곳은 어패류와 조류 등 여러 종류의 생물이 서식하는 장소이다. 또한 태양 에너지를 흡수하고 발산하며 열순환에 관여하여 온도조절 역할과 산소공급 등 에너지 저장

* 충북대학교 농과대학

키워드: 갯벌, 간극수, 영양염 농도, 온도 확산률, 개흙, 간석지

고 역할을 하고 있다. 또한 하천으로부터 흘러들어오는 현탁물질과 영양염류 등은 침강·퇴적과정을 통해 저층에 축적되어 유기물질을 분해시키고 이것을 갯벌에서 생활하는 생물에 공급하며 미생물의 번식·서식을 촉진시키는 기능을 한다¹⁰⁾. 이러한 다양한 기능을 지닌 갯벌이 어떠한 환경으로 구성되어 있으며, 어떻게 변화하는가를 검토·예측하는 것은 간석을 보전하고 새롭게 조성하는데 매우 중요한 요소이다^{17), 22)}.

우리나라의 갯벌 면적은 국토면적의 2.4%에 해당하는 약 2,393km²로, 그 중 서해안에 1,980km²(약 83%)가, 남해안에 413km²(약 17%)가 분포해 있다(1998, 해양수산부). 최근 들어 이러한 갯벌에 대한 가치와 중요성이 강조되고 있으나 갯벌에 관한 실제적인 조사와 연구는 극히 빈약한 실정에 있다. 갯벌이 갖는 연안 생태계내에서의 다양한 기능을 좀더 살리고 보호해가기 위한 방법과 새로운 형태로의 이용법을 위해 갯벌에 관한 기초데이터의 취득과 이를 바탕으로 하는 관리방안을 마련할 필요가 절실히 요구되고 있다²⁾⁻⁹⁾. 그 중 개흙속의 온도 및 영양염류는 갯벌의 생태환경과 밀접한 관계가 있으며 저서동물의 서식환경에 미치는 영향은 큰 것으로 보고되어 있다^{19), 20)}. 그러나 이와같은 물리·화학적 환경특성과 생태환경에 대해 정량적으로 조사·검토한 연구는 매우 적은 실정이다. 또한 물질순환에 관한 예측 모델도 개발되어 발표되고 있으나 기초적인 물리·화학적 조성에 관한 정량화가 충분하지 못해 그 적용에는 많은 문제점을 가지고 있다²¹⁾. 우리 나라의 경우를 보면 갯벌에 관한 기초 데이터와 관련 연구가 거의 행해지지 않고 있다.

따라서 본 연구는 앞으로 갯벌에 관한 보다 활발한 기초연구를 위해 일본 사가현 아리아게해 갯벌역의 물리·화학적 요소(특히 개흙의 기초적 물성, 온도, 수위변동, 간극수중의 영양염류, 산화환원 전위)에 관해 현지관측을 통해 취

득한 데이터를 검토하고, 갯벌 저서생물 서식환경의 파악 및 갯벌환경 변동예측을 위한 기초적 자료 취득을 목적으로 한다.

II. 관측 및 실험의 개요

생태환경 조사를 위한 현지계측은 일본 Saga현 Rokkaku-kawa 하구의 영향을 받는 천해역에^{15), 16)} 위치한 D.L. = +4m 지점에서 실시했다. 측정항목은 측정점에서의 수위변동과 개흙속의 온도와 간극수중의 영양염류 농도이다. 이 중 수위변동과 개흙속의 온도는 6개점(깊이 0, 10, 15, 20, 30cm점)에 대해 거의 1년간 계측을 실시했다. 영양염류 농도와 산화환원 전위는 5개점(깊이 5, 10, 15, 20, 30cm점)에서 1주 간격으로 관측과 Sampling을 실시했다. 기상자료로 일사량과 우량측정은 Saga대학 구내에서 측정하였으며, 일조시간, 기온, 풍속은 Amedas 데이터를 이용하고, 습도는 지방기상대의 데이터를 입수해 사용했다¹⁵⁾. 개흙의 물리적 특성, 온도 특성과 간극수 중의 영양염류 농도 변화 등의 관련성을 알아보기 위해 각 점에서 시료를 채취해 토질과 수질에 관한 실내실험을 실시했다.

각 측정점에서 채취한 시료로부터 물성치(비중, 입경분포, 강열감량 I_L , 투수계수 k)를 구해 개흙의 열전도 특성과의 관련성을 검토했다. 검토항목은 생활환경 항목인 수온(또는 갯벌표면 온도), 염분농도(Salinity) 그리고 영양염류인 인(총인(T-P), 인산성 인(PO_4^{3-} -P)), 질소(총질소(T-N), 암모니아성 질소(NH_4^+ -N), 질산성 질소(NO_3^- -N), 아질산성 질소(NO_2^- -N))이다^{1), 13)}. 이와 같이 취득한 연안역 개흙속의 온도, 영양염류 조건의 시간적·공간적 분포를 파악하고 그 변화를 정량적으로 평가해 이들의 상호관계와 갯벌 저서생물의 서식환경¹⁹⁾에 관해 검토를 했다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 개흙의 물성

갯벌 흙속의 온도분포와 간극수내 영양염류의 농도분포특성은 개흙의 물리적 특성과 밀접한 관련성을 가지고 있다고 생각해 기초 실험을 실시했다. 개흙속의 심도별 기본적인 물성치(흙입자밀도, 강열감량(IL), 투수계수(k), 중앙입경($\overline{D_m}$)은 <Table 1>과 같다.

(Table 1) Physical Characteristics of tidal flat sediments

Depth (cm)	Soil density (g/cm ³)	Ignition loss (%)	Coefficient of permeability (cm/s)	Mean diameter (μ m)
0	2.643	10.06	0.0001280	14
5	2.633	10.99	0.0013400	11
10	2.628	11.16	0.0001880	11
15	2.625	11.65	0.0001040	11
20	2.630	11.25	0.0000156	15
30	2.630	11.24	0.0000017	16

Sampling 시료는 점토성분(51.2%)과 실트성분(45.6%)이 대부분을 차지하고 모래 성분(3.2%)은 극히 적은 분포를 보였다. IL은 표층에서 심층으로 갈수록 높은 값을 나타냈으며, k는 표층부근에서 크고 깊어 갈수록 작은 값을 나타냈다. 이는 표층에서 조금만 더 들어가면 유기물 양이 증가되고 투수계수는 급격히 적어지는 현상을 나타내고 있다. 이는 깊어질수록 투수가 힘들어 물질유송 작용이 어려운 환경으로 구성되어 있다는 것을 알 수 있다. 역으로 표층부근은 해수 출입과 저서생물의 활동이 활발한 곳¹⁹⁾으로 물질의 교환, 이류·확산작용이 활발하게 진

행되고, 간출시에는 태양 에너지를 직접 받게되어 계류나 선충류 등의 많은 저서생물이 서식¹⁹⁾하고, 다양한 갯벌 생물이 먹이와 생존을 위해 만든 많은 구멍이 존재한다. 이러한 환경은 표층부근의 유기물을 소비·분해하는 작용과 개흙에 구멍을 파고 이동함으로써 저층의 저니를 교란·혼합하는 작용을 하게 된다. 이로 인해 개흙 표층의 각종 미생물은 활성을 갖게 되고 물질순환은 촉진되어 갯벌 저층에의 온도전달 및 영양염류의 순환에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

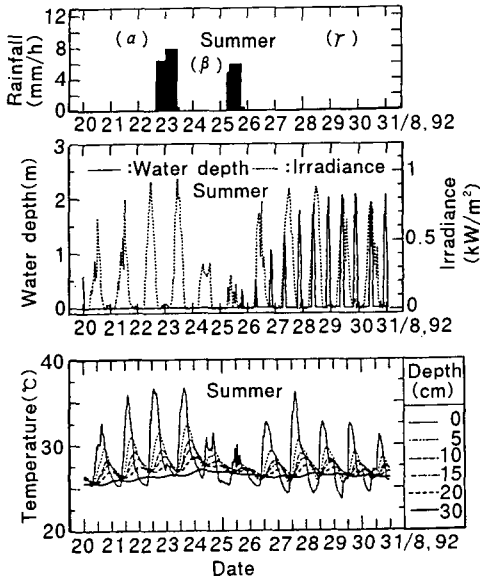
2. 갯벌 흙속의 온도분포와 기상조건과의 관계

갯벌역에 있어서의 열에너지 교환은 대기·해수·개흙의 삼자간의 상호관계에 의해 행해져 조석과 기상조건의 영향으로 복잡하게 변화한다. 특히 조위가 갯벌표면 이상인 경우 열에너지 교환은 대기와 해수면 사이, 또는 해수와 개흙 표면사이에서 일어나며, 간출시의 경우는 대기와 개흙 표면사이에서 직접 열에너지 교환이 이루어져 열의 교환형태는 크게 달라진다.

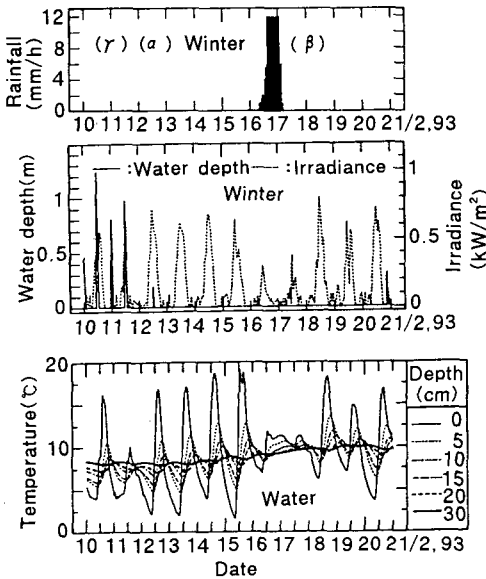
<Fig.1>은 현지관측에서 얻어진 개흙속의 온도분포, 계측지점의 수위변동, 일사량과 강우량의 시간적 변화를 각각 여름과 겨울의 계절적 변화로 나타낸 것이다.

<Fig.1>과 같이 관측기간 중의 날씨는, 여름에는 8월 23일과 25일의 강우와 8월 24일의 흐린 날, 겨울에는 2월 16, 17일의 강우를 제외하면 거의 맑은 날이었다. 이 기간 중의 일사량은 구름낀 날과 비오는 날을 제외하면 비교적 높고 정오 전후의 최대 일사량은 0.9kW/m² 전후의 높은 값을 보였다.

계측지점의 수위는 ARIAKE해 연안부의 조위변동에 따른 주기적인 변동을 나타내고 있다.



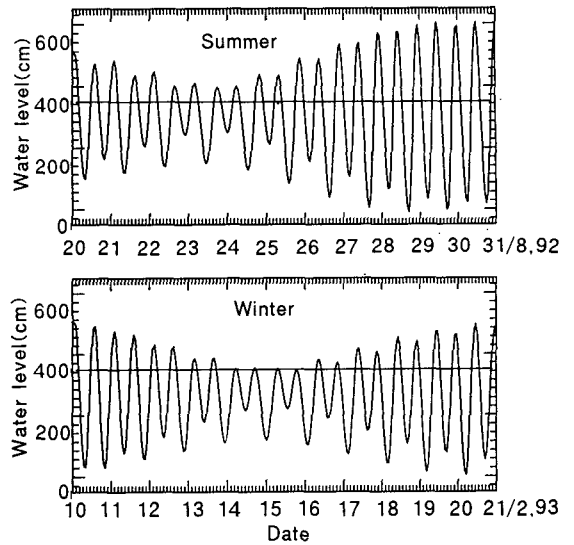
(a) Summer



(b) Winter

〈Fig. 1〉 Seasonal variations of rainfall, water level, irradiance and temperature

〈Fig. 2〉는 조위의 변동특성을 알아보기 위해 관측지점에서 가까운 곳(Suminoe)의 조위관측점에서 취득한 데이터를 계속지점의 표고



〈Fig. 2〉 Variations of water level at Suminoe Obserb. Point

(D.L. = +4m)와 함께 표시한 그림이다. 그림에서 소조(Neap tide) 때에는 하루 중 갯벌표면이 간출하고, 대조(Spring tide)에 가까워질수록 관수시간은 증가한다. 하루동안의 온도 분포의 시간적·공간적인 변화는 그날의 날씨와 갯벌표면의 관수상태에 따라 매우 크게 변화한다. 특히 갯벌 표층과 그에 가까운 5cm 침도 가까이에서의 온도의 시간적 변화는 기상의 변동에 따른 일사량의 변동으로 그 층의 온도도 변동하는 것으로 나타났다. 이와 같이 갯벌표면과 얕은 층의 온도변화는 일사량과 갯벌역 수위변동에 따라 크게 영향을 받고 있다.

비오는 날과 구름낀 날에는 비나 구름의 영향으로 일사량은 매우 낮아 거의 전깊이에서 같은 온도분포를 나타낸다. 그러나 맑은 날의 경우에는 급변하는 일사량의 변화에 따라 갯벌표면과 그 주변의 온도는 급격한 변화를 나타낸다. 특히 하루 중 일사량의 증가가 시작되는 9시경부터 갯벌표면과 그 근방의 온도는 상승하여 점차 아래층으로 전도된다. 그러나 일사량이 감소하는 18시경부터

다시 일사량이 증가하기 시작하는 다음날 8시까지의 갯벌표면부터 깊이 20cm 부근까지의 온도는 감소를 지속하게 된다. 이러한 과정에서 알 수 있듯이 갯벌표면의 온도변화는 갯벌외부 환경을 형성하는 요소·요인과 서로 깊은 관련성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 특히 방사, 일사, 온도, 수분환경은 독립적으로 존재하는 것이 아니라 서로 밀접한 상호관계속에서 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 따라서, 이러한 상호간의 관계를 명확히 밝힘으로써 연안역 생태환경 특성을 특징지어 모델화하는데에도 반영시켜 줄 수 있을 것이다.

갯벌 흙속의 온도변동의 계절적 특징으로 여름에는 갯벌표면과 그 근방층의 온도가 심층보다 현저하게 높고, 겨울에는 심층보다 약간 낮게 된다. 또한 온도교차의 연변화 특성을 보면 이 해역에서는 연중 4월이 가장 크고 일교차에 의한 불이층도 50cm 정도되는 것으로 나타났다^{15), 16)}. 이러한 일교차의 특성은 이곳에서 생활하는 생물에게 외부 생태 환경의 변화를 적절하게 알려주는 역할을 하고 있는 것으로 생각된다. 이러한 관계를 좀더 명확하게 하기 위해 <Fig.1>에서 서로 다른 특징을 가진 2일간의 3점을 선정해 갯벌표면 온도와 기상조건과의 관계를 <Fig.3>에 나타냈다. 여기서 3점의 각각의 특징은 (α) 조석작용의 영향이 없으며 저면이 간출한 경우, (β) 강우가 있고 갯벌표면이 물과 접촉해 있는 경우, (γ) 조석작용의 영향 아래 있으면서 일사량이 많은 경우에 대해 그 특성을 알아 보았다.

먼저 (α)는 조석작용의 영향이 없고 간출되어 있는 경우의 갯벌표면 온도와 일사량, 기온과의 관계로 일정한 형태의 Hysteresis loop를 형성한다. 갯벌표면의 온도와 기온과의 관계에서 형성되는 Hysteresis loop는 여름에는 상승곡선과 하강곡선이 거의 일치한다. 그러나

겨울의 Hysteresis loop는 상승과 하강의 이력경로에 약간의 차이를 보인다. 이는 갯벌표면의 온도변화가 계절의 변화에 따른 수문현상과 밀접한 관계를 맺고 있어 태양열 에너지를 흡수·저장하였다가 발산하는 과정을 잘 나타내준 것으로 해석된다.

(β)는 강우가 있고 갯벌표면이 물과 접촉해 있을 경우를 나타낸 것이다. 이 경우는 구름과 비 그리고 물에 의해 태양열 에너지가 차단되어 뚜렷한 Hysteresis loop를 형성하지 않는다. 따라서 대기온도와 갯벌표면의 온도 또는 표면 수온은 거의 같은 값을 나타내어 열전도에 미치는 태양열 에너지에 의한 일사량의 역할이 큼을 잘 나타내준 것으로 생각된다.

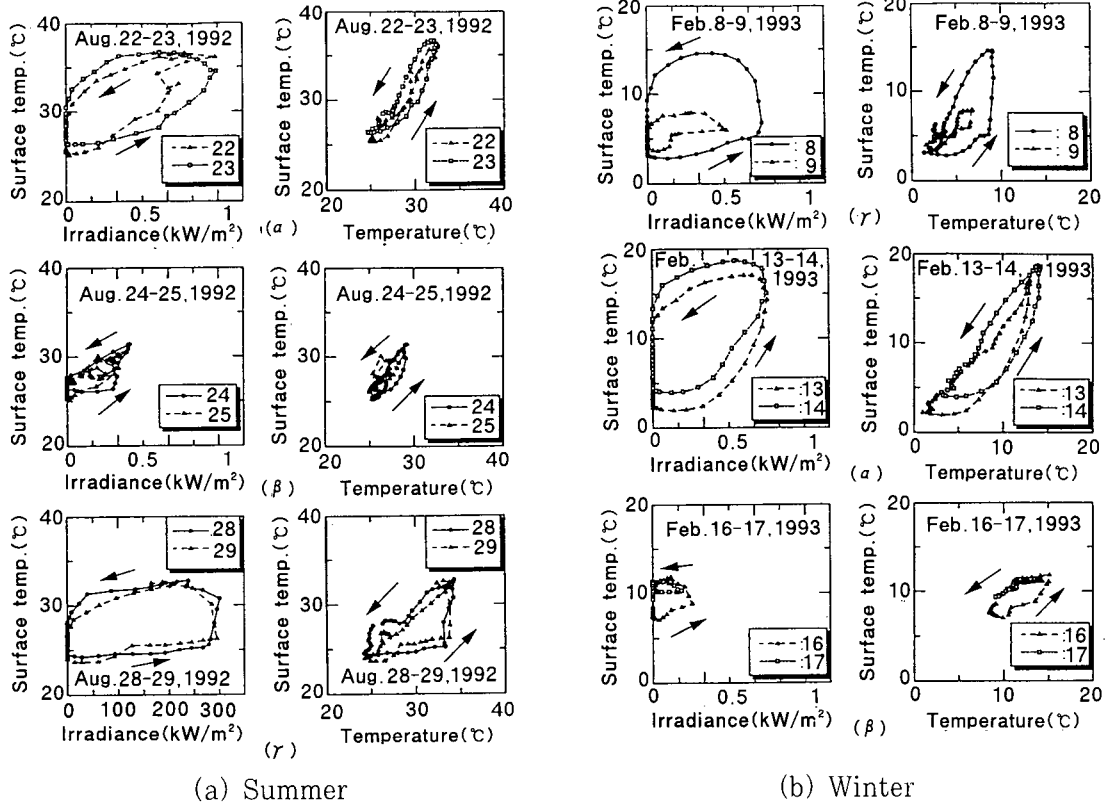
(γ)는 조석작용이 있으면서 일사량이 많은 경우에 관한 것이다. 갯벌표면의 온도와 기온으로 형성되는 Hysteresis loop는 조위의 변동에 따라 이력곡선은 급변한다. 특히 일사량의 Peak시각과 벌의 관수시간이 거의 일치할 경우, 갯벌표면과 얇은 층의 온도의 시간적 변동은 억제되는 경향을 보인다. 일사량과 기온과의 Hysteresis loop에서 상승곡선의 경우에 그 경향이 두드러지게 나타났다.

이와 같은 갯벌역 온도변화의 특성은 열에너지의 저장과 발산과정을 통해 저서생물의 생활 환경을 형성하는 요소·요인에 깊이 관여해 물 질순환 및 에너지교환을 활성화시키는 것으로 생각된다.

3. 온도확산률, 체적열용량과 열전도율의 관계

개흙의 온도확산률, 체적열용량과 열전도율은 개흙속의 온도분포나 열유송의 중요한 인자로서 그 특성을 명확히 파악해 둘 필요가 있다.

먼저, 온도확산률을 파악하기 위한 방법으로



(a) Summer (b) Winter
 <Fig. 3> Relation between surface temp and irradiance (left side) relation between surface temp and air temperature (right side).

다음과 같은 두가지 방법을 생각했다.

[방법 1]은 측정온도가 24시간 동안에 주기적으로 변동하는 두점(측정점)을 선정해 그 온도의 진폭차에 주목하여 구하는 방법으로 이후 K_1 이라 한다.

[방법 2]는 24시간 동안 온도변동의 위상차에 주목하여 구하는 방법으로 K_2 라 한다. 이들 값은 다음의 온도확산방정식에 대한 동일한 해로부터 구해질 것이다¹⁴⁾

$$\int_0^b \left(\frac{\partial T_y}{\partial t} - K \frac{\partial^2 T_y}{\partial y^2} \right) dy = 0 \quad \text{또는} \quad \frac{\partial T_y}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T_y}{\partial y^2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

여기서 y 는 발표면부터의 깊이, t 는 시간, T_y 는 깊이 y 에서의 온도, K 는 온도확산

률이다.

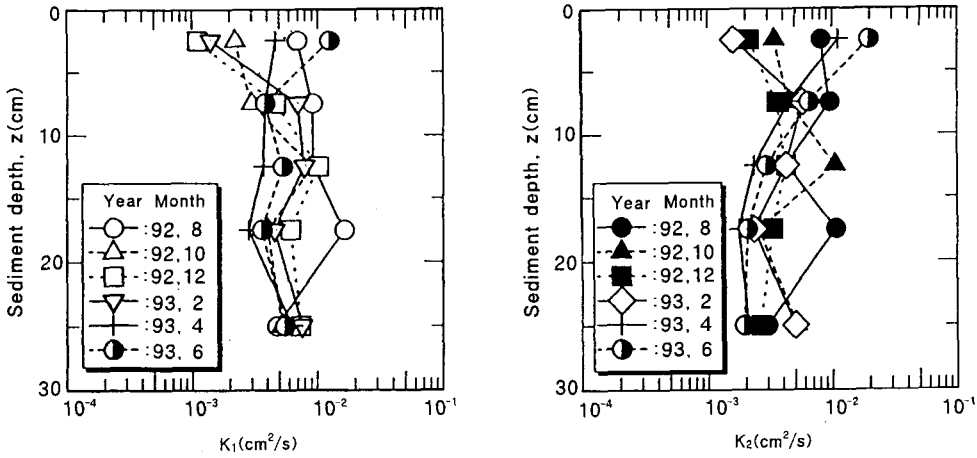
먼저 [방법 1]의 K_1 은 서로 다른 두점의 깊이에 대한 일 최고온도와 최저온도를 측정함으로써 얻어지며 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$K_1 = 6.86 \times 10^{-6} \times \frac{(y_2 - y_1)^2}{(\log_{10} R_1 - \log_{10} R_2)^2} \quad (\text{cm}^2/\text{s}) \quad \dots \dots \dots (2)$$

여기서 R_1 과 R_2 는 깊이 y_1 , y_2 에서의 온도교차이다.

[방법 2]의 K_2 는 깊이 y_1 과 y_2 에서의 온도 Peak시각을 각각 t_1 , t_2 로 하여 정리하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$K_2 = 6.88 \times 10^{-3} \times \frac{(z_2 - z_1)^2}{(t_2 - t_1)^2} \quad (\text{cm}^2/\text{s}) \quad \dots \dots (3)$$



<Fig. 4> Vertical profiles of K_1 and K_2

(Fig.4)는 각각 식(2)와 식(3)으로 산출한 온도확산률 K_1 , K_2 의 월 평균치를 각 심도별로 정리한 것이다. 그림과 같이 각 심도에 있어서의 K_1 , K_2 의 값은 월에 따라 상당한 차이를 보인다. 그 주요원인은 조석작용과 기상변동의 영향에 기인한 것으로 추정된다. 주요한 특징으로 표층의 온도확산률은 여름에는 폭넓은 분포경향을 보이며, 겨울에는 어느 정도 집중되어 나타나는 경향을 보였다. 특히 변화가 많은 곳은 표층이며, 10cm 전후 깊이층의 K_1 과 K_2 값은 계절의 변화에도 일정 값에 가까운 특징을 보였다. 이것은 다음에서 검토하게 되는 영양염류와 산화환원전위 특성에서 볼 수 있는 바와 같이 생물은 생활하기에 적합한 층이 5cm 이내 깊이에서 형성되는 산화층과 깊은 관련이 있다는 것을 알 수 있다. 이는 이 해역에서 서식하는 갯벌생물이 계절의 변화에도 개흙속의 온도변화가 적은 층을 서식환경으로 한 것과 밀접한 관계를 가지고 있다고 생각된다. 즉 계류나 선충류 등 많은 갯벌 저서생물은 봄부터 여름까지 표층부근에서 주로 서식하고, 가을에서 겨울에는 깊이 5~15cm역을 생활장

소로 하고 있는 것으로 생각된다¹⁹⁾. 따라서 봄에서 여름까지의 온도확산률의 변화는 표층에서 크고 심층의 변화는 작다. 반면에 가을에서 겨울의 온도확산률 변화는 5~15cm 층에서 크고 표층부근에서의 차는 거의 없다. 이와 같은 차이는 저서생물에 의한 생물적 교반 등으로 인해 각 심도에서의 온도전달 효과로 나타난 것으로 생각된다. 그러나 각 깊이에 대한 K_1 과 K_2 의 평균치는 비교적 서로 유사한 값을 보이고 있다. 이 값을 정리한 결과 개흙속의 평균적인 온도확산률은 $4 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 가 얻어졌다.

또한 개흙속의 온도분포와 그 변동특성을 파악하고 개흙속의 열의 흐름, 저류, 방 등의 관계를 얻기 위해서는 갯벌 흙의 비열 및 열전도율을 알 필요가 있다.

온도확산률 K 와 체적열용량 ($C \cdot \rho$) 및 열전도율 (λ_T)의 관계는 다음과 같은 식이 된다.

$$K = \frac{\lambda_T}{C \cdot \rho} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 K 는 온도확산률(cm^2/s), λ_T 는 열전도율($\text{cal}/\text{cm}/\text{s}/^\circ\text{C}$), C 는 개흙의 비열($\text{cal}/\text{g}/^\circ\text{C}$), ρ 는 개흙 밀도(g/cm^3), $C \cdot \rho$ 는 체적열용량($\text{cal}/\text{cm}^3/\text{s}/^\circ\text{C}$)이다.

개흙비열 C_s 는 혼합법에 의해 구하면 0.4 ($\text{cal}/\text{g}/^\circ\text{C}$)가 얻어지며, 계측지점의 평균염분 농도 16‰의 해수비열 C_w 는 0.98($\text{cal}/\text{g}/^\circ\text{C}$)이 얻어진다. 개흙밀도 ρ_s 는 실험에 의해 구하고, 해수밀도 ρ_w 는 계측지점의 평균 염분농도 16‰을 적용하면 1.013 g/cm^3 가 얻어진다.

이 값을 사용해 얻어낸 평균적인 체적열용량은 1.14($\text{cal}/\text{cm}^3/\text{s}/^\circ\text{C}$)이다. 여기서 식(4)로부터 열전도율은 수분량의 증가와 함께 증가하나 체적열용량($C \cdot \rho$)은 감소한다. 여기서 온도확산률 K 는 수분량의 증가에 따라 증가한다는 것을 알 수 있다. 따라서 온도확산률의 평균치를 나타낸 <Fig. 4>에서와 같이 강우량이 많은 여름의 온도확산률 값은 비교적 큰 값을 나타낸 반면 겨울철의 그 값은 그에 비해 작은 값을 나타내 이 관계를 적절하게 잘 나타내준 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 얻어낸 평균적인 체적함수율은 특히 10cm층에서 높고 깊을수록 낮은 경향을 보였다. 이렇게 얻어진 값을 적용시킨 결과 이 해역에서의 평균적인 체적열용량은 1.14($\text{cal}/\text{cm}^3/\text{s}/^\circ\text{C}$), 평균적인 온도확산률은 4.6×10^{-3} ($\text{cal}/\text{cm}/\text{s}/^\circ\text{C}$)값이 얻어졌다.

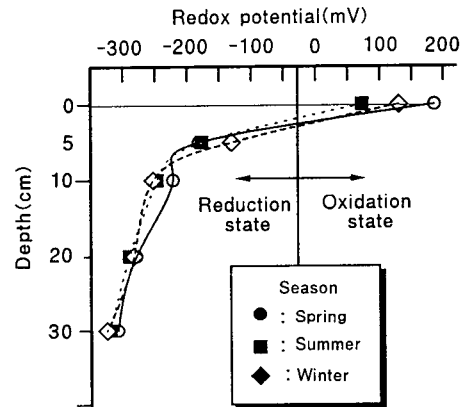
이상으로부터 갯벌표면에서 10cm 층 부근의 수분량이 높고 온도확산률의 변화도 크게 나타났다. 이는 이 심도에서의 저서생물의 서식과 활동에 따라 투수계수도 크므로 수분량의 이동과 변화가 커짐으로서 온도확산률도 변화하는 것으로 생각된다. 반면에 깊은 심도에서는 투수계수가 작으므로 생물작용에 의한 영향은 거의 없는 것으로 추정된다. 따라서 열유속도 일정한 양으로 서서히 진행되고 있다는 것을 알 수 있다.

갯벌역에 있어서 저서생물의 서식환경으로

적합한 생활장소로는 주로 투수계수가 커 수분량의 변화와 온도변화율의 변화가 크게 나타나는 곳이 사용되고 있는 것으로 파악된다.

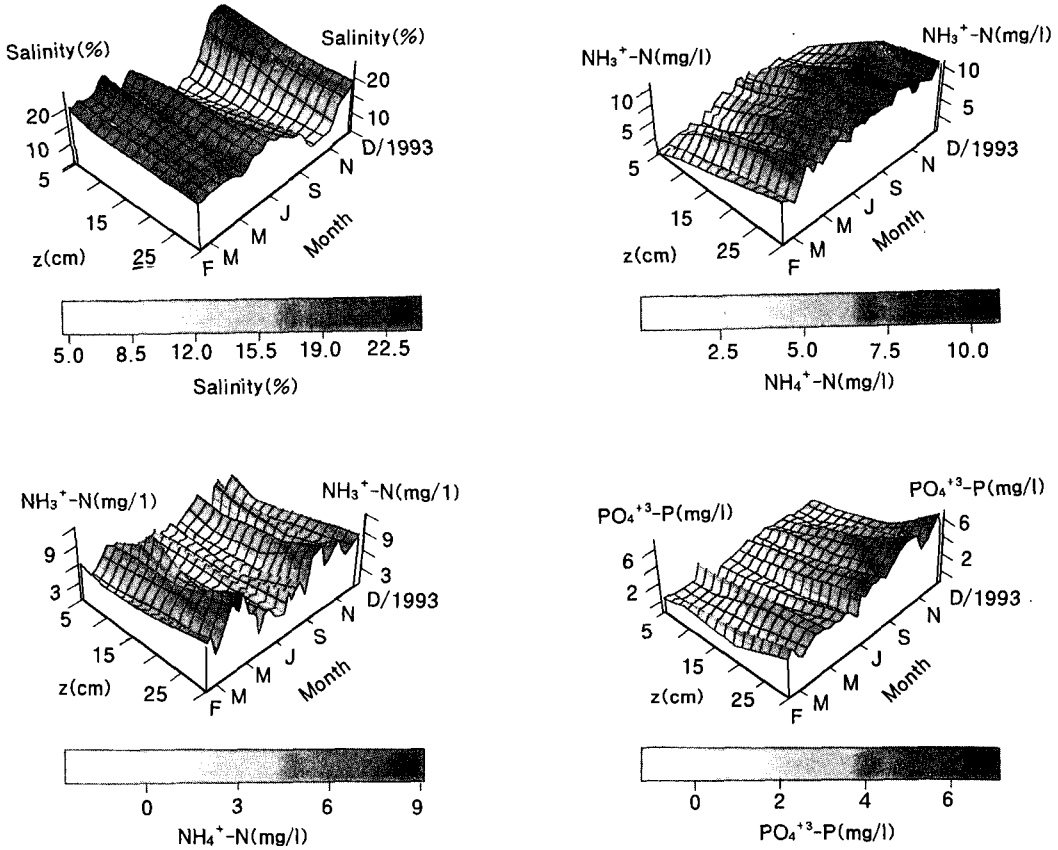
4. 개흙 간극수중의 영양염류 농도

벌이 관수가 되면 간극수내 시료의 Sampling에 어려움이 있기 때문에 간출상태에서 측정하여 계절별 대표적인 산화환원전위를 <Fig. 5>, 영양염류 농도를 <Fig. 6>에 시간적·공간적 분포로 나타냈다.



<Fig. 5> Vertical profiles of redox condition in pore waters

개흙 간극수 중의 산화환원전위와 영양염류 농도의 변화는 서로 비슷한 수직분포를 나타내고 있다³⁾. 갯벌역의 산화층은 매우 한정된 층에서 형성되어 있으며, 전 계절을 통해 5cm 이내로 되어 있다. 특히 이 산화층을 형성하는 환경요인으로는 흐름과 파도에 의한 Resuspension, 강우 등으로 인한 물의 이동, 배들의 출입에 의한 교반, 저서생물과 박테리아의 활동에 의한 교반 등으로 생각되어진다. 즉, 태양열 에너지의 흡수를 통해 공기 중의 산소를 위의 작용을 통해 전달할 수 있는 층은 표층의 일부분에 한정되어 갯벌생물이 서식하고 물질순환을



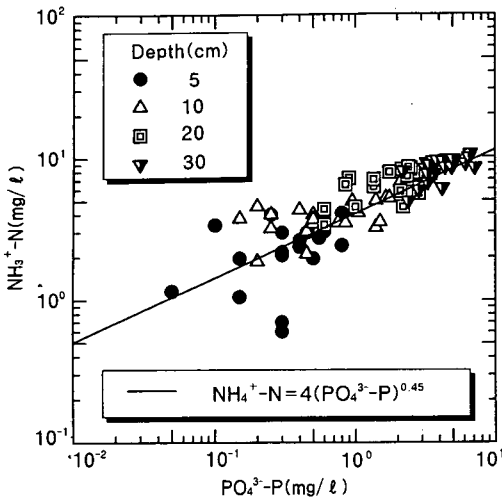
<Fig. 6> Seasonal variations of the nutrients in interstitial water

촉진시킬 수 있는 영역도 이 영역이라 생각된다. 갯벌이 갖는 기능 중 수질정화 기능은 위와 같은 작용을 통해 용존산소(DO)의 보급과 영양염류(질소와 인)의 용출, 이류, 확산 등의 작용을 통해 일어난다고 할 수 있다^{12)~18)} 그 결과 개흙 간극수중의 질소는 대부분 암모니아성 질소(NH_4^+-N)로 존재하고, 인은 인산성 인($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$)으로 존재한다.

NH_4^+-N 농도는 심층에서 높고 표층부근에서 낮은 분포로 이 경향은 연간을 통해 거의 일정한 농도분포를 보였다. 분해·무기화 과정은 깊이 10cm 전후에서 행해지는 것으로 생각된다. 이 관계를 온도분포와 같이 대비해 생각해 보면 봄과 여름에는 기온이 상승하여 생물의 활

동이 활발한 시기로 저서생물들의 배설물 및 죽은 잔해에 의해 NH_4^+-N 농도는 상승하여 간극수중에 존재하는 질소의 형태는 거의 NH_4^+-N 으로 존재하게 된다. 그러나 질산성 질소(NO_3^--N)와 아질산성 질소(NO_2^--N) 농도분포는 기온상승과 수분량의 증가에 따라 급격하게 저하한다. 기온저하와 수분량의 감소는 봄과 여름에 개흙속의 유기물을 무기화한다. 또한, 이 작용에 의해 생성된 NH_4^+-N 의 일부는 물속에 용출되어 김 등의 양식(10월~2월) 영양분으로 사용된다. 남은 일부는 DO의 공급과 개흙속 질소화염의 작용에 의해 NO_3^--N 과 NO_2^--N 로 변화하는 것으로 생각된다.

NH_4^+-N 농도와 간극수중의 염분농도와의 관



(Fig. 7) Relation between $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

계는 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이 낮을수록 염분농도는 높다. 이와 같은 관계는 염분농도분포로부터 알 수 있듯이 여름의 강수에 의해 염분농도가 5%전후의 저농도가 된다. 이는 생물군에 의해 생성된 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 일부는 저니에 흡착되어 간극수 중의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도는 저하하여 형태상의 농도는 안정상태가 된다고 할 수 있다. 이와 같이 영양염류농도의 변화는 기온과 강수량 및 염분농도와 밀접한 관계를 갖고 있다는 것을 알 수 있다.

인과 질소의 용출속도는 온도가 상승할수록 증대하는 경향을 보인다. 인의 용출은 주로 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 형태로 일어나며, 질소화합물은 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 로 용출되는 것임을 알 수 있다. 이와 같은 값들을 이용하여 간극수 중의 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)과 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)와의 관계를 알아본 결과 (Fig. 7)와 같은 $\text{NH}_4^+\text{-N} = 4(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})^{0.45}$ 의 양의 상관관계를 보였다. 그 관계는 저층으로 갈수록 상관관계가 깊으나, 표층의 관계는 질소와 인의 소비과정이 서로 다른관계로 약간의 분산성을 보이고 있다.

이상과 같이 온도변화와 영양염류 농도의 특성은 갯벌 저서생물의 서식환경과 밀접한 관계

를 갖고 있다는 것이 확인되었다.

IV. 결론

갯벌 생태환경 조사를 통해 갯벌에 관한 기초 데이터 취득에 주안점을 두었다. 본 연구에서 얻어진 데이터는 갯벌역 저서생물의 서식환경에 관한 모델 구축의 기초자료로 이용할 수 있도록 그 영향인자(특히, 갯벌 흙속의 온도와 간극수중의 영양염류농도)에 관해 검토, 고찰을 했다. 본 연구에서 얻은 결과를 정리해 보면 다음과 같다.

1. 개흙속의 온도와 간극수중의 영양염류 농도는 갯벌의 수위 및 기상조건의 영향을 크게 받는다는 것이 확인되었다.
 2. 개흙속의 온도변화와 영양염류 농도의 변동특성을 통해 갯벌내의 온도분포 특성과 영양염류의 변동추이의 경향이 파악되었다.
- 그러나 갯벌역은 물리적·화학적인 요소와 더불어 생물학적 요소가 복잡한 상호관계 속에서 형성되어 있기 때문에 앞으로 이에 관한 더 많은 조사와 이론적인 검토를 필요로 한다.

참고문헌

1. 권순국, 김복영, 김진수, 김태철, 윤춘경, 정재춘, 홍성구, 1998. 지역환경공학, 향문사, pp.62~64.
2. Bailey, R. G. 1978. Description of the Ecoregions of the United States, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Ogden, UT.
3. Boesch, D. F., M. N. Josselyn, A. J. Mehta, J. T. Morris, W. K. Nuttle, C. A. Simenstad, and D. J. P. Swift, 1994. Scientific Assessment of Coastal Wet-

- land loss, Restoration and Management in Louisiana, J. Coastal Research Special Issue 20, pp.1~103.
4. Chua, T.-E., 1993. Essential Elements of integrated Coastal Management. Ocean and Coastal Management 21, pp.81~108.
 5. Cicin-Sain, B., 1993. Sustainable Development and Integrated Coastal Management. Ocean and Coastal Management 21, pp.11~43.
 6. Boesch, D. F. 1996. Managing Marine Ecosystems and Development: Experiences from the Chesapeake Bay and Other Coastal Ecosystems in the United States. Fisheries Engineering Vol.33 No.1, pp.13~18.
 7. Ellis J. Clairain, Jr., 1996. Evolution of Habitat Delineation and Assessment in the United States, Fisheries Engineering. Vol.33, No.1, pp.19~23.
 8. National Research Council, 1994. Priorities for Coastal Ecosystem Science, National Academy Press, Washington, D. C., p.106.
 9. National Research Council, 1994. Restoring and Protecting Marine habitat: The Role of Engineering and technology, National Academy Press, Washington, D. C., p.193.
 10. 木村賢史, 1994. 人工干潟(海浜)の水質浄化機能, HEDORO, 60, pp.59~81.
 11. 栗原康編著, 1991. 河口・沿岸域の生態學とエコテクノロジー, 東海大學出版會.
 12. 栗原康, 1992. 汽水域のエコロジー, 干潟の修復めぐって, 土木學會別冊増刊, 77(9), pp.35~39.
 13. 田淵俊雄 外 15名, 1987. 水質入門, 日本農業土木學會編, pp.1~30.
 14. 土壤物理測定法委員會, 1972. 土壤物理測定法, 養賢堂, pp.287~289.
 15. 朴鍾和, 瀨口昌洋, 1996. Experimental Studies on Environment Characteristic of Nearshore Region Tideland, Techno-Ocean '96, pp. 1266~1271.
 16. 朴鍾和, 中山哲巖, 瀨口昌洋, 1997. 沿岸干潟域における底質の環境特性, 日本水産工業研究所研究報告, 18, p.2.
 17. 朴鍾和, 中山哲巖, 瀨口昌洋, 1997. 干潟底生生物の生息環境に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第44卷(2), pp.1161~1165
 18. 細川恭史, 三好英一, 堀江毅, 1981. 栄養鹽溶出速度の温度・DO依存性について, 港研資料, 第405号, pp.3~39.
 19. 松本光秀, 石橋信義, 近藤榮造, 1992. 有明海の河口域および海岸域の線蟲相とムツゴロウ生息地との關聯, 佐賀大學農學部淺總實施研究紀要, 6, pp.25~26.
 20. 中田喜三郎, 畑恭子, 1994. 沿岸干潟における浄化機能の評価, 水環境學會誌, 17(3), pp. 158~166.
 21. 中田喜三郎, 1997. 沿岸生態系モデルの問題點, 第17回 Ecosystem Engineering Symposium, 生態系工学研究會, p.3.
 22. 山本正昭, 萩野靜也, 石田宏一, 1995. アサリ漁場造成計劃物理環境調査, 水工研報告, 第16号, pp.1~28.