한국환경과학회지 제14권(제11호), 1063~1069, 2005
Journal of the Environmental Sciences

한국 남해의 초겨울 해황과 관련한 표층 부유물질의 분포

최 용 규
남해수산연구소 해양환경팀
(2005년 6월 2일 접수; 2005년 11월 8일 채택)

Suspended Particulate Matter of the Surface Water in Relation to the Hydrography in the South Sea of Korea in Early Winter

Yong-Kyu Choi
Department of Marine Environment, South Sea Fisheries Research Institute, Yeosu 556-823, Korea
(Manuscript received 2 June, 2005; accepted 8 November, 2005)

In order to investigate the distribution of suspended particulate matter of the surface water in the South Sea of Korea in early winter, the cruise results during 2 to 8 December 2004 were analyzed in relation to the hydrography.

The front was formed along the line connecting between Tsushima and Cheju Islands, which divided the water into two water masses; the coastal water with low temperature and low salinity, and the Tsushima Warm Current Water with high temperature and high salinity. In the coastal water the suspended particulte matter was 5.0-6.5 mg/l, while in the oceanic water suspended particulate matter was 4.5-5.0 mg/l. The coastal water showed higher mixing effects, compared to the oceanic area where vertical stratification was clearly formed. These indicate that the distribution of suspended particulate matter was affected by the stratification or mixing of the water column. Also it is suggested that the mixing effects of sea surface cooling and wind play an important role on the distribution of suspended particulate matter in the South Sea of Korea in winter time.

Key Words : Suspended particulate matter, Stratification, Mixing effects

1. 서 론

한국 남해는 동중국해의 북서부 해역에 위치하고 있으며, 지리적으로는 진도와 제주도를 경계로 황해와 구분된다. 그리고 제주도와 일본의 오도 열도를 잇는 지선에 의해서 동중국해와 구분되며, 대한 해협을 통해서 동해와 연결되어 있다[1].

남해는 고온·고염의 쓰시마 난류수와 저염한 한국 남해 연안수와의 상호 작용으로 복잡한 해황을 나타낸다. 이러한 외양수와 연안수의 상호 작용은 연안수를 외양으로 또는 외양수를 연안으로 수송하는 해수의 교환뿐만 아니라 물질, 에너지, 해양 생물 등의 이동 및 교환을 발생시키기도 한다. 따라서 한국 남해는 대륙붕이 넓게 발달되어 있어 연안과 외양을 연결하는 천이지역(transition area)이라고 할 수 있다.

한편, 부유물질(suspended particulate matter, SPM)은 해저나 육지에서 기원된 것이기 때문에 해수의 연직 혼합 및 유동 상태 등 해황을 판단하는데 유용한 지표로 사용될 수 있다. 부유물질은 식물플랑크톤의 광합성과도 관련이 있어 연안역에서의 일차생산력 및 영양염의 분포에 영향을 주는 요인이 된다. 이러한 중요성으로 말미암아 부유물질과 관련하여 한국 남해에서 해황과 관련한 부유물질의 분포와 퇴적상을 설명하기도 하고[2], 저층으로부터의 재부유에 의한 부유물질의 수송 경로를 밝히기도 한다[3]. 또한 조석, 바람 및 담수 유입 등에 의해 발생되는 외력과 부유물질의 분포와의 관련성을 설명하고 있

Corresponding Author : Yong-Kyu Choi, Department of Marine Environment, South Sea Fisheries Research Institute, Yeosu 556-823, Korea
Phone: +82-61-690-8952
E-mail: uniproto@hanmail.net

다[4~10]. 이처럼 부유물질의 분포는 근래에 해황을 설명할 수 있는 중요한 인자로써 연구되고 있다.

본 연구에서는 초겨울에 한국 남해에서의 표층 부유물질의 분포를 해황과 관련하여 조사하였다. 이에 따라 한국 남해 초겨울의 표층 부유물질의 분포를 수주의 안정도 및 열플럭스와 바람에 의한 혼합 에너지와 관련하여 살펴 보았다.

2. 자료 및 방법

한국 남해의 표층 부유물질의 분포를 보기 위하여 수온과 염분 및 부유물질 등의 자료는 국립수산과학원의 R/V 탐구 3호를 이용하여 2004년 12월 2일부터 8일까지의 항해로 얻어진 자료를 사용하였다. 먼저 수온과 염분은 한국 남해의 35개 정점에서 CTD(SBE-25)를 이용하여, 표층에서 저층까지 수온과 염분을 관측하여 얻어진 자료를 사용하였다. 그리고 표층 부유물질은 15개의 정점에서 조사하였다 (Fig. 1).

한국 남해에서 15개의 정점에서 얻어진 표층 부유물질의 양을 알기 위해서, 표층에서 채취한 해수(500 ml)를 무게를 미리 측정한 여과지(공경 0.45 μm)로 선상에서 즉시 여과하였다. 여과한 여과지는 현장 조사가 끝날 때 까지 냉장 보관 후, 실험실로 옮겨와서 여과지를 건조하여 방냉시킨 후 전자 저울로 여과지의 증가한 무게(mg)를 측정하였다. 부유물질의 양은 다음과 같이 여과 전(B)과 후(A)의 무게 차이를 여과한 시료의 부피(V)로 나누어 계산하였다.

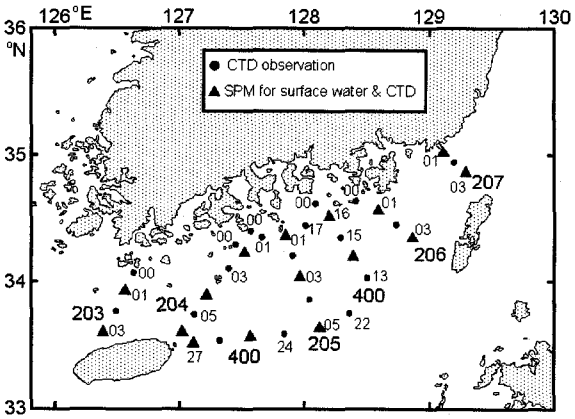

Fig. 1. Map showing the locations for CTD casts (solid circles) and the sampling for suspended particulate matter (solid triangles) during 2 to 8 December 2004. Larger numerals denote the line numbers and smaller ones the station numbers, which were conducted by National Fisheries Research and Development Institute.

즉 부유물질의 양(mg/L) = (A-B)/V. 여기서 V는 여과한 시료의 부피(L)이다[11].

그리고 표층 부유물질의 양과 관련하여 성층의 정성적인 해석을 하기 위하여, 수주의 안정도를 적분된 Brunt-Väisälä 주파수(the integrated Brunt-Väisälä frequency)로써 계산하였으며, 그 식은 다음과 같다[12].

$$N^2 = \frac{g}{z} \ln \frac{\rho_z}{\rho_0} \quad (1)$$

여기서 g는 중력가속도(m/s^2), z는 수심(m)이며, ρ_z와 ρ_0는 각각 표층과 저층의 밀도(kg/m^3)이다.

또한 해면을 통한 순열플럭스을 계산하여 표면 냉각 효과를 산정하였다. 해면을 통한 순열플럭스 Q_{sfc}는 단파복사량(Q_s), 장파복사량(Q_b), 현열플럭스(Q_h) 그리고 잠열플럭스(Q_b)으로부터 계산되며, 각 항들은 다음식으로 나타내어진다[13~16].

$$Q_{sfc} = Q_s - (Q_b+Q_h+Q_e) \quad (2)$$

$$Q_s = Q_i(1-\alpha) \quad (3)$$

$$Q_b = S\sigma(T_a)^4(0.254-0.00495E_a)(1-0.6C)+ 4S\sigma(T_a)^3(T_s-T_a) \quad (4)$$

$$Q_h = \rho_a C_P C_H (T_s-T_a)W \quad (5)$$

$$Q_e = \rho_a C_E L_V (q_s-q_a)W \quad (6)$$

여기서 Q_i는 수평면 일사량이고, α는 알베도(0.06)이다. S는 해면의 사출률이며(0.97), σ는 스테판-볼츠만 상수(0.57×10^{-8} W/m^2/K^4), T_s와 T_a는 각각 수온과 기온의 절대온도(K), E_a는 대기의 수증기압, C는 운량이다. ρ_a는 공기의 밀도(1.25 kg/m^3), C_P는 공기의 비열(1004 J · kg/K^4), C_H는 스태톤계수(1.1×10^{-3}), W는 풍속(m/s), C_E는 달톤계수(1.1×10^{-3}), L_V는 물의 증발잠열(2.5×10^6 J/kg), q_s와 q_a는 각각 해면에서의 공기의 비습, 공기중에서의 비습이다.

그리고 기상청의 2004년 12월의 기상 월보로부터 계산된 열플럭스와 풍속을 가지고 해양의 수주에 미치는 혼합 에너지를 각각 계산하였다[17]. 바람에 의한 연직 혼합 에너지는 $\delta k_s \rho_a |W|^3$, 그리고 표면 냉각 효과에 의한 혼합에너지는 $\frac{\alpha g H Q_s}{2C}$로 계산된다. 여기서 δ은 바람에 의한 연직 혼합 에너지를 일으키는 효율 계수(=0.023), k_s는 drag coefficient ($=6.4\times10^{-5}$), ρ_a는 공기의 밀도(=1.2 kg/m^3), W는 풍속(m/s), α는 열팽창 계수($=2\times10^{-4}$℃$^{-1}$), g는 중력가속도(=9.8 m/s^2), H는 수심(m), Q_s는 해표면을 통한 순열플럭스(positive downward flux), C는 비열(=3900 J/kg · ℃)이다.

3. 결 과

한국 남해에서 초겨울에 표층 부유물질의 분포를 보기위하여 Fig. 2에 해황과 관련하여 수온과 염분 그리고 부유물질의 표층 수평 분포도를 함께 나타내었다. 수온은 남해의 서쪽 해역인 완도 부근에서 약 14℃로 가장 낮았고, 외양역으로 갈수록 수온은 높아져서 약 21℃를 나타내었다. 또한 제주도와 쓰시마를 잇는 지선에서 19~20℃의 등온선을 중심으로 수온 전선이 나타나고 있었다. 염분은 수온이 가장 낮은 완도 부근에서 약 32.4 psu로 가장 낮았으며 수온처럼 외양역으로 갈수록 염분은 높아져서 제주도 동쪽 해역에서는 약 34.0 psu의 염분이 나타났다. 또한 수온 전선이 형성되는 해역에서 약 33.4~33.6 psu인 등염선을 중심으로 염분 전선이 나타났다. 이러한 해황에 따른 부유물질은 연안역에서 약 5.5 mg/l로 높았으며, 외양역으로 갈수록 부유물질의 농도는 낮아져서, 제주도 주변 해역이나 외양역에서는 약 4.5 mg/l 이하였다. 이처럼 표층 부유물질은 연안역에서는 많았고 외양역에서는 적었다.

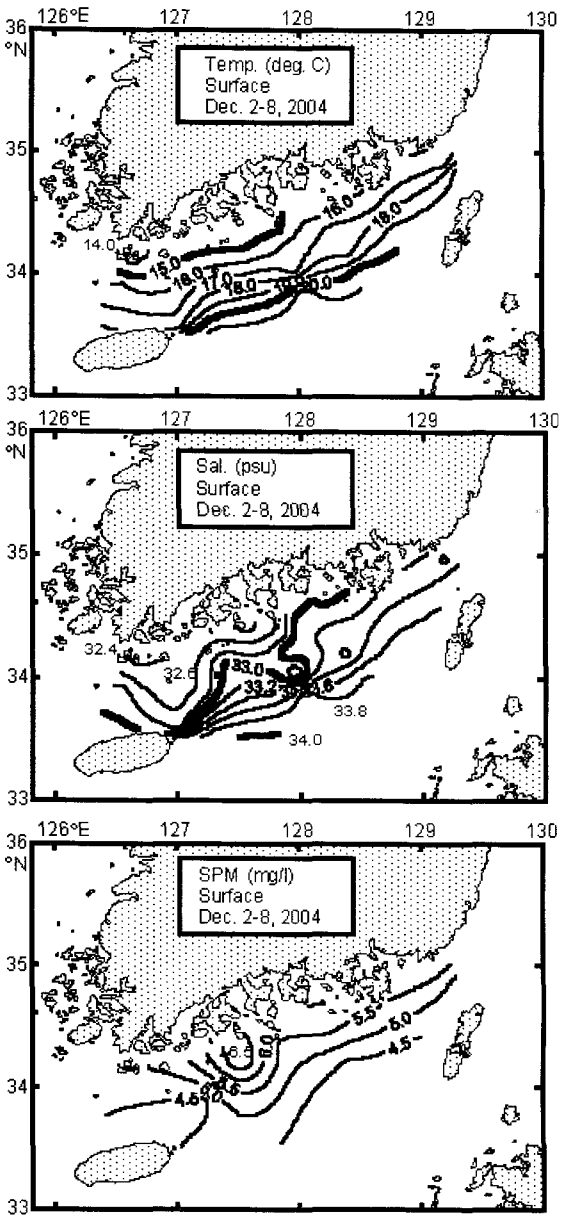

Fig. 2. Horizontal distributions of temperature (upper), salinity (middle) and suspended particulate matter (lower) at the sea surface from 2 to 8 December 2004.

이러한 부유물질의 분포가 해황과 어떤 관련이 있는지를 보기위하여 Fig. 3에 각 정선별로 수온과 염분의 단면도를 모두 나타내었다. 수온과 염분 전선은 관측선 205에서 뚜렷하게 나타났으며, 다른 정선에서는 뚜렷하게 보이지 않는다. 이것은 Fig. 1과 Fig. 2에서 알 수 있듯이, 관측선 205가 수온 및 염분 전선과 유일하게 직교하는 관측선이므로 뚜렷하게 전선이 나타난 것으로 판단된다. 그리고 관측선 205에서 연안에 속하는 정점 01에서는 표층과 저층이 혼합되어 있어 수온과 염분이 모두 표층과 저층에서 균일하다. 그러나 수온 전선의 외양쪽(관측선 205의 03, 04, 05점)의 수심 약 80m에서 수온 약층을 형성하였으며, 염분 전선의 연안쪽(관측선 205의 02, 03점)에서는 수심 약 50m에서 염분 약층을 형성하였다. 이러한 약층들은 다른 관측선(관측선 203, 204, 206)에서도 깊이의 차이는 있지만 대부분 연안쪽에서는 표층과 저층이 혼합되어 있는 반면에 외양쪽에서는 수온 약층이나 염분 약층이 형성되어 있었다.

표층 부유물질이 수온과 염분에 대해서, 그리고 성층에 따라서 어떤 경향을 보이는지를 보기위하여 Fig. 4에 상관성을 나타내어 보았다. 여기서 성층의 정도를 나타내는 적분된 Brunt-Väisälä 주파수는 12)에 따라서 계산하였다. 표층 부유물질은 수온, 염분 그리고 성층에 대해서 모두 약한 음의 상관 관계를 나타내었다. 수온과 염분이 높을수록 부유물질은 적어지는 경향이었으며, 또한 성층의 정도가 강할수록 부유물질의 농도가 적어지는 경향이었다. 이것은 Fig. 2와 Fig. 3에서 처럼 고온·고염이며 성층이 강한 외양에서는 부유물질의 농도가 낮고, 저온·저염이며 성층이 약한 연안에서는 부유물질의 농도가 높다는 것을 나타낸다. 이와 같이 초겨울 남해 연안역에서는 저온·저염으로, 성층의 강도가 약하고, 외양역에서는 고온·고염이며 성층이 강하게 형성되어 있었다.

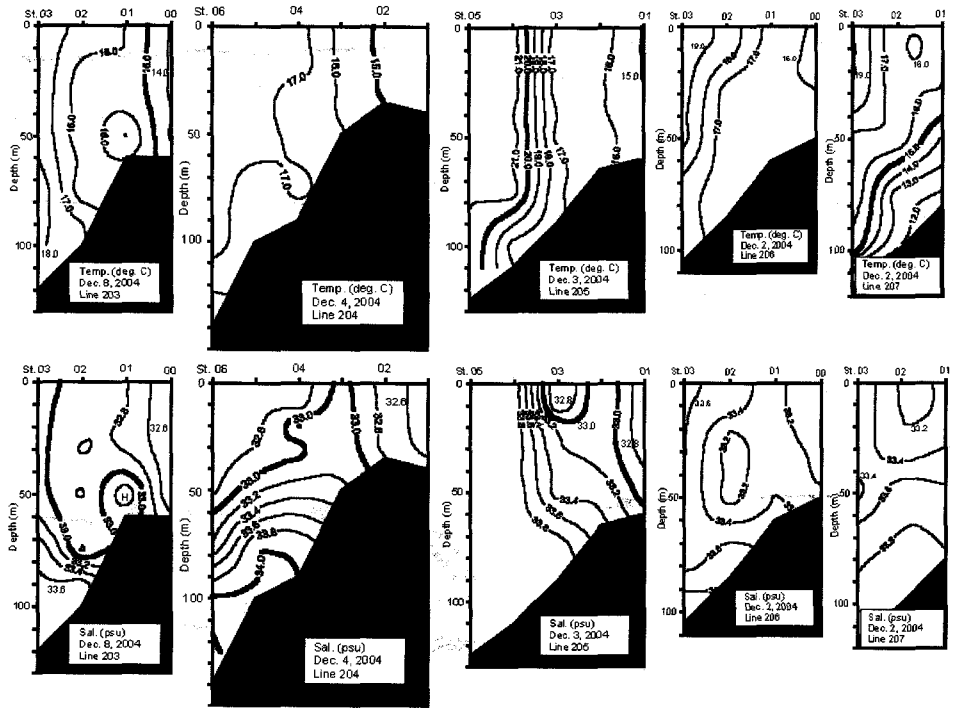

Fig. 3. Vertical distributions of temperature (upper) and salinity (lower) in each lines.

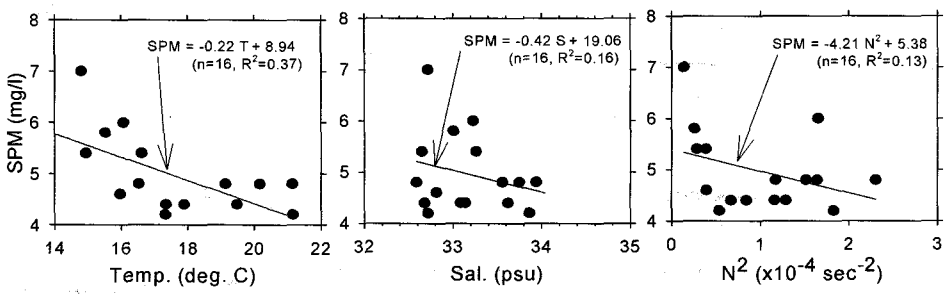

Fig. 4. Scatter diagrams showing the relations between suspended particulate matter and temperature (right), salinity (middle) and integrated Brunt-Väisälä frequency (left).

그러면 관측 기간동안 조석의 강도와 바람 및 열속에 의해서 결정되는 성층의 정도를 보기 위하여 Fig. 5에 관측 기간동안 남해의 중앙에 위치한 여수에서의 조고를 나타내어 보았다. 여수에 비교해서 남해 동부에 위치한 부산은 여수보다 조석이 약 1시간 정도 빠르며, 남해 서부에 위치한 완도는 여수보다 약 1시간 정도 느리다. 관측 기간은 여수항을 기준으로 조고가 약 50~150cm인 소조기에 해당한다. 이는 대조기때의 약 200~300cm의 조고에 비하면 약 1/2~1/4에 불과하다.

Fig. 6은 관측 기간동안의 열플럭스와 바람을 나타낸 것이다. 관측 전후의 기간인 11월 21일부터 12월 20일까지 열플럭스의 평균은 약 -39.1W/m^{2}이었다. 그리고 관측 기간인 12월 2일부터 8일까지의 열플럭스의 평균은 약 -64.7W/m^{2}으로 관측 전후의 기간보다도 평균 열플럭스가 더 낮았다. 이것은 관측 기간동안에 냉각에 의한 혼합이 효과적이었음을 시사한다. 그리고 풍속을 보면, 관측 전후의 기간인 11월 21일부터 12월 20일까지의 평균 풍속은 약 4.3m/s였지만, 관측 기간인 12월 2일부터 8일까지의 평균 풍속은 약 5.4m/s로 풍속이 더 강했다. 이것 역시 바람에 의한 혼합이 효과적이었음을 나타낸다.

그러면 열플럭스와 바람에 의한 표층과 저층수의 혼합이 얼마나 효과적인가를 보기 위하여 Fig. 7에

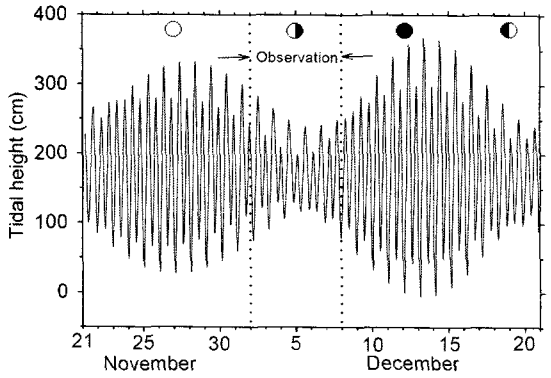

Fig. 5. Predicted tidal height at Yeosu from 21 November to 21 December 2004. The vertical dotted lines denote the period of observation.

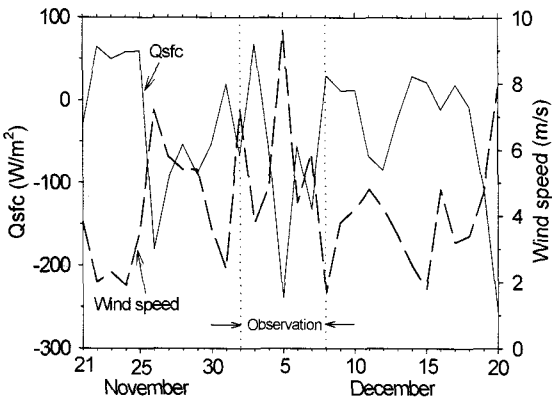

Fig. 6. Daily variations of net heat flux at sea surface (solid line) and wind speed (dashed line) from 21 November to 21 December 2004. The vertical dotted lines denote the period of observation.

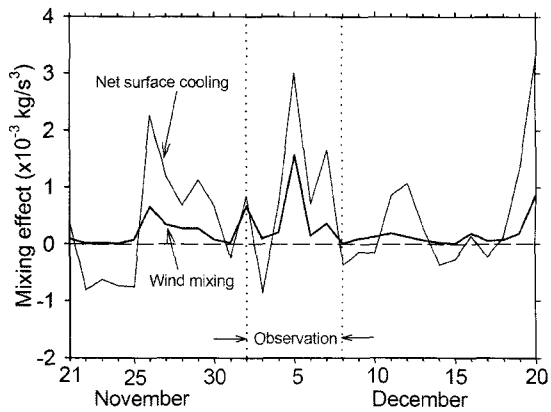

Fig. 7. Calculated mixing effects of net surface cooling (thin line) and wind (thick line) from 21 November to 21 December 2004. The vertical dotted lines denote the period of observation.

열플럭스와 바람에 의한 혼합 에너지를 산정하여 나타내었다. 그림에서 나타낸 관측 전후의 기간인 11월 21일부터 12월 20일까지 약 한달간 열플럭스에 의한 표면 냉각 효과는 평균 약 0.49×10^{-3}kg/s^{3}이었으나, 관측 기간인 12월 2일부터 8일까지의 열플럭스에 의한 냉각 효과는 평균 약 0.81×10^{-3}kg/s^{3}로, 관측 기간을 전후한 냉각 효과보다도 훨씬 컸다. 또한 바람에 의한 혼합 효과는 관측 전후의 기간인 11월 21일부터 12월 20일까지 평균 약 0.23×10^{-3}kg/s^{3}이었으나, 관측 기간인 12월 2일부터 8일까지는 바람에 의한 혼합 효과가 평균 약 0.44×10^{-3}kg/s^{3}로 약 2배나 컸다.

4. 고 찰

한국 남해의 초겨울에 연안에서는 저온·저염의 해황을 보이며 표층 부유물질의 농도가 높고, 외양으로 갈수록 고온·고염의 해황을 보이며 표층 부유물질의 농도가 낮다(Fig. 2). 그리고 저온·저염수와 고온·고염수의 수괴는 19~20℃의 등온선으로 구분되는 수온전선에 의해서 뚜렷이 구분된다(Fig. 2~Fig. 3). 이러한 전선은 표층 냉각기인 겨울에 뚜렷하게 나타난다[18]. 수온 전선을 중심으로 연안에서는 표층 부유물질이 5.0~6.5 mg/l로 높게 나타나며, 외양에서는 4.5~5.0 mg/l로 낮게 나타난다(Fig. 2). 이러한 표층 부유물질은 수온, 염분 그리고 성층에 따라서 음의 상관을 나타내어, 저온·저염한 연안에서는 성층이 약하며 부유 물질의 농도가 높다. 그러나 고온·고염한 외양에서는 성층이 강하고 부유물질의 농도가 낮다(Fig. 4).

한국 남해에서 탁도가 높은 물(turbid waters)의 분포는 부유물질의 거동을 잘 나타내며 이러한 부유물질의 공간적 분포는 해황과 기상의 상태에 영향을 받고 있다[2]. 해황과 관련하여 부유물질의 농도가 변화하는 양상을 보이며, 탁도의 정도는 해류에 의한 재부유가 주요한 역할을 한다[10]. 예로써 낙동강 하구와 주변 연안역의 퇴적상은 하구로 부터의 부유물질의 유입과 저층으로부터의 재부유된 입자에 의해서 해저 퇴적상의 변화를 일으킨다[8]. 또한 황해에서 겨울에 북서계절풍에 의해서 연직 혼합된 상태에서 연중 강한 조류와 함께 부유 입자의 농도는 상하층 수주에서 일정하다[3]. 그리고 한반도 서해 중부해역에서 부유물질은 겨울에 해저에서 재부유되는 주기적 작용을 한다[19]. 또한 황해 남동해역에서 해수면 냉각과 바람에 의한 상하층 연직 혼합으로 저층 퇴적물의 재부유가 활발하다[6]. 이와 같은 사실들은 한국 남해에서도 해황에 따라서 부유물질의 농도가 변하며, 저층의 재부유가 부유물질의 분포에

영향을 미치고 있음을 시사한다. 본 연구에서의 연구 기간 동안은 조류가 약한 소조기였다(Fig. 5). 그리고 연구 기간 동안 표면 냉각 효과가 탁월하였으며 바람도 또한 강하였다(Fig. 6). 이에 따라 수심이 얕은 연안은 표층과 저층이 완전히 혼합된 상태였으며, 저층의 부유물질이 재부유 될 수 있는 해황이었음을 나타낸다.

조석과 담수유입 그리고 바람 등에 의해서 탁도가 시공간적으로 변동하며, 조류가 강할 때 부유물질의 재부유가 활발하다[4]. 그리고 계절에 따라 변하는 지역적인 강한 바람은 퇴적물의 수송에 영향을 미치며[20], 또한 대조기때의 부유물질의 농도는 조류의 영향으로 저층으로부터 재부유되기 때문에 소조기때의 부유물질의 농도보다 더 크다[5]. 이와 같이 부유물질의 연직적인 농도나 수평적인 분포는 해수의 거동이나 수주의 성층정도에 따라서 영향을 받고 있다[7]. 본 연구에서도 Fig. 7에서와 같이 초겨울 한국 남해는 표면 냉각 효과와 바람에 의해서 저층의 부유물질이 충분히 재부유할 수 있는 환경이었음을 나타내고 있다. 이상의 결과들은 관측 기간동안 비록 조류가 비교적 약한 소조기 이었음에도 불구하고 열플럭스에 의한 냉각 효과와 바람에 의한 혼합 효과가 강하여 표층과 저층이 혼합하기에 용이하였음을 나타낸다. 이에 따라 수심이 얕은 연안역에서는 저층 퇴적물의 재부유에 의해서 부유 물질이 증가될 수 있음을 시사한다. 앞으로는 수심에 따른 부유물질의 분포 조사와 함께 해황의 계절별 변화에 따른 탁도의 변화를 살펴서 물질의 거동을 밝히는 연구가 필요하리라 생각된다.

5. 요 약

2004년 12월 2일부터 8일까지 한국 남해의 표층 부유물질의 분포를 초겨울의 해황과 관련하여 조사하였다. 쓰시마와 제주도를 잇는 지선을 중심으로 전선이 형성되었으며, 이 전선을 중심으로 한국 남해의 연안수와 외양의 쓰시마난류수로 구분되었다. 연안역은 표층에서 저층까지 거의 균일한 수괴 분포를 보였으며, 외양은 성층이 형성되어 있었다. 그리고 부유물질은 연직혼합된 연안역에서는 5.0-6.5 mg/l였으며, 성층이 형성된 외양역은 4.5-5.0 mg/l의 분포를 나타내었다. 초겨울 한국 남해는 표면 냉각 효과와 바람에 의해서 저층의 부유물질이 충분히 재부유할 수 있는 환경이었음을 나타내고 있었다. 또한 관측 기간동안 비록 조류가 비교적 약한 소조기이었음에도 불구하고 열플럭스에 의한 냉각 효과와 바람에 의한 혼합 효과가 강하여 표층과 저층이 혼합하기에 용이하였음을 나타내었다. 이에 따라 수심이 얕은 연안역에서는 저층 퇴적물의 재부유에 의해서 부유 물질이 증가될 수 있음을 시사하고 있었다.

감사의 글

해양조사를 위해 협조하여 주신 탐구 3호 승무원 분들께 감사드립니다. 그리고 해양조사자료 수집을 위하여 일선에서 관여하고 계시는 모든 분들께 감사드립니다. 이 연구는 한국남해해양조사의 일환으로 부분 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1) 국립수산진흥원, 2001, 한국해양편람, 예문사, 부산, p. 436.
2) Choi, J. Y., S. Y. Kim and H. J. Kang, 2004, Distribution of Suspended Particulate Matters in the East China Sea, Southern Yellow Sea and South Sea of Korea During the Winter Season, J. Korean Soc. Oceanogr., 39(4), 212-221.
3) Wells, J. T. and O. K. Hur, 1984, Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea, Ed. T. Ichiye, Elsevier Oceanography Series 39, Elsevier, Netherlands, 387-397.
4) Framinan, M. B. and O. B. Brown, 1996, Study of the Rio de la Plata turbidity front, Part I: spatial and temporal distribution, Continental Shelf Research, 16(10), 1259-1282.
5) Grabemann, I., R. J. Uncles, G. Krause and J. A. Stephens, 1997, Behavior of Turbidity Maxima in the Tamar (U.K.) and Weser (F.R.G.) Estuaries, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 45, 235-246.
6) 최용규, 권정노, 1998, 황해 남동해역 투명도의 계절변화, 한국수산학회지, 31(3), 323-329.
7) Algan, O., H. Altiok and H. Yüce, 1999, Seasonal Variation of Suspended Particulate Matter in Two-layered Izmit Bay, Turkey, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 49, 235-250.
8) 김석윤, 하정수, 2001, 낙동강 하구와 주변 연안역의 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화, 한국수산학회지, 34(3), 268-278.
9) 최용규, 황선도, 김종식, 2001, 금강 하구역 부유물질의 계절 변화, 수산진흥원 연구보고, 59, 159-165.
10) McCave, I. N. and I. R. Hall, 2002, Turbidity

of waters over the Northwest Iberian continental margin, Progress in Oceanography, 52, 299-313.
11) 해양수산부, 2002, 해양환경공정 시험방법, p. 330.
12) Castro, C. G., F. F. Pérez, X. A. Álvarez-Salgado and F. Fraga, 2000, Coupling between the thermohaline, chemical and biological fields during two contrasting upwelling events off the NW Iberian Peninsula, Continental Shelf Research, 20, 189-210.
13) Beardsley, R. C., E. P. Dever, S. J. Lentz and J. P. Dean, 1998, Surface heat flux variability over the northern California shelf, J. Geophys. Res., 103(C10), 21553-21586.
14) Elliott, A. J. and T. Clarke, 1991, Seasonal stratification in the northwest European Shelf Seas, Cont, Shelf Res., 11(5), 467-492.
15) Gill, A. E., 1982, Atmosphere-Ocean Dynamics, Academic Press Inc., New York, p. 662.
16) 최용규, 조영조, 최옥인, 양원석, 2003, 군산항의 평균 열속, 한국수산학회지, 36(5), 535-540.
17) Simpson, J. H. and D. Bowers, 1981, Models of stratification and frontal movement in shelf seas, Deep-Sea Research, 28A(7), 727-738.
18) 공영, 1971, 한국 남해연안 전선에 관한 연구, 한국해양학회지, 6(1), 25-36.
19) Choi, J. Y., 1993, Seasonal variations of suspended matters in the Keum estuary and its adjacent coastal area, J. Oceanol. Soc. Korea, 28(4), 272-280.
20) Sherwood, C. R., B. Butman, D. A. Cacchione, D. E. Drake, T. F. gross, R. W. Sternberg, P. L. Wiberg and A. J. Williams, 1994, Sediment-transport events on the northern California continental shelf during the 1990-1991 STRESS experiment, Continental Shelf Research, 14 (10-11), 1063-1099.