

봄철 동해에서 해수중 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 농도분포특성

양한섭 · 김성수* · 이재철
부산수산대학교 해양학과, *국립수산진흥원

Distribution Characteristics of ^{210}Po and ^{210}Pb in the Seawater from the Korean East Sea in Spring

Han-Soeb YANG, Soung-Soo KIM* and Jae-Chul LEE

Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

*National Fisheries Research and Development Agency, Pusan 619-900, Korea

Vertical profiles of ^{210}Pb and ^{210}Po were measured for the upper 100 m of water column at six stations in the middle region of the Korean East Sea during March 1993. The distribution patterns of these radionuclides with the water mass and controlling factors on their distributions were also discussed.

^{210}Pb activities were generally high at surface water and gradually decrease with depth. Vertical profiles of ^{210}Po were relatively homogeneous except for at station E3, where chlorophyll-a concentration was the highest and ^{210}Po activity in the upper 30 m was lower than below 50 m. The ^{210}Po activities relative to its parent ^{210}Pb at all stations were deficient at the upper 30 m, but were excess or nearly equilibrated values below 50 m. The magnitude of ^{210}Po deficiency was relatively high at station E3 and E6, where strong thermocline occurred. However, ^{210}Pb activities showed strong excess in the upper 100 m of all stations, compared with its parent ^{226}Ra .

The residence time of ^{210}Po ranged from 1.0 to 7.8 years, and was relatively short at station E3 and E6. The data obtained at the upper 50 m water column during 1992~1994, also showed that removal rate constant of ^{210}Po and inventories of chlorophyll-a was negatively related. This indicates that the primary production plays an important role in controlling the distributions of ^{210}Po at the upper water column of the Korean East Sea in spring. While, inventories of excess ^{210}Pb was generally decreasing with increasing density difference between 50 m and 100 m, suggesting that ^{210}Pb concentrations in the upper water column were controlled by stability of water column.

Key words : residence time, removal rate constant, radionuclides, Korean East Sea

서 론

해수중 천연방사성 핵종인 ^{210}Po 은 반감기가 138일 로 비교적 짧고, 해양동식물 플랑크톤에 잘 농축되기 때문 (Kharka et al., 1976; Cherry et al., 1987)에 해양의 상부층에서 일어나고 있는 여러 가지 생물지구 화학적 과정의 추적자로서 널리 이용되고 있다 (Bacon et al., 1976, 1988; Chung and Finkel, 1988; Yang et al., 1995). 이를테면, 해양의 표면 혼합층에서

^{210}Po 은 해수중에 존재하고 있는 어미핵종 ^{210}Pb (반감기 22.2년)으로부터 방사붕괴에 의해 생성된 후 입자 물질에 의해 어미핵종보다 우선적으로 제거된 후 수온약층 부근에서 입자물질의 산화분해에 의해 영양염류와 같이 해수중으로 재생된다 (Bacon et al., 1988; Yang et al., 1995). 그러나, ^{210}Pb 은 주로 대기중 어미핵종인 ^{222}Rn (반감기, 3.8분)의 방사붕괴에 의해 생성된 후 해양 표면으로 유입되고, 일부는 해수중에서 용존되어 있는 어미핵종 ^{226}Ra (반감기, 1620년)으로부터

본 연구는 1993년도 교육부 기초과학 학술연구조성비의 지원에 의해 수행되었음.

터 생성된다. 따라서, 해수중 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 농도를 측정하고, 어미핵종과의 방사비평형의 정도로부터 상부층에서의 제거속도 및 수온약층에서의 재순환속도에 대한 정보를 용이하게 얻을 수 있다. 그러나, 이들 두 핵종의 해수중 체류시간 및 제거과정은 계절 및 해역의 특성에 따라 현저히 달라질 수 있다. 이를테면, 외양역의 표면혼합층에서 ^{210}Po 의 체류시간은 약 0.5년 (Nozaki et al., 1976) 정도로 어미핵종 ^{210}Pb 의 체류시간인 2~3년 (Bacon et al., 1976) 보다 훨씬 짧지만, 입자물질의 농도가 비교적 높은 대륙붕역에서는 이들 두 핵종의 체류시간이 수개월로 비슷하다 (Nozaki et al., 1991). 그러나, California 연안역 냉수과 filament 해역과 같이 연안용승 작용을 받고 있는 해역에서는 표층에 과잉량 ^{210}Po 이 나타나며 (Kadko, 1993), 페루의 연안용승역 (Thomson and Turekian, 1976)에서는 표층에 어미핵종과 거의 방사평형된 농도를 보인다고 한다. 또한, 대륙붕역인 New York Bight에서도 수직혼합이 활발한 겨울철에 표층에서 ^{210}Po 이 어미핵종보다 과잉량을 보인다고 한다 (Li et al., 1981).

한편, 봄철에 동해중부해역에 출현하는 소용돌이 주변해역 (Yang et al., 1995)과 동해 남동해역 대마난류 주류역 (Lee et al., 1996)의 표면혼합층에서 ^{210}Po 의 체류시간은 각각 0.4~1.1년 및 1.0~9.8년으로 해역별 차이가 다소 크며, 이러한 차이는 주로 생물생산력의 차이에 의해 달라지고 있다고 한다. 그러나, 몇 개 정점들에서는 물리적인 혼합에 의한 영향도 무시할 수 없음을 시사한다. 따라서, 본 연구에서는 와동류가 형성되기 시작하는 동해 중부해역의 6개 정점의 100 m 상부층에서 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 수직농도분포를 측정하고, 와동류의 형성에 따라 이들 두 핵종의 거동이 어떻게 달라지는 지를 알아보려고 한다. 또한, 본 조사자료와 1992년 5월 및 1994년 4월에 동해에서 측정된 자료들을 이용하여 봄철에 동해의 상층부에서 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 거동을 지배하는 요인을 알아보려고 한다.

재료 및 방법

본 연구는 1993년 3월 23일부터 26일까지 동해 중

부해역 (속초와 울릉도 사이 해역)의 6개 정점 (Fig. 1)에서 대량수중펌프 (양수속도: 20ℓ/min)를 이용하여 수층별 (2, 30, 50, 75, 100 m)로 채수하였다. 방사능핵종 분석용 해수시료는 채수 후 여과하지 않고 미리 산세척한 20ℓ 폴리에틸렌 용기에 넣고, 진한 질산을 첨가하여 pH 1 이하로 하였다. 영양염류 분석용 시료는 현장에서 채수 즉시 membrane filter (공경 0.45 μm, 직경 47 mm)로 여과하여 냉동보관하였으며, 클로로필 a는 영양염류 분석용 시료를 여과한 여과지를 냉동 보관한 후 실험실로 옮겨 분석하였다.

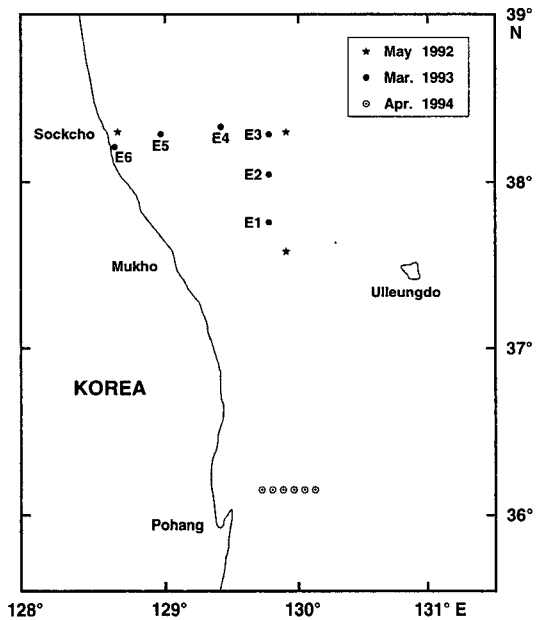


Fig. 1. Location map showing oceanographic stations.

해수중 ^{210}Pb 과 ^{210}Po 의 농축 및 계측은 Yang et al. (1995)의 방법에 따랐으며, 이때 알파검출기의 background값은 ^{210}Po 과 ^{209}Po 의 에너지 영역에서 각각 3 counts/day 및 5 counts/day였다.

수온과 염분은 CTD로 계측하였으며, 용존무기영양염류는 Strickland and Parsons (1972)의 방법에 따라 비색정량하였다. 클로로필 a는 형광광도계 (Turner Degins Model 10)로 비색정량하였다 (Holm-Hansen et al., 1965).

한편, 1992년 5월과 1994년 4월에 측정된 자료는 각각 동해 중부해역의 와동류 출현해역에서 3개 정점

의 100 m 상부층에 대해 것 (Yang et al., 1995)과 포항 연안의 대마난류 주류역에서 6개 정점의 150~200 m 상부층에 대한 자료 (Lee et al., 1996)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 수온의 수직분포

6개 정점의 수심 약 300 m층까지 CTD로 측정한 수온의 수직분포도 (Fig. 2)를 보면, 가장 남쪽에 위치한 정점 E1의 경우 표면혼합층의 수온은 $10.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 로 6개 정점중 가장 높으며, 그 깊이는 약 75 m이다. 정점 E2에서는 표면혼합층의 깊이가 정점 E1 보다 약 20 m 정도 깊지만, 수온은 $0.8 \sim 1.3^\circ\text{C}$ 정도 낮다. 그리고, 정점 E3에서도 50 m 상부층에 표면혼합층이 존재하고 있으나, 수온은 6개 정점중 가장 낮다. 그러나, 정점 E4와 E5에서는 표면혼합층의 깊이가 약 140 m로 다른 정점들 보다 훨씬 깊으며, 100 m 상부층에서의 수온은 정점 E1과 E2 보다 $1.0 \sim 1.9^\circ\text{C}$ 정도 낮다. 특히, 속초 연안의 정점 E6에서는 표면혼합층의 깊이가 25 m로 다른 정점들 보다 훨씬 상부층에 존재하고 있으며, 수온은 정점 E2와 비슷하다. 한편, 수온약층은 정점 E1과 E2의 경우 각각 75~180 m 및 90~180 m 사이의 층에 존재하고 있으나, 속초 연안의 정점 E6에서는 25~80 m 사이의 층에 나타나고 있다. 그러나, 정점 E3, E4 및 E5에서는 앞의 3개 정점들과는 달리 수온약층의 세기가 매우 약하다. 특히, 속초 외해역에 위치한 정점 E4와 E5의 50 m 상부층에서는 속초 연안에 위치한 정점 E6 및 가장 남쪽에 위치한 정점 E1과 E2 보다 약 $0.9 \sim 2.3^\circ\text{C}$ 정도 낮지만, 50~110 m 사이의 층에서는 정점 E6 보다 현저히 높다. 그리고, 120 m 하부층에서는 나머지 4개 정점들 보다 수온이 $1.0 \sim 3.3^\circ\text{C}$ 정도 높다. 이처럼, 정점 E4와 E5의 140 m 상부층에서 매우 균질한 해수가 존재하고 있고, 그 하부층의 수온이 다른 정점들의 동일 수층 보다 다소 높은 것은 이 해역에 거의 매년 출현하는 소용돌이가 형성되기 때문이라고 생각된다 (Seung et al., 1990). 즉, Yang et al. (1995)이 본 조사해역과 거의 같은 해역에서 소용돌이가 형성된 이후인 1992년 5월 하순에 관측한 결과에 의하면, 균질수의 수온이 $10.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 이고, 그 존재수층도 50~220 m층 사이에서 나타나고

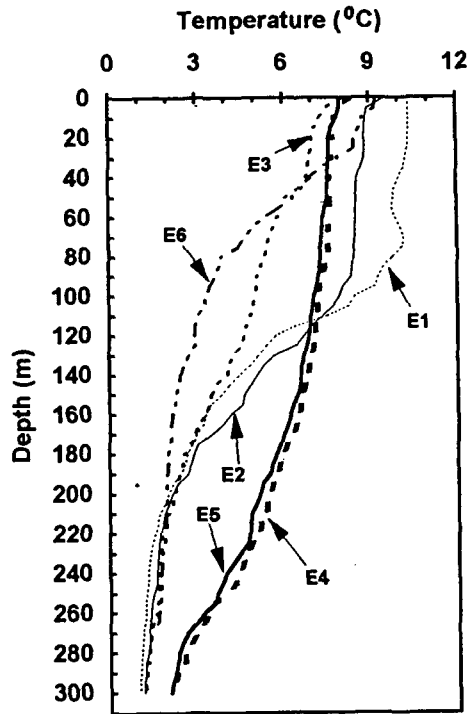


Fig. 2. Vertical profiles of temperature at the upper 300 m in March 1993.

있다. 그러나, 본 조사시에는 수온이 1992년 5월 보다 약 2.0°C 정도 낮고, 존재 수층도 약 70 m 정도 상부에 있는 것으로 보아 본 조사시기는 소용돌이가 형성된 지 오래되지 않았음을 의미한다.

2. ^{226}Ra , ^{210}Pb 및 ^{210}Po 의 수직농도분포

6개 정점의 100 m 상부층에서 측정한 해수중 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 수직농도분포를 Fig. 3에 나타내었으며, ^{226}Ra 의 농도는 Yang et al. (1994)이 동해 남부해역에서 측정 보고한 염분과 ^{226}Ra 과의 관계식 [$^{226}\text{Ra}(\text{dpm}/100\ell) = -0.93 \times \text{Salinity}(\text{‰}) + 39.96$]으로부터 계산한 값을 이용하였다. ^{226}Ra 의 농도범위는 $8.1 \sim 8.5 \text{ dpm}/100\ell$ 로 층별 정점별 변동폭이 매우 작는데, 이는 6개 정점에 대한 염분농도가 $33.8 \sim 34.4 \text{ ‰}$ 의 범위로 변동폭이 작기 때문이다.

^{210}Pb 은 정점에 따라 다소의 차이는 있으나, 대체적으로 표층에서 가장 높은 농도를 보이며, 50 m 상부층이 하부층보다 다소 높다. 특히, 비교적 강한 수온약층이 존재하고 있는 정점 E6의 경우 수온약층 상

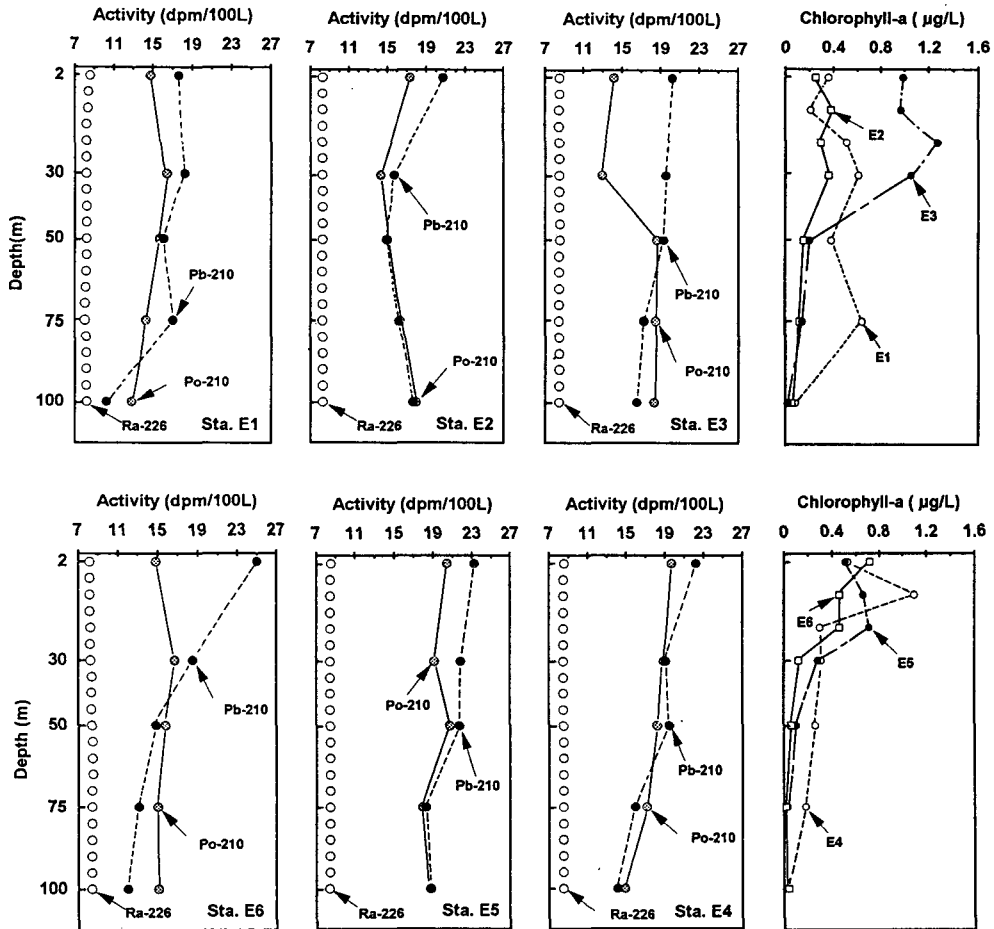


Fig. 3. Vertical profiles of total ^{210}Pb , ^{210}Po and chlorophyll-a at the upper 100 m in March 1993. The ^{226}Ra activity was calculated by a relation with salinity (Yang et al., 1994).

‰ 부와 하부층이 농도 차이가 다른 정점들 보다 약간 크다. 또한, 50 m 상부층의 경우 정점 E1과 E2가 다른 정점들 보다 약 2~5 dpm/100ℓ 정도 낮은 농도를 보이나, 75 m와 100 m 층에서는 정점 E1과 E6에서 가장 낮고, 소용돌이의 중심부에 위치한 정점 E5에서 가장 높다. 한편, 6개 정점 모두에서 ^{210}Pb 의 농도는 어미핵종인 ^{226}Ra 보다 과잉량을 보인다. 이처럼, 모든 정점들의 표층에서 가장 높은 농도를 보이며, 어미핵종보다 과잉량을 보이는 것은 ^{210}Pb 이 주로 대기로부터 공급되기 때문이라고 생각된다 (Bacon et al., 1976; Turekian et al., 1977).

^{210}Po 의 농도는 층별 차이가 매우 작다. 그러나, 클로로필 a의 농도가 가장 높은 정점 E3에서는 표층과

30 m 층이 그 하부층 보다 약 4~5 dpm/100ℓ 정도 낮다. 반면에, 소용돌이 중심부에 위치한 정점 E4와 E5의 50 m 상부층에서는 인접 정점들의 동일수층에 비해 ^{210}Po 의 농도가 다소 높으며, 층별 차이도 그다지 크지 않다. 이는 소용돌이의 형성에 의해 ^{210}Po 의 농도가 상대적으로 높은 하부층의 영향을 받고 있기 때문이라고 생각된다. 한편, 어미핵종인 ^{210}Pb 과의 농도 차이를 보면, 대부분의 정점들의 표층과 30 m 층에서는 어미핵종 보다 부족량을 보이나, 그 하부층에서는 거의 방사평형된 농도를 보이거나 혹은 약간 과잉량을 보인다. 특히, 부족량의 정도는 클로로필 a의 농도가 비교적 높은 정점 E3의 30 m 상부층과 클로로필 a의 농도는 다소 낮지만 상부층에 비교적 강한 수은

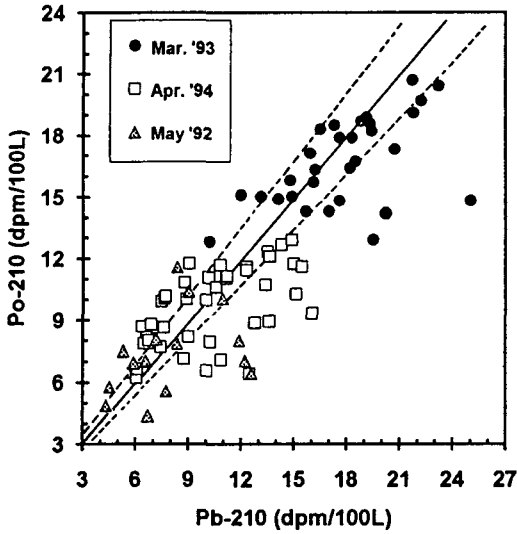


Fig. 4. Plot of ^{210}Po activity against ^{210}Pb activity in the upper layers of the Korean East Sea during 1992~1994. The solid line indicates no fractionation between ^{210}Pb and ^{210}Po with the slope of unity. Stippled area represents error based on an uncertainty (~10%) in ^{210}Pb and ^{210}Po activities.

약층이 존재하고 있는 정점 E6에서 가장 크다. 또한, 이들 두 정점의 하부층에서는 다른 정점들에 비해 어미핵층에 대한 과잉량이 다소 크다. 이는 상부층의 경우 생물기원 입자물질에 의해 ^{210}Po 이 어미핵층 보다 우선적으로 제거되지만, 수온약층 하부층에서는 영양염류와 같이 ^{210}Po 이 해수중으로 재생되고 있기 때문이라고 생각된다 (Chung and Finkel, 1988; Yang et al., 1995).

또한, ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 농도를 1992년 5월에 동해 중부해역의 소용돌이 출현해역 (Yang et al., 1995) 및 1994년 4월에 포항 연안의 대마난류 주류역 (Lee et al., 1996)에서 측정된 자료들과 비교해 보면, ^{210}Po 은 1992년 5월말에 측정된 자료가 가장 낮고, 1993년 3월 측정값이 가장 높다 (Fig 4). ^{210}Pb 의 농도 역시 ^{210}Po 과 비슷한 변동양상을 보이나, ^{210}Po 보다는 시기별 변동폭이 상대적으로 작다. 이처럼, 시기별로 두 핵종의 농도가 변화하는 것은 수온약층의 형성이나 시기별 생물생산력의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 또한, 두 핵종 사이의 상관성 (Fig. 4)을 보면, 분산이 다소 심하지만 대부분의 자료들이 10% 이내에서 두

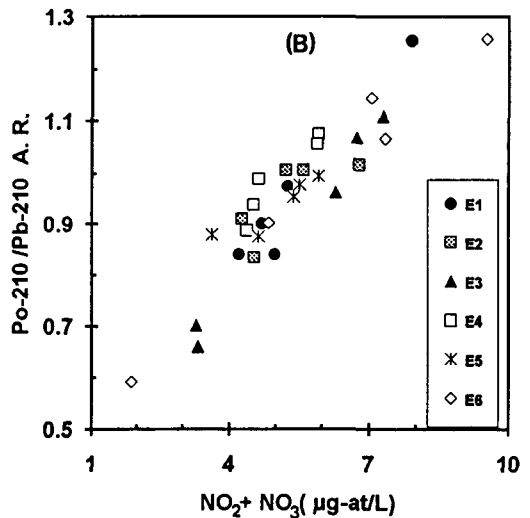
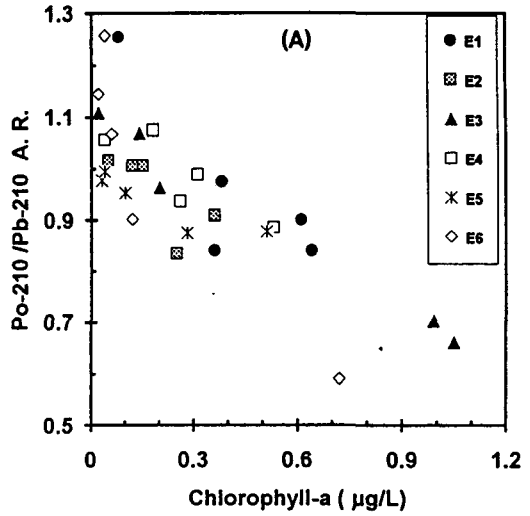


Fig. 5. Plot of $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ activity ratio against chlorophyll-a (A) and nitrate plus nitrite concentration (B) at the upper 100 m in March 1993.

핵종의 농도비가 1인 no fractionation line 위에 plot 되고 있다. 그러나, 모든 정점의 표층 혹은 30 m 상부층의 자료들은 ^{210}Po 보다 ^{210}Pb 의 농도가 상대적으로 높은 농도를 보이며, 이들 자료의 기울기는 약 0.66으로 북태평양 표층수중에서의 기울기 값 0.55 (Nozaki et al., 1976) 보다는 다소 크다. 이는 외양역인 북태평양 표층 보다 동해의 표층에서 ^{210}Po 의 체류시간이

다소 길다는 것을 의미한다. 그리고, 비교적 강한 수온약층이 존재하고 있는 몇몇 정점들의 경우 수온약층 하부층에서 ^{210}Po 이 어미핵종 보다 과잉량을 보이고 있다. 특히, 대부분의 자료들이 no fractionation line 상에 plot되고 있는데, 이러한 현상은 해수의 수직혼합이 활발한 페루연안의 용승역 주변해역 (Turekian and Nozaki, 1980) 및 태평양 심층수 (Thomson and Turekian, 1976)에서도 보고한 바 있다. 따라서, 봄철 동해에서는 50 m 하부층의 경우 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 농도가 주로 물리적인 혼합에 의한 영향을 많이 받고 있음을 시사하고 있다.

3. 해수중 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 거동과 체류시간

1993년의 경우 해수중 ^{210}Po 의 제거과정을 이해하기 위하여 어미핵종에 대한 방사능 비 ($^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$) 값을 클로로필 a의 농도에 대해 plot하였다 (Fig. 5A). 두 성분 사이에는 다소 분산이 심하지만, 대체적으로 클로로필 a의 농도가 증가함에 따라 두 핵종의 방사능 비는 감소하는 경향을 보인다. 이는 본 조사시에 해수중 ^{210}Po 의 제거가 생물생산성과 관련이 있음을 시사하고 있다. 그러나, 정점 E6의 표층에서는 정점 E3의 30 m 상부층 보다 클로로필 a의 농도는 낮지만, 방사능 비값은 낮다. 이는 정점 E6의 경우 다른 정점들보다 상부층에 비교적 강한 수온약층이 존재하고 있어서 하부층으로부터 ^{210}Po 의 공급이 제한되기 때문이라고 생각된다. 또한, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ 의 방사능비 값과 질산 질소와 아질산 질소를 합한 농도 사이에는 매우 좋은 정의 상관성을 보인다 (Fig. 5B). 이는 본 조사해역에서 해수중 ^{210}Po 이 영양염류와 매우 유사한 거동을 보이고 있음을 의미한다.

앞에서 언급한 바와 같이, 6개 정점의 50 m 상부층에서 ^{210}Po 의 농도는 어미핵종 ^{210}Pb 보다 부족량을 보였다. 따라서, 50 m 상부층에 대한 해수중 ^{210}Po 의 체류시간을 계산하였다. 즉, 해수중 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 농도가 정상상태를 유지한다면, 해수중 어미핵종인 ^{210}Pb 으로부터 생성되는 ^{210}Po 의 양 ($\lambda_{Po}A_{Pb}$)은 방사붕괴에 의해 소멸되는 양 ($\lambda_{Po}A_{Po}$) 및 입자물질에 흡착되어 제거되는 양 (kA_{Po})과는 균형을 유지한다.

$$\lambda_{Po}A_{Pb} = \lambda_{Po}A_{Po} + kA_{Po}$$

여기서, A_{Po} 와 A_{Pb} 는 각각 50 m 상부층에서 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 현존량 (dpm/cm^2), λ_{Po} 는 ^{210}Po 의 붕괴상수 (1.83year^{-1})이고, k 는 ^{210}Po 의 제거속도상수이며, 해수중 ^{210}Po 의 체류시간은 제거속도상수의 역수이다. 계산결과, 해수중 ^{210}Po 의 체류시간은 1.4~7.9년으로 정점별 차이가 다소 크다. 그러나, 비교적 강한 수온약층이 존재하고 있는 속초 부근의 정점 E6에서 가장 짧았으며, 클로로필 a의 농도가 가장 높은 정점 E3에서도 1.9년으로 비교적 짧았다. 반면에, 나머지 정점들에서는 4.4년 이상으로 매우 길었으며, 특히 소용돌이의 중심부에 위치한 정점 E4에서 가장 길었다. 이러한 값은 본 조사와 거의 동일한 위치에서 1992년 5월에 측정 보고한 값인 0.4~1.1년 (Yang et al., 1995) 보다는 훨씬 길다. 그러나, 동해 남부해역의 대마난류 주류역에서 1994년 4월에 측정된 값 1.0~9.8년 (Lee et al., 1996)의 범위에 속하고 있다. 이처럼, 본 조사 시기의 체류시간이 1992년 5월에 측정된 체류시간 보다 긴 것은 생물생산력의 차이에 기인한 결과라고 생각된다.

한편, 봄철에 동해의 상부층에서 해수중 ^{210}Po 의 제거과정을 이해하기 위하여 1992년 5월, 1993년 3월 및 1994년 4월의 측정값중 50 m 상부층에 대한 ^{210}Pb 과 ^{210}Po 의 현존량으로부터 계산한 ^{210}Po 의 제거속도상수와 50 m 상부층에서의 클로로필 a의 현존량에 대해 plot하였다 (Fig. 6). 이들 두 성분 사이에는 비교적 좋은 정의 상관성을 보이며, 이는 봄철에 동해에서 해수중 ^{210}Po 의 제거가 그 해역의 생물생산력의 차이에 따라 달라짐을 의미한다. 그러나, 1993년의 자료중 속초 연안에 위치한 정점 E6은 클로로필 a의 현존량이 작음에도 불구하고 제거속도상수가 비교적 큰 값을 보이는데, 이는 정점 E6의 경우 다른 정점들 보다 비교적 강한 수온약층이 상부층에 존재하고 있는 것으로 보아 해수의 수직안정도 차이에 기인한 것으로 생각된다. 반면에, ^{210}Pb 은 거의 모든 정점들에서 어미핵종인 ^{226}Ra 보다 과잉량을 보이나, 과잉량의 정도는 시기별로 차이가 있다. 따라서, 이러한 차이가 어떤 요인에 의해 달라지는지를 알아보기 위하여 50 m 상부층에 대한 ^{210}Pb 과 ^{226}Ra 의 현존량의 차이 (과잉량 ^{210}Pb 의 inventory)를 각 정점의 100 m 층과 50 m 상부층의 밀도 차이에 대해 plot 하였다 (Fig. 7). 두 성

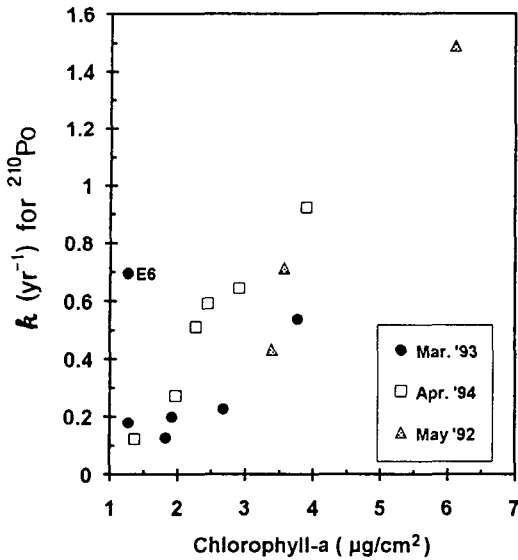


Fig. 6. Correlation of removal rate constant (k) for ^{210}Po and inventory of chlorophyll-a at the upper 50 m of the Korean East Sea during 1992~1994.

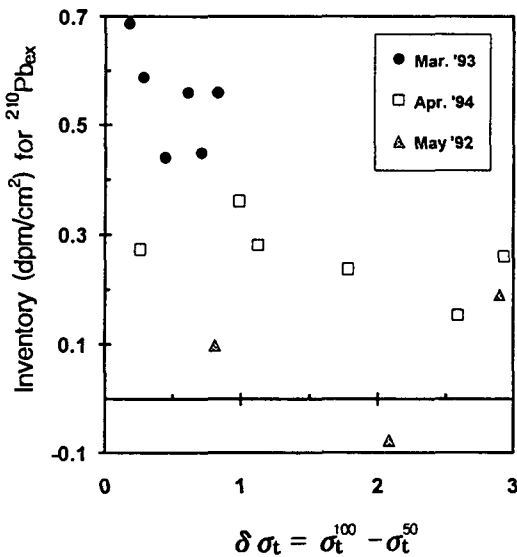


Fig. 7. Plot of excess ^{210}Pb inventory at the upper 50 m versus the difference in sigma-t between the 50 m and 100 m in the Korean East Sea during 1992~1994.

분 사이에는 분산이 다소 심하지만, 대체적으로 수직 안정도가 클수록 과잉량 ^{210}Pb 은 감소하는 경향을 보

인다. 그러나, 1992년 5월 자료중 소용돌이 중심부와 강한 수온약층이 50 m 상부층에 존재하는 속초 연안 정점 및 1994년 4월 자료중 가장 바깥쪽에 위치한 정점에서는 밀도 차이가 비슷한 다른 자료들 보다 과잉량 ^{210}Pb 이 작는데, 이는 상층수의 해수 체류시간의 차이에 기인한 결과라고 생각된다. 따라서, 동해에서 봄철에 해수중 ^{210}Pb 의 과잉량의 정도는 주로 해수의 수직혼합 정도에 따라 달라질 수 있음을 의미한다.

요 약

1993년 3월에 동해 중부해역에 위치한 6개 정점의 100 m 상부층에서 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 수직농도분포를 측정하고, 이들 두 핵종의 거동이 수괴에 따라 어떻게 달라지는 지를 알아보았다. 또한, 1992년 5월과 1994년 4월에 동해에서 측정된 자료들을 이용하여 봄철에 동해의 상부층에서 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 거동을 지배하는 요인을 알아보았다.

^{210}Pb 의 농도는 정점에 따라 다소의 차이가 있으나 대체적으로 표층에서 가장 높고, 수심이 깊어짐에 따라 점차 감소하는 양상을 보인다. ^{210}Po 의 농도는 층별 차이가 매우 작으나, 클로로필 a의 농도가 가장 높은 정점 E3에서는 30 m 상부층이 하부층에 비해 비교적 낮다. 또한, ^{210}Po 은 모든 정점의 30 m 상부층에서 어미핵종보다 부족량을 보이나, 그 하부층에서는 거의 방사평형된 농도를 보이거나 혹은 다소 과잉량을 보인다. 특히, 상부층에서 ^{210}Po 의 부족량은 클로로필 a의 농도가 가장 높은 정점 E3과 강한 수온약층이 상부층에 존재하고 있는 정점 E6에서 가장 크다. 그러나, ^{210}Pb 은 전 정점의 모든 수층에서 어미핵종인 ^{226}Ra 보다 과잉량을 보인다.

^{210}Po 의 체류시간은 1.0~7.8년의 범위로 클로로필 a의 농도가 높은 정점 E3와 비교적 강한 수온약층이 상부층에 존재하고 있는 정점 E6에서 가장 짧다. 또한, 1992년부터 1994년까지 봄철에 동해에서 얻어진 자료를 이용하여 50 m 상부층에 대한 ^{210}Po 의 제거속도상수와 클로로필 a의 현존량과 사이에는 좋은 역의 상관성을 보인다. 이는 봄철에 동해에서 해수중 ^{210}Po 의 제거가 주로 생물생산력에 의해 좌우되고 있음을 의미한다. 반면에, 과잉량 ^{210}Pb 의 현존량은 해수의 수

직안정도와 역의 상관성을 보이는 것으로 보아 동해의 상층부에서 ^{210}Pb 의 농도는 생물생산력 보다는 주로 해수의 수직안정도에 의해 좌우되는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Bacon, M. P., D. W. Spencer and P. G. Brewer. 1976. $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ disequilibria in seawater and suspended particulate matter. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 32, 277~296.
- Bacon, M. P., R. A. Belastock, M. Tecotzky, K. K. Turekian and D. W. Spencer. 1988. Lead-210 and polonium-210 in ocean water profiles of the continental shelf and slope south of New England. *Contin. Shelf Res.*, 8, 841~853.
- Cherry, M. I., R. D. Cherry and M. Heyraud. 1987. Polonium-210 and lead-210 in Antarctic marine biota and seawater. *Mar. Biol.*, 96, 441~449.
- Chung, Y. and R. Finkel. 1988. ^{210}Po in the western India ocean: distributions, disequilibria and partitioning between the dissolved and particulate phases. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 88, 232~240.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holms and J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 30, 3~15.
- Kadko, D. 1993. Excess ^{210}Po and nutrient recycling within the California Coastal Transition Zone. *J. Geophys. Res.*, 98, 857~864.
- Kharkar, D. P., J. Thomson and K. K. Turekian. 1976. Uranium and thorium decay series nuclides in plankton from the Caribbean. *Limnol. Oceanogr.*, 21, 294~298.
- Lee, H. P., H. S. Yang and K. H. Kim. 1996. Removal of ^{210}Po and ^{234}Th from seawater at the east-southern coastal region of Korean Peninsula in spring. *J. Korean Fish. Soc.*, 29, (in press).
- Li, Y. H., P. H. Santschi, A. Kaufman, L. K. Benninger and H. W. Feely. 1981. Natural radionuclides in waters of the New York Bight. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 55, 217~228.
- Nozaki, Y., J. Thomson and K. K. Turekian. 1976. The distribution of ^{210}Pb and ^{210}Po in the surface waters of the Pacific Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 32, 304~312.
- Nozaki, Y., H. Tsubota, V. Kasemsupaya, M. Yashima and N. Ikuta. 1991. Residence times of surface water and particle-reactive ^{210}Pb and ^{210}Po in the East China and Yellow Seas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 1265~1272.
- Seung, Y. H., S. Y. Nam and S. Y. Lee. 1990. A combined effect of differential cooling and topography on the formation of Ulleung Warm Eddy. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 22, 375~384.
- Strickland, J. D. H and T. R. Parsons. 1972. *A Practical Handbook of Sea Water Analysis*. 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167, 310p.
- Thomson, J. and K. K. Turekian. 1976. ^{210}Po and ^{210}Pb distributions in ocean water profiles from the eastern south Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 32, 277~296.
- Turekian, K. K. and Y. Nozaki. 1980. ^{210}Po and ^{210}Pb in the eastern South Pacific - The role of upwelling on their distributions in the water column. In *Isotope Marine Chemistry*, pp 157~164, Uchida Rokakuho, Tokyo.
- Turekian, K. K., Y. Nozaki and L. K. Benninger. 1977. Geochemistry of atmospheric radon and radon products. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 5, 227~255.
- Yang, H. S., P. J. Kim, J. C. Lee and C. H. Moon. 1994. Origin of the cold water below 10°C occurring in the southern coastal region of the Korean East Sea in summer by Ra isotope distribution. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27(4), 404~412.
- Yang, H. S., S. S. Kim and J. C. Lee. 1995. Effect of eddy on the cycle of ^{210}Po and ^{234}Th in the central region of Korean East Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 30(4), 279~287.

1996년 2월 3일 접수

1996년 3월 7일 수리