

동해 남서부 해역에서 ^{210}Pb 를 이용한 퇴적속도 추정

한정희^{1*} · 최만식²

¹한국기초과학지원연구원 동위원소환경연구부

²충남대학교 지구환경과학부

Estimation of ^{210}Pb -derived Sedimentation Rates in the Southwestern East Sea

JEONG HEE HAN^{1*} AND MAN SIK CHOI²

¹Division of Isotope Geoscience, Korea Basic Science Institute, Daejeon, 305-333, Korea

²Division of Earth Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

동해 남서부 해역 울릉분지 일대 대륙붕과 대륙사면에서 퇴적속도를 추정하기 위해 저배경방사능 우물형 고순도 게르마늄 감마선 검색기를 이용하여 ^{210}Pb , ^{226}Ra 와 ^{137}Cs 를 측정하였다. 추정된 퇴적속도는 대륙붕에서 가장 높고 (0.6-1.1 cm/yr), 대륙붕의 정점 B1005로부터 외해로 갈수록 거리가 증가함에 따라 퇴적속도는 지수함수적으로 감소하여, 분지에서 0.2 cm/yr 이하로 계산되었다. ^{137}Cs 의 투과깊이를 이용하여 퇴적속도에 대한 퇴적 후 퇴적물 혼합작용의 영향을 평가한 결과, 정점 BS-1을 제외하고 다른 정점들에 대하여 퇴적속도 추정에서 생물교란의 영향이 미미하다고 판단되어, 추정된 퇴적속도는 이 지역의 퇴적속도를 잘 나타내고 있다고 판단되었다. 기존의 여러 연구들과 이 연구의 결과로부터 대한해협을 통해 공급된 퇴적물들이 한반도 동남해역 연안에 이르러 대륙붕지역에 주로 퇴적되며, 나머지는 한반도 동쪽 대륙사면과 분지에 퇴적되는 것으로 추정할 수 있다. 또한 ^{210}Pb 수직분포는 이 지역의 퇴적과정이 매우 복잡할 가능성을 제시한다.

In order to estimate the sedimentation rates of continental shelf and slope of Ulleung Basin in the Southwestern East Sea, ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs were simultaneously measured by a well-type high purity germanium (HPGe) gamma detector. ^{137}Cs was used to determine whether the sediment were affected by bioturbation or not, and to judge the accuracy of estimated sedimentation rates. The estimated sedimentation rates decreased exponentially from slope to basin - 0.6 cm/yr in the continental shelf, 0.3~0.4 cm/yr in the slope, and below 0.2 cm/yr in the margin of Ulleung basin. From our and other research results, we suggest followings about sediment transport of the study area. The sediment particles were transported by coastal current from south to north through the Korea Strait. And much of them were accumulated in the shelf area. And then, the rest of sediment particles were deposited in the lower slope and the southwest margin of the basin. Also the excess ^{210}Pb profiles indicate that the depositional processes in the study area may have been very complicate.

Keywords: East Sea, Pb-210, Cs-137, Sedimentation Rate

서 론

연안 해역에서 해양퇴적층의 퇴적속도를 구하기 위한 도구로 ^{210}Pb (반감기 22.3 yr)의 사용이 일반화되어있다. ^{210}Pb 의 수직분포는 퇴적속도 뿐만 아니라 퇴적과정 및 퇴적환경의 변화를 표현해 주기도 한다. 이러한 이유로 한반도 근해 연안에 대한 ^{210}Pb 를 이용한 퇴적속도 추정 연구가 다수 수행되었다(윤과 정, 1992; DeMaster *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1988; Alexander *et al.*, 1991; Hong *et al.*, 1997; 유 등, 2004, Kim and Park, 2003).

초기 퇴적물 혼합속도를 추정하기 위한 ^{234}Th 나 ^7Be 같은 짧은 반감기의 방사성 핵종 추적자들은 짧은 기간 안에 많은 시료를 처리할 수 없을뿐더러 퇴적속도 추정을 위하여 얻어지는 많은 시료들은 채취된 후 일정시간이 흐른 경우가 많아 분석이 어려운 경우가 많다. 또한 많은 경우 ^{210}Pb 의 수직분포에서 표층 혹은 전체 깊이에서의 퇴적물 혼합작용 존재 여부를 판단하기 불가능하다. Nittrouer *et al.*(1983/84)이 ^{137}Cs 의 투과깊이를 이용하여, 퇴적물 혼합의 영향을 판단하는 방법을 제시하였고, Alexander *et al.*(1991)은 황해 중앙부에 이 이론을 적용하였다. 이 방법은 퇴적층에서 퇴적물 혼합 작용이 얼마나 발생했는지 알 수 없는 경우, 퇴적물 혼합의 영향을 받지 않은 절대 퇴적속도에 대한 정보를 얻을 수

*Corresponding author: hanjh@kbsi.re.kr

없는 경우, 퇴적물 혼합작용에 대한 정량적 해석이 아니라, 퇴적층에 퇴적물 혼합이 발생하였는지 여부를 정성적으로 판단하여, 계산된 퇴적속도를 검증하는데 유용하다.

동해의 남서부해역은 폭 20 km 미만의 좁은 대륙붕을 가지며, 급경사의 대륙사면을 통해 울릉분지와 연결된다. 동해 남서부해역에서 분석된 퇴적속도의 추정을 위하여 Hong *et al.*(1997)과 유 등(2004)이 알파선 분석법을 이용하여 ^{210}Po 를 측정하였고, Hong *et al.*(1997)은 ^{210}Pb 수직분포를 이용하여 퇴적속도뿐만 아니라, 표층에서의 퇴적물 혼합속도도 계산하였다. Kim and Park(2003)은 고순도 게르마늄 감마선 분석기를 이용하여 ^7Be , ^{234}Th , ^{210}Pb , ^{226}Ra 및 ^{137}Cs 을 동시에 분석하여, 울릉분지 중앙부에 대해 퇴적속도와 퇴적물 혼합속도를 추정하였다. 또한 최진용과 박용안(1993)은 퇴적물 분포로부터, Hong *et al.*(1997)은 퇴적속도 추정 연구를 통해, 유 등(2004)는 퇴적속도 추정과 탄성과 탐사자료를 통해 연구지역에 대한 퇴적물의 공급 작용에 대하여 토의하였다.

이 연구에서는 동해 남서부해역의 퇴적물에서 ^{210}Pb 이용하여 퇴적속도를 추정하고, ^{137}Cs 를 이용하여 퇴적물 혼합의 영향을 검증하는 방법을 도입하여 추정된 퇴적속도의 신뢰도를 향상시키고, 이 자료들을 바탕으로 연구지역의 퇴적속도 분포와 퇴적과정에 대해 토의해보고자 한다.

2. 시료채취 및 측정방법

연구지역은 동해 서남부해역의 대륙붕 및 대륙사면지역으로 (Fig. 1) 1993년 한국해양연구원에서 해양환경도작성연구의 일환으로 채취된 6개의 박스형 시추기 시료를 이용하였다. 시료는 박스형 시추기에서 아크릴 파이프를 이용하여 부분 채취한 후 실험실에서 2 cm 간격으로 분할하여, 건조 후 아게이트 모르타르를 이용하여 분말로 만들었다. 함수율은 추출된 공극수의 양으로부터 계산하였으며, 염도보정을 위한 공극률은 Lee *et al.*(1987)의 식을 이용하여 구하였다.

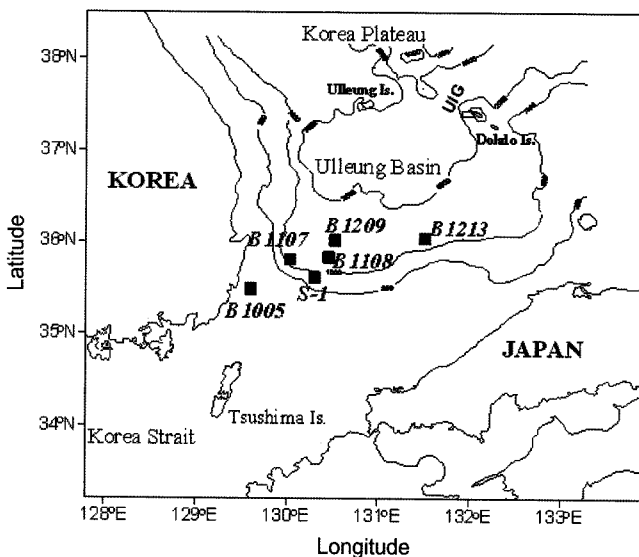


Fig. 1. Sampling locations of box core samples in the southwestern East Sea.

^{210}Pb , ^{226}Ra 과 ^{137}Cs 은 한국기초과학지원연구원에서 보유중인 극저준위배경방사능 냉각시스템과 10 cm 두께의 납차폐체로 구성된 우물형 고순도 게르마늄 감마선 검색기(well-type HPGe gamma detector; GCW3523, Canberra Inc, USA)를 이용하여 측정하였으며, 검색기는 IAEA에서 제공하는 RGSet(RGU-1, RGIh-1, RGK-1)을 이용하여 Kim and Burnett(1983)의 방법에 따라 보정하였다. 시료는 측정용기에 담고 밀폐시켜 ^{222}Rn 과 모핵종인 ^{226}Ra 과 방사평형에 도달할 수 있도록 20일 이상 보관한 후 측정하였다.

^{210}Pb 은 46.5 keV에서 ^{226}Ra 는 그의 딸핵종인 ^{214}Pb (295.2 keV와 352 keV)와 ^{214}Bi (609.3 keV)에서 각각 측정하였다. ^{210}Pb 과 ^{226}Ra 은 가능한 한 1000 counts 이상이 되도록 측정하였으며, 이 때 필요한 측정시간은 일반적으로 시료 당 약 2-3일이었다. 연구지역 퇴적물에서 ^{137}Cs (661.6 keV)의 농도는 0.2-0.5 dpm/g 수준으로 매우 낮은 농도로 존재하며, 2일 측정시 측정 하한값은 0.15 dpm/g 이었다.

퇴적속도의 계산과 ^{137}Cs 투과깊이

이 연구에서 사용된 퇴적속도 추정 모델은 1차원 2상자 모델로 퇴적물 혼합작용은 표층 상에서만 발생하고(surface mixed layer: SML), ^{210}Pb 의 공급과 퇴적속도가 구분 가능한 기간 동안 일정하였다는 정상상태 가정에 기초를 두고 다음 식에 의해 구하여 졌다.

$$A = A_0 e^{-\lambda z} \quad (1)$$

여기서 A는 각 깊이에서의, A_0 는 표층에서의 ^{210}Pb 의 방사능을 의미하며, λ 는 ^{210}Pb 의 붕괴상수로 0.0311 yr⁻¹이다. t는 시간의 미한다. 식 (1)에 S = z/t를 대입하면 다음과 같이 변환되어진다.

$$A = A_0 e^{-\frac{z}{S}} \quad (2)$$

여기서 S는 퇴적속도이며, z는 퇴적층 표층에서부터 각 층의 깊이를 나타낸다. 퇴적속도는 식 (2)의 양변에 자연로그를 취하고, ln A와 깊이 z와의 회귀식에서 기울기 m = -λ/S로부터 구할 수 있다.

퇴적물의 혼합작용에 대한 추적자로서 인공방사성 동위원소가 많이 사용된다. ^{137}Cs 은 연안퇴적물에서 측정이 비교적 용이하며, ^{210}Pb 과 반감기가 비교적 비슷하여 상호비교대상으로 사용되어진다. ^{137}Cs 은 주로 핵실험에 의해 방출되어 대기를 통해 전세계에 확산되었다. 해양으로의 ^{137}Cs 공급은 1954년부터 서서히 증가하여 핵실험이 가장 왕성하였던 1963-1964년에 최대값을 이루고, 서서히 감소하는 형태로 나타난다. 퇴적층에서 ^{137}Cs 의 수직분포가 ^{137}Cs 의 공급함수와 일치하는 모양을 하고 있다면, peak를 1963년으로, 가장 깊은 깊이를 1954년으로 생각할 수 있다. 공급함수와 유사한 모양을 유지하고 있다는 것은 퇴적물혼합작용이 발생하지 않았거나, ^{137}Cs 의 수직분포에 영향을 줄 수 없을 정도로 작을 것이라는 간접적인 증거가 될 수 있다. 퇴적층이 퇴적물 혼합작용의 영향을 받았다면, ^{137}Cs 공급함수의 모양과는 달라질 것이며, 혼합작용의 크기에 따라 ^{137}Cs 의 수직분포는 공급함수모양에서 수직적인 직선모양으로 변해갈 것이다. 퇴적층에서 ^{137}Cs 의 수직분포가 공급함수의 모양을 나타내고 있다면, 1963년 peak나 최초 공급시점을 이용하여 퇴적속도를 구할 수 있다. 또한 Nittrouer 등(1983/

84)이 밝힌 퇴적층이 퇴적물 혼합작용의 영향을 받았을 경우에 겉보기 퇴적속도로부터 예측되는 ¹³⁷Cs의 투과깊이보다 관찰된 ¹³⁷Cs의 투과깊이가 더 깊다는 사실에 기초하여, 정성적으로 퇴적층의 혼합정도, 또는 계산된 퇴적속도의 정확도를 추정하는데 유용한 수단이 될 수 있다.

결과 및 토의

추정된 퇴적속도의 적합성에 관한 고찰

정점 B1005: 각 정점에서의 퇴적속도는 Table 1에 나타내었다. 정점 B1005는 울산만과 인접하고, 수심은 55 m 이다. 이 정점은 ²¹⁰Pb 수직분포로부터 유추할 때 15 cm를 경계로 상부층과 하부층으로 나눌 수 있다(Fig. 2). 퇴적물혼합작용의 영향을 무시하고 추정된 상부층의 겉보기 퇴적속도는 0.6 ± 0.1 cm/yr이고, 하부층은 1.1 ± 0.1 cm/yr이다.

얼마만큼의 퇴적물 혼합작용이 퇴적 후 발생했는지를 아는 것은 추정된 퇴적속도의 정확성을 판단하는데 중요하다. 그러나 이 연구에서는 퇴적물의 혼합작용을 정량적으로 판단할 추적자를 이용하지 못했다. 그러나 다음과 같은 사실들로부터 이 정점의 퇴적물 혼합작용에 관한 정성적 판단이 가능할 것이다.

이 정점에서는 과잉 ²¹⁰Pb 방사능분포에서 15 cm 깊이에서 상부층과 하부층의 경계가 뚜렷하게 나타나며, ¹³⁷Cs의 수직분포는 일반적인 ¹³⁷Cs의 공급함수 모양과 일치한다. 그리고, 계산된 겉보기 퇴적속도를 이용하여 예측되는 ¹³⁷Cs의 투과깊이는 30.4 cm로 실측된 ¹³⁷Cs 투과깊이 25 cm보다 약 5.4 cm 깊게 나타났다. 이러한 결과들은 이 정점에서 퇴적물 혼합작용이 퇴적속도 계산에 영향을 주지 못할 정도로 미약했으며, 추정된 퇴적속도는 이 지역의 실질적인 퇴적속도를 의미한다.

또한 ¹³⁷Cs의 수직분포를 이용하여 퇴적속도를 추정한 결과 13 cm 깊이의 ¹³⁷Cs peak를 1963년 층으로 판단하여 계산한 퇴적속도는 0.43 cm/yr이며, ¹³⁷Cs이 측정된 가장 깊은 깊이 25 cm를 1954년 층으로 생각하고 1963년 층까지 계산된 퇴적속도는 1.3 cm/yr로 ²¹⁰Pb를 이용하여 계산된 결과와 유사한 경향을 보였다. 유 등(2004) 등은 이 정점보다 북쪽에 위치한 정점에서 0.44 cm/yr의 퇴적속도를 얻었으며, 이 정점에 근접한 울산 앞 해역에서 탄성과 탐사자료를 근거로 계산된 퇴적속도는 0.83 cm/yr(최대 50 m의 두께, 퇴적기간 6000년)로 이 지역은 다른 연구지역보다 큰 퇴적속도를 가지는

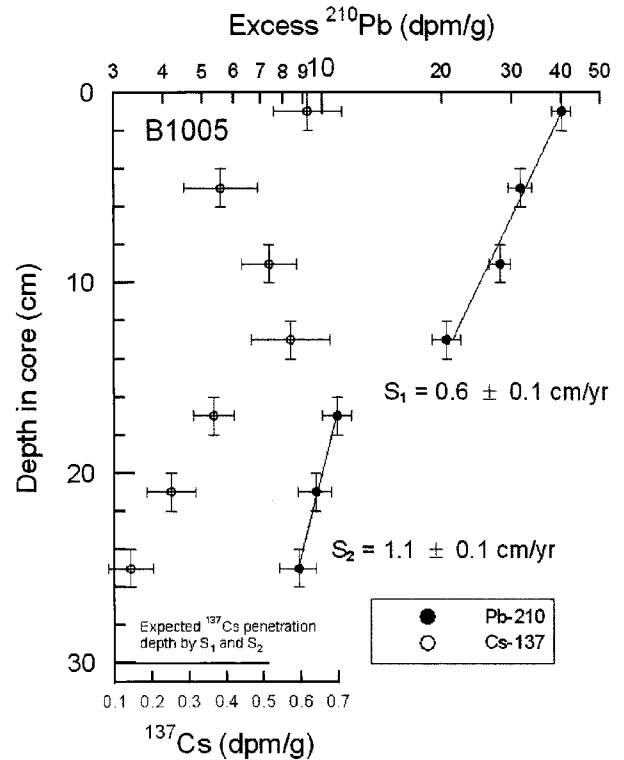


Fig. 2. Excess ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs activity depth profile in core B1005. Horizontal solid line is expected ¹³⁷Cs penetration depth which is calculated to use the sedimentation rate (S_1) of upper layer.

것이 확실한 것으로 판단된다.

정점 BS-1: 정점 BS-1은 대륙사면의 수심 555 m에 위치해 있으며, 전체깊이에서 추정된 겉보기 퇴적속도는 0.24 ± 0.03 cm/yr 이다(Fig. 3). 이 정점에서 측정된 ¹³⁷Cs의 투과깊이는 12-14 cm로 예측된 ¹³⁷Cs의 투과깊이 9 ± 1 cm로 보다 깊게 나타났다. 이 결과만으로는 이 지역에 퇴적물 혼합작용이 발생하는 것으로 판단할 수 있고, 따라서 측정된 퇴적속도도 과잉추정되었을 가능성을 제시한다.

그러나 ²¹⁰Pb 수직분포를 보면 8-12 cm에 존재하는 과잉 ²¹⁰Pb 값과 ¹³⁷Cs값이 각각 유사한 값을 보여준다. 이러한 현상은 이 층이 ¹³⁷Cs를 포함한 퇴적물이 밀도류(density flow)에 의해 퇴적되

Table 1. Sedimentation rate summary. Measured ¹³⁷Cs penetration depths are the lowest depth that ¹³⁷Cs was detected. Expected ¹³⁷Cs penetration depth were calculated to use 39 years elapsed time from 1954.

Station	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Sedimentation Rate (cm/yr)	¹³⁷ Cs-penetration Depth	
					Estimated(cm)	Measured(cm)
B1005	35°30.00'N	129°30.00'E	55	0.6 ± 0.1 (U)	30	24-26
				1.1 ± 0.1 (L)		
BS-1	35°37.00'N	130°07.51'E	555	0.24 ± 0.03	9	12-14
B1107	35°45.00'N	130°00.00'E	1090	0.30 ± 0.02	18.8	12-14
B1108	35°45.00'N	130°15.00'E	1151	0.22 ± 0.02	8.8	4-6
B1209	36°00.00'N	130°30.00'E	1570	0.15 ± 0.01 (U)	5.8	4-6
				0.5 ± 0.1 (L)		
B1213	36°00.00'N	131°30.00'E	1121	0.072 ± 0.003	5.8	2-4

U,L: Upper and lower Layer

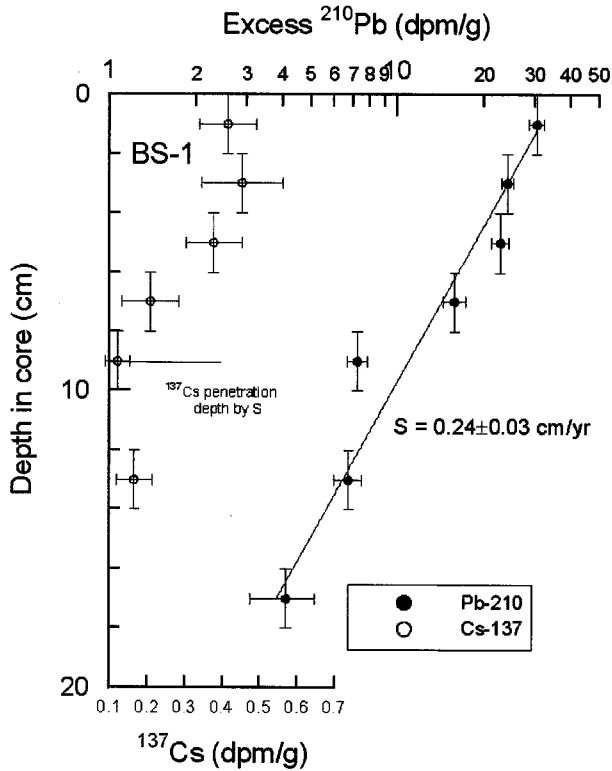


Fig. 3. Excess ²¹⁰Pb activity depth profile in core BS-1. Horizontal solid line and hatched box represent expected ¹³⁷Cs penetration depths and measured ¹³⁷Cs penetration depths, respectively.

었다면 설명이 가능하다. 이 경우 ¹³⁷Cs의 투과깊이는 잘 일치하는 것으로 판단할 수도 있다. 그러나 현재의 자료만으로 퇴적물 혼합이나 일시적 퇴적작용의 유무를 판단하기 어려워, 추정된 퇴적속도를 실제 퇴적속도로 판단할 수는 없다.

정점 B1107: 정점 1107은 수심 1090 m의 대륙사면에 위치하고 있다. 정점 1107의 경우 ²¹⁰Pb 수직분포(Fig. 4)에서 보듯이 표층 0-7 cm 구간에 퇴적물의 혼합작용이 나타나고, 그 이하에서는 혼합작용의 흔적이 나타나지 않는 단순한 구조를 가지고 있다. 혼합작용의 영향을 받지 않았다고 가정되는 하부 4점을 이용하여 구한 겉보기 퇴적속도는 0.30 ± 0.02 cm/yr로 계산되었다. 예측되는 ¹³⁷Cs의 투과깊이는 18.8 ± 0.7 cm이며 측정된 ¹³⁷Cs이 투과깊이는 13 cm로 이 정점의 하부층에서는 퇴적물 혼합작용의 영향을 무시할 수 있어, 추정된 겉보기 퇴적속도는 실제 퇴적속도로 판단된다.

이 정점에서는 표층혼합층이 뚜렷이 구분된다. 표층혼합층에서 얻어진 두 점으로 구한 퇴적물 혼합속도는 28 cm²/yr로 Hong *et al.*(1997)의 결과 2.4 cm²/yr보다 매우 큰 값을 나타내었다. 이 연구에서는 표층 혼합층의 자료가 부족하여 이 두 값의 차이를 설명할 수는 없었다.

정점 B1108: 정점 B1108은 수심 1151 m에 위치하고 있으며, Fig. 5의 ²¹⁰Pb의 수직분포에서 보듯이 퇴적물의 혼합작용은 보이지 않는다. 전체 깊이에서 추정된 겉보기 퇴적속도는 0.22 ± 0.02 cm/yr이다. 추정된 ¹³⁷Cs의 투과깊이는 8.8 ± 0.7 cm로 관측된 ¹³⁷Cs

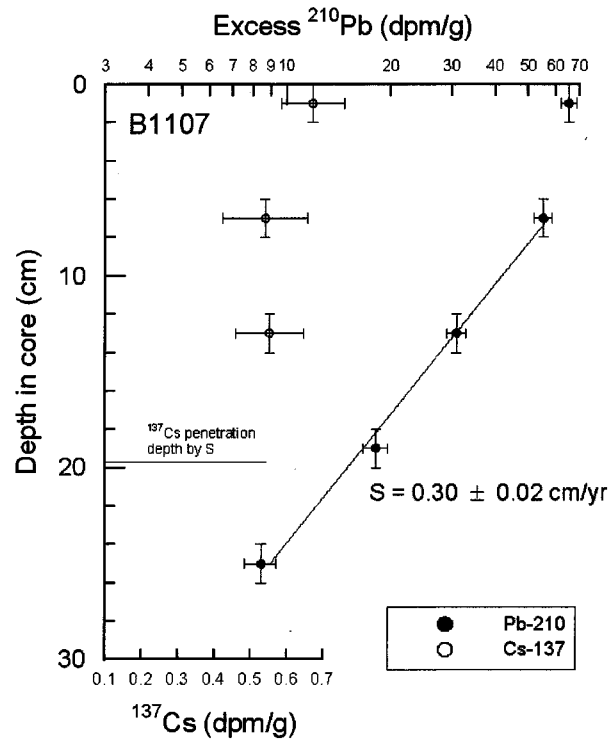


Fig. 4. Excess ²¹⁰Pb activity depth profile in core B1107. Surface mixing activity is shown in the vertical profile of excess ²¹⁰Pb. Horizontal solid line is expected ¹³⁷Cs penetration depth which is calculated to use the sedimentation rate below surface mixed layer and summed surface mixed layer thickness (7 cm).

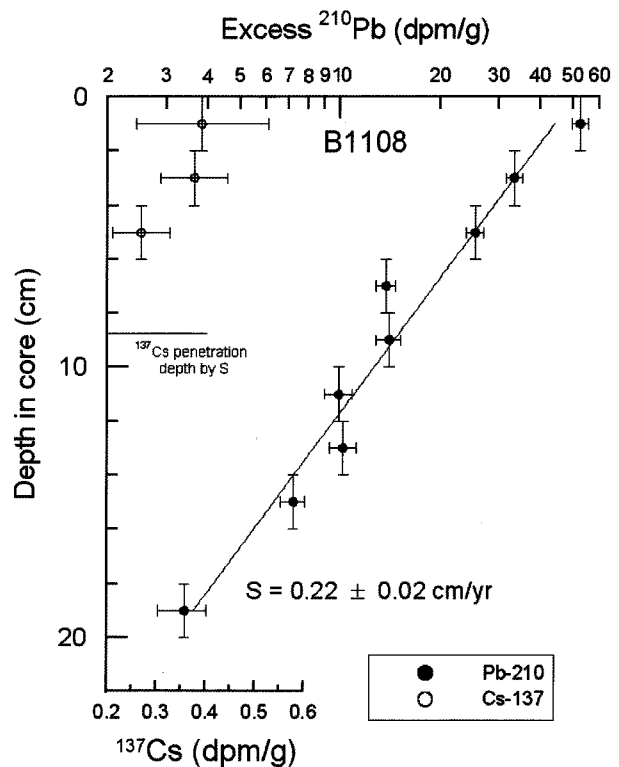


Fig. 5. Excess ²¹⁰Pb activity depth profile in core B1108.

투과깊이 4-6 cm보다 깊게 나타나, 퇴적물의 혼합작용이 퇴적속도에 미친 영향을 무시할 수 있다고 판단되었다.

또한 이 정점의 7-13 cm 구간은 비록 불명확할지라도 일시적인 퇴적이 일어났을 때 보이는 ²¹⁰Pb의 수직분포와 유사하여, 7 cm와 13 cm를 경계로 3개의 층으로 구분해 볼 수도 있다. 각 층에서 추정된 퇴적속도는 0.14 ± 0.02 cm/yr, 0.5 ± 0.3 cm/yr 그리고 0.17 ± 0.01 cm/yr이다. 이 때 상부층의 퇴적속도를 이용하여 예측된 ¹³⁷Cs의 투과깊이는 5.6 ± 0.6 cm이며, 이는 실측된 ¹³⁷Cs의 투과깊이 4-6 cm와 잘 일치한다.

즉 어떤 경우이든 퇴적속도의 추정에 있어서 퇴적물의 혼합작용은 무시될 수 있어, 두 경우 모두 실질 퇴적속도로 볼 수 있으나, 세 개의 층으로 나누어 계산된 퇴적속도는 두 번째 층의 존재 유무가 불확실하며, 전체 깊이에서 구한 퇴적속도가 이 정점의 평균 퇴적속도를 의미할 것이므로 이 정점의 실질 퇴적속도로 결정하였다.

정점 B1209: 정점 B1209는 1570 m 수심의 울릉분지 내에 존재한다. 이 정점에서 ²¹⁰Pb의 수직분포에서 9 cm를 경계로 상부층과 하부층이 뚜렷이 구분된다(Fig. 6). 퇴적물의 혼합작용을 무시한 걸보기 퇴적속도는 상부층이 0.15 ± 0.01 cm/yr이고, 하부층은 0.5 ± 0.1 cm/yr로 추정되었다.

정점 B1209는 9 cm를 경계로 상부층과 하부층이 뚜렷이 구분되며, ¹³⁷Cs의 예측되는 투과깊이는 5.8 ± 0.4 cm로 측정된 투과깊이 4-6 cm와 잘 일치하며, 따라서 이 정점에서도 퇴적물의 혼합작용

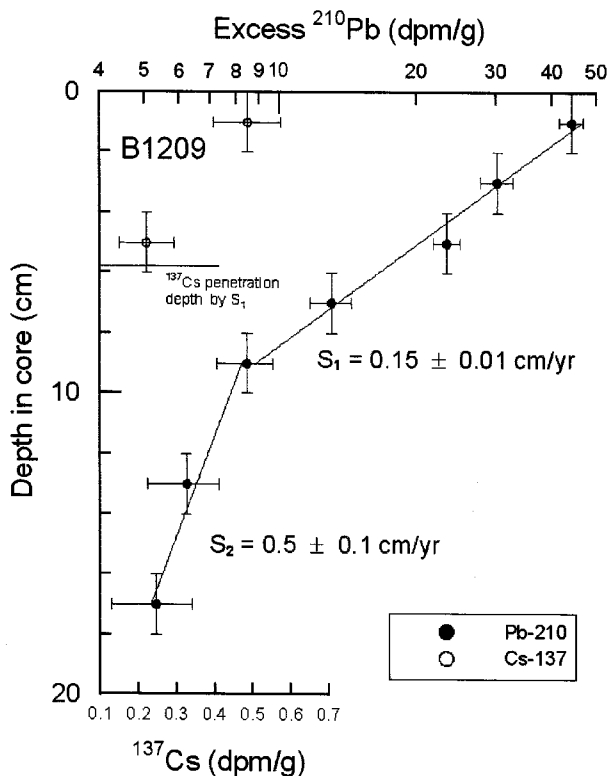


Fig. 6. Excess ²¹⁰Pb activity depth profile in core B1209. Hatched box and solid line represent measured and expected ¹³⁷Cs penetration depth, respectively.

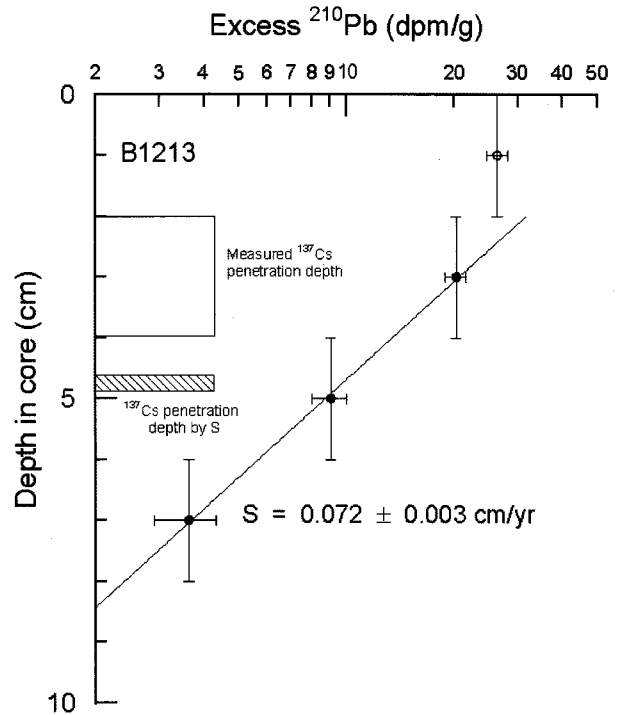


Fig. 7. Excess ²¹⁰Pb depth profile in core B1213. Hatched box represents depth that ¹³⁷Cs is detected but not quantified. Solid line is expected ¹³⁷Cs penetration depth which is calculated to use the sedimentation rate below surface mixed layer and summed surface mixed layer thickness (2 cm).

은 무시될 수 있다.

하부층의 퇴적속도 0.5 ± 0.1 cm/yr는 이 정점이 울릉분지의 대륙사면 끝부분에 위치하고 있다는 것을 고려하여도 매우 큰 퇴적속도이며, 이렇게 큰 퇴적속도는 혼탁류와 같은 다량의 퇴적물 공급작용으로 설명될 수 있을 것이다.

정점 B1213: 정점 B1213은 수심 1121 m에 위치하고 있으며, 일본에 근접한 대륙사면에 위치하고 있다. Fig. 7에서 보듯이 ²¹⁰Pb의 수직분포 상에서 표층 0-2 cm에서 퇴적물혼합작용을 관찰할 수 있다. 과잉 ²¹⁰Pb이 측정된 2-8 cm구간을 이용하여 추정된 걸보기 퇴적속도는 0.072 ± 0.003 cm/yr이며, ¹³⁷Cs의 예측되는 투과깊이는 5.8 ± 0.1 cm/yr이며, 측정된 ¹³⁷Cs의 투과깊이는 2-4 cm구간으로, 퇴적물의 혼합작용은 무시될 수 있다고 판단된다.

이 정점은 수심이나 한반도 대륙붕으로부터의 거리나 위치한 곳의 수심을 고려하였을 때 다른 정점들에 비해 높은 퇴적속도를 갖는다. 이것은 정점 B1213의 위치로 보아 한국 연안 대륙붕 이외의 곳에서 퇴적물을 공급되기 때문으로 판단된다.

퇴적속도의 시간에 따른 변화

정점 B1005과 B1209에서 ²¹⁰Pb의 수직분포를 보면, 상부층이 하부층보다 낮은 퇴적속도를 가진다. 그리고 B1108 과 BS-1에서도 불확실하지만 1개 이상의 경계를 가지며, 수직적으로 같은 농도를 가지는 수 cm 두께의 층이 나타난다. 이러한 현상은 1) 대륙사면에서 발생하는 혼탁류 등 퇴적물이 일시적으로 공급되었을

경우 발생할 수 있으며, 2) 낙동강 하구연의 건설에 의한 퇴적물 공급의 감소나 다른 인위적 환경요인 변화에 의해 퇴적물 공급에 변화가 생겨 퇴적속도가 변화되었을 수도 있으며, 또 3) 퇴적물 혼합작용과 같은 물리적 혼합작용의 정도가 어떤 시기를 기준으로 하여 변화되어 나타났을 가능성도 배제할 수 없다.

첫 번째 원인은 기존의 연구결과 울릉분지나 사면에서 자주 나타나는 것으로 보고되었다(Bahk *et al.* 2000). 대륙사면 하단에 위치한 정점 B1209 하부층의 경우 혼탁류의 영향을 받았을 가능성이 있으나, 울산 앞 대륙붕에 위치한 정점인 B1005는 대륙붕에 위치하고 있어 혼탁류가 발생했을 가능성은 매우 적다. 두 번째 원인인 퇴적물 공급량의 변화는 예상가능한 공급원의 변화인 낙동강 하구연의 건설(1983년 4월 착공 1987년 11월 준공)은 경계면이 25년으로 계산되어 최대 10년 이상의 차이를 가지는 것으로 나타났다. 마지막 원인으로 생각할 수 있는 생물활동의 변화에 대한 증거는 이 연구에서는 찾을 수 없다.

이 지역에 대한 퇴적환경 연구시 이러한 현상들을 설명하기 위해서는 세밀한 시료채취와 다양한 지질학적 자료를 획득할 필요하다.

퇴적속도의 수평적 분포

일반적으로 퇴적물 공급원으로부터 거리가 멀어질수록 퇴적속도는 작아지며, 대부분 퇴적물은 강에 의해 공급되므로, 연안이나 특히 강 하구에 가까울수록 높은 퇴적속도를 가지며, 연안에서 원안으로 갈수록 퇴적속도 값은 작아진다. 또한 일반적으로 연안에서 멀어질수록 수심이 깊어지므로 수심이 깊어짐에 따라 퇴적속도도 감소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 이 연구에서도 같은 결과를 보여준다. Fig. 8a는 정점 B1005로부터 각 정점까지의 거리와 퇴적속도와의 관계를 나타내었으며, Fig. 8b에는 수심과 퇴적속도의 관계를 타내었다. 일본연안의 대륙사면에 위치한 정점 B1213을 제외하고, 모든 정점이 가장 연안에 위치한 정점 B1005로부터 거리가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소하는 경향을 뚜렷이 보여준다. 또한 정점 B1005로부터의 거리와 퇴적속도와의 관계보다는 상관성이 적으나 수심이 깊어짐에 따라 퇴적속도가 감소하는 경향을 보인다. 이 결과를 볼 때 동해 남서부 대륙붕 해역으로 공급되는 퇴적물 중 많은 양이 동쪽으로 이동하여 대륙사면과 울릉분지 서쪽에 퇴적되는 것으로 판단된다. 또한 유 등(2004)은 울산과 포항사이의 대륙붕 정점에서 퇴적속도를 측정한 결과 울산에 가장 가까운 정점에서 0.44 cm/yr를 나타내며 북쪽으로 갈수록 감소하여, 0.18 cm/yr로 감소한다고 보고하였다. 그리고 탄성과 탐사자료 또한 울산앞에서 가장 두꺼운 퇴적층을 보이고 남과 북으로 갈수록 얇아지는 대상모양을 하고 있다고 보고하였다. 즉 이 지역의 경우 울산 앞 해역에서 거리가 북쪽으로 갈수록 퇴적속도가 작아지는 것을 알 수 있다.

이 지역의 퇴적물들은 어디에서 왔을까? 가장 먼저 생각해볼 수 있는 것은 울산을 가로지르는 태화강이다. Hong, *et al.*에 의하면 태화강은 1년에 8.5×10^9 g의 퇴적물을 바다로 유출한다. 해저 퇴적층의 습윤전밀도를 해수밀도 1.024 g/cm^3 이라고 가정하면 $8.5 \times 10^9 \text{ cm}^3$ 의 퇴적층만 만들 수 있는 양이며, 한반도 주변해역의 평균 입자밀도 2.65 g/cm^3 의 값을 적용하면, 최소값인 $3.2 \times 10^9 \text{ cm}^3$ 부피의 퇴적층을 만들 수 있다. 이 양을 정점 B1005의 퇴적속도 0.6 cm/yr로 나누어 주면 이 양은 단지 최대 1200 m²에서 최

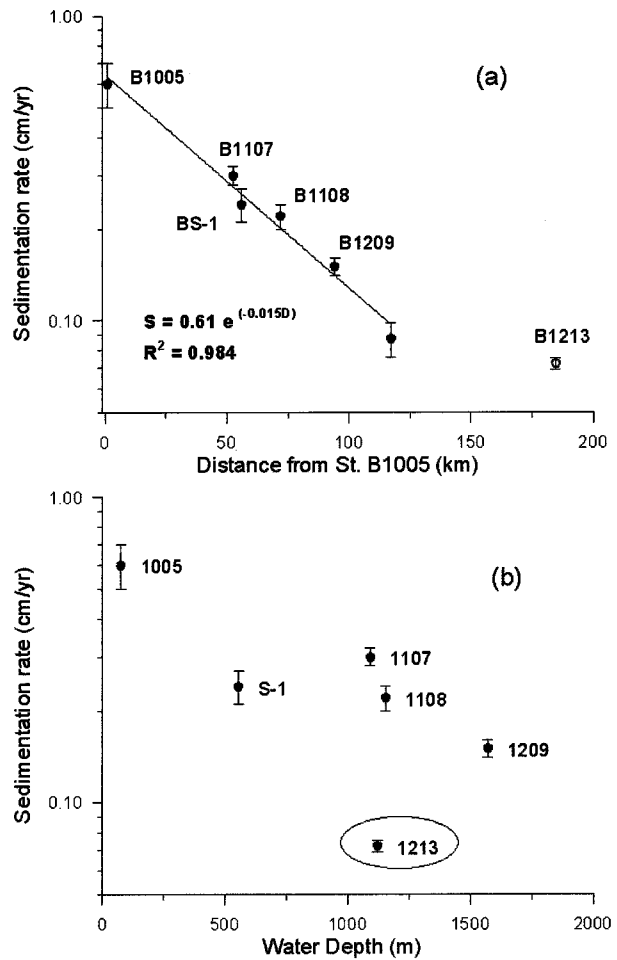


Fig. 8. Relationship with sedimentation rate and distance from St. B1005 (a) Relationship with sedimentation rate and water depth (b) has worse linearity than (a).

소 710 m²의 면적만 퇴적시킬 수 있는 양이다. 따라서 태화강은 이 지역의 퇴적물 공급원으로 역할이 미미할 것이다. 최진용과 박용안(1993)에 의하면 남해 동부연안과 이 지역 연안의 퇴적물은 점토/실트 비율이 매우 높으며, 이 지역의 점토들은 한국연안해류를 서해로부터 부유상태로 운반될 것이라 제안하였다. 유 등(2004)은 Hong *et al.*(1997)의 연구결과를 종합적으로 볼 때, 대한해협을 통해 이 지역으로 이동한 퇴적물의 많은 양이 한반도 남동해안 연안지역에 퇴적되고, 일부는 대륙사면과 울릉분지 남서쪽 일부에 퇴적되는 것으로 추정할 수 있다.

결론

추정된 퇴적속도는 대륙붕에서 가장 높고(0.6-1.1 cm/yr), 대륙사면을 거쳐 울릉분지로 갈수록 정점 B1005로부터 거리가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소하여, 대륙사면에서는 0.3-0.4 cm/yr 그리고 울릉분지에서는 0.2 cm/yr이하로 계산되었다. ¹³⁷Cs의 투과 깊이를 이용하여 퇴적속도에 대한 퇴적 후 퇴적물 혼합작용의 영향을 평가한 결과, 생물교란의 영향을 받았는지 판단하기 어려운 정점 BS-1을 제외하고 다른 정점들은 퇴적속도 추정에 대한 생물

교란의 영향이 미미하다고 판단되었으며, 따라서 추정된 퇴적속도는 이 지역의 퇴적속도를 잘 나타내고 있다고 결론지었다.

태화강의 퇴적물공급량이 매우 작고, 여러 연구자들의 연구결과들로부터 이 지역의 퇴적물들은 대한해협을 통해 쓰시마해류 등을 타고 이동한 퇴적물의 대부분은 이 한반도 남동해안 연안지역에 퇴적되고, 일부는 대륙사면과 울릉분지 남서쪽 일부에 퇴적되는 것으로 추정할 수 있다. 또한 정점 B1005와 B1209에서 퇴적속도의 변화가 관찰되는데, 이것은 이 지역의 퇴적과정이 매우 복잡할 가능성을 시사한다.

감마선 분석기를 이용하여 ^{210}Pb , ^{226}Ra 와 ^{137}Cs 을 동시에 측정함으로써, 각 층에 대하여 과잉 ^{210}Pb 방사능의 추정이 가능하였고, ^{137}Cs 를 이용한 퇴적물 혼합 영향을 파악함으로써 추정된 퇴적속도의 정확성에 대한 판단이 가능하였다. 그러나 보다 근본적으로는 같은 주상시료에서 짧은 반감기의 방사능 추적자(^7Be , ^{234}Th 등)들이 추가적으로 측정되어야만 이 지역에서의 퇴적물 혼합영향을 정확히 파악할 수 있을 것이며, 좀 더 세밀하고 다양한 지질학적 자료들을 얻어야만 이 지역의 퇴적과정을 현재보다 정확히 이해할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 윤정수, 정덕상, 1992. 제주도 주변해역 퇴적물의 특성 및 퇴적환경. 지질학회지, **28**: 342-365.
- 유동근, 김길영, 이호영, 서영교, 박수철, 김대철, 2004. 한국 남동해역 내대륙붕 세립퇴적물의 분포 및 퇴적작용. 한국수산학회지, **37**: 159-169.
- 최진용, 박영안, 1993. 한반도 대륙붕 퇴적물의 분포와 조직특성. 한국해양학회지, **28**: 259-271.
- Alexander, C.J., D.J. DeMaster and C.A. Nittrouer, 1991. Sediment accumulation in modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. *Mar. Geol.*, **98**: 51-72.
- Bakk, J.J., S.K. Chough and S.J. Han, 2000. Origins and paleoceanographic significance of laminated muds from the Ulleung Basin, East Sea(Sea of Japan). *Mar. Geol.*, **162**: 459-477.
- DeMaster, D.J., B.A. McKee, C.A. Nittrouer, Q. Jiangchu and C. Guodong, 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, **4**: 143-158.
- Hong, G.H., S.H. Kim, C.S. Chung, D.-J. Kang, D.-S. Shin, H.J. Lee, S.-J. Han, 1997. ^{210}Pb -derived sediment accumulation rates in the southwestern East Sea (Sea of Japan). *Geo-Mar. Letters*, **17**: 126-132.
- Kim, K.H. and W.C. Burnett, 1983. Gamma-ray spectrometric determination of uranium-series nuclides in marine phosphorites. *Anal. Chem.*, **55**: 1976-1980.
- Kim, K.H. and N.J. Park, 2003. Estimation of sedimentation and particle mixing rates in Ulleung Basin of the East Sea(Sea of Japan) using ^7Be , ^{234}Th , ^{210}Pb and ^{137}Cs . *J. Oceanol. Soc. Korea*, **38**: 157-165.
- Lee, H.J. and S.K. Chough, 1987. Technical Note - Bulk Density, Void Ratio, and Porosity Determined From Average Grain Density and Water Content : An Evaluation of Errors. *Mar. Geotech.* **7**: 62-63.
- Lee, K.W., D.S. Lee and S.H. Lee and E. Matsumoto, 1988. History of heavy metal pollution in Masan and Ulsan bay sediments. *Ocean Res.*, **10**: 7-13.
- Nittrouer, C.A., D.J. DeMaster, B.A. McKee, N.H. Cutshall and L.L. Larsen, 1983/84. The effect of sediment mixing on Pb-210 accumulation rates for the Washington continental shelf. *Mar. Geol.*, **54**: 201-221.

2006년 10월 12일 원고접수

2007년 10월 22일 수정본 채택

담당편집위원: 강동진