

방사성동위원소 추적자를 이용한 표사이동 추적실험 A Study on the Sediment Transport using Radioisotope Tracer

최병종* · 정성희* · 김종범* · 이종섭**

Byung-Jong Choi*, Sung-Hee Jung*, Jong-Bum Kim* and Jong-Sup Lee**

요 지 : 산업공정의 가동 중 효율 및 문제점 진단을 위한 방사성동위원소 추적자 이용기술과 기반장비의 연구결과를 바탕으로 연안에서 표사의 거동 추적실험을 수행하였다. 이를 위하여 원자로에서 중성자 조사를 통하여 방사화되는 소량의 iridium을 포함하는 표지모래를 사용하였다. 표지모래는 산화물 제조법으로 제조되었으며, 실험 현지의 자연사(2.65)와 유사한 비중(≈ 2.6)을 갖도록 하였다. 방사화된 표지모래를 운반하고 실험 현장에서 해저에 투입할 수 있도록 전용 용기와 투입된 표지모래로부터 방출되는 방사선을 검출하기 위한 계측장비를 제작하였다. 또한, GPS로부터 수신되는 위치신호와 해저의 계측장비로부터 전송되는 방사선 계측신호를 동시에 수신할 수 있는 데이터 수집장치와 컴퓨터 응용프로그램을 제작하였다. 표지모래의 시간에 따른 공간적 분포변화를 측정하기 위하여 각 투입지점에 대하여 3회씩 추적실험을 실시하였다. 실험 결과데이터는 방사선 계측의 실제 위치를 계산하여 반영하고 방사성추적자의 자연감쇄 효과를 보정한 후 분석에 활용되었다. 방사성 표지모래를 이용한 시범실험으로부터 방사성추적자 기술의 연안환경의 보존과 개발을 위한 중요한 역할의 가능성을 확인하였다.

핵심용어 : 방사성동위원소, 추적자, 표지모래, Iridium-192, 표사

Abstract : On the basis of the radiotracer technology and the related equipments which have been developed for its industrial application through the nuclear long-term research project, a radiotracer study on sediment transport was carried out as a part of the development of the radiotracer technology for a coastal environment. The crystalline material doped with iridium having a similar composition and specific gravity as those of the bedload sand collected from the research area was produced by the oxide-route method. A radioisotope container was specially designed to inject the radiotracer from 1 m above the sea bedload without radioactive contamination during the transport from the nuclear reactor at KAERI. The position data from the DGPS and the radiation measurement data were collected concurrently and stored by means of the application software programmed with the LabVIEW of the National Instrument. The position data was reprocessed to represent the real position of the radiation probe under water and not that of the DGPS antenna on board. The time dependency of the spatial distribution of the sediment was studied in the area through three tracking measurements after the iridium glass was injected. This trial application showed the potential of the radiotracer technology as an important role for maintaining and developing the coastal environment in the future.

Keywords : radioisotope, tracer, iridium glass, sediment

1. 서 론

방사선 및 방사성동위원소를 이용한 다양한 기술이 의료, 농업, 공업 등 현대의 거의 모든 산업분야에 폭넓게

활용되고 있다. 이 중에서도 방사성추적자 기술 및 방사선 응용계측기술의 공업적 이용은 정유, 화학, 철강, 시멘트, 제지 등 장치산업분야와 건설, 전자 등 대부분의 공업분야 뿐만 아니라, 환경평가 및 공해의 추적 등에도 활

*한국원자력연구소 동위원소이용연구부(Corresponding author: Byung-Jong Choi, Radioisotope Production & Application Team, KAERI, P.O. Box 105, Daejeon 305-600, Korea. ex-bjchoi@kaeri.re.kr)

**부경대학교 건설공학부(Department of Civil Engineering, Pukyong National University)

용될 수 있다(과학기술부, 2002).

방사성추적자를 이용한 표사이동(sediment transport) 실험은 1960년대 한국원자력연구소에서 동해안의 몇 개 항을 대상으로 실험한 예가 있다. 양경린·류영수(1967)는 당시의 건설부의 의뢰를 받아 Co-60을 사용하여 목포항 내에서 발생하는 항만매물의 방지 대책을 수립하기 위해서, 방사제 건설을 위한 표사의 공급원과 유입방향 등을 정확히 파악하기 위한 조사를 실시하였다. 그리고 양경린(1969)은 포항종합철강공장에 맞춰 건설되는 포항신항의 외곽시설인 방파제, 방사제 및 항입구의 배치계획에 기초자료가 되는 조사업무중 하나로 방사성추적자를 이용하여 표사의 공급원 및 이동방향을 조사하였다.

외국의 경우에는 선진국인 프랑스, 호주, 폴란드 캐나다 등에서 방사성추적자를 이용한 표사이동 실험이 매우 활발히 이루어지고 있으며 연안부근에 설치된 수중확산관에서 배출되는 오염물질 확산범위를 평가하는 데에도 방사성추적자를 이용한 실험이 수행된 예가 많이 있다. 또한 인도, 베트남, 태국, 등의 개발도상국에서도 방사성추적자를 이용한 표사이동에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. Cailot(1983)은 방사성추적자를 이용한 표사이동 실험에 이용되는 추적자 종류에 따른 물리적인 특징을 나열하였으며, 정량적인 분석방법에 대해서 논의한 바가 있다. Owczarczyk et al.(1989)은 수심 3m 이내의 쇄파대 내에서 해빈류에 의한 표사이동 특성을 파악하기 위하여 지름 12m가 되도록 12개의 계측기를 원형으로 설치하여 정성적인 이동방향을 파악하였으며 이동속도를 정량적으로 정확히 구하였다. 또한, Owczarczyk et al.(1998)은 방사성추적자로 Ir-192 glass를 사용하여 표사의 이동속도, 이동방향, 이동량을 정량적으로 평가하였다. 그리고 Pendharkar et al.(1994)은 Sc-46 glass를 사용하여 Calcutta Port 항로에서 준설한 준설토의 최적의 투기위치를 조사하기 위한 실험을 창조류와 낙조류에 따라서 표사이동 특성을 정량적으로 규명하였다.

연안표사의 이동경로를 Lagrangian 관점에서 파악하기 위하여 방사성추적자(radiotracer)를 사용하여 현장실험을 수행하였다. 추적자 실험을 수행하기 위한 대상해역은 동해에 위치한 나아해수욕장과 봉길리 해수욕장이며 실험 대상해역의 수심은 20m 이내이다. 추적자 기술을 이용하여 표사이동 실험을 할 경우, 퇴적역학은 추적물질의 이동을 관측함으로써 조사할 수 있다. 그러므로 추적물질은 동수역학적 효과에 따라 실제모래와 같은 거동을 해야만 한다(Cailot, 1983). 본 실험에서는 자연모래와 물리·화학

적으로 유사한 특성을 갖도록 표지모래를 제조하여 추적자로 사용하였다. 본 논문에서는 방사성추적자를 이용한 실험의 유용성과 개발된 장비의 현장 적용성을 검토하고, 실험을 통해 얻은 결과로 표사이동의 특성에 대해 논의하고자 한다.

2. 방사성동위원소 추적자 제조

연안에서 사용되는 대표적인 방사성추적자의 종류는 실험에 따라 Au-198($T_{1/2}=2.7d$, $\Gamma=0.4$, 0.68MeV), Ir-192($T_{1/2}=74.2d$, $\Gamma=0.3$, 0.4 MeV), Sc-46($T_{1/2}=83.8d$, $\Gamma=0.89$, 1.12 MeV) 등이 사용되는데, 입경이 2mm이하인 극조립사(very coarse sand)보다 작은 물질을 대상으로 하는 표사추적 실험에서는 Ir-192, Sc-46이 주로 사용된다. 그리고 해양에서 방류되는 오염물질 확산에 관한 실험일 경우에는 Au-198이 사용된다. 본 실험에서는 방사성동위원소의 특성감마에너지와 반감기를 고려하여 장시간 동안 좁은 해역에서 취급과 계속이 용이한 Ir을 방사성추적자로 선택하였다. 표사추적을 위하여 제조된 Ir 표지모래의 화학적 성분과 비율(wt%)은 $SiO_2(48)$, $Al_2O_3(19)$, $CaO(17)$, $MgO(6)$, $TiO_2(5)$, $Ir(0.3)$ 이다. 표지모래를 제조하는 방법은 건식방법인 oxide route와 습식방법인 sol-gel route의 두 가지 방법이 있는데, 본 실험에서는 Owczarczyk et al.(1989)에 의해 제안된 oxide route을 이용하였다. Fig. 1은 제작된 Ir-glass를 나타내고, Ir-192 glass의 성분비를 알아보기 위해 한국원자력연구소의 연구용원자로인 HANARO(중성자속: $2.95 \times 10^{13}/cm^2 \cdot sec$)에서 중성자 방사화 분석을 수행한 결과 0.24%의 무게비로 나타나 제조단계에서

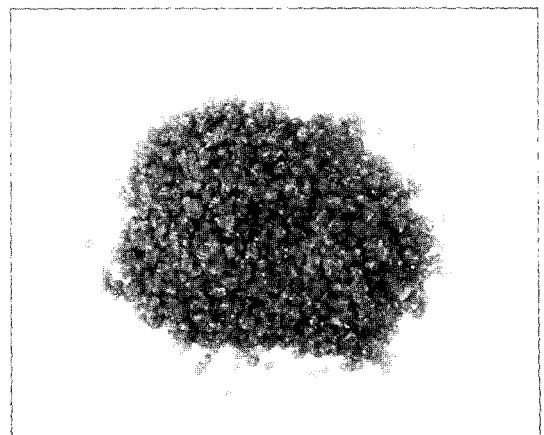


Fig. 1. Crushed Iridium-192 glass.

Table 1. Grain size distribution of the Ir-glass

	Grain size (mm)	Weight percent (%)	Weight (g)
Injection point 1,2	0.850~0.425	50	30
	0.425~0.250	30	18
	0.250~0.150	20	12
Injection point 3,4	0.250~0.335	60	30
	0.250~0.150	40	20

의 손실을 감안하면 당초 예상치와 큰 차이가 없음을 확인하였다. 또한 비중은 2.6으로 자연사(2.65)와 유사한 값을 보였다. Ir 표지모래는 매 실험에서 약 60 g씩 투입되었으며, 이때 방사능의 양은 약 0.5Ci였다. 추적자의 사용량과 입경분포를 Table 1에 요약하였다.

3. 방사성추적자 검출장비

방사성추적자를 이용한 표사추적 실험에는 방사선 검출기, 방사선 계수기 시스템, 위치정보를 얻기 위한 GPS 시스템, 데이터 저장과 실험진행을 위한 응용소프트웨어 등이 필수적이다. 방사선 검출기는 2×2 inch NaI(Tl) 섬광 검출기(Eberline)로서 감마선을 측정 가능한 전기적 신호로 바꾸어주는 섬광체(scintillator)와 광전자 증배관(PMT)으로 구성되어 있다. 방사선 검출장치는 표지모래의 거동추적을 위하여 해저에 놓인 채 견인되어야 하므로 전

원과 신호전달을 위한 접촉부위의 방수가 되도록 하였으며, 충격에도 견딜 수 있도록 특별히 설계된 방사선 검출기 고정장치(D: 10 cm, L: 50 cm) 내부에 설치되어 실험에 이용되었다(Fig. 2참조). 방사선 계측기는 방사선 검출부(detector)에 고전압을 공급함과 동시에 검출부로부터 나온 analogue pulse를 방사선 계수기가 인식할 수 있도록 TTL Pulse로 변환시키는 회로이고, 방사선계수기는 방사선 계측기에서 나온 TTL pulse를 각 채널 별로 계수하여 PC로 전송하는 기능을 하는 장치이다. 표사추적을 위하여 방사선계측과 계수에 사용된 시스템은 한국원자력연구소에서 방사성추적자 실험을 위하여 설계 및 제작된 것으로서 최소 counting time은 0.01초이다.

Fig. 3은 National Instrument사의 그래픽 언어인 LabVIEW를 사용하여 제작된 데이터 수집 및 위치 표시용 프로그램이다. 이 소프트웨어는 GPS에서 수신되는 경·위도 좌표와 방사선 계측시스템으로부터의 데이터를 통합하여 처리하고 매초마다 저장할 수 있으며, map 모드에서는 실험영역을 미리 설정하여 선박이 지나간 경로를 화면상에 나타냄으로써 실험의 정확도를 높일 수 있게 하였다.

4. 실험 방법

선박에 GPS, Notebook Computer, 방사선계수기 등의 장비를 설치하고 동축케이블에 연결된 검출기를 해저바다

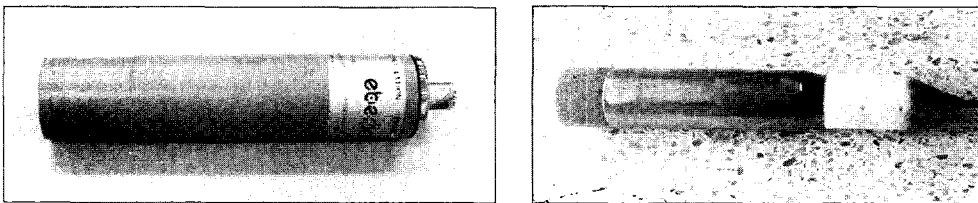


Fig. 2. NaI scintillation detector and detector housing.

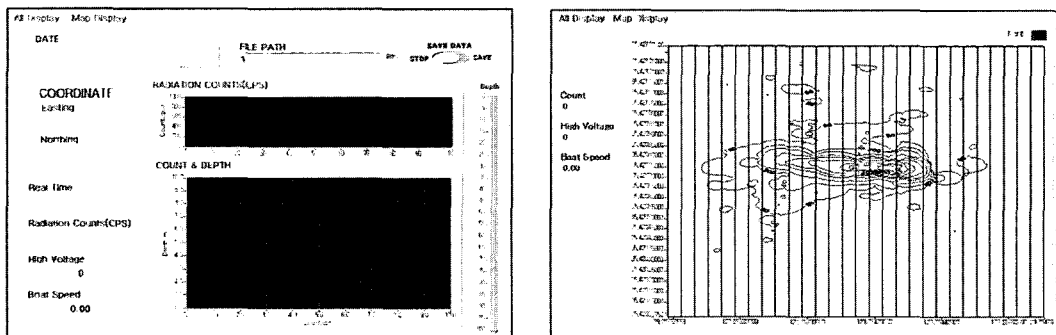


Fig. 3. Application software for data acquisition and displaying area.

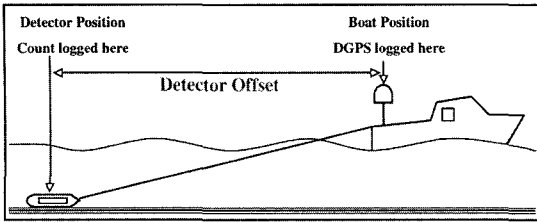


Fig. 4. Schematic of tracer tracking.

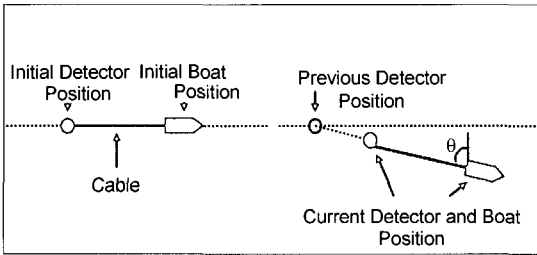


Fig. 5. Correction for boat and detector position.

에서 끌고 다니는 방법으로 해저에 있는 추적자의 공간 분포를 시간경과에 따라 계측한다(Fig. 4참조). Fig. 4와 같이 GPS 안테나를 통하여 수신된 경위도 좌표는 방사선검출기의 위치로 변환되어야 한다. 초기 위치는 선박과 검출기는 일직선상에 있다고 가정하면, 수신과 케이블 길이를 알기 때문에 삼각함수로서 선박과 검출기의 직선거리를 알 수가 있다. 초기 선박의 위치를 알고 케이블 길이를 알고 있으면, 최초 검출기의 위치를 계산할 수가 있다. 그러나 선박이 진행하면서 정해진 항로를 벗어나서 선박과 검출기가 이루는 각도는 180°가 되지 않는 경우가 발생한다(Fig. 5참조). 그런 경우에는 현재 선박의 위치와 이전의 검출기 위치를 이용하여 식 (1)의 방법으로 현재 검출기 위치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_{CD} &= E_{CB} - L_C \times \sin \theta \\ N_{CD} &= N_{CB} - L_C \times \cos \theta \end{aligned} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{E_{CB} - E_{PD}}{N_{CB} - N_{PD}} \right) \quad (1)$$

여기서, E_{CD} , N_{CD} 는 현재 검출기의 경위도 좌표, E_{CB} , N_{CB} 는 현재 선박의 경위도 좌표, E_{PD} , N_{PD} 는 이전 검출기의 경위도 좌표이고 L_C 는 Cable의 길이이다.

5. 실험 내용

5.1 추적자 투입

방사성추적자의 운반과 투입을 위하여 납으로 제작한 특수 용기를 Fig. 6에 나타내었다. 작은 유리병에 담긴 추

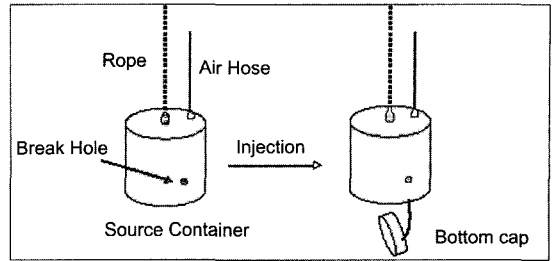


Fig. 6. Radioisotope tracer container and transport.

적자를 운반용기에 넣어 투입지점으로 옮겨 운반용기 측면에 있는 두 개의 구멍을 통해 유리병을 쥔 후, 용기의 상부에 고압용 호스를 연결하여 바다에 넣고, 해저바닥으로부터 약 1~2 m 높이에서 공기압을 가하면 바닥이 방출되는 방법으로 추적자를 실험대상 영역에 투입한다.

추적자 투입지점을 Fig. 7에 표시하였으며, 월성원자력 발전소를 중심으로 남쪽에는 나야해수욕장이 위치하고 있으며 북쪽으로는 봉길해수욕장이 위치하고 있다. 투입지점 1,2는 1차 실험으로 5~6월에, 투입지점 3,4는 2차 실험으로 10~11월에 실험을 수행하였다. 투입지점 1은 나야해수욕장의 북쪽에 위치해 있으며 수심은 약 10 m이고 추적 대상영역의 해저지형은 대부분이 모래지형으로 이루어져 있으나 곳곳에 암반이 산재하여 실험도중 장비의 손실과 고장이 발생하였다. 투입지점 2는 봉길해수욕장에서 약 500 m 남쪽에 위치해 있으며 수심은 15 m이고 추적 대상영역의 해저지형은 모래로 이루어져 있다. 투입지점 3은 봉길해수욕장 전면에 있는 대왕암에서 약 400 m 남쪽에 위치하고 수심은 14 m이며 해저질은 모래로 이루어져 있다. 투입지점 4는 나야해수욕장 남쪽 끝 지점이고 수심은 16 m이며, 투입지점을 중심으로 약 50 m이내를 제외한 대부분이 암반지형으로 이루어져 충격으로 인한 계측기의 잦은 고장과 분실로 계측데이터의 불량하여 결과분석에서 제외시켰다. 실험 대상해역의 파랑 특성으로는 해양수산부(1997)에 의한 장기파랑산출자료집에 의하면 동계에 주로 발생하는 파랑은 NE 파랑이 전체의 17.9%를 차지하고, NNE 파랑이 14.5%의 분포를 보인다. 또한 하계에는 SSW 파랑이 19.8%를 차지하고, S 파랑이 7.9%의 분포를 보이고 있다. 1차 실험기간 중에 주로 북동파랑이 내습하였으며, 나야해수욕장의 유의파고는 약 0.61 m이고 유의파주기는 6.77초이며, 봉길해수욕장의 유의파고는 약 0.586 m이고 유의파주기가 6.839초이다. 2차 실험기간 중에도 주로 북동파랑이 내습하였으며, 나야해수욕장의 유의파고는 0.692 m이고 유의파주기는 7.504

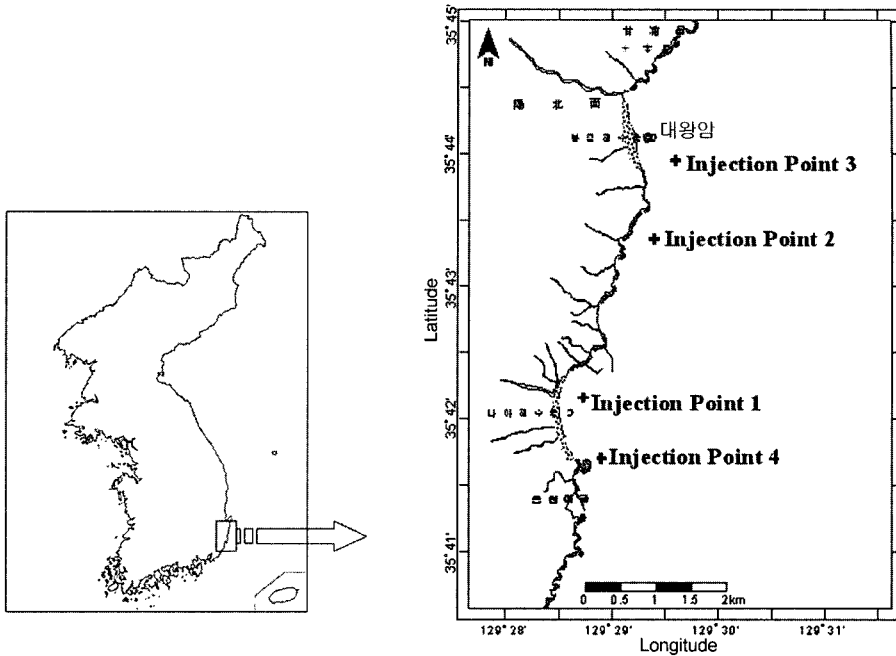


Fig. 7. Radiotracer injection point.

Table 2. Summary of the tracer injection and tracking

대상해역	투입위치	수심	Tracking (투입 후 경과일)		
			1st	2nd	3rd
Injection Point 1	Lat: 35°42'07.09"N Long: 129°28'42.82"E	10 m	7일 후	18일 후	32일 후
InjectionPoint 2	Lat: 35°43'21.09"N Long: 129°29'25.00"E	15 m	7일 후	18일 후	32일 후
Injection Point 3	Lat: 35°43'57.15"N Long: 129°29'33.56"E	14 m	16일 후	35일 후	데이터 불량
Injection Point 4	Lat: 35°41'43.68"N Long: 129°28'54.78"E	16 m	고장 및 계측장비 분실		데이터 불량

초이며, 봉길해수욕장의 유의파고는 0.518 m이고 유의파 주기가 8.692초이다. 본 실험 해역의 조석은 대조기의 조차가 20 cm 이내로 아주 작으며 일주조가 탁월하고 일조부등이 매우 두드러지게 나타나기 때문에 해저질의 주 이동 외력은 조류보다는 파랑의 작용에 의해 이동할 것으로 보인다. 추적실험은 각 지점마다 3회씩 실시하였으며, 추적자 실험에 관한 내용을 Table 2에 요약해 놓았다.

5.2 실험결과

5.2.1 Injection point 1

Fig. 8의 (a)~(c)는 투입지점 1에서의 시간변화에 따른 추적자 공간적분포를 등방사능량(iso-count counter)으로

도시하였으며, 그림에서 좌표계는 GPS에서 수신된 WGS 84좌표계를 TM좌표로 변환한 것이다.

첫 번째 계측실험은 추적자 투입 후 7일 만에 수행하였으며, Fig. 8의 (a)에 도시하였다. 추적자는 해안에 직각방향인 해안쪽으로 이동하고 있는 것을 알 수 있었으나, 좁은 분포영역으로 인해 최대 계측치를 얻지는 못하였다. 두 번째 계측실험은 추적자 투입 후 18일 만에 수행하였으며, 첫 번째 추적결과에 비해서 뚜렷한 이동은 없었다. 세 번째 계측실험은 추적자 투입 후 32일 만에 수행되었으며, 표시의 명확한 이동형태가 확인되고 있다. 추적자는 해안선 방향으로 이동하였고, 이는 추적자 투입지점 북쪽에 위치한 구조물에 의한 파랑의 회절에 의한 것으로 판단된다.

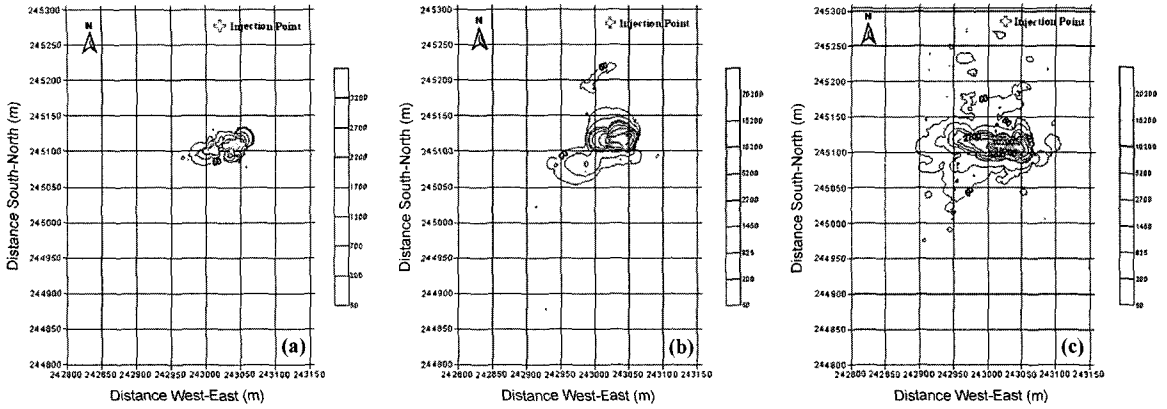


Fig. 8. The tracking result at injection point 1; (a) 1st (b) 2nd (c) 3rd tracking.

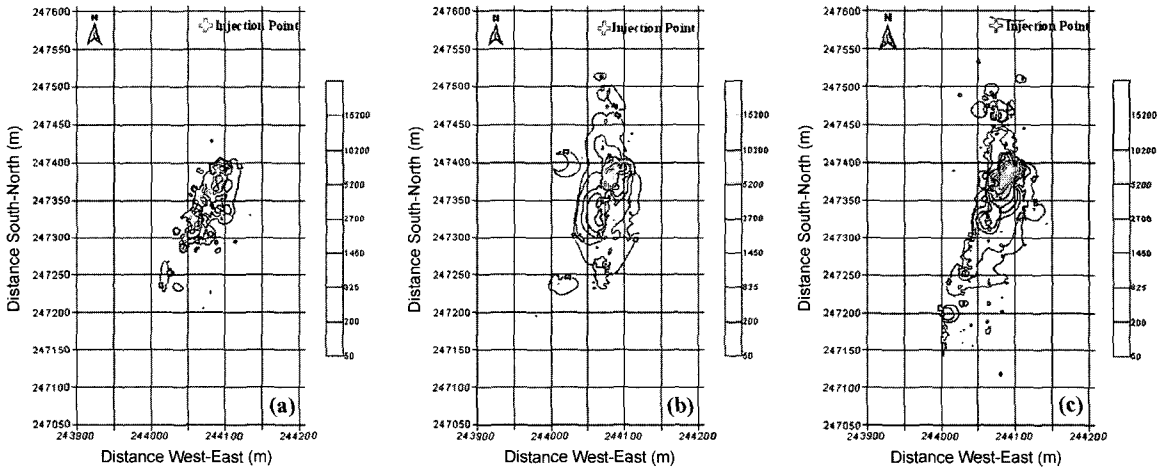


Fig. 9. The tracking result at injection point 2; (a) 1st (b) 2nd (c) 3rd tracking.

5.2.2. Injection point 2

Fig. 9의 (a)~(c)는 투입지점 2에서의 시간에 따른 추적자의 공간적분포를 보이고 있으며, 추적자 투입날짜와 실험 날짜는 투입지점 1에서의 동일하다. 추적자의 주 이동 방향은 남쪽이며 해안과 평행하게 확산되는 형태를 보이고 있다. 이는 실험기간 동안의 주파향인 북동파향을 따라 이동하고 있음을 보여준다.

5.2.3 Injection Point 3

Fig. 10의 (a)~(b)는 투입지점 3에서의 추적자 실험결과를 도시하였다. 첫 번째 계측실험은 추적자 투입 후 16일 만에 이루어졌다. 추적자는 남북방향으로 확산되었으며, 남쪽으로 탁월하게 이동한 1차 실험에서의 결과와는 다르게 남북으로 거의 비슷한 정도의 이동결과를 보였다. 추적자의 patch는 추적자 투입지점을 중심으로 남쪽과 북쪽에서 70~80 m 범위에서 계측되었다. 두 번째 실험은 추

적자 투입 후 35일 만에 수행되었다. 첫 번째 결과와 비교해 볼 때 이동양상에 뚜렷한 차이는 보이지 않으나 추적자의 patch가 좀 더 넓어진 것을 알 수 있다.

5.4 Transport Diagram

직각좌표계에 의한 동-서, 남-북의 축을 따라 방사능 계측데이터와 확산거리로 나타낸 그래프를 transport diagram이라 하고 각 diagram은 중력중심(C.G: center of gravity)으로 특성지어진다. 그리고 중력중심은 식 (2)에 의해 결정된다.

$$C.G = \frac{\int cxdx}{\int cdx} \tag{2}$$

여기서, c는 계측된 방사선수이고, x는 각 축에 대한 확산거리이다.

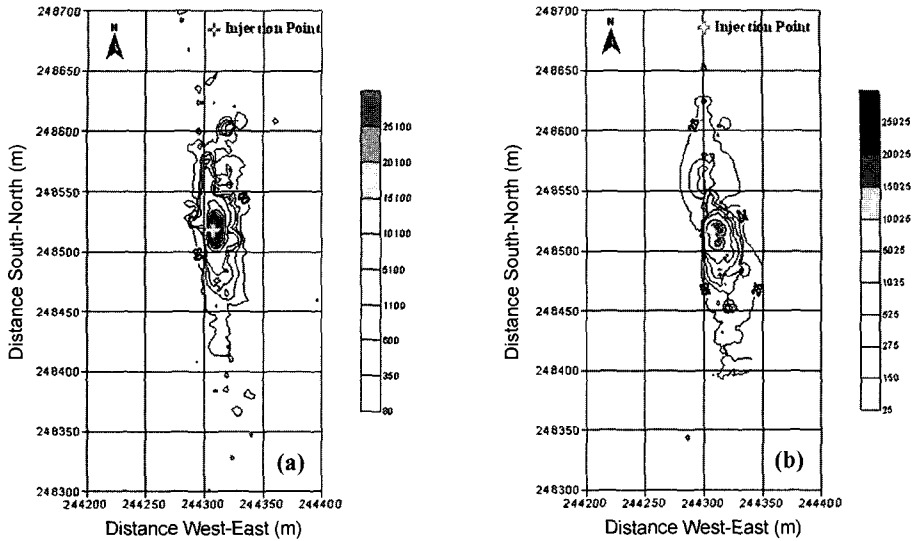


Fig. 10. The tracking result at injection point 3; (a) 1st, (b) 2nd tracking.

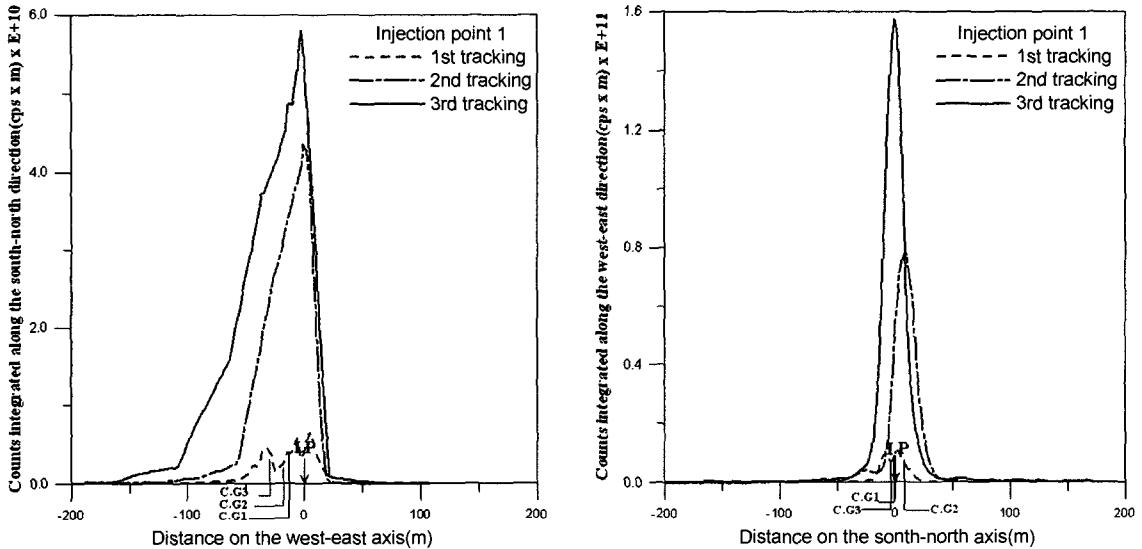


Fig. 11. Transport diagram at injection point 1.

Fig. 11~13는 각 투입지점에 대해서 세 번에 걸쳐 실험한 결과로부터 transport diagram에 중력중심을 도시한 그림이다. Fig. 11은 투입지점 1에서 시간에 따른 실험결과를 동서, 남북 방향에 대한 중력중심을 나타내었다. 동서방향에 대한 중력중심은 해안방향인 서쪽으로 이동하는 양상을 보이고 있으며, 남북방향에 대해서는 투입지점을 중심으로 두 번째 실험에서는 북쪽으로 이동하였다가 세 번째 실험결과에서는 남쪽으로 이동하였다. 평균이동거리와 방향은 진북을 기준으로 하여 시계방향으로 270° 방향으로 약 29 m 이동하였으며 평균이동속도는 0.9 m/day인

것으로 나타났다. Fig. 12은 투입지점 2에서의 결과이며, 두 번째까지 실험한 결과는 해안방향인 서쪽으로 이동하였으나 세 번째 실험결과는 외해쪽인 동쪽으로 약간 이동하였다. 또한 남북방향으로의 주 이동방향은 해안을 따라 남쪽하는 것을 볼 수 있었다. 이 지점에서 평균이동거리는 시계방향으로 200° 방향으로 약 27 m 이동하였으며 평균이동속도는 0.84 m/day로 나타났다. Fig. 13는 투입지점 3에서의 결과이고, 세 번째 실험에서는 데이터의 불량으로 인해 결과분석에서 제외시켰다. 여기서 중력중심은 동서방향에 대해서는 동쪽으로 이동하고 남북방향에

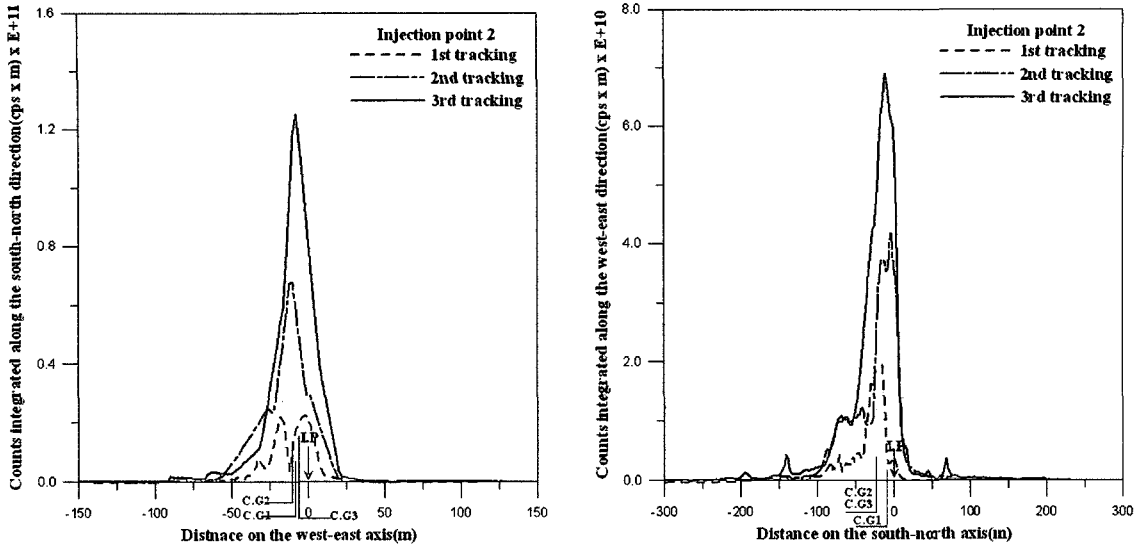


Fig. 12. Transport diagram at injection point 2.

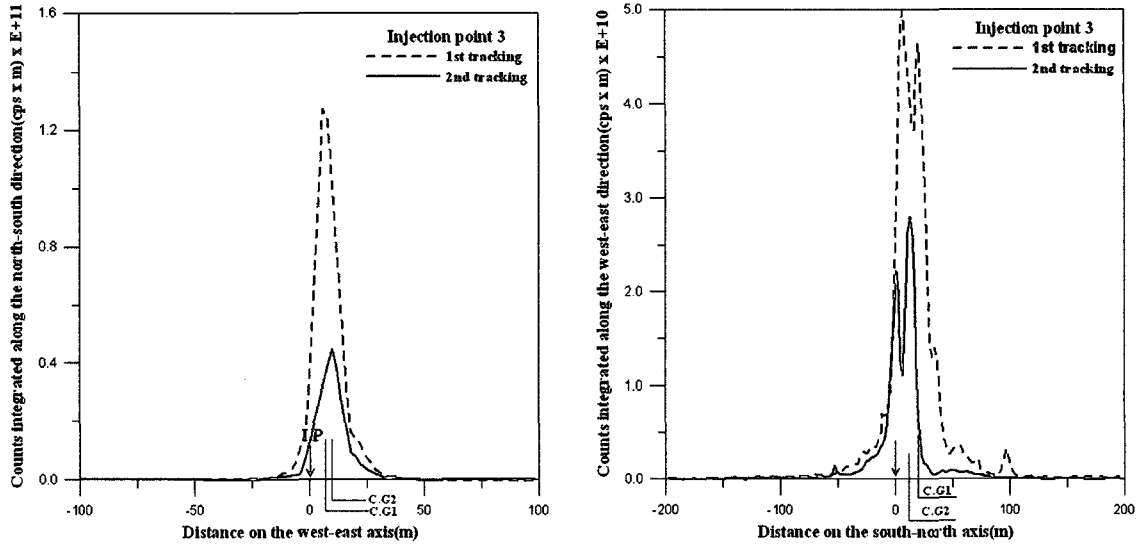


Fig. 13. Transport diagram at injection point 3.

대해서는 북쪽으로 이동하였다가 다시 약간 남쪽으로 이동하는 양상을 보였다.

6. 결 론

연안에서 표사의 거동을 추적하기 위하여 인공표지모래와 장비들을 개발하여 현장 적용 실험에 성공적으로 활용되었으며, 실험결과를 분석하기 위한 데이터 처리방법을 연구하였다. 표사이동을 파악하기 위하여 방사성동위

원소 추적자를 이용하여 동해안에 위치한 4개 지점을 선정하여 추적자 실험을 수행하였으며, 사용된 추적자는 Ir-192가 포함된 표지모래이다. 실험기간은 5~6월에 두 개의 투입지점, 10~11월에 두 개의 투입지점을 선정하여 각각 3회에 걸쳐 추적자의 시간에 따른 공간적 분포의 변화를 계속하였다. 해저지형의 대부분이 암반인 투입지점 4에서는 계측기의 충격으로 인한 고장 및 분실로 인한 데이터의 불량으로 결과분석을 할 수 없었으나, 투입지점 1, 2, 3에서는 성공적용 각 지점의 표사이동방향을 파악할 수

있었다. 투입지점 1에서는 구조물에 의한 파랑의 회절에 의해 추적자는 해안선 방향으로 이동하였으며 평균이동속도는 하루에 0.9 m 움직이는 것으로 나타났다. 투입지점 2와 3에서는 해안선에 평행하게 주 파향의 영향으로 인해 남쪽으로 이동하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다. 그리고 현장적용실험을 가능토록 도와주신 부경대학교에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- 과학기술부 (2002). 방사성추적자 이용기술 개발. KAERI/RR-2353/2002, 한국원자력연구소.
- 부경대학교 수산과학연구소 (2004). 월성원자력발전소 인근 해안 침·퇴적 영향조사 중간보고서.
- 진준하, 김종범, 정성희 (2002). 방사성추적자 실험용 방사선계측기 개발 기술보고서. KAERI/TR-2258/2002, 한국원자력연구소.
- 정성희, 진준하, 김종범, 최병중 (2002). 방사성동위원소 추적자 기술을 이용한 연안환경보전 기술현황분석 보고서. KAERI/AR-631/2002, 한국원자력연구소.
- 양경린 (1969). 방사성 동위원소를 이용한 영일만 해역표사 조사. 한국해양학회지, 4(1), 9-16.
- 양경린, 류영수 (1967). 코발트-60을 이용한 목호항 해역표사의 조사. KAERI-17, 한국원자력연구소, 654-663.
- 해양수산부 (1997). 장기파랑산출 자료집.
- Caillot, A. (1983). Bedload transport. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, IAEA, Vienna, 103-128.
- Owczarczyk, A., Pruszek, Z. and Wierchnicki, R. (1998). Bed-load movement processes in marine near-shore zone. Nukleonika 43(2), 195-202.
- Owczarczyk, A., Strzelecki, M., Szpilowski, S., Wierchnicki, R. and Basinski, S. (1989). New application of radioactive tracer method for the sediment movement measurements in the nearshore zone. Isotopenpraxis 25(8), 330-334.
- Pendharkar, A.S., Yelgaonkar, V.N., Pant, H.J., Saravana Kumar, U., Mendhekar, G.N. and Navada, S.V. (1994). Radiotracer Application in Bedload Transport - Case Studies at CALCUTTA PORT. International conference on application of radioisotopes and radiation in industrial development, India, Bombay, 287-299.

Received April 19, 2004

Accepted August 23, 2004