Journal of Radiation Industry 6 (1) : 41~47 (2012)

동위원소를 이용한 연안역 현장실험

김기철 · 박건형 · 이진용 · 정성희[1] · 민병일 · 서경석*

한국원자력연구원 원자력환경안전연구부
[1]한국원자력연구원 동위원소이용기술개발부

A Field Tracer Experiment by Using a Radioisotope near the Offshore

Ki Chul Kim, Geon Hyeong Park, Jin Yong Lee, Sung Hee Jung[1],
Byung Il Min and Kyung Suk Suh*

Nuclear Environment Safety Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea
[1]*Radioisotope Research and Development Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea*

Abstract - A field tracer experiment using a radioisotope was conducted to analyze the transport and dispersion characteristics of pollutants in the coastal area near a Wolsung. A rod float including GPS was released to track the paths of radioisotope. NaI detector was installed to measure the released radioisotope from the boat, and measurements were performed with the real time. The measured tracer data by a field experiment can be used as the basic data for understanding the transport characteristics of pollutants and verifying numerical models near the offshore.

Key words : Radioisotope, Field experiment, Pollutant transport

서 론

연안내 유입된 오염물질은 해역의 특성에 따라 이류나 확산의 영향을 받으며 내 · 외해로 확산되어 이동한다. 특히 방사성 물질의 경우 해수유동에 따른 이동 및 확산을 통해 희석되고, 부유사와 해저토 내로 침적, 해수 및 해양 동식물체를 통해 인체에 도달되어 방사선 영향을 주게 되므로 이에 대한 정확한 평가가 필요하다(산업자원부 2006). 이러한 측면에서 연안에서의 오염물질의 이동 · 확산 해석은 환경영향평가 측면에서 매우 중요하다(Ojo *et al.* 2006). 연안내 오염물질 유입에 관한 현장실험 연구는 Cooper 원자력발전소 하류부에서 추적자 실험과 (Sayre and Yeh 1970), 오스트레일리아 골드코스트 연안에서 Rhodamine을 이용한 확산 실험 (Mirfenderesk *et al.* 2007) 등이 있다. 동위원소를 추적자로 사용한 실험으로는 싱가폴 연안의 부유사의 확산 범위 예측에 관한 연구 (Davison 1990), Worli 연안에서 방류되는 하수의 확산범위 예측을 위하여 동위원소를 이용한 연구 (Yelgoankar *et al.* 1998), 필리핀 Manila Bay에서 ^{99m}Tc을 사용하여 오염물 이동경로 예측 연구 (Hughes *et al.* 2004) 등이 있다. 이러한 연구는 주로 연안역내 오염물 및 부유사 확산특성 해석을 위하여 추적자를 이용한 현장 실

* Corresponding author: Kyung Suk Suh, Tel. +82-42-868-4788, Fax. +82-42-868-8943, E-mail. kssuh@kaeri.re.kr

험이었다. 그러나 대부분 넓은 해역내 현장실험은 경제적 비용 등의 이유로 현장실험보다는 수치모델에 의존한 연구에 국한되어 있는 실정이다. 수치모델의 검증 및 현장 기초자료를 확보하기 위하여 본 연구에서는 실제 연안역에서 동위원소를 추적자로 사용한 현장실험을 실시하였으며 방출된 동위원소의 농도를 실시간으로 계측하여 동위원소 추적자의 농도 및 확산경로를 분석하였다.

동위원소 이용 현장실험 및 관측법

연안내 방류된 오염물의 이동 및 확산 특성을 파악하기 위하여 단 반감기 방사성동위원소를 이용한 현장실험을 2011년 6월 2일 경상북도 경주시 양남면 인근 연안에서 실시하였다. 적용실험 지역은 경상남도 경주시 양남면 수렴리와 진리 마을 사이의 연안에 위치해 있으며 북쪽으로 약 5 km 떨어진 지역에 방사성폐기물관리시설인 경주 방폐장 및 월성 원자력발전소가 위치해 있다. 실험 적용지역의 지리적 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 실험전 동위원소의 이동특성을 파악하기 위하여 수심, 유속 및 유향등의 기본 수리량을 음파 수심계 및 2차원 유속계 (Compact-EM)를 이용하여 측정하였다. 측정결과 해당 영역의 평균 수심은 약 17～18 m로 측정되었으며 평균 유속은 0.3～0.4 m sec^{-1}로, 평균 유향은 Fig. 1의 지형도에서 북쪽 방향의 유속 흐름이 관측되었다. 또한 정확한 실험 및 관측을 위하여 Fig. 2와 같이 육안으로 식별 가능한 천연염료를 이용한 사전 모의 실험을 2011년 5월 18일 실시하였다. 또한 염료의 확산 및 이동경로를 보다 정밀하게 관측하기 위하여 Fig. 3과 같이 GPS가 장착된 봉부자를 제작하였다. 제작한 GPS 봉부자는 염료의 방출과 동시에 동일 지점에 투입하였으며 선박을 이용하여 염료 및 GPS 봉부자를 이동을 관측하였다. 염료를 이용한 사전 모의실험 결과 염료와 봉부

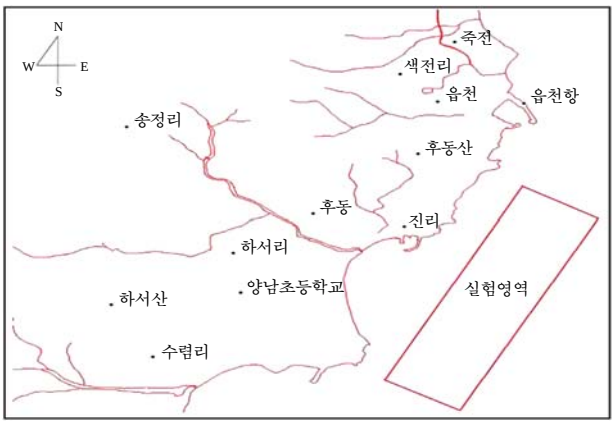

Fig. 1. Field experimental site.

Fig. 2. Release dye.

Fig. 3. Float rod and GPS.

Fig. 4. Released float rod and dye.

Fig. 5. Installed NaI detectors in a boat.

자는 동일 방향으로 이동하였으며 염료는 바닷물과 염료의 밀도차로 인하여 표면에서 약 50 cm 정도 가라앉은 상태에서 이동하였다. 또한 표층에서 이동하는 GPS 봉부자는 시간이 지남에 따라 해풍과 봉부자의 마찰로 인하여 염료와 봉부자 사이의 거리 차가 발생하였다. 발생된 거리차를 최소화하기 위하여 10분 간격으로 봉부자를 염료 주위에 투입하였으며 관측된 봉부자의 GPS 데이터와 선박의 선상에서 관측한 DGPS의 데이터를 비교분석하여 염료와 GPS 봉부자의 오차를 최소화 하였다. 투입된 염료와 GPS 봉부자의 사진을 Fig. 4에 나타내었다.

단반감기 동위원소를 이용한 추적자 실험을 2011년 6월 2일 오전에 수행하였다. 추적자로 사용된 방사성 동위원소는 ^{99m}Tc으로 비교적 짧은 반감기를 갖는 동위원소이다. 방출된 동위원소 추적자의 관측은 NaI 섬광검출기와 방사선 계수기를 이용하여 추적자의 농도를 계측하였다. 실험에 사용된 NaI 방사선 검출기는 방사선을 검출하는 센서로서 감마선을 측정 가능한 전기적 신호로 바꾸어 주는 장치로 외부는 aluminum, 내부는 섬광체와 PM tube로 구성되어 있으며 수중에서의 검출이 가능하도록 계측기 외부를 밀봉처리 하였다. 또한 방사선 검출기에서 보낸 신호를 받아서 방사선 수를 계수하는 시스템인 방사선 계수기는 방사선 검출부에 고전압을 공급함과 동시에 검출부로부터 나온 analog pulse를 방사선 계수기가 인식할 수 있도록 TTL pulse로 변환시켜 실시간 방사선량을 표시하는 장치이다(정성희 2004). 이 같은 계측장비를 이용하여 방출된 추적자의 수심별 계측을 위한 높이 조절 계측기 지지대를 설계 제작하였다. 제작된 계측기 지지대는 계측하고자 하는 수심에서 관측이 가능하도록 지지대를 연결하여 원하는 수심에서

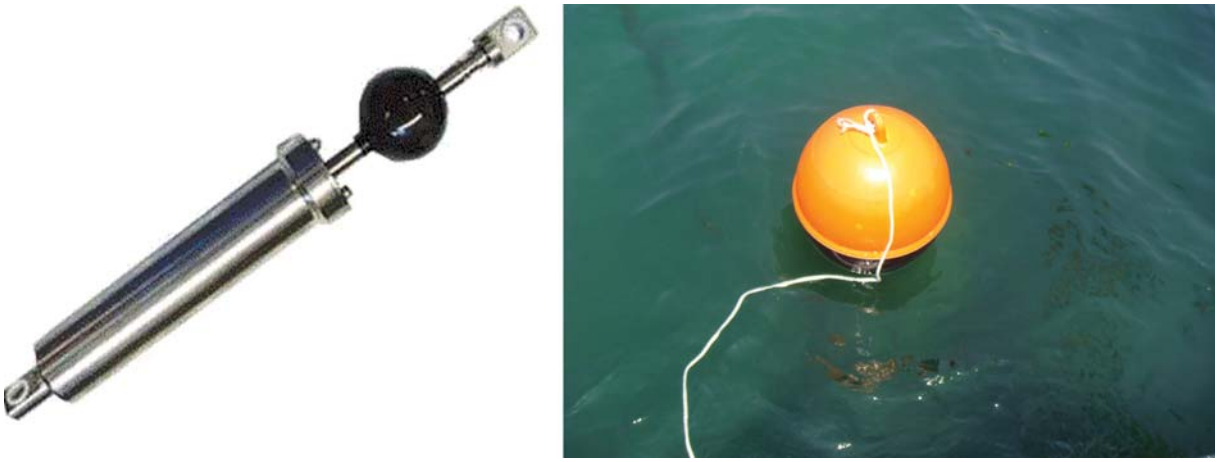

Fig. 6. Installed current meter.

Table 1. Specifications of Compact-EM

	Current speed	Current direction	Temperature
Sensor type	Electomagnetic	Hall element compass	Thermistor
Measuring range	0 ~ ±250 cm	0 ~ 360°	−5 ~ 45°C
Accuracy	±1 cm s^{-1}	±2°	±0.02°C
Resolution	0.01 cm s^{-1} or ±2%	0.01°	0.001°C

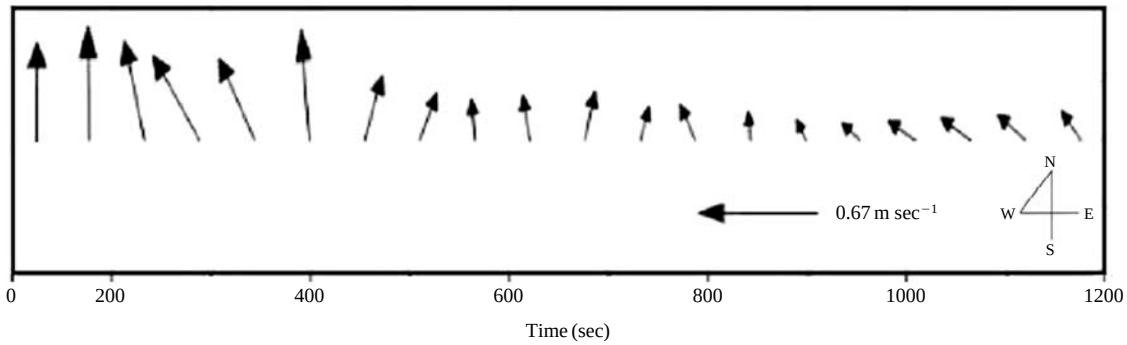

Fig. 7. Velocity profiles at injection point.

관측을 할 수 있도록 제작되었다. 또한 Fig. 5와 같이 NaI 검출기를 일정 간격으로 설치할 수 있도록 지지대에 검출기 연결고리를 설치하였으며 선박을 이용하여 이동하며 추적자를 계측해야하는 실험 특성에 따라 선박에 계측기를 고정 할 수 있도록 선박에 부착 용이한 선박용 고정 장치를 제작 하여 이동하는 선박에서도 추적자가 계측 가능하도록 제작하였다. 본 실험에서는 1개의 지지대에 3개의 NaI 검출기를 부착하여 수심별 0.5, 1, 1.5 m에 각각 계측기를 설치하였다. 제작된 검출기 사진 및 선박에 설치된 사진을 Fig. 5에 나타내었다.

동위원소 계측을 위한 계측장비는 선박마다 NaI 검출기를 수심별 3개, 방사선 계수기 1개를 1 set로 총 3척의 선박에 3 set를 설치하였다. 또한 동위원소의 추적자를 방출하기 위한 방출 선박에서는 일정 수심에서 동위원소 추적자를 방출하기 위한 추적자 주입기와 방출지점의 유속 및 유향의 측정을 위한 유속계를 설치하였다. 유속 및 유향 측정을 위하여 2차원 유속계인 Compact-EM을 Fig. 6과 같이 부자에 연결하여 정지 관측하였다. 관측결과 평균 유속은 0.3 ~ 0.4 m sec^{-1}로 관측되었으며 평균유향은 북쪽 및 북서쪽 방향의 유향이 관측되었다. 2차원 유속계 Compact-EM의 제원(Alec electronics 2007) 및 정지 관측한 유속분포를 Table 1 및 Fig. 7에 나타내

었다. 추적자 주입기를 이용한 동위원소의 방출은 표층에서 순간 방출하였으며 방출된 동위원소의 확산범위 및 경로를 파악하기 위하여 방출과 동시에 GPS 봉부자와 육안으로 식별이 용이하도록 붉은 깃발이 설치된 일반 봉부자를 동시에 투입하였다. 일반 봉부자는 해풍의 마찰로 인한 오차를 최소화 하기위하여 동위원소의 계측지점마다 연속적으로 투입하여 동위원소의 확산 및 이동경로를 표시하였으며 계측된 동위원소의 위치 및 선박의 이동경로의 관측을 위하여 정밀 DGPS를 각 선박마다 설치하여 관측지점 및 선박의 이동경로를 관측하였다.

결과 및 분석

연안내 오염물질 이동확산 경로를 해석하기 위하여 동위원소를 이용한 추적자 실험을 수행하였다. 또한 정확한 동위원소의 이동경로 및 확산 범위를 예측하기 위하여 유속, 유향, 수심을 각각 2차원 유속계 및 음파 수심계를 이용하여 관측하였다. 동위원소 실험 당일 유속 및 유향 관측결과 최저 유속 0.2 m s^{-1}, 최고 유속 0.67 m s^{-1}의 관측값을 나타내었으며 평균 유속은 0.33 m s^{-1}로 관측되었다. 또한 유향은 북쪽을 0° 기준으로 평균 방향 172.5°로 북동, 북서방향의 유향이 관측되었다. 방출된 동위원소는 방출된 지점에서 수심 1~1.5 m 사이에서 높은 농도값을 보였으며 이동경로는 유향관측 결과와 동일한 방향의 북동, 북서 방향으로 이동하였다. 동위원소의 계측은 3개의 선박에서 총 9개의 NaI 계측기를 이용하여 관측하였다. 선박의 계측 방법은 조류의 흐름을 따라 선박 1의 경우 동위원소 방출과 동시에 투입된 봉부자를 중심으로 선회하며 계측 하였으며 나머지 두 선박의 경우 봉부자의 이동 방향인 북쪽 방향을 기준으로 세로방향으로 반복하여 이동하며 계측하였다. 그러나 봉부자를 중심으로 선회하며 계측하였던 1번 선박을 제외

Table 2. Locations of the measured points and concentrations

Measured points	Latitude (N)	Longitude (W)	Measured time (hr)	Measured concentrations (Bq cm^{-3})		
				0.5 m	1 m	1.5 m
Injection point	35° 40′1.81″	129° 28′12.69″	–	–	–	–
1	35° 40′5.87″	129° 28′13.41″	10 : 40	4.488	6.75	3.028
2	35° 40′8.51″	129° 28′13.82″	10 : 45	6.731	17.263	20.232
3	35° 40′8.95″	129° 28′13.17″	10 : 46	8.212	14.163	16.799
4	35° 40′13.90″	129° 28′13.17″	10 : 50	2.470	4.573	4.029
5	35° 40′17.52″	129° 28′15.89″	10 : 52	1.479	2.99	3.156
6	35° 40′19.31″	129° 28′16.78″	10 : 55	1.119	2.18	1.809

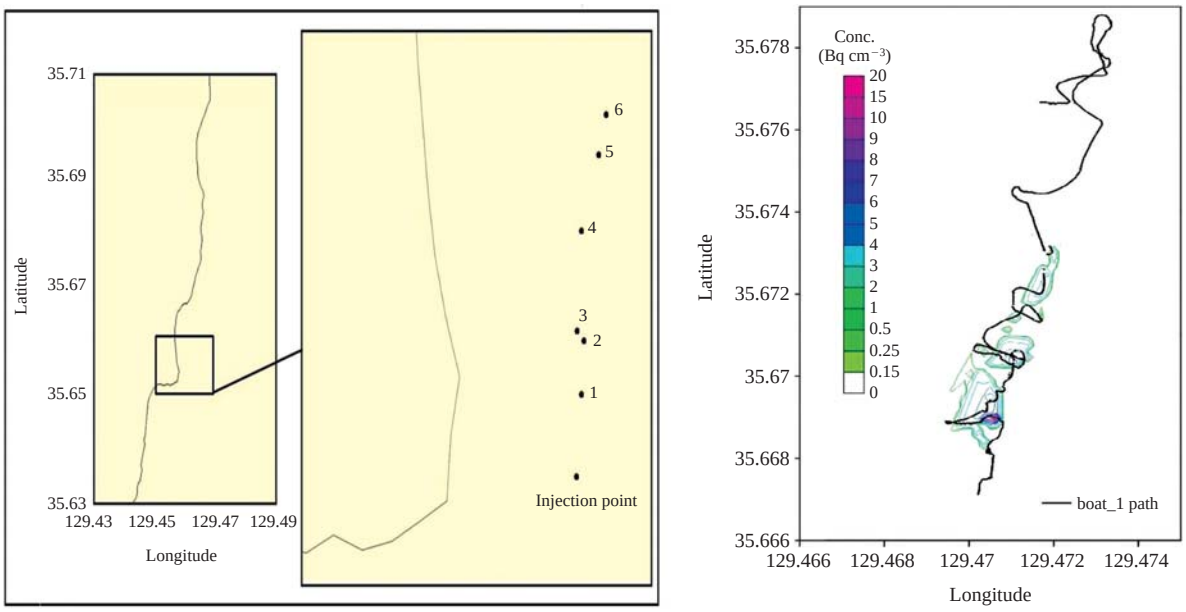

Fig. 8. Locations of the measured points and concentrations at boat_1.

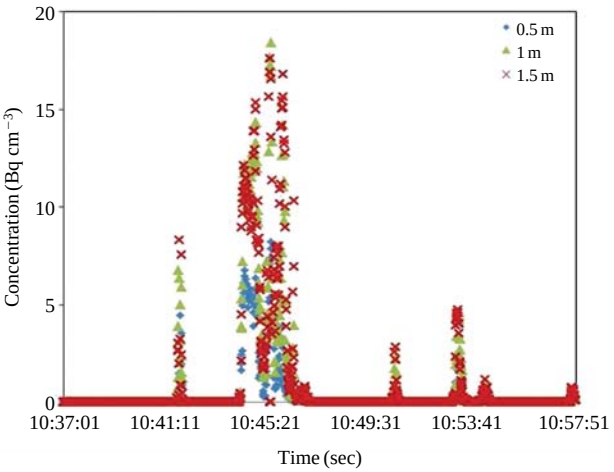

Fig. 9. Measured concentration profiles (boat_1).

한 나머지 두 선박은 동위원소가 거의 계측이 되지 않았다. 동위원소는 10시 37분에 방출하였고, 농도가 관측된 위치, 관측시간 및 농도값은 Table 2와 같이 총 6개 지점에서 관측되었으며 관측시간은 10시 37분～11시 47분까지 관측하였다. 관측된 농도는 지점 2, 3에서 약 15～20 Bq cm^{-3}로 가장 높은 농도값이 계측되었다. 나머지 지점 1, 4, 5, 6에서는 평균 2～5 Bq cm^{-3}의 비교적 낮은 농도값이 계측되었다. 수심별 관측된 동위원소의 농도값은 0.5 m보다 1, 1.5 m에서 높은 농도값이 관측되었으며 이는 추적자 방출시 방출 수심과 동일한 약 1 m에서 추적자가 종방향 확산의 영향보다는 이류의 영향으로 방출 깊이에서 크게 혼합되지 않고 이동함에 따라 나타난 결과로 판단된다. 또한 선박 1을 제외한 선박 2, 3에서 추적자가 관측되지 않은 이유 역시 횡방향 확산보다 이류의 영향으로 추적자가 횡방향으로 넓게 확산되지 않고 조류의 흐름에 따라 북쪽으로 이동하여 선박 1을 중심으로 양쪽에서 계측한 선박 2, 3에서는 계측되지 않은 것으로 판단된다. 이 같이 북쪽으로 추적자가 이동되는 현상은 2006년 산업자원부에서 동일 지역에서 수행한 유속 및 유향의 관측자료와 협역 해수유동 모델링 결과와 유사한 결과를 보이고 있다(산업자원부 2006). 관측지점의 좌표값과 관측된 지점의 위치를 Table 2, Fig. 8에 나타내었으며 boat_1에서 계측된 동위원소의 농도값을 Fig. 9에 나타내었다.

결 론

연안역내에서 오염물 유입에 따른 오염물질 이동확산 특성을 분석하기 위하여 동위원소를 이용한 추적자 실험을 수행하였으며 방출된 동위원소의 농도를 계측하기 위하여 선박에 NaI 계측기를 각각 수심 0.5, 1, 1.5 m에 설치하여 동위원소 농도를 관측하였다. 또한 무색의 동위원소 특성으로 인한 계측의 어려움을 해소하기 위하여 동위원소의 방출과 동시에 봉부자를 투입하여 봉부자 주변을 선회하며 동위원소의 농도를 측정하였다. 동위원소 계측결과 추적자는 북～북서 방향으로 이동하였으며 관측농도는 수심 1～1.5 m에서 14～20 Bq cm^{-3}의 높은 농도값이 관측되었으며 관측 수심 0.5 m에서는 1～8 Bq cm^{-3}의 농도값이 관측되었다. 그러나 횡방향 확산을 고려하여 선박 1을 중심으로 양쪽에서 계측한 선박 2, 3에서는 추적자의 농도값이 관측되지 않았다. 이는 실험해역의 특성이 종방향 및 횡방향 확산보다는 이류에 의한 지배적인 영향으로 조류를 따라 북～북서 방향으로 이동함에 따라 나타난 현상이라고 판단된다. 또한 추적자의 이동경로 예측을 위하여 투입된 봉부자는 추적자와 유사한 이동경로를 나타내었으나 시간이 지남에 따라 해풍과의 마찰로 인하여 거리차가 발생하여 봉부자를 추적자로 이용하여 이동경로 특성을 파악하기에는 부적절함을 알 수 있었다. 그러나 육안으로 식별이 어려운 동위원소 추적자의 단점을 보안하기 위한 방향성을 제시하는 부표로 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현장 실험을 통하여 방사성 동위원소의 확산경로 및 농도 값을 실측하였으며, 해양 오염물 확산 평가 실험에 있어서 동위원소의 추적자 이용에 대한 적합성을 판단할 수 있는 근거 자료를 확보할 수 있었다. 또한 이 같은 동위원소 농도자료는 해양내 오염물 유입에 따른 오염물 이동 특성 분석 연구에 있어 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부에서 주관하는 원자력연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

산업자원부. 2006. 원전 액체 방사성 유출물 해양확산 평가기술 개발.

정성희, 김종범. 2004. 방사성추적자를 이용한 표사이동 추적실험의 계측장비 개발 및 시범실험 기술보고서. KAERI/TR-2744/2004, 8pp. 한국원자력연구소.

Alec Electonics Co., LTD. 2007. EM-type current meter Opera-

tor's Manual.

Davison A, Thornton P and Kluss T. 1990. A radioisotope treacer investigation of the dilution and dispersion of sewage effluent discharged from the Malavar Waste Water Treatment Plant through the deep water diffuser system. Technical Report, ANSTO.

Du J, WU Y, Huang D and Zhang J. 2010. Use of ^{7}Be, ^{210}Pb and ^{137}Cs tracers to the transport of surface sediments of the Changjiang estuary, China. *J. of Marine Systems* **82**:286-294.

Hughes CE, Airey PL, Duran EB, Miller BM and Sombrito E. 2004. Using radiotracer techniques for coastal hydrodynamic model evaluation. *J. of Environmental Radioactivity* **76**:95-206.

Mirfenderesk H, Hughes L and Tomlinson R. 2007. Verification of a Three Dimensional Advection Dispersion Model Using Dye Release Experiment. *16th Australasian Fluid Mechanics Conference* **7**:233-240.

Ojo TO, Bonner JS and Cheryl P. 2006. Studies on turbulent diffusion process and evaluation of diffusivity values from hydrodynamic observation in Corpus Chrisyi Bay. *Continental Shelf Research* **26**:2629-2644.

Sayre W and Yeh T. 1973. Transcerse mixing characteristics of the Missouri River downstream from the Cooper nuclear station. IIHR Report. 145pp. Univ. of Iowa.

Yelgoankar VN, Pendharkar AS, Agashe SM, Kumar SM, Kulkarni UP, Mendhekar GN and Navada SV. 1998. Radiotracer study to investigate the dilution and dispersion of sewage off Worli coast. IAEA Conference literature. Rep No. conf-98027. pp. 346-349.

Manuscript Received: February 5, 2012
Revised: February 23, 2012
Revision Accepted: February 28, 2012