

## 방사성 동위원소를 이용한 영일만 해역표사의 조사

양 경 린

원자력연구소 · 보건물리학연구소

### THE DETERMINATION OF THE SAND DRIFT MOVEMENT USING RADIOACTIVE TRACER AT YOUNG IL BAY

*Kyung Rin Yang*

Div. of Health Physics Research, Atomic Energy Research Institute, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

The sand drift movement at Young Il Bay area was tentatively investigated using Co-60 glass sand.

Grain size and specific gravity of the glass sand which has originally contained natural cobalt, Co-59, was made similar to those of the real coastal sand, and was irradiated in a beam port of the reactor Triga Mark II to make the glass sand radioactive by the reaction of  $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$ .

The radioactive cobalt glass sand was deposited on the preselected point of sea bed, and, after a couple of weeks, the drift of sand was traced by means of specially designed water-proof G-M detector. Net counts at each point were plotted to figure out equicount lines and consequently such aspects as the direction of sand drift movement, the scope of distribution and the relative drift velocity etc. were indicated.

#### 서 론

금번 국내최대의 포항종합제철공장의 건립에 즈음하여 국내최대의 새로운 항만이 영일만내에 건설되고 있다. 항만의 건설의 외곽시설인 방파제 방사제 및 항입구의 배치계획에 기초자료가 되는 여러 조사업무중의 하나로 당 해역의 표사의 이동에 대한 조사가 실시되었다.

항만건설해역은 형산강과 냉천 사이의 해역으로써 이들 하천으로 부터의 유사가 표사이동에 미치는 영향도 아울러 조사되었으며, 표사의 공급원, 표사의 이동방향을 알기 위하여 광범위한 해역에 걸쳐 조사가 진행되었다. 표사는 해안을 따라 어떤 쪽을 갔은 해변에서 발생하는 저질의 이동현상을 말하며, 하천의 유사와 마찬가지로 유체에 의한 물질의 운반작용이지만 그 운반기구는

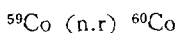
하천의 유사에 비하여 대단히 복잡하여서 그의 정확한 실태파악은 대단히 어려운 문제이다. 최근 이와 같은 조사에 방사성물질이 추적자로 사용되고 있으며, 종래 사용되던 간접적인 방법에 비하여 비교적 간단히 그리고 직접적으로 표사의 실태를 파악할 수 있음이 확인되고 있다. 금번 조사에서는 방사성 추적자로서 Co-60을 사용하였다.

#### 조사 방법

##### 1. 방사성 추적자의 제조

방사성 물질을 추적자로 사용하는 방법은 원자로의 국내가동으로 방사성 동위원소의 국내생산이 가능하게 됨으로써 실용화 될 것이다. 조사방법 및 사용하는 방사성추적자의 화학적, 물리적 성질은 조사해역의 해저물질, 조사목적 및 조사

시간에 따라 달라진다. 방사성 추적자의 종류는 대별하여 다음 세가지로 나눌 수가 있다. 조사해역의 해저물질 자체를 방사화하여 사용한다. 자연산 모래는 때때로 소량의 Scandium, Chromium 또는 Cobalt 등을 함유한다. 이와 같은 모래를 원자로에서 중성자를 조사시킴으로써 Sc-46, Cr-51, Co-60 등의 방사능을 갖게 한다. 이 경우에는 함유된 여러 원소가 동시에 방사화되어 어떤 단일핵종을 추적자로 쓰는 것이 아니어서 많은 불편이 있다. 조사해역의 해저물질과 근사한 인공물질을 방사화하여 사용한다. 즉 해저물질과 물리적 성질을 같이하는 인공물질을 만들어 이에 특정핵종 예를 들면 Zinc., Cobalt, Scandium 을 함유시켜 원자로에서 중성자를 조사시켜 Zn-65, Co-60, Sc-46 등의 단일핵종의 방사성 추적자를 얻어서 사용하는 경우로서 방사성 초자사가 많이 쓰이고 있다. 해저물질 표면에 방사성 동위원소를 흡착시켜 사용한다. 즉 원자로에서 생산된 방사성 동위원소를 단순한 물리적인 혼합이나 열분해등을 이용한 화학적 방법을 사용하여서 해저물질 표면에 흡착시켜서 사용하는 경우로써 Cr-51, Au-198 등의 방사성 핵종이 많이 쓰이고 있다. 이 경우에는 이들 방사성핵종의 해저물질 표면에서의 흡착도와 Leaching 등에 대한 주의깊은 검토가 있어야 한다. 추적자로 이용할 방사화사는 비중과 입경을 용이하게 현장의 표사와 갖게 조절할 수 있어야 한다. 그러기 위하여서는 초자사가 가장 적당하다. 금번 조사에서는 추적자로써 Co-60을 택하였으며 입경을 조절한 비중이 2.65~2.70, 중량비 약 3.0%의 Cobalt를 함유하는 Cobalt 초자사를 1 kg 단위로 polyethylene 주머니에 넣어 순도가 높은 Aluminium으로 만들어진 조사용기에 넣어 원자로 TRIGA MARK II, Beam Port No. 1에서 대략 25~50 mci/kg의 방사능을 갖도록 평균열중성자속  $3.0 \times 10^{11} \text{n/cm}^2/\text{sec}$ , 열출력 100 KW에서 약 40~70시간 조사 하였다. 이때 원자로에 넣어진 Cobalt-59는 다음과 같은 핵반응에 의하여 Cobalt-60 방사성 Cobalt로 된다.



이때 생성되는 방사능은 다음 식으로 계산된다.

$$A = Nf\sigma atm(1 - e^{-\lambda t_1}) \cdot e^{-\lambda t_2}$$

여기서 A; 조사종료후 시간  $t_2$ 에 있어서의 생성방사성핵종의 방사능 (붕괴율).

N; 표적원소의 원자수

f; 중성자선속밀도

$\sigma$ ; 원자핵방사화 단면적

$\lambda$ ; 생성 방사성핵종의 붕괴정수

$t_1$ ; 중성자의 조사시간

$t_2$ ; 조사종료후의 경과시간

조사된 방사성초자사는 조사종료후 약 50시간 원자로내에서 냉각시켜 Sodium-24, Aluminium-28 등 단수명 방사성핵종의 방사능을 감쇠, 제거시킨 후 Beam port에서 꺼내 약 1개월 내지 2개월간 Semi Hot Lab.에서 냉각한 후 현장으로 운반하여 사용하였다.

## 2. 방사성 초자사의 투입

방사성 초자사는 선정된 투입예정지점에 미리 넣어둔 1 m<sup>2</sup>의 철판상에 투입되었다. 투입기는 반구형의 초자부와 철제 원통으로 되어 있으며 초자부에 방사성 초자사를 넣고 원통부분에는 현장해저사를 넣는다. 투입기는 미리 넣어둔 철판의 중앙에 연결된 Rope를 따라 해저에 내려지고 약간의 충동을 가함으로써 초자부가 파열되어 방사성 초자사는 철판상에 방출된다. 이때 초자사가 투입점에 정확하게 또 좁은 범위에 방출되도록 조작용을 조심하여야 한다. 철판에 연결된 Rope에는 부표와 표지를 달아 후일 방사능 추적시에 정확한 투입점을 쉽게 찾을 수 있게 하였다.

## 3. 해저 방사능 검출기

해저 방사능 검출기로써는 Gamma선에 대한 계수효율이 좋은 NaI (TI) 결정을 사용한 Scintillation형 검출기가 G-M관식 검출기보다 성능이 우수하지만 Plateau가 없어 전압의 다소의 변동에도 계수율에 큰 변화를 주는 결점이 있어, 전원 설비가 불충분한 선상작업에서는 부적당하여 G-M관식 검출기를 사용 하였다. 검출감도를 높이기 위하여 얇은 금속으로 된 Wall Type G-M관 세개를 병렬로 연결하였으며 이들 G-M관으로

부터의 신호는 30 m 이상의 Cable로 수송되는 관 계상 검출기에서 나오는 신호의 출력을 전치증폭기로써 10~20 배로 증폭하였다. 사용한 G-M 관식 검출기의 Block diagram은 Fig 1과 같다. 이 검출부는 10m 내외의 해저에 계속 투입하여 사용하게 되므로 Brass 제대수구조 원통에 넣어서 사용하였다. 계수장치는 Nuclear Chicago Model 181 A Scaler를 Timer와 연결하여 사용하였으며

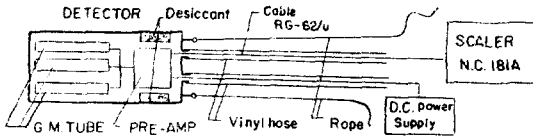


Fig 1. G. M. Detector.

전원으로는 선상에 설치된 5 KW 발전기를 사용하였다.

4. 방사성 초자사의 추적

방사성 초자사를 해저에 투입하기 전에 투입점

을 중심으로 방사성 초자사의 이동 및 확산이 예상되는 범위에 대한 자연 방사능을 측정하였다. 자연 방사능은 지각에서 오는것, 우주선에 의한것, 구성재료 자체에 의한것 등이다. 따라서 선상에서의 자연 방사능은 지각으로부터의 방사선이 해수로서 그 연성분이 차폐되므로 자연 방사능은 더욱 낮아진다. 검출기가 해저에 가까워지면 다시 지각으로부터의 방사선으로 인하여 자연 방사능은 다시 높아지게 된다. 측정결과 자연 방사능의 변화는 통계적인 변동내에 있음을 확인하였다. 해저에 투입된 방사성 초자사는 여러가지 요인으로 인하여 서서히 이동 확산하게 된다. 이 이동상황을 파악하기 위하여 G-M 관식 검출기를 사용하여서 방사성 초자사의 방사능을 측정하였다. 추적점의 수는 많은 차이가 있으며 이들이 이동하는 양상에 따라서 적은곳은 50~60 개소, 많이 이동한 곳은 150~200 개소에 달한다. 얻어진 계수치에서 자연 방사능을 뺀 정미계수치를

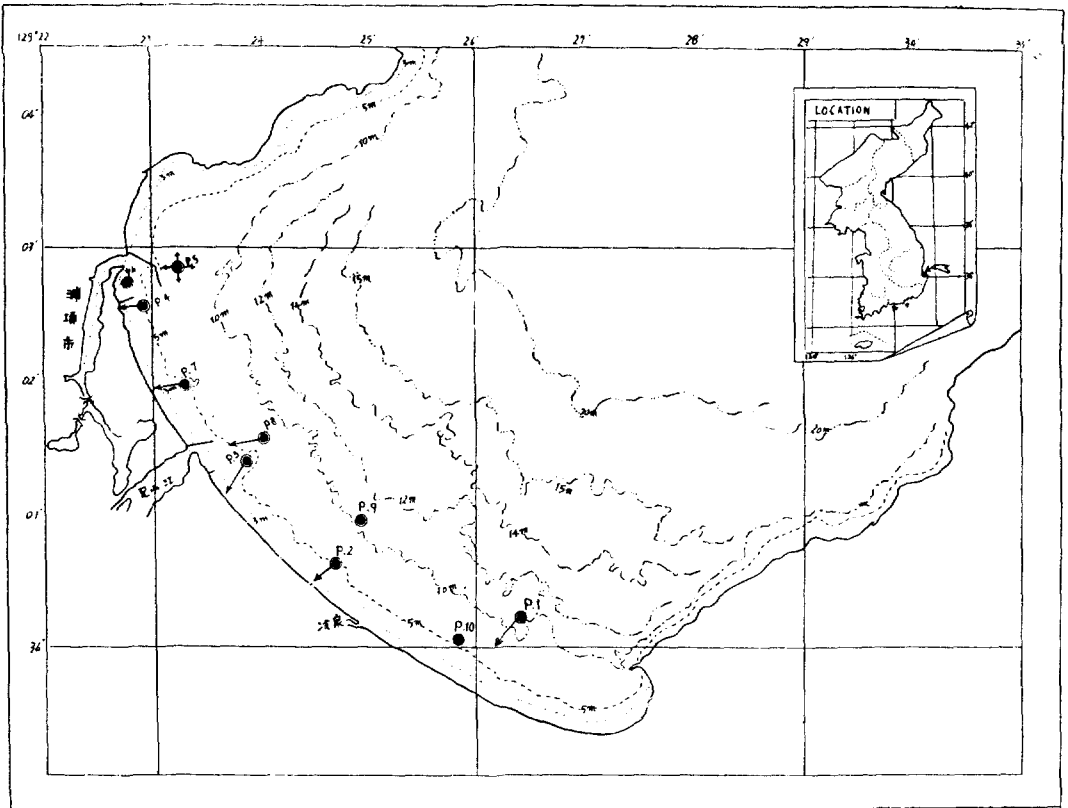


Fig. 2. 영일만의 수심도와 방사성 동위원소의 투입위치도.

가지고 등계수울선도를 작성하였다. 실제의 측정에서 고려 하여야할 문제는 방사성 조자사가 연속적으로 분포되어 있지않고 어떤 경우에는 약간 파문혀 있을 경우도 있게 된다. 또 검출기가 해저에 닿을 때 떠오른 방사성조자사가 균일하게 가라앉지 않은점, 검출기가 해저에 내려졌을때의 상태등에 따라 측정치는 반드시 좋은 재현상을 나타내지 않은 경우도 있다. 방사성 조자사의 추적작업에서 가장 중요한 작업의 하나는 추적점의 정확한 위치관측이다. 이번 조사에서는 전문 측량기사에 의촉하여 실시 하였다.

**결과 및 검토**

방사성 조자사의 추적 결과를 보면 대체적으로 해안선에 직각방향으로 확산되고 있다. 투입은 5월에 1차, 8월에 2차 투입하여 10개 지점 투입한 중 7개 지점만의 성과를 거두었다 (Fig. 2 참조). 투입 기간중 6월 29일 북풍 20.4 m/sec 가 최대풍이었고 일반적으로는 북동풍 2~5 m/sec 이며 온화한 날도 많이 계속되었다 (영일만 최대 풍향 풍속과 포항기상 증명 참조).

풍랑도 파향의 대개 북동쪽에서 진입하여왔고 파고는 최저 0.2 m, 최대 2.9 m 까지 있었다. 포항에서 파고관측 착수이래 (3년간) 4.6 m 가 최대파고였다 (파랑관측자료 참조). 조차는 조석자료에서 년평균 수변의 교차는 0.35 m, 조석단기 조화분해성에서 0.3 m의 조차와 주기를 약 60 분을 가진 부진동과 특수할때 해일까지 가산하면 그 차는 최대 0.5 m~0.6 m 까지 볼수 있다. 이상과 같이 극소한 조차임으로 조류도 0.2 m/sec 에 불과하다. 그러나 풍속에 의한 취송류가 풍속이 20 m/sec 일때면 약 0.5 m 임으로 조류까지 가중될때는 약 1 m/sec 즉 2 knot/h 의 유속으로 발생된다 (조류관측 성과자료 참조).

해류병, 해초, 죽간부자등에 의하여 관측된 성과나 자기유속계에 의한 성과가 대략 일치되며 유향방향은 대부분이 해안선에 직각 방향이고, 영일만 북측에서는 시계바늘과 반대, 남측, 서측에서는 시계방향으로 유동되며, 중앙부분 하층으로 방류되어 해중으로 사라진다. 던육 복잡한 것은 형산강에서 유출되는 담수의 분포는 유향과 달리

반대방향으로 유출됨으로 방사성 동위원소 7개 지점중 Position 3만이 역류하는 것이 확산되면서 해안선 쪽으로 향하고 있다.

투입점 별로 분석하면 다음과 같다.

**투입점 1**

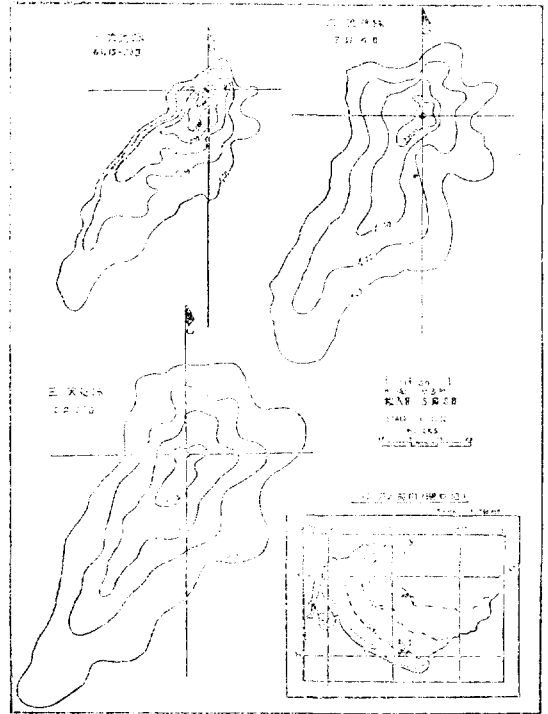


Fig. 3. 투입점 1의 위치와 방사성 동위원소의 추적결과.

이 지점은 해안선에서 약 1 km 떨어진 곳인데 해저 저질은 빨 및 모래로 되어 입도도 0.42 mm 미만이 98%를 점유하고 있는 세사이다. 부근 저질은 북동측에는 큰 암반이 놓여있고 북동측으로 2 km 쯤 가면 자갈로 광범위하게 산재되어 있다. 남서측 약 200 mm 지점에 암석이 수중에 노출되어 있다. 이것으로 보아 지반이 대부분 암반인데 상부에 살짝 덮여있는 세사상에 투입되었다.

육지안선측엔 냉천이 있어 홍수기에는 상당한 유사가 해중에 유입 될 것으로 생각된다. 냉천은 갈수기라 할지라도 상류에 저습지가 있으므로 항상 0.2 m³/sec 정도 유수량이 해중에 유입되고 있다.

수심측정 성과로 분석하면

1968년 주식회사 해양측량사 측정; 9.3 m

1963년 대한민국 수로국 측정; 9.0 m

1930년 일본 수로부 측정; 8.5 m

이상 3개 수심측량 성과로 분석하면 38년간에 0.8m의 표사가 퇴적되었다고 볼수 있는 지점이다. 또 해류병 습득통계로 보아서는 만구에 약 50% 정도가 냉천으로 나머지 50%가 형산강 부근으로 흘러왔다. 즉 취송류의 집중대안 부근이라는 것이 또 특색이다. 부표 추적에 의하면 연안류의 곡선지점 부근에 해당된다. 비중관측에 의한 담수의 분포를 보면 이 지점 직전까지 담수의 영향을 받고 있다. 방사성 조자사의 1차, 2차, 3차에 걸친 추적 결과 얻어진 등계수울선을 분석하면 상기 조건을 충분히 설명하고 있다. 단, 기상과 해상의 큰 변화가 없을 시기의 추적 결과인 관계로 등계수울선이 단편적인 대파에 의한 표사이동을 나타내고 있다.

투입점 2.

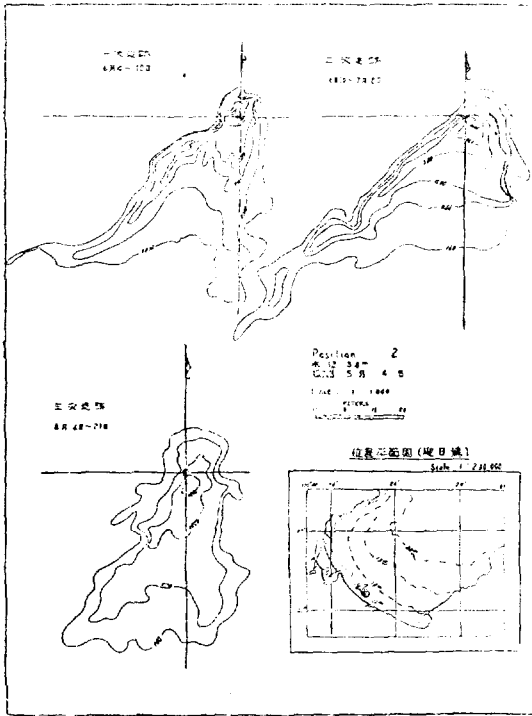


Fig. 4. 투입점 2의 위치와 방사성 동위원소의 추적결과.

이 지점은 수심이 5.8m 되는 곳이며 해안선에서 약 600m 떨어져 있으며 형산강과 냉천의 중간 지점에 위치한다. 이 지점의 수심측량 결과

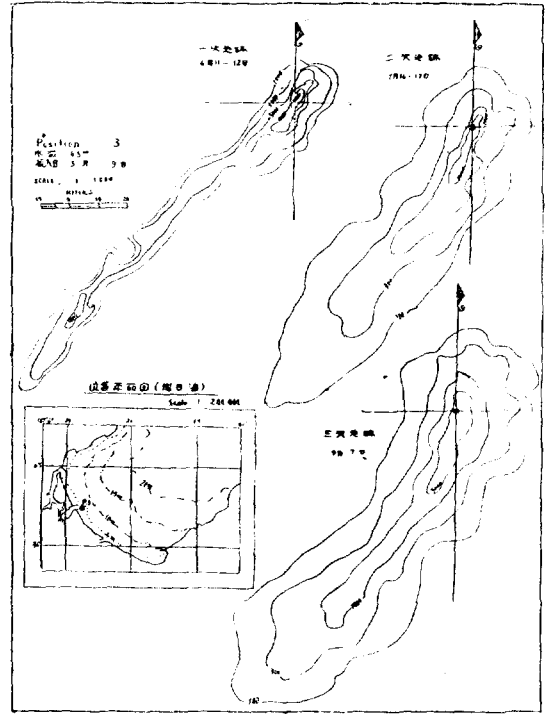


Fig. 5. 투입점 3의 위치와 방사성 동위원소의 추적결과.

에 의하면 쇄파지대로 항상 일정한 수심을 유지하지 못하는 곳이다. 저질은 세사지대임으로 방사성 조자사의 1차 추적 등계수울선은 쇄파로 인하여 등계수울선에 굴곡이 심하며 대안에 접근하자 반파작용에 의하여 2개방향으로 분리되어 확산되고 있다. 2차추적 등계수울선은 강한 북방에서 오는 파랑대 의하여 방사성 조자사는 육안측으로 다 사라지고 일정한 파의 방향만이 뚜렷이 남아있다. 3차는 쇄파로 일정한 방향을 오래 유지 못하고 1, 2차의 형태를 깨끗이 소거하고 새로운 형태로 확산하고 있다. 이는 극히 표사이동이 파력의 강약에 따라 조리없이 이동함을 설명하고 있다.

투입점 3.

형산강 하류 남측도류제 선단에 투입하였다. 이는 형산강에서 유입되는 유사동향을 탐지 할 목적이었으나 관측 시기에 홍수가 없음이 유감이었다. 제 1차추적 결과로 볼때 형산강 부근은 표사가 적은 범위로 이동을 하는것이 아니라 표사

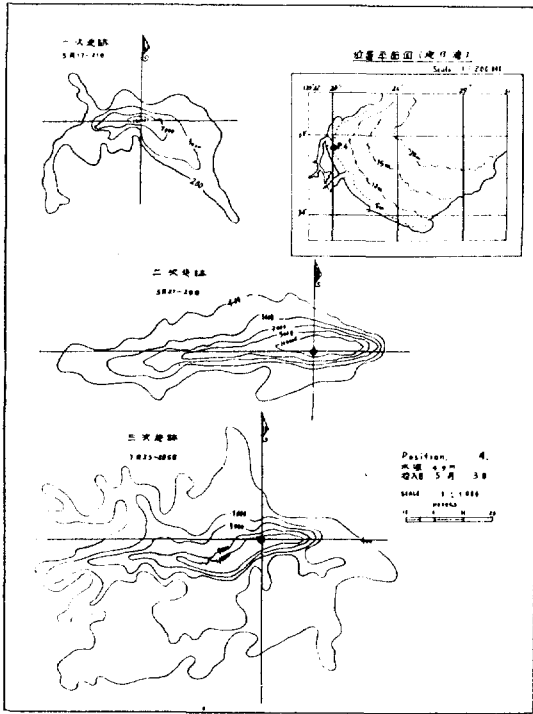


Fig. 6. 투입점 4의 위치와 방사성 동위원소의 추적결과.

너머리로 100여 m씩 이동하고 있음을 설명 할 수 있다. 1차, 2차, 3차에 걸친 추적 결과를 보면 계수율은 특별히 급격하게 감소하고 있다. 방사성 초자사가 표사에 덮쳐 깊숙히 뒤집혀 지는 현상이 일어나고 있다고 생각된다. 즉 표사가 수평운동을 하면서도 상층을 하층으로 뒤집어 혼합되어 몽태기로 이동하고 있다. 이 지점의 수심측량 결과를 보면 다음과 같다.

1968년 측량; 수심 6.5 m

1963년 측량; 수심 2.5 m

1930년 측량; 수심 9.0 m

즉 이 지점은 사층에 변화가 극심한 곳이다. 사질 입자는 다른 장소에 비하여 굵은 편이며, 형산강에서 내려오는 막대한 유사에 대한 지속적인 연구가 필요함을 말해 주고 있다.

투입점 4.

이 지점은 포항 항 입구이다. 그러므로 조류와 부진동에 의한 유속이 현저하다. 제 1차 추적 결과를 분석하면 연안류가 강세를 보이고 조류와

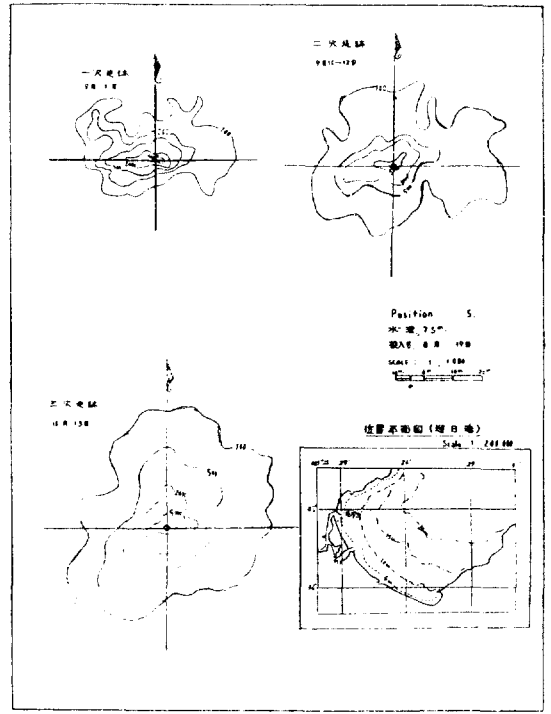


Fig. 7. 투입점 5의 위치와 방사성 동위원소의 추적결과.

충돌하여 파랑에 영향을 준다. 이 지점은 매년 준설하는 곳인데 모든 표사가 이 지점에서 퇴적될 요소를 충분히 확인 할 수 있다. 제 2차 추적에서 연안류보다 파력이 우세하여 해안측으로 밀어 부치면서도 연안류의 영향을 받고 있는 것이 보인다. 제 3차 추적은 완전히 갈기 갈기 찢어져서 분산되면서도 퇴적할수있는 요소를 보유하고 있다. 이곳에 방사계를 축조한 후 연안류에 의한 표사는 많이 방지 되었으나 주류와 부진동에 의한 표사는 아직 남아있다.

투입점 5.

이 지점은 포항 항 방파제 북동측에 투입하였다. 이는 반사파 작용으로 확산도가 적으며 2차, 3차에도 약간의 확산 뿐이다. 연안류의 영향을 받아 북상하는 연안류 방향으로 방사성 초자사가 따라서 움직이고 있다. 해저 유속치와 방사성 초자사가 이동하는 것이 대개 같은 방향으로 움직이고 있다.

투입점 7.

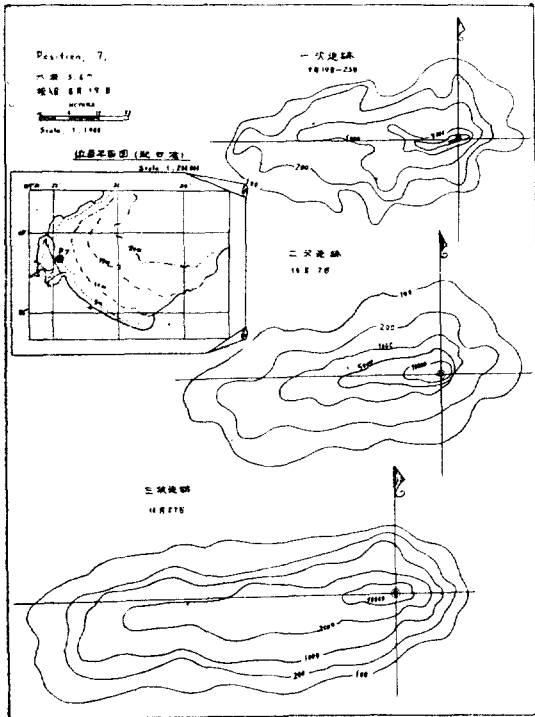


Fig. 8. 투입점 7의 위치와 방사성 동위원소의 추적결과.

이 지점은 해수욕장 부근이다. 추적 결과 얻어진 등계수열선의 분석으로는 1차 추적 결과는 단순히 파만이 작용되어 해안선 쪽으로 밀려가고 있다. 이는 남측에 형산강 방사체와 포항 항 방사체 사이에 있으므로 해안류에 영향도 별로 받지 않는다. 2차, 3차에는 강파에 의하여 해안 쪽으로 확산되었다. 즉 해안으로 밀어부치고 있다. 수심 측량 결과에 의하면 해안선에서 해변 쪽으로 표사가 퇴적되고 있다. 수심도 약 1m~2m가 알아졌다.

투입점 8.

형산강 하류 지점에 투입하였다. 제 1차 추적 결과를 분석하면 형산강 하류의 홍수시 과류권내에 들어 있으면서 파를 받으며 확산하면서 이동하고 있다. 2차, 3차 추적 결과는 단순히 파에 의하여 형산강 남측에 표사가 퇴적되고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 관측결과는 당해역의 기상 및 해상과 면밀한 물리적인 해석을 거침으로서 항만이

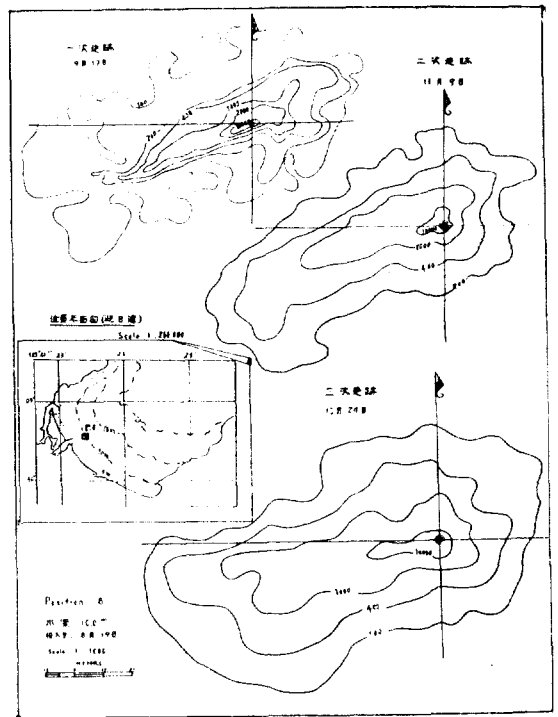


Fig. 9. 투입점 8과 방사성 동위원소의 추적결과.

건설된 후 항내로의 표사의 유입을 최소한으로 주될수 있는 방향으로 방파제 방사체 항입구의 설정등 항만 외곽시설의 설계에 검토를 가하게 되는 것이다.

후 기

본 조사는 건설부로부터 위촉받아 원자력연구소에서 1968년에 실시하였으며, 방사능 추적점의 위치관측은 해양측량사 (대표 이만석)에서 주관하였다. 결과의 검토에 있어서 상기 해양측량사의 이만석 선생의 큰 도움을 받았음을 명기하며 깊이 감사드린다. 또한 현장작업시 케반지원을 하여주신 건설부 포항축항사무소의 여러분께 깊이 감사하는 바이다.

참 고 문 헌

Atomic Energy Research Institute, Korea. 1957. The report on the investigations of the sand drift movement using radioactive tracer in the sandy coast of the middle east Korea. AERI-17.

- Campbell, B. L. 1963. Sediment research in Australia. Australian Atomic Energy Comm.
- Campbell, B. L. 1963. An improved technique for labelling sand with Au-198. Int. J. Appl. Rad. Isot., **14**, 285-287.
- Campbell, B. L., and B. W. Seatonberry. 1963. Surface labelling of sand with Cr-51 by thermal decomposition of ammonium dichromate Cr-51. Australian Atomic Energy Comm.
- Kato, M., M. Homma, and S. Sakagishi. 1963. Radio-tracer experiments on littoral drift in Japan. Radio-isotopes in hydrology. Proc. of a Symposium. Tokyo, 5-9 March.
- Krick, P. N. 1966. Report on silt tracing tests in Newcastle harbour, August and September 1964. pub. at the research center, Hall Street, Maryville, Newcastle, New South Wales.
- Sakagishi, S., *et al.* 1962. Studies on the sand drift by means of Co-60 at the estuary of River Shinano. J. A. E. R. I. Memo., No. 1037.
- Sakagishi, S., *et al.* 1962. Studies on the sand drift by means of Sc-46 at the west coast of Nigata. J. A. E. R. I. Memo., No. 1038.
- Yang, K. R., and Y. S. Yoo. 1967. The determination of sand drift by Co-60 glass sand at the Mukho port. Health Physics Division, J. A. E. R. I. Korea, **7**, 42-48.