

방사성동위원소의 수자원개발에의 이용

—金 允 培—
<正會員·農業振興公社>

—서 론—

I. 방사성동위원소의 산업적 이용

전쟁수단으로서 개발 발전되었던 원자력은 제3의 불로서, 또한 방사성동위원소를 여러가지 계측수단등으로 이용하므로써 인류에게 공헌할 수 있는 길이 더 많이 열려지고 있다,

250 kw 급의 원자로에 이어서 2MW (Mega Watt) 급의 원자로가 원자력연구소에 건설되고 있으며, 또한 경상남도 동래군 장안면 고리에 세워지고 있는 출력 60만 kw의 원자력발전소의 존재는 앞으로 원자산업 분야의 문호가 널리 개방될 수 있음을 의미하는 것이다.

MW 급의 원자로에서 생산되는 여러종류의 방사성 동위원소와 거대한 원자력발전소에서 부수적으로 생산되어지는 핵물질은 국내 각 산업분야에 값싸고 신속하게 방사성 동위원소를 공급하게 될 것이며, 따라서 이 이점을 이용하여 각 산업분야 특히 계측기술(計測技術) 분야의 활동은 활발해 질 것이다.

측정오차와 방사성물질의 취급에서 오는 위험성에 대한 안전(保健物理분야)이 충분히 고려된다면 방사성 동위원소의 이용은 계측분야에서 재래의 어떤 방법보다도 더 정밀하게 확실한 수치를 우리들 현장기술자들에게 제공할 수 있을 것이다.

특히 수문, 하천, 항만, 상·하수도등 물에 관한 분야의 측정에는 그 어떤 재래의 방법보다 우수함이 실증되고 있다.

본고는 방사성동위원소가 여러가지 계측수단등으로 수자원개발의 여러분야에 이용할 수 있는 몇가지 방법에 대하여 이용수단별, 계측방법별로 소개하는데 의의를 가진다.

II. 방사성동위원소의 이용방법별 분류

가. 추적자법 (Tracer Application)

- 나. 계측수단 (Gauging System)
- 다. 희석방법 (Dilution Method)
- 라. 방사선검출법 (Radiation Logging Method) 등으로 분류할 수 있으며 수자원개발분야에의 이용방법별로 분류할거하면 :
 - 가. 방사성동위원소를 추적자로의 이용.
 - 1) 하천유속, 유량측정
 - 2) 하천오염도 조사
 - 3) 하천모래 및 퇴적물 이동조사.
 - 4) 저수지매물 및 퇴적상태조사.
 - 5) 저수지제방의 누수조사.
 - 6) 해안표사의 이동상태조사.
 - 7) 해안수역에 방류되는 오수(汚水)등의 확산상태 측정.
 - 8) 해협의 조류(유속)측정.
 - 9) 지하수의 유속·유량·유향측정.
 - 10) 지하수 오염측정.
 - 11) 공장폐수등의 관개지역에의 오염도측정.
 - 12) 유관(流管) 내의 유선도(Stream Picture) 조사.
 - 13) 상·하수도의 누수(Leakage) 조사.
 - 14) 송수(유)관내의 급수(유)량 자동조절.
 - 나. 계측수단(Gauging System)으로의 이용.
 - 1) 토사퇴적층 두께측정 (Thickness Gauge)
 - 2) 수문의 자동제어에 의한 저수지의 홍수조절(Level Gauge)
 - 3) 액면자동제어에 의한 관개수로(연락수로등)의 급수량조절(Level Gauge)
 - 4) 적설량 자동측정및 경보장치(Thickness Gauge)
 - 5) Sprinkler에의 이용(Moisture Gauge)
 - 6) 구조물기초지반탐사(Moisture Gauge)
 - 7) 눈(Snow)의 질 및 밀도측정(Moisture & Density Gauge)
 - 8) 준공검사(Density Gauge 등)
 - 다. 희석방법을 이용한 방법.

- 1) 저수지 내용적 측정.
- 라. 방사선검증법을 이용한 방법.
- 1) 지하수 탐사.
- 2) 저층의 함수비·공극률(空隙率) 측정.
- 3) 암반까지의 두께 측정.

Ⅲ. 방사선의 검출방법

가. 하전입자선(荷電粒子線)의 검출 α -선, β -선, 양자(P)선, 핵분열생성물(Fission Product)에서 방출되는 각종방사선이 어느 물질을 뚫고가면 그들이 지나간 경로 주변에 그 물질과의 충돌로 인하여 물질의 원자가 전리된다. 그러므로 이들의 검출은 원자의 전리현상을 이용한다.

나. 전자파(電磁波)의 검출.

X -선, γ -선과 같은 전자파가 물질을 뚫고 지나갈 때 이들은 물질의 원자와의 상호작용으로 광전효과(光電效果), Compton 효과, 전자대창생(電子對創生: Pair Production)등의 과정을 밟아 높은 에너지의 전자를 방출하는데, 이 높은 에너지의 전자가 마치 하전입자선처럼 원자를 전리시킨다. 그러므로 전자파의 검출도 하전입자선과 같은 방법으로 계수(計數)할 수도 있지만 그 효율이 낮아 보통은 형광체를 이용한 섬광계수기(閃光計數器: Scintillation Counter)로 검출한다.

다. 중성자(中性子)의 검출

중성자선을 직접 검출하는 방법은 없고 어느 특정한 물질과 핵반응을 일으켜 그 때 생긴 α -선등을 검출하여 간접적으로 검출한다.

참고로 표-1 에 각 방사선원별 질량 및 하전수(荷電數)를 표시하였다.

表-1 방사선원별 질량 및 하전수

방 사 선	질 량 : a. m. u	전 하
α	4	+2
β^-	1/1,840	-1
β^+	1/1,840	+1
γ	0	0
P	1	+1
N	1	0
Fission Fragment	90~150	+40~+80

Ⅳ. 방사선의 검출방법별 계측기의종류

가. 직접전리를 일으키는 작용을 이용한것.

- 1) 검전기(檢電器)
- 2) 전리함(電離函)

3) 비례계수관(Proportional Counter)

4) G-M 계수관

나. 안개의 발생을 이용하는 것.

1) 안개상자(Cloud Chamber)

다. 형광을 이용하는 것.

1) 섬광계수기(Scintillation Counter)

2) 액체 섬광계수기.

라. 핵반응을 이용하는 것.

1) 중성자계수관(中性子計數管)등으로 분류할 수 있으며, 다음절에서 구체적인 문제를 다룰때 각 계측기별 용도를 소개하고자 한다.

Ⅴ. 방사성물질의 운반, 저장, 폐기

가. 방사성물질의 운반

방사성물질은 위험한 특수물질이므로 이의 취급·운반에는 특히 안전규정을 준수해야하며 국제방사선방호위원회(I.C.R.P)의 권고치에 따라 방사성물질을 차량등으로 운반시는 탑승원들에의 허용선량율(許容線量率)은 2.5m Rem/hour 이하로 유지하지 않으면 안된다.

나. 방사성물질의 저장

방사성물질은 지하에 굴착된 저장시설에 저장되어야하며, 외부와는 적절한 차폐가 필요하고, 울타리에는 방사능위험표지판을 설치하여 비작업인의 출입을 경고하고 울타리밖의 선량율을 0.2m Rem/hour 이하로 하여야한다.

다. 방사성물질의 폐기

방사성물질의 폐기는 지정된 폐기시설에 하거나, 콘크리트로 차폐된 통에 넣어 바다에 투하하여 폐기하는 방법등이 있다.

Ⅴ. 방사선 안전관리

방사성물질의 작업장에는 방사선측정기 및 감시기 등을 비치해야하며 작업자개인은 개인방사선방호용측정기를 휴대하고 방사성물질조작기구로 작업을 해야한다.

가. 개인용 방사선 방호기기(防護器機)의 종류

- 1) Pocket Chamber.
- 2) Pocket Dosimeter.
- 3) Film Badge
- 4) Film Ring
- 5) Personal Monitor.

나. 방사성물질조작기구의 종류.

- 1) 고무장갑.

- 2) Tong.
 - 3) Pippet.
 - 4) 흡수지(吸收紙)
 - 5) Vinyl Sheet.
 - 6) Sink.
- 등이 있다.

— 본 론 —

I. 하천개발에의 이용

가. 추적자(Tracer)를 이용한 하천의 유속·유량 측정.

방사성동위원소(Radioisotope)를 추적자로서 이용하면 하천의 유속·유량을 필요할 시점(時點)과 장소에서 측정할 수 있는 경우가 있다.

1) 사용하는 R.I. (방사성물질)의 종류.

- ㉑ ^{24}Na ; 반감기=15 시간
- ㉒ ^{131}I ; 반감기=8.05 일

Sodium-24 및 Iodine-131 은 물에 용해가 잘 되는 물질이며 측정에 적당한 반감기를 가지고 있으므로 추적자로서 적당하다.

2) 사용하는 측정기 (Detector)

- ㉑ 섬광계수기 (Scintillation Counter)

3) 측정방법

㉑ 유속, 유량을 측정하고자 하는 측점이나 구간을 선정한다.

㉒ ^{24}Na 또는 ^{131}I 이 용해된 용액을 측정하고자 하는 구간의 상류지점에서 하류로 방류한다.

㉓ 측정하고자 하는 측점 또는 구간의 하류지점에서 측정기를 케이블등에 견인하고 회로(回路)를 연결시켜 하안(河岸)에서 계수(Count)할 수 있도록 장치하여 측정한다.

㉔ 상류에서 방사성물질의 용액을 방류한 시간부터 하류에서 방사능이 최초로 검출(計數)된 시간과의 시차(時差)를 구한다.

㉕ 미리 구한 측정구간의 거리를 측정시간의 차로 나누면 그 구간의 평균유속이 구해진다.

㉖ 위에서 나온 평균유속에 그 지점의 평균단면적을 곱하여 그 지점의 유량을 구할 수 있다.

나. 추적자를 이용한 하천퇴사측정, 하상(河床)은 홍수와 그리고 계속되는 하천수의 운반에 의한 세굴, 퇴적등에 의하여 부단히 그 모양을 바꾸어 가고 있다.

방사성동위원소를 추적자로서 사용하면 퇴적의 양상에 관한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

1) 사용되는 R.I. 의 종류

- ㉑ ^{60}Co ; 반감기=5.27 년
- ㉒ ^{82}Br

㉑ ^{60}Co 는 보통의 모래와 같은 입도와 비중을 가진 초자사(硝子砂)로 만들 수 있어 퇴적물과 물리적성질을 같게할 수 있다.

^{82}Br 는 입도가 아주 작은 모래의 경우에 이용된다.

㉒ ^{60}Co 는 반감기가 5.27 년이므로 비교적 장기에 걸쳐서 추적자의 임무를 수행할 수 있으므로 퇴적물의 추적에 적합하다.

㉓ ^{60}Co 는 강한 γ -선을 방출하므로 계수(計數)가 용이된다.

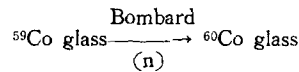
㉔ ^{60}Co 는 염가로 구입할 수 있다.

2) 사용 측정기

섬광계수기 (Scintillation Counter)

3) 방사능모래(硝子砂)의 제조방법

㉑ 원자로내에서 Cobalt-59 Glass 에 중성자를 조사(照射) 시키면 다음과과 같이 방사능을 가진 Cobalt Glass 가 생성된다.



㉒ 원자로 (Reactor)에서 생성된 $^{60}\text{Co glass}$ 를 작업실에서 보통모래와 입도, 비중등 물리적 성질이 같게 만든다.

4) 투입방법

㉑ 작업실에서 부신 $^{60}\text{Co glass}$ 를 Container 에 넣어서 운반한다.

㉒ 조사하고자 하는 지점의 상류나 하천의 유입구(流入口) 또는 합류부의 하천에 투입한다.

㉓ 투입된 초자사는 일반 퇴적물과 같은 조건에서 운반된다.

5) 측정방법

㉑ 투입후 일정시일 경과후 배에 측정기(S.D.)를 설치하여 하천상의 미리선정된 측점을 따라서 퇴적물의 방사능을 측정한다.

㉒ 시점(時點) 별로 측정된 방사능계수를 도상에 Plot 하여 그때 그때의 방사능의 등계수율선도(等計數率線圖)를 작도한다.

㉓ 위의 등계수율선도를 시간의 변화에 대하여 분석하므로써 퇴적물의 이동경로를 알 수 있다.

6) 이 방법은 저수지매물 상태를 조사하는데도 유용하게 쓰일 수 있다.

II. 저수지 개발에의 이용

가. Dilution Method 에 의한 저수지내용적 측정.

방사성물질을 회석방법으로 이용하면 경제적이고도 비교적 정확하게, 단시간안에 저수지의 실제용적을 측정할 수 있다. 그러나 필자의 조사에 의하면 비교적 큰 저수지(내용적: 1백만 M³ 이상)에서는 측정도 어려울뿐만 아니라 실효성도 저음이 밝혀졌음. 이 방법은 소규모의 저수지용량측정에 적당함.

1) 사용되는 R.I.의 종류

¹⁹⁸Au (교질: Colloidal한 상태)

Au-198은 반감기가 2.67일로 비교적 짧아 저수지의 오염을 방지할 수 있으며 β-선 및 γ-선을 방출한다.

2) 사용 측정기

섬광계수기(Scintillation Counter)

3) 측정방법

㉔ ¹⁹⁸Au 용액을 100mCi/Ton(H₂O) 정도로 용해시켜 만든다.

㉕ ㉔의 용액의 방사능을 측정한다.

㉖ 저수지물을 시료(試料)로서 채취하여 자연방사능 강도를 측정한다.

㉗ ㉔에서 만든 용액을 배에 싣고 저수지에 끌고루 투하한다.

㉘ ¹⁹⁸Au 용액은 저수지에 투하된 즉시 확산되어 저수지에 끌고루 흩어진다.

㉙ 일정시간 경과후 저수지의 수개소에서 물을 시료로서 채취하여 S.D.로 방사능을 측정(Count)한다.

㉚ ㉙의 Count 수에서 ㉖의 Count 수를 감한다.

㉛ ㉚의 Count 수와 ㉖의 Count 수를 비교하여 저수지의 용량을 측정한다.

㉜ 최종용액투입시와 투입확산후 시료채취시까지의 시간차가 너무 크면 R. I.의 붕괴(Decayout)로 인한 계수를 보정해 주어야 한다.

㉝ 이상을 종합하면 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$V = C \frac{a}{d-b} \times 1(M^3)$$

여기서 V=저수지용적

a=㉕의 Count 수

b=㉖의 Count 수

d=㉙의 Count 수

c=용적및 비방사능 계수이며 단위는 M³로 표시됨.

나. 추적자를 이용한 저수지제방의 누수조사.

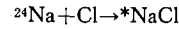
제래의 저수지누수조사방법으로 염료와 소금을 이용한 방법이 있었으나 누수경로의 추적이 곤란하여 실효성이 적었으나 R.I.를 추적자로 이용하면 누수경로까지 정확히 알아 낼 수 있는 잇점이 있다.

1) 사용되는 R.I.의 종류

㉔ ²⁴Na; 반감기=15시간

㉕ Sodium-24는 반감기가 15시간이므로 누수조사에 적당하며 붕괴되는 시간도 길지 않아 저수지에 대한 장기적인 방사능에 의한 오염을 방지할 수 있다.

㉖ ²⁴Na는 Na의 동위원소로서 보통 Na와 똑같은 물리적, 화학적 성질을 갖고 있어 Cl과 결합하여 NaCl 즉 소금을 만들 수 있으므로



을 만들 수 있다.

㉗ *NaCl은 보통소금과 마찬가지로 물에 용해가 잘되며 특히 물속에서는 전해가 잘 되므로 추적자로서 적합하다.

2) 사용 측정기

섬광계수기; *Na에서 나오는 γ-선이 물질과 형광작용을 일으키는 것을 섬광계수기로 검출한다.

3) 측정방법

㉔ ²⁴Na를 Cl과 결합시켜 방사능소금(*NaCl)을 만들어 물에 용해시킨다.

㉕ 저위방사능 계수기(Low Background Counter)로서 제당의 조사하고자 하는 부분의 자연방사능 강도를 측정한다.

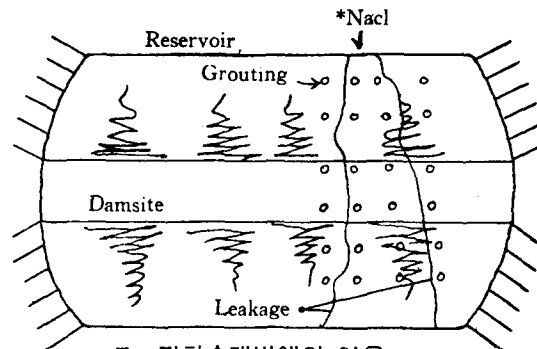
㉖ 제당상류부에 *NaCl 용액을 투입한다.

㉗ 적당한 시간 간격을 두고 측정하고자하는 측정의 방사능을 섬광계수기로 측정한다.

㉘ ㉗와 ㉕의 Count 차로써 그 측정의 방사능강도를 측정하여 시간에 대한 변화율을 도상에 Plot하여 누수경로를 찾아낸다.

㉙ 발견된 누수경로에 따라 보링하여 그라우팅을 하여 제당을 보강한다. (그림-1 참조)

그림-1 저수지제당의 누수조사



III. 지하수개발에의 이용

가. 자연방사능탐사법에 의한 지하수탐사.

지하지질구조는 내부의 용암의 활동(湧出)에 의한

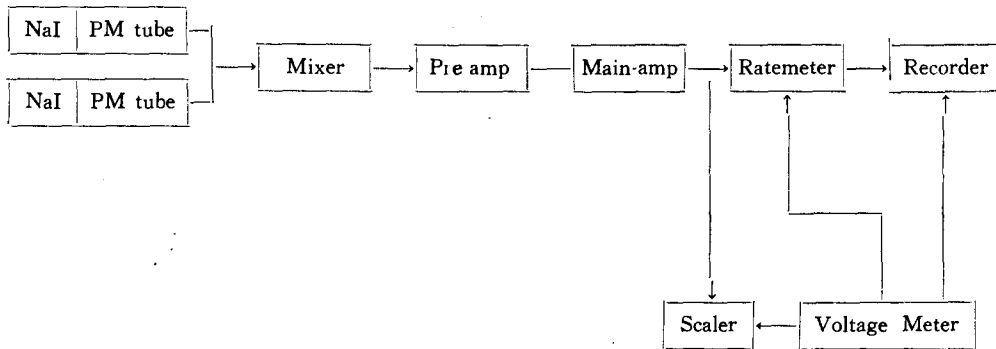
화산운동등으로 지층에 변형을 가져와 단층을 구성하고 지표가까이의 기반암에 균열대를 형성시켰다.

상기한 단층이나 균열대등은 이론상 지하수의 부존 가능성이 많은 것이다.

지구상에는 외계(外界)로 부터 오는 우주선(宇宙線) 외에도 지구 내부에 존재하는 Uranium, Thorium, Radium 등 방사성물질의 붕괴(Decayout)에 의하여 방출되는 자연방사능이 존재한다.

이들 방사성물질들은 대부분 중원소(重元素)로서 각각 깊숙히 존재하나 상술한 화산운동등에 의하여 단층선이나 균열대를 따라 지표상으로 올라오게 되므로 자연적으로 단층이나 균열대부근은 다른곳에 비하여 자연방사능강도의 현저한 증가를 가져오게 된다.

그림-2 자연방사능검출장치의 접속회로도



2) 사용방법

㉔ 도상(지질도)에서 예상 단층선을 찾아 탐사경로에 대한 계획을 수립한다.

㉕ 검출기는 소형차량에 적재하거나, 도로가 없는 곳에서는 등에 짊어지고 다니며 탐사해야 한다.

주의할 점은 차량에 적재시, 검출기와 엔진과의 거리를 확보하여, 차량의 진동과 충격을 가급적 피하도록 하고, 휴대용 검출장치의 경우에는 보행중에도 자연방사능강도의 변화를 알수 있도록 계수기(Scaler)상에 경보기(Alarm) 장치를 해서 자연방사능강도의 변화를 곧 알수 있도록 해야한다.

㉖ 탐사경로중 자연방사능이 현저하게 증가한 부위에서는 다시 탐사경로에 직각되는 방향으로 추가하여 탐사하므로써 단층이나 균열대의 양상을 세밀히 조사할 수 있고 도면에 옮겨 그릴 수 있다.

㉗ ㉕에서 작성한 도상에서 시추예정지점을 찾아 시추하여 재조사 시험을 한후 착정(鑿井)한다.

나. 추적자를 이용한 지하수의 유향 유속 유량측정.

1) 사용하는 R.I.의 종류.

위와 같은 이론적 근거에서 자연방사능 강도가 다른 곳에 비하여 현저히 높은 곳은 지하수부존의 가능성이 짙은 곳으로 평가할 수 있는 것이다.

이 방법은 자연방사능중에서도 특히 투과력이 큰 γ -선을 주로 검출하므로써 단층이나 균열대를 알아 낼 수 있다.

1) 사용 검출기

섬광계수기 (S.D.)

참고로 그림-2 에 자연방사능검출장치의 접속회로도 표시하였으며, 그림에서 NaI (TI) 형광체가 쓰이는 이유는 원자번호와 밀도가 비교적 크고 자연방사능의 주된 방사선(γ -선)에 대한 흡수가 잘되기 때문이다.

㉘ ^{24}Na ; 반감기=15 시간

㉙ ^{131}I ; 반감기=8.05 일

㉚ ^{198}Au (Colloidal); 반감기=2.69 일

위의 세가지 R.I.는 물에 용해가 잘되고 반감기가 비교적 짧기 때문에 추적자로서 적당하다.

2) 사용하는 측정기

㉛ γ -선 측정용 액체섬광계수기

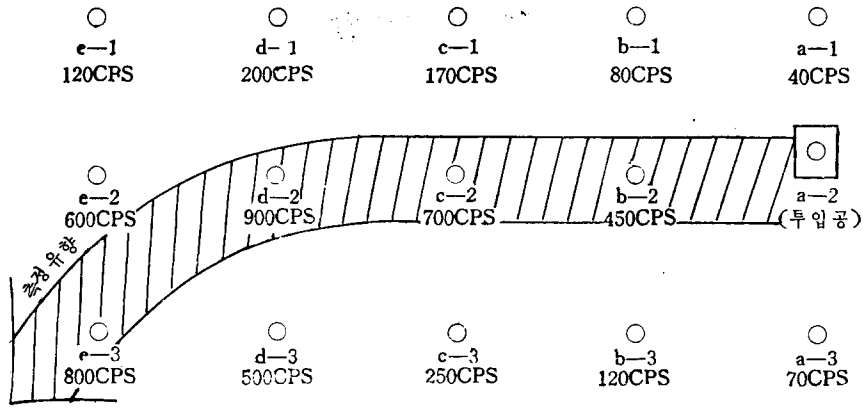
3) 유향측정방법 (그림-3 참조)

㉜ 측정하고자하는 유역에 필요한 수의 시험공을 시추.

㉝ 선정된 R.I.를 용액으로 만들어 추적자로서 시험공 ㉞에 주입.

㉞ 추적자의 도달예상시간을 전후하여 ㉟, ㊱, ㊲... 등 시험공의 지하수를 채취하여 S. D. 로 시료의 방사능 (주로 γ -선)을 계수(Count)하여, 위의 자료를 도상 (그림-3 참조)에 Plot 하여 지하수의 유향을 알아 낼 수 있다. [그림에서 a-1, a-2, ... 등은 공번호이고 70 cps 등은 측정방사능강도 (Count per Second)의 예임]

그림—3 시추공별 방사능강도 측정예의한 지하수 탐 사도



4) 유속측정방법

㉑ ㉒공에 추적자를 투입

㉓ ㉔, ㉕, ㉖ 등 각 공에 추적자의 도달예정시간을 전 후하여 지하수를 채취하여 S. D. 로 방사능을 계수한다.

㉗ ㉒공에 추적자를 투입한 시간과 ㉔, ㉕, ㉖ 등 각 공에서 최초로 방사능이 검출된 시간과의 차를 구한다.

㉘ 그림—3에서 ㉑점과 ㉔, ㉕, ㉖ 각점간의 실유로(流路)의 길이를 산출.

㉙ 각 유로장(流路長)을 측정 시차로 나누면 각 구간별 유속이 구해진다.

5) 유량측정방법.

$$V=Q/A=K \cdot h/L \dots \dots (\text{Darcy의 실험공식})$$

여기서 V=지하수의 유속

Q=유량

A=통수(通水) 단면적

K=투수계수

h/L=동수구배(動水勾配)

유량은 먼저 통수단면적을 산출한후 앞절에서 구한 유속을 곱하면 된다.

$$\text{즉 } Q=AV$$

위의 결과치를 수리학적으로 해석하면 정확한 투수 계수와 유량등을 구할 수 있다.

N. 용수오염방지에의 이용

가. 음료용수(지하수)

상수도시설이 구비되지 않은 농촌이나, 중소도시에 있어서 대부분의 경우 음료용 정호와 변소등 오물장과의 거리가 너무 가까우므로 음료용정호에 변소나 오

물장의 오수, 오물의 침입이 전혀 없을 수 없다. 여기에 방사성물질을 추적자로서 사용하여 측정하면 정호 인근의 변소, 오물장등에서 정호에의 오염도를 측정할 수 있을 뿐만아니라, 상대적으로 신설 정호와 변소등의 위치, 거리등을 규제할 수 있는 근거가 될 수 있고, 비도시민을 질병의 위해로부터 방호하는 의미에서도 방사성동위원소를 추적자로 사용하여 각 정호별 오염도를 측정하는 것이 필요하다.

나. 공업용수(지하수)

청결한 공업용수를 다량으로 사용하는 도십부근의 공장지대(주류, 청량음료, 식품제조업소)에서도 위의 방법을 도입하여 정호의 위치와 하수도, 오물장등 시설물의 설치장소 및 구조상태 등을 재고 조정하므로써 오염에 의한 수질의 저하를 막아 제품의 품질을 향상시킬수 있다.

다. 공장폐수등의 관개지역오염도 측정

공장폐수 또는 도십으로부터 유지하는 하수로부터 담(澗)등 경작지를 방호하기 위하여 방사성동위원소를 추적자로 이용하여 위의 방법을 도입 측정조사하여 폐수·하수로 부근에 수개소의 정호를 착정하여 일부는 자연적으로 오수가모여들게하여 폐수, 하수가 경작지 부근의 정호나 수로로 들어가지 못하겠음. 지하수로 유도하도록하여 폐수, 하수등의 영향권밖의 경작지에 실제로 관개할 정호를 착정하면 관개수의 오염을 방지하여 경작지를 방호할 수 있다.

라. 오염도 측정방법

1) 사용하는 방사성물질

㉚ ^{198}Au ; 반감기=2.69일 β^- , γ -선

<p. 50에 계속>