

# 堰堤漏水에 관한 研究

李 昌 九

## 1. 序 論

우리나라의貯水池는 그數가 相當히 많고 漏水되는것이 全國的으로 相當한 數에 達할것으로 보고있으며 그의對策이 切望되는바이다. 漏水의 探查法이 技術的으로 困難하고 漏水機構를 잡을 수없고 여기에對한 止水工事を 粘土注入 (clay grouting)으로서 하고있다는 消息은 듣고있으나 徹底하지 못할것 같다. 여기에 記載하는것은 日本을 비롯하여 歐美各國에서 原子力을 利用하여 漏水探查하는것을 紹介하여 將來에 우리도 新銳한 先進科學을 利用할 機會가 있을것을 期待하는바이다.

漏水堰堤의 基盤의 實態를 水理地質로서 究明하여 從來의 物理探查法에 依한 堰堤漏水調査와 比較檢討하여 다시 새로운 Tracer Technics (追跡法)로써 isotope(同位元素)의 利用을 試圖하여 그探查法의 技術的 諸問題와 應用試驗의 實地例에 關하여 記述한것이다.

## 2. 堰堤漏水의 水理地質的 考察

### (1) 漏水의 地質的 素因

基礎地盤의 漏水機構는 地層, 岩石의 組合方法, 境界面의 形態, 地質變動에 依한 擾亂等을 勘案하여 다음 세가지로 大別한다.

- A. 岩石自體에 依한것——火山噴出物, 砂岩, 段丘堆積物.
- B. 岩石의 接觸面에 依한것——互層의 境界面, 接觸變質의 接觸面.
- C. 岩石, 地層의 擾亂, 變形에 依한것——斷層, 龜裂, 節理.

#### [A] 岩石自體에 依한것

##### a. 火山噴出物

火山砂礫, 輕石等의 地層은 一般으로 그 固結度가 낮고 透水性인것이 많다. 그러나 固結度가 높아지면 不透水性으로 된다.

集塊岩 角礫凝灰岩, 및 凝灰岩의 地層은 全體로는 不透水盤으로 되어있으나, 局部的으로는 岩石이 均一하지 않고 多孔質의 部分은 透水性으로

되어서 漏水脈을 形成하고 있음은 가끔 있는 것이다.

##### b. 砂岩, 段丘堆積物

砂岩은 固結度 및 固結된 粒子의 粒度 및 그 模樣에 따라 基盤中에서 比較的 空隙이 많은 部分이 存在하며, 이空隙部가 漏水脈을 形成하는 것이다. 또 段丘堆積物은 比較的 固結度가 낮고 通水性이 높은것이다. 段丘堆積物上에 築造된 土堰堤로서 基礎地盤의 砂礫中에서 漏水되는 例도 많다. 段丘礫層에 築造된 貯水池로서 Isotope에 依한 調査結果 洪積砂礫層中의 堆積粒子의 粗한 部分에 池水가 滲透하여 漏水脈을 形成한 例도 있다. 漏水의 流動速度는 0.5~0.9cm/sec 로서 河川敷地의 地下水流動速度와 같은 順序를 表示하고있다.

#### [B] 岩石의 接觸面에 依한것

여러가지 岩石이 互層으로 되어있으면 그接觸面이 가끔 漏水의 原因으로 되는수가있다. 特히 硬質岩石과 軟質岩石이 互層으로 되어있는 곳에는 接觸面에서 軟質岩石이 特別히 破碎되는수가 있어서 이脆弱部가 容易하게 漏水路로 된다. 또 火成岩이 堰堤基盤으로 되어있는 곳에서는 母岩을 貫通하는 兩岩의 接觸面이 軟質로 되기 때문에 漏水되기 쉽다.

#### [C] 岩石, 地層의 擾亂, 變形에 依한것,

##### (1) 斷層, 龜裂, 節理

火山岩은 冷却할때 생기는 體積變化로서 節理 龜裂이 생긴다. 比較的 顯著한 岩石은 石英粗面岩, 石英斑岩, 安山岩, 玄武岩이고 深成岩의 花崗岩은 적다. 特히 熔岩流의 節理 龜裂 금이가는 것은 顯著하다. 어느것이나 이節理 龜裂, 금이가는 것은 漏水의 原因이 된다. 岩石의 龜裂節理의 發達程度를 表示하는데 間隙率로서하면 岩石相互의 透水性比較가 容易하다. 間隙率은 露頭에서 보는 一面의 龜裂 間隙의 거리, 넓이를 單位面積에 對하여 實測하여서 多數한面에서 行한 그平均值를 表示한 것으로서 間隙率이 큰 岩石일수록 漏水性이 크다.

表1 岩石의 間隙率

岩石의 種類	間隙率 %
安山岩	0.1 ~0.66
玄武岩	0.5 ~1.1
凝灰岩	0.8
砂岩	0.1 ~0.12
頁岩	0.09~0.15
粘板岩	0.1 ~0.12

安山岩의 間隙率은 거의 一定하여서 0.2% 前後이다. 0.6% 가량 되면 龜裂 금이 가는것이 顯著하고 岩相이 大端히 脆弱化되어서 때로는 空洞狀으로 되는곳도 있어서 火藥을 使用하지 않고서도 容易하게 採石할수있는 程度로 된다. 새로운 地質時代에 流出한 熔岩은 大端히 節理가 많음과 同時에 岩層狀의 部分이나, 熔岩流表面의 多孔質部等이 한데 응치어서 間隙率이 크게 된다. 砂岩 頁岩은 水成岩中에서는 龜裂이 많고 砂岩의 間隙率은 0.1% 內外이다. 또 斷層이 있으면 一般으로 斷層方向과 이것에 맞나는 2方向의 龜裂이 發達하여 間隙率은 顯著히 發達하여서 間隙率은 斷層破碎等에서 顯著히 增大되어서 漏水의 浸水路를 容易하게 形成한다.

(2) 自然放射能에 表現하는 岩石의

permeability(透水度)와 漏水機構

地層이 擾亂을 받으면 그것에 隨伴하여 節理, 龜裂 금이 發達하여 相當한 地下部까지 岩石의 permeability가 增加한다. 이 permeability가 增加한 場所에는 地下深所에서 上昇한 放射性物質 卽 우라늄(Uranium)鹽, 라듐(Radium)鹽 또는 라돈(Radon)이 地表의 淺層部에 沈積한다. 따라서 節理龜裂이 많은 地帶는 地表의 放射線強度가 커지게 된다. 이와反對로 地表에서의 放射線強度가 크면 岩石의 間隙率이 크고 물에 對하여는 漏水性地盤이라고 할수있다. 但 地表의 放射線強度의 增大는 岩石의 permeability에 依한것 外에 다음과같은 境遇에도 볼수있으므로 이들의 放射線增加의 原因을 確認하여 이것과 區別할 必要가 있다.

a. 岩石의 種類에 依한 放射線變化

岩石中에 含有되어있는 微量分의 放射性元素(Uranium, Thorium, Actinium, Radium, Potassium K<sup>40</sup>)系等에 依한 放射線強度의 增加이다. 測定結果에 依하면 黑色의 頁岩, 花崗岩, 變成岩이 比較的 높은 放射能을 보이고 安山岩, 玄武岩, 砂土, 砂礫은 낮

은 放射能을 보이고있다. 이때까지 測定된 各種 地質의 自然計數를 表-2에 記載한다.

表 2 各種地質條件下의 自然計表

地 質	自然計數 CPM(counter per minute)
安山岩	20~23
火山地帶	15~16
沖積層	25~28
三紀層	28~30
古生層(頁岩—砂岩)	36~38

b. 地層境界에 依한 放射線變化

火成岩의 接觸帶, 地層의 境界地帶, 特殊한 變質帶, 溫泉湧出地帶에도 若干의 放射線의 增加를 볼수있다.

c. 土層別에 依한 放射線變化

地層의 放射線強度를 測定하려면 普通計數管을 地表, 地上, 地下의 어디나 設置한다. 이때 同一土壤이라도 土層의 層別에 依하여 放射線의 變化를 볼수있는 것이다. 다음에 그代表例를 表示한다.

表 3 土層別에 依한 放射線變化

土壤의 種類	A層	B層	C層
花崗岩 質土壤	1.1~1.3N	1.34~1.4N	1.2~1.4N
結晶片岩 質土壤	1.0~1.2N	1.0~1.15N	1.5~1.2N
砂土	1.0N	1.1~1.12N	1.2~1.22N

砂土外에는 上述한바와 같이 花崗岩 變成岩等의 母岩自體가 比較的 높은 放射能을 表示하므로 母岩에 가까울수록 土層中의 放射線強度가 增大하는 傾向이 있다. 따라서 地表 또는 地中에 計數管을 設置하는 方法은 미리 土層別에 依한 放射線強度의 變化를 確認하여 두어서 計數管을 恒常 同一土層中에 設置할 必要가 있을 것이다.

d. 原爆灰의 影響

原水爆實驗에 依하여 생긴 강한 放射能에 있는 灰(灰)가 있으면 表層土壤이 汚染되어서 部分的으로 높은 放射能을 나타내는 수가 있다. 表層土壤의 雨水滲透性이 큰 砂, 砂礫表層은 比較的 原爆灰의 汚染으로 因한 計數增加를 認定할수 없으나, 表土層이 粘土質인 곳에서는 灰의 吸着에 依하여 높은 放射能을 보이는곳도 있다. 강한 放射能雨가나린 卽後 道路上에서 計數管을 水平으로 設置하여 80~110c. p. m. 의 放射線強度를

보았다. 이表層部를 10cm 削除하여서 測定한 結果는 24~25 c. p. m. 로되어 거의 自然計數値를 보인다. 또 日本에서 排水路中의 表層에서 65 c. p. m. 地下 20 cm에서 30 c. p. m. 地下 50 cm에서 自然計數値 (20~22 c. p. m.)를 보았다. 따라서 表層土의 原爆에 의한 汚染이 생각될 境遇에는 表土를 20 cm~30 cm 削除하거나 또는 直徑 10 cm 內外깊이 30 cm~40 cm의 구멍을 파서 그속에 計數管을 달아내어서 測定할 必要가 있을 것이다. 또 콩크리트及 岩石을 덮은 部分에는 放射能雨가 蒸發한 後 그表面에 放射線元素가 附着하여 높은 放射能을 나타내므로 考慮할 必要가 있다. 以上の 放射線增加의 影響이 없이 높은 放射能을 보이는 地帶에서는 岩石의 permeability의 程度를 表現하는 것으로 생각하여도 좋다. 實地 應用例로서 日本 天龍川地區 橫山部落周邊의 放射能探查結果를 보면 測定에는 強한  $\beta$  線用 計數管을 使用하여 表層에서 깊이 30cm의 구멍을 파고 計數管을 垂直으로 이구멍에 달아내었다. 各測點間隙은 30 m이다. N30°W 方向으로 1.3~1.5N(N: 自然計數)의 強放射能地帶가 나타났다. 이地帶는 黑色千枚岩으로서 放射能은 岩石의 permeability를 나타내는 以外에 放射能의 增加는 생각되지 않는다. 地表調査에 依하면 強  $\gamma$  線地帶에 屬하는 露頭에서는 龜裂 片理가 顯著하고 放射能이 낮은곳에 比하여 大端히 脆弱化되어 있다. 또 이強  $\gamma$  線地帶의 延長上에 岩礫 Block로된 崖錐가 存在하여 이 附近에서도 1.4N 以上の 強  $\gamma$  線地帶가 存在하고 있다. 따라서 斷層運動으로서 생긴 岩石의 permeability가 높은 地帶가 放射能地帶를 形成하고 있는 것으로 思慮된다. 岩石의 龜裂, 節理斷層等에 依한 permeability의 發達程度와 放射能強度와는 相關關係에 있음이 明瞭하게 된다.

### 3. 各種漏水探查法의 難問題

堰堤의 漏水經路를 地表에서 探查하는 方法으로서는 從來, 電氣探查 音響探查等の 物理探查法이 應用되었으나 Isotope로 漏水探查에 應用하면 좋은 結果를 볼수있는 것이다.

#### (1) 電氣探查法 (電位法)

地山 堤體(土堰堤) 漏水의 三者는 各各 比抵抗이 다르므로, 堰堤漏水地帶에 電流를 通하면 電

流電極에 對하여 幾何學的으로 對等한 位置에 있는 電流密度는 比抵抗이 큰 構成物質中에서는 粗하고 比抵抗이 적은 構成物質中에서는 密하게 된다. 따라서 地表에서 電位를 測定하여 等電位線圖를 그리면 等電位線과 直角方向이 電流가 흐르는 方向 即 電流線으로 된다. 漏水의 比抵抗이 堤體, 地山의 그것에 比較하여 顯著하게 적은 境遇에는 電流는 漏水脈을 흐르게 되므로 漏水脈을 探查할수 있게되는 것이다. 그러나 基礎地盤의 地質, 堤體의 構造等으로 因하여 地山, 堤體 漏水의 比抵抗은 各各 다르므로 이 三者의 比抵抗의 差異가 반드시 滿足되는 것은 아니다. 차라리 實地에는 等電位線法으로 漏水脈을 探求할수 있는 調査現場은 極히 稀少하다고 할수 있다. 왜냐하면 堰堤地點은 山間部가 많고 降水의 流去, 滲透의 距離가 짧으므로 池水는 溶解物이 적고 比較的 雨수에 가까운 깊은 比抵抗을 갖고있다. 測定結果에 依하면  $1.0\sim 2.1\times 10^4\Omega\text{-cm}$ 의 比抵抗値를 나타내고 있다. 이 比抵抗値의 池水가 堤體 또는 地山內에 滲透하여 漏水口에 達하면 漏水의 經路, 地質, 接觸時間等에 依하여 多少 다르나 池水의 比抵抗値 보다. 30%가량 減少되는것같다. 即

$0.7\sim 1.3\times 10^4\Omega\text{-cm}$ 로 되어있다. 여기에 對하여 土堰堤의 比抵抗値는 一般的으로  $0.5\sim 1.5\times 10^4\Omega\text{-cm}$ 의 範圍內에 있어서 漏水와 거의 같은 比抵抗値를 나타내고 있다. 또 堰堤基盤이 凝灰岩, 集塊岩等과 같이 比抵抗値가  $10^4\Omega\text{-cm}$ 의 順列의 것이 많고 漏水의 比抵抗과 區別하지 못할 境遇가 많다. 따라서 地山, 堤體의 漏水와의 比抵抗値가 相當한 差가 있는 境遇에만 電位法에 依한 電氣探查法이 效果를 發揮할수 있는 것이다.

#### (2) 音響探查法

音響探查法은 地表에서 漏水로 因한 地振動을 crystal 捕音器로서 捕捉하여 이것을 電子管으로서 增加하여 指示計에 指示시키는 方法이다. 이것은 主로 水道鐵管의 漏水個所를 探知할 目的이나, 漏水探查에 應用되는 例가 있다. pipe 中の 漏水에 依한 地振動은 大端히 感度가 좋으나 土壤中을 傳達할 境遇에는 1/100 가량 減少한다. 土壤中에서는 1/sec의 漏水量으로 30cm, 10/sec로서 約 3m의 漏水音의 傳達에 不過하다. 따라서 이 漏水音의 傳達距離以內에서 探查를 實施

하여야 하므로 漏水量에 依하여 探查深度에 制限을 받게 된다.

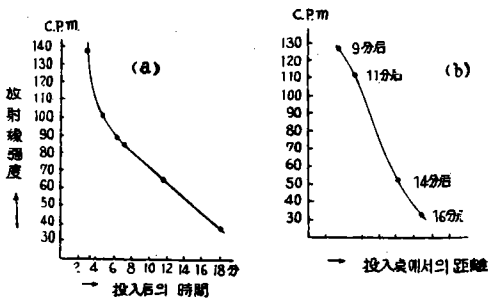
(3) Isotope 法

從來에 堤堰漏水脈探查法으로서는 既述한바와 같이 電氣探查, 音響探查法이 있으나 Isotope로서 漏水脈을 追跡하여 이미 그의 一部를 알게 되어 다음과 같은 技術的 問題가 提示되었다. 今後 이 問題가 解決되면 從來의 探查法에 比하여 더욱 探查精度를 얻을 수 있으리라 본다.

- a. Isotope 投入法
- b. 測定上의 問題
- c. 堤堰用土의 Isotope 吸着
- d. 汚染과 漏水處理

a. Isotope 投入法

養魚의 有無, 貯水池의 用排水系統, 池水과 地下水와의 關聯等을 充分히 調査하여 汚染上 問題가 없는 곳에서는 池水中에 Isotope를 投入하여도 可하다. 池水에 投入할 境遇에 問題가 되는 것은 Isotope의 分散及 沈降速度이다. 堤體及 地山의 漏水浸入地帶의 두께가 極히 얇고 漏水의 堤體, 地山으로의 浸入速度가 Isotope의 沈降速度에 比較하여 極히 적을 때는 投入한 Isotope의 殆半은 그냥 池底에 沈降하여 漏水脈中에 들어 가지 않게 된다. 다음 그림은 日本, 野洲川堤堰에서 實驗한 池水面에 投入한  $Co^{60}$ 의 擴散, 沈降速度이다,  $Co^{60}$ 의 境遇에는 그速度가 크다. 沈降速度는 船上에서 水面上 1cm의 計數管을 設置하여 測定한 것이다.



現地實驗을 綜合하면 池中에 投入한 Isotope가 漏水脈을 通過하여 漏水出口에 到達하였을 때부터 流去하여 버릴 때까지의 時間은 2~12 時間으로 되어 있다. 또 P 32는  $Co^{60}$ 보다 沈降速度가 느리므로 池水에서 漏水脈으로 들어가는 量은  $Co^{60}$ 보다 많고 따라서 漏水中の Isotope 檢出時間은

$Co^{60}$ 의 1.5~2.0 배가 된다. 따라서 가장 效果的으로 Isotope가 堤體 또는 地山의 漏水脈으로 들어 가도록 投入法을 考慮하여야 한다. 그러므로 Isotope 投入後 池水面으로의 쓸데없는 擴散을 防止하기 爲하여 堤體, 地山의 漏水脈方向으로 波動을 이르기거나 Isotope의 沈降速度를 抑制하는 方法을 생각하여야 한다. Isotope를 廣口瓶에 넣고 爆藥(dynamite)으로서 水中破裂을 시키는 方法은 池水を 攪亂시키고 Isotope의 沈降速度를 抑制하는데 도움이 된다.

Isotope를 池水에 投入하는 것이 汚染上 不可能한境遇 或은 池水位가 漏水로 因하여 上昇하지 않고 漏水侵入部가 池水面上에 있을 境遇에는 漏水地帶로 생각되는 附近을 掘鑿(Boring)하여 그孔內에 Isotope를 投入한다. 漏水脈은 孔壁의 龜裂部이므로 Isotope 投入後 그냥 放置하면 Isotope는 沈降하는 동안 龜裂部를 避하는 것뿐이므로 漏水脈으로의 流出量은 限定되는 것이다. 따라서 Isotope를 孔內에 循環시켜서 多量이 漏水脈으로 들어가도록 講究하여야 한다.

b. 測定上의 問題

$\gamma$ 線을 써서 地表에서 漏水를 追跡(Trace)할 때의 放射線強度는 計數管의 放射線入射效率, 放射源強度, 計數管의 距離及 放射源에서 地表까지의 放射線吸收體, 即 堤堰用土, 地盤岩石의 線吸收係數( $\mu l$ )로서 決定된다.  $\gamma$ 線을 써서 地表에서 漏水脈을 追跡하려면  $Co^{60}$ 이 適當하다. 探查深度 或은 探查精度를 얻으려면  $2\pi$ 型의 計數管으로는

$$I/I_0 = \frac{2\pi r^2}{4\pi l^2} \quad \begin{matrix} I \dots\dots\dots \text{透過放射線強度} \\ I_0 \dots\dots\dots \text{放射源의 放射線強度} \\ r \dots\dots\dots \text{計數管의 半徑} \\ l \dots\dots\dots \text{計數管과 放射源과의 距離} \end{matrix}$$

의 關係로서 計數管의 效率을 좋게하거나 計數管의  $r$ 을 增大하거나 放射源에서 計數管까지의 距離  $l$ 를 짧게하거나 할 것이다.

가장 簡單한 方法은  $l$ 를 짧게 하는 것이다. 그렇게 하려면 堤體 地山에 計數管이 들어가는 口徑 1/2~2 inch의 桿(Rod)을 몬키(monkey)로 두드려 박아서 구멍을 파면 可하다, 調査現場의 經驗에 依하면 구멍을 뚫는 것은 그다지 困難하지 않다. 이 뚫은 구멍에 MG管을 垂直으로 달어

때어서 測定한다. 이때 地下水位까지 팔 必要는 없고 도리어 地下水位에서 0.2m 가량 위에서 그치는 便이 計數管의 汚染을 防止하는데 必要할 것이다.

Isotope 가  $\beta$ 線에 依할 境遇에는 採水法에 依하여야 한다. 堤體, 地山에 採水孔을 파서 一定量을 定時的으로 採水하여 물의 自己吸收을 避하기 爲하여 赤外線燈에 쪼이어서 徐徐히 濃縮하여 이것을 試料鍋(pan)에 옮기어 蒸發, 乾固하여 스탠트(Stand)에 넣어 測定한다. 이때 汚染으로 因한 測定誤差를 없애기 爲하여 採水器及 蒸發皿을 放射能 汚染의 有無를 確認한 다음 使用할 必要가 있다. 採水量은 投入한 Isotope 量 보다 漏水脈으로의 侵入量에 따라 檢出能力이 다르므로 그때의 狀況에 따라 決定해야 한다.

다음은 Isotope 使用量의 問題이다. 直接 地表에서  $\gamma$ 線을 追跡하려면 미리 地表에서의 透過放射線強度를 推定하여 檢出能力을 檢出した 다음 投入量을 決定해야 할 것이다. 그럼에는 途中의  $\gamma$ 線의 吸收體 即 土壤, 岩石 土壤水分의 線吸收係數(linear absorption coefficient- $\mu l$ )를 算出할 必要가 있다.

$\mu l$ 의 測定은 現地の 土壤, 岩石을 採取하여

$$I/I_0 = e^{-\mu l} \text{로서 求한다.}$$

- I ..... 透過放射線強度 c. p. m.
- $I_0$  ..... 放射線의 投射強度 c. p. m.
- $\mu l$  ..... 測定物의 線吸收係數
- x ..... 測定物의 厚度 cm.

다음表는 實驗室에서 測定한 土壤, 岩石이  $\mu l$ 이다.

試料	$\mu l$
粘土	0.085~0.043
細砂	0.075
凝灰岩	0.098
安山岩	0.100

이 測定結果에 依하면 堰堤用土의  $\mu l$ 은 0.085~0.058 程度이다. 또 岩石일때는 同一 岩石이라도 節理, 龜裂이 發達한 것의  $\mu l$ 은 間隙이 없는 緻密한것에 比하여 約 30% 增大한다. 따라서 斷層等으로 岩石의 間隙率이 顯著히 發達된 地帶는 漏水脈을 形成하고 그위에 이런곳은 線吸收係數가 比較的 적으므로 探查는 容易하게 되어 探查精度도 올릴수있다.

漏水中の Isotope 이 投射放射線強度가 堤體, 地山을 貫通하여 地表에 設置된 計數管에 入射하는 到達放射線強度는 다음 式으로 求한다.

$$I/I_0 = \frac{2\pi r^2}{4\pi l^2} e^{(-\mu l_1 x_1)} + (-\mu l_2 x_2)$$

- I ..... 到達放射線強度
- $I_0$  ..... 投射放射線強度
- r ..... 計數管의 半徑 cm.
- l ..... Isotope 와 計數管과의 距離 cm.
- $\mu l_1$  ..... 土壤, 岩石自體의 線吸收係數
- $x_1$  ..... 同上의 厚度 cm.
- $\mu l_2$  ..... 土壤, 岩石中에 含有되어 있는 水分吸收係數
- $x_2$  ..... 同上의 厚度 cm.

岩石일때 岩石에 含有된 水分은 特殊한것을 除外하고는 너무 考慮할 必要는 없고 凝灰岩 泥岩, 砂岩, 塊堆岩等은 考慮해야 한다. 따라서 岩石水分吸收係數를 생각할 必要가 없는 岩石의  $\mu l$ 는 土壤粒子自體의  $\mu l$ 보다도 一般的으로 크나 土壤은 水分이 많으므로 그  $\mu l$ 이 加하여져서 岩石의  $\mu l$ 보다 크게 된다. 一例로서는 地表下 1m의 漏水中에  $Co^{60}$  40mc를 投入하여 比較的 分散하지 않고 漏水中에 存在하는 境遇를 假定하여 土壤水分 含水比 20%의 土壤 ( $\mu l=0.080$ )과 水分이 없는 岩石, 安山岩 ( $\mu l=0.100$ )의 境遇의 地表에 設置한 計數管의 到達放射線強度를 求하면

$$I/I_0 = \frac{2\pi r^2}{4\pi l^2} e^{(-\mu l_1 x_1)} + (-\mu l_2 x_2)$$

- 土壤일때
- l ..... 100 cm
- r ..... 2cm(mica window 製의 計數管)
- $\mu l_1$  ..... 0.080
- $\mu l_2$  ..... 0.064
- $x_2$  ..... 33.3cm
- $I_0$  .....  $17.7 \times 10^{10}$ (40cm)로 하면
- I .....  $6.59 \times 10^3$  c. p. m.

安山岩일때

- l ..... 100cm
- r ..... 2cm
- $\mu l_2$  ..... 0.100
- $I_0$  .....  $17.7 \times 10^{10}$ (40cm)로 하면
- I .....  $1.62 \times 10^3$  c. p. m.

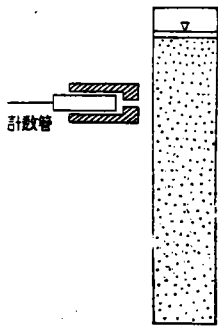
即 安山岩이 計數가 크다. 安山岩의 試料는 Boring Core를 利用하였으나 現地에서의 安山岩의 間隙率은 0.18~0.22%이고 實地는 이 計數

보다 많은것 같다.

c. 堰堤用土의 Isotope 의 吸着

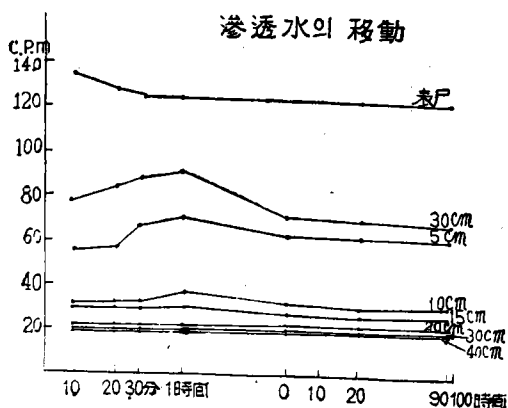
池水, 堤體 及 地山의 Boring 孔中에 投入한 Isotope 가 堤體 或은 地山의 漏水를 通過할때 岩石, 土壤에 依한 Isotope 吸着이 問題가 된다. 岩石은 土壤에 比하면 吸着性이 極히 적어서 考慮할 必要가 없으나 土壤에서는 注意해야 한다. 特히 土壤堤의 浸潤에 依한 漏水로 Isotope 가 土壤이온 (Ion)과 結合하여 Isotope 와 地下水와의 流動이 반듯이 一致하는것 같지는 않다.

다음에 土壤, 砂에對한  $P^{32}$  (chemical form  $PO_4$  in weak HCL)의 吸着狀態의 實驗을 보면 內徑 5.6cm, 길이 66cm의  $\beta$ 線吸收係數가 적은 세루로이드(Celluloid) 製 圓筒中에 Loam (日本關東地方)을 乾燥狀態로 2.79mm의 篩로처서 이것을 다지면서 充填하였다.  $P^{32}$  溶液 (8 $\mu$ c) 200cc를 圓筒上部에서 徐徐히 注入하니 溶液은 6分後에 完全히 滲透하였다. 注入과 同時에 一定時間마다 Collimeter (視準儀)를 裝置한 計數管을 同筒外部에서 이것에 接하여 水平으로 設置하고 同筒上端에서 下端까지의 放射線強度를 測定하였다.



$P^{32}$  溶液의 滲透를 눈으로 본때는 注入後 50 時間에 停止하고 길이 15cm에 達하였다. 一定 時間內에 있어서의 放射線強度變化는 다음 그림과 같이 되었다.

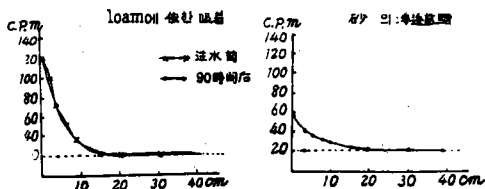
$P^{32}$ 에 依한 滲透水의 移動圖



이것은 물의 移動分布가 거의 같은 것으로 생각된다. 그런데 90時間後 水深을 5cm로하여서 上部에 注水하여 最初土壤水分과 같이 移動한  $P^{32}$ 의 움직임을 追跡 (Trace)하려한것이다. 注水後 90時間의  $P^{32}$ 의 移動은 다음 그림과 같이 注水前의 分布와 전혀 같으며 滲透水에도 全然 檢出되지 않았다. 따라서 一旦 土壤中에 吸着된  $P^{32}$ 는 그後 물의 移動에 追從하지 않는다는 것이 밝혀졌다.

川砂, 粒徑 0.589mm 以下에 對하여 같은 方法으로서 吸着性을 調査하였다. 土壤과는 달라서 滲透速度가 크기때문에  $P^{32}$  溶液注入即後의 測定은 不可能하였으나 滲透水의 滲出後의  $P^{32}$ 의 分布와 滲透水의 放射線強度를 測定하였다.

$P^{32}$ 의 loam에 依한 吸着



다음 그림과 같이 土壤에 比하여 表層部의 吸着은 훨씬 적고 20cm 以下에 있어서는 吸着作用은 거의 볼수 없다. 滲透水의 放射線強度는 注入한  $P^{32}$ 의 溶液과 거의 같은 數值가 나왔다. 即 表層部에서는 若干의 吸着을 볼수있으나 地下水와 같이 移動하기 때문에 砂礫層中の 追跡 (Trace)에는 充分히 使用할수 있다. 또 粘土層中에 pipe 模樣의 구멍을 파서 孔隙中에  $P^{32}$  溶液을 부어 吸着狀態를 試驗한 結果 孔壁에 若干의 吸着은 認定할수 있었으나 注入한  $P^{32}$  原液과 滲透水의 放射線強度가 거의 같았다. 그러므로 吸着을 생각할수 있는 土壤堤라도 pipe 模樣의 漏水脈이라면 Isotope는 支障없이 使用할수 있을것이다.

$Co^{60}$ 도 土壤中에서 吸着된다. 그러므로 Isotope가 土壤中에서 吸着, 吸收되는 것을 如何히 防止할것인가가 問題이다.

d. 汚染과 漏水處理

Isotope를 써서 堰堤漏水를 追跡할 境遇에는 養魚, 灌溉時期, 漏水路 貯水池와 地下水와의 關係를 調査하여 汚染의 問題가 없을 때에 限하여 池水에 Isotope를 投入할 것이다. 이때에는 半減

期가 짧은  $\text{Na}^{24}$ ,  $\text{P}^{32}$ 의 Isotope를 쓴다. 池水投入이 不可能하면 堤體, 地山에 Boring을 하여 그孔內에 Isotope를 投入하는 方便 觀測孔을 많이 만들어 그속에 計數管을 매달거나, 또는 一定量을 採水하여 濃縮하여 測定해야 할 것이다. 池水에 投入할 境遇 Isotope는 擴散沈降에 依하여 相當히 廣範圍하게 稀釋되므로 7線을 써서 堤體에서 直接 漏水經路를 探查하기보다 多리히 漏水侵入地帶로 생각되는 물이 닿는 데다가 Trench(掘割) 模樣으로 뜯을 파고 여기에다 投入하는 便이 分散及池水의 汚染을 막고 探查結果로 보아서도 適當한 方法일 것이다. 以上 實驗結果를 綜合하면 Isotope를 池水에 投入하여 그것이 漏水로 되어 河川의 流水와 合流하면 Isotope는 極度로 稀薄하게 되어 合流後 10~50m에서 이미 自然計數值를 나타낸다. (1) 採水, 蒸發乾固하여 測定)

投入한 池水는 投入後 1~10時間에서 自然計數值로 된다.  $\text{P}^{32}$   $\text{Co}^{60}$ 의 常時 飲用할 수 있는 最大許容限度는  $\text{P}^{32}$ 는  $2 \times 10^{-4} \mu\text{c}/\text{cc}$ ,  $\text{Co}^{60}$ 은  $2 \times 10^{-2} \mu\text{c}/\text{cc}$ 라 한다 (National Bureau of Standards, US. Department of Commerce, March 20, 1953) 이것을 基準으로 하면  $\text{P}^{32}$ 는 200mc로서  $1,000\text{m}^3$ ,  $\text{Co}^{60}$ 은 20mc로서  $1,000\text{m}^3$ 의 물

에 稀釋시킨다면 許容限度가 된다. 方便 이들 Isotope는 池水에 投入하면 擴散, 沈降作用에 依하여 어느時間이 지나면 自然히 大端히 分散, 稀釋하게 된다. 落合의 實驗에 依하면 1mc의  $\text{Co}^{60}$ 은 池水에 投入하면 約  $1,000\text{m}^3$ 의 물에 分散한다고 한다. 따라서  $1 \times 10^{-3} \mu\text{c}$ 는 許容限度보다 훨씬 낮게 된다. 萬若 例를 들면 50mc를 使用한다면  $50,000\text{m}^3$ 의 물에 分散시키면 된다. 또 이의 10倍의 安全度로 보면 最少限 50萬 $\text{m}^3$ 의 貯水量이 있는 貯水池에 實施하면 汚染의 危險性은 없는 것이다. 萬一 Isotope가 한場所에 沈積하여서 濃縮된다 하여도 池底의 泥土上이므로 下流에 流出할 危險은 전혀 없고 또 Isotope의 沈積層上에 洪水, 增水時의 流出土砂가 堆積하므로 그危險은 더욱 없게 된다. 그러나 如何間에 Isotope를 池水에 投入하는 것은 可及的 避하고 堤體, 地山의 漏水地帶에 投入하고 또 Isotope檢出中の 漏水는 完全히 處理해야 한다. 그 方法으로서는 漏水を 滲透性地層으로 引導하여 地中에 滲透시키거나 或은 化學적으로 Isotope를 沈殿시켜서 除去하거나 吸着劑를 使用하여서 여기에 吸着시키는 方法을 생각해야 한다.

(Isotope에 依한 堰堤漏水探查憲用例는, 다음 機會로 미룬다) (筆者 서울大 農大 教授)

## 美國의 灌溉事業地區가 着工될 때 까지의 過程

朴 基 丞

1902年 이 나라 開墾法(Reclamation law)이 制定된 以來 西部 17個州의 巨大한 處女地가 農土로서 開拓이 되고 電力이 供給되고 洪水를 防止하고 國民保健等에 이바지한바 莫大하여 그 赫赫한 業績은 世界 土木 및 農業土木界의 注視, 羨望의 金字塔를 이룩한 것입니다. 그러나 그 裏面에는 爲政者의 果敢한 施策과 各方面 技術者의 끊임 없는 研究 研磨의 結晶이라 할 수 있을 것입니다.

이 紙面을 利用하여 이 나라에 있어서의 한 事業地區가 着工될 때 까지의 技術面과 事務面, 行政府 對 立法府의 諸節次에 對하여 略記하여 여

러 同志의 參考에 資코져 하는 바입니다.

大體로 이 나라에 있어서 立法府의 權限과 水準은 크고 높다고 듣고 있습니다. 如何한 地區를 莫論하고 行政府에서 提案하여 立法府의 承認(一種의 法律案) 없이는 着工할 수 없고 一端 承認된 地區는 政府의 財政年度 割當計劃이 確立되므로써 工事進捗에 對한 資金의 支障은 極히 적다고 합니다.

至今 順次的으로 行政府의 調查書 및 事業計劃書의 作成要領을 說明하겠읍니다.

### I 事業地區의 調査

調査에 對하여는 大略 三分하여 進行하고 있