

## 防潮堤 漏水部位 確認을 위한 SP/VLF 探查法の 適用性

조진동\* · 정현기\* · 정승환\* · 김정호\*

### The SP/VLF Methodology to Confirm the Seawater Seepage Zone of the Embankment

Jin-Dong Cho\*, Hyun-Key Jung\*, Seung-Hwan Chung\* and Jung-Ho Kim\*

**ABSTRACT** : Combined SP/VLF surveys were carried out at tide embankment, Changgi-ri, Anmyeon-up, Chungcheongnam-do in order to confirm the seawater seepage zone of the embankment using the 128 Channels SP monitor system and VLF/Magnetometer system. These methods were successful in the detection of the seawater seepage zone. The self-potential method can give better resolution of the seepage zone than do VLF method.

#### 序 論

물을 관리하는 것은 地球 環境保全 側面에 重要한 位置를 차지하고 있으며, 이와 並行 하여 堤防,防潮堤 管理도 또한 重要한 것으로 생각된다. 外國에서는 堤防, 堤防에 대한 漏水 現象을 確認하기 위하여 오래 전부터 物理探查法을 利用하여 왔다(Black, 1984; Butler, 1984; Cooper, 1982; Corwin, 1989; Llopis, 1987; Yale, 1985). 특히 自然電位(Self-Potential 혹은 Spontaneous Polarization)探查法은 각 地層의 物性이 다른 점을 利用하여 間接적으로 地下地質構造를 糾明하는 대부분의 他 電氣,電磁探查法과 달리 직접적으로 地下水 흐름의 經路나 水量에 비례하는 異常值(anomaly)를 測定分析하는 方法으로 그 歷史가 오래되었으며, 現在까지 세계적으로 堤防 漏水部位探知를 비롯한 各種 크고 작은 水理地質問題에 應用되고 있다. 한편 國內에서는 鄭承桓(1988)등이 堤防漏水 確認 目的으로 全北 扶安地域과 忠南 靑陽地域의 두 저수지 堤防을 研究對象으로 採擇하여 電氣比抵抗 探查法을 利用하여 遂行하였다. 本 研究은 防潮堤 漏水 確認을 위한 探查法の 適用性 檢討를 目的으로 當 研究所에서 開發한 128채널 SP 連續觀測 시스템과 VLF/Magnetometer system (OMNI-PLUS)을 이용한 探查를 실제로 漏水 現狀을 보여주고 있

는 忠清南都 安眠島 倉基里 防潮堤 (Fig. 1)에서 遂行하였다. 探查 結果, 時間的인 概念을 도입한 4차원적 SP現象을 連續 觀測 할 수 있는 128채널 SP連續觀測 시스템이 效果的인 것으로 判斷되었다.

#### 資料 獲得 및 處理

防潮堤 漏水 確認에 대한 SP/VLF의 적용성 검토를 위하여 4次元의 自然電位 物理 變化量을 連續으로 觀測 할 수 있는 SP 連續 觀測시스템과 固定無線局에서 發信되는 電磁波를 測定 할 수 있는 VLF 探查法을 利用하여, 現場에서 探查 資料를 獲得하였다.

#### 128채널 SP連續觀測 시스템

Fig. 2에서 보는 바와 같이 防潮堤위에서 Pb-PbCl<sub>2</sub> 특수센서를 10m간격으로 4개 側線을 설치하여 7월 22일 14시 41분 부터 7월23일 14시 01분 까지 개략적으로 24시간 동안 自然 電位 變化量의 資料를 획득하였다 (Fig. 3). 한편 SP 觀測資料와 潮位變化를 比較檢討 하기 위하여, 建交部 水路局에서 西海岸의 潮位變化를 觀測하기 위하여 隣接 地域인 安興, 高靈地域에 設置된 檢潮所에서 潮高에 관련하여 2 時間 마다 潮位變化를 觀測 한 結果를 2개 地點에서 觀測된 SP 資料와 더불어 Fig. 4와 같이 作成하였다.

\* 韓國資源研究所 (Korea Institute of Geology, Mining, and Materials, Taejeon 305-350, Korea)



Fig. 1. Location map.

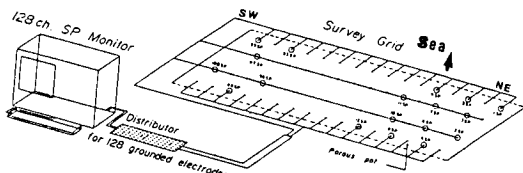


Fig. 2. The configurations of the 128CH electrodes.

**VLF/Magnetometer system(OMNI-PLUS)**

存無線局에서發信하는低周波에 의하여形成되는電磁場과外見比抵抗을潮汐이 제일 높은 때 (07/23/04:03-04:45)와 낮은 때 (07/23/10:32-11:07)測定間隔을 20 m로 2회測定하였다. 이때測定된電磁場은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 일본의 NDT (周波數, 17.4kHz), 호주의 NWC (周波數, 22.3 kHz) 및 하와이의 NPM (周波數, 23.4kHz) 등 3개無線局에서發信하는電磁波를利用하였다. 한편測定된 VLF 異常帶 確認을 위하여測定된 In-Phase값에 대하여 4점, 5점을 이용한 Fraser filter (Fraser, 1969)를行하였으며, 그結果를 Fig. 6과 같이作成하였다.

**解釋 및 考察**

SP(自然電位)現象은 媒質間的 電氣化學的性質에 의한電位, 異種의 岩石 接觸部에 생기는 接觸電位, 이온의 吸着에 의한電位 및 地下水의 浸透流動에 의해서發生되는電位 등등의數 많은 原因에 의해서 自然的으로 電位가發生되는 現象을 意味한다.

防潮堤 漏水로 인해서 形成된 電位를 連續으로 觀測한 SP 資料를 2 시간대 별로 나타낸 Fig. 3에서 보는 바와 같이 낮은-SP값을 보여 주는 靑色部位의 輪廓의 變化는 7月 22日 22時 18分경에 크게 보여 준 후에 점점 작아졌다가 다시 7月 23日 11時 12分경에 部位 輪廓은 크게 보여 주면서 사이클을 이루고 있음을 알 수 있다. 따라서 時間的 變化에 따른 潮高 (Tide)와 自然電位 關係 有無에 대한 檢討를 위해서 SP 觀測 防潮堤 隣接地域의 안흥檢潮所 (36° 24' N, 126° 29' E), 고정檢潮所 (36° 40' N, 126° 09' E)에서 時間別로 實測된 潮高變化 (建交部 水路局, 1990)의 潮高 實測 資料와 倉基里 防潮堤 兩端에 SP 觀測點의 SP02, SP122에서 自然電位의 時間的 變化를 相互 比較 하였다. 그 結果, 海水面이 높아지는 時間 때의 高潮 狀態에서의 自然電位 값은 높게, 低潮일 때 自然電位 값은 낮은 값을 보여주는 傾向을 보여주고 있다 (Fig. 4). 그러나 觀測 時間의 週期 時間이 짧은 관계로 自然電

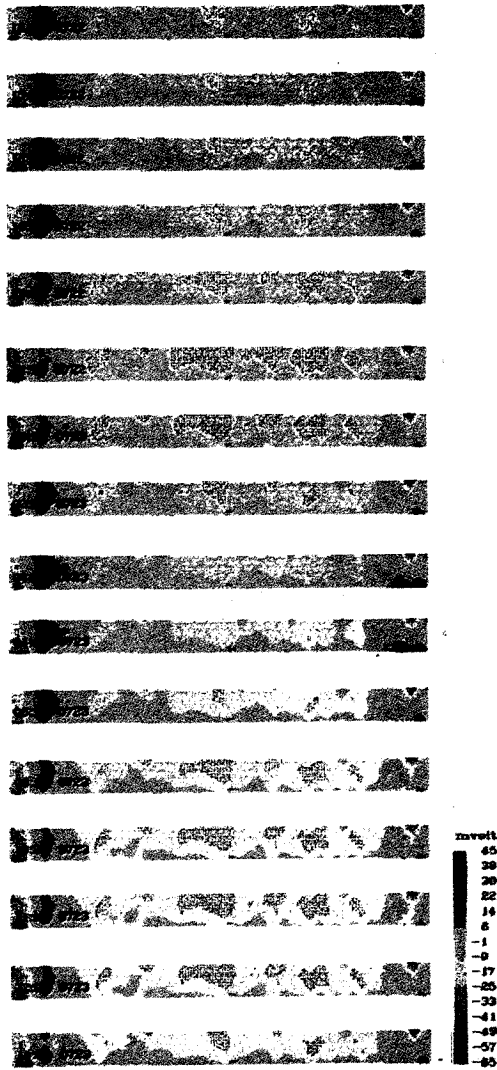


Fig. 3. Map of the results of a long-term SP monitoring in Changgi-ri tide embankment.

位的 變化와 潮汐의 關係를 客觀性 있게 檢査하지 못 하였으나, 時間別 SP 觀測分析에 의하면 24 時間 自然電位 變化量은 潮位變化에 대해 그 最高值 및 最低值가 약 30분 내지 40분 遲延되어 觀測된다. 이는 이 地域의 探查時 潮位變化 幅과 地下의 媒質特性(電氣傳導度, 透水率의 分布)에 起因하는 것으로 解釋된다. 한편 SP 觀測資料의 靑色部位는 海水가 防潮堤의 軟弱帶를 통하여 逆流하는 個所들로서 潮汐으로 海面이 가장 높아진 高潮(high water)때, 1990/07/23/04:43에서 보여준 SP 값의 變化는 가장 낮아진 低潮때 1990/07/22/22:18에서 보여준 SP 값보다 높은 값을 보여 주고 있다. 또한 이들의 相互 關係性

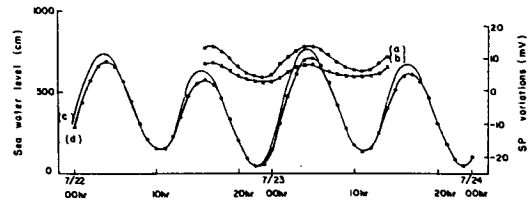


Fig. 4. Variations of SP and sea water level in accordance with time. (a) SP variations at site #122, (b) SP variations at site #2, (c) Sea water level variations at the Kojong tide gauging station, (d) Sea water level variations at the An-hung tide gauging station.

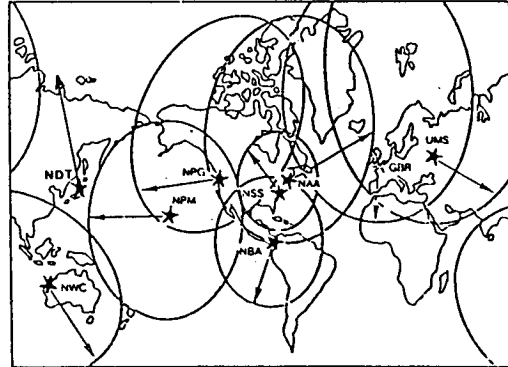


Fig. 5. Location of well-known VLF transmitter stations.

을 보여 주는 것으로 보아 地電流에 의한 探查資料 解釋, 防潮堤 漏水/流動電位 研究을 위해서는 長期的으로 SP를 觀測할 必要性이 있을 것으로 判斷 된다.

VLF 探查에 있어서 送信源의 方向은 探查 對象構造의 走向 分解能과 밀접한 關係를 가지므로 보통 두 個以上의 送信所에 의한 電磁氣波를 이용한다. 地下에 垂直傳導體가 存在할 경우에서는 우리나라에서 受信될 수 있는 3개 送信源을 利用하였다. VLF測定에 의한 電磁波 異常을 檢査하면 NPM (하와이), NDT (일본) 無線送信所에서 發射한 波에 의한 電磁場의 異常帶 모양은 비슷한 樣相을 보이나 NWC (호주) 無線送信所에서 發射한 波의 모양은 Fig. 6-a, -b에서와 같이 서로 다른 樣相을 보여 준다. 이는 NPM (하와이), NDT (일본) 送信所의 位置가 비슷한 方向에 놓여 있고, NWC (호주) 送信所의 위치는 이들 보다 -90°방향에 놓여 있기 때문으로 생각된다. 潮高의 高低에 따라 In-Phase, Out of Phase 모양이 다르게 나타나고 있다. 즉 高潮일때 In-Phase의 轉換點이 點 49이나 低潮일 때의 轉換點(cross-over point)은 點 9이다. 이와 같은 事實로 볼 때 電磁波에 의한 探查方法도 海水가 堤防으로 流入되고 있음을 示唆해 주고 있는 것으로

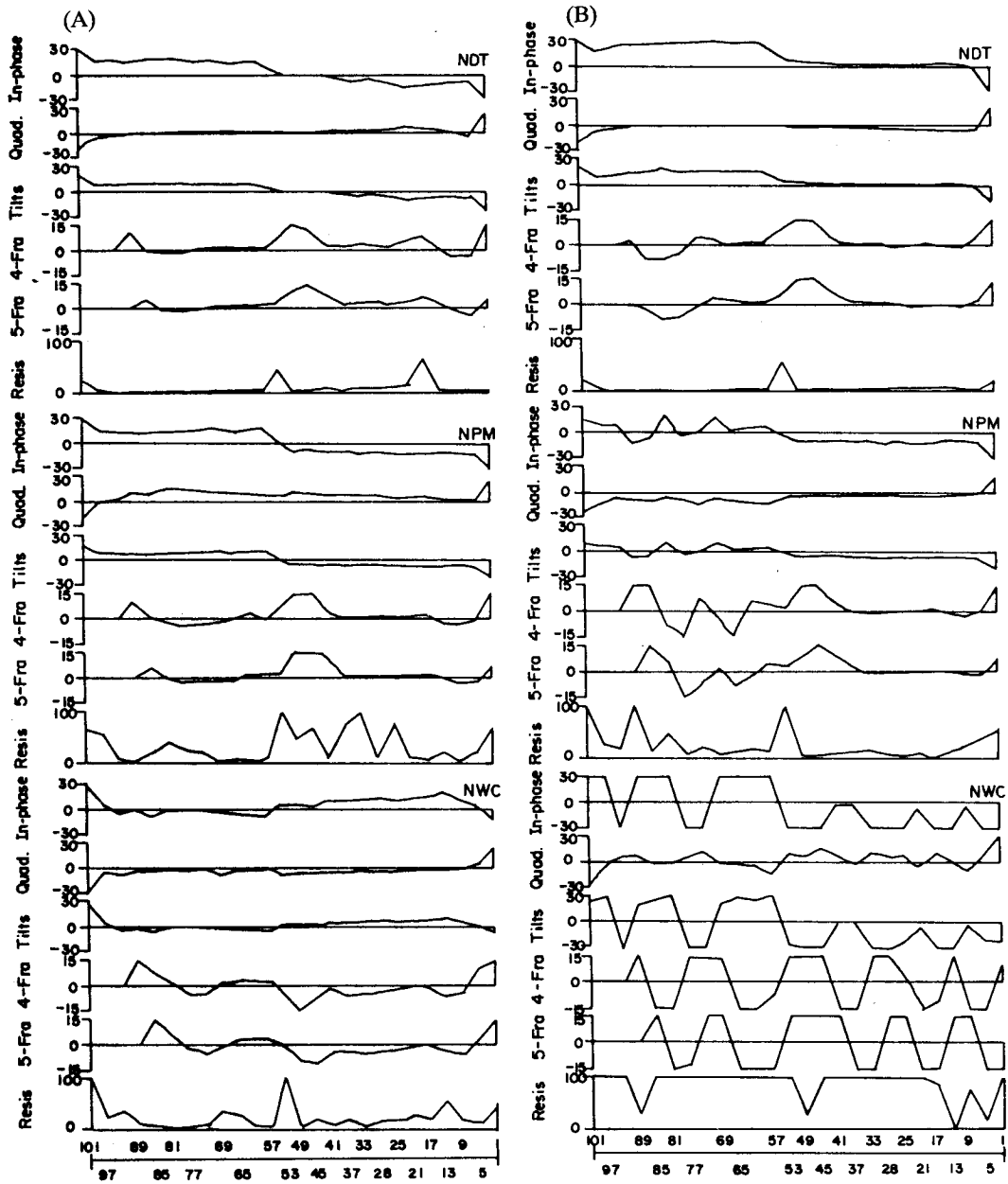


Fig. 6. VLF and Fraser filtered profiles at the low water(A) and high water(B).

생각된다. 海水流入에 의해서 汚染된 傳導性이 높은 區域은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 대체로 In-Phase의 轉換點 49를 기준으로 하여 오른쪽 部分으로 判斷된다.

한편 이들 方法에서 얻어진 資料 確認을 위하여 堤防 안쪽에 있는 河川을 따라 고인 물의 Total Dissolved Solids (Table 1)를 EC METER을 사용하여 現場에서 直接

Table 1. Total Dissolved Solids of water. (unit : ppm)

Location	TDS	Location	TDS
SP 05	3,700 - 4,900	SP 49	2,000 - 2,700
SP 17	2,300 - 3,070	SP 53	2,700 - 3,750
SP 25	3,500 - 4,600	SP 57	1,500 - 2,000
SP 33	5,000 - 6,700	SP 60	850 - 1,700

測定하였다. Freeze, Cherry (1979)가 TDS를 根據로 물을 分類한 것에 의하면 SP 觀測한 防潮堤 隣接 河川水는 대체로 Brackish water에 속한다. 따라서 河川에 高여 있는 물은 海水의 影響을 받았을 것으로 判斷된다.

SP가 連續 觀測된 地點의 隣接 河川水의 Total Dissolved Solids는 Table 1에서 보는 바와 같이 SP 33 地點에서 가장 높게 나타난다.

SP 探查法과 VLF 探查法에 의한 結果를 相互 比較 考察하면 SP 連續觀測은 自然電位の 變化狀態를 直接 分別할 수 있으므로 海水가 流入되는 곳의 情報를 直接 判別할 수 있으나 電磁波를 利用한 VLF探查法은 세밀하게 判別하기가 어렵다. 단지 傳導性區域과 傳導性 區域으로 크게 區分되므로 海水流入에 의한 汚染帶의 輪廓에 대한 情報를 얻을 수 있을 것으로 判斷된다.

## 結 論

1. SP 連續觀測시스템은 自然電位の 物理量 變化狀態를 時間的概念을 導入한 4차원적으로 細密하게 分析을 試圖할 수 있으나 VLF探查法은 細密하게 判別하기가 어려웠다.

2. 時間變化에 따라 SP값이 최대 약 40 mV까지 變化되고 있음을 알 수 있으며 潮位變化에 비해 이 지역에서 는 약 30분 내지 40분 遲延되어 그 최고치가 觀測된다. 측정 SP05에서 SP53구간 사이의 防潮堤 수개소에서 海水가 逆流되고 있는 것으로 解釋되었으며 이는 現場에서 各區間의 물의 電氣傳導度는 測定値와 일치하였고 심한 海水 漏水區間에서는 밀물시 肉眼으로 逆流가 確認되었다.

## 參考文獻

- 鄭承桓, 金禎浩, 徐在榮 (1988) 地下地質 및 漏水調查 電探研究. 農業振興公社.
- 建交部 水路局 (1990) 안흥.고정檢潮所 實測 潮位資料.
- Fraser, D.C. (1969) Contouring of VLF-EM data. *Geophysics*, v. 34, p. 958-967.
- Black, W.E., and Corwin, R.F. (1984) Application of self-potential measurements to the delineation of groundwater seepage in earth-fill embankment. 54th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p. 162-164.
- Cooper, S.S., Koester, J.P. and Franklin A.G. (1982) Geophysical investigation at Gathright DAM. U.S. Army Corps of Engrs., Misc. Paper GI-82-2.
- Corwin, R.F. and Butler, D.K. (1989) Geotechnical applications of the self-potential method: Rept. 3: Development of self-potential interpretation techniques for seepage detection: Tech. Rep. REMR-GT-6, U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC.
- Erchul, R.A. (1987) Geotechnical Application of the self-potential(SP) method Report 1, The use of self-potential in the detection of subsurface flow patterns in and around sink-holes: Tech. Rep. REMR-GT-6, U.S. Army Corps of Engr.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 604p.
- Llopis, J.L. (1987) Geophysical investigation in support of Beaver Dam comprehensive seepage investigation. M.S. thesis, Miss. State Univ.
- Koester, J.P., Butler, D.K., Cooper, S.S., and Llopis, J.L. (1984) Water Dam comprehensive seepage analysis: U.S. Army Corps of Engrs, Waterways Experiment Station Misc. Paper GL-84-3.
- Yale, D.E., Liopis, J.L., and Sharp, M.K. (1985) Geophysical seepage studies at Center Hill Dam, Tenn: U. S. Army corps of Engrs. Waterway Experiment station Misc. paper GL-85-29.

1996년 8월 8일 원고접수