

## 지하물관로조사에서 자연전위법의 적용

김기성

자연전위법은 유용광물탐사와 수문지질학적연구, 지열탐사, 사태조사, 화산과 지진예보 등에 많이 이용되고있는 전기탐사법의 한 종류이다.

현재 지구물리탐사자료해석에 많이 이용되고있는 확률토모그래피법은 최소두제곱법 이론에 기초한 일반적인 반복풀이법들에 비하여 계산알고리즘이 간단하므로 현장에서 쉽게 이용할수 있는 우점을 가지고있다.

논문에서는 확률토모그래피법을 이용한 자연전위이상해석방법으로 지하물관로에서 물의 루출위치를 찾아내는 방법에 대하여 고찰하였다.

### 1. 확률토모그래피법에 의한 자연전위이상해석방법

지하에 점전류원천이 있다고 가정할 때 지표면의 어떤 점  $P(x, y)$ 에서의 포텐셜  $U(P)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$U(P) = \frac{1}{2\pi} \left( \int_v \frac{\rho \nabla \cdot J}{r} dv + \int_v \frac{E \cdot \nabla \rho}{\rho r} dv \right) \quad (1)$$

여기서  $\rho$ 는 매질의 비저항,  $J$ 는 점전류원천의 전류밀도,  $E$ 는 전기마당의 세기,  $r$ 는 점전류원천과 관측점사이의 거리이다.

식 (1)의 첫번째 적분은 점전류원천이나 지하수의 류입점들에 의하여  $P$ 점에 생기는 포텐셜이며 두번째 적분은 체적  $v$ 내부에서의 비저항변화에 의하여 생기는 포텐셜이다.

식 (1)의 적분을 리산화하여 합형식으로 표시하면 다음과 같다.[2]

$$U(P) = \sum_{q=1}^Q \frac{\Gamma_q}{r_q} \quad (2)$$

여기서  $Q$ 는 점전류원천의 수,  $\Gamma_q$ 는  $q$ 번째 전하의 전하축적밀도,  $r_q$ 는  $q$ 번째 점전류원천으로부터 관측점  $P$ 까지의 거리이다.

$(x, y, z)$ 자리표계를 이용할 때 지표면에서 자연전위탐사선방향을  $x$ 축방향과 일치시키면 즉 관측점  $P$ 가  $x$ 축을 따라 움직인다면 식 (2)는 다음과 같이 표시된다.

$$U(x) = \sum_{q=1}^Q \frac{\Gamma_q}{\sqrt{(x-x_q)^2 + h_q^2}} \quad (3)$$

여기서  $h_q^2 = y_q^2 + z_q^2$ 이며  $x_q, y_q, z_q$ 는 각각 점전류원천의  $x, y, z$ 자리표이다.

전기마당세기의  $x$ 축방향성분은 다음과 같다.

$$E_x(x) = -\Delta U(x) / \Delta x \quad (4)$$

공간영역에서의 2차원자연전위 토모그래피는 전하발생확률함수( $COP$ )에 의하여 실현되는데  $COP$ 는 다음과 같은 형태를 가진다.[2, 3]

$$\eta(x_q, h_q) = Ch_q^{3/2} \int_{-\infty}^{+\infty} E_x(x) \zeta_x(x - x_q, h_q) dx, \quad h_q > 0 \quad (5)$$

여기서

$$\zeta_x(x - x_q, h_q) = \frac{x - x_q}{[(x - x_q)^2 + h_q^2]^{3/2}} \quad (6)$$

$$C = \frac{2\sqrt{2}}{\left[ \pi \int_{-\infty}^{+\infty} E_x^2(x) dx \right]^{1/2}} \quad (7)$$

이다.  $\zeta_x(x, h)$ 를 공간영역주사함수라고 한다.

실지응용에서는 전하발생확률함수  $COP$ 의 리산형태를 리용한다.

이제 옹근수들인  $\chi, \xi, \delta$ 를 도입하고  $\delta > 0$ 이라고 할 때  $x = \chi\Delta x, x_q = \xi\Delta x, h_q = \delta\Delta x$ 라고 하면  $COP$ 의 리산형태는 다음과 같이 표시된다.

$$\eta(x_q, h_q) = -\frac{C\delta^{3/2}}{\Delta x^{1/2}} \sum_{\chi=\chi_{\min}}^{\chi_{\max}} \Delta U(\chi) \frac{(\chi - \xi)}{[(\chi - \xi)^2 + \delta^2]^{3/2}}, \quad \delta > 0 \quad (8)$$

## 2. 자연전위탐사법을 리용한 지하물관로조사

일반적으로 공극성매질에서 지하수의 러과작용에 의하여 러과전위가 생긴다는것은 이미 알려져있다.[1]

연구지역에는 음료수공급을 위한 폴리비닐관으로 된 물관로가 지하 1m정도의 깊이에 묻혀있으며 그밑에는 콘크리트와 자갈, 모래 등으로 다져진 메움층이 존재하고있다.

관로에서 물이 새는 경우 루출점밑에 있는 메움층에는 물흐름통로가 생기게 되며 결국 물스밈현상에 의한 러과전위가 형성되게 된다. 우리는 지하관로의 조사깊이가 6~7m정도이며 관로에 생긴 루출점의 크기가 작다는것을 고려하여 탐사점간격을 10cm로 하였으며 70개의 탐사점에서 자연전위이상을 측정하였다.(표, 그림 1)

표. 측정된 자연전위이상(mV)

No.	측정값	No.	측정값	No.	측정값	No.	측정값	No.	측정값
1	6	9	8	17	-5	25	-34	33	-42
2	18	10	8	18	15	26	-33	34	-39
3	19	11	2	19	-10	27	-32	35	-39
4	14	12	0	20	-20	28	-34	36	-36
5	12	13	2	21	-20	29	-49	37	-36
6	11	14	8	22	-22	30	-57	38	-32
7	10	15	19	23	-26	31	-54	39	-37
8	10	16	7	24	-33	32	-40	40	-39

No.	측정값	No.	측정값	No.	측정값	No.	측정값	No.	측정값
41	-41	47	-20	53	-3	59	40	65	61
42	-38	48	-8	54	7	60	48	66	61
43	-34	49	9	55	20	61	50	67	62
44	-34	50	-11	56	16	62	56	68	61
45	-25	51	13	57	15	63	58	69	61
46	-19	52	2	58	21	64	60	70	61

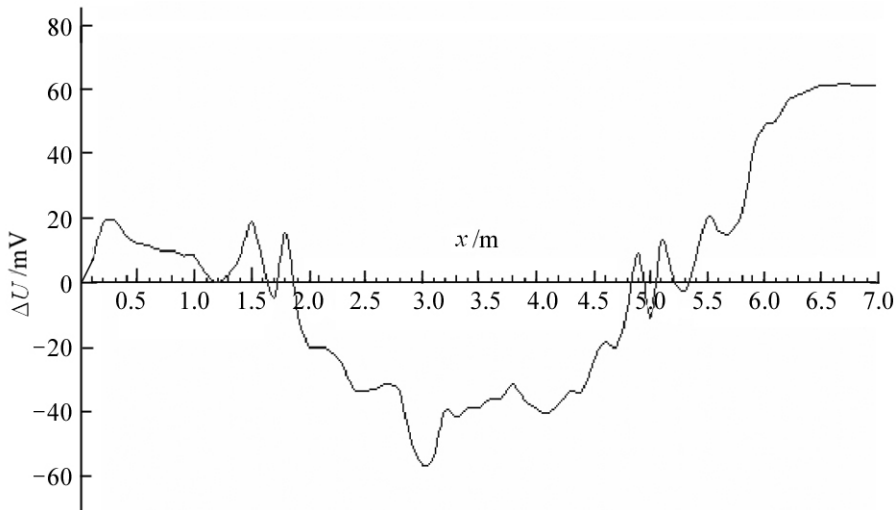


그림 1. 물관로에 대한 자연전위이상측정결과

식 (8)을 리용하여 물관로에 대한 자연전위토모그래피결과를 얻었다.(그림 2)

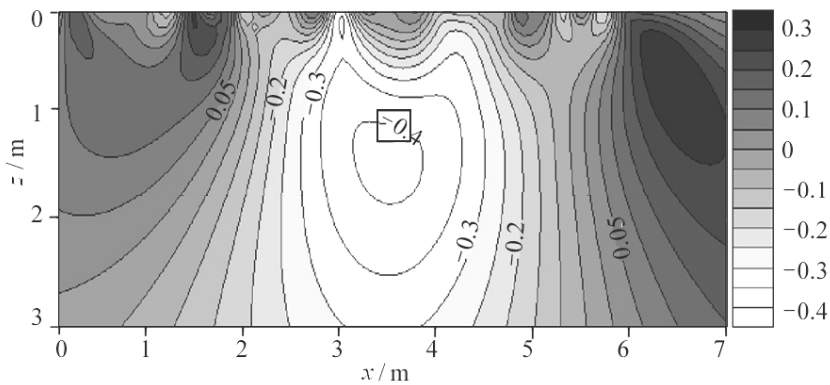


그림 2. 물관로에 대한 자연전위토모그래피결과

그림 2에서 보는것처럼 탐사선의 3~4m 위치에서 깊이 1~2m에 전하발생확률함수의 절대값이 제일 큰 구역이 존재한다.

해석결과에 기초하여 관로보수를 위한 작업을 진행한 결과 탐사선 3~3.5m 근방의 1.1m 깊이에 있는 관로부분(그림 2에서 정방형으로 표시된 부분)에서 물이 스며나와 지하로 흘러들어가는것이 발견되었다.

이로부터 우리는 지하에 묻혀있는 물관로조사에 자연전위토모그래피법을 효과적으로 리용할수 있다는것을 확증하였다.

## 맺는 말

확률토모그래피법은 최소두제곱법리론에 기초한 반복풀이법들에 비하여 계산알고리즘이 간단하고 계산량이 적은 우점을 가지고있다.

자연전위이상을 확률토모그래피법을 리용하여 해석하면 지하에 묻힌 물관로에서 루출점의 위치를 효과적으로 찾아낼수 있다.

## 참고 문헌

- [1] 조만길; 응용지구물리학, 김일성종합대학출판사, 97~101, 주체96(2007).
- [2] D. Patella; Geophysical Prospecting, 45, 653, 1997.
- [3] L. HaiLi et al.; Chinese Journal of Geophysics, 48, 6, 1408, 2005.

주체107(2018)년 4월 5일 원고접수

## **Application of the Self-Potential Method to the Survey of the Underground Water Pipeline**

*Kim Ki Song*

We found the leaked place in the pipeline by interpreting the self-potential anomaly caused by the leakage of water from the underground water pipeline with the probability tomography method.

Key words: self-potential, water pipeline, probability tomography