

지온탐사에 의한 저수지 제방의 누수 조사

박삼규* · 김희준**

Delineation of Water Seepage in a Reservoir Embankment from Ground Temperature Measurements

Sam Gyu Park* and Hee Joon Kim**

ABSTRACT : The water leakage of reservoir embankment usually occurs through water vein, which gives little influence on the embankment in a normal state. However, the embankment can be destroyed when the water level of reservoir increases with heavy rain in summer. Investigating the water vein and its path is therefore very important from the viewpoint of disaster prevention and embankment protection. This paper presents survey results of one-meter-depth ground temperature and multi-point temperature logging in an embankment in Japan to delineate water veins and permeable formations. Four water veins have been predicted in the embankment by comparing measured one-meter-depth ground temperatures with the background ones which have no effect of water vein. The multi-point temperature logging was carried out in the borehole drilled at one of the predicted water veins. Depth and thickness of the permeable formation in the borehole can be determined from temperature restoration ratios with elapsed time. From these results we can find that the water leakage of reservoir embankment mainly occurs in sandy soil formation in the embankment.

서 언

우리 나라는 옛날부터 농경문화가 발달되어 농업용수의 확보를 위해 전국에 걸쳐 많은 저수지를 축조해 왔다. 국토의 약 70%가 산지이기에 지형이 비교적 험한 우리나라는 강우의 유출이 빨라 토지의 보수력이 낮기 때문에 저수지는 농업용수를 안전하게 확보하는 수단이었다. 그러나 현재는 축조후 오래된 저수지가 많고, 이들 대부분이 제방의 노화 및 누수 현상으로 그 안전성이 우려되고 있다.

저수지 및 하천 제방 등의 누수현상은 제방 전면에 걸쳐 일어나기보다는 국부적으로 일어나는 경우가 대부분이다. 그러므로 제방의 파괴나 대규모 누수 등에 의한 재해에 직접적으로 영향을 미치는 침투수는 총상으로 존재하기보다는 수맥상으로 존재하는 경우가 많다. 이러한 수

맥은 평상시에는 주변의 제방에 아무런 영향을 미치지 않지만, 호우나 장마철과 같이 강우량이 많아 저수지 및 하천의 수위가 급상승하게 되면 수맥 내의 수압도 상승한다. 이러한 수맥 내의 수압 상승은 수맥을 둘러싸고 있는 체류성의 물을 매개로 하여 주변 토괴에 높은 간극수압을 발생시키고 국부적으로 흙 입자의 이동을 일으킨다. 이러한 현상은 파이핑 (piping)이라 불리고, 발생 초기에는 국부적으로 일어나지만 점차적으로 대규모의 누수 및 제방의 파괴로까지 발전하여 큰 재해를 유발시킨다. 따라서 이와 같은 재해를 사전에 방지하기 위해서는 누수의 원인이 되는 수맥을 찾아 적절한 누수 방지대책을 세우는 것이 무엇보다도 중요하다.

종래의 저수지 누수조사는 현지답사에 의존해 왔다. 그러나 대부분의 누수현상은 지반과 제방의 경계면에서 일어나는 경우가 많고, 또한 누수현상을 발견하더라도 수맥의 경로를 파악하기가 어려워 누수 방지대책 수립에 어려움이 많았다. 본 논문에서는 노화된 저수지 제방에 대한 새로운 누수조사법으로 1 m 깊이 지온탐사와 다점 온도검증법을 소개하고, 저수지 제방의 누수 장소 및 경로, 수맥의 깊이 및 규모 등을 파악한 예를 소개하고자 한다.

* 일본 농림수산성 삼림 총합연구소 (Forestry and Forest Products Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ibaraki 305-8687, Japan)

** 부경대학교 탐사공학과 (Department of Exploration Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea), E-mail: hejkim@dolphin.ac.kr

저수지의 개요

조사 대상 저수지는 일본 와카야마현 가이난시 (북위 34°10', 동경 135°10')에 위치한다. 이 저수지는 농업용수를 저장하기 위한 것으로 U자형 계곡에 제방을 쌓아 만들어졌다. 저수지의 제방은 강풍화편암의 기반암 위에 점토질 및 사질토로 축조되었으며, 축조 후 약 100년이 지나 제방의 안정성이 우려되고 있다. 현지답사로 제방의 일부에서 소규모의 붕괴, 균열 및 함몰이 관찰되었으며 두 곳에서는 각각 7 l/min과 15 l/min의 누수가 확인되었다. 누수량은 저수지의 수위에 따라서 다르지만 조사 당시는 1월로 저수위 상태였다. 이러한 누수현상은 저수지의 보수력을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 여름철의 장마나 호우 등에 의해 저수지의 수위가 상승하면 제방의 안전성마저 잃어버릴 가능성이 높다. 따라서 조기에 누수 장소 및 경로, 수맥의 깊이 및 규모 등을 파악하여 적절한 누수 방지 대책을 세울 필요가 있다.

본 조사의 순서를 Fig. 1에 나타낸다. 먼저 현지답사로 부터 저수지 제방의 외형적 붕괴 및 누수현상을 파악하고, 1 m 깊이 지온탐사의 축선을 설정한다. 1 m 깊이 지온탐사의 결과로부터 저수지 제방의 누수 장소 및 경로를 파악하고, 이를 바탕으로 누수의 원인이 되는 수맥의 존재를 확인하기 위하여 시추조사를 실시한다. 이 시추공을 이용하여 다점 온도검층을 실시하고, 그 결과로부터 수맥의 깊이 및 크기를 파악한다.

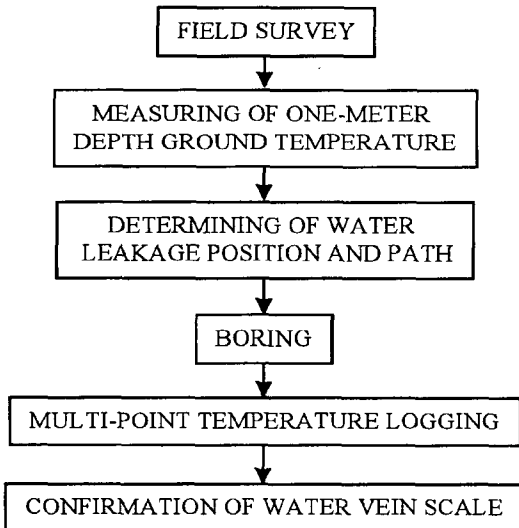


Fig. 1. Flow diagram of water leakage survey in the reservoir embankment.

1 m 깊이 지온탐사

탐사 개요

1 m 깊이 지온탐사의 주목적은 조사지역 1 m 깊이의 지온분포도로부터 지하수의 유동경로에 관한 정보를 얻고자 하는 것이다 (Birman, 1969; Cartwright, 1974). 이 탐사는 주로 산사태 지역의 지하수 유동경로를 조사하는 방법으로 널리 사용되어 왔으며, 최근에는 댐 및 저수지의 누수 조사, 지하수 개발 및 터널 시공을 위한 지하수 조사에도 이용되고 있다 (Takeuchi, 1996).

Fig. 2는 지하에 수맥이 분포하고 있을 경우 지하 천부의 일반적인 온도분포를 나타낸 것이다. 수맥내의 지하수 온도와 지반의 온도가 다르기 때문에 수맥내의 지하수 온도는 주위 지반에 영향을 미친다. 예를 들면, 겨울철에는 수맥의 온도가 주위 지반의 온도보다 높고, 여름철에는 이와 반대 현상이 나타난다. 이러한 이유는 지하수의 온도는 계절의 변화와 관계없이 거의 일정하지만, 지하 1 m의 온도는 계절에 따라 태양의 일사량과 기온의 영향을

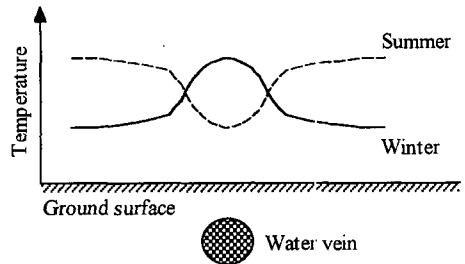


Fig. 2. Schematic showing one-meter-depth ground temperatures in summer and winter. The one-meter-depth ground temperature around water vein is low in summer because of lower temperature of water vein. In winter reverse phenomenon occurs.

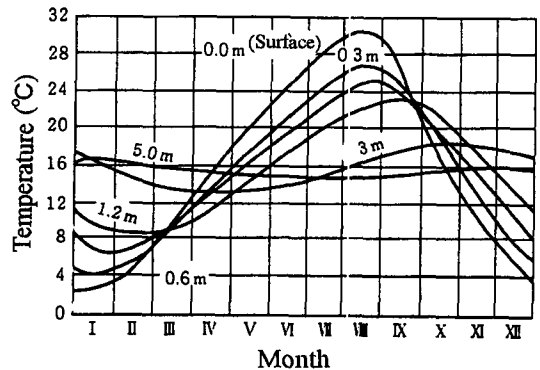


Fig. 3. Monthly change of ground temperature with depth (from Kohira, 1948).

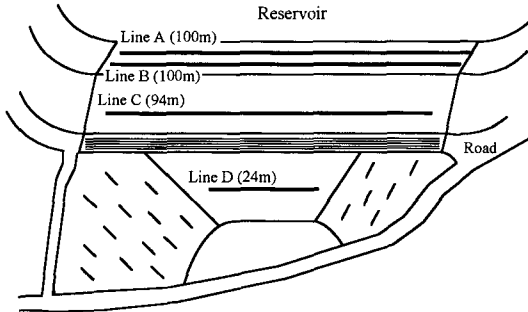


Fig. 4. Sketch drawing survey lines. Lines A and B are set on the top of embankment, while lines C and D are located on its slope.

받아 크게 변화하기 때문이다 (Kappelmeyer, 1957).

Fig. 3에 지온의 월변화를 나타내었다 (Kohira, 1948). 지하 5 m의 온도는 계절 변화에 관계없이 거의 일정하지만, 지하 1.2 m의 온도는 1년 중 2월이 가장 낮고, 9월이 가장 높게 나타난다. 따라서, 1 m 깊이 지온탐사의 실시 시기로는 수맥내의 지하수 온도와 주위 지반의 온도 차이가 가장 큰 한여름과 한겨울이 적당하다. 본 조사는 1월에 실시하였으며, 저수지의 수온이 제방의 지온보다 낮기 때문에 저수지의 누수현상이 일어나는 곳에서는 주변 지반의 온도를 저하시킬 것으로 생각되고, Fig. 2에 표시한 여름의 온도 분포 곡선과 비슷한 형태로 나타날 것으로 예상된다.

1 m 깊이 지온탐사를 위해서 저수지 제방에 4개의 측선을 설정하였다 (Fig. 4). 측선 A와 B는 제방의 위쪽 평면에 설치했으며, 길이는 각각 100 m이다. 또한 측선 C와 D는 제방의 사면에 설치했으며, 길이는 각각 94 m와 24 m이다. 각 측선에서 지온 측정간격은 2 m로 하였으며, 4개 측선의 총 측정수는 166개다.

측정방법은 먼저 직경 20 mm 길이 150 cm의 강철봉을 이용하여 깊이 1 m의 구멍을 파고, 측정봉을 삽입한 후 10분 정도 경과했을 때 아날로그 온도계를 이용하여 온도를 측정한다. 이 때 측정봉 선단에 있는 온도센서(일본 EIWA전자 계기 제작소 UV-15형 Thermistor)를 공바닥에 완전히 밀착시킨다. 또 야장에 측정번호, 측정봉번호, 지표면의 식생 상황, 공내수의 유무 및 토질 상황 등을 기록한다.

측정결과 및 해석

본 조사에서는 작업 능률을 높이기 위해서 같은 정밀도를 가진 20개의 Thermistor 온도계를 사용하였다. 그러나 각 온도계간의 지시온도가 조금씩 다르게 나타났기

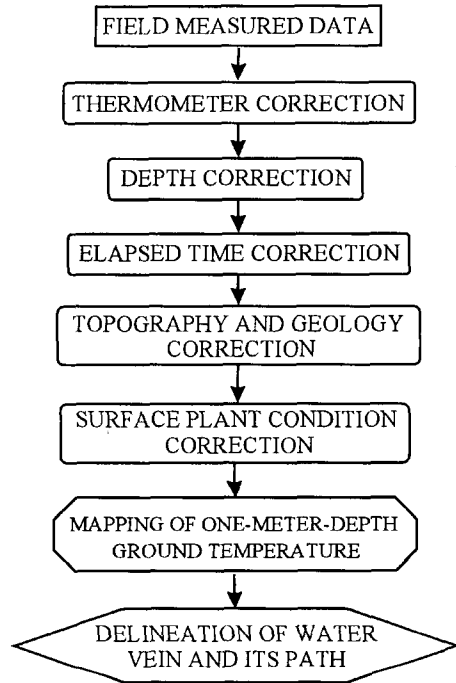


Fig. 5. Flow diagram of data correction and analysis in the one-meter-depth ground temperature survey.

때문에 이를 보정하였다. 보정치를 구하는 방법은 다음과 같다. 먼저 항온수조에 모든 온도계를 넣어 거의 동일한 시간에 10번의 온도를 읽어 그 중에서 최고치와 최저치를 버리고, 나머지 온도를 이용하여 평균치를 구한다. 이들 각 온도계의 평균치를 이용하여 전체의 평균치를 구하고, 이 값과 각 온도계의 평균치와의 차이를 그 온도계의 보정치로 정했다. 각 온도계의 보정치는 0.58~ -0.10°C의 범위에 분포하고 있었으며, 각각의 온도계로부터 측정된 값에 이들 보정치를 더함으로써 지온을 보정하였다.

Fig. 5는 1 m 깊이 온도 측정치의 일반적인 보정 및 해석 흐름도를 나타내고 있다. 실제 현장에서 측정된 지온은 일변화, 지형 및 지질, 지표면의 식생 등 여러 가지 요인에 의한 영향을 받는다. 그러나 본 조사에서는 거의 동일한 조건에서 온도를 측정했기 때문에 이들 영향은 무시했다.

1 m 깊이 온도 측정결과를 이용하여 저수지의 누수 장소 및 경로를 파악하기 위해서는 누수 온도의 영향을 전혀 받지 않는 1 m 깊이 배경온도 (θ_0)를 구해, 이 값을 기준으로 실측치와 비교 검토한다. Hukutomi (1951)는 1 m 깊이 배경온도를 위도와 표고의 함수로 다음과 같이 구하였다.

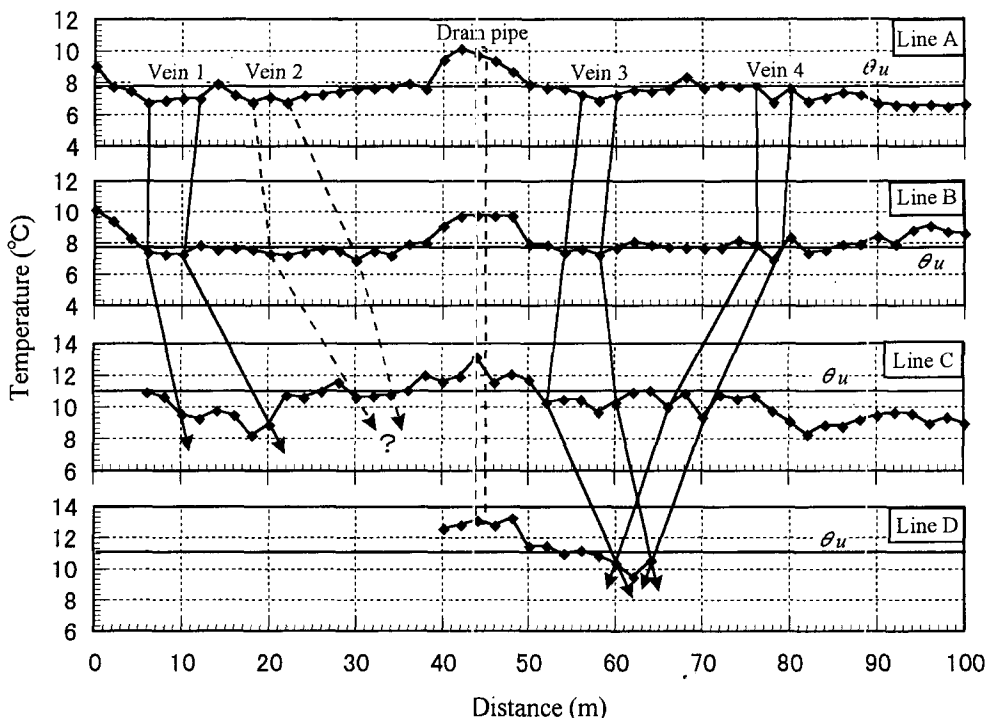


Fig. 6. One-meter-depth ground temperatures in lines A, B, C, and D. Background one-meter-depth ground temperatures (θ_u) in each line are indicated by thick straight lines. Four water veins are expected in the survey area.

$$\theta_u = -1.27 \varphi - 0.0020h + 54.02 \quad (1)$$

여기서 φ 는 위도 ($^\circ$), h 는 표고 (m)이다. 본 조사지의 경우 φ 는 34.14° , h 는 78.6 m이므로 (1)식으로부터 구한 θ_u 는 약 10.5°C 이다. 한편, 1 m 깊이 온도의 평균치는 측선 A와 B의 경우 7.8°C 이었고, 측선 C와 D의 경우 10.6°C 이었다. 이들 평균치와 (1)식으로 구한 θ_u 를 비교하면, 측선 A와 B에서는 2.7°C 낮게 나타나고, 측선 C와 D에서는 0.1°C 높게 나타난다. 이러한 차이가 나타나는 이유는 제방이 지표면으로부터 우뚝 솟아 있기 때문에 제방의 위쪽면에 설치한 측선 A와 B의 지온 평균치는 θ_u 보다 낮게 나타나고, 측선 C와 D는 서향의 경사면에 설치했기 때문에 지온 평균치는 θ_u 보다 높게 나타난다. 이러한 점을 고려하여 제방의 위쪽 평면에 설치한 측선 A, B와 경사면에 설치한 측선 C, D를 구분하여, 배경지온 θ_u 를 각각 다음과 같이 정하였다. 즉 측선 A와 B는 θ_u 가 지온의 평균치가 되도록 하였고, 측선 C와 D는 서향의 경사면일 경우 θ_u 가 평지보다 약 0.5°C 높게 나타나는 점 (Takeuchi, 1996)을 고려해 (1)식으로부터 이론적으로 구한 θ_u 에 0.5°C 를 더했다. 그래서 측선 A와 B의 θ_u 는 7.8°C 로, 측선 C와 D의 그것은 11°C 로 정했다.

제방 침투수의 수온을 측정된 결과 6.1°C 이었으며, θ_u 와 의 온도 차이는 측선 A와 B에서 -1.7°C , 측선 C와 D에서 -4.9°C 이다. 이 결과로부터 저수지의 물이 제방으로 누수되고 있다면, 그 곳의 지온은 누수의 영향을 받아 1 m 깊이 배경온도 θ_u 보다 낮을 것으로 추정된다. 다시 말하면, θ_u 보다 낮은 온도가 분포하는 곳은 저수지의 물이 누수되고 있을 가능성을 시사하고 있다.

Fig. 6은 각 측선에서 θ_u 를 실측치와 비교하고 있다. 이 그림에서 각 측선의 θ_u 보다 높은 온도가 분포하고 있는 거리 48~50 m 구간은 제방의 축조 당시 설치했던 배수관의 위치와 일치하는 곳이다. 현재는 저수지 안에서 출수구를 폐쇄하여 제방 내에는 배수관이 공간으로 남아 있을 가능성이 높고, 그 영향으로 1 m 깊이 지온이 높게 나타나는 것으로 생각된다. 또 측선 A와 C의 거리 80~100 m 구간에 θ_u 보다 낮은 지온이 넓게 분포하고 있다. 이 구간에는 직경 80 mm의 수도관이 매설되어 있는 것이 확인되었고, 수도물 온도의 영향으로 지온이 낮게 나타나는 것으로 생각된다. 이들 구간을 제외하면 각 측선에서 θ_u 보다 낮은 지온이 분포하고 있는 곳은 저수지의 물이 누수되고 있을 것으로 추정되고, 다음과 같이 네 곳에서 수맥이 존재할 것으로 생각된다.

제1수맥은 측선 A에서는 거리 6~12 m의 구간, 측선 B에서는 거리 6~10 m의 구간, 측선 C에서는 거리 10~20 m의 구간을 경로로 분포하고 있으며, 현지답사에서 확인된 누수지점과 일치한다. 이 수맥은 원래 U자형 계곡에 성토하여 제방을 축조하였다는 사실을 감안하면, 기반암과 성토의 경계면을 따라 분포하고 있을 것으로 생각된다. 제2수맥은 측선 A에서는 거리 18~22 m의 구간, 측선 B에서는 거리 30~40 m 부근의 경로로 분포하고 있으나, 측선 C에서는 나타나지 않아 수맥의 존재가 불확실해 그림에는 점선으로 표시하였다. 제3수맥은 측선 A에서는 거리 56~60 m의 구간, 측선 B에서는 거리 54~58 m의 구간, 측선 C에서는 거리 52~60 m의 구간, 측선 D에서는 거리 60~64 m의 구간을 경로로 분포하고 있으며, 현지답사에서 확인된 누수지점과 일치한다. 제4수맥은 측선 A에서는 거리 76~80 m의 구간, 측선 B에서는 거리 76~79 m의 구간, 그리고 측선 C에서는 거리 66~70 m의 구간을 경로로 분포하고 있으나, 측선 D에서는 제3수맥과 합류하고 있을 가능성이 높다. 또한 제1수맥과 같이 기반암과 성토의 경계면을 따라 누수현상이 일어나고 있는 것으로 생각된다.

다점 온도검층

검층 개요

1 m 깊이 지온탐사 결과로부터 저수지 제방의 네 곳에서 누수의 원인이 되는 수맥이 확인되었다. 이들 중에서 제3수맥이 존재하리라고 생각되는 곳에 깊이 16 m의 시추공을 파고 다점 온도검층을 실시하였다. 시추공의 위치는 제방 내에 분포하는 코아재 (누수방지를 위한 불투수성 점토)와 기반암을 확인하기 위해서 약간 저수지 쪽으

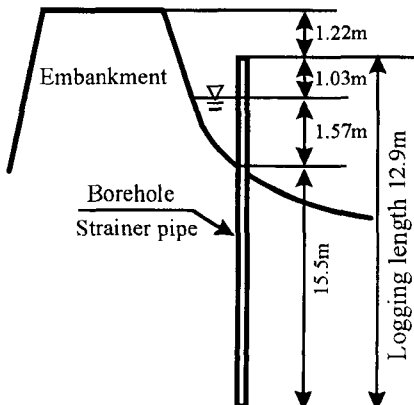


Fig. 7. Schematic of the borehole located near the embankment.

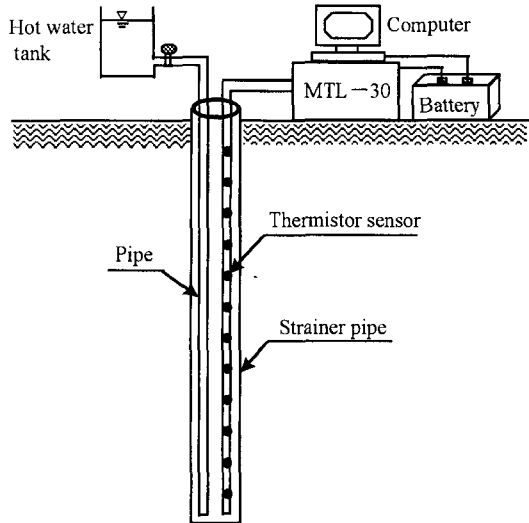


Fig. 8. Diagram of borehole configuration for the multi-point temperature logging system.

로 치우쳐 있다. Fig. 7은 시추공 위치와 온도검층 실시 구간을 나타낸다.

다점 온도검층은 공내에 다수의 온도센서를 설치하고 강제로 온수를 주입한 후, 시간 경과에 따른 공내수의 온도를 측정함으로써 침투수층을 탐지하는 방법이다. 여기서 침투수층이란 침투수가 쉽게 유동하는 층을 말한다. Fig. 8에 본 조사에 사용한 다점 온도검층기의 모식도를 나타낸다. 공내에서 온도 측정간격은 10 cm이다. 다점 온도검층의 실시요령은 다음과 같다.

- 1) 우선, 자연 상태에서 공내수의 온도를 10 cm 간격으로 측정한다.
- 2) 온수 파이프를 통해 공내에 고압의 온수를 강제로 주입시켜 공내수의 온도가 정상상태가 되도록 온수를 공급한다.
- 3) 공내수의 온도가 정상상태가 되었을 때 온수공급을 중단하여 온도측정을 시작하되, 처음 7분까지는 1분 간격으로 10~30분까지는 5분 간격으로 측정을 계속한다.

검층결과 및 해석

Fig. 9는 자연상태의 온도 검층결과와 온수 공급을 중단 (정상상태)후 30분까지의 시간변화에 따른 온도분포를 나타내고 있다. 온도 측정 개시 30분이 지난 후 자연상태의 온도로 돌아온 구간은 심도 1~3 m까지이다. 이 구간은 공벽의 붕괴를 방지하기 위해서 삽입한 Strainer 파이프 (다공 파이프)의 구멍으로 저수지의 물이 침입, 공내

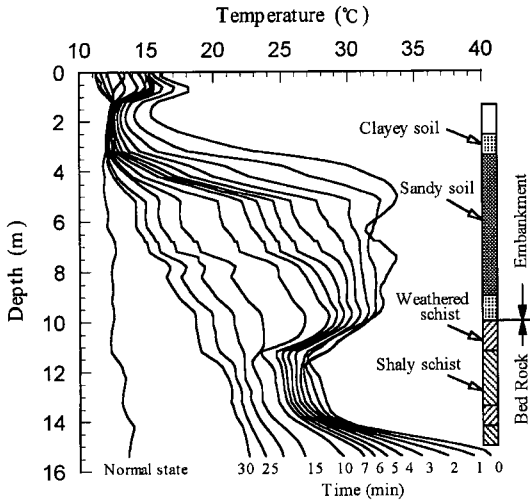


Fig. 9. Results of temperature loggings with elapsed time. Temperature log for normal state and geological information are indicated for reference.

수의 온도가 빠르게 자연상태로 회복되었을 것으로 생각된다. 또한 심도 11.2~13.8 m의 구간은 정상상태의 온도가 그 주변에 비해 낮지만, 시간 경과에 따른 온도변화는 적다. 이 구간은 침투수의 영향보다는 이 구간에 분포하는 염기성 편암의 열전도율이 상하 구간에 분포하는 성토와 이질편암과 다르기 때문으로 생각된다.

다점 온도검층 결과의 시간변화에 따른 온도분포곡선으로 침투수층을 파악하기는 어려운 점이 있다. 그래서 공내수의 자연상태 온도를 기준으로 삼아 온도복원율을 구해 보았다. 경험적으로 온도복원율이 60% 이상 나타나는 구간은 침투수층이 존재할 가능성이 높은 것으로 알려져 있다 (Takeuchi, 1996). 온도복원율을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\frac{\theta_0 - \theta_t}{\theta_0 - \theta_n} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서 θ_t 및 θ_n 는 각각 시간 t (min)에서의 온도 및 자연상태의 온도이다.

Fig. 10은 (2)식을 이용해 구한 온도복원율을 나타낸다. 온도복원율이 60% 이상인 구간은 심도 0~10.7 m과 14.6~15.5 m이다. 전자는 저수지 제방의 성토가 분포하는 구간이고, 앞에서 서술한 바와 같이 심도 1~3 m 구간에는 저수지의 물이 침입한 사실을 고려하면, 심도 5.2~7.2 m과 8.2 m 부근에 침투수층이 존재 할 것으로 생각된다. 또한 후자의 구간은 기반암이 분포하고 있으며, 심도 15.2 m 부근에 지하수의 유동층이 존재 할 것으로 생각된다. 이러한 저수지의 침투수층 및 지하수의 유동층을

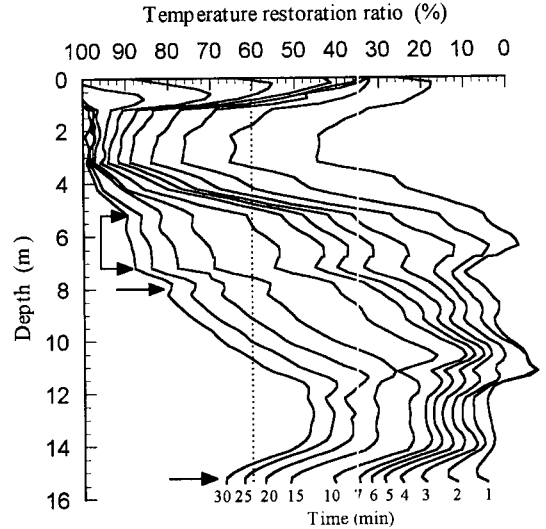


Fig. 10. Temperature restoration ratios with elapsed time. Permeable formations are indicated by the arrow.

Table 1. Depth and thickness of permeable formations in the borehole.

Depth (m)	Thickness (m)	Geology
5.2~7.2	2	Embankment (clayey soil)
8.2	0.3	Embankment (sandy soil)
15.2	0.3	Bed rock (weathered shaly schist)

정리하면 Table 1과 같다. 제3수맥의 침투수층은 세 곳이 존재하며 이들 중 두 곳은 저수지 제방의 성토에 분포하고 있으며, 가장 규모가 큰 것은 층 두께가 2 m이다.

고찰 및 결론

1 m 깊이 지온탐사 결과로부터 저수지 제방의 누수현상을 파악하기 위해서 누수 온도의 영향을 전혀 받지 않은 1 m 깊이 배경온도 θ_0 를 구하여, 이것을 기준치로 삼아 실측치와 비교 검토하게 된다. 조사지의 θ_0 는 위도와 평균 표고를 이용해서 (1)식으로부터 이론적으로 산출할 수 있다. 그러나 많은 조사사례의 자료로부터 동일한 위도와 표고라 할지라도 조사지의 식생 상황, 지표면의 경사방향 및 경사각 등에 따라 θ_0 가 다르다는 사실이 밝혀졌다.

한편, Takeuchi (1996)는 많은 조사사례의 자료를 바탕으로, 조사지의 지표상황을 감안한 새로운 경험식을 다음과 같이 제안하고 있다.

$$\theta_u = a \varphi + bh + cr_z + dS_D + eS_A + f \quad (3)$$

여기서 φ 는 위도, h 는 평균 표고, r_z 는 지표 상황의 보정

치, S_D 는 지표면의 경사방향, S_A 는 지표면의 경사각, 그리고 $a-f$ 는 경험적 계수이다. S_D 는 θ_D 가 지표면이 남향의 사면일 경우에는 평지보다 $1\sim 2^\circ$ 높게, 북향의 사면일 경우에는 평지보다 $1\sim 2^\circ$ 낮게, 동향이나 서향의 사면일 경우에는 평지보다 0.5° 높게 나타나도록 조절한다. 또한 지표상황 보정치는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$r_s = AP_a + BP_b + \dots + FP_f \quad (4)$$

여기서 A 는 과수목지, B 는 비포장 도로, C 는 논, D 는 밭, E 는 초지, F 는 산림지이며, $P_a \sim P_f$ 는 조사지의 지표상황 구성율이다.

본 연구에서는 (3)식을 적용하기에는 축적된 자료가 부족해 경험적 계수를 결정하기가 어려웠다. 또한 조사측선을 저수지 제방의 위쪽 평면과 사면에 설치했기 때문에 태양의 일사량 등의 지표면 상황이 현저하게 달랐다. 이러한 점을 고려하여 제방의 위쪽 평면에 설치한 측선 A와 B, 경사면에 설치한 측선 C와 D를 구분하여, 각 측선의 배경지온을 경험적으로 정하여 사용하였다.

1 m 깊이 지온탐사 결과로부터 네 곳의 누수경로를 파악할 수 있었다. 이들의 누수경로는 현지답사에 의한 누수장소 확인, 제방의 형태 및 기반암과 성토의 경계면 등을 고려해서 추정하였다. 제2수맥은 측선 A와 B에서는 지온의 저하가 나타나지만, 측선 C에서는 확인되지 않는다. 이러한 점으로 미루어 보아 저수지 안쪽으로부터의 침수현상은 있으나 제방 바깥쪽으로는 누수되지 않을 것으로 생각된다.

제3수맥이 예상되는 곳에서 시추공을 설치하여 다점 온도검층을 실시하였으며, 수맥의 깊이 및 규모를 파악하기 위해 온도복원율을 구했다. 온도복원율이 60% 이상인 구간은 침투수층이 존재할 가능성이 높은 것으로 판단하였다. 그러나 침투수층 구간에서 건전한 지층으로 변화하는 구간은 온도복원율이 60% 이상이라도 침투수층으로 인식해서는 안 될 것이다. 이것은 공내수의 열전도현상에 의한 것으로 해석상 주의가 필요하다.

본 논문은 노화된 저수지 제방의 누수현상을 조사하기 위해서 1 m 깊이 지온탐사와 다점 온도검층을 실시했다. 이들 조사로부터 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 1 m 깊이 지온탐사 결과로부터 저수지 제방의 네 곳에 수맥이 존재할 것으로 추정되었다. 그 중 제2수맥은 측선 A와 B에서는 지온의 저하가 나타나지만, 측선 C에서는 그 경로를 찾아 볼 수가 없었다. 이러한 점으로 미루어 보아 저수지 안쪽으로부터의 침수현상은 있었으나 제방 바깥쪽으로는 누수되지 않을 것으로 생각된다.

2. 제1과 제4수맥의 경로는 현지답사에서 발견한 누수장소와 일치하고 있으며 제방의 성토와 기반암의 경계면을 따라 일어나는 것으로 추정된다.

3. 제3수맥의 시추공을 이용하여 다점 온도검층을 실시한 결과, 침투수층은 세 곳이 존재함을 알았다. 이들 중 두 곳은 제방의 성토에 분포하고 있으며, 가장 규모가 큰 것은 두께가 2 m이다.

4. 1 m 깊이 지온탐사와 다점 온도검층을 조합하여 실시함으로써 저수지 제방의 누수경로 뿐만 아니라 깊이 및 규모까지도 파악할 수 있었다. 이러한 사실로부터 이들 조사법이 댐 및 저수지의 누수조사에 유용할 것으로 생각된다.

사 사

연구비의 일부는 전략광물자원연구센터의 지원을 받았다.

참고문헌

- Birman, J.H. (1969) Geothermal exploration for ground water, Geol. Soc. Am. Bull., v. 80, p. 617-630.
 Cartwright, K. (1974) Tracing shallow ground-water systems by soil temperatures, Water Resource Res., v. 10, p. 847-855.
 Hukutomi, K. (1951) 1 m深의 地中 溫度分布에 의한 溫泉 探查의 可能性에 대하여, 北海道大學地球物理學研究報告, no. 1, p. 21-34.
 Kappelmeyer, O. (1957) The use of near surface temperature measurements for discovering anomalies due to causes at depth, Geophys. Prosp., v. 5, p. 239-258.
 Kohira, Y. (1948) 物理數學, 岩波書店, 267p.
 Takeuchi, A. (1996) 溫度測定에 의한 流動地下水 調査法, 古今書院, 480p.

1998년 11월 23일 원고접수, 1999년 1월 7일 게재승인.