creative commons
COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000264416

2014年 2月
석사학위논문

전기비저항을 이용한 수리시설물의 안정성 연구

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

유 지 완

전기비저항을 이용한 수리시설물의 안정성 연구

- A Study on Stability of water Utilization Facilities using Electrical Resistivity -

2014 년 2 월 일

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

유 지 완

전기비저항을 이용한
수리시설물의 안정성 연구

지도교수 고 진 석

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함.

2014 년 2 월

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

유 지 완

유지완의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교 수 강 추 원 (인)

위 원 조선대학교 교 수 강 성 승 (인)

위 원 조선대학교 교 수 고 진 석 (인)

2014 년 2 월

조선대학교 대학원

목 차

List of tables ····· i
List of figures ····· ii
Abstract ····· iv

1. 서 론 ····· 1

2. 연구지역 지형 및 지질 ····· 3

3. 이론적 배경 ····· 4
3.1 필댐의 정의 ····· 4
3.1.1 필댐의 안정조건 ····· 4
3.1.2 필댐의 분류 ····· 5
3.1.3 필댐의 특성 ····· 7
3.2 전기비저항탐사 이론 ····· 9
3.2.1 2차원 전기비저항탐사와 쌍극자 배열법 ····· 14
3.2.2 전기비저항 자료 수치 역산 이론 ····· 19

4. 현장 자료해석 및 고찰 ····· 21
4.1 저수지 제원 및 외관조사 ····· 21
4.2 전기비저항탐사 자료취득 및 자료처리 ····· 22
4.3 전기비저항탐사 자료해석 및 고찰 ····· 34

5. 결 론 ····· 54

참 고 문 헌 ····· 56

List of Tables

Table 3-1. Classify of Fill Dam ····· 6
Table 3-2. Resistivities of various waters(Telford, 1976) ····· 13
Table 3-3. Resistivities of some common rocks(Telford, 1976) ····· 13
Table 3-4. Distance along the electrode array apparent resistivity factor and show points ····· 16
Table 4-1. Survey location and reservoir history ····· 21
Table 4-2. The classification of resistivity analysis in this study ····· 23
Table 4-3. Electrical resistivity survey results (Guryong reservoir) ····· 34
Table 4-4. Electrical resistivity survey results (Manhwa reservoir) ····· 36
Table 4-5. Electrical resistivity survey results (Yeomchi reservoir) ····· 38
Table 4-6. Electrical resistivity survey results (Duksan reservoir) ····· 40
Table 4-7. Electrical resistivity survey results (Busung reservoir) ····· 42
Table 4-8. Electrical resistivity survey results (Dodong reservoir) ····· 44
Table 4-9. Electrical resistivity survey results (Sukgeon reservoir) ····· 46
Table 4-10. Electrical resistivity survey results (woljeong reservoir) ····· 48
Table 4-11. Electrical resistivity survey results (Doodong reservoir) ····· 50
Table 4-12. Electrical resistivity survey results (Bosang reservoir) ····· 52

List of Figures

Figure 2-1. Geological map of the study area(Jang-Sung Gun) ····· 3
Figure 4-1. Reservoir and survey line diagram ····· 22
Figure 4-2. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Guryong reservoir) ····· 24
Figure 4-3. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Manhwa reservoir) ····· 25
Figure 4-4. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Yeomchi reservoir) ····· 26
Figure 4-5. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Duksan reservoir) ····· 27
Figure 4-6. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Busung reservoir) ····· 28
Figure 4-7. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Dodong reservoir) ····· 29
Figure 4-8. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Sukgeon reservoir) ····· 30
Figure 4-9. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (woljeong reservoir) ····· 31
Figure 4-10. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Doodong reservoir) ····· 32
Figure 4-11. Filed data pseudosection and theoretical data pseudosection (Bosang reservoir) ····· 33
Figure 4-12. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Guryong reservoir) ····· 34
Figure 4-13. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Manhwa reservoir) ····· 36

Figure 4-14. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Yeomchi reservoir) ····· 38
Figure 4-15. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Duksan reservoir) ····· 40
Figure 4-16. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Busung reservoir) ····· 42
Figure 4-17. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Dodong reservoir) ····· 44
Figure 4-18. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Sukgeon reservoir) ····· 46
Figure 4-19. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (woljeong reservoir) ····· 48
Figure 4-20. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Doodong reservoir) ····· 50
Figure 4-21. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Bosang reservoir) ····· 52

Abstract

- A Study on Stability of water Utilization Facilities using Electrical Resistivity -

By Yoo, Ji Wan
Adv. Prof. : Ko, Chin Surk
Dept. of Energy Resource Engineering
Graduate School, Chosun University

The domestic dam are that it is vulnerable to the water leak by deterioration of central clay and various reasons. This study attempts to identify the stability of central clay which forms body of most dam. Clay soil exists in the center of dam body in order to prevent water, the condition of this part becomes the core of stability of whole dam body and the fact whether it leaks or not. This study conducted dipole-dipole array resistivity survey to determine the stability of central clay & base in the dam body. Where, Heterogeneous part is that it can't perform the function of central clay preventing water, and it could become the cause of water leak and problem of stability of dam body as the central clay is transform or washed away by constant pressure as regards upstream pondage of dam body. This transformed central clay & base shows more changes in the resistivity value than stable part. The purpose of this study is to identify the part which causes the problem of stability of dam body through resistivity prospecting in the Jang-Sung Gun water dams.

1. 서론

저수·토사유출방지 또는 붕괴방지를 위하여 만들어진 구조물로서, 광의적으로는 수리시설물 및 저수지라고 칭한다.

국내에는 농업용수 확보를 목적으로 하는 제당이 약 18,000여개 존재하며, 이러한 수리시설물의 구조물들은 그 특성상 시간이 경과함에 따라 지속적인 하중이 작용하여 시설물이 구조 변형되거나, 주변환경의 변화 등으로 성능이 저하되어 안정성에 문제가 발생하고 있다(건설부, 1993). 이러한 노후화로 인하여 국내 수리시설 구조물 전체의 약 20% 정도가 누수의 무제가 발생하고 있다(박삼규 외, 2002, 원종근 외, 1999, 송성호 외, 2000, 손호웅 외, 2000, 이명종 외 2000).

따라서 수리시설물에 대한 정밀안전 진단을 시설물의 안정성을 확보하고 조기에 손상을 발견하여 향후 발생될 문제를 예측하여야 큰 피해를 줄이는데 있다. 수리시설물의 안정성 조사는 일반적으로 지표지질조사, 제방에서의 외관조사, 청문조사, 전기 비저항탐사 및 시추조사의 과정을 거쳐 시설물에 대한 진단 및 보강을 시행한다.

차수의 역할을 담당하기 위하여 제체 중심부에 점토질이 존재하며, 이 부위의 안정성 여부가 제체 전체의 안정성 및 누수여부의 핵심이 된다. 그리고 다양한 부분에 전기 비저항탐사를 수행하였다(김정호, 1987, 원종근 외 1999, 이명종 외, 1997, 이명종, 2000),

이 연구는 대부분의 제당의 중심부를 형성하는 중심점토의 안정성 및 제당하부를 통한 기초지반의 누수영역을 파악하고자 한다.

차수의 역할을 담당하기 위하여 제체 중심부에 점토질이 존재하며, 이 부위의 안정성 여부가 제체 전체의 안정성 및 누수여부의 핵심이 된다.

제체 내 중심점토와 제당하부의 기초지반 안정성을 파악하기 위해 쌍극자배열 전기비저항탐사를 누수 취약으로 생각된 장성군 일대 10곳의 제당을 대상으로 수행하였다. 여기서 전반적으로 균질하게 나타나는 중심점토 부분에 있어서 불균질한 부분을 파악하고자 한다. 불균질한 영

역은 차수 역할을 하는 중심점토의 기능을 제대로 수행할 수 없는 부분으로 제체 상류의 저수량과 관련하여 지속적인 압력으로 인해 중심점토가 변형 또는 유실되어 누수 및 제체의 안정성에 문제가 되는 부위이다. 이처럼 변형을 받는 중심점토는 안정된 부위보다 전기비저항 값에도 변화가 나타난다. 이와 같은 부위를 영상화함으로써 제체의 안정성에 문제가 되는 부위를 파악하는데 이 연구의 목적이다(김정호, 1987, 현병구, 1995, 현병구 외, 1993, 김영근 외, 1996, 김정호 외, 1996).

2. 연구지역 지형 및 지질

본 연구 지역들은 전라남도 장성에 위치하고 있는 곳으로써 이 지역의 지질은 크게 화성암과 수성암으로 이루어져 있으나, 오래된 편마암으로부터 최근의 충적층에 이르기까지 각 암층이 고루 노출되어 있으며, 특히 화강편마암이 가장 널리 분포되어 있다. 즉 남동부의 산악지대는 고생대층과 중생대층으로 덮여 있고 화강편마암과 분암이 분포하며 북서부의 영산강 유역에는 침식에 저항력이 약한 화강암이 널리 분포한다. 화강암 주변과 여수반도 등지에는 중생대 백악기층의 경상계 신라통이 분포하고 그 사이에 약간의 편상화강암이 산재한다(정환기, 1987).

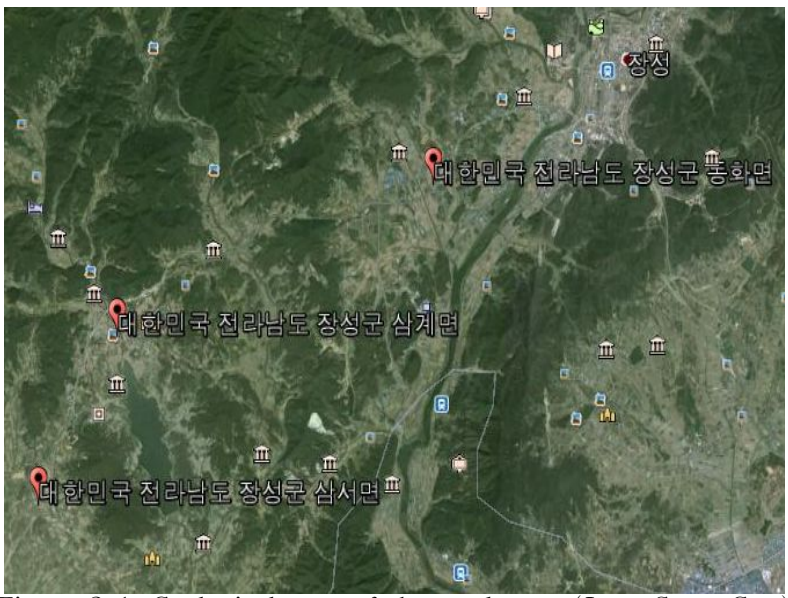


Figure 2-1. Geological map of the study area(Jang-Sung Gun).

3. 이론적 배경

3.1 필댐의 정의

1958년 미국 토목학회(ASCE)가 주최한 댐에 관한 심포지움에서 댐 최대단면의 50% 이상이 큰 돌로 구성된 경우에는 이를 록필댐(Rock Fill Dam)이라 하고 50% 이상이 흙으로 구성된 경우에는 흙 댐(Earth Fill Dam)이라고 정의하였고, 이에 록필댐과 흙댐을 가각 나누어 분류하였다. 그러나 이 두 재료는 최근 서로 같이 사용되며, 또한 돌과 흙이 각각 51%와 49% 경우에는 설계와 시공법에 있어 본질적으로 차이점이 없으므로 그 구분의 수치가 막연하다. 즉, 자갈이나 연암까지는 큰 돌과 같은 종류로 생각할 수 있으나 많은 비율을 차지하는 흙을 큰 돌로 생각하여 록필댐이라고 하기를 불합리하다. 이러한 이유로 흙댐과 록필댐의 구별은 어렵게 되었다. 그래서 이들은 모두 포함해서 필댐이라고 하는 것이 합리적이라는 결론에 이르러, 필댐을 천연재료를 모아 쌓아올려서 만든 부분을 주체로 하는 댐이라 규정하게 되었다. 따라서 콘크리트나 강철과 같은 인공재료를 주제로 한 것이라도 돌담과 같이 쌓아올린 댐은 필댐에서 제외하기도 한다. 즉, 자갈댐이나 록필댐 또는 흙댐과 같이 천연재료를 쌓아 올려 축조한 부분을 주체로 한 것을 필댐이라고 한다(건설부, 1993).

3.1.1 필댐의 안정조건

필댐에 있어서는 그 역학적 성질은 중력댐과 마찬가지로 제체 재료의 중량을 이용하는 것으로서 제체가 활동하지 않고, 댐 마루를 저수지가 넘지 않고, 비탈면이 안정되어 있고, 제체재료 및 기초지반이 압축에 대해서 안전성 등이 필댐의 안정조건으로 판단한다.

3.1.2 필댐의 분류

필댐은 균일형, 코어형, Zone형 및 표면차수벽형 등의 크게 4종류로 대별할 수 있고 코어형은 다시 중심코어형, 경사코어형으로 나뉘어진다 (건설부, 1993).

1) 균일형 : 제체의 대부분이 균일한 토질재료로 구성되며, 거의 전단면에서 차수를 하는 구조로서 동일재료이므로 시공이 쉽고 제체가 넓어 침투로 길이도 길기 때문에 다른 형식보다 지내력이 적고 투수성이 나쁜 기초 위에도 축조할 수 있다.

2) 코어형 : 불투수성부의 두께가 제고보다 작은 것이므로, 댐의 중심선이 전부 코어로 쌓이는 경우를 중심 코어형, 벗겨지는 경우를 경사코어형이라고 한다.

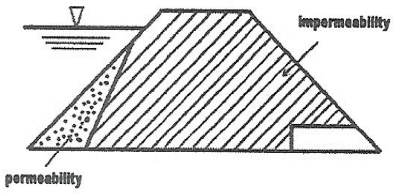
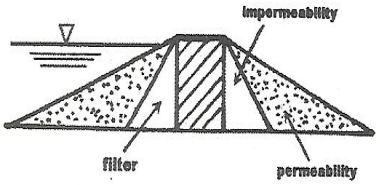
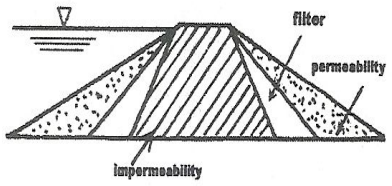
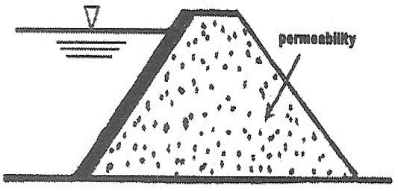
3) Zone형 : 다른 목적을 가진 몇 개의 존으로 구성되는 형식으로서 일반적으로 차수 존으로부터 침투수위의 안전배제, 차수재료의 보호와 차수 존과 투수 존 사이에서 힘을 원활하게 전달하는 반투수성존 및 주로 역학적 안정성의 기능을 가진 투수성 존으로 구성되며, 차수 존을 사이에 투고 반투수존, 그 외측에 투수성 존이 배치된다.

4) 표면차수벽형 : 록필 주체의 상류사면에 철근콘크리트, 아스팔트콘크리트, 목재, 강재 등에 의한 차수벽을 가진 형식으로서 록필주체, 차수벽, 컷오프로 구성된다.

5) 기타의 필댐 : 댐 설계기준에 의한 1)~4)의 필댐의 분류에 들어가지 않는 형식으로서 철근콘크리트 및 아스팔트콘크리트의 중앙차수벽을 가

진 필댐을 들 수 있다.

Table 3-1. Classify of Fill Dam(건설부, 1993)

Title	Cross-sectional diagram	Definition
Uniform shape		Occupy more than 80% of uniform cross-section of the material
Core shape		The largest section of impervious < Dam high
Zone shape		The largest section of impervious > Dam high
Surface balance wall shape		Upstream slope of the soil the degree of non-material

3.1.3 필댐의 특성

필댐은 지형, 지질, 재료 및 기초의 상태에 그다지 구애받지 않고서도 축조할 수 있다는 장점이 있는 반면에 홍수월류에 대해서는 거의 저항력이 없고 침하가 불가피한 구조물이라는 단점을 가지고 있다. 최근 토질공학의 발전, 시공기계의 발달과 대형화 및 수문통계학의 발달에 다른 수문자료의 신뢰도 증가 등으로 필댐의 설계 시공에 많은 발전을 가져왔지만 아직도 경험에 의해서 판단해야 할 점이 많으므로 기존의 실례를 존중하도록 노력해야 할 것이다.

필댐의 가장 큰 특성은 댐 지점의 지질, 지형 및 축조 재료의 조건을 따지지 않는다는 점이다. 더욱 최근 토질공학의 눈부신 진보와 시공기계의 발달 및 대형화는 콘크리트를 축조해야 할 장소에 까지도 필댐을 축조해서 경제적인 면에서도 큰 이익을 얻을 수 있게 되었다. 그러나 이러한 공학적, 기술적 진보가 필댐 건설상의 모든 문제를 완전히 해결하지는 못하였다. 안전도 계산에 있어서도 그 구성요소의 복잡성 때문에 전자계산기로 충분히 계산해 내기 어려운 실정이며, 설계상의 기본적인 사항도 기술자들 사이에 그 의견이 완전히 대립되어 있는 예가 많다. 그러므로 필댐은 다른 어느 구조물보다도 풍부한 개인적 경험을 필요로 한다. 필댐의 일반적인 특성은 다음과 같다.

1) 콘크리트 댐에 비해 단면형상이 크고, 저폭이 넓어 단위면적에 작용하는 하중이 작아 기초에 전달되는 응력이 작다. 이에 비교적 지지력이 작은 풍화암이나 하천 퇴적층의 기초지반에도 투수처리를 함으로써 그 축조가 가능하다.

2) 댐지점 주위에서 얻을 수 있는 천연재료를 이용할 수 있다. 댐지점 주위로부터 손쉽게 구할 수 있는 재료를 적극적으로 이용하여 합리적으로 안전하게 필댐을 축조하는 것이 중요한 사항이 된다.

3) 시공에서 최적의 장비를 투임함으로서 기계화율을 높일 수 있다.

4) 콘크리트댐은 하나의 거대한 강체에 가까운 연속체로서 기 거동이 탄성적인데 대하여 필댐은 입상재료의 집합체로서 그 거동은 비탄성적이므로 콘크리트댐에는 없는 몇 가지의 특징이 있다. 즉, 댐이 활동파괴로 붕괴되고 침투류에 의한 파이핑에 대한 위험성이 있고, 제체가 침하하고 제체 재료가 물에 의하여 유실되기 쉬운 것 등이 있다.

3.2 전기비저항탐사 이론

한 쌍의 전류전극을 통하여 직류 전류 또는 저주파수 교류 전류를 흘려보내어 다른 한 쌍의 전위전극에서 전위차를 측정함으로 지하의 전기비저항 분포를 파악하는 전기탐사법. 수평적인 전기비저항 분포를 파악하는 수평탐사, 수직적인 층서구조를 파악하고자 하는 수직탐사로 분류한다. 또한 다양한 전극배열을 구사할 수 있으므로 각 전극배열별로 다른 명칭을 사용하기도 하는데, 우리나라에서는 2차원 탐사 목적으로 쌍극자 배열, 수직탐사 목적으로는 슐럼버저 배열을 많이 사용한다. 전자탐사에 비해 기본 이론이 단순하여 해석이 쉽고, 땅과 직접적인 접촉을 통해 송수신이 이루어지므로 인공적인 전자기 잡음에 강력한 장점이 있다. 그러나 땅의 전기적 접촉이 나쁜 콘크리트 포장 지역, 사막, 얼음이 덮여있는 지역에서는 탐사하기 어려운 단점이 있다. 전기비저항 탐사는 전도성 광체나 지하수 탐사, 환경오염대 탐지 등에 사용된다. 이 탐사는 오래 전부터 이용되어 왔으며, 현재 토목, 건설 분야를 대상으로 한 전기탐사법 중에서 가장 많이 이용되고 있다.

전기비저항탐사는 지반 조사에서 가장 널리 사용되는 전기탐사법으로, 지층을 구성하는 광물 입자의 종류, 광물 입자 사이의 공극, 공극 속의 물의 양과 수질, 지온 등에 의하여 달라지는 지하의 전기비저항 분포를 파악하는 탐사법이다. 탐사를 통해 얻은 전기비저항 구조와 전기비저항 값을 다른 지반 조사 자료와 함께 검토함으로써, 지하 지질 구조나 지반상태를 해석한다. 전기비저항(Ω-m)은 전기적 고유 물성으로 전기검층, 전자 탐사, 전기비저항 단면 영상법 등의 대상 물성이다. 또한 지하수의 성질을 나타내는 지표로서 이용되고 있는 전기전도도(S/m)와는 역수 관계가 있다. 전기비저항 개념을 그림에 나타냈으며, 단면적 ($S(m^2)$), 길이 L(m)인 균질한 물체의 저항 R(Ω)은(Telford, 1976),

$$R = p\frac{L}{S} \tag{3.1}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 비례 상수 p를 전기비저항이라 하며, 단위

는 Ω-m이다. 즉, 전기비저항은 물질의 고유 물성에 해당하며, 저항은 전기비저항과 전류가 통과하는 물질의 단위 길이와 단위 면적에 의해 결정된다.

전기비저항 탐사에서는 한 쌍의 전류 전극(C_1, C_2)과 다른 한 쌍의 전위 전극(P_1, P_2)을 사용하여 측정한다. 이 4개의 전극 배치에 따라 여러 가지 전극 배열 방법이 사용되고 있다. 수평한 지표면에서 전기비저항이 p인 균질한 지반을 생각해볼 때, 양의 전류 전극 C_1으로부터 음의 전류 전극 C_2로 I의 전류를 흘려 보냈을 때, 두 전위 전극 P_1, P_2 사이의 전위차가 V라면, 매질의 전기비저항 p는 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$p = 2\pi\left(\frac{1}{r_{11}} - \frac{1}{r_{21}} - \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{22}}\right)^{-1}\frac{V}{I} \qquad (3.2)$$

여기서, r_{11}은 C_1P_1, r_{21}은 C_2P_1, r_{12}는 C_1P_2, r_{22}는 C_2P_2 사이의 거리이다. 이 식에 의해 구해지는 전기비저항은 지반이 균질하다면 실제 전기비저항과 일치한다. 그러나 지반이 불균질하다면 이 전기비저항은 지하의 평균적인 전기비저항을 나타내게 되고, 이런 이유로 이를 겉보기 비저항 p_a라 부른다. 또, 지하 매질이 불균질한 경우 전극 사이의 간격 r을 변화시키면 측정된 겉보기 비저항은 서로 다른 값을 나타낸다. 전기비저항 탐사에서는 전극 배열을 다양하게 변화시켜 적용할 수 있고, 또한 전극 간격을 변화시켜가면서 측정하여 지반의 전기비저항 분포를 파악한다.

전기비저항 탐사의 탐사방법에는 수직탐사, 수평탐사, 2차원·3차원 전기비저항 탐사, 전기비저항 단면 영상법이 있다.

1) 수직 탐사

전극 간격이 클수록 깊은 곳의 전기비저항 분포를 반영한다는 점을 이용하여 전위 전극에 비해 전류 전극 사이의 간격을 증가시키면서 측정함으로써 깊이에 따른 지하의 수직적 전기비저항 구조를 알아내는 탐사방법이다. 측정과 해석은 전기비저항 구조가 수평 다층 구조라는 가정

아래 실시한다.

2) 수평 탐사

전류 및 전위 전극의 간격을 일정하게 유지하여 특정 깊이에서의 전기비저항 분포의 변화를 조사하는 탐사 방법이다. 비교적 얕은 곳의 지질의 불연속성, 매설물, 지하수 상황 등을 파악하는 데 널리 이용되고 있는 탐사 방법으로서, 현장 작업이 간편하고 해석이 용이하다. 겉보기 비저항의 변화로 지하의 이상대나 변화를 파악한다.

3) 2차원 및 3차원 전기비저항탐사

고밀도 전기 탐사 또는 전기비저항 영상법이라 부르며, 수직 탐사와 수평 탐사를 통합한 탐사 방법이다. 수치 모델링이나 역산 기술이 발달함에 따라 실제로 적용할 수 있게 된 방법이며, 지형의 기복이 심하고, 공간적으로 전기비저항 분포가 변하는 경우에도 적용할 수 있는 탐사 방법이다. 토목 건설 분야에서 적용되는 전기비저항탐사의 주류를 이루고 있다.

4) 전기비저항 단면 영상법

시추공이나 갱도를 이용한 2차원 및 3차원 전기비저항탐사를 전기비저항 단면 영상법이라 한다. 측정 및 해석 기술은 전기비저항 단면 영상법과 2차원 및 3차원 전기비저항탐사 사이에 큰 차이는 없다.

여기서, 지반 상태와 전기비저항의 관계는 지반의 전기비저항은 토질 및 암석의 종류, 공극류과 포화도, 공극을 채우고 있는 지하수의 전기비저항, 텀토 광물이나 금속 광물의 함유량, 온도 등에 따라 변한다. 일반적으로 틈새물이 차지하는 비율이 높을수록, 점토 광물의 함유량이 많을수록 전기비저항은 낮아진다. 전기비저항탐사에서는 이러한 특성을 이용하여 지층을 구분하고 지반 상황을 파악한다. 또한 전기비저항은 지반의 전기적 특성을 나타내는 물리량이기 때문에, 지반 강도나 변형

률을 나타내는 물리량과 달리 1:1대응의 관계는 성립되지 않는다. 따라서 토목 건설 분야에서 전기비저항탐사 결과를 이용하는 것은 정성적인 수준에서 가능하다.

Table 3-2. Resistivities of various waters(Telford, 1976)

Mineral	Resistivity(Ω m)	
	Range	Average
Surface waters(ign. rocks)	0.1~3×10^3	
Surface waters(sediments)	10~100	
Soil waters		100
Natural water(ign. rocks)	0.5~150	9
Natural water(sediments)	1~100	3
Sea water		0.2
Saline waters(3%)		0.15
Saline waters(20%)		0.05

Table 3-3. Resistivities of some common rocks(Telford, 1976)

Type	Rock	Resistivity range(Ω m)
Igneous and Metamorphic Rocks	Basalt	10~1.3×10^7(dry)
	Gabbro	10^3~10^6
	Granite	3×10^2~10^6
	Marble	10^2~2.5×10^8(dry)
	Quartzites(various)	10~2×10^8
	Slates(various)	6×10^2~4×10^7
Sedimentary Rocks	Clays	1~100
	Limestones	50~10^7
	Sandstones	1~6.4×10^8

3.2.1 2차원 전기비저항탐사와 쌍극자 배열법

2차원 전기비저항탐사는 지반에 인공적으로 직류 전류를 흘려보내고 이때 발생되는 전위를 여러 측점에서 측정하고, 그 결과를 이용하여 지반의 전기적 성질인 전기비저항 분포를 추정하는 탐사법이다. 이 탐사법은 토목, 건설 분야에서 지하수, 구조물 기초, 댐, 터널, 공동, 제방, 지질 구조 등의 조사에 폭넓게 이용되고 있으며, 최근에는 방재, 환경 분야에도 적용되고 있다. 터널 조사에서는 탄성파 탐사를 보조하는 탐사로서 이용되고 있다. 전기비저항이 낮은 대상을 탐지하는 능력이 뛰어나기 때문에 단층, 풍화, 변질대 및 지질 구조를 파악하는 탐사법으로서 적합하다. 또한 현장 적용성이 좋은 탐사법으로 평지나 산악 지역에서도 폭넓게 적용되며 탐사 깊이도 비교적 깊다.

2차원 전기비저항탐사는 지하에 전류를 흘려보내기 위한 한 쌍의 전류 전극(C_1, C_2)과 지하에서 발생한 전위차를 측정하기 위한 한 쌍의 전위 전극 (P_1, P_2) 등 총 4개의 전극을 이용하여 측정한다. 이때 4개 전극들 사이의 다양한 공간적 배치 관계를 전극 배열이라고 한다.

2차원 전기비저항탐사에서 이용되고 있는 전극 배열에는 홀극 배열, 홀극-쌍극자 배열, 웨너 배열, 엘트란 배열, 쌍극자 배열법이 있으며, 이러한 전극 배열법은 단독 또는 복합적으로 이용된다.

전극 배열별로 전류 I와 측정 전위 V로부터 겉보기 비저항 P_a를 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P_a = G\frac{V}{I} \tag{3.3}$$

여기서, G를 거리 계수(Geometric factor)라 한다. 거리 계수 G는 전극 배열, 전극 간격 a 및 전극 간격 지수(electrode separation index, n)에 의해서 결정되는 계수이다. 전극 배열법 거리 계수를 G로 나타낼 경우에 2개의 전극으로 구성된 한 쌍의 전극을 쌍극자라고 한다. 전극 간격 지수 n은 홀극-쌍극자 배열 또는 쌍극자 배열의 경우에는 전류 전극 쌍과 전위 전극 쌍의 사이의 간격과 최소 전극 간격 a와의 비이며, 일

반적으로 정수값을 가진다.

탐사 깊이는 전극 간격 또는 전극 간격 지수로 조정한다. 이 때 표시점은 조사 대상 범위를 모두 포함하며, 될 수 있는 대로 균등하게 배분되도록 계획한다. 전극 간격 또는 전극 간격 지수를 크게 하는 경우 측정 전위가 작아진다는 점에 유의해야 한다. 특히 쌍극자 배열법의 경우 전극 간격 지수가 커지면 측정 전위가 아주 작아진다. 따라서 탐사 장비의 사양, 탐사 지역 주변의 전기적 잡음 상태 등을 고려하여 전극 배열, 전극 간격 및 전극 간격 지수를 결정한다.

한편 탐사 대상의 깊이가 깊은 경우 지표에서 깊은 곳까지 같은 밀도로 표시점을 배분하게 되면, 측점의 수가 너무 많아져 실용성이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 경우에는 탐사 정밀도(분해능)을 고려하여, 깊은 곳에서는 표시점의 밀도가 조밀하지 않도록 측정 계획을 수립한다.

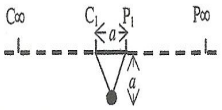
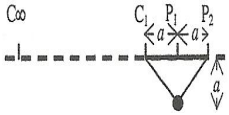
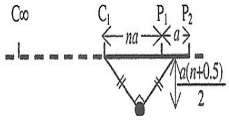
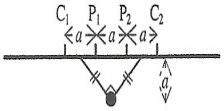
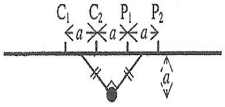
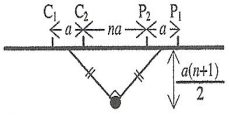
탐사 계획을 수립할 때에는 2~4개의 측선에 대해서 최소 전극 간격으로 전극을 배열하여 다양한 전극 간격에 대한 겉보기 비저항 표시점을 그려본 다음, 탐사 계획도에 표시한 탐사 깊이를 만족하는 전극 배열법을 결정한다. 홀극 배열이나 웨너 배열의 경우에는 표시점의 깊이가 탐사 깊이의 1~2배, 쌍극자 배열의 경우에는 탐사 깊이의 2~3배 정도가 되는 것이 바람직하다. 표시점의 최대 깊이가 탐사 깊이보다 얕은 경우, 측선 길이를 늘리거나 다른 전극 배열을 고려해야 한다.

쌍극자 배열이나 홀극-쌍극자 배열의 경우 전극 간격 지수가 커지면, 측정 전위가 탐사 장비의 측정 한계보다 낮아지기 쉽다. 따라서 탐사 장비의 사양, 대상 지질별 전기비저항 값의 범위 및 탐사 측선 주변의 전기적 잡음 상태 등을 고려해 최대 전극 간격 지수를 6~15 범위 안에서 설정한다. 이 때 표시점의 최대 깊이가 탐사 깊이보다 깊은 경우에는, 전위 전극 쌍의 전극 간격을 크게 할 필요가 있다.

현재 댐이나 제당에 대한 전기비저항탐사에 가장 많이 사용되는 전극 배열법은 쌍극자배열로, 수평 및 수직탐사를 동시에 수행함으로써 탐사 측선 하부의 2차원적 구조를 밝혀주게 된다. 특히 단층대의 경우, 그 주향 방향에 직교하도록 측선을 설계하면 2차원 구조로 해석할 수 있으므

로 더욱 효과적이다. 쌍극자 배열 탐사는 전류전극(C_1, C_2)과 전위전극(P_1, P_2) 사이의 간격을(쌍극자 길이) 모두 a로 일정하게 고정하여 전류전극과 전위 전극사이를 a, 2a, 3a,・・・, na 간격으로 단계적으로 이동하면서 전위차를 측정하여 겉보기 비저항 값을 계산한다. 여기서 n은 전극전개수라 하며 탐사심도를 결정짓는다.

Table 3-4. Distance along the electrode array apparent resistivity factor and show points

Kind		Show that the apparent resistivity and the electrode array	Distance modulus	Mark the location of the apparent resistivity
Hole pole arrangement			$2\pi a$	C_1, P_1 Half of the depth of the electrode : a
3 E A	same interval CPP arrange ment		$4\pi a$	C_1, P_2 Half of the depth of the electrode : a
	Monopole -Dipole array		$2n(n+1)\pi a$	C_1, P_2 Half of the depth of the electrode : $\frac{a(n+0.5)}{2}$
4 E A	Wenner arrange ment		$2\pi a$	P_1, P_2 Half of the depth of the electrode : a
	Eltran arrange ment		$6\pi a$	C_2, P_1 Half of the depth of the electrode : a
	Dipole arrange ment		$n(n+1)(n+2)\pi a$	C_2, P_2 Half of the depth of the electrode : $\frac{a(n+1)}{2}$

쌍극자 길이 a는 지하구조에 대한 분해능과 밀접한 관계가 있으므로 탐사목적, 정밀도 등을 고려하여 결정한다. 이때 도선의 전기저항 R 은 길이 L 에 비례하고 단면적 A 에 반비례하므로

$$R = p\frac{L}{A} \tag{3.4}$$

이 된다. 여기서 p는 비례상수로서 물체의 크기나 모양에 관계없이 물체의 전기적인 특성을 나타내는 것으로 이를 전기비저항이라 한다. 그리고 옴의 법칙에 의해

R = V / I 이므로

$$p = \frac{L}{A}R = \frac{A}{L}\frac{\triangle v}{I} \tag{3.5}$$

이 된다. 그러므로 p의 단위는 [ohm-m]가 된다.

또한 대지 중의 1점 C 에 아주 낮은 주파수를 갖는 강한 점전류 I(amp)를 보낼 때 지중의 임의의 점 P 에서의 전위 V[volt]는

$$V = \frac{pI}{4\pi r}, (r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) \tag{3.6}$$

이다. 그러나 실제는 지표면의 점전극을 위치시키고 전류 I를 보낼 때 지표면 상부의 공기는 전기전도도를 0으로 가정할 수 있으므로 전류는 지중에서 반구형대의 방사상으로 흐른다. 그러므로 P 점에서의 전위는 $V = pI/2\pi r$로 처리하며 이 때 z = 0이므로

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{3.7}$$

이 된다.

지표면에 매설한 한 쌍의 정, 부 전류전극 C 1 (+ I)과 C 2 (- I)를 가정하고 임의의 점 P 1, P 2에서의 각각의 전위를 생각하여 보자. 이때 P점의 전위는 C 1과 C 2에 의한 전위의 차로 나타날 것이다. 즉,

$$V_{p1} = (\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1}) \tag{3.8}$$

$$V_{p2} = (\frac{1}{C_1P_2} - \frac{1}{C_2P_2}) \tag{3.9}$$

이다. 그러므로 C 1과 C 2에 의해서 P 1과 P 2점의 전위차 V는

$$V = V_{p1} - V_{p2} = \frac{pI}{2\pi}(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} - \frac{1}{C_2P_2}) \tag{3.10}$$

이 된다. 이것을 비저항의 식 p로 풀어쓰면

$$p = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} - \frac{1}{C_2P_2}} \frac{\triangle V}{I} = K\frac{\triangle V}{I} \tag{3.11}$$

여기서,

$$K = \frac{2\pi}{(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} - \frac{1}{C_2P_2})} \tag{3.12}$$

이 된다. 기하학적 계수, K (geometric factor)는 전류전극과 전위전극 간의 상호 거리에 의해서만 결정되는 값으로 각 전극 배열에 따라 K 값을 계산하고 흘려주는 전류량에 대한 전압차(V/I)를 측정한다면 겉보기 전기비저항(p)을 계산할 수 있다. 따라서 쌍극자 배열의 경우 전위전극 및 전류전극의 간격은 모두 a 가 되어

$$C_1P_1 = C_2P_2 = (n+1)a \tag{3.13}$$

$$C_2P_1 = na \tag{3.14}$$

$C_1P_2 = (n+2)a$ 로 쓸 수 있고, 이때 기하학적 계수 K 는

$$K = \frac{2\pi}{(\frac{1}{(n+a)a} - \frac{1}{(na)} - \frac{1}{(n+2)a} + \frac{1}{(n+1)a})}$$

$$= \pi an(n+1)(n+2) \tag{3.15}$$

로 쓸 수 있다. 따라서 쌍극자 배열의 겉보기 비저항(apparent resistivity)은 아래와 같이 된다.

$$p = \pi an(n+1)(n+2)\frac{V}{I} \tag{3.16}$$

야외탐사결과는 Figure 3.4와 같이 전류전극과 전위전극의 중심을 연결하는 선을 밑변으로 하는 직각이등변 삼각형의 꼭짓점에 겉보기 비저항 값을 기입하여 수평 및 수직적 변화를 일차적으로 해석하게 된다. 탐사결과 획득된 겉보기 비저항 도면을 가단면도(pseudosection)라고 한다. 이 가단면도는 참 전기비저항값과 실제심도를 나타내는 것이 아니기 때문에, 가단면도 해석만으로는 정확한 지하구조의 규명은 불가능하다. 따라서 지하구조의 전기비저항 분포를 정량적으로 나타내기 위해서는 수치적 역산법(numerical inversion)이 필요하다.

3.2.2 전기비저항 자료 수치 역산 이론

전기비저항 탐사자료의 역산을 포함하는 지구물리탐사자료의 역산은 대부분 현장에서 측정된 측정값과 수치 지하구조 모델에서 계산되는 이론 측정값의 차이, 즉 실측치와 이론치 간의 오차 ε을 최소화하는 모델을 찾는 데에 있다(이명종 외, 1997). 즉 지하 전기비저항 분포를 p라고 하고, 현장 측정값을 g라고 하면, 오차 ε은 다음과 같이 표실될 수 있다(김정호, 1987).

$$\varepsilon = F(p(x,y,z)) - g \tag{3.17}$$

여기서 전기비저항 분포 $p(x,y,z)$는 지하 전기비저항 분포가 3차원 공간좌표의 함수임을 의미하며, 물론 2차원 탐사자료의 역산일 경우에는 $p(x,z)$와 같이 2차원 공간좌표로 표시되어야 할 것이다. $F(p(x,y,z))$는 전기비저항 분포 $p(x,y,z)$로부터 계산되는 이론값을 의미하고, 함수 F는 주어진 지하구조 모형으로부터 측정값을 계산하는 수치 모델링을 의미하며, 대부분 유한차분 또는 유한요소 모델링 방법을 이용한다.

전기비저항 탐사자료의 역산은 오차 ε을 최소화하는 모델 $p(x,y,z)$를 찾는 데에 있다. 실제적으로는 오차의 제곱을 최소화하는 방법을 취하며, 따라서 최소자승 역산이라고 한다. 그러나 오차만을 최소화하는 지하구조 모델을 계산함은 실제로는 의미가 없는 모델이 계산될 가능성이 높을 뿐만 아니라, 계산과정에서 오차가 수렴하지 않고 발산하여 역산이 불가능해지는 경우가 대부분이다. 바로 이 때문에 단순히 오차를 최소화하는 방법을 취하지 않고, 지하 구조모델에 어떤 규칙성을 갖도록 하면서 오차를 최소화하는 방법을 위함이다. 모델에 규칙성을 부여하는 방법 중 가장 많이 사용되는 것이 물성이 부드럽게 변화하도록 하는 것인데, 이를 평활화제한 최소자승역산이라 한다. 이는 다음의 방정식으로 표시된다(김정호, 1987).

$$\varepsilon^2 + \lambda(\text{지하구조 } p(x,\ y,\ z)\text{의 불규칙성})^2 \simeq 0 \tag{3.18}$$

위 식에는 λ는 상수로서, 오차의 최소화와 지하구조 모델에 가하는 제한, 두 항목사이의 균형을 유지하는 역할을 하며 라그랑지 곱수

(Lagrangian multiplier)라고 한다. λ가 작은 경우에는 주로 오차를 최소화하는 방향으로, λ가 큰 경우에는 지하모델의 규칙성을 강조하는 방향으로 역산이 진행된다. 현재까지의 대부분의 전기비저항 역산은 이 알고리듬에 의존하고 있다. 분해능을 좌우하는 주요한 요소의 하나인 λ를 상수가 아닌 공간 함수로서 개념을 새로이 설정하였다. λ를 지하구조 모델을 구성하는 각 블록의 분해능에 따라 능동적으로 λ의 공간 분포를 계산하여 이를 역산에 이용하는 방법이 ACB(Active Constraint Balancing)법이다(이명종 외, 1997).

즉 ACB 법을 이용한 역산은

$$\varepsilon^2 + \lambda(x, y, z)(\text{지하구조 } p(x, y, z)\text{의 불규칙성})^2 \simeq 0 \qquad (3.19)$$

와 같이 표시된다. ACB 법에서 상수가 아닌 공간함수 λ는 각 블록의 분해능을 계산하여 그 분해능의 고저에 따라 자동적으로 결정이 된다. 이와 같이 능동적으로 계산된 λ를 이용함으로써 역산결과 얻어지는 지하구조모형은 주어진 자료에 대해 최대한의 분해능을 갖는 영상이 된다. 이와 같은 접근은 2차원 탐사자료의 역산에서도 동일하게 이용되며, 단지 2차원이므로 (x, y, z) 및 (x, y, z)가 (x, z) 및 (x, z)로 표시됨이 다를 뿐이다(이명종 외, 2000).

4. 현장 자료해석 및 고찰

4.1 저수지 제원 및 외관조사

본 연구지역의 저수지들은 전남 장성군에 위치하고 있으며 장성에 약 200 여 곳의 저수지 중 10 곳의 저수지를 선택하여 탐사하였고, 선택한 저수지의 대부분은 소규모 농업수리시설물에 속한다. 농업수리시설물을 활용하여 영농에 필요한 용수를 적기에 공급하므로서 농업생산성향상에 기여, 가뭄과 홍수에 효율적으로 대처하여 각종 재난으로부터 시설과 농작물 보호하는데 목적을 가지고 있다.

연구지역은 1945~1977년도 사이에 준공 된 저수지로서 모든 저수지가 노후화 되었거나, 손상 되어 시설물을 점검하여 기능을 회복하고 선량하게 유지·보전하는데 의미를 두고 있다.

Table 4-1. Survey location and reservoir history

Reservoir name	Completion year	Reservoir length(m)	High(m)	Total storage capacity(m)
Guryong	1977	70.0	10.0	8.8
Manhwa	1945	70.0	7.0	9.3
Yeomchi	1968	90.0	6.0	6.4
Duksan	1969	94.0	8.5	9.2
Busung	1970	80.0	10.0	42.0
Dodong	1968	108.0	6.0	21.0
Sukgeon	1968	84.0	6.0	4.8
Woljeong	1945	130.0	2.5	4.1
Doodong	1969	70.0	7.0	7.9
Bosang	1969	80.0	11.0	9.0

4.2 전기비저항탐사 현장 자료취득 및 자료처리

본 연구에서는 댐 중심점토의 누수현상으로 인한 안정성 검토와 댐 하부의 기초지반 상태 및 점토부의 불균질 영역을 파악하기 위하여 댐의 전 구간에 대한 전기비저항탐사를 실시하였다. 댐의 점토부는 담수에 의하여 비교적 저비저항대를 나타내는 지역이다. 제체에 있어서 불균질한 영역의 발생은 주로 점토부의 변형에 의해 발생되며 이와 같은 현상이 제체의 담수량과 관련되어 지속적인 압력을 받음으로써 점토부의 유실에까지 이르게 된다. 그러므로 전기비저항탐사를 적용하여 비교적 균질할 것으로 예상되는 점토부의 전기비저항 분포를 조사하면, 비저항의 분포 변화가 곧 불균질 영역 파악의 근거가 될 수 있다.

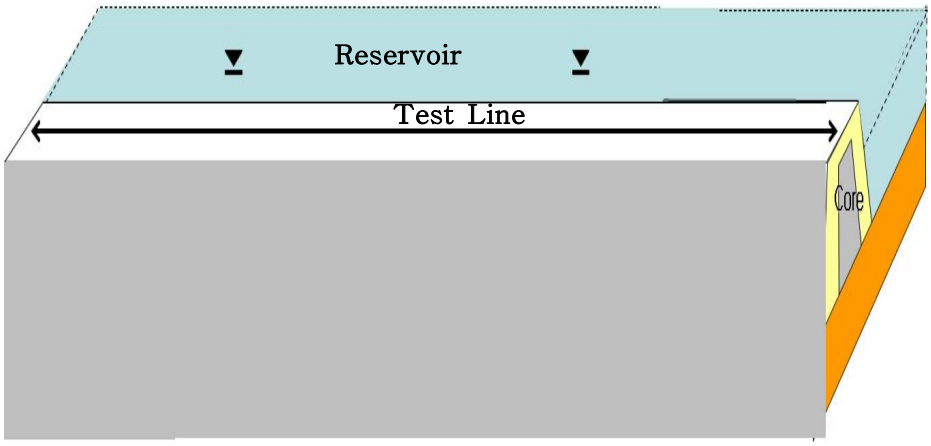


Figure 4-1. Reservoir and survey line diagram.

제체의 구조를 고려하고 2차원적인 해석을 위해 댐마루에 측선을 설정하고 탐사를 시행하였다. 전기비저항탐사 자료처리를 현장에서 측정한 자료를 바탕으로 겉보기비저항 가단면도를 작성하고, 이를 토대로 지하구조를 모델링하여 2차원 단면으로 나타낸다. 지하구조 모델링을 위한 자료해석은 전기비저항 탐사자료 해석 프로그램인 DIPRO(for windows Ver. 4.0)를 이용하였다. 탐사 결과 얻어진 전기비저항 값의 분포에 따

라 포화 정도를 구분하였으며, 최종 해석 결과는 저비저항대인 포화대, 습윤대 및 고비저항대인 건조습윤대로 분류하였다. 단 이 분류는 전기비저항 값을 기준을 분류하지만, 탐사 결과 얻어진 전기비저항 값은 본 제체에서의 상대적인 값으로 다른 저수지 등과 동일한 기준으로 적용할 수는 없다.

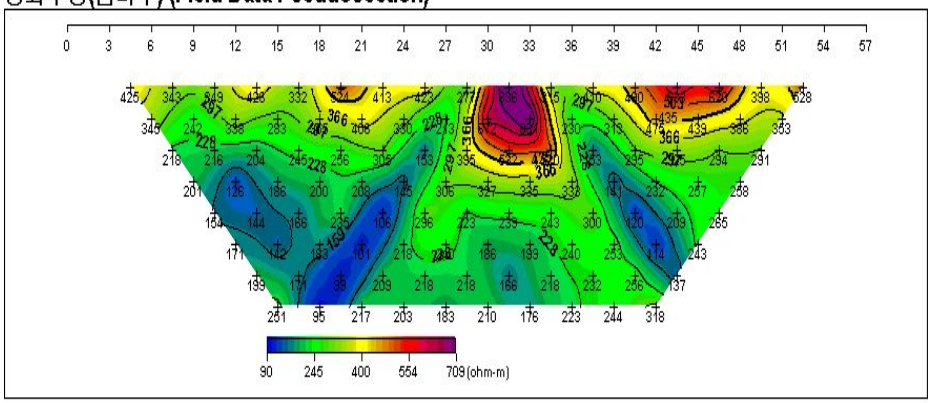
Table 4-2. The classification of resistivity analysis in this study

Classi fication	Contents
Saturated zone (Low resistivity)	· Period indicated by the blue line. · Saturated by infiltration or leaks are likely to be weakened section is formed.
Wet zone	· Period indicated by the green line. · Leaks due to expansion, one saturated fragile region are likely to be developed.
Drying wet zone (High resistivity)	· Yellow or red-based color is displayed for the interval. · Maintain the humidity in the nature or basis of the bed rock.

탐사 시 접지저항을 측정하여 전극의 접지력 향상을 통해 자료의 신뢰를 확보하였으며 댐마루 및 하류사면의 평면형태가 No.01+00 지점을 기준으로 완만한 곡선을 이루므로 측선전개도 이에 따라 접지시켰다. 또한 No. 00+00부근은 제체와 관계없는 곳으므로 측선을 이동하여 No. 00+08부터 해석단면이 도출될 수 있도록 조정하였고 이외 탐사 시 측정값에 영향을 주는 요인은 없는 것으로 나타났다.

다음 그림들은 현장 비저항 자료취득과 이를 근거로 계산한 비저항 자료처리를 보여주고 있다.

동화구룡(댐마루) (Field Data Pseudosection)



동화구룡(댐마루) (Theoretical Data Pseudosection)

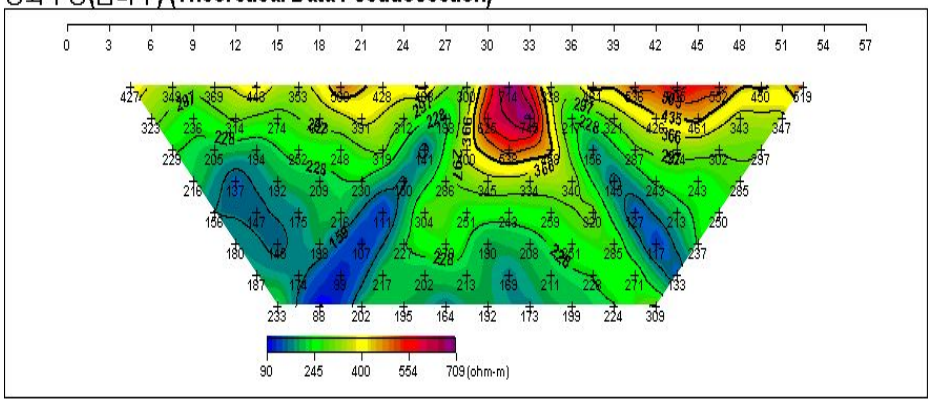
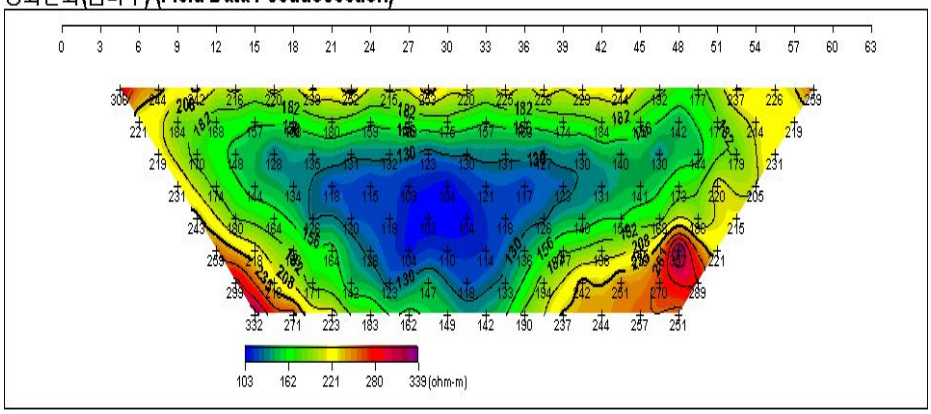


Figure 4-2. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Guryong reservoir).

동화만화(댐마루) (Field Data Pseudosection)



동화만화(댐마루) (Theoretical Data Pseudosection)

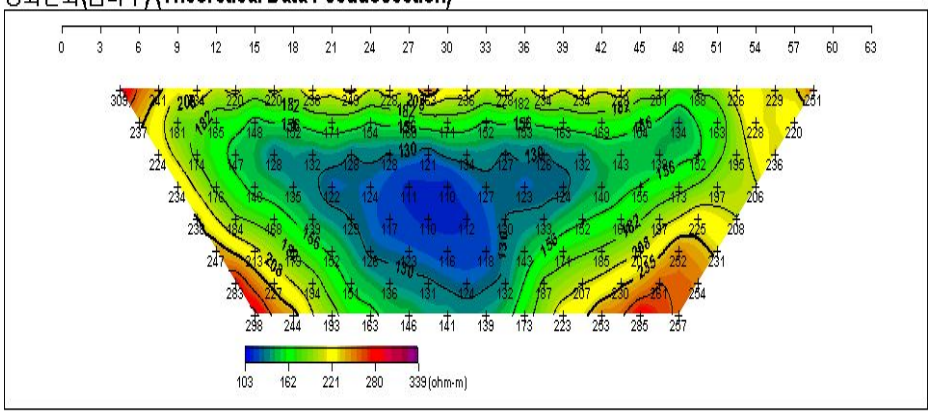


Figure 4-3. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Manhwa reservoir).

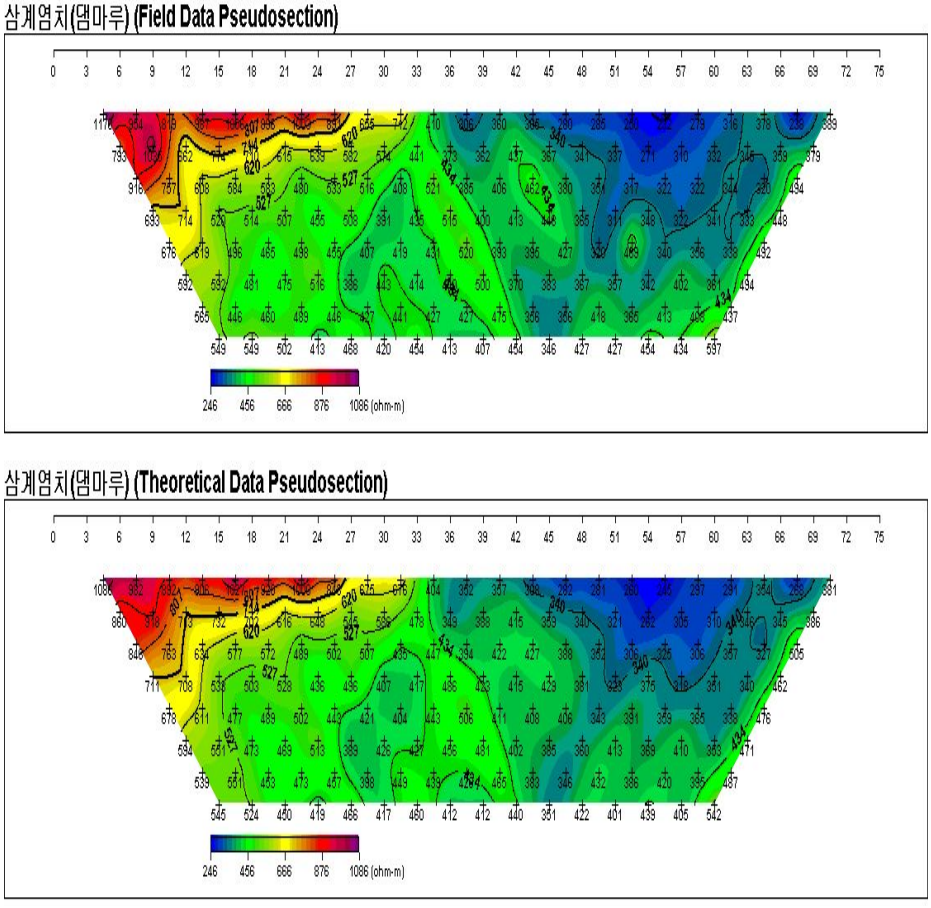
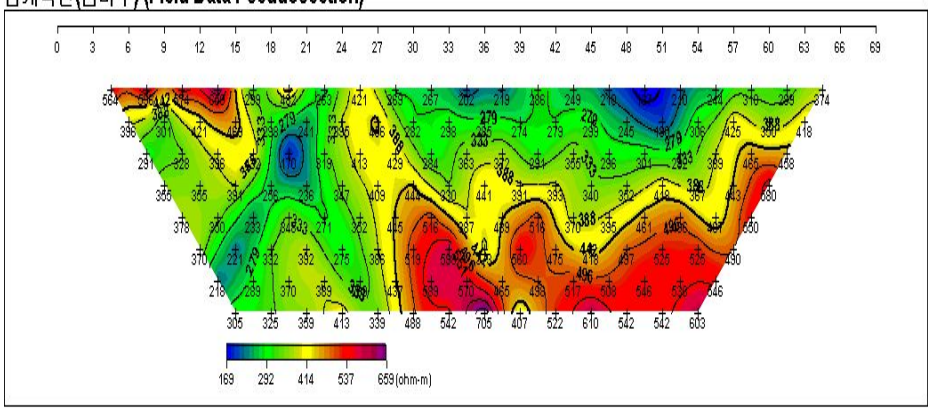


Figure 4-4. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Yeomchi reservoir).

삼계덕산(댐마루) (Field Data Pseudosection)



삼계덕산(댐마루) (Theoretical Data Pseudosection)

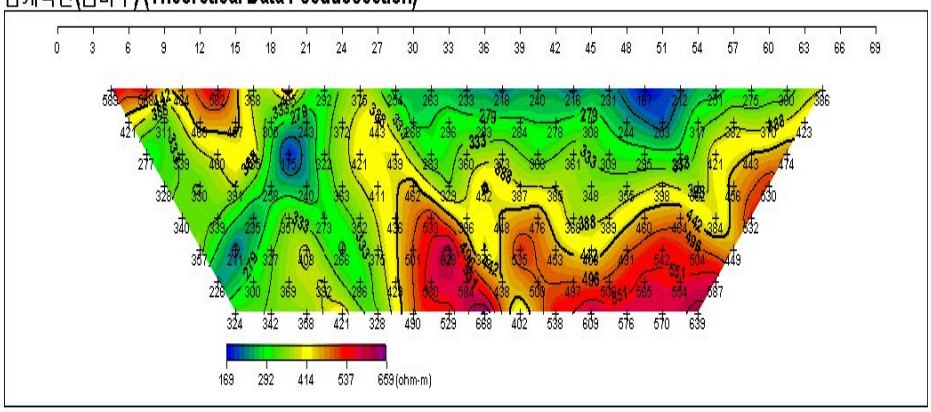


Figure 4-5. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Duksan reservoir).

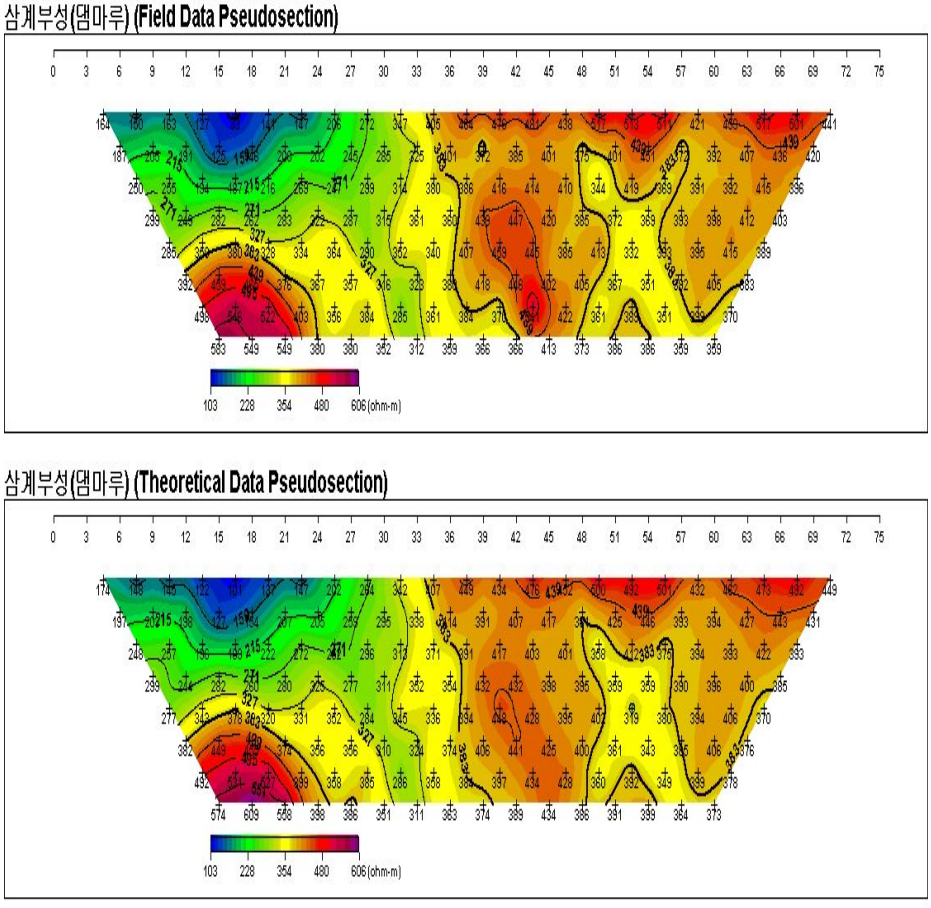


Figure 4-6. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Busung reservoir).

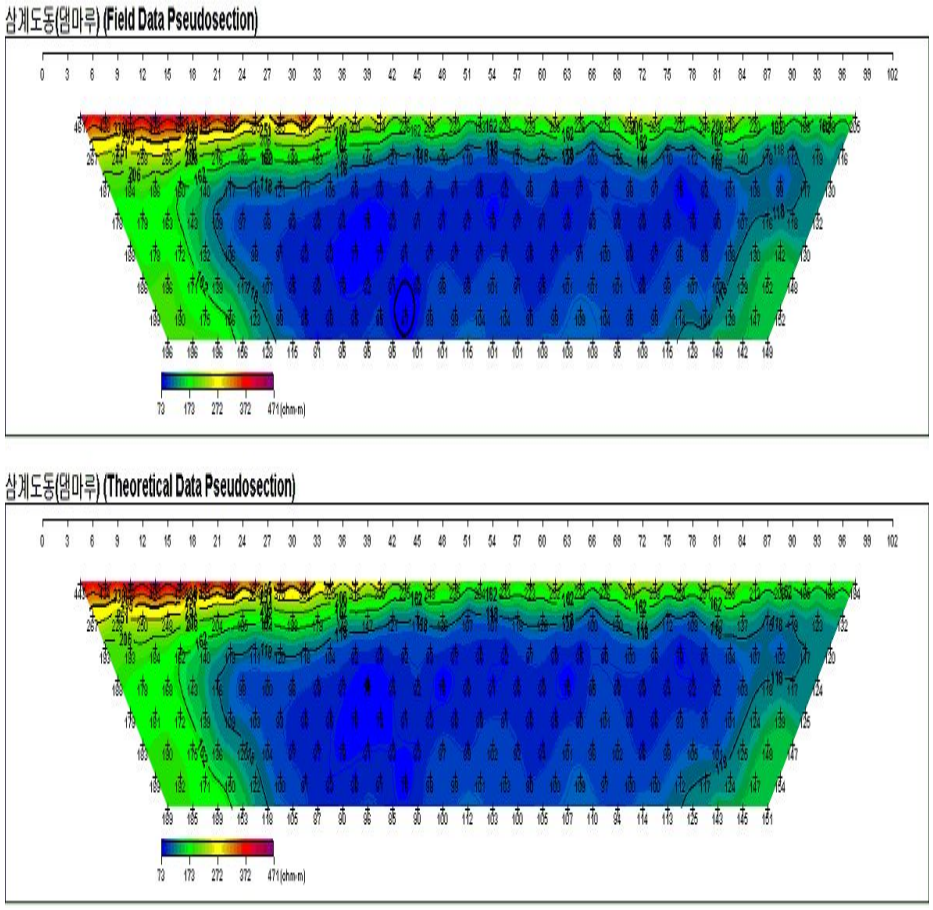
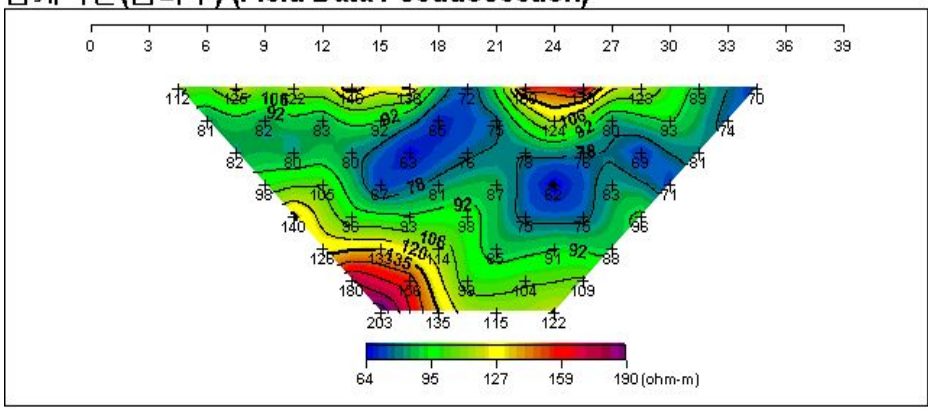


Figure 4-7. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Dodong reservoir).

삼계석전(댐마루) (Field Data Pseudosection)



삼계석전(댐마루) (Theoretical Data Pseudosection)

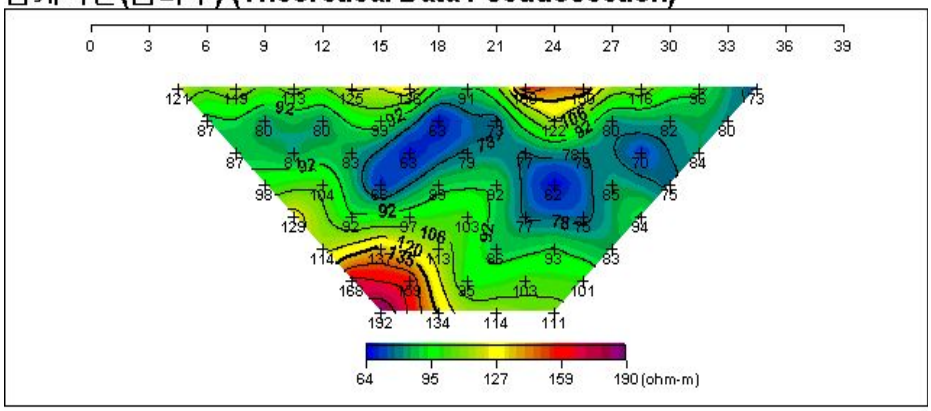


Figure 4-8. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Sukgeon reservoir).

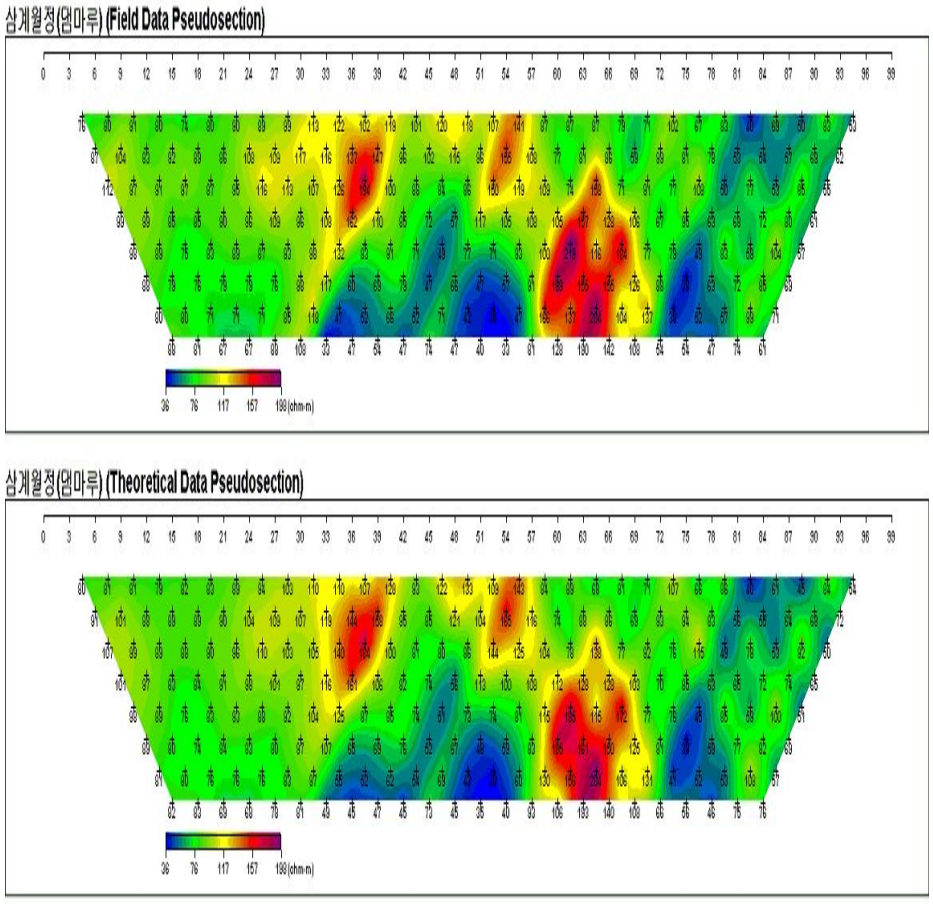
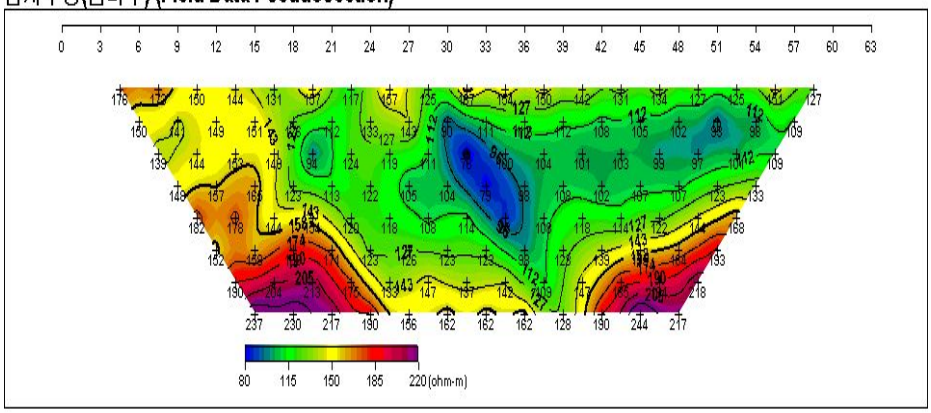


Figure 4-9. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Woljeong reservoir).

삼서두동(댐마루) (Field Data Pseudosection)



삼서두동(댐마루) (Theoretical Data Pseudosection)

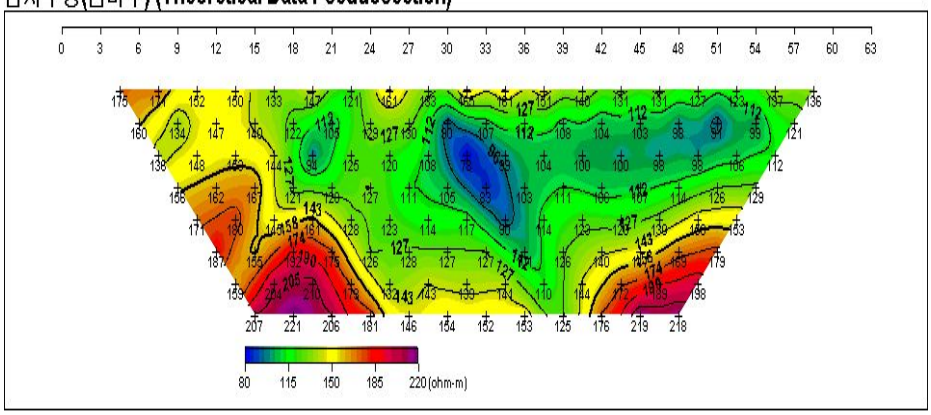
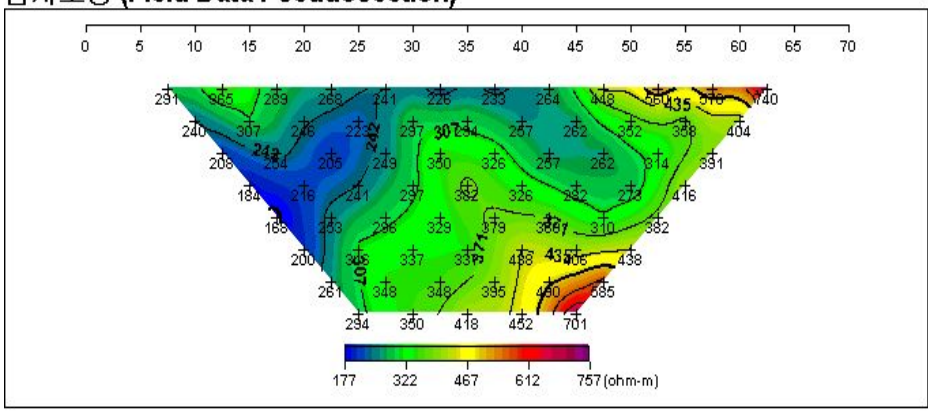


Figure 4-10. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Doodong reservoir).

삼서보생 **(Field Data Pseudosection)**



삼서보생 **(Theoretical Data Pseudosection)**

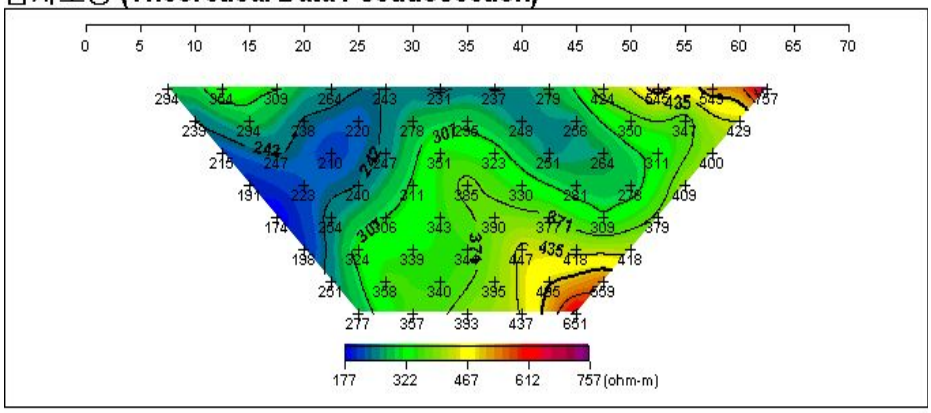


Figure 4-11. Field data pseudosection and theoretical data pseudosection (Bosang reservoir).

4.3 전기비저항탐사 자료해석 및 고찰

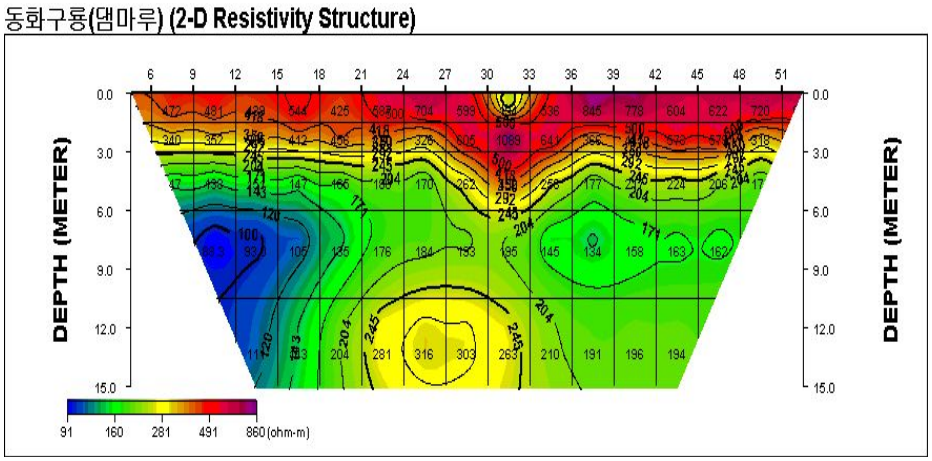


Figure 4-12. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Guryong reservoir).

Table 4-3. Electrical resistivity survey results (Guryong reservoir)

Survey line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+05~No.00+17(ℓ =11m)	Central Clay Base	115 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08～No.03+05(ℓ =57m)구간에 설정하였다. 5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.06이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층의 고비저항대, 중심코어의 포화대 및 저비저항대, 그리고 기초지반의 포화대 및 저비저항대로 구성된다. No.02+03에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 100 Ω·m이하인 저비저항대가 분포하고 있어 앞으로 이 부근 누수가 기초지반으로 확대할 가능성을 가지고 있다.

3) 댐마루 측선 하부 좌측부에서는 포화대가 기초지반까지 발달되어 중심코어에서 기초지반까지 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 생각된다. 그리고 측선 중앙부에서 우측 구간에서도 습윤대가 수평으로 연속으로 분포하고 있어 앞으로 제당 유지 관리를 위해 효과적인 보수.보강 대책이 필요할 것으로 판단된다.

4) 이 제당의 높이는 약 10m로 측선 하부 기초지반 중심 좌·우로 습윤대가 발달되어가고 있어 주의가 필요하다고 판단하였다.

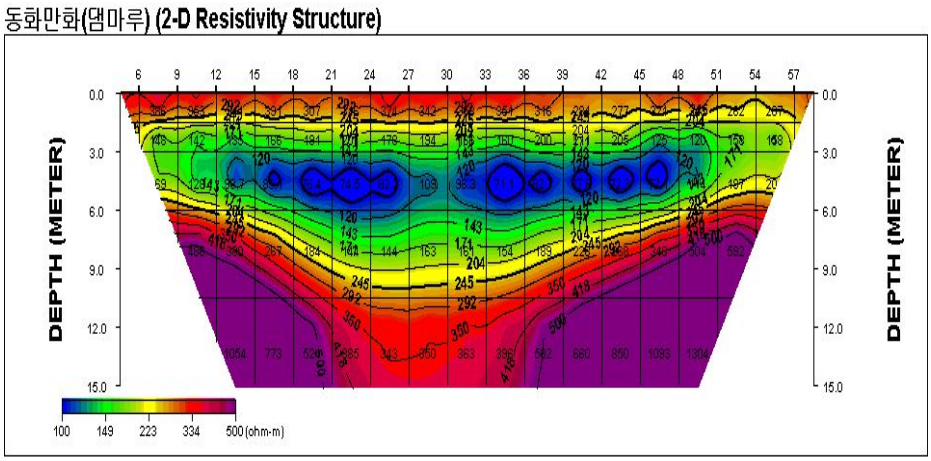


Figure 4-13. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Manhwa reservoir).

Table 4-4. Electrical resistivity survey results (Manhwa reservoir)

Survey line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+12~No.02+10(ℓ =39m)	Central Clay Base	115 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08～No.03+11(ℓ =63m)구간에 설정하였다. 5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.07이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층의 고비저항대, 중심코어의 전체적인 포화대 및 습윤대, 그리고 기초지반의 고비저항대 및 저비저항대로 구성된다. No.02+13에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 120 Ω·m이하인 저비저항대가 분포하고 있어 앞으로 이 부근 누수가 기초지반으로 확대할 가능성을 가지고 있다.

3) 댐마루 측선 하부 중심코어에서부터 기초지반 중앙부까지 폭넓게 포화대와 습윤대(100Ω·m 이내)가 형성되고 있다. 중심점토에서 기초지반에 광범위하게 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 판단되며 효과적인 보수·보강

대책을 조속히 수립해야 할 것으로 판단된다. 중심코어에는 포화·습윤대가 연속으로 분포하고 있어 누수에 가장 취약항 곳으로 생각된다.

4) 이 제당의 높이는 약 7m로 기초지반 중심부로 비저항치가 점차 낮아지고 있어 누수가 하부로 발달되어가고 있는 경향이 있어 주의가 필요하다.

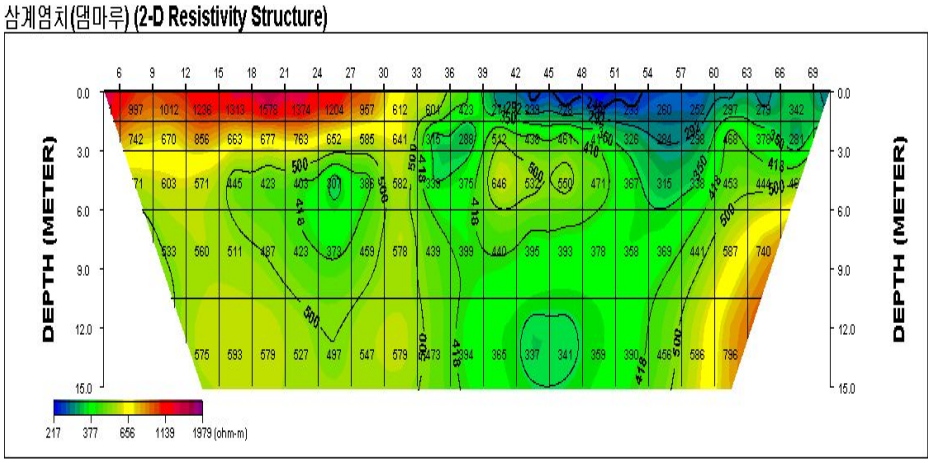


Figure 4-14. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Yeomchi reservoir).

Table 4-5. Electrical resistivity survey results (Yeomchi reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.02+00~No.03+02(ℓ =22m) No.03+03~No.03+06(ℓ =3m) No.03+06~No.03+09(ℓ =3m)	Central Clay Base	300 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.04+03(ℓ =75m)구간에 설정하였다. 5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.05이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층은 통문을 중심으로 좌·우 고비저항대 및 저비저항대, 중심코어와 기초지반에 전반적인 습윤대 및 저비저항대로 구성된다. No.01+07에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 500Ω·m이하인 비저항치를 보이고 있으나, 기초지반으로 저비저항대로

확대할 가능성을 가지고 있다.

3) 댐마루 측선 하부 중심코어에서부터 기초지반까지 폭넓게 저비저항대가 형성되고 있다. 중심점토에서 기초지반에 광범위하게 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 판단되며 효과적인 보수·보강 대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

4)이 제당의 높이는 약 6m로 중심점토에서부터 기초지반까지 비저항치가 점차 낮아지고 있어, 누수가 하부로 발달되어가고 있는 경향이 있다.

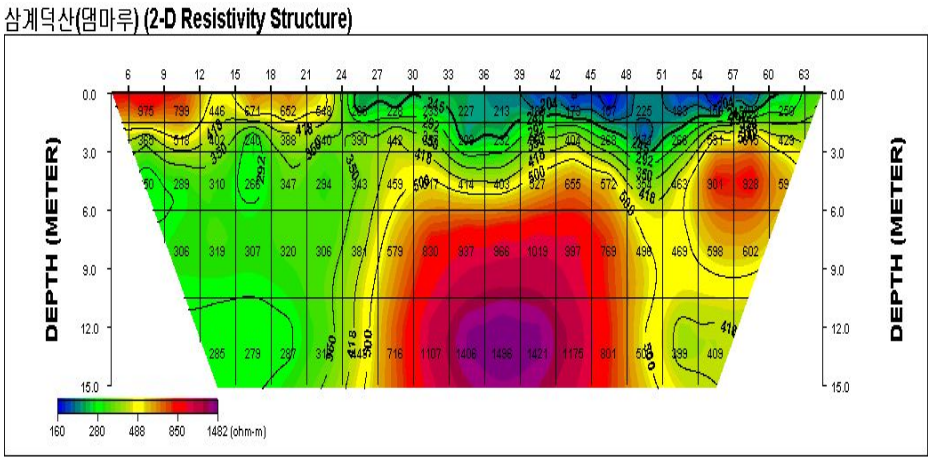


Figure 4-15. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Duksan reservoir).

Table 4-6. Electrical resistivity survey results (Duksan reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.01+05~No.01+09(ℓ =4m) No.01+14~No.02+19(ℓ =25m)	Central Clay Base	230 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.03+17(ℓ =69m)구간에 설정하였다. 5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.05이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층은 저비저항대, 중심코어와 기초지반에 저비저항대 및 고비저항대로 구성된다. No.00+18에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 200Ω·m이하인 비저항치를 보이고 있으며, 기초지반으로 저비저항대로 확대할 가능성을 가지고 있다.

3) 댐마루 측선 중심부의 기초지반는 고비저항대가 분포하나, 좌측부 구간에는 중심코어에서 부터 기초지반까지 저비저항대가 형성되고 있다. 이는 중심점토에서 기초지반에 광범위하게 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 판

단되며 효과적인 보수·보강 대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

4) 이 제당의 높이는 약 8.5m로 측선하부 좌측 구간는 중심점토에서부터 기초지반까지 비저항치가 점차 낮아지고 있어, 누수가 하부로 발달되어가고 있는 경향이 있다.

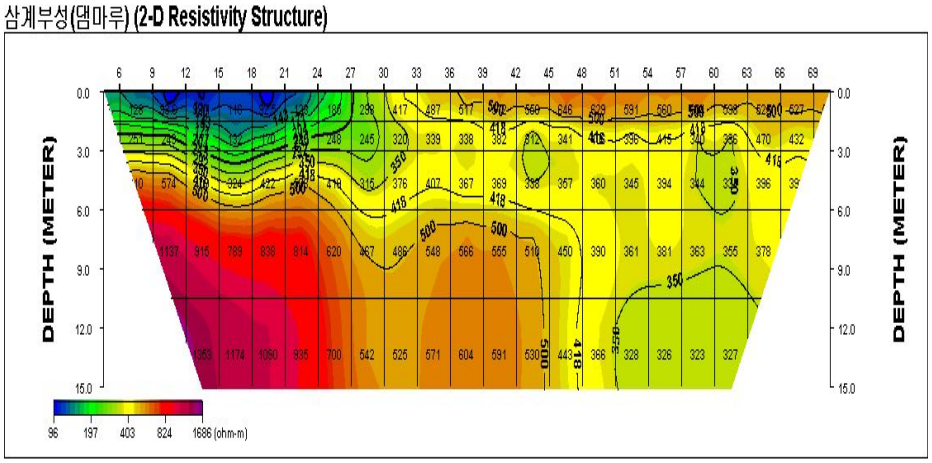


Figure 4-16. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Busung reservoir).

Table 4-7. Electrical resistivity survey results (Busung reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+06~No.01+04(ℓ =18m)	Central Clay Base	130 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.04+03(ℓ =75m)구간에 설정하였다. 5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.03이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층의 고비저항대 및 저비저항대 구간, 중심코어의 고비저항대 및 저비저항대, 그리고 기초지반의 고비저항대 및 저비저항대로 구성된다. No.02+17에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 300 Ω·m이하인 저비저항대가 분포하고 있으며, 기초지반으로 비저항치가 점차 낮아지고 있어 이 부근 누수가 기초지반으로 확대할 가능성을 가지고 있어 주의가 필요하다.

3) 댐마루 측선 하부에서 저비저항대가 중심코어 내에 수평으로 폭넓게 분포되어 본 조사 구간에서 누수 예상지역으로 판단된다. 그리고 우측 구간에는 기초지

반으로 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 생각되며, 앞으로 제당 유지 관리를 위해 효과적인 보수.보강 대책이 필요할 것으로 판단된다.

4) 이 제당의 높이는 약 10m로 측선 하부 좌측을 제외한 우측 구간에 중심점토에서 기초지반으로 광범위하게 비저항치가 점차 낮아지고 있다.

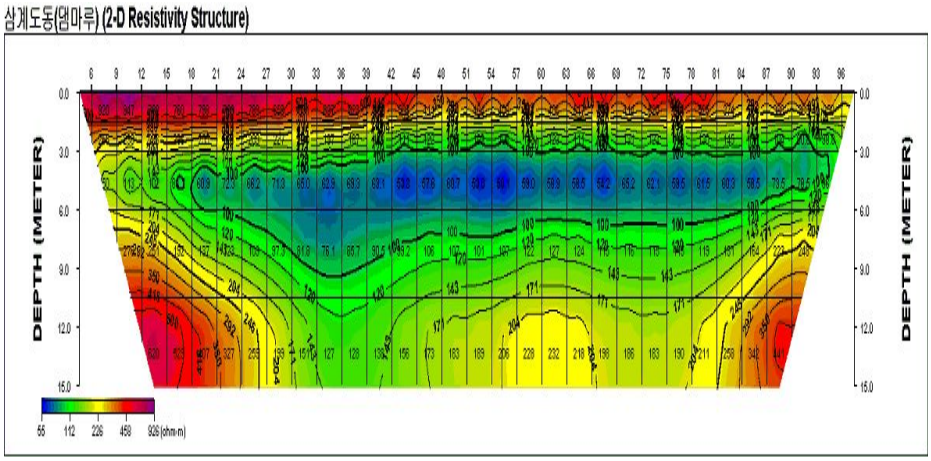


Figure 4-17. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Dodong reservoir).

Table 4-8. Electrical resistivity survey results (Dodong reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+18~No.04+13(ℓ =75m)	Central Clay Base	80 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.06+00(ℓ =102m)구간에 설정하였다. 5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.04이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층의 고비저항대 구간, 중심코어의 포화대 및 저비저항대, 그리고 기초지반의 중앙부의 저비저항대와 양쪽 가장자리 고비저항대로 구성된다. No.01+10에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 100 Ω·m이하인 저비저항대가 분포하고 있으며 앞으로 이 부근 비저항치가 기초지반으로 확대할 가능성을 가지고 있어 주의가 필요하다.

3) 댐마루 측선 하부에서 포화대가 중심코어 내에 수평으로 폭넓게 분포되어 파쇄대나 공동에 의한 담수의 유입으로 기인된 현상이라 생각되며 본 조사 구간에

서 가장 취약한 누수지역으로 판단된다.

4) 이 제당의 높이는 약 6m로 측선 좌·우측을 제외한 전 구간에 중심점토에서 기초지반으로 광범위하게 비저항치가 점차 낮아지고 있으며, 이는 측선 중앙부으로 부터 기초지반까지 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 생각되며, 앞으로 제당 유지 관리를 위해 효과적인 보수・보강 대책이 필요할 것으로 판단된다.

삼계석전(댐마루) (2-D Resistivity Structure)

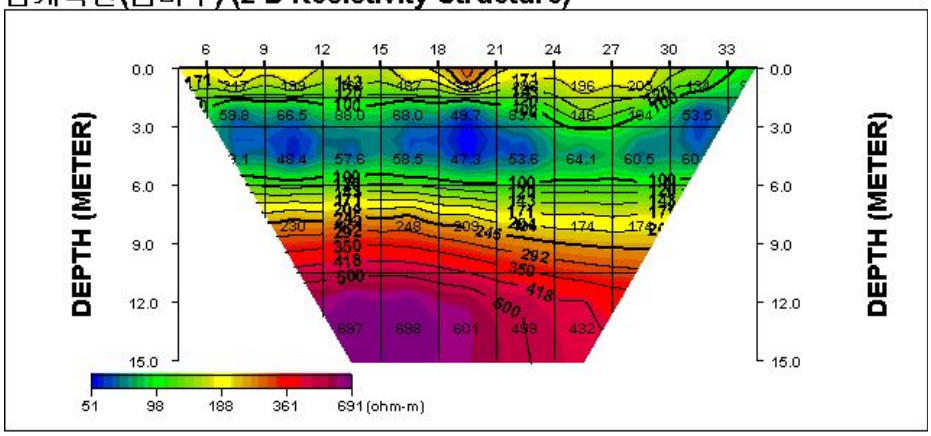


Figure 4-18. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Sukgeon reservoir).

Table 4.9 Electrical resistivity survey results (Sukgeon reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+07~No.01+03(ℓ =16m) No.01+05~No.01+06(ℓ =1m) No.01+08~No.01+13(ℓ =5m)	Central Clay Base	70 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.02+07(ℓ =39m)구간에 설정하였다.5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.06이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층의 저비저항대 구간, 중심코어의 포화대 및 저비저항대, 그리고 기초지반의 고비저항대로 구성된다. No.01+13에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 100 Ω·m이하인 저비저항대가 분포하고 있으며 앞으로 이 부근 비저항치가 중심점토에 국한되고 있다.

3) 댐마루 측선 하부에서 포화대가 중심코어 내에 수평으로 폭넓게 분포되어 파쇄대나 공동에 의한 담수의 유입으로 기인된 현상이라 생각되며 본 조사 구간에

서 가장 취약한 누수지역으로 판단된다. 기초지반 하부에는 고비저항대로 누수에 안정적이나, 점진적으로 비저항치가 심부로 낮아지는 경향이 있어 주의가 필요하다.

4) 이 제당의 높이는 약 6m로 측선 전 구간 중심점토에서 수평적으로 포화대가 광범위하게 분포하고 있으며, 이는 기초지반까지 비저항치가 점진적으로 낮아지고 있어 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 생각된다. 앞으로 제당 유지 관리를 위해 효과적인 보수・보강 대책이 필요할 것으로 판단된다.

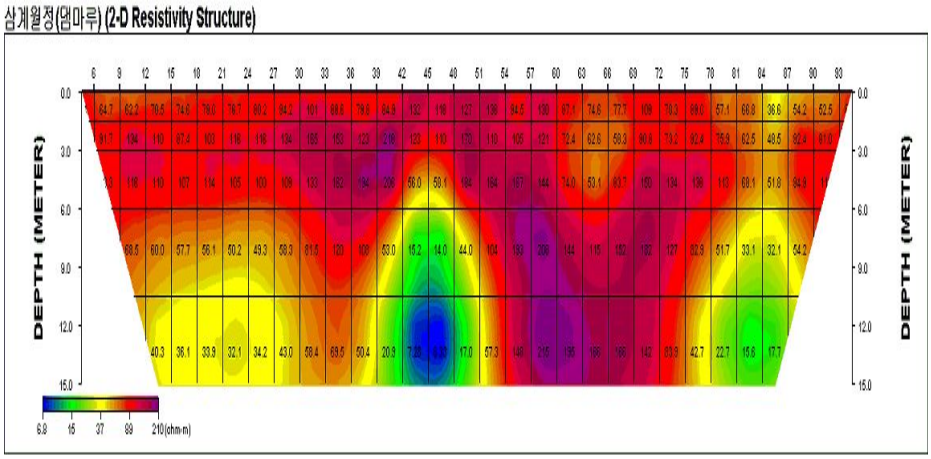


Figure 4-19. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Woljeong reservoir).

Table 4-10. Electrical resistivity survey results (Woljeong reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+12~No.01+10(ℓ =18m) No.01+19~No.02+11(ℓ =12m) No.03+18~No.04+09(ℓ =11m)	Central Clay Base	49 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.05+07(ℓ =99m)구간에 설정하였다.5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.08이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층의 저비저항대 구간, 중심코어의 저비저항대, 그리고 기초지반의 포화대, 습윤대 및 저비저항대로 구성된다. No.00+12에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 100 Ω·m이하인 저비저항대가 분포하고 있으며 기초지반으로 비저항치가 점차 낮아지고 있어 이 부근 누수가 기초지반으로 확대할 가능성을 가지고 있어 주의가 필요하다.

3) 댐마루 측선 하부에서 포화대가 기초지반 내에 부분적으로 폭넓게 분포되어

파쇄대나 공동에 의한 담수의 유입으로 기인된 현상이라 생각되며 본 조사 구간에서 가장 취약한 누수지역으로 판단된다.

4) 이 제당 높이가 2.5m로 기초지반 하부 심부로 포화대가 발달되어 있어, 누수 유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 생각된다. 앞으로 제당 유지 관리를 위해 효과적인 보수・보강 대책이 필요할 것으로 판단된다.

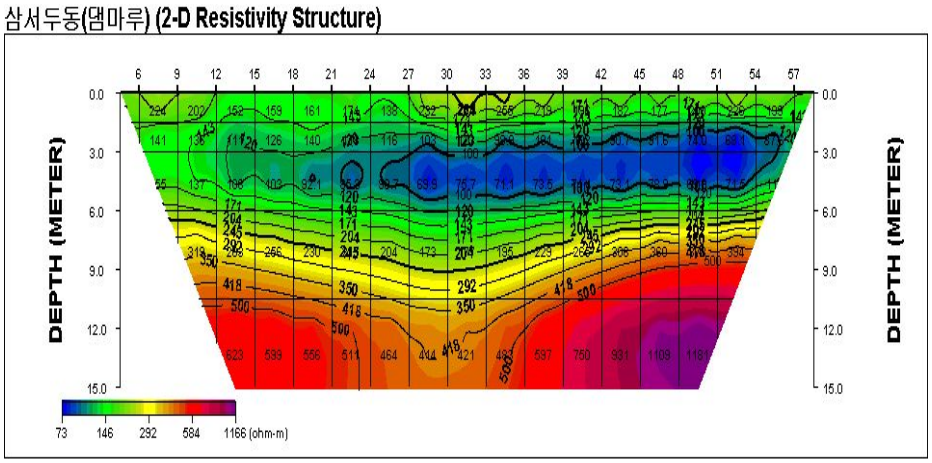


Figure 4-20. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Doodong reservoir).

Table 4-11. Electrical resistivity survey results (Doodong reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+15~No.02+16(ℓ =41m)	Central Clay Base	105 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.03+11(ℓ =63m)구간에 설정하였다.5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.05이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층의 저비저항대 구간, 중심코어의 포화대 및 저비저항대, 그리고 기초지반의 고비저항대 및 저비저항대로 구성된다. No.02+08에 통문이 위치하며 이 구간의 비저항은 100 Ω·m이하인 저비저항대가 분포하고 있으며, 비저항치가 중심점토, 기초지반으로 확대하고 있어 주의가 필요하다.

3) 댐마루 측선 하부에서 포화대가 중심코어 내에 수평으로 폭넓게 분포되

어 파쇄대나 공동에 의한 담수의 유입으로 기인된 현상이라 생각되며 본 조사 구간에서 가장 취약한 누수지역으로 판단된다. 측선 하부 기초지반 양쪽 가장자리는 고비저항대로 누수에 안정적이나, 중앙부는 비저항치가 심부로 낮아지는 경향이 있어 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 생각된다.

4) 이 제당의 높이는 약 7m로 측선 전 구간 중심점토에서 수평적으로 포화대가 광범위하게 분포하고 있다. 이는 기초지반 중앙 심부까지 비저항치가 점진적으로 낮아지고 있어, 앞으로 제당 유지 관리를 위해 효과적인 보수.보강 대책이 필요할 것으로 판단된다.

삼서보생 **(2-D Resistivity Structure)**

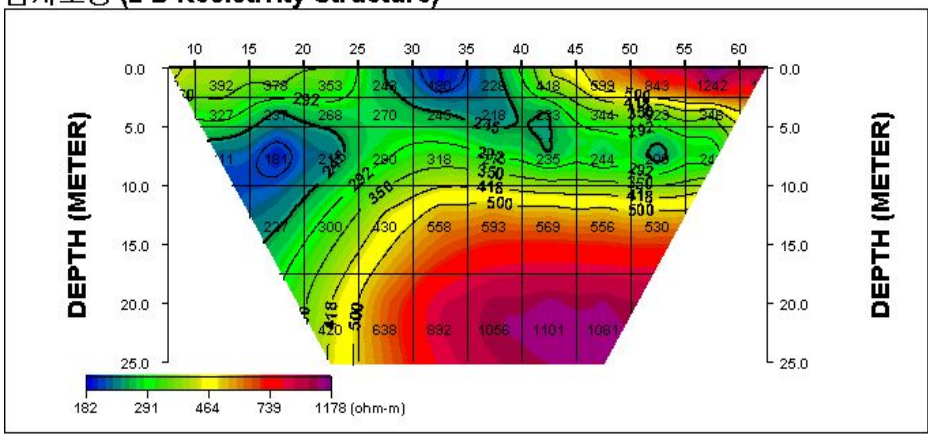


Figure 4-21. 2-D Resistivity structure by inversion analysis (Bosang reservoir).

Table 4-12. Electrical resistivity survey results (Bosang reservoir)

Survey Line	Anomaly Resistivity	Anomaly Location	Survey Area	Electrical Resistivity (Ω·m)
Dam crest	Saturated zone (Low resistivity zone)	No.00+10~No.01+05(ℓ =15m) No.01+07~No.01+19(ℓ =12m) No.02+00~No.02+04(ℓ =4m) No.02+11~No.02+14(ℓ =3m)	Central Clay Base	235 below

1) 댐마루 측선은 No.00+08~No.03+18(ℓ =70m)구간에 설정하였다. 5회의 역산 반복 수렴과 RMS 오차 0.03이내에서 2차원 비저항 해석단면도를 구하였다.

2) 댐마루 측선은 전체적으로 표토층 중앙부와 중심코어 좌측부에 습윤대 및 저비저항대(180Ω·m), 기초지반의 우측부에 고비저항대 구성된다.

3) 댐마루 측선 하부에서 습윤대가 지표 - 중심코어 - 기초지반 좌측

으로 발달하고 있으며, 특히 중심코어에서는 저비저항대가 수평적으로 폭넓게 분포하고 있다. 이는 댐마루 지표에서 기초지반으로 누수유로를 형성하고 있을 가능성이 높은 것으로 생각되며, 앞으로 제당 유지 관리를 위해 효과적인 보수.보강 대책이 필요할 것으로 판단된다.

4) 이 제당의 높이는 약 11m로 측선 우측을 제외한 전 구간에 중심점토에서 기초지반으로 광범위하게 비저항치가 점차 낮아지고 있어 주의가 필요하다.

5. 결 론

전국 누수 취약 저수지 절반가량이 전남 지역에 집중되어 있으며, 전남 지역 1051곳의 저수지 중 50년 이상 된 노후 저수지는 699곳이 된다. 노후 저수지의 빠른 개보수사업을 추진하기 위해서는 물리탐사, 시추조사 및 통관조사 등 정밀진단이 시급하다.

이 연구에서는 전남 장성군에 소재하고 있는 10곳의 노후 저수지 댐마루에서 전기비저항 현장자료를 취득하였다. 여기에서 전극 전개길이, 전극삽입 및 전극 접지저항의 문제 해결방법을 구하였다.

자료처리와 자료해석 과정에서는 실측한 겉보기 비저항 가단면도, 실측자료를 역산하여 얻은 비저항 단면도 및 비저항 단면도에 해당하는 이론적 겉보기 비저항 가단면도를 구하였다. 모든 저수지에 실측한 겉보기 비저항 단면도와 이론적 겉보기 비저항 가단면도가 자세한 부분까지 거의 일치하는 것으로 보아, 역산에서 얻은 비저항 단면도는 그 신뢰도가 크다고 생각한다. 이러한 자료처리, 자료해석 및 고찰을 4장에 기술하였다.

특히 이 연구에서는 탐사자료 역산 시 유한차분법(FDM)과 유한요소법(FEM)을 이용하였다. 역산방법으로는 1차 미분연산자를 이용하게 되는 1차미분 평활화제한 역산법 및 2차 미분연산자를 이용하는 2차미분 평활화제한 역산법이 있으나, 역산법의 효율성, 신뢰도 분석을 통해서 2차 미분연산자를 이용하는 2차미분 평활화제한 역산법과 유한요소법을 적용하였다. 그리고 역산 최대 반복회수는 반복역산의 반복회수를 설정하는 것으로 대부분의 경우 기본적으로 설정된 반복회수인 5번 정도이면 충분하게 수렴하였다. 또한 라그랑지 곱수는 부가하는 제한조건의 크기를 설정하는 것으로 탐사자료의 질이 그다지 좋지 않은 경우에는 높은 값을, 자료의 질이 낮은 값을 선택함이 일반적이다. 보통 작은 값을 선택할 경우에는 0.01정도까지가 적당하고, 높은 값을 설정할 경우에는 0.3 이상의 기본적으로 주어진 0.05 정도면 무난하였다. 이외에 영상

의 분해능을 높이기 위하여 ACB법을 이용하여 랑그랑지 곱수를 공간적으로 변화하여 역산하였다.

참 고 문 헌

1. 건술부 편. 『댐시설기준』, 건설부, pp.299-490, 1993.

2. 김정호. “2차원 전기비저항 탐사자료의 역산.” 서울대학교 공학박사 학위논문, 1987.

3. 박삼규, 송성호, 최종학, 최보규, 이병호. “수리시설물의 누수탐지를 위한 물리탐사의 적용성.” 한국지구물리탐사학회 제4회 심포지움, pp.179-195, 2002.

4. 손호웅, 김지수, 송영수, 윤왕중, 김인수, 서만철, 김기영, 김인기, 김학수. 『지반환경물리탐사』, 시그마프레스, 2000.

5. 송성호, 이규상, 김진호, 장의웅. “SP 및 단극배열 전기비저항탐사를 이용한 방조제 누수지점 탐지.” 한국지구물리탐사협회 2000년 농업현장에 필요한 물리탐사 기술 심포지움, pp.19-40, 2000.

6. 원종근, 송성호. “제방누수조사에의 물리탐사기법의 활용.” 한국지구물리탐사학회 제2회 학술발표회 건설현장에 필요한 물리탐사 기술 심포지움, pp. 240-257, 1999.

7. 이명종, 김종호, 조성준, 정승환. “전기비저항 탐사자료의 3차원 역산 : 전기·전자탐사법에 의한 지하영상화 기술연구.” 한국자원연구소, KR-97(C)-16, pp.57-100, 1997.

8. 이명종, 김정호, 송윤호, 정승환. “2차원 및 3차원 전기비저항탐사를 이용한 제당 누수 조사.” 한국지구물리탐사학회 2000년 농업현장에 필요한 물리탐사 기술 심포지움, pp.41-53, 2000.

9. 이명종. “전기비저항 탐사자료를 이용한 지하구조의 3차원 영상화.” 서울대학교, 공학박사 학위논문, 2000.

10. 정환기. “영광지역에 분포한 쥬라기 화강암류의 암석화학적 연구.” 조선대학교, 교육학석사 학위논문, 1987.

11. 이재영, 김학수. “쓰레기 매립지에 대한 물리탐사 적용사례 연구(I).” 『한국토양환경학지』 1:29-38, 1996.

12. 최위찬, 황상구, 김영범. 『영광도폭 지질보고서』, 한국동력자원연구소, 1986.

13. 현병구. 『물리탐사용어사전』, 신일문화사, pp.173-208, 1995.

14. 현병구, 서정희. 『물리탐사의 기본원리』, 서울대학교출판부, pp.57-67, 1994.

15. W. M. Telford & 3인. 『Applied Geophysics』, Cambridge Univ. Press, pp. 669-671, 1976.

감사의 글

우선 이 논문을 마치기 전 되돌아보면 아쉬움이 많이 남는 대학원 생활이었던 것 같습니다. 먼저 대학원 졸업까지 도움을 주신 고진석 교수님께 감사드립니다. 그리고 제가 타지 생활하면서 많은 힘든점이 있을 때 마다 도움을 주신 외할머니, 큰이모부, 큰이모, 작은이모께도 감사드립니다. 처음에는 단지 물리라는 과목에만 관심이 있어 들어오게 된 실험실이지만, 나중에 점점 탐사에 대한 매력에 빠짐으로써 흥미를 느끼며 실험실에서 연구하게 되었습니다. 비록 막상 졸업이 다가오니 걱정도 앞서지만 다른 한편으로는 실험실 생활에 대한 아쉬움도 많이 남습니다. 또한 저의 논문심사를 맡아주신 강추원 교수님, 강성승 교수님, 고진석 교수님께 감사드리며 학부 때부터 많은 가르침을 가르쳐 주신 한오형 교수님, 박천영 교수님, 장일식 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 이 논문이 나오기까지 현장에서 저와 함께 애써준 동기 송진이, 후배 진우, 다윗이 그리고 실험실에서 저의 일을 도와준 후배 진우 후배 대학이 그리고 같이 대학원을 진학한 동기 민규형, 태유, 지수, 스지에게도 고마움을 표합니다. 실험실 생활을 하며 탐사에 대한 분야를 하나하나 배워 나가는 기쁨을 느낄 수 있었고, 이 기쁨에 대한 만족이 있었기 때문에 졸업을 앞두고 탐사분야에서 남들에게 뒤쳐지지 않고 잘 할 수 있는 자신이 생겼습니다. 끝으로 항상 말썽만 부리고 철 없던 제가 대학원 진학을 말씀드렸을 때 변함없이 묵묵히 지켜봐 주시며 믿어주시던 사랑하는 부모님께 감사드리며, 늘 걱정하며 힘이 되어준 나의 든든한 후원자 동생한테도 고마움을 표하며 이 논문을 바치고 싶습니다. 항상 어디서든 최고가 되는 사람은 아니어도 최선을 다하는 사람으로 어디서든 빛을 발할 수 있는 사람이 되겠습니다.