

**제방누수조사에의 물리탐사기법의 활용**  
(쌍극자배열 전기비저항탐사와 SP탐사를 중심으로)  
원종근, 송성호 (농어촌진흥공사)

**Application of Geophysical Exploration Methods to Seepage Zone  
Investigation of Dam Structures**

Won, Jong-Geun, Song, Sung-Ho (Rural Development Corporation)

**요 약** : 우리나라의 저수지 총수 18,032 개소의 16%에 달하는 저수지가 누수를 겪고 있다. 이러한 불안전 시설물 조사에 있어서 물리탐사기법의 활용은 경제적 측면에서 지극히 자연스러운 흐름이다. 본 연구에서는 전기비저항탐사에 의해 이미 조사된 자료들을 분석하여 현장측정값의 모형을 보여주고 저수지에서의 누수조사 현장경험을 기술하였으며 토질과 전기비저항값의 상관관계를 분석하여 모래함량과의 연관성을 얻었다. 또한 SP탐사기법은 방조제 뿐만 아니라 저수지 누수 조사에서도 효과가 있는 것으로 분석되었다.

**주요어** : 누수, 저수지, 전기비저항탐사, SP탐사

**Abstract** : More than 16 percent of the total 18,032 reservoirs over the country were reported to have leakage problems and need to be improved. Recently, a great deal of progress was made in geophysical survey techniques, particularly in electrical resistivity, and the techniques are used for variety of purposes in groundwater and dam management due to its economical advantages.

This document describes the re-evaluation of existing resistivity data including newly surveyed data, mapping of modeled value in 2-D analysis to locate seepage pathways. This contains also discussion results of more than eighteen years of professional experiences in the field of dam efficiency improvement.

In comparison of surface resistivity data with several soil analysis data in laboratory, it is evident that the surface resistivity value shows a qualitative proportionality with the sand contents of the filling materials in earth dam. The result from the study also indicates that the SP method in subsurface investigation is effective to detect seepage in earth filled dam as well as piping through rock/earthfill dike.

**Keywords** : seepage, dam, reservoir, electrical resistivity exploration, SP exploration

## 1. 서론

최근 수년간 계속되어온 대형 구조물의 잇따른 붕괴사고 등으로 구조물의 안전에 대한 관심이 고조됨에 따라 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”과 “농업기반시설 관리규정”이 제정되었으며 이에 의거하여 농어촌진흥공사는 1995년부터 농업기반시설의 정밀안전진단을 연차적으로 시행하고 있다.

구조물은 그 특성상 시간이 경과함에 따라 과적하중의 작용, 시설물의 구조변경 또는 주변환경의 여건변화 등으로 구조 및 성능이 저하되고 이에 따라 시설의 안전성에 문제가 생기게 된다. 따라서 정밀안전진단은 시설물의 안전성을 확보하고 조기에 손상을 발견하여 향후 발생될 문제를 예측하여야 한다.

농업시설물과 관련하여 우리나라의 대표적인 농업기반시설인 저수지의 경우 불안전 원인은 여러 가지가 있으나 누수에 의한 영향이 가장 큰 문제로 누수에 의한 불안전 구조물은 전체의 16%에 달하고 있다. 이에 따라 누수조사의 중요성이 크게 부각되고 있는 추세이다.

### 1.1 농업기반시설의 현황

우리나라의 농업기반시설 중 저수지와 방조제는 19,618개소로서 구조물별로 살펴보면 다음과 같다.

#### 1.1.1 저수지

우리나라의 저수지는 총 18,032개소이며 이 중 제고가 20m 이상이거나 관개면적이 500ha 이상인 1종 시설물은 448개소(24.8%)에 불과하여 대부분이 규모가 작은 시설물임을 알 수 있다.(표1)

시설물의 관리주체는 시,군 또는 농지개량조합이며 1종 시설물의 대부분(393개소:87.7%)은 농지개량조합에서 관리하고 있다. 이중 폐기대상 저수지는 총 58개소(0.3%)로서 대부분 경, 남북에 편중되어 있는데 이는 지역적 특성으로 산간에 위치하고 저수지의 관개면적이 이농 등으로 인하여 현저하게 줄어들어 시설물의 필요성이 없어진 때문으로 분석된다.

불안전 시설물은 총 4,183개소(23%)이며 시설물 불안전의 원인은 여러 가지가 있으나 그 중 누수로 인한 불안전 시설물은 1,464개소로서 누수방지공사(주로 그라우팅공법)를 시공한 1,524개소를 포함하면 누수 문제가 있거나 있었던 저수지는 총 저수지의 16.6%에 달한다. 누수문제가 있는 저수지는 1종시설이 14.3%로서 2종 시설의 8.1%보다 현저히 많은 것으로 나타났으나 이는 소규모 저수지에서의 소량의 누수는 구조물의 안전에 큰 지장이 없는 것으로 조사된 것으로 해석된다.

표1 도별 저수지 현황

도 별	종 별	개소수	그라우팅기시공		폐기대상		누수지구수		비 고
			개 소 수	%	개 소 수	%	개 소 수	%	
계	계	18,032	1,524	8.5	58	0.3	1,464	8.1	
	1종	448	69	15.4	-	-	64	14.3	
	2종	17,584	1,455	8.3	58	0.3	1,400	8.0	
대전광역시	소 계	19	4	21.1	-	-	1	5.3	
	1종	1	-	-	-	-	-	-	
	2종	18	4	22.2	-	-	1	5.6	
인천광역시	소 계	35	5	14.3	-	-	7	20	
	1종	4	1	25	-	-	2	50	
	2종	31	4	12.9	-	-	5	12.9	
광주광역시	2종	150	47	31.3	-	-	17	11.3	
대구광역시	소 계	223	54	24.2	1	-	3	1.3	
	1종	5	1	20	-	-	-	-	
	2종	218	52	24.3	1	-	3	1.4	
울산광역시	소 계	360	17	4.7	-	-	17	4.7	
	1종	9	-	-	-	-	2	22.2	
	2종	351	17	4.8	-	-	15	4.3	
부산광역시	소 계	135	8	5.9	-	-	16	11.9	
	1종	1	1	100	-	-	-	-	
	2종	134	7	5.2	-	-	16	11.9	
경 기	소 계	412	40	9.7	-	-	16	3.9	
	1종	25	7	28	-	-	6	24	
	2종	387	33	8.5	-	-	10	2.6	
강 원	소 계	311	12	3.9	-	-	42	13.5	
	1종	29	2	6.9	-	-	2	10.5	
	2종	282	10	3.5	-	-	40	14.2	
충 북	소 계	860	44	5.1	-	-	25	2.9	
	1종	43	5	11.6	-	-	8	18.6	
	2종	817	39	4.8	-	-	17	2.1	
충 남	소 계	961	104	10.8	-	-	70	7.3	
	1종	41	12	29.3	-	-	7	17.1	
	2종	920	92	10	-	-	63	6.8	
전 북	소 계	2,279	94	4.1	-	-	169	7.4	
	1종	54	5	9.3	-	-	9	16.7	
	2종	2,225	89	4	-	-	160	7.2	
전 남	소 계	3,308	437	13.2	-	-	376	11.4	
	1종	76	15	19.7	-	-	12	15.8	
	2종	3,232	422	13.1	-	-	364	11.3	
경 북	소 계	5,688	384	6.8	30	5.3	351	6.2	
	1종	74	6	8.1	-	-	5	6.8	
	2종	5,614	378	6.7	30	5.3	346	6.2	
경 남	소 계	3,287	273	8.3	27	8.2	354	10.8	
	1종	86	14	16.3	-	-	11	12.8	
	2종	3,201	259	8.1	27	8.4	343	10.7	
제 주	2종	4	1	25	-	-	-	-	

### 1.1.2 방조제

우리나라의 방조제는 총 1,586개소로서 이 중 국가관리 방조제가 91개소이며 지방관리 방조제가 1,495개소로서 서남해안에 82%가 편중되어 있으며, 실태에 대한 조사는 현재 분석 중에 있다.(표2)

표2. 시도별 방조제 현황

시도별	지 구 수			총연장(Km)			농경지면적(천ha)		
	계	국가관리	지방관리	계	국가관리	지방관리	계	국가관리	지방관리
합 계	1,589	91	1,495	1,115.1	254.0	861.1	105.0	75.3	29.7
부 산	2		2	5.4		5.4	0.1		0.1
인 천	95	8	87	138.8	41.1	97.7	6.4	4.4	2.0
울 산	1		1	0.2		0.2	0.1		0.1
경 기	49	2	47	91.4	4.6	86.8	20.7	17.8	2.9
충 남	261	14	247	142.5	21.5	121.0	26.7	21.6	5.1
전 북	556	12	44	116.1	73.8	42.3	13.6	11.8	1.8
전 남	985	49	936	565.2	104.4	460.8	24.9	18.8	16.1
경 남	136	6	130	55.3	8.6	46.7	2.4	0.9	1.5
제 주	1		1	0.2		0.2	0.1		0.1

### 1.2 물리탐사에 의한 제방 누수조사 시행경과

1992년 이전에 농어촌진흥공사에서 시행한 누수조사는 대부분 시추조사와 구조물에 대한 외관조사로만 이루어져 왔으며 드물게 쌍극자배열 전기비저항 탐사(이하 쌍극자 탐사로 칭함)를 시행하였으나 획득된 자료에 대한 수처리 작업과 자료처리 결과에 의한 정성적 해석으로 해석에 많은 어려움이 있어 왔다.

그러나 역산에 의한 해석 프로그램 개발과 전산기기의 눈부신 발전으로 쌍극자 탐사로 누수조사를 시행하는 빈도가 점차 늘어나고 농업기반시설 정밀안전진단과 관련된 특별법과 규정이 제정된 후인 1995년부터는 전기탐사에 의한 누수조사가 급속도로 증가하고 있는 추세에 있다.

### 1.3 물리탐사로의 제방 누수조사 연구

앞서 언급한 바와 같이 물리탐사에 의한 제방 누수조사의 빈도는 높아지고 있으나 탐사 결과에 대한 정확성의 검증이 미흡하고 탐사자료의 응용 분야 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정으로서 농어촌진흥공사에서는 1998년 말부터 기존자료의 분석, SP탐사의 적용 및 탐사 결과에 대한 검증작업까지를 포괄하는 관련 연구를 시작하였다. 따라서 본 발표에서는

현재까지의 연구 결과에 대하여 정리하고 향후 연구과제의 방향설정에 대하여 언급한다.

## 2. 본 론

### 2. 1 농업기반시설에의 물리탐사 과정

#### 2. 1. 1 지표지질조사

지표지질조사는 모든 지질조사의 기본으로서 지하지질조사 및 지반시험결과의 해석과 평가에 중요한 기초자료가 되며 특히 댐 조사에서는 지반의 강도와 투수성을 위주로 조사해야 한다.

쌍극자 탐사 축선 배열이 곤란한 여수토 구간에서는 지표지질조사와 외관누수조사 결과에 의존해야하는 경우가 대부분으로 층리와 절리방향, 풍화도, 구조물 상태 등에 대한 정밀한 지표지질조사가 필요하다

#### 2. 1. 2 외관조사

제방에서의 누수의 징후는 물이 고여 있거나 흐르는 상태로만 나타나지 않는다. 누수에 동반한 현상은 여러 가지로 나타나는데 하류사면의 배부름, 제체부의 부분적인 침하, 사면 슬라이딩, 땅꺼짐, 식물의 식생상태 등을 들 수 있으며 누수형태도 침출형과 용출형, 복합형, 습지형성으로 구분되며 특히 토립자의 동반 유출 유무는 관공현상 판단에 중요한 단서가 된다.

또한 토목구조물의 위치와 상태도 전기탐사시 충분히 고려하여야 하며 여수토·방수로와의 접촉부, 통관부근, 구하상의 위치, 구조물의 노후화 정도 등은 낮은 전기비저항 분포 구간으로 나타나는 경우가 많다.

#### 2. 1. 3 청문조사

누수조사에서의 청문조사는 누수원인 파악의 결정적인 단서가 되는 경우가 많이 있다. 통상 물리탐사는 단기간에 끝나므로 청문조사에서는 장기적인 누수상황 변화에 대한 정보 획득이 필수적이며 이외에도 저수위 변화에 따른 누수량 변화, 강우에 의한 제체 손상 이력, 개보수 이력, 성토재 채취위치, 시공중단 여부, 기초지반에 대한 기초처리 여부 등을 청문조사에서 알 수 있다.

해안에 인접한 저수지나 방조제에서는 인접 경작지의 염해 여부와 구하상 위치 파악이 중요하다.

#### 2. 1. 4 측선 및 측정 간격 결정

저수지에서의 측선은 저수지 높이와, 선행된 조사를 토대로 대상구간을 결정하며 통상 2~6개 측선을 설치하게 된다.

저수지 높이가 20m 이하인 저수지에서는 댐마루와 하류사면 중간부의 2개 측선을 제방종단 방향으로 평행하게 설치하여 측정하고 좌·우안의 우회 누수여부 파악이 필요한 지구에서는 양안의 상하류 방향으로 2개 측선을 추가로 설치하며 저수지가 높아질수록 높이에 따라 측선을 추가 설치하여 측정한다.

측점 간격은 제고 10m인 경우는 3m, 10~20m인 경우는 5m, 20m이상인 경우는 성토부에 대한 세부자료 취득을 위해 5m 간격으로 측정한 후 기초지반 심부까지의 조사를 위해 10m 간격으로 추가 조사하는 것이 적절하다. 또한 측정심도는 10m 이하인 저수지의 경우 저수지 제고에 5m를 더 조사하여 기초지반 자료를 획득하고 10m 이상의 저수지에서는 제고에 10m를 더한 심도를 조사심도로 결정하는 것이 자료해석에 용이한 것으로 조사되었다.

방조제의 경우는 조위차에 의해 흐름의 방향이 양방향이므로 간·만조시 2회에 걸쳐 조사하는 것이 타당하나 대부분 측선길이가 대단히 길고 획득되는 전기비저항값이 대단히 낮으므로 SP탐사를 선행하고 그 결과에 의거 측선설치 구간을 결정하는 것이 현실적으로 판단된다.

#### 2.1.5 현장측정

물리탐사를 수행함에 있어 가장 기초적인 작업중의 하나가 현장에서 정확한 자료를 취득하는 일이다. 특히 쌍극자탐사시는 정확한 자료취득을 위해 정확한 접지와 전선과 전극봉간의 연결에 주의해야 한다.

자갈과 모래가 많은 하류사면이나 범미부에서는 특히 접지에 유의해야 하며 전극봉 타입전에 지반다지기, 필요시 전극봉을 병렬연결(압밀효과), 황산동 또는 소금물 충전 등의 방법으로 효과적인 접지를 할 수 있으며 전석이 많은 곳에서는 전극봉 타입 위치에 흙을 충전하고 전류공급을 20mA 이하로 해야 측정이 되는 경우가 많다.

대부분의 경우 부스타를 겸용해야 자료의 안정성이 향상되지만 모래와 자갈이 많은 곳에서는 강한 전류가 효과적인 자료취득에 방해가 되기도 한다. 탐사전의 전선관리는 특히 중요하며 전선내의 연결상태가 불량한 경우 단선으로 나타나지는 않으면서도 충분한 전류가 흐르지 못해 부적절한 자료 취득의 원인이 되는 경우가 많다.

저수지는 인공적인 시설물로서 자연상태의 기반암과는 달리 축제재료가 대동소이하고 대체로 균질하므로 현장측정값은 좌·우 자료의 경우 30%이상 차이가 나는 경우는 거의 없고 하부자료가 상부자료보다 높게 나타나는 경우도 거의 없다. 따라서 모래와 자갈이 많은 곳에서 측정이 어려운 경우는 전류전극과 전위전극을 바꿔서 측정하면 자료취득이 가능해지기도 한다.

## 2.1.6 자료해석

현장에서 취득된 자료에 대한 처리 및 해석은 자료처리 프로그램에 의한 역산으로 해석하고자 하는 기술자의 경험과 기술이 문제가 되지 않으나 정확한 해석을 위하여는 기 시행된 여러 조사를 모두 고려하여 정확한 해석결과가 나올 수 있도록 하여야 한다.

예를들어 기초지반이 문제가 되는 해안인접 지역의 저수지나 대부분의 방조제는 기초지반자료 위주로 등고선의 초기값과 증분을 결정하여야 하며 상부 성토구간과 기초지반 또는 좌·우안 암반사면의 전기비저항 값이 대단히 높게 나타난 경우에는 중심점토 구간 위주로 해석하여야 용이한 것으로 판단된다.

측선별 해석도에서 나타난 과포화대는 지구위치 평면도에 측선별로 표시하여 각 측선의 과포화대 구간과 누수위치의 연결성 여부를 판단하는 것이 추천된다.

## 2.2. 농진공 기 조사자료 분석

### 2.2.1. 저수지에 대한 조사결과

저수지의 경우는 인공적으로 축조된 시설물로서 축제재료의 성분이 대체로 일정하므로 기 조사된 저수지에 대한 측정자료의 측정 간격별 현장 측정치의 분석은 저수지 누수조사를 위한 전기비저항 탐사시 자료취득에 참고가 될 것으로 판단되어 '98년도에 농진공에서 시행한 지구의 조사자료를 분석하였다(표4).

표4. 현장측정값 분석

구 분	현 장 측 정 값( $\Omega$ )						비 고
	A = 5m인 경우			A = 3m인 경우			
	최소값평균	최대값평균	평 균 값	최소값평균	최대값평균	평 균 값	
N = 1	1.876	4.396	2.985	3.09	8.52	5.805	
N = 2	0.452	0.933	0.659	0.739	1.98	1.359	
N = 3	0.161	0.435	0.286	0.261	0.645	0.495	
N = 4	0.082	0.192	0.131	0.129	0.399	0.264	
N = 5	0.046	0.114	0.077	0.069	0.221	0.145	
N = 6	0.030	0.069	0.048	0.044	0.108	0.076	
N = 7	0.021	0.052	0.035	0.029	0.081	0.055	
N = 8	0.0015	0.0036	0.0024	0.044	0.06	0.052	

### 2.2.2. 전기비저항과 토질과의 상관관계

점착력(C)과 내부마찰각( $\phi$ )은 저수지 사면안정해석에 필수적인 토질정수이나 이를 얻기 위해서는 시료채취와 실내시험이 반드시 필요하지만 많은 비용과 시간이 필요한 단점이 있다. 2000년에 발족하게 되는 농업기반공사는 수많은 소규모 저수지를 관리하게 되는데 한정된 예산안에서 이러한 비용을 투입하는 것은 현실적으로 거의 불가능하다. 그러나 많은 누수지구의 조사가 물리탐사를 이용할 것으로 판단됨에 따라 물리탐사에 의해 취득된 자료와 토질정수와의 상관관계가 규명된다면 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

이는 현장측정시 돌과 모래가 많은 곳에서는 전기비저항값이 높게 나타나는 점에 착안한 것으로서 전기비저항과 토질과는 상관관계가 있을 것이라는 것을 전제로 하였다. 이를 위하여 1998년도에 농어촌진흥공사에서 시추조사 또는 시굴에 의해 채취된 121개의 불교란 시료의 실내시험 결과와 동 위치의 전기비저항 값을 통계분석기법을 활용해 상관 분석하였다.

각 성분과 전기비저항값의 상관관계는 표5에 나타난 바와 같이 자갈, 실트의 함유량과 전기비저항값은 상관계수가 0에 가까워 무관한 것으로 나타났고 점토와 점착력은 미약한 상관관계가 있음을 보여주며 모래와 내부마찰각은 전기비저항값과 제일 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다.

또한 실내시험에 의한 토질분류와 전기비저항값의 상관관계를 비교 분석(표6) 하였는데 95%의 분포를 보이는 신뢰구간에서 CL 과 SC 및 SM등은 중복되는 범위가 적고 신뢰구간의 범위가 좁아 자료의 가치가 있는 것으로 나타났다. 기타의 자료는 유효자료의 숫자가 적어 분석의 의미가 별로 없는 것으로 판단된다.

본 분석결과에서 가장 두드러진 특징은 모래성분과 관련된 내부마찰각, 모래 함량, 토질분류상의 SM, SC등이 전기비저항값과 일관되게 높은 상관관계를 보인다는 점이다. 본 조사분석과정과 결과가 모든 구조물에 대해 검증된 것은 아니지만 제한적인 적은 자료에서도 이러한 경향이 파악되므로 기 측정 자료 전반에 대한 분석 및 향후 조사과정에서 획득될 자료들에 대한 정밀 분석이 이루어 진다면 소정의 연구목적이 달성될 것으로 기대된다.

표5. 전기비저항과 토질의 상관분석

구 분	입 도 별				토 질 정 수		비 고
	자 갈	모 래	실 트	점 토	점착력	내부마찰각	
상관계수	-0.1	0.58	-0.02	0.19	0.23	0.41	

표5. 토질분류별 전기비저항 신뢰구간 분석

토질분류	SM	SC	CL	ML	GM
시 료 수	51	14	22	5	8
신뢰구간	223~277	149~235	131~175	65~281	123~237



### 2.2.3. 전기비저항 탐사자료의 응용

#### ㉓ 터파기선 또는 기초암반선 확인

우리나라 저수지는 축조시기가 매우 오래되었고 체계적인 관리 미비로 인하여 준공당시의 설계도서가 없는 경우가 대단히 많다.(통계는 나와있지 않음). 이러한 경우로 인하여 전기비저항 탐사로 나타난 터파기선 또는 기초 암반선은 저수지 정밀안전진단에 중요한 자료가 된다.

#### ㉔ 구하상위치 확인

청문조사와 아울러 쌍극자 탐사 결과를 비교해 보면 구하상 위치가 대단히 잘 일치함을 알 수 있다. 누수주요 통로가 되는 구하상 위치 파악은 저수지 안전과 누수경로 판단에 중요한 요인이 된다.

#### ㉕ 구조물 이상유무 판단

저수지의 경우 제체를 관통하고 있는 통관구조물이 노후화되어 누수되는 경우가 불안전 원인의 10%를 차지하고 있으나 소규모 저수지의 경우 통관 구조물의 직경이 작아 육안 관찰은 불가능하며 이런 경우 전기비저항 탐사결과 구조물 주변의 전기저비저항 분포구간의 형성은 통관누수여부 판단을 가능케 한다.

### 2.2.4. 쌍극자 탐사기법의 장점

쌍극자 탐사법의 최대 장점은 해석결과에 대해 약간의 설명만 들으면 곧 이해하고 쉽게 수긍한다는 점이다. 자료와 정밀도가 아무리 높은 탐사라도 이해하기 어려우면 일반인들은 쉽게 수긍하려 하지 않는다. 쌍극자 탐사 해석도는 누수구간과 심도가 명확히 표시되고 색으로 구분되므로 쌍극자 탐사에 대한 인식은 아주 양호한 편이다.

또한 경제적인 측면에서도 본 탐사는 그 적용성에서도 효율적으로 알려져 있다. 대개의 저수지의 경우 현장조사가 1~2일에 완료되고 이에 따라 조사비가 저렴하므로 저비용 고효율의 표본이라 할만하다. 세 번째 장점은 잡음에 대한 효과가 다른 탐사에 비해 적다는 점이다. 저수지나 방조제의 위치가 전기적 잡음이 별로 없는 곳에 설치되어 있기도 하지만 전선, 접지 이외의 요인으로 조사가 불가능하거나 조사자료에 악영향을 받는 경우는 거의 없다.

## 3. 자연전위(SP) 탐사 적용방안

### 3.1. 적용목적

본 탐사의 적용목적은 상대적으로 편리하고 경제적인 방법을 이용하여 제당 및 방조제의 누수부위를 효율적으로 탐지해 내는 기법 도출이다. 이는 기술적측면과 실용적측면의 필요

성을 충족시킬 수 있도록 조사결과 얻어진 탐지기법을 검증하는 과정까지 포함한다.

이에 따라 농어촌진흥공사에서는 1999년 말부터 SP탐사의 기초작업으로서 비분극전극(porous pot) 제작에 필요한 기술력 제고와 누수 위험이 높은 제당 및 방조제를 선정하여 이에 대한 모니터링을 실시함으로써 기존의 쌍극자 탐사 방법과의 비교 검토를 실시하고 있으며, 향후 그라우팅에 대한 비교, 검증으로 탐사의 질을 높이고자 하였다.

### 3.2. 기술적 측면

저수지의 제당 및 방조제 누수부위 탐지는 기존의 쌍극자 탐사에 의존하고 있는데, 제당 및 방조제의 특성상 전기에 의해 발생하는 저항치를 측정하는 과정에서 전극봉 접지의 불안정성 등으로 인하여 미세한 부분의 누수부위가 간과 될 수 있으며 방조제 등에서는 염분으로 인하여 전기비저항이 너무 낮게 나타나 등고선 간격 설정이 어려워 쌍극자 탐사만으로 누수부위 탐지를 하는데는 한계가 있는 실정이다.

SP탐사기법은 토양과 충적층 지하탐사에 신뢰성이 큰 것으로 알려져 있어, 지금까지 암반지하수를 대상으로 하는 국내에서는 그 활용도가 상대적으로 낮았으나, 최근들어 농어촌진흥공사와 일부 연구기관에서는 지속적으로 활용 발전시키는 추세에 있다(한국자원연구소, 1989, 조진동 외, 1996).

자연전위를 이용한 SP탐사는 전기화학적 작용에 의하여 현장에서 발생하는 전류를 측정 및 해석하므로 주변여건에서 발생될 수 있는 잡음(noise)의 영향도 상대적으로 작고 별도의 탐사기기가 필요하지 않은 장점이 있어 본 연구에 의해 얻어지는 결과를 기존의 쌍극자 및 수직탐사 자료와 비교·분석함으로써 제당 및 방조제 누수부위의 탐지에 보다 정확하고 안정적인 방법이 될 것으로 판단된다.

### 3.3. 농어촌진흥공사의 적용 연구

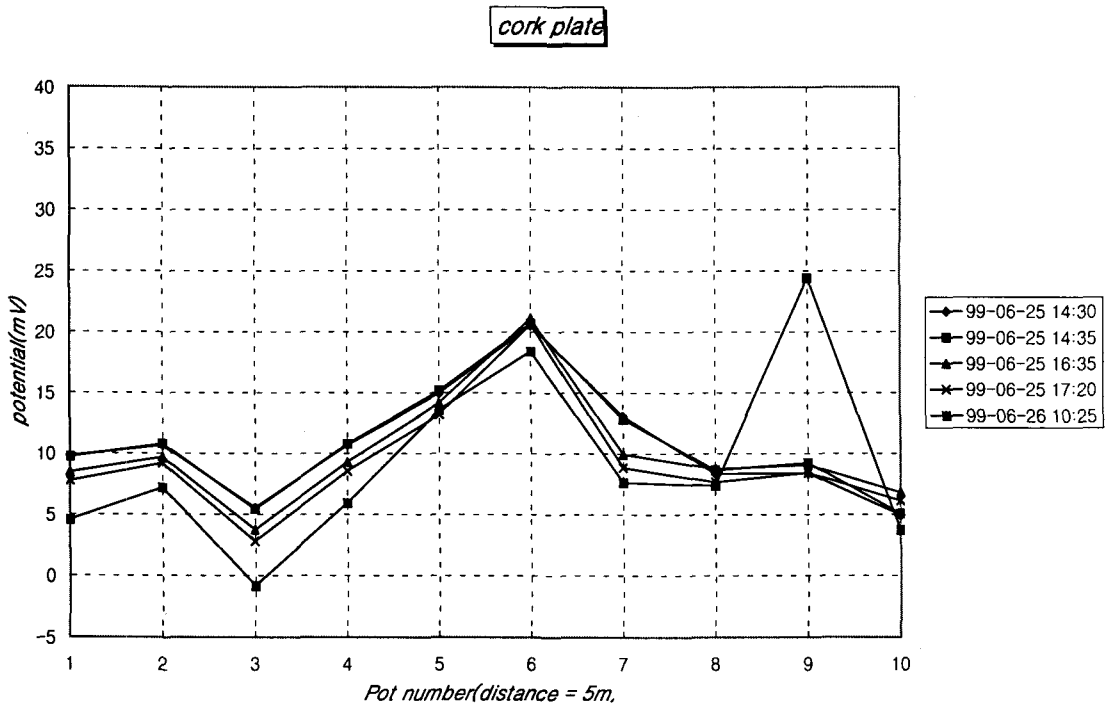
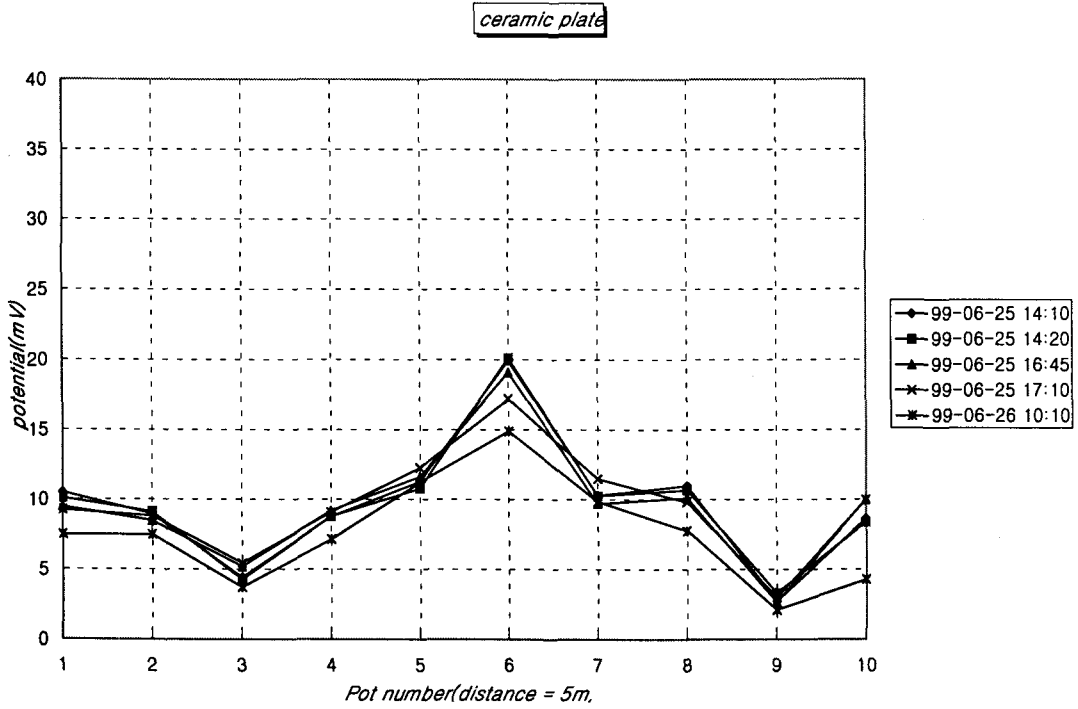
농어촌진흥공사에서는 본 연구 목적이 단기간내에 현장 적용이 가능토록 하고자 하여, 1차적으로 전극봉으로 사용될 비분극전극에 대한 실내외 실험으로 효율적이고 잡음에 강한 비분극전극 제작기법 제시와 누수 위험이 높은 제당 및 방조제를 선정하여 이에 대한 모니터링 실시로 본 탐사기법을 이용한 자료취득 및 자료처리를 실시하고 있으며, 향후 효과적인 탐사기법과 해석기법 제시를 통한 현장 적용성 검증을 실시코자 현재 연구중이다.

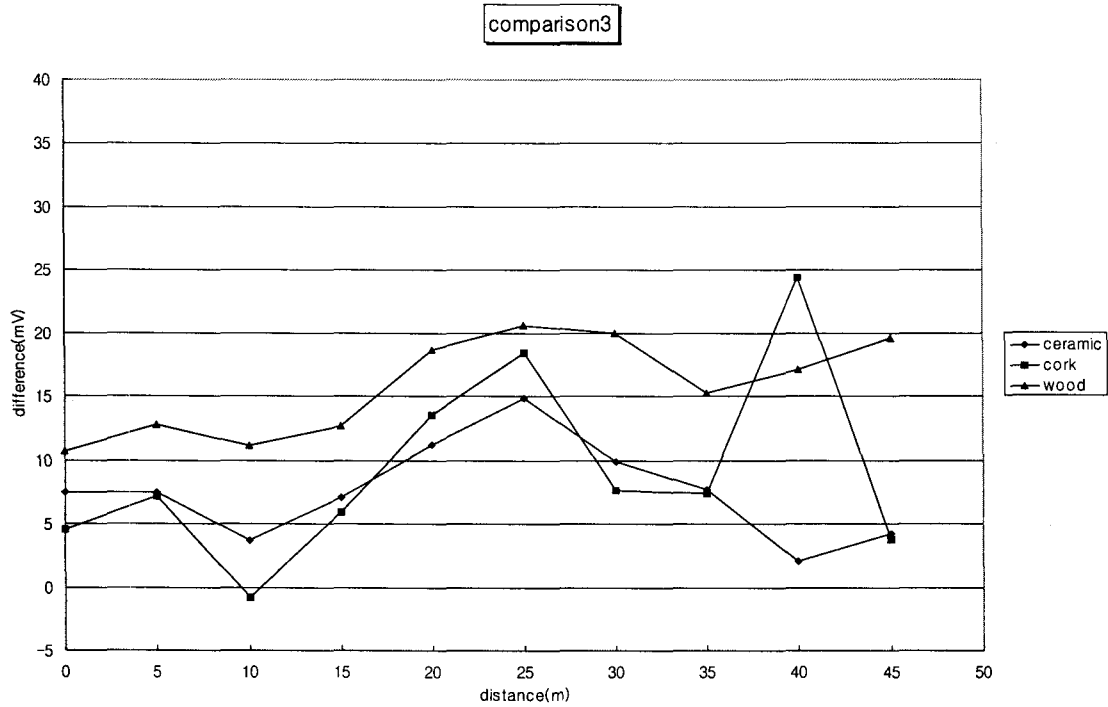
### 3.4. 연구 결과

#### 3.4.1. 비분극전극(porous pot) 제작

비분극전극은 SP 탐사를 실시함에 있어 가장 기본적이고 중요한 도구로서 현재까지 많은 연구들이 기존의 완제품을 이용함으로써 경제적인 부분이 도외시 되었으며, 이에 따른 검증절차가 부족하였다.

본 연구에서는 비분극전극의 밀판의 재질을 세라믹, 코르크 및 나무재질 등 3가지에 대하여 각종 실내외 실험을 실시하였고, 이 결과 세라믹 및 코르크 재질에 대하여 상대적으로 안정적인 결과를 얻었고(Fig1), 이에 따라 세라믹 및 코르크 재질의 비분극전극 90개를 제작하였다. 또한 이들 중 우선적으로 상대적인 비분극전극간의 저항치가 1000 ohm 이하이고, 실외시험 중 시간에 따른 변화가 거의없는 전극들을 선택하여 1차 현장 자료취득에 이용하였다(G.Petiau and A.Dupis, 1980, F.E.Perrier et. al., 1997).





(Fig1) The results of tests and comparison for porous pots(ceramic, cork and wood plate)

### 3.4.2. 전기전도도 측정

본 SP탐사를 실시하기 전 단계로서 제당 및 방조제의 누수여부 확인을 위하여 전기전도도 측정을 통한 누수여부를 확인하였으며 이를 기초로 탐사측선 설계를 하였다(표7). 제당인 경우에는 누수유로가 제당 내부의 중심점토층을 통하기 때문에 전기전도도값이 제당 내의 담수값보다 약 3~4배 정도 높게 측정되었고, 방조제인 경우는 해수의 전기전도도와 유사하게 측정되었다(표8).

구 분	Fresh water	Brackish water	Saline water	Brine water
TDS(mg/l)	0~1,000	1,000~10,000	10,000~100,000	>100,000

(표7) TDS에 따른 물 분류(Carroll, 1962)

구 분	길상2저수지		월천방조제	
	누수지점	저류수	누수지점	저류수
전기전도도 ( $\mu S/cm$ )	2,980~4,510	1,040~1,140	7,000~11,000	3,300

(표8) 간이 수질측정 결과( $TDS = (0.59 \times EC) \pm 100$ , Hem,1989)

### 3.4.3. 현장 자료취득

1차적인 현장자료 취득은 농어촌진흥공사에서 시추조사를 계획 중인 저수지(경기 강화 길상2저수지) 1지구와 방조제(전남 함평 월천방조제 및 금강하구둑) 2지구에 대한 탐사를 실시하였고, 이의 결과에 대한 기존방법으로의 검증 작업으로 쌍극자배열 전기비저항탐사를 병행하여 실시하였다.

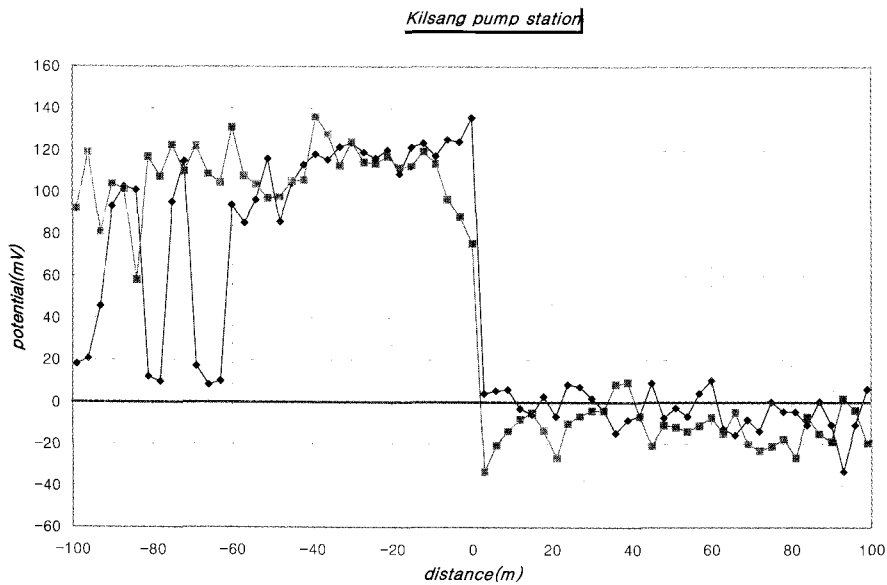
1차적으로 실시한 현장 SP탐사는 기준점을 중심으로 상대적인 이상(Anomaly)치 부(-)양상을 보이는 지점을 찾는 방법을 적용하였다.

#### 가. 길상2저수지

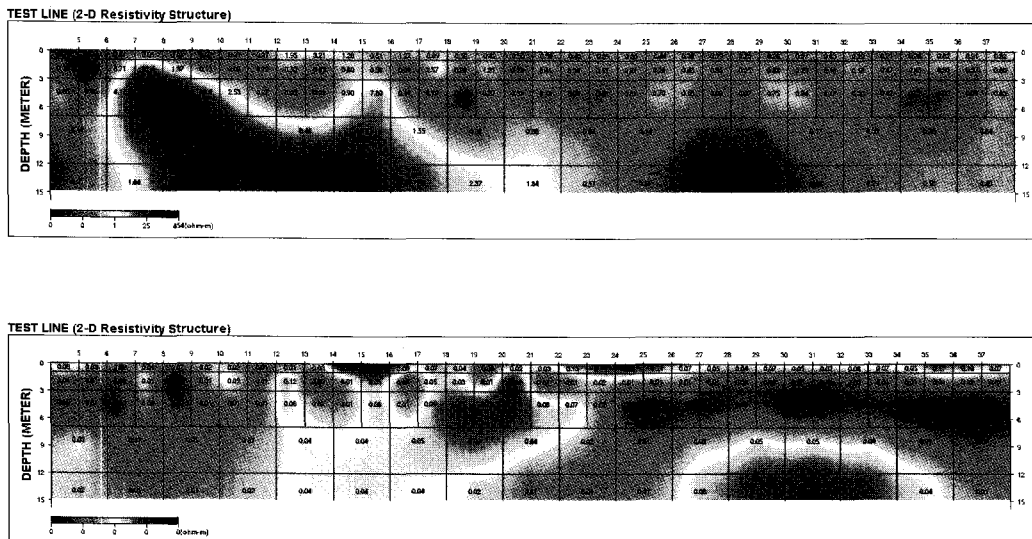
본 저수지는 경기 강화군에 소재한 1962년에 완공된 저수지로서 제당의 길이는 1,422m, 제고는 5m이다. 지금까지 파악된 시설상태는 침출수 발생, 방수로 균열 및 백태 등이 보고 되었으며, 강화농조에서 시설물의 관리를 맡고 있다. 본 지구에 대하여는 시추조사에 의한 시설물 상태점검이 진행중이다.

본 연구에서는 저수지 내외제측에 대한 1차적으로 전기전도도 측정을 통하여 누수가 예상되는 2개지점을 파악하였으며, 누수예상지점 주변 좌우로 100m씩 측선을 설계하여 측정 간격 3m의 SP탐사를 실시하였고, 같은 지점에 대하여 기존의 쌍극자배열 전기비저항탐사를 통한 1차적인 검증작업을 병행하였다.

SP탐사결과로는 누수유로가 제당에 직각방향인 아닌 사선방향으로 발달되어 있었으며 특히 한지점이 아닌 여러방향에서 감지됨에 따라 본 저수지에서의 누수는 제체하부의 기반암과의 경계부 즉 해성퇴적층에서 광범위하게 이루어지는 것으로 판단된다(Fig2). 또한 쌍극자배열 전기비저항탐사의 수치해석 결과에 의하면 SP탐사에서 확인된 지점 주변의 광범위한 지역이 물에 포화된 것으로 확인된다.(Fig3)



(Fig2) The result of expected seepage path by SP survey in Gilsang reservoir



(Fig3) The result of dipole-dipole array resistivity survey in Gilsang reservoir  
(upper part : top, lower part : base)

나. 월천방조제

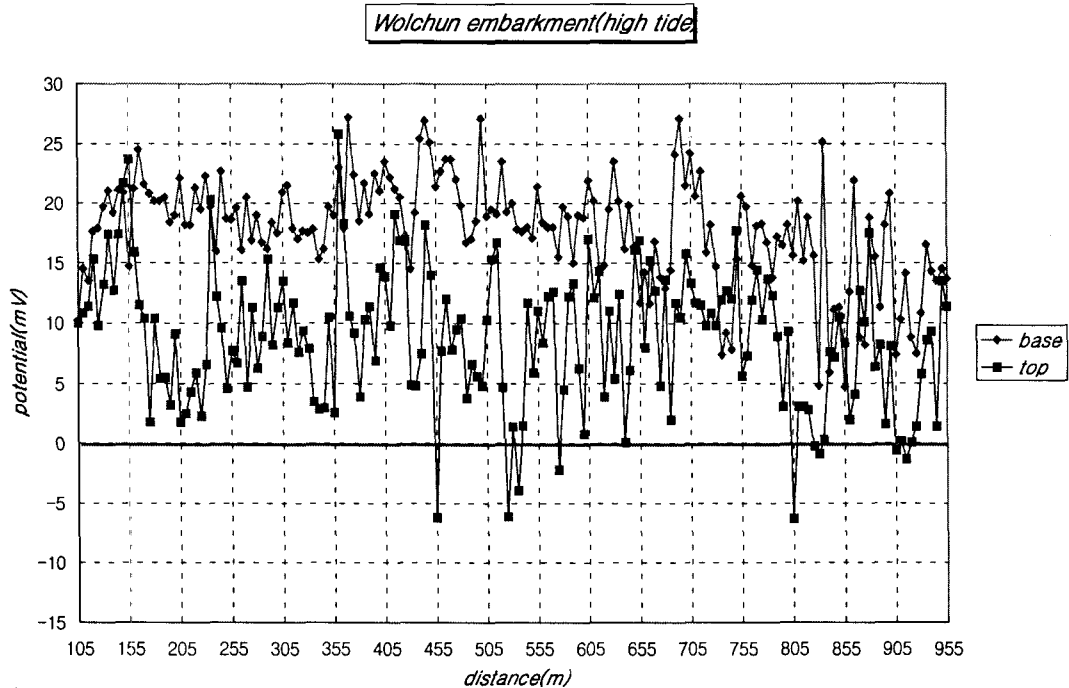
본 방조제는 전남 함평군 손불면에 위치한 1964년 완공된 방조제로서 길이는 1,230m, 제고는 4.3m이다. 지금까지 파악된 시설상태는 방조제 해측사면부에 파랑에 의한 제정부 침하 작용이 진행중으로 보고되었으며, 함평군에서 시설물의 관리를 맡고 있다.

본 방조제에 대하여는 1차적으로 방조제 내측부에 대한 전기전도도 측정을 통하여 해수의 예상누수부분을 선정하고자 하였으나, 일부구간을 제외하고는 대부분의 구간에서 약 4,000~5,000mg/l의 TDS값이 측정됨에 따라 약 850m 구간에 대하여 간조시와 만조시에

각각 SP탐사를 실시하였다.

SP탐사의 결과는 간조시와 만조시의 부(-)의 이상대에 약간 차이가 발생하는데 이는 만조시 방조제 제체에 미치는 영향이 크기 때문으로 판단되며 이로서 기준점으로 부터 약 450~550m 지점에 전체적인 누수현상이 예상된다(Fig4).

본 방조제에 대한 쌍극자배열 전기비저항탐사에 의한 수치해석 결과는 전체적인 구간에서 해수에 의해 포화된 양상을 보여준다.



(Fig4) The result of SP survey at high tide in Wolchun embarkment

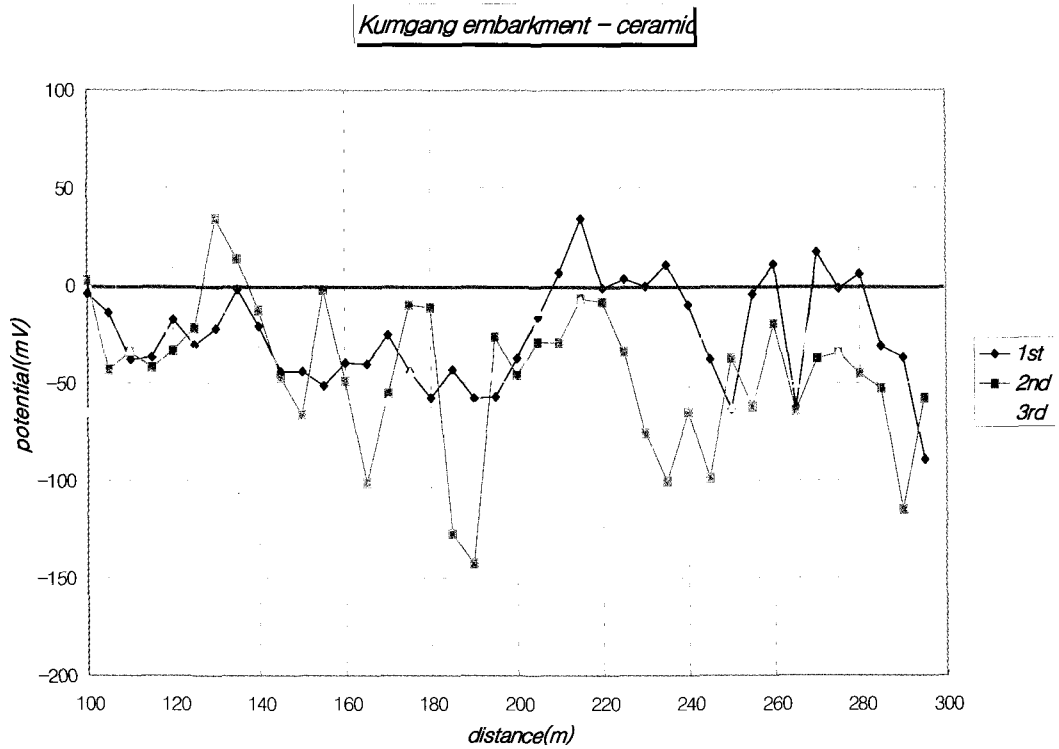
#### 다. 금강하구둑

본 방조제는 전북 군산시와 충남 장항을 연결하는 방조제로서 농어촌진흥공사에 의해 1990년 완공된 길이 1,840m, 제고 7m의 대규모의 댐이다.

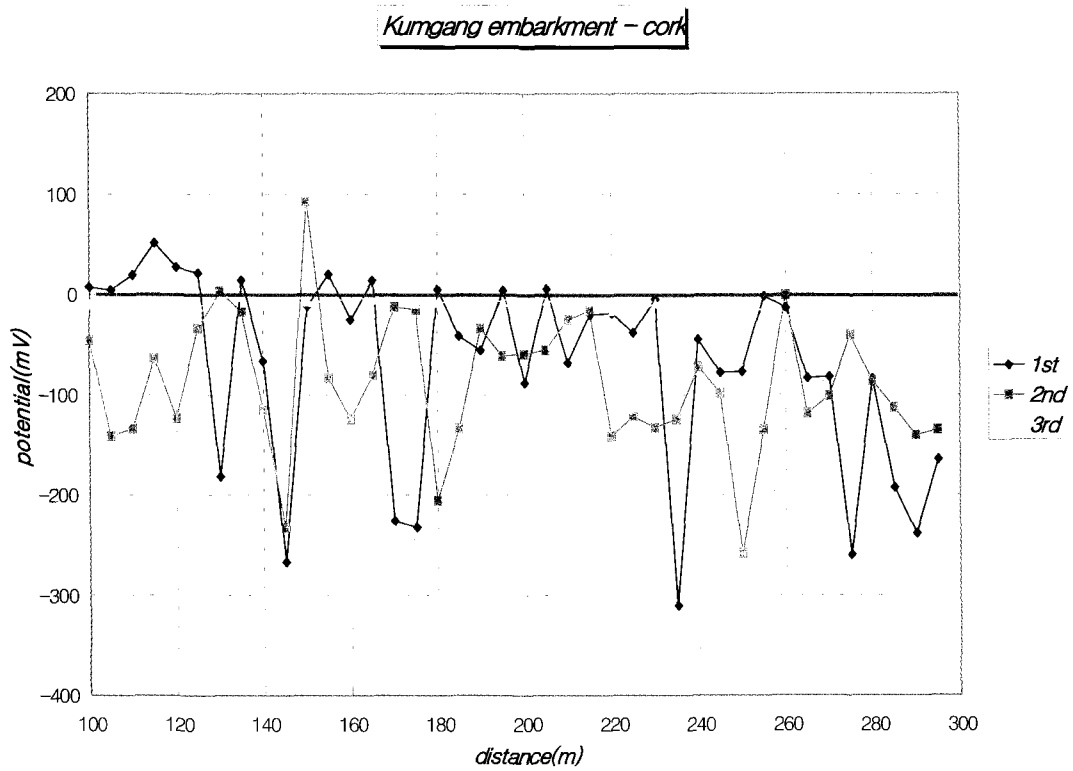
본 방조제에 대하여는 해수 영향에 대한 SP탐사의 적용성을 알아보기 위해 배수갑문 구간에서 100m 떨어진 지역으로부터 200m구간에 대한 탐사를 실시하였고, 본 방조제의 특성상 법미부에 대한 탐사가 불가능하여 제정부분에 대해 5m 폭으로 3개 축선을 설계하였다. 탐사 신뢰도를 높이기 위하여 세라믹plate와 코르크plate의 비분극전극들로 복합적인 탐사를 수행하였는데, 간조시 각 각의 비분극전극으로 탐사를 실시하여 비교 검토하였다.

본 지역의 기반암은 깊이가 약30m 정도이고 지역적으로 조차가 매우 큰 지역적인 특성으로 인하여 많은 구간에서 강한 부(-)의 이상대가 나타남을 알 수 있다.(Fig5)(Fig6) 본 탐사결과 얻어진 자연전위값을 수평적으로 분석한 결과에 의하면 기준점으로부터 약 50m 와 150m 지점에서 방조제에 수직방향으로 이상대가 나타남을 알 수 있다.(Fig5) 쌍극자배열 전기비저항탐사의 결과에 의하면 방조제 하부 5~30m 구간에서 매우 낮은 전기비저항구간이

나타나는데 이는 본 구간이 해수에 의해 포화된 것으로 판단된다.(Fig6)

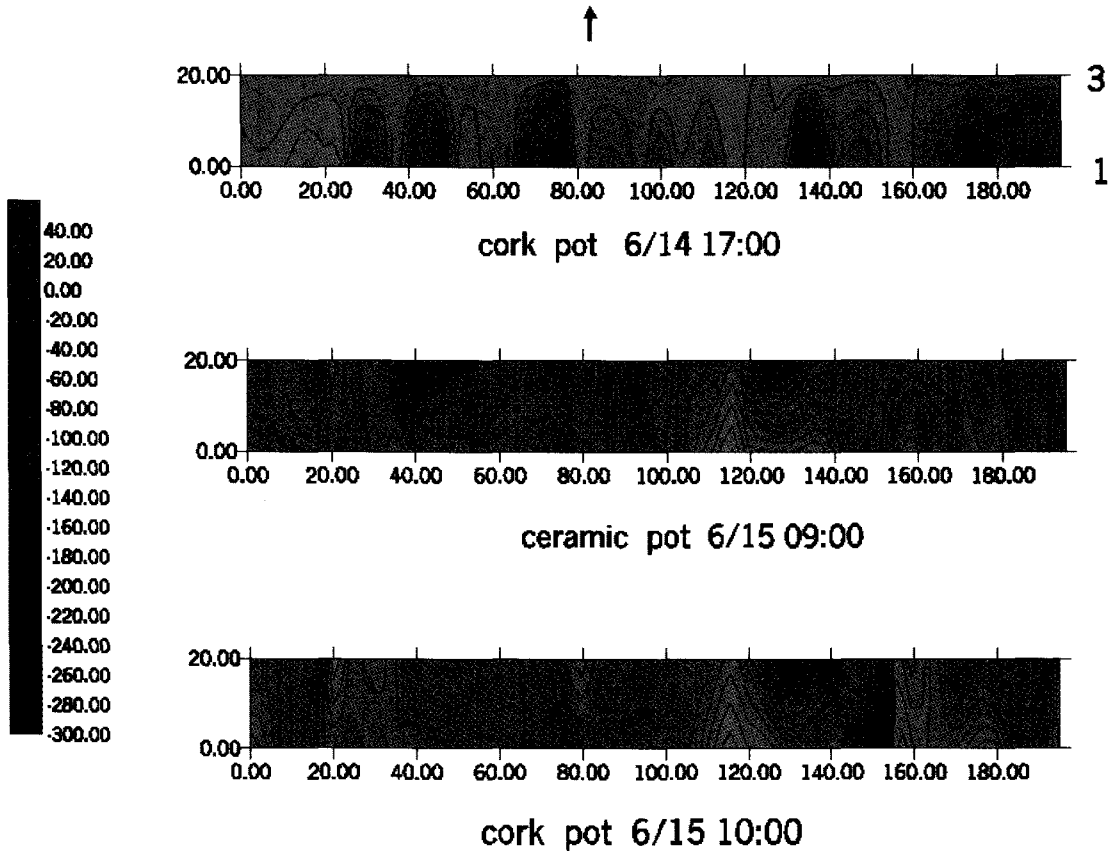


(Fig5) The result of SP survey in Kumgang embarkment(porous pot-ceramic plate)



(Fig6) The result of SP survey in Kumgang embarkment(porous pot-cork plate)





(Fig7) The result of horizontal analysis of SP survey in Kumgang embarkment

#### 4. 결 론

4. 1 시설물 안전에 대한 사회적 인식의 제고와 함께 저수지 및 방조제 등 농업기반 시설의 정밀안전진단이 법제화 되었으며 누수에 따른 문제점이 전체시설물의 16%에 달하는 현실에서 저비용으로 고효율을 올릴 수 있는 물리탐사 기법에 의한 누수조사는 자연적인 흐름이라 할수 있다.
4. 2 지금까지의 연구결과는 SP탐사에 의한 누수지점 탐지가 방조제 뿐만 아니라 제당에 대하여도 효과가 나타나는 것으로 판단되며 SP탐사는 누수유로에 대한 방향성을 찾는 데 보다 효과적인 방법으로 판단된다.  
또한 지금까지의 SP탐사 결과는 우선적으로 누수유로에 대한 탐지가 목적이었으나 탐사결과 신뢰성이 입증됨에 따라 탐사축점 배열의 다양화와 향후 계획중인 해석 알고리즘의 조기 개발로 수직적인 심도까지 해석할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 3 토질시험 자료와 쌍극자탐사에서 획득된 전기비저항값의 상관관계는 분석자료의 제한에도 불구하고 모래와 관련된 모래함량, 내부마찰각, 토질분류상의 SM, SC와 전기비저항값과는 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

## 5. 참고문헌

조진동, 정현기, 정승환, 김정호, 1996, 방조제 누수부위 확인을 위한 SP/VLF 탐사법의 적용성, 자원환경지질학회지 V.29, No.5, p.623-627.

한국동력자원연구소, 1989, 자동연속기록 및 PC전송 가능한 디지털 SP측정기 개발 및 응용 연구.

Carroll, D., 1962, Rainwater as a Chemical Agent of Geologic Processes-a review, U.S.G.S. Water-supply Paper 1535-G, p.18.

Frederic E. Perrier et. al., 1997, A One-year Systematic Study of Electrodes for Long Period Measurements of the Electric Field in Geophysical Environments, J. Geomag. Geoelectr., 49, 1677-1696.

G.Petiau and A.Dupis, 1980, Noise, Temperature Coefficient and Long time Stability of Electrodes for Telluric Observations, Geophysical Prospecting, 28, 792-804.

John D. Hem, 1989, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U.S.G.S. Water-supply Paper 2254, p.67.

박성현, 1998, 회귀분석 3판 한국, p51 ~ 53, p90 ~ 96,