

강원도 신북지역의 지하수 개발을 위한 복합 탐사법의 이용

Combination Investigation Method for Groundwater Development Around Shinbuk area in Kangwon-Do

서 백 수 (Baek Soo Suh)
김 영 화 (Yeong Hwa Kim)
한 춘 호 (Chun Ho Han)
신 성 렬 (Sung Yul Shin)

강원대학교 공과대학 지구시스템공학과
강원대학교 자연과학대학 지구물리학과
강원대학교 수리정보학부 수학전공
한국 해양대학교 해양에너지 공학부

요약 / ABSTRACT

강원도 지역은 산악이 많아 농업용수의 개발이 시급하며 연구대상 지역인 춘천시 신북지역은 소양댐 하부지역에 위치하면서 댐의 혜택을 보지 못하고 벼농사를 하고 있다. 특히 고랭지 야채를 개발하고 높은 수익을 올리기 위해서는 지하수와 연관된 지열을 개발하여 추운 겨울에도 보온을 할 수 있는 시스템을 개발하여야 한다. 국내의 지하수는 1960년대부터 농업용수를 위하여 연구되었고 최근에는 지하철, 원자력 발전소와 같은 지하구조물이나 핵폐기물, 유류 지하저장소와 같은 대단위 지하공사에서도 재해 방지를 위한 지하수맥의 정확한 조사가 요구되고 있다. 본 연구에서는 지하수 탐사를 위하여 전기탐사, 탄성파탐사, 지오레이더 탐사 등 복합탐사법을 적용하였다.

주요어 : 지하수, 전기탐사, 탄성파 탐사, 지오레이더 탐사

Because of numerous mountain region, agricultural affairs work can't be done without groundwater in Kangwon Do area. Especially to improve high mountain area vegetable quality and raise income of farmers, both of groundwater and hydrothermal system to keep adequate temperature in hot and cold season have to be developed. Domestic groundwater was developed for the use of agricultural water since 1960. Exact investigation and control of groundwater are greatly required in utilizing underground space as subway, nuclear power plant, oil and hazardous waste storehouse. Groundwater contamination owing to industrial irrigation, trash decomposition can have a serious effect on human health and rust of underground building. In this study, global prospecting system are applied to detect groundwater, using electrical, seismic and georadar prospecting method.

Key Wordks : groundwater, electrical, seismic, georadar prospecting method

서 론

국내의 지하수는 1960년대부터 농업용수 이용을 위하여 연구되었고 그 후 철강 산업, 제지 산업, 화학 산업 등의 발달에 의해서 공업용수로의 이용도 증가되고 있다. 최근에는 지하 비축 시설, 원자력 발전소와 같은 지하구조물이나 핵폐기물, 유류 지하 저장소와 같은 대단위 지하공사에는 재해 방지를 위한 지하에서의 지하수 거동 상태의 연구가 매우 필요하며 관리도 요구된다. 국내에서는 Kwon(1993)³⁾ 등이 제주도 남서부 지역에서 지하수 조사의 일원으로 자연전위(SP) 탐사를 실시하였으며 Chang(1995)²⁾ 등은 지하원유 저장 공동 주위의 지하수의 투수계수 변화에 대한 연구를 행하였다. Lee(1995)⁴⁾ 등은 광산지역의 오염 영역 탐지 및 확산 감시 기술에 대하여 연구를 행하였다. 외국에서는 오래전부터 복합 물리 탐사법을 지하수 조사에 이용하였다. Olofin(1979)⁵⁾은 지하수 탐사를 위하여 전기탐사법과 탄성과 굴절법 탐사법을 이용하였으며, Overmeeren(1994)⁶⁾은 지오레이다 탐사법을 이

용하여 지하구조 및 지하수 부존지역을 해석하였다. 이와같이 지하수의 연구는 단기간의 연구보다는 체계적으로 이루어져야 하며 전기탐사법 한가지보다는 복합적인 조사법의 개발이 요구된다.

탐사대상지역으로는 강원도 춘천시 신북면으로써 강원도 소양댐 근처에 위치하고 있으나 땅의 혜택을 전혀 보지 못하는 농경지를 선택하였으며, 이 지역에 전기 탐사, 탄성과 탐사, 지오레이다 탐사를 실시하여 앞으로 지하수 개발에 도움을 주고자 하였다.

현장의 위치 및 지질 개요

본 연구 지역의 주변지역인 춘천시 일대는 화강암 지대의 산간분지로서 대소하천이 발달되어 있고 북에서 남으로 북한강이 흐른다. 이 북한강은 의암댐에 의해 호수를 이루고, 이 의암호의 좌측 북한강을 거슬러 올라가면 춘천댐이 위치하며, 우측 소양강을 거슬러 올라가면 소양댐이 위치한다. 시 중앙에는 해발 301.5m의 봉의산이 위치한다. 정연태

Table 1. The situation of groundwater development in Shinbuk area.(by Rural Development Corporation)

번호	지구명(년도)	위 치			지 층								양수 시험		
		군	면	리	토사	사	사력	혼전석	풍화대	연암	보통암	계	자연수위 (m)	안정수위 (m)	양수량 (m ³ /일)
1	발 산 (86)	춘천	신북	발산	1.6	0.1	2.5	4.8	3.4	24.9	35.7	73	7.5	48	354
2	산 천 (86)	"	"	산천	1.7	0.1	1.4	5.2	4.0	24.0	37.6	74	3.8	34	691
3	울 문1 (86)	"	"	울문	1.8	0.2	1.9	1.5	1.8	30.0	36.7	73.9	8.3	46	453
4	울 문2 (86)	"	"	"	1.9	0.1	1.8	2.9	1.4	29.1	36.0	73.2	5.6	44	397
5	산 천1 (87)	"	"	산천	1.1	1.2	2.1	7.0	2.1	24.5	33.0	71	3.7	48	968
6	울 문 (88)	"	"	울문	1.5	-	2.0	6.5	3.0	23.0	34.0	70	7.0	56	301
7	울 문1 (88)	"	"	"	1.0	-	-	17.5	2.0	7.0	34.5	62	4.5	46	934
8	울 문2 (88)	"	"	"	4.5	7.5	-	-	10.0	52.0	-	74	4.0	55	354
9	발 산 (89)	"	"	발산	0.5	-	2.0	8.0	3.8	23.0	32.7	70	4.2	40	432
10	지 내 (90)	"	"	지내	1.0	1.0	11.0	2.0	-	2.0	55.0	72	2.5	40	508
11	조 연1 (90)	"	"	울포	2.0	3.0	2.0	2.0	6.0	20.0	35.0	70	3.0	38	486
12	조 연2 (90)	"	"	울문	2.0	1.0	5.0	2.0	6.0	20.0	35.0	71	2.5	33	734
13	지 내1 (91)	"	"	지내1	0.5	-	-	12.5	5.0	4.0	45.0	67	8.5	40	300
14	지 내2 (91)	"	"	지내2	2.5	-	-	10.0	5.5	28.0	24.0	70	4.5	40	350

강원도 신북지역의 지하수 개발을 위한 복합 탐사법의 이용

(1996)¹⁾에 의하면 춘천 지역의 지질은 시의 중심부는 주라기 화강암(춘천 화강암)이 주를 이루고 이를 부정합으로 덮은 충적층이 분포하고 있으며 시의 외각 부분을 부로 편마암이 존재한다. 춘천화강암은 춘천시를 중심으로 춘천 분지를 이루는 저반으로, 관입암체 중에서 가장 넓은 분포를 보인다. 충적층은 하천 유역과 계곡 하류에 퇴적된 후 아직 응고되지 않은 모래, 자갈, 진흙으로 구성되어 있다. 춘천시는 서울의 상수원 상류 지역으로 주변은 개발 제한구역, 자연 녹지 지역의 개발이 많이 제한되어 왔으나 1995년 1월 시. 군의 통합과 확장에 따라 도시화 및 산업화가 급속히 진행되고 있으며 앞으로 식수 및 농업용수의 자급뿐만 아니라 서울로의 생활용수 공급을 위한 지하수 개발의 필요성

이 요구된다. 또한 이 지역은 산악이 많아 농업용수로의 개발이 필요하며 많은 지역에서는 지하수의 개발이 절실히 요구되는 실정이다. 특히 탐사대상 지역은 Fig.1과 같이 강원도 춘천시 신북지역의 소양댐 하부 지역에 위치하면서 댐의 혜택을 보지 못하고 벼농사를 하고 있는 지역 중의 하나이다. 한 가운데로 가로지르는 도로를 경계로 동측 농경지(탐사지역의 축선1)는 지하수의 혜택을 보고 있지만 서측 농경지(탐사지역의 축선2)는 전혀 혜택을 보지 못하는 곳이다. 이 그림에서 ①~④는 농업진흥공사의 시추위치이며 상세한 설명은 Table 1에서 볼 수 있다.

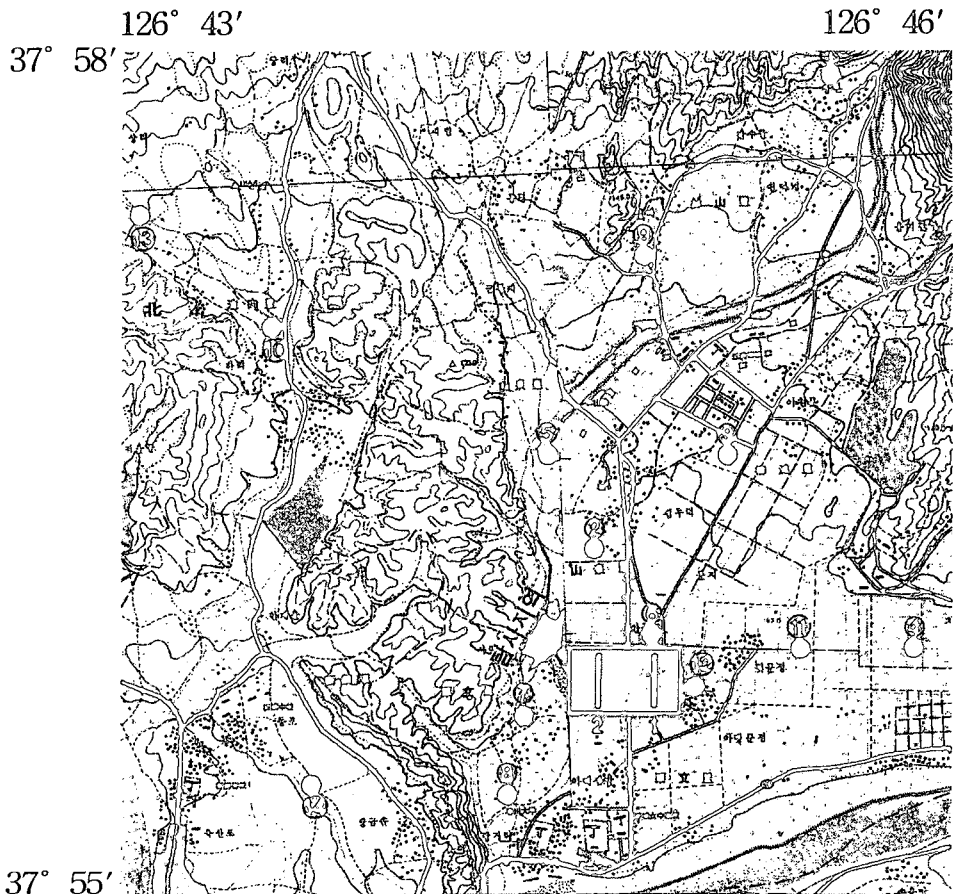
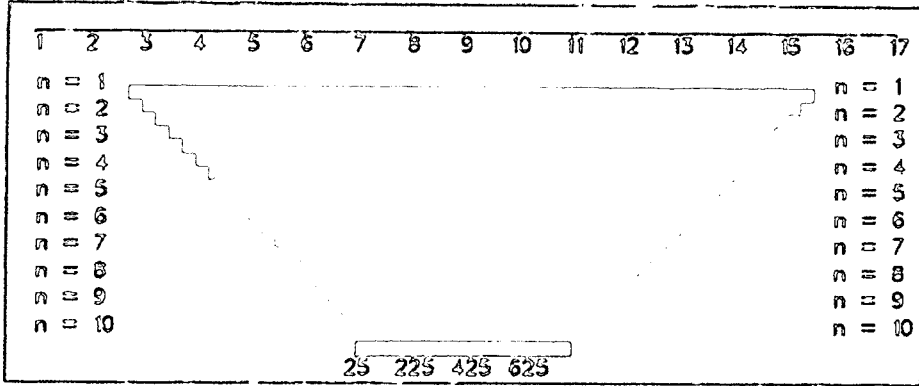
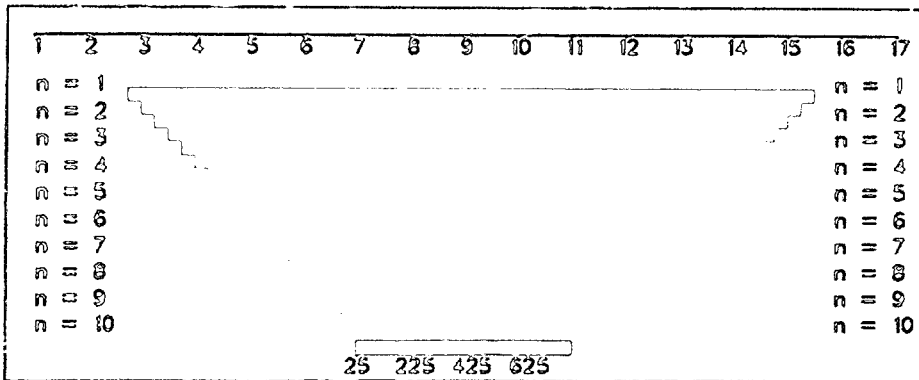


Fig. 1. The map of study area.

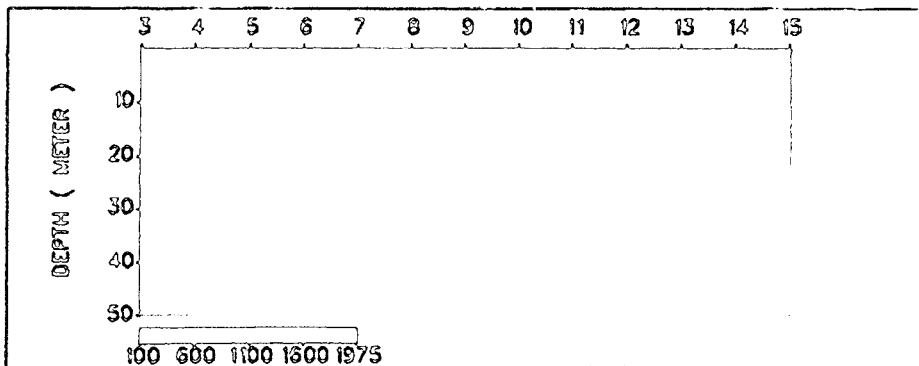
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



Line No. = CHUN1 Area = CHUNCHON
 Dipole Spacing = 10 meter

Fig. 2. The inversion result of dipole-dipole electrical prospecting data.
 (electrode spacing=10m)

전기탐사의 현장 측정

지표지질조사 결과에 따라 선정된 지역에 대해서는 기존의 물리적인 탐사법인 전기탐사법을 적용한다. 현장 사정에 의해서 시추공을 이용한 자료 획득이 불가능하였기 때문에 본 연구에서 개발한 프로그램을 적용하지 못하였으나, 대신 지표에서 쌍극자법 전기배열법으로 자료를 획득하였으며 해석 프로그램으로는 DIPRO(Software, 한국자원연구소)를 사용하였다. 우선 Fig.1과 같이 강원도 농업진흥공사에서 시추하여 만든 지하수 분정(噴井)이 위치하는 측정1 지역에 대하여 쌍극자법을 실시하여 지질구조를 파악한 후 측정2 지역을 측정하였으며, OYO McOHM Mark-2를 사용하여 측정하였다. 측정1 지역에서는 깊은 심도까지 지층의 대체적인 상황을 알아보기 위하여 쌍극자법의 전극 간격을 10m, 전극 개수는 20개로 하여 n=10까지 심도 100m까지 측정하였으며 그 해석 결과는 Fig.2에서

볼 수 있다. 상기 그림에 의하면 부존이 가능한 저비저항대는 0-20m 지표 근방에 존재함을 볼 수 있으며, 그 하부는 전기비저항이 매우 높은 암반층으로 생각된다. Fig.3에서는 슬럼버져법에 의한 수직탐사 자료를 볼 수 있으며 전기 비저항 분포가 고저-고인 형태를 보이며 저비저항층까지의 깊이는 1m, 저비저항층의 두께는 17m 정도로 추정되며, 그 하부는 전기비저항이 매우 높은 암반층으로 생각된다. 탐사지역의 측선1에서는 쌍극자법의 전극 간격을 10m로 하였기 때문에 해상도가 충분하지 않아 탐사지역의 측선2에서는 전극 간격을 2m로 하였으며 쌍극자법의 현장자료의 해석결과는 Fig.4에서 볼 수 있다. 전극 간격을 줄인 결과 측선1과는 달리 가단면도의 계산 결과는 상세한 정보를 담고 있음을 볼 수 있다. 측선2 자료의 역산 결과, 깊이가 약 2-6m 사이에 저비저항층, 그 하부에 고비저항층을 볼 수 있다. Fig. 5에서는 슬럼버져법에 의한 수직탐사 자료를 볼 수 있으며, 측선1과 마찬가지로

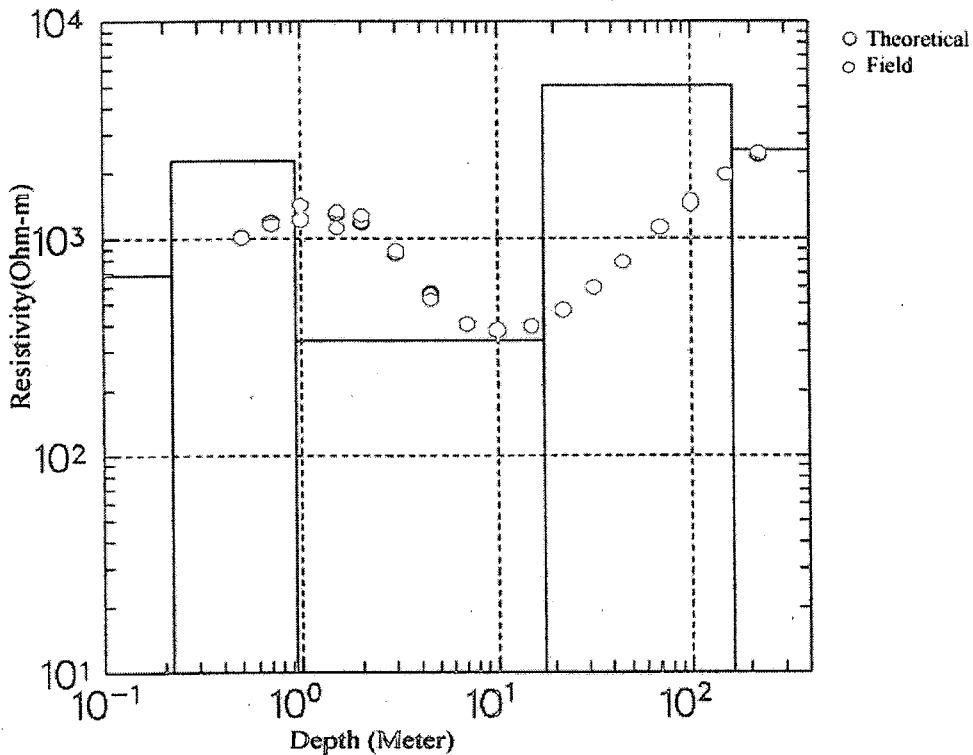
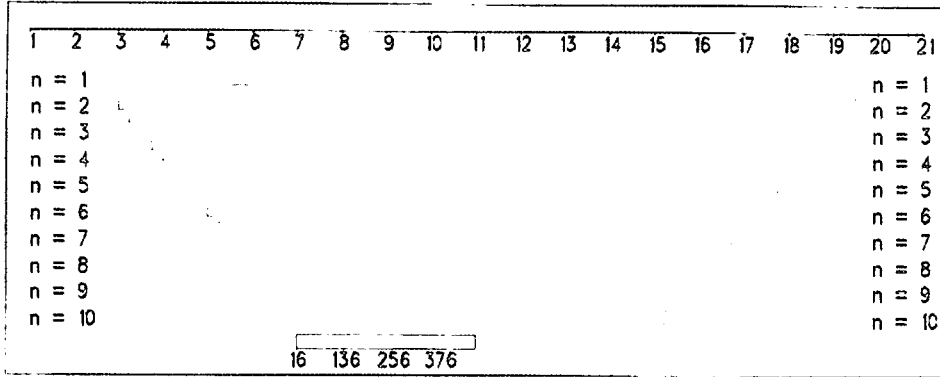
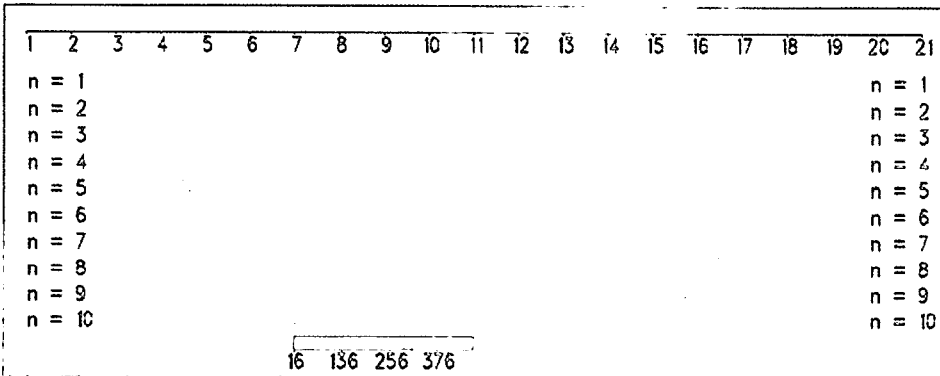


Fig. 3. 슬럼버져법에 의한 수직탐사 자료

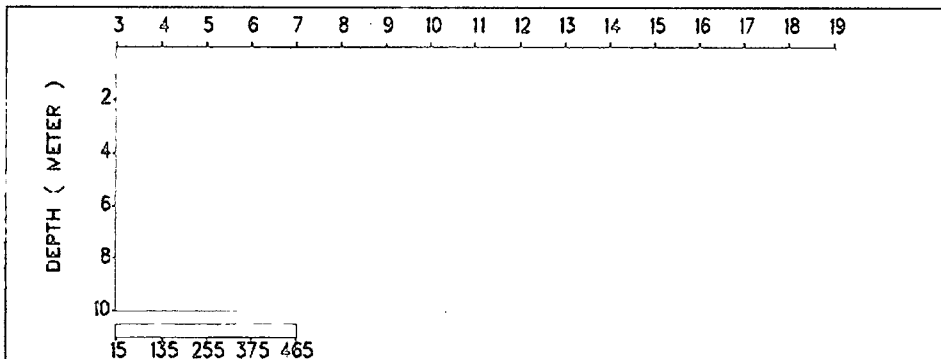
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



Line No. = CHUN2 Area = CHUNCHON
 Dipole Spacing = 2 meter

Fig. 4. The inversion result of dipole-dipole electrical prospecting data.
 (electrode spacing = 2m)

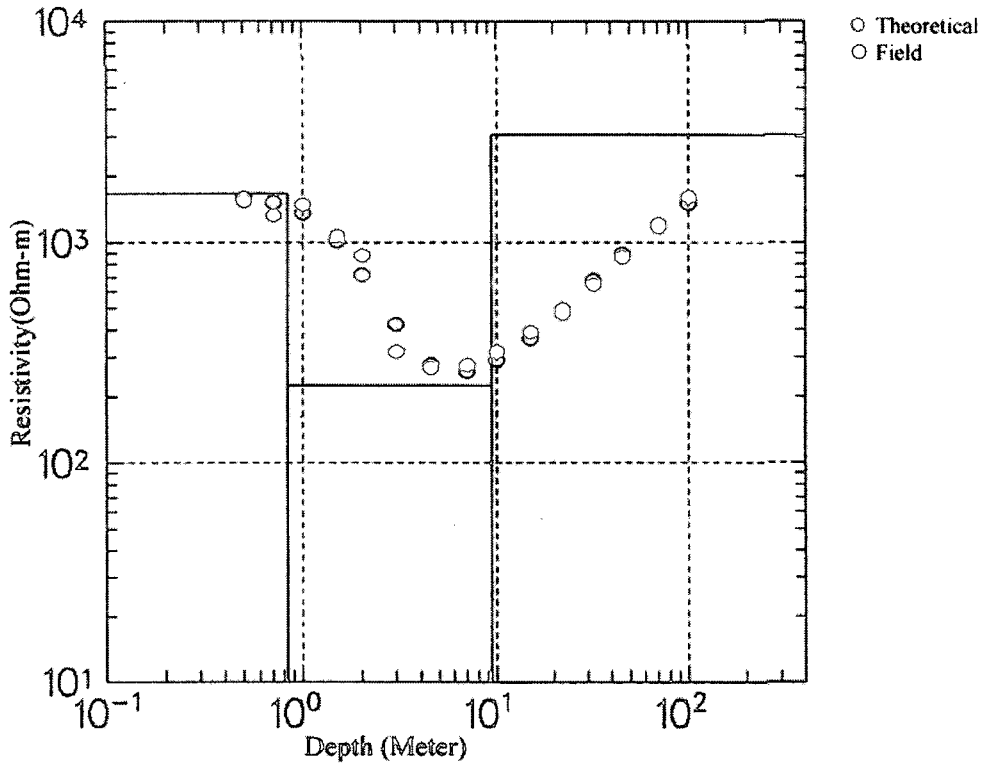


Fig. 5. 슬럼버져법에 의한 수직탐사 자료

지로 고-저-고의 비저항 분포를 보여준다. 깊이 약 1m 정도에서 5~7m 두께의 비저항층, 그 하부에 고비저항층을 볼 수 있으며 쌍극자법의 탐사결과와 5~7m 두께의 비저항층, 그 하부에 고비저항층을 볼 수 있으며 쌍극자법의 탐사결과와 유사함을 볼 수 있다.

탄성파 탐사법의 적용

본 탐사에서 사용한 탐사법은 탄성파 굴절법 탐사법으로써 측선의 일단에 설치된 철판에 해머(hammer)에 의해서 발생하는 탄성파가 지하의 지층을 전파하여 측선 상에 배열된 수신기에 전달된 시간을 측정하는 방법이다. 본 조사에 사용한 탄성파 탐사 기기는 12채널 탄성파 굴절법 탐사기(Smart Seis)이며, 30Hz의 수신기를 사용하였다. 측정 방법은 12개의 수신기를 측선 상에 6m 간격으로 12개를 배열하고 수신기 배열의 한쪽 끝에 위

치한 철판에 해머를 사용하여 탄성파를 발생시키 이를 각 수신점에서 최초로 도달한 파동의 시간을 수신하여 기록지에 12채널로 기록한다. 이 측정 기록으로부터 각 진원(철판)에서 각각의 수신점에 이르는 탄성파의 초동(first arrival time)까지의 시간 및 진원과 각각의 수신점까지의 지표상의 거리로부터 Fig.6과 같이 주시 곡선(Time-Distance Curve)을 작성하였다. 이 곡선의 해석은 지연시간법(delay-time method)에 의한 SIPT2(Software, Rimrock 사) 프로그램을 사용하여 해석하였으며 Fig.7와 같은 지하 구조의 단면을 얻을 수 있다.

지오레이이다 탐사법의 적용

지오레이이다 탐사에서 적용되는 전자기파는 16 MHz~1000MHz로 조사대상 및 심도에 따라 필요한 안테나를 사용할 수 있으며, 송신 안테나에서 방출된 전자기파가 전자기적 물성이 다른 물체를 만나 반

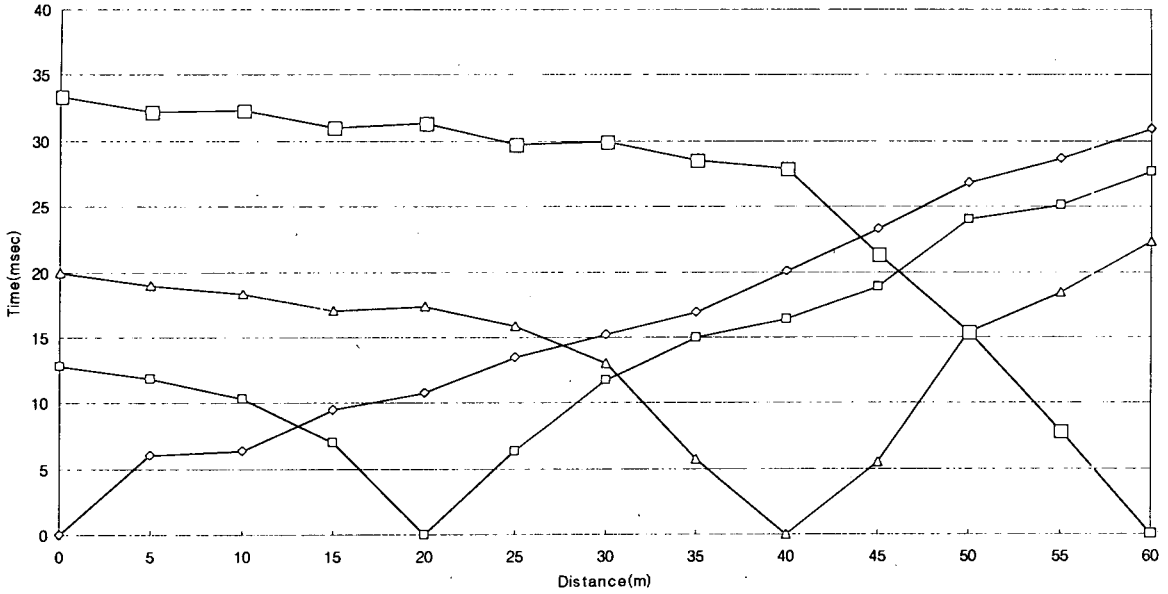


Fig. 6. The time-distance curve of seismic refraction data in investigation area.

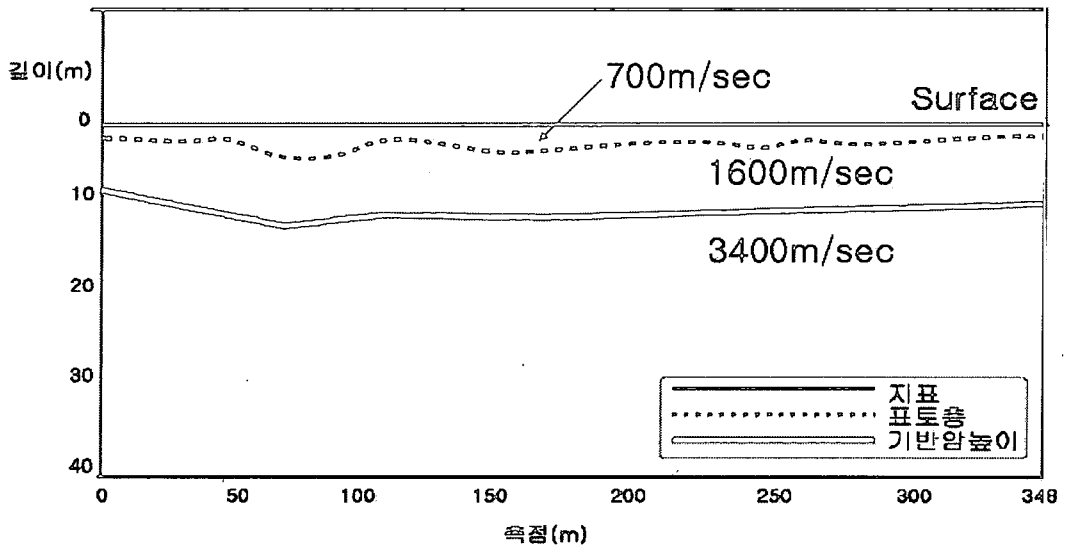


Fig. 7. The interpreted substructure section of the seismic refraction data shown in Fig.6.

강원도 신북지역의 지하수 개발을 위한 복합 탐사법의 이용

사되어 돌아오는 신호를 수신안테나에서 탐지하여 해석하는 방법이다. 지오레이다 탐사에서 전자기파의 전파속도를 결정짓는 주요 물성은 유전율(Dielectric Permittivity)이다. 전자기파는 송신 안테나로부터 송출되어 유전율의 차이를 갖는 물체를 만날 때까지 진행하고 이러한 경계면에서 반사된다. 따라서 수신 안테나에서 측정되는 신호는 초기 시간의 전송과 자체와 이와는 시간차를 둔 반사파로 이루어질 것이다. 또한 탐사결과는 주로 유전상수(Dielectric Constant), 전기전도도(Electric Conductivity)와 같은 지반 구성물질의 전기적 특성에 의해 크게 영향을 받는다. 지반을 구성하는 각종 매질에서의 전자파의 전달속도는 유전상수에 의해, 파의 감쇄는 전기전도도에 의해 크게 영향을 받는데 유전율은 매질이 균질할 경우 수분함량과 공극률에 의해 영향을 받으며 전기전도도는 매질내의 수분 및 전도성 물질의 함량에 의해 영향을 받는다. 그리고 사용 안테나의 중심 주파수, 안테나 간격, 안테나 이동간격, 샘플링 간격 등으로 구성되는 탐사설계의 여러 요소들도 탐사결과에 어느 정

도 영향을 주게 된다. 유전율은 매질이 균질할 경우 수분함량과 공극률에 의해 영향을 받으며, 전기전도도는 Table 2과 같이 매질내의 수분 및 전도성 물질에 의해 영향을 받으므로 지하수의 탐사에 적용할 가치가 있다고 생각된다.

Table 2. Dielectric constant and electric conductivity of materials (Reynolds, 1997).

Material	유전 상수	전기전도도
공기	1	0.0
물	80~81	$1 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-3}$
해수	81	4
점성토	4~16	$2 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-2}$
사질토	4~25	$2 \times 10^{-5} \sim 7 \times 10^{-3}$
암반/암석	4~10	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-2}$

Table 3. Antenna parameter

안테나 길이(cm)	Center Frequency(MHz)	Pulse Width(nano second)
120	80	12
240	40	25
360	35	30
480	20	50
600	16	60

현장탐사는 탄성과 탐사, 전기탐사를 행한 동일한 축선을 선택하였고 탐사선(Survey line)의 방향은 Fig.1에서 축선 2의 위쪽(A)에서 아래쪽(B) 방향으로 설정하였으며, 탐사 장비로는 미국 GSSI사의 SIR system-2를 이용하여 측정하였다. 주파수 및 파동의 폭과의 관계는 Table 3에서 볼 수 있으며 본 연구에서의 사용 안테나의 주파수는 20MHz이며 안테나 간격(Tx-Rx의 거리)은 약 4.8m로 총 축선 길이는 150m로 하였다. Fig.8은 기점에서 아래 방향으로 150m 거리를 측정한 해석자료이며, Fig.9

은 상기 축선을 반대 방향으로 방향으로 150m 측정한 해석자료이며 기반암의 깊이는 10~14m정도이다. 이 자료 해석에 필요한 프로그램은 Radan III(Software, GSSI사)을 사용하였다.

결과 및 고찰

전기 비저항 탐사에 있어 전극 간격을 10m로 할 경우의 2차원 비저항 단면도 (Fig.2)에 의하면 지하수 부존이 가능한 저비저항대는 5~20m이며 기반

FILE168A.DZT Apr, 28 1997, 14:18:10

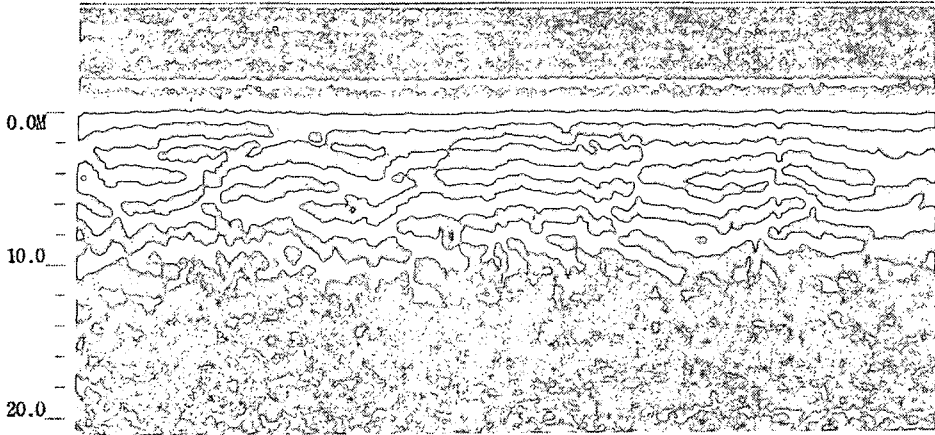


Fig. 8. Georadar section measured from A to B direction

FILE169A.DZT Apr, 28 1997, 14:23:14

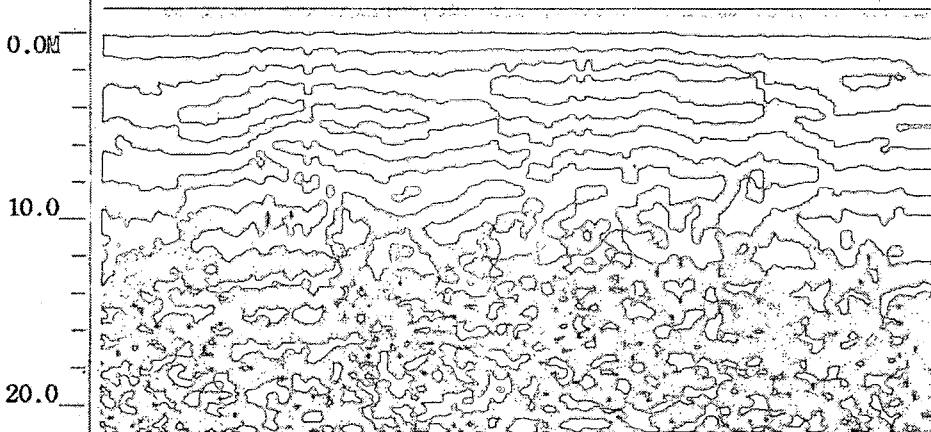


Fig. 9. Georadar section measured from B to A direction

암은 20m 아래에 존재한다. 이것을 더욱 상세히 조사하기 위해 전극간격을 2m로 한 경우의 2차원의 비저항 단면도 (Fig.3)에 의하면 지하수 부존이 가능한 비저항대는 2~6m 정도이다. 탄성과 탐사의 굴절법 주시곡선에 의한 지하구조 단면도 (Fig.5)에 의하면 표토층의 깊이는 약 1~2m, 기반암의 깊이는 8~15m 정도이며 이는 비저항 탐사에서 나타나는 기반암의 깊이와는 약간의 차이가 나타남을 볼 수 있다. 지오레이다 탐사에 의한 A에서 B방향으로의 단면도 (Fig.6)에 의하면 기반암의 깊이는 약

12~14m 정도이며, B에서 A방향으로의 지하구조 단면도 (Fig.7)에 의한 기반암의 깊이는 약 10~12m 정도이다. 이는 탄성과 탐사에 의한 기반암의 깊이와 매우 유사하며 만약 파쇄대나 단층지역이 아닌 경우의 지하수 부존 가능성은 10m 이나가 가능할 것 같다. 이 결과는 전기 탐사의 정밀조사 결과와 매우 근접함을 알 수 있다. 그러나 Fig.1의 시추지점에서의 지층구조는 Table 1에서 볼 수 있으며 본 연구에서의 지층 구조와는 약간 상이함을 볼 수 있다. 그러나 지하수의 자연수위는 2.5~8m로

본 연구의 결과와 유사함을 볼 수 있다.

결 론

지하수 개발에 관한 연구를 위해 전기 비저항탐사, 탄성파 탐사, 지오레이다 탐사 및 자료 해석에 관한 연구를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 탄성파 탐사에 의한 기반암의 깊이는 8~15m, 지오레이다 탐사에 의한 기반암의 깊이는 10~12m로 매우 근접함을 볼 수 있었다. 그러나 전기 비저항의 경우 전극 간격이 10m일 경우에는 기반암의 깊이는 약 20m 정도이며, 전극 간격이 2m일 경우에는 약 6m로 나타나 매우 차이가 나타남을 볼 수 있다. 상기 여러 탐사자료의 해석 결과를 종합해 보면 기반암의 깊이는 약 6~10m 정도로 추정된다.

2) 전기탐사, 탄성파탐사, 지오레이다 탐사 등 복합탐사의 자료에 의한 지층구조는 거의 일치함을 볼 수 있으나, 강원도 농업진흥공사에서 시추한 지층구조와는 약간의 차이를 보여주므로 추후 연구가 요망된다.

이상과 같은 연구에 의하면 전기 탐사법은 지하구조의 깊은 곳까지 조사할 수 있는 장점이 있으나 매우 얇은 지층에 대해 해상도가 불충분하다. 탄성파 탐사법과 지오레이다 탐사법은 과동의 전달과 지하구조의 연속적인 단면을 상세하게 볼 수 있는 공통점이 있으나 탄성파는 깊은 지층, 지오레이다는 다소 얇은 지층을 볼 수 있는 상이점도 있다. 그러므로 지하수의 탐사법에는 복합탐사법의 활용이 요구되며 앞으로의 연구와 시도가 필요하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 핵심연구(과제번호: 961-0407-021-2)지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

1) 정 연태, 1996, 춘천지역 토양 및 분진 중의 유

독성 미량원소의 분포에 관한 지구화학적 연구, 강원대학교, 석사 학위 논문.

- 2) Chang, K.M. and Lee, C.I., 1955, Permeability variation with deformation behavior of rock around underground oil storage cavern, Journal of Korean Mineral and Energy Resources Eng. 32, 103-115.
- 3) Kwon, B.D., Oh, S.H., Lee, H.S. and Jung, H.K., 1993, Self-potential anomalies of oarastic volcanoes in Cheju Island, Journal of Korean Mineral and Energy Resources Engineers 30, 352-360.
- 4) Lee, S.K., 1985, An experiment of quantitative electrical method to detect the subsurface cavity in a coal field region, Journal of Korean Ins. of Mineral and Mining Eng. 22, 176-186.
- 5) Olofin, D. K., 1979, Groundwater prospecting in the Sulphur Mountain area, South Park, Colorado, using electrical resistivity and seismic refraction method, MS thesis, CSM.
- 6) Overmeeren, R. A., 1994, Georadar for hydrogeology, First Break 12, 401-408.

서백수

강원대학교 공과대학 지구시스템공학과

200-701 강원도 춘천시 효자동

Tel : 0361-250-6254

Fax : 0361-256-3566

E-mail : bssuh@cc.kangwon.ac.kr

Dept. of Geosystem Engineering, Kangwon

National University, Chunchon, Kangwondo,

200-701, Korea

김영화

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과

200-701 강원도 춘천시 효자동

Tel : 0361-250-8582

Fax : 0361-244-8580

E-mail : yhkim@cc.kangwon.ac.kr

Dept. of Geophysics, Kangwon National

서백수, 김영화, 한춘호, 신성렬

University, Chunchon, Kangwondo, 200-701,
Korea

한춘호

강원대학교 자연과학대학 수학과
200-701 강원도 춘천시 효자동
Tel : 0361-250-8421
E-mail : chunho@cc.kangwon.ac.kr
Dept. of Mathematics, Kangwon National
University, Chunchon, Kangwondo, 200-701,
Korea

신성렬

한국해양대학교 해양개발공학부
600-791 부산시 영도구 동삼동
Tel : 051-410-4681
Fax : 051-404-3538
E-mail : srshin@hanara.kmaritime.ac.kr
Dept. of Energy and Resources Engineering,
Korea Maritime University, Pusan, 606-791,
Korea