

551.46

L293x

1997

창도지구광역수맥조사보고서

1997

농 립 부
농 어 촌 진 흥 공 사

목 차

1. 서 언	7
2. 조사개요	8
2-1. 조사목적	8
2-2. 조사내용	8
3. 일반현황	10
3-1. 위치, 교통 및 면적	10
3-2. 기 상	11
3-2-1. 기온	12
3-2-2. 강수량	15
3-2-3. 증발산량	17
3-2-4. 기타	17
3-3. 인구현황	22
3-4. 토지이용 현황	22
3-5. 하천현황	23
3-6. 수자원 이용현황 및 이용시설	26
3-6-1. 지표수 이용현황	26
3-6-2. 지하수 이용현황	28
4. 수문지질조사	30
4-1. 지형 및 지질	30
4-1-1. 지 형	30
4-1-2. 지 질	31
4-2. 기설관정 이용실태 조사	33
4-2-1. 시설별 · 용도별 이용실태 조사	33
4-2-2. 기설관정 양수시험	41
4-3. 물 리 탐 사	43
4-3-1. 원격탐사	44

4-3-2. 극저주파 탐사	48
4-3-3. 전기비저항 탐사	51
4-4. 수위관측	90
4-5. 수질 및 잠재오염원 조사	93
4-5-1. 수질	93
4-5-2. 잠재오염원 조사	109
5. 지하수 관측망 설치	111
5-1. 목 적	111
5-2. 위치선정	111
5-3. 관측공 수리특성	112
5-4. 자동 관측장비 구성, 설치 및 관측	115
6. 지하수 이용현황 및 지하수자원 평가	118
6-1. 지하수 이용현황	118
6-1-1. 농업용수	119
6-1-2. 생활용수	119
6-2. 지하수개발 가능량 및 개발예정 위치	120
6-2-1. 지하수부존량 평가	120
6-2-2. 지하수개발 가능량	123
6-3. 적정개발 가능량 및 개발예정위치	134
6-3-1. 지하수 개발 가능량 분석	134
6-3-2. 지하수 개발 예정위치 선정지	135
7. 지하수자원 개발계획	136
7-1. 용도별 소요수량	136
7-2. 소요수량 공급방안	137
7-3. 지하수개발 계획	137
8. 지하수자원 보전 관리계획	138
8-1. 지하수 관측망 운영 관리	138
9. 결 론	140
부 록	143

표 목 차

〈표 2-1〉 조사 실적	9
〈표 3-1〉 조사지구 면적 및 행정구역 현황.....	10
〈표 3-2〉 밀양기상대 월별 기상자료 분석	11
〈표 3-3〉 최근 22년간 평균기온 분포 (℃).....	14
〈표 3-4〉 최근 22년간 월별 강수량 분포 (mm).....	15
〈표 3-5〉 최근 22년간 월별 증발량 분포 (mm).....	18
〈표 3-6〉 조사지역 가구 및 인구현황	22
〈표 3-7〉 읍·면별 토지이용현황	23
〈표 3-8〉 하 천 현 황	24
〈표 3-9〉 저수지 현황	26
〈표 3-10〉 양수장 현황.....	28
〈표 3-11〉 지하수 수리시설 현황	29
〈표 4-1〉 지하수 용도별 이용현황.....	34
〈표 4-2〉 기설관정 내역	35
〈표 4-3〉 지하수조사 개발 실적표	39
〈표 4-4〉 공별 양수시험 총괄표.....	42
〈표 4-5〉 극저주파 (VLF)탐사 물량 및 이상대 해석	50
〈표 4-6〉 쌍극자탐사 축선별 총괄표.....	57
〈표 4-7〉 전기비저항 수직탐사 총괄.....	89
〈표 4-8〉 수위관측공 설치 및 수위관측 내역.....	90
〈표 4-9〉 지하수수질 현장검사 결과.....	98
〈표 4-10〉 먹는물 음용적부 수질검사 결과	100
〈표 4-11〉 지하수 이온함량 분석결과.....	103
〈표 5-1〉 관측정 위치선정 내역	112
〈표 5-2〉 관측정시설 설치내역.....	113
〈표 5-3〉 지하수 자동관측장비 측정오차	116

〈표 5-4〉 자동관측장비 현장설치 내역	117
〈표 6-1〉 창도지구 지하수개발 이용규모	118
〈표 6-2〉 지하수 용도별 시설 및 이용현황	119
〈표 6-3〉 농업용 지하수 이용현황	120
〈표 6-4〉 지하수 부존량 산출	122
〈표 6-5〉 수자원 계통표.....	124
〈표 6-6〉 SCS의 토양의 분류	128
〈표 6-7〉 SCS curve number (CN) - 초기 함수상태가 II인 경우.....	128
〈표 6-8〉 선행토양 함수조건의 분류	129
〈표 6-9〉 토양 - 피복형별 유출곡선 지수.....	130
〈표 6-10〉 선행함수조건 (A.M.C)에 따른 유출곡선지수의 조정	131
〈표 6-11〉 선행함수조건에 따른 유출곡선지수.....	132
〈표 6-12〉 시기별 지표 유출량.....	133
〈표 6-13〉 지하수 부존량 평가에 의한 지하수개발 가능량	134
〈표 6-14〉 지하수 함양량 평가에 의한 지하수개발 가능량	134
〈표 7-1〉 생활용수 소요수량.....	136
〈표 7-2〉 향후 생활용수 소요수량	136
〈표 7-3〉 향후 지하수개발 관정수	137
〈표 7-4〉 연차별 지하수개발 사업량 및 사업비	137

그림 목 차

〈그림 3-1〉 최근 22년간 연간 평균 기온분포.....	13
〈그림 3-2〉 최근 22년간 월별 평균 기온분포.....	13
〈그림 3-3〉 최근 22년간 연간 강우량 변화.....	16
〈그림 3-4〉 최근 22년간 월별 강우량 평균변화.....	17
〈그림 3-5〉 최근 22년간 월별 평균 습도.....	20
〈그림 3-6〉 최근 22년간 월별 평균 일조시간.....	21
〈그림 3-7〉 수계도.....	25
〈그림 4-1〉 지질계통.....	31
〈그림 4-2〉 조사지역 위성영상.....	45
〈그림 4-3〉 선구조도.....	47
〈그림 4-4〉 경사각(동상성분), 이심율(이상성분)의 대표적 예.....	49
〈그림 4-5〉 경사하는 전도체의 전형적 Anomaly.....	50
〈그림 4-6〉 점전원에 의한 전위.....	53
〈그림 4-7〉 쌍극자 축선배열 방법.....	53
〈그림 4-8〉 쌍극자탐사 측정 가단면도 (Pseudo Section).....	54
〈그림 4-9〉 축선 E1 쌍극자탐사 결과도.....	63
〈그림 4-10〉 축선 E2 쌍극자탐사 결과도.....	65
〈그림 4-11〉 축선 E3 쌍극자탐사 결과도.....	67
〈그림 4-12〉 축선 E4 쌍극자탐사 결과도.....	69
〈그림 4-13〉 축선 E5-1 쌍극자탐사 결과도.....	71
〈그림 4-14〉 축선 E5-2 쌍극자탐사 결과도.....	73
〈그림 4-15〉 축선 E6 쌍극자탐사 결과도.....	75
〈그림 4-16〉 축선 E7 쌍극자탐사 결과도.....	77
〈그림 4-17〉 축선 E8 쌍극자탐사 결과도.....	79
〈그림 4-18〉 축선 E9-1 쌍극자탐사 결과도.....	81
〈그림 4-19〉 축선 E9-2 쌍극자탐사 결과도.....	83

<그림 4-20> 측선 E10 쌍극자탐사 결과도	85
<그림 4-21> 슬럼버저 배열법.....	87
<그림 4-22> 지표하 50m 지점의 걸보기 비저항 분포도	96
<그림 4-23> 지표하 100m 지점의 걸보기 비저항 분포도	96
<그림 4-24> 전기비전도도 등치선도.....	97
<그림 4-25> 분포지질별 지하수평균 화학조성 Piper diagram	107
<그림 4-26> 진동층 분포지 암반관정 Piper diagram	107
<그림 4-27> 안산암과 화강암 분포지 암반관정 Piper diagram.....	108
<그림 4-28> 함안층분포지 암반관정, 충적관정 및 낙동강하천수 Piper diagram.....	108
<그림 5-1> 자동관측 시스템 운영도	115

1. 서 언

수맥조사란 지하수를 포함하고 있는 각 대수층의 분포상태와 수리성, 대수층에 부존된 지하수의 산출상태와 수질 등 지하수의 여러 가지 상태를 조사하는 것이며, 이들 수리자료를 일목요연하게 도면화한 것이 수맥도이다.

광역수맥조사는 이제까지 통상적으로 시행되어온 특정지역을 대상으로 국지적인 정밀수맥조사와는 달리 넓은 지역의 일반적인 수리지질개황을 파악하기 위해 실시되며, 지하수자원의 종합적 이용 및 보전차원에서 필요한 지하수 조사과정으로 전국 농어촌용수 구역별로 시범조사, 표본조사, 본조사 등을 연차적으로 시행하여 용수구역내 지하수자원을 광범위하게 파악, 농어촌 다목적 용수 개발·이용 및 보전관리 방향을 제시하며 '96 시범조사를 통하여 향후 본조사의 조사기준 정립 및 방향을 설정하는데 그 목적이 있다.

우리나라의 수자원은 년평균 강우량이 1,100~1,200mm로 세계평균 강우량에 비해서는 많은 편이나 강우의 60~70%가 하절기에 집중되고 하천의 구배가 급하여 대부분이 홍수로 유출되어 하천수의 이용율이 낮을 뿐 아니라, 유역별 수자원 부존량과 용수 수요면에서도 균형을 이루지 못하고 있는 편이다. 더우기 인구의 증가와 산업발달, 생활수준 향상 등으로 각종 용수의 수요는 점증되고 있어 지표수는 물론 잠재된 중요 수자원인 지하수도 합리적 이용이 요구되는 시점에 도달하였다.

우리나라의 지하수조사사업은 '60년대초 지구답사를 위주로한 용수개발 기본조사가 실시되었고, '66년부터 한해지역에 대한 층적층을 대상으로 한 조사가 착수되었으며, '81년 농업용수 10개년 계획의 일환인 항구 지하수개발사업으로 '82년 부터는 암반에 대한 조사까지 시행되어 근래에 와서는 수질오염이 사회적으로 문제가 되면서 층적층 조사보다는 암반 지하수조사로 전환되었고, '86년부터 답작에 대하여 암반수맥조사가 시행되고 있다.

금번 광역수맥조사는 '90년 전북 고창지구 광역수리지질 시범조사, '91년 경기 안성지구 광역수리조사에 이어 시행되었으며, 위치는 축척 1:50,000 남지, 창원 도폭중 농어촌용수구역 창도지구('90년조사)에 대하여 지질조사, 기설관정 이용현황조사, 지하수위관측, 양수시험, 물리탐사, 수위관측공조사, 수질검사 및 지하수관측망조사를 통하여 이들 자료와 과거 조사구역 내에 국지적으로 수행된 수맥조사와 지하수개발 자료를 취합, 인공위성을 이용한 원격탐사 자료를 이용하여 조사지역에 대한 광역적인 지하지질상태의 파악을 시도하여 창도지구 광역수맥도를 작성하였다.

끝으로 본조사에 많은 격려와 협조를 주신 농림부, 경상남도, 창녕군, 영산면, 도천면, 부곡면, 길곡면 관계관에게 감사를 드린다.

2. 조사개요

2-1. 조사목적

광역수맥조사는 농어촌용수 이용합리화를 위한 자원기초조사에 부응하여 농어촌지역 지하수자원의 효율적인 개발·이용 및 보전관리를 위하여, 현행 국지적이고 분산적인 개발위주의 수맥조사방법을 개선하여 전국 464개 농어촌용수구역 별로 연차적으로(시범조사, 표본조사, 본조사 등) 시행하여 용수구역내 지하수 자원을 광범위하게 파악함에 그 목적이 있다.

96 시범조사는 영호남지역의 가뭄우심 대상 농어촌용수 구역중에서 대표 4개 용수구역을 선정하여 시범조사 (지하수관측망조사 포함)를 실시하여 향후 조사기준 정립 및 조사방향 설정을 위한 조사이다.

경남지역 농어촌용수 이용합리화를 위한 수계별 용수구역은 61개지구이다.(부록. 1) 금번, 시범조사는 자원기초조사가 완료된 용수구역 (24개지구)중에서 기존 지하수관련 자료가 풍부하고, 조사면적이 적당한 용수구역중에서 선정하였다.

경남지역의 96년 광역수맥조사 시범조사 지구는 창녕군 창도지구 (영산면, 부곡면, 길곡면, 도천면)를 선정하여 시범적으로 조사를 실시하고, 용수구역내 향후 지하수장원의 개발 이용 및 보전관리, 지하수수위변동 및 수질변동상황을 주기적으로 관측 기초자료로 활용하기 위한 관측망을 설치하였다.

2-2. 조사내용

가. 조사지구: 창도지구

나. 조사위치: 경상남도 창녕군 영산면, 도천면, 부곡면, 길곡면

다. 조사면적: 12,194ha

라. 조사기간: 1996. 8. 1 ~ 1996. 12. 23

마. 조사자

소 속	직 종	직 급	직 책	성 명	조 사 업 무 내 용
경남지사	지 질	2급	지하수부장	서 정 근	조사업무지도
	지 질	3급	조사과장	박 일 규	현장조사업무 총괄 및 지도
	지 질	3급	개발과장	권 훈 일	현장조사 업무협의 및 자료수집
	지 질	5급	조사반원	정 차 연	현장조사 및 자료수집 정리
	기 능	착정	착정운전	박 판 교	관측정 시추 및 양수시험

바. 조사내용 : 조사지역의 지형, 지질 및 지역여건에 따라 조사량을 조정 안배하였고, 각 항목
별 조사실적은 다음과 같다.

<표.2-1> 조사 실적

조 사 항 목	단 위	조 사 량	비고
○ 지구협의 답사	지구	1	
○ 지표지질 조사			
- 평야	ha	5,677	
- 임야	ha	6,516	
○ 지하수이용현황 조사	공	134	
○ 지하수수위관측	회	134	
○ 양수시험 - 충적	공	-	
○ 양수시험 - 암반	공	20	
○ 선구조 추출	지구	6	
○ 물리탐사			
- 저주파탐사	점	4,480	
- 수직탐사	점	200	
- 쌍극자탐사	측선	17	
○ 수위관측공조사	공	163	
○ 수질검사	회	43	이온분석 43회실시
○ 관측정설치 - 충적	공	2	
○ 관측정설치 - 암반	공	2	

사. 조사장비

- 클리노콤파스 2대 및 지표지질조사 장비 2set
- 전기탐사기(ABEM SAS-300+부스터) 및 극저주파탐사기(WADI) 각 1대
- 수위측정기 2set
- 전기전도도 및 pH 측정기 (M90) 1대
- 착정기 1대 및 부대품 1식 (R-50 + XRH-350, 발전기 1대, 수중모터 1대)

3. 일반현황

3-1. 위치, 교통 및 면적

본 조사지구는 국립지리원 발행 축적 1:25,000의 영산도폭(NI52-2, 18-1) 전체와 남지도폭(NI52-2, 17-2)의 우중단부 및 오방도폭(NI52-2, 18-2)의 좌하 단부를 합친 지역에 위치하며, 경위도상으로는 128° 28' 00" ~ 128° 39' 30", 35° 22' 10" ~ 35° 28' 40"에 해당되는 지역이고, 행정구역상 경상남도 창녕군의 남부에 위치한 지역으로 동으로는 밀양시 초동면과 서로는 창녕군 남지읍과, 남으로는 낙동강을 경계로 함안군, 창원시와 접하며, 북으로는 밀양시 무안면과 접하고 종암산과 덕암산을 정점으로 영산면, 도천면, 길곡면, 부곡면이 연접하여 조사지구를 구성하고 있다.

교통망은 조사지역의 좌측에 대구-마산으로 이어지는 7번고속국도가 남북으로 지나가고 있으며, 함안-조사지역-창녕읍으로 이어지는 5번 국도가 7번 고속국도와 평행하게 서로 엇갈리면서 남북으로 지나간다. 7번 고속국도와 5번 국도가 만나는 조사지역 좌측의 영산 및 남지 인터체인지에서 부곡면-밀양으로 이어지는 동서방향의 1008, 1080번 지방도가 조사지역을 동서로 가로지르고 있어 대체로 교통상황은 양호한 편이다.

조사지역은 <표. 3-1>에서 나타난 것과 같이 4개면 55개 행정리, 31개 법정리, 175개반, 111개 자연마을로 구성되어 있으며, 총면적은 121.94㎢을 차지하고 있다.

<표. 3-1> 조사지구 면적 및 행정구역 현황

읍 면 별	면 적 (㎢)	리		반	자연마을	비 고
		행 정	법 정			
계(4개면)	121.94	55	31	175	111	
영산면	28.77	14	9	82	31	
도천면	25.40	14	8	34	27	
길곡면	27.65	12	4	22	24	
부곡면	40.12	15	10	37	29	

3-2. 기상

우리나라 기후의 특징은 아시아 계절풍의 영향과 중앙아시아의 고기압이 동남방향으로 이동함으로써 발생하는 한냉하고 건조한 기류의 영향을 받는 점이다. 특히, 우리나라 여름철의 기후는 해양에서 중앙아시아의 저기압권을 향하여 다습한 공기가 서북방향으로 이동하는 영향을 크게 받는다. 이때 강우전선이 형성되어 본격적인 우기로 들어가 장마가 계속된다. 이 기간은 6월 ~ 9월 사이로 강수량이 가장 많다.

지역적으로는 제주도와 남동해안 지방의 1,800mm로 최대이며 섬진강 하류의 1,500mm, 낙동강 하류의 1,400mm, 금강상류의 1,300mm 순으로 연간 강수량이 많은 지역을 형성하고, 적은 지역으로는 경북 북부 영양과 의성지방이며, 연간 900mm이내이다. 전국적으로 볼 때, 년 1,274mm의 강수량을 보이며 6월 ~ 9월 사이에 66%에 해당하는 840mm의 강수가 집중된다.

우리나라의 연간 수자원총량은 1,267억 m³/년으로 계산하고 있으며, 이중 45%에 해당하는 570억 m³/년이 증발침투량이고 55%인 697억 m³/년이 하천 또는 기저유출을 통하여 유출된다. (건설교통부, 지하수관리기본계획, 1996. 12, 3쪽참조)

유출량의 67%인 467억 m³이 홍수시 하천을 통하여 유출되고, 33%인 230억 m³이 평상시 유출된다. 평상시 유출량의 71%인 164억 m³과 홍수시 댐 등으로 공급받는 103억 m³을 합한 267억 m³이 지표수로 이용된다.

조사지역의 기상현황을 파악하기 위하여 밀양기상대의 22년간(1973~1994)기상자료를 수집 분석하였고, 그 결과를 요약하면 표. 3-2와 같다.

<표. 3-2> 밀양기상대 월별 기상자료 분석

<기간 : 1973 ~ 1994 (22년간)>

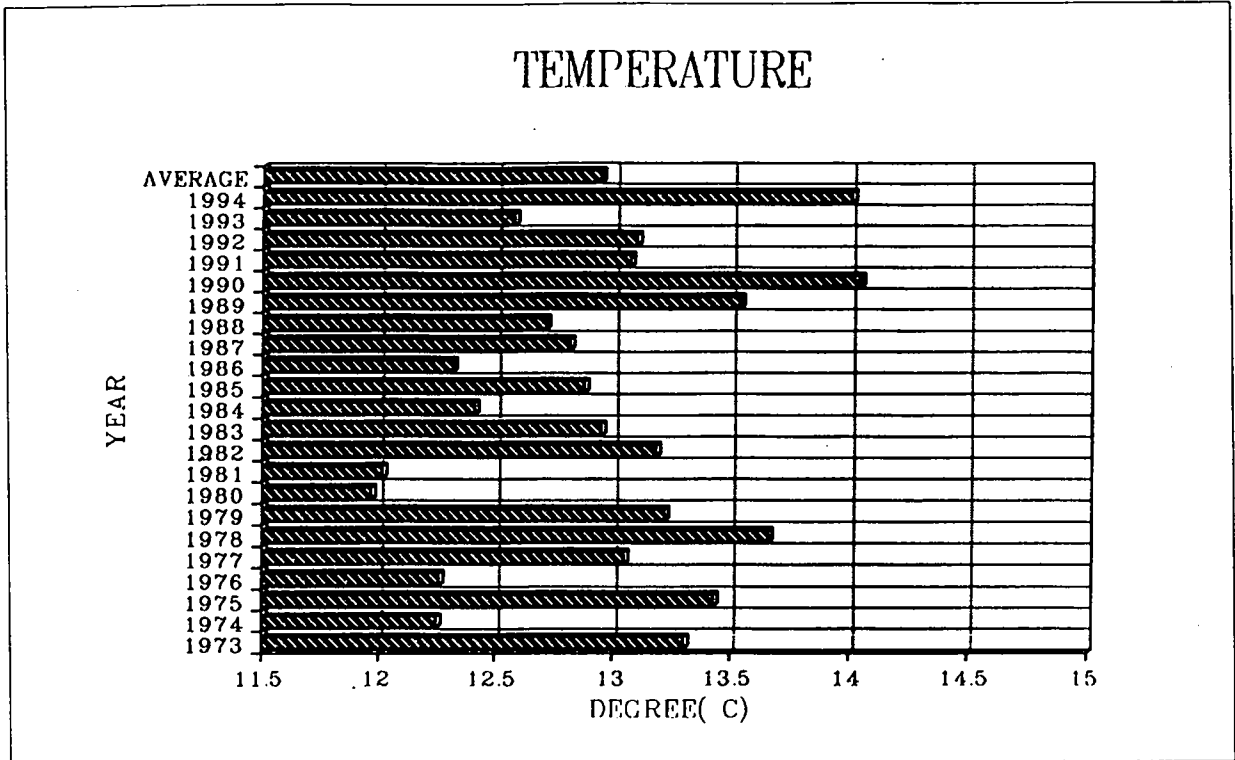
구분 월별	기온 (℃)	상대습도 (%)	강수량 (mm)	증발량 (mm)	일조시간 (hr)	바람 (m/sec)
1	-0.5	63.4	21.7	51.9	199.3	1.5
2	1.6	62.6	33.7	60.7	188.2	1.6
3	6.6	62.9	51.3	92.9	217.7	1.7
4	12.8	63.8	111.1	118.0	229.1	1.8
5	17.5	67.6	101.5	140.1	248.7	1.5

구분 월별	기온 (℃)	상대습도 (%)	강수량 (mm)	증발량 (mm)	일조시간 (hr)	바람 (m/sec)
6	21.7	73.5	193.5	133.3	203.4	1.4
7	25.2	79.5	243.3	130.3	186.4	1.5
8	25.6	78.4	223.2	134.1	208.8	1.4
9	20.7	74.8	130.6	100.2	189.5	1.2
10	14.5	70.6	48.9	89.1	215.7	1.2
11	7.9	70.3	39.6	58.4	185.3	1.2
12	1.7	68.8	18.5	48.6	194.4	1.3
평균	12.9	69.7	--	--	--	1.4
연간	--	--	1,216.9	1,157.5	2,466.5	--

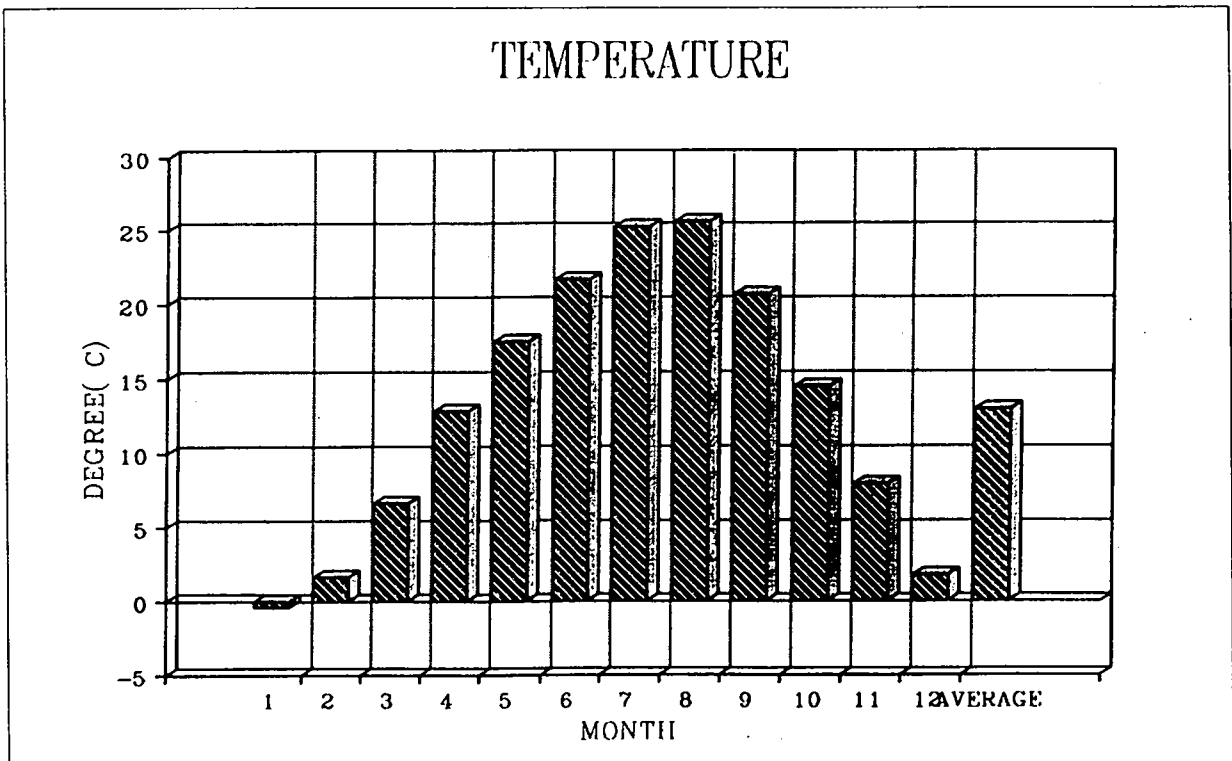
3-2-1. 기온

대기의 기온변화는 직접적으로 물의 순환과정에 영향을 준다. 특히, 증발, 증산 및 식물의 성장 등은 물의 양적인 변화에 영향을 주며, 기온의 차이에 의한 식물의 성장 여부 등은 유출현상 및 물의 흐름상태에도 많은 영향을 준다.

조사지역의 최근 22년간 기온변화에서 년평균 기온은 12.9C이며, 월평균 기온은 1월달을 제외하면 영상의 기온분포를 보이고 있다(표 3-2, 그림3-1, 3-2).



<그림. 3-1> 최근 22년간 연도별 평균 기온분포 ('73~'94)



<그림. 3-2> 최근 22년간 월별 평균 기온분포 ('73~'94)

<표. 3-3> 최근 22년간 평균기온 분포 (°C)

연도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
1973	2.7	3.4	6.7	13.4	17.4	21.5	27.7	27.2	20.2	13.5	6.6	-0.7	13.3
1974	-0.8	0.7	5.3	12.5	17.4	20.8	22.8	25.8	19.4	14.0	6.8	2.3	12.3
1975	0.0	1.3	6.3	12.8	16.7	21.2	25.6	26.5	23.3	16.1	9.9	1.4	13.4
1976	-1.9	3.8	6.5	11.7	16.6	21.0	23.4	25.3	19.3	14.3	5.6	1.5	12.3
1977	-3.8	-0.7	7.1	13.5	17.4	21.2	26.5	24.6	21.5	16.3	9.1	3.9	13.1
1978	0.7	1.0	6.3	12.9	18.3	22.2	27.4	26.8	21.0	14.6	9.4	3.3	13.7
1979	1.5	3.4	7.0	11.9	16.5	22.3	24.9	25.3	20.6	15.4	7.2	2.6	13.2
1980	-0.3	-0.5	6.8	11.8	17.2	22.7	23.5	22.5	19.0	13.5	8.2	-0.8	12.0
1981	-2.9	0.1	7.2	13.1	17.6	21.4	25.7	24.3	18.5	12.7	5.5	1.0	12.0
1982	-1.0	2.0	8.1	12.5	18.7	21.8	24.2	25.6	19.9	15.0	9.8	1.6	13.2
1983	0.1	0.4	7.2	13.7	17.8	21.6	24.4	26.5	22.0	14.9	6.8	0.0	13.0
1984	-3.1	-1.1	4.4	12.4	17.5	22.4	25.5	27.1	20.1	13.3	8.6	1.8	12.4
1985	-2.9	2.0	6.7	12.5	17.7	20.6	26.0	26.8	22.2	15.5	7.8	-0.4	12.9
1986	-2.1	-0.3	6.5	13.3	17.7	21.7	23.6	25.5	19.6	12.5	6.7	3.1	12.3
1987	-0.1	2.5	6.2	12.8	17.2	21.5	24.6	24.9	19.5	15.7	8.2	0.8	12.8
1988	0.3	0.5	5.7	12.5	17.5	22.2	24.5	25.5	21.2	15.2	6.4	1.0	12.7
1989	2.7	3.9	7.1	14.2	18.4	20.8	24.6	25.3	21.0	13.7	8.0	2.7	13.5
1990	-0.6	5.4	8.1	12.4	17.4	22.4	26.8	27.5	22.0	15.0	10.3	1.8	14.0
1991	-0.1	0.7	7.0	12.8	17.4	23.1	25.5	24.5	21.3	14.3	6.7	3.7	13.1
1992	1.0	1.6	8.1	12.8	16.6	20.6	26.0	24.9	21.1	14.2	7.1	3.2	13.1
1993	0.3	2.7	6.4	12.3	17.1	21.7	22.9	22.8	20.3	13.5	9.3	1.6	12.6
1994	0.2	2.4	5.3	14.3	18.3	21.9	29.2	27.7	21.3	14.8	9.9	2.8	14.0
합 계	-10.1	35.2	146.0	282.1	384.4	476.6	555.3	562.9	454.3	318.0	173.9	38.2	284.7
평균	-0.5	1.6	6.6	12.8	17.5	21.7	25.2	25.6	20.7	14.5	7.9	1.7	12.9
월최고기온 (년.일)	10.2 '89.09	15.8 '92.29	20.5 '73.28	19.8 '83.31	24.7 '83.31	26.9 '90.26	31.3 '94.22	30.4 '83.02	28.9 '94.01	23.1 '94.12	17.4 '89.05	12.8 '92.07	
월최저기온 (년.일)	-8.6 '90.25	-8.9 '77.16	-5.4 '77.04	4.3 '93.08	10.4 '80.08	15.4 '74.04	17.8 '76.03	19.8 '80.08	13.2 '87.27	5.2 '80.26	-0.9 '86.27	-8.8 '76.27	

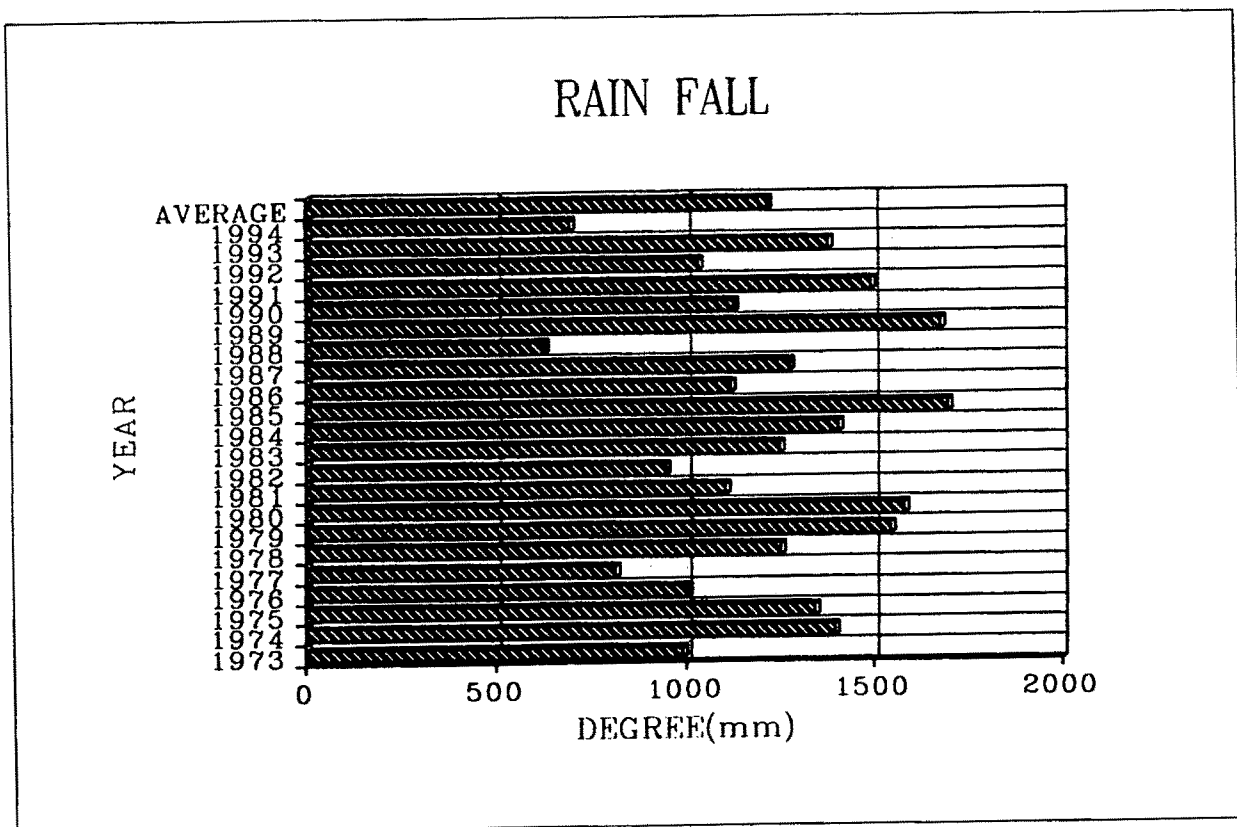
3-2-2 강수량

1973~1994년까지 22년간 조사지구의 연평균 강수량은 1,216.9mm/년으로 우리나라 연평균 강수량 1,274mm/년 보다 다소 낮은 강수량 분포를 나타낸다. 월평균 강수량 분포는 7월이 243.3mm(81.5 ~ 532.0mm)로 가장 많으며, 12월은 월평균 18.5mm(0 ~ 52.7mm)로 강수량이 가장 적은 분포를 보인다.

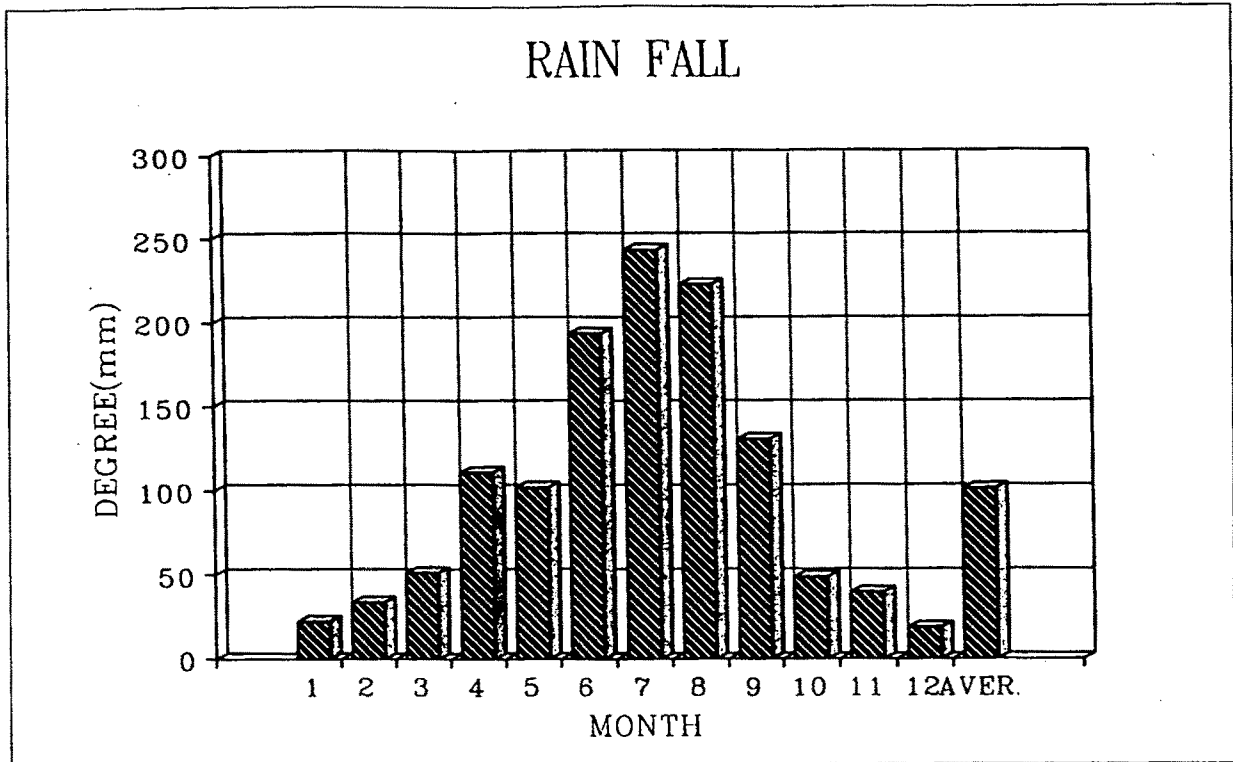
<표. 3-4> 최근 22년간 월별 강수량 분포(mm)

연도 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균	년최고 강수량 (월, 일)
1973	47.5	28.8	9.1	162.5	173.4	77.1	116.2	97.3	179.7	74.8	20.5	4.9	991.8	120.6(9.9)
1974	22.9	31.3	46.4	194.6	242.0	144.8	417.6	92.5	23.4	131.7	10.8	39.8	1397.8	89.4(7.3)
1975	19.2	13.5	55.8	168.9	106.5	113.0	352.8	105.6	237.5	64.1	72.0	36.4	1345.3	78.6(9.16)
1976	0.0	88.3	59.0	134.4	49.8	217.0	74.2	236.6	45.7	45.7	30.8	24.0	1005.5	162.4(6.8)
1977	2.0	0.0	70.6	181.6	82.8	128.5	47.4	82.6	81.5	23.9	96.4	16.9	814.2	58.3(11.8)
1978	18.6	32.1	42.3	41.2	23.4	558.5	122.2	221.6	55.4	68.1	48.2	23.2	1254.8	227.9(6.18)
1979	16.9	52.2	37.7	124.1	115.3	300.2	193.7	520.3	135.9	1.6	9.9	36.0	1543.8	271.4(8.25)
1980	17.8	8.3	60.0	191.7	120.7	112.7	360.9	317.1	238.6	117.4	27.7	8.6	1581.5	138.8(9.11)
1981	22.4	36.1	14.8	95.3	22.2	198.8	246.9	196.3	205.7	45.4	18.6	4.2	1106.7	93.0(9.3)
1982	10.1	20.1	77.2	69.0	42.7	12.0	188.8	367.3	24.4	10.1	118.1	6.1	945.9	191.5(8.14)
1983	25.4	30.5	62.6	167.5	52.6	111.3	318.8	239.8	173.1	62.8	2.1	3.5	1250.0	103.0(8.17)
1984	0.0	4.3	8.0	135.5	114.2	205.6	448.5	195.0	230.9	16.4	41.1	5.6	1405.1	163.0(7.7)
1985	0.6	23.8	93.1	103.8	165.4	297.2	179.1	324.6	289.0	162.8	42.3	15.9	1697.6	97.0(6.24)
1986	0.8	18.6	35.7	65.8	128.0	397.5	140.5	123.0	102.8	55.9	12.3	36.5	1117.4	109.0(6.25)
1987	41.5	43.1	59.9	68.7	115.4	252.2	299.8	295.3	15.0	44.7	41.9	0.0	1277.5	123.5(6.7)
1988	16.3	2.9	53.5	58.9	76.3	120.1	195.5	54.1	34.2	4.6	1.2	7.2	624.8	59.0(6.29)
1989	94.0	101.6	98.4	29.8	32.1	178.3	532.0	268.0	213.0	10.3	103.0	19.0	1679.5	138.5(6.7)
1990	21.0	87.0	40.0	125.8	104.0	310.5	156.5	53.5	170.5	10.5	47.0	0.5	1126.8	93.0(6.20)
1991	32.1	32.5	82.0	95.5	61.0	179.0	489.5	321.0	150.5	1.0	14.0	35.2	1493.3	152.5(8.23)
1992	14.3	21.5	51.0	138.5	133.5	39.5	128.0	219.0	192.5	18.5	26.5	52.7	1035.5	87.5(9.24)
1993	33.5	46.5	53.5	20.5	121.0	225.5	261.5	451.0	40.5	46.0	56.5	25.0	1381.0	133.4(8.21)
1994	21.5	19.0	18.0	69.5	150.0	77.5	81.5	129.5	33.5	59.0	30.5	6.0	695.5	76.5(8.1)
합 계	478.4	742.0	1128.6	2443.1	2232.3	4256.8	5351.9	4911.0	2873.3	1075.3	871.4	407.2	26771.3	
평균	21.7	33.7	51.3	111.1	101.5	193.5	243.3	223.2	130.6	48.9	39.6	18.5	1216.9	

최근 22년간의 연간 강우량은 <그림. 3-3>에서 보는 바와 같이 695.5 ~ 1,697.6mm/년 으로 연간 변화가 심하게 나타나며, 4~6년 간격으로 강우량이 800mm/년에 못미치는 저강우주기를 보인다. 월별 강우량 분포를 볼 때, 월평균 강우량은 101.4mm이고, 4월에서 9월까지의 월평균 강우량보다 많은 강수를 보여주고 있다. 일일 강우량이 가장 많았던 때는 1979년 8월 25일로 271.4mm였다. 연중 강우량의 월별 분포를 보면 우기인 7월과 8월에 연간 전체 강우량의 38.3%가 집중되어 나타나고, 6월에서 9월 사이 4개월간의 강우량이 연 강우량의 65%에 달하나, 이 중 약 90% 이상이 증발 혹은 지표유출에 의해 바다로 유실되고 있다<그림 3-6>.



<그림. 3-3> 최근 22년간 연간 강우량 변화



<그림. 3-4> 최근 22년간 월별 강수량 평균 변화.

3-2-3. 증발산량

일반적으로 증발산량(ETR)은 지표면에 떨어진 강수가 지표면이나 호수, 강물 및 바다 등의 표면에서 기화되거나 토양 하부로 침투된 물이 토양의 모세관력에 의하여 지표로 노출되어 대기중으로 증발(Evaporation)하는 물과 식물의 생리현상으로 인해 엽수면에서 공중으로 날아가는 발산(Transpiration)의 합을 의미한다. 따라서 강수로 지표면에 도달하기 전에 다시 대기중에서 증발하는 양은 제외되며 수면으로부터의 증발과 식물로부터의 발산의 합으로 수분이 기체상태로 대기중에 환원되는 양이다. 이는 기상학적 인자 이외에도 식물의 종류, 색깔의 농도, 투수계수, 입자의 크기, 토양의 함수율등이 직접적인 영향인자가 된다.

우리나라의 년평균 증발량 분포(1951 ~ 1980년)를 보면 태양에너지의 입사량이 많은 위도가 낮은 남쪽으로 갈수록 증가되고 해안지방이 내륙지방보다 많은 경향을 보이는 것으로 보다 수면증

발량은 기온과 온도에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있다. 증발산량의 측정방법에는 직접측정에 의한 방법, 이론적 방법, 기후인자와의 상관관계에 의한 방법 등이 있다.

본 조사에서는 인위적으로 만든 증발접시에서 자유수면으로 부터의 직접적인 증발산량 측정으로 얻어진 밀양기상대에서 측정한 최근 22년간의 계기증발량 자료를 참고로 하였다 (표 3-5).

계기증발량 자료에서 연간 증발량은 1,020.0mm/년에서 1,307.9mm/년 사이로 평균 1,157.5mm/년이며, 가뭄이 극심했고 강수량이 적었던 해일수록 평균치 이상의 높은 증발량을 보여주고 있다. 월별 증발량은 12월의 40.1~59.9mm/월 사이로 평균 48.6mm/월로 최소치를 보이며, 8월의 평균 계기증발량이 134.1mm/월로서 최대치를 나타내고 있다. 또한, 4월부터 9월까지의 하절기 6개월 사이에 평균 100mm/월 이상으로 연증발량의 65.3%를 차지하고 있다.

<표. 3-5> 최근 22년간 월별 증발량 분포(mm)

연도 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계
1973	32.5	51.7	109.2	108.3	129.9	144.8	203.5	168.3	97.5	69.4	55.9	59.9	1230.9
1974	52.3	53.7	93.8	125.8	144.1	147.2	77.8	160.3	116.6	85.2	60.5	48.3	1165.6
1975	57.2	69.1	103.1	108.9	135.0	128.0	123.5	158.8	107.3	90.1	57.2	52.0	1190.2
1976	64.3	61.3	99.4	101.6	125.6	143.1	136.8	134.3	120.0	96.7	60.3	54.4	1197.8
1977	64.9	91.9	101.4	121.9	144.2	155.3	151.7	171.2	118.6	107.7	59.7	47.3	1335.8
1978	57.2	70.8	116.6	158.5	190.1	136.8	165.3	148.6	110.3	98.2	57.1	54.3	1363.8
1979	53.6	68.4	108.0	125.6	153.7	119.5	138.4	137.2	103.8	114.9	71.5	51.6	1246.2
1980	54.9	72.2	86.6	112.3	148.5	135.9	98.0	88.0	101.1	76.9	60.6	47.4	1082.4
1981	59.8	53.9	100.4	110.4	160.5	130.6	126.2	128.9	96.8	72.6	53.6	48.8	1142.5
1982	46.2	50.6	89.2	105.0	128.3	174.2	131.9	100.5	95.6	90.6	54.5	46.2	1112.8
1983	53.5	53.9	92.7	110.3	141.8	158.6	109.9	139.1	85.5	85.3	65.7	58.1	1154.4
1984	61.2	69.7	104.6	114.8	160.9	136.5	146.2	150.9	93.2	99.5	60.5	43.8	1241.8
1985	53.4	52.5	82.2	120.4	131.5	118.3	133.6	133.3	98.3	71.4	56.3	46.1	1097.3
1986	56.7	71.6	104.5	154.7	154.2	119.4	109.1	135.3	77.9	75.9	57.8	46.8	1163.9
1987	51.9	61.5	84.1	116.5	132.1	147.2	96.9	92.3	111.5	91.1	50.2	43.2	1078.5
1988	49.2	53.0	79.7	117.6	129.1	112.0	113.4	129.4	100.7	102.3	73.0	50.7	1110.1
1989	42.4	55.5	88.8	125.2	144.8	125.9	125.0	142.9	74.7	84.6	53.0	45.9	1108.7
1990	47.1	37.7	83.8	95.1	109.7	110.0	123.3	155.5	85.8	79.7	50.0	42.3	1020.0
1991	45.6	46.0	71.5	105.0	141.2	116.6	102.6	122.7	90.0	94.4	60.8	40.1	1036.5
1992	46.8	59.1	62.4	86.5	113.9	132.9	147.2	107.2	88.9	81.3	55.7	46.8	1028.7
1993	43.3	72.9	90.8	157.2	118.7	99.9	110.1	78.3	91.4	94.7	49.2	43.6	1050.1
1994	48.5	59.3	90.2	114.3	145.4	139.6	195.2	167.7	138.3	96.8	60.7	51.9	1307.9
합 계	1142.5	1336.3	2043.0	2595.9	3083.2	2932.3	2865.6	2950.7	2203.8	1959.3	1283.8	1069.5	25465.9
평 균	51.9	60.7	92.9	118.0	140.1	133.3	130.3	134.1	100.2	89.1	58.4	48.6	1157.5
월최고증발량 (년.일)	3.4 '88.08	4.9 '93.07	6.4 '81.22	9.9 '93.23	9.1 '80.05	9.8 '78.08	10.5 '94.04	9.9 '94.20	7.2 '94.02	5.9 '93.08	5.2 '79.11	3.7 '73.05	
월최저증발량 (년.일)	0.2 '73.07	0.3 '78.09	0.3 '80.29	0.0 '73.21	0.2 '92.08	0.2 '88.01	0.4 '74.21	0.3 '82.22	0.3 '77.08	0.5 '82.02	0.2 '75.15	0.2 '79.04	

인위적으로 만든 증발접시에서 자유수면으로 부터의 직접적인 증발산량 측정은 실질적인 증발산량과는 많은 차이가 있기 때문에 이의 측정을 위하여 증발산량에 영향을 미치는 각종 요인인 강수량, 기온, 증기압, 풍속 및 지표면 조건 등을 이용한 계산식들이 발표되어 왔으나 서로 상이한 수문조건 때문에 실제와는 상당한 오차를 갖게 된다.

조사지역에 적용한 이론적 방법에 의한 증발산량 추정은 Penman(1984), Thornthwaite(1954), Turc(1975) 등의 공식중 Turc 공식을 이용하여 증발산량을 산출하였다. 증발산량 산정의 이론적 방법으로는 공기 동력학적 방법과 에너지 보존법칙의 방법이 사용되었으나 증발산(ETR)의 경우에는 식물 표면으로부터의 발산이 고려되어야 하므로 자유수면에서와 같은 공기 동력학적 방법만으로는 사용될 수 없다. 즉, 증발산량 산정은 자유수면 및 식물의 표면으로부터의 증발량이 계산되어야 한다. Turc 공식에 의한 증발산량 계산은 토양내 포함되어 있는 수분의 증발과 지표면 식물에 의한 증발산량을 포함한 것으로 본 조사지역내 평균기온과 강수량은 밀양기상대에서 측정된 자료를 이용하였다.

Turc 공식에 의한 이론적인 증발산량(ETR)계산은 다음과 같다.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2 / L^2}} \quad \text{여기서, } P \text{ (연평균 강수량)} = 1,216.9\text{mm}$$

$$T \text{ (연평균 기온)} = 12.9\text{℃}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 = 729.8\text{mm}$$

따라서, 증발산량 (ETR) = 634.32mm/년 이다.

Turc 공식을 사용한 이론적인 연평균 증발산량은 계기증발량 측정에 의한 연평균 증발량 1,157.5mm/년에 비해 약 54.8% 수준에 불과하다.

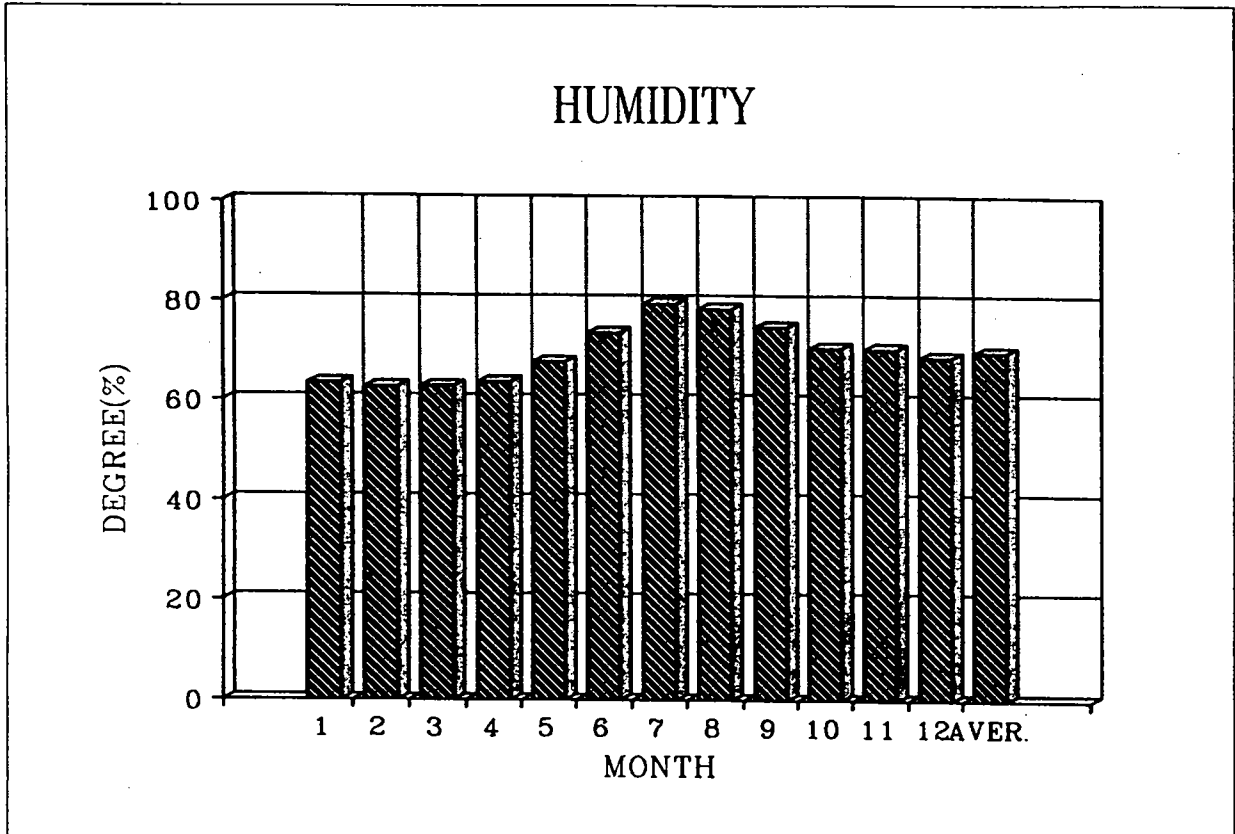
3-2-4. 기 타

기온, 강수량, 증발 및 증발산량의 기타 기상자료로 습도, 일조시간 및 풍속에 대한 최근 22년간의 밀양기상대 자료를 참조하여 조사하였다(표 3-2).

▶ 습 도 (Humidity)

습도는 대기의 건조상태를 나타내는 지표로서 주로 상대습도로 표시하고 있다. 날씨가 나쁘고

구름의 양이 많을 경우 습도가 높고 구름이 적을 때는 일반적으로 습도는 낮기 마련이다. 조사지역의 22년간 연평균 상대습도는 69.7%이며, 2월이 가장 낮은 62.6%를 보이고, 7월에 79.5%로 최고치를 보인다. 1월에서 4월의 4개월동안 65%이하의 낮은 건조한 습도를 보여 특히 화재발생이 우려되는 기간이다(그림. 3-5).

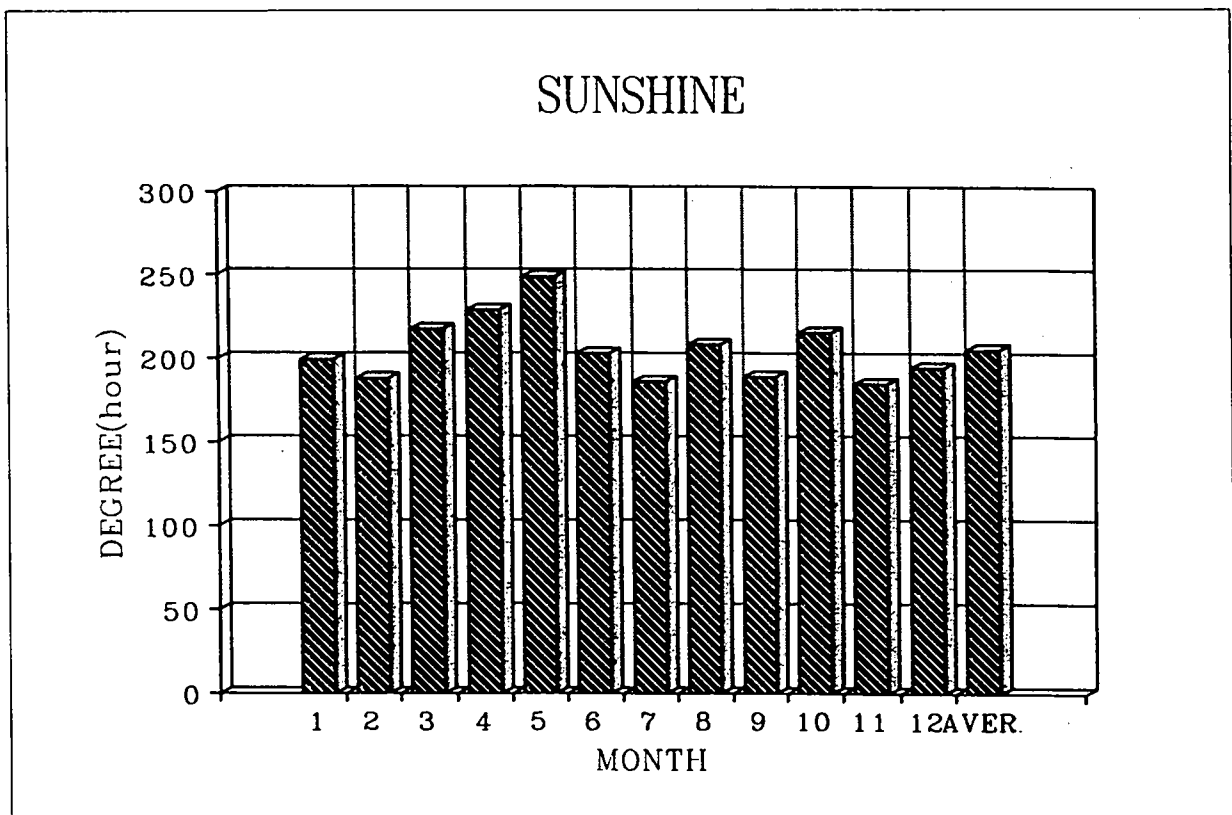


<그림. 3-5> 최근 22년간 월별 평균습도 ('73~'94)

▶ 일조시간

일조시간은 지형과 위도, 계절풍등 복합적인 영향을 받는다. 일반적으로 동계는 북서계절풍의 영향을 많이 받는 서해안 지방이 동해안 지방보다 짧고 하계는 남동계절풍의 영향을 많이 받는 동해안 지방이 서해안 지방보다 짧으며, 여름철로 접어드는 6월부터 남해안 지방의 일조시간은 짧아지기 시작하여 7월에는 년중 극소에 달하게 되나, 8월에는 대체로 년중 극대에 달한다. 이는 기후의 영향으로 6월부터는 장마 전선이 북상하기 시작하여 우리나라 남해안지역에 영향을 주기 시작하여 7월에 본격적인 장마가 계속되고, 8월에는 이 전선대가 북쪽으로 이동됨에 따라 북태평양 고기압 세력권에 완전히 들게되어 맑은 날씨가 계속된다.

전국적으로 년 일조시간 분포상태를 보면 2,100~2,670 시간 정도의 분포를 보이고 있으나 섬 지방인 제주도에서는 1,950~2,057시간, 울릉도에서는 1,790시간으로서 섬지방이 육지보다 다소 짧은 분포를 보인다. 우리나라에서 일조시간이 가장 긴 곳은 울진지방으로서 년 2,670시간이나 되며, 그 다음이 대관령지역으로 2,587 시간을 보여준다. 조사지역의 연간 평균 일조시간은 2,466.5시간/년으로서 월간평균 185.3~248.7시간/월의 범위에 걸쳐 있어 강수량의 기복에 비하여 그 변화는 심하지 않다. <그림. 3-6>에서와 같이 연중 평균 일조량은 3, 4, 5월에 가장 높게 나타나고 10월이 215.7시간으로 높게 나타나고 있다. 전국의 평균 일조시간에 비해 다소 높게 나타나고 있으며, 장마철에도 186시간/월 이상으로 나타나 강수량에 비해 보면 조사지역은 장마철 단시간에 호우성 강우가 많이 발생하고 있다고 판단된다.



<그림. 3-6> 최근 22년간 월별 평균 일조시간 ('73~'94)

▶ 풍 속

우리나라의 각 지방의 풍향을 보면 겨울철에는 대체적으로 북서풍 (N~W風사이)이 많고, 여름철에는 남풍 (SE~SW風사이)이 많으며 그리고 봄, 겨울에는 뚜렷한 방향이 없는 것이 특징이다.

풍속이나 풍향은 지형적인 영향을 크게 받으며, 일반적으로 섬지방은 해안지방보다, 해안지방은 내륙지방보다 바람이 강하여 일반적으로 12월에서 4월까지(5개월간) 풍속이 강하게 나타나고 있다. 이는 겨울철 계절풍이 여름철의 계절풍보다 우세함을 뜻한다. 년평균 풍속을 보면 대체로 내륙지방에서는 1.5m/sec 내외, 해안지방은 3~4m/sec의 풍속을 보이고 있다.

조사지역의 연평균 풍속은 월별 1.2~1.8m/sec사이의 변화로 기복이 거의 없는 편이며, 평균 1.4m/sec로 나타나고 있다. 9월에서 12월에는 1.2~1.3m/sec의 낮은 풍속을 보이며, 전국 평균보다 1개월 느린 1월에서 5월 사이에 1.5~1.8m/sec로 상대적으로 풍속이 강하게 나타나는데 이것은 조사지역이 남부지역에 위치하여 겨울철 계절풍의 영향을 느리게 받고 있음을 의미한다.

3-3. 인구현황

창녕군의 1994년 총가구수 및 인구는 약 26,163가구 81,509명이며, 이중 본 조사 구역에 포함되는 4개면 지역에는 6,335가구 19,863명 정도로 추정된다. 인구 19,863명중 남자가 48.9%인 9,721명이고, 여자가 51.1%인 10,142명으로 가구당 인구는 3.1명이다

<표. 3-6> 조사지역 가구 및 인구현황 (1994)

구 분	가구수	인 구 수			인구밀도	가구당인구
		계	남	여		
계	6,335	19,863	9,721	10,142	163	3.1
영산면	2,474	8,097	3,965	4,132	281	3.3
도천면	1,143	3,421	1,667	1,754	135	3.0
길곡면	720	2,104	1,050	1,054	76	3.0
부곡면	1,998	6,241	3,039	3,202	156	3.1

3-4. 토지이용 현황

조사지역의 지목별 토지이용 현황은 총면적 121.9Km²중 전이 13.3km²(10.9%), 답이 24.7km²(20.2%), 임야 63.2km²(51.8%)이며, 기타 20.5km²(16.8%)로 구성되며, 이중 전, 답 면적이 38.1km²로 전

체면적의 31.2%를 차지한다. 조사지구의 읍·면별 토지이용 현황은 <표 3-7>과 같다.

<표. 3-7> 읍·면별 토지이용 현황

(단위 : m²)

구분	계	전	담	과수원	목장용지	임야	기타
계	121,937,562	13,390,195	24,723,793	31,623	49,984	63,212,609	20,529,358
영산면	28,768,528	3,125,673	7,889,636	20,060	19,993	13,125,347	4,587,819
도천면	25,404,933	3,113,596	7,026,343	11,563	9,998	10,432,065	4,811,368
길곡면	27,647,654	3,205,849	3,925,291	-	19,993	14,857,334	5,639,187
부곡면	40,116,447	3,945,077	5,882,523	-	-	24,797,863	5,490,984

3-5. 하천현황

조사지역의 하천은 수지상 수계분포를 보이고, 각 계곡에서 세천지류들은 소유역 분수령으로 구분된 10여개의 준용천으로 유입된 후 조사지역 남단을 따라 동류하는 낙동강에 유입되고 있다. 조사지역 내를 흐르는 수계의 분포는 <그림. 3-7>과 같으며, 준용천의 내역은 <표 3-8>과 같다. 조사지구 하천의 면적은 7,754,089m², 하천제방 385,722m², 구거 2,839,425m²로 전체 수계의 면적은 10,979,236m²로 조사지역 전체면적의 9.0%에 해당되는 면적이다.

하천의 경사도는 비교적 완만하며, 깊은 계곡의 형성이 미약하고 낙동강, 계성천, 청도천을 제외한 하천들은 전기에는 유량이 급격히 감소하여 건천이 되지만, 낙동강으로의 유입부에서는 낙동강 수위와 비슷한 저지의 평야부 지형특징에 따라 호소를 형성하는 낙동강 배후 습지지역을 나타내기도 한다.

<표. 3-8> 하 천 현 황

하천명	하천 종류	위치	유역 면적 (km ²)	용수구역구간		주요제원		수질상태			비 고
				시점위치	종점위치	하천폭 (m)	제방고 (m)	양호	보통	불량	
계			203.16								
서천천	준 용	영산면	6	성내리	송진리	15	7		○		
계성천		도천면	106.9	남송교	요강원	25	5		○		
영산천			24.3	영산리	송진리	20	5		○		
도천천			4.4	죽사리	도천리	20	5		○		
덕곡천			13.4	덕곡리	송진리	20	5		○		
오호천		길곡면	3.7	오호리	오호리	8	2.5	○			
길곡천			14.7	길곡리	청암리	6	2	○			
마천천			2.8	마천리	마천리	10	2.5	○			
온정천		부곡면	20.5	거문리	청암리	10	4				○
수다천			6.8	수다리	수다리	10	3		○		

3-6. 수자원 이용현황 및 이용시설

3-6-1. 지표수 이용현황

조사지구의 지표수 수리시설 현황은 저수지 60개소와 양수장 14개소가 이용되고 있다. 저수지는 지구 서쪽에 위치하는 장척지(630ha, 유효저수량 2,136천㎥), 지구 북쪽의 구계지(600ha, 유효저수량 565.2천㎥) 및 지구중심의 길곡지(355ha, 유효저수량 343.9천㎥)가 주요 시설물로 소규모 저수지 및 소류지를 포함 60개소의 시설로 조사지구에 용수를 공급하고 있으며, 조사지구 담경지 면적의 48.2%에 해당하는 1,193ha를 몽리하고 있다. 양수장 시설에 의한 관계면적은 총 14개소로서 834ha에 관개가 가능하다.

<표. 3-9> 저 수 지 현 황

구 분	명 칭	시설물 위 치 (면리)	유역 면적 (ha)	몽리면적(ha)			유 효 저수량 (천·㎥)	제당(m)		준 공 년 도	비고
				인가	10년 빈도	5년 빈도		길이	높이		
기	계	60		1,193	753.70	792.7	4,624.58	6,260			
	영산면소계	15	1,639	575.6	438.4	452.4	2,888.28	2,314			
	죽사	영산 죽사	8	9.2	1.2	1.3	3.48	70	3.7	1957	
	회야-1	영산 죽사	36	54.3	2.4	2.7	63.48	219	3.8	1963	
	회야-2	영산 죽사	14	24	9	10	13.78	116	6.2	1959	
	회야-3	영산 죽사	32	3.0	3.0	3.0	8.33	83	5.6	1949	
	내촌	영산 구계	43	15.0	5.0	5.6	16.11	73	10.8	1963	
	중촌	영산 구계	17	10.9	2.1	2.4	8.53	125	6.8	1958	
	외촌	영산 구계	12	13.7	1.0	1.1	3.02	83	3.8	1959	
	구계	영산 구계	600	196.3	194.2	196.3	565.2	210	20.6	1946	농조
	대한	영산 성내	50	7.0	4.0	4.5	13.32	47	10	1967	
	성내	영산 성내	21	5.0	3.7	4.20	7.50	190	6.4	1969	
	동리	영산 동	11	5.0	1.7	1.90	5.53	135	3.0	1974	
	연지	영산 서	65	20	15	17	40.10	300	3.0	1922	농조
	고지	영산 서	43	33.2	22.7	26	69.0	130	8.4	1944	
신제	영산 신제	57	25.0	19.4	22	35.0	133	5.1	1963		
장척	영산 신제	630	154	154	154	2,136	400	4.0	1940	농조	
도천면소계	12	527	184.8	137.3	142	392.75	1,344				
설	덕곡	도천 덕곡	250	72	72	72	184.4	207	12.6	1958	농조
	심곡	도천 덕곡	80	28	28	28	98.8	100	14.9	1958	농조
	안어	도천 어만	28	12	4.7	5.3	10.0	100	9.0	1942	
	덧들	도천 어만	25	7.0	1.6	1.8	5.73	113	6.0	1949	
	정곡	도천 어만	35	13.2	3.2	3.6	12.76	57	8.5	1959	
	새못	도천 어만	11	3.7	2.8	3.1	18.13	64	10.6	1969	
	웃못	도천 예	12	5.0	1.3	1.5	4.98	116	5.0	1936	

구 분	명 칭	시설물 위 치 (면리)	유역 면적 (ha)	몽리면적(ha)			유 효 저수량 (천·m ³)	제당(m)		준공 년도	비고
				인가	10년 빈도	5년 빈도		길이	높이		
기 설	예리1구	도천 예	22	7.4	23	26	9.88	111	4.6	1941	농조
	논리	도천 논	3	5.2	28	31	12.43	70	6.0	1943	
	희야일리	도천 일	14	10.0	12	13.6	6.24	250	3.8	1942	
	희정골	도천 도천	8	8.3	0.5	0.50	1.50	39	4.1	1956	
	말골	도천 우강	39	13.0	6.1	6.9	27.90	117	8.2	1938	
	길곡면소계	10	672	182.1	73.8	82.5	413.55	804			
	중내길	길곡 길곡	27	6.9	2.2	2.5	7.08	58	7.7	1971	
	동산길	길곡 길곡	14	4.6	1.4	1.10	5.57	66	9.6	1945	
	상유길	길곡 길곡	10	10.0	2.4	2.7	9.88	65	5.4	1953	
	유신곡	길곡 길곡	23	17.5	4.2	4.7	15.00	65	8.6	1957	
	북마점	길곡 길곡	10	3.7	1.3	1.4	5.50	25	8.2	1942	
	동내동	길곡 마천	355	84.0	41	46.5	343.90	250	14.4	1976	
	하내동	길곡 마천	62	17.0	3.5	3.9	10.26	40	9.4	1958	
	내동	길곡 증산	60	12.0	3.5	3.9	0.48	70	7.0	1965	
	부곡면소계	23	575	250.5	104.2	115.5	830	1,798			
현곡1	부곡 거문	22	23.4	10.3	11.7	61.60	140	10.2	1942		
현곡2(거문)	부곡 거문	5	3.4	2	2.2	11.60	82	6.0	1946		
강정골	부곡 거문	32	5.0	4.0	4.5	16.90	49	12.7	1925		
논골	부곡 거문	29	12.0	2.1	2.3	6.50	70	5.5	1951		
한솔원	부곡 거문	9	5.0	4.0	4.5	6.40	50	6.0	1930		
점등	부곡 부곡	32	33.9	13	14.7	100.00	104	15.2	1940		
가재골	부곡 부곡	8	11.6	8.5	9.6	19.30	73	9.8	1937		
안용	부곡 부곡	8	7.3	1.7	1.9	9.30	69	10.6	1975		
막뒀골	부곡 부곡	15	33.3	11.8	13.4	110.00	246	12.0	1945		
심당골1	부곡 수다	86	4.6	0	-	4.90	30	9.4	1972		
심당골2	부곡 수다	35	12.0	4.6	5.2	19.40	53	10.2	1956		
불당골	부곡 수다	63	16.0	10.0	11.3	46.20	95	8.4	1945		
무정	부곡 비공	111	7.5	7.5	7.5	25.60	48	9.8	1940		
은등	부곡 청암	42	12.7	5.2	5.9	24.70	80	8.6	1955		
뒀골	부곡 청암	4	5.0	2	2.2	8.90	125	6.2	1971		
은정	부곡 청암	18	13.2	2.1	2.3	3.10	44	5.4	1951		
은등	부곡 청암	9	5.0	5.0	5	4.0	20	6.8	1963		
뒀골	부곡 온정	8	7.7	0.8	0.9	3.3	56	5.8	1971		
하사큰	부곡 온정	6	2.3	2.3	2.3	5.0	60	5.0	1947		
구계상수원	부곡 사창	11	9.0	3.2	3.6	21.0	92	7.8	1956		
저수지	부곡 사창	16	10.6	2.1	2.3	8.40	37	7.6	1960		
	부곡 사창	6	10.0	2.0	2.2	16.90	71	7.8	1949		
	영산구계					297	104	6.0			

<표. 3-10> 양수장 현황

구 분	명 칭	시설물 위 치	몽리면적(ha)			원동기		펌프 구경 (m/m)	양수량 (m ³ /S)	준공 년도	비고
			인가	10년 빈도	5년 빈도	마 력 (Hp)	대수				
기 설	총 계	14	860.2	834	753.7				7.1794		
	영산면소계	2	17	17	847.7				4.151		
	죽 사	영산 죽사	17	17	17	(전)50	1	100	0.011	1977	
	상 대 포	영산 월영	-	-	-	300	2	1,100	4.14	1926	농조
	도천면소계	4	585.9	564.7	585.9				2.276		
	노 리	도천 논리	5	5	5	(전)50	1	125	0.028	1982	
	어 만	도천 논리	3	3	3	(전)30	1	100	0.018	1982	
	우 강	도천 우강	340.6	319.4	340.6	180	3	650	1.3	1976	농조
	길 곡	도천 우강	237.3	237.3	237.3	125	2	550	0.93	1981	농조
	길곡면소계	3	16	21	21				0.518		
	내 동	길곡 오호	10	10	10	25	1	100	0.5	1984	
	아 동	길곡 마천	6	6	6	25	1	100	-	1989	
	북 마	길곡 북마	5	5	5	16	1	100	0.018	1980	
	부곡면소계	5	231.3	231.3	223.8				0.2344		
설	비 봉 1	비곡 비봉	14	14	0	110	1	150	0.042	1981	
	비 봉 2	비곡 비봉	22.4	22.4	22.4	20	1	200	0.008	1984	
	학 포	비곡 학포	194.4	184.4	194.4	100	1	700	0.138	1969	농조
	거 문	비곡 거문	7	7	3.5	30	1	75	0.024		
	대 신	비곡 사창	3.5	3.5	3.5	20	1	75	0.0224	1984	

3-6-2. 지하수 이용현황

조사지구에서의 지하수 이용현황은 1996년말 현재 지하수 시설은 총 159개소이며 이중 암반관정은 144개소로서 생활용관정 55개소, 농업용관정 52개소, 생활용 및 농업용 다목적관정이 4개소, 온천용관정 25개소가 이용되고 있다.

층적관정은 15개소로 영산면 신제마을, 부곡면 점촌마을 생활용수관정을 제외하고 대부분 농업용수로 사용되고 있다. 소형관정은 낙동강 제방 내외측을 따라 형성된 (범람원을 포함한 하천층적 사질토양) 시설채소 단지내에 직경 2의 타설식 소형관정 수백개가 이용되고 있으나 사실상 낙동강의 복류수를 이용하는 관정으로 금번조사에서는 제외하였다.

<표. 3-11> 지하수 수리시설 현황

구 분		계	영산면	도천면	부곡면	길곡면
계	생활용	59	9	12	28	10
	농업용	63	12	12	20	19
	다목적용	4	-	-	2	2
	축산용	6	2	2	2	-
	수산용	2	1	-	1	-
온천용	25	-	-	25	-	
암반	생활용	55	7	11	27	10
	농업용	52	11	8	19	14
	다목적용	4	-	-	2	2
	축산용	6	2	2	2	-
	수산용	2	1	-	1	-
온천용	25	-	-	25	-	
총적	생활용	4	2	1	1	-
	농업용	11	1	4	1	5
	다목적용	-	-	-	-	-

4. 수문지질 조사

4-1. 지형 및 지질

4-1-1. 지형

조사지역 지형의 전반적인 형성은 암석분포와 밀접히 연관되어져 나타난다. 일반적으로 기계적 풍화에 약한 경상계 퇴적암류의 분포지에 비해 화산암류의 분포지가 험준한 산계를 형성하고 있는 편이며, 국부적인 심성암류의 관입에 따른 퇴적암류의 변성작용으로 나타나는 호온펠스대가 분포하는 지역의 지형이 더욱 험준한 편이다.

조사지역의 지형적 경계는 영취산(681.5m), 병봉(676m), 종암산(546m), 덕암산(544.5m)으로 이어지는 산계고지대가 북측경계를 형성하여 지형적 수리적 분수령으로 작용하고, 산계에서 시작된 능선과 계곡들이 남향으로 발달, 본역 남단에서 동유하하는 낙동강으로 이어지고 있다.

서측은 남유하하는 계성천이, 또한 조사지역 동측은 남유하하는 청도천이 각각 조사지역의 수리적 경계를 구분하고 조사지역 서하단과 동하단에서 낙동강에 유입하고 있다.

조사지역은 주로 경상계 퇴적암인 함안층과 진동층이 분포하고 동단부에 주산 안산암질이 그리고 중앙부에 불국사관입암류들이 제 암석을 관입 분포함에 따라 서측에 분포하는 경상계 퇴적암류는 구릉성 평야지를 형성하고 있으며, 중앙부는 관입암들의 관입에 따른 퇴적암류의 호온펠스화로 인해 험준한 지형을 형성함이 특징이다.

본역의 수계는 조사지역 남단에서 동유하하는 낙동강이 1차 수계로 강폭이 평균 1km이고, 하상의 표고가 3m 이내로서 유속이 매우 느리다. 하상의 상태는 중립~세립사로 구성되어 있다. 조사지역 내에서는 북측 산계에서 발원된 세천들이 계곡 및 평야지를 지나 합류하면서 남류하여 도천면 요강나루, 부곡면 임해진나루 및 학포지점에서 낙동강에 직접 유입되고 있다.

본역 수계의 특징은 조사지역 경계를 형성하는 계성천과 청도천을 제외한 준용천들의 유역면적이 협소하여 우기를 제외한 평시에는 주로 건천으로 존재하며, 낙동강으로의 유입부인 낙동강 제방 배후측에서는 지표면의 고도가 낙동강 수면과 비슷한 지형형성으로 수계의 흐름이 정류되어 습지지대를 형성하기도 한다.

4-1-2 지 질

창도지구를 구성하는 지질분포는 중생대 백악기 경상계 퇴적암인 함안층과 진동층, 주산안산암질암, 불국사 관입암류 및 제4기 충적층으로 구성되어 있다 <그림. 4-1 지질계통>.

함안층은 회록색, 회색 및 저색의 니암, 실트스톤, 세일의 호층으로 구성되어 있고, 진동층은 회색, 암회색, 녹색의 니암, 실트스톤, 세일, 사암으로 구성되어 있으며, 불국사화강암류의 관입에 따른 열변성작용으로 관입암 접촉부 폭 2~3km에 걸쳐 호온펠스대를 만들고 있다.

함안층과 진동층은 일반적으로 N10W, 15~20NE의 자세로 조사지역 서부와 중앙부에서 남북으로 대상분포하고 있다. 호온펠스대를 제외한 이들 암석의 풍화속성이 기계적, 화학적 풍화에 약하여 주로 구릉지나 저지대 지형을 형성하며 분포한다.

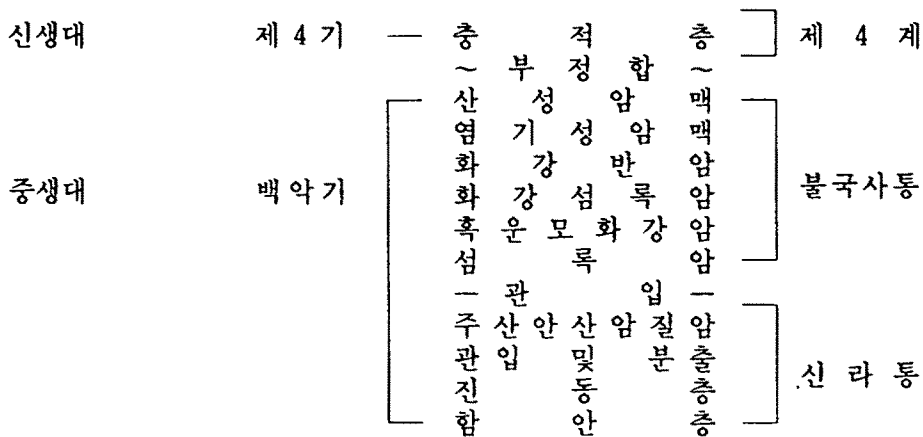
주산안산암질암은 암녹색, 녹색, 암회색의 용암류, 관입암류 및 암상등으로 나타나는 안산암질암이다. 본암은 조사지역의 동측인 부곡면 수다리와 구산리에 남북방향의 대상암체로 주로 분포하고 조사지역 일대에 걸쳐 소규모의 관입암으로도 산출된다.

불국사 관입암류는 섬록암, 흑운모화강암, 화강섬록암, 화강반암으로 퇴적암류와 안산암질암을 관입하여 분포한다.

제4기 충적층은 제반 암석을 부정합으로 피복하여 저지대에 분포하고 주로 낙동강 유역을 따라 깊은 심도를 나타낸다.

가. 함안층

조사지역 최고기 퇴적층인 본층은 지구 서측인 영산면 신제리, 봉암리, 월령리, 송진리에 주로 분포하며, 회록색, 저색, 회색의 세일, 사질세일 및 실트스톤의 호층으로 구성되어 있다. 함안층은



<그림. 4-1> 지질계통

대체로 연약한 편이며, 풍화에 약하여 평야지 또는 구릉지대를 형성하고 있다.

나. 진동층

함안층과 정합적인 관계로 상부에 발달하는 본층은 함안층과는 점이적인 변화를 보이거나 하부에 서 저색세일이나 저색사질세일을 볼 수 없는 점에서 구별된다. 본층은 조사지역의 중앙부에서 남북방향의 대상분포를 나타내며, 회색내지 암회색의 세일, 사질세일 및 녹회색 세일로 구성되어 있다. 본층 또한 대체로 연약한 편이나 불국사 화가암류의 관입접촉대를 따라 형성된 폭 약 2~3km의 호온펠스대는 풍화에 상대적으로 강하여 급경사의 고지를 형성하고 있다.

다. 주산안산암질암

조사지역 동측에 주로 분포하는 본암은 안산암, 조면질안산암, 휘석안산암, 함각력안산암 등으로 구성되어 있고, 암색은 암녹색이 우세하나 녹색, 암회색, 암갈색, 혼잡색등으로 다양하며, 산상역시 용암류, 천저관입암체, 암상 등으로 다양하다. 본암의 주분포 지역인 부곡면 수다리, 비봉리, 구산리에서는 진동층의 경사면을 따라 피복 발달하고 있으며, 지구 중심에서는 소규모의 암상으로 분포하고 있다.

라. 불국사화강암류

백악기말의 화성활동에 의해 생성된 화성암류로 조사지역의 제암석들을 관입하여 분포한다. 섬록암, 흑운모화강암, 화강섬록암, 화강반암과 염기성, 산성암맥으로 구성되어 있다.

섬록암은 조사지역 서단부 신제리에서 남북방향의 암맥상의 산상을 보이고, 길곡리 서편 산능 호온펠스대속에 암주상의 산상으로 노출 분포하고 있다.

섬록암은 주로 사장석, 각섬석, 흑운모 및 석영으로 구성되어 있으며, 등립, 중립질 조직을 보인다. 흑운모화강암은 조사지역 북부 구계리에서 V자형의 저반으로 진동층을 관입하여 나타나며, 주변 진동층에 대하여 열변성 작용을 가하여 호온펠스화 시키고 있다. 석영, 정장석, 흑운모, 사장석 등으로 구성되어 있고 등립, 세립~중립질 조직을 나타낸다.

화강섬록암은 길곡리와 노리에 소규모 암체로 진동층을 관입분포하고 있으며, 대체로 우백색을 띠고 석영, 사장석, 각섬석으로 구성되어 있으며, 반상조직을 나타낸다. 화강반암은 길곡리 부근에서 갈퀴형의 산상으로 진동층을 관입분포하며, 육안관찰시 담회색의 규장질 석기중에 석영반정이 현저하고 약간의 각섬석과 미량의 흑운모가 석기로 관찰되는 반상조직을 나타낸다.

염기성 및 산성암맥들은 조사지역 제암석들을 소규모 맥상으로 불규칙하게 관입분포하고 있으

나 일반적으로 남북의 방향성으로 정치되어 있다.

마. 제4기 충적층

낙동강변의 제방을 따라 충적층이 광범위하게 발달하고 있다. 이들 퇴적물들은 전술한 제암석들을 부정합으로 피복하고 있으며, 주로 모래, 실트로 구성되어 있다.

4-2. 기설관정 이용실태 조사

4-2-1. 시설별 용도별 이용실태 조사

80년대 이후 우리공사와 창녕군에서 조사 개발한 시추공, 착정공을 대상으로 현장조사를 실시하여 위치, 심도, 양수량 등을 조사하였으며, 그의 '90년대 이후 개발하기 시작된 개인 사설관정들에 대해서도 현장답사를 통하여 조사가능한 범위내에서 실태조사를 실시하여 지하수 이용실태 조사자료로 활용하였다.

금번조사를 통하여 조사지구 내에서 이용중인 지하수는 충적관정이 15개소, 암반관정이 144개소로 조사되었으나 확인되지 않은 사설관정이 또한 상당수 존재할 것으로 판단된다.

조사된 자료를 통하여 이용실태를 분석하면 심도별로는 충적관정의 개발심도는 평균 6.4m이고 공당 평균양수량은 1,200.5m³/일 이며, 암반관정은 평균심도 138.5m로 공당 평균 양수량은 215.1m³/일 이다.

암반관정은 총 144개공 중에서 생활용수 55공, 농업용수 52공, 농업 생활겸용수 4공, 축산용수 6공, 수산용수 2공, 온천용수 25공이 각각 이용되고 있으며, 충적관 15개공은 주로 농업용수(11공)로 사용되나 생활용수로도 4공이 사용중이다(표 4-1 지하수 용도별 이용현황). 표 4-2와 표 4-3은 이에 관련된 관정에 대한 자료로서 표 4-2는 지구내에 설치되어 있는 기설관정 내역이며 농어촌진흥공사에서 시행한 관정에 대한 내역은 표 4-3과 같다.

<표. 4-1> 지하수 용도별 이용현황

구	분	계	생활 용수	농업·생활 겸용수	농업용수			축산 용수	수산 용수	온천수	
					계	전	답				
압 반	계	시설수(공)	144	55	4	52	13	39	6	2	
		평균심도(m)	138.5	142.1	115	114.1	121.5	111.7	154.1	165	
		평균양수량 (m ³ /일)	215.1	138.1	335	300.1	102.3	366.0	113.3	210	
	영산면	시설수(공)	21	7		11		11	2	1	
		평균심도(m)	134.1	123.8		127.4		127.4	185	180	
		평균양수량 (m ³ /일)	264.2	128.5		371.8		371.8	190	180	
	도천면	시설수(공)	21	11		8		8	2		
		평균심도(m)	140.8	158.3		114.6		114.6	150		
		평균양수량 (m ³ /일)	205.8	151.8		316.5		316.5	60		
	부곡면	시설수(공)	76	27	2	19	13	6	2	1	25
		평균심도(m)	149.6	150.1	118	115.3	121.5	102.1	127.5	150	179.4
		평균양수량 (m ³ /일)	185.6	120.7	450	221.2	102.3	479	90	240	213.2
길곡면	시설수(공)	26	10	2	14		14				
	평균심도(m)	108.1	116.0	112	101.9		101.9				
	평균양수량 (m ³ /일)	268.9	177.2	220	341.5		341.5				
충 적	계	시설수(공)	15	4		11	3	8			
		평균심도(m)	6.4	2.6		7.8	19	3.6			
		평균양수량 (m ³ /일)	1,200.5	527		1,445.4	1,800	1,312.5			
	영산면	시설수(공)				1		1			
		평균심도(m)	3	2		3.6		3.6			
		평균양수량 (m ³ /일)	2.5	2.0		1,300		1,300			
	도천면	시설수(공)				4		4			
		평균심도(m)	5	1		3.2		3.2			
		평균양수량 (m ³ /일)	3.4	4.0		1,375		1,375			
	부곡면	시설수(공)				1		1			
		평균심도(m)	2	1		4.6		4.6			
		평균양수량 (m ³ /일)	3.5	2.5		700		700			
길곡면	시설수(공)				5	3	2				
	평균심도(m)	5			13.0	19	4.0				
	평균양수량 (m ³ /일)	13.0			1,680	1,800	1,500				

<표. 4-2> 시설관정 내역

No.	위치 (창녕군)	심도 (m)	구경 (ϕ)	양수량 (m^3 /일)	자연수위 (m)	용 도	설치 년도
D1	영산면구계리	160	8	210	4.18	농업용수(5ha)	'95
D2	"	17	8	50	5.8	생활용수(2가구)	'94
D3	영산면성내리	150	6	200	4.3	농업용수(3ha)	'94
D4	"	180	8	180	42.8	수산(양식)용수	'92
D5	"	150	8	50	11.2	생활용수(4가구)	'94
D6	영산면동리	62	8	1,166	6.0	농업용수(5ha)	'84
D7	영산면죽사리	130	8	400	4.7	농업용수(5ha)	'94
D8	"	120	8	284	11.5	농업용수(3ha)	'88
D9	"	50	8	800	11.0	농업용수(5ha)	'84
D10	"	100	8	300	7.4	농업용수(5ha)	'94
D11	"	50	6	100	8.3	생활용수(2가구)	'95
D12	"	180	8	300	8.4	농업용수(5ha)	'96
D13	영산면신계리	150	6	50	9.4	생활용수(2가구)	'96
D14	"	170	6	280	2.8	가축용수	'95
D15	"	210	10	300	5.7	생활(휴게소)	'96
D16	영산면봉암리	140	8	250	7.2	생활용수(40가구)	'94
D17	영산면월령리	130	6	80	4.3	농업용수(1ha)	'94
D18	"	150	8	100	7.4	생활용수(30가구)	'95
D19	"	150	8	150	2.6	농업용수(2ha)	'93
D20	"	200	6	100	3.9	가축용	'95
D21	"	170	8	200	3.1	농업용수(4ha)	'95
D22	도천면일리	150	8	140	25.0	생활용수(70가구)	'92
D23	"	204	8	110	15.0	생활용수(50가구)	'92
D24	"	125	8	350	14.7	농업용수(5ha)	'94
D25	"	200	8	120	14.0	생활용수(50가구)	'92
D26	도천면도천리	200	8	250	2.8	농업용수(4ha)	'96
D27	"	150	6	50	4.5	가축	'94
D28	"	150	6	70	4.3	가축	'95
D29	도천면덕곡리	100	8	200	8.7	농업용수(3ha)	'95
D30	"	72	8	500	8.4	농업용수(5ha)	'94
D31	"	100	6	250	8.6	농업용수(3ha)	'94
D32	"	50	6	200	8.4	농업용수(2ha)	'95
D33	도천면예리	170	8	250	2.8	생활용수(20가구)	'95
D34	"	200	8	300	3.8	생활용수(45가구)	'95
D35	"	115	8	432	3.5	농업용수(3ha)	'94

No.	위치 (창녕군)	심도 (m)	구경 (ϕ)	양수량 ($m^3/일$)	자연수위 (m)	용 도	설치 년도
D36	도천면어만리	200	8	150	7.4	생활용수(70가구)	'95
D37	"	270	8	350	5.9	농업용수(4ha)	'94
D38	도천면논리	148	6	100	3.4	생활용수(3가구)	'96
D39	"	150	6	100	4.2	생활용수(30가구)	'95
D40	도천면송진리	160	8	100	24.0	생활용수(60가구)	'93
D41	"	80	6	150	1.2	생활용수(사용안함)	'92
D42	"	80	6	150	0.2	학교용수(사용안함)	'90이전
D43	길곡면상길리	80	8	570	1.5	농업용수(12ha)	'84
D44	"	114	6	300	1.2	농업용수(6ha)	'94
D45	"	100	8	301	0.9	농업용수(5ha)	'93
D46	"	140	8	250	0.9	농업용수(5ha)	'94
D47	"	134	8	270	0.7	농업(생활)	'95
D48	길곡면길곡리	100	6	150	7.9	겸용 생활용수(1가구)	'95
D49	"	70	8	192	8.0	농업용수(3ha)	'93
D50	"	90	8	170	3.4	농업(식수겸용)	'95
D51	"	75	6	140	5.8	2ha 생활용수(20가구)	'92
D52	"	80	8	120	5.0	생활용수(25가구)	'93
D53	"	200	8	250	4.4	생활용수(25가구)	'95
D54	길곡면중산리	200	8	200	34.5	생활용수(80가구)	'95
D55	"	140	8	250	1.7	농업용수(3ha)	'94
D56	"	112	8	300	0.9	농업용수(4ha)	'95
D57	길곡면오호리	120	6	170	8.5	생활용수(50가구)	'92
D58	"	119	8	284	7.1	농업용수(3ha)	'90
D59	"	140	8	290	1.6	농업용수(3ha)	'94
D60	"	110	8	250		농업용수(7ha)	'95
D61	"	115	8	250		생활용수(40가구)	'96
D62	"	47	8	823	6.2	농업용수(9ha)	'89
D63	"	65	6	300	0.7	농업용수(2ha)	'96
D64	길곡면북마리	120	8	100	10.2	생활용수(30가구)	'94
D65	"	80	8	414	8.0	농업용수(5ha)	'84
D66	"	100	6	200	7.5	농업용수(3ha)	'96
D67	"	80	8	250	2.8	농업용수(3ha)	'90이전
D68	"	80	8	200	3.2	생활용수(70가구)	'95
D69	부곡면거문리	350	6	50		생활용수	'95
D70	"	350	6	50		생활용수	'95
D71	"	350	6	70		생활용수	'95
D72	"	350	6	70		생활용수	'95
D73	"	230	6	200		생활용수	'95
D74	부곡면부곡리	120	10	500	4.8	농업, 생활용수겸용	'83
D75	"	130	10	350	2.8	농업용수(4ha)	

No.	위치 (창녕군)	심도 (m)	구경 (ϕ)	양수량 ($m^3/일$)	자연수위 (m)	용 도	설치 년도
D76	부곡면부곡리	110	8	500	4.4	농업용수(6ha)	'94
D77	부곡면사창리	110	8	800	5.9	농업용수(8ha)	'94
D78	"	100	6	100	3.2	생활용수(3가구)	'96
D79	"	100	6	100	3.0	농업(과수)1ha	'96
D80	"	100	6	100	8.0	농업(과수)1ha	'96
D81	"	80	6	150	2.9	생활용수(1가구)	'96
D82	부곡면은정리	120	6	100	2.3	생활용수(1가구)	'96
D83	부고면청암리	116	8	400	1.8	농업(생활겸용)	'95
D84	"	90	8	200	4.5	생활용수(50가구)	'93
D85	"	160	6	70	11.6	밭용수(1ha)	'96
D86	"	150	8	100	6.8	생활용수(20가구)	'95
D87	"	100	8	70	6.6	생활용수(30가구)	'93
D88	"	110	8	100	4.7	밭용수(2ha)	'96
D89	"	72	8	310	0.5	농업용수(5ha)	'91
D90	"	90	8	432	0.5	농업용수(5ha)	'89
D91	"	101	6	482	0.3	농업용수(5ha)	'89
D92	부곡면수다리	130	6	120	4.5	생활용수(2가구)	'95
D93	"	150	6	140	4.94	과수(1ha)	'96
D94	"	60	6	70	2.8	생활용수(1가구)	'94
D95	"	150	6	100	0.2	과수(1ha)	'96
D96	"	120	6	100	1.7	생활용수(2가구)	'95
D97	"	150	6	240	3.4	양어 및 생활	'95
D98	"	150	8	180	4.71	생활용수(50가구)	'95
D99	"	200	8	90	3.4	생활용수(10가구)	'94
D100	부곡면비봉리	50	8	200	7.7	생활용수(30가구)	'94
D101	"	100	6	100	3.8	과수용(1ha)	'96
D102	"	70	6	150	3.2	과수용(1ha)	'96
D103	"	75	8	70	29.04	생활용수(30가구)	'94
D104	"	105	8	80	22.3	생활용수(30가구)	'94
D105	"	175	6	80	7.5	가축	'93
D106	"	80	8	100	4.3	가축	'95
D107	"	75	6	100	2.8	생활용수(1가구)	'95
D108	부곡면구산리	150	6	50	1.6	생활용수(3가구)	'96
D109	"	200	6	50	2.2	생활용수(1가구)	'95
D110	"	150	6	50	2.0	생활용수(1가구)	'95
D111	"	120	6	120	3.4	과수용	'94
D112	"	150	6	50	2.9	과수용	'95
D113	"	170	6	100	3.2	과수용	'95
D114	"	60	6	170	16.39	생활용수(40가구)	'94
D115	"	60	8	270	13.5	생활용수(20가구)	'95

No.	위치 (창녕군)	심도 (m)	구경 (ϕ)	양수량 (m^3 /일)	자연수위 (m)	용도	설치 년도
D116	부곡면구산리	80	8	240	18.4	생활용수(100가구)	'95
D117	부곡면노리	120	8	260	22.8	생활용수(50가구)	'94
D118	"	100	6	70	3.8	밭용수(1ha)	'95
D119	"	100	6	130	3.5	과수용(1ha)	'96
OD1	도천면일리	150	6	185	4.8	관측	'96
OD2	영산면성내리	200	6	74	6.8	관측	'96
S1	영산면구계리	1.2	150cm	78	0.36	생활용수(3가구)	'90이전
S2	영산면신제리	2.8	150cm	1,200	0.62	생활용수	'90이전
S3	"	3.6	150cm	1,300	0.22	농업용수	'90이전
S4	도천면일리	4	4	30	2.7	생활용수(1가구)	'95
S5	"	3.7	150cm	1,500	0.4	농업용수(10ha)	'90이전
S6	도천면논리	2.8	150cm	1,300	0.8	농업용수(9ha)	'90이전
S7	"	3.1	150cm	1,300	0.7	농업용수(9ha)	'90이전
S8	도천면송진리	3.5	150cm	1,400	0.7	농업용수(12ha)	'90이전
S9	길곡면상길리	4.3	150cm	2,000	0.8	농업용수(15ha)	'76
S10	길곡면증산리	19.0	14	1,800	-	밭용수(사용안함)	'82
S11	"	19.0	14	1,800	-	밭용수(사용안함)	'82
S12	"	19.0	14	1,800	-	밭용수(사용안함)	'82
S13	"	3.8	150cm	1,000	0.12	농업용수(8ha)	
S14	부곡면수다리	2.5	150cm	800	1.3	생활용수(70가구)	'74
S15	부곡면구산리	4.6	150cm	700	0.7	농용수(6ha)	
OS1	도천면일리	9	6	50	4.02	관측	'96
OS2	영산면성내리	8	6	30	3.5	관측	'96

<표. 4-3> 지하수조사 개발 실적표(농어촌진흥공사 시행)

No	위 치(창녕군)			분포 지질	조사 개발 년도	사업 구분	지구명	공번	자연수위 (m)	안정수위 (m)	양수량 (㎧/D)
	읍면	동리	X,Y								
D6	영산	동	157. ³ ,216. ⁷	진동층	'84	항	창녕	창녕2	6.0	50.0	1,166
D8	영산	죽사	157. ⁷ ,216. ³	"	'88	원예주산	죽사	죽사-1	11.5	102.0	284
D9	영산	죽사	157. ⁸ ,216. ²	"	'84	항	창녕	창녕1	11.0	35.0	812
D22	도천	일	157. ⁰ ,215. ⁸	"	'92	농어촌	도천	도천-2	25.0	100	140
D23	도천	일	156. ⁹ ,215. ⁵	"	'92	농어촌	도천	도천-1	15.0	120	110
D25	도천	일	156. ¹ ,215. ³	"	'92	농어촌	도천	도천-3	14.0	120	120
D34	도천	예	159. ⁵ ,214. ⁵	"	'95	농.생	예리	W-1	3.8	100	300
D43	길곡	상길	161. ⁰ ,215. ¹	"	'84	항	창녕	창녕5	1.5	40.0	570
D45	길곡	상길	161. ⁵ ,214. ⁴	"	'93	항	상길	상길-1	0.9	56.5	301
D49	길곡	길곡	160. ⁴ ,213. ¹	"	'93	항	중길	중길-1	8.0	60.0	192
D53	길곡	길곡	160. ⁷ ,211. ⁶	"	'95	농.생	중길	W-1	4.4	90.0	250
D54	길곡	증산	160. ⁸ ,209. ⁹	"	'95	농.생	증산	W-1	34.5	80.0	200
D58	길곡	오호	157. ⁹ ,211. ³	"	'90	지하수개발	오호	W-1	7.1	72.0	284
D62	길곡	오호	157. ⁸ ,210. ³	"	'89	"	오호	W-1	6.2	34.1	823
D65	길곡	북마	161. ⁸ ,211. ⁷	"	'84	항	창녕	창녕-3	8.0	35.0	414
D89	부곡	청암	164. ⁰ ,212. ⁰	"	'91	항	청암	W-1	12.0	64.0	310
D90	부곡	청암	163. ⁶ ,211. ⁶	"	'89	암반	청암	W-2	0.87	64.7	432
D91	부곡	청암	163. ⁸ ,211. ⁵	"	'89	암반	청암	W-1	0.3	68.6	482
OD1	도천	일	156. ¹⁰ ,215. ¹⁵	"	'96	관측	창도	OD1	4.8	75.8	185
OD2	영산	성내	157. ¹⁰ ,217. ¹⁸	"	'96	관측	창도	OD2	6.8	69.0	74.3
OS1	도천	일	156. ¹⁰ ,215. ¹⁵	"	'96	관측	창도	OS1	4.02	6.43	50
OS2	영산	성내	157. ¹⁰ ,217. ¹⁸	"	'96	관측	창도	OS2	3.5	6.95	30
B1	도천	일	157. ⁰ ,215. ¹	"	'92	농어촌	도천	B-1	14.9	-	72
B2	도천	일	156. ⁷ ,215. ⁴	"	'92	농어촌	도천	B-3	24.6	-	80
B3	도천	일	156. ⁴ ,215. ⁹	"	'92	농어촌	도천	B-5	14.7	-	90

No	위 치(창녕군)			분포 지질	지 층 내 역							
	읍면	동리	X,Y		토사	사층	사력	혼전석	풍화대	연암	보통암	계
D6	영산	동	157. ³ ,216. ⁷	진동층	1.0	-	1.0	1.0	4.5	54.5	-	62.0
D8	영산	죽사	157. ⁷ ,216. ³	"	1.0	-	-	2.0	6.0	46.0	65.0	120
D9	영산	죽사	157. ⁸ ,216. ²	"	1.0	-	1.0	1.0	4.5	42.5	-	50
D22	도천	일	157. ⁰ ,215. ⁸	"	0.5	-	-	-	1.0	67.0	81.5	150
D23	도천	일	156. ⁹ ,215. ⁵	"	2.0	-	-	-	2.0	67.0	133.0	204
D25	도천	일	156. ¹ ,215. ³	"	0.5	-	-	6.5	1.0	73.0	119	200
D34	도천	예	159. ⁵ ,214. ⁵	"	1.2	-	4.0	-	4.8	138.0	52	200
D43	길곡	상길	161. ⁰ ,215. ¹	"	1.0	-	1.5	0.5	4.0	73.0	-	80
D45	길곡	상길	161. ⁵ ,214. ⁴	"	3.0	-	2.0	-	4.0	81.0	10.0	100
D49	길곡	길곡	160. ⁴ ,213. ¹	"	2.0	-	3.0	-	5.0	60.0	-	70
D53	길곡	길곡	160. ⁷ ,211. ⁶	"	1.2	-	13.8	-	5.0	132	48	200
D54	길곡	중산	160. ⁸ ,209. ⁹	"	1.5	-	1.5	-	2.0	120.0	75	200
D58	길곡	오호	157. ⁹ ,211. ³	"	1.0	1.0	2.0	3.0	6.0	76.0	30.0	119
D62	길곡	오호	157. ⁸ ,210. ³	"	1.0	18.0	13.5	3.5	5.0	6.0	-	47
D65	길곡	북마	161. ⁸ ,211. ⁷	"	0.5	-	-	1.5	3.0	75.0	-	80
D89	부곡	청암	164. ⁰ ,212. ⁰	"	7.0	1.0	3.0	-	5.0	44.0	12.0	72
D90	부곡	청암	163. ⁶ ,211. ⁶	"	1.0	3.0	1.0	-	5.0	50.0	30	90
D91	부곡	청암	163. ⁸ ,211. ⁵	"	1.0	3.0	1.0	-	5.0	50.0	41	101
OD1	도천	일	156. ¹⁰ ,215. ¹⁵	"	1.0	5.0	-	-	3.0	69	72	150
OD2	영산	성내	157. ¹⁰ ,217. ¹⁸	"	-	2.6	3.4	-	2.0	71	121	200
OS1	도천	일	156. ¹⁰ ,215. ¹⁵	"	1.0	5.0	-	-	3.0	-	-	9
OS2	영산	성내	157. ¹⁰ ,217. ¹⁸	"	-	2.6	3.4	-	2.0	-	-	8
B1	도천	일	157. ⁰ ,215. ¹	"	0.5	-	-	-	1.0	69.0	133.5	204
B2	도천	일	156. ⁷ ,215. ⁴	"	0.5	-	-	1.5	3.0	65.0	80.0	150
B3	도천	일	156. ⁴ ,215. ⁹	"	2.0	-	-	2.0	2.0	73.0	121.0	200

4-2-2 기설관정 양수시험

양수시험은 착정된 지하수관정으로부터 적정량의 지하수를 충전 혹은 채수함으로써 발생하는 대수층 수위상승 및 수위강하 자료를 이용하여 대수층의 수리적 성질을 결정하기 위하여 시행하는 것이다.

조사지역의 충전층 및 암반대수층의 수리적 성질을 파악하기 위하여 지역 내에 분포하는 24개의 충전 및 암반관정에 대하여 양수시험을 시행하였다.

양수시험시 채수하는 양수량은 착정개발 자료와 예비양수시험을 통해 결정하였으며, 토출구에 발브를 부착하며 양수시간 동안 일정량을 유지하도록 하였다. 수위의 측정은 양수경과 후 분단위로 cm까지 측정하였다. 시험결과 대수층 해석은 충전관정인 경우 자유면 대수층으로 해석하였으며, 암반관정의 경우 자연수위가 대수층보다 훨씬 높은 점을 감안하여 피압대수층으로 보았으며, 실제 양수시 정상상태(Steady state)에 도달하려면 상당한 시간을 요하므로 Theis의 비평형 방정식을 적용하였다. 즉,

$$T = \frac{Q}{4\pi S} W(u)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

여기서,

$$W(u) = \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = (-0.577216 - \log e^u + u + \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + u + \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^2}{3 \cdot 3!} + \dots + \frac{u^2}{n \cdot n!}$$

수리상수의 산출은 상기 방정식을 토대로 양수시험 해석프로그램인 AQTESOLV를 이용하였다. 시험결과 조사지역 암반대수층 지하수의 투수량 계수는 $8.7418 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec} \sim 9.5428 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ 의 범위를 보이며, 평균 $3.1656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ 로 나타나며, 저류계수는 0.0517로 조사되었다 (표 4-4 참조).

<표. 4-4> 공별 양수시험 총괄표

No.	위치 (창녕군)	심도 (m)	자연수위 (m)	안정수위 (m)	수위강화 (m)	양수량	특수량계수 (m ³ /day)	저류계수
암반층 평균	22공	130.45			62.54	200.77	2.7351	0.0517
D1	영산면구계리	160	4.18	93	88.82	210	2.115	0.01281
D20	영산면월령리	200	3.9	84	80.1	102	0.7553	0.1
D31	도천면덕곡리	100	8.6	77.4	68.8	250	2.962	0.01739
D34	도천면예리	200	3.8	100.2	96.4	300	2.487	0.1
D40	도천면송진리	160	24.0	114.3	90.3	106	1.189	0.03818
D45	길곡면상길리	100	0.9	56.5	55.6	301	2.924	0.1
D49	길곡면길곡리	70	9.0	60.0	52.0	192	2.582	0.1
D50	길곡면길곡리	90	3.4	63.8	60.4	173	2.417	0.004529
D53	길곡면길곡리	200	4.4	90.0	85.6	250	1.695	0.1
D54	길곡면중산리	200	34.5	80.0	45.5	200	3.211	0.1
D57	길곡면오호리	120	8.5	44.5	36.0	173	4.446	0.001207
D58	길곡면오호리	110	7.1	72.1	65.0	284	3.01	0.1
D64	길곡면북마리	120	10.2	72.5	62.3	102	0.9799	0.05732
D81	부곡면사창리	80	2.9	50.2	47.3	150	1.53	0.02214
D91	부곡면청암리	101	0.3	68.6	68.3	482	4.324	0.1
D96	부곡면수다리	120	1.7	64.0	62.3	106	1.137	0.03734
D98	부곡면수다리	150	4.71	87.6	82.89	150	1.241	0.05293
D100	부곡면비봉리	50	7.7	28.4	20.7	200	8.245	0.008307
D114	부곡면구산리	60	16.39	33.1	16.71	170	5.83	0.06
D117	부곡면노리	120	22.8	76.3	53.5	260	3.819	0.03874
OD1	도천면일리	150	4.8	73.1	68.3	185	2.45	0.009296
OD2	영산면성내리	200	6.8	75.8	69.0	74	0.8236	0.01265
OS1	도천면일리	9	4.02	6.43	2.41	50	18.37	0.1
OS2	영산면성내리	8	3.5	6.95	3.45	30	10.02	0.1

4-3. 물리탐사

지구물리탐사는 지표 및 지하 지질의 물리적 현상을 이용하여 지구내부의 구조 및 특성을 규명하고 주로 지하자원 탐사에 널리 사용되어지고 있다. 지하수조사를 위한 지구물리탐사는 지하수 부존에 영향을 미치는 지하구조대 및 충적층 층후의 발달상태를 객관적으로 탐사하는데 주로 사용된다. 일반적으로 지구물리탐사는 그 효율성을 높이기 위해서 지표지질조사 자료수집 및 분석, 1차탐사, 2차탐사의 3단계로 수행되어 진다.

지하수탐사의 경우에는 현장지질조사와 항공 또는 위성사진 자료를 수집하여 전반적인 지질학적 환경을 파악하고 이를 바탕으로 지하수 부존과 관련된 요소들의 정보를 축적한다. 특히, 변성암이나 화성암 등의 결정질 암석으로 이루어진 지질환경에서는 단층, 파쇄대 등의 선구조가 지하수 부존과 관련된 가장 중요한 지질요소가 된다. 1차탐사는 1단계 조사자료를 바탕으로 넓은 지역에서 선구조 위치와 분포상태 등 지하구조대 발달상태를 객관적으로 확인 조사할 수 있는 전자탐사법의 일종인 극저주파탐사와 같은 신속하고 경제적인 탐사방법이 사용된다. 1차탐사 결과 선구조 또는 이상대가 발견되면 이들을 확인하고 보다 구체적인 구조와 상태, 그리고 지하수부존 가능성을 밝히기 위해서 집중적이고 정밀한 2차 탐사법인 쌍극자탐사, 수직탐사 등이 널리 사용되어지고 있다.

본지구에서 물리탐사는 수문지질도의 작성과 지하수의 확보를 위하여,

- (1) 지표지질조사, 광역물리탐사자료, 원격탐사자료 등에서 예측된 구조선의 확인
- (2) 지하수 충전량 계산을 위한 퇴적층후 파악
- (3) 조사공, 관측공 등의 시추위치 선정 등에 있다.

창도지구 광역수맥조사를 위하여 수행된 물리탐사는 원격탐사 선구조 추출, 극저주파(VLF)탐사, 전기비저항 쌍극자탐사, 전기비저항 수직탐사를 각각 순서대로 실시하였고, 지하수 부존상태 규명을 위하여 광역탐사에서 점단위 탐사, 천부탐사에서 심부탐사의 과정으로 수행하였다.

저주파탐사는 원격탐사에 의해 추출된 선구조 나타난 추정구조대의 존재 및 지하연속성을 확인하기 위하여 조사지역 내의 평야부에 대하여 축선연장 400m~4530m, 축점간격을 5m로 설정하였고, 쌍극자 배열 전기비저항 탐사는 평야부에 대한 전반적인 심부 구조대의 존재확인을 위하여 축선을 연장설정하여 0.5~4km에 걸쳐서 전극간격을 40m로 하여 가탐심도를 최대 200m까지 가능하도록 하였으며, 술럼버저배열 수직전기비저항탐사의 전류 전극 간격은 최대 150m로 하였다. 조사지역내의 전체 탐사량은 저주파탐사 23축선 4,480점, 쌍극자배열 전기비저항 탐사 10축선 약 17km, 술럼버저배열 수직전기비저항 탐사 200점을 수행하였다.

4-3-1. 원격탐사(Remote sensing)

원격탐사란 1960년대부터 미국에서 처음 사용한 것으로 대상체로부터 방사 혹은 반사되는 전자 기파 에너지를 물리적인 접촉없이 측정하여 대상물체의 물리적 성질이나 상태 및 공간적 형태 등을 식별하고 해석하는 탐사기술이다.

본 연구에서는 인공위성(LANDSAT5)에서 얻어진 위성영상자료를 이용하였다. 지표면의 대상물이나 현상에 관한 자기파 정보를 TM(Thematic Mapper)다분광 Scanner로 수집하여 ERDAS(Earth Resources Data Analysys System)소프트웨어를 이용하여 자료를 분류, 판독함으로써 선구조를 추출하고 선구조도를 작성하였다.

TM에는 농업분야에 상세한 정보를 얻기 위하여 7개의 채널로 작동과장대가 분류되며, 본 비구 영상은 Band 4,5,7의 3개 밴드를 이용하여 선구조를 추출하고 있다.

선구조(Lineament)란 지표면에 나타난 지형적 광역규모의 선형구조로서 암종의 차이, 암상변화 및 지질구조적인 현상을 반영한다고 할 수 있다. 지질구조선과 관련된 선구조선은 약선대이기 때문에 암반지하수 통로 역할을 할 수 있는 가능성이 많아 지하수부존과 매우 밀접한 관련이 있으며, 실제로 선구조가 발달된 지역에서 측정할 경우 지하수 산출율이 높다. 선구조 추출은 축척 1:50,000도면을 사용하였고, 1:25,000도면에 선구조를 표시하였다 (그림. 4-2).

조사지역 선구조의 광역적인 방향성을 인지하기 위하여 장미도(Rose Diagram)를 사용 분석한 결과 조사지역의 선구조는 N20~40E 방향으로 매우 우세하게 발달되어 있으며, 공액방향인 N20~50W 방향도 우세하게 나타난다.

N20~40E 방향의 선구조는 조사지역에서 발생빈도가 가장 높고, 가장 좋은 연장성을 보이는데 이는 조사지구 제암석들의 지질구조의 주발달방향을 나타내는 것으로 해석되며, N20~50W 방향은 조사지구의 지질구조 발달의 주방향에 부수된 공액방향의 구조대나 조사지역에 분포하는 제암석들의 층서적인 방향성으로 해석되어 있다.

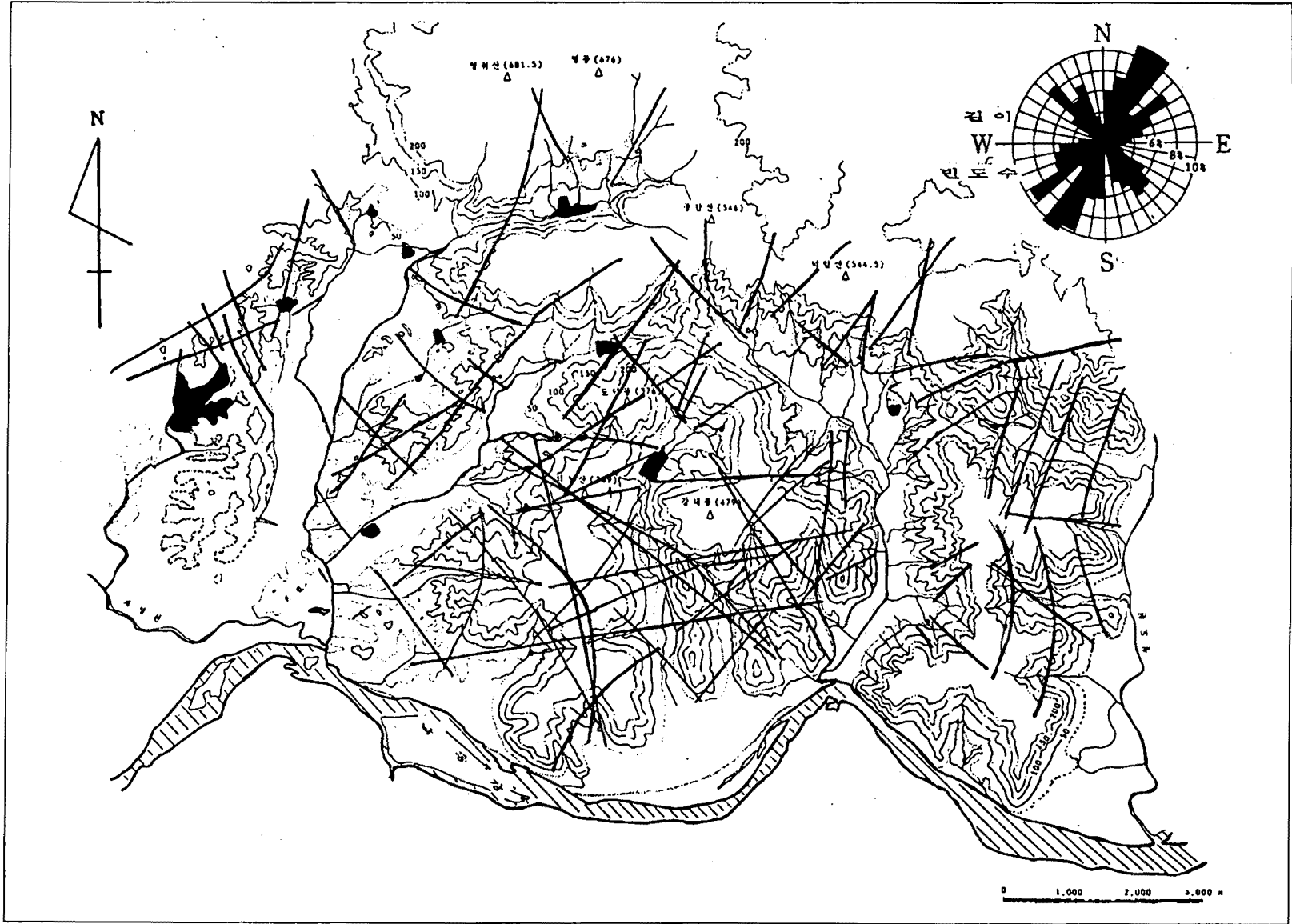


<그림 4-2> 조사지역 위성영상



<그림 4-2> 조사지역 위성영상

여 백



<그림. 4-3> 선구조도

4-3-2 극저주파(VLF)탐사

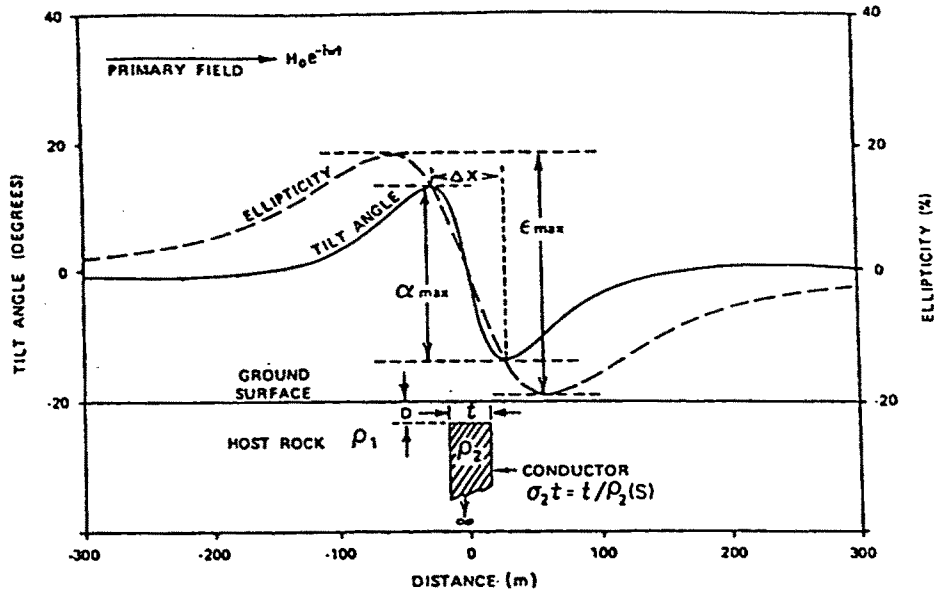
VLF(극저주파 : Very Low Frequency Wave)탐사는 1960년대 광물탐사에 이용되기 시작하였고, 암반파쇄대나 단층과 같은 지질구조대에 지하수나 점토광물 또는 금속물질이 함유되어 있어 전기적 양도체를 형성할 때 이를 탐사할 수 있는 방법으로, 시간적·공간적인 제약을 받지 않고 넓은 지역을 탐사할 수 있는 좋은 방법이지만 극저주파를 이용하므로 탐사심도에 제한을 받거나 주위의 저주파 여건에 의하여 탐사자료의 신뢰도가 부족할 경우가 많다.

극저주파탐사는 세계 곳곳에 있는 극저주파수전자파(Very Low Frequency Electromagnetic Wave) 송신원에서 선박이나 항공기의 운항에 도움을 주기 위하여 송출하는 극저주파를 수신하여 전도체 및 지하 지질구조 탐사의 신호원으로 사용하며, 수신기만 갖고 탐사하는 전자탐사이다. 극저주파 송신소에서는 땅에 접지되어 있는 수백feet 정도 높이의 안테나에 강한 전기를 보내어 15~20kHz 주파수대역 중에 있는 극저주파를 송출하는데 한 송신소에서는 한가지 주파수의 전자파만 계속하여 송출한다.

우리나라에서는 호주NWC에서 보내오는 22.3kHz 극저주파와 일본NDT의 17.4kHz 극저주파를 송신원으로 하여 땅속에 발달되어 있는 지질구조의 파악에 주로 활용하고 있다.

송신기로부터 발신된 극저주파는 전파가 진행하여 나가는 방향의 주위에 자장을 형성하게 되는데, 이 전자장이 전도성 물체를 지나갈 때에는 그 물체에 2차 전류와 2차 전자장을 형성하게 되고, 이것은 1차 전자장에 반발하는 경향이 있다. 이렇게 전도성 구조물 주변에 형성된 2차 유도전자장을 측정하여 분석하는 것이 VLF탐사의 원리이다.

VLF 탐사시 측정하는 대상은 암석내 균열대 주위의 자장의 강도와 상변이(Phase Displacement)를 측정하여 분석하는 것이며, 즉 타원분극된 전체 자기장의 경사각(Tilt Angle, 동상 성분)과 이심률(Ellipticity, 이상성분)을 측정하는 것이다. 전기전도도 경계면 또는 전도체가 존재할 경우 지표에서 측정되는 개략적인 경사각과 이심율은 그림.4-3과 같다. 그러므로 전도성 광체나 지질구조선의 직상부에서 항상 두측정치가 0이 되는 변곡점(cross-over point)이 형성되며, 각 측선별로 탐사된 변곡점을 연결하면 지질구조선의 방향을 알아낼 수 있다.



<그림. 4-4> 경사각(동상성분), 이심율(이상성분)의 대표적 예

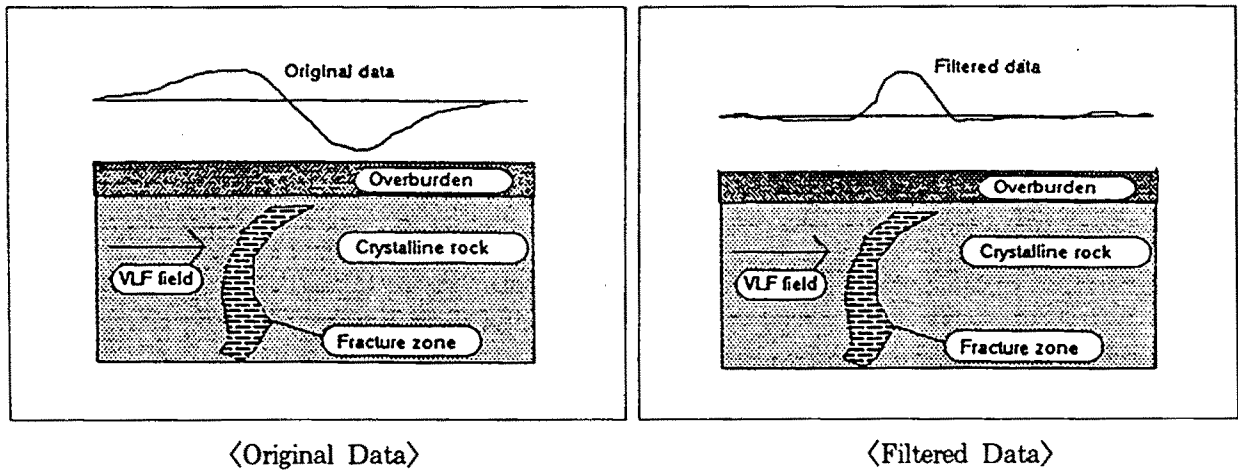
VLF 탐사시 2차 전자장을 생성시키기 위해, 탐사하고자 하는 물체는 어느 정도의 크기와 충분히 낮은 저항치를 가지고 있어야 한다. 정상적인 경우, 탐사물체의 주향길이는 약 50m이상, 연장심도는 10m이상 그리고 물체의 두께는 0.5~1m 정도면 자장유가 일어날 수 있다. 또한, VLF 송신기로부터 전자장은 물체에 수직으로 통과하여야 한다. 즉, 송신기가 있는 쪽으로의 방향이 물체의 주방향과 일치하여야 한다. 환언하면 VLF 탐사는 길고 가파른 경사를 갖는 낮은 전도성 파악에 매우 유용한 방법이다. 송신기로부터의 1차 전자장이 수평일 경우 Normal(In-Phase)수치는 '0'이 될 것이다. 즉, 점토나 염분수 등의 수평 전도성 지층이 나타날 경우는 '0'이 된다.

따라서 가파른 경사를 갖는 전도체에서만 VLF Anomaly가 나타난다. 가파르게 경사하는 전도체의 경우 전형적인 Anomaly는 <그림. 4-5>와 같이 나타난다. 여기서, 최대치는 전도체의 왼쪽에 형성되고 최소치는 오른쪽에 형성된다. <그림. 4-5> 좌측그림 Original data의 Anomaly는 실제 부분(Real Part)으로 추정될 수 있다.

즉, VLF 송신기로부터의 1차 전자장 내에 있는 부분으로 생각할 수 있다. 그러나 상기 방법으로 VLF Anomaly를 Plotting하는 것은 대부분의 경우 적당치 못하다. 즉, 여러 개의 전도체를 가지고 있는 복잡한 지질의 경우, 각 Anomaly들 사이를 구분하기가 거의 불가능할 때가 많다. 따라서, 여과법(Filtering Method)을 이용하여 이러한 복잡한 Anomaly 종류를 전도체 바로 위에 한 개씩의 봉우리로 나타나도록 훨씬 더 매끈한 Anomaly 형태로 변환시킬 수 있다. 이것이 <그림. 4-5> 우측그림 Filtered data에 보여지고 있다. 상기한 실례에서 원래의 자료로부터 전도체를 쉽게

찾아낼 수 있으나, 실제 여과된 자료로부터 원하는 지점들을 찾아내는 것이 훨씬 더 쉬울 때가 많다.

VLF 탐사의 사용 주파수는 15kHz-25kHz 정도이며, 가탐심도가 약 50m내외 이므로 천부의 지질구조 조사에 적합한 방법으로 알려져 있다.



<그림. 4-5> 경사하는 전도체의 전형적 Anomaly

지하수를 함유할 수 있는 단층 및 파쇄대 등의 지하구조대 발달 상황을 파악하기 위하여 조사 지역 전역에 걸쳐 스웨덴 ABEM회사의 WADI를 사용하여 측정하였으며, 측선 3002~3024까지 23개 측선에 걸쳐서 극저주파탐사를 실시하였다.

측선설정은 조사지역 중 지표지질조사와 원격탐사 선구조 추출 결과에서 구조대 발달이 예상되는 지역을 중심으로 광역적인 천부지질상황을 파악하기 위하여 조사측선을 설정하였다.

각 측선별 측정간격은 5m로 실시하였으며, 측선별 측선방향 및 이상대 해석은 표 4-5와 같다.

<표. 4-5> 극저주파(VLF)탐사 물량 및 이상대 해석

측선 번호	측선방향	측점간격	총거리	수신 주파수	이상대 측정점
3002	S→N	5m	1,005m	22.1	60~70, 100~120, 400~410, 440~450, 840~850, 920~940m
3003	W→E	5m	1,900m	22.1	750~760, 1300~1320, 1340~1350, 1420~1430, 1540~1550m
3004	W→E	5m	2,600m	22.1	110~130, 1070~1120, 1850~1860m
3005	S→N	5m	3,880m	22.1	1630~1640, 1820~1870, 2280~2290, 2650~2660m
3006	N→S	5m	700m	22.1	20~30, 430~450m

측선 번호	측선방향	측점간격	총거리	수 신 주파수	이 상 대 측 점
3007	W→E	5m	1,100m	22.1	380~390m
3008	S→N	5m	4,120m	22.1	해석불가
3009	W→E	5m	400m	22.1	40~50, 120~130 240~250, 360~370m
3010	NW→SE	5m	600m	22.1	110~120m
3011	W→E	5m	400m	22.1	30~50, 100~110m
3012	NW→SE	5m	750m	22.1	140~160, 280~290, 510~520, 560~570m
3013	NW→SE	5m	750m	22.1	70~80. 140~150, 200~210m
3014	NE→SW	5m	710m	22.1	60~70, 50~60, 285~290, 515~520, 555~560m
3015	NW→SE	5m	1,010m	22.1	100~110m
3016	NE→SW	5m	2,600m	22.1	570~580, 730~740, 870~880, 2280~2290, 2520~2530m
3067	NW→SE	5m	420m	22.1	40~50m
3018	NW→SE	5m	780m	22.1	40~50, 270~280, 490~500, 570~580, 620~630, 790~800m 80~90m
3019	NW→SE	5m	500m	22.1	해석불가
3020	N→S	5m	4,530m	22.1	70~80, 170~180, 300~310, 1330~1340, 1660~1670,
30201	N→S	5m	2,700m	22.1	1940~1950, 2070~2080, 2410~2420, 2500~2520m
3022	NS→EW	5m	1,150m	22.1	170~180, 720~725, 790~795, 820~830, 930~940m
3023	S→W	5m	1,360m	22.1	80~85, 630~640, 750~760, 830~850m
3024	NW→NS	5m	1,100m	22.1	-

VLF 탐사 자료는 단일 주파수의 수직 자기장 성분을 수평성분에 대하여 정규화시킨 값으로 구성되어 있기 때문에, 이를 탐사심도나 지하의 전기전도도로 정량화시키기는 불가능하므로 정성적인 해석이 주를 이루고 있다. VLF 반응은 전도체 직상부에서 영점통과값(Zero Crossing)을 나타내므로 이 교차점에서의 천부과쇄대의 존재를 알 수 있다.

조사지역에서 측정한 VLF탐사자료는 WADI해석프로그램인 Sector를 사용하여 전산처리하였으며, 탐사결과의 분석은 지표지질조사시의 추정구조대선과 위성 영상분석시 나타낸 선구조선과 비교 해석하였으며, 필요한 경우 쌍극자탐사 측선을 저주파탐사 측선에 평행하게 또는 교차되게 설정 및 탐사하여 그 결과를 비교 해석하였다.

각 측선별 탐사자료 해석시 측선 3008과 3020은 그 측선배열 방향이 고압전선 방향을 따라 측정됨에 따른 전자파 노이즈 현상으로 해석이 불가능하였으나 그외 측선들은 수개소의 천부 이상대를 관찰할 수 있었다. 이상대 해석시 심도는 주로 10~25m로 해석되었으며, 선구조선이 지나가는 지점에서 발견되는 이상대도 존재하나 선구조선의 존재와 무관하게 나타나는 이상대가 대부분이었다. 이상대의 방향은 선구조 해석시 나타난 주구조대 방향과 공액부구조대 방향과 거의 일치하는 방향인 N20~40E, N20~50W 방향이 우세하게 탐사되었다.

4-3-3. 전기비저항 탐사

전기비저항탐사는 인공적으로 대지에 아주 낮은 주파수를 갖는 강한 점전류를 보낼 때 전류가

전기를 잘 통하는 부분으로 집중되어 흐르는 원리를 활용하여, 일정한 배열을 따라 땅 속에 전기를 보내고 전기의 전파에 의해 발생된 전류의 크기와 이에 의해 발생된 전위분포를 측정함으로써 지하의 전기비저항치의 변화양상을 탐지 및 해석하여 지하의 지질구조(파쇄대, 단층, 지질구조대 등), 광상, 지하수, 지열지대의 보존 여부 및 부존양상을 탐사하는 것이다.

전기비저항(電氣比抵抗: Electric resistivity)은 어떤 물체의 전위경도(Potential gradient)와 전류밀도(Current density)의 비(比)로서 그 단위는 Ω -m로 표시한다. 지하구성물질이 균질하고 등방성이라면 측정된 전기비저항값은 일정할 것이나 암석의 공극율, 공극의 유체포화율, 공극내의 유체의 성질, 조암광물의 종류, 암석 구성입자의 크기 및 성질, 고화도, 파쇄대, 균열대, 단층 및 기타 지질구조의 영향에 의하여 전기비저항 값이 달라져 전기비저항 분포 이상대를 알 수 있게 된다.

전기비저항법은 전류의 크기, 각 전극에서의 전위의 크기 및 각 전극간의 거리 등 정량적으로 측정 가능한 값들을 취급함으로써 정량적인 해석이 가능하고, 또 그 이론도 비교적 잘 발달되어 있어서 이론적 계산치와 현장 측정치를 비교 해석할 수 있다는 점에서는 매우 과학적이라 할 수 있겠다.

그러나 전류전극이 대지와 전기적으로 잘 접촉되어야 하므로 동토, 사막 등 표토층이 전기적 절연지역이거나 반대로 표토층이 너무 전기적 양도체인 경우, 지하 심부로 전류의 공급이 이루어지지 않아서 이 전기비저항법을 사용할 수 없으며, 또 실제적인 문제로 넓은 지역의 탐사에는 전극들과 전선들을 이동시키는 작업이 매우 번거롭다는 단점이 있다.

전기비저항 탐사방법에는 전극배열법에 따라 쌍극자법, 수평법, 수직법 등으로 구분한다. 금번 조사에 적용된 전기비저항 탐사법으로는 먼저 원격탐사에서 분석된 선구조의 지질구조적 여건과 극저주파탐사에서 확인된 천부이상대의 심부연속성 여부를 확인하고 보다 구체적인 지하지질 구조상태를 탐사하기 위하여 2차원 비저항탐사법인 쌍극자탐사를 수행하였고, 제탐사에서 추정된 이상대의 보다 정밀한 확인을 위한 점단위의 수직적 비저항 변화를 탐사하는 슬림버저 배열식 수직비저항 탐사를 수행하였다.

가. 쌍극자탐사(Dipole-Dipole Method)

도선의 전기저항 R은 길이 L에 비례하고 단면적 A에 반비례한다. 즉,

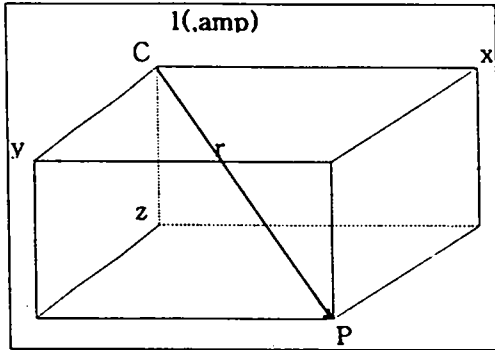
$$R = \rho \frac{L}{A} \text{ 이다.}$$

여기서, ρ 는 비저항수로서 물체의 크기 및 모양에 관계없는 물체의 전기적 특성을 나타내는 것으로 전기비저항(Electrical Specific Resistance)이라 한다. 또한, 옴의 법칙에 의하면 $R = \Delta V / I$ 이므로

$$\rho = \frac{A}{L} \cdot R = \frac{A}{L} \cdot \frac{\Delta V}{I} \text{ 이 된다.}$$

여기서, ρ 의 단위는 ohm-m가 된다. 즉, 전기비저항이란 단위체적당 물질의 저항이라고 정의할 수 있다.

<그림 4-6>에서와 같이 지중의 일점 C에 아주 낮은 주파수를 갖는 강한 점전류 I(amp.)를 보낼 때, 지중의 임의의 점 P에서의 전위 V(volt)는 다음과 같다.



$$V = \frac{\rho I}{4\pi r}$$

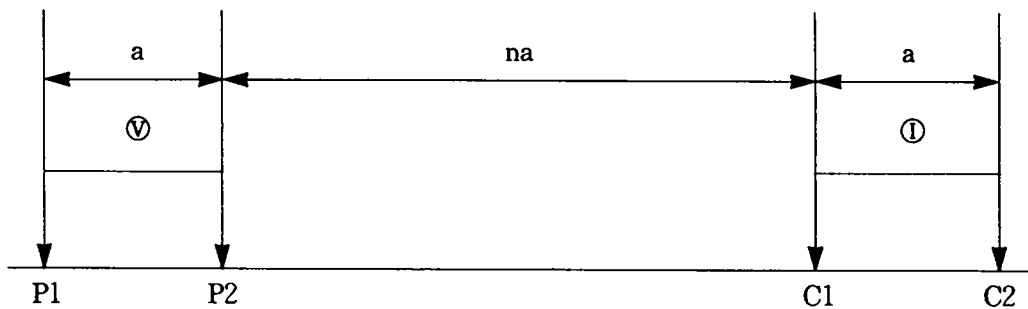
여기서

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

<그림.4-6> 점전원에 의한 전위

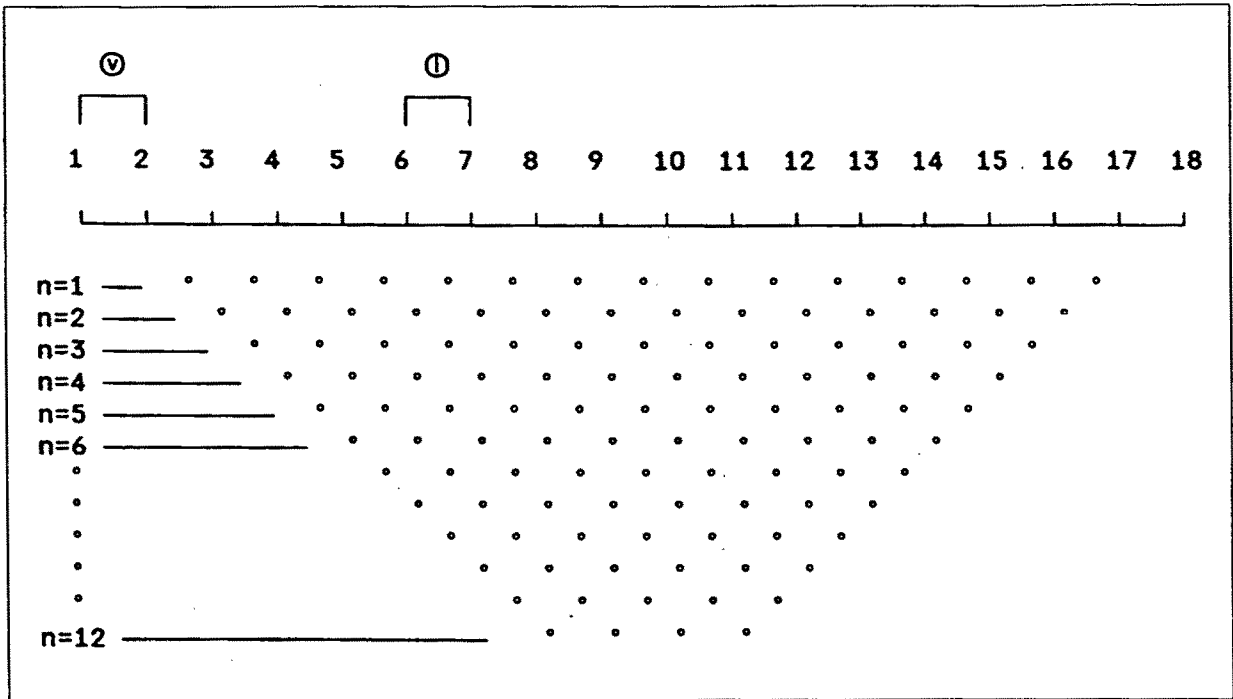
그러나 실제 지표면에 점전극을 위치시키고 전류 I 를 보낼 때, 지표면 상부의 공기는 전기전도도가 0으로 가정할 수 있으므로 전류는 지중에서 반구상 방사상으로 흐른다. 따라서, P점에서의 전위 V는 다음과 같다.

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi r} \quad \text{이때, } Z=0 \text{ 이므로, } r = \sqrt{X^2 + Y^2}$$



P1, P2 : 전위전극봉, C1, C2 : 전류전극봉, a : 전극간격, n : 자연수(n = 1, 2, 3.....n)

<그림. 4-7> 쌍극자 축선배열 방법



<그림. 4-8> 쌍극자탐사 측정 가단면도(Pseudo Section)

그림. 4-6에서 지표면에 매설한 한쌍의 전류전극 $C^1(+I)$ 과 $C^2(-I)$ 를 가정하고 임의의 점 P^1, P^2 에서 각각의 전위를 생각할 때, P점의 전위는 C_1 과 C_2 에 의한 전위차로 나타나며, 다음과 같다.

$$V_{p1} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} \right)$$

$$V_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C_1 P_2} - \frac{1}{C_2 P_2} \right)$$

그러므로 C_1 과 C_2 에 의해서 P_1 과 P_2 의 전위차 V 는 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$V = V_{p1} - V_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2} \right)$$

이것을 비저항의 식 ρ 로 풀어쓰면 다음과 같다.

$$\rho = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2} \right)} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

또한, K를 기하학적 계수(Geometric Factor)라 하며 다음과 같고, 각종 전극배열방식에 따라 계산하여 그 값을 구할 수 있다.

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2} \right)}$$

상기 식에서 쌍극자배열은 전위 및 전류전극 간격이 모두 a 로 $C_1P_1 = C_2P_2 = (n+1)a$, $C_2P_1 = na$, $C_1P_2 = (n+2)a$ 이므로 기하학적 계수는 다음과 같다.

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{na} - \frac{1}{(n+2)a} + \frac{1}{(n+1)a} \right) \right]} = n(n+1)(n+2) \cdot \pi \cdot a$$

또한, 쌍극자 배열에 의한 겉보기비저항(Apparent Resistivity)은 다음과 같다.

$$\rho_a = n(n+1)(n+2) \cdot \pi \cdot a \frac{\Delta V}{I}$$

쌍극자 비저항탐사는 그림. 4-7과 같이 전류 및 전위전극 간격 a를 탐사목적 및 정밀도 등을 고려하여 결정하고, a, 2a, 3a,na 간격으로 단계적으로 이동하면서 전위차를 측정하여 겉보기 비저항치를 계산한다.

야외탐사 결과치는 그림. 4-8과 같이 전위전극 중심과 전류전극의 중심을 연결하는 선을 밑변으로 하는 직각이동변 삼각형의 꼭지점에 겉보기 비저항치를 기입하여 수평 및 수직적 변화를 탐사할 수 있다. 이와 같은 쌍극자배열 탐사결과 획득된 겉보기 비저항 도면을 가단면도(Pseudo-Section)라고 한다.

가단면도에 나타난 겉보기비저항 값은 암석의 전기비저항치를 나타내는 것이 아니고, 표시된 수직점에서 얻어진 비저항치를 야기시키는 진짜 심도를 표시하는 것도 아니다. 그러므로 이를 해석하기 위해서는 컴퓨터에 의한 해석 프로그램이 필요한 것이다. 그러나 쌍극자 배열방법은 다른 배열방법 즉, Wenner 배열 및 Schlumberger 배열 등과 달리 신속하게 2차원적 수직-수평탐사를 행할 수 있어 비교적 광역적으로 지하 2차원 구조, 특히 전기전도도 구조(Geoelectric Structure)를 파악할 수 있는 장점이 있다.

근본적으로 Wenner 배열이나 Schlumberger 배열을 채용한 수직탐사는 1개점 하부의 심도에 따른 비저항의 변화 양상을 파악하고자 함에 목적이 있으므로 1차원적 탐사의 범주에 속한다. 지하

1개점 하부의 자세한 정보 획득에는 수직탐사가 효율적이며, 정량적이라 할 수 있다.

그러나, 암반지하수의 경우와 같이 국부적으로 발달하는 파쇄대 탐지의 문제는 그 대상이 2차원 구조이므로 2차원적인 탐사를 필요로 한다. 쌍극자배열 탐사는 1점이 아닌 1측선상에서 수평-수직 탐사를 동시에 수행하므로 2차원적 탐사로 간주된다. 물론, 쌍극자배열 탐사의 측선상에 각 측정마다 수직탐사를 수행한다면, 1개점이 아닌 측선상의 하부에 2차원적인 비저항분포를 파악할 수 있다.

또한, 수직탐사는 각 측정사이에 국부적인 이상대가 존재할 경우 이를 놓칠 우려가 많으나, 쌍극자배열 탐사는 연속적인 2차원 탐사이므로 이러한 가능성이 상대적으로 낮다고 할 수 있을 것이다. 그러나 쌍극자 배열에 의한 전기비저항 탐사시 지표천부의 수평전기전도도 변화(Lateral conductivity variation)에 대단히 민감하므로, 그로부터 야기되는 이상대를 정확히 해석할 수 없는 어려움이 있다.

이는 쌍극자 배열 탐사가 수직탐사에 대해 갖는 큰 단점의 하나로 볼 수 있다. 이러한 난점을 해결하기 위해서 임의의 지하구조에 대한 이론치를 계산할 수 있는 컴퓨터에 의한 수치 모델링 방법 및 역산법(numerical inversion method)을 이용하였다.

이번 탐사에 적용한 쌍극자배열법(雙極子排列法 : Dipole-Dipole Array)은 한 쌍의 전류전극과 다른 한쌍의 전위전극 간격 a 를 40m로 하고 측정 간격을 40m, 80m, 120m, 160, ...으로 40m씩 단계적으로 이동하면서 각 측정에서의 전위차를 측정하여 겉보기비저항치(外見比抵抗値 : Apparent resistivity)를 구하고, 측정간격이 멀어지면 탐사깊이도 깊어지므로, 한 측선을 전개해 나가면 외견 비저항의 2차원단면을 얻게 되고, 단면상에서 등비저항곡선도를 작성하여 전기비저항 분포이상대(異狀帶 : Anomaly zone)를 파악하였다.

측선의 길이는 현장여건에 따라 조정하였으며, $n=9$ 을 택하여 가탐심도를 200m이상 되게 하였다. 탐사위치는 조사지역 전역의 평야부에 걸쳐서 설정하였고, 측선별 내용 및 역산법에 의한 분석내용은 표 4-6과 같다. 측선 CD-10-1을 제외하고 역산법에 의해 나타난 각 측선별 겉보기비저항 값들은 탐사위치의 기반암에 따라 약간의 차이를 보인다. 함안층과 안산암질암에서 탐사된 CD-1, CD-2 및 CD-8의 겉보기 비저항 값은 최소 12, 최대 243의 낮은 비저항 분포를 나타내며, 진동층의 호온펠스대에서 수행된 측선 CD-6에서는 최소 27에서 최대 2491의 높은 비저항 값을 나타내었다.

<표. 4-6> 쌍극자탐사 측선별 총괄표

측선명	n수	a간격	n-1의 갯수	겉보기비저항		탐사자료 처리			비고 (기반암)
				최소값	최대값	RMSERROR	초기값	증분	
E1	9	40	23	12	243	0.342	10	15	함안층
E2	9	40	11	28	167	0.205	25	10	함안층
E3	9	40	16	51	1,891	0.118	50	100	진동층
E4	9	40	36	22	525	0.487	20	30	진동층
E5	9	40	68	46	1,475	0.431	45	80	진동층
E6	9	40	88	27	2,491	0.509	25	65	진동층 (호은벨스)
E7	9	40	28	18	344	0.234	15	20	진동층
E8	9	40	38	14	225	0.265	15	13	안산암
E9	9	40	58	29	756	0.382	30	30	진동층
E10	12	5	37	13	372	0.0247	12	22	진동층

그림으로 나타낸 각 측선별 쌍극자탐사 결과도에서는 각 쌍극자 측선별 겉보기 비저항 가단면도, 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도 그리고 역산결과 해석된 진비저항분포를 칼라영상화한 2차원 단면구조도를 도시하였다.

겉보기비저항 가단면도는 겉보기비저항의 분포양상을 천부에서 심부로 갈수록 차례로 저비저항대(청색부), 중간비저항대(녹색부), 고비저항대(적색부)로 나타낸다.

2차원 비저항단면 구조도는 각 측선별 현장자료를 입력자료로하여 유한차분법 모델링(FDM modeling)과 평활화 제한을 가한 2차원 자동역산(Automatic 2-D inversion)을 수행한 결과로 지하의 진비저항 분포를 도시한 것이다.

이론자료의 겉보기비저항 가단면도는 각 측선에 대한 전기비저항 탐사자료의 역산결과, 계산된 이론 겉보기비저항 가단면도를 도시한 것이다. 이들은 현장 겉보기비저항 가단면도에 비하여 다소 부드러워 졌으며, 겉보기비저항 분포는 매우 유사하게 나타난다. 이러한 점은 현장자료를 입력 자료로하여 수행한 자동역산의 결과가 진비저항 분포를 갖는 각 측선의 2차원적 지하모형이 현장 자료에 대한 유일해(Unique solution)는 아니라도 수학적으로 안정적인 해(Stable solution)가 될 수 있음을 의미한다.

따라서 역산결과에 대한 객관적인 타당성, 합리성을 부여할 수 있다. 그리고 진비저항 분포도는 고(적색), 저(청색) 및 중간(녹색)비저항 암체로 구분이 가능하며, 이와 같은 구분은 본

조사지역에 분포하는 암체를 각각의 전기비저항 특성을 갖는 암체로 특징화할 수 있음을 의미한다.

고비저항 암체는 상당히 신선하고 치밀 견고한 암반이며, 저비저항 암체는 상대적으로 절리나 균열대, 단층 등 파쇄대의 발달이 양호한 암반을 뜻하거나 천부풍화대 등에 의한 영향임을 의미한다. 또한 중간 비저항 암체는 상기 암체 특성의 중간적인 비저항 특성을 보이는 암상이라 하겠다. 그러므로 관심대상인 저비저항 암상은 전기구조적인 환경(Geoelectric structural environment)으로서 지하수가 유동, 집적되어 부존가능성이 가장 높은 부분인 것으로 간주할 수 있다.

한편, 위와 같이 구분한 암상이 각각의 물리적 특성을 갖는 암체라할 때 상호 접하는 접촉대는 암상이 바뀌는 전이대(Transitional zone)로써 비저항변화율(Resistivity gradient)이 특히 큰 부분일수록 암상이 급격히 변화함을 지시한다. 이러한 의미에서 이들이 단층파쇄대나 암반균열대 등의 약대라는 해석기준이 된다.

이러한 전기적 비저항대의 구분은 암반에 대한 지하수탐사에서 중요한 의미를 갖는다. 즉, 외국의 경우 지하수 유동 및 집적이 투수성이 높은 사암층 등의 대다수 퇴적암층이 층서적인 대수층의 역할을 하는데 반하여, 우리나라와 같이 지하수 유동이 이루어지는 투수성이 높은 퇴적암의 분포가 적거나 본 조사지역과 같이 호온펠스화한 니질암과 안산암질암이 분포하는 기반암체 내에서는 파쇄대가 중요한 대수층의 역할을 하게 된다. 이는 비저항의 분포상태를 결정하는 구조선이 지하수의 유동통로 역할을 하는 확률이 높기 때문이다.

위에서 전술한 바와 같은 관점에서 탐사결과를 축선별로 기술하면 다음과 같다.

○ 축선 E1

축선 E1은 도천면 송진리 경지정리지구에서 극저주파탐사 축선 3002와 평행하게, 축선 3003과 3004에 잇달리는 남에서 북방향으로 축선을 설정하여 비저항분포를 탐사하였다. 그림. 4-8 쌍극자 탐사 결과도의 2차원 비저항 단면구조도에서 심도가 증가할수록 겉보기 비저항 값이 점차 증가하는 양상을 보여준다. 축점 10~13 사이에는 지하심부로 계속 연결된 저비저항 암체가 존재하는 것으로 나타난다. 이러한 이상대는 지질구조대의 존재, 관입암체의 존재에 따른 결과로 유추되며, 비저항의 급격한 변화를 보이는 축점 10과 13~14번 사이에서 지하수의 유동에 유리한 구조대가 존재할 것으로 판단된다.

○ 축선 E2

축선 E2는 영산면 월령리 경지정리 지구에서 서동으로 축선을 설정하여 비저항 분포를 탐사하였으며, 탐사대상 기반암이 경상계 퇴적층인 함안층으로 겉보기비저항값이 300 Ω -m 이하로 낮게 나타나고 있다. 그림. 4-9 탐사결과도의 2차원 비저항단면 구조도에서 축선의 중심부에서 저비저

향체의 심도가 깊게 나타나고 있으며, 이는 지질구조대 또는 구하상에 의한 이상대로 판단된다.

○ 측선 E3

측선 E3은 영산면 죽사리 마을앞 경지정리 지구에서 서동으로 측선을 설정하여 비저항 분포를 탐사하였다. 그림. 4-10 탐사결과도의 2차원 비저항단면 구조도에서 심도가 증가할수록 겉보기 비저항 값이 점차 증가하는 양상을 보이고 특별한 비저항 이상대의 존재는 나타나지 않는다. 측정 15~16사이의 저비저항체의 요철은 구하상에 의한 비저항 이상으로 해석되어 진다.

○ 측선 E4

측선 E4는 도천면 송진리 연꽃밭 저수지 주변 경지정리 지구에서 극저주파탐사 측선 3016에 평행하게, 측선 3017과 3019에 잇달려 남서북동 방향으로 측선을 설정하여 탐사하였다. 그림. 4-11 탐사결과도의 2차원 비저항단면 구조도에서 측정 6~9사이의 저비저항 이상대는 N45W 방향의 선구조와 연관된 지질구조대로 해석되어 진다. 그외 저비저항에서 고비저항으로의 전이대의 요철은 구하상의 존재에 의한 충적층의 심도변화에 의한 결과로 유추된다.

○ 측선 E5

측선 E5는 도천면 일리와 도천리 마을앞의 경지정리지구에서 남북으로 측선을 설정하여 비저항 분포를 탐사하였으며, 측선연장이 2.8km에 달하여 해석시는 E5-1과 E5-2로 분리하여 전산해석을 수행하였다.

그림. 4-12와 그림. 4-13 쌍극자탐사 결과도의 2차원 비저항 단면 구조도에서 비저항값의 분포는 지하심부로 향할수록 저비저항체에서 고비저항체로의 수직적 변화를 잘 나타내 주고, 저비저항체의 지하심부로의 연속성을 보이는 지점도 수개소 존재하고 있다. 일반적으로 지하심부로 향할수록 저비저항에서 고비저항으로의 급격한 변화는 충적층에서 기반암체로의 변화를 의미하는 것으로 그 변화대의 수평적인 요철은 기반 암체의 풍화도의 정도에 의해 또는 구하상의 존재에 의한 기반암의 심도 차이로 나타나는 것으로 해석된다.

측점 26~28 사이에 나타나는 저비저항체의 지하심부로의 연속성은 N45W 방향의 선구조선과 연관된 지질구조대의 존재로 해석되어지며, 측정 14~17과 측정 40~42 사이의 저비저항의 지하심부 연속성 또한 지하지질 구조대로 판단된다. 측정 44~61사이의 중비저항대는 기반암을 구성하는 경상계 퇴적층내에서의 어떤 암상변화나 관입암체의 존재에 따른 비저항분포로 해석되어지나 확인을 위해서는 시추조사가 수행되어야만 한다.

지하수조사를 목적으로 하는 탐사에서는 저, 중, 고비저항체의 비저항값의 변화가 급격한 지점에 대수층의 존재가능성이 높으므로 측정 14, 19, 26, 28, 40, 47~48 및 61~62 지점에서 지하수의 암반 대수층 유로형성 가능성이 높은 것으로 해석된다.

○ 측선 E5-1

본 측선은 충적층의 심도변화를 정밀하게 파악하기 위하여 측정간격을 5m로 설정하여 측선 E5의 17번 측정점을 중심으로 남북 방향으로 각각 100m씩 가탐심도 25m를 탐사 수행하였다. 그림. 4-14 탐사결과도의 2차원 비저항 단면 구조도에서 충적층의 심도는 대략 5~13m로 변화함을 알 수 있다.

○ 측선 E6

측선 E6은 길곡면 길곡리의 계곡연장을 따라 남북 방향으로 측선을 설정하여 비저항 분포를 탐사하였으며, 측선연장이 3.3km에 달하여 해석시는 CD-6-1, CD-6-2 및 CD-6-3으로 분리하여 전산해석을 수행하였다. 그림. 4-15 쌍극자탐사 결과도는 본측선의 전산해석 결과중 2차원 비저항 단면구조도만을 수록한 것으로 지하심부로 향할수록 저비저항체에서 고비저항체로의 수직적 변화를 잘 나타내고 있다. 측정 -2, 4, 23, 27, 44, 61 지점의 저비저항체의 지하심부로의 연속성은 지질 구조대의 발달과 발달과 연관된 것으로 해석되며, 측정 7~14, 33~44에서 나타나는 저비저항대는 기반암중의 상변이나 관입암체의 존재에 의해 나타나는 것으로 유추된다.

○ 측선 E7

본 측선은 부곡면 청암리 경지정리 지구에서 극저주파 탐사 측선 3008에 평행하게 3010에 엇갈리게 남북으로 측선을 설정하여 비저항 분포를 탐사하였다. 그림. 4-16 탐사결과도의 2차원 비저항 단면 구조도에서 심도증가에 따라 비저항 값이 점차 증가하는 양상이 잘 나타나며, 특별한 지하심부의 저비저항 이상대는 나타나지 않으나 측정 3-6 사이에서 비저항 값의 분포가 저~중 사이의 값을 나타내는 것은 기반암 내에 비저항치를 달리하는 암석의 관입에 의한 영향으로 판단된다.

○ 측선 E8

측선 E8은 부곡면 구산리 경지정리 지구에서 남북 방향으로 측선을 설정하여 탐사하였으며, 비교적 낮은 225-m 이하의 비저항 분포를 나타낸다. 그림. 4-17탐사결과도의 2차원 비저항 단면 구조도에서 측정 28~39, 34~35 사이에서 지하수부존에 유리한 저비저항대가 존재한다.

○ 측선 E9

측선 E9는 부곡면 온정리 마을앞 경지정리 지구에서 남북 방향으로 측선을 설정하여 탐사하였으며, 측선연장이 2.4km에 달하여 해석시는 E9-1과 E9-2로 분리하여 전산해석을 수행하였다. 그림. 4-18과 그림. 4-19 탐사 결과도의 2차원 비저항 단면구조도에서 뚜렷한 저비저항대의 지하심부 연속성은 나타나지 않으나 측정 15, 18~19, 34~37에서 다층 미약하지만 저비저항체의 존재가 나타난다. 측정 18~19는 N15W 방향에 선구조에 연관된 구조대로 해석되며, 측정 15, 34~37 또한

또한 지질구조대의 존재의 나타나는 저비저항 이상대로 판단된다.

나. 전기비저항 수직탐사

지층 및 암석은 각각 다른 전기적 성질을 가지고 있다. 이러한 지층 및 암석의 분포상태에서 나타나는 전기적 성질의 차이를 이용하여 지하수개발에 응용하고 있다. 전기비저항 탐사는 전도율이 서로 상이한 지층 혹은 암석으로된 지중에 인위적으로 전류를 흐르게하여 전류 I 와 전위차 V를 이용하여 비저항치를 계산하여 지층 및 암석분포 등을 추정하는 것이다.

암석을 구성하는 광물 자체는 일반적으로 전기부도체로 볼 수 있다. 따라서 전기전도율은 암석의 구성광물보다 암석을 구성하고 있는 광물과 광물사이의 공극이나 2차 유효공극 내에 함유되어 있는 지하수와 지하수의 수질에 크게 좌우된다.

일반적으로 미고결 퇴적물인 충적층 및 풍화작용을 받은 풍화대는 공극률(Porosity)이 큰 만큼 고결암에 비하여 같은 조건에서는 수분을 함유할 수 있는 조건이 좋으므로 전기전도도가 크고 비저항치는 작아진다. 또한, Sand, Gravel, Conglomerate 등의 경우는 공극이 액체로 채워져 있어서 액체의 전해질 농도에 따라 비저항치가 좌우되며, 암반내에 발달된 2차 유효공극인 파쇄대와 같은 지질구조대는 소량의 파쇄점토물질을 함유하고 있을 뿐만 아니라 포화대 내에서는 지하수를 상당량 포함하고 있으므로 전기비저항치는 비파쇄암보다 훨씬 적게 나타난다.

전기비저항 수직탐사는 Vertical Electric Sounding(VES)이라고도 하며, 지표면상의 한 점에서 그 하부의 심도에 따른 전기비저항의 변화를 측정하고, 그 결과를 다른 지질학적인 정보 및 내지는 지식과 대비시켜 지하의 구조를 더 상세히 파악하고자 하는 데에 있다. 수직탐사는 대지에 공급되는 전류가 전류전극 사이의 간격이 넓어질수록 더 깊은 곳을 통과한다는 사실에 기초하고 있다. 즉, 전류전극 간의 간격이 넓을수록 심부의 정보를 반영하게 된다.

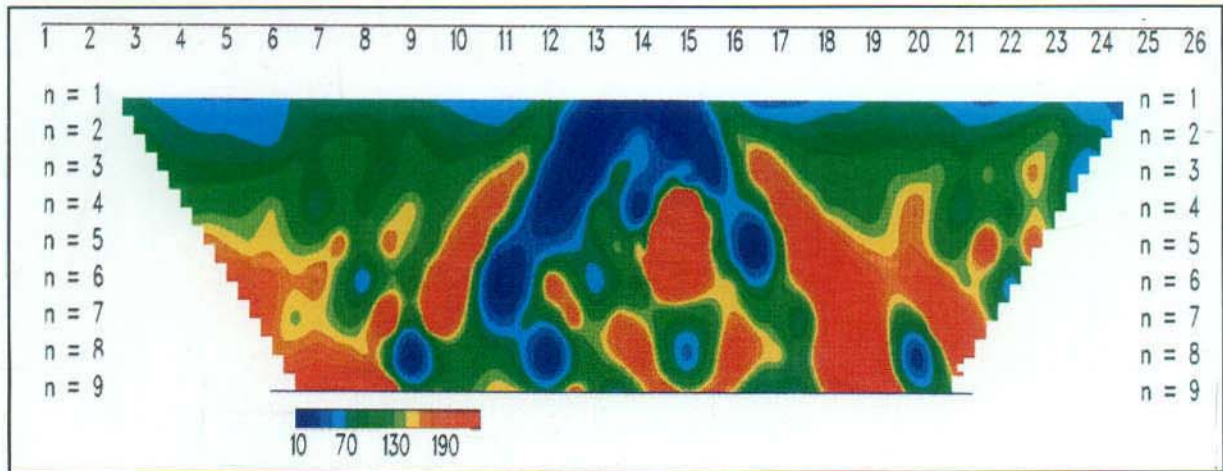
수직탐사법은 전극배열 방식에 따라 여러 가지로 분류되지만 대체로 Wenner 또는 Schlumberger 배열법이 사용된다. Wenner 배열법은 중심점을 그대로 유지하면서 전위와 전류전극의 간격을 바깥쪽으로 점차 증가시키면서 사용한다. 한편, Schlumberger배열법에서는 중간 전위전극을 고정하고, 두 전류전극 사이의 간격을 중간지점을 중심으로 넓혀 가면서 측정을 수행한다. 이 방법은 앞의 웨너 배열에 비하여 전류전극만을 이동시키므로 작업이 간편하고 지표의 국부적 이상체에 의한 영향이 전 자료에 균일하게 나타나므로, 자료획득 및 해석이 편리하다.

본 조사에서는 이러한 이유로 인하여 수직탐사시에는 슬럼버저 배열을 사용하였고, 배열법은 그림. 4-20과 같다.

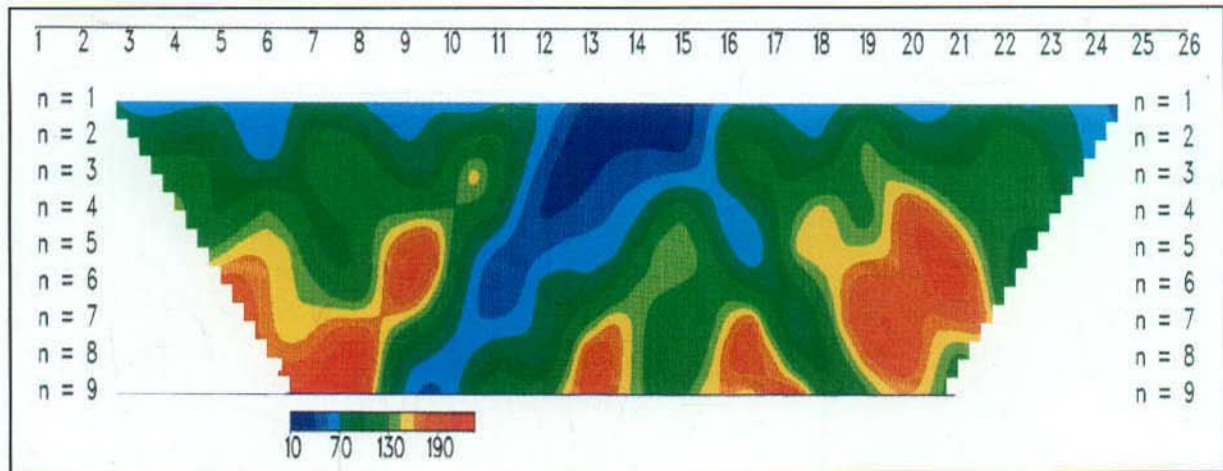
Schlumberger 배열 수직비저항 탐사는 전위전극 간격을 적당한 거리로 고정하고, 전류전극 간격

여 백

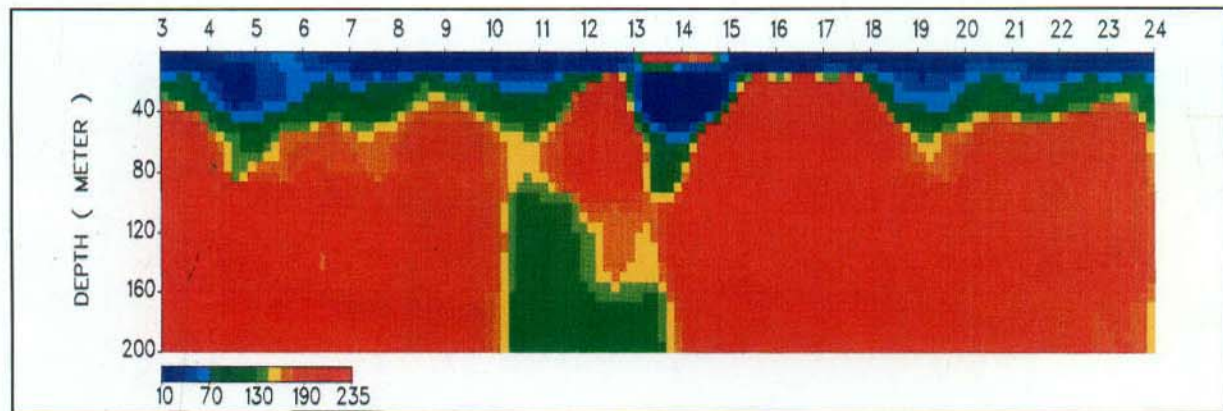
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



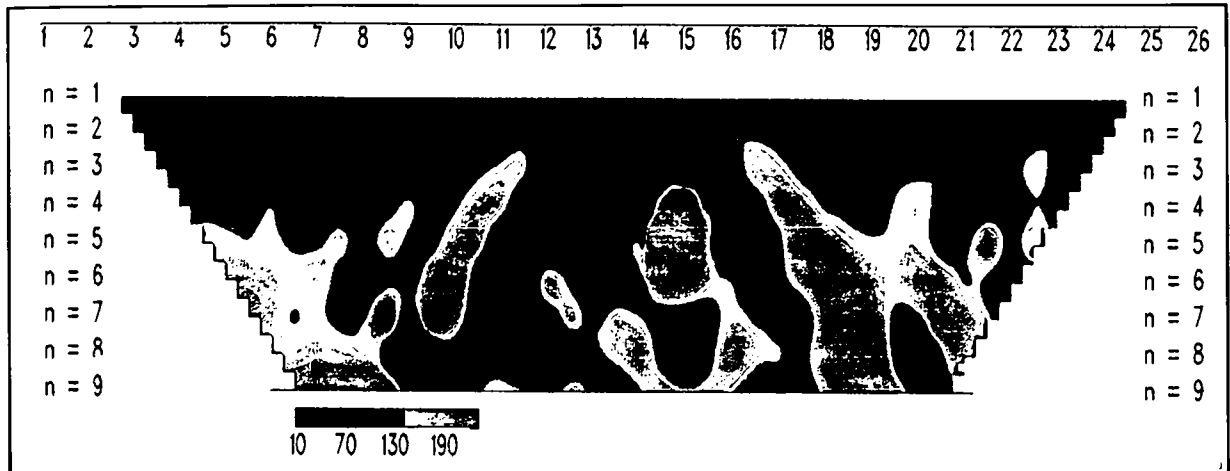
2-D Resistivity Structure



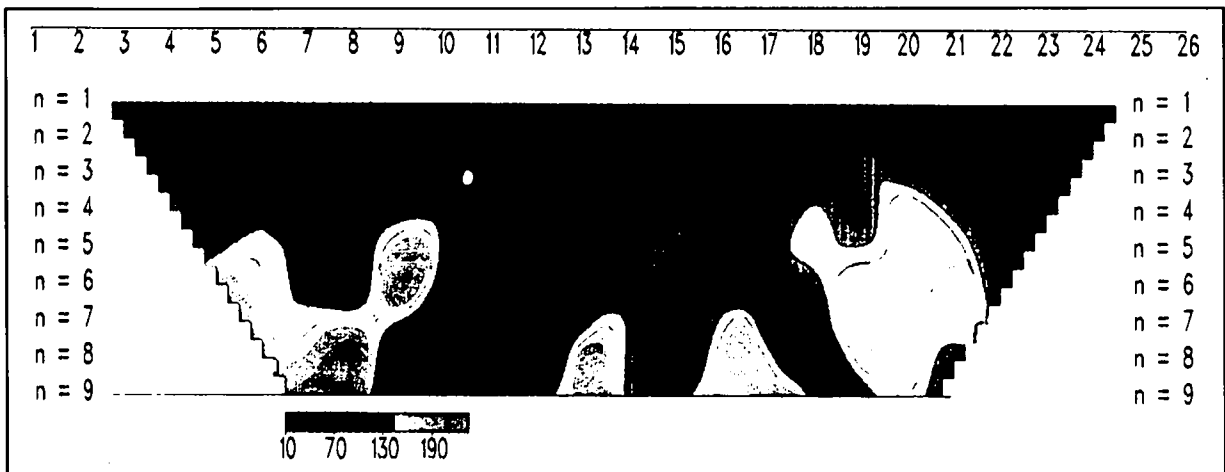
Line No. = E1 Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-9> 축선 E1 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

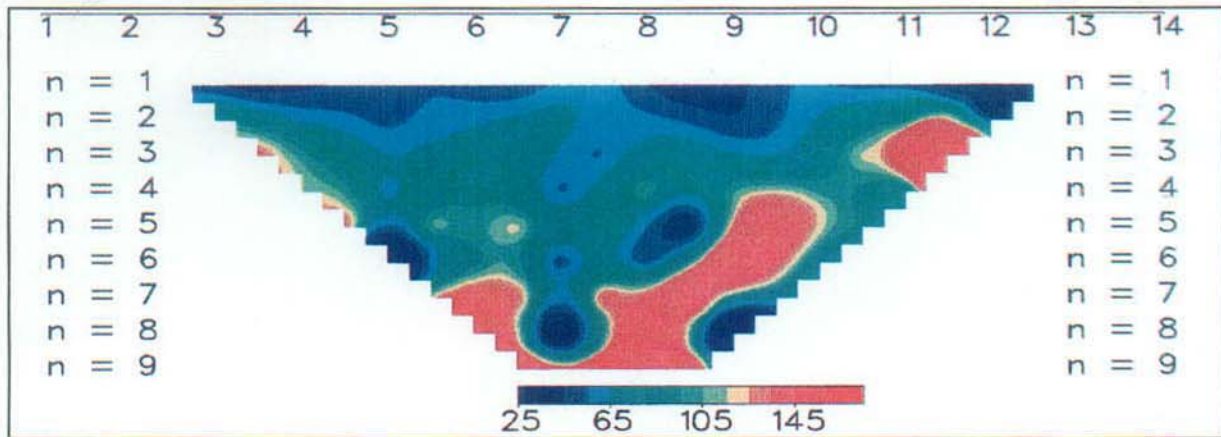


Line No. = E1 Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-9> 축선 E1 쌍극자탐사 결과도

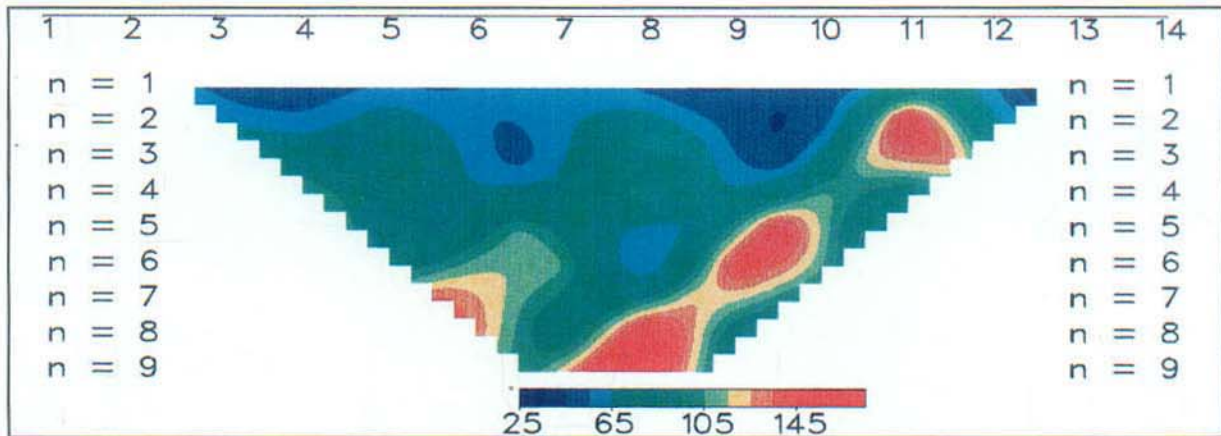
여 백

Field Data Pseudosection



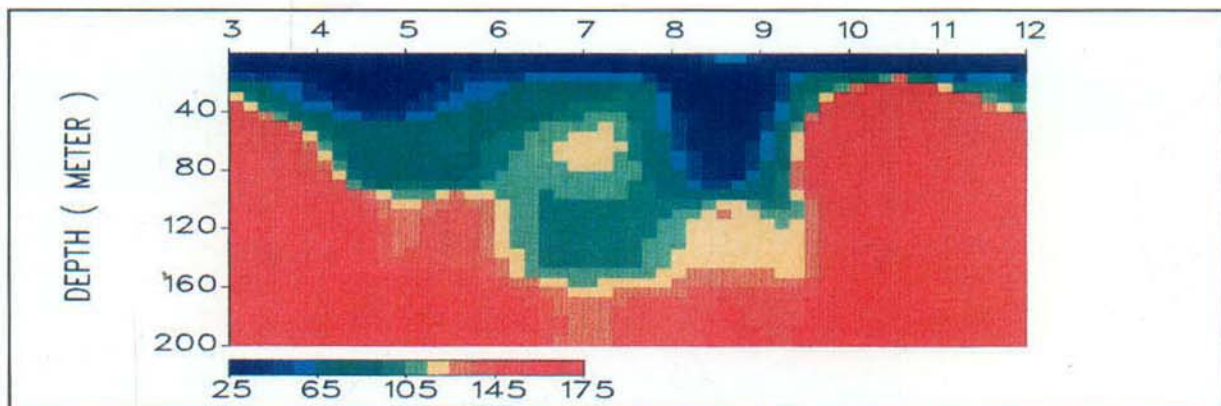
Line No. = E2 Area = CHANG

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E2 Area = CHANG Dipole Spacing = 40 meter

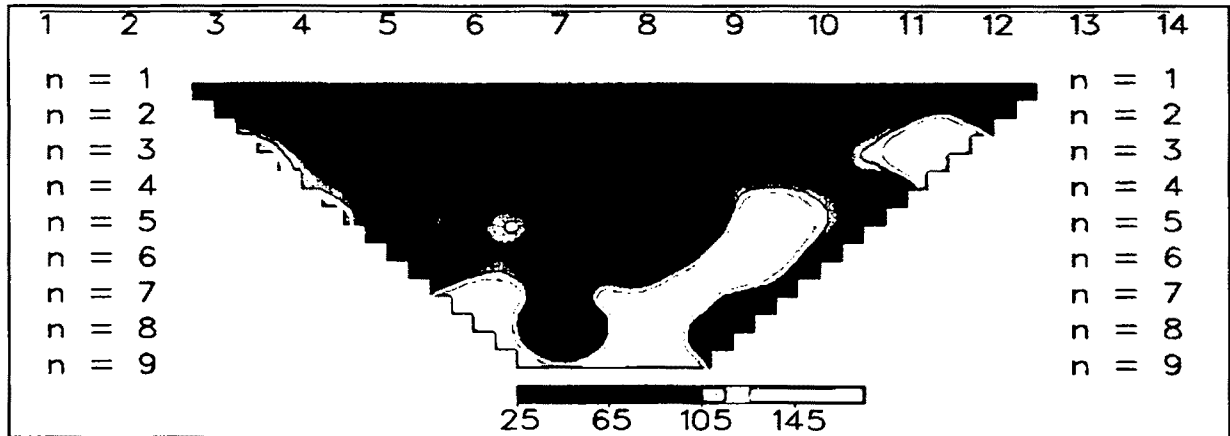
2-D Resistivity Structure



Line No. = E2 Dipole Spacing = 40 meter

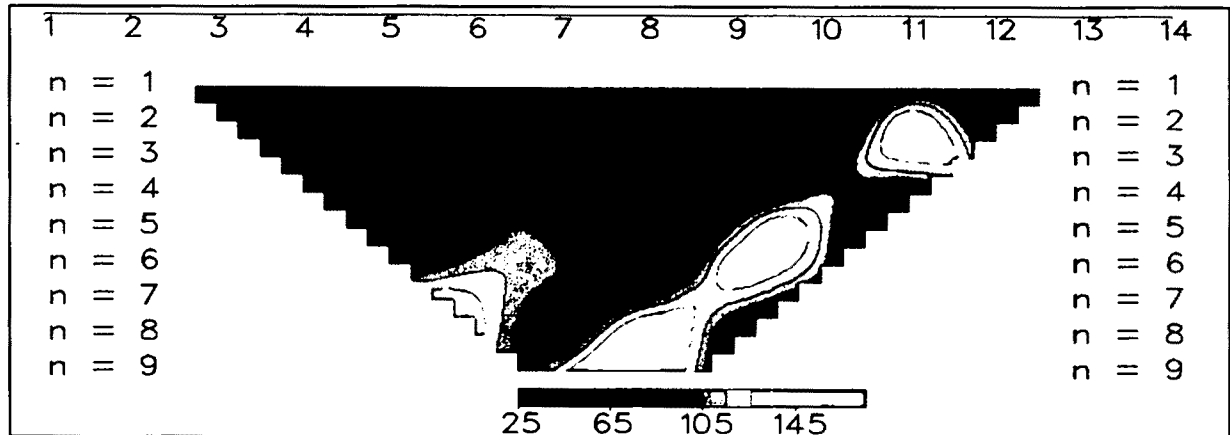
<그림 4-10> 축선 E2 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



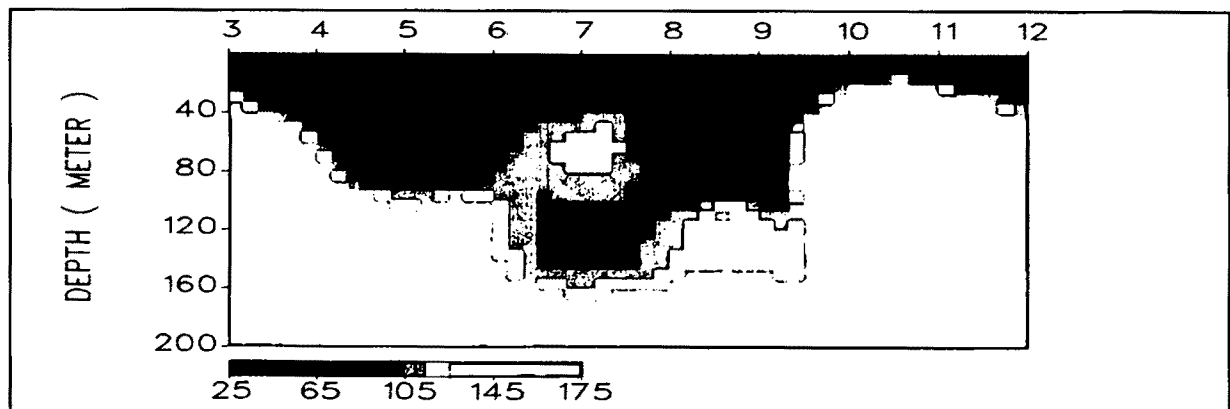
Line No. = E2 Area = CHANG

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E2 Area = CHANG Dipole Spacing = 40 meter

2-D Resistivity Structure

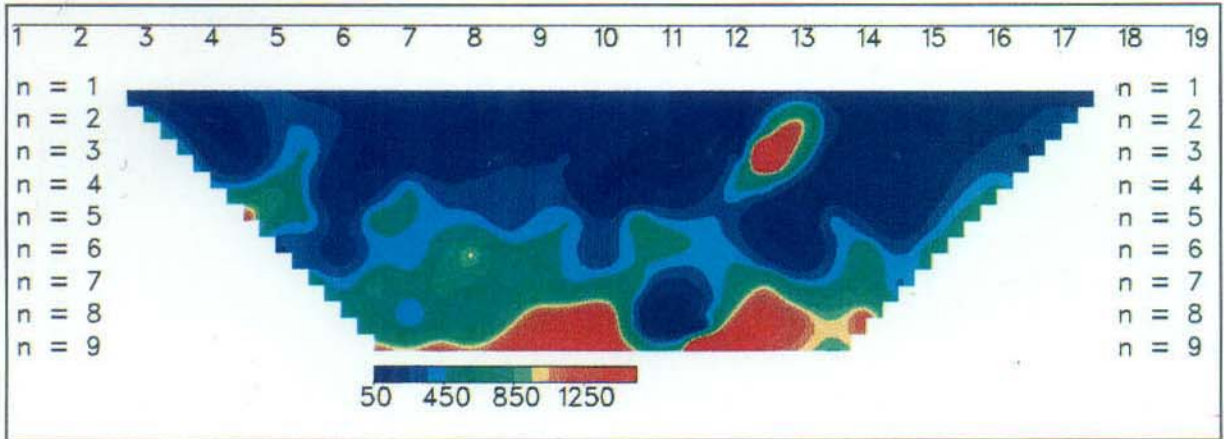


Line No. = E2 Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-10> 축선 E2 쌍극자탐사 결과도

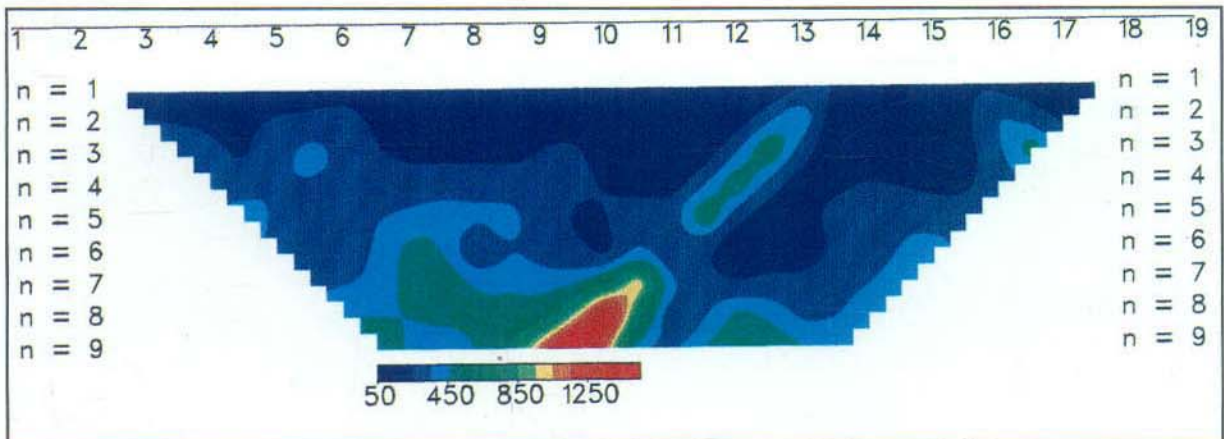
여 백

Field Data Pseudosection



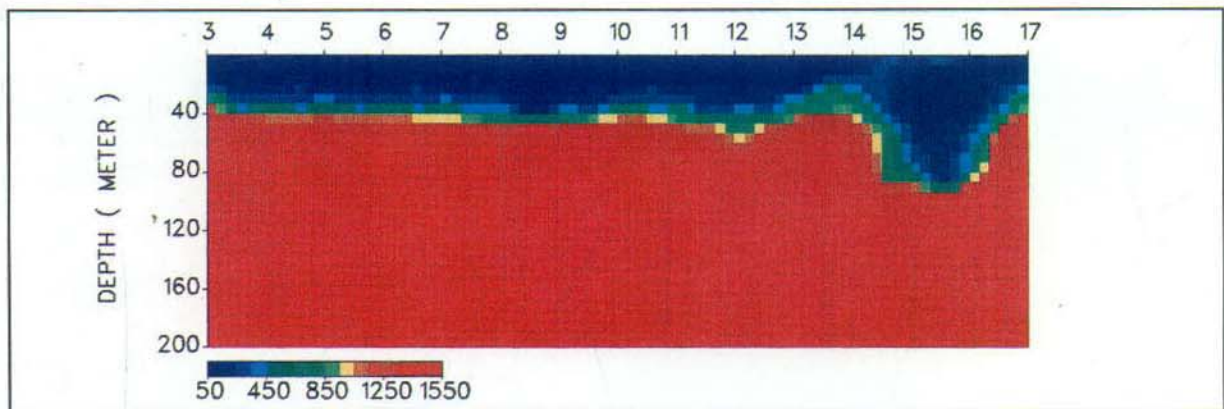
Line No. = E3 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E3 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

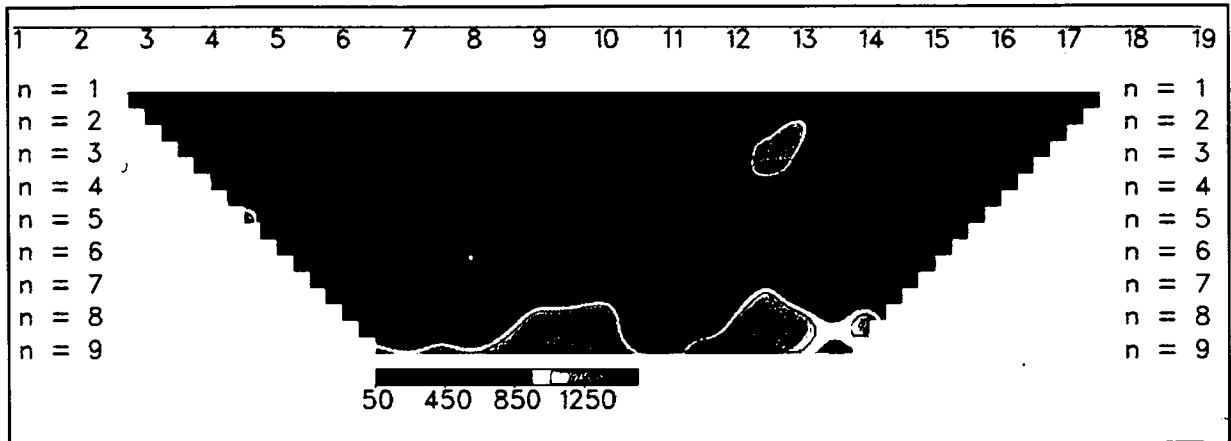
2-D Resistivity Structure



Line No. = E3 Dipole Spacing = 40 meter

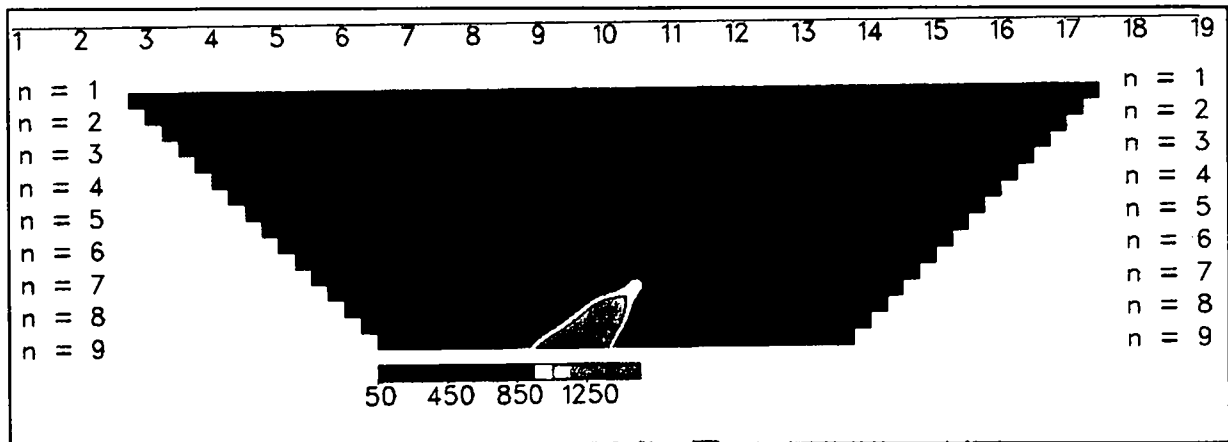
<그림 4-11> 측선 E3 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



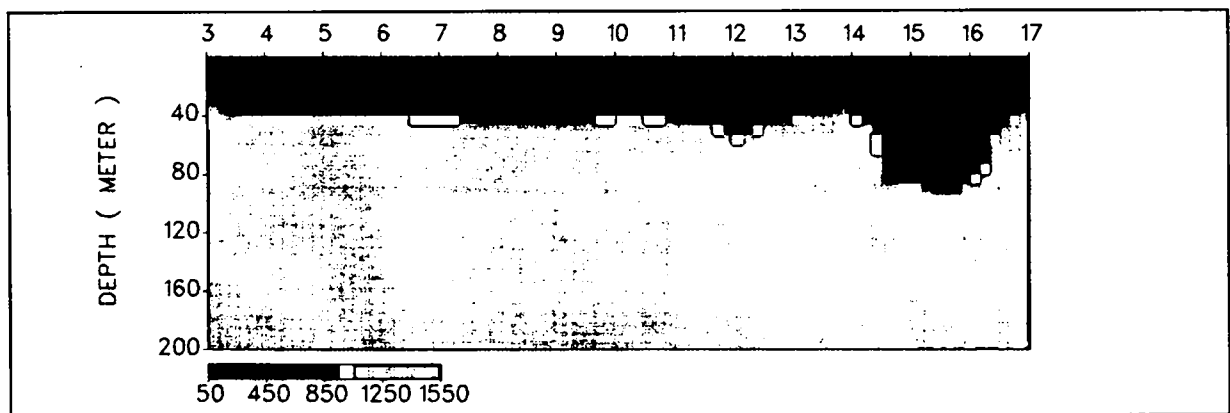
Line No. = E3 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E3 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

2-D Resistivity Structure

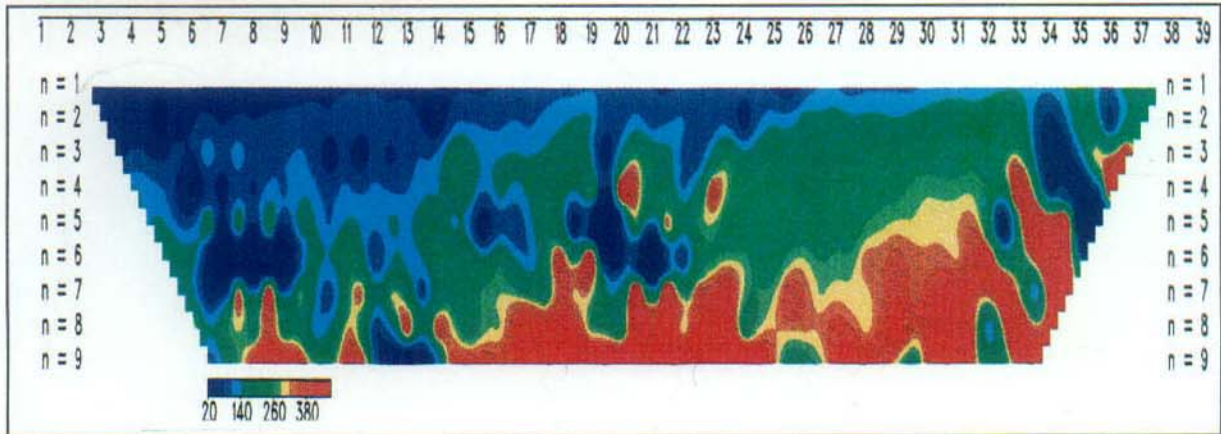


Line No. = E3 Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-11> 측선 E3 쌍극자탐사 결과도

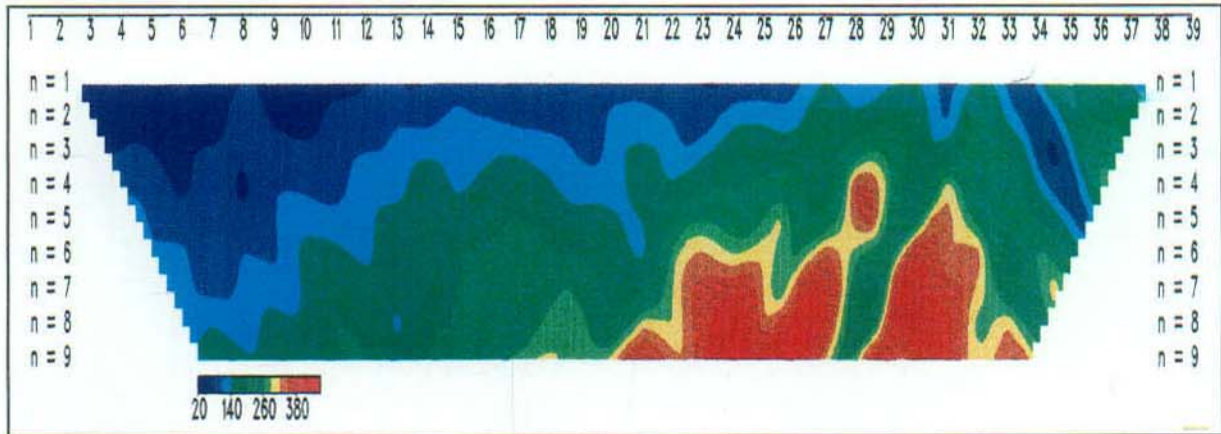
여 백

Field Data Pseudosection



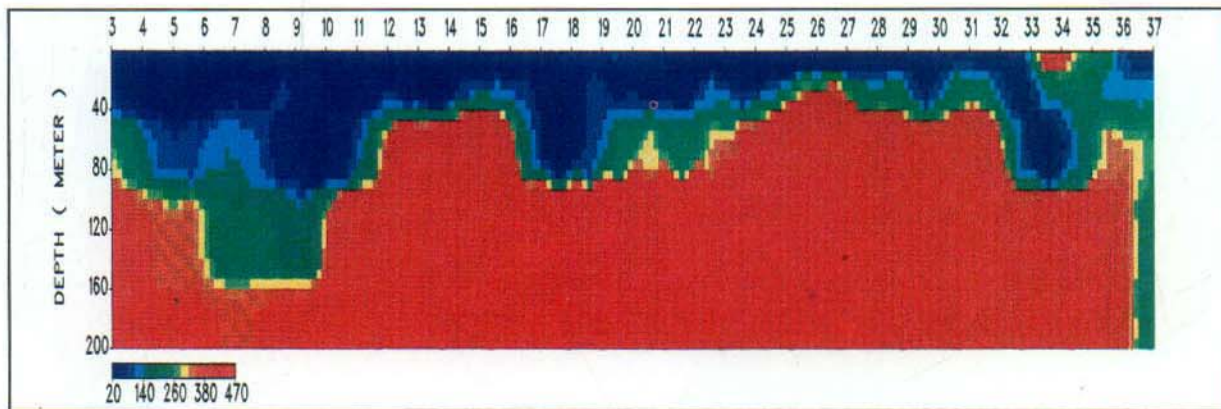
Line No. = E4 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E4 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

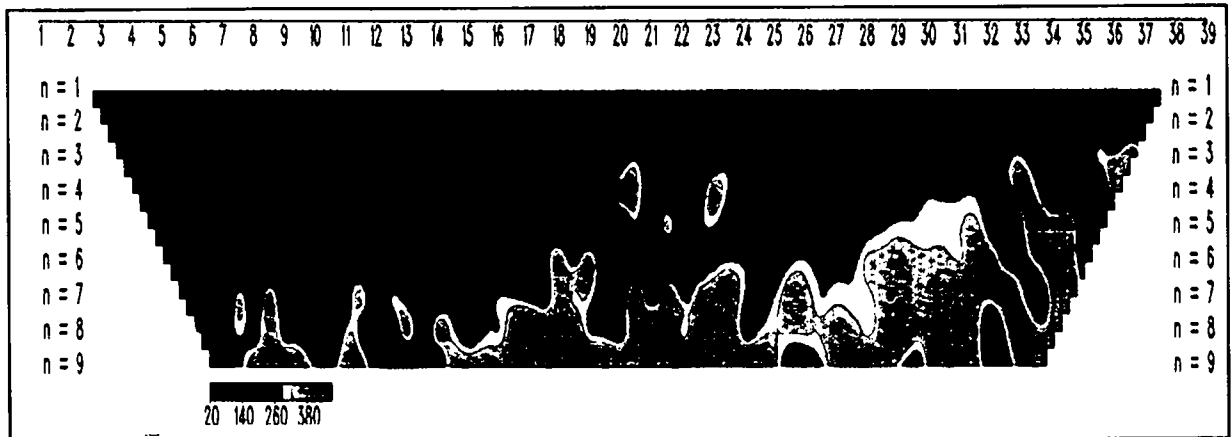
2-D Resistivity Structure



Line No. = E4 Dipole Spacing = 40 meter

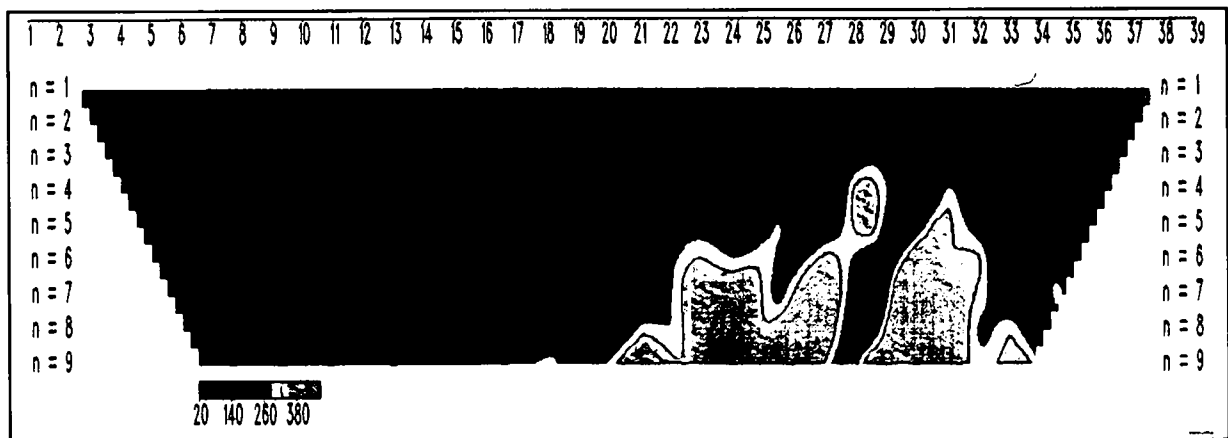
<그림 4-12> 축선 E4 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



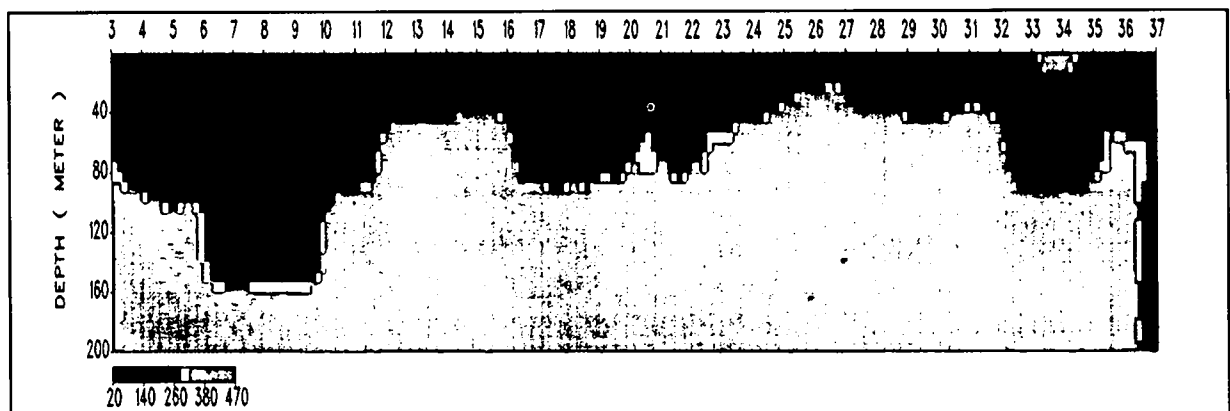
Line No. = E4 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E4 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

2-D Resistivity Structure

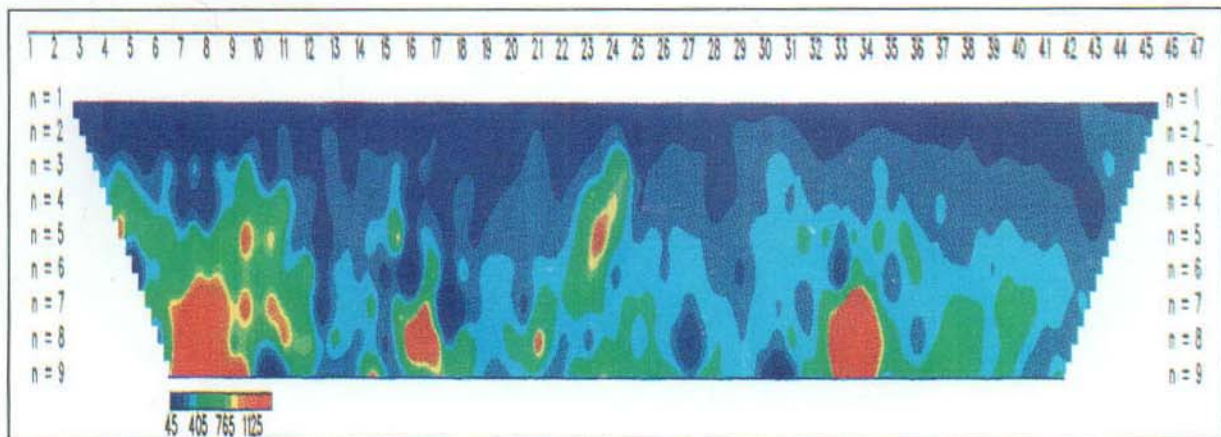


Line No. = E4 Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-12> 축선 E4 쌍극자탐사 결과도

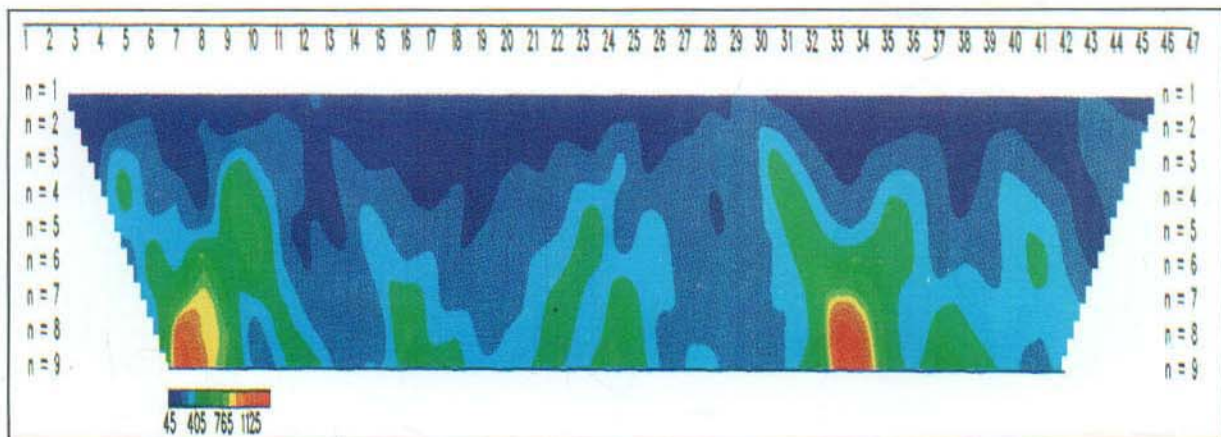
여 백

Field Data Pseudosection



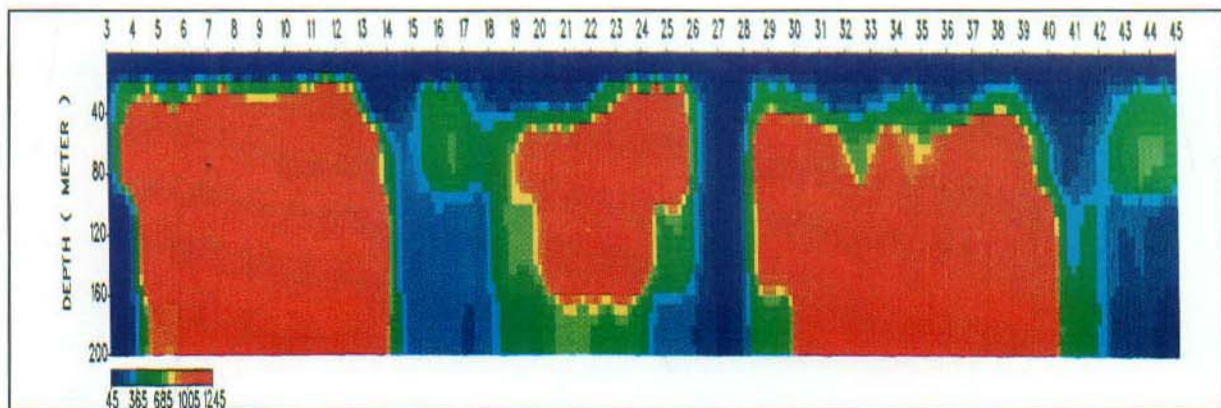
Line No. = E5-1 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E5-1 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

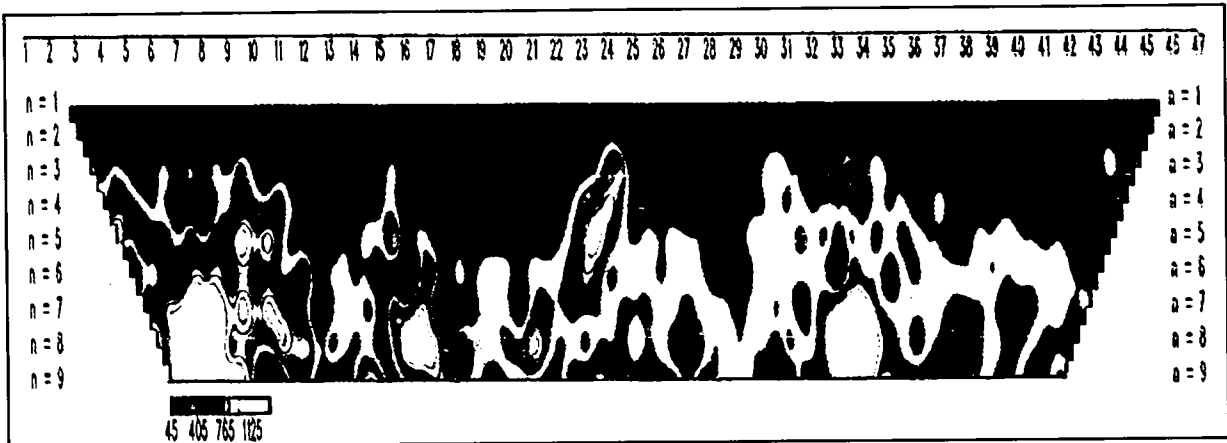
2-D Resistivity Structure



Line No. = E5-1 Dipole Spacing = 40 meter

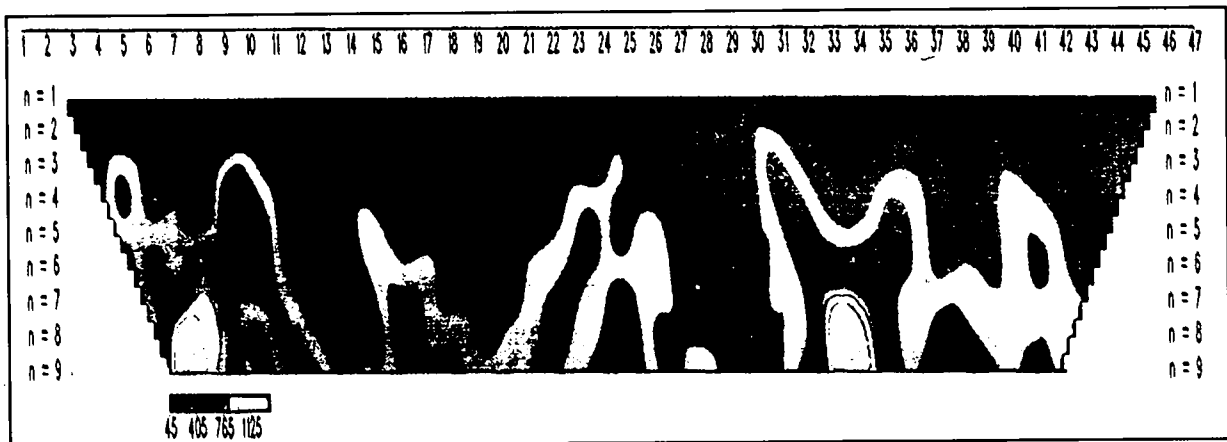
<그림 4-13> 축선 E5-1 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



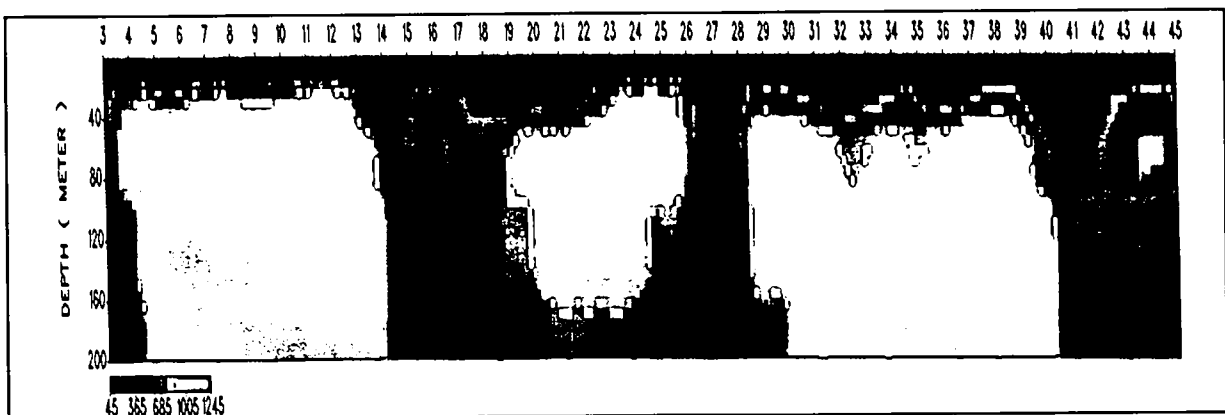
Line No. = E5-1 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E5-1 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

2-D Resistivity Structure

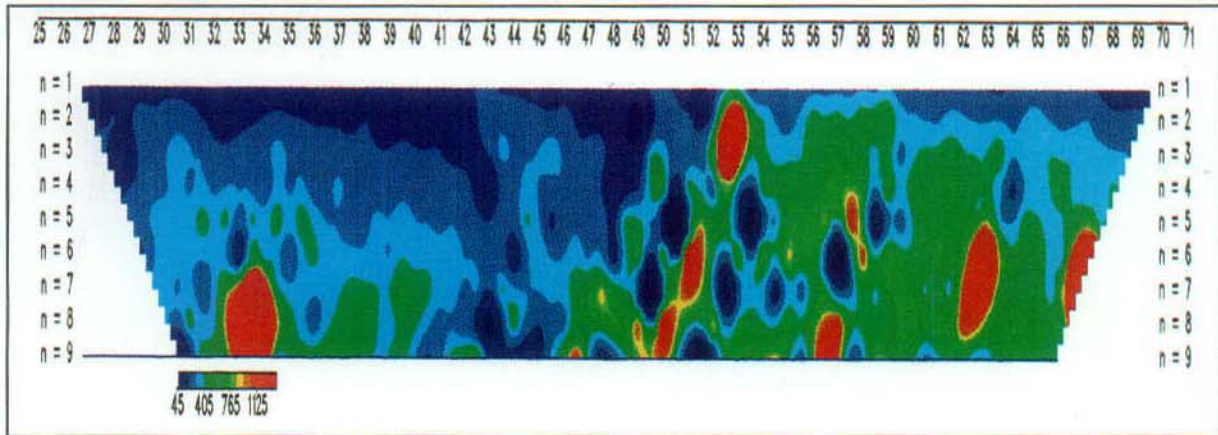


Line No. = E5-1 Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-13> 축선 E5-1 쌍극자탐사 결과도

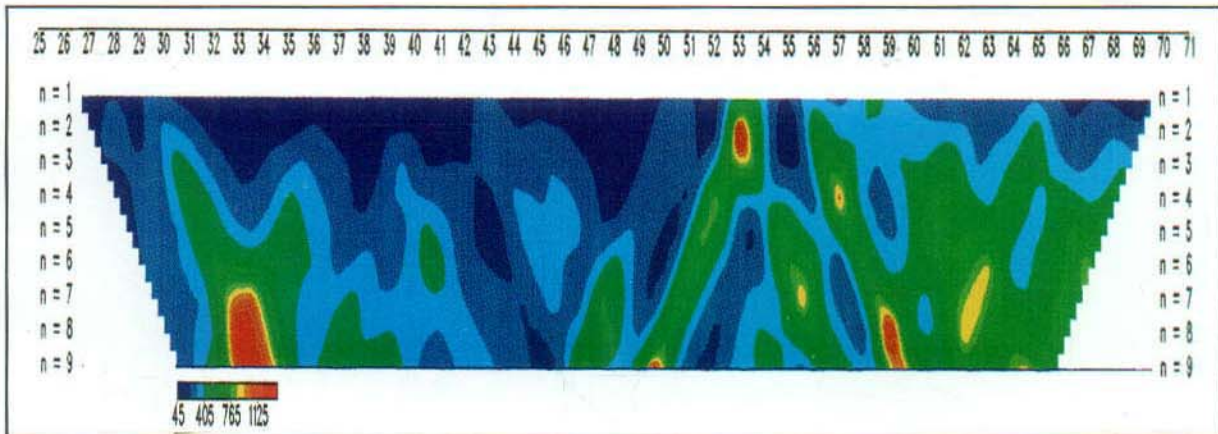
여 백

Field Data Pseudosection



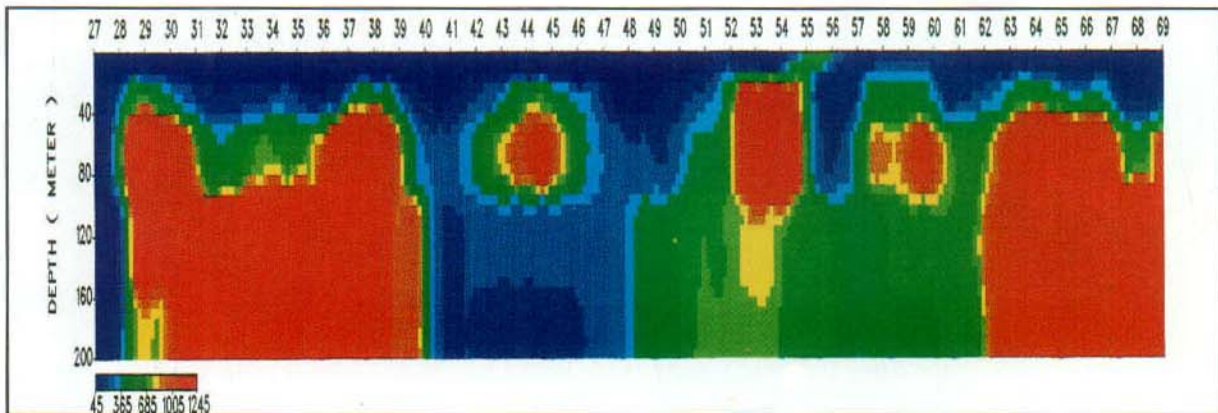
Line No. = E5-2 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E5-2 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

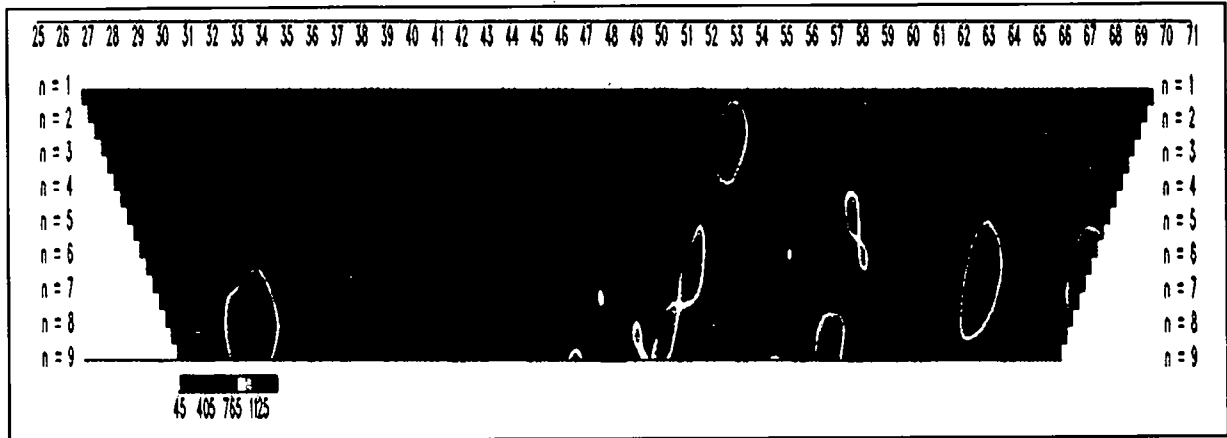
2-D Resistivity Structure



Line No. = E5-2 Dipole Spacing = 40 meter

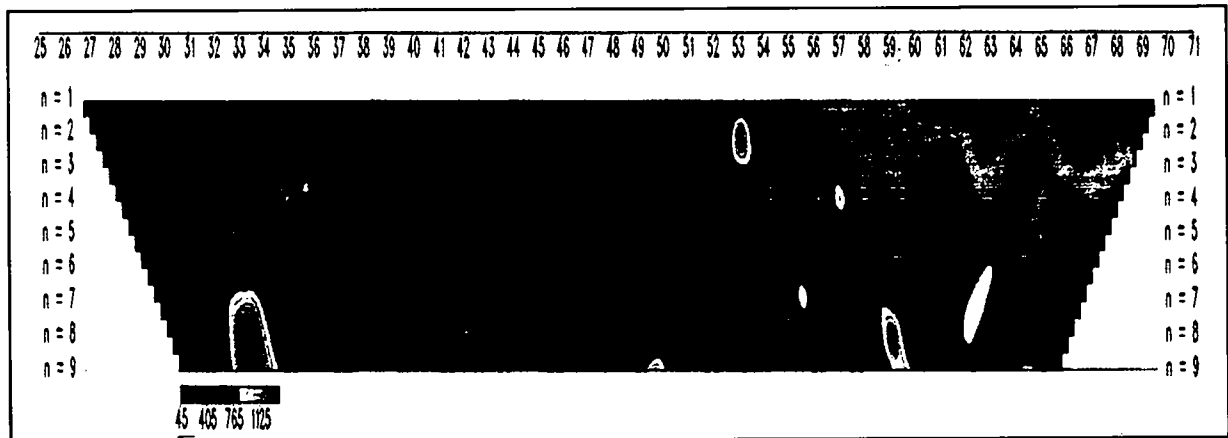
<그림 4-14> 축선 E5-2 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



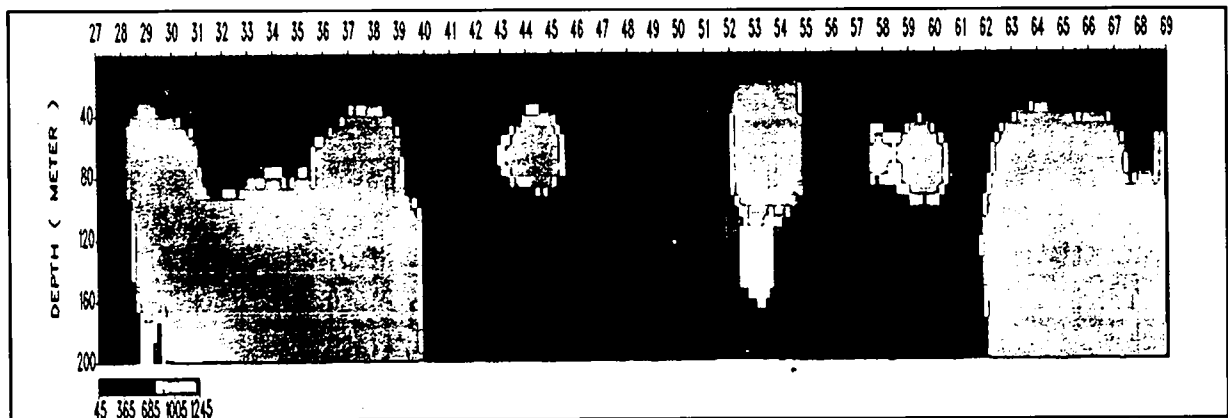
Line No. = E5-2 Area = CHANG DO

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E5-2 Area = CHANG DO Dipole Spacing = 40 meter

2-D Resistivity Structure

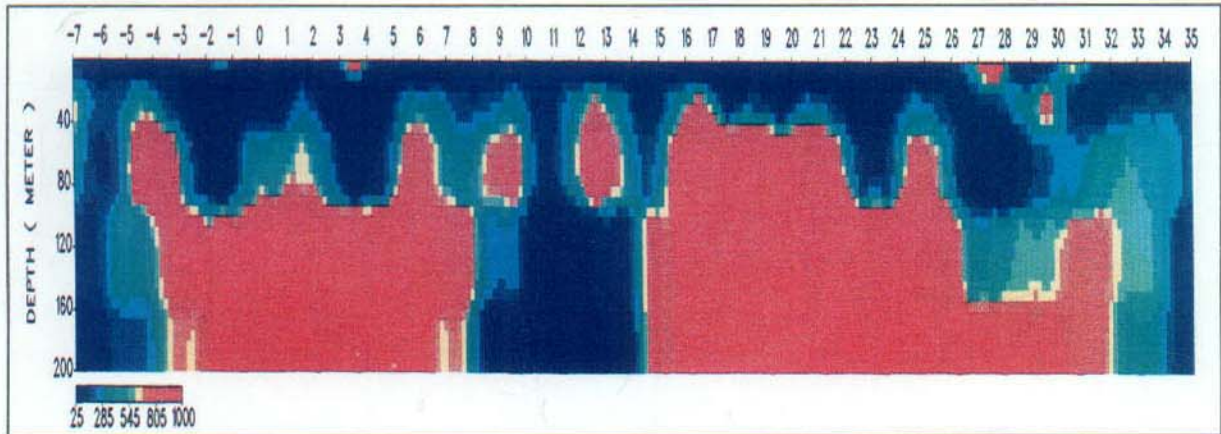


Line No. = E5-2 Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-14> 축선 E5-2 쌍극자탐사 결과도

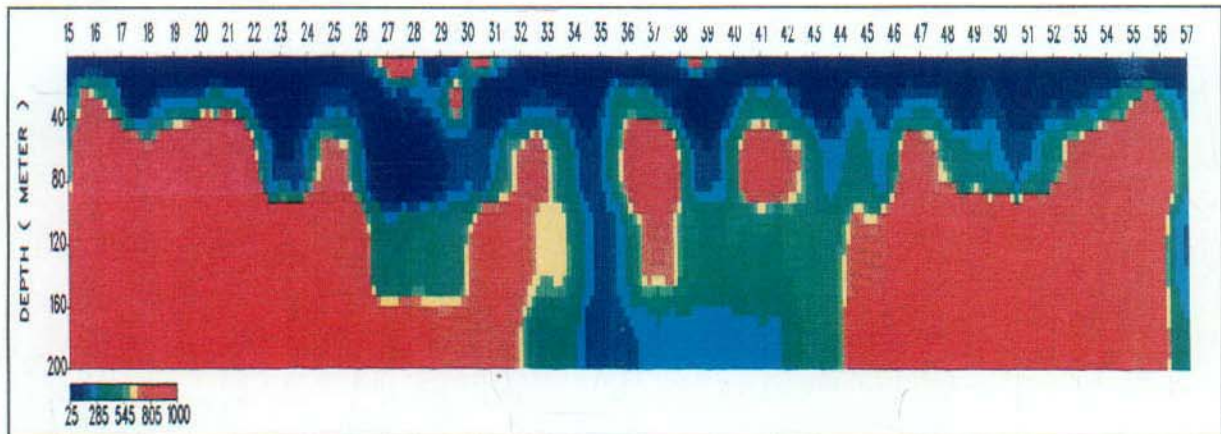
여 백

Field Data Pseudosection



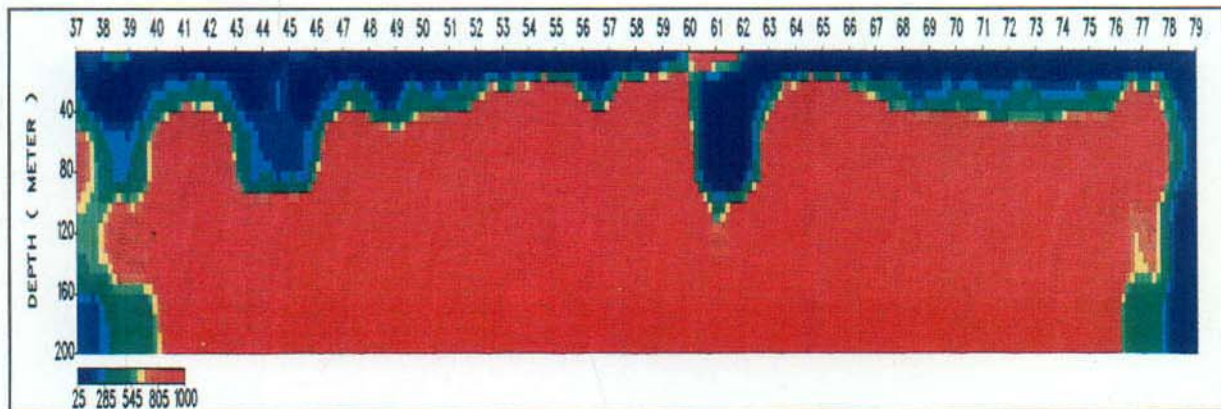
Line No. = E6 Dipole Spacing = 40 meter

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E6 Dipole Spacing = 40 meter

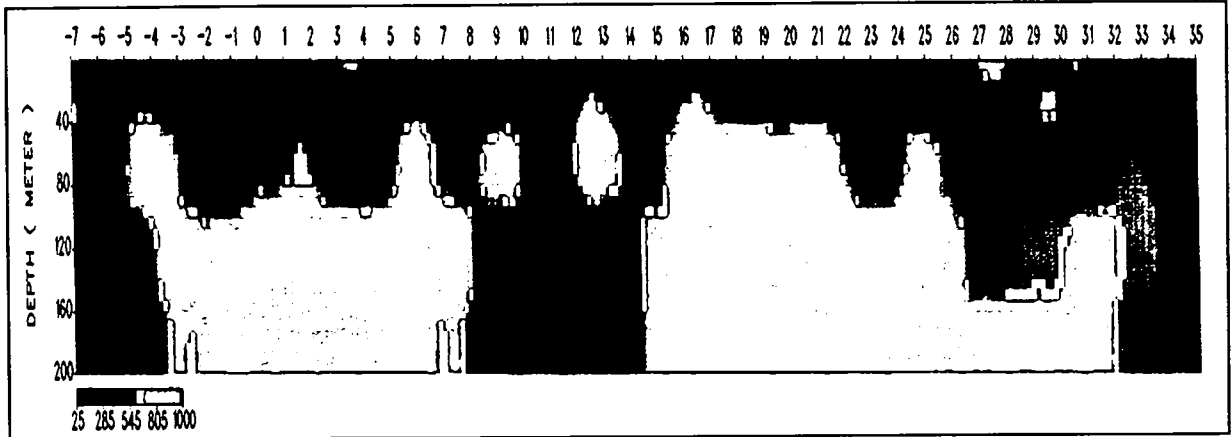
2-D Resistivity Structure



Line No. = E6 Dipole Spacing = 40 meter

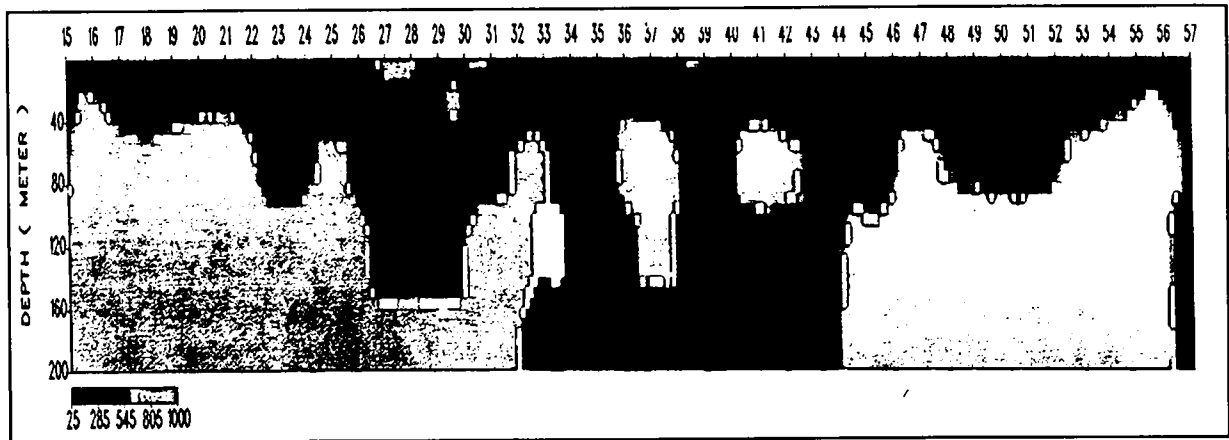
<그림 4-15> 축선 E6 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



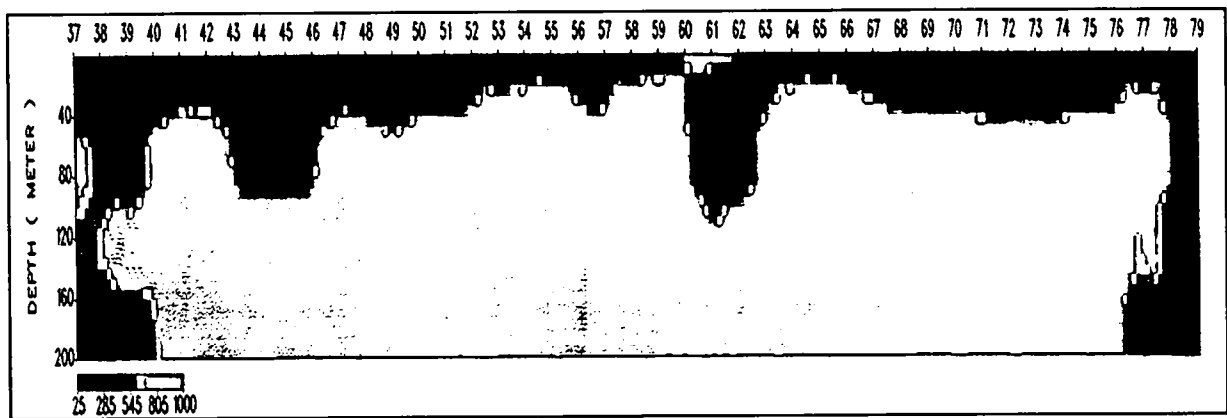
Line No. = E6 Dipole Spacing = 40 meter

Theoretical Data Pseudosection



Line No. = E6 Dipole Spacing = 40 meter

2-D Resistivity Structure

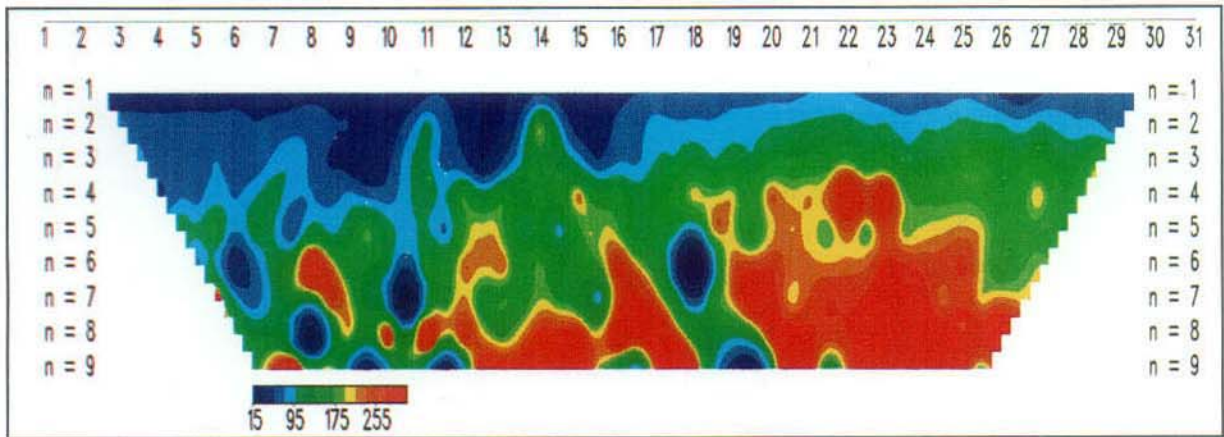


Line No. = E6 Dipole Spacing = 40 meter

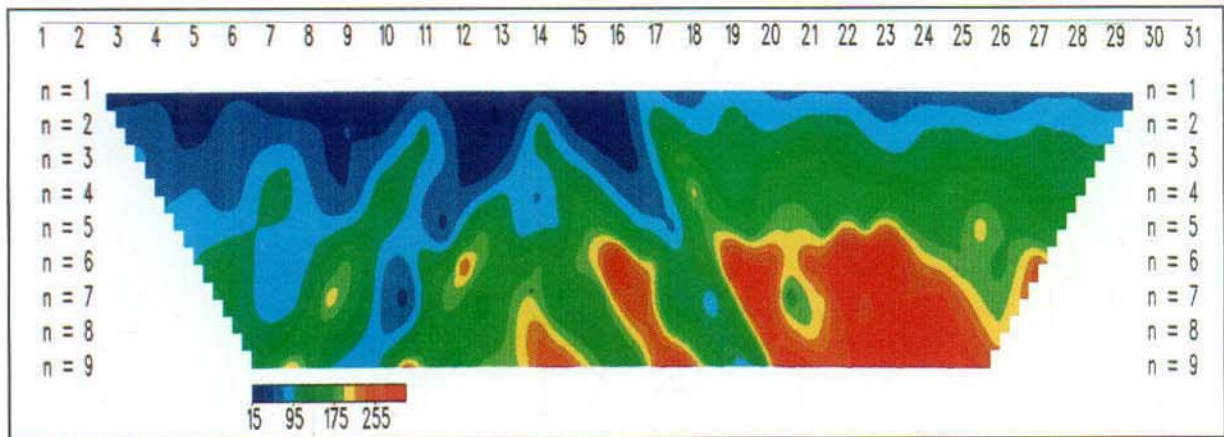
<그림 4-15> 측선 E6 쌍극자탐사 결과도

여 백

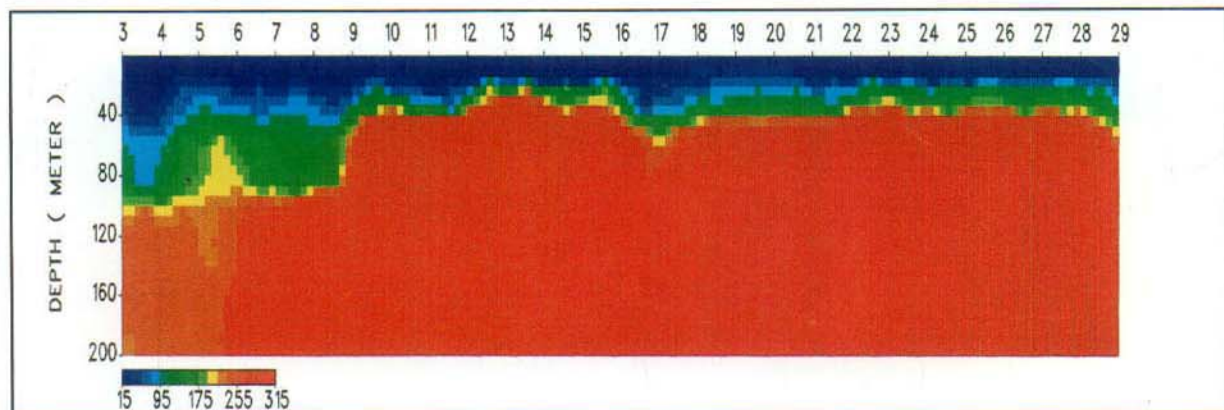
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

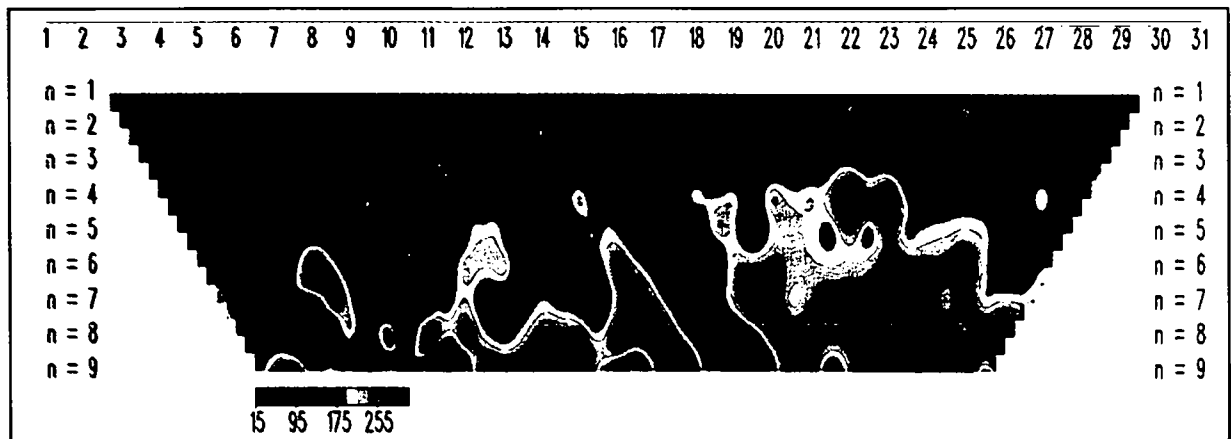


Line No. = E7

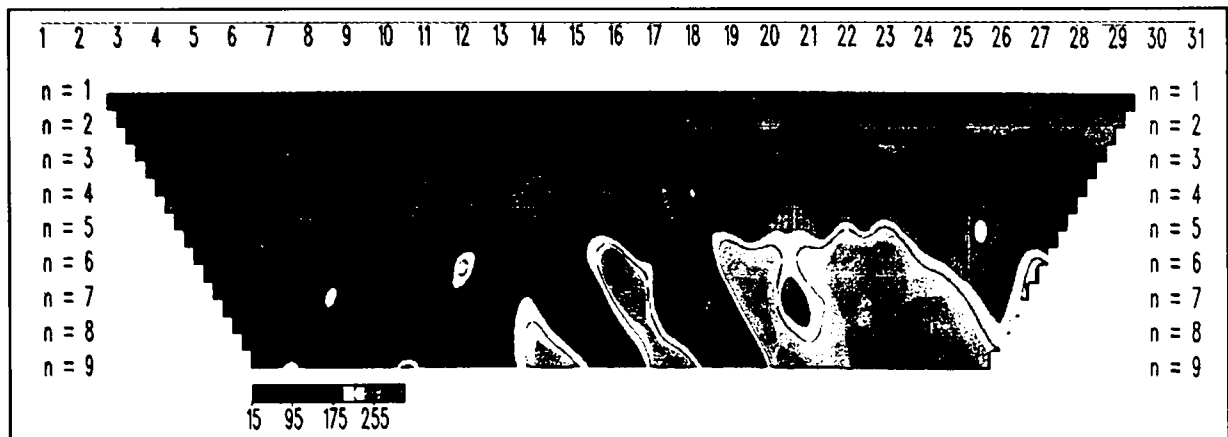
Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-16> 측선 E7 쌍극자탐사 결과도

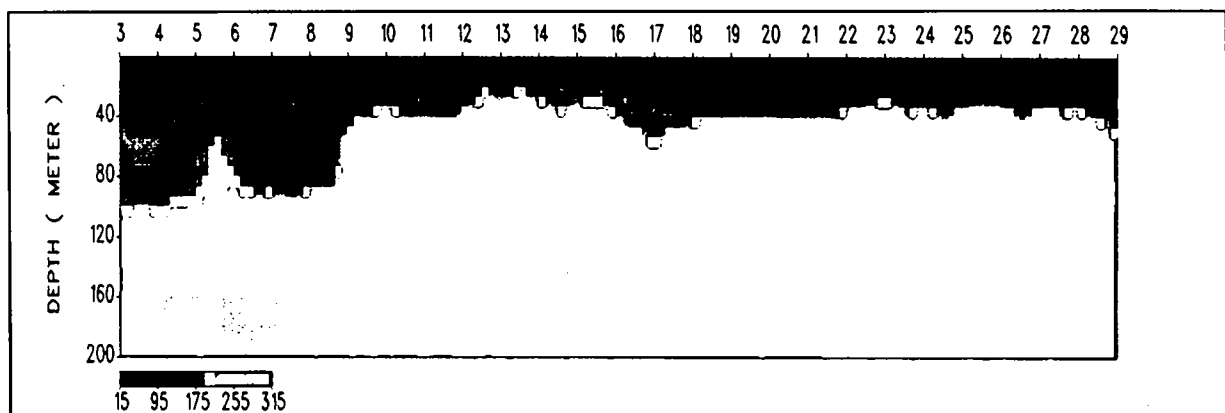
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



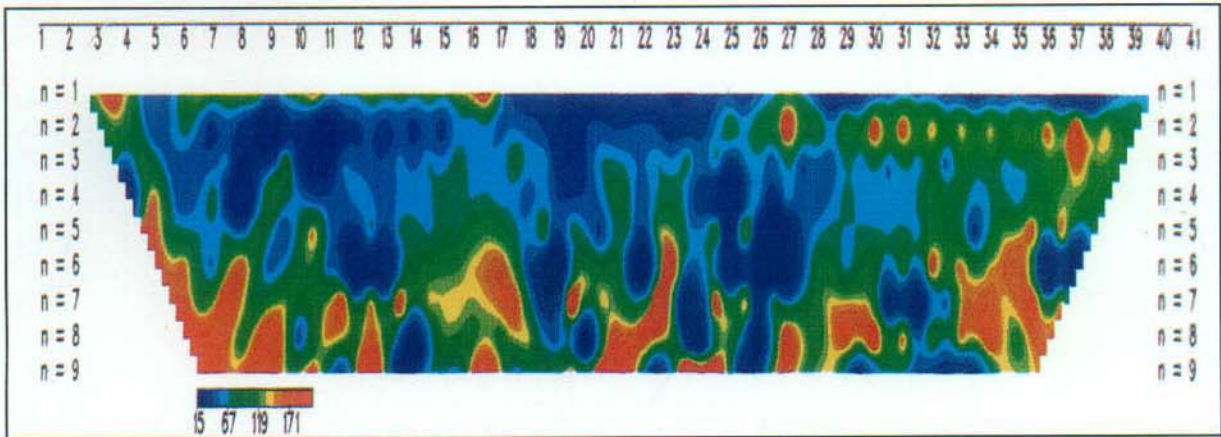
Line No. = E7

Dipole Spacing = 40 meter

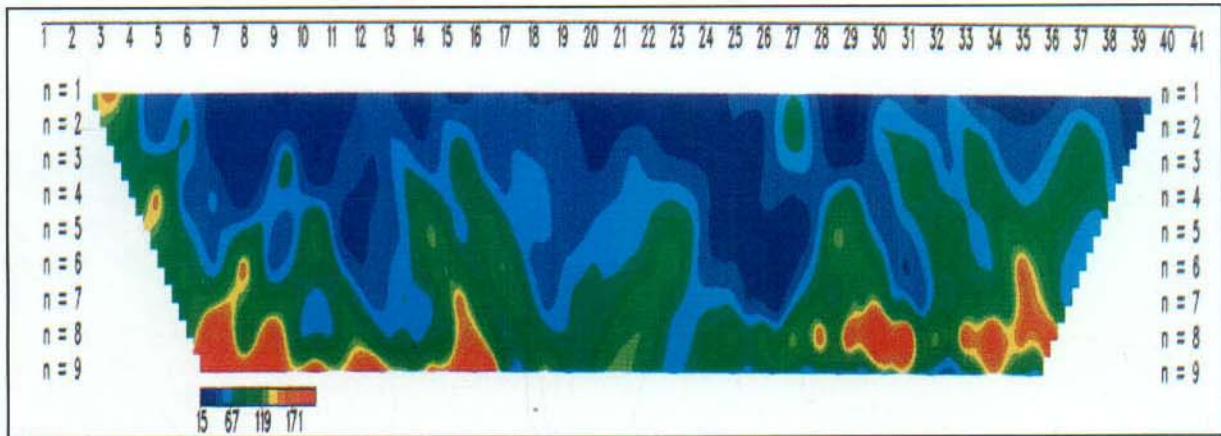
<그림 4-16> 측선 E7 쌍극자탐사 결과도

여 백

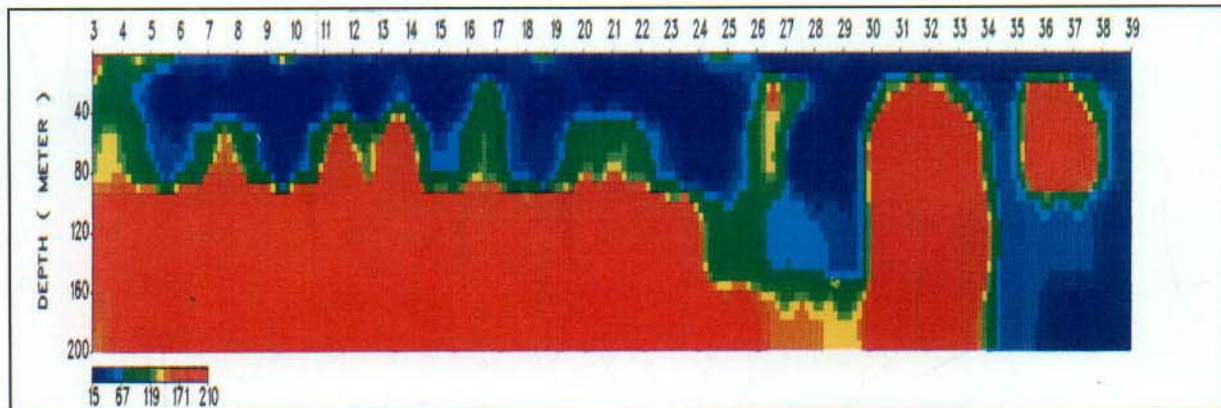
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

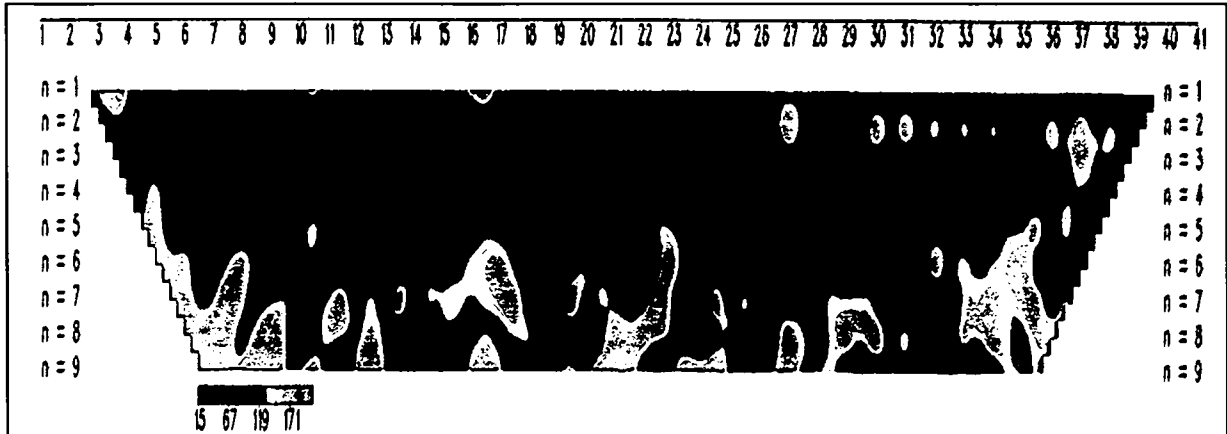


Line No. = E8

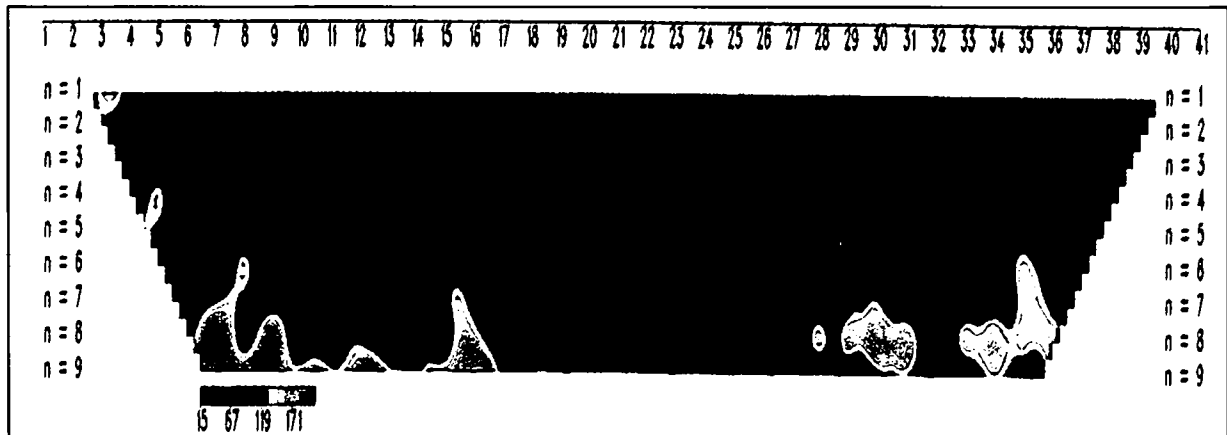
Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-17> 측선 E8 쌍극자탐사 결과도

Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



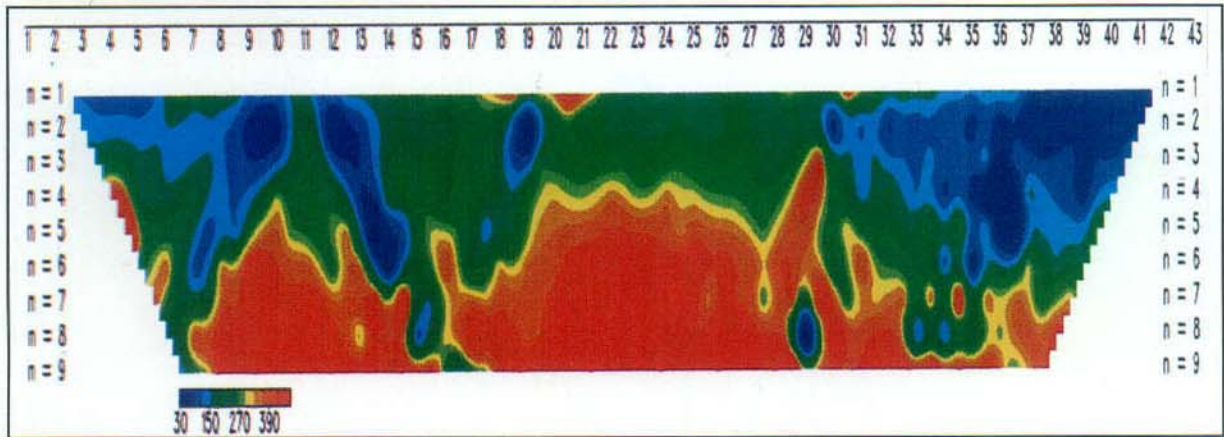
Line No. = E8

Dipole Spacing = 40 meter

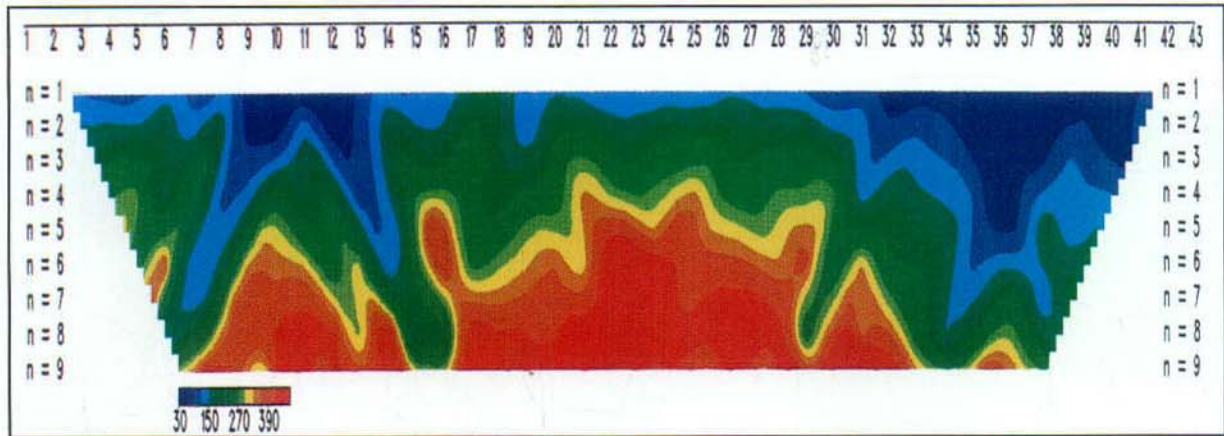
<그림 4-17> 측선 E8 쌍극자탐사 결과도

여 백

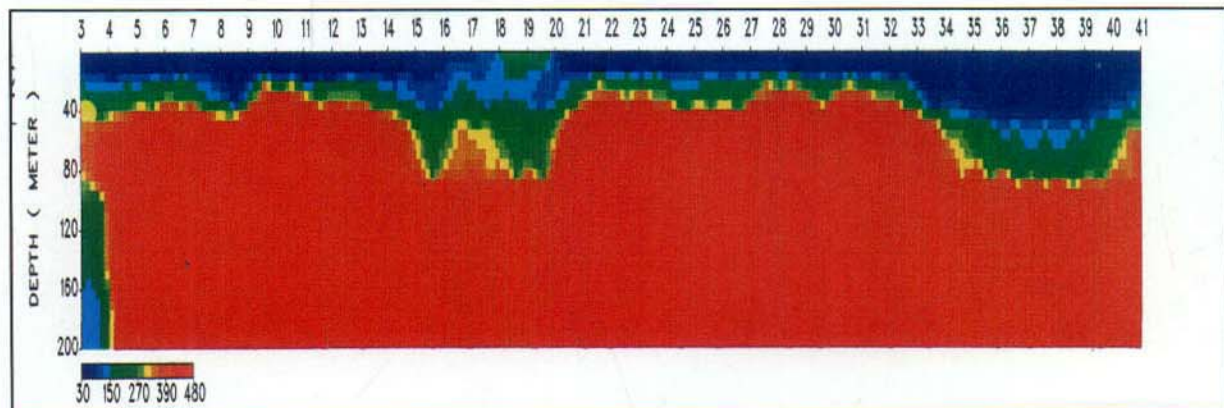
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

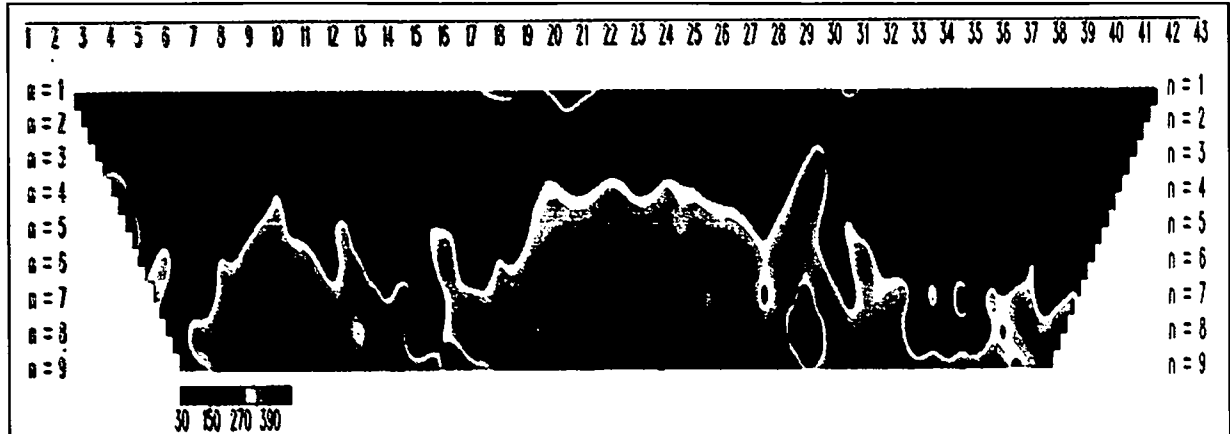


Line No. = E9-1

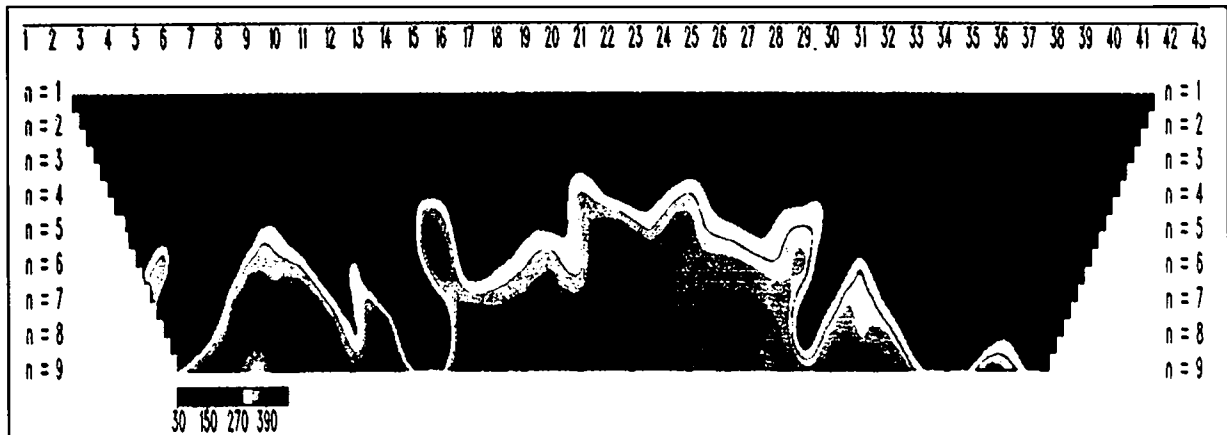
Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-18> 측선 E9-1 쌍극자탐사 결과도

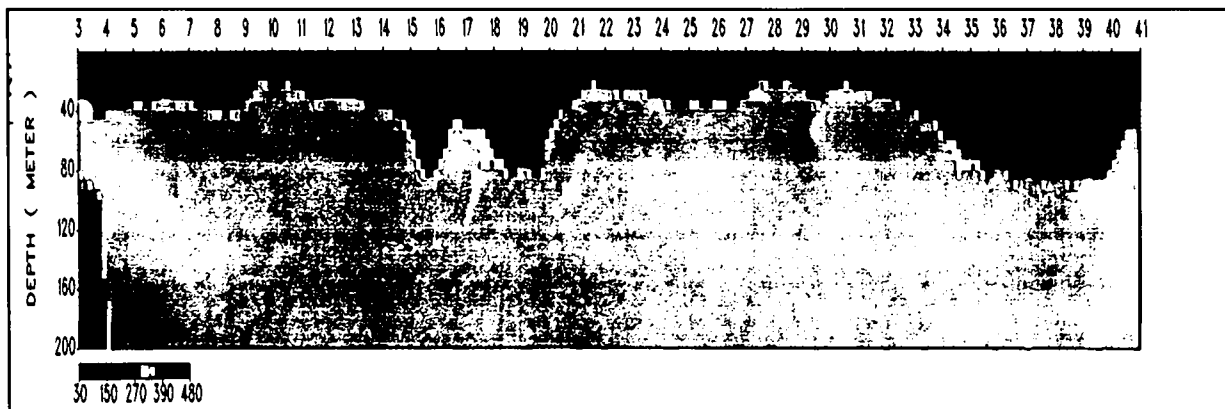
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



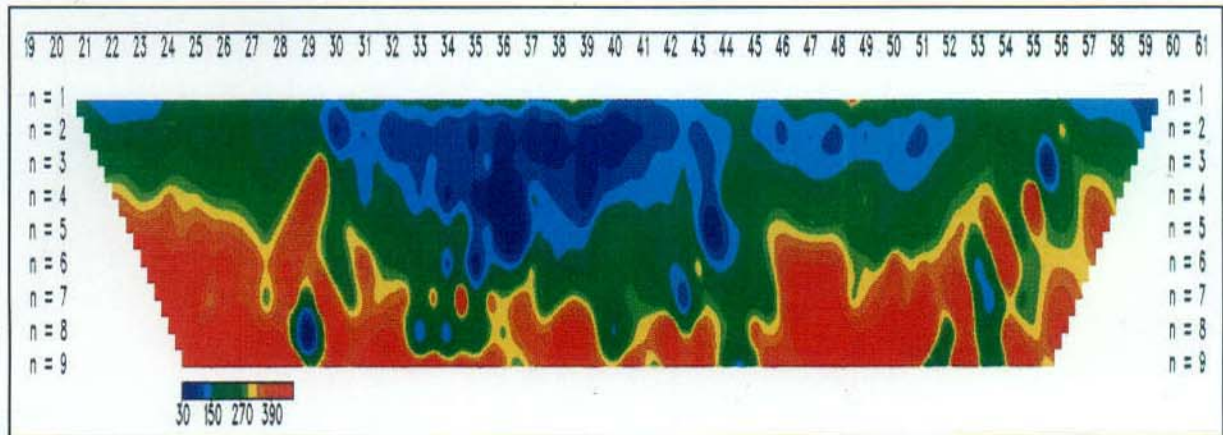
Line No. = E9-1

Dipole Spacing = 40 meter

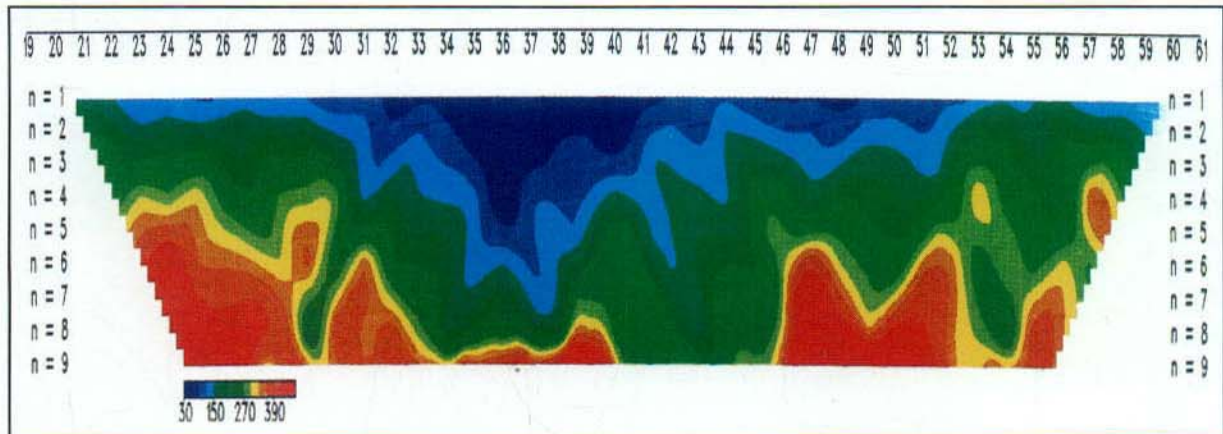
<그림 4-18> 측선 E9-1 쌍극자탐사 결과도

여 백

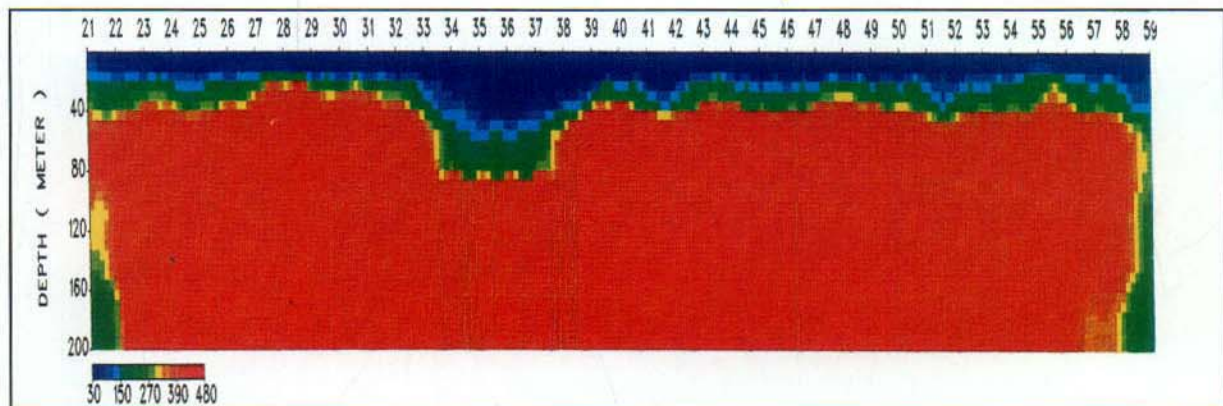
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

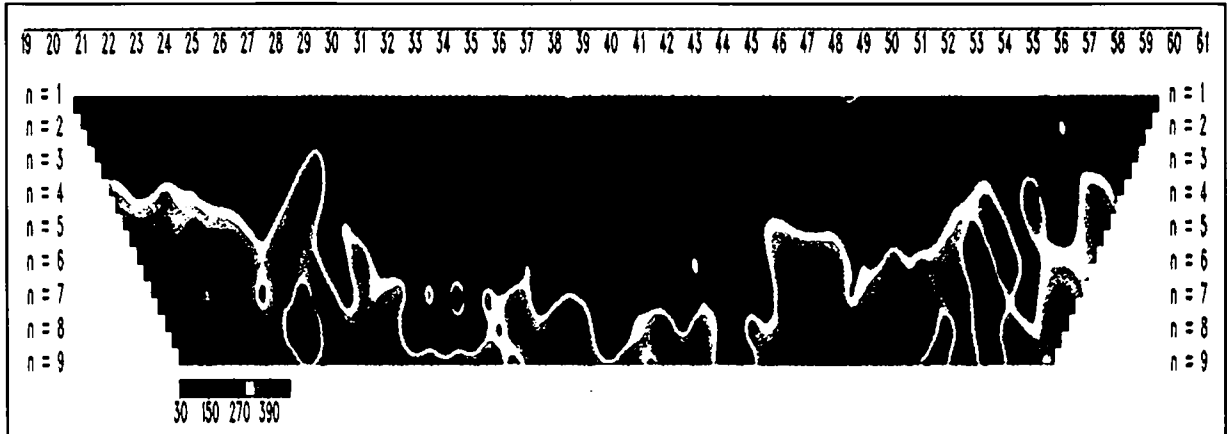


Line No. = E9-2

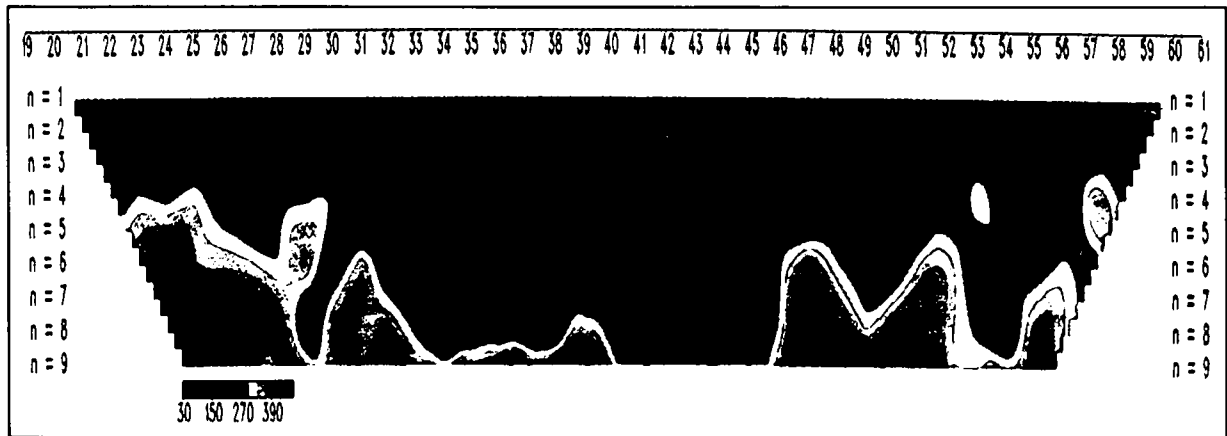
Dipole Spacing = 40 meter

<그림 4-19> 축선 E9-2 쌍극자탐사 결과도

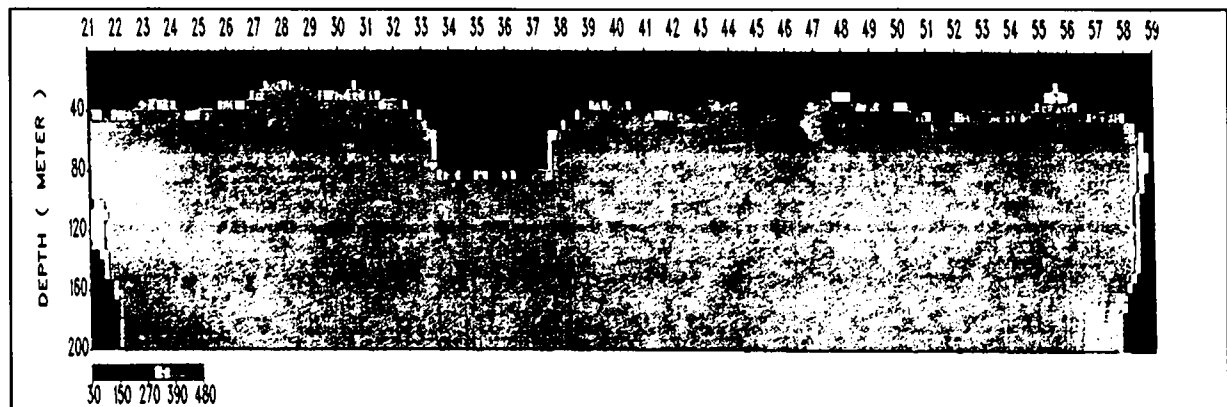
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



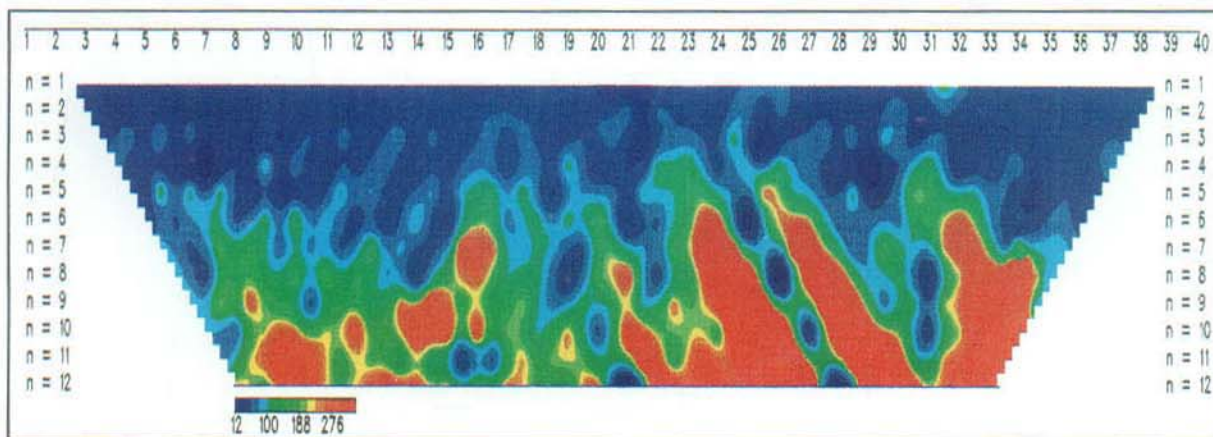
Line No. = E9-2

Dipole Spacing = 40 meter

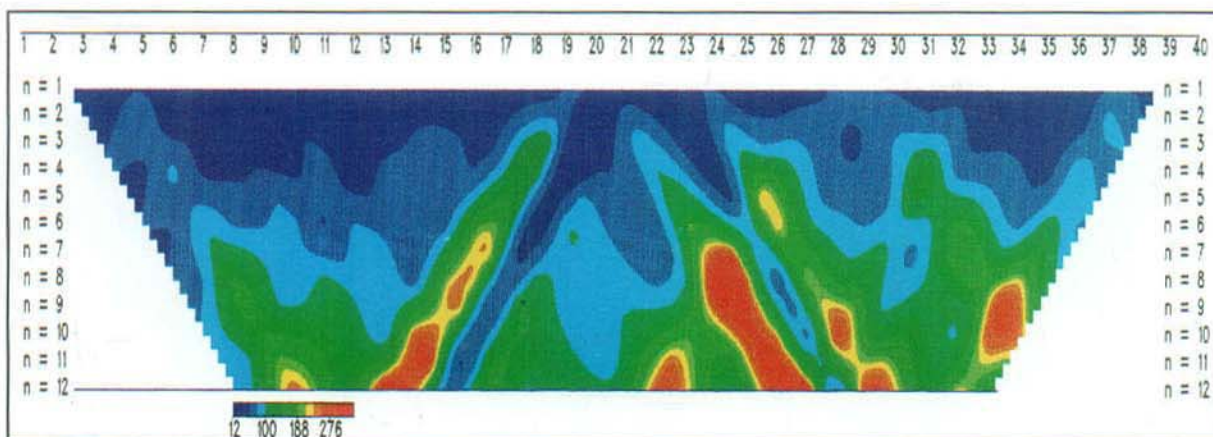
<그림 4-19> 축선 E9-2 쌍극자탐사 결과도

여 백

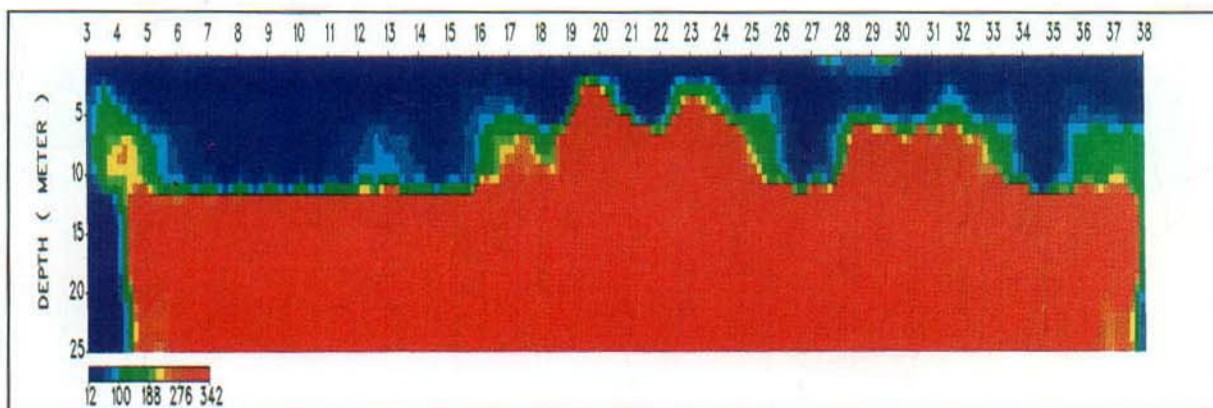
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

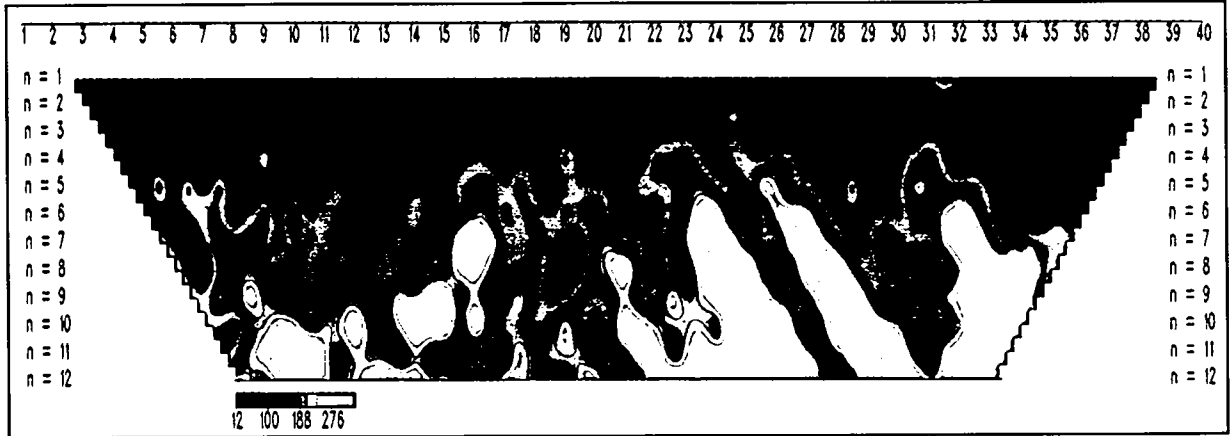


Line No. = E10-1

Dipole Spacing = 5 meter

<그림 4-20> 측선 E10-1 쌍극자탐사 결과도

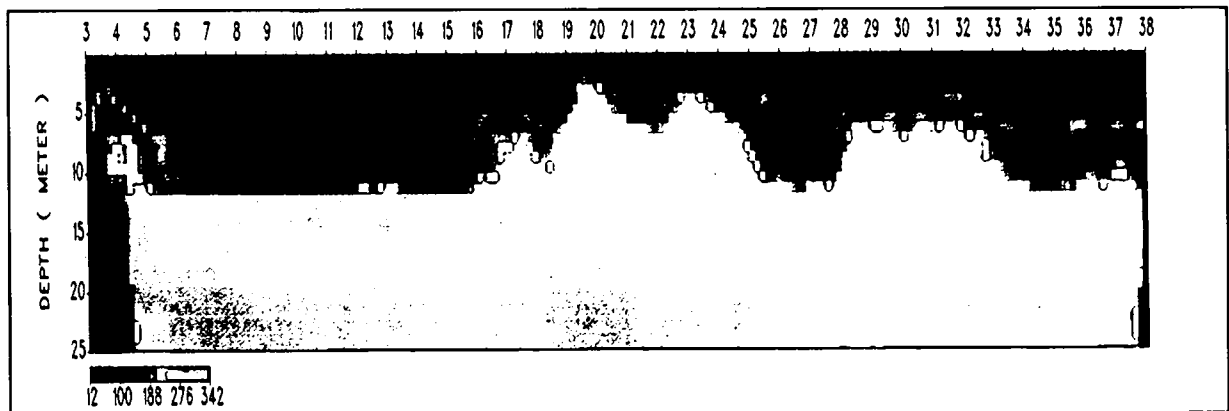
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



Line No. = E10-1

Dipole Spacing = 5 meter

<그림 4-20> 축선 E10-1 쌍극자탐사 결과도

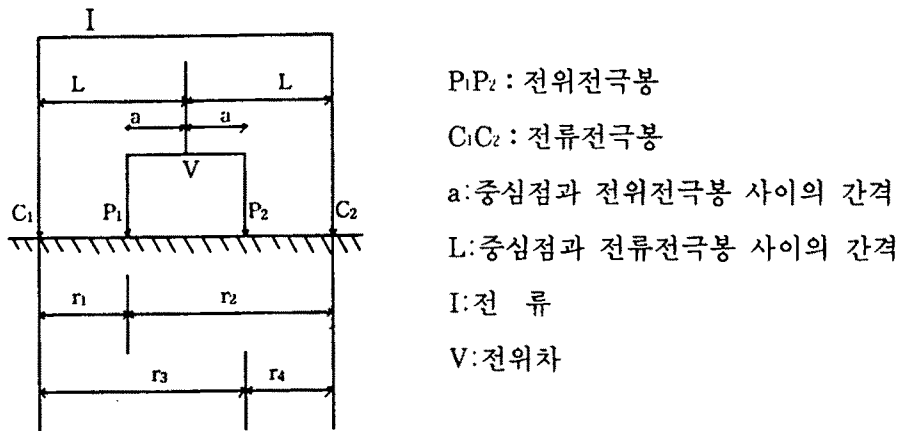
여 백

을 증가시키면서 측정을 하며, 전류전극의 간격이 너무 커서 측정이 불가능하게 되면 전위전극 간격을 증가시킨 다음 측정을 계속한다. Schlumberger 배열의 겉보기 비저항의 산출공식은 아래와 같다.

전류는 대체로 심부보다 천부에서 더 조밀하게 흐르며, 전극간격이 크면 클수록 심부까지 영향을 미치게 된다. 이때, 길이-단면적의 물체를 통과하는 전류가 균일하면 비저항은 다음식으로 표시된다.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad \text{즉, } \rho = R \cdot \frac{A}{L}$$

상기 식에서는 ρ 는 지하물질의 성질과 관계되는 상수로서 비저항이고 단위는 Ω -m이다.



- P_1P_2 : 전위전극봉
- C_1C_2 : 전류전극봉
- a : 중심점과 전위전극봉 사이의 간격
- L : 중심점과 전류전극봉 사이의 간격
- I : 전 류
- V : 전위차

<그림. 4-21> 슬럼버저 배열법

C_1 의한 P_1 에서의 전위는, $V_1 = \frac{I \cdot \rho}{2\pi\gamma_1}$

C_2 의한 P_2 에서의 전위는, $V_2 = - \frac{I \cdot \rho}{2\pi\gamma_1}$ 로 표시된다.

이때 두 전위전극 P_1, P_2 에서의 전류의 크기는 같고 방향은 반대이다. 그러므로

$$V_1 + V_2 = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{\gamma_1} - \frac{1}{\gamma_1} \right) \text{ 가 된다.}$$

동일한 방법으로, P₂에서 C₁에 의한 전위는 $V_3 = \frac{I \cdot \rho}{2\pi\gamma_3}$ 이고,

P₁에서 C₂에 의한 전위는

$$V_4 = \frac{I \cdot \rho}{2\pi\gamma_2} \text{ 이므로, } V_3 + V_4 = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{\gamma_3} - \frac{1}{\gamma_2} \right) \text{ 이다.}$$

따라서 전위전극 P₁, P₂ 사이의 전위차 V는

$$\begin{aligned} \Delta V &= (V_1 + V_2) - (V_3 + V_4) \\ &= \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{\gamma_1} - \frac{1}{\gamma_4} \right) - \left(\frac{1}{\gamma_3} - \frac{1}{\gamma_2} \right) \right\} \text{ 이며,} \end{aligned}$$

전기비저항 ρ 는,

$$\rho = 2\pi \frac{1}{\left\{ \left(\frac{1}{\gamma_1} - \frac{1}{\gamma_4} \right) - \left(\frac{1}{\gamma_3} - \frac{1}{\gamma_2} \right) \right\}} \cdot \frac{\Delta V}{I} \text{ 이다.}$$

앞 그림에서, $\gamma_1 = L-a$, $\gamma_2 = L+a$, $\gamma_3 = L+a$, $\gamma_4 = L-a$ 이므로

$$\rho = \frac{\pi}{a} \left[\left(\frac{L^2}{2} - \frac{a^2}{2} \right) - \left(\frac{L^2}{2} - \frac{a^2}{2} \right) \right] \cdot \frac{\Delta V}{I} \text{ 가 된다.}$$

전기비저항 수직탐사 방법은 Schlumberger 배열을 이용하여 최대 탐사심도를 150m까지 가능하도록 전류전극 간격을 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150m로 하고, 전위전극 간격은 1m로 고정하여 측정하였다.

조사지역의 전반적인 비저항분포를 파악하기 위하여 평야지를 대상으로 점개념으로 200점의 탐사위치를 결정하여 비저항 분포 및 지층분석에 사용하였다.

전기비저항 수직탐사 해석결과는 현장에서 획득된 각 측정별 현장자료를 ESII Program에 입력하여 수치역산법 및 시행착오법을 이용, 2차원 자동역산을 수행한 결과로 지하의 참비저항분포를 측정별과 심도별로 분석하였다. 각 측정에 대한 현장자료 및 역산결과를 종합하여 정리하면 <표 4-7>과 같으며, 측정별 수직탐사에 의한 해석자료는 부표 3에 수록하였고, 수직탐사 자료는 향후 지하수개발을 위한 직접적인 자료로 활용 가능하므로 비저항 곡선도를 부표 4로 수록하였다.

수직탐사자료의 해석결과 곡선형태는 하강-상승형태와 상승-하강-상승형태로 대분할 수 있으며, 최후 상승선을 기반암의 비저항선이라고 가정할 때, 하강-상승 형태는 층적 1층, 풍화대, 기반암의 3층 구조로 해석가능하고, 상승-하강-상승 형태는 층적 1층, 층적 2층, 풍화대, 기반암의 4층 구조로 해석 가능하지만 기반암이 퇴적암일 경우 풍화대가 거의 미약하게 존재하며 풍화대의 비저항 값이 높은 경우가 대부분이므로 풍화대가 기반암에 포함되어 해석되는 오류가 나타난다. 실제로 현장조사시, 전석층 또는 사력층후가 깊은 지점에서는 상승-하강-상승곡선의 수직탐사 곡선형태로, 층적층후가 얇은 지점에서는 하강-상승곡선 형태로 탐사되었다. 그러므로 최후 상승곡선을 재 분석하여 풍화대와 기반암으로 분리해석하는 다층구조로 해석하였다.

자료해석시 비저항이상대를 보이는 곡선외에 지하심부에서의 비저항 곡선이 하강하는 저비저항대를 나타내는 지점들이 존재한다. 이러한 저비저항 이상대는 낙동강에 연하여 발달된 저지대에서 많이 나타나며, 기설관정조사시 전기전도도가 높은 지하수들이 조사되었으므로 전도성 물질을 많이 함유한 지하수대의 존재로 해석되어진다.

금번 전기비저항 수직탐사의 해석결과가 전지역의 특성을 나타낸다고 추측하기 미흡하나 평균치로 볼 때 층적층은 지하 0~11.09m로 평균심도 11.09m, 평균 참비저항 95.01 Ω-m로 나타났으며, 풍화대로 추측되는 층은 지하 11.09~17.89m 사이인 평균심도 6.80m, 평균비저항 139.75 Ω-m로 탐사되었고, 기반암으로 판단되는 층은 지하 17.89m 이하에서 평균 참비저항 2,161.08 Ω-m로 나타났다. 각 탐사 지점별 기반암의 종류별로 탐사결과를 해석하면 진동층 호온펠스대의 참비저항치가 가장 높은 평균 3,941.66 Ω-m로 나타나고, 화강암이 평균 2,562.96-m로 해석되며 그외 경상계 퇴적층 및 주산안산암류에서는 1,189.42~2,210.79 Ω-m 사이로 낮은 참비저항 값을 나타내었다.

<표. 4-7> 전기비저항 수직탐사 총괄

구 분	측점수	1층(층적층)		2층(풍화대)		3층(기반암)		비고
		심도(m)	비저항(Ω-m)	심도(m)	비저항(Ω-m)	심도(m)	비저항(Ω-m)	
계	200	0~11.09	95.01	11.09~17.89 (6.80)	139.75	17.89~	2,161.08	
합 안 층	51	0~12.18	45.39	12.18~17.70 (5.52)	166.05	17.70~	2,210.79	
진 동 층	60	0~8.88	69.84	8.88~15.56 (6.68)	112.27	15.56~	1,189.42	
진 동 층 호온펠스	42	0~11.22	180.48	11.22~18.91 (7.69)	209.56	18.91~	3,941.66	
주 산 암산암류	39	0~13.75	96.46	13.75~21.44 (7.69)	80.72	21.44~	2,069.36	
화 강 암	8	0~7.08	111.03	9.08~13.93 (6.85)	99.46	13.93~	2,562.96	

수직탐사 결과를 이용하여 조사지구 내 기반암의 전반적인 결보기비저항 분포를 파악하기 위하여 각 측정별 심도 50m와 100m에서 결보기 비저항 등고선도를 작성하였다(그림. 4-22), (그림. 4-23). 분석결과 불국사관입암류의 관입암체나 그 주변 호온펠스대가 분포된 지역에서는 심도 50m에서 400Q-m 이상의 결보기 비저항치를 나타내고, 100m에서는 그 범위가 확대되어 나타나고 있으며, 그외 경상계 퇴적층과 안산암질암의 분포지에서는 250Q-m 이하의 낮은 결보기 비저항 분포를 나타낸다. 특히, 함안층의 부분포지에서의 비저항 값은 50~150Q-m의 아주 낮은 결보기 비저항 분포를 나타내고 있다.

4-4. 수위관측

충적층 지하수의 지하수위, 지하수부존 현황과 지하수 유로를 파악하기 위하여 조사지구 전역에 걸쳐 평야지를 대상으로 164개공의 수위관측공을 설치하였다. Auger Boring기를 이용하여 구경 Ø4 빗트로 심도 2~4m를 굴진한후 Ø1 PVC 유공관을 고정 설치하고, 유공관과 공내벽에는 모래~자갈을 충전하여 수위관측을 할 수 있게 하였으며, 그외 기설우물 및 인력소관정 22개소에 대해서도 수위관측을 할 수 있게 하였으며, 그외 기설우물 및 인력소관정 22개소에 대해서도 수위관측을 병행 실시하였다(표. 4-8). 수위관측은 동일한 기상조건하에서 실시하였으며, 각 지점의 관측수위는 1:5,000 지형도에서 지반고를 결정하고 지반고에 대한 절대수위로 환산하여 수위등고선도를 작도하였다. 일반적으로 조사지구내의 충적지하수는 산계에서 시작되어 평야지를 지나 낙동강과의 접촉부인 하류로 유동하고 있으나, 낙동강 제방 배후 저지대에서는 낙동강에서 역류하여 흘러들어오는 지하수와 산계에서 흘러들어오는 지하수가 만나서 정체현상을 보여주고 있다. 지하수의 증발을 제외한 이러한 정체현상은 기설관정조사 및 기설관정 수질검사에서 나타나는 낙동강 제방 배후 주위의 높은 수질오염의 원인이 되고 있다.

<표. 4-8> 수위관측공 설치 및 수위관측 내역

공번	지반고(m)	수위(cm)	절대수위(m)	공번	지반고(m)	수위(cm)	절대수위(m)
A-1	40.2	76	39.44	A-8	22.0	67	21.33
A-2	62.0	188	60.12	A-9	23.2	117	22.03
A-3	43.3	60	42.7	A-10	18.3	74	17.56
A-4	5.7	132	4.38	A-11	14.5	105	13.45
A-5	8.2	20	8.0	A-12	14.0	108	12.92
A-6	32.0	95	31.05	A-13	14.1	90	13.2
A-7	20.2	78	19.42	A-14	14.0	202	11.98

공변	지반고(m)	수위(cm)	절대수위(m)	공변	지반고(m)	수위(cm)	절대수위(m)
A-15	15.8	99	14.81	A-61	6.2	127	4.93
A-16	9.4	67	8.73	A-62	5.5	121	4.29
A-17	9.2	83	8.37	A-63	7.1	72	6.38
A-18	11.3	88	10.42	A-64	6.2	120	5.0
A-19	11.4	65	10.75	A-65	6.0	16	5.84
A-20	11.0	30	10.7	A-66	10.1	128	8.82
A-21	37.5	214	35.36	A-67	5.9	103	4.87
A-22	42.7	124	41.46	A-68	9.40	226	7.14
A-23	40.5	56	39.94	A-69	10.5	116	9.34
A-24	35.4	28	35.12	A-70	10.0	174	8.26
A-25	25.0	191	-	A-71	8.3	131(고갈)	-
A-26	17.8	59	17.21	A-72	9.5	115	8.35
A-27	21.5	75	20.75	A-73	7.6	111	6.49
A-28	16.5	103	15.47	A-74	7.9	107	6.83
A-29	19.0	90	18.1	A-75	8.2	114	7.06
A-30	35.3	40	34.9	A-76	6.5	84	5.56
A-31	29.9	82	29.08	A-77	6.9	85	6.05
A-32	34.5	45	34.04	A-78	7.7	70	7.0
A-33	28.1	177	26.33	A-79	5.2	69	4.51
A-34	28.6	26	25.99	A-80	7.6	99	6.61
A-35	32.1	55	31.55	A-81	7.8	114	6.66
A-36	40.4	118	39.22	A-82	6.5	60	5.9
A-37	21.0	28	20.72	A-83	6.2	110	5.1
A-38	17.9	144	16.46	A-84	5.8	100	4.8
A-39	21.4	164	19.76	A-85	6.2	59	5.61
A-40	7.4	134	6.06	A-86	4.8	11	4.69
A-41	8.1	181	6.29	A-87	10.2	71	9.49
A-42	7.2	80	6.4	A-88	10.6	192	8.68
A-43	6.7	152	5.18	A-89	11.0	224	8.76
A-44	5.6	80	4.8	A-90	9.2	327	5.93
A-45	5.2	102	4.18	A-91	6.3	121	5.09
A-46	5.6	109	4.51	A-92	9.6	213(고갈)	-
A-47	8.6	152	7.08	A-93	7.4	52	6.88
A-48	8.4	113	7.27	A-94	7.3	57	6.73
A-49	7.8	155	6.25	A-95	7.4	95	6.45
A-50	6.4	97	5.43	A-96	12.5	342	9.08
A-51	6.9	135	5.55	A-97	5.7	159	4.11
A-52	8.7	188	6.82	A-98	8.9	143	7.47
A-53	7.2	110	6.1	A-99	8.2	32	7.88
A-54	8.7	135	7.35	A-100	7.2	82	6.38
A-55	7.7	93	6.77	A-101	7.5	43	7.07
A-56	7.5	45	7.05	A-102	9.2	96	8.24
A-57	6.3	146	4.84	A-103	13.8	151	12.29
A-58	9.6	90	8.7	A-104	15.0	199	13.01
A-59	6.9	102	5.88	A-105	16.4	29	16.1
A-60	6.5	125	5.25	A-106	10.4	76	9.64

공번	지반고(m)	수위(cm)	절대수위(m)	공번	지반고(m)	수위(cm)	절대수위(m)
A-107	9.6	136	8.24	A-149	6.4	144	4.96
A-108	4.7	43	4.27	A-150	5.6	31	5.29
A-109	16.2	161(고갈)	-	A-151	4.6	62	3.98
A-110	15.9	51	15.39	A-152	4.5	71	3.79
A-111	6.6	4	6.56	A-153	4.2	86	3.34
A-112	6.8	42	6.38	A-154	5.1	73	4.37
A-113	8.4	160	6.8	A-155	5.0	65	4.35
A-114	6.8	86	5.94	A-156	6.1	137	4.73
A-115	5.4	61	4.79	A-157	6.5	259	3.93
A-116	11.3	130	10.0	A-158	7.9	91	6.99
A-117	11.0	51	10.49	A-159	8.3	91	7.39
A-118	5.7	48	5.22	A-160	5.0	95	4.05
A-119	5.8	53	5.27	A-161	6.4	238	4.02
A-120	7.5	46	7.04	A-162	8.2	47	7.73
A-121	3.8	10	3.72	A-163	10.1	189	8.21
A-122	4.2	53	3.67	A-164	10.2	185	8.35
A-123	8.1	82	7.28	W-1	24.2	70	23.5
A-124	6.8	93	5.87	W-2	12.7	180	10.9
A-125	6.5	72	5.78	W-3	12.8	263	10.17
A-126	5.3	45	4.85	W-4	11.5	187	9.63
A-127	5.4	10	5.3	W-5	34.2	280	31.4
A-128	11.0	97	10.03	W-6	9.1	306	6.04
A-129	9.6	103	8.57	W-7	7.4	121	6.19
A-130	10.5	130	9.4	W-8	8.7	105	7.65
A-131	8.8	68	8.12	W-9	7.2	97	6.23
A-132	11.2	193	9.27	W-10	8.7	163	7.07
A-133	12.3	124	11.06	W-11	9.7	92	8.78
A-134	9.9	190	8.0	W-12	11.0	91	10.09
A-135	11.2	148	9.72	W-13	9.8	91	8.89
A-136	10.5	77	9.73	W-14	16.4	75	15.65
A-137	9.0	30	8.7	W-15	24.4	70	22.7
A-138	9.0	30	8.7	W-16	9.8	197	7.83
A-139	10.5	179	8.71	W-17	5.4	21	5.19
A-140	11.2	134	9.86	W-18	22.6	500	17.6
A-141	8.0	93.5	7.07	W-19	11.2	142	9.78
A-142	9.7	78	8.92	W-20	8.3	+(용출)	8.3
A-143	10.8	126	9.54	W-21	8.2	154(고갈)	-
A-144	9.1	267	6.43	W-22	9.0	251	6.49
A-145	7.0	146	5.54				
A-146	6.8	45	6.35				
A-147	5.1	60	4.5	영산층적	44.5	350	41.0
A-148	5.4	68	4.72	도천층적	15.2	402	11.18

4-5. 수질 및 잠재오염원 조사

4-5-1. 수질

가. 현장조사

창도지구내 수질현황 및 수질오염현황을 파악하기 위하여 시설관정 조사와 병행하여 총 136개 지점(암반관정 119공, 충적관정 12공, 암반관측공 2층, 충적관측공 2공 및 낙동강하천수 1지점)에 대하여 Check Mate 90 Potable 수질측정기를 이용하여 온도, pH, EC 및 TDS 를 현장측정 하였다 (표. 4-10).

○ 수소이온농도(pH)

pH는 물속에 전해되어 있는 수소이온(H^+)의 상대적인 농도를 말한다. 순수한 물에서는 물의 일부분이 이온화($H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$)하는데 이때 수소이온의 수가 pH=7 정도로 이온화 한다. 즉, pH 값이 1증가하면 수소이온 농도는 10배 증가하게 된다. 지하수에서 pH값은 용해된 탄산염이나 탄산가스의 양에 의해서 달라지며, 압력이나 온도가 변해도 값이 달라진다. 즉, 탄산가스가 용해되어 있으면 pH값이 현저히 저하된다. 그러나 알칼리염인 칼슘 및 마그네슘의 탄산염이 지하수 속에 용해되어 있는 경우는 용존탄산가스 만큼 pH값이 저하되지는 않는다. 그러므로 지하수의 pH 측정은 지하수중에 탄산가스가 상당량 용해되어 있어도 압력감소(양수 등)에 의해 용존탄산가스가 공기중으로 달아나게 되어 채수후 일정시간이 경과하면 대수층의 pH값과는 차이가 나타나므로 지하수의 pH측정은 현장에서 직접 측정하는 것이 바람직 하다.

일반적으로 pH값에 따른 수질의 분류는 pH값이 5.5이하이면 산성, 5.5~6.5사이는 약산성, 6.5~7.5사이는 중성, 7.5~9.0까지는 약알칼리성 그리고 9.0이상이면 알칼리성으로 분류하고 있다. 조사지구에서의 지하수 pH는 6.76~7.86 사이로 먹는물 수질기준인 5.8~8.5사이에 분포하며, 암반 지하수는 평균 7.33로 충적 지하수는 평균 7.08로 암반지하수가 보다 더 산성을 나타내고 유역상 류부에서 하류부로 향할수록 약간씩 산성화 되는 경향을 나타내고 있다.

○ TDS(총용존고형물)와 EC(전기전도도)

매질이 전류를 통과시킬 수 있는 능력(전기저항의 역수)을 전기전도도라 하며, 단위체적을 가진 물체의 전기전도도를 전기비전도도라 한다. 순수한 물은 일종의 절연체이나 물에 혼합된 고형 물질이 전하를 가지는 이온으로 분리되어 존재하면 용액의 전기비전도도는 높아진다. 그러므로 물속에 용해된 광물이나 기타물질의 종류와 양, 온도의 변화에 따라 전기비전도도 값이 변화하므로 물의 오염정도에 대한 지표로 사용된다. 일반적으로 전기비전도도는 물속에 용해된 광물의 총

류에 따라 그 값이 변화를 보이지만 총용존고형물(TDS)과의 관계는 대략 전기전도도 * (비율) = 총용존고형물(TDS)로 표시되며, 지하수의 경우 그 비율은 0.50~0.75의 범위 내에 존재한다.

본 조사지역의 지하수는 그 비율이 0.485~0.518 사이에 존재하고 평균 0.500을 나타낸다. 조사 지역에서의 전기비전도도는 암반지하수가 115.9~1,580 μ S/cm 범위인 평균 448.02 μ S/cm로, 충적지하수가 82.3~1,070 μ S/cm 범위 평균 585.65 μ S/cm로 조사되었으며, 측정값이 평균 300 μ S/cm를 초과하여 오염상태가 상당히 진행된 것으로 판단되었다. 일반적으로 각 수계의 상류부에서 하류부로 향할수록 점차 높은 전기전도도 값을 나타내며, 특히 영산천, 길곡천 및 온성천이 낙동강으로 유입되는 지역에서는 상당히 높은 수치를 나타낸다. 영산천, 서천천과 도천천이 합류하는 지점 수계하류부에서 특히 높은 800 μ S/cm 이상의 전기전도도 값을 나타내며, 이러한 비정상적인 높은 전도도는 원래 그 지역 지하수의 모암인 함안층 중의 광물들이 지하수로 용해되기 쉬운 암석들로 구성되어 있기 때문으로 판단되며, 또한 낙동강 수두가 지하수의 수두보다 높아서 그지역 지하수의 정상적인 흐름을 방해하여 지하수 흐름이 정체되어 수중의 광물성분들이 농축되었을 것으로도 유추된다.

일반적으로 수계하류부에서의 높은 전기전도도를 나타내는 경향과 달리 온정천 상류인 부곡은천 관광단지 주변에서 국부적으로 400 μ S/cm 이상의 높은 전기전도도를 나타내는 것은 수자원의 과다한 사용으로 인한 지역적인 지하수 오염의 진행을 나타내는 것으로 여겨진다 <그림. 4-23> 전기비전도도 등치선도).

나. 먹는물 수질검사

조사지구 내 지하수의 전반적인 수질성분을 파악하기 위하여 현재 사용중인 시설관정중 지하수 관측망 설치를 위한 암반관측정을 포함한 암반지하수 38개공과 충적관정 4개공 및 낙동강 하천수 1개소를 포함하는 총 43점에 대하여 경남보전환경연구원에 먹는물 수질기준의 지하수 수질검사를 의뢰하였다 <표 4-10>.

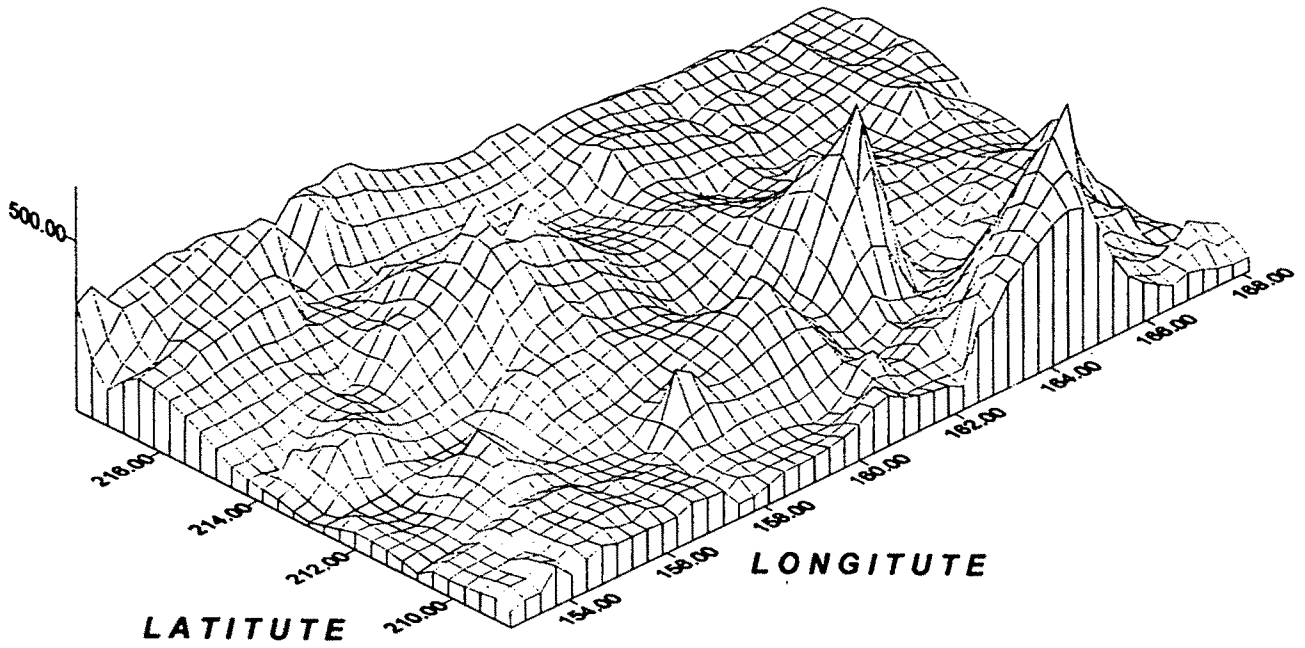
수질검사 항목별 분석을 보면 과망간산 칼륨 소비량은 암반관정 평균 1.007mg/l, 충적관정 평균 0.95mg/l로 나타났으며, D17번 1공이 기준을 초과하는 19.6mg/l로 나타났고, 그외 낙동강 하천수가 10.8mg/l로 기준초과되어 나타났다.

총경도는 암반관정 평균 204.95mg/l, 충적관정 평균 147.5mg/l로 나타났고, 주로 영산천, 서천천과 도천천 수계의 합류점 하류에 위치하는 D5, D18, D20, D22, D25, D40, S4번공이 음용수질 기준인 300mg/l를 초과하여 검출되었다. 증발잔류물은 암반관정 평균 351.55mg/l, 충적관정 평균 269.75mg/l로 나타났고, 총경도와 같이 전기전도도가 600 μ S/cm 이상 높게 나타나는 낙동강 제방 배

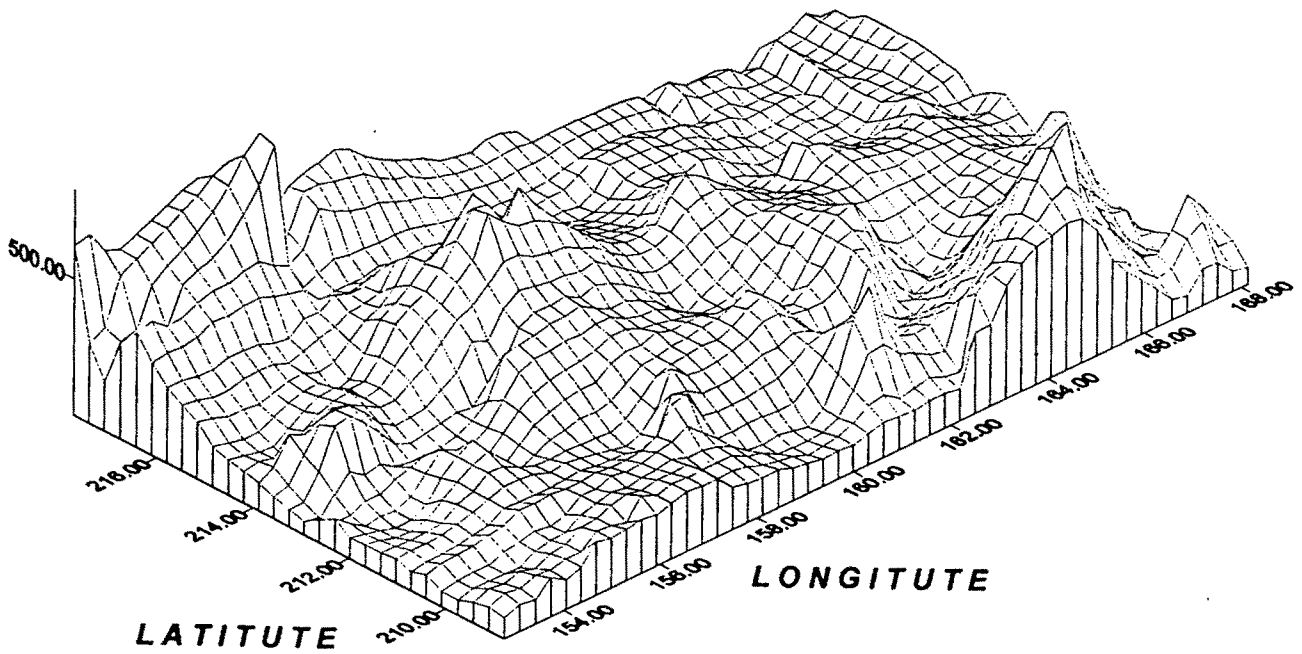
후지역에 위치한 D17, D18, D20, D22, D25, D40, D54, S4번공에서 음용기준인 500mg/l를 초과하여 검출되었다.

염소이온은 D17, D20, D22번공에서, 황산이온은 D20, D22, D25, S4번공에서 각각 음용기준을 초과하여 검출되었다. 그외 질산성질소 1개소, 암모니아성 질소가 2개소에서 불합격 되었으며, 아연이 3개공에서, 불소가 1개공, 망간이 1개공에서 불합격으로 기준초과 검출되었다. 알루미늄은 D12, D20, D22, D25, D37, D38, D54, D100 그리고 D103의 9개공에서 음용기준인 0.2mg/l를 초과하여 검출되었다.

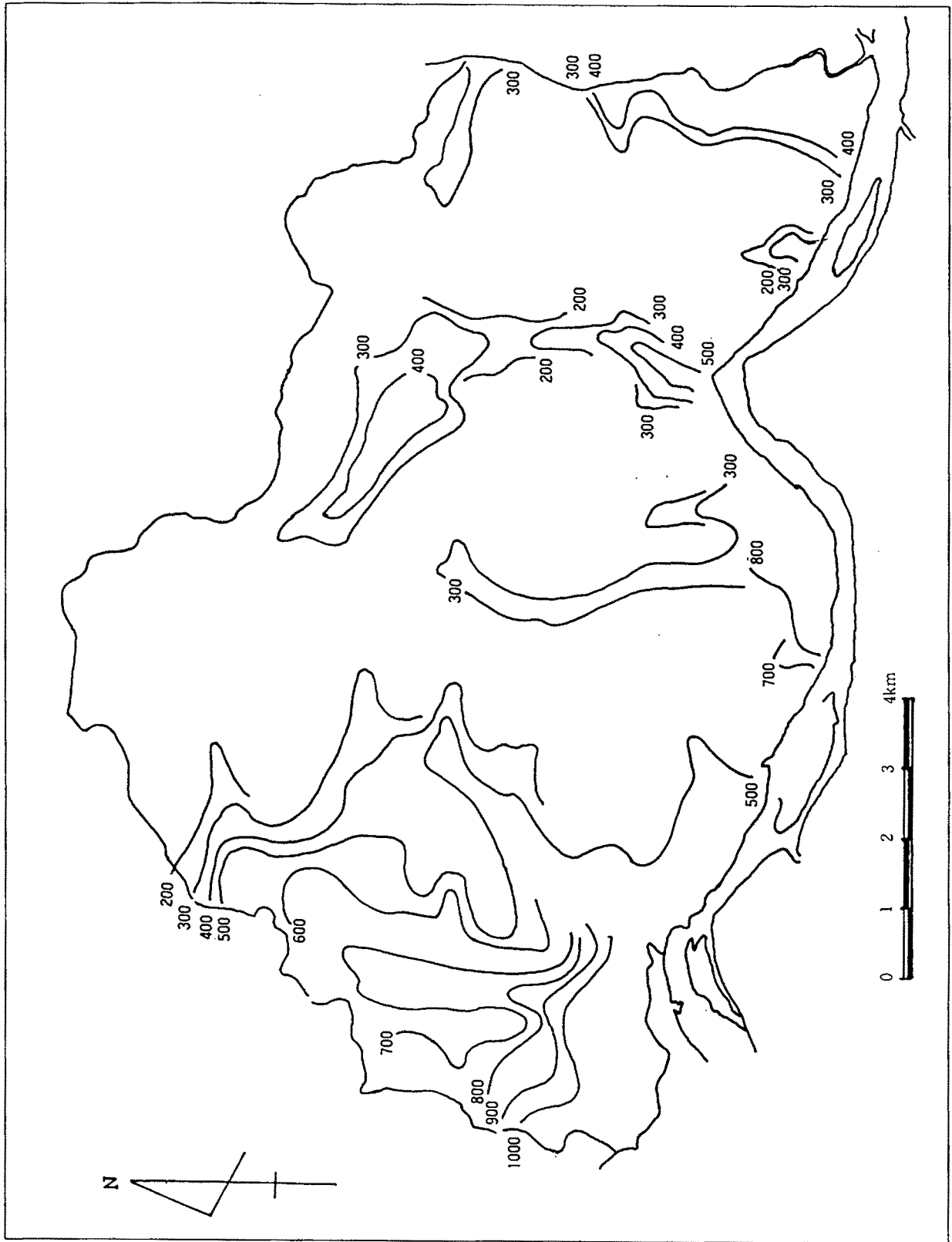
먹는물 기준 수질검사 결과 수질오염이 심각한 지하수관정은 영산면 월령리와 도천면 일리가 위치하는 도천천, 영산천, 서천천의 합류지점과 그 하류지역에 밀집되어 나타나며, 현장수질검사를 전기전도도 값이 600 μ s/cm 이상을 나타내는 지역과 일치한다. 이 지점에 위치하는 지하수관정들의 먹는물 기준 주요 불합격 항목들은 총경도, 증발잔류물, 염소이온, 황산이온, 알루미늄등이며, 망간의 농도도 평균이상으로 검출된다.



<그림. 4-22> 지표하 50m 지점의 겉보기 비저항 분포도 (dot:탐사위치)



<그림. 4-23> 지표하 100m 지점의 겉보기 비저항 분포도 (dot:탐사위치)



<그림. 4-24> 전기전도도 등치선도

<표. 4-9> 지하수수질 현장검사 결과

No.	현장검사결과					No.	현장검사결과				
	온도(℃)	E.C(μs)	TDS(ppm)	TDS/EC	pH		온도(℃)	E.C(μs)	TDS(ppm)	TDS/EC	pH
평균	14.43	448.02	224.12	0.500	7.33						
D1	16.2	169.4	84.6	0.502	7.38	D41	14.6	1,328	666	0.501	7.14
D2	13.8	115.9	57.7	0.504	7.58	D42	14.0	1,580	793	0.501	7.08
D3	18.5	229	116	0.501	7.80	D43	15.3	262	130	0.496	6.82
D4	23.4	286	143	0.503	7.64	D44	15.0	285	143	0.501	7.13
D5	17.2	720	362	0.502	7.38	D45	14.8	316	159	0.503	7.36
D6	16.4	428	216	0.508	7.42	D46	14.1	363	183	0.504	6.84
D7	15.2	305	153	0.507	7.15	D47	15.3	356	178	0.500	6.40
D8	16.0	302	152	0.510	7.54	D48	13.6	380	191	0.502	7.36
D9	15.7	335	169	0.506	7.20	D49	14.3	361	180	0.498	7.24
D10	14.8	621	316	0.501	7.15	D50	14.7	237	119	0.502	7.16
D11	13.9	593	301	0.505	7.34	D51	15.0	205	102	0.497	7.25
D12	14.0	549	280	0.497	7.14	D52	14.4	220	114	0.518	7.23
D13	15.2	748	379	0.503	7.65	D53	15.2	294	150	0.510	7.08
D14	13.8	789	396	0.505	7.77	D54	14.6	814	407	0.500	6.82
D15	13.4	655	331	0.497	7.68	D55	14.2	798	402	0.503	7.14
D16	14.1	938	467	0.503	7.55	D56	15.0	883	445	0.503	6.90
D17	13.0	1,280	644	0.505	7.80	D57	15.0	441	221	0.501	7.34
D18	13.5	845	427	0.500	7.42	D58	14.4	584	293	0.501	7.14
D19	12.8	856	428	0.495	7.42	D59	14.6	570	287	0.503	7.26
D20	13.6	1,226	607	0.497	7.58	D60	13.9	310	156	0.503	6.75
D21	14.1	983	489	0.502	7.36	D61	14.3	334	168	0.502	6.86
D22	13.8	545	274	0.501	7.65	D62	15.3	538	272	0.505	7.24
D23	13.6	409	205	0.499	7.82	D63	13.8	826	412	0.498	6.78
D24	14.2	521	260	0.503	7.76	D64	10.5	197	100	0.507	7.36
D25	14.7	614	309	0.503	7.54	D65	12.9	182	91.8	0.504	7.45
D26	13.7	640	322	0.503	7.44	D66	13.0	224	112	0.500	7.86
D27	13.5	973	489	0.502	7.76	D67	14.2	245	123	0.502	7.83
D28	14.1	905	455	0.502	7.72	D68	12.9	389	195	0.503	7.42
D29	13.5	233	116	0.497	7.82	D69	20.3	347	173	0.498	7.32
D30	13.2	262	130	0.496	7.45	D70	18.5	325	163	0.501	7.38
D31	12.8	275	137	0.498	7.34	D71	19.2	342	170	0.497	7.40
D32	12.9	307	153	0.496	7.40	D72	18.2	347	175	0.504	7.08
D33	13.4	415	206	0.496	7.43	D73	29.5	518	263	0.507	7.39
D34	15.1	322	160	0.496	7.21	D74	14.5	435	218	0.501	7.34
D35	14.7	458	226	0.493	7.58	D75	15.3	382	189	0.494	7.26
D36	14.7	355	175	0.492	7.60	D76	14.7	456	229	0.502	7.30
D37	14.3	480	234	0.487	7.32	D77	14.4	410	207	0.504	7.34
D38	16.4	477	235	0.492	6.72	D78	12.4	236	118	0.500	7.38
D39	15.2	472	232	0.491	7.04	D79	12.8	198	99.4	0.502	6.92
D40	14.5	688	344	0.500	7.12	D80	13.4	222	112	0.504	7.24

No.	현장검사결과					No.	현장검사결과				
	온도(℃)	E.C(μs)	TDS(ppm)	TDS/EC	pH		온도(℃)	E.C(μs)	TDS(ppm)	TDS/EC	pH
D81	11.8	201	101	0.502	7.30	D110	16.6	363	180	0.490	7.38
D82	12.6	325	164	0.504	7.42	D111	16.3	428	209	0.488	7.26
D83	12.5	330	166	0.503	7.06	D112	15.6	435	214	0.491	7.48
D84	12.0	264	133	0.503	7.28	D113	16.8	385	194	0.503	7.74
D85	12.3	217	108	0.497	7.22	D114	15.8	369	187	0.506	7.03
D86	12.5	224	112	0.500	7.46	D115	15.4	416	209	0.502	7.45
D87	12.6	277	138	0.498	7.32	D116	13.9	320	161	0.503	7.62
D88	11.8	314	155	0.493	7.54	D117	13.4	295	148	0.501	7.32
D89	12.4	434	217	0.500	7.36	D118	12.5	304	151	0.496	7.28
D90	12.5	425	213	0.501	7.09	D119	12.7	263	130	0.494	7.64
D91	12.2	859	427	0.497	7.27	OD1	17.5	424	213	0.502	7.76
D92	11.2	204	99	0.485	7.84	OD2	15.5	443	221	0.498	7.53
D93	11.8	275	136	0.494	7.35	평균	13.48	585.65	293.11	0.500	7.08
D94	13.6	336	168	0.500	7.56	S1	14.0	159.5	78.7	0.493	7.58
D95	13.3	319	160	0.501	7.46	S2	14.0	385	194	0.503	7.08
D96	12.4	333	167	0.498	6.99	S3	12.8	1,070	534	0.499	7.04
D97	12.5	263	131	0.489	7.23	S4	14.0	798	400	0.501	6.95
D98	13.2	223	108	0.484	7.51	S5	13.0	727	367	0.504	7.45
D99	14.4	282	137	0.485	7.46	S6	14.5	620	309	0.498	7.02
D100	14.5	208	102	0.490	7.34	S7	14.8	687	342	0.497	7.02
D101	13.4	235	116	0.493	7.48	S8	14.4	875	436	0.498	7.04
D102	13.6	229	113	0.493	7.30	S9	12.8	82.3	41.7	0.506	6.47
D103	12.8	295	145	0.491	7.25	S13	12.7	625	316	0.505	7.04
D104	12.4	364	180	0.494	7.28	S14	12.1	278	136	0.489	7.02
D105	13.5	566	280	0.494	6.98	S15	12.7	721	363	0.503	7.32
D106	15.6	457	226	0.494	7.09	OS1	13.5	587	296	0.504	7.03
D107	13.8	425	20	0.494	7.14	OS2	12.1	446	223	0.500	7.08
D108	16.4	377	184	0.494	7.24	R1	-	469	237	0.505	7.40
D109	15.8	412	202	0.488	7.16						

<표. 4-10> 먹는물 음용적부 수질검사 결과

No.	위치 (창녕군)	분포지질	수질검사 결과(단위:수소이온농도의 mg/l), 이외항목들 : 불검출													
			과소비량 망간산칼륨	총 경 도	중 발 잔 류 물	염 소 이 온	황 산 이 온	수 소 이 온 농 도	질 산 성 질 소	암 모 니 아 성 질 소	음 환 이 온 성 계 면 적	벤 젠 /아 연	불 소 /철	비 소 /망 간	알 류 미 늄 /동	크 실 렌 /플 루 엔
먹는물(음용적부)수질기준(기준이내)			10	300	500	150	200	58~85	10	0.5	0.5	0.01 1	1.5 0.3	0.05 0.3	0.2 1	0.5 0.7
평 균	암반지하수40공		1.007	204.95	351.55	37.85	83.32	7.86	1.76	0.10	nd	nd 0.256	0.24 0.009	0.003 0.028	0.122 nd	nd nd
D1(구계-1)	영산면 구계리	진동층 (화강암경계부)	0.3	70	127	6	9	7.9	0.9	nd	nd	0.095	nd	nd	0.012	nd
D2(구계-2)	영산면 구계리	흑운모화강암	0.3	39	84	13	8	7.1	2.8	nd	nd	0.034	nd	nd	0.030	nd
D4(성내735)	영산면 성내리	진동층	0.3	74	211	12	56	8.4	0.2	nd	nd	0.006 nd	1.2 nd	nd	0.10	nd
D5(성내-1)	영산면 성내리	진동층	0.7	336	467	90	33	7.9	6.2	nd	nd	0.026	nd	0.017	0.040	0.001
D12(주사23)	영산면 죽사리	진동층	0.6	211	381	17	85	8.0	nd	0.12	nd	0.002 0.339	0.1 nd	nd	0.28	nd
D17(월령817-2)	영산면 월령리	함안층	19.6	170	1,085	363	nd	7.2	1.2	3.24	nd	0.645	0.2 0.26	0.009 0.802	0.03	nd
D18(월령2-1)	영산면 월령리	함안층	0.6	405	740	10	157	7.4	0.3	0.22	nd	0.019	0.4 0.029	0.022	nd	nd
D20(월령906-1)	영산면 월령리	함안층	1.3	730	1,184	158	654	7.8	nd	0.19	nd	0.092	0.3 nd	nd 0.168	0.83	nd
D22(도천-2)	도천면 일 리	진동층	0.3	705	1,201	168	640	7.5	0.2	0.01	nd	2.260	2.6 nd	nd 0.022	0.440	nd 0.004
D25(도천-3)	도천면 일 리	진동층	0.3	865	1,465	18	916	7.4	0.2	0.10	nd	0.054	nd	0.057	0.530	nd 0.005
D30(덕곡920-2)	도천면 덕곡리	진동층	0.3	122	179	7	16	7.8	1.4	nd	nd	0.232	0.1 nd	nd	0.18	nd
D34(모리920-3)	도천면 예 리	진동층 (호은펠스)	0.3	147	215	7	12	8.1	1.6	nd	nd	0.264	0.4 nd	nd	0.19	nd
D37(어만920-6)	도천면 어만리	안산암	0.8	209	320	43	36	7.7	3.1	nd	nd	4.10	0.2 nd	nd	0.27	nd
D38(논리920-5)	도천면 논 리	진동층	0.9	213	313	14	65	8.2	0.6	0.04	nd	0.078	0.2 nd	nd	0.26	nd
D40(송진-1)	도천면 송진리	함안층	0.9	316	524	122	82	7.8	4.7	nd	nd	0.020	nd	nd	0.030	0.001
D47(길곡922-5)	길곡면 상길리	진동층 (호은펠스)	0.3	154	253	19	23	7.5	1.3	nd	nd	0.001 0.335	0.2 nd	nd 0.013	0.16	nd
D51(양달922-5)	길곡면 길곡리	진동층 (호은펠스)	0.3	100	142	3	13	8.2	0.5	nd	nd	0.002 0.009	0.4 nd	nd	0.15	nd
D52(중길921-1)	길곡면 길곡리	진동층 (호은펠스)	0.3	87	182	8	20	8.1	0.6	nd	nd	0.001 nd	0.8 nd	0.006	nd	nd
D54(중산-1)	길곡면 중산리	진동층 (호은펠스)	2.1	286	575	107	188	8.0	nd	0.05	nd	0.009	1.4 0.109	0.012 0.023	0.25	nd
D57(외동921-4)	길곡면 오호리	진동층	0.3	205	337	30	32	8.0	3.4	nd	nd	0.002 nd	0.2 nd	0.012	0.15	nd
D60(신촌921-4)	길곡면 북마리	진동층 (호은펠스)	0.3	137	239	20	18	7.4	2.6	nd	nd	0.002 0.051	0.2 nd	0.005	0.08	nd
D64(상촌-1)	길곡면 북마리	진동층 (호은펠스)	0.3	24	148	7	3	8.1	2.1	nd	nd	0.065	0.3 nd	nd	0.10	nd
D68(사동-1)	길곡면 북마리	진동층 (호은펠스)	0.3	164	264	34	3	8.0	6.8	nd	nd	0.030	nd	nd	nd	nd
D69(컨트리-6)	부곡면 거문리	진동층	0.6	146	226	6	15	7.9	0.5	nd	nd	1.106	nd	nd	nd	nd

No.	위치 (창녕군)	분포지질	수질검사 결과(단위:수소이온농도의 mg/l), 이외항목들: 불검출													
			과망간산칼륨 소비량	총 경 도	중 발 잔 류 물	염 소 이 온	황 산 이 온	수 소 이 온 농 도	질 산 성 질 소	암 모 니 아 성 질 소	음 활 이 온 성 계 면 적	벤 젠 / 아 연	불 소 / 철	비 소 / 망 간	알 루미늄 / 등	크 실 산 / 플 로 리 덴
먹는물(음용적부)수질기준(기준이내)			10	300	500	150	200	5.8~ 8.5	10	0.5	0.5	0.01 1	1.5 1.3	0.05 0.3	0.2 1	0.5 0.7
D74(굴말-1)	부곡면 부곡리	진동층	0.4	132	291	23	12	8.3	1.6	0.02	nd	nd 0.058	nd nd	0.011 nd	nd nd	nd nd
D81(하사항-1)	부곡면 사창리	진동층	0.3	81	134	4	nd	8.4	1.3	nd	nd	nd 0.012	nd nd	0.035 nd	nd nd	nd nd
D86(동정-2)	부곡면 청암리	진동층 (호은펠스)	0.3	116	157	5	nd	8.0	1.6	nd	nd	nd 0.026	0.2 nd	nd nd	nd nd	nd nd
D92(수다-6)	부곡면 수다리	안산암	0.3	108	135	2	5	8.3	nd	nd	nd	nd 0.003	nd nd	nd nd	nd nd	nd nd
D94(수다-2)	부곡면 수다리	안산암	0.7	162	167	13	11	8.0	4.2	nd	nd	nd 0.034	nd nd	nd nd	nd nd	0.002 nd
D96(수다-3)	부곡면 수다리	안산암	1.5	151	224	16	9	7.9	1.5	nd	nd	nd 0.047	nd nd	nd nd	nd nd	nd nd
D98(수다-5)	부곡면 수다리	안산암	0.6	103	149	8	7	8.3	2.2	nd	nd	nd 0.049	nd nd	nd nd	nd nd	nd nd
D99(수다-4)	부곡면 수다리	안산암	0.8	105	172	26	6	8.0	3.0	nd	nd	nd 0.012	nd nd	nd nd	0.03 nd	nd nd
D100(비봉-2)	부곡면 비봉리	안산암	0.3	94	122	6	7	7.8	0.9	nd	nd	nd 0.006	nd nd	nd nd	0.280 nd	nd nd
D103(비봉-1)	부곡면 비봉리	안산암	0.3	149	189	12	8	7.7	2.0	nd	nd	nd 0.009	nd nd	nd nd	0.280 nd	nd nd
D108(구산-1)	부곡면 구산리	안산암	0.3	169	242	4	12	7.9	nd	0.02	nd	nd 0.004	nd nd	nd nd	nd nd	nd nd
D114(구산-7)	부곡면 구산리	안산암	0.3	171	259	47	6	7.2	9.3	nd	nd	nd 0.026	nd nd	nd nd	nd nd	nd nd
D116(구산-8)	부곡면 구산리	안산암	0.3	141	215	10	7	8.0	1.0	nd	nd	nd nd	0.2 nd	nd nd	nd nd	nd nd
D117(논실-1)	부곡면 노리	화강섬록암	0.4	112	152	11	nd	7.6	nd	nd	nd	nd 0.029	nd nd	nd nd	nd nd	nd nd
OD1(경남96-1)	도천면 일리	진동층	0.8	194	300	9	130	8.0	0.4	nd	nd	nd nd	nd nd	nd 0.008	nd 0.011	nd nd
OD2(경남96-2)	영산면 성내리	진동층	0.4	195	292	36	29	7.9	0.2	0.05	nd	nd 0.062	nd nd	nd 0.029	nd nd	0.2 nd
평 균	충적지하수4공		0.95	147.5	269.75	18.25	110.0	6.975	1.9	0.002	nd	nd 0.041	0.025 0.026	nd 0.008	0.095 0.003	nd nd
SI(구계910-2)	영산면 구계리	충적층 (화강암/진동층)	1.0	51	152	7	8	7.1	1.7	5	nd	0.002 0.078	nd 0.107	nd nd	0.03 0.014	nd nd
S4(도천-8)	도천면 일리	충적층 (진동층)	0.7	344	587	34	402	7.0	2.9	nd	nd	nd 0.061	nd nd	nd 0.033	0.080 nd	nd nd
S9(길곡922-1)	길곡면 상길리	충적층 (진동층)	1.5	79	149	7	17	7.0	0.4	0.01	nd	nd nd	0.1 nd	nd nd	0.08 nd	nd nd
SI4(수다-9)	부곡면 수다리	충적층 (안산암)	0.6	116	191	25	13	6.8	2.6	nd	nd	nd 0.027	nd nd	nd nd	0.19 nd	nd nd
R1(요강원-1)	도천면 우강리	낙동강	10.8	122	399	52	23	7.6	13.3	0.87	0.1	nd 0.029	nd nd	nd 0.071	0.7 nd	0.002 nd

다. 이온분석

지하수에 용해된 화학성분중 대부분은 Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} 를 주요원소로 한다. 조사지구 지하수의 수질조성상의 특성과 물성분의 변화를 파악하기 위하여 낙동강 하천수 1개소를 포함 43개소에 대하여 EC, 양이온, 음이온 분석을 농어촌진흥공사 농어촌연구원에 의뢰하였다.

분석결과를 토대로 하여 수질특성을 파악하기 위하여 주성분인 양이온 Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} , K^+ 등과 음이온 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 함량비를 epm(equivalents per million)으로 환산하여 성분분석에 이용하였다(표 4-12).

암반관정의 양이온 평균은 K^+ 0.0469epm, Ca^{+2} 2.901epm, Na^+ 1.1006epm, Mg^{+2} 0.8008epm 이며, 음이온 평균은 HCO_3^- 1.8925epm, Cl^- 0.9858epm, SO_4^{2-} 0.9735epm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.0342epm 이다. 층적관정의 양이온 평균은 K^+ 0.1929epm, Ca^{+2} 1.9930epm, Na^+ 0.9187epm, Mg^{+2} 0.9081epm 이며, 음이온 평균은 HCO_3^- 0.9628epm, Cl^- 1.3892epm, SO_4^{2-} 2.2901epm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.0306epm 으로 나타났다. 암반관정은 Ca^{+2} 와 HCO_3^- 이온농도가 높고, 층적관정은 Cl^- 와 SO_4^{2-} 이온농도가 상대적으로 높게 나타난다.

Piper diagram은 $\text{Na}+\text{K}$ 와 $\text{Ca}+\text{Mg}$ 및 $\text{Cl}+\text{SO}_4$ 와 HCO_3^- 의 함량 백분율을 Key diagram 으로 표시한 것으로 양이온은 $\text{Na}+\text{K}$, Mg 및 Ca 를 그리고 음이온에서 HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} 의 관계를 백분율로 환산하여 각각 삼각 diagram에 투영, 상대적 농도를 비교분석 하는 것이다.

그림. 4-25, 26, 27, 28은 분포지질별 산출지하수의 평균 이온조성을 Piper diagram에 투영한 그림으로 조사지구의 암반지하수는 대체적으로 비슷한 수질조성상의 분포를 나타내며, 함안층을 제외한 암반지하수는 양이온이 Ca^{+2} 형, 음이온이 HCO_3^- 형에 속하고, 함안층에서 산출되는 암반지하수와 기타 층적층 지하수는 양이온이 Ca^{+2} 형에 도시되고 음이온은 뚜렷이 구분되지는 않는다. 암반관정의 이온분포는 양이온은 비교적 집중되어 나타나며, 음이온은 산재되어 나타나는데 함안층 암반관정과 기타 수개소의 암반관정들은 층적관정과 비슷한 Cl^- 과 SO_4^{2-} 의 높은 함량을 나타내며 이러한 음이온 분포를 보이는 관정은 지하수의 오염과 관련된 것으로 생각된다.

Cl^- 과 SO_4^{2-} 음이온 함량이 높은 지하수 관정들은 주로 함안층과 함안층 주위의 진동층을 기반암으로 하는 관정들에서 나타나며, 관정위치는 영산천과 서천천 그리고 도천천이 합류하는 지점 주위와 그 수계하류 지역인 낙동강 제방 배후지역까지에 밀집되어 나타나는데 그 지역은 현장검사시 전기비전도도값이 $600\mu\text{s}/\text{cm}$ 이상이고, 먹는물 음용적부 수질검사시 불합격 항목이 집중된 지역이기도 하다. 이러한 수질오염의 원인은 양이온중 Na^+ 성분이 비교적 낮게 나타나므로 낙동강 기저를 따라 유입되는 해수침입의 가능성은 희박하다고 판단되며, 기반암인 함안층 자체에 함유된 염류성분들이 지하수에 농축되기 쉬운 조건이었거나 수위관측공조사에서 나타난 낙동강 제

방 배후측 저지대에서 지하수 흐름의 정체현상으로 나타날 수 있는 염류의 농축에 의한 오염일 가능성, 영산면 성내리와 도천면 일리에 집중된 주택지역에서 흘러나오는 생활하수의 지하침투에 의한 오염 가능성 등의 복합적인 요소에 의한 결과로 판단된다.

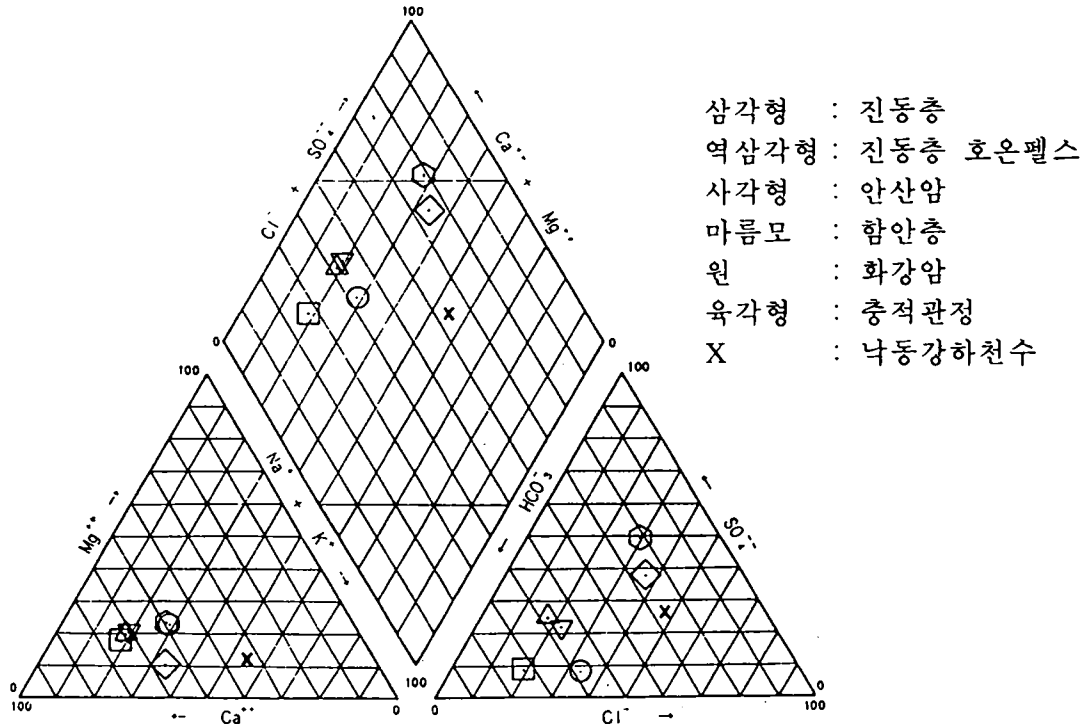
Stiff diagram은 diagram 좌측에 $Na^+ + K^+$, 양이온의 epm 함량을 각각 표시하고 음이온의 epm 함량을 diagram 우측에 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 로 각각 표시하여 이온함량의 절대적인 농도를 diagram모양을 이용, 형태적으로 분석하고 그 형태의 크기를 산출 비교하여 오염정도의 척도로 이용하기 위해서 사용한다. Stiff diagram에서 양이온 함량은 총적관정과 암반관정의 모두 $Ca^{2+} > Na^+ + K^+ > Mg^{2+}$ 의 순으로 비슷하게 나타났으나 음이온 함량에 있어서는 총적관정 $SO_4^{2-} > Cl^-$ 의 관계를 나타내고 있다. 암반관정에 있어 대체로 양이온 함량이 음이온 함량보다 높게 나타나며, 화강암-안산암-진동층호른펠스-진동층-함안층의 내림순서로 기반암의 종류에 따라 점차 음이온 함량이 증가하며, 음이온 구성도 $Cl^- < SO_4^{2-}$ 로 변화되어 함안층을 기반암으로 하는 암반관정의 지하수 이온 조성은 총적관정과 유사한 이온조성을 나타낸다.

<표. 4-11> 지하수 이온함량 분석결과

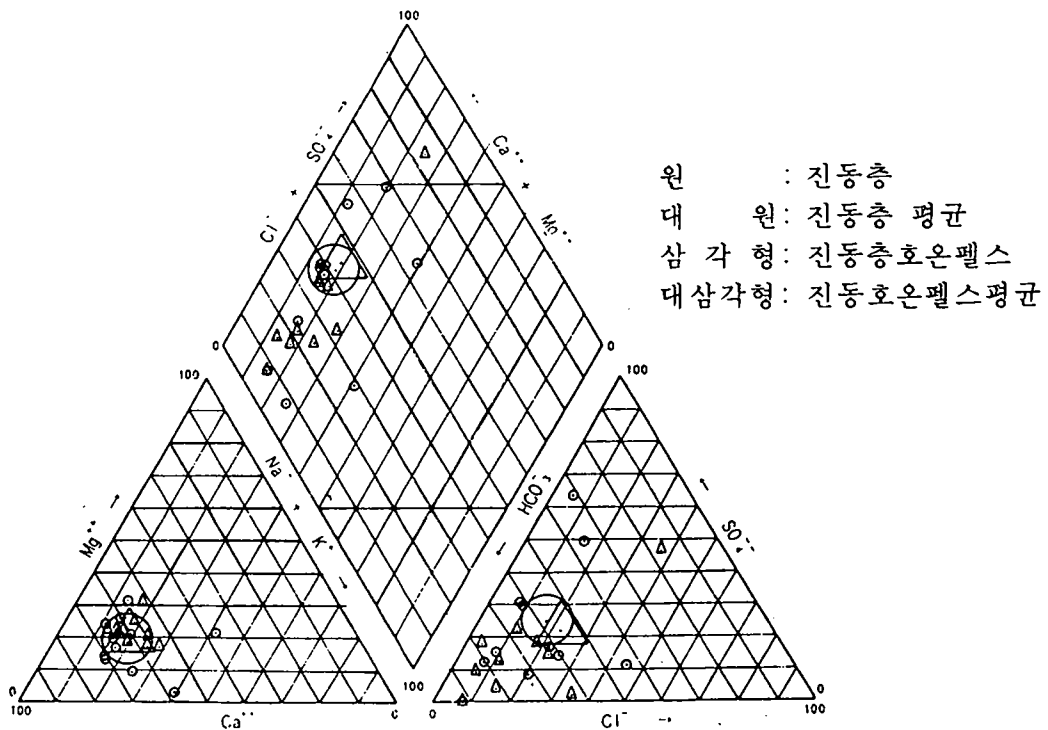
No.	위치 (창녕군)	분포지질	실 내 검 사 결 과									
			E.C (μs)	pH	양이온(epm)				음이온(epm)			
					K^+	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
평균	암반지하수	38공			0.0469	2.9014	1.1006	0.8008	1.8925	0.9858	0.9735	0.0342
	11공	진동층			0.0437	2.9157	0.8534	0.9459	2.1172	0.6359	0.8952	0.0231
	10공	진동층(호른펠스)			0.0612	2.1233	0.6303	0.7144	1.5242	0.6092	0.6016	0.0289
	11공	안산암			0.0267	2.2528	0.6335	0.5941	1.7894	0.4795	0.2157	0.0398
	4공	함안층			0.0923	7.6592	4.5705	1.4168	3.1263	4.6052	4.6480	0.0685
	2공	화강암			0.0140	0.7694	0.4402	0.3392	0.5982	0.3385	0.0832	0.0225
	총적지하수	4공			0.1929	1.9930	0.9187	0.9081	0.9628	1.3892	2.2901	0.0306
S1(구계910-2)	영산면구계리	총적층(화강암)	153	10.1	0.0465	0.6112	0.4110	0.2377	0.5572	0.1974	0.1655	0.0274
S2(신제-2)	영산면신제리	총적층(함안층)										
S3(덕산-1)	영산면신제리	총적층(함안층)										
S4(도천-8)	도천면일리	총적층(진동층)	858	7.0	0.5561	4.8467	1.6403	2.2366	1.1964	0.9591	8.2696	0.0467
S5(도천-9)	도천면도천리	총적층(진동층)										
S6(논리-1)	도천면논리	총적층(진동층)										
S7(논리-2)	도천면논리	총적층(진동층)										
S8(송진-4)	도천면송진리	총적층(진동층)										
S9(길곡922-1)	길곡면상길리	총적층(진동층)	186	7.8	0.0588	0.9840	0.3262	0.5001	0.8686	0.1974	0.3539	0.0064
S13(오호-2)	길곡면오호리	총적층(진동층)										
S14(수다-9)	부곡면수다리	총적층(진동층)	310	7.3	0.1104	1.5304	0.6398	0.6580	1.2292	0.7052	0.2706	0.0419
S15(구산-9)	부곡면구산리	총적층(안산암)										
OS1(경남96-2)	도천면일리	총적층(진동층)	451	7.5	0.0294	2.7170	0.8408	0.9204	1.3603	0.2538	2.7066	0.0064
OS2(경남96-4)	영산면성내리	총적층(진동층)	451	7.6	0.0618	3.3722	0.7081	0.9854	2.4421	1.0155	0.6307	0.0032
R1(요강원-1)	도천면우강리	낙동강	518	7.6	0.2370	1.5793	2.4016	0.5930	1.0981	1.4669	0.4788	0.2145

No.	위치 (창녕군)	분포지질	실 내 검 사 결 과																	
			E.C (μ s)	pH	양이온(epm)				음이온(epm)											
					K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	So ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻								
D41(송진-2)	도천면송진리	함안층																		
D42(송진-3)	도천면송진리	함안층																		
D43(창녕-5)	길곡면상길리	진동층(호온펠스)																		
D44(동산922-3)	길곡면상길리	진동층(호온펠스)																		
D45(상갈-1)	길곡면상길리	화강암																		
D46(길곡922-4)	길곡면상길리	진동층(호온펠스)																		
D47(길곡922-2)	길곡면상길리	진동층(호온펠스)	377	7.9	0.0393	2.3453	0.5872	0.8176	1.8029	0.5359	0.4788	0.0209								
D48(중길921-9)	길곡면길곡리	진동층(호온펠스)																		
D49(길곡-1)	길곡면길곡리	진동층(호온펠스)																		
D50(양달921-8)	길곡면길곡리	진동층(호온펠스)																		
D51(양달922-5)	길곡면길곡리	진동층(호온펠스)	218	7.8	0.0352	1.2934	0.3801	0.5881	1.2292	0.0846	0.2706	0.0080								
D52(중길921-8)	길곡면길곡리	진동층(호온펠스)	246	8.1	0.0227	1.3283	0.6842	0.4326	1.3112	0.2256	0.4164	0.0096								
D53(중길921-6)	길곡면길곡리	진동층(호온펠스)																		
D54(중산-1)	길곡면중산리	진동층(호온펠스)	800	7.7	0.2498	4.9705	1.8809	1.5218	1.3767	3.0184	3.9141	-								
D55(하내-1)	길곡면중산리	화강암																		
D56(중산-2)	길곡면중산리	진동층(호온펠스)																		
D57(외동921-1)	길곡면오호리	진동층	467	8.1	0.0738	3.4979	0.7160	0.6572	2.3765	0.8463	0.6662	0.0548								
D58(외동921-2)	길곡면오호리	진동층																		
D59(내동921-3)	길곡면오호리	진동층(호온펠스)																		
D60(신촌921-4)	길곡면오호리	진동층(호온펠스)	304	9.1	0.0854	2.0992	0.5750	0.6391	1.5406	0.5642	0.3747	0.0419								
D61(신촌921-5)	길곡면오호리	진동층(호온펠스)																		
D62(오호-1)	길곡면오호리	진동층																		
D63(우강817-6)	길곡면오호리	진동층																		
D64(상촌-1)	길곡면북마리	진동층(호온펠스)	209	7.6	0.0145	1.2969	0.3580	0.4277	1.1309	0.1974	0.062	0.0338								
D65(창녕-3)	길곡면북마리	진동층(호온펠스)																		
D66(중촌-1)	길곡면북마리	진동층(호온펠스)																		
D67(중촌-2)	길곡면북마리	진동층(호온펠스)																		
D68(사동-1)	길곡면북마리	진동층(호온펠스)	412	7.5	0.0654	2.6596	0.6411	0.8678	1.7865	0.9591	0.0624	0.1096								
D69(컨트리-6)	부곡면거문리	진동층	369	7.8	0.0516	2.7400	0.5955	0.4787	1.9995	0.1692	0.3123	0.0080								
D70(컨트리-8)	부곡면거문리	진동층																		
D71(컨트리-7)	부곡면거문리	진동층																		
D72(컨트리-9)	부곡면거문리	진동층																		
D73(병원-1)	부곡면거문리	진동층(호온펠스)																		
D74(굴말-1)	부곡면부곡리	진동층	444	8.1	0.0250	1.6631	1.8213	0.9780	2.2454	0.6488	0.2498	0.0258								
D75(굴말-2)	부곡면부곡리	진동층																		
D76(사창-1)	부곡면부곡리	진동층																		
D77(사창-2)	부곡면사창리	진동층																		
D78(하사창-4)	부곡면사창리	진동층																		
D79(하사창-3)	부곡면사창리	진동층																		
D80(하사창-2)	부곡면사창리	진동층																		

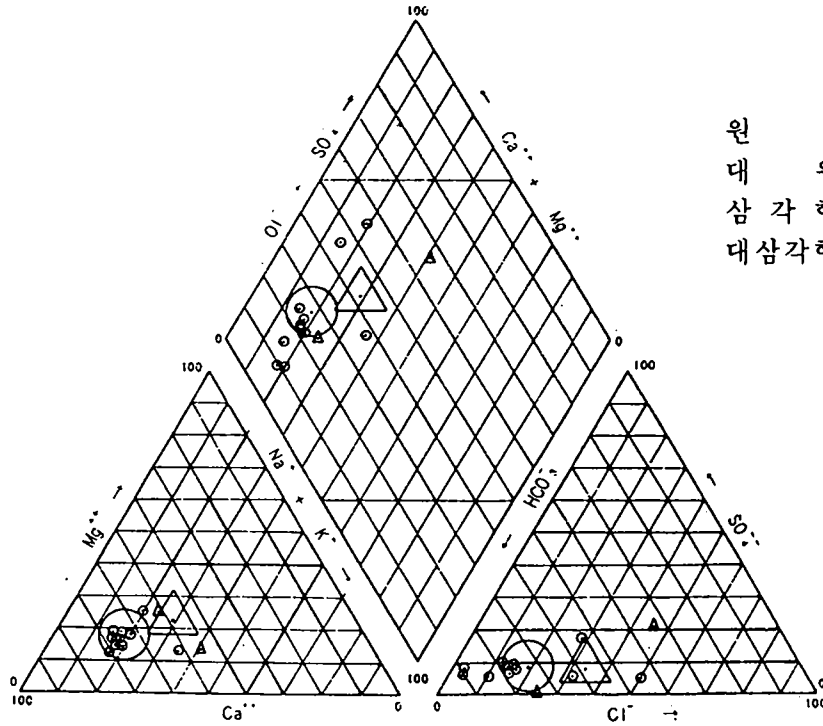
No.	위치 (창녕군)	분포지질	실 내 검 사 결 과									
			E.C (μ s)	pH	양이온(epm)				음이온(epm)			
					K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
D81(하사창-1)	부곡면 사창리	진동층	210	7.8	0.0230	1.4361	0.5289	0.1990	1.3439	0.1128	-	0.0209
D82(온정-1)	부곡면 온정리	진동층										
D83(상청암-1)	부곡면 청암리	진동층										
D84(점촌-1)	부곡면 청암리	진동층										
D85(동점-4)	부곡면 청암리	안산암										
D86(동점-2)	부곡면 청암리	진동층(호온펠스)	236	7.6	0.0217	1.6137	0.3627	0.5675	1.6881	0.1410	-	0.0258
D87(동점-3)	부곡면 청암리	진동층(호온펠스)										
D88(동점-1)	부곡면 청암리	진동층(호온펠스)										
D89(청암-3)	부곡면 청암리	진동층										
D90(청암-2)	부곡면 청암리	진동층										
D91(청암-1)	부곡면 청암리	진동층										
D92(수다-6)	부곡면 청암리	안산암	220	7.8	0.0140	1.6152	0.3788	0.2879	1.5078	0.0564	0.1041	-
D93(수다-1)	부곡면 수다리	안산암										
D94(수다-2)	부곡면 수다리	안산암	393	7.6	0.0227	2.5798	0.6494	0.6523	1.9340	0.3667	0.2290	0.0677
D95(수다-8)	부곡면 수다리	안산암										
D96(수다-3)	부곡면 수다리	안산암	389	7.7	0.0260	2.5583	0.6559	0.7576	2.2454	0.4513	0.1873	0.0241
D97(수다-7)	부곡면 수다리	안산암										
D98(수다-5)	부곡면 수다리	안산암	256	7.8	0.0158	1.5174	0.4750	0.4351	1.2948	0.2256	0.1457	0.0354
D99(수다-4)	부곡면 수다리	안산암	317	7.8	0.0294	1.5449	1.0487	0.3751	1.4095	0.7334	0.1249	0.0483
D100(비봉-2)	부곡면 비공리	안산암	213	7.7	0.0153	1.4910	0.3706	0.3216	1.1473	0.1692	0.1457	0.0145
D101(비봉-7)	부곡면 비공리	안산암										
D102(비봉-3)	부곡면 비공리	안산암										
D103(비봉-1)	부곡면 비공리	안산암	317	7.7	0.0235	2.2594	0.5011	0.5478	1.5570	0.3385	0.1665	0.0322
D104(비봉-4)	부곡면 비공리	안산암										
D105(비봉-5)	부곡면 비공리	안산암										
D106(비봉-6)	부곡면 비공리	안산암										
D107(비봉-8)	부곡면 비공리	안산암										
D108(구산-1)	부곡면 구산리	안산암	389	7.9	0.0127	2.9445	0.8552	0.6227	2.8354	0.1128	0.2498	-
D109(구산-2)	부곡면 구산리	안산암										
D110(구산-3)	부곡면 구산리	안산암										
D111(구산-4)	부곡면 구산리	진동층(호온펠스)										
D112(구산-5)	부곡면 구산리	진동층(호온펠스)										
D113(구산-6)	부곡면 구산리	진동층(호온펠스)										
D114(구산-7)	부곡면 구산리	안산암	405	7.4	0.0184	2.0394	0.6803	0.9451	1.1636	1.3258	0.1249	0.1500
D115(구산-11)	부곡면 구산리	안산암										
D116(구산-8)	부곡면 구산리	안산암	359	7.7	0.0184	2.6367	0.6081	0.6580	2.3273	0.2821	0.1457	0.0161
D117(논실-1)	부곡면 노리	화강섬록암	228	7.3	0.0150	1.0987	0.4924	0.5379	0.9342	0.3103	-	-
D118(논실-3)	부곡면 노리	화강섬록암										
D119(논실-2)	부곡면 노리	화강섬록암										
OD1(경남96-1)	도천면 일리	진동층	518	7.5	0.0294	2.7170	0.8408	0.9204	1.3603	0.2538	2.7066	0.0064
OD2(경남96-2)	영산면 성내리	진동층	451	7.6	0.0618	3.3722	0.7081	0.9854	2.4421	1.0155	0.6037	0.0032



<그림. 4-25> 분포지질별 지하수평균 화학조성 Piper diagram

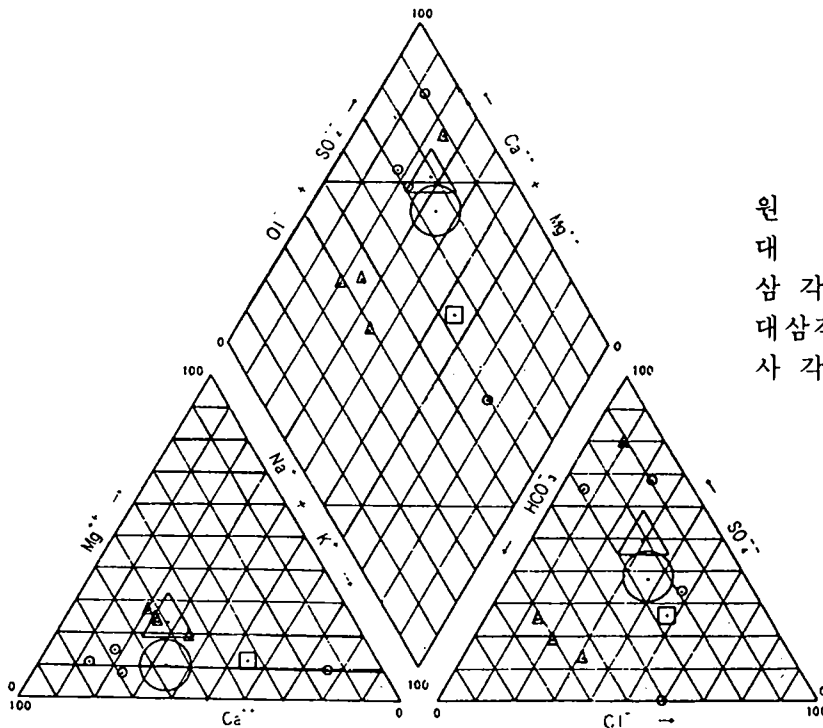


<그림. 4-26> 진동층 분포지 암반관정 Piper diagram



원 : 안산암
 대 원 : 안산암평균
 삼 각 형 : 화강암
 대삼각형 : 화강암평균

<그림. 4-27> 안산암과 화강암 분포지 암반관정 Piper diagram



원 : 함안층
 대 원 : 함안층평균
 삼 각 형 : 충적관정
 대삼각형 : 충적관정평균
 사 각 형 : 낙동강하천수

<그림. 4-28> 함안층분포지 암반관정, 충적관정 및 낙동강하천수 Piper diagram

4-5-2. 잠재오염원 조사

인간의 활동에 의해서 수문환경으로 유입되는 모든 물질은 지하수를 오염시킬 수 있으며, 지하수문계로 유입된 오염물질의 농도가 지하수 이용목적에 부합되지 않을 경우 지하수가 오염되었다고 할 수 있다. 지하수 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 점오염원은 점원위치에서 오염물질이 배출되는 것을 말하며, 정화조, 지하저장탱크, 유해폐기물 부지, 매립지, 지표처리시설, 폐관정 등이다. 비점오염원은 넓은 지역에서 오염물질이 광범위하게 살포되어 확산되는 것을 말하며, 농약살포, 비료살포 등의 농업오염원과 산성강우 등이 있다.

가. 정화조

분뇨에는 다량의 질소화합물이 포함되어 있으며, 질소화합물은 토양에 유입되면 토양박테리아에 의해 질산염으로 산화되어 지하수로 침투된다. 유역별 인구와 경지면적은 하천수의 수질에 영향을 미치는 인자이나 본지구의 인구밀도는 비교적 낮아 ($163\text{명}/\text{km}^2$) 지하수 오염에는 큰 영향은 미치지 않을 것으로 예상된다.

최근 농촌에서도 현대식 주택이 널리 보급되면서 정화조에 의한 분뇨 하천유출이 이루어져 토양오염이 이루어질 가능성이 있으며, 본 지구에서의 질소화합물의 지하수 유입상황을 분석하면 암모니아성 질소는 아주 소량($0.10\text{mg}/\text{l}$)으로 아주 낮은 값을 나타내지만 조사지구를 남측류하는 낙동강 하천수의 질산성질소와 암모니아성질소의 합량이 $13.3\text{mg}/\text{l}$ 와 $0.87\text{mg}/\text{l}$ 로 상당히 오염된 상태를 나타내고 있으며, 낙동강 제방의 배후 저지대에 위치한 암반관정에서도 상당히 높은 질소화합물의 함량을 나타내고 있다.

나. 농약 및 비료살포

농업오염원은 가축의 분뇨, 비료, 각종 농약 등이 대부분을 차지한다. 이들의 성분은 주로 질소화합물, 인산염, 박테리아, 염화물, 중금속 등이다. 농경지 분포면적은 1994년 창녕군 통계연보를 참고하여 조사하였으며, 농경지 면적분포는 $3,814\text{ha}$ 로 이중에서 농경지 면적이 영산면이 $1,103\text{ha}$ 로 가장 크며, 길곡면이 713ha 로 가장 작은 것으로 나타났다.

다. 폐기관정

지하광물자원 및 지하수 등을 탐사 또는 개발하기 위하여 시추를 많이 하고 있다. 이러한 시추공들은 보통 소기의 목적을 달성한 후에는 방치하게 되는데, 이때 시추공의 처리작업을 소홀히 할 경우, 지표의 여러 오염물질들이 시추 공내로 침투하여 대수층을 단시일 내에 오염시키게 된다.

본 지구에서 폐기관정수의 파악은 어려우나 부곡면은 온천관광단지 주변에서 온천개발을 위한 시추조사공의 폐기방치가 상당수 존재하며 온천용 관정 등의 시설물이 집중되어 있다. 조사지역 내에 개발된 관정의 대부분은 농업용 관정으로 영농기에만 사용되고 비영농기에는 사용되지 않아 이들 관정에 대해서도 수질보호를 위하여 관리가 요망된다.

라. 주유소

주유소의 저장탱크에서 유해 유기화합물이 누출되면 지하수를 오염시킬 수 있다. 주유소는 영산면에 2개소, 도천면 2개소, 길곡면 1개소, 부곡면 2개소 있으며, 그외 부곡온천 관광단지 내 관광단지운용을 위한 대규모 유류저장시설도 3개소 있다.

5. 지하수 관측망 설치

5-1. 목적

지하수관측은 지하수의 장기적이고 주기적인 수위 및 수질관측에 의하여 시간에 따른 지하수의 수위 내지 수량의 물리적 변화, 수질등의 생화학적 변화를 파악하고 이들 자료를 기상 및 지표수 문 자료와 연계 분석하여 종합적인 지하수의 시·공간적인 변화 예측의 기초자료로 사용하며, 나아가 지하수의 양적인 보전과 수질오염을 조기에 발견하기 위하여 지하수 관측을 수행한다.

지하수 관측망은 지하수보전 관리를 위하여 지리적으로 분산되어 있는 이들 관측정들을 연계하여 구축한 일종의 Network로서 주기적이며, 장기적으로 지하수위 및 수질관측을 함으로서 지하수의 부존 및 유통 특성과 배경수질을 파악하고 지하수의 지반침하, 수원고갈, 수질오염 등의 지하수 환경재해의 발생원인을 규명하여 이를 토대로 지하수자원의 효율적 관리를 위한 합리적인 개발 계획과 보전대책을 수립하는데 그 목적이 있다.

5-2. 위치선정

지하수관측정은 용수공급이 주 목적이 아니므로 대체로 우물의 구경이 작으며, 지리적인 수리 지질학적 특성과 감시하고자 하는 오염물질의 물리화학적 성질을 고려하여 그 설치 깊이와 위치 등을 결정해야 한다. 지하수관정에서 양수되는 지하수는 양수정 주변지역에서는 양수에 의한 지하수의 구조적 영향에 의해 양수정을 중심으로 모여든 지하수와, 먼거리의 지하수 충전지역에서는 지하수의 광역적인 흐름에 의해 지하충진되어 이동되어 온 지하수를 모두 포함한다. 결과적으로 관정에서 양수되는 지하수의 수질은 충전지역과 이로부터 양수정까지의 이동경로, 그리고 양수정 주변으로부터 영향을 받게 된다.

본지구에서의 관측정 설치는 조사지구 내에서 유역면적이 가장 크고 기설관정조사 및 수질검사 등을 통해 볼 때 오염의 진행이 심하고 지속적인 수질오염이 예상되는 서천천, 영산천 수계 내에서 지하수의 유통 및 부존특성과 지하수의 수질 등의 변동파악이 용이한 지점에 관측정 설치를 계획, 소규모 수계가 수렴되는 지점인 영산면 구계리등의 지하수 함양지역의 지하수가 수렴하여 유통되는 지점인 영산면 면사무소 부지내 인근에 상류관측정을 선정하고, 지하수 수질오염 정도가 뚜렷이 관찰 가능한 하류부 지점 1개소(도천면 면사무소)를 하류 관측정 설치 위치로 선정하였다. 자동화 측정을 위한 통신모뎀용 전화송수신 회선 설치가 가능한 지역에 위치를 선정, 총적

대수층에서의 수위관측 및 수질평가를 위한 충적관측정과 암반대수층에 대한 관주를 위한 암반관측정 각1조씩을 설치하였다.

<표. 5-1> 관측정 위치선정 내역

공번	위 치				심도 (m)	우물 구경 (ϕ)	분포암석	수 계	비 고
	군	면	리	X,Y					
OD1	창녕	도천	일	156. ¹⁰ ,215. ¹⁵	150	ϕ 6	퇴적암 (진동층)	서천천 영산천	하류암반
OS1	창녕	도천	일	156. ¹⁰ ,215. ¹⁵	9.0	ϕ 6	퇴적암 (진동층)	서천천 영산천	하류충적
OD2	창녕	영산	성내	157. ¹⁰ ,217. ¹⁸	200	ϕ 6	퇴적암 (진동층)	서천천 영산천	상류암반
OS2	창녕	영산	성내	157. ¹⁰ ,217. ¹⁸	8.0	ϕ 6	퇴적암 (진동층)	서천천 영산천	상류충적

5-3. 관측공 수리특성

조사지구의 대수층에 대한 수리지질학적 특성을 파악하고 향후 장기적인 수위 및 수질관측을 위한 충적지하수 관측정과 암반지하수 관측정을 1개 조로 하여 관측정 2조 4개공에 대하여 관측정 착정공사를 실시하였다.

관측정 구경결정은 관경에 설치하는 펌프의 크기와 자동관측 시스템 센서봉을 설치할 수 있는 크기에 좌우되므로 암반관측정은 이들 목적에 가장 합리적이고 경제적인 우물구경인 150mm(ϕ 6, 착정구경 ϕ 8)로 설치하였다. 미고결층인 풍화대하부까지 직경 300mm(12)로 굴진하공 하부암반부는 100m까지 D.T.H 공법으로 200mm(ϕ 8) 로 굴진하였으며, 대수층의 완전한 관통을 위하여 상류관측정은 100~200m까지를, 하류관측정은 100~150m까지를 150mm(ϕ 6)로 추가 굴진하였다. 한편, 향후 공내붕괴 등에 따른 관측정 훼손을 방지할 수 있도록 ϕ 8로 굴착된 100m까지에 대하여 150mm(ϕ 6) P.V.C우물자재를 설치하였으며, 대수층 구간에 대하여는 스크레너를 설치하였다.

<표. 5-2> 관측정 시설 설치내역

공 번	지 층 내 역							양 수 시 험			
	토사 (m)	사층 (m)	사력 (m)	풍화대 (m)	연암 (m)	보통암 (m)	계 (m)	자연수위 (m)	안정수위 (m)	양수량 (m ³ /d)	투수량계수 (m ² /sec)
OD1	1.0	5.0	-	3.0	69.0	72.0	4.8	150	73.1	185	2.83 × 10 ⁻⁵
OS1	1.0	5.0	-	3.0	-	-	4.02	9.0	6.43	50	2.12 × 10 ⁻⁴
OD2	-	2.6	3.4	2.0	71	121	6.8	200	75.8	74.3	9.53 × 10 ⁻⁶
OS2	-	2.6	3.4	2.0	-	-	3.5	8.0	6.35	30	1.15 × 10 ⁻⁴

충적층 지하수는 충적대수층의 보호를 위하여 이수 순환공법으로 200m/m(φ8)로 암반 굴진하였으며, 150m/m(φ6) 우물자재를 설치하고 자갈을 충전하였다. 관측정 심도는 암반지하수 관측정의 경우 지형지질 및 주변의 동일 대수층에 기설치된 기설관정의 자료를 이용하여 대수층이 완전 관통될 수 있도록 설계 시공하였다. 관측정 유공관 재료는 P.V.C, 수직 스로트드형 유공관형을 사용하여 암반 관측정의 경우 스트레나와 파이프 배열비는 3 : 7 로 배열하였으며, 충적관측정은 주대수층을 형성하는 사력층 구간에 스트레나를 설치하였다.

보호시설물은 수위와 수질을 관측하기 위한 관측정을 장기적으로 보호 유지하고, 지하수 관측 장비등 내부 시설물을 외부의 유해요소로부터 보호하기 위하여 관측정에 대하여 보호시설물을 설치하고 울타리를 설치하였다.

가. 하류관측정 (창녕군 도천면 면사무소 부지내)

암반지하수 관측정 (OD1) 완성을 위하여 조사장비는 R-50형 고성능 착정기를 사용하였다. 관측정의 심도는 150m이고, 우물자재는 100m까지 설치하였고, 양수량은 185m³/일이며, 자연수위는 4.8m이다.

지하지질은 지표로부터 0~1.0m까지는 토사층으로 암갈색의 니질토양이며, 1.0~6.0m까지는 경상계 퇴적암인 진동층의 풍화대로 황회색~암회색의 기반암의 풍화잔류대로 하부로 갈수록 경도가 증가하여 기반암으로 점변한다. 9.0~78.0m까지는 연암에 해당하는 경상계 퇴적암인 진동층으로 암청회색, 연청회색 및 박층의 저색세일의 호층으로 판상 및 쇄기상이 우세한 직경 0.1~20mm 정도의 스라임으로 산출되었다. 뚜렷한 대수층 및 파쇄대를 나타내진 않고 다만 지하 30m 부근에 약 30m³/일의 대수층이 발달하고 있다.

78.0~150.0m는 상부연암고 같은 진동층의 보통암에 해당되며, 저색세일이 산출되지 않고 하부

로 향할수록 암청회색 세일이 우세하게 (연청회색 세일보다) 나타난다. 스라임은 0.1~25mm 직경으로 판상 및 쇠기상이 우세하고 하부로 향할수록 입경의 다양성이 나타나며, 암질의 경도가 증가하여 굴진속도가 저하된다. 101~102m 구간은 주대수층 구간으로 최대직경 50mm의 파쇄암편이 산출되는 파쇄대가 발달하고, 지하수의 화학적 작용의 산물인 방해석맥이 파쇄암편에 나타난다. 지하 117m 부근은 뚜렷한 파쇄대의 증거가 없이 약 50m³/일의 양수량 증가를 보이는 대수층이 존재한다.

충적지하수 관측정의 착정구경 200mm로 심도는 9.0m이고, 양수량은 50m³/일이다. 상가지역의 지층내역은 암반관측정과 1m 거리에 위치하여 암반관측정의 연암상부 지층내역과 동일하며, 착공 완료후 6 스트레너를 9.0m까지 설치하고 10mm 미만의 원마도가 양호한 자갈을 우물자재와 관정 벽 사이에 충전한 다음 에어써징 작업을 실시하여 관측정을 완성하였다. 4.5~6.0m 사이의 사층에 대수층이 발달하고 있으며, 6.0~9.0m 사이의 풍화대층은 니질성분이 다량 함유되어 대수층 형성이 불량하다.

나. 상류관측정(창녕군 영산면 면사무소 부지내)

본지구 암반관측정 심도는 200m이고 관정보호를 위한 우물자재는 100m 까지 설치하였고, 자연수위는 6.8m이다. 지하지질은 지표로부터 0~3.4m 까지는 면사무소 건축을 위한 부지정리 작업에 따른 성토층으로 직경 1~10cm의 각력으로 구성된 점토질 자갈층이며, 3.4~6.0m 구간은 직경 1~3m의 각질력이 혼재하는 황회색의 모래층이 발달하고 6.0~8.0m까지는 풍화대로 황회색 점질의 경상계 세일층의 기반암 풍화 잔류대로서 하부로 갈수록 경도가 증가하여 암청회색의 기반암으로 점변한다.

8. 0~79.0m 구간은 연암층으로 경상계 퇴적암인 진동층의 세일로 주로 암청회색을 나타내고 소구간 연청회색을 나타내기도 한다. 직경 1.0~1.0mm의 관상의 각력으로 스라임이 산출되고 뚜렷한 대수층의 형성이 불량하다. 79.0~200m 구간은 상부 연암층과 같은 진동층 세일의 보통암층으로 주로 암청회색 세일의 관상, 각력질 스라임으로 산출된다.

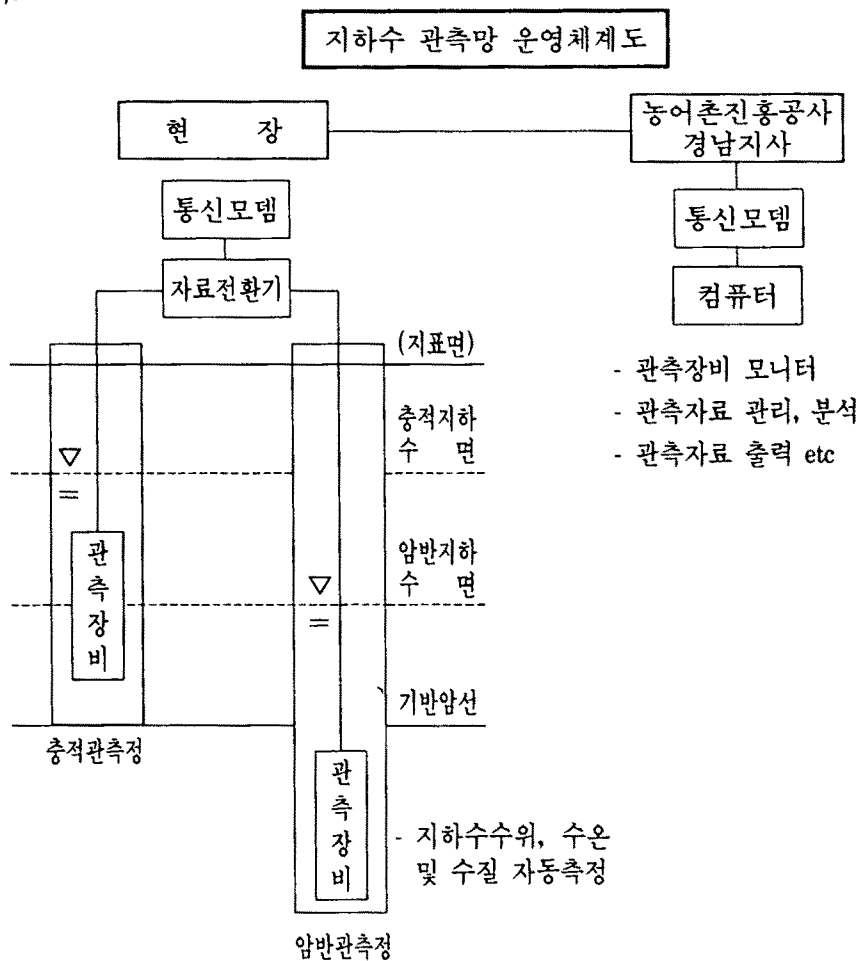
본 암반관측정은 뚜렷한 대수층의 발달이 없고 굴착심도 증가에 따라 양수량의 점증현상을 보여준다. 8~79m 구간에서 약 30m³/일의 양수량이 79~102m 구간에서 약 10m³/일, 150~170m 구간 10m³/일, 180~200m 구간에서 약 30m³/일의 양수량 증가가 나타났다. 상가지역의 충적지하수 관측정의 심도는 8.0m이고 자연수위는 3.5m이며, 지층내역은 암반지하수 관측정과 거의 1m이내로 암반관측정의 연암층 상부구간의 지층내역과 동일하다. 대수층은 사층중의 4~6m 구간으로 양수량은 대략 30~50m³/일로 판단되고 사층이하 풍화대층은 점질성분이 많아서 대수층 형

성에 불리한 조건이다.

착공완료후 $\phi 6$ 스테레나와 파이프를 8.0m까지 설치하고 10mm미만의 원마도가 양호한 자갈을 우물자재로 주변에 충전한 다음 에어써징 작업을 실시하여 관측정을 완성하였다.

5-4. 자동관측 장비 구성, 설치 및 관측

주기적으로 현장의 지하수관측정내에 설치된 지하수 관측장비의 센서를 통해서 지하수의 수질, 수온, EC, pH 등을 관측하여 그 변화를 분석해야 하는 지하수 관측의 경우에는 인력을 사용하여 먼 거리의 관측정에서 작업을 하기에는 많은 어려움이 있고, 또 많은 관정에 대하여 측정을 실시하였을시 이와 같은 작업을 하기에는 어려움이 많다. 따라서 관측항목을 자동으로 관측할 수 있고 원격지인 사무실에서 PC통신용 송수신 회선을 통하여 측정자료를 획득할 수 있는 시스템을 구축하였다.



<그림. 5-1> 자동관측 시스템 운영도

본지구의 지하수 관측정에 설치된 자동관측장비의 사양은 다음과 같다.

- 기종 (Model) : Tuber-series 2 (분리형)
- 전 원 : 내장형 BAT, AC전원 (AC전원설치)
- 기 역 용 량 : 128kb logged data 또는 65,000점
- 무 계 : 약 1kg
- 측 정 항 목 : 수위, 수온, 전기전도도, pH
- 제 작 회 사 : 영국 M²

<표. 5-3> 지하수 자동관측 장비 측정오차

항 목	사 양
수 위	범 위 : 0.0m - 200m 정확도 : 0.1% 분해능 : 0.01%
수 온	범 위 : 0 - +50C 정확도 : 1% 분해능 : 0.2%
전 기 전 도 도	범 위 : 20 μ s/cm - 19ms/cm 정확도 : 3% 분해능 : 2 - 5 μ s/cm
pH	범 위 : pH2 - pH12 정확도 : 0.1 unit 분해능 : 0.05 umit

PC 통신용 송수신 회선을 이용, 모뎀을 통해서 자료를 획득하기 위하여 관측정 관측자료 송신 모뎀은 현장에 설치 사용하고 전화선 이용을(PC통신) 위해 전화회선을 설치하였다. 사무실 수신용 모뎀으로 국내상용 모뎀(1.44Kbps)을 이용하였다. S/W는 현장과 사무실 모뎀 접속 및 모니터링 그래프 프린터가 가능한 응용프로그램 Tims 1.9 S/W를 활용했다.

<표. 5-4> 자동관측장비 현장설치 내역

공번	관측정 내역			관측장비 설치내역					
	위치 (창녕군)	대수층	관측정심도 (m)	ID	TUBER 일련번호	설치심도 (m)	전원	전화번호	자동관측간격 (시간)
OD1	도천면일리	암반 (하류)	150	dc.2	151196	99.285	DC	0559)521-0829	2
OS2	도천면일리	충적 (하류)	9.0	dc.1	111196	5.743	DC	0559)521-0829	2
OD2	영산면성내리	암반 (상류)	200	YS-2	141196	100.236	DC	0559)521-2774	2
OS2	영산면성내리	충적 (상류)	8.0	YS-1	131196	4.696	DC	0559)521-2774	2

관측장비 설치 후 관측장비 운용에 대한 기술적인 지식습득을 위하여 97. 3월 까지 시험조작 및 실험을 실시하였으며, 97.3.18일 이후 본격적으로 지하수 관측을 실시하고 있다. 각 관측장비의 관측시간 간격은 2시간 간격 일일 12회 관측 가능하도록 설치하여 사무실과 관측정과의 원격통신을 이용 관측자료를 축적하고 있다. 상류 관측점인 영산면 사무소 지내에 설치된 암반지하수 및 충적지하수 관측정에서 얻어진 약 2개월간의 자료를 부표 5로 첨부하였다. 장기적인 관측자료로 나타난 지하수 수위 및 수질변화에 대한 관측장비 운용방법과 지표수문 자료와의 연계분석을 통한 종합적인 지하수의 시간적·공간적인 변화 예측에 대한 연구는 차후 지속적인 관심이 요구되는 분야이다.

6. 지하수 이용현황 및 지하수 자원평가

6-1. 지하수 이용현황

금번조사에서 조사에 누락되었다고 판단되는 개인생활용수로 사용중인 소형 사설관정 수십~수백공을 제외하고 1996년도말 현재 창도지구 내 지하수개발 이용시설은 총 159개소에, 양수능력은 48.9천 m^3 /일이다. 낙동강 제방 내.외측을 따라 형성된 시설채소 단지내에서 사용중인 낙동강 복류수를 이용하는 타설식 소형관정 수백개소는 금번조사에서 제외하였다. 각 면별, 시설별 지하수 이용량은 다음과 같다.

<표. 6-1> 창도지구 지하수개발 이용규모

(단위 : m^3 /일)

구분	총 계		암 반 관 정		층 적 관 정	
	개소	양수량	개소	양수량	개소	양수량
계	159	48,986	144	30,978	15	18,008
영산면	24	8,128	21	5,550	3	2,578
도천면	26	9,852	21	4,322	5	5,530
부곡면	78	15,613	76	14,113	2	1,500
길곡면	31	15,393	26	6,993	5	8,400

주로 농업용으로 사용되고 있으며, 농업용 시설수는 63개소(39.6%), 양수량 31,507 m^3 /일(64.3%)이고 생활용수로는 시설수 59개소(37.1%) 양수량 9,709 m^3 /일, 농업·생활겸용 용수로는 시설수 4개소 양수량 1,340 m^3 /일, 온천수 25개소 5,330 m^3 /일 그리고 축산과 수산용수로 8개소 1,100 m^3 /일이다.

<표. 6-2> 지하수용도별 시설 및 이용현황

(단위 : m³/일)

구분	계		생활		농업		농업·생활겸용		수산·축산		은천	
	시설수	이용량	시설수	이용량	시설수	이용량	시설수	이용량	시설수	이용량	시설수	이용량
계	159	48,986	59	9,709	63	31,507	4	1,340	8	1,100	25	5,330
영산면	24	8,128	9	2,178	12	5,390	-	-	3	560	-	-
도천면	26	9,852	12	1,700	12	8,032	-	-	2	120	-	-
부곡면	78	15,613	28	4,059	20	4,904	2	900	3	420	25	5,330
길곡면	31	15,393	10	1,772	19	13,181	2	440	-	-	-	-

6-1-1. 농업용수

본 조사지구의 낙동강 제방을 따라 낙동강 복류수를 이용하기 위해 설치된 타설식 소형관정을 이용한 용수량을 제외한 지하수를 이용한 농업용수 이용현황은 63개소로서 영산면 12개소, 도천면 12개소, 부곡면 20개소, 길곡면 19개소이다. 농업용수 용도를 보면 전작 16개소, 답작 47개소이다. 전작용 관정의 양수량은 6,730m³/일이며, 답작이 47개소 24,773m³/일로 조사되었으며, 이중 암반관정이 총 52개소 15,607m³/일로 전작 13개소 1,330m³/일, 답작 39개소 14,227m³/일이며, 충적관정은 총 11개소 15,900m³/일로 전작 3개소 5,400m³/일, 답작 8개소 10,500m³/일이 사용되고 있다. 면별로는 지표수 사용이 가장 어려운 길곡면이 19개소 13,181m³/일 양수량으로 지하수에 의존한 농업용수 사용량이 가장 많이 나타났다.

6-1-2. 생활용수

본조사 지역에서 지하수를 이용한 생활용수 이용현황은 총 59공, 양수량 9,709m³/일 (암반관정 55공 7,601m³/일, 충적관정 4공 2,108m³/일)을 이용하고 있으며, 영산면이 총 9개소 2,178m³/일 (암반관정 7개소 900m³/일, 충적관정 2개소 1,278m³/일), 도천면이 총 12개소 1,700m³/일 (암반관정 11개소 1,670m³/일, 충적관정 1개소 30m³/일), 부곡면이 총 28개소 4,059m³/일 (암반관정 27개소 3,259m³/일, 충적관정 1개소 800m³/일) 그리고 길곡면이 암반관정만 10개소 1,772m³/일을 생활용수로 이용중이다.

<표. 6-3> 농업용 지하수 이용현황

면 별	용도별	계			암반관정			층적관정		
		개 소	양수량 (m ³ /일)	몽리면적 (ha)	개 소	양수량 (m ³ /일)	몽리면적 (ha)	개 소	양수량 (m ³ /일)	몽리면적 (ha)
계	농업용수	63	31,507	270	52	15,607	192	11	15,900	78
	전 작	16	6,730	14	13	1,330	14	3	5,400	-
	답 작	47	24,777	256	39	14,277	178	8	10,500	78
영산면	소 계	12	5,390	52	11	4,090	43	1	1,300	9
	전 작	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	답 작	12	5,390	52	11	4,090	43	1	1,300	9
도천면	소 계	12	8,032	69	8	2,532	-	4	5,500	40
	전 작	-	-	-	-	-	43	-	-	-
	답 작	12	8,032	69	8	2,532	29	4	5,500	40
부곡면	소 계	20	4,904	53	19	4,204	47	1	700	6
	전 작	13	1,330	14	13	1,330	14	-	-	-
	답 작	7	3,574	39	6	2,874	33	1	700	6
길곡면	소 계	19	13,181	96	14	4,781	73	5	8,400	23
	전 작	3	5,400	-	-	-	-	3	5,400	-
	답 작	16	7,781	96	14	4,781	73	2	3,000	23

그러나 개인주택 내에 시설된 소형 사설관정 중 대부분이 금번조사에서 파악하기 곤란하여 조사에서 누락된 경우가 많았을 것으로 판단되므로 지하수를 이용한 생활용수의 사용은 금번조사 결과보다 훨씬 많을 것으로 판단된다.

6-2. 지하수개발 가능량 및 개발예정 위치

6-2-1. 지하수 부존량 평가

가. 저류계수를 적용한 부존량 평가

지하수 부존량이 얼마나 될수 있느냐는 문제에 대한 계산은 암석의 공극을 충전하고 있는 물로서 평가되어 질 것이다. 그러나 실제 사용할 수 있는 지하수는 지층속에 있는 물의 전부가 아니고 중력에 의하여 나올 수 있는 부분뿐이다. 모관현상에 의하여 부착되어 있는 부분은 제외되어

야 하며, 이를 유효공극률(Effective Porosity)로 표현한다.

유효공극률은 실내실험으로도 구해질 수 있으나, 이를 그대로 야외에 적용한다는 것은 위험한 일로 거의 적용을 삼가고 있다. 야외의 대수층 시험에서 얻을 수 있는 상수로 저류계수가 있으며, 이는 자유면 지하수에서 비산출률 (Specific Yield) 즉, 유효공극률과 비슷하게 된다. 그러나 양수 시험과 같이 수시간 정도의 수압 혹은 수위변화에 의해서 지층으로부터 짜여져 나와 지하수류에 가해지는 수량은 지층 전체적의 불과 몇 %에 지나지 않는 것으로 장시간의 변화에 대해서는 그것보다 훨씬 많은 양을 낼 수 있다.

즉, 대수층 시험에서 얻어진 저류계수보다 높은 수치로 전체를 생각해야 할 것으로, 전체적인 저류계수의 산출은 장기적인 수문적 자료에 의한 물수지의 해석으로 가능해질 것이다. 일반적으로 대수층 시험에서 얻어진 수치보다 수배 높은 수치로 나오는 것이 보통이나 대수층 시험에서 얻은 수치를 기본으로 하여 부존량의 총량을 구해 보았다.

암반관정에 대한 양수시험을 22공에 대하여 실시하였으며, 최근의 지하수 이용이 암반관정을 대상으로 개발·이용하는 추세이고, 조사지역 전체를 포괄하는 충적층의 심도가 불과 수m에 불과하므로 충적층 포화대 두께는 지하수 부존량 산정에서 제외하고 지표로부터 직접 암반대수층으로의 부존량 평가를 적용하였다.

조사지역에 기개발·이용중인 암반지하수의 심도가 100~150m 사이에서 지하수를 개발·이용하므로 포화대층후를 약 100m로 적용하고 양수시험으로 얻어진 저류계수는 0.0517로 나타났다. 그러나 양수시험에서 산출된 저류계수는 지하수를 다량 함양 할 수 있는 대수층이므로 조사지역 전체의 유효공극률을 의미하지 않으므로 상기 저류계수의 1/2정도를 조사지역의 유효공극률로 채택하여 지표수 분수령을 경계로 구성된 조사지역 전면적 121,937,562.3㎡로 지하수 부존량을 계산하면 다음과 같다.

$$\text{암반지하수부존량} : [100\text{m} \times (0.0517 \times 1/2) \times 121,937,562.3\text{m}^2] = 315,208,598.5\text{m}^3$$

따라서 본 조사지역 주변의 암반지하수로 부존하는 지하수의 부존총량은 약 $315.21 \times 10^6 \text{m}^3$ 이다.

나. 암종별 평균 공극률을 적용한 부존량

충적층의 평균층후는 전기비저항탐사를 통해 얻어진 11.09m를 적용하며, 풍화대 이하는 암반층으로 간주하였다.

암반대수층의 경우 대수층 심도를 깊게 가정할수록 부존량이 높아지므로 조사지구 내 기존 암반관정들의 평균 개발심도가 100~150m에 위치하므로 대수층 심도는 100m로 제한하였으며, 충적대수층은 충적층 평균 층후로부터 수위관측조사에서 나타난 평균 지하수위가 지면하 0.75m이므로

충적층의 포화대 총후는 10.34m이다.

유효공극률은 암종별 평균공극률 퇴적암 5%, 충적층 35%, 화성암 1%, 변성암 1%(1991. 농진공)에서 충적층은 35%를 적용하고 암반층은 조사지역이 경상계퇴적암의 분포가 우세하나 안산암 및 불국사 화강암 그리고 화강암의 관입에 따른 호은펠스대가 함께 존재하므로 퇴적암 공극률 5%와 화성암공극률 1%의 평균인 3%를 적용하였다.

지하수 부존량 산정에 적용된 유역면적은 조사지역 총면적 121,937,562.3m²중 전, 답, 대지에 충적층이 주로 분포한다고 가정하여 충적층은 40.7km²를 산정하고 나머지 81.2km²에는 암반층대수층만을 고려하였다.

이와 같은 방법으로 산정한 조사지역의 지하수부존량은 500.36×10⁶m³이고, 이중 암반지하수가 70.5%인 353.07×10⁶m³로 평가된다.

<표. 6-4> 지하수부존량 산출

구 분	면 적(km ²)	대수층두께(m)	공 극 률	부 존 량(m ³)	비 고
계	121.9			500.36 × 10 ⁶	
충 적 층	40.7	10.34	0.35	147.29 × 10 ⁶	저류계수를 적용한 암반지하수 부존량 : 315.21 × 10 ⁶ m ³
충적층하부암반	40.7	89.66	0.03	109.47 × 10 ⁶	
암 반	81.2	100	0.03	243.6 × 10 ⁶	

양수시험에 의한 저류계수나 대수층의 유효공극률을 적용하여 산출된 지하수 부존량은 실제로 채수할 수 있는 수량으로 간주할 수는 없다.

지하수 수리학(Groundwater hydraulics)적인 견지에서도 어느 정도의 한계가 필요한 것이며, 이러한 한계를 무시한 과잉양수는 지하수 저류체인 대수층의 물리적 성격을 파괴하여 결국 회복할 수 없는 경지에 들어가는 경우가 야기될 수 있다. 결국 지하수의 양적문제는 저류되어 있는 양보다 저류체를 변화시키지 않고 양수할 수 있는 안전 양수량의 결정이 현실적인 문제이다. 안정적인 양수량을 구하려면 강우에 의한 지하수의 함양량을 계산하여 연중 지하수의 함양과 유출량을 산출해야 한다.

6-2-2. 지하수개발 가능량 평가

가. 지하수 수위자료 분석에 의한 평가

지하수 수위자료 분석방법은 해당지역 및 유역 내 산재된 관측정으로부터 장기간의 수위관측자료를 이용하여 지하수개발 가능량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 장기간의 자연상태의 수위자료를 도시하여 최저수위를 찾아 기준수위로 설정하고, 양수에 의하여 지하수위가 미리 설정한 기준수위 이하로 내려가지 않는 범위내에서 대수층내의 지하수를 개발할 수 있다는 가정에 기초한 것으로, 다음 식에 의하여 주어진 기간에 대한 개발 가능량을 산정할 수 있다.

$$\text{지하수개발 가능량} = \Sigma (\text{주어진 기간의 평균지하수위} - \text{최저수위}) \\ \times (\text{하나의 관측정이 지배하는 면적}) \times \text{유효공극율}$$

이 방법에 의한 산정치는 가장 안전한 개발가능량을 제시할 수 있지만, 갈수기와 홍수기의 개발가능량을 다르게 설정하여야 하고 또한 많은 관측정에서 믿을 만한 장기간의 수위관측 자료가 꼭 필요하다는데에 산정의 어려움이 있다.

광역수맥조사에 의해 설치된 상·하류 관측정에 1년이상 관측자료가 축적되면 조사지역 내의 보다 객관적인 지하수개발 가능량 산정이 가능할 것으로 판단되지만 금번 조사에서는 관측자료가 미약하여 개발가능량 산정에서 제외하였다.

나. 하천유출률에 의한 평가

하천의 유출률은 강우총량에 대한 유출총량의 비로써 다음과 같이 계산되어진다.

$$\text{유출률} = \frac{\text{월평균 유출량 (m}^3\text{/sec)} \times 86,400 \times \text{월의 일수}}{\text{월평균 강우량} \times \text{유역면적}}$$

하천의 유출은 지하수의 함양에 의하여 지탱되어 진다. 이 기간에 있어서 하천 유출량의 감소는 지하수위가 강화되었음을 의미하게 되며, 본 유역에 있어서 하천유출량의 측정은 낙동강유역 합천관측소에서 측정된 연평균기저유출율(강우함양계수)인 11.5%를 적용하였다 (건설교통부, 한국수자원공사 지하수관리 기본계획 보고서, 1996. 12. 107쪽 참조). 하천유출이 지하수의 감소에 의하여 유지됨은 바꿔 말하면 하천유출량의 수문곡선으로부터 기저유출을 분리하면 지하수 저류로부터 배출되는 량, 즉 지하수 유동량으로 볼 수 있다. 기저유출율(강우함양계수)을 0.115로 잡고 유출량을 산출하면 다음과 같다. 여기서 년강우량은 22년간 밀양기상대의 연평균 강우량인 1,216.9mm로 계산하였다.

$$\frac{0.115 \times 121,937,562.3 \times 1.2169}{365 \times 86,400} \approx 0.5411 \text{ m}^3/\text{sec} = 46.751 \text{ m}^3/\text{day}$$

그러므로 연평균 함양량은 17,064천 m^3 로 나타나고 이 수치는 지하수의 저유 상태에 인공적인 변화를 가하지 않고 소모시켜 버릴 수 있는 수량으로, 지하수의 저류를 소모시킨다던가 혹은 관개수의 재침투를 고려하면 개발량은 더욱 상회할 수 있을 것이다.

다. 수자원 순환 계통표에 의한 평가

지하수의 기원은 강우에 의한 순환수이며, 지표수가 유동되는 과정에서 지질적인 구조, 지형적인 상황, 임상조건, 기온 및 일조량 등에 의하여 지하수로 함양되는 것으로 수순환계에 의하여 항상 평형상태가 유지되어야 한다.

따라서 평형상태가 파괴될 경우 저류량의 감소(자연수위의 저하)를 나타낸다. 강우에 의한 수수지를 분석할 때 지하수 수지는 다음과 같다.

$$\text{지하수 수지} = \text{공급량} - \text{소비량} - \text{증발산량} = \text{저류량}$$

본 조사지역의 수수지 분석을 위한 밀양기상대의 22년간 강우량 분석에 의해 다음사항을 산출하였으며, 표. 6-5 수자원 계통표를 이용하여 조사지구의 연평균 강우량 1,216.9mm/년을 적용하여 기저유출량을 계산하였다.

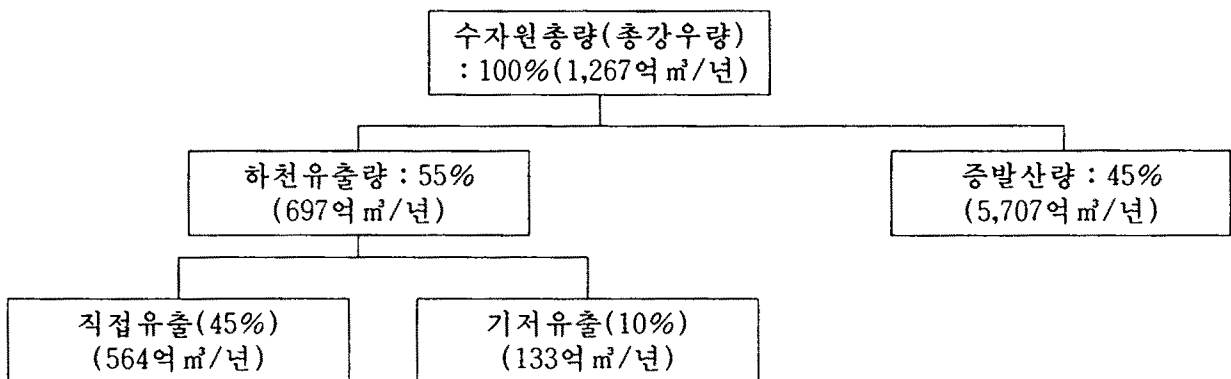
- 조사지구 연평균 강우량 (밀양 기상대, 1973~1994)

Ave : 1,216.9mm/yr, Max : 1,697.6mm/yr, Min : 624.8mm/yr

- 집수유역면적 : 121,937,562.3 m^2

- 기저유출량 : 수자원총량(148,385천 m^3) \times 기저유출율(0.1) = 14,838천 m^3

<표.6-5> 수자원계통표(건설교통부, 지하수관리기본계획, 1996.)



본 조사지역의 건교부 발행 우리나라 수자원 현황표에 의한 강우량과 수수지 분석에서 조사지구 연간 수자원 총량은 148,385천 m^3 로 연간 지하수 함양량 (10%)은 14,838천 m^3 /년이며, 이를 1일 사용 가능량으로 환산하면 40,652 m^3 /day 이다.

라. 물수지 분석에 지하수 함양량 평가

전통적인 수문학적 물수지 분석은 물의 순환과정에서 수문계량을 평가하여 지하수의 함양량을 추정하는 과정으로서 수자원의 부존 한계를 결정하는 중요한 도구가 된다. 일반적으로 이 방법은 장기간에 걸친 평균적 균형상태를 가정하기 때문에 중간과정에서의 동적인 수문수리상태를 고려하지 못하는 결점이 있다. 이러한 약점에도 불구하고 계획단계에서 수자원의 지역적인 부존량의 정도를 파악하고 대수층의 초기 및 경계조건을 설정하는데 있어 수문학적인 물수지분석은 필수적이다.

수문학적인 물수지방법은 일정수역내의 강우량과 직접유출, 증발산량, 지하수함양량간에 수문평형이 유지되는 것으로 보아 다음식으로 표현된다.

$$I = P - DR - ER \quad IU$$

여기서 I : 지하수 함양량

DR : 지표수 직접유출량

P : 총강우량

ET : 증발산량

IU : 타수역으로부터 지하수 유출.입량

○ 강우량, 증발 및 증발산량

조사지역 강우량은 인근 밀양기상대에서 관측한 1973년~1974년 22년간에 측정된 자료의 평균치 1,216.9mm/년을 적용하였고, 이로부터 연간 총 강우량을 산출하면,

$$1,216.9\text{mm} \times 121.9\text{km}^2 = 148.34 \times 10^6 \text{m}^3 \text{가 된다.}$$

증발량은 조사지역 인근에 위치한 밀양기상대의 22년간의 관측자료로 산출된 1,157.5mm/년을 적용하여 조사지역에서의 수면증발량을 계산하면,

$$\text{하천 및 저수지 면적 } (12,047,273\text{m}^2) \times \text{증발량}(1,157.5\text{mm}) \approx 13.94 \times 10^6 \text{m}^3 \text{이다.}$$

증발산량은 Turc(1975)의 증발산량 추정공식을 사용하여 얻어진 연간증발산량(ETR) 634.32mm/년을 적용하고 조사유역에 대한 총증발산량을 산출하면,

$$0.63432\text{mm} \times 121.9\text{km}^2 = 77.32 \times 10^6 \text{m}^3 \text{가 된다.}$$

○ 지표유출 (run-off) 및 총진량

지상에 도달한 강수의 일부는 흙의 지면을 통하여 침투하고, 그 초과분은 흙의 표면으로 흘러 유출하게 된다. 따라서 강수로부터 야기되는 유출은 침투량에 크게 영향을 미치며, 침투량의 계산은 강수와 유출의 관계에서 필수적인 요소이다.

강수로부터의 유출은 흙의 건조상태에 따라 크게 달라진다. 매우 건조한 상태에서의 흙은 무한에 가까운 침투율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강수의 영향으로 흙의 함수량이 많은 상태라면 같은 강수량이라고 할지라도 건조상태보다 많은 유출을 야기시킨다. 이와 같이 흙의 초기 함수상태에 따라 침투량은 직접적으로 영향을 받기 때문에 강수로부터 발생하는 유출량을 결정하는 요인이 된다. 강수량으로부터 침투에 의한 손실을 뺀 값은 초과강수량 또는 지표유출 (run-off)이라 하며, 지표유출량 계산방법에는 ϕ 지표법(ϕ index method), W지표법(W index method), SCS 방법 (Soil conservation service method) 등이 있으나, 본 조사지역에서는 SCS 방법을 이용하여 유출량을 계산하였다.

만약 임의의 호우로 인한 유출량 자료가 없을 경우에는 직접유출량의 결정이 불가능하여 ϕ -혹은 W지표를 구할 수 없으므로 초과강수량을 결정할 수 없다. 이와 같이 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토질특성과 식생피복상태 등에 대한 세세한 자료만으로서도 총 수량으로부터 초과강수량을 산정할 수 있는 방법을 미국 토양보존국(U.S Soil conservation service, SCS)이 개발하였으며, 미계획 유역의 초과강수량(혹은 유효수량)의 산정에 널리 사용되고 있다.

SCS 방법에서는 유효수량의 크기에 직접적으로 영향을 미치는 인자로서 유역을 형성하고 있는 토양의 종류(soil type)와 토지이용(land use)혹은 식생피복의 종류, 처리상태(cover treatment) 및 토양의 수문학적 조건(hydrologic condition)도 고찰하였다.

SCS는 초과강수량(rainfall excess) 또는 직접유출량(Direct runoff)을 구하는 방법으로서 다음과 같은 간단한 공식을 제시하였다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \text{-----} (1)$$

여기서 F는 시간 (t)에서 흙의 저유량(mm)

S는 흙이 완전 포화되었을 경우 저유량 (mm)

Q는 직접유출량에 해당하는 유효수량 (mm)

P는 누적강수량 (mm)이다.

즉, 강수로부터 발생하는 직접유출량은 흙이 최대로 저유할 수 있는 양 (S)과 실제로 흙으로 흡수되는 물의 양 (F)의 함수로 표시되며, 직접유출량과 강수량과의 차이이다. 즉, $F=P-Q$ 이며,

이 관계를 식 (1)에 대입하면,

$$Q = \frac{P^2}{P+S} \text{ ----- (2)가 된다.}$$

식(2)는 강수가 시작되면서부터 즉시 유출이 발생하는 경우이나 실제로 강수 발생초기에는 강수의 전부가 침투되며, 유출이 발생하는 것은 강수 강도에 따라 다르나 얼마간의 시간이 경과된 후에 발생하는 것이 보통이다. 따라서 초기의 침투를 고찰한다면 식(2)의 P값에서 초기손실(Ia)을 제하여야 한다.

SCS는 경험에 의하여 $I_a = 0.2S$ 로 정하였으며, 이 관계를 식(2)에 대입하면,

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \text{ ----- (3)}$$

과 같이 되어, 이것이 곧 총 강수-유효수량 관계이다. 여기서 Q는 0보다 크고, P는 0.2S보다 커야 한다.

식(3)의 S는 선행 토양 함수조건 (Antecedent soil moisture condition, A.M.C)에 따라 상이한 값을 가지게 될 것이며, A.M.C-I에 대한 S는 A.M.C-II에 대한 S보다 클것이나 A.M.C-III에 대한 S값보다 작을 것이다. 유역의 잠재보유수량의 크기를 표시하는 S는 유역의 토양이나 토지이용 및 처리상태 등의 이른바 수문학적 토양-피복형 (hydrologic soil-cover complexes)의 성질을 대변하는 것으로서 한 유역의 유출능력을 표시하는 유출곡선지수 (CN, runoff curve number)라는 변수를 다음과 같이 S의 함수로 정의함으로서 유출에 미치는 S의 효과를 간접적으로 고찰하게 된다.

$$\text{즉, } CN = \frac{25,400}{S+254} \text{ 혹은 } S = \frac{25,400}{CN} - 254 \text{ ----- (4)}$$

여기서 CN은 SCS에서 흙의 종류 및 지표의 상태에 따라 정한 지표이다.

SCS에서는 식(3)과 식(4)를 사용하여 직접유출 또는 초과강수량을 계산하는데 있어서 고찰되어야 할 사항을 다음 세가지로 구분하였다.

- (1) 토양의 종류
- (2) 토지의 사용용도
- (3) 유역의 선행 토양 함수조건

따라서 위의 세가지 요소는 식(4)의 CN값에 의하여 직접유출량 계산에 반영되었으며, CN의 값도 이에 따라 구분되어야 한다.

SCS에서는 토양의 종류를 유출 발생 가능 정도에 따라 표 6-6과 같이 A, B, C, D의 네가지로 분류하였다.

<표. 6-6> SCS의 토양의 분류

토양의 분류	특 성
A	최적 유출 발생 가능량 (Lowest runoff potential)이 있는 진흙, silt가 거의 없는 깊은 모래층 또는 자갈층.
B	유출발생 가능성이 다소 높은(Moderately low runoff potential)사질토이며, 침투율은 평균보다 높으나 다소 진흙이나 Silt가 함유된 흙
C	유출발생 가능성이 B급보다는 높은(Moderately high runoff potential)흙으로서 진흙에 Silt가 많이 섞여 얇은 층을 구성하며 침투율은 평균보다는 다소 낮은 흙
D	유출발생 가능성이 가장 높은(Highest runoff potential) 흙으로 대부분이 진흙과 Silt로서 불투수층과 직접 접하여 있는 흙

표 6-7은 조사지역내 토지사용 및 SCS의 토양의 분류에 따라 CN값을 제시하고 있으며, 이는 토양의 5일 선행함수 조건이 II(보통)인 경우의 값이다.

<표. 6-7> SCS curve number (CN) - 초기함수상태가 II인 경우

지표구성	면적 (㎡)	%	CN	가중평균 CN
계	121,937,562.3	100		70.96≒71
전	13,390,195	10.98	71	7.79
답	24,723,793	20.27	85	17.22
임 야	63,212,609	51.84	73	37.84
하천 및 저수지	12,047,273	9.88	25	2.47
초 지	1,946,844	1.60	61	0.97
거 주 지	6,616,848.3	5.43	86	4.67

총 강수량과 유효강수량 간의 관계분석에 있어 5일 혹은 30일 선행 강수량은 한유역의 선행토양 함수조건을 대변하는 지표로 흔히 사용된다. 즉, 동일한 강수가 내린 경우 선행 강수량이 많으면 유역토양의 습윤도가 높으므로 유출율, 즉 유효수량은 상대적으로 많아질 것이나, 선행 강수량이 적을 경우에는 침투손실이 커지므로 유효수량은 적어져서 유출율은 저하하게 된다.

SCS에서 기준으로 삼고 있는 선행 토양함수조건은 1년을 성수기(growing season)와 비성수기(dormant season)로 나누어 각 경우에 대하여 다음과 같은 3가지 조건으로 구분하고 있다.

A.M.C - I : 유역의 토양이 대체로 건조상태에 있어서 유출율이 대단히 낮은 상태 (lowest runoff potential)

A.M.C - II : 유출율이 보통인 상태 (average runoff potential)

A.M.C - III : 유역의 토양이 수분으로 거의 포화되어 있어서 유출율이 대단히 높은 상태 (highset runoff potential)

상기한 3개의 선행 토양 함수조건은 5일 선행강수량의 크기에 의하여 유역의 습윤정도를 분류하는 기준이 되며, SCS에서 사용하고 있는 5일 선행 강수량의 크기에 따른 A.M.C 분류는 다음과 같다.

<표. 6-8> 선행 토양 함수조건 분류

A. M.C Group	5일 선행 강수량, P ₅ (mm)	
	비 성 수 기	성 수 기
I	P ₅ < 12.7	P ₅ < 35.56
II	12.7 < P ₅ < 28.0	36.56 < P ₅ < 53.34
III	P ₅ > 28.0	P ₅ > 53.34

토양의 초기 함수상태의 결정은 선행강수 (Antecedent presipitation)에 따라 구분되며, CN 값은 표 6-9 유출곡선지수에서 구하는 것이다.

<표. 6-9> 토양-피복형별 유출곡선지수, CN (A.M.C-II, 1a=0.2S)

토지이용상태	피복처리상태	토양의 수문학적 조 건	토 양 형			
			A	B	C	D
Fallow	Straight row	-	72	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured and terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured and terraced	Good	62	71	78	84
Small grains	Straight row	Poor	65	76	84	88
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
	Contoured and terraced	Poor	61	72	79	82
	Contoured and terraced	Good	59	70	78	81
Closed-seeded Legumes or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89
	Straight row	Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
	Contoured	Good	55	69	78	83
	Contoured and terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured and terraced	Good	51	67	76	80
Pasture or range		Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
	Contoured	Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	25	59	75	83
		Good	6	35	70	79
Meadow woods		Poor	30	58	71	78
		Fair	45	66	77	83
		Good	36	60	73	79
	Very sparse	-	25	55	70	77
Forests	Very sparse	-	25	55	70	77
Farmsteads		-	56	75	86	91
Roads(dirt)		-	59	74	82	86
(hard surface)		-	72	82	87	89
Commercial and Business area	85% impervious	-	74	84	90	92
Industrial area	72% impervious	-	89	92	94	95
Residential area	65% impervious	-	81	88	91	93
	30% impervious	-	77	85	90	92
		-	57	71	86	86

<표 6-10> 선형 함수조건(A.M.C)에 따른 유출곡선지수의 조정

A.M.C 별 CN			S (A.M.C- I) (mm)	Curve의 시점 (mm)	A.M.C 별 CN			S (A.M.C- I) (mm)	Curve의 시점 (mm)
II	I	III			II	I	III		
100	100	100	0.00	0.0	60	40	78	169	33.8
99	97	100	2.57	0.5	59	39	77	177	35.3
98	94	99	5.18	1.0	58	38	76	184	36.8
97	91	99	7.85	1.5	57	37	75	192	38.4
96	89	99	10.6	2.0	56	36	75	200	39.9
95	87	98	13.4	2.8	55	35	74	208	41.6
94	85	98	16.2	3.3	54	34	73	216	43.2
93	83	98	19.1	3.8	53	33	72	225	45.0
92	81	97	22.1	4.3	52	32	71	234	47.0
91	80	97	25.1	5.1	51	31	70	244	48.8
90	78	96	28.2	5.6	50	31	70	254	50.8
89	76	96	31.5	6.4	49	30	69	264	52.8
88	75	95	34.5	6.9	48	29	68	276	54.9
87	73	95	37.8	7.6	47	28	67	287	57.4
86	72	94	41.4	8.4	46	27	66	297	59.4
85	70	94	44.7	8.9	45	26	65	310	62.0
84	68	93	48.3	9.6	44	25	64	323	64.5
83	67	93	52.1	10.4	43	25	63	335	67.1
82	66	92	55.9	11.2	42	24	62	351	70.1
81	64	92	59.4	11.9	41	23	61	366	73.2
80	63	91	63.5	12.7	40	22	60	381	76.2
79	62	91	67.6	13.5	39	21	59	396	79.2
78	60	90	71.6	14.2	38	21	58	414	82.8
77	59	89	76.0	15.2	37	20	57	432	86.4
76	58	89	80.3	16.0	36	19	56	452	90.4
75	57	88	84.6	17.0	35	18	55	472	94.5
74	55	88	89.2	17.8	34	18	54	493	98.6
73	54	87	94.0	18.8	33	17	53	516	103.0
72	53	86	98.8	19.8	32	16	52	538	108.0
71	52	86	104.0	20.8	31	16	51	564	113.0
70	51	85	109.0	21.8	30	15	50	592	118.0
69	50	84	114.0	22.9					
68	48	84	119.0	23.9	25	12	43	762	152.0
67	47	83	125.0	24.9	20	9	37	1016	203.0
66	46	82	131.0	26.2	15	6	30	1440	288.0
65	45	82	137.0	27.4	10	4	22	2286	457.0
64	44	81	143.0	28.4	5	2	13	4826	965.0
63	43	80	149.0	29.7	0	0	0	∞	∞
62	42	79	156.0	31.2					
61	41	78	162.0	32.5					

표 6-7에서 얻어진 가중평균 CN값=71은 초기함수 II에서의 값이므로 이를 표 6-10을 이용하여 I, II의 값으로 바꾸면 다음과 같다.

<표 6-11> 선행함수 조건에 따른 유출곡선 지수

초기함수 조건	I	II	III
CN 값	52	71	86
S값	234	104	41

식(4)에 의거, 잠재보유수량 S를 구한 후 이를 총수량 P와 함께 식(3)에 대입하여 직접유출량 (유효수량) q를 계산한다.

상기 자료를 이용하여 조사지역내에서 1993년도의 주요 호우(10mm/일 이상)때 일어나게 되는 지표유출량을 계산하여 표 6-12에 수록하였다.

여기서, 총강우량 1,216.9mm/년중 128.5mm가 지표유출되는데 지표유출량은 총 강우량의 10.56%에 해당된다. 총 강우량 1,216.9mm/년에서 지표유출량 128.5mm를 제외하고난 값은 증발산량, 침투 그리고 토양층내 저유된 물이 흐르는데, 증발산량은 TURC의 공식에 의해 634.3mm가 되므로 실제 조사지역에 분포한 토양층내에 저유된 양의 변화를 무시할 때, 대수층내로 유입되는 충전량 (recharge)은 다음과 같다.

충진량 = 강우량 - 증발산량 - 증발량 - 지표유출량 이므로 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{충진량(지하수함양량)} &= 148.34 \times 10^6 - 77.32 \times 10^6 - 15.66 \times 10^6 \\ &= 41.42 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{년으로 나타나며, 일일 함양량은 } 113.479 \text{ m}^3/\text{일 이다.} \end{aligned}$$

본 방법으로 평가한 것은 외견상 여러가지 요소를 고려한 것으로 보이지만 유출을 크게 지배하는 지형의 경사에 대한 고려가 부족한 것으로 보이며, 직접유출율이 과소평가되는 경향이 있다고 보아진다.

본 방법으로 나타난 지하수함양량은 $41.42 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 강우량 $148.34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{년}$ 의 27.92%가 지하수로 함양되는 것으로 나타났으나, 강우로 함양되는 지하수 전량을 개발 이용하는 것을 불가능하므로 대략 함양량의 60%를 최대 개발량으로 산정하면 조사지역에서의 적정개발량은 $68.087 \text{ m}^3/\text{일}$ 정도로 판단된다.

<표 6-12> 시기별 지표 유출량 (1993.1~1993. 12)

날 자	P(mm)	A.M.C	CN	S	Q(mm)	비 고
93. 1. 6	21.0	I	37	234	3.20	$S = \frac{25,400}{CN} - 254$ $Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}$
94. 2. 16	25.0	I	37	234	2.24	
94. 2. 17	15.5	II	57	104	0.28	
94. 2. 20	21.5	III	75	41	3.26	
94. 3. 6	19.0	I	37	234	3.75	
94. 3. 14	17.0	I	37	234	4.35	
94. 3. 24	14.0	I	37	234	5.34	
94. 4. 28	18.5	I	37	234	3.89	
94. 5. 1	48.5	II	57	104	5.83	
94. 6. 2	26.0	I	37	234	2.03	
94.6. 28	109.0	I	37	234	13.06	
94.7. 13	73.5	I	37	234	2.73	
94. 7. 15	54.0	III	75	41	24.17	
94. 7. 29	62.5	I	37	234	0.99	
94. 8. 20	148.5	I	37	234	30.81	
94. 9. 14	12.5	I	37	234	5.89	
94. 9. 16	23.0	II	57	104	0.05	
94. 10. 29	42.0	I	37	234	0.10	
94. 11. 6	21.0	I	37	234	3.20	
94. 12. 13	10.0	I	37	234	6.87	
94. 12. 30	11.0	I	37	234	6.47	
Total	793.0				128.50	강우량은 밀양기상대 자료임

6-3 적정개발 가능량 및 개발예정위치

6-3-1 지하수 개발 가능량 분석

본 조사지구에서 지하수개발 가능량 추정은 충적층의 경우 포장능력(부존량)의 20%를 적용하고, 암반층은 부존량의 10%를 적용하였다 (21세기 농어촌지역 용수수급 및 개발보정 세미나, 농어촌진흥공사, 91. 12).

조사지구의 대수층의 공극률을 적용한 지하수부존량은 500.36106m³/년이고, 개발·이용가능량은 64.75×106m³/년, 일일 177,437m³/일로 산출되었다.

<표 6-13> 지하수부존량 평가에 의한 지하수개발 가능량

평가방법	단위	부존량			이용가능량		
		계	충적	암반	계	충적	암반
저류계수(0.0517)적용 지하수부존량 산출	×10 ⁶ m ³ /년	315.21	-	315.21	31.52	-	31.52
	m ³ /일	863,589	-	863,589	86,358	-	86,358
공극률 적용 지하수 부존량 산출 (충적: 35%, 암반 3%)	×10 ⁶ m ³ /년	500.36	147.29	353.07	64.75	29.45	35.30
	m ³ /일	1,370,849	403,534	967,315	177,437	80,706	96,731

한편, 지하수 함양량 산출에 의한 개발 가능량은 평가방법에 따라 차이가 나타나지만 대략 15~251060m³/년, 일일 40,652~68,087m³/일로 나타났다.

<표 6-14> 지하수 함양량 평가에 의한 지하수개발 가능량

평가방법	단위	함양량	이용가능량	비고
하천유출(기저유출) 합천관측소 11.5%	×10 ⁶ m ³ /년	17.064	17.064	기저유출량 = 함양량 = 이용가능량
	m ³ /일	46,751	46,751	
수자원 순환계통표 기저유출 10%	×10 ⁶ m ³ /년	14.838	14.838	"
	m ³ /일	40,652	40,652	
불수지분석 (지표유출 - 충전량)	×10 ⁶ m ³ /년	41.42	24.852	함양량의 60%적용
	m ³ /일	113,479	68,087	

6-3-2 지하수개발 예정위치 선정지

관정개발을 위하여는 위치선정이 가장 중요한데 이를 구분하면 충적층 대상과 암반층 대상으로 구분할 수 있다. 충적층이란 암석이 풍화운반 퇴적된 미고결퇴적물로서 제3기 이후에 형성된 것으로 본 지구에는 약12여개의 충적관정이 있으며, 본 지구 내에서도 오염이 진행되고 있는 실정으로 향후 충적관정 개발에 의한 지하수 사용은 많은 제한이 있을 것으로 판단되며, 본 지구를 구성하는 기반암은 중생대 경상계 퇴적층과 안산암류 및 불국사화강암류로 구성되어 있으며, 경상계 퇴적층을 구성하는 암석도 주로 세일로 구성되어 있으므로 조사지구 기반암내의 1차 공극을 유동하는 암반지하수의 부존은 불량하므로 조사지역 내의 암반지하수의 부존은 파쇄대 발달지역으로 제한된다.

파쇄대 발달은 지각운동, 화성암의 관입 등으로 암반이 파괴가 일어나며 발달하게 되고 암반중에 2차 공극을 형성한다. 본 지구에서 선구조의 발달은 북동-남서방향이 우세하게 나타나며, 기설암반관정도 이들 선구조 발달방향을 따라 많이 개발되었다. 선구조 밀도는 길곡면, 영산면, 도천면에서 우세하게 나타난다. 본 지구에서 기설암반관정의 평균 양수능력은 길곡면이 268.9m³/일로 가장 높으며, 영산 264.2m³/일, 도천 205.8m³/일, 부곡 185.6m³/일로 선구조 밀도와 비례관계로 나타난다.

본 조사지구에서의 지하수부존 및 개발여건은 양호한 편이나 본 조사는 지하수개발 위치선정을 위한 정밀조사가 아니므로 향후 지하수개발을 위해서는 수자원 용도 및 채수계획량에 따라 지하수 환경영향조사 및 정밀탐사과정을 거쳐 지하수 시추 개발위치를 선정하여야 할 것으로 판단된다.

7. 지하수자원 개발계획

7-1. 용도별 소요수량

본 지구는 농촌지역으로 영산면을 제외한 3개면은 상하수도 보급율이 전무한 상태이며, 영산면은 구계저수지를 생활용수로 영산면 성내리에서 사용중에 있으나 갈수록 그 수량이 현저히 부족한 상태이다. 암반관정을 이용한 간이 상수도 시설은 현재 55개소이나 대부분 개인전용 생활용수 관정으로 사용되고 있으며, 대형 암반관정을 생활용수 전용으로 사용하는 곳은 영산면 1개소, 도천면 8개소, 길곡면 8개소 그리고 부곡면 12개소로 총 29개소가 이용되고 있다. 대부분의 마을에서 계곡하천수를 이용한 지표수나, 자가소형관정을 이용한 생활용수 활용이 이루어지고 있어 안정적인 생활용수 공급이 필요한 실정이다.

우리나라 전국 평균 1인 1일 급수량이 1991년도 376 l로 나타났으며, 서울시의 경우 1994년 현재 누수손실량을 포함하여 476 l에 이르고 있다.

<표 7-1> 생활용수 소요수량

면별	가구 인구수		급수량 (l)	수요량 (m ³ /일)	급수 사용량		소요수량 (m ³ /일)
	가구수	인구수			공수	사용량 (m ³ /일)	
계	6,335	19,863	476	9,453	55	7,601	2,954(Δ1,102)
영산면	2,474	8,097	476	3,854	7	900	2,954
도천면	1,143	3,421	476	1,628	11	1,670	42
부곡면	1,998	6,241	476	2,970	27	3,259	289
길곡면	720	2,104	476	1,001	10	1,772	771

향후 인구를 현재의 20,000여명을 기준으로 하였을 때 본 지구에서의 생활용수 수요량은 다음과 같다.

<표 7-2> 향후 생활용수 소요수량

구분	1997	2001	2011	2021	2031
1인 1일수요량(l)	476	545	605	605	605
수요량(천 m ³ /년)	3,475	3,979	4,417	4,417	4,417

7-2. 소요수량 공급방안

농촌에서도 지표수 및 지하수의 오염이 이루어지면서 생활용수 공급은 암반관정을 이용한 생활용수 공급이 이루어지고 있다. 본 지구는 광역상수도가 공급되지 않는 지역이므로 생활용수 공급을 암반관정 개발에 의한 용수공급이 이루어져야 할 지역이다. 암반관정 개발에 의한 생활용수 공급은 암반관정 1공당 채수 이용량을 100m³/일로 하고, 향후 인구의 증감이 없다고 가정할 때 소요관정수는 1996년 기준 96공이고 향후 개발해야 할 관정수는 41공으로 면별 내역은 다음과 같다.

<표 7-3> 향후 지하수개발 관정수

면별	소요수량 (m ³ /일)	소요관정수 (공)	기사용 관정수 (공)	향후개발 관정수 (공)	비고
계	9,453	96	55	41	
영산면	3,854	39	7	32	
도천면	1,628	17	11	6	
부곡면	2,970	30	27	3	
길곡면	1,001	10	10	-	

7-3. 지하수개발 계획

본 지구에서 향후 생활용수로 개발해야 할 지하수관정수는 41개공으로 이는 연차별로 이루어져야 할 사업으로 생활용수 개발사업비를 250백만원/지구로 하였을때 연차별 개발사업량 및 사업비는 다음과 같다.

<표 7-4> 연차별 지하수개발 사업량 및 사업비

년도	계	1997	1998	1999	2000	2001이후
사업량 (지구)	41	8	8	8	8	9
사업비 (백만원)	10,250	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

8. 지하수자원 보전관리 계획

8-1. 지하수관측망 운영관리

본 조사지구에서는 장기관측정 4개소를 운영한다. 충적층 지하수를 대상으로 관측을 위한 관측정과 암반층의 관측을 위한 관측정을 1개조로 하여 2개조를 설치 운영 관리한다. 장기관측정에서는 자동관측시스템을 이용하여 지하수수위, 수온, 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC)등 관측자료를 획득한다. 지하수 수위관측은 매일 정해진 시간에 실시하며, 지하수의 수위변화는 일변화를 월별로 도시하고 이들을 부기별로 정리하여 인근 기상관측소의 지표수위 자료와 기상자료를 분석하여 지하수문과 지표수문의 연관성을 연계분석하고 각 관측정의 장기적인 관측에 의한 정수위를 파악한다. 또한 수질관측도 수온, 수소이온농도 (pH), 전기전도도 (EC)등의 관측 자료를 지하수의 수위 관측할 때 같이 실시한다. 따라서 주변환경 변화에 따라서 나타나는 지하수 수질의 미세한 변화는 수온, pH, EC 등의 변화를 종합분석함으로써 파악하여진다. 지하수의 배경수질을 파악하기 위하여 년 2회 정기적으로 지하수 시료를 채취하여 먹는물 기준으로 분석하고, 분석방법과 결과를 기록 보존한다.

관측정에서 측정된 지하수위 자료와 갈수기와 풍수기에 지하수위 상하변화 차이를 이용하여 지하수위 등고선도를 작성한다. 또 다음과 같은 사항을 분석 예측한다.

-풍수기와 갈수기의 지하수위 변화

-지역별 지하수 동수구배

-지역별 지하수배출 및 함양 파악

-지하수 EC및 pH의 급격한 변화 등에 대한 원인규명 및 원인파악을 위한 수질검사 실시

지하수 관측망 설치의 주목적은 지하수자원의 효율적인 관리에 있으므로 지하수, 지표수 등의 수문정보 관리와 이와 관련된 제반 지질, 경제, 인문학적 사항등과의 연계성을 파악하여 이들 정보를 이용하여 앞으로 예견가능한 지하수자원의 변화 예측 및 지하수자원의 합리적인 방안이 종합적으로 검토될 수 있도록 지하수의 수위 및 수질변화에 대한 분석 및 해석은 반드시 지하수 전문가에 의하여 이루어져야만 그 정보의 신뢰도를 제고할 수 있고, 지하수자원의 보전관리에 기초가 되는 양질의 중요한 정보를 산출할 수 있다.

본 조사지구의 장기관측망 관리를 위하여 전담반을 편성하고 향후 광역수맥조사와 연계하며 자동관측 장비에 대한 시범운영을 계속 실시하며, 장기관측정운영 및 제반문제점을 해결해 나가면서 장기관측 자료에 의한 지하수문 모델링을 운영하며 향후 낙동강 대수계에 대한 관측망구축이

완료되면 낙동강 수계에 대한 종합적인 수지분석 및 지하수문 모델링을 운영한다.

지하수자원의 보전을 목적으로 지하수 모니터링에 의하여 지하수의 사용금지, 규제 등을 결정하는 것은 지하수를 계속 사용하기 위하여는 필요한 조치이다. 모니터링을 위해서는 사용되고 있는 관정을 다음 사항을 정기적으로 계속 측정 관리하도록 하여야 한다.

시설물 관리는 관측에 대한 수리상수 및 지층의 상태, 스크린의 종류, 위치와 관정의 사용, 관리 상태 등이 확인되어야 한다. 이를 위하여 기존관정에 대하여 관정 시공시의 자료를 획득하거나 관정에 대한 물리점층을 실시하여 시설물의 시공상황을 정리하여야 한다.

지하수 수위관리를 위하여 관측정이나 상시 이용하고 있는 관정의 자연수위, 안정수위 등을 계속 측정하여야 하며, 수위의 변동은 지하수의 변화를 직접적으로 나타내는 것으로 지하수 보전 관리 측면에서 가장 기초가 되는 자료이다. 상시 이용관정에 대한 수위관리를 위해서는 지하수위 측정결과 기록을 철저히 하여야 하고 수위관측관 미설치 관정에 대하여 우선적으로 수위관측관을 설치하여야 한다. 급격한 수위강하나 수위상승은 대수층의 파괴 등에 영향을 줄 수 있고, 이로 말미암아 지하수에 의한 여러 피해가 발생할 수 있다. 이러한 피해를 사전에 예방하기 위하여 지속적인 지하수위 관리가 필요하다.

지하수 이용에는 사용목적별 지하수의 수질이 중요한 사항이다. 지하수의 수질은 저류체의 특성에 의하거나 지하로 침투하는 물과 같이 혼합되는 성분에 의하여 결정되며, 지하수를 포함하는 용기로서의 대수층 성질과 지하수의 함양, 유동, 유출 과정을 통하여 공간적 시간적으로 변화가 일어난다. 이때 오염물질이 혼합되면 수질오염이 진행되게 되어 지하수 수질오염이 일어나게 된다.

지하수의 오염은 폐기물의 방치, 매립처분과 지분개량을 위한 약재투입, 오염된 지표수의 유입 등이 지하수 오염의 원인이 된다. 오염물질은 지하수층에서 이동속도가 느리기 때문에 지하수 오염은 국지적인 현상을 보이며, 오염의 특징에 따라 장시간에 걸쳐 진행이 된다. 지하수 수질관리를 위하여 상시 이용관정, 관측정의 수질을 계속적으로 측정하고 기록함으로써 지속적인 수질관리가 이루어 지도록 하여야한다.

지하수 수량관리를 위하여 지하수 저장체인 대수층은 한정된 용기로 생각할수 있으므로 이 저장체에 함유되어 있는 지하수는 이용가능한 즉 배출될 수 있는 지하수의 양이 한정되게 된다. 이 한계를 넘어서면 지하수위 저하에 따른 수량감소, 지반침하, 대수층의 파괴등이 일어나 지하수 저장체에 막대한 피해가 일어난다. 상시이용 관정이나 관측정에서 지하수를 양수할 때는 지하수 사용량을 철저히 기록하여야 하고, 이때 기록되는 것은 단위 시간당 양수량 혹은 일정기간 동안의 사용량 등이 있을 수 있으므로 기록에 대한 통일도 있어야 한다.

9. 결 론

1. 조사지역은 경상남도 창원군 영산면, 도천면, 길곡면, 부곡면의 4개면이 포함되며, 조사면적은 121.9km²에 대하여 광역수리지질 시범조사를 실시하였다.
2. 조사지역의 지형은 지구 북측이 고지대의 산계를 형성, 지형적 수리적 분수령으로 작용하고 남측단을 따라 동유하는 낙동강으로 능선, 계곡 및 소수계들이 남향하면서 발달하고 있다. 조사지구의 지형과 지질은 매우 밀접한 연관성을 나타낸다. 지질의 주방향은 N10W~N10E로 거의 남북방향으로 나타내며 지형 또한 거의 남북방향의 연장성을 가지고 발달하고 있다. 경상계 퇴적암류는 조사지역 동측을 제외한 전역에 걸쳐 분포하며, 조사지구 중심 남~북으로 산재하여 관입 분포하는 불국사 화강암류의 관입암류에 연하여 발달하는 호온펠스대에서는 험준한 산계를 지구중앙부에서 형성하며 관입의 영향이 없는 지구 서측에서는 구릉성 저지대를 형성하고 있다. 주산안산암류는 지구 동측에 연하여 남~북방향으로 대상분포하고 있다. 수계는 지구 서측단에 계성천이 남유하하고, 동측단에 청도천이 또한 남유하하여 조사지구 남단부에 걸쳐 동으로 유하하는 낙동강에 유입되므로 조사지구의 수리적 경계로 작용한다. 조사지구내 소하천들은 경사도가 비교적 완만하며, 깊은 계곡의 형성이 미약하고 유역면적이 협소하여 우기를 제외한 평시에는 유량이 급격히 감소 건천으로 존재하지만 낙동강 유입부에서는 낙동강 수위와 비슷한 저지의 평야부를 지나게 됨에 따라 소택지를 형성 낙동강 배후 습지지형을 이루기도 한다.
3. 본 지구내에서 암반관정 144공, 충적관정 15공이 조사되었으며, 이들 암반관정에 대하여 지역적 안배를 고려하여 양수시험결과 투수량 계수는 $8.7418 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec} \sim 9.5428 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 범위 평균 $3.1656 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 나타나며, 저류계수는 0.0517로 조사되었다.
4. 물리탐사는 극저주파탐사(4,480점), 수직탐사(200점), 쌍극자탐사(17측선)을 실시하여 조사지구 전반에 걸쳐 평야부의 지하수 부존성을 파악하였으며, 원격탐사자료를 분석하여 선구조선도를 작성하였고 수리지질을 파악하였다. 전기탐사 결과 본 지구의 제1층의 심도는 0~11.09m, 95.01ohm-m로 나타났고, 제2층 11.09m~17.89m, 139.75ohm-m, 제3층 17.89~m, 2,161.08ohm-m이다.
5. 수질조사는 136개 지점에서 EC, pH, 온도 등의 현장조사를 실시하였고, 암반지하수 38공, 충적지하수 4공, 낙동강하천수 1개소에 대하여 먹는물 기준 수질검사를 분석하였으며, 먹는물 검사 시료에 대해서는 이온분석을 중복 실시하여 조사지역의 전반적인 수질성분을 파악하는

데 이용하였다. 먹는물 기준 수질검사 결과 수질오염이 심각한 지하수 관정들은 영산면 월령리와 도천면 일리가 위치하는 도천천, 영산천, 서천천의 합류지점과 그 하류지역에 밀집되어 나타나며, 현장 수질검사시 전기전도도 값이 $600\mu\text{s}/\text{cm}$ 이상 검출되는 지역과 중복된다. 이 지역의 주 분포암석은 중생대 경상계 퇴적암인 함안층 또는 진동층과 경계부 암석으로 구성되어 있으며, 이온분석시 Ca^{2+} - HCO_3^- 형을 보이는 조사지역 암반관정들과는 달리 수질오염이 심각한 이지역은 음이온이 뚜렷이 구분되지 않고, 양이온은 Ca^{2+} 형에 속하는 것으로 나타났다. 이러한 수질오염의 원인으로는 해수침입에 의한 가능성 보다는 기반암 자체에 함유된 광물 성분이 지하수에 농축되기 쉬운 환경이거나 기반암 자체에 오염물질이 많이 함유된 암석으로 지하수가 배태되었을 수 있으며, 낙동강 제방 배후측 저지대에서의 지하수 흐름의 정체 현상으로 나타날 수 있는 염류의 농축에 의해서 영산면 성내리와 도천면 일리에 밀집된 주거지역에서 흘러나오는 생활하수의 지하침투에 의한 오염을 가능성 또는 그외 다른 요소나 상기 오염발생 가능성들의 복합적인 작용으로 나타나는 것으로 보인다.

6. 지하수 관측망 설치는 조사지역내에서 수질오염의 진행이 계속적인 수질오염이 예상되는 서천천, 영산천 수계내에서 총적, 암반관측정 1개조씩 2개조를 수계상 하류부에 각각 설치하였다. 자동관측 센서를 통하여 관측된 자료가 PC통신용 송수신 회선을 통하여 원격지인 사무실에서 측정된 자료를 획득할 수 있다.
7. 대수층 유효공극률 적용에 의한 지하수 부존량 평가에 의해 조사지역 지하수의 부존량은 $500.36106\text{m}^3/\text{년}$ 이며, 개발 이용 가능량은 $64.75106\text{m}^3/\text{년}$ 으로 조사되었다.
8. 지하수 함양량 평가에 의한 지하수개발 가능량은 평가방법에 따라 $14.838\sim 24.852106\text{m}^3/\text{년}$ 으로 판단되며, 평가방법에 따라 개발 이용 가능량의 상당한 차이가 나타나므로, 가장 객관적인 지하수개발 이용량의 조사는 관측정의 수위관측자료가 상당히 축적된 후 수위자료 분석에 의한 개발가능량 산정이 이루어져야 할 것으로 사료된다.
9. 향후 생활용수 소요수량은 3,475천톤/년(1997년), 3,979천톤/년(2010년 이후)이며, 안정적인 생활용수 공급이 이루어지기 위해서는 향후 41공의 지하수개발이 이루어져야 하며, 이를 위하여 사업비 10,250백만원의 사업비가 소요된다.
10. 지하수 관측망 설치의 목적은 지하수자원의 효율적 관리에 있으므로 지하수 전문가에 의하여 관측망 관리가 이루어져 향후 장기관측 자료에 의한 지하수문 모델링을 운영하여 낙동강 대수계에 대한 관측망구축이 완료되면 낙동강 수계에 대한 종합적인 수지분석 및 지하수문 모델링을 운영한다.

여 백

부 록

1. 전기비저항 수직탐사 해석자료
2. 관측정 시추 주상도

여 백

1. 전기비저항 수직탐사 해석자료

여 백

측점	위 치		제1층		제2층		제3층		제4층		제5층	
	X	Y	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항
E-1	155.37	214.23	0~1.8	79.5	1.9~9.2	36.8	9.3~10.4	47.4	10.5~	297.8		
E-2	155.08	214.29	0~1.7	47.3	1.8~8.4	31.8	8.5~11.1	168.2	11.2~	480.5		
E-3	155.70	214.17	0~3.4	52.5	3.5~5.6	20.1	5.7~9.2	84.6	9.3~57.4	202.9	57.5~	2734.4
E-4	155.13	213.38	0~1.2	53.5	1.3~6.5	22.8	6.7~8.9	40.5	9.0~	152.4		
E-5	155.69	214.84	0~1.6	47.2	1.7~4.0	102.1	4.1~14.3	49.2	14.4~18.2	93.9	18.3~	207.1
E-6	155.50	214.88	0~1.6	41.7	1.7~5.6	113.3	5.7~13.5	29.3	13.6~20.2	131.0	20.3~	348.5
E-7	155.29	214.92	0~1.6	27.5	1.7~5.2	81.2	5.3~13.2	34.6	13.3~18.5	139.5	18.6~	202.9
E-8	155.11	214.95	0~1.7	23.8	1.8~9.1	59.4	9.2~15.3	118.1	15.4~	334.3		
E-9	156.19	215.92	0~1.3	55.8	1.4~2.9	131.0	3.0~12.8	60.7	12.9~16.8	301.3	16.9~	1072.0
E-10	156.05	215.99	0~1.2	50.3	1.3~3.8	120.6	3.9~7.7	44.4	7.8~15.1	202.9	15.2~	371.0
E-11	155.91	216.08	0~1.1	43.5	1.2~3.4	215.9	3.5~8.0	18.9	8.1~13.4	2734.4	13.5~	8587.7
E-12	155.76	216.16	0~1.2	49.2	1.3~4.5	142.4	4.5~10.1	92.5	10.2~15.3	179.8	15.4~	521.2
E-13	155.69	216.35	0~1.6	54.7	1.7~4.9	136.6	5.0~7.8	93.9	7.9~10.5	148.5	10.6~	528.4
E-14	156.00	216.83	0~1.5	51.3	1.6~4.1	73.2	4.2~6.4	151.6	6.5~	4896.6		
E-15	156.16	216.7	0~1.8	50.3	1.9~10.9	133.8	11.0~16.4	43.5	16.5~19.7	120.1	19.8~	5433.4
E-16	156.47	216.46	0~2.7	84.6	2.8~5.8	244.7	5.9~11.5	50.3	11.6~15.9	128.3	16.0~	334.3
E-17	155.10	212.78	0~2.1	38.4	2.2~11.5	18.1	11.6~21.6	9.5	21.7~30.2	562.4	30.3~	6830.9
E-18	154.83	212.60	0~2.7	27.5	2.8~8.5	18.1	8.6~15.1	14.1	15.2~17.7	68.7	17.8~	8237.7
E-19	154.68	212.83	0~2.2	51.3	2.3~10.6	97.9	10.7~28.6	24.8	28.7~43.3	168.2	43.4~	926.7
E-20	154.97	212.35	0~1.6	31.8	1.7~2.8	63.2	2.9~10.8	31.8	10.9~17.5	84.6	17.6~	852.7
E-21	154.48	212.39	0~1.6	26.9	1.7~2.9	41.7	2.8~12.7	14.1	12.8~23.7	25.8	23.8~	598.7
E-22	153.79	212.05	0~1.6	24.3	1.7~6.7	10.7	6.8~8.5	21.8	8.6~	73.2		
E-23	153.74	212.45	0~6.2	39.2	6.3~19.4	10.7	19.4~26.1	907.7	26.2~	8587.7		
E-24	154.00	212.48	0~4.4	29.3	4.5~23.5	8.7	23.5~29.8	15.0	29.9~	2220.8		
E-25	154.19	212.50	0~2.8	28.7	2.9~10.8	15.6	10.9~10.8	40.0	14.4~	4412.7		
E-26	154.25	212.10	0~1.4	24.3	1.5~7.6	9.9	7.7~10.4	26.4	10.5~	168.2		
E-27	154.29	211.81	0~1.6	26.4	1.7~2.8	106.4	2.9~8.4	52.4	16.9~21.9	36.8	22.0~	1464.8
E-28	154.83	212.86	0~3.7	23.7	3.8~11.1	11.2	11.2~13.5	93.9	13.6~	1464.8		
E-29	154.00	212.92	0~3.5	18.1	3.6~7.5	11.0	7.6~13.9	48.2	14.0~	211.5		
E-30	153.57	212.52	0~6.7	35.3	6.8~20.8	9.9	20.8~24.7	289.0	24.8~	8237.7		

측점	위 치		제1층		제2층		제3층		제4층		제5층	
	X	Y	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항
E-31	153.43	212.32	0~1.6	24.8	1.7~3.3	46.3	3.4~16.8	24.8	16.7~27.9	37.6	27.9~	58.2
E-32	153.41	212.01	0~1.6	67.5	1.7~8.2	14.1	8.3~10.4	36.8	10.5~	301.3		
E-33	152.85	212.10	0~2.8	42.6	2.9~5.7	24.8	5.8~7.8	45.3	7.9~	102.1		
E-34	152.79	212.35	0~		0		0		0			
E-35	153.16	212.30	0~1.4	50.3	1.5~12.7	33.8	12.8~18.9	51.3	19.0~	128.3		
E-36	153.27	212.54	0~1.3	51.3	1.4~14.9	26.4	15.0~19.2	49.2	19.3	90.1		
E-37	153.10	212.93	0~1.1	28.7	1.2~5.0	38.4	5.1~31.4	11.9	49.0~	151.6	49.0~	1880.2
E-38	153.36	212.90	0~4.3	27.5	4.4~9.9	11.9	10.0~16.1	37.6	16.2~	331.1		
E-39	153.27	213.18	0~1.6	20.5	1.7~8.3	37.6	8.4~16.3	14.4	19.5~	133.8	19.5	574.3
E-40	153.22	213.41	0~1.3	27.5	1.4~5.3	86.4	5.4~14.7	18.1	26.2~	79.5	26.2	220.5
E-41	153.13	213.55	0~1.3	47.2	1.4~10.5	21.8	10.6~22.2	39.2	22.3~	334.3		
E-42	153.42	213.36	0~2.8	32.5	2.9~6.7	26.4	6.8~12.8	84.6	12.9~	283.0		
E-43	153.44	213.90	0~5.4	31.8	5.5~8.6	48.2	8.7~40.8	271.5	40.9~	1072.0		
E-44	153.37	214.08	0~7.1	35.3	7.2~20.5	11.4	20.6~27.5	41.7	27.6~	10796.4		
E-45	153.56	213.74	0~4.9	44.4	5.0~12.8	29.9	12.9~20.8	59.4	13.5~19.7	10574.1		
E-46	153.50	214.44	0~1.4	34.6	1.5~5.1	59.4	5.2~13.4	24.3	19.8~	1591.9	19.8	1591.9
E-47	153.63	214.20	0~8.3	34.6	8.4~17.2	5.6	17.3~24.4	61.9	24.5~	10574.1		
E-48	153.85	214.04	0~4.9	39.2	5.0~12.7	27.5	12.8~20.0	53.5	20.1~	1347.8		
E-49	153.75	214.44	0~2.8	59.4	2.9~10.4	19.7	10.5~14.7	38.4	14.8~	161.4		
E-50	153.87	213.22	0~2.7	18.1	2.8~5.1	37.6	5.1~	1495.6		117.6		
E-51	154.46	213.40	0~2.3	41.7	2.4~3.9	61.9	4.0~28.6	142.4	28.7~	67.3		
E-52	153.82	211.83	0~2.2	50.3	2.3~4.9	30.5	5.0~8.3	49.2	8.4~14.1	10796.	14.2~69.3	10574.1
E-53	155.43	211.92	0~3.7	71.6	3.8~12.7	28.1	12.8~18.2	249.8	18.3~	4		
E-54	155.63	212.33	0~1.6	60.7	1.7~10.1	37.6	10.2~25.4	24.8	25.5~37.4	7901.9	37.5~	7901.9
E-55	155.74	212.05	0~4.0	86.4	4.1~14.2	42.6	14.3~27.1	25.8	27.8~61.3	51.3	61.4~	2130.2
E-56	155.89	211.76	0~6.5	95.9	6.6~18.9	28.1	19.0~58.9	59.4	59.0~	1050.0		
E-57	156.28	212.47	0~2.8	59.4	2.9~12.3	20.1	12.4~21.9	86.4	22.0~	2678.1		
E-58	156.14	212.63	0~2.6	28.1	2.7~12.5	21.0	12.6~19.7	42.6	19.8~32.4	539.5		
E-59	156.03	212.77	0~3.6	68.7	3.7~29.0	20.5	29.1~32.3	48.2	~	10796.4		
E-60	156.89	212.92	0~2.3	30.5	2.4~4.8	23.3	4.9~7.8	36.8	7.9~	1141.1		

측점	위 치		제1층		제2층		제3층		제4층		제5층	
	X	Y	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항
E-61	156.77	213.08	0~1.6	31.1	1.7~5.0	21.0	5.1~9.6	40.8	9.7~	429.1		
E-62	156.64	213.28	0~2.8	21.4	2.9~8.0	15.6	8.1~11.8	33.8	11.9~	225.1		
E-63	157.26	213.19	0~1.2	74.7	1.3~5.3	28.1	5.4~11.7	60.7	11.8~	946.2		
E-64	157.15	213.36	0~1.1	24.8	1.2~2.9	36.8	3.0~5.5	27.5	5.6~7.8	51.3	7.9~	265.9
E-65	157.55	213.82	0~1.3	50.3	1.4~2.2	29.9	2.3~4.8	79.5	4.9~7.8	403.2	7.9~	692.5
E-66	157.56	214.03	1~1.2	64.6	1.3~4.9	164.7	5.0~9.7	68.7	9.8~13.7	301.3	13.8~	946.2
E-67	158.11	213.68	0~1.6	161.4	1.7~6.2	74.7	6.2~12.7	164.7	12.8~			1028.3
E-68	158.55	213.78	0~1.2	55.8	1.3~5.2	32.5	5.3~8.0	486.2	8.1~			986.4
E-69	157.74	214.25	0~6.3	136.6	6.4~9.3	244.7	9.4~59.7	722.0	59.8~	722.0		
E-70	158.43	214.74	0~3.9	115.7	4.0~7.4	64.6	7.5~15.5	93.9	15.6~			517.5
E-71	158.70	214.63	0~1.1	109.4	1.2~3.4	62.4	3.5~5.8	85.2	5.9~25.1	734.4	25.2~	1706.1
E-72	158.23	214.81	0~1.6	403.2	1.7~9.7	190.6	9.8~14.9	271.5	15.0~	271.5		1007.2
E-73	158.72	215.11	0~1.6	106.4	1.7~7.0	67.3	7.1~11.7	194.6	11.8~	574.3		
E-74	158.59	215.16	0~14.1	84.6	14.2~24.0	125.7	24.0~		24.0~	611.2		
E-75	158.87	215.39	0~1.6	68.7	1.7~4.9	102.1	5.0~15.9	50.3	16.0~21.9	123.1	22.0~	2363.8
E-76	158.86	215.05	0~2.3	37.6	2.4~5.1	57.0	5.2~		5.2~	664.3		
E-77	159.34	216.07	0~1.2	120.6	1.3~8.4	59.4	8.5~13.2	16.3	13.3~18.9	27.5	19.0~	10356.3
E-78	157.24	215.66	0~1.5	38.4	1.6~4.7	24.8	4.8~7.3	852.7	7.4~	6029.2		
E-79	156.90	215.40	0~1.9	24.8	2.0~2.8	60.7	2.9~24.0	168.2	24.1~	1117.6		
E-80	156.59	215.26	0~1.3	36.8	1.4~4.9	27.5	5.0~8.7	61.9	8.8~	835.2		
E-81	157.17	215.26	0~2.8	93.9	2.9~6.6	73.2	6.7~12.7	277.2	12.8~	835.2		
E-82	157.35	215.16	0~1.6	42.6	1.7~3.4	38.4	3.5~5.4	53.5	5.5~	562.4		
E-83	156.7	217.2	0~1.6	45.3	1.7~4.9	88.2	5.0~9.7	31.1	9.8~14.3	168.2	14.4~	611.2
E-84	156.5	217.4	0~3.6	23.7	3.7~5.5	95.9	5.6~40.8	164.7	40.9~	2971.8		
E-85	157.21	216.30	0~1.2	38.4	1.3~4.9	51.3	5.0~7.5	21.8	7.6~9.9	50.3	10.0~	637.2
E-86	157.43	216.37	0~1.6	48.2	1.7~5.1	29.3	5.2~9.3	65.9	9.4~	429.1		
E-87	157.43	216.58	0~1.7	47.2	1.8~5.1		5.2~10.6	21.8	10.7~	68.7		301.3
E-88	157.48	210.71	0~1.8	22.8	1.9~4.1		4.2~5.4	5.9	5.5~	225.1		1320.0
E-89	157.66	210.66	0~2.5	133.8	2.6~7.7		7.8~10.9	47.2	11.0~	154.8		295.1
E-90	157.71	210.38	0~3.6	239.6	3.7~6.8		6.9~12.8	14.4	12.9~	255.1		611.2

측점	위 치		제1층		제2층		제3층		제4층		제5층	
	X	Y	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항
E-91	157.91	210.74	0~1.1	55.8	1.2~2.3	33.2	2.4~3.3	79.5	3.4~	198.7		
E-92	158.02	210.51	0~2.0	18.9	2.1~4.9	42.6	5.0~7.6	14.4	7.7~9.9	26.9	10.0~	8587.7
E-93	158.24	210.29	0~4.9	54.7	5.0~10.9	22.8	11.0~33.6	77.9	33.7~	8237.7		
E-94	158.14	211.11	0~1.9	34.6	2.0~4.7	23.7	4.8~22.5	61.9	22.6~40.8	314.1	40.9~	
E-95	158.41	211.00	0~4.1	207.1	4.2~12.0	36.8	12.1~21.3	171.8	21.4~	3583.8		4060.3
E-96	158.51	210.86	0~1.9	198.7	2.0~5.9	45.3	6.0~9.2	136.6	9.3~38.5	175.4	38.6~	
E-97	158.22	210.67	0~1.4	21.4	1.5~5.1	90.1	5.2~9.3	19.7	9.4~12.8	73.2	12.9~	5830.9
E-98	156.22	211.60	0~2.3	42.6	2.4~14.1	21.8	14.2~21.3	43.5	21.4~	2791.9		8410.9
E-99	156.34	212.12	0~2.1	36.8	2.2~11.2	28.7	11.3~19.7	40.0	19.8~	10796.4		
E-100	157.26	212.45	0~1.2	26.9	1.3~1.9	7.1	2.0~2.6	11.7	2.7~	624.1		
E-101	156.87	213.63	0~1.3	118.1	1.4~3.4	6.9	3.5~4.3	44.4	4.4~	3814.6		
E-102	157.73	213.57	0~1.6	41.7	1.7~2.0	63.2	2.1~12.8	118.1	12.9~	784.6		
E-103	156.19	214.69	0~2.1	82.9	2.2~3.9	151.6	4.0~6.5	90.1	6.6~9.7	139.5	9.8~	438.1
E-104	156.05	214.73	0~1.9	34.6	2.0~2.7	55.8	2.8~11.7	106.4	11.8~	438.1		
E-105	160.00	209.76	0~1.3	36.8	1.4~3.1	22.3	3.2~4.0	43.5	4.1~11.4	106.4	11.5~18.2	2910.6
E-106	160.46	209.69	0~1.1	34.6	1.2~1.8	27.5	1.9~2.5	39.2	2.6~9.3	55.8	9.4~13.7	5783.4
E-107	161.04	210.51	0~1.1	50.3	1.2~4.2	93.9	4.3~6.1	136.6	6.2~18.4	327.4	18.5~33.6	7423.7
E-108	161.02	210.04	0~3.7	41.7	3.8~8.4	35.3	8.5~11.5	50.3	11.6~27.1	77.9	27.2~	10356.3
E-109	161.18	209.66	0~1.1	15.6	1.2~4.9	88.2	5.0~10.4	26.9	10.5~16.5	86.4	16.6~22.7	360.3
E-110	161.32	210.49	0~1.1	207.1	1.2~4.6	17.0	4.7~7.4	50.3	7.5~31.0	50.3	31.1~	3659.1
E-111	161.41	210.28	0~1.1	113.3	1.2~8.1	88.2	8.2~12.8	15.6	12.9~21.9	39.2	22.0~69.3	10574.1
E-112	161.66	209.84	0~1.2	22.3	1.3~6.1	81.2	6.2~18.7	21.8	18.8~21.9	36.8	22.0~	10574.1
E-113	163.61	211.38	0~2.9	100.0	3.0~18.2	20.5	18.3~27.9	35.3	28.0~	2367.8		
E-114	163.83	211.16	0~2.8	53.5	2.9~6.7	23.7	6.8~15.5	32.7	15.6~	327.4		
E-115	163.20	211.92	0~1.2	40.8	1.3~1.8	125.7	1.9~				1.9~	2678.1
E-116	164.35	211.84	0~4.9	64.6	5.0~		5.0~14.1	34.6	24.1~	67.3	24.1	67.3
E-117	164.12	211.88	0~1.3	63.2	1.4~5.6	23.3	5.7~8.2	59.4	34.2~	79.5	34.2~	8587.7
E-118	163.99	212.11	0~1.2	33.2	1.3~4.4	20.1	4.5~5.1	33.8	17.1~	49.2	17.1~	637.2
E-119	159.82	209.21	0~4.1	265.9	4.2~		4.2~18.2	63.2	38.5~	97.5	38.5~	175.4
E-120	160.51	209.34	0~1.3	355.8	1.4~6.9	55.8	7.0~13.9	179.1	18.8~34.1	21.0	34.2~	68.7

측점	위 치		제1층		제2층		제3층		제4층		제5층	
	X	Y	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항
E-121	160.51	209.10	0~1.0	260.4	1.1~2.1	9529.3	2.2~19.7	113.3	19.8~24.4	139.5	24.5~	186.7
E-122	161.30	209.32	0~1.6	28.1	1.7~32.3	68.7	32.4~43.3	95.9	43.4~	1292.8		
E-123	162.32	210.08	0~1.4	179.1	1.5~3.9	327.4	4.0~21.2	79.5	21.3~40.8	229.8	40.9~	438.1
E-124	164.47	213.27	0~1.2	118.1	1.3~2.9	105.4	3.0~6.1	63.2	6.2~8.5	81.2	8.6~24.4	131.0
E-125	164.25	213.26	0~2.0	27.5	2.1~8.3	53.5	8.4~11.5	106.4	11.6~16.8	42.6	16.9~31.9	97.5
E-126	164.10	213.24	0~4.9	47.2	5.0~8.3	120.6	8.4~16.8	46.3	16.9~22.2	81.2	22.3~	3659.1
E-127	164.14	214.34	0~6.0	55.8	6.1~10.8	82.9	10.9~19.7	110.9	19.8~	528.4		
E-128	161.49	214.57	0~1.2	37.6	1.3~4.1	102.1	4.2~6.8	30.5	6.9~9.7	82.9	9.8~	586.3
E-129	161.74	214.36	0~3.2	86.4	3.3~8.7	21.8	8.8~19.2	49.2			19.3~	10796.4
E-130	161.05	214.54	0~1.2	21.8	1.3~4.9	115.7	5.0~9.8	42.6	9.9~13.2	68.7	13.3~	946.2
E-131	164.36	214.27	0~1.6	90.1	1.7~6.2	52.4	6.3~8.8	136.6	8.9~	447.4		
E-132	163.88	214.15	0~1.6	128.3	1.7~17.2	97.9	17.3~23.7	161.4	23.8~	334.3		
E-133	167.30	208.82	0~5.2	411.6	5.2~		5.3~29.0	63.2	29.1~35.9	215.9	36.0~	598.7
E-134	166.97	208.83	0~2.0	528.4	2.1~8.3	106.4	8.4~14.1	68.7	14.2~24.0	207.1	24.1~57.4	44.4
E-135	166.55	208.93	0~1.6	225.1	1.7~5.2	68.7	5.3~8.4	108.6	8.5~33.2	63.2	33.3~41.6	79.5
E-136	167.69	209.08	0~1.2	17.0	1.3~4.0	314.1	4.1~26.4	31.1	26.5~37.4	45.3	37.5~	239.6
E-137	167.47	209.31	0~1.5	22.3	1.6~5.9	47.2	6.0~8.4	25.3	8.5~12.8	31.8	12.9~	10574.1
E-138	167.26	209.30	0~2.8	40.0	2.9~10.2	48.2	10.3~16.3	20.1	16.4~20.5	25.8	20.6~	10574.1
E-139	168.12	209.38	0~1.6	102.1	1.7~9.7	70.2	9.8~14.5	92.0	14.6~68.3	118.1	68.4~	4795.7
E-140	167.85	209.33	0~1.6	45.3	1.7~5.5	36.0	5.6~9.7	23.3	9.8~17.5	50.3	17.6~	506.8
E-141	167.52	209.91	0~4.3	48.2	4.4~20.3	11.7	20.4~35.9	23.7	36.0~	4999.5		
E-142	167.91	209.97	0~2.0	50.3	2.1~18.5	19.4	18.6~35.0	25.3			35.1~	171.8
E-143	167.10	209.85	0~5.8	229.8	5.9~21.3	14.4	21.4~26.1	23.3	26.2~	179.1		
E-144	167.44	210.44	0~2.8	44.4	2.9~12.8	24.8	12.9~26.8	34.6	26.9~	194.6		
E-145	167.22	210.41	0~5.8	128.3	5.9~12.5	45.3	12.6~16.8	63.2	16.9~	447.4		
E-146	167.70	210.45	0~2.5	39.2	2.6~7.9	55.8	8.0~15.5	18.1	15.6~24.4	20.1	24.5~	1072.0
E-147	167.46	211.49	0~2.8	90.1	2.9~7.9	28.7	7.9~14.1	40.0	14.2~	1880.2		
E-148	167.62	211.33	0~2.0	32.5			2.1~	15.6		25.3	22.6~	115.7
E-149	167.79	211.14	0~5.1	18.9			5.2~	13.0		18.9	22.0~	
E-150	165.40	209.80	0~2.8	48.2	2.9~5.0	32.5	5.1~9.7	51.3		1559.1	9.8~	

측점	위 치		제1층		제2층		제3층		제4층		제5층	
	X	Y	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항
E-151	165.57	209.68	0~1.7	25.3	1.8~3.5	45.3	3.6~42.8	486.2	42.9~	9529.3		
E-152	165.37	209.31	0~2.5	168.2	2.6~14.1	44.4	14.2~30.2	76.3	30.3~	784.6		
E-153	165.00	209.50	0~4.1	637.2	4.2~9.1	154.8	9.2~12.5	295.1	12.6~	1189.6		
E-154	165.24	209.85	0~1.2	68.5	1.3~2.2	56.8	2.3~3.2	80.1	3.3~21.4	138.3	21.5~	5247.8
E-155	165.65	209.16	0~1.9	182.8	2.0~5.7	229.8	5.8~13.7	40.8	13.8~20.5	63.0	20.6~	3229.7
E-156	166.76	212.07	0~1.1	722.0	1.2~3.3	295.1	3.4~6.8	175.4	6.9~9.3	239.6	9.4~	7121.1
E-157	167.35	212.26	0~1.6	104.2	1.7~3.3	79.5	3.4~5.9	123.1	6.0~40.8	190.6	40.9~	1050.0
E-158	167.38	212.10	0~2.8	104.2	2.9~5.7	74.7	5.8~7.3	139.5	7.4~	784.6		
E-159	167.15	212.30	0~2.8	60.7	2.9~18.4	32.5	18.5~25.4	74.7	25.5~36.9	611.2	37.0~	
E-160	167.76	213.36	0~6.8	21.0	6.9~15.1	32.5	15.1~			8587.7	15.1~	
E-161	167.94	213.28	0~1.9	49.2	2.0~7.4	19.3	7.5~12.8	34.6	12.9~	506.8		
E-162	168.08	213.95	0~2.8	54.7	2.9~6.0	14.4	6.1~9.8	50.3	9.9~32.3	120.6	32.4~	
E-163	167.42	214.21	0~1.1	29.9	1.2~2.0	68.7	2.1~21.3	128.3	21.4~	229.8		6690.2
E-164	167.41	213.96	0~1.6	77.9	1.7~2.7	40.8	2.8~4.1	65.9	4.2~8.3	123.1	34.2~50.2	
E-165	167.75	214.12	0~1.0	186.7	1.1~4.8	43.5	4.9~5.7	67.3	5.8~8.0	154.8	8.1~35.0	68.7
E-166	166.85	214.43	0~2.2	190.6	2.3~5.0	283.0	5.1~7.9	73.2	8.0~9.4	110.9	9.5~	44.4
E-167	166.81	214.31	0~2.5	95.9	2.6~4.9	43.5	5.0~13.2	133.8	13.3~24.0	64.6	24.1~32.7	334.3
E-168	166.72	214.16	0~3.6	104.2	3.7~19.2	68.7	19.3~25.4	110.9	25.5~	6155.9		133.8
E-169	166.13	214.66	0~2.2	148.5	2.3~13.4	37.6	13.5~17.7	58.2	17.8~	265.9		
E-170	166.10	214.58	0~2.9	175.4	3.0~9.9	29.9	10.0~17.7	110.9	17.8~	692.5		
E-171	166.00	214.37	0~3.8	102.1	3.9~9.3	27.5	9.4~18.2	76.3	18.3~	1766.4		
E-172	164.49	214.71	0~1.1	120.6	1.2~3.9	25.3	4.0~5.6	38.4	5.7~18.7	81.2	18.8~	403.2
E-173	164.44	214.57	0~1.1	211.5	1.2~6.6	48.2	6.7~20.2	88.2	20.3~25.1	215.9	25.2~	8587.7
E-174	164.61	214.94	0~3.0	68.7	3.1~15.3	33.8	15.4~18.9	97.5	19.0~78.0	182.8	78.1~	7579.8
E-175	164.09	215.25	0~2.8	59.4	2.9~5.4	40.8	5.5~7.9	77.9			8.0~	215.9
E-176	163.53	215.44	0~3.4	151.6	3.5~15.7	70.2	15.8~25.1	93.9			25.2~	1559.1
E-177	163.32	215.09	0~3.5	108.6	3.6~17.7	42.6	17.8~33.6	65.9	33.7~	355.8		
E-178	163.29	215.00	0~4.0	64.6	4.1~11.7	41.7	11.8~23.7	82.9	23.8~	334.3		
E-179	163.13	214.80	0~1.1	46.3	1.2~3.0	71.6	3.1~9.1	38.4	9.2~14.5	55.8	14.6~40.8	327.4
E-180	161.83	216.05	0~2.8	131.0	2.9~4.4	79.5	4.5~5.5	110.9	5.6~7.5	151.6	7.6~24.0	39.2

측점	위 치		제1층		제2층		제3층		제4층		제5층	
	X	Y	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항	심도	비저항
E-181	161.97	216.09	0~2.3	118.1	2.4~3.0	79.5	3.1~3.9	39.2	4.0~5.1	108.6	5.2~	283.0
E-182	160.56	212.99	0~1.3	115.7	1.4~26.8	61.9	26.9~46.3	84.6	46.4~	5664.3		
E-183	160.80	212.27	0~1.6	81.2	1.7~2.5	438.1	2.6~12.5	27.5	12.6~19.7	145.4	19.8~	2623.0
E-184	160.69	211.62	0~1.2	870.7	1.3~3.9	39.2	4.0~6.1	71.6	6.2~24.0	239.6	24.1~	7579.6
E-185	160.83	211.86	0~1.6	58.2	1.7~5.4	71.6	5.5~18.7	36.8	18.8~31.4	93.9	31.5~	598.7
E-186	162.62	211.12	0~1.6	64.6	1.7~4.9	52.4	5.0~8.3	65.9	8.4~17.7	95.9	17.8~	8768.3
E-187	162.86	210.93	0~2.8	60.7	2.9~8.1	19.7	8.2~17.7	36.8	17.8~49.5	82.9	49.6~	6417.5
E-188	162.91	210.86	0~1.6	39.2	1.7~4.9	65.9	5.0~8.3	77.9	8.4~15.1	93.9	15.2~20.6	9.1
E-189	162.62	210.70	0~2.8	110.9	2.9~10.4	27.5	10.5~17.7	175.4	17.8~	466.4		
E-190	162.13	210.44	0~2.8	97.9	2.9~8.3	145.4	8.4~16.8	29.9	16.9~29.0	52.4	29.1~69.0	133.8
E-191	161.77	211.84	0~1.4	239.6	1.5~4.9	8.4	5.0~8.3	35.3	8.4~40.8	1803.6	40.9~	10574.1
E-192	161.83	211.50	0~1.3	68.7	1.4~4.9	120.6	5.0~6.7	16.3	6.8~12.3	49.2	12.4	5683.4
E-193	161.98	211.37	0~3.5	202.9	3.6~16.5	46.3	16.6~29.0	100.0	29.1~	889.0		
E-194	161.92	210.79	0~7.2	139.5	7.3~1.4	14.7	1.5~17.7	70.2	17.8~			154.8
E-195	161.82	210.44	0~4.1	28.7	4.2~8.5	41.7	8.6~15.9	25.3	16.0~24.1	36.0	24.2~	438.1
E-196	157.64	216.17	0~2.4	63.2	2.5~3.7	86.4	3.8~24.0	190.6	24.1~	598.7		
E-197	157.97	216.35	0~1.6	93.9	1.7~8.3	58.2	8.4~14.1	90.1	14.2~	1766.4		
E-198	157.67	215.71	0~6.1	47.2	6.2~10.2	67.3			10.3~	394.8		
E-199	158.0	217.7	0~1.6	65.9	1.7~2.5	118.1	2.6~14.1	198.7	14.2~	678.3		
E-200	158.2	217.7	0~4.1	528.4	4.2~6.8	31.8	6.9~9.3	131.0	9.4~	2413.5		
E-201	157.10	217.18	0~2.2	650.6	2.3~5.1	386.7	5.2~7.2	179.1	7.3~26.4	327.4	26.5~	737.1

여 백

2. 관측정 시추 주상도

여 백

착정 (시추) 작업 공 보

사 업 명 : '96 광역수역조사 권역정설치

공 번 : OD-1(하류관측) 의뢰자 :

위 치	경상남도 창원군 도천면 일리 도천면사무소 지내				표 고	GL 15.2m	자연수위	4.8 m			
조 사 개발자	한국수자원공사 경남지사 지하수부 5팀 정차연		공 사 감독자		작 업 시 작	: 1996 년 11월 30 일					
					작 업 기 간	: 1997 년 12월 9 일					
학 정 방법	토사층 : Rotary 압 반 : D. T. H.		사 용 빗 드	토사층 : Wing Bit 압 반 : Button Bit	학 정 구 경 및 심 도	300mm 9m, 200mm 95m, 150mm 46 m	자 갈 충진량	1.4m ³			
우 물 재	파이프	지상 지하	m 계 72 m	스트 레나	32 m	소 켓	25 개	스트레나 개공율	8 %	케이싱 심 도	φ 10" 9 m

심도 (m)	층우 (m)	지 집 및 구 조	전 기 검 측	비 고
1	1			실선 : Short normal 점선 : Long normal
5	표토 : 암갈색, 니질로암 사층 : 황갈색모래, 암갈색 실트의 호층(모리층 우세 φ 4-40mm 자갈혼재(소방))			
6	중화대 : 황회색-암회색 기반암의 중화잔류대			
9	3	연암 . 경상계 퇴적암 . 9-48m : 암청회색 세일 . 48-54m : 저색 세일 . 54-63m : 암청회색 세일 . 63-66m : 연청회색 세일 . 67-74m : 암청회색 세일 . 74-77m : 저색세일과 연청회색세일 혼재 세일의 호층으로 굴진속도 양호함 . 스라임 : 0.1-20mm . 관상 및 왜기상 우세 . 대수층 : 뚜렷한 파쇄대 없음 30m 부근 : 30 m ³ /일 . 스라임 시료채취 1 : 6m 9 : 64m 2 : 8m 10 : 71m 3 : 11m 11 : 75-76m 4 : 27m 12 : 102m 5 : 30m 13 : 130m 6 : 48m 7 : 50m 8 : 58m	10	
69		IIIII PVC Pipe	20	
78		IIIII IIIII PVC Strainer IIIII IIIII IIIII	30	
103	72	나공	40	
150		보통암 . 경상계 퇴적암 . 78-101m : 연청회색과 암청회색세일이 교호되어 산출(1-2m 단위) . 101-117m : 연청회색 세일 . 117-150m : 암청회색 세일 . 저색세일이 산출되지 않고 하부로 향할수록 암청회색 세일이 우세하게(연청회색보다) 나타남 . 스라임 : 0.1-25mm . 하부로 갈수록 굴진속도 저하 . 대수층 : 101-102m(주대수층, 100m ³ /일), 파쇄대 발달 최대 50mm암편 산출 방해석맥(회색) 존재 117m : 50m ³ /일(파쇄대의 발달 없음)	50	
			60	
			70	
			80	
			90	
			100	
			110	
			120	
			130	
			140	
			150	

착정 (시추) 작업공보

사업명 : '96 광역수백조사 권속정설치

공번 : 00-2(상류권속) 의뢰자 :

위치	경상남도 창원군 명산면 성내리 명산면사무소 지내			표고	GL 44.5m	자연수위	6.8 m																								
조사개발자	남여촌진흥공사 경남지사 지하수부 5급 정차연		공사감독자	작업기간	시작 : 1996년 12월 13일 완료 : 1997년 12월 18일																										
착공방법	토사층 : Rotary 압반 : D. T. H.	사릿종트	토사층 : Wing Bit 압반 : Button Bit	착공구경 및 심도	300mm 8m, 200mm 92m, 150mm 50m	자갈 총진량	1.4m ³																								
우물제	파이프	지상, 지하	총계 72m	스프레너	32m 소켓	26개	스프레너 개공율 8% 케이싱 심도 ϕ 10" 8m																								
심도 (m)	층우 (m)			지질 및 구조		전기 검층		비고																							
3.4	3.4																														
6.0	2.6	사력층 : 점토질자갈층 상토층, 1-10cm 자갈혼재				실선 : Short normal 점선 : Long normal																									
8.0	2.0	사층 : 1-3cm 각질력 혼재 풍화대 : 황회색, 니질혼재 기반암 풍화 잔류대 연암 . 경상계 퇴적암 . 암상회색 세립우세 . 8-70m : 암상회색 세립 . 70-79m : 연상회색 세립 . 스라임 : 0.1-10mm . 판상 및 각력질 우세																													
79	71.0	PVC Pipe Strainer Pipe IIII IIII IIII IIII IIII Pipe		보통암 . 경상계 퇴적암 . 79-200m : 암상회색 세립 이 우세함 . 스라임 : 판상, 각력질 . 대수층 : 뚜렷한 대수층 발달이 없음 8-79m : 30 m ³ /일 79-102m : 10 m ³ /일 102-150m : 수량증가없음 150-170m : 10 m ³ /일 170-200m : 30 m ³ /일																											
102	121	나금		. 스라임 시료채취 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>번호</th> <th>심도</th> <th>부기</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2m</td> <td>사력층</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>5m</td> <td>사층</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>7m</td> <td>풍화대</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>60m</td> <td>암상회색 세립</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>75m</td> <td>연상회색 세립</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>160m</td> <td>암상회색 세립</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>190m</td> <td>암상회색 세립</td> </tr> </tbody> </table>		번호	심도	부기	1	2m	사력층	2	5m	사층	3	7m	풍화대	4	60m	암상회색 세립	5	75m	연상회색 세립	6	160m	암상회색 세립	7	190m	암상회색 세립		
번호	심도	부기																													
1	2m	사력층																													
2	5m	사층																													
3	7m	풍화대																													
4	60m	암상회색 세립																													
5	75m	연상회색 세립																													
6	160m	암상회색 세립																													
7	190m	암상회색 세립																													
200																															

'96 창도지구광역수맥조사보고서

1997년 11월 일 발행

발 행 : 농림부, 농어촌진흥공사

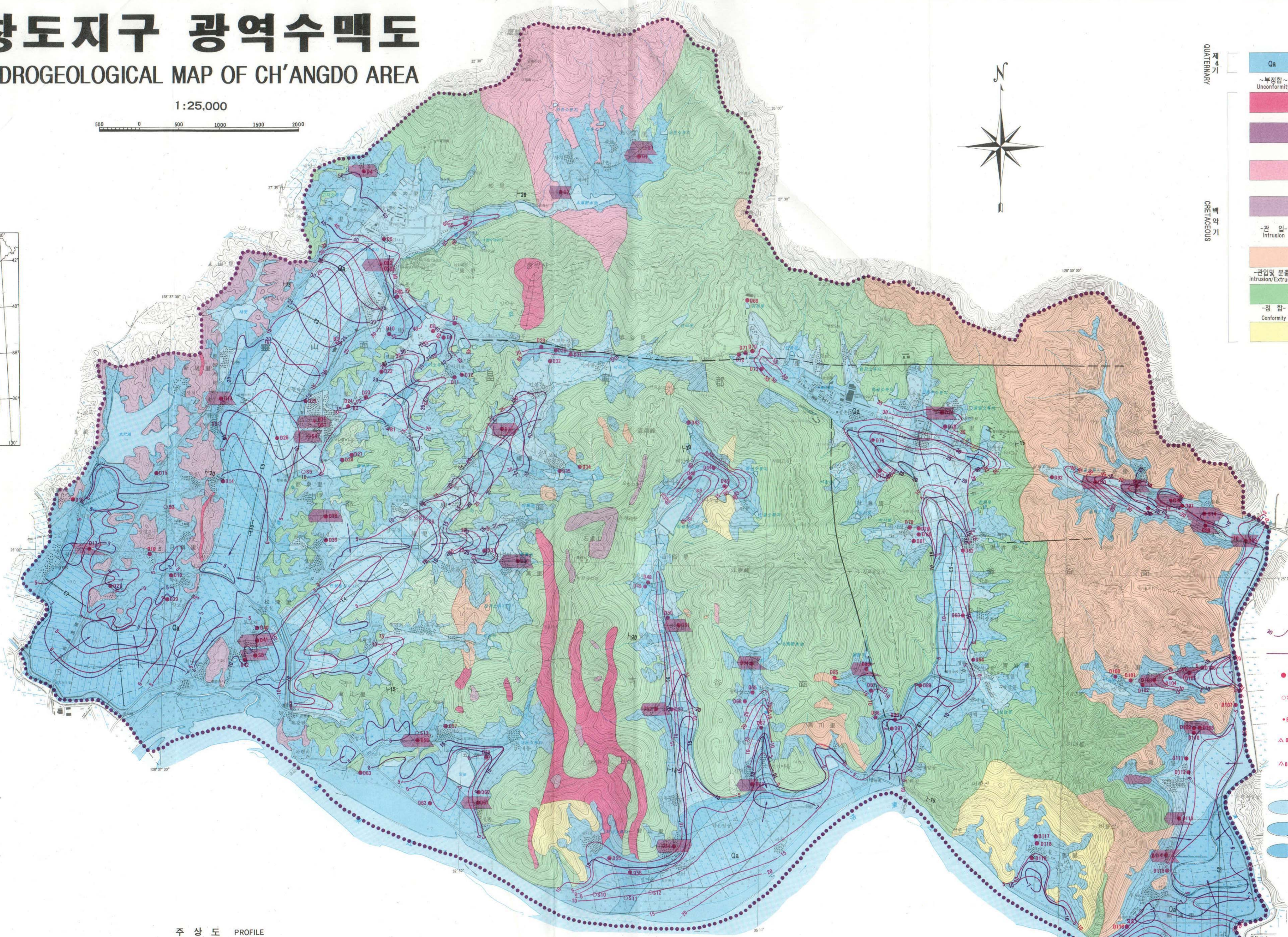
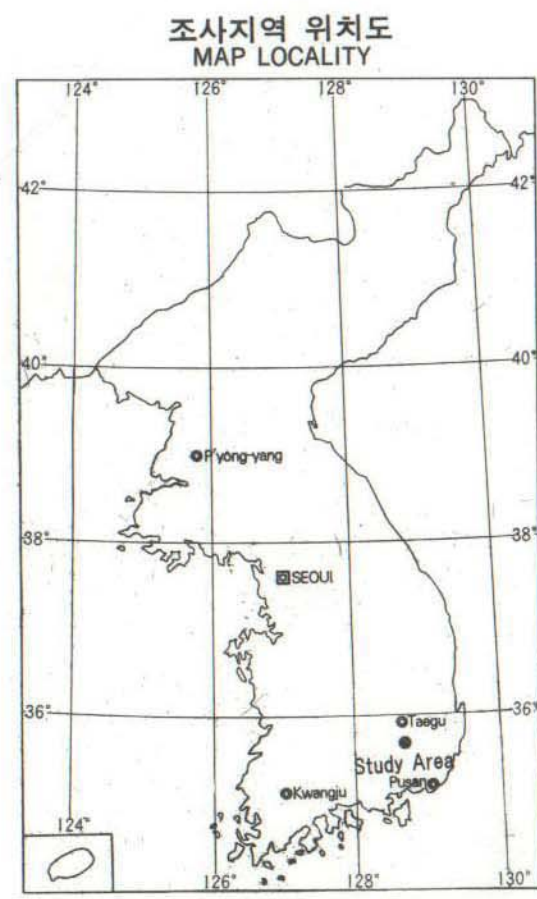
편 집 : 농어촌진흥공사 지하수사업처

인 쇄 : (주)대성인쇄공사 (02)711-3611~7

창도지구 광역수맥도

HYDROGEOLOGICAL MAP OF CH'ANGDO AREA

1:25,000

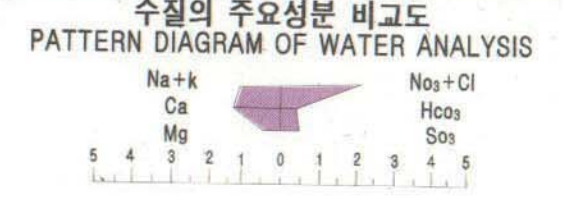


지질 GEOLOGY

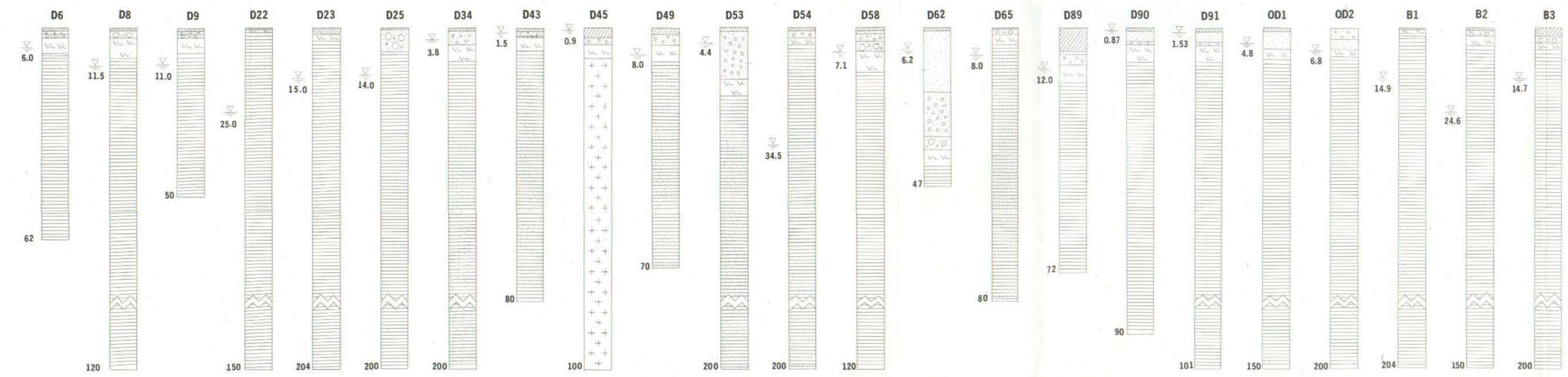
- | | | | |
|--------------------|-----------|-----------------------|--|
| Quaternary | Qa | 충적층 | 신기하성층이 주를 이루며 사력 점토등으로 구성 |
| Cretaceous | ~부정합~ | Unconformity | |
| | 화강반암 | Granoporphyrite | 담회색의 규장질석기에 석영이 반경을 이루며, 각섬석과 흑운모가 미량 함유 |
| | 화강섬록암 | Granodiorite | 우백색을 띠며 석영, 장석, 각섬석이 주 구성광물 |
| | 흑운모 화강암 | Biotite Granite | 회색 또는 회백색 장석 반경을 함유하는 반상조리의 화강암이며, 풍화, 침식에 의하여 구릉 형성, 석영, 장석, 흑운모가 주 구성광물 |
| Miocene | 섬록암 | Diorite | 백상 또는 암주상의 산출상태를 보이며, 사장석, 각섬석, 흑운모 석영이 주 구성광물을 이루고 자철석 황철석 등의 불투명 광물을 함유 |
| | -관입- | Intrusion | |
| | 주산안산암질암 | Chusan Andesitic Rock | 안산암, 휘석안산암, 황각력안산암으로 구성되며 용암류, 암상층 산출 상태가 다양 |
| | -관입 및 분출- | Intrusion/Extrusion | |
| Chindong Formation | 진동층 | Chindong Formation | 회색, 암회색, 녹색세암, 사질세암으로 구성되며 NS방향으로 대상분포 |
| | -정합- | Conformity | |
| Ham an Formation | | 함안층 | 이안, 실트스톤, 셰일의 호층으로 구성되어 N10W, 15~20NE의 주향과 경사율에 따라 분포하는 거지대를 이루며 불국사 화강암의 관입으로 석회부에서는 2~3km의 폭을 가지는 호른펠스형 형성 |

범례 LEGEND

- | | |
|--|---|
| 지하수 GROUNDWATER | 지질구조 GEOLOGIC STRUCTURE |
| 지하수위등고선
Contours of groundwater table | 단층
Fault |
| 지하수 유동방향
Direction of groundwater flow | 가상단층
Inferred Fault |
| 암반경(φ < 14")
Rock Wells | 지질경계선
Geologic Boundary |
| 충적관경(φ > 16")
Sedimentary Wells | 기반암층 등고선
Contours of Inferred Bedrock |
| 시추조사공
Boreholes | 층리의 주향과 경사
Strike and Dip of Bedding |
| 관측정(암반)
Observation Wells(Rock Well) | 층리의 주향과 경사
Strike and Dip of Foliation |
| 관측정(충적)
Observation Wells(Sedimentary Well) | 물리탐사 선
Geophysical Survey Line |
| 하천
River | 조사구역
Boundary of Study Area |
| 채수량 100m³/일 미만 지역
Potential Yield Capacity Area under 100m³/day | 수질 WATER QUALITY |
| 채수량 100~200m³/일 지역
Potential Yield Capacity Area of 100-200m³/day | 수질오염잠재지역
Potential Area of Groundwater Contamination |
| 채수량 200m³/일 이상 지역
Potential Yield Capacity Area over 200m³/day | |



주상도 PROFILE



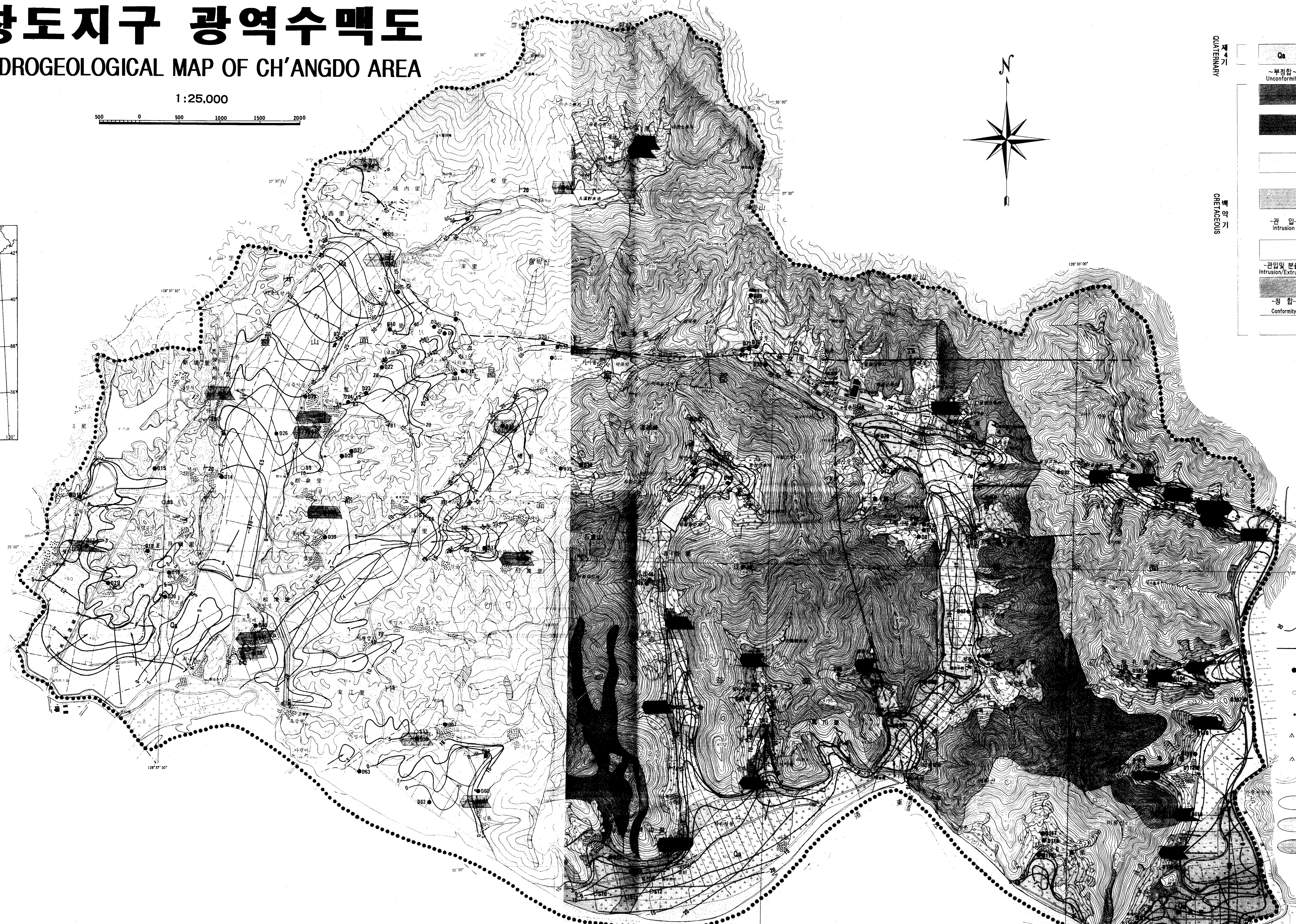
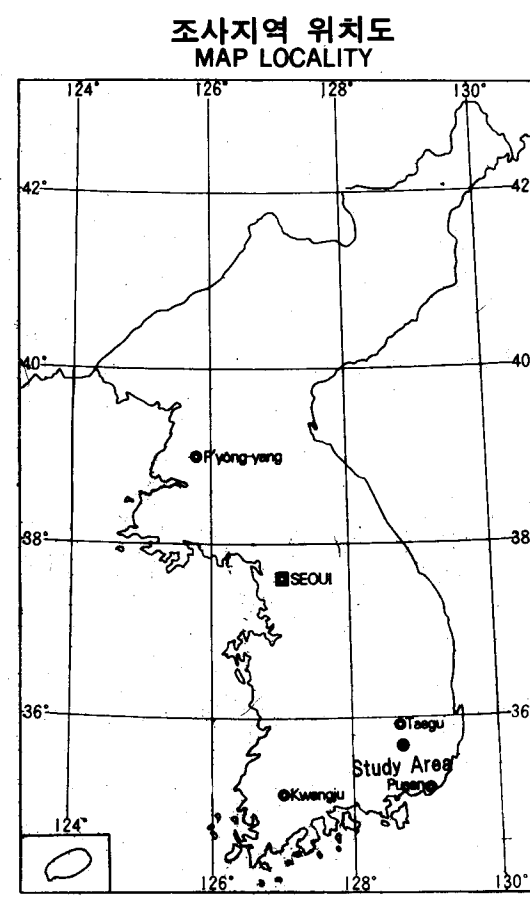
- | | |
|--------|------------------------|
| 토사층 | Soil and Sand |
| 사층 | Sand |
| 사력층 | Sand and gravel |
| 사력혼전석층 | Sand gravel & boulders |
| 풍화대 | Weathered Zone |
| 화강섬록암 | Granodiorite |
| 진동층 | Chindong Formation |
| 진동층 | Ham an Formation |

1. 국립지리원 축량성과 사용승인 제 97-340(97. 10. 30)
2. 국립지리원 축량성과 심사필(97. 11.)
3. 본 지도는 국립지리원 발행 1:25,000 기본도를 기대로 사용하여 편집 제작된 것임.

창도지구 광역수맥도

HYDROGEOLOGICAL MAP OF CH'ANGDO AREA

1:25,000

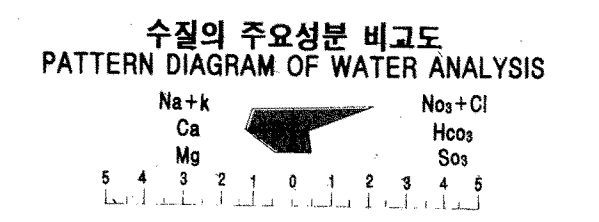


지질 GEOLOGY

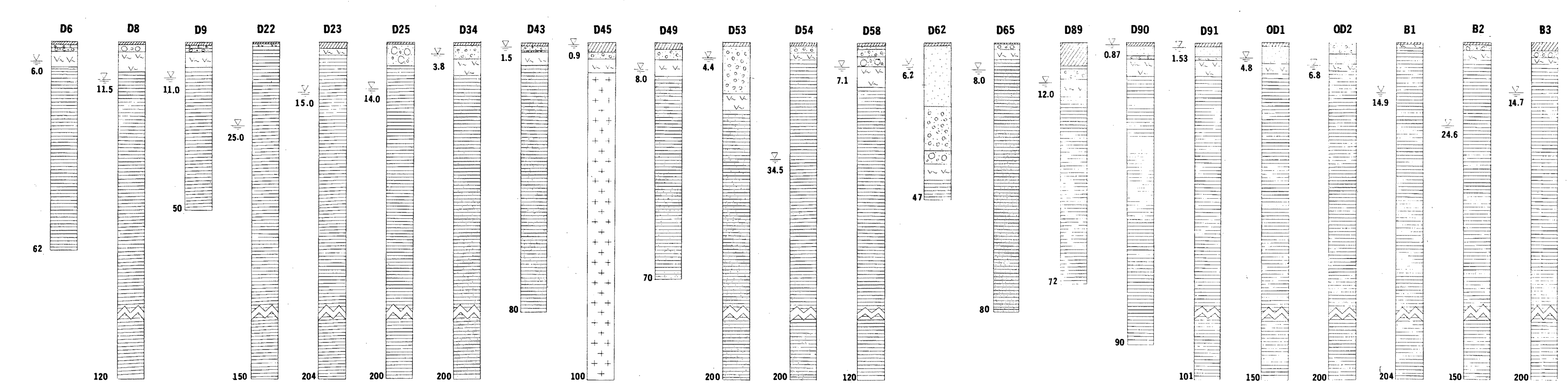
- | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|
| QUATERNARY | Qa | 충적층 (Alluvium) | 신기하성층이 주를 이루며 사적 점토등으로 구성 |
| | 부정합 (Unconformity) | 화강반암 (Granoporphyrite) | 담회색의 규장질석기에 석영이 반영을 이루며, 각섬석과 흑운모가 미량 함유 |
| | | 화강섬록암 (Granodiorite) | 우백색을 띠며 석영, 장석, 각섬석이 주 구성광물 |
| | | 블로이트 화강암 (Blotite Granite) | 회색 또는 회백색 장석 반영을 함유하는 반상조질의 화강암이며, 풍화, 침식에 의하여 구릉 형성, 석영, 장석, 흑운모가 주 구성광물 |
| CRETACEOUS | | 섬록암 (Diorite) | 백색 또는 암주상의 산출상태를 보이며, 사장석, 각섬석, 흑운모, 석영이 주 구성광물을 이루고 자철석, 황철석 등의 불용 광물을 함유 |
| | 관입 (Intrusion) | 주산안산암질암 (Chusan Andestic Rock) | 안산암, 휘석안산암, 환각력안산암으로 구성되며 용암류, 암상등 산출 상태가 다양 |
| | 관입 및 분출 (Intrusion/Extrusion) | 진동층 (Chindong Formation) | 회색, 암회색, 녹회색세린, 사질세일로 구성되며 NS방향으로 대상분포 |
| | 정합 (Conformity) | 함안층 (Ham an Formation) | 이안, 실트스톤, 셰일의 호층으로 구성되며 N10W, 15~20NE의 주향과 경사도 배상분포, 풍화에 의하여 분포되는 커리대면이 주 구성광물 화강암의 관입으로 침투부에서는 2~3km의 폭을 가지는 호층형태 형성 |

범례 LEGEND

- | | |
|--|--|
| 지하수 GROUNDWATER | 지질구조 GEOLGIC STRUCTURE |
| 지하수위등고선 (Contours of groundwater table) | 단층 (Fault) |
| 지하수 유동방향 (Direction of groundwater flow) | 가상단층 (Inferred Fault) |
| ● D1 알반관정 (dia < 14") (Rock Wells) | 지질경계선 (Geologic Boundary) |
| ○ S1 준관정 (dia > 16") (Sedimentary Wells) | 가방암추정 등고선 (Contours of Inferred Bedrock) |
| ● B1 시추조사공 (Boreholes) | 층리의 주향과 경사 (Strike and Dip of Bedding) |
| △ O B1 관측정(관반) (Observation Wells(Rock Well)) | 층리의 주향과 경사 (Strike and Dip of Foliation) |
| △ O S1 관측정(준정) (Observation Wells(Sedimentary Well)) | 지질조사선 (Geophysical Survey Line) |
| 하천 (River) | 조사구역 (Boundary of Study Area) |
| 잠수량 100톤/일 미만 지역 (Potential Yield Capacity Area under 100m³/day) | 수질 WATER QUALITY |
| 잠수량 100~200톤/일 지역 (Potential Yield Capacity Area of 100~200m³/day) | 수질오염예상지역 (Potential Area of Groundwater Contamination) |
| 잠수량 200톤/일 이상 지역 (Potential Yield Capacity Area over 200m³/day) | |



주상도 PROFILE



- 범례**
- 토사층 (Soil and Sand)
 - 사층 (Sand)
 - 사력층 (Sand and gravel)
 - 사력혼진석층 (Sand gravel & boulders)
 - 풍화대 (Weathered Zone)
 - 화강섬록암 (Granodiorite)
 - 진동층 (Chindong Formation)
 - 진동층 (Hormation)

1. 국립지리원 축화상과 사용승인 제 91-340(97.10.30)
 2. 국립지리원 축화상과 심사필(97.11.)
 3. 본 지도는 국립지리원 발행 1:25,000 기본도를 지도로 사용하여 편집 제작된 것임.