

청도군광역수맥조사보고서

2001.

농 립 부
농 업 기 반 공 사



목 차

1. 서 언	1
2. 조사개요	3
2-1 조사목적	3
2-2 조사대상	3
2-3 조사지역 개요	5
2-3-1 위치	5
2-3-2 토지이용, 산업 및 인구현황	7
2-3-3 농업	9
2-3-4 축산업	11
2-3-5 임업	12
2-3-6 광공업	13
2-4 수문기상	13
2-4-1 기온	15
2-4-2 강수량	16
2-3-4 증발산량	19
3. 수문 지질조사	22
3-1 지형 및 지질	22
3-1-1 지형	22
3-1-2 지질	22
3-2 물리탐사	28
3-2-1 원격탐사(Remote Sensing)에 의한 선구조 분석	29
3-2-2 전기비저항 탐사	32
3-3 양수시험	59
4. 시설관정 이용실태조사	63

4-1	기설관정 현황조사	63
4-1-1	지하수 이용 및 시설현황	63
4-1-2	지하수 이용특성	67
4-2	기설관정 지하수위조사	69
5.	수질 및 잠재오염원 조사	71
5-1	주요이온 분석결과	71
5-1-1	측정 및 분석방법	71
5-1-2	지하수의 수질특성	72
5-2	먹는물 기준 수질검사 결과	78
5-3	잠재오염원 조사	83
5-3-1	잠재오염원의 분류	83
5-3-2	잠재오염원의 분포현황	85
6.	지하수자원의 부존성 평가	86
6-1	물수지 분석	86
6-1-1	강수량	87
6-1-2	유출분석	87
6-2	지하수부존량 및 개발가능량	98
6-2-1	지하수 부존량	98
6-2-2	지하수개발 가능량	100
6-2-3	지하수개발 예정 위치 선정	105
7.	지하수자원 개발계획	108
7-1	용도별 소요수량 및 공급방안	108
7-1-1	생활용수 소요수량 및 공급방안	108
7-1-2	농업용수 소요수량 및 공급방안	110
7-1-3	공업용수 소요수량	111
7-1-4	기타용수 소요수량 및 공급방안	112

7-2 지하수 개발 계획	113
8. 지하수 보전 관리	114
8-1 지하수 환경재해	114
8-2 지하수 보존 구역	118
8-2-1 지하수자원의 보전·관리	118
8-2-2 지하수 보전구역	123
9. 결 론	127
참고문헌	130
부록	133

표 목 차

〈표 2-1〉 조사지구 면적 및 행정구역 현황	7
〈표 2-2〉 조사지구 토지 지목별 이용현황	8
〈표 2-3〉 산업별 사업체수 및 종사자수	8
〈표 2-4〉 세대 및 인구밀도	9
〈표 2-5〉 농가 및 농가인구수	9
〈표 2-6〉 경지면적	10
〈표 2-7〉 농업진흥지역 지정	10
〈표 2-8〉 조사지구 작물 생산현황	11
〈표 2-9〉 경지정리 현황	11
〈표 2-10〉 가축 사육가구 및 마리	12
〈표 2-11〉 임상별 임목축적	12
〈표 2-12〉 조사지구 일기 일수	14
〈표 2-13〉 경북지역 가뭄 우심 등급표	15
〈표 2-14〉 연도별, 월별 기온 분포표	16
〈표 2-15〉 연도별, 월별 강수량 분포표	18
〈표 2-16〉 월별 증발량(1980~1999)	21
〈표 3-1〉 조사지구 지질계통표	23
〈표 3-2〉 쌍극자 탐사 축선별 총괄표	39
〈표 3-3〉 기설관정의 양수시험 결과표	62
〈표 4-1〉 지하수 허가·신고현황	63
〈표 4-2〉 행정구역별 지하수 이용현황	64
〈표 4-3〉 생활용 지하수 이용현황	65
〈표 4-4〉 농업용 지하수 이용현황	65
〈표 4-5〉 공당 지하수 이용량	67
〈표 4-6〉 단위면적당 지하수 이용량	67
〈표 4-7〉 조사지구내 단위면적당 개발공수	68
〈표 4-8〉 양수능력별 지하수 이용현황	68
〈표 5-1〉 양·음이온 수질분석 결과표	73

〈표 5-2〉 먹는물 기준 수질검사 결과	80
〈표 5-3〉 오염원의 종류	83
〈표 5-4〉 O.T.A 잠재오염원 분류	84
〈표 5-5〉 잠재오염원 분류	85
〈표 6-1〉 대구기상대의 위도에 따른 낮의 길이의 조정계수 (b)	89
〈표 6-2〉 청도지역 손실량 산정 (Turc 방법)	90
〈표 6-3〉 유역 특성별 f값	93
〈표 6-4〉 Kajiya 공식에 의한 유출량 산정	94
〈표 6-5〉 청도군 지하수 함양량 분석 결과	97
〈표 6-6〉 한국의 지하수 부존량	99
〈표 6-7〉 청도지구 지하수 부존량 추정	100
〈표 6-8〉 한국의 지하수 부존량	101
〈표 6-9〉 지하수함양량 평가에 의한 지하수개발 가능량	104
〈표 6-10〉 청도군 지하수 적정 개발 가능량	104
〈표 6-11〉 지하수개발 유형	105
〈표 6-12〉 지하수개발 위치선정을 위한 흐름도	107
〈표 7-1〉 청도지구 상수도 보급 현황	108
〈표 7-2〉 읍·면별 생활용수 수요수량	110
〈표 7-3〉 읍·면별 농업용수 소요수량	111
〈표 7-4〉 읍·면별 기타용수 소요수량	112
〈표 7-5〉 연차별 지하수개발 사업량 및 사업비	113
〈표 8-1〉 지하수의 용도별 이용량	114
〈표 8-2〉 연도별 지하수 개발 이용현황과 우물 굴착수	115
〈표 8-3〉 연도별 연평균 이용량과 연평균 시설의 증가율	115
〈표 8-4〉 국내 지하수 환경재해의 예	117
〈표 8-5〉 지역별 오염방지 대책	120
〈표 8-6〉 낙동강 유역권 관측 결과	122
〈표 8-7〉 낙동강 유역권 수질검사 결과	122
〈표 8-8〉 지하수 보전구역 설정	126

그림 목 차

〈그림 2-1〉 청도지구 행정구역도	6
〈그림 2-2〉 연도별 평균기온 분포도(1993~1998)	17
〈그림 2-3〉 월별 평균기온 분포도(1993~1998)	17
〈그림 2-4〉 월별 강수량 분포(1980~1999)	18
〈그림 2-5〉 년도별 강수량 분포(1980~1999)	19
〈그림 2-6〉 월별 평균증발량 분포(1980~1999)	21
〈그림 3-1〉 조사지구 지질도	24
〈그림 3-2〉 조사지구내 SPOT 위성자료	30
〈그림 3-3〉 조사지구내 선구조도(SPOT 이용)	31
〈그림 3-4〉 점진원에 의한 전위	33
〈그림 3-5〉 쌍극자 탐사 축선 배열 방법	34
〈그림 3-6〉 전기비저항탐사(쌍극자탐사)가단면도 모식도	36
〈그림 3-7〉 축선 E-1 쌍극자 탐사 결과도	44
〈그림 3-8〉 축선 E-2 쌍극자 탐사 결과도	45
〈그림 3-9〉 축선 E-3 쌍극자 탐사 결과도	46
〈그림 3-10〉 축선 E-4 쌍극자 탐사 결과도	47
〈그림 3-11〉 축선 E-5 쌍극자 탐사 결과도	48
〈그림 3-12〉 축선 E-6 쌍극자 탐사 결과도	49
〈그림 3-13〉 축선 E-7 쌍극자 탐사 결과도	50
〈그림 3-14〉 축선 E-8 쌍극자 탐사 결과도	51
〈그림 3-15〉 축선 E-9 쌍극자 탐사 결과도	52
〈그림 3-16〉 축선 E-10 쌍극자 탐사 결과도	53
〈그림 3-17〉 축선 E-11 쌍극자 탐사 결과도	54
〈그림 3-18〉 축선 E-12 쌍극자 탐사 결과도	55
〈그림 3-19〉 축선 E-13 쌍극자 탐사 결과도	56
〈그림 3-20〉 축선 E-14 쌍극자 탐사 결과도	57
〈그림 3-21〉 축선 E-15 쌍극자 탐사 결과도	58
〈그림 5-1〉 청도 Stiff diagram	74

〈그림 5-2〉 조사지역 Piper diagram	77
〈그림 5-3〉 먹는물 기준 수질검사 지역	79
〈그림 6-1〉 한국 수자원 현황도 (1996년 현재, 건교부)	91
〈그림 6-2〉 계통표에 의한 조사지구 유출량	92

1. 서 언

인류의 생명이고 근원인 물은 과거 1960년대 이후 산업이 급속도로 성장함에 따라 점차 수요가 급증되어 오늘날 지표수개발은 그 적지의 제한성, 자연재해에 따른 과도한 보상비용, 수질오염 등으로 한계에 이르렀다. 따라서 대체 용수 확보에 대한 필요성이 대두되면서 실질적인 대체수원으로써 지하수개발에 중점을 두고 있다.

우리나라 지하수사업은 첫째, 도입단계(1936~1962)로써 국지적인 공업용수개발을 목적으로 소구경 시추 및 착정조사가 이루어졌으나, 일제시대 이후 군량미 확보를 위한 농업용수개발 5개년계획을 수립하고 지하수조사를 실시하였으나 지하수부존성 파악에 실패하였고, 둘째, 초기개발단계(1963~1970)로써 가뭄대책을 위한 수자원개발의 필요성을 인식하여 선진국의 지하수개발 기술을 도입함으로써 정부주도의 지하수개발을 수행하였고, 셋째, 정비단계(1971~1975)로써 기설관정에 대한 기능점검 및 정비, 제주도를 비롯한 도서지방의 지하수부존성 조사를 최초로 시행하였다. 넷째, 재개발단계(1976~1980)로써 폐기관정 대체시설사업, 항구적 한해대책사업, 원예주산단지 지하수개발사업(현 발기반정비사업으로 개칭)을 시행하였고, 다섯째, 성숙개발단계(1981~1990)로써 수리답률을 90%까지 제고시킬 목적으로 농업용수개발 10개년 계획을 확정하고, 또한 수맥조사가 착수되었다. 여섯째, 보전관리단계(1991~현재)로써 건설교통부 주관으로 지하수개발의 체계적인 추진과 지하수자원의 합리적인 관리를 위한 『지하수법』을 제정 공포함으로써 지하수개발을 제한하고, 일관성있는 지하수보전관리가 이루어질 수 있도록 하였다.

금번 광역수리지질조사사업은 한해 우심한 농어촌지역인 청도군 일대에 대해 1:25,000 축적의 송서, 청도, 북지, 동곡, 당리, 건천, 대현, 상북, 남명, 유천, 인산, 창령, 자인 지형도폭과 1:50,000 축적의 청도, 경산, 자인, 유천, 언양, 모량, 경주 지질도폭을 이용하여 지표지질조사, 기설관정 이용현황조사, 지하수위조사, 양수시험, 물리탐사, 수질검사를 실시하여 과거 국지적으로 시행된 수맥조사 및 지하수개발 사업자료와 비교 분석하여 수문지질도, 수질오염 분포도 및 지층 구조도를 작성하여 지하 수문조사와 함께 먹는물기준 수질검사 및 양·음이온 분석을 통한 지하수성분 및 지하수오염지역을 조사하여 조사 지구내의 광역적인 지하수 유동

및 부존성과 오염가능성을 조사하였다.

금회 조사한 청도군지구 광역수리지질도 작성 보고서가 지하수 이용 관리 및 보존은 물론이고 합리적인 지하수조사개발에 활용되고 향후 지하수정보관리시스템 및 지하수 장기 관측망의 기초자료가 될 것으로 기대되며, 또한 2001년 향후 지하수사업의 방향제시에 큰 자료가 될 것으로 사료된다.

끝으로, 본 보고서 작성에 많은 도움과 격려를 아끼지 않으신 농림부, 경상북도 및 청도군·읍·면 관계자 여러분께 감사드립니다.

2. 조사개요

2-1 조사목적

농어촌 지역의 종합개발사업을 효과적으로 추진하고 농어촌 용수이용 합리화를 위한 자원기초조사에 부응하여 농어촌지역 지하수자원을 합리적으로 활용 및 보존하기 위하여 한해 우심 지역에 대해 현행 국지적으로 시행하여온 수맥조사를 한 단계 발전시킨 광범위하고 종합적인 광역수맥조사를 청도군 일원에 대하여 실시함으로써 지하수자원의 효율적인 개발·이용 및 보전관리 방향을 제시하는데 그 목적이 있다.

2-2 조사대상

가. 조사지역 : 청도군

나. 조사위치 : 경상북도 청도군 일원(1개 군, 2개 읍, 7개 면, 127개 리)

다. 조사면적 : 696.49km²

라. 조사기간 : '00. 09. ~ '01. 10.

마. 조사자

소 속	직 종	직 급	성 명	조사업무내용
지하수 사업처	지 질	2급	홍 경 선	조사업무총괄
	“	3급	김 양 빈	조사업무지도
	“	상용	송 양 권	수질조사
	“	계약3급 계약4급	최 광 준 조 시 범	현장조사 자료수집 보고서 작성

바. 조사실적

조 사 항 목	단 위	계 획	실 적	비 고
· 지구협외 답사	지구	1	1	
· 지표지질조사	ha	3,440	3,440	
· 지하수이용현황조사	회	390	396	
· 지하수위관측	회	130	138	
· 양수시험	회	15	15	
· 선구조 추출	지구	1	1	
· 쌍극자 탐사	측선	15	15	
· 먹는물 기준 수질검사	회	15	15	
· 양·음이온 분석 수질검사	회	15	15	

사. 조사장비 및 기기

공 종 별	조 사 장 비	비 고
지표지질조사	Clino-Compass, Rock hammer,	
수 위 조 사	휴대용 수위 측정기 2set	
양 수 시 험	휴대용 수위 측정기 2set	
선구조 추출	ERDAS IMAGINE, SPOT IMAGINE	
쌍극자 탐사	전기탐사기(SAS300) 및 부스터(SAS2000) 586노트북, Printer, Electrode등 부대품 1set	
수 질 검 사	DR-2000, Orion-290A, ICP Emission Spectrometer (38plus), Aromiz Absurptim Spectrometer (Spetra M800)	

2-3 조사지역 개요

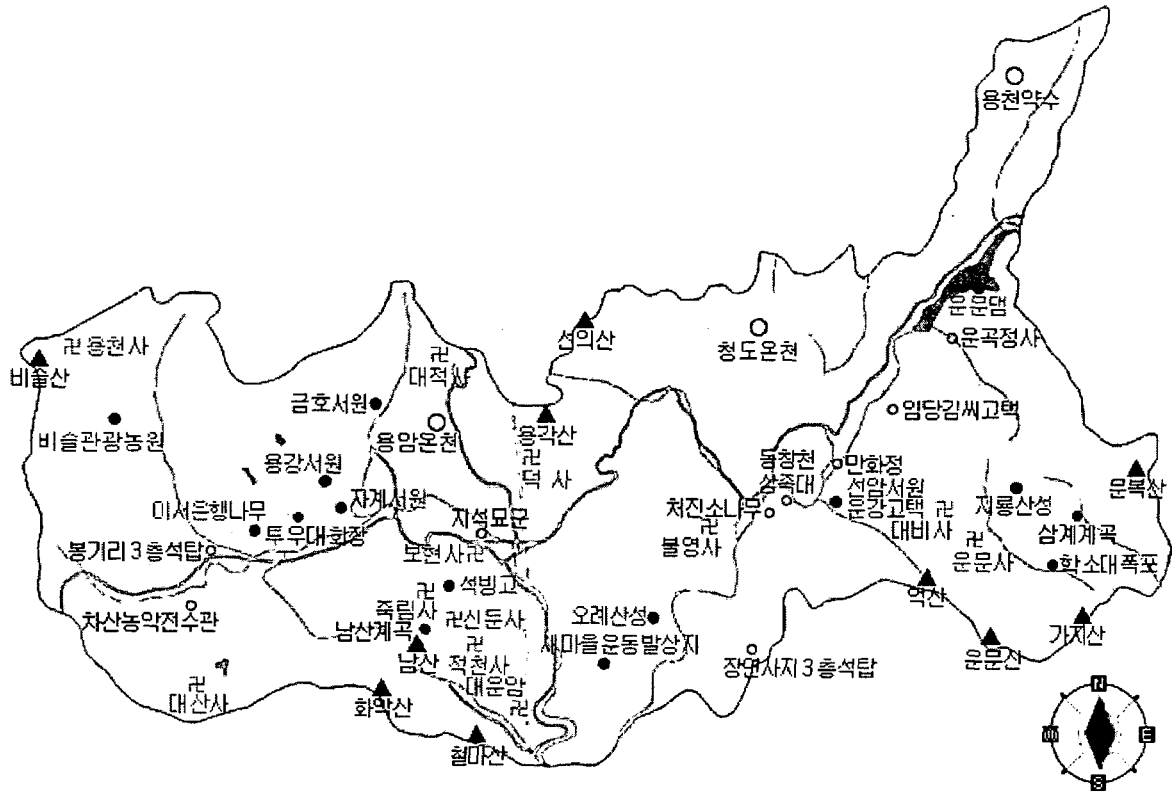
2-3-1 위치

본 지구는 국립지리원 발행도폭 1:50,000 도폭 중 영천, 경주, 청도, 동곡, 언양 도폭에 해당하며 행정구역상 1개 군, 2개 읍, 7개 면으로 구성되어 최동단은 동경 129° 22' 46"로서 운문면 신원리이고 최서단은 풍각면 수월리로서 동경 128° 31' 36"이며 동서간 거리는 41.22km이다. 최남단은 청도읍 초현리의 북위 35° 33' 50" 최북단은 운문면 정상리로 북위 36° 50' 37"로 남북간 거리는 27.33km이다.

지리상으로 동쪽은 경주시, 서쪽은 대구광역시, 남쪽은 경상남도 창원군·밀양시와 울산광역시, 북쪽은 경산시·대구광역시와 접한다. 2000년 현재 2개읍 7개면으로 이루어져 있으며, 군청 소재지는 청도군 화양읍 범곡리 133번지이다.

동쪽에는 태백산맥의 말단 산지로서 가지산(1,240m)·문복산(1,014m)·운문산(1,188m) 등이 솟아 있고, 서쪽에는 비슬산(1,084m)·수봉산(593m), 북쪽에는 삼성산(663m)·용각산(693m)·선의산(756m)·구룡산(675m), 남쪽에는 철마산(630m)·화악산(932m)·천왕산(619m)·묘봉산(513m) 등이 솟아 있다.

밀양강의 원류인 동창천과 청도천이 동쪽과 서쪽에서 흘러내려 중앙 남단부에서 합류하면서 그 유역에 산동·산서의 두 계곡분지를 형성하고 있다. 운문·금천·매전의 3개 면을 포함하는 산동지방에는 동창천 연안에 좁은 곡간 충적지가 형성되어 있고, 청도천 유역의 6개 읍면을 포함하는 산서지방에는 보다 넓은 충적지가 전개되어 있다.



<그림 2-1> 청도지구 행정구역도

경부선 철도가 군의 중앙부를 남북으로 통하며 청도·남성현(南省峴) 등의 역이 있다. 국도가 경부선과 나란히 지나며, 지방도는 청도읍을 중심으로 동쪽은 매전면·금천면·운문면을 거쳐서 건천톨게이트를 경유해 경주시로 통하고, 서쪽은 화양·풍각을 경유 경상남도 마산시로 통한다. 그밖에 이서면의 팔조령(八助嶺)을 넘어 대구광역시와 통하는 군도가 있다.

본 지구의 면적은 총 696,499,022 m²로써 그 구성비는 표 2-1과 같으며 경상북도 면적 대비 3.66%를 차지하며 전국 면적 대비 0.7%를 차지한다.

<표 2-1> 조사지구 면적 및 행정구역 현황

(단위 : Km², 개)

읍·면	면적	동·리		반	자연부락	비고
		행정	법정			
계	696.49	127	212	997	398	
청도읍	90.01	21	38	223	60	
화양읍	43.18	17	26	138	37	
각남면	46.84	10	18	73	30	
풍각면	61.46	12	23	128	40	
각북면	50.95	8	15	62	26	
이서면	55.33	17	31	108	55	
운문면	146.86	12	13	49	35	
금천면	71.91	10	21	97	44	
매전면	129.95	20	27	119	71	

2-3-2 토지이용, 산업 및 인구현황

1999년 12월 31일 기준 토지지목별 이용현황을 보면 청도군 전체 면적 696,499,022 m²중 5.6%인 39,164,265 m²가 전, 10.1%인 70,330,993 m²가 답, 0.91%인 6,378,821 m²가 과수원, 0.12%인 833,477 m²가 목장용지로 사용되고 있으며 73.3%인 511,024,498 m²가 임야, 9.97%인 68,766,968 m²가 기타로 사용되고있다(표 2-2).

조사지구내 산업현황은 제조업(343사업체 1,967명), 도소매 및 소비자 용품수리업(1,129사업체 1,932명), 숙박 및 음식점업(832사업체 1,721명) 순으로 주로 2차 산업 종사자가 주를 이루며 농림 수산업은 6개 사업체의 37명이 종사하고 있다(표 2-3).

인구는 전체 19,236세대 55,650명(남:26,864명, 여:28,786명)으로 인구 밀도는 79.90이며 세대당 인구수는 2.89인이다(표 2-4).

<표 2-2> 조사지구 토지 지목별 이용현황

(단위 : m²)

읍·면	계	전	답	과수원	목장용지	임야	기타
계	696,499,022	39,164,265	70,330,993	6,378,821	833,477	511,024,498	68,766,968
청도읍	90,007,707	4,983,973	9,504,771	808,712	37,369	62,388,047	12,284,835
화양읍	43,176,008	4,627,188	8,654,557	1,075,719	33,896	22,608,166	6,176,482
각남면	46,835,006	2,714,144	5,962,019	411,039	348,952	33,269,422	4,129,430
풍각면	61,460,842	3,416,160	8,884,363	811,262	139,807	42,479,488	5,729,762
각북면	50,955,302	1,924,384	6,394,312	878,173	70,674	37,239,444	4,448,315
이서면	55,338,811	3,280,824	10,544,411	864,929	54,082	34,630,748	5,963,817
운문면	146,866,930	5,178,958	3,683,851	82,690	3,477	124,084,141	13,833,813
금천면	71,911,566	4,907,877	6,283,690	852,716	85,018	53,726,159	6,056,106
매전면	129,946,850	8,130,757	10,419,019	593,581	60,202	100,598,883	10,144,408

<표 2-3> 산업별 사업체수 및 종사자수

(단위 : 개소, 명)

구 분	합 계		농림·수렵업		광 업		제조업		전기,가스,수도	
	사업체	종사자	사업체	종사자	사업체	종사자	사업체	종사자	사업체	종사자
청도읍	1,275	3,785	1	6	1	8	109	818	1	1
화양읍	419	1,667	1	1	-	-	32	117	1	1
각남면	98	262	1	5	-	-	17	43	-	-
풍각면	487	1,347	-	-	-	-	65	468	1	1
각북면	119	280	1	3	-	-	18	25	-	-
이서면	224	803	1	10	-	-	30	91	-	-
운문면	204	527	-	-	-	-	7	34	1	52
금천면	318	785	-	-	1	3	44	271	-	-
매전면	167	561	1	12	-	-	21	100	-	-
계	3,311	10,017	6	37	2	11	343	1,967	4	55
구 분	건설업		도소매 및 소 비자용 품수리		숙 박 및 음식점업		운수, 창고 및 통신업		금융보험업	
	사업체	종사자	사업체	종사자	사업체	종사자	사업체	종사자	사업체	종사자
청도읍	29	184	469	839	302	595	91	236	21	257
화양읍	10	59	128	250	110	270	18	30	8	43
각남면	2	5	31	55	16	37	11	22	1	15
풍각면	12	15	196	322	89	208	22	24	7	35
각북면	1	1	25	40	45	88	3	8	2	15
이서면	6	195	66	112	49	99	17	32	2	23
운문면	3	8	39	66	118	248	5	13	2	15
금천면	4	8	125	160	66	108	8	13	3	29
매전면	2	11	50	88	37	68	12	112	2	16
계	6,691	20,520	1,141	2,006	836	1,743	873	4,424	56	558

<표 2-4> 세대 및 인구밀도

(단위: 가구, 명)

읍·면	세대수	인 구 수(명)			밀 도	세대당 인구수	비 고
		계	남	여			
계	19,236	55,650	26,864	28,786	79.90	2.89	
청도읍	5,535	16,925	8,196	8,729	188.03	3.06	
화양면	2,593	8,154	3,952	4,202	188.84	3.14	
각남면	1,188	3,208	1,526	1,682	68.50	2.70	
풍각면	2,061	5,771	2,822	2,949	93.90	2.80	
각북면	1,011	2,581	1,234	1,347	50.66	2.55	
이서면	1,922	5,456	2,649	2,807	98.59	2.84	
운문면	1,110	2,915	1,289	1,626	19.85	2.63	
금천면	1,770	4,965	2,434	2,531	69.04	2.81	
매전면	2,046	5,675	2,762	2,913	43.67	2.77	

<표 2-5> 농가 및 농가인구수

구 분	농 가				농 가 인 구			
	합 계	전 업	1종 겸업	2종 겸업	합 계	전 업	1종 겸업	2종 겸업
1994	11,078	-	-	-	32,508	-	-	-
1995	10,675	-	-	-	30,464	-	-	-
1996	10,537	-	-	-	28,808	-	-	-
1997	10,132	-	-	-	29,548	-	-	-
1998	9,735	-	-	-	27,648	-	-	-
1999	10,016	-	-	-	27,102	-	-	-

2-3-3 농업

조사지구는 전체면적(696.49km²)의 15.7%가 농업용지(109.5km²)로 사용되고 총 19,236세대중 52.6%인 10,016 세대가 농가이며 총인구 55,650명 중 48.7%인 27,102 명이 농가인구이다. 경지면적은 11,173ha(논 4,553ha, 밭 6,620ha)로 가구당 경지면적은 111a(논45a, 밭66a)이다(표 2-6).

조사지역내 농업진흥구역 (40,930필지 4,776.2ha)과 농업보호구역(15,125필지

1,580.8ha)의 합인 농업진흥지역 (56,055필지, 6,357.0ha)은 표 2-7과 같다. 경지정리 현황은 전체평균 84.9%로 대체로 양호한 편이고, 조사기간 중에도 경지정리사업은 계속 진행중에 있다.

식량작물 생산현황을 보면 '94년부터 매년 작물 면적이 감소하고 있으나 ha당 생산량은 매년 꾸준히 증가하고 있으며 과실류는 ha당 생산량뿐만 아니라 생산면적도 94년부터 증가 추세에 있다(표 2-8~9).

<표 2-6> 경지면적

(단위 : ha, a)

구 분	합 계	논	밭	가구당 경지면적		
				계	논	밭
1994	11,703	5,280	6,423	101	46	55
1995	11,471	4,924	6,547	107	46	61
1996	11,346	4,811	6,535	108	46	62
1997	11,288	4,682	6,606	111	46	65
1998	11,258	4,663	6,595	115	48	67
1999	11,173	4,553	6,620	111	45	66

<표 2-7> 농업진흥지역 지정

(단위 : ha)

구 분	합 계		농업진흥구역		농업보호구역	
	필지수	면적	필지수	면적	필지수	면적
계	56,055	6,357.0	40,930	4,776.2	15,125	1,580.8
청도읍	5,343	552.3	3,443	363.6	1,900	188.7
화양읍	7,780	1,022.0	5,713	769.1	2,067	252.9
각남면	8,033	848.9	6,587	747.7	1,446	101.2
풍각면	6,367	831.9	5,189	665.4	1,178	166.5
각북면	4,167	527.9	3,214	420.8	953	107.1
이서면	9,202	1,063.0	7,002	821.3	2,200	241.7
운문면	4,643	450.3	547	66.2	4,096	384.1
금천면	5,186	509.4	4,712	449.6	474	59.8
매전면	5,334	551.3	4,523	472.5	811	78.8

<표2-8> 조사지구 작물 생산현황

(단위 : ha, M/T)

구 분	합 계		식 량		특용작물		과실류	
	면적	생산량	면적	생산량	면적	생산량	면적	생산량
1994	12,593.5	74,736.7	7,517	28,517	145.8	61.7	4,930.7	46,158
1995	10,937.8	71,130.1	6,993	26,253	189.5	64.1	3,755.3	44,813
1996	10,597.8	67,679.7	6,182	24,745	181.6	65.7	4,234.2	42,869
1997	13,046.9	79,631.1	5,714	23,720	152.2	64.1	7,180.7	55,847
1998	11,114.9	64,936.5	5,448	20,690	133.9	94.5	5,533.0	44,152
1999	5,296	21,069	5,296	21,069	-	-	-	-

<표 2-9> 경지정리 현황

(단위 : ha)

구 분	총 면 적			경 지 정 리 면 적		잔여면적
	계	가 능	불 가 능	면 적	비 율	
1994	-	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	7,200	2,948	4,252	2,432	-	516
1998	7,200	2,948	4,252	2,450	-	498
1999	7,200	2,948	4,252	2,503	-	445

2-3-4 축산업

조사지구내 833,477m²가 목장용지로 이용되고 있으며 각남면이 348,952m²로 가장 넓은 목장용지를 가지고 있다. 조사지구내에서 주로 사육되는 가축은 한육우, 젖소, 돼지, 닭, 개, 산양, 토끼, 사슴, 오리 등이며 한육우는 매전면에서 607호가 2,831마리 사육으로 가장 많은 분포를 보이며, 젖소는 화양읍에서 18호 824마리 돼지는 청도읍 12호수에서 8,247마리, 닭은 44호에서 80,656마리가 청도읍에서, 개는 금천면에서 238호에 653마리로 가장 많은 분포를 보인다(표 2-10).

2-3-5 임업

조사지구내 임야는 50,801ha로 '94년부터 점차적으로 임상별 임목 축적 면적이 늘고 있으나 임산물 생산량은 줄고 있는 실정이다. 임산물로는 주로 종실, 버섯, 연료, 약용, 퇴비원료, 죽순, 산나물 등이 있다. 평야지대 보다는 산악지대인 운문면, 매전면, 금천면, 청도읍 등에서 주로 많이 생산되고 있다(표 2-11).

<표 2-10> 가축 사육가구 및 마리

구분	한육우		젓 소		돼 지		개		산 양		토 끼		닭	
	사육호수	마리수	사육호수	마리수	사육호수	마리수	사육호수	마리수	사육호수	마리수	사육호수	마리수	사육호수	마리수
계	2,544	14,798	70	2,351	60	28,123	1,518	3,651	267	3,296	56	444	344	165,298
청도읍	369	1,759	12	250	17	7,044	242	547	27	902	12	124	44	80,656
화양읍	138	1,643	18	824	7	377	231	456	12	42	-	-	7	198
각남면	201	1,021	8	314	4	4,650	124	298	25	178	7	55	40	899
풍각면	305	2,030	8	284	7	1,745	199	430	27	260	16	106	37	5,947
각북면	155	805	2	60	2	580	172	442	17	252	5	50	26	40,835
이서면	174	1,775	15	455	12	8,247	73	186	19	362	-	-	24	33,374
운문면	182	502	-	-	2	75	85	197	21	350	6	41	36	1,013
금천면	413	2,432	-	-	4	1,163	238	653	73	570	10	68	69	972
매전면	607	2,831	7	164	5	4,242	154	442	46	380	-	-	61	1,404

<표 2-11> 임상별 임목축적

년도	계	침엽수	활엽수	혼요림	기 타
1994	1,693,132	662,267	321,439	709,426	-
1995	1,776,409	704,866	334,753	736,790	-
1996	1,862,127	749,205	347,599	765,323	-
1997	1,861,981	749,059	347,599	765,323	-
1998	2,616,709	1,078,176	495,657	1,042,876	-
1999	4,401,425	2,747,796	1,139,429	514,200	-

2-3-6 광공업

조사지구내 광공업 종사자 수 및 업체수가 광업은 감소 추세를 보이고 제조업은 증가 추세에 있다. 광산물은 주로 고령토, 납석 등으로 청도읍, 풍각면에서 생산되고 있으며 공업 및 농공단지에는 '99년 기준으로 2개의 농공단지(청도, 풍각농공단지: 391,451m²)에 40개 업체가 입주해 있으며 967명의 종업원이 종사하고 있다.

2-4 수문기상

우리나라 연 평균기온은 섭씨 6-16℃ 분포로 지역차가 큰 편이며, 산악지대를 제외하면 대체로 섭씨 10-16℃이다. 연중 가장 무더운 달인 8월의 월 평균기온은 섭씨 25℃ 이고, 가장 추운 달인 1월의 평균기온은 섭씨 -0.7℃ 이다.

연 강수량은 남부지방이 1,500mm 중부지방이 1,300mm 정도가 되며 계절적으로 연 강수량의 50-60%가 여름에 집중되고, 겨울에 5-10%에 그친다. 다우지역적으로는 제주도와 남동해안 지방의 1,800mm를 최다로하여 섬진강 하류의 1,500mm, 낙동강 하류의 1,400mm, 금강상류의 1,300mm 순으로 연간 강수량이 많은 지역을 형성하고, 적은 지역으로는 경북 북부 영양과 의성지방이며, 연간 900mm 이내이다. 바람은 일반적으로 북서 계절풍이 남서 계절풍 보다 강하고, 특히 12월에서 2월까지 북서계절풍이 강하게 나타난다. 9, 10월은 남서계절풍에서 북서계절풍으로 바뀌는 계절이므로 바람은 대체로 약하고, 해안지방에는 해륙풍의 영향이 뚜렷해진다.

습도는 7월이 가장 높아서 전국적으로 80-90%의 분포를 보이고, 가장 낮은 달은 1월과 4월로 30-50%정도이며 9, 10월은 75% 내외로 쾌적한 상태이다. 장마는 6월 하순에 남해안 지방으로부터 시작하여 점차 중부지방에 이르게 되며, 장마기간은 대략 30일 정도가 된다. 그리고 9월 상순 전후에 가을장마가 있을 때도 있다. 태풍은 6-10월중에 주로 발생하며 그중 2-3개 정도는 우리나라에 직·간접적으로 영향을 준다.

우리나라의 연간 수자원량은 1,267억m³/년으로 계산하고 있으며, 이중 45%에 해당하는 570억m³이 증발 및 함양에 의하여 손실되고 55%인 697m³이 하천 또는

기저유출을 통하여 유출된다. 평상시 유출량의 71%인 164억m³과 홍수시 댐 등으로 공급받는 103억m³을 합하여 지표수로 267억m³이 이용된다.

조사지구의 기후는 온대계절풍대 기후이다. 그리고 우리 나라 전체가 대륙성기후를 띠고 있고 본토는 한반도의 내륙에 위치하고 있으므로 더욱 대륙성 기후의 특성을 나타내고 있다. 동해안에서 약 80km의 거리이기 때문에 해안의 영향은 적으며 내륙의 영향을 많이 받는다. 특히 겨울철의 삼한사온과 여름철의 심한 가뭄과 더위는 그 대표적인 특성이라 할 수 있다. 더위와 추위의 차가 심하며 위도상의 다른 지역에 비해서 여름 고온현상과 겨울에는 저온현상을 나타내고 있다. 연평균 기온은 12.69℃이고 1월 평균기온이 영하 2.17℃이며 8월 평균기온은 26℃이다. 강수량은 태백산맥과 소백산맥 사이의 비가 적은 지대의 주변에 위치하는 관계로 연평균 강수량은 1,183mm이며, 남부지방에서는 비교적 비가 적은 지역에 속한다. 강우유형은 여름의 우기와 겨울의 건기로 확연히 구별되는 것이 특색이며 동쪽의 산악 고지대와 서쪽의 평야지대와의 기후 차로 농작물에 많은 영향을 끼친다. 식생 분포도 침엽수림과 활엽수림의 혼합림이 다양하게 분포되어 온대 기후 지역 식생 분포의 특색을 이루고 있다.

<표 2-12> 조사지구 일기 일수

(단위 : 일)

년도	맑은날	흐린날	강 수	서 리	안 개	눈	뇌 전	비 고
계	1,689	542	451	414	310	26	46	
1994	301	64	55	42	35	3	5	
1995	286	79	72	53	44	2	6	
1996	286	102	56	52	48	5	-	
1997	286	77	78	73	45	4	11	
1998	265	110	95	97	69	6	12	
1999	265	110	95	97	69	6	12	
평균	281.5	90.3	75.1	69	51.7	4.3	7.7	

본 조사지역은 대구기상대의 관측결과 1994~1999년 사이의 연중 맑은 날 평균은 281.5일로 1994년이 301일로 가장 많고, 흐린 날은 평균 90.3일인데 비해 1994년이 64일로 가장 작아 맑은 날과 대비를 이루며, 강수일은 1998년과 1999년에 95일로 가장 많다. 서리가 내린 날수는 평균 69일로 1998년과 1999년(97일)이

가장 많고, 안개일수는 평균 51.7일로 1998년과 1999년(69일)이 가장 많으며 눈이 내린 날수는 평균 4.3일로 1998년과 1999년(6일)이 가장 많고 뇌전일수는 평균 7.7일로 1998년과 1999년(6일)이 가장 많다(표 2-12).

가뭄이란 보통 강수량의 부족상태가 장기적으로 지속되는 현상으로 한반도의 가뭄특성은 벼농사와 결부된다. 조사지역의 가뭄 우심 등급은 가뭄 2, 3등급 지역으로 그 척도는 강수 가뭄과 관개기간 중 연평균 강우량의 차이로 표시된다. 가뭄특성을 파악하기 위해 저수율, 관개기과우일수, 비관개과우일수 등 3가지 가뭄지표를 조합하여 6가지 가뭄등급을 기준으로 가뭄 우심지도를 작성하였는데 경상북도 지역을 종합 요약해 보면 <표 2-13>과 같다. 여기에서 1등급으로 갈수록 가뭄이 심한 지역이다.

<표 2-13> 경북지역 가뭄 우심 등급표

구 분	지 역	비 고
가뭄 1등급	의성, 구미, 군위, 영천	
가뭄 2, 3등급	포항, 경주, 상주, 김천, 성주, 청도	
가뭄 4, 5등급	문경, 영덕	

2-4-1 기온

기온이란 대기의 온도를 말하며 대기의 온도변화는 물의 순환과정에서 중요한 변화요인으로 증발 및 식물의 성장 여부 등인 유출현상(Discharge) 및 물의 흐름 상태에도 많은 영향을 준다.

본 조사지역의 최근 20개년간(1980~1999년)의 연평균기온이 13.79℃로 최저기온은 1980년 12.48℃이고 최고 기온은 1994년 15.16℃이다. 1월은 1990년까지 영하의 기온을 보이다 1991년부터 지속적으로 영상의 기온을 보이고 있다. 2월과 12월에도 대부분 영상의 기온을 보이며 7월과 8월에는 25.6℃에서 26.1℃로 온대성 기후의 특징을 잘 나타내고 있다.

연도별, 월별 평균기온의 분포는 표 2-14와 같으며 대체적으로 연평균 기온이

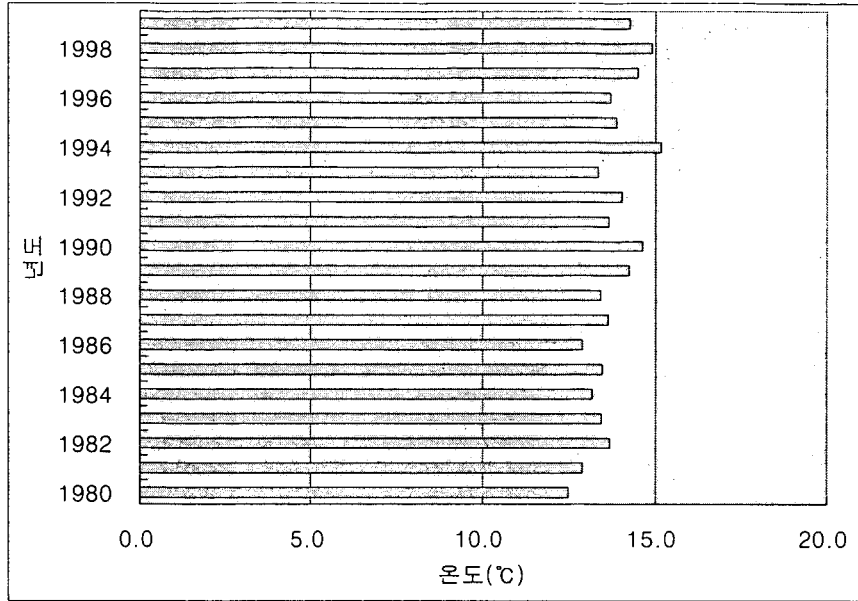
증가하는 추세를 보이고 있다.

2-4-2 강수량

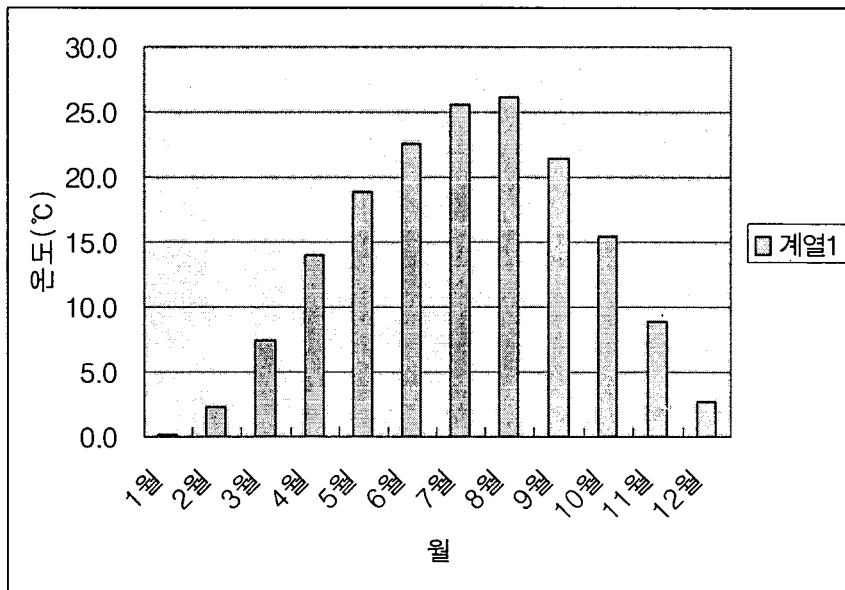
본 조사지구의 최근 20개년간 평균 강수량은 1,044.97mm이고 최근 10개년간 평균 강수량은 1059.55mm로 20개년간의 평균 강수량과 비슷하다. 1980년부터 1999년까지 20개년간 강수량이 증가와 감소를 반복하고 있는 추세이다. 우리나라는 6~9월에 60~70%의 강우가 집중되는 현상을 보이는데 조사지역도 역시 이 기간 사이에 67.9%의 강우를 보인다. 월별 강수량이 가장 많은 달은 7월과 8월로 최근 20개년간 평균 212.1mm~225.5mm의 강우를 보이며, 강수량이 적은 달은 12월과 1월로 13.15mm~22.2mm의 분포를 보인다(표 2-15).

<표 2-14> 연도별, 월별 기온 분포표

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
1980	-0.4	0.1	7.2	12.2	18.6	23.8	23.4	22.0	20.0	13.9	9.3	-0.3	12.5
1981	-2.6	0.6	7.6	14.2	18.6	22.6	27.0	25.2	19.9	13.9	6.0	1.7	12.9
1982	-0.7	2.2	8.0	13.5	19.8	22.6	25.0	26.1	20.5	15.8	9.8	1.9	13.7
1983	0.5	0.5	7.2	14.4	18.7	22.1	24.6	27.0	22.2	15.6	7.7	1.1	13.5
1984	-2.2	-0.5	5.2	12.7	18.9	23.0	25.7	27.9	21.1	14.7	9.5	2.2	13.2
1985	-2.1	2.5	6.8	13.8	18.8	21.4	26.8	27.6	22.0	16.2	8.0	-0.1	13.5
1986	-1.4	-0.1	6.9	14.2	18.7	22.0	23.6	25.8	20.2	13.3	7.5	4.0	12.9
1987	0.0	3.0	6.7	13.7	18.8	22.4	25.5	25.4	20.1	16.7	8.8	2.9	13.7
1988	1.0	0.9	5.9	13.8	18.5	22.8	24.6	26.1	21.3	16.3	7.8	2.3	13.4
1989	2.8	4.2	7.6	15.5	19.6	21.7	24.9	25.7	21.5	15.0	8.8	4.1	14.3
1990	-0.4	5.2	9.0	13.1	18.3	23.1	27.0	28.1	22.0	15.8	11.4	3.0	14.6
1991	0.6	1.2	7.0	13.8	18.3	24.2	25.3	24.2	21.5	15.4	8.1	4.6	13.7
1992	2.3	2.9	8.3	14.2	17.6	22.3	27.5	25.1	21.7	14.9	8.2	3.9	14.1
1993	0.6	3.8	7.3	13.8	18.4	22.9	22.9	22.9	21.1	14.7	9.7	2.3	13.4
1994	0.9	3.2	6.2	15.7	19.3	23.1	30.2	29.1	22.8	16.4	11.1	3.9	15.2
1995	0.4	3.5	8.0	13.9	18.2	21.2	26.7	28.6	20.4	16.3	8.0	1.7	13.9
1996	0.8	1.5	6.4	12.9	19.3	22.4	25.3	26.9	21.8	16.0	8.6	2.8	13.7
1997	0.3	3.4	8.8	14.4	19.6	24.0	26.1	26.3	21.4	15.9	10.5	3.6	14.5
1998	1.1	5.4	9.4	16.2	19.9	21.0	25.2	26.1	23.1	18.0	9.1	4.6	14.9
1999	1.6	3.4	8.2	14.9	19.5	23.5	24.6	25.5	23.3	15.2	9.2	2.8	14.3
평균	0.2	2.3	7.4	14.0	18.9	22.6	25.6	26.1	21.4	15.5	8.9	2.7	13.8



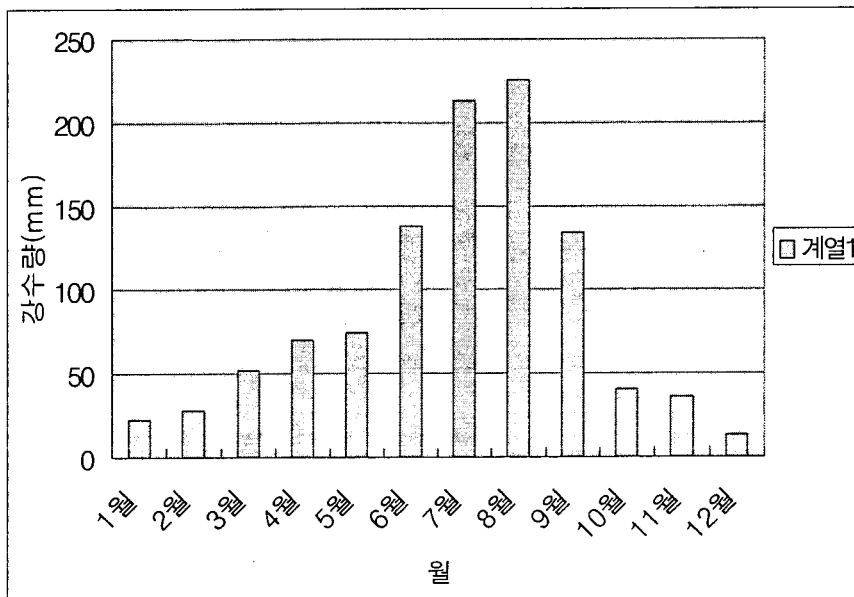
<그림 2-2> 연도별 평균기온 분포도(1980~1999)



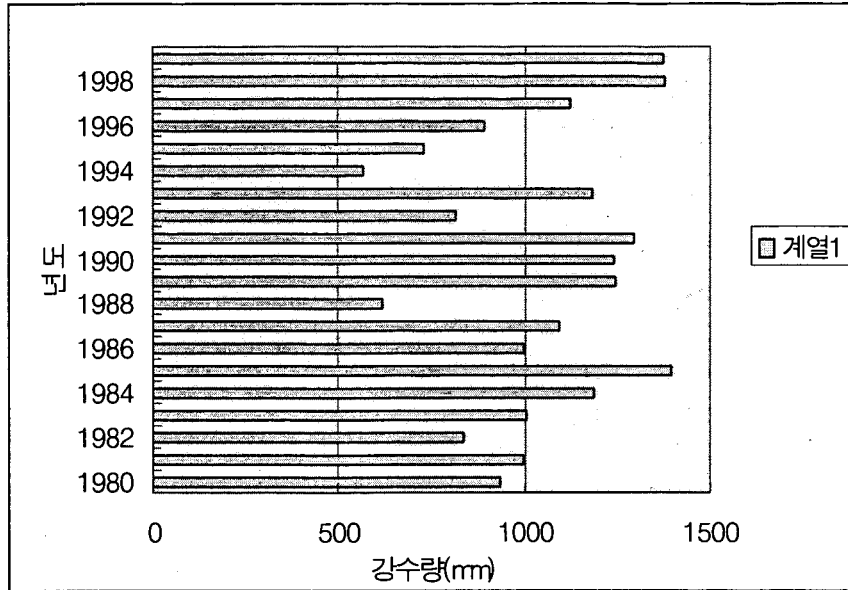
<그림 2-3> 월별 평균기온 분포도(1980~1999)

<표 2-15> 연도별, 월별 강수량 분포표

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
1980	26.3	4.7	2.3	131.4	87.2	2.3	294.1	258.2	0	82.9	44.3	0	77.8
1981	18.9	29.9	13.5	38.5	36	148.1	102.8	314.7	230.9	29.2	23.7	8.8	82.9
1982	9.6	17.6	50.4	52.8	28.7	28.5	143	394.6	15.4	19.3	63.5	11.3	69.6
1983	15.3	22.3	76.6	88.6	32.2	140.6	267.5	88.8	214	52.3	3.4	1.5	83.6
1984	0	8	12.2	136.5	41.3	165.9	341.8	206	205.8	14.9	52.6	3.5	99.0
1985	0	21.3	72.1	70.2	105.7	167.3	186.8	338.4	262	124	37	11.8	116.4
1986	0.9	20.4	51.6	34.8	97.4	226.9	136	178.4	123.4	78.6	10.6	34.8	82.8
1987	44.4	43.9	51.4	42.7	62.3	138.7	275.7	327.2	11	44.6	51.8	0.4	91.2
1988	12.6	2.9	45.2	49.6	64.1	85.9	215.1	74.5	52.7	3.9	3.4	7.1	51.4
1989	110.7	90.5	100.4	34.1	46.3	103.3	306.6	149.8	196.4	18.8	61.9	28.6	104.0
1990	22.3	85.5	45.3	90.5	143.1	208.5	251.3	136.7	197	13.9	43.5	2.1	103.3
1991	20.6	44.4	79.3	93.2	21.9	104.7	425.3	282.5	154.1	1.3	13.4	55.5	108.0
1992	11.1	13.3	57.1	124.3	55.4	11.7	186.1	169.5	131.5	18.8	13.4	19.5	67.6
1993	34.8	43.7	53.4	19.1	127.6	208.4	208.5	309.1	77.1	37.7	48.8	13.5	98.5
1994	25.9	24.5	26.5	29.5	87.8	83.5	67.4	72.3	38.2	84.4	22	5.5	47.3
1995	24.1	15.5	42.4	70.6	60.7	68.7	123.7	261	22.3	34.6	4.5	0.7	60.7
1996	18.7	1.3	110.9	58.3	49.2	313.2	120.1	82.5	37.6	30.2	48.4	18.1	74.0
1997	5.3	12.3	25	50.1	97.2	195.4	317.9	222.9	17	2.4	136.3	40.4	93.5
1998	35.9	26.2	29.1	121.3	94.6	199	160.9	347.9	297.5	53.6	15.8	0	115.2
1999	7.5	25.5	88	63.5	142.2	152.6	127.5	294.5	398.3	60.2	17.6	0	114.8



<그림 2-4> 월별 강수량 분포(1980~1999)



<그림 2-5> 년도별 강수량 분포(1980~1999)

2-3-4 증발산량

증발산이란 증발(evaporation)과 증산(transpiration)을 합한 말로 증발산량(ETR)로 표기하는데 지표면에 떨어진 강수가 지표면이나 호수, 강물 및 바다 등의 표면에서 기화되거나 토양하부로 침투된 물이 토양의 모세관력에 의해 지표로 노출되어 대기중으로 증발하는 물과 식물의 생리현상으로 인해 엽수면에서 공중으로 날아가는 발산의 합이다.

따라서 강수가 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 연평균 증발량 분포(1982~1997년)를 보면 태양에너지의 입사량이 많은 위도가 낮은 남쪽으로 갈수록 증가되고 해안지방이 내륙지방보다 많은 경향을 보이는 것으로 보아 수면증발량은 기온과 온도에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있다. 증발산량의 측정방법에는 직접측정에 의한 방법, 이론적 방법, 기후인자

와의 상관관계에 의한 방법 등이 있다.

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

증발산량 추정의 이론적 방법에는 Penman(1984), Thornthwaite(1954), Turc(1975) 등의 공식이 있으나 조사지역에는 Turc공식을 이용하여 증발산량을 산출하였다. 증발산량 산정의 이론적 방법으로는 공기동력학적 방법과 에너지 보존 법칙의 방법이 사용되었으나 증발산(ETR)의 경우에는 식물 표면으로부터의 발산이 고려되어야 하므로 자유수면에서와 같은 공기동력학적 방법만으로는 사용될 수 없다. Turc 공식은 이를 감안하였으며 본 조사지역 내 평균기온과 강수량은 문경측후소에서 측정된 자료를 이용하였다.

Turc공식에 의한 이론적인 증발산량(ETR) 계산은 다음과 같다.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2 / L^2}}$$

여기서, P (연평균 강수량) = 1,058.1mm

T (연평균 기온) = 13.8℃

L = 300 + 25T + 0.05T³ = 776.4036mm

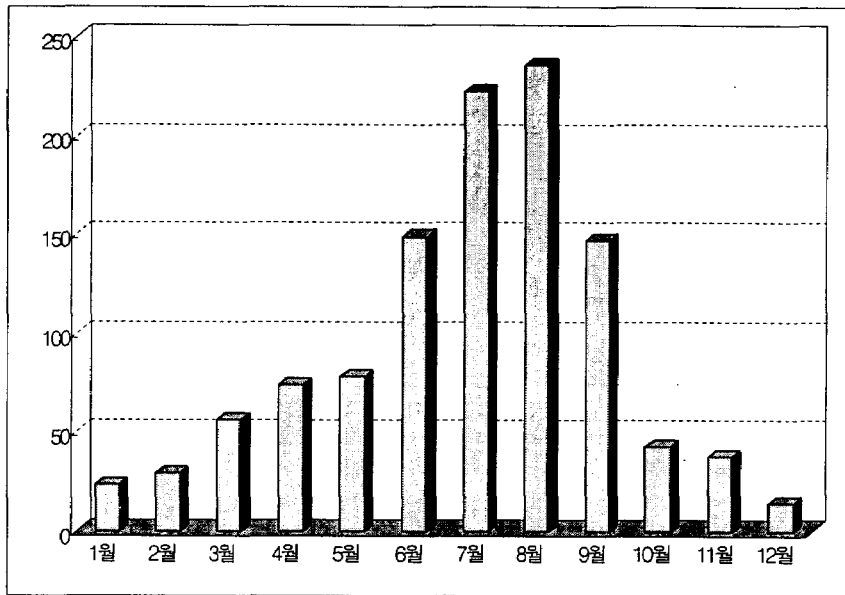
따라서, 증발산량(ETR) = 659.4033mm/년이다.

Turc공식을 사용한 이론적인 연평균 증발산량은 계기증발량 측정에 의한 연평균 증발량 1,238.4mm/년에 비해 약 53.24% 수준에 불과하다.

<표 2-16> 월별 증발량(1980~1999)

(단위:mm)

월 구분	합계 (mm)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균 증발량	1,108.72	23.38	29.09	56.29	73.45	77.86	148.93	222.66	235.71	146.75	42.41	37.64	14.55



<그림 2-6> 월별 평균증발량 분포(1980~1999)

3. 수문 지질조사

3-1 지형 및 지질

3-1-1 지형

동쪽에는 태백산맥의 말단 산지로서 가지산(1,240m)·문복산(1,014m)·운문산(1,188m) 등이 솟아 있고, 서쪽에는 비슬산(1,084m)·수봉산(593m), 북쪽에는 삼성산(663m)·용각산(693m)·선의산(756m)·구룡산(675m), 남쪽에는 철마산(630m)·화악산(932m)·천왕산(619m)·묘봉산(513m) 등이 솟아 있다.

밀양강(密陽江)의 원류인 동창천(東倉川)과 청도천(淸道川)이 동쪽과 서쪽에서 흘러내려 중앙 남단부에서 합류하면서 그 유역에 산둥(山東)·산서(山西)의 두 계곡분지를 형성하고 있다. 운문·금천·매전의 3개 면을 포함하는 산둥지방에는 동창천 연안에 좁은 곡간(谷間) 충적지가 형성되어 있고, 청도천 유역의 6개 읍면을 포함하는 산서지방에는 보다 넓은 충적지가 전개되어 있다.

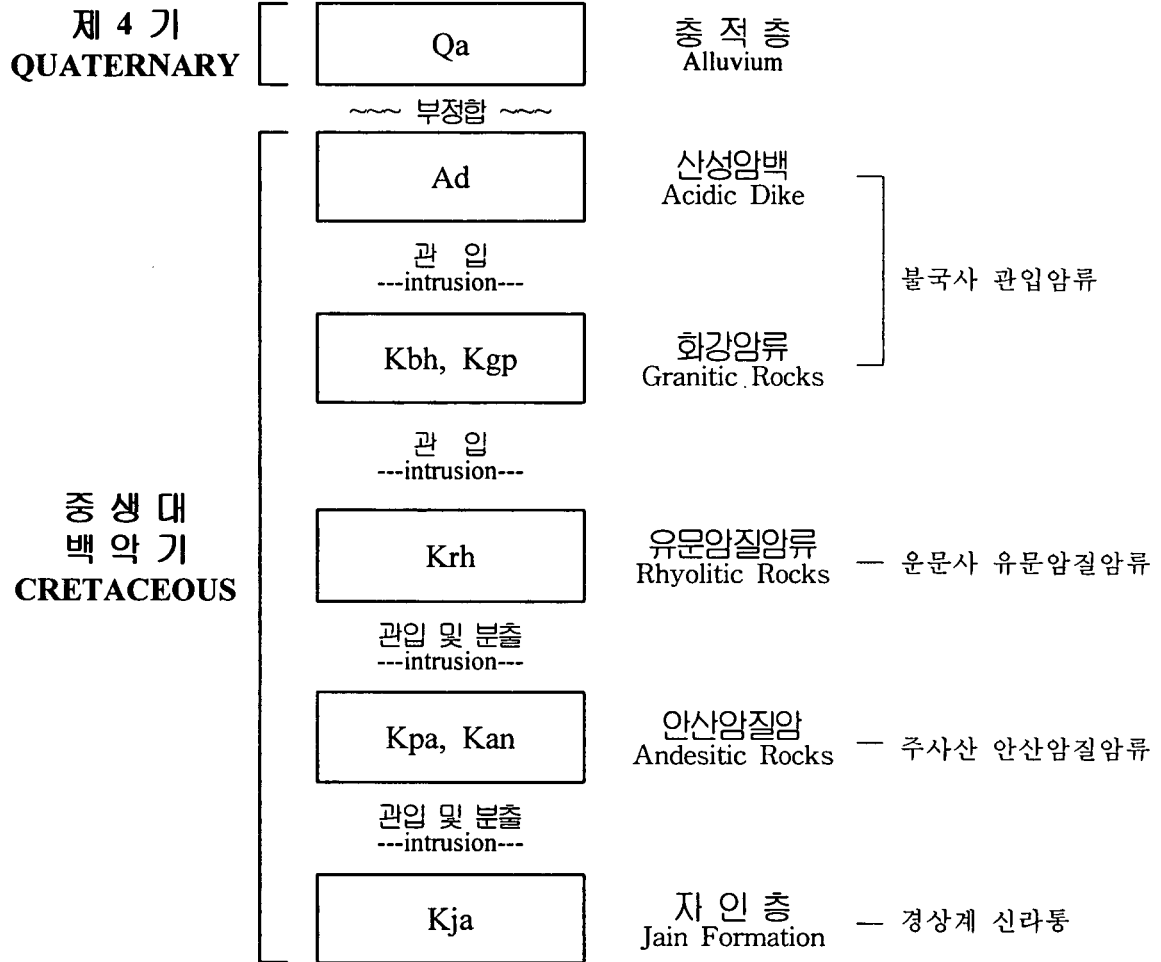
3-1-2 지질

본 조사지역은 경상계에 해당되는 지역으로서 중생대 백악기로부터 신생대 제 4기에 이르기까지 매우 다양한 암석을 구성하고 있다. 즉 경상계 신라통의 자인층, 주사산안산암질암류, 운문사유문암질암류, 불국사관입암류(흑운모화강암, 산성암맥 등), 충적층의 순으로 층서구조를 이루고 있다.

주사산안산암질암류는 주로 분출에 의한 유동구조에 지배되고 있지만 일부 관입구조를 이루고 있다. 운문사 유문암질암류중에 집괴암이나 응회암류를 제외하고는 관입구조를 형성하고 있다.

<표 3-1> 조사지구 지질계통표

지 질 (GEOLOGY)



가. 지질각론

○ 자인층(Kj/Kjnz)

본 층은 중래의 경상계 신라통의 대구층 상부와 건천리층에 해당하는 것으로 채약산분암층을 중간층으로 하여 하부를 대구층으로 상부를 건천리층으로 분류하였었다. 그러나 채약산분암층의 연결성이 불량한 지역에서 양층의 분류가 불가능하고 두 층간의 층서적 의미가 없는 점을 들어 원종관교수(1971)는 단일지층인 자인층으로 통합하였다. 손치무외(1968)가 연구한 백악기 층서 기준에 의하면 본 역의 대구층에 해당하는 지층은 그 최상부층인 송내동층에, 건천리층에 해당하는 지층만이 자인층으로 명명되어 전술될 자인층과는 개념을 약간 달리하고 있다. 종전의 대구층을 대구층군으로 하여 하부로부터 함안층, 반야월층, 송내동층으로 세분하고 이 층군의 상부에 부정합으로 자인층이 피복된 것으로 하였고, 최근에 1/25만 지질도폭의 범례에서는 이를 수정하여 대구층군을 영천층군으로 하고 자인층과 그 상부층인 자양산층을 합하여 가화층군으로 하여 경상계 신라통의 층서를 재 정렬하였다.

암상으로는 흑색 내지 암회색 셰일과 실트스톤이 가장 우세하고 사질셰일, 세립사암, 스테이트질셰일 등이 흔히 교호하는 곳도 있다. 간혹 녹색 내지 적색의 셰일이 협재하는 경우도 있으며 드물게 중립 사질사암, 아코스사암, 응회질 사암이 관찰되기도 한다. 이 사암류의 일부는 극히 분급이 불량하고 층리가 모호하다.

○ 주사산 안산암질암류

주구성암은 안산암, 각력질안산암, 반상안산암, 응회질안산암으로서 이들은 획일적으로 구별하기 난이하고 지질도상의 분류는 이들 암석 중에 우세한 부분을 구분하여 놓고 있다.

본 도폭지역의 태반이 안산암질암으로서 지형적으로 험준한 산체를 형성한다. 중남단-북동단을 잇는 언양 화강암 노출선에 따라 혼성화성작용의 관입을 받아 접촉변질대를 형성하고 남서단에서는 경산화강암의 관입을 받아 용각산체가 역시 변질대를 형성하고 있다. 내측에서는 자인층을 관입도출하여 접하고 일부에서는 암상주입의 양상을 띠우고 있다. 남동부에서는 운문사 산성 화산암류가 후기에 관입하여 주암체의 일부를 포획하여 규장암의 암주가 관입하고 있다.

암상은 암록색, 암회색, 회색, 녹회색 등 다양한 색조를 보이는 치밀질안산암을 위주로 하여 장석의 자형-반자형 소반정을 갖는 반상 안산암과 기질과 각력이 동일한 각력질 안산암이 곳에 따라 소규모로 무질서하게 산재되어 분포한다. 이들은 자인층을 관입하고 있고, 동일노두에서 암회색과 연갈색의 부분이 교호하고 있다. 특히 이 부근에서 세일, 사암, 각력암 등이 대소규모로 포착되어 흔히 규화되어 있으며 응회질 각력암상을 띠우는 부분도 있다.

이와 같이 안산암질은 암석의 표면에서 흔히 풍화에 의한 탈색으로 규장질암으로 보여 규장암, 석영반암, 규장반암과 혼동하기 쉬운 암상을 띤다.

절리나 유리면의 주향경사는 북동부에서는 $N30^{\circ} \sim 70^{\circ} E$, $30 \sim 80^{\circ} SE$ 와 NW 로 다양하고 남서부는 $N10^{\circ} \sim 30^{\circ} W$, $30 \sim 40^{\circ} SW$ 가 우세한 편이다.

○ 유문암질암류

운문사 북부와 산내면 원서리 북부에서 본 유문암은 석영안산암을 관입 접촉하고 있다. 육화산 북부에서는 유문암질 용결 응회암의 포획체를 가지고 있는 것이 쉽게 발견된다. 정각산에서는 정각산층을 관입하고 있다.

구성암석은 주로 유문암으로서 회색을 띠고 유상구조가 없을 때는 규장암과 유사하기도 하다. 구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 견운모, 기타 등으로 되어있다. 전반적으로 반상 석리를 보인데 반정은 직경 0.5-4mm 정도의 석영과 정장석이 주이고 입자 주변이 용식되어 있기도 하다. 석기는 미립질 무색광물로 이루어져 있고, 부분적으로는 미문상 석리를 보이기도 한다.

○ 화강암류

아이형(I-type) 칼크 알칼리 계열로서 광물과 화학성분상 큰 변화가 없는 것으로서 동일 초생암장에서 유래된 것으로 알려진다. 매전면 일원에서 가끔 잘 나타나는 논회색의 포획체들은 화강섬록암의 암편들이다. 이 일대에서 주사산 안산암질암류나 운문사 유문암질암류에 속하는 모든 화산암류들의 암편을 도처에서 포획하고 있다.

흑운모 화강암체내에는 몇가지 광석 광물이 형성되어 있는데, 청도읍 사촌동 승학골 부근 천일광산 항내에서는 흑운모화강암내의 충전 맥상 광체로서 전기석(Tourmaline)이 함유되어 있다.

언양 화강암은 주로 담색을 띠는 조립질 흑운모화강암으로 구성되어 있다. 구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 각섬석, 인회석 등으로 되어있다. 석영은 장석과 연정을 이룰때가 많고, 정장석은 퍼사이드를 이루는 경우가 많다.

○ 산성암맥

산성암맥은 도폭 전반에 걸쳐 산만하게 분포되어 있다. 백악기말까지 이르는 지괴내 모든 암체를 맥상으로 관입하였다. 암석은 주로 담색을 띠는 세립질 내지 미립질로 되어 있다.

○ 충적층

충적층은 밀양강으로 유입되는 청도천, 동창천 등의 하천유역을 따라서 널리 분포하고 있다. 도폭내의 모든 암층을 부정합으로 피복하였으며 구성암석으로는 주로 미고결의 역, 사 및 점토 등으로 되어있다.

3-2 물리탐사

조사지구 광역수맥조사를 통하여 수행된 물리탐사는 인공위성 원격탐사를 통해 영상판독 분석후 선구조를 추출하고 전기비저항 쌍극자탐사를 실시하여 지하수 부존상태와 제반 지하지질 구조를 파악하였다.

지구물리탐사는 지구물리학의 응용분야로서 자연적 또는 인위적인 신호(signal)를 통해 지표 및 지하 지질의 특성을 측정함으로써 지하지질구조와 지하에 부존하고 있는 유용광물 및 석유, 천연가스, 지열, 지하수 등의 부존여부를 추측하는 방법이다. 특히, 이번 지하수조사에는 지하수 부존에 영향을 미치는 지하구조대 및 충적층 층후의 발달상태를 객관적으로 탐사하는데 주로 사용된다. 일반적으로 지하수조사는 그 효율성을 높이기 위해서 지표지질조사와 자료수집 및 분석, 1차 탐사, 2차 탐사의 3단계로 수행되어 진다.

지표지질조사, 자료수집 및 분석에서는 현장지질조사와 항공 또는 위성사진 자료를 수집하여 전반적인 지질학적 환경을 파악하여 지하수 부존과 관련된 요소들의 정보를 추적한다. 특히 변성암이나 화성암 등의 결정질 암석으로 이루어진 지질환경에서는 단층, 파쇄대 등의 선구조가 지하수부존과 관련된 가장 중요한 지질 요소가 된다. 1차탐사는 1단계 조사자료를 바탕으로 넓은 지역에서 선구조 위치와 분포상태 등 지하 구조대 발달상태를 객관적으로 확인 조사할 수 있는 극저주파 탐사법으로 신속하고 경제적으로 자료를 획득한다. 2차탐사는 1차탐사 결과 선구조 또는 이상대가 발견되면 이들을 확인하고 보다 구체적인 구조와 상태, 그리고 지하수부존 가능성을 밝히기 위해서 집중적이고 정밀한 전기비저항탐사(쌍극자, 수직)등을 수행한다.

본 조사지구 일원에서 실시한 2차 탐사는 수문지질도의 작성을 위하여 전기비저항 쌍극자 탐사를 수행하였다. 이는 평야부에 대한 전반적인 심부 구조대의 존재확인을 위하여 전기축선을 연장설정하여 500m에 걸쳐서 전극간격을 25m로 하여 가탐심도를 최대 100m까지 가능하도록 하였다. 조사량은 15축선으로 약 7.5km에 달한다.

3-2-1 원격탐사(Remote Sensing)에 의한 선구조 분석

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

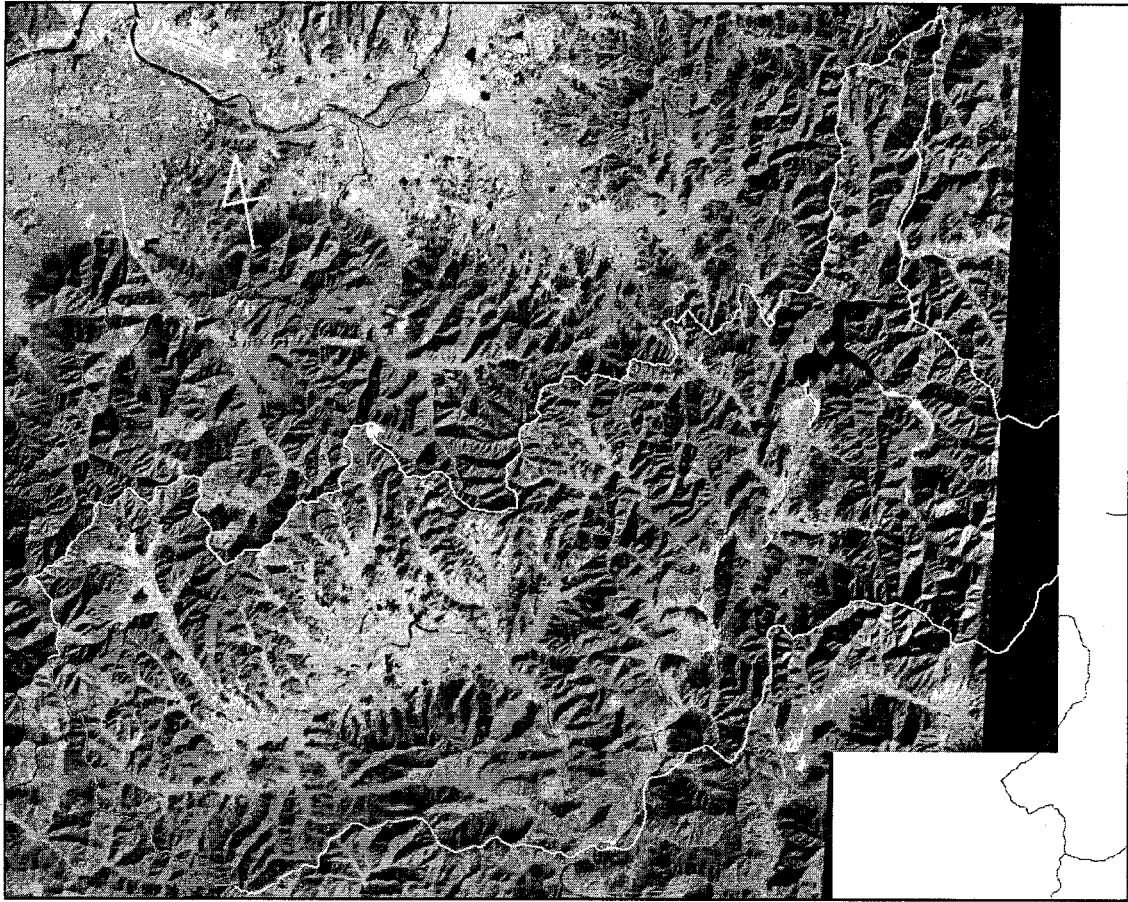
본 연구에서는 지상탐사위성인 LANDSAT MSS, LANDSAT TM, SPOT중 가장 정밀한 해상도를 가진(1pixel=20×20m) SPOT 위성에서 얻어진 위성영상 자료를 이용하였다.

지표면의 대상물이나 현상에 관한 자기파 정보를 수신소에서 받아서 수정과 초기작업 과정을 수행한 후 magnetic tape에 저장된다. 수신된 영상은 조직의 변화와 빛의 차이, 수분에 따라 차이가 나는 색과 그림자, 암석의 풍화에 의한 지형의 기록, 필터링 등을 기본원리로 해석된다. 그후 전문 software를 이용하여 분류, 판독후 선구조를 추출하게 되는 것이다.

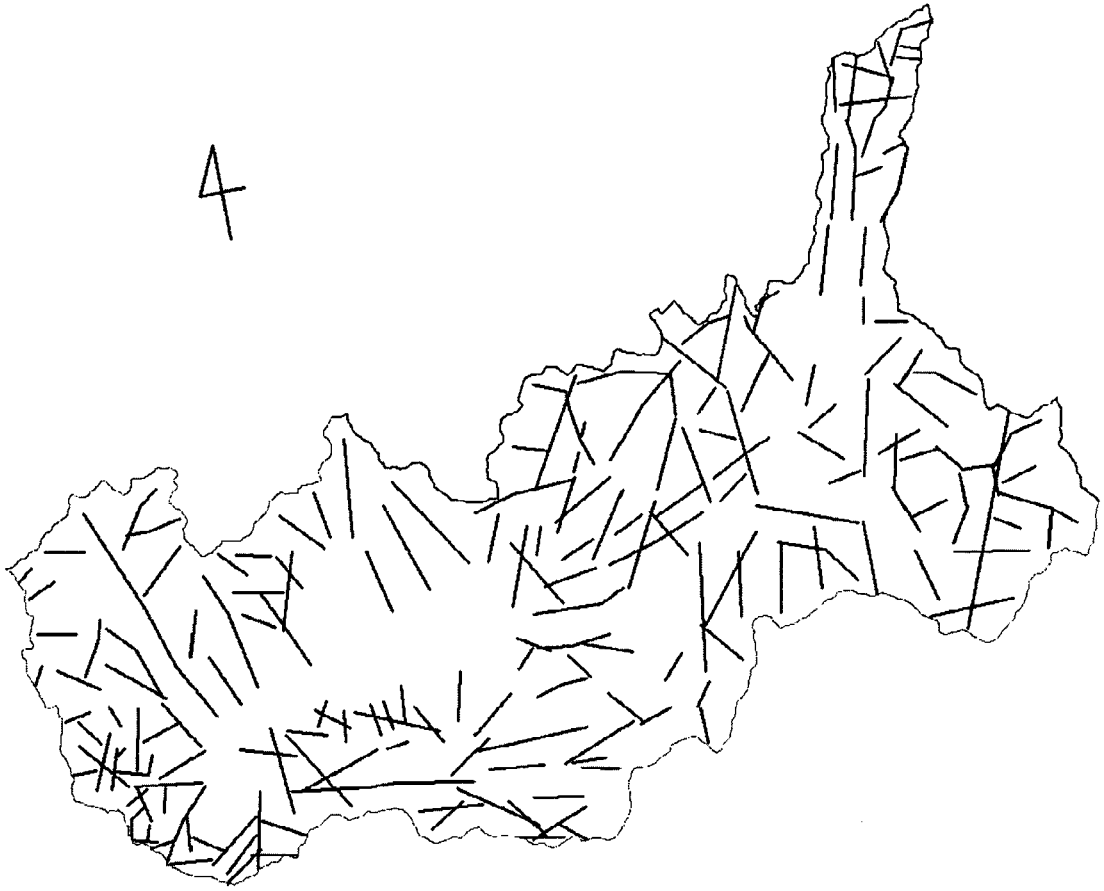
SPOT은 기존의 지상 자원탐사 위성중 최근 발사된 위성으로(1986년, 프랑스) 0.49~0.8 μ m의 파장을 가진 가시광선과 0.8~0.91 μ m의 적외선을 이용하여 3개의 magnetic band를 가지고 5~26일의 주기로 같은 지역을 조사하게 되는데, 다른 위성들보다 높은 지상분해능을 가지며, 주사주기가 짧아 자료의 update가 빠르고 동일한 면적에서 더 많은 자료를 얻게되는 이점이 있다.

수문지질학에서 영상분석은 암의 분류와 노두의 경계에 대한 도면을 제작하고 단층, 균열, 습곡 등의 지질구조의 성향의 분석·조사 하는데 쓰이고 있다. 이 위성 영상 자료에 야외에서 관찰한 지질구조특성, 시추공에서의 자료, 기 존재하는 지구물리학적 해석자료를 더하여 수정, 보완하게 된다.

선구조(Lineament)란 지표에 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 착정할 경우 지하수 산출율이 높다. 그림 3-2는 조사지역의 위성영상자료로서 그 영상을 해석한 후 그림 3-3과 같이 선구조를 추출하였다.



<그림 3-2> 조사지구내 SPOT 위성자료



<그림 3-3> 조사지구내 선구조도(SPOT 이용)

3-2-2 전기비저항 탐사

전기비저항 탐사는 인공적으로 대지에 아주 낮은 주파수를 갖는 강한 점전류를 보낼 때 전류가 전기를 잘 통하는 부분으로 집중되어 흐르는 원리를 활용하여 일정한 배열을 따라 땅속에 전기를 보내고 전기의 전파에 의해 발생된 전류의 크기과 이에 의한 발생된 전위분포를 측정함으로써 지하의 전기비저항치의 변화양상을 탐지 및 해석하여 지하의 지질구조(파쇄대, 단층, 지질구조대 등), 광상, 지하수, 지열지대의 부존여부 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 $\Omega\text{-m}$ 로 표시한다. 지하구성물질이 균질하고 등방성이라면 측정된 전기비저항 값은 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 점에서 매우 과학적이라 할 수 있겠다. 그러나 전류전극이 대지와 전기적으로 잘 접촉되어야 하므로 동토, 사막등 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 탐사는 전극배열법에 따라 웨너(Wenner)배열법, 슬럼버저(Schlumberger)배열법, 리(Lee)배열법, 3극점(Three Point)배열법, 쌍극자(Dipole)배열법 등이 있다.

이번 탐사에서는 쌍극자배열법을 활용하였다.

가. 쌍극자배열 전기비저항 탐사(Dipole-Dipole Method)

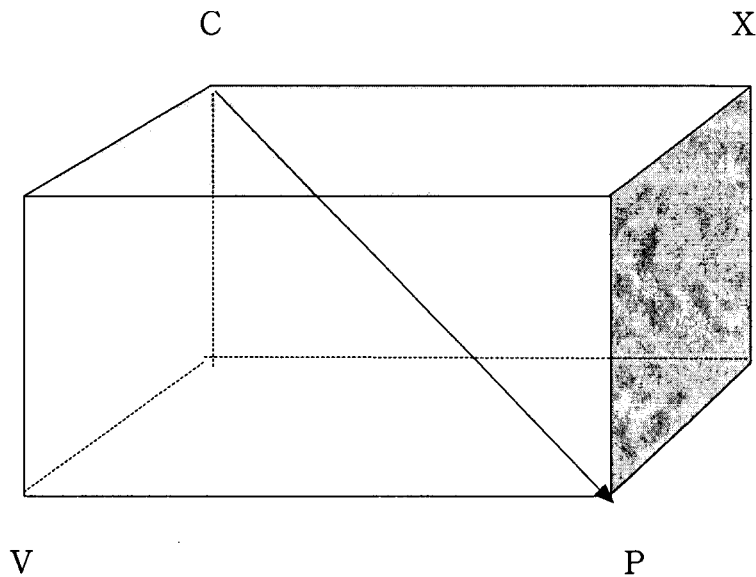
도선의 전기저항 R길이 L에 비례하고 단면적 A에 반비례한다. 즉,

$$R = \rho \frac{L}{A} \text{ 이다.}$$

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

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

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



<그림 3-4> 점진원에 의한 전위

<그림. 3-4>에서와 같이 지중의 일점 C에 아주 낮은 주파수를 갖는 강한 점 전류 I(amp.)를 보낼 때, 지중의 임의의 점 P에서의 전위 V(volt)는 다음과 같다.

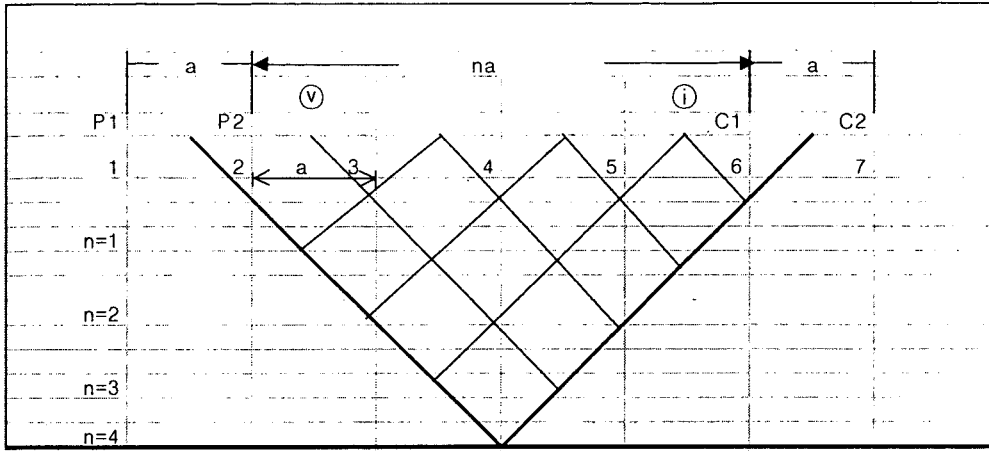
$$V = \frac{\rho I}{4\pi r}$$

여기서, $r = X^2 + Y^2 + Z^2$ 이다.

그러나 실제 지표면에 점전극을 위치시키고 전류 I를 보낼 때, 지표면 상부의 공기는 전기전도도가 0으로 가정할 수 있으므로 전류는 지중에서 반구상 방사상

으로 흐른다. 따라서, P점에서의 전위 V는 다음과 같다.

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi r} \text{ 이 때, } Z=0 \text{ 이므로, } r = X^2 + Y^2 \text{ 이 된다.}$$



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

<그림 3-5> 쌍극자 탐사 축선 배열 방법

그림 3-5에서 지표면에 매설한 한쌍의 전류전극 C1(+I)과 C2(-I)를 가정하고 임의의 점 P1, P2에서 각각의 전위를 생각할 때, P점의 전위는 C1과 C2에 의한 전위차로 나타나며, 다음과 같다.

$$V_{P1} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C1P1} - \frac{1}{C2P1} \right)$$

$$V_{P2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C1P2} - \frac{1}{C2P2} \right)$$

그러므로 C1과 C2에 의해서 P1과 P2의 전위차 V는 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$V = V_{P1} - V_{P2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C1P1} - \frac{1}{C2P1} - \frac{1}{C1P2} + \frac{1}{C2P2} \right)$$

이것을 비저항의 식 ρ로 풀어쓰면 다음과 같다.

$$\rho = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{C1P1} - \frac{1}{C2P1} - \frac{1}{C1P2} + \frac{1}{C2P2} \right)} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

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

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

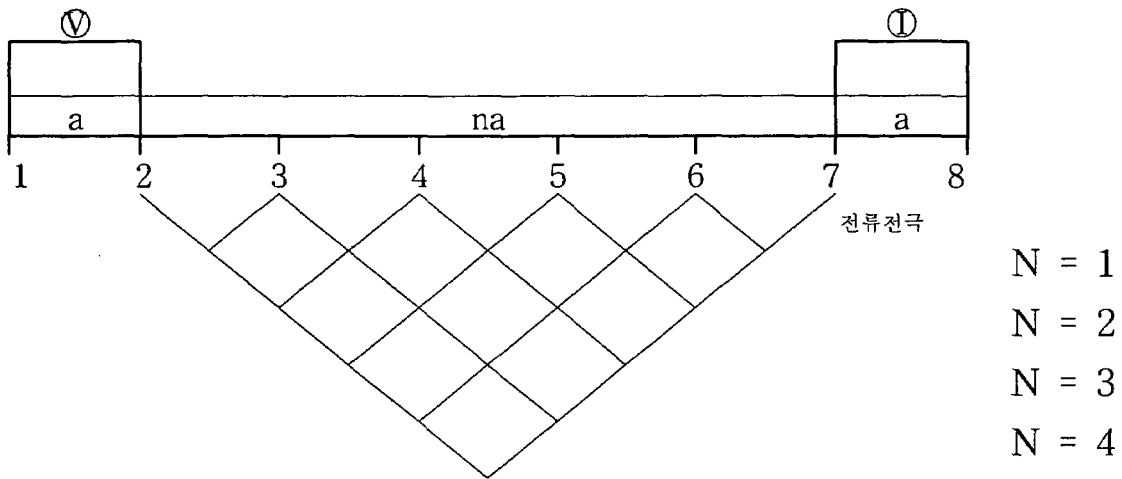
상기 식에서 쌍극자 배열은 전위 및 전류전극 간격이 모두 a로 $C_1P_1 = C_2P_2 = (n+1)a$, $C_2P_1 = na$, $C_1P_2 = na$, $C_1P_2 = (n+2)a$ 이므로 기하학적 계수는 다음과 같다.

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

또한, 쌍극자배열에 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 3-5와 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 3-6과 같이 전위전극 중심과 전류전극의 중심을 연결하는 선을 밑변으로 하는 직각이등변 삼각형의 꼭지점에 겉보기 비저항치를 기입하여 수평 및 수직적 변화를 탐지할 수 있다. 이와 같은 쌍극자배열 탐사결과 획득된 겉보기 비저항 도면을 가 단면도(pseudo-Section)라고 한다.



<그림 3-6> 전기비저항탐사(쌍극자탐사)가단면도 모식도

가단면도에 나타난 결보기비저항 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 1축선상에서 수평-수직 탐사를 동시에 수행하므로 2차원적 탐사로 간주된다. 물론, 쌍극자 배열 탐사의 축선상에 각 측정마다 수직탐사를 수행한다면, 1개점이 아닌 축선상의 하부에 2차원적인 비저항분포를 파악 할 수 있다.

또한, 수직탐사는 각 측정사이에 국부적인 이상대가 존재할 경우 이를 놓칠 우

려가 많으나, 쌍극자 배열 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 모델링방법 및 역산법(numerical inversion)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 25m로 하고 측정 간격을 25m, 50m, 75m, 100, . . .으로 25m씩 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 외견비저항의 2차원단면을 얻게 되고, 단면상에서 등비저항곡선도를 작성하여 전기비저항 분포이상대(異狀帶 : Anomaly zone)를 파악하였다.

측선의 길이는 현장여건에 따라 조정하였으며, $n=10$ 을 택하여 가탐심도를 100m이상 되게 하였다. 측선별 내용 및 역산법에 의한 분석내용은 표 3-2와 같다. 전체적으로 RMS ERROR가 높은 것은 탐사방법보다는 탐사장소에문제가 있는 것으로 짐작된다. 예를 들면, 각 측정들은 조사지역내 평야부에서 실측하였지만 비닐하우스 경작으로 논두렁 및 길 가장자리에서 탐사할 수 밖에 없었으며, 일부 도로변에서의 탐사시의 접지 불량으로 인한 것이다.

수치모델링 역산비저항 해석자료에서는 각 쌍극자 측선별 겉보기비저항 가단면도, 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도 그리고 역산결과 해석된 진비저항분포를 칼라양상화한 2차원 단면 구조도를 도시하였다.

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

2차원 비저항단면 구조도는 각 측선별 현장자료를 입력자료로하여 유한차분법 모델링(FDM modeling)과 평활한 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 겉

보기비저항 가단면도에 비하여 다소 부드러워 졌으며, 겉보기비저항 분포는 매우 유사하게 나타난다.

이러한 점은 현장자료를 입력자료로 하여 수행한 자동역산의 결과가 진비저항 분포를 갖는 각 축선의 2차원적 지하모형이 현장자료에 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, 단층등 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 전기 구조적인 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 암체라 할 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 구분의 암반에 대한 지하수탐사에서 중요한 의미를 갖는다. 즉, 외국의 경우 지하수 유동 및 집적이 투수성이 높은 사암층 등의 대다수 퇴적암층이 층서적이 대수층의 역할을 하는데 반하여, 우리나라와 같이 지하수 유동이 이루어지는 투수성이 높은 퇴적암의 분포가 적은 기반암체 내에서는 파쇄대가 중요한 대수층의 역할을 하게 된다. 이는 비저항의 분포상태를 결정하는 구조선이 지하수의 유동통로 역할을 하는 확률이 높기 때문이다. 그러나 전기비저항 탐사에 의해 지하수함양에 유리한 지하구조를 보인다 할지라도 그 구조사이를 채우는 물질의 특성에 의해 지하수산출과 유동이 좌우된다. 예를 들어 지하단층 구조사이에 암석쇄설물인 단층 각력이 존재할 경우에는 높은 지하수 산출을 보일 수 있고, 파쇄된 정도가 더욱 심하여 파쇄면 사이에

단층점토등의 세립물질들이 존재할 경우 지하수 함유율은 높으나 오히려 지하수 유동을 방해하는 구조로 작용할 수 있어 그 여부는 탐사 후 시추조사나 공내 TV검층 등을 이용해 더 자세히 조사할 수 있다. 위에서 기술한 바와 같은 관점에서 탐사결과를 축선별로 분석하면 다음과 같다.

<표 3-2> 쌍극자 탐사 축선별 총괄표

NO	위 치	축선방향	길이	겉보기저항		RMS ERROR
				최소치	최대치	
E - 1	각북면덕촌리	500m	W - E	18.9	3421	0.534717
E - 2	각북면삼평리	500m	W - E	14.1	1710	0.381976
E - 3	풍각면현리리	500m	SW - NE	7.54	1399	0.392606
E - 4	매전면무등리	500m	N - S	1.89	435	0.44072
E - 5	금천면방지리	500m	NW - SE	26.8	1900	0.353928
E - 6	각남면구라리	500m	NE - SW	2.21	716	0.564585
E - 7	각남면함박리	500m	N - S	57.4	527	0.155497
E - 8	각남면덕양리	500m	W - E	15.0	736	0.337607
E - 9	각북면명대리	500m	W - E	31.1	730	0.26948
E - 10	이서면토평리	500m	W - E	26.3	1174	0.31967
E - 11	이서면양원리	500m	W - E	11.8	311	0.27089
E - 12	남천면놀이리	500m	W - E	72.1	601	0.200717
E - 13	남천면진라리	500m	N - S	31.1	791	0.125014
E - 14	금천면신자리	500m	W - E	24.7	1140	0.262804
E - 15	금천면동곡리	500m	SW - NE	103	1306	0.254741

○ E-1 측선

E-1 측선은 청도군 각북면 덕촌리 지역에서 서-동 방향으로 탐사를 실시하였다. 그림 3-8은 쌍극자탐사 결과의 Field data Pseudosection, Theoretical data Pseudosection, 2-D Resistivity Structure를 보여준다. E-1 측선의 결과 측정점 3에서 측정점 9까지 하부에서 고비저항대를 보여 이는 신선한 암반의 연장선으로 보여지며 측정점 9~10 및 측정점 14~15사이의 저비저항치는 지하수 부존이 가능할 것으로 보여진다.

○ E-2 측선

E-2 측선은 청도군 각북면 삼평리 지역에서 서-동 방향으로 탐사를 실시하였다. E-2 측선의 결과 상부층의 비저항치는 비교적 낮은 수치를 보이고 있으며 측정점 9~15 사이의 하부에는 고비저항대를 형성하고 있어 신선한 암반층의 분포를 예상할 수 있으며 측정점 3~4 사이의 지표하 심도 100M 이하에서는 낮은 비저항치를 붕 지하수 부존 가능성이 높다.

○ E-3 측선

E-3 측선은 청도군 풍각면 현리리 지역에서 남서-북동 방향으로 탐사를 실시하였다. E-3 측선의 결과 측정점 9~17 사이의 하부에서는 고비저항대를 보여 풍화대층이 얇고 신선한 암반층이 분포할 것으로 예상되며, 측정점 4~5번 사이의 시도 80~100m 부근에 저비저항대가 형성되어 지하수 부존 가능성이 높아 추후 정밀한 탐사가 요구된다.

○ E-4 측선

E-4 측선은 청도군 매전면 무등리 지역에서 북-남 방향으로 탐사를 실시하였다. E-4측선 결과 상부층에서 상대적 고비저항대가 부분적으로 분포하고 있으며 분포 양상이 일정하지 않고 불규칙적인 것으로 미루어 상부 지표의 수분 함량의 분포가 부분적으로 다른 것으로 판단되며, 측정점 10의 하부 50~60m 부근에 저비저항대가 분포한 것으로 보아 지하수 부존 가능성이 높다.

○ E-5 측선

E-5 측선은 청도군 금천면 방지리 지역에서 북서-남동 방향으로 탐사를 실시하였다. 운문호 남서측의 경작지를 대상으로 하였다. E-5 측선 결과 측점 5~7 사이의 30~40m 하부에 고비저항대가 형성되어 있으며 측점 10 하부 80~100m 부근에 저비저항대가 형성되어 있어 신선한 암반층이 일찍 분포하고 양호한 지하수가 부존할 것으로 예상된다.

○ E-6측선

E-6 측선은 청도군 각남면 구라리 지역에서 북동-남서방향으로 완만한 구릉성 산지의 경작지를 대상으로 탐사를 실시하였다. E-6 측선 결과 측점 4~12 하부에 고비저항대가 분포하고 있으며 측점 15~16 사이에는 지표하 심도 약 70~100m 부근에 저비저항대가 형성되어 있어 지하수 부존 가능성이 높아 추후 정밀한 탐사가 요구된다.

○ E-7 측선

E-7 측선은 청도군 각남면 함박리 지역에서 북-남 방향으로 탐사를 실시하였다. E-7측선 결과 측점 5~14 까지 전체적으로 하부에서 고비저항대가 형성되어 지하수 부존 가능성이 희박하다. 오히려 측선의 남측방향 즉 상류 지역에서 저비저항대를 형성하고 있어, 정밀한 탐사를 추가로 실시하여 지하수 부존 가능성을 파악해야 할 것이다.

○ E-8 측선

E-8 측선은 청도군 각남면 덕양리 지역에서 서-동 방향으로 탐사를 실시하였다. E-8측선 결과 전체적으로 고비저항대를 형성하고 있어 풍화대는 얇을 것으로 예상되며, 측점 5~6 사이의 하부에 저비저항대를 형성하나 규모가 작아 많은 수량을 기대하기는 어려울 것이다.

○ E-9 측선

E-9 측선은 청도군 각북면 명대리 지역에서 서-동 방향으로 탐사를 실시하였다. E-9 측선 결과 부분적으로 고비저항대가 분포하나 전체적으로 파쇄

대나 지질구조대의 분포가 예상되어 측점 6~7 사이, 측점 12 하부에서 양호한 지하수 부존 가능성이 예상된다.

○ E-10 측선

E-10 측선은 청도군 이서면 토평리 지역에서 서-동방향으로 설정하고 측정하였다. E-10 측선 결과 측점 16 하부 약 50~80m 부근에 저비저항대를 형성하여 지하수 부존 가능성이 높아 추후 정밀한 탐사가 요구된다.

○ E-11 측선

E-11 측선은 청도군 이서면 양원리 지역에서 서-동 방향으로 설정하고 측정하였다. E-11 측선 결과 측점 4 및 측점 14 하부 약 50~80m 부근에 상대적 저비저항대가 형성되어 지하수 부존 가능성이 있어 추후 정밀한 탐사가 요구된다.

○ E-12 측선

E-12 측선은 청도군 남천면 놀미리 지역에서 서-동 방향으로 설정하고 측정하였다. E-12 측선 결과 전체적으로 고비저항대가 분포하고 있어 지하수 부존 가능성은 없는 것으로 사려된다.

○ E-13 측선

E-13 측선은 청도군 남천면 진라리 지역에서 북-남 방향으로 설정하고 측정하였다. E-13 측선 결과 측점 13 하부 약 80~100m 부근에서 저비저항대가 분포하고 있어 지하수 부존 가능성이 있다.

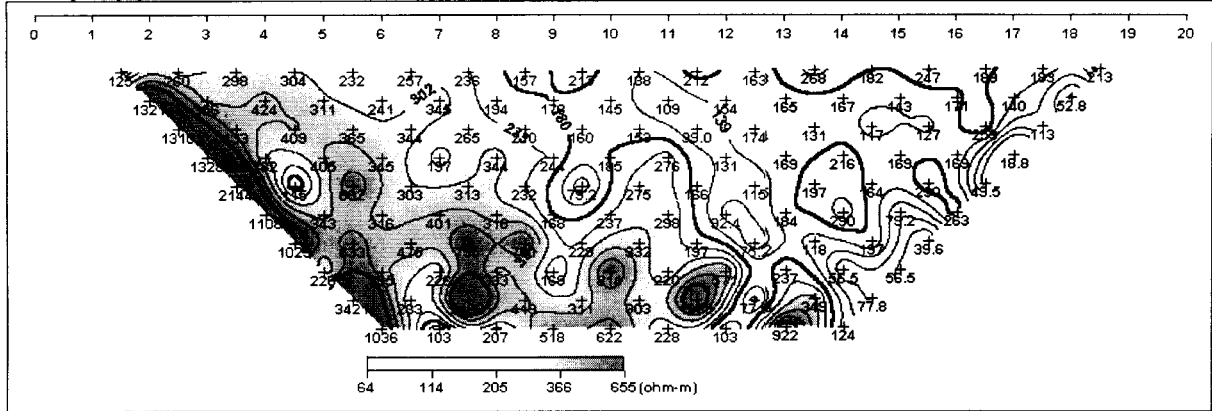
○ E-14 측선

E-14 측선은 청도군 금천면 신지리 지역에서 서-동 방향으로 설정하고 측정하였다. E-14 측선 결과 전체적으로 고비저항대가 형성되어 있어 지하수 부존 가능성은 희박하나, 측점 12 하부 약 80~90m 부근의 소규모 저비저항대에서 소규모 지하수 부존 가능성이 있다.

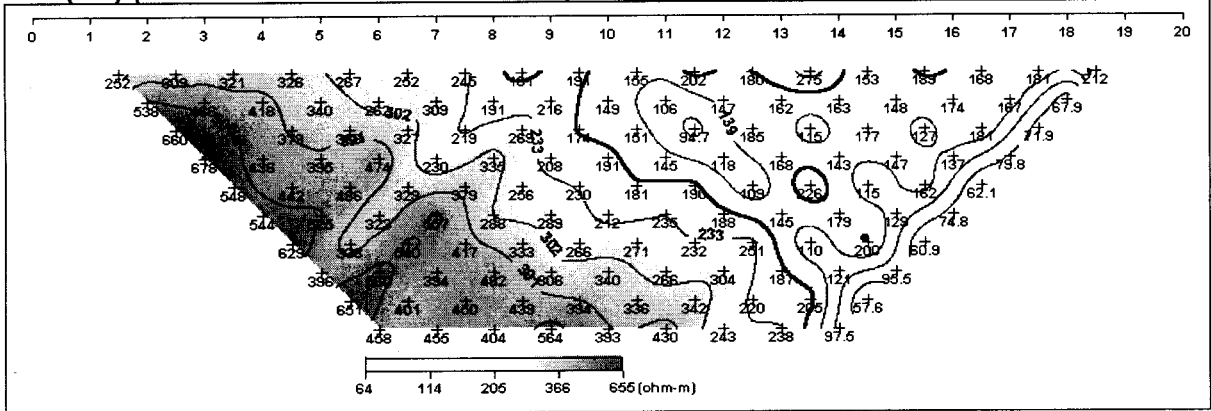
○ E-15측선

E-15 측선은 청도군 금천면 동곡리 지역에서 남서-북동 방향으로 설정하고 측정하였다. E-15 측선 결과 부분적으로 고비저항대가 분포하나 측점 6하부 약 80~90m 부근에 상대적 저비저항대가 형성되어 양호한 지하수 부존 가능성이 높다.

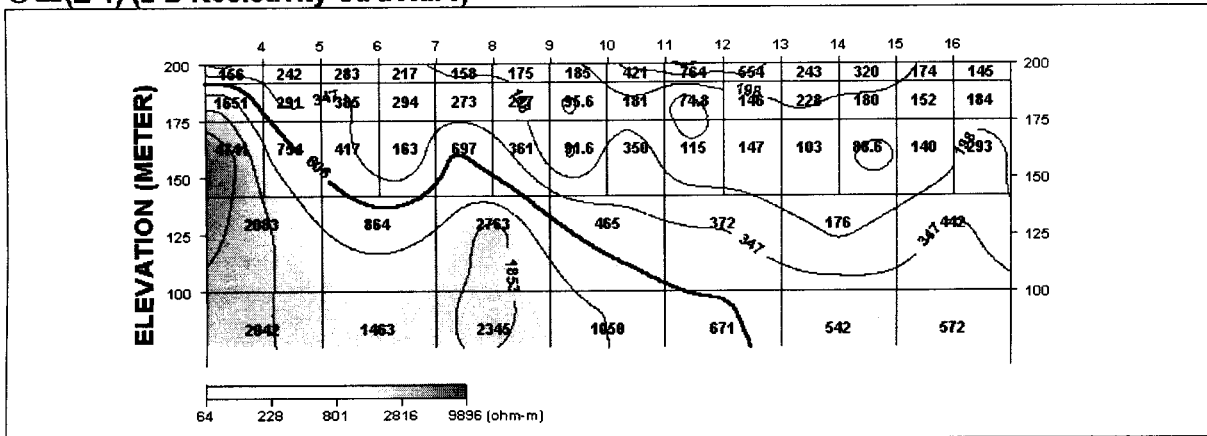
청도(E-1) (Field Data Pseudosection)



청도(E-1) (Theoretical Data Pseudosection)



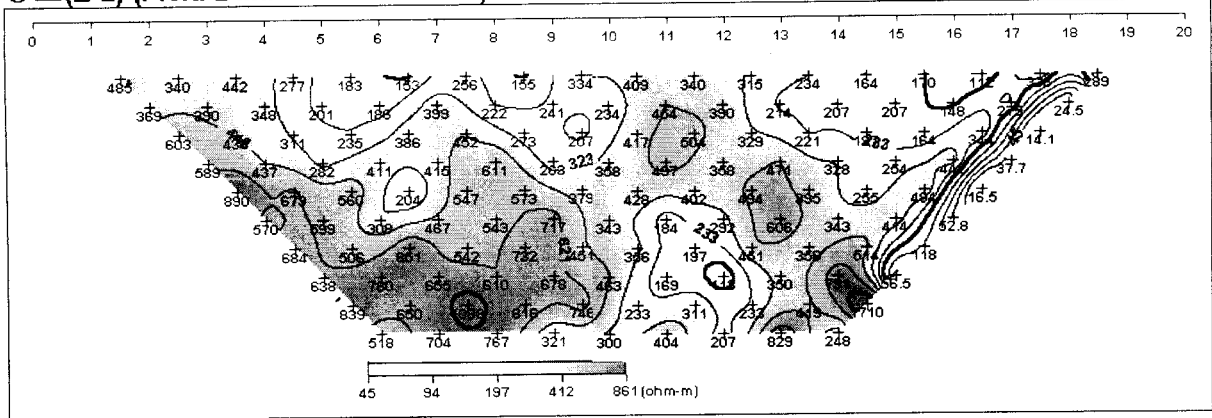
청도(E-1) (2-D Resistivity Structure)



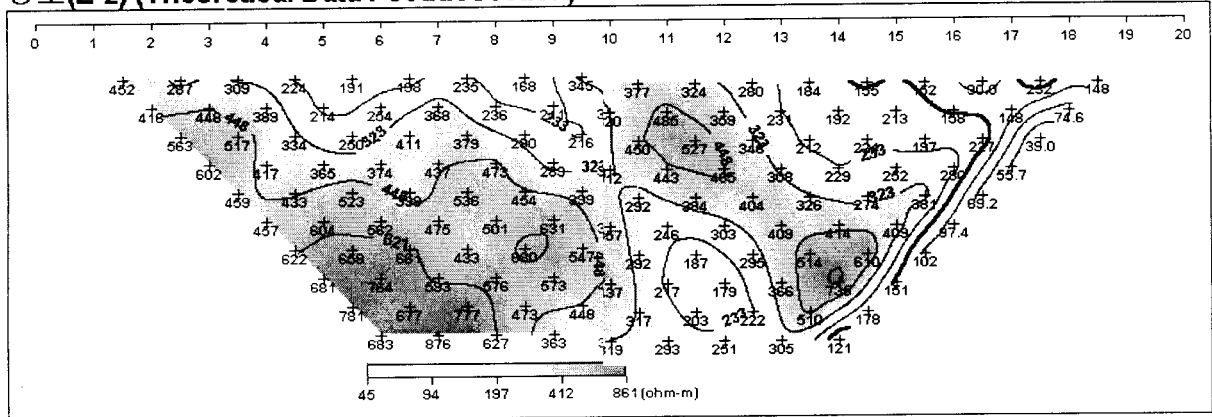
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도 j

<그림 3-7> 측선 E-1 쌍극자 탐사 결과도

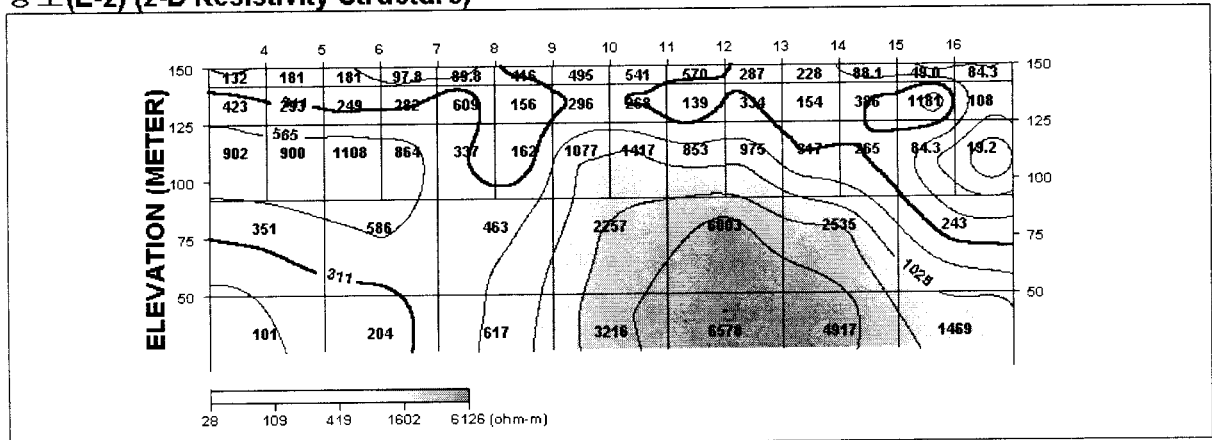
청도(E-2) (Field Data Pseudosection)



청도(E-2) (Theoretical Data Pseudosection)



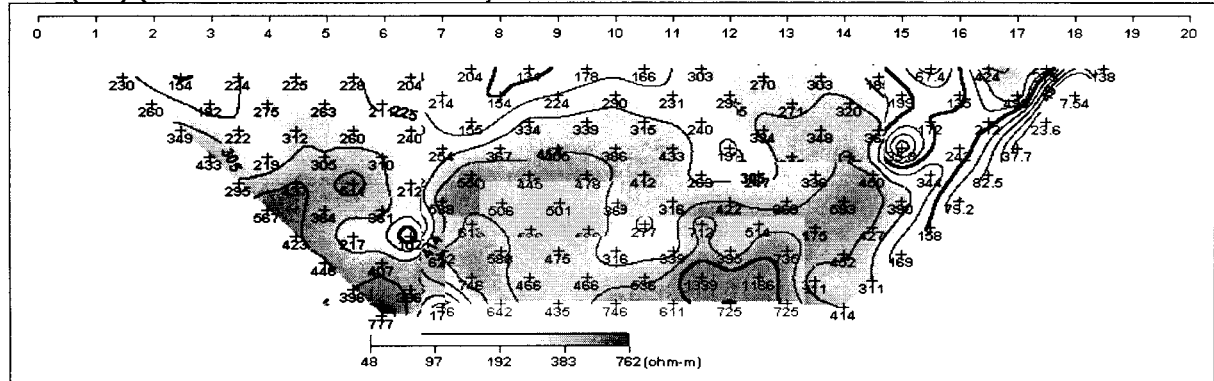
청도(E-2) (2-D Resistivity Structure)



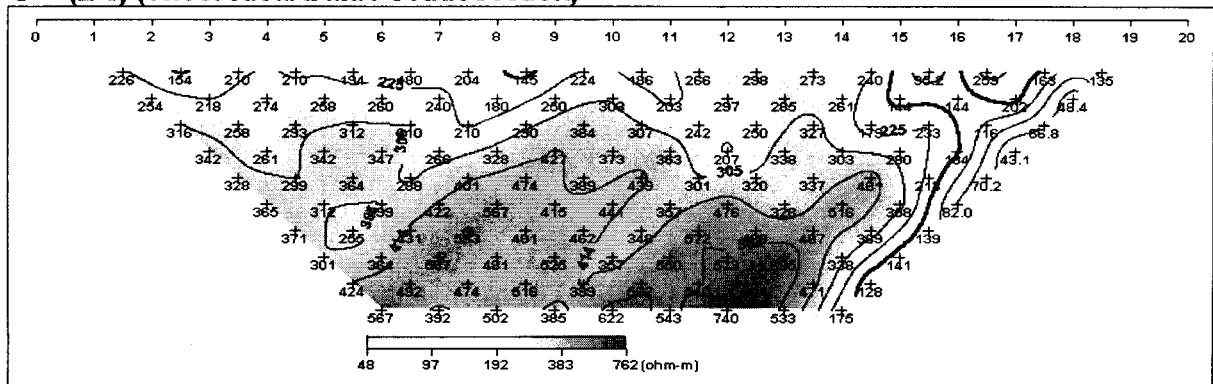
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-8> 축선 E-2 쌍극자 탐사 결과도

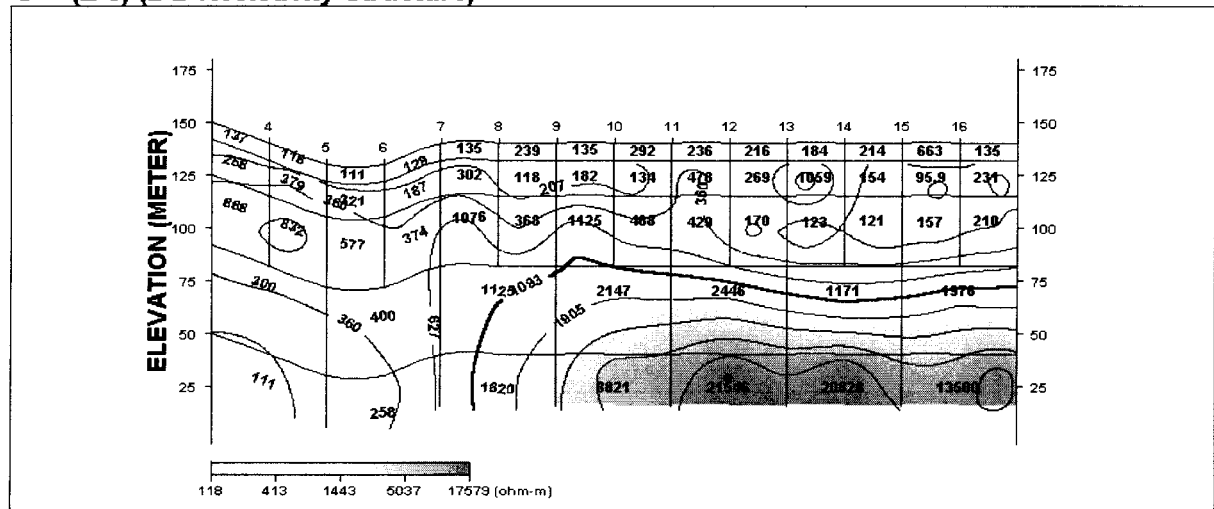
청도(E-3) (Field Data Pseudosection)



청도(E-3) (Theoretical Data Pseudosection)



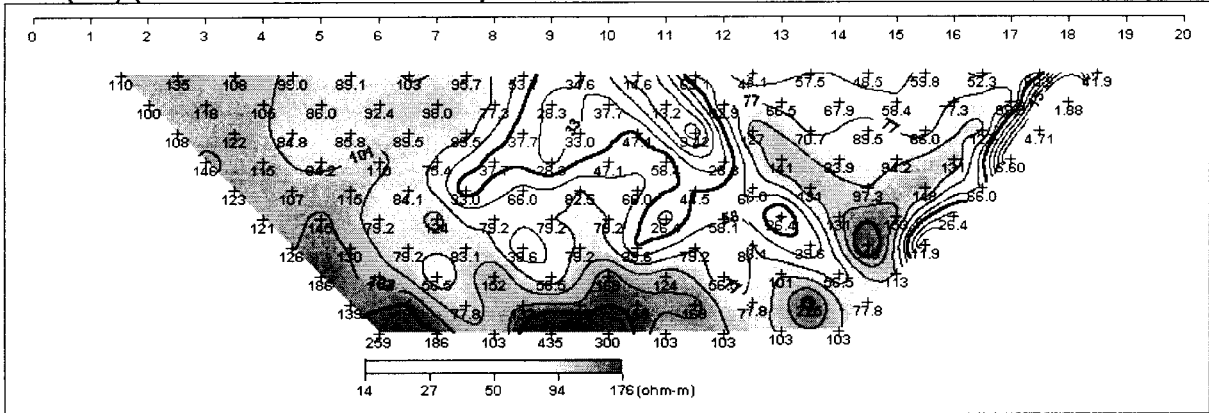
청도(E-3) (2-D Resistivity Structure)



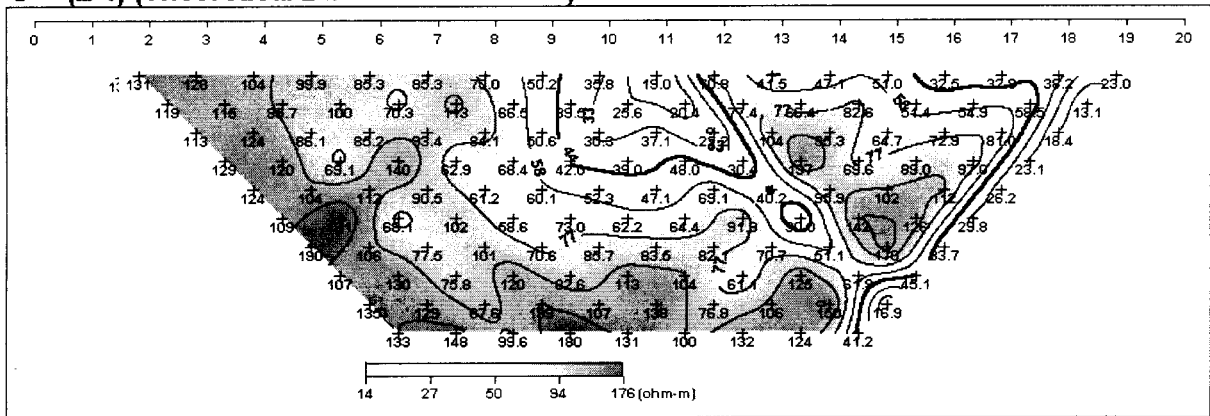
- <상> 현장 측정자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-9> 축선 E-3 쌍극자 탐사 결과도

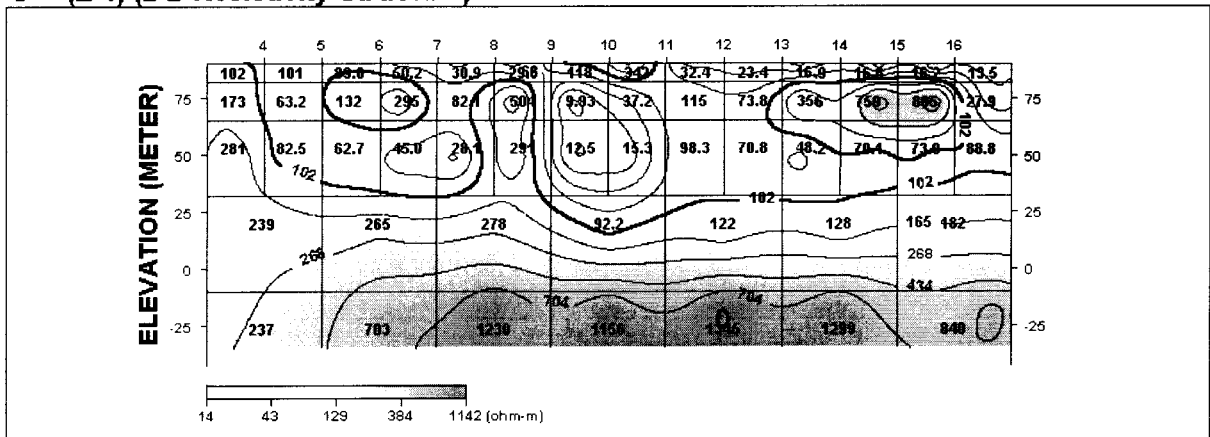
청도(E-4) (Field Data Pseudosection)



청도(E-4) (Theoretical Data Pseudosection)



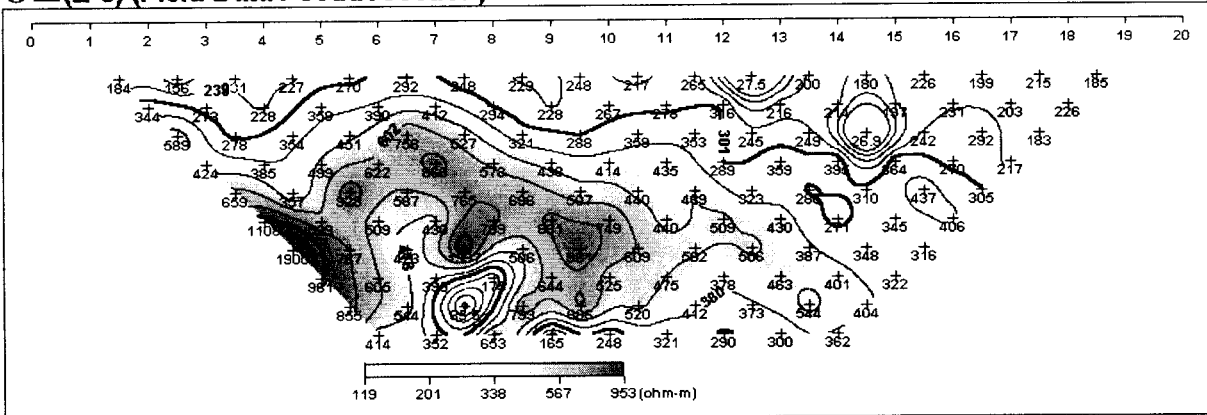
청도(E-4) (2-D Resistivity Structure)



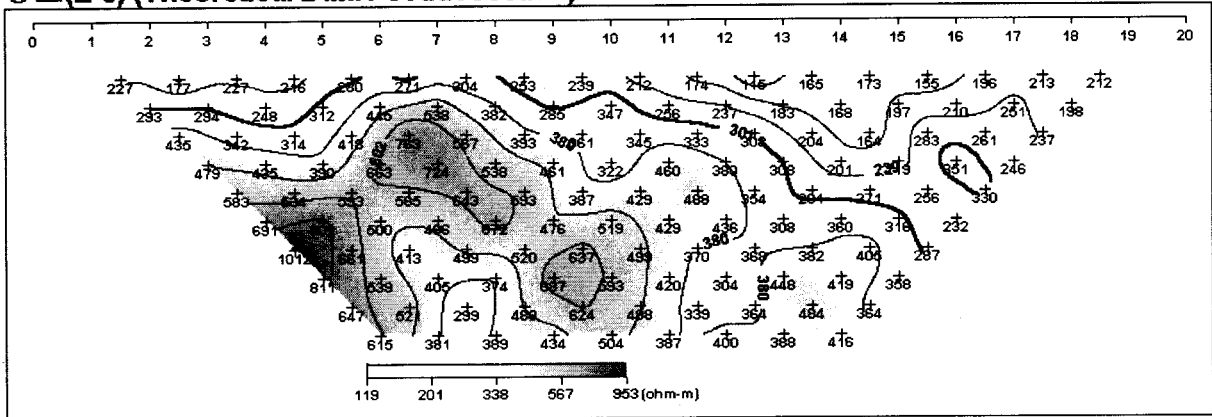
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-10> 축선 E-4 쌍극자 탐사 결과도

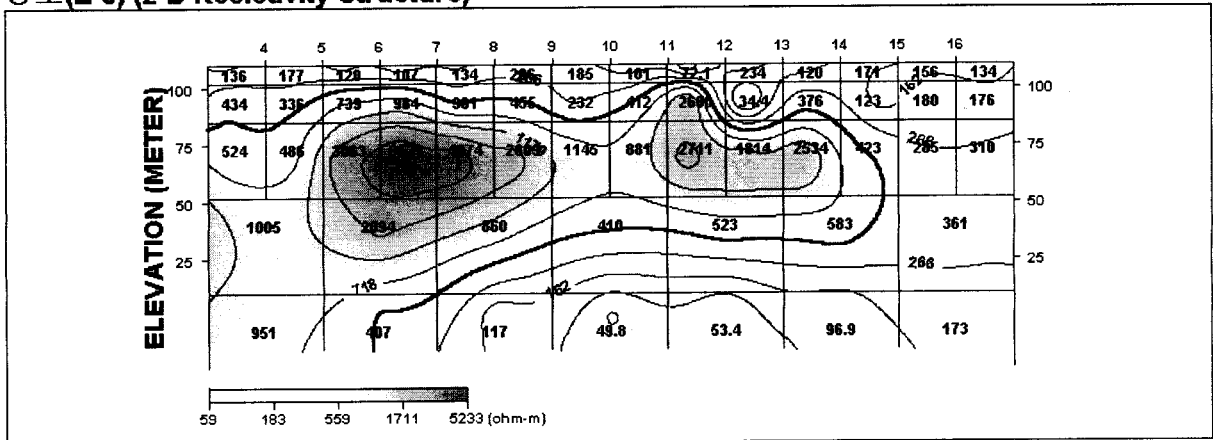
청도(E-5) (Field Data Pseudosection)



청도(E-5) (Theoretical Data Pseudosection)



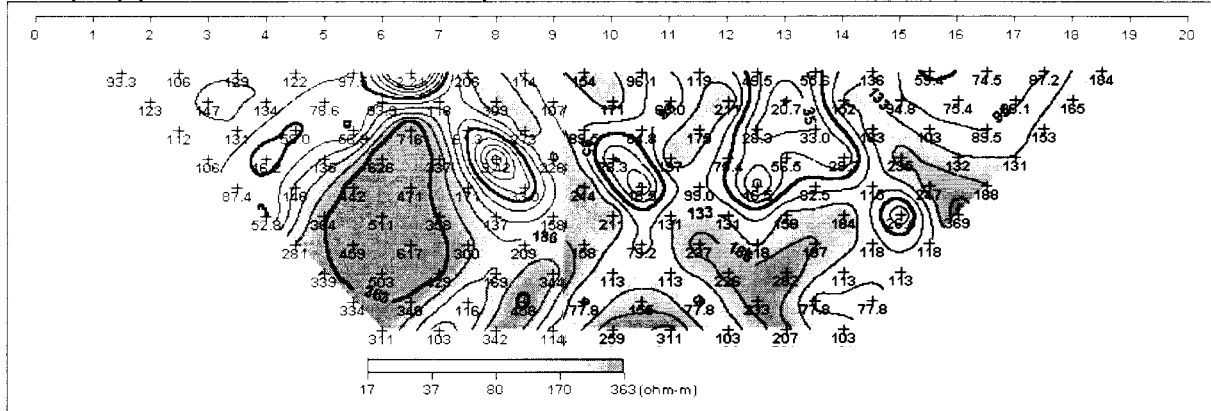
청도(E-5) (2-D Resistivity Structure)



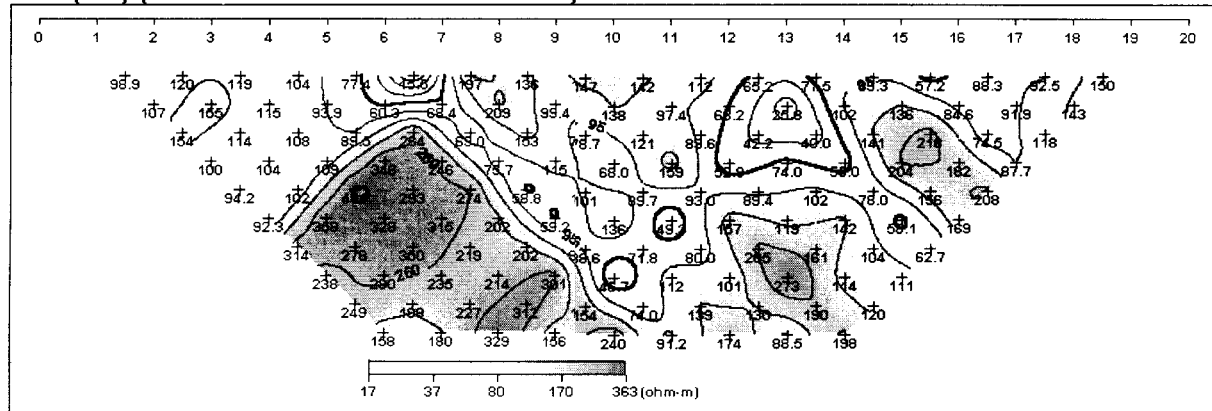
- <상> 현장 측정자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-11> 측선 E-5 쌍극자 탐사 결과도

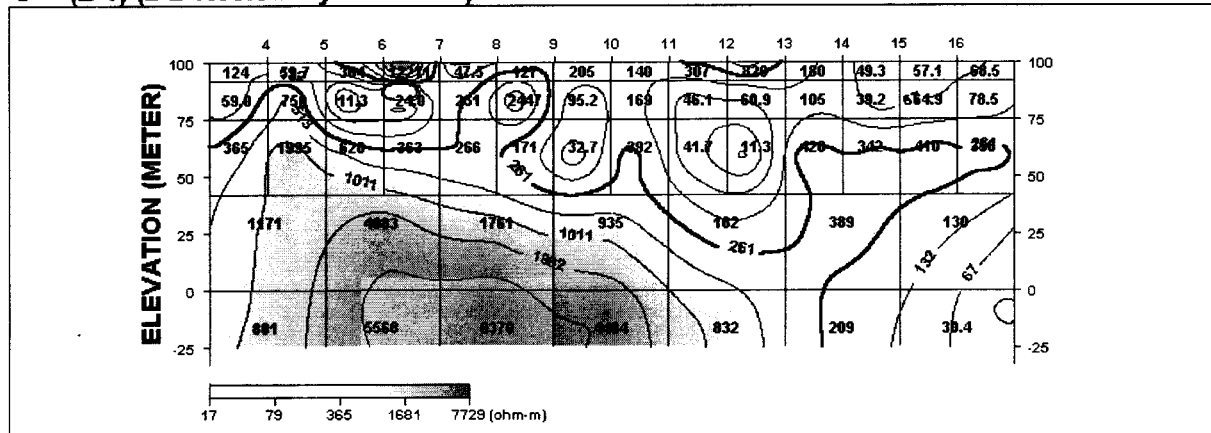
청도(E-6) (Field Data Pseudosection)



청도(E-6) (Theoretical Data Pseudosection)



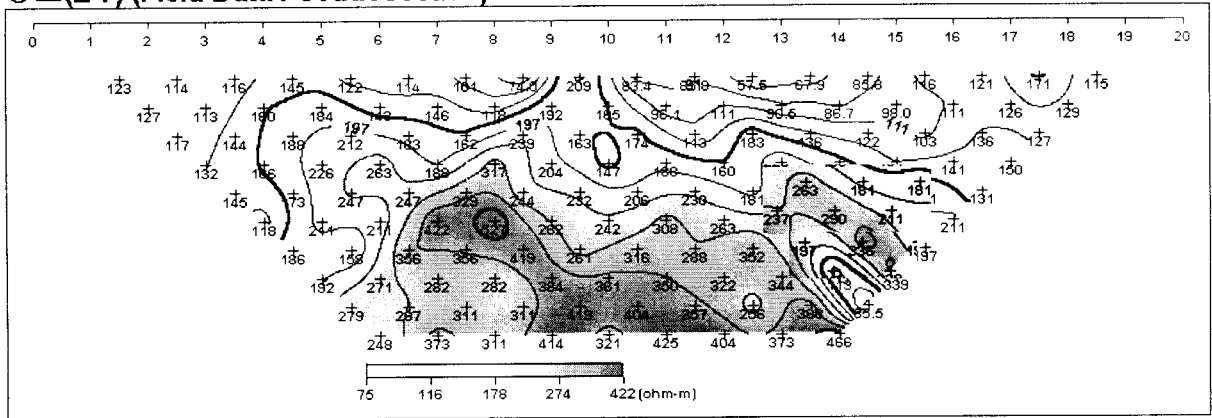
청도(E-6) (2-D Resistivity Structure)



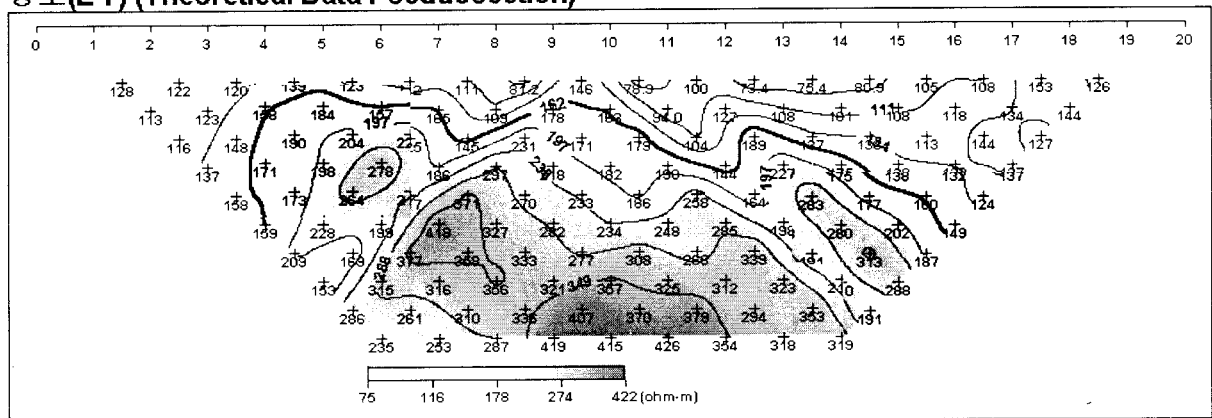
- <상> 현장 측정자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-12> 측선 E-6 쌍극자 탐사 결과도

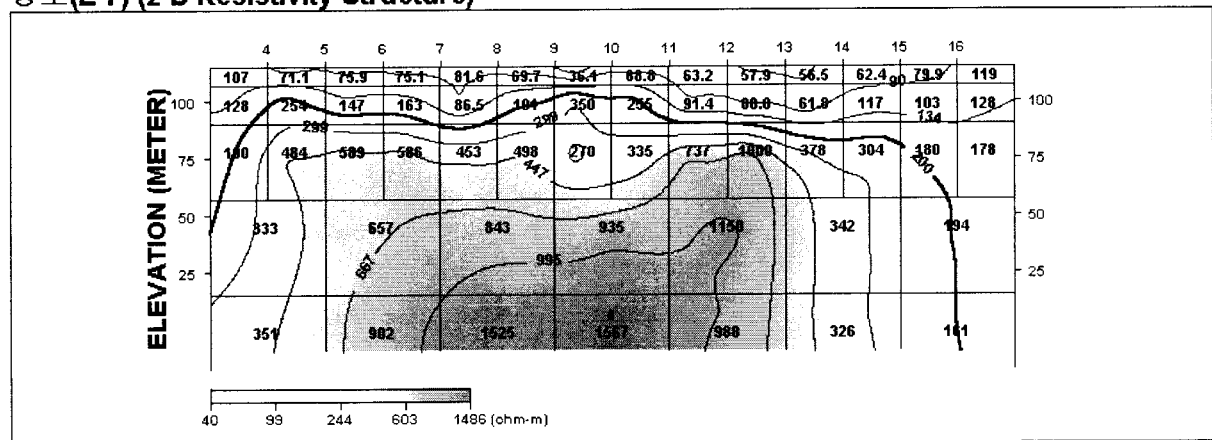
청도(E-7) (Field Data Pseudosection)



청도(E-7) (Theoretical Data Pseudosection)



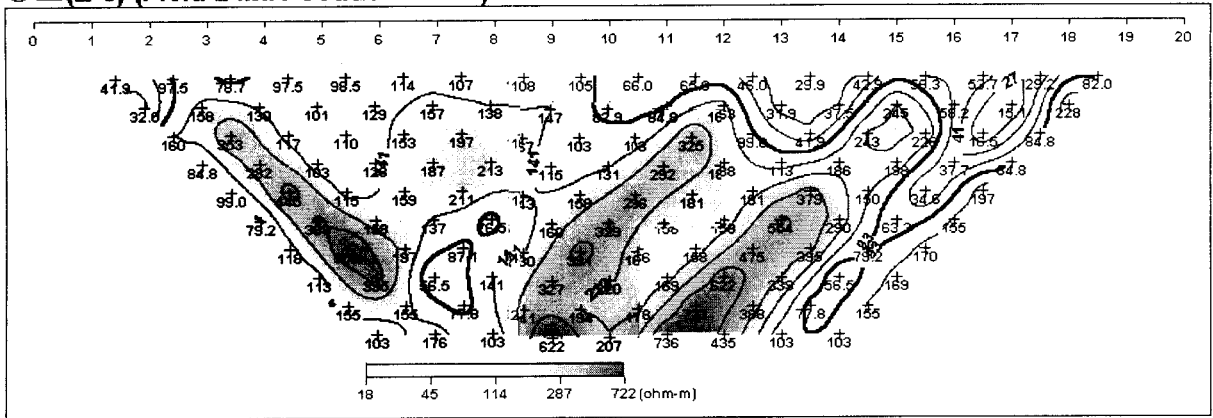
청도(E-7) (2-D Resistivity Structure)



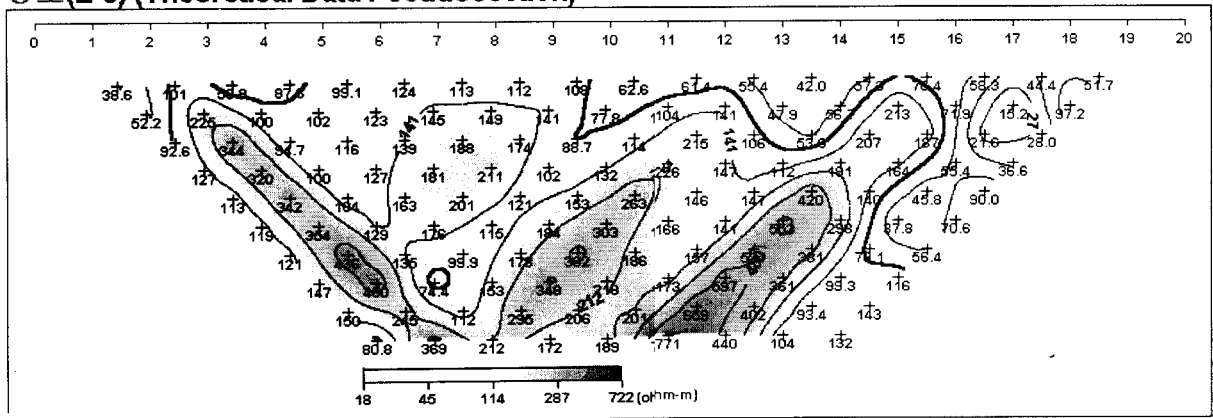
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-13> 측선 E-7 쌍극자 탐사 결과도

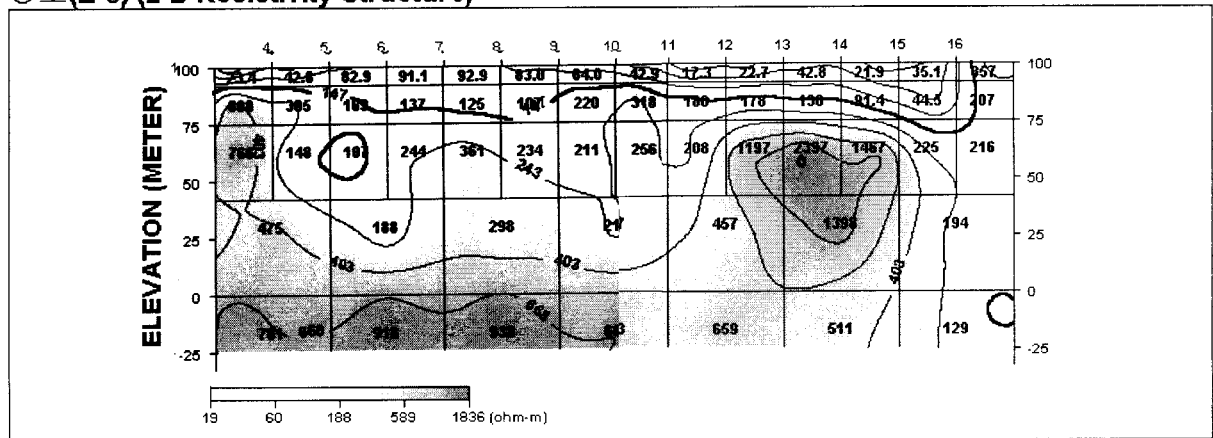
청도(E-8) (Field Data Pseudosection)



청도(E-8) (Theoretical Data Pseudosection)



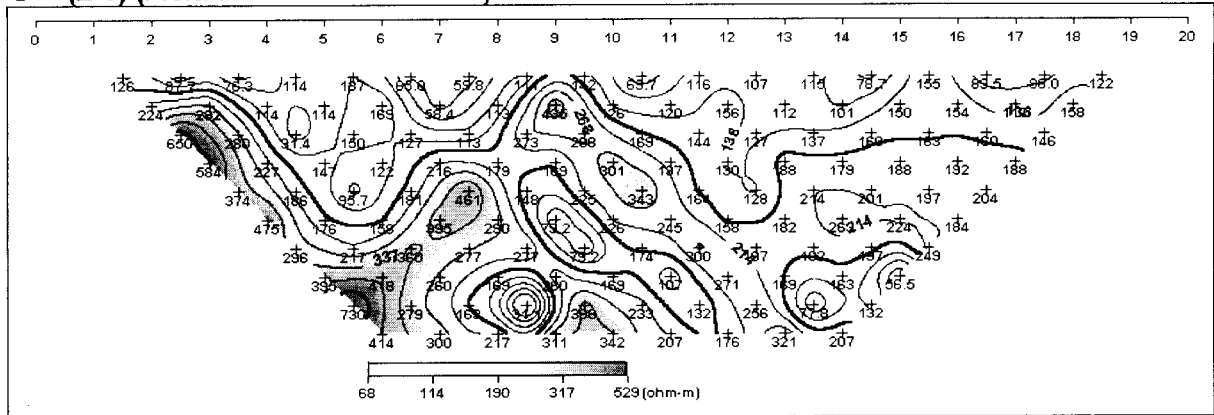
청도(E-8) (2-D Resistivity Structure)



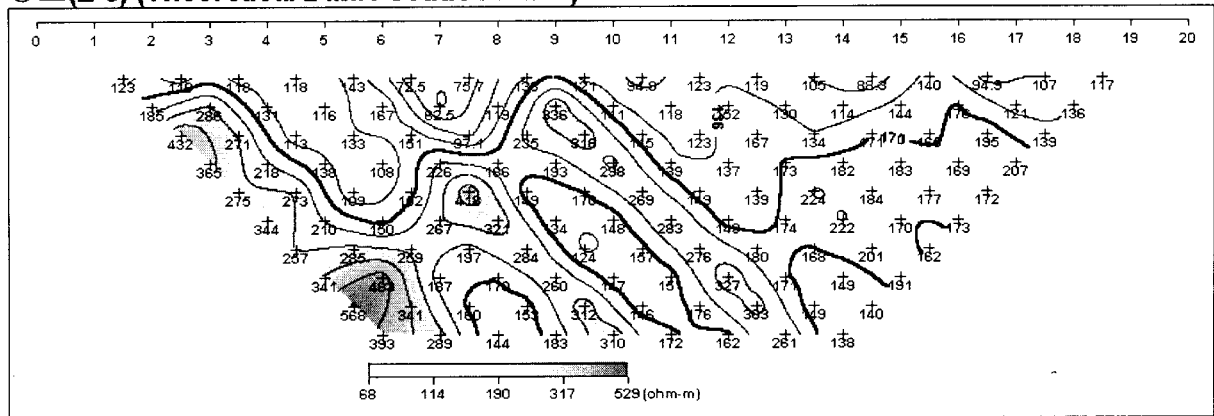
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-14> 측선 E-8 쌍극자 탐사 결과도

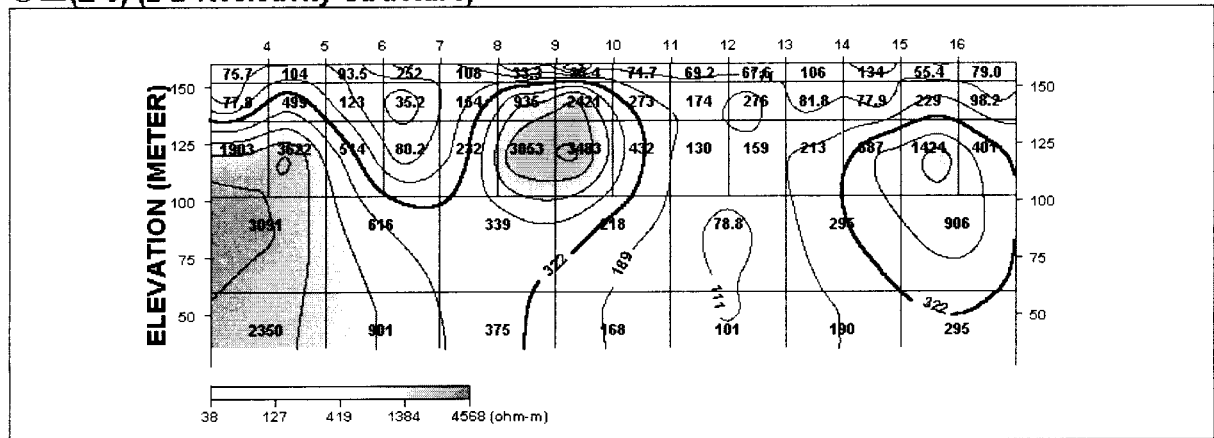
청도(E-9) (Field Data Pseudosection)



청도(E-9) (Theoretical Data Pseudosection)



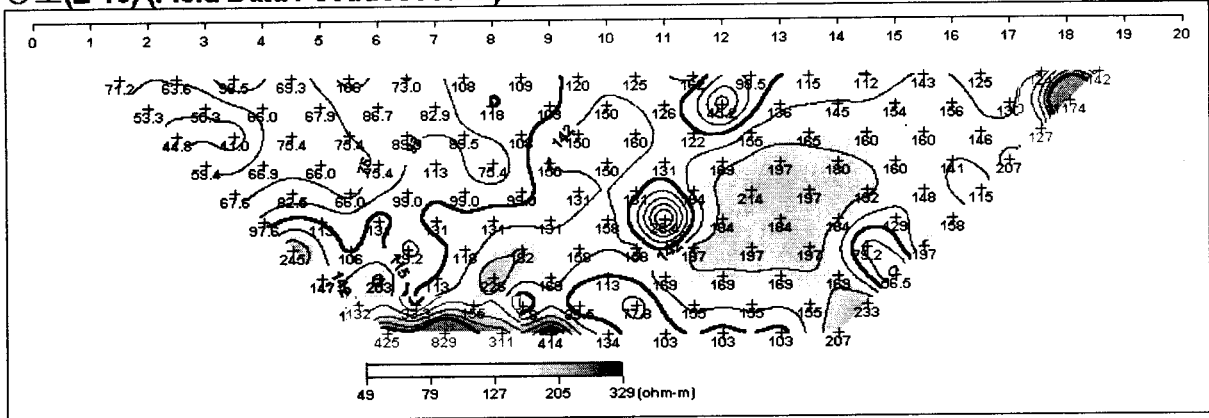
청도(E-9) (2-D Resistivity Structure)



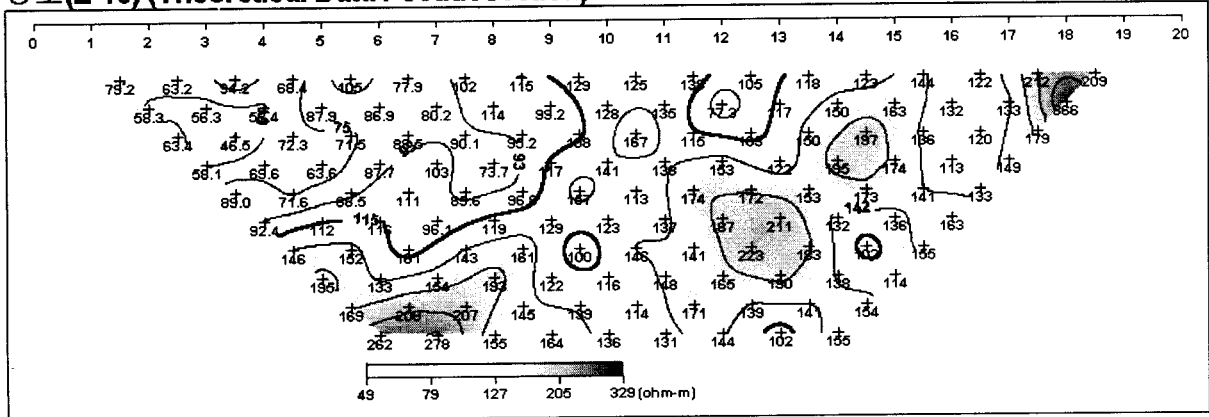
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-15> 측선 E-9 쌍극자 탐사 결과도

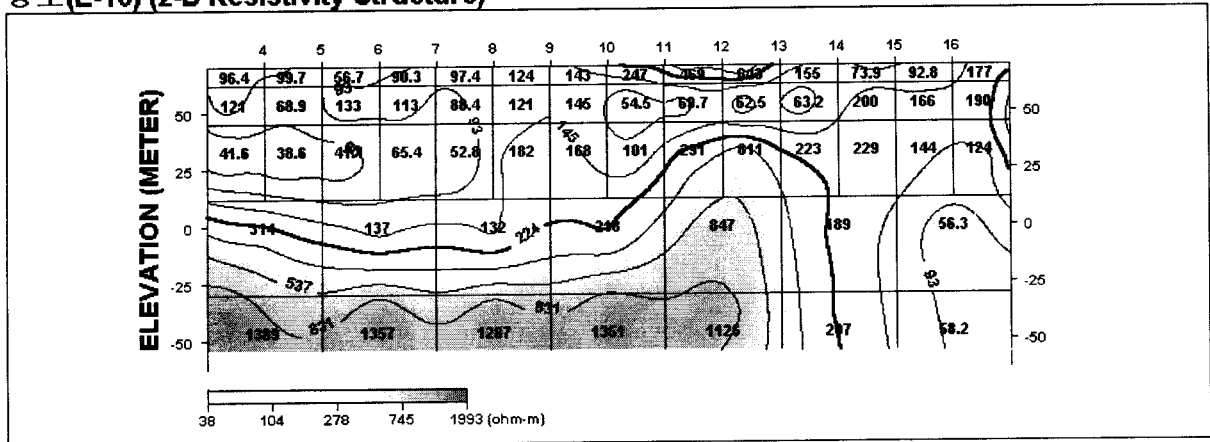
청도(E-10) (Field Data Pseudosection)



청도(E-10) (Theoretical Data Pseudosection)



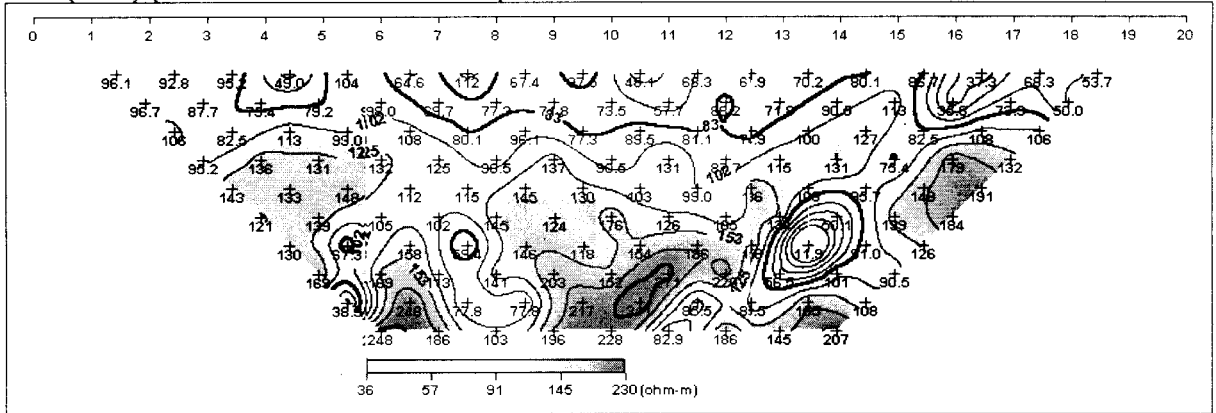
청도(E-10) (2-D Resistivity Structure)



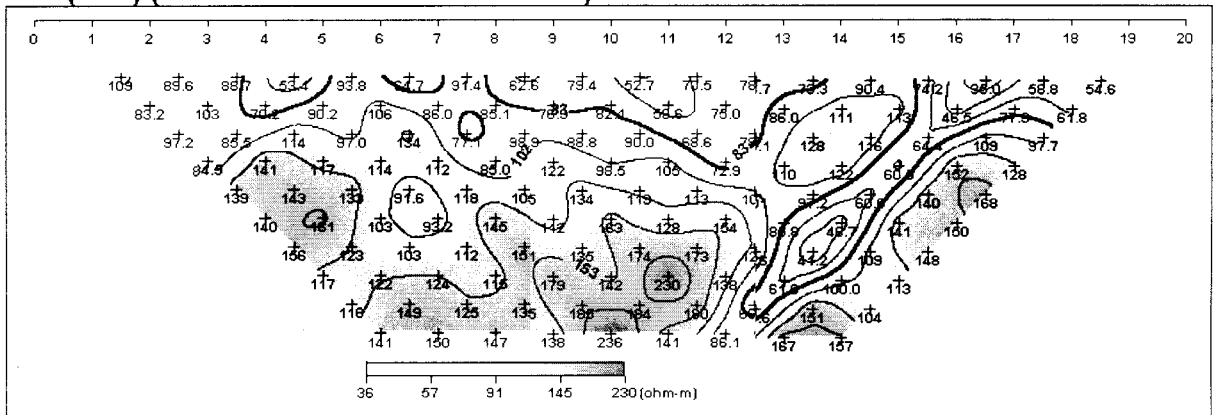
- <상> 현장 측정자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-16> 측선 E-10 쌍극자 탐사 결과도

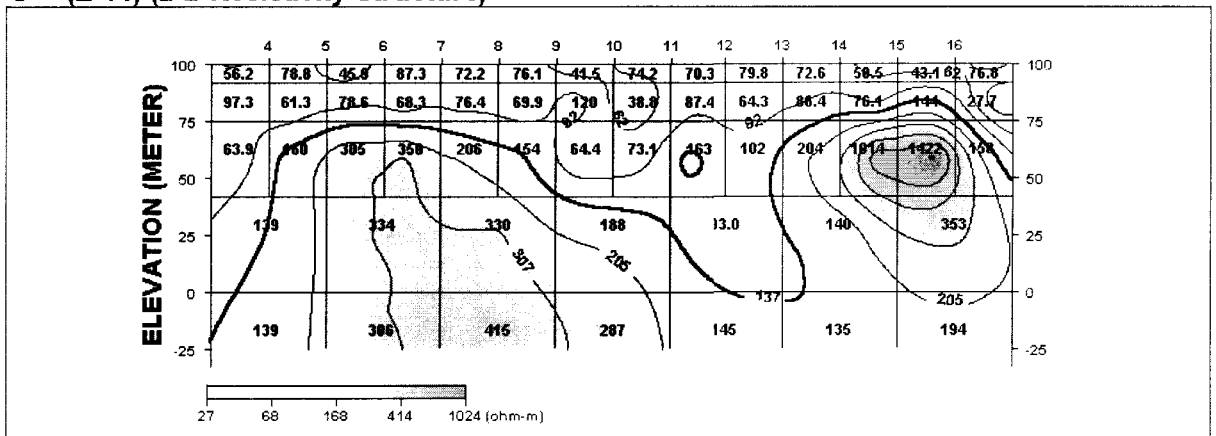
청도(E-11) (Field Data Pseudosection)



청도(E-11) (Theoretical Data Pseudosection)



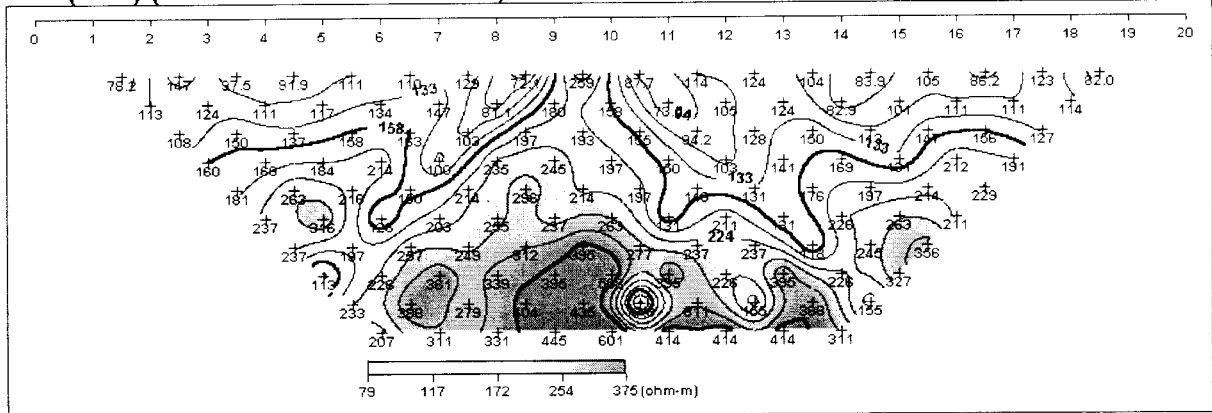
청도(E-11) (2-D Resistivity Structure)



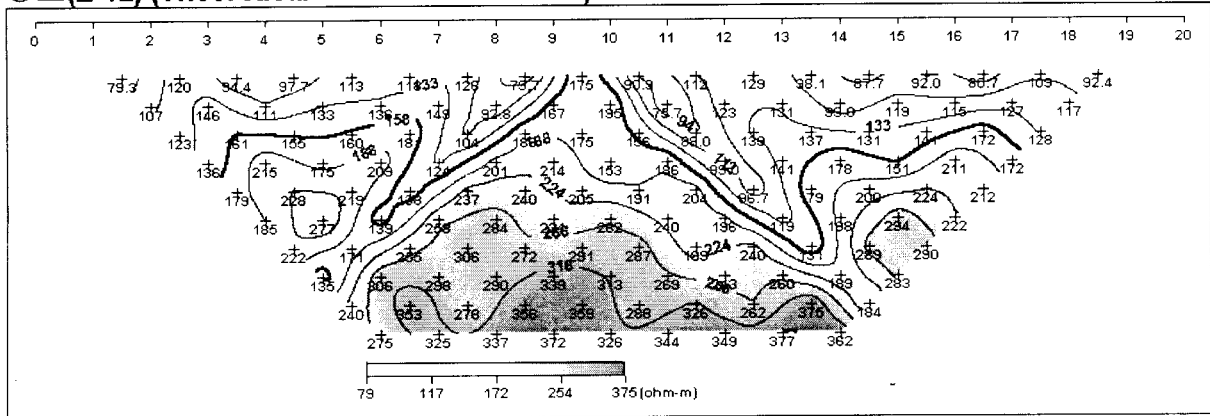
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-17> 측선 E-11 쌍극자 탐사 결과도

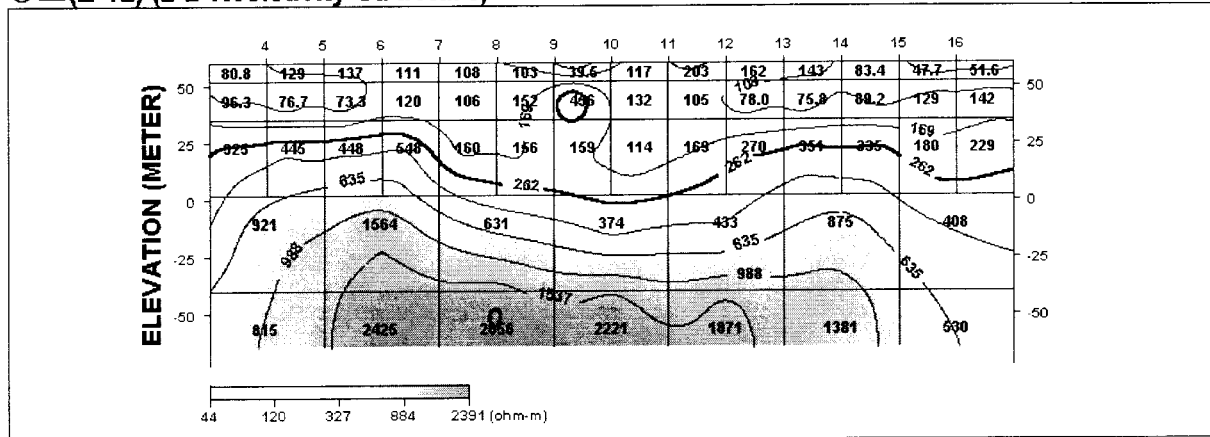
청도(E-12) (Field Data Pseudosection)



청도(E-12) (Theoretical Data Pseudosection)



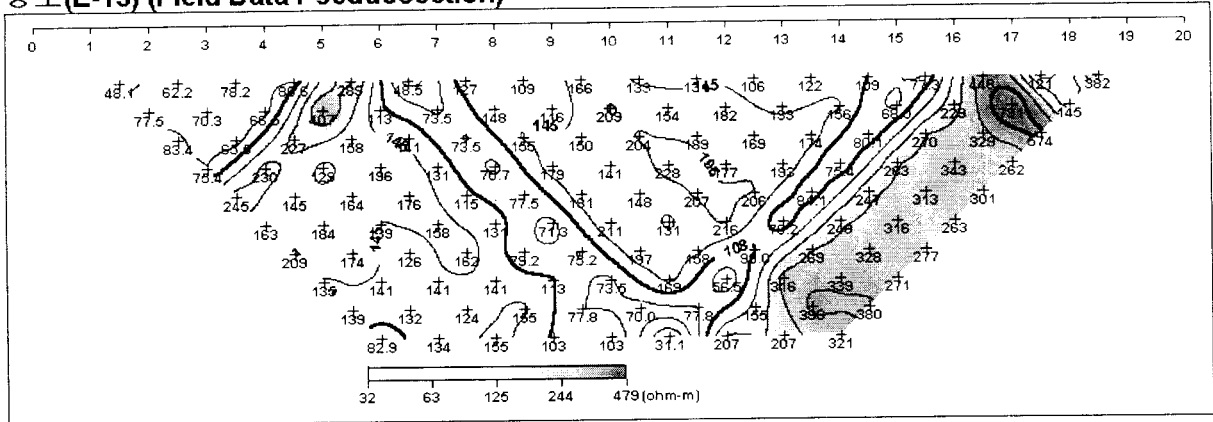
청도(E-12) (2-D Resistivity Structure)



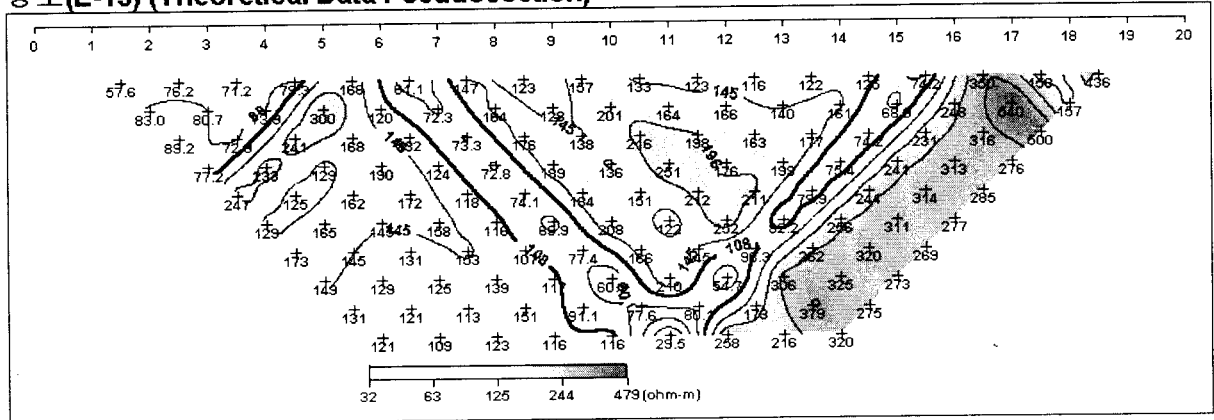
- <상> 현장 측정자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-18> 측선 E-12 쌍극자 탐사 결과도

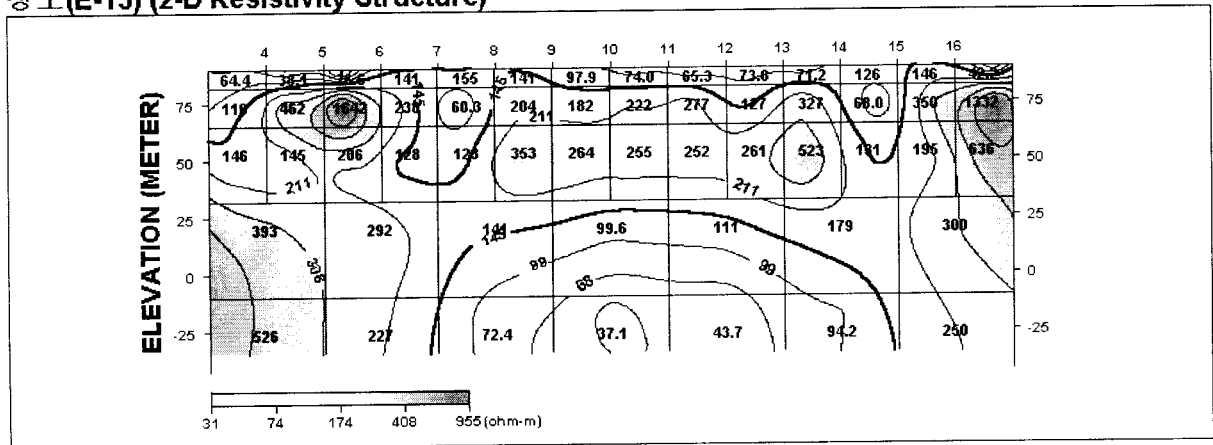
청도(E-13) (Field Data Pseudosection)



청도(E-13) (Theoretical Data Pseudosection)



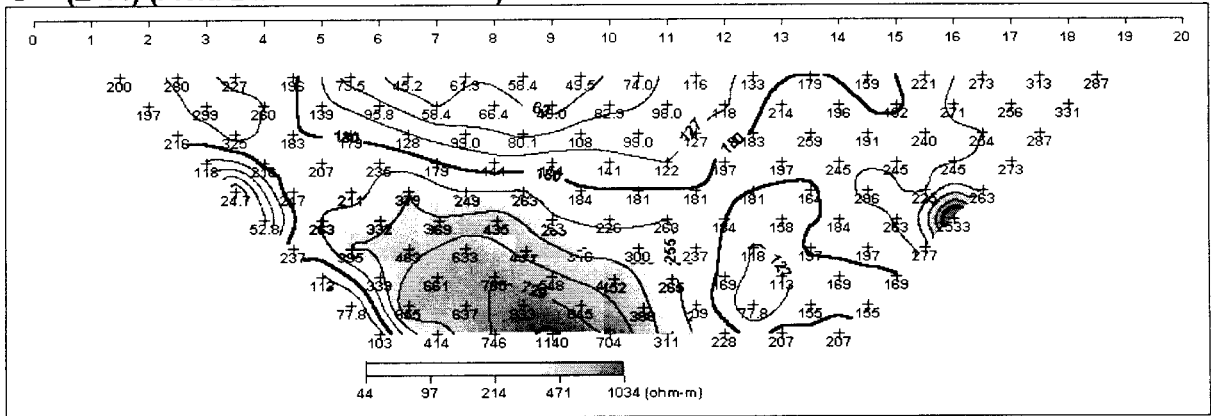
청도(E-13) (2-D Resistivity Structure)



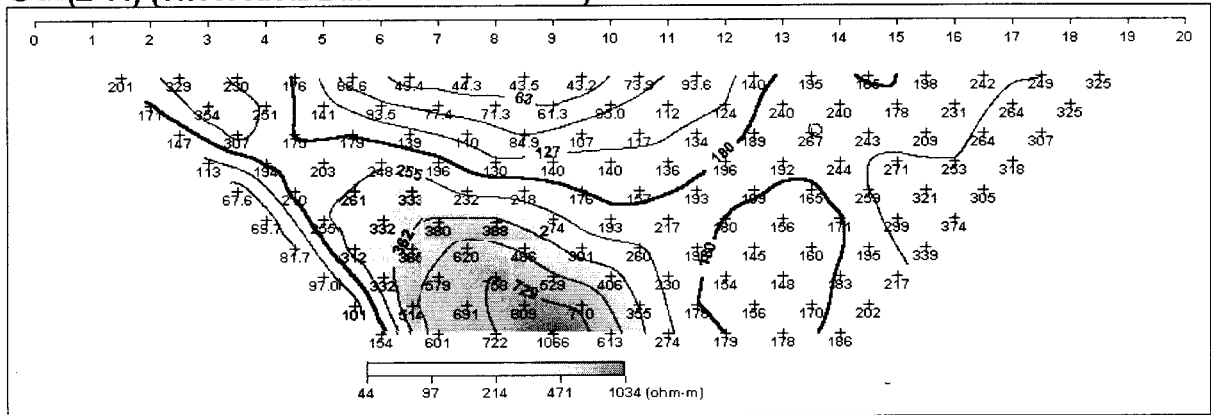
- <상> 현장 측정자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겉보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-19> 측선 E-13 쌍극자 탐사 결과도

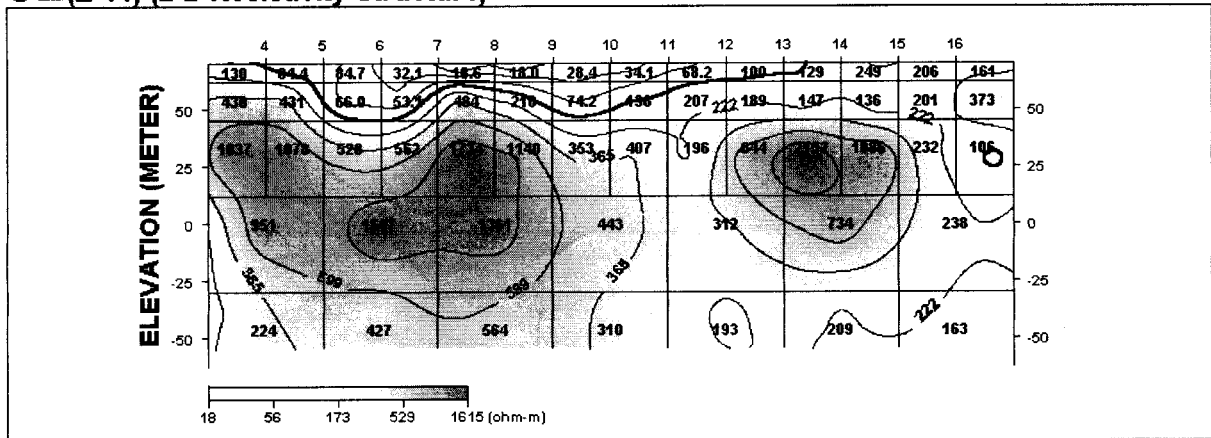
청도(E-14) (Field Data Pseudosection)



청도(E-14) (Theoretical Data Pseudosection)

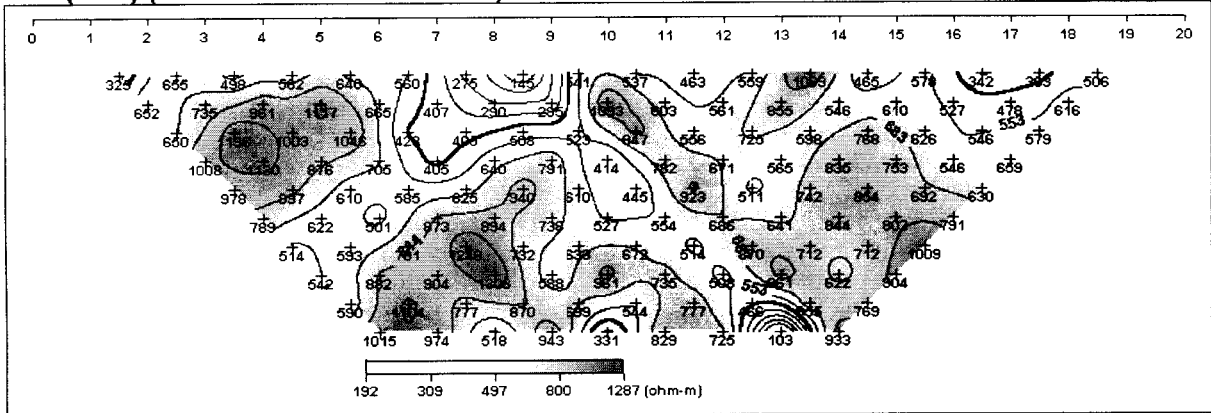


청도(E-14) (2-D Resistivity Structure)

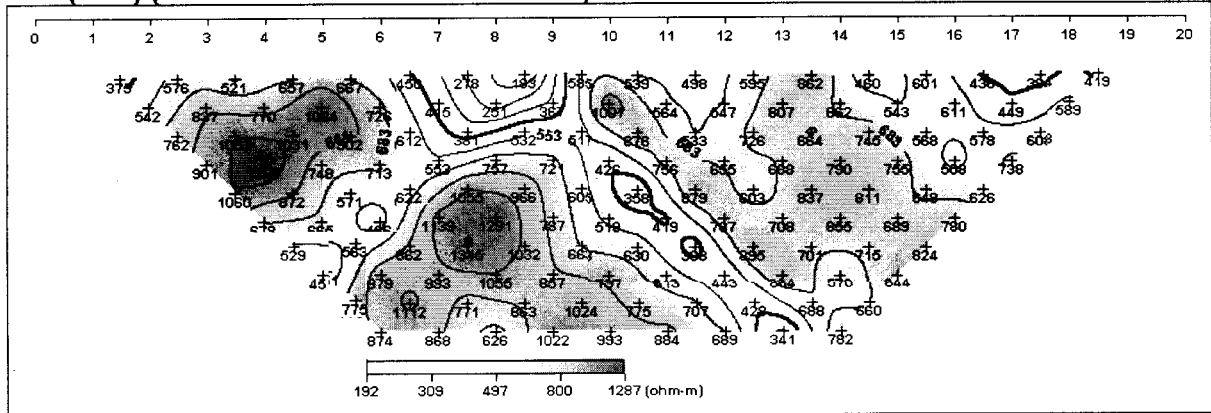


- <상> 현장 측정자료의 겹보기 비저항 가단면도
 - <중> 계산된 이론자료의 겹보기 비저항 가단면도
 - <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도
- <그림 3-20> 측선 E-14 쌍극자 탐사 결과도

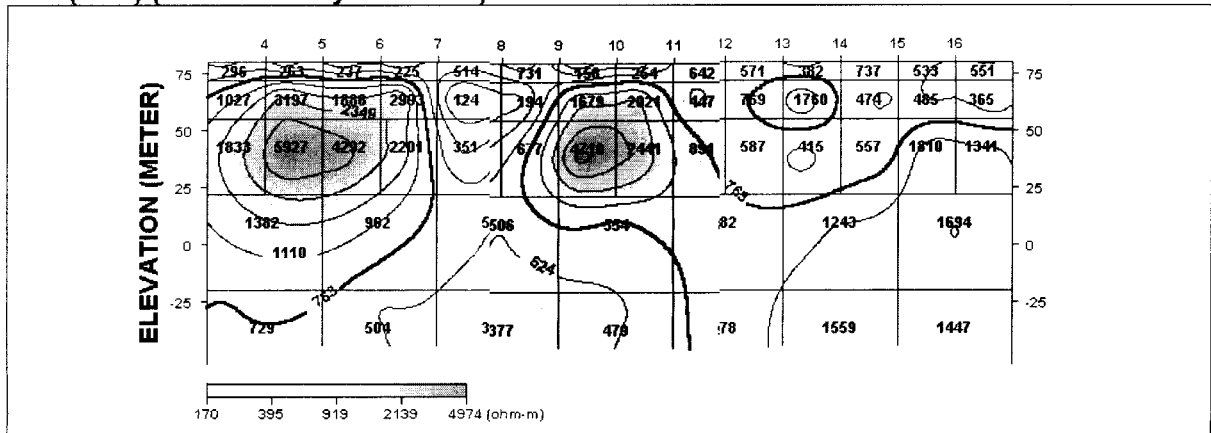
청도(E-15) (Field Data Pseudosection)



청도(E-15) (Theoretical Data Pseudosection)



청도(E-15) (2-D Resistivity Structure)



- <상> 현장 측정자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <중> 계산된 이론자료의 겹보기 비저항 가단면도
- <하> 현장 측정자료와 이론자료에 의한 모델링 단면도

<그림 3-21> 측선 E-15 쌍극자 탐사 결과도

3-3 양수시험

양수시험의 목적은 대수층의 특성을 파악하여 대수층에 저류되어 있는 지하수를 정량적으로 평가하는데 있다.

대수층의 특성은 크게 두 가지로 구분되는데 이는 저류능력과 전달능력이며 이를 수치화 한 개념이 수리상수인데 수리상수는 수리전도도(hydraulic conductivity), 투수량계수(transmissivity), 투수계수(permeability) 및 저류계수(storage coefficient)등이다.

한 개의 우물에 장시간에 걸친 계속적인 양수에도 불구하고 급격한 수위변화가 일어나지 않는 범위내에서 채수할 수 있는 최대양수량을 적정양수량이라 하며 이는 가채수량 또는 안전채수량과 동의어를 쓰이는데 적정양수량은 하나의 수계에 속하는 저류체에서의 공급과 배출을 고려한 전체적인 물수지에 의해서 수량을 계산하여야 하는 것이 원칙이다. 적정양수량의 산출은 영향권 내에는 다른 우물에서의 양수가 없다는 전제조건과 대수층이 무한히 뺏어 있다는 가정하에 산출되기 때문에 저류층의 규모가 의외로 적을때는 그 값이 정확하지 않는 경우가 있다. 본 조사시에는 착정개발 자료와 예비양수 시험을 통하여 결정하였다.

양수시험시 양수정과 관측정을 동일한 심도에 설치하고, 양수정에서의 지하수 배출로 인하여 발생하는 관측정에서의 수위변화를 측정하고, 이들로부터 수리상수를 계산한다.

양수시험 실시시간은 피압대수층의 경우 대체로 24시간이면 충분한 자료를 얻을 수 있으며, 자유면 대수층의 경우에는 충분한 양의 배수를 위하여 약 72시간 정도의 시험이 요구되는 경우도 있다.

양수시험시 측정하는 사항은 양수전의 자연수위, 양수 시작과 종료 시간, 양수량, 양수중의 일정시간별 수위, 양수량 변화시간 등이다. 양수시험시에는 양수정과 이로부터 수m 내지 수십m 떨어진 곳에 1개 이상의 관측정을 굴착하여야 하는데, 양수정에서 지하수를 일정 수량으로 양수하게 되면, 양수된 물의 양을 V-Notch, 유량계 등 유량측정장치로 점검하고, 양수와 함께 양수정 및 관측정에서 수위변화상태를 계속 측정 기록한다.

본 조사지구 내에서 모두 15공에 대해 기설관정에 대하여 양수시험을 하였으며 그래프 및 수리상수는 AQTESTSOLV 전산 프로그램을 사용하여 산출하였다 (표 3-3).

가. 수리상수

1) 투수계수(coefficient of permeability)

수리전도도(hydraulic conductivity)라고 하기도 하며 대수층의 단위 면적당 단위 입력구배에 의한 평균 침투속도의 관계를 밝혔다.

$$\frac{Q}{A} = K \cdot i$$

A : 단면적, Q : 유량, i : 동수구배

2) 투수량계수(coefficient of transmissibility)

대수층 전체의 투수성을 나타내는 것으로 투수계수가 K에 대수층 두께 b를 곱한 것이다.

$$T = K \cdot b$$

$$T = \frac{QW(u)}{4\pi\Delta s} : \text{Thies이론식}, T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s} : \text{Jacob근사식}$$

여기서 T는 투수량계수, Q는 양수량, S는 수위강하량, W(u)는 우물함수, Δs 는 양수시간 1 Log cycle 에서의 수위차이다

양수시험에서 구한 일정 양수량(Q)에 대한 관측정 시간별 수위강하(s)로 투수량계수(T)를 구하게 된다. 특히 관측정이 없을 경우는 양수정의 수위강하 자료를 이용하기도 한다.

3) 저류계수(coefficient of storage)

단위단면적의 Prism에서 배수되는 물의 체적과 배수로 인하여 비게 되는 대수층의 체적비를 말하며 비산출률 sy, 유효공극율 γ 와 거의 같다.

단위수두차를 가지는 대수층에서 단위체적을 통하여 대수층 내 유입 또는 유출되는 지하수량과 단위체적과의 비율로서 자유면대수층의 경우는 유효공극율과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 피압대수층의 저류계수는 자유면대수층의 그것보다 현저히 작지만(약 10^{-4} 내외) 커다란 압력을 받고 있기 때문에 많은 양

을 채수할 수 있다.

저류계수의 산출은 양수정으로부터 일정거리 만큼 떨어진 관측정의 수위강하자료로 얻어지는 것으로 다음과 같은 관계식으로 표시된다.

$$S = \frac{4Tt_0}{r^2} : \text{Thies이론식}, S = \frac{2.25Tt^2}{r^2} : \text{Jacob근사식}$$

여기서 T : 투수량계수, t : 양수시간, r : 양수정과 관측정사이의 거리
u : 정호계수, t₀ : 수위강하가 0인 지점을 만나는 시간 이다.

4) 적정양수량

우물의 적정양수량은 기술적용어로서 양수시 대수층의 성질 또는 양수기에 무리를 주지 않는 범위의 양수량이라고 정의 할 수 있다. 적정양수량은 영향권내에 있는 다른 우물에서 양수가 없고 대수층은 수평으로 무한히 펼쳐 있다는 가정하에서 산출되며 이것은 1일 가채수량의 개념과 같다.

암반대수층의 경우는 양수량을 변화시키면서 단계양수시험을 실시하여 각 단계의 수위강하량을 측정 한 후 양수량별 수위강하량을 양대수방안지에 작도하면, 초기에는 직선형으로 되나 양수량이 증가하면서 변곡점이 나타나는데, 이 시점부터는 양수량 증가와 수위강하량 사이의 균형이 깨져 수위강하가 급격히 증가하는 시점이므로 이를 한계양수량(Critical discharge)으로 정의한다 (Kunhiro, 응용지하수학). 일반적으로 적정양수량은 한계양수량을 초과하지 않는 범위에서 정한다.

나. 양수시험 결과

본 조사지역에서는 양수시험 결과를 전산 프로그램 (AQTESOLV)을 이용하여 분석한 자료(부록참조)를 이용하여 수리적 특성을 파악하였다.

대수성상수 분석시 투수량계수와 저류계수를 계산하였으나 저류계수는 대수성 시험자료가 양수정에서 측정한 자료에 국한되어 신뢰성이 적다고 평가하였다. (한정상, 1986)

조사지역의 대수층은 지하수면의 압력이 대기압과 차단된 피압대수층이고 지하수 부존형태는 암석내 발달한 1차 공극과 파쇄대, 절리 등의 2차 공극들의 조합에

의해 지하수 유로가 형성되어 있다.

<표 3-3 > 기설관정의 양수시험 결과표

관정 번호	위치	심도	양 수 시 험				
			자연수위 (m)	안정수위 (m)	양수량 (m ³ /d)	투수량계수 (m ² /d)	저류계수
ES06	이서면 흥선리	100	3.42 (+50 Cm)	20.8	421.05	12.04	0.0388
ES11	이서면 양월리	276	3.79 (+86 Cm)	43.9	480	5.009	0.29
ES15	이서면 신촌2리	100	5.54 (+39 Cm)	40.0	332	4.479	0.07253
ES31	이서면 각계리	102	0 m (-33 Cm)	33.7	400	2.989	1.197
GC10	금천면 동곡2리	140	2.75 (+63 Cm)	23.4	272.8	7.624	0.01161
HY07	화양읍 동천리	110	6.32 (+30 Cm)	41.0	218.18	1.736	0.1062
HY14	화양읍 동천리	120	7.3 (+37 Cm)	37.2	300	4.607	0.05516
HY15	화양읍 범곡1리	100	2.52(-30 Cm)	7.4	80	8.208	0.009269
HY31	화양읍 교촌리	107	7.43 (+50 Cm)	20.3	180.45	5.035	0.01061
HY32	화양읍 함천1리	100	2.27 (+64 Cm)	9.4	480	42.53	0.01916
GN09	각남면 녹명2리	150	1.7 (-90 Cm)	77.1	190.48	0.739	0.1048
GN13	각남면 옥산1리	112	11.7 (+50 Cm)	78.0	260.87	1.354	0.04701
GN16	각남면 옥산1리	130	17.1 (-43 Cm)	45.4	235.29	1.748	0.1542
MJ14	매전면 자전2리		19.16 (-10 Cm)	63.0	129.73	1.082	0.03501
MJ15	매전면 남양 2리	104	20.53 (+10 Cm)	80.1	266.67	1.565	0.03772

4. 시설관정 이용실태조사

4-1 시설관정 현황조사

본 조사지구의 지하수 이용실태조사는 건설교통부 두레박 자료와 청도군 지하수 이용현황 자료를 이용 현장조사를 실시하였다. 청도군 지역의 시설관정 이용실태 조사는 기 신고된 관정을 중심으로 이루어졌으며, 이외에 신고되지 않은 심도 20m 내외의 소형 층적관정에 대해서도 용도, 심도, 사용량, 자연수위, 현장간이수질 등 조사 가능한 범위 내에서 실태조사를 실시하여 조사자료로 활용하였다.

조사지구의 지하수 개발·이용시설은 총 1,109개소에 연간 이용량이 17,486천 m^3 /년이다. 이 가운데 신고시설은 774개소(69.8%)이고 330개소(29.8%)가 사용량이 경미하거나 이용이 미비한 기타시설로 이용되고 있다(표 4-1).

<표 4-1> 지하수 허가·신고현황

(단위: 공, m^3 /년)

지 구	총 계		신고시설		경미시설 및 기타	
	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
청 도	1,109	17,486,406	774	11,091,146	330	6,506,260

4-1-1 지하수 이용 및 시설현황

가. 지역별 지하수 이용현황

조사지구의 지하수 개발·이용시설은 총 1,109개소이며 이중 생활용수 397개소(35.8%), 농업용수 672개소(60.6%), 공업용수 22개소(2.09%) 순으로 농업용 개발관이 가장 많았다. 지하수 이용량에서는 생활용수 8,103천 m^3 /년(46.3%), 농업용수 7,658천 m^3 /년(43.8%), 공업용수 1,228천 m^3 /년(7.0%) 순으로 생활용수 이용량이 가장 많다. 행정구역별 지하수 개발·이용시설은 청도읍이 가장 많고 각남면이 가장

적다. 청도읍의 지하수 시설은 423개소(38.1%)이며 각남면의 경우 24개소(2.2%)가 개발·이용되고 있다. 행정구역별 지하수 이용량은 청도읍이 가장 높고 운문면이 가장 낮다. 청도읍의 연간 지하수 이용량은 5,545천m³/년으로 전체 이용량의 31.7%에 해당하며 운문면의 연간 지하수 이용량은 415천m³/년으로 전체 이용량의 2.4%에 해당한다(표 4-2).

<표 4-2> 행정구역별 지하수 이용현황

(단위: 공, m³/년)

행정구역	총 계		생활용		공업용		농업용		기타용		
	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	
청 도 군	계	1,109	17,486,406	397	8,102,740	22	1,227,640	672	7,657,571	18	498,455
	각남면	24	723,300	17	591,300	-	-	7	132,000	-	-
	각북면	42	729,430	33	619,970	-	-	8	108,000	1	1,460
	금천면	108	2,155,225	53	1,929,625	-	-	49	130,200	6	95,400
	매전면	81	417,690	75	339,085	1	365	5	78,240	-	-
	운문면	28	414,795	22	293,825	-	-	6	120,970	-	-
	이서면	130	2,516,995	58	1,291,735	-	-	71	1,220,880	1	4,380
	청도읍	423	5,545,281	78	1,234,795	12	485,450	330	3,813,721	3	11,315
	풍각면	77	1,602,355	27	725,255	6	693,500	44	183,600	-	-
	화양면	196	3,381,335	34	1,077,150	3	48,325	152	1,869,960	7	385,900

나. 용도별 지하수 이용현황

□ 생활용 지하수

<표 4-3> 생활용 지하수 이용현황

(단위: 공, m³/년)

총 계		가정용		일반용		학교용		민방위용	
개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
397	8,102,740	124	1,129,400	49	1,622,060	10	38,325	-	-
공동주택용		간이상수도용		상수도용		농업·생활겸용		기타	
개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
8	208,050	174	3,860,185	16	127,125	8	223,745	8	893,850

생활용수는 이용형태에 따라 상수도, 간이급수, 학교, 국방, 민방위급수와 목욕탕, 음식점, 일반 가정용 지하수 등으로 구분할 수 있다. 조사지구의 생활용 지하수 시설은 총 397개소이며 이용량은 8,103천m³/년이다. 조사지구의 상수도 보급율은 매우 낮아 미급수지역에서의 생활용수 공급은 대부분 소규모 천부 지하수를 개발 사용하고 있다. 가정용 및 간이상수도용 지하수 시설은 총 298개소(75.1%)이며 이용량은 4,990천m³/년(61.6%)이다(표 4-3).

□ 농업용 지하수

<표 4-4> 농업용 지하수 이용현황

(단위: 공, m³/년)

총 계		전작용		답작용		원예용 및 기타	
개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
672	7,657,571	250	3,124,105	422	4,533,466	-	-

조사지구의 농업용 지하수 시설은 총 672개소가 개발되어 전작용, 답작용, 원예 및 기타용으로 연간 7,658천m³이 농업용수로 이용되고 있다. 세부용도별 이용

은 전작용이 3,124천m³/년(40.8%), 답작용 4,533천m³/년(59.2%)으로 개발·이용되고 있다. 청도군 지역의 수리답율은 약 69%에 해당되며 농업용지 면적은 전체 토지 면적의 15.5%로 도내 타군에 비해 낮으나 경작에 필요한 농업용수 수량은 부족한 실정이다. 수리불안전답 및 천수답의 경우 대부분 농업용 관정을 개발해 경작에 필요한 수량을 공급받고 있는 실정이나 그 수량 또한 매우 부족한 상황이다 (표 4-4).

4-1-2 지하수 이용특성

가. 공당지하수 이용량

<표 4-5> 공당 지하수 이용량

지 구	개소수	년이용량 (m ³ /년)	일이용량 (m ³ /일)	공당년이용량 (m ³ /년/공)	공당일이용량 (m ³ /일/공)
청 도	1,109	17,486,406	47,908	15,767.7	43.2

조사지구의 지하수 개발·이용 시설수는 총 1,109개소로 17,486천m³/년이 이용되고 있으며 공당 지하수 이용량은 15,767.7m³/년이다(표 4-5).

나. 단위면적당 지하수 이용현황

조사지구의 단위면적당 지하수 이용량은 단위면적 즉 1km²당 24,102.6m³/년이 이용되고 있다.

<표 4-6> 단위면적당 지하수 이용량

지 구	이용량(m ³ /년)	면적(km ²)	단위면적당 이용량	
			(m ³ /년/km ²)	(m ³ /일/km ²)
청 도	17,486,406	725.5	24,102.6	66.0

조사지구의 토지지목상 전, 답, 과수원이 점유하는 단위면적 즉 1km²당 지하수 개발공수로 나누어 추정하면 청도읍 지역이 단위면적(Km²)당 2.88공이 개발되어 정호밀도가 가장 높게 나타나고 이서면이 2.35공, 금천면 2.31공 순이며 각남면이 가장 낮은 0.27공이 개발되어 이용되고 있다(표 4-6~7).

<표 4-7> 조사지구내 단위면적당 개발공수

지 구		개소수	면적 (km ²)	단위면적당 개발공수 (공/km ²)
청 도 군	계	1,109	696.49	1.59
	각남면	24	90.01	0.27
	각북면	42	43.18	0.97
	금천면	108	46.84	2.31
	매전면	81	61.46	1.32
	운문면	28	50.95	0.55
	이서면	130	55.33	2.35
	청도읍	423	146.86	2.88
	풍각면	77	71.91	1.07
	화양면	196	129.95	1.51

다. 양수능력별 지하수 이용현황

조사지구의 양수능력별 지하수 개발·이용현황은 30~100m³/일 미만의 정호가 723개소(66.3%)가 개발, 8,773천m³/년이 이용되고 있고 중, 대형 암반관정에 해당하는 100m³/일 이상의 정호는 211개소(19.3%)가 개발, 7,760천m³/년이 이용되고 있다. 또한 양수능력에 따른 용도별 개발·이용특성은 30m³/일 미만의 정호는 생활용 지하수로 개발·이용되고 있으며, 30m³/일 이상 100m³/일 이하의 양수능력을 가지는 정호는 지방상수도 및 간이상수도용 및 농업용수로 개발·이용되고 있다(표 4-8).

<표 4-8> 양수능력별 지하수 이용현황

구 분	총 계		0-30m ³ /일 미만		30이상 100이하		100초과 150이하		150m ³ /일 초과		미기재	
	개소수	이용량 (m ³ /년)	개소수	이용량 (m ³ /년)	개소수	이용량 (m ³ /년)	개소수	이용량 (m ³ /년)	개소수	이용량 (m ³ /년)	개소수	이용량 (m ³ /년)
계	1,091	16,987,951	156	442,665	723	8,773,181	101	2,177,975	110	5,582,130	1	12,000
생활용	397	8,102,740	100	198,850	128	1,964,740	81	1,688,125	88	4,251,025	-	-
공업용	22	1,227,640	1	365	2	16,650	-	-	19	1,210,625	-	-
농업용	672	7,657,571	55	243,450	593	6,791,791	20	489,850	3	120,480	1	12,000

4-2 시설관정 지하수위조사

대수층에 설치된 관정으로부터 지하수위를 조사하여 지하수위등고선도를 작성할 수 있다. 동일한 지하수위를 서로 연결한 선을 등수위선(equipotential line)이라고 하며, 등수위선을 서로 연결한 축고면을 지하수위 등고선도(potentiometric map) 또는 등수위선도라 한다. 또한 등수위선 혹은 지하수위등고선도에 직각되는 방향이면서 등수구배의 하향방향이 지하수유동방향이라고 할 수 있다.

대수층은 포화대의 최상단면에서 작용하는 압력이나 자유수면의 존재 여부에 따라 자유면대수층과 피압대수층으로 구분한다. 자유면대수층(충적대수층)의 지하수면(Water table)은 포화대의 최상단면으로서 비포화대의 공극을 통해 대기와 직접 접하고 있다. 따라서 지하수면에 작용하는 압력은 그 지역의 대기압과 동일하다. 그러므로 자유면대수층의 지하수면은 지하수위의 최상위에 위치한 물리적인 경계면으로써 계절에 따라 상하로 유동 가능하며 강수의 지하 함양이나 자연적인 지하수의 배출로 인해 주기적으로 변동한다. 따라서 지하수위의 변화는 자유면대수층 포화대의 두께 변화를 의미하며 이는 곧 지하수 저장량의 변화를 의미한다.

이와는 달리 포화대의 상하부가 불투수층으로 피복되어 있을 때는 대수층이 심한 압력을 받게 된다. 이러한 구속 대수층을 피압대수층이라 한다. 이러한 대수층에 개발된 관정의 지하수위가 변동하는 것은 피압대수층의 지하수 저장량의 변동이기보다는 피압대수층 최상단면에서의 압력변화를 의미한다.

지하수위의 관측은 대수층에 설치한 우물의 지하수위를 해발표고로 표시한 지하수위 등고선도를 작성함으로써 지하수의 흐름과 대수층내에서 지하수의 유동방향 그리고 개발 가능성, 개발 양수량을 파악하는 데 유용하다.

본 보고서에서는 충적층이 발달한 소유역별로 기 개발된 농업용/생활용 소형 충적관정 및 암반관정을 대상으로 지하수위 조사를 실시하였으며 지하수위 등고선도를 작성하여 이를 지하수의 흐름과 연계하여 해석하였다. 수위관측은 동일조건에서 일제조사를 통해 자료를 획득해야 하나 조사지역의 여건 및 제한된 인력과 시간에 따라 획득한 자료의 신뢰성이 다소 결여된다.

청도군 지역에서 실시한 지하수위 조사는 총 138개소로 평균 지하수위는 4.96m이다. 읍면별 평균 수위는 이서면(34개소) 4.44m, 화양읍(31개소) 3.84m, 각

남면(16개소) 6.51m, 운문면(10개소) 7.09m, 각북면(10개소) 6.15m, 풍각면(21개소) 2.6m, 금천면(14개소) 7.18m, 매전면(18개소) 6.58m, 청도읍(17개소) 4.22m로 조사되었다.

5. 수질 및 잠재오염원 조사

지하수자원을 평가할 때, 지하수의 화학조성의 연구는 지하수의 운동, 저유 및 함양의 연구와 함께 중요하다. 이는 음료수, 각종 생활용수, 농업, 공업용수에 적합한가의 가부를 판단하기 위해 필요불가결함과 동시에, 함양과 함양원, 물의 운동의 속도와 방향, 지하수의 유출, 그의 집적과 저유, 대수층의 성질등에 대한 중요한 정보를 제공해준다. 지하수의 수질은 지하수와 지층간의 장시간에 걸친 상호작용에 의해 형성되어진 것이다.

청도군지역 지하수에 대한 지화학적 특성을 알아보기 위하여 청도군 일대의 9개 읍·면에 분포하는 지하수를 2001년 8월 15개의 지하수 시료를 채취하였다(그림4-21, 표 4-8). 지하수 시료는 관개용 농업용수와 주민들의 생활용수를 대상으로 하여 주요 양·음이온 분석을 하였다.

5-1 주요이온 분석결과

5-1-1 측정 및 분석방법

지하수의 기원이 되는 강수의 용존물질의 양은 아주 미량이다. 특수한 경우에만 해 공업지대로부터의 희가스나 화산가스등에 기인한 물질이 용존되는 경우도 있지만, 지하수의 용존물질의 대부분은 지층을 통해 이동하는 동안의 암석이나 유기물과의 반응에 의해 형성되어진 것이다.

일반적으로 지하수와 같은 자연수는 양이온의 Na, K, Ca, Mg 그리고 음이온의 Cl, SO₄, HCO₃, CO₃의 8가지 성분이 그들 용존성분의 거의 대부분을 차지한다. 이들 8가지의 성분을 물의 주요성분이라고 하며, 이들의 조성비의 차이에 의하여 수질의 특성이 규정된다. 물 속에 함유된 주요 성분 이외의 미량성분들은 그 종류가 다양하나 함유량은 극히 빈약하다.

분석은 현장분석과 실내분석으로 이루어진다. 물 속에 용존되어 있는 기체 성분인 탄산가스(CO₂) 그리고 음이온 성분 중 변하기 쉬운 중탄산(HCO₃)과 탄산(CO₃)은 현장에서 습식으로 분석하였다. 나머지 성분은 실내에서 주로 원자흡광분

석기(Atomic Absorbance Spectroscopy, AAS)를 이용하여 실시되었다. 각 성분의 현장분석 및 실내분석용 물 시료의 채취는 각 시추공에서 30분 이상 양수한 후 안정되었다고 판단되었을 때 실시하였으며, 현장에서 공극크기가 0.45 μ m인 여과지로 여과한 후 채수하였으며, 아울러 농질산을 가해 시료 채취용기 벽면에 양이온이 흡착되는 것을 방지하였고, 음이온 분석 대상시료는 채수시 발생하는 기포를 제거하고 즉시 테이프로 밀봉하여 공기와의 접촉을 차단하였다. 채수한 시료는 아이스박스(4 $^{\circ}$ C 이하)를 이용하여 운반하였다.

5-1-2 지하수의 수질특성

지하수와 물 속에 용해되어 있는 주 양이온과 음이온 등의 주요 용해물질의 농도를 epm이나 equivalent per liter로 도식화해서 Stiff 다이어그램으로 표현할 수 있다. Stiff 다이어그램은 도표의 중앙선을 중심으로 왼쪽은 양이온 중에서 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 의 농도를, 오른쪽은 음이온 중에서 주 음이온인 Cl^- , HCO_3^- 및 SO_4^{2-} 의 농도를 일종의 모형으로 나타내어 작성한 것이다. 지하수조사에 있어서 각 시료채취지점의 수질분석 결과를 이러한 Stiff 다이어그램으로 도식화하면, 동일기원의 지하수는 같은 형태의 모양을 나타내기 때문에 수질의 특성을 파악하는데 유용하다. 그리고 Piper 다이어그램은 주요 양이온과 음이온 성분의 변화를 통하여 지하수의 유형분석과 진화 및 혼합작용을 분석하는 데 이용된다.

본 조사지구내 지하수의 전반적인 수질특성에 관한 자료는 표 5-1 및 그림 5-1에 나타내었으며 이 표의 분석치를 토대로 Piper 다이어그램과 Stiff 다이어그램에 투영시켜 지역별 수질변화를 파악하였다. 그림 5-2는 지하수중의 주요 양이온, 음이온들의 당량백분율을 이용하여 투영한 Piper 다이어그램이다.

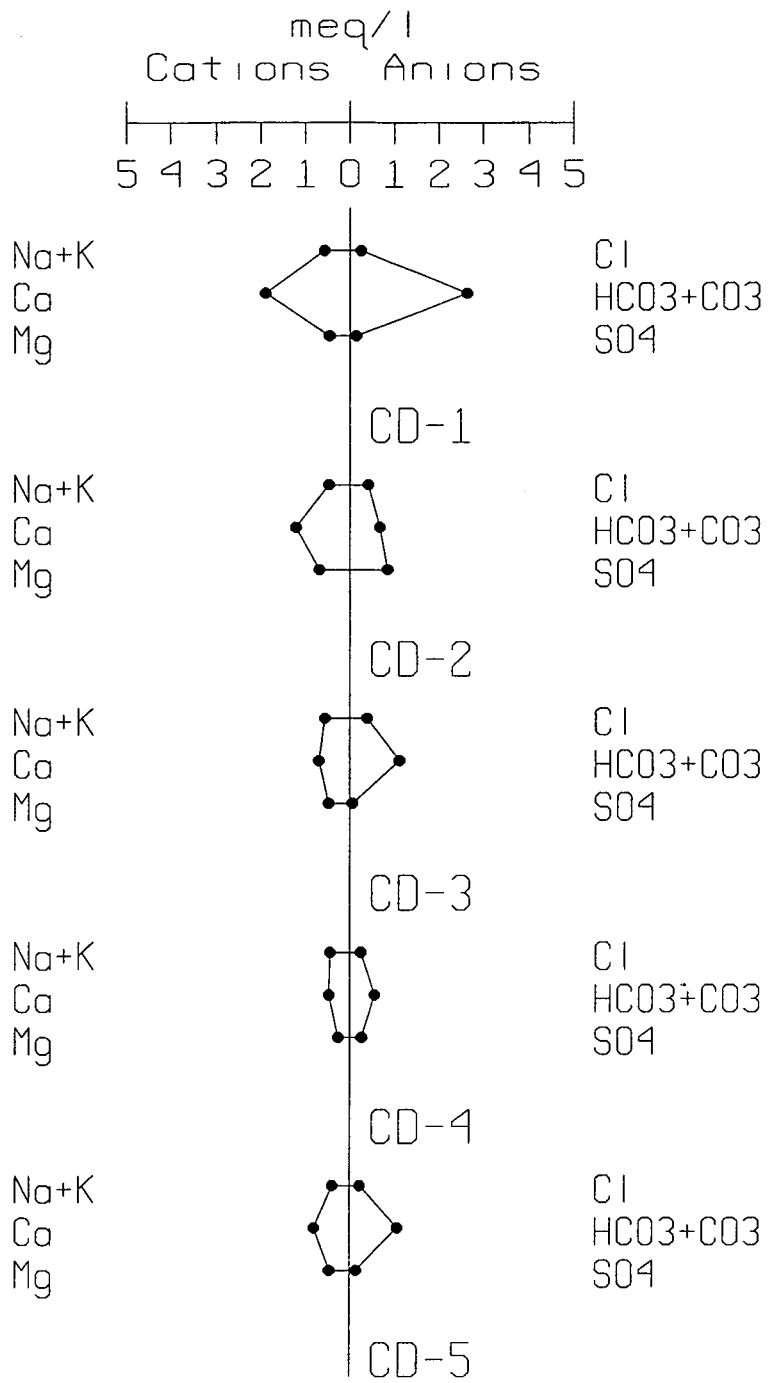
본 조사지구의 대수층을 추정해 보고 용존된 주요 이온의 조성을 알기 위하여 총 15개 지점의 기존의 기설관정에서 채수하여 농어촌연구원에 양이온과 음이온 분석을 의뢰 하였다. 시료 채수시 정확성을 기하기 위하여 압상 파이프에서 직접 물이 토출되는 물탱크 안에서 시료를 채수하였으며, 실내 분석까지 시료의 완전성을 보존하기 위하여 양이온은 500ml 플라스크 병안에 질산 0.01N 1ml를 첨가하여 운반했으며, 음이온은 진공시험관에 공기를 주사기로 뺀후에 시료를 운

반 하였다. 시료분석은 음이온은 ICS 기기로, 양이온은 AAS 기기를 사용하였고 중탄산 (HCO_3^-)이온은 시료 50ml 에 메틸오렌지 0.1ml를 넣은후 황산 0.02N의 총량으로 물속에 녹아 있는 탄산의 양을 적정법으로 환산하여 계산하였다.

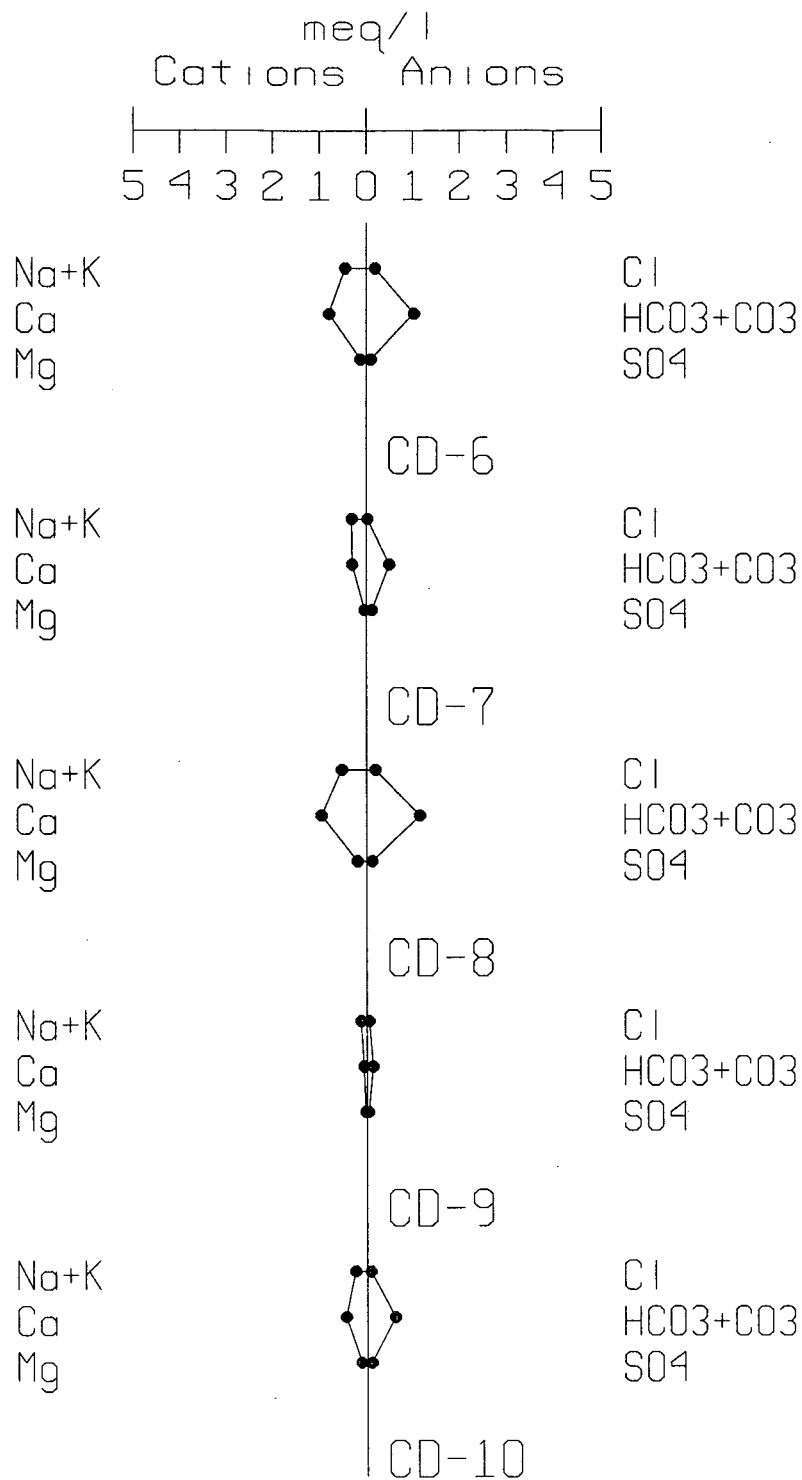
주요이온과 함께 측정된 NO_3^- 은 채취지점의 오염여부를 알수 있는 지표로 오염되지 않은 지하수의 농도는 보통 10 mg/l 미만이기 때문에 농도가 10 mg/l 를 초과하는 지점의 지하수는 지표의 오염물질에 의해 오염되었다고 볼 수 있다. 기준보다 높게 나타나는 지역은 대규모의 축사에서 배출되는 암모니아성 질소의 함량양이 높은 이유이다.

<표 5-1> 양·음이온 수질분석 결과표

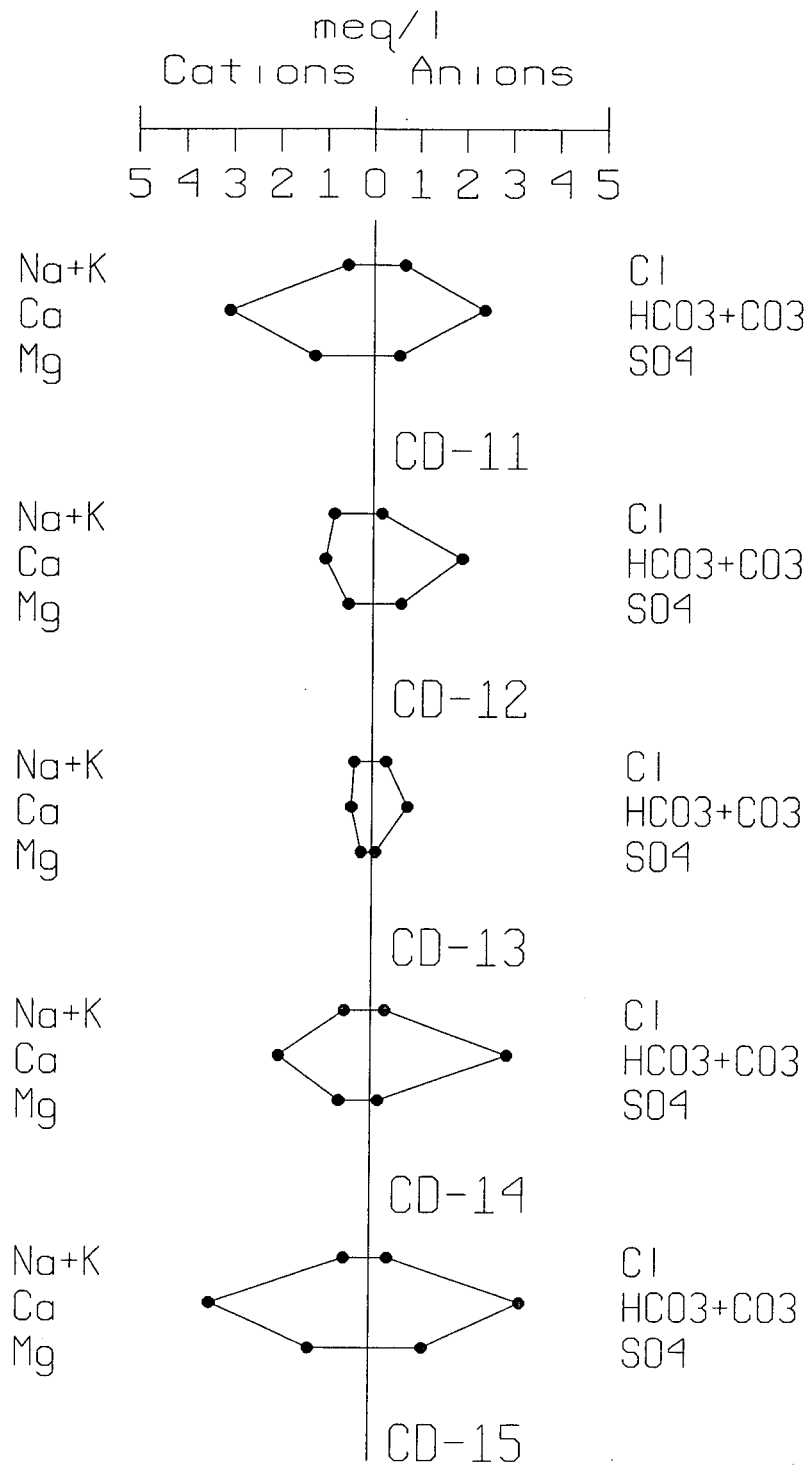
관정 번호	위치	주이온							
		Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
01-34	CD-1	12.40	1.29	5.55	38.00	161.0	9	0.9	7
01-35	CD-2	9.45	2.21	8.30	24.40	41.4	15	7.0	41
01-36	CD-3	12.30	0.98	5.78	13.90	68.3	14	4.8	3
01-37	CD-4	8.52	2.74	3.16	9.33	34.4	9	1.6	13
01-38	CD-5	8.58	0.73	5.54	16.10	65.6	8	3.1	7
01-39	CD-6	10.10	0.49	1.46	15.90	62.8	7	1.3	5
01-40	CD-7	6.87	0.51	0.47	6.12	30.5	1	0.4	6
01-41	CD-8	11.70	0.77	2.34	19.30	70.1	7	3.5	6
01-42	CD-9	2.77	0.07	0.31	1.20	8.5	2	0.6	2
01-43	CD-10	5.48	0.39	1.45	9.04	37.2	3	0.6	5
01-44	CD-11	12.50	0.89	15.30	61.70	145.7	24	17.6	27
01-45	CD-12	18.40	1.03	6.33	20.30	118.3	7	0.3	30
01-46	CD-13	8.57	0.36	2.77	8.87	47.5	11	2.0	4
01-47	CD-14	12.50	0.92	8.18	39.50	179.9	11	0.1	8
01-48	CD-15	12.20	0.84	15.70	68.20	198.8	14	0.3	56



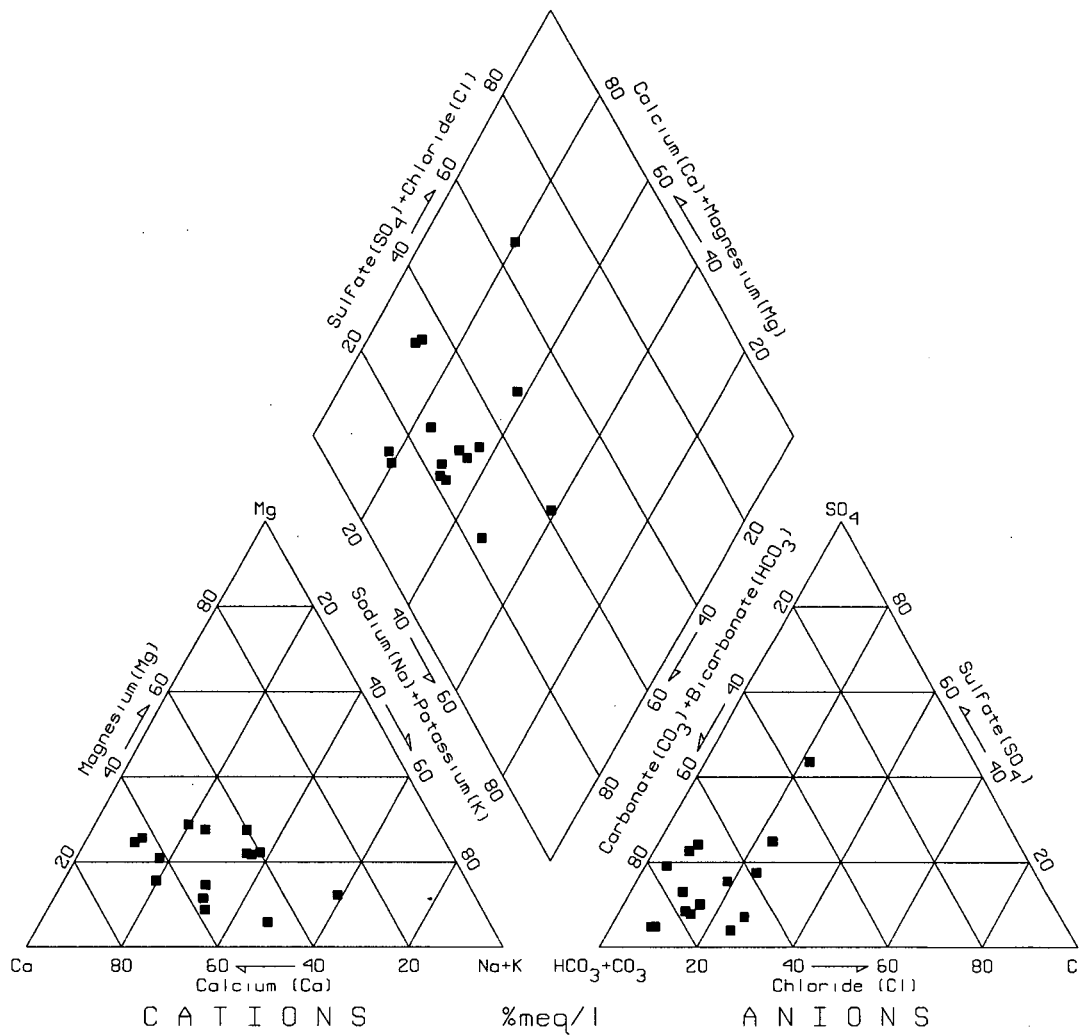
<그림 5-1> 청도 Stiff diagram



<그림 5-1> 청도 Stiff diagram(계속)



<그림 5-1> 청도 Stiff diagram(계속)



<그림 5-2> 조사지역 Piper diagram

5-2 먹는물 기준 수질검사 결과

본 조사지구의 먹는물 기준 수질검사를 통한 지하수 오염 실태를 파악하기 위하여 조사지구내 지역별 기설관정 15개소를 선택하여 농어촌연구원에 수질검사를 의뢰한 결과 표5-2와 같이 나타났다.

조사지구내 먹는물기준에 의해 분석한 총 15개소 중 2개소를 제외하고 먹는물로 사용하기에 적합한 것으로 나타났다. 검사항목중 먹는물 기준에 부적합 판정을 받은 항목들로는 CD-11관정에서 질산성질소($17.6\text{mg}/\ell$)이 기준치를 초과하였으며, CD-15에서는 심미적 영향물질에 관한 기준 항목중 색도(7도)가 기준치를 초과하였고, 철($0.3\text{mg}/\ell$)이 기준한계치와 일치함으로써 위험성을 나타내고 있다(표 5-2)

질산성질소는 주로 분뇨 또는 하수 등의 질소화합물을 함유하는 오염물에 의해 오염된 것으로 가정 및 농경지의 비료살포, 축산폐수 등이 오염원이다. 질산성질소 함량은 최소 $0.1\text{mg}/\ell$ 에서 최대 $17.6\text{mg}/\ell$ 이며 평균 $2.41\text{mg}/\ell$ 를 나타냈다. 증발잔류물은 $103^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 혹은 180°C 에서 물을 증발시킬 때 증발접시에 남아있는 잔류량을 증발잔류물이라 한다. 그러므로 물을 증발시킨 후 증발접시에 남아있는 잔류물은 부유물질과 콜로이드 상태의 물질 그리고 용존물질의 합으로 나타낸다. 청도지역 지하수에서 검출되는 증발잔류물의 범위는 최소 $31\text{mg}/\ell$ 에서 최대 $335\text{mg}/\ell$ 로 나타나며, 평균 $158.7\text{mg}/\ell$ 로 기준치($500\text{mg}/\ell$ 이하) 이하로 나타났다. 수소이온농도(pH) 범위는 최소 6.8에서 최대 8.0이며 평균 7.5로 중성에 해당한다.

먹는물 수질기준의 부적합율이 높고 지하수오염과 관련된 암모니아성질소는 CD-2 관정에서 미량 검출되었고, 철은 검출되지 않았거나 8개소에서 검출된 양은 기준치에 적합한 것으로 나타났다. 또한 망간은 검출되지 않았거나 7개소에서 검출된 양은 기준치에 적합한 것으로 나타났다.



<그림 5-3> 먹는물 기준 수질검사 지역

<표 5-2> 먹는물 기준 수질검사 결과

시 료 명		CD-1	CD-2	CD-3	CD-4	CD-5
시 험 항 목	먹는물 기준					
납(Pb)	0.05 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소(F)	1.5 mg/L	0.2	0.1	0.5	0.1	0.1
비소(As)	0.05 mg/L	0.005	불검출	불검출	0.002	0.006
세레늄(Se)	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	0.001	0.002
수은(Hg)	0.001 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
시안(CN)	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.05 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소(NH ₄ ⁻ N)	0.5 mg/L	불검출	0.03	불검출	불검출	불검출
질산성질소(NO ₃ ⁻ N)	10 mg/L	0.9	7.0	4.8	1.6	3.1
카드뮴(Cd)	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄(THMs)	0.1 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	0.02 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	0.06 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	0.25 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	0.04 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바닐	0.07 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1,1,1트리클로로에탄	0.1 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	0.02 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	0.7 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.3 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	300 mg/L	119	96	63	38	65
과망간산칼륨(KMnO ₄)소비량	10 mg/L	0.0	0.3	0.0	1.5	0.1
냄새	무 취	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무 미	적합	적합	적합	적합	적합
동(Cu)	1 mg/L	불검출	0.001	0.010	불검출	0.004
색도	5 도	1	0	1	4	2
세제(ABS)	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.8	7.0	6.8	6.9	7.3
아연(Zn)	1 mg/L	0.071	0.004	0.039	0.006	0.015
염소이온(Cl ⁻)	250 mg/L	9	15	14	9	8
중발잔류물(TS)	500 mg/L	208	184	170	101	141
철(Fe)	0.3 mg/L	불검출	불검출	0.02	0.05	불검출
망간(Mn)	0.3 mg/L	0.001	불검출	0.001	0.010	0.007
탁도	1 NTU	0.09	0.09	0.13	0.71	0.15
황산이온(SO ₄ ⁻²)	200 mg/L	7	41	3	13	7
알루미늄(Al)	0.2 mg/L	0.01	0.03	0.03	0.06	0.03
1,1디클로로에틸렌	0.03 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	0.002 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
전기전도도	- μs/cm	292	246	193	129	166

시 료 명		CD-6	CD-7	CD-8	CD-9	CD-10
시 험 항 목	먹는물 기준					
납(Pb)	0.05 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소(F)	1.5 mg/L	0.2	0.1	1.0	0.1	0.1
비소(As)	0.05 mg/L	0.004	0.005	0.004	0.003	0.004
셀레늄(Se)	0.01 mg/L	0.003	불검출	불검출	0.001	불검출
수은(Hg)	0.001 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	0.001
시안(CN)	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.05 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소(NH ₄ ⁻ N)	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
질산성 질소(NO ₃ ⁻ N)	10 mg/L	1.3	0.4	3.5	0.6	0.6
카드뮴(Cd)	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄(THMs)	0.1 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	0.02 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	0.06 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	0.25 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	0.04 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바닐	0.07 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1,1,1트리클로로에탄	0.1 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	0.02 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	0.7 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.3 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	300 mg/L	48	21	57	5	30
과망간산칼륨(KMnO ₄)소비량	10 mg/L	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7
냄새	무 취	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무 미	적합	적합	적합	적합	적합
동(Cu)	1 mg/L	0.001	0.009	0.001	불검출	불검출
색도	5 도	0	2	2	1	3
세제(ABS)	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도(pH)	5.8~8.5	7.6	7.5	7.4	7.5	7.9
아연(Zn)	1 mg/L	0.016	0.059	0.042	0.004	0.012
염소이온(Cl ⁻)	250 mg/L	7	1	7	2	3
증발잔류물(TS)	500 mg/L	106	70	146	31	69
철(Fe)	0.3 mg/L	불검출	0.03	0.03	0.01	0.02
망간(Mn)	0.3 mg/L	불검출	불검출	0.002	불검출	불검출
탁도	1 NTU	0.04	0.08	0.28	0.16	0.28
황산이온(SO ₄ ⁻²)	200 mg/L	5	6	6	2	5
알루미늄(Al)	0.2 mg/L	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03
1,1디클로로에틸렌	0.03 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	0.002 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
전기전도도	- μs/cm	143	74	175	33	89

시 료 명		CD-11	CD-12	CD-13	CD-14	CD-15
시 험 항 목	먹는물 기준					
납(Pb)	0.05 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소(F)	1.5 mg/L	0.1	1.9	0.1	0.1	0.1
비소(As)	0.05 mg/L	불검출	0.002	0.002	불검출	0.002
세레늄(Se)	0.01 mg/L	불검출	0.002	불검출	불검출	불검출
수은(Hg)	0.001 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
시안(CN)	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr ⁺⁶)	0.05 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소(NH ₄ -N)	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
질산성질소(NO ₃ -N)	10 mg/L	17.6	0.3	2.0	0.1	0.3
카드뮴(Cd)	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄(THMs)	0.1 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	0.02 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	0.06 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	0.25 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	0.04 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바닐	0.07 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1,1,1트리클로로에탄	0.1 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	0.02 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	0.01 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	0.7 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.3 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	300 mg/L	199	76	32	126	210
과망간산칼륨(KMnO ₄)소비량	10 mg/L	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0
냄새	무 취	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무 미	적합	적합	적합	적합	적합
동(Cu)	1 mg/L	불검출	0.002	0.001	0.014	0.008
색도	5 도	1	1	1	4	7
세제(ABS)	0.5 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도(pH)	5.8~8.5	8.0	8.0	7.6	7.6	7.5
아연(Zn)	1 mg/L	0.003	0.024	0.012	0.222	0.043
염소이온(Cl ⁻)	250 mg/L	24	7	11	11	14
증발잔류물(TS)	500 mg/L	331	188	99	201	335
철(Fe)	0.3 mg/L	불검출	불검출	불검출	0.25	0.30
망간(Mn)	0.3 mg/L	불검출	불검출	불검출	0.042	0.030
탁도	1 NTU	0.03	0.04	0.06	0.74	0.97
황산이온(SO ₄ ⁻²)	200 mg/L	27	30	4	8	56
알루미늄(Al)	0.2 mg/L	불검출	0.02	불검출	0.06	0.05
1,1디클로로에틸렌	0.03 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	0.002 mg/L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
전기전도도	- μs/cm	449	276	111	302	438

5-3 잠재오염원 조사

5-3-1 잠재오염원의 분류

인간의 활동에 의하여 수문환경으로 유입되는 모든 물질은 지하수를 오염시킬 수 있으며, 지하수계로 유입된 오염물질의 농도가 인간생활에 지장을 줄 정도로 위험한 상태에 이른 경우 지하수가 오염되었다고 할 수 있다. 지하수 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 점오염원은 점위치에서 오염물질이 배출되는 것을 말하며, 지하저장탱크, 유해폐기물 부지, 매립지, 지표저류시설, 폐관정 등이다. 비점오염원은 넓은 지역에서 오염원이 광범위하게 확산되는 것을 말하며 농약살포, 비료살포 등의 농업오염원과 산성강우 등이 있다.

지하수의 수질오염을 유발하는 오염원에는 크게 폐기물의 투기에 의한 오염원과 다른 인위적인 활동에 의한 오염원 등 두 종류가 있다(표 5-3).

<표 5-3> 오염원의 종류

폐기물 투기에 의한 오염원	기타 인위적인 오염원
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 매립지, 쓰레기더미 또는 지표의 웅덩이 ◦ 광산 폐기물 ◦ 산업폐수의 방류 ◦ 방사성 폐기물의 투기 ◦ 지표에 분산된 슬러지 ◦ 주입관정 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 폐공(지하수개발, 온천수개발등) ◦ 사고로 인한 오염물질의 누출 ◦ 농화학 약품의 살포 ◦ 인위적 지하수 충전 ◦ 도로의 재설용 화학물질 ◦ 유전탐사 ◦ 지하유류 저장탱크의 연결관 ◦ 염수침입 및 염도증가

지표의 오염원으로부터 오염물질이 유출되어 지하수면에 도달하면 오염물질은 지하수와 함께 서서히 지하수계를 이동하여 그 농도차와 지하수 유로경로에 따라

주변으로 확산된다. 이때 오염물질은 지하수와 혼합되면서 지하수 오염체를 형성하며, 이 오염체는 지하수 뿐 아니라 지하수의 유동경로에 접하게 되는 모든 지질 매체(토양이나 암반 대수층)를 오염시킨다.

잠재오염원의 또 다른 분류인 O.T.A 잠재오염원 분류를 소개하면 다음과 같다(표 5-4).

<표 5-4> O.T.A 잠재오염원 분류

구분	종 류	
1군	-오염물질의 삼투 및 배출을 목적으로 계획된 오염원	
	1. 지하삼투형(정하조, 오수조)	
	2. 주입정(유해폐기물, 염수처리공)	
	3. 지상살포(관개용수살포, 슬러지살포)	
2군	-오염물질의 저장, 취급, 처리시설	
	1. 육상매립지	8. 묘지
	2. 쓰레기 하치장	9. 동물사체 매모지
	3. 주거지에서 쓰레기 처분	10. 지상탱크
	4. 지표 저수조	11. 지하탱크
	5. 광산폐석	12. 컨테이너
	6. 폐기물 하치장	13. 소각장과 발파지
	7. 재료의 비축지	14. 방사능 폐기물 처리장
3군	-운송, 송유시설	
	1. 수송관로	
	2. 운송, 화물	
4군	-기타활동으로 배출 및 살포되는 오염원	
	1. 관개용수	5. 제설, 제빙제 살포
	2. 농약살포	6. 도시의 강수유출
	3. 비료살포	7. 대기오염 물질의 지하삼투
	4. 동물사육	8. 광산과 광상폐수
5군	-지하수 유로의 변경에 따른 오염원	
	1. 관정(지하수, 유류, 지열)	
	2. 기타목적의 관정	
	3. 공사용 굴착	
6군	-인간활동에 의해 자연적으로 발생하는 오염원	
	1. 지표수와 지하수의 상호작용	
	2. 자연적인 삼출현상	
	3. 양수에 의한 염수침입	

5-3-2 잠재오염원의 분포현황

조사지구내에서 지하수 및 토양을 오염시킬 가능성이 있는 대표적인 잠재오염원에 대해 미의회기술평가국의 방식에 의거하여 분류하였다.

<표 5-5> 잠재오염원 분류

잠재오염원		오염원현황	O T A분류군
분류	업종		
정화조	정화조	21.8kl/일	1군(지하삼투형)
지하저장탱크	주유소	9개소	2군 오염물질의 저장, 취급처리시설
폐수배출업소	제조업체(섬유)	3개소	
	병·의원	29개소	
	식품위생업	1,221개소	
	환경위생업	57개소	
농약 및 비료살포	농경지	11,173ha	4군(기타활동)
가축사육	한우	14,798	
	젖소	2,351	
	말	-	
	돼지	28,123	
	사슴	120	
	닭	165,298	
	개	3,651	
	오리	2,446	
	토끼	444	
		산양	3,296

청도군의 분뇨발생량은 34.2kl/일로 수거분뇨 발생량이 25.2kl/일이며 정화조 오니 발생량은 9.0kl/일이다. 분뇨처리장은 1개소 있으며 처리량은 40kl/일이다.

환경오염 물질 배출시설은 대기관련 57개소, 수질(폐수)관련 업소 50개소이다.

6. 지하수자원의 부존성 평가

6-1 물수지 분석

물수지는 물질의 보존법칙을 물에 적용한다. 일정지역에서 물의 유입·유출량을 파악하여 물 수요를 결정하는 것을 물수지분석이라 한다. 물수지 분석은 조사 지역 내로 유입 및 유출되는 물의 양과 그 지역 내에 저류된 모든 수자원의 변화 사이에는 항상 평형조건이 이루어진다는 가정에 기초를 둔 것으로 수문 평형방정식이라는 다음과 같은 공식으로 표시된다.

유입량(I) = 유출량(O) ± 저류량의 변화(ΔS)

$$I = O \pm \Delta S$$

상기 공식에서 각 요소는 다음과 같이 요약할 수 있다.

○ 유입량의 요소

지하수 유입 + 표면하수(지하수)유입 + 유입수

○ 유출량의 요소

지하수 유출 + 표면하수(지하수)유출 + 증발산량 + 소비된 물 + 유출량

○ 저류량 요소

지하수 저류량 변화 + 지하수 부존량 변화 + 토양수 변화 등이다.

이중에서 어떤 요소는 매우 쉽게, 그리고 정확하게 측정할 수 있지만, 또 다른 요소들은 측정이 불가능한 경우도 있다. 간단한 물수지 분석에는 아래와 같은 수문 방정식을 사용하여 간단한 조건으로부터 시작하는 것이 일반적이다.

$$P = O + ET$$

여기서 P : 강우량, O : 전유출량(지표수 유출+지하수 유출), ET : 증발산량으로 인한 손실이다.

지하수 유출은 년주기별로 변동이 없다고 가정하면 지하수 함양량과 동일한 값으로 인정할 수 있다. 즉 상기 식에서 강우량은 지표를 통한 유출량, 지하로 침투되는 함양량, 증발산량의 합으로 계산될 수 있으나, 이번 조사지역에서의 강수량 및 유출량, 함양량분석에서는 동일 방식의 계산이 어려우므로 지역 특성 및 일반화된 기준을 적용하여 산출한 수문방정식의 평형에 다소 불합리한 면이 나타난다.

6-1-1 강수량

본 조사지역의 강수량은 대구 기상관측소의 지난 20년(1980~1999년)간의 관측 자료를 이용하여 분석하였다. 청도지역의 년평균강수량은 1,044.97mm/년으로 나타났다.

조사지역의 강수량 분포를 분석하면 년도별 강수량이 가장 적었던 해는 1998년 617mm/년이고, 강수량이 가장 많았던 해는 1998년 1,396.6mm/년으로서 연간 최소 강수량의 약 2배를 보여 년도별 강수량의 변화가 매우 심하다. 월평균 최대 강수량은 지난 91년 7월 425mm/년이고, 월평균 최소강수량은 1984년과 1985년 1월 0mm/년을 기록하였다. 계절별, 월별 강우 특성은 여름철인 7월과 8월에 전체 평균강수량의 41.9%가 이 기간에 집중되며 장마나 태풍의 영향으로 6월과 9월의 평균강수량도 각각 13.2%, 12.8%를 차지한다(표2-14).

6-1-2 유출분석

일반적인 수자원 부존량 평가는 물수지에 의한 평가방법을 사용하고 있는데 이것은 총 유역면적에 내린 평균강수량의 통계적 배분방법으로서 강수량의 하천유출량과 손실량의 비는 55:45로 추정하고 있다.

가. 증발산량

강수에 의해 저류대로 유입되는 양의 상당부분은 수면으로부터의 증발(Evaporation)과 식물로부터의 발산(Transpiration)에 의해 다시 대기 중으로 환원되기 때문에 물의 순환과정에서 증발과 발산은 매우 중요하다. 증발산량은 토양의 함수량을 연속적으로 측정함으로써 계산할 수 있으나 매우 좁은 범위에 적용할 수 있을 뿐 광역적인 유역에 적용할 수 있는 계측방법이 확립되어 있지 않다. 또한 증발산은 기상학적 요인 이외에 식물의 종류, 식물의 밀도, 성장속도, 잎표면 크기 등 식물요소와 토양의 공극률, 수리전도도, 입자의 크기, 함수율 등 토양요인에 직접적으로 영향을 받으므로 증발산량의 추정방법은 매우 복잡하다. 따라서 물이 무한대로 공급되는 조건에서 수면증발 또는 식물이 발산할 수 있는 능력인 잠

재 증발산량을 사용하여 실제 증발산량을 계산하는데 본 조사지구에서는 기후인자(기온, 강우량)와의 관계에 의한 Thornthwaite 경험식을 이용하여 산출하였다.

최근 20년간(1980~1999) 청도지역의 평균 강우량은 1,044.97mm이며 평균 기온은 13.8℃이다.

Thornthwaite의 증발산량 산정방법은 다음과 같다.

$$E_p = cT_m^a \quad (1)$$

E_p : 잠재증발산량(Cm)

a, c : 지역, 위도에 따라 변화하는 계수

T_m : 월평균기온(℃)

상기 식(1)의 a 값은 년열지수(annual heat index : I)를 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$a = 67.5 \times 10^{-8} I^3 - 77.1 \times 10^{-6} I^2 + 0.01792 I + 0.49239 \quad (2)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left[\frac{T_m}{5} \right]^{1.514}$$

매일 12시간의 낮의 길이가 월 30일 이라 가정하면 식(2)는 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$E_p = 1.62b \left[\frac{10T_m}{I} \right]^a \quad (3)$$

여기서 b 는 위도에 따라 정해지는 조정계수로서 수원기상대의 위도에 따른 조정계수(b)는 표 6-1과 같다.

<표 6-1> 대구기상대의 위도에 따른 낮의 길이의 조정계수 (b)

좌표			월											
북위	동경	고도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
35° 53'	128° 37'	57.8	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84

식(3)은 포화상태에서의 값을 나타내는 잠재증발산량이므로 실제 유역에서는 토양이 물로 포화되어 있는 상태에서 증발산이 계속되면 토양중의 수분이 점차로 감소하게 되어 식물의 뿌리를 통한 증산뿐만 아니라 토양면으로부터의 증발도 둔화되어 실제 증발산율은 다음 호우로 인해 유역이 물로 포화될 때까지 점점 감소하게 되므로 실제 증발산량(E_A)은 잠재증발산량(E_p)보다 작게 되며 그 관계를 다음과 같이 제안하여 계산하였다.

$$E_A = S_s E_p \quad (4)$$

여기서 S_s 는 월 혹은 계절에 관계되는 일조율(Sun-Shine, S_s)을 나타내고 다음과 같은 간단한 방법에 의해서 구해진다.

$$\text{일조율}(S_s) = \frac{\text{월간누적일조시간}}{30\text{일} \times 12\text{시간}}$$

그 결과 실제증발산량은 451.1mm로 나타났으며 연평균강수량의 43.2%로 나타났다.

나. 손실량

Turc(1961)는 세계 각지의 254개 유역의 강수량, 기온의 자료를 분석하여 다음과 같은 경험공식을 제안하였다.

$$D = \frac{P}{[0.9 + (P/L)^2]^{0.5}}$$

여기서 E는 손실량(mm), P는 강수량(mm)이며, L은 기온 T(°C)의 함수로 $L=300+25T+0.05T^3$ 로 주어진다. 조사지역의 손실량 비는 표 6-2와 같다.

<표 6-2> 청도지역 손실량 산정 (Turc 방법)

구 분	연평균 강수량 (mm)	연평균 기 온 (°C)	손실량 (mm)	강 우 대 손실량비 (%)	비 고
청도군	1,044.97	13.8	739.45	72.75	대 구 기상관측소

다. 유출량

유출량 분석은 지하수 함양량을 추정하는데 주요한 요인이 되며 우리나라의 수자원 부족량 평가는 연간 물수지에 의한 평가방법을 사용하고 있다. 본 조사 지역의 유출을 분석하기 위해 크게 3가지 방법으로 분석해 보았다.

첫 번째는 우리나라 수자원 현황의 계통표에 의한 것이고 두 번째는 가지야마 공식에 의한 방법이고 세 번째는 기저 유출률에 의한 방법이다. 이중 기저 유출률에 의한 방법은 지역 수자원 총량에서 유출량을 제외한 양을 손실량으로 보고 손실량에서 증발산량을 뺀 나머지를 지하 침투량으로 추정하는 방법이다. 통상 유출량 관측소가 있는 곳은 직접 측정에 의해 분석이 가능하나 관측소가 없는 곳은 강수량 등 기상자료를 분석하여 추정치의 유출량을 산정해 내고 이것을 기준으로 손실량과 침투량을 추정해 낸다. 여기에서 주의해야 할 점은 강우와 유출의 관계에 있어서 단기유출과 장기유출 두 과정이 있는데 지하수 함양은 단기간의 강우보다는 장기적인 강우와 장기유출에 대응되므로 침투량 추정에 있어서 장기 유출 분석이 더 효과적이다.

1) 한국 수자원 현황도에 의한 유출량 분석

그림 6-1은 우리나라 수자원 현황을 총괄적으로 보여주는 도식표이다. 지하수는 수순환계에 의해 항상 평형상태가 유지되는데 저유량은 공급량에서 소비량

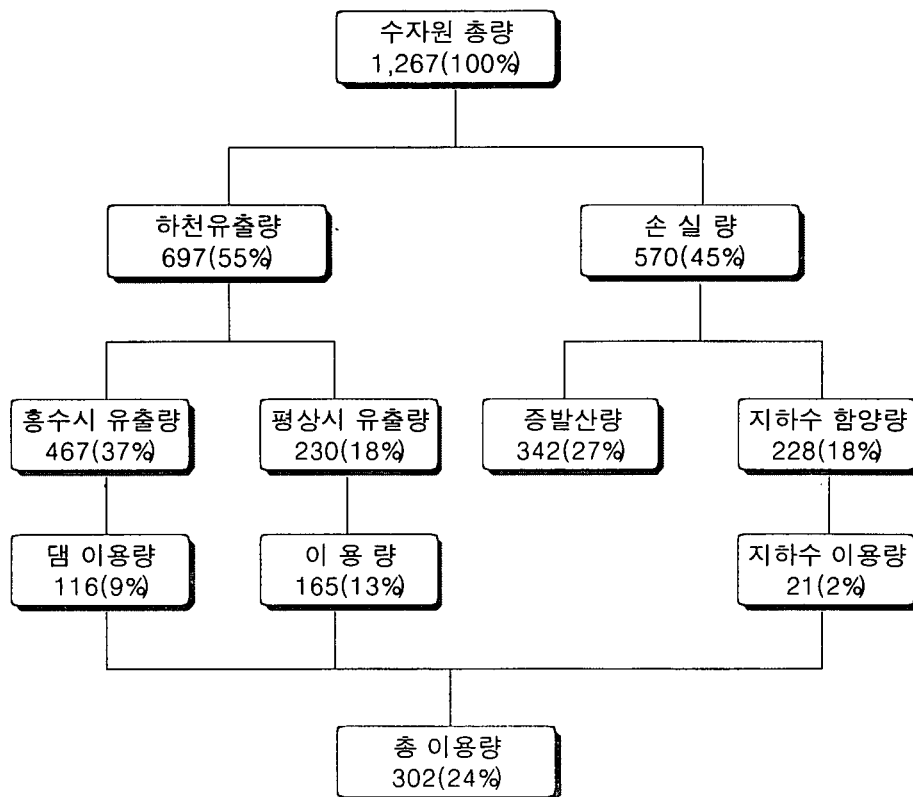
을 뺀 양중 증발산량을 뺀 양으로 표기가 된다. 이 평형식이 파괴가 되면 저유량에 변화가 생기고 이는 곧 자연 수위의 변화를 의미한다.

$$\text{저유량} = \text{공급량} - \text{소비량} - \text{증발산량}$$

공급량에서 공급은 주로 강수이며 공급과정에서 지질구조, 지형특성, 임상조건, 기온 및 일조량등에 의해 그 양이 많이 좌우된다.

그림 6-1의 계통표에 의해 우리나라 전체의 현황도와 조사지역의 현황도를 비교해 보면 그림 6-2와 같다.

(단위 : 억m³/년)



<그림 6-1> 한국 수자원 현황도 (1996년 현재, 건교부)

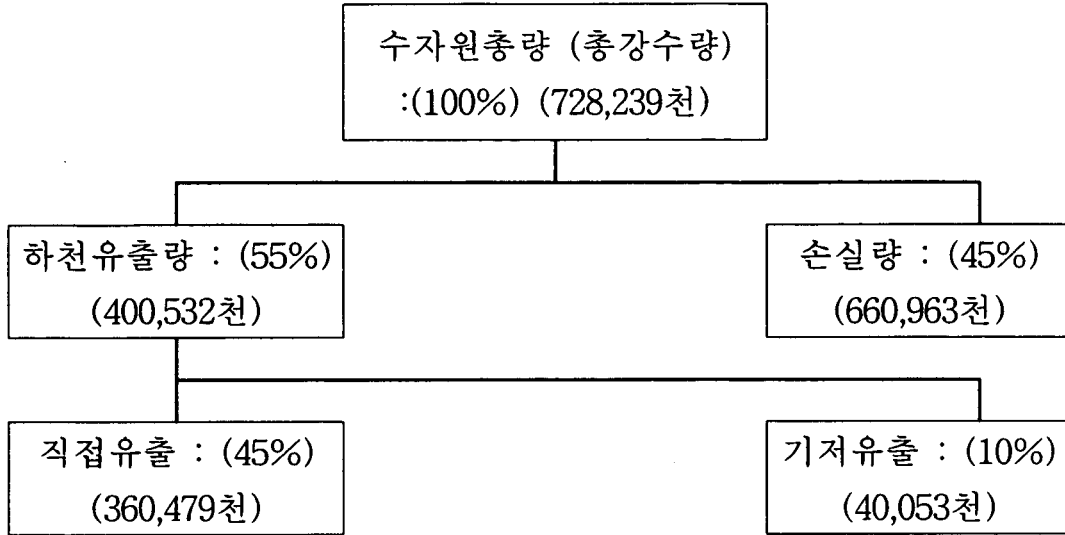
조사지역의 최근 20년간의 강수자료를 이용하여 지하수 이용량 및 지하수 함양량 등을 구해보면

- 연평균 강수량 (대구기상대, 1980~1999)

평균 : 1044.97mm/년 (최대:1,396.6mm/년, 최소:617mm/년)

- 집수유역면적 : 696.9km²

- 기저유출량 : 수자원 총량으로서 총 강수량을 수자원 총량으로 간주하면 조사지역의 계통표는 다음과 같다.



<그림 6-2> 계통표에 의한 조사지구 유출량

그러므로, 조사지역의 지하수 이용량은 지하수 총량의 2%인 14,419천m³/년이고 함양량은 18%인 131,082m³/년이며 유출량은 40,053천m³/년이다.

이에 지하수 및 지표수 총 이용량은 24%인 174,777천m³/년이다.

2) 가지야마 공식에 의한 월 유출별 분석

1916년~1927년(10년)동안 우리나라의 중·대하천의 24개 수문지점에서 관측한 자료 분석에 의한 경험식으로 공식은 다음과 같다.

$$Q = \sqrt{P^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E$$

여기서 Q = 월유출량(mm), P : 강수량(mm), f : 계수(0.6-1.4), E : 보정값이다. 유역특성에 따른 f값 적용기준은 아래와 같이 분류할 수 있다.

<표 6-3> 유역 특성별 f값

유역 특성	f 값
유역내 농경지, 임야가 많고 경사가 느리고, 년 평균 기온이 높고 거리는 길어서 유역내의 소비량이 가장 많아 유출량이 가장 적은 경우	1.4
위와 대략 같으나 유역내에서의 소비수량이 비교적 많아 유출량이 비교적 적은 경우	1.2
유출량이 보통인 경우	1.0
유역으로의 유출량이 비교적 많은 경우	0.8
유역이 황폐되고, 경사가 급하고 유로는 짧아 유출양이 가장 많은 경우	0.6

조사지역의 1980~1999년간 평균강수량을 이용하고 유역 상황은 <표 6-3>에 의해 f값(=1.0)을 적용시켰다. 결과는 표 6-3과 같이 1999년에 778.9mm로 가장 높은 유출량을 보이고, 1982년에 가장 높은 유출비율(60.3%)을 보이고 있다.

<표 6-4> Kajiyama 공식에 의한 유출량 산정

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합 계
1980	11.3	8.0	10.2	66.8	29.4	8.0	191.0	159.4	16.2	32.9	16.7	10.2	560.1
1981	9.8	12.2	10.8	22.0	14.5	45.6	42.3	209.5	146.2	18.0	12.1	10.5	553.4
1982	8.5	9.6	18.5	26.9	12.9	7.2	67.8	283.1	17.6	17.1	23.2	10.6	503.1
1983	9.2	10.5	28.8	44.0	13.6	41.2	167.5	34.7	133.2	22.5	10.2	10.2	525.7
1984	7.7	8.3	10.7	69.7	15.8	57.0	234.2	115.5	127.0	16.9	19.2	10.2	692.3
1985	7.7	10.3	26.7	34.4	37.2	57.9	100.2	231.1	171.0	55.1	14.7	10.7	757.1
1986	7.7	10.1	18.9	21.0	33.6	106.8	63.0	93.7	65.2	31.2	10.6	14.2	475.9
1987	16.4	16.2	18.8	23.3	21.2	40.2	174.7	220.8	17.0	20.6	19.0	10.2	598.6
1988	8.9	7.9	16.9	25.7	21.7	15.3	123.0	27.8	27.4	17.0	10.2	10.4	312.1
1989	46.9	35.6	40.9	20.8	17.2	22.1	202.2	72.5	119.7	17.1	22.6	12.9	630.5
1990	10.5	33.0	16.9	45.1	56.7	88.8	153.4	63.5	120.2	16.9	16.4	10.2	631.7
1991	10.1	16.4	30.0	46.6	11.8	22.8	312.0	180.7	86.7	17.1	10.8	20.2	765.3
1992	8.7	9.0	20.8	62.9	19.5	7.5	99.7	86.9	70.6	17.1	10.8	11.5	424.9
1993	13.5	16.2	19.5	17.4	48.1	88.7	117.6	204.5	38.1	19.3	18.0	10.8	611.5
1994	11.2	10.9	12.5	19.6	29.6	14.5	24.8	26.8	22.6	33.6	11.8	10.3	228.2
1995	10.8	9.3	16.1	34.6	20.8	13.5	54.9	161.8	18.8	18.7	10.3	10.2	379.9
1996	9.8	7.8	47.0	29.1	18.1	192.5	52.6	31.5	22.4	18.1	17.9	11.3	458.1
1997	8.1	8.8	12.3	25.9	33.5	77.4	212.4	129.4	17.8	17.1	63.2	15.6	621.4
1998	13.8	11.3	13.0	61.2	32.4	80.0	80.6	239.8	200.2	22.8	11.0	10.2	776.2
1999	8.3	11.1	34.3	31.4	56.2	48.3	57.4	191.4	294.6	24.7	11.2	10.2	778.9
평균	7.2	8.0	12.8	22.1	16.5	31.4	76.7	83.8	52.5	13.7	10.3	7.0	342.0

3) 기저유출율에 의한 유출량 산정

하천의 유출률은 강수량에 대한 유출총량의 비로써 다음과 같이 계산된다.

$$\text{유출율} = \frac{\text{월평균유출량}(\text{m}^3/\text{sec}) \times 86,400 \times \text{월의일수}}{\text{월평균강수량} \times \text{유역면적}}$$

하천 유출량의 감소는 지하수위가 강하되었음을 의미하게 되며, 본 유역에 있어서 하천유출량의 측정은 낙동강유역의 연평균기저유출율(강우함양계수)인 10.2%를 적용하였다 (건설교통부-한국수자원공사 지하수관리 기본계획서, 1996).

하천유출이 지하수위의 변동과 관련이 있으므로 하천유출량의 수문곡선으로부터 기저유출을 분리하면 지하수 저류로부터 배출되는 양, 즉 지하수 유동량으로 볼 수 있다. 기저유출율(강우함양계수)을 0.102로 하여 유량을 산출하면 다음과 같다. 여기서 연 강수량은 최근 20년간(1980~1999) 대구기상관측소의 연평균 강수량인 1,044.97mm/년으로 계산하였다.

$$\frac{0.102 \times 696,490,000 \times 1.045}{365 \times 86,400} \approx 2.354 \text{ m}^3/\text{sec} = 203,394.2 \text{ m}^3/\text{day}$$

그러므로 연평균 함양량은 74,239천m³/년으로 나타나고 이 수치는 지하수의 저유상태에 인공적인 변화를 가하지 않고 소모시켜 버릴 수 있는 수량으로 지하수의 저류를 소모시킨다던가 혹은 관계수의 재침투를 고려하면 개발량은 더욱 상회할 수 있을 것이다.

라. 물수지 방법에 의한 함양량 분석

함양율(Recharge rate)은 장기간의 침투량을 뜻하는 개념으로 mm/년, m³/년의 의미를 갖고 있으며 강우량과의 비교개념 즉, 자연함양율(Natural Recharge ratio)로 사용될 때는 강우량과 함양량의 백분율로 표시된다.

$$\alpha = \text{함양율}(\%)$$

$$\alpha = \frac{\sum F}{P} \times 100 \quad F = \text{침투량}(\text{mm})$$

$$P = \text{강우량}(\text{mm})$$

침투율과 함양율의 관계는 아주 밀접하기 때문에 혼용하여 사용하기도 하는데 백분율로 표시된 침투율은 어느 기간의 침투량 누계를 그 기간의 강우량에 대한 비율로 표시한 것이므로 이는 자연함양율과 같은 것이다.

기저유출율을 이용하여 구한 연평균 함양량은 74,239천m³으로 앞서 서술하였고, 본 장에서는 물수지 분석에 의한 지하수 함양량을 평가하였으며 이는 수자원

의 부존 한계성을 결정하는 중요한 도구로서 계획단계에서 수자원의 지역적인 부존량을 파악하고 대수층의 초기 및 경계조건을 설정하는데 필수적인 요건이다. 그러나 단점은 동적인 수문수리상태를 고려하지 못한다는 점이다.

수문학적인 물수지 방법은 일정 수역내의 강수량과 직접유출, 증발산량, 지하수 함양량간의 수문평형 유지에 의해 다음식으로 구해진다.

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

I = 지하수 함양량 P = 총 강수량

DR = 직접유출량 ER = 증발산량

IU = 타지역으로부터 지하수 유출입량

1980~1999년 사이 최근 20개년간 측정된 자료의 평균값인 1,045mm를 적용하여 총강수량(수자원총량)을 구해보면 그림 6-2에서 보는바와 같이 728,239천m³/년이다.

증발산량(ER)은 Thornthwaite의 증발산량 추정공식을 사용하여 얻어진 연평균 실제증발산량(ETR) 451.1mm/년을 적용시켜 조사지역의 증발산량(ER)을 구해보면

$$451.1\text{mm} \times 69649\text{km}^2 = 314.19 \times 10^6\text{m}^3\text{이다.}$$

이다. 따라서 상기 수문평형식을 적용하면(직접유출량은 총강수량의 45%)

$$I = 728,239\text{천m}^3/\text{년} - 360,479\text{천m}^3/\text{년} - 314,190\text{천m}^3/\text{년} = 53,570\text{천m}^3/\text{년} \text{으로 나타난다.}$$

마. 지하수 함양량

앞에서 언급한 청도 지역의 지하수 함양량 분석결과를 비교하면 강수량에 의한 지하수 함양량 산출 방법이 131,082천m³/년으로 최대 함양량을 보였으며 유출 분석에 의한 지하수 함양량이 74,239천m³/년, 물수지 방법에 의한 지하수 함양량이 53,570천m³/년로 나타났다. 이들 각각의 방법에 의해 산출된 청도 지역의 평균 지하수 함양량은 86,297천m³/년으로 나타났다 <표 6-5>.

<표 6-5> 청도군 지하수 함양량 분석 결과

지하수 함양량 분석 방법	지하수 함양량
강수량에 의한 지하수 함양량	131,082천m ³ /yr
유출분석에 의한 지하수 함양량	74,239천m ³ /yr
물수지 방법에 의한 지하수 함양량	53,570천m ³ /yr
평균 지하수 함양량	86,297천m ³ /yr

6-2 지하수부존량 및 개발가능량

6-2-1 지하수 부존량

지하수부존량이란 지하 지층 공극내에 저류된 물의 총 포장량과 연간 강우가 지하로 침투되어 순환하는 양의 개념인 지하수 함양량 등으로 정의되고 있으나 지하수 부존자원의 이용측면에서 볼때는 비산출률을 고려해야 한다. 토양 또는 암석(대수층)에서 중력에 의해 포화된 물을 배출할 때 분자력이나 표면장력에 의해 틈과 간극에 머무는 물이 모두 배출되지 않는다. 즉, 토양과 암체에 중력작용에 의해 배출되는 물과 간극이나 틈 등에 보유된 물이 있는데 이는 비보유량이고 간극률 n 에서 비보유율 S_r 을 뺀 $n - S_r$ 이 비산출률 S_y 가 되며 이는 입경, 모양, 간극의 분포 및 치밀도 등에 따라 좌우된다.

지하수부존량을 평가하는 방법은 크게 5가지로 구분되는데 저류계수를 이용한 방법, 암종별 유효공극율에 의한 방법, 수자원 계통표에 의한 방법, 기저유출률에 의한 방법, 물수지 분석에 의한 방법이 있다. 본 보고서는 지층 체적과 암종별 유효공극율에 의해 산정되는 방법을 취하였다.

위에서 언급한 바와 같이 지하수부존량은 지층이 체적에서 유효공극율 (effective porosity)을 곱하여 추정 가능하다.

부존량을 구함에 있어서 조사지역의 지질분포별 면적, 부존심도, 유효공극율을 먼저 결정해주어야 하는데 본 조사 지역의 지질에 따라 충적층, 변성암류, 퇴적암류, 화성암류, 화산암류로 구분하였다. 지하수 부존심도는 우리나라 지하수 부존 심도 평균은 화성암이 200m, 퇴적암이 800m, 변성암이 200m, 화산암이 400m 이나 조사지역의 기설관정의 평균 심도를 고려하여 충적층은 7.5m, 화강암은 200m, 퇴적암류는 150m, 화산암류도 150m를 부존심도로 결정하였다.

지하수 포장량은 지층 중에 포화되어 있는 물의 총량으로 지층의 총 체적에 공극율을 곱하여 구할 수 있으며, 산출가능 포장량은 공극안에서 유동할 수 있는 수량을 말하므로 지층의 체적에 유효공극율을 곱하여 추정할 수 있다.

<표 6-6>은 우리나라의 지질별 분포면적과 지하수 부존심도를 고려하여 지하수 포장량과 재순환가능량을 산출한 것이다. 우리나라의 지하수 부존량은 지하수 부존심도와 암질별 유효공극율에 의해서 달라지며 지하수 총포장량의 40%를 산

출가능 포장량으로, 산출가능 포장량의 20%를 가용포장량으로 추정하고 있다. 이것은 지하수를 취수하여 이용하는데는 기술적, 경제적 한계가 있을뿐 아니라 지하수가 재생가능한 순환자원이므로 순환가능한 범위내에서 이용량을 결정하는 것이 바람직하기 때문이다. 따라서 실제 개발가능량 분석시는 이러한 문제들을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

이를 기초로 청도지구의 부존량을 추정해보면 표 6-7에서 보는 바와 같이 부존량은 충적층에서 53.7백만톤, 화성암류에서 106.1백만톤 부존되어 있다.

<표 6-6> 한국의 지하수 부존량(농진공, 1991)

분포 지질별	분포 면적 (km ²)	지하수 부존심도 (m)	지하수포장량				가용 포장량 (재순환가능량)		
			총포장량		산출가능량		재순환율 (%)	지하수량 (억m ³)	
			공극율 (%)	지하수량 (억m ³)	유효 공극율 (%)	지하수량 (억m ³)			
합 계	98,490			13,240		5,450		1,170	
육 지 부	계			13,140		5,380		1,160	
	충적층	27,380	3	35	280	14.2	110	14.2X1	110
	화성암	31,820	200	1	630	0.5	318	0.5X1/5	60
	퇴적암	28,780	800	5	11,510	2.0	4,600	2.0X1/5	920
	변성암	36,070	200	1	720	0.5	360	0.5X1/5	70
제주도(화산암)	1,820	400	3.5	100	2.5	70	2.5X1/5	10	

청도군 지역의 지하수 부존량 산출은 현재 군내 시설관정중 대형암반관정 397개에 대한 평균 개발심도 94.5m를 부존심도로 적용하였으며 유효공극율은 표6-1에서 제시한 값을 이용하였다. 조사지역은 험준한 산계가 발달한 지역으로 임야가 전체 토지면적의 73.4%를 차지하며 기시행된 수맥조사 및 발기반 시추조사 결과 토사층 두께는 평균 10m였으며 평균 자연수위는 3m이다. 따라서 평균 자연수위를 제외한 7m를 충적층에서의 지하수 부존심도로 가정하였다.

<표 6-7> 청도지구 지하수 부존량 추정

지 질 별		분포면적 (km ²)	지하수 부존심도(m)	유효공극률 (%)	산출가능포장량 (백만톤)
계		696.49			159.8
총 적 층		135.1	7	14.2	53.7
암반	화성암류	561.4	94.5	0.5	106.1

6-2-2 지하수개발 가능량

1) 안정채수량(Safe Yield)

지하수 개발시 자연상태에 영향을 주게되어 어느정도 변화가 오게 되는데 환경에 심각한 영향을 주지 않는 범위내에서 지하수 개발 가능량을 적정 개발 가능량이라고 할 수 있다. 지하수문학에서는 적정개발 가능량을 소위 안정채수량(Safe Yield)이라 부르는데 이것은 지하수역(Groundwater basin)의 주어진 관리 조건하에서 지하수를 양수할 때 부정적 영향이 발생하지 않는 범위내에서 항구적으로 이용할 수 있는 채수량이라고 정의된다. 부정적 영향이라함은,

- ① 지역내 지하수 부존량의 점진적 감소
- ② 지하수의 수질저하
- ③ 지하수위 저하에 따른 비경제적 양수
- ④ 지하수위 저하에 의한 지반침하
- ⑤ 기존시설에 대한 우물간섭

등을 들수 있다. 이러한 나쁜영향이 발생되지 않게 하기 위하여 Todd(1980)는 지하수의 함양과 배출이 평형이 되도록 연간 함양량을 초과하지 않는 범위내로 연간 채수량을 제한하여야 한다고 하였다.

소유역단위의 지하수 함양량 추정에는 물 수지분석을 시행하여야 한다. 물 수지 분석에 대하여는 다음에 세부적으로 설명한다. 함양량 산정에 기저유출 분석방법을 사용하기도 하는데 이것은 장기간의 물 수지 평형으로 볼 때 유역의 기저유

출량(base flow)은 그 유역내의 지하수 함양량과 같다고 보기 때문이다. 그러나 이 방법은 장기간의 유출조사 자료가 있어야 분석이 가능하기 때문에 유출조사가 시행되지 않은 소유역에서는 사용할 수가 없다.

광역적인 지하수 함양은 강우에 의한 자연함양이 주 요인이 되며 이의 산정방법으로 물수지 분석방법과 기저유출 분석방법을 주로 사용하고 있다.

<표 6-8> 한국의 지하수 부존량(농진공, 1991)

연구자	개발가능량 (억톤/년)	연강수량에 대한 비율 (%)	추정방법	사용용어
선우중호 (1992)	100~150	7.9~11.8	Cheremissionoff(1998) 의 기준, 물수지 방법	적정개발 가능량
한정상(1995) 이천복(1994)	228	18	물수지 방법 (건설부 통계편람)	지하수 함양량
최병수(1992)	143	11.3	함양량의 70% 적용	경제적 지하수 이용 가능량
한국수자원공사 (1993)	136.3	10.6	지하수저장량의 변화량은 순환량에 해당된다는 물수지 법 적용	적정개발 가능량
건설교통부 (1994)	137.8	10.7	기저유출 분석 방법 (안정률 70% 적용)	적정개발 가능량
건설교통부 (1995)	132.7	10.3	기저유출 분석 방법 (안정률 70% 적용)	적정개발 가능량
이동률(1995)	64.8	7.8	지하수 감수곡선 이용 갈수기의 지하수 유출량 고려	지하수 함양량

위 표의 개발가능량을 보면 발표자에 따라 다소 차이가 있으며 연 강우량에 대하여 10~18%의 분포를 보이고 있다. 이것은 지하수 함양량에 기준을 두고 안전율을 어느 정도로 보고 안정채수량 즉, 적정개발 가능량을 추정하느냐의 차이로 볼 수 있다. 산출된 지하수 함양량 전량을 개발가능량으로 추정한 경우와 함양량의 70% 내외를 적정개발가능량으로 추정한 경우로 구분되는데 어느 편이 더 타당한지는 검증할 수 없으나 지역단위의 적정개발 가능량 분석에서는 그 지역의

특성과 지하수 관리계획을 감안하여 함양량의 70~100% 범위에서 결정하는 것이 타당하다고 할 수 있다.

2) 물수지 분석

물 수지(hydrologic budget or water balance)분석은 물질 보존법칙을 물에 적용한 것으로 대상 영역과 시간을 정하여 물의 평형을 다음식으로 유도하는 과정이라고 정의할 수 있다.

$$\text{유입량} = \text{유출량} \pm \text{저류량변화}$$

이 방법은 평형식 중의 어떤 요소를 다른 요소들의 량에 따라서 결정하는 것이므로 요소들이 많을 때는 매우 복잡하고 적용에 한계가 있다. 또한 적용기간에 따라서도 차이가 있어 기간이 길수록 평형은 간단히 되는데 예를 들면 연간 물수지는 일간 물수지보다 훨씬 간단하게 된다.

지하수의 물 수지분석에 있어서는 지하수의 유동특성상 최소한의 대상기간을 1년이상을 하여야 하며, 대상 영역이 지하에 있어 유입량과 유출량 및 저류량 등을 실측할 수 없으므로 간접적인 방법에 의하여 추정하여 적용하여야 한다.

지하수의 물 수지와 관련된 유입량에는 강우에 의한 자연함양과 지표수 함양, 그리고 인공함양으로 구분할 수 있다. 자연함양에 대하여는 앞절에서 상세히 설명하였으며, 지표수의 함양은 지역안의 저류지 또는 지역 밖으로부터 지역내로 흘러온 하천의 바닥에서 침투하여 지하수로 함양되는 것이며, 인공함양은 지표수를 인위적으로 지하에 침투시키는 것으로서 인공함양을 목적으로 하지않은 관개용수순환 또는 상수도 누수에 의한 지하수 함양도 인공함양의 일종으로 구분할 수 있다. 유출량에는 지하수 유출, 지하수 취수이용, 증발산량, 대수층으로부터 지표 또는 구역밖 대수층으로 누출되는 손실량이 포함된다. 이러한 요소들을 포함하는 지하수 물 수지 공식을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$Q_i + Q_l + Q_{ur} + R_p + Q_{rs} + Q_{rg} = Q_o + Q_p + L_o \pm \Delta V \quad - \text{①}$$

여기서, Q_i : 지하수 유입량(groundwater inflow)

Q_l : 수로손실에 의한 함양량(conveyance loss)

Q_{ur} : 기타 함양량(unaccounted recharge)

R_p : 강우에 의한 함양량(recharge due to precipitation)

Q_{rs} : 지표수 관개용수의 순환 함양량(return flow from surface water)

Q_{rg} : 지하수 관개용수의 순환 함양량(return flow from groundwater)

Q_o : 지하수 유출량(groundwater outflow)

Q_p : 지하수 양수 이용량(groundwater pumping)

L_o : 증발산손실 또는 기타손실에 의한 유출(loss by evapotranspiration or unknown source)

ΔV : 지하수 저류변화량(groundwater storage change)

지하수 유입량과 유출량의 산출은 유입 또는 유출부의 대수층 두께, 폭, 수리 전도도, 동수경사 값의 적산으로 구해지며, 손실 함양량은 관개용수로 또는 송수관로에서 누수되는 양을 추정한다. 관개용수의 경우 개거수로에서 15% 정도의 손실을 추정할 수 있으며 급수량중 일부는 토양에 침투하여 지하수로 순환(return flow)하므로 이를 함양량으로 간주할 수 있으나 논 관개에서는 실제 논의 삼투량을 계산하여야 할 것이다.

양수 이용량은 각 우물별 1일 양수량에 연간 양수일수를 곱하여 연간 양수량을 산정한다. 지하수의 증발산량은 자유면지하수에서 수위가 지면에 가까이 있을 때 고려하여야 할 사항이나 지하수위가 1.5m 이상인 지역에서는 큰 영향을 미치지 않는다. 기타손실에 의한 유출에는 샘과 같은 지하수 노두의 누출, 구역 인근의 대수층 접촉부 누출 등을 들수 있으며 지역 여건에 따라서 물 수지에 감안하여야 할 것이다. 저류량 변화는 구역내 평균 지하수위 변화량과 구역면적 및 대수층 유효공극율을 곱하여 산정할 수 있다. 각 량의 단위는 $[L^3/T]$ 로서 연간기준으로 하면 $m^3/년$ 이 될 것이다.

안정채수량은 다음과 같은 조건하에서 추정할 수 있다.

- ① 기간중 모든 지하수 함양량은 기간중에 재이용 할 수 있다.
- ② 기간중 지하수 저류 변동량의 합은 영이 된다. ($\Delta V = 0$)
- ③ 안전채수량을 기준으로 지하수를 개발 이용하면 구역 밖으로 지하수 유출이 발생하지 않는다. ($Q_o = 0$)

④ 지하수 양수 이용이 효율적으로 분포되어 지하수위강하가 고르게 되며 증발산의 영향 및 기타 손실이 없는 지하수면을 유지한다.($L_0 = 0$)

이와 같은 조건에서는 안전채수량 SY는 다음식으로 주어진다.

$$SY = Q_p = Q_i + Q_l + Q_{ur} + Q_{rs} + Q_{rg} + R_p \quad - \text{②}$$

여기서 각 항의 내용은 식①에서와 같다.

<표 6-9> 지하수함양량 평가에 의한 지하수개발 가능량

평가 방법	단 위	함 양 량	이용 가능량	비 고
수자원계통표 기저유출10%	$\times 10^6 \text{m}^3/\text{년}$	40.053	40.053	기저유출량 = 함양량 = 이용가능량
	m ³ /일	109,734	109,734	
기저유출 (하천유출) 11.5%	$\times 10^6 \text{m}^3/\text{년}$	46.061	46.061	
	m ³ /일	126,195	126,195	
낙동강수계 유출률 10.2%	$\times 10^6 \text{m}^3/\text{년}$	40.853	40.853	
	m ³ /일	111,929	111,929	

본 조사에서는 지하수 적정개발가능량을 현실적으로 경제적인 지하수 이용가능량을 감안하고 전술한 3가지 방법의 평균 지하수함양량의 안정채수율(70%)을 고려하여 산정하였다. 지하수조사연보(건설교통부, 1999)에 의하면 1998년 현재 청도지역의 지하수 관정 수는 1,109개소로 이용량은 17,486,406m³/년에 이른다. 따라서 조사지역에서의 추정 지하수 개발 가능량은 42,922천m³/년이며, 지하수 이용량은 개발가능량의 28.9%로 나타났다(표 6-10).

<표 6-10>청도군 지하수 적정 개발 가능량

구 분	지하수 함양량 (천m ³ /년)	지하수 적정 개발 가능량 (천m ³ /년)	지하수 이용량 (천m ³ /년)	향후개발 가 능 량 (천m ³ /년)	이용량/개발가능량 (%)
청도	86,297	60,408	17,486	42,922	28.9

6-2-3 지하수개발 예정 위치 선정

지하수개발은 크게 2가지로 구분할 수 있는데 이는 심도에 따라 소형관정과 대형관정으로 대두된다. 소형관정은 상부천층의 충적층, 풍화대에 저장된 물을 채수하는 것으로 평균심도 10~20M이며 평균 수온은 10℃로 단기간 이용에 적합하나 장기간 이용시는 수질 오염으로 활용이 불가하고 그 용수량에도 문제가 있어 한시적이어서 1980년대 이후 거의 개발이 되지 않고 있다.

대형관정은 채수심도 100M 내외의 일반 암반관정과 200M 이상의 심층암반관정으로 구분된다. 일반 암반관정은 1980년대부터 시작하여 지금까지 개발되어 오고 있고 관개용수 및 농어촌용수로 주로 사용되며 평균 수온 12~15℃정도이다. 100M 내외의 지하수개발은 장기간 이용시 오염원(농약, 화학비료, 분뇨 등)의 확산에 영향을 받을 수 있어서 주의해야하며 200M 이상의 심층관정은 1990년대 이후 활발히 추진되어 오고 있으며 수질이 양호(청정용수)하고 수온이 일정하여 생활용수 및 시설농업의 냉난방, 환경제어용수 등 다목적 용수로 활용 가능하다. 또, 30℃ 이상의 고열수는 온천수 및 광천수로 활용이 가능하다.

<표 6-11> 지하수개발 유형

구분	단위	소형관정	일반 암반 관정		심층 관정		
			관개용수	농어촌용수	200M	200~500M	500~1,000M
심도	M	10~20	100	200	200내외	200~	500~1,000
평균수온	℃	10이하	12	15	15	21	26
평균채수량	m ³ /D	50	150~200	150	300	600	800
수질							
-단기이용		△	○	○	○	○	○
-장기이용		×	△	○	○	○	○
이용분야		한해대비 항구시설 시까지사 용	농·밭 용수	다목적 농업·생활 용수 겸용	다목적 청정용수 (생활,농업) 세척용수	다목적 청정용수, 세척용수, 환경제어 용수	다목적 청정용수, 세척용수, 난방용수, 고온성 양식 온천 및 광천수

※ × : 오염, △ : 오염가능성, ○ : 양호한 수질

암반관정개발을 하기위한 위치선정은 지하암반층의 1차 공극에 형성된 암반 대수층내에 파쇄대의 부존여부에 있으며 이 파쇄대 발달은 지각운동, 화성암의 관입 등으로 암반의 파괴에 의해 발달하게 되어 암반 중 2차 공극을 형성한다.

암반관정 개발 위치 선정을 위해 미리 기본조사, 기초조사, 지하수 영향 조사가 필요하며 기본조사는 지구답사 및 지표지질조사 지질선구조 추출, 지하수조사, 개발계획수립을 포함하며 기초조사는 물리탐사, 시추조사를 실시하고 대수성시험을 통해 지하수 영향조사를 실시하여 지하수영향조사 보고서 심의 후 지하수개발허가를 받아 개발을 실시하게 된다(표 6-12 참조).

본 조사 지구의 지하수부존 및 개발여건은 양호한 편이지만 본 조사는 지하수 개발을 위한 정밀조사가 아닌 광역적인 조사이므로 위치에 관한 구체적인 언급을 할 수 없으며 개발을 위한 위치 선정을 위해 지하수 영향조사 및 기초조사를 실시해야 할 것으로 사료된다.

<표 6-12> 지하수개발 위치선정을 위한 흐름도

구 분	과 정 별	내 용	비 고
기본조사 ↓	1. 지구답사 및 지표지질구조 2. 지질선구조추출 3. 지하수조사·개발계획수립	· 사업예정지구 내 분포지질, 지질구조 발달상태 및 지하수 부존현황 조사 · 위성 영상자료를 이용하여 지질구조대추출 · 상기 조사를 토대로 지하수 기초조사·개발계획 수립	
기초조사 ↓	1. 물리탐사 2. 시추조사	· 기본조사를 토대로 V.L.F탐사, 수직탐사, 쌍극자탐사 등을 실시하여 시추조사 위치선정 · 지표지질조사, 물리탐사 결과 등에 의거 선정된 위치에 구경 $\phi 14'' \sim \phi 16''$ 으로 계획된 시추심도까지 조사	· 개발공의 2배수 계획
지하수영향조사 ↓	1. 대수성시험 등	· 시추조사 완료후 수질, 적정채수량, 주변공과의 상호간섭, 제 오염상태 파악 등 지하수에 미칠수 있는 인자에 따른 영향조사	· 지하수영향조사기관(지하수법 제7조2항)
지하수개발허가 ↓	2. 지하수영향조사 보고서 심사	· 지하수 영향조사의 항목·조사방법 및 평가기준에 적합한지 여부 심사	· 시·도지사
개발	1. 확공 2. 우물자재설치 3. 양수시험	· 지하수영향조사 심의결과 지하수개발이 허가된 시추공을 확공($\phi 6'' \Rightarrow \phi 10''$) · 확공개발 완료공의 우물자재설치($\phi 8''$ PE 또는 PVC) · 완료된 우물에 대한 채수량 시험	

7. 지하수자원 개발계획

7-1 용도별 소요수량 및 공급방안

7-1-1 생활용수 소요수량 및 공급방안

급수방식에 따라 상수도시설에 의한 급수대상지역과 미급수지역인 간이급수대상지역으로 대별할 수 있으며, 이중 급수대상지역에서는 상수도에서 공급되는 양을 비교적 정확하게 계측할 수 있으나 미급수지역인 경우에는 이를 정확히 산출할 수가 없다. 국내의 상수도의 이용현황은 1996년에 전국 총인구 $46,426 \times 10^3$ 명 중 급수인구 $38,823 \times 10^3$ 명에게 급수하여 급수보급율 83.6%, 시설용량 $22,908 \times 10^3 \text{m}^3/\text{일}$, 급수량 $15,879 \times 10^3 \text{m}^3/\text{일}$, 1인1일 평균급수량 409 l pcd, 급수도시 649개소로 괄목할 만한 성장을 보이고 있다.

<표 7-1> 청도지구 상수도 보급 현황

구 분	급수도시내 총인구(명)	급수인구 (명)	보 급 율 (%)	시설용량 ($\text{m}^3/\text{일}$)	급 수 량 ($\text{m}^3/\text{일}$)	1일1인당 급수량(ℓ)	급 수 전 수
계	55,650	15,897	28.6	9,980	5,060	295	3,627
청도읍	16,925	9,300	54.9	6,000	3,000	328	1,754
화양읍	8,154	3,411	41.8	1,800	1,000	319	908
각남면	3,208						
풍각면	5,771	1,606	27.8	600	460	236	328
각북면	2,581						
이서면	5,456						
운문면	2,915						
금천면	4,965	1,100	22.2	1,100	400	124	418
매전면	5,675	480	8.5	480	200	60	165

본 지구는 농촌지역으로 1999년 현재 55,650 명이며 지난 10년 동안 인구변동은 거의 없었다. 상수도 보급율은 28.6%로 전국 평균의 1/2 수준에 불과하며, 청도군내 상수도 보급이 가장 좋은 곳은 청도읍으로 1인당 급수량이 328ℓ로 3,000㎡/일을 사용하며 보급율 54.9%에 달하고 그 다음은 화양읍으로 42.8%의 보급율을 보인다. 9개 읍·면중 4개 면(각남면, 각북면, 이서면, 운문면)이 상수도 보급이 안되고 있으며 나머지 면들도 부족한 실정(보급율31.04%)이다.

현재 상수원의 보급 형태는 암반관정을 이용한 간이상수도 시설과 마을 공동으로 계곡 하천수를 이용한 지표수 개발과 자가 소형관정을 생활용수로 이용한 방법이 대부분이므로, 향후 안정적인 생활용수 공급이 필요한 실정이다.

지하수 활용계획은 수원지와의 경제적 거리, 급수인구, 전력 소모율 등을 고려하여 상수도 보급이 전혀 안된 지역 및 보급이 저조한 지역, 사용 인구는 많으나 용수가 부족한 지역을 중심으로 우선 개발해야 할 것이다. 그러나, 지하수의 오염우려 및 장기적인 보존을 감안할때 앞장에서 서술한 여러 가지 과정을 고려하여 지역선정을 해야 할 것이다.

관정개발 후 양수시 비싼 전기요금으로 사용하지 않는 관정, 관리 소홀로 인한 낮은 우물 효율, 과잉 양수로 인한 수질오염 등으로 사용이 제한된 경우가 많으므로 개발 계획시 수요와 필요량을 정확히 파악하여 개발해야 할 것이다.

○ 생활용수 공급방안

1999년 현재 상수도가 보급된 읍·면지역에서의 1인당 1일 평균급수량은 295ℓ이며 1996년 전국 평균 상수도 공급에 의한 1인당 1일 평균급수량은 409ℓ로 이를 기준으로 평균값인 1인당 352ℓ를 총 인구수에 곱한 값을 안정적 용수수요량으로 계산하여 현재 상수도 및 간이상수도, 소규모 급수시설을 이용하여 공급받는 급수량을 제외하면 읍면별 생활용수 수요수량을 예측할 수 있다(표 7-2).

<표 7-2> 읍·면별 생활용수 수요수량

구 분	총인구	총소요 수 량 (m ³ /일)	현재 급수량 (m ³ /일)			부족수량 (m ³ /일)	향후 개발 (100m ³ /일)
			계	상수도	간이상수도 및 소규모 급수시설		
계	55,650	19,589	13,039	5,060	7,979	6,550	66
청도읍	16,925	5,958	4,369	3,000	1,369	1,589	16
화양면	8,154	2,870	1,980	1,000	980	890	9
각남면	3,208	1,129	655	-	655	474	5
풍각면	5,771	2,031	1,266	460	806	765	8
각북면	2,581	908	522	-	522	386	4
이서면	5,456	1,921	1,155	-	1,155	766	8
운문면	2,915	1,026	550	-	550	476	5
금천면	4,965	1,748	1,344	400	944	404	4
매전면	5,675	1,998	1,196	200	996	802	8

청도군의 생활용수 급수량은 13,039m³/day이며 이중 상수도 급수 5,060m³/day, 간이상수도 및 소규모 급수시설 7,979m³/day이 이용되고 있다. 안정적 용수공급량은 19,589m³/day로 6,550m³/day의 공급부족이 예상된다. 특히, 각북면 지역과 금천면의 경우 다른 지역에 비해 공급부족이 심한 것으로 나타났다.

조사지구의 안정적 생활용수 수요량 공급을 위해 암반관정 1공당 채수 이용량을 100m³/일로 하고 향후 인구의 증감이 없다고 가정할 때 향후 개발해야 할 관정수는 66공으로 행정구역별 내역은 표 7-2와 같다.

7-2-1 농업용수 소요수량 및 공급방안

청도군 지역의 경지면적은 11,173ha로 경지면적 중 논은 4,553ha, 밭은 6,620ha이다. 농업용수의 이용량은 전·답별 경지면적에 각 단위용수량을 적용함으로써 산정하게 된다.

<표 7-3> 읍·면별 농업용수 소요수량

구 분	경지면적(ha)		총소요수량 (m ³ /년)	현재이용량 (m ³ /년)	부족수량 (m ³ /년)	향후개발 (100m ³ /일)
	밭	논				
청도군	6,620	4,553	9,759,060	7,657,571	2,101,489	58

경작에 필요한 농업용수 수량은 경작지의 위치, 토질, 작물의 종류, 경작지 내의 증발산량 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 논인 경우 ha당 100m³, 밭인 경우 ha당 50m³을 적용하였고, 연간 경작일수는 논인 경우 90일, 밭인 경우 40일을 적용하여 필요수량을 산출하였다. 경지면적당 총 소요수량은 지하수에 한하므로 용수산출량(ha*논과 밭의 용수량*논과 밭의 경작일수)*지하수함양량 18%을 적용하였고 이중 70%를 안정채수율로 산출한다. 다음으로 현재 이용량을 제외시킨 양을 부족수량으로 계산하였다.

조사지구의 경지면적에 대한 농업용수 총 소요수량은 9,759천m³/년으로 현재 7,657천m³/년이 이용되고 있으며 안정적 용수공급을 위해 연간 2,101천m³/년의 공급부족이 예상된다. 향후 개발공에 대해서는 공당 평균 100m³/일을 기준으로 365일간 사용할 때 58공이 소요된다(표 7-3).

7-1-3 공업용수 소요수량

조사지역에서 공업용수가 많이 쓰는 곳은 2대의 농공단지(청도, 풍각)와 63개의 제조업체와 1개의 광영체이다. 주로 공업용은 청도읍(1개소 36500m³/년), 풍각면(1개소 109,500m³/년), 화양읍(2개소 91,250m³/년)으로 풍각면이 가장 용도가 크다. 공업용수 개발 시에는 잠재오염원 등 오염의 가능성이 높으므로 개발 타당성 및 환경 영향 평가를 신중히 하여 실행해야 할 것이다.

7-1-4 기타용수 소요수량 및 공급방안

축산용수의 경우, 마리당 젖소 150 l, 한우 50 l, 돼지 40 l, 닭 0.5 l, 산양 10 l 를 적용하여 소요수량을 산출하였으며, 사육두수는 청도군 통계연보 자료를 이용하였다. 조사지구에서의 축산용수 소요수량은 836,556m³/년이며 향후 개발공에 대해서는 공당 평균 50m³/일 기준으로 총 46공이 소요된다.

<표 7-4> 읍·면별 기타용수 소요수량

구분	가 축 수 (마리)					소요수량 (m ³ /년)	개발공 (50m ³ /일)
	한우	젖소	돼지	닭	산양		
계	14,798	2,351	28,123	165,298	3,296	851,574	47
청도읍	1,759	250	7,044	80,656	902	166,644	9
화양읍	1,643	824	377	198	42	80,792	4
각남면	1,021	314	4,650	899	178	104,529	6
풍각면	2,030	284	1,745	5947	260	80,108	4
각북면	805	60	580	40835	252	34,816	2
이서면	1,775	455	8,247	33374	362	185,123	10
운문면	502		75	1013	350	11,719	1
금천면	2,432		1,163	972	570	63,622	3
매전면	2,831	164	4,242	1404	380	124,221	7

7-2 지하수 개발 계획

농어촌지역에서도 지표수 및 지하수의 오염이 진행되면서 생활용수 공급은 암반관정을 이용한 형태로 이루어지고 있는 있다. 한편 상수도 미보급지역 주민들은 간이상수도 및 소규모 급수시설을 이용하거나 자가소형관정을 개발하여 용수를 공급받고 있는 실정이다. 농업용수의 경우 수리시설을 이용한 수리답 면적은 전체 91%에 해당하나 년별, 계절별 강우 변동이 크고 유역의 평균 경사도가 매우 커 하천 유출량이 많다. 그리고 대규모 축산단지가 조성되어 축산용수의 공급부족이 예상된다.

청도군 지역의 적절한 용수공급을 위해서 용도별 소요수량에 따른 향후 개발 암반관정은 생활용수 공당 이용량(100m³/일)을 기준으로 66공, 농업용수 공당 이용량(100m³/일)을 기준으로 58공, 축산용수 공급용 암반관정의 공당 이용량(50m³/일)을 기준으로 47공이 필요하다. 공당사업비는 생활용수의 경우 45백만원, 농업용수는 20백만원으로 계산하였으며 연차별 개발사업량 및 사업비는 다음과 같다.

<표 7-5> 연차별 지하수개발 사업량 및 사업비

구분		계	2002년	2003년	2004년	2005년
계	공	124	31	31	31	31
	사업비 (백만원)	4,130	1,020	1,020	1,020	1,070
생활용수	공	66	16	16	16	18
	사업비 (백만원)	2,970	720	720	720	810
농업용수	공	58	15	15	15	13
	사업비 (백만원)	1,160	300	300	300	260

8. 지하수 보전 관리

8-1 지하수 환경재해

1998년까지 우리나라 우물(관정)수는 총 946,181개이며 지하수 이용량은 33.83억 m^3 이다. 이는 국내 총 용수 이용량의 11%이며 적정 지하수 개발 가능량의 25.2%이다. 추후 국내 지하수 개발 이용 가능량은 약 100억 m^3 이상이다.

<표 8-1> 지하수의 용도별 이용량(97년 말 현재)

(단위 : $10^6 m^3/년$)

용수 내용	생활 용수	공업 용수	농업 용수	기타 (온천먹는물)	계	연도별 비교		
						94	95	96
우물수 (개)	571,663 (60.4)	11,883 (1.3)	358,239 (37.8)	4,396 (0.5)	946.181 (100)	637,285	763,646	786,921
이용량 ($10^6 m^3/년$)	1,597.3 (47.2)	220.4 (6.5)	1,486.3 (43.9)	78.8 (2.4)	3,382.8 (100)	2,571	2,623	2,864

* ()백분율

국내 지하수 개발 현황과 관정공수 및 이용량은 표 8-2와 같고, 이를 증가율로 요약하면 표 8-3과 같다.

<표 8-2> 연도별 지하수 개발 이용현황과 우물 굴착수 (건설교통부, 98)

내용 연도	우물소 (개소)	이용량 (10 ⁶ m ³ /년)	내용 연도	우물수 (개소)	이용량 (10 ⁶ m ³ /년)	내용 연도	우물수 (개소)	이용량 (10 ⁶ m ³ /년)
70 이전	96,088	195.8	80	32,845	53.4	90	64,582	160
71	2,857	4.7	81	20,802	59.4	91	36,582	120
72	5,575	12.3	82	42,947	106.4	92	45,612	151
73	4,073	8.8	83	44,166	107.8	93	34,641	148
74	5,063	17.3	84	43,829	106.4	94	63,565	427
75	13,472	18.4	85	53,442	112	95	47,233	328
76	8,650	19.4	86	39,509	100	96	24,483	259
77	6,663	16.8	87	50,790	121	97	28,002	413
78	15,159	29.9	88	46,127	118	총계	946,181	3,382.8
79	14,447	29.3	89	54,965	138			

<표 8-3> 연도별 연평균 이용량과 연평균 시설의 증가율 (건설교통부, 98)

내용 연도	연평균 이용량 (10 ⁶ m ³ /년)	연평균 시설설치수 (개/년)	증가비율 (%)	비 고
1971~1981	24.5	11,782	100/100	
1982~1993	124.1	46,433	506/394	
1994~1997	356.8	40,821	1,456/346	

표 8-3에 나타난 바와 같이 1971년~1981년 사이의 11년 동안 연평균 지하수 개발공수는 11,782공/년인데 반해, 1982~1993년 사이의 12년 기간동안은 46,433공/년이고, 1994년~1997년 사이의 4년간은 40,821공/년으로서 초기단계보다 연평균

굴착공이 약 350~400%정도 증가하였다.

뿐만 아니라 지하수 이용량도 1982년~1993년과 1994년~1997년 사이 기간은 1971년~1981년 기간에 비해 각각 506%와 1,456%로 급증하고 있다.

즉 1971년~1981년 기간동안 연평균 지하수 이용량은 연간 $24.5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{년}$ 규모였으나 1982년~1993년 기간 동안의 연평균 지하수 이용량은 이보다 5배가 증가한 1억2천만 $\text{m}^3/\text{년}$ 이었고, 최근 4년(1994~1997)동안의 연평균 지하수 이용량은 이보다 14.6배가 증가한 약 3억 6천만 $\text{m}^3/\text{년}$ 이다.

이러한 추세로 연평균 지하수 이용량이 증가한다면 추후 10년 후인 2010년 경에는 현재 총 지하수 이용량의 2배에 해당하는 약 70억 m^3 에 이를 것으로 예상된다.

이런 식으로 지하수 이용량이 증가함에 따라 간과해서는 안될 중요한 인자는 지하수 환경재해인데 이는 지하수 유힬작용에 의한 산사태, 과잉양수에 의한 수원 고갈, 지하수위 강하에 의한 지반침하, 지하구조물 설치에 의한 지하수 유동변화, 지하수 오염으로 인한 재해 등이다.

다음 표는 위의 각 사항들에 대하여 국내의 환경재해 유형별 사례를 도표화한 것이다.

<표 8-4> 국내 지하수 환경재해의 예

재해종류	지역	지하수 환경재해 내용	자료
지하수위 강하	부곡온천	<ul style="list-style-type: none"> · 지하수 과다채수로 인한 지하수위 강하발생 - 1973년 지하수위 : 지표하 70m - 1994년 지하수위 : 지표하 230m - 6년간에 걸쳐 145m의 수위강하('82~'87) - 21년간 160m의 수위강하('73~'94) 	조선일보 ('95. 12. 14) 창령군 온천관리 사업소
	포천군	· '91.5 포천군 내촌면 지역의 생수업체(크리스탈)에서 6개월동안 지하수를 과잉채수하므로써 인접 과수원의 지하수위 저하로 사과나무 100여 그루 고사	
	청원군	· 지하수의 무분별한 개발로 식수원 고갈	동아일보 ('95.5.10)
지반침하	과천시	· 과천시 부림동지역의 지하철 공사로 지하수 체계가 변화되어 주공아파트 뒷편 지반이 약 10cm정도 침하	
지하수 오염	전국	<ul style="list-style-type: none"> · 1993년 전국 심도 30m전후의 암반층을 대상으로 수질조사 실시 : 744개소중 152개소에서 음용수 수질기준 초과 · 트리클로로에틸렌 초과지역 : 양산군 양산읍 북정리 · 카드뮴 초과지역 : 부산사하구 신평 - 장림 공단인근 · 질산성질소 초과지역 : 음성군 금왕면 봉곡리, 광주 서구 유덕동 	환경부 (1994)
	제주도	<ul style="list-style-type: none"> · 일반세균과 대장균에 오염된 심층지하수 및 용천수의 비율증가 - 1980년 : 20% → 1982년 : 46% → 1990년 : 63% · 지하수 관정 농사용 비료로 오염(8개소중 7개소) 	동아일보 ('96.3.21)

8-2 지하수 보전 구역

8-2-1 지하수자원의 보전·관리

지하수의 합리적인 개발과 지하수자원의 보전·관리를 위해서는 장기적이고, 종합적인 조사와 분석을 요한다. 정기적으로 지하수수위, 수온, 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC)등 관측자료를 획득하고, 인근 기상관측소의 지표수위 자료와 기상자료를 분석하여 지하수문과 지표수문의 연관성을 연계분석하고, 주변환경 변화에 따라서 나타나는 지하수 수질의 미세한 변화는 수온, pH, EC등의 변화를 종합 분석함으로써 파악하여야 한다.

측정된 지하수위 자료와 갈수기와 풍수기에 지하수위 변동자료를 이용하여 지하수위 등고선도를 작성한다. 또 다음과 같은 사항을 분석 예측한다.

- 풍수기와 갈수기의 지하수위 변화
- 지역별 지하수 동수구배
- 지역별 지하수 배출 및 함양 파악
- 지하수 EC 및 pH의 급격한 변화 등에 대한 원인규명 및 원인파악을 위한 수질검사 실시

지하수자원의 효율적인 관리를 위해서는 지하수, 지표수 등의 수문정보 관리와 이와 관련된 제반지질, 경제, 인문학적 사항 등과의 연계성을 파악하여 이들 정보를 이용하여 지하수자원의 변화 예측 및 지하수자원의 합리적인 방안이 종합적으로 검토 되어야 한다. 지하수의 수위 및 수질변화에 대한 분석 및 해석은 반드시 지하수 전문가에 의하여 이루어져야만 그 정보와 신뢰도를 제고할 수 있고, 지하수자원의 보전관리에 기초가 되는 양질의 중요한 정보를 산출할 수 있다.

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

시설물관리를 위해 수리상수 및 지층의 상태, 스크린의 종류, 위치와 관정의 사용, 관리상태 등이 확인되어야 한다. 이를 위하여 기존관정에 대하여 관정 시공

시의 자료를 획득하거나 관정에 대한 물리검층을 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 보전관리 측면에서 가장 기초가 되는 자료이다.

상시 이용관정에 대한 수위관리를 위해서는 지하수위 측정결과 기록을 철저히 하여야 하고 수위관측공 미설치 관정에 대하여 우선적으로 수위관측공을 설치하여야 한다. 급격한 수위강하나 수위상승은 대수층의 파괴 등에 영향을 줄 수 있고, 이로 말미암아 지하수에 의한 여러 피해가 발생 할 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, 유출과정을 통하여 공간적·시간적으로 변화가 일어난다. 이때 오염물질이 혼합되면 수질오염이 진행되게 되어 지하수 수질오염이 일어나게 된다.

지하수의 오염은 폐기물의 방치, 매립처분과 지반개량을 위한 약재투입, 오염된 지표수의 유입 등이 지하수 오염의 원인이 된다. 오염물질은 지하대수층에서 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 이루어지도록 하여야 한다.

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

본 조사지역은 50% 이상이 농업지역으로 다음은 지역별로 오염방지 대책을 기술한 표이다.

<표 8-5> 지역별 오염방지 대책

1. 도시지역 오염

구 분	하수관 누출	폐기물 야적장
오염원 형태	점 또는 비점오염원	점오염원
지하수 오염특성	-우기화합물, 질산염, 세균 등의 오염 유발	-BOD, Fe, Mg, 질산염, Cl, 미량원소, TDS 등의 오염유발
사 례	-서울시:생활용수, 기준에 의한 수질분석 결과 8.6%가 부적합, 수질오염주요원인은 하수관누출, 지하수유입등 총 9,580km의 하수관이 평균 5m 간격으로 파손 다량 생활하수가 지하로 침수됨 (서울시 : 1996, 서울특별시 지하수관리계획 기본조사보고서) -대구시:먹는 물 기준에 의해 271개소 조사 결과 54%가 부적합, 오염의 주요원인은 하수관 파손, 공동폐수등 (과학기술처, 1995, 지하수오염방지 및 응용화기술연구)	-난지도 매립지의 침출수에 포함된 수치 분석 BOD : 87~2010 Cl : 210~5525 (서울시 청소사업본부, 1992, 난지도 매립지 환경오염방지 및 안정화 대책)
대 책	-파손된 시설 복구 -자연분해 및 자연재생 원칙 -화학적 물리적 처리장구 -오염이 심각하지 않은 경우 생물학적 처리장구	-사전평가제 실시 -위해물질 야적장 상·하류 -구배구간에 감시정 설치 -자연재생법 이용 원칙 -오염수 차단시스템 설치 -수리동력학적 조정

2. 농촌지역

구 분	비료 살포	농약 살포	가축 사육
오염원 형태	비점오염원	비점오염원	점오염원
지하수 오염특성	-질소비료가 지하수를 주로 오염시킴 ⇒지하수의 질산성질소 오염 발생	-토양중에서 오랫동안 안정적인 농약이 지하수 오염유발(수은, 비소, 납 등의 성분이 함유된 농약)	- 질산성질소의 오염유발
사 례	- 제주도 지하수 관정 비료로 오염 (동아일보 '96. 3. 21) - 농업용수 4%가 부적격 (환경부, '96) - 고창지역 : 26개 조사지점 중 20개소의 질산성질소 농도가 10mg/l 초과 (농어촌진흥공사, 1990)		- 전라북도내 54개 조사지점 중 16개소의 질산성질소가 먹는물 기준초과 : 가정정화조, 가정오수, 축산폐기물에 한 오염으로 추정중 (조선일보, '94. 12. 29)
대 책	- 질소비료의 적정량 시비 - 자연분해를 유도함	- 토양 잔류기간이 작고 자연분해가 빠른 물질 이용 - 적정량의 농약살포	- 단지화유도와 축산폐수 처리 및 정화시설 설치 - 자연분해 유도

3. 공업 및 광업지역

구 분	지하저장탱크 (유류, 유해화학물질)	지상탱크 및 지표저류시설	광산개발 및 광산폐수
오염원태	점오염원	점오염원	점오염원
지하수오염특성	<ul style="list-style-type: none"> - 저장탱크에서 유출된 유류는 불투수층을 쉽게 통과하고, 물에 쉽게 용해되는 탄화수소는 지하수내에서 빠르게 이동 지하수 오염을 크게 촉진시킴 		<ul style="list-style-type: none"> - 고농도의 Fe, Al 등을 포함한 산성 폐수는 지하수를 크게 오염시킴 - 광산 폐수, 채굴폐석 등이 지하수 오염유발
사 례	<ul style="list-style-type: none"> - 환경부 (1995) 국내주유소의 40% 정도의 지하 유류저장 탱크에서 기름누출, 토양 및 지하수를 오염시킴 - 미국 EPA 조사, 미국 주유소의 35% 정도의 탱크에서 기름 누출 	<ul style="list-style-type: none"> - 서울시보건환경연구원 서울 구로구의 조사결과 유기물, 중금속, 발암성 물질과 같은 유해물질에 지하수가 오염 됨 NO³-N : 0.1~47.3mg/ℓ Cl⁻ : 3~1012mg/ℓ Cl⁺⁶ : 0~0.227mg/ℓ -환경부(1994) 카드뮴 초과 부산 사하구 신평, 장림공단 부근 	
대 책	<ul style="list-style-type: none"> - 대규모 저장탱크 설치시 사전 영향평가 실시(지하수 오염취약성 평가 등) - 지하수 오염관측정 설치, 지하수질 변화감시 - 탱크주변에 누출 탐사관 설치 - 토양 오염조사 자료, 분석을 통한 지하수 오염 예방 - 화학적 처리방법 사용 - 유류:시설이전 및 오염된 토양층 제거 매립장에 처분 	<ul style="list-style-type: none"> - 유해폐수 배출업체 부근에 지하수 수질오염관측정 설치 - 시설이전, 환경차단벽 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 광산 하류지점에 오염관측정 설치 - 폐수 정화처리시설 설치 - 침전지 등을 이용, 자정작용 및 희석작용 유도 - 확산방지시설 설치 - 집수정 설치하여 고농도 침출수 처리 - 폐광은 갱도폐쇄, 폐석내 강우침투 방지, 중화법에 의한 갱내 폐수 처리 실시

다음 자료는 낙동강 유역권의 조사지구내 암반과 충적 관정을 택하여 장기간 관측한 것인데, 2000년 대구비산 관측소에서 측정한 결과 암반관정일 경우 연최고 수위는 20.35m이고 연최저 수위는 17.55m이며 연평균 수위는 18.17m이다. 충적 관정일 경우 연최고 수위는 20.73m로 0.38m가 더 높으며 연최저 수위는 18.49m로서 0.94m가 더 높다. 또한 연평균 수위는 18.86m이다.

전기전도도($\mu\text{s}/\text{cm}$)는 암반관정일 경우 연최고 1,359 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 연최저 776 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 연

평균 1,054 μ s/cm이며 총적관정일 경우 각각 7,116 μ s/cm, 4,615 μ s/cm, 5,240 μ s/cm로 그 차이가 매우 높다. 이렇게 총적관정의 전기전도도가 매우 높다는 것은 다른 지역에서 오염물질이 유입된다고 말할 수 있으므로 정밀한 조사가 이루어져야 하겠다(표 8-6).

<표 8-6> 낙동강 유역권 관측 결과(대구 비산관측소)

관측소명	구분	수 위(m)			수 온(℃)			전기전도도(μ s/Cm)		
		연평균	연최고	연최소	연평균	연최고	연최소	연평균	연최고	연최소
대구 비산	암반층	18.17	20.35	17.55	21.6	22.2	19.6	1,054	1,359	776
	총적층	18.86	20.73	18.49	23.3	24.3	21.3	5,240	7,116	4,615

<표 8-7> 낙동강 유역권 수질검사 결과(대구 비산, 하반기)

(단위 : mg/l, 단 대장균군 MPN/ml, pH 제외)

관측소명	관측정	채수일 수질기준	pH 5.8-8.5	COD 6이하	대장균군 5000이하	염소이온 250이하	NO ₃ -N 20이하	시안 불검출	카드뮴 0.01이하
대구 비산	암반	2000/11/17	6.8	5.9	125	0	1.2	불검출	불검출
	총적	2000/11/17	10.8	240.0	113	2	0.9	불검출	불검출
관측소명	비소 0.05이하	납 0.1 이하	6가크롬 0.05이하	수은 불검출	페놀 0.005이하	TCE 0.03이하	PCE 0.01이하	유기인 불검출	판정
대구 비산	0.005	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	0.540	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합

8-2-2 지하수 보전구역

지하수 보전 구역은 지하수법에 잘 명시되어 있다.

지하수법 “제12조”에 시·도지사는 다음 각 1호에 해당하는 지역을 “지하수 보전구역”으로 지정하거나 그 지정을 변경할 수 있다고 되어 있다.

- ① 지하수의 개발·이용으로 인한 지하수 고갈, 지반의 침하 또는 지하수의 오염을 방지하기 위하여 필요한 지역
- ② 지하수를 이용하는 하류지역과 수리적으로 서로 연결된 상류의 지하수 함양 지역
- ③ 기타 지하수의 수량이나 수질이 보전에 필요한 지역으로 대통령이 정하는 지역

동법 시행령 19조에 지하수 보전구역의 지정범위는

- ① 주요 지하수 함양원을 보호하기 위한 지역
지하수가 주로 함양되는 지역으로서 수질이 양호하여 보전의 필요성이 있는 지역
- ② 지하수 고갈 및 지반침하 지역
 - ㉠ 관정의 채수율 저하지역
 - ㉡ 지하수 이용량 과다지역
 - ㉢ 지반침하로 인하여 구조물에 변형이 발생하는 지역
 - ㉣ 관정밀집 지역
 - ㉤ 지하수의 사용량이 많은 위락시설지역
- ③ 오염발생 및 수질악화지역
 - ㉠ 인체 유해오염시설의 존재지역
 - ㉡ 오염유발시설의 밀집지역
 - ㉢ 폐광 및 폐기물 처리지역
 - ㉣ 폐기물처리장 분포지역
 - ㉤ 폐관정의 분포가 많은 지역
 - ㉦ 사고시 오염물질 유출지역
 - ㉧ 지하유류 및 화학약품 저장탱크의 분포지역
- ④ 해안염수침입지역

- ㉠ 해안 및 도서지방의 면적당 채수량이 과다하거나 이용량의 지하수 시설이 존재하는 지역
- ㉡ 대수층의 수리특성상 투수성이 높아 해수의 침입이 용이한 지역으로 되어 있다. 이를 종합하면 지하수 함양원 지역과 수원이 풍부한 주요 대수층 지역, 지하수 다량 사용지역, 관정 밀집지역, 수위강하 및 수질저하 등 지하수 환경재해 발생 가능성이 높은 지역과 발생지역 등 지하수와 관련되는 거의 전지역에 대하여 세밀하게 지정토록 하고 있다.

또한 지하수 보전구역내에서 일정 규모(1일 양수능력 30톤 이상) 이상의 지하수 개발·이용시는 허가를 받아야 하며 특정시설물을 설치할 경우에도 관련 타법률이 정하는 것에 따라 허가를 받도록 되어있다.

지하수는 한 장소에 정채되어 있는 자원이 아니라 대수층을 통하여 유동하고 있는 수자원이다. 따라서 지하수 보전구역 설정에는 다음 3가지 지역이 우선적으로 고려되어야 할 것이다.

가. 지하수 함양지역

지하수는 대부분이 강수가 지표에서 퇴적층을 통하여 지하로 유입되어 함양되게 된다. 만약 이때 지하수 함양이 인위적인 활동에 의하여 방해받게 되면 지하수 부존량과 유동량이 감소하게 되고 이에 따라 지하수 개발 가능량이 적어지게 된다.

또한 지하수 함양지역이 오염되어지면 지하수 함양시 대수층을 통하여 지하수 오염이 이루어지며 유동되는 지하수는 모두 오염된 상태가 될 것이다. 이러한 현상은 대수층 자체를 오염시키는 결과를 가져오며 국지적 내지 광역적인 지하수계 오염이 이루어지게 된다. 따라서 지하수 함양지역에서 지하수 함양 방해시설물과 오염원을 제거하고 지하수를 보전할 수 있도록 한다.

나. 오염원 주변지역

지하수를 오염시킬수 있는 잠재오염원이 존재하는 지역에 지하수 오염 취약지역을 설정하여 이 지역을 통한 지하수 오염확산 방지에 최선을 다하도록 한다.

지하수 오염이 이미 확인된 지역에서는 오염된 지역의 규모와 농도를 조사하

여 관리 목표와 우선순위를 정하여 종합적인 오염정화 관리대책을 수립토록 한다. 이때 중요한 것은 오염지역의 확산이 일어나지 않도록 현상 태를 유지시킬수 있도록 철저한 계몽과 계도로써 더 이상의 지하수 오염 확산이 일어나지 않도록 한다.

다. 취수정 주변지역

취수정 주변지역에서는 오염물질이 지하수로 유입되는 것을 방지하고 무분별한 양수로 인한 지하수 환경재해가 발행하지 않도록 하여야 한다.

취수정 보호대책(Wellhead Protection Program)은 일반적으로 공용관정 자체와 관정지역(Well field)을 그 대상으로 하며, 관정 주변지역에 보호구역(Protection area)을 설정하여 지하수원을 보호하는 방법으로서 독일, 스위스, 네덜란드를 포함하는 유럽의 11개국에서는 이미 이러한 보호구역을 설정하여 이 지역 내 잠재오염원에 대하여 특별한 제재를 가하는 프로그램을 실행중에 있다.

미국에서는 1986년에 제정한 안전음용수법(SDWA)에 근거하여 환경보호국(EPA)에서 취수정 보호 프로그램을 실시 중에 있다. 이 프로그램에 의하면 취수정 보호구역을 다음과 같이 정의하고 있다.

- ① 공공용수를 제공하는 관정 또는 정호장의 주변지역으로
- ② 오염물질이 통과할 가능성이 있으며, 궁극적으로 오염물질이 관정에 이를 수 있는 지표나 지하의 지역

취수정 보호구역의 경계는 관정의 양수율, 지하수 유동속도, 대수층 경계와 피압정도 등에 의하여 복합적으로 결정된다. 또한 이러한 수리지질학적 특성들이 모두 지하수의 오염가능성과 그 범위에 영향을 미친다. 그러므로 진술한 바와 같이 취수정에 의한 영향반경을 산정하여 지역적으로 설정하여야 한다. 이 방법은 공용관정의 주변지역을 대상으로 하여야 하며, 소규모 가정용 관정에 적용하는 것은 쉽지 않다.

위와 같은 고려 사항과 대상지역의 규모와 수문학적 특성에 의하여 보전구역을 대별하면 다음과 같이 분류할 수 있다. 즉,

- ① 광역적인 지하수 보전구역
- ② 국지적인 지하수 보전구역
- ③ 해안의 지하수 보전구역

으로 나눌수 있으며 보전구역의 정의, 대상지역, 변경 및 해제, 기능, 규제사항을 비교하면 표 8-8과 같다.

<표 8-8> 지하수 보전구역 설정

구 분	광역적인 지하수 보전구역	국지적인 지하수 보전구역	해안의 지하수 보전구역
정 의	- 주요 함양원 보호를 위한 광역적인 지하수 보전구역	- 오염 및 피해지역 복구와 공공취수정 보호를 위한 국지적인 지하수 보전구역	- 염수침입을 방지하기 위한 지하수 보전구역
대상지역	- 지하수가 주로 함양되는 지역으로 수질이 양호하여 보전의 필요성이 있는 지역	- 지하수 환경재해 발생 및 발생가능 지역 - 지하수 다량 사용 지역	- 해안 지역으로 염수 침입 우려지역
지정변경 및 해제	- 지하수원 보전의 필요여부에 따라 시·도지사가 지정 및 해제	- 시·도지사가 실태 조사를 실시하여 지정·고시 - 원상복구 진척상황에 따라 변경·해제	- 시·도지사가 실태조사를 실시하여 지정·고시 및 해제
기 능	- 양질의 수원 및 자정 능력 확보	- 오염발생 차단 및 피해복구	- 염수침입 방지
주 요 규제사항	- 최소 현상태의 유지를 목표 - 오염유발요인의 사전 차단 - 허가 대상의 확대	- 지하수 신규 개발 제한 및 금지 - 장애유발 요인의 제거 및 원상복구	- 기존 관정의 과다한 양수 제한 - 지하수 신규 개발 제한

청도군의 지하수보전을 위해 위에서 서술한 대로 광역적인 보전구역은 그린벨트(개발제한구역)를 지정하는 것이 타당하나 주민생활에 대한 편의를 도모하여 대민홍보 및 의견수렴을 거쳐 지정함이 바람직하고 국지적인 보전구역설정은 매우 어려운 문제이나 도심지의 공원지역과 수질 오염이 진행되고 있는 지역 및 수위저하 지역을 지정하여야 하나 이럴 경우 도심 전체가 보전구역으로 지정되는 현상을 낳게 된다. 그러므로, 국지적 보전구역 선정은 앞으로 지하수의 변화상태를 장기적으로 계속 관찰, 관리하여 신중하게 결정되어야 한다.

9. 결 론

1. 본 조사지구는 동경 $128^{\circ} 31' 36'' \sim 129^{\circ} 22' 46''$ 북위 $35^{\circ} 33' 50'' \sim 36^{\circ} 50' 37''$ 에 위치하며 행정구역상 경상북도 청도군 전역으로 2개 읍, 7개 면으로 구성된 696.49km^2 의 면적과 19,236세대 인구 55,650명의 지구로 5.6%가 전이고, 11%가 답, 67%가 임야로 74%이상이 농촌지역이며 가뭄등급상 매우 우심 지역으로 구분

2. 본 조사지역의 지형은 장년 말기에 해당하며 서부는 소백산맥의 영향으로 높고 동부는 낙동강이 남행하며 안산암류, 화강암류, 유문암류가 주류를 이루고 있다.

3. 본 지역은 백악기에서 신생대 제4기에 이르기까지 다양하고 복합적인 지질 및 암질을 보이며 낙동층은 불국사층이 관입하여 신생대와 부정합을 이루고 있다.

4. 본 지구의 연평균 기온은 11.2°C , 연평균 강수량은 $1,044\text{mm}$ 이다. 기저유출량은 수자원총량의 0.1%인 $40,053\text{천m}^3$ 이고, 수자원 이용 총량은 24%인 $174,777\text{천m}^3/\text{yr}$ 이며 가지야마 공식에 의한 유출은 342.0mm 이며 기저유출율에 의한 평가는 $203,394.2\text{m}^3/\text{day}$ 이다.

5. 본 조사지역의 광역적인 물리탐사를 위해 원격탐사를 실시하여 선구조도를 작성한 후 이를 기초로 쌍극자 탐사를 실시하였다. 원격 탐사 결과 선구조는 $N20 \sim 40W$ 방향이 우세하고 $N30 \sim 55W$ 방향도 비교적 우세하게 나타나며 발생빈도는 $N20 \sim 40W$ 방향이 우세하게 나타난다. 또 개략적인 지하지질 상태를 보기 위해 500m 축선으로 15지역에 대해 쌍극자탐사를 실시하였다.

6. 지구내 지하수 총 1,109개소(이용량 $17,486\text{천 m}^3/\text{y}$)가 신고 대상공수이나 330개소(이용량 $6,506\text{천m}^3/\text{y}$)가 경미 및 기타시설 관정이고 간이 상수도 및 소규모 급수시설은 총 258개 중 $7,979\text{m}^3/\text{일}$ 의 사용량으로 조사되었다.

7. 우물의 수리능력을 평가하기 위해 Theis의 비평형방정식을 이용하여 15개 관정에 대해 AQTESOLV에 의한 프로그램을 적용시켜 수리능력을 평가했다.

8. 지구내 15곳에 대해 먹는 물 기준 수질검사를 실시한 결과 2개소가 수질 불합격으로 주로 질산성질소가 불합격 종목으로 나타났으며 탁도도 불합격으로 나타났다. 이는 주로 농공단지과 축사, 개사, 비닐하우스 주변의 농약 잔류물의 영향으로 보이며 주요 이온 농도를 Piper-Diagram, Stiff-Diagram으로 도시한 결과 지화학적 유형은 Carbonate hardness형을 보인다.

9. 조사 지역내 유효 공극율을 이용한 지하수 부존량은 총 159.8백만톤으로 추정된다.

10. 지하수 함양량 평가에 의한 지하수 이용가능량은 $40.053 \sim 46.061 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 추정되며 이는 평가방법에 따라 차이를 보이므로 공성의 암반관정과 충적관정의 누적된 체계적인 관측자료처럼 장기적인 관측이 필요하다.

11. 본 지구는 농어촌지역으로 지하수를 이용한 간이 상수도 및 소규모 급수시설은 현재 258개소이나 대부분 개인전용 생활용수 관정으로 사용되고 있으며, 1999년 현재 상수도가 보급된 읍·면지역에서의 1인당 1일 평균급수량은 295ℓ이며 1996년 전국 평균 상수도 공급에 의한 1인당 1일 평균급수량은 409ℓ로 이를 기준으로 평균값인 1인당 352ℓ를 총 인구수에 곱한 값을 안정적 용수수요량으로 계산하였을 때 안정적 용수공급량은 $19,589 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 $6,550 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 공급부족이 예상된다. 안정적 생활용수 수요량 공급을 위해 암반관정 1공당 채수 이용량을 $100 \text{ m}^3/\text{일}$ 로 하고 향후 인구의 증감이 없다고 가정할 때 향후 개발해야 할 관정수는 66공으로 조사되었다.

12. 지하수는 지표수와 같이 수문순환과정에 의해 보충되는 자원이지만 적정 수준 이상으로 지하수를 채취하거나 훼손시키면 여러 형태의 장애가 발생하게 된다. 일단 훼손된 지하수 대수층의 복원에는 오랜 기간과 막대한 비용이 소요되거나 전혀 복원이 불가능한 경우도 있으므로 사전에 철저히 보호하면서 합리적으로 사

용하는 것만이 보전 관리를 위한 최선의 방안이다. 그러므로 조사 지역의 항구적인 지하수 보전 관리를 위하여 필요한 사항들, 즉 지사후 환경재해와 보전대책, 지하수 시설물의 관리, 지하수 관측망 설치운영의 필요성, 지하수 정보관리시스템 구축 등이 필요하다.

- 참 고 문 헌 -

1. 건설 교통부	1997. 12	지하수업무수행지침서
2. 한정상	1998. 12	지하수환경과 오염
3. 서울특별시	1996. 12	서울특별시 지하수 관리계획 기본조사 보고서
4. 국립환경연구원	1993.	전국 주요하천 기초조사
5. 환경처	1992.	수질보전종합계획수립 종합보고서
6. 청도군	1996~1998	청도군 통계연보
7. 농어촌진흥공사	1995. 12	한국지하수총람
8. 한국수자원공사	1993. 3	지하수자원기본조사보고서
9. 한국사자원공사	1993. 12	지하수자원실태조사보고서
10. 건설교통부	1997	지하수조사연보
11. 민경덕외 2인	1987	응용지구물리학
12. 양승영	1998	지질학사전
13. 김영기	1995	수리지질학사전
14. 국립지질조사소		한국지질도(경산도폭)
15. 국립지질조사소		한국지질도(청도도폭)
16. 국립지질광물연구소		한국지질도(자인도폭)
17. 국립지질조사소		한국지질도(언양도폭)
18. 한국동력자원연구소		한국지질도(유천도폭)
19. 부천시	1997	부천시 지하수관리계획 기본조사보고서
20. 과학기술처	1995	지하수 오염방지 및 음용화 기술연구
21. 한정상	1998	환경수리지질학
22. Bower H	1978	Groundwater Hydrology
23. Chow	1964	Handbook of Applied Hydrology
24. 한국정밀토양도	1977	농촌진흥청 농업기술연구소
25. 농어촌진흥공사	1997	5대강 수계연결 중동부권역 예비타당 성조사보고서
26. 정창희	1958	지질학개론

27. 농림부	1998	'98 농업용수 수질조사보고서
28. 한국수자원공사	1993	지하수자원 기본조사보고서
29. 건설교통부	1999	지하수영향조사, 심사요령
30. 농어촌진흥공사	1994	지하수개발과 농어촌 용수
31. 권영심	1991	상주지역 칠봉산 문창리 부근의 알칼리 화강암의 암석학적 연구
32. 정창희		지질학원론

여 백

부 록

1. 청도지구 기설관정 조사표
2. 청도지구 양수시험결과해석 전산출력물

여 백

청도지구 기설관정 조사표

여 백

※ 청도지구 기설관정 조사표

공번	위 치			수혜 면적	자연수위	채수량	우물	
	읍면	동리	지번				직경	심도
GN01	각남면	철성1리	494	3.00	측정불가	300	200	117
GN02	각남면	철성2리	1268-1	3.00	측정불가	250	200	190
GN03	각남면	화리	353-1	3.00	4.2 (+25 Cm)	380	200	120
GN04	각남면	구곡리	111-1	3.00	2.12 (-10 Cm)	300	200	102
GN05	각남면	일곡리			측정불가			
GN06	각남면	일곡리	10	3.00	3.92 (-30 Cm)	330	200	105
GN07	각남면	구곡리			2.75 (+60 Cm)			
GN08	각남면	예2리	533-6	3.00	3.8 (+45 Cm)	450	200	105
GN09	각남면	녹명2리	565	5.00	1.7 (-90 Cm)	400	250	150
GN10	각남면	사1리	1377-152	3.00	14.5 (+50 Cm)	600	200	105
GN11	각남면	사2리	494	3.00	19.7 (+45 Cm)	400	200	150
GN12	각남면	함박리	64-1	3.00	6.5 (+34 Cm)	300	200	104
GN13	각남면	옥산1리	592	3.00	11.7 (+50 Cm)	330	200	112
GN14	각남면	녹명1리		3.00	5.5 (-15 Cm)	300	200	116
GN15	각남면	구곡리	782-63	4.00	10.7 (-44 Cm)	650	250	100
GN16	각남면	옥산1리		5.00	17.1 (-43 Cm)	260	250	130
GB01	각북면	남산3리	1460-3	4.00	6.04 (+56 Cm)	500.00	200.00	200.00
GB02	각북면	오산2리	768		0.22 (+10 Cm)			
GB03	각북면	오산2리	1222-2		17.47 (-52 Cm)		200.00	
GB04	각북면	금천리	산126	3.00		270.00	200.00	115.00
GB05	각북면	오산2리			3.7 (+10 Cm)			
GB06	각북면	남산1리	산24				200.00	100.00
GB07	각북면	남산1리	248		5.78 (-1.17 Cm)		150.00	80.00
GB08	각북면	삼평2리	1223-7				200.00	155.00
GB09	각북면	금천리			8.42 (+18 Cm)			
GB10	각북면	덕촌리			1.51 (-110 Cm)			
GC01	금천면	오봉1리	188-2		1.03 (+60 Cm)		250	102
GC02	금천면	오봉1리			13.1 (-42 Cm)			
GC03	금천면	오봉1리	1290		6.86 (-74 Cm)		200	110
GC04	금천면	오봉2리			측정불가			
GC05	금천면	갈지리			0.50 (-60 Cm)			
GC06	금천면	김전1리	232		3.4 (+38 Cm)		200	114
GC07	금천면	김전2리			10.73 (+56 Cm)		250	152
GC08	금천면	사전2리	1121-4		3.0 (-20 Cm)	450	250	110
GC09	금천면	사전2리			측정불가		200	100
GC10	금천면	동곡2리			2.75 (+63 Cm)	500	250	140
GC11	금천면	소천1리	260		8.08 (+40 Cm)		250	200
GC12	금천면	소천3리	1889		43.2 (-28 Cm)	270	250	132
GC13	금천면	갈지리	875-1		2.80 (+40 Cm)		200	95
GC14	금천면	신지리			5.12 (-74 Cm)			
MJ01	매전면	남양1리	산38		4.68 (+39 Cm)		200	110
MJ02	매전면	덕산리	1059-2		9.8 (+36 Cm)		200	100
MJ03	매전면	덕산리	812		9.46 (+58 Cm)		250	100
MJ04	매전면	덕산리	155		미측정		250	60
MJ05	매전면	두곡리			2.73 (-10 Cm)		250	170
MJ06	매전면	남양2리			0.1 (+30 Cm)			

모터/펌프			설치 년도	유량계	출수 장치	수위 측정관	부대시설	기타
형식	마력	구경						
	7.5	50	1993	X	O	X		노인회관 앞, 열쇠 존재
	20	80	1992					항죽마을 입구, 열쇠 부존
단상	8		1994	X	O	X	북정지	마을입구
단상	8		1994	O	O	O	구곡지	마을안 과수원앞
단상	10		1996	O	O	O	일곡지	바깥마실과 화동사이 다리앞길
			1982	X	O	O		내곡지양수장, 마을입구
삼상	8		1995	O	O	O	가례지	산서농협 맞은편길
삼상	10	65	2000	O	O	O	밤갈보	녹갈보와 방가들보사이 냇가
단상	10		1995	O	O	O	사동지	도로면 양옥집 앞
삼상	10		1995	O	O	O	생활용수겸용	마을안
단상	10		1995	X	O	O	함박지	성전지 앞
단상	10		1996	O	O	O	옥척지	옥척마을 안
	7.5	50	1993	X	O	X	발용수	옥산2교 건너서
삼상	15	65	1999	O	O	O	웃막마을	
단상	10	50	2000	O	O	O	오리발마을	
단상	15.00		1995	O	O	O	생활용수겸용	
				O	X	X	생활용수용	
			1999	O	X	O	생활용수겸용	해바라기 커피숲 안
단상	10.00		1995				송내지	
				X	O	X		
				O	X	O	생활용수겸용	
			1992	X	X	X	각북중학교	
			1994					소형관정
				X		X	덕산초등학교	
			1998	O	O	O		
				X	X	X		생활용수
			1995	O	O	O		
				O	X	X		
			1995	X	X	O		
			1996	O	O	O		
			1982	X	X	X		청도온천토지구획정리조합앞
			1982					수위측정불가
			1997	O	O	O	배나무밭내	
			1997	X	O	O	석현교옆	생활용수
			1996	O	O	O		
			1995	O	O	O		
				O	X	X	금천초등학교	
			1994	O	X	X		개울옆
			1995	O	X	O		국도 길가에
			1997	X	X	O		국도 길가에(논)
			1982					
			2000	O	O	O	생활용수	

공번	위 치			수혜 면적	자연수위	채수량	우물	
	읍면	동리	지번				직경	심도
MJ07	매전면	덕산리			2.89 (+15 Cm)			
MJ08	매전면	예전1리	635-3		6.45 (-78 Cm)		250	120
MJ09	매전면	장연리			6.24 (-30 Cm)	280	250	104
MJ10	매전면	하평리			8.43 (-10 Cm)	120	200	130
MJ11	매전면	상평리	967-1		3.48 (+42 Cm)	300	200	150
MJ12	매전면	관하1리	571-2		2.7 (+30 Cm)		200	103
MJ13	매전면	관하2리	1420		9.56 (-66 Cm)		250	120
MJ14	매전면	자전2리			19.16 (-10 Cm)			
MJ15	매전면	남양2리			20.53 (+10 Cm)	310	250	104
MJ16	매전면	하평1리			3.83 (-34 Cm)	400		110
MJ17	매전면	관하리			1.88 (-58 Cm)			
MJ18	매전면	온막리			6.6 (-70 Cm)			
ES01	이서면	서원리	62-7	3.0	3.5 (+90 Cm)	420.00	200	86
ES02	이서면	서원리	산125		23.7 (-50 Cm)	350.00	200	150
ES03	이서면	학산2리	56	3.0	3.3 (0 Cm)	310.00	200	98
ES04	이서면	금촌리	751-3	3.0	2.52 (0 Cm)	700.00	200	100
ES05	이서면	흥선리	583-3	3.0	1.9 (+38 Cm)	700.00	200	76
ES06	이서면	흥선리	224	3.0	3.42 (+50 Cm)	430.00	200	100
ES07	이서면	흥선리	84	3.0	8.5 (0 Cm)	300.00	50	56
ES08	이서면	문수리	483	3.0	2.62 (+47 Cm)		200	120
ES09	이서면	흥선리			8 (+20 Cm)		200	
ES10	이서면	금촌리	727	3.0	0.88 (-48 Cm)	480.00	200	105
ES11	이서면	양원리	527-4	3.0	3.79 (+86 Cm)	600.00	250	276
ES12	이서면	신촌3리	1245-1	3.0	1.1 (-28 Cm)	300.00	200	164
ES13	이서면	신촌1리			5.17 (0 Cm)			
ES14	이서면	신촌1리	295-1	3.0	1.18 (+28 Cm)	500.00	200	77
ES15	이서면	신촌2리	615	3.0	5.54 (+39 Cm)	360.00	200	100
ES16	이서면	팔조리	27	1.0	23.3 (-37 Cm)	310.00	200	150
ES17	이서면	팔조리	332-3	3.0	측정불가	600.00	200	
ES18	이서면	대곡1리			2.45 (-30 Cm)			
ES19	이서면	대곡1리	1313-1	3.0	53 Cm(+42 Cm)	300.00	200	110
ES20	이서면	대곡2리	153-1	3.0	측정불가	270.00	200	190
ES21	이서면	칠곡1리	203-3	3.0	7.99 (+55 Cm)	800.00	200	84
ES22	이서면	양원리	305-2	2.0	10.5 (-55 Cm)	450.00	200	150
ES23	이서면	양원리			측정불가			
ES24	이서면	양원리			8.15 (-24 Cm)			80
ES25	이서면	학산	566	2.0	80 Cm(-35 Cm)	350.00	250	150
ES26	이서면	수야4리			3.4 (+10 Cm)		200	
ES27	이서면	학산리			측정불가			
ES28	이서면	수야4리	1119	3.0	1.97 (-78 Cm)	320.00	200	120
ES29	이서면	수야1리	153-1	3.0	미측정	400.00	200	130
ES30	이서면	각계리			8.16 (+10 Cm)		200	
ES31	이서면	각계리	116-1	3.0	0 m (-33 Cm)	250.00	200	102
ES32	이서면	대전2리	350-1	3.0	4.46 (+36 Cm)	500.00	200	105
ES33	이서면	칠엽2리	797-2	3.0	측정불가	280.00	200	105
ES34	이서면	대전1리	526	3.0	4.13 (+1.34 Cm)	500.00	200	100
WM01	운문면	공암리	813	1.00		200.00	250.00	150.00

모터/펌프			설치 년도	유량계	출수 장치	수위 측정관	부대시설	기타
형식	마력	구경						
				O	O	O		
			1997	O	X	O	생활용수겸용	
			1996	O	O	O		길당가는 길(계당지 옆)
			1996	O	O	O		월촌부락
	3		1995	X	X	O		삼평교옆 하천에
			1995	O	X	O	생활용수겸용	신천부락 입구
			1998	O	O	O		
				O	O	O		
			1996	O	O	O		
			1982	X		X		
				X		X	관하초등학교	
				O		O	매전초등학교	
삼상	15		1995	O	O	O	점평보	서원지당 앞
삼상	7.5	50	1998	O	X	X	생활용수겸용	서원뒷산 입구
	15		1988	X	X	X		삼거리(학바위식당 근처)
단상	10		1995	O	O	O	풍양지	
단상	10		1997	O	O	O		
단상	10		1996	O	O	O		
			1993	X	X	X	발용수	저수지 가는 길
단상	8		1996	O	O	O		
				O	O	O		
단상	8		1994	X	X	X		
삼상	15		1998	O	O	O	신지보조	신지 낚시터 앞
단상	10		1995	O	O	O	상당지	신촌3리 입구
			2000	O	O	O	생활용수	
단상	15		1994	X	O	O	신촌지	
단상	10		1997	O	O	O	명덕지	
삼상	10		1997	O	O	O	생활용수겸용	저수지뒷쪽 언덕에
단상	15		1994	X	O	O		수위측정 불가
				X	X	X		소형관정
단상	10		1995	O	O	O	대곡지	저수지가는 길에
단상	10		1995				가곡지	수위측정 불가
단상	15		1994	O	X	O	칠곡지	사과밭에
삼상	10		1997	O	O	O	생활용수겸용	
			1982	X		X		
	25		1982	X	X	X		
				O	O	O		소형관정
단상	8		1994	X	O	X	귀일지	수야4리 마을입구(개울옆)
단상	15		1995					
				O	O	O		
단상	10		1995	O	O	O	각계지(농기공)	
삼상	15		1995	O	X	O	용곡지	
단상	10		1995	O	O	O	강정지	수위측정불가(나사로 조여있음)
삼상	15		1994	X	X	O		
삼상	5.0	40	1998	O	X	O	생활용수겸용	

공번	위 치			수해 면적	자연수위	채수량	우물	
	읍면	동리	지번				직경	심도
WM02	운문면	마일1리			5.83 (+40 Cm)		250.00	
WM03	운문면	마일2리	867-1	3.00	4.3 (+27 Cm)	250.00	250.00	200.00
WM04	운문면	마일2리	333	3.00	1.37 (+35 Cm)	300.00	200.00	191.00
WM05	운문면	봉하리	148-3	3.00	9.85 (+46 Cm)	400.00	200.00	100.00
WM06	운문면	봉하리			1.8 (+16 Cm)			
WM07	운문면	봉하리			17.6 (-31 Cm)	150.00	200.00	104.00
WM08	운문면	신원리	125	2.00	12.0 (미측정)	300.00	250.00	110.00
WM09	운문면	오진리	501-1	3.00	4.6 (+113 Cm)	350.00	250.00	104.00
WM10	운문면	신원리			6.45 (-20 Cm)			80.00
CD01	청도읍	월곡리			측정불가			
CD02	청도읍	월곡리			측정불가			
CD03	청도읍	초현리			8.9 (0 Cm)			
CD04	청도읍	월곡리						
CD05	청도읍	원리						
CD06	청도읍	사촌리	472	1	3.36 (+62 Cm)		200	203
CD07	청도읍	상리			7.8 (-100 Cm)		250	100
CD08	청도읍	운산2리			2.27 (-20 Cm)		250	150
CD09	청도읍	부야1리	748	3	11.61 (-33 Cm)		200	110
CD10	청도읍	원정리	747		2.4 (-15 Cm)			
CD11	청도읍	무등2리		3	1.2 (-30 Cm)		250	150
CD12	청도읍	무등1리		3	5.52 (-100 Cm)		250	150
CD13	청도읍	무등리						
CD14	청도읍	내리		3	측정불가		200	105
CD15	청도읍	덕암2리	386-1	3	0.38 (-20 Cm)		200	105
CD16	청도읍	덕암2리	335	3	11.17 (-68 Cm)		200	94
CD17	청도읍	무등리			4.5 (-57 Cm)			80
PG01	풍각면	흑석1리	912-1	3.00	2.48 (-88 Cm)	300.000	200	120
PG02	풍각면	덕양1리	739	3.00	2.4 (+50 Cm)	530.000	250	120
PG03	풍각면	덕양1리	1048	3.00	2 (0 Cm)	280.000	200	130
PG04	풍각면	월봉1리	566-1	3.00	0.65 (0 Cm)	590.000	200	108
PG05	풍각면	현리			측정불가(상수도)		250	280
PG06	풍각면	상수월리	산102	5.00	2.87 (0 Cm)	180.000	250	220
PG07	풍각면	상수월리	419		4.03 (+20 Cm)		250	150
PG08	풍각면				미측정			
PG09	풍각면	성곡2리	235	3.00	1.0 (+10 Cm)	350.000	200	102
PG10	풍각면	성곡3리	1049	3.00	2.53 (0 Cm)	270.000	200	110
PG11	풍각면	화산2리			0.0 (0 Cm)		200	
PG12	풍각면	금곡리	625-6	3.00	7.22 (+22 Cm)	280.000	200	102
PG13	풍각면	금곡리	284	5.00	2.07 (-30 Cm)		250	70
PG14	풍각면	안산1리			3.47 (-23 Cm)		200	
PG15	풍각면	안산2리	1461-1	3.00	1.47 (-73 Cm)	327.000	250	100
PG16	풍각면				미측정			
PG17	풍각면	안산2리			1.3 (-40 Cm)			
PG18	풍각면	흑석2리	1692	3.00	3.01 (+30 Cm)	500.000	250	100
PG19	풍각면	흑석1리	1636-39	5.00	2.12 (-58 Cm)	453.000	250	100
PG20	풍각면	차산2리	335	3.00	3.80 (+30 Cm)	380.000	250	100
PG21	풍각면	봉기리	699		12.27 (-100 Cm)			

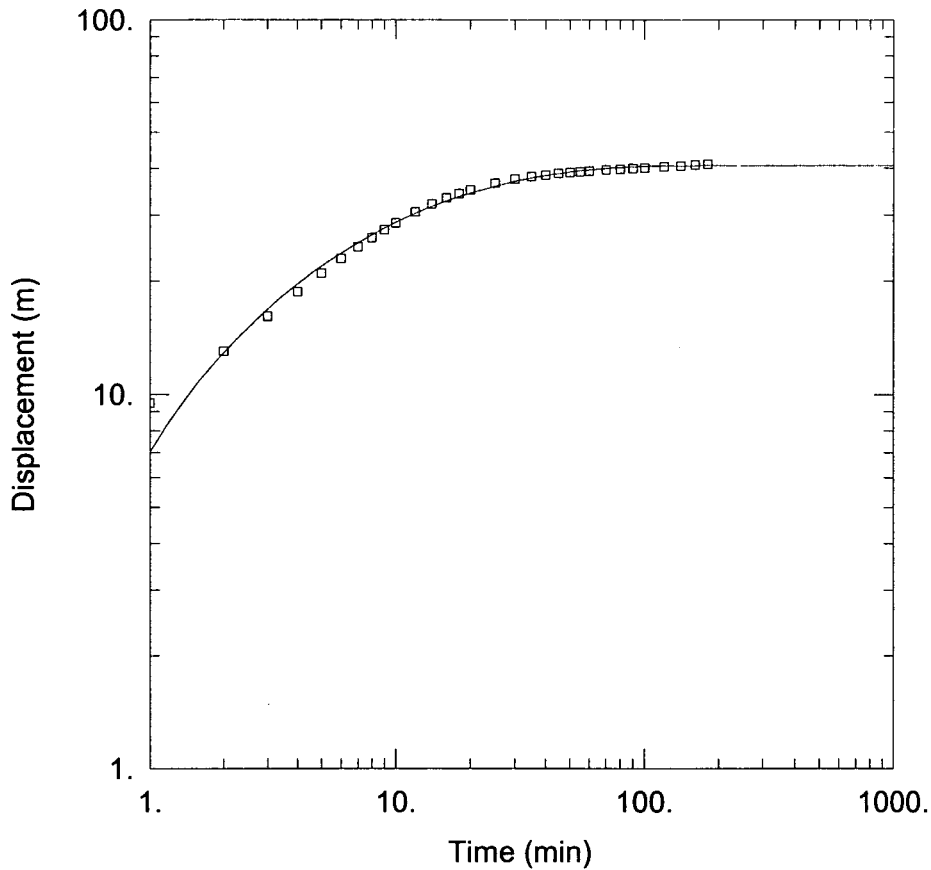
모터/펌프			설치 년도	유량계	출수 장치	수위 측정관	부대시설	기타
형식	마력	구경						
				O	X	O		
단상	15.0		1996	O	X	O	비조곡지, 신광앞	
단상	10.0		1995	O	O	O	회룡지, 쾌기	
단상	10.0		1995	O	X	O		농협창고 옆
				O	O	O		
	3.0	40	1996	O	X	O		지촌지
단상	7.5	50	1999	O	O	O	생활용수겸용	미측정
단상	15.0		1996	O	O	O	금곡지	
				O		O	방지-문명분교내	
삼상	10		1995	X	O	O		
			1996					
			2000	O	O	O		
단상	10		1995				부야지(농기공)	
단상	40		1982					
단상	25		1982					
단상	8		1994				상수도	
단상	8		1994				내동지	
단상	10		1995				아간지	
			1982				확정지	
단상	8		1994	X	O	X	정기미	
단상	10		1996	O	O	O	극락지	개울과 논 사이길에
단상	10		1995	O	O	X		
단상	10		1996	O	O	O	월산지	
			1999	O	O	O	상수도	
단상	10	50	2000	O	O	O	상수월지보조	
			1997	O	O	O		상수도
단상	10		1995	O	X	O	장기지	
단상	10		1995	O	X	O	성재지	
			1997(?)	O	X	O		동원지 가기전(마을안)
단상	8		1994	O	X	O	화금지	
			2000	O	O	O	생활용수	화산리가는 길에
				O	X	X		돈사가는 길에
단상	10	65	2000	O	O	O	안산지보조	
				X	X	X		
삼상	15		1997	O	O	O		
삼상	10	65	2000	O	X	O	안산지보조	
단상	10		1996	X	O	O	구지	
				X		X	풍각초등학교내	

공번	위 치			수혜 면적	자연수위	채수량	우물	
	읍면	동리	지번				직경	심도
HY01	화양읍	비석리			측정불가			
HY02	화양읍	신봉리	468	3.0	1.7 (+10 Cm)	300	200	102
HY03	화양읍	동천리	447	3.0	17.89 (0 Cm)	260	200	130
HY04	화양읍	동천리	616		16.9(-33 Cm)	450	200	130
HY05	화양읍	동천리	616-2			470	200	130
HY06	화양읍	동천리	416		10 Cm (0 Cm)			
HY07	화양읍	동천리			6.32 (+30 Cm)		200	110
HY08	화양읍	동천리			7.09 (+30 Cm)			
HY09	화양읍	동천리			5.67 (+40 Cm)			
HY10	화양읍	합천리	139		1.42 (+22 Cm)			
HY11	화양읍	동천리	492-1		5.01 (-40 Cm)		250	150
HY12	화양읍	송북리			측정불가			
HY13	화양읍	송북리	291-1		측정불가		200	130
HY14	화양읍	동천리	17-2		7.3 (+37 Cm)		250	120
HY15	화양읍	범곡1리	402-2		2.52(-30 Cm)		250	100
HY16	화양읍	범곡2리	145	4.0	측정불가	800	250	130
HY17	화양읍	범곡1리			미측정			
HY18	화양읍	합천리	109-1	3.0	3.12 (+56 Cm)	700	200	102
HY19	화양읍	송북리	230	3.0	3.38 (+8 Cm)	310	50	105
HY20	화양읍	토평2리	456-1	5.0	2.76 (-22 Cm)	800	250	122
HY21	화양읍	토평3리	746-1	3.0	측정불가	790	200	100
HY22	화양읍	유등1리	642-1	3.0	5.58 (+30 Cm)	270	200	160
HY23	화양읍	유등1리	744	3.0	3.2 (-30 Cm)	1000	200	120
HY24	화양읍	유등2리	53	3.0	2.2 (-80 Cm)	270	200	102
HY25	화양읍	유등1리			5.55 (-15 Cm)			
HY26	화양읍	유등2리	995-21	3.0	1.52 (+45 Cm)	800	200	60
HY27	화양읍	유등2리	1351-1	5.0	1.57 (0 Cm)	300	250	144
HY28	화양읍	유등1리	1389-3	3.0	0.48 (+10 Cm)	500	250	100
HY29	화양읍	유등3리	212	3.0	미측정	300	200	100
HY30	화양읍	삼신리	196-2	3.0	8.26 (+60 Cm)	600	200	60
HY31	화양읍	교촌리	3103-1	5.0	7.43 (+50 Cm)	260	250	107
HY32	화양읍	합천1리	469-2	3.0	2.27 (+64 Cm)	590	250	100

모터/펌프			설치 년도	유량계	출수 장치	수위 측정관	부대시설	기타
형식	마력	구경						
								폐공(?, 사용하지 않음)
단상	10		1995	○	○	X	신봉지	하천/복숭아밭 사이
단상	10		1996	○	○	○	동천지	남산 올라가는 길(과수원안)
단상	15		1996				금장지	남산 올라가는 길(과수원안)
단상	15		1997					
			1996	○	○	○		소형관정 공설운동장 뒤와 저수지 사이
				○	○	○		
			1982					삼거리(합천방향)
			1982					공설운동장 앞
				X	○	X		수위측정 불가
			1982					
			2000	○	○	○		우장한우 갈비살가든 앞밭
			2000					범곡리 소방소 지나서
단상	35		1982	X	○	X		수위측정 불가
단상	10		1995	○	○	○	북정보	밤밭사이
삼상	8		1994	○	○	○	동천지	송북리 동네 안
삼상	15	80	2000	○	○	○	토평양수장 보조	토평리공동 작업장
삼상	15		1996				굼보	
삼상	8		1996	○	○	○	부곡보	가구공장 앞
단상	35		1982	X	○	X		죽촌마을 앞
단상	10		1995	○	○	○		
				X	○	X		죽촌마을 맞은편 마을안
삼상	15		1994	○	○	○	노산지	하늘과땅사이 앞
삼상	10	65	2000				노산지보조	하늘과땅사이 들어가기전
삼상	15		1994	X	○	X	발용수개발	하늘과땅사이 반대편
	7.5		1992				발용수	내죽지 안
삼상	15		1995	○	○	○	남성현지	삼신 저수지 밑
단상	10	50	2000	○	○	○	교촌향교 뒤	
삼상	15		1996	○	○	○	화강지(농조)	

청도지구 양수시험결과해석 전산출력물

여 백



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\HY07.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:32:08

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW11
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

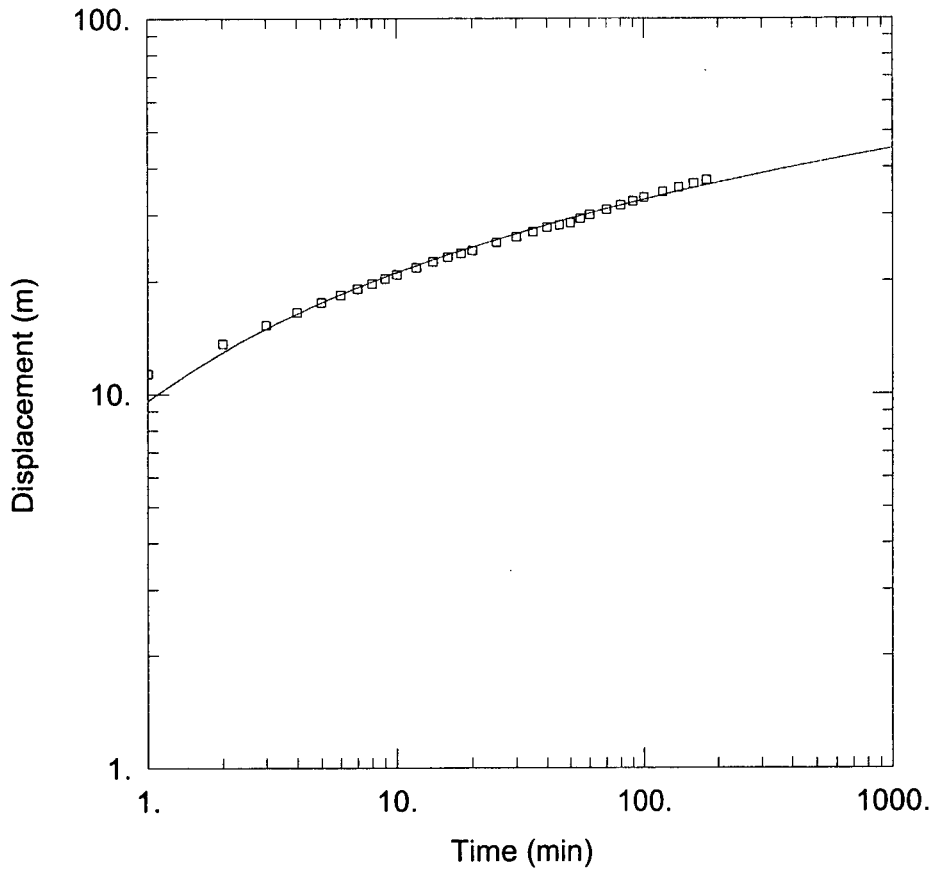
Saturated Thickness: 80. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW11	0	0	□ OW11	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 1.736 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.1062$
 $r/a = 0.2324$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\HY14.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:32:34

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW12
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

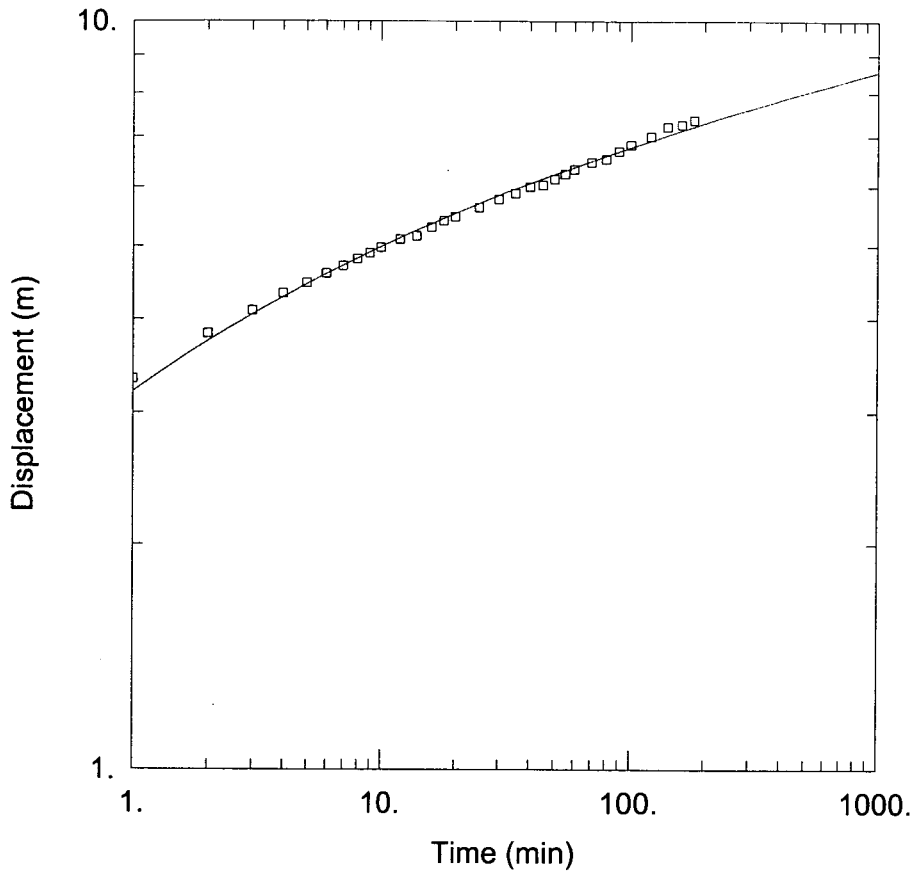
Saturated Thickness: 90. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW12	0	0	□ OW12	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Theis
 T = 4.607 m²/day S = 0.05516



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\HY15.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:32:54

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW05
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

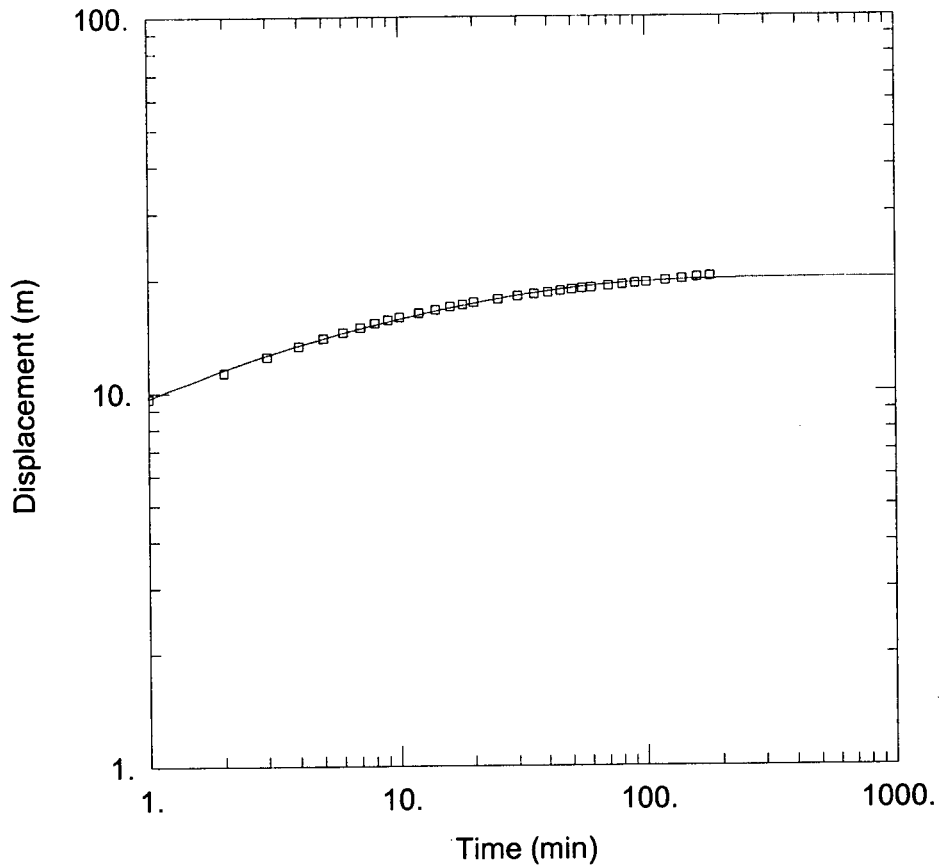
Saturated Thickness: 70. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW05	0	0	□ OW05	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Theis
 T = 8.208 m²/day S = 0.009269



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\HY31.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:33:10

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW09
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

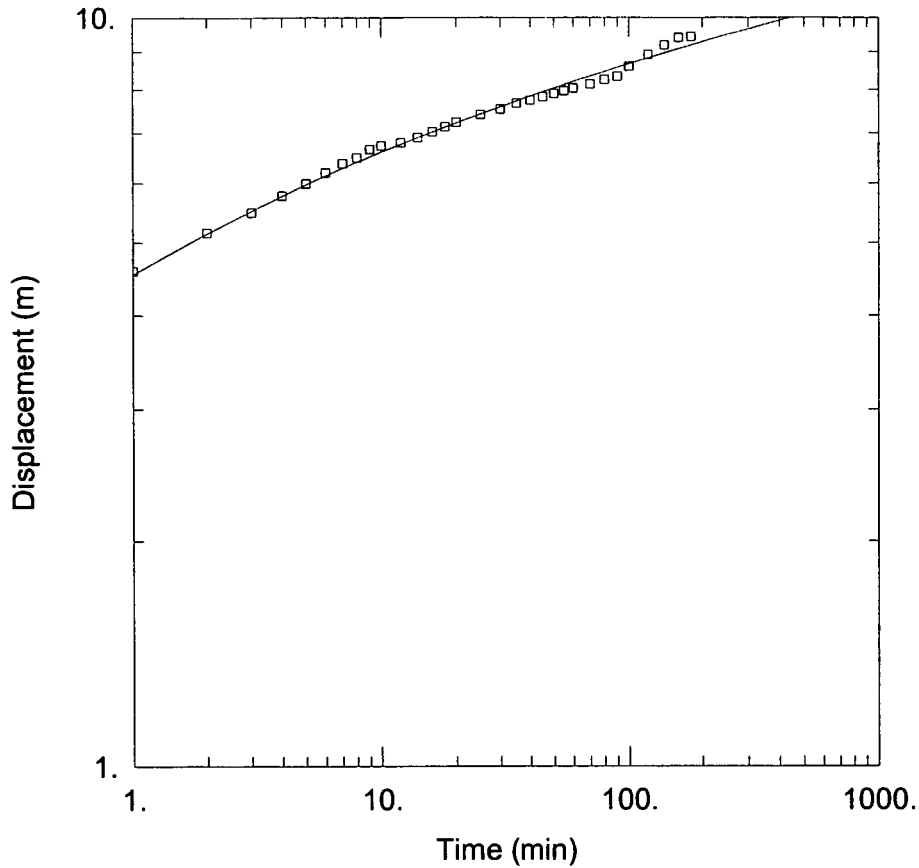
Saturated Thickness: 70. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW09	0	0	□ OW09	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 5.035 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.01061$
 $r/a = -0.0302$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\HY32.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:33:23

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW04
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

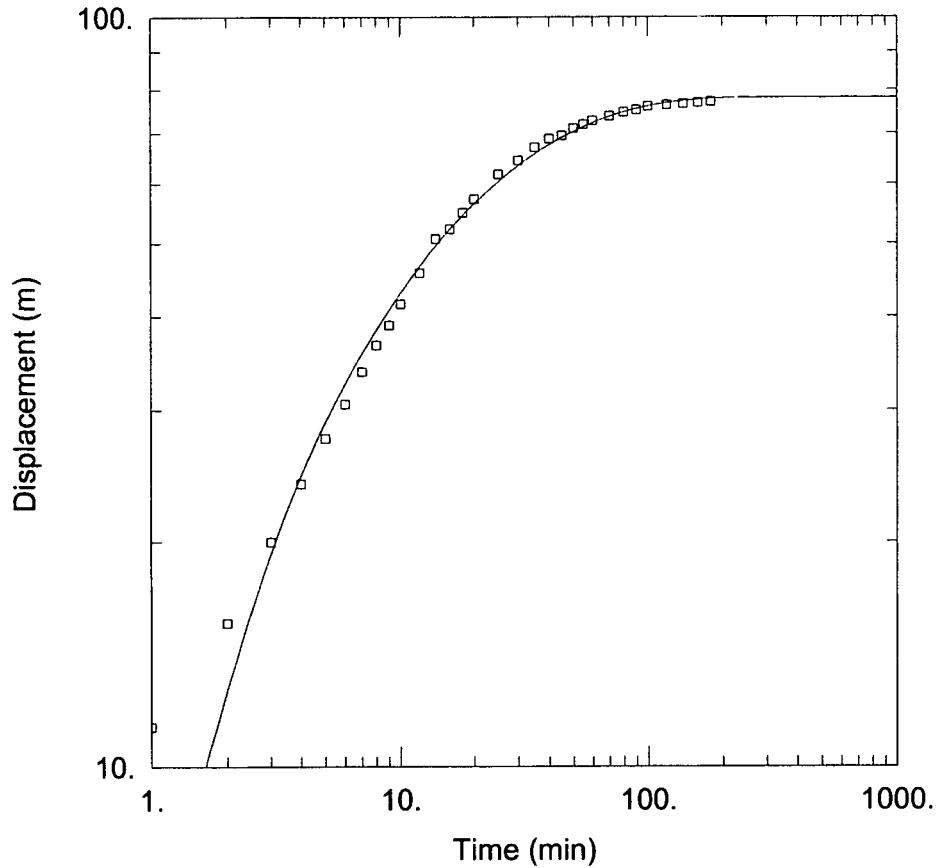
Saturated Thickness: 70. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW04	0	0	□ OW04	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 42.53 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.01916$
 $r/a = 4.544\text{E-}05$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\KN09.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:33:38

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW06
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

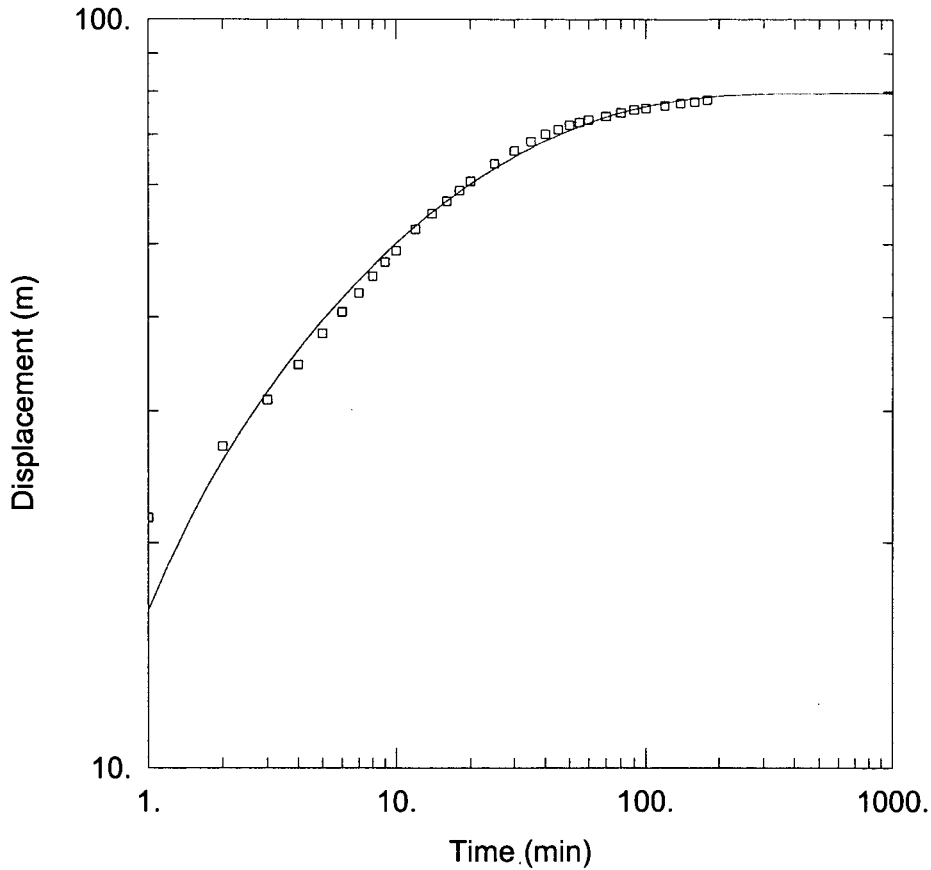
Saturated Thickness: 100. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW06	0	0	□ OW06	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 0.7399 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.1048$
 $r/a = 0.2774$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\KN13.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:33:58

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW13
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

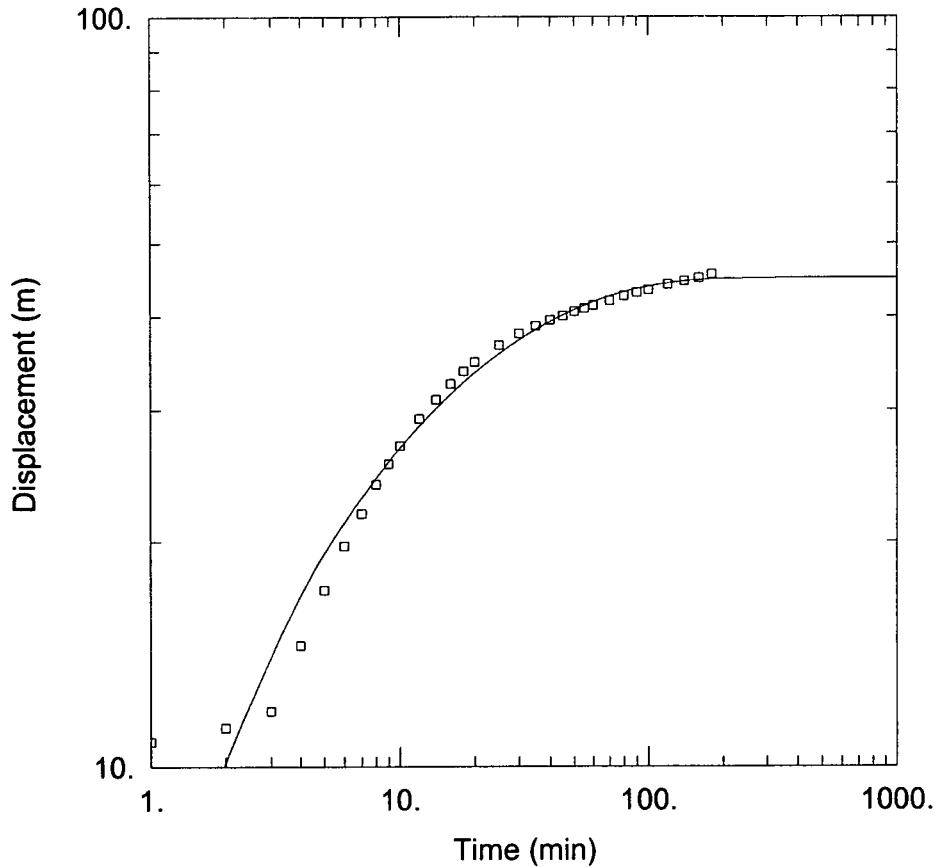
Saturated Thickness: 100. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW13	0	0	□ OW13	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 1.354 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.04701$
 $r/a = 0.1114$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\KN16.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:34:13

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW02
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

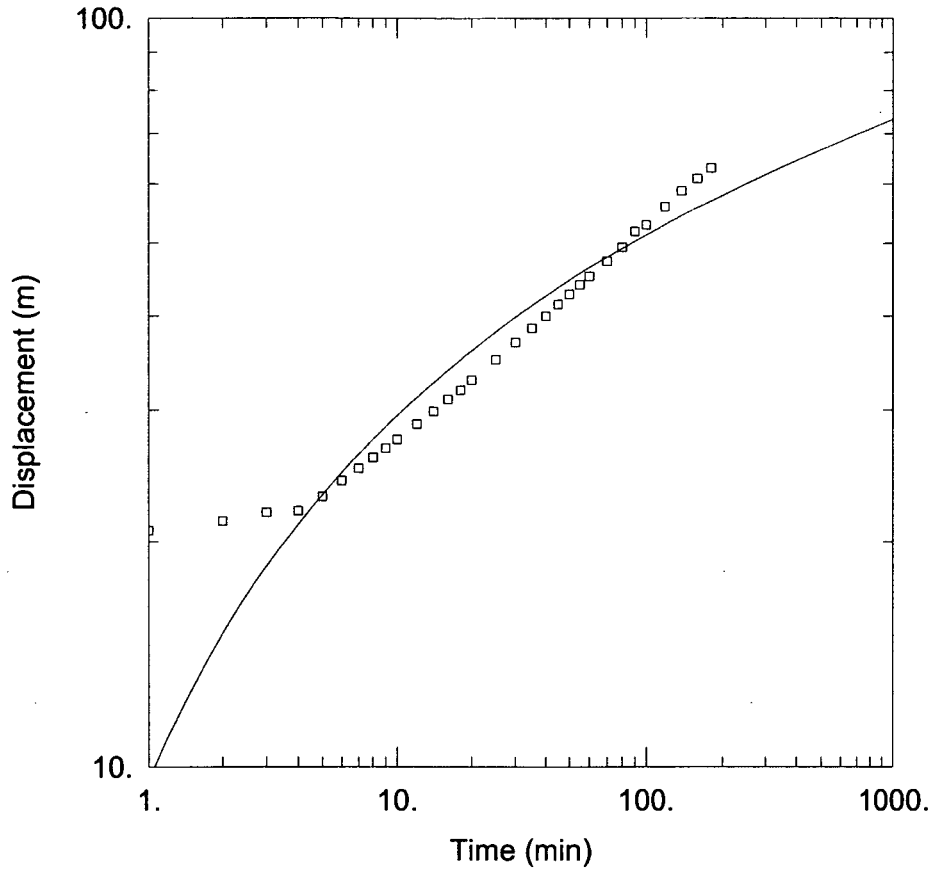
Saturated Thickness: 90. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW01	0	0	□ OW01	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 1.748 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.1542$
 $r/a = 0.2118$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\MJ14.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:34:30

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW07
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

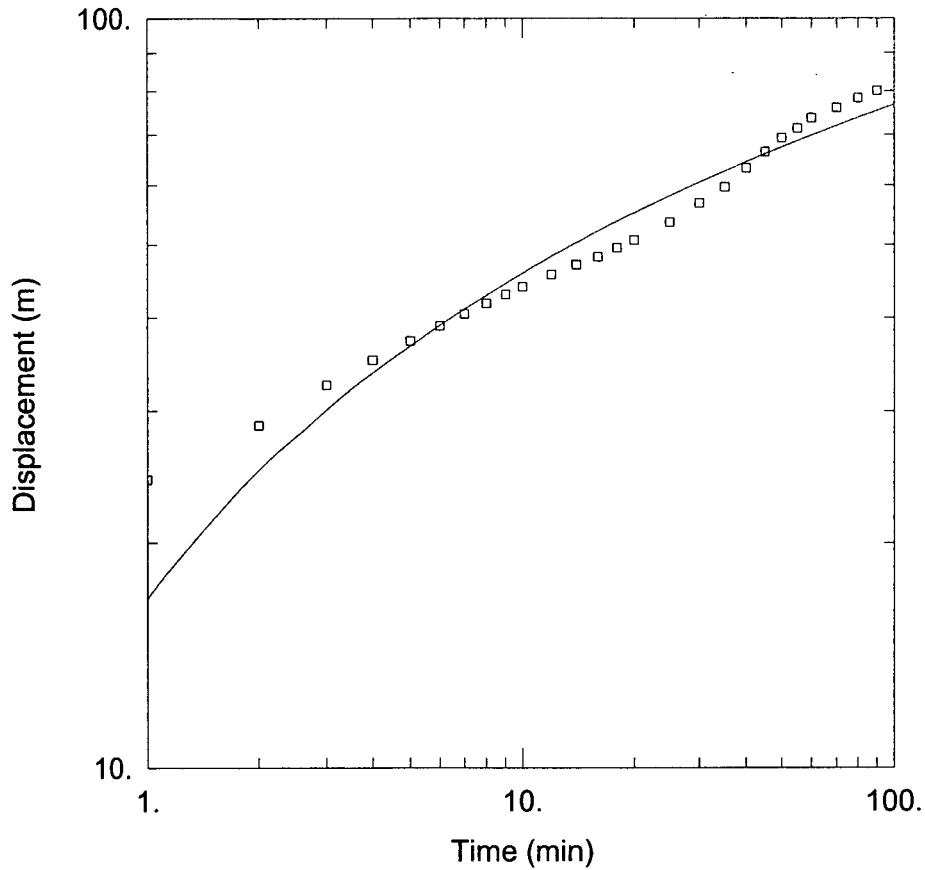
Saturated Thickness: 80. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW07	0	0	□ OW07	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Theis
 T = 1.082 m²/day S = 0.03501



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\MJ15.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:35:00

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW08
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

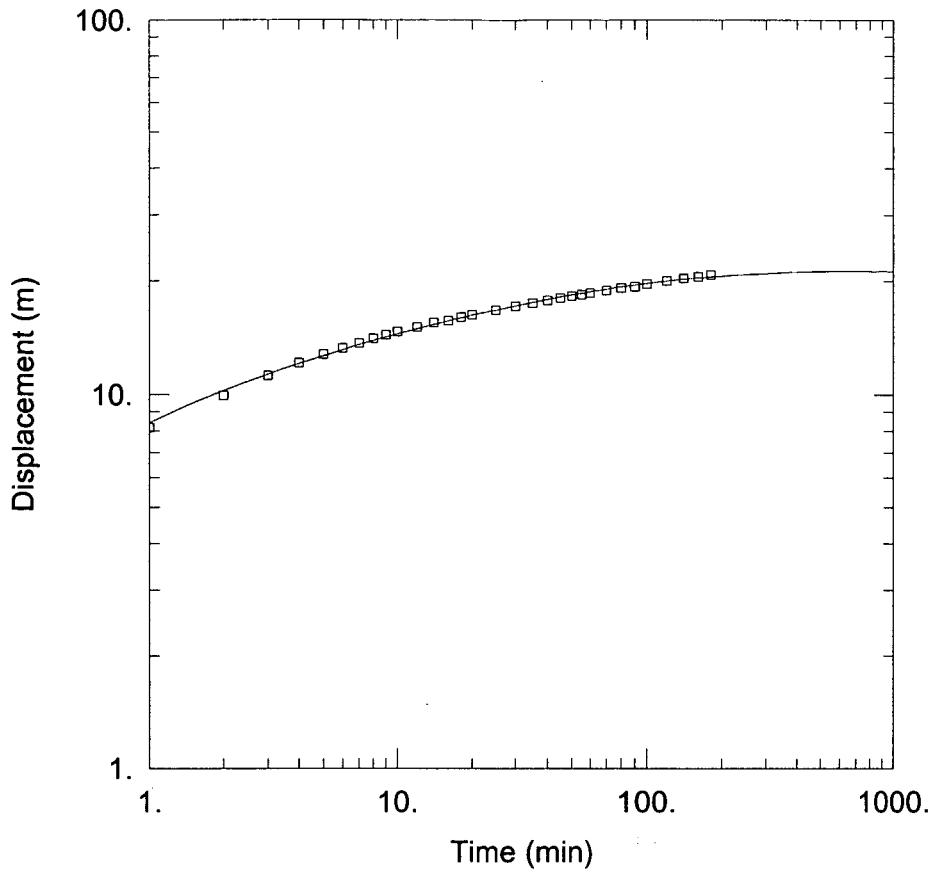
Saturated Thickness: 80. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW08	0	0	□ OW08	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Theis
 T = 1.565 m²/day S = 0.03772



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\ES06.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:35:15

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW03
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

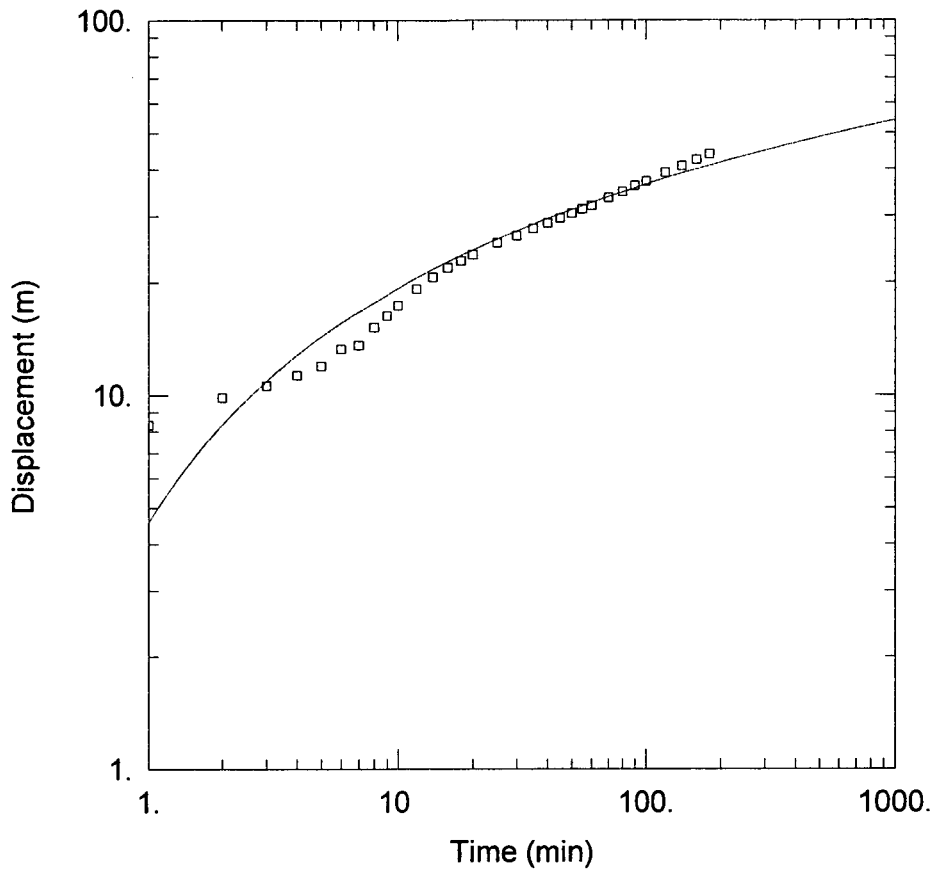
Saturated Thickness: 70. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW01	0	0	□ OW01	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 12.04 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.0388$
 $r/a = -0.02244$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\ES11.aqt
 Date: 01/07/02 Time: 09:19:12

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW10
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

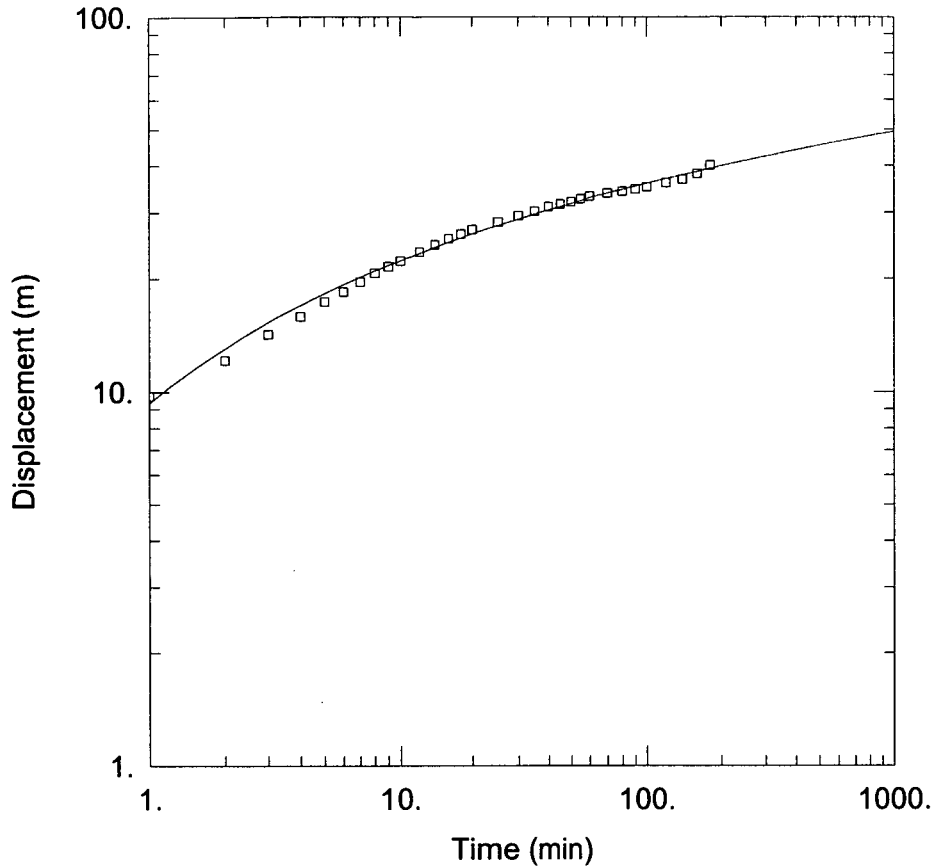
Saturated Thickness: 70. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW10	0	0	□ OW10	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Theis
 T = 5.009 m²/day S = 0.29



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\ES15.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:35:43

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW15
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

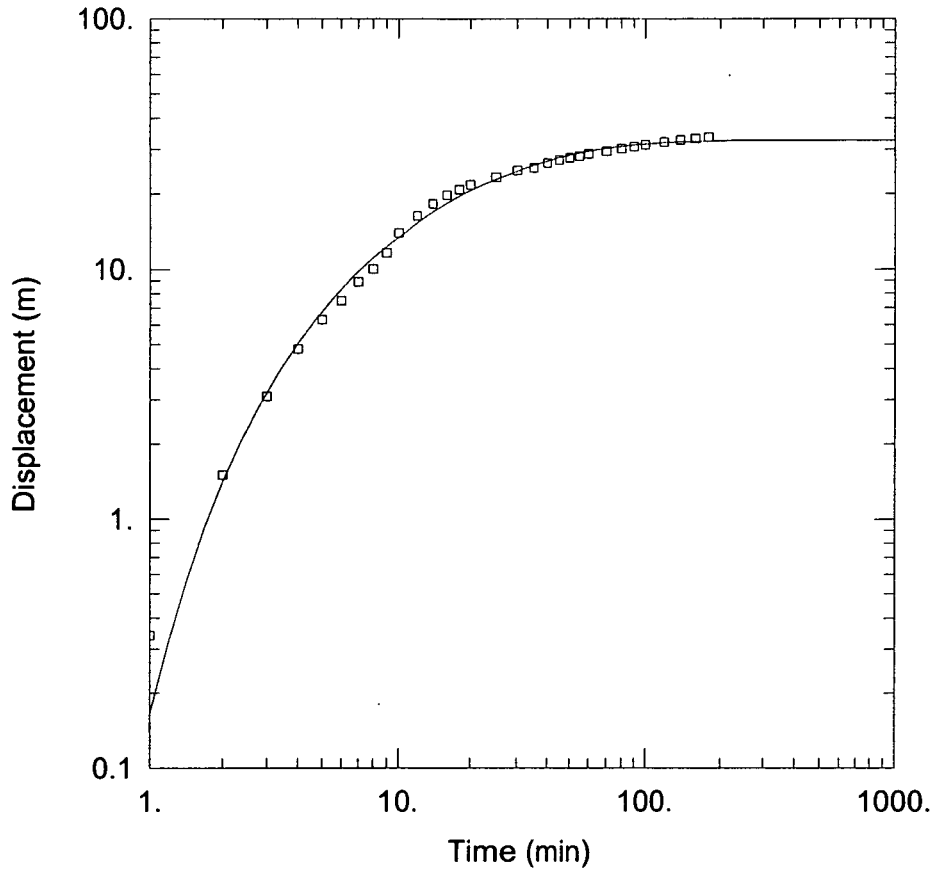
Saturated Thickness: 70. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW15	0	0	□ OW15	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Theis
 $T = 4.479 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.07253$



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\ES31.aqt
 Date: 01/04/02 Time: 19:35:57

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW14
 Test Date: 2000-09-27

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 70. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells

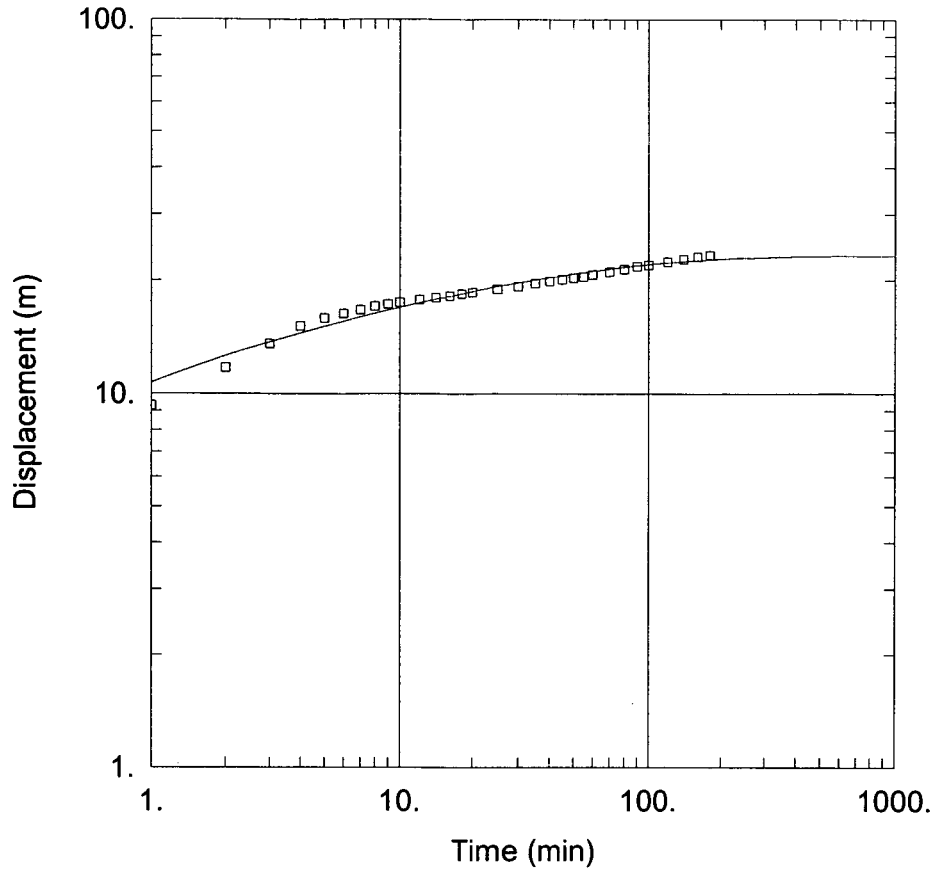
Well Name	X (m)	Y (m)
PW14	0	0

Observation Wells

Well Name	X (m)	Y (m)
□ OW14	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 T = 2.989 m²/day S = 1.197
 r/a = 0.4931



WELL TEST ANALYSIS

Data Set: M:\경북 청도군\양수시험결과도(2)\GC10.agt
 Date: 01/04/02 Time: 19:36:11

PROJECT INFORMATION

Company: KARICO
 Client: 농업기반공사
 Project: 청도군 광역수맥조사
 Test Location: 경북 청도군
 Test Well: TW01
 Test Date: 2000-09-26

AQUIFER DATA

Saturated Thickness: 130. m Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.

WELL DATA

Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PW01	0	0	□ OW01	0.15	0

SOLUTION

Aquifer Model: Confined Solution Method: Hantush (Wedge)
 $T = 7.624 \text{ m}^2/\text{day}$ $S = 0.01161$
 $r/a = -0.01765$

청도군광역수맥조사보고서

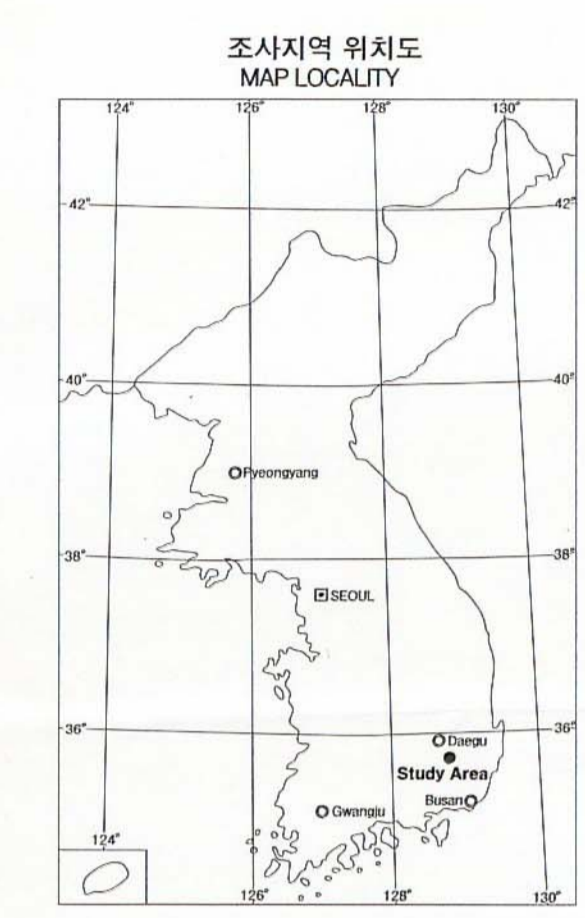
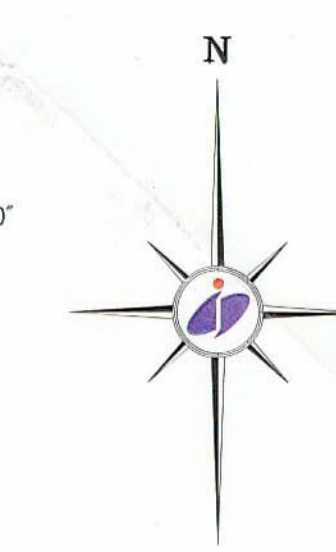
2001년 12월 일 발행

발 행 : 농림부, 농업기반공사
편 집 : 농업기반공사 지하수사업처
인 쇄 : 대영문화사 (02)2269-3881

청도지구 광역수맥도

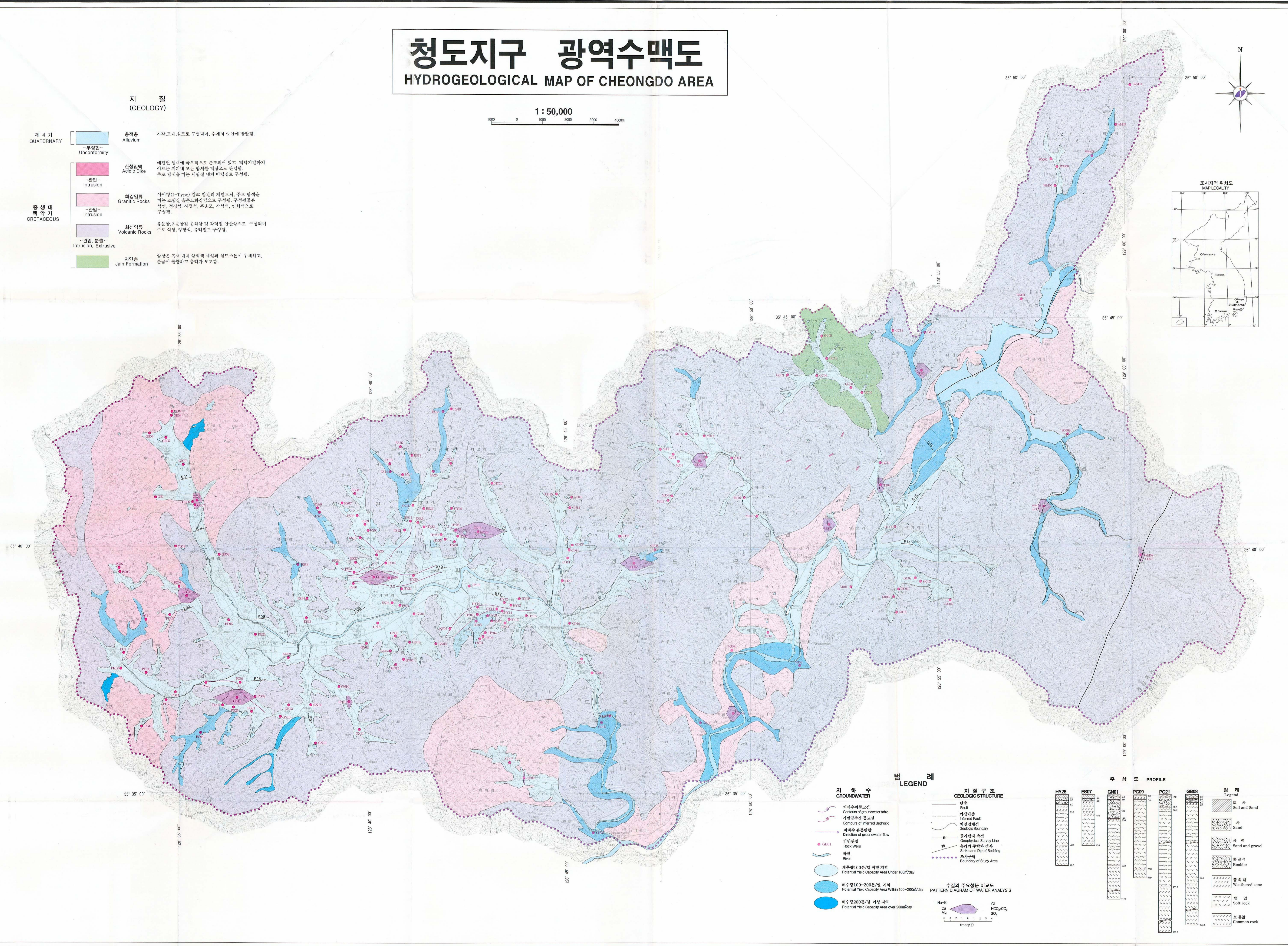
HYDROGEOLOGICAL MAP OF CHEONGDO AREA

1 : 50,000



지질 (GEOLOGY)

- | | |
|---|---|
| <p>제 4 기
QUATERNARY</p> <p>~부정합~
Unconformity</p> | <p>충적층
Alluvium</p> <p>자갈, 모래, 실트, 점토로 구성되어, 수계의 양안에 발달됨.</p> |
| <p>중생대
CRETACEOUS</p> <p>~관입~
Intrusion</p> | <p>산성암맥
Acidic Dike</p> <p>백악기 중엽에 국부적으로 분포되어 있고, 벽각기말까지 이르는 지리시모은 암맥을 대상으로 관입함. 주로 담색을 띠는 세립질 내지 미립질로 구성됨.</p> |
| <p>~관입~
Intrusion</p> | <p>화강암류
Granitic Rocks</p> <p>아이틸(I-Type) 알로 알칼리 계열로서, 주로 담색을 띠는 조립질 유준호화강암으로 구성됨. 구성광물은 석영, 광장석, 사장석, 흑운모, 각섬석, 인회석으로 구성됨.</p> |
| <p>~관입, 분출~
Intrusion, Extrusive</p> | <p>화산암류
Volcanic Rocks</p> <p>유문암, 유문암질 용회암 및 각력질 안산암으로 구성되어 주로 석회, 광장석, 유리질로 구성됨.</p> |
| <p>자갈층
Jain Formation</p> | <p>암상은 흑색 내지 암회색 색인과 실트스톤이 우세하고, 분암이 발달하고 중리가 모호함.</p> |



지하수 LEGEND

- 지하수위등고선
Contours of groundwater table
- 기반암주상 등고선
Contours of Interbed Bedrock
- 지하수 유동방향
Direction of groundwater flow
- 암반관정
Rock Wells
- 하천
River
- 계수역 1000분/일 미만 지역
Potential Yield Capacity Area Under 1000l/day
- 계수역 100~200분/일 지역
Potential Yield Capacity Area Within 100~2000l/day
- 계수역 200분/일 이상 지역
Potential Yield Capacity Area Over 2000l/day

지질구조 GEOLOGIC STRUCTURE

- 단층
Fault
- 기암단층
Interbed Fault
- 지질경계선
Geologic Boundary
- 물리탐사 측선
Geophysical Survey Line
- 층리의 우향과 경사
Strike and Dip of Bedding
- 조사구역
Boundary of Study Area

수질의 주요성분 비교도 PATTERN DIAGRAM OF WATER ANALYSIS

Na+K, Ca, Mg, Cl, HCO₃-CO₃, SO₄

(mg/l)

추상도 PROFILE

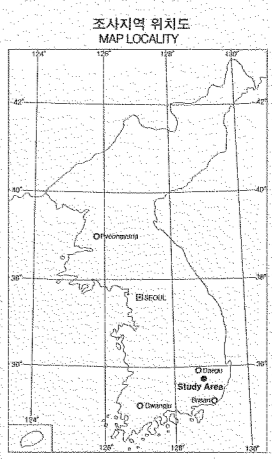
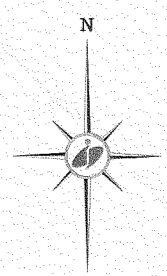
법례 Legend

- 모사
Soil and Sand
- 사
Sand
- 사 및 자갈
Sand and gravel
- 조립석
Builder
- 용회대
Weathered zone
- 암암
Soft rock
- 보통암
Common rock

청도지구 광역수맥도

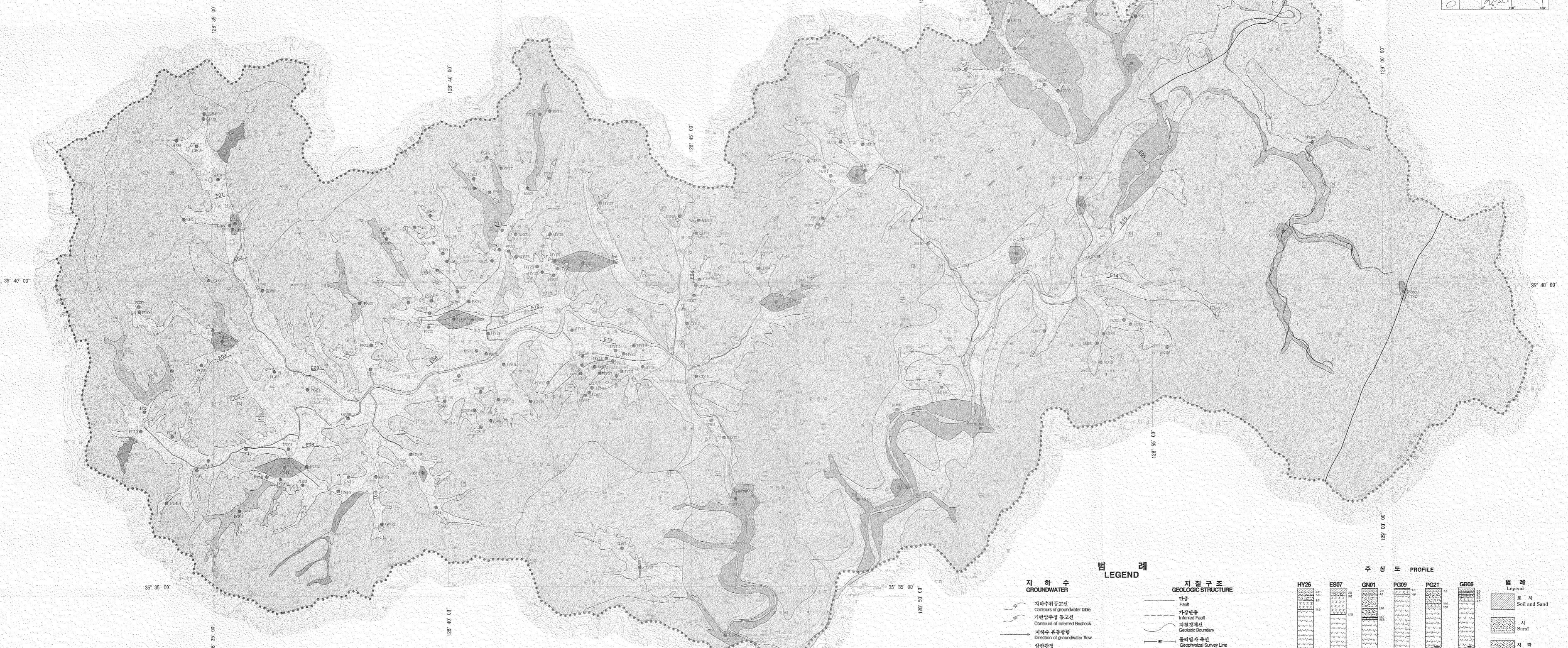
HYDROGEOLOGICAL MAP OF CHEONGDO AREA

1 : 50,000



지 질 (GEOLOGY)

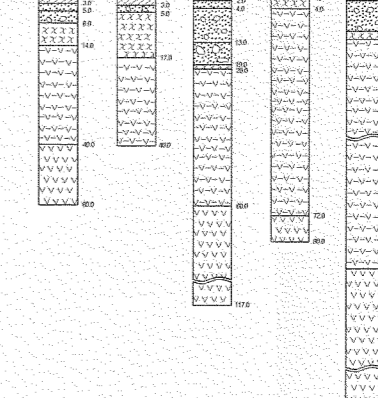
- | | | | |
|----------------------------|--|----------------------------------|--|
| 제 4 기
QUATERNARY | | 충적층
Alluvium | 자갈, 모래, 실트, 점토로 구성되어, 수계의 상안에 발달됨. |
| | | -부정합-
Unconformity | |
| | | 산성암맥
Acidic Dike | 배반된 틈새에 국부적으로 분포되어 있고, 벽각기암까지 이르는 지리적 또는 암맥을 대상으로 관입됨. 주로 암석을 마는 세립질 내지 미립질로 구성됨. |
| | | -관입-
Intrusion | |
| 중생대
CRETACEOUS | | 화강암류
Granitic Rocks | 아이형(I-Type) 안료 알칼리 계열로서, 주로 암석을 마는 조립질 유문암으로 구성됨. 구성성분은 산성, 알칼리, 사암질, 흑운모, 각암석, 인화석으로 구성됨. |
| | | -관입-
Intrusion | |
| | | 화산암류
Volcanic Rocks | 유문암, 유문암질 용회암 및 각력암 안산암으로 구성되어 주로 석영, 정장석, 유리질로 구성됨. |
| | | -관입, 분출-
Intrusion, Extrusive | |
| | | 자민층
Jain Formation | 암상은 흑색 내지 암회색 셰일과 실트스톤이 우세하고, 분급이 불량하고 층리가 모호함. |



범례 LEGEND

- | | |
|---|---|
| 지 하 수
GROUNDWATER | 지 질 구조
GEOLOGIC STRUCTURE |
| 지하수위등고선
Contour of groundwater table | 단층
Fault |
| 기반암추정 등고선
Contours of Inferred Bedrock | 정상단층
Normal Fault |
| 지하수 유동방향
Direction of groundwater flow | 지질경계선
Geologic boundary |
| 암반관정
Rock Wells | 물리탐사 측선
Geophysical Survey Line |
| 하천
River | 층리의 추향과 경사
Strike and Dip of Bedding |
| 잠재수량 100톤/일 미만 지역
Potential Yield Capacity Area Under 100m/day | 조사구역
Boundary of Study Area |
| 잠재수량 100~200톤/일 지역
Potential Yield Capacity Area Within 100-200m/day | |
| 잠재수량 200톤/일 이상 지역
Potential Yield Capacity Area over 200m/day | |

주 상 도 PROFILE



범례 Legend

- | |
|---------------------------|
| 토 사
Soil and Sand |
| 모래
Sand |
| 모래와 자갈
Sand and gravel |
| 큰돌
Boulder |
| 풍화대
Weathered zone |
| 연암
Soft rock |
| 보통암
Common rock |

1. 대한측량학회 저서 제2002-39호 (2002년2월21일)
2. 본 지도는 국립지리원 발행 1:50,000 지형도를 기본으로 사용하여 편집, 제작한것임.

발행 : 농림부·농업기반공사

편집 및 제도 : 대주 지아이(주) TEL. (031) 758-5770