

부여군광역수맥조사보고서

1999

농림부
농어촌진흥공사

목 차

1. 서 언	7
1.1. 조사목적	9
1.2. 조사내용	9
2. 조사지역 개요	11
2-1. 위치, 교통 및 면적	11
2-2. 토지이용 및 산업현황	13
2-2-1. 농 업	16
2-2-2. 임 업	18
2-2-3. 축산업	19
2-2-4. 광공업	19
2-3. 수문기상	20
2-3-1. 기 온	20
2-3-2. 강수량	22
3. 수문지질조사	26
3-1. 지형 및 지질	26
3-1-1. 지형	26
3-1-2. 지질	28
3-2. 물리탐사	33
3-2-1. 원격탐사	33
3-2-2. 전기비저항탐사	38
3-3. 양수시험	63
3-3-1. 기설관정 양수시험	63
3-4. 대수층 특성	64
4. 기설관정 이용실태조사	66
4-1 기설관정 현황조사	66
4-2. 기설관정 지하수위조사	66
5. 수질 및 잠재오염원조사	72
5-1. 현장 간이수질검사	73
5-2. 주요이온 분석결과	81

5-3. 먹는물 기준 수질검사결과	88
5-3-1 색도	88
5-3-2 탁도	88
5-3-3 암모니아성질소, 질산성질소	88
5-3-4 과망간산칼륨소비량	88
5-3-5 증발잔류물	89
5-3-6 아연 및 알루미늄	89
5-4. 잠재오염원 조사	96
6. 지하수 자원의 부존성 평가	100
6-1. 물수지 분석	100
6-1-1. 강수량	100
6-1-2. 유출 분석	101
6-1-3. 함양량 분석	104
6-2. 지하수 부존량 및 개발 가능량	106
6-2-1. 지하수 부존량	106
6-2-2. 지하수개발가능량	108
6-2-3. 지하수 개발 예정위치 선정	112
7. 지하수자원 개발계획	114
7-1. 용도별 소요수량	114
7-2. 소요수량 공급방안	118
8. 지하수 보전 관리	119
8-1. 지하수 환경재해	119
8-2. 지하수 보전구역	122
8-2-1. 지하수자원의 보전·관리	122
8-2-2. 지하수 보전구역	125
9. 결 론	130
10. 참고문헌	133

표차례

<표 2-1> 조사지구 면적 및 행정구역 현황	11
<표 2-2> 조사지역 가구 및 인구현황	13
<표 2-3> 토지이용현황	14
<표 2-4> 농가 및 농가인구 현황	16
<표 2-5> 경지면적	16
<표 2-6> 농업진흥지역 지정	17
<표 2-7> 조사지구 작물 생산현황	18
<표 2-8> 가축 사육가구 및 마리	18
<표 2-9> 산림현황	19
<표 2-10> 부여지방의 월평균 기온	20
<표 2-11> 부여지방의 월평균 강수량	22
<표 2-12> 월별 계기증발량	25
<표 3-1> 지질계통표	28
<표 3-2> 전기비저항 쌍극자 측선 총괄표	42
<표 3-3> 기설관정 양수시험 총괄표	64
<표 4-1> 읍·면별 지하수 개소수 현황	67
<표 4-2> 읍·면별 지하수 이용현황	68
<표 4-3> 생활용 지하수 이용 현황	69
<표 4-4> 농업용 지하수 이용현황	69
<표 4-5> 지표수 이용현황	69
<표 4-6> 부여지역 기설관정 지하수위 조사 총괄표	70
<표 5-1> 부여지역 간이수질검사 결과	77
<표 5-2> 주요이온 분석결과	83
<표 5-3> 먹는물기준 지하수 수질검사결과	90
<표 5-4> 오염원의 종류	96
<표 5-5> O.T.A 잠재오염원 분류	97
<표 6-1> 한국의 지하수 부존량 (농진공, 1991)	107
<표 6-2> 부여군 지하수 부존량 추정	107
<표 6-3> 한국의 지하수개발 가능량 추정	109
<표 6-4> 지하수부존량 평가에 의한 지하수개발 가능량	111
<표 6-5> 지하수함양량 평가에 의한 지하수개발 가능량	111
<표 6-6> 지하수개발 유형	112
<표 6-7> 지하수개발 위치선정을 위한 흐름도	113

<표 7-1> 부여군 상수도 보급 현황	115
<표 7-2> 생활용수 소유수량	116
<표 7-3> 부여지역 농업용수 소요수량	117
<표 7-4> 연차별 지하수개발 사업량 및 사업비	118
<표 8-1> 지하수의 용도별 이용량	119
<표 8-2> 연도별 지하수 개발 이용현황과 우물 굴착수	119
<표 8-3> 연도별 연평균 이용량과 연평균 시설의 증가율	120
<표 8-4> 국내 지하수 환경재해의 예	121
<표 8-5> 지역별 오염방지 대책	124
<표 8-6> 지하수 보전구역 설정	128

그림차례

<그림 2-1> 조사지역 위치도	12
<그림 2-2> 부여군 토지이용 현황	15
<그림 2-3> 연도별 평균기온 분포	21
<그림 2-4> 월별 평균기온 분포	21
<그림 2-5> 연도별 평균강수량 분포	23
<그림 2-6> 월별 평균강수량 분포	23
<그림 2-7> 월별 계기증발량 분포	25
<그림 3-1> 조사지역 수계망도	27
<그림 3-2> 조사지역 지질도	29
<그림 3-3> 조사지역의 위성영상 이미지	35
<그림 3-4> 조사지역의 선구조도	37
<그림 3-5> 점전원에 의한 전위	39
<그림 3-6> 쌍극자탐사 측선배열 방법	39
<그림 3-7a> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D1, 500 m)	46
<그림 3-7b> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D2, 500 m)	47
<그림 3-7c> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D3, 500 m)	48
<그림 3-7d> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D4, 500 m)	49
<그림 3-7e> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D5, 500 m)	50
<그림 3-7f> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D6, 500 m)	51
<그림 3-7g> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D7, 500 m)	52
<그림 3-7h> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D8, 500 m)	53
<그림 3-7i> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D9, 500 m)	54
<그림 3-7j> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D10, 500 m)	55
<그림 3-7k> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D11, 500 m)	56
<그림 3-7l> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D12, 500 m)	57
<그림 3-7m> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D13, 500 m)	58
<그림 3-7n> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D14, 500 m)	59
<그림 3-7o> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D15, 500 m)	60
<그림 3-7p> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D16, 500 m)	61
<그림 3-7q> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D17, 500 m)	62
<그림 5-1> 시료채취 위치도	75
<그림 5-2> 조사지역의 pH 등치선도	78
<그림 5-3> 조사지역의 EC 등치선도	79
<그림 5-4> 조사지역의 TDS 등치선도	80

<그림 5-5a> 조사지역의 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram	84
<그림 5-5b> 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram (흑운모화강암)	85
<그림 5-5c> 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram (화강편마암)	86
<그림 5-5d> 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram (퇴적암류)	87
<그림 6-1> 우리나라 수자원 이용 현황도 (1996년 현재, 건설부)	101
<그림 6-2> 실측 증발산량과 Turc 공식에 의한 증발산량 비교	102
<그림 6-3> 계통표에 의한 조사지구 유출량	103

1. 서 언

수문지질조사 (Hydrogeologic survey)란 지하수를 포함하고 있는 각 대수층의 분포상태와 수리성, 대수층에 부존된 지하수의 산출상태와 수질 등 지하수의 여러 가지 상태를 조사하는 것이며, 이들 제반 수리자료를 일목요연하게 도면화한 것이 수문지질도 (Hydrogeologic map)이다. 광역 수문지질조사는 이제까지 통상적으로 시행되어온 특정지역을 대상으로 한 국지적인 정밀 수리지질조사와는 달리 넓은 지역의 일반적인 수문지질특성을 파악하기 위해 실시되며, 지하수 자원의 종합적인 이용 및 보존차원에서 필요한 지하수 조사이다.

우리 나라 연평균 강우량은 1,100~1,200mm로서 세계 평균 강우량 730mm에 비하여 많은 편이나 강우의 60~70%가 하절기에 집중되고 하천의 구배가 급하여 대부분이 홍수로 유출되어 하천수의 이용률이 낮을 뿐 아니라, 유역별 수자원 부존량과 용수 수요면에서도 균형을 이루지 못하고 있는 형편이다. 더욱이 인구증가와 산업발달, 생활수준 향상 등으로 각종 용수의 수요는 점증되고 있어 표류수는 물론 잠재된 중요 수원인 지하수도 거시적인 안목에서 보다 더 합리적으로 활용되어야 할 시점에 도달하였다.

대부분의 지하수는 강우기원이며 우리나라의 강우는 연평균 1,274mm로 세계 평균 강우량 822mm보다는 많으나 연 강수량의 65%가 여름철에 집중되나 한반도의 지형여건상 하천유로가 짧아 지하저류보다는 일시유출이 과대하여 지하수사용이 1994년 기준 연간 수자원총량 1,267억톤중 불과 8.6%인 26억톤으로 수요와 공급이 균형을 이루지 못하고 있다.

우리나라 지하수는 1930년대 균량미 확보를 위한 농업용수 개발 및 공업용수 개발을 목적으로 시작하여 1963~1970년까지 초기 개발 단계를 거쳐 농업진흥공사 주체로 1971~1975년까지의 정비단계, 1976~1980년까지의 재개발 단계를 거쳐 1981년~현재 성숙개발 단계를 거쳐오고 있다. 지하수개발 조사사업은 제5단계인 성숙개발 단계로 지하수 자원이 공개념화 되면서 각 지방자치단체 및 정부관련 부처에서 지하수보전구역의 설정, 유역별 지하수 기초조사, 지하수 모델링 및 수리지질도 작성을 실시하는 수맥조사 사업으로 1998년까지 86,212ha에 대해 조사를 실시하였으나 1990년대에 들어서면서 지하수자원의 효율적인 이용과 개략적인 지역별 부존량, 조사 및 개발, 이용 실태조사를 시행하고 수리지질도를 작성하여 지역별 지하수 부존성을 파악하여 지하수자원의 종합적인 이용 및 보존계획을 수립할 필요성이 대두되어 광역수리지질도 작성사업이 시행되었다.

이번 광역수문지질조사는 지하수자원의 효율적인 개발과 보존을 위해 새로 개정된 지하수법의 취지를 살려 충청남도 부여군 일대(축적 1 : 50,000 대천, 청양, 공주, 서천, 한산, 논산 일부) 1개읍(부여) 15개면(외산, 은산, 내산, 구룡, 규암, 구룡, 홍산, 옥산, 남, 장암, 임천, 충화, 양화, 세도, 석성, 초촌) 62,480ha를 선정하여 지표 지질조사, 물리탐사, 양수시험, 수질검사 등을 실시하고 이들 자료와 과거 조사구역 내에 국지적으로 시행한 수맥조사와 지하수 개발자료를 취합, 정리하고 인공위성을 이용한 원격탐사 자료(ERDAS)를 이용하여 부여지역 광역수문지질도를 작성하였다. 조사항목이 많고 넓은 반면 한정된 인력, 장비로 단기간내 실시한 조사이므로 미흡한 부분이 있으나 지역내 지형, 지질, 지하수 부존성, 수질 등을 종합적으로 고찰한 자료이므로 향후 유용하게 활용될 수 있기를 기대한다. 끝으로 본 조사에 많은 격려와 협조를 아끼지 않으신 농림부, 충청남도, 부여군 관계관들께 깊은 감사를 드린다.

1-1 조사목적

농어촌지역 종합개발사업을 효과적으로 추진하고 지역내의 수자원을 합리적으로 활용, 보존하기 위하여 지금까지 한해 상습지를 대상으로 분산적이고 국지적으로 시행하여온 수맥조사를 발전시켜 1 : 50,000 도폭 단위별로 전 국토를 대상으로 지하수자원의 효율적인 개발·이용 및 보전관리 계획수립에 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 광역수리지질도 작성을 실시하였으며, 시·군 단위로 연차적으로 시행되어 작성되고 있는 조사보고서 및 광역수리지질도는 조사지역의 분포지질, 지하수부존량 및 부존상태, 수질 분석자료 등의 지하수자원에 대한 광범위한 내용을 담고 있어 용수의 다목적 개발·이용 및 보전관리방향을 제시할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

1-2 조사내용

1-2-1 조사지역 : 부여

1-2-2 위 치 : 충청남도 부여군 일대(1개읍, 15개면)

1-2-3 조사면적 : 624.8km²

1-2-4 조사기간 : 1998. 11. ~ 1999. 8.

1-2-5 조 사 자 :

소 속	직종	직급	성 명	조 사 업 무 내 용
충남지사	지 질	2급	김 종 경	지하수 업무총괄
		3급	최 종 석	지하수 조사업무 총괄 및 지도
		4급	구 본 훈	현장조사 및 자료수집 정리 수질검사, 양·음이온분석 및 도표작성 물리탐사 및 지하수위관측 자료 정리

1-2-6 조사내용

조사지역의 지형, 지질 등 수리지질특성에 따라 조사물량이 배분되었으며, 주요 조사내용은 지구답사 및 지표지질조사, 기설관정 조사, 물리탐사, 수질검사 등이다.

조 사 실 적			조 사 장 비	
조사내역	조 사 항 목	조사량	장 비 명	수량
답사 및 지표지질	주향, 경사 조사 이용현황조사	62,480ha	Clinocompass 지형도 (1 : 50,000)	-
물리탐사	원격탐사 (선구조추출)	1지구	Landsat	-
	전기비저항(쌍극자)탐사	17측선	ABEM SAS 300 (BOOSTER 포함)	1대
기설관정 조 사	이용현황조사	424공	-	-
	지하수위 관측	157공	수위측정기	1대
	양수시험	17공	자동수위측정기	1대
			수량측정기	1대
			수중모터펌프	1대
수질검사	먹는물	50공	농어촌 연구원	-
	양·음이온 분석	50공	충남대학교 공동실험실습관	-
	온도 pH, Eh, EC, TDS 측정	50공	HANNA pH meters kit, DR-2000, HACH Conductivity / TDS Meter	각1대

2. 조사지역 개요

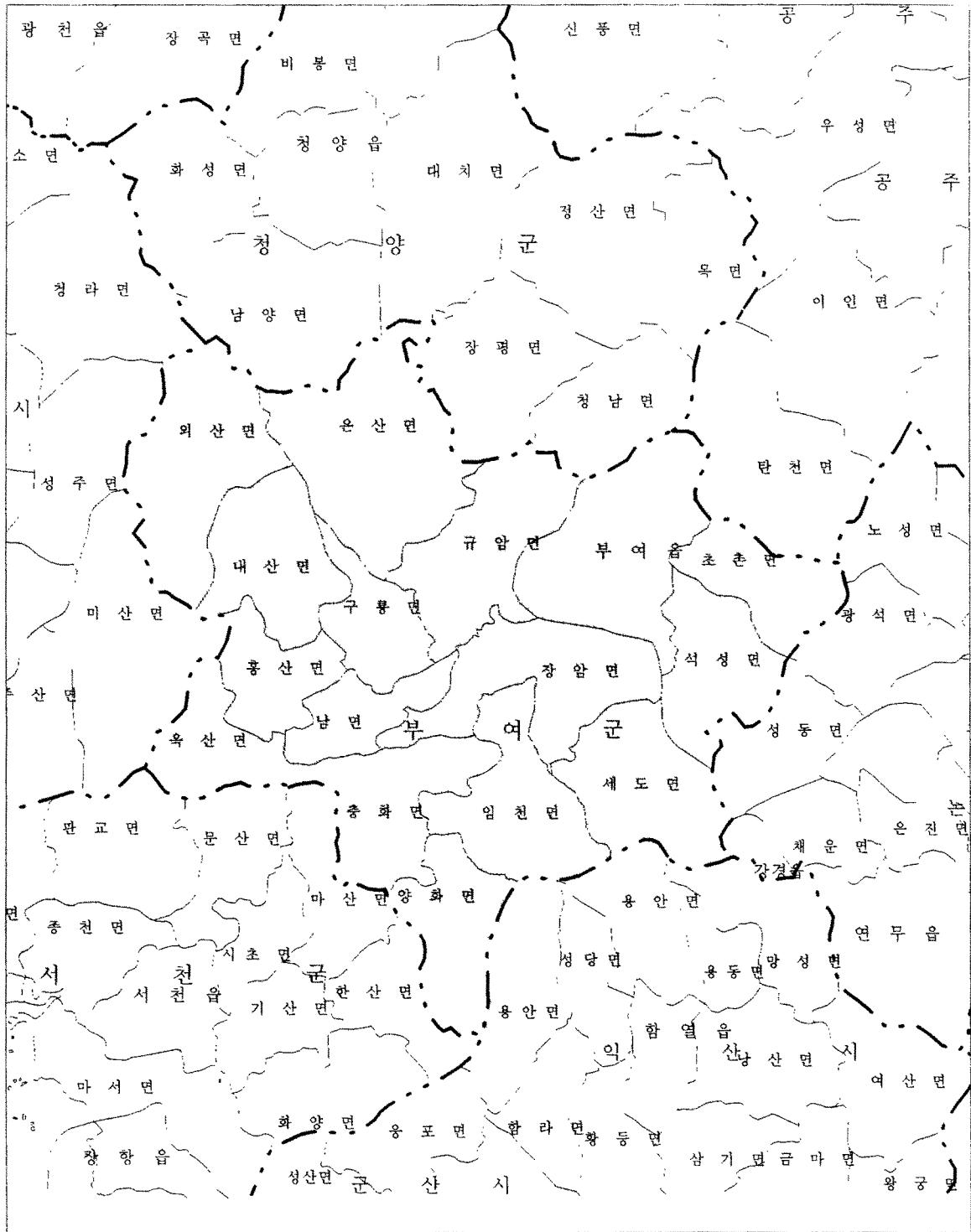
2-1 위치, 교통 및 면적

본 조사지역은 1 : 50000 도폭 동경 126° 40' 43" ~ 127° 4' 10", 북위 36° 3' 58" ~ 36° 22' 59"에 해당되고 북측으로는 청양군, 남서쪽으로는 서천군, 동측으로는 공주시 그리고 남동측으로는 전라북도와 맞닿아 있는 지역으로 면적은 624.8 km²이다. 4번 국도는 논산으로부터 연결되어 부여군의 중심을 동서로 가로지르며 석성면, 부여읍, 홍산면을 지나 전라북도 장항읍에 이른다 (그림 2-1).

<표 2-1> 조사지구 면적 및 행정구역 현황

단위 : (km², 개)

읍·면	면적	동·리		반	자연부락	
		구성비(%)	법정			행정
계	624.80	100	191	428	1,655	858
부여읍	58.86	9.4	22	51	237	92
규암면	46.99	7.5	19	30	181	51
은산면	69.48	11.1	17	27	106	66
외산면	55.59	8.9	13	23	46	43
내산면	40.41	6.5	10	24	50	36
구룡면	21.85	3.5	10	22	100	54
홍산면	23.91	3.8	10	25	105	57
옥산면	25.39	4.1	11	20	55	48
남면	20.90	3.3	9	25	92	47
충화면	37.10	5.9	9	22	70	48
양화면	32.77	5.3	12	27	97	46
임천면	43.16	6.9	11	33	124	83
장암면	47.76	7.6	10	24	116	39
세도면	42.00	6.7	11	30	109	54
석성면	30.58	5.0	6	22	90	39
초촌면	28.05	4.5	11	23	77	55



<그림 2-1> 조사지역 위치도

2-2 토지이용 및 산업현황

부여군의 총 인구는 100,869명 (31,178세대)이며, 이 중 부여읍이 29,995 (29.7%)명으로 가장 큰 비율을 보인다. 부여군의 총 토지는 624,800,120㎡이며, 은산면이 69,485,243㎡ (11.1%)로 가장 넓게 분포하고 부여, 외산, 장암, 규암, 임천, 세도, 내산, 충화, 양화, 석성, 초촌, 옥산, 호산, 구룡, 남면 순으로 나타난다 (표 2-1, 그림 2-2). 용도별로 구분하면 임야, 전, 답이 전체 토지의 84.7%를 차지하고 있으며, 그 중에서 임야가 324,479,456㎡로 전체토지의 51.9%를 차지하여 면적이 가장 넓고 전, 답이 각각 8.0%, 24.8%를 차지한다. 그 외에 과수원, 목장용지, 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 하천, 철도용지, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 묘지 및 기타가 15.3%를 점유하고 있다.

부여군은 1996년말 현재 15,083호의 농가와 47,590명의 농가인구로 구성되며 (표 2-3), 경지면적은 19,836ha로 가구당 경지면적은 131.5ha규모를 보인다.

이 지역의 임야 면적은 32,448ha로 입목지가 31,708ha, 무입목지가 740ha로 구성되며 침엽수림이 16,862ha로 전체면적의 52%를 차지한다 (표 2-4).

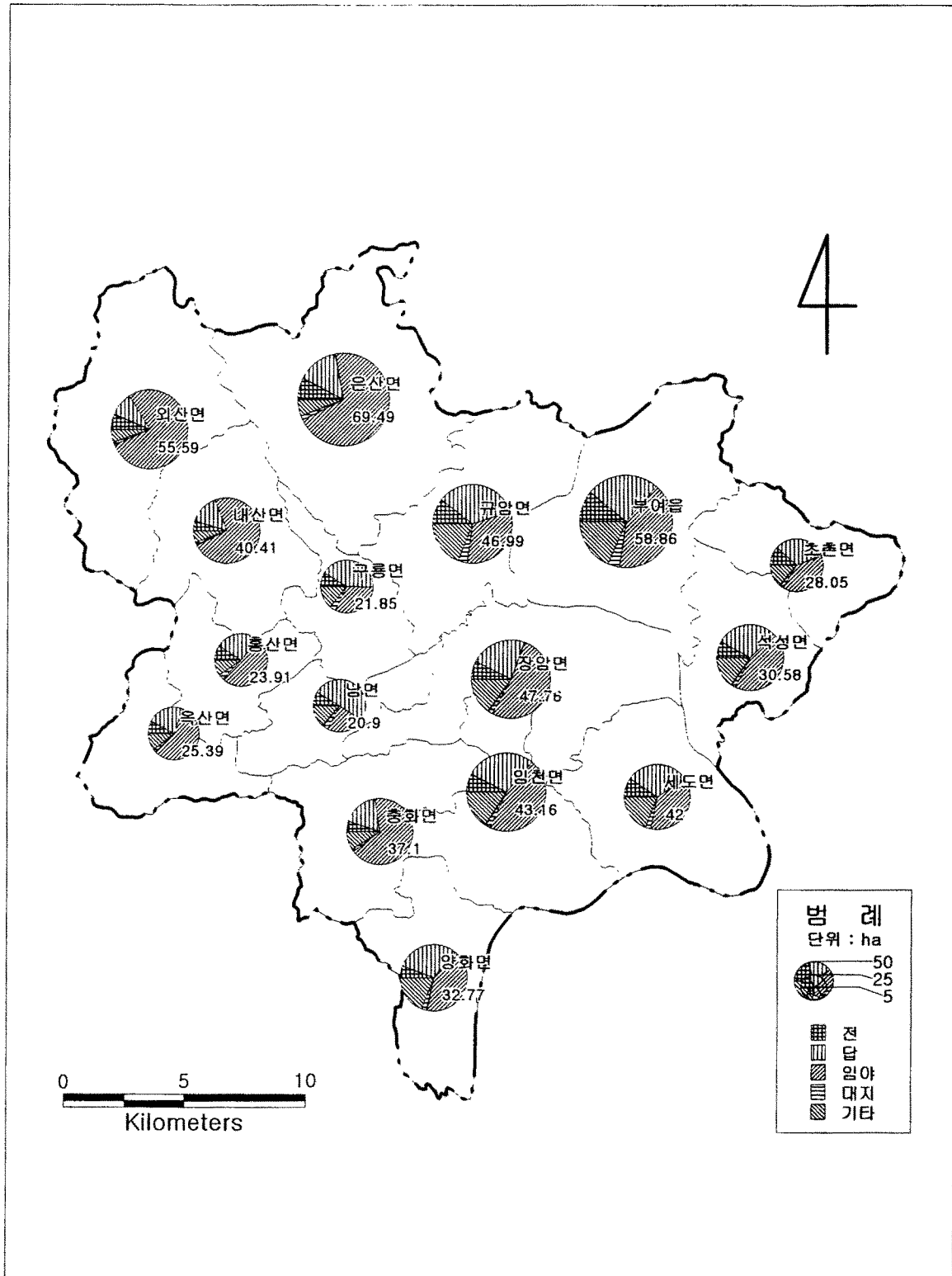
<표 2-2> 조사지역 가구 및 인구현황 (단위 : 명)

구분 읍·면	세대	인구			인구밀도	면적(km ²)	세대당 인구
		계	남	여			
계	31,178	100,869	50,276	50,593	161.4	624.80	3.2
부여	8,903	29,995	14,964	15,031	509.6	58.86	3.4
규암	3,433	11,350	5,652	5,698	241.5	46.99	3.3
은산	1,903	6,371	3,174	3,177	91.7	69.48	3.3
외산	1,337	4,391	2,206	2,185	79.0	55.59	3.3
내산	865	2,778	1,392	1,386	68.8	40.41	3.2
구룡	1,296	4,258	2,159	2,099	194.9	21.85	3.3
홍산	1,649	5,198	2,562	2,636	217.4	23.91	3.2
옥산	887	2,533	1,205	1,328	99.8	25.39	2.9
남	1,188	3,650	1,780	1,870	174.6	20.90	3.1
충화	739	2,194	1,079	1,115	59.1	37.10	3.0
양화	1,171	3,452	1,704	1,748	105.3	32.77	3.0
임천	1,795	5,402	2,668	2,734	125.2	43.16	3.0
장암	1,480	4,796	2,384	2,412	100.4	47.76	3.2
세도	1,868	6,020	3,039	2,981	143.3	42.00	3.2
석성	1,460	4,717	2,406	2,311	154.3	30.58	3.2
초촌	1,204	3,764	1,882	1,881	134.2	28.05	3.1

<표 2-3> 토지이용현황

(단위 : m²)

구 분 읍·면	계	전	답	과수원	목장용지	임야	기타
계	624,800,142	49,685,148	154,914,591	556,002	1,258,386	324,479,456	94,003,068
부 여	58,861,943	6,401,223	14,871,922	41,138	4,725	24,243,289	13,299,646
규 압	46,986,358	4,928,974	16,167,679	51,812	7,183	15,091,469	10,739,241
은 산	69,485,243	5,177,216	10,066,550	53,182	181,859	49,195,069	4,811,367
외 산	55,586,095	3,482,901	5,307,332	0	304,803	43,317,361	3,173,698
내 산	40,412,104	1,934,912	5,694,023	9,912	28,789	29,861,272	2,883,196
구 룡	21,852,463	1,807,285	9,203,490	0	17,272	6,934,891	3,889,525
홍 산	23,908,742	2,172,005	6,404,424	20,566	135,022	12,228,481	2,848,244
옥 산	25,390,387	1,917,593	5,756,486	3,570	24,919	14,539,479	3,148,340
남	20,899,875	1,711,862	10,642,133	24,133	18,979	4,869,781	3,632,987
충 화	37,096,157	1,859,585	6,503,855	0	50,857	24,863,281	3,818,579
양 화	32,773,358	1,913,939	9,652,091	48,735	22,214	14,159,560	6,976,819
임 천	43,161,321	3,282,276	12,354,758	64,611	82,677	19,659,783	7,813,726
장 압	47,760,716	3,462,471	11,096,171	113,016	161,844	24,900,385	8,026,829
세 도	42,000,336	3,873,913	13,249,927	49,904	45,298	15,849,516	8,931,778
석 성	30,576,241	2,493,669	8,905,402	67,922	111,860	13,695,780	5,301,608
초 촌	28,048,802	3,265,324	9,038,348	7,501	60,085	11,070,059	4,607,485



<그림 2-2> 부여군 토지이용 현황

2-2-1 농 업

조사지구는 전체면적의 32.84%가 농업용지로 사용되고 총 31,178세대중 48.4%인 15,083세대가 농가이며 총인구 100,869명 중 47.1%인 47,590명이 농가인구이다. 경지면적은 19,836ha(논 15,806ha, 밭 4,030ha)로 가구당 경지면적은 131.5a(논 100a, 밭31.5a)이다. 조사지역내 농업진흥구역 (58,192필지, 12,687.9ha)과 농업보호구역(13,358필지, 2,063.2ha)의 합인 농업진흥지역 (71,550필지, 14,751.1ha)은 <표 2-2>과 같다.

전체면적 624,800,141.6m²중 204,599,739.5m²가 전, 답으로 19,836ha가 경지면적에 속한다. 가구당 평균 경지면적은 1.31 ha로서 논이 1.0ha 밭이 0.32ha이다.

<표 2-4> 농가 및 농가인구 현황

구 분 세 대	총세대수	총인구수	농가		농가인구	
			세대수	비율(%)	인구	비율(%)
부여군	31,178	100,869	15,083	48.4	47,590	47.1

<표 2-5> 경지면적

(단위 : ha, a)

구 분	합 계 (ha)	논	밭	가구당 경지면적(a)		
				계	논	밭
계	19,836	15,806	4,030	131.5	100	31.5

<표 2-6> 농업진흥지역 지정

(단위 : ha)

구 분	합 계		농업진흥구역		농업보호구역	
	필지수	면적	필지수	면적	필지수	면적
계	71,550	14,751.1	58,192	12,687.9	13,358	1,063.2
부여	5,713	1,068.4	5,553	1,034.9	160	33.5
규암	7,068	1,584.8	6,042	1,270.9	1,026	313.9
은산	4,939	831.7	3,410	641.3	1,529	190.4
외산	2,920	522.1	2,773	500.7	147	21.4
내산	2,222	415.1	1,628	341.9	594	73.2
구룡	3,748	820.2	3,706	811.3	42	8.9
홍산	4,313	695.9	3,212	527.4	1,101	168.5
옥산	4,630	752.7	2,087	414.1	2,543	338.6
남	5,304	1,071.5	5,236	1,058.7	68	12.8
충화	5,719	1,051.0	1,448	391.2	4,271	659.8
양화	3,957	978.6	3,701	925.2	256	53.4
임천	4,407	1,246.4	3,801	1,129.4	666	117.0
장암	4,255	980.0	3,840	914.4	415	65.6
세도	4,525	1,123.7	4,316	1,088.4	209	35.3
석성	3,713	822.9	3,515	793.6	198	29.3
초촌	4,117	869.5	3,924	828.8	193	40.7

식량작물, 채소류, 과실류의 생산현황을 보면 '94년부터 매년 작물 면적과 ha 당 생산량은 꾸준히 증가하고 있으며 특용작물은 생산면적과 ha당 생산량이 감소 추세를 보인다.

<표 2-7> 조사지구 작물 생산현황

(단위 : ha, M/T)

구 분	합 계		식 량		채소류		특용작물		과실류	
	면적	생산량	면적	생산량	면적	생산량	면적	생산량	면적	생산량
합계	552,383	908,468	31,236	154,510	19,676	736,124	957	824	1,250	17,010
1994	6,488	227,635	-	-	6,126	223,310	-	-	362	4,325
1995	262,186	325,940	15,599	74,182	6,646	245,662	486	431	439	5,665
1996	283,709	354,893	15,637	80,328	6,904	267,152	471	393	449	7,020

2-2-2 축산업

조사지구내 1,258,386m²가 목장용지로 이용되고 있으며 외산면이 304803m²로 가장 넓은 목장용지를 가지고 있다. 조사지구내에서 주로 사육되는 가축은 한우, 젓소, 돼지, 사슴, 개, 산양, 토끼, 닭 등이며 한우, 젓소, 돼지, 개, 산양 등은 1991년 이래로 사육가구수가 감소하는 반면 마리수는 증가하는 양상을 보인다.

<표 2-8> 가축 사육가구 및 마리

(A : 가구수, B : 마리수)

구 분	한 우		젓 소		돼 지		사 슴		개		산 양		토 끼		닭	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1991	5,012	11,845	138	1,874	1,533	27,591	93	635	12,996	28,486	1,562	6,004	273	2,758	937	882,437
1992	4,511	13,131	151	2,006	1,115	30,690	99	781	12,342	31,188	1,694	8,547	376	3,643	912	894,397
1993	4,742	14,811	114	2,345	813	28,268	100	748	12,145	28,119	1,966	10,203	314	3,054	806	1,008,795
1994	4,684	17,574	124	2,345	632	28,424	114	981	11,160	28,415	2,081	11,483	231	2,644	822	1,278,204
1995	5,082	22,182	128	2,528	355	27,413	131	1,048	11,042	26,139	2,000	12,215	-	-	678	1,924,296
1996	4,944	24,207	108	2,526	242	32,212	138	1,187	9,679	27,375	1,839	12,756	180	1,474	559	1,629,229

2-2-3 임업

조사지구내 임야는 324,479,456㎡로 '91년부터 점차적으로 임상별 임목축적 면적과 임산물 생산량이 늘어나고 있는 실정이다. 임산물은 주로 용재, 연료, 종실, 버섯, 약용, 산나물 등이 있다.

<표 2-9> 산림현황

○ 소유별 임야면적 (단위 : ha)

구 분	계	국유림	공유림	사유림
부여군	32,448	2,093	966	29,389

○ 임상별 면적 (단위 : ha)

구 분	계	임 목 지					무임목지
		소 계	침엽수림	활엽수림	혼효림	죽림	
부여군	32,448	31,708	16,862	4,642	10,183	21	740

○ 임상별 임목축적 (단위 : m³)

구 분	계	침엽수	활엽수	혼효림	죽림
부여군	1,199,626	745,574	51,227	402,825	-

2-2-4 광공업

조사지구내 광공업 종사자 수 및 업체수는 감소 추세를 보이고 있다. 광산물은 주로 석탄, 고령토, 규사석, 장석 등이고 공업 및 농공단지에는 '96년 기준으로 4개의 농공단지 (은산, 호산, 임천, 장암 농공단지) 566,253㎡에 24개 업체가 입주해 있으며 517명의 종업원이 종사하고 있다.

- 석 탄 : -M/T
- 고령토 : 2,500M/T
- 규사석 : 2,000M/T, 장석 : 73,089M/T

2-3 수문기상

한 지역의 수문기상은 그 지역의 기후와 지형 및 지질과 밀접하게 연관되어 나타난다. 기후는 그 지역의 위치에 따라 결정되며 중요한 기후학적 인자로는 강수, 습도, 기온 및 바람 등이고 이들 인자들은 수문순환의 과정인 증발과 증산에 영향을 미친다. 지형인자는 강수의 형태나 강수량의 분포에 영향을 미치고 유출율의 정도에 결정적인 요소가 된다. 한편 지질인자는 한 지역의 지형 상황을 지배하고 지하수를 형성하는 대수층 구조에 중요한 영향을 미친다 (안상진, 1998). 본 조사지역인 부여군에 대한 수문기상자료는 최근 10년간 부여기상대의 측정자료를 참조하였다.

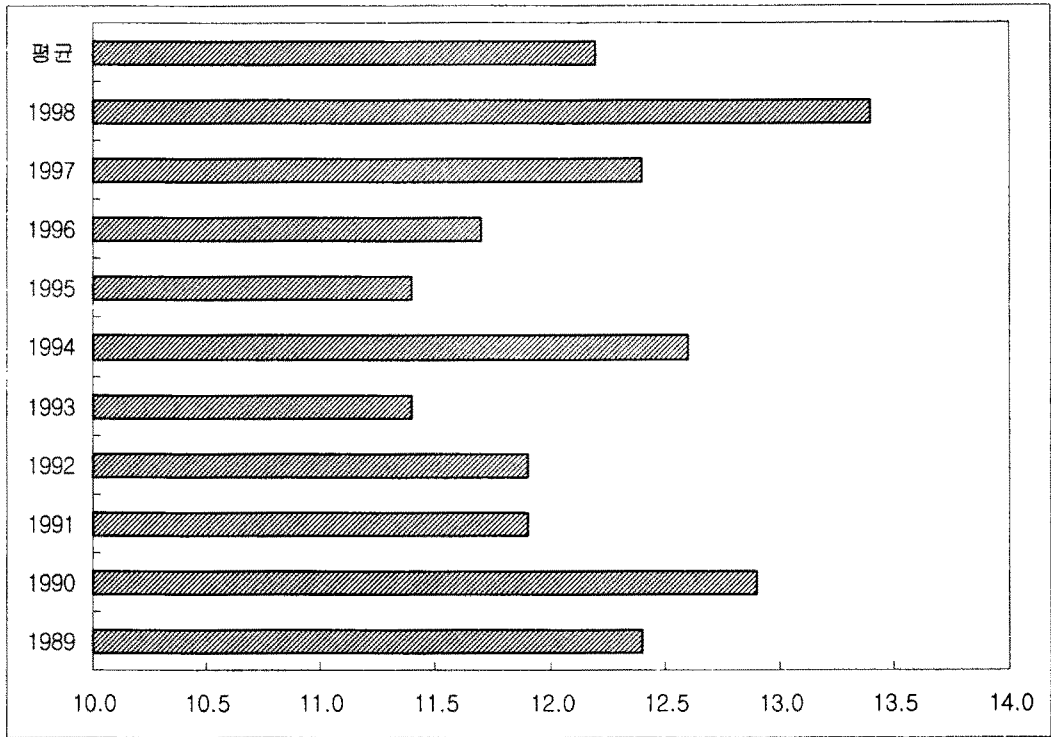
2-3-1 기온

대기의 온도는 지표면의 상태, 고도 등에 의하여 영향을 받음과 동시에 지역적, 시간적으로 많은 차이를 보인다. 온도의 시간적, 지역적 변화는 지표면과 태양열의 입사 각도에 따라 달라지기 때문에 이는 지구의 자전 및 위치 등에 따라 크게 변화한다. 또한 이러한 대기의 온도 변화는 직접적으로 물의 순환 과정에 영향을 주며, 물의 수량 및 물의 흐름상태에도 많은 영향을 준다 (선우중호, 1994).

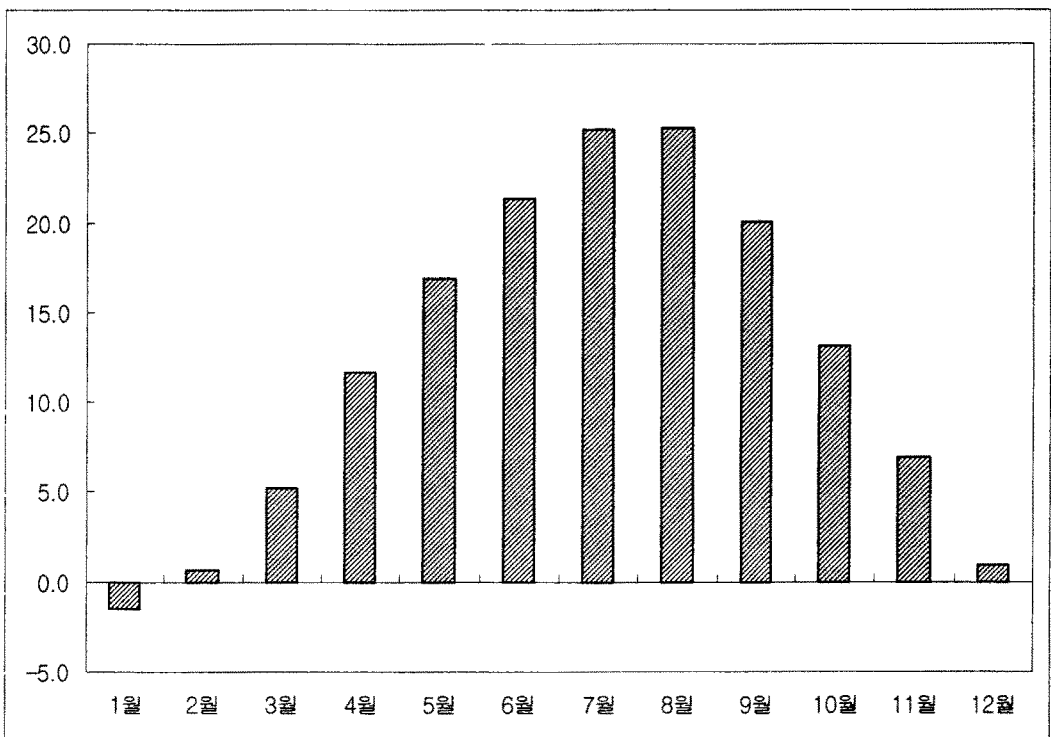
최근 10년간 월별 평균기온은 여름철인 7월과 8월에 각각 25.1℃와 25.3℃의 높은 기온을 나타내는 반면 겨울철인 11월~2월에는 -1.5~6.91℃ 내외의 기온을 나타내며 (표 2-10, 그림 2-3, 2-4), 최근 '95년~'98년까지는 지속적으로 온도가 상승하고 있다.

<표 2-10> 부여지방의 월평균 기온 (1989~1998) (단위 : ℃)

월 연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
1989	0.8	2.2	5.0	12.9	17.2	20.5	24.6	25.3	19.9	12.2	6.7	1.5	12.4
1990	-2.1	3.0	6.6	11.1	16.5	21.4	25.8	26.3	21.2	13.6	9.2	1.1	12.8
1991	-1.4	-0.8	4.7	11.6	16.9	22.2	24.8	24.6	20.1	12.1	5.1	1.7	11.8
1992	-0.2	0.4	6.5	11.0	15.8	20.3	25.1	24.6	19.5	12.6	5.5	1.3	11.9
1993	-1.8	0.8	4.4	10.2	17.1	21.1	23.1	22.1	19.6	11.5	7.9	-0.1	11.3
1994	-1.9	0.3	3.2	13.4	17.1	21.5	28.2	26.8	19.4	13.6	7.8	1.5	12.6
1995	-2.2	-0.2	5.2	10.0	15.9	21.2	24.7	26.2	18.8	13.9	4.7	-1.7	11.4
1996	-1.8	-1.7	4.2	9.0	17.0	21.6	24.9	25.9	20.2	13.3	6.7	0.5	11.7
1997	-2.5	-0.1	5.9	11.8	16.9	22.6	25.7	26.2	19.7	12.5	8.1	1.6	12.4
1998	-1.4	3.1	6.6	15.1	18.2	21.0	25.0	25.3	22.1	16.0	7.4	2.0	13.4
최대	0.8	3.1	6.6	15.1	18.2	22.6	28.2	26.8	22.1	16.0	9.2	2.0	13.4
최소	-2.5	-1.7	3.2	9.0	15.8	20.3	23.1	22.1	18.8	11.5	4.7	-1.7	11.3
평균	-1.5	0.7	5.2	11.6	16.9	21.3	25.2	25.3	20.1	13.1	6.9	0.9	12.2



<그림 2-3> 연도별 평균기온 분포



<그림 2-4> 월별 평균기온 분포

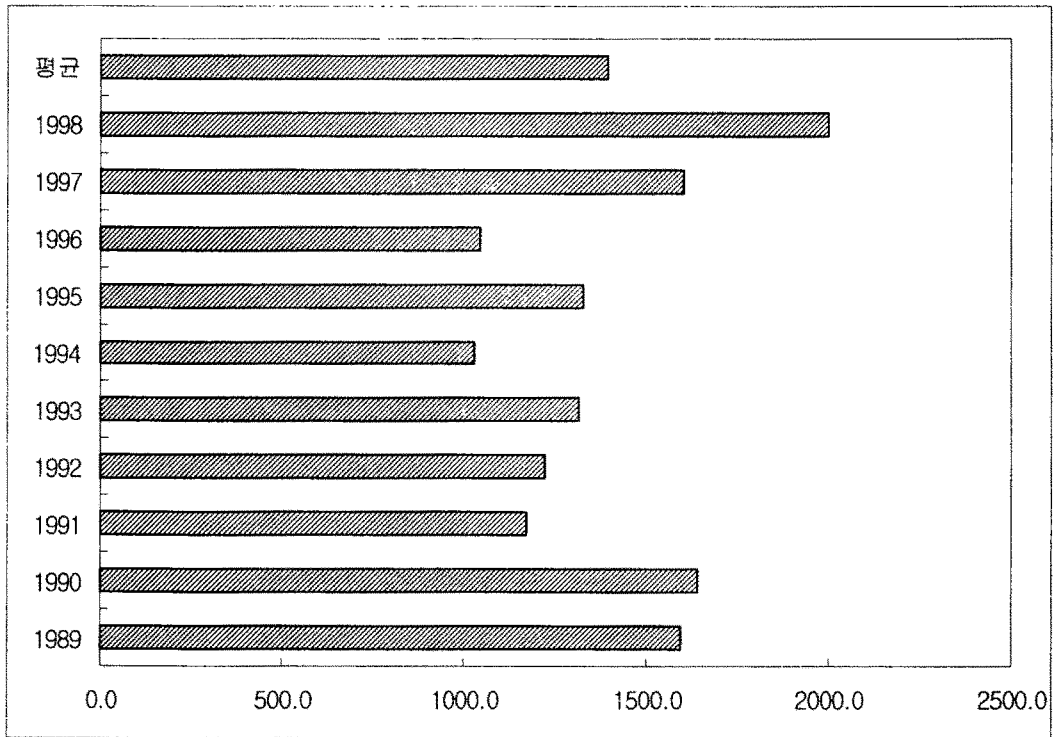
2-3-2 강수량

강수(Precipitation)는 구름이 응축되어 지상으로 떨어지는 모든 형태의 수분을 통틀어 말하는 것으로 강우와 눈을 포함한다. 강수의 형태는 이슬비(Drizzle), 비(Rain), 우수(Glaze), 진눈깨비(Sleet), 눈(Snow), 설편(Snow flakes), 우박(Hail), 이슬(Dew), 서리(Frost), 안개(Fog) 등으로 나타난다. 강수가 지상에 도달한 양을 산출하기 위해서는 강수량을 측정하여야 하며, 강수량의 측정은 강우량과 강설량을 측정하는 방법으로 구분할 수 있다(안상진, 1998). 본 부여지역에 대한 조사에서는 강우량과 강설량을 구분하지 않고 전체적인 강수량으로 기술하였다.

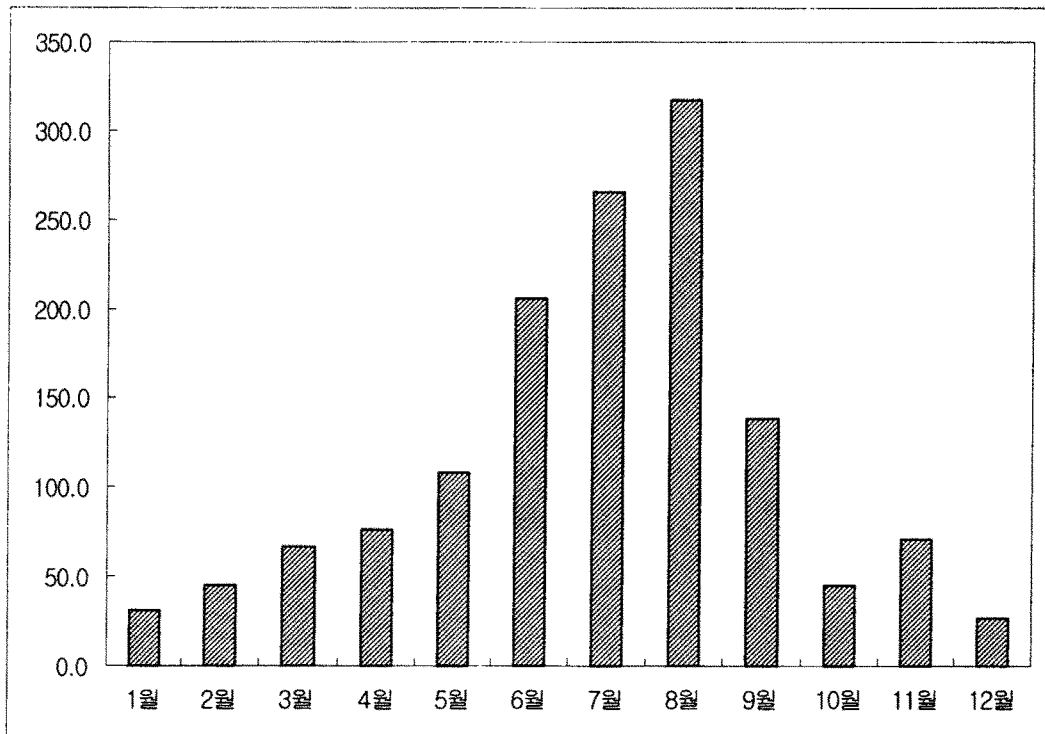
부여지역의 강수량의 분포를 분석하면, '89년~'98년까지의 연평균 강수량은 1,398.01mm이다(표 2-11). 연도별 강우량의 변화는 '96년 이후 꾸준히 증가하는 양상을 보이고 '98년도에 가장 많은 강수량을 나타낸다(그림 2-5). 부여지역의 월별평균 강수량 분포는 6~9월 사이에 강수량이 집중되어 나타나는데, 이는 우리나라 강수량의 약 70% 이상이 6월에서 9월 사이에 집중되는 현상과 일치하며, 이 중 약 80% 이상이 증발 또는 지표수로 유출되어 하천으로 유실되고 있으므로, 상대적으로 지하수의 저류량은 강우량에 비해 매우 작다.

<표 2-11> 부여지방의 월평균 강수량 (1989~1998) (단위 : mm)

월 연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
1989	92.4	65.7	99.9	29	48.6	260	328	241	310	16.4	94.6	8.9	1,594
1990	68.9	108	94.6	94.4	119	330	391	195	152	3.9	55.5	27.3	1,639
1991	11.7	45.2	96.6	80.6	95.8	141	267	126	212	19.5	30.2	46.6	1,172
1992	13.2	18.7	46.1	103	109	46.7	162	415	179	15.5	60	54.5	1,223
1993	4.8	73	25.5	34.5	116	260	274	284	98.5	34	89.5	21.9	1,315
1994	18.5	14.4	54.4	41	137	138	96.5	287	34	162	23	25	1,030
1995	22.6	23.5	24.4	62	59.5	34.5	172	839	46.5	22	15	5.7	1,326
1996	28.4	2.8	131	48	33	289	238	87	16	90.5	76	35	1,075
1997	9.0	54.9	44.0	70.0	229.5	236.5	404.5	263	24.5	8.0	219.5	39.5	1,602.9
1998	40.6	47.0	45.0	200.5	130.5	324.0	323.0	451.3	313.1	75.5	46.3	3.5	2000.3
최대	92.4	108.0	131.0	200.5	229.5	330	404.5	839	313.1	162	219.5	54.5	3084
최소	4.8	2.8	24.4	29.0	33.0	34.5	96.5	87.0	16.0	3.9	15.0	3.5	350.4
평균	31.01	45.32	66.15	76.3	107.8	206.0	265.6	318.8	138.6	44.7	70.9	26.8	1,398.0



<그림 2-5> 연도별 평균강수량 분포



<그림 2-6> 월별 평균강수량 분포

2-3-3 증발산량

지상에 낙하된 강수의 약 75%는 다시 증발(Evaporation)과 발산(Transpiration) 작용을 거쳐 대기로 환원되는 것으로 알려져 있다. 증발은 어떤 물질이 액체 상태에서 기체 상태로 변화하는 현상이며, 물 수면에서 단위시간당 물분자의 교환능력을 증발을이라 한다. 또한, 수면에서 나타나는 물분자의 이탈을 증발이라 하고, 식물의 표면에서 나타나는 증발현상을 발산이라 한다. 수문과정에서는 수면에서의 증발과 식물에서의 발산을 함께 취급하는 경우가 많으므로, 이를 통칭하여 증발산(Evapotranspiration)이라 한다. 증발산은 기상학적 인자 이외에도 식물의 종류, 색깔의 농도, 밀도, 성장속도 그리고 잎표면의 크기 등 식물요소 뿐만 아니라 토양의 공극율, 투수계수, 입자의 크기 및 토양의 함수율 등에 의하여 직접적으로 영향을 받는다(선우중호, 1994). 우리나라의 연평균 증발량 분포는 태양에너지의 입사량이 많은 남쪽지방으로 갈수록 증가되는 경향을 나타낸다. 연중 최대 증발량의 시기는 5~6월이며, 최대 증발량이 나타나는 지역은 포항지방으로 1,542.3mm이며, 최소 증발량은 성산포 지방으로 780.3mm이다.

증발산량은 이론적인 추정 기후인자와의 상관관계에 의해 결정되며 그 방법들은 Penman(1984), Thornthwaite(1954), Turc(1975) 공식들이 있으며 본 조사에서는 Turc공식을 적용하였다. Turc공식에 의한 증발산량 계산은 토양내 포함되어 있는 수분의 증발량과 지표면 식물에 의한 발산량을 포함한 것으로 간략하게 소개하면 다음과 같다.

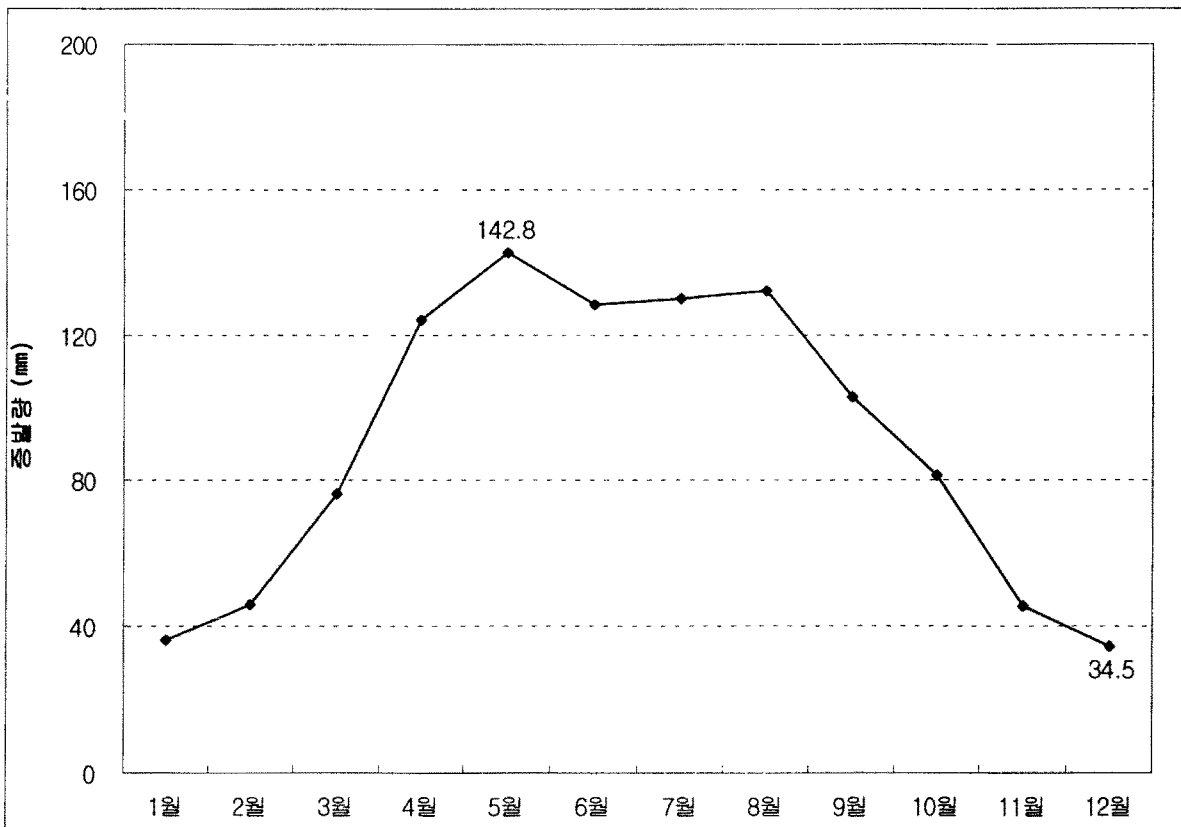
$$ETR = \frac{P}{\sqrt{(0.9 + P^2/L^2)}}$$

여기서, P = (연평균 강우량), T = (연평균 기온), L = (300 + 25T + 0.05T³)이다.

본 조사지역의 최근 10년간 연평균 증발량은 1,080.3mm/년이고 최근 10년간 기상자료를 Turc 공식에 적용하여 산출한 이론적인 연평균 증발산량은 628.9mm/년이다 (표 2-12, 그림 2-7).

<표 2-12> 월별 계기증발량 (1989~1998)

구분	계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
최대	1,214.3	47.2	56.4	95.1	145.2	178.5	168.2	188.6	151.0	124.8	104.6	53.8	39.6
최소	939.6	27.1	31.3	55.9	102.9	105.4	92.2	83.5	80.9	89.9	68.5	40.2	27.8
평균	1,080.3	36.5	46.0	76.6	123.9	142.8	128.5	129.8	131.9	102.9	81.4	45.6	34.5
Turc공식에 의한 증발산량	628.9	32.2	47.2	68.9	79.5	112.8	214.1	275.9	328.0	145.0	47.1	73.9	28.1



<그림 2-7> 월별 계기증발량 분포 (1989~1998)

3. 수문지질조사

3-1 지형 및 지질

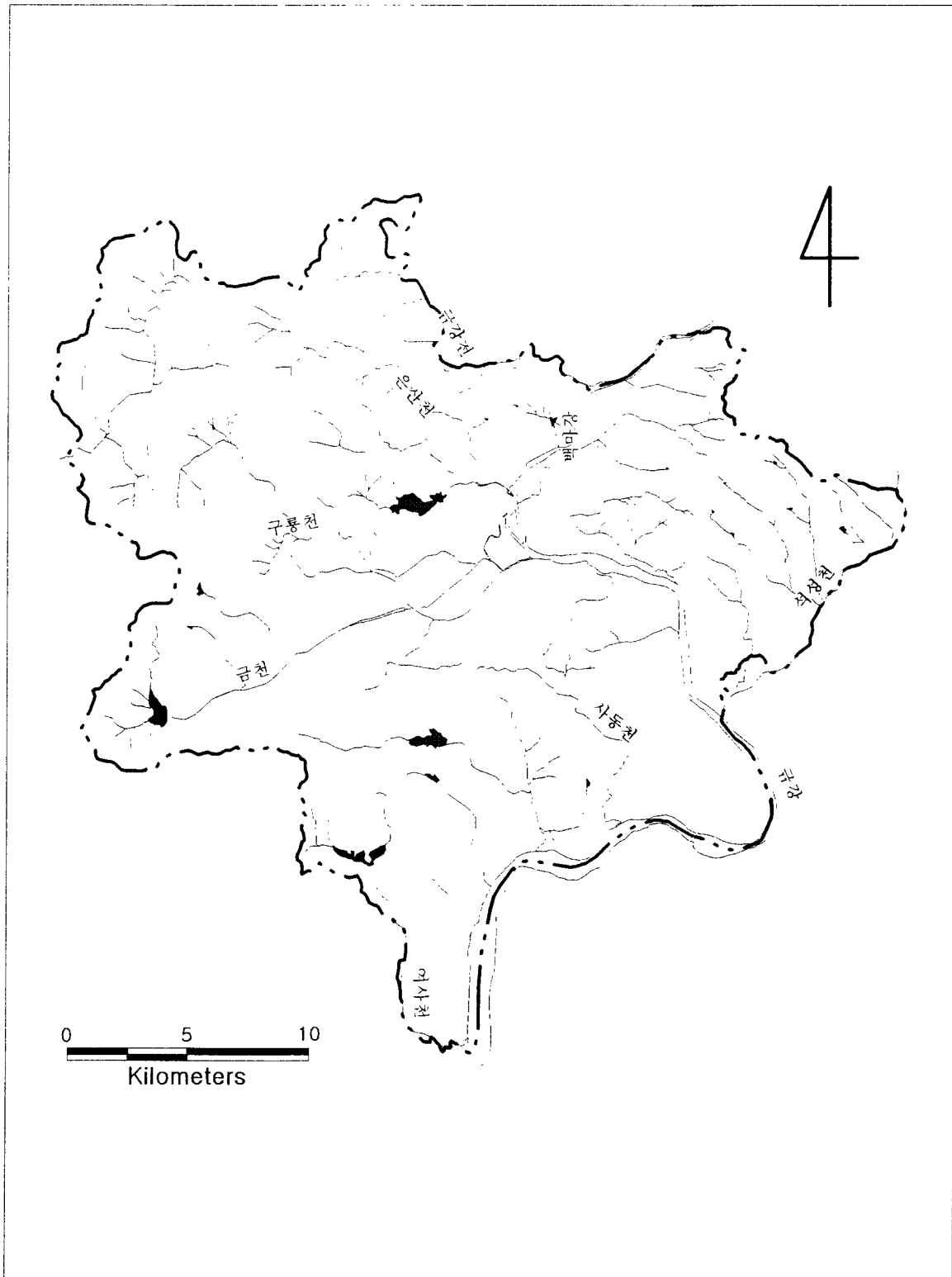
3-1-1 지형 (Topography)

부여군은 동경 126° 40' 43.14" ~ 127° 4' 10.03", 북위 36° 3' 58.5" ~ 36° 22' 59.28"에 해당되고 북측으로는 청양군, 남서쪽으로는 서천군, 동측으로는 공주시 그리고 남동측으로는 전라북도와 맞닿아 있는 지역이다. 4번 국도는 논산으로부터 연결되어 부여군의 중심을 동서로 가로지르며 석성면, 부여읍, 홍산면을 지나 전라북도 장항읍에 이른다.

이 지역은 금강에 의하여 크게 동측과 서측으로 구분되고 서측은 다시 금천에 의해 북측과 남측으로 구분된다. 또한 지형 특징상 북서측과 남동측은 뚜렷히 구별되는 양상을 보이는데, 즉 북서측은 차령산맥의 남서연장부로서 나발티고개, 축융봉(△455.4m), 월하산(△425.5 m), 월명산(△544.0m) 등 해발고도 400m 이상의 고지대를 이룬다. 산계의 주 발달 방향은 북동-남서방향으로 비교적 경사가 급하고 험준한 지형지세를 보인다. 남동측은 학산(△168.5m), 금성산(△215.0m) 등의 봉우리들로 이루어진 산계가 형성되어 있으나 해발고도가 모두 200m 내외이고 경사가 완만한 구릉지대이다. 산계의 발달 방향은 뚜렷하지 않으나 동서로 연장선이 남북방향보다 약간 길게 나타난다.

북서측과 남동측의 경계가 되는 금천과 용두천 주변은 이미 풍화가 상당히 진전되어 저지대를 이루고 구릉평야, 남면평야 등 다수의 평야지대가 형성되어 있다.

이 지역의 가장 큰 수계는 금강으로 부여군의 북동측에서는 서남류, 중앙우측부에서는 남류, 남동측에서는 다시 서남류하여 서해로 유입된다(그림 3-1). 수계의 발달상태는 사행천이고 하폭은 약 250m 정도이고 이 지역을 지나면 금천, 부곡천 등이 유입된다. 부여군내에도 크고 작은 저수지들이 형성되어 있는데 북측으로부터 반산저수지, 옥산저수지, 북금리저수지, 북심저수지 등이 있다. 옥산저수지에서 발원된 금천은 동류하면서 평야지대를 지나고 부여읍에 이르러 금강으로 유입된다.



<그림 3-1> 조사지역 수계망도

3-1-2 지 질

부여지역의 지질은 주로 퇴적암류, 화성암류 및 변성암류로 구성되어 있다 (그림 3-2). 부여지역의 지질은 선캠브리아기의 운모편암과 화강편마암을 기저로 이와 부정합 관계인 고생대말의 편암류가 부분적으로 분포되어 있고 쥬라기의 퇴적암류가 상기암석을 부정합으로 피복하고 있다. 또한 백악기의 앵봉산층이 부정합으로 분포하고 이를 관입한 동시대의 흑운모화강암이 북동-남서방향으로 분포되어 있으며 역시 동시대인 우백질화강암과 석영반암이 부분적으로 관입되어 있다.

본 역에서 산출되는 암석의 지질계통은 다음과 같다 (표 3-1).

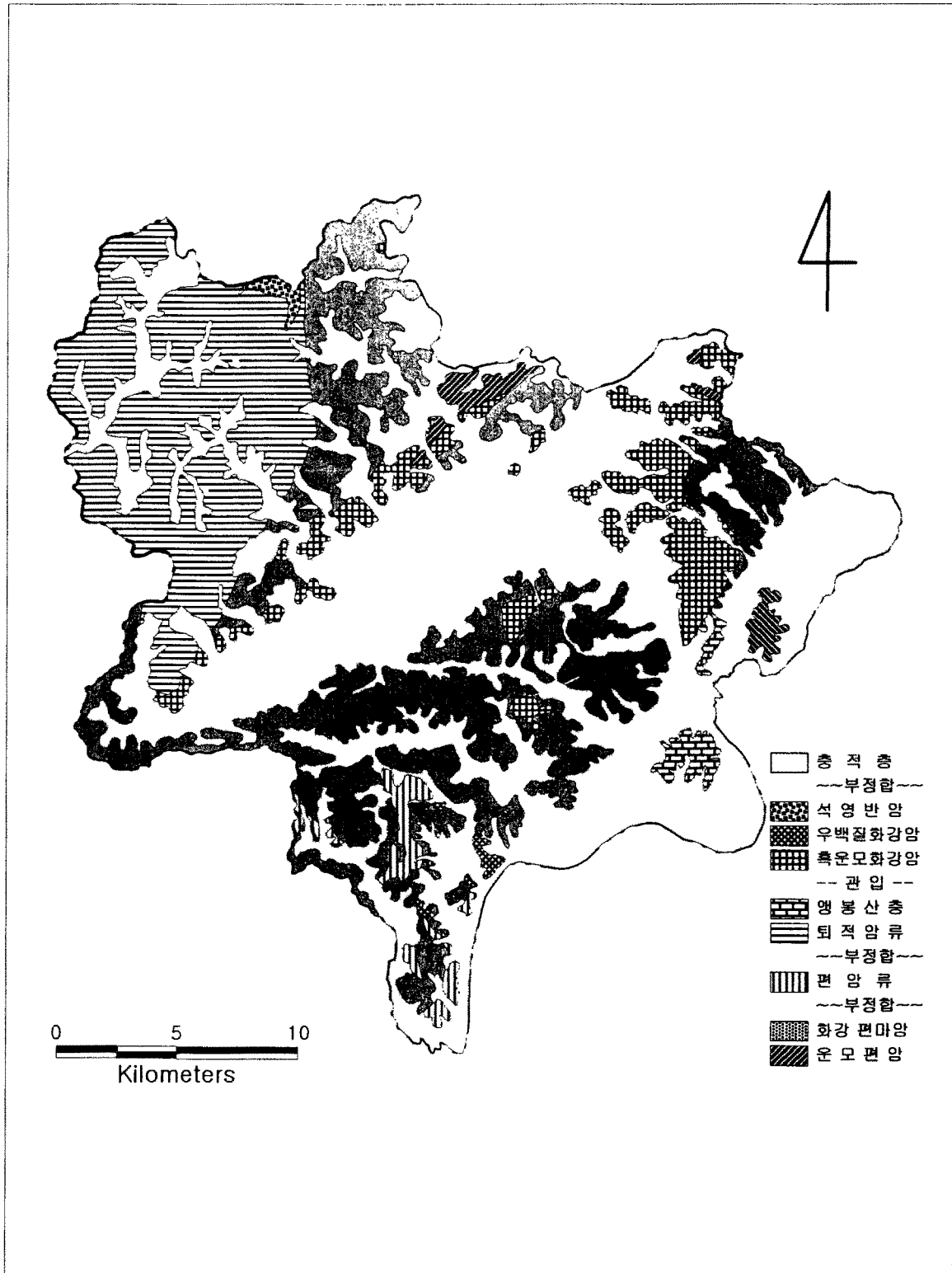
<표 3-1> 지질계통표

제4기		충적층	
	~	부정합	~
백악기	[석영반암	
		우백질화강암	
		흑운모화강암	
		관 입	-
쥬라기		앵봉산층	
		퇴적암류	
	~	부정합	~
고생대말		편암류	
	~	부정합	~
선캠브리아기	[화강편마암	
		운모편암	

1) 선캠브리아기 변성암류

(1) 운모편암 (Mica Schist)

부여군 규암면 북측일대와 은산면의 남동측일대에 부분적으로 분포되어 있고 풍화가 상당히 진전되어 경사가 비교적 완만한 지형을 이룬다. 이 암은 세립질 입상 조직을 보이고 운모류에 의한 schistosity가 관찰되며 주구성광물은 석영, 장석류, 운모류 등이다.



<그림 3-2> 조사지역 지질도

(2) 화강편마암

이 암석은 부여군 일대에 가장 광범위하게 분포되어 있는 암석으로 외산면을 제외한 대부분의 지역에서 산출된다. 중립 내지 조립의 등립질 입상조직을 보이고 주구성광물은 석영, 장석류, 흑운모 등이다.

2) 고생대 편암류

편암류는 충화면, 임천면, 양화면 일대에 분포하고 지질구조의 영향과 편마암, 화강암, 섬록암 등의 관입으로 복잡한 분포의 양상을 보여주며 또 수평 및 상하로의 변화가 심하여 단속성을 보여주고 있다. 편암류는 수평적으로 분포하는 규암층과 밀접한 관계를 가지며 대체로 규암층 사이와 그 상부에서 분포되어 있다. 주향은 N 30° E, 경사는 대체로 70° E 내지 70° W이다. 주구성광물은 석영, 견운모 등이고 백운모를 소량 함유한 것이 관찰된다.

3) 중생대

(1) 쥐라기 퇴적암류

○ 월명산층

월명산층은 본역 중생대의 최하부층으로 주로 역암으로 구성되었으며 사암을 협재한다. 층후는 최대 400m이나 곳에 따라 크게 변한다. 이 암은 화강편마암을 부정합으로 피복하고 혹은 흑운모화강암에 의하여 관입되어 있다. 역은 곳에 따라 그 성분과 구조가 다르며 유백색 또는 담흑색 규암이 주성분을 이루며 이밖에 점판암과 화강편마암 역을 포함한다. 기질(基質)은 석영과 장석류의 입자들로 구성된 사질이다.

○ 아미산층

아미산층은 월명산층을 정합으로 덮고 주로 세일과 사암의 호층으로 구성되어 있고 역암을 협재하기도 한다. 층후는 대략 700 ~ 800m이다. 본층 상부에는 탄층이 협재되기도 한다. 세일은 흔히 흑색을 띠며 흑운모화강암의 관입으로 변성작용을 받은 부분은 점판암이나 편암으로 변성되어 외견상 결정편암류의 편암들과 유사하다. 본 층 세일중에는 *Marattiopsis asitica* Kawaski, *Dictyophyllum exilis* 등의 식물화석들을 포함한다. 사암은 대체로 중립질이며 암회색을 띠며 주로 석영립

으로 구성되었고 장식류 입자들을 포함한다.

○ 조계리층

조계리층은 도촌(島村)이 분류한 개화리역암층에 대체로 해당되나 도촌리 상부층으로 판단한 평리역암층이 개화리역암층과 상하관계가 아닌 동일층으로 밝혀져 개조된 것이다. 주로 역암으로 구성된 본층은 암상의 측방변화가 심하다. 즉 본 층 중부에 발달하는 함탄대인 세일 및 사암의 호층대가 연속성이 매우 불량하여 조립사암 또는 변질사암으로 암상이 변한다. 본층은 구성암석에 따라 하부역암대, 중부의 세일 및 사암호층대 그리고 상부역암대로 삼분된다.

하부역암대는 거의 전 지역에서 주로 역암으로 구성되어 있으며 층후는 120 m 내외이다. 역암의 역은 규암이 주이며 3~10cm 크기의 것들이 보통이나 곳에 따라서는 30 ~ 40cm의 역도 발견된다. 기질은 담회색 장식질조립질사암이다.

중부호층대는 탄층을 협재하는 약 80m 층후의 흑색세일과 암회색 중립 내지 조립사암의 호층대가 발달되어 있다.

상부역암대의 층후는 대개 200m 내외로 역암, 역질사암 및 담회색 장식질 조립사암으로 구성되며 흑색세일도 드물게 협재된다. 본 역암대는 하부역암대보다는 사암 및 역질사암이 드물며 주로 장식질조립사암과 역암이 교호한다. 역암은 또한 측방변화에 의하여 사암에 연속되기도 한다. 역의 크기는 5~7cm 정도로서 곳에 따라서는 50~60cm 정도의 거력을 포함하기도 한다.

○ 백운사층

조계리층을 정합으로 덮고 있는 본층은 회색 ~ 흑색사암과 흑색세일의 호층대로 대표되며 2~3매의 탄층을 협재한다. 층후는 약 300m이다. 본층 기저상 약 40m에 단속적으로 탄층이 협재되어 있다. 이 호층대 상부에는 30m 내외의 회색 장식질사암이 있으며 그 바로 위에 다시 탄층이 발달한다. 이 중탄층 상부에 다시 사암과 세일의 호층대가 약 170m 두께로 계속된다. 상하 각 호층대의 세일은 곳에 따라 세립사암이나 실트스톤으로 측방 암상변화를 보인다.

(2) 백악기 앵봉산층

앵봉산층의 분포지대는 저지화되어 대부분이 충적평야로 변해 있으므로 노출

면적은 협소하다. 동서간 3.5km이며, 남으로는 금강기슭에 이른다. 주향은 동서~N 60° W~N30° E로 변하고, 경사는 25° N에서 40° ~70° E로 변한다. 이 층은 대부분이 회색 내지 자색 세립사암 내지 실트스톤으로 되어 있으며 자색의 세립사암 및 세일층을 개재한다. 사암은 장석질인 것이 대부분이고 사암중에는 수 cm~20 cm인 화강암의 각력이 산재되어 있는 층이 여러 층 있다.

(3) 백악기 화강암류

○ 우백질화강암

우백질화강암은 지역에 따라 소규모로 분포하고 백색을 띠며 장석과 석영으로 구성되어 있는데 소량의 백운모를 함유한다. 장석은 1-3mm의 사장석 및 정장석이고, 석영은 1-3mm정도이다.

○ 석영반암

석영반암은 산성암맥으로 금강의 남동측에 많이 분포되어 있다. 산성암맥의 대부분은 심한 풍화로 그 전모를 나타내지 못하나 대체로 편암의 편리에 따라 N 10° ~ 50° E의 주향으로 가지고 있으며 두께는 0.5m 내지 수m, 연장은 수백m에 달하는 것이 있다. 석영반암은 석영 또는 장석의 반정을 규장질석기층에 개재시킨다.

3-2 물리탐사

지구물리탐사는 지구물리학이 응용분야로서 자연적 또는 인위적인 신호(signal)를 통하여 지표 및 지하 지질의 특성을 측정하므로써 지하지질구조의 지하에 부존하고 있는 유용광물 및 석유, 천연가스, 지역, 지하수 등의 부존여부를 추측하는 방법이다. 그 종류에는 전기탐사, 자력탐사, 방사능탐사, 탄성파탐사, 중력탐사, 전자기탐사, 물리검층, 원격탐사 등 여러 가지가 있다. 수행방법으로는 효율성을 높이기 위하여 지표지질조사 자료 수집 및 분석, 1차 탐사, 2차 탐사의 3단계로 수행되어진다.

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

3-2-1 원격탐사

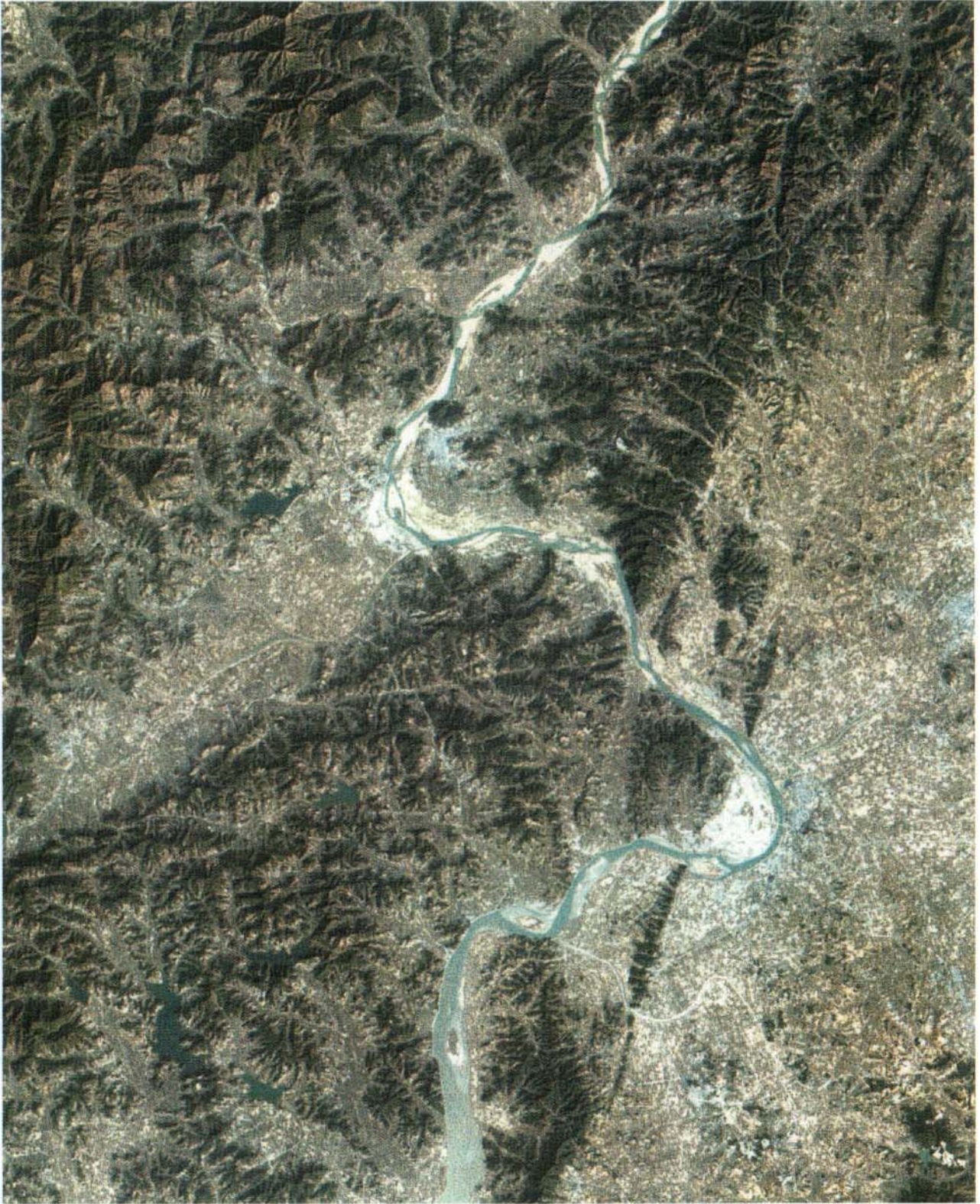
지하수 조사를 위한 물리탐사는 주로 전기탐사, 탄성파탐사, 전자기탐사 등을 이용하고 있으나, 조사지역이 넓을 때에는 많은 시간과 인력 및 비용이 필요할 뿐 아니라 국지적인 자료의 취합에 의한 광역적인 종합·분석에 어려움이 따르게 되어 넓은 지역을 포괄적으로 다룰수 있는 원격탐사가 도입되었다.

원격탐사 (Remote sensing)란 지상이나 항공기 및 인공위성 등의 탑재기에 설치된 센서를 이용하여 지표, 지하, 대기권 및 우주공간의 대상물에서 반사 혹은 방사되는 전자기파를 탐지하고, 이들 자료로부터 토지, 환경 및 자원에 대한 정보를 얻어 해석하는 기법을 말한다.

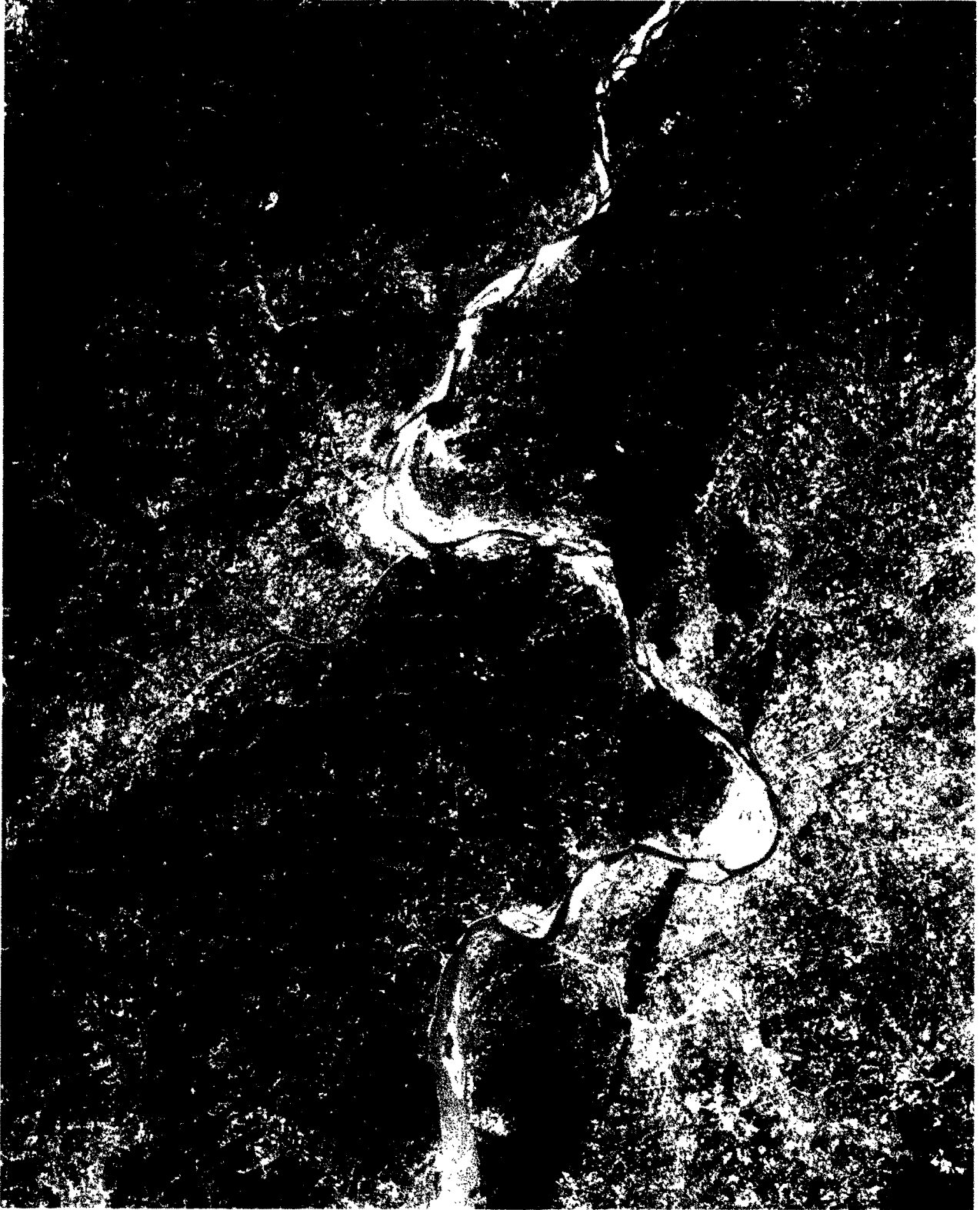
단층이나 절리 등은 보통 지하수, 광물 등에 관련된 지구조에 대한 정보를 제공한다. 이러한 열극의 위치, 형태와 밀도는 지진, 산사태, 오염민감도(Pollution susceptibility) 등에 중요하다. 암반열극은 보통 원격탐사로 얻은 선구조로 나타난다. 선구조는 직선 혹은 완곡의 지형요소로서, 인접한 표면 및 천부의 지형요소와 구분

이 명확한 단층, 파쇄대, 습곡축 등이 지질구조선과 암석경계를 따라 나타나며, 이러한 요소는 원격탐사자료에서 지형의 기복변화 및 화소의 명암차에 의해 구분 가능하다(Sabins, 1978). 선구조는 지표면의 현상으로서 지도상에 나타낼 수 있는 단일 혹은 복합된 선적인 특성으로서 지하현상을 반영한다고 생각되어지는 것이다(O'leary et al, 1976, Moore, 1984).

지표면의 선구조는 지형, 수계, 식생 및 토양 등 다양한 지형 요소들에 의해 형성된다. 일반적으로 선구조는 지하 지질구조를 반영하는 광역적인 규모이고 비교적 협소한 대이며, 지표 암석권의 파쇄대와 주로 일치하고 단층, 열극, 절리, 습곡 등에 의해 형성되는 약선대를 반영하는 것이다. 수계의 형성은 산계의 형성과 선구조의 분포와 밀접하다. 선구조는 대규모 지각변동에 의해 형성되었다고 추정되며, 하계망의 특징을 결정하는데 중요한 역할을 하며 하계망의 형태결정에 절대적인 영향을 미친다. 또한 오랜 침식으로 야외 관측이 불가능한 경우 항공사진이나 위성자료를 이용하여 추출하면 효과적이다(한 옥외, 1995). 이번 조사에 이용된 원격탐사는 Landsat을 이용하였으며, 선구조는 미국 ERDAS사의ERDAS(EarthResources Data Analysis System) IMAGE V 8.3을 이용하여 분석·추출하였으며(그림 3-3, 3-4), 추출된 선구조는 각종 탐사의 예비자료로 활용하였다. 본 조사지역에서 추출한 선구조는 NE 방향으로 뚜렷하고 연장성을 갖는 비교적 큰 규모로 발달하나 대부분이 편마암 내지 편암류내에 짧고 불규칙적인 선구조가 산재하여 발달한다.

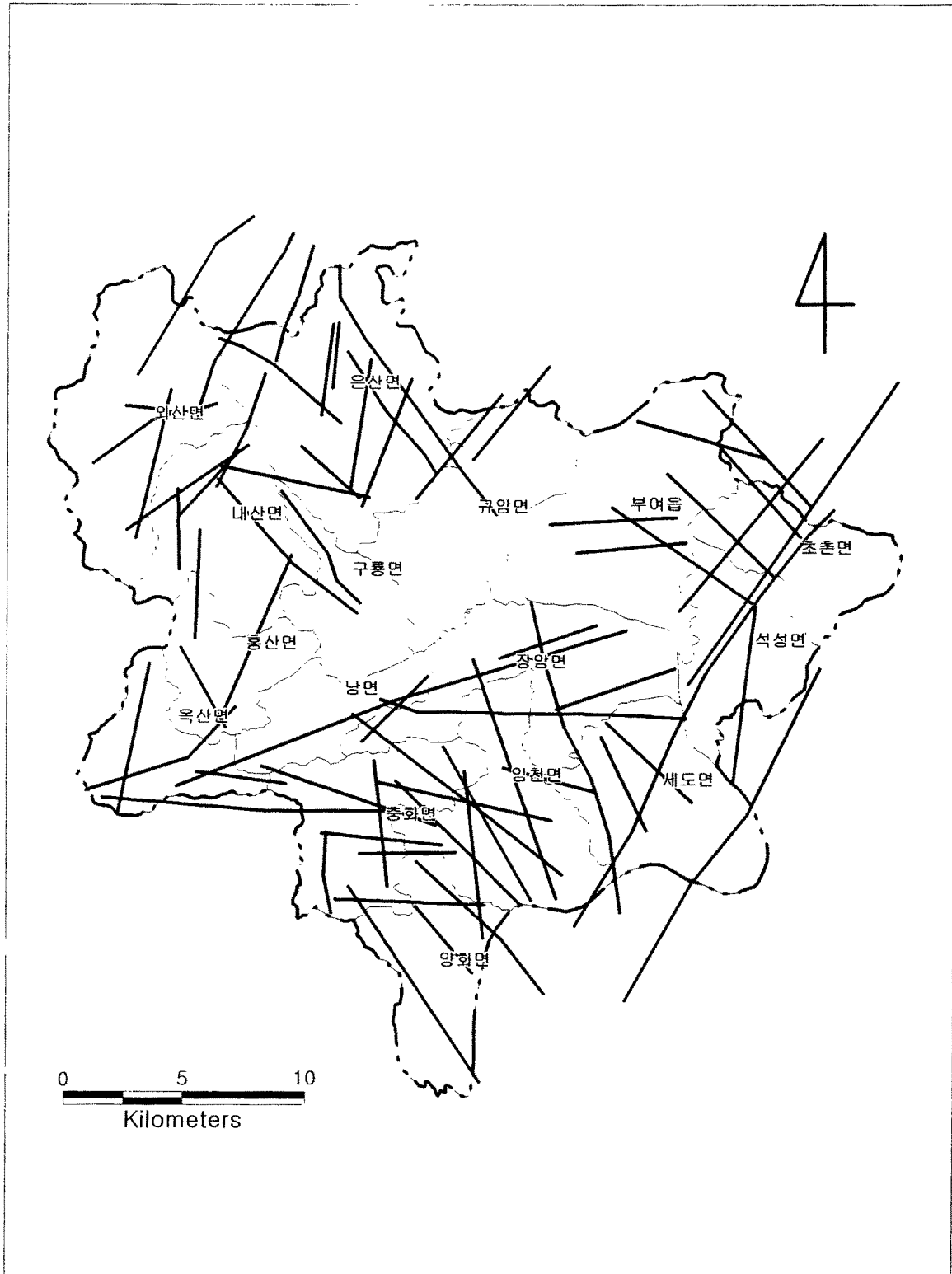


<그림 3-3> 조사지역의 위성영상 이미지



<그림 3-3> 조사지역의 위성영상 이미지

여 백



<그림 3-4> 조사지역의 선구조도

3-2-2 전기비저항탐사

전기비저항탐사는 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 크기와 이에 의해 발생된 전위분포를 측정함으로써 지하의 전기비저항치의 변화양상을 탐지 및 해석하여 지하의 지질구조(파쇄대, 단층, 지질구조대 등), 광상, 지하수, 지열지대의 보존여부 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, 암석구성입자의 크기 및 성질, 고화도, 파쇄대, 균열대, 단층 및 기타 지질구조의 영향에 의하여 전기 비저항 값이 달라져 전기비저항 분포 이상대를 알 수 있게 된다.

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

그러나 전류전극이 대지와 전기적으로 잘 접촉되어야 하므로 동토, 사막 등 표토층이 전기적 절연지역이거나 반대로 표토층이 너무 전기적 양도체인 경우, 지하 심부로 전류의 공급이 이루어지지 않아서 이 전기비저항법을 사용할 수 없으며, 또 실제적인 문제로 넓은 지역의 탐사에는 전극들과 전선들을 이동시키는 작업이 매우 번거롭다는 단점이 있다. 전기비저항 탐사는 전극배열법에 따라 웨너법, 솔럼버저법, 리법, 3극점법, 쌍극자법이 있다.

1) 쌍극자배열 전기비저항 탐사(Dipole-Dipole Method)

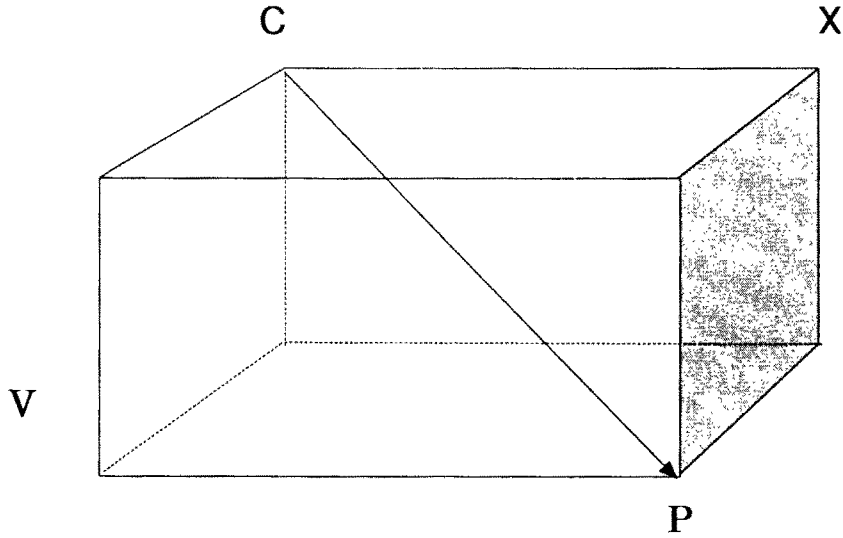
도선의 전기저항 R은 길이 L에 비례하고 단면적 A에 반비례한다. 즉,

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{이다.}$$

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

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

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

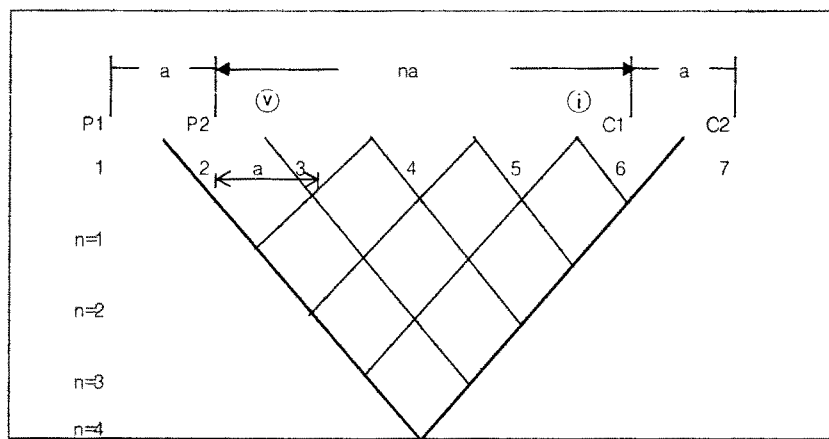


<그림 3-5> 점전원에 의한 전위

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

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

P_1, P_2 : 전위전극봉, C_1, C_2 : 전류전극봉, a : 전극간격, n : 자연수($n= 1, 2, 3, \dots, n$)



<그림 3-6> 쌍극자탐사 측선배열 방법

<그림 3-2-2-2>에서 지표면에 매설한 한쌍의 전류전극 $C_1(+I)$ 과 $C_2(-I)$ 를 가정하고 임의의 점 P_1, P_2 에서 각각의 전위를 생각할 때, P점의 전위는 C_1 과 C_2 에 의한 전위차로 나타나며, 다음과 같다.

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

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

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

이것을 비저항의 식 ρ 로 풀어쓰면 다음과 같다.

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

또한, K 를 기하학적 계수(Geometric Factor)라 하며 다음과 같고, 각종 전극배열 방식에 따라 계산하여 그 값을 구할 수 있다.

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2} \right)}$$

상기 식에서 쌍극자 배열은 전위 및 전류전극 간격이 모두 a 로 $C_1 P_1 = C_2 P_2 = (n+1)a$, $C_2 P_1 = na$, $C_1 P_2 = (n+2)a$ 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 3-25>과 같이 전류 및 전위전극 간격 a 를 탐사 목적 및 정밀도 등을 고려하여 결정하고, $a, 2a, 3a, \dots, na$ 간격으로 단계적으로 이동하면서 전위차를 측정하여 겉보기 비저항치를 계산한다.

▶ 탐사방법 및 해석결과

야외탐사 결과치는 전위전극 중심과 전류전극의 중심을 연결하는 선을 밑면으로 하는 직각이등변 삼각형의 꼭지점에 겉보기 비저항치를 기입하여 수평 및 수직적 변화를 탐지할 수 있다. 이와 같은 쌍극자배열 탐사결과 획득된 겉보기 비저항도면을 가단면도(Pseudo-Section)라고 한다.

가단면도에 나타난 겉보기저항 값은 암석의 전기비저항치를 나타내는 것이 아니고, 표시된 수직점에서 얻어진 비저항치를 야기시키는 진짜 심도를 표시하는 것도 아니다. 그러므로 이를 해석하기 위해서는 컴퓨터에 의한 해석 프로그램이 필요하다. 그러나 쌍극자 배열방법은 다른 배열방법과 달리 신속하게 2차원적 수직-수평 탐사를 행할 수 있어 비교적 광역적으로 지하 2차원 구조, 특히 전기전도도 구조 (Goelectric Structure)를 파악할 수 있는 장점이 있다.

근본적으로 Wenner 배열이나 Schlumberger 배열을 채용한 수직탐사는 1개 점 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. 쌍극자배열탐사는 1점이 아닌 1측선상에서 수평-수직 탐사를 동시에 수행하므로 2차원적 탐사로 간주된다. 물론, 쌍극자배열 탐사의 측선상에 각 측정마다 수직탐사를 수행한다면, 1개점이 아닌 측선상의 하부에 2차원적인 비저항분포를 파악 할 수 있다.

또한, 수직탐사는 각 측정사이에 국부적인 이상대가 존재할 경우 이를 놓칠 우려가 많으나, 쌍극자배열 탐사는 연속적인 2차원 탐사이므로 이러한 가능성이 상대적으로 낮다고 할 수 있다.

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.

부여군 일대에 대해 쌍극자배열법을 이용하여 17개 측선을 설치하여 전기비저항탐사를 실시하였다(표 3-2).

쌍극자배열법은 한쌍의 전류전극과 다른 한쌍의 전위전극을 25m로 하고 측정 간격을 25m, 50m, 75m, . . . , 500m로 간격을 25m씩 단계적으로 이동 하면서 각 측정에서의 전위차를 측정하여 겉보기비저항치를 구한다.

측점간격이 멀어지면 탐사심도도 깊어지므로 한 측선을 전개해 나가면서 외견비저항의 2차원 단면을 구하고, 등비저항곡선도를 작성하여 전기비저항분포 이상대를 파악하게 된다. 자료처리는 현장 겉보기비저항 단면도, 자동역산에 의한

이론적인 해석도 및 모델링에 의한 2차원 단면구조도를 나타냈고(그림 3-7a~3-7q), 현장측정치(겉보기비저항)와 이론치 사이의 RMS(Root Mean Squared relative error)는 최소화시키기 위해 해석 반복계산을 5회로 하였다.

<표 3-2> 전기비저항 쌍극자 측선 총괄표

측 선 번 호	위 치	측 선 방 향	길 이(m)
E-01	세도면 양대리	N 40° E	500
E-02	세도면 동사리	N 40° E	500
E-03	임천면 칠산리	N 05° W	500
E-04	임천면 구교리	N 10° E	500
E-05	남면 송암리 앞들	N 25° W	500
E-06	남면 내곡리 앞들	N 20° W	500
E-07	외산면 옥산말 앞들	N 50° E	500
E-08	외산면 용수말 앞들	N 30° W	500
E-09	규암면 모리	N 30° W	500
E-10	규암면 진별리	N 80° E	500
E-11	규암면 반산리	N 80° W	500
E-12	부여읍 가증리	N 75° E	500
E-13	초촌면 증산리	N 45° W	500
E-14	초촌면 연화리	N 05° W	500
E-15	석성면 석성리	N 20° E	500
E-16	규암면 합송리	N 40° W	500
E-17	규암면 노화리	N 35° W	500

1) E-01

부여군 세도면 양대리에서 측선을 N40° E 방향으로 설치하였다. 역산결과를 보면 대체로 측정점 5~14 범위에서 저비저항대가 존재하고 있으며, 그 깊이는 40m이내에 주로 분포되어 있으나 8~13범위는 깊은 심도까지 저비저항대가 존재하는 것으로 보아 지하수 부존 가능성이 클 것으로 판단된다(그림 3-7a).

2) E-02

부여군 세도면 동사리에서 측선을 N40° E 방향으로 설치하였다. 전구간이 심도 40m 이내에서 저비저항치를 보이고 5~6 범위는 80m 이내에 저비저항대가 존재하여 이 부근에 지하수가 부존되어 있으리라 판단된다(그림 3-7b).

3) E-03

부여군 임천면 칠산리에서 측선을 N05° W 방향으로 설치하였다. 하천인근의 충적지를 따라 측선을 배열하였으며, 역산결과 전구간이 40m 이내에 저비저항대가 존재하고 특히 2~4, 11~12 범위에서 저비저항대가 존재하여 이 부근에 지하수 부존가능성이 매우 높을 것으로 판단된다(그림 3-7c).

4) E-04

부여군 임천면 구교리에서 측선을 N10° E 방향으로 설치하였다. 주변에 대홍산이 있고 측선은 곡간 사이에 발달된 충적평야부에 배열하였다. 역산결과 전반적으로 비저항치의 변화가 적어 지층의 변화가 적고 유망한 지하수체의 발달은 기대하기 힘들것으로 판단된다. 전구간의 비저항치가 하부로 갈수록 급격히 증가하는 특성을 보인다(그림 3-7d).

5) E-05

부여군 남면 송암리에서 측선을 N25° W 방향으로 설치하였다. 비교적 넓은 충적지(남면평야)의 중앙부분에 측선을 배열하였으며, 역산결과 10번과 11번 측점사이에서 저비저항대가 존재하나 규모가 적어 지하수 부존가능성이 상대적으로 낮을 것으로 판단된다(그림 3-7e).

6) E-06

부여군 남면 내곡리에서 측선을 N20° W 방향으로 설치하였다. E-05번 측선과 같이 남면평야를 가로질러 측선을 배열하였으며 역산결과 전반적으로 비저항치가 높고 심도 증가에 따라 하부의 비저항치가 급격히 증가하는 것으로 보아 지하수 부존가능성이 낮을 것으로 판단된다(그림 3-7f).

7) E-07

부여군 외산면 옥산말 앞들에서 측선을 N50° E 방향으로 설치하였다. 주변에

월하봉, 둔차봉 등 해발고도 400m 이상의 고지대로 둘러싸인 지역으로 매우 협소한 충적지를 형성하고 있으며 축선은 산계의 발달방향과 유사한 방향으로 배열하였다. 역산결과 6~9 범위에서 심도 40 ~ 80m 사이에, 그리고 12~13 범위에서 심도 50 ~ 120m 사이에 저비저항대가 존재하여 이 부분에 지하수 부존가능성이 높을 것으로 판단된다(그림 3-7g).

8) E-08

부여군 외산면 용수말에서 축선을 N30° W 방향으로 설치하였다. 문태산 골짜기 사이에 도로에 평행한 방향으로 축선을 배열하였다. 역산결과 10~13 범위에서 깊은 심도까지 저비저항대가 존재하여 10번 축점 이후에서는 지하수 부존가능성이 클 것으로 판단된다(그림 3-7h).

9) E-09

부여군 규암면 모리에서 축선을 N30° W 방향으로 설치하였다. 축선위치는 구릉지 말단부로 역산결과 10번 축점 이후부터는 깊은 심도까지 저비저항대가 분포되어 있어 지하수 부존가능성이 클 것으로 사료된다(그림 3-7i).

10) E-10

부여군 규암면 진별리에서 축선을 N80° E 방향으로 설치하였다. 축선은 넓은 평야지대에 배열하였고 역산결과 풍화대가 비교적 깊은 심도까지 분포되어 있다. 하부로 갈수록 비저항치가 급격히 상승하는 것으로 보아 지하수 부존가능성이 낮을 것으로 판단된다(그림 3-7j).

11) E-11

부여군 규암면 반산리에서 N80° W 방향으로 축선을 설치하였다. 축선은 구릉지와 충적지가 맞닿는 부분에 배열하였고 바로 옆으로 소지류가 흘러 백마강으로 유입되는 곳이다. 역산결과 축점 10 ~ 11번에서 저비저항대가 존재하나 심도가 10m 이내의 얕은 곳으로 대수층 형태가 아닐 것으로 판단되고 그 이외의 축점은 고비저항대로 나타남에 따라 지하수 부존이 희박할 것으로 판단된다(그림 3-7k).

12) E-12

부여군 부여읍 가증리에서 N75° E 방향으로 축선을 설치하였다. 주변이 구릉

성산지 지형이고 넓게 펼쳐진 평야가 백마강과 맞닿아 있는 지역이다. 역산 결과 측정 11~ 12번 사이는 천부에서 저비저항대가 존재하고 12번부터는 심도 90 ~ 150m 사이에 저비저항대가 존재하여 지하수 대수층 발달이 기대된다(그림 3-7l).

13) E-13

부여군 초촌면 중산리에서 측선을 N45° W 방향으로 설치하였다. 태조봉의 끝자락으로 측선은 골짜기 뺨은 방향으로 배열하였다. 역산결과 천부에 고비저항대가 분포하나 측정 12 ~ 13번 지점 하부 50 ~ 120m 부근에 저비저항대가 나타나 지하수 부존이 기대되는 지역이다(그림 3-7m).

14) E-14

부여군 초촌면 연화리에 측선을 N5° W 방향으로 설치하였다. 산계의 끝자락으로 주변에 무명천이 흐르고 측선은 하천의 흐름방향과 유사하게 배열하였다. 역산 결과 풍화대 심도가 깊을 것으로 추정되고 저비저항대가 전구간에 나타남에 따라 지하수부존가능성이 클 것으로 판단된다(그림 3-7n).

15) E-15

부여군 석성면 석성리에서 측선을 N20° E 방향으로 설치하였다. 넓은 평야부의 중심을 따라 측선을 배열하였다. 역산결과 전구간에 저비저항대가 나타났으므로 미루어 하부 대수층발달이 예상되며 지하수부존성 또한 양호할 것으로 판단된다(그림 3-7o).

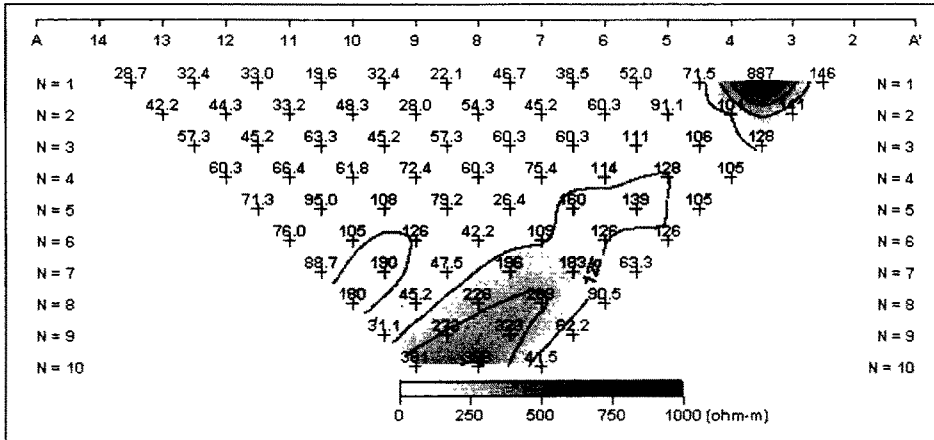
16) E-16

부여군 규암면 합송리에서 측선을 N40° W 방향으로 설치하였다. 주변이 넓은 평야부로 측선은 평야부를 가로질러 배열하였고 역산결과 전구간에 저비저항대가 나타나고 특히 4 ~ 5번 측정, 7 ~ 9번 측정, 11 ~ 13번 측정에서 깊은 심도까지 저비저항대가 분포하여 지하수 대수층의 발달이 기대된다(그림 3-7p).

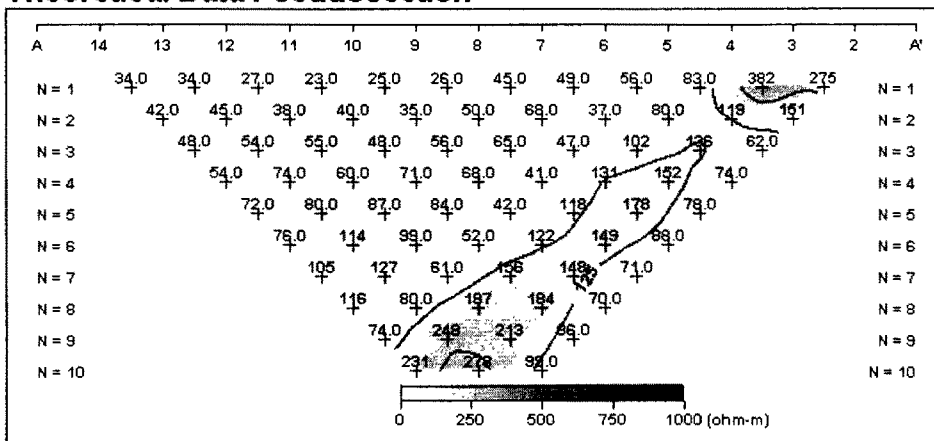
17) E-17

부여군 규암면 노화리에서 측선을 N35° W 방향으로 설치하였다. 주변에 넓은 평야부가 발달되어 있고 남측에 동류하는 하천이 지나간다. 역산결과 전구간의 상부층에 저비저항대가 나타나 그 심도가 10 m 이내고 매우 얇고 그 하부는 심도가 증가할수록 비저항치가 급격히 증가하여 지하수 부존 가능성이 희박할 것으로 판단된다(그림 3-7q).

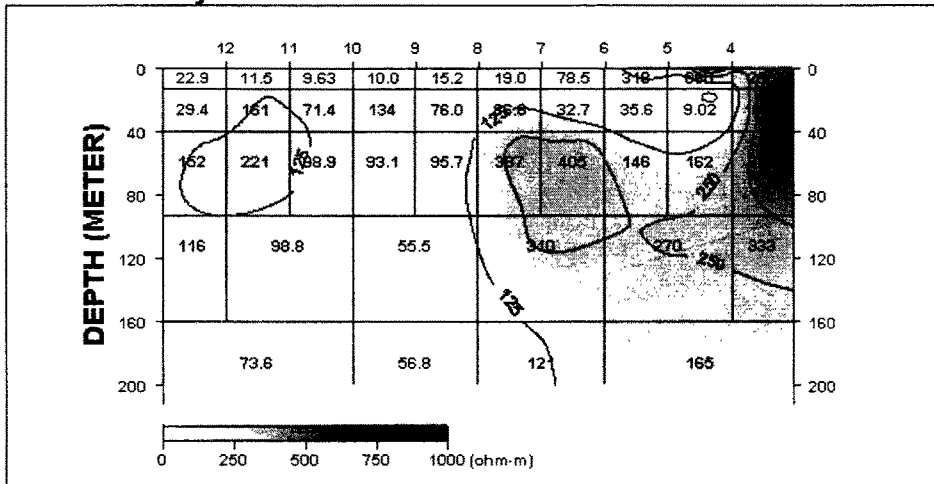
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



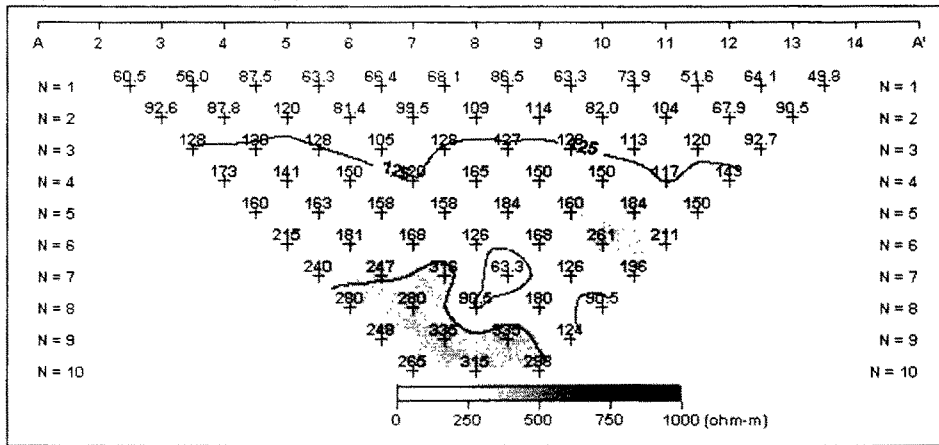
2-D Resistivity Structure



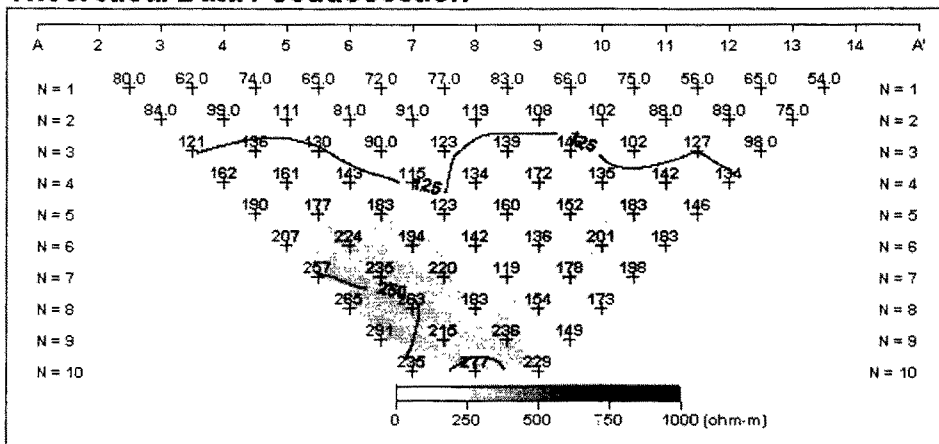
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7a> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D1, 500 m)

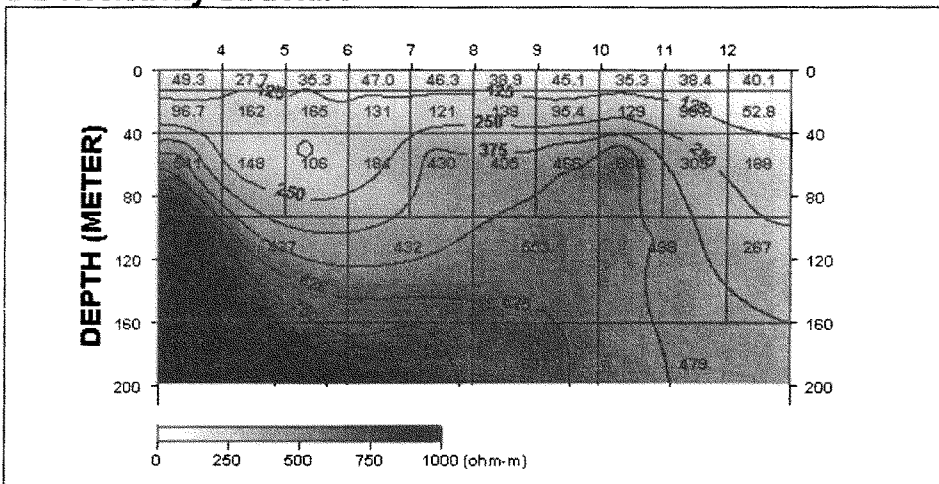
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



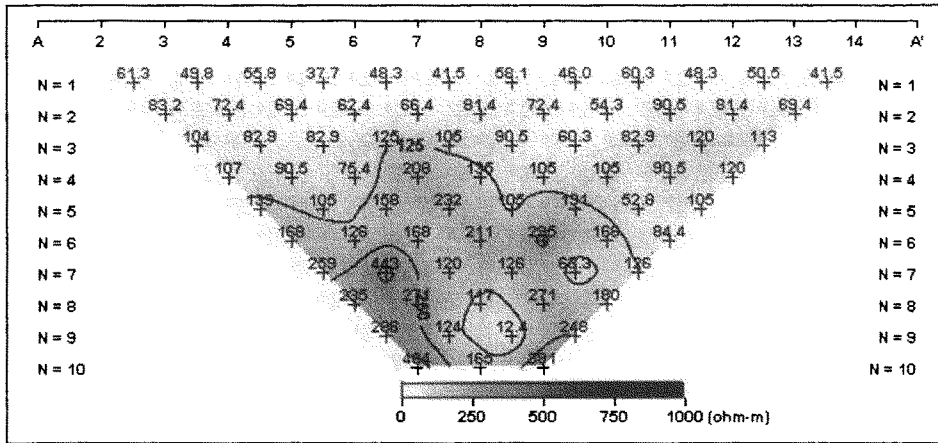
2-D Resistivity Structure



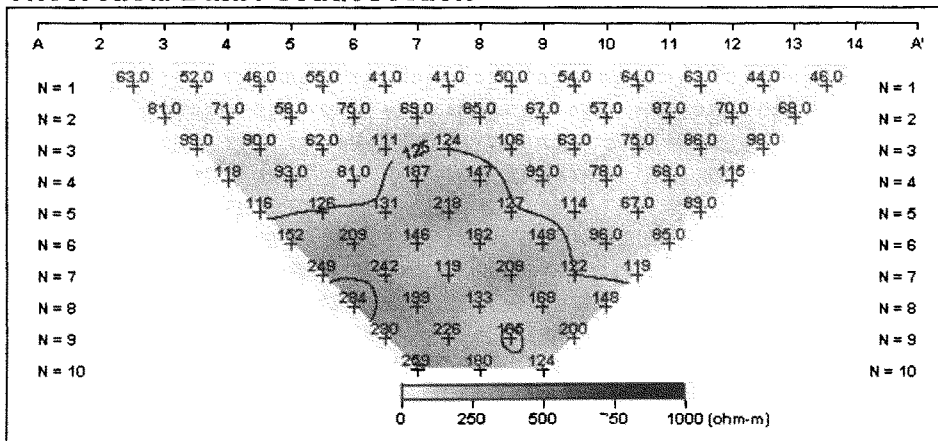
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7b> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D2, 500 m)

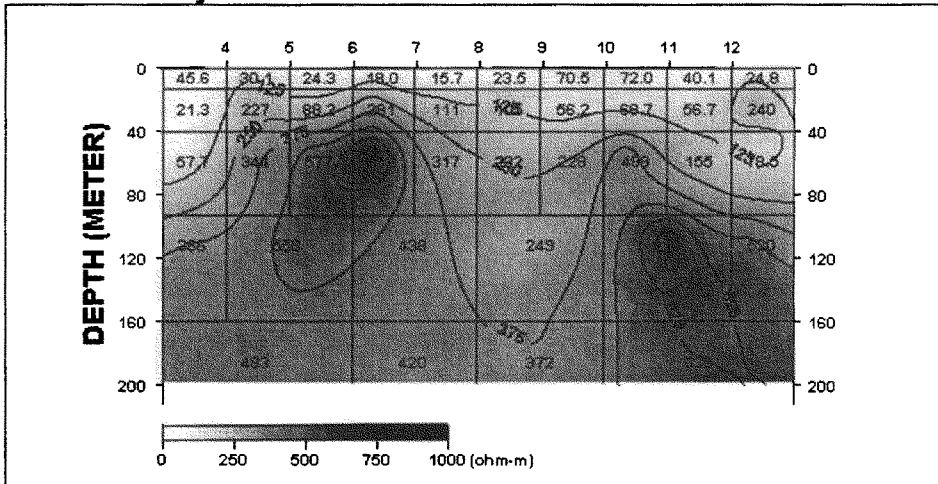
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



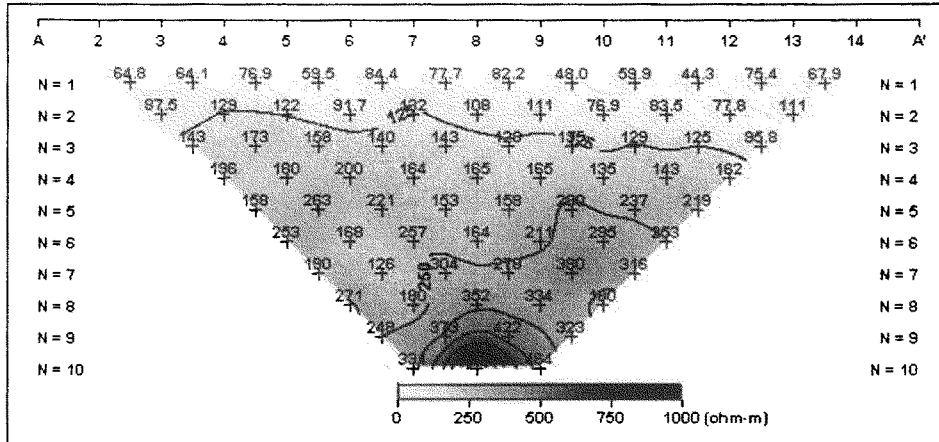
2-D Resistivity Structure



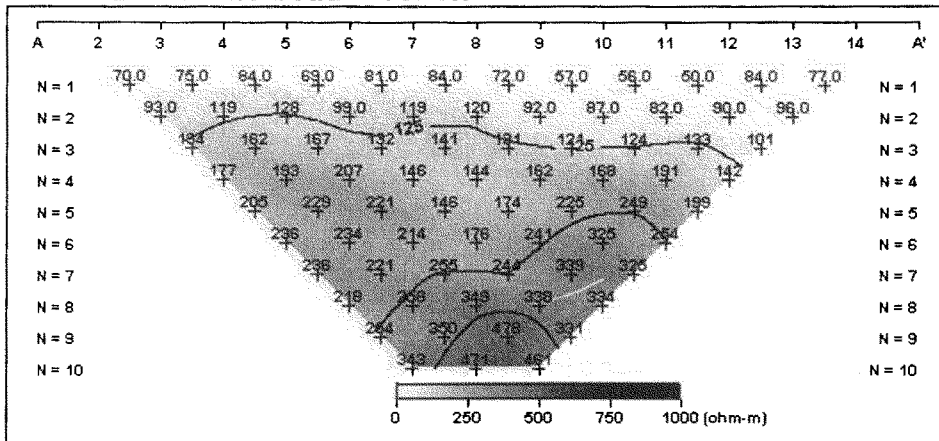
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7c> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D3, 500 m)

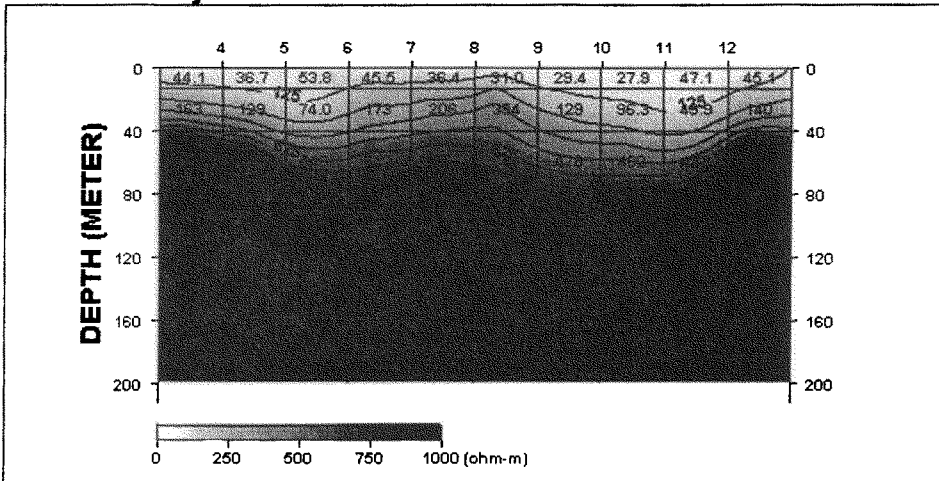
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



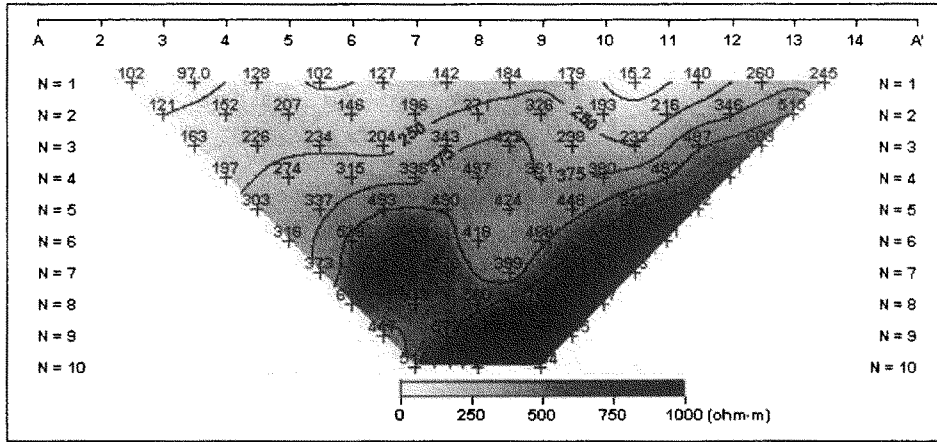
2-D Resistivity Structure



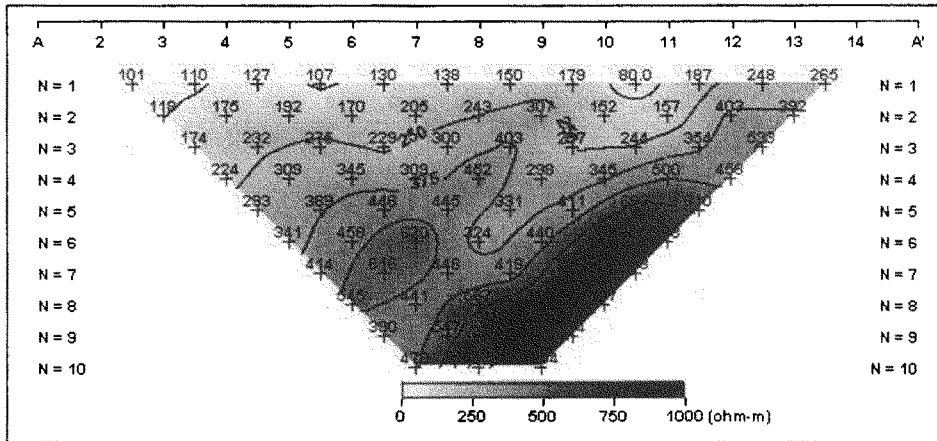
- (A) 현장측정자료의 겹보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겹보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7d> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D4, 500 m)

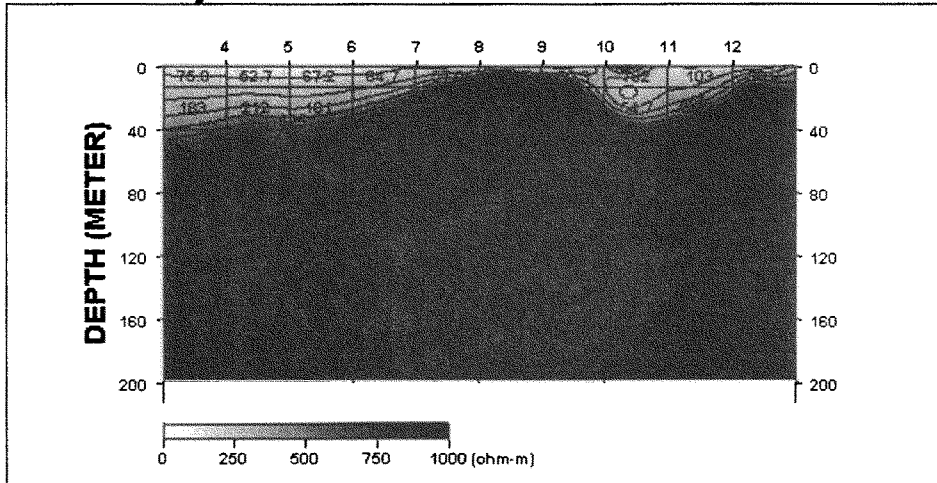
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



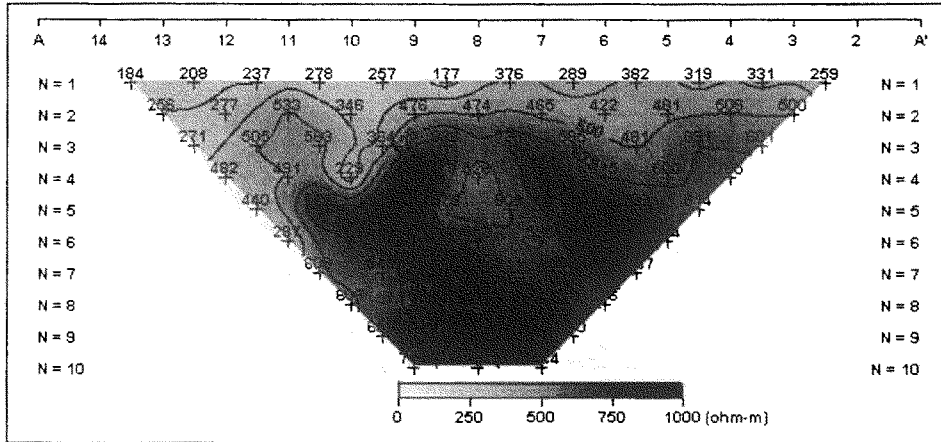
2-D Resistivity Structure



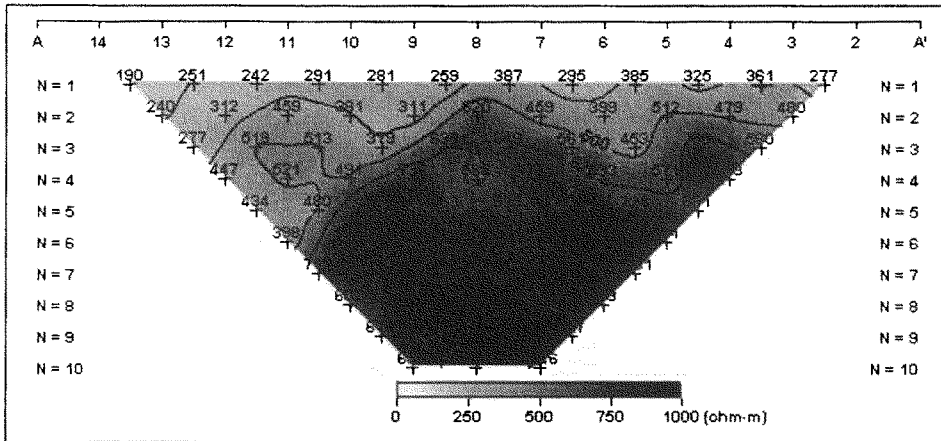
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7e> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D5, 500 m)

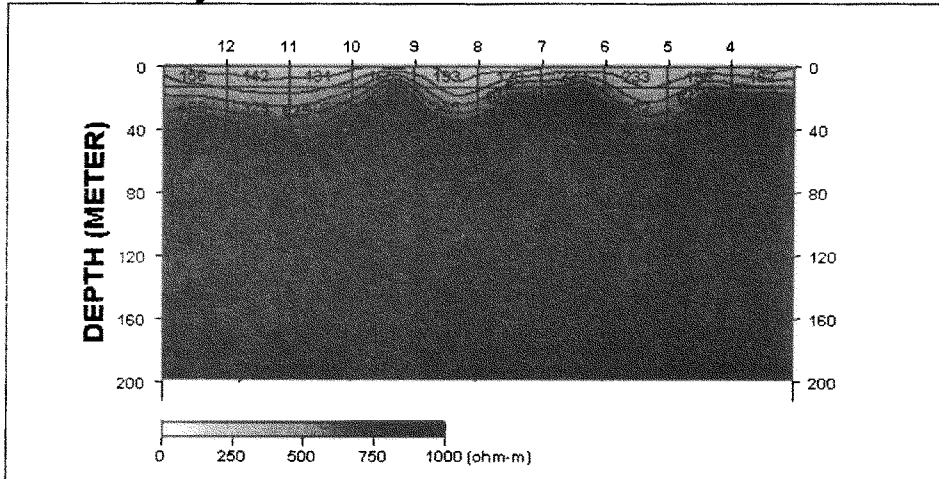
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



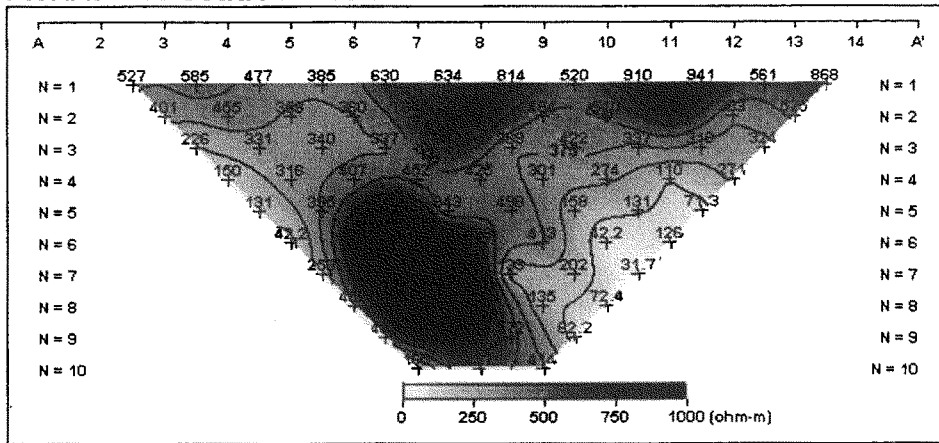
2-D Resistivity Structure



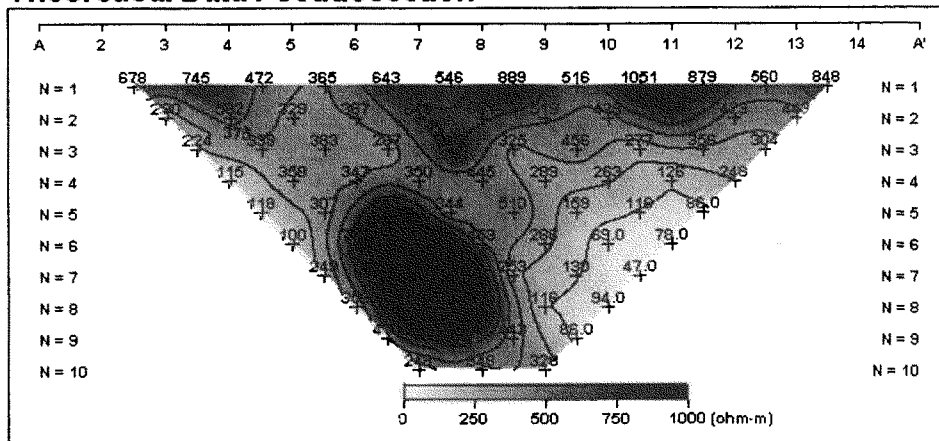
- (A) 현장측정자료의 겹보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겹보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7f> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D6, 500 m)

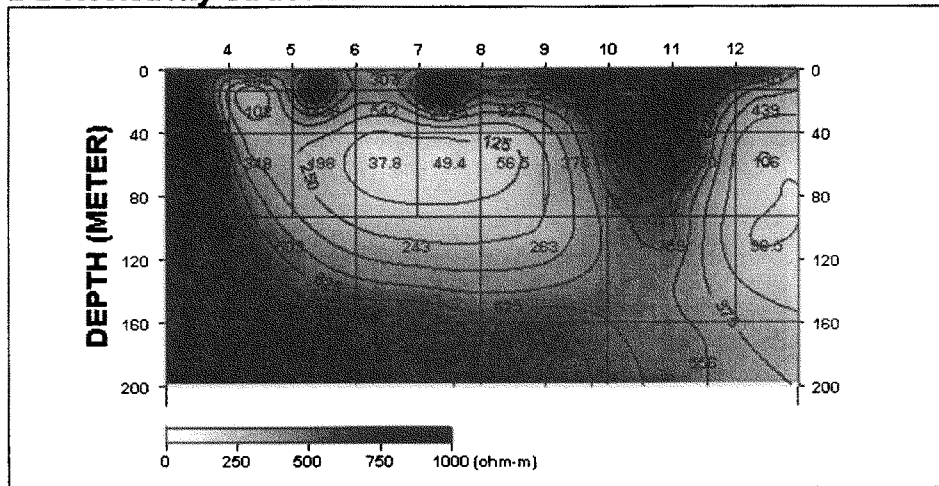
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



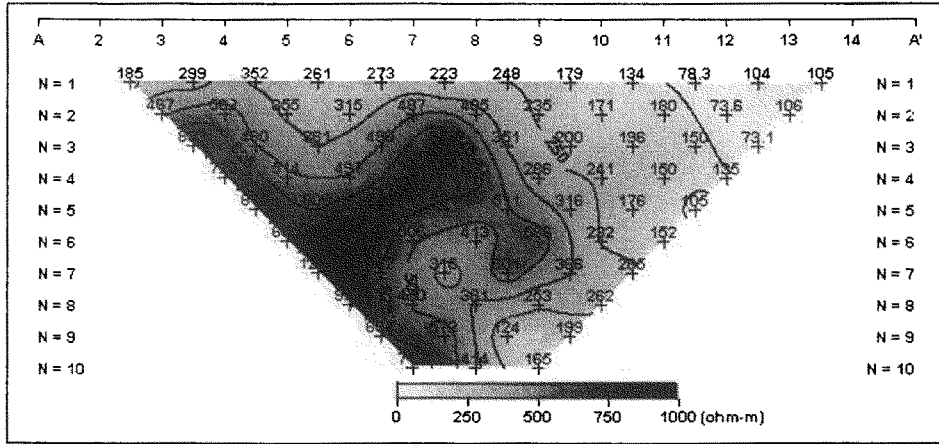
2-D Resistivity Structure



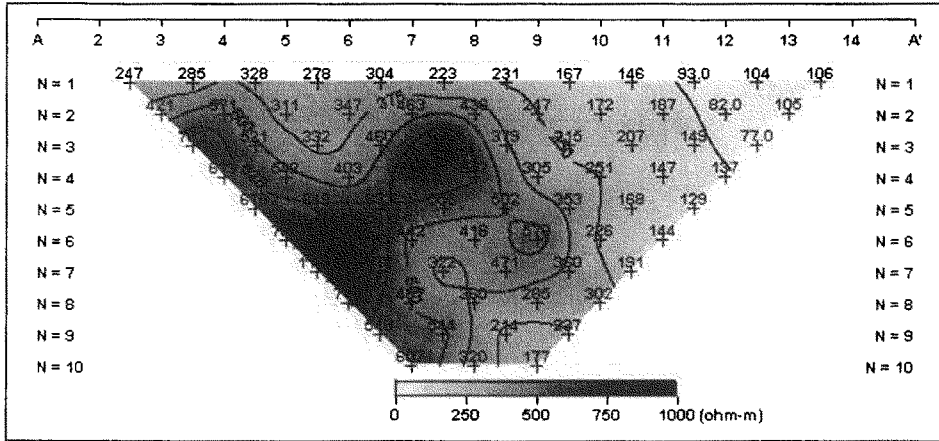
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7g> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D7, 500 m)

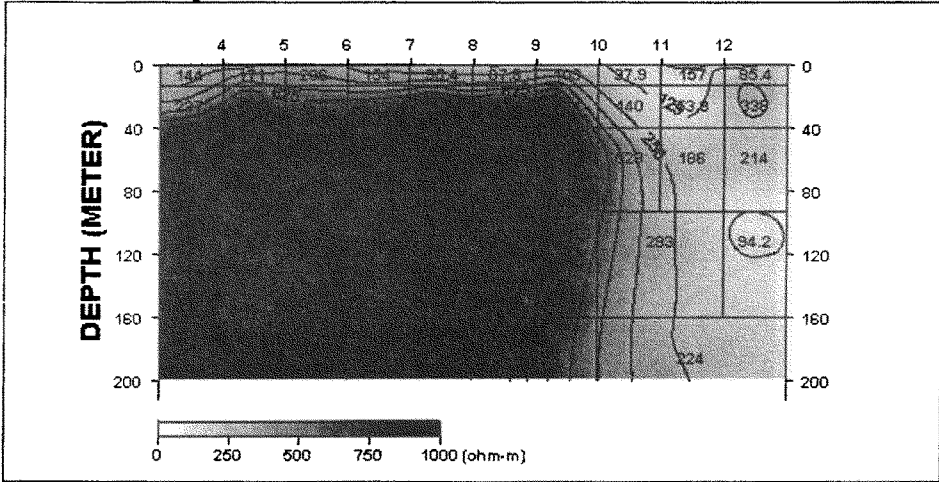
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



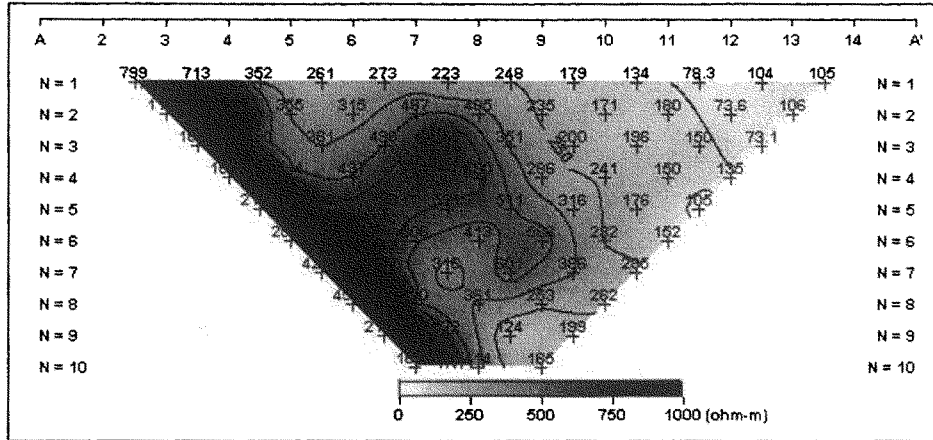
2-D Resistivity Structure



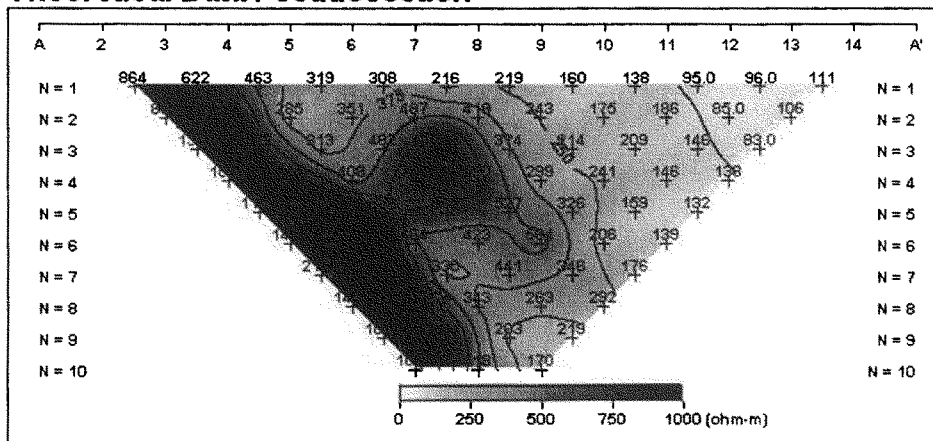
- (A) 현장측정자료의 겹보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겹보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7h> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D8, 500 m)

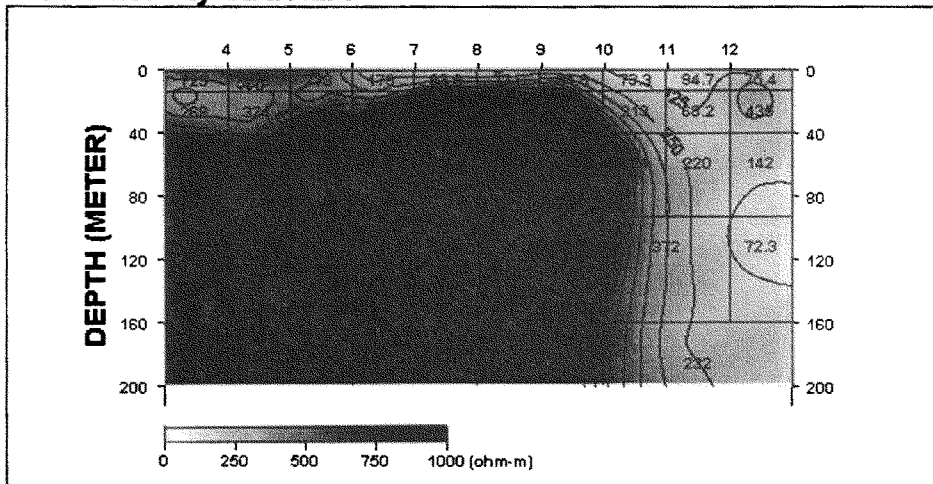
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



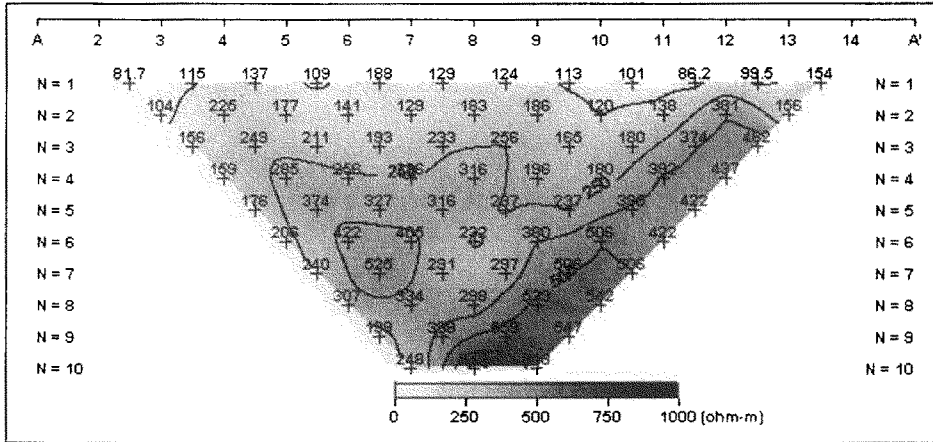
2-D Resistivity Structure



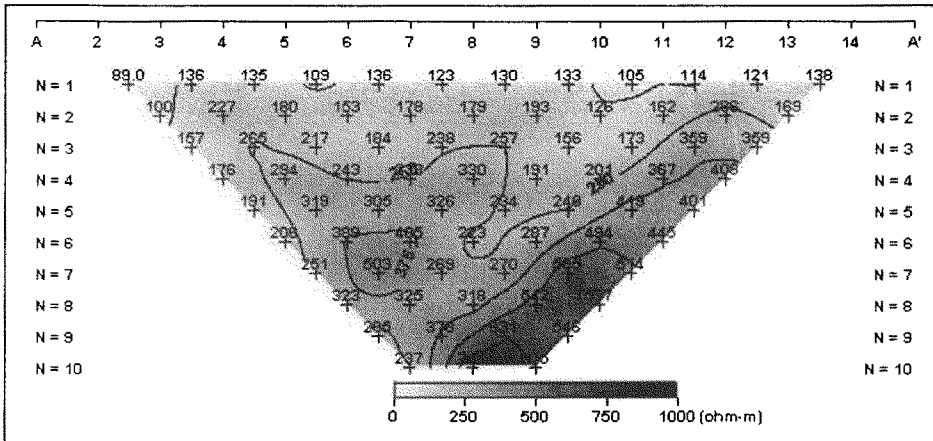
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7i> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D9, 500 m)

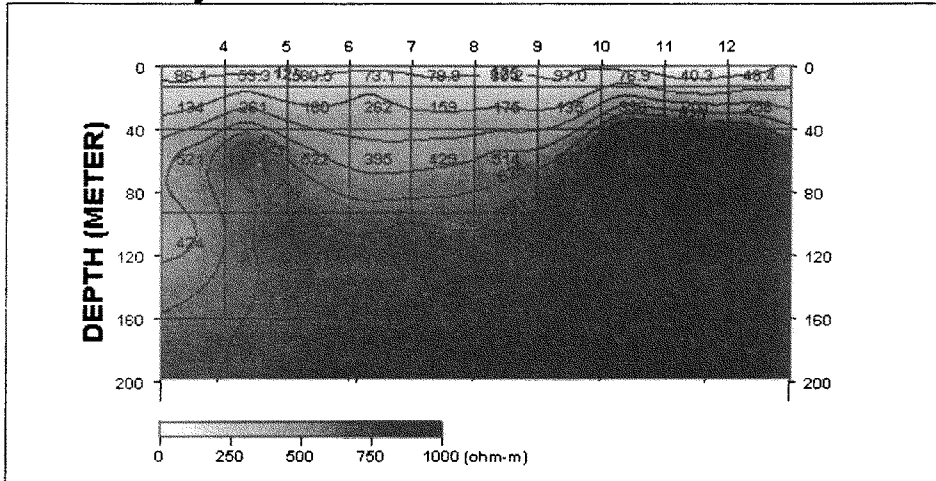
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



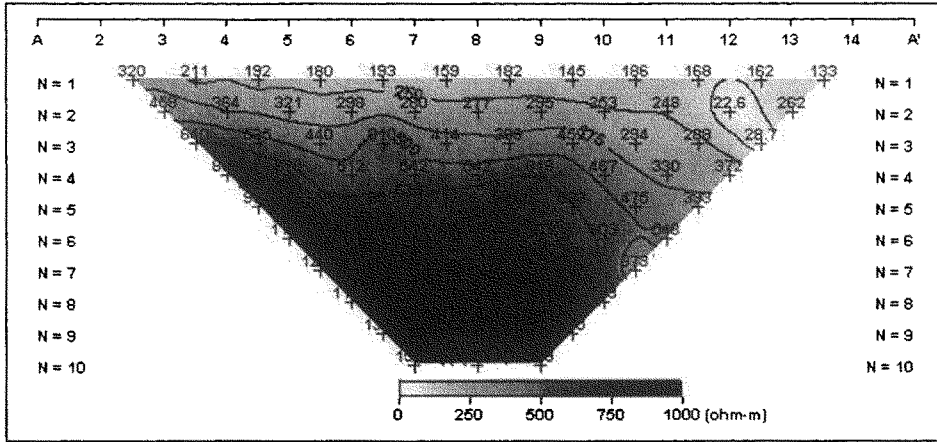
2-D Resistivity Structure



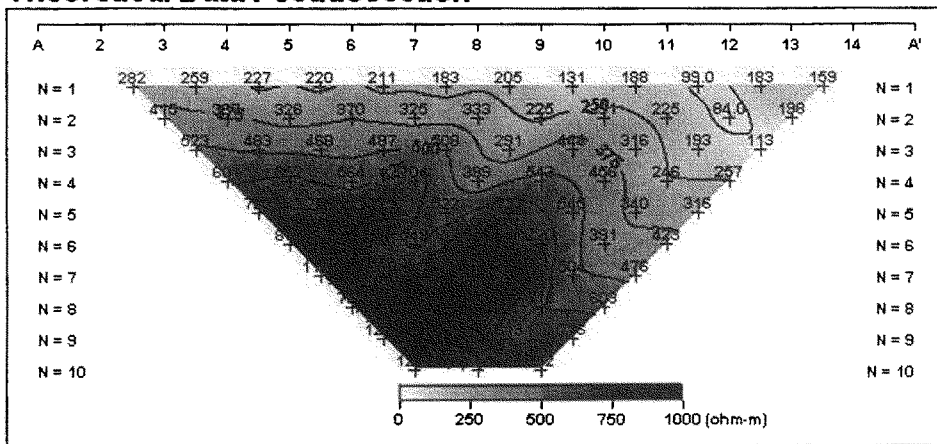
- (A) 현장측정자료의 겹보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겹보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7j> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D10, 500 m)

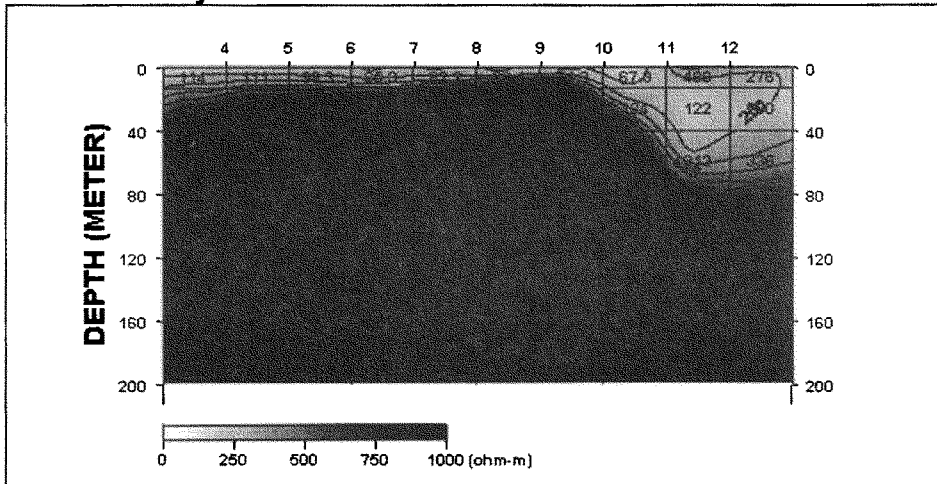
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



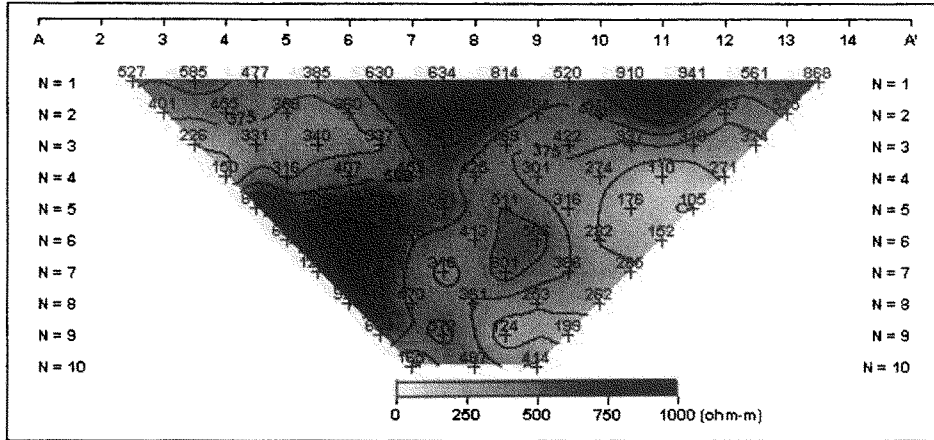
2-D Resistivity Structure



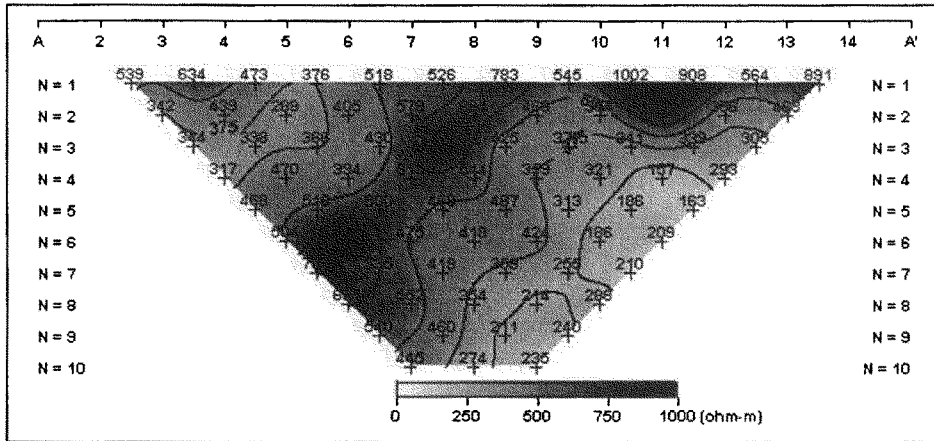
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7k> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D11, 500 m)

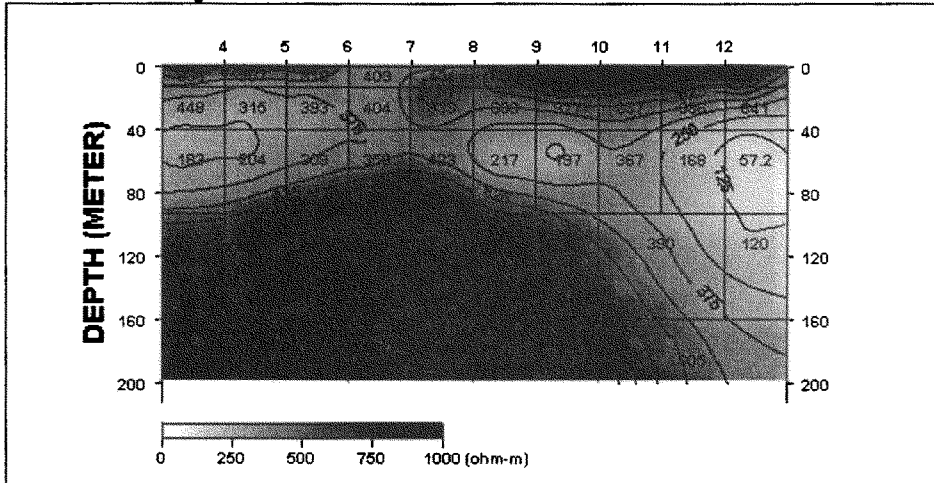
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



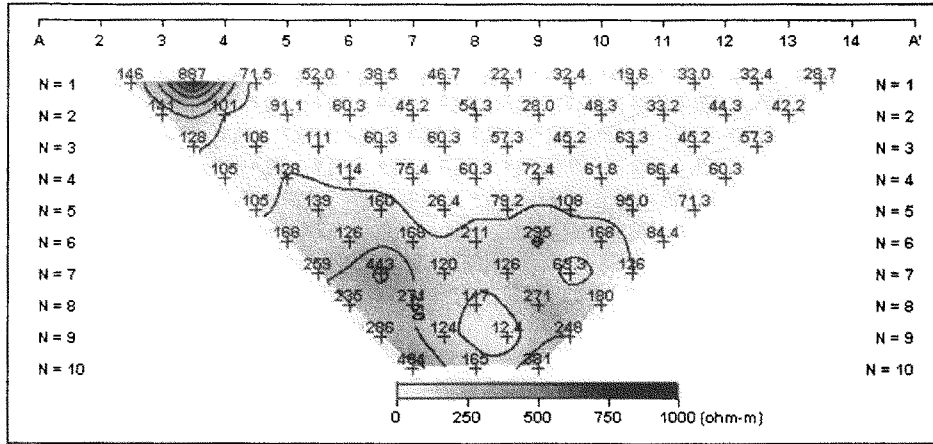
2-D Resistivity Structure



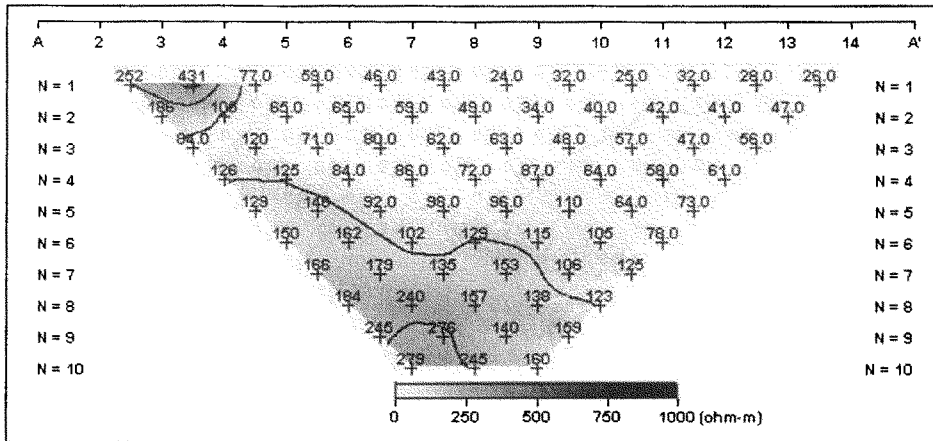
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7m> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D13, 500 m)

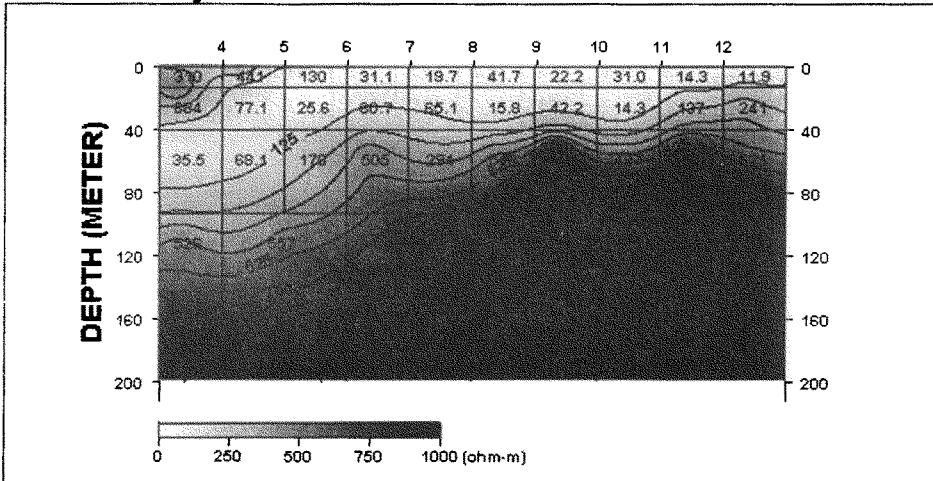
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



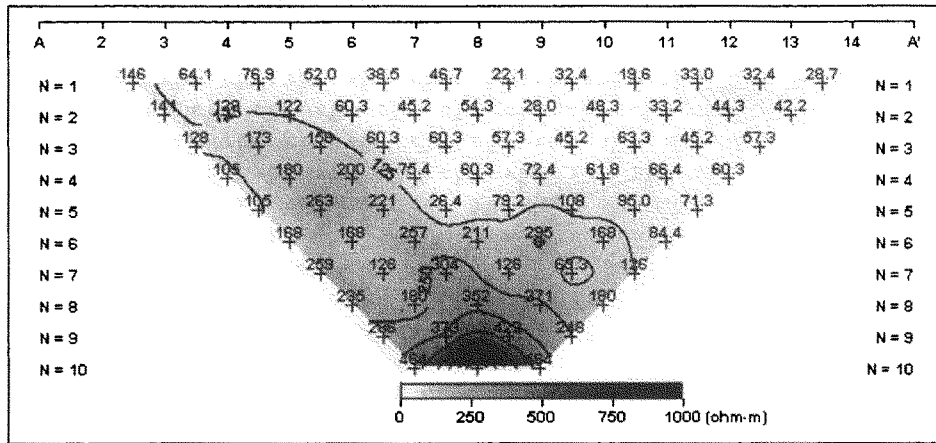
2-D Resistivity Structure



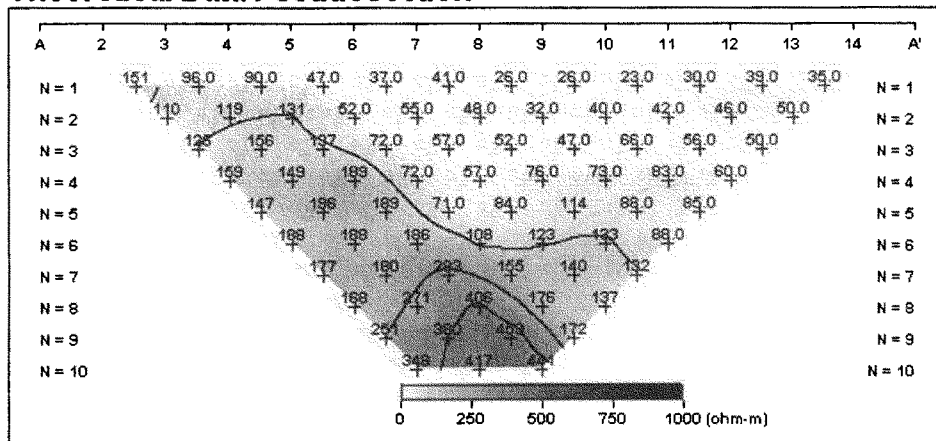
- (A) 현장측정자료의 겹보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겹보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7n> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D14, 500 m)

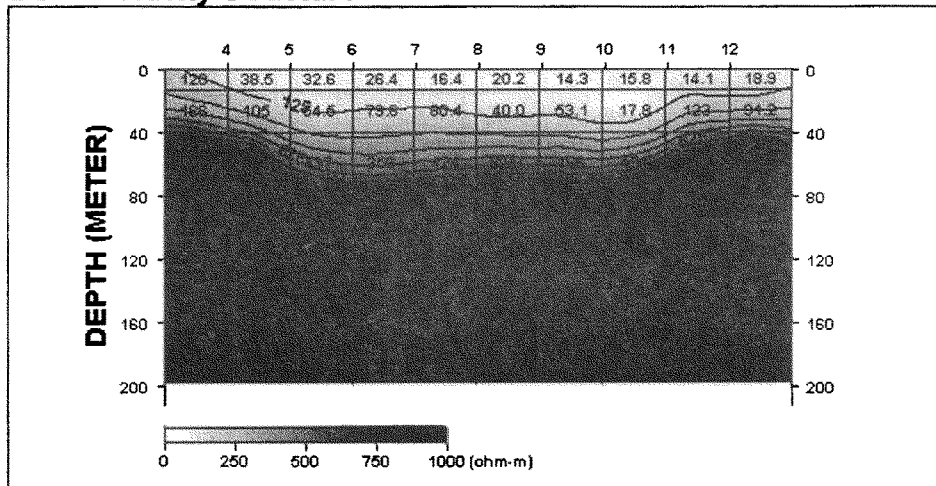
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



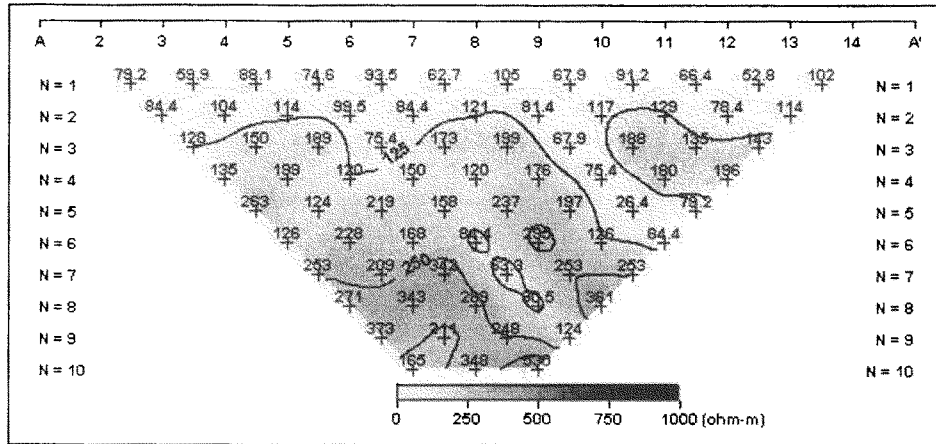
2-D Resistivity Structure



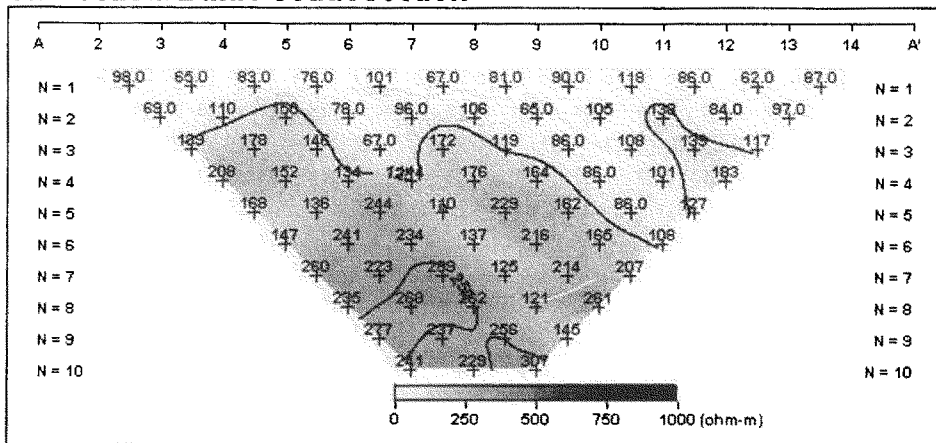
- (A) 현장측정자료의 겹보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겹보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7o> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D15, 500 m)

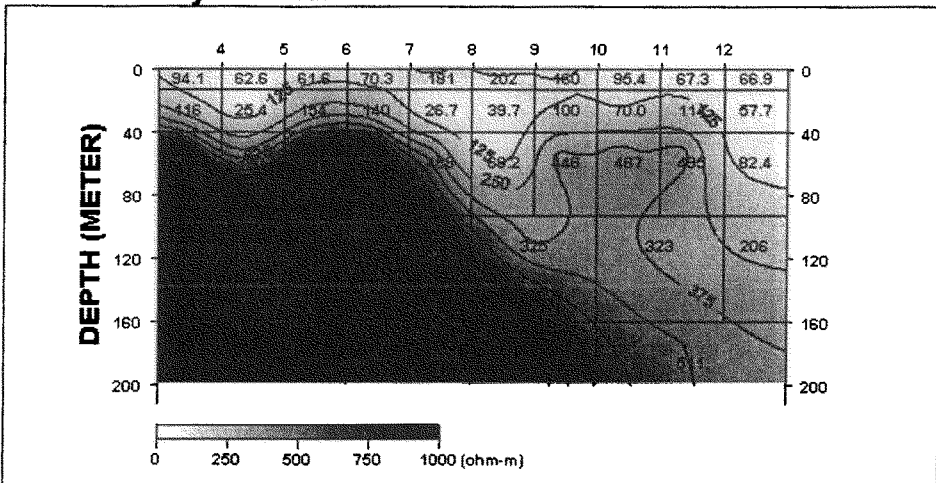
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



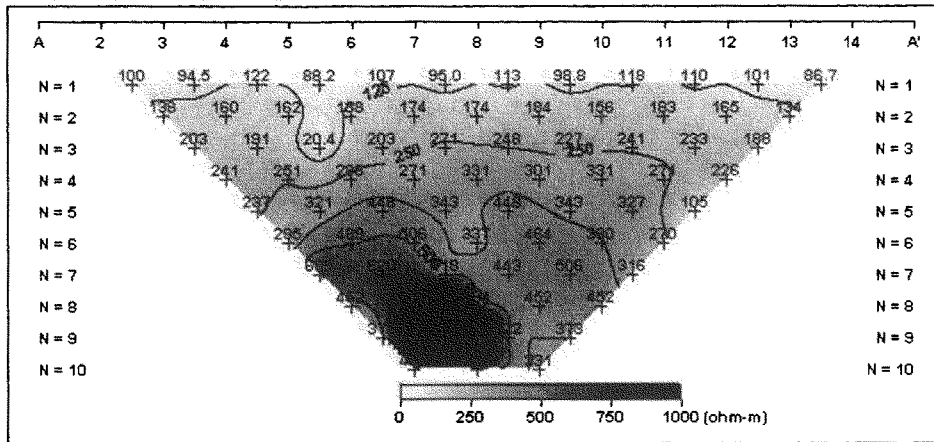
2-D Resistivity Structure



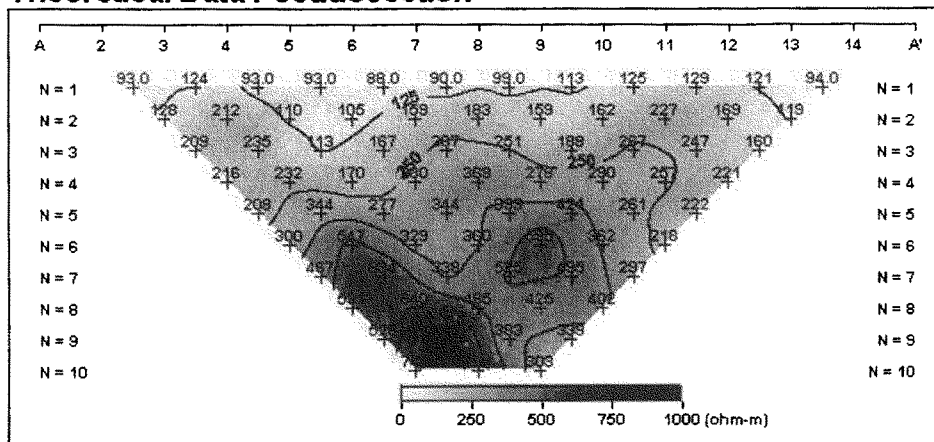
- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7p> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D16, 500 m)

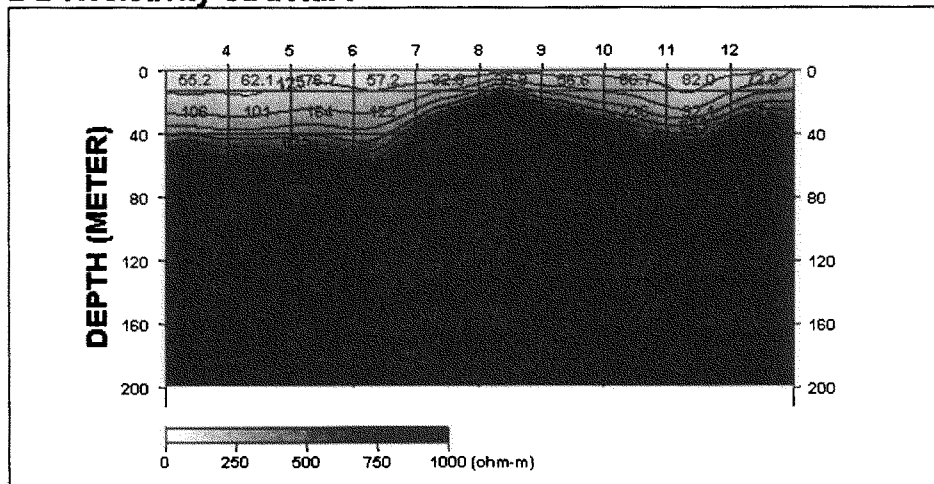
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



- (A) 현장측정자료의 겉보기비저항 가단면도
- (B) 계산된 이론자료의 겉보기비저항 가단면도
- (C) 현장측정자료와 이론자료에 의한 Modeling 단면도

<그림 3-7q> 부여광역수맥도 쌍극자 탐사 결과 및 해석도 (D17, 500 m)

3-3 양수시험

3-3-1 기설관정 양수시험

양수시험을 시행하는 주요 목적은 대수층으로 물을 충전 혹은 대수층으로부터 지하수를 채수함으로써 인하여 발생하는 수위상승 및 강하자료를 이용하여 대수층의 수리적인 성질인 대수층 상수, 즉 투수계수, 투수량계수, 저류계수 및 기타 성질을 결정하기 위하여 정량적으로 평가하는데 있다. 조사지역의 충적층 및 암반대수층의 수리적 성질을 파악하기 위하여 조사지역 내에 분포하는 17개 공의 암반관정에 대하여 양수시험을 실시하였다. 시험결과 대수층 해석은 평균 자연수위가 5.06m로 대수층 보다 대체로 높은 점을 감안하여 피압 또는 누수피압 대수층으로 보았고, 실제 양수시 정류상태(Steady state)에 도달하려면 상당한 시간을 요하므로 Theis의 비평형방정식을 적용하였다. 즉,

$$T = \frac{Q}{4\pi S} W(u) \quad , \quad S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

여기서, T ; 투수량계수, Q ; 양수량, S ; 저류계수, t ; 양수 개시 이후 경과시간, r ; 양수정과 관측정 사이의 거리이다.

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

여기서, $W(u)$; 우물함수, u ; 우물함수 이다.

수리상수의 산출은 상기 방정식을 토대로 AQTESOLV 프로그램을 이용하여 대수층의 수리상수를 구하였다(표 3-3). 조사지역의 평균 투수량계수는 13.61m²/D, 평균자연수위는 5.06m, 평균안정수위는 47.12m, 평균양수량 259m³/D이다.

<표 3-3> 기설관정 양수시험 총괄표

No.	위 치		자연수위 (m)	안정수위 (m)	양 수 량 (m ³ /D)	투수량계수 (m ² /D)
	읍·면	리				
E-020	은산	내지	1.69	97.08	205	8.84
E-082	충화	팔충	1.20	78.64	590	28.6
E-094	임천	군사	3.69	66.31	293	7.49
E-045	옥산	봉산	2.70	74.00	212	10.45
E-044	옥산	홍연2	6.10	29.19	345	20.13
E-047	옥산	가덕	1.00	53.53	205	5.55
E-003	외산	문신	11.12	27.64	301	26.97
E-005	외산	화성	3.20	68.00	226	9.88
E-001	외산	수신2	9.11	30.14	218	11.52
E-002	외산	지선	5.20	19.48	301	26.24
E-051	구룡	현암	4.70	78.00	219	8.57
E-147	석성	봉정2	6.05	17.20	345	16.21
E-114	규암	외리	5.90	46.54	130	4.24
E-028	내산	운치	5.22	40.06	253	9.36
E-066	남	신흥	5.65	17.06	253	26.16
E-063	남	삼용	9.74	28.14	156	3.30
E-032	홍산	상천	3.79	29.95	156	7.92
평균			5.06	47.12	259	13.61

3.4. 대수층 특성

본 조사지역의 지형은 대체적으로 북서측에 산계의 발달이 우수하고 경사가 급하나 남동측은 구룡성 산지로 구성되어 있고 중앙부는 평야지대로 금강이 북동-남서향으로 유하한다.

이 지역의 지질은 변성암류를 화강암류가 관입하고 있으며 퇴적암류가 부정합으로 피복하고 있다.

기설관정 17공의 양수시험 분석이 조사지구 전체를 대표하기는 어려우나 읍·면별로 전체적 경향을 반영할 수 있도록 선별하여 대수층 특성을 분석하였으며 양수시험 결과 130 m³/D 내지 590 m³/D의 양수량 범위를 보이고 있다. 우선 양수 시험공은 그 지역 일대에서 비교적 양수량 확보가 용이한 관정이 선택되었기 때문에 대표성을 갖기는 힘들지만 나름대로 대수층 발달 상태나 양수특성 등은 지역 특수성을 내포하리라고 판단된다.

관정들의 평균투수량계수는 13.61m³/D이며 충화면 팔충리에 위치한 관정의 경우 28.57m³/D로 양수시험결과 시험관정 가운데 가장 양호한 수리성을 갖는 것으로 나타났으며, 남면 삼용리에 위치한 관정의 경우 가장 낮은 투수량계수(3.298m³/D)를 보인다.

전체적으로 평균투수량계수 이상의 값을 보인 관정이 위치한 지역은 충화면 (E-082), 옥산면 (E-044), 남면 (E-066), 외산면 (E-002), 이며, 평균투수량계수이하의 값을 보인 관정이 위치한 지역은 은산면 (E-020), 임천면 (E-094), 옥산면 (E-045, E-047), 외산면 (E-003, E-005, E-001), 구룡면 (E-051), 규암면 (E-114), 내산면 (E-028), 남면 (E-063), 홍산면 (E-032) 등으로 특별한 지역적, 지질적 연계성의 분석은 어려운 결과를 나타내고 있다.

조사지역내 시험관정들의 평균안정수위와 평균자연수위와의 차이는 42.06m이며 기반암의 종류로 편마암류, 퇴적암류, 화강암류 등으로 구성되어 대수층 발달 형태는 대부분 기반암내 파쇄대 발달에 의한 것으로 판단된다.

4. 기설관정 이용실태조사

기설관정 이용실태를 파악하기 위하여 1998년 11월~12월에 걸쳐 기설관정 현황조사와 지하수위 조사 및 현장 간이수질검사를 실시하였다. 기설 관정 현황조사는 부여군청 및 각 읍·면사무소의 자료를 수집하였으며 지하수위 및 간이수질검사는 읍·면별 표본조사를 통하여 157개소에 대하여 획득 가능한 자료를 모두 취득하였다.

4-1 기설관정 현황조사

부여지역의 지하수 관정 신고 현황을 보면 총 20,950개소(이용량 : 27,328,803 m³/y)에 달하나 이중 20,866개소가 사용량이 경미하거나 이용이 미비한 기타시설로 이용되어지고 있다. 용도별 지하수 이용현황은 생활용 관정 14,219개소(이용량 7,448,864m³/y), 공업용 관정 54개소(이용량 : 737,865m³/y), 농업용 관정 6,677개소(이용량 : 19,142,074m³/y)로써 농업용 관정이 개소수로 보면 31.8%를 차지하나 전체 사용량의 70%이상이 농업용수로 이용되고 있다 (표 4-2)

4-2 기설관정 지하수위조사

수위관측은 조사구역내 수위 등고선도를 작성하기 위하여 기설관정 위치를 파악하고 조사지구 일대를 격자화하여 수위를 파악해야 한다. 기설관정이 없거나, 자료가 부족한 경우 오거(Auger)를 사용하여 굴착, 수위관측공을 설치하여 조사 관측하되, 수위관측공은 지하수 함양조건이 동일한 상태에서 일제히 측정하여 지역 내 지하수 수위조사를 해야한다. 부여지역은 기존의 농업용수용으로 기 개발된 암반 관정이 다량 산재하며, 이들의 조사만으로 충분한 자료 획득이 가능하다고 판단되어 오거(Auger)를 사용한 관측공을 시추하지 않았다. 수위관측은 동일조건에서 일제히 실시하여 획득된 자료의 신뢰성을 확보해야 하나, 이번 조사에서는 한정된 소요인원과 시간 내에 다량의 관측공을 측정하다보니 측정시간이나 조건의 동일성 등 측정 자료에 대한 신뢰도가 다소 떨어지는 경향이 있을 것으로 판단된다.

조사지역을 행정구역별로 평균 수위는 부여읍(11개소) 2.1m, 규암면(11개소) 5.3m, 은산면(10개소) 3.7m, 외산면(10개소) 7.4m, 내산면(10개소) 4.18m, 구룡면(10개소) 4.1m, 홍산면(10개소) 3.8m, 옥산면(10개소) 4.5m, 남면(10개소) 7.1m, 충화면(10개소) 2.4m, 양화면(7개소) 2.8m, 임천면(10개소) 5.2m, 장암면(10개소) 3.47m, 세도면(10개소) 6.5m, 석성면(8개소) 4.2m, 초촌면(10개소) 5.9m이다. 부여지역 평균 수위는 157개소에서 4.4m를 나타낸다 (표 4-6).

<표 4-1> 읍·면별 지하수 개소수 현황

(단위: 공)

구분	총계				대형관정				소형관정			
	계	생활용	공업용	농업용	소계	생활용	공업용	농업용	소계	생활용	공업용	농업용
계	20,950	14,219	54	6,677	84	59	18	7	20,866	14,160	36	6,670
부여	2,807	1,899	2	906	27	25	2	-	2,780	1,874	-	906
규암	2,149	1,787	6	356	10	4	6	-	2,139	1,783	-	356
은산	2,134	1,553	7	574	3	2	-	1	2,131	1,551	7	573
외산	861	42	-	819	2	2	-	-	859	40	-	819
내산	994	570	1	423	3	2	-	1	991	568	1	422
구룡	1,008	706	-	302	1	-	-	1	1,007	706	-	301
홍산	1,312	914	1	397	3	2	1	-	1,309	912	-	397
옥산	835	476	-	359	3	1	-	2	832	475	-	357
남	1,193	935	2	256	2	2	-	-	1,191	933	2	256
충화	507	173	-	334	2	1	-	1	505	172	-	333
양화	844	596	5	243	7	2	4	1	837	594	1	242
임천	1,469	1,140	-	329	8	8	-	-	1,461	1,132	-	329
장암	1,315	944	5	366	4	1	3	-	1,311	943	2	366
세도	1,107	603	-	504	-	-	-	-	1,107	603	-	504
석성	809	659	5	145	7	5	2	-	802	654	3	145
초촌	1,606	1,222	20	364	2	2	-	-	1,604	1,220	20	364

<표 4-2> 읍·면별 지하수 이용현황

(단위 : 공, m³/년)

구 분	총 계		생활용		공업용		농업용	
	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량
계	20,950	27,328,803	14,219	7,448,864	54	737,865	6,677	19,142,074
부 여	2,807	3,871,297	1,899	1,308,449	2	10,950	906	2,551,898
규 암	2,149	1,814,935	1,787	802,245	6	420,000	356	592,690
은 산	2,134	1,155,460	1,553	1,049,450	7	3,500	574	102,510
외 산	861	1,155,292	42	50,292	-	-	819	1,105,000
내 산	994	1,409,174	570	126,634	1	300	423	1,282,240
구 룡	1,008	467,660	706	218,235	-	-	302	249,425
홍 산	1,312	4,075,810	914	1,362,765	1	50,000	397	2,663,045
옥 산	835	2,235,549	476	287,225	-	-	359	1,948,324
남	1,193	586,621	935	397,521	2	7,300	256	181,800
충 화	507	6,150,760	173	61,925	-	-	334	6,088,835
양 화	844	384,083	596	307,273	5	30,660	243	46,150
임 천	1,469	775,458	1,140	239,758	-	-	329	535,700
장 암	1,315	1,998,254	944	366,395	5	145,800	366	1,486,059
세 도	1,107	211,319	603	106,791	-	-	504	104,528
석 성	809	378,164	659	234,088	5	47,360	145	96,716
초 촌	1,606	658,967	1,222	529,818	20	21,995	364	107,154

<표 4-3> 생활용 지하수 이용현황 (단위 : 공, m³/y)

구분	총계		가정용		일반용		간이상수도		농생검용		기타	
	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량
부여	14,219	7,448,864	14,008	6,511,110	98	274,764	80	455,057	1	720	32	207,213

<표 4-4> 농업용 지하수 이용현황 (단위 : 공, m³/y)

구분	총계		전작용		답작용		원예용		축·수산업용		기타	
	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량
부여	6,677	19,142,074	44	107,503	5,812	17,985,911	721	911,849	23	47,110	77	89,701

<표 4-5> 지표수 이용현황 (단위 : 개소, ha)

구분	총계		저수지 및 소류지		양수장		보		집수암거	
	개소	몽리면적	개소	몽리면적	개소	몽리면적	개소	몽리면적	개소	몽리면적
부여	314	12,330	111	5,095	68	5,419	85	1,336	50	480

<표 4-6> 부여지역 기설관정 지하수위 조사 총괄표

공번	위 치		자연수위 (m)	공번	위 치		자연수위 (m)
	읍·면	리			읍·면	리	
E-001	외산	문신	10.9	E-042	옥산	학산	2.7
E-002	외산	지선	4.7	E-043	옥산	학산	5.6
E-003	외산	삼산	8.1	E-044	옥산	홍편	5.2
E-004	외산	삼산	9.3	E-045	옥산	대덕	7.6
E-005	외산	화성	3.8	E-046	옥산	내대	3.9
E-006	외산	장항	7.8	E-047	옥산	가덕	4.7
E-007	외산	만수	6.3	E-048	옥산	안서	2.1
E-008	외산	만수1	9.4	E-049	옥산	내대	1.9
E-009	내산	지터	10.1	E-050	옥산	가덕	5.0
E-010	외산	갈산	3.6	E-051	구룡	현암	4.6
E-011	은산	장대	2.3	E-052	구룡	현암	3.9
E-012	은산	금공	4.2	E-053	구룡	죽절	2.5
E-013	은산	나령	3.9	E-054	구룡	현암	6.6
E-014	은산	대양	5.1	E-055	구룡	구봉	3.7
E-015	은산	홍산	3.7	E-056	구룡	태양	2.3
E-016	은산	가중	5.9	E-057	구룡	주성	3.1
E-017	은산	경둔	4.3	E-058	구룡	금사	4.8
E-018	은산	신내	2.7	E-059	구룡	온터	5.1
E-019	은산	내지	2.6	E-060	구룡	용당	3.9
E-020	은산	내지	1.9	E-061	세도	장산1	10.6
E-021	내산	은해	3.9	E-062	남	송학	9.8
E-022	내산	지터	5.2	E-063	남	삼용	11.5
E-023	내산	저동	6.0	E-064	남	금전2	7.3
E-024	내산	운치	2.5	E-065	남	금전1	3.8
E-025	내산	운치	2.9	E-066	남	신흥	5.3
E-026	내산	울암	3.1	E-067	남	송암	6.7
E-027	내산	묘원	5.5	E-068	남	송암	4.9
E-028	내산	묘원	4.9	E-069	남	마정	2.8
E-029	내산	천보	3.7	E-070	남	마정	8.2
E-030	내산	천보	4.1	E-071	장암	합곡	3.7
E-031	홍산	상천	3.8	E-072	장암	정상	2.8
E-032	홍산	상천	3.2	E-073	장암	석동	5.9
E-033	홍산	정동	2.9	E-074	장암	정암	1.7
E-034	홍산	조현	5.1	E-075	장암	북고	4.2
E-035	홍산	토정	1.6	E-076	장암	북고	3.3
E-036	홍산	교원	4.3	E-077	장암	장하	2.1
E-037	홍산	북촌	2.6	E-078	장암	하황	5.3
E-038	홍산	남촌	5.0	E-079	장암	상황	4.5
E-039	홍산	북촌	7.1	E-080	충화	지석	1.2
E-040	홍산	홍양	2.8	E-081	충화	선당	3.1
E-041	옥산	상기	6.0	E-082	충화	팔충	2.7

<표 4-6> 계속

공번	위 치		자연수위 (m)	공번	위 치		자연수위 (m)
	읍·면	리			읍·면	리	
E-083	충화	괘충	1.5	E-123	부여	쌍북	2.5
E-084	충화	만지	2.9	E-124	부여	용정	0.9
E-085	충화	천당	3.6	E-125	부여	가증	1.8
E-086	충화	현미	1.7	E-126	부여	초동	1.4
E-087	충화	청남	2.5	E-127	부여	백왕	3.6
E-088	충화	현미	3.1	E-128	부여	신정	1.9
E-089	충화	청림	1.9	E-129	부여	신정	2.4
E-090	충화	오덕	1.4	E-130	초촌	세탑	4.9
E-091	임천	점	4.9	E-131	초촌	신암	6.8
E-092	임천	점	5.8	E-132	초촌	추양	3.5
E-093	임천	군사1	2.4	E-133	초촌	신암	1.7
E-094	임천	군동	9.5	E-134	초촌	송정	10.8
E-095	임천	구교	8.6	E-135	초촌	진호	9.5
E-096	임천	발산	1.9	E-136	초촌	소사	3.2
E-097	임천	군사2	2.6	E-137	초촌	초평	7.3
E-098	임천	칠산3	4.3	E-138	초촌	연화	5.5
E-099	양화	입포	6.9	E-139	초촌	산직	6.1
E-100	임천	두곡	4.8	E-140	석성	현당	1.9
E-101	양화	죽교	1.2	E-141	석성	현당	3.7
E-102	양화	원당3	2.1	E-142	석성	증산	2.9
E-103	양화	오량	1.9	E-143	석성	비당	4.6
E-104	남	대신1	3.5	E-144	석성	증산3	9.1
E-105	남	신흥1	1.7	E-145	석성	현내	4.6
E-106	양화	수원	5.4	E-146	세도	청송2	1.9
E-107	양화	수원	3.8	E-147	석성	봉정	5.2
E-108	규암	반산	2.2	E-148	세도	동사	9.3
E-109	규암	규암	4.6	E-149	세도	수고	7.5
E-110	규암	규암	3.2	E-150	세도	동사	5.9
E-111	규암	내리	6.1	E-151	세도	화수	3.6
E-112	규암	규암	4.9	E-152	석성	몽성2	11.5
E-113	규암	내리	2.8	E-153	양화	오량2	6.8
E-114	규암	내	7.4	E-154	양화	암수	4.9
E-115	규암	신	8.2	E-155	세도	청포2	8.5
E-116	규암	금암	4.3	E-156	세도	가회	3.1
E-117	규암	호암	5.9	E-157	세도	간대1	3.9
E-118	규암	우수	8.8				
E-119	부여	염창	2.0				
E-120	부여	중정	1.2				
E-121	부여	능산	1.9				
E-122	부여	관북	3.0	총계	157개소		4.4

5. 수질 및 잠재오염원조사

부여지역 지하수에 대한 지화학적 특징을 밝히기 위하여 부여군 일대의 16개 읍·면에 분포하는 지하수를 1998년 11월에서 1998년 12월에 걸쳐 50개의 지하수 시료를 채취하였다. 지하수 시료는 관개용 농업용수와 주민들의 생활용수를 대상으로 하였으며, 50개의 지하수에 대하여 현장간이수질검사(온도, EC, TDS, pH, Eh) 및 주요이온성분 분석, 그리고 먹는물 기준항목으로 분석을 완료하였다.

조사지역의 현장간이수질검사는 수소이온농도(pH), 산화환원전위(Eh), 전기전도도(Electric Conductivity, EC) 및 온도 등을 현장에서 채수한 후 즉시 HANNA pH meters kit, DR-2000, HACH Conductivity/TDS Meter를 이용하여 측정하였다. 이들 물리적 인자의 현장측정은 30분 이상 양수를 실시하고 pH meter가 안정된 후 측정하였다. 주요이온분석 대상시료는 현장에서 수동진공펌프를 이용하여 Pore size 0.45 μ m cellulose membrane filter에 통과시켜 부유물질을 제거시키고 질산을 가해 pH 3 이하로 하여 시료용기 벽면에 양이온의 흡착을 방지하였으며 채수한 시료는 Ice box에서 4 $^{\circ}$ C 이하로 냉장 보관하였다. 음이온 분석 대상시료는 채수시 발생하는 공기 기포를 제거하고 즉시 테이프로 밀봉하여 공기와의 접촉을 차단하였다. 먹는물의 수질기준 분석대상 시료는 4 ℓ 의 멸균 채수병에 지하수 시료를 채취하고 즉시 Ice box에 냉장보관하여 농어촌진흥공사 연구원에 의뢰하여 44개 항목의 수질 기준에 의거 분석하였으며 양·음이온의 화학분석은 충남대학교 공동실험실습관에 의뢰하여 음용수 수질분석 시료에 대하여 양이온 4개 원소, 음이온 4개 원소를 분석하였다.

부여지역에 분포하는 지하수에 대한 물리적 인자인 온도, 수소이온농도(pH), 산화환원전위(Eh), 전기전도도(EC), 총용존고용물(TDS)를 표 5-1에 수록하였다.

양이온 중 Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} 음이온 중 HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- 에 대한 이온함량은 표 5-2에 정리하였다. 농어촌진흥공사 연구원에서 분석한 색도(Color), 탁도(Turbidity), 암모니아성질소($\text{NH}_3\text{-N}$), 과망간산칼륨소비량(KMnO_4 consumed), 증발잔류물(Evaporation Residual) 및 일반세균 등 먹는물 기준에 의한 수질검사 결과 자료는 표 5-3에 정리하였다.

5-1 현장 간이수질검사

부여지역 지하수에 대하여 온도, 수소이온농도(pH), 산화환원전위(Eh), 전기전도도(EC), 총용존고용물(TDS) 등을 현장에서 채수한 후 즉시 HANNA pH meters kit, DR-2000, HACH Conductivity/TDS Meter를 이용하여 측정하였다. 이들 물리적 인자의 현장측정은 30분 이상 양수를 실시하고 pH meter가 안정된 후 측정하였다(그림 5-1, 표 5-1).

1) 온 도

부여지역의 지하수 수온은 최소 5.62 °C에서 최대 15.6 °C이다. 수온이 최대값으로 나타나는 지하수는 임천면 군사2리의 생활용수(E-097)이며, 최소값을 보여주는 지하수 시료는 외산면 삼산리의 생활용수(E-004)이다(표 5-1).

2) 수소이온 농도(pH)

pH란 물속에 전해되어 있는 수소이온(H^+)의 상대적인 농도를 나타내는 말로 순수한 물에서는 물의 일부분이 이온화하는데 이때 수소이온수가 pH=7 정도로 이온화한다. pH 값이 1 증가하면 수소이온농도는 10배 증가하게되며 지하수에서 pH 값은 용해된 탄산염이나 탄산가스의 양, 온도, 압력에 따라 달라지게 되는데 그 양상은 탄산가스의 양이 증가하면 pH 값은 낮아지는 반비례 값을 나타낸다. 반면 알칼리염인 칼슘 및 마그네슘의 탄산염이 지하수속에 용해되어 있으면 용존탄산가스만큼 pH 값이 저하되지는 않는다. 그러므로, 지하수의 pH 측정은 지하수중에 탄산가스가 상당히 용해되어 있어도 압력감소에 의해 용존 탄산가스가 공기중으로 달아나게 되어 채수 후 일정시간이 경과하게 되면 대수층의 pH값과는 차이가 나므로 지하수의 pH 측정은 현장에서 직접하는 것이 정확한 자료를 취할 수 있다.

pH 값에 의한 수질 분류는 pH 값이 5.5이하이면 산성, 5.5~6.5는 약산성, 6.5~7.5 사이는 중성, 7.5~9.0 까지는 약알칼리성, 9.0이상이면 알칼리성으로 구분된다. 조사지구에서 지하수 pH는 6.133~8.521 사일 대부분 약산성에서 약 알칼리로 구분되며 먹는물 수질검사 기준에 적합하게 나타난다.

부여지역 지하수의 수소이온농도(pH) 범위는 최소 5.80에서 최대 7.77이다. pH값이 약산성에 해당되는 지하수 시료(E-034, E-040)는 부여군 홍산면 조현리와 홍량리의 생활용수이다(표 5-1, 그림 5-2).

3) 산화환원전위(Eh)

자연환경이 어떤 원소, 원자 혹은 이온으로 하여금 산화 혹은 환원을 만드는 능력을 산화환원전위라고 하며 산화환원전위는 원소의 이동과 농집에 지대한 영향을 미친다. 지하수의 Eh를 측정한 후 pH와의 관계를 추적하면 지하수 환경에서의 각종 이온의 전자가 상태를 판단할 수 있다.

Eh가 0.1 ~ 0.4V 이상의 값을 나타내면 산화환경으로서 수문, 지형특정상 고지대에 해당되어 평탄히 흐르는 물이 대부분이고 물의 특성상 무색투명하며 침전물이 적다. Eh가 0 ~ -0.15V 범위를 나타내면 환원환경으로 저지대의 정체된 물에 해당되며 색이 혼탁하고 침전물이 많다.

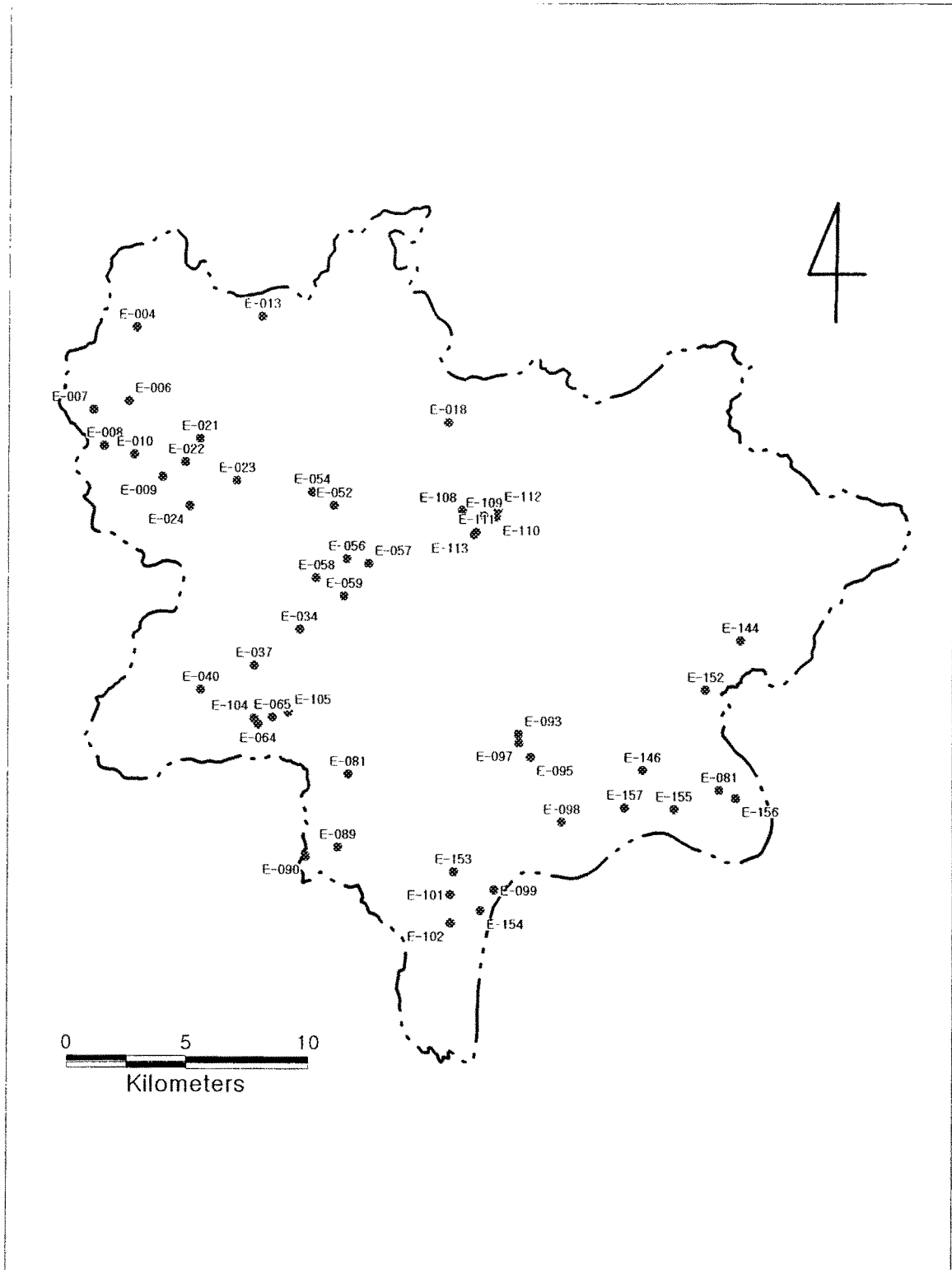
부여지역의 지하수 Eh 값의 범위는 -0.0464 ~ 0.0500V로 산화환경과 환원환경의 중간적인 환경에 해당한다(표 5-1).

4) 전기전도도(EC, electric conductivity)

전기전도도(Electrical conductivity, EC)란 매질이 전류를 통과시킬 수 있는 능력(전기저항의 역수)으로서 단위체적 물질의 전기전도도를 전기비전도라하며 단위는 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 사용한다.

화학적으로 순수한 물은 일종의 절연체이나 물에 혼합된 고용물질이 전하를 가지는 이온으로 분리되어 존재하면 용액의 전기전도도는 높아진다. 그러므로 물속에 용해된 광물이나 기타물질의 종류와 양, 온도의 변화에 따라 전기비전도도 값이 변화하므로 물의 오염정도에 대한 지표 값으로 사용된다. 일반적으로 전기비전도도는 물속에 용해된 광물의 종류에 따라 전기비전도도 값이 변화를 보이지만 총용존고형물(Total Dissolved Solid, TDS)와의 관계는 전기비전도도 \times (비율) = 총용존고형물(TDS)로 표시되며, 지하수의 경우 그 비율은 0.5~0.75의 범위내에서 존재하고 EC의 경우 강우는 $5\sim 30\mu\text{S}/\text{cm}$, 오염되지 않은 지하수는 $30\sim 2,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 분포를 나타낸다.

부여지역 지하수의 전기전도도는 최소 $30\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 최대 $730\mu\text{S}/\text{cm}$, 평균 $21\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타난다. 전기전도도가 최소인 지점(E-024)의 지하수는 내산면 운치리의 생활용수이며, 전기전도도가 최대값을 보이는 지하수(E-153)는 양화면 오량2구의 농업용수이다(표 5-1, 그림 5-3).



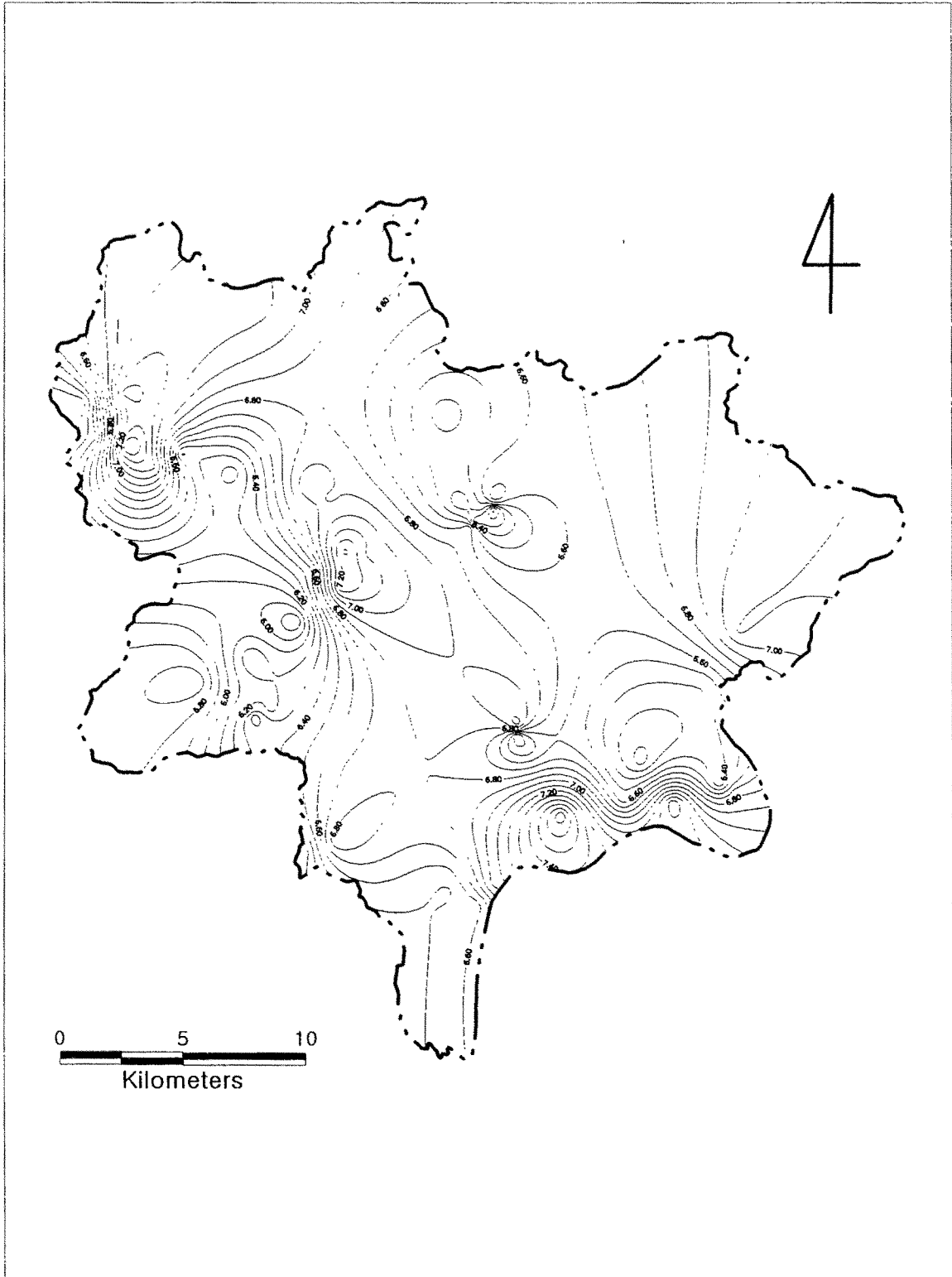
<그림 5-1> 시료채취 위치도

5) 총용존고용물 (Total Dissolved Solid, TDS)

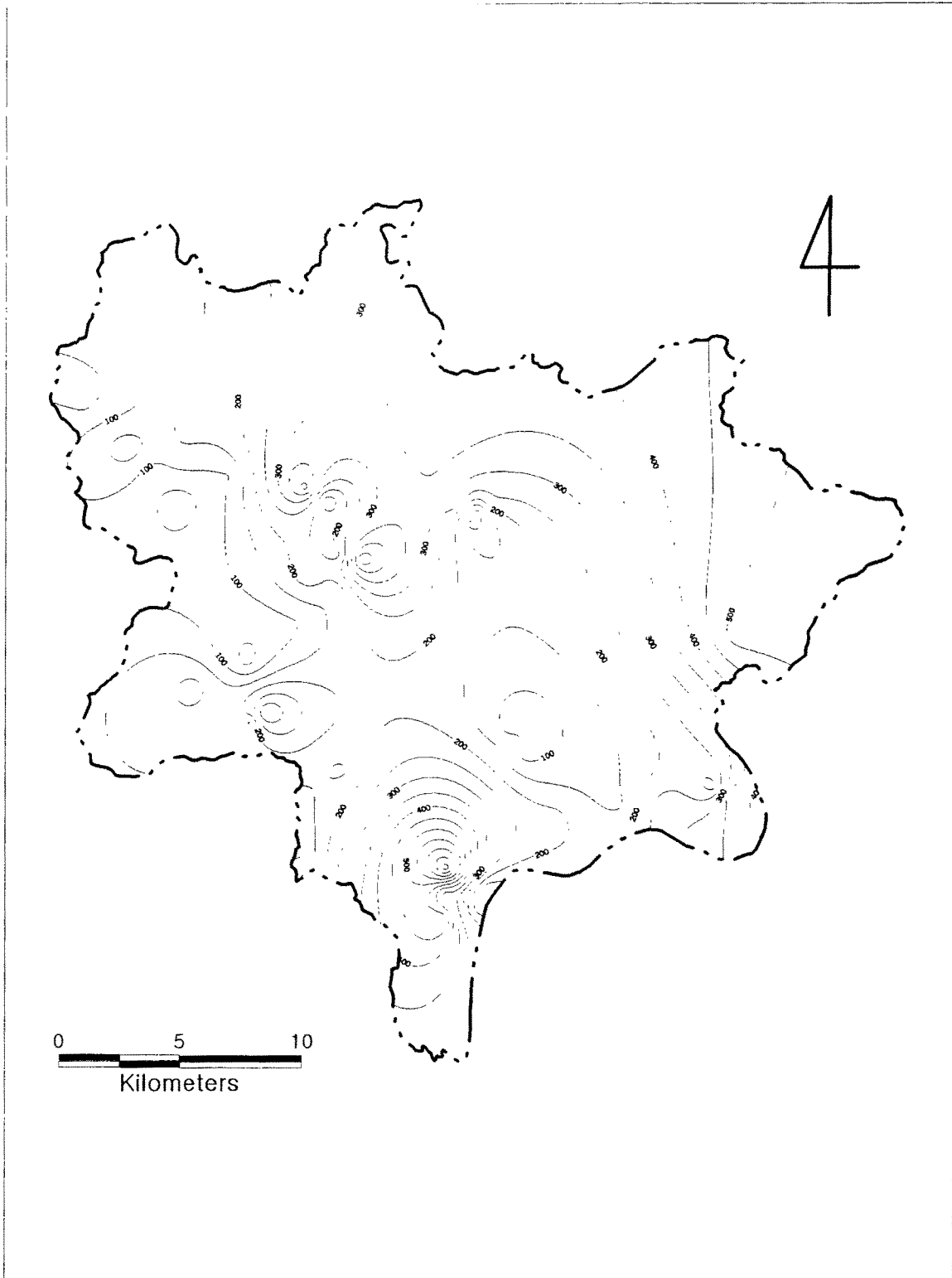
지하수의 전기전도도는 물 속에 용해되어 있는 전해질의 차이에 의해 결정되기 때문에 TDS와는 일정한 관계를 갖게 된다. TDS는 물시료의 수분을 완전히 증발시킨 후 남은 물질의 총량인데 TDS가 500mg/ℓ 이하이면 식수, 생활용수, 공업용수 등으로 사용할 수 있으나 1,000mg/ℓ 이상인 경우에는 용수로 적합하지 못하다. 조사지역의 TDS 분포는 그림 5-4에 나타나 있으며 지하수의 전기전도도와 TDS와는 직접적인 함수관계가 성립하는데 $EC = 2TDS$ 가 성립된다. 조사지역의 TDS 분포는 20~370mg/ℓ의 범위에 속하므로 생활용수 및 식수로서도 적합한 용수이다 (표 5-1, 그림 5-4).

<표 5-1> 부여지역 간이수질검사 결과

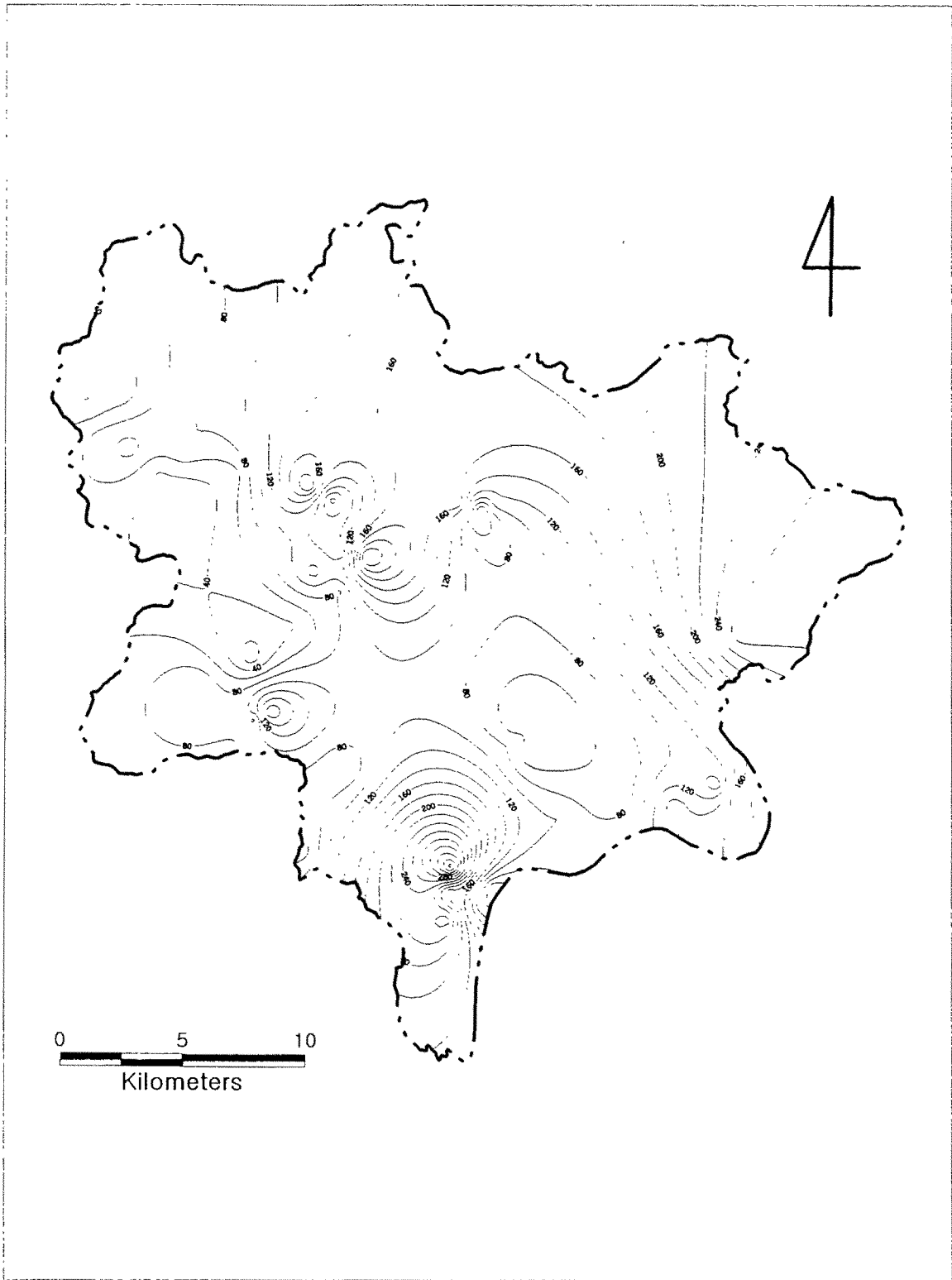
시료 번호	채 취 지 점	온도 (℃)	pH	Eh (V)	EC (μ S/cm)	TDS (mg/l)
E-098	임천면 칠산3동 730-10	8.0	7.77	-0.0463	220	100
E-097	임천면 군사2동 380-2	15.6	6.31	0.0446	140	80
E-093	임천면 군사1리	6.2	7.04	0.0012	70	40
E-099	양화면 입포리(입포배수장)	10.2	7.02	0.0013	120	50
E-095	임천면 구교리 4-2	12.8	6.45	0.0332	80	40
E-156	세도면 가회리 (배수장)	12.5	6.76	0.0122	380	170
E-089	충화면 청림리	12.1	6.88	0.103	210	110
E-090	충화면 오덕리	14.0	6.21	0.0468	90	50
E-081	충화면 선당리 479	6.2	6.71	0.0166	140	60
E-034	홍산면 조현리 403-2	7.4	5.80	0.0243	90	40
E-037	홍산면 북촌리 236-3	15.3	6.30	0.0415	30	10
E-040	홍산면 홍량리 26-7	10.8	5.62	0.0174	220	100
E-013	은산면 나령리 237-7	9.8	7.14	0.0062	180	90
E-018	은산면 신내리 168-1	10.4	6.34	0.0074	390	180
E-054	구룡면 현암리 699-8	12.3	7.01	0.0024	420	200
E-052	구룡면 현암리	11.7	6.88	0.0029	110	50
E-108	규암면 반산리 307-3	7.4	6.32	-0.0154	320	170
E-109	규암면 규암리 120-3	8.5	6.47	0.0121	80	40
E-112	규암면 규암리 56-1	9.1	6.78	0.0321	230	110
E-110	규암면 규암리 64	10.9	6.09	0.0217	170	90
E-111	규암면 내리 200	6.5	6.27	-0.0074	90	40
E-113	규암면 내리 200	7.1	6.76	0.0126	140	70
E-009	내산면 지터리 66	14.2	7.19	-0.0104	90	40
E-007	외산면 만수리 88-1	10.6	6.08	0.0157	40	20
E-004	외산면 삼산리 22	5.8	7.08	-0.0043	100	50
E-006	외산면 장항리 98-7	5.9	7.32	0.0197	60	30
E-008	외산면 만수1리 15-5	5.6	6.30	0.0452	130	70
E-010	외산면 갈산리 368-7	8.9	7.54	-0.0404	180	90
E-022	내산면 지터리 6	13.0	6.29	0.0422	140	70
E-021	내산면 온해리 343	6.8	6.67	0.0276	160	80
E-023	내산면 지동리 146	11.8	6.15	0.0500	100	50
E-024	내산면 운치리 187-3	12.5	6.51	0.0331	30	20
E-058	구룡면 금사리 308	9.6	6.50	0.0348	250	130
E-056	구룡면 태양리 328	10.9	7.34	-0.0258	190	90
E-059	구룡면 온티리 101-6	8.8	7.26	-0.0190	160	80
E-057	구룡면 주성리 172-2	6.8	7.09	0.0077	490	250
E-152	석성면 몽성2리 519	6.2	6.43	0.0124	330	160
E-144	석성면 중산3리 446	6.9	7.11	0.0197	520	270
E-146	세도면 청송2구 442-4	11.2	6.16	0.0500	170	80
E-061	세도면 장산1구 220	14.2	6.31	0.0391	180	90
E-155	세도면 청포2구 705	10.8	7.38	-0.0238	300	150
E-157	세도면 간대1구 525	12.6	6.55	0.0281	140	70
E-153	양화면 오량2구 14	14.5	6.62	0.0255	730	370
E-154	양화면 입수리 62	14.4	6.57	0.0291	140	70
E-102	양화면 원당3리 381	12.6	6.53	0.0261	500	250
E-101	양화면 죽교리 60-1	14.2	6.49	0.0303	340	170
E-105	남면 신흥1구 323	15.1	6.24	0.0473	300	150
E-104	남면 대신1구 206-3	13.9	6.24	0.0450	200	100
E-065	남면 금전1구 68	14.2	6.17	0.0519	360	180
E-064	남면 금전2구 226	14.3	6.46	0.0320	150	80



<그림 5-2> 조사지역의 pH 등치선도



<그림 5-3> 조사지역의 EC 등치선도



<그림 5-4> 조사지역의 TDS 등치선도

5.2. 주요이온 분석결과

본 지구 내에서 선정된 50개 조사공의 지하수 시료를 대상으로 충남대학교 공동실험실습관에 의뢰하여 지하수 수질 분석의 주요 기준이 되는 양이온(Ca, Na, K, Mg), 음이온(Cl, SO₄, NO₃, HCO₃)을 분석하였다. 본 보고서에서는 조사지구가 해안지역과는 멀리 떨어진 내륙지역인 관계로 타 지역에서 흔히 발생하는 해수침입의 양상은 고려하지 않았으며, 분석 결과와 결과에 대한 Piper Diagram을 각각 표 5-2와 그림 5-5에 나누어 정리하였다.

1) 지하수형의 분류

부여지역의 지하수는 금강을 중심으로 평야지대가 형성된 중부지역과 산계가 잘 발달되어있는 북부, 남부지역으로 구분되며, 지하수의 수질특성은 주변 대수층의 환경과 구성물질에 의해서 좌우되므로 서로 상이한 지화학적 특성이 내포되어 있을 것으로 판단된다. 부여지역 지하수에 대한 지화학적 특성을 알아보기 위하여 양이온 Na, K, Ca, Mg와 음이온 Cl, SO₄, HCO₃, NO₃을 분석하였으며, 함량비를 화학성분의 당량에 대한 용액내 용질의 농도로 나타내기 위하여 epm (equivalent per million)%로 환산하여 지하수 조사에 널리 이용되고 있는 수질도식법인 Piper Diagram (Piper, 1944)에 투영하였다. 부여지역의 지하수를 기반암의 분포위치에 따라 변성암류, 퇴적암류, 화강암류로 구분하고, 지역적 위치에 따라 북서부지역 지하수와 남동부지역 지하수로 구분하여 Piper Diagram에 투영하였다 (그림 5-5a, 5-5b, 5-5c).

부여지역 50개 지하수시료에 대한 Piper Diagram을 분석하여 보면 전반적으로 Ca성분이 우세한 Calcium type에 도시되고, Bicarbonate type 영역에 해당된다.

지구내에서 분석된 지하수 이온함량을 바탕으로 간략하게 수질을 판명하여 볼때 Na+K 성분과 SO₄+Cl 성분의 함량이 대체적으로 낮아 지하수의 수질은 양호한 것으로 사료된다. Ca+Mg 성분으로 지하수의 경도를 판단해 보았을 때 지구내 조사시료는 전체적으로 중경수인 것으로 판명되며, 소수 시료에서 경수 또는 연수 특성을 보여준다.

조사지역내에서 구분된 암질들을 기반암으로하는 지하수를 Piper Diagram에 도시하면 Bicarbonate-Hardness형에 속한다. 이들은 Ca+Mg 유형과 HCO₃+CO₃ 유형이 우세한 영역에 투영되어 CaCO₃형 지하수 수질을 나타낸다.

화강편마암 지역에서 채취한 지하수를 Piper Diagram에 도시한 결과 전체적으로 산재되어 있는 형태를 보이고 있기 때문에 쉽게 구분하기는 어려우나 대체적으로 양이온은 Ca가 우세하고 음이온은 $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ 가 우세한 중탄산경도 (Bicarbonate-Hardness)형에 속한다. 음이온의 경우 대체적으로 $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ 가 우세한 지하수로 나타난다.

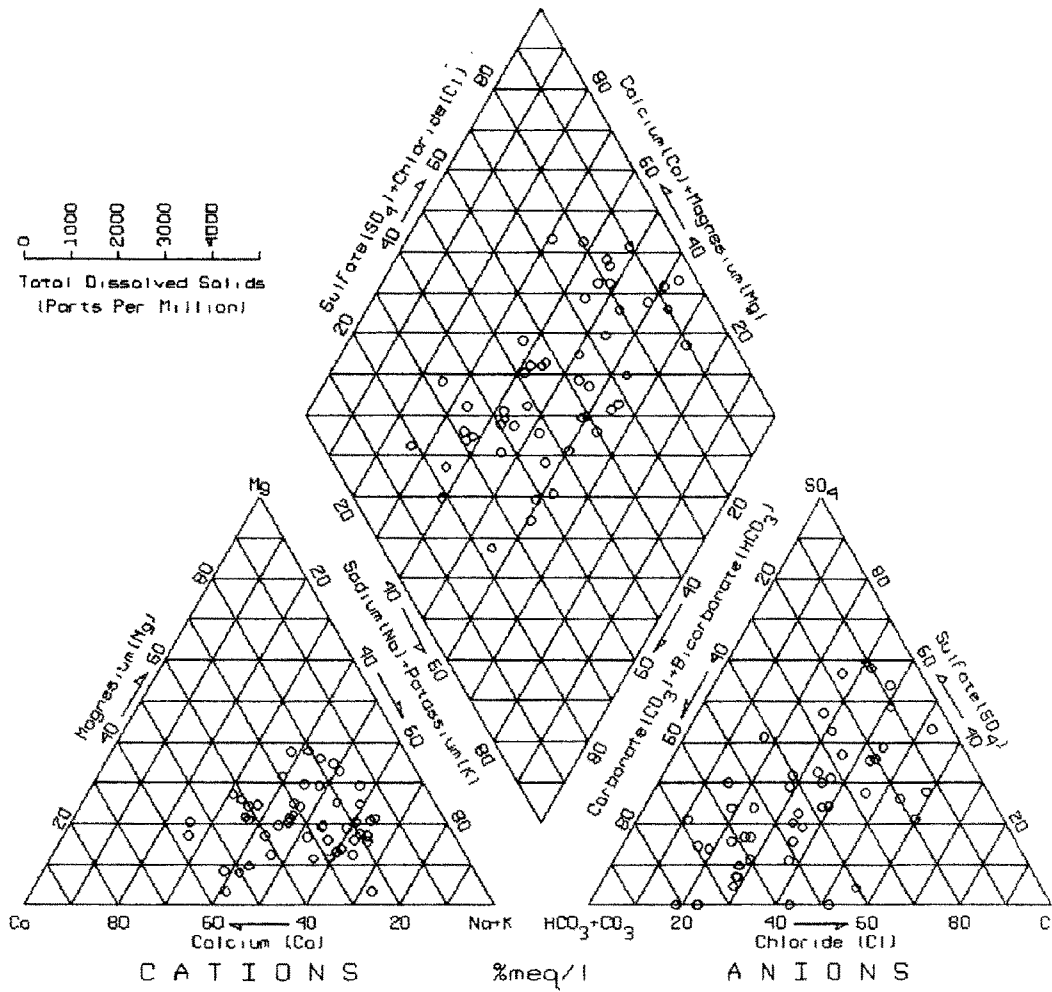
그 외 암질이 분포된 지역에서 채취한 지하수를 Piper Diagram에 도시한 결과, 전체적으로 양이온은 Ca + K가 우세하고 음이온은 $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ 가 우세한 지하수 형태를 보여준다.

동부지역 지하수와 서부지역 지하수를 Piper Diagram에 도시한 결과, 전체적으로 특정영역내에 산재되어 분포하는 형태를 나타낸다. 따라서 특별한 어느 유형이라 규정하기는 어려우며 Ca과 $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ 이 어느 정도 우세한 Bicarbonate - Hardness형에 가깝다고 볼 수 있다.

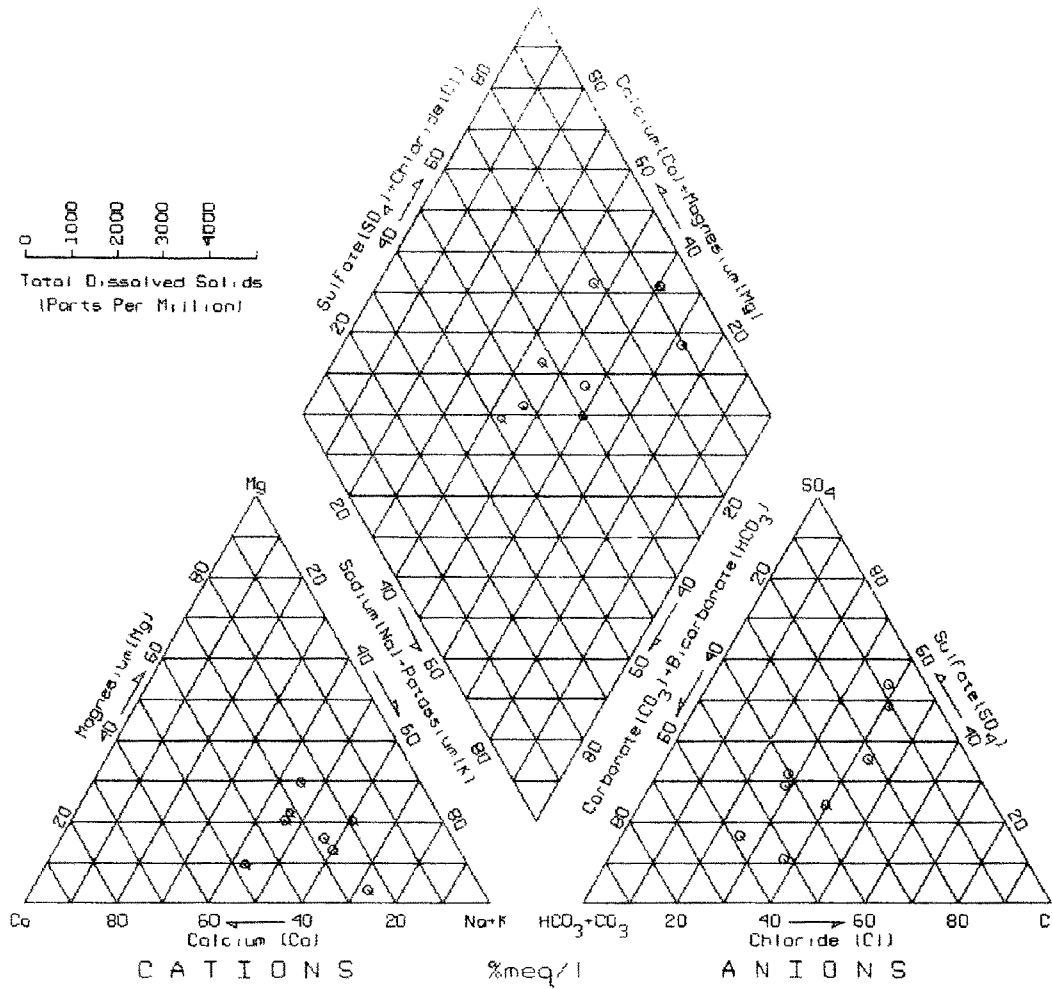
<표 5-2> 주요이온 분석결과

(단위 : ppm)

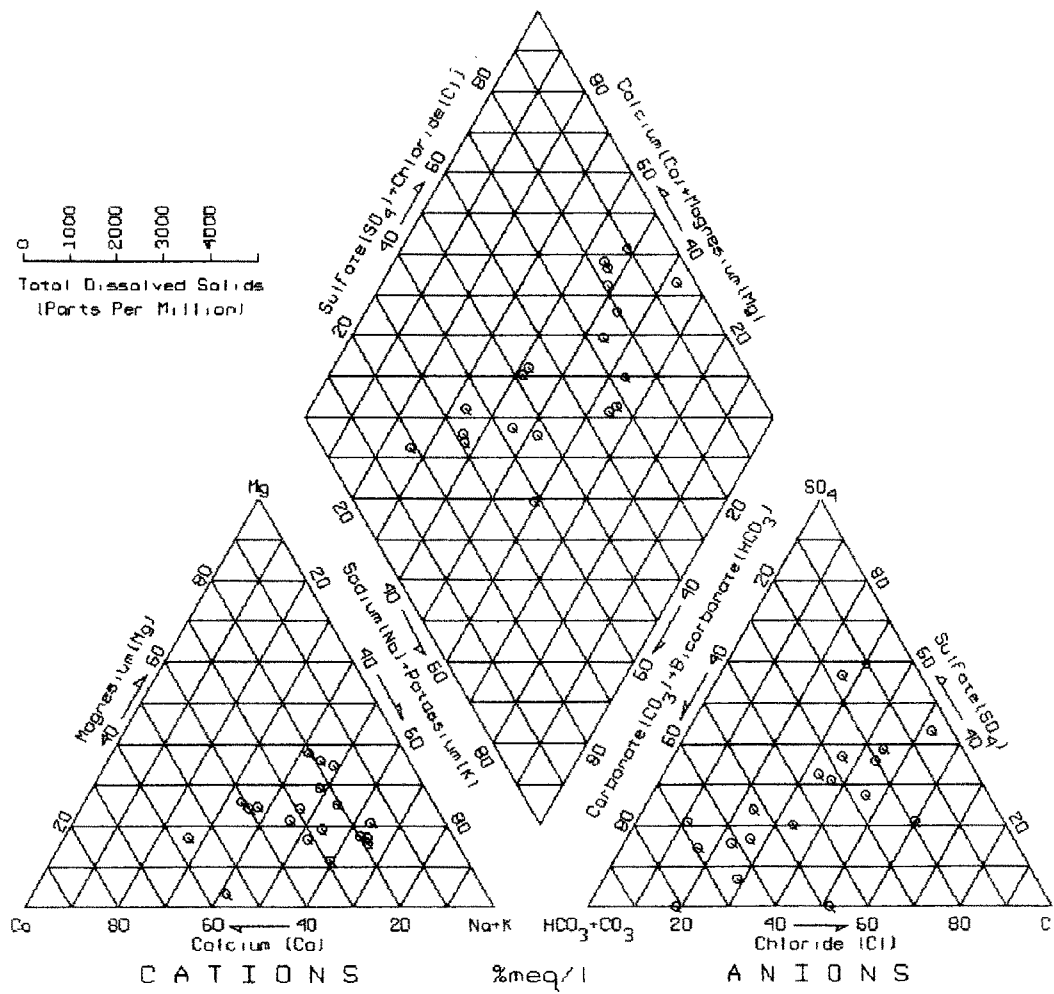
시료 번호	양이온				음이온			
	Ca	Na	K	Mg	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃
E-098	16.85	18.29	1.08	6.66	21.16	8.53	25.81	137.30
E-097	26.46	26.14	1.65	9.70	49.84	222.50	131.20	91.53
E-093	19.76	43.24	12.77	5.87	108.40	91.20	168.70	85.43
E-099	4.56	15.43	1.70	2.90	31.39	13.23	18.43	45.77
E-095	4.43	7.78	1.03	1.43	14.55	8.68	19.95	38.14
E-156	5.70	12.64	4.84	1.85	25.94	23.11	8.74	56.44
E-089	4.10	7.14	4.03	1.82	23.69	9.14	20.19	21.36
E-090	8.23	12.59	1.04	3.27	22.50	10.99	19.11	61.02
E-081	7.66	16.54	2.29	1.84	21.89	24.08	20.21	51.87
E-034	10.12	15.83	1.98	4.35	60.45	6.14	67.70	39.66
E-037	23.92	53.80	5.64	8.44	170.30	81.59	142.60	100.68
E-040	18.64	18.54	1.35	2.30	33.66	21.06	30.45	91.53
E-013	14.75	13.62	0.75	1.44	19.09	11.91	32.77	76.28
E-018	15.83	12.60	0.71	1.52	19.28	14.54	19.34	88.48
E-054	13.35	6.66	0.83	2.45	14.57	15.77	ND	76.28
E-052	8.86	15.09	1.85	4.48	62.54	3.78	74.18	33.56
E-108	28.73	26.51	0.82	11.09	48.82	7.10	15.87	176.96
E-109	26.17	116.68	5.64	20.61	378.20	194.50	518.30	82.38
E-112	19.02	75.33	2.22	10.80	191.60	130.10	254.40	76.28
E-110	10.84	37.52	8.94	5.41	107.00	58.34	124.00	42.71
E-111	0.28	0.21	0.05	0.01	1.90	ND	ND	3.05
E-113	15.34	34.45	0.97	6.59	123.40	15.07	136.10	67.12
E-009	12.77	15.96	0.61	2.34	24.53	10.36	11.76	76.28
E-007	14.06	16.60	0.88	3.63	33.13	15.97	17.69	85.43
E-004	8.17	12.34	0.43	5.39	13.47	12.20	ND	76.28
E-006	5.47	5.30	0.51	1.66	16.20	3.28	11.52	27.46
E-008	10.81	10.33	0.55	3.37	18.43	14.86	ND	73.22
E-010	14.97	28.96	0.67	3.20	26.64	17.25	ND	115.94
E-022	12.09	16.45	0.84	3.96	29.81	2.65	26.78	61.02
E-021	10.09	16.09	2.07	5.10	37.46	8.66	69.35	36.61
E-023	8.27	5.75	2.12	3.25	29.61	10.45	70.15	27.46
E-024	1.34	3.98	0.74	0.60	11.17	5.22	ND	15.26
E-058	11.95	39.39	7.11	7.77	99.13	5.10	190.10	24.41
E-056	15.09	23.42	0.69	5.55	42.50	4.90	17.14	91.53
E-059	10.14	19.54	1.36	7.19	41.81	22.26	57.14	61.02
E-057	22.70	75.33	3.38	1.87	302.70	47.67	485.70	36.61
E-152	15.08	44.02	4.40	4.79	148.30	70.24	15.50	42.71
E-144	24.29	42.08	1.88	22.64	199.30	4.20	130.40	115.94
E-146	6.80	22.50	3.94	3.64	88.96	ND	98.61	12.20
E-061	9.21	27.57	1.69	4.83	35.44	56.85	117.10	33.56
E-155	32.46	16.62	0.80	7.31	49.19	2.51	10.81	192.21
E-157	3.05	7.90	2.12	2.26	25.25	3.28	20.51	18.31
E-153	31.68	82.70	6.20	36.52	305.50	132.10	885.50	64.07
E-154	2.68	9.35	0.39	3.29	18.25	ND	20.99	30.51
E-102	21.50	69.82	3.30	27.33	344.30	40.77	163.30	106.79
E-101	15.85	37.61	2.80	12.65	96.28	9.62	257.30	36.61
E-105	10.50	48.70	1.57	13.50	18.20	30.66	49.08	51.87
E-104	9.14	20.64	1.33	10.27	43.97	13.19	35.52	76.28
E-065	13.97	56.80	3.98	13.15	247.00	30.55	157.90	33.56
E-064	3.60	16.30	3.01	3.17	28.75	ND	70.66	15.26



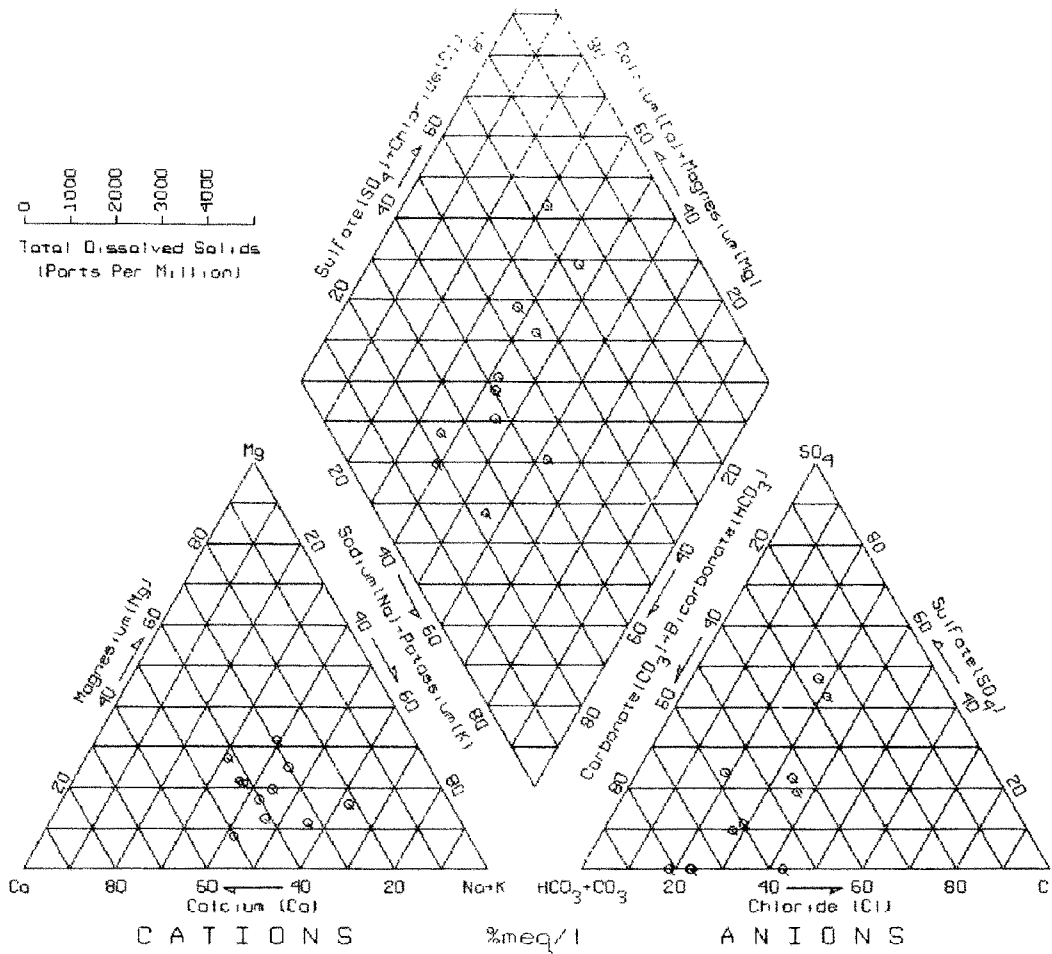
<그림 5-5a> 조사지역의 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram



<그림 5-5b> 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram (흑운모화강암)



<그림 5-5c> 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram (화강편마암)



<그림 5-5d> 지하수 수질분포 Piper Trilinear Diagram (퇴적암류)

5.3. 먹는물 기준 수질검사결과

5.3.1 색도(color)

부여지역 지하수에서 색도가 먹는물 기준인 5도 이하를 유지하는 공은 50개 조사공중 47공이며 3공은 6도 이상으로 나타난다(표 5-3). 이는 조사공의 대부분이 농업용수로 이용되고 있기 때문에 색도 규정이 없는 농업용수 특성상 색도와 관계 없이 지하수가 개발·이용되고 있는 것으로 판단된다. 이 지역에서 색도가 최대인 20을 보이는 지하수(E-058)는 구룡면 금사리에 위치한다. 색도에 영향을 주는 인자로는 Fe 이온과 Mn 이온이 가장 크게 작용하고 부식도, 프랭크톤 및 산업폐기물 영향이 크다(Jackson, 1993).

5.3.2 탁도(Turbidity)

부여지역 지하수중에서 금번 조사공 50공중 탁도가 먹는물 기준치 2이하로 유지되는 관정은 45공이며 5공이 2이상의 탁도를 보이는 것으로 나타났으며, 먹는물 기준치 2이상의 탁도를 보이는 관정은 E-099(4), E-156(3), E-004(5), E-058(30) E-102(10)이다. 이중 탁도가 가장 높게 나타나는 E-058은 구룡면 금사리에 위치한다.

5.3.3 암모니아성질소(NH₃-N), 질산성질소(NO₃-N)

부여지역에서 암모니아성질소는 조사시료 전체가 불검출로 나타나며, 질산성질소는 50공 모두 검출되었는데 이중 10개공에서 기준치 이상으로 검출되었다. 암모니아성질소는 용해도가 매우 큰 기체이며 암모니아 자체는 위생상 무해한 기체이나 생물체 또는 분뇨의 분해산물로 나타나므로 수질에서 오염지표가 된다. 질산염은 암모니아성질소와 질산성질소로 구분되며, 암모니아성질소는 주로 과거 농경지에서 그 함량이 높게 나타나며 질산성질소는 가축의 분뇨 등 인위적인 오염에 의하여 함량이 높게 나타난다(과학기술처, 1997).

5.3.4 과망간산칼륨소비량(KMnO₄ consumed)

과망간산칼륨 소비량은 지하수 중에 함유되어 있는 유기물의 함량을 평가하는 오염지수이다. 부여지역 지하수중에서 검출되는 과망간산칼륨 소비량은 0.3~5.7mg/l이다. 석성면 봉정2리의 지하수(E-152)는 과망간산칼륨 소비량이 5.7mg/l로 최대값을 나타냈으며, 과망간산칼륨 소비량이 비교적 높은 지하수는 부유물질이 관찰되는 지하수이다.

5.3.5 증발잔류물(Evaporation residual)

증발잔류물은 103℃~105℃ 혹은 180℃에서 물을 증발시킬 때 증발접시에 남아있는 잔류량을 증발잔류물이라 한다. 그러므로 물을 증발시킨 후 증발접시에 남아있는 잔류물은 부유물질과 콜로이드 상태의 물질 그리고 용존물질의 합으로 나타낸다. 용액속에 함유되어 있는 물질을 용존물질(dissolved solid), 콜로이드물질(colloidal solid) 및 부유물질(suspended solid)로 분류한다. 여기서 부유물질은 그 크기가 filter를 통과하지 못하는 1 micron(10^{-6} m) 정도이며 유기물질과 무기물질로 다시 분류된다. 부유물질 중에서 유기물질의 함량을 휘발성 부유물질로 나타내며, 600℃에서 휘발되는 물질이다. 또한 600℃에서 휘발되고 남은 잔류량은 Ash나 Residue로 표현되며 이를 고정 부유물질이라하고, 무기물의 함량을 나타내는 척도가 된다. 그러므로 총고용물질의 양은 증발잔류물에서 부유물질을 뺀 값을 그 함량으로 보통 정의한다(한정상, 1998). 부여지역 지하수에서 검출되는 증발잔류물의 범위는 최소 84mg/ℓ에서 최대 299mg/ℓ로 먹는물 수질기준인 500mg/ℓ 이하이다. 증발잔류물이 최대값인 299mg/ℓ을 보이는 지하수는 구룡면 급사리의 관정(E-058)이다.

5.3.6 아연(Zn) 및 알루미늄(Al)

아연은 광산폐수, 공장폐수 등의 혼입으로 지하수에서 용출될 수 있으나, 통상 양수용 파이프인 아연도강관에 기인하여 흔히 지하수에서 나타나고 있으며, 금번 50개 조사공 모두에서도 검출되었으나 먹는물 수질기준(1mg/ℓ)을 초과하는 관정 {E-099(1.916mg/ℓ), E-156(5.673mg/ℓ), E-089(1.165mg/ℓ), E-090(1.073mg/ℓ)}은 4개 소로 나타나 전반적으로 우려할 만한 수준은 아니다.

알루미늄은 화합물 형태로 자연에 풍부하게 존재하며 때로는 물에서도 발견되나, 식품으로 섭취되는 알루미늄(88 mg/1일/1인)에 비교해서 물로부터 섭취되는 것은 극미량이며 다만 농도에 따라 음용수가 변색될 수 있기 때문에 심미적인 사항을 고려하여 먹는물 수질기준은 0.2mg/ℓ로 규정되어 있다. 금번 조사결과, 조사지역에서는 50개 관정중 47개 관정에서 검출되었으며 먹는물 수질기준치를 초과한 관정은 2개소 (E-110 ; 0.46mg/ℓ, E-058 ; 0.38mg/ℓ)로 나타났다.

<표 5-3> 먹는물기준 지하수 수질검사결과

시 료 번 호		E-098	E-097	E-093	E-099	E-095	E-156	E-089	E-090	E-081
시 험 항 목	기 준									
납 (Pb)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소 (F)	< 1.5 mg/l	0.1	0.1	0.1	불검출	불검출	0.1	0.1	0.1	0.1
비소 (As)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세레늄 (Se)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은 (Hg)	< 0.001 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
시안 (CN)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬 (Cr ⁶⁺)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소 (NH ₄ -N)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
질산성질소 (NO ₃ -N)	< 10 mg/l	1.9	10.7	14.2	1.3	1.6	0.5	1.6	1.4	1.6
카드뮴 (Cd)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	< 0.005 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄 (THMs)	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	< 0.06 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	< 0.25 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	< 0.04 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바릴	< 0.07 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1.트리클로로에탄	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	< 0.7 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	< 0.3 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1 디클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	< 0.002 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	< 300 mg/l	95	162	116	30	23	28	18	42	34
과망간산칼륨소비량 (KMnO ₄)	< 10 mg/l	0.6	1.3	1.3	0.9	0.3	0.9	1.6	0.6	0.6
냄새	무취	적합	적합	적합	부적합	적합	부적합	적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	부적합	적합	부적합	적합	적합	적합
동 (Cu)	< 1 mg/l	0.057	0.144	0.026	0.076	0.067	0.035	0.022	0.034	0.042
색도	< 5도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세제 (ABS)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	6.8	6.3	6.4	6.3	6.2	6.6	6.8	6.6	6.8
아연 (Zn)	< 1 mg/l	0.833	0.058	0.045	1.916	0.07	5.673	1.165	1.073	0.571
염소이온 (Cl ⁻)	< 250 mg/l	6	15	33	9	4	7	7	6	6
총발산류물 (TS)	< 500 mg/l	불검출	불검출	불검출	101	불검출	101	불검출	불검출	불검출
철 (Fe)	< 0.3 mg/l	불검출	불검출	불검출	0.06	불검출	0.03	0.01	불검출	0.03
망간 (Mn)	< 0.3 mg/l	불검출	0.002	0.001	0.007	불검출	0.064	0.008	0.003	0.002
탁도	< 2도	불검출	불검출	불검출	4	불검출	3	불검출	불검출	불검출
황산이온 (SO ₄ ²⁻)	< 200 mg/l	2	62	31	3	2	6	2	2	7
알루미늄 (Al)	< 0.2 mg/l	0.01	0.07	불검출	0.10	0.01	0.05	0.01	0.01	0.06
전기전도도 (EC)	μS/cm	209	366	356	110	94	135	83	132	134

시 료 번 호		E-034	E-037	E-040	E-013	E-018	E-054	E-052	E-108	E-109
시 험 항 목	기 준									
납 (Pb)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소 (F)	< 1.5 mg/l	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.3	0.1
비소 (As)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세레늄 (Se)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은 (Hg)	< 0.001 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
시안 (CN)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬 (Cr ^{VI})	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소 (NH ₄ -N)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
질산성질소 (NO ₃ -N)	< 10 mg/l	6.8	10.8	1.4	1.3	1.5	불검출	5.3	1.0	34.1
카드뮴 (Cd)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	< 0.005 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄 (THMs)	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	< 0.06 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	< 0.25 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	< 0.04 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바릴	< 0.07 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1,1,1 트리클로로에탄	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	< 0.7 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	< 0.3 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1,1 디클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	< 0.002 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	< 300 mg/l	102	136	58	58	58	53	49	146	218
과망간산칼륨소비량 (KMnO ₄)	< 10 mg/l	1.3	1.3	1.3	0.6	1.6	1.6	0.3	0.3	1.6
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합
동 (Cu)	< 1 mg/l	0.020	0.045	0.013	0.086	0.025	0.025	0.077	0.041	0.032
색도	< 5도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세제 (ABS)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	6.7	6.6	7.3	7.5	7.5	7.9	6.3	7.5	6.0
아연 (Zn)	< 1 mg/l	0.028	0.030	0.009	0.039	0.018	0.059	0.024	0.021	0.023
염소이온 (Cl ⁻)	< 250 mg/l	31	52	6	6	6	4	18	14	108
증발잔류물 (TS)	< 500 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
철 (Fe)	< 0.3 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	0.01
망간 (Mn)	< 0.3 mg/l	0.107	0.107	0.108	0.103	0.107	0.067	0.004	0.020	0.236
탁도	< 2도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
황산이온 (SO ₄ ²⁻)	< 200 mg/l	15	26	4	3	3	3	1	32	48
알루미늄 (Al)	< 0.2 mg/l	0.02	0.02	불검출	0.07	0.01	0.01	0.06	0.02	0.04
전기전도도 (EC)	μ S/cm	338	332	165	165	163	140	171	376	858

시 료 번 호		E-112	E-110	E-111	E-113	E-009	E-007	E-004	E-006	E-008
시 험 항 목	기 준									
납 (Pb)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소 (F)	< 1.5 mg/l	0.1	0.1	0.1	불검출	0.2	0.1	0.1	불검출	불검출
비소 (As)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세레늄 (Se)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은 (Hg)	< 0.001 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
시안 (CN)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬 (Cr ⁶⁺)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소 (NH ₄ -N)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
질산성질소 (NO ₃ -N)	< 10 mg/l	17.6	9.0	9.0	불검출	1.4	0.4	불검출	1.6	3.8
카드뮴 (Cd)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	< 0.005 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄 (THMs)	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	< 0.06 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	< 0.25 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	< 0.04 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바틸	< 0.07 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1 트리클로로에탄	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	< 0.7 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	< 0.3 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1 디클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	< 0.002 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	< 300 mg/l	125	63	83	불검출	68	38	41	19	38
과망간산칼륨소비량 (KMnO ₄)	< 10 mg/l	1.6	0.9	0.6	0.9	1.3	0.9	0.3	0.3	0.3
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합	적합	부적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합	적합	부적합	적합	적합
동 (Cu)	< 1 mg/l	0.082	0.060	0.030	0.089	0.035	0.027	0.032	0.006	0.077
색도	< 5도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	10	불검출	불검출
세제 (ABS)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	6.4	6.4	6.3	5.1	6.8	7.0	6.9	6.6	6.1
아연 (Zn)	< 1 mg/l	0.304	0.075	0.024	0.077	0.110	0.162	0.035	0.021	0.060
염소이온 (Cl ⁻)	< 250 mg/l	55	31	36	불검출	13	5	3	4	10
중발잔류물 (TS)	< 500 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	87	불검출	불검출
철 (Fe)	< 0.3 mg/l	불검출	0.02	0.01	불검출	0.03	0.08	0.16	불검출	불검출
망간 (Mn)	< 0.3 mg/l	0.007	0.001	0.002	불검출	0.277	0.05	0.382	불검출	불검출
탁도	< 2도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	5	불검출	불검출
황산이온 (SO ₄ ²⁻)	< 200 mg/l	31	15	5	불검출	9	5	3	2	13
알루미늄 (Al)	< 0.2 mg/l	0.03	0.46	0.03	0.04	0.08	0.07	0.24	0.15	0.08
전기전도도 (EC)	μS/cm	516	298	312	8	208	122	126	75	139

시 료 번 호		E-010	E-022	E-021	E-023	E-024	E-058	E-056	E-059	E-057
시 험 항 목	기 준									
납 (Pb)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소 (F)	< 1.5 mg/l	0.4	불검출	불검출	불검출	0.1	불검출	0.6	0.1	0.1
비소 (As)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세레늄 (Se)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은 (Hg)	< 0.001 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
시안 (CN)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬 (Cr ⁶⁺)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소 (NH ₄ -N)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
질산성질소 (NO ₃ -N)	< 10 mg/l	불검출	7.8	10.3	5.0	불검출	17.7	3.5	4.7	28.4
카드뮴 (Cd)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	< 0.005 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄 (THMs)	< 0.1 mg/l	0.004	0.004	0.007	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	< 0.06 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	< 0.25 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	< 0.04 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바릴	< 0.07 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1 트리클로로에탄	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	< 0.7 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	< 0.3 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1 디클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	< 0.002 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	< 300 mg/l	55	45	45	34	4	66	67	52	159
과망간산칼륨소비량 (KMnO ₄)	< 10 mg/l	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.2	0.3	0.6	0.9
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합	부적합	적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합	부적합	적합	적합	적합
동 (Cu)	< 1 mg/l	0.034	0.007	0.051	0.029	0.039	0.074	0.024	0.029	0.051
색도	< 5도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	20	불검출	불검출	불검출
세제 (ABS)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	7.4	6.1	6.2	6.1	6.3	6.2	7.4	6.3	6.1
아연 (Zn)	< 1 mg/l	0.039	0.131	0.060	0.018	0.036	0.084	0.023	0.121	0.090
염소이온 (Cl ⁻)	< 250 mg/l	8	9	12	8	3	29	13	12	87
증발잔류물 (TS)	< 500 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	299	불검출	불검출	불검출
철 (Fe)	< 0.3 mg/l	0.05	0.01	0.02	0.01	0.04	0.06	0.01	불검출	0.01
망간 (Mn)	< 0.3 mg/l	0.171	0.001	0.001	0.001	0.025	0.044	0.001	0.002	0.002
탁도	< 2도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	30	불검출	불검출	불검출
황산이온 (SO ₄ ²⁻)	< 200 mg/l	4	2	2	5	불검출	4	5	6	12
알루미늄 (Al)	< 0.2 mg/l	0.11	불검출	0.07	0.09	0.13	0.38	0.09	0.03	0.09
전기전도도 (EC)	μS/cm	195	155	170	120	35	296	217	183	606

시 료 번 호		E-152	E-144	E-146	E-061	E-155	E-157	E-153	E-154	E-102
시 험 항 목	기 준									
납 (Pb)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소 (F)	< 1.5 mg/l	0.1	0.1	0.1	불검출	불검출	불검출	불검출	0.1	불검출
비소 (As)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세레늄 (Se)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수은 (Hg)	< 0.001 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
시안 (CN)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬 (Cr ⁶⁺)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
암모니아성질소 (NH ₄ -N)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
질산성질소 (NO ₃ -N)	< 10 mg/l	3.2	15.9	0.1	7.8	10.5	2.1	6.5	61.4	0.4
카드뮴 (Cd)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페놀	< 0.005 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
총트리할로메탄 (THMs)	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
다이아지논	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
파라티온	< 0.06 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
말라티온	< 0.25 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
페니트로티온	< 0.04 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
카바릴	< 0.07 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1.1 트리클로로에탄	< 0.1 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
디클로로메탄	< 0.02 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
벤젠	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
톨루엔	< 0.7 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	< 0.3 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
크실렌	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1.1 디클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	< 0.002 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	< 300 mg/l	74	161	38	31	44	148	22	270	15
과망간산칼륨소비량 (KMnO ₄)	< 10 mg/l	5.7	1.6	0.3	0.3	0.6	0.6	0.3	1.3	0.3
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	부적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	적합	부적합
동 (Cu)	< 1 mg/l	0.050	0.017	0.061	0.107	0.072	0.066	0.048	0.040	0.065
색도	< 5도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	6
세제 (ABS)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	6.3	7.4	7.4	6.0	6.1	7.2	6.1	6.4	6.2
아연 (Zn)	< 1 mg/l	0.058	0.095	0.086	0.136	0.045	0.048	0.033	0.022	0.042
염소이온 (Cl ⁻)	< 250 mg/l	52	24	4	24	10	14	10	87	5
중발잔류물 (TS)	< 500 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	84
철 (Fe)	< 0.3 mg/l	0.02	0.01	0.01	불검출	0.02	0.01	불검출	불검출	0.11
망간 (Mn)	< 0.3 mg/l	0.002	0.001	0.003	0.003	0.001	0.011	0.002	불검출	0.002
탁도	< 2도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	10
황산이온 (SO ₄ ²⁻)	< 200 mg/l	39	5	3	불검출	16	2	2	39	2
알루미늄 (Al)	< 0.2 mg/l	0.10	0.04	0.01	0.04	0.08	0.05	0.01	0.02	0.25
전기전도도 (EC)	μS/cm	345	493	121	159	192	334	114	864	75

시 료 번 호		E-101	E-105	E-104	E-065	E-064
시 험 항 목	기 준					
납 (Pb)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
불소 (F)	< 1.5 mg/l	0.1	0.1	불검출	불검출	불검출
비소 (As)	< 0.05 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세레늄 (Se)	< 0.01 mg/l	불검출	불검출	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	14.8	27.0	4.6	2.5	14.0
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	0.002	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
카바릴	< 0.07 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1,1,1-트리클로로에탄	< 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
1,1-디클로로에틸렌	< 0.03 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
사염화탄소	< 0.002 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
경도	< 300 mg/l	171	92	76	61	96
과망간산칼륨소비량 (KMnO ₄)	< 10 mg/l	0.6	0.3	0.9	0.9	0.6
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합
동 (Cu)	< 1 mg/l	0.073	0.124	0.070	0.041	0.116
색도	< 5도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
세제 (ABS)	< 0.5 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	6.4	6.3	6.1	6.0	5.9
아연 (Zn)	< 1 mg/l	0.029	2.636	0.021	0.020	0.061
염소이온 (Cl ⁻)	< 250 mg/l	106	31	58	15	75
증발잔류물 (TS)	< 500 mg/l	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
철 (Fe)	< 0.3 mg/l	불검출	0.01	0.02	0.01	불검출
망간 (Mn)	< 0.3 mg/l	불검출	0.016	0.008	0.002	0.048
탁도	< 2도	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
황산이온 (SO ₄ ²⁻)	< 200 mg/l	11	3	8	5	8
알루미늄 (Al)	< 0.2 mg/l	0.05	0.06	0.06	0.03	0.06
전기전도도 (EC)	μS/cm	606	353	324	196	416

5.4. 잠재오염원 조사

지하수 자원의 효율적 개발이용과 합리적인 보존관리를 위해서는 지하수 자원의 부존량을 조사 평가하여 적정개발이 요구되며, 지하수 자원에 관련된 장애, 즉 수질오염, 수원고갈, 수위저하, 지반침하, 염수침입 등을 조사하여 수질의 오염원인이 되는 각종 오염원을 조사·관리하는 것이 필요하다.

지하수의 수질오염을 유발하는 오염원에는 크게 폐기물의 투기에 의한 오염원과 다른 인위적인 활동에 의한 오염원 등 두 종류가 있다(표 5-4).

<표 5-4> 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"> ◦ 지하굴착(지하수개발, 토석채취 등) ◦ 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 지질매체(토양이나 암반 대수층)를 오염시킨다.

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

<표 5-5> 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 2. 쓰레기 하치장 3. 주거지에서 쓰레기 처분 4. 지표 저수조 5. 광산폐석 6. 폐기물 하치장 7. 재료의 비축지 8. 묘지 9. 동물사체 매몰지 10. 지상탱크 11. 지하탱크 12. 컨테이너 13. 소각장과 발파지 14. 방사능 폐기물 처리장
3군	- 운송, 송유시설 1. 수송관로 2. 운송, 화물
4군	- 기타활동으로 배출 및 살포되는 오염원 1. 관개용수 2. 농약살포 3. 비료살포 4. 동물사육 5. 제설, 제빙제 살포 6. 도시의 강수유출 7. 대기오염 물질의 지하삼투 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

○ 정화조

우리나라 농어촌의 대표적인 잠재오염원 형태로 정화조 내의 분뇨에는 다량의 질소화합물이 포함되어 있으며 질소화합물이 토양에 유입되면 토양 박테리아에 의한 질산염으로 산화되어 지하수로 침투된다. 유역별 인구와 경지면적은 수질에 영향을 미치는 인자인데 본 지구의 인구 밀도(161명/km²)는 매우 낮아 지하수 오염에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다. 최근 농촌에서도 현대식 주택이 널리 보급되면서 정화조에 의한 분뇨 유출이 이루어져 토양오염이 이루어질 가능성이 있다. 본 지구에서 질소화합물의 지하수 유입정도를 분석하기 위하여 암모니아성 질소 및 질산성질소의 농도분석 결과를 살펴보면 암모니아성 질소는 대부분 검출되지 않거나 농도가 낮게 나타나며 질산성질소는 임천면 군사리(E-097, E-093), 홍산면 북촌리(E-037), 규암면 규암리(E-109, E-112), 구룡면 금사리(E-058), 구룡면 주성리(E-057), 석성면 증산리(E-144), 세도면 청포리(E-155), 양화면 임수리(E-154), 남면 신흥리(E-105), 남면 금전리(E-064) 등 12소에서 수질 불합격을 나타내어 가축의 배설물에 대한 오염이 상당히 진행되고 있으며 이는 점오염원으로 파악된다.

○ 농약 및 비료 살포

농업 오염원은 가축의 분뇨, 비료, 각종 농약 등이 대부분을 차지한다. 이들의 성분은 주로 질산화합물, 인산염, 박테리아, 염화물, 중금속 등이다. 총 분포면적 중 농경지는 <표 2-3>에서와 같이 19,836 ha로써 부여읍이 21,273 ha로 가장 넓고 규암면(21,097ha), 임천면(15,637ha)이 넓은 농경지 분포 면적을 가진다.

○ 폐기관정

지하광물 자원 및 지하수 등을 탐사 또는 개발하기 위하여 시추를 많이하고 있다. 이러한 시추공들은 보통 소기의 목적을 달성한 후에는 방치하게 되는데, 이때 시추공의 처리작업을 소홀히 할 경우, 지표의 여러 오염물들이 시추공내로 침투하여 대수층을 단시일내에 오염시키게 된다.

본 조사지구내 무단으로 방치된 소형 및 대형 폐기 관정의 정확한 숫자 파악은 어려우나, 1998년 11월부터 농림부 주관 하에서 농어촌진흥공사가 실시한 폐공 조사 및 처리사업을 통하여 대형관정 및 소형관정이 무상으로 처리되었으나, 총적용 관정은 경지정리시 폐공처리 되지 않고 경지와 함께 덮혀져 주인조차 관정의 정확한 위치를 모르고 있는 경우가 대부분이어서 지하수 오염의 우려를 안고 있어서 시급한 폐공 조치 및 복구를 하지 않으면 오염의 우려가 높다.

농업용 관정의 대부분이 영농기 및 가뭄기에 사용되고 비싼 전기료 때문에 사용하지 않는 관정이 많은데 개발 당시 관정 개발 계획에 경제적인 면도 고려하여 비영농기 및 가뭄시기가 아니더라도 마음놓고 지하수를 사용 할 수 있어야 할 것이다.

○ 지하저장 탱크

본 조사지구 내에는 각 면소재지 단위 및 국도 주변 등에 주유소가 소재되어 있는데 주유소의 저장탱크에서 유해 유기화합물이 누출되면 점오염원으로서 지하수를 오염시킬 수 있다.

대부분의 석유류 제품의 저장에 이용되는 지하저장 탱크는 주로 금속 제품으로 만들어지기 때문에 시간이 지남에 따라 용접 부위가 쉽게 부식되어 저장된 물질들이 지하수로 누출될 수 있다. 지하수가 누출될 경우 가수성분과 벤젠, 톨루엔 등 유독성 화합물이 분리되어 토양에 부착, 지하수에 녹게 되어 지하수를 오염시킬 수 있다.

6. 지하수 자원의 부존성 평가

6-1 물수지 분석

일정지역에서 물의 유입·유출량을 파악하여 물 수요를 결정하는 것을 물수지분석이라 한다. 물수지 분석은 조사지역 내로 유입 및 유출되는 물의 양과 그 지역 내에 저류된 모든 수자원의 변화사이에는 항상 평형조건이 이루어진다는 가정에 기초를 둔 것으로 다음과 같은 수문 평형방정식으로 표시된다.

$$\text{유입} = \text{유출량} \pm \text{저수량의변화} \quad (I = O \pm \Delta S)$$

상기 공식에서 각 요소는 다음과 같이 요약할 수 있다.

· 유입량의 요소

$$\text{지하수유입} + \text{표면하수(지하수)유입} + \text{유입수}$$

· 유출량의 요소

$$\text{지하수 유출} + \text{표면하수(지하수)유출} + \text{증발산량} + \text{소비된 물} + \text{유출량}$$

· 저류량요소

$$\text{지하수 저류량 변화} + \text{지하수 부존량 변화} + \text{토양수 변화 등이다.}$$

이중에서 어떤 요소는 매우 쉽게, 그리고 정확하게 측정할 수 있지만 또 다른 요소들은 측정이 불가능한 경우도 있어 상기 식을 통상적으로 물수지 분석에 이용하는 단순한 수문 방정식을 표현할 수 있다.

$$P = O + ET$$

여기서, P : 강수량, O : 전유출량 {Os (지표유출), Oy (지하수유출)}, ET : 증발산량이다.

지하수유출은 연주기별로 변동이 없다고 가정하면 지하함양량과 동일한 값으로 인정할 수 있다. 즉 상기 식에서 강수량은 지표층을 통한 유출량, 지하로 침투되는 함양량, 증발산량의 합으로 계산될 수 있다.

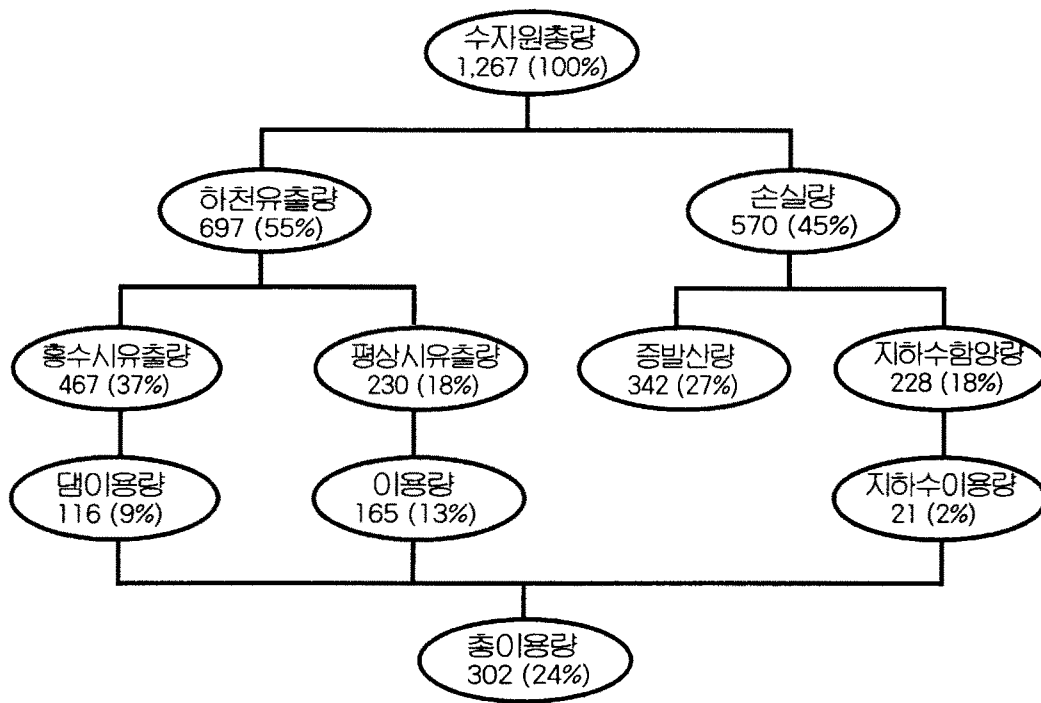
6-1-1 강수량

본 조사지역의 강수량은 2장에서 분석한 바와 같이 부여기상대자료를 적용하였으며 최근 10년간 연평균 강수량은 1,398mm로 1998년에 2000.3mm/y로 최대 강수

량을 보이고 1994년에 1,030mm/y로 최소강수량을 보인다. 월별 강수량 분포는 최대 강수량은 8월(318.8mm)이고 최소강수량은 12월(12.8mm)로 나타난다.

6-1-2 유출 분석

일반적인 수자원 부족량평가는 물수지에 의한 평가방법을 이용할 수 있으며 통계적으로 우리나라의 경우, 강수량의 하천유출량과 손실량의 비는 55 : 45로 추정하고 있다(그림 6-1). 강수량으로부터 증발산량 및 침투에 의한 손실을 뺀 값은 초과강수량 또는 지표유출(Run-off)이라 하며, 지표유출량 계산방법에는 ϕ 지표법(ϕ Index method), W 지표법(W Index method), SCS 방법(Soil Conservation Service method) 등이 있다.

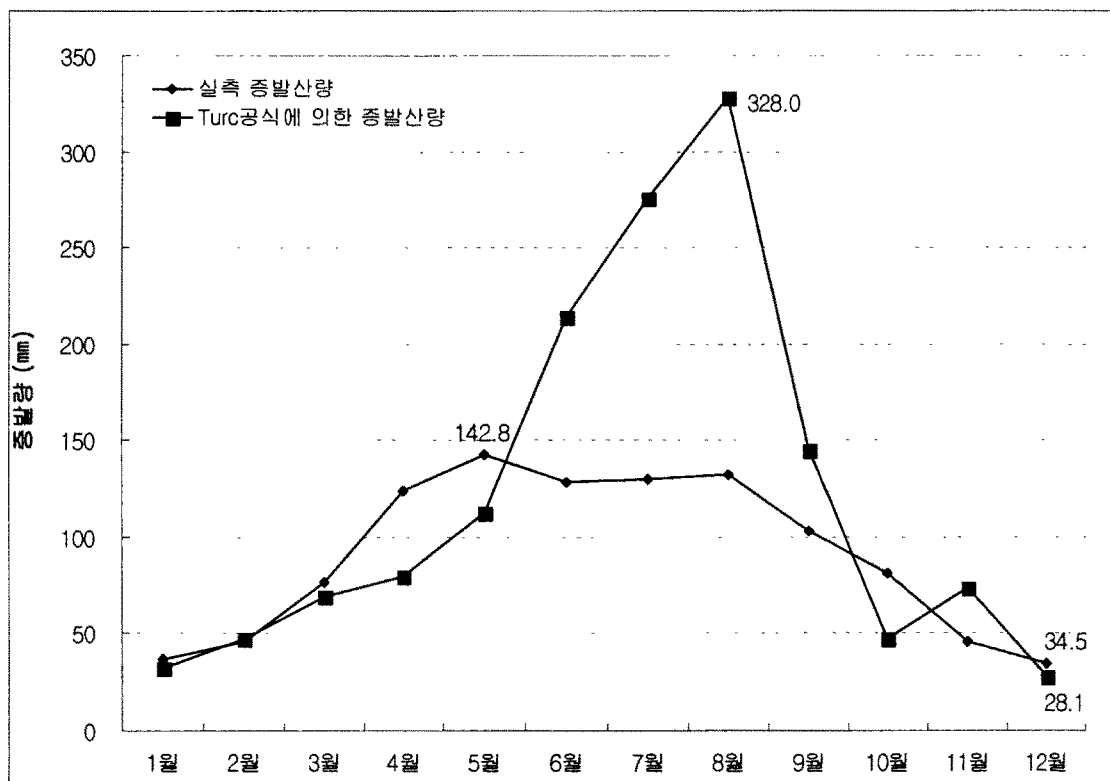


<그림 6-1> 우리나라 수자원 이용 현황도 (1996년 현재, 건설부)

지상에 도달한 강수의 일부는 토양의 지면을 통하여 침투하고, 그 초과분은 토양의 표면으로 흘러 유출하게 된다. 따라서 강수로부터 발생하는 유출은 침투량에 크게 영향을 미치며, 침투량의 계산은 강수와 유출의 관계에서 필수적인 요소이다. 강수로부터의 유출은 토양의 건조상태에 따라 크게 달라진다. 매우 건조한 상태에서의 토양은 무한에 가까운 침투율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강수의 영향으로 토양

의 함수량이 많은 상태라면 동일한 강수량이라고 할지라도 건조상태보다 많은 유출을 야기시킨다. 이와 같이 토양의 초기 함수상태에 따라 침투량은 직접적으로 영향을 받기 때문에 강수량으로부터 발생하는 유출량을 결정하는 요인이 된다.

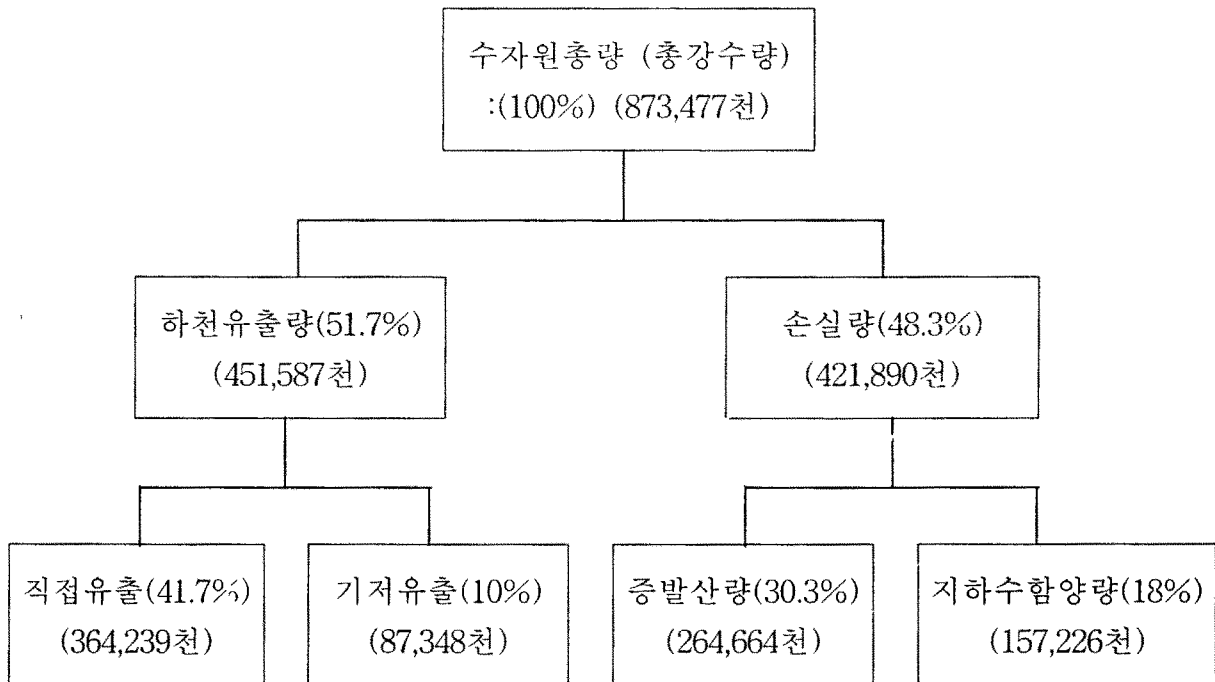
만약 어떤 수역에서 호우로 인한 유출량 자료가 없을 경우에는 직접유출량의 결정이 불가능하며 f -혹은 W지표를 구할 수 없으므로 초과강수량을 결정할 수 없다. 이와 같이 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토질특성과 식생피복상태 등에 대한 세세한 자료만으로서 총 수량으로부터 초과강수량을 산정할 수 있는 방법을 미국토양보존(U.S Soil conservation service, SCS)이 개발하였으며 미계획 유역의 초과강수량(혹은 유효수량)의 산정에 널리 사용되고 있다. 본 조사에서는 조사지역이 속한 금강수계의 기 조사된 실측유출율(지하수 이용관리방안 수립 및 대체용수원 개발지역 선정조사, 1994, 한국수자원공사) 51.7%를 적용하여 하천유출량을 추정하였다. 하천유출량 총량은 연간총강수량×하천유출률로서 $873,476,824\text{m}^3 \times 0.517 = 451,587,518\text{m}^3$ 에 이른다.



<그림 6-2> 실측 증발산량과 Turc 공식에 의한 증발산량 비교

조사지역의 최근 10년간의 강수량자료를 이용하여 지하수 이용량 및 지하수 함양량 등을 구해보면

- 연평균 강수량 (부여기상대, 1989~1998)
평균 : 1,398mm/yr (최대 : 2,000.3mm/yr 최소 : 1,030.0mm/yr)
 - 집수유역면적 : 624,800,126m²
 - 기저유출량 : 수자원 총량(873,476,816m³)×기저유출율(0.1) = 87,347,682m³
- 으로서 총 강수량을 수자원 총량으로 간주하면 조사지역의 계통표는 다음과 같다
(단위 : m³/yr)



<그림 6-3> 계통표에 의한 조사지구 유출량

그러므로, 조사지역의 지하수 이용량은 지하수 함양량의 2%인 3,145천m³/yr이고 함양량은 18%인 157,226천m³/yr이며 유출량은 87,348천m³/yr이다.

◎ 하천유출률에 의한 분석

하천의 유출률은 강우총량에 대한 유출공량의 비로써 다음과 같이 계산되어진다.

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

하천의 유출은 지하수의 함양에 의하여 지탱되어진다. 이 기간에 있어서 하천 유출량의 감소는 지하수위가 강하되었음을 의미하게 되며, 본 유역에 있어서 하

천유출량의 연평균 기저유출율(강우함양계수)인 12.4%를 적용하였다(건설교통부, 지하수관리계획 보고서, 1996 .12)

하천유출이 지하수의 감소에 의하여 유지됨은 바꿔 말하면 하천유출량의 수문곡선으로부터 기저유출을 분리하면 지하수 저류로부터 배출되는 량, 즉 지하수 유동량으로 볼 수 있다. 기저유출율(강우함양계수)을 0.124로 하여 유량을 산출하면 다음과 같다. 여기서 연강수량은 10년간 (1989~1998) 부여기상대의 연평균 강수량인 1,398mm로 계산하였다.

$$\frac{0.124 \times 624,800,126 \times 1,398}{365 \times 86,400} \approx 3,435 \text{ m}^3/\text{sec} = 296,740 \text{ m}^3/\text{D}$$

그러므로 연평균 함양량은 108,310천m³/yr로 나타나고 이 수치는 지하수의 저유상태에 인공적인 변화를 가하지 않고 소모시켜 버릴수 있는 수량으로 지하수의 저류를 소모시킨다던가 혹은 관개수의 재침투를 고려하면 개발량은 더욱 상회할 수 있을 것이다.

6-1-3 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 사용 될 때는 강우량과 함양량의 백분율로 표시된다.

$$\alpha = \text{함양율}(\%)$$

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

$$P = \text{강우량}(\text{mm})$$

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 170,956천m³으로 앞서 서술하였고, 본 장에서는 물수지 분석에 의한 지하수 함양량 평가하였으며 이는 수자원의 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 직정유출, 증발산량, 지하

수 함양량간의 수문평형 유지에 의해 다음식으로 구해진다.

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

$$\begin{aligned} I &= \text{지하수 함양량} & P &= \text{총 강수량} \\ DR &= \text{지표수 적정유출량} & ER &= \text{증발산량} \\ IU &= \text{타지역으로부터 지하수 유출입량} \end{aligned}$$

1) 총 강수량, 증발산량(P, ER)

1989~1998년 사이 최근 10개년간 측정된 자료의 평균값인 1,398mm를 적용하여 총 강수량(P)을 구해보면,

$$1,398\text{mm} \times 624,800,120\text{m}^2 = 873,476,816\text{m}^3$$

이다.

증발산량(ER)은 Turc(1975)의 증발산량 추정공식을 사용하여 얻어진 연간 증발산량(ETR) 628.9mm/년을 적용시켜 조사지역의 증발산량(ER)을 구해보면,

$$628.9\text{mm} \times 624,800,120\text{m}^2 = 392,936,756\text{m}^3$$

이다. 따라서 상기 수문 평형식을 적용하면(유출량은 총강수량의 41.7%),

$$I = 873,476,816\text{m}^3 - 364,239,832\text{m}^3 - 392,936,756\text{m}^3 = 116,300,228\text{m}^3/\text{yr}$$

이다.

2) 지하수 함양량

지하수함양량은 부존지역면적과 연평균강수량, 지하수평균함양율의 곱으로 표현 되므로(한정상, 1998),

$$\begin{aligned} \text{지하수함양량} &= \text{조사지구면적}(\text{m}^2) \times \text{연평균강수량}(\text{mm}) \times \text{지하수함양율}(\%) \\ &= 624,800,120(\text{m}^2) \times 1,398.01(\text{mm}) \times 18(\%) \\ &= 157,225,827\text{m}^3/\text{yr} \end{aligned}$$

이다.

본 조사지구의 함양량 분석결과를 비교하면 두 값의 차가 40,925,599m³/yr로 전체 강수량(873,476,816m³/yr)의 4.7%이다.

6-2 지하수 부존량 및 개발 가능량

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 치밀도등에 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 지질분포별 면적은 본 조사 지역의 지질에 따라 충적층, 변성암류, 퇴적암류, 화성암류로 구분하여 변성암류는 159.5km², 퇴적암류는 97.4 km², 화성암류는 40.6km², 충적층은 327.4km²의 분포면적을 가진다. 지하수 부존심도는 우리나라 지하수 부존 심도 평균은 화성암이 200m, 퇴적암이 800m, 변성암이 200m, 화산암이 400m이나 조사지역의 기설관정의 평균 심도를 고려하여 충적층은 10.0m, 화강암은 100m, 퇴적암류는 100m, 화산암류도 100m를 부존심도로 결정하였다. <표 6-1>은 1991년 농진공 조사 자료에 의한 한국의 지하수 부존량 조사표인데 이를 기초로 부여지역의 부존량을 추정해보면 <표 6-2>에서 보는 바와 같이 부존량은 충적층에서 464.8백만톤, 화성암에서 81.2백만톤, 변성암에서 79.75백만톤, 퇴적암에서 48.7백만톤으로 충적층을 제외하고 변성암과 화성암류에 대부분 지하수가 부존하며 퇴적암에 약 7%로 가장 적게 부존되어 있다.

<표 6-1> 한국의 지하수 부존량 (농진공, 1991)

분포 지질별	분포 면적 (km ²)	지하수 부존 심도 (m)	지하수 포장량				가용포장량 (재순환가능량)		
			총 포장량		산출가능량		재순환율 (%)	지하수량 (억m ³)	
			공극율 (%)	지하수량 (억m ³)	유효 공극률 (%)	지하수량 (억m ³)			
계	98,490			13,240		5,450		1,170	
육지부	소계	96,670			13,410		5,380		1,160
	충적층	(27,380)	3	35	280	14.2	110	14.2×1	110
	화성암	31,820	200	1	630	0.5	310	0.5×1/5	60
	퇴적암	28,780	800	5	11,510	2.0	4,600	2.0×1/5	920
	변성암	36,070	200	1	720	0.5	360	0.5×1/5	70
제주도	화산암	1,820	400	3.5	100	2.5	70	2.5×1/5	10

<표 6-2> 부여군 지하수 부존량 추정

지질별	분포면적 (km ²)	지하수 부존심도 (m)	유효공극율 (%)	지하수부존량 (백만톤)	
계	624.8			674.45	
암반	변성암류	159.5	100	0.5	79.75
	화성암류	40.6	100	2.0	81.2
	퇴적암류	97.4	100	0.5	48.7
충적층	327.3	10	14.2	464.8	

6-2-2 지하수개발가능량

1) 안정채수량(Safe Yield)

지하수 개발시 자연상태에 영향을 주게되어 어느 정도 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 들 수 있다. 이러한 나쁜 영향이 발생되지 않게 하기 위하여 Todd(1980)는 지하수의 함양과 배출이 평형이 되도록 연간 함양량을 초과하지 않는 범위내로 연간 취수량을 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 기저유출량(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 산정 방법으로 물수지 분석방법과 기저유출 분석방법을 주로 사용하고 있다.

아래 표 6-3의 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.

<표 6-3> 한국의 지하수개발 가능량 추정

연구자 또는 기관	개발가능량 (억톤/년)	년 강우량에 대한 비율(%)	추 정 방 법	사 용 용 어
선우중호 (1992)	100~150	7.9~11.8	Cheremissionoff(1988)의 기준 물수지 방법	적정개발가능량
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 물수지법 적용	적정개발가능량
건설교통부 (1994)	137.8	10.7	기저유출 분석 방법 (안정율 70% 적용)	적정개발가능량
건설교통부 (1995)	132.7	10.3	기저유출 분석방법 (안정율 70% 적용)	적정개발가능량
이동률(1995)	6408	7.8	지하수 감수곡선 이용, 갈수기의 지하수 유출량 고려	지하수 함양량

2) 물 수지 분석

물 수지(hydrologic budget or water balance)분석은 물질 보존법칙을 물에 적용한 것으로 대상 영역과 시간을 정하여 물의 평형을 다음식으로 유도하는 과정이라고 정의 할 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 물 수지는 일간 물 수지보다 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 흘러 온 하천의 바닥에서 침투하여 지하수로 함양되는 것이며, 인공함양은 지표수를 인위적으로 지하에 침투시키는 것으로서 인공함양을 목적으로 하지 않은 관개용수 순환

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 물수지 공식을 다시 쓰면 다음과 같다.

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

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, 수리전도도, 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 들 수 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.

안전채수량은 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. ($Q_0 = 0$)
- 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.

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

여기서 각 항의 내용은 식 ①에서와 같다.

본 조사지구의 개발 가능량과 안전 채수량을 구해보면 공극률을 적용하여 지하수 부존량을 산출한 경우 총적층은 포장능력(부존량)의 20%를 적용하였고, 암반층은 부존량의 10%를 적용시켰다.

<표 6-4> 지하수부존량 평가에 의한 지하수개발 가능량

	단 위	암 석 종 류	부 존 량	이 용 가 능 량	
합 계			674.45	114	
공극율적용 지하수 부존량 산출 (총적 35%, 암반 1.4%)	$\times 10^9 \text{ m}^3/\text{년}$	총 적 층	464.8	93	
		암 반 층	변성암류	81.2	8.1
			퇴적암류	48.7	4.9
			변성암류	79.75	8
			소 계	209.65	21

<표 6-5> 지하수함양량 평가에 의한 지하수개발 가능량

평 가 방 법	단 위	함 양 량	이 용 가 능 량	비 고
수자원계통표 기저유출10%	$\times 10^9 \text{ m}^3/\text{년}$	157.226	157.226	기저유출량 = 함양량 = 이용가능량
	$\text{m}^3/\text{일}$	430,756	430,756	
금강수계 유출률 12.4%	$\times 10^9 \text{ m}^3/\text{년}$	108.310	108.310	
	$\text{m}^3/\text{일}$	296,740	296,740	
증발산량 44.9%	$\times 10^9 \text{ m}^3/\text{년}$	116.300	116.300	
	$\text{m}^3/\text{일}$	318,630	318,630	

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 채수 심도 100m 내외의 일반 암반관정과 200m 이상의 심층 암반관정으로 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 주의를 해야하며 200m 이상의 심층 관정은 1990년대 이후 활발히 추진되어 오고 있으며 수질이 양호(청정용수)하고 수온이 일정하여 생활용수 및 시설농업의 냉난방, 환경제어용수 등 다목적 용수로 활용 가능하다(표 6-6)

<표 6-6> 지하수개발 유형

구분	단위	소형관정	일반 암반 관정(m)		심층 관정(m)		
			관개용수	농어촌용수	200	200~500	500~1,000
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 항구시설시 까지 사용	논·밭용수	다목적 농업·생활 용수 겸용	다목적 청정용수 (생활, 농업) 세척용수	다목적 청정용수, 세척용수, 환경제어용수	다목적 청정용수, 세척용수, 난방용수, 고온 성양식온천 및 광천수

※ × : 오염, △ : 오염가능성, ○ : 양호한 수질

암반관정개발을 하기 위한 위치 선정은 지하암반층의 1차 공극에 형성된 암반 대수층내에 파쇄대의 부존여부에 있으며 이 파쇄대 발달은 지각운동, 화성암의 관입 등으로 암반의 파괴에 의해 발달하게 되어 암반중 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 6-7).

본 조사 지구의 지하수부존 및 개발여건은 양호한 편이지만 본 조사는 지하수개발을 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 6-7> 지하수개발 위치선정을 위한 흐름도

구 분	과 정 별	내 용	비 고
기본조사 ↓	1. 지구답사 및 지표지질구조 2. 지질선구조 추출 3. 지하수조사·개발계획수립	· 사업예정지구 내 분포지질, 지질구조 발달상태 및 지하수 부존현황 조사 · 위성 영상자료를 이용하여 지질구조대 추출 · 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 2배수계획
지하수 영향조사 ↓	1. 대수성시험 등	· 시추조사 완료 후 수질, 적정채수량, 주변공과의 상호간섭, 제 오염상태 파악 등 지하수에 미칠수 있는 인자에 따른 영향 조사	· 지하수영향조사기관 (지하수법 제7조2항)
지하수 개발허가 ↓	2. 지하수영향조사 보고서 심사	· 지하수 영향조사의 항목·조사방법 및 평가기준에 적합한지 여부 심사	· 시·도지사
개 발	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

본 지구는 농어촌지역으로 부여읍, 규암면, 은산면, 홍산면, 석성면을 제외한 10개 면이 상수도 보급이 아직 이루어지지 않고 있으며, 현재의 상수원보급 형태는 암반관정을 이용한 간이 상수도 시설과 마을공동으로 계곡하천수를 이용한 지표수 개발과 자가소형관정을 이용한 방법이 대부분이므로, 향후 안정적인 생활용수 공급 방안이 필요한 실정이다(표 7-1).

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 오염 우려 및 장기적인 보존을 감안할 때 앞장에서 서술한 여러 가지 과정을 고려하여 지역선정을 해야 할 것이다.

조사지구 상수도 보급현황은 <표 7-1>과 같으며 이 통계를 기준으로 향후 생활용수 소요량을 분석해 보면 <표 7-2>와 같다. 본 조사지구의 생활용수 수요량 계산시 1일 급수량은 농촌용수구역 생활용수 소요수량 350ℓ를 적용하였으며 암반관정 1공당 채수 이용량을 150m³/D로 하였다.

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.

1) 생활용수개발계획

인구의 증감에 따른 소요수량, 상수도 공급지역을 고려하고 현재 지하수관정 개발 공수 등을 감안한 향후 계획수립은 지역별 지질별 특성을 고려하여 정밀한 조사가 완료된 후 지하수개발이 가능한 지역에 대해 이루어 져야 한다.

<표 7-1> 부여군 상수도 보급 현황

(단위 : 명)

구 분	급수도시내 총인구(명)	급수인구 (명)	보급율 (%)	시설용량 (m ³ /일)	급수량 (m ³ /일)	1일1인당 급수량(ℓ)	급 수 전 수
계	100,869	42,184	41.8	13,600	11,919	283	7,058
부여읍	29,995	25,025	83.4	7,300	8,948	358	5,077
규암면	11,350	7,304	64.4	2,500	1,072	147	803
은산면	6,371	1,978	31.0	1,000	334	169	195
외산면	4,391	-	-	-	-	-	-
내산면	2,778	-	-	-	-	-	-
구룡면	4,258	2,109	49.5	1,000	332	157	155
홍산면	5,198	2,459	47.3	1,000	507	207	318
옥산면	2,533	-	-	-	-	-	-
남 면	3,650	-	-	-	-	-	-
충화면	2,194	-	-	-	-	-	-
양화면	3,452	-	-	-	-	-	-
임천면	5,402	-	-	-	-	-	-
장암면	4,796	-	-	-	-	-	-
세도면	6,020	-	-	800	726	219	510
석성면	4,717	3,309	70.2	-	-	-	-
초촌면	3,764	-	-	-	-	-	-

우리나라의 전국 평균 1일 급수량은 1991년도에는 376 ℓ, 1996년은 서울시 기준 476 ℓ로 나타났으나 생활용수 소요량 산정시 1일 급수량을 농촌용수 구역 소요수량 350 ℓ 적용시 본 지구의 향후 소요수량은 필요수량 35,304m³/일에서 기공 급량 14,764m³/일을 뺀 20,540m³/일이다. 각 읍면별로 소요 공수는 대부분 4~14공으로 나타났다.

<표 7-2> 생활용수 소요수량

구 분	급수대상 인구수(명)	급수량 (ℓ/일)	필요수량 (m ³ /일)	보급량 (m ³ /일)	향후소요수량 (m ³ /일)	소요관정수 (m ³ /일)
계	100,869	-	35,304	14,764	20,540	144
부여읍	29,995	350	10,498	8,759	1,739	12
규암면	11,350	350	3,972	2,556	1,416	10
은산면	6,371	350	2,230	692	1,538	11
외산면	4,391	350	1,537	-	1,537	11
내산면	2,778	350	972	-	972	7
구룡면	4,258	350	1,490	738	752	5
홍산면	5,198	350	1,819	861	958	7
옥산면	2,533	350	887	-	887	6
남 면	3,650	350	1,278	-	1,278	9
충화면	2,194	350	768	-	768	6
양화면	3,452	350	1,208	-	1,208	8
임천면	5,402	350	1,891	-	1,891	13
장암면	4,796	350	1,679	-	1,679	12
세도면	6,020	350	2,107	-	2,107	14
석성면	4,717	350	1,651	1,158	493	4
초촌면	3,764	350	1,317	-	1,317	9

<표 7-3> 부여지역 농업용수 소요수량

읍면별	농지면적(ha)			총 소요수량 (m ³ /일)	기사용량 (m ³ /일)	소요수량 (m ³ /일)	소 요 관정수	비 고
	전	답	계					
계	4,968	15,481	20,449	310,721	52,445	258,276	596	
부여읍	640	1,487	2,127	30,365	6,992	23,373	53	<ul style="list-style-type: none"> ● 농지면적 = 전+답 ● 농업용수단위 면적용수량 답:70m³/ha 전:30m³/ha ● 농업용관정 평균양수량 = 150 m³/일
규암면	493	1,617	2,110	32,350	1,624	30,726	70	
은산면	518	1,007	1,525	20,842	281	20,561	47	
외산면	348	531	879	11,237	3,027	8,210	19	
내산면	193	569	762	11,448	3,513	7,935	17	
구룡면	181	920	1,101	18,077	684	17,393	40	
홍산면	217	640	857	12,876	7,296	5,580	13	
옥산면	192	575	768	11,578	5,338	6,240	14	
남 면	171	1,064	1,235	20,780	498	20,282	46	
충화면	185	650	836	12,964	16,682	-3,718	-	
양화면	191	965	1,156	18,965	126	18,839	43	
임천면	328	1,236	1,564	24,566	1,468	23,098	52	
장암면	346	1,110	1,456	22,232	4,071	18,161	41	
세도면	388	1,325	1,713	26,455	286	26,169	60	
석성면	249	890	1,139	17,731	265	17,466	40	
초촌면	327	904	1,231	18,255	294	17,961	41	

※ 단위용수량 답 : 70m³/ha × 100/365 = 19m³/D

전 : 30m³/ha × 40/365 = 3.3m³/D

※ 소요관정수는 지표수 : 지하수 = 66 : 34로 계획함

농업용수는 현재 답과 전을 대상으로 지표수와 지하수가 공급되고 있으며, 전체농지면적의 75% 이상을 차지하는 논에 대한 용수공급이 크게 부진한 양상을 보인다. 향후 논작물의 충분한 용수공급 방안이 강구되어야 할 것으로 판단되며, 농업용수 소요수량의 34%를 추가용수 개발목표로 설정하였다.

추가소요관정수는 소요수량중 지하수의 농업용수 공급율 (지표수 : 지하수 = 66 : 34)을 감안하여 추가소요관정수를 추정하였으며, 농업용지하수 기공급량은 <표 7-3>에 나타내었다. 기타용수에 대한 소요량 판단은 충분한 자료획득·분석이 미흡하고 그 양이 과소하여 금번 조사에서는 제외하였다.

7-2 소요수량 공급방안

농어촌지역에서도 지표수 및 지하수 오염이 이루어지면서 생활용수 공급은 암반관정을 이용한 생활용수 공급이 이루어지고 있다. 본 조사지역에 광역상수도의 보급율은 약 41.8%(부여군통계연보 : 1998)이고, 장기적 광역 상수도 공급계획이 없을 경우 그 대안으로 암반관정 개발이 요구되고 있으며, 농업용수 공급 또한 향후 막대한 발작물 재배면적에 대한 용수공급방안이 수립되어야 한다. 이를 위하여는 생활용수 공급용 암반관정의 이용량을 공당 150 m³/일로 볼 경우 144공, 농업용수 공급용 암반관정의 이용량을 공당 150 m³/일로 계산하면 596공이 필요하다. 생활용수개발 공당사업비를 170백만원/지구로, 농업용수는 40백만원/공으로 계산할 경우 연차별 개발사업량 및 사업비는 다음과 같다 (표 7-4).

<표 7-4> 연차별 지하수개발 사업량 및 사업비

구분		계	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년 이후
계	공수	740	45	45	45	45	45	515
	사업비 (백만원)	48,320	3,750	3,750	3,750	3,750	3,750	29,570
생활용수 (공)		144	16	16	16	16	16	69
사업비 (백만원)		24,480	2,550	2,550	2,550	2,550	2,550	11,730
농업용수 (공)		596	30	30	30	30	30	446
사업비 (백만원)		23,840	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	17,840

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 8-2>와 같고, 이를 증가율로 요약하면 <표 8-3>과 같다.

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

연도	내용	우물소 (개소)	이용량 ($10^6 m^3/년$)	연도	내용	우물수 (개소)	이용량 ($10^6 m^3/년$)	연도	내용	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)

연도 \ 내용	연평균 이용량 (106m 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	

<표8-3>에 나타난 바와 같이 1971년~1981년 사이의 11년동안 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 순환작용에 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 강 하	부곡 온천	<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 10cm 정도 침하	
지하수 오염	전 국	<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 공단 인근 · 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, EC 등의 변화를 종합분석함으로써 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 검토되어야 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 시공시의 자료를 획득하거나 관정에 대한 물리검층을 실시하여 시설물의 시공상황을 정리 하여야 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 33% 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	- 유기화합물, 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, 수질오염 주요 원인은 하수관누출, 지표수유입 등 총 9,580km의 하수관이 평균 5m 간격으로 파손 다량 생활하수가 지하로 침수됨 (서울시 : 1996, 서울특별시 지하수관리계획 기본조사보고서) - 대구시 : 먹는 물 기준에 의해 271 개소 조사결과 54%가 부적합, 오염의 주요 원인은 하수관 파손, 공단 폐수 등 (과학기술처, 1995, 지하수 오염 방지 및 응용화기술 연구)	- 난지도 매립지의 침출수에 포함된 수지분석 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 관정비료로 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 의한 오염으로 추정중 (조선일보, '94. 12. 29)
대 책	- 질소비료의 적정량 시비 - 자연분해를 유도함	- 토양 잔류기간이 작고 자연분해가 빠른 물질 이용 - 적정량의 농약살포	- 단지화유도와 축산 폐수 처리 및 정화 시설 설치 - 자연분해 유도

3. 공업 및 광업지역

구 분	지하저장탱크 (유류, 유해화학물질)	지상탱크 및 지표저류시설	광산개발 및 광산폐수
오염원태	점오염원	점오염원	점오염원
지하수오염특성	- 저장탱크에서 유출된 유류는 불투수층을 쉽게 통과하고, 물에 쉽게 용해되는 탄화수소는 지하수내에서 빠르게 이동 지하수 오염을 크게 촉진시킴		- 고농도의 Fe, Al 등을 포함한 산성 폐수는 지하수를 크게 오염시킴 - 광산 폐수, 채굴 폐석 등이 지하수 오염 유발
사 례	- 환경부 (1995) 국내 주유소의 40% 정도의 지하 유류저장 탱크에서 기름누출, 토양 및 지하수를 오염시킴 - 미국 EPA 조사, 미국 주소의 35% 정도의 탱크에서 기름누출	- 서울시 보건환경연구원 서울 구로구의 조사결과 유기물, 중금속, 발암성 물질과 같은 유해물질에 지하수가 오염됨 NO ₃ -N: 0.1~47.3mg/l Cl ⁻ : 3~1012mg/l Cl ¹⁶ : 0~0.227mg/l - 환경부(1994) 카드뮴초과 부산 사하구 신평, 장림공단 부근	
대 책	- 대규모 저장탱크 설치시 사전 영향평가 실시 (지하수 오염취약성 평가 등) - 지하수 오염관측정 설치, 지하수질 변화감시 - 탱크주변에 누출 탐사관 설치 - 토양 오염조사 자료, 분석을 통한 지하수오염 예방 - 화학적 처리방법 사용 - 유류:시설이전 및 오염된 토양층 제거 매립장에 처분	- 유해폐수 배출업체 부근에 지하수 수질오염관 측정 설치 - 시설이전,환경차단벽 구축	- 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 처리실시

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 지역

으로 되어 있다. 이를 종합하면 지하수 함양원 지역과 수원이 풍부한 주요 대수층 지역, 지하수 다량 사용지역, 관정 밀집지역, 수위강하 및 수질저하 등 지하수 환경 재해 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 오염되어 지면 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 조사하여 관리 목표와 우선순위를 정하여 종합적인 오염정화 관리대책을 수립토록 한다. 이때 중요한 것은 오염지역의 확산이 일어나지 않도록 현상태를 유지시킬수 있도록 철저한 계몽과 계도로서 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 나눌 수 있으며 보전구역의 정의, 대상지역, 변경 및 해제, 기능, 규제사항을 비교하면 <표 8-6>과 같다.

<표 8-6>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 공공취정 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 사용지역	- 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 자정능력 확보	- 오염발생 차단 및 피해 복구	- 염수침입 방지
주 요 규제사항	- 최소 현상태의 유지를 - 목표 - 오염유발요인의 사전 차단 - 허가 대상의 확대	- 지하수 신규 개발제한 및 금지 - 장애유발 요인의 제거 및 원상복구	- 기존 관정의 과도한 양수 제한 - 지하수 신규 개발 제한

부여군의 지하수보전을 위해 위에서 서술한 대로 광역적인 보전구역은 주민 생활에 대한 편의를 도모하여 대민홍보 및 의견수렴을 거쳐 지정함이 바람직하며

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 관철, 관리하여 신중하게 결정되어야 한다.

9. 결 론

1. 본 조사지구는 동경 126° 40' 43" ~ 127° 4' 10", 북위 36° 3' 58" ~ 36° 22' 59"에 위치하며 행정구역상 충청남도 부여군 전역으로 1개읍, 15면으로 구성된 624.80km²의 면적과 31,178세대, 인구 100,869명의 인구분포를 보이고, 토지이용현황은 8.0%가 전이고, 24.8%가 답인 농촌지역이며 가뭄 등급상 매우 우심 지역으로 구분된다.

2. 조사지역은 북측으로 청양군, 남서쪽으로는 서천군, 동측으로는 공주시 그리고 남동측으로는 전라북도와 맞닿아 있는 지역이다. 금강에 의하여 크게 동측과 서측으로 대분되고 서측은 다시 금천에 의하여 북측과 남측으로 구분된다. 산계의 주 발달 방향은 북동-남서 방향으로 금강을 기준으로 북서측은 비교적 경사가 급하고 험준한 지형지세를 보이고 남동측은 경사가 완만한 구릉성 산지를 형성하고 있다. 부여지역의 지질은 선캠브리아기인 운모편암과 화강편마암을 기저로 이와 부정합관계인 고생대말이 편암류가 부분적으로 분포되어 있고 쥐라기의 퇴적암류가 상기암석을 부정합으로 피복하고 있다. 또한 백악기의 앵봉산층이 부정합으로 분포하고 있으며 이를 관입한 동시대의 흑운모화강암이 북동-남서향으로 분포되어 있으며 역시 동시대인 우백질화강암과 석영반암이 부분적으로 관입되어 있다.

3. 본 조사지역의 지형은 장년기~노년기 지형으로 금강을 기준으로 북서측은 비교적 경사가 급하고 험준한 지형지세를 보이고 남동측은 경사가 완만한 구릉성 산지를 형성하고 있으며 편암류, 편마암류, 퇴적암류가 주류를 이룬다.

본 조사지구의 전반적인 지질은 선캠브리아기에서 신생대 제4기에 이르기까지 다양하고 복합적인 지질 및 암질을 보이며 선캠브리아기와 고생대가 부정합, 백악기의 앵봉산층을 흑운모화강암이 관입하고 있으며 역시 동시대의 우백질화강암과 석영반암이 부분적으로 관입되어 나타난다.

4. 본 지구의 연평균 기온은 12.2°C, 연평균 강수량은 1,398mm, 연평균 증발량은 1,080.3mm로 증발산량을 구해보면 628.9mm/년이다. 본 지구의 수자원총량이 873,477천m³/yr으로 계통표에 의한 지하수함양량은 18%인 157,226천m³/yr이고 하천 유출율에 의한 분석결과는 연평균 유출율을 12.4%로 평균 강수량을 적용시켰을 경우 증발산량(ER)은 392,937천m³이고 지하수 함양량은 108,310천m³/yr이다.

5. 본 조사지역의 광역적인 물리탐사를 위해 원격탐사를 실시하여 선구조도를 작성한 후 이를 기초로 쌍극자 탐사를 실시하였다. 원격 탐사 결과 선구조는 N20~50° E 방향이 우세하고 N20~40° W 방향도 비교적 우세하게 나타나며 발생빈도는

N20~40° E 방향이 우세하게 나타난다. 또 전반적인 지하지질 상태를 보기 위해 500m 축선으로 간격 25m, 전국20개로 하여 17지역에 대해 쌍극자탐사를 실시하였다.

6. 본 조사지역의 지하수는 총 20,950개소(이용량 27,328,803m³/y)가 신고 공수이며 그 중에 20,866개소가 경미 및 기타시설 관정이다. 용도별 지하수 이용현황은 생활용 관정이 14,219개소(이용량 : 7,448,864m³/y), 공업용 관정이 54개소(이용량 : 737,865m³/y), 농업용 관정이 6,677개소(이용량 : 19,142,074m³/y)로 조사되었다.

7. 부여지역의 지하수 수질분석을 위하여 50개소의 지하수관정에 대한 현장 간이수질검사(온도, pH, Eh, EC)와 지하수 주요이온 성분분석(8항목), 그리고 먹는물 수질기준에 의한 수질검사(44개항목)를 실시하였다.

간이수질검사결과, pH의 범위는 5.98~8.58, 평균전기전도도(EC)는 198 μ S/cm, 수온은 10.5℃~18.3℃로 나타났다. 주요이온 분석결과, Piper Diagram으로 도시하여 보면 전반적으로 기반암질 종류와 지역에 관계없이 HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺이온이 우세한 Bicarbonate-Hardness형에 속한다.

먹는물수질기준 검사결과, 질산성질소의 경우 먹는물 수질기준인 10mg/ℓ 이상으로 나타나는 곳이 3개소로 나타났다. 특히 심미적 영향물질에 관한 기준에 속하는 아연이 모든 검사시료에서 검출되었으나, 먹는물 수질 기준치를 초과한 관정은 1개소뿐이고, 알루미늄은 3개소의 지하수에서 먹는물 수질기준(0.2mg/ℓ)을 초과하였으며, 이는 특수한 지역적 배경지질에 기인한 것으로 판단된다.

8. 우물의 수리능력을 평가하기 위해 Theis의 비평형방정식을 이용하여 17개 관정에 대해 AQTESOLV에 의한 프로그램을 적용시켜 수리능력을 평가한 결과 투수량계수가 3.30~26.97m²/D로 분석되었으며 평균 자연수위는 5.06m, 안정수위는 47.12m로 나타났다.

9. 지하수 자원의 효율적 개발이용과 합리적인 보존관리를 위하여 물수지분석을 실시하였으며, 분석결과 조사지역의 지하수부존량(포장량중 산출가능량)은 674.45백만톤이며 지하수부존량 평가에 의한 이용가능량은 114백만톤/년으로 지하수 함양량 평가에 의한 방법으로는 108~157백만톤으로 산출되었다.

10. 조사지역의 생활용수 및 농업용수의 소요수량 판단결과 생활용수 총 소요수량은 35,304m³/일, 기공급량은 14,764m³/일, 추가소요수량은 20,540m³/일로 추가소요관정수는 144공이며, 총농지면적(전+답)에 대한 농업용수 총소요수량은 310,721m³/일, 기공급량은 52,445m³/일, 추가소요수량은 258,276m³/일로 판단되며, 추가소요

수량이 답작용인 점을 감안하여(지표수:지하수=66:34) 개발율을 34%로 할 경우 추가 소요관정수는 596공으로 산출분석되었다.

11. 지하수를 오염시킬 수 있는 잠재오염원이 존재하는 지역은 인간활동 및 가축의 배설물에 의한 오염원이 다수 존재하는 부여읍, 임천면, 홍산면, 규암면 등이고, 농업오염원이 분포하는 지역은 농경지 면적이 가장 넓은 부여읍, 규암면, 임천면 등으로 이곳은 기존관정의 과다양수를 피하고 적정양수량을 선정하여 채수하여야 하며 지하수 신규개발도 종합적이고 세밀한 지하수 조사, 영향, 평가에 의하여 이루어져야 한다.

12. 지하수는 수문순환관정에 의하여 보충되는 자원이지만 결코 무한한 자원은 아니며, 특히, 일단 오염이 진행되면 원상태로 복원하는데 막대한 기간과 비용이 소요되거나 복원이 불가능한 경우도 있으므로, 지하수시설물 관리, 지하수 관측망 설치운영, 지하수 정보관리시스템 구축 등을 통하여 지하수 보전·관리에 최선을 다해야 할 것이다.

10. 참고문헌

1. Bower H, 1978, Groundwater Hydrology.
2. Chow, 1964, Handbook of Applied Hydrology.
3. Todd.D.K, 1959, Groundwater Hydrology.
4. 건설 교통부, 1997. 12. 지하수인양수행지침서.
5. 건설교통부, 1997, 지하수조사인보.
6. 건설교통부, 1999, 지하수영향조사, 심사요령.
7. 과학기술처, 1995, 지하수 오염방지 및 응용화 기술연구.
8. 국립지질광물연구소, 한국지질도(부여도폭).
9. 국립지질광물연구소, 한국지질도(남포도폭).
10. 국립지질광물연구소, 한국지질도(청양도폭).
11. 국립환경연구원, 1993, 전국 주요하천 기초조사.
12. 김영기, 1995, 수리지질학사전.
13. 농림부, 1998, '98 농업용수 수질조사보고서.
14. 농어촌진흥공사, 1994, 지하수개발과 농어촌 용수.
15. 농어촌진흥공사, 1995. 12, 한국지하수총람.
16. 농어촌진흥공사, 1997, 5대강 수계연결 중동부권역 예비타당성조사보고서
17. 민경덕외 2인, 1987, 응용지구물리학.
18. 부천시, 1997, 부천시 지하수관리계획 기본조사보고서.
19. 부여군, 1997, 부여군 통계연보.
20. 서울특별시, 1996. 12, 서울특별시 지하수 관리계획 기본조사 보고서.
21. 양승영, 1998, 지질학사전.
22. 정창희, 1958, 지질학개론.
23. 정창희, 지질학원론.
24. 한국수자원공사, 1993. 12, 지하수자원실태조사보고서.

25. 한국수자원공사, 1993, 지하수자원 기본조사보고서.
26. 한국수자원공사, 1993. 3, 지하수자원기본조사보고서
27. 한국자원연구소, 한국지질도(공주도폭).
28. 한국정밀토양도, 1977, 농촌진흥청 농업기술연구소.
29. 한정상, 1998, 환경수리지질학.
30. 한정상, 1998. 12, 지하수환경과 오염.
31. 환경처, 1992, 수질보전종합계획수립 종합보고서.

부여군광역수맥조사보고서

1999년 12월 일 발행

발 행 : 농림부, 농어촌진흥공사

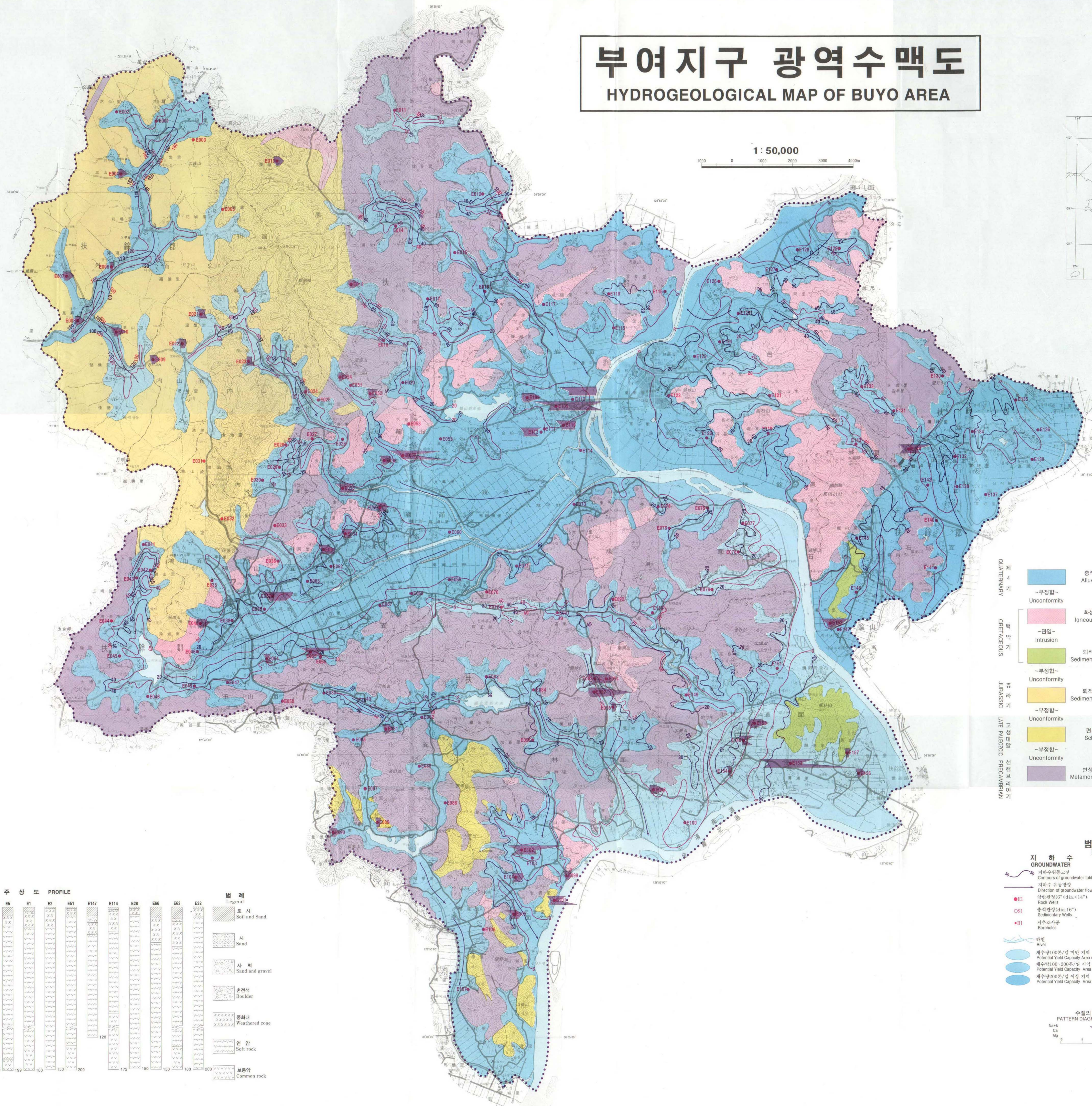
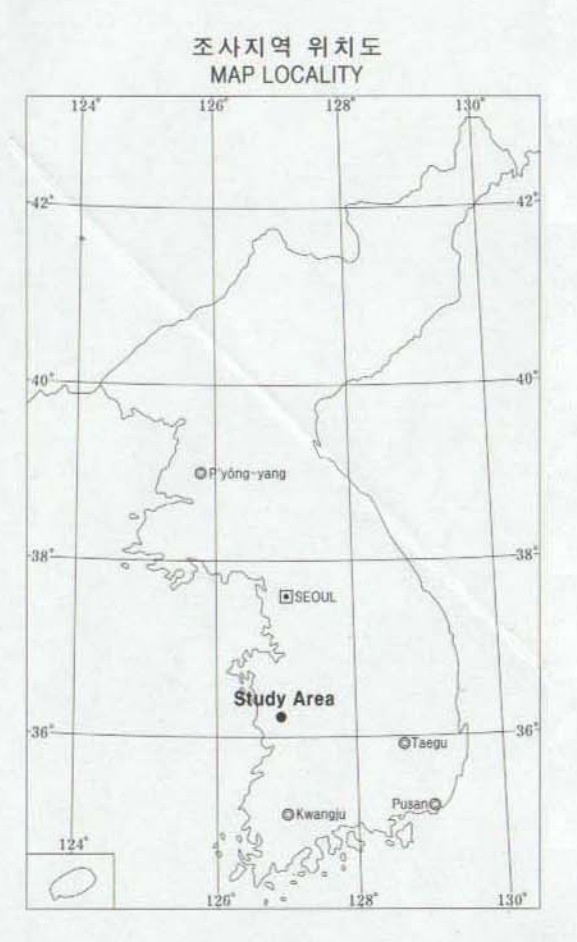
편 집 : 농어촌진흥공사

인 쇄 : (주)대성인쇄공사 (02)711-3611~7

부여지구 광역수맥도

HYDROGEOLOGICAL MAP OF BUYO AREA

1 : 50,000

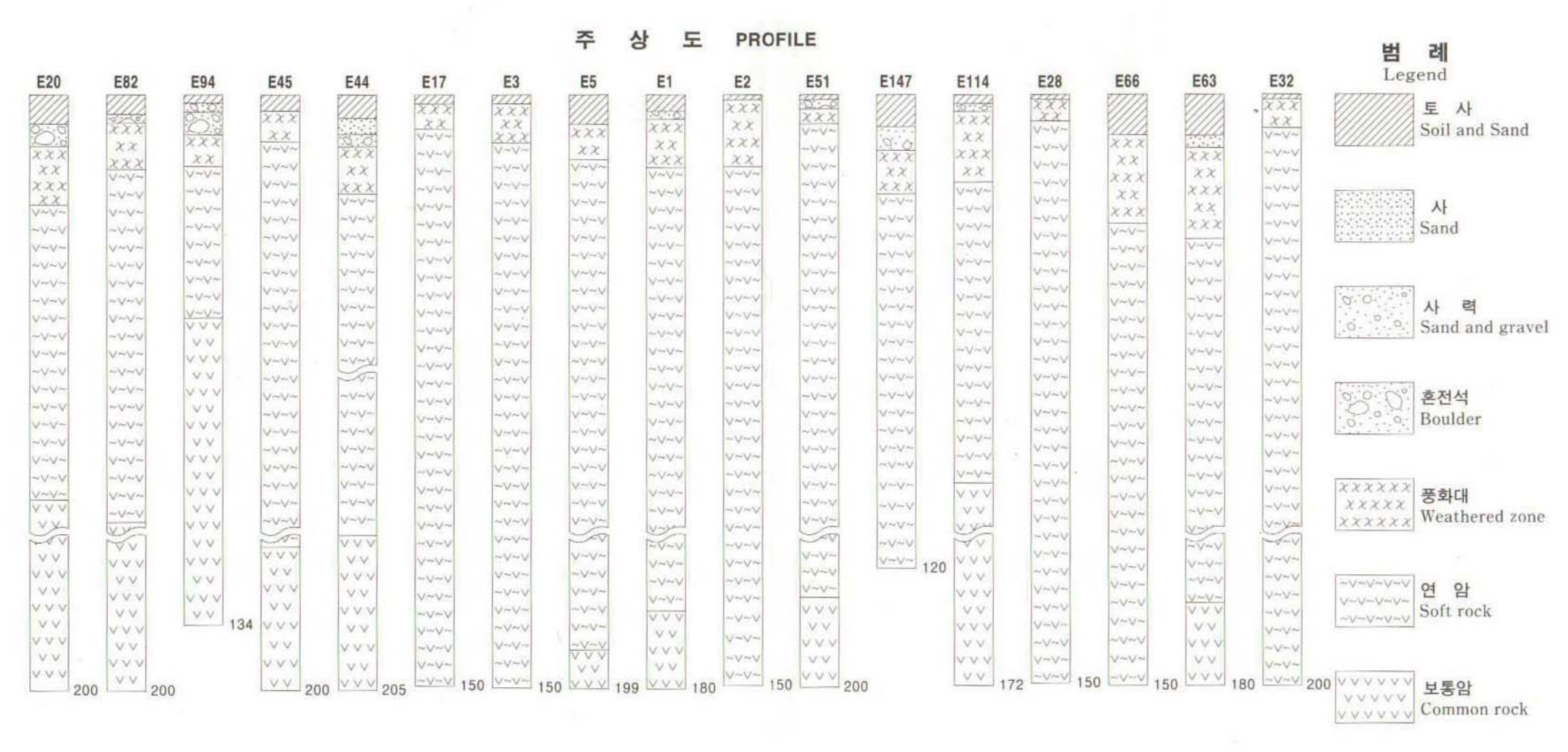
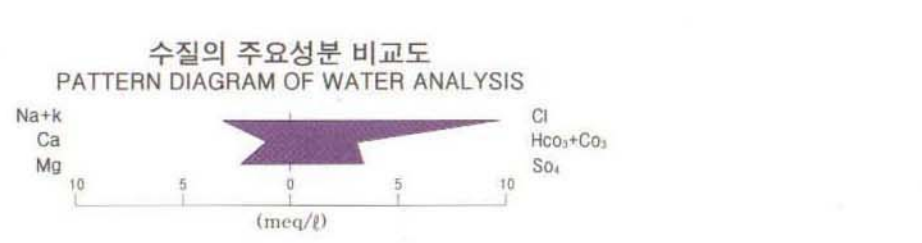


지질 (GEOLOGY)

QUATERNARY	충적층 Alluvium	
-부정합- Unconformity		
CRETACEOUS	화성암류 Igneous rocks	석질면암, 수백리화강암, 흑운모화강암으로 구성
	-관입- Intrusion	
TERTIARY	퇴적암류 Sedimentary rocks	적색, 퇴적세암, 사암 및 석탄
	-부정합- Unconformity	
JURASSIC	퇴적암류 Sedimentary rocks	연질암과 석회암 사암의 혼성으로 구성되어 있으며 방출이 함께 퇴적도함. 사암은 세립-중립질의 암회색사암, 불규칙의 상각면 조립 사암층으로 구성
	-부정합- Unconformity	
TRIASSIC	편마암 Schists	대체로 규암층 사이에 분포
	-부정합- Unconformity	
PALEOZOIC	변성암류 Metamorphic rocks	화강편마암, 혼모편암 등으로 구성 편마암은 광범위하게 분포하며 중립 내지 조립의 조립질 입상구조를 보임

범례 (LEGEND)

지하수 (GROUNDWATER)	지질구조 (GEOLOGIC STRUCTURE)
지하수위등고선 Contours of groundwater table	단층 Fault
지하수 유동방향 Direction of groundwater flow	가상단층 Inferred Fault
● E1 단면관정 (6" < dia. < 14") Rock Wells	지질경계선 Geologic Boundary
○ S1 충적관정 (dia. 16") Sedimentary Wells	가상단층 등고선 Contours of Inferred Bedrock
● B1 시추조사공 Boreholes	층리의 주향과 경사 Strike and Dip of Bedding
하천 River	층리의 주향과 경사 Strike and Dip of Foliation
세수량 100톤/일 미만 지역 Potential Yield Capacity Area under 100m ³ /day	E1-1 동원탐사 축선 Geochronal Survey Line
세수량 100~200톤/일 지역 Potential Yield Capacity Area of 100~200m ³ /day	조사구역 Boundary of Study Area
세수량 200톤/일 이상 지역 Potential Yield Capacity Area over 200m ³ /day	



범례 (Legend)

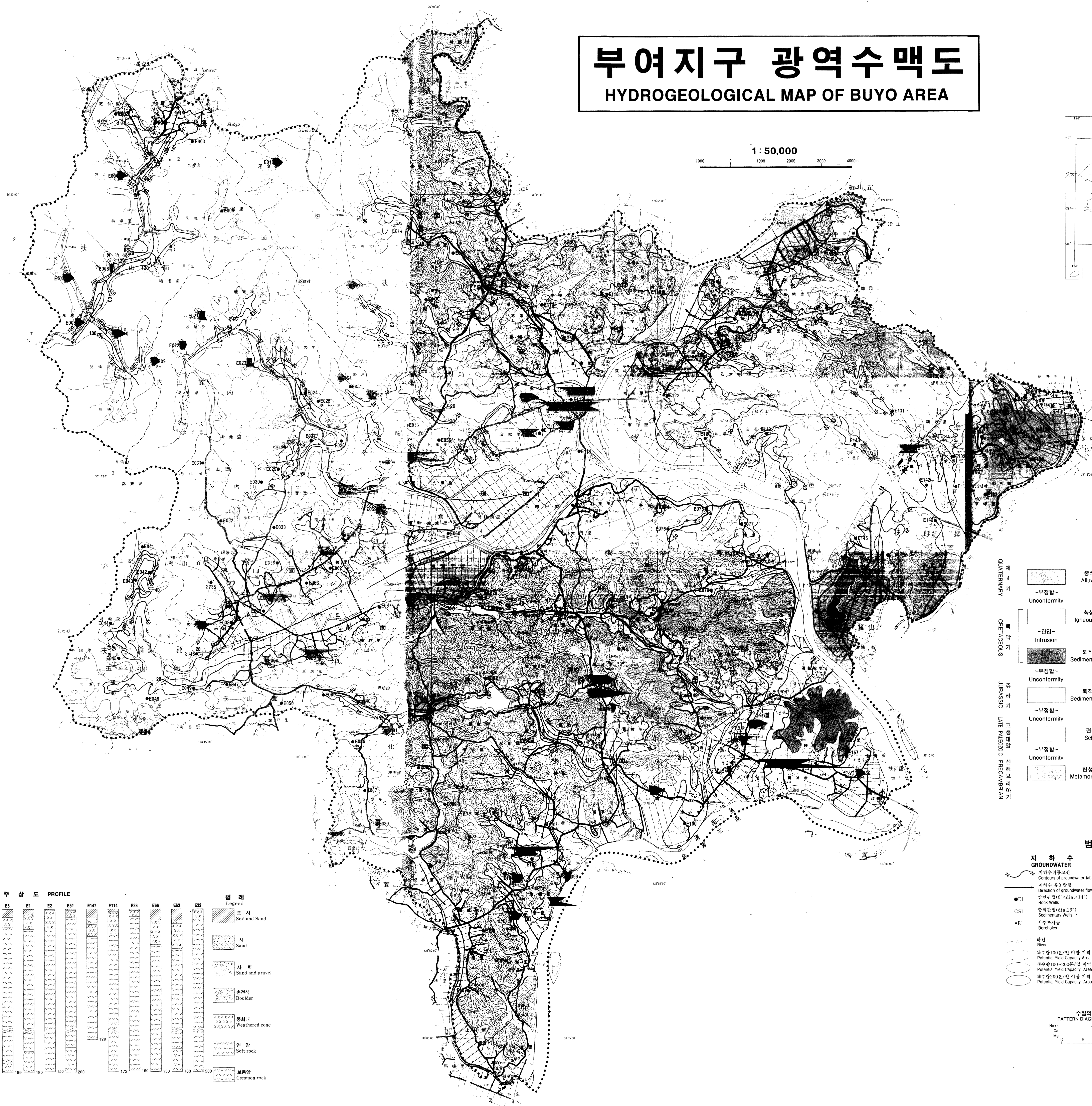
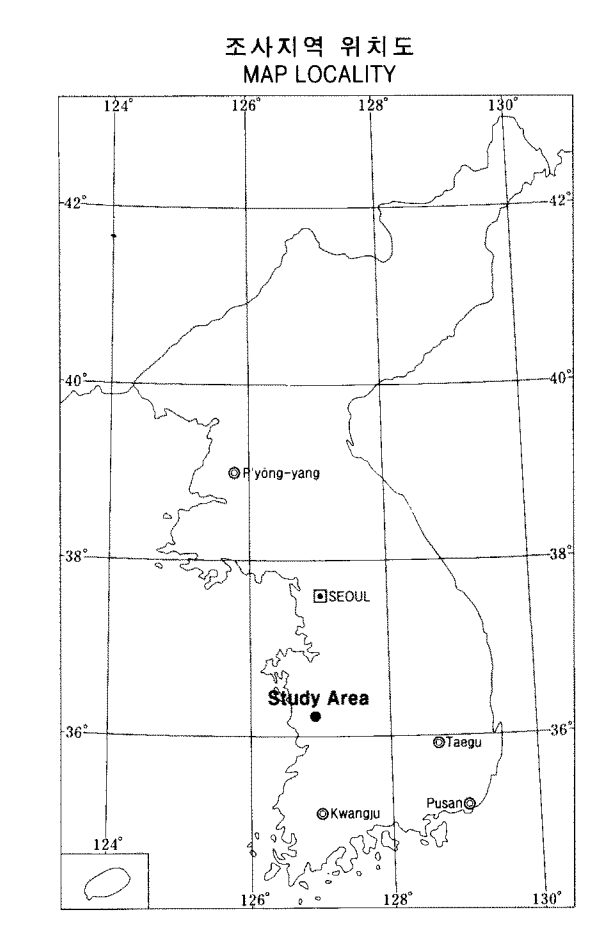
토사 Soil and Sand
사 Sand
사 석 Sand and gravel
혼천석 Boulder
풍화대 Weathered zone
연암 Soft rock
보통암 Common rock

부여지구 광역수맥도

HYDROGEOLOGICAL MAP OF BUYO AREA

1:50,000

1000 0 1000 2000 3000 4000m



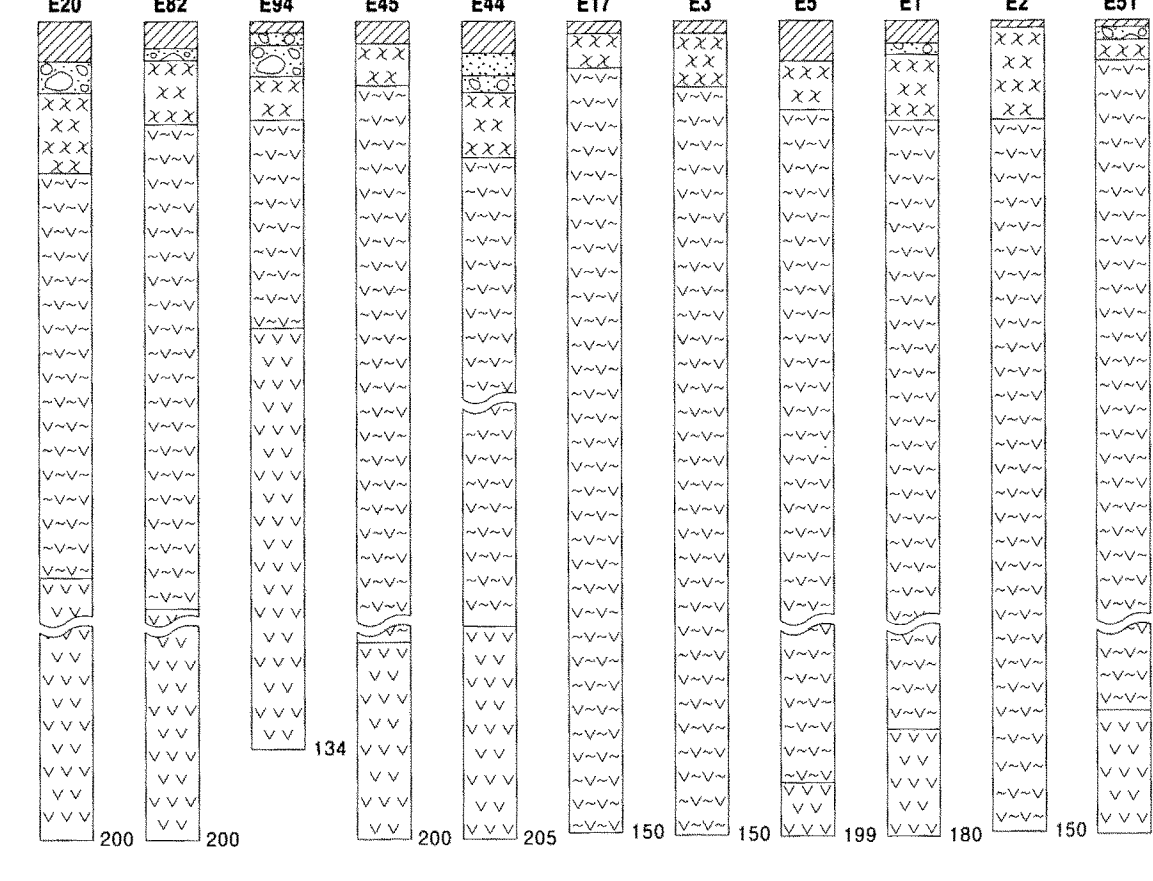
지질 (GEOLOGY)

QUATERNARY 제4기	충적층 Alluvium	
	-부정합- Unconformity	
CRETACEOUS 백악기	화성암류 Igneous rocks	석질편암, 수백인화강암, 흑운모화강암으로 구성
	-관입- Intrusion	
	퇴적암류 Sedimentary rocks	적색, 퇴적세일, 사암 및 석탄
	-부정합- Unconformity	
JURASSIC 중생기	퇴적암류 Sedimentary rocks	연질층과 세일질 사암의 혼성으로 구성되어 있으며 일부는 퇴적암류, 석탄은 세일-중립질의 암회색사암, 화석의 정착질 조립사암으로 구성
	-부정합- Unconformity	
TRIASSIC 삼엽충기	편마암 Schists	내세로 규암층 사이에 분포
	-부정합- Unconformity	
PALEOZOIC 고생대	변성암류 Metamorphic rocks	화강편마암, 운모편암, 등으로 구성 편마암은 광범위하게 분포하며 중립 내지 조립의 중립질 입상조각을 보임

범례 (LEGEND)

지하수 (GROUNDWATER)	지질구조 (GEOLOGIC STRUCTURE)
지하수위등고선 Contours of groundwater table	단층 Fault
지하수 유동방향 Direction of groundwater flow	가상단층 Inferred Fault
암반 균열 (6° <math><14^{\circ}</math>) Rock Wells	지질경계선 Geologic Boundary
충적완정 ($61a, 16^{\circ}$) Sedimentary Wells	기암함수정 등고선 Contours of Interbed Bedrock
시추조사정 Boreholes	층의 수평과 경사 Strike and Dip of Bedding
하천 River	층의 수평과 경사 Strike and Dip of Foliation
잠수양 100톤/일 미만 지역 Potential Yield Capacity Area under 100m ³ /day	물리탐사 축선 Geophysical Survey Line
잠수양 100~200톤/일 지역 Potential Yield Capacity Area of 100~200m ³ /day	조사구역 Boundary of Study Area
잠수양 200톤/일 이상 지역 Potential Yield Capacity Area over 200m ³ /day	

주상도 PROFILE



범례 (Legend)

토사 Soil and Sand
사 Sand
사력 Sand and gravel
축란석 Boulder
풍화대 Weathered zone
연암 Soft rock
보통암 Common rock

수질의 주요성분 비교도

PATTERN DIAGRAM OF WATER ANALYSIS

