

2002-13-02

18

# 농촌지하수관리조사 실무지침서

## 머 리 말

80년대 이후 산업구조의 변화와 국민생활수준의 향상으로 각종 용수수요가 급격히 늘어나게 되었으나 댐 개발적지의 감소와 날로 심각해지는 수질오염, 수몰주민의 반대, 건설비용의 증가, 생태계 훼손에 따른 환경단체의 반발 등으로 지표수자원의 개발은 많은 어려움에 봉착하고 있으며, 상대적으로 풍부한 잠재수량 때문에 미래의 수자원으로 주목받고 있는 지하수개발에 대한 기대와 관심이 크게 고조되었습니다.

그러나 지하수자원의 보전·관리에 대한 인식부족으로 무분별하고 무절제한 지하수개발이 아무런 규제없이 함부로 이루어지고, 이에따라 지하수환경도 날이 갈수록 악화되어 정부에서는 지난 1993년 12월에 지하수법을 제정 공포하여 일단 법제도의 틀 속에서 개발이 이루어지도록 조치하는 한편, 1997년 1월과 2001년 1월 두 차례에 걸쳐 전면 개정하여 나날이 변화하는 환경속에서 지하수자원을 체계적으로 개발·이용하고 효율적으로 보전·관리할 수 있도록 규제를 더욱더 강화하는 법체계를 갖추게 되었습니다.

지하수자원의 지속적인 개발·이용을 위한 농촌지하수관리조사는 지하수의 기존자료 수집, 지하수 이용현황조사, 수리·수질현황조사와 기타 세부조사 및 분석을 실시하여 지하수를 최적관리할 수 있는 시스템을 구축하므로서 농촌지역의 지하수 재해를 사전 예방하고 지하수 모니터링을 통하여 지속 가능한 개발·이용을 도모하는데 그 목적이 있다.

이에따라 동 업무를 효율적으로 수행하기 위한 행정적, 기술적 지침 마련의 필요성이 강력히 대두되어 뒤늦게나마 조사시행에 통일을 기할 수 있도록 개정 지하수법 체계에 맞추어 농촌지하수관리조사 실무지침서를 발간하게 되었습니다.

본 지침서가 지하수를 진심으로 아끼고 사랑하는 우리공사 지하수담당직원은 물론 다른 모든 지하수관련 종사자의 지하수보전·관리 조사업무 수행에 유익한 동반자가 되기를 바라는 바입니다.

2002년 12월

지하수사업처장



## < 목 차 >

1. 농촌지하수관리조사 내용 .....	1
1.1 조사목적 .....	1
1.2 조사 체계도 .....	2
1.3 조사내용 .....	3
1.3.1 기초조사 .....	3
1.3.2 세부조사 .....	3
1.3.3 전산화 시스템 구축 .....	4
2. 기본현황조사 .....	7
2.1 지구선정조사 .....	7
2.2 기본현황 .....	7
2.2.1 기존조사자료 .....	7
2.2.2 지역현황자료 .....	8
2.3 현황조사 .....	8
2.3.1 용수이용현황조사 .....	8
2.3.2 관정현황조사 .....	10
2.3.3 잠재오염원 조사 .....	14
3. 세부조사 .....	17
3.1 수리지질조사 .....	17
3.1.1 지표지질조사 .....	17
3.1.2 원격탐사 .....	20
3.1.3 물리탐사 .....	28
3.1.4 시추·착정 및 검층조사 .....	37
3.1.5 대수성시험 및 평가 .....	43
3.2 수문조사 .....	60
3.2.1 개 요 .....	60
3.2.2 유역조사 .....	60
3.2.3 기상자료 수집 및 분석 .....	61
3.2.4 강수량 산정기법 .....	63
3.2.5 유출량 분석 .....	66
3.2.6 증발산량 산정 .....	81
3.2.7 유량 측정 .....	93

<b>3.3 관측조사</b> .....	100
3.3.1 개요 .....	100
3.3.2 지하수위 및 간이수질 일제조사 .....	101
3.3.3 지하수 장기 관측조사 .....	106
3.3.4 정밀수질조사 .....	110
3.3.5 농경지 토양조사 .....	119
<b>3.4 지하수 개발가능량 분석</b> .....	122
3.4.1 개요 .....	122
3.4.2 물수지 분석에 의한 함양량 산정 .....	122
3.4.3 토양수분 수지분석에 의한 함양량 산정 .....	126
3.4.4 기타 방법에 의한 함양량 산정 .....	131
3.4.5 지하수 적정개발 가능량 .....	137
<b>3.5 오염취약성 분석</b> .....	140
3.5.1 오염부하량 분석 .....	140
3.5.2 오염취약성도 작성 .....	144
3.5.3 지하수 오염예측도 작성 .....	153
<b>3.6 지하수 모델링 및 예측분석</b> .....	158
3.6.1 지하수 모델링 프로그램 .....	158
3.6.2 지하수유동모델링(MODFLOW) .....	160
3.6.3 지하수수질모델링(MODPATH) .....	164
3.6.4 농촌지하수관리시스템을 이용한 지하수 모델링 .....	165
<b>3.7 지하수관리방향</b> .....	170
3.7.1 일반적인 지하수 관리 수단 .....	170
3.7.2 농촌지하수관리조사사업의 역할 .....	178
3.7.3 지하수 모니터링 .....	179
3.7.4 지하수 장애 발생에 대한 관리 계획 .....	189
<b>4. 시스템 구축</b> .....	195
4.1 시스템 개발 .....	195
4.1.1 시스템 개발 목적 및 배경 .....	195
4.1.2 시스템 개발 추진방법 .....	195
4.2 시스템 구성 .....	196
4.2.1 시스템 구성도 .....	196
4.2.2 시스템 DB내용 및 구성 .....	196
4.2.3 시스템 구축내용 .....	197
4.3 향후 추진계획 .....	218
4.3.1 기대효과 .....	218



4.3.2 발전방향 .....	219
------------------	-----

5. 보고서 작성 .....	221
5.1 보고서 작성지침 및 내용 .....	221
5.1.1 작성지침 .....	221
5.1.2. 작성내용 .....	222
5.2 보고서 작성요령 .....	224

< 참고문헌 >

< 부    록 > 지하수법 해설

- 지하수법 개정의 배경과 목적
- 지하수법의 연혁
- 개정 지하수법의 구성
- 개정 지하수법의 주요 조문 내용
- 지하수업무의 추진 체계도
  - 체계도 1 : 지하수조사 (법제5조)
  - 체계도 2 : 지하수관리의 정보화 (법제5조의 2)
  - 체계도 3 : 지하수관리계획(기본·지역관리계획) (법제6조)
  - 체계도 4 : 지하수개발·이용의 허가 (법제7조)
  - 체계도 5 : 지하수개발·이용의 신고 (법제8조)
  - 체계도 6 : 유출지하수의 이용 등 (법제9조의 2)
  - 체계도 7 : 지하수개발·이용의 종료신고 (법제9조의 3)
  - 체계도 8 : 지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고 (법제9조의 4)
  - 체계도 9 : 지하수보전구역의 지정 (법제12조)
  - 체계도 10 : 이행보증금의 예치 (법제14조)
  - 체계도 11 : 원상복구 등 (법제15조)
  - 체계도 12 : 오염지하수정화계획의 승인 등 (법제16조의 4)
  - 체계도 13 : 수질검사 (법제20조)
  - 체계도 14 : 지하수개발·조사기관, 시공업·정화업자의 등록 및 업무
- 지하수개발·이용의 양수능력 및 기준(허가, 신고, 면제대상)
- 벌칙 규정
- 과태료 규정
- 위반행위의 종류별 과태료 금액
- 개정법이 규정한 시행시기 및 적용기간
- 지하수와 관련되는 다른 법률
- 지하수의 수질기준
- 지하수법에 의한 관계 기관별 소관 주요업무 내용(요약)
  - 부처(기관)별 소관 지하수업무의 내용

## < 표 차 례 >

<표 2-3-1> 상수도 보급현황 .....	9
<표 2-3-2> 생활용 지하수 이용현황 .....	9
<표 2-3-3> 수리답 및 진흥지역 현황 .....	9
<표 2-3-4> 농업용수 공급현황 .....	9
<표 2-3-5> 농업용 지하수 이용현황 .....	10
<표 2-3-6> 소요수량 총괄 .....	10
<표 2-3-7> 읍면별, 용도별 관정현황 .....	11
<표 2-3-8> 유역별, 용도별 관정현황 .....	11
<표 2-3-9> 읍면별 관정구경현황 .....	11
<표 2-3-10> 유역별 관정구경현황 .....	12
<표 2-3-11> 읍면별 관정심도현황 .....	12
<표 2-3-12> 유역별 관정심도현황 .....	12
<표 2-3-13> 표고별 관정현황 .....	12
<표 2-3-14> 읍면별 지하수이용현황 .....	13
<표 2-3-15> 유역별 지하수이용현황 .....	13
<표 2-3-16> 읍면별 단위면적당 지하수이용현황 .....	13
<표 2-3-17> 유역별 단위면적당 지하수이용현황 .....	13
<표 2-3-18> 지하수환경에 악영향을 미치는 잠재오염원 .....	14
<표 2-3-19> 잠재오염원 분포현황 .....	15
<표 2-3-20> 축사시설의 규모별 분류 .....	15
<표 3-1-1> HRV의 특징 .....	21
<표 3-1-2> 선구조 방향성 분석(시범조사지구 예) .....	24
<표 3-1-3> 소유역별 구조선밀도 통계분석(시범조사지구 예) .....	27
<표 3-1-4> 암석의 전기비저항(Telford 등, 1976) .....	29
<표 3-1-5> 암석 종류별 방사능 원소의 함량 비 .....	35
<표 3-1-6> 순간수위변화시험 예제 .....	47
<표 3-1-7> 유역별 충전대수층 수리특성 .....	52
<표 3-1-8> 유역별 암반대수층의 수리특성 .....	53
<표 3-1-9> 관측정시험에 의한 유효우물반경 .....	55
<표 3-2-1> 월 평균 강수량 산정 예(수원 기상대) .....	62
<표 3-2-2> 4가지 강수량 산정방법의 장단점 비교 .....	65
<표 3-2-3> SCS 방법에 의한 수문학적 토양군 분류(SCS, 1972) .....	68

<표 3-2-4> AMC에 대한 계절별 선행강우조건(SCS, 1972) .....	69
<표 3-2-5> 도시지역의 유출곡선지수 CN (AMC-II, Ia=0.2S) .....	70
<표 3-2-6> 산림지역의 유출곡선 지수 CN (AMC-II, Ia=0.2S) .....	70
<표 3-2-7> 농경지역의 유출곡선지수 CN (AMC-II, Ia=0.2S) .....	71
<표 3-2-8> 토양의 선행함수조건에 따른 유출곡선지수의 조정 .....	72
<표 3-2-9> SCS 방법에 의한 수문학적 토양군 분류 .....	73
<표3-2-10>소유역별 토지이용분류 .....	76
<표 3-2-11> 조사지구내 토지이용별 CN 및 S값 결정 .....	76
<표 3-2-12> CN 값의 변동에 따른 연도별 유출량(수원기상관활지역) .....	77
<표 3-2-13> 월별 보정우량(E) 값 .....	78
<표 3-2-14> 유역유출특성에 따른 계수(f) 값 .....	78
<표 3-2-15> Kajiyama 방법에 의한 월별 유출량(시범조사지구 예) .....	79
<표 3-2-16> 주간시간 백분율(수원기상대) .....	86
<표 3-2-17> SCS Blaney-Criddle 방법에 의한 잠재증발산량 .....	86
<표 3-2-18> Penman-Monteith 방법에 의한 잠재증발산량 .....	87
<표 3-2-19> 수원기상대의 위도에 따른 낮의 길이의 조정계수 (b) .....	91
<표 3-2-20> Thornthwaite 방법에 의한 잠재증발산량 .....	91
<표 3-2-21> 사각 Notch 유량표 .....	97
<표 3-2-22> 직각사각 Notch 유량표 .....	97
<표 3-3-1> 물의 종류에 따른 전기전도도 .....	105
<표 3-3-2> 총적 및 암반지하수의 이화학분석결과(시범조사지구 예) .....	111
<표 3-3-3> TDS 함량에 따른 물의 종류 .....	112
<표 3-3-4> 자연수와 해수의 세계 평균 용존 농도(Hem, 1989) .....	112
<표 3-3-5> 유역별 질산성질소 현황(시범조사지구 예) .....	116
<표 3-3-6> 유역별 지하수유형(시범조사지구 예) .....	118
<표 3-3-7> 시범조사지구 내 토양분석 결과 예 .....	120
<표 3-3-8> 2000 토양측정망 운영결과(환경부) .....	120
<표 3-3-9> 토양환경 보전법에 의한 토양오염기준(단위:mg/Kg) .....	121
<표 3-4-1> SCS 유출량을 적용한 함양량 산정 결과(시범조사지구 예) .....	124
<표 3-4-2> Turc 방법에 의한 손실량 산정(시범조사지구 예) .....	125
<표 3-4-3> 손실량추정에 의한 함양량 산정(시범조사지구 예) .....	125
<표 3-4-4> 토양형태에 대한 대표적인 토양수분특성 .....	128
<표 3-4-5> 연도별 토양수분 수지분석 예 .....	130
<표 3-4-6> 김진지구 23개년 물수지 총괄 .....	131

<표 3-4-7> 김진지구 토양군별 토지이용상태별 면적 .....	134
<표 3-4-8> 김진지구 토지구분별 평균 CN 작성표 .....	134
<표 3-4-9> CN지수 변동에 따른 연도별 함양량 산정 .....	135
<표 3-5-1> 각 인자별 발생 원단위 .....	140
<표 3-5-2> 잠재오염원별 부하량(시범조사지구 예) .....	141
<표 3-5-3> DRASTIC 모델 인자의 가중치 및 등급 .....	146
<표 3-5-4> 시범조사지구내 인자별 등급 및 면적비율 .....	149
<표 3-5-5> 소유역별 DRASTIC Potential(시범조사지구 예) .....	151
<표 3-5-6> 구조선밀도 통계치(시범조사지구 예) .....	153
<표 3-5-7> 오염예측도 등급분류표 .....	155
<표 3-6-1> 지하수모델링의 절차 .....	162
<표 3-7-1> 센서의 사양 .....	184
<표 3-7-2> 12 bit 처리된 Text File 형태 .....	186
<표 3-7-3> Data Logger의 사양 .....	186
<표 3-7-4> 시도별 폐공 처리현황 .....	191
<표 3-7-5> 폐공발생 원인별 현황 .....	192
<표 3-7-6> 지반침하의 대표적인 사례 .....	194
<표 4-2-1> DB설계 내역 .....	197
<표 4-2-2> 주요 패키지들 (유동성분패키지) .....	216

## < 그림 차례 >

<그림 3-1-1> 시범조사지구 지질도 .....	19
<그림 3-1-2> 선구조 추출 순서도 .....	22
<그림 3-1-3> 시범조사지구 주변의 선구조 분포도 .....	23
<그림 3-1-4> 선구조의 ROSE DIAGRAM 예 .....	24
<그림 3-1-5> 구조선밀도도 산정 모식도 .....	26
<그림 3-1-6> 구조선밀도 산정방법 .....	27
<그림 3-1-7> 전기비저항탐사 원리 및 모식도 .....	30
<그림 3-1-8> 전자기탐사 개념 모식도 .....	33
<그림 3-1-9> 전기비저항검층의 전극 배열 기본도 .....	39
<그림 3-1-10> Hvorslev 방법 .....	47
<그림 3-1-11> AQTESOLV에 의한 순간수위변화시험자료 해석도 .....	48
<그림 3-1-12> AQTESOLV에 의한 양수시험 자료해석 예 .....	51
<그림 3-1-13> 자유면대수층에서 단공우물 저류계수와 의 관계 .....	56
<그림 3-1-14> 피압대수층에서 단공우물 저류계수와 의 관계 .....	56
<그림 3-1-15> 유효우물반경적용 해석도 .....	57
<그림 3-1-16> 타이스 곡선법에 의한 함양경계와 불투수성 경계의 추정 .....	58
<그림 3-1-17> 불투수층 경계 효과를 나타내는 시간-수위강하량 그래프 .....	59
<그림 3-2-1> Thiessen법에 의한 면적평균 산정 모식도 .....	63
<그림 3-2-2> 삼각형법에 의한 면적 평균 산정 모식도 .....	65
<그림 3-2-3> 수문학적 토양군 분류 .....	75
<그림 3-2-4> Tank모형의 구조 및 매개변수 .....	80
<그림 3-2-5> 웨어의 종류 .....	96
<그림 3-2-6> 수문곡선 분리법(N-day법) .....	99
<그림 3-3-1> 갈수기 지하수두 등고선도 및 유동방향도 .....	102
<그림 3-3-2> 풍수기 지하수두등고선도 및 유동방향도 .....	103
<그림 3-3-3> 유역별 갈수기와 풍수기의 수소이온농도 현황 .....	106
<그림 3-3-4> 유역별 갈수기와 풍수기의 전기전도도 현황 .....	106
<그림 3-3-5> 지하수위 장기관측에 의한 지하수위 수문곡선 예 .....	109
<그림 3-3-6> 지하수 수질유형(Hounslow, 1995) .....	117
<그림 3-3-7> 시범조사지구 지하수의 Piper diagram 예 .....	118
<그림 3-3-8> 지하수의 Stiff diagram 예 .....	119
<그림 3-4-1> 물수지 식의 요소 .....	127

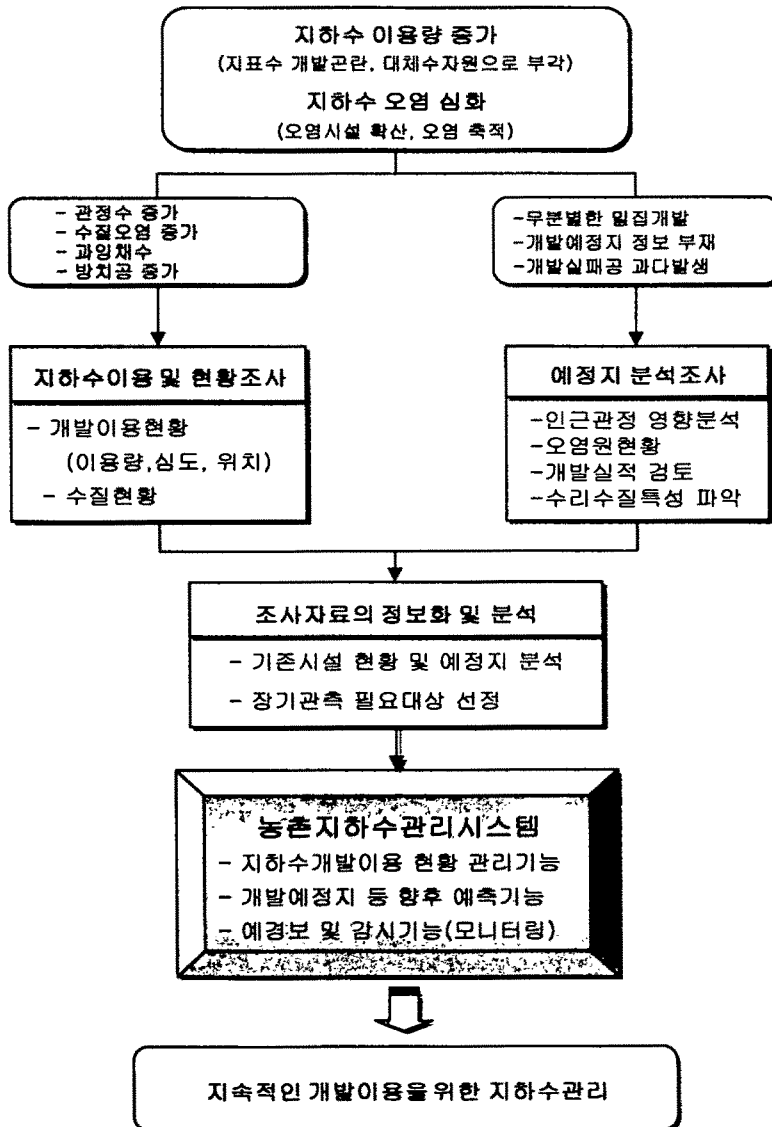
<그림 3-5-1> 잠재오염원별 오염부하량(시범조사지구 예) .....	142
<그림 3-5-2> 잠재오염원별 단위면적당 오염부하량(시범조사지구 예) .....	143
<그림 3-5-3> 지하수면까지의 깊이 등급도 .....	149
<그림 3-5-4> 지하수함양 등급도 .....	149
<그림 3-5-5> 대수층매질 등급도 .....	150
<그림 3-5-6> 토양매질 등급도 .....	150
<그림 3-5-7> 지형경사 등급도 .....	150
<그림 3-5-8> 비포화대매질 등급도 .....	150
<그림 3-5-9> 수리전도도 등급도 .....	150
<그림 3-5-10> 일반 오염취약성도 .....	150
<그림 3-5-11> 구조선밀도도 예 .....	153
<그림 3-5-12> 변형 DRASTIC Map .....	153
<그림 3-5-13> 오염예측도 작성 모식도 .....	155
<그림 3-5-14> 시범조사지구 오염예측도 작성 예 .....	156
<그림 3-6-1> 모사구역의 설정 .....	166
<그림 3-6-2> 모사구역 격자망 생성 .....	166
<그림 3-6-3> 모사구역 경계조건의 설정 .....	166
<그림 3-6-4> Import MODFLOW Package 파일생성 .....	168
<그림 3-6-5> Visual MODFLOW 프로그램 입력 .....	168
<그림 3-6-6> 시범조사지구(화남2-01 소유역) 모델링 결과 .....	169
<그림 3-7-1> 농촌지하수관리조사의 역할 .....	179
<그림 3-7-2> 센서의 신호처리단계 .....	184
<그림 3-7-3> 센서 및 센서케이블 .....	185
<그림 3-7-4> Data Logger와 지하수질 자동 모니터링 Panel 구성 .....	186
<그림 3-7-5> CDMA 모듈 구성 .....	187
<그림 3-7-6> 지하수 모니터링 DATA 수신체계도 .....	188
<그림 4-2-1> 시스템 구성 체계도 .....	196
<그림 4-2-2> LOGIN화면 .....	197
<그림 4-2-3> 시스템 메뉴 구성도 .....	198
<그림 4-2-4> 관정위치도 .....	199
<그림 4-2-5> 지하수위 등고선도 .....	202
<그림 4-2-6> 지하수 유동방향도 .....	202
<그림 4-2-7> 영향반경산출 .....	203
<그림 4-2-8> 관정포획구간도(WHPA) .....	204

<그림 4-2-9> 잠재오염원 분포도 .....	205
<그림 4-2-10> DRASTIC(오염분석) .....	206
<그림 4-2-11> 변형된 DRASTIC .....	206
<그림 4-2-12> 오염예측도 .....	207
<그림 4-2-13> STIFF DIAGRAM .....	208
<그림 4-2-14> PIPER DIAGRAM .....	209
<그림 4-2-15> 지역별 수량 분포도 .....	210
<그림 4-2-16> 간이수질분포도 .....	210
<그림 4-2-17> 용수이용 현황도 .....	211
<그림 4-2-18> 물리탐사 축선도 .....	212
<그림 4-2-19> 선구조도/선구조밀도도 .....	213
<그림 4-2-20> 모델링 자료입력 .....	214
<그림 4-2-21> 전문연계프로그램 전체흐름도 .....	217
<그림 4-2-22> 관측모니터링 .....	218

# 1. 농촌지하수관리조사 내용

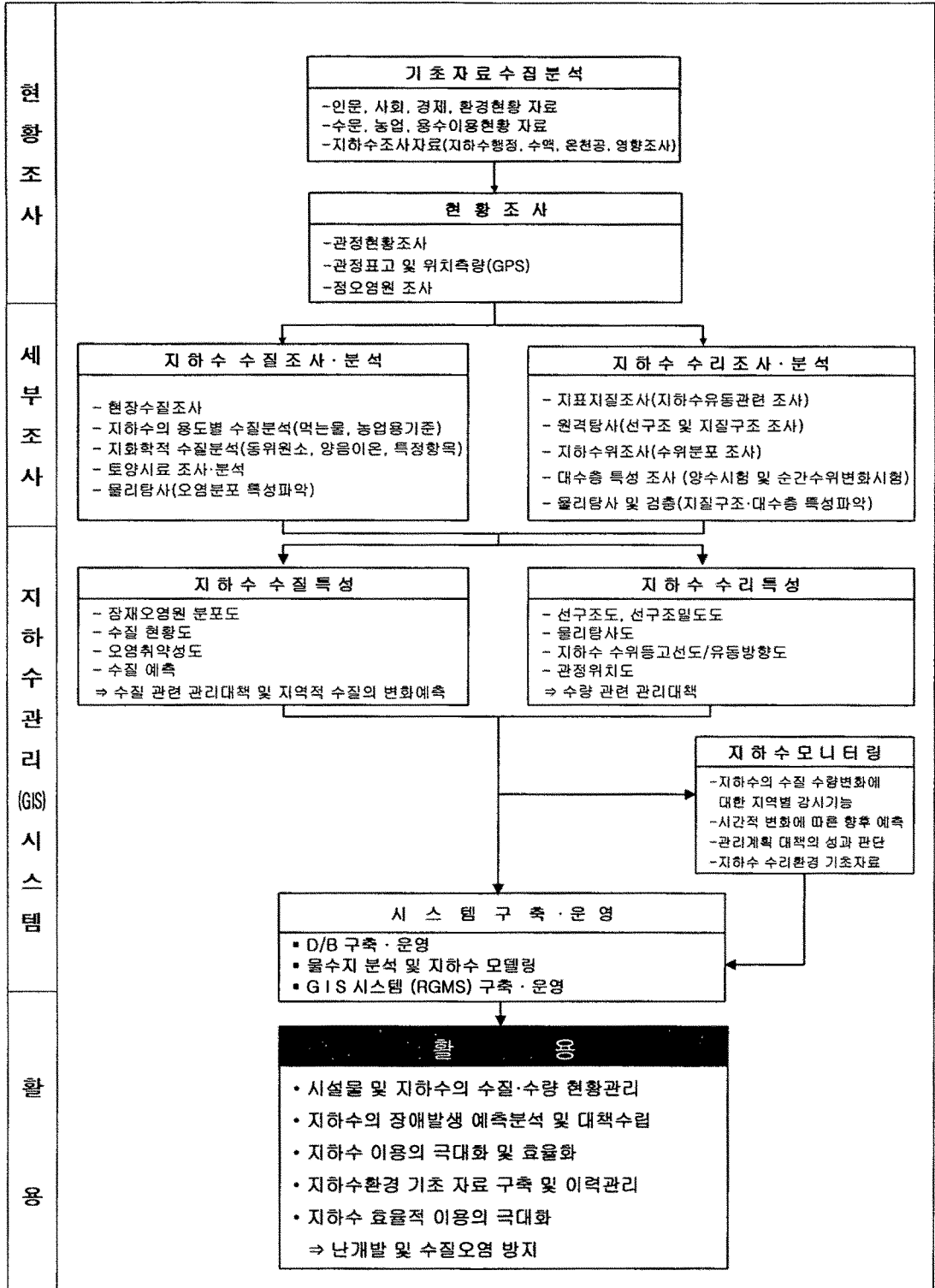
## 1.1 조사목적

농촌지역 지하수의 기존자료 수집, 이용현황, 수질 및 수리현황조사와 기타 세부조사를 실시하여 지하수를 최적 관리할 수 있는 시스템을 구축하므로써 지하수 관리 대책 방안을 강구하고 지하수모니터링을 실시 지속적으로 감시 관리를 하여 농촌지역 지하수의 난개발과 수질오염을 사전 예방하는데 그 목적이 있다.





## 1.2 조사 체계도



## 1.3 조사내용

### 1.3.1 기초조사

#### 가. 기초자료 수집분석

- 일반현황자료 및 수문자료 등은 행정기관 및 관련기관의 자료를 토대로 작성한다.
- 지하수개발관련사업의 기초자료는 수맥조사, 농촌농업생활용수개발, 발기반정비, 논용수지하수개발, 지하수기초조사자료, 행정지표 등을 최대한 활용하고 전산공유(DB)하여 지하수 현황 및 오염원실태를 파악한다.
- 용수이용현황조사 및 농업현황조사는 용수별 수요시기, 이용량, 비점오염원의 설문 조사를 병행하여 기초자료를 조사한다.

#### 나. 현황조사

- 유역현황조사는 지하수와 관련된 지형, 지질 또는 수계별 소유역 구분 설정을 중점으로 답사한다.
- 관정현황조사는 위치, 규모, 이용현황 등을 용수구역내 암반관정 등 공공관정에 대하여 전수조사하고 관정표고 및 위치측량(GPS)을 병행 조사한다. 필요시 지역별 소형관정 분포 현황을 조사하고 공간적 Data Base 자료로 구축한다.
- 잠재오염원 조사 및 분석은 점오염원의 위치·현황 등을 조사하고 수질분석 및 토양오염조사는 그 결과를 해당지역 내에 균등하게 도시할 수 있도록 조사한다.

### 1.3.2 세부조사

조사결과는 대상 용수구역에 대하여 행정구역 및 소유역별로 결과(통계 및 주제도)를 도출하여야 하므로 세부조사는 소유역 중 기존자료 취득이 곤란한 지역을 중점적으로 조사한다.

#### 가. 지하수수리조사·분석

- 지표지질조사는 유역답사와 병행하여 소유역 구분 설정에 기초자료로 활용토록하고, 지질구조, 기반암 및 비고결층(충적층)의 분포 및 규모 파악을 중점적으로 조사한다.
- 선구조추출은 인공위성 영상자료를 이용 선구조를 추출하여 지하수의 유동에 관련된 지질구조를 조사하고 선구조의 방향성, 밀도 등을 분석한다.
- 표고, 위치확인용은 지하수위, 수질 관측지점을 대상으로 하며 양수시험과 물리탐사는 기존 자료 취득이 불가능한 지역을 대상으로 한다.
- 추적자시험, 침투율조사는 지하수현황 여건에 따라 필요시 조사한다.

- 지하수위조사는 시공간적 자료작성이 가능하도록 동일지점에 시기별(갈수기 풍수기)로 2회 이상 일시에 실시하며 보조관측망 및 지하수모니터링 위치 등과 연계하여 조사한다.
- 간이수질 및 지하수수위조사는 조사지구 전체의 현황파악과 주제도 작성을 위하여 가능한 한 유역 및 지질을 고려하여 등간격으로 조사되어야 하며 또한 조사지구의 외곽부분의 보완조사가 필수적으로 이루어져야 한다.

#### 나. 지하수수질조사·분석

- 조사자료는 지하수관리시스템에 입력하여 잠재오염원 위치도, 수질현황도, 오염취약성도, 오염예측도 등을 작성하고 지역적 수질현황 및 변화를 예측할 수 있도록 분석한다.
- 현장수질조사는 전기전도도(EC), 온도(T), 수소이온농도(pH), 총용존고용물(TDS), 용존산소(DO), 산화환원전위(ORP)의 항목을 광역적으로 암반, 층적 관정을 구분하여 조사하며 지하수위조사와 병행하여 수위변화와 기상여건, 농업작부체계와의 관련성을 검토한다.

### 1.3.3 전산화 시스템 구축

#### 가. DB 구축

- 기존자료와 현장조사자료를 최대한 정보화하며 제도상의 형식과 기준을 통일하여 입력토록 하고 기존 행정 DB자료와 호환될 수 있도록 한다.

#### 나. 물수지 분석과 지하수 모델링

- 지하수 수리 및 수질특성도 작성, 지하수관리시스템 구축을 위한 기법으로 지역 여건에 적절한 변수를 입력하고 시스템 운영시 기초분석을 할 수 있도록 한다. 지하수 모델링은 장애발생 또는 우려지역에 대하여 현장조사 자료를 기초로 실시하고 해당 행정기관 또는 시스템 운영에 필요시 보완 재수행한다.

#### 다. 지하수 수리 및 수질특성도

- 지하수의 수질과 수리상수 및 개발·이용량 등의 자료를 이용하여 지하수관리시스템에서 지하수자원의 지역별 수리·수질 평가자료를 도출할 수 있도록 한다. 수리특성도는 선구조도 및 밀도도, 지하수 수위 및 수두 등고선도, 지하수 유동방향도, 지역별 이용량 분포도 등으로 구성되며 지하수장애 발생가능성 파악 및 적정 채수 이용량 유도 등 지하수 수량관리에 적용할 수 있도록 한다. 수질특성도는 잠재오염원 위치도, 수질현황도(수질항목별 등치선도, Stiff Diagram 분포도), 오염취약성도(DRASTIC Map), 오염예측도 등으로 구성되며 지역적 수질현황 및 변화를 예측토록 한다.

#### 라. 지하수 모니터링(관측정계획)

- 지하수 모니터링은 지하수 개발·이용에 따라 지하수를 포함하고 있는 대수층에 대하여 부존량 및 수위·수질변화를 지속적으로 관찰하여 지하수의 오염예방 및 지하수장애 발생방지에 필요한 자료를 제공하는데 목적이 있다.
- 지하수부존량의 변화 및 수질변화 파악을 위하여 대수층의 수위측정, 수질검사, 대수성 시험 등을 정기적으로 실시하여 자료를 축적하고 지하수 자원의 양적 및 질적 변화에 적극적으로 대처할 수 있게 한다.
- 농촌지하수관리조사에서 지하수 모니터링은 장애발생의 조기경보, 지하수위·수질 현황의 시간적 변화 감시, 수문학적 기초자료 제공, 비규제 및 규제적 관리수단의 동원 여부 결정의 역할을 하도록 설계된다.
- 관측정 설치위치는 국가지하수관측망 계획을 고려하여 조사지역 내 수질오염 및 수위강하, 지하수 고갈 우려지역에 선정한다. 자동관측과 수동관측을 병행하며 자동관측기기는 농어촌연구원에서 개발한 기기를 이용 설치·관측한다.
- 모니터링 개소수와 수동측정 및 수질분석 항목은 사업예산운영 및 배정에 따라 효율적으로 설치 운영하고 자동관측 항목은 일반적으로 관측기기 운영 측정이 가능한 지하수위, 전기전도도, 수온 등을 측정한다.

여 백

## 2. 기본현황조사

### 2.1 지구선정조사

농촌지하수관리조사 사업지구의 선정은 시·도에서 신청한 후보지구에 대하여 현지답사를 시행하고 조사시행 우선순위를 결정하며 연도별 사업량 계획에 따라 조사대상지구를 선정하게 된다. 예정지답사 시 대상지 선정기준은 농촌지하수관리와 관련된 항목을 선정하고 항목별로 점수화하여 높은 점수에 우선순위를 부여한다. 후보지 조사 시 검토대상과 대상지 선정기준은 다음과 같다.

#### 2.1.1 후보지 답사시 검토사항

- 위치 및 지구현황 : 행정구역, 지구명, 용도별 지구면적(ha)
- 지하수 관련 기본현황
  - 관정개발현황 : 용도별 개발 공수 및 이용량
  - 오염관련 시설물현황: 점오염원 및 비점오염원의 시설규모, 개소수 등
- 지하수관련 조사실적 및 계획 : 조사명, 위치, 면적, 목적, 기간, 조사내용, 조사기간 등
- 지하수관련 재해발생 현황 및 문제점
- 의경수렴 : 행정기관 및 조사자의 종합의경을 검토

#### 2.1.2 사업시행 대상지 선정시 고려사항

사업시행 대상지는 지하수의 수량, 수질, 지구특성, 행정기관, 호응도 등 지하수의 특성을 종합 고려하여 선정한다.

- 지하수 수량 부분은 이용량 해외개발가능률(%), 지하수공급계획(천 m<sup>3</sup>/년), 지하수개발증가율 또는 최근의 지하수개발 실적 등을 고려할 수 있다.
- 지하수수질부분은 오염과 관련된 폐수 및 환경오염 시설물 현황, 수질측정망에 의한 지역별 현황 등을 고려 할 수 있다.
- 기타로는 지하수 이용이 가능한 임야를 제외한 농경지 규모, 행정기관 호응도 등을 종합 검토하여 대상지를 선정하며 각 지구선정시 시·군별 또는 시도별 관리계획에 적합하도록 종합적으로 추진한다.

## 2.2 기본현황

### 2.2.1 기존조사자료

조사지역의 지형이나 개략적인 지질 특성 등의 파악을 위하여 기존의 조사자료를 수집하고 분석·검토한다. 지형도, 지질도, 항공사진, 위성영상, 토양도, 토지이용도, 학술논문, 보고서 등 유·무형의 모든 자료가 조사 대상이 될 수 있으며, 문헌정보, 도면정보, 탐문정보로 분류할 수 있다.

지하수관련사업의 기 조사 자료수집은 주로 조사대상지구 선정과정에서 이루

어지며, 수맥조사, 지하수영향조사, 농촌농업생활용수개발, 발기반정비, 논용수지하수개발 자료를 최대한 이용하고 기타 지하수 및 지질조사에 관련된 보고서 등을 수집·검토한다.

## 2.2.2 지역현황자료

조사사업 착수 시 조사지역 관할 행정기관을 방문하여 지역현황자료를 수집하게 되며 행정기관 및 관련기관의 자료 중 조사지역 현황에 해당되는 자료를 토대로 작성한다.

지역현황자료 수집 시 착안사항은 다음과 같다.

- ① 자연현황 - 조사지구의 위치, 교통현황, 행정구역 면적 및 현황, 기상 및 기후
- ② 인문사회현황 - 시·군의 연혁, 읍면별 인구 및 인구추이
- ③ 산업경제현황 - 읍면별 산업분포 및 산업경제의 변동추이
- ④ 토지이용현황 - 읍면별 토지이용현황 자료
- ⑤ 하천 및 유역현황 - 조사지구내 하천의 제 현황과 하천별 유역면적, 소유역별 행정구역 편입율, 유역별 토지이용현황
- ⑥ 환경현황 - 잠재오염원, 하수도, 하수관거, 생활폐기물, 지정폐기물 등 환경기초시설 현황

## 2.3 현황조사

### 2.3.1 용수이용현황조사

#### 가. 생활용수 이용현황

상수도보급율이란 광역상수도 및 지방상수도 등의 급수시설이 정비된 지역 내에 거주하여 수도물을 공급받고 있는 급수인구를 총인구로 나눈 백분율로 나타낸다. 농촌지역의 상수도보급율은 매우 저조하며 상수도 보급이 전혀 없는 지역도 있다. 상수도 미 보급지역에서는 소규모 급수시설, 간이상수도 및 가정용 소형관정 등 지하수를 생활용수로 이용하고 있다. 그러므로 상수도 보급현황과 지하수 이용현황을 함께 조사하여야 하며 상수도 보급현황은 환경부통계자료에서, 생활용 지하수이용현황은 행정기관의 담당부서 자료에서 구할 수 있다(<표 2-3-1> 및 <표 2-3-2> 참조).

#### 나. 농업용수 이용현황

농업용수 이용량을 파악하기 위하여 우선 조사구역 내 농경지면적과 농업용수시설의 공급능력을 비교하여야 한다. 수리답은 저수지, 양수장 및 취입보 등 지표수 관개시설에서 용수를 공급받으나 기타지역은 대부분 지하수 시설에 의존

하고 있다. <표 2-3-3>, <표 2-3-4> 및 <표 2-3-5>는 시범조사지구의 농경지 현황과 농업용수 공급에서 주 수원공과 지하수의 역할을 조사한 예이다.

<표 2-3-1> 상수도 보급현황

구 분	총인구 (명)	급수 인구 (명)	시설 용량 (톤/일)	급수량 (톤/일)	1인당 급수량 (ℓ)	보급율 (%)	상수도현황 (전용·간이·소규모·우물샘등)	
							이용인구 (명)	개 소
○○도								
합 계								
○○ 시	○○지구							
	지구외							

자료 : ○○ 상수도통계(환경부, ○○년)

<표 2-3-2> 생활용 지하수 이용현황

구 분	개소수	이용량 (m <sup>3</sup> /년)	비 고
계			
○○면			

<표 2-3-3> 수리답 및 진흥지역 현황

(단위 : ha)

읍 면	총면적	농경지면적					수리답면적		진흥지역	
		소계		답	전	과수	면적	비율	답면적	진흥지역 비율
		면적	비율							
소계										
○○면										

자료 : ○○지구 농어촌용수구역 조사보고서(농림부, ○○년)

<표 2-3-4> 농업용수 공급현황

구분	수원공	개소수	답면적 (ha)	이용수량 (천m <sup>3</sup> /년)	인가	몽 리 면 적 (ha)					수리 답율 (%)
						관 개 면 적					
						소계	평년	3년	5년	7년	
합 계											
○○면	소 계										
	저수지										
	양수장										
	취입보 집수암거										

자료 : 농어촌 용수구역 조사보고서 (농림부, 1997)



<표 2-3-5> 농업용 지하수 이용현황

구 분	개소수	이용량 (m <sup>3</sup> /년)	비 고
계			
○○면			

#### 다. 공업용수 이용현황

공업용수는 광역상수도를 공급받는 경우 외에는 주로 부지 내 지하수를 이용하여 용수를 공급하고 있는 실정이며 행정기관의 통계자료에서 공업용수 이용현황을 파악할 수 있다.

#### 라. 용수이용 특성 및 수요전망

농어촌용수이용합리화계획 또는 기타 수자원이용에 관한 장기계획이 수립되어 있는 지구에서는 그 계획에 의거 향후 용도별 용수수요를 추정할 수 있다. 수요량은 생활, 농업, 축산, 공업, 환경용수 등 각 용수별로 급수대상과 단위급수량을 근거로 하여 추정하며 이를 종합하여 총 소요수량을 추정한다.

<표 2-3-6> 소요수량 총괄

(단위 : 천m<sup>3</sup>/년)

구 분	단 위	급수대상	급수량	비 고
계	-			
생활용수	인			
농업용수	ha			
축산용수	두			
공업용수	ha			
환경용수	ha			

자료 : ○○지구 농어촌 용수구역 조사보고서 (농림부, ○○년)

### 2.3.2 관정현황조사

#### 가. 관정실태 조사

조사지역의 지하수관련 기존자료(두레박, 시·군 자료, 농업기반공사 자료)를 토대로 우선적으로 신고·허가된 대형암반관정에 대하여 현장조사를 실시하여 관정의 위치(좌표), 표고, 개발심도, 지질, 지하수위, 대수층 유형, 간이수질 및 이용실태 등을 조사한다. 또한 수리/수질특성 조사를 위해서 우물 등 기타 미신고 관정에 대해서도 동일한 조사를 실시하여야 한다.

#### 나. 관정현황 분석

관정실태조사 결과를 종합하고 행정구역별 및 유역별로 관정의 용도, 구경,

심도 및 위치 표고에 따른 통계분석을 시행하여 지역의 지하수개발현황을 파악한다. <표 2-3-7>~<표 2-3-13>은 이들 분석에 소요되는 표 양식이다.

<표 2-3-7> 읍면별, 용도별 관정현황

(단위 : 공)

소유역별		계	용도별			
			생활	농업	공업	기타
계	소계 암반 층 적					
○○면	소계 암반 층 적					

<표 2-3-8> 구역별, 용도별 관정현황

(단위 : 공)

소유역별		계	용도별			
			생활	농업	공업	기타
계	소계 암반 층 적					
○○구역	소계 암반 층 적					

<표 2-3-9> 읍면별 관정구경현황

(단위 : 공)

읍면		계	구경 (mm)				
			50이하	51-100	101-200	201-300	301이상
계	소계 암반 층 적						
○○면	소계 암반 층 적						

<표 2-3-10> 유역별 관정구경현황

(단위 : 공)

소유역		계	구 경 (mm)				
			50이하	51-100	101-200	201-300	301이상
계	소 계 암 반 층 적						
○○유역	소 계 암 반 층 적						

<표 2-3-11> 읍면별 관정심도현황

(단위 : 공)

읍면		계	심 도(m)					
			10이하	11-30	31-50	51-100	101-150	151-200
계	소 계 암 반 층 적							
○○면	소 계 암 반 층 적							

<표 2-3-12> 유역별 관정심도현황

(단위 : 공)

소유역		계	심 도(m)					
			10이하	11-30	31-50	51-100	101-150	151-200
계	소 계 암 반 층 적							
○○유역	소 계 암 반 층 적							

<표 2-3-13> 표고별 관정현황

(단위 : 공)

표고(m)	계	암반	층적
계			
0-10			
11-20			
21-30			
.....			

\* 조사지구의 지형특성에 따라 분류 간격이 바뀔 수 있음

### 다. 이용현황 분석

조사지역 내 관정의 용도별 지하수이용량을 조사하여 다음 표와 같이 읍면별 및 유역별 지하수이용현황을 분석한다.

<표 2-3-14> 읍면별 지하수이용현황

(단위 : 공, 천m<sup>3</sup>/년)

읍면	계			생활용			공업용			농업용			기 타		
	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)
계															
○○면															

<표 2-3-15> 유역별 지하수이용현황

(단위 : 공, 천m<sup>3</sup>/년)

소유역	계			생활용			공업용			농업용			기 타		
	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)
계															
○○유역															

### 라. 단위면적당 지하수이용현황

조사지역에 해당하는 읍면별/유역별 면적이 상당히 차이가 있으므로 지하수 이용정도를 총이용량으로 비교하기보다는 해당 읍면/유역의 단위면적당 지하수 이용량으로 비교하는 것이 합리적이다.

<표 2-3-16> 읍면별 단위면적당 지하수이용현황

읍면	개소수 (공)	이용량 (천m <sup>3</sup> /년)	면적 (km <sup>2</sup> )	관정밀도 (공/km <sup>2</sup> )	단위면적당이용량	
					(천m <sup>3</sup> /년/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /일/km <sup>2</sup> )
계						
○○면						

<표 2-3-17> 유역별 단위면적당 지하수이용현황

소유역	개소수 (공)	이용량 (천m <sup>3</sup> /년)	면적 (km <sup>2</sup> )	관정밀도 (공/km <sup>2</sup> )	단위면적당이용량	
					(천m <sup>3</sup> /년/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /일/km <sup>2</sup> )
계						
○○유역						

### 2.3.3 잠재오염원 조사

#### 가. 오염원의 분류

인간의 활동에 의해서 발생하는 물질이 수문환경으로 유입되는 조건에서는 지하수를 오염시킬 수 있으며, 인간생활을 유지하는데 지장을 줄 수 있을 만큼 지하수계로 유입된 오염성분의 농도가 심해졌을 경우 지하수가 오염되었다고 할 수 있다.

지하수환경에 악영향을 주는 잠재오염원과 그 종류는 수없이 많으며 여러 변수들로 인해서 간단히 분류할 수는 없으나 크게 점오염원(point sources)과 비점오염원(diffuse sources)으로 나눌 수 있다. 대표적인 점오염원은 축사, 정화조, 지하저장탱크, 유해폐기물처분장, 매립지, 지표저류시설, 폐공 등이 있으며, 비점오염원으로는 넓은 농경지에 비료와 농약살포와 같은 농업오염원과 산성비 등이 있다.

미의회기술평가국(OTA)은 1987년 지하수환경에 악영향을 주는 오염원 및 잠재오염원을 방류 특성에 따라 6군 35종으로 분류하였는바, 우리나라에서 오염원 분류기준으로 채택되고 있다.

<표 2-3-18> 지하수환경에 악영향을 미치는 잠재오염원

종 류	공간적 형태	시간적 형태	중요오염원
1군. 배출, 방류목적으로 설계된 오염물질			
- 지하침투(정화조, 우수조)	P.L	Y	
- 주입정(유해폐기물, 고농도 염수의 처분, 축산폐수, 하수, 인공함양)	P	Y	
- 지상살포(관개용수의 재살포, 슬러지와 축산 폐수의 농업용 지상살포, 유해 및 비유해 폐기물)	D.P	S	○
2군. 저장, 처리, 처분시설로부터 노출된 오염물질			
- 폐기물 매립지의 침출수	P.L	S	
- 폐기물의 불법투기(open dump)	P.L	S	
- 주거지에서 쓰레기 무단폐기	P.L	S	
- 지표저류시설(유해 및 비유해폐기물)	P.L	S	
- 광산폐석(waste tailing)	P.L	S	
- 폐기물 야적장(waste pile) 및 하치장	P.L	S	
- 비폐기물의 비축지(non-waste stock piles)	P.L	S	
- 공동묘지	P.L	S	
- 죽은가축의 매립지	P.L	S	
- 지상저장탱크(유류, 독성화학물질)	P.L	R	
- 지하저장탱크(유류, 독성화학물질)	P.L	R	○
- 컨테이너(유류, 독성화학물질)	P.L	R	
- 소각장과 발파지	P	S	
- 방사능 폐기물 처분장	P	Y.S.R	

**나. 잠재오염원 분포**

기존자료 수집 및 현장조사에서 조사지역 내에 분포하고 있는 잠재오염원은 축산시설, 폐수배출시설, 오수배출시설, 주유소의 유류저장탱크, 및 쓰레기매립장 등으로 분류할 수 있는데, 세부 조사내용은 부록에 수록하고 그 분포현황을 읍면별로 <표 2-3-19>와 같이 정리한다.

<표 2-3-19> 잠재오염원 분포현황

(단위 : 개소)

읍면	축사	폐수 배출시설	오수 배출시설	주유소	유류저장시설 (주유소제외)	쓰레기 매립지
계						

농촌지역에서 가장 많은 분포현황을 보이는 인자는 축사로서 농촌지역의 지배적인 잠재오염원(점오염원)이 된다. 그러므로 일반 농가의 소규모 사육시설은 제외하고 사육규모별로 분포현황을 정리할 필요가 있다(<표 2-3-20> 참조).

<표 2-3-20> 축사시설의 규모별 분류

시 설	사육규모	개소수	비 고	
합 계			-	
우사	소 계		-	
	육우	10~50두		
		51~100두		
		100두 이상		
	유우	소 계		
		10~50두		
51~100두				
돈사	소 계		-	
	10~100두			
	101~500두			
양계장	소 계		-	
	1001~3000수			
기타	소 계		(사슴, 염소, 개, 타조, 토끼 등)	
	5~10두			
	11~20두			
	21두 이상			

(계속)

종 류	공간적 형태	시간적 형태	중요오염원
3군. 운송 배관시설로부터 누출된 오염물질 - 배관(유해폐기물, 비유해폐기물, 송유관, 하수관)에서 누출, 재래식 하수관 - 운송과정에서 누출 및 유출(tank rolly)	P.L P.L	R R	
4군. 기타 활동으로 배출 및 살포된 오염물질 - 관개용수의 재순환 - 농약살포 - 비료살포(농경지에 사용한 유기 및 화학비료) - 가축사육장의 가축분뇨 및 폐수 - 제설, 제빙제 살포 - 도시지역의 강수 유출 - 광산개발에 따른 광산폐수 - 대기오염물질의 지하침투 - 폐 및 오수에 의해 오염된 지표수	D D D P.L F P.D.F P.D.F D P.D.F	S S S Y S S S S Y	  ○ ○ ○     ○
5군. 지하수 흐름 경로 변경에 따른 오염물질 - 채수정(유정, 가스정, 온천, 열교환용 우물, 부적절하게 설치된 우물) - 폐기방치된 우물(관측정, 탐사시추공 및 공사용 대규모 착정공) - 공사용 지하 굴착	P P P.D.F	Y Y S	 ○ ○ ○
6군. 인간활동에 의해 자연적으로 발생된 오염물질 - 지표수와 지하수의 연관관계 - 자연적인 침출 - 대수층내로 염수침입과 염수의 역상승 현상(upconing) - 재래식 화장실	F D.F D.F P	S Y.S S Y	  ○ ○

주) P : 점오염원 D : 비점오염원 F : 전면오염원 L : 국지오염원 Y : 연간 S : 계절 R : 불규칙

※ 중요오염원은 조사지구별로 해당되는 곳에 표시를 한다.

### 3. 세부조사

#### 3.1 수리지질조사

##### 3.1.1 지표지질조사

지표지질조사는 대상지역 일원에 대한 지형지질 답사를 실시하여 동 지역에 분포한 지층의 분포상태와 지질구조를 파악하고 대상지역의 기존 관정 및 지표수에 대한 체계적인 현황 조사를 실시하여 지하수 부존특성 및 지하수 유동 형태를 규명하기 위한 기초자료로 활용하는 데 그 목적이 있다.

지표지질조사는 사전답사, 지질도 및 위성영상자료에 의한 도상 검토, 현장지질조사, 지질구조도 및 보고서 작성의 4단계로 나눌 수 있다.

첫째, 사전답사는 조사 지역의 지형이 대수층 발달에 좋은 조건인지 확인하고 도로상황, 조사장비 투입 가능성, 주변 작업환경 등을 감안하여 이를 기초로 지하수조사 방향을 검토한다.

둘째, 지질도 및 위성자료에 의한 실내 도상검토는 해당지역의 지형과 지질의 관계를 알기 위해 조사용 축척의 지형도에 지질도를 옮겨 기록하는 것이 좋다. 조사지역에 해당하는 기존조사 시추내역도 수집하여 검토한다. 기존 관정의 주상도는 「농촌지하수관리시스템」의 관정위치도 메뉴에서 볼 수 있다. 위성자료는 지형적으로 나타나는 단층선들과 선구조들을 보여주므로 현장지질조사에 앞서 중요한 검토자료가 된다.

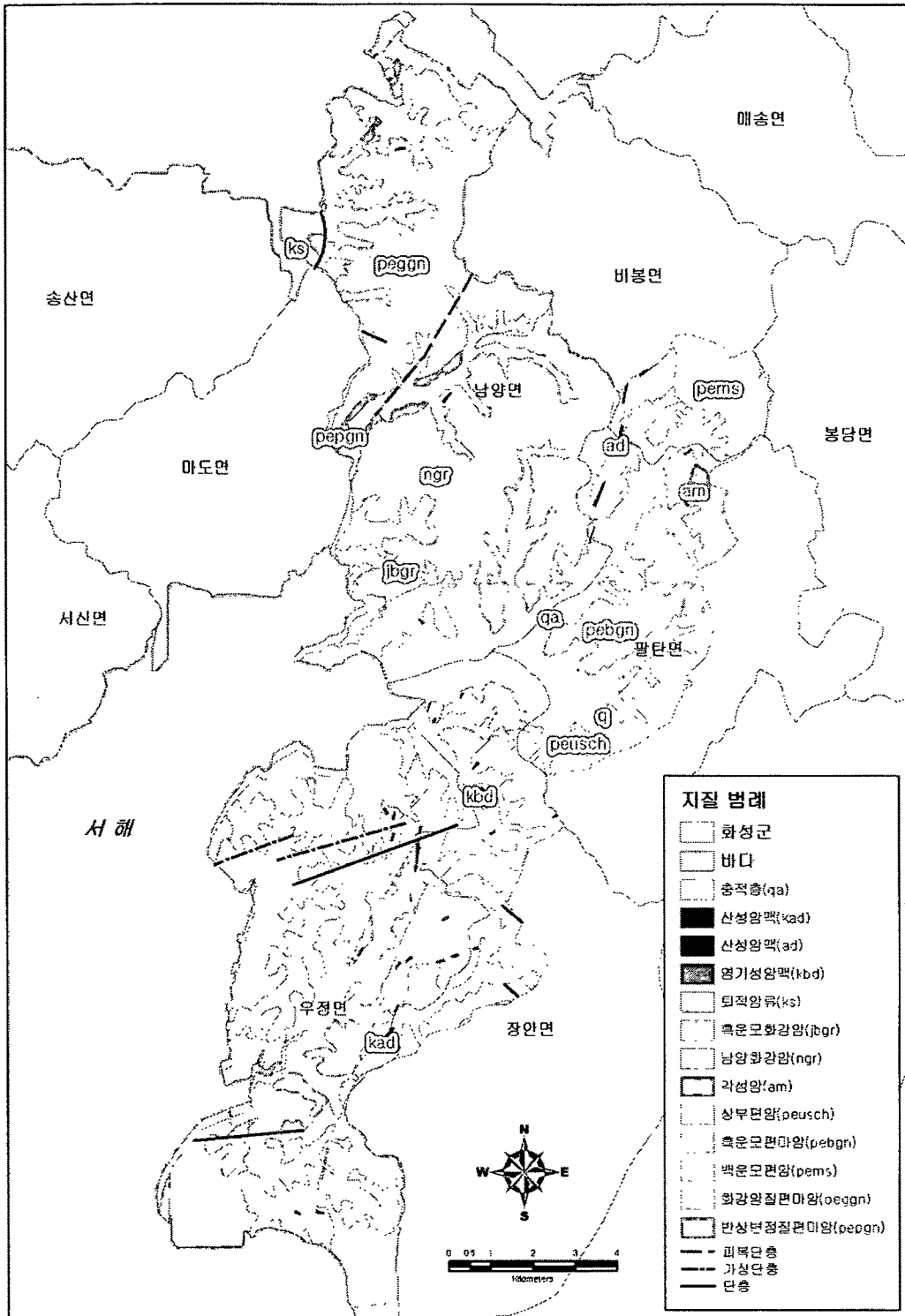
셋째, 현장지질조사는 사전답사와 실내 도상검토 작업에서 나타난 여러 가지 지질학적 상황들을 실제 확인하는 과정으로 진행한다. 단층이나 선구조선 인지에 목적을 두고 필요에 따라서는 암상의 경계부를 확인하는 작업도 필요하다. 퇴적암지역의 경우에는 투수성을 고려한 입도의 기재가 필요하며, 특히 석회암지대의 경우에는 karst 지형 발달유무를 확인하여야 한다.

넷째, 지질구조도 및 보고서 작성은 지질 구조들이 일반적으로 규모가 크고 복잡하기 때문에 먼저 지역 전체의 지질개요를 설명하고 암층의 상관관계를 나타내는 지질계통도와 지질도를 작성한다(<그림 3-1-1>참조). 다음으로 조사대상 지역에 나타나는 암석에 따라 지질각론을 기술하고, 현장지질조사에서 얻은 자료를 기초로 세부적인 지질구조도를 작성한다. 이 때 야외에서 확인된 지질구조선에 수직되는 방향으로 단면선을 설정하여 지질단면도를 작성하여야 한다. 조사보고서에는 사전답사에서부터 도상답사 및 현장지질조사에서 조사 분석되고 기재한 사항들을 빠짐없이 기록하여 이를 근거로 물리탐사의 기본설계에 기초가 되도록 한다.



<지질계통도 예>

제4기	qa	충적층	
	-부정합-		
백악기	kad	산성암맥	
	kbd	염기성암맥	
	-관입-		
	ks	중생대 퇴적암류	
	-관계미상-		
จู라기	jbgr	흑운모 화강암	
	-관계미상-		
시대미상	ngr	남양화강암	
	am	각섬암	
	-관입-		
선캠브리아기	peusch	상부편암	
	-점이적-		
	pebgn	흑운모 편마암	
	-단층접촉-		
	pems	백운모 편암	부천계
peggn	화강암질 편마암		
pepgn	반상변정질 편마암		



<그림 3-1-1> 시범조사지구 지질도

### 3.1.2 원격탐사

#### 가. 위성영상자료 분석

조사지구내 선구조추출, DEM, 지형경사, 경사방향의 분석 등을 위하여 SPOT 위성 등의 영상자료와 ERDAS사의 IMAGINE S/W, 수치지형도를 이용한다.

SPOT(System Probatoire d'Observation de la Terre)은 프랑스가 1986년 2월에 발사한 고성능 지구관측 위성이다. HRV(High Resolution Visible Imaging System)라는 고분해능 센서를 2대 탑재하고 있으며 경사관측에 의한 입체시야가 뛰어난 장점을 가지고 있다.

#### 1) 궤도요소

고도 830km, 궤도경사각 98.7° 의 태양동기 준회귀궤도를 취하며 적도통과시각은 지방시로 10:30 a.m.이다. 회귀일수는 26일이지만 경사관측을 이용함으로써 실제로는 동일지역을 4~5일 간격으로 관측할 수 있다.

#### 2) 관측기기

HRV의 관측방법은 Landsat과 같이 주사경을 쓰지 않고 CCD(Charge Coupled Device)에 의한 전자식 주사를 채용하고 있다. HRV의 관측 특징은 <표 3-1-1>과 같다. 멀티 스펙트럼(XS)과 팬크로매틱(PA) 2개의 모드를 가지고 있으며, 팬크로매틱에서는 10m의 높은 분해능을 가지고 있다. 또한 경사관측에 의해 동일지역을 높은 빈도로 관측할 수 있으며 동일지역을 다른 관측각으로 관측함으로써 입체시야도 가능하고, 높은 BH비가 얻어지기 때문에 고정밀도의 표고계측이 가능하다.

#### 3) 자료 제원

HRV 자료의 1신은 직하관측에서는 60×60km<sup>2</sup>이고, 경사관측에서는 가로방향이 최대 81km가 된다. 각 scene은 GRS(SPOT Grid Reference System)에 의해 행번호(K)와 열번호(J)의 교점(node)에 대응해서 결정된다. 각 노드는 2개의 HRV센서가 동시에 직하를 관측한 경우의 위치를 기본으로 해서 결정되는데, 홀수의 K가 HRV 1로 짝수의 K가 HRV 2에 대응한다. 경사관측시는 scene의 중심이 직하시의 노드에 일치하지 않기 때문에 실제의 scene 중심에 가장 가까운 노드의 (K, J)에 해당된다.

#### 4) 자료 이용

SPOT 관측자료는 현재 세계 14개 지상국에서 수신되고 있다. 자료의 이용목적은 Landsat 자료와 같이 육지가 주 대상이고, 그 분해능이 높아서 지도작성에 많이 이용된다. 입체시야에 의한 표고계측을 이용한 축척 5만분의 1 정도의 지형

도 작성과 화상판독에 의한 토지이용도 작성 등에 이용되고 있다. 팬크로매틱과 멀티자료의 합성에 의한 고분해능 위성사진의 작성도 많이 행해지고 있으며, 항공사진 대신으로도 이용되고 있다.

<표 3-1-1> HRV의 특징

밴드	파장대(μm)		IFOV
XS1	0.50~0.59	녹색	20m
XS2	0.61~0.68	적색	20m
XS3	0.79~0.89	근적외	20m
팬크로(PA)	0.51~0.73		10m

주) XS는 멀티스펙트럼 모드를 나타낸다.

#### 나. DEM자료 분석

지형분석은 1:5,000 축적의 수치지형도를 이용하여 20m×20m의 공간해상도를 갖는 수치고도자료(DEM)를 구축하고 이를 이용하여 선구조 추출에 용이한 음영기복도, 지형경사도, 경사방향분석도를 생성한다. 음영기복도는 태양의 위치를 인위적으로 N45W, 고도 45°에 위치한 상태에서 지표의 그림자를 형성함으로써 지질구조적 특징을 인지하는데 효과적인 영상으로 수역경계를 표시할 수 있다. 경사도 자료는 지형의 경사 및 경사방향을 표시한다.

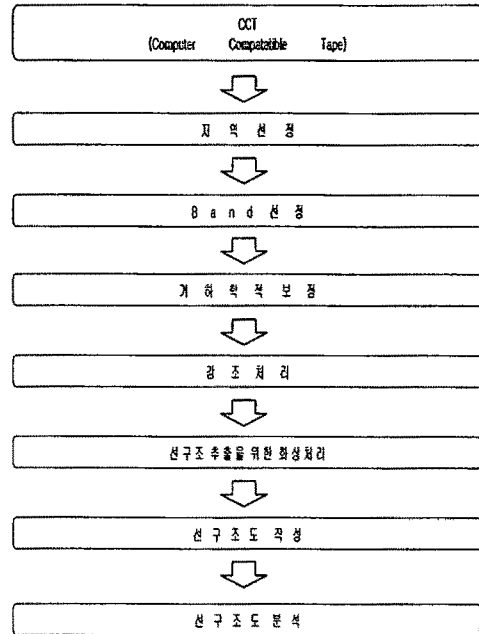
#### 다. 선구조 추출

원격탐사란 대상물체에 직접 접촉 없이 그에 대한 정보를 얻어 대상 물체를 감지, 분류 및 해석하는 과정을 말하며, 주로 항공기나 인공위성에 탑재된 센서를 통하여 지표면의 대상물이나 현상에 관한 지자기파 정보를 수집하여 이용·분류하고 판독하는 자원탐사의 방법이다. 원격탐사 자료를 이용한 지질학적 연구는 지질구조의 특성을 파악하기 위한 선구조 연구, 지질경계의 분석, 위성자료와 기타 지질학자료(지구물리, 지화학자료 등)의 종합적인 연구 등 다양하며 특히 선구조 분석은 매우 효과적인 것으로 널리 알려져 있다. 현재까지 국내에서는 지질 및 자원공학 분야에서 광역지질구조 연구, 선구조연구 및 열수변질대 추출 등에서 사용되고 있으며, 특히 지하수 및 심층 지열수와의 관계에서는 원격탐사에 의한 선구조 추출이 많이 이용되고 있다. 인공위성에서 얻어진 영상자료는 위성의 종류에 따라 전자파 영역, 해상도 등이 달라서 사용목적에 적합한 영상자료를 사용해야 한다.

<그림 3-1-2>는 위성의 영상자료로부터 선구조를 추출하는 과정을 나타낸 흐름도이다.

선구조는 직선 혹은 완곡의 지형요소로서, 인접한 표면 및 천부 지형요소와 구분이 분명한 단층, 파쇄대, 차별침식에 의해 형성되는 파쇄대를 지칭한다. 이러한 요소는 원격탐사자료에서 지형의 기복 변화 및 화소의 명암차에 의해 구분이 가능하다. 그러나 위성자료를 이용하여 추출된 선구조와 실제 지질조사를 통하여 조사된 선구조는 차이를 보이고 있다. 이러한 차이를 유발하는 주된 요인 중의 하나는 자료 획득시 위성의 궤적과 센서의 관측방향에 따른 선구조의 선택적 증감효과로, 이를 이용하여 증감효과를 최소화하는 방법이 효과적이다.

<그림 3-1-3>은 SPOT 위성의 영상자료와 ERDAS사의 IMAGINE S/W를 이용하여 작성한 시범조사지구의 선구조 분포도이다.



<그림 3-1-2>  
선구조 추출 순서도

## 라. 선구조 방향 및 밀도분석

### 1) 선구조 방향성 분석

선구조의 방향성을 분석하기 위하여 선구조발달계수(ILL)를 이용할 수 있다. 우선 조사지역에 해당하는 선구조를 길이등급 비율로 4개의 군(선구조 길이빈도 25% 간격)으로 크게 분류하고 이를 방향성에 따라 다시 4개의 방향군으로 나누었다. 각 방향군에 해당하는 선구조의 개수(FLL)와 평균길이(Lmean)를 산출하였다. 선구조의 개수와 평균길이를 곱하여 선구조발달계수(ILL)를 계산할 수 있는데 이는 선구조 분포를 수치로 비교할 수 있는 기준을 제시한다. <표 3-1-2>는 시범조사지구의 선구조를 4개의 군으로 나누어 방향성을 분석한 예이다.

한편 선구조의 방향빈도를 각도별로 나타낼 수 있는 방법으로 Rose Diagram 작도법이 많이 사용되고 있는데, 방향별로 일정 길이 이상의 선구조 수를 고려한 빈도분석 방법과 선구조의 빈도에 길이를 가중치로 곱하여 분석하는 방법이 있다. <그림 3-1-4>은 시범조사지구의 전체 선구조에 대한 Rose Diagram 작도 예이다.

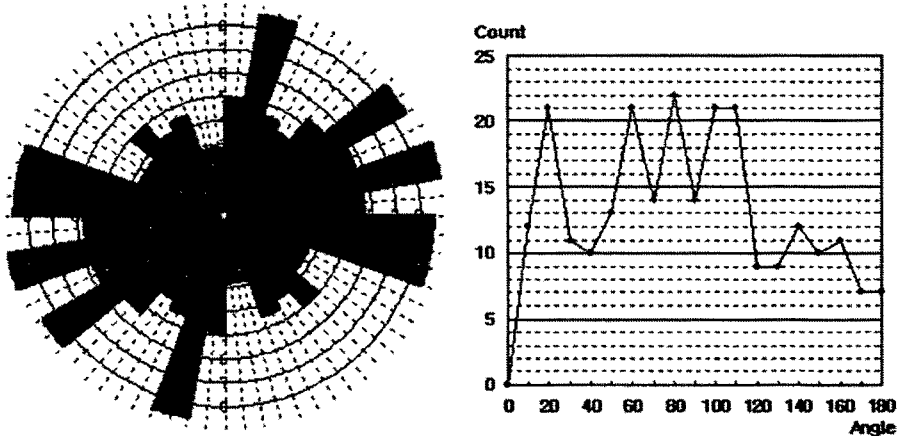


<그림 3-1-3> 시범조사지구 주변의 선구조 분포도

<표 3-1-2> 선구조 방향성 분석(시범조사지구 예)

ORIENTATION	전 체 선 구조				FLL	Lmean	Lmax	ILL
	LINEAMENT COUNT (MEAN)							
	800M 이하	800~1146	1146~1665	1665M이상				
Ltot-1 EW~N45E	23 (14,601)	21 (20,199)	16 (22,809)	15 (45,431)	75	1,374	6,635	103,041
Ltot-2 N45E~NS	22 (12,923)	13 (12,562)	13 (17,589)	15 (42,096)	63	1,352	9,984	85,169
Ltot-3 NS~N45W	7 (4,548)	5 (5,014)	16 (22,110)	14 (35,498)	42	1,599	4,565	67,169
Ltot-4 N45W~EW	9 (6,083)	23 (22,314)	16 (20,916)	17 (44,238)	65	1,439	4,477	93,551

※ ( )는 규모별 Lineament 연장합계



<그림 3-1-4> 선구조의 ROSE DIAGRAM 예

## 2) 선구조 밀도 분석

구조선밀도 분석은 기반암에서 지하수의 유동이 주로 파쇄대를 통하여 이루어지고 있는 우리나라와 같은 수리지질학적인 환경에서는 매우 중요한 인자로 여겨진다. 구조선은 높은 투과성의 파쇄대나 암맥과 같이 잠재적인 지하수 유동의 경계요소(flow barrier)로써 작용하는데(Sander et al., 1997), 긴 파쇄대가 지하수 및 오염물질의 유동에 있어서 큰 영향을 미치지만 지하수 오염에 있어서 반드시 중요한 것은 아니다. 긴 파쇄대는 일반적으로 점토광물화(clay mineralization) 때문에 누수가 잘 일어나지 않을 수 있고 반면에 작고 중간 정도의 파쇄대는 상당히 높은 투과율과 대규모 누수 문제를 일으킬 수 있기 때문이

다(Banks et al., 1993). 따라서 구조선의 분류는 구조선의 길이에 따른 수리지질학적인 특성의 변이에 의해서 매우 복잡해지며 궁극적으로는 같은 특징에 대해서 다중분류(multiple classification)가 필요하다(Wise, 1983).

구조선밀도도를 구하는 전체적인 흐름은 <그림 3-1-5>와 같다.

조사지역의 지질도의 구조선, DEM, Landsat TM 및 SPOT 위성영상자료를 종합 이용하여 지질구조선을 추출하는데, 서로 중첩되는 구조선을 편집하여 수정하고 구조선별 등급을 부여한다. DEM과 위성영상자료를 이용하는 주요한 목적은 광역적인 구조선을 빠르고 손쉽게 구별할 수 있다는 점과 사람이 탐지하기 어려운 지역도 쉽게 구분할 수 있기 때문이다. 그러나 위성영상 자체의 오차 즉, 산 그림자나 구름에 의한 지표 반사도값 손실 등과 같은 문제점은 여러 가지 보정을 통하여 해결해 주어야 한다.

이와 같이 전처리과정을 거친 선구조도에서 격자망을 설정하고, 생성된 Cell별로 일정한 반경을 설정하여 원내에 들어오는 구조선의 개수와 길이를 구한 다음 구조선별 등급값을 곱하여 합하고 이를 원의 면적으로 나누어 구조선 밀도를 계산한다. 이를 계산식으로 표시하면 다음과 같다. (참고문헌 : silverman ,1986)

$$Density(\rho) = \frac{(L_1 * V_1) + (L_2 * V_2) \dots + (L_n * V_n)}{Area(A)} \quad (3-1-1)$$

여기서

$L_1, L_2, \dots, L_n$  : 일정 반경 안에 들어오는 구조선의 길이

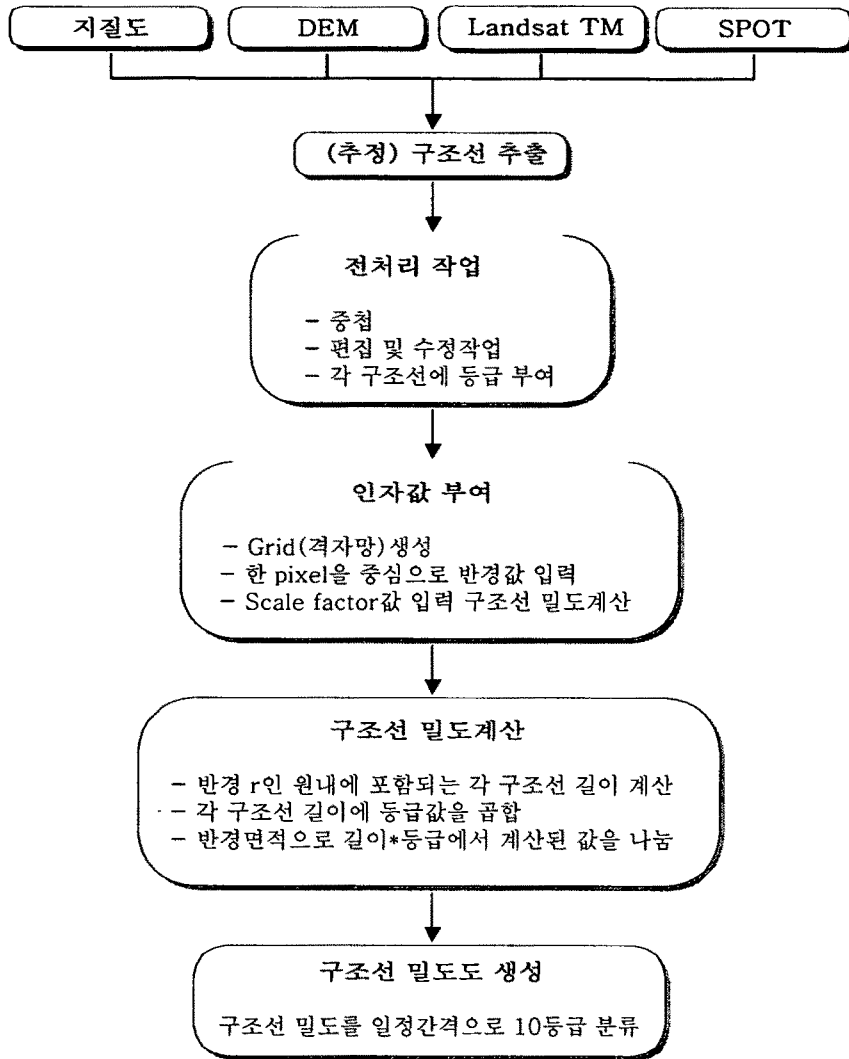
$V_1, V_2, \dots, V_n$  :  $L_1, L_2, \dots, L_n$ 에 부합되는 등급값

A : 일정 반경을 갖는 원의 면적

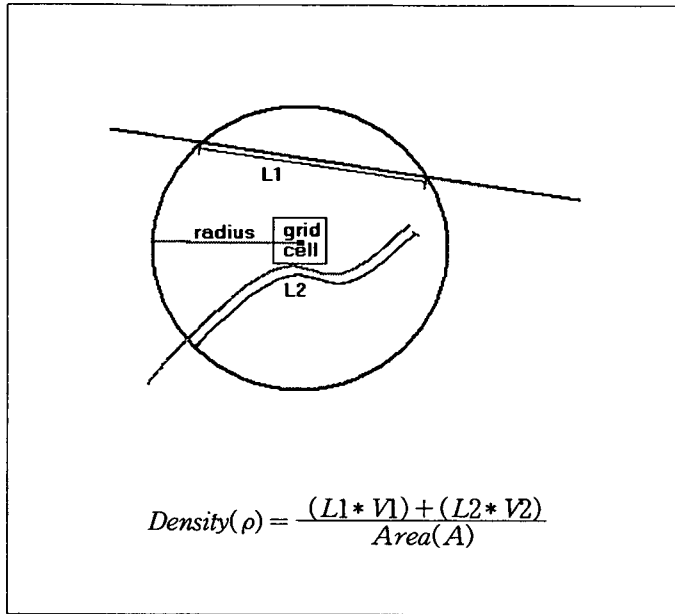
<그림 3-1-6>는 구조선밀도 산정방법을 보여준다.

Cell별 구조선밀도가 구해지면 이들을 일정간격으로 10등급으로 분류하고 Cell별로 등급치를 부여하여 조사지구의 구조선밀도 분포도를 작성한다. 또한 유역별 구조선밀도 분포를 통계적으로 분석하면 유역별 구조선밀도의 성향을 알 수 있다(<표 3-1-3>참조).





<그림 3-1-5> 구조선밀도도 산정 모식도



<그림 3-1-6> 구조선밀도 산정방법

<표 3-1-3> 소유역별 구조선밀도 통계분석(시험조사지구 예)

소유역	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
HN2-01	0.0000	2.6437	2.6437	0.8235	0.5952	714.8196
HN2-02	0.0000	3.2586	3.2586	1.3274	0.6682	1598.1980
HN2-03	0.3085	4.1508	3.8423	2.1173	1.1389	4270.5522
HN2-04	0.0000	2.7820	2.7820	0.9048	0.5428	611.6426
HN2-05	0.0000	2.2561	2.2561	0.8331	0.4989	4641.2280
HN2-06	0.0000	1.9750	1.9750	0.4393	0.5486	346.6119
HN2-07	0.2620	1.5486	1.2866	1.0649	0.2802	962.6732
HN2-08	0.0000	1.8512	1.8512	0.6971	0.6172	725.6568
HN2-09	0.0000	2.7646	2.7646	1.0499	0.7050	2824.3633
HN2-10	0.0000	0.8531	0.8531	0.0831	0.1647	68.9982
HN2-11	0.0000	0.6365	0.6365	0.1219	0.2058	122.5440

### 3.1.3 물리탐사

#### 가. 개요

물리탐사는 일차적으로 지질, 토양 및 인공위성 영상자료 분석을 통하여 지질구조선, 암상 변이대, 층적층 및 기반암 분포, 식생, 토양 등을 사전 파악하고, 이들 자료를 기초로 관심지역 선정 및 지구물리탐사 수행을 통하여 층적층 분포 심도, 범위, 지하지층분포 및 대수층을 이루는 암반파쇄대의 발달상태 등 이상대에 대한 지하정보를 얻고, 이를 검증하기 위한 실제적인 조사방법인 조사공 및 관측공의 시추위치를 선정하는데 그 목적이 있다.

지구물리탐사의 수행과정은 순차적으로 자료 취득(Data acquisition), 자료 처리(Data processing) 및 자료 해석(Data interpretation)으로 구분된다. 일반적으로 탐사자료의 취득은 탐사방법에 따라 자연발생적 또는 인공적으로 발생시킨 물리현상을 측정하는 과정으로, 신호원이 자연적인 경우에는 일정하고 자료취득이 상대적으로 간편한 장점은 있지만 그 강도(Intensity)가 상대적으로 작게 나타나므로 현장에서의 자료 취득시 이상치를 정확히 알아내는데 어려움이 있다는 단점이 있다.

자료 처리는 현장에서 취득한 측정치 및 반응치를 정리하고, 자료해석을 보다 편리하게 할 수 있도록 자료의 편집 및 각종 보정을 하여 S/N(신호 대 잡음)비를 높이는 수처리 작업을 한다. 이러한 자료처리 과정은 자연발생적 신호원을 이용하는 탐사법에서는 특히 중요하다.

자료 해석은 자료처리 결과를 토대로 이론적 또는 경험적 분석을 통한 탐사 대상체 또는 지층의 위치, 크기 및 형태를 규명하는 작업을 말한다. 최근에는 컴퓨터의 성능이 향상됨에 따라 각종 수치해석(Digital analysis)을 응용한 프로그램 개발로 물리탐사자료의 해석에서 역산법(Inversion method)이 이용되어 현장 측정자료들을 최소허용 오차범위 내에 포함되도록 반복계산 결과를 해석하는 추세이다.

#### 나. 전기비저항 탐사

전기비저항탐사는 전류가 흐를 때 전류가 흐르는 통로상의 두 지점 사이에 매질의 저항에 비례하는 전위차가 발생하는데, 이때 발생하는 전위차를 이용하여 지질구조 등을 탐사하는 방법으로써, 1900년대 초에 개발되었지만 취득자료의 처리 및 분석을 위한 컴퓨터의 보급으로 1970년대 이후에 매우 많이 보급되었고, 이러한 기술들은 지하수분야에 있어서 적절한 지하수자원 개발 및 지하수오염 형태를 관찰하는데 매우 많이 이용되고 있다.

자연상태에서 암석이나 구성광물의 전기비저항값은 공극률(porosity), 공극내 유체포화율(fluid saturation), 공극내 유체의 성질, 조암광물의 종류, 구성입자

의 크기, 성질 및 암석의 고화도 등에 의존하는데, 이러한 인자들은 전기비저항 값의 주요한 결정요인으로 작용한다(<표 3-1-4>).

이와 같은 암석의 전기비저항값들을 기초로 한 전기비저항 탐사법은 전류의 크기, 전극간의 전위차, 전극간의 거리 등 정량적으로 측정 가능한 값들을 취급함으로써 정량적인 해석이 가능하고, 취득된 자료들의 역산법에 의한 이론적 계산치와 실제의 값들을 비교할 수 있다는 점에서 유용한 탐사법이다.

<표 3-1-4> 암석의 전기비저항(Telford 등, 1976)

암석의 종류	전기비저항의 범위(ohm-m)
화강암	$3 \times 10^2 \sim 10^6$
화강반암	$4.5 \times 10^3$ (습윤시)~ $1.3 \times 10^6$ (건조시)
장석반암	$4 \times 10^3$ (습윤시)
섬장암	$10^2 \sim 10^6$
섬록암	$10^4 \sim 10^6$
섬록반암	$1.9 \times 10^3$ (습윤시)~ $2.8 \times 10^4$ (건조시)
탄산질반암	$2.5 \times 10^3$ (습윤시)~ $6 \times 10^4$ (건조시)
석영반암	$3 \times 10^2 \sim 9 \times 10^5$

전기비저항탐사법은 사용되는 전류전극과 전위전극의 종류와 배열방법 및 전극간의 간격 등에 의해 여러 가지 방법으로 나뉘어 질 수 있는데 지하수탐사에서 자주 사용하는 쌍극자 배열법과 슬럼버저 배열법에 의한 전기비저항탐사 기 초이론을 설명하면 다음과 같다.

### 1) 쌍극자(Dipole-Dipole) 배열법

도선의 전기저항 R은 그 길이 L에 비례하고, 단면적 A에 반비례 한다.

$$R = \rho L/A \quad (3-1-2)$$

여기서  $\rho$ 는 비례상수로서 물체의 크기와 모양에 관계없는 물체의 전기적 특성을 나타내는 것으로 이를 전기비저항이라고 한다. 또한 Ohm의 법칙에 의하면,  $R=V/I$  이므로 다음식과 같이 쓸 수 있다.

$$\rho = A \cdot \frac{R}{L} = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{A}{L} \quad (\Omega \cdot m) \quad (3-1-3)$$

<그림 3-1-7>에서와 같이 대지 위 임의의 한 점 C에 아주 낮은 주파수를 갖는 강한 점전류 I를 보낼 때 지중 임의의 점 P에서의 전위 V(voltage)는 반 무한 평면상에서

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (3-1-4)$$

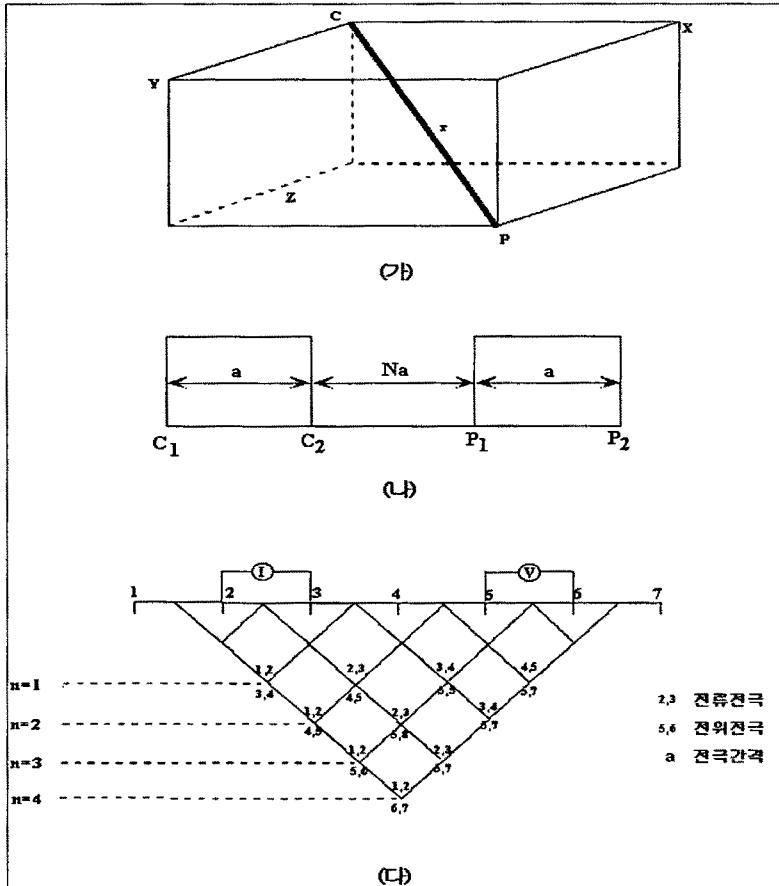
이고, 이때  $z=0$ 이므로  $r = \sqrt{(x^2 + y^2)}$ 이 된다.

<그림 3-1-7>의 (나)에서와 같이 지표면에 매설한 한쌍의 전류전극  $C_1(+I)$ 과  $C_2(-I)$ 를 가정하고 임의의 점  $P_1, P_2$ 에서 각각의 전위를 고려할 때, 점  $P$ 의 전위는  $C_1$ 과  $C_2$ 에 의한 전위의 차  $V = V_{C_1} - V_{C_2}$ 로 나타난다. 즉,

$$V = \frac{\rho_a I}{2\pi} \left( \frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2} \right) \quad (3-1-5)$$

와 같다. 따라서 쌍극자 배열은 전위 및 전류전극 간격이  $a$ 로 일정하므로 겉보기 비저항(Apparent resistivity)은 다음의 식(3-1-6)과 같다.

$$\rho_a = n(n+1)(n+2)\pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (3-1-6)$$



<그림 3-1-7> 전기비저항탐사 원리 및 모식도

현장에서의 탐사방법 및 자료취득은 <그림 3-1-7>의 (다)와 같은 형태로 행해지고, 이를 가단면도(Pseudosection)라고 한다. 만약 매질이 균질하다면 가단면도에 나타난 전기비저항 값은 진비저항값과 같으나, 실제로 현장탐사에서는 매질이 불균질한 특성을 보이기 때문에 전기비저항값은 겉보기비저항값이 된다. 그러므로 이를 해석하기 위해서는 컴퓨터에 의한 Forward Modeling이나 역산(Inversion)이 필요하다.

## 2) 슬럼버저(Schlumberger) 배열법

수직탐사의 목적은 지표면상 한 점에서 그 하부의 심도에 따른 전기비저항 변화를 측정하고, 그 결과를 다른 지질학적인 정보내지는 지식과 대비시켜 지하의 구조를 더 상세히 파악하는데 있다. 수직탐사는 대지에 공급되는 전류가 전류전극 사이의 간격이 넓어질수록 더 깊은 곳을 통과한다는 사실에 기초하고 있다. 즉 전류전극간의 간격이 넓을수록 심부의 정보를 반영하게 된다.

수직탐사법은 전극배열 방식에 따라 여러 가지로 분류되지만, 대체로 슬럼버저 배열법이 사용된다. 슬럼버저 배열법에서는 중간 전위전극을 고정하고, 두 전류전극 사이의 간격을 중간지점을 중심으로 넓혀가면서 측정을 수행한다. 이 방법은 전류전극만을 이동시키므로 작업이 간편하고 지표의 국부적 이상체에 의한 영향이 전 자료에 균일하게 나타나므로 자료획득 및 해석이 편리하다.

슬럼버저 배열의 겉보기비저항은 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{대칭형} : \rho_a &= \pi a n(n+1) \cdot \frac{\Delta V}{I} \\ \text{비대칭형} : \rho_a &= \frac{\pi L^2}{2\ell} \cdot \frac{\Delta V}{I} \end{aligned} \quad (3-1-7)$$

여기서 L,  $\ell$  : 전류전극 및 전위전극 간격의 1/2

전류전극 사이의 간격이 좁을 경우는 천부의 전기비저항 값에 수렴하며, 간격이 넓어짐에 따라 심부의 전기비저항 값에 수렴하게 된다.

현재 주로 사용되고 있는 해석방법은 지하구조가 1차원, 즉 수평 다층 구조로 이루어져 있다는 가정 하에서 표준곡선을 이용하거나, 앞의 쌍극자 탐사에서와 마찬가지로 모델링에 의한 시행착오법 또는 컴퓨터에 의한 역산 방법을 사용한다. 그러나 지하가 1차원 구조라는 가정은 실제로 성립되지 않으므로, 어떤 방법을 사용하여도 정확하게 지하의 전기비저항 분포를 알아낼 수는 없다. 따라서 단 1개의 측정만으로 지하의 지질구조를 해석하는 것은 많은 위험이 따르며, 다른 지질학적 정보내지는 다른 물리탐사 자료와 병행하여 해석하거나, 여러 점의 수직 탐사자료를 종합적으로 비교 해석하는 것이 지하의 지질구조 파악에 유리하다.

## 다. 전자기 탐사(MT)

### 1) 기초원리

전원 사용방법에 의한 전자기탐사는 2가지로 분류되는데 ① 인공전원을 이용하는 경우와 ② 자연전원을 이용하는 경우(MT법)이다. 이 중에서 지하수조사를 위해 사용이 편리한 자연전원을 이용한 전자기탐사는 태양의 흑점활동과 관련된 전리층의 교란과 뇌우 등에 의해 지구상에 자연적으로 존재하는 전 자기장을 평면파 송신원으로 이용하여 지하의 전기전도도 분포를 규명하는 주파수 영역 전자기탐사법의 일종이다. 또한 전자기탐사는 광범위한 주파수대역을 이용하기 때문에 현존하는 전기, 전자탐사법 중 가장 큰 가탐심도를 갖는 심부 탐사방법으로써 깊은 가탐심도 때문에 국부적인 이상대의 파악보다는 광역적인 구조 파악에 더욱 큰 비중을 두는 물리탐사 방법으로 심부 금속광상, 지하수탐사, 지열탐사, 석유탐사, 지각구조의 연구 등에 널리 이용되고 있다.

본 탐사방법은 자연장을 이용하므로 탐사를 위한 별도의 에너지원이 필요없다는 장점이 있지만 자연장을 이용하므로 신호가 대단히 미약하다. 따라서 잡음에 약하고 시간적으로 그 방향 및 세기가 변한다는 약점이 있다.

본 탐사에서 주파수  $f$ 에 대한 겉보기비저항( $\rho_a$ )과 위상차 ( $\varphi$ )는 지표에서 측정된 서로 수직 방향의 전기장  $E$ , 자기장  $H$ 의 비(임피던스  $Z=E/H$ )를 이용하여 다음 식과 같이 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_a &= 1/\mu \omega \cdot |Z|^2 = 1/5f \cdot |E/B|^2 \\ \varphi &= \varphi E - \varphi H \end{aligned} \quad (3-1-8)$$

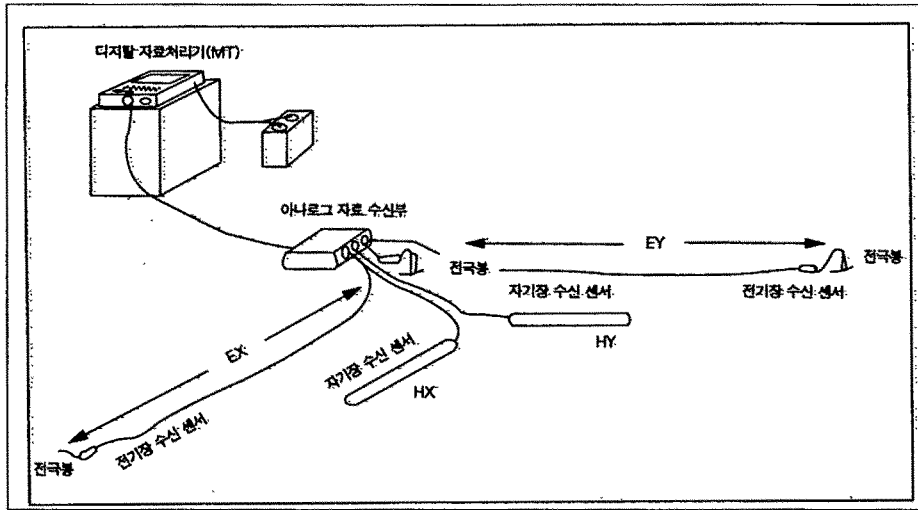
여기서, B : Magnetic flux density  
 $\mu$  : Magnetic permeability in vacuum  
 $\omega$  : Angular frequency  
 $\varphi E$  : E-field phase(E = Electric Field)  
 $\varphi H$  : H-field phase(H = Magnetic Field)  
 Z : Impedence

균질반무한 공간의 경우 겉보기 비저항은 대지의 진비저항을 의미하며, 위상은  $\pi/4$ 가 된다. 또한 전자파는 주파수에 따라 가탐심도(skin depth,  $\delta$ )가 달라지는데 다음과 같은 식에 의한다.

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ (m)} \quad (3-1-9)$$

여기서,  $\rho$  : 전기비저항  
 $f$  : 주파수

지하구조가 균질 1차원 구조인 경우 즉, 수평층서인 경우에 지표면에 수직으로 입사한 전자장에 대한 반응에 있어서 임피던스  $Z$ 는 항상 일정하며 전기 및 자기장의 측정방향에 관계없이 겉보기비저항은 동일하게 나타난다. 그러나 수평 방향으로 전기전도도의 분포가 달라지는 2차원 또는 3차원의 경우에는 측정하는 방향에 따라 임피던스  $Z$ 와 겉보기비저항이 달라진다. 이와 같은 사실은 전자기 탐사의 자료 해석을 복잡하게 하지만 전기장과 자기장을 서로 수직되게 하면 지하 전기전도도 분포의 이방성(Anisotropy) 및 주향 방향을 얻을 수 있다(<그림 3-1-8>).



<그림 3-1-8> 전자기탐사 개념 모식도

MT 탐사에서 사용되는 송신원은 1Hz 이하의 경우에는 전리층의 교란에 의한 magnetic pulsation, 1Hz 이상의 주파수에서는 뇌우 등에 의해 지구상에 자연적으로 존재하는 전자기장으로써 이러한 MT 신호원은 신호 발생지점에서 매우 먼 지점에서는 평면파의 거동특성을 보이게 되고 발생된 신호는 전리층과 대지 사이의 층을 따라 전파하면서 에너지의 일부가 대지로 굴절되어 땅속으로 전파하게 된다. 땅속으로 굴절된 전자파는 지면에서 항상 수직방향으로 전파하게 되며 전기장 및 자기장은 수평성분만이 존재하게 된다. 이러한 MT 신호원의 특성은 MT 탐사 결과의 해석을 매우 용이하게 하는 중요한 현상중의 하나이다.

전자기탐사는 통칭하여 MT(Magnetic Telluric)탐사라고도 하며 탐사방법이 발달되어 CSAMT, EMAP, IMAGEM 등 여러 가지 명칭을 사용하고 있는데, CSAMT 탐사는 인공송신원을 사용하여 실시하는 방법이고, EMAP 탐사는 전기 탐사의 쌍극자탐사와 같이 측선을 따라 연속측정하여 지질 및 지형의 영향으로



발생되는 잡음을 최소화하고 이차원(2D) 해석을 효과적으로 하는 방법이며, IMAGEM 탐사는 자연송신원, 안테나송신원을 겸용으로 사용하여 천부층과 심부층에 대하여 선택적인 탐사가 가능한 탐사방법이다.

## 2) 탐사장비

국내에서와 같이 전기비저항이 높은 지질조건에서 천부의 정보를 얻기 위해서는 상당히 높은 고주파(100kHz 정도) 자료가 요구되는데 국내의 탐사여건에 적합한 탐사장비중의 하나가 IMAGEM이다. 이 장비는 약 10Hz~100kHz 대역의 MT 탐사를 위하여 제작된 장비로써 MT 탐사에서와 마찬가지로 서로 직교하는 전기장 및 자기장을 측정하여 지하의 전기비저항 분포에 관한 정보를 추출해 낸다.

본 탐사장비의 장·단점은 다음과 같다.

- 장점 : 장비의 이동성이 뛰어나 험한 지형조건에서 탐사 가능  
장비설치 및 측정시간이 짧다.  
실시간 자료처리가 가능
- 단점 : 전기비저항이 낮은곳에서 가탐심도가 매우 낮다.  
전자기장의 수평성분만 얻기때문에 자기장의 수직성분에 대한 자료를 얻을 수 없음

전기장의 측정을 위한 쌍극자의 간격은 조사지역의 전자기적 잡음 수준 및 대지의 전기비저항에 의하여 결정되는데, 심부의 지하수탐사가 목적일 경우에는 가능하면 쌍극자 간격을 넓게 설정하는 것이 바람직하고, 그렇게 함으로써 천부의 지질잡음(geologic noise)을 공간적으로 제거시키는 효과를 얻을 수 있다. 일반적으로 국내 대지의 평균적인 전기비저항을  $500\Omega\text{-m}$ 라 하면 대략 15-30m 정도는 되어야 한다. 현장 측정시 주의해야 할 점 중에 하나는 현장의 전자기적 잡음 수준에 따른 측정수의 결정이다. 만약 조사지역의 잡음수준이 높을 경우에는 가능한 많은 수의 측정을 수행하여 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)를 향상시켜야 하며, 차후의 자료처리 과정에서도 잡음에 심하게 오염된 시계열(time series)자료를 제외시킬 수 있는 여유가 있게 된다.

## 3) 자료처리 및 해석

IMAGEM 탐사기기를 사용하여 현장 측정에서 얻어지는 자료는 서로 수직한 전기장 및 자기장 4개의 시간에 따른 변화를 연속적으로 기록한 시계열이다. 이 자료는 MT 자료처리와 마찬가지로 우선 각 시계열간의 상호상관(cross power)과

자기상관(autopower)을 구하고 이로부터 임피던스를 계산하게 된다. 그 다음 겐보기 비저항 및 전기장과 자기장 사이의 위상차 자료를 계산하여 해석에 사용하게 된다.

이상의 과정을 거쳐 얻어진 겐보기비저항 및 위상자료는 Bostic 역산과 공간 필터링을 통하여 지하 단면의 2차원적 전기비저항 구조를 얻게 된다. 현장 측정시 자료를 얻지 못한 측정의 경우는 인위적 내삽 및 공간필터링에 의한 자동적인 내삽을 통하여 전체적으로 축선하부의 전기비저항 단면을 구현하게 된다.

IMAGEM 탐사기는 현장에서 획득된 자료가 컴퓨터에 내장된 역산프로그램에 의해 1차원 수직결과, 2차원 단면해석 결과가 자동으로 실행되게 되어 있고, 국내에서와 같이 전기 비저항이 높은 지질조건에서 고주파수대역을 이용한 천부의 지질정보를 얻기 위해서 적합하다.

### 라. 방사능 탐사

방사능 광물은 각종 암석이나 해수, 강물, 석유 등에 존재한다. <표 3-1-5>은 U, Th, 및 K<sup>40</sup>의 암석 종류별 평균 함량비를 도표화한 것으로서, 화강암과 현무암 사이에는 방사능 원소의 함량에 큰 차이가 있으며, 특히 화강암에는 Th가 현저히 많다.

방사능 탐사의 중요 목적은 우라늄이나 토륨을 찾는 것이나 지질구조 조사에도 많이 활용되고 있다. 화강암에 많이 함유되어 있는 칼륨(K)에 의한 방사능 이상대나 퇴적암이 일반적으로 화성암이나 변성암보다 더 강한 방사능을 나타내는 점에 유의하면 지질경계와 구조선 등을 확인하는데 참고가 된다.

<표 3-1-5> 암석 종류별 방사능 원소의 함량 비

구 분	U (g/t)	Th(g/t)	K <sup>40</sup> (%)
현 무 암	0.9	4.2	0.75
휘 록 함	0.8	2.0	
화 강 암	3~5	13.0	4.4
퇴 적 암 류	~1.0	5~12	
석 회 암	1.3	1.1	
석 유 수	100		
해 수	0.00014~0.0016	0.0005	
	(%)	(%)	
우 라 니 나 이 트	38~80	0~0.3	
카 노 타 이 트	50~63	0~15	
쏘 리 아 나 이 트	23~26	53~57	
모 나 자 이 트	0.02~0.7	3.5~16.5	

탐사방법은 측정 간격을 일정하게 Grid를 설정하고 각 Grid node에서 방사능 강도를 측정하여 방사능 분포도를 작도한다. 광역적인 지역의 조사를 위하여는 지질경계 또는 예상 지질구조선에 수직으로 측선을 설정하여 일정간격으로 방사능강도를 측정하여 변동내용을 검토할 수도 있다.

방사능 측정기구는 가이거물리(Geiger-Muller)계수기나 형광계수기(Scintillation Counter) 등을 사용하는데 공사 보유장비인 GIS-5 Integrating Gamma-Ray Spectrometer는 후자에 해당된다. 형광계수기는 요오드화나트륨(NaI) 결정체로 만들어져 있으며 야외에서 손쉽게  $\gamma$ -ray를 탐지할 수 있는 장비이다.

에너지 한계치(Threshold)는

- 1) T.C인 경우 0.05 MeV를 넘는 모든 감마 에너지이고
- 2) K+U+Th인 경우는 1.38 MeV를 넘는 모든 에너지이고
- 3) U+Th은 1.66 MeV를 넘는 모든 에너지이고
- 4) Th+Cal은 2.44 MeV를 넘는 모든 에너지이다.

방사능 단위로는 큐리(curie)가 사용된다. 1 큐리는 1초에  $3.7 \times 10^{10}$ 의 핵분열이 일어남을 의미하며, 이 숫자는 순수한 라듐( $^{226}\text{Ra}$ )이 1초당 방출하는  $\alpha$ -입자의 수와 같다.  $\gamma$ -선은 X-선과 그 성질이 유사하고, 따라서 X-선의 측정 단위인 렌트겐(Rentgen)을 사용한다. 1 렌트겐은 0°C, 760mmHg의 공기 중에서 1cm<sup>2</sup> 당 단위 정전하를 띠도록 하는 방사선을 말한다.

현장 측정단위는 cps를 주로 사용하며 이는  $\gamma$ -선이 형광계수기에 침투하는 초당 투과수(count/second)를 말한다. 또한 관측기 제작회사에 따라서는 이것을 API(American Petroleum Institute)단위로 나타내기도 한다. 16.5 API는 1 ton당 1 $\mu$ g의 방사능 물질을 포함하는 것을 의미하며 이는 자연감마선의 측정단위를 cps로 할 경우 측정 센서 특성(크기, 내구 년수, 측정 방식 등)에 따라서 변하기 때문에 검출기 센서의 보정(calibration)을 통하여 cps단위를 API단위로 환산해야 한다.

### 3.1.4 시추·착정 및 검층조사

#### 가. 시추·착정 조사

시추조사의 목적은 지표지질조사와 물리탐사 결과에 의하여 추정되는 지하지질구조와 지하수 부존성을 확인하는데 있다. 지하의 수리지질구조 파악에 가장 직접적이고 정확한 방법으로는 조사대상 지점에 시험시추를 실시하여 이때 채취한 시추코아로부터 각 지층을 감정하여 지질주상도를 작성하고 제반 공학적, 수리학적 특성시험을 통하여 지하에 분포·발달된 지층의 수리성을 파악하는 것이다.

시추조사와 착정조사의 구분은 조사 목적이 지질 및 지층조사에 중점적일 때는 시추조사이고 대수층 특성파악에 중점을 두면 착정조사로 볼 수 있으나, 지하수조사의 경우는 굴착 구경으로 보아 양수시험용 펌프 삽입이 가능한 규모( $\phi$  150mm)이상의 시추조사는 착정조사로 분류한다.

시추주상도 가운데서 가장 일반적인 것으로는 각 지층의 지질적인 성질이나 지질특성이 갑자기 변하는 지점의 지층 두께 및 지하수위의 심도 등을 기록해 둔 시추공의 기록이다. 그러므로 시추·착정조사에서 굴착심도에 따라 미고결층의 슬라임과 암반층의 암석 파쇄물을 채취하여 분석하는 것이 제일 중요한 작업이며, 또한 지층 변경에 따른 토출수의 증가량 측정도 중요하다.

지하수관리조사에서 시추조사는 수맥조사의 시추조사와 같은 성격이므로 수맥조사과정의 시추조사요령을 소개하면 다음과 같다.

- 위치선정 : 기 실시한 지표지질조사, 기설관정 조사 및 물리탐사 자료 등을 근거로 하여 지구내 기반암 등고선, 지하지질구조대 및 지하수위 자료 등을 확인하여 조사공 위치를 선정한다.
- 굴착행위 신고 : 지하수조사를 위하여 토지를 굴착하기 전과 행위종료 후에는 시장·군수에게 신고하여야 한다(지하수법 제9조의4). 굴착행위신고서(시행규칙 별지 제13호의7서식) 작성시 구비서류는 굴착행위의 위치를 표시한 축척 5천분의 1 이상의 지형도·지적도 또는 임야도와 원상복구계획서이다.
- 시추조사
  - 시추조사는 D.T.H Air Hammer공법으로 시추하며 구경은 기준채수량을 확인할 수 있도록  $\phi 4\frac{3}{8}$ " 이상으로 한다. 시추심도는 물리탐사과정에서 확인된 이상대 심도까지 굴착한다.
  - 에어써징은 기준 수량 추정 및 공내 이물질 제거를 위하여 실시한다.
  - 에어써징 실시 후 전기검층기를 사용하여 공내 전기검층을 실시하며 Short Normal(16")과 Long Normal (64")의 전극배열로 대수층 상태에 따라 1~5m 정도로 조정하여 측정한다.
  - 시추조사공의 인계 및 폐공처리는 해당 행정기관과 협의하여 실시하며 주

민 이용으로 시추공 인계를 요구할 경우 지하수법에 의한 지하수 오염방지 조치를 취한 후 시·군에 인계하여 주민이 활용할 수 있도록 한다.

- 인계공을 제외한 시추조사공은 지하수법에 의거하여 폐공처리 한다.
- 시추공에 대하여 인수인계서, 작업사진, 폐공처리 확인서 및 폐공관리대장을 작성하여 폐공 또는 이용시설 설치시까지 관리에 만전을 기한다.

## 나. 물리검층

### 1) 개요

지구물리검층은 간접적인 지층조사 방법으로서 시추공에 대해 일정한 에너지원을 사용함으로써 심도별로 이상(anomaly)구간을 찾을 수 있는 방법이다. 물리검층 만으로는 직접적으로 암석의 종류나 그 공극률, 투수계수 및 밀도와 같은 성질을 결정할 수는 없으나 그 지층이 대수층으로서 충분한 다공 및 투수성을 가진 층이라고 규정지을 수 있는 지구물리학적 특성은 측정할 수 있다.

검층의 종류는 시추시 채취한 여러 시료들로 부터 얻은 결과를 깊이에 따라 기록하는 방법(코어검층, 이수검층 등)과 시추공내에서 깊이에 따라 한가지 또는 여러가지의 자연적 또는 인공적 물리량을 측정하여 시추공 주변의 지질적 특성을 파악하는 방법 등이 있으나, 보통 물리탐사 분야에서의 검층은 시추공내 검층을 말한다. 방법은 센서가 달린 검층기를 줄에 매달아 공내에 삽입하여 물리량을 측정하는데, 이용되는 물리적 원리에 따라 전기검층(자연전위검층, 비저항검층), 방사능 검층(자연방사능검층, 중성자검층 등) 및 기타검층(음향검층, 텔레뷰어검층, 공경검층, 온도검층 등)이 있다. 물리검층은 1927년 프랑스의 Schulumberger 형제가 Pechelbronn 유전의 한 시추공에서 전기비저항 검층을 실시한 이래 주로 석유탐사의 목적으로 급속히 발전하여 왔으며, 최근에는 석유탐사 외에도 지하수 탐사, 지열탐사, 광물탐사 및 지질공학 분야에서의 응용도 점차 증대하고 있다.

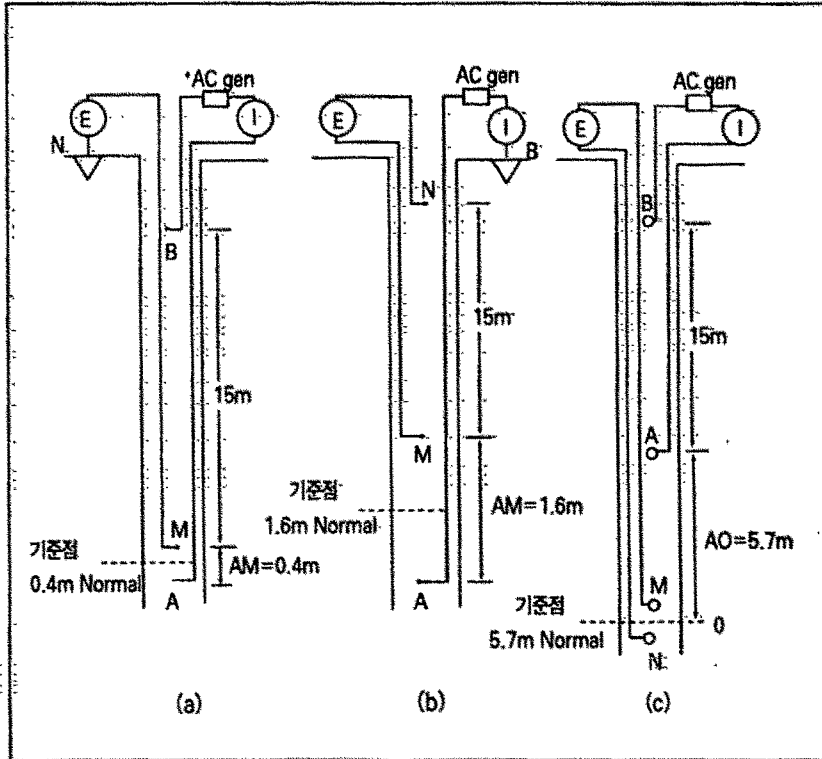
### 2) 전기비저항 검층

본 검층방법은 시추공에서 전극 배열간격을 달리하면서 겉보기 비저항을 측정하여 이용하는 검층법으로 일반적으로 매우 건조한 모래나 점토의 비저항치는 상당히 크지만 일단 포화된 상태하에서는 그 비저항치가 현저히 감소하는 원리를 이용하는 방법이다. 즉 포화된 물이 전기전도체이므로 이들이 건조상태의 모래나 점토를 포화시키면 물이 입자의 공극에 충전되고 공극과 공극 사이를 서로 연결 시켜주는 역할을 하게 되므로 주변구간에 비해 전기비저항의 변화가 다르게 나타내게 된다.

결정질암에 설치된 관정 중에서 대수층 구간으로 작용하는 부분은 주로 파쇄대, 단층, 절리 및 층리면과 같은 2차 유효공극이 발달된 구간으로 이러한 구간

을 통하여 지하수가 유동한다면 타구간에 비해 전기비저항이 상대적으로 낮게 나타날 것이다. 그러나 이들 구간에 동력변성작용과 같은 구조적인 영향에 의해 생긴 세립질 점토물질이 협재되어 있는 경우는 타구간에 비해 전기전도도가 높은 경향이 있을 수 있다. 그러므로 전기비저항검층에 의한 자료를 해석하는 경우에는 여러 가지의 검층법들을 종합적으로 해석하는 것이 필요하다.

전기비저항검층법의 종류는 단극저항 검층, normal 전기비저항 검층 및 lateral 전기비저항 검층 등 크게 3가지이다(<그림 3-1-9>).



<그림 3-1-9> 전기비저항검층의 전극 배열 기본도

① 단극 저항검층(single electrode resistance logging)

본 검층법은 전기비저항검층의 일종으로 직류 또는 저주파수 교류를 시추공내에 위치하는 이동전극과 지표상에 고정되어 있는 전극 사이에 흘려보내, 두 전극 사이 지층의 전기저항을 측정하는 것으로 전기검층 중 가장 간단한 방법으로 사용 기기가 간단하다. 그러나 공극률이나 암상의 정량적 해석에 필요한 지층의 전기 비저항은 구할 수 없다는 단점을 갖고 있다.

깊이가 얇은 공에는 적절한 방법으로서 지층 구분이 뚜렷하므로 지층대비 등을

위한 정성적 해석이나 파쇄대, 소폭의 금속광이나 탄층 등을 구분하는데 유용하다.

### ② 노말 전기비저항 검층(normal resistivity logging)

전기비저항 검층의 일종으로 4개의 전극 중 시추공내에 배열한 전류전극 A와 전위전극 M사이의 간격을 매우 짧게 배열함으로써 A전극으로 부터의 전류에 의한 M 전극에서의 전위를 측정한다. 따라서 이 방법을 2전극 검층이라고 한다.

본 검층법은 전극간의 간격을 기준으로 단노말 전기비저항검층(short normal-)과 장노말 전기비저항검층(long normal-)으로 나뉘는데 이때의 M, A 간격은 16"와 64"이다<그림 3-1-9, (a), (b)>.

본 검층법은 래터럴 전기비저항검층에 비해 침투 심도가 깊고 검층기록이 대칭형으로 나타나 인접 지층의 효과도 적으므로 해석이 용이하다는 장점이 있으나 상대적으로 정밀도가 떨어진다는 단점이 있다.

노말 전기비저항검층은 지층대비, 층 경계면의 결정 그리고 공벽 가까운 곳의 전기비저항의 측정에 유용하며, 근래에는 유정 검층에는 많이 이용되지 않으나 지하수 검층 등에는 아주 유용하게 사용되는 검층법이다.

### ③ 래터럴 전기비저항 검층(lateral resistivity logging)

본 검층방법은 공내의 두개의 전위전극을 서로 근접(보통 32inch) 시키고, 하나의 전류전극은 이들의 약간 상부에 위치시키고 다른 하나의 전류전극은 원거리에 배열한다. 따라서 검층기에는 3개의 전극이 배열되므로 3전극 검층이라고도 부른다. 두 전위전극의 중간으로부터 근거리 전류전극 사이의 거리를 전극간격이라 부르는데 보통 전극간의 거리는 16~22ft이다. 전극간격이 이보다 짧은 6~9ft인 경우를 단래터럴 전기비저항검층이라 부른다.

본 검층법은 인접한 지층이나 박층의 영향을 많이 받고 정밀도가 높는데 비해 가탐심도가 얕다는 단점이 있다. 대체적으로 적용범위는 암질이 균일하고 두꺼운 지층에 유용하다.<그림 3-1-9, (c)>

## 3) 자연감마선 검층(Natural Gamma logging)

감마선검층( $\gamma$ -ray logging)은 자연방사능에 의한 감마선의 총량을 측정하는 물리검층법이며 감마선은 광전배증관(photomultiplier)과 광학적으로 결합된 나트륨 옥화물 결정(NaI : sodium iodide crystal)에 의해 감지된다. 암석으로부터 방출되는 대부분의 방사능은 우라늄( $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ), 토륨( $Th^{232}$ ), 포타슘( $K^{40}$ ) 등의 자연 방사능 동위원소로부터 방출되며 우라늄이나 토륨으로부터 방출되는 감마선 에너지는 포타슘에 비하여 훨씬 크지만 일반적으로 암석내의 포타슘 함량이 우라

높이나 토륨보다 훨씬 많기 때문에 지층의 자연감마선량은 세 원소에 대하여 비슷하게 영향을 받는다. 암석 내에서의 광물조성의 변화는 이러한 방사능 광물의 함량과 연관되어 있으므로 자연감마선 검층자료는 시추공에 따르는 지층의 암석 구성에 상응한다. 퇴적암에서 중요한 방사능 원소는 칼륨이다. 칼륨은 대체적으로 점토광물 중 일라이트 점토광물에 많이 포함되어 있다. 이러한 특성 때문에 점토질 암석과 비 점토질 암석을 구별하는데 사용한다.

감마선은 비교적 높은 에너지를 가지고 쉽게 물체를 투과하기 때문에 케이싱이 설치된 시추공에서도 측정이 가능하므로 사용 범위가 넓다.

또한 감마선 검층은 전기검층과 달리 수질에 영향을 받지 않기 때문에 염수층이나 수질오염층에서 지층구분에 유용하게 사용될 수 있다.

감마선강도의 측정단위는 cps(count per second)단위가 일반적이나 조사장비에 따라서 이것을 API(American Petroleum Institute)단위로 나타내기도 한다.

#### 4) 자연전위 검층(SP검층 : Selt-Potential logging)

본 검층방법은 지구 내부에서 발생하는 자연전류의 전위차를 측정·이용하는 검층법으로, 이러한 전위를 Self Potential 혹은 Spontaneous Polarization 이라 해서 간단히 약자로 SP라 한다.

본 검층의 측정방법은 2개의 전극봉을 이용하여 시추공내에 내린 이동하는 전극(M)과 지상에 고정되어 있는 전극(N)사이의 자연 전위차를 측정하는 것으로서 자연전위 곡선은 보통 세일 기선으로부터의 편향의 크기로 정한다. 즉, 불투수성 세일과 투수성 지층과의 전위차가 자연전위값이 된다. 지층에서의 자연전위값은 지층수, 이수의 이온 함유비, 점토질 함유량, 지층의 두께, 이수 침입, 지층 경계효과 등에 의해 좌우된다.

일반적으로 2개의 전극봉 중 1개는 지상에 설치하고, 나머지 1개는 관정내에 설치하는데 통상적으로 SP곡선 모양은 전기비저항곡선과 반대현상을 나타낸다.

측정원리는 지상의 전위가 일정하므로 심도에 의한 M의 전위변화를 측정하며, 사층에서의 측정결과는 입도조성과 비저항(specific resistance) 값이 거의 비례하고 이수가 증가함에 따라 비저항 값은 감소하므로 일반적으로 고결도가 높을수록 비저항값의 경향이 크다는 것을 이용한다.

검층법의 적용범위는 검층에서 투수성 지층의 판별, 투수성 지층과 세일층과의 경계결정, 지층수의 전기비저항 계산, 암층내에서의 세일함량 추정 등이 있고, 황화광물, 흑연, 자철석 등의 광상 탐사에도 이용된다.



### 5) 온도 및 전기전도도 검층(Fluid Temp. & Conductivity logging)

일반적으로 온도검층은 온천시추공에서 사용되며 온천수의 열원이 되는 대수층 심도 파악, 지온상승률 측정 등에 사용되며 대부분의 관정에서 심도의 증가에 따라 점차 상승되는 경향을 나타낸다.

전기전도도 검층은 물질이 전류를 흐르게 하는 능력을 이용하여 검층을 하는 것으로 단위는  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이다.

전기전도도의 크기는 물에 포함된 총고용물질의 함량에 비례한다. 즉,

$$\text{TDS}(\text{mg}/\text{L}) = A \times \text{전기전도도}(\mu\text{S}/\text{cm})$$

(비례상수 A는 일반적으로 0.55~0.75)

따라서 지하수에 용해된 광물질, 오염물질, 염소이온농도와 밀접한 관계를 나타내게 된다. 이러한 특성을 이용하여 해수침투나 지하수오염 등의 검층에 이용될 수 있다.

### 3.1.5 대수성시험 및 평가

#### 가. 개요

지하수의 물리적 유동 특성을 정량적으로 파악하는데 사용되는 수리상수들에는 수리전도도(hydraulic conductivity), 투수량계수(transmissivity), 저류계수(storativity) 등이 있다. 이들 수리상수는 토양 입도분석, 정수위 혹은 변수위 투수시험 등의 실내 실험을 통해서 결정할 수도 있고, 순간수위변화시험(Slug Test), 양수시험(Pumping Test), 수위회복시험(Recovery Test), 단계양수시험(Step-Drawdown Test) 등의 현장시험을 통해서도 결정할 수 있다.

실내 시험 및 현장 시험을 통해서 얻어지는 수리상수들은 그 자체로 지하수계 즉 대수층 매질의 물리적 특성을 지시하는 중요한 인자들이므로 지하수 조사에서 수리상수의 산출은 가장 기초적이면서도 중요한 조사내용이다. 현장에서 투수시험에 의해 수집된 수리상수 값들은 이들의 대비에 의하여 투수성 매질의 수리지질학적 분류도 가능하게 한다. 또한 수리상수들은 지하수계의 유동현상과 오염물질의 거동범위를 예측하기 위한 모델링에서도 필수적이고 중요한 입력자료로 활용된다.

수리상수들 각각에 대한 정의는 다음과 같다.

- 수리전도도(K, [L/T]) - 지하수 흐름 방향에 수직인 단위 면적을 통해 단위 수위구배 하에서 다공질 매질을 단위 시간 동안 흐르는 물의 부피
- 투수량계수(T, [L<sup>2</sup>/T]) - 위에서 정의한 수리전도도(K)와 대수층 포화 두께(b)를 곱한 값
$$T = K \times b$$
- 저류계수(S, [무차원]) - b의 포화 두께를 가지는 피압 대수층에서 단위 수위변화시 대수층의 단위 면적을 통해 유출되는 물의 부피
$$S = S_s \times b$$
- 비저류계수(S<sub>s</sub>, [1/L]) - 포화된 피압대수층에서 단위 수위변화시 단위부피에서 유출되는 물의 부피
- 비산출계수(S<sub>y</sub>, [무차원]) - 자유면 대수층에서 단위 지하수면(water table) 변화시 대수층의 단위 면적을 통해서 유출되는 물의 부피

위의 정의와 같이 일반적으로 피압 대수층에서는 저류계수를, 자유면 대수층에서는 비산출계수를 대수층의 저류성을 표현하는 수리상수로서 사용한다.

현장 대수성시험 방법으로는 지금까지 여러 가지 방법들이 개발되어 사용되고 있으나 순간수위변화시험, 양수시험, 수위회복시험, 단계양수시험, 팩커를 이용한 주수시험 등이 가장 일반적으로 현장에 적용되고 있다.

### 가. 순간수위변화시험(Slug Tests)

순간수위변화시험은 미국에서 이미 1960년대 초부터 이론이 정립되어 현장에서 빈번하게 사용되어 온 투수시험 방법이다. 순간수위변화시험의 장점은 양수기 등의 복잡한 도구가 전혀 소요되지 않으며, 오직 수위 측정 기구와 순간적으로 지하수위를 상승 또는 하강시켜 줄 수 있는 간단한 도구(예 : 일정부피의 물체 혹은 지하수 채수기)만 가지고 시험을 수행할 수 있다는 점이다. 시험은 bailer를 사용해 물을 덜어내거나 물을 더해서 순간 수위 변화를 야기시키는 bail tests와 부피를 알고 있는 slug를 정호에 집어 넣거나 빼서 수위변화를 일으키게 하는 slug tests로 나뉘는데 통상적으로 둘 다 순간수위변화시험(slug tests)이라고 부른다.

순간수위변화시험을 통해 얻어지는 수리전도도 값은 양수시험을 포함한 다른 현장투수시험들에서 얻어진 값들과 큰 차이를 보이지 않는 정확도를 가지고 있다는 점이 많은 연구 결과를 통해서 입증되어 있다. 이 외에도 하나의 관정만을 대상으로 시험을 수행하여 수리전도도를 구할 수 있는 단공 시험법이며 시험을 수행하는 시간이 짧다는 장점이 있다. 그러나 순간수위변화시험으로 수리전도도 값은 비교적 정확하게 구할 수 있으나 저류계수는 구한 값의 신뢰도가 떨어진다는 것이 단점이다.

순간수위변화시험은 다음의 과정을 통해 수행된다.

- ① 시험 대상 관정의 포화두께, 자연 수위, 스크린 길이, 관정 내경 기록
- ② 순간적 수위 상승 혹은 강하 유발
- ③ 시간에 따른 수위회복 관측 및 기록(자동계측기 이용)
- ④ 해석 방법 선택 및 시험 자료 해석
- ⑤ 수리상수 취득

순간수위변화시험에 의해 얻어진 현장시험 자료의 해석방법은 Bouwer-Rice 방법(이하 BR방법), Cooper-Bredehoeft-Papadopulos 방법(이하 CBP방법) 및 Hvorslev 방법 등이 있는데 이들 방법의 해석 이론은 다음과 같다.

#### 1) Bouwer-Rice 방법

BR 방법은 Thiem의 정류상태 방정식에 기초를 둔 순간수위변화시험 자료 분석법이다. 순간적인 수위하강 후 시험정으로의 지하수 유입은 식(3-1-10)으로 표현할

수 있다.

$$Q = 2\pi Kd \frac{h(t)}{\ln(R_e/r_w)} \quad (3-1-10)$$

시험정에서의 연속적인 수위회복을 즉 (dh/dt)는 식(3-1-11)과 같이 쓸 수 있다

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{Q}{\pi r_c^2} \quad (3-1-11)$$

식(3-1-10)과 식(3-1-11)을 결합하여 적분하면 식(3-1-12)와 같이 수리전도도를 구할 수 있는 식을 얻는다.

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e/r_w)}{2d} \frac{1}{t} \ln \frac{h(0)}{h(t)} \quad (3-1-12)$$

이 때 각각의 기호들이 의미하는 바는 다음과 같다.

$r_c$  : 케이싱 반경

$r_w$  : 스크린 구간의 유효 반경

$R_e$  : 영향 반경

$d$  : 스크린 길이

$h(0)$  : 순간 수위강하 초기의 수위 값

$h(t)$  : 시간 t에서의 수위 값

여기서 영향 반경  $R_e$ 는 실험적으로 이미 구해진 값으로 시험 관정의 설치·특성과 경계조건에 의해 결정되는 요소이다.

BR 방법을 이용하여 다음과 같은 과정을 거쳐 수리전도도를 구할 수 있다.

- ① semi-log용지에 시간대 수위 자료를 도시한다.
- ② 도시된 자료점들을 이어주는 직선을 긋고 직선의 기울기를 계산한다.  

$$\text{기울기} = \ln\{h(0)/h(t)\}/t$$
- ③ 시험정의 설치 특성을 고려하여 유효반경( $R_e$ )을 결정한다.
- ④ 식(3-1-3)을 이용하여 수리전도도를 계산한다.

BR 방법은 자유면대수층과 피압대수층의 순간수위변화시험에 공히 사용가능하며, 대수층 수직 전체구간 및 일부구간에 대한 시험 자료의 해석에도 사용할 수 있다. 다만 정류상태의 흐름을 가정하므로 수리전도도만을 구할 수 있다.

## 2) Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos 방법

CBP 방법은 피압대수층에 설치된 완전관통 관정에서의 부정류 상태 흐름을 가정하여 전개한 이론에 의해 투수량계수 및 저류계수를 결정한다. 순간수위변화시험 자료 해석에 사용되는 식은 식(3-1-13)과 같다.

$$H_w(t) = (8H_0\alpha/\pi^2) \left[ \int_0^\infty e^{-\beta u^2/\alpha} du / \Delta(u) \right] \quad (3-1-13)$$

$$\Delta(u) = [uJ_0(u) - 2\alpha J_1(u)]^2 + [uY_0(u) - 2\alpha Y_1(u)]^2 \quad (3-1-14)$$

$$\alpha = r_w^2 S / r_c^2, \quad \beta = Tt / r_c^2 \quad (3-1-15)$$

Cooper 등은 식(3-1-13)을 이용하여 자료해석 과정에서 필요한 표준곡선을 제시하였다. 표준곡선을 이용한 CBP 방법의 순간수위변화시험 자료해석 과정은 다음과 같다.

- ① 현장 측정 자료를 반대수용지(산술눈금 :  $H/H_0$ , 대수눈금 : 시간)에 도시한다.
- ② ①을 표준곡선과 중첩시킨다.
- ③  $\beta=1.0$ 일 때 아래의 식을 이용하여 투수량계수를 계산한다.

$$T = (1.0r_c^2) / t_1, \quad \text{단 } t_1 \text{는 } \beta=1.0 \text{에서의 시간}$$

- ④ 위의 식(3-1-15)의  $\alpha$  식을 변형하여 아래의 식으로 저류계수를 계산한다.

$$S = \alpha r_c^2 / r_w^2$$

### 3) Hvorslev 방법

우물스크린이나 나공(open hole)이 대수층을 완전히 관통하지 않았을 경우에도 사용이 가능한 해석방법이다.

<표 3-1-6>은 시추공 내에 slug를 투입하여 순간적으로 수위를 상승시키고 시간경과에 따른 수위강하를 관측한 예제이다. 이를 Hvorslev 방법으로 해석하는 풀이법은 아래와 같다.

- ① 위의 실험에서 얻어진 시간( $t$ )에 따른 수위회복양상( $H/H_0$ )을 semi-log scale로 <그림 3-1-10>과 같이 수직축에 나타내고, 시간을 수평축으로 하여 작도하면 이때 얻어진 data는 직선이 된다.
- ② 수위회복이 0.37만큼 이르렀을 때 시간 ( $T_0$ )를 읽는다.
- ③ 수리전도도( $K$ )는 다음 식 (3-1-16)과 같다.

$$K = \frac{\pi r_2}{F T_0} \quad (3-1-16)$$

단,  $F$  : 정호의 물리적인 성질을 나타내는 인자

$r$  : well casing의 반경

④ 스크린의 길이와 스크린 반경비(L/R)가 8이상인 경우, F를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있으며,

$$K = \frac{\ln(L/R)}{2\pi L} \quad (3-1-17)$$

L : 스크린 길이

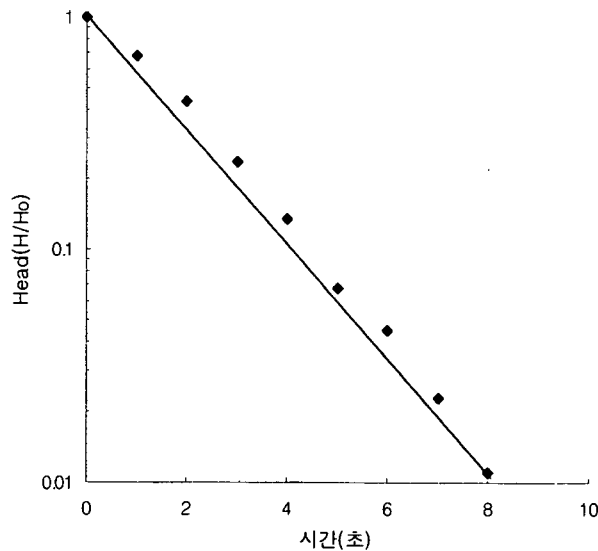
R : 스크린 반경

수리전도도는 다음과 같은 식(3-1-18)가 된다.

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2L T_0} \quad (3-1-18)$$

<표 3-1-6> 순간수위변화시험 예제

시간	수위	수위변화(H)	H/H <sub>0</sub>
정류상태	13.99		
0	14.87	0.88	1
1	14.59	0.60	0.682
2	14.37	0.38	0.432
3	14.20	0.21	0.239
4	14.11	0.12	0.136
5	14.05	0.06	0.068
6	14.03	0.04	0.045
7	14.01	0.02	0.023
8	14.00	0.01	0.011
9	13.99	0.00	0.000

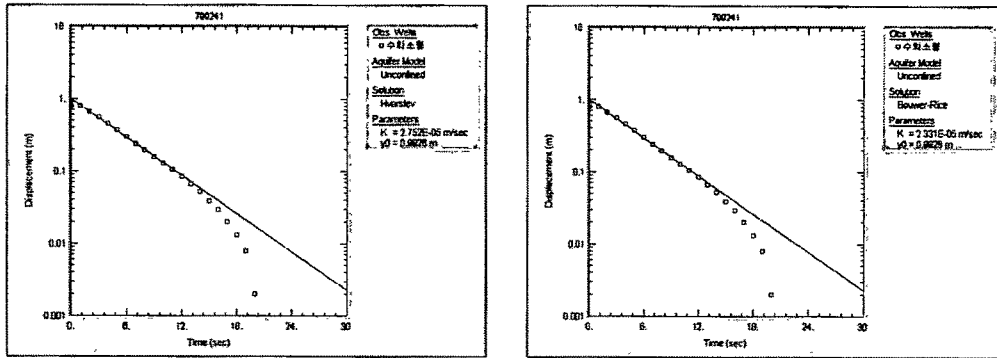


<그림 3-1-10> Hvorslev 방법

#### 4) 순간수위변화시험 자료해석 프로그램

순간수위변화시험에서 얻어진 자료는 앞에 설명된 해석 이론에 따라 수작업으로 작도하여 해석할 수 있으나 많은 자료를 해석할 경우에는 컴퓨터 해석 프로그램을 이용하여야 한다. 여러 가지 프로그램이 있지만 흔히 이용되는 것은 AQTESOLV 프로그램으로 시험결과 얻어진 자료 즉, 시간경과에 따른 수위변화 결과를 입력하여 수리전도도를 분석할 수 있다.

<그림 3-1-11>은 시범조사지구의 기설관정에서 시행한 순간수위변화시험자료를 AQTESOLV 프로그램에서 해석한 예시도이다.



<그림 3-1-11> AQTESOLV에 의한 순간수위변화시험자료 해석도

#### 다. 양수시험

양수시험은 가장 널리 적용되고 있는 현장투수시험 방법으로 단계양수시험, 연속양수시험, 회복수위시험 등이 있다. 그 중에서도 연속양수시험은 일정양수량 (Constant Pumping Rate)에 의한 양수시험으로 가장 일반적이며 자료의 분석 방법도 간단하다. 연속양수시험에서는 양수율을 양수시험 기간 동안 일정하게 유지시키는 것이 중요하며 양수량의 높고 낮음은 대수층의 투수성에 의해 결정한다. 단계양수시험은 우물의 특성을 파악하고 우물의 적정양수량을 확인하기 위하여 연속양수시험 전에 시행하는 것이 일반적이다.

양수시험은 양수정과 관측정을 모두 이용하여 수행해야만 보다 정밀한 결과를 얻어낼 수 있다. 1개의 양수정과 3개 이상의 관측정을 이용하여 수위강하를 관측할 수 있다면 이를 통해 투수계수, 저류계수 이 외에도 대수층 수리전도도의 이방성을 규명할 수 있다.

일정 양수량 양수시험의 수행 공정은 아래와 같다.

- ① 시험 대상 양수정과 관측정이 설치된 대수층의 포화두께, 자연 수위, 스크린 길이, 관정 내경 기록
- ② 양수기, 자동수위기록기 등의 장비 설치

- ③ 양수 시작 후 양수율 및 시간에 따른 수위강하 관측
- ④ 시험자료 해석
- ⑤ 수리상수 취득

연속양수시험을 통해 얻어진 시간-수위강하 자료는 Theis 방법이나 Cooper-Jacob 직선법을 이용하여 해석할 수 있다. 또한 양수 중단 후 수위회복자료를 측정하면 대수층상수를 산정할 수도 있다.

### 1) 단계양수시험(Step drawdown test)

단계양수시험은 우물의 특성을 파악하고 연속양수시험의 양수량 범위를 결정하기 위한 것으로, 저양수량에서 고양수량으로 각 단계별 양수시간을 1~2시간씩 4~5단계의 단계양수시험을 시행한다.

단계양수시험의 해석에는 우물의 수위강하량에 대한 Jacob 공식을 적용한다.

$$s_w = BQ + CQ^2 \quad \text{또는} \quad \frac{s_w}{Q} = B + CQ \quad (3-1-19)$$

여기서  $s_w$ 는 우물 수위강하량,  $Q$ 는 양수량,  $B$ 는 대수층손실계수,  $C$ 는 우물손실계수이며, 양수량을 단계별로 증가시키며 양수할 때 비수위강하량(Specific drawdown)  $s_w/Q$ 와 양수량  $Q$ 의 관계가 직선형이 되므로  $B$ 와  $C$ 값을 구할 수 있다. 양수량이 증가함에 따라 비수위강하량이 크게 증가하여 직선형을 벗어나면 우물의 적정양수량을 초과한 것이므로 그 범위 이내에서 연속양수시험의 양수량을 결정한다.

한편 우물효율  $E_w$ 는 우물손실이 있는 경우와 없는 경우의 비율로서 다음 식으로 주어지므로 단계양수시험에서 구할 수 있다.

$$E_w = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} \quad (3-1-20)$$

### 2) Theis 방법

Theis는 양수에 의한 피압대수층에서의 부정류 흐름을 가정하여 식(3-1-21)을 구하고 이에 근거하여 양수시험 자료해석에 이용되는 표준곡선을 제시하였다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad , \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (3-1-21)$$

각 기호들이 나타내는 의미는 다음과 같다.

- $s$  : 수위강하
- $Q$  : 양수율
- $T$  : 투수량계수
- $r$  : 양수정에서 관측정까지의 거리
- $S$  : 저류계수
- $t$  : 시간
- $W(u)$  : 관정함수(Well Function)



Theis 방법은 연속양수시험 해석에 널리 이용되고 있으나 그 개념적, 이론적 기초가 완전 관통 관정이 설치된 다공질 피압대수층에 대한 것이므로 파쇄암반 대수층이 발달한 우리 나라 수리지질 조건에 적용하기는 다소 제한점을 가진다. Theis 방법을 이용하여 투수량계수와 저류계수를 계산하는 과정은 아래와 같다.

- ① 대수용지에 수위강하대 시간의 자료를 도시한다.
- ② 표준곡선과 실측자료곡선을 중첩시킨다.
- ③ 중첩시킨 그래프에서 한 점을 택하여  $1/u$ ,  $W(u)$ ,  $s$ ,  $t/r^2$ 를 읽는다.
- ④ 식(3-1-21)을 이용하여 투수량계수와 저류계수를 계산한다.

### 3) Cooper-Jacob 직선법

Cooper-Jacob 직선법은 기본적으로 Theis 방법과 같은 이론적 기초에서 출발하나 양수 시작 후 충분한 시간이 경과했을 때 위의 식(3-1-21)이 아래의 식(3-1-22)과 식(3-1-23)으로 근사된다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left( -0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt} \right) \quad (3-1-22)$$

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad (3-1-23)$$

양수량이 일정하면 T와 S는 상수이므로 수위강하량과 양수시간의 관계는 반대수지에서 직선으로 나타난다. 그러므로 양수시간 log 1 cycle 에 해당하는 수위강하량  $\Delta s$ 를 취하면 투수량계수는 다음과 같이 구해진다.

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi \cdot \Delta s} \quad (3-1-24)$$

한편 수위강하량과 경과시간 관계 그래프에서 직선을 연장하여 수위강하량이 영(zero)인 점의 시간  $t_0$ 를 읽으면 저류계수 S는 다음과 같이 구해진다.

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad (3-1-25)$$

Cooper-Jacob 직선법을 이용하여 투수량계수와 저류계수를 계산하는 과정은 아래와 같다.

- ① 반대수용지에 수위강하(산술 눈금) : 경과시간(대수 눈금)의 자료를 도시(plot)한다.
- ② 직선을 수위강하가 "0"인 지점(가로축과의 교점)까지 연장한다.
- ③ 직선의 기울기,  $t_0$  ( $s=0$ 에서의  $t$ ), 식 (3-1-24) 및 (3-1-25)를 이용하여 투수량계수, 저류계수를 계산한다.

#### 4) 회복수위법(Recovery Test)

회복시험은 장기양수시험 종료 후, 즉 펌프가동을 정지한 시점부터 수위가 상승하여 당초의 자연수위로 회복될 때까지 잔류수위를 관측하는 것이며 이때의 수위와 시간의 관계는 다음 식으로 나타낸다.

$$s' = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{t}{t'} \quad (3-1-26)$$

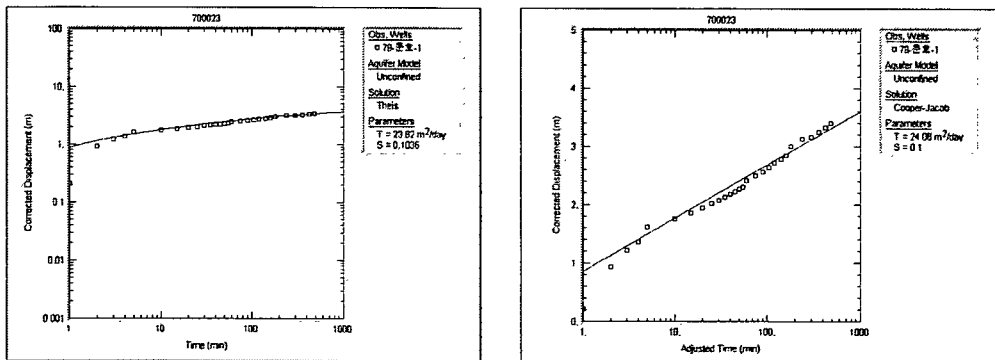
여기서  $s'$ 는 잔류수위강하량,  $t'$ 는 양수종료 후 경과시간이며  $\log \frac{t}{t'}$ 의 1 cycle에 대한 잔류수위강하량  $\Delta s'$ 를 구하면 투수량계수는 다음과 같이 주어진다.

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi \cdot \Delta s'} \quad (3-1-27)$$

회복시험에서는 저류계수가 구해지지 않는다. 그러나 회복시험에서 투수량계수는 양수시험에서 구해지는 값과 비슷하게 나타나므로 양수시험 해석의 검증방법으로 이용된다.

#### 5) 양수시험 자료해석 프로그램

양수시험자료의 해석 프로그램은 여러 가지 개발되어 있으나 그중 많이 보급 사용되고 있는 것은 Window용 AQTESOLV 프로그램이다. 자유면대수층(Unconfined Aquifer)과 피압대수층(Confined Aquifer)를 구분하여 사용하여야 하며, 입력자료는 대수층 두께, 관측정의 거리, 양수시간 경과에 따른 수위변동자료이다. Theis법 혹은 Cooper-Jacob 직선법 및 Recovery법을 적용할 수 있으며 <그림 3-1-12>는 시범조사지구의 양수시험 자료를 AQTESOLV 프로그램으로 해석한 예이다.



<그림 3-1-12> AQTESOLV에 의한 양수시험 자료해석 예

## 라. 대수층 평가

### 1) 대수층별 수리특성 분석

순간수위변화시험과 양수시험 등 현장 대수성시험을 통하여 조사 지점의 지하수 수리특성 즉, 투수량계수, 수리전도도, 저류계수, 지하수산출량, 비산출량 등을 파악하면 기존 조사자료와 비교하여 유역별, 대수층별 수리특성 분포를 분석하여야 한다.

우리나라의 지하수 부존은 크게 충적층지하수와 암반지하수로 구분되는데 이를 구분하여 평가하려면 조사 대상공 위치 선정시 유역별, 대수층별 대표성을 고려하여 적정 규모의 분포를 갖도록 하여야 하며 기존 조사자료 및 시설관정이 부족한 지역에서는 신규 시추공을 굴착하여 조사의 정밀도를 높여야 할 것이다.

충적층은 신생대 제4기의 미고결퇴적물로 이루어져 있으며 저지대에 분포하여 자갈, 모래, 점토 등으로 구성되어 있다. 충적층은 입자사이에 공극이 발달되어 있어 부존성이 양호하나 구성물질의 종류에 따라 대수성의 차이가 매우 큰 특성을 지닌다. 그러므로 충적대수층의 평가에는 충적층두께와 주 구성물질의 입도가 주요 요소가 된다.

일반적으로 암반대수층의 대수성은 암층내에 발달된 절리, 파쇄대 및 단열구조 등의 2차 공극과 지하수의 저류 및 유동에 관련되는 지질구조에 좌우된다. 그러므로 암반대수층의 평가에서는 분포지질 및 지질구조, 암층내에 발달된 파쇄대 구간의 크기와 그 구간에서의 투수성이 주요 대상이 된다.

한편 지하수의 산출상태에 따라 자유면지하수와 피압지하수로 구분하는데 관정의 양수시험 과정에서 대수층 구간과 자연수위를 고찰하여 우물의 피압상태 여부를 확인할 수 있다. 충적층의 경우 층후가 두껍고 상부에 상당한 두께의 점토층이 피복한 경우 이외에는 일반적으로 자유면지하수 상태이나 심층 암반대수층의 경우는 암반 파쇄대의 위치에 따라 피압지하수로 산출되는 경우가 있다.

<표 3-1-7> 및 <표 3-1-8>은 이러한 유의사항을 감안한 충적층지하수와 암반지하수의 유역별 수리특성을 나타내기 위한 분석 예이다.

한편 지하수개발 가능지역을 표시하기 위하여 기존 조사자료를 포함한 모든 대수성 시험자료를 농촌지하수관리시스템(RGMS)에 정리 입력하여 양수량 또는 투수량계수의 분포도를 그리는 것이 가능하다.

<표 3-1-7> 유역별 충적대수층 수리특성

유역	충적층 두께 (m)	포화대 두께 (m)	지하수위 (m)	충적층 면적 (km <sup>2</sup> )	K (cm/sec)	T (m <sup>2</sup> /d)	S	공당 산출량 (m <sup>3</sup> /d)	주구성물질
평균/계									
○○유역									

<표 3-1-8> 유역별 암반대수층의 수리특성

유역	개발 심도 (m)	지하수위 (m)	파쇄대 구간 (m)	수리 전도도 (cm/sec)	T (m <sup>2</sup> /d)	S	공당 산출량 (m <sup>3</sup> /d)	지질 및 지질구조
평균/계								
○○유역								

## 2) 단공양수시험에 대한 검토

양수시험 공식에서 관측정거리 r는 양수정 중심에서 수위 관측지점까지의 거리이며 일반적으로 대수층 심도와 비슷한 거리에 있는 관측정에서 수위관측을 하는 것이 적절한 것으로 알려져 있으나 경제적 시간적 이유로 관측공이 없이 단공으로 양수시험을 시행하는 경우가 많이 발생하고 있다.

단공양수시험의 경우에는 양수정 내에서 수위강하를 관측하므로 수위관측 거리로 우물반경을 적용하게 되는데, 이 때 구해지는 투수량계수는 신뢰도가 있으나 저류계수 값은 우물손실 등의 영향으로 실제 값보다 상당히 크게 산정되는 것이 일반적이다. 상식적으로 자유면대수층에서 저류계수는 비산출율과 같으며 0.3을 초과할 수 없다. 피압 또는 반피압대수층의 경우는 저류계수가 0.01 이하로 제한되어야 하나 단공양수시험에 의한 대수성시험 결과는 이 보다 훨씬 큰 값을 보여주는 예가 많다.

단공시험에서 저류계수 산정의 오류를 보완하기 위하여는 적절한 유효우물반경(effective well radius)을 적용하여야 하는데, 여기서 유효우물반경이라 함은 대수층의 평균 저류계수 산정과 일치되는 우물반경을 가정한 것이다.

유효우물반경을 추정하는 방법으로 단계양수시험에 의한 방법과 암반 파쇄대의 Skin factor에 의한 방법이 제시되어 있다(지하수영향조사 실무지침 농림부 농어촌진흥공사 '1998.10.' 제2장 7절 참조). 이들 적용공식을 소개하면 다음과 같다.

- 단계양수시험 결과 적용방법

$$r_e = \sqrt{\frac{2.25 T t^*}{S \cdot e^{4\pi T B}}}$$

여기서  $r_e$  : 유효우물반경, T : 투수량계수, S저류계수,  $t^*$  : 단계별 양수시간이며 B는 단계양수시험에서 구해지는 대수층손실계수이다.

- Skin factor 적용방법

$$r_e = r_w e^{-\sigma}$$

여기서  $r_e$  : 유효우물반경,  $r_w$  : 실우물반경,  $\sigma$  : Skin factor로서 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma = \frac{2\pi T \Delta s}{Q} - \frac{1}{2} \ln \frac{2.25 T t}{S r_w^2}$$

단,  $\Delta s$ 는 양수 경과시간 1분에 해당되는 수위강하량이다.

이들 공식에는 저류계수 S가 내포되어 있어 대수층 상태에 따라 적정 저류계수 값을 추정하여 대입하고 시산식으로 접근하여야 하므로 실용적인 방법이 못 되어 적용되지 않고 있다.

적정 유효우물반경을 실용적으로 구하기 위하여 통계적인 접근을 시도한 결과는 다음과 같다. 기존의 지하수조사보고서 중 양수정과 관측정의 수위를 동시 관측하면서 시행한 양수시험자료를 수집하고 양수정 수위강하량 해석결과와 관측정 수위강하량 해석결과를 비교하여 보면 양수정자료에 의한 저류계수보다 관측정자료에 의한 저류계수가 월등히 작게 산정되므로, 양수정의 결과가 관측정의 결과와 근접되도록 관측거리(r) 값을 조정하여 우물별 유효우물반경을 정하였다. 분석방법은 양수정 수위강하자료를 AQTESOLV 프로그램에 입력하고 관측거리를 우물반경( $r_w$ )을 적용하여 직선해석법으로 대수층상수를 구한 다음 관측정의 수위강하자료에 의한 저류계수와 비교하여 이와 비슷한 값을 얻을 수 있는 유효우물반경( $r_e$ )을 재입력하여 같은 방법으로 대수층상수를 산정하는 것이다.

<표 3-1-9>는 관측정 시험에 의한 유효우물반경 산정 결과표이다. 이 결과를 통계적으로 분석하기 위하여 관측정수위 해석에 의한 저류계수를 0.01이상은 자유면지하수, 0.01 미만은 피압지하수로 분류하였다. 반피압지하수는 피압지하수에 포함되었다. <그림 3-1-13>과 <그림 3-1-14>는 자유면지하수와 피압지하수로 구분된 자료를 양수정에서 계산된 저류계수를 기준으로 유효우물반경/우물반경의 비( $\frac{r_e}{r_w}$ )에 대하여 작도한 것이다.

자유면지하수의 경우는  $\frac{r_e}{r_w}$  가 양수정 저류계수 S에 대하여 비교적 양호한 상관관계를 나타내고 있다. 즉

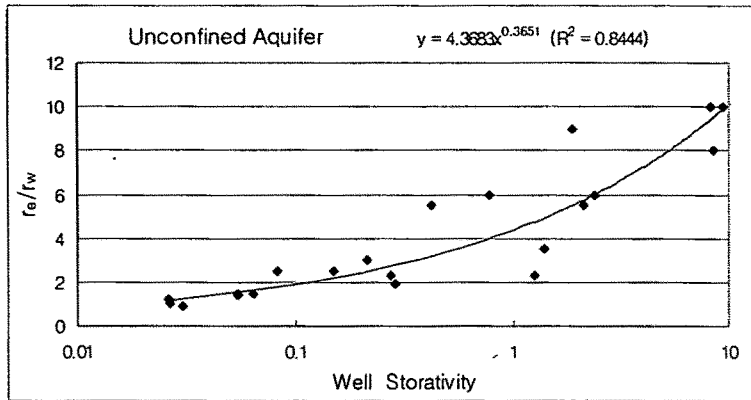
$$\frac{r_e}{r_w} = 4.37 \cdot S^{0.36}$$

피압지하수의 경우는 상관관계가 자유면지하수에 떨어지며 다음과 같은 관계식이 유도되었다.

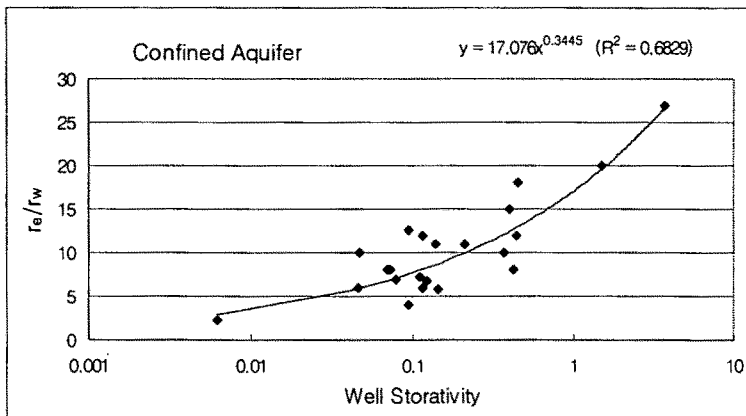
$$\frac{r_e}{r_w} = 17.07 \cdot S^{0.34}$$

<표 3-1-9> 관측정 시험에 의한유효우물반경

구분	지구명 (공번)	양수정시험			관측정시험			유효우물반경 적용			비고 ( $r_e/r_w$ )
		$r_w$	T	S	$r_o$	T	S	$r_e$	T	S	
지하수 관측망	청도	0.13	379.6	0.275	2	104.3	0.046	0.3	385	0.0508	2.3
	함안	0.13	64.01	0.0062	2	77.69	0.0013	0.3	61.73	0.0017	2.3
	보은	0.13	4.84	0.064	2	6.58	0.032	0.2	4.61	0.0344	1.5
	안동	0.13	35.32	1.260	2	32.5	0.27	0.3	35.11	0.244	2.3
	임실	0.13	1.935	0.026	2	5.05	0.015	0.2	1.95	0.011	1.5
	의령	0.13	2.041	0.214	2	1.171	0.013	0.4	1.918	0.019	3.0
	예산	0.13	140.4	0.288	2	90.23	0.074	0.25	141.9	0.071	1.9
먹는 샘물 등	알프스1	0.1	35.74	0.212	35	19.78	0.0152	0.3	34.31	0.0279	3
	알프스2	0.11	26.29	1.868	35	19.78	0.0152	1.0	27.79	0.0185	9
	용문	0.11	0.812	1.551	10	10.4	0.0023	2.2	0.809	0.0023	20
	옥천	0.1	61.45	0.149	7.5	64.67	0.0423	0.25	63.87	0.0402	2.5
	영주2	0.13	1.99	0.143	2.5	1.501	0.0043	0.75	1.912	0.0043	5.8
	영주4	0.13	1.616	3.874	6.5	1.593	0.00523	3.52	1.581	0.0054	27
울진 지하수 기초 조사	QS-1	0.1	461.8	0.78	6.95	219.5	0.0158	0.6	439	0.0156	6
	QS-2	0.1	22.4	2.13	3.97	47.53	0.0677	0.55	22.5	0.0676	5.5
	QS-3	0.1	4.34	0.0265	3.51	31.4	0.022	0.1	4.3	0.022	1.0
	QS-5	0.1	4.75	0.0355	5.3	39.6	0.022	0.15	4.54	0.023	1.5
	QS-6	0.1	24.1	8.22	4.10	53.75	0.053	1.0	24.1	0.058	10
	QS-7	0.1	70.9	2.37	3.88	54.66	0.0681	0.6	71.6	0.0643	6
	QS-8	0.1	21.17	9.48	4.65	54.72	0.0658	1.0	25.2	0.074	10
	QS-10	0.1	44.11	8.43	4.14	137	0.123	0.8	46.4	0.124	8
	RS-1	0.1	2.17	0.0819	3.05	19.85	0.0121	0.25	2.26	0.013	2.5
	RS-2	0.1	0.3	0.073	3.12	1.85	0.0012	0.8	0.284	0.0012	8
	RS-3	0.1	0.72	0.0703	4.40	11.25	0.0015	0.8	0.064	0.0017	8
	RS-5	0.1	0.218	0.138	3.20	1.78	0.00097	1.1	0.622	0.00099	11
	RS-6	0.1	0.119	0.046	3.36	0.61	0.00039	1.0	0.129	0.00041	10
	RS-7	0.1	0.682	0.046	2.67	4.92	0.0026	0.6	0.412	0.00263	6
RS-8	0.1	0.217	0.114	2.89	3.04	0.0031	0.6	0.197	0.003	6	
RS-9	0.1	0.257	0.0782	2.90	7.16	0.0012	0.7	0.31	0.0012	7	
RS-10	0.1	0.117	0.114	3.10	15.99	0.0005	1.2	0.125	0.0006	12	
영덕 지하수 기초 조사	YW-1	0.1	1.907	0.364	5	8.608	0.0036	1.0	1.845	0.0036	10
	YW-2	0.1	92.2	0.208	5	64.3	0.0014	1.1	97.51	0.0014	11
	YW-3	0.1	18.6	0.421	5	26.61	0.0141	0.55	18.41	0.0141	5.5
	YW-6	0.1	19.02	0.421	5	240.1	0.0054	0.8	20.62	0.0056	8
	YW-7	0.1	24.92	0.441	5	53.94	0.00282	1.2	25.24	0.00285	12
	YW-8	0.1	0.790	0.398	5	1.614	0.00103	1.5	0.878	0.00165	15
영천 지하수 기초 조사	YCE-1	0.1	21.9	0.291	9.6	65.01	0.00092	1.8	21.67	0.00092	18
	YCE-2	0.1	0.159	0.094	3.1	47.74	0.0055	0.4	0.16	0.0057	4
	YCE-3	0.1	0.320	0.0296	1.5	7.29	0.0359	0.1	0.32	0.0296	1
	YCE-4	0.15	215.3	0.123	5	346.3	0.0021	1.0	220.6	0.0023	6.7
	YCE-6	0.1	142.6	1.403	1.88	291.0	0.099	0.35	146.8	0.099	3.5
	YCE-9	0.15	35.1	0.0948	5	48.69	0.00063	1.9	35.07	0.00062	12.6



<그림 3-1-13> 자유면대수층에서 단공우물 저류계수와  $\frac{r_e}{r_w}$  의 관계



<그림 3-1-14> 피압대수층에서 단공우물 저류계수와  $\frac{r_e}{r_w}$  의 관계

단공 양수시험에서 저류계수 보정 절차는 먼저 조사지역의 지질구조와 우물 주상도, 및 수위분포 등을 검토하여 대수층상태를 자유면지하수로 볼 것인지 또는 피압지하수로 볼 것인지 결정하고, 앞에 제시한 관계식을 이용하여 유효우물 반경을 계산한다. 유효우물반경을 AQTESOLV에 입력하여 대수층 상수를 계산 정한다. 시범조사지구 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

#### 양수정 사항

위치 : 화성시 남양면 신남2리. 공번 : 700071

우물반경( $r_w$ ) 0.1 m, 양수량 24m<sup>3</sup>/day

양수시험 AQTESOLV 해석 결과(우물반경 적용시)

대수층조건 : Confined Aquifer

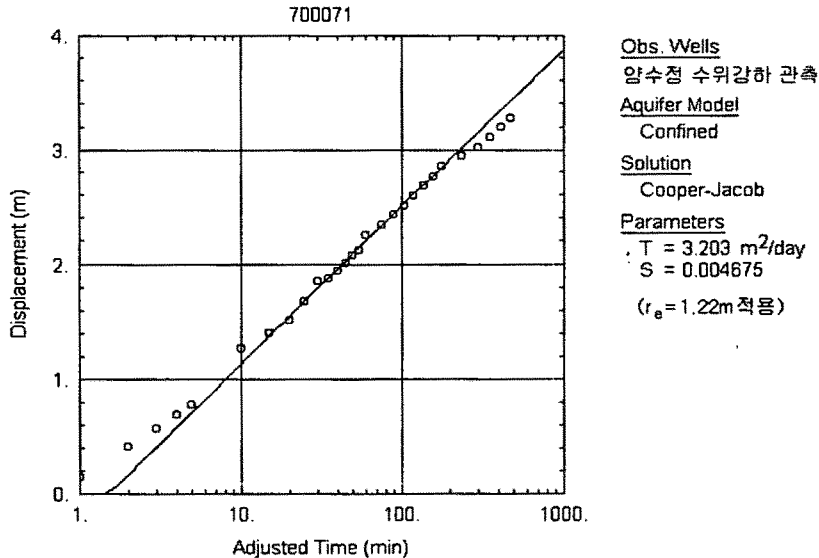
투수량계수 : 3.32 m<sup>2</sup>/day,

저류계수 : 0.37

그러므로 앞의 식에서 S=0.37을 대입하면

$$\frac{r_e}{r_w} = 17.07 \cdot S^{0.34} = 17.07 \times (0.37)^{0.34} = 17.07 \times 0.713 = 12.2$$

r<sub>w</sub>=0.1m이므로 r<sub>e</sub>=1.22m가 구해진다. 그러므로 AQTESOLV 해석에서 유효우물반경 r<sub>e</sub>=1.22m를 입력하여 재해석하면 다음 그림과 같이 T=3.20m<sup>2</sup>/day, S=0.0047로 산정된다. 대수층조건이 Confined Aquifer임을 감안하면 저류계수가 실제에 가깝게 산정되었음을 알 수 있다.



<그림 3-1-15> 유효우물반경적용 해석도

### 3) 대수층 범위에 대한 검토

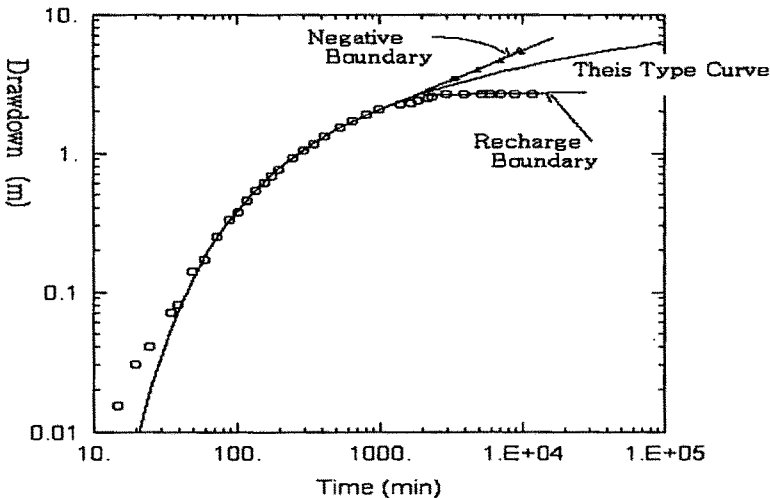
양수시험 결과 얻어지는 여러 가지 모양의 수위강하량~시간 관계곡선은 대수층의 특성을 나타내는 것이나 표준곡선에 잘 일치하지 않는 경우가 많으며 이러한 경우는 대개 우물 저장효과에 의한 초기 자료의 변위, 누수 및 경계조건에 의한 후기 곡선의 변위 등에 의해서 일어난다.

이러한 시험곡선을 해석하려면 먼저 Theis Type Curve에 맞추어 어떻게 달라지는가를 보면 대수층 특성을 짐작할 수 있다. Theis 공식은 모든 방사상 집수류(Radial flow)의 기본공식으로 균질 등방성의 대수층이 무한이 펼쳐 있는 것



을 가정하고 있기 때문에, 시험곡선이 Theis표준곡선에서 벗어나는 정도에 따라 대수층의 조건이 Theis의 이상적 대수층과 달라져 있음을 나타내기 때문이다.

<그림 3-1-16>은 Theis표준곡선에 의해 양수 후기 곡선을 비교한 예이다.  $t=1400$ 분까지 관측자료와 표준곡선이 잘 맞으나 그 이후부터는 어긋나고 있다. 이때 양수 량의 변동이 없었다면 이것은 대수층 특성을 반영한 것으로, Type Curve 아래쪽은 함양효과(Recharge effect)를 나타내는 것이고 Type Curve 위쪽은 불투수성 경계면(Negative boundary)의 영향을 나타내는 것이다. 경계면의 거리는 1400분 양수 영향반경의 거리로 추정되고 방향은 현지 지형 또는 기타 조사자료에 의거 추정할 수 있다.



<그림 3-1-16> 타이스 곡선법에 의한 함양경계와 불투수성 경계의 추정

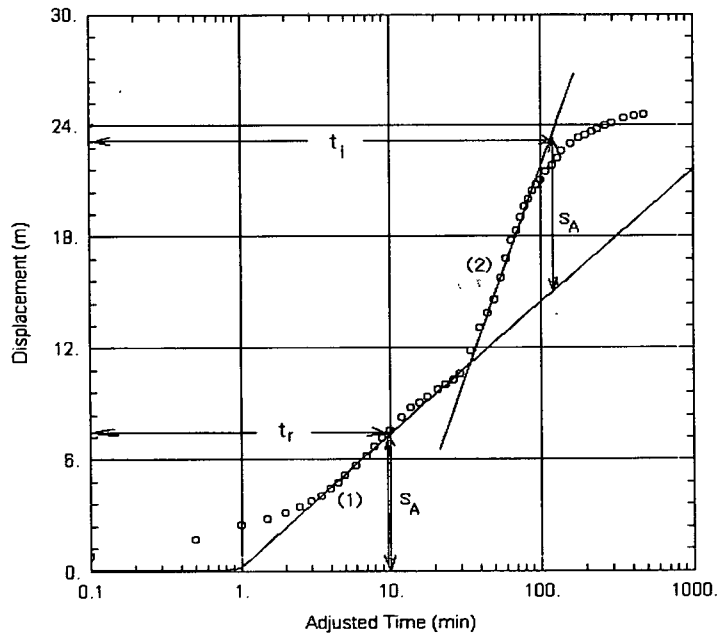
한편 암반대수층을 대상으로 개발된 깊은 우물의 경우 장기양수시험의 시간-수위강하량 직선해석에서 <그림 3-1-17>과 같이 2개의 직선이 나타나는 예가 자주 발생한다. 그림에서 1차 직선의 구간은 양수에 의한 수위강하량을 나타내는 것으로 해석되나 2차 직선은 양수의 영향권이 불투수층 경계면에 도달된 후 그 영향으로 수위강하량 기울기가 2배로 증가된 것을 보여주는 것으로 해석된다.

불투수층 경계면의 위치해석은 영상법에 의한 가상우물을 적용하여 해석할 수 있는데, 1차 직선상에 임의의 점을 잡아 경과시간  $t_r$ 과 수위강하량  $s_A$ 를 읽고, 2차 직선상에서 1차 직선 연장선과 수위강하량 차이가  $s_A$ 가 되는 점을 잡아 경과시간을  $t_r'$ 라 하면 관측정의 거리와 경과시간 사이에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$r_i = r_r \sqrt{\frac{t_i}{t_r}} \quad (3-1-28)$$

여기서  $r_i$ 는 양수우물과 가상우물 간의 거리,  $r_r$ 는 양수우물과 관측정 간의 거리이다. 그러므로 그림에서  $t_r, t_i$ 를 구하고 관측공 거리와 함께 이 식에 대입하면 가상우물의 거리 반경이 구해진다. 만약 또 다른 관측공에서 같은 방법으로 가상우물 거리가 주어지면 두 거리를 만족시키는 가상우물의 위치가 결정되므로 실제 우물과 가상우물 중간에 불투수층 경계선을 작도할 수 있다.

그러나 관측정이 없는 단공시험에서는 양수정 내에서의 수위강하량을 대수성 해석에 적용하므로 불투수층 경계의 존재는 인지되나 그 방향과 위치는 구할 수 없다. 이 경우는 현지의 지형과 지질을 감안하여 대수층 범위를 추정하여야 한다.



<그림 3-1-17> 불투수층 경계 효과를 나타내는 시간-수위강하량 그래프

## 3.2 수문조사

### 3.2.1 개 요

지하수관리조사에 있어서 수문조사는 조사지역의 기상 및 수문자료를 수집·분석하여 지표수와 지하수의 관계를 규명함으로써 지하수의 부존량 산정의 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다. 지하수는 수문 순환과정의 일부로서 존재하므로 조사지역에서의 장기간 기상자료를 분석하면 강수량, 유출량, 증발산량 및 침투량 등에 대한 통계적인 모델을 제시하므로 물수지 분석에 의한 지하수함양량 즉 지하수개발 가능량을 추정할 수 있다. 수문조사의 주요내용은 다음과 같다.

#### ① 유역 조사

- 조사지역의 하천특성 : 유로연장, 하폭, 유량, 하상경사, 하천밀도 조사
- 조사지역의 유역현황 : 수계별 유역 면적, 표고, 경사, 형상, 토양 및 토지이용조사

#### ② 기상 및 수문자료 조사

- 조사지구 인근 기상관측소의 기상자료 수집(10년 이상)
- 유역내 수문조사 및 유출조사 자료의 수집

#### ③ 하천유량 관측조사

- 조사지구 주 배수하천의 유출량 조사
- 소유역 기저유출량 조사

#### ④ 자료 분석

- 기상 및 수문 수집자료 분석에 의한 평균강수량, 평균유출량, 평균증발산량 및 평균 침투량 등 추정
- 현장실측자료 분석에 의한 유출량 및 갈수량(기저유량) 분석

### 3.2.2 유역조사

유역(Basin, Watershed, Catchment)이란 계류(溪流)나 하천의 임의 단면을 통과하는 유량에 직접적인 영향을 주는 지역의 경계를 의미하는 것으로서, 이러한 유역은 수문학 연구의 기초단위이며 수자원관리에 있어서 핵심역할을 한다.

유역의 유출에 영향을 미치는 하천의 특성인자는 유로 연장, 하폭, 유량, 하상경사, 하천밀도 등이 있으며, 유역의 특성인자는 유역면적, 유역의 평균경사, 유역의 형상, 유역 표고, 유역 토양, 토지 이용 등이 있다. 이들 중 지하수 부존량 산정에 영향을 미치는 중요한 인자는 유역면적과 유역내 토양 및 토지이용이다.

유역면적은 유역의 경계선으로 둘러 쌓인 면적을 의미한다. 유역의 경계선은 엄밀한 의미에서 지형적분수계와 지하수분수계로 구분할 수 있으나 일반적으로

산지에서의 측면 침투량이나 지하수위의 이동은 지표수에 큰 영향을 주지 못하기 때문에 지표면을 기준으로 한 지형적 분수계를 유역 경계선으로 결정한다.

조사지역을 세분하는 유역 구분은 1:5,000, 1:25,000, 1:50,000 지형도를 이용하여 하천 및 산 정상부의 능선을 경계로 하고 지표수 및 지하수 유동방향을 고려하여 조사지구를 여러개의 소유역으로 구분 할 수 있다. 경계가 불분명한 지점은 현장조사를 통하여 유역경계선을 결정한다.

유역면적은 GIS P/G을 이용하여 소유역별 면적을 구한다.

유역내 토양 분포와 토지이용현황은 강우의 유출과 지하침투에 직접적인 영향을 미친다. 토지이용현황은 지역현황 통계자료에서 구할 수 있으나 행정구역별 자료이므로 소유역별 재분류가 필요하다.

토양 분포현황은 농촌진흥청 농업기술연구소에서 제작한 1:50,000 토양도를 이용하면 조사지구 내 토양분류별 분포도를 알 수 있다. 토양도에서는 토양의 배수상태에 따라서 토양의 분류를 ① 매우양호, ② 약간양호, ③ 약간불량, ④ 매우불량의 4개 군으로 나누었는데 이것은 SCS에서 토양의 침투능을 기준으로 A, B, C, D 4개의 수문학적 토양군으로 분류기준을 제시한 것과 일치하고 있다. 각 군별 토양 성질을 요약하면 다음과 같다.

①-A군 : 깊은 사질, 덩어리진 실트

②-B군 : 얇은 사질, 사양토(砂壤土)

③-C군 : 점질양토, 얇은 사양토, 유기물함량이 적은 토양과 항상 점질이 우세한 토양

④-D군 : 수분에 의해 팽창하는 토양, 고농도 점질토양 및 염분함유토양

SCS는 토양군별 특성을 선행강우조건 및 토지이용상태 등에 따라 세분하여 각각 유출곡선지수(CN)를 부여하고 이를 활용하여 강우량 자료만으로 유역의 유출량을 추정하는 방법을 제시하였는 바, 그 방법에 대하여는 다음절에서 설명하고자한다(3.2.5 유출량 분석 참조).

### 3.2.3 기상자료 수집 및 분석

기상자료는 지역별 계절별 기후환경의 변화를 예측하는 기초자료일 뿐 아니라 유역별 물수지 분석에 필요한 강수량, 유출량, 증발산량, 침투량 등의 추정에 필수자료로 이용된다. 기상관측소에서 구할 수 있는 자료들은 강수량, 기온, 상대습도, 일사량, 일조시간, 풍속 등이며 기상청 사이트(www.kma.go.kr)나 기상관련 연구기관 사이트에서 얻을 수도 있다. 이들 자료의 수집 및 정리방법을 설명하면 다음과 같다

#### ① 기상관측소 현황

조사지역 내 또는 인근지역에서 기상자료를 얻을 수 있는 기상관측소 또는 측후소의 정확한 위치와 조사지역과의 거리, 관측자료의 범위 및 자료축적 정도

등을 확인한다.

② 강수량

조사지역의 인근 측후소의 장기 강수량 자료를 통계분석하여 월별 평균 강수량의 분포와 연중 강수량의 계절별 변동을 분석한다. <표 3-2-1>은 수원 기상대 자료에 의한 월별 평균강수량 분석 예이다.

③ 기온

조사지역의 월별 평균기온과 연중 평균기온 및 계절적 특성을 강수량 분석과 같은 방법으로 통계분석 한다.

④ 상대습도

조사지역의 상대습도 자료를 강수량 분석방법과 마찬가지로 월별 평균값으로 분석하고 계절적 변동을 강수량 및 기온의 계절적 변동과 비교 검토한다. 일반적으로 기온과 상대습도는 반비례적인 관계로 여겨지지만, 강수량 인자를 고려해야 하기 때문에 반드시 반비례 관계를 보이지는 않는다.

⑤ 일사량

조사지역의 월평균 일사량과 계절적인 변동을 분석한다.

⑥ 일조시간

조사지역의 월평균 일조시간과 계절적인 변동을 분석한다. 일사량의 경우와 비교해보면 일사량이 일조시간만의 함수조건이 아니라 계절에 따른 지구와 태양사이의 거리에 관계가 있음을 알 수 있다.

⑦ 풍속

조사지역의 월평균 풍속과 최대-최소값을 비교 분석한다.

<표 3-2-1> 월 평균 강수량 산정 예(수원 기상대) (단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1982	37.7	2.9	52.7	12.7	165.3	5.1	266.9	260.7	3.3	56.7	150.6	52.8
1983	9.4	14.4	67.1	102.9	55.6	32.1	282.8	137.5	161.5	49.0	27.1	3.0
1984	16.1	13.5	15.8	65.8	34.4	108.2	308.1	217.9	324.9	14.3	36.0	17.8
1985	22.9	22.8	62.9	66.5	212.1	109.4	166.7	300.2	154.9	263.6	75.2	33.8
1986	11.8	11.3	32.2	45.6	80.3	96.4	171.3	409.2	114.3	113.2	34.9	23.6
1987	40.9	28.5	40.4	64.8	96.3	131.5	436.1	435.4	40.8	35.5	87.5	1.4
1988	8.7	1.7	30.7	46.2	42.3	68.2	471.7	94.3	37.3	8.9	24.3	15.5
1989	61.0	35.0	126.8	10.0	37.7	162.7	192.5	276.1	139.6	43.0	116.5	16.8
1990	64.0	69.3	82.7	81.4	113.8	404.7	268.4	290.4	582.7	0.0	59.4	26.8
1991	17.2	42.1	51.7	52.6	123.0	89.8	567.6	82.4	185.2	30.8	25.2	52.8
1992	14.2	25.5	11.6	78.6	122.0	51.3	169.2	334.4	168.6	37.7	62.8	53.5
1993	2.2	56.0	27.1	63.5	84.0	151.9	458.1	132.9	84.0	21.8	62.3	19.1
1994	4.4	10.8	50.9	25.3	141.4	94.0	81.3	327.2	68.1	191.0	31.2	20.0
1995	13.4	11.2	46.2	33.7	59.0	67.7	372.9	967.9	24.2	29.2	24.8	3.1
1996	20.4	4.1	100.8	51.1	26.5	286.4	241.1	77.5	9.2	70.0	49.0	16.0
평균	23.92	27.72	48.87	87.24	86.11	121.96	326.39	296.29	137.75	58.77	52.51	22.03
최대값	89.70	116.40	126.80	395.60	245.00	413.80	567.60	967.90	582.70	263.60	150.60	53.50
최소값	2.20	1.40	5.20	6.60	11.90	5.10	81.30	53.30	3.30	0.00	9.00	1.40

### 3.2.4 강수량 산정기법

일반적으로 기상관측소에서 얻어지는 강수량 자료는 점우량을 나타내므로, 조사지구 인근 여러 기상관측소에서의 당해연도 혹은 다년간에 얻어진 평균강수량 자료를 이용하여 이들 자료로부터 해당지역의 면적을 대표할 수 있는 평균면적을 계산해서 적용해야 한다. 특정지역의 강수량 산정방법에 대한 여러 가지 논의가 있으나, 보편적으로 산술평균법, Thiessen법, 등우선법 및 삼각형(TIN)법 등이 사용되고 있다.

#### 가. 산술평균법

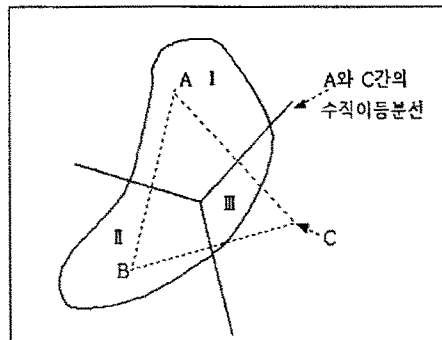
기상학적 동질성이 있으며 비교적 평탄한 지역에서 쉽게 사용할 수 있는 간단한 방법으로써, 단순히 고려대상 면적 내에 있는 관측소의 강수량 자료를 평균하는 방법이다. 이때 관측소는 균등하게 분포되어 있어야 하며 관측소간 강수량의 차이가 적을 때, 다음 식을 이용해서 비교적 정확한 면적 평균값을 구할 수 있다.

$$P = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n P_k \quad (3-2-1)$$

여기서  $P_k$ 는  $k$  관측점의 강수량이다.

#### 나. Thiessen법

Thiessen법은 일종의 가중 평균(weighted average)방법으로서, 각 관측소가 대표하는 영향면적을 유역전체면적으로 나눈 것을 가중값으로 하여 각 관측소에서 측정된 강수량을 곱하고 이를 평균한 강수량이다. 각 관측소가 대표하는 면적은 <그림 3-2-1>과 같이 각 관측소를 연결하여 삼각형을 만든 다음 각각의 연결선을 수직 이등분하여 그 연장선이 서로 만나도록 함으로써 새로이 생성되는 다각형의 면적을 뜻한다.



<그림 3-2-1> Thiessen법에 의한 면적평균 산정 모식도

$$P = \omega_1 P_1 + \omega_2 P_2 + \dots + \omega_n P_n \quad (3-2-2)$$

여기서  $\omega$ 는 가중값으로써

$$\omega_1 = A_1/A, \quad \omega_2 = A_2/A, \quad \dots, \quad \omega_n = A_n/A$$

이고  $A_1, A_2, \dots, A_n$ 은 각 관측소가 대표하는 면적으로  $A = \sum_{i=1}^n A_i$  이다.

#### 다. 등우선법

산악지역에서 적용성이 매우 양호한 방법으로써, 유역내 각 관측소에서 측정된 강수량 중 동일한 강우의 크기를 갖는 선을 작도한 후 등우선 간의 면적을 계산하는 방법을 등우선법이라 한다. 각 등우선간의 면적을 등우선간의 평균 강수량으로 곱한 다음, 이를 전 유역에 대하여 합해서 전체 면적으로 나누어 평균 강수량을 식(3-2-3)과 같이 계산하는 방법이다.

$$P = (A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n) / \sum_{i=1}^n A_i \quad (3-2-3)$$

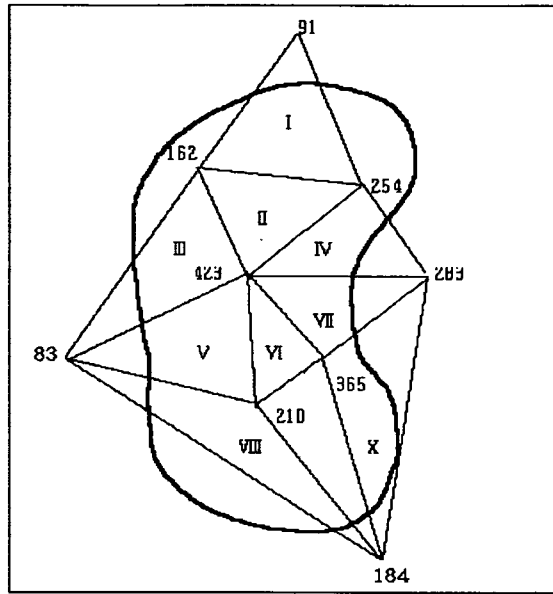
여기서  $P_i$ 는 등우선간의 평균 강수량이며,  $A_i$ 는 등우선간의 면적이다.

이 방법은 유역 내에 소재한 관측소의 수가 등우선을 정확하게 작도할 수 있을 정도로 충분해야 한다. 그러나 등우선의 작성은 사용자에게 따라 매우 주관적이고 많은 작업이 따르며 전자계산기를 이용하기가 어려운 단점이 있다.

#### 라. 삼각형(Triangular Irregular Network : TIN)법

이 방법은 유역 내에서 유역 주변의 관측소들이 삼각형을 이루도록 서로 직선으로 연결한 후 삼각형 면적 내의 평균 강수량을 삼각형을 구성하고 있는 관측소의 평균으로 한다. 그런 다음 평균 강수량과 삼각형의 면적을 곱한 후, 전체 삼각형을 구성하고 있는 다각형의 면적으로 나누어 평균 강수량을 식(3-2-4)와 같이 계산하는 방법이다(<그림 3-2-2>).

$$P = \frac{A_1}{A} \left( \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} \right) + \frac{A_2}{A} \left( \frac{P_2 + P_3 + P_4}{3} \right) + \frac{A_3}{A} \left( \frac{P_2 + P_5 + P_4}{3} \right) \\ \dots + \frac{A_6}{A} \left( \frac{P_5 + P_6 + P_7}{3} \right) \quad (3-2-4)$$



<그림 3-2-2> 삼각형법에 의한 면적 평균 산정 모식도

#### 마. 강수량 산정방법 비교

각 방법간에는 장단점이 있기 때문에 이를 비교하면 표 3-2-2와 같다. 일반적으로 산술 평균법은 빠르고 적용하기가 쉬운 반면, 관측소의 분포가 균등하지 않을 경우에 정확성은 미약하다. Thiessen법과 삼각형법은 산술 평균법 보다는 다소 계산상의 복잡성이 있으나 산악지역 또는 기상학적 동질성이 없는 지역에서는 산술 평균법 보다 월등히 정확하다. 등우선법은 여기에 제시한 방법 중 가장 정확하나, 그 정확성은 등우선도를 얼마만큼 정확하게 작성하는가에 따라 크게 좌우된다.

<표 3-2-2> 4가지 강수량 산정방법의 장단점 비교

내 용 방 법	산술평균법	Thiessen법	등우선법	삼각형법
방 법	객관적	객관적	주관적	객관적
속 도	빠름	보통	매우 느림	보통
지 형	고려하지 않음	고려하지 않음	고려함	고려하지 않음
오차의 수정	고려하지 않음	고려할 수 없음	고려함	고려할 수 없음
계산기 적용	좋음	보통	빈약	보통
정확도	일반적으로 빈약	보통	좋음	보통

(참고문헌 : 대한광업진흥공사, 1998)



### 3.2.5 유출량 분석

#### 가. 개요

유출에는 크게 지표면유출, 중간유출, 그리고 기저유출의 세 가지가 있는데 이 중 지표면유출과 중간유출을 합하여 직접유출이라고 말한다. 중간유출이라는 것은 지하수위 상부에서 발생하는 천부의 지표면 아래의 유출이고 중간유출에는 토양의 침투능이 좋아야 한다는 조건이 수반된다. 그리고 중간유출은 두터운 토양층과 양호한 식생 피복이 전제한 습윤기후 지역에서 주로 발생한다. 그러한 환경에서는 포화된 토양조건이 지표면 유출을 야기시키기도 한다.

- 지표유출 : 강우가 일정시간 동안 토양의 침투능보다 클 때 발생하는 지표면상에서의 유출로서, 주로 건조지역이나 습윤지역에서의 집중호우시에 흔하게 나타난다.
- 중간유출 : 토양층의 비포화대(vadose zone)를 통해 하천이나 다른 수체(water body)로 흘러 나가는 물의 이동
  - ※ throughflow - 토양내 비포화대를 통하여 흐르다가 다시 토양표면위로 흘러 지표면 유출의 경로를 따라 다른 수체로 이동하는 물의 흐름
  - ※ 기저유출 : 지하수계에서 하천과 호수 등으로 끊임없이 유입되는 물의 흐름

지표 유출량은 일명 초과강수량(Rainfall Excess)이라고도 하며, 총강수량중에서 지표유출로 나타나는 강수량이다. 이런 지표 유출은 흙의 함수량에 따라 크게 달라질 수 있는데 건조상태의 흙에서는 매우 큰 침투율을 갖지만 일정량의 강수로 인한 흙의 포화상태에서는 강수량이 증가해도 더 이상의 침투량은 발생할 수 없다. 이와 같이 흙의 초기함수 상태에 따라 침투량은 직접적으로 영향을 받기 때문에 강수로 인한 유출량을 결정하는 중요한 요인이 된다.

지표유출량 계산방법에는  $\phi$ 지표법( $\phi$  index method), W지표법(W index method)등이 있는데, 한 유역에서의 호우로 인한 유출량 자료가 없을 경우에는  $\phi$  혹은 W 지표를 구할 수 없으므로 초과강수량을 산정할 수 없다.

이와 같이 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토성과 식생피복상태 등의 자료를 갖고 미계측 유역에 대한 초과강수량을 산정할 수 있는 방법을 미국 토양보존국(Soil Conservation Service)에서 제시하였는데 이를 SCS 방법이라고 한다. 이외에 홍수유출 분석을 주로 하는 Tank모형법, 장기유출 분석을 주로 하는 가지야마 유출고 공식법이 있다.

#### 나. SCS 방법

SCS 방법은 1950년대 초반 미국의 토양보존국에서 소유역에 대한 유출량

산정을 위하여 토양종류별, 토지이용상태별 유출곡선지수(Runoff Curve Number : CN)를 정하고 무계측 유역에서 유역의 특성에 따라 유출량을 분석토록 개발된 것이다. SCS 방법은 다음의 몇 가지 제약성을 지니고 있다.

- 시간요소가 배제되어 있음(강우강도, 강우지속기간 등이 고려되지 않음)
- 용설의 영향에 의한 유출과 동절기 얼은 토양표면에서의 강우의 영향등이 고려되지 않음
- 유출량이 0.5 inch보다 작은 경우 CN값이 부정확함
- CN값이 40보다 작은 경우 적용에 문제가 많음
- 유출에 기여하는 높은 지하수위나 지표하 흐름에는 적용되지 않고 오직 직접유출에만 적용 가능함

### 1) 기본이론

SCS 방법은 보류수량과 유출은 비례한다는 가정에 근거한다. 즉 실저류량(Actual retention, F)와 최대잠재저류량(Potential retention : S)의 비는 직접유출량(Q)과 총강수량(P)의 비와 같다는 비례관계에 기초를 두고 있다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \quad (3-2-5)$$

그러나, 실제로 강우시 차단, 지표저류, 토양저류 등에 의한 최대저류량(S)을 유역특성 값으로 놓을 때, 실저류량(F)이 최대잠재저류량(S)에 대하여 갖는 비율은 직접유출량(Q)이 총강수량(P)에서 초기손실(Initial abstraction:  $I_a$ )을 뺀 값에 대한 비율이 서로 같다고 가정하면 식(3-2-6)과 같고,

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (3-2-6)$$

또한, 초기손실( $I_a$ )은 최대잠재저류량(S)의 크기에 비례하므로 다음 식과 같다.

$$I_a = \alpha S \quad (\text{여기서 } \alpha = 0.2) \quad (3-2-7)$$

따라서 물수지 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = P - I_a - Q \quad (3-2-8)$$

$P > \alpha S$ 일 경우 직접유출량(Q)은 식(3-2-9)와 같이 표현될 수 있고,

$$Q = \frac{(P - \alpha S)^2}{P + (1 - \alpha)S} \quad (\text{단, } P \leq \alpha S \text{일 경우 } Q = 0) \quad (3-2-9)$$

SCS 방법에 따라  $I_a = 0.2 S$ 의 관계식을 적용하여 재정리하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3-2-10)$$

위 식은 S변수 하나만으로 유출량(Q)을 구할 수 있어 무계측 유역에서도 강우자료만 있으면 사용할 수 있다. 변수 S는 호우와 유역특성에 따라 결정되며,

SCS에서는 S와 CN의 관계를 다음과 같이 제시하였다.

$$CN = \frac{1000}{(S+10)} \quad (3-2-11)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (3-2-12)$$

## 2) 수문학적 토양군 분류(Hydrological Soil Group)

한 유역의 총 강수량 중 직접유출로 나타나는 초과강수량은 유역의 토양특성에 따라 크게 달라질 수 있는데 SCS 방법은 토양의 유출특성을 결정하는 기후, 경사, 생물학적 활동, 구성물질 등과 같은 인자들의 영향을 반영하고 토양종류와 토지 이용을 고려한 침투능의 서술적인 지수로써 A, B, C, D 4개의 수문학적 토양군으로 분류하였는데(<표 3-2-3>), 이들 토양에 대한 침투능의 크기는 A, B, C, D 순으로 작아지나 유출율은 반대로 커지는 관계가 있다.

<표 3-2-3> SCS 방법에 의한 수문학적 토양군 분류(SCS, 1972)

유출율	토양군	특 성	침투율
	A	최저 유출 발생 가능량(lowest runoff potential)이 있는 진흙, silt가 거의 없는 깊은 모래층 또는 자갈층	높은 습윤상태에서 높은 침투율. > 0.76 cm/hr
	B	유출 발생 가능성이 다소 높은(moderately low runoff potential) 사질토이며, 침투율은 평균보다 높으나 진흙이나 silt가 함유된 흙	높은 습윤상태에서 보통적인 침투율. 0.38 - 0.76 cm/hr
	C	유출 발생 가능성이 B급보다는 높은(moderately high runoff potential)흙으로서 진흙에 silt가 많이 섞여 얇은 층을 구성하며 침투율은 평균보다 다소 낮은 흙	높은 습윤상태에서 낮은 침투율. 0.12 - 0.38 cm/hr
	D	유출 발생 가능성이 가장 높은(highest runoff potential) 흙으로서 대부분이 진흙과 silt로 불투수층과 직접 접하여 있는 흙	높은 습윤상태에서 매우낮은 침투율. 0 - 0.13 cm/hr

## 3) 선행토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)

토양의 초기함수상태는 강수량에 따른 유출량에 상당히 많은 영향을 미친다. 따라서 총강수량과 직접유출량간의 관계분석에 있어서 5일 혹은 30일간의 선행 강수량은 한 유역의 선행토양함수조건(이하 AMC)을 대변하는 지표로 흔히 사용된다. 즉 동일한 강우가 내린 경우 선행강수량이 많으면 토양의 습윤도가 높으므로 유출율 즉 직접유출량이 상대적으로 많아질 것이나 선행강수량이 적을 경우에는

침투손실이 커지므로 직접유출량이 적어진다.

SCS에서 기준으로 삼고 있는 AMC는 1년을 성수기(Growing season)와 비성수기(Dormant season)로 나누어 각 경우에 대하여 <표 3-2-4>와 같은 3가지 조건으로 구분하고 있는데, AMC별 3개의 선행 토양함수조건은 5일간의 선행 강수량의 크기에 의하여 유역내 토양의 함수정도를 분류하는 기준이 된다.

<표 3-2-4> AMC에 대한 계절별 선행강우조건(SCS, 1972)

AMC	토 양 조 건	5일간의 선행강수량, P <sub>5</sub> (mm)	
		비성수기	성수기
I	토양이 건조해서 유출율이 매우 낮은 상태	P <sub>5</sub> < 12.7	P <sub>5</sub> < 35.56
II	가장 일반적인 토양상태로써 습윤하고, 유출율이 보통인 상태	12.7 < P <sub>5</sub> < 27.94	35.56 < P <sub>5</sub> < 53.34
III	호우발생전 5일간에 크고 작은 강우로 인해 토양이 거의 포화되어 있어서 유출율이 매우 높은 상태	P <sub>5</sub> > 27.94	P <sub>5</sub> > 53.34

#### 4) 유출곡선지수(Runoff Curve Number)

토지이용 및 지표의 피복상태에 따라서 유출율이 좌우되는데 동일 종류의 토양일지라도 토지이용에 따라 지표유출 발생능력이 상이하므로 그에 따른 CN도 다르게 결정된다.

미국의 SCS에서는 상술한 수문학적 토양군별 CN을 도시지역, 산림지역, 농경지역별로 구분하였는데 <표 3-2-13>, <표 3-2-14>, <표 3-2-15>에 나타낸 바와 같다.

상기 표에 수록된 유출곡선지수(CN)는 평균적인 조건 즉 AMC-II일 때의 값이며, AMC조건이 변화될 때에는 다음 식에 의해서 CN값이 결정된다.

$$\text{AMC - I} : CN_I = \frac{CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (3-2-13)$$

$$\text{AMC - III} : CN_{III} = \frac{CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}} \quad (3-2-14)$$

다음의 <표 3-2-8>은 상기 식(3-2-5), (3-2-6)의 속건표로서 AMC-II 조건에서 선행강수량 조건에 따라 AMC-I, AMC-III로 조건이 변할 때의 CN값을 나타낸다.

<표 3-2-5> 도시지역의 유출곡선지수 CN (AMC-II, Ia=0.2S)

토지 이용상태	피복상태	수문학적 토양조건	토양의 종류			
			A	B	C	D
주거지역(Residential) <sup>1)</sup> 평균규모(m <sup>2</sup> )	불투수면적비(%) <sup>2)</sup>					
< 500	65		77	85	90	94
1,000	38		61	75	83	87
1,500	30		57	72	81	86
2,000	25		54	70	80	85
4,000	20		51	68	79	84
포장된 주차장, 지붕, 차도 등 도로 및 보도			98	98	98	98
포장(목석및우수거설치) <sup>3)</sup>			98	98	98	98
자갈			76	85	89	91
비포장			72	82	87	89
상업지역	(불투수면적 85%)		89	92	94	95
공업지역	(불투수면적 72%)		81	88	91	93
	(불투수면적 65%)		77	85	90	92
개활지,잔디밭,공원,골프장,공동묘지등						
양호한상태 : 전 면적의 75%이상 초지피복			39	61	74	80
보통의상태 : 전 면적의 50-75% 초지피복			49	69	79	84

- 1) 유출곡선지수는 가옥 또는 도로로부터 유출되는 수량이 리로 유입되는 경우와 침투가 더 일어날 수 있는 잔디로 유입되는 경우를 가정하여 계산된 것이다.
- 2) 나머지 유역은 투수성재료(잔디)로 피복되어 있고, 이는 양호한 목초상태로 간주 하였다.
- 3) 기후가 따뜻한 지역에서는 CN=95가 될 수도 있다.

<표 3-2-6> 산림지역의 유출곡선 지수 CN (AMC-II, Ia=0.2S)

수문학적인 조건	수문학적인 토양그룹			
	A	B	C	D
I. Poorest	56	75	86	91
II. Poor	46	68	78	84
III. Medium	36	60	70	76
IV. Good	26	52	62	69
V. Best	15	44	54	61

<표 3-2-7> 농경지역의 유출곡선지수 CN (AMC-II, Ia=0.2S)

토지 이용상태	피복상태	수문학적 토양조건	토양의 종류			
			A	B	C	D
휴경지(Fallow)	나지상태 작물잔재물로 피복	-	77	86	91	94
		불량	76	85	90	93
		양호	74	83	88	90
조식작물(Row crops)	직선줄재배	불량	72	81	88	91
		양호	67	78	85	89
	등고선재배	불량	70	79	84	88
		양호	65	75	82	86
	등고선 및 대상재배	불량	66	74	80	82
		양호	62	71	78	81
소곡류(Small grains)	직선줄재배	불량	65	76	84	88
		양호	63	75	83	87
	등고선재배	불량	63	74	82	85
		양호	61	73	81	84
	등고선 및 대상재배	불량	61	72	79	82
		양호	59	70	78	81
밀식또는산과광과작물 (또는 유작초지) (Close seeded or broadcast) legumes or rotation meadow	직선줄재배	불량	66	77	85	89
		양호	58	72	81	85
	등고선재배	불량	64	75	83	85
		양호	55	69	78	83
	등고선 및 대상재배	불량	63	73	80	83
		양호	51	67	76	80
방목지(Pasture, grassland or range-continuous forage for grazing)	등고선재배	불량	68	79	86	89
		보통	49	69	79	84
		양호	39	61	74	80
	등고선 및 대상재배	불량	47	67	81	88
		보통	25	59	75	83
		양호	6	35	70	79
목초지(방목불허,건초용,영구) (Meadow : continuous grass protect from grazing and generally mowed for hay)			30	58	71	78
관목 - 잡초 혼합형태(관목이 주종) (Brush : brush-weed graa mixture with brush being the major element)	불량	48	67	77	83	
	보통	35	56	70	77	
	양호	30	48	65	73	
식림지 (woods) 나무-초지 혼합형태(과수원 또는 나무농장) <sup>4)</sup> (Woods-grass combination, orchard or tree form) 식림용지(Form woodlots)	불량	57	73	82	86	
	보통	43	65	76	82	
	양호	32	58	72	79	
	불량	45	66	77	83	
	보통	36	60	73	79	
	양호	25	55	70	77	
임야 (Forest) <sup>5)</sup>		매우불량	56	75	86	91
농가 (Formsteads : building, lanes, driveways)			59	74	82	86

4) 나무 50%, 목초 50%로 이루어진 곳에서 계산된 것임.

5) 미국 동부지역자료를 근거로 산정한것임.

<표 3-2-8> 토양의 선행함수조건에 따른 유출곡선지수의 조정

AMC별 CN			S(AMC-II) (mm)	Curve의 시점(mm)	AMC별 CN			S(AMC-II) (mm)	Curve의 시점(mm)
II	I	III			II	I	III		
100	100	100	0.0	0.0	60	40	78	169	33.8
99	97	100	2.57	0.5	59	39	77	177	35.3
98	94	99	5.18	1.0	58	38	76	184	36.8
97	91	99	7.85	1.5	57	37	75	192	38.4
96	89	99	10.6	2.0	56	36	75	200	39.9
95	87	98	13.4	2.8	55	35	74	208	41.5
94	85	98	16.2	3.3	54	34	73	216	43.2
93	83	98	19.1	3.8	53	33	72	225	45.0
92	81	97	22.1	4.3	52	32	71	234	47.0
91	80	97	25.1	5.1	51	31	70	244	48.8
90	78	96	28.2	5.6	50	31	70	254	50.8
89	76	96	31.5	6.4	49	30	69	264	52.8
88	75	95	34.5	6.9	48	29	68	274	54.9
87	73	95	37.8	7.6	47	28	67	287	57.4
86	72	94	41.4	8.4	46	27	66	297	59.4
85	70	94	44.7	8.9	45	26	65	310	62.0
84	68	93	48.3	9.6	44	25	64	323	64.5
83	67	93	52.1	10.4	43	25	63	335	67.1
82	66	92	55.9	11.2	42	24	62	351	70.1
81	64	92	59.4	11.9	41	23	61	366	71.2
80	63	91	63.5	12.7	40	22	60	381	76.2
79	62	91	67.6	13.5	39	21	59	396	79.2
78	60	90	71.8	14.2	38	21	58	414	82.8
77	59	89	76.0	15.2	37	20	57	432	86.4
76	58	89	80.3	16.0	36	19	56	452	90.4
75	57	88	84.6	17.0	35	18	55	472	94.5
74	55	88	89.2	17.8	34	18	54	493	98.6
73	54	87	84.0	18.8	33	17	53	516	103
72	53	86	98.8	19.8	32	16	52	538	108
71	52	86	104	20.8	31	16	51	564	113
70	51	85	109	21.8	30	15	50	592	118
69	50	84	114	22.9	-	-	-	-	-
68	48	84	119	23.9	25	12	43	762	152
67	47	83	125	24.9	20	9	37	1016	203
66	46	82	131	26.2	15	6	30	1440	288
65	45	82	137	27.4	10	4	22	2286	457
64	44	81	143	28.4	5	2	13	4826	965
63	43	80	149	29.7	0	0	0	∞	∞
62	42	79	156	31.2	-	-	-	-	-
61	41	78	162	32.5	-	-	-	-	-

## 다. SCS 방법에 의한 유출량 산정 사례

### 1) 토양분류에 따른 토지이용상태

시범조사지구 유역의 수문학적 토양군 분류를 위하여 농촌진흥청 농업기술 연구소에서 작성한 한국정밀토양해설도(수원시 및 화성군편)을 이용하여, 배수상태가 매우양호(Somewhat Excessively drained)한 토양은 A그룹, 배수상태가 약간양호(Moderately well drained) 및 양호(Well drained)한 토양은 B 그룹, 배수상태가 약간불량(Imperfectly drained)한 토양은 C그룹, 배수상태가 불량(Poorly drained)한 토양은 D그룹으로 분류하였다(<표 3-2-9>, <그림 3-2-3>).

또한, GIS s/w인 ArcInfo 및 Arcview를 이용하여 조사지구에 대한 소유역별 토지이용 분포면적을 구하였다(<표 3-2-10>).

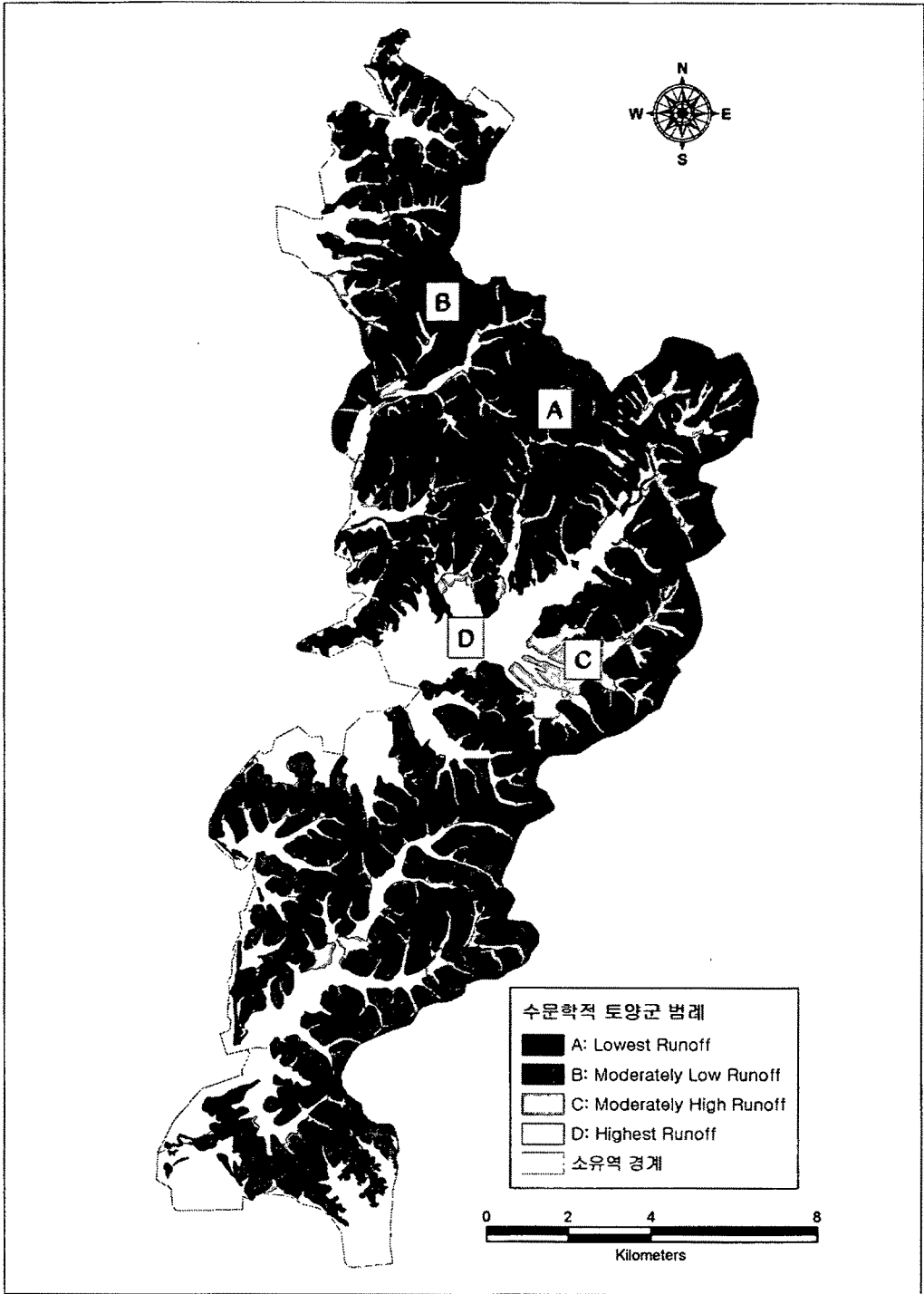
<표 3-2-9> SCS 방법에 의한 수문학적 토양군 분류

토양형	토 성	토양부호	토양경사도	배수상태	토지이용	모 재
A	모래	BRS			하해범람지(모래)	
	바위가있는 사양토	SRF2	> 60 %	매우 양호	임야	편마암
	바위가있는 양토	CmE3	30-60 %	매우 양호	임야	편암
	사양토	Hf	0-2 %	매우 양호	밭	하성충적층
		SgD2	15-30 %	매우 양호	임야	화강암
		SgE2	30-60 %	매우 양호	임야	화강암
	자갈	RC			하천범람지(자갈)	
	자갈이있는 사양토	Hr	0-2 %	매우 양호	밭	하성충적층
		SNC2	7-15 %	매우 양호	임야	편마암
		SND2	15-30 %	매우 양호	임야	편마암
		SND3	15-30 %	매우 양호	임야	편마암
		SNE2	30-60 %	매우 양호	임야	편마암
		SNE3	30-60 %	매우 양호	임야	편마암
		SNE4	30-60 %	매우 양호	임야	편마암
	자갈이있는 양토	CaE2	30-60 %	매우 양호	임야	편암
CaE3		30-60 %	매우 양호	임야	편암	
CaF2		> 60 %	매우 양호	임야	편암	
CaF3		> 60 %	매우 양호	임야	편암	
B	미사질 양토	Gy	0-2 %	약간 양호	논	하성충적층
		Hd	0-2 %	약간 양호	논	홍적층
		HdB	2-7 %	약간 양호	논	홍적층
		BcB	2-7 %	양호	밭	홍적층층
		JnC2	7-15 %	양호	밭	화강암



(계속)

토양형	토 성	토양부호	토양경사도	배수상태	토지이용	모 재
B	사양토	Gt	0-2 %	약간 양호	논	하성층적층
		Ng	0-2 %	약간 양호	논	하성층적층
		SAB	2-7 %	양호	밭	산성암
		SAC	7-15 %	양호	밭	산성암
		SzB	2-7 %	양호	밭	화강암
		SzC	7-15 %	양호	밭	화강암
		WaB	2-7 %	양호	밭	산성암
		WoB	2-7 %	양호	논	산성암
	WoC	7-15 %	양호	논	산성암	
	세사양토	Id	0-2 %	양호	밭	하성층적층
	자갈이있는 양토	OnD2	15-30 %	양호	임야	편마암
		OnD3	15-30 %	양호	임야	편마암
		OnD4	15-30 %	양호	임야	편마암
		OnE2	30-60 %	양호	임야	편마암
		OnE3	30-60 %	양호	임야	편마암
		OnE4	30-60 %	양호	임야	편마암
	PuB	2-7 %	양호	밭	산성암	
	자갈이있는 사양토	SqB	2-7 %	양호	임야	산성암
		SqC	7-15 %	양호	밭	산성암
	잔돌이있는 양토	AnC	7-15 %	양호	밭	산성암
양토	EgB	2-7 %	약간 양호	논	산성암	
	EgC	7-15 %	약간 양호	논	산성암	
	SoC2	7-15 %	양호	임야	화강암	
	SoC3	7-15 %	양호	임야	화강암	
	SoD2	15-30 %	양호	임야	화강암	
	SoD3	15-30 %	양호	임야	화강암	
	WdB	2-7 %	양호	밭	산성암	
	WdC	7-15 %	양호	밭	산성암	
	YaC2	7-15 %	양호	임야	화강암	
	YaC3	7-15 %	양호	임야	화강암	
	YaD2	15-30 %	양호	임야	화강암	
	YaD3	15-30 %	양호	임야	화강암	
	YaD4	15-30 %	양호	임야	화강암	
	YcB	2-7 %	약간 양호	밭	산성암	
	YcC	7-15 %	약간 양호	밭	산성암	
	YiB	2-7 %	약간 양호	논	산성암	
YjC	7-15 %	약간 양호	논	산성암		
C	미사질 양토	Jb	0-2 %	약간 불량	논	하해혼성층적층
	미사질식 양토	Mg	0-2 %	약간 불량	논	하해혼성층적층
	사양토	ScB	2-7 %	약간 불량	논	산성암
		ScC	7-15 %	약간 불량	논	산성암
	양토	JiB	2-7 %	약간 불량	논	산성암
		JiC	7-15 %	약간 불량	논	산성암
SE	0-2 %	약간 불량	논	하성층적층		
D	간석지	TF			간석지	
	미사질 양토	Gw	0-2 %	불량	논	해성층적층
		Hh	0-2 %	불량	논	하성층적층
		Pe	0-2 %	불량	논	하해혼성
	양토	OcB	2-7 %	불량	논	산성암
YeB		2-7 %	불량	논	산성암	



<그림 3-2-3> 수문학적 토양군 분류

<표3-2-10>소유역별 토지이용분류

(단위 : km<sup>2</sup>, %)

소유역	유역 면적	임야		밭		논		간석지		하천범람지 (자갈)		하천범람지 (모래)	
		면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
계													
○○유역													

나) 유출곡선지수(CN) 적용

토지이용별 수문학적 토양군으로 구분이 난해하기 때문에 토지이용에 따른 CN값과 S값을 선행함수조건에 따라 <표 3-2-11>과 같이 평균값을 적용하였다.

<표 3-2-11> 조사지구내 토지이용별 CN 및 S값 결정

구분	임야			밭			논			농가 및 대지			갯벌		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
AMC															
CN	47	68	83	51	71	85	60	78	89	56	75	87	87	95	98
S	286	120	52	244	104	45	169	72	31	200	85	38	37.8	13.4	5.2
면적 Km <sup>2</sup>	65.29			46.30			60.45						8.05		
(비율)	(0.361)			(0.256)			(0.335)			-			(0.048)		

다) 유출량 및 유출율 산정

본 지구 유역의 연평균유출량을 구하기 위하여 수원기상대의 1982~1996(15년) 기간의 일별강수량 자료를 토대로 선행강수량 조건별로 분류하여 SCS 방법의 수행함수조건에 따라 AMC-I 또는 AMC-III 조건으로 환산하여 유출량을 구하였다. 또한 계절별 선행함수조건에서 6, 7, 8, 9월의 4개월을 성수기로 보고 나머지 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12월의 8개월은 비성수기로 간주하였다.

<표 3-2-12>는 토지구분별 CN값에 따라 일 강우량별 유출량을 구하고 이를 연도별로 합산하여 CN 값에 변동에 따른 연평균 유출량을 구한 것이다. CN값은 토지구분에 의한 특성치 이므로 해당 면적비율로 가중 평균하여 연도별 유출량을 계산하고 연강우량에 대한 비율로 유출율을 계산한 결과 25.2%가 된다.

SCS 유출량 공식은 본래 홍수추적을 위하여 도출한 것이므로 홍수시 지표유출만 계상되어 유출율이 낮게 계산된 것으로 판단된다.

<표 3-2-12> CN 값의 변동에 따른 연도별 유출량(수원기상관활지역)

연도별	강수량 (mm)	유출량 (mm)						유출율 (%)
		CN=68	CN=71	CN=75	CN=78	CN=95	평균**	
'82	1,067.4	271.1	266.8	271.7	285.3	546.5	288.0	0.271
'83	942.4	136.2	124.5	119.4	127.1	359.9	140.9	0.151
'84	1,172.8	318.9	323.3	335.0	357.8	637.0	348.3	0.299
'85	1,491.0	347.7	355.9	375.7	409.5	822.1	393.3	0.265
'86	1,144.1	159.2	160.8	172.4	194.0	530.7	186.6	0.169
'87	1,439.1	353.7	361.7	380.0	414.6	815.4	398.3	0.287
'88	849.8	189.5	189.3	194.6	211.1	432.7	208.4	0.255
'89	1,217.7	205.4	200.9	207.7	226.5	563.7	228.5	0.198
'90	2,043.6	611.2	609.7	622.9	656.4	1153.1	652.0	0.319
'91	1,320.4	368.9	368.9	377.1	398.8	702.4	394.9	0.299
'92	1,129.4	136.4	123.8	120.6	127.9	403.6	143.2	0.131
'93	1,162.9	221.9	214.9	216.9	230.1	511.8	236.8	0.214
'94	1,045.6	175.1	168.6	171.6	186.8	487.0	192.3	0.187
'95	1,653.3	517.9	546.9	588.0	638.6	1,070.9	592.3	0.358
'96	952.1	91.9	79.2	74.5	78.8	319.4	95.2	0.105
평균	1289.6	284.0	287.3	300.4	326.1	671.2	321.5	0.252

※ 토지구분별 면적비에 의한 가중평균값

#### 다. Kajiyama 유출고 공식법

Kajiyama의 유출고 공식은 Kajiyama가 1916년부터 1927년까지 약 10년간 우리나라 전국 73개 지점의 강수량 및 유출량 관측자료를 수집한 후 그 중에서 자료가 비교적 정확하다고 생각되는 25개 지점의 수문관측자료를 그래프를 이용하여 분석한 경험식으로써, 현재 우리나라의 수문 실무에서 미계측지점의 월별 또는 순별 유출량을 추정하기 위하여 많이 사용되고 있는 공식이다.

이 유출량 추정공식은 중간유출 및 기저유출을 포함하는 장기유출 추정 모델이므로 중소규모 농업용 저수지의 수량 계산에 널리 적용되고 있다.

Kajiyama의 유출고 공식은 다음과 같다.

$$R = \sqrt{P^2 + (K \cdot f + a)^2} - K \cdot f + E \quad (3-2-15)$$

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

여기서 R = 월유출고(mm)

P = 월강수량(mm)

K = 극한소실고(138.6mm)

a = 최소유출고(10.2mm)

f = 유역유출특성계수

E = 월별 보정우량(mm)

식(3-2-15)에 대한 유역유출특성계수(f)와 월별 보정우량(E)은 <표 3-2-13>과 <표 3-2-14>에 나타난 기준에 의하여 적용된다.

<표 3-2-13> 월별 보정우량(E) 값

월 강수량	1	2	4	5	6	9	10	비 고
0	-2.5	-2.5	5.0	-	-2.0	6.0	7.0	
10	-2.0	-2.0	5.5	-	-3.0	6.4	6.3	
20	-1.5	-1.5	6.0	-	-4.0	6.8	5.6	
30	-1.0	-1.0	6.5	-	-6.0	7.2	4.9	
50	-	-	7.5	-	-9.0	8.0	3.5	
70	-	-	8.5	-2.4	-12.0	8.8	3.5	
80	-	-	9.0	-3.6	-17.0	9.2	1.4	
100	-	-	10.0	-6.0	-20.0	10.0	-	
150	-	-	5.0	-12.0	-26.0	11.0	-	
200	-	-	-	-6.0	-30.0	12.0	-	
250	-	-	-	-	-22.5	9.0	-	
300	-	-	-	-	-15.0	6.0	-	

<표 3-2-14> 유역유출특성에 따른 계수(f) 값

유역의 특성	f값
경작지 및 임야가 많고 경사가 완만하며 손실우량이 과대한 경우	1.4
경작지 및 임야가 많고 경사가 완만하며 손실우량이 많은 경우	1.2
경작지 및 임야가 많고 경사가 완만하며 손실우량이 보통인 경우	1.0
경작지 및 임야가 적고 경사가 급하며 손실우량이 작은 경우	0.8
경작지 및 임야가 적고 경사가 급하며 손실우량이 과소한 경우	0.6

실제로 강수량은 <표 3-2-13>에 나타난 것과는 다르므로 보다 정확한 월별 보정우량(E) 값을 적용하기 위해서는 강수량과 보정우량 값을 선형보간법에 의하여 계산하여 적용한다.

물수지 방정식의 관점에서 볼 때 극한소실고(K)는 유역에서의 최대증발산량, 최소유출고(a)는 유출성분 중 기저유출, 유역유출특성계수(f)는 유역의 유출특성을 나타내는 지표, 월별 보정우량(E)는 계절별 유출특성을 반영하는 수치로 볼 수 있다.

<표 3-2-15>는 시범조사지구에서 Kajiyama 방법에 의한 월별 유출량을 구한 것으로 연평균 유출율이 59%로 나타났다.

<표 3-2-15> Kajiyama 방법에 의한 월별 유출량(시범조사지구 예)

(단위: mm, %)

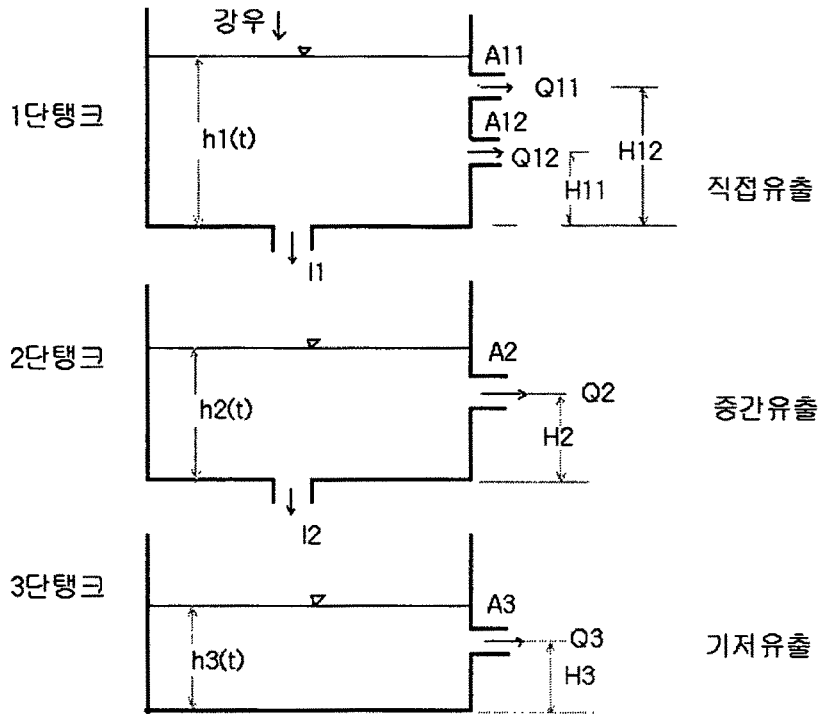
Kajiyama 방법의 유출량(f=1.0인 경우)														
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계	비율
1982	14.3	7.9	19.3	16.4	73.6	7.8	167.0	161.6	16.4	23.7	73.1	19.3	600.2	56.2
1983	8.5	9.1	24.6	52.0	19.6	7.3	181.0	64.0	92.2	21.6	12.6	10.2	502.8	53.4
1984	9.4	9.0	11.0	32.4	14.1	24.4	203.6	125.3	225.3	16.9	14.5	11.3	697.0	59.4
1985	10.6	10.6	22.9	32.7	115.9	25.0	84.9	196.5	87.3	164.1	28.1	14.0	792.5	53.2
1986	8.8	8.7	13.6	24.3	26.8	19.2	88.3	296.8	59.3	48.4	14.2	12.1	620.6	54.2
1987	15.3	11.8	15.6	31.9	33.1	36.2	322.2	321.5	23.3	18.9	34.0	10.2	874.1	60.7
1988	8.4	7.8	13.3	24.5	16.1	13.4	356.0	37.6	22.3	16.8	12.2	11.0	539.4	63.5
1989	22.2	13.5	56.9	16.0	14.9	54.9	104.7	175.0	76.2	20.3	50.4	11.1	616.2	50.6
1990	23.4	25.5	31.6	40.1	41.1	272.4	168.3	187.7	474.5	17.2	21.6	12.6	1,315.9	64.4
1991	9.6	15.6	18.9	26.9	45.7	16.7	448.2	31.5	110.7	18.2	12.3	19.3	773.6	58.6
1992	9.1	11.1	10.7	38.6	45.2	9.6	86.7	227.4	97.6	19.3	22.9	19.5	597.8	52.9
1993	7.8	20.4	12.6	31.4	28.2	47.9	343.1	60.9	41.6	17.3	22.7	11.4	645.3	55.5
1994	8.0	8.6	18.7	18.6	55.7	18.3	31.0	220.8	33.8	103.5	13.4	11.5	542.0	51.8
1995	9.0	8.7	17.2	20.7	20.4	13.2	262.9	840.7	19.1	18.0	12.3	10.2	1,252.3	75.7
1996	10.1	8.0	41.1	26.3	12.5	167.1	144.7	29.2	16.9	27.9	18.1	11.1	512.9	53.9
평균	12.0	13.3	20.3	50.5	34.8	49.0	225.4	202.2	86.4	32.7	22.2	12.4	761.3	59.0

**마. Tank모형법**

Tank모형법은 일본 건설성에서 홍수 및 장기유출 해석에 적용하기 위해 개발된 것으로 우리나라 대단위 농업용수개발사업지구에서 사용하였다.

Tank모형은 다음 그림과 같이 측면과 저면에 각각 유출공과 침투공을 가지며 강우에 의해 채워진 탱크내의 물은 측면공에서 유출하거나 혹은 저면공을 통하여 아래의 탱크로 내려간다. 측면공에서의 유출의 합은 하천유량으로 나타난다. Tank모형은 최상단이 홍수의 표면유출, 제2단이 중간유출, 제3단이 기저유출에 대응하고 유역의 저류능을 Tank라고 가정할 수 있다. 따라서 Tank의 크기, 수위, 유출고 및 침투공의 크기 등 물리적 특성치를 대상유역의 정밀한 실측 유출자료에 부합되도록 시산법에 의해 결정하여야 한다.

Tank모형법은 기저유출량은 분석할 수 있는 장점이 있으나 조사지구의 실측 유출자료에 의해 검증은 거쳐 사용해야 하기 때문에 유출조사 자료가 없는 소유역에서는 사용할 수 없는 단점이 있다.



<그림 3-2-4> Tank모형의 구조 및 매개변수

### 3.2.6 증발산량 산정

#### 가. 개요

증발산(Evapotranspiration)은 지표면으로부터의 증발(Evaporation)과 식물로부터의 증산(Transpiration)을 합한 것으로서 물이 기화되어 대기로 환원되는 모든 것을 포함한다. 증발산량의 추정방법으로는 기상관측소에서 흔히 적용하는 계기 측정, 기후인자와의 상관관계수에 의한 이론 및 경험적 방법이 있을 수 있고, 또한 지역적인 특성에 따라 사용자의 주관적인 관점이 개입될 수 있다. 계기 측정은 측정 용기내에 특정 식물을 심고 식물이 성장하는 동안 유입된 물의 양과 토양내의 수분 변화를 측정함으로써 증발산량을 환산하는 방법이고, 이론 및 경험공식은 공기역학적 방법과 에너지 보존법칙에 기초한 방법으로서 기상학적 인자 외에 식물의 종류, 식물색깔의 농도, 식물의 밀도 등 식물요소와 토양 상관관계의 영향을 고려하여 산정하는 방법이다. 이들 방법으로는 Penman, Blaney-Criddle, Thornthwaite의 경험공식 등이 많이 쓰이고 있다.

Blaney-Criddle방법과 Thornthwaite방법은 거의 같은 자료를 사용하고 있어 소비수량의 계산 결과는 비슷하게 나타난다. 이 방법들은 연간 식물소비수량(Annual consumptive use)을 계산하도록 고안된 공식으로서 단기간 값의 추정에는 바람 및 상대 습도에 대한 고려가 되어 있지 않아 오차가 발생할 수 있다. 또한, Blaney-Criddle방법은 건조한 지역의 경우에 Thornthwaite방법보다 정확하고, Penman방법은 Blaney-Criddle방법과 Thornthwaite방법보다 정확한 것으로 알려져 있으나 많은 기후자료가 필요하기 때문에 적용에 제한이 있다.

#### 나. 증발산량 산정기법

##### 1) FAO Blaney-Criddle법

$$CU = K \cdot f = K(p \cdot T/100) \quad (3-2-16)$$

K : 작물계수

f : 보정계수

p : 주간시간 백분율

T : 평균기온( °F)

식(3-2-8)은 다음과 같은 지역에는 적용하기에 곤란한 단점이 있다.

- ① 적도, 섬, 해안지역
- ② 주간일사량이 크지만 고도가 높기에 평균기온이 낮은 지역
- ③ 계절이 바뀌는 시기에 일조시간의 변동폭이 큰 기후, 즉 몬순기후 중위도의 봄·가을 시기



## 2) SCS Blaney-Criddle법

$$ET_0 = K_t(0.46T + 8.13)p \quad (3-2-17)$$

$K_t$  : 온도보정계수 =  $0.0311T + 0.24$

$T$  : 평균기온( °C)

$p$  : 주간시간 백분율

식(3-2-17)는 식(3-2-16)에서 작물계수 인자를 뺀 방법으로서 주로 월별 잠재 증발산량 추정에 이용되고 있다.

## 3) FAO Radiation법

$$ET_0 = c(W \cdot R_s) \quad (3-2-18)$$

$c$  : 평균습도와 주간 풍속조건에 따른 수정계수

$W$  : 온도와 고도에 따른 가중계수

$R_s$  : 증발량에 상응하는 태양의 일사량

이 방법은 일사량과 온도자료는 있지만 풍속이나 습도자료가 없는 지역에 주로 사용한다.

## 4) Penman법

$$E = \frac{\Delta \cdot H + \gamma \cdot E_a}{\Delta + \gamma} \quad (3-2-19)$$

여기서,  $\Delta$  : 포화수증기압 곡선의 기울기

$\gamma$  : 건습구 온도계 상수

$E_a$  : 일증발량

$H$  : 순복사에너지

## 5) Pan evaporation법

$$ET_0 = K_{pan} \cdot E_{pan} \quad (3-2-20)$$

식(3-2-20)의 정확도는 pan이 작동하는 조건하에서 미시적인 기후요인이나 측후소내 pan의 관리상태에 많이 좌우된다. Class A evaporation pan의  $K_{pan}$ 의 평균 값은 0.70이고, Sunken Colorado pan의 경우는 0.80 이다.

## 6) FAO Penman-Monteith법

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (3-2-21)$$

- $ET_0$  : 표준 증발산량(mm)  
 $R_n$  : 작물표면에서의 순 일사량( $MJm^{-2}day^{-1}$ )  
 $G$  : 토양 열 유동밀도( $MJm^{-2}day^{-1}$ )  
 $T$  : 2m높이에서의 일 평균 대기온도( $^{\circ}C$ )  
 $u_2$  : 2m높이에서의 풍속(m/s)  
 $e_s$  : 포화증기압(kPa)  
 $e_a$  : 실제증기압(kPa)  
 $\Delta$  : 증기압 곡선 기울기(kPa/ $^{\circ}C$ )  
 $\gamma$  : 건습구(습도계) 상수(kPa/ $^{\circ}C$ )

FAO Penman-Monteith법에서 표준증발산량을 계산하기 위해 필요한 기상자료는 대기온도, 습도, 일사량 그리고 풍속 등이며 식(3-2-21)에 나온 각 인자별 내용은 다음과 같다.

### ▶ 건습구상수

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P$$

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26}$$

$P$  : 대기압(kPa)  
 $z$  : 관측소 표고(m)

### ▶ 토양 열유동 밀도

$$G = C_s \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} \Delta z$$

$C_s$  : soil heat capacity, 보통  $2.1MJm^{-3}^{\circ}C^{-1}$   
 $\Delta z$  : 유효토양심도, 일별계산시 0.18m, 월별계산시 2.0m 사용  
 $T_i, T_{i-1}$  :  $i, i-1$ 에서의 대기온도( $^{\circ}C$ )  
 $\Delta t$  : 시간간격(일)

월단위 계산 :

$$G_{month,i} = 0.07 (T_{month,i+1} - T_{month,i-1}) \quad \text{또는}$$

$$G_{month,i} = 0.14 (T_{month,i} - T_{month,i-1})$$

일 혹은 10일 단위 계산 :  $G_{day} \approx 0$

▶ 증기압 곡선의 기울기

$$\Delta = \frac{4098 \left\{ 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T}{T + 237.3} \right) \right\}}{(T + 237.3)^2}$$

▶ 포화증기압

일 최소·최대 온도자료 대신에 일 평균 온도를 사용하여 평균 포화증기압을 구하는 경우에는 다소 낮은 계산치가 도출되어 결과적으로 낮은  $ET_0$  값을 가져온다.

$$e_s = \frac{e^*(T_{\max}) + e^*(T_{\min})}{2}$$

$$e^*(T) = 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T}{T + 237.3} \right)$$

T : 대기온도(°C)

▶ 실제증기압

$$e_a = e^*(T_{dew}) = 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T_{dew}}{T_{dew} + 237.3} \right)$$

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} \left\{ \frac{e^*(T_{\max}) + e^*(T_{\min})}{2} \right\}, \quad T_{dew} : \text{이슬점온도}(^{\circ}\text{C})$$

▶ 순일사량

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad : \text{net radiation(일사량의 입출력차이)}$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad : \text{incoming 순단파일사량}$$

$\alpha$  : albedo 또는 canopy reflection coefficient, 보통 0.23을 사용

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a \quad : \text{solar radiation}$$

$a_s, b_s$  : 0.25, 0.50을 보통 사용함

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

$$\omega_s = \arccos \{ -\tan(\varphi) \tan(\delta) \} \quad : \text{sunset hour angle}$$

$$\varphi = \text{위도(rad)}$$

$$\delta = 0.409 \sin \left( \frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) \quad : \text{solar declination(rad)}$$

$$J = \left( \frac{275M}{9} - 30 + D \right) - 2 \quad : \text{연중 해당날짜의 일수}$$

M : 해당월, D : 해당월의 일수

단, J 계산시 ( )는 정수부분만 계산함

$$radians = \frac{\pi}{180} \times (^\circ)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \{ \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \}$$

: 태양에서 대기권으로 들어오는 일사량

$G_{sc}$  : solar const. 로서 보통  $0.082 \text{ MJm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 을 사용

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right) : \text{inverse relative distance Earth-Sun}$$

$$R_{ni} = \sigma \left( \frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right) (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

: outgoing 순장파일사량

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a$$

### ▶ 풍속

$$u_z = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} ,$$

$z$  : 지표면위 풍속측정고도(m),

$u_z$  :  $z$ 에서의 풍속

## 7) Thornthwaite법

Thornthwaite의 증발산량 산정방법은 다음과 같다.

$$E_p = c T_m^a \quad (3-2-22)$$

$E_p$  : 잠재증발산량(Cm)

$a, c$  : 지역, 위도에 따라 변화하는 계수

$T_m$  : 월평균기온( $^\circ\text{C}$ )

상기 식(3-2-22)의  $a$ 값은 년열지수(annual heat index :  $I$ )를 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$a = 67.5 \times 10^{-8} I^3 - 77.1 \times 10^{-6} I^2 + 0.01792 I + 0.49239 \quad (3-2-23)$$

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

매일 12시간의 낮의 길이가 월 30일 이라 가정하면 식(3-2-22)는 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$E_p = 1.62 b \left[ \frac{10 T_m}{I} \right]^a \quad (3-2-25)$$

여기서  $b$ 는 위도에 따라 정해지는 조정계수이다.

## 다. 시범조사지구 증발산량 산정 사례

시범조사지구의 잠재증발산량을 추정하기 위하여 앞에서 서술한 여러 가지 방법들 중 SCS Blaney-Criddle법, Penman-Montheith법, Thornthwaite법을 적용하였다.

### 1) SCS Blaney-Criddle법에 의한 잠재증발산량

본 방법에 의한 잠재증발산량을 추정하기 위하여 인근 수원기상대에서 얻은 33년간의 평균온도 자료를 이용하였고, 월간 낮의 길이와 연간 낮의 길이의 비율인 주간시간백분율에 대한 인자값은 <표 3-2-16>을 이용함으로써, 최종적으로 <표 3-2-17>과 같은 결과값을 산출하였다.

<표 3-2-16> 주간시간 백분율(수원기상대) (단위 : %)

월간 낮의 길이와 연간 낮의 총길이의 비 (주간시간 백분율)												
월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
계수	6.91	6.81	8.34	8.88	9.86	9.91	10.08	9.45	8.37	7.82	6.88	6.72

<표 3-2-17> SCS Blaney-Criddle 방법에 의한 잠재증발산량 (단위:mm)

조사 년도	연간 강수량	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합 계	비율
1982	1,067.4	5.36	12.10	34.26	67.66	125.19	159.27	196.94	190.82	120.80	82.27	36.82	11.71	1,043.22	97.73
1983	942.4	7.99	7.54	36.43	76.34	126.31	161.64	190.14	200.22	139.86	74.38	31.57	8.84	1,061.23	112.61
1984	1,172.8	1.03	5.47	23.54	71.09	125.91	169.78	202.63	205.57	124.16	70.93	37.68	11.36	1,049.16	89.46
1985	1,491.0	1.38	12.82	29.85	68.89	126.96	167.71	206.41	206.08	129.79	79.27	31.61	6.70	1,067.46	71.59
1986	1,144.1	2.49	5.46	33.17	70.24	117.03	163.14	184.77	182.63	121.02	67.80	28.26	17.60	993.61	86.85
1987	1,439.1	7.30	13.42	30.53	63.29	116.81	167.95	188.72	187.51	122.28	82.77	36.67	15.01	1,032.28	71.73
1988	849.8	8.47	10.12	29.73	66.13	123.55	168.71	197.93	198.87	130.93	75.57	28.01	12.98	1,051.01	123.68
1989	1,217.7	15.20	18.96	37.57	80.36	126.81	156.66	198.07	194.31	127.94	70.80	35.24	16.17	1,078.07	88.53
1990	2,043.6	6.51	19.51	42.52	67.60	114.41	159.59	207.60	206.60	135.65	81.87	46.65	15.46	1,103.97	54.02
1991	1,320.4	7.72	10.53	33.94	76.49	122.11	171.97	195.82	192.62	130.47	71.84	31.16	18.34	1,063.00	80.51
1992	1,129.4	12.46	13.99	43.83	71.41	113.23	151.24	202.70	191.07	130.83	74.00	32.11	16.72	1,053.58	93.29
1993	1,162.9	8.18	15.14	34.90	63.66	127.10	159.93	186.39	171.53	134.62	69.88	42.09	13.20	1,026.60	88.28
1994	1,045.6	11.14	15.30	29.64	89.90	127.58	171.55	245.80	216.47	130.95	84.41	43.35	16.48	1,182.57	113.10
1995	1,653.3	8.32	14.29	38.57	67.38	116.92	165.99	198.82	205.27	125.53	84.80	32.65	10.41	1,068.94	64.66
1996	952.1	9.24	9.50	32.80	61.08	129.10	176.22	207.41	209.20	143.91	80.17	33.29	16.65	1,108.57	116.43
평균	1,289.57	8.01	12.56	35.37	76.91	126.08	167.50	218.94	203.41	134.04	78.86	37.43	13.87	1,112.97	84.12

\* 잠재증발산율은 강수량 대비 최소 54.0%, 최대 123.7%, 평균 84.1%를 보여주고 있다.

### 2) FAO Penman-Monteith 방법에 의한 잠재증발산량

이 방법에 의한 잠재증발산량은 농업기반공사 농어촌연구원에서 식물소비수량을 산정하기 위하여 개발한 FAO P-M 프로그램을 이용하여 산정하였다. FAO

P-M 프로그램은 인근 기상대의 기상자료 즉, 지역명, 위도, 고도(M), 풍속 및 온도 측정 높이(cm) 등의 자료를 필요로 하며, 본 지구에서는 각각 수윈, 37.27, 33.6, 2000, 150 값을 적용하였다.

이 프로그램을 이용하여 본 조사지구의 잠재증발산량을 추정한 결과는 <표 3-2-18>과 같다.

<표 3-2-18> Penman-Monteith 방법에 의한 잠재증발산량

(단위 : mm)

구분	연간 강수량	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연간증발산량	비율 (%)
1982년	1,067.4	19.6	29.0	58.0	88.8	109.1	128.1	128.8	103.8	92.7	59.5	29.6	18.2	865.3	81.1
1983년	942.4	19.3	26.8	56.5	88.9	117.7	130.1	96.5	119.2	83.0	51.4	30.2	19.7	839.2	89.1
1984년	1,172.8	17.1	29.7	51.3	83.8	120.0	122.0	115.6	114.1	81.5	61.6	32.4	21.1	850.2	72.5
1985년	1,491.0	19.7	27.8	56.9	86.9	109.1	121.7	114.3	114.7	71.6	54.6	31.1	20.1	828.5	55.6
1986년	1,144.1	19.1	27.1	56.5	94.1	117.2	112.2	102.6	97.2	82.0	52.3	29.3	19.7	809.3	70.7
1987년	1,439.1	20.9	30.3	53.3	81.8	113.4	128.2	100.7	97.9	92.6	59.4	33.2	21.0	832.7	57.9
1988년	849.8	23.0	33.4	58.3	91.5	121.0	126.0	101.4	123.7	90.1	60.6	34.3	20.8	884.2	104.0
1989년	1,217.7	20.9	32.0	61.0	99.1	122.9	123.9	116.5	122.1	81.4	55.1	31.3	19.3	885.4	72.7
1990년	2,043.6	19.3	25.5	54.1	80.6	92.7	93.1	104.9	120.8	79.8	61.5	31.5	20.8	784.5	38.4
1991년	1,320.4	21.1	28.6	54.3	94.5	119.9	118.6	101.1	114.9	81.8	62.7	31.1	20.1	848.7	64.3
1992년	1,129.4	20.8	32.3	58.9	88.6	110.6	121.4	110.2	107.2	80.7	54.4	30.5	22.9	838.6	74.3
1993년	1,162.9	21.1	31.9	55.1	82.2	116.1	104.5	109.3	99.0	92.4	60.6	33.3	21.4	826.8	71.1
1994년	1,045.6	22.0	33.2	58.0	97.6	112.5	122.5	139.4	126.8	94.4	58.4	33.2	24.0	921.9	88.2
1995년	1,653.3	24.3	31.4	56.2	92.1	113.3	116.2	115.4	110.5	82.7	57.8	31.1	18.8	849.8	51.4
1996년	952.1	22.8	31.7	50.9	85.9	116.7	101.0	116.4	119.3	95.6	55.7	32.9	23.2	851.8	89.5
평균값	1,289.6	20.4	29.0	55.6	86.9	114.7	118.9	113.4	112.0	84.9	57.0	31.4	20.1	844.5	65.5

※ 연평균 증발산율 65.5%

### 가) FAO P-M프로그램 사용설명서

#### ① 기상자료의 구조

기상자료는 파일이름에 지역 코드를 내포하고 있다. 예를 들면 MET090.OUT는 090에 의하여 속초자료임을 알 수 있다. 코드는 (2)의 표를 보면 알 수 있다.

기상자료의 구조

METED00009019830101	89	5	13	30	613	68
METED00009019830102	79	15	21	45	695	58
METED00009019830103	95	-3	16	45	668	78

.....

순서	내용	단위
1	지점코드	6 자리
2	년	4 자리
3	월	2 자리
4	일	2 자리
5	최고기온	0.1 ℃
6	최저기온	0.1 ℃
7	평균풍속	0.1 m/s
8	최대풍속	0.1 m/s
9	평균습도	0.1 %
10	일조시간	0.1 hr

### ② 입력파일의 구조

입력자료는 위의 기상자료에 지역명, 위도, 고도(M), 풍속 및 온도 측정 높이 (CM)를 더하면 된다. 구조는 다음과 같다. 위도와 고도 자료는 다음 표를 참고하면 된다.

-입력파일의 구조

속초

위도 35.25

고도 17.6

풍속 1190

온도 200

METED00009019830101 89 5 13 30 613 68

METED00009019830102 79 15 21 45 695 58

METED00009019830103 95 -3 16 45 668 78

.....

※ H = 노장의 해발 높이, Ha = 풍속계의 지상 높이, ht = 온도계의 지상높이

### ③ 프로그램의 실행

기상자료를 편집(위의 5줄 입력, 단 위도는  $35+15/60 = 35.25$ 의 소수점 형식으로 변환하며, 온도 측정높이는 보통 200으로 함)하여 파일명.txt로 만들고 이 파일을 파일명.dat(도스상에서 edit하여 파일명, dat로 저장함)로 변환하여 다음의 계산프로그램을 실행시킨다.

C:\.\PEN\_MON.EXE ↓

INPUT FILE NAMAЕ ? (예) 화일명.DAT

OUTPUT FILE NAME ? (예) 출력화일명.OUT

<기상대 코드 및 기타 자료>

코드 Code	지 명 Station	북 위 Lat.(N)	동 경 Long.(E)	H (m)	Ha (m)	ht (m)	이용가능 자료	
							시작년	보유년
090	속초 Sokcho	35° 15'	128° 34'	17.6	11.9	1.5	81	14
095	철원 Chorwon	38° 09'	127° 19'	154.9	15.0	1.5	88	7
100	대관령 Taegwallyong	37° 41'	128° 45'	842.0	10.0	1.5	72	23
101	춘천 Chunchon	37° 54'	127° 44'	74.0	10.0	1.5	67	28
105	강릉 Kangnung	37° 45'	128° 54'	26.0	9.8	1.5	67	28
108	서울 Seoul	37° 34'	126° 58'	85.5	10.6	1.5	67	28
112	인천 Incheon	37° 29'	126° 38'	68.9	11.0	1.4	67	28
114	원주 Wonju	37° 20'	127° 57'	149.8	10.0	1.5	83	9
115	울릉도 Ullung-do	37° 29'	130° 54'	221.1	10.3	1.4	67	28
119	수원 Suwon	37° 16'	126° 59'	36.9	10.6	1.5	67	28
129	서산 Sosan	36° 46'	126° 28'	19.7	11.8	1.4	68	27
130	울진 Ulchin	36° 59'	129° 25'	49.5	13.6	1.5	81	15
131	청주 Chongju	36° 38'	127° 26'	59.0	11.0	1.5	67	28
133	대전 Taejon	36° 18'	127° 24'	77.1	10.4	1.5	69	26
135	추풍령 Chupungnyong	36° 13'	128° 00'	245.9	16.3	1.4	67	28
136	안동 Andong	36° 33'	128° 43'	139.3	15.5	1.5	83	12
138	포항 Pohang	36° 02'	129° 23'	5.6	15.5	1.5	67	28
140	군산 Kunsan	35° 59'	126° 42'	26.3	14.5	1.5	68	27
143	대구 Taegu	35° 53'	128° 37'	57.8	23.6	1.4	67	28
146	전주 Chonju	35° 49'	127° 09'	51.2	8.9	1.3	67	28
152	울산 Ulsan	35° 33'	129° 19'	31.5	10.8	1.2	67	28
155	마산 Masan	35° 11'	128° 34'	4.5	19.5	1.4	87	8
156	광주 Kwangju	35° 08'	126° 55'	70.9	15.4	1.3	67	28
159	부산 Pusan	35° 06'	129° 02'	69.2	17.8	1.2	67	28
162	충무 Chungmu	34° 50'	128° 26'	32.2	11.5	1.4	81	14
165	목포 Mokpo	34° 47'	126° 23'	53.4	15.8	1.3	67	28
168	여수 Yosu	34° 44'	127° 44'	67.0	10.5	1.5	67	28
170	완도 Wando	34° 18'	126° 45'	14.7	15.4	1.5	83	12
184	제주 Chiju	33° 31'	126° 32'	22.0	12.3	1.3	67	28
189	서귀포 Sogwipo	33° 14'	126° 34'	51.9	10.0	1.4	67	28
192	진주 Chinju	35° 12'	128° 06'	21.5	10.0	1.5	70	25
201	강화 Kanghwa	37° 42'	126° 27'	46.4	6.0	1.5	74	21
202	양평 Yangpyong	37° 29'	127° 29'	45.0	6.0	1.5	73	22
203	이천 Inhon	37° 17'	127° 26'	75.0	6.0	1.5	73	22
211	인제 Inje	38° 03'	128° 10'	199.7	6.0	1.5	73	22
212	홍천 Hongchon	37° 41'	127° 53'	141.0	6.0	1.5	73	22
214	삼척 Samchok	37° 22'	129° 13'	3.9	6.0	1.5	73	22
216	태백 Taebaek	37° 10'	128° 59'	710.0	10.0	1.5	86	9
221	제천 Chechen	37° 08'	128° 12'	220.0	6.0	1.5	73	22
223	충주 Chungju	36° 58'	127° 55'	50.0	6.0	1.5	73	22
226	보은 Poun	36° 29'	127° 44'	170.0	6.0	1.5	73	22
232	온양 Onyang	36° 47'	126° 59'	24.5	6.0	1.5	73	22



(계속)

코드 Code	지 명 Station	북 위 Lat.(N)	동 경 Long.(E)	H (m)	Ha (m)	ht (m)	이용가능 자료	
							시작년	보유년
235	대천 Taechun	36° 20'	126° 36'	33.0	6.0	1.5	73	22
236	부여 Puyo	36° 16'	126° 55'	16.0	6.0	1.5	73	22
238	금산 Kumsan	36° 06'	127° 28'	170.7	6.0	1.5	73	22
243	부안 Puan	35° 43'	126° 42'	7.0	6.0	1.5	73	22
244	임실 Imshil	35° 37'	127° 17'	244.0	6.0	1.5	73	22
245	정주 Chongju	35° 34'	126° 53'	40.5	6.0	1.5	73	22
247	남원 Namwon	35° 25'	127° 25'	115.0	6.0	1.5	73	22
248	장수 Changsu	35° 39'	127° 31'	409.3	6.0	1.5	88	7
256	송주 Sungju	35° 04'	127° 15'	74.0	10.0	1.5	73	22
260	장흥 Changhung	34° 41'	126° 55'	40.0	6.0	1.5	73	22
261	해남 Haenam	34° 33'	126° 35'	37.5	6.0	1.5	73	22
262	고흥 Kohung	34° 36'	127° 18'	32.4	6.0	1.5	73	22
265	성산포 Songsanpo	36° 27'	126° 55'	10.7	6.0	1.5	73	22
271	춘양 Chunyang	36° 57'	128° 58'	305.0	6.0	1.5	88	7
272	영주 Yongju	36° 50'	128° 37'	170.0	6.0	1.5	73	22
273	침촌 Chomchon	36° 37'	128° 09'	172.1	6.0	1.5	73	22
277	영덕 Yongdok	36° 32'	129° 25'	55.0	6.0	1.5	73	22
278	의성 Uisong	36° 21'	128° 41'	73.0	6.0	1.5	73	22
279	선산 Sonsan	36° 14'	128° 18'	40.0	6.0	1.5	73	22
281	영천 Yongchon	35° 58'	128° 57'	91.3	6.0	1.5	73	22
284	거창 Kochang	35° 40'	127° 55'	224.9	6.0	1.5	86	9
285	합천 Hopchon	35° 34'	128° 10'	30.9	6.0	1.5	73	22
288	밀양 Miryang	35° 29'	128° 45'	12.5	6.0	1.5	73	22
289	산청 Sanchong	35° 25'	127° 53'	141.8	6.0	1.5	73	22
294	거제 Kojje	34° 53'	128° 37'	12.0	9.6	1.5	73	22
295	남해 Namhae	34° 50'	128° 54'	15.0	16.0	1.5	73	22

#### ④ 출력파일의 구조

출력파일은 일별 증발산량이며 순별, 월별 증발산량은 출력파일을 엑셀로 불러들여 편집하면 쉽게 계산할 수 있다.

(출력파일명.out파일을 열어 각 항목마다 시작부분을 정렬하여 파일명.txt로 저장한 다음 엑셀로 불러들여 편집하고 파일명.xls로 저장하면 된다)

- 출력파일의 구조

속초

위도            35.25

고도            17.60m

풍속            1190.00cm

온도            200.00cm

연	월	일	최고온도	최저온도	평균풍속	평균습도	일조시간	증발산량	일사량	공기함	SOIT FLUX
1968	1	1	2500	-4800	3.300	35.300	7.000	1.76	0.22	1.53	-2.01
1968	1	2	6.100	-1.900	3.500	57.300	7.900	1.26	-0.07	1.33	1.24
1968	1	3	3.600	-3.300	4.100	37.800	8.700	1.86	0.08	1.79	-0.74
1968	1	4	7.200	-1.500	2.300	47.000	8.400	1.18	-0.09	1.28	1.03
1968	1	5	11.400	1.500	1.700	67.000	3.800	0.84	-0.00	0.85	1.37
1968	1	6	7.800	1.300	0.500	87.000	5.900	0.49	0.38	0.12	-0.72
1968	1	7	4.500	-3.400	1.100	41.500	8.300	0.97	0.26	0.70	-1.52
1968	1	8	0.600	-5.700	1.200	37.000	8.300	0.87	0.20	0.67	-1.18

### 3) Thornthwaite 방법에 의한 잠재증발산량

식(3-2-16)을 적용하여 수원기상대 관할지역의 잠재증발산량을 구하였는데 위도에 따라 정해지는 조정계수 b는 수원기상대의 위도에 따라 <표 3-2-19>와 같고, 증발산량 산정 결과는 <표 3-2-20>과 같다.

<표 3-2-19> 수원기상대의 위도에 따른 낮의 길이의 조정계수 (b)

좌표			월											
북위	동경	고도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37° 16'	126° 59'	37.27	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83

<표 3-2-20> Thornthwaite 방법에 의한 잠재증발산량

연도	월	연간 강수량	월												합 계	비율
			1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
1982		1,067.4	0.0	0.0	13.7	43.7	93.5	123.0	154.0	149.0	91.4	59.2	19.2	0.0	746.7	70.0
1983		942.4	0.0	0.0	15.0	50.7	93.5	124.3	148.1	156.4	106.9	51.2	13.8	0.0	759.8	80.6
1984		1,172.8	0.0	0.0	4.2	46.2	93.5	131.4	158.5	160.7	93.8	48.4	19.6	0.0	756.3	64.5
1985		1,491.0	0.0	0.0	9.1	43.5	93.7	129.2	161.4	161.1	98.2	55.4	13.7	0.0	765.4	51.3
1986		1,144.1	0.0	0.0	13.9	48.2	88.5	127.7	145.1	143.1	93.2	47.9	12.3	2.9	722.8	63.2
1987		1,439.1	0.0	0.0	10.7	40.3	86.9	130.7	147.7	146.5	93.2	60.3	19.5	0.8	736.7	51.2
1988		849.8	0.0	0.0	9.6	42.2	92.0	130.9	154.8	155.4	99.9	53.1	11.0	0.0	748.9	88.1
1989		1,217.7	0.6	3.2	16.2	54.6	94.1	120.2	154.7	151.6	96.9	48.1	17.3	1.4	758.8	62.3
1990		2,043.6	0.0	3.3	19.5	41.1	81.3	121.4	162.1	161.5	102.4	56.6	26.6	0.8	776.6	38.0
1991		1,320.4	0.0	0.0	13.0	51.3	90.2	133.3	152.9	150.3	99.2	49.3	13.7	2.9	756.1	57.3
1992		1,129.4	0.0	0.2	22.6	47.3	83.1	116.3	158.7	149.2	100.0	51.8	14.9	1.9	745.9	66.0
1993		1,162.9	0.0	0.8	14.8	40.9	96.1	124.2	145.9	133.8	103.6	48.8	24.8	0.0	733.8	63.1
1994		1,045.6	0.0	0.5	7.2	58.5	90.0	129.8	194.8	170.0	96.3	56.3	21.6	1.1	826.3	79.0
1995		1,653.3	0.0	0.3	17.0	42.5	85.2	128.0	155.3	160.5	94.8	60.7	14.8	0.0	759.0	45.9
1996		952.1	0.0	0.0	11.0	35.1	94.3	135.7	161.9	163.6	109.4	55.1	14.5	1.5	782.3	82.2
평균		1,289.6	0.0	0.4	11.4	45.5	88.7	124.9	157.0	151.8	97.1	51.9	15.7	0.7	745.2	60.3

※ 연평균 증발산율 60.3%

#### 4) 실제증발량(Actual Evapotranspiration)

잠재증발산량은 포화상태에서의 증발산 가능량을 나타내는 값이나 실제 유역에서는 토양이 물로 포화되어 있는 상태에서 증발산이 계속되면·토양중의 수분이 점차로 감소하게 되어 식물의 뿌리를 통한 증산뿐만 아니라 토양면으로부터의 증발도 둔화되어 실제 증발산율은 다음 호우로 인해 유역이 물로 포화될 때까지 점점 감소하게 되므로 실제 증발산량( $E_A$ )은 잠재증발산량( $E_P$ )보다 작게 되며 그 관계를  $E_A = kE_P$  로 표시할 수 있다.

여기서  $k$ 는 1보다 적은 계수이나 증발산량 산정공식에 따라서 결과가 매우 큰 차이가 있으므로 적용 방법에 따라서 다양하게 주어질 수 있다. 시범조사지구에서 적용해 본 Blaney-Criddle 방법에서 84.1%, Penman-Monteith 방법에서 65.5%, Thornthwaite 방법에서 60.3%로 잠재 증발산량이 산정되어 실제증발량 추정에서 상수의 적용을 일률적으로 할 수 없음을 보여주고 있다.

Penman은 실험을 통하여 습한 나지에서의 증발량이 수표면에서의 증발량에 대하여 약 0.90의 비율을 나타낸다고 하였다. 그러나 습지가 건조되면 이 비율은 점차 감소할 것이므로 이보다 훨씬 낮아질 것이다. 실제증발산량을 측정하는 방법으로 토양수분수지분석법을 이용하는 수가 있는데 건설교통부에서 시행하는 지하수기초 조사에서는 토양수분수지분석법으로 실제증발산량을 구하였는바 잠재증발산량에 대한 비율은 평균 약 59%로 나타났다.(울진관측소 67.5%, 영덕관측소 62.5%, 포항관측소 47.1%)

실제 증발산량을 구하는 목적은 물수지분석에 의해 지하수함양량을 구하는데 있는바, 본 조사에서는 이러한 사례를 참고하여 잠재증발산량  $E_P$ 에  $k=55\sim60\%$ 를 적용하여  $E_A$ 를 계산하면 실제증발산량에 접근할 것으로 판단된다.

### 3.2.7 유량 측정

#### 가. 개요

유량은 단위시간에 하천의 어느 횡단면을 통과하는 물의 량, 즉  $Q=A \cdot V$  로 표현된다. 하천의 임의 단면을 흐르는 유량을 연속적으로 측정하는 것은 기술적, 경제적으로 어려운 일이므로 측정하고자 하는 하천의 형태와 측정목적에 따라 측정방식이 구분된다. 측정방법에 따른 유량측정과정은 크게 자연하천과 인공수로의 두가지로 구분할 수 있다.

① 자연하천에서는 횡단면적과 유속이 지점에 따라 불규칙하게 변화한다. 그러므로 측정위치를 정한 다음 횡단측량을 하여 단면적을 구하고 유속계 또는 부자등을 이용하여 유속을 측정하여 유량을 산정한다. 한편 수위표를 설치하여 그때의 수위를 관측하고 수위-유량의 관계식을 유도하면 관측 수위만으로 유량을 계산할 수 있다.

② 인공수로에서는 단면과 유속이 일정하게 유지되므로 수위를 측정하여 간단한 계산식에 의해 유량을 계산할 수 있다.

수자원계획 수립 및 하천 시설물 설계에는 장기간의 유량의 변화를 알아야 하며 유역에서의 강우-유출의 관계를 분석하기 위하여는 장기간에 걸쳐 관측을 실시하여야 한다. 지하수관리조사에서는 지하수함양량의 추정에 목적이 있으므로 홍수시의 유량보다 갈수기의 유량, 즉 기저유출에 중점을 두게 되며 비교적 단기 간의 유출조사로도 기저유출을 분석할 수 있다.

#### 나. 유량관측소 설치 및 운영

유량 관측지점은 수계 전체의 적정 수계망을 고려하여 각 수계별 유출을 나타낼 수 있는 지점에 배치한다. 위치선정시 고려할 점은 하도가 직선적인 협곡으로 되고 수위-유량의 관계가 정확한 지점이 좋으며 하천의 합류에 의해 배수 영향이 미치는 지점 또는 하구의 감조구간 등은 피해야 한다.

유량관측지점에서 유로에 수직되도록 횡단측량을 실시하여 횡단단면도를 작도한다. 횡단 단면도에서 유로 단면의 면적을 구하고 평균 유속을 곱하여 유량을 계산한다. 또한 유량관측지점에는 반드시 수위표를 설치하고 유량측정 시마다 수위를 관측하여 수위-유량의 관계곡선을 작도한다. 수위-유량의 관계곡선을 얻기 위하여는 홍수, 평수, 저수시로 나누어 측정회수를 고르게 관측해야 한다.

수위-유량의 관계곡선에서 수위-유량 관계공식이 유도되며 이후 수위관측만으로 이 공식을 이용하여 유량을 계산할 수 있다. 그러나 하상이 파이거나 퇴적되어 단면에 변동이 생기면 횡단측량을 다시 하여 보정하여야 한다.

유량관측소에서 장기간 일일 관측한 자료에 의거 경과시간-유량 관계곡선을

작도한 것이 수문곡선(Hydrograph)이다. 수문곡선은 유역의 유출 패턴을 제시하며 이를 분석하여 기저유출량을 산정할 수 있다.

#### 다. 유량측정 방법

유량측정방법은 크게 유속계 측정법, 부자측정법, 웨어측정법이 있다.

##### 1) 유속계에 의한 측정방법

유속계는 컵형 유속계와 프로펠러형 유속계로 구분할 수 있다. 컵형 유속계는 회전축이 연직방향으로 되어 있고 프로펠러 유속계는 회전축이 유속방향으로 되어 있으며, 유속과 회전수의 관계에 의해 유속을 환산한다. 유속(V)과 회전수(n)의 관계는 다음식을 따른다.

$$V = k \cdot n + \Delta \quad (3-2-26)$$

여기서 n : 초당 회전수

k : 프로펠러의 1회전 분의 수리적 거리

Δ : 유속계 상수

유속은 수심에 따라 다를 수 있는데 평균유속을 구하는데 수심이 40cm 이내이면 1점법, 그 이상이면 2점법을 이용한다

- 1점법 : 표면으로부터 수심의 60% 지점의 유속을 평균유속으로 한다.

$$V_m = V_{0.6} \quad (3-2-27)$$

- 2점법 : 표면으로부터 수심의 20%, 80% 지점의 유속을 구하여 평균한다.

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \quad (3-2-28)$$

유속측선의 간격은 하천 수면폭에 따라서 다음과 같이 한다.

하천폭 10m 이하 : 수면폭의 10~15%

하천폭 10~20m : 2m 간격

하천폭 20~40m : 4m 간격

하천 유량산정은 각 유선측선에서의 수심을 유선폭(유선측선 간격)에 곱하여 단면적을 구하고 여기에 해당 평균유속을 곱하여 측선별 유량을 계산하며 이들을 모두 합하여 총 유량으로 산정한다.

##### 2) 부자에 의한 측정방법

부자(float)에 의한 측정방법은 부자를 투하하여 유하한 구간을 유하시간으로 나누어 평균유속을 구하는 방법이다. 이 방법은 유속계 사용이 불가능한 경우에 이용되며 부자가 유수에 의해 적절히 유하하기 위한 직선구간이 필요하다.

부자의 종류에는 표면부자와 봉(棒)부자가 있다. 표면부자는 건조된 나무판자

또는 코르크를 직경 30cm 정도의 원판으로 만들어 식별이 용이하게 깃발을 붙여 제작한다. 봉부자는 플라스틱이나 비닐로 된  $\phi 2''$  봉에 하부에는 모래로, 상부에는 스틸로풀을 채워 넣어 물에 넣었을 때 상부가 수면위로 30cm 정도 나오도록 제작한다. 표면부자는 수심이 얇은 경우 사용하고 수심이 깊은 경우 봉부자를 사용한다.

부자에 의한 유속 측정시는 측정구간을 50m 정도로 설정하고, 측정구간 상부 30m 내외의 지점에 부자를 투하하여 제1 횡단면에 도착했을 때 스톱워치를 작동하고 제2 횡단면에 도달했을 때 정지하므로써 경과시간을 측정한다. 유속 측선수는 측선간격이 4~5m가 되도록 고르게 선정한다.

제1 횡단면에서 제2 횡단면까지 거리 L을 부자가 이동하는데 걸리는 시간 t로 나누어 부자의 유하속도( $V_0$ )를 구하고 여기에 보정계수( $\alpha$ )를 곱하여 평균유속을 계산한다. 한편 유속 측선간격에 따른 단면적을 구하여 평균유속을 곱하면 측선별 유량이 계산되고 이를 모두 합하여 하천 유량을 산정한다.

### 3) 웨어에 의한 측정방법

하천의 흐름을 막아서 그 위를 월류케 하는 구조물을 웨어라 한다. 하천에 웨어를 설치하고 그 월류수심을 측정하면 공식에 의해 유량으로 환산되므로 유속계 사용이 필요 없다.

유량관측소에서 장기적인 유량관측을 위하여 설치되는 웨어는 보통 콘크리트 구조물로 영구구조이며 그 형태도 다양하지만 지하수관리조사에서는 비교적 단기간에 소하천과 그 지류를 대상으로 조사하며 유량이 비교적 적은 상태이므로 간이식 직각 삼각웨어나 직사각웨어를 이용하는 것이 일반적이다. 웨어 설치시 유의사항은 하상을 1m 정도 절개하고 점토 등 불투성 재질로 되메운 다음 그 위에 웨어를 설치하여 웨어의 하부로 복류하는 유로를 차단할 필요가 있다. 또한 웨어의 월류부는 칼날형으로 되어야 한다.

직사각형 웨어와 직각삼각 웨어의 유량산출 공식은 연구자에 따라 조금씩 다르나 결과에 큰 오차가 없으므로 대표적으로 사용되는 간편한 공식을 소개하면 다음과 같다.

① 직사각형 웨어 - 프란시스(Francis)공식(미국, 1883년)

$$Q = Cbh^{3/2} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

(3-2-29)

$$C = 1.84\{1 - 0.2(h/b)\}$$

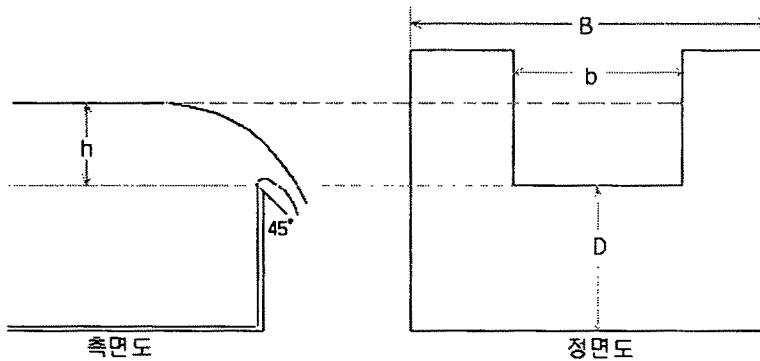
단, h는 월류 수심(m), b는 웨어의 폭(m)

② 직각삼각 웨어 - 스트릭랜드(Strickland)공식(미국, 1910년)

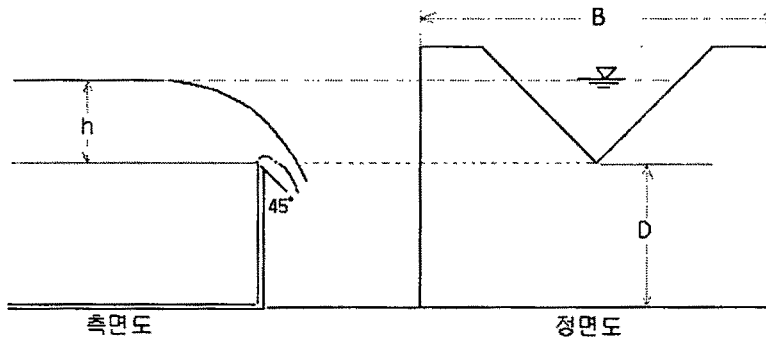
$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \left( 0.565 + \frac{0.0087}{\sqrt{h}} \right) h^{5/2} \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad (3-2-30)$$

이 공식의 적용범위는 각도가 90° 이고  $B=3h+0.3\text{m}$ ,  $hd \leq 3h$ ,  $h > 0.05\text{m}$  의 범위이다(<그림3-2-5>참조).

현장에서 월류수심 관측시 유량 조건표를 사용하면 즉시 유량을 환산할 수 있으나 직사각형 웨어의 경우는 사용하는 웨어의 폭에 맞추어 조건표를 미리 작성하여야 한다(<표3-2-21>, <표3-2-22>참조).



[직사각형 웨어]



[직각삼각 웨어]

<그림 3-2-5> 웨어의 종류

<표 3-2-21> 사각 Notch 유량표

H	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4
2	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.5
3	4.7	4.9	5.2	5.4	5.7	5.9	6.2	6.5	6.7	7.0
4	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8
5	10.0	10.4	1.70	11.0	11.2	11.6	11.9	12.2	12.6	12.9
6	13.2	13.5	13.8	18.2	14.5	14.9	15.2	15.5	15.9	16.2
7	16.5	16.9	17.2	17.6	13.0	18.3	18.7	19.0	19.4	19.8
8	20.1	20.5	20.9	21.2	21.6	22.0	22.4	22.8	23.2	23.5
9	22.9	24.3	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3	26.7	27.1	27.5
10	27.9	28.3	28.7	29.1	29.5	29.9	30.3	30.7	31.2	31.6
11	32.1	32.5	32.9	33.3	33.7	34.2	34.6	35.0	35.5	35.9
12	36.4	36.8	37.2	37.7	38.1	38.6	39.0	39.4	39.9	40.4
13	40.8	41.3	41.8	42.2	42.7	43.1	43.6	44.1	44.5	45.0
14	45.5	45.9	46.4	46.9	47.3	47.3	48.3	48.8	49.3	49.7
15	50.2	50.7	51.1	51.6	52.1	52.6	53.1	53.6	54.1	54.5
16	55.0	55.5	56.0	56.6	57.0	57.5	58.0	58.5	59.0	59.5
17	60.0	60.6	61.0	61.6	62.1	62.6	63.1	63.6	64.1	64.6
18	65.1	65.6	66.2	66.7	67.2	67.7	68.2	68.7	69.3	69.8
19	70.3	70.8	71.4	71.9	72.5	73.0	73.5	74.0	74.5	75.1
20	75.6	76.1	76.7	77.2	77.8	78.3	78.9	79.4	79.9	80.5

\* Q:유량(ℓ/sec), H:일류수심(cm), Notch의 개구폭(B)=50cm

<표 3-2-22> 직각삼각 Notch 유량표

H	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0	0.000045	0.00025	0.00069	0.0014	0.0025	0.0039	0.0057	0.0080	0.0114
1	0.014	0.018	0.022	0.027	0.032	0.039	0.045	0.053	0.061	0.070
2	0.079	0.089	0.100	0.112	0.125	0.138	0.153	0.166	0.184	0.200
3	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.37	0.39	0.42
4	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.64	0.67	0.71	0.74
5	0.78	0.82	0.86	0.91	0.95	0.99	1.04	1.09	1.13	1.18
6	1.23	1.29	1.34	1.36	1.45	1.51	1.57	1.63	1.69	1.75
7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5
8	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3
9	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3
10	4.4	4.5	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.4	5.4	6.5
11	5.6	5.7	5.9	6.0	6.1	6.3	6.4	6.6	6.7	6.8
12	7.0	7.1	7.3	7.4	7.6	7.7	7.9	8.0	8.2	8.4
13	8.5	8.7	8.9	9.0	9.2	9.4	9.5	9.7	9.9	10.1
14	10.3	10.5	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0
15	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.5	13.7	13.7	13.9	14.1
16	14.3	14.6	14.8	15.0	15.2	15.5	15.7	16.0	16.2	16.4
17	16.7	16.9	17.2	17.4	17.7	17.9	18.2	18.5	18.7	19.0
18	19.2	19.5	19.8	20.1	20.3	20.6	20.9	21.2	21.5	21.7
19	22.0	22.3	22.6	22.9	23.2	23.5	23.8	24.1	24.4	24.7
20	25.0	25.3	25.6	25.9	26.2	26.5	26.9	27.2	27.6	28.0
21	28.3	28.6	29.0	26.3	29.7	30.0	30.4	30.7	31.1	31.4
22	31.8	32.1	32.5	32.9	33.2	33.6	34.0	34.4	34.8	35.1
23	35.5	35.9	36.7	37.1	37.5	37.5	37.9	38.3	38.7	39.1

\* Barr 실험공식;  $Q=0.014H^{1.5}/2$ (H:일류수심cm, Q:유량 ℓ/sec)



### 라. 유량측정 자료의 활용

지하수관리조사에서 하천유량의 측정은 필수사항은 아니라고 판단되나 홍수시에 측정된 유량은 강수량에 의해 추정되는 유출량과 비교하여 검증자료로 활용할 수 있다. 또한 평시 및 저수시에 관측된 유량은 유역의 기저유출에 해당되므로 기저유출 분석법에 의하여 대수층 특성을 파악하는데 활용할 수 있다.

만일 연속적 관측으로 연간 수문곡선을 작도할 수 있다면 수문곡선 분리법에 의하여 연간 기저유출량을 추정할 수 있으며 이는 연간 지하수함양량이 된다.

수문곡선(Hydrograph)은 시간 경과에 따르는 유출량 변동을 작도한 것으로서 유출에는 직접유출과 기저유출이 포함되어 있고 기저유출 유량은 다음과 같이 반스(Barnes)의 지수곡선식으로 표시된다.

$$Q_t = Q_0 K^t = Q_0 e^{-bt} \quad (3-1-31)$$

단,  $Q_0$  :  $t_0$  시점의 유량

$Q_t$  :  $t_0$  시점부터  $t$ 시간 후의 유량

$K$  : 1보다 작은 감쇠상수

$$b = -\log_e K$$

그러므로 기저유출은 유량을 대수눈금으로 하는 반대수 그래프에서 직선으로 나타나며 어느 기간 중 직선부분에 해당하는 유량을 모두 합산하면 그 기간의 기저유출량이 된다.

직접유출과 기저유출을 분리하는 방법으로 N-day법이 있는데 이 방법은 첨두유량(尖頭流量)이 발생한 시간부터 직접유출이 끝나는 시간  $N$ 을 유역면적 크기  $A$ 의 함수로 나타내는 방법으로 다음과 같이 표시된다

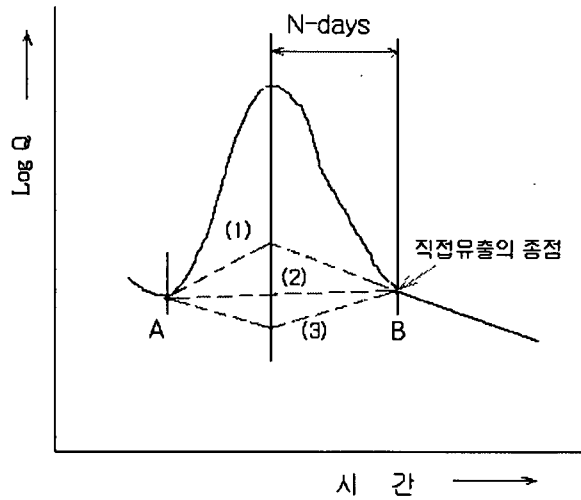
$$N = 0.8A^{0.2} \quad (3-1-32)$$

여기서  $A$  : 유역면적 ( $\text{km}^2$ )

$N$  : 첨두유량이 발생하는 시간부터 직접유출이 끝나는 시간까지 소요일수(days)

<그림 3-2-6>에서와 같이 첨두유량이 발생한 시점으로부터 직접유출이 끝나는  $N$ 일에 해당하는  $B$ 점을 잡아 수문곡선 상승부 시점인  $A$ 와 직접유출 종점인  $B$ 를 연결하여 유출을 분리하는데  $A$ - $B$ 의 연결 방법은 3가지가 있다. 즉,

- ① 수문곡선을 반대수지에 그리고 B 이하의 직선부분을 연결하여 첨두 발생 시간과 만나는 점을 구하여 A - B 를 연결
- ② A - B 를 직선으로 연결
- ③ A점 이전의 수문곡선을 반대수지에 그리고 직선으로 연장해 첨두시간과 만나는 점을 찾아 A -B 를 연결



<그림 3-2-6> 수문곡선 분리법(N-day법)

## 3.3 관측조사

### 3.3.1 개요

지하수관리조사 사업시행에서 현지조사과정은 현황조사, 수리지질조사 및 관측조사로 구분할 수 있다. 현황조사는 조사지역을 현지 답사하여 지하수와 관련된 일반 현황을 파악하는 과정이고, 수리지질조사는 각종 조사·시험을 통하여 지하수의 부존상태와 수리특성을 규명하는 과정이며, 관측조사는 지하수와 하천 등의 수위 및 수질 등에 대한 장·단기 관측을 통하여 지하수의 유동, 저류량 및 수질 등의 변동상황을 분석하기 위한 자료를 습득하는 과정이라고 할 수 있다.

하천수위 및 유량조사 등 지표수문에 관련된 사항은 앞 절의 수문조사편에 설명되었으므로 본 절에서는 지하수위 및 간이수질 일체조사, 장기 관측조사, 정밀수질조사 및 토양조사에 대한 조사요령을 기술한다.

관측조사 중 지하수의 수위 및 간이수질 일체조사는 수위 및 수질의 평면적 분포를 파악하는데 주목적이 있으므로 조사공은 조사지역 전역에 고르게 배치되어야 한다. 기설 조사공이 없는 지역은 오가(auger)장비를 투입하여 지하수위 및 수질을 조사하도록 한다. 지하수 수위 및 수질의 계절적 변동상황을 분석하기 위해서는 분기별 또는 갈수기와 풍수기로 나누어 일체조사를 시행하고 결과를 비교한다.

조사지역의 지하수 수위 및 수질의 시간경과에 따른 변동을 분석을 위해서는 지역·지질별 또는 대수층별로 대표성이 있는 우물을 관측정으로 선정하여 장기 관측조사가 시행되어야 한다. 장기관측조사는 지하수 모니터링 관측의 일환으로 시행하는 것이 바람직하며, 모니터링 대상으로 선정된 관측정은 지방자치단체가 지정 및 운영하도록 되어 있는 보조 지하수 관측망의 역할을 할 수 있도록 행정기관과 사전 협조가 이루어져야 한다. 또한 해당 지역의 지하수관리조사가 완료된 후에도 지하수 모니터링의 관측업무는 계속될 수 있도록 조치하여야 한다.

정밀수질조사와 토양오염조사는 주요지점의 물시료 또는 토양시료를 채취하여 실험실에서 이화학적 성분분석을 하는 것으로서 지하수 및 토양 오염을 규명하는데 필수적이다. 주요지점이라 함은 지하수 오염이 진행중인 위치 또는 이와 대비되는 오염이 안된 배경 수질 또는 토양을 의미한다.

### 3.3.2 지하수위 및 간이수질 일제조사

#### 가. 지하수위 일제조사

지하수위란 자유면대수층(충적층 지하수)에서는 지하수위면을, 피압대수층에서는 피압면을 말한다. 지하수위는 수문기상조건 및 지하수의 양수 등에 따라 끊임없이 변동하고 있다. 지하수위의 변동은 대수층내의 지하수량 증감에 대단히 중요한 역할을 한다. 만일 지하수위가 내려가면 대수층내의 지하수량이 고갈되어 가는 중이고 지하수위가 상승하면 대수층내로 지하수가 함양되어 지하수량이 증가되고 있음을 나타낸다. 따라서 지하수위의 변동은 그 지역 지하수체의 저류량 변화를 대변한다고 할 수 있다.

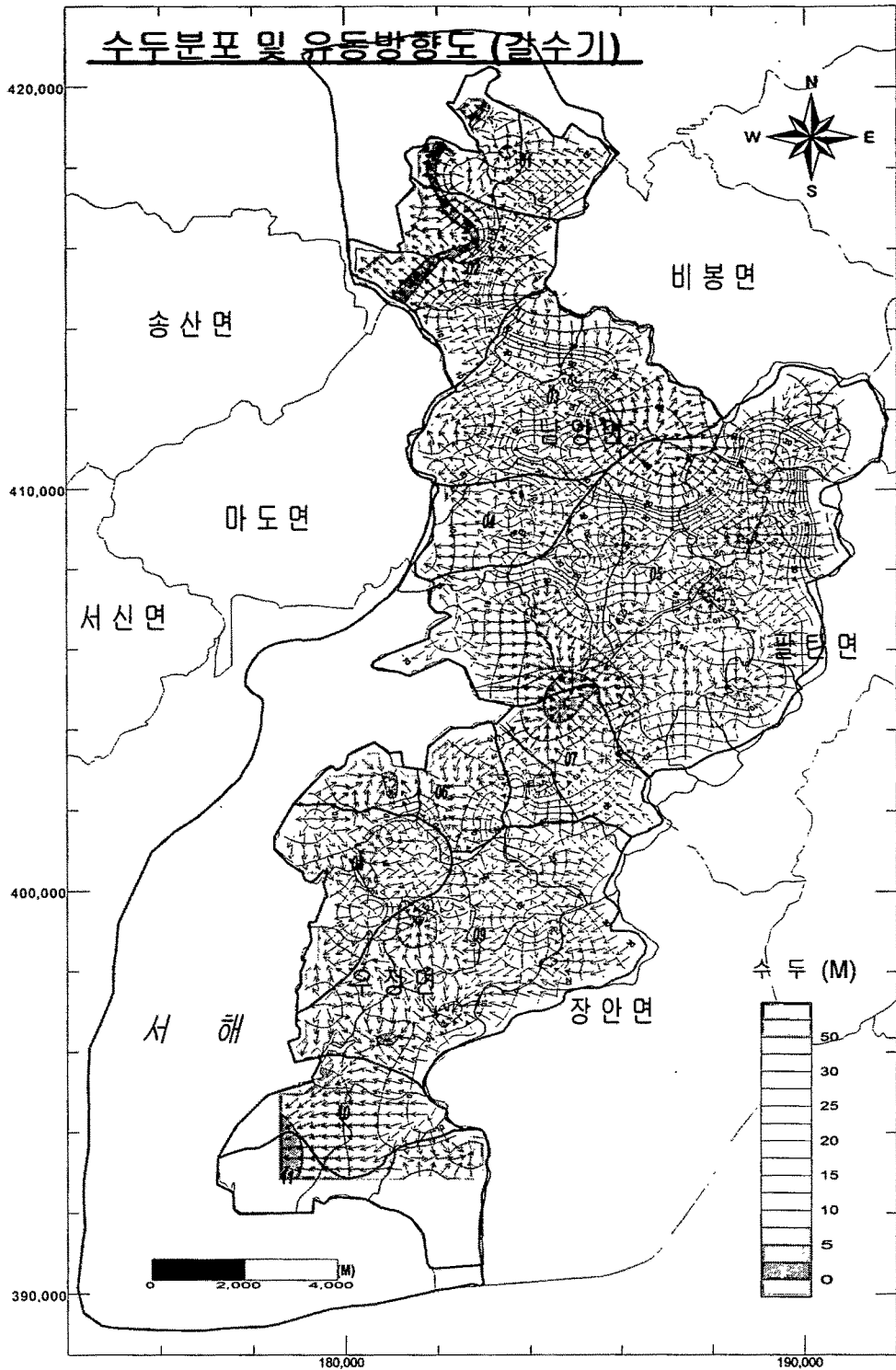
일반적으로 지하수위의 강하 및 상승은 강우에 의한 지하수 함양, 인위적인 양수, 조석간만에 의한 영향, 대기압의 변동 및 바람의 영향, 관정설치 주변의 하중변화, 상하수도에 의한 인위적인 충전 등의 복합적인 요인에 의해 발생한다.

일제조사의 목적은 조사지역 전체의 지하수부존 및 유동상황을 파악하는데 있다. 조사의 결과는 지하수위등고선도와 유동방향도로 나타낼 수 있다.

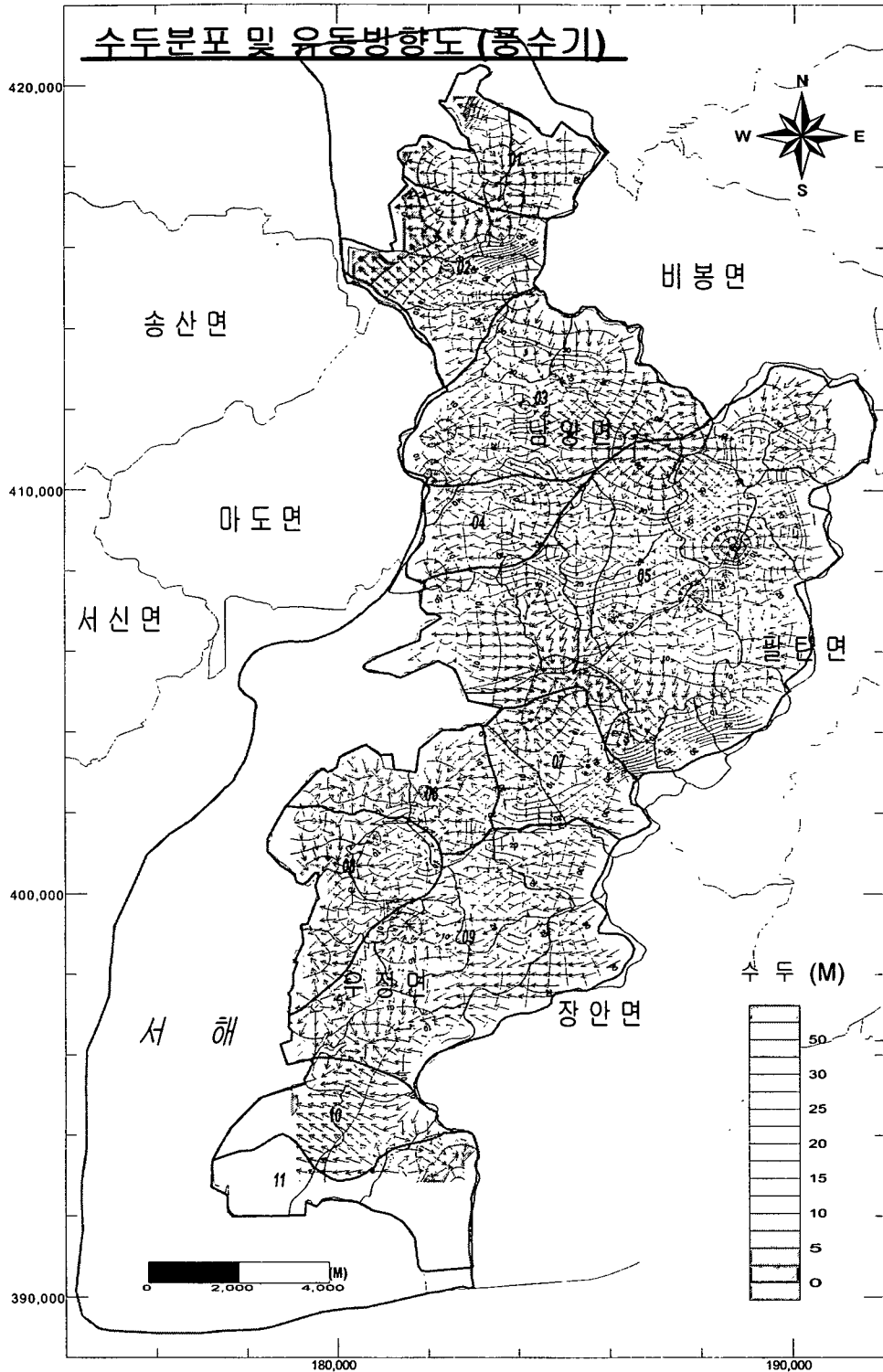
조사지역의 지하수위 조사를 합리적으로 하기 위하여 이용실태 조사시 파악된 관정에 대하여 유역별로 충적대수층(우물 및 소형관정)과 암반대수층을 구분하여 분기별 또는 갈수기와 풍수기에 걸쳐 지하수위 조사를 시행한다. 갈수기와 풍수기의 구분은 상대적인 것이므로 연중 하천 유출량이 최저인 기간을 갈수기로 정하고 강우 후 유출이 많은 기간을 풍수기로 한다. 지하수위 조사는 관정의 양수가 상당기간 없었거나 양수 후 수위가 충분히 회복되었다고 판단되었을 때 실시하여 자연수위를 측정한다.

지하수위 일제조사에서 측정된 수위값과 1:5,000 지형도에서 추출된 표고 및 고온계과 측량 표고값을 이용하여 조사된 각 관정에서의 지하수두 값(해수면기준)을 구하고, 이를 이용하여 지하수두 등고선도를 작성한다.

지하수두 등고선도는 지하수의 유동방향 및 부존특성(지하수 함양 및 배출지역 구분)을 파악할 수 있으며, 축사 등 잠재오염에 의한 오염 유발시 지하수질의 변화 및 오염특성 등을 예측할 수 있어 지하수 오염취약성 평가와 오염예측이 가능하므로 지하수 자원의 관리 측면에서 매우 중요하다. <그림 3-3-1> 및 <그림 3-3-2>는 시범조사지구의 갈수기 및 풍수기의 지하수두 등고선도 작도 예이다.



<그림 3-3-1> 갈수기 지하수두 등고선도 및 유동방향도



<그림 3-3-2> 풍수기 지하수두등고선도 및 유동방향도

## 나. 지하수 간이수질조사

### 1) 지하수 간이수질 개요

#### ① 온도

지하수의 온도는 지하수와 지질매체 사이의 열적 평형이 성립되어 있기 때문에 그 장소의 지온과 일치한다.

지하수온은 측정시기와 시간에 따라 대기의 온도와 지온 등의 영향을 받으므로 측정시 주의하여야 하며, 온도에 따라 변화하는 pH 및 EC 등의 측정치 보정에도 이용된다.

#### ② 수소이온농도(pH)

일반적으로 수소이온은 광물의 풍화과정 중에서 소모되므로 물-암석 반응이 진행됨에 따라 TDS, EC와 마찬가지로 상승하는 경향이 있다. 이러한 pH의 증가경향은 대수층을 구성하는 지질매체의 광물조합 및 물-암석 반응 정도에 따라 다양하게 나타나며, 따라서 pH는 지질에 따른 지하수의 수질변화에 가장 적극적으로 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 특히 지하수내에 용해되어 있는 중탄산염이온( $\text{HCO}_3^-$ )이나 탄산가스( $\text{CO}_3^{2-}$ )의 함량에 따라 달라진다. 뿐만 아니라 해수(pH=8.3)의 유입이 있을 경우 해수의 높은 pH의 영향을 받을 수 있으나 그 영향은 작다. 일반적으로 pH값에 따른 수질의 분류는 pH값이 5.5이하이면 산성, 5.5~6.5까지는 약산성, 6.5~7.5사이는 중성, 7.5~9.0까지는 약알카리성, 그리고 9.0이상이면 알카리성으로 분류한다. 그리고 수소이온농도의 먹는물수질환경기준은 5.8~8.5 이다.

#### ③ 전기전도도(EC)

전기전도도(Electrical Conductivity)는 ASTM(American Society for Testing and Materials)의 기준에 의하면 단위체적( $\text{cm}^3$ )을 갖는 25℃의 수용성용액의 두 대응면에서 측정한 전기저항의 역수로 정의된다. 즉 용액 내에서 이온농도가 증가할수록 전기저항은 감소하고 전기전도도는 증가하기 때문에 바로 이온농도의 지시인자가 된다.

전기전도도는 물 속에 용해되어있는 전해질 용존이온의 함량에 의해 결정되기 때문에 지하수에서 지구화학 반응정도를 나타내는 TDS와 일정한 관계를 나타낸다. TDS는 총고용물질 즉, 물에 녹아 있는 용존이온의 총량을 의미한다. 일반적으로 분석신뢰도를 정성적으로 알아보기 위하여 EC와 TDS와의 관계를 이용한다. 즉, data의 신뢰도를 검증하는 방법의 하나로 쓰이기도 하지만, 현장에서 EC를 이용하여 정성적으로 수질을 판단할 수 있는 근거로 사용되는 경우도 있다.

일반적으로 EC는 지구화학적인 반응의 정도와 그에 따른 지하수의 심도에 따라 그 값이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 인위적인 오염이나 해수의 혼입에 의해 그 값이 증가할 수 있다. 따라서 EC는 지하수 유동을 설명하는 하나의 방법으로 사용될 수 있으며, 인위적인 오염이나 해수의 침투상태를 파악하는데 이용될 수 있다. 물의 종류에 따른 전기전도도의 범위는 <표 3-3-1>과 같다.

<표 3-3-1> 물의 종류에 따른 전기전도도

(단위 :  $\mu\text{S/cm}$ )

물의 종류	전기전도도	
	Hem(1985)	Cleary(1990)
순수한 물(증류수 포함)	0.05	0.5~2
눈 녹인 물	2~42	-
일반수(원수)	-	50~500
광 화 수	-	500~1,000
산업폐수	-	10,000이상
해 수	41,500 이상	-
고 염 수	225,000	-

## 2) 간이수질 조사방법

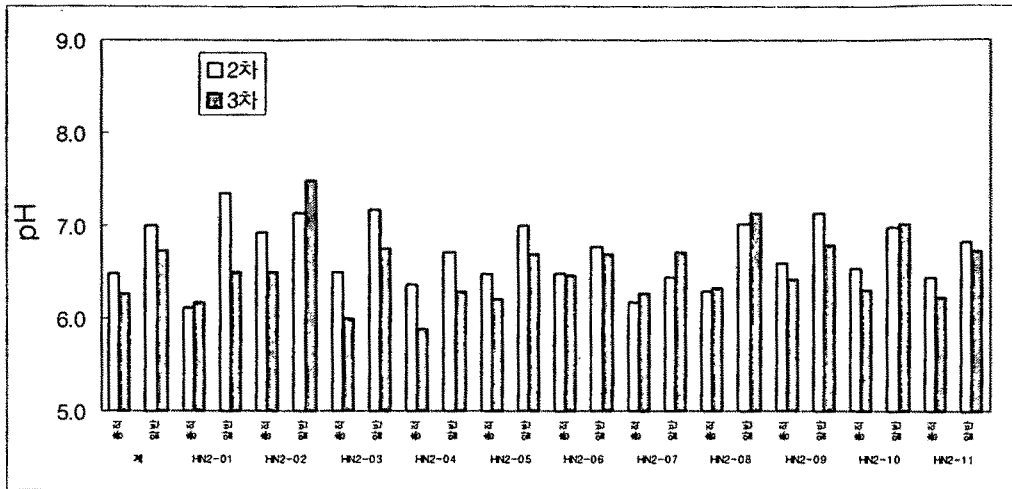
간이수질조사는 갈수기와 풍수기에 지하수위 일제조사와 함께 시행한다. 측정장비는 휴대용 pH-Meter(pH, 온도)와 Conductivity Meter(EC, 온도)를 사용하며 사용전에 계기의 보정을 수행하여 측정오차를 최소화한다.

또한 pH나 EC 측정치는 온도에 민감하므로 온도를 동시에 측정하여 온도보정을 한 후 비교하여야 한다.

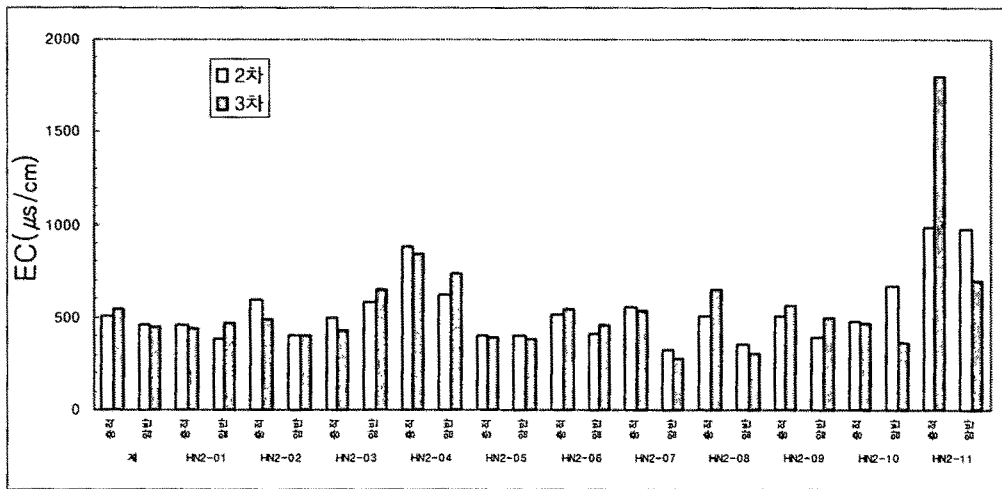
시료는 대표성을 갖도록 유의하여야 하며, 지하수 시료는 충분히 양수한 후 측정하고 지표수는 가급적 유수를 대상으로 측정한다.

일제조사에서 관측한 간이수질 자료에서 pH나 EC의 지역적 분포를 파악할 수 있으며, 같은 측정지점에서 갈수기와 풍수기의 간이수질 측정값 변화는 지하수위 변동 및 오염물질 확산에 의한 수질변화의 가능성을 나타내는 것이므로 이를 지역별로 종합하여 비교 분석하므로써 지역별 수질변동 추세를 진단할 수 있다. <그림 3-3-3>와 <그림 3-3-4>는 시범조사지구의 간이수질 조사결과 갈수기와 풍수기의 pH 및 EC 분포를 대수층별 및 지역별로 비교 분석한 그래프이다.





<그림 3-3-3> 유역별 갈수기와 풍수기의 수소이온농도 현황  
(2차: 갈수기, 3차: 풍수기)



<그림 3-3-4> 유역별 갈수기와 풍수기의 전기전도도 현황  
(2차: 갈수기, 3차: 풍수기)

### 3.3.3 지하수 장기 관측조사

#### 가. 지하수 모니터링

지하수 모니터링이란 지하수를 포함하고 있는 대수층에 대하여 부존량 및 수위·수질변화를 파악하기 위하여 연속적으로 관찰하는 시스템을 말한다. 지하수 모니터링은 지하수의 수량 및 수질변화를 연속적으로 관측하여 지하수 개발·이용에 적정량을

제시하므로써 지하수의 오염예방 및 지하수 장애 사전방지에 목적을 두고 있다.

지하수 모니터링은 최소 1년 이상의 장기관측이 필요하므로 본 지하수관리조사 사업기간 내에 필수적으로 조사하여야 할 항목은 아니나, 조사지구의 대수층 해석에 필요한 지하수위 장기관측은 지하수 모니터링과 연계하여 시행할 필요가 있다. 그러므로 지하수위 일제조사 시에 유역 및 대수층을 대표할 수 있는 장기 관측공을 선정함에 있어 지하수 모니터링 관측망으로서의 적정성도 함께 검토되어야 한다.

지하수 모니터링에 관한 관측정의 종류, 관측정 선정요건, 관측센서 및 기기에 대해서 별도로 설명되어 있으므로(3.7.3절 참조) 본 절에서는 농촌지하수관리조사 와 지하수 모니터링의 관련사항만 기술하고자 한다.

### 1) 지하수관측정 위치선정

지하수업무 수행지침(건설교통부)의 지하수 관측지침에서는 다음과 같이 관측소 설치시에 고려하여야 할 관측망 배치 기준을 제시하고 있다.

#### 가. 광역 지하수 관측망

- 1) 지하수함양 및 배출지역
- 2) 단위면적당 지하수 이용량이 많아 고갈이 우려되는 지역
- 3) 기타 지하수 관리에 필요한 지역

#### 나. 보조 지하수 관측망

- 1) 지하수고갈이나 오염 등 주요 장애 발생지역
- 2) 지하수 보전구역
- 3) 광역 지하수 관측소 상하류 구배 구간

농촌지하수관리조사 사업 중 지하수 관측망 설치는 보조 지하수 관측망이 될 것이나, 대수층 분석을 위한 지하수위 장기관측을 위해서는 유역과 대수층을 대표할 수 있는 관측정 인가를 우선적으로 검토하여야 할 것이다. 또한 관측정의 구경, 심도, 대수층 구간, 대수층 구성물질, 양수시험성적서, 수질검사서, 오염 방지시설 등 관측정에 관한 시설 제원이 현존하고 있어야 한다. 이러한 기록의 유무는 대수층 평가에 매우 중요할 뿐 아니라 관측자료의 신뢰도를 더해주는 역할을 할 것이다.

### 2) 관측 항목 및 주기

지하수업무 처리지침 중 지하수 관측지침에서 관측 항목과 관측 주기에 대하여 다음과 같이 제시하고 있다.

#### 1) 지하수위

- 광역 지하수 관측망 : 매일 1회 이상 관측

- 보조 지하수 관측망 : 매월 1회 이상 정기적인 관측

2) 간이수질 : 수온, 수소이온농도, 전기전도도 등을 분기별 1회 이상 측정

3) 수질분석

- 지하수의 수질보전등에 관한 규칙 제6조에 의한 지하수 수질항목에 대하여  
년 2회 이상 수질분석

- 필요시 주요화학적성분(Na, K, Mg, Ca, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>) 규산(SiO<sub>2</sub>), 용존산  
소, 총고용물질(TDS)체 등에 대한 수질분석 추가 실시

농촌지하수관리조사에서는 간이수질 일제조사와 중요지점 시료채취 수질검사  
및 필요시 주요화학적성분 수질분석을 시행하고 있으므로 선정된 관측정에 대하여  
조사에 포함시키면 될 것이다. 그러나 지하수위 장기 관측은 수위 변동의 연속성을  
파악하기 위하여 매일 1회 이상 관측이 필수적이다. 그러므로 조사기간에는 광역  
지하수 관측망에 해당하는 관측조사가 이루어 져야 한다.

### 3) 관측소 대장의 작성

지하수 보조 관측망으로 선정된 관측정은 보호시설(철망 또는 국사)을 설치  
하고 관측소 표식판을 설치한다. 또한 관측 지침 별지 제1호 내지 제4호 서식에  
의하여 관측소 대장을 작성하여 비치하여야 하며 관할 지방자치단체에 통보하여  
야 한다(지하수 업무수행지침서 제4장 지하수 관측지침 별지서식 참조).

제1호 서식 : 지하수 관측소 위치

제2호 서식 : 관측정 시설 제원

제3호 서식 : 지하수 관측기기 관리대장

제4호 서식 : 수선 및 점검대장

지하수 관리조사 완료 후 지속적인 모니터링과 추가자료의 입력으로 지하수  
관리 시스템을 보완하여야 하므로 지하수 모니터링 조사는 필수적이라고 판단되며,  
지하수 모니터링 주체는 지방자치단체가 맡아야 하므로 사전에 협조체제를 구비  
하여야 할 것이다.

### 나. 지하수위 장기 관측조사

장기 수위관측의 목적은 강수량 변화 또는 주변 관정에서의 양수에 의한 대수층내  
수위변화를 시계열적으로 파악하는데 있다. 자연환경 및 주변환경 변화에 대응하는  
지하수 부존상황 자료는 지하수모델링에서 구축된 모델이 현장 특성을 적절하게  
모사하고 있는지를 검증할 수 있는 중요한 자료가 된다.

지하수위 변동자료를 경과시간에 따라 작도하면 지하수 수문곡선(Ground  
water hydrograph)을 얻을 수 있는데 이것을 해석하여 지역의 대수층 비산출율과

지하수 함양율을 구할 수 있다.

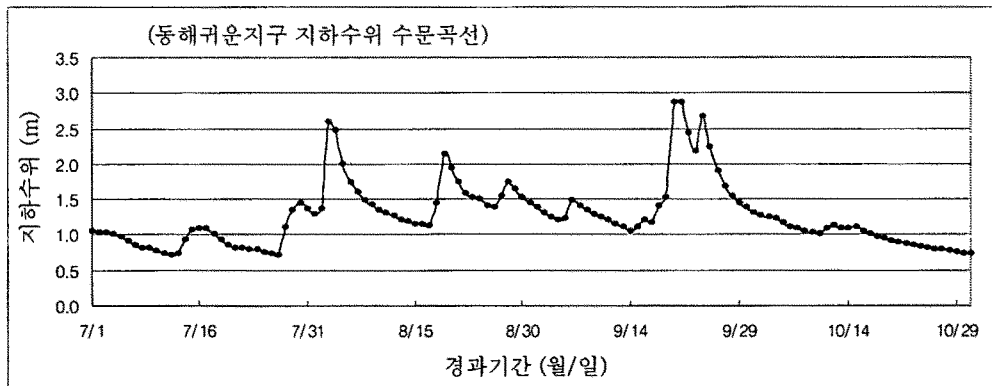
장기 관측조사공은 조사지역 일제조사시 구역별, 대수층별, 지질별로 대표성을 갖는 지점을 선정하여야 한다. 지형상 지하수 함양지역과 배출지역은 지하수위 변동 양상이 아주 다를 수 있으므로 중간지점이 구역의 평균적인 수위를 반영할 것으로 판단된다. 피압대수층 관측공은 상부의 자유면지하수와 차단되어 있어야 한다.

수위관측은 일제조사와 같은 방법으로 수동식 계측기를 사용하여 매일 1회 이상 일정시간에 수위를 측정하는 수도 있으나 자동관측기를 설치하여 연속적으로 측정하는 것이 편리하다. 해안지역의 조석영향에 의한 지하수위 변동을 관측하려면 자동기록기에 의한 수위관측이 필수적이다.

계절적 수위변동을 파악하기 위해서는 1년 이상 관측할 필요가 있으나 갈수기와 풍수기를 반복한 연속 수위관측자료가 있으면 수문곡선을 얻을 수 있으며 이를 해석하면 이 지역의 지하수 함양율을 추정할 수 있다(3.4.3-다. 지하수위강하 분석에 의한 함양량 참조).

<그림 3-3-5>은 지하수위 자동기록기에 의한 지하수위 장기관측의 수문곡선 예인데 일별 평균수위를 해수면 기준 수위고로 나타낸 것이다. 자동기록기의 수위는 시간대 별로 기록이 가능하지만 장기 수위변동은 일별 수위로 작도하는 것이 일반적이다.

지하수위 수문곡선에서 수위상승구간과 하강구간은 지하수의 함양 및 배출에 영향을 주는 별도의 요인이 없는 한 강우기간 및 무강우기간과 일치되므로 강우에 의한 지하수 함양을 분석할 수 있는 자료를 제공한다.



<그림 3-3-5> 지하수위 장기관측에 의한 지하수위 수문곡선 예

### 3.3.4 정밀수질조사

지하수는 여러 종류의 지각구성 물질과 접촉하는 거의 모든 물질을 소량이나 마 용해시킬수 있는 능력이 있어서 거의 모든 경우에 용매(solvent) 역할을 한다. 따라서 지하수는 자연적인 용존 양이온과 음이온 뿐 만 아니라 규산과 같은 비이온성 무기물질을 함유하고 있다.

지하수수질은 여러 가지 인위적 요인과 지질학적 요인에 의해 변화한다. 지질매체는 매우 다양한 광물들로 구성되어 있고, 지질매체와 접촉하고 있는 지하수는 이러한 지질매체와 지하수의 여러 가지 물리화학적 반응과정에 의해 그 화학조성이 변하게 된다.

지하수의 수리지구화학적 특성은 일차적으로 지하 대수층의 지질 특성에 의해 영향을 받는다. 즉, 대수층을 구성하는 광물의 풍화 반응에 의해 지하수의 화학적 특성이 결정된다. 특히 자연적인 해수침투 현상이나 인위적인 오염의 영향을 받지 않은 경우에는 지하수의 수질 특성은 지질 특성 또는 기반암으로부터 유래한 충적층의 매질 특성 및 풍화 반응의 정도에 의해 전적으로 결정된다. 이 값은 오염도 평가에 있어 그 지역의 배경값으로 활용할 수 있다. 즉, 해수 침투를 포함한 오염 정도의 정확한 파악을 위해서 선행되어야 하는 배경 수질의 결정을 위해서는 그 지역의 지질 특성에 대한 세심한 고려가 요구된다.

#### 가. 시료채취 및 분석

조사지역의 충적지하수, 암반지하수에 대한 수리지구화학적 특징을 규명하고, 오염현황을 파악하기 위하여 조사지역의 유역, 지역, 지질을 대표할 수 있는 지점을 선정하고 일제조사시 시료를 채취한다. 채수 시료의 운반 및 저장시에는 아이스박스과 냉장고를 이용하여 4℃ 이하상태를 유지하는 것이 좋다.

양이온과 음이온 분석용 시료는 각각 100ml를 별도로 채수하고 간이 수동펌프를 이용하여 공극 크기 0.45 μm인 셀룰로우스 질산염 막 필터에 통과시켜 부유 물질을 제거한 후에 폴리에틸렌 용기에 담아 운반한다. 양이온 분석용 시료에 대해서는 용기 표면에서의 양이온 흡착과 용존 이온의 침전 및 미생물의 성장과 산화를 방지하기 위하여 농질산을 첨가하여 수소이온농도(pH)를 2 이하로 유지하는 것이 좋다.

주요 용존이온의 이화학 분석은 수질분석 전문기관에 의뢰하여 수행한다. <표 3-3-2>는 시범조사지구의 충적지하수, 암반지하수, 지표수 등의 주요 화학성분의 분석결과에 대한 통계값을 보여준다.

<표 3-3-2> 총적 및 암반지하수의 이화학분석결과(시범조사지구 예)

구 분	총적지하수(N=51)				암반지하수(N=48)				지표수 (N=1)
	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	
심도	3.0	41.0	24.2	10.5	78.0	1000.0	153.0	162.8	
수온	14.1	22.8	16.8	1.6	14.3	22.4	16.9	1.5	
pH	5.2	7.9	6.3	0.5	5.5	9.7	6.9	0.8	
EC	105	7220	725	1261	121	5620	593	906	
TDS	83	4622	442	798	116	2375	354	425	314.2
Na	0.5	1274.5	65.4	206.7	4.0	606.5	44.9	97.5	64.2
K	0.5	83.8	3.8	11.6	0.3	10.8	1.6	1.7	10.7
Ca	0.8	989.4	59.1	143.4	2.0	226.8	43.2	48.7	22.8
Mg	0.4	189.1	17.9	32.2	0.1	82.5	13.2	17.2	8.4
SiO <sub>2</sub>	11.7	34.2	25.3	5.1	10.8	43.8	24.1	6.6	2.0
Cl	1.7	2351.2	148.4	401.3	3.3	1230.4	110.8	259.9	93.4
HCO <sub>3</sub>	9.1	228.8	58.7	41.6	21.4	262.3	79.7	51.7	73.2
CO <sub>3</sub>	-	-	-	-	6.3	6.3	6.3	-	-
SO <sub>4</sub>	n.d.	152.6	15.2	29.8	n.d.	118.5	11.6	18.7	34.5
NO <sub>3</sub>	0.1	239.9	46.5	45.8	n.d.	121.2	23.0	29.6	5.1
F	0.001	3.307	0.413	1.086	n.d.	4.013	0.691	0.979	0.1
Al	0.066	0.066	0.066	-	0.055	0.221	0.138	0.118	n.d.
As	n.d.	0.037	0.026	0.007	0.015	0.037	0.027	0.007	0.037
Ba	n.d.	1.579	0.161	0.316	0.002	1.066	0.092	0.162	0.043
Cd	n.d.	0.005	0.003	0.001	0.002	0.005	0.003	0.001	0.005
Cu	0.002	1.533	0.041	0.228	0.001	0.601	0.032	0.098	0.004
Fe	0.018	4.599	0.715	1.714	0.023	0.769	0.209	0.241	n.d.
Li	0.001	0.099	0.008	0.014	0.001	0.145	0.012	0.022	0.003
Mn	n.d.	1.245	0.031	0.178	n.d.	1.863	0.095	0.353	0.007
Ni	0.001	0.014	0.003	0.003	0.001	0.034	0.004	0.007	0.004
Se	0.181	0.181	0.181	-	0.028	0.056	0.042	0.019	n.d.
Sr	0.009	2.145	0.376	0.365	0.066	2.083	0.428	0.401	0.168
Zn	0.007	9.363	0.355	1.405	0.006	5.699	0.472	1.063	n.d.
Br	0.163	12.904	3.401	5.361	0.021	8.377	1.070	2.084	0.443

※ n.d. : not detected

## 나. 지하수 수질 특성

### 1) 총고용물질(TDS : Total Dissolved Solids)

TDS는 지하수 수질의 대표적인 물리적 특성으로서 증발잔류물에서 부유물질만을 빼 값으로서 정의되며, 간단히 용액 내에 녹아있는 용존이온의 총량을 의미한다. TDS값은 기존의 증발법(105~180℃에서 증발)으로 구하기 보다 분석이온종의 총 합을 통하여 구할 수 있다.

지하수의 전기전도도(EC,  $\mu\text{S/cm}$ )와 총고용물질(TDS, mg/l) 함량과의 관계는 일반적으로 TDS와 EC는 기울기 0.55~0.76 정도의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다(Hounslow, 1995). 이를 이용하여 정성적으로 data의 정확도를 확인할 수 있다.

TDS를 이용한 물의 종류를 분류하면 <표 3-3-3>과 같다.

<표 3-3-3> TDS 함량에 따른 물의 종류

(단위 : mg/l)

물의 종류	TDS(염의 형태)			비고
	David & Dewiest(1967)	Cleary(1990)	Drever(1988)	
담수(fresh)	1,000 이하	1,000 이하	1,000 이하	saline water
반염수(brackish)	1,000~10,000	1,000~35,000	1,000~20,000	
해수(sea water)	10,000~100,000	35,000	20,000~35,000	
고염수(brine)	100,000 이상	35,000 이상	35,000 이상	

## 2) 나트륨(Na)

Na는 지하수의 주성분 이온으로 일반적으로 Cl 함량에 비해 높게 나타난다. 해양으로부터 유래한 경우에는 일정량의 Na와 Cl이 포함되어 있으며, 그 비는 해수의 성분비를 유지하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 경우가 지표에도달하여 지하 대수층에 충전되면 Na-사장석(albite)의 용해 등 광물의 풍화 반응과 양이온 교환 반응에 의해 Na/Cl의 비가 증가하게 된다. 해수 침투가 발생하는 지역에서는 Na의 절대량도 증가하지만, Na/Cl비도 다시 해수의 비와 유사하게 변화하는 경향을 나타내기도 한다. 이와 아울러 인위적인 오염에 의해서도 지하수의 Na 함량이 증가할 수 있다.

일반적으로 알려진 Na의 평균 함량은 1차 수계 지표수의 경우 5~15 mg/l, 해수의 전세계 평균 농도는 10,770mg/l이다. Na의 함량은 물-암석 반응에 의해 증가하므로, 대체적으로 수문순환계에서 하류로 갈수록 Na 함량은 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서 지하수의 경우 심도가 증가할수록, 사장석의 함량이 높은 암석이 분포하는 곳에서는 Na 함량이 자연적 과정에 의해서 증가하게 된다.

<표 3-3-4> 자연수와 해수의 세계 평균 용존 농도(Hem, 1989)

(단위 : mg/l)

원 소	자연수	해 수
Cl <sup>-</sup>	5~50	19,330
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	-	100
Na <sup>+</sup>	5~15	10,770~
K <sup>+</sup>	3~10	387
Ca <sup>2+</sup>	45~80	417
Mg <sup>2+</sup>	15~45	1290
F	0.01~0.5	1.3
Ba	0.02~0.1	0.006

### 3) 칼륨(K)

자연수 중 칼륨 함량의 세계 평균치는 3~10mg/l, 하천수는 5mg/l 이하, 해수는 387mg/l이다. 지하수의 K 이온은 주성분 이온임에도 미량으로 존재하며 일반적으로 Na 함량 보다 낮다. 이는 K의 기원인 K-장석, 운모의 반응이 비교적 느리기 때문이다. 반면, 농업지역에서는 지표에서 살포되는 비료에 의해 지하수의 K 함량이 증가하는 경우가 있다. 뿐만 아니라 해수 침투가 발생할 경우에도 K 함량은 높아지게 된다.

자연수의 칼륨 함량은 일반적으로 10mg/l 이하이므로, 이 보다 높은 칼륨 함량은 농업활동에 의한 오염 또는 해수 혼입의 결과로 판단할 수 있다.

### 4) 칼슘(Ca)

지하수 내의 칼슘(Ca)은 1차적으로는 사장석(anorthite 성분) 및 방해석 등 조암 광물과 물의 반응에 의해 증가된다. 충적층의 경우 충적층 고결 물질인 방해석의 용해가, 암반 대수층의 경우에는 지하수 유동경로인 열극 내 방해석의 용해가 중요하다. 방해석은 다른 조암 광물에 비해 용해 반응의 속도가 빠르고 광범위한 지역에 분포하므로, 화강암 지역에서도 물-암석 반응이 많이 진행되지 않은 천부 지하수에서는 Ca 함량이 Na 함량에 비해 높게 나타난다. Ca 이온은 이온 교환 반응이나 방해석의 침전에 의해 지하수에서 제거될 수 있다. 반면, 해수 침투가 발생할 경우 과량의 Na는 충적층 구성 물질에 있는 Ca 이온과 역이온 교환 반응을 일으키는데, 이 경우 일시적으로 Ca 함량이 Na 함량에 비해 높게 나타날 수 있다. 그러나 이온 교환 site 모두를 Na가 채우고 나면 점차 Na 이온의 함량은 증가하게 된다. 이 경우 Na 함량이 Ca 함량에 비해 높게 나타나게 된다.

### 5) 마그네슘(Mg)

Mg 이온은 Ca 이온과 마찬가지로 알칼리 토금속으로서 수용액 내에서 +2 전하를 나타낸다. 따라서 Ca 이온의 거동과 유사한 거동을 하게 된다. 지하수에서는 주로 돌로마이트가 존재할 경우 돌로마이트의 용해에 의해 공급된다. Mg 함량이 증가할 경우 대수층에 있는 방해석의 돌로마이트화에 따라 지하수의 Mg가 제거되기도 한다. 한편 해수 침투가 진행될 경우에도 Mg의 함량은 급격히 증가한다.

### 6) 염소(Cl)

Na와 마찬가지로 Cl도 해양기원 강우에 일정 성분이 포함된다. Cl은 특히 자연상태에서 지구화학적으로 제거되거나 공급되지 않는 보존성(conservative) 이온이며, 따라서 수문순환 과정의 규명에 있어 추적자로 자주 활용된다. 다만,



주로 증발산에 의해 그 함량이 증가할 뿐이다. 물-암석 반응이 진행될수록 Na의 함량은 증가하는데 반하여 Cl의 함량은 증가하지 않기 때문에 물-암석 반응에 따라 Na/Cl 비율은 점차 증가하게 된다. 한편 충적층 지하수 지역의 높은 Cl 함량은 인위적으로 생활하수 또는 해빙염(deicing salt) 등의 유입에 의해 나타날 수 있다.

### 7) 중탄산염( $\text{HCO}_3^-$ )

지하수 내 탄산염 이온은 일차적으로 대수층으로 유입되는 강우의  $\text{HCO}_3^-$  함량에 영향을 받는다. 일반적으로 강우는 대기  $\text{CO}_2$ 와 평형을 이루어 pH가 약 5.6인 약산성을 띄게 된다. 이러한 강우가 지하로 유입되면 먼저 토양층을 거치게 된다. 토양층의  $\text{CO}_2$ 는 주로 유기물의 산화에 의해 발생되며, 많게는 대기의 농도에 비해 약 100배 이상에 이르기도 한다. 토양  $\text{CO}_2$ 의 용해에 따라 탄산이 증가하는 것과 아울러 이때 발생된 산도(acidity)에 의해 반응속도가 비교적 빠른 것으로 알려진 탄산염광물과 일부 규산염 광물의 용해가 발생하게 된다. 이러한 용해(가수분해) 반응에 의해 탄산염 이온이 발생되며, 결국 지하수 유동이 진행됨에 따라 탄산염의 함량은 증가하게 된다. 이에 따라 일반적인 지하수의 탄산염 함량은 Cl 함량에 비해 높게 나타난다. 한편, 규산염 및 탄산염 광물의 용해에 의해 생성되는  $\text{HCO}_3^-$ 는 pH 8.3이상에서  $\text{CO}_3^{2-}$  형태로 존재한다. 중탄산 이온은 pH를 조절하는 완충능력이 있어 지하수 내 여러 이온 물질의 용해도를 조절하는 역할을 하며, 지질 매체, 특히 방해석의 용해 침전 반응에 직접 관여한다.

### 8) 질산염( $\text{NO}_3^-$ )

$\text{NO}_3^-$ 는 지하수에 존재하는 대표적인 무기 오염물질로서 유아에게 청색증을 유발하는 것으로 유명하다.  $\text{NO}_3^-$ 는 자연적 지질 매체와의 반응이 아닌, 유기물 부식, 생활하수나 축산 폐기물에 의한 오염 등 외부적 기원에 의하여 물 속에 존재하게 된다(Freeze and Cherry, 1979).

### 9) 질산성질소

질산염의 주요 자연적 기원은 대기중 질소이다. 이는 식물에 의해 유기 질소로 전환되는데, 이 과정을 질소 고정화 작용이라 한다. 식물이 죽으면 유기 화합물은 미생물에 의해 분해되어 무기 암모니아가 된다(암모니아화 작용). 이와 같이 생성된 암모니아는 질산화 작용(nitrification)과 같은 산화를 통해 질산염으로 전환된다. 중간 산물인 아질산염(nitrite)은 일반적으로 짧은 기간 동안 존재하고, 자연적 환경에서 주목할 만한 양으로 축적되지는 않는다. 산소가 고갈된 환경에서는 몇몇 미생물들은 대사작용(metabolism)을 수행하기 위해 산소 기체 대신 질산염을 최

종전자받게(final electron acceptor)로 사용할 수 있다. 이 작용의 산물은 질소 기체 또는 산화 질소이다. 탈질소화 과정(denitrification)이라 불리우는 이 작용은 대수층에서 효과적으로 질산염을 제거시키는 중요한 반응이다.

지하수에 질산성질소가 다량 함유되어 있을 때는 질산염에 오염된 지표수가 직접 유입되었거나 또는 대수층 상부에 발달된 토양대 속에 농축된 질산염이 강수에 의해 대수층으로 침투하여 지하수가 오염된 것으로 생각할 수 있다. 즉 일반적으로 질산염이 지하수에서 높게 검출되는 원인으로서는 축산시설의 분뇨 및 오폐수, 유기질비료 및 퇴비, 정화조의 누출, 질소질 화학비료, 생활하수 및 부패된 음식물 등으로부터 생겨나는 유기질 질소가 강수와 함께 지하로 침투됨으로써 비롯되는 것으로 알려져 있다. 이러한 오염원으로부터 발생한 유기질소의 변환과 운명은 지하로 침투하는 질소의 형태와 다양한 생물학적 변환에 따라 좌우되는데 전술했듯이 대체로 유기질소는 암모니아성질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) → 아질산성질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) → 질산성질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 순의 변환과정을 밟는다. 따라서 동물성 유기물질의 최종분해산물인 질산성질소의 지하수중 농도는 오염원으로부터 거리가 멀어질수록 점진적으로 증가하는 현상을 나타내어 하류 구배의 지하수에서 높은 농도의 질산성질소가 검출되게 된다(Aller et. al., 1987; Junge, 1963)

전 세계적으로 대부분의 국가에서 질산성질소의 먹는물 수질기준은 10mg/l (질산염  $\text{NO}_3$  기준 44.3mg/l)이며, 이 기준치를 초과하는 물을 신생아가 섭취할 경우 청색증(blue-baby syndrome)을 유발하는 것으로 알려져 있다(Follett and Walker, 1989). 또한 이러한 독성효과는 유아들에게 무기력 및 졸음증을 일으키게 하며, 상당량이 함유되어 있을 때는 생명까지 잃을 수 있다. 즉, 질산성질소가 체내로 들어가면 혐기성조건에서 아질산성질소로 환원되어 산소를 운반하는 적혈구내의 헤모글로빈과 결합하여 메트헤모글로빈을 형성한다(환경부, 1998). 특히, 유아의 경우에는 일산화탄소에 중독된 것과 같은 산소결핍증, 소위 티아노제 증상을 일으키는 원인물질이 된다. 또한 강력한 발암물질인 니트로소아민류의 생성에도 관여하는 것으로 알려져 있다.

현재 개발된 질산성질소 제거기술로는 이온교환법, 역삼투법, 전기투석법 등의 물리화학적 방법과 미생물의 환원능력(질산이온을 질소가스로 환원하는 능력)을 이용한 생물학적 탈질법 등이 있다. 이중 수도사업에서 실용화 단계에 있는 방법은 이온교환법과 생물학적 탈질법이 있다.

<표 3-3-5>는 시범조사지구의 유역별 질산성질소 조사내용이며, 암반지하수의 질산성질소 평균값이 충적지하수에서보다 1/2정도로 낮게 나타나는 것은 지표의 오염물질 침투가 적게 일어나고 있음을 보여준다.

<표 3-3-5> 유역별 질산성질소 현황(시범조사지구 예)

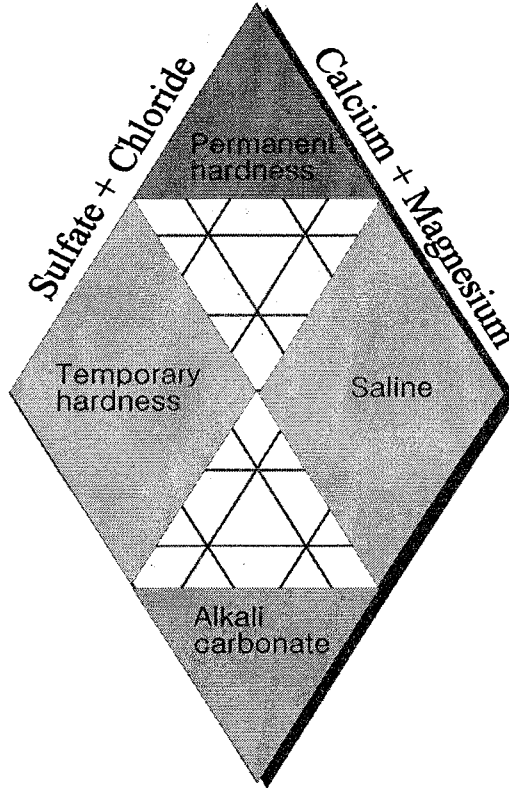
(단위 : mg/l)

유역		2차(갈수기)			3차(퐁수기)		
		최소	최대	평균	최소	최대	평균
계	총적	0.2	18.8	8.9	0.1	18.8	9.0
	암반	0.1	17.5	4.4	0.1	18.3	4.7
HN2-01	총적	1.2	17.4	9.9	0.7	18.8	9.9
	암반	0.1	7.9	2.4	1.7	8.8	3.9
HN2-02	총적	0.9	17.1	7.3	1.7	16.3	7.4
	암반	2.8	6.6	4.4	0.1	2.0	1.1
HN2-03	총적	0.7	18.0	7.1	1.2	16.0	8.0
	암반	0.1	9.0	2.7	0.0	0.0	0.0
HN2-04	총적	0.5	16.9	7.2	0.1	18.7	9.0
	암반	1.1	9.3	5.7	1.5	18.3	10.0
HN2-05	총적	0.8	18.3	9.7	0.5	18.7	9.1
	암반	0.1	12.7	3.7	0.1	13.5	4.1
HN2-06	총적	2.8	16.6	8.6	4.3	18.5	9.9
	암반	10.5	12.9	11.7	11.6	13.9	12.8
HN2-07	총적	2.7	18.8	11.0	4.4	17.4	10.6
	암반	0.4	12.4	5.9	0.1	11.4	5.3
HN2-08	총적	0.2	16.0	8.7	0.3	16.4	9.0
	암반	0.8	9.5	3.9	0.7	3.0	1.8
HN2-09	총적	1.0	18.1	10.0	0.7	18.8	10.0
	암반	0.1	17.5	5.8	0.2	17.8	6.1
HN2-10	총적	1.1	17.2	7.0	0.1	14.0	6.6
	암반	1.1	15.9	7.7	4.9	9.9	7.6
HN2-11	총적	2.3	11.4	8.2	2.1	16.7	8.9
	암반	1.6	8.4	5.0	1.4	9.2	5.4

#### 다. 지하수 수질유형

Piper diagram은 지하수 화학특성을 표시하는데 널리 쓰이는 수단인데, 지하수내 주요 양이온과 음이온의 당량농도(meq/l)를 비율(%)로 나타냄으로써 지하수의 유형(type)을 구분하는데 이용될 수 있다.

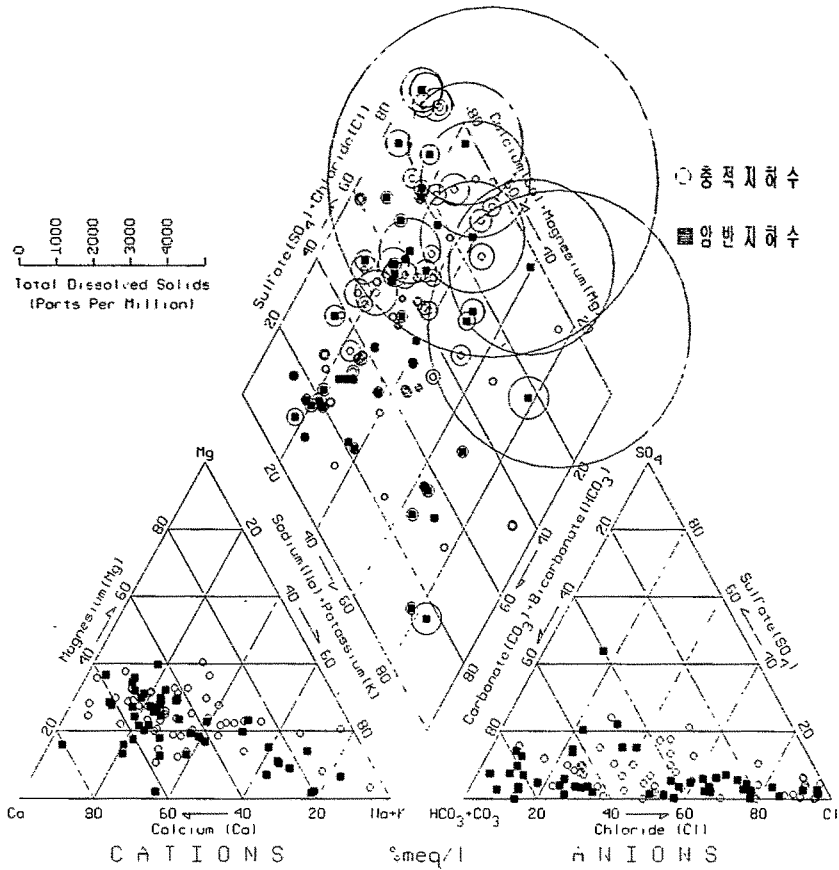
Piper diagram에서 좌측아래의 삼각 diagram 상에는 주요 용존 양이온의 함량 비가, 우측 아래 삼각 diagram에는 주요 용존 음이온의 함량비가 도시된다. 중앙의 마름모 diagram에는 양이온으로부터의 연장선과 음이온으로부터의 연장선이 교차되는 지점에 시료의 data를 도시하게 된다. 이렇게 도시된 마름모에서 다음과 같이 수질 유형을 구분하기도 한다(<그림 3-3-6>).



<그림 3-3-6> 지하수 수질유형(Hounslow, 1995)

여기서 영구경도(permanent hardness) 영역은 Ca-Mg와 Cl로부터 야기되는 경도로 연수화 과정을 통해 쉽게 경도가 제거되지 않는다. 반면 일시경도(temporary hardness) 영역은 Ca-Mg와  $\text{HCO}_3$ 로부터 야기되는 경도로 연수화 과정을 통해 물속에서 경도가 제거될 수 있다. 한편 염수(saline)영역은 해수와의 혼합이 발생하였을 경우, 알칼리-탄산염(alkali-carbonate)영역은 Na-K와 탄산염을 많이 함유하는 지하수를 나타내게 된다. 이와 같은 구분은 다분히 공학적인 구분이나 아직 유용한 구분법으로 이용된다. 일반적으로 용존함량비가 50%이상일 경우 이를 주요 용존이온으로 구분한다.

<그림 3-3-7>은 시범조사지구에서 조사된 지하수 수질자료를 Piper diagram에 도시한 것이며, <표 3-3-6>은 시범조사지구의 지하수 수질유형을 Ca- $\text{HCO}_3$ , Ca-Cl, Na-Cl, Na- $\text{HCO}_3$ 의 유형으로 구분하여 유역별로 존재비(%)를 분석한 예이다.



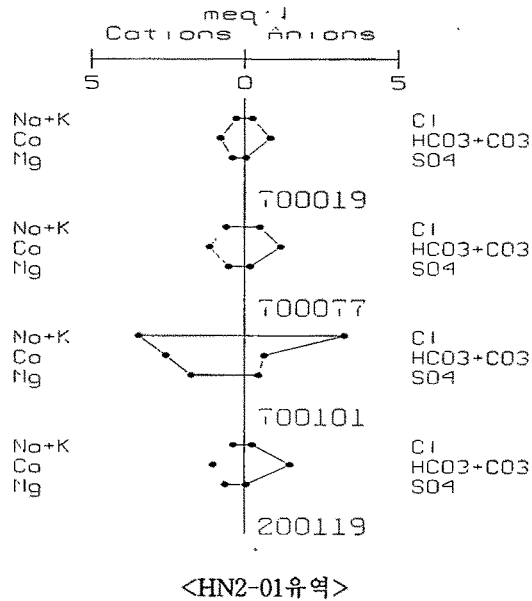
<그림 3-3-7> 시범조사지구 지하수의 Piper diagram 예

<표 3-3-6> 유역별 지하수유형(시범조사지구 예)

유역	계	Ca-HCO <sub>3</sub>		Ca-Cl		Na-Cl		Na-HCO <sub>3</sub>		
		개수	비율(%)	개수	비율(%)	개수	비율(%)	개수	비율(%)	
총계	계	99	35	35.4	38	38.4	14	14.1	12	12.1
	총적	51	16	31.4	21	41.2	8	15.7	6	11.8
	암반	48	19	39.6	17	35.4	6	12.5	6	12.5
HN2-01	계	4	3	83.3	-	-	1.0	16.7	-	-
	총적	3	2	66.7	-	-	1.0	33.3	-	-
	암반	1	1	100.0	-	-	-	-	-	-
HN2-02	계	6	5	83.3	-	-	-	-	1	16.7
	총적	4	4	100.0	-	-	-	-	-	-
	암반	2	1	50.0	-	-	-	-	1	50.0
HN2-03	계	9	5	55.6	2	22.2	1	11.1	1	11.1
	총적	4	3	75.0	-	-	-	-	1	25.0
	암반	5	2	40.0	2	40.0	1	20.0	-	-
.....										

한편 각기 다른 곳에서 채취한 지하수시료를 한눈에 비교할 때 Stiff diagram을 많이 이용한다. Stiff diagram은 양이온과 음이온의 농도를 당량(meq/l)으로 환산한 후, 세로 축을 중심으로 양이온 값은 왼쪽에, 음이온 값은 오른쪽에 배치하고 각 농도 값을 연결하여 다각형 형태로 만들어진다. 다각형의 면적이 넓을수록 용존이온의 농도가 높은 것이다.

<그림 3-3-8>은 시범조사지구의 한 소유역에서 조사된 지하수 이온농도를 Stiff diagram으로 나타낸 예이다.



<그림 3-3-8> 지하수의 Stiff diagram 예

### 3.3.5 농경지 토양조사

우리나라는 토양오염으로부터 국민의 건강을 보호하고 환경상의 피해를 예방하기 위해 1996년부터 토양환경보전법이 제정되었고, 2001년 개정 시행되고 있으며 토양의 오염방지를 위하여 16종의 물질을 토양오염물질로 지정관리하고 있다.

본 조사에서 토양오염도조사를 위한 시료채취는 토양의 표토를 5cm정도 제거한 후 hand auger를 이용하여 지표하 40cm 까지의 흙을 채취하고 환경부가 지정하는 토양오염조사 전담기관에 의뢰하여 토양오염공정시험방법에 의하여 토양오염물질에 대하여 검사를 실시한다.

<표 3-3-7>은 시범조사지구에서 토양시료를 채취하여 분석하고 조사지구

해당하는 환경부 토양측정망 운영결과와 비교한 것이다

환경부는 토양환경보전을 위하여 전국에 토양측정망을 운영하고 있으므로 (<표 3-3-8>) 그 전국망 및 지역망 운영결과 자료를 이용하면 토양시료 분석결과를 비교 검토할 수 있다. 전국평균과 조사지역 분석결과를 비교하였을 때 특히 높게 나타나는 오염물질에 대하여는 토양환경보전법의 우려기준(<표 3-3-9>)과 비교 검토한다.

<표 3-3-7> 시범조사지구 내 토양분석 결과 예

(단위 : mg/kg)

구분	지점 번호	위치	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr <sup>+6</sup>	유기인	PCB	CN	페놀	유류	pH
평균			0.115	7.613	0.208	0.044	9.222	0.241	-	-	0.020	-	-	5.8
현지 조사	SN	남양면 신남2리	-	1.610	0.046	-	12.344	0.250	-	-	-	-	-	6.1
	NY	남양면 남양리	0.223	7.064	0.078	-	17.266	0.258	-	-	-	-	-	6.1
	YA	팔탄면 울암2리	0.022	4.816	-	-	6.493	0.330	-	-	-	-	-	5.3
	SC	우정면 석천리	0.020	2.894	-	-	3.811	0.177	-	-	-	-	-	5.8
	JG	우정면 주곡리	-	3.913	-	0.126	5.389	0.191	-	-	-	-	-	5.3
지역망	HG-24	장안면 수촌리	0.070	0.820	0.329	0.004	2.360	-	-	-	-	-	-	6.0
	HI-01	우정면 주곡리	0.240	39.460	0.104	0.040	32.275	-	-	-	-	-	-	6.6
전국망	SS-24	장안면 수촌리	-	2.570	0.552	-	1.960	-	-	-	0.020	-	-	6.1
	SN-57	우정면 주곡1리	-	5.371	0.139	0.006	1.100	-	-	-	-	-	-	5.4

※ 지역망 및 전국망은 환경부의 2000 토양측정망운영결과 자료임

<표 3-3-8> 2000 토양측정망 운영결과(환경부)

(단위 : mg/kg)

구분	개소수	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr <sup>+6</sup>	유기인	PCB	CN	페놀	유류	pH
평균	4,494	0.181	4.839	0.300	0.044	5.932	0.019	-	-	0.022	-	0.376	6.2
지역망	2,995	0.169	4.552	0.258	0.049	5.987	0.030	-	-	0.030	-	0.517	6.3
전국망	1,499	0.199	5.066	0.423	0.035	5.743	-	-	-	0.013	-	0.116	6.0
전국망답	676	0.177	4.722	0.502	0.033	6.190	-	-	-	0.010	-	-	5.8

< 표 3-3-9 > 토양환경보전법에 의한 토양오염기준 (단위 : mg/Kg)

물질	오염우려기준		오염대책기준	
	가지역	나지역	가지역	나지역
카드뮴	1.5	12	4	30
구리	50	200	125	500
비소	6	20	15	50
수은	4	16	10	40
납	100	400	300	1,000
6가크롬	4	12	10	30
아연	300	800	700	2,000
니켈	40	160	100	400
불소	400	800	800	2,000
유기인화합물	10	30	-	-
폴로클로리네이티드비페닐(PCBs)	-	12	-	30
시안	2	120	5	300
페놀	4	20	10	50
유류(동·식물성 제외)				
- 벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌(BTEX)	-	80	-	200
- 석유계총탄화수소(TPH)	-	2,000	-	5,000
트리클로로에틸렌(TCE)	8	40	20	100
테트라클로로에틸렌(PCE)	4	24	10	60

- 주) 1. 가지역 : 지적법에 의한 지목이 전·답·대·과수원·목장용지·임야·학교  
 용지·하천·수도용지·공원·체육용지(수목·잔디 식생지에  
 한한다)·유원지·종교용지 및 사적지인 지역
2. 나지역 : 지적법에 의한 지목이 공장용지·도로·철도용지 및 잡종지인 지역
3. 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 지목 구분에 관계없이 나지역의 토양  
 오염우려기준을 적용한다.
- 가. 특정토양오염유발시설이 설치된 경우
- 나. 가지역에서 폴리클로리네이티드비페닐 또는 유류에 의한 토양오염  
 사고가 발생한 경우
- 다. 가지역을 제외한 지역에서 토양오염사고가 발생한 경우



## 3.4 지하수 개발가능량 분석

### 3.4.1 개요

지하수부존량이란 대상지역의 지하 지층 공극내에 저류된 물 중 산출가능한량을 부존량이라 하며 지층의 체적에 유효공극율(effective porosity)을 곱하여 그량을 추정할 수 있다. 그러나 이용 측면에서 볼 때 부존량은 개발가능량과 다르다. 지하수는 재생 가능한 순환자원이기 때문에 자연상태의 순환량, 즉 지하수함양량을 안정채수량(Safe yield)으로 보고 있으며 함양량 범위 내에서 개발·이용하여야 한다.

안정채수량(Safe Yield)이란 지하수역(Groundwater basin)의 주어진 관리 조건하에서 지하수를 양수할 때 부정적 영향이 발생하지 않는 범위 안에서 항구적으로 이용할 수 있는 채수량이라고 정의된다(Todd, 1980). 부정적 영향이라 함은, ① 지역 내의 지하수부존량 점진적 감소, ② 지하수 수질저하, ③ 지하수위 저하에 따른 지반 침하, ④ 기존시설에 대한 우물간섭 등을 들 수 있다. 이러한 부정적 영향이 발생되지 않게 하기 위하여는 지하수의 함양과 배출이 평형이 되도록 연간 함양량을 초과하지 않는 범위 안에서 연간 개발·이용량을 제한하여야 한다.

지하수 함양은 자연함양과 인공함양으로 나눌 수 있으며, 자연상태에서 지하수의 함양은 강우의 지하침투와 하천 및 호수 등 지표수의 퍼텐셜 수두차에 의한 지하침투 등을 들 수 있으나 일반적으로 자연함양(natural recharge)이라 할 때는 강우에 의한 함양을 말하며 지표수의 지하함양은 위치적으로 대수층 상부에 함양원이 존재하는 특수한 경우에 한한다.

지하수함양량 평가방법은 직접 측정법(direct measurements), 물수지분석법(water balance method), Darcy법(Darcian approaches) 및 추적자법(tracer techniques) 등이 있으며, 최근에는 온도추적자법(구민호·김형수, 2001), 동위원소 이용법(고용권외, 2001), Landsat TM 자료 및 수치고도자료를 이용한 기법(김성준, 1998) 등이 개발되고 있다.

본서에서는 최소한의 입력자료로 사용 가능한 단순 물수지분석법, 토양수분수지분법, 침투량공식법, 지하수위변동 분석법 등을 소개하고자 한다.

### 3.4.2 물수지 분석에 의한 함양량 산정

#### 가. 물수지 방정식

물수지 분석은 조사지역내로 유입 및 유출되는 물의 양과 해당 지역내에 저유된 전체 수자원의 변화 사이에는 항상 평형조건이 이루어진다는 가정하에 기초를 두고 있는데 이러한 평형을 수문평형방정식이라고 하며 다음과 같은 기본식으로 나타낼 수 있다.

$$P = R + I + E = R + D \quad (3-4-1)$$

P : 강수총량(mm)

R : 지표 유출량(mm)

I : 지하수 함양량(mm)

E : 증발산량(mm)

D : 손실량(mm)

따라서 물수지분석에 의한 지하수 함양량은 식 (3-4-1)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I = P - R - E \quad (3-4-2)$$

$$I = D - E \quad (3-4-3)$$

본래 물수지분석은 강우량과 지표수 유출량 및 지하침투량을 대입하여 증발산량을 추정하는데 사용되던 것으로서 증발산량을 먼저 구한 다음 이를 이용하여 지하침투량 즉 지하수함양량을 구하는데는 다소 문제점이 있다.

상기 식(3-4-2)와 (3-4-3)은 연간 평균강수량에서 지하로 함양되는 물의 양이므로 이를 연간 평균강수량에 대한 백분율을 취하여 지하수 함양율( $\alpha$ , %)로 나타내면 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{I}{P_{year}} \times 100 \quad (3-4-4)$$

여기서  $P_{year}$  은 연평균강수량이다.

#### 나. 유출량 추정에 의한 함양량

본 방법은 식(3-4-1)에서 연평균 강우량과 연평균 유출량 및 연평균 증발산량을 대입하여 함양량을 산정하는 것으로서 연평균 강수량과 유출량 및 증발산량의 추정은 수문조사편에서 설명한 바와 같다(3.2.5 유출량 분석, 3.2.6 증발산량 산정 참조).

조사지역 인근 관측소의 일별강수량 자료를 다년간 평균하여 구한 연평균 강수량은 신뢰도가 높으며 모든 수문분석의 기준이 된다. 그러나 장기간의 유출 관측자료가 없는 소유역에서는 무계측 유역에서의 유출량 추정방법인 SCS방법 또는 가지야마 유출고 방법 등을 이용하여 연평균 유출량을 추정하여야 한다.

또한 증발산량 산정방법 중에서 적정방법을 선택하여 연평균 증발산량을 추정하여야 하는데 이들 기법들은 대개 잠재증발산량(Potential Evapotranspiration,  $E_p$ )을 산정하는 것이므로 실제증발산량(Actual Evapotranspiration,  $E_a$ )보다 크게 주어지며 지역적인 특성을 고려하여  $E_p$ 에 적정계수를 곱하여  $E_a$ 를 추정하여야 한다.

시범조사지구의 사례를 들면 SCS 방법에 의한 연평균유출량(<표 3-2-12>)과 SCS Blaney-Criddle법에 의한 연평균증발산량(<표 3-2-17>)을 적용하여 지하수함양량을 산정하는 과정에서 실제증발산량(Ea)은 잠재증발산량(Ep)의 60%를 적용한 결과 <표 3-4-1>과 같이 평균 함양율은 22.9%로 산정되었다.

<표 3-4-1> SCS 유출량을 적용한 함양량 산정 결과(시범조사지구 예)

년도별	강수량 (mm)	유출량 (mm)	Ep (mm)	Ea (mm)	함양량 (mm)	함양율 %
1982	1067.4	288.0	1043.2	625.9	153.5	0.144
1983	942.4	140.9	1061.2	636.7	164.8	0.175
1984	1172.8	348.3	1049.2	629.5	195.0	0.166
1985	1491.0	393.3	1067.5	640.5	457.2	0.307
1986	1144.1	186.6	993.6	596.2	361.4	0.316
1987	1439.1	398.3	1032.3	619.4	421.4	0.293
1988	849.8	208.4	1051.0	630.6	10.8	0.013
1989	1217.7	228.5	1078.1	646.9	342.3	0.281
1990	2043.6	652.0	1104.0	662.4	729.2	0.357
1991	1320.4	394.9	1063.0	637.8	287.7	0.218
1992	1129.4	143.2	1053.6	632.2	354.1	0.314
1993	1162.9	236.8	1026.6	616.0	310.2	0.267
1994	1045.6	192.3	1182.6	709.6	143.7	0.137
1995	1653.3	592.3	1068.9	641.3	419.7	0.254
1996	952.1	95.2	1108.6	665.2	191.8	0.201
평균	1289.6	299.9	1065.6	639.3	302.8	0.229

#### 다. 손실량 추정에 의한 함양량

손실량이란 조사지역에 내린 강수량에서 지표수 유출량을 뺀 값으로 정의한다. 물수지 분석에서는 지하로 침투하거나 지하의 유동경로를 통해서 다시 지표로 유출하는 양을 무시하고 있으므로, 이 경우에 손실량은 실제 증발산량과 같다. 그러나 이 양을 무시할 수 없을 경우에는 즉, 실제 증발산량과 손실량의 차이가 존재하는 경우, 그 차이가 지하로 침투하는 지하수 함양량이 될 것이다. 즉, 손실량은 함양량과 증발산량의 합으로써, 함양량을 계산하기 위해서는 식 (3-4-4)과 같이 손실량에서 증발산량을 빼 주어야 한다.

강수량과 손실량과의 관계는 기온을 매개변수로 하는 함수로 나타낼 수 있는데 Turc(1961)는 254개 유역을 조사하여 다음과 같은 경험식을 제안하였다.

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}} \quad (3-4-5)$$

여기서 D는 손실량(mm), P는 강수량(mm), L은 매개변수로서 다음과 같은 기온의 함수로 표현된다.

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (3-4-6)$$

여기서 T는 연평균기온(℃)이다.

시범조사지구에서 식(3-4-5)을 이용하여 Turc에 의한 손실량을 구한 결과는 <표 3-4-2>와 같으며 여기서 손실량은 강수량 대비 약 54%를 보이고 있다.

한편 증발산량은 Thornthwaite 방법에 의해서 산정된 결과 값을 이용하였는데 실제증발산량은 잠재증발산량의 55%를 적용하여 산정하였다. 손실량에서 실제증발산량을 빼어 함양량을 계산한 결과 함양율은 <표 3-4-3>과 같이 나타낼 수 있는데, Turc 손실량 추정방법에 의한 시범조사지구의 연평균 지하수함양율은 23.39%를 보이고 있다.

<표 3-4-2> Turc 방법에 의한 손실량 산정(시범조사지구 예)

관측년도	강수량(P)	연평균 온도	L	손실량(D)
1982	1,067.4	11.8	838.17	672.16
1983	942.4	11.8	839.82	641.34
1984	1,172.8	11.2	791.29	666.46
1985	1,491.0	11.5	817.08	724.96
1986	1,144.1	10.9	770.12	649.07
1987	1,439.1	11.8	840.38	735.11
1988	849.8	11.7	833.57	610.23
1989	1,217.7	12.6	919.47	747.48
1990	2,043.6	12.8	932.46	855.73
1991	1,320.4	12.1	864.00	734.06
1992	1,129.4	12.2	881.92	708.65
1993	1,162.9	11.9	846.30	696.44
1994	1,045.6	13.4	997.46	739.56
1995	1,653.3	12.1	867.82	776.83
1996	952.1	12.4	897.36	668.95
평균	1,289.6	11.6	824.5	694.71

<표 3-4-3> 손실량추정에 의한 함양량 산정(시범조사지구 예)

관측년도	강수량 (P)	손실량 (D)	실제증발산량 (E <sub>A</sub> )	함양량 (I)	함양율 (%)
1982	1,067.4	672.16	432.47	239.69	22.46
1983	942.4	641.34	397.26	244.08	25.90
1984	1,172.8	666.46	410.70	255.75	21.81
1985	1,491.0	724.96	366.09	358.87	24.07
1986	1,144.1	649.07	349.44	299.63	26.19
1987	1,439.1	735.11	381.41	353.70	24.58
1988	849.8	610.23	413.45	196.78	23.16
1989	1,217.7	747.48	412.69	334.78	27.49
1990	2,043.6	855.73	342.82	512.91	25.10
1991	1,320.4	734.06	390.70	343.37	26.00
1992	1,129.4	708.65	372.95	335.70	29.72
1993	1,162.9	696.44	355.91	340.53	29.28
1994	1,045.6	739.56	461.12	278.44	26.63
1995	1,653.3	776.83	374.59	402.24	24.33
1996	952.1	668.95	394.90	274.05	28.78
평균	1,289.6	694.71	398.91	295.79	23.39

### 3.4.3 토양수분 수지분석에 의한 함양량 산정

#### 가. 토양수분 수지법

유역내 물수지를 계산하는 데에 있어서 가장 측정하기 어려운 변수가 실제증발산량이다. 이는 강우, 온도, 태양 일사량, 토양수분포장량, 풍속, 그리고 식생의 차단(interception)과 식생의 성장시기(생육단계)등 모든 요인에 의해 영향을 받기 때문이다(Randall K. Kolka 외, 1998). 그러므로 실제증발산량을 직접 측정하는 방법은 매우 어려울 뿐만 아니라 시간 소모적인 작업이다. 보통 실제증발산량은 토양수분수지법(Soil moisture balance method)을 이용하여 개략적인 값을 산정해왔다. 근래에 와서 lysimeter와 air-monitored tentshave등을 이용하여 농경지나 개활지등의 장소에서 좋은 결과를 얻은 경우가 보고된 실적이 있으나, 산림지(forested system)내에서의 실제증발산량의 직접 측정법은 현재까지도 효과적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

토양수분저장량은 어느 시점에서서의 토양내 저장되어 있는 수분 함량을 의미하며, 토양의 조직과 유기물질 함량등과 같은 토양의 특성에 따라 결정된다. 토양이 저장할 수 있는 수분의 최대 저장량을 최대보수량(field capacity)이라고 한다. 세립질 토양은 조립질 토양보다 상대적으로 큰 최대보수량을 가지고 있으며 토양수분저장량은 0 에서 최대보수량까지 변화한다.

토양수분저장량 중 감소분은 강우의 지표침투량중 잠재증발산량이 강우량보다 클 때 발생하며 부족분을 토양수분저장량중에서 식생이 이용하는 부분에 해당한다. 토양수분저장량 증가분은 강우량이 잠재증발산량보다 클 때 발생하며 증가분의 합은 강우의 지표침투량으로 간주할 수 있다. 즉 토양수분저장량 증가분은 순수 강우의 지표침투량에 해당하고 이의 연 합계가 강우의 연간 지표침투량(함양량)과 동일하다고 할 수 있다(J.W. Finch, 1998).

#### 나. 토양수분수지법의 적용 방법

- 토양수분 물수지는 토양의 근근역(root zone)내에서 이루어진다.
- 입력자료는 월별 강우량(P)과 월별 잠재증발산량(EP)이다.
- 실제증발산량은 물수지계산 결과 EA로 표시되며, 지표유출량은 Surplus로 표시한다. 여기서의 지표유출량은 강우의 침투량중 토양의 최대보수량을 초과하는 부분에 대한 overland flow를 말한다.
- 토양근역대(root zone)는 지하수면 상부의 토양수분을 저장하는 수분창고 역할을 하여 추후 필요시 식생의 뿌리가 수분을 이용가능토록 해준다. 토양수분저장량은 토양의 최대보수량(field capacity)를 초과할 수 없다.
- $P > E_p$  : 수분의 요구조건이 충족되면  $EA = E_p$  가 되고,

초과수분은 토양수분이 모두 채워질 때(즉 최대보수량에 도달할 때)까지 함양되고, 최대보수량을 초과할 때에는 유출(Surplus)로 공급된다.

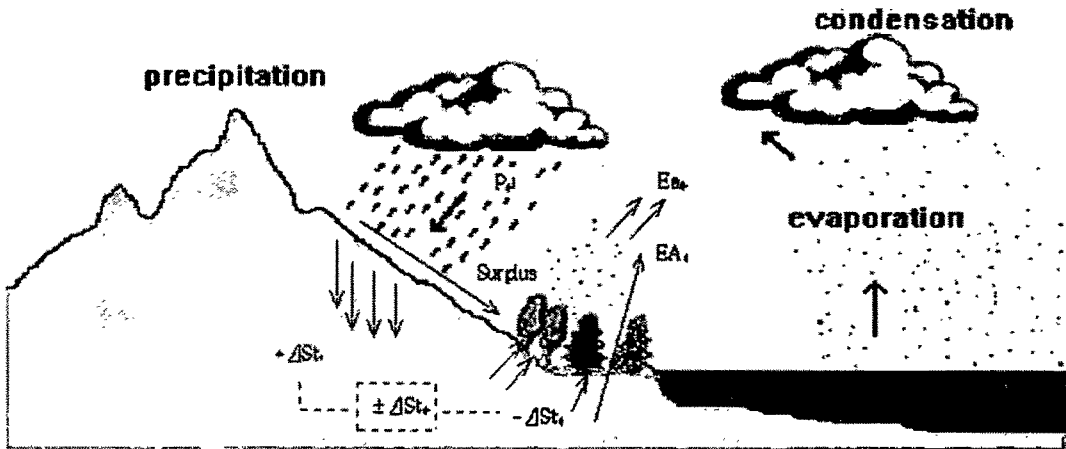
$E_p > P$  : 부족한 수분은 전월의 토양수분저장분( $St$ )에 수분이 존재할 경우 흡수·이용된다.

토양수분저장분이 충분하면  $EA = E_p$  가 되고,

토양수분저장분이 부족하다면  $EA < E_p$ 가 되고 수분의 부족(Deficit)이 발생한다.

○  $St$  : 저장된 토양수분량. 토립자사이의 공극내 함유되어 있는 수분의 양을 나타낸다. 즉 지하수면 상부의 토양수로서 식생의 뿌리가 사용할 수 있는 수분이다. 토양은 최대보수량(field capacity)까지 수분을 함유할 수 있으며 그 이상의 수분은 공급이 된다면 지표유출(Surplus)되거나 지하수면으로 침투(percolation)되게 된다.

○  $EA$  : 이는  $(St + P)$ 를 초과할 수 없으며,  $E_p > (St + P)$ 이면  $EA = (St + P)$ 가 된다.



<그림 3-4-1> 물수지 식의 요소

$$P = EA + Surplus + (\pm \Delta St) \dots\dots\dots(3-4-7)$$

$P$  : 강우량(mm),  $EA$  : 유역의 실제증발산량(mm),

$Surplus$  : 지표유출량(mm),  $\pm \Delta St$  : 토양수분저장량 변동(mm)

위의 식에서 토양수분저장량 변동분( $\pm \Delta St$ )은 일단 토양층 하부로 침투된 강우를 식물의 뿌리가 토양내 저장수분량( $St$ )으로부터 흡수·활용하는 토양수분

저장량의 감소분(-ΔSt)과 토양내 잔류하여 저장되어 있는 토양수분저장량의 증가분(+ΔSt)으로 나누어진다. 실제증발산량(EA)은 식물의 증산과 토양면 증발, 식생에 의한 차단 및 지표면 저류등을 포함하는 값으로 가정하고, 실제증발산량(EA)에는 지표하 토양내 저장수분량(St)으로부터 식물의 뿌리가 활용하는 수분량이 포함되어 있는 데 이를 분리해 보면  $EA = Ea + | - \Delta St |$  로 나타낼 수 있으며, 이를 이용하여 위의 식(3-4-7)을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$P = EA + Surplus \pm \Delta St$$

$$P = Ea + | - \Delta St | + Surplus + (+ \Delta St) + (- \Delta St)$$

$$\therefore P = Ea + Surplus + (+ \Delta St) \dots\dots\dots(3-4-8)$$

Ea : 토양표면상부에서의 실제증발산량, 즉 실제증발산량(EA)에서 식물의 뿌리가 활용하는 토양수분저장량을 제외한 부분

강우의 지표 침투량은 토양수분 저장량 변화중 식물의 뿌리가 이용하는 (-ΔSt)를 제외한 토양수분저장량의 증가분(+ΔSt)과 동일한 의미가 된다.

#### 다. 토양수분 수지분석에 의한 함양을 산정사례

상기 (3-4-8)식의 토양수분 수지 방정식에 근거하여 사례지구(김진)에 인접한 밀양기상대의 24년간(1973~1996) 기상자료를 수집하여 토양수분 수지분석을 실시하였다. 본 지구 대표적인 토성은 <표 3-4-4>의 토양형태에 대한 대표적인 토양수분특성 중에서 양토(loam)를 선정하여 적용하였다. <표 3-4-5>는 년도별 토양수분 수지분석 예이며 <표 3-4-6>은 사례지구 토양수분 수지분석 결과이다.

<표 3-4-4> 토양형태에 대한 대표적인 토양수분특성

토양형태 (미국 토양 조직분류)	토양수분특성					
	Field Capacity(θ FC) m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		Wilting Point(θ WP) m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		(θ FC - θ WP) m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	
	FAO <sup>1)</sup>	ASCE <sup>2)</sup>	FAO <sup>1)</sup>	ASCE <sup>2)</sup>	FAO <sup>1)</sup>	ASCE <sup>2)</sup>
sand	0.07~0.17	0.12	0.02~0.07	0.04	0.05~0.11	0.08
loamy sand	0.11~0.19	0.14	0.03~0.10	0.06	0.06~0.12	0.08
sandy loam	0.18~0.28	0.23	0.06~0.16	0.10	0.11~0.15	0.13
loam	0.20~0.30	0.26	0.07~0.17	0.12	0.13~0.18	0.14
silt loam	0.22~0.36	0.30	0.09~0.21	0.15	0.13~0.19	0.15
silt	0.28~0.38	0.32	0.12~0.22	0.15	0.16~0.20	0.17
silt clay loam	0.30~0.37	0.34	0.17~0.24	0.19	0.13~0.18	0.15
silty clay	0.30~0.42	0.36	0.17~0.29	0.21	0.13~0.19	0.15
clay	0.32~0.40	0.36	0.20~0.24	0.21	0.12~0.20	0.15

자료 : 1) Crop evapotranspiration, guideline for computing crop water requirements NO 56(FAO, 1998)

2) Values obtained from ASCE(American Society of Civil Engineers), 1990. Table 2.6, p.21

### 김전지구 토성(loam)의 적용조건

최대보수율 혹은 포장용수량(field capacity) =  $0.26\text{m}^3/\text{m}^3$ ( $0.20\sim 0.30\text{m}^3/\text{m}^3$ 의 평균)

위조점 혹은 생장저해 수분점(wilting point) =  $0.12\text{m}^3/\text{m}^3$ ( $0.07\sim 0.17\text{m}^3/\text{m}^3$ 의 평균)

전용이유효수분량(total available water) =  $1000 \times (\text{최대보수율} - \text{위조점}) \times \text{근역대 심도}(\text{m})$

유효수분량(readily available water) =  $p \times \text{TAW}$ ,  $p$ : 작물별 토양수분소모인자(무:0.3)

근역대 심도(root zone depth) =  $0.8\text{m}$  (정밀토양도의 평균유효토심 적용)

### 토양수분 수지분석 절차

- ① 인근 기상대의 당해연도 월별강우량
- ② Penman-Monteith 방법에 의한 월별 잠재증발산량
- ③ 당월 강우량 - 당월 증발산량
- ④ 당월 강우량 + 전월 St
- ⑤  $\Delta St = P - \text{Surplus} - EA$
- ⑥ 초기 St는 총유효수분량으로 가정하고 전월 St에 당월  $\Delta St$ 를 더하여 당월 St에 기입한다. 단 전월 St +  $\Delta St < 0$  이면 St = 0
- ⑦ 전월 St + P - Ep  $\geq 0$  이면 EA = Ep.  
전월 St + P - Ep  $< 0$  이면 EA = P + 전월 St
- ⑧ Ep - EA = Deficit
- ⑨ 전월 St + P - EA > 최대보수량 이면, Surplus = 전월 St + P - EA - 최대보수량  
전월 St + P - EA  $\leq$  최대보수량 이면, Surplus = 0  
※ 최대보수량 = 최대보수율  $\times$  근역대 심도
- ⑩ P > Ep 이면 Ea=EA, P < Ep 이면 Ea=P



<표 3-4-5> 년도별 토양수분 수지분석 예

- '73년 월별 토양수분 수지

전월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계	비고	
P		47.5	28.8	9.1	162.5	173.4	77.1	116.2	97.3	179.7	74.8	20.5	4.9	991.8	①
Ep		28.8	43.1	82.4	102.1	129.8	131.7	168.8	152.0	98.2	65.0	47.4	30.9	1080.2	②
P-Ep		18.7	-14.3	-73.3	60.4	43.6	-54.6	-52.6	-54.7	81.5	9.8	-26.9	-26.0		③
P+St		159.5	159.5	125.5	205.6	276.9	224.2	208.7	137.2	179.7	156.3	111.8	69.3		④
△St	0	18.7	-14.3	-73.3	60.4	43.6	-54.6	-52.6	-39.8	81.5	9.8	-26.9	-26.0	-73.6	⑤
St	112.0	130.7	116.4	43.1	103.5	147.1	92.5	39.8	0.0	81.5	91.3	64.4	38.4	948.8	⑥
EA		28.8	43.1	82.4	102.1	129.8	131.7	168.8	137.2	98.2	65.0	47.4	30.9	1065.4	⑦
Deficit		0	0	0	0	0	0	0	14.9	0	0	0	0		⑧
Surplus		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⑨
Ea		28.8	28.8	9.1	102.1	129.8	77.1	116.2	97.3	98.2	65.0	20.5	4.9	777.8	⑩

※ 초기 St는 전용이유효수분량 =  $1000(0.26-0.12) \times 0.8 = 112.0\text{mm}$ 으로 가정함.

- '74년 토양수분 수지

전월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계	비고	
P		22.9	31.3	46.4	194.6	242.0	144.8	417.6	92.5	23.4	131.7	10.8	39.8	1397.8	
Ep		30.1	39.9	67.7	110.9	127.0	137.4	108.4	149.9	112.3	80.3	43.3	30.1	1037.3	
P-Ep		-7.2	-8.6	-21.3	83.7	115.0	7.4	309.2	-57.4	-88.9	51.4	-32.5	9.7		
P+St		61.3	62.5	69.0	195.9	327.0	344.8	625.0	300.5	174.0	193.4	123.9	120.4		
△St	0	-7.2	-8.6	-21.5	83.7	115.0	7.4	0.6	-57.4	-88.9	51.4	-32.5	9.7	51.9	
St	38.4	31.2	22.6	1.3	85.0	200.0	207.4	208.0	150.6	61.7	113.1	80.6	90.3	1251.8	
EA		30.1	39.9	67.7	110.9	127.0	137.4	108.4	149.9	112.3	80.3	43.3	30.1	1037.3	
Deficit		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Surplus		0	0	0	0	0	0	308.6	0	0	0	0	0	308.6	
Ea		22.9	31.3	46.4	110.9	127.0	137.4	108.4	92.5	23.4	80.3	10.8	30.1	821.4	

※ 초기 St = 전년도 월말의 St = 38.4mm, 최대보수량 =  $1000 \times 0.26 \times 0.8 = 208.0\text{mm}$

<표 3-4-6> 김진지구 23개년 물수지 총괄

(단위:mm)

연도별	강수량	잠재증발산량		실제증발산량		지표유출량		토양수분량			
		ET <sub>0</sub>		Ea	EA	Surplus		(+ΔSt)	(-ΔSt)		
'73	991.8	1,080.2	108.9%	777.8	78.4%	1065.4	-	0.0%	214.0	21.6%	-287.6
'74	1,397.8	1,037.3	74.2%	821.4	58.8%	1037.3	308.6	22.1%	267.8	19.2%	-215.9
'75	1,345.3	1,025.7	76.2%	884.2	65.7%	1025.7	201.9	15.0%	259.2	19.3%	-141.5
'76	1,005.5	970.5	96.5%	707.5	70.4%	970.5	122.7	12.2%	175.3	17.4%	-263.0
'77	814.2	1,018.8	125.1%	678.9	83.4%	893.6	-	0.0%	135.3	16.6%	-214.7
'78	1,254.8	1,043.1	83.1%	718.4	57.3%	828.8	294.9	23.5%	241.5	19.2%	-110.4
'79	1,543.8	966.5	62.6%	797.2	51.6%	966.5	639.9	41.4%	106.7	6.9%	-169.3
'80	1,581.5	924.7	58.5%	809.1	51.2%	924.7	594.7	37.6%	177.7	11.2%	-115.6
'81	1,106.7	976.7	88.3%	722.6	65.3%	958.8	176.1	15.9%	208.0	18.8%	-236.2
'82	945.9	992.7	104.9%	555.7	58.7%	856.2	101.5	10.7%	288.7	30.5%	-300.5
'83	1,250.0	968.1	77.4%	787.4	63.0%	968.1	271.9	21.8%	190.7	15.3%	-180.7
'84	1,405.1	991.0	70.5%	754.9	53.7%	991.0	425.2	30.3%	225.0	16.0%	-236.1
'85	1,697.6	967.3	57.0%	909.7	53.6%	967.3	663.3	39.1%	124.6	7.3%	-57.6
'86	1,117.4	967.7	86.6%	791.1	70.8%	967.7	164.1	14.7%	162.2	14.5%	-176.6
'87	1,277.5	952.2	74.5%	769.9	60.3%	952.2	433.8	34.0%	73.8	5.8%	-182.3
'88	624.8	970.9	155.4%	548.4	87.8%	699.3	-	0.0%	76.4	12.2%	-150.9
'89	1,679.5	956.3	56.9%	715.3	42.6%	941.6	537.4	32.0%	426.8	25.4%	-226.3
'90	1,126.8	930.3	82.6%	717.6	63.7%	930.2	261.3	23.2%	147.9	13.1%	-212.6
'91	1,493.3	895.1	59.9%	742.8	49.7%	895.1	604.8	40.5%	145.7	9.8%	-152.3
'92	1,035.5	972.0	93.9%	751.5	72.6%	972.0	25.5	2.5%	258.5	25.0%	-220.5
'93	1,381.0	877.4	63.5%	708.6	51.3%	877.4	515.9	37.4%	156.5	11.3%	-168.8
'94	695.5	906.8	130.4%	640.3	92.1%	850.4	-	0.0%	55.2	7.9%	-210.1
'95	879.5	901.4	102.5%	736.9	83.8%	874.8	-	0.0%	142.6	16.2%	-137.9
'96	912.6	939.8	103.0%	643.3	70.5%	870.3	-	0.0%	269.3	29.5%	-227.0
평균	100.0%				64.8%			18.9%		16.3%	

위의 물수지 결과에서 강우의 직접유출량(주로 홍수기의 지표면유출량)은 약 18.9%인 것으로 나타났으며, 강우의 지표침투율(함양율)에 해당하는 토양수분증가량(+ΔSt)의 23개년 평균 강우량의 16.3%로 나타났다.

### 3.4.4 기타 방법에 의한 함양량 산정

#### 가. 기저유출 분석에 의한 지하수함양량

강우가 지하에 침투하여 지하수면에 도달하면 지하수가 함양되어 지하수위를 상승시키고 상승된 지하수위는 수두경사에 의해 다시 하천에 지하수를 공급하게 된다. 지하수의 유속은 중간유출에 비해 훨씬 느리기 때문에 지하유출에 소요되는 시간이 상당히 길다. 이렇게 서서히 하천에 유입되는 지하수 유출량을 기저유출량(Base flow)이라 한다. 그러므로 장기적인 기저유출량을 관측할 수 있으면 이를 지하수함양량으로 간주할 수 있다.

유역의 유출지점에서 장기적인 유량관측자료가 있으면 시간-유량 수문곡선의 유출 분리기법에 의해 기저유출량을 추출할 수가 있다. 그러나 유출량 관측자료가 없는 소유역에서는 기저유출 분석이 불가능하다. 다만 소유역이 속하여 있는

큰 하천의 유출관측자료가 있으면 여기에서 얻어지는 기저유출량 자료를 이용하여 조사지구의 함양율을 적용할 수가 있다.

건설교통부에서 주관하는 지하수관리기본계획(1996)에서는 전국의 댐 수문자료를 이용하여 기저유출량을 산정하고 이를 이용하여 미계측지역의 유역면적과 함양량의 관계를 회귀분석하여 소유역별 지하수함양율(강우함양계수)을 제시하였다. 소유역별 강우함양계수를 이용한 소유역별 함양량은 다음과 같이 산정된다.

$$\text{소유역별 함양량} = \text{강우함양계수} \times \text{소유역 강수량} \times \text{소유역 면적}$$

본 기본계획에서는 전국의 지하수 개발가능량을 안정적으로 관리하기 위하여 지하수함양율을 다소 낮게(전국 10.2%) 책정하고 있으며, 이는 기저유출 분석을 연간 갈수기 3개월을 기준으로 하고 있기 때문이라고 판단된다. 그러므로 소유역별 지하수 개발가능량을 보다 실제적으로 파악하기 위하여는 소유역단위의 물수지 분석 등 다양한 방법을 같이 검토할 필요가 있다.

#### 나. 침투량 분석에 의한 지하수함양량

미국의 토양보전국(Soil Conservation Service, SCS)에서는 미계측 소유역에 대한 유출량 산정을 위하여 유출량과 토양의 자료를 광범위하게 수집하여 분석하고 강우와 유출의 관계식을 유도하였다. 이 SCS 모델의 특징은 수문학적 토양구분과 토지이용상태별 유출곡선지수(Runoff Curve Number, CN)를 정하여 유역의 특성에 따라 무계측유역의 유출량을 추정하는 것이다.

SCS 모델은 세가지 가정을 기초로 하고 있다. 즉, 강우시 차단, 지표저류, 토양저류 등에 의한 최대저류능(Potential storage, S)을 유역의 특성으로 하고, S에 대한 실저류량(Actual storage, F)의 비율은 직접유출량(Q)이 강우량(P)에서 초기손실(Initial abstraction,  $I_a$ )을 뺀 값에 대한 비율과 같으며, 초기손실( $I_a$ )은 최대저류능(S)의 크기에 비례한다는 것이다. 이 가정을 수식으로 표시하면,

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (3-4-9)$$

$$I_a = \alpha S \quad (3-4-10)$$

여기서  $\alpha$ 는 비례상수로서 SCS는 0.2를 제시하였다.

한편 물수지로 볼 때 다음식이 성립한다.

$$F = P - I_a - Q \quad (3-4-11)$$

식 (3-4-10), (3-4-11)를 Q에 대하여 풀면

$$Q = \frac{(P - \alpha S)^2}{P + (1 - \alpha)S} \quad \text{단, } P \leq \alpha S \text{ 일 경우 } Q = 0 \quad (3-4-12)$$

와 같이 유출량 산정공식이 되고, 이것을 식(3-4-10)에 대입하면

$$F = P - I_a - \frac{(P - aS)^2}{P + (1 - a)S} = \frac{(P - aS)S}{P + (1 - a)S} \quad (3-4-13)$$

단,  $P \leq aS$ 일 경우  $F = 0$

$\alpha = 0.2$ 를 적용하면

$$F = \frac{(P - 0.2S)S}{(P + 0.8S)} \quad (3-4-14)$$

식(3-4-14)는 S변수 하나만으로 실저류량(F)을 구할 수 있는데 Aron(1977)과 Hjelmfelt(1980) 등은 실저류량(F)이 강우시 누가침투량과 같다고 하였다.

변수 S는 강우와 유역특성에 따라 결정되며 SCS 유출분석법에서와 마찬가지로 유역내 토양의 수문학적 토양군 분류와 이에 상응하는 유출곡선지수(CN)를 적용함으로써 구해진다(3.2.5 유출량 분석편 참조).

강우의 침투는 지하수 함양과 직접적인 관계가 있다. 지하수함양 분석에 있어서는 장기적인 분석이 필요하므로 일 강우량별로 유역에 상응하는 침투량을 구하고 다년간의 침투량을 누계 평균하여 연평균침투량을 구한다. 이 때의 연평균 침투량이 연평균강우량에 대하여 갖는 비율은 지하수함양율로 적용할 수 있다.

지하수함양량을 구하기 위하여 물수지분석을 시행하며 물수지분석에 필요한 평균유출량과 평균증발산량을 구하여야 하는 바, 증발산량의 추정은 산정방법이 매우 복잡하고 모호할 뿐 아니라 조사자의 임의성이 상당히 포함되게 되어 있어 물수지 분석 결과에 대하여 신뢰도를 저하시키는 요인이 되고 있다. 그러므로 증발산량 항목이 포함되지 않은 함양량 산정공식이 요구되고 있으며 SCS 침투량 공식을 이용한 함양량 산정방법은 이를 극복하는 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

SCS 침투량 공식을 적용하기 위해서는 지역 토양도를 이용하여 유역내의 토양구분을 먼저 시행하고 A, B, C, D의 토양군으로 분류한 다음, 지형도에서 토지이용상태별 분포를 추출하여 토양도에 중첩하므로써 <표 3-4-7>과 같이 토양군별 토지이용별 면적표를 작성한다. 토양군 분류는 수치토양도를 이용하여 전산화 작업이 가능하나 토지이용상태별 면적분포는 아직 수치지도가 마련되어 있지 않으므로 지형도상에서 수작업으로 수행하여야 하는 어려움이 있다. 그러나 SCS 방법의 신뢰성은 토양군별 토지이용상태별 적정 CN값을 적용하는데 있으므로 유의하여야 한다.

<표 3-4-7> 김진지구 토양군별 토지이용상태별 면적

(단위 : km<sup>2</sup>)

구분	농경지		산림지역			시 설 지 역				
	밭	논	불 량	보 통	양 호	주거지	도로	학 교	공업지	유희지
계	20.876	58.777	26.081	147.793	-	6.142	8.456	0.348	6.550	38.247
A	0.452	-	17.444	98.848	-	6.142	2.044	0.134	2.326	32.369
B	20.424	35.387	8.240	46.694	-	-	-	0.214	4.224	5.878
C	-	10.121	-	-	-	-	-	-	-	-
D	-	13.269	0.397	2.251	-	-	6.412	-	-	-

<표 3-4-8>은 토양군별 토지이용별 면적에 대하여 유출곡선지수 CN 분류표 (3.2 유출량분석 참조)에 의해 CN값을 부여하여 토지그룹별 평균 CN을 구하는 양식이다. 평균 CN는 면적가중평균으로 구하며 토지그룹별 평균 CN에 해당하는 S값을 식 (3-4-14)에 적용하여 일 강우량에 따른 침투량을 구한다.

<표 3-4-8> 김진지구 토지그룹별 평균 CN 작성표

(단위 : km<sup>2</sup>)

토양구분		A		B		C		D		면적계	평균 CN	토지그룹별 평균 CN
		면적	CN	면적	CN	면적	CN	면적	CN			
농경지	밭	0.452	63	20.424	74	-	82	-	85	20.876	73	79
	논	-	70	35.387	79	10.121	84	13.269	88	58.777	81	
산림지	불량	17.444	57	8.240	73	-	82	0.397	86	26.081	62	52
	보통	98.848	43	46.694	65	-	76	2.251	82	147.793	50	
	양호	-	32	-	58	-	72	-	79	-	-	
시설지역	주거지	6.142	77	-	85	-	90	-	94	6.142	77	63
	도로	2.044	76	-	85	-	89	6.412	91	8.456	87	
	학교	0.134	54	0.214	70	-	80	-	85	0.348	63	
	공업지	2.326	81	4.224	88	-	91	-	93	6.550	85	
	유희지	32.369	49	5.878	69	-	79	-	84	38.247	52	
계		159.759		121.061		10.121		22.329		313.270		61

SCS 침투량 공식으로 침투량을 구하는 절차는 다음과 같다.

① 강우량자료 수집(10년 이상)

② 일별 강우사상에 대한 선행함수조건 설정 - 강우 당일을 포함한 선행 5일 간의 강우량의 크기에 따라 AMC I, II, III 으로 구분한다(<표 3-2-4>참조). 이 때 계절별 적용에 있어 5월부터 9월까지는 성수기, 10월부터 이듬해 4월까지는 비성수기로 한다.

③ 토지그룹별 CN값은 AMC-II 조건에 해당하므로 강우사상별로 AMC-I,

AMC-II 조건이 되는 경우는 AMC별 CN~S 속견표에서 해당 값을 찾아 대입하여야 한다(<표 3-2-8>참조).

- ④ 일별 침투량을 누계하여 연간침투량 즉 지하수함양량을 구한다.
- ⑤ 해당 연도 강우량과의 비를 구하여 지하수함양율을 산정한다.

<시범지구 침투량분석 사례>

시범조사지구에서 위의 절차에 따라 SCS 침투량분석을 시도하였는 바, 수문학적 토양그룹을 다시 토지이용별로 구분하기 어려워 유출량 분석에서 사용한 <표 3-2-11>의 내용을 적용하였으며 이를 다시 쓰면 다음과 같다.

구 분	면적 (km <sup>2</sup> )	면적 비율	토지그룹 평균 CN	S	AMC I		AMC II	
					CN	S	CN	S
임야	65.29	0.361	68	120	47	286	83	52
밭	46.30	0.256	71	104	51	244	85	45
논	60.45	0.335	78	72	60	169	89	31
갯벌	8.05	0.048	95	13.4	87	37.8	98	5.2
계	180.09	1.000						

1982~1996(15년) 기간의 강우량과 토지그룹별 CN에 해당하는 S값을 공식에 대입하여 일별 침투량을 계산하고 이를 연도별로 합산하여 연간 함양량을 구한 결과는 <표 3-4-9>와 같다. 지구 전체의 함양량은 각 CN가 대표하는 면적으로 가중평균하여 산정하였고 연간함양량의 연간강수량에 대한 비 즉 지하수함양량을 계산한 바 지구 평균 함양율은 20.7%로 나타났다.

<표 3-4-9> CN지수 변동에 따른 연도별 함양량 산정

연도별	강수량 (mm)	함양량(mm)				면적가중 평균	함양율 (%)
		CN=68	CN=71	CN=78	CN=95		
'82	1,067.4	185.5	193.7	223.0	249.1	202.5	0.190
'83	942.4	122.9	133.0	178.7	262.6	150.1	0.159
'84	1,172.8	229.4	237.3	247.0	244.0	237.3	0.202
'85	1,491.0	319.7	332.8	356.6	334.2	335.1	0.225
'86	1,144.1	211.2	232.3	277.5	296.2	242.0	0.212
'87	1,439.1	318.3	328.4	335.6	320.4	325.8	0.226
'88	849.8	163.7	173.8	188.7	188.0	175.3	0.358
'89	1,217.7	244.6	248.1	269.7	311.3	256.2	0.210
'90	2,043.6	443.8	449.4	449.9	457.2	446.5	0.219
'91	1,320.4	223.5	229.8	266.1	265.7	240.6	0.182
'92	1,129.4	148.8	174.9	221.7	332.1	187.7	0.166
'93	1,162.9	157.5	172.9	204.8	293.1	182.9	0.157
'94	1,045.6	188.0	214.8	258.0	274.8	221.7	0.212
'95	1,653.3	447.8	430.8	397.7	287.4	418.1	0.253
'96	952.1	83.0	101.9	175.1	304.0	128.4	0.135
평 균	1,289.6	262.2	272.5	295.0	291.2	250.0	0.207

이러한 계산 절차를 전산프로그램으로 개발하면 쉽게 적용할 수 있겠으나 아직 프로그램이 준비되지 못하였으므로 Excel의 연산기능을 이용한 간이 방법을 소개하면 다음과 같다.

1991년	강우량 (mm)	AMC 조건	CN=68			계
			I(S=286)	II(S=120)	III(S=52)	
01월 01일	0.5	I	0.00			0.00
01월 03일	0.8	I	0.00			0.00
01월 07일	2.4	I	0.00			0.00
01월 15일	0.7	I	0.00			0.00
01월 16일	2.4	I	0.00			0.00
01월 22일	2.3	I	0.00			0.00
01월 24일	8.1	I	0.00			0.00
02월 04일	4.8	I	0.00			0.00
02월 07일	3.1	I	0.00			0.00
02월 09일	0.4	I	0.00			0.00
02월 10일	4.5	I	0.00			0.00
02월 11일	2.6	I	0.00			0.00
02월 14일	0.4	I	0.00			0.00
02월 15일	12.7	II		0.00		0.00
02월 18일	0.1	II		0.00		0.00
02월 20일	5	I	0.00			0.00
02월 21일	2.2	I	0.00			0.00
02월 22일	0.1	I	0.00			0.00
02월 27일	4.6	I	0.00			0.00
02월 28일	1.6	I	0.00			0.00
03월 08일	19.5	II		0.00		0.00
03월 09일	1.3	II		0.00		0.00
03월 10일	11.3	III			1.59	1.59
03월 11일	1.9	III			0.00	0.00
03월 16일	1.3	I	0.00			0.00
03월 20일	1.7	I	0.00			0.00
03월 26일	7.8	I	0.00			0.00
03월 27일	6.9	II		0.00		0.00

- ① 일별 강우량 정렬
- ② 강우량별 AMC조건 입력
- ③ 토지그룹 대표 CN값에 대한 AMC I, II, III 란을 설정
- ④ 수식란에 침투량공식의 해당 셀과 해당 S값을 입력하여 아래로 연산처리
- ⑤ AMC조건 란과 비교하여 일치하지 않은 구간을 지우기 함
- ⑥ 계산된 값 중 음수(-)인 값은 영(0)으로 대체 입력
- ⑦ 계 란에서 더하기 연산처리( I + II + III)를 하고 기간 말까지의 누계를 구하여 대표 CN에 대한 침투량으로 채택

### 3.4.5 지하수 적정개발 가능량

#### 가. 지하수함양량에 대한 검토

지하수를 양수할 때 부정적 영향이 발생하지 않는 범위 안에서 항구적으로 이용할 수 있는 채수량을 안정채수량(Safe Yield)이라 정의한다. 부정적 영향이 발생하지 않는 범위란 일정 기간의 지하수 함양량과 배출량이 평형을 이룰 수 있도록 연간 함양량 범위 안에서 지하수 이용량을 제한하여야 한다는 것이 일반적인 정설이다.

지하수함양은 물이 지표 또는 경계면을 침투(infiltration)하여 지하수체에 이르는 현상을 말하며 자연함양과 인공함양으로 구분할 수 있다. 자연함양은 강우에 의한 함양을 말하고 인공함양은 인위적인 지하수함양 또는 각종 용수이용시설의 누수에 의한 함양 등을 들 수 있다. 지하수의 함양은 주로 강우에 의한 자연함양으로 이루어지지만 인공함양도 무시할 수 없는 경우가 있으며 다음과 같은 경우를 생각할 수 있다.

##### ① 상수도 수로손실에 의한 함양량

도시지역의 상수도는 대개 지역 밖으로부터 물을 공급받게 되는데 유입량과 실 급수량을 비교하면 상당량의 손실이 발생한다. 이러한 손실은 상수도시설의 누수에 의한 것으로 볼 수 있는데, 도시지역은 포장 및 배수시설로 인하여 강우의 지하수 함양을 저해받고 있으므로 상수도 누수로 인한 함양량은 무시할 수 없는 경우가 된다. 대도시의 상수도 손실율이 10~20%정도로 알려져 있으므로 중소도시의 경우 상수도 손실율 10% 이내에서 함양량을 추가할 수 있을 것이다.

##### ② 관개용수에 의한 함양량

평야부의 수리답은 대개 지역 밖의 수원공으로부터 관개수로에 의해 유입되며 수로손실과 논 토양의 삼투에 의해 관개수 일부가 지하수로 함양된다. 일반적인 수로손실은 15%정도이며 이중 일부는 지하수로 함양될 수 있다. 논에서의 침투량은 토양에 따라 차이가 있으나 우리나라 논의 삼투속도는 1~3mm/day범위로 알려져 있으므로 유역내 논 면적과 평균 삼투속도(2mm/day) 및 관개기간을 곱하여 지하수 함양량을 추정할 수 있다.

##### ③ 지하수 이용량의 재순환

유역내 지하수 이용시설이 많은 경우 양수 이용량의 일정 부분이 누수 또는 지하 삼투에 의하여 지하수로 환원되고 있다.

#### 나. 적정 개발가능량에 대한 검토

앞에서 설명한 지하수함양량 산정 방법들은 강우에 의한 자연함양량 추정방법인 바, 강우에 의한 함양 이외에 주요한 지하수 함양요인이 있을 때는 이들 추가적인 함양량을 합산하여 지하수함양량으로 결정한다. 이렇게 산정한 함양량은 안정채



수량으로 간주할 수 있으나 이를 전량 개발·이용하는 것은 다소 문제점이 있으므로 지하수 개발·이용계획을 수립함에 있어서는 지하수함양량 일부를 여유율로 공제하고 적정 개발가능량을 설정하는 것이 바람직하다. 문제점들을 열거하면 다음과 같다.

① 지하수함양량 산정의 불확실성

지하수함양량의 대부분을 차지하는 자연함양량 산정에 있어서 산정방법에 따라 그 결과가 다소 차이를 보여주므로 신뢰도의 문제가 제기된다. 이것은 물수지 분석에 있어 실제증발량 산정이 부정확한데에 주 요인이 있다.

② 지하수 오염에 대한 배려

안정채수량의 개념은 수량 뿐 아니라 수질의 안정성도 포함되어야 한다. 그러나 잠재오염원조사와 수질조사 등 지하수 수질오염에 관련한 조사를 시행하더라도 그 결과를 안정채수량 산정에 반영하고 있지 않는 상태이다.

③ 지하수 수원공의 위치에 따른 고려

지하수함양량은 유역 전체의 평균개념이며 지하수의 부존이 평면적인 것으로 분석되었으나 실제로는 유역내의 대수층 분포와 두께에 따라 개발 위치와 수량이 결정되므로 함양량과 개발가능량에 차이가 있을 수 있다.

④ 갈수기에 대한 고려

지하수 함양량은 연평균 개념으로 풍수기와 갈수기의 함양량을 합한 량이다. 그러므로 갈수기에는 평균량보다 다소 적게 이용하는 것이 합리적일 것이다.

이러한 문제점 들을 고려하여 지하수함양량 중 일부를 여유량으로 공제하고 지하수함양량의 70~80% 범위에서 적정 개발가능량을 설정하는 예가 많다. 이 여유율에 대한 이론적인 근거는 없으며 경험적인 안전율의 개념이라고 판단된다. 그러므로 적정 개발가능량은 지하수개발·이용의 정책수립 기준을 제시하는 것이며, 기술적 검토이외의 지하수 관리정책의 개념이라고 볼 수 있다.

지하수관리조사에서 유역조사, 강우량조사, 유출량분석, 증발산량분석 등 수문조사를 시행하는 주목적은 이들 조사 결과에 의거 물수지분석을 시행하므로써 지하수함양량을 추정하고 적정 개발가능량을 제시하는 것이라고 할 수 있다. 그러나 이들 제 수문조사와 그 분석작업은 절차가 복잡하고 시간 소모적인데 반하여 그 결과는 신뢰도가 부족하여 적정 개발가능량은 경험적인 비율에 의해 설정하게 된다.

본 지침서에는 수문조사 및 함양량 분석에 관하여 여러 가지 방법을 제시하고 있으나 지하수관리조사사업의 시행에서 이들 조사과정을 모두 시행하는 것은 시간적 경제적 부담으로 조사의 효율성을 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

그러므로 기존자료 취득과 현지여건을 감안하여 최종 목표인 지하수 적정 개발 가능량을 어떤 방법으로 접근할 것인가를 먼저 결정하고 접근에 필수적인 조사과정을 선택적으로 시행하는 것이 바람직하다고 하겠다.

지금까지 많이 사용하던 방법으로 물수지분석은 실제증발산량 산정의 모호성으로 그 결과의 신뢰도를 감소시키고 있다. 그러나 물수지분석의 일 분야인 토양수분 수지분석법은 강우량과 잠재증발산량 자료만 있으면 함양량분석이 가능하기 때문에 실제증발산량을 미리 산정할 필요는 없다. 또한 SCS 침투량 공식을 이용한 방법도 증발산량 자료 없이 함양량 분석이 가능하다.

토양수분 수지법과 SCS 침투량 공식법은 그 출발점이 아주 다르지만 강우의 지하침투량(함양량) 추정에서는 거의 비슷한 결과를 제공하고 있다. 그러므로 지하수관리조사에서 지하수함양량 분석은 이 두 가지 방법을 사용하여 그 평균량을 함양량으로 제시하는 것이 바람직하며, 장기 관측조사공이 선정되어 일일 지하수위 변동을 측정할 수 있으면 지하수위강하 해석에 의한 지하수 함양량 분석방법도 병행하여 비교 검토하는 것도 바람직하다고 판단된다.

### 3.5 오염취약성 분석

#### 3.5.1 오염부하량 분석

잠재오염원은 점오염원과 비점오염원으로 대별되며, 점오염원으로는 사람에 의하여 발생하는 생활오수, 가축사육으로 인하여 발생하는 축산폐수, 공장 등 산업시설에 의한 산업폐수, 내수면 양식에 의한 양식장폐수, 온천장에서 관광객에 의해 발생하는 온천폐수 등이 있고, 비점오염원으로는 토지이용(전, 답, 대지, 임야, 기타)에 따른 우수에 의한 유출수를 대상으로 산출한다.

인자별 발생오염부하량은 다음식에 의하여 산출되며 그 발생원단위는 <표 3-5-1>와 같다.

$$\text{오염부하량} = \sum(\text{가축종별 마리수} \times \text{발생원단위})$$

$$\text{오염부하량} = \sum(\text{인구수} \times \text{발생원단위})$$

$$\text{오염부하량} = \sum(\text{토지지목별 면적} \times \text{발생원단위})$$

<표 3-5-1> 각 인자별 발생 원단위

구분	단위	BOD	T-N	T-P	SS	
인구	총괄	g/인·일	30.5	7.7	1.4	23.6
	시가지	g/인·일	55	10.4	1.9	56.3
	비시가지	g/인·일	45.3	8.9	1.4	51.8
가축	소	g/두·일	628.2	278.8	54.6	3,400
	돼지	g/두·일	175.5	37.1	18.2	563
	가금	g/두·일	3.8	1.2	0.5	-
토지이용	전	kg/km <sup>2</sup> ·일	4.9	6.3	0.4	72.6
	답	kg/km <sup>2</sup> ·일	5.4	6.4	1.3	619.2
	임야	kg/km <sup>2</sup> ·일	1.3	2.4	0.0	45.8
	대지	kg/km <sup>2</sup> ·일	73.2	19.8	3.2	93.6
	기타	kg/km <sup>2</sup> ·일	2.2	2.2	0.0	1.3

자료 : 환경기본통계편람(환경부, 1999)

상기식에 의하여 산출된 시범조사지역 내 잠재오염원부하량은 <표 3-5-2>와 같으며 이를 도표로 <그림 3-5-1>에 나타내었는 바, 조사지구 전체에 대한 잠재오염원별 오염부하량은 가축>토지이용>인구 순으로 나타났다.

#### <단위면적당 오염부하량>

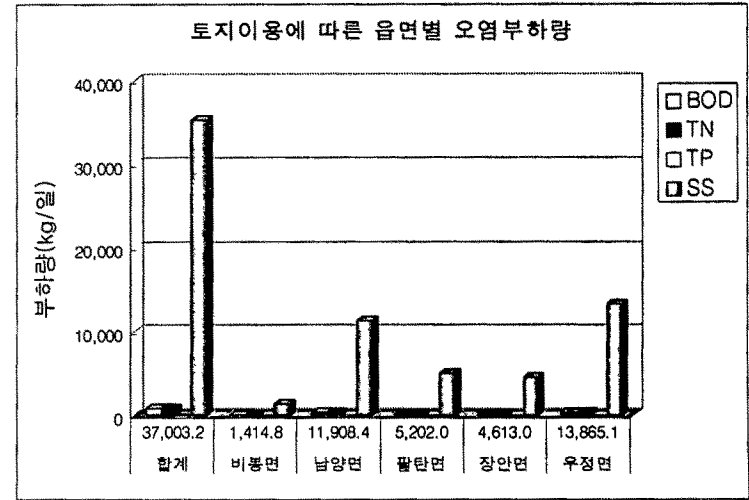
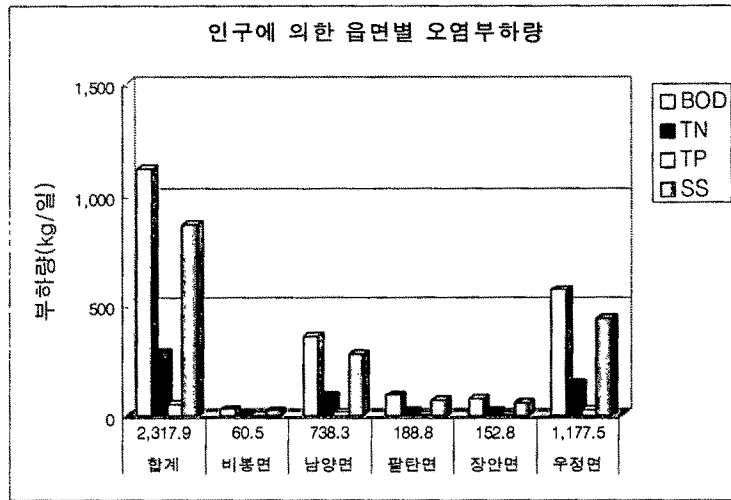
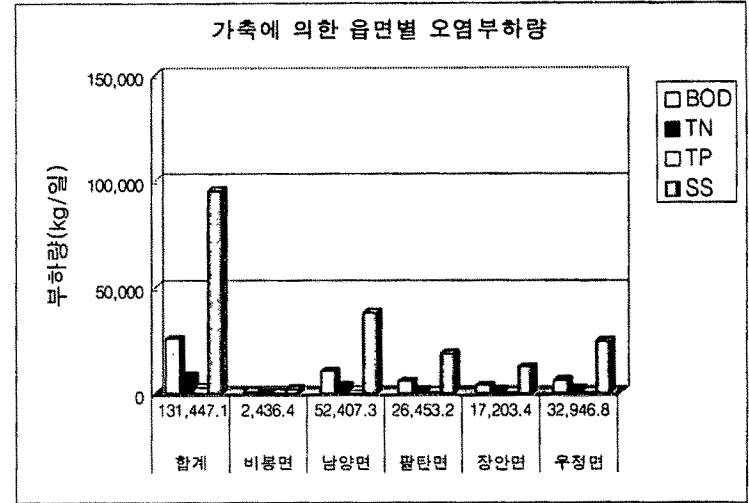
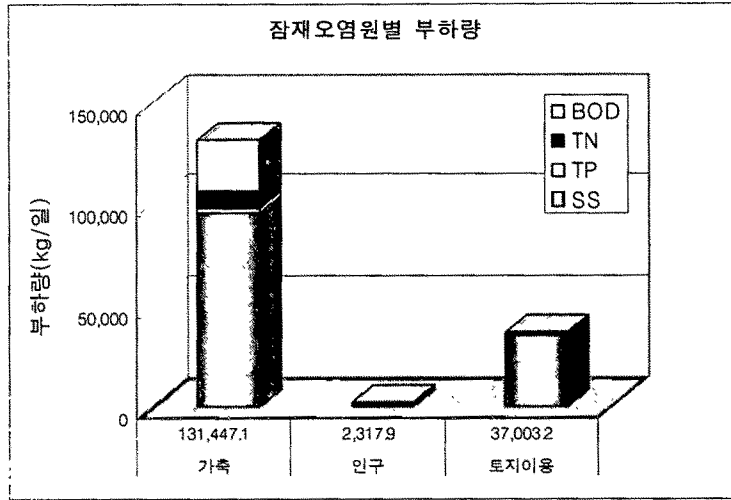
조사지구내 지역별 오염부하량 총량을 상대적으로 비교하기 위하여 단위면적당 오염부하량을 산출하여 비교할 수 있다. 시범조사지구에서 잠재오염원별 단위면적당 오염부하량은 <그림 3-5-2>와 같이 나타났다.

<표 3-5-2> 잠재오염원별 부하량(시범조사지구 예)

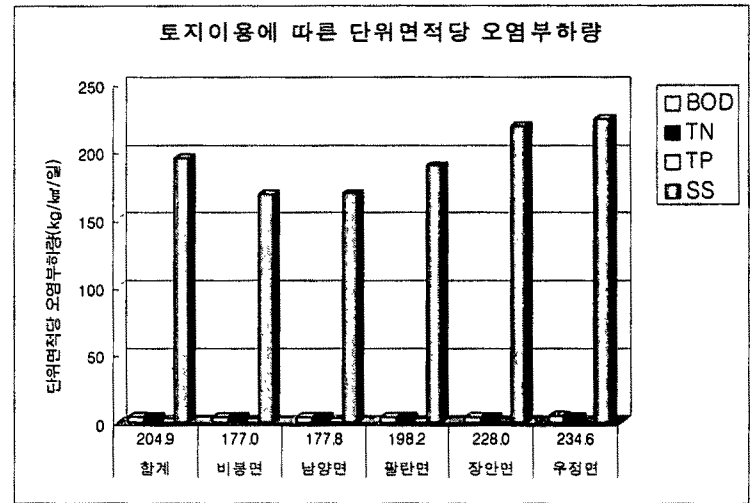
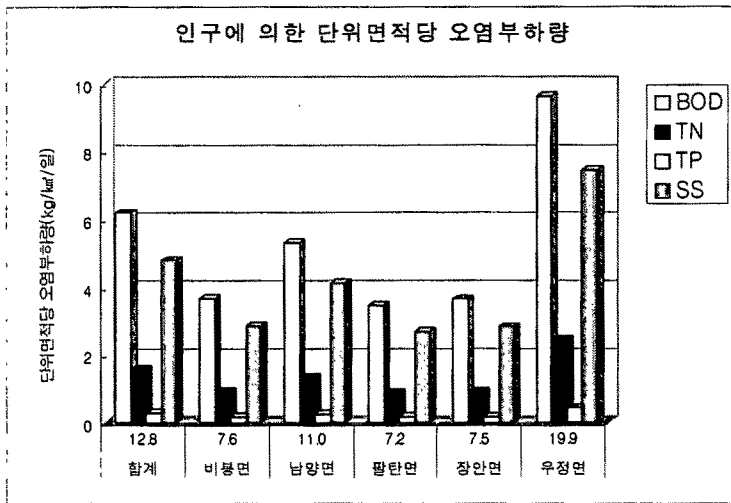
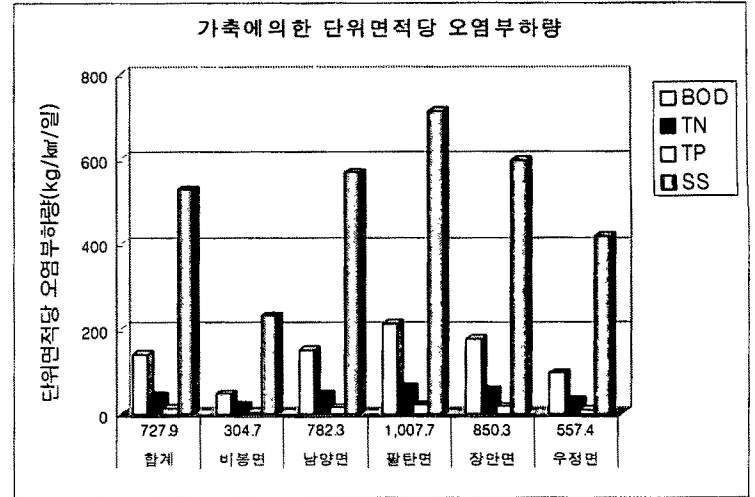
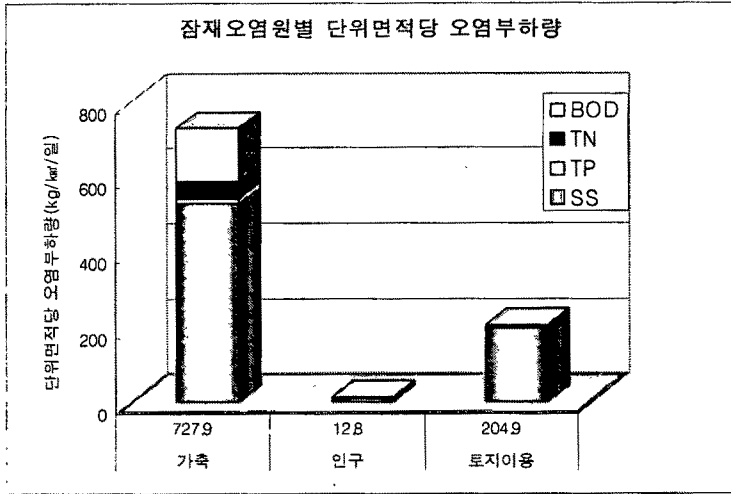
(단위 : 부하량 kg/일, 단위면적당 부하량 kg/km/일)

읍면	면적 (km <sup>2</sup> )	총 계					가 축					인 구					토지이용				
		계	BOD	TN	TP	SS	계	BOD	TN	TP	SS	계	BOD	TN	TP	SS	계	BOD	TN	TP	SS
계	180.6	170,768.3	27,394.3	9,172.7	2,683.6	131,518.0	131,447.1	25,468.0	8,114.6	2,547.4	95,317.1	2,317.9	1,118.6	282.4	51.3	865.6	37,003.2	807.7	775.4	84.9	35,335.3
		(945.7)	(151.7)	(50.8)	(14.9)	(728.3)	(727.9)	(141.0)	(44.9)	(14.1)	(527.96)	(12.8)	(6.2)	(1.6)	(0.3)	(4.8)	(204.9)	(4.5)	(4.3)	(0.5)	(195.7)
비봉면	8.0	3,911.8	441.2	203.4	39.3	3,227.8	2,436.4	381.0	164.2	34.8	1,856.4	60.5	29.2	7.4	1.3	22.6	1,414.8	31.0	31.8	3.1	1,348.8
		(489.3)	(55.2)	(25.4)	(4.9)	(403.7)	(304.7)	(47.7)	(20.5)	(4.4)	(232.2)	(7.6)	(3.7)	(0.9)	(0.2)	(2.8)	(177.0)	(3.9)	(4.0)	(0.4)	(168.7)
남양면	67.0	65,054.0	10,754.1	3,608.5	1,054.4	49,637.1	52,407.3	10,119.5	3,246.0	1,011.0	38,030.9	738.3	356.3	90.0	16.4	275.7	11,908.4	278.3	272.6	27.1	11,330.5
		(971.1)	(160.5)	(53.9)	(15.7)	(741.0)	(782.3)	(151.1)	(48.5)	(15.1)	(567.7)	(11.0)	(5.3)	(1.3)	(0.2)	(4.1)	(177.8)	(4.2)	(4.1)	(0.4)	(169.1)
팔탄면	26.3	31,843.9	5,794.9	1,768.9	594.1	23,686.0	26,453.2	5,598.9	1,638.5	578.5	18,637.3	188.8	91.1	23.0	4.2	70.5	5,202.0	104.9	107.5	11.4	4,978.2
		(1,213.1)	(220.8)	(67.4)	(22.6)	(902.3)	(1,007.7)	(213.3)	(62.4)	(22.0)	(710.0)	(7.2)	(3.5)	(0.9)	(0.2)	(2.7)	(198.2)	(4.0)	(4.1)	(0.4)	(189.6)
장안면	20.2	21,969.1	3,781.9	1,244.8	388.4	16,553.9	17,203.4	3,622.7	1,137.4	374.8	12,068.5	152.8	73.7	18.6	3.4	57.0	4,613.0	85.5	88.7	10.2	4,428.4
		(1,085.8)	(186.9)	(61.5)	(19.2)	(818.2)	(850.3)	(179.0)	(56.2)	(18.5)	(596.5)	(7.5)	(3.6)	(0.9)	(0.2)	(2.8)	(228.0)	(4.2)	(4.4)	(0.5)	(218.9)
우정면	59.1	47,989.5	6,622.1	2,346.8	607.5	38,413.2	32,946.8	5,745.9	1,928.5	548.3	24,724.1	1,177.5	568.3	143.5	26.1	439.7	13,865.1	307.9	274.7	33.1	13,249.4
		(811.9)	(112.0)	(39.7)	(10.3)	(649.9)	(557.4)	(97.2)	(32.6)	(9.3)	(418.3)	(19.9)	(9.6)	(2.4)	(0.4)	(7.4)	(234.6)	(5.2)	(4.6)	(0.6)	(224.2)

※ ( ) 단위면적당 오염부하량



<그림 3-5-1> 잠재오염원별 오염부하량(시범조사지구 예)



<그림 3-5-2> 잠재오염원별 단위면적당 오염부하량(시범조사지구 예)

### 3.5.2 오염취약성도 작성

#### 가. 지하수 오염취약성/(DRASTIC)

DRASTIC이란 일정한 지역에서의 지하수오염 취약성 정도를 평가하기 위하여 1987년 미국 환경청(EPA)과 미국 지하수협회(NGWA)의 전신인 미국 정호협회(NWWA)에 의하여 개발된 지하수오염 취약성 평가 모델이다(EPA-600/2-87-035).

본 모델은 수리지질학적인 요인들의 영향을 수치적으로 평가하고 전체 인자들의 영향을 종합적으로 평가하기 위한 것으로 7가지의 인자 즉, 지하수면까지의 깊이(D), 지하수 충전량(R), 대수층의 매질(A), 토양 매질(S), 지형(T), 비포화대의 영향(I)과 대수층의 수리전도도(C)로 이루어져 있고 각각의 인자에 지하수 오염에 영향을 미치는 중요도에 따라서 가중치 및 등급이 정해져 있다.

DRASTIC 모델은 지하수오염 취약성에 대한 정량적인 평가방법이 아니라 정성적인 평가방법으로써 다음과 같은 몇 가지 기본 가정에 근거를 두고 있다.

첫째, 오염원은 지표에 위치한다.

둘째, 오염물질의 지하유입은 강수량에 의존한다.

셋째, 오염물질은 물과 같은 유동성을 갖는다.

넷째, 평가지역은 120,000평(100 acre) 이상이어야 한다.

위의 가정을 벗어난 경우, 예를 들어 ①오염물질이 지하수계로 잘 이동하지 않는 물리화학적인 성질이 있을 때, ②비중이 물보다 커서 지하수의 이동과는 다른 유동양상을 보일 때, ③오염물질이 주입 정호 같은 경로를 통하여 지하수계로 직접 유입할 때 등의 예외적인 경우에 DRASTIC 모델은 지하수오염 취약성을 정확히 지시할 수 없다. 또한 평가지역을 100 에이커 이상으로 함은 국지적인 지하수의 흐름보다는 광역적인 유동방향을 고려한 것이다.

DRASTIC Potential(이하 DP)은 7가지 인자의 등급별 가중치의 합으로 다음과 같이 구해진다. 즉,

$$\text{DRASTIC Potential} = D_R D_w + R_R R_w + A_R A_w + S_R S_w + T_R T_w + I_R I_w + C_R C_w$$

여기서 첨자 R 는 등급(rating), w 는 가중치(weight)이다.

일반적인 평가방법에 의한 DP는 최고 226, 최저 23이고 농약을 사용하는 농업지역에 대한 평가방법에 있어서의 DP는 최고 256, 최저 23이다. 그러나 일단 DP가 결정되면, 지하수 오염에 상대적으로 더 민감한 지역을 확인하는 것이 가능하다. DP가 높을수록 지하수의 오염 취약성이 상대적으로 높고, 반대로 DP가 낮을수록 오염 취약성이 상대적으로 낮다.

DRASTIC 모델의 수리지질학적인 7가지 인자들에 대한 각각의 가중치와 등급은 <표 3-5-3>과 같다.

### 1) 지하수면까지의 깊이(Depth to Water)

지표면에서 지하수면까지의 깊이가 크면 클수록 오염 가능성이 적어진다. 지하수면까지의 깊이는 7가지의 범위로 나누는데 일반적으로 자유면 대수층을 평가하기 위해 고안되었고 피압 대수층도 사용자에 따라서 적용할 수 있지만 복잡해서 거의 사용되지는 않고 있다. 준대수층은 적용되지 않고 대신 연구자의 주관적인 평가에 의해 자유면 대수층 혹은 피압 대수층으로 속하게 된다(Aller et al., 1987).

### 2) 순수 충전량(Net recharge)

순수 충전량의 주요인은 강수량이고 지표면에서 지하수면에 도달하는 단위면적당 물의 양을 말한다. 이 인자는 충전량의 발생분포, 밀도, 지속기간은 고려하지 않고 있으며 물수지 방정식에 의해서 구해진다(Aller et al., 1987).

그러나, 순수 충전량에 대한 구체적이고 보다 정확한 평가를 하기 위해서는 첫째, 충전량이 토지이용, 경사, 토양 투과율 등과 같은 다른 인자에 의해서도 영향을 받기 때문에 이들 요소들을 포함하는 물수지 방정식(water balance equation)을 이용해야 하고 둘째, 관개용수(irrigation), 인위적인 충전량(artificial recharge), 쓰레기 침출수(leachate) 등을 고려해야 하고 셋째, 충전량 발생 분포, 밀도, 지속기간 등을 고려해야 한다.

### 3) 대수층 매질(Aquifer media)

DRASTIC 모델에서 말하는 대수층(Aquifer)은 유용하게 사용할 수 있을 정도의 충분히 많은 양의 물을 채수할 수 있는 지하암석층으로서 주로 셰일, 사암, 석회암으로 나누어진다. 이들 3개의 층을 좀 더 세분해서 7개의 범위로 나누고 각각에 대해서 등급이 설정되어 있다. 각 범위를 나누는 기준은 파쇄대, 절리면의 분포정도, 분급 그리고 세립물질의 양 등이다.

일반적으로 조립질이고 분급이 좋고 파쇄대나 절리면이 많을수록 공극이 많아지고 투과율도 좋아지기 때문에 오염 가능성이 높아지고 상대적으로 등급이 높게 설정된다. 반면에 대수층이 세립이고 분급이 나쁘고 파쇄대, 절리면이 적으면 그만큼 오염물질이 이동할 수 있는 경로는 작아져서 오염 가능성이 희박해지기 때문에 등급이 낮아지게 된다.

대수층매질 등급은 지하수 유동길이(Route length), 분산(Dispersion), 흡착능력(Sorption capacity), 반응도(Reactivity), 파쇄정도 등과 같은 인자들에 근거하여 설정되었는데, 대수층매질 선택시 주의해야 할 것은 다중 충전 경우 사용자에 따라서 적절한 대수층매질을 선택해야 한다는 것이다.



<표 3-5-3> DRASTIC 모델 인자의 가중치 및 등급

평가항목	단위	등급							가중치
		2미만	2-5	5-10	10-15	15-23	23-30	30이상	
1)지하수면까지의 심도(D)	m	10	9	7	5	3	2	1	5(5)
2)자연 함양량(R)	mm/년	50미만	50-100	100-180	180-250	250			4(4)
3)대수층 매질(A)		등급 범위			대표 등급				3(3)
·괴상 셰일		1~3			2				
·변성암/화성암		2~5			3				
·풍화 변성암/화성암		3~5			4				
·빙퇴석		4~6			5				
·층상셰일, 사암, 석회암호층		5~9			6				
·괴상 사암		4~9			6				
·괴상 석회암		4~9			6				
·모래, 자갈		4~9			8				
·현무암		2~10			9				
·용식 석회암		9~10			10				
4)토양 매질(S)		등급 범위							2(5)
·박층 또는 암반 노출		10							
·자갈		10							
·모래		9							
·갈탄		8							
·수축성/고형 점토		7							
·사질 Loam,		6							
·Loam		5							
·실트질 Loam		4							
·점토질 Loam		3							
·Muck		2							
·비수축성/비고형 점토		1							
5)지형 경사(T)	%	2미만	2-6	6-12	12-18	18이상			1(3)
		10	9	5	3	1			
6)비포화대매질(I)		등급 범위			대표 등급				5(4)
·압층(Confining Layer)		1			1				
·실트질 점토		2~6			3				
·셰일		2~5			3				
·석회암		2~7			6				
·사암		4~8			6				
·층상 석회암, 사암, 셰일		4~8			6				
·실트, 점토 섞인 모래, 자갈		4~8			6				
·변성암/화성암		2~8			4				
·모래, 자갈		6~9			8				
·현무암		2~10			9				
·용식 석회암		8~10			10				
7)수리전도도(C)	m/일	0.04-4.1	4.1-12.2	12.2-28.5	28.5-40.7	40.7-81.4	81.4이상		3(2)
		1	2	4	6	8	10		

주) ( )는 농약에 의한 오염취약성 고려시의 가중치

※ DRASTIC Potential =  $D_rD_w + R_rR_w + A_rA_w + S_rS_w + T_rT_w + I_rI_w + C_rC_w$

#### 4) 토양 매질(Soil media)

활발한 생물활동에 의해서 특징되는 비포화대(vadose zone)의 최상부로서 평균적으로 지하 6 feet(1.6m) 내의 풍화대이다. 지하수오염 취약성은 토양특성 즉, ①점토(clay)가 나타나는 양상(type) ②점토의 수축/팽창 포텐셜 ③토양 입자 등에 따라서 많이 다르다. 점토의 수축/팽창 포텐셜이 적으면 적을수록 그리고 입자크기가 작으면 작을수록 오염가능성은 적어진다.

일반적으로 토양중의 유기물질의 양은 특히 농약(살충제)의 감소에 중요한 요소로 작용하고 있고 유기물질의 양은 심도가 깊어질수록 감소한다.

토양매질 등급 선택시 토양매질의 두께, 입자크기, 토양의 pH, 토양의 투과율, 액성 한계, 탄성 지수, 토양중의 유기물 함량 등을 고려해야 한다.

#### 5) 지형경사 (Topography)

지형인자는 지표(land surface)의 경사나 경사변화를 나타내고 오염인자가 연구지역에서 지속적으로 머무를 것인지 아니면 지표에서 빠르게 유출될 것인지를 결정하는데 도움이 된다. 지형 경사가 심한 지역은 강수가 발생하더라도 지표수 유속을 높여주기 때문에 지하 심부로 침투되지 못하여 오염취약성이 줄어들므로 등급이 낮게 설정된다. 반대로 경사가 낮은 지역은 지표수 유동속도가 낮아서 지표 유출량에 비해 상대적으로 오염인자가 지하 대수층 내로 침투할 가능성이 높아지므로 등급이 높다.

#### 6) 비포화대 매질의 영향(Impact of the vadose zone media)

비포화대는 포화되지 않은 또는 불연속적으로 포화된 지하수면 상부층으로서 토양층과 지하수면 사이의 층을 말한다. 이러한 비포화대내에서는 생물분해, 중화(neutralization), 기계적인 여과(mechanical filtration), 화학반응, 휘발작용 및 분산(volatilization & dispersion)이 발생할 수 있다.

다중 층인 경우 실트/세일층이 존재하면 이런 층을 비포화대로 선택해야 한다는 것에 주의해야하는데 근본적인 이유는 이런 층이 지하수오염 취약성 분석에서 가장 중요한 층으로 고려되기 때문이다. 또한 지하수면이 지표면 가까이에 있어서 비포화대가 포화되는 특별한 경우에는 적절한 매질 선택과 등급을 정해야 한다는 문제점이 존재한다.

비포화대 매질 선택시 대수층이 자유면대수층인지 혹은 피압대수층인지를 결정하는 것이 중요한데 피압대수층인 경우 비포화대 매질로써 지하수 오염가능성에 가장 큰 영향을 미치는 가압층(confining layer)을 선택해야 하며 가압층은 항상 1인 등급을 갖는다. 이 인자에 대한 등급을 정할 때에도 입자크기, 분급, 균질성

여부, 세립질 매질의 양이 고려되어야 한다.

### 7) 대수층의 수리전도도(Hydraulic conductivity of the aquifer)

수리전도도는 대수층이 물을 통과시킬 수 있는 능력을 말하고 주어진 수리 경사 조건하에서 지하수가 흐르는 비율을 조절한다. 이는 입자와 입자사이, 파쇄대, 층리면 사이에서 흔히 나타나는 공극의 양에 의해서 조절된다.

수리전도도에 있어서 오염취약성이 관련될 수 있는 예로 유동시간, 유속, 농도 등을 들 수 있는데 등급설정시 대수층 매질, 충전량, 지형 등 여러 인자들의 조합에 의해서 이루어진다.

수리전도도가 높을수록 오염 인자가 대수층 내로 침투할 가능성은 크기 때문에 등급에서도 높은 값을 나타낸다.

### 나. 일반적 오염취약성도(General DRASTIC Potential Map)

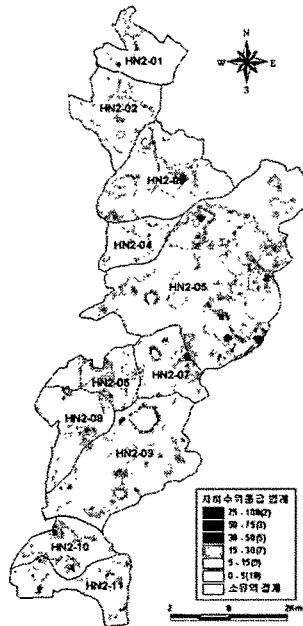
일반적인 DP는 앞에서 설명한 7가지 인자의 등급별 가중치의 합으로 구해지는데 DP지수가 정량적인 오염도를 나타내는 것은 아니나, 일단 DP가 결정되면 지하수 오염에 상대적으로 더 민감한 지역을 확인하는 것이 가능하다. 이를 도면으로 표시한 DP분포도가 오염취약성도이며 그 작성과정을 사례지구 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

#### <시범조사지구 사례-김진>

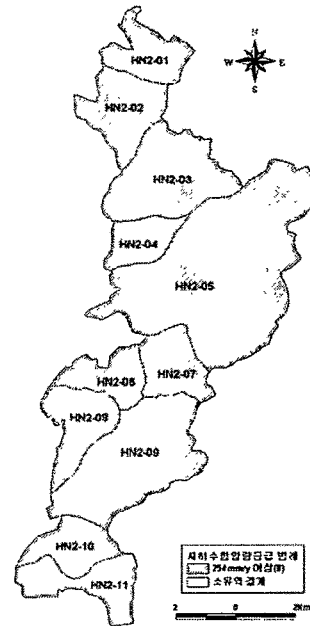
시범조사지구(김진)에서 DRASTIC의 7가지 인자에 대하여 등급별 면적비율을 조사한바 <표 3-5-4>와 같으며, 각 인자별 등급분포도는 <그림 3-5-3> ~ <그림3-5-9>와 같다. 각 등급에 등급별 가중치를 곱하고 중복하여 작도한 결과 <그림 3-5-10>과 같이 지하수 오염취약성도를 나타내었다. DP분포를 소유역별로 분석한 결과는 <표 3-5-5>와 같다.

<표 3-5-4> 시범조사지구내 인자별 등급 및 면적비율

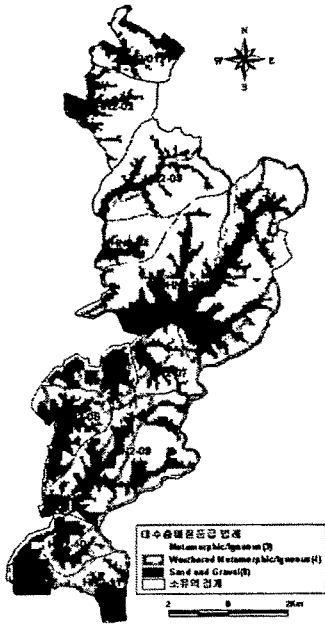
인자 구분	등급	면적비율(%)	범 위
지하수면까지의 깊이	2	0.02	75 - 100
	3	0.10	50 - 75
	5	0.86	30 - 50
	7	11.05	15 - 30
	9	53.55	5 - 15
	10	34.43	0 - 5
충진량 대수층 매질	8	100.00	
	3	22.90	Metamorphic/Igneous
	4	36.64	Weathered Metamorphic/Igneous
토양매질	8	40.46	Sand and Gravel
	2	4.52	Muck
	4	18.90	Silty Loam
	5	59.26	Loam
	6	17.03	Sandy Loam
	9	0.22	Sand
	10	0.06	Thin or Absent
지형경사(%)	1	31.75	> 18
	3	5.74	12 - 18
	5	8.37	6 - 12
	9	9.30	2 - 6
	10	44.83	0 - %
비포화대 매질	6	45.97	Metamorphic/Igneous
	8	54.03	Sand and Gravel



<그림 3-5-3> 지하수면까지의 깊이 등급도



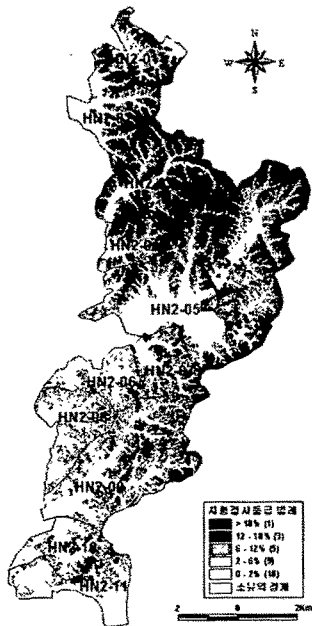
<그림 3-5-4> 지하수함양 등급도



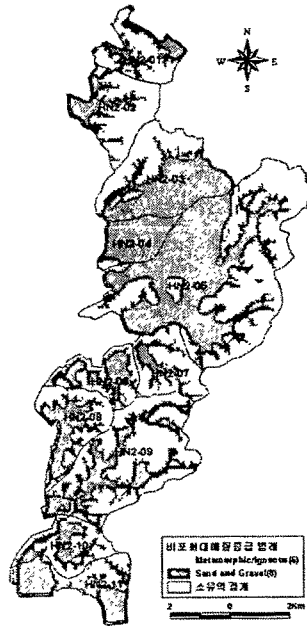
<그림 3-5-5> 대수층매질 등급도



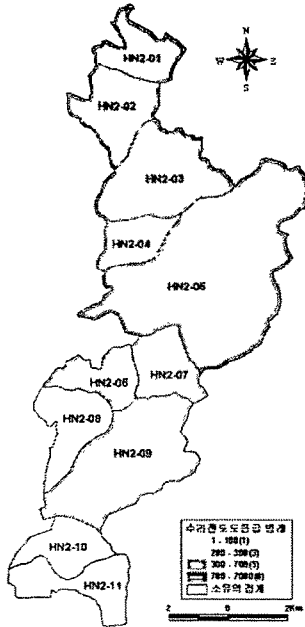
<그림 3-5-6> 토양매질 등급도



<그림 3-5-7> 지형경사 등급도



<그림 3-5-8> 비포화대매질 등급도



<그림 3-5-9> 수리전도도 등급도



<그림 3-5-10> 일반 오염취약성도

<표 3-5-5> 소유역별 DRASTIC Potential(시범조사지구 예)

유역명	DRASTIC 지수			평균
	면적비			
	<120	120-150	>150	
계	60.6	23.8	15.6	132
GJ-01	60.0	18.6	21.4	127
GJ-02	81.6	7.3	11.1	131
GJ-03	88.0	4.7	7.3	133
GJ-04	88.9	9.6	1.5	120
GJ-05	51.9	25.8	22.3	137
GJ-06	54.8	31.8	13.4	131
GJ-07	27.8	43.2	29.0	136
GJ-08	37.3	42.7	20.0	136
GJ-09	19.7	53.4	26.9	142

## 다. 변형된 오염취약성도(Modified DRASTIC)

일정한 지역에서의 지하수의 유동은 파쇄대의 발달방향에 의해 직접적으로 영향을 받을 것이며, 결과적으로 오염물의 이동 방향 역시 지역적인 조건에 의하여 조절된다. 그러므로 DRASTIC 모델은 지역적 특성을 고려하여 인자가 추가되거나 가중치와 등급의 조절등 변형·발전되어야 한다.

상기 서술한 오염취약성도는 미국의 수리지질학적 환경에 적합하도록 개발된 것이므로 이 모델을 사용하는 세계 각국들은 각기 자기 나라의 수리지질학적 특성에 맞는 DRASTIC 변형모델을 사용하고 있다(Barry and Myers, 1990).

본 조사에서는 우리나라 특성에 맞고 지하수오염 취약성에 대한 보다 구체적인 평가를 할 수 있도록 토지이용도 또는 구조선밀도 등을 부가적인 인자로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 토지이용도는 토지용도에 따른 오염원들의 영향을 간접적으로 반영하기 위함이고, 구조선밀도는 우리나라의 대수층이 대부분 암반 대수층인 점을 고려하여 지하수의 유동이 잘되는 파쇄대의 영향을 최대한 반영하기 위함이다.

### <시범조사지구 사례>

시범조사지구에서는 파쇄대 대수층내 오염물질 유입 가능성과 파쇄대는 모두 투수율이 좋다는 가정하에서 구조선밀도를 산정하였고, 이를 등간격으로 9등급화 하여 상기의 DRASTIC 모델에 적용하였다.

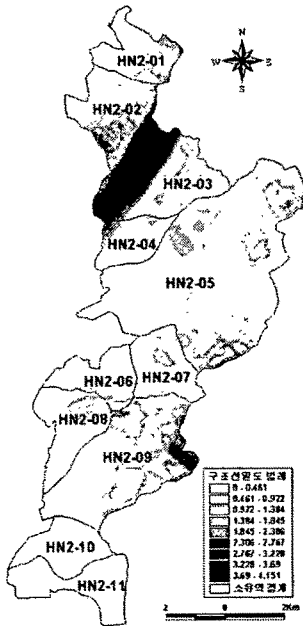
본 조사지구의 구조선밀도도는 <그림 3-5-11>과 같고, 소유역별 통계치는 <표 3-5-6>과 같다. 결과적으로 조사지구내 HN2-03인 소유역에서 가장 큰 구조선밀도가 나타나고 있는데 이 곳은 실제로 지질도폭상의 큰 단층이 지나가는 곳이다. 소유역 HN2-09의 동부지역도 마찬가지로 지질도폭상의 큰 단층의 연장선 지역으로써 밀도가 매우 크게 나타나고 있다.

시범조사지구의 일반 오염취약성도(<그림 3-5-10>)에 구조선밀도도를 중복하여 변형된 오염취약성도를 나타낸 결과는 <그림 3-5-12>와 같으며, 일반 오염취약성도와 서로 비교해보면 오염취약지역에 대해 많은 차이를 보이고 있다.

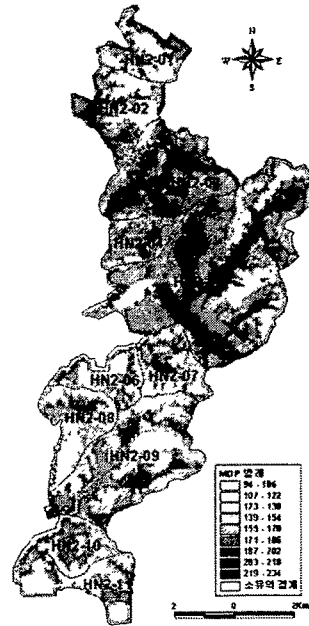
<그림 3-5-12>에서 보면 HN2-03 유역이 가장 오염취약성이 높은 지역으로 나타나고 있는데 이는 <그림 3-5-11>에서 나타난 선구조밀도에 크게 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 반면에 일반 오염취약성도에서 지하수 오염이 가장 취약한 지구로 나타난 HN2-01 유역은 상대적으로 낮은 값을 보이고 있다.

<표 3-5-6> 구조선밀도 통계치(시범조사지구 예)

소유역	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
HN2-01	0.0000	2.6437	2.6437	0.8235	0.5952	714.8196
HN2-02	0.0000	3.2586	3.2586	1.3274	0.6682	1598.1980
HN2-03	0.3085	4.1508	3.8423	2.1173	1.1389	4270.5522
HN2-04	0.0000	2.7820	2.7820	0.9048	0.5428	611.6426
HN2-05	0.0000	2.2561	2.2561	0.8331	0.4989	4641.2280
HN2-06	0.0000	1.9750	1.9750	0.4393	0.5486	346.6119
HN2-07	0.2620	1.5486	1.2866	1.0649	0.2802	962.6732
HN2-08	0.0000	1.8512	1.8512	0.6971	0.6172	725.6568
HN2-09	0.0000	2.7646	2.7646	1.0499	0.7050	2824.3633
HN2-10	0.0000	0.8531	0.8531	0.0831	0.1647	68.9982
HN2-11	0.0000	0.6365	0.6365	0.1219	0.2058	122.5440



<그림 3-5-11> 구조선밀도도 예



<그림 3-5-12> 변형 DRASTIC Map

### 3.5.3 지하수 오염예측도 작성

#### 가. 개요

상수도 보급율이 낮은 농어촌지역 (읍지역 : 71.5%, 면지역 : 22.8%, '98년 환경부)의 생활용수는 주로 간이상수도, 소형관정, 계곡수 등을 이용하고 있으며, 체계적인 관리가 미흡한 형편이다. 최근 지방자치제도의 시행과 더불어 농어촌 지역경제 개발이 적극 추진되며 각종 신규 시설물 인허가권이 자치단체로 이양



되면서, 숙박업소, 음식점, 휴양지, 유원지, 축산단지, 공장, 각종 매립장 등 수자원측면에서의 다양한 오염원들이 적절한 환경영향 검토를 받지 않은 채 설립되는 경우가 증가하고 있다. 그러나 한번 오염되면 정화처리에 따르는 비용 및 기간이 막대하게 소요되는 지하수 보전관리 측면에서는 매우 우려할 만한 상황이며, 따라서 본 조사에서는 이러한 신규 시설물 인허가 검토시 위치 선정을 지하수 오염에 저항력이 강한 지역으로 유도할 수 있도록 연구결과(농어촌지역 지하수 자원의 오염예측도 작성기법에 관한 연구, 농림부·농업기반공사, 2000)를 토대로 지하수 오염 타당성 검토 차원의 분석기법을 제시하도록 한다.

선진국에서는 오염물질 유발이 예상되는 시설물 신규 허가를 위한 위치 선정 시 기본적으로 지하수 오염취약성을 검토하고 있으며, 이에 따라 오염유발 가능시설물은 오염취약성이 낮은 곳으로 유도하며, 부득이 취약성이 높은 지역에 설치할 경우는 그만큼 정화처리시설 및 오염물질 관리기준을 엄격하게 적용하고 있다.

일반적으로 지하수 오염예측도는 현재의 오염 Plume으로 부터 미래의 확산 범위를 예측하기 위하여 오염물질 거동 분석 모델링을 실시하고 그 결과로서 미래에 예측되는 농도분포도를 예상하는 도면을 말한다. 이러한 오염예측도는 지하수 전문가들에게 필요한 내용이라 할 수 있으나 비전문가들이 이해하기 난해하므로 본 조사에서는 일반인에게 지하수 문제점을 쉽게 이해시킬 수 있고, 수질보전정책 홍보 및 지하수오염 정책수립 자료로서 활용할 수 있는 범위를 오염예측도면에 제시하려고 한다.

본 조사에서 지하수 오염예측도는 용수구역 단위 지하수 오염예방 및 환경친화적 개발정책 추진을 위한 타당성 검토자료로서 기존의 지하수 오염취약성과와 각종 잠재오염원 부하량을 중첩시킨 도면을 지하수 오염예측도라고 정의한다.

#### 나. 작성목적 및 방법

일반적인 지하수 오염취약성도(DRASTIC)와 잠재오염원 부하량을 중첩시킨 오염예측도를 비교·검토함으로써 잠재오염원의 영향을 파악하고 보다 세부적인 평가가 이루어질 수 있도록 하며, 지역경제발전에 필수적으로 따르는 개발관련 신규 시설물(잠재 오염원)을 되도록 오염확산에 저항력이 강한 지역으로 유도하고, 오염취약지구는 수질보호정책을 강화 추진함으로써 청정한 지하수 자원을 보전, 이용, 관리할 수 있는 정책 판단자료로 활용하기 위하여 용수구역 단위 오염예측도를 작성한다.

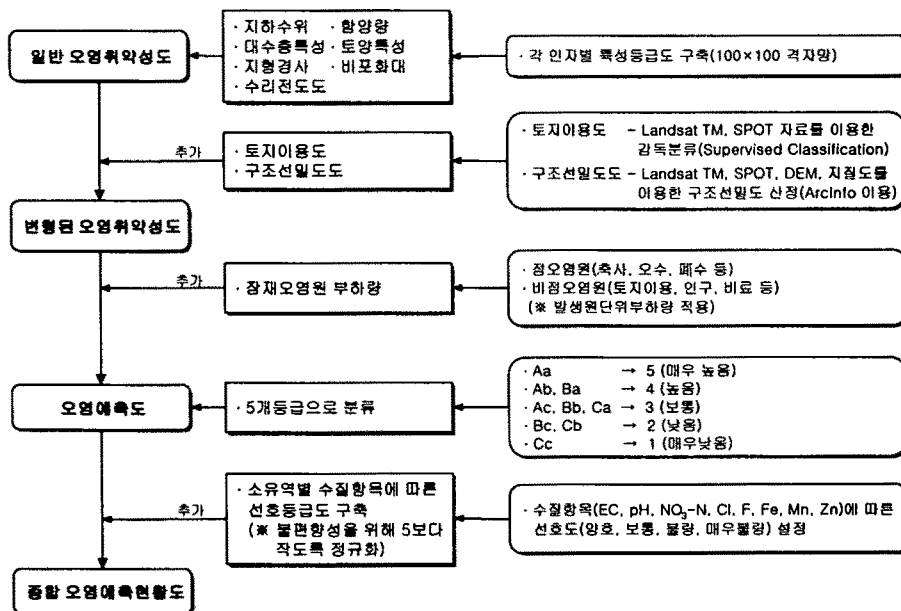
<그림 3-5-13>은 지하수 오염예측도를 작성하기 위한 모식도로서 앞에서 설명한 일반 오염취약성 및 변형 오염취약성에 오염물질 거동에 영향을 미치는 여러 인자들 중 대표성 있는 주요 오염인자들에 대해 발생원단위 부하량을 추가하여 오염예측도를 작성하는 절차를 보여준다.

<표 3-5-7>는 변형된 오염취약성도와 오염부하량(BOD, TN, TP, SS)과의 연결관계를 나타낸 표로써 Modified DRASTIC Potential의 분류 A, B, C와 오염

부하량의 분류 a, b, c 의 분류기준은 시범조사지구의 사례를 적용한 정규분포에서 등면적 기준에 의한 것이다. 이러한 분류는 상대적인 평가를 위한 것이므로 조사 지구별로 조정할 수 있을 것이다. <표 3-5-7>에서 각각의 Ab-Ba, Ac-Bb-Ca, Bc-Cb는 거의 같은 등급이지만 일정지역에서 오염부하량이 큰 비중을 차지하느냐 혹은 오염취약성이 큰 비중을 차지하느냐에 따라 구분할 수 있도록 분류하였다.

조사지구를 100x100m 격자모양으로 세분화하고 이를 <표 3-5-9>의 기준에 의거 변형된 오염취약성도와 오염부하량의 정도에 따라 9가지로 분류함으로써 수리지질학적 혹은 오염부하량에 따른 상대적 취약지구를 추정할 수 있는 최종적인 오염예측도를 작성한다.

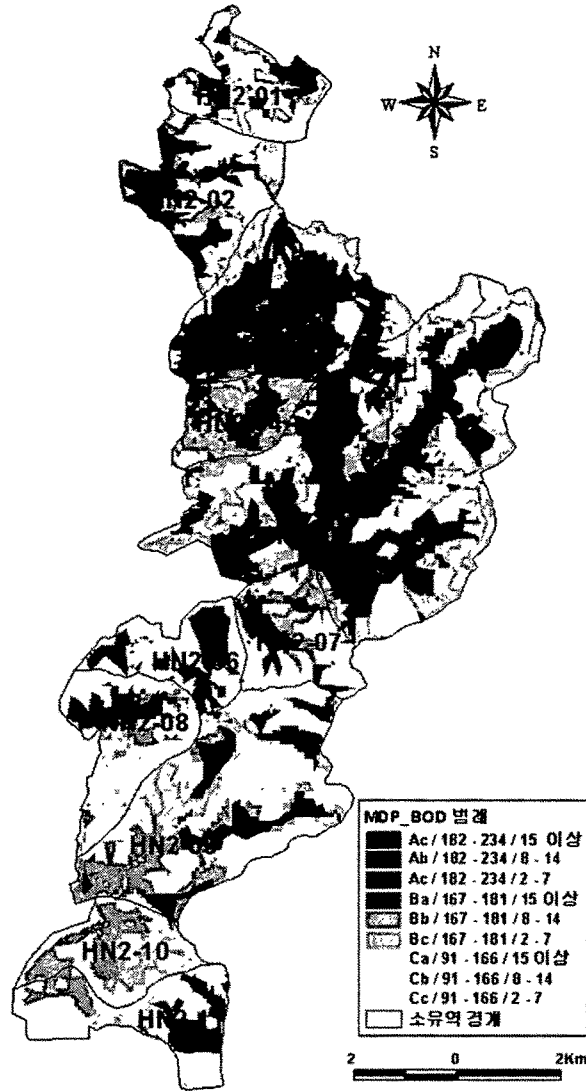
<그림 3-5-14>은 시범조사지구의 오염예측도 작성 예이다.



<그림 3-5-13> 오염예측도 작성 모식도

<표 3-5-7> 오염예측도 등급분류표

오염부하량			오염부하량(Kg/일/10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )		
			a(높음)	b(보통)	c(낮음)
			> 14	8-14	< 8
오염취약성도	A (높음)	178-234	Aa	Ab	Ac
	B (보통)	164-177	Ba	Bb	Bc
	C (낮음)	81-163	Ca	Cb	Cc



<그림 3-5-14> 시범조사지구 오염예측도 작성 예

#### 다. 지하수 오염예측도의 활용성

신규 오염 유발시설 인·허가시 지하수 보전 타당성 검토시 활용할 수 있다.

##### 1) 오염에 강한 지역

- 각종 오염유발 시설물의 신규 부지로 선정

예) 농공단지, 쓰레기매립장, 축산단지, 공동묘지, 골프장 등 각종 오염

## 유발시설물 신규 위치로 유도

### 2) 오염취약지구

- 신규 오염시설물 설치 제한
- 소규모 오폐수 정화시설 지원사업 우선 추진
- 지하수 오염조사 및 상, 하수도 설치 우선 추진
- 지하수 수질오염 보전대책을 위한 감시정(관측정) 위치선정  
: 잠재오염원 밀집지역 하류부, 오염취약성 경계부
- 오수관, 폐수관 매립시 재질의 선정 기준 자료  
: 취약성 낮은 지역과 높은 지역의 보조 처리대책 경제적으로 설계, 잠재오염원 분포지역 오염성분별 지하 매립시설물 재질 설계자료

### 3) 오염에 취약한 지구로서 이미 상당부분 오염이 진행된 지역

- 오염원을 추적하여 조사하고 오염확산 방지 조치 시행
- 오염지역 정화처리 대책 우선 시행 지구로 관리

### 4) 현재 오염이 없으나 오염에 취약한 지역은 지하수 수질보전구역으로 설정 관리

- 상수원 용도의 지하수 개발 적지
- 지하수 보전구역으로 지정관리  
예) 오염취약지역내 토지이용에 대하여는 지하수자원에 대한 잠재오염원으로 규정되는 어떠한 행위와 잠재오염시설의 설치를 제한.
- 지하수오염 취약 지구 내 행위제한(안)  
: 독성폐기물 처분, 취급시설 설치 금지  
: 석유 및 유류, 화학제품 저장탱크 설치 금지  
: 고농도 오염물질 배출업소(공단, 축산단지)설치 금지  
: 오염물질 유출 사고시 긴급 재해대책 가동

### 5) 3~5년마다 주기적으로 잠재오염원 및 지하수 이용상태 변화를 수정하고 기존도면과의 비교로 지하수 오염현황 변화를 파악하여 향후 추세 파악 및 오염대책 수립

## 3.6 지하수 모델링 및 예측분석

### 3.6.1 지하수 모델링 프로그램

#### 가. 모델링 개요

지하수는 강수의 지하침출, 증발산, 관정으로부터의 양수, 기저유출 등의 유출입 형태로 년중 지속적으로 이동하고 있으며 이는 외형적으로 샘물이나 수위변화로 나타난다. 따라서 적정채수량이나 포획구간도 일정량으로 고정되어 있지 않고 제반 수문상황과 지하수위 변동에 따라 변화한다.

따라서 일정한 지역에 대하여 적정한 지하수부존량을 산정한다는 것은 주변 시설물이나 지질환경, 수질오염 등 피해를 유발하지 않는 범위에서 채수 가능한 최대량, 즉 강우로부터 지하로 함양되는 함양량을 산출하는 것과 같다고 할 수 있다. 하지만 이 적정채수량도 지하수함양량이 고정되어 있지 않고 년중 계속적으로 변화하고 있어 시간에 따라 변화하는 수문상황과 함께 적정채수량도 함께 변화한다고 볼 수 있다. 다시 말해 월별 강수량 변화에 따라 지하수 부존량은 변하고 있고 이에 따라서 안전한 채수가능량도 고정된 양이 아니고 강수량에 따라 년중 변화하고 있는 것이다. 이렇게 시간의 경과에 따라 변화하는 적정채수량을 실시간으로 분석하여 관정의 채수량을 조절하려면 시간과 비용면에서 비효율적이므로 일반적으로 적정채수량을 가장 불리한 시점에서 주변에 피해를 주지 않는 범위의 최대 취수 가능량으로 취하게 되고, 그렇게 함으로써 지하수의 보전관리도 쉬워진다. 즉 한발시 갈수기 끝 시점에서, 주변 환경에 피해를 주지 않고 오염유발 가능성 없이 취수할 수 있는 채수량을 적정채수량으로 설정하고 관정을 관리하면 비록 지하수 이용량은 적더라도 평시에도 안전한 이용량이 될 것이다.

이러한 관점에서 적정한 지하수부존량은 지하수모델링 기법을 통하여 한발시 갈수기 때의 최대 이용가능량으로서 산출할 수 있다.

오염물질과 관련된 포획구간은 오염물질이 취수정으로 유입될 수 있는 지표 범위 구역을 말한다.

영향범위는 자연수위가 양수의 영향으로 수위강하를 일으키는 지역을 말하며, 포획구간보다는 상당히 넓은 범위가 해당된다. 영향범위와 포획구간도 취수량과 강수량, 증발산량, 기저유출량 등 함양에 영향을 미치는 대수층의 지하수 유출입량에 따라 그 범위가 달라진다.

적정채수량과 포획구간은 모델을 구축한 후 제반 수리지질 자료와 분석 결과를 지하수모델링 프로그램에 입력하여 1년간 수위자료와 비교·검증과정을 거친 후 5년간의 Simulation을 통해 예측하여 산출할 수 있다.

지하수모델링의 정의에 대하여는 많은 이론이 있지만 국제모델링센터

(IGWMC)에서 정의한 바에 의하면 "Non-Unique, simplified, mathematical description of an existing ground-water system, coded in a programming language" 즉 대수층 구조와 지하수 유동현상을 가능한 여러 가지 수학적 수식으로 단순화시켜 모델로 묘사하고 이를 컴퓨터 프로그래밍 한 것으로서 대수층의 경계조건, 수리상수, 지하수 유출입 조건 등을 코드로 입력하여 대수층의 반응이 분석될 수 있도록 한 것이다.

최근 컴퓨터분야 기술의 발전과 더불어, 예를 들면 Workstation 용 OS인 Unix 체계의 발전과 Fortran 90같은 고급언어의 개발에 힘입어 지하수모델링 기법의 기능과 역할이 크게 향상되고 있다. 또한 그래픽 기능 같은 후처리 기법도 급속하게 발전하여 지하수 모델링 분석결과에 신뢰도를 증가시켰다.

현재 지하수모델링 기법을 적용하는 범위는

- 대수층내 지하수 유동체계에서 수리역학적 구조와 조절기능을 수학적으로 분석하고 그 결과를 지하수관련 정책수립 기초자료로 활용하여 정책방향, 정책의 타당성 여부를 검토할 수 있게 하며,
- 지하수의 유동분석과 오염물질의 이동에 관한 과학적인 분석으로 미래에 예측되는 수문학적 상황에 대한 대처방안 등을 마련할 수 있게 하고 있다.

이러한 예측기능은 지하수 보전정책 수립에 적용되어 우리가 살고 있는 자연환경의 보호와 건강한 생태계를 유지시킬 수 있는 기술로 활용하게 된다. 과거로부터 또는 최근에 오염된 대수층의 오염 진행 상태를 분석하고, 이를 정화처리하기 위한 대책 수립시 어떤 위치에서 어떠한 기법으로 처리하는 것이 효과적이고 경제적인지를 컴퓨터의 모델링상에서 가상 적용하여 봄으로써 정화처리 최적 기법을 선택할 수 있다.

#### 나. 모델링 프로그램 선정

국제지하수모델링센터(IGWMC)에 등록된 모델링 프로그램은 여러 연구기관의 기술자에 의해 개발된 다양한 프로그램들이 포함되어 있으며, 각기 현장의 특수 여건에 따라 개발되었기 때문에 분석 기능상 장단점을 가지고 있다. '93년까지 세계지하수모델링학회에 등록된 지하수모델링 프로그램은 492종이 있으며, '93년 미국 환경부산하 EPA에서 이들을 세부 종목별, 특성별로 구분하고 활용상태와 신뢰도 등에 관한 자료를 정리하여 발표하였다. 이중 프로그램 이론의 과학적 타당성과 현장 적용성이 인정되어 일반 지하수 전문 연구기관에서 가장 활용도가 높은 프로그램은 MODFLOW로서 본 지하수관리조사 모델링에서도 이를 이용하기로 하였다.

MODFLOW를 이용하여 지하수부존량 및 적정채수량을 확인하고, MODPATH로 포획구간 및 지하수의 유로분석을 통하여 오염물질의 경로를 확인하며, 그 외 흡착, 분산 등 오염물질 거동특성은 MT3D로 분석 할 수 있는데 이는 동 3개 프로그램이 서로 호환이 되도록 입력 file구조를 같은 구조로 설계하였기 때문이다. 최근에는 이들 3개 프로그램의 기능을 일괄하여 한 개의 프로그램에서 운용할 수 있도록 상용적인 프로그램으로 Visual MODFLOW가 개발되었는데 부존량 분석에서 오염물질 거동까지 일괄처리가 가능하므로 시간 절약과 신뢰도가 향상되어 본 조사에서도 동 프로그램을 선정하였다.

MODFLOW 프로그램은 Darcy의 법칙에 근거한 층적층이나 퇴적암류 대수층을 기본적인 대상으로 개발되었으므로 자연상태 대수층의 여러 가지 복잡한 현상에 대하여 적용 한계성을 갖고 있었으나, 프로그램의 Source file을 공개하여 이를 해결하였다. 공개된 프로그램은 전세계 사용자들이 계속 연구하여 특수한 자연현상을 해결하기 위한 SUB-PROGRAM들을 다수 개발할 수 있었으며, 최근에는 Horizontal Flow Barrier, BCF3, Stream, Compaction 등이 개발되어 분리구조가 주 대수층 역할을 하는 암반 대수층의 지하수수문도 상당한 신뢰도를 갖고 분석 가능케 되었다.

또한 모델 구축 시 선구조도, 지형도, 지질도, 토양도 등을 이용하여 제반 대수층 상수를 입력할 수 있는 GIS 프로그램들과 연계 프로그램들이 다수 개발, 상업화됨으로써 지형도 상에서 정확한 위치를 확인하며 대수층 경계조건을 입력할 수 있게 되었다. Visual MODFLOW는 PC용 GIS와 MODFLOW 프로그램을 연계여 지리좌표에 대한 자료 입력이 가능므로 정밀도 향상과 시간절약 효과를 거둘 수 있다.

### 3.6.2 지하수유동모델링(MODFLOW)

지하수 모델링은 대수층 조건과 흐름 등의 자연상태를 수식으로 표현하고 컴퓨터에 의해 계산하는 것으로서 입력자료의 정확도에 따라 그 분석결과의 신뢰성이 좌우되므로 현장조사에서 얻어지는 모든 자료의 정확한 분석과 입력이 선행되어야 하고 이에 대한 검증이 필요하다.

지하수 수문모델 구축을 위해서는 먼저 실제 대수층 구조를 이해하고 유역경계와 지하수 수문상의 대규모 경계조건을 알아야 한다. 이르기 위하여는 현장 조사를 실시하고 이를 그대로 도면(또는 수치지도)에 옮기는 실내작업을 시행한다.

기초적인 모델구조가 형성되면 현장 양수시험을 통하여 얻은 대수층 수리계수를 종합하여 수학적 모델로서 현장의 대수층을 그대로와 기타 모든 조사자료들을 검토하고 묘사할 수 있도록 현장자료를 입력한다.

현장자료 중 대수층 시험자료는 양수정, 관측정 같은 일부 작은 면적을 대표하는 값으로서 넓은 모델지역 전체를 대변한다고 할 수 없다. 따라서 평형상태 Simulation에서 투수량 계수를 미지수로 하고 기타 자료는 조사된 값을 입력한 후 출력되는 수위와 관측수위가 맞을 때까지 투수량계수를 지역적으로 다른 조사자료(선구조, 물리탐사, 단층구조, 주향경사등)를 참고하여 조금씩 바꾸어 가고 최종적으로 두 수위 값이 일치되는 상태의 투수량계수를 이후 모델 분석시 이용하게 된다.

이 과정을 검증 과정이라 하며 모델 구축에서 가장 중요한 부분이다. 이렇게 하여 평형상태에서 만족할 만한 모델을 구축하였다 하더라도 이 경우는 조사당일 한 시점에서 대수층의 유입량과 유출량이 일정하다는 평형상태를 분석한 것이므로 다시 비평형상태 분석을 하여야 한다.

비평형상태에서는 1년간의 장기 수위관측자료를 이용하여 강우량의 변화에 따른 장기간의 수위변화를 역시 관측수위와 모델의 계산값이 일치되도록 재검증을 하여야 한다. 이렇게 하여 2차 검증이 끝나면 완전한 모델이 구축되었다고 할 수 있으며, 이 모델을 이용하여 조건 별 미래를 예측할 수 있다.

#### 가. 평형상태분석 (Steady State Simulation)

Steady란 시간이 지나도 속도가 변하지 않는다는 의미로 여기서는 한번의 Time Step 기간 동안 유입량과 유출량이 동일할 때 형성되는 수위분포를 계산케 하여 입력된 투수계수의 분포가 수위와 일치되는지를 검토하게 된다. 따라서 저류계수의 기능을 고려치 않으며 모델구축의 1차적인 신뢰도 검증을 할 수 있다. 실측자료가 아닌 추정자료에 의한 오류가 제거되도록 입력된 투수량계수와 함양량을 조절하면서 모델 Simulation을 반복하여 모델에서 출력되는 자연수위가 실측치와 맞을 때까지 투수량계수를 조절(Trial and error)한다.

평형상태분석은 모델 구축과정의 기본단계이면서 현장에서 직접 얻어진 조사 지점의 실측자료와 주변의 추정자료에 대한 1차적인 모델 검증단계로서 현재의 수위 분포와 모델의 계산수위가 일치할 때까지 투수량계수를 조절하는 과정이다. 이 과정은 대수층의 저류기능은 고려치 않고 대수층으로 들어오는 유입량과 대수층으로부터 유출되는 양이 평형을 이루는 시점에서 지하수위분포 상태를 수학적 모델로 구축하는 과정이다.

#### 나. 비평형상태 분석 (Transient Simulation)

비평형상태란 시간에 지남에 따라 변하는 상태를 말하며 Stress(양수, 함양 등 변화 요인)가 일정하다면 일정시간이 지나면 지하수위는 다시 평형상태에 도달하게 된다.



모델링에서는 Steady State 상태에서 형성되는 수위분포를 보고 투수량계수와 함양량 조절에 의해 1차 모델 확인작업을 하고 비평형 분석에 들어간다. 비평형 분석에서는 대수층 저류계수의 기능을 포함시키고 장기간의 Stress (지하수 채수량과 강수에 의한 함양량, 증발산량 등의 변화량)가 주어질 때의 시간변화에 따른 대수층 변화와 수위변화를 분석하는데 이를 Transient 분석이라 한다. Steady State 상태에서는 통상 하루치의 수위자료와 모델 출력자료를 일치시켰지만 여기서는 1년간의 지하수위 장기관측자료와 모델에서 출력되는 수위를 비교하여 일치될 때까지 입력된 자료들을 수정하고 반복하면서 모델을 완성하는 과정으로 대수층의 모든 조건과 영향인자들을 고려해야만 하는 작업이다.

조사지역에서의 비평형상태 분석은 평형상태분석이 완료된 1차 모델에 월별 강수량, 양수량, 증발산량을 1, 3, 5년간 각각에 대해 Stress를 주게 되며 산출되는 수위변화를 장기 관측자료의 수위와 일치시켜 구축된 모델을 최종 검증하게 된다.

<표 3-6-1> 지하수모델링의 절차



## 다. 장기 수위관측

장기 수위관측의 목적은 강수량 변화 또는 주변 관정에서의 양수에 의한 대수층 내 수위변화를 측정하기 위함이나 모델링에서는 구축된 모델이 현장 대수층 구조와 특성을 적절하게 모사하고 있는지를 검증할 수 있는 중요한 자료이다. 즉 지하수모델은 비평형상태 구축시 장기 수위관측 실측자료와 모델에서 계산되는 수위가 서로 일치하여야 한다.

모델에서의 수위 일치는 어떤 시점에서 절대수위가 서로 일치함을 뜻하기보다는 년중의 수위변화율을 뜻한다고 할 수 있다. 모델분석은 어떤 지점에서 어떤 시점의 정확한 수위를 예측한다기 보다는 강수량 변화에 따라 지역 개념으로 수위가 상승하고 하강하는 변화추세를 분석하는 것이기 때문이다.

## 라. 예측모델 (Prediction)

Transient simulation이 완료되면 모델이 실제 대수층을 대변할 수 있도록 구축되었음을 뜻하고 이 모델을 이용하여 미래의 상황을 예측하게 되는데 양수량을 조건별로 주고 장기 가동시에도 연간 지하수 유출입 Balance가 이루어지고, 또한 양수에 의한 수위강하 정도도 주변환경에 영향을 미치지 않는 범위를 선정하여 적정한 지하수부존량을 산출한다. 적정 지하수부존량은 일별, 월별, 년별로 산출하며, 한발시의 수위강하량과 이 경우의 양수량 감축조절 등을 분석하고 월별 예상 수위강하량과 3년후까지의 예상수위 강하량을 예측한다.

적정 지하수부존량 분석은 지하수유동모델링 프로그램을 이용하는데, 이 모델링으로 장기 수위강하 예측에 의한 지하수부존량 변화상을 추정할 수 있다. 모델이 완료되면 이를 활용하여 향후 조건별 대수층 변화를 예상하며, Case별로 검토하여 지하기저유출량과 적정 채수량을 산출하고 예상 지하수위 강하량도 분석하게 된다.

예측모델(Prediction simulation)이란

- Transient simulation이 완료되면 모델이 실제 대수층을 대변할 수 있도록 구축되었음을 뜻하고 이 모델을 이용하여 미래의 상황을 예측하게 되는데 양수량을 조건별로 주고 장기 가동시에도 연간 지하수 유출입 Balance가 이루어지게 한다. 또한 양수에 의한 수위강하 정도가 주변환경에 영향을 미치지 않는 범위로 설정하여 그때의 함양량을 적정 지하수부존량으로 산정한다.
- 적정 지하수부존량은 일별, 월별, 년별로 산출하며, 한발시의 수위강하량과 이 경우의 양수량 감축 조절 등을 분석하고 월별 예상 수위강하량과 1, 3, 5년 후까지의 예상 수위강하량을 예측한다.
- 적정 지하수부존량 분석은 지하수유동 모델링 프로그램을 이용하는데, 장기 수위강하예측에 의한 지하수환경의 변화상도 분석가능하다.
- 모델이 완료되면 이를 활용하여 향후 조건별 대수층 변화를 예상하며, Case

별로 검토하여 지하 기저유출량과 적정 지하수부존량을 산출한다. 그 외 예상 지하수위 강하량도를 작성할 수 있으며, 최적대수층 관리방안을 검토할 수 있다.

### 3.6.3 지하수수질모델링(MODPATH)

MODPATH 프로그램은 Particle Tracking이라고 하며 질량 보존의 법칙(Mass Balnce)에 의한 입자의 유동경로를 분석하는 것으로서 평형(Steady state), 비평형(Transient)상태에서의 분석이 가능하다. U.S.G.S.에서는 Modflow 프로그램을 지하수 유동분석 기본 프로그램으로 활용하고 있으며, 이 결과로부터 지하수 오염 유동경로를 분석코자 MODPATH를 개발하였다.

평형상태 하에서 Modpath 지배식은

$$\frac{\partial}{\partial x}(n V_x) + \frac{\partial}{\partial y}(n V_y) + \frac{\partial}{\partial z}(n V_z) = W$$

여기서  $V_x, V_y, V_z$  : 평균 선형 지하수유속 Vector

$n$  : 공극율

$W$  : 체적 내에서의 유량 변화량

비평형상태 분석은 별도의 지배식으로 계산하는 것이 아니고 시간 최소 단위인 1 Step 내에서는 평형을 이루므로 평형상태 지배식으로 분석하고 이 평형상태 분석을 연속적으로 다음 시간 단위로 마치 계단식(Discretization 형식)으로 단계별 분석을 하는 것으로서 Vector 계산 시 메모리를 크게 차지하여 PC 컴퓨터에서는 분석이 곤란하다.

MODFLOW에 의하여 지하수 부존량 검토가 완료된 후 동일한 대수층 구조와 특성에서 지하수의 유동에 의한 오염원 유로분석을 실시한다. Visual MODFLOW 프로그램에서 MODPATH 프로그램을 활용하면 오염물질의 특성 중 단순히 지하수의 유동(Advection)에 따라 이동하는 경로는 물론 장기간의 포획구간에 대하여도 분석이 가능하므로 오염 처리 및 포획구간을 산출하는 데는 효과적인 프로그램이다.

#### 1) 기본도 입력 및 모델 범위 설정

MODPATH는 기본 지하수 특성자료, 모델구조, 경계조건 등은 모두 MODFLOW 모델에서 기 구축된 자료를 그대로 사용하고 Modflow 가동 이후 결과물인 수위자료와 budget 분석량, 추가인자로서 공극율을 입력하여 분석한다.

## 2) Forward Tracking Simulation

오염원의 위치 또는 잠재오염원의 위치로부터 향후 일정기간(1년, 3년 혹은 5년) 이후 현재의 오염물질이 지하수의 유동현상에 의해 퍼져나가는 유로와 범위를 추정해 준다. 즉, 지하수 유속으로 일정기간 이후 어느 정도 범위까지 오염되는가를 예측할 수 있다. Modflow 비평형상태(Transient)에서의 분석 결과로 Modpath를 분석함이 원칙이나 격자수가 많을 경우 PC에서는 용량부족으로 어렵고 W/S 에서나 가능하다.

다만 PC에서 개괄적 개념을 얻고자 하는 경우, Modflow 평형상태(Steady State) 분석결과만으로 MODPATH를 분석하는 경우가 있으나 이 경우는 주의가 필요하다. 우리 나라의 기상처럼 건, 우기 구분이 뚜렷하며 한발과 홍수가 잦은 지역에서 1년 중 어느 하루, 즉 봄철이나 여름철 하루의 평형분석으로 얻은 지하수의 유속으로 365일이 똑같은 유속이라 가정하고 1년 혹은 수년 이후를 예측한다는 것은 매우 위험하다고 할 수 있다. 이런 경우의 전제조건, 즉 갈수기로서 채수량이 최악의 조건에서 평형상태 분석으로 얻은 유속으로 장기예측을 하는 것이 바람직하다.

## 3) Backward Tracking Simulation

오염물질이 대수층에 분포되어 있어 이를 처리하기 위한 방안을 검토하고 일반적 처리기법 중 하나인 주입 및 양수기법에 대한 검토를 할 경우, 필요한 취수정 개수 및 위치, 양수량, 양수기간 분석을 Backward Tracking 분석으로 할 수 있고 기타 지하수위 강하가 심한 지역에 대한 포획구간 분석도 가능하다.

### 3.6.4 농촌지하수관리시스템을 이용한 지하수 모델링

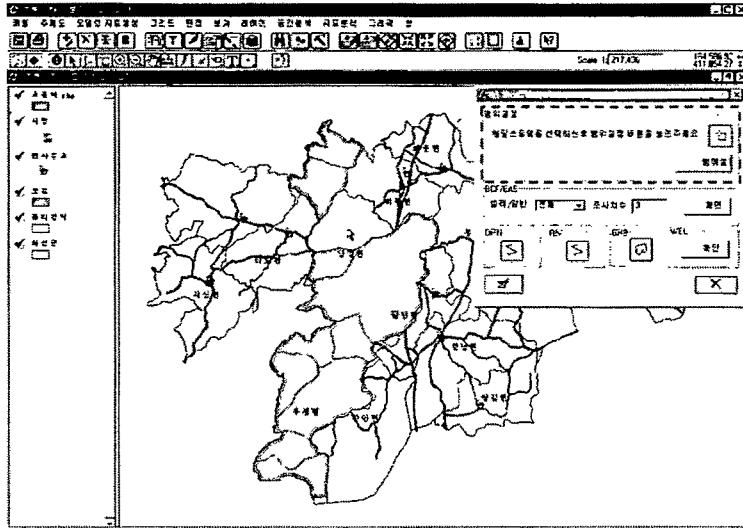
농촌지하수관리시스템에 포함된 모델링자료생성프로그램은 지하수 모델링에서 일반적으로 사용되고 있는 Visual MODFLOW의 Import 파일의 자료형태를 제공하도록 구축되었다.

농촌지하수관리시스템에는 수치지형도(1:5,000)에서 추출한 고도, 탐사 및 시추 주상도에서 얻어진 지층의 분포, 유역경계를 이용한 경계조건, 분포지질 및 대수성시험에 의한 수리전도도 및 저류계수 분포도, 수위등고선도에서 추출한 셀 수두, 관정자료에서 위치도 및 관정내역, 지하수 이용량, 지역자료의 강우량, 증발량, 침투량 등 모사에 필요한 기본입력자료를 D/B화 하고 그 자료를 활용하여 손쉽게 모사지역의 모델링 자료를 자동 생성할 수 있다.

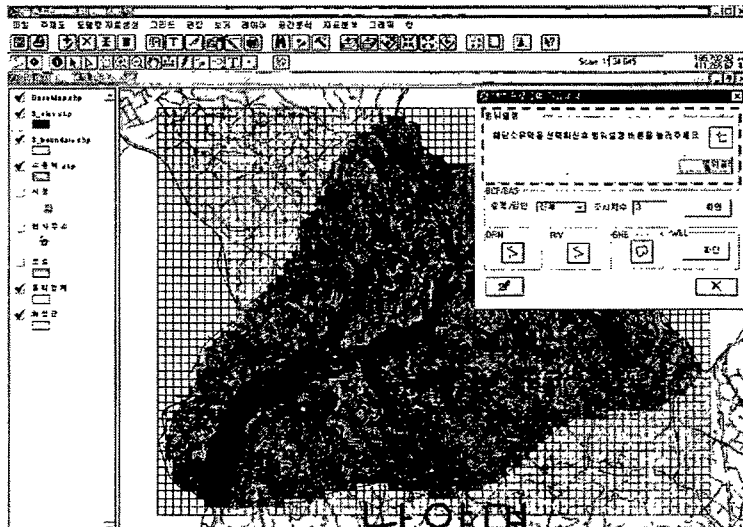
지하수모델링 연계프로그램을 사용하여 지하수모델링을 실시할 작업과정은 <그림 3-6-1>과 같이 소유역을 선정하고 범위설정 버튼을 클릭하면 <그림 3-6-2> 해당 모사지역에 격자망이 자동생성된다. <그림 3-6-2>와 같이 격자망

의 간격은 100m이며, 모사구역 안쪽은 유동셀(Active cells), 모사구역 밖은 무흐름셀(Inactive cells)로 정의된다.

BCF는 조사입력된 자료를 이용, 보간하여 해당격자의 셀값을 추출하여 별도의 작업없이 자동생성된다.

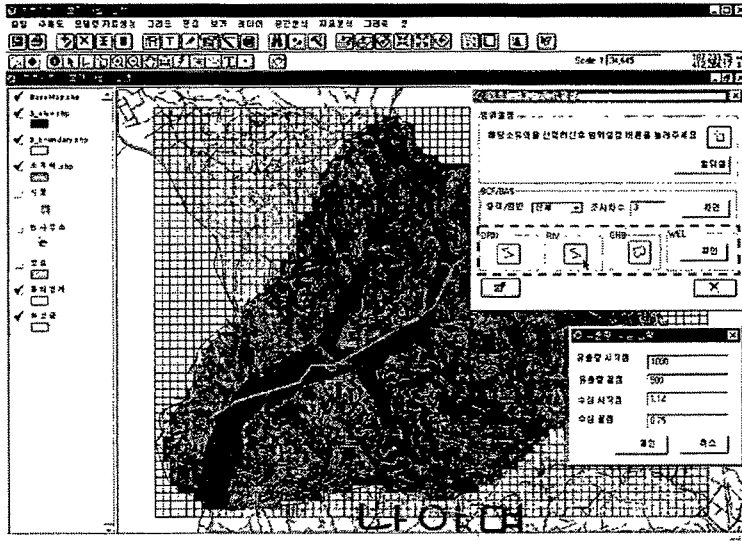


<그림 3-6-1> 모사구역의 설정



<그림 3-6-2> 모사구역 격자망 생성

<그림 3-6-3>과 같이 WEL은 관정주제도에서 관정의 위치 및 양수량, 시추 내역등을 추출하여 생성한다. RIV, DRN, GHB 등의 경계조건 설정은 해당셀을 선, 폐곡선등을 작도하여 해당지역의 표고, 수리상수를 입력받아 입력자료 파일을 생성한다.



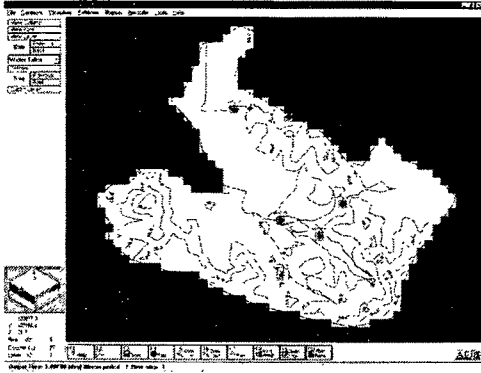
<그림 3-6-3> 모사구역 경계조건의 설정

<그림 3-6-4>는 이전과정에서 추출된 지하수모델링의 입력자료(Grid 자료)들을 MODFLOW 프로그램에 Import가 가능하도록 자료형태를 변경하여 Package 파일을 생성하는 과정이다. 그림에서와 같이 Ascii Grid자료를 이용하여 Package 파일을 만들며 BAS, BCF, WEL, RIV, DRN, GHB, RCH Package 파일등이 생성된다. 첫 번째 패키지선택 단계에서 유역번호를 선택하면 생성되어있는 입력자료가 나타나며 BAS, BCF에 사용자 입력자료를 추가 입력하여 Package 자료를 생성하도록 되어있다. 이 과정을 거치면 <그림 3-6-5>에서와 같이 Visual MODFLOW 프로그램에 Import가 가능하다.

각 입력자료를 이용하여 시범조사지구의 소유역에 시행한 지하수모델링 결과는 <그림 3-6-6>와 같으며, 정류 또는 부정류 상태의 수위등고선도와 물수지분석 결과를 보여준다.

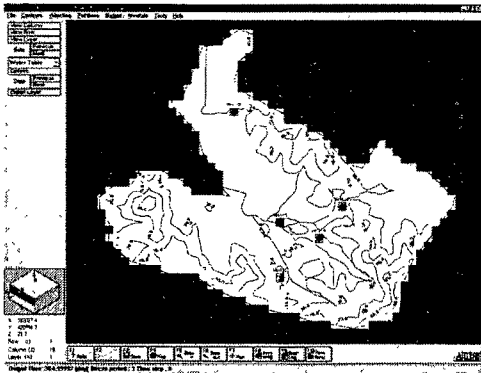


□ HN2-01 소유역 정류상태(Steady State)의 수위등고선 및 물수지



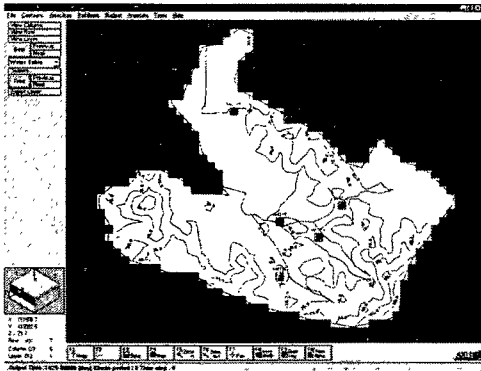
Steady State	IN	OUT
CONSTANT HEAD	0.0000	0.0000
WELLS	0.0000	0.0000
RIVER LEAKAGE	0.0000	7281.6382
RECHARGE	7282.3618	0.0000
TOTAL	7282.3618	7281.6382

□ HN2-01 소유역 부정류상태(Transient)의 수위등고선 및 물수지(1년후)



Transient 1년	IN	OUT
STORAGE	18874.8184	23127.5176
CONSTANT HEAD	0.0000	0.0000
WELLS	0.0000	680.8234
RIVER LEAKAGE	0.0000	1851.7042
RECHARGE	7282.3618	0.0000
TOTAL	26157.1797	25660.0469

□ HN2-01 소유역 부정류상태(Transient)의 수위등고선 및 물수지(5년후)



Transient 5년	IN	OUT
STORAGE	17225.5293	22292.3887
CONSTANT HEAD	0.0000	0.0000
WELLS	0.0000	680.8234
RIVER LEAKAGE	0.0000	1480.2904
RECHARGE	7282.3618	0.0000
TOTAL	24507.8906	24453.5039

<그림 3-6-6> 시범조사지구(화남2-01 소유역) 모델링 결과



## 3.7 지하수관리 방향

### 3.7.1 일반적인 지하수 관리 수단

지하수자원의 보전·관리 계획은 동원되는 관리대책의 수단에 따라 규제적인 관리대책과 비규제적인 관리대책 등으로 구분되어 진다.

지하수 관리계획은 지하수질오염 또는 수위강하 등에 따른 지하수 장애의 정도에 따라 규제방법이 필요하나 무분별한 규제수단의 동원은 지역이기주의 및 정부시책에 대한 반항을 일으킬 가능성이 있다. 특히 지하수의 공수 개념이 도입되지 않은 상태에서 강력한 규제적인 제제만 이루어질 경우 국민들이 이해하고 동참하는 지하수 관리계획이란 기대하기 힘들 것이다.

선진국의 경우 지하수 수질보호 및 관리대책은 비규제적인 수단만으로 관리하는 경우는 드물고 규제 및 비규제 수단을 복합하여 지하수를 관리하고 있다.

농촌지하수관리조사사업은 공간적, 시간적 지하수 현황을 바로 이해한다는 전제하에 지하수 조사 및 오염원 조사를 실시하고 시스템 구축 및 모니터링을 통하여 지하수 자원에 대한 인식을 새롭게 하고 농촌지하수자원 보호에 이용자가 자발적으로 계획에 동참할 수 있도록 추진함이 바람직하다 하겠다. 또한 국민을 계도할 수 있는 공무원들의 홍보 및 교육과 현재 담당지역의 지하수 현황을 바로 아는 것이 중요하다고 하겠다.

비규제적인 수단 중 지하수 자원 및 평가 오염원에 대한 조사 등은 장애발생 정도가 시급하더라도 규제적인 수단을 동원하기 전에 필히 시행되어야 하는 단계이다.

지하수 관리계획의 수립은 지하수 및 오염원 조사와 모니터링 후에 이루어지며, 통상적으로 비규제적인 수단과 규제적인 수단을 혼용하여 관리계획을 수립하게 되며 세부적인 내용은 다음과 같다.

#### 가. 지하수 관리를 위한 비규제적 수단

##### 1) 공공참여 및 계몽활동

비규제적 수단 중 대표적인 것으로 대국민 홍보와 지하수자원에 대한 경각심을 불러일으킬 수 있는 프로그램계획, 집회 및 방송매체를 통한 계몽활동 등이 이에 포함된다. 또한 자라나는 세대에 대한 교육활동을 통하여 지하수 자원관리의 필요성과 중요성을 인식시켜 영구적인 지하수 자원을 이용할 수 있는 기틀을 마련한다.

##### 2) 지하수환경 기초조사

###### ① 국지적 관리계획 수립의 기초자료 조사

□ 취수정 보호계획(Well Head Protection)

미국 환경청(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 음용수 관정 주변에 오염원으로부터 오염물질이 유입될 위험이 있는 지역을 검토하기 위하여 5가지 기준에 의하여 보호지역(WHPA)을 설정하는 기준을 제정하였다.

설정기준은 거리 기준, 수위강하량 기준, 오염물질 이동시간에 따른 기준, 흐름경계에 따른 기준, 동화능력에 따른 기준 등 5가지로 구분된다. WHPA 프로그램은 오염물질 이동시간 기준(Travel Of Time, TOT)과 흐름경계(Zone Of Contribution, ZOC)에 대하여 적용할 수 있도록 개발되었다. WHPA 프로그램은 양수량, 투수량계수, 유효공극율, 유동방향, 시간 등의 자료가 필요하며 특히 농촌지하수관리시스템 내에서 양수시험 결과를 입력하여 공간적인 도형작업을 자동수행할 수 있으며 결과자료는 시스템내에 저장하고 열람할 수 있도록하여 최적관리기법 중 국지적 보호관리를 수행할 수 있도록 하였다.

취수정 보호지역(Well Head Protection Area)은 공공급수용으로 공급하는 1개 양수정이나 우물장을 둘러싸고 있는 지표와 그 하부면적으로써 이를 통해 오염물질이 취수지점으로 이동하거나 도달되는 지표면적 및 지하면적으로 규정되어 있다.

□ 영향반경(Radius Of Influence)을 고려한 국지적 관리

우물의 양수시 우물 주위에 지하수위 강하로 인하여 영향추(Cone Of Depression)가 생기며 영향반경은 우물 중심으로부터 지하수위 강하가 일어나지 않는 영향추 가장자리까지의 수평거리를 말하며 양수의 영향을 받는 범위를 영향권, 영향구역이라 한다.

WHPA가 오염원에 대한 국지적 관리계획이라면 영향반경은 우물간섭을 고려한 영향권을 검토함이 주목적이다.

영향반경을 계산하는 방법은 경험공식들에 의하여 산출될 수 있으나 등방, 균질인 다공질 매체에서 지하수 평형상태로 유동할 때만 적용 가능한 것이므로 이방성이 큰 균열대수층에는 문제가 있다.

현재 시스템에는 Shultze, Weber, Kozeny의 경험공식을 이용하거나 평균의 영향반경 값을 실적자료의 지하수 정보를 토대로 간단한 조작을 통하여 산출할 수 있다. 또한 반경내에 포함되는 잠재오염원 및 관정현황을 검색, 확인 등을 할 수 있으며 온도, EC, pH 등 해당지역의 지하수 정보를 검토할 수 있도록 하였다.

② 지하수자원의 관리를 위한 기초조사

지하수자원에 대한 기초자료에 양수시험, 물리검층, 관정 및 용수원 조사, 간이수질 및 지하수위 관측, 물리탐사, 폐공발생 현황자료 등이 있다. 이러한 지하수자원의 기초자료와 지하수 산출특성, 이용특성을 조사 분석하여 관리계획의 기초자료로 활용하고 정보화(DB/GIS)하여 종합관리하여야 한다.

### ③ 오염원에 대한 조사 및 평가

규제적인 지하수 관리계획을 시행하기 전에 시행되어야 할 내용 중 지하수 자원의 기초조사 뿐만 아니라 오염원에 대한 현황파악과 지역별 취약정도 파악 및 오염취약성도 작성 등이 있다. 이를 위하여 점오염원 및 비점오염원의 분포현황, 관리현황, 오염원 관리자료 등의 DB 수집이 수행된다.

지하수 기초정보와 더불어 오염원 현황에 대한 조사자료는 재조사 및 신규자료 갱신에 대하여 지하수자원 보호관리 계획의 수정이 가능토록 하여야 하며 이를 위한 시스템 개발이 필요하다.

## 3) 지하수 모니터링

지하수 모니터링은 강우에 따른 수위변화, 수질의 시간적 변화상태 등 재해 발생에 대한 조기경보 기능과 지하수함양량 산정 등 지하수의 물리화화학적 특성 규명, 지하수관리계획에 대한 성공여부의 평가수단으로 이용된다.

지하수 모니터링은 자동 및 수동관측이 있으며 각 관측지점에 대한 설정은 지하수 상태, 장애발생 정도, 위해성 정도 등에 따라 관측위치 및 관측대상을 지역특성에 적합하게 선정하여야 한다.

## 4) 장애발생에 대한 대책 계획

오염물질 유출사고 등으로 지하수가 오염되었을 경우 신속한 제거 및 급수대책 계획 등 단기적인 지하수관리계획 수립이 필요하다. 또한 해수침투 등에 의한 점진적인 오염현상과 빈번한 한해로 인한 급수계획 수립 등 장기적인 계획 수립이 요구된다.

## 5) 유해물질의 수거

환경오염물질로 규정된 유해폐기물들을 적정하게 수거 처리하여 오염물질 누출로부터 지하수의 오염을 방지함이 목적이며 특히 지하수 민감지역에 대한 유해물질의 수거가 선행됨이 일반적이다.

## 6) 전문가와 협조체제 구축

지하수환경의 관리와 시설물 이용의 효율성을 높이기 위하여 지하수 및 시설

물에 대하여 전문가의 직접적인 기술적 조언과 도움을 필요로 한다. 이에는 시설물 유지관리 및 실태조사와 시설진단, 비료 및 농약 사용에 대한 전문가의 교육 등이 포함된다. 이러한 협조체제는 행정기관과 현지 지하수 활용 주민, 지하수 전문기관과의 유기적인 조직형성에 의하여 구축 가능하다.

#### 7) 지역개발에 대한 대책계획 수립

주로 개발이 예상되는 지역이나 도시화가 활발하지 않은 농촌지역에서 효과를 얻을 수 있는 수단이다. 지하수를 보호하기 위하여 보호대상 지역의 토지를 구매, 교환, 기부를 받는 형태와 현지역을 도시화하였을 경우 발생할 수 있는 차액을 지불 보상하고 미개발하는 방법 등이 있다.

또한 토지 소유주와 지하수 개발 이용자가 개발의 양이나 형태를 제한하여 최선을 하겠다는 법적인 합의 형태가 있고, 취약성이 낮고 지하수 오염에 대한 위해성 정도가 적은 지역을 선택하여 문화마을 조성사업과 같이 집단거주지역을 선정하고 종합적인 하수처리 시스템 도입 등으로 산발적인 개발과 오염확산을 제어하는 방법이 있다.

그러나 토지비용이 고가이거나 지역이기주의가 팽배하고 지역적 소외감을 느끼는 지역에 대하여는 효과가 제한적일 수밖에 없다.

#### 8) 지하수 최적관리를 위한 시스템 개발

지하수자원의 기초자료 및 오염원에 대한 자료는 공간적, 시간적인 자료축적이 기본이 되며 조사시점 이전의 기초사 자료도 포함하여 DB/GIS로 구축하고 이를 공간적, 시간적으로 분석할 수 있는 시스템이 필수적이다. 이 시스템은 지하수 관리의 기초 토대가 되며 소실되는 지하수의 기초자료를 수집, 저장하는 DB 신규자료가 갱신될 수 있도록 하여야 하며, 자료구축단계에서 한걸음 더 나아가 지하수 정보를 분석할 수 있는 분석시스템을 개발 보급하여야하며, 행정담당자 및 지하수 자원에 대한 정보 필요자로 하여금 정보를 공유할 수 있게 하여 지하수 자원의 최적관리(Best Management Practice, BMP)에 따른 지역적 지하수 관리계획의 기초적인 토대가 된다.

#### 나. 지하수관리를 위한 중간규제적 수단

규제적 수단과 비규제적 수단의 중간단계이며 여건에 따라 공공참여, 계몽, 정보의 기술적인 조언 등 비규제적 수단일 수 있는 반면에 법제화하여 강제적인 규제가 가능한 수단들이며, 지역여건 및 지하수 현황에 따라 규제 또는 비규제 행위로 시행될 수 있다.

### 1) 우수 및 하수의 관리

보통의 지하수 보호·관리 계획들은 우수와 하수관리를 항상 포함하고 있다. 이들을 포함하여 관리하는 이유는 지하수 오염 발생의 상당부분이 불량한 하수처리와 우수배출과 관련이 있다고 판단하고 있기 때문이다. 특히 농촌지역의 경우 하수처리 및 우수관리는 도시지역에 비하여 관리가 미흡하여 대처방안이 어려운 경우가 다수이다.

지역적으로 토양의 자연저감(정화)능력 이상의 오염물질이 바로 지하로 유입되어 지하수 오염을 유발시키는 경우가 많으므로 지역적으로 오염부하량이 높은 지역의 하수 관리계획이 시급한 실정이다.

### 2) 정화조의 관리

미국의 경우 정화조 시설로부터 지하수가 오염되는 현상을 방지하기 위하여 오염민감지역에 대하여 정화조 시설을 금지하는 지역도 있으며 신규가정용 정화조는 중앙위생하수처리시설에 연결하거나 취수정 인근(30m 이내)에 하수처리시설을 금지하기도 한다. 표토층이 없는 지역에서는 지하처분보다는 저류용 탱크의 사용을 고려중인 경우도 있다. 또한 지하수가 정화조로부터 오염되는 것을 방지하기 위하여 면적별 정화조의 수를 제한하는 방법도 동원하고 있다.

정화조시설의 대부분이 가정용 폐수를 처리 분해하지만 일부 용제나 유해폐기물은 정화처리 못하는 경우가 많으므로 미국의 일부지역에서는 부적절한 처리를 방지하기 위하여 소규모 산업체가 정화처리하는 것을 금지하거나 유기화합물질을 취급, 저장, 처분하는 산업시설에 대하여는 전처리시설을 의무화 하였다.

이러한 대부분의 수단들은 규제적인 수단에 속하며 이러한 경우 행정력과 상당한 예산이 필요하게 된다. 비규제적 방법은 정화조의 무상검사, 공공교육 프로그램과 정화조 관리에 대한 지침서를 개발 보급하는 방법이 있다.

### 3) 농업활동의 제어관리

농업활동을 관리하거나 제어하는 수단은 외국의 경우에는 지하수 보호의 일반적인 방법으로 통하고 있다.

지하수 민감대수층 분포지역에서 농업활동을 아예 금지시키거나 비료나 농약의 종류를 제한하며 비료 및 농약 살포방법을 조절하거나 가축수를 제한하는 규제적인 방법이 있다. 일반적으로 농업활동은 지하수 오염에 미치는 영향이 매우 크다고 판단하기 때문에 농업활동의 관리는 곧 지하수의 관리수단이 된다고 생각한다. 그러나 농업활동의 오염원은 비점오염원으로 그 관리와 규제가 상당히 어렵다.

비규제적으로 농업활동을 제어·관리하는 방법으로는 농약, 비료이용 및 가축분뇨 처분에 관한 연구활동과 농업전문가에 의한 농업관리 기술의 도움과 교육을 실시하는 방법, 농업활동 규칙이나 지침서를 작성하여 보급, 교육하는 방법 등이 있다.

#### 4) 오염물 운송 및 도로용 제설제 관리

지하수 오염의 예방을 위하여 지하수 보호구역내 오염물 운송금지 및 우회도로 이용계획과 유독성 유해물질이 유출될 경우의 비상계획 수립 등이 있으나 이는 지역이 광범위하고 우물의 밀도가 낮은 경우에 적합하며 우리나라와 같은 경우는 실효성이 다소 낮다고 할 수 있다.

동절기에 도로에 살포하는 제설·제빙제로부터 오염을 방지하기 위하여는 지하수 보호구역내의 제설·제빙제의 저장금지 및 저장소의 덮개 설치 등 평시의 누출방지와 모래의 혼합사용을 통한 지하수 오염농도를 감소시키는 조치 등이 있다. 도로용 제설·제빙제 사용과 같은 경우는 지침서를 통해 수행할 수 있는 비교적 저렴한 관리방법이며 수행성도 용이한 지하수 보호수단이다.

#### 5) 폐공 및 시추공 관리

채수량 감소 및 수질오염, 개발목적 상실 등으로 이용하지 않는 관정에 대하여는 적절한 폐공처리 방법을 통하여 원상복구하여야 한다. 폐공에 대하여는 처리뿐만 아니라 폐공시설에 대한 제원 및 폐공발생 사유 등의 자료를 관리하여 지역별 지하수 개발자료 등으로 검토하여 추후 시추비용을 절감할 수 있게 한다. 지질공학적인 판단자료로서 시추조사공에 대하여도 같은 방법이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

#### 6) 세금감면 및 재정적 지원

지하수의 보호를 촉진하기 위하여 세금 및 보증보험을 사용하여 오염유발자로부터 오염물 배출에 따른 오염정화비용을 전가하는 규제적인 수단이 있다. 비규제적인 지하수 보호수단은 개인토지를 공공부지로 종속시킬 때 세금공제하는 방법과 지하수 보호계획에 의한 조치작업을 하기 위한 보조금 혜택 등이 있을 수 있다.

#### 7) 지하수의 수질관리 지침

해당지역 지하수의 고유한 수질 한계치를 설정하여 운영하는 방법이며 비규제적인 지하수의 지침 또는 규칙의 형태를 취할 수 있다. 이는 지하수의 수질 저하를 극소화시킬 수 있으며 지침과 규칙을 설정할 시에는 기술적인 지원이 필요하다.

## 다. 지하수 관리를 위한 규제적 수단

규제적인 지하수 보호방법은 일정구역 내에서의 토지이용 행위나 유해시설물의 위치선정 제약 및 각종 행위들을 제어·관리하는데 사용한다.

### 1) 관정의 신고 허가제

우리나라의 경우 1993년 12월 지하수법 제정 공포시 국민 편의주의 행정구현 및 규제완화 시책에 부응하기 위하여 신고제를 적용하였으나 지하수 수위저하 및 수질악화 등 각종 지하수 관련 문제가 심화됨에 따라 종합적인 지하수 관리를 위하여 허가제를 도입하게 되었다. 2001년 12월 19일 시행된 개정 지하수법에 의하면 지하수 개발 이용허가 유효기간을 5년으로 제한하게 되었으며 신고의무가 면제되었던 가정용, 농업용의 경미한 지하수 개발·이용도 모두 신고대상으로 하여 지하수 관리 및 오염예방 등을 강화하였다.

### 2) 지역제 또는 구역화(보전관리구역 설정)

지역제는 보호구역 내에서 일정 행위를 규제하는 방법으로 가장 일반적인 규제수단이다.

미국의 경우 지하수 보호구역내에서 폐기물 처분행위나 제설·제빙제 사용제한, 세차장 및 가축사육장 신설금지 등과 주거지와 정화조시설 밀도조절 등이 지역제에 포함되어 있다.

지역제는 신규개발을 억제하고 지하수 장애를 예방하는 가장 효과적인 수단이며 지하수관리의 대표적인 수단으로 인식하고 있으나 우리나라와 같이 국토면적이 좁고 인구밀도나 시설물의 밀도가 높거나 대부분 개발이 완료된 지역에서 적용하기에는 많은 한계점을 내포하고 있다. 일반적으로 대다수 규제대상 행위가 이루어지고 있다면 비효율적인 수단이 될 수가 있다. 구역화를 위하여는 지하수 자원의 기초정보 파악이 선행되어야 하며 많은 조사 및 평가가 필요하다. 도면상의 경계구간 설정에 많은 한계성이 내포되어 사적 재산권의 이익 문제로 법적이거나 민원의 발생소지가 많이 포함되어 있으므로 세심한 주의가 요구된다.

### 3) 시설물의 위치선정 및 설계운동을 조절하는 방법

지역제와 관련하여 여러 가지의 산업시설 및 상하수도 관련 시설의 입지선정과 설계 및 운영을 지하수 보호 차원에서 관리하는 방법이다. 시설물로는 비행장, 자동차정비소, 세차장, 세탁시설, 실험실, 공동묘지, 주유소, 골프장, 매립장, 재활용시설, 폐기물 처리시설, 지표저류지, 환승역, 기타 상공업시설 등이 이에 해당된다. 지하수 오염발생 우려에 대한 점오염원에 대한 제어방법 중 가장 효율적인

방법이다.

#### 4) 유해물질을 제한하는 방법

지하수 보호구역내에서의 토지이용을 제한하기보다는 독성 및 유해물질의 종류와 양을 조절하여 지하수를 보호할 수 있는 방법이다. 유해물질의 종류 및 양을 조절하는 방법 이외에도 유해물질의 등록, 저장, 취급, 처분 등을 조절하는 기법들이 있으며 이를 비규제적인 수단을 사용하여 수행할 수 있다.

#### 5) 저장탱크시설 관리 및 지하배관 관리

지하 및 지상 저장탱크시설을 관리하는 조항은 대다수의 지하수 보호계획에 포함되어 있는 내용으로 민감지역내 지하 저장시설 설치금지, 탱크 소유주에 대한 의무 및 책임 교육, 부담금 설정 등 저장시설과 그 부속 배관들까지도 관리하여 지하수를 오염으로부터 효과적으로 보호할 수 있다.

저장시설의 규제는 어느 정도의 행정적인 지원이 필요하며 규제적인 방법이 훨씬 더 우수한 것으로 알려져 있으며 지상 저장탱크의 위해성은 지하 저장탱크 시설보다 더 쉽게 위해성을 인지할 수 있다.

#### 6) 골재 채취장 관리

골재 채취장은 충적 대수층 분포가 양호한 지역에서 운영되고 있으며 오염을 저감할 수 있는 오염보호막 역할을 하는 충적대수층의 모래 자갈 채취는 대수층을 오염에 노출시키게 한다.

또한 채취후 형성되는 웅덩이 등에는 불법투기가 발생할 우려성이 높으므로 규제적인 수단을 이용하여 골재 채취로 인하여 발생될 수 있는 위해성을 예방하여야 한다.

#### 7) 허가제 및 준수사항 이행 검사

지하수 보호구역내 지하수 오염의 원인이 될 수 있는 제반행위들을 효율적으로 제어하기 위하여 상업 및 공업행위, 상하수도 시설, 폐수배출시설, 정화조 설치, 우물 및 저장탱크 설치, 매립지 선정, 산림활동 등에 대하여 허가제를 도입 관리하게 된다.

검사 및 준수는 지역제나 허가수단이 적정하게 이행되고 있는가를 판단하는 필수적인 수단이며 점오염과 관련되는 정화조, 저장시설, 매립지 등은 반드시 요구사항에 대하여 준수하고 있는지 검사되어야 한다.



## 【지하수 관리 수단】

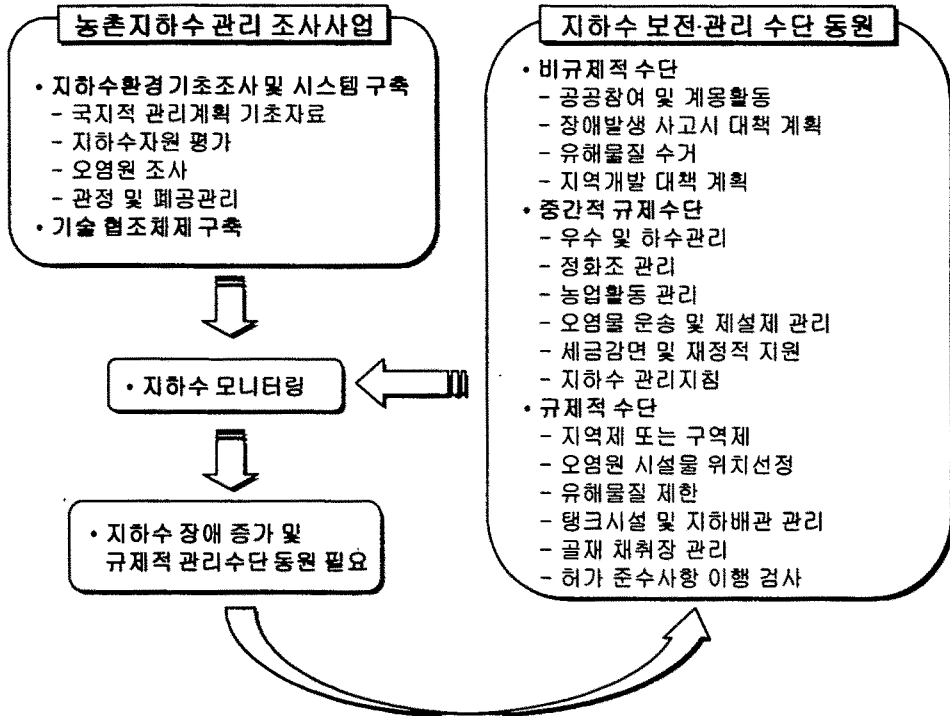
구 분	내 용	비 고
비규제적 수단	공공참여 및 계몽활동	
	지하수환경 기초조사	
	-국지적 관리계획 수립을 위한 기초조사	· 취수정 보호계획 · 영향반경을 고려한 국지적 관리
	-지하수자원의 관리를 위한 기초조사	
	-오염원에 대한 조사 및 평가	
	지하수 모니터링	
	장애발생에 대한 대책 계획	
	유해물질의 수거	
	전문가와 협조체제 구축	
	지역개발에 대한 대책계획 수립	
중간규제적 수단	지하수 최적관리를 위한 시스템 개발	
	우수 및 하수의 관리	
	정화조의 관리	
	농업활동의 제어관리	
	오염물 운송 및 도로용 제설제 관리	
	폐공 및 시추공 관리	
	세금감면 및 재정적 지원	
	지하수의 수질관리 지침	
규제적 수단	관정의 신고 허가제	
	지역제 또는 구역화(보전관리구역 설정)	
	시설물의 위치선정 및 설계운영을 조절	
	유해물질의 제한	
	저장탱크시설 관리 및 지하배관 관리	
	골재 채취장 관리	
	허가제 및 준수사항 이행 검사	

### 3.7.2 농촌지하수관리조사사업의 역할

지하수 환경여건이 열악한 농촌지역에 대하여 지하수 관리를 위하여 지하수 환경 기초조사, 최적관리 시스템 개발, 관정 및 폐공관리 등은 필수적으로 선행되어야 할 기초항목이다.

기초현황 조사 및 최적관리 시스템 구축 후 지하수 오염, 수량 고갈 현상이 우려되는 지역에 대하여는 모니터링을 실시하여 이를 기초로 장애 정도의 증가 또는 감소 정도를 파악한 후 지역여건에 적합한 관리수단을 동원하여야 한다.

농촌지하수관리조사사업은 보전·관리계획 수립 이전의 기초현황조사, 시스템 구축, 지하수 모니터링을 실시하여 지하수자원을 지속적으로 이용·개발할 수 있는 토대를 형성한다.



<그림 3-7-1> 농촌지하수관리조사의 역할

### 3.7.3 지하수 모니터링

#### 가. 지하수 모니터링의 목적 및 효과

지하수 모니터링은 지하수 개발 이용에 따라 지하수를 포함하고 있는 대수층에 대하여 부존량 및 수위·수질변화를 파악하고 지속적으로 관찰하고 적정량을 이용토록 하여 지하수의 오염예방 및 지하수 장애발생 사전방지 가능성을 제고하는데 주 목적이 있다.

지하수부존량의 변화 및 수질변화 파악을 위하여 대수층의 수위측정, 수질검사, 대수성 시험 등을 정기적으로 실시하여 자료를 축적하고 지하수 자원의 양적 변화 및 질적 변화에 적극적으로 대처할 수 있게 하는 방법이다.

측정대상에 따라 부존량의 변화 관측과 지하수 수질변화의 감시라는 주목적이 있으며, 결과이용형태에 따라 수문학적 이용, 재해발생 조기 경보기능, 보전·관리 계획의 성공 판단 여부 등으로 구분될 수 있다. 지하수 모니터링의 종류는 관측 대상 및 관측 항목, 관측정의 규모 등에 의하여 구분되며 대상 및 모니터링 목적에 맞게 설계 또는 설치되어야 한다.

## 나. 관측정의 종류

### 1) 관측정의 심도별 분류

- 암반층 관측정 : 암반지하수를 관측대상으로 하는 관측정
- 충적층 관측정 : 모래, 자갈 등으로 구성된 충적층 또는 비고결층에 부존하는 지하수를 관측대상으로 하는 관측정

### 2) 법에 의한 관측정 분류

- 국가지하수 관측망 : 전국을 대상으로 수위·수질 변동에 대한 정기적인 감시관측을 하며 1일 4회 수위, 수온, 전기전도도를 자동 관측 한다. 관리주체는 건설교통부이며 전국 310개소를 대상으로 설치 중에 있다.
- 보조지하수 관측망 : 오염원 감시 및 영향 규명을 목적으로 행정구역별 주요 대상지점에 설치 운영한다. 관리주체는 행정기관의 장 또는 지자체장이며 수위측정은 1회/월 이상, 수질은 2회/년 관측한다.

### 3) 관측방법에 의한 분류

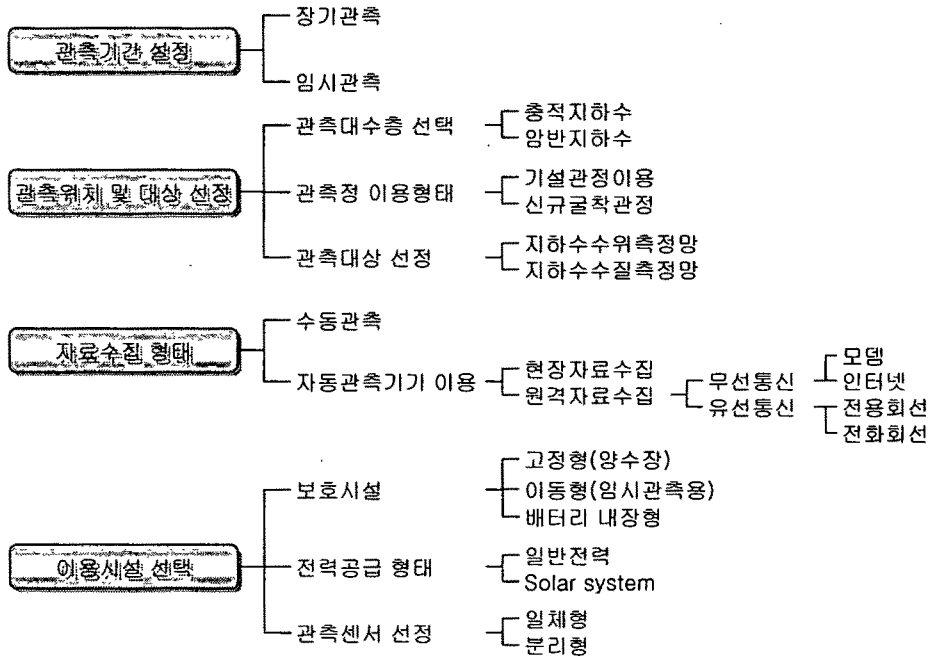
- 자동관측 : 고정된 관측센서와 Logger 등에 의하여 수위, 온도, EC 등을 정해진 시간에 자동으로 관측한다. 자동관측은 자료수집 방법에 따라 현장자료수집과 유·무선을 이용한 자료수집 방법이 있다.
- 수동관측 : 일정기간의 간격을 두고 수위·수질 등의 변화를 현장측정에 의하여 자료를 수집한다. 자동관측에 비하여 다소 많은 인력이 필요하나  $\text{NO}_3\text{-N}$  또는 생활용수 및 농업용수의 수질기준에 대하여 의뢰·분석 할 수 있다.

### 4) 관측정 설치 개소수에 의한 분류

- 단일 관측정 : 대수층 구조가 단순하고 예산이 한정된 경우 대수층 전체 및 유역내에 관측정 1개소만 개발하는 경우이다. 이 경우는 해당 대수층을 대표할 수 있도록 하여야 하며 대수층의 분포와 두께, 지하수 흐름방향, 수위·수질현황 등 모니터링 대상에 따라 위치를 선정하여야 한다.
- 다중 대수층 관측을 위한 단일 관측정 : 대수층의 심도별로 구분하여 수질 모니터링이 필요한 경우는 대수층 구간 사이에 패커(Packer)를 설치하여 대수층 별로 관측할 수 있게 한다.
- 관측망 구조 : 한 개의 대수층 구조에 여러개의 관측정을 격자, 방사성 구조 등으로 광범위하게 설치하여 관측 Network를 구성하며 대수층 분포 및 잠재오염원(점오염원) 분포지역의 감시 역할을 한다.

#### 다. 관측정 설치시 선정 요건

지하수 모니터링을 위하여 관측정을 설치할 경우 관측방법, 관측위치 및 관측기간 등은 모니터링 목적에 적합하게 선정 설치하여야 하며 지역적인 여건을 검토하여야 한다.



- 관측기간 선정은 일정주기 동안 수문변화를 관측하는 단기관측과 장기관측이 있으며 단기관측은 수문순환주기인 1년을 짧은 주기로 하여 필요기간만큼 측정한다. 또한 함양량 산정을 위하여 수위감소곡선을 검토하기도 한다. 장기관측은 장애발생, 수질오염 감시 등 장기적인 모니터링을 필요로 할 때 시행한다.
- 관측대수층 선택은 대상 지층내에 분포하는 지하수의 특성 파악을 위하여 총적층 또는 암반층을 모니터링하며 동일 총적층 내에도 분포지층에 따라 다중대수층(Multiple Saturated Zone)이 있을 경우에 Screen 길이와 설치구간 등을 고려하여야 하며 구간별 지하수가 유동하지 않도록 Packer 등으로 단절시켜야 한다. 또한 여러 개소의 관측정을 설치할 경우 대수층 분포가 경사졌을 경우 같은 심도에다 Screen을 설치하기보다는 대수층 경사 등을 고려하여 동일 대수층에 위치시키는 것이 중요하다.

- 관측정 이용형태별로는 신규굴착과 기설관정을 이용하는 방법이 있다. 신규 굴착의 경우 막대한 예산의 소요와 부지의 협의 및 매입 등의 절차가 필요하고 채수량 산출, 지하수 유동상태 등 해당 지역의 대수층을 대표할 수 있을 만한 관측정 조건이 안될 경우 재굴착 하여야 한다.

기존관정을 이용하여 지하수 모니터링을 할 경우는 지하수 이용상태 중심의 모니터링과 장애발생 기설관정에 대하여 직접적인 조사는 가능하나 조사 및 모니터링 목적에 맞게 관측정을 설계할 수 없다는 단점이 있다. 모니터링 필요 위치에 관측정으로 사용할 수 있는 관정이 분포한다는 가정이 필요하며 폐공처리 및 시설진단 사업의 조사 시행시 관측정으로 운영 가능한 관정조사가 선행되어야 한다.

- 모니터링 측정항목에 따라 지하수위 측정과 지하수 수질측정 등이 있으나 대부분의 지하수 모니터링은 보통은 수위측정과 수질검사를 병행하여 실시한다.

- 관측자료 수집방법에 따라 자동 관측센서에 의한 자동관측 형태가 있으며 일정 주기별로 현장을 직접 조사하는 수동 관측방법이 있다. 자동관측은 Notebook 등에 의한 현장자료 수집과 원격자료 수집 형태로 나누어진다. 현장자료 수집형태는 단기간 수문순환을 분석하기 위한 경우에 주로 많이 이용되며 장기관측 하기 위하여 지하수 변화상황 및 설치타당성을 사전에 파악할 경우에 이용될 수 있다.

원격자료 수집형태는 장기적이며 지속적인 지하수 모니터링이 필요할 경우에 고정 설치된다. 관측정에서 자료 송신상태에 따라 전화회선이나 전용회선을 이용하는 유선통신 부분과 이동통신망을 이용하는 무선 통신시스템이 있다. 무선 통신과 유선통신 방법 모두 모뎀을 이용 관측정과 접속하여 자료를 수집하는 수동적인 방법이다. 이 방법은 실시간 data 수집과는 거리가 멀며 관측장비의 고장이나 불량한 자료측정의 실시간 감지가 어려운 단점이 있다. 향후에는 고정 IP 서비스와 인터넷 기반으로 관측 data를 수신하는 모니터링 시스템이 요구된다. 또한 관측장비가 상이함에서 발생하는 Protocol 호환 문제 등은 해결하여야 할 과제이다.

이용시설이나 관측센서는 현장여건과 모니터링 목적, 호환성에 따라 선정하여야 하며 자동관측시스템의 경우 전원공급장치가 무엇보다도 중요하다. 센서의 오작동, 낙뢰 발생에 의한 장비고장, Solar System의 일조량 부족 등 자료결측에 대비한 설계가 요망된다.

## 라. 관측센서 및 기기

국내에서 설치되거나 사용중인 지하수 관측기는 제작사별 고유모델로 개발되어 있어 다른 제품과 운영체계가 상이하어 호환이 거의 불가능하고 한가지 장비에 익숙하더라도 다른 장비의 조작이나 점검·정비가 어렵게 되어있다. 또한 관측정 운영자의 점검·보정으로 해결할 수 없는 고장이나 부품의 교체 등 제작사의 A/S가 필수적이거나 이에 소요되는 시간과 비용은 효율적인 관측망 운영을 곤란하게 하며 장기간의 관측자료 누락 부분이 발생하게 한다.

관측기기의 국산화는 예산절감 및 수입대체 효과와 더불어 관리비용 절감 및 유지관리가 용이하다는 판단하에 농촌진흥연구원에서는 지하수 자동수위 관측기를 개발하게 되었으며 센서 및 자동관측기 개발 특허를 출원하였다. 농촌지하수관리사업의 지하수 모니터링 부분에 시제품을 활용하여 기기 정밀도 및 측정상태를 검증하고 모니터링의 효율성을 높이고자 한다.

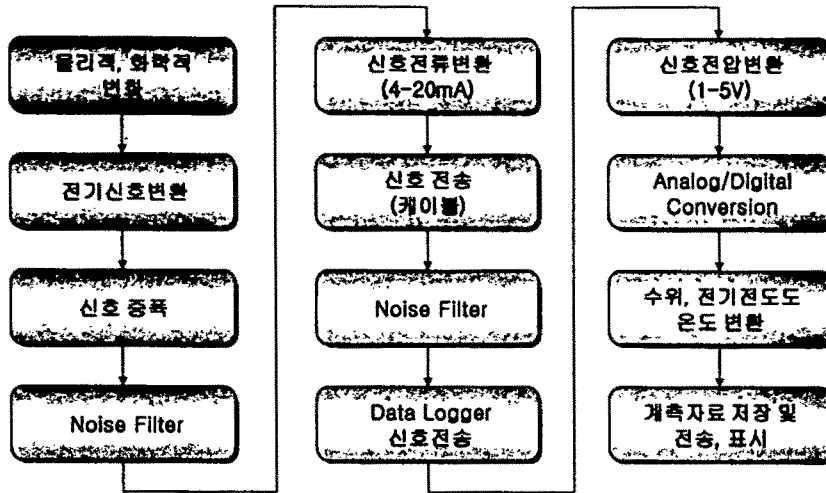
연구개발 관측기기의 각 부분별 내용은 다음과 같다.

### 1) 센서(수위, 전기전도도, 온도)의 제작

수위센서는 관측공 최소구경이 54mm(N규격)에 사용할 수 있도록 직경 25mm, 커넥트 부분을 포함하여 길이는 145mm로 소형으로 제작하였다. 측정범위는 0~100m로 하였으며, 정밀도는  $\pm 0.1\%FS$ 이다. 모터에 의한 노이즈 영향을 제거하기 위하여 노이즈 제거회로를 추가하였으며 센서 앞부분에 보호막을 설계, 설치하여 압력센서를 보호하였다. 그리고 수압 10기압에도 견딜 수 있도록 고무링과 실리콘 수지로 방수 처리를 하였다.

전기전도도 센서는 온도에 영향을 받기 때문에 전기전도도센서에 온도보상회로를 첨가하면서 두 항목을 함께 측정할 수 있도록 하였다. 전기전도도의 정밀도를 높이기 위하여 4전극방식으로 저농도센서와 고농도센서 두가지 형태로 제작하였다. 저농도 센서의 측정범위는 0~5,000  $\mu S/cm$ 이며 정밀도는  $\pm 0.25\%FS$ 이다. 고농도 센서의 측정범위는 0~50,000  $\mu S/cm$ 이며 정밀도는  $\pm 0.5\%FS$ 이다. 전기전도도센서의 직경은 수위센서와 동일하게 25mm로 하였으며, 길이는 전기전도도의 회로기판의 크기에 맞게 400mm로 제작하였다. 온도센서는 Pt100으로 제작하였으며 측정범위는 -20~50℃로 하였다. 정밀도는  $\pm 0.1\%$ 이다.

지하수 자동관측기의 센서와 자료처리장치는 100m이상의 장거리이므로 센서의 출력신호를 4~20mA로 하였다.



<그림 3-7-2> 센서의 신호처리단계

그림 <3-7-3>은 본 사업에 사용되는 센서로써 2가지 형태로 사용된다. 하나는 일반 지하수 측정 관정에 사용되는 것이며 또 다른 형태는 해수침투 우려 관정에 사용되는 센서가 있다.

센서는 통합센서로 구성되어 있으며, 센서의 구성은 수위센서, 전기전도도 센서, 수온 센서로 이루어졌다.

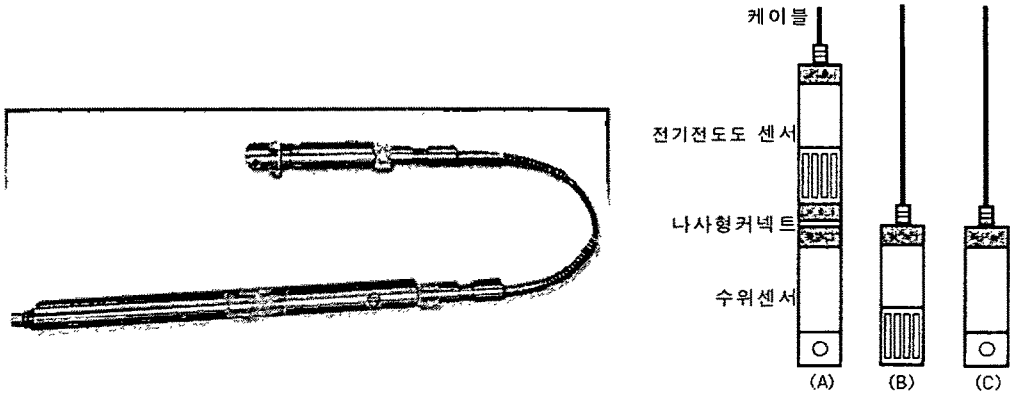
센서의 입력 전압은 DC 12V이며 출력의 형태는 각각 4~20mA로 출력된다. <표 3-7-1>은 통합센서의 사양 및 측정범위를 나타내고 있으며 통합센서의 측정 data는 4~20mA의 Analog signal로 Data Logger로 전송된다.

<표 3-7-1> 센서의 사양

종류	Range	측정방식	출력형태
EC 센서	일반관정: 0~3,000 $\mu$ S/cm	전극식	4~20mA
	해수관정: 0~50,000 $\mu$ S/cm		
수위 센서	0 ~ 10,000cm	압력식	4~20mA
온도 센서	-20 $^{\circ}$ C ~ +50 $^{\circ}$ C	PT100 $\Omega$	4~20mA

## 2) 센서케이블

수위센서의 대기압 보정을 위하여 튜브가 있는 지하수 자동관측기 전용 케이블을 제작하였다. 제작단가는 수입단가보다 약 1/3수준으로 가격 경쟁력을 가질 수 있게 하였다. 중량면에서도 110m에 링을 포함하여 7.5kg밖에 되지 않아 케이블이 늘어나는 경우는 없었다. 장력을 측정된 결과 최대 100kgf까지 가능하였다.



- A : 수위센서 + 전기전도도(온도)센서 이용 TYPE
- B : 전기전도도(온도)센서 이용 TYPE
- C : 수위센서 이용 TYPE

<그림 3-7-3> 센서 및 센서케이블

### 3) 자료처리장치

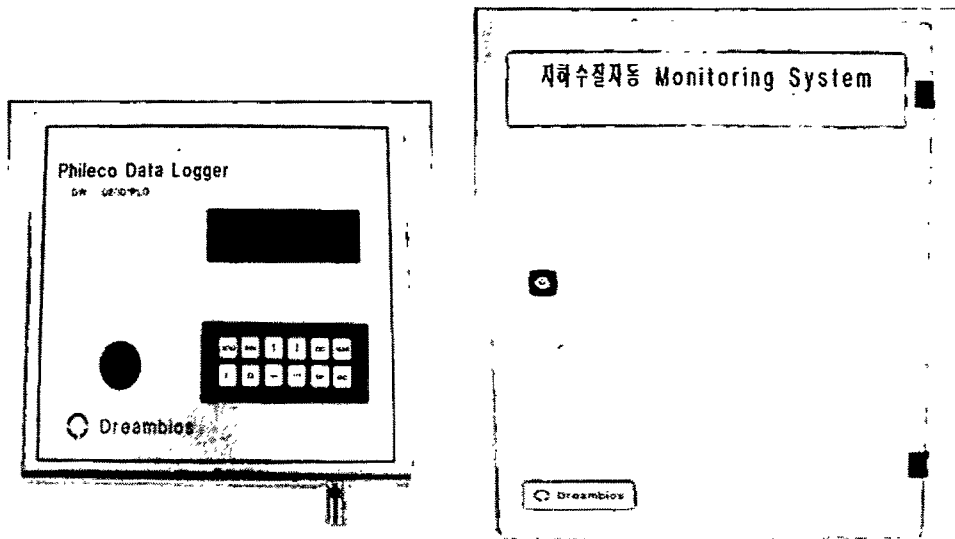
#### ① 지하수질 자동 모니터링 Panel

<그림 3-7-4>는 Data Logger와 CDMA 모듈이 내장된 Panel을 나타내고 있으며, 종류는 2가지 형태가 있다. 하나는 관정에 직접 스탠드를 설치하여 Panel을 고정한 형태와 또 다른 하나는 벽에 고정되는 형태로 나눌 수가 있다. Panel은 설치환경에 맞게끔 제작하여 설치한다.

#### ② Data Logger

Data Logger는 통합센서에서 4~20mA 형태로 받은 Analog 신호를 Digital 12 bit로 처리 및 저장하며, 12 bit 처리된 data를 TEXT file 형태로 바꾸어 RS232 방식으로 CDMA 모듈로 data를 전송하는 장치이다. Data Logger는 12 Bit Processor를 내장하고 있다. <표 3-7-2>는 12 bit 처리된 Text File 형식을 나타내고 있으며, <표 3-7-3>은 Data Logger의 사양을 나타내고 있다.





<그림 3-7-4> Data Logger와 지하수질 자동 모니터링 Panel 구성

<표 3-7-2> 12 bit 처리된 Text File 형태

text File형식 : RPT30 20010710094004 WL00000.00 CM EC0000.00USC TMP-50.00DEGp001

RPT30	20010710094004	WL00000.00 CM	EC0000.00USC	TMP-50.00DEG	p001
전송주기	날짜 및 시간	수위	전기전도도	온도	Data Logger 식별 아이디

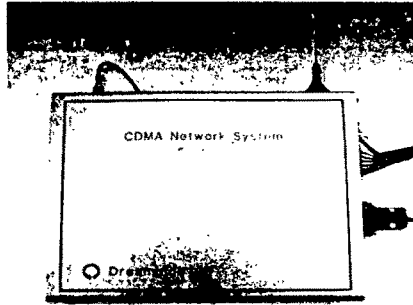
<표 3-7-3> Data Logger의 사양

종류	사양		비고
Signal	Analog Input	8 Ch	사용
	Digital Input	8 Ch	사용안함
	Digital Output	32 Ch	사용안함
CPU	12 Bit Processor		Text File로 변환
신호처리	입력: 4~20mA		CDMA 모듈로 전송
	출력: RS 232		

### ③ CDMA 모듈

CDMA 모듈은 Data Logger에서 입력받은 Text File 형식을 무선으로 농업 기반공사 원격관리센터로 전송하는 장치이다. CDMA를 선택하게 된 이유는 초기에는 서울이동통신망을 사용할 계획이었으나 서울이동통신망의 data 신호 전송 test 결과 data의 유실이 많아 완전한 형태의 data를 전송할 수가 없었고

또한 유선전화망을 사용하여 data를 전송시킬 방법도 모색했으나 전화망이 들어갈 수가 없는 지역과 관정 측정이 고정형이 아니라 장소를 바꾸어 가며 측정하기 때문에 비용적인 측면에서 011 CDMA 전송방식을 선택하게 되었다. 다음의 <그림 3-7-5>는 CDMA 모듈을 나타낸 것이다.



<그림 3-7-5> CDMA 모듈 구성

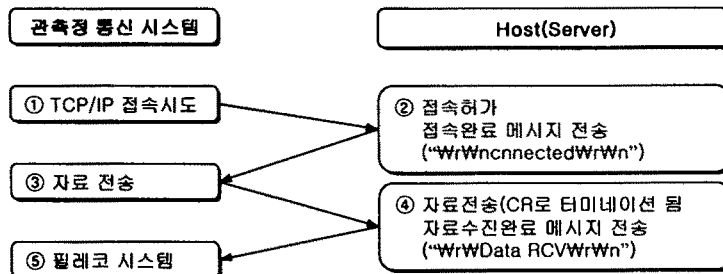
#### 4) DATA 수신체계

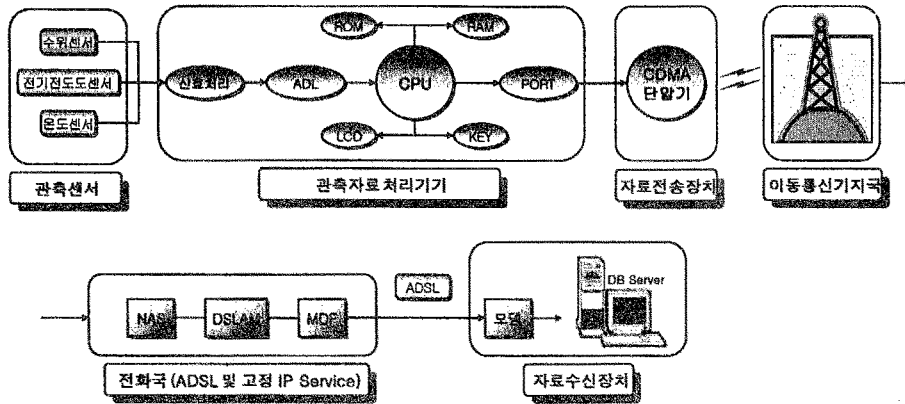
관측정은 현장여건에 적합하게 설치하고 지하수 모니터링의 data 수신체계는 다음과 같이 처리한다.

##### ○ TCP/IP 자료 전송

Data Logger 사용환경	CDMA 망	호스트 사용환경
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 통신포트: 19200,N,8,1</li> <li>· 전송자료: 1시간 Data</li> <li>· 사용전원: DC12V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 011 SK Telecom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 인터넷 IP: 현재 추진중</li> <li>· TCP/IP 사용포트 :1023</li> </ul>

##### ○ TCP/IP 자료 전송 순서





<그림 3-7-6> 지하수 모니터링 DATA 수신체계도

지하수 모니터링을 위한 data 수신은 지하수의 물리화학적 변화를 전기적 신호로 감지하여 A/D Conversion을 거쳐 계측자료를 처리, 저장하고 CDMA 단말기를 이용 전송하게 된다. 전송된 text 형태의 data는 이동통신기지국 및 전화국을 거쳐 인터넷(TCP/IP Protocol)을 통해 DB Server 내로 전송된다. 전송된 data는 저장 및 분석 P/G을 이용하여 지하수 변화상황을 실시간으로 감시 및 평가 분석이 가능하게 된다.

#### 마. 지하수 모니터링 계획

- 본 농촌지하수 관리를 위한 기초조사에서 지하수 모니터링은 장애발생의 조기 경보, 지하수위·수질 현황의 시간적 변화 감시, 수문학적 기초자료, 비규제 및 규제적 관리수단의 동원 여부 등을 결정하는 역할을 하게된다.
- 관측정 설치위치는 조사지역 내 수질오염 및 수위강하, 지하수 고갈 우려지역에 선정한다. 자동관측과 수동관측을 병행하며 자동관측기기는 농어촌 연구원에서 개발한 기기를 이용 설치·관측, 시범 운영한다.
- 모니터링 개소수와 수동측정 및 수질분석 항목은 사업예산운영 및 배정에 따라 효율적으로 설치 운영하고 자동관측 항목은 일반적으로 관측기기 운영 측정이 가능한 수위, 전기전도도, 수온 등을 측정한다.
- 해안지역 및 도서지역의 해수침투 감시를 위하여 98년 이후 추진중인 해수침투 조사사업의 관측정(2000년 말 기준 31지구)은 해당지역의 농촌 지하수 관리 조사사업 시행시 포함하여 운영 및 유지관리 계획토록 추진한다.

### 3.7.4 지하수 장애 발생에 대한 관리 계획

수자원 장기 종합계획(Water Vision 2020, 건설교통부)에 의하면 2011년부터 600백만 $m^3$ 의 댐 연계운영과 8백만 $m^3$ 의 해수의 담수화에 의한 수자원 확보에도 불구하고 물부족을 예상하였다. 이를 해소하기 위하여는 2011년까지 1,228백만 $m^3$ , 2020년까지 1,838백만 $m^3$ 의 단계별 신규수원의 확보가 필요한 것으로 나타났다. 신규수원은 댐의 신규 및 재개발, 지하수개발, 우수 및 하수의 재이용, 강변여과수, 지하댐 등이며 10,000백만 $m^3$ 의 추가개발 이용이 가능한 지하수에 대한 중요성이 매우 부각 될 것으로 판단된다.

지하수 장애현상은 수질오염과 지하수의 무분별한 개발로 인한 수위강하와 지반침하, 해수침투 등이 있으며 이러한 현상들은 청정지하수의 이용과 물부족시대의 대체 수자원의 전망을 어둡게 하고 있다. 이러한 이유로 지하수에 대한 보전·관리는 법적으로도 계속 강조되고 있다. 지하수 보전·관리의 주 목적은 지하수 자원의 최적관리(Best Management Practice)를 통하여 지속적으로 개발·이용 가능(Enviromentally Sound and Sustainable Development)하도록 함이다.

이 목적을 달성하기 위하여는 지하수자원의 기초조사, 관리시스템 구축은 필히 선행되어야하며 장애발생 조기경보, 시간적인 지하수 변화관측, 관리계획적 수단 동원 여부 판단을 위하여 모니터링을 병행하여야 한다.

최적관리 시스템 구축과 모니터링은 지하수관리계획 수립의 전단계이며 장애요인으로부터 지하수를 보호하고 안정적 자원으로서의 관리가 가능케하는 기초단계이다. 관리대책 수립은 지하수의 수질오염과 관련된 오염원 관리와 지하수 개발이용과 관련된 수리지질학적 환경에 대한 관리로 구분된다. 지하수장애요인 증가가 모니터링을 통하여 감지될 경우 관리되어야할 오염원 및 수리지질학적 환경을 열거하면 다음과 같다.

#### 가. 수질오염과 관련되는 오염원 관리

여러 가지 원인에 의하여 지하수 오염은 날로 심각해지고 있으며, 특히 고도 산업화에 수반되는 각종 산업 폐기물에 의한 지하수 오염은 큰 문제가 되어가고 있다. 지표수 오염과는 달리 지하수 오염은 찾기가 어렵고 더군다나 처리하기는 더욱 어렵다. 또한 일단 오염이 되면 수십년씩 지속된다.

지하수 오염의 주요 원인과 그 오염 물질이 지하수에 미치는 영향 등에 대해서 알아보면 다음과 같다.

#### 1) 도시의 원인

##### ① 하수도 누수

하수구의 누수 현상은 배관 시설의 노후화나 식물 뿌리의 침투, 상부에서의

무거운 하중, 지진, 맨홀의 차별적 자리잡기 등 여러 가지 원인에 의해 발생할 수 있다. 하수도 누수는 지하수의 BOD, COD를 높이고 질산염, 유기 화합물, 그리고 박테리아 등을 지하수에 유입시킬 수 있다. 공업단지에서의 하수도 누수에서는 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 코발트(Co), 구리(Cu), 철(Fe), 납(Pb), 망간(Mn), 수은(Hg) 등의 중금속이 지하수에 유입될 수 있다.

## ② 액체쓰레기

도시에서의 폐수는 가정이나 공장 그리고 폭풍우 등에서 유래한다. 대부분의 폐수는 적절한 처리를 한 후 지표수로 방출된다. 또한 이 처리수를 지하수와 섞어 관개 용수나 잔디용의 물로 다시 이용할 수도 있다. 도시의 폐수는 박테리아, 바이러스, 무기 및 유기화합물질을 지하수에 오염시킬 수 있다. 따라서 폐수의 재사용시에는 이러한 생물학적 및 화학적 오염을 고려하여야 한다.

## ③ 고체쓰레기

고체상태의 쓰레기를 지표에 매립하여 처리하면 지하수를 심각하게 오염시킨다. 고체상태의 쓰레기는 비나 눈과 반응하여 상당량의 오염 물질이 방출되므로 쓰레기 매립지(landfill)는 오염수(침출수)를 통제할 수 있도록 적절히 설계되어 건설되어야 한다.

매립지 바닥은 불투수성의 점토로 덮어야 하며 매립지 곳곳에 수로를 만들어 오염수가 빠져나오도록 한 후 한곳에 모아 하수종말처리장 등으로 보내어 재처리시킨다면, 지하수의 오염을 예방할 수 있다. 고체쓰레기로부터 발생할 수 있는 것은 BOD와 COD를 높이는 오염물질, 철(Fe), 망간(Mn), 염소(Cl), 질산염(NO<sub>3</sub>), 경도, 흔적원소 등이며, 총고용물질은 증가되고 메탄, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S 등의 가스가 폐기물의 부산물로 생성된다.

## 2) 산업의 원인

### ① 액체폐기물

공업용수는 주로 냉각 및 위생시설과 생산공정에 이용된다. 폐수의 수질은 산업의 형태와 용수 이용의 형태에 따라 달라진다. 냉각수는 염(salt)과 열을 갖고 있어서 웅덩이에 방출될 경우 지하수를 오염시킨다.

### ② 탱크와 배관설비의 누수

지하에 여러 가지 화학물질들의 저장과 수송을 위한 시설물에서 누출된 물질들은 지하수를 오염시킨다. 석유가 대표적인 예인데, 주유소나 가정의 기름 탱크에서 많이 발생한다. 물과 혼합이 안되는 석유는 누출되어 지하로 이동하여 지하수면 상부에 기름층을 형성하여 지하수와 함께 수평적인 이동을 한다. 액체 상태의 방사성

폐기물이 지하에 저장되는 데, 만약 이것이 누출될 경우에는 매우 심각한 문제를 야기시키게 된다. 저장된 석유에 의한 지하수 오염의 한 예로써 1968년 미국 캘리포니아 Glendale에서 약 400m<sup>3</sup>의 석유가 누출되어 지하수면위 0.75m 높이의 기름층을 형성하였다. 이 기름은 나중에 양수에 의해 제거되었다.

### ③ 광산활동

광산은 채광과 파쇄과정에서 지하수 오염이 다양하게 나타난다. 석탄광, 인광 그리고 우라늄광들이 주 오염물이고 기타 철, 구리, 아연, 납 등의 금속 광물들도 중요한 오염물질이다. 광산에서 지하수위를 낮추기 위해 많은 물을 뽑아내는데, 이 지하수는 보통 산성이며 철분, 알루미늄과 황산이온을 많이 포함한다. 지하수 오염은 개발중인 광산에서 뿐만아니고 폐광의 찌꺼기와 갭에 차있는 물에 의해서도 나타난다.

### ④ 폐공 및 시추공 관리

폐공은 지하수 개발과정 및 이용 중에 용도변경, 수질악화, 수량감소 등에 원인에 의하여 발생하며 시추공은 신규건축 및 도로개설을 위한 지반조사, 지하수조사 등에 의하여 발생한다. 지하수조사연보(건설교통부, 2001)에 따르면 2000년까지 발생한 폐공은 전국적으로 45,983공에 달하며 88%인 40,421공은 처리가 되었으며 12%인 5,562공은 미처리된 것으로 집계되었다.

<표 3-7-4> 시도별 폐공 처리현황

구 분	미처리건수	처리건수	합 계	처리 비율 (%)
총 계	5,562	40,421	45,983	88
서울특별시	13	12,819	12,832	100
부산광역시	92	1,722	1,814	95
대구광역시	6	739	745	99
인천광역시	169	581	750	77
광주광역시	2	1,347	1,349	100
대전광역시	-	1,395	1,395	100
울산광역시	6	482	488	99
경 기 도	896	3,437	4,333	79
강 원 도	58	943	1,001	94
충청북도	151	3,420	3,571	96
충청남도	1,256	3,156	4,412	72
전라북도	930	4,277	5,207	82
전라남도	677	1,903	2,580	74
경상북도	975	1,846	2,821	65
경상남도	331	2,266	2,597	87
제 주 도	-	88	88	100

주) 처리건수는 원상복구 등 처리가 완료된 시설수를 나타냄

미처리된 폐공은 오염원에 대하여 노출될 가능성이 높으므로 관리가 부실할 경우 오염물질이 토양저감 등을 거치지 않고 대수층을 직접적으로 오염시킬 가능성이 있다.

폐공발생 원인은 폐공발생 45,983공 중 수량부족 13,567공(29.5%), 수질악화 1,342공(2.9%) 등이며 상수도 대체, 토지형질 변경, 용도 변경, 소유주변경, 사용중지 등이 19,837공(43.1%)이며 염분증가로 인한 폐공발생은 122공(0.3%)이다.

이러한 폐공 발생에 대한 발생원인 검토 및 지역별 공간적인 분석을 실시하여 반복적이고 지속적인 폐공 발생을 최소화하기 위한 노력이 필요하다.

<표 3-7-5> 폐공발생 원인별 현황

시 도	총 계	수량 부족	수질 악화	상수도 대체	토지형질 변경	소유주 변경	용도 변경	사용 중지	염분 증가	기 타
총계	45,983	13,567	1,342	5,848	2,929	222	1,262	9,576	122	11,115
비율(%)	100.0%	29.5%	2.9%	12.7%	6.4%	0.5%	2.7%	20.8%	0.3%	24.2%
서울	12,832	2,745	284	1,499	480	68	423	3,477	20	3,836
부산	1,814	1,016	174	66	50	51	31	148	17	261
대구	745	248	22	54	11	3	58	256	-	93
인천	750	79	26	181	7	7	11	293	2	144
광주	1,349	715	44	146	233	2	19	136	-	54
대전	1,395	327	85	396	289	7	8	250	1	32
울산	488	327	37	22	1	-	-	42	1	58
경기	4,333	672	218	1,114	107	6	119	1,257	4	836
강원	1,001	205	37	168	9	2	14	357	13	196
충북	3,571	954	119	448	464	19	126	645	2	794
충남	4,412	1,556	54	125	600	16	147	1,306	2	606
전북	5,207	1,501	35	635	350	14	136	855	12	1,669
전남	2,580	783	52	265	194	7	116	121	24	1,018
경북	2,821	761	26	513	79	16	25	310	2	1,089
경남	2,597	1,653	113	215	29	4	19	122	16	426
제주	88	25	16	1	26	-	10	1	6	3

주) 원상복구 등 처리가 완료된 시설과 미처리된 시설이 모두 포함된 것임

### 3) 농사의 원인

#### ① 관개복귀수

관개용수의 1/2 내지 2/3가 증발산작용(evapotranspiration)에 의해 없어지며 나머지는 관개복귀수(irrigation return flow)로서 지표수나 지하수로 바뀌어 진다. 관개복귀수의 염도는 관개 이전의 물에 비해 3~10배 정도 증가된다. 염농도의 증가는 비료나 토양개량에 쓰인 화학약품과 증발산작용 등에 의해 이루어진다.

관개복귀수의 주요 양이온은  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$ 이고 주요 음이온은  $HCO_3^{-}$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $NO_3^{-}$ 이다. 건조한 지역에서는 물이 대부분 관개수로 이용되기 때문에, 관개 복귀수가 그 지역의 주요 지하수 오염원이 될 수 있다.

## ② 동물쓰레기

동물 사육이 제한된 지역에서 이루어질 경우, 소고기나 우유의 생산을 위한 많은 양의 쓰레기가 지면에 쌓인다. 동물 쓰레기들은 염, 유기오염물질 그리고 박테리아 등을 토양에 오염시킨다. 질산염이 가장 중요한 오염물질이다.

## ③ 비료와 토양 개량물질

비료의 주성분은 N, P, K이다. 그 중 P와 K는 토양입자에 쉽게 흡착되어 오염의 문제를 거의 일으키지 않는다. 그러나 수용액 상태의 질소는 일부분만이 식물에 이용되거나 토양에 흡착된다. 따라서 비료의 성분중 질소가 토양의 주 오염물질이어서 지하수 오염을 가중시킨다. 토양개량물질들은 토양의 물리적 및 화학적 성질을 바꾸기 위해 이용된다. 석회, 석고 및 황 등이 토양개량을 위해 주로 쓰인다. 이 토양 개량 물질들의 상당량이 지하수에 첨가되어 염도를 증가시킨다.

## ④ 살충제

농사지역의 주요 지하수 오염물질중의 하나는 살충제이다. 이것은 미량일지라도 지하수의 식수화에 심각한 해를 미친다. 대부분의 살충제들은 비교적 물에 잘 녹지 않으나 토양입자에 쉽게 흡착된다. 1979년에 미국 캘리포니아 물을 분석한 결과 상당한 수의 우물에서 발암성 물질인 DBCP(dibromochloropropane)이 검출되었다.

## 나. 환경지질학적 피해

무분별한 지하수 개발과 이용으로부터 발생하는 문제는 지하수 자원의 고갈, 지반침하, 해안지역에서의 해수침입 등이다.

### 1) 지하수 자원의 고갈

개발된 양수정에서 적정 양수량(sustainable yield)을 초과하여 장기간 무리한 양수를 할 경우, 지하수위가 하강되어 양수정 인근에 개발된 소규모 우물들에서는 지하수를 이용할 수 없게 된다. 오늘날 이런 현상은 전국적으로 많이 발생되고 있으며, 경우에 따라서 당사자간의 소송이 제기되고 있는 실정이다.

### 2) 지반침하

지반침하는 지하수의 과잉양수로 지하수위가 하강하여 주로 연약지반에서 발생하는 지층의 압축현상이다. 이 현상은 지질 물질내의 공극수(pore water)가 배출되면서 공극수에 의한 수압이 감소되고 결과적으로 고체 입자에 가해지는



압력이 증가되면서 발생하는 지층의 수축작용이다. 이 현상은 사질층보다는 공극율이 상대적으로 큰 점토층에서 잘 일어난다. 지반침하 현상은 국내에서는 무안, 과천 등지에서 일어나고 있으며, 외국에서는 여러곳에서 일어나고 있다. 대표적인 사례는 <표 3-7-6>에 있다.

<표 3-7-6> 지반침하의 대표적인 사례 (Domenico & Schwartz, 1990)

지역이름	최대 지반 침하량 (m)	수위 하강 (m)	조사 년도
미 국 : San Joaquin Valley, CA	8.8	90	1972
Houston, TX	2.3	100	1974
일 본 : 도쿄	4.6	30	1972
나고야	1.5	-	1976
멕시코 : 멕시코시티	8.5	20	1964
타이완 : 타이페이	1.35	20	1969
영 국 : 런던	0.1	90	1942
이탈리 : 베니스	0.14	5	1974
한 국 : 무안	13	-	2001

### 3) 염수 침입

염수침입은 해안지역에서 담수로 차 있던 대수층에 염수가 유입되어 지하수의 수질을 악화시켜 대수층을 오염시키는 현상이다. 우리나라에서는 제주도 해안가 지역에서 크게 나타나고 있으며 내륙 지방의 해안지역에서도 많이 일어나고 있다. 섬에서는, 강수로 인하여 충전된 물이 지하 심부의 염수 위에 떠있는 렌즈형태의 담수체를 형성한다. 지하수위가 해수면보다 높을수록, 렌즈형 담수체는 두텁게 나타난다. 조석(tides)은 염수가 담수체를 교대로 침입·후퇴하도록 만들어서 결과적으로 염도(salinity)가 담수에서 염수로 점차적으로 변하는 전이대(zone of diffusion)를 형성한다. 담수 지역으로 침입한 염수 중 일부는 담수체에 포획되었다가 담수가 바다로 배출되면서 함께 바다로 돌아간다.

삼면이 바다로 둘러싸여 해안 및 도서지역이 넓은 우리나라 특성상 해수침투 위험이 높은 지역이 많다. 지형특성상 저수지 건설이 어려우며 지하수의 의존도가 높아 지하수 이용이 많을수록 염수침입 피해가 우려된다. 이러한 해수침투로 인한 위해성의 감시기능과 적정관리를 위하여 제주도 및 도서·해안지역의 해수침투조사 사업의 확대추진이 요망된다.

## 4. 시스템 구축

### 4.1 시스템 개발

#### 4.1.1 시스템 개발 목적 및 배경

##### 가. 시스템개발의 목적

시스템 개발의 목적은 오랫동안 축적된 지하수관련 문서자료의 전산화를 통하여 지하수 자원의 최적 관리와 지속 가능한 개발·이용에 활용이 가능하도록 하며, 또한 향후 적용되는 각종 사업에 참고 가능한 기틀을 마련하는 것이다.

##### 나. 시스템 개발배경 및 필요성

지하수 이용량의 급증 및 오염의 확산 등으로 인한 지하수 장애를 예방하기 위하여 지하수 관리시스템 구축이 필요하다. 특히 상·하수도의 보급이 미흡하여 지하수 의존도가 높고, 잠재오염원(농약, 비료, 축사분뇨)의 확산이 우려되는 농촌지역에 대하여 지하수 자원 최적관리의 시스템 구축이 시급하다.

또한 기존 지하수관련 자료들이 문서화되어 있어 자료보존이 비 영구적이며 보관상의 문제점이 있으므로 이를 해결하는데도 관련 자료의 전산화와 D/B 구축이 필요하다.

##### 다. 기대효과

지하수에 관한 체계적인 관리를 위해 시스템을 개발함으로써 지하수 행정업무와 지하수 적지개발, 지하수 장애의 예방, 지하수자료의 통합관리 등의 기능을 구현 할 수 있다.

#### 4.1.2 시스템 개발 추진방법

##### 가. 방법론 적용내용

- 농촌지하수관리시스템 구축사업을 성공적으로 완료하고 다음과 같은 목적을 달성하기 위하여 '관리기법/1'을 주 방법론으로 활용하였다.
  - 시스템 개발 프로젝트의 표준화 및 합리화
  - 프로젝트의 품질향상
  - 시스템 개발 생산성 향상
  - 시스템 운영 및 유지/보수 비용 절감

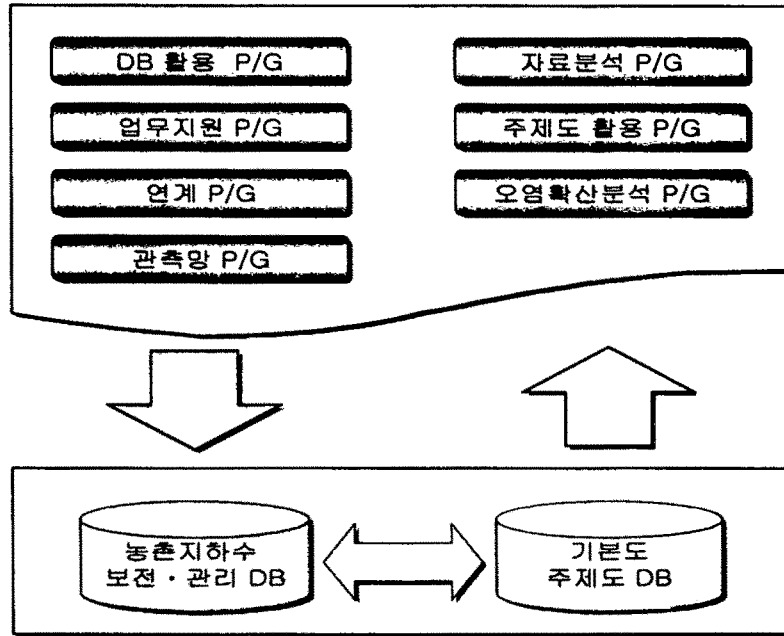
##### 나. 사업추진 절차

- 단계적인 구축계획 수립
  - 사업 첫단계에 시스템구축 계획을 수립함으로써 이후 단계까지 일관된 계획안을 제시할 수 있는 명확한 지침 마련
  - 기간별로 세분화한 마스터플랜 수립

## 4.2 시스템 구성

### 4.2.1 시스템 구성도

농촌지하수관리시스템은 지하수관리에 필요한 부수적인 여러 프로그램들이 포함되어 있다. 크게 나누어 관정현황분석, 지하수영향권 분석, 지하수 수리분석, 지하수 실적관리, 지역통계분석, 오염분석 프로그램 등이 있으며, 지하수 전문가가 사용하는 지하수 수질분석, 지하수모델링연계, 관측정 모니터링, 주제도 분석·생성, 보고서 작성양식 출력 등의 프로그램으로 구성되어 있다(그림 4-2-1).



<그림 4-2-1> 시스템 구성 체계도

### 4.2.2 시스템 DB내용 및 구성

시스템의 DB는 지하수 관련자료의 종합적인 관리를 목적으로 지하수 관련 자료와 현장조사자료, 각종 보고서자료, 수문자료, 오염원자료 등 지하수관리에 필요한 모든 자료를 DB화하였다.

<표 4-2-1>은 DB설계 내역을 나타내고 있다.

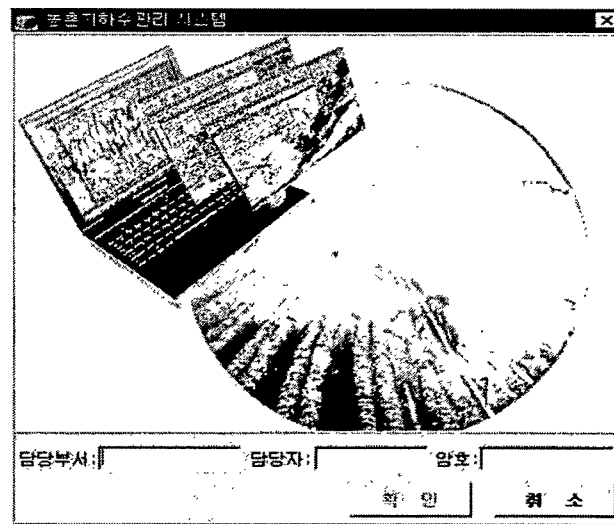
<표 4-2-1> DB설계 내역

구 분		내 용	비 고	
관련자료 DB입력	자료입력	관정실태	현장조사자료(수위, 수질등)	DB 자료구축
		대수층 부존특성	양수시험, 순간수위, 물리탐사, 물리검층자료	
		수문	강우량, 지표수	
		잠재오염원	각종 오염원(축사, 주유소, 폐수 등) 현황	

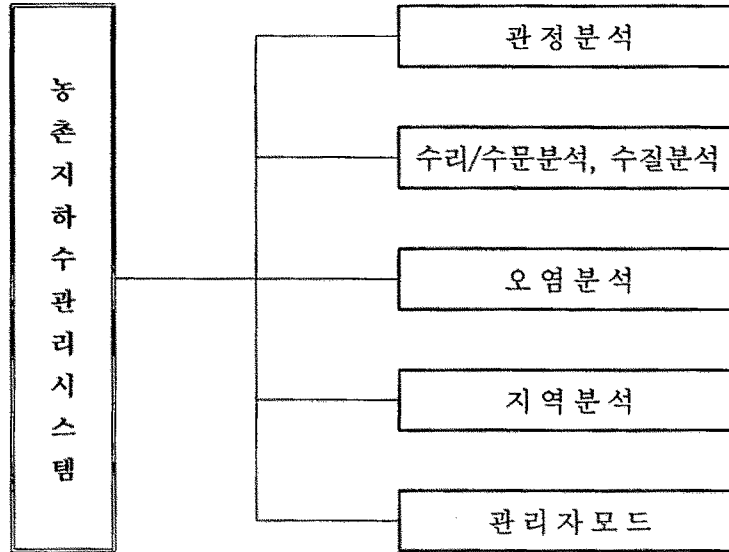
### 4.2.3 시스템 구축내용

농촌지하수관리시스템의 주메뉴는 관정분석, 수리/수문분석, 수질분석, 오염분석, 지역분석, 관리자모드로 구성되어있다. <그림 4-2-2>는 로그인화면이며 <그림 4-2-3>은 시스템 메뉴 구성도이다.

관정분석 메뉴는 개별관정의 위치 검색 및 포획구간 분석 등의 기능을 제공된다. 오염분석은 오염원 자료, 간이수질자료 및 수질검사자료 등을 이용하여 분석한 결과를 나타내며, 지역분석은 지역적인 통계자료를 나타내고, 관리자모드는 지하수 전문가가 지하수의 분석기능을 사용할 때 이용하는 메뉴이다. 본 시스템 내용은 1차년도(2001년)에 구축된 stand-alone 방식의 pilot system 내용이며 향후 2005년도까지 C/S, WebGIS 환경으로 구축하고 지하수 환경을 분석할 program을 개발토록 계획되었다.



<그림 4-2-2> LOGIN화면



<그림 4-2-3> 시스템 메뉴 구성도

## 나. 관정분석

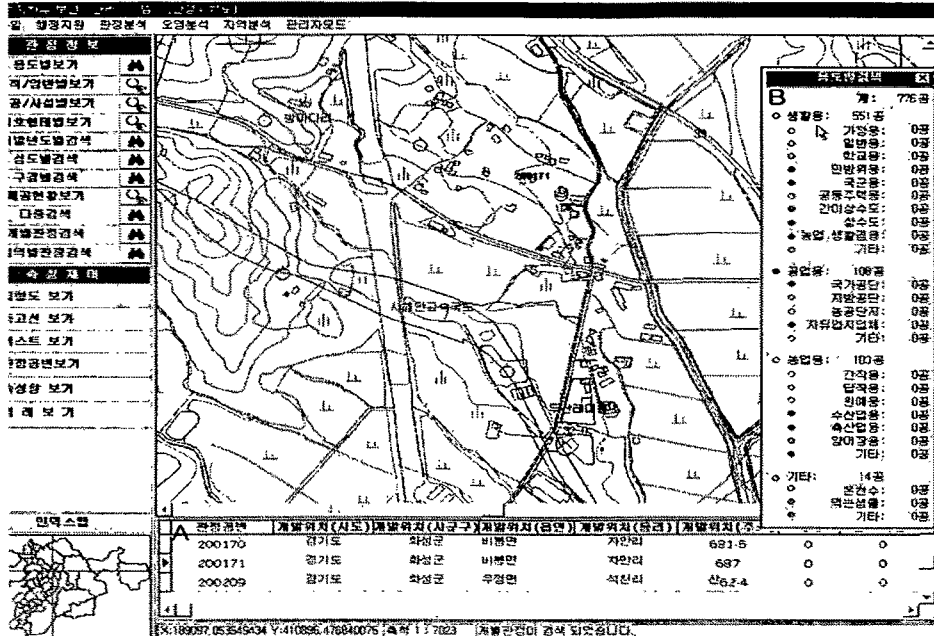
### 1) 관정위치도

DB의 X, Y 좌표에서 관정의 위치가 자동으로 생성되도록 구축되어 있으며 새로 생성된 관정 및 기존의 관정에 대해 각종 검색 조건을 이용하여 관정의 위치를 색상별로 표시하도록 구축되어 있으며 또한 각 관정에 대한 정보를 확인함으로써 관정 이미지, 관정에 관련된 시추주상도, 양수시험 이미지 등을 검색할 수 있도록 구축되었다(그림 4-2-4).

### 2) 지하수위 등고선도

기설관정 및 신설된 관정에 대한 지하수위 자료를 입력하면 그 자료를 이용하여 지하수위 등고선을 그리게 된다. 지형도에서 추출한 DEM 자료와 지하수위 자료는 그리드 분석을 통해 XY가 100m인 셀로 작성되며 Interpolation을 이용하여 셀값을 산출한다. 이러한 셀값을 이용하여 표고값과 수위값을 계산하여 수위 등고선을 자동으로 그릴 수 있도록 프로그램이 설계되어 있다.

주기적인 등고선도를 색상별로 표시함으로써 지하수위의 분석이 가능하도록 설계되었다(그림 4-2-5).



개별관정보기

공 변: 200171 허가사항: 신고시설  
 허가번호: 00-607 허가일:

상 호(영칭):  
 대 표 자 (성명): 홍시문  
 법인(주민)등록번호:  
 소재지(주소):  
 전화번호: 356-0694

소재지(주소): 경기도 화성군 비봉면 자안리 687  
 지역/건물명:  
 면 적: m<sup>2</sup>  
 용 도: 1차도 26분 건조 위도: 37도 11분 6초

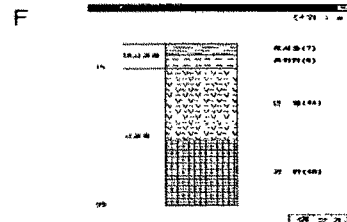
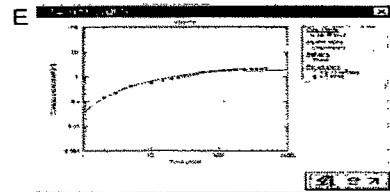
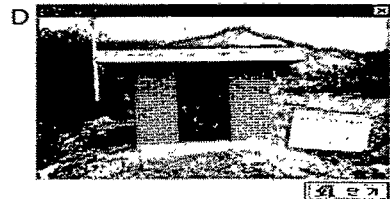
관정심도: 25 m 직 경: 50 mm  
 채수계획량: 0 m<sup>3</sup>/일 1일어용량: 0 m<sup>3</sup>/일  
 동력장치: 0.5 HP 펌프구경: mm  
 압도출량: mm 설치심도: m  
 채수용도: 용용대부:

공사업체명: 동문림  
 대표자(성명): 등록번호:  
 전화번호: 직공일: 준공일:  
 주소:  
 기타(설비중사 오염방지시설등):

유 량 계: 설치 물스양자: 설치 그라우팅:  
 상부보충공: 설치 수위측정관: 미설치 कै이상: 설치  
 전기가설: 미설치

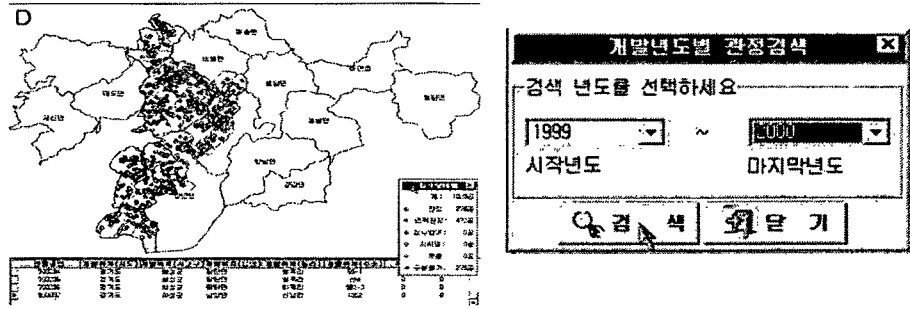
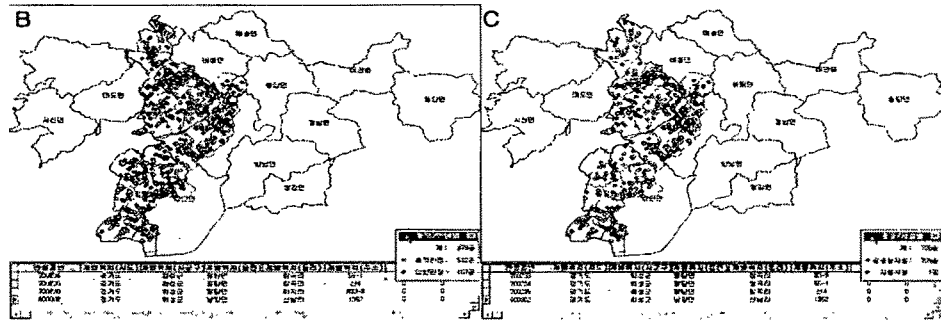
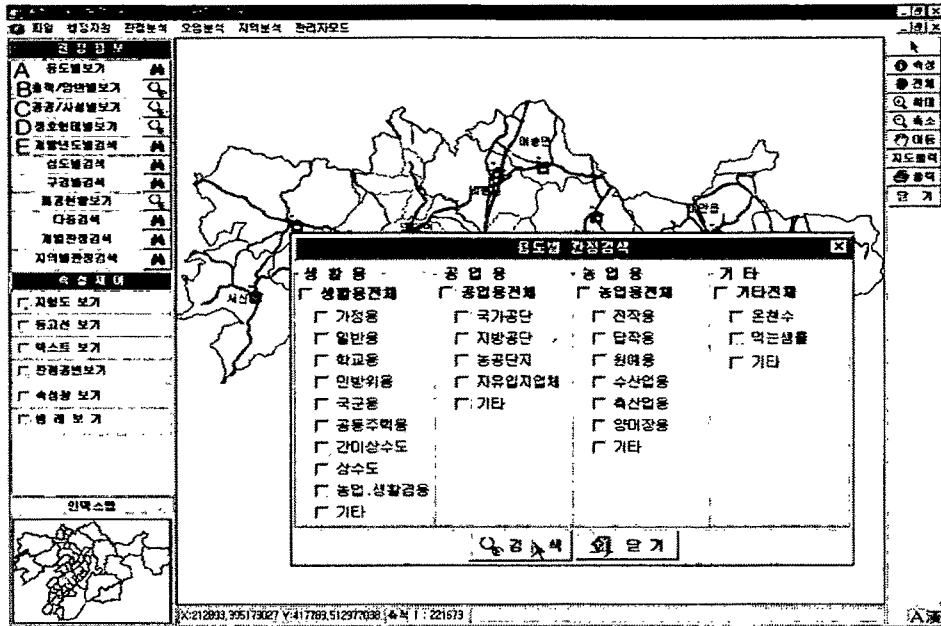
관공신고일: 준공신고일:  
 담당 과: 담당 자:

관정이미지보기 E 양수시험이미지보기 F 시추주상도보기



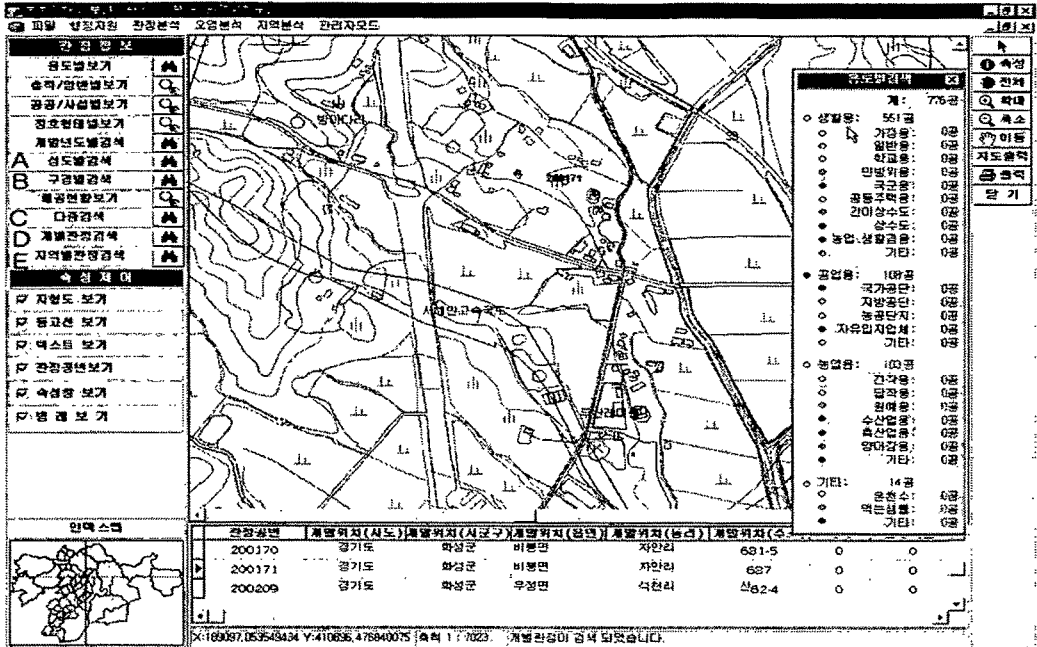
A : 속성창 보기                      B : 범례보기  
 C : 개별관정 정보보기              D : 관정이미지 보기  
 E : 양수시험 이미지 보기            F : 시추주상도 보기

<그림 4-2-4> 관정위치도



A : 용도별 보기                      B : 층적/암반별 보기  
 C : 공공/시설별 보기              D : 정호형태별 보기  
 E : 개발년도별 검색

<그림 4-2-4> 관정위치도 (계속)



**심도별 관장검색**

심도를 숫자로 입력하세요

60 m ~ 80 m

**구경별 관장검색**

구경을 선택하세요

25 mm ~ 50 mm

**다중검색**

<input type="checkbox"/> 심도별	<input type="checkbox"/> 송석/암면별	<input type="checkbox"/> 공공/사설별	<input type="checkbox"/> 장호형태별
<input type="checkbox"/> 상암용	<input type="checkbox"/> 송석관정	<input type="checkbox"/> 공공별	<input type="checkbox"/> 관정
<input type="checkbox"/> 동암용	<input type="checkbox"/> 암반관정	<input type="checkbox"/> 사설별	<input type="checkbox"/> 인력관정
<input type="checkbox"/> 기타			<input type="checkbox"/> 집수암거
			<input type="checkbox"/> 지하용
			<input type="checkbox"/> 우물
			<input type="checkbox"/> 구분불가

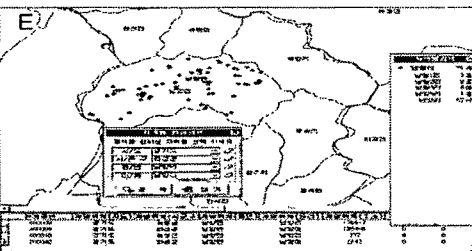
**개별 관장검색**

검색을 원하는 항목을 입력 하세요

허가번호

성 명

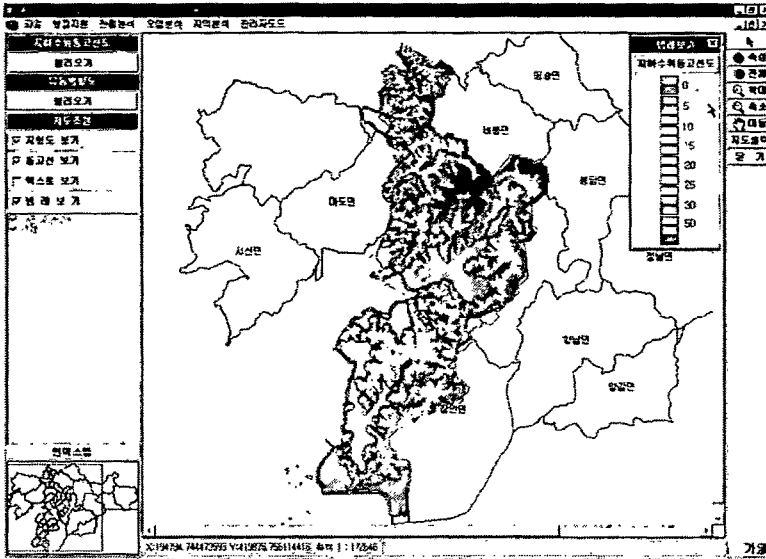
상 호 고려산업



- A : 심도별 관장검색
- B : 구경별 관장검색
- C : 다중검색
- D : 개별 관장검색
- E : 지역별 관장검색

<그림 4-2-4> 관정위치도 (계속)

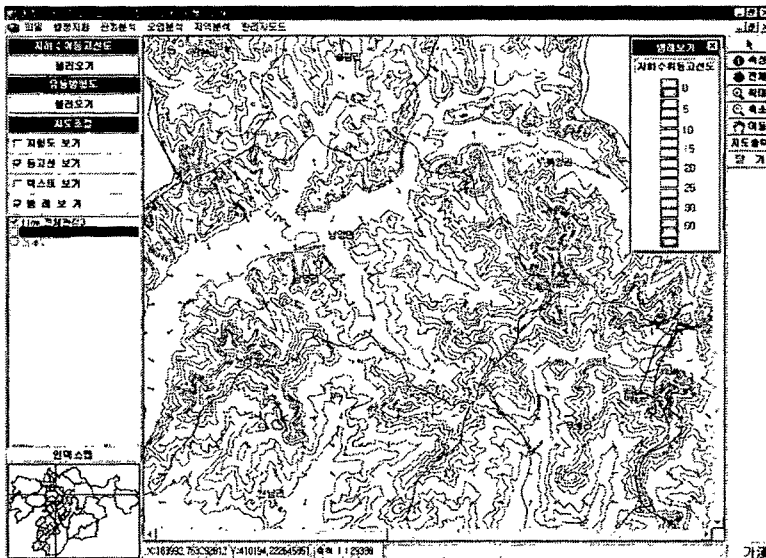




<그림 4-2-5> 지하수위 등고선도

### 3) 지하수 유동방향도

지하수 유동방향도는 그림 4-2-5에서와 같이 작성된 지하수위 등고선도의 수위차를 이용하여 지하수 유동 방향을 표시할 수 있으며 모든 셀에 방향을 표시할 경우 복잡성을 고려하여 임의의 간격으로 표시할 수 있도록 하였다. 이와 같은 방법을 통해 시스템을 이용하여 지하수의 흐름을 분석할 수 있다(그림 4-2-6).



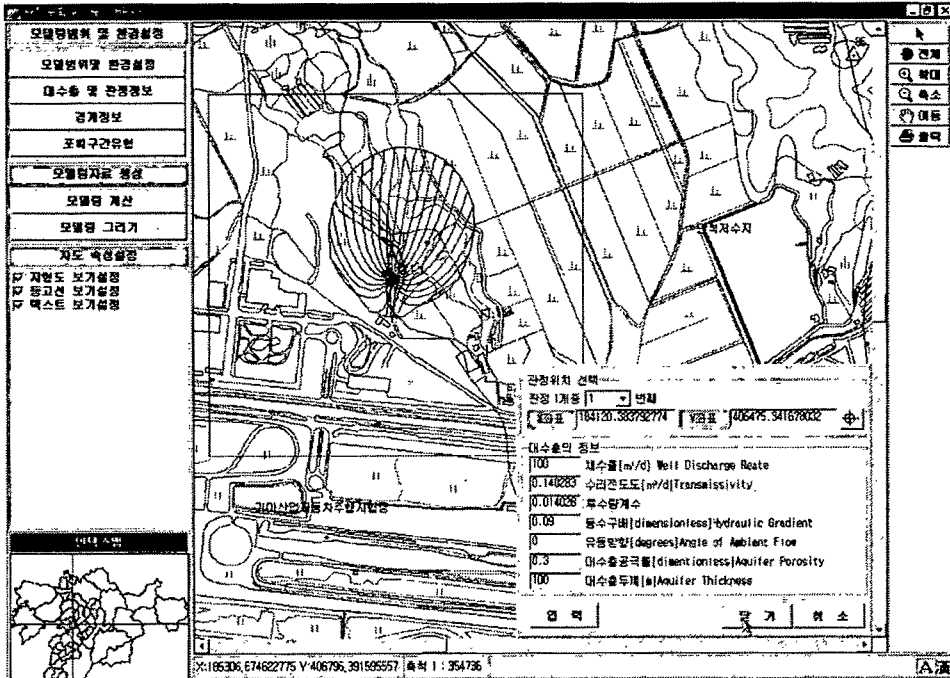
<그림 4-2-6> 지하수 유동방향도



### 5) 관정포획구간도(WHPA)

가상관정 포획구간도에서는 임의의 지역에 대하여 그 지역의 수리상수 값을 이용하여 영향권 반경을 구하는 반면, 관정포획구간도는 실제의 양수시험 결과 얻어진 자료를 이용하여 영향권 범위를 산정할 수도 있다. 따라서 보다 현실에 가까운 영향권 검토를 할수 있는 것이다.

<그림 4-2-8>은 WHPA를 이용한 관정포획구간도를 그리는 프로그램은 나타낸 것이다. WHPA 입력 인자는 양수량, 투수랑계수, 동수구배, 유동방향, 저류계수, 유효공극률, 대수층 두께 등이 있으며 양수량과 대수층 두께는 사용자로부터 입력을 받으며 나머지는 지역 값을 가지고 있다.



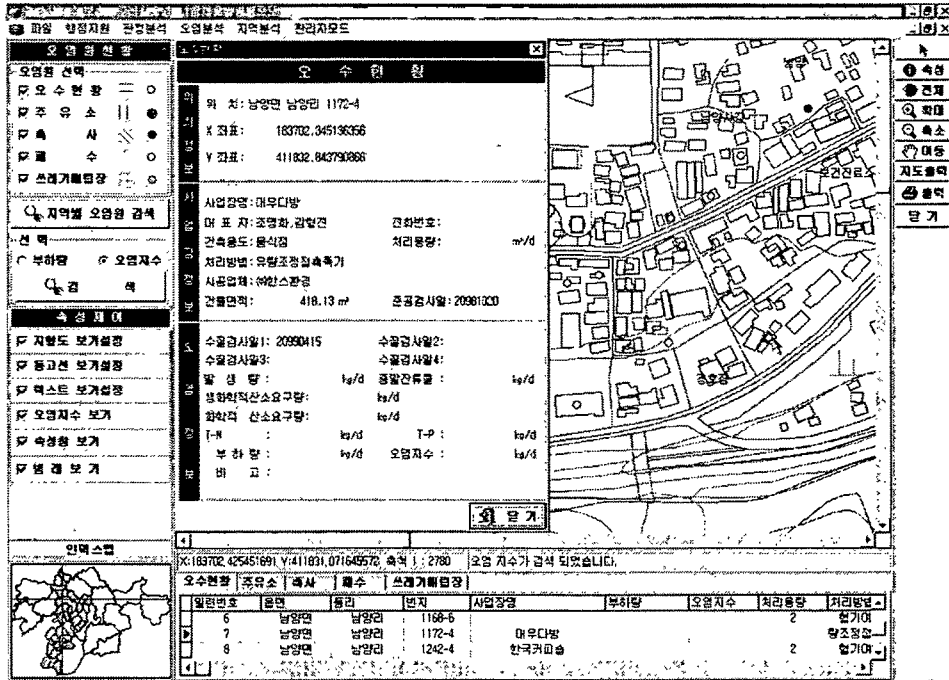
<그림 4-2-8> 관정포획구간도(WHPA)

가상관정 포획구간도와 마찬가지로 입력자료의 대부분은 지역 값으로 입력되어 있으며 입력된 자료를 이용하여 영향권 검토를 하거나 실제 자료를 입력하여 영향권을 검토할 수도 있다.

## 다. 오염분석

### 1) 잠재오염원 분포도

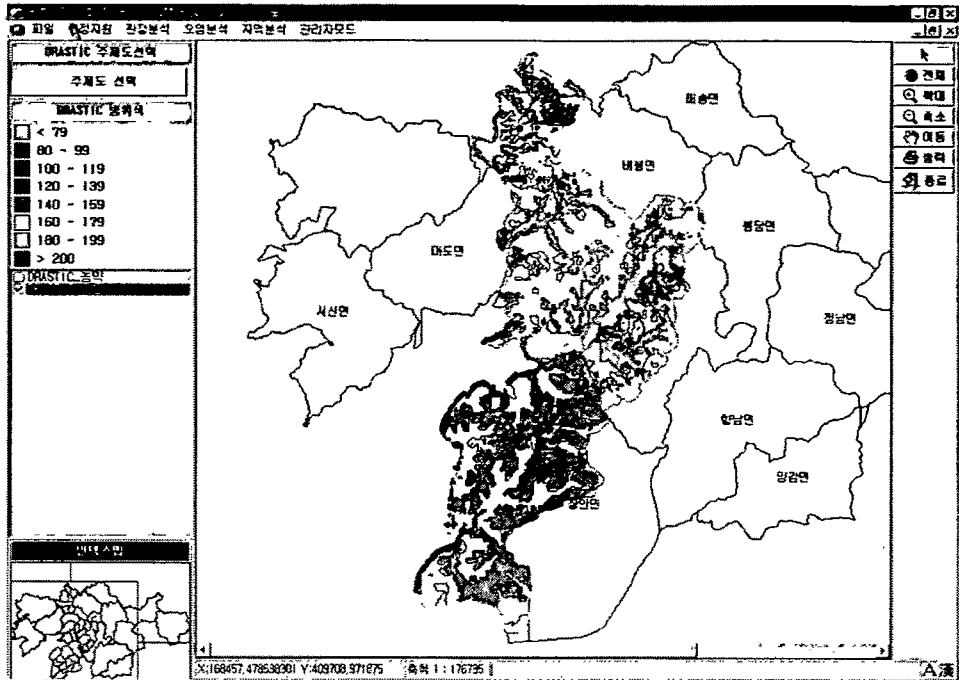
조사된 오염원의 위치 표현과 동시에 각종오염원의 정보를 표현해주며 오염원별 BOD, T-N, T-P, SS 값을 폴리곤 처리함으로써 주제도 간의 중첩시 투명성이 유지하도록 구축되었다(그림 4-2-9).



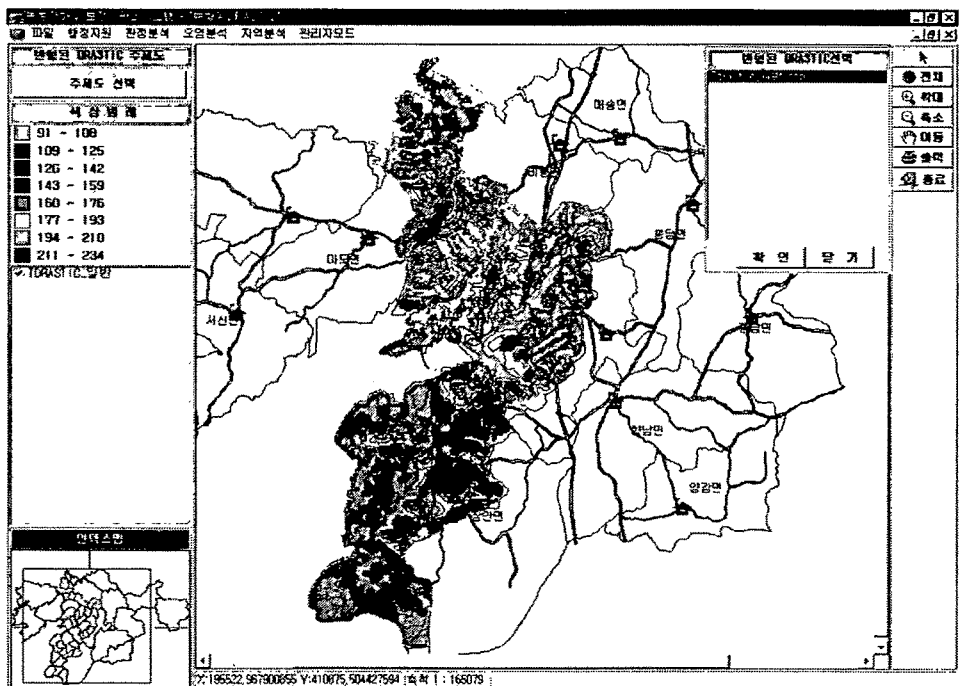
<그림 4-2-9> 잠재오염원 분포도

### 2) DRASTIC 주제도

- Depth to Water : 지하수위 범위에 따른 등급 및 가중치를 적용
  - Recharge : 순수 함양량의 범위에 따른 등급 및 가중치를 적용
  - Aquifer Media : 지질분류에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.
  - Soil Media : 토양분류에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.
  - Topography : 지형경사도에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.
  - Impact of Vadose Zone : 비포화대 특성에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.
  - Hydraulic Conductivity: 대수층의 수리전도도에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.
- 각 인자값들의 요소를 중첩시킴으로 나온 범위에 따른 DRASTIC 주제도를 생성한다.



<그림 4-2-10> DRASTIC(오염분석)



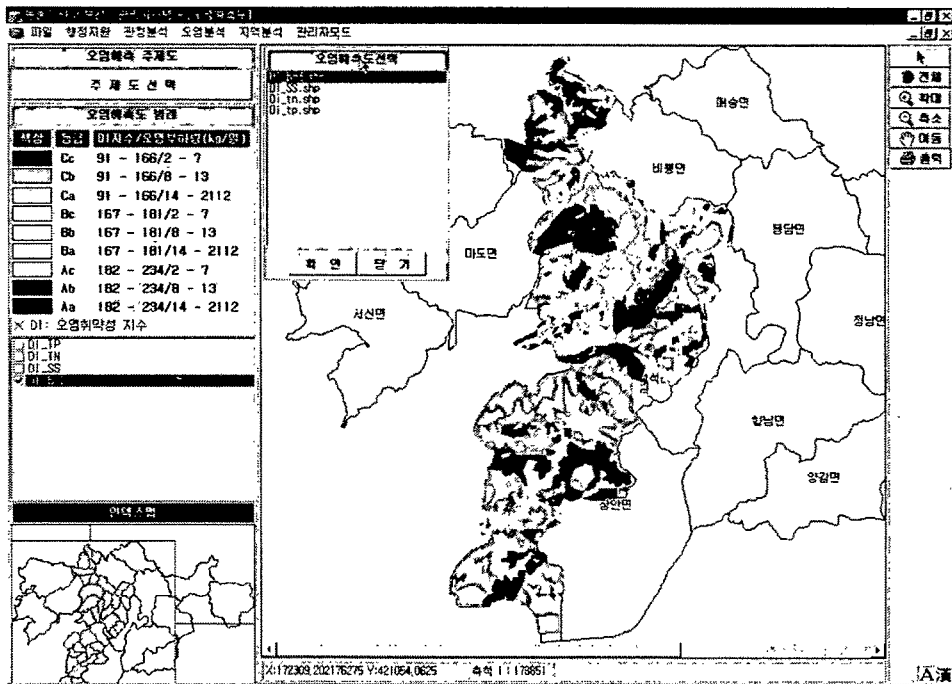
<그림 4-2-11> 변형된 DRASTIC

### 3) 변형된 DRASTIC 주제도

지질도, 위성영상 DEM에서 추출한 구조선을 이용하여 일정 격자별 밀도를 구하고 이를 일정범위로 분류하여 선구조밀도도를 구축하고 또한 감독 분류에 의한 토지이용 분류를 하여 각각에 등급을 설정함으로써 토지이용도를 구축한다. 그리고 이들 자료는 일반 DRASTIC 주제도와 중첩됨으로써 최종적인 변형된 DRASTIC 주제도를 생성할 수 있다(그림 4-2-11).

### 4) 오염예측도

잠재오염원에 대한 부하량 산정 후 정규화(Normalizing)하여 중첩을 하고 또한 변형된 DRASTIC 주제도와 일정범위에 따른 공통지역을 산정할 수 있도록 질의(Query)를 함으로써 최종적인 오염예측도를 구축할 수 있다.

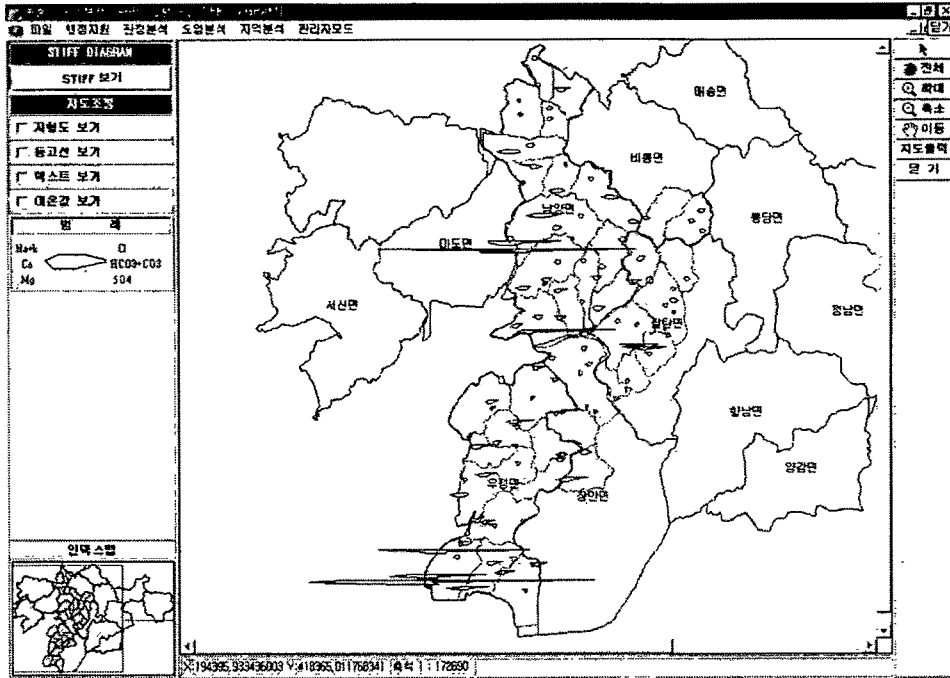


<그림 4-2-12> 오염예측도

### 5) Stiff Diagram

Stiff Diagram은 도표의 중앙선을 중심으로 왼쪽은 양이온 중에서 Na+K, Ca, Mg의 이온농도를, 오른쪽은 음이온 중에서 주 음이온인 Cl, HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>의 농도를 일종의 모형으로 나타내어 작성한 것이다. 지하수조사에 있어서 각 시료

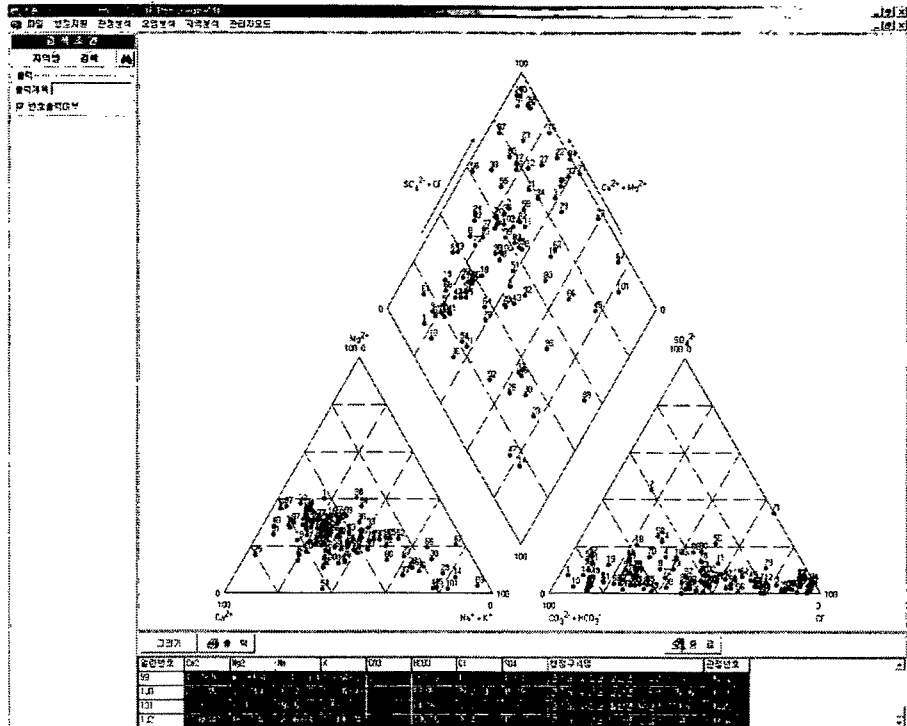
채취지점의 수질분석 결과를 이러한 Stiff Diagram으로 도식화하면, 동일기원의 지하수는 같은 형태의 모양을 나타내고 해수의 영향을 받는 경우는 좌우로 긴 형태를 띄므로 지하수 유형과약에 유용하게 사용할 수 있다. 이온들 값을 이용하여 관정을 중심으로 표현하고 현장조사 D/B에 자료추가시 자동적으로 그래프가 그려지게 되어있다(그림 4-2-13).



<그림 4-2-13> STIFF DIAGRAM

### 6) Piper Diagram

Piper Diagram은 하단에 두 개 삼각형 중 왼쪽은 주 양이온인 K, Na, Mg, Ca의 당량농도를 백분율(meq/l %)로 환산하여 도시하고 오른쪽 삼각형에는 주 음이온인 Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> 이온의 당량농도를 역시 백분율로 환산하여 도시한다. 양이온과 음이온이 도시된 점을 상부에 있는 다이아몬드형 그래프에 도시하여 지하수의 유형분석과 진화 및 혼합작용을 분석하는데 이용한다(그림 4-2-14).



<그림 4-2-14> PIPER DIAGRAM

## 라. 지역분석

### 1) 지역, 유역별 수량/수질 분포도

각 유역에 대한 수량 및 수질을 관정DB에서 값을 추출하여 그래프로 표현한다(그림 4-2-15).

행정구역이나 유역내의 수량을 부존량, 개발량, 잔여량 등으로 표시하여 지하수 이용관리에 활용할 수 있도록 가시화 하였고, 신규관정이 추가하거나 소멸될 때 지하수 이용량의 증가, 감소가 나타남으로 이용관리가 가능하다.

### 2) 간이수질

지하수 수질자료를 이용하여 행정구역별, 소유역별 지하수 수질오염 정도를 EC, TDS, pH, NO<sub>3</sub>-N의 값들을 이용하여 취약지역을 표현한다(그림 4-2-16). 이를 이용하면 지역별 수질에 대한 판단 근거를 제시할 수 있으며 지하수 이용관리나 수질오염 관리가 가능하다.

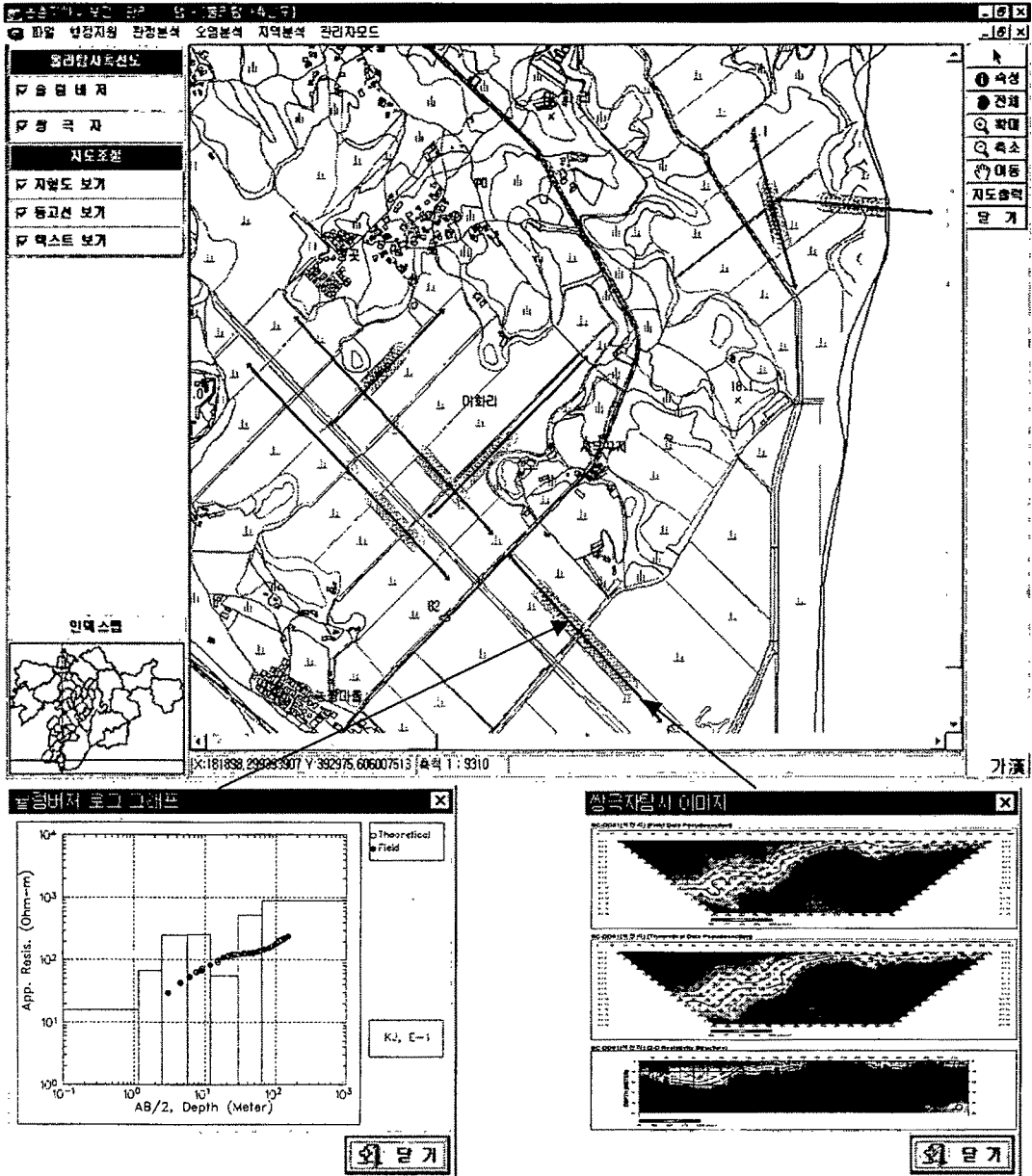






#### 4) 물리탐사도

수직/수평 전기비저항탐사(쌍극자, 슬럼버져)의 위치를 표현하고 각 위치에 해당하는 정보를 이미지 및 그래프로 표시한다(그림 4-2-18). 또한 탐사자료는 D/B화하여 Data를 관리할 수 있도록 하였다.



<그림 4-2-18> 물리탐사 축선도



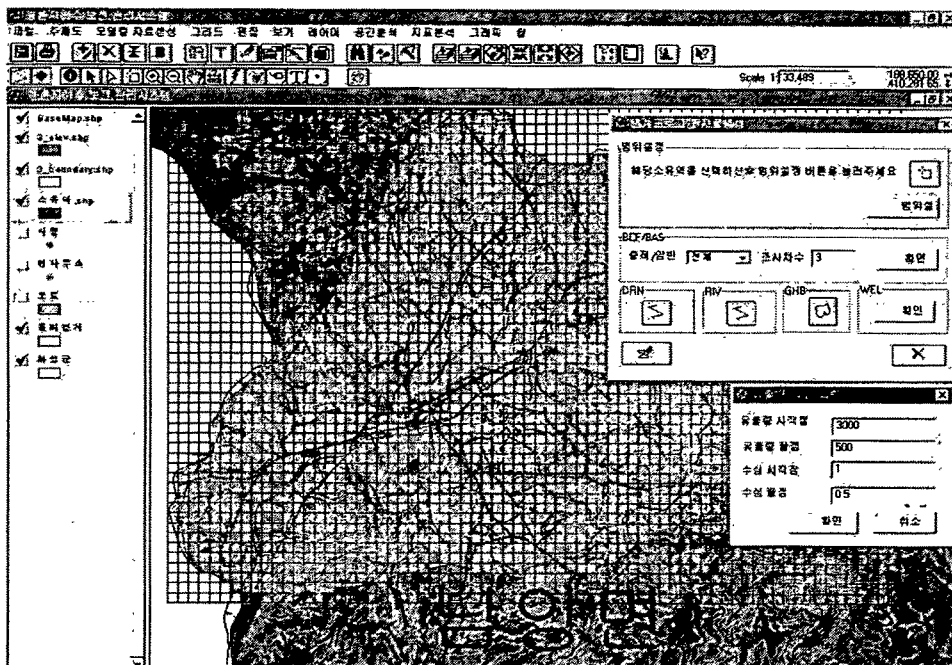
## 바. 주제도 분석

지하수위 등고선도, 지하수 유동방향도, 오염예측도, 일반 DRASTIC, 변형된 DRASTIC, 수질현황도, 선구조도도/선구조밀도도, 물리탐사도, 오염예측도 등의 주제도를 생성하여 분석하는 기능을 제공한다.

## 사. 모델링

### □ 지하수 모델링이란?

특정 지역의 복잡한 지하수 수문과 지하수 유동 및 지하수 화학, 오염물질의 거동등을 단순화시킨 수학적 표현으로, 지하수의 유동과 오염물질의 거동을 모사하기 위해 질량보존방정식과 지하수유동지배식을 이용한다. 이때 해당지역을 파악하고 실제 관측자료에 기초해야 한다.



<그림 4-2-20> 모델링 자료입력

## □ 지하수 모델링의 목적

지하수모델링의 목적은 수집가능한 과거와 현재의 모든 관련 자료들을 이론적 인 지배식과 결합시켜 현재의 지하수관련현상을 분석하고, 과거의 지하수 관련 현상을 재현하며, 미래에 일어날 수 있는 변화를 예측하는데 있다.

지하수 모델링을 활용할 수 있는 분야를 정리하면 다음과 같다.

- 지하수 자원의 최적관리 : 최적 채수량 결정, 지하수 보호구역 결정
- Case Study를 통해 지하수환경에 미치는 영향을 검토 : 광역 지하수 흐름계에 댐을 설치했을 때의 영향, 배수시설(지하철, well point) 사고시 발생 가능 영향 분석
- 정화시스템 최적 정화방안 선정과 설계
- 환경위해분석 : 최적 채수량의 결정, 수용체 소재 지점에서 오염물질의 농도 예측

## □ MODFLOW의 실행방법과 입력패키지

MODFLOW는 다공질포화매체 내에서 지하수흐름을 모사하기 위해서 개발된 프로그램으로 이들 다공질매체 내에서 유동하는 유체는 온도와 밀도가 항상 일정한 것으로 가정하고 있다.

MODFLOW는 주프로그램과 모듈이라고 부르는 서로 독립된 많은 수의 부속 프로그램으로 구성되어 있다. 포트란으로 만들어진 MODFLOW는 이들 부속프로그램을 옵션으로 지정하여 해당 유닛을 통해 파일을 읽어들인다. 패키지는 필수 패키지인 BAS 패키지 외에 내부유동항을 수식화하는 BCF 패키지를 포함하는 유동성분패키지와 해법패키지(SIP, SOR, PCG, WHS)로 구분된다. RIV, DRN, WEL 패키지 등의 유동성분패키지들은 정해진 유닛 별로 읽어들여져서 연산을 위한 각 변수에 할당된다. 주프로그램은 각 변수들은 내부적으로 수식화하여 유 한차분법을 통해 해를 구한다.

Visual MODFLOW의 경우에는 연산을 수행하는 MODFLOW 외에 전,후처리기를 사용하여 사용자 편의성을 증대시켰다. 따라서 Visual MODFLOW를 통해 입력자료를 구성할 수 있고, 연산 후에는 결과를 디스플레이 할 수 있다

<표 4-2-2> 주요 패키지들 (유동성분패키지)

패키지명	약자	설명
Basic	BAS	- MODFLOW모델의 가장기본이 되는 패키지 - 입력사항:사용할 주읍선, 유역경계를 층/행/열로 입력, 초기수두, 모사일수
Block Centered Flow	BCF	- 주변 셀 사이의 지하수유동률을 결정하기 위해 유한차분식의 전도계수를 계산하며, 원래 포화대 내에 저류되어 있던 지하수의 유출입률(유동율)을 결정하는 항을 계산 - 입력사항 : 투수량계수(=수리전도도*포화두께), 바닥면표고, 수직수리전도도,저류계수
Well	WEL	- 대수층으로부터 특정비율로 지하수를 채수하든가 주입하는 우물 또는 기타채수시설을 모사 - 입력내용 : 우물의 양수량
Recharge	RCH	- 대수층의 면함양(Areal recharge)을 모사. 대부분의 면함양은 지하수계로 침투하는 강수에 의해 발생한다. - 입력내용 : 셀당 함양량
River	RIV	- 지표수계와 인접한 지하수계 사이의 흐름영향과 특성을 모사 - 입력내용:하천 수위, 유출량, 하천바닥 고도값
Drain	DRN	- 대수층에서 배수되는 양이 대수층의 수두와 고정수두와의 차에 비례하는 농업용 배수로와 같은 영향을 모사하기 위하여 사용 - 입력내용 : 배수로가 있는 레이어 및 그리드의 행/열, 배수로의 표고, 전도계수(수리전도도)
Evapotranspiration	EVT	- 포화대수층으로부터 지하수가 대기로 직접 증발하거나 식물에 의해 증산되는 현상을 모사 - 입력내용 : ET의 표면표고,최대증발산율,고열심도
General Head Boundary	GHB	- 유한차분식에 일반수두경계항 추가 - 입력내용 : 셀의 수두, 셀의 전도계수

□ 전문연계프로그램 (Visual MODFLOW 입력패키지 생성)

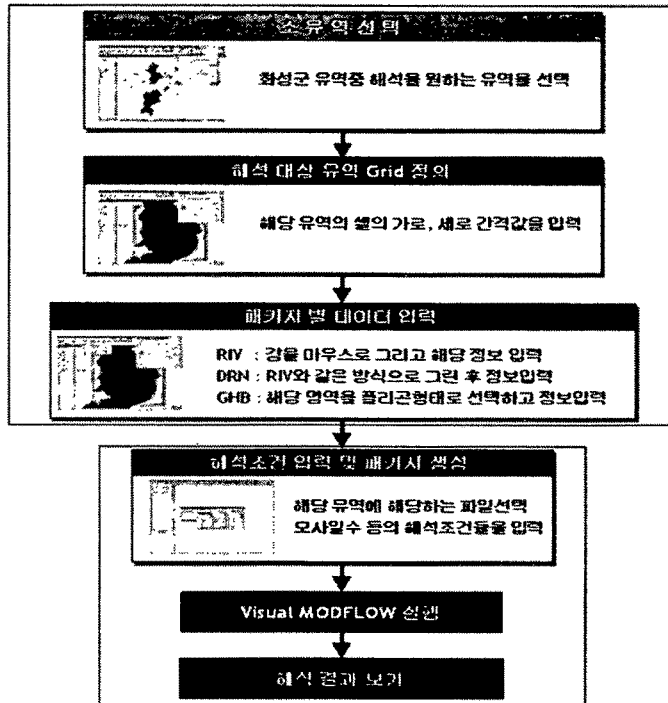
전문연계프로그램은 현장조사를 통해 이미 구축된 유역의 데이터를 이용하여 사용자(관리자)가 MODFLOW를 통해 지하수흐름을 계산하기 위한 입력패키지들을 자동으로 생성하는데 그 목적이 있다. 3차원 지하수모델을 구성하기 위해서는 많은 노력과 시간을 투자해야 하고, 부정확한 데이터를 입력할 경우, 현실과 동떨어진 해석결과가 도출되므로 이로 인해 문제점이 야기될 수 있다. 전문연계프로그램은 사용자의 많은 반복작업을 줄여주므로 지하수유동해석을 위한 시간과 자원을 아낄 수 있다.

○ 가정사항

- 연직방향 층(layer)은 2개로 구분된다.
- 셀간격은 가로방향 등간격으로, 세로방향 등간격으로 나뉜다.
- 같은 셀 내에는 WEL, RIV, DRN 패키지 데이터가 중복되어 입력될 수 없다.

○ 프로그램 흐름설명

사용자는 우선 해석하고자 하는 유역을 선택하고, 제공되는 전처리기를 통해 유효 셀을 선택한다. 다음으로 River, Drain, General Head Boundary 영역을 선택하고 해당정보를 입력하면, 패키지 생성에 기초가 되는 파일이 만들어진다. 패키지생성프로그램에서는 이 기초파일을 불러들이고, 해석 옵션을 사용자입력으로 받은 후, 연산이 수행되면서 BAS, BCF, WEL, RIV, DRN, GHB, RCH 패키지가 자동으로 생성된다.

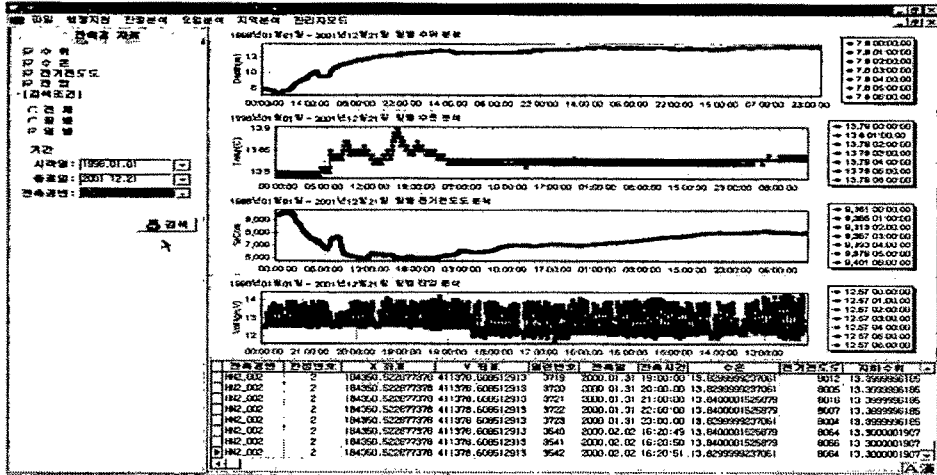


<그림 4-2-21> 전문연계프로그램 전체흐름도



## 아. 관측망

관측정 위치, 시설규모, 장비제원 등의 표현 측정자료(지하수위, 전기전도도, 온도)의 실시간 취득 및 표현 분석기능, 관측정에서 취득된 자료를 이용하여 변화추이 그래프를 자동으로 생성한다(그림 4-2-22).



<그림 4-2-22> 관측모니터링

## 4.3 향후 추진계획

### 4.3.1 기대효과

#### 가. 업무 측면

- 시범사업을 통해 농촌지역의 지하수 관리업무의 전국적 적용의 기틀을 마련
  - 화남2지구의 시범사업으로 얻어진 결과물을 토대로 향후 사업시행 지구로 확대 적용
  - 현장조사를 통해 해당구역의 지하수정보가 구축되면, 그 뒤에 발생하는 신규 관정설치, 축사 등 오염원들에 의한 영향 등에 대하여 종합적이고 체계적인 분석을 통한 업무방향을 제시할 수 있음.

#### 나. 기술적 측면

- 현장 관측자료의 DB화

- 데이터의 재사용성

DB화 작업은 한번 구축된 데이터를 보존하고 같은 데이터를 다른 분야에 적용하는 것을 용이하게 한다. 즉 전문지하수유동해석 프로그램과의 연계 등에 활용되어 사용자의 업무능률을 향상시켜주며, 시스템 확장의 기초가 된다.

## 4.3.2 발전방향

### 가. 업무 측면

#### 서비스지역의 확대

- 용수구역 단위로 농촌지하수관리업무 체계를 확립하고 지하수 정보의 통합관리로 지하수 관리의 기초토대 형성
- 서비스의 전국적 확대에 대한 기초를 마련  
지하수관리업무에 대하여 개선된 업무체계를 제시하고, 관련된 설계를 실시 적용사례와 비교, 검토하여 추후 적용에 반영한다.

#### 오염분석시스템

- GIS 시스템과의 적극적인 연계를 통해 종합적인 지하수의 오염예방에 기여
- 잠재오염원 뿐만 아니라 오염 예측평가를 통하여 지역적으로 지하수 오염에 대한 관리가 가능토록 함.

### 나. 기술적 측면

#### Client / Server 환경으로 확대

- 인터넷 환경의 급격한 발전으로 인한 시대적 요청
- DB를 기반으로 한 일원화된 시스템관리
- 관측자료 관리 및 데이터 업데이트에 대하여 적극적인 시스템 구축

#### 사업확대에 따른 파일 및 데이터 관리를 체계화

- 데이터의 분실을 막고, 변경사항에 대한 이력 관리 등 자료를 효율적으로 관리하기 위한 일관된 코드 등의 체계를 마련
- 사용자의 작업 디렉토리 및 각 단위시스템들의 관리체계 구축

여 백

## 5. 보고서 작성

### 5.1 보고서 작성지침 및 내용

#### 5.1.1 작성지침

지하수법 시행령 제12조 제2항 관련 별표2에 지하수영향조사 보고서 작성에 대하여 다음과 같이 작성지침을 제시하고 있다.

- ① 조사방법에 따라 수집·분석한 내용을 조사항목별로 체계적·논리적으로 기술한다.
- ② 평가기준에 대한 조사자의 분석 결과를 기술한다.
- ③ 그 밖의 참고자료를 첨부한다.

지하수 기초조사 또는 지하수관리조사의 보고서 작성에 대하여는 별도의 작성지침이 규정되어 있지 않으므로 상기한 지하수영향조사 보고서 작성지침을 준용할 수 있을 것이다.

첫째, 조사과정에서 수집된 자료를 분석하고 조사항목별로 체계적이고 논리적으로 기술하는 것이다. 체계적이라 함은 조사내용을 계통적이고 순서 있게 정리하는 것이고, 논리적이라 함은 자료 분석결과 결론을 이끌어 내는 과정이 합리적이고 이치에 맞아야 함을 의미한다. 그러므로 보고서 전체의 흐름이 일관성 있고 앞뒤의 기술적 설명이 연결되어야 하며, 결론을 제시할 때에는 판단근거를 함께 기술하여야 한다.

둘째, 평가기준에 대한 조사자의 분석 결과를 기재하도록 되어 있다. 지하수 관리조사에서는 평가기준을 지하수법 시행령 제2조 제2항에서 제시하고 있는 지하수조사 결과에 따른 수문지질도 작성기준으로 해석할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다.

- 지형 및 지하지질의 분포
- 지하수의 수위분포
- 지하수를 함유하고 있는 지층의 구조와 수리적특성
- 지하수의 수질특성
- 지하수의 개발가능량
- 기타 지하수의 부존특성 등에 관한 기초적인 조사를 위하여 필요한 사항

그러므로 위의 작성기준에 대하여 각 항목별로 조사자의 분명한 의견이 제시되어야 하며, 핵심을 벗어난 내용을 장황하게 설명하거나 주요내용에 대한 결론을 유보하고 우회적으로 설명하는 기술은 바람직하지 못하다.

셋째, 참고자료를 첨부하도록 하고 있는데 참고자료라 함은 조사 과정에서 취득한 기술적 자료는 물론이고 기존 조사자료도 포함된다. 기초자료 분석내용, 용수원 이용현황, 관정현황, 지하수 수위 및 수질 관측자료, 대수성 시험 및 수리

분석 결과, 수질 및 토양시료 분석결과, 관측정 설치내용 등이 주요 자료이며 또한 보고서 작성에 참고로 인용한 기타 자료들도 첨부한다.

### 5.1.2. 작성내용

지하수관리조사 보고서의 작성내용은 지구별 특성과 조사자의 접근방법에 따라서 매우 다양하겠으나 조사의 목적과 취지에 따라 가능한 한 통일된 작성절차와 작성기준을 설정하는 것이 바람직하다.

기초자료 분석내용, 용수원 이용현황, 관정현황, 지하수수질 조사결과, 대수층 수리분석 결과, 관측정 설치내용 등 조사내용을 정리하고 용수구역내 지하수자원을 종합적으로 평가하여 보고서에 수록할 수 있도록 보고서작성 항목별 목차를 다음과 같이 설정하였다.

#### <보고서 작성 항목 및 기본주제>

1. 서언
  - 1-1. 조사배경 및 목적
  - 1-2. 조사추진 체계도
  - 1-3. 과업내용
  - 1-4. 과업참여자
2. 기본현황
  - 2-1. 자연현황
  - 2-2. 인문사회현황
  - 2-3. 토지이용현황
  - 2-4. 하천 및 유역현황
  - 2-5. 환경현황
  - 2-6. 용수이용현황
3. 세부조사
  - 3-1. 관정현황조사
  - 3-2. 잠재오염원 조사
  - 3-3. 지표지질
  - 3-4. 원격탐사
  - 3-5. 지하수위 및 수질조사
  - 3-6. 대수층시험
  - 3-7. 지구물리탐사 및 검층

- 3-8. 물수지분석
- 3-9. 오염취약성 및 오염예측도
- 3-10. 지하수모델링
- 4. 시스템구축
  - 4-1. 시스템구성
  - 4-2. 시스템구성내용
- 5. 종합분석 및 결론
  - 5-1. 지하수 수리특성
  - 5-2. 지하수 수질특성
  - 5-3. 종합결언
- <참고문헌>
- <부 록>

## 5.2 보고서 작성요령

보고서 작성의 목적은 조사내용 및 결과를 정리하여 문서로서 제시하는데 있으며 앞 절의 작성지침에서 설명한 바와 같이 체계적이고 논리적으로 기술하는 것이 보고서작성의 요체라고 할 수 있다.

체계적이고 논리적으로 기술하기 위하여 조사내용의 주제별로 도입부분, 조사부분, 분석부분, 결론부분으로 나눌 수가 있다.

도입부분에서는 조사목적과 기초이론을 소개하고 조사내용에 대한 독자의 이해를 도울 수 있도록 한다. 본 지침서에는 여러 가지 조사방법에 대하여 기술하고 있으나 보고서 작성에서는 실제 현장에 적용된 방법에 대해서만 기술하도록 한다.

조사부분에서는 현장 여건에 맞추어 조사내용을 기술하고 필요시 위치도, 수집자료표, 조사결과표 등 도표로 정리하여 설명할 수 있다.

분석부분에서는 조사 결과 및 기타 자료를 종합하여 분석한 결과를 통계분석표, 분석 그래프, 분포도 등 도표를 이용하여 기술한다. 지하수관리시스템에 의해 분석하여야 하는 경우에는 시스템 입력자료 범위와 처리과정 및 분석결과에 대하여 설명한다.

결론부분은 조사 및 분석에서 얻은 결과의 적정성 여부를 검토하여 기술한다. 결론을 도출하는 과정은 가능하면 두 가지 이상의 방법을 사용하여 결과를 비교하는 것이 바람직하며 또한 결과가 현지 실정에 부합하는지를 검토하여야 한다. 주제별 분석결과와 결론을 종합하여 보고서의 종합분석결과와 종합의견을 제시하도록 한다.

농촌지하수관리조사는 지하수법 시행령 제2조에서 규정하는 지하수 기초조사의 범주에 속한다고 볼 수 있다. 지하수 기초조사의 성과품은 수문지질도 작성에 초점을 두고 있으나 농촌지하수관리조사의 성과품은 관리시스템 구축에 목표를 두고 있다. 농촌지하수관리시스템은 모든 지하수관련 자료를 DB화하여 입력하고 향후 변동 또는 추가되는 자료를 계속 입력해 가며 지하수관리를 최적화하는 전산화 시스템으로 수문지질도를 포함한 각종 주제도를 생산할 수도 있다.

그러므로 보고서는 관계기관 및 지하수분야 종사자가 농촌지하수관리시스템을 활용하는데 안내 역할을 할 수 있도록 편집되어야 한다. 보고서 작성 항목별 작성 요령을 요약하면 다음과 같다.

## <보고서 항목별 작성요령>

구 분	항 목	작 성 요 령
I. 서 언	1. 조사배경 및 목적	· 지하수관리조사 시행 배경과 조사의 목적을 기술
	2. 조사추진 체계	· 조사 내용 및 시행절차를 나타내는 흐름도 작성
	3. 과업 내용	· 조사대상지구, 조사기간, 공종별 조사작업량 등 수록
	4. 과업 참여자	· 조사 참여기술자 등을 기술
II. 기본현황	1. 자연현황	· 조사지구의 위치 및 교통, 행정구역현황
	2. 인문사회현황	· 인구현황, 산업경제현황
	3. 토지이용현황	· 조사지구내의 행정구역별 지목별 토지이용현황 자료
	4. 하천 및 유역현황	· 조사지구내 하천의 제 현황과 유역구분 및 행정구역별 편입면적
	5. 환경현황	· 하수관거, 하수처리장, 분뇨처리장, 쓰레기매립장 등 환경기초시설 현황자료 수록
	6. 용수이용현황	· 생활용, 농업용, 공업용 및 기타 용수의 이용현황과 향후 용수수요의 추세 · 용도별 지하수 이용현황
III. 세부조사	1. 관정현황조사	· 관정 일제조사 결과를 유역별, 행정구역별로 구분하여 용도별, 구경별, 심도별, 표고별 현황분석 · 단위면적당 지하수이용현황 분석
	2. 잠재오염원조사	· 잠재오염원 분류에 의한 유역별, 행정구역별 잠재오염원분포
	3. 지표지질조사	· 분포지질의 개요를 기술하고 지질계통도 및 지질도 작성 · 분포지질 암석별 지질각론 기술 · 지질구조 조사내용 및 지질단면도 작성
	4. 원격탐사	· 위성자료에 의한 선구조 추출결과 · 선구조 방향분석과 · 선구조 밀도분석 내용 기술



구 분	항 목	작 성 요 령
Ⅲ. 세부조사	5. 지하수위 및 수질 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일제조사시 관측된 지하수 수위분포도</li> <li>· 일제조사시 관측된 지하수 간이수질 분포도</li> <li>· 지하수위 장기관측자료에 의한 수위 변동분석</li> <li>· 주요지점 물시료 채취 및 정밀 수질조사 결과</li> <li>· 주요지점 토양시료 채취 및 분석 결과</li> </ul>
	6. 지구물리탐사 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 탐사방법별 조사내용과 해석결과</li> <li>· 검증방법별 조사내용과 검증결과</li> </ul>
	7. 시추 및 착정조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기존 시추·착정공의 자료 분석에 의한 대수층 상태</li> <li>· 신규 시추·착정조사 시행의 경우 그 조사방법과 결과</li> </ul>
	8. 대수성시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 순간수위변화시험 방법과 해석 결과</li> <li>· 양수시험 종류별 방법과 해석 결과</li> <li>· 유역별 대수층의 투수성 및 저류성 분석 결과</li> </ul>
	9. 지하수 개발가능량 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 물수지분석을 위한 수문자료 분석결과</li> <li>· 물수지분석에 의한 지하수개발가능량 추정결과</li> <li>· 토양수분수지분석에 의한 지하수개발가능량 추정결과</li> <li>· 침투량 분석에 의한 지하수개발가능량 추정결과</li> <li>· 기타 방법(지하수위강하 해석 등)에 의한 지하수개발가능량 추정</li> <li>· 지하수 적정개발가능량과 향후개발가능량 판단</li> </ul>
	10. 오염취약성 및 오염취약도	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유역별 잠재오염원 분포에 따른 오염부하량 산정 결과</li> <li>· DRASTIC 방법에 의한 오염취약성 분석 결과에 따라 오염취약성도 작성(일반/변형)</li> <li>· 오염취약성도에 오염부하량 분포를 중첩하여 오염취약도 작성</li> </ul>
	11. 지하수모델링	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수모델링과 MODFLOW 개요 설명</li> <li>· 조사지역의 모사구역 설정과 입력자료 내용 기술</li> <li>· 농촌지하수관리시스템의 연계프로그램을 이용한 모델링 시행과정 설명</li> <li>· 모사구역별 정류상태 및 부정류상태의 모델링 결과</li> <li>· 유역별 지하수계 변동 예측에 대한 기술</li> </ul>

구 분	항 목	작 성 방 법
IV. 시스템구축	1. 시스템 구성내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조사지구 지하수관련자료의 DB 내용</li> <li>· 행정지원, 관정분석, 오염분석, 지역분석, 모델링 등을 위한 시스템 구성내용</li> <li>· 주제도 분석 기능에 대한 내용 기술</li> </ul>
	2. 시스템 활용방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시스템을 활용한 각종분석자료 추출요령</li> <li>· 수문지질도를 포함한 각종 주제도 추출요령</li> </ul>
V. 종합분석 및 결언	1. 지하수 수리특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수리지질조사 결과를 종합하여 대수층별 지하수 수리 특성과 개발 가능지역에 대하여 기술</li> <li>· 지하수개발 가능량과 향후 개발가능량에 대하여 기술</li> </ul>
	2. 지하수 수질특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수 간이수질조사와 정밀수질조사 및 토양분석 결과를 종합하여 조사지역의 수질특성을 기술</li> </ul>
	3. 지하수 관리방향	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조사지역의 수리 및 수질특성을 고려한 지하수 최적관리에 필요한 수단에 대하여 기술</li> </ul>
	4. 종합결언	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조사 내용과 분석결과를 종합하여 결언으로 제시</li> </ul>
참고문헌		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조사지구와 관련 있는 조사문헌자료 목록</li> <li>· 보고서 작성에 참고된 문헌자료 목록</li> </ul>
부 록		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 행정현황</li> <li>2. 측사현황 및 가축에 의한 오염부하량</li> <li>3. 토지이용현황 및 토지이용에 따른 오염부하량</li> <li>4. 인구현황 및 인구에 의한 오염부하량</li> <li>5. 오수발생시설 현황</li> <li>6. 폐수발생시설 현황</li> <li>7. 주유소 현황</li> <li>8. 쓰레기매립지 현황</li> <li>9. 시추공 및 관정 주상도 내역</li> <li>10. 현장조사 관정내역</li> <li>11. 순간수위변화시험 결과</li> <li>12. 양수시험 결과</li> <li>13. 전기비저항 탐사 결과</li> <li>14. 전자기탐사 결과</li> <li>15. 물리검층 결과</li> </ol>

## 참 고 문 헌

- 건설교통부, 1969~1999, 한국수문조사연보  
건설교통부, 1999, 지하수업무수행지침서  
건설교통부, 1998~2000, 지하수조사연보  
건설교통부, 1998~2000, 지하수관측연보  
건설교통부, 2000, 한국하천일람  
건설교통부, 2001, 수자원장기종합계획  
건설교통부, 20001, 지하수관리기본계획  
건설교통부, 한국수자원공사, 2000, 지하수관련 제도개선방안 연구보고서  
건설교통부, 한국수자원공사, 2000, 영덕지역 지하수 기초조사 보고서  
과학기술부, 한국자원연구소, 2000, 해수침투 평가, 예측 및 방지기술 개발  
국무총리실수질개선기획단, 2000, 물·환경관련 연구과제 보고서  
농림부, 농업기반공사, 1996, 농촌용수10개년계획  
농림부, 농업기반공사, 1997, 화남2지구 농어촌용수구역 조사보고서  
농림부, 농업기반공사, 1998, 농업용수 수질조사 보고서  
농림부, 농업기반공사, 1998, 지하수관측망 유지관리방안  
농림부, 농업기반공사, 1999, 농업용수 수질조사 보고서  
농림부, 농업기반공사, 1999, '99농어촌지형정보체계(RGIS) 구축보고서(5년차)  
농림부, 농업기반공사, 1999, 농촌용수10개년계획(보완)  
농림부, 농업기반공사, 2000, 농업용수 수질조사 보고서  
농림부, 농업기반공사, 2000, 농어촌지역 지하수자원의 오염예측도 작성기법에 관한 연구  
농림부, 농업기반공사, 2001, 농어촌지역 오염된 지하수의 정화처리 방안에 관한 연구  
농림부, 농업기반공사, 2001, 지하수자동수위관측기 개발 연구  
농림부, 농업기반공사, 2001, 지하수정보종합관리를 위한 GIS 활용기법 개발  
농림부, 농업기반공사, 2001, 해수침투조사사업보고서  
농업기반공사, 서울시, 1996, 서울특별시 지하수 관리계획 기본조사보고서  
농업기반공사, 부천시, 1997, 지하수관리계획 기본조사보고서  
농업기반공사, 청원군, 1998, 초정·미원지구 환경영향조사보고서  
농업기반공사, 옥천군, 1999, 청성지구 지하수 부존량조사 보고서  
농업기반공사, 제주도, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서  
농업기반공사, 1996, 지하수모델링교육교재  
농업기반공사, 1997, 지하수사업업무지침  
농업기반공사, 1998, 지하수보전관리  
농촌진흥청 농업기술연구소, 1973, 수원 및 화성 정밀토양도  
농촌진흥청 농업기술연구소, 1986, 수원, 화성 토양해설도

대한광업진흥공사, 1998, 지하수개발가능량 및 오염취약성 평가에 관한 연구  
 서울대학교 기초과학연구원, 1998, 해수침투에 의한 지하수의 염수화가 원소의  
 거동에 미치는 영향연구 최종보고서  
 수원기상대, 2001, 일별증발량(internet 자료)  
 지질자원연구원, 1996, 임실지역 지하수부존 조사연구  
 환경부, 1999, 환경기본통계편람  
 환경부, 2000, 99상수도통계  
 환경부, 2000, 환경통계연감  
 환경부, 2001, 환경산업총람  
 환경부, 2001, 2000년 지하수·수질측정망 운영결과  
 환경부, 2001, 2000년 토양측정망 운영결과  
 환경부, 2001, 토양측정망운영  
 한국과학기술연구원, 1998, 오염토양분석 Workshop  
  
 김남형, 1998, 지하수수문학  
 김시원, 김철기, 이기춘, 1996, 농업수리학  
 문상호, 함세영, 우남철, 이철우, 2001, 지하수 추적자  
 민경덕, 서정희, 권병두, 1988, 응용지구물리학  
 손호웅 등, 2000, 지반환경물리탐사  
 윤성택 등, 2000, 서해연안 해수침투가능 분포도 완성을 위한 광역 지구화학적 연구  
 이기동, 1996, 응용지구물리학  
 이재형, 김운종, 김민환, 1996, 수자원공학  
 조연관, 유성환, 이진중, 최봉종, 1998, 수질조사 및 분석  
 한정상, 1998, 지하수환경과 오염  
 한찬, 한정상, 1999, 3차원 지하수모델과 응용  
  
 우남철, 김형돈, 이광식, 박원배, 고기원, 문영석, 2001, 지하수수질관측에 의한  
 제주도 대정수역의 지하수계 및 오염특성 분석, 자원환경지질학회지, 제34권, 제5호  
 윤정수, 박상운, 1998, 제주도 용천수의 수리화학적 특성, 지하수환경학회지,  
 제5권, 제2호  
 정영상, 양재의, 주영규, 이주영, 박용성, 최문헌, 최승출, 1997, 농업형태가 다른  
 한강 상하류 소유역의 하천수 및 농업용 지하수 수질, 한국환경농학회지,  
 제16권, 제2호  
 조시범, 1999, GIS를 이용한 경기도 평택군 지역의 지하수오염 가능성 평가 연구

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., and Hackett, G., 1987, Drastic ; A standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrogeologic setting, USEPA, p. 455-475.
- Collins, A. G., 1975, Geochemistry of oil-field waters, Elsevier
- Domenico, P. A. and Schwartz, F. W., 1990, Physical and chemical hydrogeology, John Wiley & Sons, Inc., New York, 824p.
- Follett, R. F., Lee, C. K., Bradley, E., and Payne, B. R., 1970, Geohydrologic interpretations of a volcanic island from environmental isotopes. Water Resources Research, v. 6, p.99-109.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979, Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Goldberg E. D., 1963, The oceans as a chemical system. in M.N. Hill(ed). "The sea" interscience, New York, v. 2.
- Hem, J. D., 1985, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water : U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 22 54, 263p.
- Hounslow A. W., 1995, Water quality data : analysis and interpretation, Lewis publishers., 397p.
- Johnson, A. H., Bouldin, D. R., Goyette, E. A., and Hedges, A. M., 1976, Nitrate dynamics in Fall Creek, New York. J. Environ. Qual. 5, p. 386-396.
- Junge, C. E., 1963, Air chemistry and radio-activity, New York academic press, p.38-389.
- Pierre G., Claude H. M., 1997, Determining the source of nitrate pollution in the Niger discontinuous aquifers using the natural  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ratios, Journal of Hydrology, 199, p.239-251.
- Piper, A. M., Garrett, A. A., and others, 1953, Native and contaminated groundwaters in the Long Beach Santa Ana area, California : USGS, Water supply paper 1136, 320p.
- Sinclair, 1974, Geochemistry in mineral exploration
- USEPA, 1987, Guidelines for delineation of wellhead protection areas

[ 부 록 ]

지 하 수 법 해 설

여 백

## < 목 차 >

- 지하수법 개정의 배경과 목적
- 지하수법의 연혁
- 개정 지하수법의 구성
- 개정 지하수법의 주요 조문 내용
- 지하수업무의 추진 체계도
  - 체계도 1 : 지하수조사 (법제5조)
  - 체계도 2 : 지하수관리의 정보화 (법제5조의 2)
  - 체계도 3 : 지하수관리계획(기본·지역관리계획) (법제6조)
  - 체계도 4 : 지하수개발·이용의 허가 (법제7조)
  - 체계도 5 : 지하수개발·이용의 신고 (법제8조)
  - 체계도 6 : 유출지하수의 이용 등 (법제9조의 2)
  - 체계도 7 : 지하수개발·이용의 종료신고 (법제9조의 3)
  - 체계도 8 : 지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고 (법제9조의 4)
  - 체계도 9 : 지하수보전구역의 지정 (법제12조)
  - 체계도 10 : 이행보증금의 예치 (법제14조)
  - 체계도 11 : 원상복구 등 (법제15조)
  - 체계도 12 : 오염지하수정화계획의 승인 등 (법제16조의 4)
  - 체계도 13 : 수질검사 (법제20조)
  - 체계도 14 : 지하수개발·조사기관, 시공업·정화업자의 등록 및 업무
- 지하수개발·이용의 양수능력 및 기준(허가, 신고, 면제대상)
- 벌칙 규정
- 과태료 규정
- 위반행위의 종류별 과태료 금액
- 개정법이 규정한 시행시기 및 적용기간
- 지하수와 관련되는 다른 법률
- 지하수의 수질기준
- 지하수법에 의한 관계 기관별 소관 주요업무 내용(요약)
  - 부처(기관)별 소관 지하수업무의 내용



## 지하수법 개정의 배경과 목적

- 과거 수년 전 사회전반에서 지하수를 아무런 규제 없이 무분별·무질서하게 개발·이용하던 것을 그 본연의 자리를 잡아 합리적·효율적으로 개발·이용 관리하도록 제도권내 수용, 그 위치를 찾게 된 것은 물의 장구한 역사에 비추어 볼 때 너무도 짧은 겨우 10년에 불과하다.
- 그러나 지하수의 소중성과 가치성에 대하여 정부·국민 모두의 절실한 공감대가 형성되어 늦은 감은 있으나 1993년도에 「지하수법」이 처음으로 특별법의 성격으로 제정되어 획기적인 전환점을 맞게 되고, 따라서 본연의 자리를 찾아 이를 근거로 하여 지하수의 개발·이용을 주 내용으로 운영·관리하여 왔으나, 그 법률의 집행과 이용의 과정에서 개발·이용에 못지 않게 효율적 보전·안정적 관리가 현실적으로 더욱 중요한 분야이며 과제인 점을 인식하게 되어 지하수의 조사, 허가·신고 제도, 보전구역의 지정과 구역내의 행위제한, 원상복구, 오염방지규정, 영향조사기관의 등록, 보고·검사 및 청문제도 등 보전·관리상 미흡하였던 사항의 일부를 보완하여 1997년과 1999년의 2차에 걸친 개정으로 법률체제를 정비하고 이를 시행하여 왔었다.
- 그러나 근년에 이르러 급변하는 사회의 구조, 환경의 변천 등 여러 요인에 따른 지하수의 다양한 분야에서의 이용, 나날이 증가하는 수요, 제도미비와 불신 및 국민의 지하수에 대한 책임의식의 미흡으로 인한 심각한 지하수 수질 오염 등에 대하여 법적·제도적으로는 물론 능동적이며 효율적으로 충실히 대처하는데 있어 기존의 법률체계만으로는 절대적 한계가 있음이 통감되어 학계, 전문가, 기술자 및 지하수분야의 많은 실무경험자들의 연구보고와 집요한 건의를 정부 및 국회가 받아들여 종전의 45개 조문에서 부칙을 포함, 19개조문의 신설, 불요조문의 삭제, 현실에 맞지 않는 일부조문의 보완 등으로 전면적인 개정을 단행, 총 61개 조문으로 구성함으로써 현 실정에 대응할 수 있는 어느 정도의 체제를 갖추어 2001년 1월 16일(법률 제6368호)자로 제 3차 개정을 하여 이를 2001년 11월 17일자로 시행하기에 이르렀다.
- 그렇지만 세계 대다수의 국가들은 지하수에 대하여 완전한 공수개념을 법적, 제도적으로 정립하고 있는 데도 우리의 현행법에서는 공개념의 정립이 명시적으로 명문화 조치를 취하지 못한 점과 지하수에 대한 실질적인 보전·관리를 기하는데 절대 필요한 재원확보제도가 요구됨에도 법률에 이 규정이 반영되

어 있지 못한 점과 충분한 전문기술인력의 확보배치 등에 대하여는 아직도 아쉬운 점이 있다.

그러나 이 문제는 언젠가는 관철되어야 할 현안과제로 본다.

- 법률은 어느 나라 어느 시대를 막론하고 절대불변의 것이 아니다. 시대의 변천, 사회환경의 변화에 따라 그때그때 법률의 폐지, 새로운 법률의 제정, 법률 간의 통합, 개정·보완 및 수정 등의 과정이 있는 것이 원칙이고 경우에 따라서는 국가의 이익, 국민의 보호를 위한 절대명제에 있어서는 현실에 적합하지 않고 불합리하며 모순된 법률을 고수, 존속시키는 것보다는 적기에 적정하고 합리적이며 또 신속하게 체제를 변경·정비하여 시행하는 것이 정부의 책무이며 현명한 조치이다.
  
- 이러한 논리와 관점에서 지하수법도 예외가 아니며, 멀지 않은 장래에 직면한 물부족을 극복하고 지하수 수질의 심각한 오염으로 인한 국민의 생활·자연환경의 훼손, 파괴방지는 물론 천혜의 소중한 값진 자원인 양질의 지하수를 모든 국민에게 지속적으로 공급, 안정적으로 이용하기 위한 목적과 취지에서 금번 획기적이며 전면적으로 다음과 같은 내용을 수용 개정하였다.

## 지하수법의 연혁

□ 법은 그 시대와 사회적 환경의 변천에 따라 개정·보완 등의 과정이 따르는 것이 원칙이다. 지하수법은 제정 이후 9년의 짧은 기간 중 사회여건에 부흥하기 위하여 아래 표와 같이 3차의 개정이 단행되었다.

구 분	공포년월일	법규번호	시행년월일	발의(제정)기관	비 고
[제정]					
법	1993. 12. 10.	법률 제 4509호	1994. 1. 11.	정부입법	신규제정
시행령	1994. 7. 23.	대통령령 제 14340호	1994. 7. 23.		
시행규칙	1994. 8. 3.	부령 제 557호	1994. 8. 3.	(건설교통부령)	
시행규칙	1994. 8. 9.	총리령 제 461호	1994. 8. 9.	(국무총리령)	수질 등 보전규칙
[제1차 개정]					
법	1997. 1. 13.	법률 제 5286호	1997. 7. 14.	의원입법	전문개정
시행령	1997. 8. 8.	대통령령 제 15451호	1997. 8. 8.		전문개정
시행령	1997. 12. 31.	대통령령 제 15598호	1998. 1. 1.		
시행규칙	1997. 8. 25.	부령 제 177호	1997. 8. 25.	(건설교통부령)	전문개정
시행규칙	1997. 9. 3.	부령 제 29호	1997. 9. 3.	(환경부령)	수질 등 보전규칙
[제2차 개정]					
법	1999. 3. 31.	법 제 5955호	1999. 3. 31.	정부입법	규제개혁개정
시행령	1999. 5. 10.	대통령령 제 16397호	1999. 5. 10.		
시행규칙	1999. 8. 6.	부령 제 16512호	1999. 8. 6.	(건설교통부령)	
시행규칙	1999. 5. 14.	부령 제 191호	1999. 5. 14.	(환경부령)	
[제3차 개정]					
법	2001. 1. 16.	법률 제 6368호	2001. 11. 17.	정부입법	제29조의 2 규정 (2002. 7. 1. 시행)
시행령	2001. 12. 19.	대통령령 제 17433호	2001. 12. 19.		제18조의 2제5호 제39조의 2규정 (2002. 7. 1. 시행)
시행규칙	2002. 1. 4.	부령 제 306호	2002. 1. 4.	(건설교통부령)	
시행규칙	2002. . .	환경부령 제 호	2002. . .	(환경부령)	수질 등 보전규칙 (미공포)

# 개정 지하수법의 구성 및 주요 조문내용

## □ 지하수법의 구성(개정·전후의 비교)

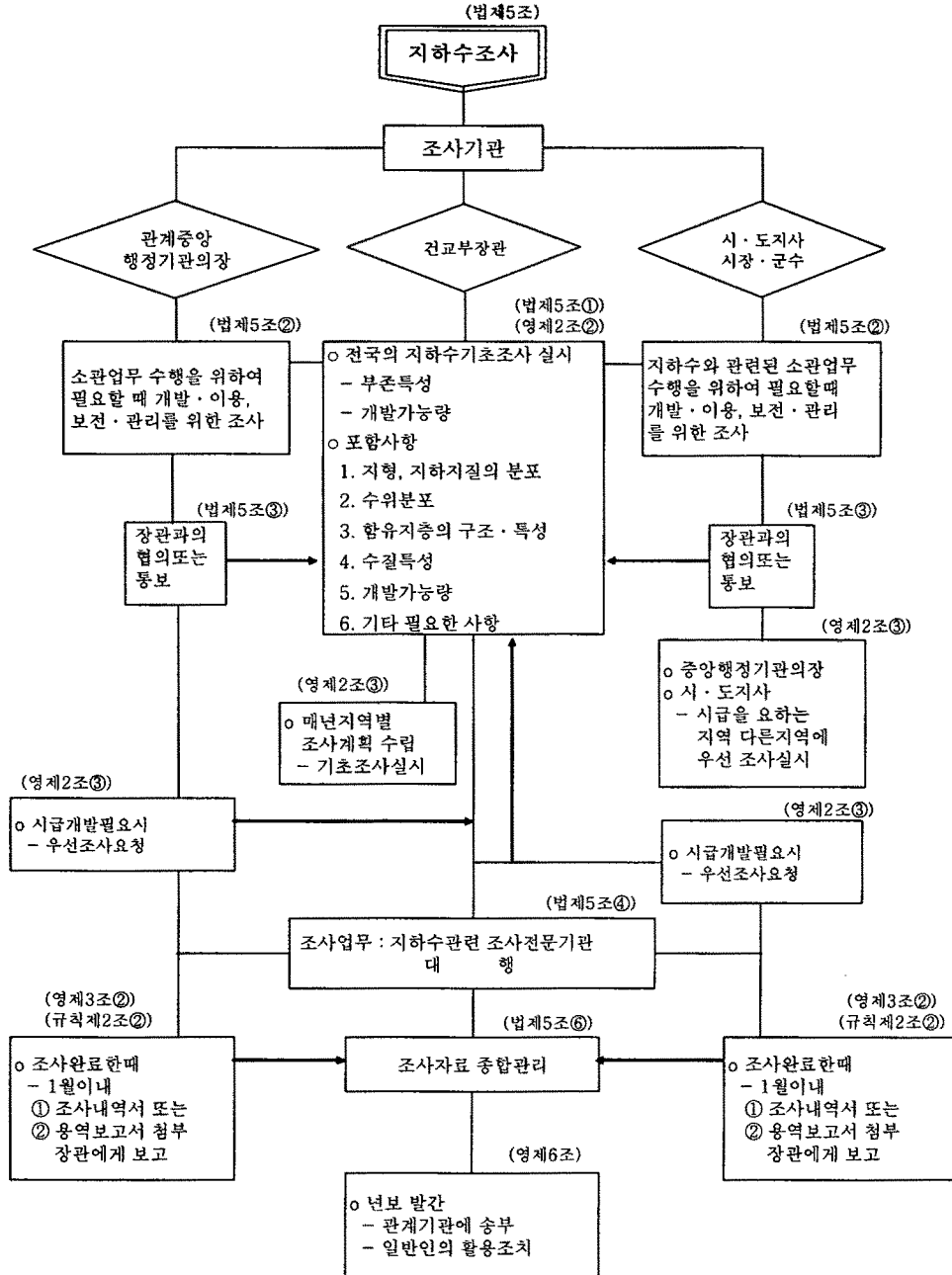
구 분	내 역		비 고
	개정전(99. 3. 31)	개정후(2001. 1. 16)	
○ 장 수	7개장	7개장	전문개정
○ 본조문수	40개조문	55개조문	
○ 부칙조문수 (합계조문수)	5개조문 (45개조문)	6개조문 (61개조문)	
※ 순수신설조문수	-	19개조문	

## □ 지하수법의 주요 신설등의 조문내용

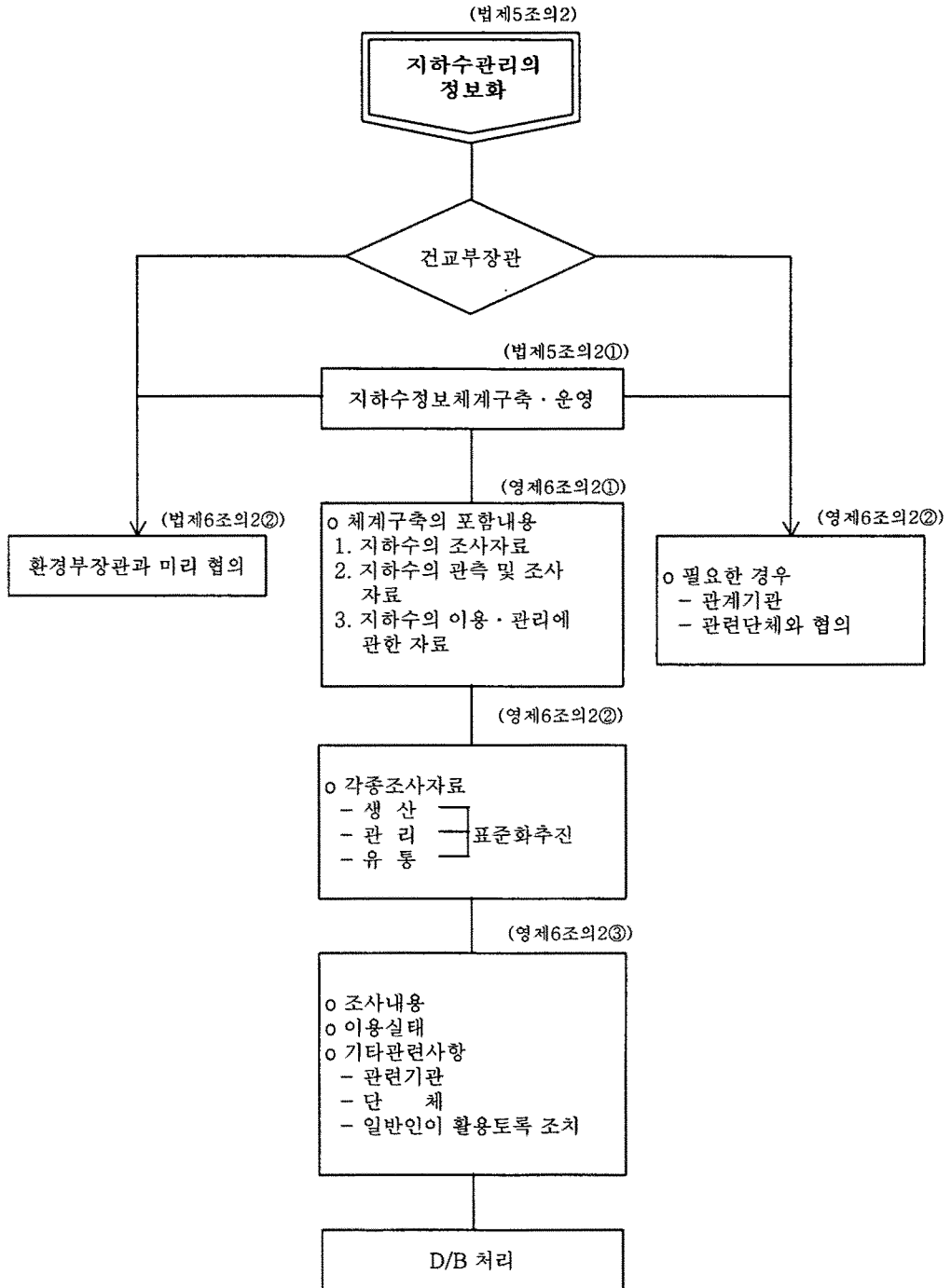
- 국가·국민의 지하수의 효율적 관리의 책무(법제3조)
- 지하수보전·관리의 정보화제도 도입(법제5조의 2)
- 지역지하수관리계획의 수립 시행(법제6조의 2)
- 하천 인근지역에서의 지하수개발·이용허가(법제7조의 2)
- 지하수개발·이용허가의 유효기간 조정(법제7조의 3)
- 유출지하수의 이용 등(법제9조의 2)
- 지하수개발·이용의 종료신고 등 제도(법제9조의 3)
- 지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고 등 제도(법제9조의 4)
- 지하수오염유발시설의 오염방지 등(법제16조의 2)
- 지하수오염유발시설관리자에 대한 조치(법제16조의 3)
- 오염지하수정화계획의 승인제도(법제16조의 4)
- 토지 등의 수용 및 사용제도의 규정(법제18조의 2)
- 지하수정화업의 등록 등의 제도도입(법제29조의 2)
- 법령위반, 명령 불이행자에 대한 처벌강화(법제37조)
- 기타 온천수, 농어촌용수(지하수), 먹는샘물 및 제주도지역 지하수에 대하여 지하수기본계획에 수용(법제6조)
- 지하수정화업의 등록 기한(2002. 7. 1)시행(부칙제1항)
- 이 법 시행당시 미신고 지하수개발·이용하는 자로서 새로운 신고대상자(제8조 제1항 규정)는 시행일로부터 1년 이내 시장·군수에게 신고(부칙제3항)
- 지하철·터널 등 지하굴착시설, 유출지하수의 이용·계획의 수립 신고는 법 시행일로부터 6월 이내 신고(부칙제4항)

# 지하수업무의 추진체계도

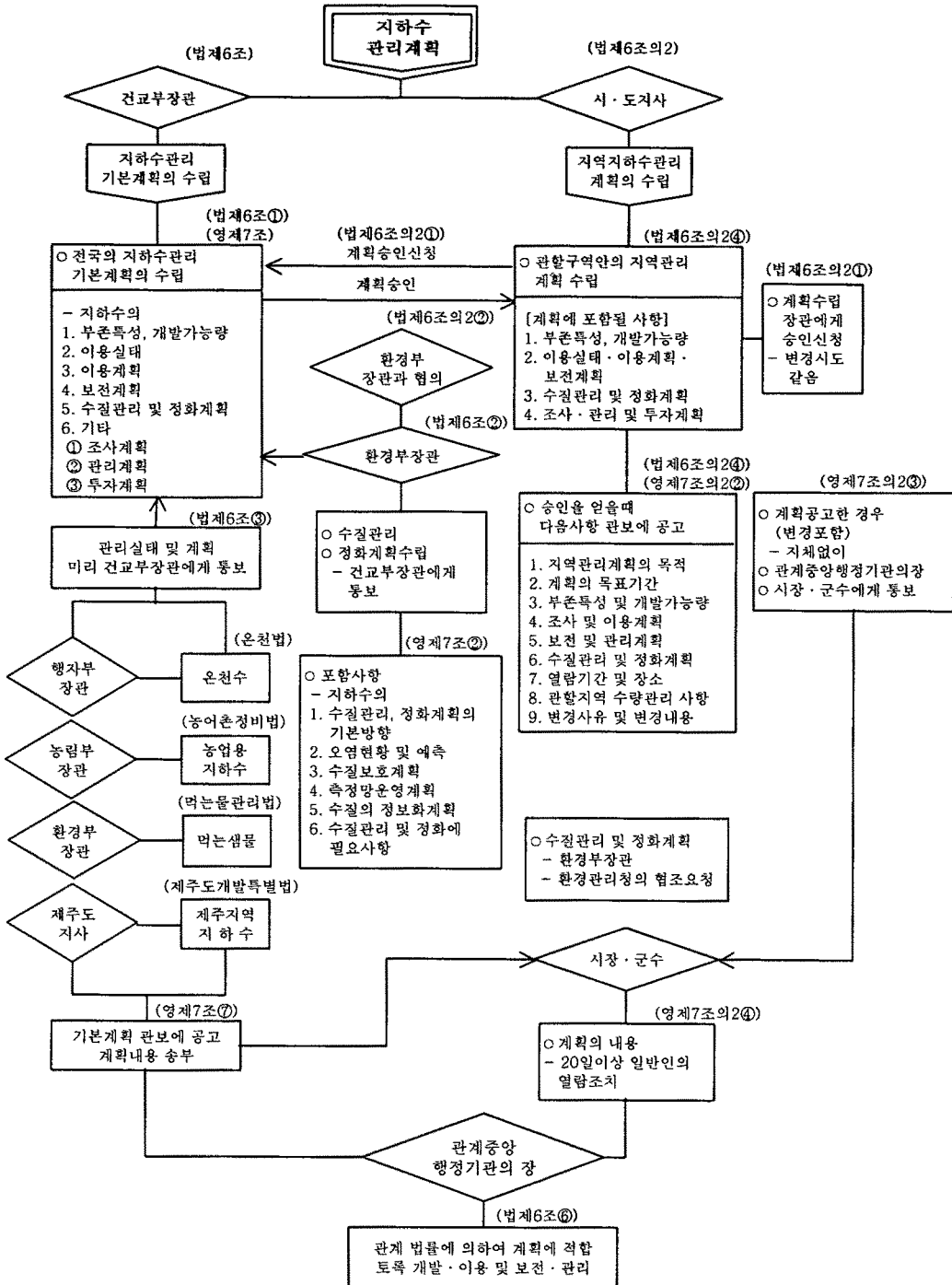
[체계도1] 지하수조사



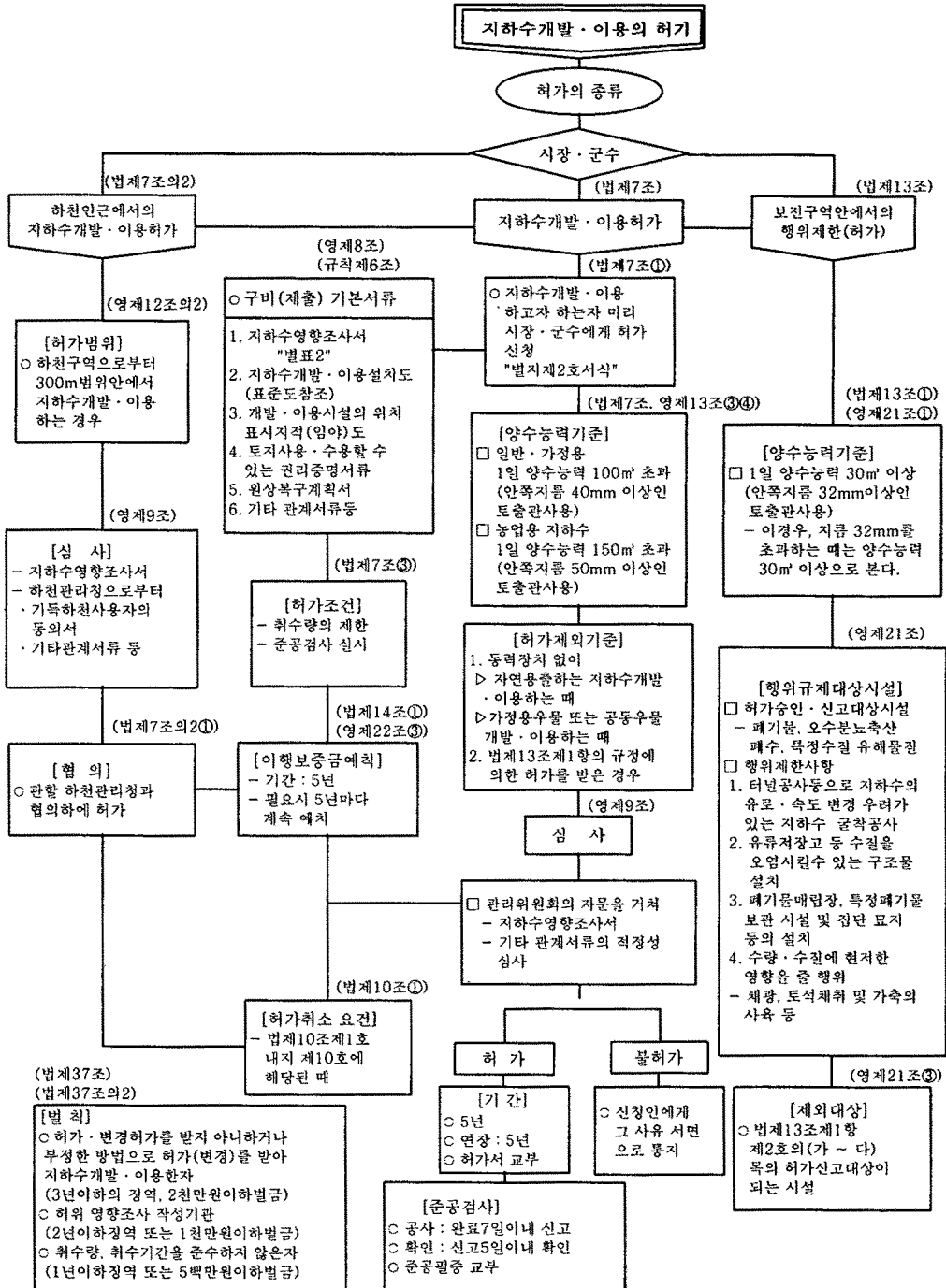
[체계도2] 지하수관리의 정보화



[체계도3] 지하수관리계획(기본·지역관리계획)

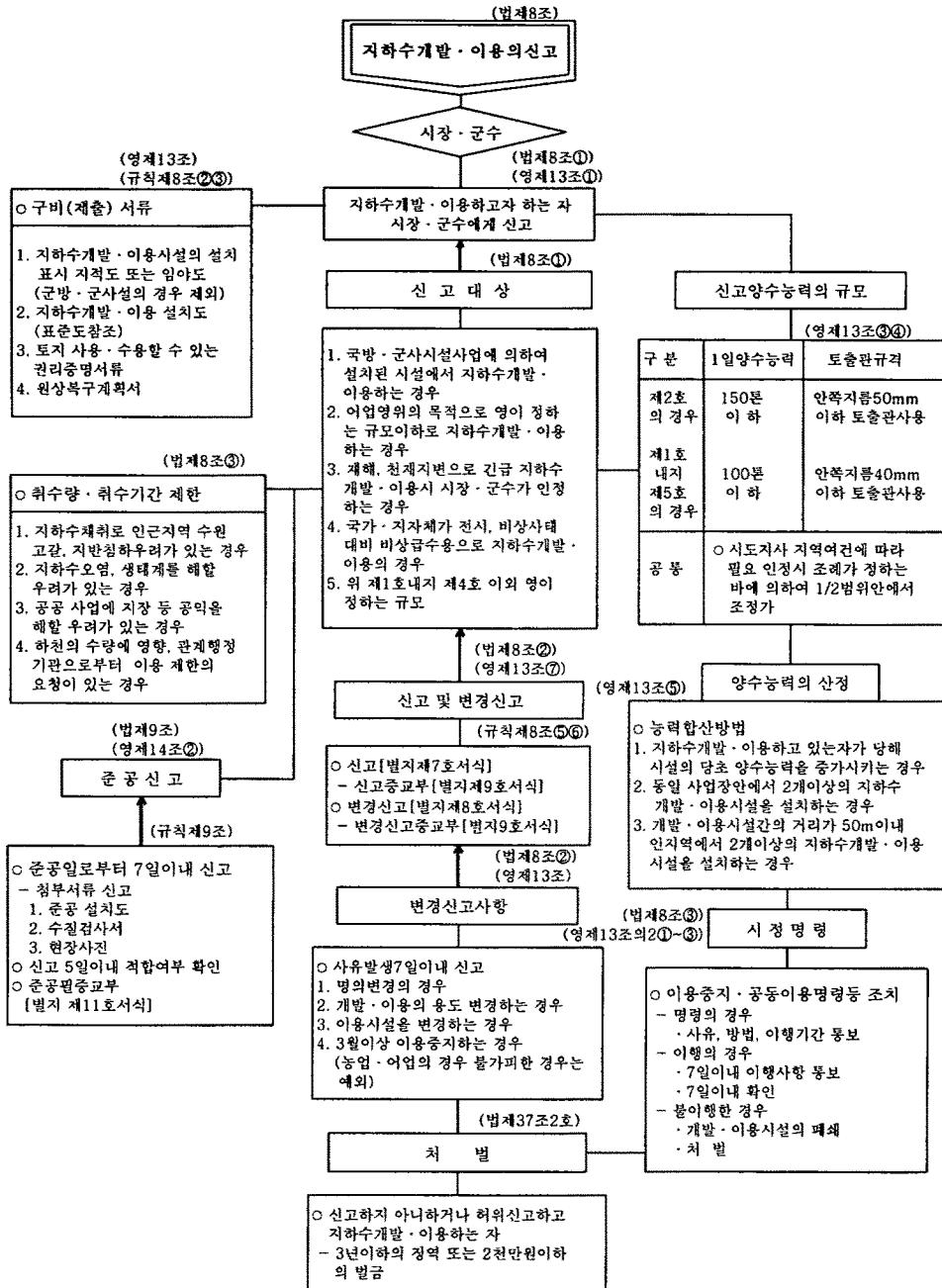


# [체제도4] 지하수개발·이용의 허가

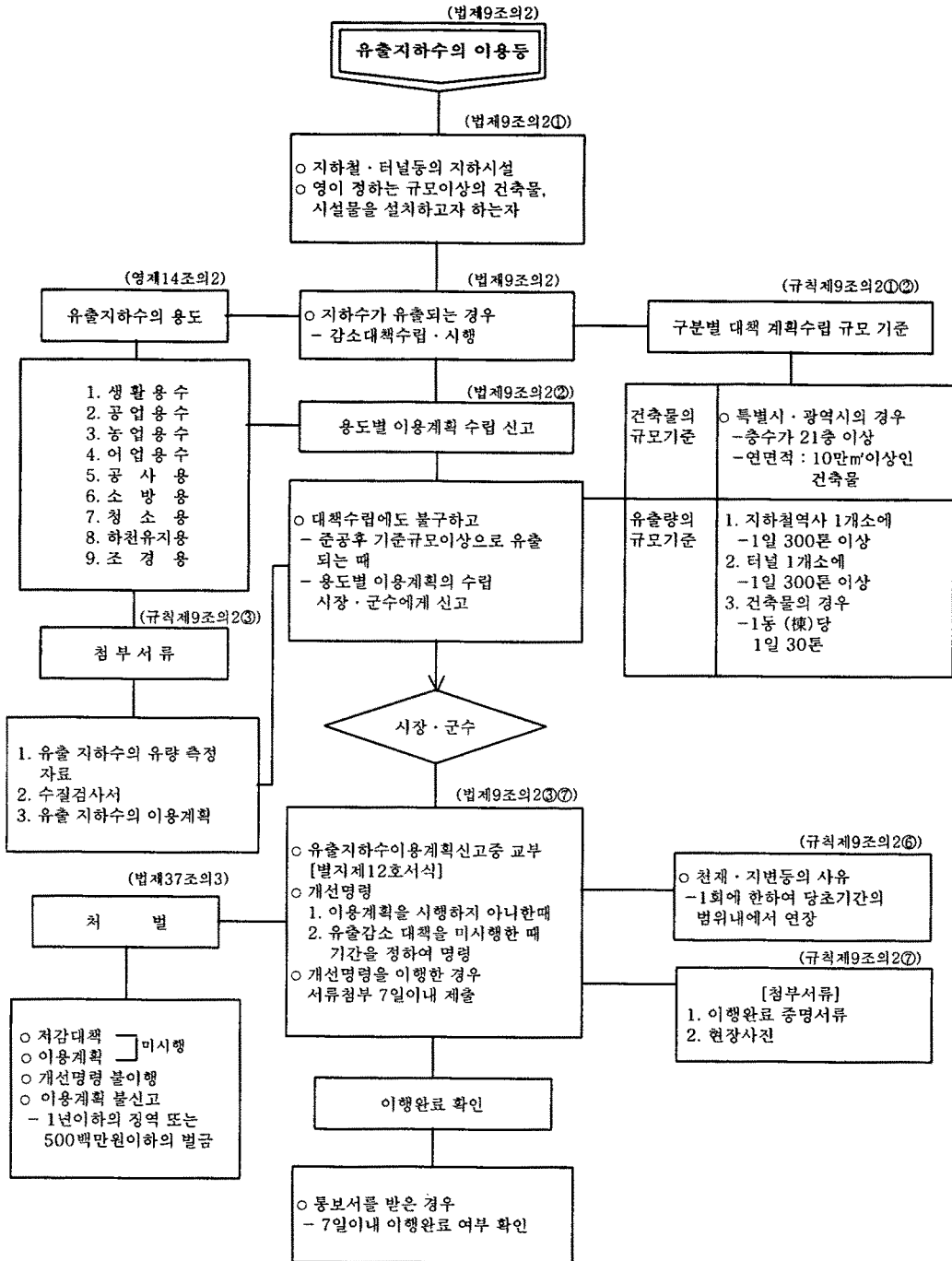




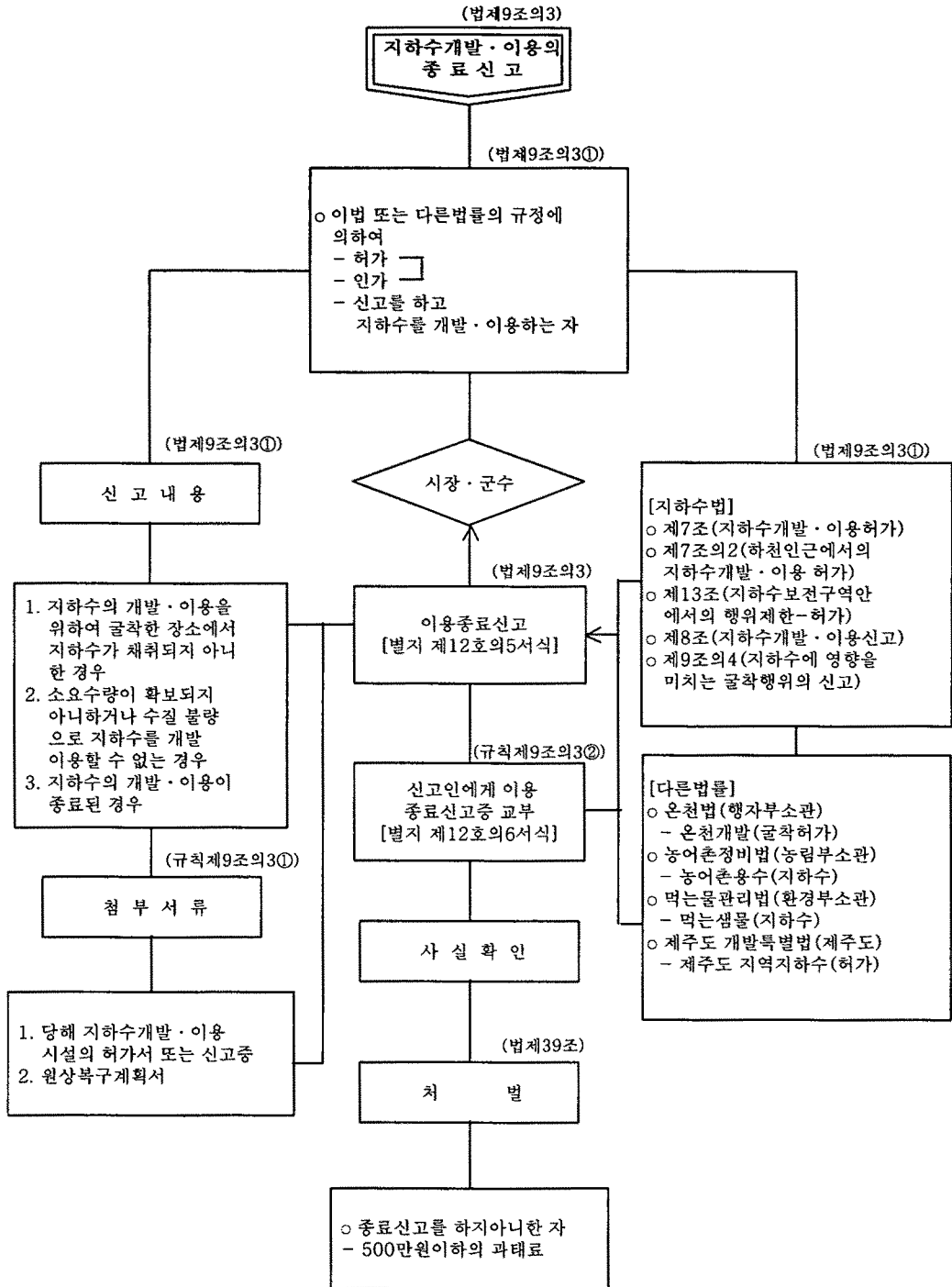
[체계도5] 지하수개발·이용의 신고



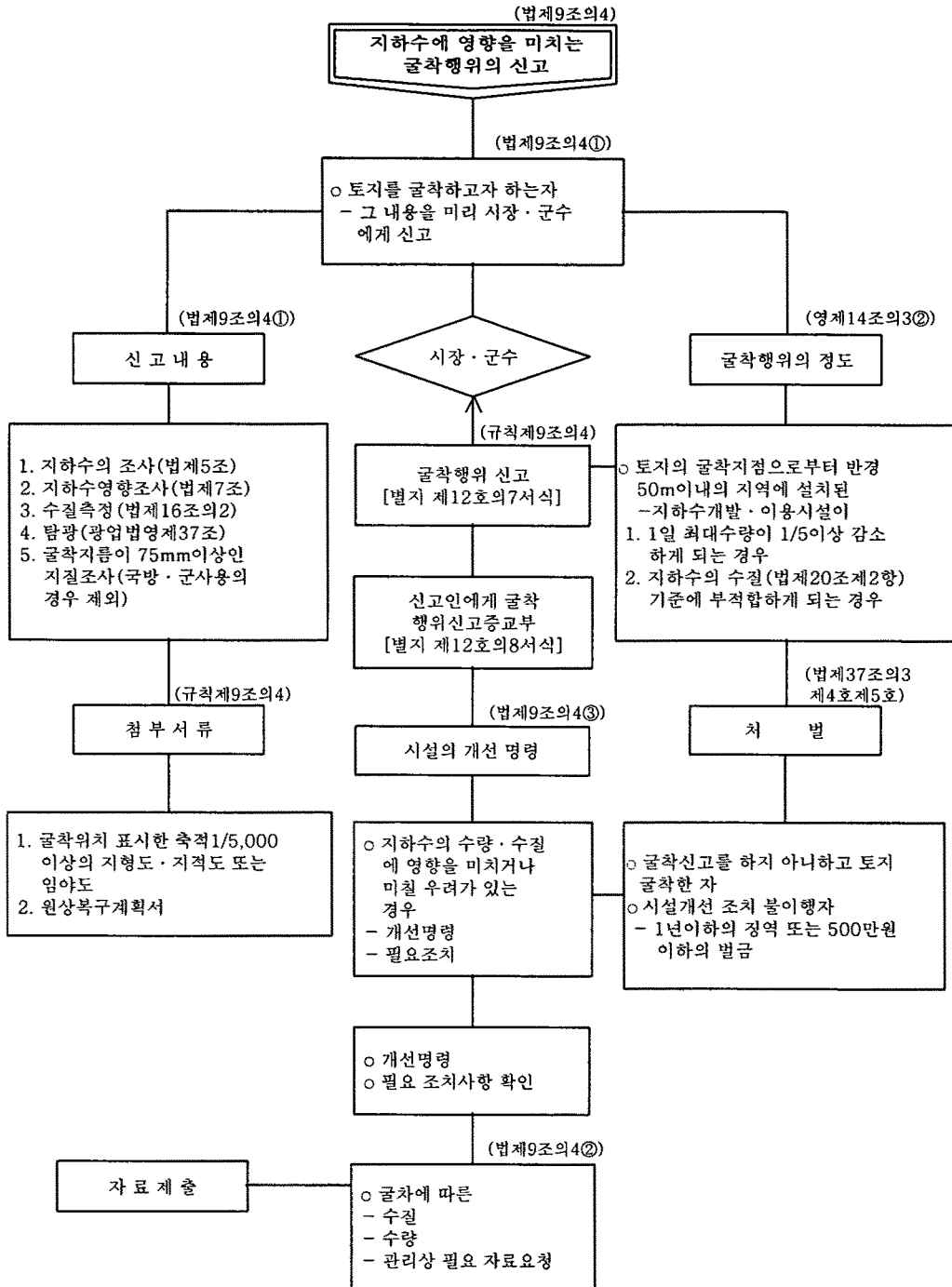
[체계도6] 유출지하수의 이용등



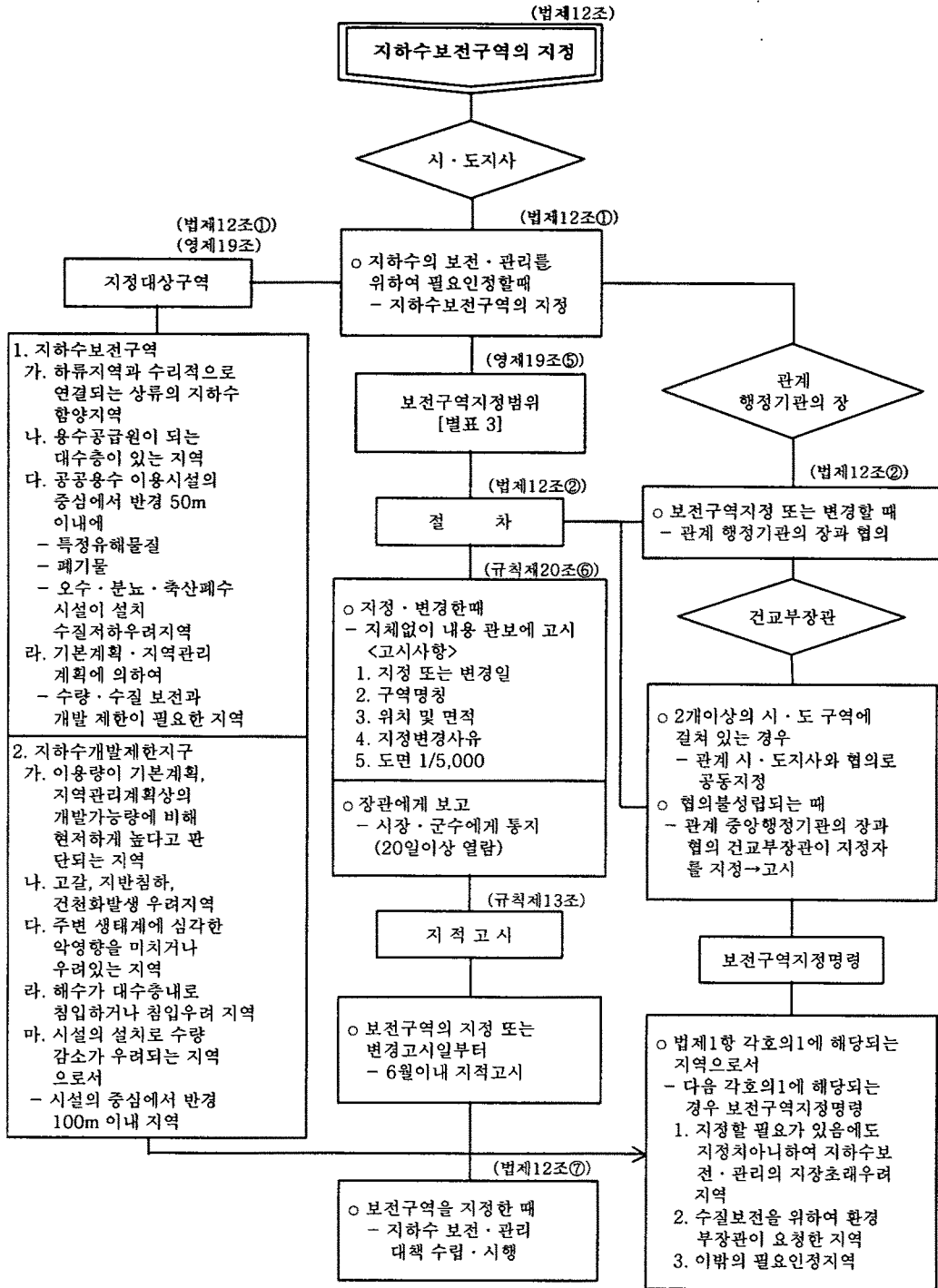
[체계도7] 지하수개발·이용의 종료신고



[체계도8] 지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고



[체계도9] 지하수보전구역의 지정



(법제12조①)  
(영제19조)

1. 지하수보전구역

가. 하류지역과 수리적으로 연결되는 상류의 지하수 함양지역

나. 용수공급원이 되는 대수층이 있는 지역

다. 공공용수 이용시설의 중심에서 반경 50m 이내

- 특정유해물질
- 폐기물
- 오수·분뇨·축산폐수 시설이 설치

수질저하우려지역

라. 기본계획·지역관리 계획에 의하여

- 수량·수질 보전과 개발 제한이 필요한 지역

(법제12조①)  
(영제19조)

2. 지하수개발제한지구

가. 이용량이 기본계획, 지역관리계획상의 개발가능량에 비해 현저하게 높다고 판단되는 지역

나. 고갈, 지반침하, 건전화발생 우려지역

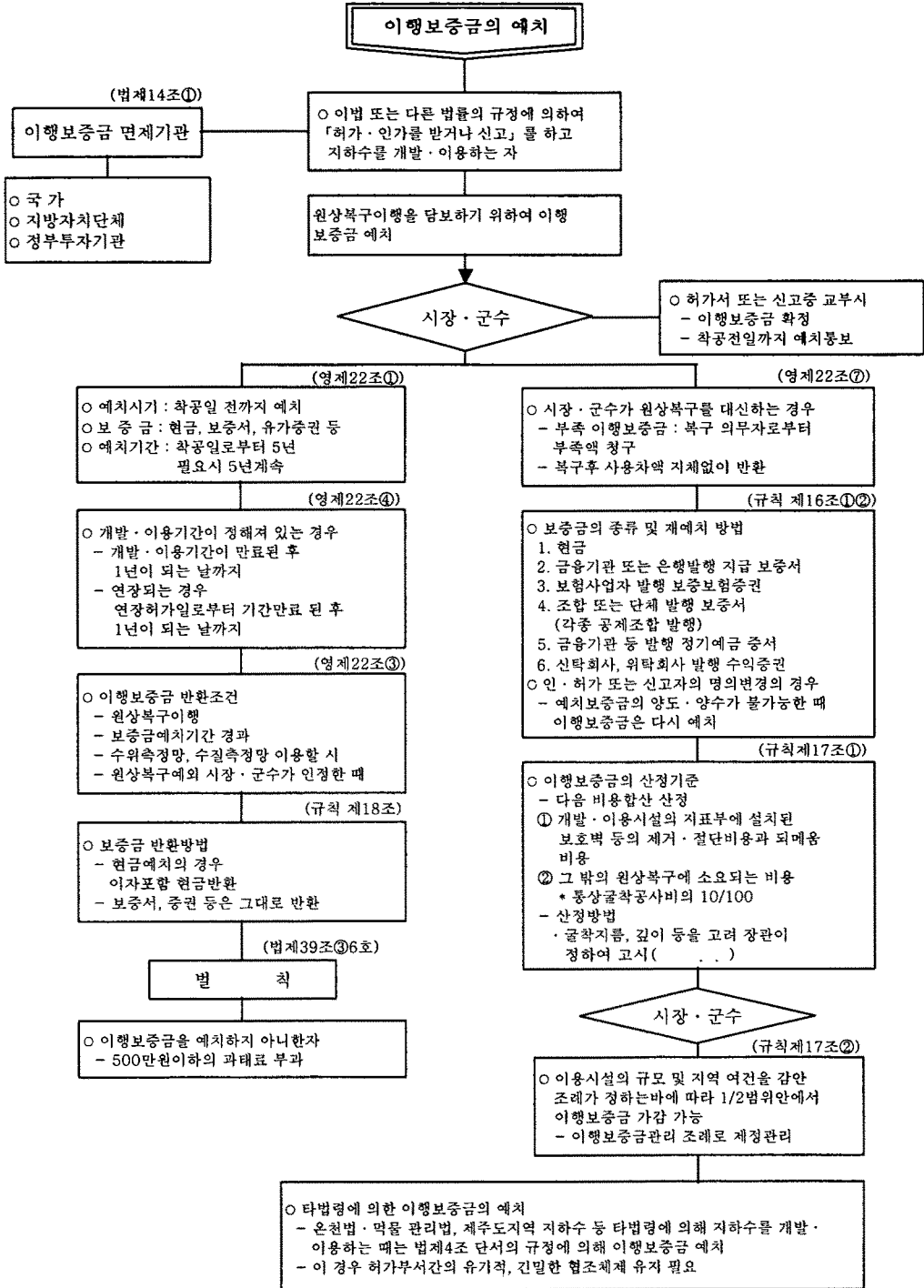
다. 주변 생태계에 심각한 악영향을 미치거나 우려있는 지역

라. 해수가 대수층내로 침입하거나 침입우려 지역

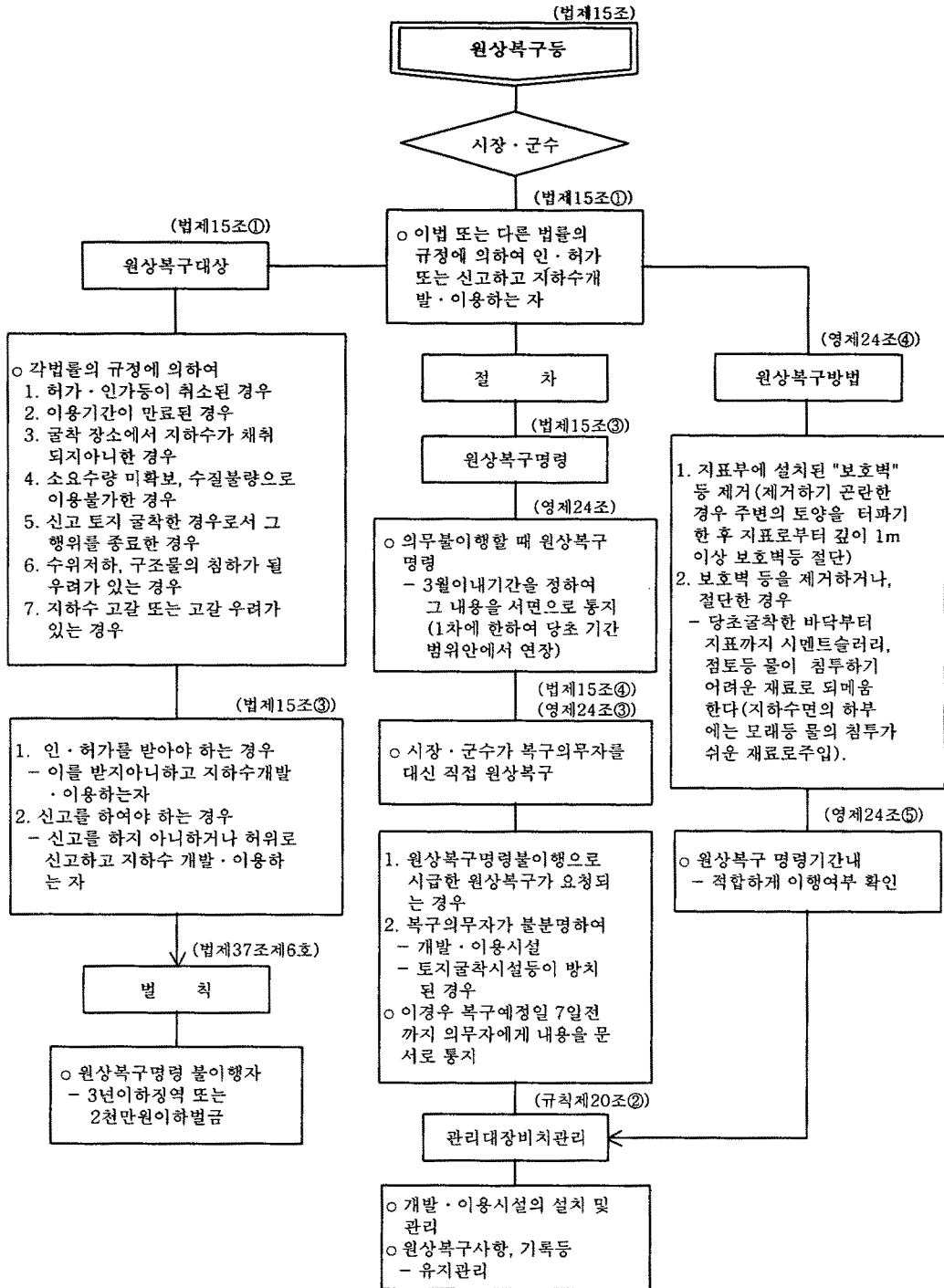
마. 시설의 설치로 수량 감소가 우려되는 지역으로서

- 시설의 중심에서 반경 100m 이내 지역

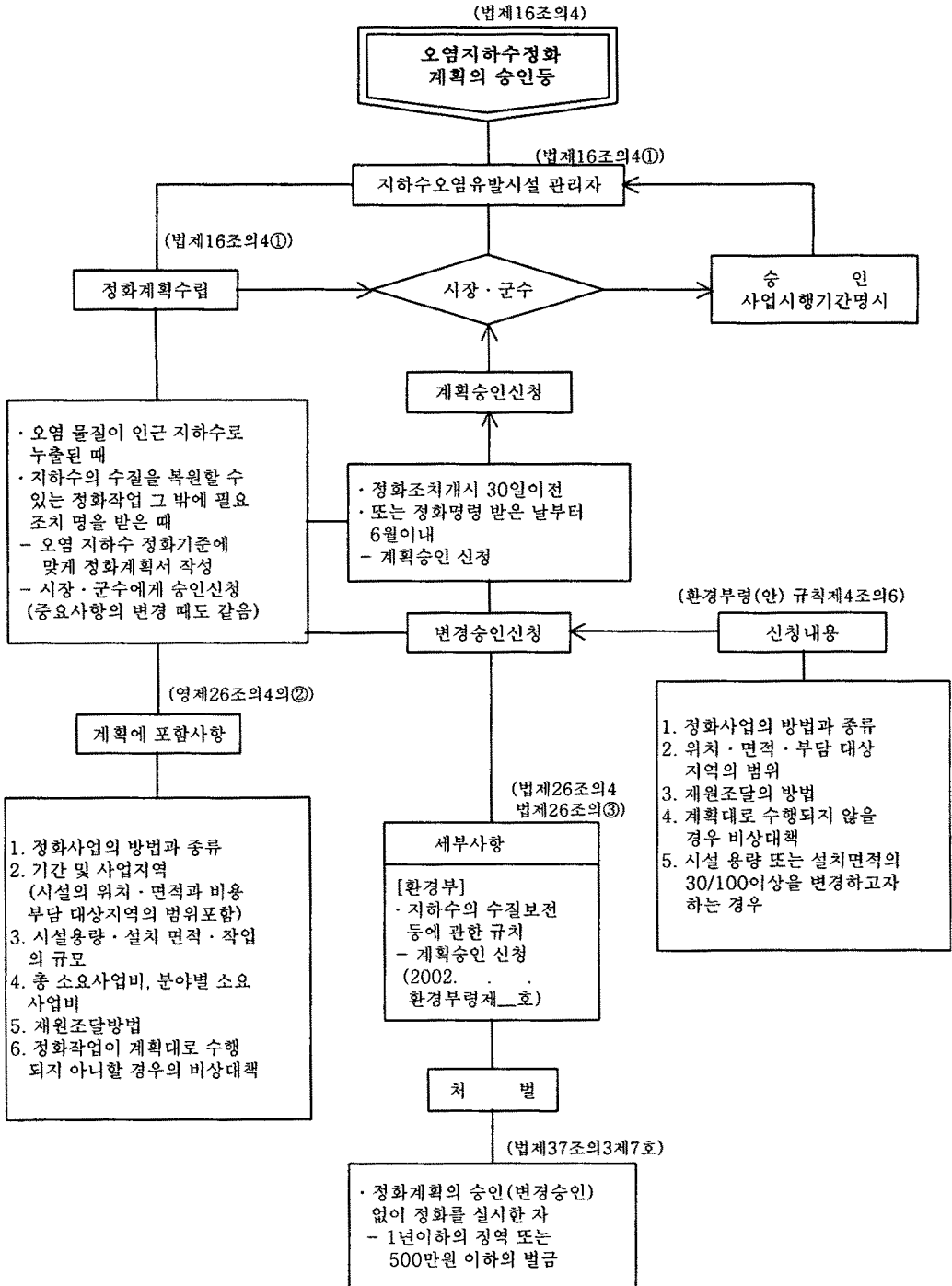
# [체제도10] 이행보증금의 예치



[체계도11] 원상복구 등

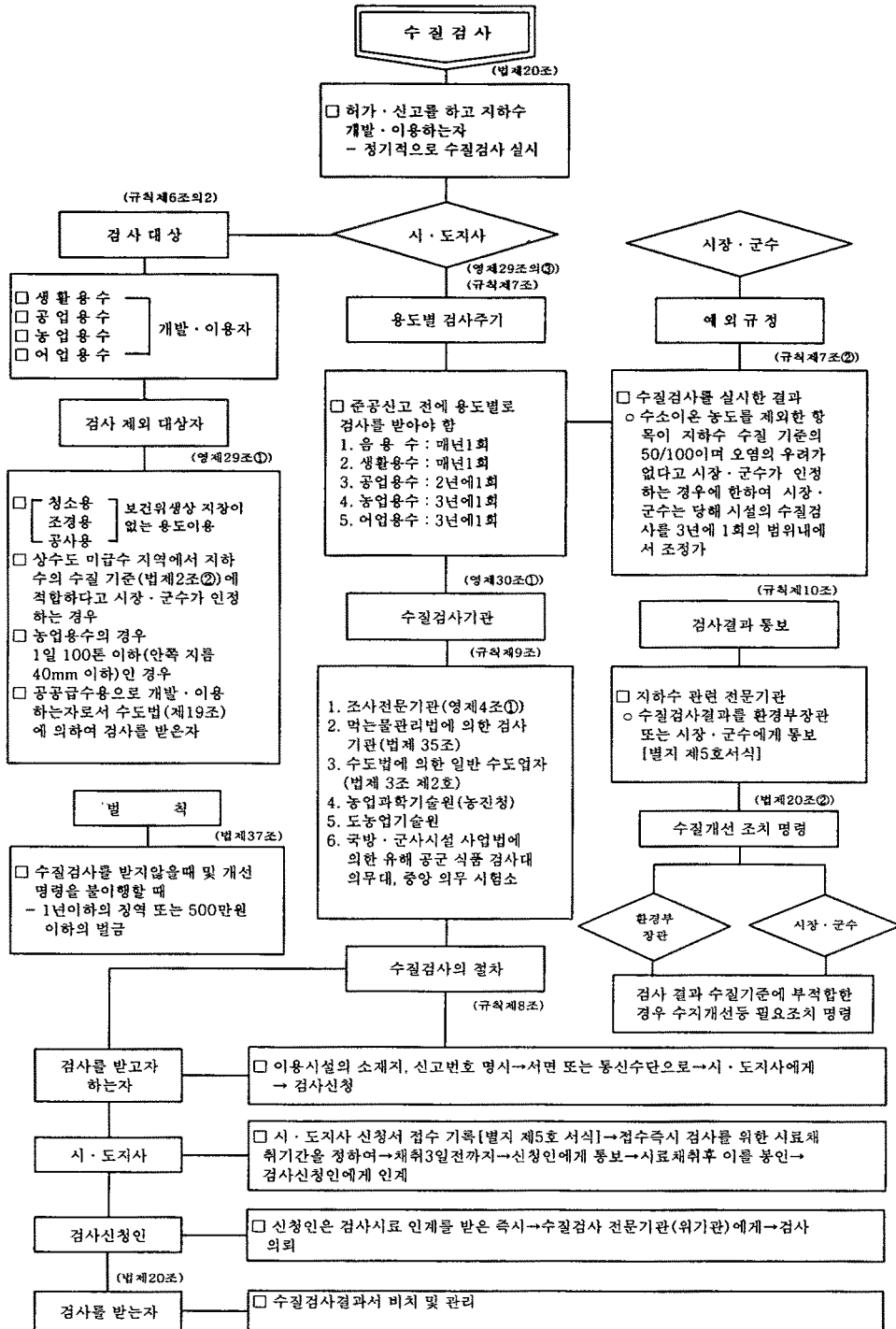


[체계도12] 오염지하수정화계획의 승인 등

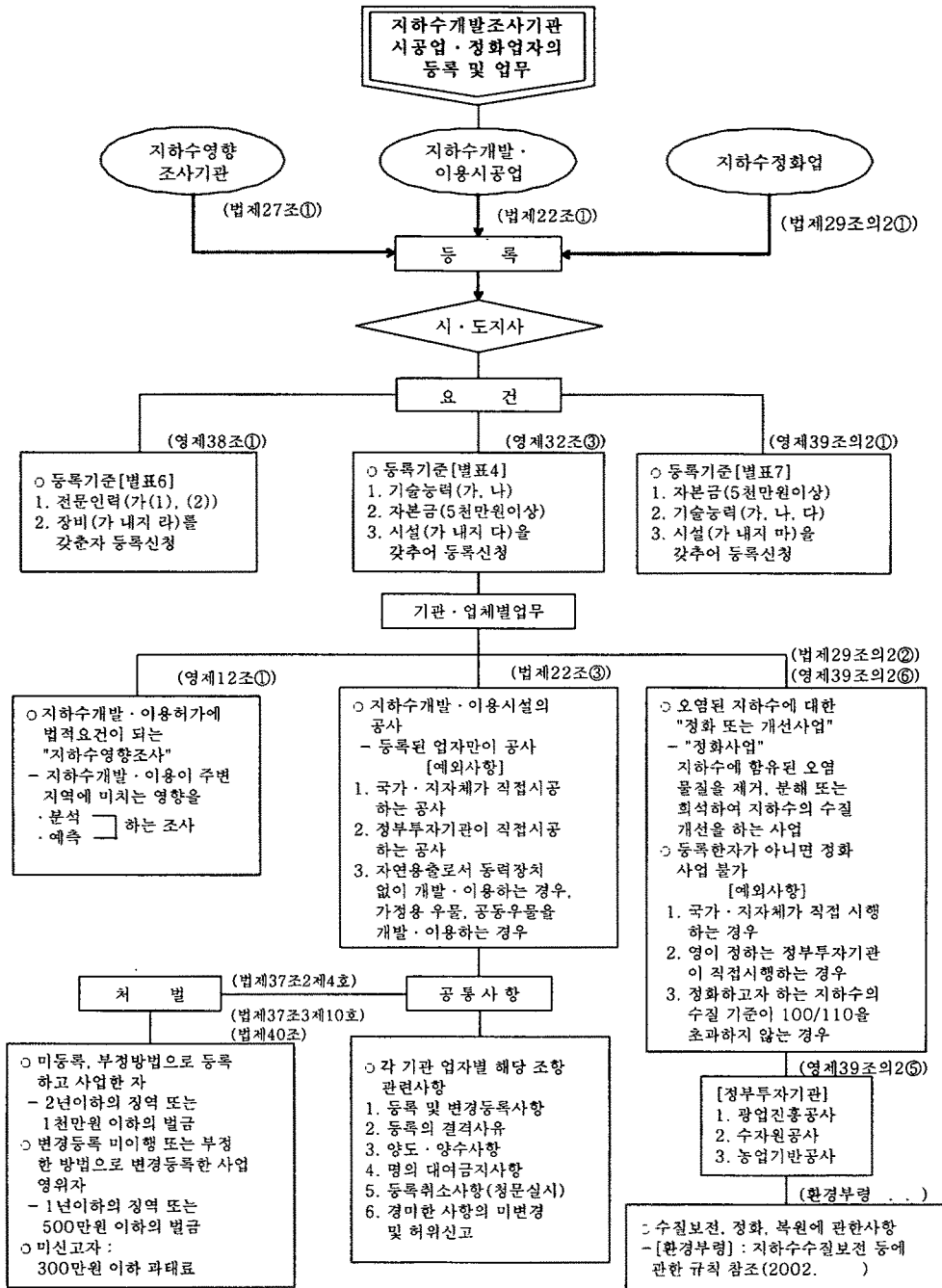




# [체계도13] 수질검사



[체계도14] 지하수개발·조사기관, 시공업·정화업자의 등록 및 업무

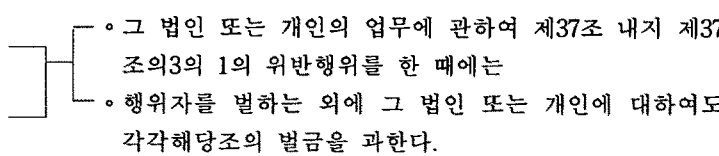


## 지하수개발·이용의 양수능력 및 기준

구분	용도	시설구분	이용능력기준	비고
허가	일반용(가정용) 지하수개발·이용	동력장치를 사용 지하수개발·이용	<input type="checkbox"/> 1일 양수능력 100m <sup>3</sup> 초과 (안쪽 지름 40mm 이상인 토출관 사용)	법제7조① 령제13조④
	농업용지하수 개발·이용	"	<input type="checkbox"/> 1일 양수능력 150m <sup>3</sup> 초과 (안쪽 지름 50mm 이상인 토출관 사용)	령제13조③
	보전구역 안에서의 지하수개발·이용	"	<input type="checkbox"/> 1일 30m <sup>3</sup> 이상 (이 경우 안쪽 지름 32mm 이상인 토출관을 사용하는 경우는 1일 양수능력을 30m <sup>3</sup> 이상으로 본다)	법제13조① 령제21조①
신고	어업을 영위하기 위한 목적의 지하 수개발·이용	동력장치를 사용 지하수개발·이용	<input type="checkbox"/> 1일 양수능력 150m <sup>3</sup> 이하인 경우 (안쪽 지름 50mm 이하 사용) 시·도지사 : 필요인정할 때 조례가 정하는 바에 의하여 ½범위 안에서 양 수능력 조정	법제8조① 제2호 령제13조③
	국방·군사시설 설치 지하수개발· 이용	"	<input type="checkbox"/> 1일 양수능력이 100m <sup>3</sup> 이상인 경우 (안쪽 지름 40mm 이상인 토출관을 사용하는 경우) ·시·도지사 : 지하수의 보전이나 지역여건에 따라 필요인정시 조례 가 정하는 바에 의하여 ½범위 안 에서 양수능력 조정	법제8조① 제5호 령제13조④
	재해·천재지변 으로 긴급 지하수 개발·이용			
전시·비상사태 대비, 국가·지자 체의 비상급수용 지하수개발·이용				
면제	일반용(농업용)	동력장치를 사용 하지 아니하고 개발·이용	<input type="checkbox"/> 자연히 용출하는 지하수를 개발·이용 하는 경우	법제7조 ① 단서
		"	<input type="checkbox"/> 가정용우물 또는 공동우물을 개발· 이용하는 경우	
			<input type="checkbox"/> 1일 양수능력 30m <sup>3</sup> 미만 (토출관 직 경 32mm 이하)의 지하수를 개발· 이용하는 경우	

# 별 칩 규 정

벌칙조항	해당조항	위 반 사 항	처벌기준
제37조 제1호 제2호 제4호 제5호 제6호 제6호의2 제7호 제8호	제7조 ①⑥ 제8조 ① 제13조 ① 제13조 ② 제7조 ⑥ 제13조 ① 제15조 제16조 ① 제16조 ② 제16조 ①③	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 허가 또는 변경허가를 받지 아니하거나, 부정한 방법으로 허가·변경허가를 받아 지하수를 개발·이용한 자</li> <li>◦ 신고를 하지 아니하거나 허위신고를 하고 지하수를 개발·이용한 자</li> <li>◦ 미허가, 부정한 방법으로 허가를 받아 제13조 제1항 각 호의 1에 해당하는 행위를 한 자</li> <li>◦ 변경허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 변경허가를 받아 제13조 제1항 각 호의 1에 해당하는 행위를 한 자</li> <li>◦ 원상복구 불이행, 원상복구명령 불이행 자</li> <li>◦ 지하수 오염방지조치를 하지 아니한 자</li> <li>◦ 오염시키거나 현저히 오염시킬 우려시설의 설치자</li> <li>◦ 지하수 오염방지명령을 위반한 자</li> <li>◦ 지하수 오염물질의 정화, 시설의 운영·사용중지·폐쇄·철거·이전명령을 불이행한 자</li> </ul>	3년 이하의 징역 또는 2천만원 이하의 벌금
제37조의2 제1호 제2호 제3호9 제4호	제7조 ② 제16조의2 ① 제16조의2 ② 제22조의 ① 제27조의 ① 제29조의2 ①	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 지하수영향조사를 허위로 작성한 기관</li> <li>◦ 오염 방지조치 또는 관측정의 설치 및 수질측정을 하지 아니한 자</li> <li>◦ 오염발생의 신고, 오염 방지조치를 하지 아니한 자</li> <li>◦ 등록하지 아니하거나 부정한 방법으로 등록하고 지하수개발·이용시공업, 영향조사업무 또는 정화업을 영위한 자</li> </ul>	2년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금
제37조의2 제1호 제2호 제3호 제4호 제5호 제6호 제7호 제8호 제9호	제7조 ③ 제8조 ③ 제9조의2 ①②③ 제9조의4 ① 제9조의4 ③ 제16조의2 ① 제16조의4 ① 제20조 ① 제20조 ②	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 지하수수량의 제한을 준수하지 아니한 자</li> <li>◦ 취수량 및 취수기간의 제한을 준수하지 아니하거나 시정·이용중지·공동이용명령 또는 폐쇄명령을 불이행한 자</li> <li>◦ 유출지하수저감대책, 이용계획수립을 시행하지 아니하거나</li> <li>◦ 개선명령을 불이행한 자</li> <li>◦ 굴착신고를 하지 아니하고 토지굴착한 자</li> <li>◦ 시설개선명령 또는 필요조치를 하지 아니한 자</li> <li>◦ 수질측정결과보고를 하지 아니하거나 허위로 보고한 자</li> <li>◦ 정화계획의 승인 또는 변경승인을 얻지 아니하고 정화를 실시한 자</li> <li>◦ 수질검사를 받지 아니한 자</li> <li>◦ 지하수의 이용중지 및 개선 등의 조치 명령을 이행하지 아니한 자</li> </ul>	1년 이하의 징역 또는 5백만원 이하의 벌금

별칙조항	해당조항	위 반 사 항	처벌기준
제10호  제11호	제22조 ① 제27조 ① 제29조의2 ① 제26조 제29조의2 ③ 제30조	◦ 변경등록을 하지 아니하거나, 부정한 방법으로 변경등록을 하고, 지하수개발·이용시공업, 영향조사업무 또는 정화업을 영위한 자  ◦ 이 규정에 위반한 지하수 개발·이용시 공업자, 영향조사기관 또는 정화업자와 명의대여 또는 등록증 대여의 상대방	1년 이하의 징역 또는 5백만원 이하의 벌금
<input type="checkbox"/> 양벌규정 (법제38조) ◦ 법의 대표자, 법인 개인의 대리인, 사용인 기타 종업원 			

# 과 태 료 규 정

별칙조항	해당조항	위 반 사 항	처벌기준
제39조 제1호 제2호 제3호 제4호 제5호 제6호 제7호 제8호	제8조 ② 제9조 제13조 ③ 제9조의2 ② 제9조의3 제9조의4 ① 제14조 제21조 ① 제34조 ① 제31조 ①	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 변경신고를 하지 아니하거나, 허위로 변경신고를 한 자</li> <li>◦ 준공신고를 하지 아니한 자</li> <li>◦ 이용계획의 신고를 하지 아니한 자</li> <li>◦ 지하수 개발·이용의 종료신고를 하지 아니한 자</li> <li>◦ 종료신고를 하지 아니한 자</li> <li>◦ 이행보증금을 예치하지 아니한 자</li> <li>◦ 검사를 거부·방해 또는 기피한 자</li> <li>◦ 출입 등을 거부·방해 또는 기피한 자</li> </ul>	5백만원 이하의 과태료
제40조 제1호 제2호 제3호 제4호 제5호	제20조 ④ 제21조 ① 제34조 ① 제22조 ① 제27조 ① 제29조의2 ① 제24조 ①③ 제29조의2 ③ 제31조 ②③	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 수질검사결과서를 비치하지 아니한 자</li> <li>◦ 보고 또는 자료제출을 하지 아니하거나, 허위보고 또는 허위자료를 제출한 자</li> <li>◦ 변경신고를 하지 아니하거나, 허위로 변경신고를 한 자</li> <li>◦ 지하수개발·이용시공업, 지하수정화업의 양도·양수 등의 신고를 하지 아니하거나 허위로 신고한 자</li> <li>◦ 허가를 받지 아니 하거나, 동의를 얻지 아니하고 동조 제1항의 규정에 의한 행위를 한 자</li> </ul>	3백만원 이하의 과태료
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 과태료 부과·징수절차 (법제41조, 령제44조)</li> <li>① 시·도지사 : 부과징수 (종류별 과태료 금액 [별표8])</li> <li>② 불복자 : 30일 이내 이의제기</li> <li>③ 이의 제기한 때 : 관할 법원에 통보</li> <li>④ 체납자 : 지방세체납처분의 예에 의하여 징수</li> <li>⑤ 과태료 관리 : 시·도 및 시·군 특별회계를 조례로 설치 운영</li> </ul>			

# 위반행위의 종류별 과태료금액

(시행령 [별표8])

(제44조 제3항 관련)

위 반 행 위	해당법조문	과태료
1. 법 제8조 제2항의 규정에 의한 변경신고를 하지 아니하거나 허위로 변경신고한 자	법 제39조 제1호	350만원
2. 법 제9조 (법 제13조 제3항의 규정에 의하여 준용하는 경우를 포함한다)의 규정에 의한 준공신고를 하지 아니한 자	법 제39조 제2호	350만원
3. 법 제9조의2 제2항의 규정에 의한 이용계획의 신고를 하지 아니한 자	법 제39조 제3호	500만원
4. 법 제9조의3의 규정에 의한 지하수개발·이용의 종료신고를 하지 아니한 자	법 제39조 제4호	400만원
5. 법 제9조의4 제1항의 규정에 의한 종료신고를 하지 아니한 자	법 제39조 제5호	400만원
6. 법 제14조의 규정에 의한 이행보증금을 예치하지 아니한 자	법 제39조 제6호	500만원
7. 법 제21조 제1항 또는 법 제34조 제1항의 규정에 의한 검사를 거부·방해 또는 기피한 자	법 제39조 제7호	350만원
8. 법 제31조 제1항의 규정에 의한 출입 등을 거부·방해 또는 기피한 자	법 제39조 제8호	350만원
9. 법 제20조 제4항의 규정에 의한 수질검사결과서를 비치하지 아니한 자	법 제40조 제1호	50만원
10. 법 제21조 제1항 또는 법 제34조 제1항의 규정에 의한 보고 또는 자료제출을 하지 아니하거나 허위의 보고 또는 자료를 제출한 자	법 제40조 제2호	200만원
11. 법 제22조 제1항, 법 제27조 제1항 및 법 제29조의2 제1항의 규정에 의한 변경신고를 하지 아니하거나 허위로 변경신고한 자	법 제40조 제3호	300만원
12. 법 제24조 제1항 또는 제3항(법 제29조의2 제3항의 규정에 의하여 준용하는 경우를 포함한다)의 규정에 의한 지하수개발·이용시공업 또는 지하수정화업의 양도·양수 등의 신고를 하지 아니하거나 허위로 신고한 자	법 제40조 제4호	300만원
13. 법 제31조 제2항 또는 제3항의 규정에 의한 허가를 받지 아니하거나 동의의 얻지 아니하거나 통지를 하지 아니하고 동조제1항의 규정에 의한 행위를 한 자	법 제40조 제5호	50만원

※ 시·도지사, 시장·군수는 위반행위의 동기·내용 및 회수 등을 참작하여 [별표8]의 기준에 의한 금액의 1/2범위 안에서 가중 또는 경감할 수 있다(가중하는 때에 과태료의 총액은 법제39조, 제40조의 규정에 의한 금액 초과불가).

# 개정 지하수법이 규정한 시행시기 및 적용기간

## □ 지하수개발·이용허가의 유효기간의 적용

- 이법 시행(2001. 11. 17)당시 기존의 허가기간이 10년으로 되어있는 것에 대해서는 그 기간을 그대로 인정되고
- 달리 허가의 유효기간이 정하여져 있지 않은 경우에 그 유효기간에 대해서는 이법의 시행일(2001. 11. 17)부터 5년으로 되게 된다. 이 경우에는 별도의 허가신청절차를 밟아야 한다.

## □ 지하수의 이용신고기간

- 지하수개발·이용신고(법제8조)에 있어서 이법의 시행(2001. 11. 17)당시 신고하지 아니하고 지하수를 개발·이용하는 자로서, 신고대상(법제 18조 제1항)이 되는 자는
- 이법 시행일로부터 1년 이내(2002. 11. 17일까지) 관할 시장·군수에게 신고절차를 이행하여야 한다.
  - 첨부서류
    1. 개발·이용시설의 위치표시 지적 또는 임야도
    2. 원상복구계획서[별지 7호 서식]

## □ 유출지하수의 이용계획 신고기간

- 지하철·터널 등 지하시설물을 설치하고자 하는자 또는 서울특별시, 광역시의 경우 건축물로서 그 층수가 21층 이상이거나 연면적이 10만㎡ 이상인 건물(규칙 제9조의3)로서
    - 지하철역사 1개소 및 터널 1개소에 대하여 각각 1일 300톤
    - 건축물 1동에 1일 30톤 규모의 지하수가 유출되는 때는
      - ① 생활용수                      ② 공업용수                      ③ 농업용수
      - ④ 어업용수                      ⑤ 공사용수                      ⑥ 소방용수
      - ⑦ 청소용수                      ⑧ 하천유지용수                  ⑨ 조경용수
- 등의 용도별로 이용계획을 수립하여 2002. 5. 17일 이내에 관할시장·군수에게 신고 의무화



## □ 지하수정화업의 등록기간

- 개정지하수법의 새로운 제도로 도입된 지하수정화업의 등록(법제 29조의 2) 기간에 있어서는 [별표 7]에 규정한 자본금(5천만원), 기술능력(가, 나, 다), 시설(가 내지 마)의 요건(시행령 제39조의2 제1항) 사항을 갖추어 2002년 7월 1일부터 관할 시·도지사에게 등록하여야 한다.
- 지하수정화업무는 등록자만이 시행할 수 있다.
- 다만 다음기관은 그러하지 아니하다.
  1. 국가 또는 지방자치단체
  2. 정부투자기관
    - ① 광업진흥공사
    - ② 한국수자원공사
    - ③ 농업기반공사그러나 등록기준요건은 갖추어야 한다.

## 지하수와 관련된 다른 법률

법률명	관리부처	관리대상 (지하수)	이용·관리 내용	지하수에 대한 재원 지원
지하수법 (2001. 1. 16) (법률제6368호)	건설교통부	전국지하수 (총 괄)	○ 전국 지하수총이용량 331억톤/년 지하수(37억m <sup>3</sup> /년)	정부예산
먹는물관리법 (2001. 1. 17) (법률제6103호)	환경부	먹는샘물 (지하수)	○ 먹는샘물허가업체수 : 79개소 (운영중 업체 : 66개소) ○ 먹는샘물이용량 6.15백만톤/년	지하수법에 의한 지하수 보전구역 지정에 관한 비용 지원
제주도개발 특별법 (2001. 12. 23) (법률제6283호)	건설교통부 (제주도 지사)	제주도지역 (지하수)	○ 이용량 : 987.8백만톤/년 (지하염수 포함)	-
온천법 (2001. 1. 26) (법률제6390호)	행정자치부	온천수 (지하수)	○ 온천지구 : 109지구 ○ 이용량(99년말기준) 34.5백만m <sup>3</sup> /년	-
농어촌정비법 (2002. 1. 14) (법률제6596호)	농림부	농어촌용수 (지하수)	○ 전국(16개 시·도) ○ 이용량(2000년도 기준) 21.9억m <sup>3</sup> /년	정부예산
수도법 (2001. 3. 28) (법률제6449호)	환경부	상수원으로 서의(지하수)	○ 전국(16개 시·도) ○ 이용량(99년말 현재) 224.8백만m <sup>3</sup> /년	-
민방위기본법 (2000. 1. 12) (법률제6116호)	행정자치부	비상급수 (지하수)	○ 비상급수시설에 의한 지하수이용량 32.4백만m <sup>3</sup> /년	-
국방·군사시설 사업에관한법률 (97. 1. 13) (법률제5286호)	국방부	국방·군사 시설(지하수)	○ 국방·군사 목적으로 필요시설에 의한 지하수이용	-
주택건설촉진법 (2000. 1. 28) (법률제6250호)	건설교통부	지하저수 시설에의한 (지하수)	○ 주택건설기준 등에 관한 규정(제4조제4호)에 의한 부대시설로서의 지하수 양수	-
지방세법 (2001. 4. 7) (법률제6460호)	행정자치부	지역개발세 부과대상 (지하수)	○ 지방세법에 의한 지역 개발세로서 부과·징수 대상 지하수(지방세법 제216조) 이용량(미상)	-

(지하수와 관련되는 다른 법률 계속)

법률명	관리부처	관리대상 (지하수)	이용·관리 내용	지하수에 대한 재원 지원
○한강수계상수원 수질개선 및 주민지원등에 관한 법률 (2001. 1. 16) (법률제6362호)	환경부	-	○ 한강수계 관리기금 설치 - 세입 물이용 부담금등 ○ 시·도에 특별회계 설치운영 - 기금전입 ○ 2002년도 전체 재정규모 1조 8,853억원(기금 : 2,591억원)	○ 기금용도(영제23조) 1~11호 생략 [10호] 소유자 또는 관리 자가 없는 지하수 개발·이용시설에 대한 수질오염방지 사업
○영산강·섬진강 금강 및 낙동강 수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 (2002. 1. 14)	환경부	-	○ 2003년도 4대강 개선을 위한 5,300억원 투입계획	"

- 자료출처 : 1. 지하수조사연부 (2000, 건설교통부)  
 2. 지하수관리기본계획(안) (2001.11, 건설교통부 한국수자원공사)  
 3. 제주도개발 중간보고서 (2001.8)  
 4. 농어촌용수10개년계획(보완) (2001. 8)  
 5. 4대강 수질개선 종합대책(2002.8.5, 환경부)

### [다른 법률과의 관계]

- 지하수법 제4조에는 지하수의 조사, 개발·이용 및 보전·관리에 관하여 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우에는 그 법률이 정하는 바에 의하도록 규정하고 있다. 다만 제14조(이행보증금의 예치), 제15조(원상복구 등), 제16조(지하수오염 방지 명령 등)의 규정은 제외하고 있다.
- 지하수법 이외 여타 다른 법률에서 지하수개발·이용 및 관리 등에 관하여 인·허가 및 필요절차를 구체적으로 규정하고 있는 경우 지하수관리의 기본적인 목적과 취지에 위반되지 않은 때는 당해 법령을 적용하게 되나, 단순히 지하수시설을 설치하여야 한다는 등과 같이 구체성이 없는 경우는 지하수법이 적용되게 한다.
  - 특히 법제14조(이행보증금의 예치), 제15조(원상복구 등), 제16조(지하수오염 방지 명령 등)의 규정은 지하수에 대하여 사전, 사후 철처한 보전·관리를 위한 조치로서 다른 법률의 규정에 우선하여 적용하기 위한 장치인 것이다.

# 지하수의 수질기준

[별표5] (규칙 제6조 관련)

## 1. 지하수의 수질기준(법 제20조제2항 관련)

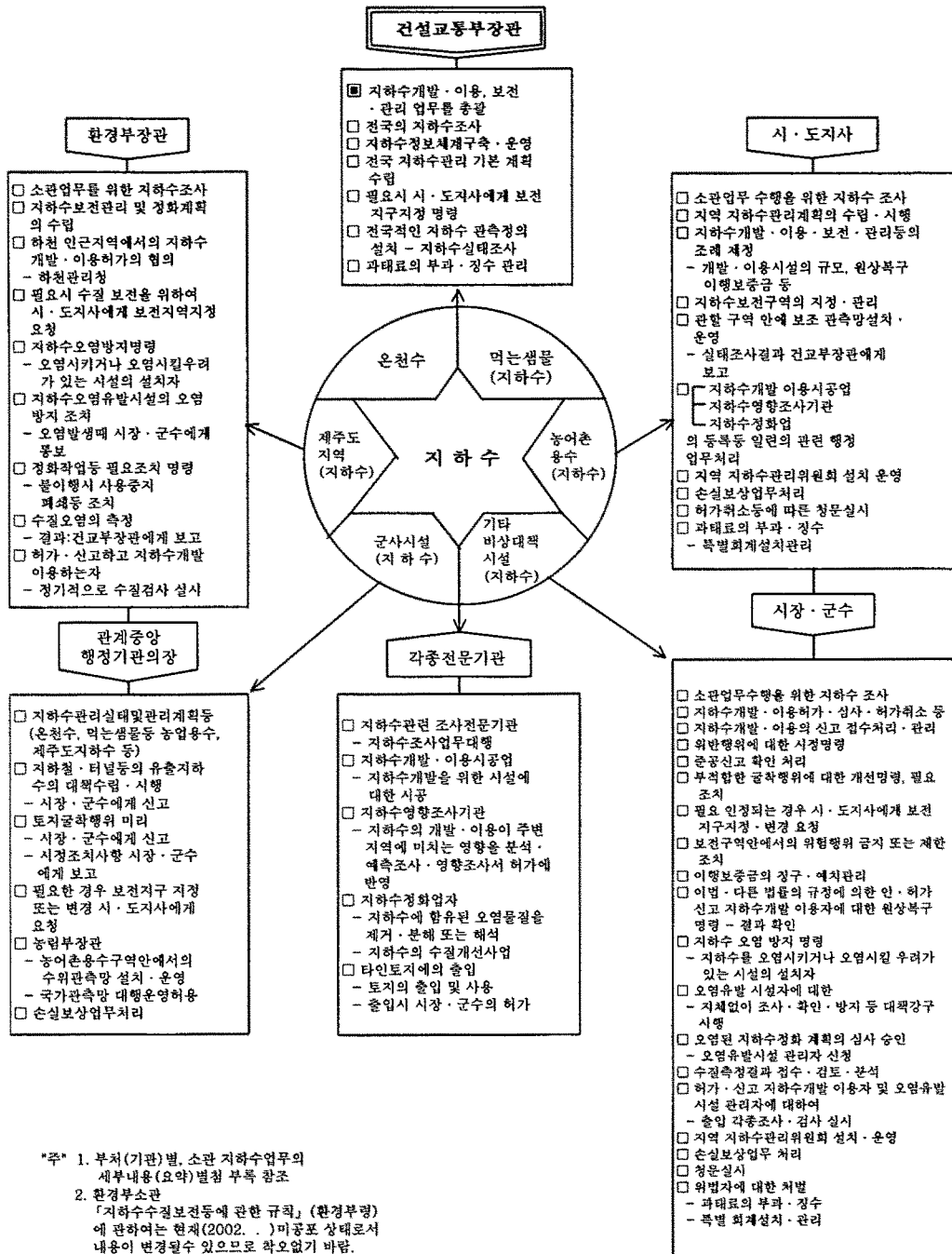
- 가. 지하수를 음용수로 이용하는 경우 : 먹는물관리법 제5조의 규정에 의한 먹는물의 수질기준  
 나. 지하수를 생활용수, 농·어업용수, 공업용수로 이용하는 경우는 다음과 같다.

(단위 : mg/l)

항 목		이용목적별	생활용수	농·어업용수	공업용수
일 반 오염물질 (9개)	수소이온농도(pH)		5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0
	대장균군수		50ml에서 불검출	-	-
	질산성질소		20이하	40이하	40이하
	염소이온		250이하	250이하	500이하
	일반세균		1ml중100CFU이하	-	-
	아 연		1.5이하	3이하	5이하
	알루미늄		0.3이하	0.6이하	1.0이하
	철		0.3이하	-	0.3이하
	망 간		0.3이하	0.5이하	-
특 정 유해물질 (15개)	카드뮴		0.01이하	0.01이하	0.02이하
	비 소		0.05이하	0.05이하	0.1이하
	시 안		불검출	불검출	0.2이하
	수 은		불검출	불검출	불검출
	유 기 인		불검출	불검출	0.2이하
	페 놀		0.005이하	0.005이하	0.01이하
	납		0.1이하	0.1이하	0.2이하
	6가크롬		0.05이하	0.05이하	0.1이하
	트리클로로에틸렌		0.03이하	0.03이하	0.06이하
	테트라클로로에틸렌		0.01이하	0.01이하	0.02이하
	1,1,1-트리클로르에탄		0.15이하	0.3이하	0.5이하
	벤 젠		0.015이하	0.03이하	0.05이하
	톨 루 엔		1이하	2이하	3.5이하
	에틸벤젠		0.45이하	0.9이하	1.5이하
	크 실 렌		0.75이하	1.5이하	2.5이하

2. 어업용수 및 지하수의 이용목적상 염소이온의 농도가 인체에 해가 되지 아니하는 것으로 환경부장관이 인정하는 용도로 지하수를 이용하는 경우 염소이온의 기준을 적용하지 아니한다.
3. 생활용수, 농·어업용수, 공업용수는 아래의 용도로 이용하는 경우를 말한다.  
 가. 생활용수 : 가정용 및 가정용에 준하는 목적으로 이용되는 경우로서 음용수, 농업용수, 공업용수 이외의 모든 용수를 포함한다.  
 나. 농·어업용수 : 농작물의 재배·경작, 어패류 양식의 목적으로 이용되는 경우를 말한다.  
 다. 공업용수 : 수질환경보전법 제2조제5호의 규정에 의한 폐수배출시설을 설치한 사업장에서 사업활동 목적으로 이용되는 경우를 말한다.  
 라. 공통사항 : 농업용수, 공업용수일지라도 생활용수의 목적으로도 함께 이용되는 경우에는 생활용수 기준을 적용한다.

# 지하수법에 의한 관계기관별 소관 주요업무 내용(요약)



\*주\* 1. 부처(기관)별, 소관 지하수업무의 세부내용(요약)별첨 부록 참조  
 2. 환경부소관 「지하수수질보전등에 관한 규칙」(환경부령)에 관하여는 현재(2002. .)미공포 상태로써 내용이 변경될 수 있으므로 확오 없기 바람.

## 부처(기관)별 소관 지하수업무의 내용

(2002. 12)

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
<b>제1장 총칙</b> 목적 (법제1조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수의 적절한 개발·이용</li> <li>• 효율적 보전·관리</li> <li>• 공공의 복리증진</li> <li>• 국민경제의 이바지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수의 오염 예방</li> </ul>				
정의 (법제2조)	[지하수용어의 정의] <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수</li> <li>• 지하수영향조사</li> <li>• 지하수보전구역</li> <li>• 지하수개발·이용시공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수정화업 (함유물질 제거, 분석, 해석 수질개선)</li> </ul>				
국가 등의 책무 (법제3조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양질의 효율적 보전·관리</li> <li>• 양질의 지하수이용</li> <li>• 종합적인 계획수립</li> <li>• 국민의 지하수오염방지노력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국민의 지하수 오염방지 노력</li> </ul>				
다른 법률과의 관계 (법제4조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다른 법률에 특별히 규정된 조사, 개발·이용 및 보전· 관리사항</li> <li>-그 법률에 따름</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소관 개별법률에 규정한 지하수에 관한 사항 관리</li> </ul>			
<b>제2장 지하수조사 및 개발·이용</b> 지하수의 조사 (법제 5조)	[전국의 지하수조사] <ul style="list-style-type: none"> <li>• 부존 특성, 개발가능량조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소관업무에 관련된 업무들 위한 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수와 관련된 소관업무 수행을 위하여 -개발·이용 및 보전·관리를 위한 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좌와 같음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좌와 같음</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조사내용 (법제2조)</li> <li>1. 지형 및 지하수질의 분포</li> <li>2. 지하수의 수위분포</li> <li>3. 지층의 구조, 수리특성</li> <li>4. 수질의 특성</li> <li>5. 개발가능량</li> <li>6. 기타 필요한 사항</li> <li>- 전국지하수에 대하여</li> <li>- 매년 지역별 조사계획수립</li> <li>- 시급히 개발이 필요한 지 역으로서 중앙·지방행정 기관의 요청지역 우선 조 사 실시</li> <li>• 긴급사유</li> <li>- 전쟁·천재·지변 및 기타 재해</li> <li>• 조사업무 : 지하수 관련 조사전문기관으로 하여금 대행</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용수원으로 시급히 개발이 필요한 지역에 대하여 다른 지역에 우선 조사 요청</li> <li>• 조사실시</li> <li>- 건교부장관과 협의 또는 통보</li> <li>- 조사완료시 통보</li> <li>- 긴급한 경우 예외</li> <li>• 조사협의·통보사항</li> <li>1. 수질조사</li> <li>2. 가뭄대책개발·이용조사</li> <li>• 협의사항</li> <li>위 각목 이외의 조사</li> <li>• 조사완료일부터 1월 이내 결과 장관에게 보고</li> <li>• 조사업무 : 지하수관련 조사전문기관으로 하여금 대행</li> <li>- 조사전문기관</li> <li>1. 한국지질자원연구원</li> <li>2. 대한땅업진흥공사</li> <li>3. 한국수자원공사</li> <li>4. 농업기반공사</li> <li>5. 한국건설기술연구원</li> <li>6. 환경관리공단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좌와 같음</li> <li>• 좌와 같음</li> <li>• 좌와 같음</li> <li>• 좌와 같음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좌와 같음</li> <li>• 좌와 같음</li> <li>• 좌와 같음</li> <li>• 좌와 같음</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• [조사대행기관]</li> <li>- 조사결과 7월 이내 중앙, 시·도, 시장· 군수에게 통보</li> <li>• 조사계획 포함사항</li> <li>1. 조사지역</li> <li>2. 조사기간</li> <li>3. 조사내용</li> <li>4. 원상복구계획</li> </ul>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
지하수보전·관리의 정보화 (법제5조의2)	[지하수정보체계구축·운영] -조사자료 -보전·관리 필요자료 •정보체계내용 1. 조사자료 2. 관측 및 조사자료 3. 이용·관리 관련자료 •정보체계구축 -환경부장관과 협의 -필요한 경우 관계기관 단체와 협의 •자료생산·관리 표준화 -조사·이용실태, 관련사항 각 기관·단체·일반인이 활용, 자료제공	•정보체계 구축 시 미리 협의 자료활용	•정보자료 활용	•좌와 같음	•좌와 같음	<신설>
지하수기본계획 수립 (법제6조)	전국의 지하수관리기본 계획의 수립 [포함사항] 1. 부존특성·개발가능량 2. 이용실태 3. 이용계획 4. 보전계획 4의2. 수질관리·정화계획 5. 기타지하수관리에 관한 사항 (기타사항) ①지하수의 조사계획 ②지하수의 관리계획 ③관리에 관한 투자계획	[지하수의 수질관리 및 정화 계획 수립] •수립계획 건교부장관에게 통보 •수질관리 정화계획의 포함 사항 1. 수질관리·정화계획의 기본방향 2. 오염의 현황 및 예측				

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
	[타법의 지하수규정] -온천수 -농어촌용수의 지하수 -제주도 지역 지하수 -먹는샘물  [기본계획의 수립 절차] ◎기본계획에 포함사항 1. 기본계획의 목적 2. 기본계획의 목표기간 3. 부존특성·개발가능량 4. 조사 및 이용계획 5. 보전 및 관리계획 6. 수질관리 및 정화계획 7. 기타 령이 정하는 사항 -기타사항 •기본계획의 개요 •변경내용 및 사유 •서류일람, 기간, 장소 등 •기본계획 공고 •계획내용, 관제서류 -해당중앙 시·도지사에게 통보 -시·도지사, 시장, 군수에게 송부(20일 이상 일람) •변경의 경우 절차 같음	3. 수질보호계획 4. 수질측정망의 운영계획 5. 수질에 관한 정보화 계획 6. 기타 수질관리·정화에 관한 필요사항  •계획수립의 필요인정 시 -중앙, 시·도, 시장, 군수에게 필요자료 제출 요청	[지하수 관리 기관] •행자부장관 •농림부장관 •환경부장관 (1)지하수관리실태 (2)관리계획 등 미리 건교부장관에게 통보  •소관 관리지하수의 -개발·이용, 보전·관리는 기본계획에 적합토록 관리 -필요자료 제출	•좌와 같음	•좌와 같음	
				•기본계획 시장, 군수에게 송부	•기본 계획 20일 이상 일반인에게 열람 조치	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
지역지하수관리 계획의 수립·시행 (법제6조의2)	• 지역관리계획 승인 - 승인할 때 미리 환경부 장관과 협의	• 지역관리계획의 협의		[지역지하수관리계획] • 기본계획에 따라 지역 지하수관리계획 수립 - 장관의 승인신청 - 경미한 사항 변경 예외 [지역관리계획에 포함사항] 1. 관리계획의 목적 2. 관리계획의 목표기간 3. 부존특성 및 개발가능량 4. 조사 및 이용계획 5. 보전 및 관리계획 6. 수질관리 및 정화계획 7. 서류열람기간 및 장소 8. 변경사유 및 내용 • 승인을 얻을 때 - 위 각 호의 사항 관보에 공고 - 그 내용 지체 없이 • 관계중앙행정기관의 장 • 시장·군수에게 통보	• 승인·공고내용 20일 이상 일반인에게 열람조치	<신설>
지하수개발·이용 허가 (법제7조)			• 해당중앙행정기관의 장 - 지역관리계획 활용		[지하수 개발·이용 하고자 하는 자] • 다음 각 호의 서류를 첨부 하여 시장·군수의 허가 (구비서류) 1. 지하수개발·이용시설의 위치표시 지적도 또는 임야도 2. 지하수개발·이용시설의 설치도 (해당자가 작성) 3. 지하수영향조사서 4. 기타 권교부령이 정하는 서류	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고	
					[첨부서류] 1. 토지불 사용·수익할 수 있는 권리 증명 서류 2. 원상복구계획서·허가 신청서식[별지 제2호] [이용시설의 설치도 및 기준] • 설치도를 작성할 수 있는 기관 1. 조사전문기관 2. 지구물리, 용융지질, 지하 자원개발, 수자원개발, 상하수도 또는 농업토목 분야 엔지니어링 활동 주체 • (엔지니어링기술진흥법) 3. 기술사사무소 개설 등록을 한 지구물리, 용융지질, 지하자원개발, 상수도 또는 농업토목 분야의 기술사 (기술사법) 4. 지하수영향조사기관 (법제27조 제1항) 5. 등록된 정화업자 (법제29조의2 제1항) 6. 등록된 환경영향조사 대행자 (먹는물관리법 제12조) • 이용시설의 설치기준 1. 흡수장치 및 유량계 등 설치하여 취수량 파악 하도록 할 것 - 제외기준 가. 30톤/일 미만(안쪽지름 32mm이하 토출관 사용 하는 경우에 한함)		



조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					-가정용 -국방·군사용 이용시설의 경우 나. 정착된 동력장치 없는 -농업용·어업용이용시설의 경우 2. 지름25mm 이상의 수위 측정관을 설치 수위측정 가능토록 할 것 · 제외기준 가. ① 굴착지름100mm이하인 개발·이용시설 ② 1일 양수능력30톤 미만 (인착지름 32mm이하인 토출판 사용하는 경우에 한함)인 -가정용 -국방·군사용 이용시설 나. 정착된 동력장치 없이 -농업·어업용 이용시설 3. 이용시설설치 과정에서 굴착 등으로 유입된 · 오염물질 · 깨어진 물결 · 사용된 물은 제거 후 소독 4. 용용수 이용목적으로 설치하는 시설 · 자재는 한국산업규격 · 이에 상당하는 제품사용	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					· 허가유효기간 10년→5년(연장가) -기간연장 신청시 : 영항조사서 첨부 · 허가 : 준공검사를 받을 것을 조건부 허가 [허가여부심사] · 지하수영향조사서 적합 여부 심사 -허가여부에 반영 -필요시 전문가의 의견청취 -지역관리계획 고려 [참허가, 취수량 제한조건] · 허가불허조건(법제7조제3항) 1. 채수로 인한 인근지역 수원고갈, 지반침하로 주변시설물의 안전을 해할 우려가 있는 경우 2. 지하수오염, 자연생태계훼손할 우려가 있는 경우 3. 지하수의 적정관리, 도시계획, 공공사업에 자장을 주는 등 공익저해우려 4. 하천의 수량에 영향을 미칠 경우 [허가사항의 변경] · 허가받은 사항의 변경사유 발생일 7일전에 1. 변경내용증명서류 2. 지하수영향조사서 첨부 제출	법제7조 제 3 항 각 호

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				[조례 제정] • 영향조사의 항목, 조사 방법 - 지하수영향조사서[별표1]의 이외 - 필요인정의 경우 조제가 정하는 이를 적용 (1) 조사항목 (2) 조사방법 추가하거나 (3) 먹는물관리법(제10조)의 규정에 의한 • 환경영향조사항목 • 조사방법 • 평가기준에 의할 수 있다.	[영향조사의 항목·조사 방법 등] • 원칙 - 영향조사 : [별표1]의 "지하수영향조사의 항목· 조사방법 및 평가기준" 적용 • 예외 - 시·도의 조제가 정하는 기준에 의할 수 있다. • 영향조사서의 작성지침과 작성내용[별표2]	
하천인근에서의 지하수개발· 이용허가 (법제7조의2)	[하천관리청] • 하천구역으로부터 300m 범위 안의 지하수개발· 이용 허가를 협의 • 협의사항 - 하천수량에 영향이 미친다고 인정되는 경우 • 취수량 • 취수기간 • 취수금지 등 요청 • 허가로 인한 기득권자의 동의 - 기득하천사용자가 손실을 받을 것이 명백한 경우 - 허가신청자로 하여금 기득 하천사용자의 동의 취득				[하천인근에서의 지하수개발· 이용 허가하는 경우] • 하천구역으로부터 300m 이내 범위지역 안에서 개발·이용하는 경우 - 지하수영향조사서 첨부 당해 하천관리청과 미리 협의 [협의사항의 수용] • 특별한 사유가 없는 한 수용 [허가의 전제조건] • 허가로 인하여 기득하천 사용자가 손실을 받을 것이 명백한 경우 - 허가신청자가 기득하천사용자의 동의 취득 하여 허가	<신설> • 하천의 관리 : 건교부장관 - 지방하천 : 시도지사

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					- 지하수영향조사서에 의하여 판단 (하천법 제34조의 규정)	
지하수개발·이용 허가의 유효기간 (법제7조의3)					[지하수개발·이용허가 유효기간] • 유효기간 : 5년 - 연장기간 : 5년 • 연장신청절차 - 유효기간만료30일전까지 최근 6개월 이내 조사· 작성된 지하수영향조사서 첨부제출[별지 제3호 서식]	<신설>
지하수개발· 이용의 신고 (법제8조)					[지하수개발·이용신고대상] 다음 각 호의 1에 해당하는 경우 부령이 정하는 바에 따라 시장·군수에 신고하고 - 지하수개발·이용 • 신고대상 1. 국방·군사시설사업에 의하여 설치된 시설에서 지하수개발·이용하는 경우 2. 어업을 영위목적으로 명이 정하는 규모이하로 지하수개발·이용하는 경우 • 1일 양수능력 150톤 이하인 경우(안쪽지름 50mm 이하의 토출관 사용에 한함)	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				<p>[시·도 조례 제정]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수개발·이용 및 보전 관리 등 조례제정</li> <li>- 지하수보전</li> <li>- 지역여건에 따라 조례로 1/2의 범위 안에서 양수 능력조정</li> </ul> <p>[시·도 조례 제정]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>지하수개발·이용·보전·관리 등 조례 제정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 특별히 필요한 경우</li> <li>· 시·도 조례가 정하는 바에 의하여 1/2 범위 안에서 양수능력을 조정</li> </ul> <p>3. 재해, 천재, 지변으로 긴급지하수개발·이용할 필요가 있어 시장·군수가 인정하는 경우</p> <p>4. 전시·비상사태 발생 대비하여 국가 또는 지자체 비상급수용</p> <p>5. 제1호 내지 제5호의 경우로서 대통령령이 정하는 규모이하로 개발·이용하는 경우</p> <p>[대통령령이 정하는 규모]</p> <p>(1) 일 양수능력 100톤 이하인 경우 (안쪽지름 40mm 이하인 토출관 사용하는 경우에 한함)</p> <p>(2) 특별히 필요 인정되는 경우 시·도지사의 조례가 정하는 바에 의하여 1/2의 범위 안에서 양수능력조정</p> <p>[신고개발·이용양수능력산정]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 다음 각 호의 1에 해당하는 경우 전체 양수능력 합산</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					<p>1. 이미 개발·이용하고 있는 자가 당해 시설의 당초 능력을 증가시키는 경우 (동일시설)</p> <p>2. 동일사업장안에서 2개 이상의 개발·이용시설을 설치하는 경우</p> <p>3. 개발이용시설간의 거리 50m 이내인 지역에서 2개 이상의 이용시설 설치하는 경우</p> <p>[중요사항의 변경신고]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 다음 각호의 1에 해당하는 경우 시장·군수에게 신고</li> </ul> <p>1. 신고인의 명의변경</p> <p>2. 개발·이용의 용도를 변경하는 경우</p> <p>3. 개발·이용 3개월 이상 중지하는 경우</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업용·어업용 시설의 경우 설계상 이용중지가 불가피하다고 인정되는 경우는 예외</li> <li>· 변경사유 발생일로부터 7일 이내 신고, 신고증 교부 (별지 제8호 및 제9호 서식)</li> </ul> <p>[시정명령]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 제7조 제3항 각 호의 1에 해당하는 경우</li> <li>- 취수량·취수기간 제한</li> <li>- 시정명령</li> <li>- 이용중지</li> </ul>	<p>*개철 등 -농한기</p>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					<ul style="list-style-type: none"> <li>-공동이용명령 등 조치</li> <li>-불이행 시 이용시설 폐쇄 명령</li> <li>• 위 사항의 조치를 할 때</li> <li>-사유·방법·이행기간을 문서로 명시 통보</li> <li>• 부득이한 사유인정 시 1회에 한하여 연장 (당초이행기간 범위 내)</li> <li>• 이행기간연장신청</li> <li>-기간만료 3일전까지 신청</li> <li>• 명령 등 이행의 경우</li> <li>-이행한 날부터 7일 이내 통보</li> <li>• 첨부서류</li> <li>1. 조치이행완료 증명서류</li> <li>2. 현장사진</li> <li>-시장·군수 7일 이내 그 이행여부 확인</li> <li>• 밀렵 불이행 자 처벌</li> </ul>	
준공신고 (법제9조)					<p>[준공신고 절차]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가·신고</li> <li>- 지하수</li> <li>개발·이용하는 자</li> <li>-공사 준공할 때 7일 이내 시장·군수에게 신고</li> <li>• 준공 신고시 첨부서류</li> <li>1. 준공시정도</li> <li>2. 수질검사서</li> <li>3. 현장사진</li> <li>• 시장·군수 신고 내용 적합 여부 확인, 준공 확인필증 교부</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					<p>[국방·군사시설사업에 설치된 지하수 개발·이용의 경우]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 관할부대장이 시장·군수에게 관련서류 제출</li> <li>-서류 확인하고 준공필증 교부</li> <li>-처리기간 : 준공신고서 접수일로부터 5일</li> </ul>	
유출지하수의 이용 등 (법제9조의2)			<p>[대상]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하천, 터널, 건축물 시설물</li> <li>-설치하고자 하는 자는 이로 인하여 지하수가</li> <li>-법이 정하는 규모이상으로 유출되는 경우 감소대책 수립·시행</li> </ul> <p>[법정규모]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축물(서용시, 광역시)</li> <li>• 층수 21층 이상</li> <li>• 연면적 10만 m<sup>2</sup> 이상</li> <li>• 유출량</li> <li>1. 지하천역사 1개소</li> <li>2. 터널 1개소: 300본/일</li> <li>3. 건축물: 30본/일</li> </ul> <p>[용도별 이용계획]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 생활용</li> <li>2. 공업용</li> <li>3. 농업용</li> <li>4. 어업용</li> </ul>		<p>[시장·군수]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 신고를 받은 때: 신고증 교부</li> </ul> <p>[시장·군수의 개선명령]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-유출감소 대책 미시행자</li> <li>-유출지하수 이용계획 미제출자</li> <li>-이용률이 현저히 낮다고 인정되는 자</li> <li>-사유·기간을 정한 문서로서 개정명령</li> <li>-천제·지변 등 부득이한 사유가 있는 경우 만료 3일전까지 이행기간 연장신청</li> </ul>	<신청>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
			5. 공사용 6. 소방용 7. 청소용 8. 하천유지용 9. 조경용 ◦ 계획수립 시장·군수에게 신고 [제출서류] 1. 유량측정자료 2. 수질검사서 3. 유출지하수 이용계획서 ◦ 개선명령 이행한 경우 7일 이내 이행완료보고서 제출 -첨부서류 1. 완료증명서류 2. 현장사진		[시장·군수의 개선명령] ◦ 유출감소대책 미시행자 ◦ 이용계획 미시행자 ◦ 이용률이 현저히 낮다고 인정되는 자 -기간을 정하여 개선 명령 ◦ 신고시 : 신고증교부 [사실확인] 명령 이행통보서 받은 날로부터 7일 이내 이행여부 확인	
지하수개발·이용의 종료신고 (법제9조의3)			[다른 법률에 의한 기타 관련기관] -허가·인가·신고할 하고 지하수개발·이용하는 자 1. 지하수 미채취 2. 소요수량 미확보 3. 수질불량 4. 개발·이용 종료할 때 -소정서류첨부 시장·군수에게 개발·이용 종료신고		이 법 또는 다른 법률에 의한 -허가·인가·신고하고 지하수개발·이용하는 자 1. 굴착장에서 지하수가 채취되지 아니한 경우 2. 소요수량 미확보, 수질 불량으로 이용 불가능한 경우 3. 개발·이용 종료한 경우 ① 허가서 또는 신고증 ② 원상복구 계획서 첨부신고 -시장·군수 종료신고증 교부	<신설>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고 등 (법제9조의4)			[굴착행위신고] 1. 지하수의 조사 2. 지하수영향조사 3. 수질측정 4. 단판 5. 지질조사, 굴착지름 75mm이상 (국방·군사용 제외) 하는 자 미리 시장·군수에게 신고		[시설의 개선 명령 필요조치] ◦ 정도 -토지의 굴착지 중심으로 부터 반지름 500m 이내에 설치된 이용시설이 다음 1에 해당하는 경우 1. 1일 최대취수량 5분의 1 이상 감소되는 경우 2. 수질기준에 부적합하게 되는 경우 [굴착자료 요청] ◦ 굴착자로부터 다음 자료 요청 -지질·수량·기타 지하수 관리에 필요한 자료의 내용, 제출기간 등 명백히 문서로 통보	<신설>
허가의 취소 (법제10조)					[허가취소의 요건] 1. 부정한 방법으로 개발·이용허가를 받은 경우 2. 법제7조 제3항 가호의 1에 해당하는 경우 3. 조건을 위반한 경우 (법제7조 제5항) 4. 준공 미신고, 허위 신고한 경우 5. 허가일 기준 3개월 이내 미착공, 착공 후 계속 3개월 이상 공사 중지한 경우	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
			<p>[허가권 받은 자]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 시정명령 또는 이행조치결한 경우</li> <li>-다음 서류 첨부 시장·군수에게 제출(통보)</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 시정·조치 완료 증명 서류</li> <li>2. 현장사진 (별지 제13호 서식)</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>6. 굴착장소에서 지하수가 채취되지 아니한 경우</li> <li>7. 수량 미확보, 수질불량으로 이용 불가능한 경우</li> <li>8. 목적이용이 불가능한 경우</li> <li>9. 개발이용 종료한 경우</li> <li>10. 법규명령에 위반한 경우</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 소요수량 : 허가목적달성 필요수량</li> <li>• 수질 기준</li> <li>-정수 처리한 수질이 부적합한 경우</li> </ul> <p>[허가권소 조치 전에 시정명령 등]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가권소 조치 필요 시 3개월 이내 기간을 정하여 내용통지</li> <li>-허가권소시 청문회</li> <li>-천체·지변 등의 경우 당초 통지기간 범위 내에서 1차에 한하여 연장</li> <li>• 명령·조치완료보고를 받은 날로부터 7일 이내 조치여부 확인</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
<p><b>제3장</b> <b>지하수</b> <b>보전·관리</b> 지하수 보전구역의 지정 (법제12조)</p>	<p>[시·도지사에게 보전구역 지정명령]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 요건</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 보전구역을 지정할 필요가 있음에도 미 지정으로 보전관리에 지장초래 우려 판단되는 지역</li> <li>2. 수질보전을 위해 환경부장관이 요청한 지역</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기타</li> <li>- 령이 정하는 지역</li> </ul>	<p>[환경부]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수질보전을 위하여 시·도지사에게 보전구지역지정요청</li> </ul>		<p>[시·도지사 보전구역 지정]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지정구분</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 지하수 보전구역 <ul style="list-style-type: none"> <li>가. 상·하류의 지하수함양지역</li> <li>나. 용수공급원이 되는 대수층 지역</li> <li>다. 공공급수용 이용 시설 (광역상수도, 지방상수도, 간이상수도, 전용상수도, 소규모급 이용시설)</li> <li>라. 수량·수질보전을 위해 기본계획에 의하여 필요 인정 지역</li> </ul> </li> <li>2. 지하수 개발제한구역 <ul style="list-style-type: none"> <li>가. 관리계획의 개발가능량에 비해 높은 경우</li> <li>나. 고갈현상, 지반침하, 건천발생 우려 지역</li> <li>다. 생태계 생육에 영향우려 지역</li> <li>라. 개발로 해수가 대수층 내로 침입우려 지역</li> <li>마. 공공급수시설의 수량 감소우려 지역 (시설중심에서 100m 이내 지역)</li> <li>바. 기타 제한필요 지역</li> </ul> </li> </ol>		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
			<p>[지정절차]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 필요 인정되는 경우 시·도지사에게 보전지구 지정 또는 변경 요청</li> <li>• 첨부서류               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 목적사용서 기재서류</li> <li>2. 내용기재서류</li> <li>3. 축척 5,000분의 1 이상 지형도</li> <li>4. 지역의 지번·지목 면적 표시 토지조서</li> <li>5. 지정 또는 변경에 따른 효과를 기재한 서류</li> </ol> </li> </ul>	<p>[보전지구지정·변경고려 사항]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 부존특성·이용실태</li> <li>2. 수질특성·오염상태</li> <li>3. 생태계에 미칠 영향</li> <li>4. 지역토지이용현황</li> <li>5. 오염유발시설 설치 현황</li> <li>6. 개발계획과 관련서류           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지적고시(6일 이내)</li> <li>- 사유소멸시 지정해제</li> <li>- 시장·군수에게 통보</li> <li>- 일반인에게 20일 이상 열람</li> </ul> </li> </ol> <p>[2인 이상 시·도 행정구역에 걸치는 경우]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 협의공동지정 또는 지정자 선정</li> <li>- 협의 불 성립한 때</li> <li>- 건교부장관이 관계중앙 행정기관의 장과 협의 지정자, 지정고시</li> </ul>	<p>[지정절차]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 필요 인정되는 경우 시·도지사에게 보전지구 지정 또는 변경 요청</li> <li>• 첨부서류 : 관계중앙 행정기관의 내용과 같음</li> </ul>	
지하수보전구역 안에서의 행위제한 (법제13조)					<p>[제한행위]</p> <p>다음 각 호의 1에 해당하는 자는 시장·군수의 허가</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 허가사항 (규모)           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1일 양수능력 30톤 이상인 경우 (안쪽지름 32mm 이상의 트출관 사용)</li> </ul> </li> </ol>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					<ol style="list-style-type: none"> <li>2. 다음 각 목의 1에 해당 하는 물질을 배출·제조·저장시설로           <ul style="list-style-type: none"> <li>가. 특정수질유해물질 나. 폐기물 다. 오수분뇨 또는 축산폐수 라. 유해화학물질 마. 토양오염물질</li> </ul>           (관계법규에 의하여 승인·허가를 받아 시설·설치한 경우 이를 의제 처리)         </li> <li>3. 수위저하, 수질오염, 지반 침하 등 명백한 위협 행위           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 터널공사 등 유동로 유속 변경우려 골짜행위</li> <li>- 지하 유류저장고 등 오염우려 구조물설치</li> <li>- 폐기물 매립장, 특정폐기물 보관시설, 집단묘지설치</li> <li>- 채광, 토석채취행위</li> <li>- 가축의 사육</li> </ul> </li> </ol> <p>[지하수 개발제한구역 안에서 새로운 지하수 개발·이용 금지]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수 보전구역 중 -지하수개발제한지구로 구분된 지구 안에서 새로운 지하수 개발·이용 행위를 금지하고자 하는 경우</li> <li>- 다음 사항 관보 또는 공보 등에 고시 (20일 이상 일반인에게 열람)</li> </ul>	<p>※ 보 전 구역지정 고시후 새로운 지하수 개발규정</p>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					1. 지하수개발제한지구의 지정일 또는 변경일 2. 개발제한구역의 명칭 3. 개발제한구역의 위치 및 면적 4. 지형도면(5,000분의 1 이상) 5. 금지, 개발 행위의 내용 및 기간 [기타허가절차] 법제7조, 법제9조 및 제10조 준용	
이행보증금의 예치 (법제14조)					[이행보증금의 예치관리] • 이 법 또는 다른 법률의 규정에 의한 허가·인가·신고하고 지하수를 개발·이용하는 자 -이행보증금 예치 [제외기관] • 국가, 지자체, 정부투자기관 [절차] • 허가·신고증 교부시 예치 • 예치기간: 착공일로부터 5년 필요시 5년마다 보증금 계속 예치 • 이용기간이 정하여져 있는 경우 -예치기간은 기간만료 후 1년이 넘는 날 까지	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					• 이용기간이 연장되는 경우 -연장허가일로부터 기간만료 후 1년이 되는날까지로함 [예치방법] -보증서, 유가증권, 정기예금증서, 수익증권 등 -명의 변경된 경우 양도·양수가 불가능한 보험증권 등은 다시 예치 [산정기준] • 이행 보증금의 합산, 산정 -지표부에 설치된 보호벽 제거 -퇴매움 -원상복구 소요비용 • 굴착지름 및 깊이 등 세부적인 사항 장관이 정하여 고시 • 이행보증금반환 -원상복구, 예치기간 경과 -수위, 수질관측망 이용 -원상복구 불필요시 • 사용잔액 -현금예치의 경우, 이차포함 반환 • 부족한 경우 -원상복구자에게 추가금액 청구	
				• 개발·이용시설의 규모 및 지역여건 감안 -조례가 정하는 바에 따라 법령위 안에서 이행 보증금 가감		



조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
원상복구 (법제15조)					<p>[원상복구 대상]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 이 법 또는 다른 법률의 규정에 의한 허가·인가·신고하고 지하수 개발·이용하는 자는 다음 사항에 해당될 때 원상복구</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 허가·인가 등이 취소된 경우</li> <li>2. 이용기간 만료된 경우</li> <li>3. 굴착장에서 지하수가 채취되지 아니한 경우</li> <li>4. 수질분할 등으로 이용이 불가능한 경우</li> <li>5. 이용 종료한 경우</li> <li>6. 신고하고 토지 굴착한 경우</li> <li>7. ①지하수조사 ②지하수 열향조사 ③수질측정 ④단광굴착 ⑤굴착지름이 75mm 이상 지질조사 ⑥구조물 철하·고갈의 우려가 있는 경우</li> </ol> <p>[원상복구가 필요없는 경우]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 계속 개발·이용하는 경우</li> <li>2. 수위측정망, 수질측정망으로 이용하는 경우</li> <li>3. 원상복구 불필요로 시장·군수가 인정하는 경우</li> </ol>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					<p>[원상복구명령]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 다음 각 호의 1에 해당되는 경우 원상복구명령</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 인가·허가를 받아야 하는 경우 인·허가를 받지 아니하고 개발·이용하는 자</li> <li>2. 신고의 경우 -미신고, 허위신고 개발·이용자</li> </ol> <p>[원상복구 의무자됨 대신한 원상복구]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 다음사항의 경우 시장·군수가 의무자 대신 직접원상복구</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 복구명령 불이행으로 시급 복구가 요청되는 경우</li> <li>2. 복구의무자가 불분명하여 이용시설 토지 굴착시설 등이 방지된 경우 -대신 복구의 경우 착공예정일 7일전까지 복구 의무자에게 서면통지 이 경우 이행보증금 사용</li> </ol> <p>[원상복구 확인]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 명령·복구기간 내 복구 여부 확인</li> <li>-원상복구사항 기록유지</li> </ul>	
지하수오염방지 명령 (법제16조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 허가·인가·신고하고 지하수 개발·이용하는 자</li> <li>-지하수 오염방지 시설의 설치 등 필요조치 의무화</li> </ul>	<p>[오염방지조치명령]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수를 오염시키거나 오염시킬 우려가 있는 시설의 설치자, 관리자에게 다음사항 조치 명령</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수 오염방지 조치 명령</li> <li>-환경부장관(제1호 내 지 제6호)의 경우와 같이 오염방지 조치명령</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
		1. 지하수오염관측정의 설치 및 수질측정 2. 오염진행상황의 평가 3. 오염물질의 누출방지 시설의 설치 4. 오염지하수의 정화 5. 당해시설의 설비·운영의 개선 6. 당해시설의 폐쇄·이전 또는 철거 • 지하수오염방지시설기준(별표1) • 지하수오염방지명령의 세부사항(별표2)			[적산유량제에 대한 신고조치] • 적산유량제 -불인태손·고장, 교체, 수리하는 경우 • 지체 없이 전화 등의 방법으로 시장·군수에게 신고 [오염방지조치시설의 예외] • 상부보호공 설치의 경우 가. 오염물질유입 우려가 없는 건축물 안에서 개발·이용하는 경우 나. 정화된 동력장치를 이용하지 아니하는 농업·어업용수 이용의 경우 • 적산유량제, 흡수장치의 경우 가. 1일 양수능력 30톤 미만 (안축 지름 32mm 이하)의 가정용, 국방·군사시설 이용시설 나. 정화된 동력장치 미사용 농업·어업용 이용시설 • 측정관 설치의 경우 가. 굴착지름 100mm 이하인 시설 1일 양수능력 30톤 미만 (안축지름 32mm 이하 토출관 사용)의 가정용 또는 국방·군사시설용 나. 동력장치없는 농업·어업용 이용시설	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					[오염방지의무자의 측정시기] • 오염방지시설에 의하여 -이용량, 수위 매월 측정 • 시장·군수가 필요 없다고 인정되는 시설의 경우에는 그러하지 아니한다.	
지하수오염유발시설의 오염방지 등 (법제16조의2)		[지하수오염유발시설관리자] • 지하수를 오염되게 하거나 현저하게 오염되게 할 우려가 있는 다음 각 호 시설의 설치조치 1. 오염관측정 설치 2. 오염물질 누출방지시설의 설치 3. 오염물질 누출여부확인 시설의 설치 4. 오염유발시설의 상·하류 구간에 대한 오염관측정 설치 • 수질의 정기적 측정 그 결과 시장·군수에게 보고 • 오염이 우려되거나 오염이 발생할 때 -지체 없이 적절한 조치 -시장·군수에게 신고 • 조치사항신고 1. 지하수수질측정 2. 오염물질의 제거 3. 오염물질확산방지를 위한 시설의 설치			[시장·군수] • 지하수오염발생 및 조치 사항의 신고서가 접수된 때 -지체 없이 내용조사, 확인 -오염방지 등 적절한 대책 강구	<신설>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신고내용</li> <li>1. 오염사고 발생일시, 장소, 원인파 내용</li> <li>2. 오염물질의 종류, 농도 및 누출량</li> <li>3. 오염피해 우려지역, 수질 측정 지점</li> <li>4. 사고수습의 각종조치내용</li> <li>5. 사고발생 위치표시 지형·지적도 또는 임야도 (1/5,000 이상)</li> </ul>	
지하수오염유발 시설 관리자에 대한 조치 (법제16조의3)		<p>[정화작업등 필요조치 명령]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수질측정결과 기준에 부적합한 경우</li> <li>-수질특원정화작업, 그 밖의 필요조치 명령</li> <li>• 오염평가보고서</li> <li>-오염위해성, 범위, 원인, 평가, 대책등을 기재한 보고서 제출 명령</li> <li>• 평가보고서를 기초로 다음 각 호의 조치 중 필요한 조치명령</li> <li>1. 오염범위정밀조사</li> <li>2. 오염물질누출방지 시설의 추가설치</li> <li>3. 오염물질의 운송·저장 처리방식의 변경</li> <li>4. 오염지하수정화사업</li> <li>5. 시설의 설비·운영의 개선</li> </ul>			<p>[정화작업 등 필요조치 명령]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 라의 환경부소관내용과 같은 사항의 경우</li> <li>-필요조치명령</li> </ul>	<신설>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
		<p>6. 오염된 지하수의 자연정화 또는 자연정화 여부의 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 당해 부지, 주변지역의 오염정도</li> <li>-정화기준 이내로 감소되지 아닐할 경우</li> <li>• 유발시설의</li> <li>-운영·사용중지</li> <li>-폐쇄·철거·이전 명령</li> </ul>				
오염지하수 정화 계획의 승인 등 (법제16조의4)					<p>[오염유발시설관리자]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염된 지하수를 자연정화 하거나, 정화명령을 받은 때</li> <li>-정화기준에 맞도록 정화조치</li> </ul> <p>[정화계획의 승인]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염지하수정화계획의 승인 신청절차</li> <li>-오염정화조치 개시 30일전</li> <li>-또는 명령을 받은 날부터 60일 이내 시장·군수의 승인을 받아야 함</li> <li>[승인신청서에 포함사항]</li> <li>1. 정화사업의 방법과 종류</li> <li>2. 정화사업기간 및 사업지역 (오염발생시설의 위치, 면적, 비용부담, 적용대상지역의 범위 포함)</li> <li>3. 시설용량·설치면적 등의 사업규모</li> <li>4. 총 소요 사업비와 분야별 소요사업비</li> <li>5. 재원조달방법</li> </ul>	<신설>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
					6. 정화사업이 계획대로 수행되지 아니할 경우의 비상대책 • 정화계획을 승인하는 경우 -그 시행기간을 명시	
지하수의 관측 및 조사 등 (법제17조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전국적인 지하수관측 시설 (국가관측망) 설치</li> <li>-지하수수위변동실태조사</li> <li>• 관측망 설치시 포함사항</li> <li>①관측망의 위치</li> <li>②구조도</li> <li>③측정항목</li> <li>• 설치계획 결정고시</li> <li>-일반인에게 열람</li> <li>-변경할 때도 같음</li> <li>• 시·도지사의 보조관측망 설치 계획 승인</li> <li>• 관측망과 수질측정망이 동일구역인 경우</li> <li>-상호연계운영</li> <li>[수위변동실태조사]</li> <li>• 국가관측망</li> <li>-전국에 300개 이상 설치</li> <li>-관측망 별로 매일 1회 이상 수위측정</li> <li>-수위측정결과를 기초로 수위변동추세를 분석</li> <li>• 실태조사 보고내용</li> <li>-환경부장관에게 통보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통보된 지하수 수질·수위 등의 실태조사 자료 관리</li> </ul>	<p>[농림부장관]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 농어촌정비법 제18조의 2의 규정에 의하여</li> <li>-농어촌용수구역 안에서 지하수 수위관측망을 설치·운영</li> <li>• 이 경우 국가관측망을 설치하지 아니하고 지하수 수위관측망을 이용 가능</li> </ul> <p>[관계중앙행정기관의 장 또는 지자체장]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수개발·이용을 허가·인가 또는 신고를 받은 때는</li> <li>-지하수의 이용실태 조사를 위하여</li> <li>-신고 받은 날부터 15일 이내에</li> <li>-관계 시·도지사에게 통보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관할구역 안의</li> <li>-지하수 수위변동 파악, 분석을 위해 보조관측망 설치</li> <li>• 설치계획을 수립</li> <li>-건교부장관의 승인</li> <li>-승인신청시의 포함사항</li> <li>①관측망의 위치</li> <li>②구조도</li> <li>③측정장비 등</li> <li>④측정항목</li> <li>• 보조관측망별로 매월1회 이상 수위측정</li> <li>[이용실태보고]</li> <li>• 매년 관할구역 안의 리·동별 및 용도별로 다음 각 호의 실태조사 결과 다음 년도 3월말까지 건교부장관에게 보고</li> <li>1. 위치·이용자·용도·이용량 등 일반현황</li> <li>2. 이용시설의 깊이·직경 등 재원에 관한 사항</li> <li>3. 수질검사결과 등 수질에 관한 사항</li> <li>4. 기타 수질변동에 관한 사항</li> </ul>		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고	
수질오염의 측정 (법제18조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통보된 지하수 수질 오염 실태자료관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수보전을 위하여 수질측정망 설치</li> <li>-전국의 지하수에 대한 수질오염실태 측정</li> <li>• 측정을 완료한 때</li> <li>-그 결과 건교부장관에게 통보</li> <li>• 지하수오염관측망의 설치</li> <li>-방법, 횡수, 측정항목, 기록보존, 보고 및 관측망의 구조도</li> <li>• 지하수오염유발시설이 법 시행(2001.11.17)이전에 설치된 경우</li> <li>-규칙시행 이후 6월이내 관측망 설치, 측정항</li> <li>-그 결과 (별지 제1호, 제2호)에 의하여 시장·군수에게 제출(별지4)</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수 오염유발시설이 법 시행이전에 설치된 경우</li> <li>-규칙시행후 6월 이내 관측망설치</li> <li>-측정결과 접수, 검토, 분석</li> </ul>	<p>환경부령 : '지하수의 수질보전 등에 관한 규칙' 미제정 (2002.12.31 현재)</p>
토지 등의 수용 및 사용 (법제18조의2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관측망설치, 수질측정망 설치에 필요한 경우</li> <li>-토지에 정착물건 수용 또는 사용</li> <li>-토지수용법 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좌와 같음</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좌의 규정과 같음</li> </ul>		<신설>	
수질검사 등 (법제20조)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가를 받거나 신고하고 지하수개발·이용하는 자</li> <li>-정기적으로</li> <li>-지하수관련전문기관의 수질검사</li> <li>• 규모·세부용도</li> <li>-생활용수</li> <li>-공업용수</li> </ul>					

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
		<ul style="list-style-type: none"> <li>-농업용수 및 어업용수</li> <li>-수도법(제19조)의 규정에 의하여 검사를 받은 자는 제외</li> <li>• 용도별검사기간·횟수</li> <li>1. 음용수, 생활용수 : 매년 1회</li> <li>2. 공업용수 : 2년에 1회</li> <li>3. 농업용수 : 3년에 1회</li> <li>4. 어업용수 : 3년에 1회</li> <li>• 수질검사전문기관</li> <li>1.령 제4조 제1항의 규정에 의한 6개 조사전문기관</li> <li>2. 먹는물 검사기관 (먹는물 관리법 제35조)</li> <li>3. 일반수도사업자 (수도법 제3조 제20호)</li> <li>4. 농업과학기술원 (농진청소속)</li> <li>5. 도농업기술원</li> <li>6. 국방 군사시설사업시설에서 지하수개발·이용의 경우</li> <li>①육군 각 군수지원사령 식물검사대</li> <li>②할대사령부의무대</li> <li>③전투비행단의무대</li> <li>④국군중앙의무시험소</li> <li>• 수질검사결과통보</li> <li>-검사전문기관</li> <li>검사결과 기준에 부적합한 경우</li> <li>• 지체 없이 장관 또는 시장·군수에게 통보</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수질검사결과 부적합 통보를 받은 때</li> <li>-이용자로 하여금 이용 중지 또는 다음 각 호의 1에 해당하는 방법에 의한 필요조치 명령</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매분기말 현재의 기록을 분기 종료 다음달 말까지 장관 또는 시장·군수에게 통보</li> <li>• 전문기관의 검사결과 등 기록 보존기간 : 2년</li> <li>• 수질검사의 항목 및 방법</li> <li>1. 음용수의 경우</li> <li>-항목 : 먹는물관리법 제5조의 규정에 의한 수질기준 설정항목</li> <li>-방법 : 먹는물관리법 제5조 수질의 검사방법</li> <li>2. 생활·농업·어업·공업 용수의 경우</li> <li>-항목 : 지하수수질기준 항목</li> <li>-방법 : 수질오염공정시험방법 (수질환경보전법 제7조)</li> <li>• 기타 법규에 위임된 세부사항</li> <li>-지하수의 수질보전 등에 관한 규칙</li> <li>• 지하수의 수질기준(별표5)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 지하수정수처리</li> <li>2. 개발·이용시설의 보완</li> <li>3. 오염관측정의 설치 및 정기적인 수질 측정</li> <li>-조치 명령시 상세내용 명시 문서로 통보</li> </ul>	개정증 (미공포)
출입검사 (법제21조)					<ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가 또는 신고하고 지하수 개발·이용자</li> <li>• 지하수 오염유발시설관리자에 대하여</li> <li>-필요사항보고</li> <li>-이용시설에 출입하여</li> <li>• 검사결과서 비치여부</li> <li>• 지하수개발·이용상황</li> <li>• 오염방지조치상황 등 검사</li> <li>-이 경우 중표 휴대 제시</li> <li>• 검사거부, 방해 또는 기피한 자</li> <li>-500만원 이하 과태료</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
<b>제4장</b> <b>지하수개발·이용 시공업</b> 지하수개발이용 시공업의 등록 (법제22조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수개발·이용 시공업을 하고자 하는자</li> <li>1. 기술능력</li> <li>2. 자본금</li> <li>3. 시설 등을 갖추어 시·도지사에게 등록               <ul style="list-style-type: none"> <li>-등록기준 : (별표4)</li> <li>-경미한 사항 : 신고</li> </ul> </li> <li>• 등록업자만이 지하수개발·이용시설의 공사</li> <li>[등록의 예외기관]</li> <li>1. 대한광업진흥공사</li> <li>2. 한국수자원공사</li> <li>3. 농업기반공사</li> <li>[등록 없이 할 수 있는 공사]</li> <li>1. 자연용출하는 지하수를 동력장치 없이 개발·이용하는 경우</li> <li>2. 동력장치를 사용하지 아니하고 가정용 우물을 개발·이용하는 경우</li> <li>[경미한 공사의 기준]</li> <li>1. 1일 양수능력이 30톤 미만, 굴착지름 75mm 이하인 개발·이용시설의 원상 복구 공사</li> <li>2. 개발·이용시설 중 -상부보호층의 보수공사</li> </ul>		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
결격사유 (법제23조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이용 시공업의 등록 부적격자</li> <li>1. 금치산·한정치산자</li> <li>2. 과산선고콜 받고 미복원된 자</li> <li>3. 이 법에 의하여 징역 이상의 실형선고콜 받고 집행종료 또는 집행 면제된 날로부터 2년 미경과 자</li> <li>4. 형의 집행유예선고콜 받고 그 유예기간 중에 있는 자</li> <li>5. 등록 취소된 후 2년 미 경과 자</li> <li>6. 임원 중 제1~5호의 1에 해당하는 자가 있는 법인</li> </ul>		
지하수 개발·이용 시공업의 양도·양수 (법제24조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다음 사항에 해당하는 경우 시·도지사에게 신고</li> <li>-양도·양수 또는 합병의 경우 (양수인, 합병설립, 합병 후 존속법인은 전자의 직위승계)</li> <li>(첨부서류)</li> <li>1. 시공업등록증</li> <li>2. 양도 또는 합병계약서 사본</li> <li>3. 합병 또는 창립총회의결서 사본</li> <li>4. 등록당시 제출한(1~5호) 서류</li> </ul>		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 양도·양수합병일로부터 1개월 이내 신고</li> <li>-상속의 경우 (철부서류)</li> <li>1. 개발·이용시 공업등록증</li> <li>2. 상속을 증명하는 서류</li> <li>• 상속일로부터 3개월 이내신고</li> <li>• 시·도지사</li> <li>-각종 관계서류 및 결격사유를 심사</li> </ul>		
등록의 취소 (법제25조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다음 각 호의 1에 해당 하는 때 등록취소</li> <li>1. 부정한 방법으로 등록을 한 자</li> <li>2. 등록기준에 미달하게 된 때</li> <li>3. 변경등록하지 아니하거나 부정한 방법으로 변경 등록한 때</li> <li>4. 등록 결격사유에 해당된 때</li> <li>5. 명의 대여금지 규정을 위반한 때</li> <li>6. 계속하여 2년 이상 영업을 하지 아니한 때</li> <li>7. 고의 또는 중대한 과실로 공사를 부실하게 한 때</li> <li>8. 국세징수법·지방세법 등 관계 법률에 의하여 국가, 지자체로부터 요구가 있을 때</li> </ul>		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				<ul style="list-style-type: none"> <li>[취소와 관련 계속 공사]</li> <li>• 등록 취소된 시공업자</li> <li>-취소처분 전에 착수한 공사를 계속 하고자 하는 경우</li> <li>-발주자 및 시·도지사에게 취소처분사실을 통지</li> <li>[등록취소절차]</li> <li>• 취소처분을 하고자 하는 경우 청문 실시</li> <li>• 취소처분한 때 지체 없이 관보등에 공고, 본인통지</li> </ul>		
명의대여의 금지 등 (법제26조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공업자는 타인에게</li> <li>-상호 또는 명칭을 사용하여 이용시공업을 영위하게 하거나</li> <li>-등록증의 대여 금지</li> </ul>		
<b>제5장</b> <b>지하수영양</b> <b>조사기관</b> 지하수영양조사 기관의 등록 (법제27조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수영양조사업무를 하고자 하는 자는</li> <li>-사무소 소재지를 관할하는 시·도지사에게 등록</li> <li>-경미한 사항의 변경, 신고</li> <li>[등록자격대상자]</li> <li>1. 한국지질자원연구원</li> <li>2. 대한광업진흥공사</li> <li>3. 한국수자원공사</li> <li>4. 농업기반공사</li> </ul>		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				<ul style="list-style-type: none"> <li>5. 한국건설기술연구원</li> <li>6. 환경관리공단</li> <li>7. 엔지니어링법에 의하여 신고한               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 지구물리, 응용지질, 수자원개발, 상하수도 또는 농업토목분야 엔지니어링 활동주체</li> </ul> </li> <li>8. 기술사법에 의한               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 지구물리, 응용지질</li> <li>· 수자원개발, 상하수도 또는 농업토목분야의 기술사가 개설·등록한 기술사사무소</li> </ul> </li> <li>9. 대학의 자연(이학) 또는 공학 관련 연구소</li> <li>10. 환경영향조사 대행자 (약논관리법)</li> <li>11. 기타 지하수 관련 업무를 수행하는 법인</li> </ul> <p>[자격요건 및 기준]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-전문인력</li> <li>-장비</li> <li>「자격요건 및 기준」(별표6)               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 시·도지사</li> <li>-등록기준에 적합 여부</li> <li>-결격사유(1~3호)</li> <li>해당여부 확인</li> <li>-등록증 교부</li> <li>· 변경등록의 신청 및 신고</li> <li>-사유 발생일로부터 15일 이내 신고</li> </ul> </li> </ul>		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신고신청서의 첨부서류</li> <li>1. 법인등기부등본 (법인이 아닌 경우 : 설립 근거 증명 서류)</li> <li>2. 시설·장비 보유현황서류 (임대의 경우 이를 확인할 수 있는 서류)</li> <li>3. 전문인력 보유 현황 및 그 자격증명서류</li> <li>· 경미한 사항의 내용</li> <li>1. 상호 또는 명칭 변경</li> <li>2. 등록기준[별표6]의 범위 안에서 전문인력 또는 장비의 변경</li> <li>3. 주된 사무소의 이전 (등록관청의 관할구역을 달리하는 이전을 제외)</li> </ul>		
지하수영향조사 기관의 결격사유 (법제28조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>· 등록신청을 할 수 없는 자</li> <li>1. 법제23조 제1호 내지 제4호의 1에 해당하는 자</li> <li>2. 등록이 취소된 후 2년 미 경과 자</li> <li>3. 임원 중 제1호 또는 제2호의 1에 해당하는 자가 있는 법인</li> </ul>		
지하수영향조사 기관의 등록취소 등 (법제29조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다음 각 호의 1에 해당하는 경우 등록취소 할 수 있다.</li> <li>-제1호, 제3호, 제4호 또는 제6호에 해당하는 경우 등록을 취소</li> </ul>		



조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				1. 부정한 방법으로 등록된 경우, 변경등록을 하지 아니하거나 부정한 방법으로 등록된 경우 2. 등록요건에 미달하게 된 경우 3. 결격사유(제1호 내지 제3호)에 해당하는 경우 (법인의 임원 중에 1호 또는 2호의 1에 해당하는 자가 있는 경우 3개월 이내에 임원을 개입 한 때에는 그리하지 아니함) 4. 명의대여 금지규정을 위반한 경우 5. 업무의 전부를 하도급 한 경우 6. 고의 또는 중대한 과실로 지하수영향조사를 부실하게 한 경우 7. 이 법 또는 이 법에 의한 명령에 위반한 경우 • 위소절차 -위소처분하고자 하는 경우 청문 실시 -위소처분한 때에는 지체 없이 공보에 공고, 본인에게 통지		
지하수 정화업의 등록 (법제29조의2)				• 지하수정화업을 하고자 하는 자는 -자본금·기술능력·시설 등을 갖추어 시·도지사에게 등록 -정미한 사항의 변경, 신고		<신설>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				[등록자격대상자] 1. 한국지질자원연구원 2. 대한광업진흥공사 3. 한국수자원공사 4. 농업기반공사 5. 한국건설기술연구원 6. 환경관리공단 7. 엔지니어링법에 의하여 신고한 • 지구물리, 용융지질, 수자원개발, 상하수도 또는 농업용 토목분야 엔지니어링 활동주체 8. 기술사법에 의하여 • 지구물리, 용융지질, 수자원개발, 상하수도 또는 농업용 토목분야의 기술사가 개설·등록한 기술사사무소 9. 대학의 자연(이학) 또는 공학 관련 연구소 10. 먹는물관리법에 의하여 지정된 환경영향조사 대행자 11. 기타 지하수 관련업무를 수행하는 법인 [자격요건 및 기준] -자본금, 기술능력, 시설 등 「지하수정화업의 등록기준」 [별표7]		

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 등록된 자만이 지하수 정화업 수행</li> <li>-예외사항</li> <li>1. 국가·지자체가 직접 시행하는 경우</li> <li>2. 대한광업진흥공사, 한국수자원공사, 농업기반공사</li> <li>3. 결미한 정화사업의 경우 [기준]</li> <li>-지하수수질기준의 100분의 110을 초과하지 아니하는 경우에 시행하는 정화사업</li> <li>• 시·도지사</li> <li>-등록기준[별표7] 및 결격사유 해당여부확인 등록</li> <li>-등록증 교부</li> <li>-변경등록의 신청·신고는 사유발생 15일 이내 이행</li> <li>[준용규정]</li> <li>-결격사유(법23조)</li> <li>-양도·양수(법제24조)</li> <li>-등록의 취소(법제25조)</li> <li>-명의대여금지(법제26조)</li> </ul>		
명의대여의 금지(법제30조)				• 타인에게 상호·명칭사용, 조사 또는 등록증 대여금지		
지하수관리위원회(시행령제40조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙지하수관리위원회 설치 [자문사항]</li> <li>1. 기본계획수립·변경사항</li> <li>2. 보전구역지정사항</li> <li>3. 기타 지하수개발·이용 및 보전·관리 사항 등</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시·도에 지역지하수관리위원회 설치 [자문사항]</li> <li>1. 지역지하수관리계획</li> <li>2. 보전구역지정·변경 등의 사항</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시·군에 지역지하수관리위원회 설치 [자문사항]</li> <li>1. 지하수영향조사에 관한 사항</li> <li>2. 지하수오염평가보고사항</li> <li>3. 오염지하수정화계획 등</li> </ul>	

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
	<ul style="list-style-type: none"> <li>[구성]</li> <li>• 15인 이내로 구성</li> <li>-위원장 1인(1급 공무원)</li> <li>-부위원장 1인(2~3급 공무원)</li> <li>-위원은 관계기관의 공무원</li> <li>-기타 학식·경험이 풍부한 자로서 장관이 위임(임기2년)</li> <li>[기능·운영 등]</li> <li>-적무, 회의, 기구, 자문위원, 간사, 회의록 및 수당여비 등</li> <li>-운영세칙: 중앙위원회의 의결을 거쳐 위원장이 정함</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>[구성·운영 등]</li> <li>• 지역관리위원회의</li> <li>-구성·기능·운영·기타 필요사항</li> <li>: 시·도 조례로 정함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[구성·운영 등]</li> <li>• 지역관리위원회의</li> <li>-구성·기능·운영·기타 필요사항</li> <li>: 시·도 조례로 정함</li> </ul>	
<b>제6장</b> <b>보칙</b> 타인 토지에의 출입 등(법제31조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관계행정기관의 장</li> <li>• 지하수관련조사전문기관</li> <li>• 지하수영향조사기관</li> <li>• 지하수정화업자</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①지하수조사(법제5조)</li> <li>②지하수개발·이용허가(법제7조)(제13조 제2항 포함)</li> <li>③오염지하수정화계획의 승인(법제16조의4)</li> <li>④지하수관측 및 조사 등(법제17조)</li> <li>⑤수질오염의 측정(법제18조)</li> </ul>	규정에 의하여	<ul style="list-style-type: none"> <li>-조사</li> <li>-정화</li> <li>-관측</li> <li>-측정용 위한 업무 수행</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 업무수행을 위하여</li> <li>-타인의 토지에 출입하거나 토지를 일시사용 할 수 있다.</li> <li>-필요한 경우 축목, 토석, 장애물 변경 및 제거 할 수 있다.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>타인의 토지에 출입하거나 토지의 사용, 축목, 토석, 장애물 변경·제거 할 수 있다.</li> <li>• 출입하고자 할 때 시장·군수의 허가</li> <li>• 출입 3일 전에 소유자·점유자 등에 일시·장소를 불지</li> <li>• 토지의 일시사용, 축목, 토석제거, 장애물변경시 소유자·점유자 등의 동의</li> <li>• 소유자·점유자 등이 현장에 없거나 주소 또는 거주불명으로 동의할 얻을 수 없을 때 시장·군수의 허가</li> <li>출입·사용허가신청 및 규제</li> <li>• [별지 제36호 서식]에 의하여</li> <li>-토지의 위치 표시한 지적도 또는 임야도 첨부신청(처리기간: 3일)</li> <li>-일출 전, 일몰 후에는 점유자의 승락없이 출입불가</li> <li>-달해 행위를 하고자 하는 자는 허가증 또는 권한표시 증표 제시</li> </ul>			

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고																																				
손실보상 (법제30조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 손실보상절차               <ul style="list-style-type: none"> <li>①토지에의 출입</li> <li>②토지의 일시사용</li> <li>③장애물의 변경</li> <li>④시설물 등의 제거</li> <li>⑤농작물의 피해</li> </ul> </li> </ul>																																									
수수료 (법제33조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 각종 수수료에 대한 규정</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th>부과기관</th> <th>수수료 납부사항</th> <th>금 액</th> <th>근 거</th> <th>납부기관·방법</th> <th>비 고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">건설교통부소관 (부 령)</td> <td>1. 지하수개발·이용허가</td> <td>3만원</td> <td>법제7조 제1항</td> <td rowspan="5">• 당해 지방자치단체의 수입증지로 납부</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td>2. 지하수개발·이용의 변경허가(이용기간연장허가)</td> <td>1만 7천원</td> <td>법제7조 제6항</td> </tr> <tr> <td>3. 지하수개발·이용행위의 허가</td> <td>3만원</td> <td>법제13조 제1항 제1호</td> </tr> <tr> <td>4. 지하수개발·이용 시공업의 등록</td> <td>5만원</td> <td>법제22조 제1항</td> </tr> <tr> <td>5. 지하수개발·이용 시공업의 변경등록</td> <td>3만원</td> <td>법제22조 제1항</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">환경부소관 (부 령)</td> <td>1. 수질검사 (용도별, 주기적으로 수질검사를 받는 경우)</td> <td>시·도 조례 규정</td> <td>규칙제12조 제1항</td> <td rowspan="3">• 국립환경연구원 • 또는 당해지방자치단체의 수입증지로 납부</td> <td rowspan="3">환경부 장정규정 (미공포)</td> </tr> <tr> <td>2. 지하수정화업의 등록</td> <td>5만원</td> <td>법제29조의2</td> </tr> <tr> <td>3. 지하수정화업의 변경등록</td> <td>3만원</td> <td>법제29조의2</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수수료 감면기관 - 국가 또는 지방자치단체가 허가·검사·등록을 신청하고자 하는 경우 수수료 감면</li> </ul>						부과기관	수수료 납부사항	금 액	근 거	납부기관·방법	비 고	건설교통부소관 (부 령)	1. 지하수개발·이용허가	3만원	법제7조 제1항	• 당해 지방자치단체의 수입증지로 납부		2. 지하수개발·이용의 변경허가(이용기간연장허가)	1만 7천원	법제7조 제6항	3. 지하수개발·이용행위의 허가	3만원	법제13조 제1항 제1호	4. 지하수개발·이용 시공업의 등록	5만원	법제22조 제1항	5. 지하수개발·이용 시공업의 변경등록	3만원	법제22조 제1항	환경부소관 (부 령)	1. 수질검사 (용도별, 주기적으로 수질검사를 받는 경우)	시·도 조례 규정	규칙제12조 제1항	• 국립환경연구원 • 또는 당해지방자치단체의 수입증지로 납부	환경부 장정규정 (미공포)	2. 지하수정화업의 등록	5만원	법제29조의2	3. 지하수정화업의 변경등록	3만원	법제29조의2
부과기관	수수료 납부사항	금 액	근 거	납부기관·방법	비 고																																					
건설교통부소관 (부 령)	1. 지하수개발·이용허가	3만원	법제7조 제1항	• 당해 지방자치단체의 수입증지로 납부																																						
	2. 지하수개발·이용의 변경허가(이용기간연장허가)	1만 7천원	법제7조 제6항																																							
	3. 지하수개발·이용행위의 허가	3만원	법제13조 제1항 제1호																																							
	4. 지하수개발·이용 시공업의 등록	5만원	법제22조 제1항																																							
	5. 지하수개발·이용 시공업의 변경등록	3만원	법제22조 제1항																																							
환경부소관 (부 령)	1. 수질검사 (용도별, 주기적으로 수질검사를 받는 경우)	시·도 조례 규정	규칙제12조 제1항	• 국립환경연구원 • 또는 당해지방자치단체의 수입증지로 납부	환경부 장정규정 (미공포)																																					
	2. 지하수정화업의 등록	5만원	법제29조의2																																							
	3. 지하수정화업의 변경등록	3만원	법제29조의2																																							

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
보고검사 등 (법제34조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 필요하다고 인정하는 때</li> <li>- 지하수 개발·이용 시공업자, 지하수 영항조사기관, 지하수정화업자에 대하여 감독상 소속공무원으로 하여금 당해 시설, 사무소에 출입하여 필요한 검사를 할 수 있다.</li> <li>- 보고, 자료 제출의 경우               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 자료내용, 제출기간 문서로 통보</li> </ul> </li> <li>- 시설, 사무소에 출입한 경우               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 비정한 검사방문일지에 일시·목적·소속·직급·성명 기재</li> </ul> </li> <li>- 출입시 공무원은 신분표시 증표 제시</li> </ul>		
청문 (법제35조)				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다음 각 호의 1에 해당하는 처분시 청문회 실시</li> <li>1. 지하수개발·이용 시공업의 등록 취소 (법제25조 제1항)</li> <li>2. 지하수정화업의 등록취소 (법제29조의2 제3항)</li> <li>3. 지하수영향조사기관의 등록 취소 (법제29조 제1항)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다음 각 호의 1에 해당하는 처분시 청문회 실시</li> <li>1. 지하수개발·이용 허가 취소 (법제10조 제1항)</li> <li>2. 지하수개발·이용허가 취소 (법제13조 제1항)</li> <li>(법제13조 제2항의 규정에 의하여 준용하는 경우)</li> </ul>	
권한의 위임 (법제36조)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지방환경관서의 장에게 위임사항</li> <li>1. 지하수오염방지를 위한 조치명령(법제16조 제2항)</li> <li>2. 지하수오염유발시설관리자에 대한 조치               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수질측정결과 기준에 부적합하게 된 경우</li> <li>- 수질오염을 복원 할 수 있는 정화 작업</li> </ul> </li> </ul>				

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고									
		<ul style="list-style-type: none"> <li>-명령 불이행하거나 당해 부지, 주변지역의 오염정도가 정화기준 이내로 감소되지 아니하는 경우</li> <li>①시설의 운영</li> <li>②사용중지</li> <li>③폐쇄</li> <li>④철거</li> <li>⑤이전 명령</li> </ul> 3. 수질오염실태의 측정 4. 지하수이용중지 또는 수질개선 등 조치명령													
<b>제7장</b> <b>벌 칩</b> 벌 칩 (법제37조)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 벌 칩</li> </ul>														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>관련 조항</th> <th>위 반 내 용</th> <th>형 량</th> <th>비 고(양벌규정)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>법제7조 제1항 또는 제6항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가 또는 변경허가를 받지 아니하거나</li> <li>• 부정한 방법으로 허가·변경 허가를 받아 지하수 개발·이용하는 자</li> </ul> </td> <td rowspan="3">3년 이하의 징역 또는 2,000만원 이하의 벌금</td> <td rowspan="3">           (법제38조)            법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이            -법인 또는 개인의 업무에 관하여            -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.         </td> </tr> <tr> <td>법제8조 제1항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 신고를 하지 아니하거나 허위로 신고하고 지하수 개발·이용하는 자</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>법제13조 제1항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 보전구역 안에서 허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 허가를 받아 동조동항 각 호의 1에 해당하는 행위를 하는 자</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	관련 조항	위 반 내 용	형 량	비 고(양벌규정)	법제7조 제1항 또는 제6항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가 또는 변경허가를 받지 아니하거나</li> <li>• 부정한 방법으로 허가·변경 허가를 받아 지하수 개발·이용하는 자</li> </ul>	3년 이하의 징역 또는 2,000만원 이하의 벌금	(법제38조) 법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이 -법인 또는 개인의 업무에 관하여 -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.	법제8조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신고를 하지 아니하거나 허위로 신고하고 지하수 개발·이용하는 자</li> </ul>	법제13조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보전구역 안에서 허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 허가를 받아 동조동항 각 호의 1에 해당하는 행위를 하는 자</li> </ul>		
관련 조항	위 반 내 용	형 량	비 고(양벌규정)												
법제7조 제1항 또는 제6항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가 또는 변경허가를 받지 아니하거나</li> <li>• 부정한 방법으로 허가·변경 허가를 받아 지하수 개발·이용하는 자</li> </ul>	3년 이하의 징역 또는 2,000만원 이하의 벌금	(법제38조) 법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이 -법인 또는 개인의 업무에 관하여 -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.												
법제8조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신고를 하지 아니하거나 허위로 신고하고 지하수 개발·이용하는 자</li> </ul>														
법제13조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보전구역 안에서 허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 허가를 받아 동조동항 각 호의 1에 해당하는 행위를 하는 자</li> </ul>														

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고																															
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수개발제한구역 안에서 변경허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 변경허가를 받아 제13조 제1항 각 호의 1에 해당하는 행위를 한 자</li> <li>• 원상복구를 하지 아니하거나 복구명령을 불이행한 자</li> <li>• 지하수오염방지조치를 하지 아니한 자 또는 오염하게 하거나 현저히 오염하게 할 시설을 설치한 자</li> <li>• 지하수 오염방지명령에 위반한 자</li> <li>• 지하수오염물질의 정화 시설의 운영 및 사용의 중지·폐쇄·철거 또는 이전의 명령을 불이행한 자</li> </ul>																																			
벌 칩 (법제37조의2)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>관련 조항</th> <th>위 반 내 용</th> <th>형 량</th> <th>비 고(양벌규정)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>법제13조 제2항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수개발제한구역 안에서 변경허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 변경허가를 받아 제13조 제1항 각 호의 1에 해당하는 행위를 한 자</li> </ul> </td> <td rowspan="2">3년 이하의 징역 또는 2,000만원 이하의 벌금</td> <td rowspan="2">           (법제38조)            법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이            -법인 또는 개인의 업무에 관하여            -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.         </td> </tr> <tr> <td>법제15조</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 원상복구를 하지 아니하거나 복구명령을 불이행한 자</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>법제16조</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수오염방지조치를 하지 아니한 자 또는 오염하게 하거나 현저히 오염하게 할 시설을 설치한 자</li> </ul> </td> <td rowspan="3">2년 이하의 징역 또는 1,000만원 이하의 벌금</td> <td rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td>법제16조 제2항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수 오염방지명령에 위반한 자</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>법제16조의3 제1항 또는 제3항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수오염물질의 정화 시설의 운영 및 사용의 중지·폐쇄·철거 또는 이전의 명령을 불이행한 자</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>법제7조 제2항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수영향조사서를 허위로 작성한 지하수영향조사기관</li> </ul> </td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="4"></td> </tr> <tr> <td>법제16조의2 제1항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염방지조치 또는 측정의 실시를 하지 아니하거나 수질측정을 하지 아니한 자</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>법제16조의2 제2항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염발생의 신고를 하지 아니하거나 오염방지조치를 하지 아니한 자</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>법제22조 제1항 법제27조 제1항 법제29조의2 제1항</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 등록을 하지 아니하거나 부정한 방법으로 등록을 하고</li> <li>-지하수개발·이용 시공업</li> <li>-지하수영향조사업무</li> <li>-지하수정화업을 영위한 자</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>						관련 조항	위 반 내 용	형 량	비 고(양벌규정)	법제13조 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수개발제한구역 안에서 변경허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 변경허가를 받아 제13조 제1항 각 호의 1에 해당하는 행위를 한 자</li> </ul>	3년 이하의 징역 또는 2,000만원 이하의 벌금	(법제38조) 법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이 -법인 또는 개인의 업무에 관하여 -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.	법제15조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원상복구를 하지 아니하거나 복구명령을 불이행한 자</li> </ul>	법제16조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수오염방지조치를 하지 아니한 자 또는 오염하게 하거나 현저히 오염하게 할 시설을 설치한 자</li> </ul>	2년 이하의 징역 또는 1,000만원 이하의 벌금		법제16조 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수 오염방지명령에 위반한 자</li> </ul>	법제16조의3 제1항 또는 제3항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수오염물질의 정화 시설의 운영 및 사용의 중지·폐쇄·철거 또는 이전의 명령을 불이행한 자</li> </ul>	법제7조 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수영향조사서를 허위로 작성한 지하수영향조사기관</li> </ul>			법제16조의2 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염방지조치 또는 측정의 실시를 하지 아니하거나 수질측정을 하지 아니한 자</li> </ul>	법제16조의2 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염발생의 신고를 하지 아니하거나 오염방지조치를 하지 아니한 자</li> </ul>	법제22조 제1항 법제27조 제1항 법제29조의2 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 등록을 하지 아니하거나 부정한 방법으로 등록을 하고</li> <li>-지하수개발·이용 시공업</li> <li>-지하수영향조사업무</li> <li>-지하수정화업을 영위한 자</li> </ul>			<신설>
	관련 조항	위 반 내 용	형 량	비 고(양벌규정)																																	
법제13조 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수개발제한구역 안에서 변경허가를 받지 아니하거나 부정한 방법으로 변경허가를 받아 제13조 제1항 각 호의 1에 해당하는 행위를 한 자</li> </ul>	3년 이하의 징역 또는 2,000만원 이하의 벌금	(법제38조) 법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이 -법인 또는 개인의 업무에 관하여 -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.																																		
법제15조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원상복구를 하지 아니하거나 복구명령을 불이행한 자</li> </ul>																																				
법제16조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수오염방지조치를 하지 아니한 자 또는 오염하게 하거나 현저히 오염하게 할 시설을 설치한 자</li> </ul>	2년 이하의 징역 또는 1,000만원 이하의 벌금																																			
법제16조 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수 오염방지명령에 위반한 자</li> </ul>																																				
법제16조의3 제1항 또는 제3항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수오염물질의 정화 시설의 운영 및 사용의 중지·폐쇄·철거 또는 이전의 명령을 불이행한 자</li> </ul>																																				
법제7조 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수영향조사서를 허위로 작성한 지하수영향조사기관</li> </ul>																																				
법제16조의2 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염방지조치 또는 측정의 실시를 하지 아니하거나 수질측정을 하지 아니한 자</li> </ul>																																				
법제16조의2 제2항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염발생의 신고를 하지 아니하거나 오염방지조치를 하지 아니한 자</li> </ul>																																				
법제22조 제1항 법제27조 제1항 법제29조의2 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 등록을 하지 아니하거나 부정한 방법으로 등록을 하고</li> <li>-지하수개발·이용 시공업</li> <li>-지하수영향조사업무</li> <li>-지하수정화업을 영위한 자</li> </ul>																																				

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
법칙 (법제37조의3)	관련조항		위반내용	형량	비고(양벌규정)	
	법제7조 제3항 법제8조 제3항 법제9조의2 제1항, 제2항, 제3항 법제9조의4 제1항 법제9조의4 제3항 법제16조의2 제1항 법제16조의4 제1항 법제20조 제1항 법제20조 제2항 법제22조 제1항 법제27조 제1항 법제29조의2 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>취수량의 제한을 준수하지 아니한 자</li> <li>취수량 및 취수기간의 제한을 준수하지 아니하거나</li> <li>시정명령·이용중지명령·공동이용명령 또는 폐쇄명령을 이행하지 아니한 자</li> <li>유출지하수 저감대책 또는 이용계획 수립·시행하지 아니하거나, 개선명령을 이행하지 아니한 자</li> <li>토지굴착신고를 하지 아니하고 토지를 굴착한 자</li> <li>시설개선, 명령 또는 필요조치를 이행하지 아니한 자</li> <li>수질측정결과보고를 하지 아니하거나 허위로 보고한 자</li> <li>정화계획의 승인 또는 변경승인을 얻지 아니하고 정화를 실시한 자</li> <li>수질검사를 받지 아니한 자</li> <li>지하수의 이용중지 및 수질개선 등의 조치명령을 이행하지 아니한 자</li> <li>변경등록을 하지 아니하거나 부정한 방법으로 변경등록을 하고</li> <li>-지하수개발·이용시공업</li> <li>-지하수영향조사업무</li> <li>-지하수정화업을 영위한 자</li> </ul>	1년 이하의 징역 또는 500만원 이하의 벌금	(법제38조) 법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이 -법인 또는 개인의 업무에 관하여 -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.		
						<신설>

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
파태료 (법제39조)	관련조항		위반내용	형량	비고(양벌규정)	
	법제26조 (법제29조의2 제3항의 규정 준용하는 경우 포함) 법제30조	<ul style="list-style-type: none"> <li>명의대여금지규정을 위반한 경우</li> <li>지하수개발·이용시공업자</li> <li>지하수영향조사기관</li> <li>지하수정화업자의</li> <li>-명의대여 또는 등록중대여의 상대방</li> </ul>	1년 이하의 징역 또는 500만원 이하의 벌금	(법제38조) 법인의 대표자, 법인 또는 개인의 대리인, 사용인, 기타종업원이 -법인 또는 개인의 업무에 관하여 -법제37조 내지 제37조의3의 1의 위반행위를 한 때에는 행위자를 벌하는 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각각 해당조의 벌금형을 과한다.		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>파태료처분</li> </ul>					
	법제8조제2항 법제9조 (법제13조의 규정준용) 법제9조의2 제2항 법제9조의3 법제9조의4 제1항 법제14조 법제21조 제1항 법제31조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> <li>변경신고를 하지 아니하거나 허위로 변경신고한 자</li> <li>준공신고를 하지 아니한 자</li> <li>이용계획의 신고를 하지 아니한 자</li> <li>지하수개발·이용의 종료 신고를 하지 아니한 자</li> <li>지하수조사, 영향조사, 수질측정, 탐광, 지질조사의 종료 신고를 하지 아니한 자</li> <li>이행보증금을 예치하지 아니한 자</li> <li>검사거부·방해 또는 기피한 자</li> <li>출입 등을 거부·방해 또는 기피한 자</li> </ul>	500만원 이하의 파태료			

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
과태료 (법제40조)	<p style="text-align: center;">관련조항</p> <p>법제20조 제4항 법제21조 제1항 법제23조 제1항 법제22조 제1항 법제27조 제1항 법제29조의1 제1항 법제24조 제1항, 제3항 (법제29조의2 제3항의 규정 준용하는 경우 포함) 법제31조 제2항 또는 제3항</p>		<p style="text-align: center;">위반내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수질검사결과서를 비치하지 아니한 자</li> <li>• 보고 또는 자료 제출을 하지 아니하거나 허위보고 또는 허위자료를 제출한 자</li> <li>• 변경신고를 하지 아니하거나 허위로 변경신고를 한자</li> </ul> <p>• 지하수개발·이용시공업 • 지하수정화업의 -양도·양수 등의 신고를 하지 아니하거나 허위로 신고한 자</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 허가를 받지 아니하거나</li> <li>• 동의를 얻지 아니하거나</li> <li>• 풍지를 하지 아니하고</li> <li>-법제31조 제1항의 규정에 의한 행위를 한자</li> </ul>	형량	비고(양벌규정)	
				300만원 이하의 과태료		
과태료의 부과 징수 절차 (법제41조)	<p>[과태료의 부과징수기관·운영]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 시·도지사 또는 시장·군수</li> <li>• 특별회계할 조례로 설치운영</li> </ul> <p>[부과·징수의 세부절차]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 위반행위 조사·확인 후</li> <li>-위반사실·금액·이의신청 방법·기간 등 명시</li> <li>-10일 이상의 기간을 정하여 서면통지</li> <li>-위반행위의 동기, 내용 및 회수 등을 첨부</li> <li>금액의 1/6범위 안에서 가중·경감조정(종류별 과태료금액 [별표8] 참조)</li> <li>(가중처분시 과징금액을 초과불가)</li> </ul> <p>[이의제기]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-과태료처분에 불복이 있는 자</li> <li>-고지받은 날부터 30일 이내 이의제기</li> <li>-당해 행정기관은 지체 없이 관할법원에 통보</li> </ul> <p>[과태료미납자] : 지방세채납처분의 예에 의하여 징수</p>					

조 문	건설교통부장관	환경부장관	관계중앙행정기관의 장	시·도지사	시장·군수	비고
부 칙 (2001. 1. 16)						
[제1항]	<p>공포일 : (2001. 1. 16, 법률 제6368호)</p> <p>시행일 : (2001. 11. 17)</p> <p>단서규정 : 지하수정화업의 등록(법제29조의2) (2002. 7. 1.부터 시행)</p>					
[제2항]	<p>(지하수개발·이용허가 유효기간에 관한 경과조치)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 종전의 규정에 의하여 허가의 유효기간(10년)은</li> <li>- 개정규정(법제7조의3)에 의한 (5년)규정에 불과하고 종전의 규정적용</li> <li>- 유효기간 미지정인 경우 : 이 법 시행 일부터 5년으로 본다.</li> </ul>					<신설>
[제3항]	<p>(지하수의 이용에 관한 경과조치)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 이 법 시행(2001. 1. 16)당시 신고하지 아니하고 지하수를 개발·이용자로서</li> <li>- 새로이 신고대상(법제8조 제1항)이 되는 자</li> <li>- 1년 이내 (2002. 1. 17) 다음 서류첨부 시장·군수에게 신고</li> </ul> <p>1. 지하수 개발·이용시설의 위치표시한 지적도 또는 임야도</p> <p>2. 원상복구계획서</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (과표·착공·준공예정일·업체명·대표자·등록번호 기재는 생략)</li> </ul>					<신설>
[제4항]	<p>(유출지하수에 관한 경과조치)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하굴착시설의 설치 등 (법제9조의2 제1항)을 하고자 하는 자</li> <li>- 법시행일로부터 6개월 이내 (2002. 5. 17) 용도별 이용계획을 수립 시장·군수에게 신고</li> </ul>					<신설>
[제5항]	<p>(벌칙 등에 관한 경과조치)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 이 법 시행전의 행위에 대한 벌칙 및 과태료의 적용은</li> <li>- 종전의 규정에 의한다.</li> </ul>					<신설>
[제6항]	<p>(다른 법률의 제정)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경범죄의 단속에 관한 특별 조치법 (제3조 제3항 제2호) 관련</li> <li>- [별표] 제4의 기준달 중 "지하수법 제19조"를 "지하수법 제20조"로 한다.</li> </ul>					<신설>

## 집 필 참 여 자

구 분	기관명	성 명	비 고
총 괄	농업기반공사 지하수사업처	한 원 규	지 하 수 관 리 부 장
집필참여자	자 문 위 원	최 병 수	
	농업기반공사 지하수사업처	김 양 빈	지 구 물 리 기 술 사
		설 민 구	지 구 물 리 기 술 사
		김 기 업	이 학 석 사
		홍 순 욱	이 학 석 사
		최 광 준	응용지질기술사/이학석사
		송 양 권	응용지질기사/이학석사
		김 수 홍	공 학 석 사
		조 시 범	이 학 석 사

본 지침서는 농림부 농촌지하수관리조사업무를  
위하여 대내용으로 발간된 것입니다.

---

---

## 농촌지하수관리조사 실무지침서

2002년 12월 일 발행

발행 : 농림부 · 농업기반공사

편집 : 농업기반공사 지하수사업처

인쇄 : 한빛인쇄(주) / 2278-2595

---

---

이책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.