GOVP1200614109
T0013729

화성시 지하수관리조사 보고서

2003. 12

농 림 부
농 업 기 반 공 사

목 차

Ⅰ. 개 요 1
1.1 조사배경 및 목적 1
1.2 체계도 2
1.3 세부내용 3

Ⅱ. 자연 및 인문환경 4
2.1 자연환경 4
2.1.1 지형 및 유역현황 4
2.1.2 기상 및 수문 7
2.1.3 토양 및 지질 10
2.2 인문환경 12
2.2.1 행정구역 12
2.2.2 인구 13
2.2.3 산업 및 경제 15
2.2.4 토지이용 18

Ⅲ. 지하수환경 19
3.1 현 황 19
3.1.1 지하수현황 19
가. 지하수이용현황 19
나. 시설물현황 25
다. 폐공현황 36
3.1.2 잠재오염원 현황 37
3.1.3 기 조사현황 46
3.2 지하수 산출특성 50
3.2.1 지하수 수리특성 50
가. 수위변동 및 유동특성 50
나. 대수층 수리특성 56

다. 지하수 부존특성 60
3.2.2 지하수 수질특성 66
가. 수질현황 66
나. 농경지 토양조사 101

Ⅳ. 지하수 특성분석 103
4.1 수량 및 대수층 분석 103
4.1.1 이용량 분석 103
4.1.2 개발가능량 분석 116
4.2 수질분석 130
4.2.1 유역별 수질현황 분석 130
4.2.2 오염취약성 및 예측 139
가. 지하수 오염취약성 139
나. 지하수 오염예측 및 현황 검토 147

Ⅴ. 지하수관리 대책 151
5.1 관리현황 및 개선대책 151
5.1.1 현황 및 문제점 151
5.1.2 개선대책 161
5.2 계획수립 166
5.2.1 지하수관리방안 166
5.2.2 보전·관리계획 169
5.2.3 추진계획 170
5.3 종합 결언 174

참고문헌 181

〔농촌지하수관리시스템〕 189

자문결과 215

[부 록]

표 목 차

<표 2-1-1> 조사지역 현황 5
<표 2-1-2> 유역별 행정구역 현황 6
<표 2-1-3> 기상현황 7
<표 2-1-4> 조사지역내 하천현황 8
<표 2-1-5> 조사지구내 토양군의 분류 10
<표 2-2-1> 행정구역 현황 12
<표 2-2-2> 인구현황 13
<표 2-2-3> 인구추이 14
<표 2-2-4> 농가 및 경지면적 현황 15
<표 2-2-5> 농업작부체계 현황 16
<표 2-2-6> 광업 현황 16
<표 2-2-7> 산업단지 지정현황 17
<표 2-2-8> 제조업체 현황 17
<표 2-2-9> 지목별 토지이용 현황 18
<표 3-1-1> 읍면별 지하수이용현황 19
<표 3-1-2> 유역별 지하수이용현황 20
<표 3-1-3> 읍면별 단위면적당 지하수이용현황 22
<표 3-1-4> 유역별 단위면적당 지하수이용현황 23
<표 3-1-5> 읍면별, 용도별 관정현황 27
<표 3-1-6> 유역별, 용도별 관정현황 28
<표 3-1-7> 읍면별 관정구경현황 31
<표 3-1-8> 유역별 관정구경현황 32
<표 3-1-9> 읍면별 관정심도현황 33
<표 3-1-10> 유역별 관정심도현황 34
<표 3-1-11> 표고별 관정개발현황 35
<표 3-1-12> 지하수관정의 폐공 발생 원인별 현황 36
<표 3-1-13> 점오염원 분포현황 37
<표 3-1-14> 화성시 잠재오염원별 부하량 현황 43
<표 3-1-15> 지하수 기 조사현황 46
<표 3-1-16> 화성시 수맥조사 현황 47

<표 3-1-17> 지하수 영향조사 현황 48
<표 3-1-18> 온천조사 현황 48
<표 3-1-19> 시설진단 내역 49
<표 3-1-20> 지하수 폐공현황 조사결과 49
<표 3-2-1> 년도별 수위 및 수질 조사 내역 50
<표 3-2-2> 지하수 수두분포 현황 51
<표 3-2-3> 유역별 대수성시험 현황 56
<표 3-2-4> 순간수위변화시험에 의한 유역별 수리전도도 57
<표 3-2-5> 읍면별 수리상수 분포현황 58
<표 3-2-6> 유역별 수리상수 분포현황 59
<표 3-2-7> 유역별 충적대수층 수리특성 61
<표 3-2-8> 지질별 암반대수층의 수리특성 63
<표 3-2-9> 유역별 암반대수층의 수리특성 64
<표 3-2-10> 유역별 지하수 온도 현황 66
<표 3-2-11> 유역별 수소이온농도 현황 67
<표 3-2-12> 유역별 전기전도도 현황 68
<표 3-2-13> 충적 및 암반지하수 이화학분석결과 71
<표 3-2-14> 유역별 질산성질소 현황 78
<표 3-2-15> 유역별 지하수유형 83
<표 3-2-16> 질소동위원소 분석결과 93
<표 3-2-17> 주변환경에 따른 질산성질소의 질소오염원 구성비 94
<표 3-2-18> 화성시 지하수의 수소 및 산소 동위원소 조성 99
<표 3-2-19> 2001 토양측정망 운영결과(환경부) 101
<표 3-2-20> 화성시 토양분석 결과 102
<표 4-1-1> 상수도 보급현황 103
<표 4-1-2> 간이·전용상수도 현황 104
<표 4-1-3> 생활용 지하수 이용현황 105
<표 4-1-4> 수리답 및 진흥지역 현황 106
<표 4-1-5> 농업용수공급 수리시설 현황 107
<표 4-1-6> 농업용 지하수 이용현황 109
<표 4-1-7> 공업용수 지하수 이용량 110
<표 4-1-8> 생활용수 수요량 111

<표 4-1-9> 경지면적 현황 및 전망 112
<표 4-1-10> 농업용수 수요량 112
<표 4-1-11> 공업용수 수요량 113
<표 4-1-12> 가축별 1일급수량 114
<표 4-1-13> 축산용수 수요량 114
<표 4-1-14> 하천유지용수 수요추정 115
<표 4-1-15> 수요수량 총괄 115
<표 4-1-17> 토양형태에 대한 대표적인 토양수분특성 117
<표 4-1-18> 년도별 토양수분 수지분석 118
<표 4-1-19> 수원기상대 월별 강수량 118
<표 4-1-20> Penman-Monteith 방법에 의한 증발산량(1964~1996:33년간) 119
<표 4-1-21> 수원기상대 33개년 물수지 총괄 120
<표 4-1-22> CN지수 변동에 따른 연도별 함양량 산정 121
<표 4-1-23> 화성시 SCS-CN에 의한 함양율(침투율) 산정 122
<표 4-1-24> 손실량추정에 의한 함양량 산정 124
<표 4-1-25> 소유역별 지하수 평균함양량 산정 126
<표 4-1-26> 유역별 지하수 개발가능량 127
<표 4-2-1> 유역별 수질분석 현황 130
<표 4-2-2> 유역별 수질지시성분 비교표 137
<표 4-2-3> DRASTIC 인자별 등급 및 면적비율 140
<표 4-2-4> 유역별 일반적인 지하수오염취약성(GDP) 면적비 142
<표 4-2-5> 유역별 변형된 지하수오염취약성(MDP) 면적비 145
<표 4-2-6> 지하수오염예측도 등급 분류표 148
<표 4-2-7> 지하수오염예측도 등급별 면적비율(%) 150
<표 5-1-1> 지하수수량에 대한 종합평가 154
<표 5-1-2> 지하수수질에 대한 종합평가 154
<표 5-1-3> 유역별 수량·수질 문제점 및 개선방안 160
<표 5-2-1> 화성시 지하수 조사·개발 및 보전관리 부문 사업 추진계획 171
<표 5-2-2> 화성시 농촌용수구역 지하수 관측망 현황 및 설치·운영계획 173

그 림 목 차

<그림 2-1-1> 수계, DEM 및 유역구분도 9
<그림 2-1-2> 지질도 11
<그림 2-2-1> 인구추이 14
<그림 3-1-1> 용도별 관정개발비율 20
<그림 3-1-2> 용도별 지하수이용 현황 20
<그림 3-1-3> 읍면별/용도별 지하수이용현황 21
<그림 3-1-4> 유역별/용도별 지하수이용현황 21
<그림 3-1-5> 읍면별 단위면적당 지하수이용현황 23
<그림 3-1-6> 유역별 단위면적당 지하수이용현황 24
<그림 3-1-7> 화성시 수계 및 현장조사관정 위치도 26
<그림 3-1-8> 조사관정의 용도별 개소수 비율 28
<그림 3-1-9> 읍면별/용도별 조사관정현황 29
<그림 3-1-10> 유역별/용도별 조사관정현황 29
<그림 3-1-11> 구경별 조사관정현황 30
<그림 3-1-12> 심도별 조사관정현황 34
<그림 3-1-13> 표고별 관정개발현황 35
<그림 3-1-14> 점오염원 위치도 39
<그림 3-1-15> 읍면별 오염발생부하량 41
<그림 3-1-16> 잠재오염원별 부하량 42
<그림 3-1-17> 읍면별 단위면적당 오염발생부하량 44
<그림 3-1-18> 잠재오염원별 단위면적당 오염발생부하량 44
<그림 3-2-1> 갈수기와 풍수기 충적 및 암반지하수 수두변화 52
<그림 3-2-2> 표고와 지하수두와의 관계 53
<그림 3-2-3> 지하수두등고선도 및 유동방향도(2D) 54
<그림 3-2-4> 지하수두등고선도 및 유동방향도(3D) 55
<그림 3-2-5> 순간수위변화시험에 의한 유역별 수리전도도 현황 57
<그림 3-2-6> 유역별 충적대수층의 수리특성 61
<그림 3-2-7> 유역별 충적층 면적 및 저류량 62
<그림 3-2-8> 지질별 암반지하수 평균심도 및 양수량 63
<그림 3-2-9> 지질별 암반지하수 투수량계수, 수리전도도 및 비양수량 64

<그림 3-2-10> 유역별 암반지하수 심도 및 양수량 65
<그림 3-2-11> 유역별 암반지하수 투수량계수, 수리전도도 및 비양수량 65
<그림 3-2-12> 해안으로부터의 거리에 따른 전기전도도 함량변화 68
<그림 3-2-13> 대수층별 유역별 전기전도도 분포 69
<그림 3-2-14> 풍수기 지하수의 전기전도도 분포도 70
<그림 3-2-15> 지하수내 용존이온별 함량 72
<그림 3-2-16> 유역별 용존이온별 평균함량 비교 73
<그림 3-2-17> 전기전도도와 총고용물질과의 상관관계 74
<그림 3-2-18> 총고용물질(TDS) 농도 분포도 75
<그림 3-2-19> 전기전도도와 염소이온농도와의 관계 76
<그림 3-2-20> 염소이온(Cl) 농도 분포도 77
<그림 3-2-21> 대수층별 유역별 질산성질소 농도 분포 79
<그림 3-2-22> 풍수기 질산성질소 농도 분포도 80
<그림 3-2-23> 대수층별 유역별 지하수의 Piper diagram 82
<그림 3-2-24> 대수층별 지하수유형별 위치도 84
<그림 3-2-25> 화성시 지하수의 Stiff diagram 86
<그림 3-2-26> 지하수 용존성분의 배경값 설정 87
<그림 3-2-27> 염소와 질산염에 의한 지하수분류 88
<그림 3-2-28> 염소와 질산염에 의한 유역별 지하수분류 89
<그림 3-2-29> 염소와 질산염에 의한 지하수분류 위치도 90
<그림 3-2-30> 질소동위원소 조사관정 위치도 91
<그림 3-2-31> 주변환경에 따른 질산성질소농도와 δN(‰)값의 관계 95
<그림 3-2-32> 주변환경에 따른 δN(‰)값의 빈도 95
<그림 3-2-33> 주변환경에 따른 질소오염원 구성비 96
<그림 3-2-34> 강우의 진화에 따른 동위원소 조성 변화 97
<그림 3-2-35> 화성시 산소 및 수소 동위원소 조사관정 위치도 98
<그림 3-2-36> 대수층별 산소 및 수소 동위원소 빈도 분포도 98
<그림 3-2-37> 화성시 지하수의 산소-수소 동위원소 관계도 100
<그림 3-2-38> 농경지토양오염조사 현황 102
<그림 4-1-1> 수원기상대 인근지역의 함양율과 CN값의 관계 122
<그림 4-1-2> 소유역별 지하수 함양량 비교 126
<그림 4-1-3> 유역별 지하수이용량 및 개발가능량 128

<그림 4-1-4> 유역별 지하수이용량/적정개발가능량 128
<그림 4-1-5> 지하수 이용량 대 적정개발가능량 129
<그림 4-2-1> 유역별 수질지시성분 비교 135
<그림 4-2-2> 일반적인 지하수오염취약성도(GDP Map) 143
<그림 4-2-3> 일반적인 지하수오염취약성(GDP) 면적비율 143
<그림 4-2-4> 구조선밀도 산정 흐름도 144
<그림 4-2-5> 구조선밀도도 145
<그림 4-2-6 > 변형된 지하수오염취약성도(MDP Map) 146
<그림 4-2-7> 변형된 지하수오염취약성(MDP) 면적비율 146
<그림 4-2-8> 지하수오염예측도 작성 모식도 148
<그림 4-2-9> 지하수오염예측도 149
<그림 4-2-10> 지하수오염예측도 등급별 면적비 149
<그림 5-1-1> 단위면적당 지하수이용량(천㎥/년/㎢) 155
<그림 5-1-2> 단위면적당 관정밀도도(공/㎢) 155
<그림 5-1-3> 먹는물/농업용수 수질기준 초과관정 위치 156
<그림 5-1-4> 질산성질소 일제조사 현황 156
<그림 5-1-5> 지하수 수량/수질 종합평가 157
<그림 5-1-6> 지하수 수량/수질 종합현황도 159
<그림 5-2-1> 지역지하수관리계획의 수립절차 170

Ⅰ. 개 요

1.1 조사배경 및 목적

o 농촌지역은 전국 지하수이용량의 85%를 개발·이용하며

지하수 전체 이용량 32억㎥ 중 농촌지역은 27억㎥으로 농업용 저수지 18천개소의 유효 저수량 26억㎥ 보다 많은 양을 이용하는 중요 수자원임

o 지하수의존도는 높으나 열악한 지하수환경을 갖고 있음

농촌지역은 상수도 보급 등이 미흡하여 지하수의존도가 높으나 환경오염유발 시설의 산재 및 농약, 비료, 축산분뇨, 산업폐수 등의 증가로 지하수환경은 매우 열악함

o 미래의 수자원으로 종합적인 자원관리 체계 필요

지하수 자원이 공공자원임에도 불구하고 대부분이 개인의 목적에 따라 개발 이용되고 있으며 체계적인 자원관리가 어려움

물부족현상 발생 및 지표수 개발 곤란을 고려하고 향후 100억㎥의 추가개발이 가능한 지하수는 미래의 수자원으로 보전관리 필요

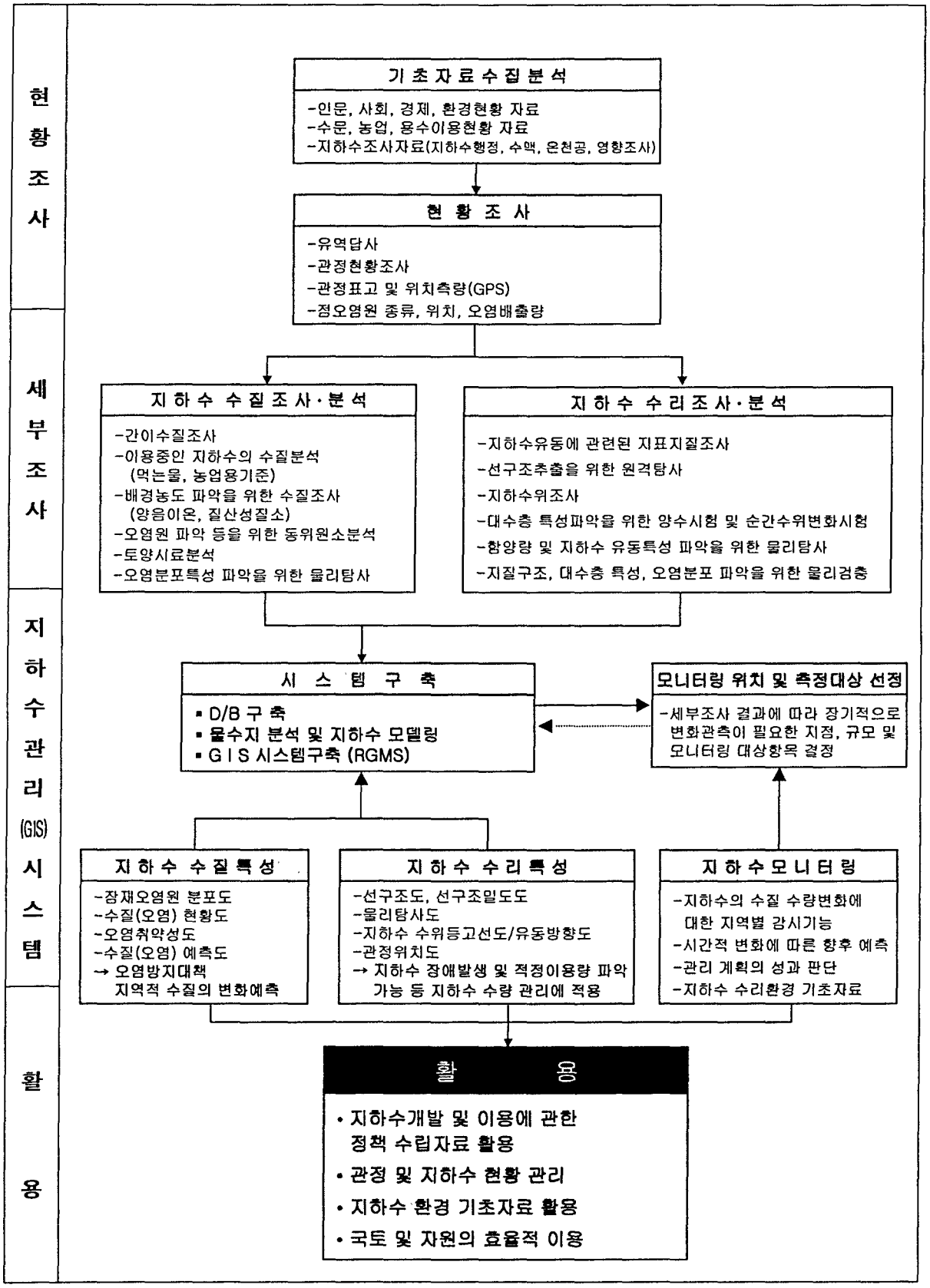
o 지속가능한 개발이용을 위한 체계적인 관리사업 시행

지하수의 순환속도는 지표수와 다르게 장기간의 시간이 소요되므로 수질오염, 수량 고갈, 지반침하 등 장애현상 발생시 복원 및 정화비용이 막대하여 원상복구 곤란

지속적인 개발이용을 위하여 지하수환경조사, 시스템구축, 관측정모니터링 등 종합적인 관리사업을 시행하여 행정 및 개발이용시 지하수 보전관리를 위한 의사결정 시스템을 구축하여 지하수를 지속적으로 이용가능케함

o 농촌지하수관리조사사업은 현재 강화된 지하수관리 제도하에서 환경여건이 열악한 농촌지역에 대한 지하수 관리를 위하여 지하수기초조사, 최적관리 시스템 개발, 관정 및 폐공자료 등을 체계적으로 종합정리 및 정보화(DB/GIS)하여 일정 수문단위의 농촌지하수자원 관리를 총량 관리할 수 있는 토대를 형성하고, 상위계획인 국가지하수관리계획 및 지역지하수관리계획과 연계하여 농촌지역 지하수자원의 효율적인 개발·이용·보전·관리에 활용되게 된다.

1.2 체계도


현황조사
세부조사
지하수관리(GIS)시스템
활용
기초자료수집분석
-인문, 사회, 경제, 환경현황 자료
-수문, 농업, 용수이용현황 자료
-지하수조사자료(지하수행정, 수맥, 온천공, 영향조사)
현황조사
-유역답사
-관정현황조사
-관정표고 및 위치측량(GPS)
-정오염원 종류, 위치, 오염배출량
지하수 수질조사·분석
-간이수질조사
-이용중인 지하수의 수질분석 (먹는물, 농업용기준)
-배경농도 파악을 위한 수질조사 (양음이온, 질산성질소)
-오염원 파악 등을 위한 동위원소분석
-토양시료분석
-오염분포특성 파악을 위한 물리탐사
지하수 수리조사·분석
-지하수유동에 관련된 지표지질조사
-선구조추출을 위한 원격탐사
-지하수위조사
-대수층 특성파악을 위한 양수시험 및 순간수위변화시험
-함양량 및 지하수 유동특성 파악을 위한 물리탐사
-지질구조, 대수층 특성, 오염분포 파악을 위한 물리검층
시스템구축
▪ D/B 구축
▪ 물수지 분석 및 지하수 모델링
▪ GIS 시스템구축 (RGMS)
모니터링 위치 및 측정대상 선정
-세부조사 결과에 따라 장기적으로 변화관측이 필요한 지점, 규모 및 모니터링 대상항목 결정
지하수 수질특성
-잠재오염원 분포도
-수질(오염) 현황도
-오염취약성도
-수질(오염) 예측도
→ 오염방지대책 지역적 수질의 변화예측
지하수 수리특성
-선구조도, 선구조밀도도
-물리탐사도
-지하수 수위등고선도/유동방향도
-관정위치도
→ 지하수 장애발생 및 적정이용량 파악 가능 등 지하수 수량 관리에 적용
지하수모니터링
-지하수의 수질 수량변화에 대한 지역별 감시기능
-시간적 변화에 따른 향후 예측
-관리 계획의 성과 판단
-지하수 수리환경 기초자료
활용
• 지하수개발 및 이용에 관한 정책 수립자료 활용
• 관정 및 지하수 현황 관리
• 지하수 환경 기초자료 활용
• 국토 및 자원의 효율적 이용

1.3 세부내용

○ 조사지구 : 경기도 화성시 남양동 외 14개 읍·면(688㎢)

○ 조사기간 : 2001. 4 ~ 2003. 12

○ 조사공정 및 사업량

구 분	단위	실적				조사방향
		합계	2001 (화남2)	2002 (화서)	2003 (화비) (화태)	
◈ 현황조사						
◦ 기초자료수집분석	지구	3	1	1	1	수문 및 용수이용, 지하수관련자료수집
◦ 현황조사						
- 유역답사	ha	35,969	18,058	5,605	12,308	소유역구분, 조사계획 수립
- 관정현황조사	공	4,771	1,039	1,027	2,705	시설물제원, 위치, 이용현황 조사
- 지하수위측정	공	1,290	528	126	636	지하수위, 유동방향, 변화상황
- 현장수질측정	공	1,535	756	143	636	동일시기 현장수질분포 및 현황파악
- 잠재오염원 규모,부하량 조사	개소	2,413	756	355	1,302	점오염원 위치·규모·처리시설 조사
◈ 세부조사						
◦ 지하수수리조사분석						
- 지표지질조사	ha	3,069	902	-	2,167	지질구조발달, 비고결층 규모 파악
- 선구조추출	식	3	1	-	2	부존성 및 오염취약성 판단
- 양수시험	회	33	10	-	23	대수층 수리특성 파악
- 순간수위변화시험	회	136	33	-	103	대수층 수리특성 파악
- 물리탐사						지하수 부존성 판단
·전기비저항 탐사	측선	5	5	-	-	
·방사능탐사	측점	168	168	-	-	
- 물리검층	공	30	10	-	20	대수층의 수직적 변화 및 지질특성파악
◦ 지하수수질조사분석						
- 오염범위파악 물리탐사						지하수오염범위 및 규모 파악
·전기비저항 탐사	측선	35	16	-	19	
·전자탐사(MT탐사)	측점	23	23	-	-	
- 배경농도조사	회	23	5	-	18	지역적 배경수질 판단
- 수질검사	회	72	16	-	56	항목별 수질측정
- 주성분조사	회	283	100	-	183	지역별 양음이온의 분포 특성 파악
- 산소수소동위원소조사	점	37	-	-	37	지하수기원과 진화양상 규명
- 질소동위원소조사	점	60	-	-	60	질산성질소 오염원 추정
- 토양오염조사	회	20	5	-	15	오염 우려지역의 토양조사
◈ 전산화 및 분석						
◦ 조사자료 DB입력	지구	3	1	-	2	자료의 표준화 및 GIS 연계
◦ 물수지분석 및 모델링	지구	3	1	-	2	지하수개발 가능량 제시, 미래 변화 예측
◦ GIS 및 주제도 작성	지구	3	1	-	2	공간적 DB구축, 지하수수량·수질특성도 작성
◦ 시스템개발	식	3	1	-	2	자료입력 및 분석을 위한 P/G개발
◈ 지하수 자동관측장비 설치	공	2	2	-	-	지하수수위·수질변화 관찰

Ⅱ. 자연 및 인문환경

2.1 자연환경

2.1.1 지형 및 유역현황

가. 위치 및 면적

화성시는 한반도 중서부에 속하는 경기도의 서남 해안을 끼고 위치해 있으며 육지로는 7개시를 접하고 바다로는 남쪽의 충청남도와 경계되며 서쪽의 옹진군과 접하여 선감도, 대부도를 마주하고 있다.

육지의 경계는 동으로 용인시 남사면, 이동면과 접하고 남으로는 오산시와 평택시의 진위면, 서탄면, 청북면, 포승면과 연하고 있으며 북쪽으로는 수원시, 안산시, 시흥시의 수암동 및 용인시 기흥읍이 각기 접하고 있다.

화성시 교통은 경부 및 서해안 양대 고속도로, 철도, 국도 등이 관통하는 사통팔달의 도로망을 갖추고 있으며, 서울 중심에서 1시간 이내 거리이고 대도시와 인접되어 지속적인 인구 증가와 각종 산업시설, 택지개발 등 대규모 개발사업의 가속화로 개발 잠재력이 큰 지역이다.

화성시의 총면적은 688㎢로서 경기도내 자치단체 중 5번째로 넓으며, 이중 농지면적이 267㎢로서 39%를 차지하며, 도시지역, 농촌지역, 어촌지역, 공업지역, 산간지역 등이 고루 분포하고 있다(표 2-1-1).

나. 지형지세

화성시는 강원도 북부에서 남남서로 달리는 광주산맥과 그 남쪽 차령산맥 사이의 서쪽 가장자리에 위치하며 동북쪽으로 비교적 산세가 깊은 산지를 형성하고 중앙은 낮은 구릉지대를 서쪽으로는 평야지대의 지형을 나타낸다.

전체적으로 경기 서부 해안지대의 낮고 평탄한 평야지대에 포함되고 있는데 남양반도와 조암반도가 서해안을 향해 돌출된 반면 남양호로 흐르는 황구지천, 발안천이 이곳 평야지대에 용수를 공급해 주고 있다.

본 조사지구는 서해안의 전형적인 리아스식 해안변에 위치하며 대부분 낮은 구릉을 형성하며 노년기 지형에 해당된다. 해안침식지형의 특성을 이용 간척사업이 활발한 지역으로 북측의 시화방조제, 남측의 남양방조제 등에 접하여 있으며, 넓은 갯벌

지대가 전답으로 이용되고 있다. 또한 우정면 매향리에서 서신면 궁평리까지 화옹방조제가 시공중에 있어 대규모 간척지 및 우정 담수호가 형성될 예정이다.

지구 북부의 남양화강암 및 화강암질 편마암 분포지역에는 비교적 산계의 발달이 뚜렷하며 남부의 편암 분포지역은 구릉성 평야지역을 형성하며 중앙의 남양화강암 분포 경계지역은 넓은 충적평야를 형성하고 있다.

수계는 산계의 방향성과 해안선의 영향으로 남서방향과 동서방향의 짧은 하천을 형성하며 서해로 유입된다. 우정면의 동측으로 운행하는 어은천 및 일부하천은 만조시 해수가 유입되는 통로역할을 하고 있으며 평시 유출량은 매우 적은편이다.

<표 2-1-1> 조사지역 현황

시·군	읍·면	동·리		면적(㎢)
1시군	3읍 11면 1동	193개리		687.65
화성	태안	진안, 병점, 능, 기산, 반월, 반정, 횡계, 배양, 기안, 송산, 안녕	11개리	32.15
	봉담	상, 내, 수영, 동화, 와우, 수기, 분천, 왕림, 세곡, 당하, 마하, 유, 덕, 덕우, 하가등, 상기	16개리	42.68
	매송	천천, 원평, 어천, 숙곡, 야목, 송라, 원	7개리	27.45
	비봉	양노, 남전, 유포, 삼화, 구포, 쌍학, 청요, 자안	8개리	38.53
	마도	석교, 두곡, 송정, 쌍송, 청원, 슬항, 해문, 백곡, 금당, 고모	10개리	31.78
	송산	사강, 봉가, 삼존, 용포, 고정, 쌍정, 천등, 신천, 독지, 마산, 고포, 지화, 중송, 육일, 칠곡	15개리	53.62
	서신	전곡, 상안, 광평, 장외, 송교, 제부, 홍법, 사곶, 매화, 용두, 궁평, 백미	12개리	42.51
	팔탄	하저, 창곡, 기천, 가재, 구장, 율암, 노하, 덕천, 지월, 덕우, 서근, 월문, 화당, 고주, 매곡, 해창	16개리	50.90
	장안	어은, 석포, 수촌, 독정, 장안, 덕다, 사랑, 금의, 사곡, 노진	10개리	67.68
	우정	원안, 호곡, 운평, 한각, 멱우, 화수, 주곡, 이화, 석천, 매향, 화산, 조암, 국화	13개리	58.85
	향남	평, 발안, 제암, 상신, 구문천, 하길, 화리현, 상두, 백토, 길성, 요, 수직, 갈천, 증거, 송곡, 동오, 도이, 행정, 관, 방축, 장짐	21개리	49.92
	양감	신왕, 사창, 정문, 송산, 용소, 요당, 대양	7개리	31.18
	정남	발산, 괘랑, 보통, 관항, 오일, 백, 문학, 신, 계향, 귀래, 제기, 덕절, 음양, 망월, 수면, 내, 금복, 고지, 용수	19개리	40.77
	동탄	오산, 청계, 반송, 석우, 영천, 중, 신, 목, 산척, 장지, 송, 방교, 금곡	13개리	52.73
	남양	남양, 신남, 장덕, 안석, 활초, 온석, 무송, 북양, 송림, 수화, 장전, 신외, 문호, 시, 원천	15개리	66.90

자료 : 화성시 통계연보(2002)

다. 유역현황

전국 464개 용수구역중 화성시와 관련되는 용수구역은 총 7개 구역으로 구성되며, 지하수의 함양 및 수리, 수질특성 파악을 위하여 지표수 및 지하수계의 분수령을 고려하고 건설교통부의 유역구분을 참조하여 9개의 소유역으로 세분하였다(표 2-1-2).

<표 2-1-2> 유역별 행정구역 현황

유역명	면적[1](㎢)	구성비 (%)	행정구역		용수구역명
			읍·면	리	
합계	687.701	100			
HS-1	66.584	9.7	송산면(100)	사강리,봉가리,삼존리,용포리,고정리,쌍정리,천등리,신천리,독지리,마산리,고포리,지화리,중송리,육일리,칠곡리	화서(52.0)
			마도면(40.8)	석교리,두곡리,송정리,슬항리,해문리	
HS-2	61.353	8.9	마도면(59.2)	쌍송리,청원리,백곡리,금당리,고모리	화서(48.0)
			서신면(100)	전곡리,상안리,광평리,장외리,송교리,제부리,홍법리,사곳리,매화리,용두리,궁평리,백미리	
HS-3	173.408	25.2	남양면(100)	남양동,신남동,장덕동,안석동,활초동,온석동,무송동,북양동,송림동,수화동,장전동,신외동,문호동,시동,원천동	화남2(100)
			비봉면(20.7)	청요리,자안리	
			팔탄면(46.4)	하저리,창곡리,율암리,노하리,덕천리,서근리	
			장안면(23.7)	어은리,석포리,금의리	
			우정읍(100)	원안리,호곡리,운평리,한각리,멱우리,화수리,주곡리,이화리,석천리,매향리,화산리,조암리,국화리	
HS-4	51.651	7.5	장안면(76.3)	수촌리,독정리,장안리,덕다리,사랑리,사곡리,노진리	평포(22.6)
HS-5	73.762	10.7	봉담읍(36.9)	상리,내리,수영리,동화리	화비(73.2)
			매송면(100)	천천리,원평리,어천리,숙곡리,야목리,송라리,원리	
			비봉면(79.3)	양노리,남전리,유포리,삼화리,구포리,쌍학리	
HS-6	79.753	11.6	봉담읍(48.2)	왕림리,세곡리,당하리,마하리,유리,덕리,덕우리,하가등리,상기리	평포(34.9)
			팔탄면(53.6)	기천리,가재리,구장리,지월리,덕우리,월문리,화당리,고주리,매곡리,해창리	
			향남면(63.9)	평리,발안리,제암리,상신리,구문천리,하길리,도이리,행정리,방축리,장짐리	
HS-7	85.651	12.5	봉담읍(14.9)	와우리,수기리,분천리	화태(100)
			정남면(100)	발산리,괘랑리,보통리,관항리,오일리,백리,문학리,신리,계향리,귀래리,제기리,덕절리,음양리,망월리,수면리,내리,금복리,고지리,용수리	
			태안읍(100)	진안리,병점리,능리,기산리,반월리,반정리,황계리,배양리,기안리,송산리,안녕리	
			향남면(12.8)	길성리,수직리,갈천리,증거리,송곡리	평서(5.5)
HS-8	42.808	6.2	향남면(23.3)	화리현리,상두리,백토리,요리,동오리,관리	평서(36.8)
			양감면(100)	신왕리,사창리,정문리,송산리,용소리,요당리,대양리	
HS-9	52.731	7.7	동탄면(100)	오산리,청계리,반송리,석우리,영천리,중리,신리,목리,산척리,장지리,송리,방교리,금곡리	용기(29.9)

주: 1) 면적 : 화성시(2003년 4월말 기준) ※( )숫자는 편입 면적비(%)임.

2.1.2 기상 및 수문

가. 기상현황

한반도 중서부 해안지대에 위치하며 한서의 차이가 심한 편으로 여름에는 고온다습하고 겨울은 한랭건조한 기후를 보인다. 해당 조사지구 인근의 장기관측자료 활용이 가능한 관측소는 수원기상대 1개소이다. 본 기상대에서 최근 33년간(1964~1996) 관측한 연평균기온은 11.57℃이며 월별 평균기온은 최난월인 8월에 25.5℃, 최한월인 1월에는 -3.3℃를 나타내고 있다. 계절적 변화가 뚜렷하여 9월과 4월을 중심으로 한서의 차이를 크게 나타내고 있다.

연평균강수량은 1,289.6㎜이며 총 강수량의 48.3%가 7, 8월에 집중되어 홍수의 피해를 심하게 받기도 한다. 월별 최고강수는 7월에 326.39㎜이며 6월~9월까지 4개월간의 강수량은 882.39㎜로 전체강수량의 68.4%를 차지하며, 10월~5월까지 8개월간의 강수량은 407.18㎜로 31.6%의 강수 분포를 나타낸다.

<표 2-1-3> 기상현황

월별	평균기온 (℃)	강수량 (㎜)	강우일수 (일)	상대습도 (%)	풍속 (m/sec)	일조시간 (hr)	계기증발량 (㎜)
연평균	11.6	1,289.6	103.7	72.7	1.5	2,269.1	1,051.4
1월	-3.3	23.9	6.8	69.2	1.5	171.8	31.8
2월	-1.3	27.7	6.1	68.2	1.8	173.7	41.9
3월	4.2	48.9	6.9	68.2	2.0	209.2	69.9
4월	11.2	87.2	7.6	66.5	2.0	222.7	115.1
5월	16.8	86.1	7.9	69.8	1.7	240.7	138.9
6월	21.4	122.0	8.5	75.4	1.6	208.0	136.1
7월	24.9	326.4	15.0	81.8	1.5	156.3	119.5
8월	25.5	296.3	13.0	80.6	1.4	177.7	129.4
9월	20.3	137.8	8.1	77.8	1.2	196.1	106.7
10월	13.5	58.8	6.8	75.1	1.2	204.7	82.0
11월	6.2	52.5	9.3	70.7	1.4	154.7	47.3
12월	-0.6	22.0	7.8	69.6	1.4	153.6	32.7

자료 : 수원기상대(1964~1996), 계기증발량(1986~1996)

나. 하천현황

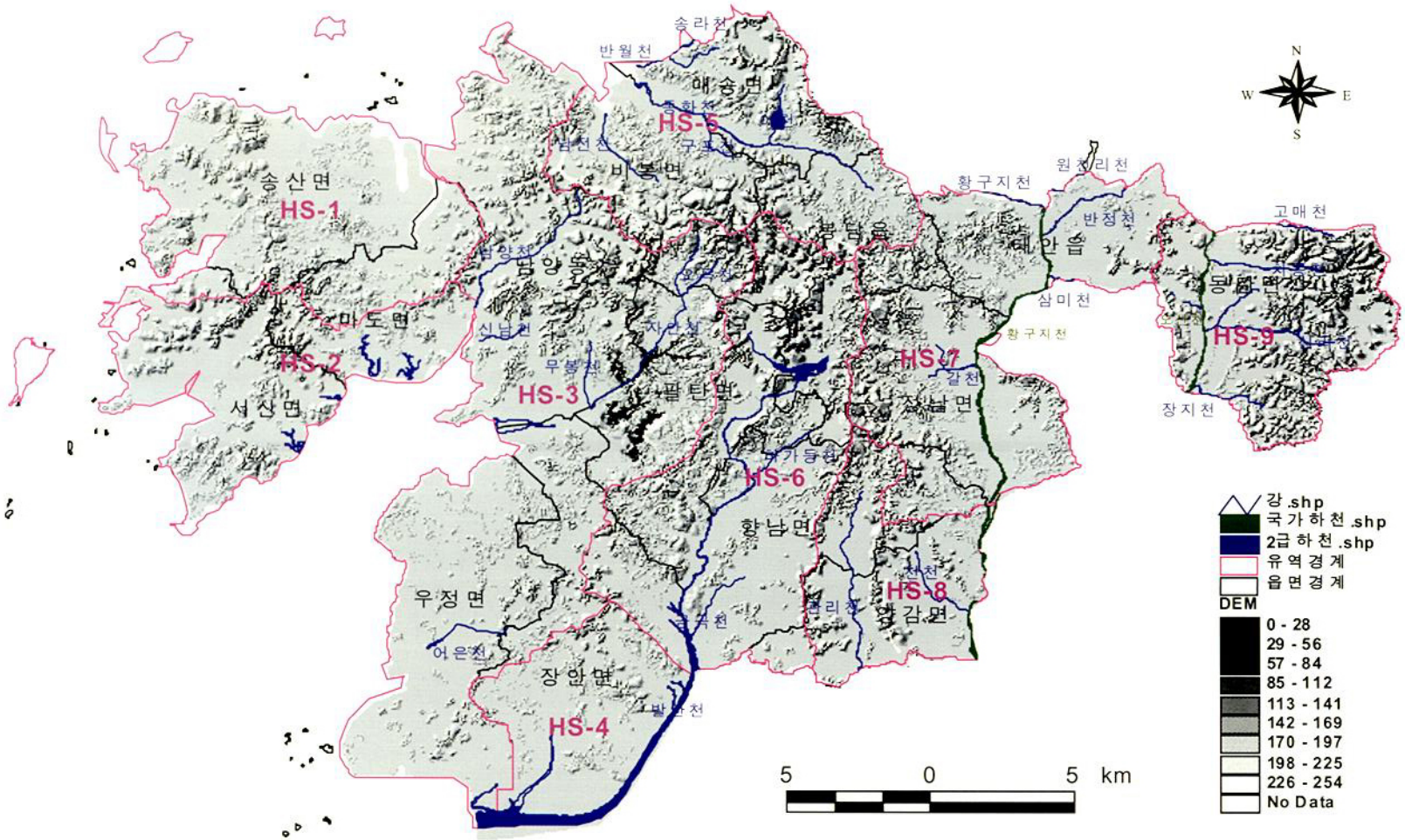
조사지역을 흐르고 있는 주요하천은 19개이며, 모두 지방2급 하천으로 분류·관리되고 있다. 이중 HS-6유역에 위치하는 발안천의 하천연장이 17㎞로 가장 긴 하천이며, HS-1, HS-2, 및 HS-4유역은 주요하천이 없고 소하천들이 수지상 수계를 형성하며 서해로 유입된다(표 2-1-4).

동고서저의 지형적 특징에 의하여 주로 동-서 또는 북동-남서 방향으로 흐르며, 유로가 짧고 해안에 인접하며 경사가 완만한 일부 하천은 해수의 유입현상이 발생되고 있다.

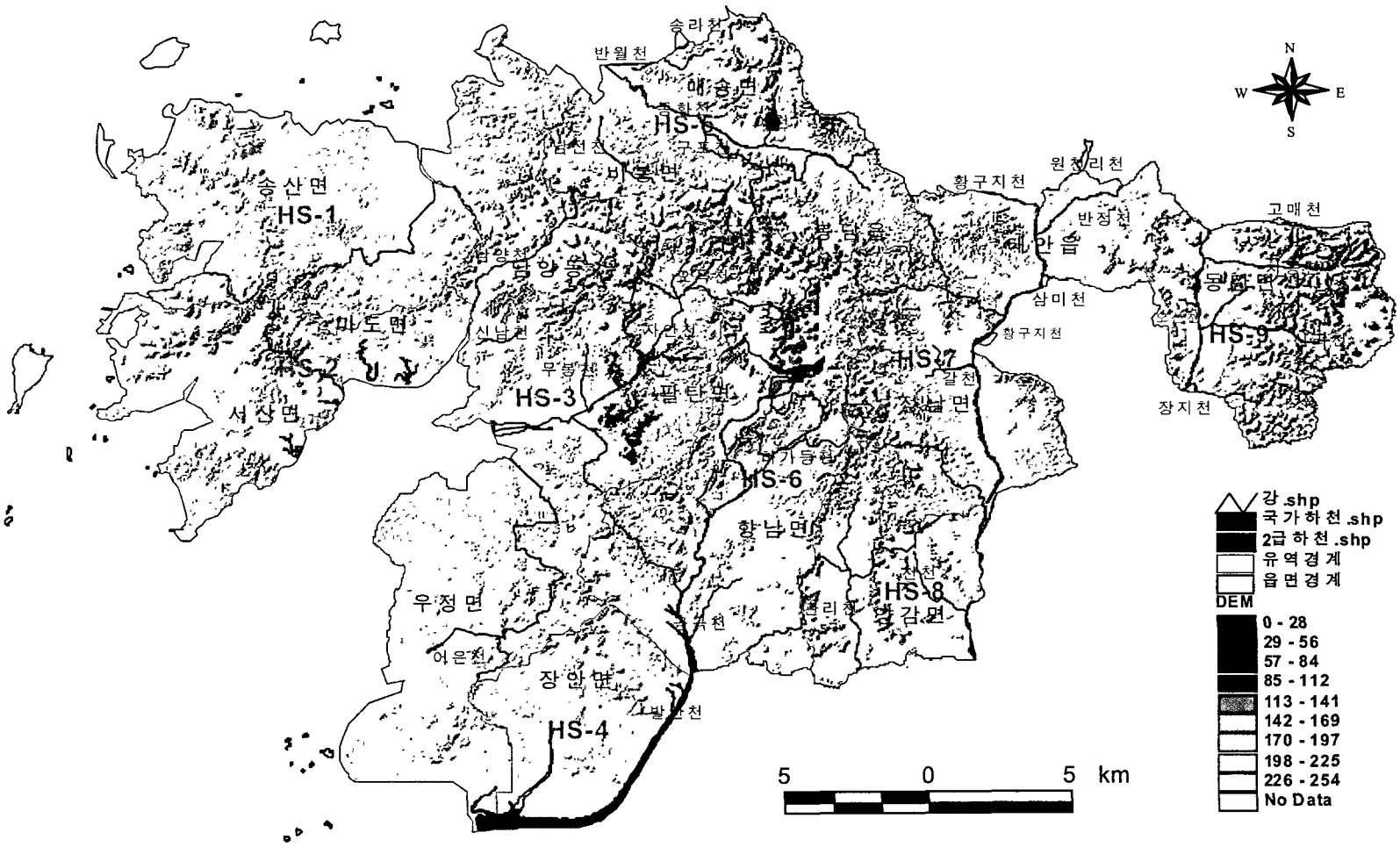
<표 2-1-4> 조사지역내 하천현황

유역명	하천명	유수계통(본류)	하천의 구간								하천연장(㎞)	유로연장(㎞)	유역면적(㎢)	비고
			기점				종점							
			위치				위치							
			읍면동	경계	홍수위(EL.m)	하폭(m)	읍면동	경계	홍수위(EL.m)	하폭(m)				
HS-3	어은천	어은천	장안	어은리	12.00	20	우정	해안	4.00	80	4.42	10.02	23.67	
	자안천	자안천	비봉	청요리	10.00	10	팔탄	해안	0.4	80	9.89	13.07	22.50	
	요곡천	자안천	비봉	청요리	32.00	6	팔탄	자안천 합류점	12.00	22	1.80	3.40	4.81	
	무봉천	무봉천	남양	무송리	12.00	29	남양	자안천 합류점	2.00	30	2.30	6.00	7.12	
	신남천	신남천	남양	신남리	12.00	11	남양	해안	4.00	70	1.83	3.50	5.85	
	남양천	남양천	남양	북양리	20.00	13	남양	해안	6.00	62	5.10	8.50	19.35	
HS-5	남전천	남전천	비봉	양노리	18.00	20	비봉	해안	5.00	40	3.75	10.00	16.54	
	동화천	동화천	봉담	동화리	20.00	15	매송	해안	5.00	87	10.50	12.56	46.79	
	어천	동화천	매송	어천리	28.00	19	매송	동화천 합류점	9.00	25	2.45	3.99	3.93	
	구포천	동화천	비봉	구포리	22.00	14	비봉	동화천 합류점	7.00	28	2.00	5.00	6.19	
	송라천	반월천	매송	송라리	23.00	10	매송	반월천 합류점	6.00	25	2.40	4.50	4.57	
HS-6	금곡천	발안천	향남	하길리	11.00	6	향남	발안천 합류점	2.0	40	3.35	5.72	9.22	
	발안천	발안천	봉담	상기리	74.00	13	향남	남양방조제 외곽선	2.00	160	17.00	30.03	61.00	
	하가등천	발안천	봉담	하가등리	33.00	12	향남	발안천 합류점	11.00	20	3.00	4.25	10.08	
HS-7	반정천	안성천	태안	반정리	22.60	24	태안	황구지천(국가) 합류점	19.4	35	2.00	6.95	14.98	
HS-8	관리천	안성천	향남	동오리	43.55	14	오성	진위천 합류점	8.39	80	15.30	17.17	33.02	
HS-9	치동천	안성천	동탄	중리	85.67	17	동탄	오산천 합류점	29.44	65	4.00	5.21	8.3	
	신리천	안성천	동탄	신리	60.99	33	동탄	오산천 합류점	23.65	88	4.30	6.00	17.72	
	장지천	안성천	동탄	장지	29.50	19	동탄	오산천 합류점	21.18	70	2.05	5.32	7.24	

자료 : 한국하천일람(건설교통부, 2001. 12. 31기준)



<그림 2-1-1> 수계, DEM 및 유역구분도



<그림 2-1-1> 수계, DEM 및 유역구분도

2.1.3 토양 및 지질

가. 토양

농촌진흥청 농업기술연구소에서 발간한 1:25,000 정밀토양도(1973)에 의하여 본 지역의 토양은 5개의 토양군으로 구분된다(표 2-1-5).

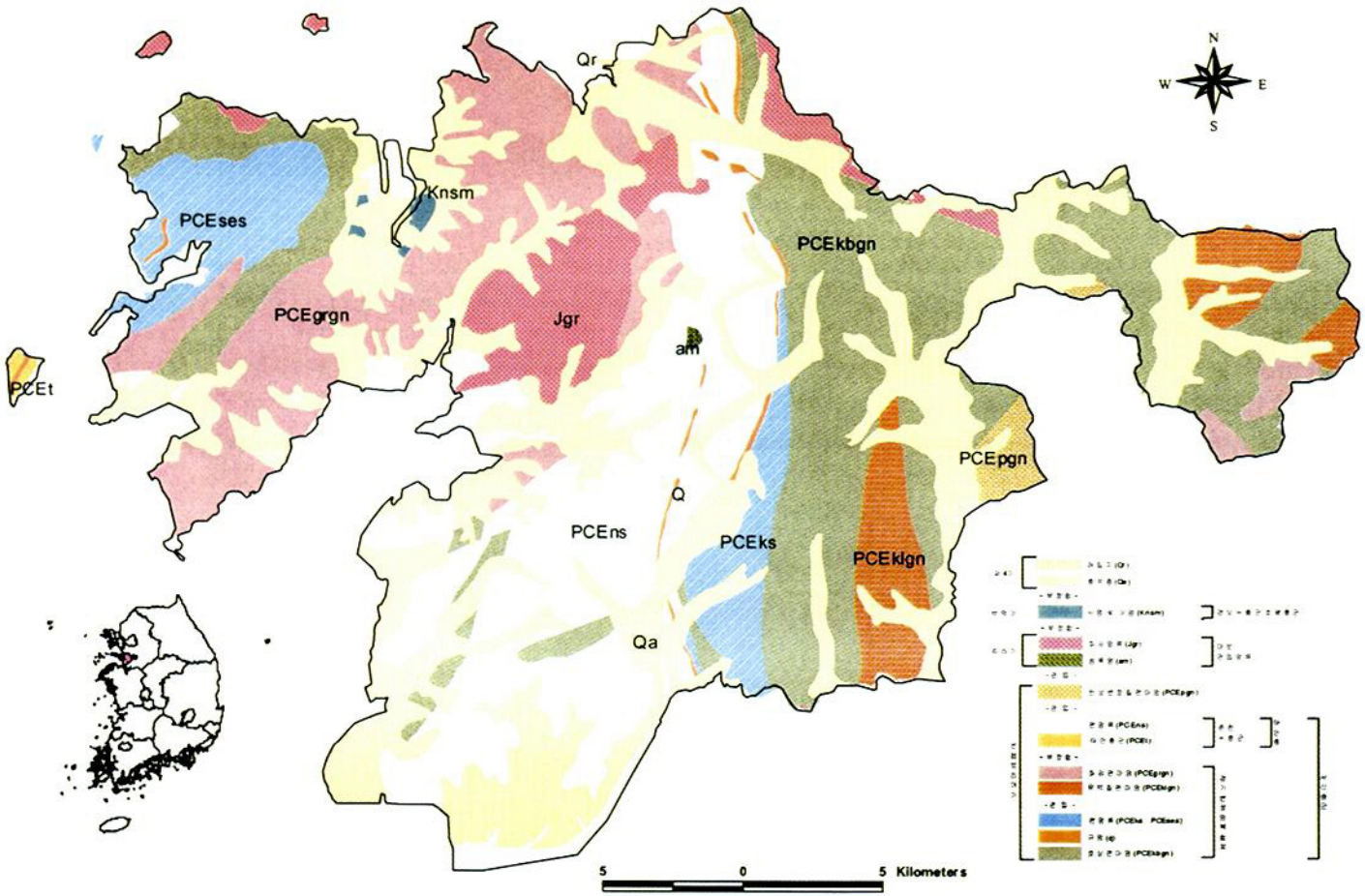
<표 2-1-5> 조사지구내 토양군의 분류

토양형	특 징	토양통	토양부호
포승 ~ 진북 토양군	하혜 혼성평탄지, 배수 약간불량~불량한 하해혼성충적층의 식질~미사사양질 양토	포승, 진북, 만경, 부용통	Pe, Jb, Mg, Bg
석천 ~ 신흥 토양군	하성 평탄지, 배수 약간 불량한 하성충적층의 사양질~식양질 양토	석천, 중동, 함창, 강서, 화동, 규암, 반천통	Se, Jd, Hh, Gt, Hd, HdB, Gy, BcB
지산 ~ 상주 토양군	곡간 및 산록지, 배수 약간불량~양호한 곡간충적층의 식양질~사양질양토	지산, 은곡, 옥천, 용지, 사촌, 월곡, 예천통	JiB, JiC, EgB, EgC, OcB, YjB, YjC, ScB, ScC, WoB, WoC, YeB
오산 ~ 예산 토양군	저구릉 및 구릉지, 배수 양호한 화강암·화강편마암 및 편암에 기인된 잔적층의 사양질~자갈이 있는 사양질 양토	오산, 예산, 송정, 전남통	OnD2, OnD3, OnD4, OnE2, OnE3, OnE4, YaC2, YaC3, YaD2, YaD3, YaD4, SoC2, SoC3, SoD2, SoD3, JnC2
송산 ~ 청산 토양군	구릉 및 산악지, 배수 매우 양호한 화강편마암, 편암에 기인된 잔적층의 사양질~자갈이 있는 사양질 양토	청산, 송산, 삼각통	CaE2, CaE3, CaF2, CaF3, CmE3, SNC2, SND2, SND3, SNE2, SNE3, SNE4, SRF2, SgD2, SgE2

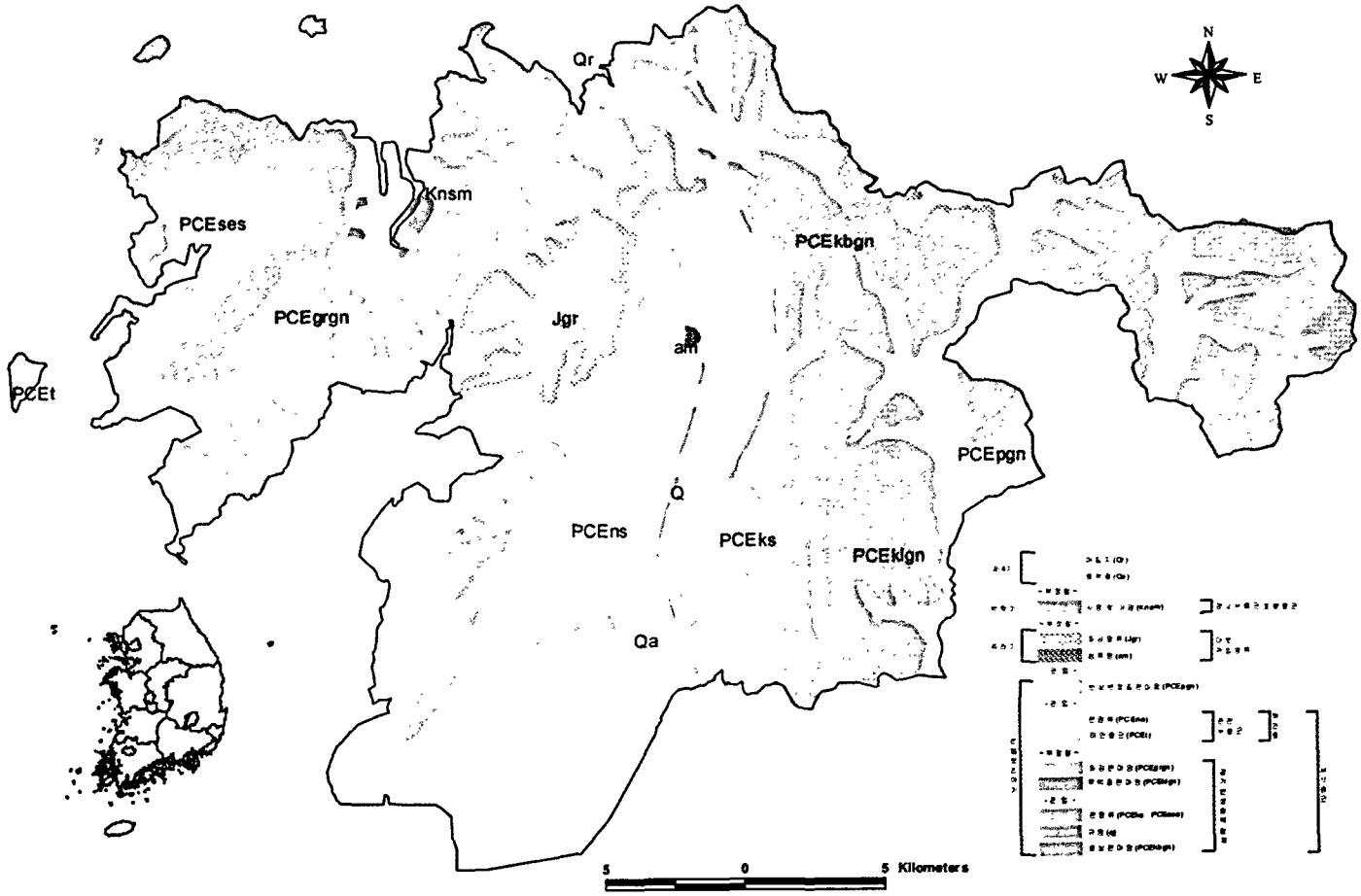
- 석천-신흥 토양군은 팔탄면 자안리 및 창곡리에 분포하며 지구내 분포면적은 적은편이다.
- 지산-상주 토양군은 남양면의 남양동, 북양동, 무송동 일대에 분포하며 배수조건이 양호한 지역은 밭으로 배수가 약간 불량한 지역은 논으로 이용하고 있다.
- 포승-전북 토양군은 우정면 남부의 화산리, 운평리, 매향리, 남양면의 활초동, 온석동 등의 해안지대에 분포하며 0~1% 경사의 평탄지이며 논으로 이용된다.
- 오산-예산 토양군은 지구내 가장 많으며 경사는 15~60%의 구릉지역에 분포한다. 경사가 낮은지역은 밭, 과수 등으로 이용되고 주로 임야이다.
- 송산-청산 토양군은 지구내 남양면 북양동 일부에 국부적으로 분포하며 대부분 임야이며 경사도가 높은편이다.

나. 지표지질

화성시의 지질은 선캠브리아기의 서산층군에 대비되는 경기변성암복합체(호상편마암, 규암, 편암류, 우백질편마암, 화강편마암), 태안층군(편암류) 및 반상변정질편마암과 쥬라기의 화강암류, 백악기 경상누층군의 초평층군에 해당하는 사암 및 이암류와 제4기의 충적층과 매립층으로 구성된다(그림 2-1-2).


Qr
Knsm
PCEses
PCEgrgn
Jgr
am
PCEt
PCEkbgn
PCEpgn
Q
PCEns
PCEks
PCEklgn
Qa
N
W
E
S
5
0
5 Kilometers

<그림 2-1-2> 지질도


N
W
E
S
Qr
Knsm
PCEses
PCEkbgn
PCEgrgn
Jgr
am
PCEt
PCEpgn
Q
PCEns
PCEks
PCEkgn
Qa
5
0
5 Kilometers

<그림 2-1-2> 지질도

2.2 인문환경

2.2.1 행정구역

3읍 11면 1동 193개 법정리로 구성된 화성시는 2001년 시로 승격되었으며 남양동에 시청소재지가 위치한다.

총면적은 687.65㎢ 이며 이중 장안면이 67.68㎢로 가장 넓은 면적을 차지하며, 매송면이 27.45㎢로 가장 작은 면적을 차지한다(표 2-2-1).

낙농업은 전국 시·군중에서 제일 많은 34,000여두로 경기도의 16.7%, 전국 6.4%에 해당되는 규모이며, 기업체는 기아자동차 화성공장, 향남면 상신리 제약단지 등 1,560여개 업체가 관내에 산재하여 있으며 53,000여명의 근로자가 생산활동에 종사하고 있는 농업·공업이 고루 분포하는 지역이다.

<표 2-2-1> 행정구역 현황

구 분	면 적(㎢)	구성비(%)	법정리	행정리	반	비고
계	687.65	100	193	532	1,819	
태안읍	32.15	4.7	11	58	412	
봉담읍	42.68	6.2	16	40	117	
매송면	27.45	4.0	7	20	77	
비봉면	38.53	5.6	8	24	71	
마도면	31.78	4.6	10	24	73	
송산면	53.62	7.8	15	37	139	
서신면	42.51	6.2	12	20	82	
팔탄면	50.90	7.4	16	34	80	
장안면	67.68	9.8	10	48	104	
우정면	58.85	8.6	13	51	145	
향남면	49.92	7.3	21	48	122	
양감면	31.18	4.5	7	25	54	
정남면	40.77	5.9	19	39	124	
동탄면	52.73	7.7	13	27	76	
남양동	66.90	9.7	15	37	143	

자료 : 화성시 통계연보(2002)

2.2.2 인구

2001년말 기준 화성시 인구는 214,729명이고, 세대수는 72,098세대이며 세대당 인구는 2.9명/세대이다.

인구는 태안읍이 가장 많은 57,942명이며 인구밀도도 1,802.2명/㎢으로 가장 높다. 다음으로는 봉담읍으로 인구 24,979명, 인구밀도 585.3명/㎢이다. 화성시에서 가장 인구가 적은 곳은 마도면으로 인구 4,390명, 인구밀도 138.1명/㎢이다 (표 2-2-2).

<표 2-2-2> 인구현황

구 분	세 대[1]	인 구			인구밀도 (명/㎢)	면 적(㎢)	세대당 인구
		계	남	여			
화성시	72,098	214,729	111,864	102,865	312.3	687.65	2.9
태안읍	18,119	57,942	29,936	28,006	1,802.2	32.15	3.1
봉담읍	8,217	24,979	13,106	11,873	585.3	42.68	3.0
매송면	2,951	8,823	4,528	4,295	321.4	27.45	3.0
비봉면	2,066	5,702	2,961	2,741	148.0	38.53	2.7
마도면	1,500	4,390	2,250	2,140	138.1	31.78	2.9
송산면	3,545	9,804	5,016	4,788	182.8	53.62	2.8
서신면	2,295	6,057	3,151	2,906	142.5	42.51	2.6
팔탄면	2,977	8,479	4,560	3,919	166.6	50.90	2.7
장안면	3,838	11,638	6,082	5,556	172.0	67.68	3.0
우정면	6,463	18,732	9,691	9,041	318.3	58.85	2.9
향남면	5,065	14,665	7,537	7,128	293.8	49.92	2.8
양감면	1,539	4,526	2,551	1,975	145.2	31.18	2.7
정남면	4,304	12,593	6,643	5,950	308.9	40.77	2.8
동탄면	3,860	11,140	5,942	5,198	211.3	52.73	2.8
남양동	5,359	15,259	7,910	7,349	228.1	66.90	2.8

자료 : 화성시 통계연보 (2002)
주 : 1) 외국인 세대 제외

화성시의 인구추이는 1976년도 210,800명에서 2001년 214,729명으로 증가추세를 나타내며 부분적으로 1989년 및 1994년에 일시적으로 감소하였다. 이는 행정구역 개편에 따른 인구조정에 기인한다.

세대수는 1976년 38,811세대에서 2001년 72,098세대로 지속적으로 증가하고 있으며, 향후 태안·동탄 신도시의 신규아파트 입주가 본격적으로 시작되는 2007년 이후에는 인구 및 세대수가 증가할 것으로 예상된다.

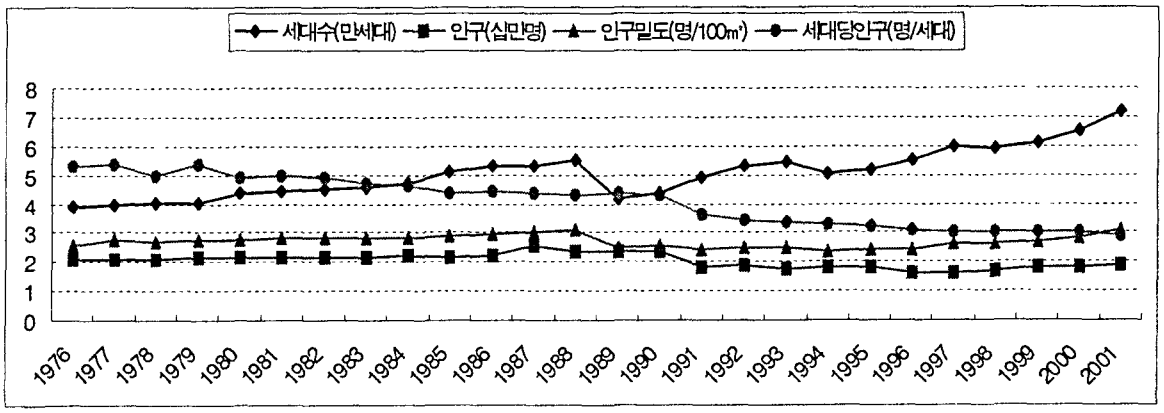
세대당 인구추이는 1979년 5.4명/세대를 최고로 하여 2001년 2.9명/세대로 지속적인 감소추세를 보여 핵가족화가 계속 심화되고 있음을 알 수 있다(표 2-2-3, 그림2-2-1).

<표 2-2-3> 인구추이

년 도	세 대	인 구(명)	인구밀도(명/㎢)	세대당인구(명/세대)
1976	38,811	210,800	258	5.3
1977	39,635	214,527	276	5.4
1978	40,204	216,085	271	5.0
1979	40,645	214,365	276	5.4
(1980)	(43,797)	(217,117)	(278)	(4.9)
1981	44,164	218,393	279	5.0
1982	45,015	219,598	280	4.9
1983	45,939	217,576	279	4.7
1984	47,066	218,561	280	4.6
(1985)	(51,406)	(255,833)	(289)	(4.4)
1986	52,988	233,561	298	4.4
1987	53,323	234,494	304	4.4
1988	55,362	237,927	309	4.3
1989	41,471	180,071	246	4.3
(1990)	(44,004)	(187,319)	(256)	(4.3)
1991	49,317	174,925	239	3.6
1992	52,844	181,385	248	3.4
1993	54,584	182,495	250	3.3
1994	50,231	164,235	238	3.3
(1995)	(51730)	(164,284)	(239)	(3.2)
1996	55,010	168,758	245	3.1
1997	60,110	179,031	260	3.0
1998	59,078	180,729	263	3.0
1999	60,974	185,934	270	3.0
2000	64,905	195,362	284	3.0
2001	72,098	214,729	312	2.9

자료 : 인구주택총조사, 주민등록인구통계

주 : 1) ( )년도는 인구주택총조사



<그림 2-2-1> 인구추이

2.2.3 산업 및 경제

산업은 농업이 대표적이며 곡간평야를 이용한 수도작이고 고추, 열무 등을 구릉성 전작지대에서 재배하고 있다. 지구내 편리한 교통을 이용코자 소규모 자유입지 업체들이 분산되어 있으며 우정면 매향리의 기아자동차 공장 및 남양면 장덕동의 현대자동차 주행시험장이 있다.

서해안과 접해있어 송산면, 서신면, 남양면, 우정면에서 화성시 전체 인구의 3.3%가 어업에 종사하는 것으로 조사되었으나 화옹방조제 간척사업 등으로 연근해 어업은 점차 감소하고 내수면 어업이 증가하는 추세이다.

□ 농업 현황

주재배 작목은 수도작이며 화성시 전체의 농가 구성비는 22% 정도이고 경지면적 중 전답비율은 34 : 66이다.

농업이 발달한 지역으로서 농경지가 전체면적(687.65㎢)의 39%에 해당되어 쌀과 포도, 채소, 딸기, 버섯 등 구릉지 원예작물 재배가 활기를 띠고 있다.

<표 2-2-4> 농가 및 경지면적 현황

구 분	총가구수	가구수		가구당경지면적 (ha)			경지면적 (ha)		
		농가수	구성비(%)	계	전	답	계	전	답
합 계	72,098	15,879	22.0%	1.68	0.57	1.11	26,667.3	9,076.6	17,590.7
태 안	18,119	987	5.4%	1.59	0.50	1.09	1,569.6	494.3	1,075.3
봉 담	8,217	964	11.7%	1.41	0.56	0.86	1,360.9	535.6	825.3
매 송	2,951	437	14.8%	2.19	0.61	1.58	958.3	268.4	689.9
비 봉	2,066	813	39.4%	1.62	0.57	1.05	1,318.2	462.2	856.0
마 도	1,500	741	49.4%	1.66	0.61	1.05	1,228.3	450.7	777.6
송 산	3,545	1,475	41.6%	1.48	0.60	0.88	2,180	885.6	1,294.4
서 신	2,295	1,013	44.1%	1.45	0.54	0.90	1,465.8	551.6	914.2
팔 탄	2,977	1,003	33.7%	1.69	0.50	1.19	1,696.3	502.1	1,194.2
장 안	3,838	1,478	38.5%	2.05	0.52	1.53	3,022.9	766.7	2,256.2
우 정	6,463	1,686	26.1%	1.60	0.48	1.12	2,698.1	805.6	1,892.5
향 남	5,065	1,161	22.9%	2.03	0.87	1.16	2,354.7	1,009.7	1,345.0
양 감	1,539	629	40.9%	2.01	0.73	1.29	1,266.2	456.8	809.4
정 남	4,304	1,126	26.2%	1.62	0.54	1.08	1,827.8	607.1	1,220.7
동 탄	3,860	860	22.3%	1.79	0.61	1.18	1,536.3	523.9	1,012.4
남 양	5,359	1,506	28.1%	1.45	0.50	0.95	2,183.9	756.3	1,427.6

자료 : 화성시 통계연보(2002)

<표 2-2-5> 농업작부체계 현황

<조사년도 : 1999>

구 분	합계	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	Type6	Type7	비고
합 계	27,515.3	10,154	9,607.5	1,856.4	1,268.2	1,340.9	2,521.5	766.8	
태안읍	2,261.8	-	1130	282	282	282	284	1.8	
봉담읍	1,718.7	-	858.5	214	214	214	216.5	1.7	
매송면	1,249.1	209	430	217.3	150	30	210.5	2.3	
비봉면	4,704	3707	507	85.7	140	51	197.1	16.2	
마도면	1,151.2	320	450	67.2	30	47	160	77	
송산면	1,679.1	631	520	32.8	26	23	167.8	278.5	
서신면	1,362	480	454	83	43	51	167	84	
팔탄면	1,624	451	640	351.1	20	87.8	56.3	17.8	
장안면	2,452.8	1012	1129	32.7	52	42.3	121.5	63.3	
우정면	2,230.7	934	731	126.6	39.4	115.2	215.5	69	
향남면	1,382.7	740	500	36.4	13	13.8	53.5	26	
양감면	1,477	350	460	141.4	95	206.3	179.3	45	
정남면	1,380	370	592	75	65	70	184	24	
동탄면	1,246.6	423	486	43	89	57.8	145	2.8	
남양면	1,595.6	527	720	68.2	9.8	49.7	163.5	57.4	

Type 1 : 신품종 벼
Type 2 : 재래종 벼
Type 3 : 보리, 마늘, 양파, 유채, 겨울채소
Type 4 : 감자, 담배, 봄채소
Type 5 : 고추, 수박, 목초
Type 6 : 고구마, 콩, 채소, 참깨, 여름작물
Type 7 : 과수(사과, 복숭아, 포도)

자료 : 경기도 농업·농촌용수종합이용계획 2000자원기초조사 보고서(농림부, 2000)

□ 광업 현황

화성시의 광업현황은 28개의 사업체에 총 185명의 종업원으로 구성된다. 총생산액은 53,025백만원이며 대부분 미가행의 비금속광이 분포한다.

<표 2-2-6> 광업 현황

구 분	광구수								사업체수	종업원수(인)	주요생산비(백만원)	출하액(백만원)	생산액(백만원)
	가 행				미가행								
	계	금속	비금속	석탄	계	금속	비금속	석탄					
광 업	4	-	4	-	27	3	24	-	10	207	20,052	58,409	57,938

자료 : 화성시 통계연보(2002)

□ 산업단지 현황

화성시내 총 5개소의 지방산업단지가 위치하며, 향남제약단지만이 개발되어 있는 상태이고 나머지 4개소는 개발중이다.

향남제약단지에는 39개 업체가 입주하고 있으며 총 2,414명이 종사하고 있다.

<표 2-2-7> 산업단지 지정현황

산업단지		면적(㎡)	산업지역 개발현황			입주업체수	유치업종	지정일자	사업계획기간	사업시행자
			개발대상	'01까지 개발	미개발					
지방	계	5,023	3,223	812	2,774	39				
	화성금의	604	385	-	385	-	조립금속, 기계장비, 자동차부품	'95/11/28	'97~'04	현대모비스
	화성마도	942	574	57	517	-	정밀화학(염료, 안료) 비금속광물, 조립금속	'94/05/17	'94~'03	한국염료·안료 협동조합
	화성발안	1,846	1,283	-	1,283	-	조립금속,기계및장비,정밀.광학기기,정보처리	'97/08/22	'97~'03	한국 토지공사
	화 성	983	501	275	225	-	전자집적회로제조업	'97/11/13	'97~'02	삼성전자(주)
	화성향남	648	480	480	-	39	의약품 및 의약품 관련업	'85/05/14	'81~'85	대한약품공업 협동조합

자료 : 환경통계연감(환경부, 2002), 화성시 통계연보(2002)

□ 제조업체 현황

제조업체는 총 2,411개소이며 종업원수 68,254명이다. 지역별로는 태안읍이 642개소로 가장 많으며 서신면이 12개소로 가장 적은 제조업체 현황을 나타낸다.

<표 2-2-8> 제조업체 현황

(단위 : 개소, 명, 백만원)

구분	업체수	종업원수	주요생산비	출하액	생산액
계	2,411	68,254	8,151,644	13,916,766	13,880,334
태 안	642	13,320	1,069,133	1,782,113	1,786,349
봉 담	265	7,152	622,112	1,160,350	1,161,665
매 송	15	171	6,865	13,634	13,822
비 봉	69	870	53,223	86,657	89,146
마 도	46	708	48,376	81,606	84,122
송 산	22	474	31,517	48,034	48,892
서 신	12	206	23,198	33,444	33,594
팔 탄	261	6,571	520,765	923,594	922,733
장 안	84	1,946	305,360	503,664	503,040
우 정	20	9,522	3,164,927	5,287,233	5,208,332
향 남	126	4,982	550,388	1,043,295	1,052,533
양 감	111	3,143	340,178	561,535	562,951
정 남	362	7,844	545,027	896,699	910,543
동 탄	276	9,195	740,034	1,250,105	1,254,783
남 양	100	2,150	130,541	244,803	247,829

자료 : 화성시 통계연보(2000)

2.2.4 토지이용

화성시 전체면적중 농경지(논, 밭)의 면적비율은 39.0%이며 답이 농경지 면적중 차지하는 비율은 65%이다. 지목중 임야가 차지하는 비율은 40.4%로 가장 높으며 과수원이 차지하는 비율이 0.2%로 가장 낮은 분포를 나타낸다.

<표 2-2-9> 지목별 토지이용 현황

(단위 : ha)

구 분		합계	농경지				임야	대지	기타
			소계	전	답	과수원			
계	면적	68,765.2	26,783.0	9,076.6	17,590.7	115.7	27,764.8	2,017.9	12,199.5
	구성비(%)	100.0%	39.0%	13.2%	25.6%	0.2%	40.4%	2.9%	17.7%
태 안		3,215.6	1,571.3	494.3	1,075.3	1.7	690.6	248.7	705.0
봉 담		4,268.3	1,362.6	535.6	825.3	1.7	2,148.2	154.6	602.9
매 송		2,745.4	959.8	268.4	689.9	1.5	1,404.4	63.1	318.1
비 봉		3,853.2	1,323.4	462.2	856.0	5.2	2,084.1	82.4	363.3
마 도		3,177.7	1,231.6	450.7	777.6	3.3	1,259.8	83.8	602.5
송 산		5,362.6	2,205.0	885.6	1,294.4	25.0	1,812.4	179.4	1,165.8
서 신		4,250.6	1,480.1	551.6	914.2	14.3	1,935.5	117.6	717.4
팔 탄		5,089.6	1,701.2	502.1	1,194.2	4.9	2,270.7	109.0	1,008.7
장 안		6,767.9	3,023.3	766.7	2,256.2	0.4	2,235.1	134.5	1,375.0
우 정		5,884.7	2,702.7	805.6	1,892.5	4.6	1,563.2	179.1	1,439.7
향 남		4,991.9	2,357.6	1,009.7	1,345.0	2.9	1,807.8	146.3	680.2
양 감		3,117.6	1,270.7	456.8	809.4	4.5	1,199.6	65.5	581.8
정 남		4,077.4	1,861.8	607.1	1,220.7	34.0	1,383.2	147.2	685.2
동 탄		5,272.9	1,539.2	523.9	1,012.4	2.9	2,644.1	140.6	949.0
남 양		6,689.8	2,192.7	756.3	1,427.6	8.8	3,326.1	166.1	1,004.9

자료 : 화성시 통계연보(2002)

Ⅲ. 지하수환경

3.1 현 황

3.1.1 지하수현황

가. 지하수이용현황

조사지역에 대한 지하수 개발 및 이용현황을 파악하기 위하여 화성시 자료를 수정 보완하여 지하수 이용현황 및 관정특성에 대하여 분석하였다. 조사지역의 관정수는 7,461개소(허가 131, 신고 7,330)이며 년이용량은 57,852천㎥/년이다. 용도별 지하수이용현황을 보면 생활용 5,099개소 68.3%, 47,183천㎥/년으로서 81.6%, 공업용 250개소 3.4%, 3,431천㎥/년으로서 5.9%, 농업용 2,053개소 27.5%, 6,360천㎥/년으로서 11.0%, 기타 59개소 0.8%, 877천㎥/년으로서 1.5%를 차지하는 것으로 조사되어 개발공수나 이용량 모두 생활용수의 비중이 가장 높은 것으로 파악되었다. 읍면별 유역별 지하수이용현황에 대한 자료는 표 3-1-1~2와 그림 3-1-1~4에 나타내었다.

<표 3-1-1> 읍면별 지하수이용현황

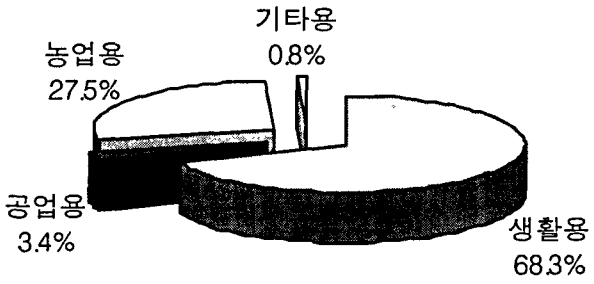
(단위 : 공, 천㎥/년)

읍면동	계			생활용			공업용			농업용			기타용		
	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)
계	7,461	57,852	100.0	5,099	47,183	81.6	250	3,431	5.9	2,053	6,360	11.0	59	877	1.5
남양동	332	3,285	5.7	270	2,656	4.6	10	112	0.2	52	517	0.9	0	0	0.0
동탄면	416	3,338	5.8	384	2,977	5.1	12	286	0.5	13	19	0.0	7	56	0.1
마도면	969	2,347	4.1	448	1,735	3.0	2	11	0.0	519	601	1.0	0	0	0.0
매송면	96	877	1.5	82	734	1.3	3	33	0.1	8	71	0.1	3	39	0.1
봉담읍	517	5,271	9.1	458	4,544	7.9	26	289	0.5	18	139	0.2	15	299	0.5
비봉면	163	1,716	3.0	129	1,185	2.0	5	18	0.0	26	456	0.8	3	57	0.1
서신면	195	2,173	3.8	159	1,716	3.0	1	3	0.0	33	425	0.7	2	30	0.1
송산면	1,340	4,329	7.5	214	2,204	3.8	4	35	0.1	1,121	2,074	3.6	1	15	0.0
양감면	344	2,981	5.2	278	2,327	4.0	38	522	0.9	26	115	0.2	2	17	0.0
우정면	491	3,188	5.5	406	2,832	4.9	9	211	0.4	74	126	0.2	2	18	0.0
장안면	356	4,313	7.5	321	3,801	6.6	12	131	0.2	19	282	0.5	4	99	0.2
정남면	606	4,919	8.5	527	4,134	7.1	40	554	1.0	37	217	0.4	2	14	0.0
태안읍	716	6,101	10.5	644	5,282	9.1	25	357	0.6	38	317	0.5	9	146	0.3
팔탄면	575	8,480	14.7	510	7,384	12.8	25	257	0.4	37	810	1.4	3	30	0.1
향남면	345	4,536	7.8	269	3,673	6.3	38	613	1.1	32	192	0.3	6	59	0.1

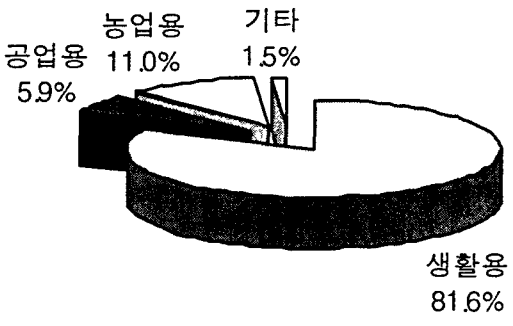
<표 3-1-2> 유역별 지하수이용현황

(단위 : 공, 천㎥/년)

유역	총계			생활용			공업용			농업용			기타용		
	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)	개소	이용량	이용량 구성비 (%)
계	7,461	57,852	100.0	5,099	47,183	81.6	250	3,431	5.9	2,053	6,360	11.0	59	877	1.5
HS-1	1,723	5,377	9.3	415	3,020	5.2	4	35	0.1	1,303	2,307	4.0	1	15	0.0
HS-2	781	3,471	6.0	406	2,634	4.6	3	14	0.0	370	793	1.4	2	30	0.1
HS-3	1,262	11,790	20.4	1,068	10,359	17.9	43	519	0.9	145	831	1.4	6	81	0.1
HS-4	255	3,544	6.1	235	3,174	5.5	5	89	0.2	13	229	0.4	2	51	0.1
HS-5	361	4,058	7.0	290	3,101	5.4	21	224	0.4	43	619	1.1	7	114	0.2
HS-6	666	9,440	16.3	564	7,811	13.5	47	711	1.2	47	797	1.4	8	122	0.2
HS-7	1,505	12,773	22.1	1,325	10,793	18.7	73	1,008	1.7	84	589	1.0	23	383	0.7
HS-8	492	4,061	7.0	412	3,313	5.7	42	545	0.9	35	177	0.3	3	26	0.0
HS-9	416	3,338	5.8	384	2,977	5.1	12	286	0.5	13	19	0.0	7	56	0.1



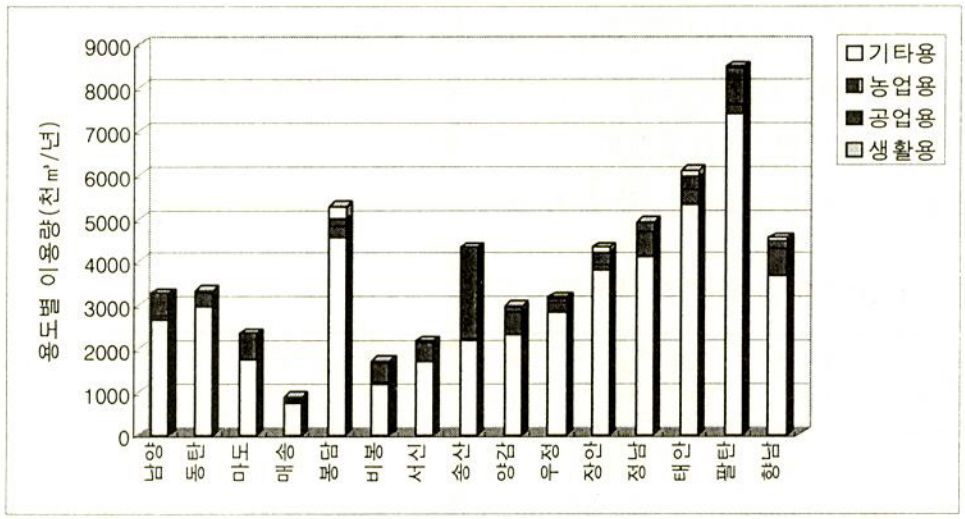
<그림 3-1-1> 용도별 관정개발비율



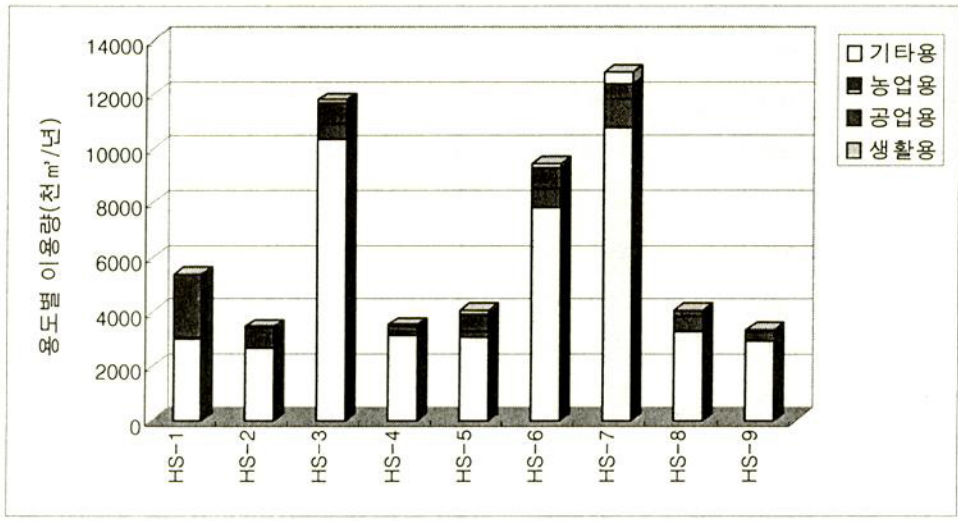
<그림 3-1-2> 용도별 지하수이용 현황

지하수이용비율을 살펴볼 때 읍면별로는 팔탄면의 지하수이용량이 8,480천㎥/년으로 14.7%의 가장 큰 지하수 이용비율을 점하고 있으며, 반면 조사지역 중 면적이 가장 작은 매송면이 지하수이용량에 있어서도 877천㎥/년으로 1.5%의 가장 낮은 이용비율을 나타냈다.

유역별로는 가장 큰 면적을 차지하는 HS-3 유역보다 HS-7 유역이 12,773천㎥/년으로 22.1%의 가장 큰 지하수 이용비율을 점하고 있으며, HS-9 유역이 3,338천㎥/년으로 5.8%의 가장 낮은 지하수 이용비율을 나타내었다.



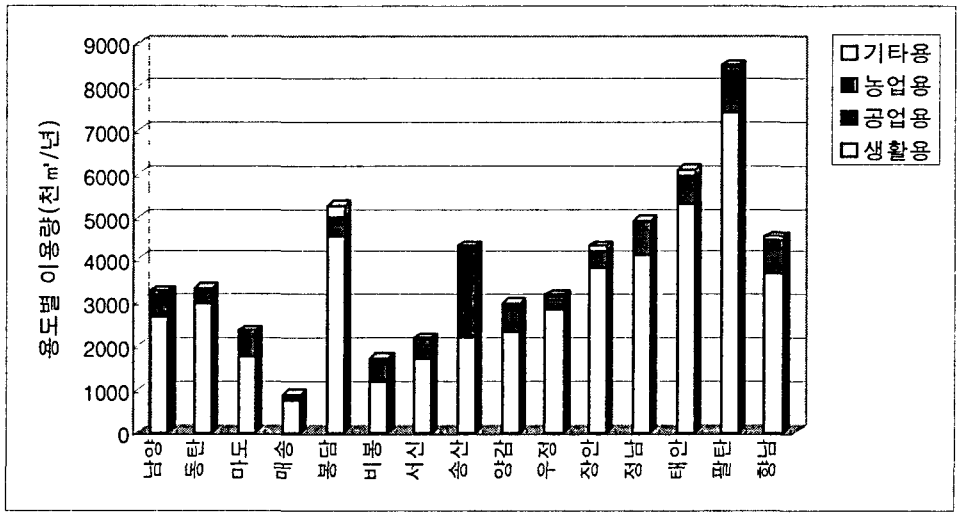
<그림 3-1-3> 읍면별/용도별 지하수이용현황



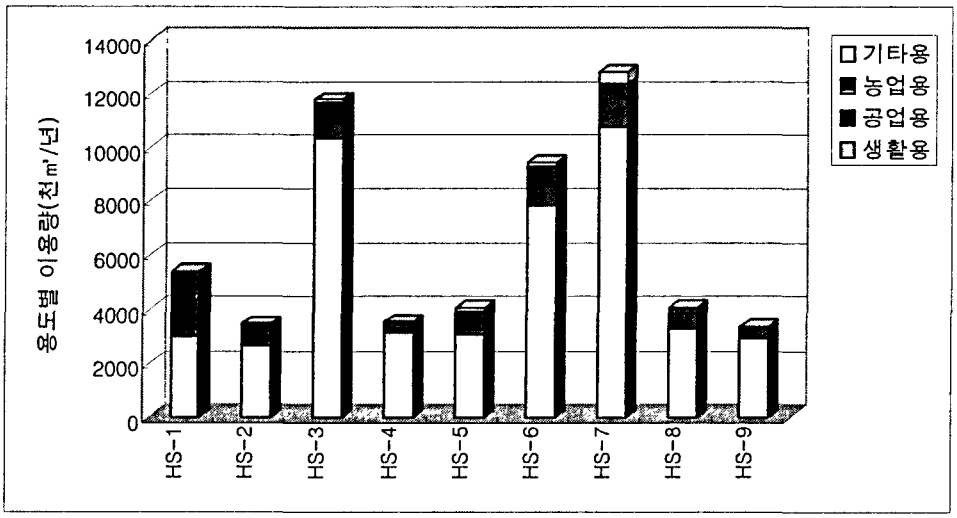
<그림 3-1-4> 유역별/용도별 지하수이용현황

지하수이용비율을 살펴볼 때 읍면별로는 팔탄면의 지하수이용량이 8,480천㎥/년으로 14.7%의 가장 큰 지하수 이용비율을 점하고 있으며, 반면 조사지역 중 면적이 가장 작은 매송면이 지하수이용량에 있어서도 877천㎥/년으로 1.5%의 가장 낮은 이용비율을 나타냈다.

유역별로는 가장 큰 면적을 차지하는 HS-3 유역보다 HS-7 유역이 12,773천㎥/년으로 22.1%의 가장 큰 지하수 이용비율을 점하고 있으며, HS-9 유역이 3,338천㎥/년으로 5.8%의 가장 낮은 지하수 이용비율을 나타내었다.



<그림 3-1-3> 읍면별/용도별 지하수이용현황



<그림 3-1-4> 유역별/용도별 지하수이용현황

화성시의 읍면별/유역별 면적이 상당히 차이가 있으므로 지하수 이용정도를 총이용량으로 비교하기보다는 읍면별/유역별의 단위면적당 지하수이용량으로 비교하는 것이 합리적이다.

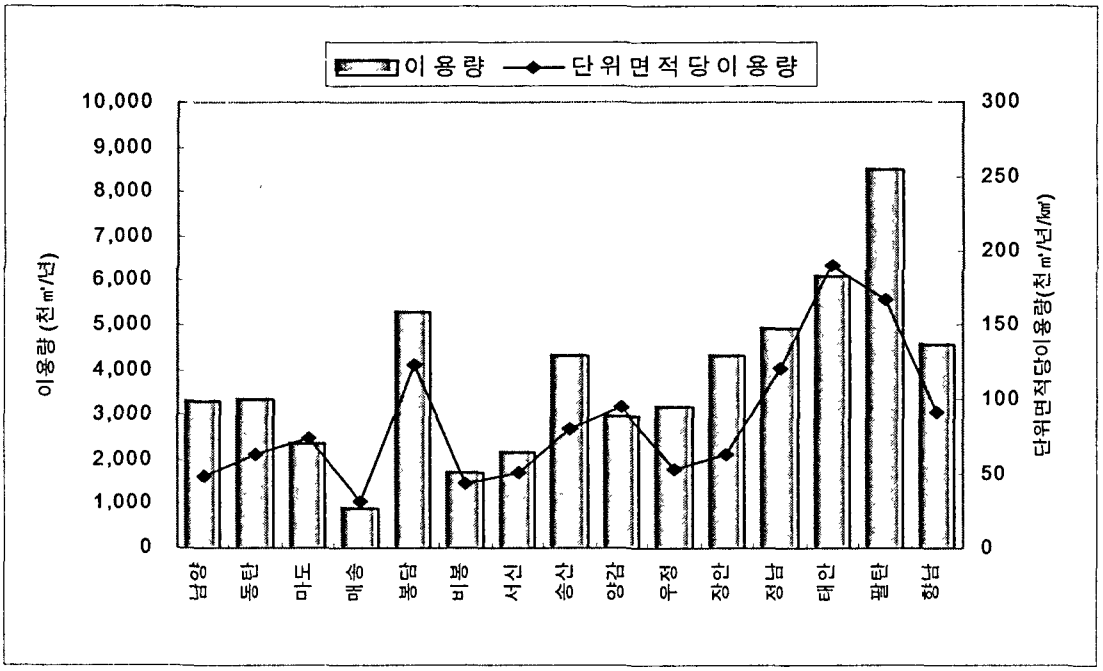
화성시 지하수의 년간이용량은 57,852천㎥/년으로 단위면적당 이용량은 84.1천㎥/년/㎢ (230.5㎥/일/㎢)로 전국 평균인 32.4천㎥/년/㎢ (88.7㎥/일/㎢) 보다 훨씬 높아 지하수개발이용이 활발한 것으로 조사되었다(지하수조사연보 2002).

읍면별로는 태안읍의 단위면적당 지하수이용량이 189.8천㎥/년/㎢으로 가장 크게 나타났으며, 32.0천㎥/년/㎢의 가장 낮은 단위면적당 지하수이용량을 보이는 지역은 매송면으로 나타났다(표 3-1-3, 그림 3-1-5).

조사지역의 단위면적당 관정개발밀도는 평균 10.8공/㎢이며, 소형관정의 개발비율이 높은 마도면의 관정개발 밀도가 30.5공/㎢로 가장 높게 나타났으며, 매송면의 관정밀도가 3.5공/㎢로 가장 낮았다.

<표 3-1-3> 읍면별 단위면적당 지하수이용현황

읍면동	개소수 (공)	이용량 (천㎥/년)	면적 (㎢)	관정밀도 (공/㎢)	단위면적당이용량	
					(천㎥/년/㎢)	(㎥/일/㎢)
계	7,461	57,852	687.7	10.8	84.1	230.5
남양동	332	3,285	66.9	5.0	49.1	134.5
동탄면	416	3,338	52.7	7.9	63.3	173.4
마도면	969	2,347	31.8	30.5	73.9	202.4
매송면	96	877	27.4	3.5	32.0	87.6
봉담읍	517	5,271	42.7	12.1	123.5	338.3
비봉면	163	1,716	38.6	4.2	44.5	121.9
서신면	195	2,173	42.6	4.6	51.1	139.9
송산면	1,340	4,329	53.6	25.0	80.7	221.2
양감면	344	2,981	31.2	11.0	95.6	262.0
우정면	491	3,188	58.9	8.3	54.2	148.4
장안면	356	4,313	67.7	5.3	63.7	174.6
정남면	606	4,919	40.8	14.9	120.6	330.5
태안읍	716	6,101	32.1	22.3	189.8	519.9
팔탄면	575	8,480	50.9	11.3	166.5	456.1
향남면	345	4,536	49.9	6.9	90.9	249.1



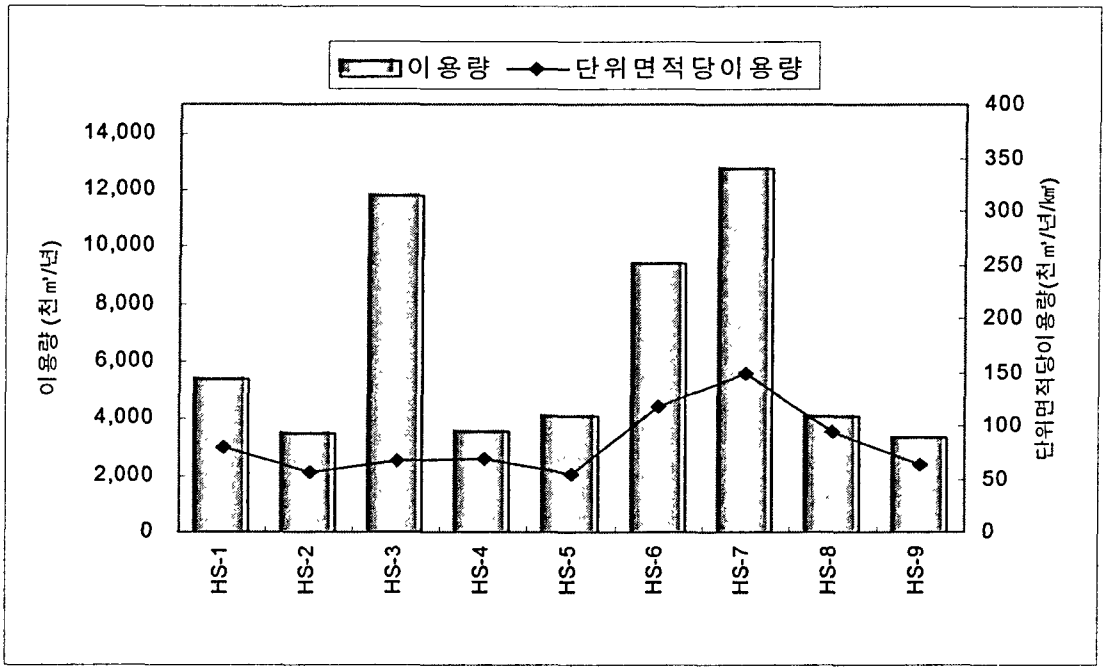
<그림 3-1-5> 읍면별 단위면적당 지하수이용현황

유역별로 볼 때 단위면적당 지하수이용량이 가장 큰 곳은 HS-7과 HS-6 유역으로 각각 149.1과 118.4천㎥/년/㎢이며, HS-5 유역이 55.0천㎥/년/㎢의 가장 낮은 단위면적당 지하수이용량을 갖는 것으로 조사되었다(표 3-1-4, 그림 3-1-6).

유역별 관정개발밀도가 가장 높은 지역은 HS-1과 HS-7 유역(25.9, 17.6 공/㎢)이며, HS-4와 HS-5 유역이 가장 낮은 관정밀도인 4.9공/㎢를 보인다.

<표 3-1-4> 유역별 단위면적당 지하수이용현황

유역	개소수 (공)	이용량 (천㎥/년)	면적 (㎢)	관정밀도 (공/㎢)	단위면적당이용량	
					(천㎥/년/㎢)	(㎥/일/㎢)
계	7,461	57,852	687.7	10.8	84.1	230.5
HS-1	1,723	5,377	66.6	25.9	80.8	221.2
HS-2	781	3,471	61.4	12.7	56.6	155.0
HS-3	1,262	11,790	173.4	7.3	68.0	186.3
HS-4	255	3,544	51.7	4.9	68.6	188.0
HS-5	361	4,058	73.8	4.9	55.0	150.7
HS-6	666	9,440	79.8	8.4	118.4	324.3
HS-7	1,505	12,773	85.7	17.6	149.1	408.6
HS-8	492	4,061	42.8	11.5	94.9	259.9
HS-9	416	3,338	52.7	7.9	63.3	173.4



<그림 3-1-6> 유역별 단위면적당 지하수이용현황

나. 시설물현황

화성시의 지하수관련 기존자료(화성시 지하수행정자료, 농업기반공사 수맥조사보고서 및 농업용대형관정 시설진단자료, 지하수영향조사서 등)를 토대로 신고·허가된 대형암반 관정을 위주로 현장조사를 실시하여 조사공의 위치(좌표), 표고, 개발심도, 지질, 지하수위, 대수층유형, 현장수질 및 사용유무 등을 조사하였고, 수리/수질특성조사를 위하여 우물 등 기타 미신고 소형관정에 대해서도 동일한 조사를 실시하였다.

수집된 기존자료(화성시지하수통합DB) 수는 총 16,807개소로 이들 record는 중복가능이며, 현장조사시 이들 자료를 동일 field로 정리한 후 읍면, 동리, 번지로 정렬하여 현장조사를 하였다. 참고로 2003년 4월 현재 화성시에서 관리하고 있는 관정수는 7,461공이다.

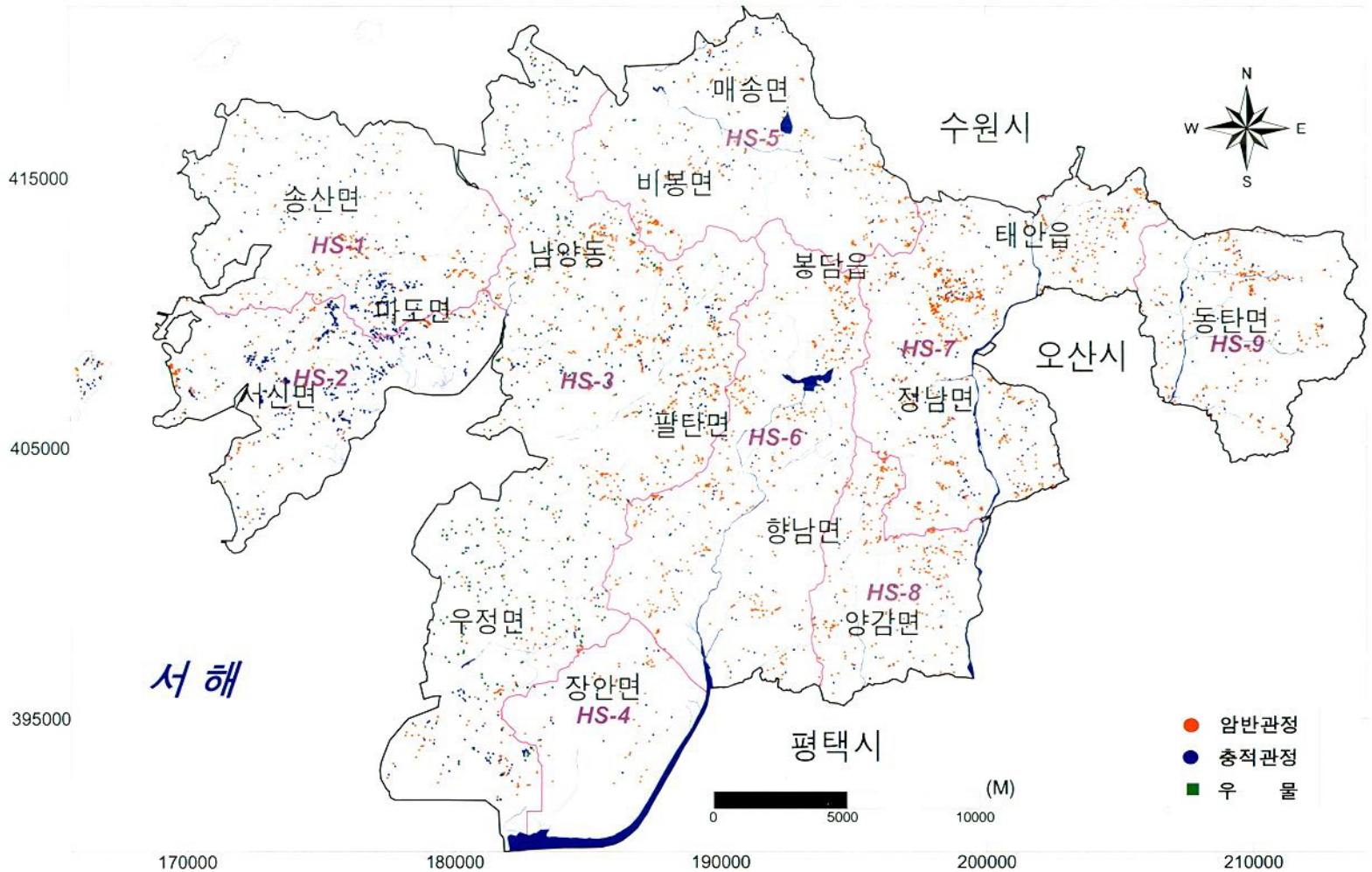
조사가 이루어진 관정은 총 4,771개소로 암반관정 3,001개소, 충적관정 1,770개소(우물 316개소 포함)이며, 허가신고형태로 살펴보면 허가 117개소, 신고 3,304개소, 기타 1,350개소가 조사되었다. 조사관정위치도는 그림 3-1-7에 나타내었고, 세부조사내역은 부록에 수록하였다.

[화성시 지하수DB 및 현장조사 내역]

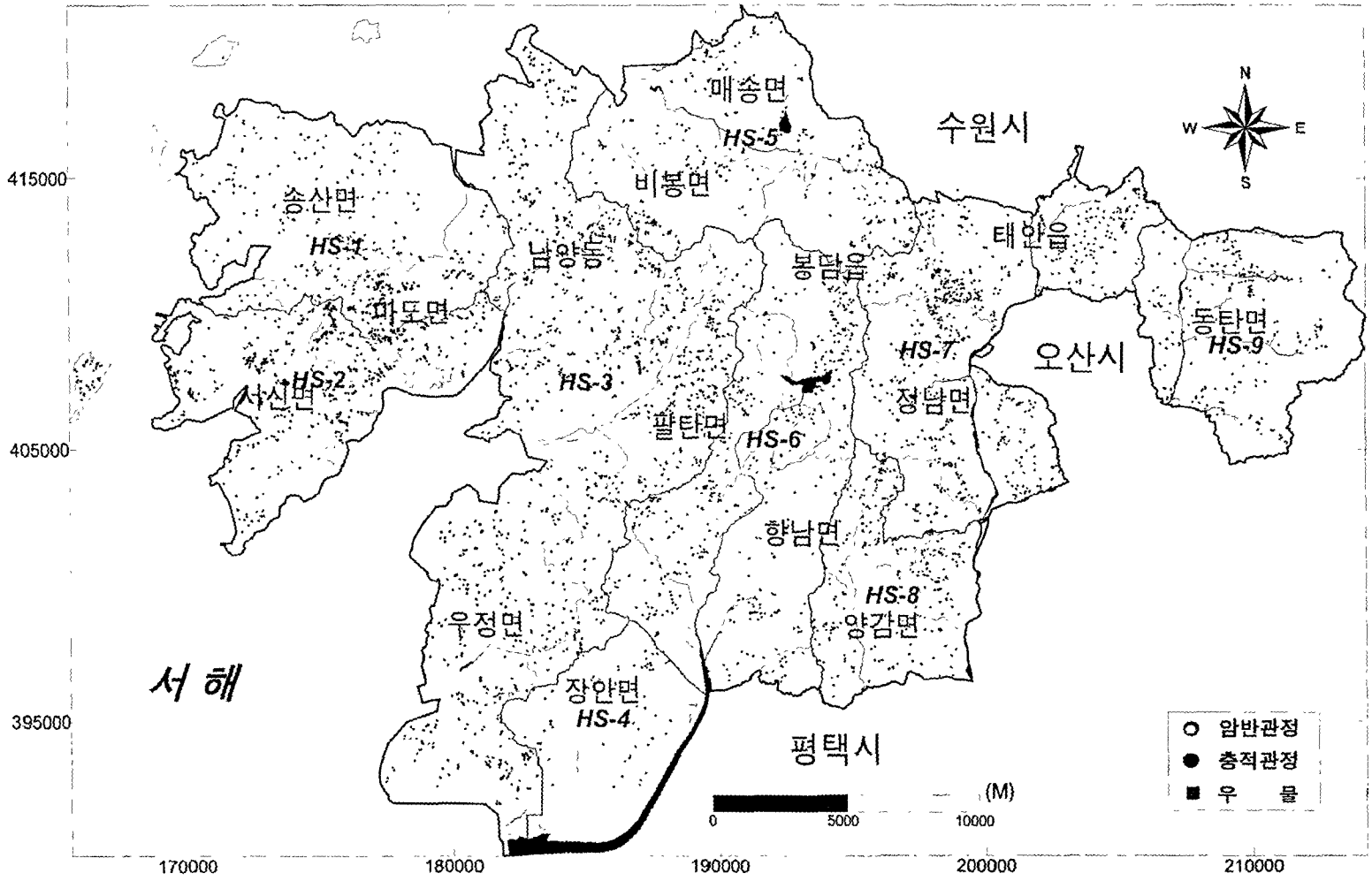
구 분	조사공수	record수	비 고
계	4,771	-	
화성시지하수통합DB	1,046	16,807	중복가능
화성시 관리DB	2,417	7,461	화성시지하수통합DB에 포함됨
기 타	1,308	-	미신고관정

조사된 관정은 '화성시 지하수'의 영어첫글자를 이용『HG00000』과 같은 형식으로 일련번호를 부여하여 GIS 시스템과 연계토록 하였다.

조사관정의 읍면별/유역별/용도별 공수는 표 3-1-5~6과 그림 3-1-8~10과 같으며, 암반관정 조사 개소수가 가장 많은 읍면은 팔탄면과 남양동으로 각각 350공(11.7%)과 301공(10.0%)이었으며, 유역별로 볼 때 HS-7 유역과 HS-3 유역에서 각각 705공(23.5%)과 693공(23.1%)을 조사하였다.



<그림 3-1-7> 화성시 수계 및 현장조사관정 위치도

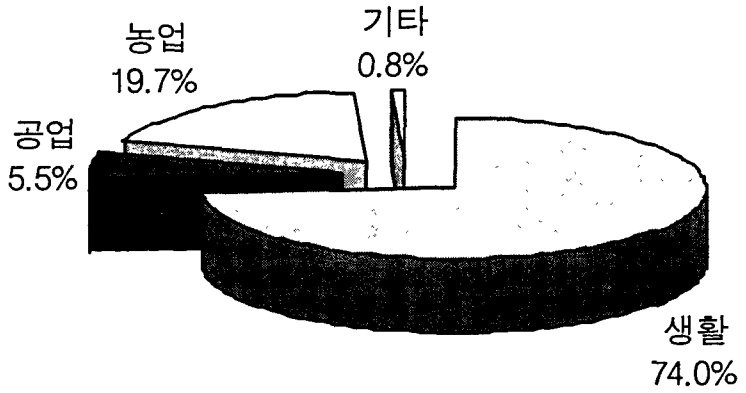


<그림 3-1-7> 화성시 수계 및 현장조사관정 위치도

<표 3-1-5> 읍면별, 용도별 관정현황

(단위 : 공)

구 분		계	용도별					용도불명	우물
			소계	생활	공업	농업	기타		
계	계	4,771	4,311	3,190	235	853	33	144	316
	암반	3,001	2,926	2,354	220	321	31	75	-
	충적	1,770	1,385	836	15	532	2	69	316
남양동	소계	521	369	287	25	57	0	29	123
	암반	301	290	232	22	36	0	11	-
	충적	220	79	55	3	21	0	18	123
동탄면	소계	269	259	241	8	8	2	4	6
	암반	218	214	201	7	4	2	4	-
	충적	51	45	40	1	4	0	0	6
마도면	소계	476	463	192	6	265	0	6	7
	암반	112	106	87	5	14	0	6	-
	충적	364	357	105	1	251	0	0	7
매송면	소계	111	103	62	1	40	0	6	2
	암반	71	65	48	1	16	0	6	-
	충적	40	38	14	0	24	0	0	2
봉담읍	소계	345	332	282	18	26	6	11	2
	암반	289	281	245	18	12	6	8	-
	충적	56	51	37	0	14	0	3	2
비봉면	소계	179	164	120	3	40	1	7	8
	암반	130	128	99	2	26	1	2	-
	충적	49	36	21	1	14	0	5	8
서신면	소계	431	423	334	1	86	2	0	8
	암반	154	154	105	1	46	2	0	-
	충적	277	269	229	0	40	0	0	8
송산면	소계	212	206	112	2	91	1	0	6
	암반	118	118	74	2	41	1	0	-
	충적	94	88	38	0	50	0	0	6
양감면	소계	204	198	156	23	19	0	6	0
	암반	177	175	138	23	14	0	2	-
	충적	27	23	18	0	5	0	4	0
우정면	소계	317	192	166	12	13	1	20	105
	암반	118	112	95	11	5	1	6	-
	충적	199	80	71	1	8	0	14	105
장안면	소계	235	195	157	9	25	4	11	29
	암반	152	150	120	8	18	4	2	-
	충적	83	45	37	1	7	0	9	29
정남면	소계	388	375	271	31	66	7	12	2
	암반	296	289	225	30	27	7	7	-
	충적	93	86	46	1	39	0	5	2
태안읍	소계	345	328	270	33	20	5	18	0
	암반	292	278	229	31	13	5	14	-
	충적	54	50	41	2	7	0	4	0
팔탄면	소계	473	447	355	28	63	1	8	18
	암반	350	346	288	24	33	1	4	-
	충적	105	101	67	4	30	0	4	0
향남면	소계	263	257	185	35	34	3	6	0
	암반	223	220	168	35	16	1	3	-
	충적	40	37	17	0	18	2	3	0

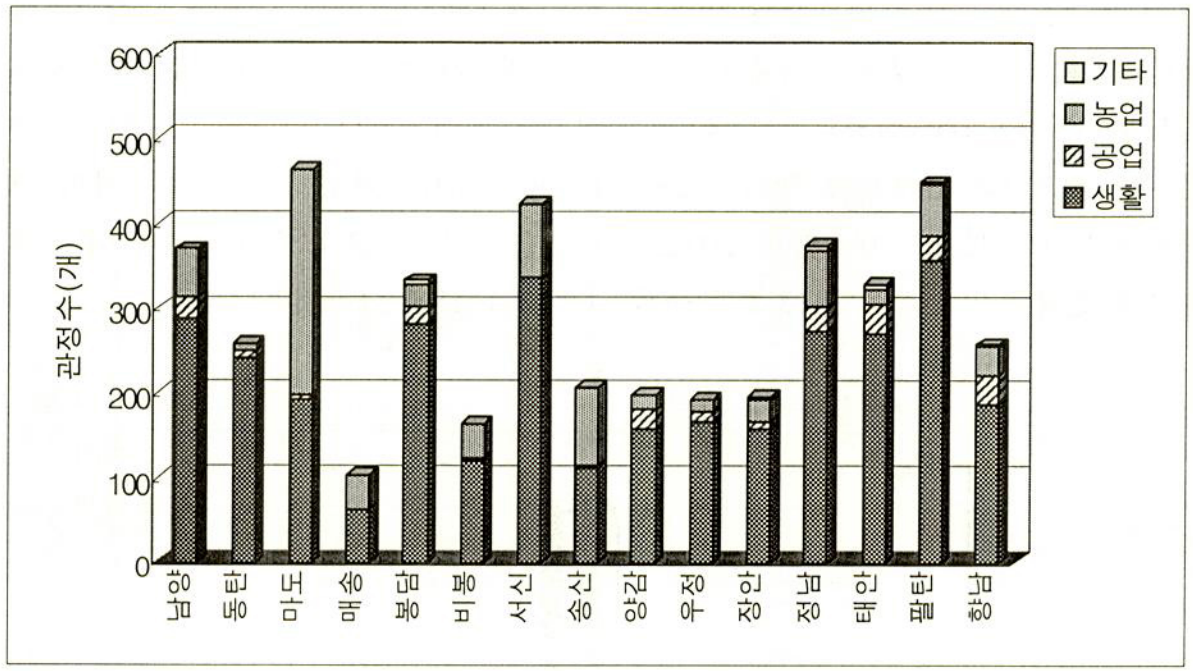


<그림 3-1-8> 조사관정의 용도별 개소수 비율

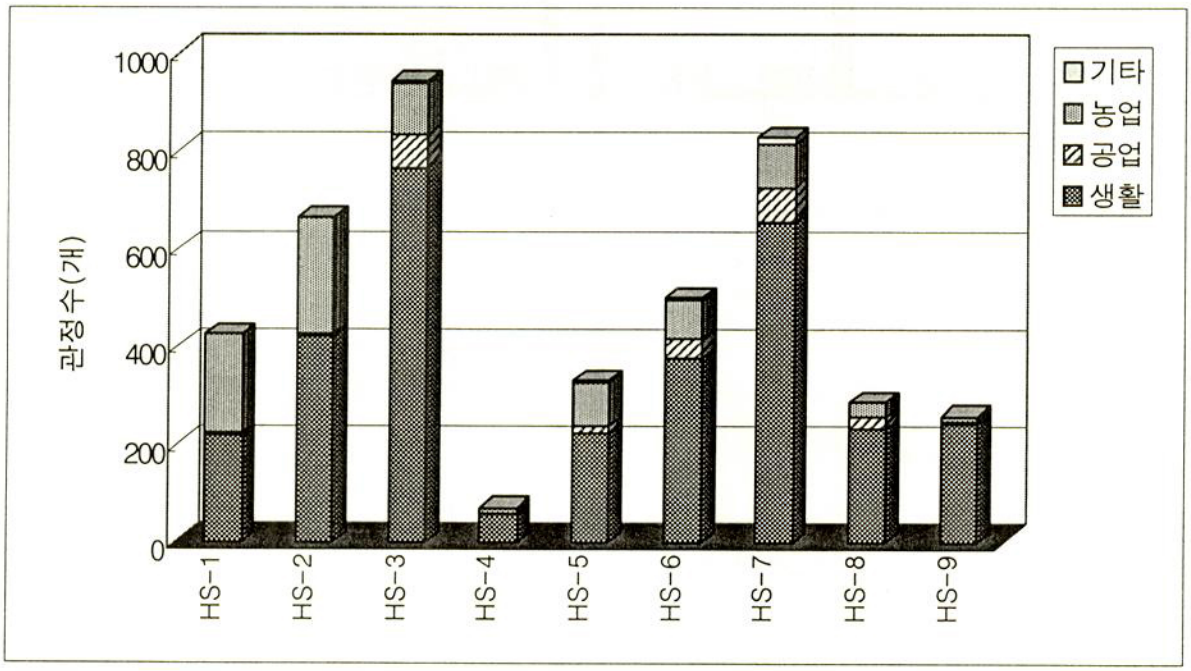
<표 3-1-6> 유역별, 용도별 관정현황

(단위 : 공)

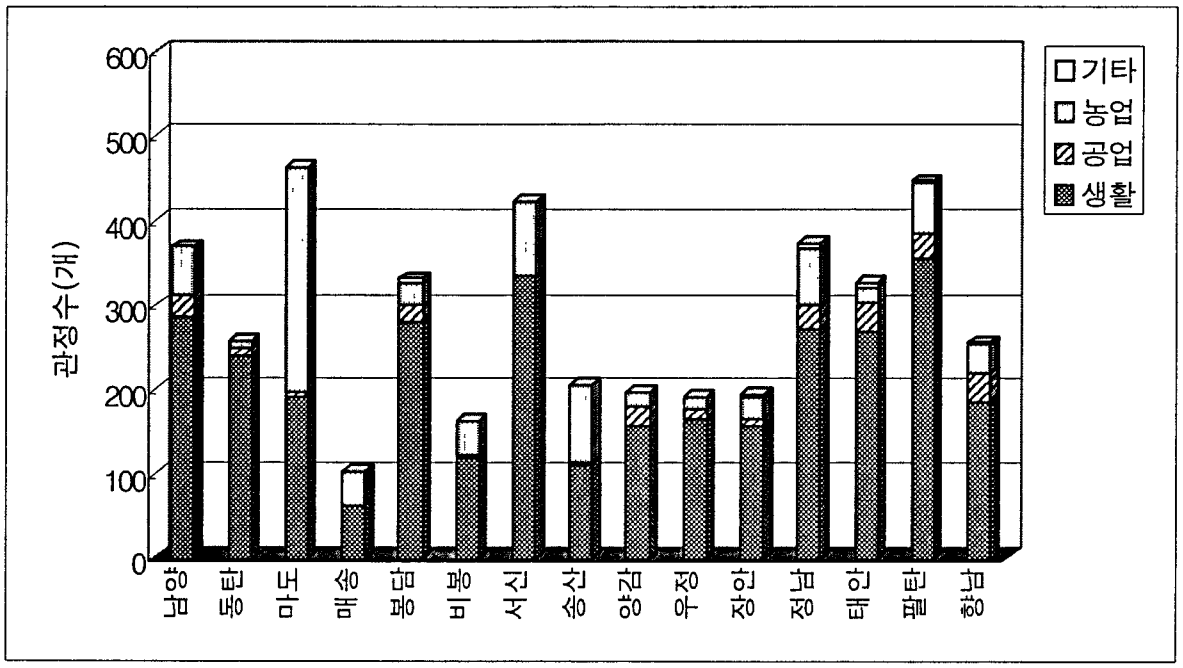
구 분		계	용도별					용도불명	우물
			소계	생활	공업	농업	기타		
계	계	4,771	4,311	3,190	235	853	33	144	316
	암반	3,001	2,926	2,354	220	321	31	75	-
	충적	1,770	1,385	836	15	532	2	69	316
HS-1	소계	440	427	218	3	205	1	4	9
	암반	195	191	135	3	52	1	4	-
	충적	245	236	83	0	153	0	0	9
HS-2	소계	679	665	420	6	237	2	2	12
	암반	189	187	131	5	49	2	2	-
	충적	490	478	289	1	188	0	0	12
HS-3	소계	1,279	940	766	65	104	5	62	277
	암반	693	673	551	55	62	5	20	-
	충적	586	267	215	10	42	0	42	277
HS-4	소계	75	71	60	1	9	1	2	2
	암반	53	53	46	1	5	1	0	-
	충적	22	18	14	0	4	0	2	2
HS-5	소계	348	331	221	16	92	2	11	6
	암반	259	251	184	16	49	2	8	-
	충적	89	80	37	0	43	0	3	6
HS-6	소계	515	499	376	41	78	4	14	2
	암반	430	421	340	41	37	3	9	-
	충적	85	78	36	0	41	1	5	2
HS-7	소계	870	831	656	70	90	15	37	2
	암반	705	679	554	67	44	14	26	-
	충적	165	152	102	3	46	1	11	2
HS-8	소계	296	288	232	25	30	1	8	0
	암반	259	257	212	25	19	1	2	-
	충적	37	31	20	0	11	0	6	0
HS-9	소계	269	259	241	8	8	2	4	6
	암반	218	214	201	7	4	2	4	-
	충적	51	45	40	1	4	0	0	6



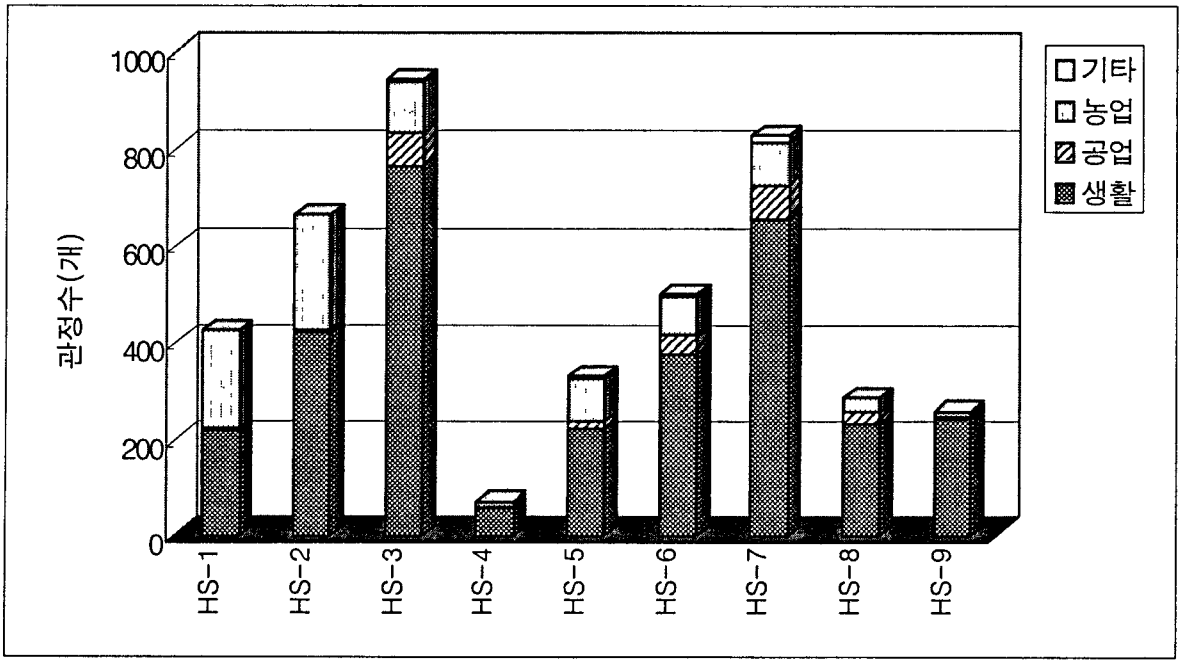
<그림 3-1-9> 읍면별/용도별 조사관정현황



<그림 3-1-10> 유역별/용도별 조사관정현황

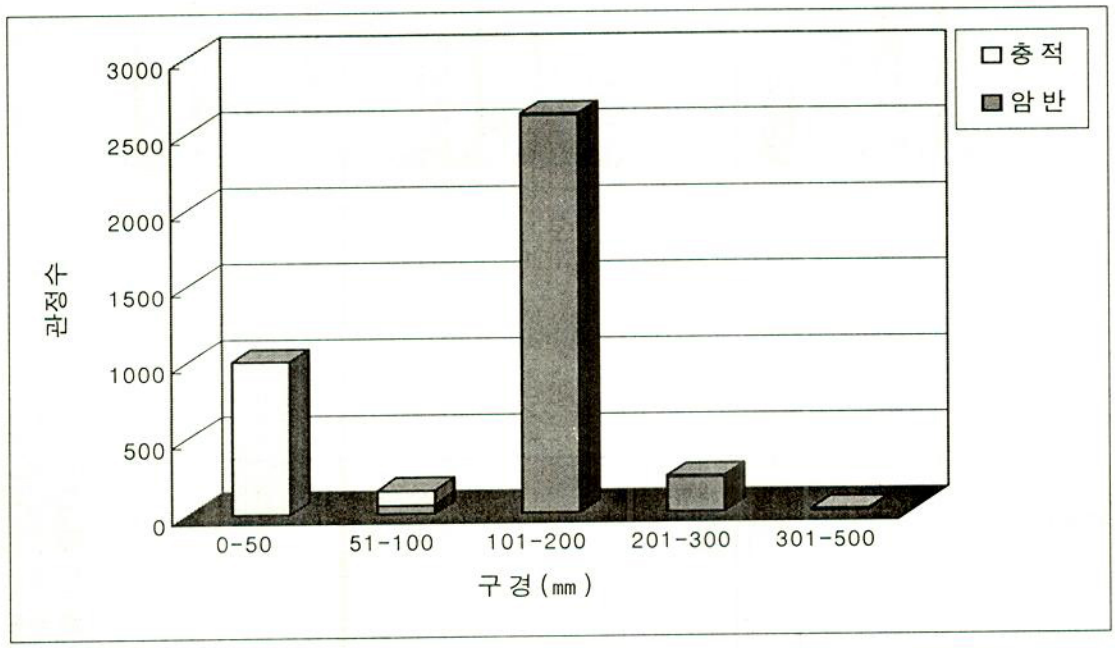


<그림 3-1-9> 읍면별/용도별 조사관정현황



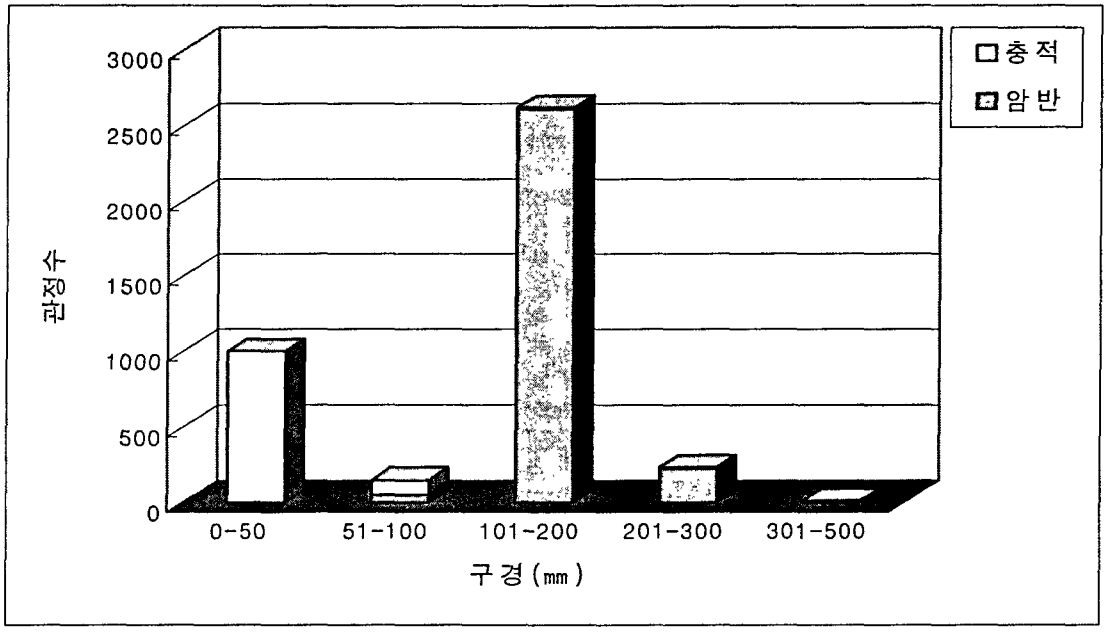
<그림 3-1-10> 유역별/용도별 조사관정현황

우물 및 구경조사 불가능 관정을 제외한 조사관정의 구경별 현황을 살펴보면 암반관정의 경우 대부분의 구경은 101~200㎜(89.8%)이고, 충적관정의 경우 89% 이상(1,001공)이 50㎜이하의 구경을 갖는 것으로 조사되었다. 남양동 및 태안읍 등에서는 1979년과 1980년에 답작용으로 개발한 충적대형관정이 31공 존재하며 그 구경은 200~302㎜로 대부분이 300㎜의 구경을 갖는 것으로 조사되었다. 읍면별 유역별 관정구경 현황은 표 3-1-7~8과 그림 3-1-11에 나타내었다.



<그림 3-1-11> 구경별 조사관정현황

우물 및 구경조사 불가능 관정을 제외한 조사관정의 구경별 현황을 살펴보면 암반관정의 경우 대부분의 구경은 101~200㎜(89.8%)이고, 충적관정의 경우 89% 이상(1,001공)이 50㎜이하의 구경을 갖는 것으로 조사되었다. 남양동 및 태안읍 등에서는 1979년과 1980년에 답작용으로 개발한 충적대형관정이 31공 존재하며 그 구경은 200~302㎜로 대부분이 300㎜의 구경을 갖는 것으로 조사되었다. 읍면별 유역별 관정구경 현황은 표 3-1-7~8과 그림 3-1-11에 나타내었다.



<그림 3-1-11> 구경별 조사관정현황

<표 3-1-7> 읍면별 관정구경현황

(단위 : 공)

구 분		계	구 경 (㎜)				
			50이하	51-100	101-200	201-300	301이상
계	계	4,020	1,001	153	2,616	239	11
	암반	2,898	0	63	2,601	225	9
	충적	1,122	1,001	90	15	14	2
남양면	소계	348	38	10	267	31	2
	암반	292	0	7	266	18	1
	충적	56	38	3	1	13	1
동탄면	소계	238	24	2	207	5	0
	암반	214	0	2	207	5	0
	충적	24	24	0	0	0	0
마도면	소계	435	315	24	91	5	0
	암반	102	0	6	91	5	0
	충적	333	315	18	0	0	0
매송면	소계	102	32	5	56	9	0
	암반	66	0	1	56	9	0
	충적	36	32	4	0	0	0
봉담읍	소계	310	21	6	266	17	0
	암반	283	0	3	263	17	0
	충적	27	21	3	3	0	0
비봉면	소계	165	27	8	110	17	3
	암반	128	0	1	107	17	3
	충적	37	27	7	3	0	0
서신면	소계	366	211	31	108	15	1
	암반	128	0	5	107	15	1
	충적	238	211	26	1	0	0
송산면	소계	132	16	2	84	30	0
	암반	113	0	0	83	30	0
	충적	19	16	2	1	0	0
양감면	소계	200	24	4	166	5	1
	암반	175	0	3	166	5	1
	충적	25	24	1	0	0	0
우정면	소계	146	35	5	102	4	0
	암반	107	0	1	102	4	0
	충적	39	35	4	0	0	0
장안면	소계	173	21	3	131	17	1
	암반	150	0	2	130	17	1
	충적	23	21	1	1	0	0
정남면	소계	375	67	19	241	47	1
	암반	292	0	5	241	46	0
	충적	83	67	14	0	1	1
태안읍	소계	334	41	6	273	14	0
	암반	288	0	5	269	14	0
	충적	46	41	1	4	0	0
팔탄면	소계	440	96	24	302	16	2
	암반	339	0	20	301	16	2
	충적	101	96	4	1	0	0
향남면	소계	256	33	4	212	7	0
	암반	221	0	2	212	7	0
	충적	35	33	2	0	0	0

<표 3-1-8> 유역별 관정구경현황

(단위 : 공)

구 분		계	구 경 (㎜)				
			50이하	51-100	101-200	201-300	301이상
계	계	4,020	1,001	153	2,616	239	11
	암반	2,898	0	63	2,601	225	9
	충적	1,122	1,001	90	15	14	2
HS-1	소계	345	156	10	146	33	0
	암반	181	0	3	145	33	0
	충적	164	156	7	1	0	0
HS-2	소계	588	386	47	137	17	1
	암반	162	0	8	136	17	1
	충적	426	386	39	1	0	0
HS-3	소계	864	170	32	605	53	4
	암반	666	0	20	603	40	3
	충적	198	170	12	2	13	1
HS-4	소계	55	3	2	43	6	1
	암반	52	0	2	43	6	1
	충적	3	3	0	0	0	0
HS-5	소계	320	55	14	225	24	2
	암반	251	0	4	221	24	2
	충적	69	55	10	4	0	0
HS-6	소계	490	61	14	384	30	1
	암반	424	0	10	383	30	1
	충적	66	61	4	1	0	0
HS-7	소계	829	113	26	625	64	1
	암반	692	0	10	619	63	0
	충적	137	113	16	6	1	1
HS-8	소계	291	33	6	244	7	1
	암반	256	0	4	244	7	1
	충적	35	33	2	0	0	0
HS-9	소계	238	24	2	207	5	0
	암반	214	0	2	207	5	0
	충적	24	24	0	0	0	0

조사관정의 심도별 현황을 살펴보면 암반관정의 경우 95.2%가 51~200m의 굴착심도를 보였으며 그중 51~100m(68.8%)의 경우가 가장 많았다. 충적관정의 경우는 11~30m(87.9%)의 굴착심도를 보이는 관정이 가장 많은 것으로 조사되었다. 읍면별 유역별 관정심도 현황은 표 3-1-9~10과 그림 3-1-12에 나타내었다.

<표 3-1-9> 읍면별 관정심도현황

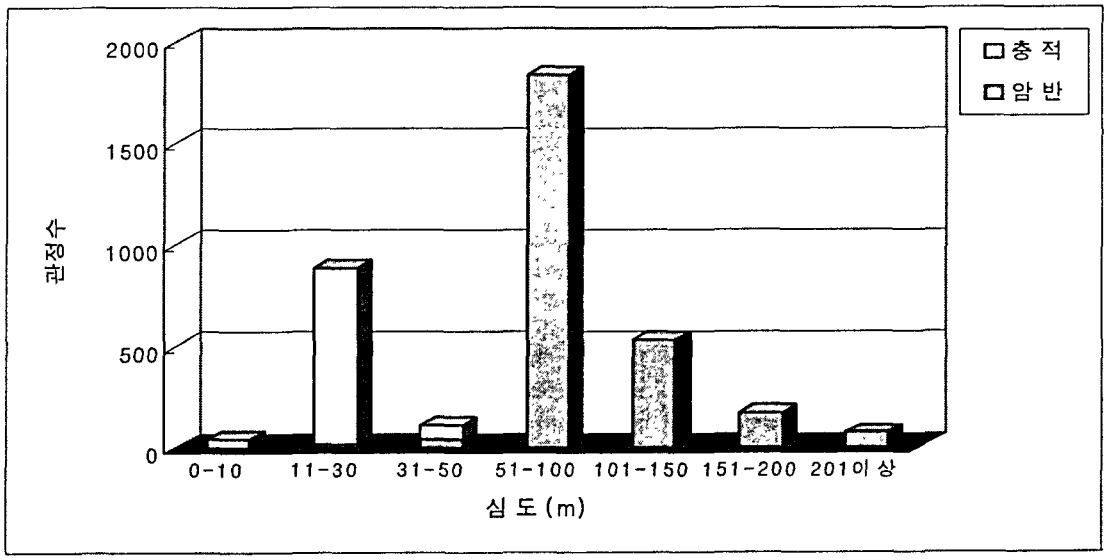
(단위 : 공)

구 분		계	심 도(m)						
			10이하	11-30	31-50	51-100	101-150	151-200	201이상
계	계	3,659	46	887	115	1,838	530	170	73
	암반	2,666	0	14	41	1,838	530	170	73
	충적	993	46	873	74	0	0	0	0
남양면	소계	316	13	43	7	175	46	28	4
	암반	259	0	2	4	175	46	28	4
	충적	57	13	41	3	0	0	0	0
동탄면	소계	235	1	27	1	138	48	12	8
	암반	208	0	1	1	138	48	12	8
	충적	27	1	26	0	0	0	0	0
마도면	소계	426	9	328	6	57	18	5	3
	암반	88	0	2	3	57	18	5	3
	충적	338	9	. 326	3	0	0	0	0
매송면	소계	86	1	23	6	34	16	5	1
	암반	60	0	0	4	34	16	5	1
	충적	26	1	23	2	0	0	0	0
봉담읍	소계	290	1	11	4	216	43	12	3
	암반	275	0	0	1	216	43	12	3
	충적	15	1	11	3	0	0	0	0
비봉면	소계	141	1	16	3	91	24	4	2
	암반	122	0	0	1	91	24	4	2
	충적	19	1	16	2	0	0	0	0
서신면	소계	350	10	220	21	67	21	6	5
	암반	112	0	1	12	67	21	6	5
	충적	238	10	219	9	0	0	0	0
송산면	소계	125	0	21	4	68	23	5	4
	암반	101	0	0	1	68	23	5	4
	충적	24	0	21	3	0	0	0	0
양감면	소계	186	1	21	5	114	31	11	3
	암반	164	0	1	4	114	31	11	3
	충적	22	1	20	1	0	0	0	0
우정면	소계	124	3	21	0	63	17	3	1
	암반	84	0	0	0	63	17	3	1
	충적	40	3	21	16	0	0	0	0
장안면	소계	168	2	14	12	99	31	7	3
	암반	142	0	1	1	99	31	7	3
	충적	26	2	13	11	0	0	0	0
정남면	소계	322	1	33	14	205	48	19	2
	암반	280	0	2	4	205	48	19	2
	충적	42	1	31	10	0	0	0	0
태안읍	소계	288	0	30	3	181	52	14	8
	암반	257	0	1	1	181	52	14	8
	충적	31	0	29	2	0	0	0	0
팔탄면	소계	378	0	55	9	202	66	25	21
	암반	319	0	3	2	202	66	25	21
	충적	59	0	52	7	0	0	0	0
향남면	소계	224	3	24	4	128	46	14	5
	암반	195	0	0	2	128	46	14	5
	충적	29	3	24	2	0	0	0	0

<표 3-1-10> 유역별 관정심도현황

(단위 : 공)

구분		계	심 도(m)						
			10이하	11-30	31-50	51-100	101-150	151-200	201이상
계	계	3,659	46	887	115	1,838	530	170	73
	암반	2,666	0	14	41	1,838	530	170	73
	충적	993	46	873	74	0	0	0	0
HS-1	소계	327	7	158	9	107	31	8	7
	암반	159	0	2	4	107	31	8	7
	충적	168	7	156	5	0	0	0	0
HS-2	소계	574	12	411	22	85	31	8	5
	암반	142	0	1	12	85	31	8	5
	충적	432	12	410	10	0	0	0	0
HS-3	소계	771	18	133	39	405	115	48	13
	암반	590	0	4	5	405	115	48	13
	충적	181	18	129	34	0	0	0	0
HS-4	소계	56	0	2	2	39	12	1	0
	암반	52	0	0	0	39	12	1	0
	충적	4	0	2	2	0	0	0	0
HS-5	소계	278	3	33	10	163	51	15	3
	암반	238	0	0	6	163	51	15	3
	충적	40	3	33	4	0	0	0	0
HS-6	소계	432	3	25	9	268	76	29	22
	암반	400	0	2	3	268	76	29	22
	충적	32	3	23	6	0	0	0	0
HS-7	소계	725	1	70	17	470	119	36	12
	암반	645	0	3	5	470	119	36	12
	충적	80	1	67	12	0	0	0	0
HS-8	소계	261	1	28	6	163	47	13	3
	암반	232	0	1	5	163	47	13	3
	충적	29	1	27	1	0	0	0	0
HS-9	소계	235	1	27	1	138	48	12	8
	암반	208	0	1	1	138	48	12	8
	충적	27	1	26	0	0	0	0	0



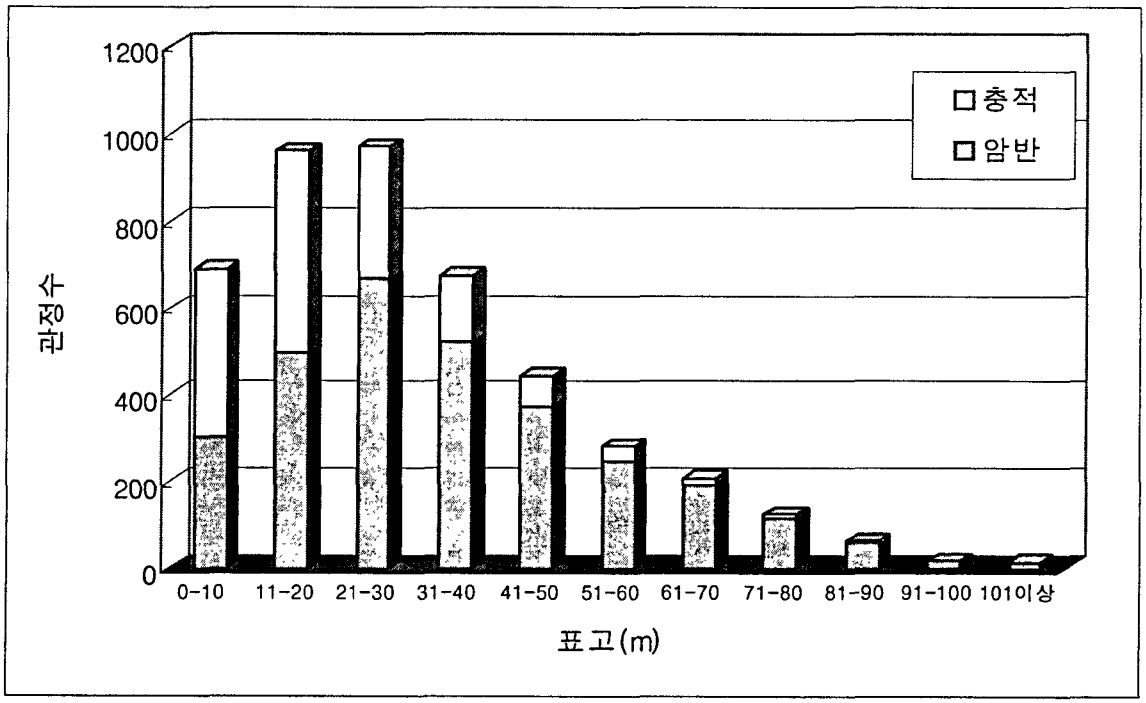
<그림 3-1-12> 심도별 조사관정현황

표고별 관정개발현황을 살펴보면 해발기준 30m 이하에서의 암반관정개발비율은 78.0%이고, 충적관정의 개발비율은 68.3%인 것으로 보아 주로 생활거주지인 저지대에서 관정개발이 이루어지는 것으로 조사되었다(표 3-1-11, 그림 3-1-13).

<표 3-1-11> 표고별 관정개발현황

(단위 : 공)

표고	계	암반	충적
계	4,452	3001	1,451
0-10	691	301	390
11-20	961	496	465
21-30	970	667	303
31-40	677	521	156
41-50	444	372	72
51-60	280	245	35
61-70	206	191	15
71-80	124	114	10
81-90	64	61	3
91-100	19	18	1
101이상	16	15	1



<그림 3-1-13> 표고별 관정개발현황

다. 폐공현황

화성시 지하수 이용현황조사 집계대상 관정 중 원상복구된 관정들의 폐공 발생 원인별 내역은 표 3-1-12에 나타나 있다. 표에서 나타나는 바와 같이 원상복구된 관정은 모두 117공으로서 소형관정 27공, 대형관정이 90공이며, 폐공 발생 원인별 현황을 살펴보면, 수량부족이 5공, 상수도대체로 인한 폐공이 9공, 염분증가로 인한 폐공이 9공, 토지형질변경으로 인한 폐공이 20공, 기타 사유로 인한 폐공이 74공이다.

<표 3-1-12> 지하수관정의 폐공 발생 원인별 현황

구분		계	폐공발생원인						
			수량부족	수질악화	상수도대체	토지형질변경	용도상실	염분증가	기타
계	계	117	5	-	9	20	-	9	74
	소형	27	1	-	4	10	-	-	12
	대형	90	4	-	5	10	-	9	62
남양	계	2	-	-	-	-	-	-	2
	소형	-	-	-	-	-	-	-	-
	대형	2	-	-	-	-	-	-	2
동탄	계	6	-	-	-	1	-	-	5
	소형	-	-	-	-	-	-	-	-
	대형	6	-	-	-	1	-	-	5
마도	계	14	1	-	-	4	-	-	9
	소형	8	-	-	-	3	-	-	5
	대형	6	1	-	-	1	-	-	4
매송	계	12	1	-	-	2	-	-	9
	소형	2	-	-	-	1	-	-	1
	대형	10	1	-	-	1	-	-	8
봉담	계	19	-	-	4	3	-	-	12
	소형	1	-	-	-	-	-	-	1
	대형	18	-	-	4	3	-	-	11
비봉	계	6	1	-	-	-	-	-	5
	소형	-	-	-	-	-	-	-	-
	대형	6	1	-	-	-	-	-	5
서신	계	27	-	-	4	4	-	7	12
	소형	10	-	-	4	3	-	-	3
	대형	17	-	-	-	1	-	7	9
송산	계	12	2	-	1	5	-	1	3
	소형	3	1	-	-	2	-	-	-
	대형	9	1	-	1	3	-	1	3
우정	계	1	-	-	-	-	-	1	-
	소형	-	-	-	-	-	-	-	-
	대형	1	-	-	-	-	-	1	-
정남	계	7	-	-	-	1	-	-	6
	소형	2	-	-	-	1	-	-	1
	대형	5	-	-	-	-	-	-	5
태안	계	10	-	-	-	-	-	-	10
	소형	1	-	-	-	-	-	-	1
	대형	9	-	-	-	-	-	-	9
팔탄	계	1	-	-	-	-	-	-	1
	소형	-	-	-	-	-	-	-	-
	대형	1	-	-	-	-	-	-	1

3.1.2 잠재오염원 현황

잠재오염원(지하수의 잠재오염원)이란 지하수 오염의 원인이 되는 유해물질(hazardous material)을 생산, 저장, 취급, 운반, 가공 및 처리함으로써 지하수를 오염시킬 우려가 있는 시설, 장치, 구조물, 장소를 의미한다.

잠재오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분되며, 점오염원은 폐수배출시설, 오수 정화시설, 지하저장탱크 등과 같이 오염배출원이 뚜렷한 장소인 점의 형태로 존재하면서 오염을 유발시키고, 비점오염원은 골프장 및 대규모 농경지 등과 같이 넓은 지역에 면의 형태로 퍼져 있는 상태를 말한다.

가. 점오염원

현장조사 및 DB/GIS화된 점오염원의 현황은 표 3-1-13 및 그림 3-1-14와 같다.

<표 3-1-13> 점오염원 분포현황

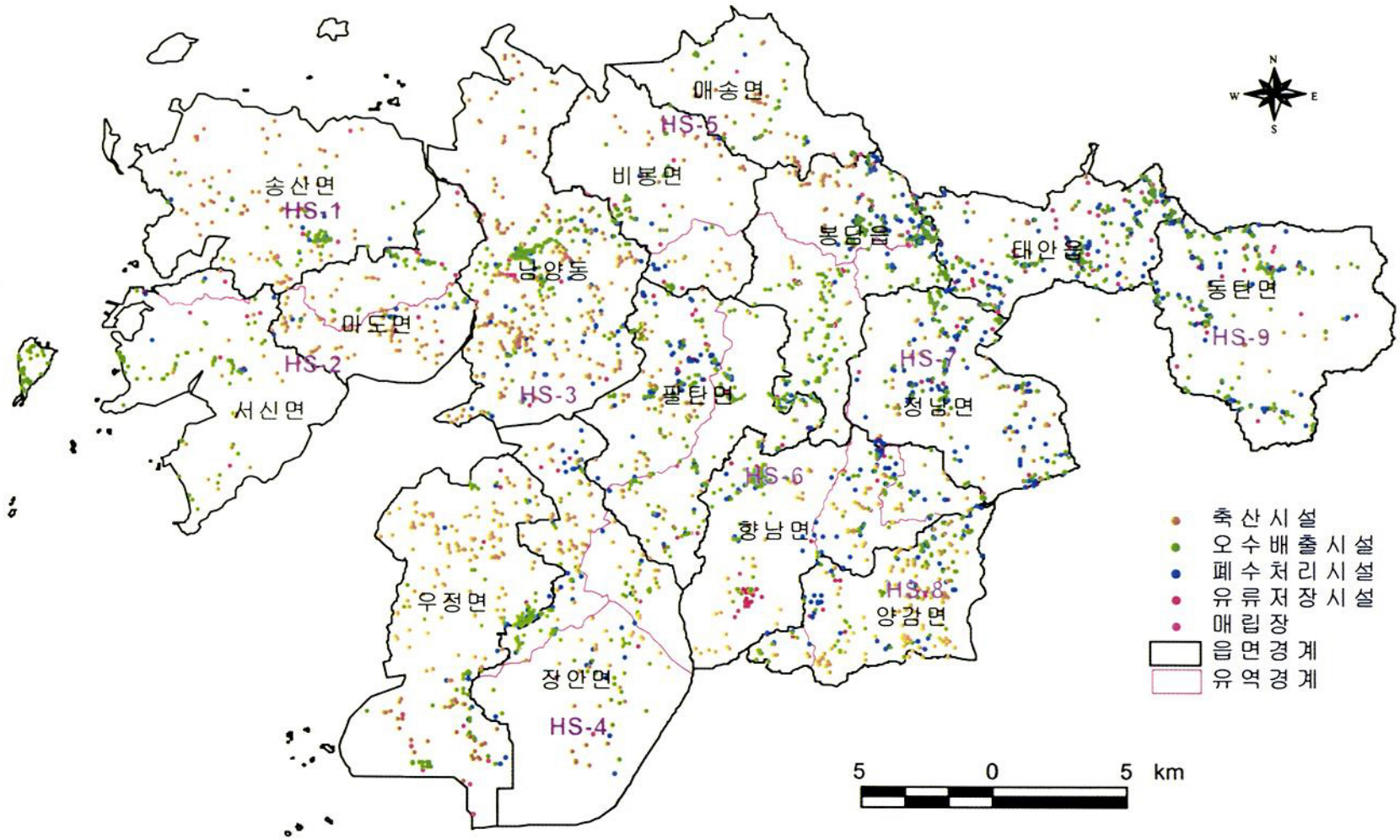
(단위 : 개소)

읍면	축사	폐수 배출시설	오수 배출시설	유류 저장시설	쓰레기 매립지
계	1,047	717	1,579	291	8
남양동	220	55	163	13	1
동탄면	11	72	114	30	-
마도면	73	20	37	10	1
매송면	40	6	33	4	1
봉담읍	44	78	194	18	1
비봉면	42	16	48	11	-
서신면	16	8	113	8	-
송산면	72	15	50	4	1
양감면	100	54	73	16	-
우정면	153	35	127	13	1
장안면	85	42	95	13	-
정남면	49	95	94	28	-
태안읍	15	96	146	49	1
팔탄면	57	75	156	33	1
향남면	70	50	136	41	-

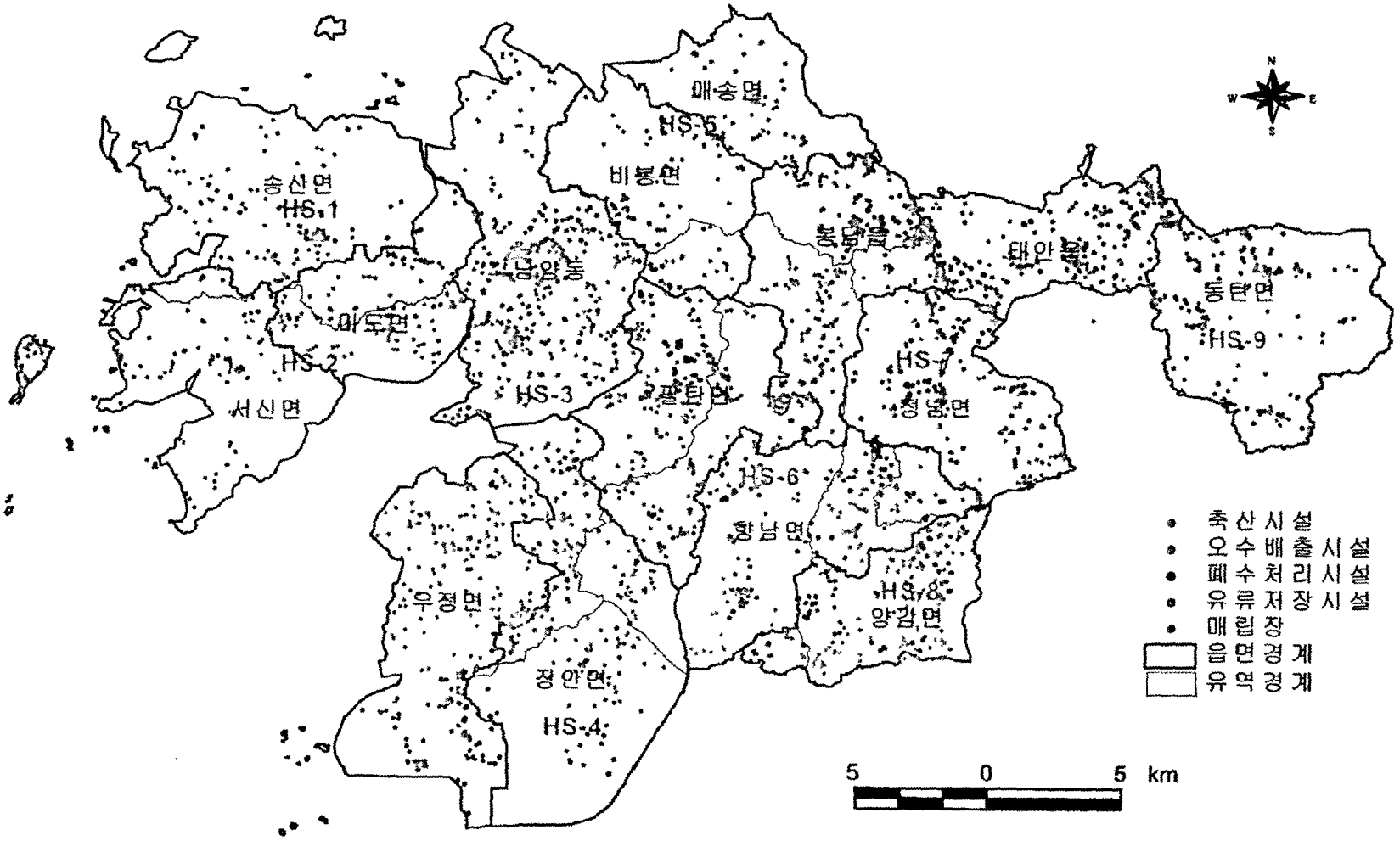
※ 상기 자료는 통계연보 자료와 상이할 수 있습니다.

위의 표에서 가장 많은 분포현황을 보이는 인자는 오수배출시설로서 1,579개소에 이르며 동 시설이 조사지역의 지배적인 점오염원으로 판단된다. 이는 최근에 화성군이 화성시로 승격되면서 많은 발전이 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 또한, 축사시설도 1,047개소로서 오수배출시설과 더불어 주요 점오염원으로 고려된다.

지역별로는 축산시설인 경우 남양동이 220개소로 가장 많이 있고, 폐수배출시설은 태안읍이 96개소, 오수배출시설은 봉담읍이 194개소, 유류저장시설은 태안읍이 49개소로 가장 많이 나타나고 있다. 그리고 쓰레기매립지인 경우 팔탄면에 1개소는 현재 활용중이고, 제외한 나머지 7개소는 모두 사용 종료된 매립지이다.



<그림 3-1-14> 점오염원 위치도



<그림 3-1-14> 점오염원 위치도

나. 비점오염원

□ 골프장

2001년 12월 현재 화성시에 운영중인 골프장은 동탄면 2개소, 팔탄면 1개소, 정남면 1개소이며, 전체 면적은 6.34㎢로 화성시 면적의 0.92%에 해당된다.

□ 농경지

대규모농경지에 해당하는 농업진흥지역은 농지를 효율적으로 이용·보전하기 위하여 농지법 제30조에 의거하여 시·도지사가 지정하며, 이를 다시 용도구역으로 구분하여 농업진흥구역과 농업보호구역으로 지정한다.

농업진흥구역은 농지조성사업 또는 농업기반정비사업이 기시행 또는 시행중인 지역으로서 농업용으로 이용하고 있거나 이용할 토지가 집단화되어 있는 지역과, 이외의 지역으로서 농업용으로 이용할 토지가 집단화되어 있는 지역을 대상으로 한다.

농업보호구역은 농업진흥지역의 용수원 확보 등 농업환경 보호를 위하여 필요한 지역에 지정토록 하고 있다.

2001년 12월 기준으로 화성시의 농경지 면적은 전체면적 68,765ha의 38.9%인 26,783ha이며, 이중 농업진흥지역으로 지정된 면적은 61.9%에 해당하는 16,599ha이다.

다. 오염부하량

잠재오염원은 점오염원과 비점오염원으로 대별되며, 부하량 산정을 위하여 조사된 점오염원으로는 사람에 의하여 발생되는 생활하수와 가축사육으로 인하여 발생되는 축산폐수, 비점오염원으로는 토지이용(전, 답, 대지, 임야, 기타)에 따른 우수에 의한 유출수를 대상으로 산출하였다.

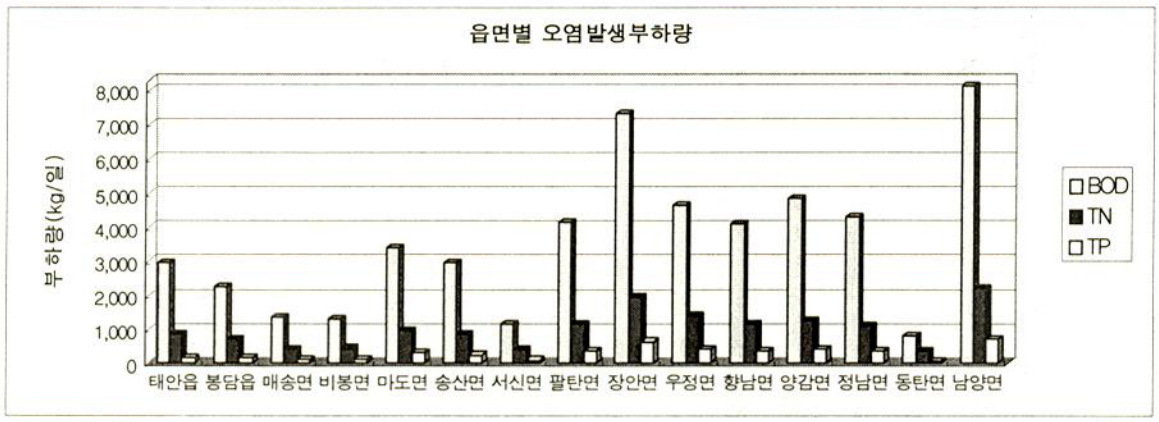
인자별 발생오염부하량은 다음 식에 의하여 산출된다.

- 축산폐수 오염발생부하량 = ∑(가축종별 마리수 × 발생원단위)
- 생활하수 오염발생부하량 = ∑(인구수 × 발생원단위)
- 토지이용 오염발생부하량 = ∑(토지지목별 면적 × 발생원단위)

상기 식에 의하여 산출된 조사지역내 잠재오염원 발생부하량은 표 3-1-14, 그림 3-1-15~16과 같다.

조사지구 전체에 대한 오염발생부하량을 상위 순서로 나열하면 BOD > T-N > T-P 순으로 나타나며, 잠재오염원별 오염부하량은 가축 > 인구 > 토지이용 순으로 조사되었다(그림 3-1-16).

조사지구내 가축에 의한 오염발생부하량은 남양면이 가장 크고, 인구에 의한 오염발생부하량은 인구수에 비례하여 태안읍이 매우 월등히 크며, 토지이용에 따른 오염발생부하량은 장안면이 가장 높게 나타나는 것으로 조사되었다.



<그림 3-1-15> 읍면별 오염발생부하량

다. 오염부하량

잠재오염원은 점오염원과 비점오염원으로 대별되며, 부하량 산정을 위하여 조사된 점오염원으로는 사람에 의하여 발생되는 생활하수와 가축사육으로 인하여 발생되는 축산폐수, 비점오염원으로는 토지이용(전, 답, 대지, 임야, 기타)에 따른 우수에 의한 유출수를 대상으로 산출하였다.

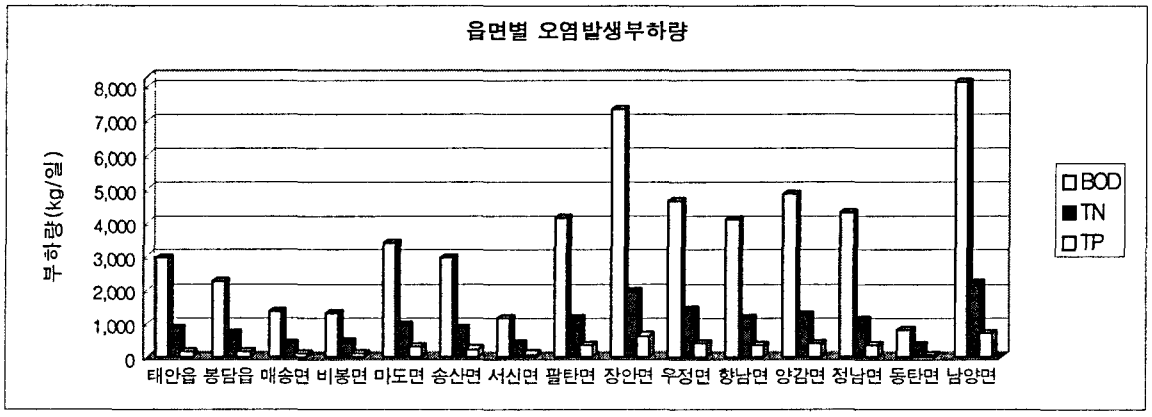
인자별 발생오염부하량은 다음 식에 의하여 산출된다.

- 축산폐수 오염발생부하량 = ∑(가축종별 마리수 × 발생원단위)
- 생활하수 오염발생부하량 = ∑(인구수 × 발생원단위)
- 토지이용 오염발생부하량 = ∑(토지지목별 면적 × 발생원단위)

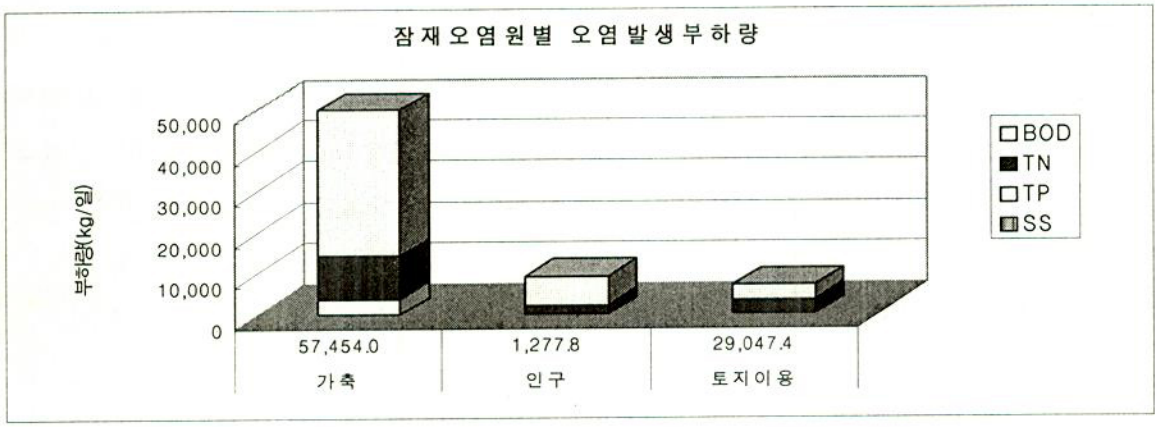
상기 식에 의하여 산출된 조사지역내 잠재오염원 발생부하량은 표 3-1-14, 그림 3-1-15~16과 같다.

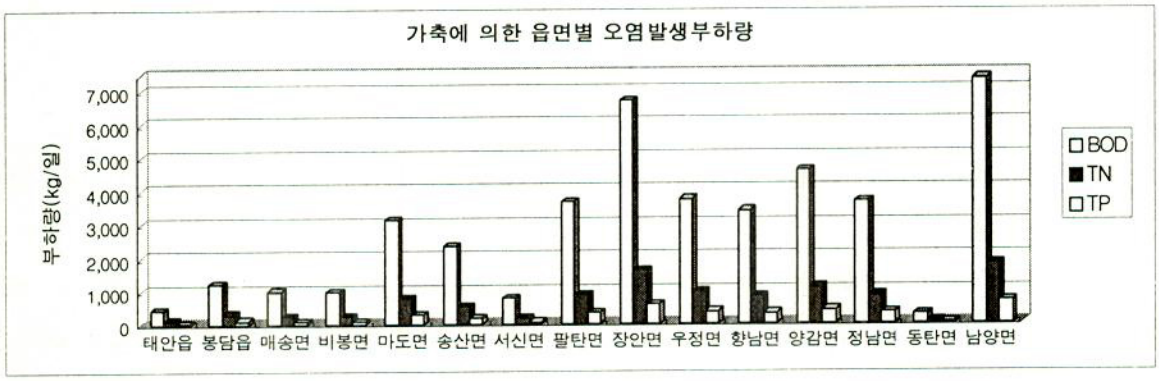
조사지구 전체에 대한 오염발생부하량을 상위 순서로 나열하면 BOD > T-N > T-P 순으로 나타나며, 잠재오염원별 오염부하량은 가축 > 인구 > 토지이용 순으로 조사되었다(그림 3-1-16).

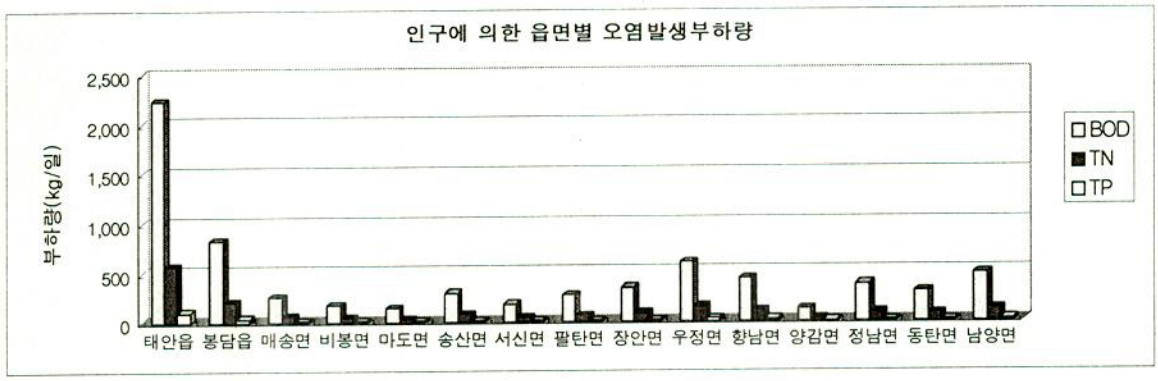
조사지구내 가축에 의한 오염발생부하량은 남양면이 가장 크고, 인구에 의한 오염발생부하량은 인구수에 비례하여 태안읍이 매우 월등히 크며, 토지이용에 따른 오염발생부하량은 장안면이 가장 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

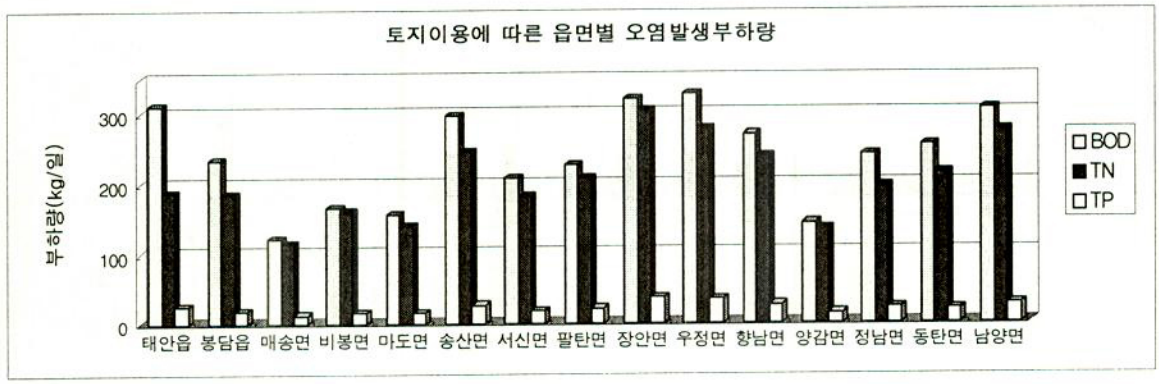


<그림 3-1-15> 읍면별 오염발생부하량

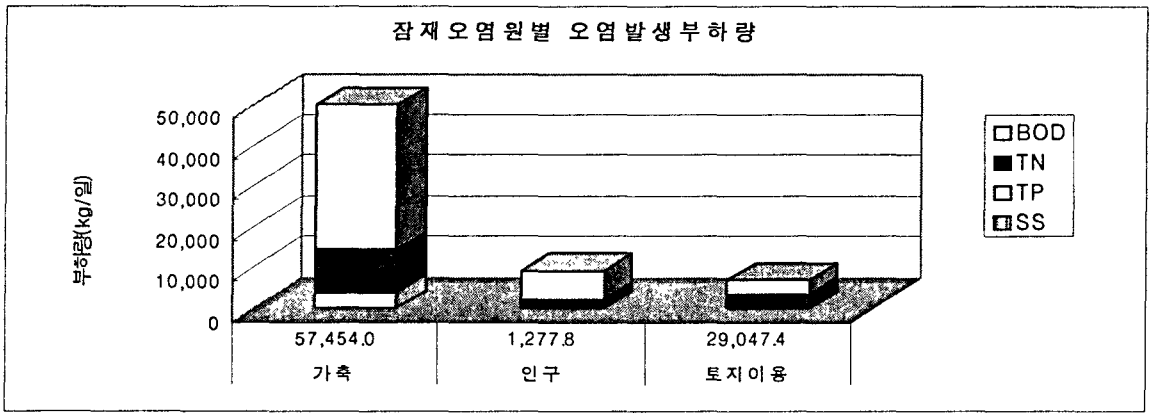


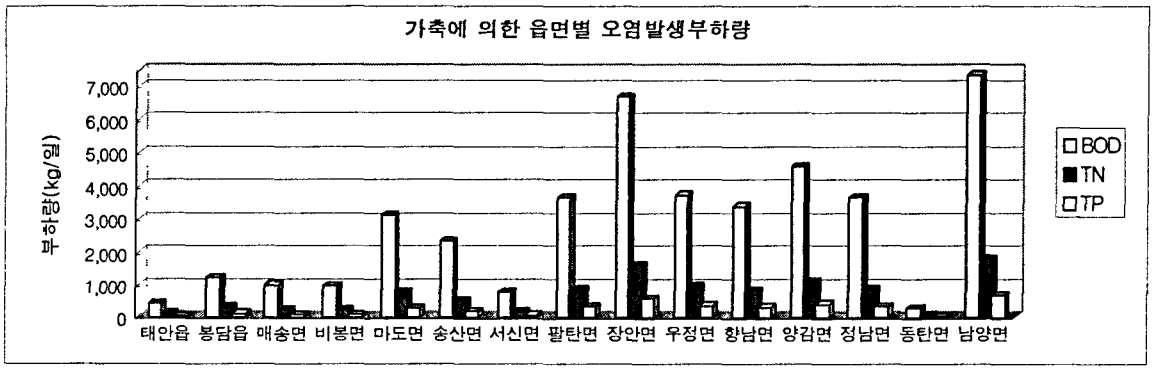


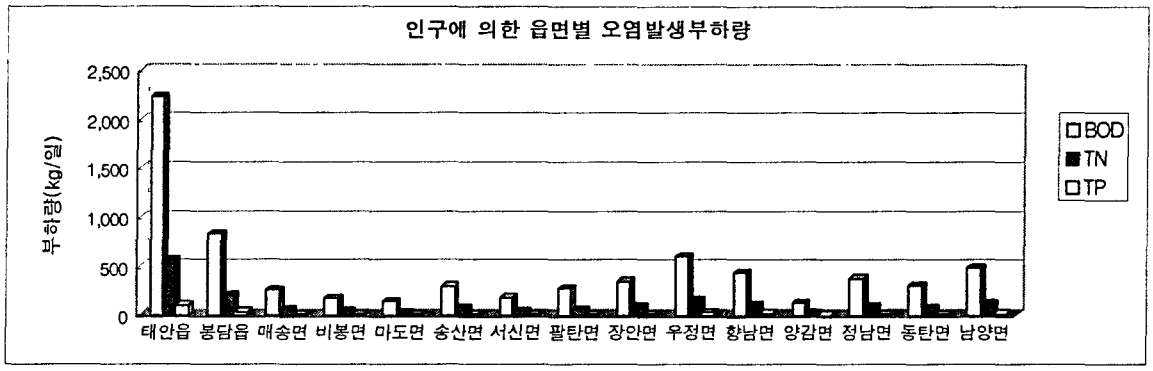


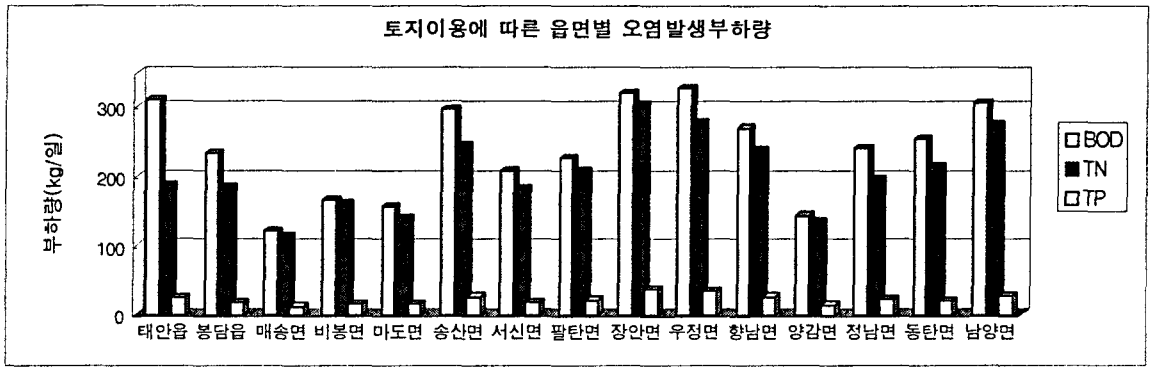


<그림 3-1-16> 잠재오염원별 부하량









<그림 3-1-16> 잠재오염원별 부하량

<표 3-1-14> 화성시 잠재오염원 발생부하량 현황

(단위 : 부하량 kg/일, 단위면적당 부하량 kg/일/km^2)

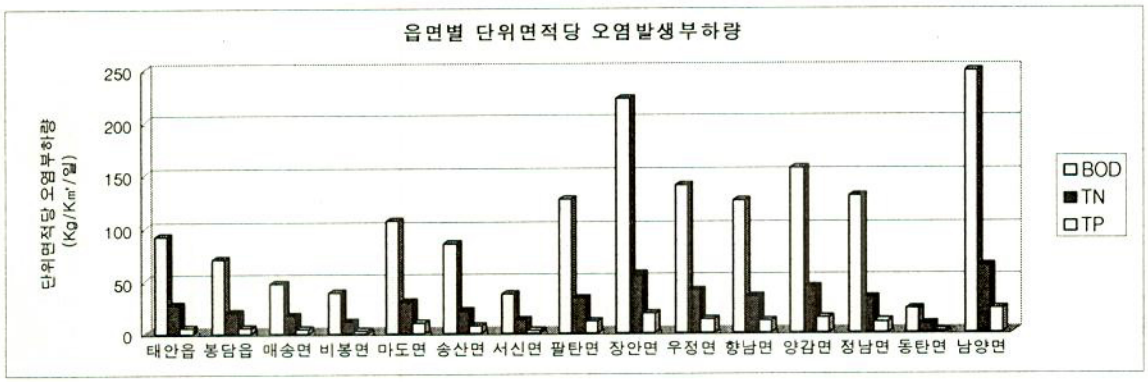
읍면	면적(㎢)	총계				가축				인구				토지이용			
		합계	BOD	TN	TP	소계	BOD	TN	TP	소계	BOD	TN	TP	소계	BOD	TN	TP
계	654.2	73,585.7 (2,231.6)	53,727.7 (1,643.4)	15,302.0 (449.2)	4,556.0 (138.9)	57,454.0 (1,787.1)	43,095.1 (1,340.4)	10,463.2 (325.4)	3,895.7 (121.2)	9,157.0 (284.8)	7,052.8 (219.4)	1,780.5 (55.4)	323.7 (10.1)	6,974.6 (159.7)	3,579.8 (83.6)	3,058.3 (68.4)	336.6 (7.7)
태안읍	32.2	3,993.0 (124.2)	2,967.7 (92.3)	857.7 (26.7)	167.6 (5.2)	572.3 (17.8)	423.9 (13.2)	108 0 (3.4)	40.4 (1.3)	2,899.4 (90.2)	2,233.1 (69.5)	563.8 (17.5)	102.5 (3.2)	521.2 (16.2)	310.6 (9.7)	186.0 (5.8)	24.7 (0.8)
봉담읍	42.7	3,121.4 (95.8)	2,256.6 (70.2)	699.4 (20.4)	165.4 (5.2)	1,609.8 (50.1)	1,194.7 (37.2)	306.2 (9.5)	108.9 (3.4)	1,076.3 (33.5)	829.0 (25.8)	209.3 (6.5)	38.1 (1.2)	435.3 (12.2)	233.0 (7.3)	183.9 (4.4)	18.4 (0.6)
매송면	27.5	1,920.2 (67.8)	1,369.8 (47.3)	431.4 (16.5)	119.0 (4.0)	1,332.6 (41.4)	987.0 (30.7)	250.8 (7.8)	94.7 (2.9)	338.6 (10.5)	260 8 (8.1)	65.8 (2.0)	12.0 (0.4)	249.0 (15.9)	121.9 (8.5)	114.8 (6.7)	12.3 (0.7)
비봉면	38.5	1,843.8 (53.2)	1,291.4 (38.2)	443.3 (11.8)	109.0 (3.2)	1,278.4 (39.8)	953.2 (29.6)	240.1 (7.5)	85.0 (2.6)	224.0 (7.0)	172.5 (5.4)	43.6 (1.4)	7.9 (0.2)	341.4 (6.5)	165.7 (3.2)	159.6 (3.0)	16.1 (0.3)
마도면	31.8	4,683.8 (146.8)	3,413.9 (106.5)	960.2 (30.6)	309.7 (9.7)	4,195.2 (130.5)	3,120.1 (97.0)	786.6 (24.5)	288.5 (9 0)	178.1 (5.5)	137.2 (4.3)	34.6 (1.1)	6.3 (0.2)	310.4 (10.7)	156.6 (5.2)	139.0 (5.0)	14.9 (0.5)
송산면	53.6	4,036.6 (113.7)	2,934.7 (85.0)	863.9 (21.8)	238.0 (6.9)	3,083.8 (95.9)	2,341.8 (72.8)	544.1 (16.9)	197.9 (6.2)	385.0 (12.0)	296.5 (9.2)	74.9 (2.3)	13.6 (0.4)	567.8 (5.8)	296.4 (2 9)	244.9 (2.6)	26.5 (0.3)
서신면	42.5	1,646.8 (52.0)	1,159.5 (36 6)	397.9 (12.5)	89.4 (2.8)	1,002.5 (31.2)	769.0 (23.9)	170.9 (5.3)	62.6 (1.9)	238.3 (7.4)	183.5 (5.7)	46.3 (1.4)	8.4 (0.3)	405.9 (13.4)	206.9 (7.0)	180.6 (5.8)	18.4 (0.6)
팔탄면	50.9	5,699.8 (171.1)	4,157.4 (126.4)	1,163.9 (33.3)	378.6 (11.5)	4,895.3 (152.3)	3,662.7 (113.9)	887.9 (27.6)	344.6 (10.7)	349.2 (10.9)	268.9 (8.4)	67.9 (2.1)	12.3 (0.4)	455.4 (8.0)	225.7 (4.1)	208.0 (3.5)	21.6 (0.4)
장안면	67.7	9,966.8 (296.2)	7,352.7 (222.1)	1,977.1 (55.1)	637.0 (19.0)	8,856.6 (275.5)	6,687.0 (208.0)	1,585.4 (49.3)	584.2 (18.2)	448.3 (13.9)	345.3 (10.7)	87.2 (2.7)	15.8 (0.5)	661.9 (6.7)	320.4 (3.3)	304.5 (3.1)	37.0 (0.3)
우정면	58.9	6,469.2 (192.6)	4,646 2 (139.8)	1,407.9 (40.3)	415.1 (12 5)	5,055.3 (157.2)	3,722.0 (115.8)	979.4 (30.5)	353.9 (11.0)	775.1 (24.1)	597.0 (18.6)	150.7 (4.7)	27.4 (0.9)	638.8 (11.2)	327.3 (5.4)	277.8 (5 2)	33.8 (0.6)
향남면	49.9	5,598.0 (170.3)	4,088.3 (125.3)	1,152.7 (34.0)	357.0 (11.0)	4,499.8 (140.0)	3,383.9 (105.3)	805.3 (25 0)	310.6 (9.7)	564.4 (17.6)	434.7 (13 5)	109.7 (3.4)	20.0 (0.6)	533.8 (12.8)	269.7 (6.6)	237.7 (5.6)	26.4 (0.7)
양감면	31.2	6,513.0 (210.6)	4,838.3 (154.7)	1,252.6 (42.4)	422.1 (13.5)	6,052.6 (188.3)	4,566.3 (142.0)	1,084.6 (33.7)	401.6 (12.5)	167.0 (5.2)	128.6 (4.0)	32.5 (1.0)	5.9 (0.2)	293.4 (17.1)	143.3 (8.6)	135.4 (7.6)	14.6 (0.8)
정남면	40.8	5,767.8 (172.3)	4,284.3 (129.3)	1,130.0 (32.4)	353.5 (10.6)	4,818.4 (149.9)	3,665.9 (114.0)	839.4 (26.1)	313.0 (9.7)	491.0 (15.3)	378.2 (11.8)	95.5 (3.0)	17.4 (0.5)	458.4 (7.2)	240.2 (3.5)	195.1 (3.3)	23.1 (0.4)
동탄면	52.7	1,258.0 (32.6)	834.8 (22.6)	360.9 (8.3)	62.3 (1.7)	371.9 (11.6)	275.1 (8.6)	69.5 (2.2)	27.3 (0.9)	395.3 (12.3)	304.5 (9.5)	76.9 (2.4)	14.0 (0.4)	490.8 (8.7)	255.2 (4.6)	214.5 (3.7)	21.0 (0.4)
남양면	66.9	11,067.5 (332.6)	8,132.1 (247.2)	2,203.0 (63.1)	732.4 (22.2)	9,829.6 (305.7)	7,342.5 (228.4)	1,804.7 (56.1)	682.4 (21.2)	627.0 (19.5)	482.9 (15.0)	121.9 (3 8)	22.2 (0.7)	610.9 (7.3)	306.7 (3.8)	276.5 (3.2)	27.8 (0.3)

※ ( ) 단위면적당 오염부하량

※ 부하량원단위 출처 - 가축 : 영산강수계 물관리종합대책(환경부, 2001), 인구/토지이용 : 환경기본통계편람(환경부, 1999)

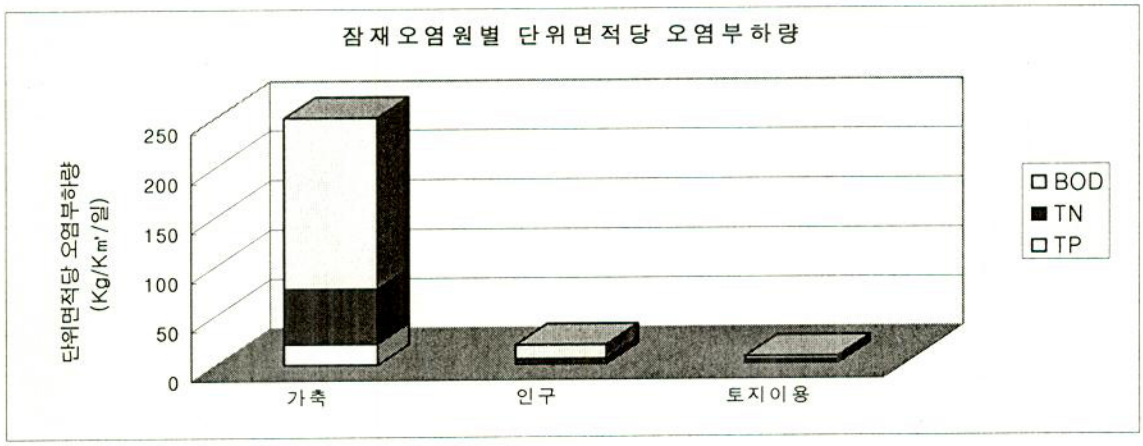
라. 단위면적당 오염부하량

조사지구내 읍면별 오염발생부하량 총량을 상대적으로 비교하기 위하여 단위면적당 오염발생부하량을 산출 비교하였다(표 3-1-14). 단위면적당 오염발생부하량이 가장 큰 지역은 남양면이고 장안면>양감면>우정면>정남면>…>동탄면 순으로 그 값이 작게 나타났다(그림 3-1-17).



<그림 3-1-17> 읍면별 단위면적당 오염발생부하량

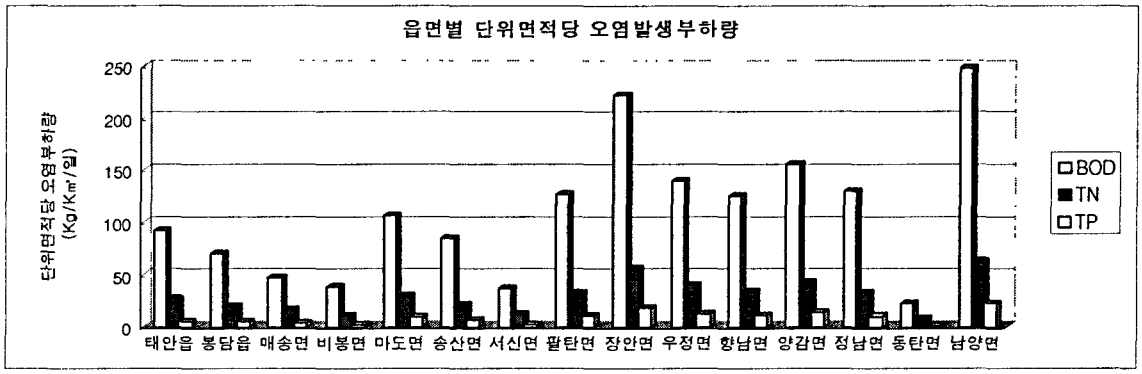
가축에 의한 단위면적당 오염발생부하량이 가장 크게 나타나는 지역은 남양면이고, 인구 및 토지이용에 의한 단위면적당 오염발생부하량은 모두 태안읍에서 가장 크게 나타나고 있다(그림 3-1-18).



<그림 3-1-18> 잠재오염원별 단위면적당 오염발생부하량

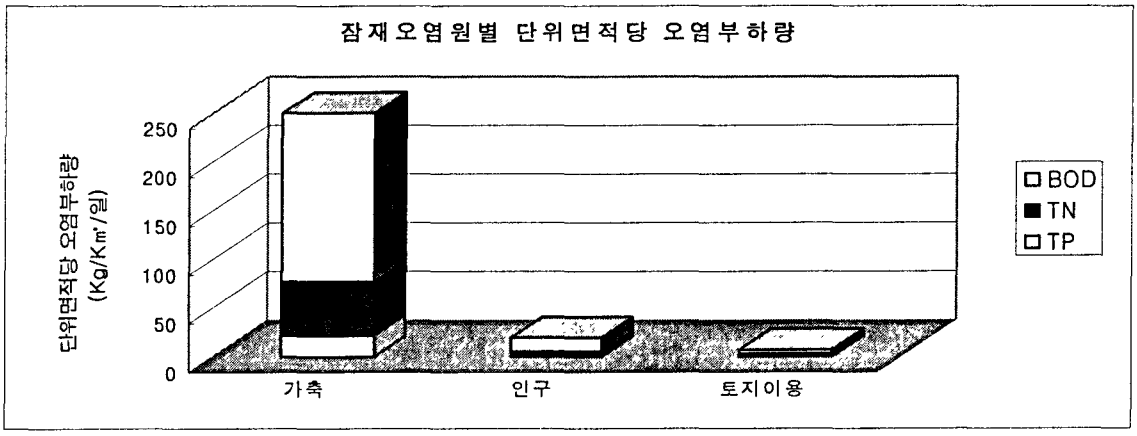
라. 단위면적당 오염부하량

조사지구내 읍면별 오염발생부하량 총량을 상대적으로 비교하기 위하여 단위면적당 오염발생부하량을 산출 비교하였다(표 3-1-14). 단위면적당 오염발생부하량이 가장 큰 지역은 남양면이고 장안면>양감면>우정면>정남면>…>동탄면 순으로 그 값이 작게 나타났다(그림 3-1-17).

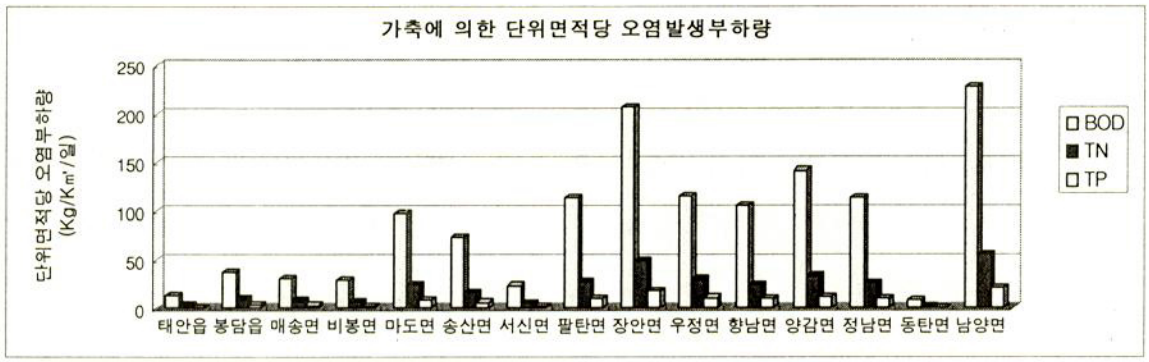


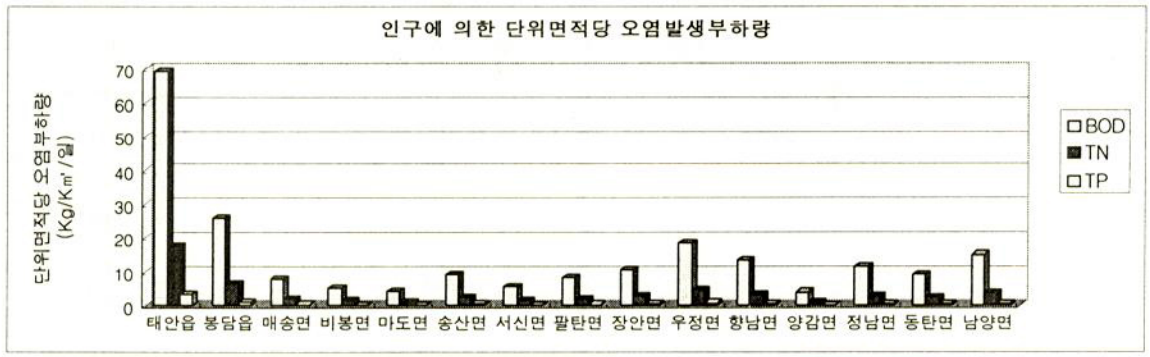
<그림 3-1-17> 읍면별 단위면적당 오염발생부하량

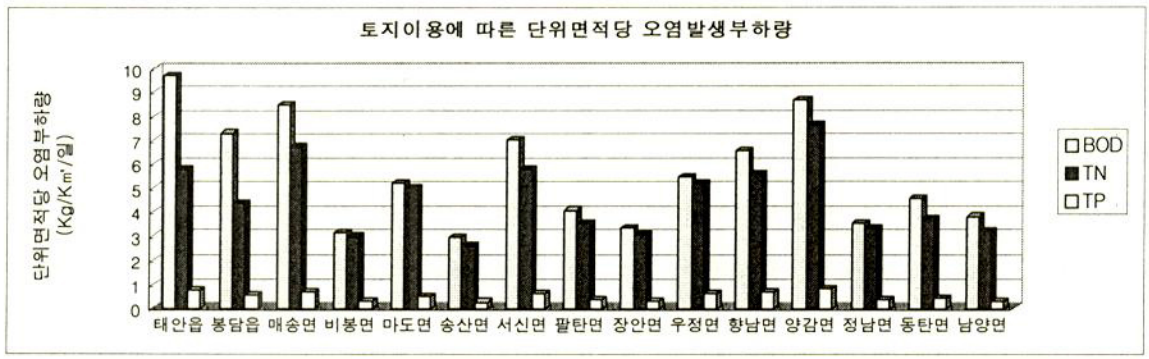
가축에 의한 단위면적당 오염발생부하량이 가장 크게 나타나는 지역은 남양면이고, 인구 및 토지이용에 의한 단위면적당 오염발생부하량은 모두 태안읍에서 가장 크게 나타나고 있다(그림 3-1-18).



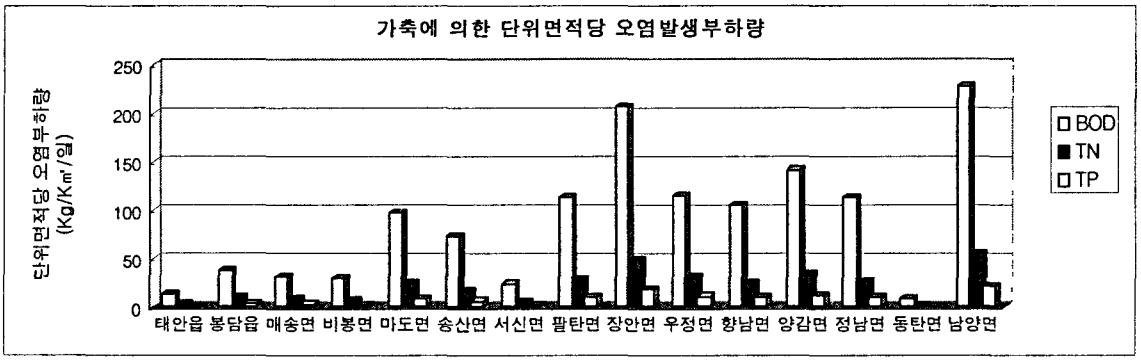
<그림 3-1-18> 잠재오염원별 단위면적당 오염발생부하량

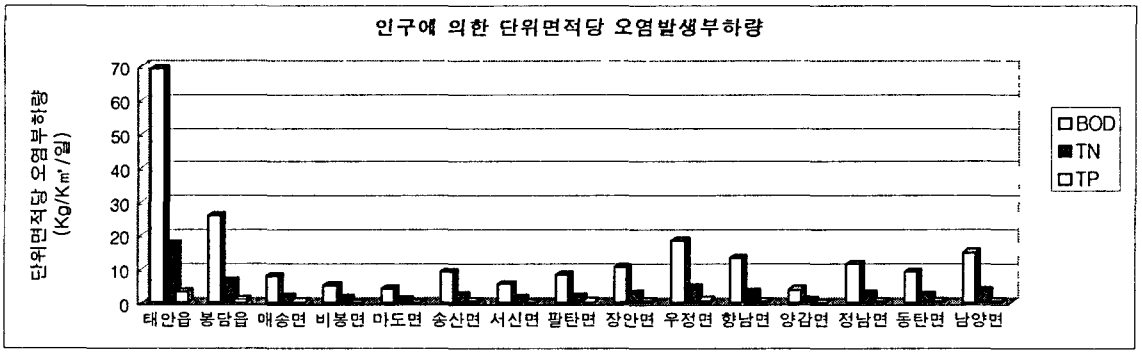


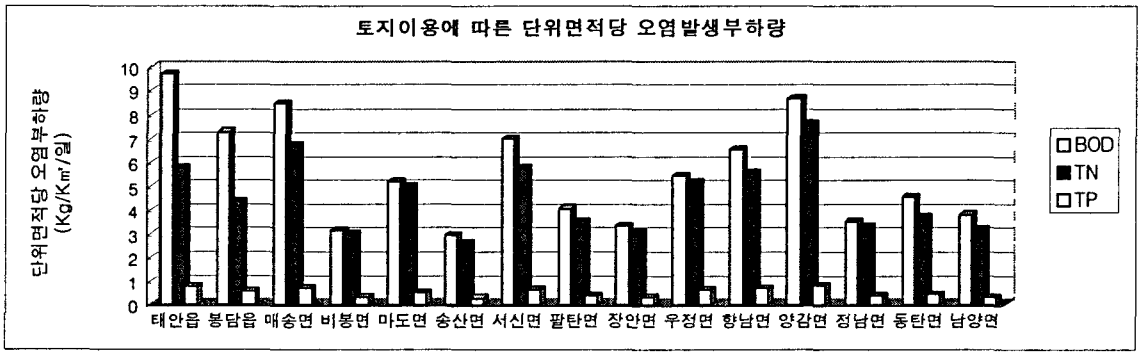




<그림 3-1-18> 잠재오염원별 단위면적당 오염발생부하량(계속)







<그림 3-1-18> 잠재오염원별 단위면적당 오염발생부하량(계속)

3.1.3 기 조사현황

기존 지하수 조사 현황은 지하수법 제정 이전인 '93년까지는 수맥조사와 온천 공조사 자료가 대부분이며, 지하수법이 제정된 '94년 이후부터 지하수기초조사, 지하수영향조사 등에 의한 지하수조사가 시행되었다. 화성시에 대한 지하수 조사 현황은 표 3-1-15와 같다.

<표 3-1-15> 지하수 기 조사현황

조사명	조사량	조사기간	시행자/조사기관	성과물 명칭
수맥조사	66지구	'82 ~ '02	농림부/ 농업기반공사	수맥조사보고서
지하수영향조사	76지구	'97 ~ '02	영향조사기관	지하수영향조사서
온천공조사	7건	'89 ~ '01	한국지질자원 연구원 외	온천공조사보고서
농업용대형관정 시설진단 및 폐공찾기	1건	'00 ~ '01	농림부/ 농업기반공사	농업용대형관정시설진단 및 폐공찾기보고서
지하수 폐공 실태분석 및 현황조사	1건	'02 ~ '03	화성시/ 농업기반공사	화성시 지하수 폐공조사 보고서

수맥조사는 1982년부터 농림부주관으로 농업기반공사에서 시행하고 있으며, 가뭄상습지역의 지하수개발 예정지역에 지하수부존상태 및 개발가능량 등을 조사하여 개발성공률을 높이고 효율적인 가뭄대책을 추진하며, 조사성과품인 수맥조사 보고서는 당해 시·도, 시·군과 공공기관 등에 배부하여 지하수 개발시 기초자료로 활용토록 하고 있다.

2002년까지 화성시에 조사된 수맥조사 면적은 66지구 1,350ha이며, 가장 많은 면적이 조사된 읍·면은 남양읍으로 13지구 393ha가 조사되었으며, 가장 적게 조사된 곳은 비봉면으로 1지구 20ha이다. 특히, 동탄면은 지하수부존상태가 불량하여 조사면적 45ha 모두 지하수 개발이 불가능한 지구로 조사되었다.

조사면적 1,350ha중 개발가능면적은 402.6ha로 29.82%이며, 기 개발면적 116.5ha를 제외한 잔여면적 286.1ha중 지표수 등 타용수원 공급, 도시개발계획지구편입 등에 따른 개발불가능면적 110.8ha를 제외하면, 향후개발가능 면적은 175.3ha이다(표 3-1-16).

<표 3-1-16> 화성시 수맥조사 현황

(단위 : ha)

읍면	지구수	조사면적 (A)	개발가능 (B)	기개발 (C)	잔여면적 (D=B-C)	개발불가능 (E)	향후개발 (F=D-E)
합계	66	1,350	402.6	116.5	286.1	110.8	175.3
남양	13	393	76.8	31.6	45.2	45.2	0.0
동탄	3	45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
마도	5	108	23.0	1.7	21.3	0.0	21.3
매송	5	32	4.2	0.0	4.2	0.0	4.2
봉담	4	90	32.0	5.8	26.2	11.2	15.0
비봉	1	20	9.0	0.0	9.0	0.0	9.0
서신	6	164	39.9	2.4	37.5	9.0	28.5
송산	2	25	14.8	5.0	9.8	0.0	9.8
양감	2	18	13.0	4.0	9.0	0.0	9.0
장안	2	50	30.0	3.0	27.0	0.0	27.0
정남	5	146	57.9	21.4	36.5	31.8	4.7
태안	5	111	22.7	9.1	13.6	13.6	0.0
팔탄	7	85	38.0	6.2	31.8	0.0	31.8
향남	6	63	41.3	26.3	15.0	0.0	15.0

지하수영향조사는 '93년 12월 제정된 지하수법을 '97년 1월 1차 개정시 개발·이용허가제, 영향조사 및 시공업 등록제를 도입하여, 허가 대상 규모로 지하수를 개발·이용하고자 하는 자는 시장·군수의 허가를 받도록 하고, 허가 신청시 지하수영향조사기관이 조사하여 작성한 지하수영향조사서를 제출하여 허가를 받도록 규정하고 있다.

2003년 3월말 기준으로 화성시 지하수 영향조사 지구는 76지구이며, 이중 팔탄면이 22.3%인 17지구로 가장 많으며, 그 다음으로 봉담읍과 태안읍이 11.8%인 9지구로 높으며, 가장 적은 비율을 나타내는 지역은 동탄면으로 1건이다(표 3-1-17).

읍·면별 조사지구수가 많은 차이를 나타내는 것은 신규공장건설 및 도시화에 따른 인구증가로, 생활용수 및 공업용수 수요가 증가하여 다량의 수원확보를 위한 지하수개발이 활발히 이루어지고 있기 때문으로 판단된다.

<표 3-1-17> 지하수 영향조사 현황

구분	용도별(지구)					조사관정 (공)
	합계	생활용	공업용	농업용	기타	
합계	76	44	7	24	1	121
남양	4	2	-	2	-	6
동탄	1	1	-	-	-	2
마도	2	1	-	1	-	2
매송	3	1	-	2	-	3
봉담	9	4	-	4	1	24
비봉	4	2	-	2	-	6
서신	2	1	-	1	-	4
송산	4	3	-	1	-	4
양감	3	2	1	-	-	4
우정	3	3	-	-	-	5
장안	6	6	-	-	-	8
정남	5	-	2	3	-	10
태안	9	6	3	-	-	15
팔탄	17	10	-	7	-	22
향남	4	2	1	1	-	6

화성시에는 7개소(팔탄면 4개, 장안면, 태안면, 송산면 각 1개)의 온천이 발견 신고되어 있으며, 그중 온천지구로 지정되어 있는 곳은 팔탄면 화성온천과 월문온천 2개소이며, 온천공 보호구역으로 지정되어 있는 곳은 팔탄면 율암온천이 있다(표 3-1-18).

<표 3-1-18> 온천조사 현황

온천명	위 치	발견신고 수 리 일	온 천 현 황			조사자	비고
			성 분	온 도 (℃)	심 도 (m)		
월 문	화성군 팔탄면 월문리	'93. 12. 2	$Na-HCO_3$ 단순천, pH 9.1	25.8	682	동서엔지니어링	온천지구
화 성	화성군 팔탄면 덕천리 1번지 일원	'89. 7. 29	$Na-HCO_3$ 단순천, pH 9.08	27.3	700	한국동력자원연구소	온천지구
화 당	화성군 팔탄면 화당리 산5번지 일원	'98. 5. 14	$Na-HCO_3$ 단순천, pH46	26.8	814	대한광업진흥공사	-
율 암	화성군 팔탄면 율암리 산124-5	'97. 6. 13	$Na-HCO_3$ 단순천, pH4.69	27.0	682	한국자원연구소	온천공 보호구역
수 촌	화성 장안면 수촌리 24-7번지 일원	'01. 3.16	중탄산나트륨천	25.8	808	한국지질자원연구원	-
안 녕	화성 태안읍 안녕리 1388-11번지 일원	'01. 2. 7	중탄산나트륨천	27.5	652	한국자원연구소	-
사 강	화성 송산면 사강리 339번지 일원	'01. 9.17	알칼리성 단순천	25.5	840	-	-

농업용 대형관정 시설진단 및 폐공찾기는 2000년까지 농촌지역에 개발된 기존시설 및 개발과정에서 발생한 숨겨진 폐공을 찾아 원상 복구함으로써 수질오염을 방지할 목적으로 전국의 농촌지역을 대상으로 실시하였으며, 화성시에 185공(충적 31공, 암반 154공)의 시설진단을 실시한 결과, 정상이용 156공, 정비대상 19공, 폐공대상 9공, 관측공 활용 1공으로 조사되었으며, 폐공대상으로 분류된 9공은 지하수법 규정에 의거 폐공처리(원상복구) 하였다(표 3-1-19).

<표 3-1-19> 시설진단 내역

구분	합계	보존	보수	폐공대상	관측공활용	비고
합 계	185	156	19	9	1	
충 적	31	21	5	5	-	
암 반	154	135	14	4	1	

지하수 폐공 현황조사는 화성시 전역에 대한 폐공자료를 수집·정리하고 미처리 폐공의 실태조사·분석 및 폐공의 유형별 원상복구 방안을 제시하고자 조사를 실시하였다.

현장조사는 행정기관의 폐공처리대상 현황자료와 수혜자 및 관리자를 통해 수집된 조사자료를 바탕으로 총 156공에 대한 현장조사를 실시하였으며, 조사결과 원상복구대상 79공, 처리보류 및 재이용 39공, 기매몰 및 확인불가 38공으로 분류되었다(표 3-1-20).

<표 3-1-20> 지하수 폐공현황 조사결과

구분	합계	원상복구대상	처리보류 및 재이용	기매몰 및 확인불가	비고
합 계	156	79	39	38	
소형관정	102	41	32	29	
대형관정	54	38	7	9	

3.2 지하수 산출특성

화성시 지하수관리조사사업 시행시 지하수 수위 및 수질조사는 총 3년에 걸쳐 조사되었다. 2001년 시범조사로서 화남2지구에 대하여 총 3회의 조사가 이루어졌고, 2002년과 2003년에 각각 2회의 조사가 이루어졌다(표 3-2-1).

<표 3-2-1> 년도별 수위 및 수질 조사 내역

구 분	계	2001년			2002년		2003년	
농촌용수구역		화남2지구			화서지구		화비 외 4지구	
조사유역		HS-3			HS-1~2		HS-4~9	
조사차수		1차	2차	3차	1차	2차	1차	2차
조사시기		4-5월	6월	9월	4~6월	8월	4~6월	8월
조사시점		갈수기	갈수기	풍수기	갈수기	풍수기	갈수기	풍수기
지하수위조사	2,640	446	270	275	204	125	761	559
현장수질조사	3,474	646	385	379	377	143	889	655
양음이온분석	283	-	-	100	-	-	-	183*
먹는물수질조사	23	-	-	5	-	-	18*	
농업용수질조사	72	-	-	16	-	-	56*	
질소동위원소분석	60	-	-	-	-	-	-	60*
산소수소동위원소분석	37	-	-	-	-	-	-	37*

* 화서지구 포함 조사함

3.2.1 지하수 수리특성

가. 수위변동 및 유동특성

년도별로 이용실태 조사시 파악된 관정에 대하여 갈수기(2001년 2차, 2002년 1차, 2003년 1차조사)와 풍수기(2001년 3차, 2002년 2차, 2003년 2차조사)로 구분하여 대수층별로 지하수위를 분석하였으며, 분석내용은 표.3-2-2와 그림 3-2-1과 같다.

지하수 평균 수두값은 유역별로 대체로 평균 해발고도와 유사한 패턴을 보이고(그림 3-2-2), 갈수기와 풍수기의 수두값은 충적지하수의 경우 지하수의 함양에 의하여 수두는 평균 1.3m 상승하지만, 암반지하수의 경우는 평균 0.2m 상승한다

※ 지하수위 : 지표기준, 지하수두 : 해수면기준(표고-지하수수위)

<표 3-2-2> 지하수 수두분포 현황

(단위 : m)

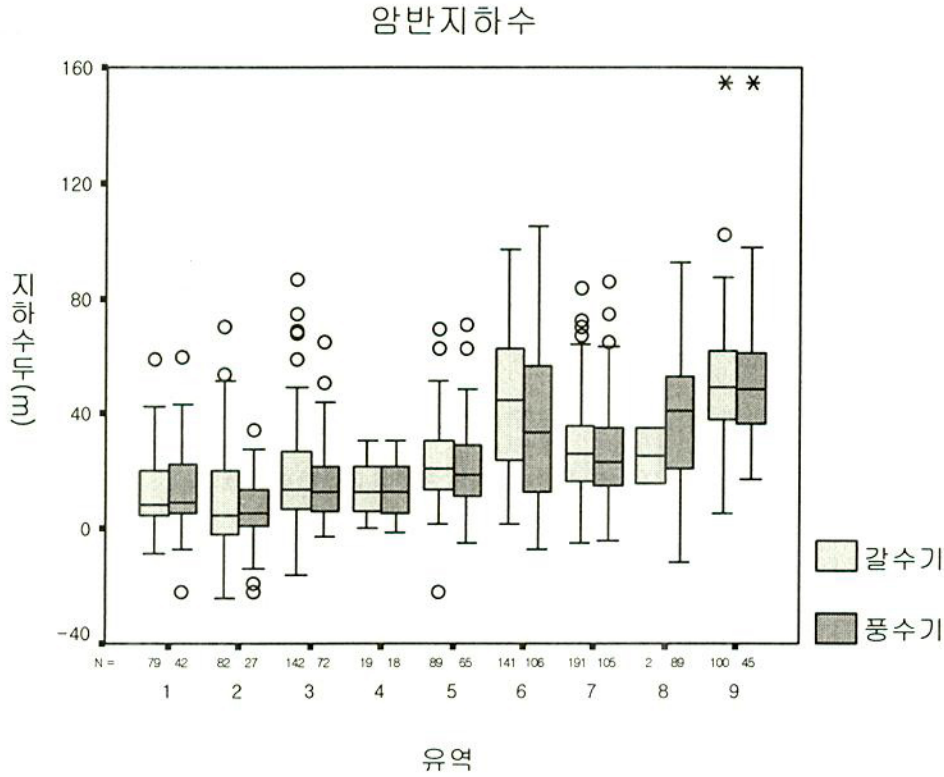
유역	충적지하수										암반지하수									
	갈수기 (N=390)					풍수기 (N=390)					갈수기 (N=845)					풍수기 (N=569)				
	최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	83.5	-4.3	17.2	13.0	14.5	83.5	-2.3	18.5	14.3	15.0	155.0	-24.1	27.5	23.7	22.2	154.9	-19.4	27.9	23.0	21.9
HS-1	37.9	-0.6	10.0	6.8	9.4	40.8	-1.4	8.7	5.1	9.8	59.0	-8.8	11.6	7.9	12.2	59.6	-7.2	14.8	9.0	13.6
HS-2	41.7	-3.5	11.3	11.2	10.4	29.3	1.3	10.9	9.4	7.9	70.0	-24.1	9.4	4.7	17.2	34.1	-19.4	7.3	5.4	12.1
HS-3	66.8	-4.3	14.6	11.5	11.3	68.8	-2.3	15.7	12.7	11.5	86.3	-16.0	18.0	13.9	16.6	64.5	-3.0	15.4	12.7	12.9
HS-4	15.0	5.0	9.8	10.5	3.6	15.5	5.0	10.1	10.9	3.8	31.0	0.5	13.4	13.0	9.1	30.5	-1.5	13.6	13.0	9.8
HS-5	67.5	2.5	18.7	14.0	15.2	74.0	2.5	20.9	16.5	18.8	69.4	-22.0	22.9	21.0	14.5	70.9	-5.3	21.3	19.0	15.0
HS-6	81.5	5.7	34.6	27.9	18.5	81.5	5.9	32.1	26.5	18.6	97.0	2.0	43.5	45.0	23.3	105.3	-7.2	36.0	33.5	25.5
HS-7	64.7	7.0	24.3	22.3	13.5	64.7	7.3	24.9	21.8	14.0	83.5	-5.0	28.0	26.5	14.7	85.9	-4.0	26.6	23.0	16.0
HS-8	49.9	6.8	29.7	36.4	17.4	53.1	5.2	30.3	31.6	15.2	35.0	16.0	25.5	25.5	13.4	92.3	-12.0	37.7	41.2	19.9
HS-9	83.5	27.0	48.4	45.5	20.4	83.5	27.1	50.6	47.0	20.7	155.0	5.5	51.6	49.5	21.4	154.9	16.9	51.5	48.5	24.8

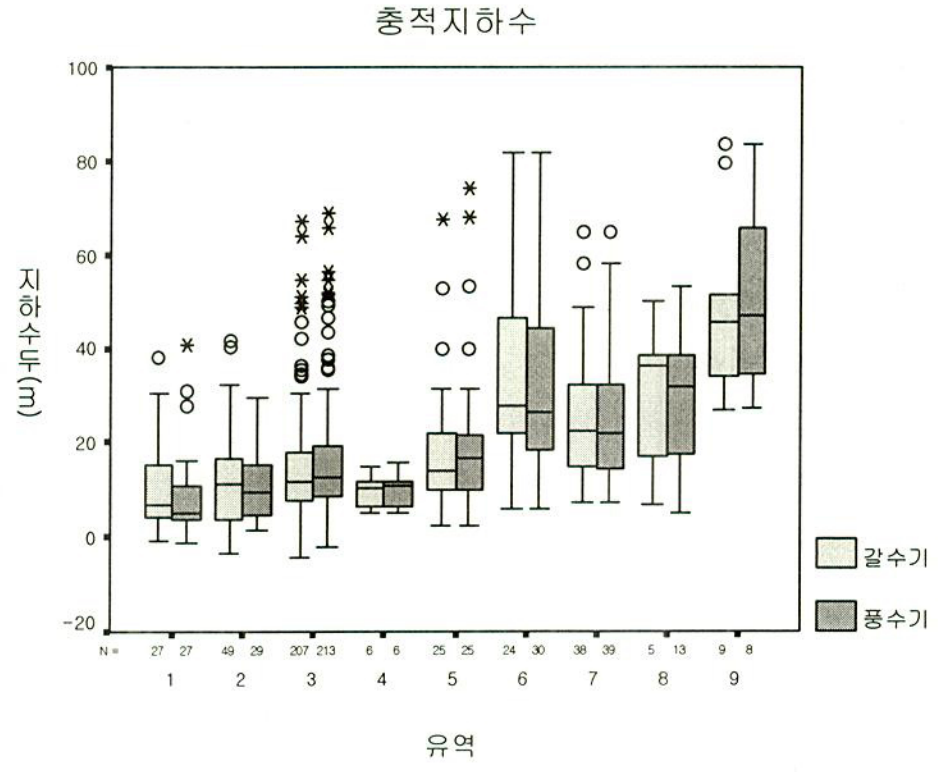
그림 3-2-3은 갈수기와 풍수기의 지하수두 등고선을 나타내는 그림으로 등고선의 수직방향으로 수두가 높은 곳에서 낮은 곳으로 지하수의 유동이 이루어진다. 유동방향을 나타내는 화살표가 발산하는 지역(푸른색)은 지하수두가 높은 지역으로 지하수의 충진이 이루어지는 지하수함양지역이고, 화살표가 수렴하는 지역(녹색)은 저지대로서 지하수배출지역임을 나타낸다.

지하수의 함양이 이루어지는 곳은 HS-3(남양동, 북양동), HS-6(봉담읍 대부분 지역), HS-9(동탄면 동부지역) 유역이다.

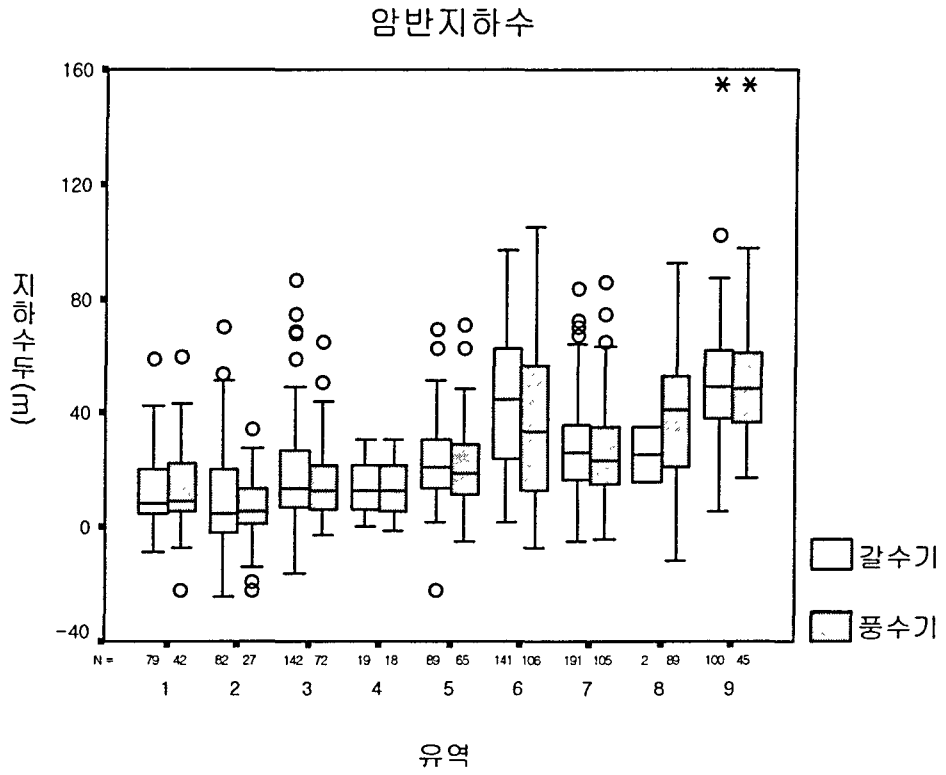
조사지역을 전체적으로 살펴볼 때 갈수기와 풍수기의 전반적인 지하수두 등고선의 양상은 시기별로 유사하며, 지하수 함양 및 배출지역도 비슷한 것으로 조사되었다.

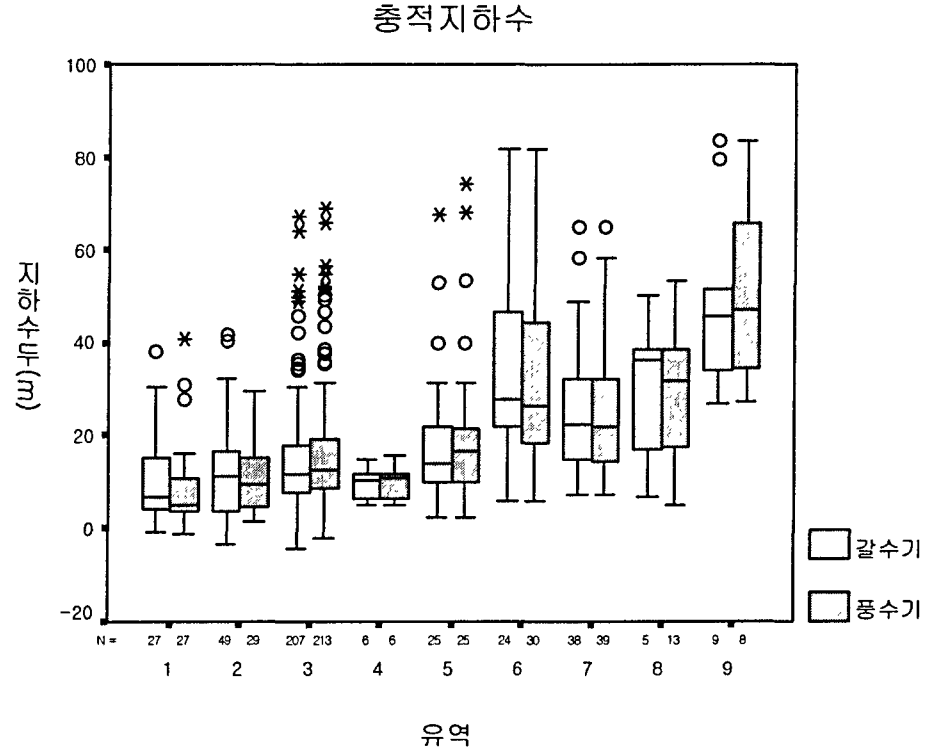
그림 3-2-4는 갈수기와 풍수기의 지하수두 등고선도와 유동방향을 3차원적으로 표현한 것으로 조사지역 지하수의 유동은 2차원 지하수유동방향도에서와 마찬가지로 동쪽에서 서쪽 즉, 서해안으로의 지하수 배출이 이루어짐을 알 수 있다.



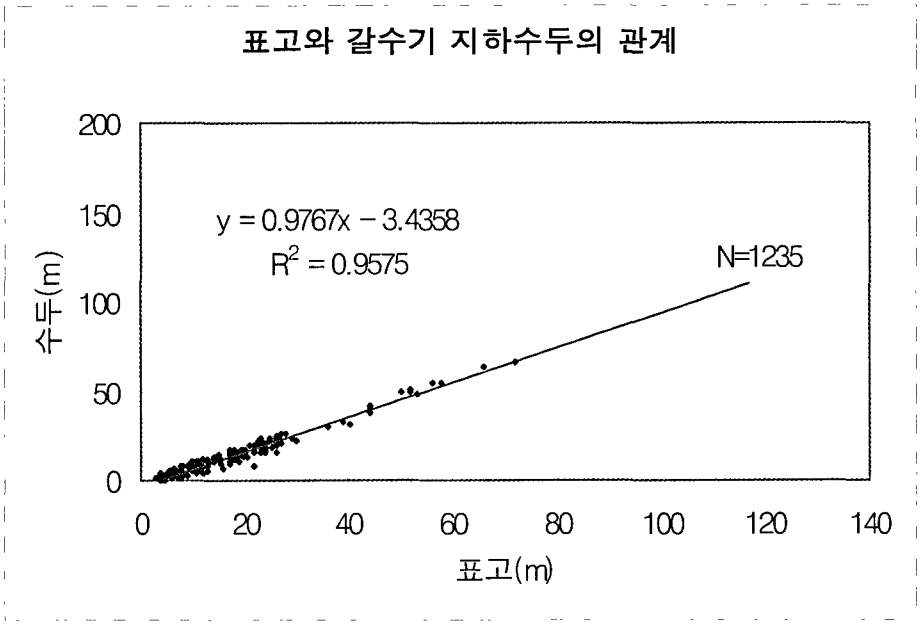


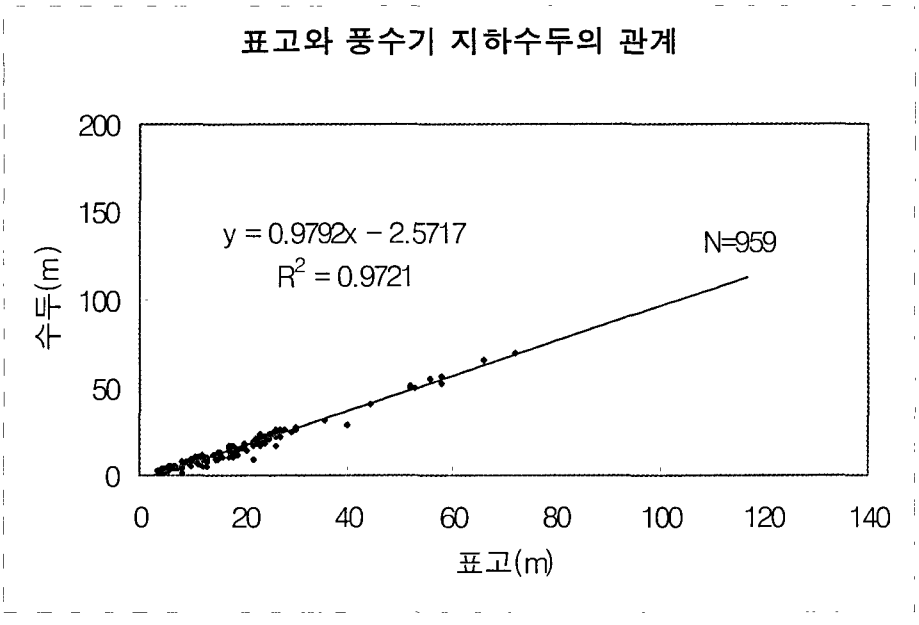
<그림 3-2-1> 갈수기와 풍수기 충적 및 암반지하수 수두변화



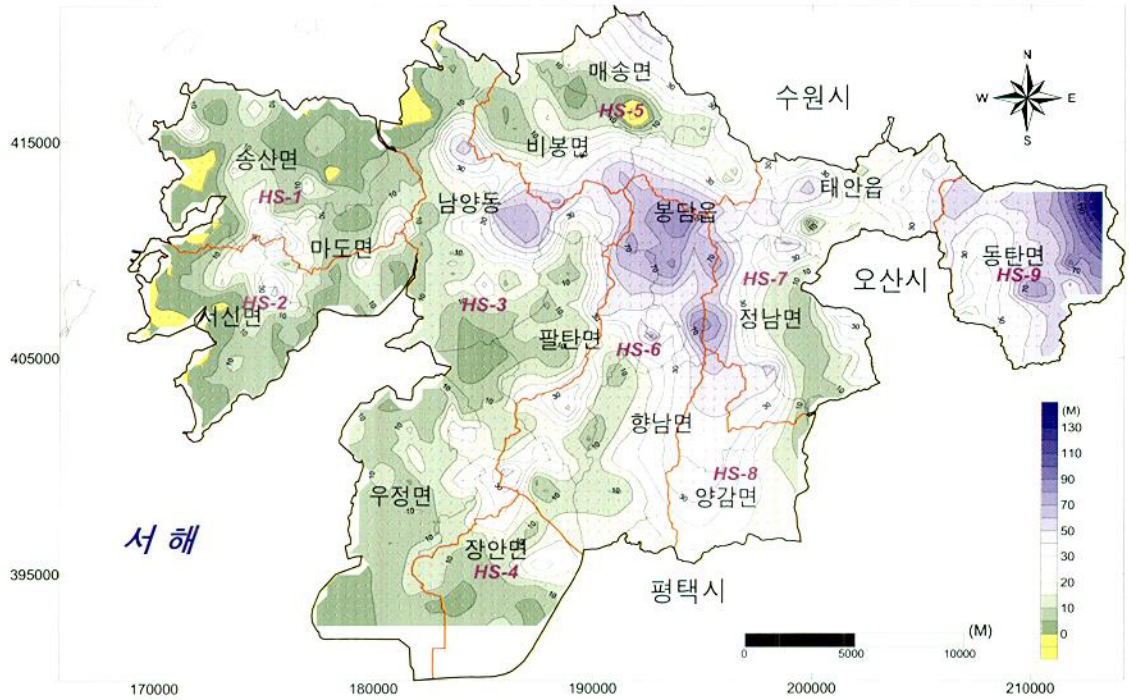


<그림 3-2-1> 갈수기와 풍수기 충적 및 암반지하수 수두변화

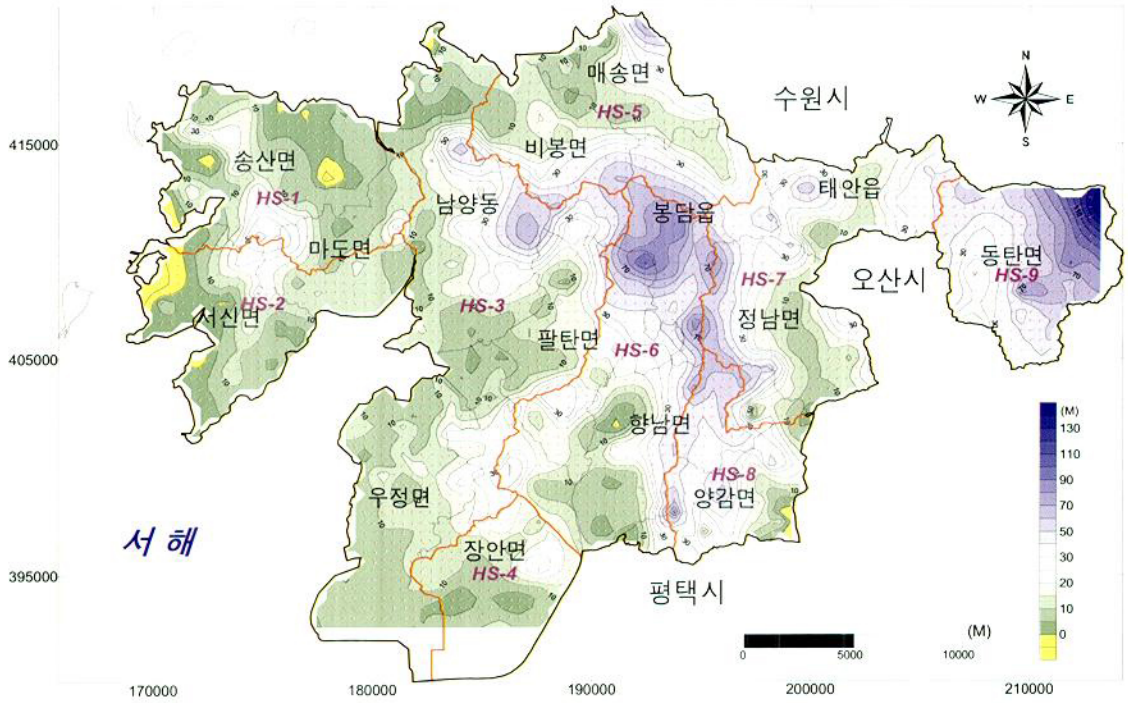




<그림 3-2-2> 표고와 지하수두와의 관계

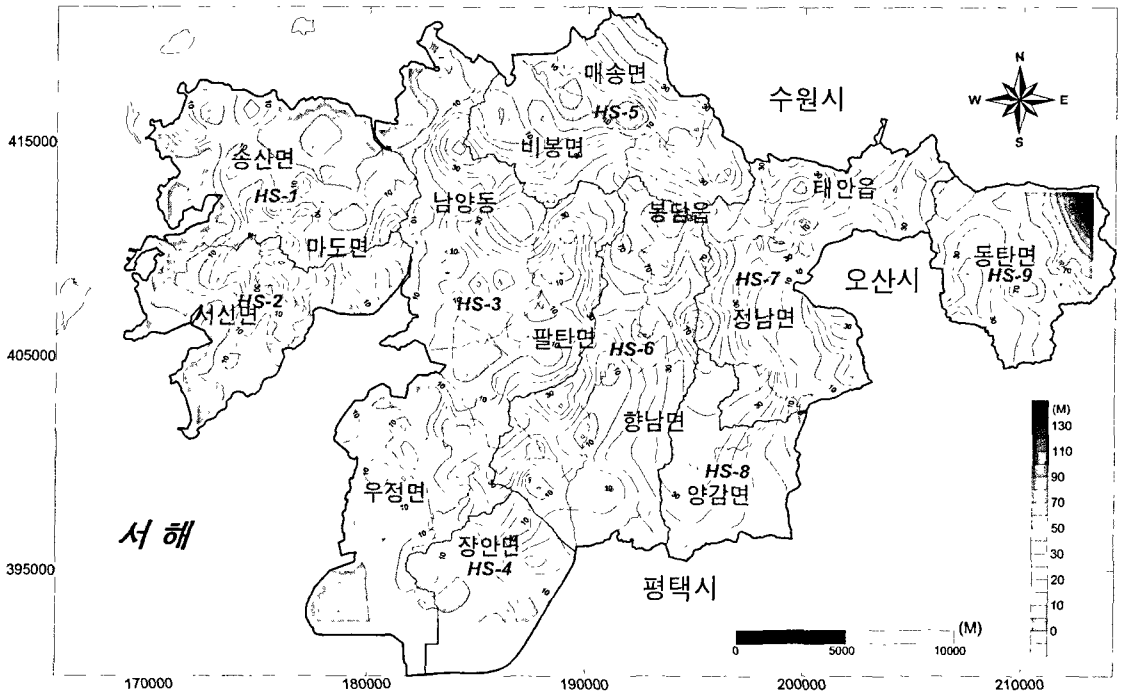


[갈 수 기]

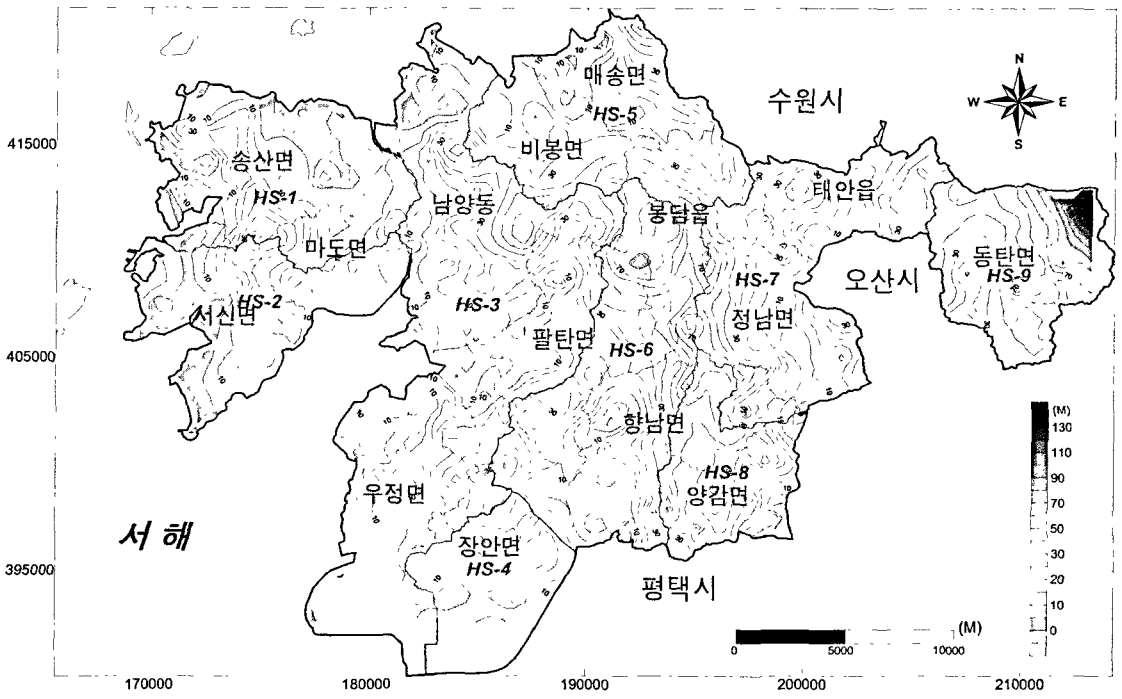


[풍 수 기]

<그림 3-2-3> 지하수두등고선도 및 유동방향도(2D)

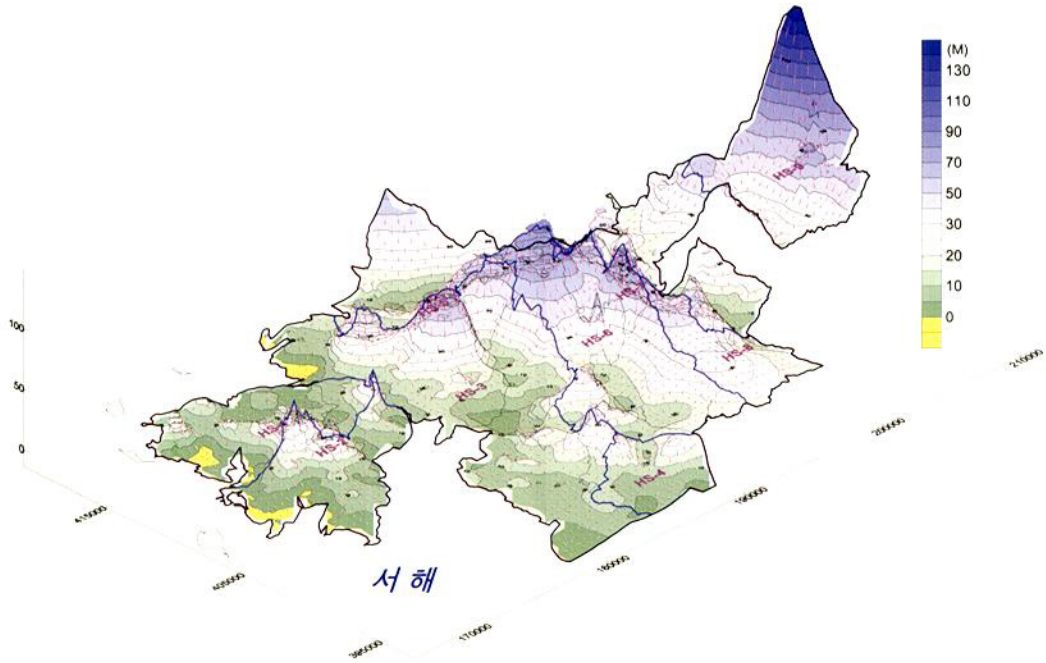


[갈 수 기]

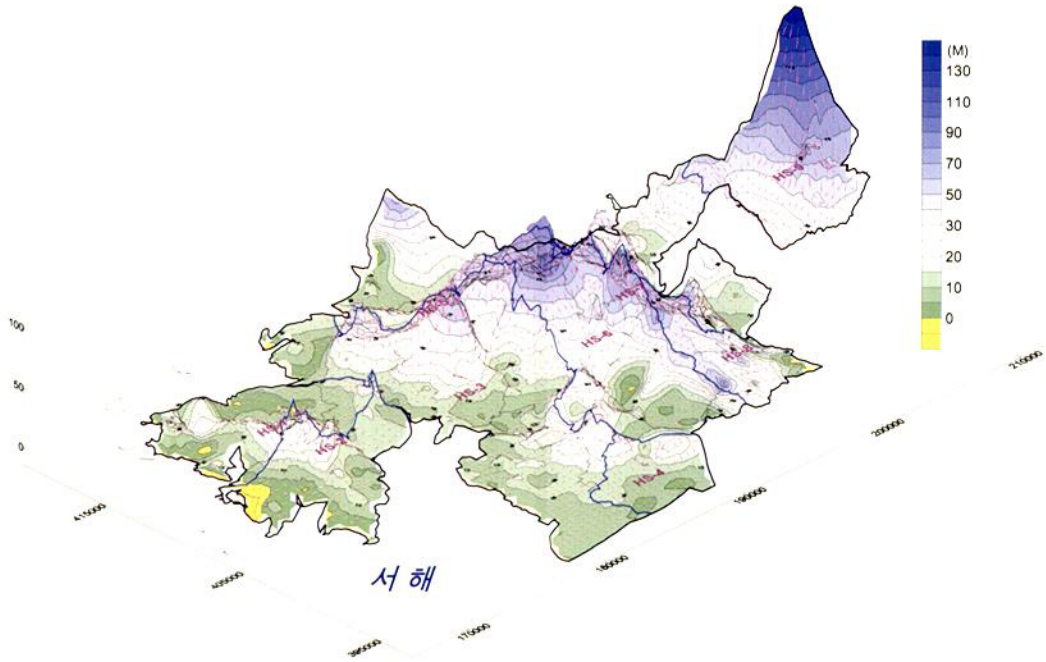


[풍 수 기]

<그림 3-2-3> 지하수두등고선도 및 유동방향도(2D)

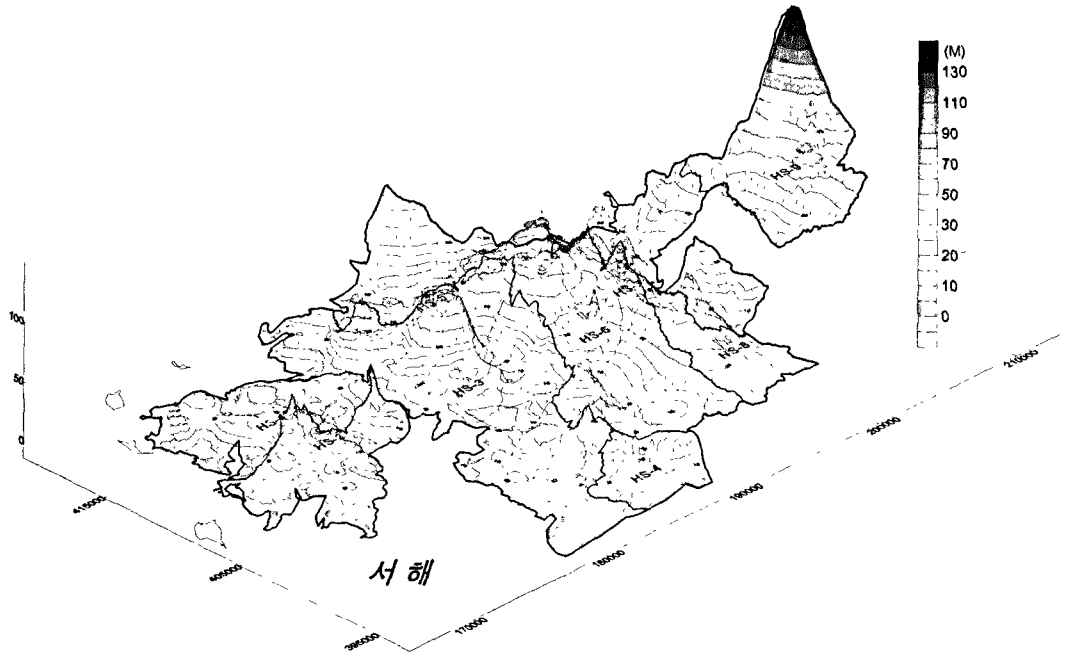


[갈 수 기]

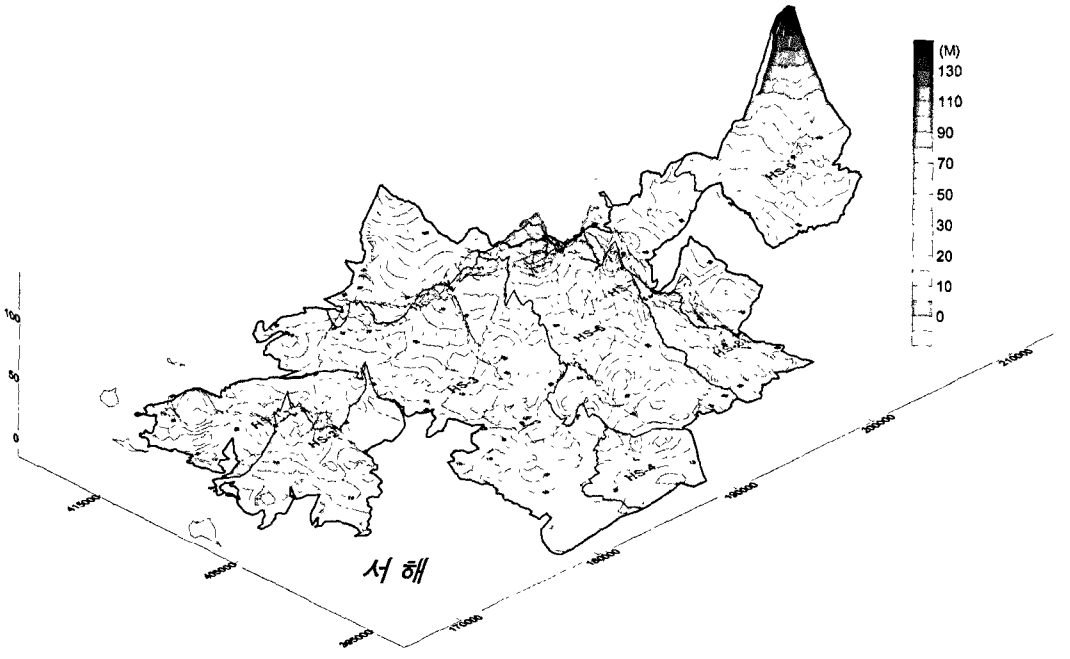


[풍 수 기]

<그림 3-2-4> 지하수두등고선도 및 유동방향도(3D)



[갈 수 기]



[풍 수 기]

<그림 3-2-4> 지하수두등고선도 및 유동방향도(3D)

나. 대수층 수리특성

대수층의 수리특성 조사 방법으로는 순간수위변화시험, 양수시험, 수위회복시험, 단계양수시험, 팩커를 이용한 주수시험 등이 있으며 본 조사에서는 순간수위변화시험과 양수시험을 적용하였다.

조사공 선정은 유역전체에 대한 대수층의 수리특성 및 산출특성을 파악하기 위하여 기조사 자료를 우선 수집 분석하고, 자료가 부족한 지역에 대하여 기존 관정을 이용하여 대수성 시험을 실시하였다.

<표 3-2-3> 유역별 대수성시험 현황

유역	순간수위변화시험			양수시험		
	계	충적	암반	계	충적	암반
계	136	100	36	33	8	25
HS-1	14	9	4	3	-	3
HS-2	13	12	1	4	-	4
HS-3	33	19	14	10	8	2
HS-4	4	3	1	3	-	3
HS-5	16	9	7	4	-	4
HS-6	16	15	1	3	-	3
HS-7	26	23	3	3	-	3
HS-8	6	5	1	3	-	3
HS-9	9	5	4	-	-	-

1) 순간수위변화시험

화성시 관정 주변지역의 투수성을 확인하기 위해 136개소에서 순간수위변화시험을 실시하였다(표 3-2-3).

현장조사는 일정체적의 slug를 정호에 집어넣거나 빼서 수위변화를 일으키게 하거나, slug 대신 물을 주입하였으며, 초기수위변화를 정확하게 측정하기 위하여 Hermit 2000 data logger와 PXD-260senser를 사용하여 자동수위측정을 하였으며 수동측정을 병행하였다.

순간수위변화시험결과 얻어진 자료는 AQTESOLV 프로그램을 이용하여 Bouwer-Rice 방법, Hvorslev 방법 및 Cooper et al. 방법으로 분석하였다. 분석결과 얻어진 유역별·대수층별 수리전도도값은 부록에 수록하였다.

순간수위변화시험결과 수리전도도는 1.60×10^{-3}m/sec ~ 6.29×10^{-8}m/sec 범위를 나

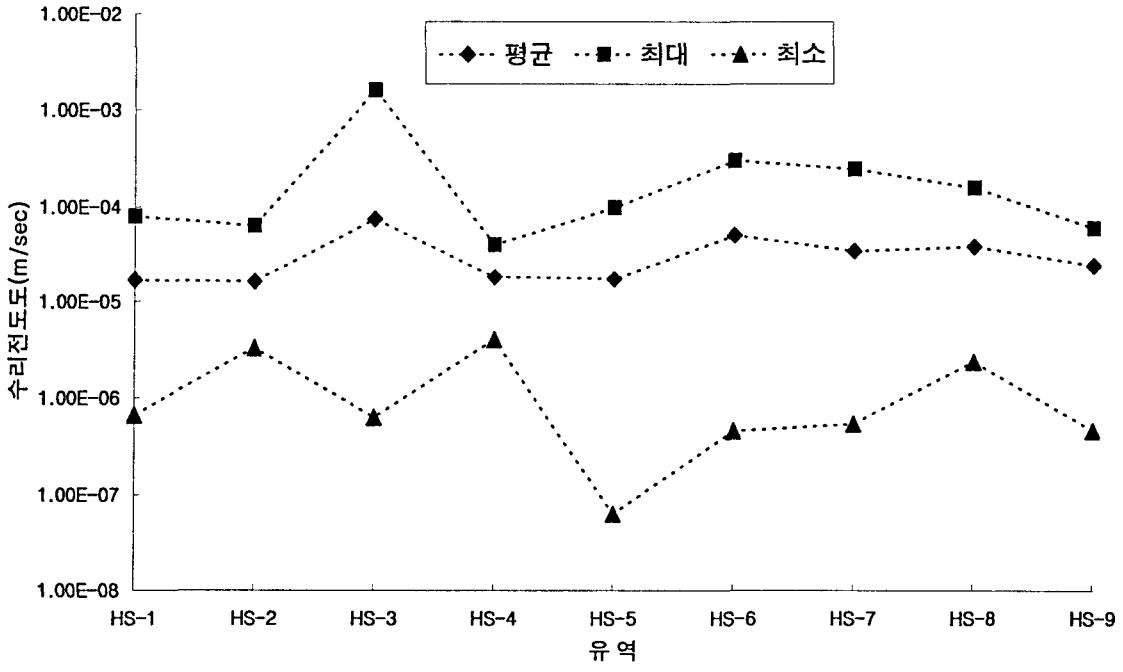
타내며, 평균 수리전도도는 HS-3유역이 7.49×10^{-5}m/sec로 가장 높고, HS-2유역이 1.62×10^{-5}m/sec로 가장 낮은 값을 나타낸다(표 3-2-4).

HS-3유역과 HS-5유역에서 최대값과 최소값의 차이가 가장 크게 나타나며, HS-2유역이 가장 작은 차이를 보이고 있다(그림 3-2-5). 이렇게 차이를 보이는 것은 대수층이 불균질 이방성의 특징을 보이고 있기 때문인 것으로 해석된다.

<표 3-2-4> 순간수위변화시험에 의한 유역별 수리전도도

(단위 : m/sec)

유 역	HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5	HS-6	HS-7	HS-8	HS-9
관정수	14	13	33	4	16	16	26	6	9
최 대	7.97E-05	6.35E-05	1.60E-03	4.04E-05	9.86E-05	3.04E-04	2.48E-04	1.58E-04	6.02E-05
최 소	6.66E-07	3.28E-06	6.30E-07	4.00E-06	6.29E-08	4.58E-07	5.38E-07	2.34E-06	4.59E-07
평 균	1.69E-05	1.62E-05	7.49E-05	1.83E-05	1.75E-05	5.07E-05	3.47E-05	3.86E-05	2.44E-05



<그림 3-2-5> 순간수위변화시험에 의한 유역별 수리전도도 현황

2) 양수시험

33개소의 관정에 대한 양수시험자료를 AQTESOLV 프로그램을 사용하여 분석하였으며 분석시 Theis법 혹은 Cooper-Jacob 직선법을 적용하였으며, 분석결과는 부록에 수록하였다.

본 조사지구의 수리상수 도출시에는 금번 조사한 33개소를 포함하여 '97년부터 현재까지 지하수 영향조사를 실시한 129개소의 양수시험 자료 등 총 162개소에 대하여 분석하였으며, 투수량계수와 저류계수의 읍·면별, 유역별 최대, 최소, 평균값은 표 3-2-5 및 3-2-6과 같다.

분석대상 관정수가 읍·면별로 많은 차이를 나타내고 있는 이유는 지하수 이외의 타수원공을 주로 이용하거나, 지하수 부존과 관련된 대수층 발달 불량으로 다량의 지하수 개발이 어려워 신고대상에 해당하는 규모로 지하수를 개발·이용하기 때문으로 판단된다.

<표 3-2-5> 읍면별 수리상수 분포현황

대수층	읍면	관정수	투수량계수 (㎡/day)			저류계수		
			최소	최대	평균	최소	최대	평균
충적	우정	2	1.49	4.02	2.75	1.1E-02	1.0E-01	5.6E-02
	동탄	1	85.11	85.11	85.11	-	-	-
	남양	7	0.85	995.35	224.93	4.1E-02	9.2E-01	2.1E-01
암반	태안	16	0.47	147.90	12.45	1.0E-05	4.2E-01	1.4E-01
	봉담	25	0.119	13.56	1.92	6.6E-03	2.9E-01	6.5E-02
	매송	3	1.00	3.39	1.86	1.4E-02	1.3E-01	5.4E-02
	비봉	9	1.10	28.75	4.98	1.6E-03	5.3E-01	7.8E-02
	마도	5	2.75	50.51	16.71	2.5E-03	3.0E-02	1.4E-02
	송산	5	1.97	4.06	3.01	2.3E-03	1.2E-02	7.9E-03
	서신	7	0.21	29.49	6.06	1.2E-03	2.7E-02	1.4E-02
	팔탄	28	0.06	13.22	3.98	1.4E-04	2.5E-01	2.6E-02
	장안	12	1.08	57.12	8.57	5.7E-04	9.6E-02	3.1E-02
	우정	6	0.45	9.19	2.89	2.9E-03	2.7E-01	1.2E-01
	향남	12	1.00	15.47	5.45	5.3E-04	5.9E-01	6.7E-02
	양감	4	0.46	13.56	5.29	2.7E-03	3.0E-01	1.1E-01
	정남	13	0.70	12.02	3.67	7.3E-03	2.7E-01	9.1E-02
	동탄	1	3.64	3.64	3.64	8.6E-01	8.6E-01	8.6E-01
	남양	6	0.89	8.10	3.09	1.4E-04	3.3E-01	1.0E-01
합계		162						

<표 3-2-6> 유역별 수리상수 분포현황

대수층	유역	관정수	투수량계수 (㎡/day)			저류계수		
			최소	최대	평균	최소	최대	평균
충적	HS-3	9	0.85	995.35	175.56	1.1E-02	9.2E-01	1.7E-01
	HS-9	1	85.11	85.11	85.11	-	-	-
암반	HS-1	7	1.97	10.49	4.05	2.3E-03	1.8E-02	9.2E-03
	HS-2	10	0.21	50.51	10.67	1.2E-03	3.0E-02	1.5E-02
	HS-3	35	0.28	13.22	3.2	1.4E-04	3.3E-01	6.3E-02
	HS-4	10	1.78	57.12	9.95	5.7E-04	9.6E-02	3.1E-02
	HS-5	24	0.12	28.75	3.61	1.6E-03	5.3E-01	7.5E-02
	HS-6	18	0.06	15.47	5.42	1.4E-04	8.8E-02	2.0E-02
	HS-7	39	0.47	147.90	8.00	1.0E-05	4.2E-01	1.1E-01
	HS-8	8	0.46	13.56	5.68	2.7E-03	5.9E-01	1.3E-01
	HS-9	1	3.64	3.64	3.64	8.6E-01	8.6E-01	8.6E-01
합계		162						

다. 지하수 부존 특성

화성시에서 충적층 지하수를 개발 이용하고 있는 지역은 HS-3유역에 위치하는 남양동과 우정면 지역이며, 특히 남양동지역은 비봉면 청요리와 자안리에서 발원하여 남양만으로 유입되는 청룡천 주변의 곡간 평야부에서 충적지하수를 영농에 활용하고 있으며, 흑운모화강암과 남양화강암의 풍화대가 잘 발달하고 있어 풍화대 지하수 개발도 유리한 지역이다.

온천지구로 지정된 팔탄면의 덕천리, 월문리 및 화당리지역과, 온천공 보호지역인 팔탄면 율암리는 고심도의 온천을 개발·이용하고 있으며, 장안면 수촌리 태안읍 안녕리, 송산면 사강리에서도 온천발견 신고가 되어 있어 일부지역에서는 심부지하수 개발도 가능한 것으로 판단된다.

1) 충적지하수

충적층은 신생대 제4기의 미고결퇴적물로 이루어져 있으며 내륙의 하상과 해안의 저지대에 분포하여 자갈, 모래, 점토 등으로 구성되어 있다. 충적층은 입자사이에 공극이 발달되어 있어 부존성이 양호하나 구성물질의 종류에 따라 대수성의 차이가 매우 큰 특성을 지닌다.

수맥조사 등 기조사 자료를 분석한 결과 조사지역 충적층의 평균두께는 11.9m이며 HS-4 유역이 15.6m로 가장 두꺼웠으며 HS-9 유역이 8.3m로 가장 충적층후가 작은 것으로 조사되었다. 풍수기 평균 지하수위를 이용한 포화대수층의 두께는 평균 4.5m이며 HS-7 유역이 6.8m로 최대이고 HS-9 유역이 1.9m로 포화대 두께가 가장 작은 것으로 나타났다(표3-2-7, 그림 3-2-6).

순간수위변화시험으로 산출한 각 유역 충적층의 평균 수리전도도는 2.81×10^{-2}cm/s이며 HS-3 유역의 수리전도도가 가장 큰 6.47×10^{-2}cm/s의 수리전도도값을 보이고 HS-2 유역이 $1..4\times10^{-2}$cm/s의 가장 작은 수리전도도 값을 보인다.

지하수는 강수 및 표류수가 자연적으로 지하로 함양되어 유동 및 배출을 지속하면서 영구적으로 순환하는 재생 수자원으로서 대수층은 지하수의 유동 통로와 천연 지하저류지의 기능을 갖는다. 조사지역의 충적대수층에 저류된 지하수량을 산정하기 위하여 일제조사시 측정된 지하수위 자료와 수맥조사 등의 기조사 자료를 토대로 충적대수층의 두께를 파악하였다. 충적층의 체적은 충적층 분포면적에 포화대의 두께를 곱하여 계산하였으며, 유효공극율(저류계수)은 구성물질에 따라

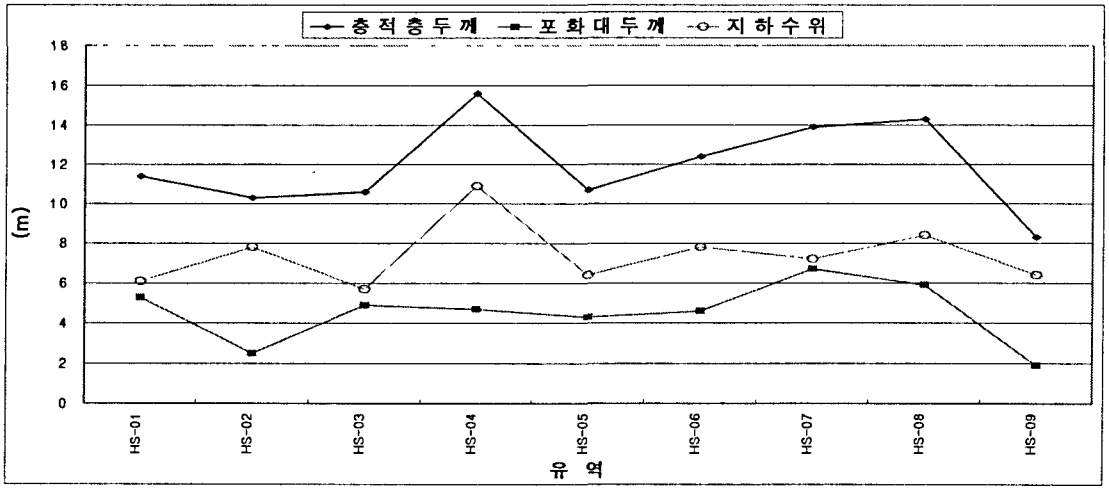
다르나 화성시에서는 HS-3유역에 위치하는 충적관정 9개소의 평균저류계수인 0.17을 적용하여 충적층 지하수 저류량을 구하였다.

지하수저류량 = 충적층 분포면적 × 포화대 두께 × 유효공극율(저류계수)

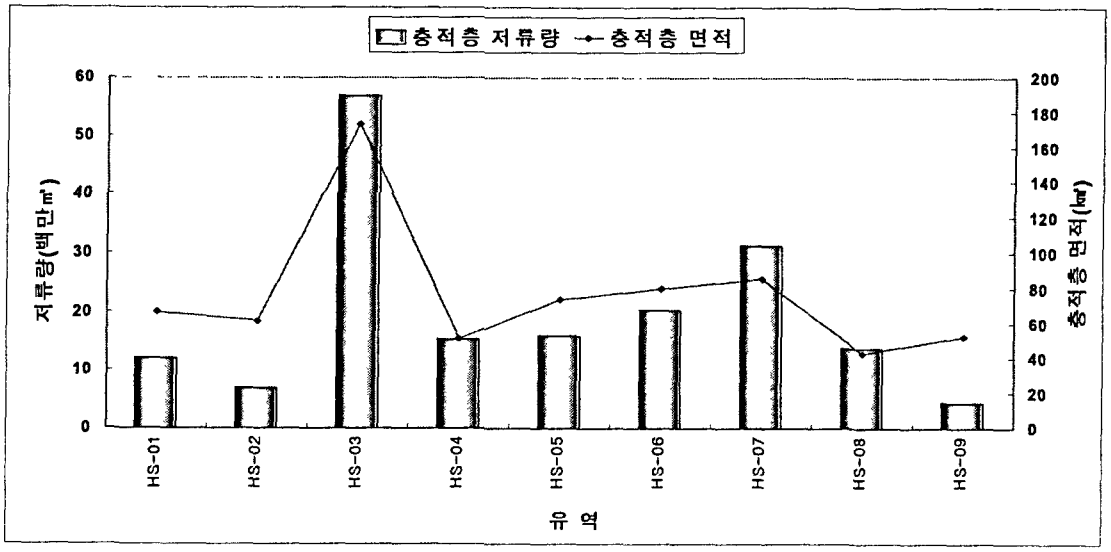
위의 방식에 의하여 구해진 조사지역의 유역별 충적층 지하수저류량은 176,498천m^3이며 유역별로 가장 많은 저류량을 갖는 곳은 면적이 가장 큰 HS-3 유역으로 56,834천m^3의 저류량을 갖는다. 그림 3-2-7은 저류량과 유역면적의 관계를 보여준다.

<표 3-2-7> 유역별 충적대수층 수리특성

유역	충적층두께(m)			지하수위(m)			포화대 두께 (m)	충적층 면적 (km^2)	K (cm/초)	T (m^2/일)	S	저류량 (천m^3)
	최소	최대	평균	최소	최대	평균						
평균/계			11.9			7.4	4.5	219.09	2.81E-02	130.34	1.70E-01	176,498
HS-1	4.2	34.0	11.4	0.2	28.4	6.1	5.3	13.39	1.46E-02	-	-	12,063
HS-2	2.0	24.0	10.3	0.4	30.0	7.8	2.5	16.26	1.40E-02	-	-	6,913
HS-3	1.0	47.0	10.6	0.1	34.2	5.7	4.9	68.23	6.47E-02	175.56	1.70E-01	56,834
HS-4	6.0	35.0	15.6	1.0	68.0	10.9	4.7	19.02	1.58E-02	-	-	15,200
HS-5	3.0	25.0	10.7	0.1	68.0	6.4	4.3	21.81	1.51E-02	-	-	15,942
HS-6	3.0	37.0	12.4	0.1	80.0	7.8	4.6	25.94	4.38E-02	-	-	20,283
HS-7	1.0	35.0	13.9	0.1	40.0	7.2	6.7	27.41	3.00E-02	-	-	31,218
HS-8	6.2	24.0	14.3	0.1	68.0	8.4	5.9	13.70	3.34E-02	-	-	13,740
HS-9	3.6	13.0	8.3	0.5	29.0	6.4	1.9	13.33	2.11E-02	85.11	-	4,307



<그림 3-2-6> 유역별 충적대수층의 수리특성



<그림 3-2-7> 유역별 충적층 면적 및 저류량

2) 암반지하수

수맥조사, 지하수영향조사, 온천공조사 등 기조사 자료와 금회 조사에서 취득된 암반관정 양수시험 자료를 종합하여 화성시 암반대수층 특성을 분포지질별·유역별로 살펴보면 표 3-2-8~9와 같다.

지질별 암반지하수의 평균개발심도는 화강편마암에서 241m로 가장 깊고, 규암에서 105m로 개발심도가 가장 낮으며, 유역별로 볼 때 HS-2유역이 411m로 가장 깊고, HS-6유역이 226m로 그 다음이며, HS-5유역이 126m로 개발심도가 가장 낮다.

암반대수층의 수리특성은 암층내에 발달된 절리, 파쇄대 및 단열구조 등의 2차공극과 지하수의 저류 및 유동에 관련되는 지질구조에 좌우되며, 조사지역의 암반지하수는 층리, 균열, 절리 및 단층 등 2차 공극을 따라 유동하는 열극형 지하수로 분포지질별 대수층 심도의 차이가 큰 것으로 판단된다.

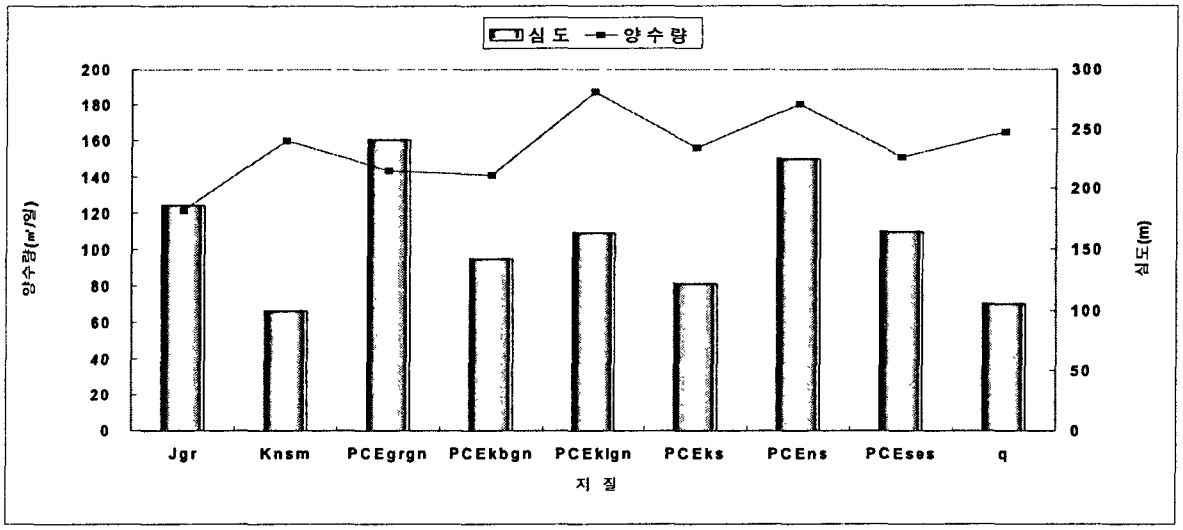
평균양수량은 남양동과 비봉면, 매송면, 태안읍의 일부에 분포하는 화강암류가 121㎥/일로 가장 낮고, 편암 및 편마암류를 주로하는 변성암류가 141㎥/일~188㎥/일의 양수량을 나타내며(그림 3-2-8), 유역별로는 HS-4유역과 HS-6유역이 높고 HS-5유역이 가장 낮은 것으로 나타난다(그림 3-2-10).

암반대수층의 유역별 투수량계수, 수리전도도 및 비양수량은 편암류에서 높게 나타나고 화강암에서 가장 낮은 값을 나타내며, 유역별로는 HS-4유역이 높은 값을 보이고 HS-2유역에서 낮게 나타난다(그림 3-2-9, 11).

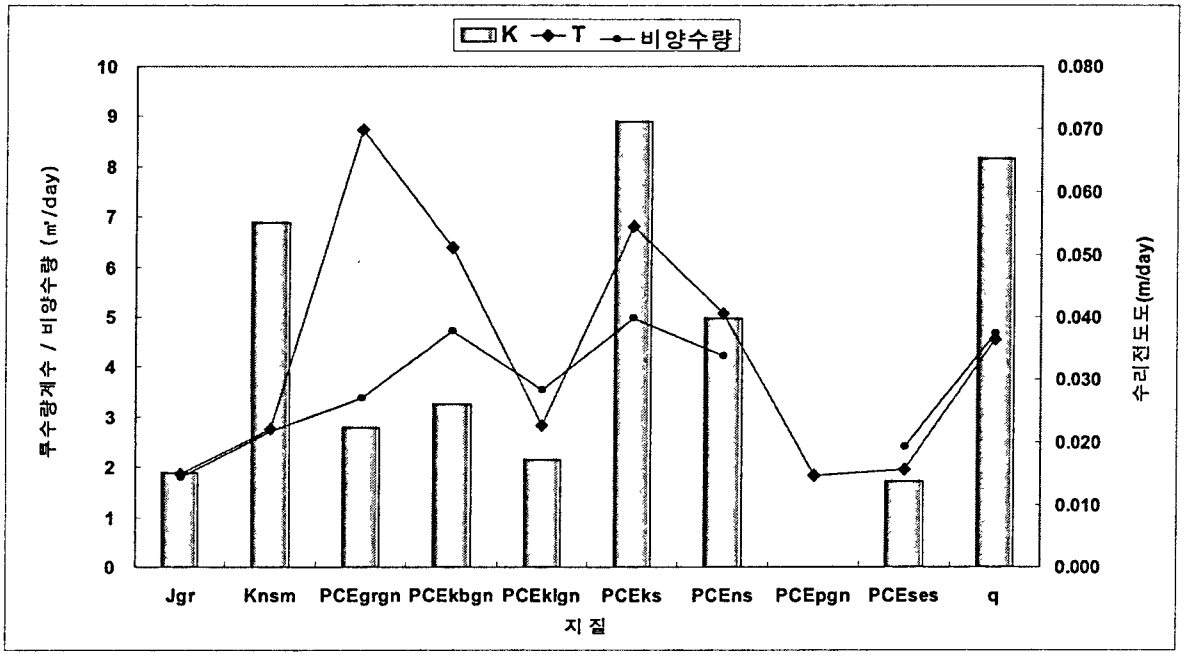
<표 3-2-8> 지질별 암반대수층의 수리특성

지질	공수	구분	심도 (m)	양수량 (㎥/일)	자연 수위 (m)	안정 수위 (m)	비양수량 (㎥/일)	포화대 두께 (m)	K (m/일)	T (㎡/일)	S	유역
Jgr	9	최대	370	170	30.2	257.8	2.95	340	0.05	8.10	2.90E-01	HS-3, HS-5
		최소	100	50	2.8	46.5	0.21	80	0.01	0.12	1.38E-04	
		평균	186	121	9.1	98.2	1.80	168	0.02	1.86	7.17E-02	
Knsm	1	평균	100	160	9.0	68.0	2.71	50	0.06	2.75	6.61E-03	HS-1
PCEgrgn	20	최대	1150	200	14.0	319.8	14.93	1148	0.05	50.51	3.25E-01	HS-1, HS-2
		최소	80	40	1.0	19.1	0.31	64	0.01	0.21	1.23E-03	
		평균	241	144	3.9	85.3	3.37	293	0.02	8.72	3.73E-02	HS-3, HS-5
PCEkbgn	60	최대	652	1240	40.0	156.0	41.01	258	0.17	147.90	5.90E-01	HS-1, HS-3
		최소	54	31	0.8	11.1	0.34	26	0.01	0.20	1.00E-05	HS-5, HS-6
		평균	142	141	9.6	55.0	4.72	111	0.03	6.40	1.02E-01	HS-7, HS-8
PCEklgn	7	최대	200	450	18.8	86.6	8.70	198	0.03	4.30	8.58E-01	HS-7, HS-8
		최소	100	40	2.0	47.7	0.88	96	0.01	0.46	5.32E-04	
		평균	163	188	5.4	60.4	3.55	155	0.02	2.84	1.64E-01	HS-9
PCEks	2	최대	150	156	4.2	35.5	4.97	73	0.07	8.45	1.05E-02	HS-6
		최소	94	156	4.1	35.5	4.97	73	0.07	5.20	9.54E-03	
		평균	122	156	4.1	35.5	4.97	73	0.07	6.83	1.00E-02	
PCEns	49	최대	900	430	41.5	265.0	19.60	368	0.36	57.12	5.31E-01	HS-2, HS-3
		최소	25	6.1	0.7	18.3	0.12	24	0.01	0.06	1.35E-04	HS-4, HS-5
		평균	225	180	9.5	72.3	4.21	126	0.04	5.06	4.88E-02	HS-6
PCEpgn	1	평균	100	-	4.5	-	-	-	-	1.85	2.15E-02	HS-7
PCEses	1	평균	164	151	11.3	74.2	2.40	143	0.01	1.97	7.50E-03	HS-1
q	2	최대	110	180	2.2	46.0	5.95	102	0.08	5.03	9.07E-03	HS-1, HS-6
		최소	100	150	2.0	32.4	3.40	50	0.05	4.06	3.02E-03	
		평균	105	165	2.1	39.2	4.68	76	0.07	4.55	6.04E-03	

* 지질 : Jgr - Granites, Knsm - Sandstone & Mudstone, PCEgrgn - Granitic gneiss, PCEkbgn - Banded gneiss, PCEklgn - Leucocratic gneiss, PCEks - Schists, PCEns - Schists, PCEpgn - Porphyroblastic gneiss, PCEses - Schists, q - Quartzite



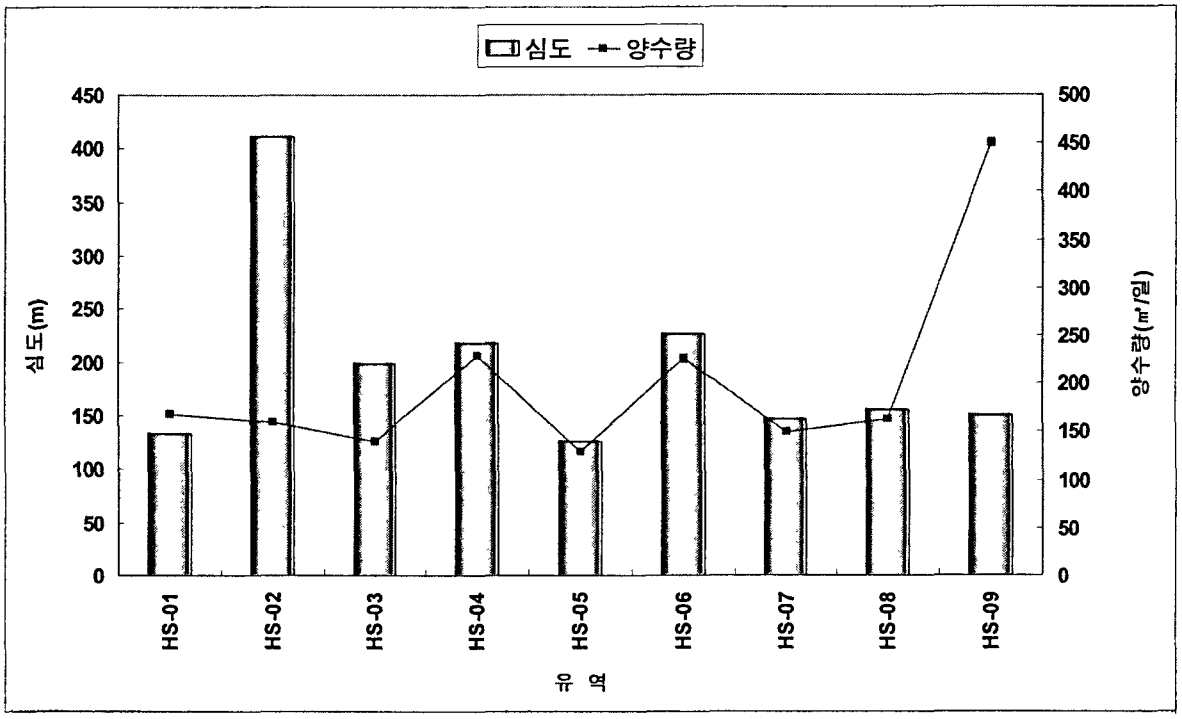
<그림 3-2-8> 지질별 암반지하수 평균심도 및 양수량



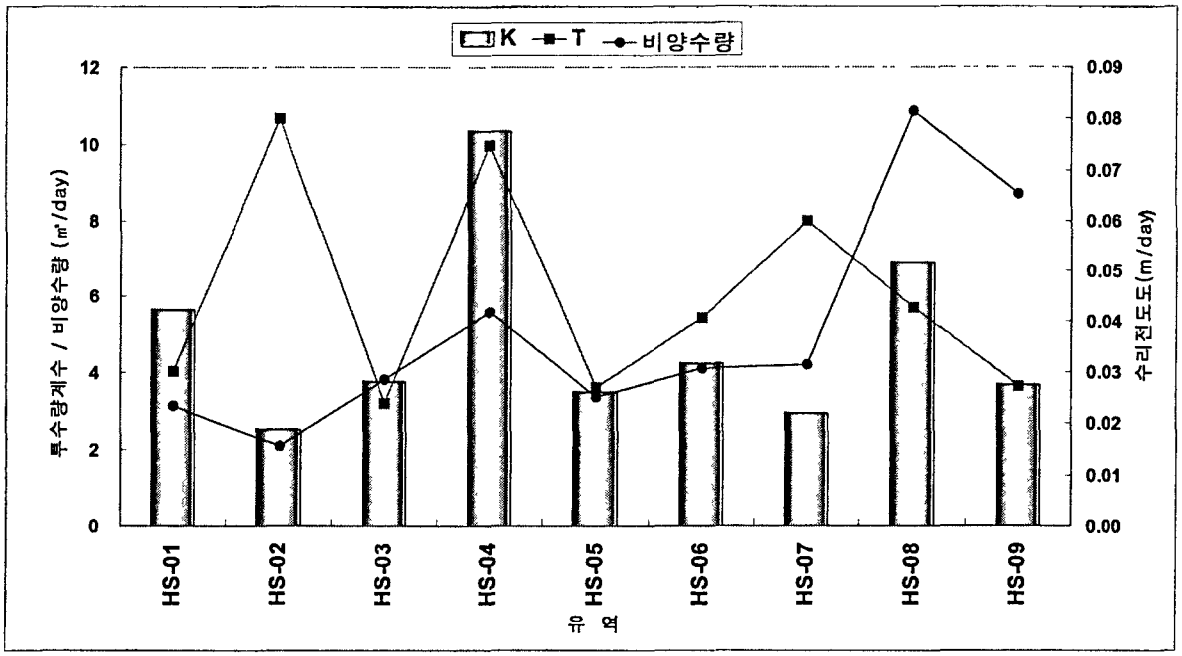
<그림 3-2-9> 지질별 암반지하수 투수량계수, 수리전도도 및 비양수량

<표 3-2-9> 유역별 암반대수층의 수리특성

유역	공수	구분	심도 (m)	양수량 (㎥/일)	자연 수위 (m)	안정 수위 (m)	비양수량 (㎥/일)	포화대 두께 (m)	K (m/일)	T (㎡/일)	S	분포지질
HS-1	7	최대	250	208	25.9	74.2	4.5	143	0.08	10.49	1.83E-02	Knsm, q
		최소	80	150	2.0	46.0	2.4	50	0.01	1.97	2.25E-03	PCEses, PCEgrgn
		평균	133	168	9.0	65.0	3.1	85	0.04	4.05	9.18E-03	PCEkbgn
HS-2	10	최대	1150	200	14.0	319.8	3.6	1148	0.05	50.51	2.99E-02	PCEgrgn, PCEns
		최소	70	100	1.4	52.2	0.3	64	0.01	0.21	1.23E-03	
		평균	411	160	4.1	131.2	2.1	525	0.02	10.67	1.47E-02	
HS-3	35	최대	700	430	32.0	265.0	15.2	368	0.10	13.22	3.25E-01	PCEgrgn, Jgr PCEkbgn, PCEns
		최소	25	6.1	0.7	18.3	0.1	30	0.01	0.28	1.38E-04	
		평균	199	140	9.1	70.3	3.8	142	0.03	3.20	6.27E-02	
HS-4	10	최대	808	400	7.3	79.8	19.6	184	0.36	57.12	9.62E-02	PCEns
		최소	100	150	1.5	19.7	2.1	24	0.01	1.78	5.71E-04	
		평균	218	228	5.1	64.8	5.6	121	0.08	9.95	3.05E-02	
HS-5	24	최대	370	205	30.2	257.8	12.5	340	0.14	28.75	5.31E-01	Jgr, PCEgrgn PCEns, PCEkbgn
		최소	73	31	0.8	15.0	0.2	67	0.00	0.12	1.61E-03	
		평균	126	129	7.7	72.8	3.4	116	0.03	3.61	7.53E-02	
HS-6	18	최대	900	350	41.5	142.3	6.0	160	0.07	15.47	8.77E-02	PCEkbgn, q PCEks, PCEns
		최소	60	150	1.5	32.4	2.2	52	0.01	0.06	1.35E-04	
		평균	227	226	12.6	74.7	4.1	102	0.03	5.42	2.22E-02	
HS-7	39	최대	652	1240	40.0	156.0	41.0	258	0.17	147.90	4.22E-01	PCEkbgn, PCEklgn PCEpgn
		최소	54	40	1.7	19.0	0.7	26	0.01	0.47	1.00E-05	
		평균	146	150	10.2	55.0	4.2	112	0.02	8.00	1.11E-01	
HS-8	8	최대	200	300	5.2	86.6	32.2	198	0.15	13.56	5.90E-01	PCEkbgn, PCEklgn
		최소	100	40	1.8	11.1	0.9	91	0.01	0.46	2.70E-03	
		평균	155	162	3.1	41.6	10.9	144	0.05	5.68	1.33E-01	
HS-9	1	평균	150	450	18.8	70.5	8.7	132	0.03	3.64	8.58E-01	PCEpgn



<그림 3-2-10> 유역별 암반지하수 심도 및 양수량



<그림 3-2-11> 유역별 암반지하수 투수량계수, 수리전도도 및 비양수량

3.2.2 지하수 수질특성

가. 수질현황

1) 현장수질현황

현장수질조사는 지하수위조사와 마찬가지로 년도별로 이용실태 조사시 파악된 관정에 대하여 갈수기(2001년 2차, 2002년 1차, 2003년 1차조사)와 풍수기(2001년 3차, 2002년 2차, 2003년 2차조사)로 구분하여 대수층별로 현장수질을 분석하였다.

① 온도

조사지역 지하수의 온도는 12.2~24.0℃(충적 12.2~23.8℃, 암반 12.4~24.0℃)의 범위를 보여준다(표 3-2-10).

지하수 평균온도는 풍수기가 갈수기보다 충적층지하수 1.1℃, 암반층지하수 0.7℃씩 높은 값을 보여주고 있다.

<표 3-2-10> 유역별 지하수 온도 현황

(단위 : ℃)

유역		갈수기 (N=1,651)					풍수기 (N=1,177)				
		최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	충적	23.2	12.2	16.5	16.3	1.9	23.8	13.8	17.6	17.2	2.2
	암반	22.8	12.4	16.4	16.1	1.5	24.0	13.2	17.1	16.5	2.1
HS-1	충적	19.0	13.0	16.1	15.8	1.4	19.1	14.1	16.2	16.0	1.2
	암반	18.9	13.1	15.9	15.6	1.3	23.1	13.2	15.8	15.5	1.7
HS-2	충적	19.0	14.1	16.4	16.4	1.4	18.9	14.2	16.2	16.1	1.2
	암반	19.6	14.2	16.6	16.3	1.3	18.9	14.4	16.6	16.4	1.4
HS-3	충적	22.9	12.2	16.2	15.8	2.2	23.8	14.1	18.4	17.9	2.3
	암반	22.3	14.3	17.0	16.7	1.7	23.8	14.9	18.0	17.1	2.5
HS-4	충적	21.6	16.3	18.3	18.0	1.4	22.1	16.1	18.4	17.8	1.9
	암반	18.4	15.2	16.4	16.0	0.9	20.5	15.8	17.0	16.6	1.3
HS-5	충적	22.0	13.3	16.7	16.8	1.9	23.0	14.2	17.1	17.2	1.8
	암반	21.8	13.9	16.3	16.0	1.4	24.0	14.4	17.2	16.3	2.2
HS-6	충적	18.8	14.3	16.7	16.9	1.3	23.2	14.2	17.3	16.8	2.1
	암반	22.3	13.8	16.3	15.9	1.3	23.3	14.3	16.8	16.5	1.8
HS-7	충적	21.3	13.3	16.4	16.0	1.9	19.3	13.8	16.2	15.9	1.3
	암반	22.8	12.6	16.0	15.8	1.4	21.0	14.3	16.8	16.5	1.3
HS-8	충적	-	-	-	-	-	20.3	14.3	17.0	17.1	1.7
	암반	-	-	-	-	-	21.4	14.3	16.2	16.0	1.2
HS-9	충적	23.2	13.4	18.2	18.4	2.2	23.2	15.3	18.5	18.5	2.0
	암반	21.2	12.4	16.2	16.1	1.6	23.8	15.9	18.9	17.8	2.3

② pH

측정된 전체시료의 pH는 4.2~9.2(충적 4.2~8.4, 암반 4.8~9.2)의 범위를 보여준다(표 3-2-11).

대수층별로 살펴볼 때 갈수기와 풍수기 모두 암반지하수의 평균 pH가 0.5 높게 나타나며, 시기별로 갈수기의 pH가 풍수기보다 0.1 높게 나타난다.

<표 3-2-11> 유역별 수소이온농도 현황

유역		갈수기 (N=1,651)					풍수기 (N=1,177)				
		최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	충적	8.4	4.2	6.4	6.3	0.5	8.2	4.2	6.3	6.3	0.5
	암반	8.8	4.8	6.9	6.8	0.6	9.2	5.0	6.8	6.7	0.6
HS-1	충적	7.9	5.6	6.5	6.4	0.4	7.8	5.6	6.5	6.5	0.5
	암반	8.4	6.0	6.9	6.8	0.5	8.2	5.3	6.9	6.9	0.6
HS-2	충적	7.7	5.2	6.4	6.4	0.4	8.1	5.5	6.4	6.4	0.4
	암반	8.3	5.8	7.1	7.1	0.6	8.0	6.1	7.0	6.8	0.6
HS-3	충적	8.4	4.8	6.5	6.4	0.5	7.9	4.7	6.3	6.2	0.5
	암반	8.5	5.2	7.0	7.0	0.6	8.1	5.4	6.7	6.7	0.5
HS-4	충적	7.0	4.3	5.9	5.9	0.7	6.8	5.1	6.1	6.1	0.5
	암반	7.3	5.3	6.0	6.1	0.5	7.5	5.8	6.8	6.9	0.6
HS-5	충적	7.0	5.4	6.2	6.2	0.4	7.0	4.9	6.0	6.0	0.4
	암반	7.9	4.9	6.6	6.7	0.7	7.9	5.6	6.6	6.5	0.6
HS-6	충적	7.0	5.2	6.1	6.1	0.5	8.2	4.6	6.4	6.4	0.7
	암반	8.2	4.8	6.9	6.8	0.6	8.5	5.0	6.8	6.7	0.6
HS-7	충적	7.2	4.2	6.2	6.3	0.4	6.9	4.2	6.2	6.3	0.5
	암반	8.6	4.9	6.8	6.7	0.6	9.2	5.5	6.7	6.6	0.6
HS-8	충적	-	-	-	-	-	7.5	5.7	6.4	6.3	0.4
	암반	-	-	-	-	-	8.2	5.9	6.9	6.9	0.6
HS-9	충적	7.2	5.0	6.0	6.0	0.5	6.8	5.1	6.0	6.0	0.4
	암반	8.8	5.5	7.0	7.1	0.7	8.1	5.9	6.9	6.8	0.6

③ EC

측정된 전체시료의 EC는 47~11,100 μS/㎝(충적 47~7,220, 암반 57~11,100)의 범위를 보여준다(표 3-2-12).

갈수기와 풍수기의 EC 평균값은 큰 차이를 보이지는 않으나 대체로 갈수기의 EC가 풍수기보다 충적 2 μS/㎝, 암반 25 μS/㎝ 높은 값을 보인다.

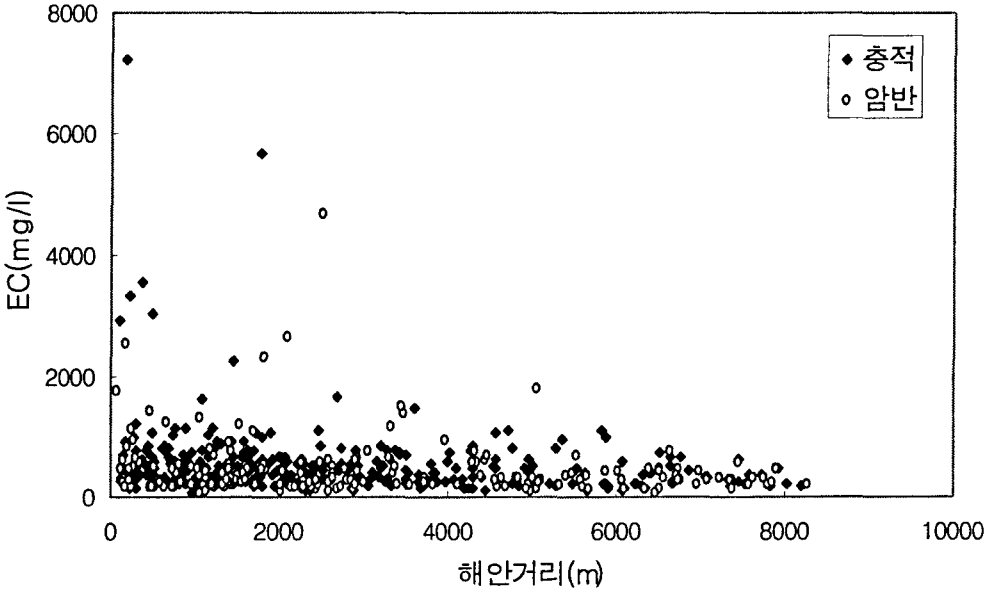
유역별로 볼 때 HS-1, HS-2, HS-3 유역의 서해안부분의 EC값이 높은 것으로 조사되었다(그림 3-2-13~14).

<표 3-2-12> 유역별 전기전도도 현황

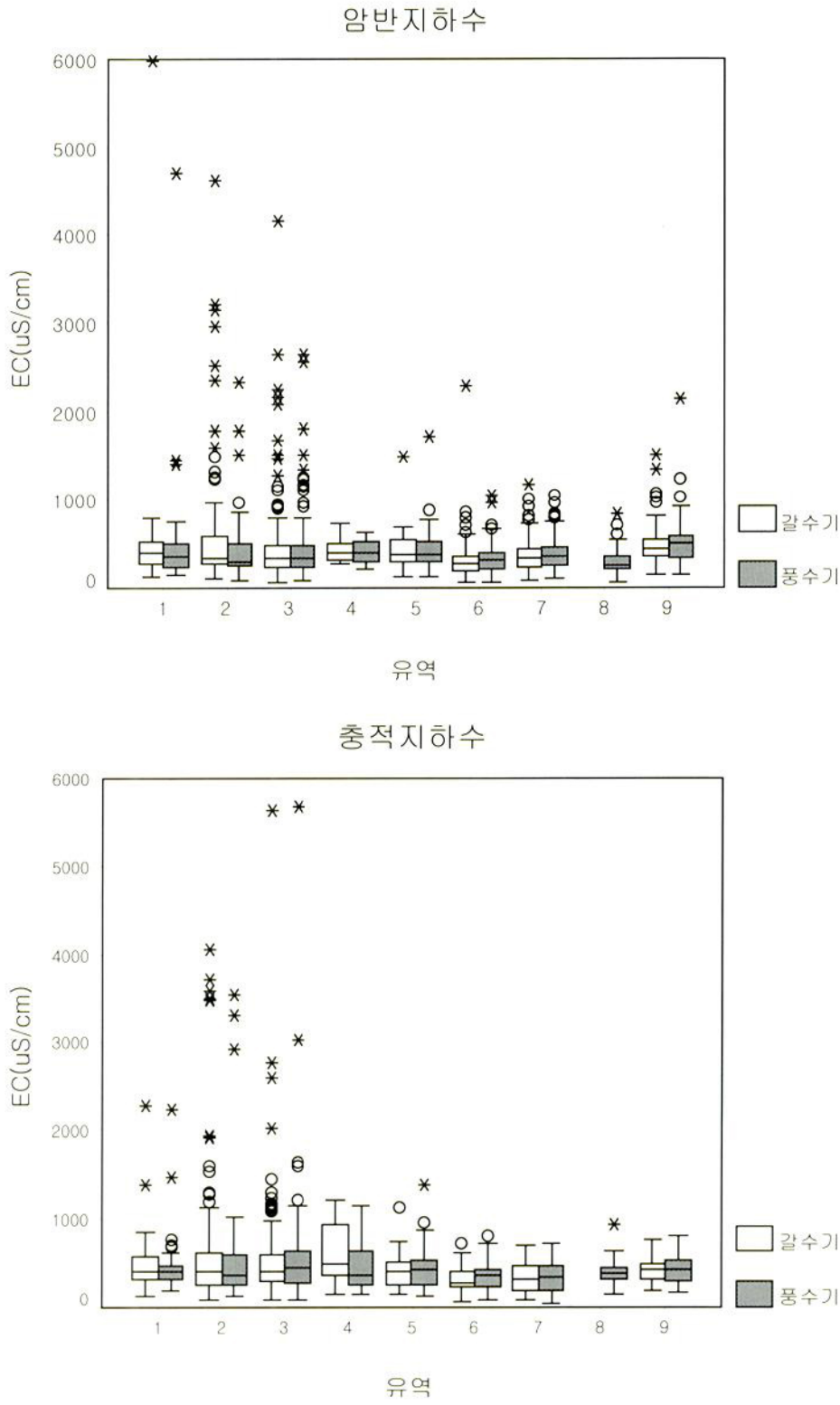
(단위 : μS/cm)

유역		갈수기 (N=1,651)					풍수기 (N=1,177)				
		최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	충적	5,630	73	480	398	439	7,220	47	478	395	490
	암반	11,100	57	434	338	541	4,690	65	409	336	342
HS-1	충적	2,280	118	470	415	294	2,250	201	485	396	352
	암반	11,100	133	695	403	1,594	4,690	153	530	367	740
HS-2	충적	4,050	82	550	400	606	3,540	136	622	355	804
	암반	4,620	103	642	338	797	2,320	89	512	302	521
HS-3	충적	5,630	94	511	413	466	7,220	89	544	442	625
	암반	4,160	57	432	328	427	2,650	77	451	328	393
HS-4	충적	1,220	153	626	501	351	1,150	153	485	366	311
	암반	740	275	444	409	155	622	209	406	395	138
HS-5	충적	1,130	142	415	402	224	1,380	127	434	420	249
	암반	1,480	128	418	373	191	1,720	125	433	371	255
HS-6	충적	724	73	328	288	160	817	93	356	353	160
	암반	2,280	65	301	267	219	1,040	65	325	316	174
HS-7	충적	714	90	343	330	163	719	47	348	331	178
	암반	1,180	82	356	328	172	1,040	100	384	363	183
HS-8	충적	-	-	-	-	-	930	144	400	392	165
	암반	-	-	-	-	-	846	66	292	248	135
HS-9	충적	760	190	434	437	140	806	164	427	430	147
	암반	1,500	141	492	432	225	2,150	143	534	495	338

해안에서 가까운 HS-1, -2, -3 유역에 대한 해안으로부터의 거리에 따른 EC 함량변화는 그림 3-2-12와 같다. 대체로 해안에서 멀어질수록 EC값이 감소하는 경향을 보인다.

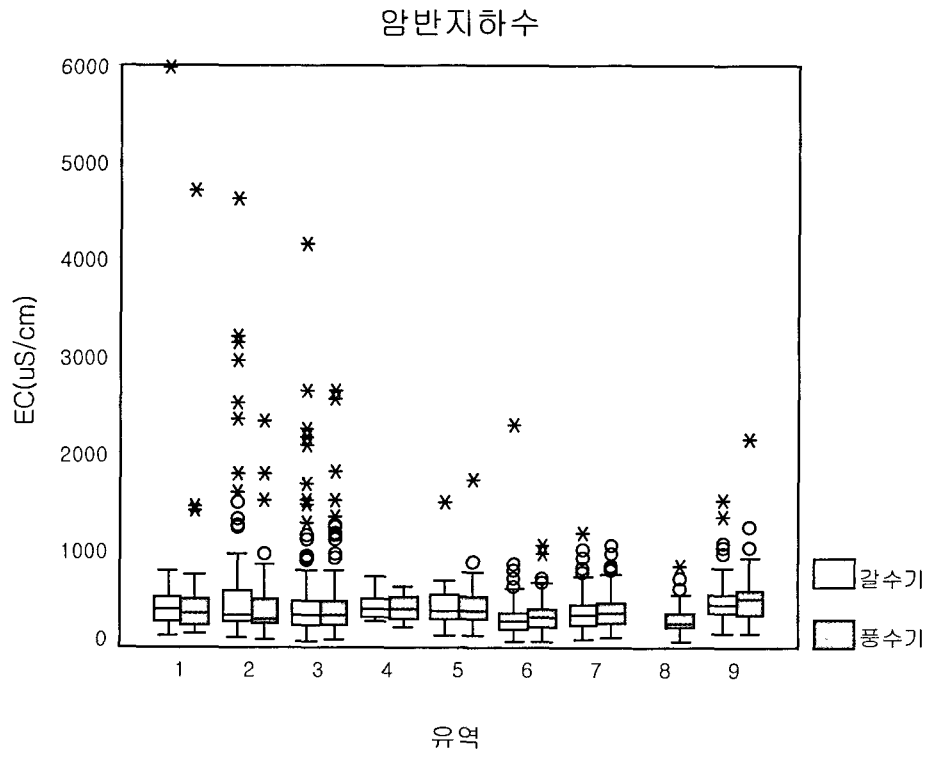


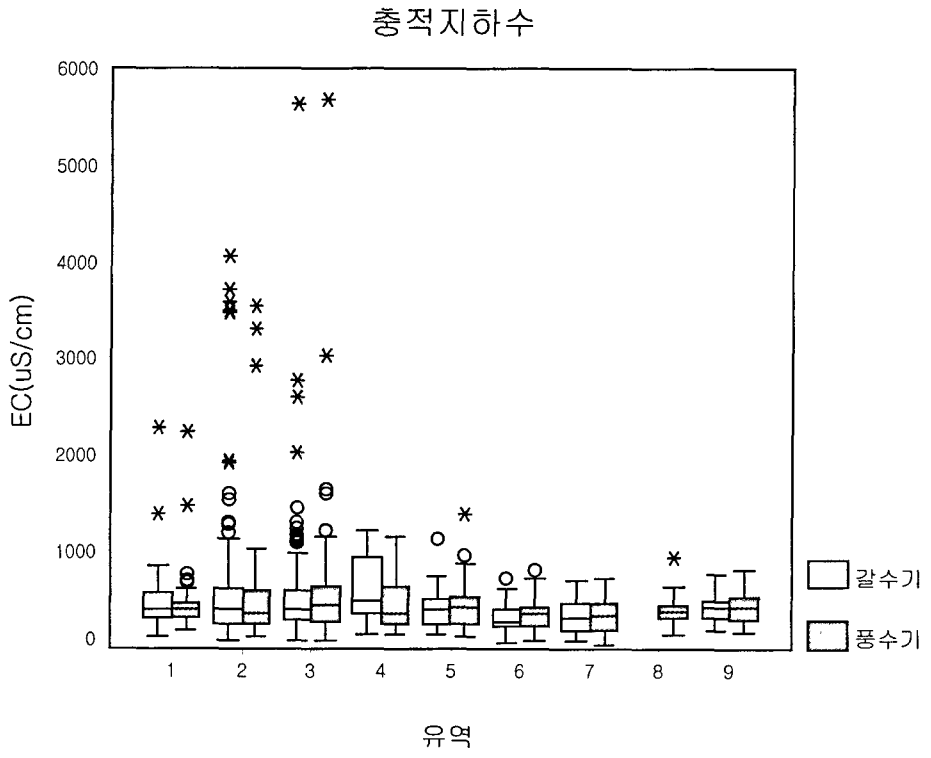
<그림 3-2-12> 해안으로부터의 거리에 따른 전기전도도 함량변화



<그림 3-2-13> 대수층별 유역별 전기전도도 분포

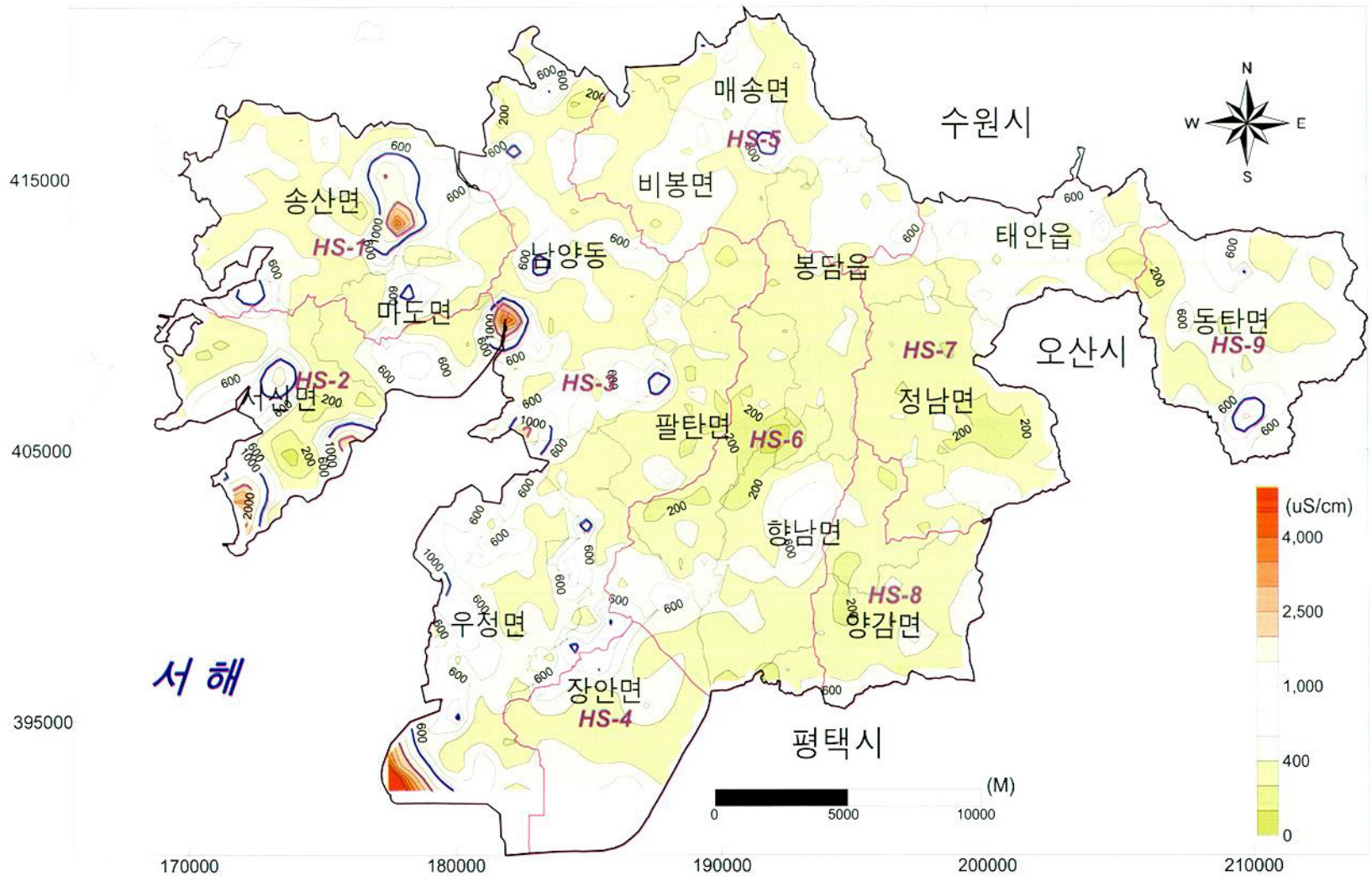
※ 암반지하수의 HS-1 유역과 충적지하수의 HS-3 유역의
일부 6,000㎲/cm 이상은 그림에 표시하지 않았음



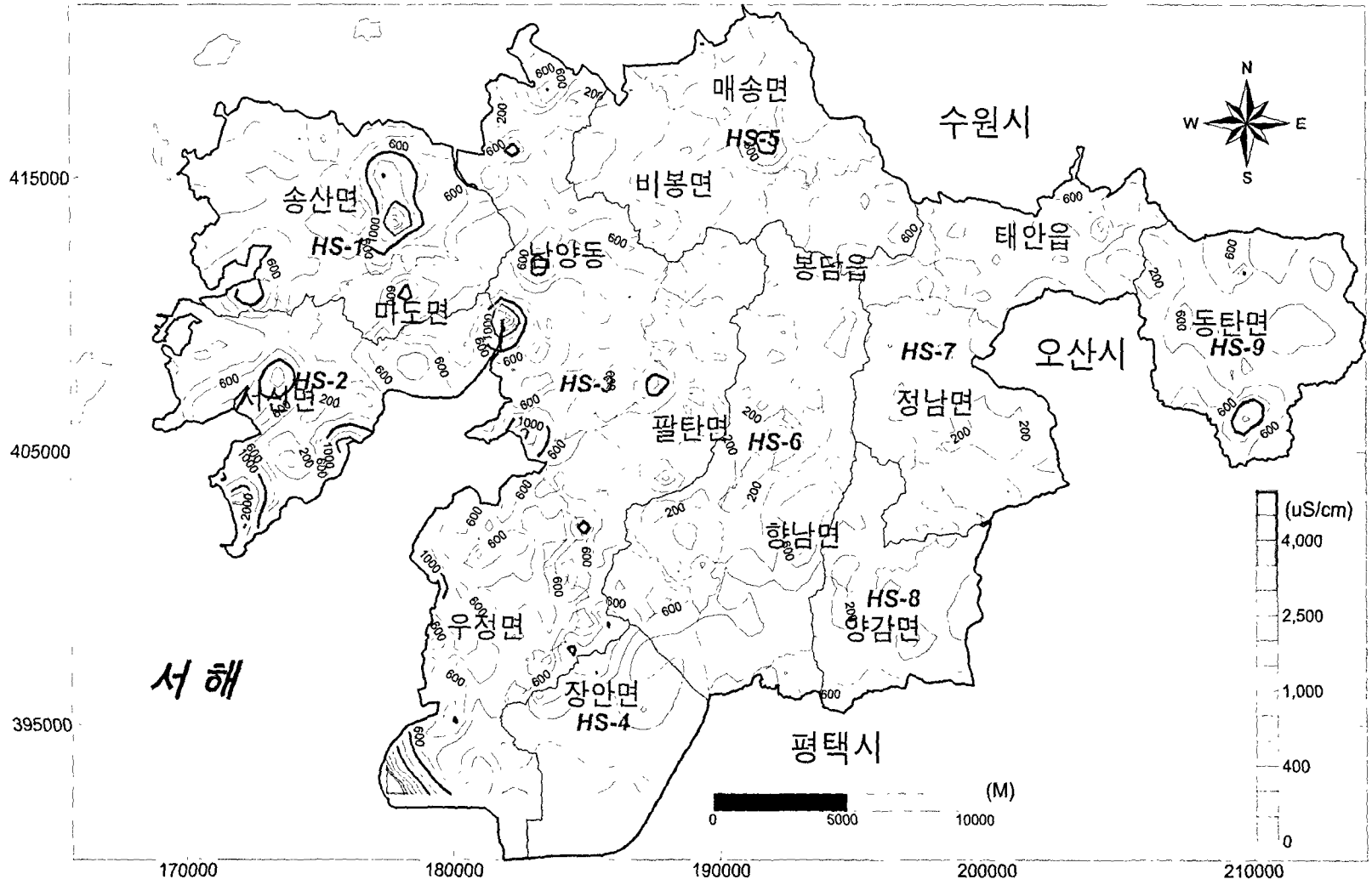


<그림 3-2-13> 대수층별 유역별 전기전도도 분포

※ 암반지하수의 HS-1 유역과 충적지하수의 HS-3 유역의
일부 6,000㎲/cm 이상은 그림에 표시하지 않았음



<그림 3-2-14> 풍수기 지하수의 전기전도도 분포도



<그림 3-2-14> 풍수기 지하수의 전기전도도 분포도

2) 정밀수질현황

① 조사내역

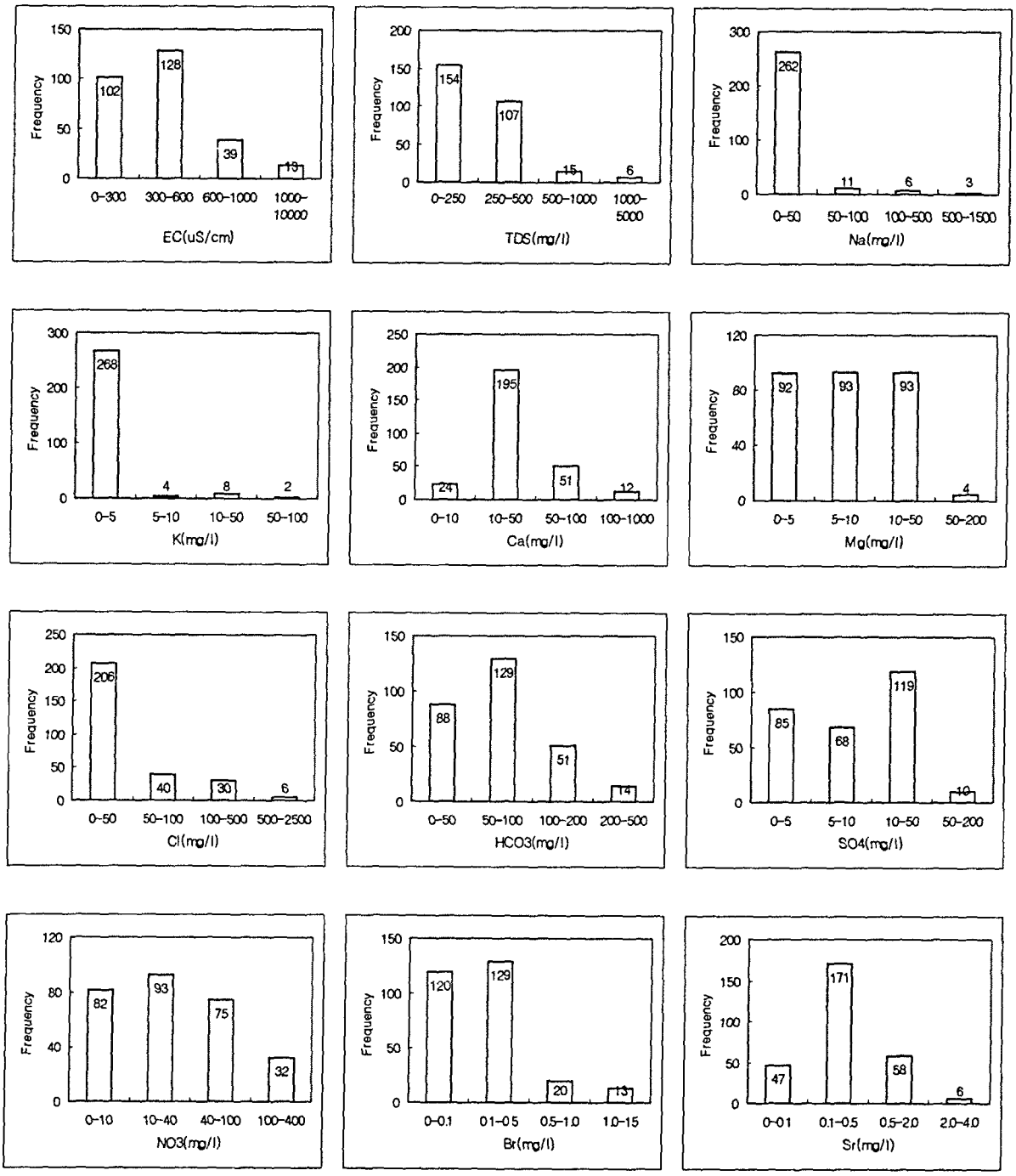
조사지역의 충적층 지하수, 암반층 지하수에 대한 수리지구화학적 특징을 규명하고, 오염현황을 파악하기 위하여 조사지역의 유역, 지역, 지질을 대표할 수 있는 지점을 선정하여 시료를 채취하였다. 양음이온 분석시료의 수원별 채취시료는 충적지하수 140개, 암반지하수 142개, 지표수 1개로 총283개이다(표 3-2-13).

조사된 충적지하수, 암반지하수, 지표수 등의 주요 화학성분의 분석결과에 대한 통계값은 표 3-2-13과 그림 3-2-15에 있으며, 유역별 용존이온별 평균함량 비교는 그림 3-2-16에 나타나 있다.

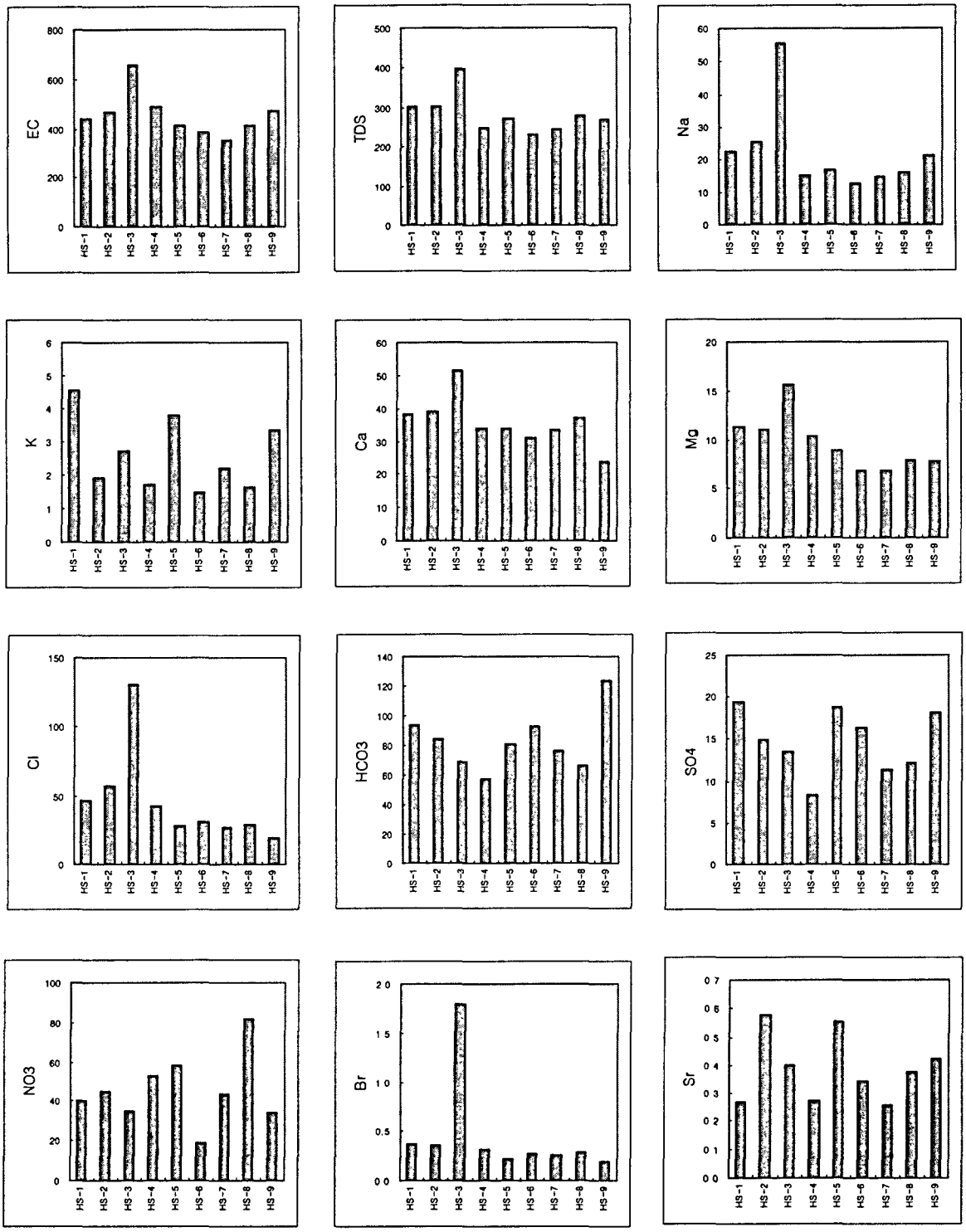
<표 3-2-13> 충적 및 암반지하수 이화학분석결과

구분	충적지하수(N=140)					암반지하수(N=142)					지표수 (N=1)
	최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차	
심도	50.0	3.0	24.2	25.0	8.6	1,000.0	50.0	121.2	100.0	98.0	-
수온	22.8	13.9	16.7	16.5	1.7	23.1	13.2	16.7	16.5	1.6	-
pH	7.9	5.2	6.5	6.6	0.5	9.7	5.5	7.0	7.0	0.6	-
EC	7,220	102	532	388	785	5,620	87	475	366	563	-
TDS	4,622	75	330	241	497	2,375	80	299	231	272	314
Na	1,274.5	0.5	36.0	16.2	126.8	606.5	3.2	26.6	13.4	59.8	64.2
K	83.8	0.5	3.3	1.6	9.2	13.6	0.3	1.9	1.4	1.9	10.7
Ca	989.4	0.8	42.6	29.4	88.2	226.8	0.9	38.1	26.9	34.5	22.8
Mg	189.1	0.4	12.4	7.5	20.5	82.5	0.1	9.9	5.9	11.4	8.4
SiO_2	71.3	7.6	25.1	25.4	6.8	56.9	8.7	23.6	23.8	7.1	2.0
Cl	2,351.2	1.1	77.5	27.9	248.0	1,230.4	3.0	60.2	21.0	158.4	93.4
HCO_3	228.8	9.1	66.4	54.9	43.0	487.7	10.7	91.1	74.7	60.6	73.2
CO_3	-	-	-	-	-	6.3	6.3	6.3	6.3	-	-
SO_4	152.6	0.0	15.6	8.6	22.4	118.5	n.d.	13.2	9.6	14.6	34.5
NO_3	239.9	0.0	50.6	39.3	46.4	335.9	n.d.	33.0	15.1	47.7	5.1
F	3.307	n.d.	0.229	0.175	0.370	4.013	n.d.	0.403	0.214	0.638	0.100
Sr	2.145	n.d.	0.316	0.233	0.280	3.356	n.d.	0.459	0.281	0.536	0.168
Br	12.904	n.d.	0.576	0.269	1.804	8.377	n.d.	0.419	0.247	0.940	0.443

※ n.d. : not detected



<그림 3-2-15> 지하수내 용존이온별 함량

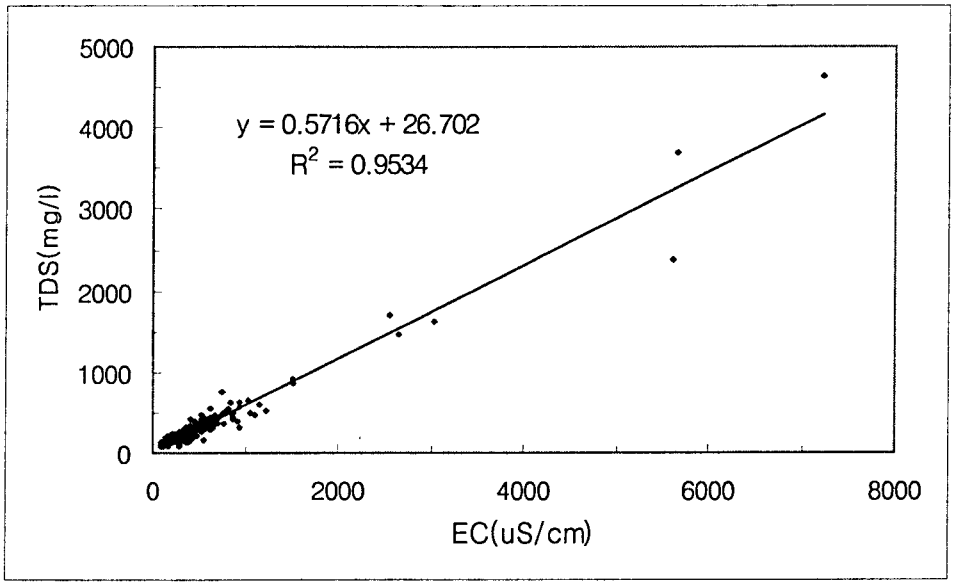


<그림 3-2-16> 유역별 용존이온별 평균함량 비교

② 수질특성

□ 총고용물질(TDS)

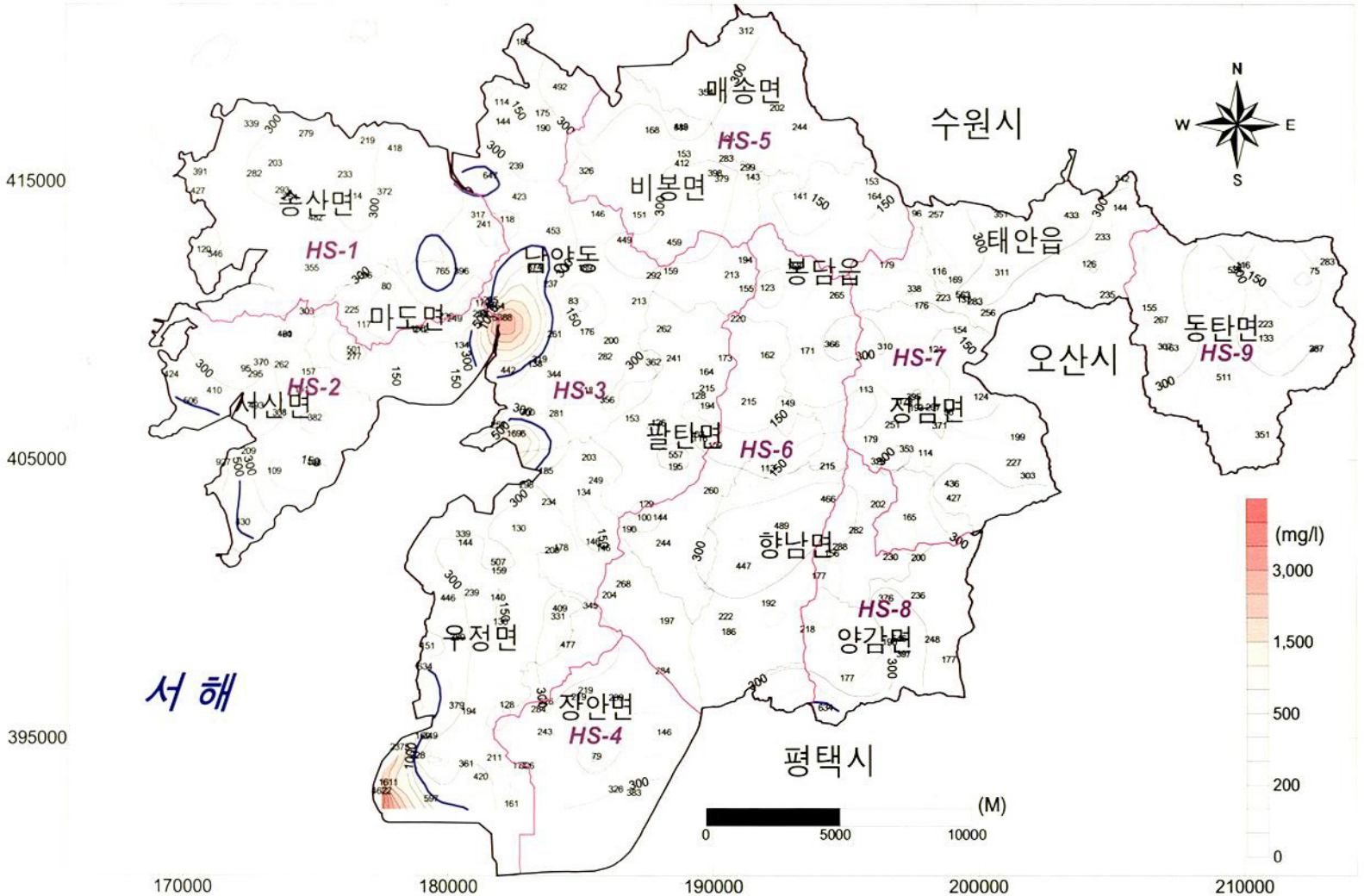
TDS값은 기존의 증발법(105~180℃에서 증발)으로 구하기 보다 분석이온종의 총합을 통하여 구하였다. 조사지역 충적지하수의 TDS값의 범위는 75~4,622㎎/*l*이며 평균값은 330㎎/*l*이고 표준편차는 497㎎/*l*이며, 암반지하수의 TDS값의 범위는 80~2,375㎎/*l*, 평균값은 299㎎/*l*이고 표준편차는 272㎎/*l*로서 대체로 충적지하수의 TDS 함량이 높게 나타난다. 조사지역 지하수의 전기전도도와 TDS와의 상관관계를 도식한 결과 매우 밀접한 상관성(R^2=0.95)을 보인다(그림 3-2-17).



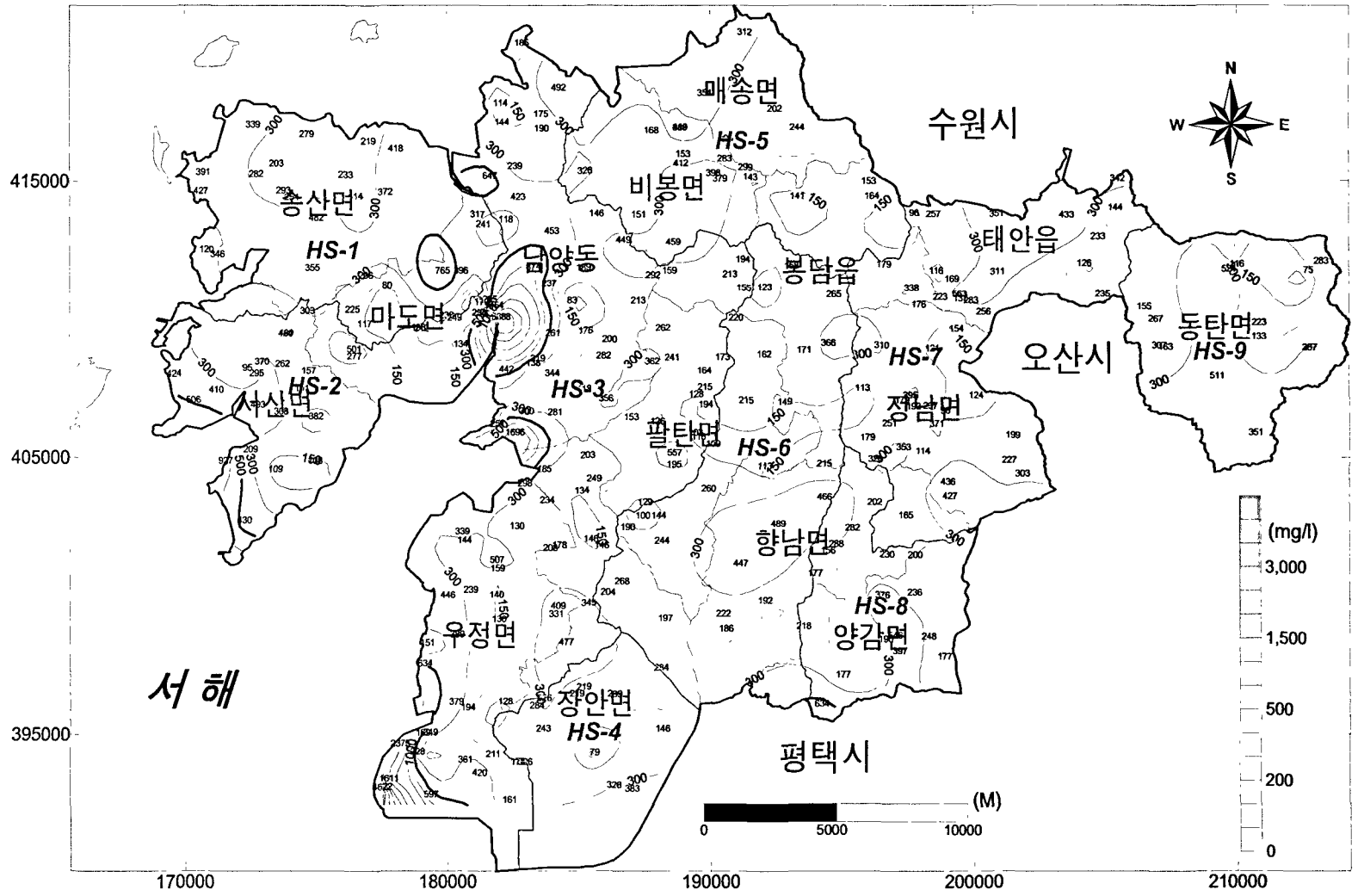
<그림 3-2-17> 전기전도도와 총고용물질과의 상관관계

유역별로 살펴볼 때 EC와 마찬가지로 TDS 값은 HS-3(평균 399㎎/*l*) 유역이 다른 유역보다 높은 평균값을 나타나며 특히, 1,000㎎/*l* 이상의 TDS 값을 나타내는 시료는 6개로서 이는 해수의 영향이 있는 것으로 사료된다.

그림 3-2-18은 화성시의 TDS 분포도이다. TDS 분포는 EC 및 Cl 분포도와 유사한 양상을 보인다.



<그림 3-2-18> 총고용물질(TDS) 농도 분포도



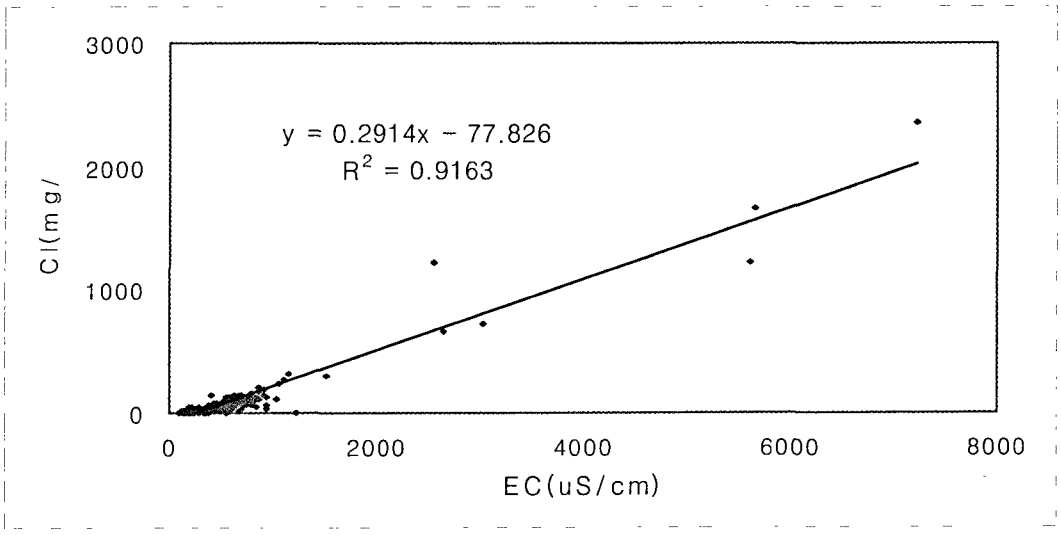
<그림 3-2-18> 총고용물질(TDS) 농도 분포도

□ 염소(Cl)

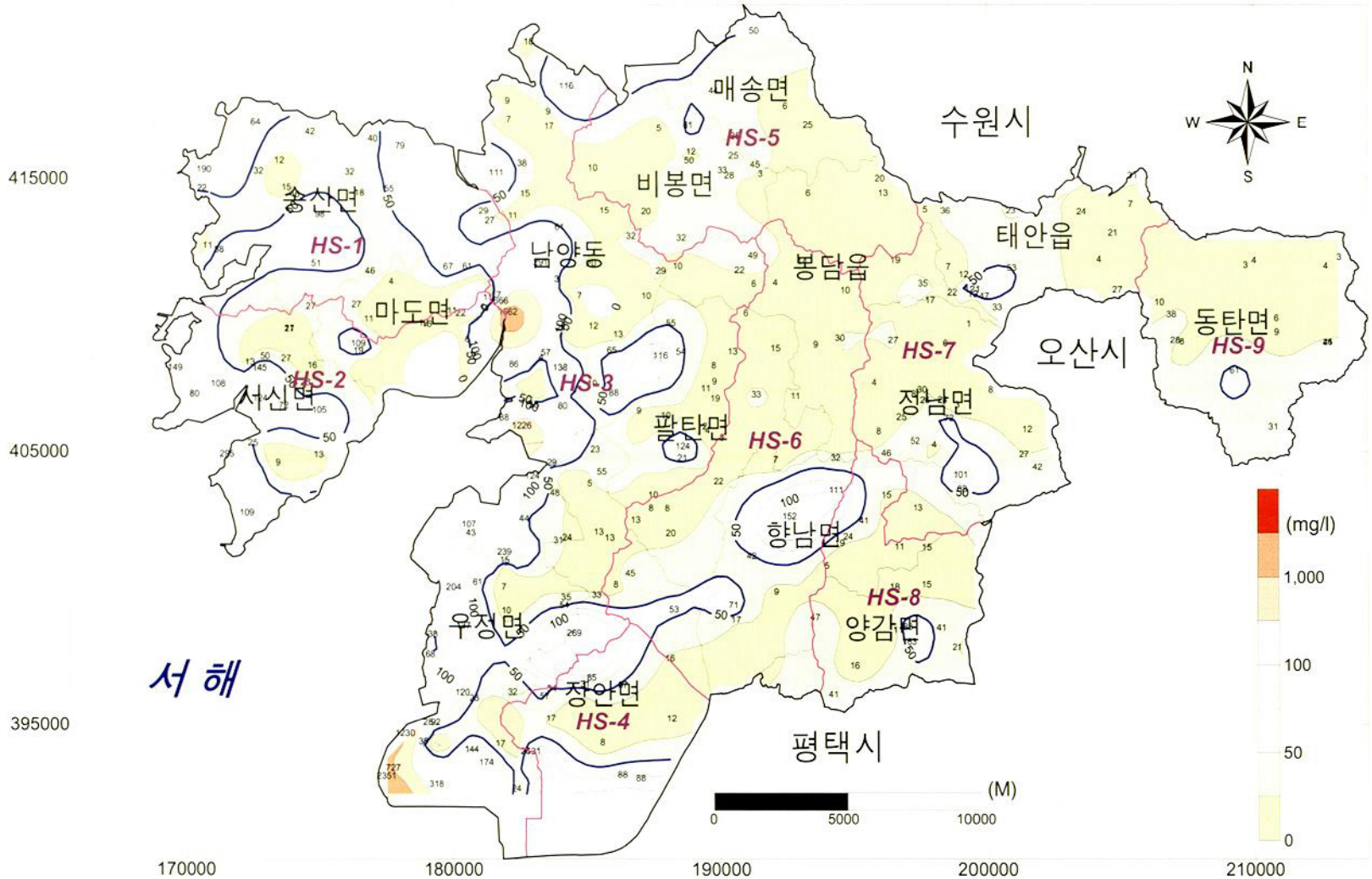
Na와 마찬가지로 Cl도 해양기원 강우에 일정 성분이 포함된다. Cl은 특히 자연상태에서 지구화학적으로 제거되거나 공급되지 않는 보존성(conservative) 이온이며, 따라서 수문순환 과정의 규명에 있어 추적자로 자주 활용된다.

화성시 지하수의 Cl 함량 분포는 1.1~2,351.2㎎/ℓ(평균값 충적 77.5, 암반 60.2㎎/ℓ, 표준편차 충적 248.0, 암반 158.4㎎/ℓ)으로 매우 넓은 범위를 갖는다. Cl의 농도범위별 분포를 보면, 50㎎/ℓ 미만이 206개 시료, 50~100㎎/ℓ의 범위가 40개, 100~500㎎/ℓ이 30개, 500㎎/ℓ 이상이 6개로 나타나고 있다.

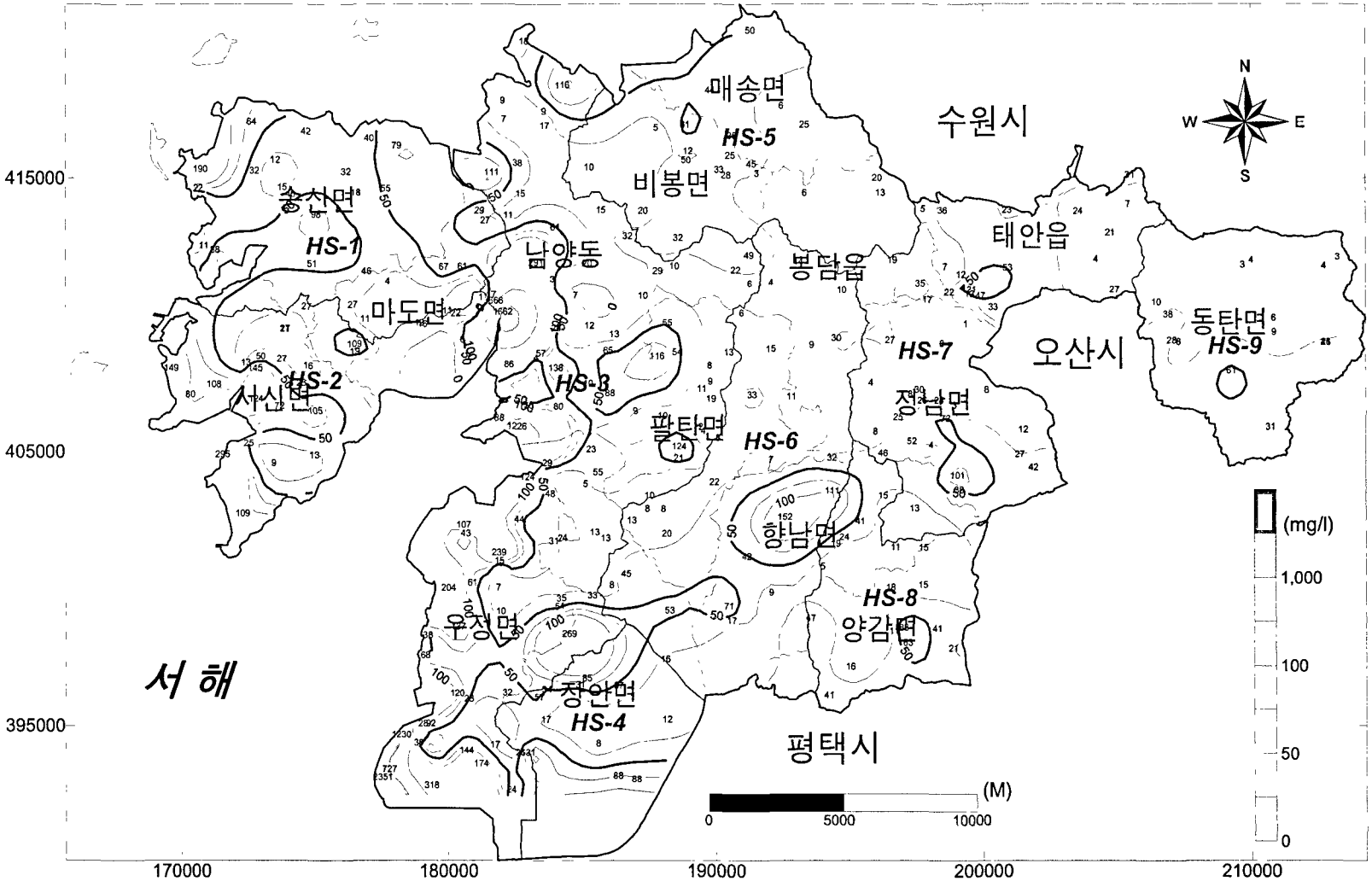
유역별 평균값을 비교하여 보면, HS-3 유역이 가장 높게(129.8㎎/ℓ) 나타났으며(그림 3-2-16), Cl과 EC의 상관관계는 상당히 높은 것으로 조사되었다(R^2 = 0.92, 그림 3-2-19). 그림 3-2-20에는 화성시의 염소이온농도 분포도가 나타나 있다.



<그림 3-2-19> 전기전도도와 염소이온농도와의 관계



<그림 3-2-20> 염소이온(Cl) 농도 분포도



<그림 3-2-20> 염소이온(Cl) 농도 분포도

□ 질산성질소(NO_3-N)

전세계적으로 대부분의 국가에서 질산성질소의 먹는물 수질기준은 10mg/*l* (질산염 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.

이번 조사에서는 갈수기와 풍수기 조사시 축산폐수, 비료 등에 의한 오염의 거시 인자인 질산성질소에 대하여 각각 252개, 1,235개씩 조사하였다.

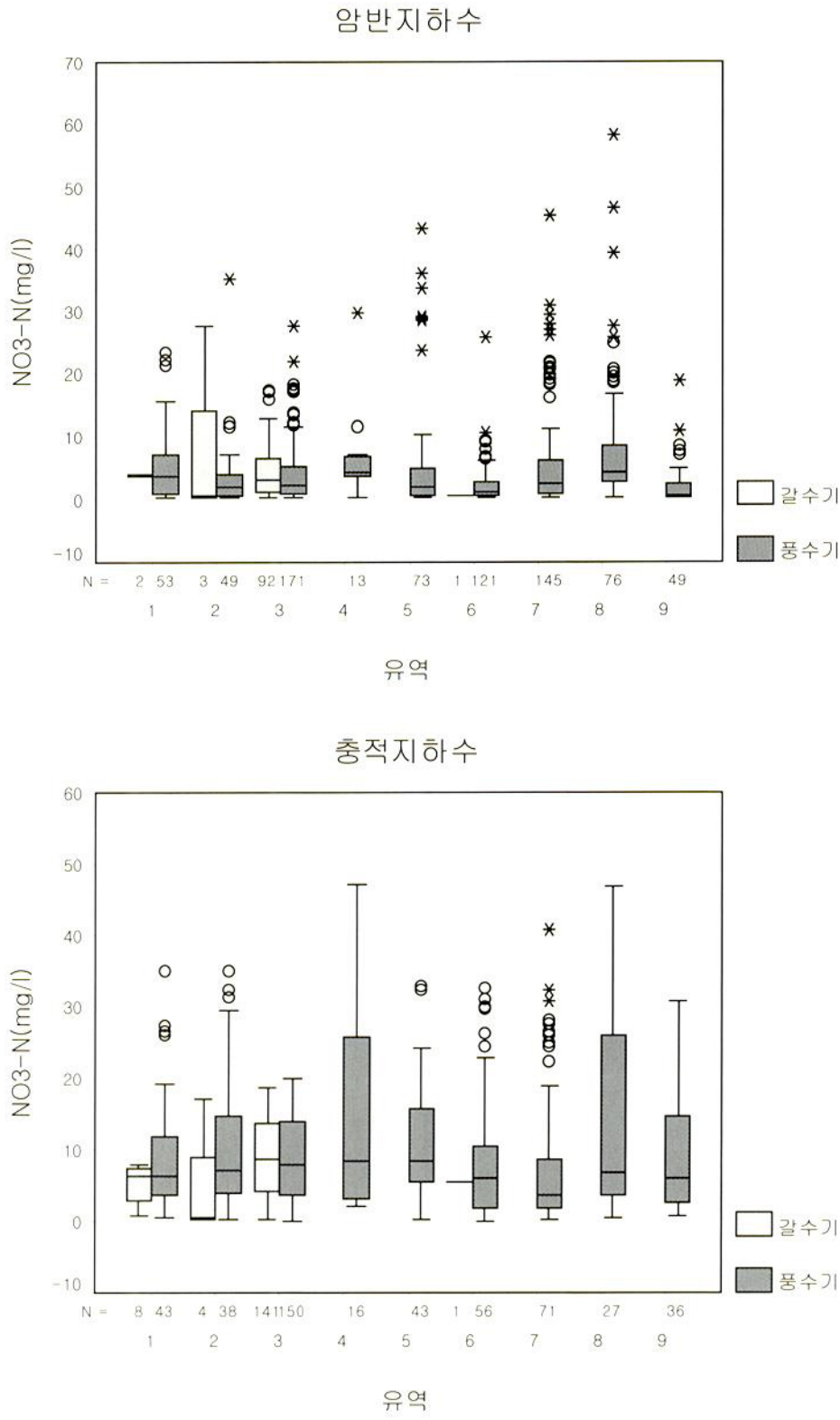
유역별 질산성질소 조사내용은 표 3-2-14와 같으며, 시기적으로는 갈수기보다 풍수기에 충적 지하수 평균 0.9㎎/*l*, 암반지하수 평균 0.2㎎/*l*씩 값이 높게 나타났으며, 갈수기와 풍수기 모두 충적지하수의 질산성질소 평균값이 각각 4.1, 4.8㎎/*l*씩 암반지하수 보다 높은 것으로 조사되었다.

풍수기에 대한 질산성질소의 함량을 살펴본 결과 모두 넓은 지역에 걸쳐 질산성질소의 함량이 높게 나타났으며, 특히 평균함량이 높은 유역은 충적지하수의 경우는 HS-4, HS-8, HS-5, HS-2 유역 순으로 나타났고, 암반지하수는 HS-8, HS-4, HS-7, HS-5 유역 순으로 조사되었다(표 3-2-14, 그림 3-2-21~22).

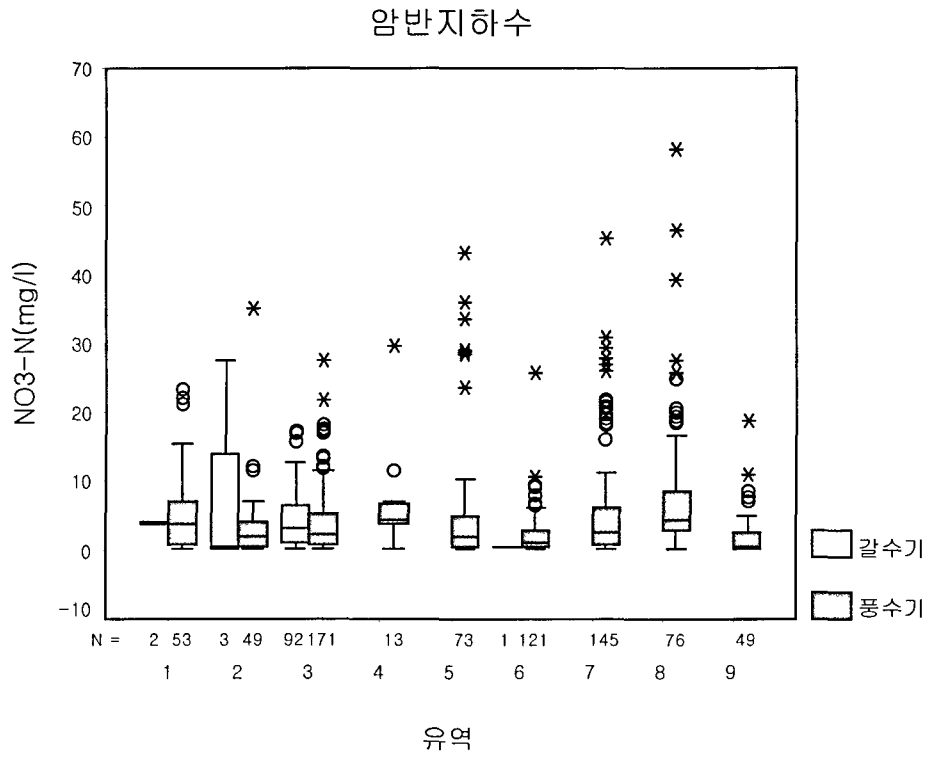
<표 3-2-14> 유역별 질산성질소 현황

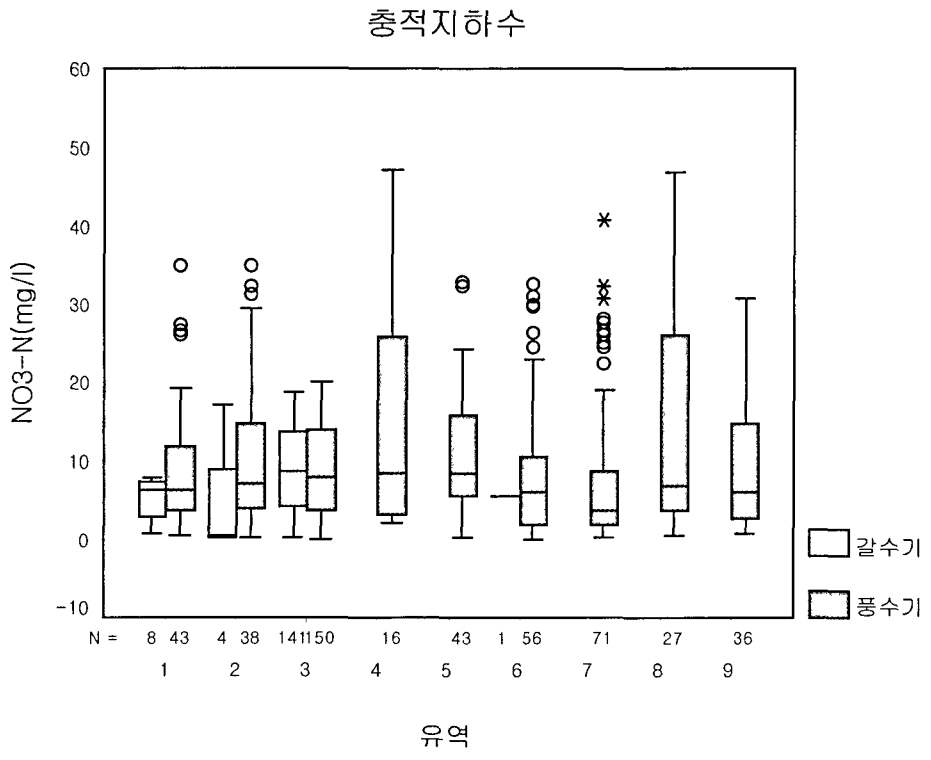
(단위 : ㎎/*l*)

유역		갈수기 (N=252)					풍수기(N=1,235)				
		최대	최소	평균	중앙	표준편차	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	충적	18.8	0.2	8.6	8.0	5.6	47.1	0.1	9.5	6.9	8.7
	암반	27.7	0.1	4.5	3.2	4.7	58.3	0.1	4.7	2.3	6.9
HS-1	충적	8.0	0.7	5.2	6.2	2.7	35.0	0.5	9.3	6.3	8.9
	암반	4.2	3.7	4.0	4.0	0.4	23.3	0.2	5.5	4.0	5.8
HS-2	충적	17.0	0.2	4.5	0.5	8.3	35.0	0.2	10.3	7.2	9.4
	암반	27.7	0.2	9.4	0.4	15.8	35.0	0.1	3.5	2.1	5.6
HS-3	충적	18.8	0.2	8.9	8.7	5.6	20.0	0.1	8.9	8.0	5.6
	암반	17.5	0.1	4.4	3.2	4.2	27.6	0.1	4.0	2.3	4.6
HS-4	충적	-	-	-	-	-	47.1	2.0	14.2	8.4	14.0
	암반	-	-	-	-	-	29.6	0.2	6.4	4.5	7.6
HS-5	충적	-	-	-	-	-	33.0	0.2	10.6	8.5	8.3
	암반	-	-	-	-	-	43.1	0.1	5.6	2.0	9.7
HS-6	충적	-	-	-	-	-	32.7	0.1	8.6	6.0	9.2
	암반	-	-	-	-	-	25.7	0.1	2.5	1.3	3.2
HS-7	충적	-	-	-	-	-	40.8	0.2	7.9	3.7	9.3
	암반	-	-	-	-	-	45.3	0.1	5.7	2.8	7.5
HS-8	충적	-	-	-	-	-	46.8	0.4	13.5	6.8	13.9
	암반	-	-	-	-	-	58.3	0.3	8.3	4.6	10.5
HS-9	충적	-	-	-	-	-	30.7	0.7	9.2	6.0	8.5
	암반	-	-	-	-	-	19.0	0.1	2.3	0.6	3.6

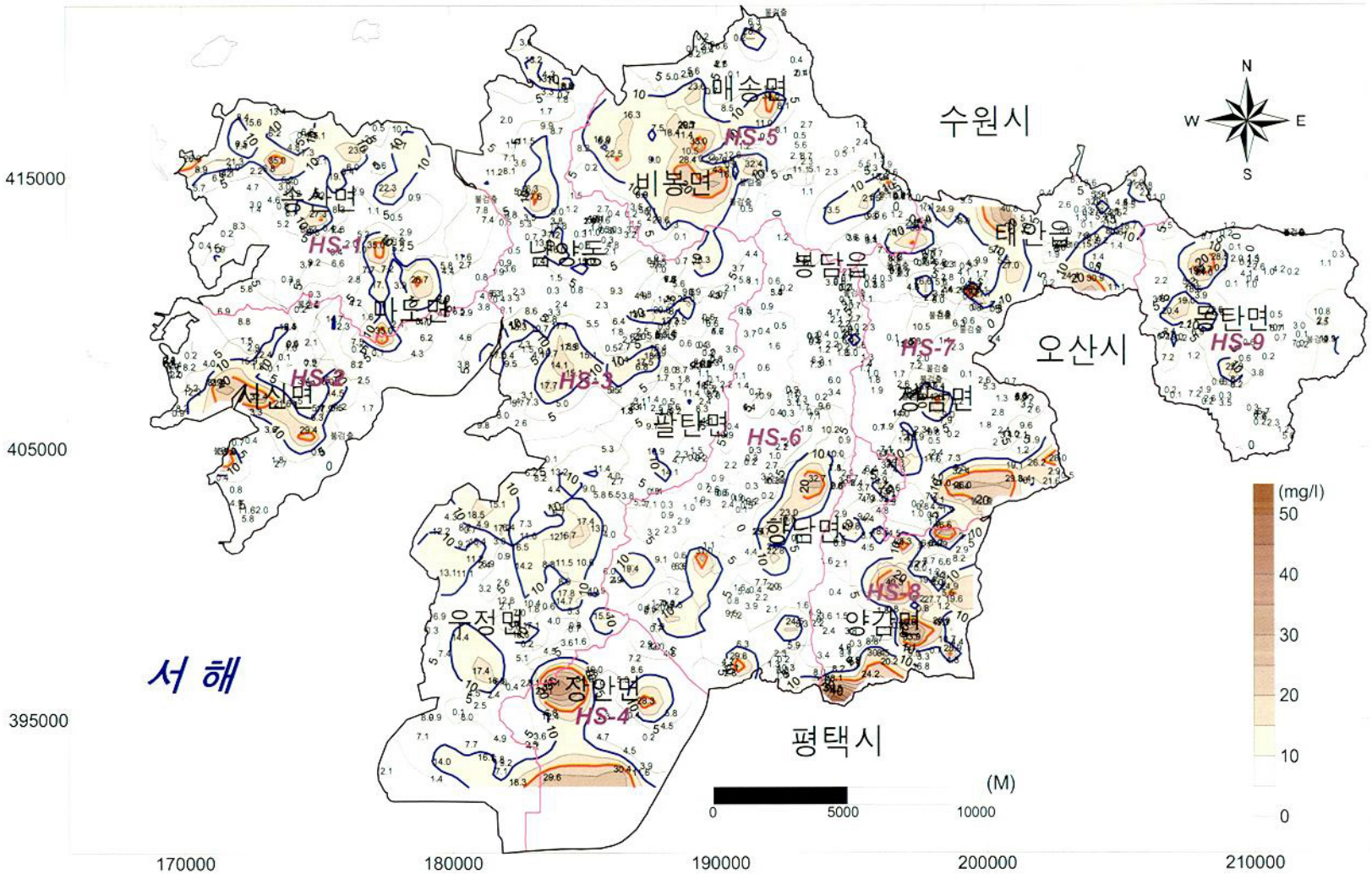


<그림 3-2-21> 대수층별 유역별 질산성질소 농도 분포

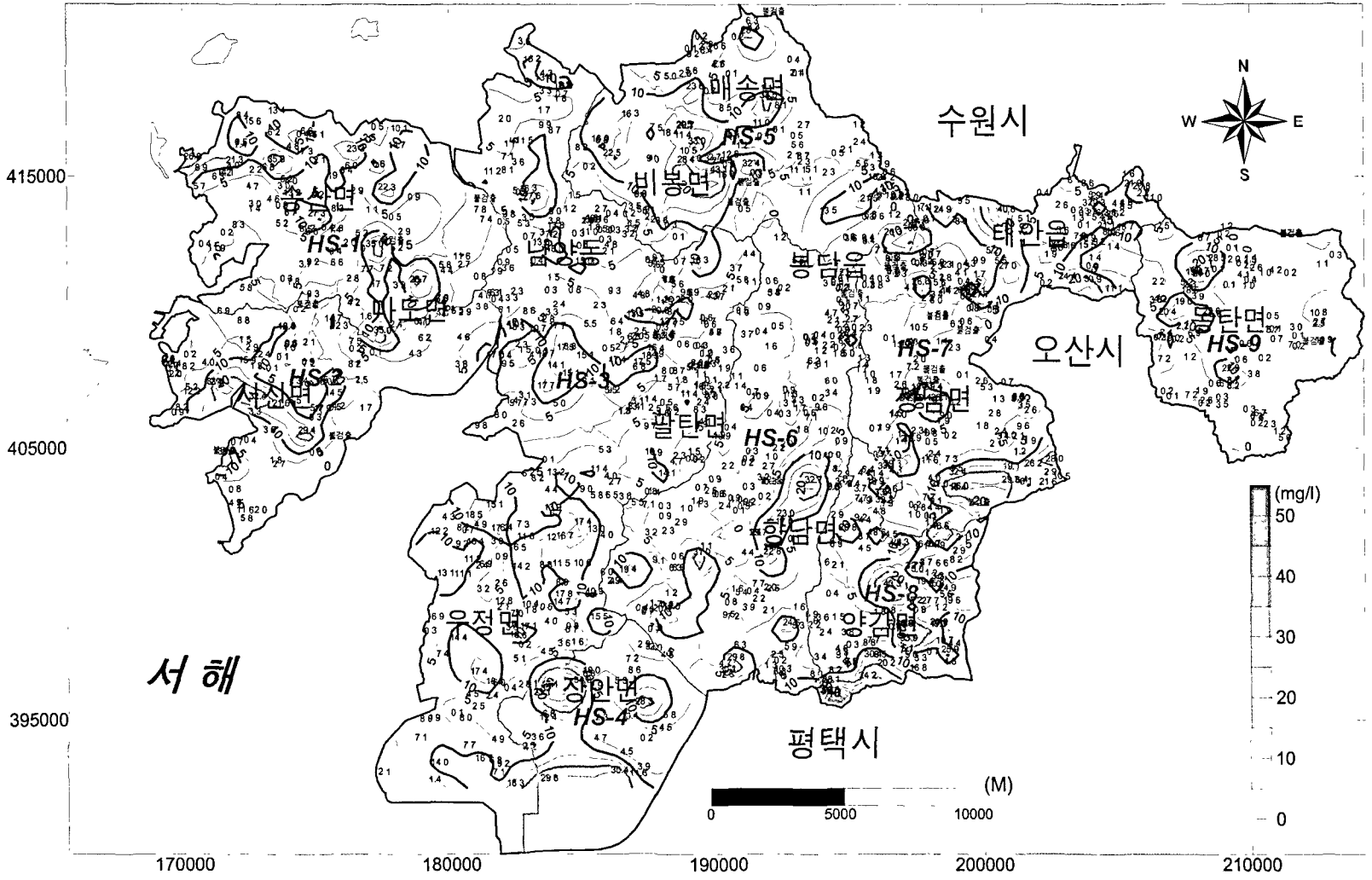




<그림 3-2-21> 대수층별 유역별 질산성질소 농도 분포



<그림 3-2-22> 풍수기 질산성질소 농도 분포도



<그림 3-2-22> 풍수기 질산성질소 농도 분포도

③ 유역별 수질유형

□ Piper diagram

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

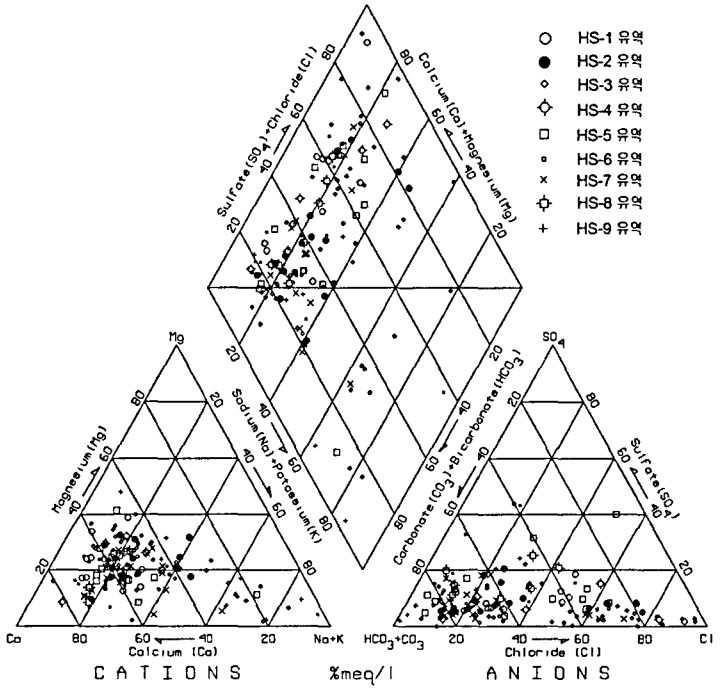
수질유형은 대표적인 양이온과 음이온으로 나누어 4가지 유형으로 분류하였다. 양이온의 경우 Na와 K의 당량농도의 합과 Ca와 Mg의 당량농도의 합을 비교하여 전자가 큰 경우 Na 유형으로, 후자가 큰 경우 Ca 유형으로, 음이온의 경우 HCO_3와 CO_3의 당량농도의 합과 Cl, SO_4의 당량농도의 합을 비교하여 전자가 큰 경우 HCO_3 유형, 후자가 큰 경우 Cl 유형으로 구분하였다.

그림 3-2-23에는 조사된 전체 지하수를 대수층별 유역별로 Piper diagram에 도시하였으며, 유역단위 수질유형별 존재비(%)를 표 3-2-15에 정리하였다. 총 282개 지하수 시료 중에서 Ca-HCO_3 type이 48.6%, Ca-Cl type이 42.64%, Na-Cl type이 4.3%, Na-HCO_3 type이 4.6%를 차지하였다.

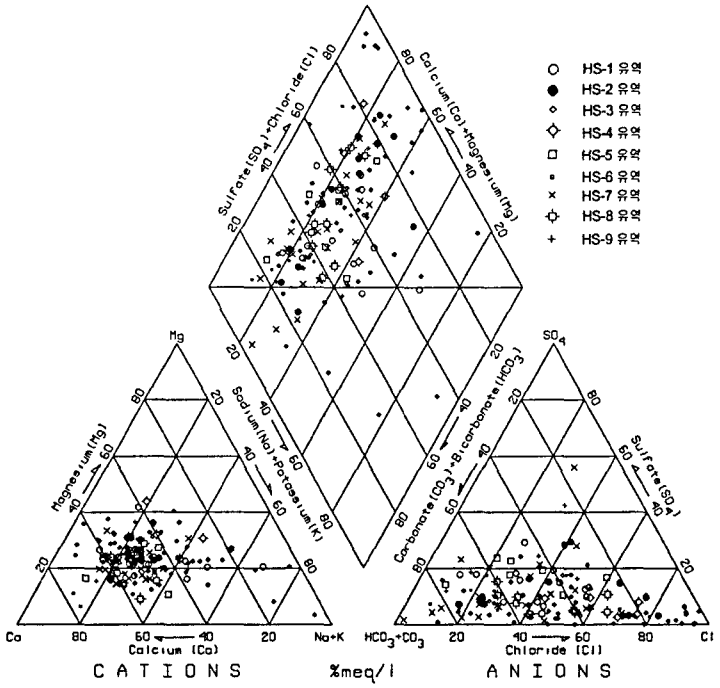
일반적으로 담수에 해수가 혼합되어 들어가게 되면 Ca-Cl type으로 바뀌다가 해수의 혼입 양이 많아지게 되면 Na-Cl type으로 바뀌게 된다(Piper, 1953).

Ca-HCO_3 type은 HS-6 유역이 70.8%를 차지하고, Ca-Cl type은 HS-4 유역이 63.6%를 차지하며, Na-Cl type은 HS-3 유역이 9.1%를, Na-HCO_3 type은 HS-9 유역이 14.3%로써 가장 높게 나타났다.

조사된 지하수의 대수층별 수질유형별 위치도는 그림 3-2-24에 나타내었으며, 유역별 Piper diagram은 부록에 수록하였다.



[암반지하수]

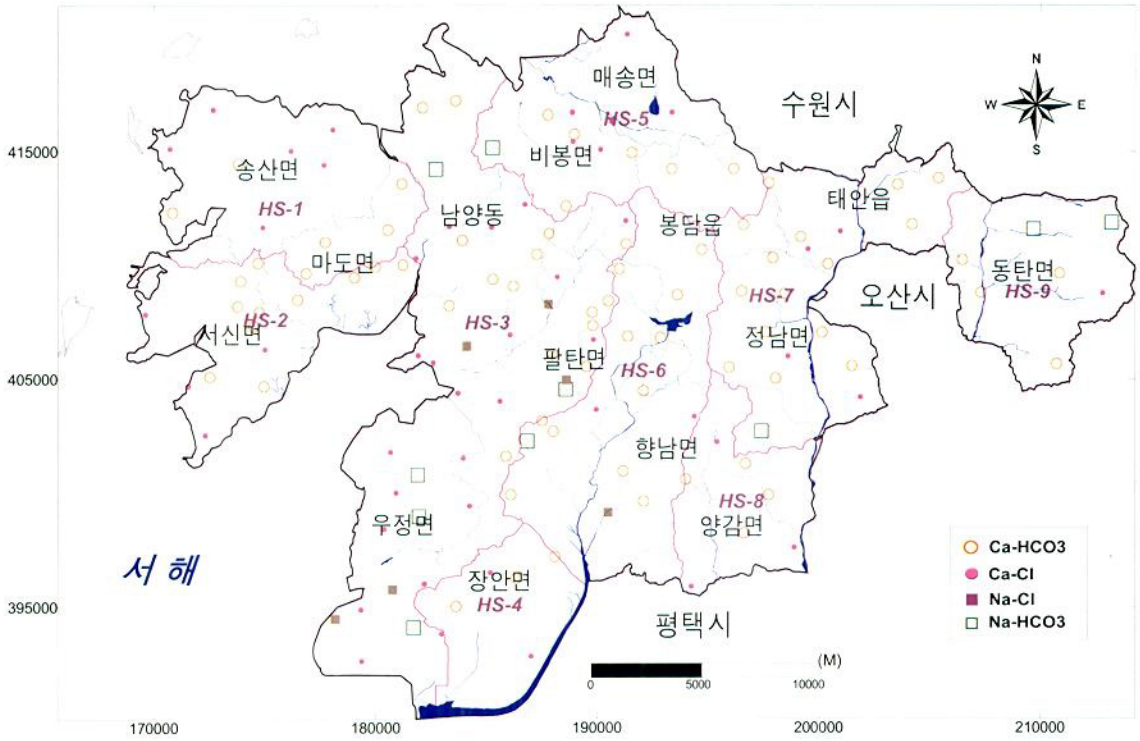


[충적지하수]

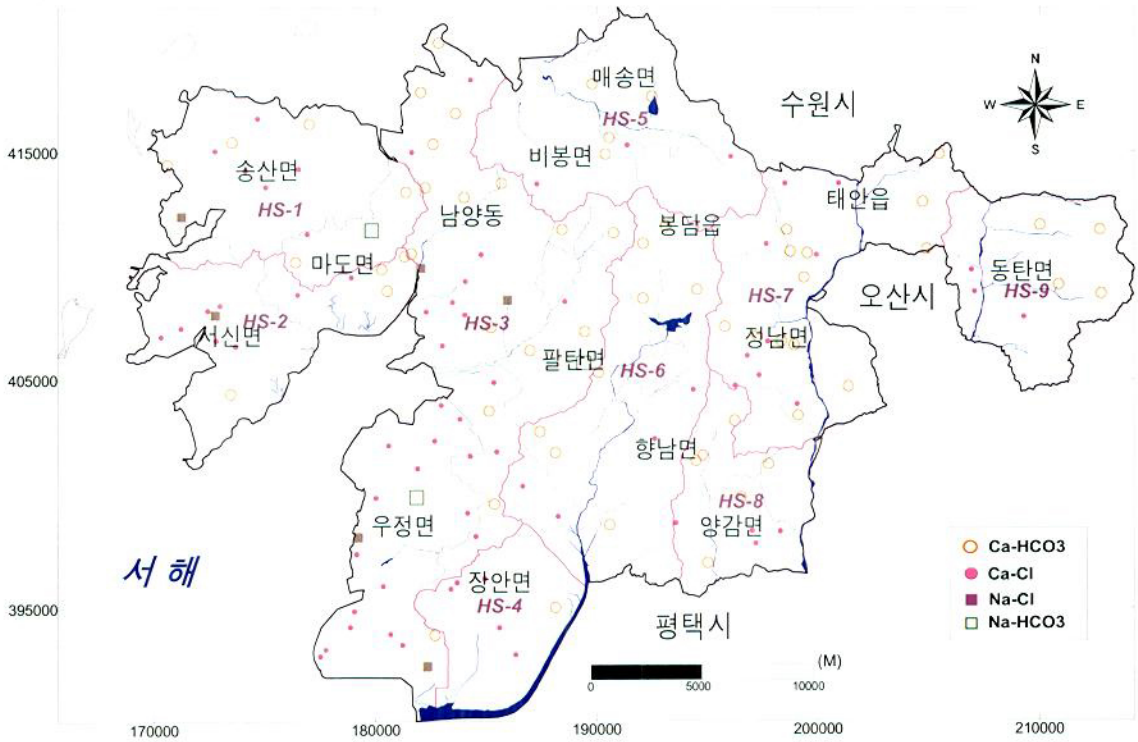
<그림 3-2-23> 대수층별 유역별 지하수의 Piper diagram

<표 3-2-15> 유역별 지하수유형

유역		계	$Ca-HCO_3$		Ca-Cl		Na-Cl		$Na-HCO_3$	
			개수	비율(%)	개수	비율(%)	개수	비율(%)	개수	비율(%)
총계	계	282	137	48.6	120	42.6	12	4.3	13	4.6
	충적	140	61	43.6	70	50.0	6	4.3	3	2.1
	암반	142	76	53.5	50	35.2	6	4.2	10	7.0
HS-1	계	25	11	44.0	12	48.0	1	4.0	1	4.0
	충적	13	5	38.5	6	46.2	1	7.7	1	7.7
	암반	12	6	50.0	6	50.0	-	-	-	-
HS-2	계	29	16	55.2	12	41.4	1	3.4	-	-
	충적	13	4	30.8	8	61.5	1	7.7	-	-
	암반	16	12	75.0	4	25.0	0	-	-	-
HS-3	계	99	33	33.3	49	49.5	9	9.1	8	8.1
	충적	51	17	33.3	28	54.9	4	7.8	2	3.9
	암반	48	16	33.3	21	43.8	5	10.4	6	12.5
HS-4	계	11	4	36.4	7	63.6	0	-	-	-
	충적	6	1	16.7	5	83.3	0	-	0	-
	암반	5	3	60.0	2	40.0	0	-	0	-
HS-5	계	21	10	47.6	10	47.6	0	-	1	4.8
	충적	7	4	57.1	3	42.9	0	-	0	-
	암반	14	6	42.9	7	50.0	0	-	1	7.1
HS-6	계	24	17	70.8	6	25.0	1	4.2	0	-
	충적	11	7	63.6	4	36.4	0	-	0	-
	암반	13	10	76.9	2	15.4	1	7.7	0	-
HS-7	계	42	28	66.7	13	31.0	0	-	1	2.4
	충적	22	13	59.1	9	40.9	0	-	0	-
	암반	20	15	75.0	4	20.0	0	-	1	5.0
HS-8	계	17	10	58.8	7	41.2	0	-	0	-
	충적	10	6	60.0	4	40.0	0	-	0	-
	암반	7	4	57.1	3	42.9	0	-	0	-
HS-9	계	14	8	57.1	4	28.6	0	-	2	14.3
	충적	7	4	57.1	3	42.9	0	-	0	-
	암반	7	4	57.1	1	14.3	0	-	2	28.6

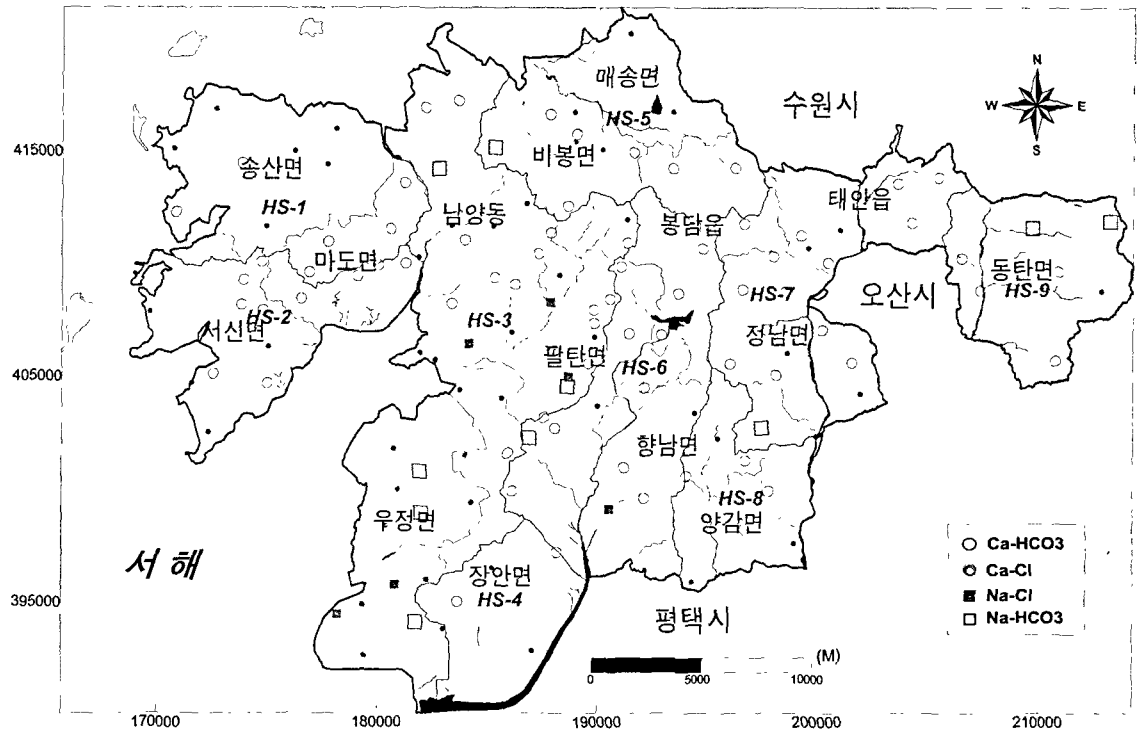


[암반지하수]

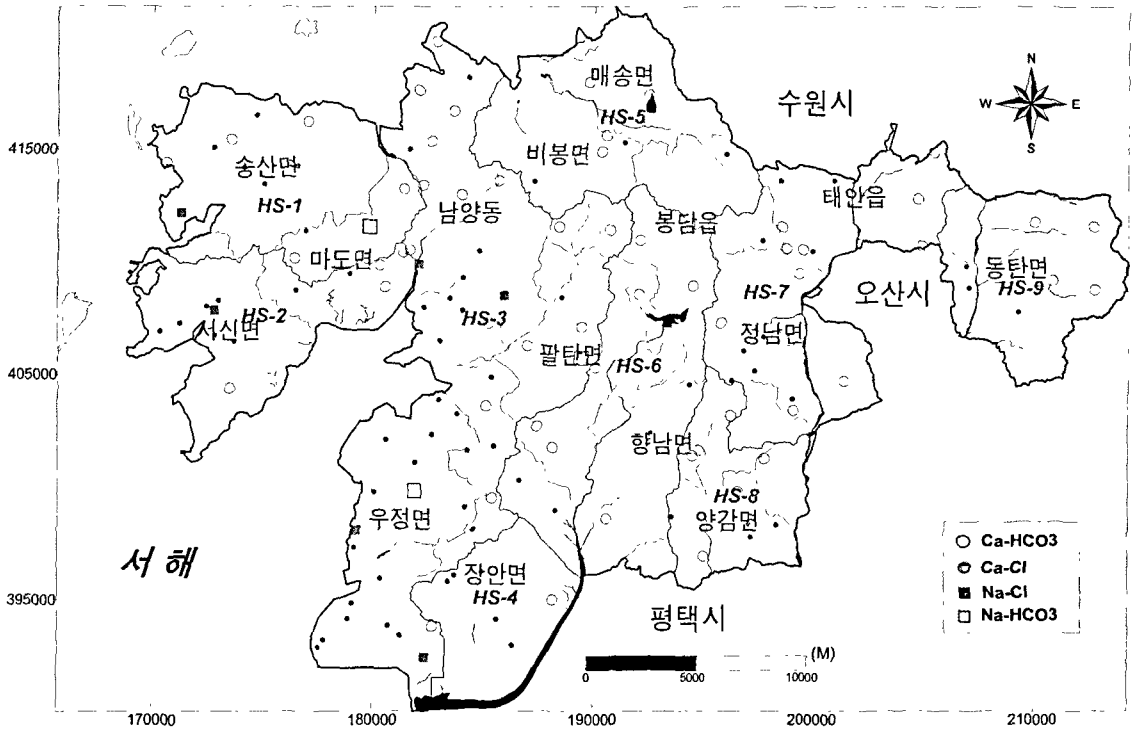


[충적지하수]

<그림 3-2-24> 대수층별 지하수유형별 위치도



[암반지하수]



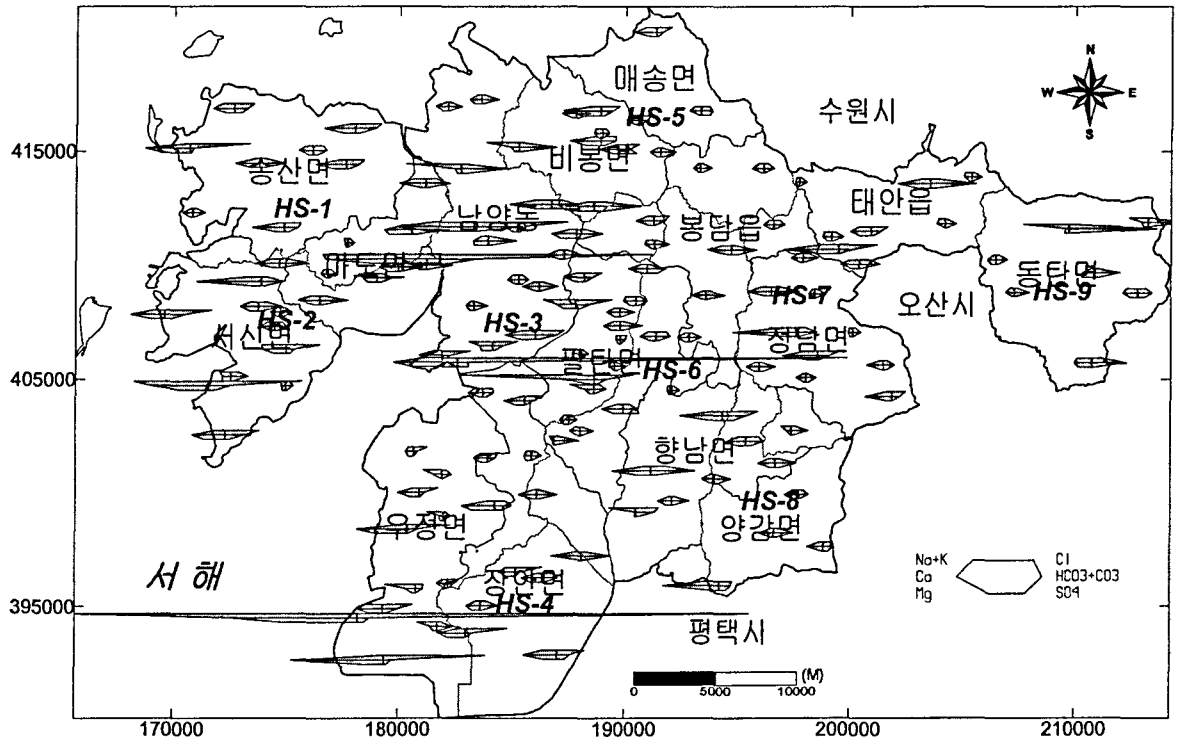
[충적지하수]

<그림 3-2-24> 대수층별 지하수유형별 위치도

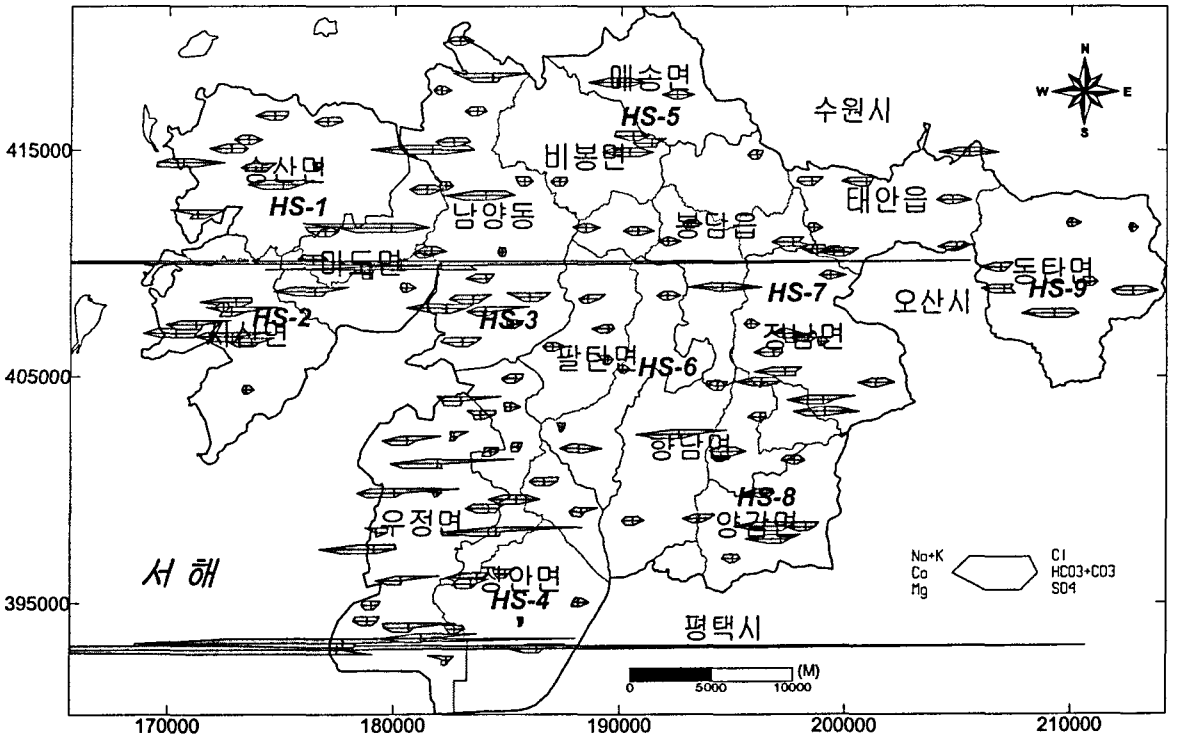
☐ Stiff diagram

각기 다른 곳에서 채취한 지하수시료를 한눈에 비교할 때 용이한 Stiff diagram은 다각형 형태로 세 개의 평행축을 다른편 수직 세로축에 연장하므로써 만들어진다. 양이온은 세로축의 왼쪽에 음이온을 오른쪽에 당량농도(meq/ℓ)로 나타내며, 다각형의 면적이 넓을수록 용존이온의 농도가 높은 것이다. 조사지역에서 분석된 전체 지하수시료에 대한 Stiff diagram을 그림 3-2-25에 나타내었으며, 유역별 조사관정의 Stiff diagram은 부록에 수록하였다.

유역별로 볼 때 HS-1, HS-2, HS-3 유역의 서해안 일부지역의 지하수는 해수의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.



[암반지하수]

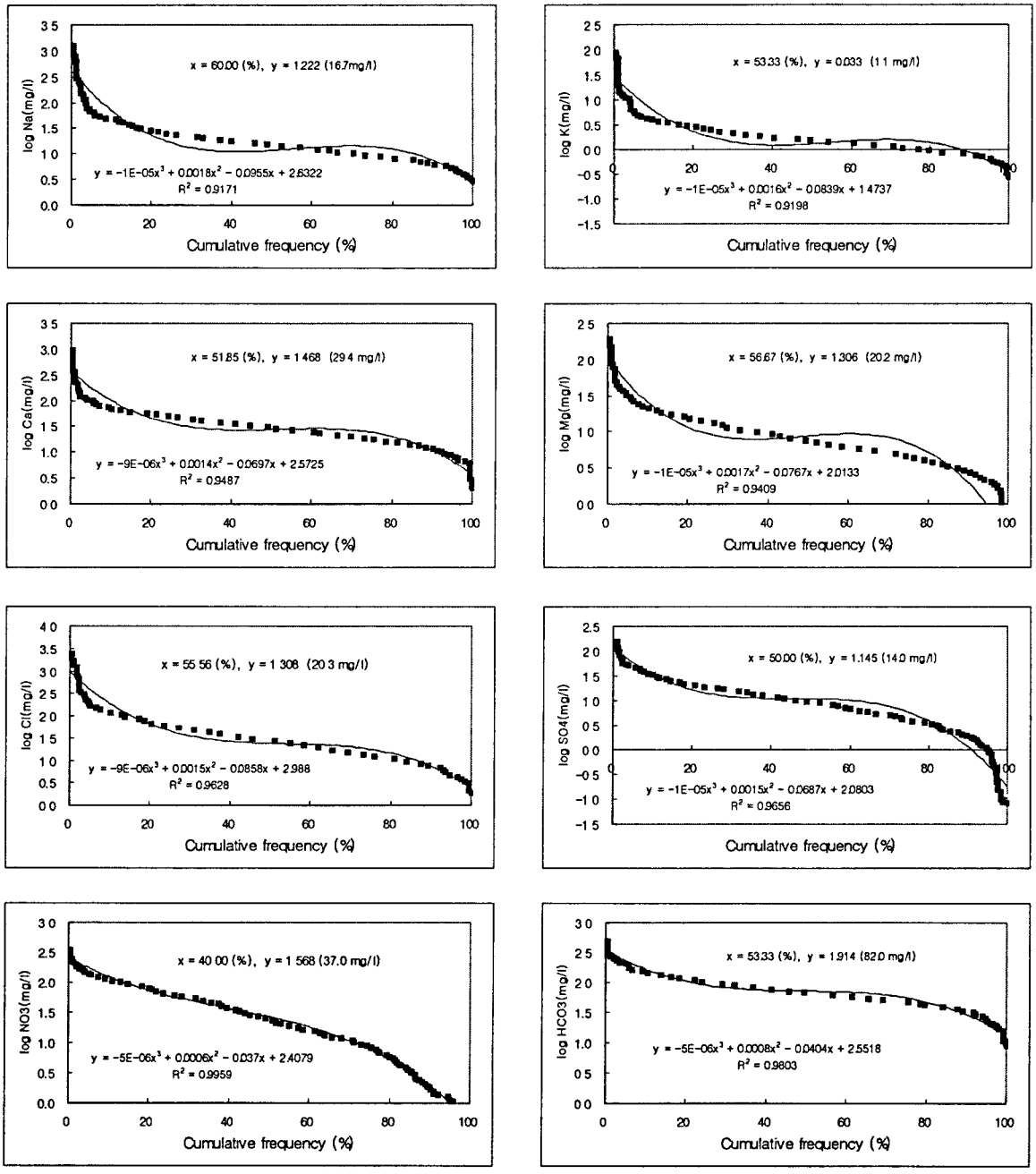


[충적지하수]

<그림 3-2-25> 화성시 지하수의 Stiff diagram

④ 배경값 설정

Sinclair에 의한 배경값 설정 방법에 의하여 구하여진 화성시 지하수 일부 용존성분의 수질 배경값의 최대값(threshold)은 Na = 16.7 mg/*l*, Ca = 29.4 mg/*l*, Cl = 20.3 mg/*l*, NO_3 = 37.0 mg/*l*로 조사되었다.



<그림 3-2-26> 지하수 용존성분의 배경값 설정

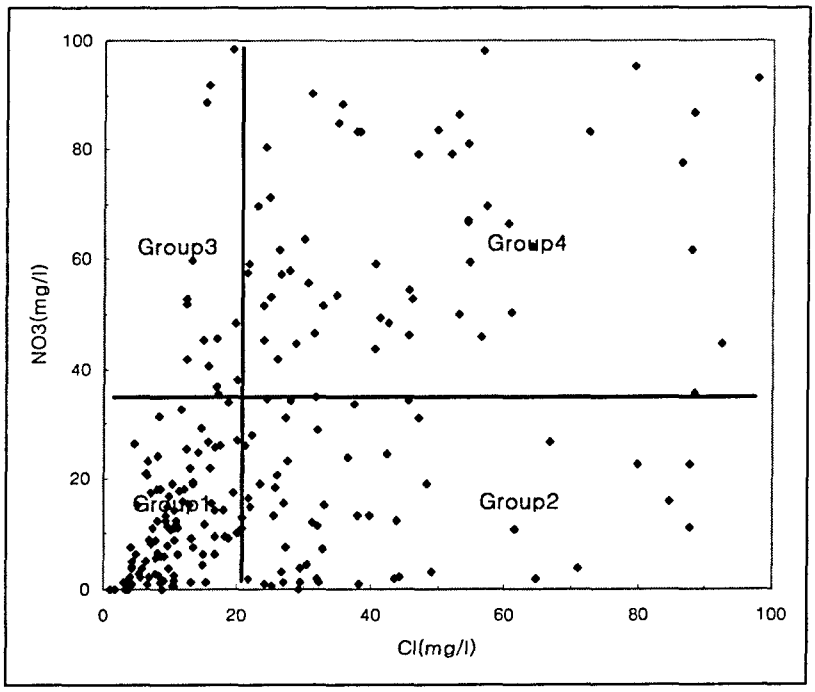
⑤ 인위적인 오염과 해수의 오염의 구별

Cl은 주로 해수에 의한 영향을, NO_3는 주로 인간활동에 의한 인위적 오염(축산폐수, 생활오수, 화학비료 등)의 영향을 반영한다고 가정하였으며 한편, Cl과 NO_3의 상관 관계는 뚜렷하지 않아 이들 두 이온종의 기원은 서로 다른 것으로 해석하여도 무리가 되지 않을 것으로 판단하여

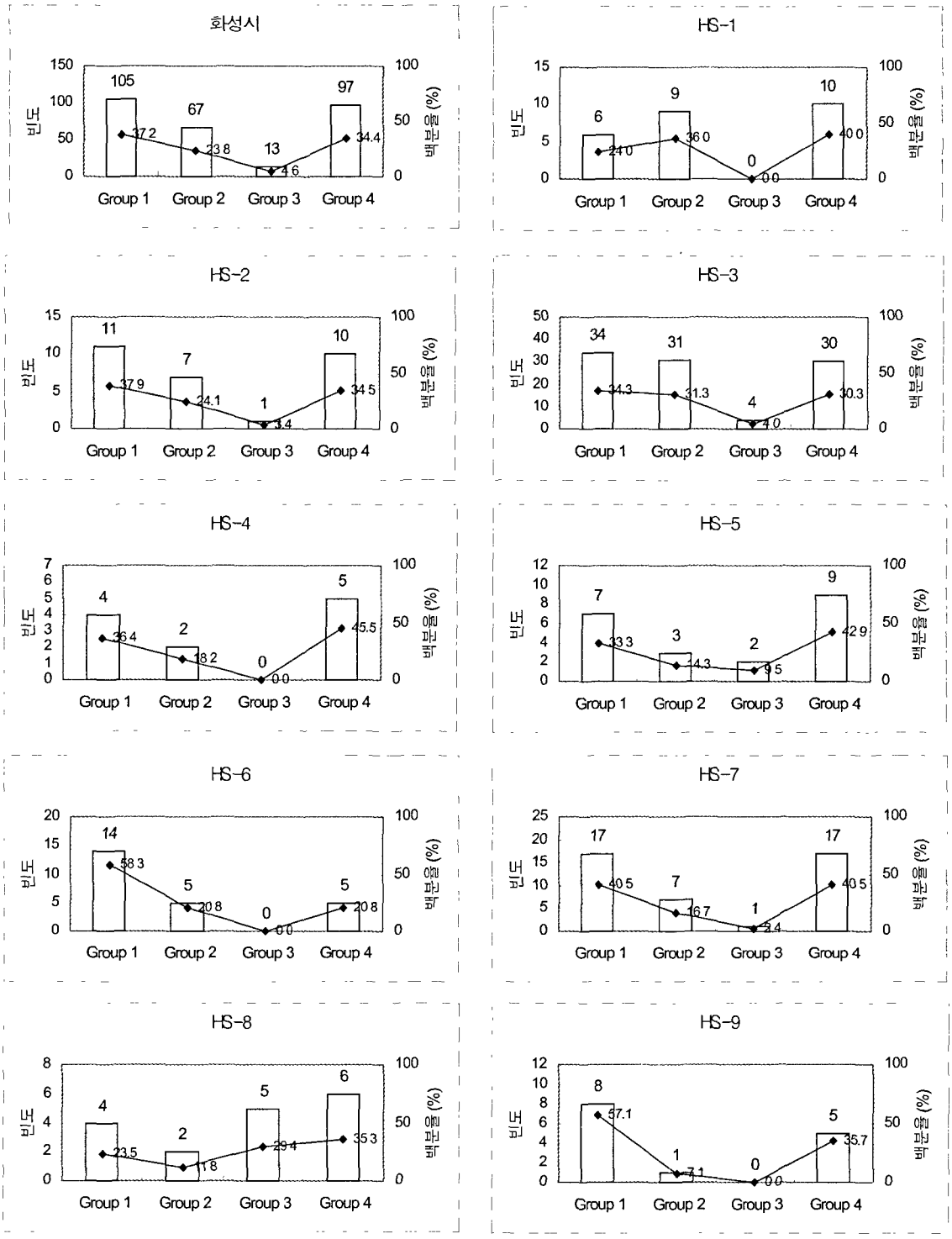
Cl과 NO_3의 농도의 배경값을 이용하여 다음과 같이 구분하였다(윤성택 등, 2000).

- Group 1 : 오염의 영향을 받지 않은 그룹(37.2%)
- Group 2 : 해수에 의한 영향이 추정되는 그룹(23.8%)
- Group 3 : 인위적 오염이 추정되는 그룹(4.6%)
- Group 4 : 해수와 인위적인 오염이 동시에 추정되는 그룹(34.4%)

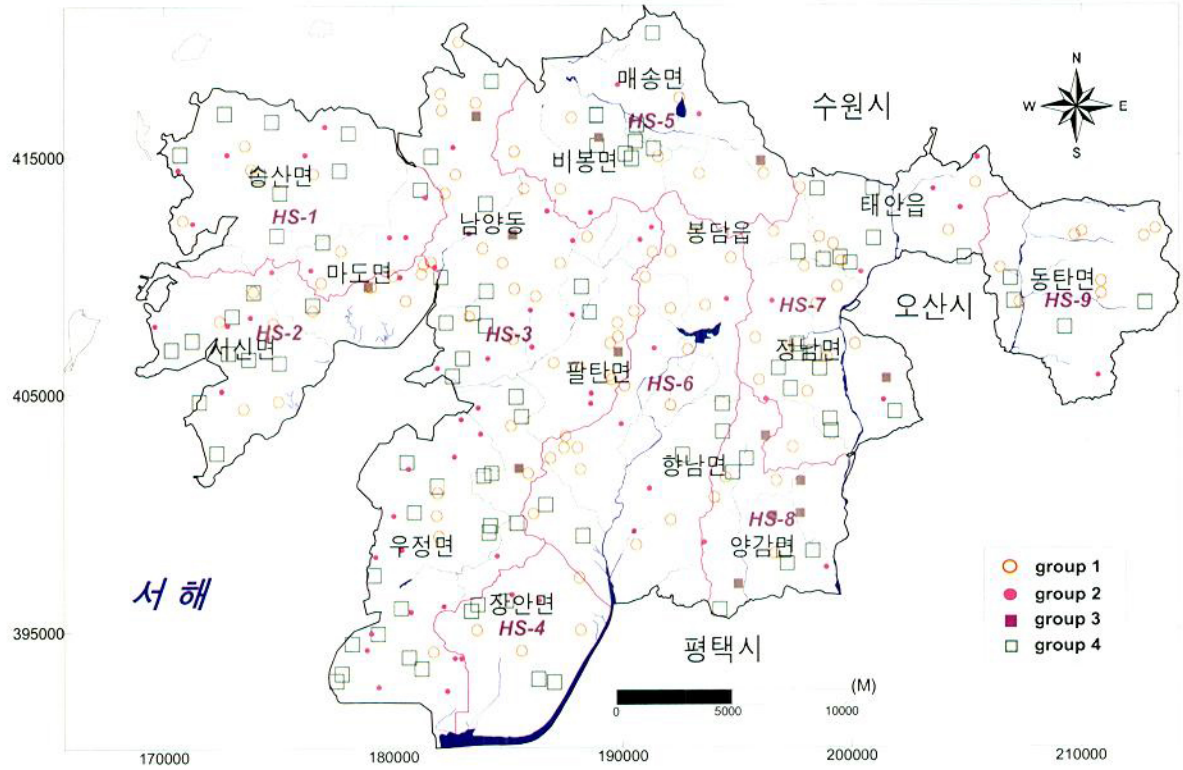
해수 영향이 최소한이라도 나타난 물들은 약 58.2%이며, 뿐만 아니라 해수의 영향과 인위적 오염의 영향이 동시에 나타나는 경우도 많았으며, 지역별로 살펴볼 때 인위적 오염으로 추정되는 지하수(Group 3)의 비율이 높은 지역은 HS-8 유역, 해수의 영향과 인위적 오염의 영향이 함께 나타나는 Group 4 유형의 지하수는 대부분의 유역에서 30% 이상의 비율을 갖는 것으로 조사되었다(그림 3-2-27~29).



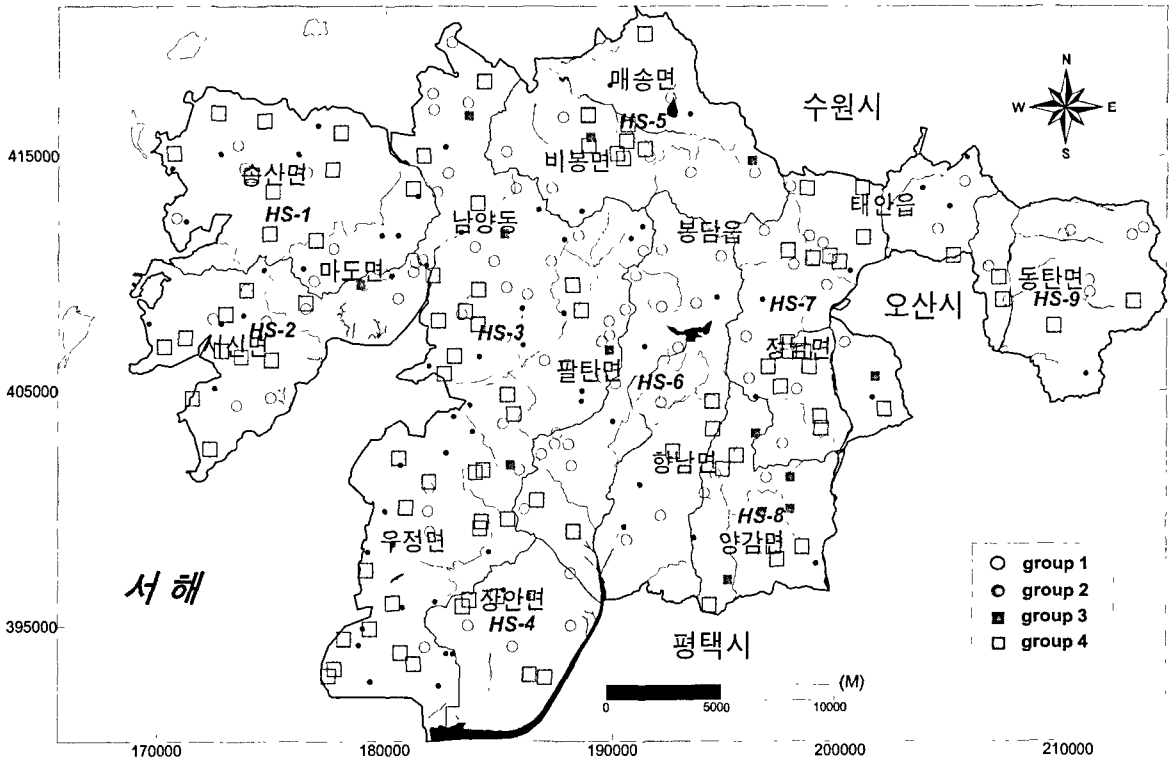
<그림 3-2-27> 염소와 질산염에 의한 지하수분류



<그림 3-2-28> 염소와 질산염에 의한 유역별 지하수분류



<그림 3-2-29> 염소와 질산염에 의한 지하수분류 위치도

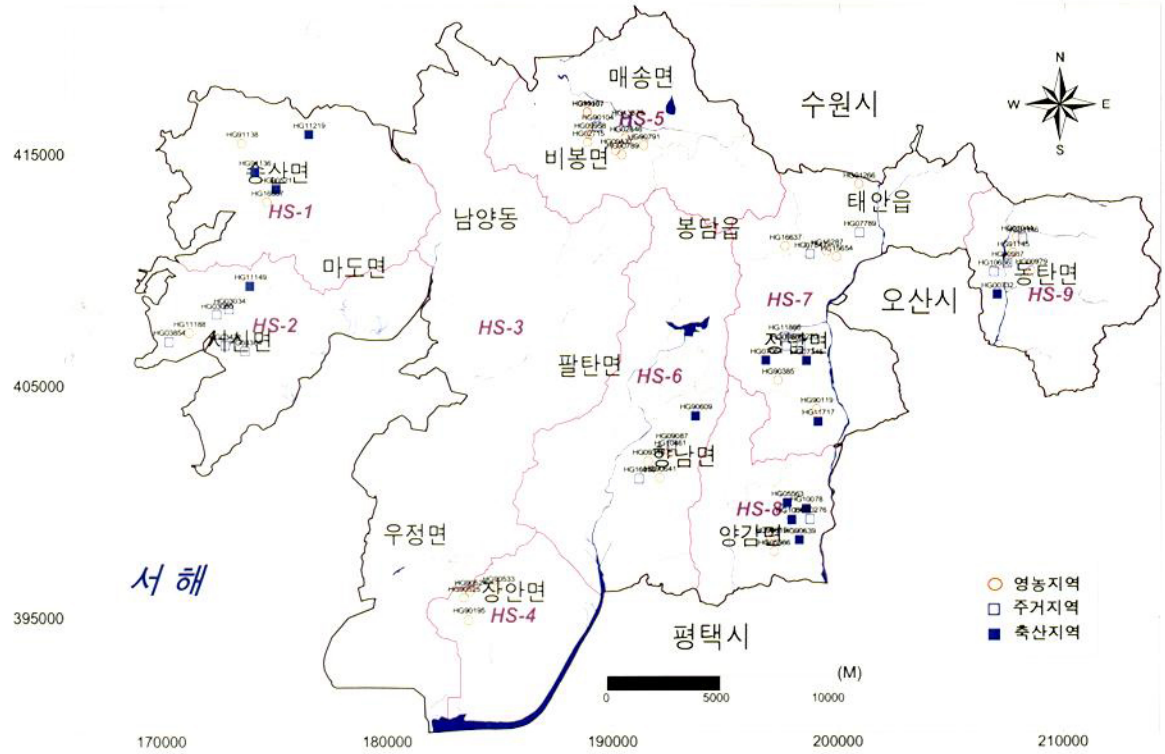


<그림 3-2-29> 염소와 질산염에 의한 지하수분류 위치도

3) 질소 동위원소조사

지하수중 질산성질소의 $\delta^{15}N$을 측정하면 그 오염원을 추정할 수 있는데 일반적으로 지하수의 $\delta^{15}N$ 값은 오염원이 화학비료인 경우는 +4‰이하, 토양유기물인 경우 +4~+9‰, 축산폐수나 생활하수인 경우는 +9~+18‰인 것으로 알려져 있다.

조사지구내의 지하수의 질산성질소 농도가 높게 나타나는 지점을 선정하여 질소안정동위원소의 자연존재비를 측정분석함으로써 지하수 오염원별 특성을 규명하고자 하였다. 주변환경을 크게 3가지(영농지역, 주거지역, 축산지역)로 구분하여 조사를 수행하였다. 총 60개소(그림 3-2-30)를 선정하여 시료를 채취하였으며 분석실험은 서울대학교 농업과학공동기기센터의 Micromass(UK)사 VG OPTIMA로 측정하였다. 측정시 사용된 작업표준시료는 미국 Ozteck사의 $N_2(\delta^{15}N=-0.22‰)$이다.

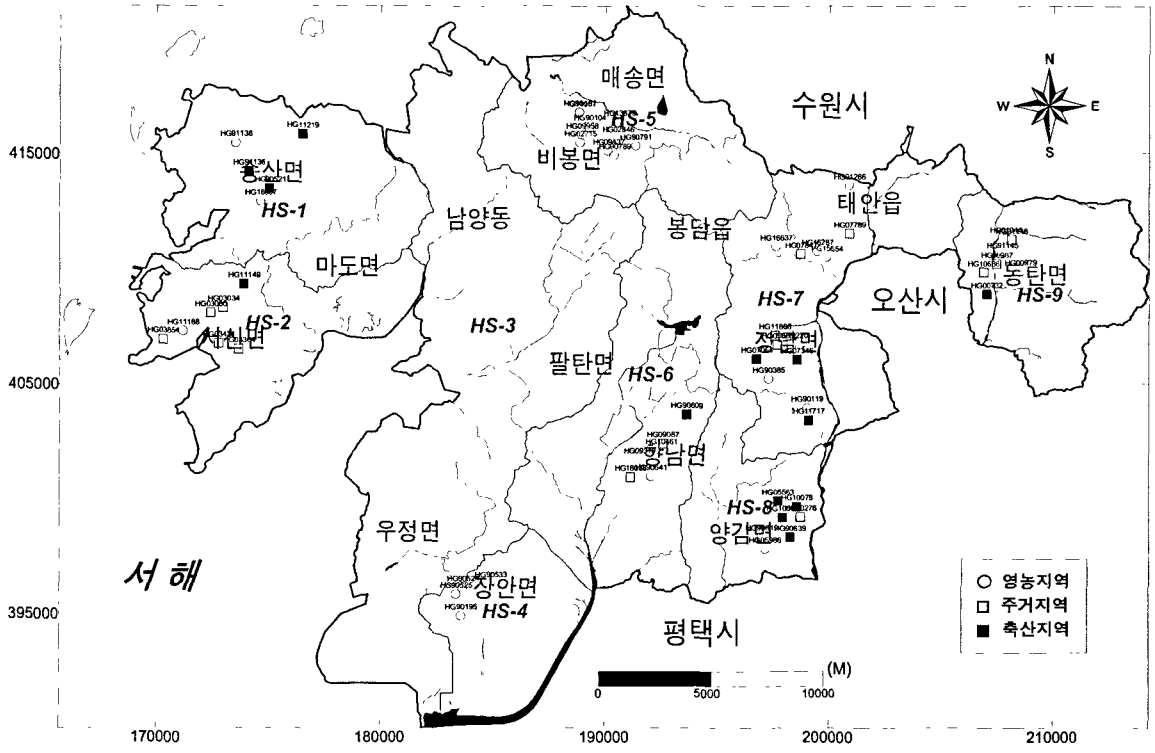


<그림 3-2-30> 질소동위원소 조사관정 위치도

3) 질소 동위원소조사

지하수중 질산성질소의 $\delta^{15}N$을 측정하면 그 오염원을 추정할 수 있는데 일반적으로 지하수의 $\delta^{15}N$ 값은 오염원이 화학비료인 경우는 +4‰이하, 토양유기물인 경우 +4~+9‰, 축산폐수나 생활하수인 경우는 +9~+18‰인 것으로 알려져 있다.

조사지구내의 지하수의 질산성질소 농도가 높게 나타나는 지점을 선정하여 질소안정동위원소의 자연존재비를 측정분석함으로써 지하수 오염원별 특성을 규명하고자 하였다. 주변환경을 크게 3가지(영농지역, 주거지역, 축산지역)로 구분하여 조사를 수행하였다. 총 60개소(그림 3-2-30)를 선정하여 시료를 채취하였으며 분석실험은 서울대학교 농업과학공동기기센터의 Micromass(UK)사 VG OPTIMA로 측정하였다. 측정시 사용된 작업표준시료는 미국 Ozteck사의 N_2($\delta^{15}N$=-0.22‰)이다.



<그림 3-2-30> 질소동위원소 조사관정 위치도

□ 질산성질소의 오염원

질산성질소의 오염원을 알아보기 위하여 조사결과를 지역별, 오염원별로 구분하였으며 관정주변에 위치한 잠재오염원을 표시하여 오염원 판별시 참조하였다. 오염원 추정은 Nakanishi(1995)의 계산방식을 적용하였다.

$$W = X + Y + Z$$
$$aW = bX + cY + dZ$$

W : 지하수의 질산성질소농도(mg/ℓ)
X : 화학비료 유래의 질산성질소농도(mg/ℓ)
Y : 축산분뇨 및 생활하수 유래의 질산성질소농도(mg/ℓ)
Z : 자연토양질소 유래의 질산성질소농도(mg/ℓ)
a : 지하수의 질산성질소의 δ^{15}N값(‰)
b : 화학비료 유래의 질산성질소의 δ^{15}N값(‰)
c : 축산분뇨 및 생활하수 유래의 질산성질소의 δ^{15}N값(‰)
d : 자연토양질소 유래의 질산성질소의 δ^{15}N값(‰)

실제적으로 질산성질소의 질소오염원을 파악하기 위해서는 오염원 각각에 대한 배경값을 모두 조사해야 하지만 본 조사에서는 과거에 조사된 평균값을 적용하여 자연토양에서 유래한 질산성질소농도는 0.1(mg/ℓ), δ^{15}N값은 2.36(‰), 화학비료 유래의 질산성질소농도는 0.0(‰), 동물성유기질비료에 의한 δ^{15}N값은 19.11(‰)의 값을 가지는 것으로 가정하여 적용하였다(학술진흥재단(2000), 오윤근 외(1997)). 이러한 방법에 따라 오염원별 구성비를 구한 결과를 표 3-2-16에 나타내었고, 주변환경에 따른 오염원별 구성비의 평균값을 표 3-2-17에 나타내었다.

<표 3-2-16> 질소동위원소 분석결과

관정공번	유역	대수층	NO_3-N (mg/l) (W)	$\delta^{15}N$ (‰) (a)	오염원기원 구성비(%)			주변환경
					화학비료 (X)	축산분뇨 및 생활하수 (Y)	자연토양 (Z)	
HG16507	HS-1	암반	11.2	-6.3	66.3	32.9	0.9	영농지역
HG11219	HS-1	암반	23.3	6.1	67.7	31.9	0.4	축산지역
HG90521	HS-1	충적	27.3	-4.6	75.6	24.0	0.4	축산지역
HG91136	HS-1	충적	13.2	14.7	22.4	76.8	0.8	축산지역
HG91138	HS-1	충적	35.0	9.7	49.0	50.7	0.3	영농지역
HG11149	HS-2	암반	12.4	4.6	75.2	24.0	0.8	축산지역
HG03034	HS-2	충적	22.4	7.6	59.8	39.7	0.4	주거지역
HG03080	HS-2	충적	15.9	6.5	65.4	33.9	0.6	주거지역
HG03364	HS-2	충적	21.6	10.8	43.1	56.5	0.5	주거지역
HG03431	HS-2	충적	32.4	24.0	0.0	100.0	0.0	주거지역
HG03854	HS-2	충적	12.2	5.0	73.1	26.1	0.8	주거지역
HG11188	HS-2	충적	31.4	-4.8	74.6	25.1	0.3	영농지역
HG90195	HS-4	충적	12.4	5.4	71.0	28.2	0.8	영농지역
HG90524	HS-4	충적	47.1	-4.0	78.9	20.9	0.2	영농지역
HG90525	HS-4	충적	23.1	5.5	70.8	28.7	0.4	영농지역
HG90533	HS-4	충적	34.8	1.1	94.0	5.7	0.3	영농지역
HG90101	HS-5	암반	29.1	-3.3	82.4	17.2	0.3	영농지역
HG02715	HS-5	암반	28.4	2.8	85.0	14.6	0.4	영농지역
HG09437	HS-5	암반	43.1	4.0	78.9	20.9	0.2	영농지역
HG09958	HS-5	암반	10.5	4.2	77.2	21.9	1.0	영농지역
HG11057	HS-5	암반	28.7	7.4	61.0	38.7	0.3	영농지역
HG13379	HS-5	암반	10.4	6.1	67.2	31.8	1.0	주거지역
HG90104	HS-5	충적	33.0	12.2	35.9	63.8	0.3	주거지역
HG90789	HS-5	충적	16.0	-5.7	69.6	29.8	0.6	영농지역
HG90791	HS-5	충적	32.4	-0.2	98.7	1.0	0.3	영농지역
HG02846	HS-5	충적	12.6	-3.4	81.5	17.7	0.8	영농지역
HG09318	HS-6	암반	25.7	-3.7	80.3	19.3	0.4	영농지역
HG16036	HS-6	암반	4.4	6.7	62.9	34.8	2.3	주거지역
HG90609	HS-6	충적	32.7	11.3	40.6	59.1	0.3	축산지역
HG90641	HS-6	충적	22.8	6.0	68.2	31.3	0.4	영농지역
HG09087	HS-6	충적	23.0	-4.6	75.5	24.0	0.4	주거지역
HG10461	HS-6	충적	17.0	4.8	74.4	25.0	0.6	영농지역
HG07346	HS-7	암반	9.0	13.2	30.0	68.9	1.1	축산지역
HG07789	HS-7	암반	27.0	-0.1	99.2	0.5	0.4	주거지역
HG11866	HS-7	암반	18.2	12.9	32.0	67.4	0.5	주거지역
HG16287	HS-7	암반	45.3	3.0	84.1	15.7	0.2	영농지역

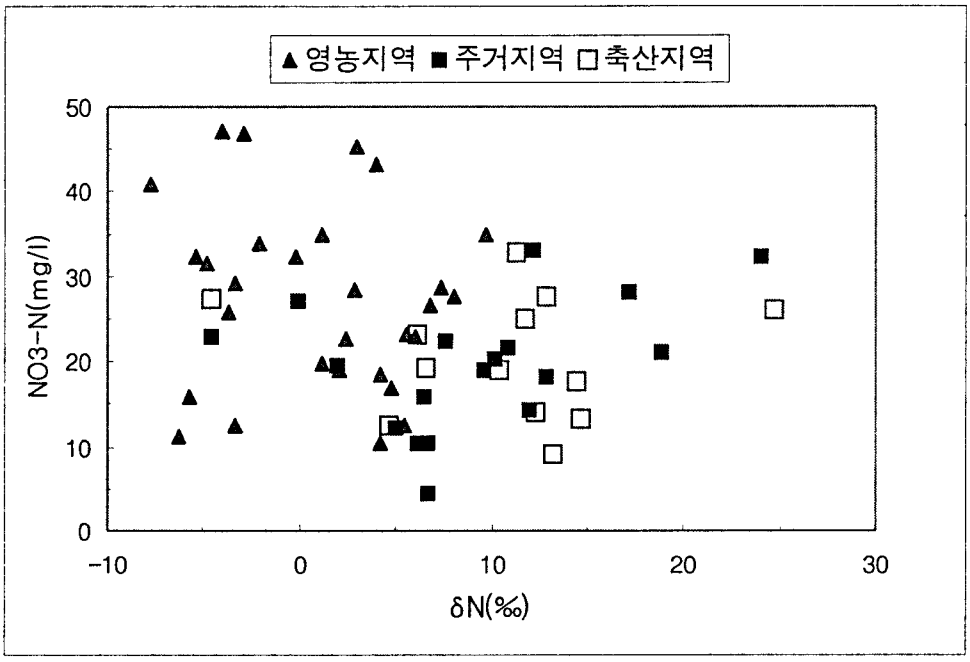
<표 3-2-16> 질소동위원소 분석결과(계속)

관정공번	유역	대수층	NO_3-N (mg/l) (W)	$\delta^{15}N$ (‰) (a)	오염원기원 구성비(%)			주변환경
					화학비료 (X)	축산분뇨 및 생활하수 (Y)	자연토양 (Z)	
HG90119	HS-7	충적	32.4	-5.4	71.5	28.2	0.3	영농지역
HG90385	HS-7	충적	18.9	2.1	88.5	10.9	0.5	영농지역
HG91266	HS-7	충적	40.8	-7.7	59.5	40.3	0.2	영농지역
HG07064	HS-7	충적	14.0	12.3	35.0	64.3	0.7	축산지역
HG07355	HS-7	충적	10.4	6.7	64.1	34.9	1.0	주거지역
HG07847	HS-7	충적	14.2	12.0	36.6	62.7	0.7	주거지역
HG10220	HS-7	충적	28.1	17.2	9.7	90.0	0.4	주거지역
HG11717	HS-7	충적	26.0	24.7	0.0	100.0	0.0	축산지역
HG15654	HS-7	충적	27.7	8.0	57.8	41.8	0.4	영농지역
HG16637	HS-7	충적	26.6	6.8	64.1	35.5	0.4	영농지역
HG90276	HS-8	암반	19.6	1.9	89.6	9.9	0.5	주거지역
HG05563	HS-8	암반	19.4	6.6	65.0	34.5	0.5	축산지역
HG10043	HS-8	암반	27.7	12.9	32.2	67.5	0.4	축산지역
HG10078	HS-8	암반	24.9	11.7	38.4	61.2	0.4	축산지역
HG90619	HS-8	충적	46.8	-2.9	84.6	15.1	0.2	영농지역
HG90639	HS-8	충적	17.7	14.4	24.2	75.3	0.6	축산지역
HG05986	HS-8	충적	33.9	-2.1	88.8	11.0	0.3	영농지역
HG00987	HS-9	암반	19.0	9.6	49.3	50.2	0.5	주거지역
HG91145	HS-9	충적	18.5	4.2	77.5	21.9	0.5	영농지역
HG91146	HS-9	충적	21.0	18.9	0.7	98.8	0.5	주거지역
HG00732	HS-9	충적	19.0	10.4	45.1	54.4	0.5	축산지역
HG00979	HS-9	충적	22.6	2.4	87.1	12.5	0.4	영농지역
HG01044	HS-9	충적	19.8	1.2	93.3	6.2	0.5	영농지역
HG10636	HS-9	충적	20.4	10.2	46.2	53.3	0.5	주거지역

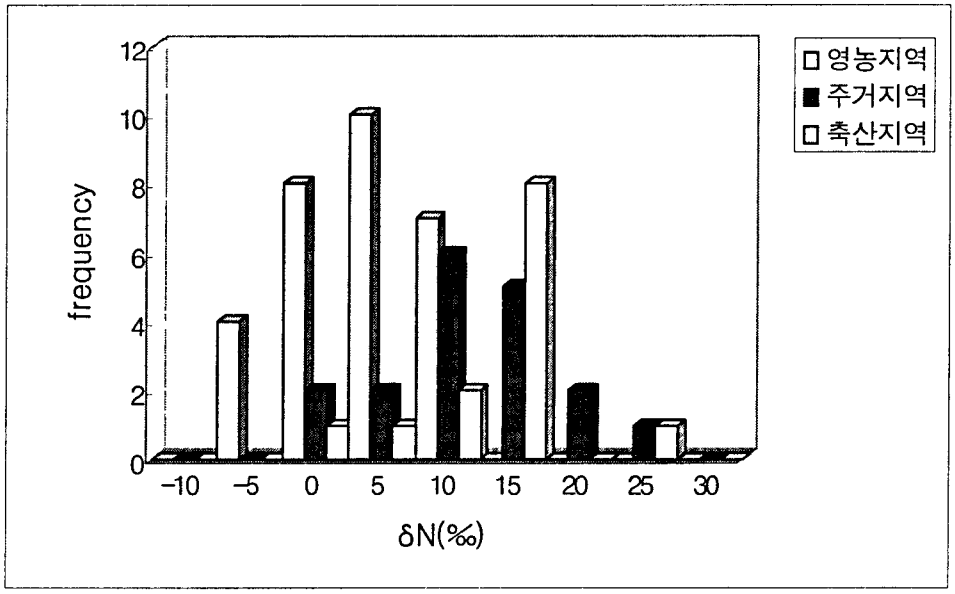
<표 3-2-17> 주변환경에 따른 질산성질소의 질소오염원 구성비

주변환경	NO_3-N(mg/l)		$\delta^{15}N$(‰)		오염원기원 구성비(%)		
	범위	평균	범위	평균	화학비료	축산분뇨 및 생활하수	자연토양
영농지역	10.5~47.7	27.4	-7.7~9.7	1.0	76.5	23.1	0.4
주거지역	4.4~33.0	19.6	-4.6~24.0	9.1	50.6	48.8	0.6
축산지역	9.0~32.7	20.5	-4.6~24.7	10.6	42.4	57.1	0.5

<그림 3-2-31>에는 주변환경별 질산성질소농도에 따른 δN(‰)값에 대하여 나타내었다. 기조사와 마찬가지로 축산지역과 주거지역 지하수의 질산성질소 기원은 동위원소적으로 구분이 불가능하였으나 영농지역의 δN(‰)값은 대체로 10‰ 이하를 보이는 것으로 나타났다(표 3-2-17, 그림 3-2-32).



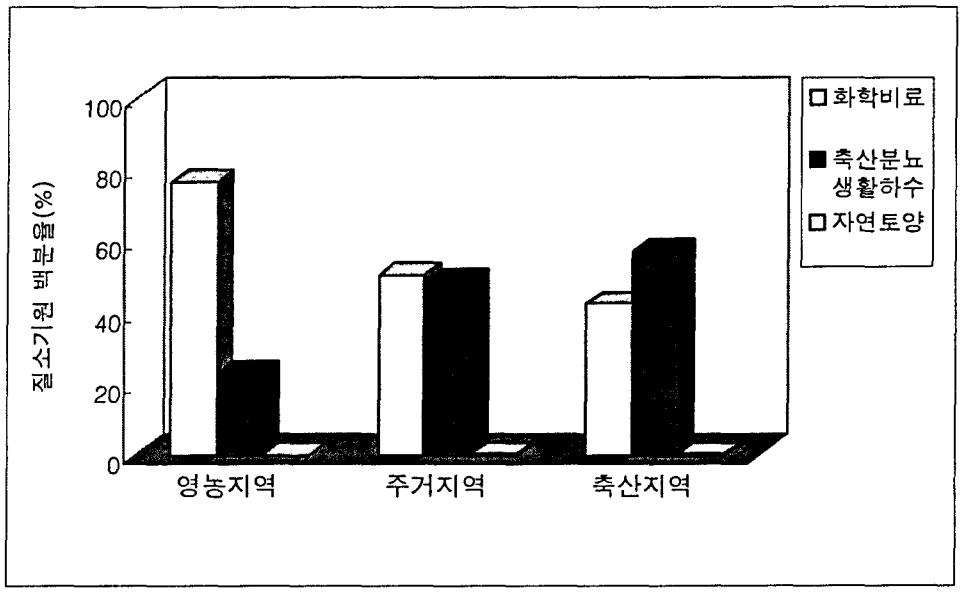
<그림 3-2-31> 주변환경에 따른 질산성질소농도와 δN(‰)값의 관계



<그림 3-2-32> 주변환경에 따른 δN(‰)값의 빈도

주변환경별 질산성질소 및 $\delta^{15}N$값의 양상을 보면 영농지역 10.5~47.7mg/ℓ, -7.7~9.7‰, 주거지역 4.4~33.0mg/ℓ, -4.6~24.0‰, 축산지역 9.0~32.7mg/ℓ, -4.6~24.7‰ 로 넓은 분포를 나타낸다.

각 주변환경에 대한 오염원기원 구성비를 살펴보면, 영농지역의 경우 화학비료의 영향이 76.5%로 비교적 높게 나타났지만 관정 주변에 위치한 축사 및 생활하수의 영향도 많이 나타나기도 한다. 또한 주거지역 및 축산지역의 경우는 동물성유기물인 축산분뇨와 생활오수의 영향이 각각 48.8, 57.1%로 나타났으나 조사지역이 영농지역과 인접하여 화학비료의 영향이 상당히 높게 나타나는 것으로 조사되어, 본 조사지역 지하수의 질산성질소의 기원은 대체로 두 가지 이상의 오염원이 관여한다고 판단할 수 있다(그림 3-2-33).

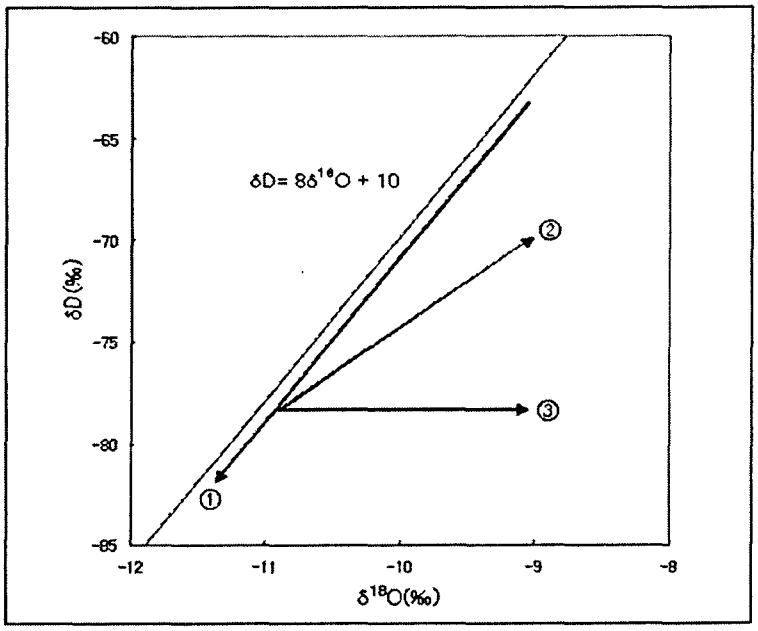


<그림 3-2-33> 주변환경에 따른 질소오염원 구성비

4) 산소와 수소 동위원소조사

수리지구화학에서는 지하수의 기원(특히, 기온, 위도, 고도 등 충진환경)과 진화양상을 규명하기 위하여 산소 및 수소 동위원소를 많이 이용한다.

일반적으로 강우의 $\delta^{18}O$와 δD 값은 전세계 강우직선(Worldwide Meteoric Water Line, $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$) 상에 또는 이에 평행하게 점시된다. 그러나 지역적으로 위도와 온도 차이에 의해 강우 직선에 다소의 차이가 나타난다. 그림 3-2-34에는 다양한 수문 진화에 따른 강우의 동위원소비 변화를 나타내고 있다. 고도가 높아질수록, 온도가 낮아질수록, 또는 해안에서 멀어질수록 강우의 동위원소값은 ①의 방향으로 이동하며, 지역적인 증발효과가 현저한 경우에는 4~6의 기울기를 갖는 ②와 같은 강우선을 보인다. 한편, 활발한 수/암 반응의 결과로 산소편이(oxygen shift)가 나타나게 되면 ③과 같은 이동이 일어난다.

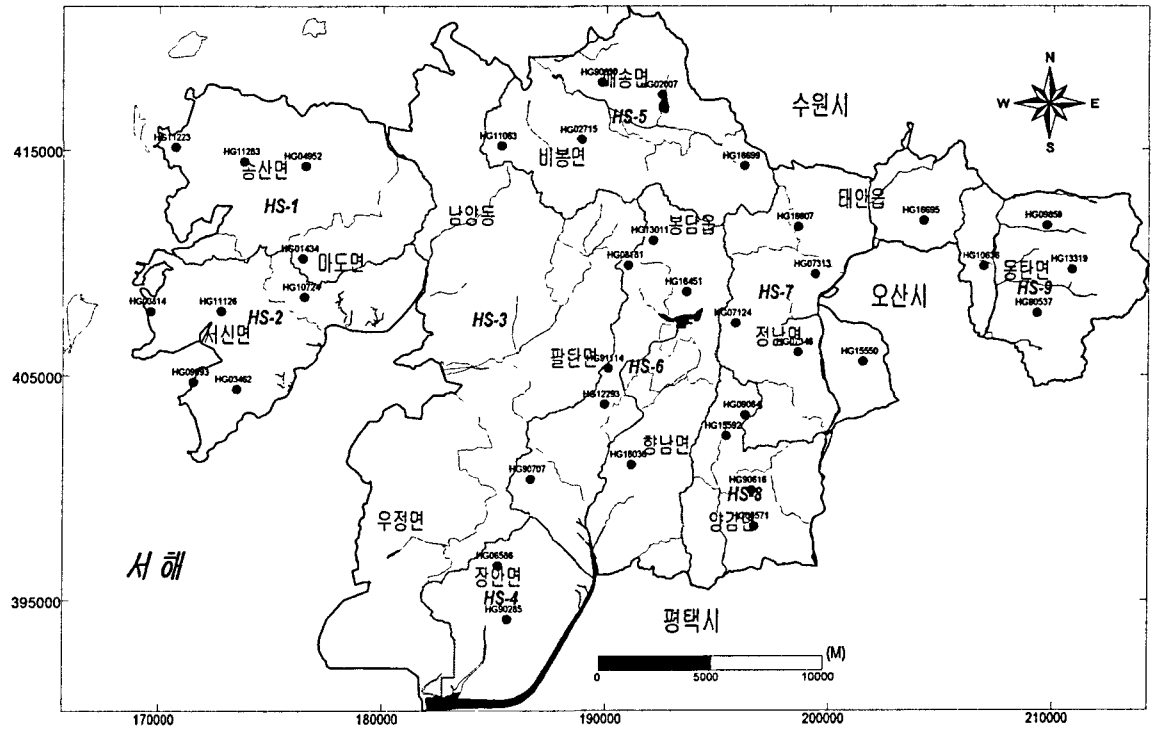


<그림 3-2-34> 강우의 진화에 따른 동위원소 조성 변화

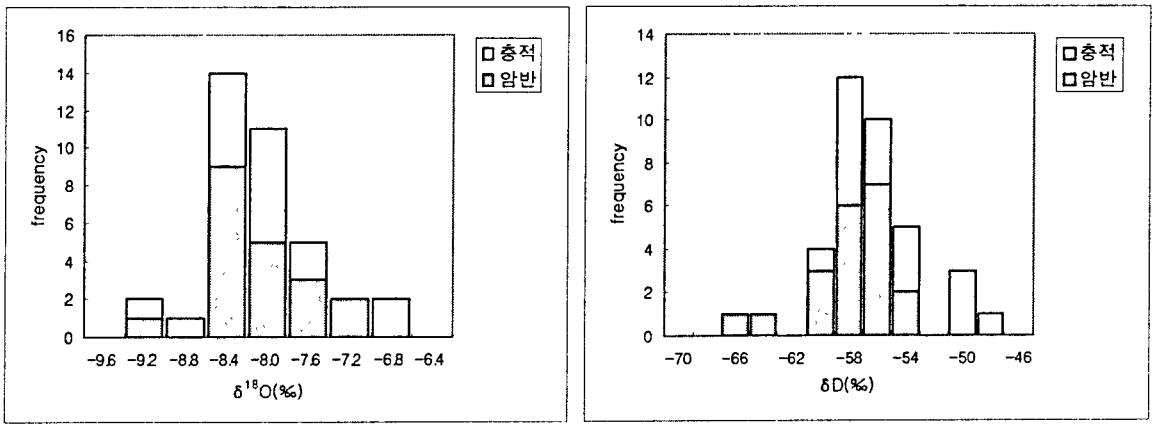
조사지역의 산소-수소 동위원소 조사관정의 위치도는 그림 3-2-35에 있으며, 분석 결과는 표 3-2-18과 같다. 조사지역에서 채취된 지하수의 동위원소 값은 암반지하수 $\delta^{18}O$ = -9.4~-7.2‰, δD = -66.1~-50.9‰, 충적지하수 $\delta^{18}O$ = -9.3~-6.8‰, δD = -65.3~-50.0‰의 범위를 보이고 있으며, 중첩되어 나타난다(그림 3-2-36).

지하수 및 지표수 시료의 산소 동위원소와 수소 동위원소 사이에 어떠한 관계

를 보이는지 알아보기 위하여 δD와 δ^{18}O를 함께 도시하여 보면 Craig(1961)의 순환수선에 잘 일치하여 도시된다(그림 3-2-37). Km과 Nakai(1981), 김규한과 中井信之(1988), Yum(1993) 등 총 197개의 자료를 이용하여 우리나라 온천수와 지하수의 산소와 수소 동위원소 비의 영역(타원 : δD = -75~-35‰, δ^{18}O = -11~-5)‰을 그림 3-2-37에 함께 도시하였다. 조사지역의 산소 및 수소동위원소 비는 우리나라 남한의 지하수 혹은 온천수의 일반적인 조성과 잘 일치한다.



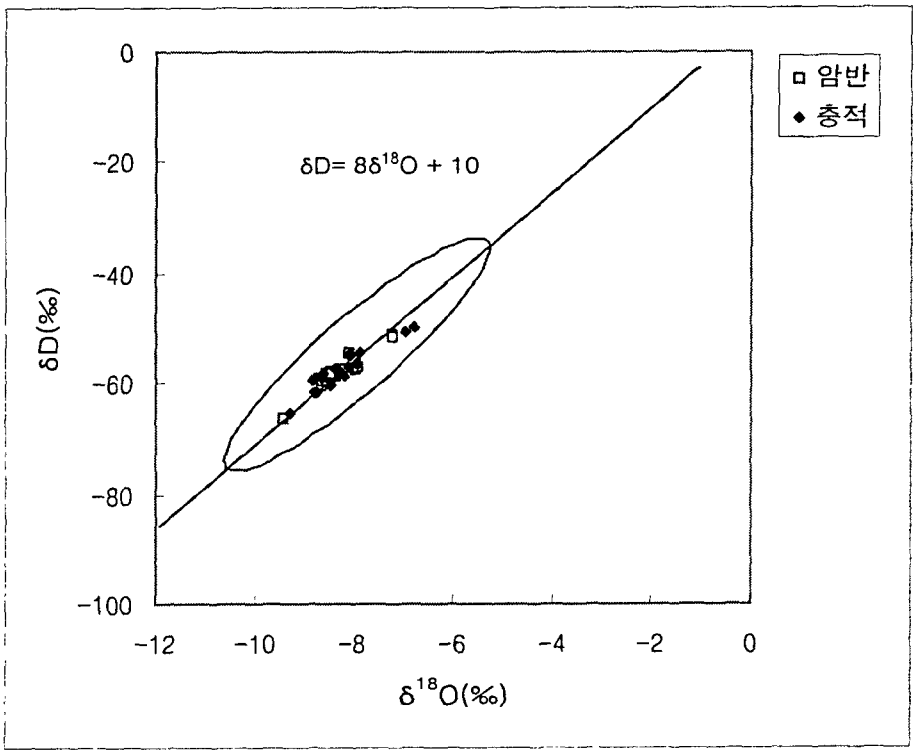
<그림 3-2-35> 화성시 산소 및 수소 동위원소 조사관정 위치도



<그림 3-2-36> 대수층별 산소 및 수소 동위원소 빈도 분포도

<표 3-2-18> 화성시 지하수의 수소 및 산소 동위원소 조성

관정공번	심도(m)	$\delta^{18}O$(‰)	δD(‰)	대수층
HG11063	92	-7.9	-56.8	
HG11223	100	-8.6	-59.1	
HG03814	100	-8.2	-57.6	
HG10724	100	-7.2	-50.9	
HG06586	100	-8.0	-55.8	
HG16036	100	-8.6	-58.4	
HG16451	100	-8.7	-60.2	
HG08181	100	-8.7	-59.1	
HG12293	100	-7.3	-51.6	
HG15550	100	-8.5	-57.6	암반
HG07346	100	-8.1	-54.5	
HG16695	100	-8.4	-58.6	
HG13319	100	-8.5	-58.4	
HG05571	120	-8.5	-58.2	
HG09859	120	-9.4	-66.1	
HG11283	150	-8.3	-57.2	
HG09993	150	-8.0	-56.1	
HG02715	150	-8.0	-57.2	
HG16699	150	-8.4	-58.7	
HG15592	150	-8.6	-59.4	
HG03462	17	-8.4	-57.5	
HG01434	18	-6.8	-50.0	
HG90830	18	-7.9	-56.4	
HG02007	18	-8.7	-59.0	
HG13011	20	-8.8	-61.5	
HG11126	24	-8.2	-58.5	
HG07124	30	-9.3	-65.3	
HG07313	30	-7.0	-50.6	
HG16607	30	-8.6	-58.2	충적
HG90616	30	-8.9	-59.5	
HG09064	30	-8.8	-61.8	
HG10636	30	-8.3	-57.3	
HG04952	-	-7.9	-54.4	
HG90285	-	-8.1	-56.8	
HG90707	-	-8.1	-54.8	
HG91114	-	-8.1	-54.8	
HG90537	-	-8.5	-60.4	



<그림 3-2-37> 화성시 지하수의 산소-수소 동위원소 관계도

나. 농경지 토양조사

우리나라는 토양오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 오염된 토양을 정화하는 등 토양을 적정하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있게 함을 목적으로 1996년부터 토양환경보전법이 제정·시행되고 있으며 토양의 오염방지를 위하여 15종의 물질을 토양오염물질로 지정관리하고 있다.

토양환경보전법상 토양오염물질로는 토양오염과 관련성이 큰 수질환경보전법에서 사람의 건강이나 동식물의 생육에 직접 또는 간접적으로 위해를 줄 우려가 있는 오염물질로 선정된 특정유해물질인 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납, 6가크롬, 아연, 니켈, 불소, 유기인, PCB, 시안, 페놀, 유류(BTEX, TPH), 유기용제류(TCE, PCE) 15종과 토양오염의 방지를 위하여 특별히 관리할 필요가 있다고 인정되는 물질을 포함한다(개정 '01. 12. 31).

토양오염도조사를 위하여 조사지구내 20점의 시료를 채취하였다. 시료채취는 논의 표토를 5cm 제거한 후 hand auger를 이용하여 지표하 40cm 까지의 흙을 채취하여 경기도 환경관리공단과 서울대학교 농업과학공동기기센터에 의뢰하여 토양오염공정시험방법에 의하여 검사를 실시하였다.

조사지역의 환경부 토양측정망운영결과 자료(전국망 14, 지역망 9)를 이용하여 분석결과와 비교하였다. 전국망 답 평균값과 비교할 때 조사지역 토양의 Hg, Cr^{+6}, CN 및 페놀의 함량이 더 높은 것으로 조사되었으나(표 3-2-19~20) 토양환경보전법의 우려기준(4mg/kg)과 비교하였을 때는 Hg 1개소(매송면 송라리, SRL, 5.83mg/kg)를 제외하고는 오염기준치를 넘는 지역은 없다(그림 3-2-38, 부록).

<표 3-2-19> 2001 토양측정망 운영결과(환경부)

(단위 : mg/kg)

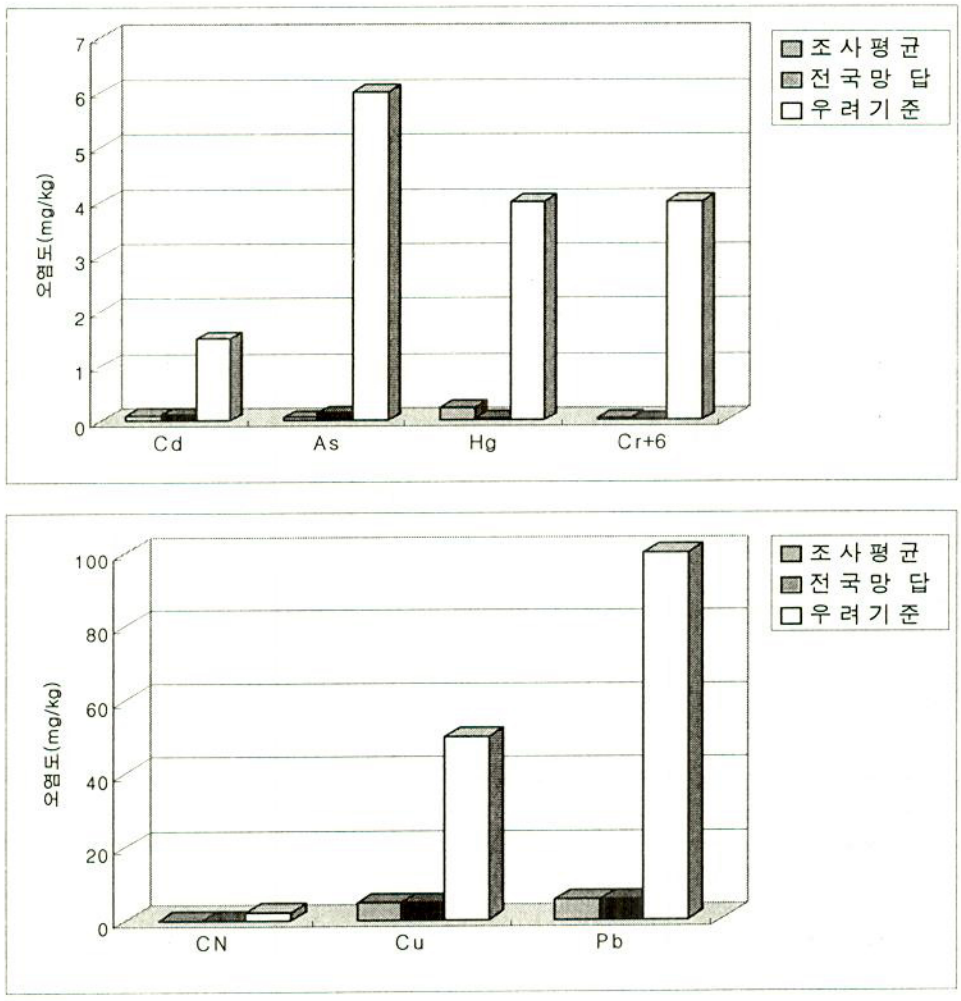
구분	개소수	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr^{+6}	Zn	Ni	F	유기인	PCB	CN	페놀	유류	pH
'01 평균	1,500	0.147	5.300	0.256	0.071	6.503	0.028	-	-	-	n.d.	n.d.	0.020	n.d.	1.108	6.4
지역망	3,000	0.161	5.952	0.299	0.083	7.088	0.038	-	-	-	n.d.	n.d.	0.025	n.d.	1.298	6.3
전국망	1,500	0.118	3.995	0.161	0.040	5.347	0.007	-	-	-	n.d.	n.d.	0.012	n.d.	0.068	6.5
전국망답	125	0.115	4.785	0.138	0.039	5.689	0.009	-	-	-	n.d.	n.d.	0.015	n.d.	0.000	5.7
우려기준 (농경지)	-	1.5	50	6	4	100	4	300	40	400	10	-	2	4	-	-

<표 3-2-20> 화성시 토양분석 결과

(단위 : mg/kg)

구분	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr^{+6}	Zn	Ni	F	유기인	PCB	CN	페놀	유류	pH
평균	0.090	4.562	0.059	0.242	5.521	0.048	48.107	12.312	153.003	n.d.	n.d.	0.018	0.013	n.d.	6.4
관리조사 (20)	0.042	4.205	0.120	0.669	6.429	0.060	48.107	12.312	153.003	n.d.	n.d.	n.d.	0.039	n.d.	5.7
지역망 (9)	0.063	6.947	0.027	0.004	4.927	0.085	-	-	-	-	n.d.	0.036	n.d.	n.d.	6.4
전국망 (14)	0.166	2.533	0.031	0.053	5.207	n.d.	-	-	-	n.d.	n.d.	0.017	n.d.	n.d.	7.1

※ 지역망 및 전국망은 환경부의 2001토양측정망운영결과 자료임, 구분의 ( )는 조사개소수



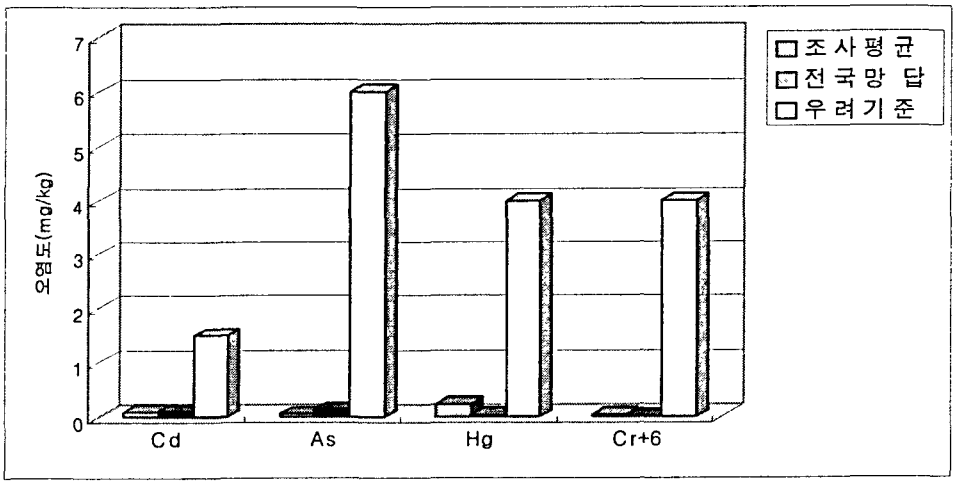
<그림 3-2-38> 농경지토양오염조사 현황

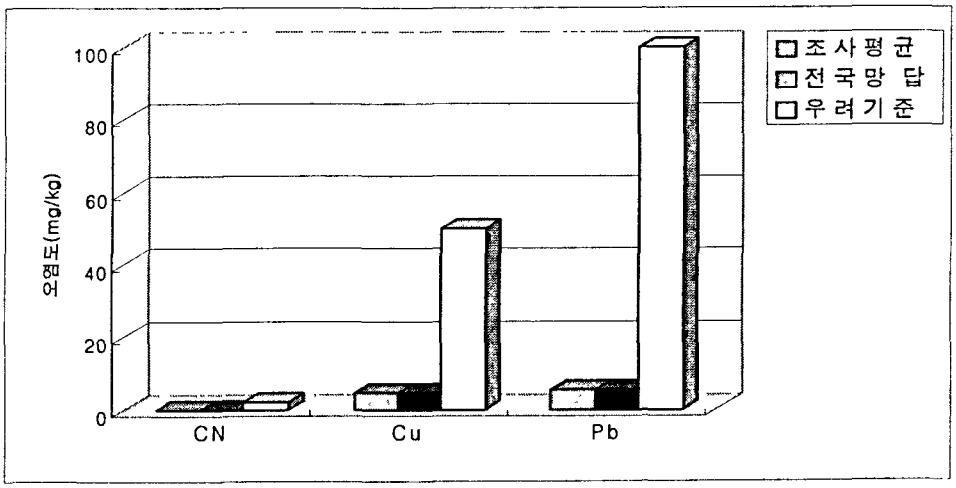
<표 3-2-20> 화성시 토양분석 결과

(단위 : mg/kg)

구분	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr^{+6}	Zn	Ni	F	유기인	PCB	CN	페놀	유류	pH
평균	0.090	4.562	0.059	0.242	5.521	0.048	48.107	12.312	153.003	n.d.	n.d.	0.018	0.013	n.d.	6.4
관리조사 (20)	0.042	4.205	0.120	0.669	6.429	0.060	48.107	12.312	153.003	n.d.	n.d.	n.d.	0.039	n.d.	5.7
지역망 (9)	0.063	6.947	0.027	0.004	4.927	0.085	-	-	-	-	n.d.	0.036	n.d.	n.d.	6.4
전국망 (14)	0.166	2.533	0.031	0.053	5.207	n.d.	-	-	-	n.d.	n.d.	0.017	n.d.	n.d.	7.1

※ 지역망 및 전국망은 환경부의 2001토양측정망운영결과 자료임, 구분의 ( )는 조사개소수





<그림 3-2-38> 농경지토양오염조사 현황

Ⅳ. 지하수 특성분석

4.1 수량 및 대수층 분석

4.1.1 이용량 분석

가. 생활용수 이용현황

상수도 보급율이란 광역상수도 및 지방상수도 등의 급수시설이 정비된 지역내에 거주하여 수돗물을 공급받고 있는 급수인구를 총인구로 나눈 백분율로서 2001년 12월말 기준 우리나라 전체인구의 87.8%인 약 4,240명이 상수도 공급을 받고 있으며, 경기도내 상수도 보급율은 88.7%로 전국 상수도 보급률 보다 높게 나타나고 있으나 화성시 상수도 보급율은 38.4%로 매우 낮은 편이다(표 4-1-1).

1일1인당 급수량은 382ℓ로, 전국평균 361ℓ에 비하여 약간 높게 나타나고 있으며, 상수도 시설용량은 1일 164천톤이다.

<표 4-1-1> 상수도 보급현황

구 분	총인구 (명)	급수인구 (명)	보급률 (%)	시설 용량 (톤/일)	급수량(톤/일)		1인당 급수량 (ℓ/일)	비고
					공업용	기타		
경기도	9,612,036	8,522,748	88.7	5,551,900	227,731	2,840,301	333	
화성시	214,729	82,524	38.4	164,000	9,924	31,545	382	
남 양 동	15,259	7,315	47.9	5,800	-	3,940	539	
태 안 읍	57,942	44,826	77.4	32,700	-	11,373	254	
봉 담 읍	24,979	9,157	36.7	13,300	-	4,527	494	
매 송 면	8,823	4,077	46.2	2,000	-	2,146	526	
비 봉 면	5,702	106	1.9	1,000	-	45	425	
마 도 면	4,390	706	16.1	11,000	-	469	664	
송 산 면	9,804	2,533	25.8	2,000	-	1,028	406	
서 신 면	6,057	368	6.1	16,000	185	110	299	
팔 탄 면	8,479	317	3.7	2,000	-	100	315	
장 안 면	11,638	1,520	13.1	7,415	-	299	197	
우 정 면	18,732	639	3.4	25,585	9,613	2,286	3,577	
향 남 면	14,665	4,268	29.1	23,000	126	1,289	302	
양 감 면	4,526	111	2.5	1,000	-	123	1,108	
정 남 면	12,593	2,967	23.6	3,000	-	1,086	366	
동 탄 면	11,140	3,614	32.4	18,200	-	2,724	754	

자료 : 2001 상수도통계(환경부)

상수도 이외의 시설을 이용하고 있는 화성시 인구는 간이상수도가 17천명(7.9%), 소규모급수시설 이용 인구 12천명(5.6%), 전용상수도 이용 인구 54백명(2.5%) 이 밖에 우물 등이 98천명(45.6%)으로 상수도 보급률이 낮아 우물·샘 등을 이용하는 인구 비율이 높게 나타나고 있다.

<표 4-1-2> 간이·전용상수도 현황

구 분	이용인구				시설수(개소)				비고
	간이 상수도	소규모 급수시설	전용 상수도	기타 (우물,샘)	간이상수도		소규모 급수시설	전용 상수도	
					개소	용량(톤/일)			
경 기 도	236,620	55,926	33,482	763,260	1,135	75,223	684	208	
화 성 시	16,905	11,990	5,438	97,872	86	3,637	127	18	
남 양 동	472	-	-	7,472	2	60	-	-	
태 안 읍	460	80	-	12,576	6	300	2	1	
봉 담 읍	1,092	115	-	14,615	10	561	4	3	
매 송 면	2,535	267	-	1,944	8	787	2	1	
비 봉 면	1,042	1,146	-	3,408	6	180	5	-	
마 도 면	140	384	-	3,160	1	50	6	-	
송 산 면	786	365	-	6,120	5	178	6	-	
서 신 면	936	520	-	4,233	6	233	10	-	
팔 탄 면	1,260	1,342	220	5,340	6	146	17	5	
장 안 면	680	2,529	-	6,909	1	61	25	1	
우 정 면	4,541	1,771	4,018	7,763	15	487	11	1	
향 남 면	800	2,210	900	6,487	4	100	18	2	
양 감 면	782	751	300	2,582	6	150	10	2	
정 남 면	1,379	510	-	7,737	10	344	11	2	
동 탄 면	-	-	-	7,526	-	-	-	-	

자료 : 2001 상수도통계(환경부)

2001년 12월말 기준 화성시 간이상수도 시설은 86개소(시설용량 3,637톤/일), 소규모 급수시설은 127개소이나, 2002년 12월말 기준 화성시 상하수도사업소 자료에 의하면 시설 노후 등으로 사용치 않거나 폐기되어 간이상수도 47개소,

소규모 급수시설 92개소로 감소하였으며, 상수도가 공급이 되지 않는 대부분의 지역이 마을 공동 지하수시설을 이용하고 있다

화성시 생활용 지하수 시설은 총 3,080개소로 이용량은 30,034,924㎥/년이다. 이것은 2002 지하수 조사연보(건교부)에 의한 자료로 간이상수도, 소규모 급수시설, 개인용 관정 등 생활용수로 사용하는 모든 관정을 포함한 것이다. 이중 139개소가 소규모 급수시설 및 간이상수도로서 이용량으로 볼 때 약 5%에 해당한다. 따라서 나머지 95%정도가 가정용 소형지하수를 사용하고 있는 것으로 추정된다.

표 4-1-3에 따르면 지하수 개소수는 서신면과 태안읍이 가장 많고, 이용량에서는 인구가 많은 태안읍과 봉담읍이 가장 많은 것으로 나타났다.

<표 4-1-3> 생활용 지하수 이용현황

구 분	개소수	이용량 (㎥/년)	비 고
계	3,080	30,034,924	
남양동	159	1,864,600	
동탄면	215	2,561,455	
마도면	164	648,155	
매송면	58	612,100	
봉담읍	316	3,553,660	
비봉면	64	635,250	
서신면	433	1,087,142	
송산면	61	682,885	
양감면	134	1,716,640	
우정면	184	2,926,557	
장안면	235	2,762,775	
정남면	278	2,450910	
태안읍	403	4,597,775	
팔탄면	247	2,810195	
향남면	129	1,124,825	

자료 : 지하수조사연보(2002, 건설교통부)

나. 농업용수 이용현황

농경지면적중 농업진흥지역은 62%이며, 답면적 17,591ha중 수리답 비율은 48.9%를 나타낸다. 읍·면별 수리답 면적 비율은 남양담수호와 멱우지 및 버들저수지에서 용수공급을 받고 있는 장안면과 우정면이 99.4%와 94.6%로 높으며, 다음으로는 기천, 동방저수지에서 용수공급을 받는 팔탄면 지역이 81.9%이고, 지형여건상 지표수의 대규모 개발 및 공급이 어려운 송산면과 서신면이 1.3% 및 2%로 낮은 수리답 면적비율을 나타낸다(표 4-1-4).

<표 4-1-4> 수리답 및 진흥지역 현황

(단위 : ha)

구분	총면적	농경지면적					수리답면적		농업진흥지역	
		소계		답	전	과수	면적	비율(%)	면적	비율(%)
		면적	비율(%)							
계	68,765.2	26,784	38.9	17,590.7	9,076.6	115.7	8,601	48.9	16,599.4	62.0
태 안	3,215.6	1,571	48.9	1,075.3	494.3	1.7	197.6	18.4	945.1	60.1
봉 담	4,268.3	1,363	31.9	825.3	535.6	1.7	133.9	16.2	952.6	69.9
매 송	2,745.4	960	35.0	689.9	268.4	1.5	314.4	45.6	575.1	59.9
비 봉	3,853.2	1,323	34.3	856.0	462.2	5.2	225.7	26.4	563.3	42.6
마 도	3,177.7	1,232	38.8	777.6	450.7	3.3	103.3	13.3	721.9	58.6
송 산	5,362.6	2,205	41.1	1,294.4	885.6	25.0	17.1	1.3	1,075.2	48.8
서 신	4,250.6	1,480	34.8	914.2	551.6	14.3	18.1	2.0	782.2	52.8
팔 탄	5,089.6	1,701	33.4	1,194.2	502.1	4.9	978.1	81.9	1,446.7	85.0
장 안	6,767.9	3,023	44.7	2,256.2	766.7	0.4	2,241.6	99.4	2,453.9	81.2
우 정	5,884.7	2,703	45.9	1,892.5	805.6	4.6	1,789.9	94.6	1,596.2	59.1
향 남	4,991.9	2,358	47.2	1,345.0	1,009.7	2.9	573.5	42.6	1,288.9	54.7
양 감	3,117.6	1,271	40.8	809.4	456.8	4.5	621.3	76.8	868.6	68.4
정 남	4,077.4	1,862	45.7	1,220.7	607.1	34.0	513.5	42.1	1,284.1	69.0
동 탄	5,272.9	1,539	29.2	1,012.4	523.9	2.9	807.6	79.8	898.9	58.4
남 양	6,689.8	2,193	32.8	1,427.6	756.3	8.8	65.4	4.6	1,146.7	52.3

자료 : 화성시 통계연보(2002), 화남2외 6지구 농어촌용수구역조사보고서(농림부)

농업용수 공급은 총 답면적 17,590.7ha 중 11,578.8ha에 이루어지는데 이중 27개의 저수지에서 7,142.5ha를 급수하고 양수장 69개소에서 4,949.8ha를, 취입보 28개소에서 131.1ha의 면적에 농업용수를 공급하고 있다(표 4-1-5).

<표 4-1-5> 농업용수공급 수리시설 현황

구분	수원공	개소수	몽리면적(ha)							비고
			인가	한발빈도관개면적						
				소계	평년	3년	5년	7년	10년	
합 계	계	274	12,834.2	11,578.8	1,318.3	1,136.3	754.3	3,550.7	4,819.2	
	저수지	57	7,142.5	6,367.2	316.6	979.6	754.3	3,550.7	766.0	
	양수장	69	4,949.8	4,267.7	474.0	21.0	0	0	3,772.7	
	취입보	28	131.1	333.1	86.9	13.2	0	0	233.0	
	집수암거	14	205.3	203.3	142.6	13.2	0	0	47.5	
	관정	106	405.5	407.5	298.2	109.3	0	0	0	
태안읍	계	45	232.0	238.6	171.7	20.5	0	0	46.4	
	저수지	12	58.7	62.3	40.1	15.5			6.7	
	양수장	12	116.7	119.7	80.0				39.7	
	취입보	4	5.0	5.0	5.0					
	집수암거	1	11.0	11.0	11.0					
	관정	16	40.6	40.6	35.6	5.0				
봉담읍	계	7	697.7	542.7	56.4	8.0	478.3	0	0	
	저수지	3	666.7	511.7	33.4		478.3			
	양수장	1	20.0	20.0	20.0					
	취입보			0						
	집수암거			0						
	관정	3	11.0	11.0	3.0	8.0				
매송면	계	10	120.7	288.7	2.2	207.6	0	0	78.9	
	저수지	3	114.8	280.8		204.9			75.9	
	양수장	2	0	0						
	취입보	3	3.0	3.0					3.0	
	집수암거			0						
	관정	2	2.9	4.9	2.2	2.7				
비봉면	계	14	290.2	290.1	282.9	7.2	0	0	0	
	저수지	2	6.9	6.9	6.9					
	양수장	3	176.1	176.0	176.0					
	취입보	2	85.3	85.3	81.1	4.2				
	집수암거			0						
	관정	7	21.9	21.9	18.9	3.0				
마도면	계	10	286.1	186.1	74.1	28.0	0	0	84.0	
	저수지			0						
	양수장	5	265.0	165.0	60.0	21.0			84.0	
	취입보			0						
	집수암거			0						
	관정	5	21.1	21.1	14.1	7.0				
송산면	계	18	124.6	124.6	96.0	28.6	0	0	0	
	저수지	1	5.6	5.6		5.6				
	양수장	1	20.0	20.0	20.0					
	취입보			0						
	집수암거			0						
	관정	16	99.0	99.0	76.0	230.				
서신면	계	8	42.1	42.1	21.6	20.5	0	0	0	
	저수지	2	12.1	12.1	6.6	5.5				
	양수장			0						
	취입보			0						
	집수암거			0						
	관정	6	30.0	30.0	15.0	15.0				

자료 : 경기도 농업·농촌용수종합이용계획 2000자원기초조사 보고서(농림부, 2000)

<표 4-1-5> 농업용수공급 수리시설 현황(계속)

구분	수원공	개소수	몽리면적(ha)							비고
			인가	한발빈도관개면적						
				소계	평년	3년	5년	7년	10년	
팔탄면	계	26	781.9	729.4	216.0	25.5	0	0	487.9	
	저수지	10	699.7	647.2	146.8	12.5			487.9	
	양수장	6	0	0						
	취입보	2	0	0						
	집수암거	2	40.2	40.2	40.2					
	관정	6	42.0	42.0	29.0	13.0				
장안면	계	18	4,139.5	3,554.5	11.5	8.0	0	0	3,535.0	
	저수지	1	0	0					0	
	양수장	13	4,120.0	3,535.0	0		0		3,535.0	
	취입보			0						
	집수암거			0						
	관정	4	19.5	19.5	11.5	8.0				
우정면	계	11	4,381.6	3,793.0	12.0	0	246.0	3,535.0	0	
	저수지	2	4,369.6	3,781.0			246.0	3,535.0		
	양수장	6	0	0	0		0		0	
	취입보			0						
	집수암거			0						
	관정	3	12.0	12.0	12.0					
향남면	계	28	123.9	90.2	78.9	8.2	0	0	3.1	
	저수지	8	83.9	50.2	47.1				3.1	
	양수장	5	0	0						
	취입보	2	0	0						
	집수암거	1	5.2	5.2		5.2				
	관정	12	34.8	34.8	31.8	3.0				
양감면	계	14	532.5	515.9	84.0	366.9	0	0	65.0	
	저수지	1	380.5	363.9		363.9				
	양수장	6	95.0	95.0	30.0		0		65.0	
	취입보			0						
	집수암거	2	40.0	40.0	40.0					
	관정	5	17.0	17.0	14.0	3.0				
정남면	계	36	572.8	693.2	88.8	393.3	0	0	211.1	
	저수지	2	388.3	371.7		371.7				
	양수장	7	87.0	87.0	38.0				49.0	
	취입보	7	0.8	137.8	0.8				137.0	
	집수암거	3	53.9	53.9	25.8	3.0			25.1	
	관정	17	42.8	42.8	24.2	18.6				
동탄면	계	22	461.2	444.3	96.6	0	30.0	15.7	302.0	
	저수지	10	355.7	273.8	35.7		30.0	15.7	192.4	
	양수장	2	50.0	50.0	50.0					
	취입보	4	22.2	87.2					87.2	
	집수암거	2	22.4	22.4					22.4	
	관정	4	10.9	10.9	10.9					
남양동	계	7	47.4	45.4	25.6	14.0	0	0	5.8	
	저수지			0						
	양수장			0						
	취입보	4	14.8	14.8		9.0			5.8	
	집수암거	3	32.6	30.6	25.6	5.0				
	관정		6u/17	0						

자료 : 경기도 농업·농촌용수종합이용계획 2000자원기초조사 보고서(농림부, 2000)

조사지구의 농업용 지하수 시설은 총 2,053개소로 이용량은 6,360천㎥/년이며, 관정수는 주요 하천이 분포하지 않는 송산면이 1,121개소(59%), 마도면이 519개소(25%)로 많으며, 이용량은 송산면이 2,074천㎥/년(32.6%), 팔탄면이 810천㎥/년(12.7%)으로 많다(표 4-1-6).

<표 4-1-6> 농업용 지하수 이용현황

구 분	개소수	이용량 (천㎥/년)	비 고
계	2,053	6,360	
남양동	52	517	
동탄면	13	19	
마도면	519	601	
매송면	8	71	
봉담읍	18	139	
비봉면	26	456	
서신면	33	425	
송산면	1,121	2,074	
양감면	26	115	
우정면	74	126	
장안면	19	282	
정남면	37	217	
태안읍	38	317	
팔탄면	37	810	
향남면	32	192	

자료 : 화성시

다. 공업용수 이용현황

공업용수는 광역상수도를 공급받는 우정면 매향리 기아자동차(시설용량 Q=20,000㎥/일)와 계획중인 금의공단(Q=4,000㎥/일) 외에는 주로 부지내 지하수를 이용하여 용수를 공급하고 있으며, 특별히 공업용수를 과다하게 사용하는 제지, 펄프제조업체에서의 이용은 비교적 적은편이다.

화성시 공업용 지하수 시설은 총 83개소로 그 이용량은 1,541,580㎥/년이다 (2002 지하수조사연보, 건설교통부)

<표 4-1-7> 공업용수 지하수 이용량

구 분	개소수	이용량 (㎥/년)	비 고
계	83	1,541,580	
남양동	6	158,000	
동탄면	3	43,800	
마도면	1	7,200	
매송면	-	-	
봉담읍	16	82,310	
비봉면	1	3,600	
서신면	-	-	
송산면	2	6,000	
양감면	11	578,200	
우정면	8	207,700	
장안면	13	84,320	
정남면	4	41,650	
태안읍	5	127,550	
팔탄면	5	41,800	
향남면	8	159,450	

자료 : 지하수조사연보(2002, 건설교통부)

라. 용수이용 특성 및 수요전망

1) 생활용수 수요전망

2000년 기준 상수도 보급률은 전국민의 87.1%인 4,200만명에게 수돗물을 공급하고 있으며 농어촌, 도서지역, 중소도시 등 급수취약지역에 상수도 시설을 확충하여 전국상수도 보급률을 '00년 87.1% → '05년 92.6%로 확충해 나갈 계획이다.

정부는 읍단위 이상 지역의 상수도보급률을 높이기 위하여 중소도시 지방상수도개발사업을 꾸준히 추진하고 있으며, 상수도보급률이 저조한 면단위 지역에는 농어촌 상수도사업, 소규모저수지, 해수담수화 등 다양한 식수원 개발사업을 추진해 나갈 계획이다.

화성시 생활용수 수요량산정에서는 생활용수 보급률을 92%로 하고 1인 1일 평균 급수수량을 350ℓ로 산정 하였다.

<표 4-1-8> 생활용수 수요량

(단위 : 천㎥/년)

구 분	인구(인)	보급율	급수대상 인구(인)	1 일 급수량	급수량	비 고
계	214,729	92 %	197,541	350 ℓ/인	25,227	-
태안읍	57,942		53,306		6,809	
봉담읍	24,979		22,980		2,935	
매송면	8,823		8,117		1,036	
비봉면	5,702		5,245		670	
마도면	4,390		4,038		515	
송산면	9,804		9,019		1,152	
서신면	6,057		5,572		711	
팔탄면	8,479		7,800		996	
장안면	11,638		10,706		1,367	
우정면	18,732		17,233		2,201	
향남면	14,665		13,491		1,723	
양감면	4,526		4,163		531	
정남면	12,593		11,585		1,479	
동탄면	11,140		10,248		1,309	
남양동	15,259		14,038		1,793	

2) 농업용수 수요전망

지속적인 인구 증가와 각종 산업시설, 택지개발 등 대규모 개발사업의 가속화로 경지면적 전망은 '97년 26,145ha에서 2011년에는 5% 감소한 24,930ha로 추정되었으나, 농업용수 수요전망은 수리답의 증가와 수리불안전답 면적의 상대적 감소로 '97년에 비하여 2011년에는 3% 증가한 166,800천㎥/년으로 추정하고 있다.

<표 4-1-9> 경지면적 현황 및 전망

(단위 : ha)

구 분	1997년	2001년	2006년	2011년	비고
경지면적	26,145	27,526	25,063	24,930	
논면적	17,755	18,772	16,792	16,659	
- 수리답	9,316	10,958	9,838	10,553	
- 수리불안전답	8,439	7,814	6,954	6,106	
밭면적	8,390	8,754	8,271	8,271	
- 관개전	4	4	4	4	
- 비관개전	8,386	8,750	8,267	8,267	

자료 : 농촌용수 수요량조사 종합보고서 (농림부, 1999)

<표 4-1-10> 농업용수 수요량

(단위 : 천㎥/년)

구 분	1997년	2001년	2006년	2011년	비고
농업용수	162,580	162,330	163,230	166,800	
논용수	137,990	137,900	138,980	142,550	
밭용수	24,590	24,430	24,250	24,250	
- 밭관개	20	20	20	20	
- 비관개	24,570	24,410	24,230	24,230	

자료 : 농촌용수 수요량조사 종합보고서 (농림부, 1999)

3) 공업용수 수요전망

공업용수 수요량은 「농업·농촌용수 종합이용계획(농림부, 1999)」의 공업용수 수요량 산출방법을 적용하였다.

2002년 기준으로 화성시에 위치하는 공장면적은 1,337.4ha이며 150㎥/일/ha의 단위용수량을 적용할 때 소요수량은 73,214천㎥/년으로 추정되었다(표 4-1-11).

<표 4-1-11> 공업용수 수요량

구분	공장면적[1](ha)	단위용수량 (㎥/일/ha)	소요수량 (천㎥/년)	비 고
계	1,337.4	150	73,214	
태안읍	158.7		8,688	
봉담읍	117.3		6,422	
매송면	0.1		5	
비봉면	21.0		1,149	
마도면	33.6		1,839	
송산면	16.9		925	
서신면	10.3		563	
팔탄면	168.1		9,203	
장안면	92.4		5,058	
우정면	144.7		7,922	
향남면	104.1		5,699	
양감면	121.6		6,657	
정남면	144.7		7,922	
동탄면	136.4		7,467	
남양동	67.5		3,695	

주 : 1) 자료 : 화성시 통계연보(2002)

4) 축산용수 수요전망

축산용수는 가축 두수당 물사용량과 가축이 소비하는 초지의 생육에 필요한 초지용수 및 가축 가공용수를 더하였고, 축종은 한우, 젖소, 돼지, 닭 등 4종으로 선정하였다. 축종별 두수전망은 「'95년 농업총조사」에서 조사한 면별 축산두수 비율을 현재 및 목표연도에 적용하였으며, 한우는 수입쇠고기의 영향으로 두수가 줄어들 것으로 예상되었으나 정부의 「한우산업 안정대책」에 따라 현재사육두수를 그대로 지속하는 것으로 산정하였다.

가축두당 물수요량은 일본 초지개발사업계획 설계기준 자료를 이용하였으며 축종별 물수요량은 표 4-1-12과 같다. 또한 초지용수 및 가공용수는 「농업·농촌용수 종합이용계획」의 수요량을 적용하였다.

<표 4-1-12> 가축별 1일급수량

(단위 : ℓ/두·일)

구 분	농촌정비기준급수량	일본초지개발계획설계기준	비고
한 우	50	50 ~ 60	
젖 소	150	120 ~ 150	
돼 지	40	20 ~ 30	
닭	0.5	0.3 ~ 1	

<표 4-1-13> 축산용수 수요량

(단위 : 천㎥/년)

읍·면	1997년	2001년	2006년	2011년	비고
계	4,570	4,710	5,060	5,380	
태안읍	120	120	130	140	
봉담읍	670	680	730	780	
매송면	90	90	100	100	
비봉면	810	860	920	990	
마도면	200	210	220	240	
송산면	170	170	180	190	
서신면	80	80	80	80	
팔탄면	500	510	560	590	
장안면	430	440	480	510	
우정면	320	330	350	370	
향남면	360	360	390	410	
양감면	420	440	480	510	
정남면	180	180	190	200	
동탄면	140	150	160	170	
남양동	80	90	90	100	

자료 : 농촌용수 수요량조사 보고서(농림부, 1999)

5) 환경용수 수요전망

하천의 오염방지를 목적으로 유역 전체의 10년 빈도 자연갈수량을 계산하여 갈수기시 180일간 공급하는 양으로 산정하여 년간소요수량을 9,734천㎥/년으로 추정하였다.

<표 4-1-14> 하천유지용수 수요추정

행정구역	구 분	유역면적 (ha)	단위갈수량 (㎥/sec/천ha)	1일소요수량 (㎥/일)	년간소요수량 (천㎥/년)	비 고
계	-	33,752	-	54,134.3	9,734	
화성시	어은천	2,350	0.01804	3,662.8	659	
	자안천	5,263	0.01804	8,203.2	1,476	
	요곡천	462	0.01804	720.0	129	
	무봉천	748	0.01804	1,165.8	209	
	신남천	540	0.01804	841.6	151	
	남양천	1,990	0.01804	3,101.7	558	
	남전천	1,690	0.01804	2,634.1	474	
	동화천	4,630	0.01804	7,216.5	1,298	
	어 천	260	0.01804	405.2	72	
	구포천	590	0.01804	919.6	165	
	송라천	708	0.01804	1,103.5	198	
	금곡천	1,000	0.01804	1,558.6	280	
	발안천	6,100	0.01804	9,507.8	1,711	
	하가등천	1,000	0.01804	1,558.6	280	
	반정천	1,340	0.01804	2,088.5	375	
	관리천	2,330	0.01804	5,159.1	928	
	치동천	870	0.01804	1,356.0	244	
	신리천	1,640	0.01804	2,556.1	460	
	장지천	241	0.01804	375.6	67	

자료 : 한국하천일람(건설교통부, 2002), 화남2지구외 6지구 농어촌 용수구역 조사보고서 (농림부)

6) 용수 수요총괄

화성시 농업, 축산, 생활, 공업, 하천유지용수 등을 종합하면 표 4-1-15과 같다.

<표 4-1-15> 수요수량 총괄

(단위 : 천㎥/년)

구 분	년도별				비 고
	1997년	2001년	2006년	2011년	
계	275,325	275,215	276,465	280,355	
농업용수	162,580	162,330	163,230	166,800	
- 논용수	137,990	137,900	138,980	142,550	
- 밭용수	24,590	24,430	24,250	24,250	
축산용수	4,570	4,710	5,060	5,380	
생활용수	25,227	25,227	25,227	25,227	
공업용수	73,214	73,214	73,214	73,214	
하천유지용수	9,734	9,734	9,734	9,734	

4.1.2 개발가능량 분석

지하수 개발가능량은 수문순환계가 파괴되지 않고 지하수 장애를 일으키지 않는 범위내에서 지속적으로 대수층으로부터 양수할 수 있는 지하수량에 해당하며, 지하수의 함양과 유출이 평형을 이루는 상태에서 지속적으로 채수 가능한 최대 수량이다. 이러한 지하수 개발가능량은 광역적인 단위로 지하수를 관리하거나 지하수의 개발·이용계획 수립에 필수적인 기본지표로써 유역 또는 각 지방자치단체에서의 용수공급계획 수립시 지표로 활용될 수 있다. 따라서 합리적인 지하수 이용 및 관리계획을 수립하기 위하여 해당지역 내의 지하수 개발가능량을 산정할 필요가 있다.

본 조사지구에서는 5대강 유역 강우함양계수에 의한 방법, 해안유역의 회귀방정식에 의한 방법, SCS-CN방법과 손실량추정방법에서 취득한 함양률의 평균값을 적용하였다.

가. 지하수 함양률 산정

1) 토양수분 수지분석에 의한 함양률

조사지구에 가장 인접한 수원기상대 33년간(1964~1996) 기상자료를 수집하여 물수지 분석을 실시하였다. 본 지구는 토양매질중 Loam의 분포비율이 60%로 가장 높은 면적을 점유하고 있어, 표 4-1-17의 토양형태에 대한 대표적인 토양수분 특성에서 양토(loam)를 선정하여 적용하였으며, 표 4-1-18과 같이 년도별 물수지 분석을 실시하여 산정한 33년 평균 물수지 결과는 표 4-1-21과 같다.

- 화성시 토성(loam)의 적용조건

  최대보수량 혹은 포장용수량(field capacity) = 0.26㎥/㎥(0.20~0.30㎥/㎥의 평균)

  위조점 혹은 생장저해 수분점(wilting point) = 0.12㎥/㎥(0.07~0.17㎥/㎥의 평균)

  전용이유효수분량(total available water) = 1000×(최대보수량-위조점)×근역대 심도(m)

  유효수분량(readily available water) = p×TAW, p:작물별 토양수분소모인자(무:0.3)

  근역대 심도(root zone depth) = 0.8m (정밀토양도의 평균유효토심 적용)

<표 4-1-17> 토양형태에 대한 대표적인 토양수분특성

토양형태 (미국 토양 조직분류)	토양수분특성					
	Field Capacity(θFC) m³/m³		Wilting Point(θWP) m³/m³		(θFC - θWP) m³/m³	
	FAO[1]	*E*[2]	*FAO*[1]	*E*[2]	*FAO*[1]	*E*[2]
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

- 토양수분 수지분석 절차

① 인근 기상대의 당해연도 월별강수량(표 4-1-19)

② Penman-Monteith 방법에 의한 월별 잠재증발산량(표 4-1-20)

③ 당월 강수량 - 당월 증발산량

④ 당월 강수량 + 전월 St

⑤ △St = P - Surplus - EA

⑥ 초기 St는 총유효수분량으로 가정하고 전월 St에 당월 △St를 더하여 당월 St에 기입한다. 단 전월 St + △St 〈 0 이면 St = 0

⑦ 전월 St + P - Ep ≥ 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 ≤ 최대보수량 이면, Surplus = 0
※최대보수량 = 최대보수율 × 근역대 심도

⑩ P>Ep 이면 Ea=EA, P<Ep 이면 Ea=P

<표 4-1-18> 년도별 토양수분 수지분석

- '64년 월별 토양수분 수지분석 예

	전월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계	비고
P		32	38.7	33.2	395.6	94.2	88.9	527.9	310.0	270.3	37.3	26.8	15.0	1869.9	①
Ep		13.7	20.4	48.6	76.2	112.9	121.4	107.9	114.8	73.5	50.5	29.0	18.1	787.0	②
P-Ep		18.3	18.3	-15.4	319.4	-18.7	-32.5	420.0	195.2	196.8	-13.2	-2.2	-3.1		③
P+St		144.0	169.0	181.8	528.8	302.2	278.2	684.7	518.0	478.3	245.3	221.6	207.6		④
△St	0	18.3	18.3	-15.4	74.8	-18.7	-32.5	51.2	0.0	0.0	-13.2	-2.2	-3.1	77.5	⑤
St	112	130.3	148.6	133.2	208.0	189.3	156.8	208.0	208.0	208.0	194.8	192.6	189.5	2167.1	⑥
EA		13.7	20.4	48.6	76.2	112.9	121.4	107.9	114.8	73.5	50.5	29.0	18.1	787.0	⑦
Deficit		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		⑧
Surplus		0.0	0.0	0.0	244.6	0.0	0.0	368.8	195.2	196.8	0.0	0.0	0.0	1005.4	⑨
Ea		13.7	20.4	33.2	76.2	94.2	88.9	107.9	114.8	73.5	37.3	26.8	15.0	701.9	⑩

※ 초기 St는 전용이유효수분량 = 1000(0.26-0.12)×0.8 = 112.0㎜로 가정
최대보수량 = 1000×0.26×0.8 = 208.0㎜

<표 4-1-19> 수원기상대 월별 강수량

(단위 : ㎜)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1964	32.0	38.7	33.2	395.6	94.2	88.9	527.9	310.0	270.3	37.3	26.8	15.0
1965	16.9	7.5	30.3	22.6	19.2	48.7	555.2	431.4	20.3	54.7	90.8	12.1
1966	8.5	25.6	94.1	45.4	37.9	70.6	542.8	183.2	242.6	62.8	79.7	3.7
1967	23.2	48.0	88.6	95.7	77.8	118.3	234.0	308.9	65.4	38.0	79.8	18.3
1968	11.4	26.7	60.0	37.9	54.2	40.1	490.1	529.7	151.7	108.5	43.4	17.1
1969	89.7	60.2	19.8	245.7	149.3	30.8	273.2	344.2	149.7	12.5	37.0	16.3
1970	4.5	66.6	7.1	16.1	76.5	189.2	423.9	173.3	390.8	247.2	33.1	18.1
1971	25.6	29.2	47.4	52.0	111.2	153.5	527.3	230.7	84.0	11.7	32.8	19.4
1972	56.1	27.9	87.9	31.7	104.6	43.5	219.0	851.2	142.7	57.1	143.0	10.7
1973	63.8	4.3	6.6	125.9	69.8	146.6	186.2	158.3	168.2	30.8	42.5	18.8
1974	14.5	27.8	31.8	169.3	245.0	69.1	256.4	227.8	75.2	47.9	9.0	15.5
1975	13.2	3.9	67.7	100.1	55.9	40.1	401.2	185.2	154.5	44.3	37.2	23.7
1976	4.2	116.4	5.2	88.0	33.7	48.3	144.8	375.7	72.3	78.7	51.7	27.1
1977	4.9	1.4	32.3	219.4	59.3	68.5	366.5	53.3	123.0	6.8	74.4	39.6
1978	15.4	17.6	50.4	6.6	11.9	336.9	289.0	272.2	65.7	34.2	13.6	21.4
1979	10.4	41.3	65.0	149.3	105.0	413.8	197.8	219.0	56.2	10.7	26.9	23.7
1980	30.0	7.0	34.4	226.2	80.0	193.5	202.4	205.4	84.7	54.8	15.1	53.5
1981	20.9	15.4	51.3	50.7	62.4	64.9	478.5	374.1	129.9	36.8	29.3	17.1
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

<표 4-1-20> Penman-Monteith 방법에 의한 증발산량(1964~1996:33년간)

(단위 : ㎜)

구분	연간 강수량	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연간 증발산량	비율 (%)
1964년	1,869.9	13.7	20.4	48.6	76.2	112.9	121.4	107.9	114.8	73.5	50.5	29.0	18.1	786.8	42.1
1965년	1,309.7	19.1	30.6	55.9	86.5	112.8	133.5	107.1	101.9	95.6	58.5	30.7	20.3	852.6	65.1
1966년	1,396.9	20.6	28.6	50.9	86.6	124.5	118.6	99.1	121.0	75.5	54.2	33.9	17.7	831.3	59.5
1967년	1,196.0	22.8	27.2	52.7	81.5	123.8	114.3	115.3	99.8	80.4	59.3	31.5	17.7	826.3	69.1
1968년	1,570.8	22.8	28.4	58.8	98.1	110.3	126.7	113.2	119.5	87.7	49.8	27.0	19.3	861.5	54.8
1969년	1,428.4	20.2	26.7	57.8	81.9	113.1	128.3	126.0	123.2	88.3	62.2	31.3	18.9	878.0	61.5
1970년	1,646.4	19.3	31.4	55.0	99.1	123.9	122.5	112.2	125.7	88.4	58.5	31.9	20.1	887.8	53.9
1971년	1,324.8	19.9	28.9	56.2	93.2	122.1	126.7	118.9	123.9	93.1	60.8	31.9	21.4	897.1	67.7
1972년	1,775.4	20.7	31.2	55.8	86.6	114.8	134.7	145.4	115.8	88.9	59.4	45.1	29.4	927.8	52.3
1973년	1,021.8	20.2	31.5	62.2	83.4	118.2	107.9	138.6	108.2	81.8	53.2	30.1	18.1	853.4	83.5
1974년	1,189.3	18.6	25.9	50.8	83.5	106.0	117.1	95.8	109.7	88.1	51.8	29.8	18.0	795.0	66.8
1975년	1,127.0	22.8	31.8	51.5	83.4	106.5	113.9	106.1	121.3	76.1	54.4	33.9	18.5	820.1	72.8
1976년	1,046.1	21.9	28.3	53.5	77.7	110.7	114.7	111.7	85.0	87.0	53.8	27.8	22.6	794.8	76.0
1977년	1,049.4	19.4	30.8	56.9	84.9	109.9	134.5	129.3	120.2	84.6	58.8	30.4	17.1	876.6	83.5
1978년	1,134.9	20.4	25.8	56.4	90.0	128.7	115.2	118.0	108.0	81.2	55.8	29.5	19.7	848.6	74.8
1979년	1,319.1	22.9	28.7	56.3	79.5	113.4	102.6	119.1	117.0	78.1	62.2	32.7	19.4	831.6	63.0
1980년	1,187.0	21.7	26.4	57.8	75.2	114.5	110.5	93.8	86.9	86.2	58.0	30.3	18.0	779.4	65.7
1981년	1,331.3	15.9	25.1	58.9	83.3	106.1	111.6	113.5	104.2	85.9	55.3	25.9	17.0	802.5	60.3
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

<표 4-1-21> 수원기상대 33개년 물수지 총괄

(단위 : ㎜)

연도별	강수량	잠재증발산량		실제증발산량			지표유출량		토양수분량		
		ET_0		Ea		EA	Surplus		(+ΔSt)		(-ΔSt)
'64	1,869.9	787.0	42.1%	701.9	37.5%	787.0	1,005.4	53.8%	162.6	8.7%	-85.1
'65	1,309.7	852.5	65.1%	472.0	36.0%	748.8	569.6	43.5%	268.1	20.5%	-276.8
'66	1,396.9	831.2	59.5%	626.3	44.8%	831.2	552.5	39.6%	218.1	15.6%	-204.9
'67	1,196.0	826.3	69.1%	744.0	62.2%	826.3	355.7	29.7%	96.3	8.1%	-82.3
'68	1,570.8	861.6	54.9%	643.4	41.0%	854.8	718.2	45.7%	209.2	13.3%	-211.4
'69	1,428.4	877.9	61.5%	690.1	48.3%	877.9	594.9	41.6%	143.4	10.0%	-187.8
'70	1,646.4	888.0	53.9%	692.9	42.1%	888.0	713.8	43.4%	239.7	14.0%	-195.1
'71	1,324.8	897.0	67.7%	775.9	58.6%	897.0	485.1	36.6%	63.8	4.8%	-121.1
'72	1,775.4	927.8	52.3%	747.2	42.1%	927.8	807.0	45.5%	221.2	12.5%	-180.6
'73	1,021.8	853.4	83.5%	699.8	68.5%	853.4	159.0	15.6%	163.0	16.0%	-153.6
'74	1,189.3	795.1	66.9%	683.9	57.5%	795.1	425.0	35.7%	80.4	6.8%	-111.2
'75	1,127.0	820.2	72.8%	648.2	57.5%	820.2	268.3	23.8%	210.5	18.7%	-172.0
'76	1,046.1	794.7	76.0%	570.6	54.5%	794.7	249.8	23.9%	225.7	21.6%	-224.1
'77	1,049.4	876.8	83.6%	572.8	54.6%	876.8	186.6	17.8%	290.0	27.6%	-304.0
'78	1,134.9	848.7	74.8%	576.3	50.8%	823.3	348.9	30.7%	209.7	18.5%	-247.0
'79	1,319.1	831.9	63.1%	731.8	55.5%	831.9	510.8	38.7%	76.5	5.8%	-100.1
'80	1,187.0	779.3	65.7%	682.1	57.5%	779.3	332.8	28.0%	172.1	14.5%	-97.2
'81	1,331.3	802.7	60.3%	643.9	48.4%	802.7	543.6	40.8%	143.8	10.8%	-158.8
'82	1,067.4	865.2	81.1%	542.5	50.8%	865.2	187.2	17.5%	337.7	31.6%	-322.7
'83	942.4	839.3	89.1%	634.7	67.3%	839.3	125.3	13.3%	182.4	19.4%	-204.6
'84	1,172.8	850.2	72.5%	629.5	53.7%	850.2	347.4	29.6%	195.9	16.7%	-220.7
'85	1,491.0	828.5	55.6%	790.8	53.0%	828.5	615.5	41.3%	84.7	5.7%	-37.7
'86	1,144.1	809.3	70.7%	660.7	57.7%	809.3	334.8	29.3%	148.6	13.0%	-148.6
'87	1,439.1	832.7	57.9%	688.6	47.8%	832.7	647.4	45.0%	103.1	7.2%	-144.1
'88	849.8	884.1	104.0%	479.5	56.4%	795.7	162.3	19.1%	208.0	24.5%	-316.2
'89	1,217.7	885.5	72.7%	696.6	57.2%	878.9	192.1	15.8%	329.0	27.0%	-182.3
'90	2,043.6	784.6	38.4%	723.1	35.4%	784.6	1,284.1	62.8%	36.4	1.8%	-61.5
'91	1,320.4	848.7	64.3%	701.2	53.1%	848.7	449.2	34.0%	170.0	12.9%	-147.5
'92	1,129.4	838.5	74.2%	681.0	60.3%	838.5	285.8	25.3%	162.6	14.4%	-157.5
'93	1,162.9	826.9	71.1%	679.7	58.4%	826.9	356.5	30.7%	126.7	10.9%	-147.2
'94	1,045.6	922.0	88.2%	683.7	65.4%	922.0	109.1	10.4%	252.8	24.2%	-238.3
'95	1,653.3	849.8	51.4%	538.4	32.6%	849.5	906.9	54.9%	208.0	12.6%	-311.1
'96	952.1	852.1	89.5%	561.7	59.0%	845.9	102.1	10.7%	288.3	30.3%	-284.2
평균	100.0%				52.3%			32.5%		15.2%	

표 4-1-21의 월별 물수지 계산 결과 지표유출량(surplus)은 일별 강수자료를 사용한 물수지 계산의 지표유출량과 다소 차이를 보여준다. 그러나 사용이 용이하고 입력자료(강수량, 잠재증발산량)를 손쉽게 얻을 수 있기 때문에 습윤기후나 온대기후 조건에서 월별 강수자료를 이용한 물수지 산정이 자주 사용되고 있다.

위의 물수지 결과에서 강수의 직접유출량(주로 홍수기의 지표면유출량)은 약 32.5%인 것으로 나타났으며, 강수의 지표침투율(함양율)에 해당하는 토양수분증가량(+ΔSt)의 33개년 평균강수량의 15.2%로 나타났다.

2) 침투량 분석에 의한 함양량

SCS 모델의 특징은 수문학적 토양구분과 토지이용상태별 유출곡선지수(Runoff Curve Number, CN)를 정하여 유역의 특성에 따라 무계측으로 분석토록 개발된 것인데, 그중 침투량에 해당되는 부분을 연구 발전시켜 실용화시킨 소유역 지하수함양량 산정방법이다.

본 방법은 일별강수량 자료를 SCS에서 제시한 선행강수량 조건별로 분류하여 년도/CN지수에 따른 함양량을 산정하였다(표 4-1-22).

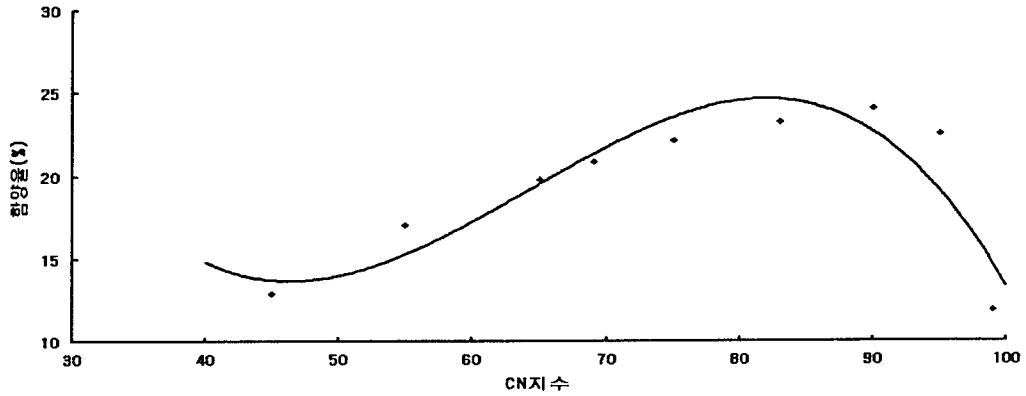
표 4-1-22에서 강수량은 각 해당연도의 년 총강수량을 나타내며 CN지수는 AMC-Ⅱ 조건을 기준으로 한 것으로써, 6, 7, 8, 9월을 성수기로 보았고, 나머지 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12월을 비성수기로 간주하였다.

<표 4-1-22> CN지수 변동에 따른 연도별 함양량 산정

년도별	강수량 (㎜)	함양량(mm)								
		CN=45	CN=55	CN=65	CN=69	CN=75	CN=83	CN=90	CN=95	CN=99
'64	1869.9	303.0	425.3	486.5	500.8	506.3	471.9	428.2	379.5	171.7
'65	1309.7	230.0	294.2	308.2	304.7	308.1	307.4	282.4	220.0	103.5
'66	1396.9	257.8	296.0	296.8	295.2	297.1	307.4	309.0	284.5	148.8
'67	1196.0	303.6	434.4	500.4	516.5	530.4	510.7	473.8	405.2	165.7
'68	1570.8	326.1	394.3	396.6	389.0	369.0	332.5	315.1	279.8	157.5
'69	1428.4	192.9	237.6	289.0	305.2	321.7	338.0	340.6	301.8	167.9
'70	1646.4	232.7	319.3	385.5	416.3	448.2	449.1	416.0	348.9	138.9
'71	1324.8	250.8	294.1	314.8	317.0	302.7	287.8	281.8	257.7	141.1
'72	1775.4	203.9	255.9	297.1	328.8	374.5	406.3	407.9	381.2	200.4
'73	1021.8	28.4	63.2	115.8	150.9	197.4	262.4	307.3	288.0	159.6
'74	1189.3	55.8	72.6	100.7	104.7	109.4	99.9	83.1	59.2	0.0
'75	1127.0	185.3	206.5	201.8	197.7	189.7	191.6	227.8	248.0	165.0
'76	1046.1	69.0	119.8	157.9	168.6	183.5	207.7	257.8	294.0	166.9
'77	1049.4	133.8	159.1	182.7	205.8	229.6	266.3	281.1	240.8	119.9
'78	1134.9	174.5	252.5	301.1	307.5	306.8	278.0	257.6	220.6	100.9
'79	1319.1	141.6	193.7	231.2	254.6	291.5	359.4	379.4	345.5	153.7
'80	1187.0	54.1	127.7	175.6	196.6	227.9	288.4	353.3	350.2	173.0
'81	1331.3	150.2	241.1	303.6	323.8	348.1	335.7	321.1	285.2	167.9
'82	1067.4	127.8	158.4	180.4	191.0	212.5	237.7	251.2	249.1	139.1
'83	942.4	45.6	86.8	118.7	127.6	159.9	212.1	253.7	262.6	155.3
'84	1172.8	150.8	202.6	226.7	236.1	241.9	243.9	251.5	244.0	133.6
'85	1491.0	200.6	244.7	307.0	329.6	343.6	366.8	369.3	334.2	156.8
'86	1144.1	80.0	144.2	196.0	223.2	258.4	312.2	323.4	296.2	149.1
'87	1439.1	250.7	278.4	310.1	326.8	330.4	328.0	330.0	320.4	159.0
'88	849.8	112.6	138.2	157.7	170.3	185.9	178.6	192.7	188.0	105.6
'89	1217.7	96.7	184.3	239.6	247.0	258.8	286.3	322.7	311.3	172.7
'90	2043.6	329.1	381.2	436.5	448.7	447.9	430.4	452.4	457.2	231.9
'91	1320.4	179.0	207.4	217.9	227.4	255.0	265.5	270.2	265.7	175.0
'92	1129.4	25.0	88.3	136.7	168.1	204.5	256.3	314.4	332.1	206.8
'93	1162.9	137.9	142.0	150.8	169.9	193.3	236.3	282.8	293.1	187.0
'94	1045.6	71.8	121.3	177.3	207.2	246.2	262.4	285.8	274.8	152.3
'95	1653.3	387.0	458.3	454.3	438.7	408.0	349.6	326.3	287.4	151.3
'96	952.1	9.1	52.6	75.5	92.7	147.9	231.0	302.8	304.0	170.3
평균	1289.6	166.6	220.5	255.5	269.3	285.9	299.9	310.7	291.2	153.0
함양율(%)		12.9	17.1	19.8	20.9	22.2	23.3	24.1	22.6	11.9

산정된 CN지수에 따른 함양율 결과를 보면 CN값이 87에서 가장 높게 나타나고 이를 기준으로 각각 감소하는 경향을 나타낸다. 표 4-1-22에서 CN값을 횡축으로 함양율(F)을 종축으로 취하여 도시하면 그림 4-1-1과 같고, 다음과 같은 회귀방정식을 유도할 수 있다.

$$Y = -0.0005X^3 + 0.094X^2 - 5.5669X + 118.36 \quad , \quad R^2 = 0.8163$$



<그림 4-1-1> 수원기상대 인근지역의 함양율과 CN값의 관계

표 4-1-23은 토지이용그룹별 CN값에 대하여 상기 회귀방정식을 적용하여 유역면적비로 가중평균하여 토지이용(논, 밭, 임야)별 함양율을 계산한 결과로 평균함양율은 16.2%로 산정 되었다.

<표 4-1-23> 화성시 SCS-CN에 의한 함양율(침투율) 산정

토양구분 / 이용구분		A		B		C		D		면적계 (㎢)	평균 CN	그룹별 함양율 (%)	면적가중 평균함양율 (%)
		면적(㎢)	CN	면적(㎢)	CN	면적(㎢)	CN	면적(㎢)	CN				
농경지 (264.743)	전	4.392	63	-	74	85.548	82	-	85	89.940	81	18.5	17.0
	답	-	70	-	79	4.378	84	170.425	88	174.803	87	16.3	
산림 지역 (274.563)	불량	8.625	57	31.609	73	0.951	82	-	86	41.185	69	17.5	15.0
	보통	44.850	43	164.366	65	4.942	76	-	82	214.158	60	14.7	
	양호	4.025	32	14.751	58	0.444	72	-	79	19.220	52	12.8	
시설 지역 (148.395)	주거지	0.535	77	3.407	85	15.047	90	2.293	94	21.282	89	15.0	17.0
	도로	-	76	-	85	2.715	89	21.218	91	23.933	90	14.2	
	학교	0.193	54	-	70	1.150	80	0.036	85	1.379	76	18.7	
	공업지	-	81	0.833	88	14.643	91	-	93	15.476	90	14.2	
	유휴지	3.087	49	8.064	69	33.343	79	41.831	84	86.325	79	18.7	
계		65.707		223.030		163.161		235.803		687.701			16.2

3) 손실량 추정에 의한 함양량(Turc 방법)

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 손실량에서 증발산량을 빼주어야 한다.

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

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

여기서 D : 손실량(mm), P : 강수량(mm), $L = 300 + 25T + 0.05T^3$,
T : 연평균기온(℃)

상기식을 이용하여 손실량을 구한 결과 표 4-1-24와 같이 강수량 대비 약 45.8%를 보이고 있다.

여기서, 실제증발산량은 Thornthwaite 방법에 의해서 산정된 결과를 이용하였는데 실제증발산량은 잠재증발산량에 일조율(S_s)을 곱해줌으로써 산정 할 수 있다.

결과적으로 함양율은 표 4-1-24와 같이 나타낼 수 있는데, 조사지구내 최소 6.1%, 최대 21.4%, 연평균 15.2%의 함양율을 보이고 있다.

<표 4-1-24> 손실량추정에 의한 함양량 산정

관측 년도	강수량 (P)	연평균온도 (℃)	L	손실량(D) (㎜)	실제증발산량 (Ea)	함양량(I) (㎜)	함양율 (%)
1964	1,869.9	11.8	677.15	640.41	385.10	255.31	13.7%
1965	1,309.7	10.9	637.25	578.59	392.85	185.74	14.2%
1966	1,396.9	11.3	654.64	598.19	390.87	207.32	14.8%
1967	1,196.0	11.2	650.25	577.90	394.92	182.98	15.3%
1968	1,570.8	11.0	641.55	598.22	433.53	164.69	10.5%
1969	1,428.4	10.2	608.06	563.82	468.47	95.35	6.7%
1970	1,646.4	10.7	628.75	591.15	467.59	123.56	7.5%
1971	1,324.8	11.1	645.88	586.22	489.82	96.40	7.3%
1972	1,775.4	11.4	659.08	621.65	512.89	108.76	6.1%
1973	1,021.8	11.5	663.54	564.94	406.69	158.25	15.5%
1974	1,189.3	10.4	616.24	553.04	346.16	206.88	17.4%
1975	1,127.0	11.8	677.15	588.29	377.34	210.95	18.7%
1976	1,046.1	10.8	632.99	548.97	325.30	223.67	21.4%
1977	1,049.4	11.6	668.04	571.85	474.22	97.63	9.3%
1978	1,134.9	12.0	686.40	595.36	372.82	222.54	19.6%
1979	1,319.1	12.2	695.79	622.23	396.01	226.22	17.1%
1980	1,187.0	10.3	612.14	549.86	310.66	239.20	20.2%
1981	1,331.3	10.4	616.24	564.24	362.42	201.82	15.2%
1982	1,067.4	11.7	672.58	577.30	432.47	144.83	13.6%
1983	942.4	11.7	672.58	556.93	397.26	159.67	16.9%
1984	1,172.8	11.2	650.25	575.49	410.70	164.79	14.1%
1985	1,491.0	11.5	663.54	611.30	366.09	245.21	16.4%
1986	1,144.1	10.9	637.25	563.43	349.44	213.99	18.7%
1987	1,439.1	11.7	672.58	614.85	381.41	233.44	16.2%
1988	849.8	11.7	672.58	537.85	413.45	124.40	14.6%
1989	1,217.7	12.6	715.02	624.64	412.69	211.95	17.4%
1990	2,043.6	12.7	719.92	682.80	342.82	339.98	16.6%
1991	1,320.4	12.0	686.40	615.61	390.70	224.91	17.0%
1992	1,129.4	12.2	695.79	600.72	372.95	227.77	20.2%
1993	1,162.9	11.8	677.15	592.73	355.91	236.82	20.4%
1994	1,045.6	13.4	755.31	623.04	461.12	161.92	15.5%
1995	1,653.3	12.0	686.40	638.65	374.59	264.06	16.0%
1996	952.1	12.4	705.33	577.07	394.90	182.17	19.1%
평균	1,289.6	11.52	665.27	591.13	398.91	192.22	15.2%
최소	849.8	10.20	608.06	537.85	310.66	95.35	6.1%
최대	2,043.6	13.40	755.31	682.80	512.89	339.98	21.4%

4) 조사지구내 소유역별 함양량 산정

본 조사지구내 지하수 함양량은 다음과 같은 방법에 의해서 산정 하였으며, 소유역별 강수량은 Thiessen 강수량을 적용하였다.

첫째, 국가지하수 관측소 지하수위변동곡선 해석 결과에 의한 유역별 지하수 함양계수 적용

둘째, 물수지방정식에 의한 지하수함양량 산정

(1) 지하수위변동곡선 해석 결과에 의한 유역별 지하수 함양계수 적용

지하수관리 기본계획에 의한 소유역 구분에서 본 조사지구는 한강 유역권에 속하며, 서해안에 해당하는 W1(인천-아산만)유역과 W3(안성천, 진위천)유역에 위치한다.

조사지역과 가장 인접한 국가지하수관측소는 W3유역에 위치하는 수원 오목천 관측소이며 지하수 함양계수(a)는 0.1446이다.

지하수관리 기본계획보고서(2002)에 의한 유역별 지하수 함양계수 산정에서 지하수관측소의 자료로부터 산정한 지하수 함양계수는 해당 관측정의 영향범위에 한정된 것이므로 각 유역의 대표치로 직접사용하기가 곤란하다. 따라서, 지하수 함양계수에 큰 영향을 미치는 인자로 판단되는 토양, 토지이용 및 기반암과 지하수함양계수 간의 상관성을 분석하고, 이를 토대로 유역별 지하수함양계수를 결정하였으며, 본 조사지구가 위치하는 W1유역과 W3유역의 적용함양계수는 각각 0.1181과 0.1201이다.

따라서, 조사지구내 소유역별 지하수 함양량 산정시 W1유역에 위치하는 HS-1~6유역은 0.1181을, W3유역에 위치하는 HS-7~9유역은 0.1201을 강우함양계수로 적용하여 다음 계산식에 의해 표 4-1-25와 같은 결과를 산출하였다.

소유역 지하수 함양량 = 강우함양계수 × 소유역 강수량 × 소유역 면적

(2) 물수지방정식에 의한 지하수함양량 산정

본 방법에 의한 지하수 함양량은 토양수분 수지분석에 의한 함양율(15.2%), 침투량 분석에 의한 함양율(16.2%)과 손실량 추정에 의한 함양량(15.2%)을 적용하였고 그 결과는 표 4-1-25와 같다.

(3) 지하수 함양량 비교분석

일반적으로 함양량 단위는 강수의 순환주기가 1년이므로 년간 단위를 쓰고 있고, 함양량은 년강수량에 함양율과 대상면적을 곱하여 구한다. 년강수량과 대상면적은 주어진 인자이므로 함양량은 함양율에 의해 좌우된다.

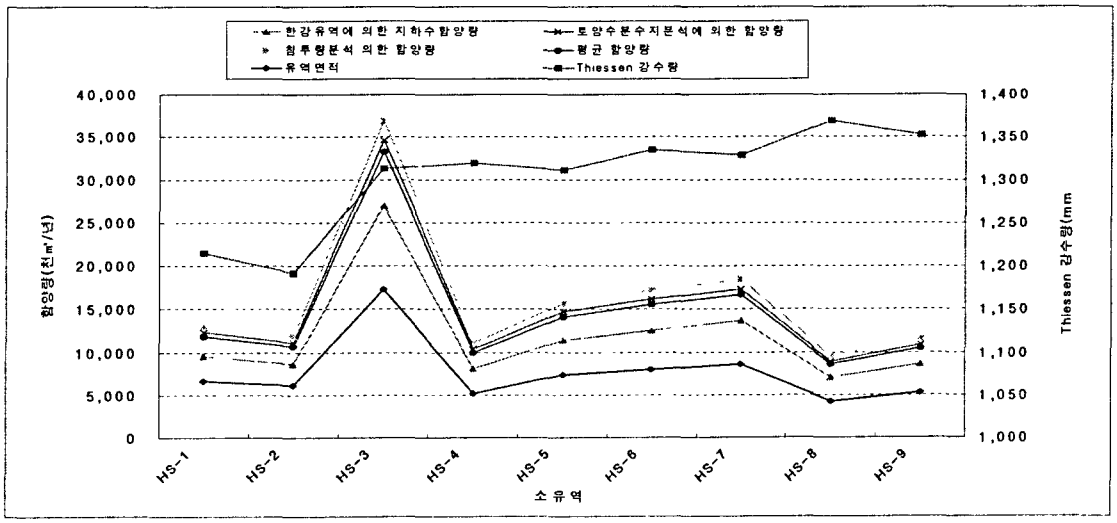
표 4-1-25와 그림 4-1-2에서 보면 지하수위변동곡선 해석 결과에 의한 유역별 지하수 함양계수를 적용한 함양량에 비하여, 물수지분석에 의한 지하수 함양율을 적용한 것이 1.3배정도 함양량이 높게 나타나고 있다.

따라서 본 조사지구내 지하수 함양량은 상기 방법에서 산정된 함양량의 평균값을 적용하고자 한다(표 4-1-25).

<표 4-1-25> 소유역별 지하수 평균함양량 산정

(단위: 천m^3)

소유역	유역면적 (ha)	강수량 (mm)	지하수위 변동곡선	토양수분 수지분석	침투량분석	손실량추정	평균 함양량
HS-1	6,658.40	1,214.27	9,548.49	12,289.34	13,097.85	12,289.34	11,806.26
HS-2	6,135.30	1,191.56	8,633.79	11,112.07	11,843.13	11,112.07	10,675.27
HS-3	17,340.80	1,313.24	26,894.47	34,614.40	36,891.66	34,614.40	33,253.73
HS-4	5,165.10	1,319.40	8,048.31	10,358.54	11,040.02	10,358.54	9,951.35
HS-5	7,376.20	1,310.90	11,419.63	14,697.58	15,664.52	14,697.58	14,119.83
HS-6	7,975.30	1,334.79	12,572.15	16,180.93	17,245.46	16,180.93	15,544.87
HS-7	8,565.10	1,328.68	13,667.71	17,298.02	18,436.04	17,298.02	16,674.95
HS-8	4,280.80	1,368.43	7,035.42	8,904.12	9,489.91	8,904.12	8,583.39
HS-9	5,273.10	1,352.42	8,564.86	10,839.79	11,552.94	10,839.79	10,449.35
계	68,770.10	11,733.69	106,384.83	136,294.79	145,261.53	136,294.79	131,059.00
평균	76.410	1,303.74	11,820.52	15,143.86	16,140.17	15,143.86	14,562.10



<그림 4-1-2> 소유역별 지하수 함양량 비교

나. 지하수개발가능량 분석

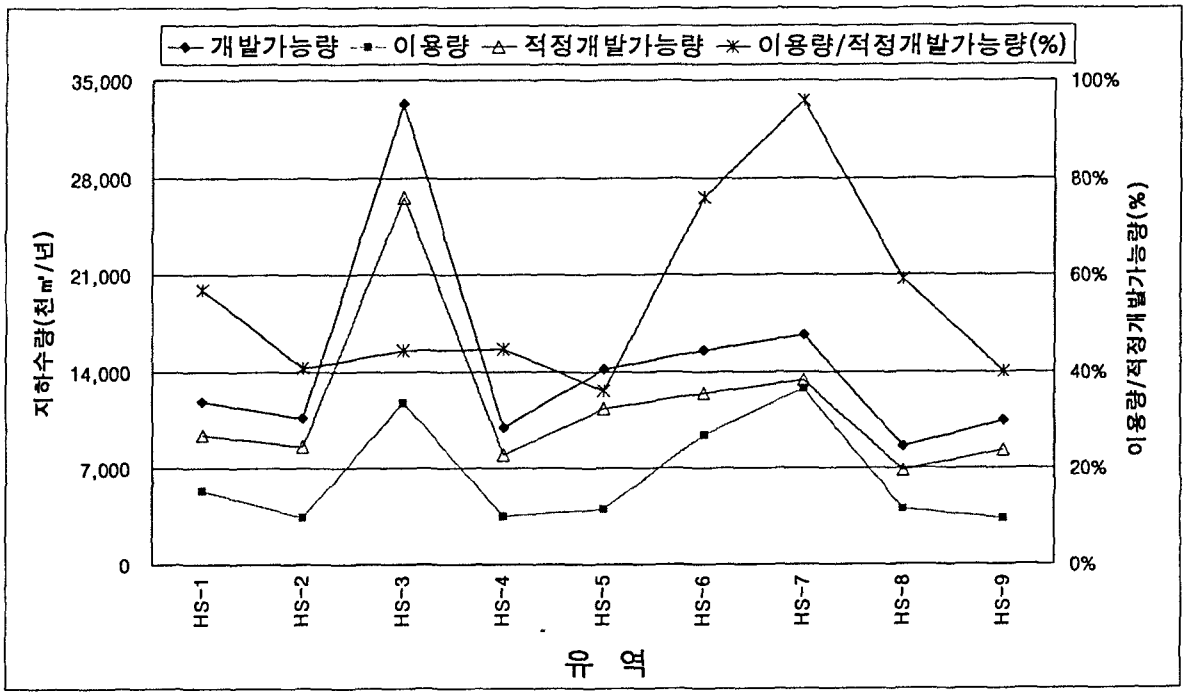
적정개발가능량의 추정은 실측되지 않은 여러 항목을 간접적인 방법에 의해 추정하는 것으로 본 조사에서는 상기 절에서 설명한 평균 함양량의 80% 정도에서 결정하였다(표 4-1-26).

그림 4-1-3~4는 유역별 지하수 개발가능량, 지하수 이용량, 적정지하수 개발가능량, 개발가능량 대 이용량 관계에 대하여 보여주고 있다. 분석결과 조사지역 전체의 적정지하수 개발가능량은 104,847천㎥/년이며, 면적이 가장 넓은 HS-03유역의 적정지하수 개발가능량이 26,603천㎥/년으로 나타났다.

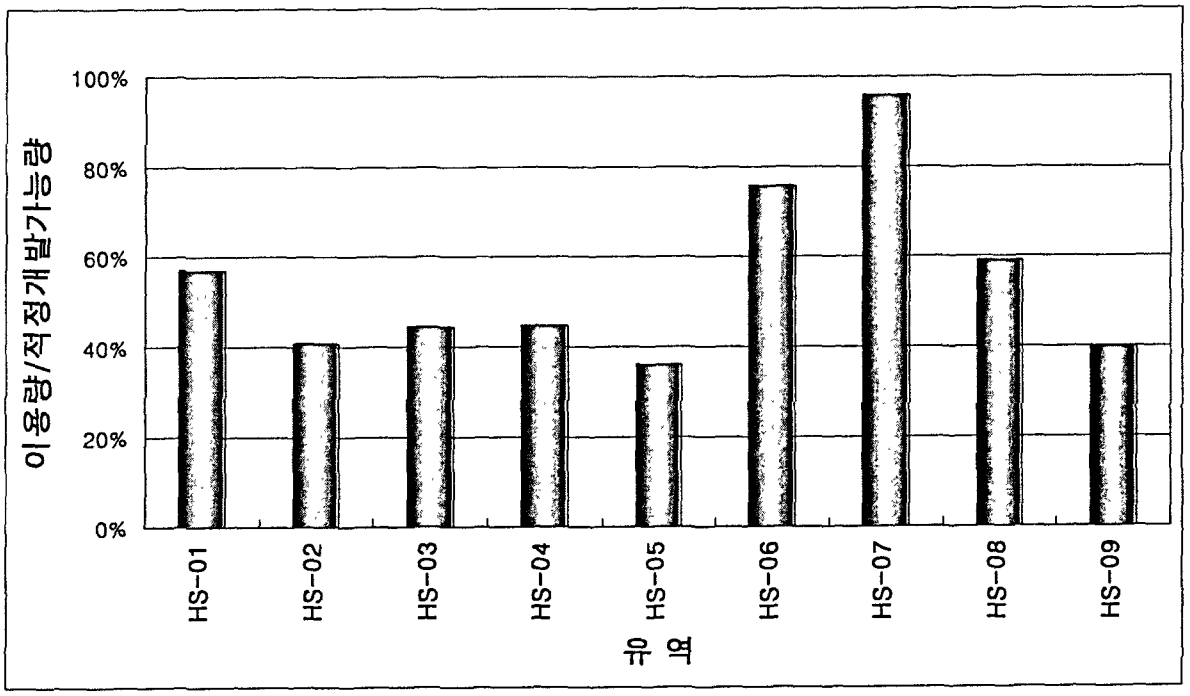
지하수이용량 대 적정개발가능량의 비율은 35.9~95.7%(평균 55.2%)의 범위를 보인다. 유역별로 살펴볼 때 태안읍이 속하는 HS-7 유역의 이용량 대 적정개발가능량 95.7%로 가장 높으며, HS-5 유역이 35.9%로 가장 낮은 비율을 나타낸다.

<표 4-1-26> 유역별 지하수 개발가능량

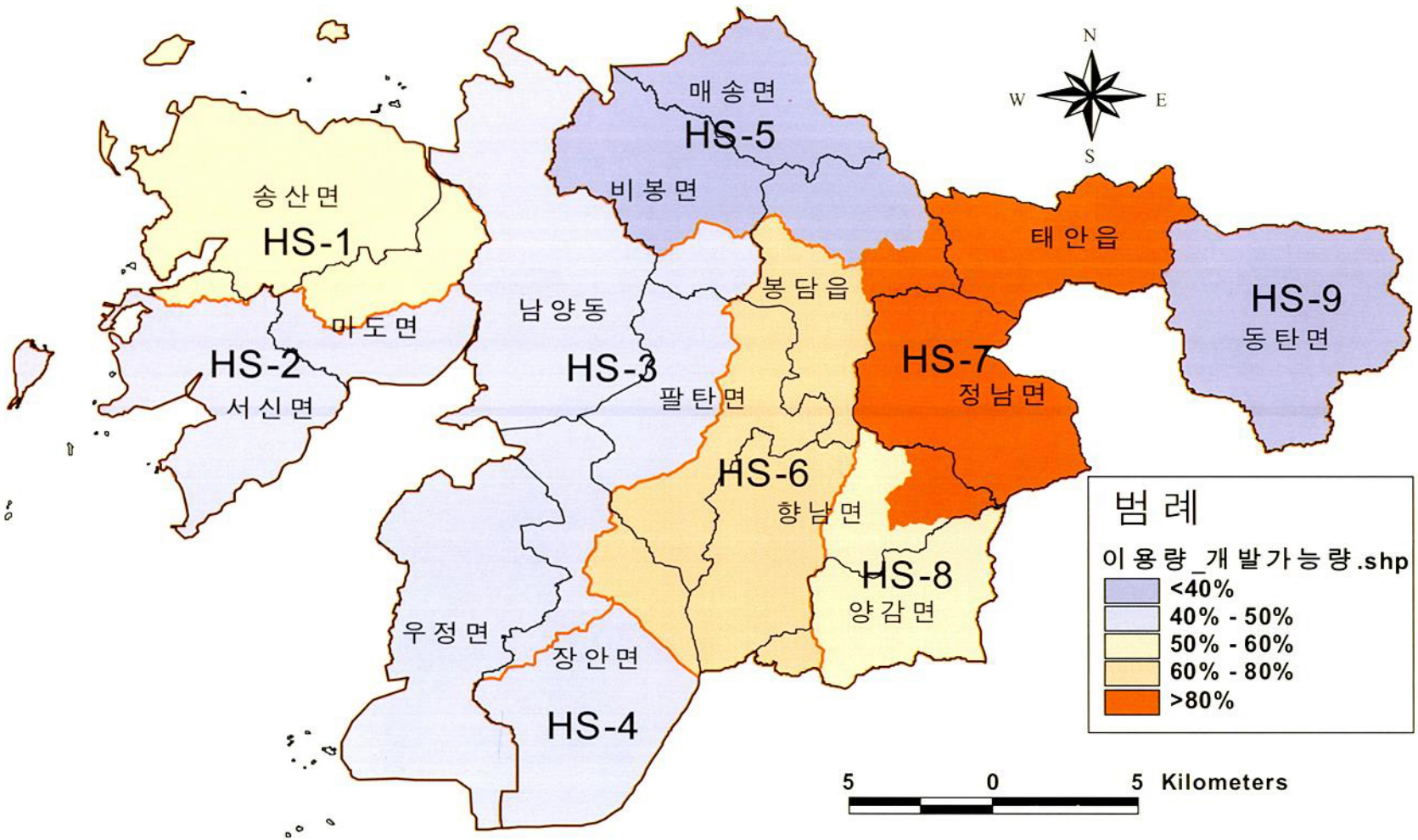
유 역	면적 (㎢)	평균 강우량 (㎜/년)	지하수함양량 (천㎥/년)	지하수 이용량 (천㎥/년)	적정지하수 개발가능량 (천㎥/년)	이용량/ 적정개발 가능량(%)
평균/계	687.701	1,303.74	131,059.00	57,852	104,847	55.2
HS-1	66.584	1,214.27	11,806.26	5,377	9,445	56.9
HS-2	61.353	1,191.56	10,675.27	3,471	8,540	40.6
HS-3	173.408	1,313.24	33,253.73	11,790	26,603	44.3
HS-4	51.651	1,319.40	9,951.35	3,544	7,961	44.5
HS-5	73.762	1,310.90	14,119.83	4,058	11,296	35.9
HS-6	79.753	1,334.79	15,544.87	9,440	12,436	75.9
HS-7	85.651	1,328.68	16,674.95	12,773	13,340	95.7
HS-8	42.808	1,368.43	8,583.39	4,061	6,867	59.1
HS-9	52.731	1,352.42	10,449.35	3,338	8,359	39.9



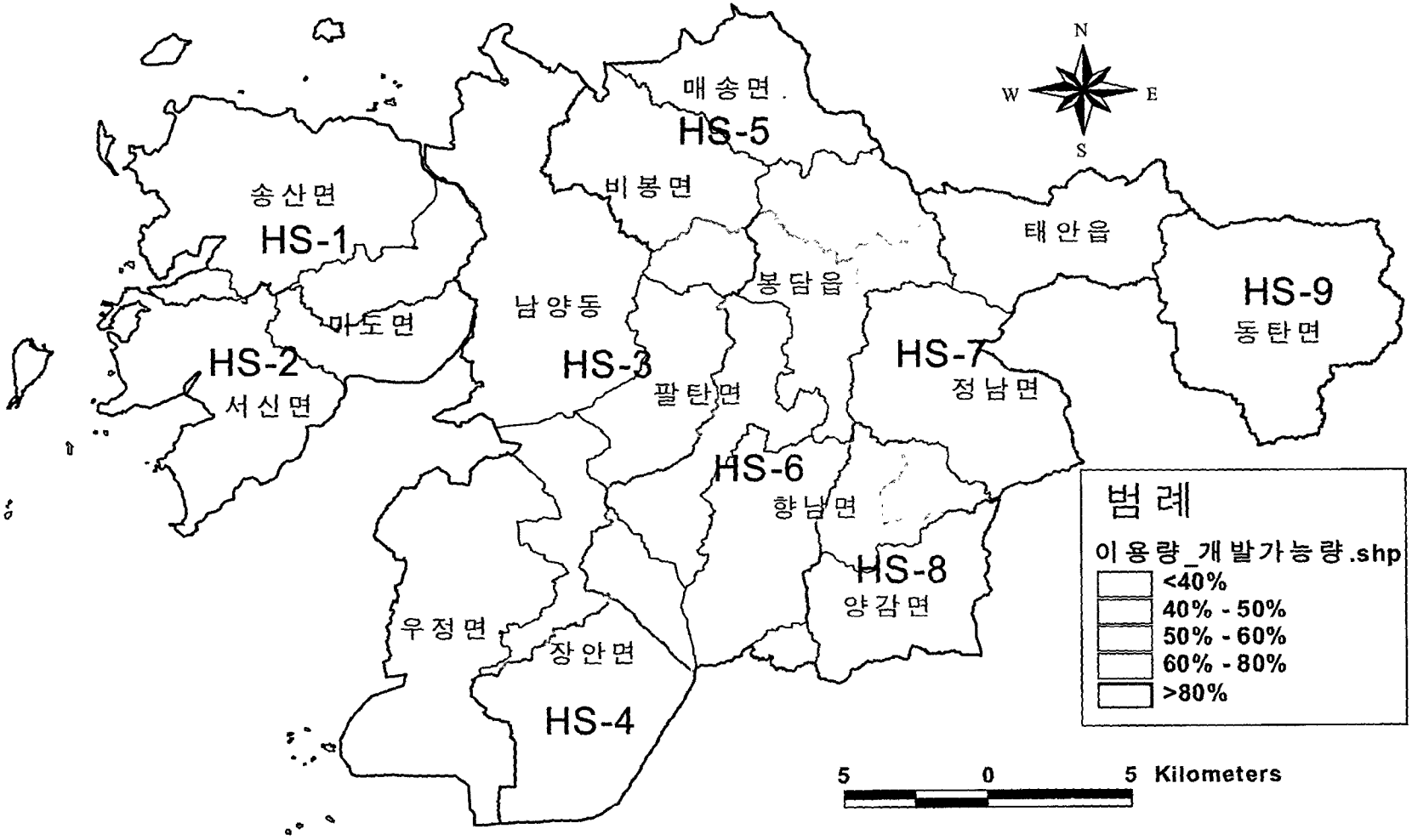
<그림 4-1-3> 유역별 지하수이용량 및 개발가능량



<그림 4-1-4> 유역별 지하수이용량/적정개발가능량



<그림 4-1-5> 지하수 이용량 대 적정개발가능량



<그림 4-1-5> 지하수 이용량 대 적정개발가능량

4.2 수질분석

4.2.1 유역별 수질현황 분석

지하수의 수질에 영향을 주는 오염원은 매우 다양하고 개별 오염원 및 지질특성에 의한 수질변화 역시 여러 형태로 나타날 수 있다. 따라서 이러한 오염원에 대한 정밀한 분석은 매우 많은 양의 자료를 필요로 한다.

화성시의 지하수 수질현황을 파악하기 위하여 "농촌지하수관리조사"시 분석한 양음이온조사 및 먹는물/농업용 수질환경기준조사와 기조사 수질자료(지하수영향조사서, 교육청수질분석자료, 화성시 자료 등)를 이용하여 분석항목중 공통적으로 나타나는 수질지시성분에 대하여 유역별로 그 값을 비교하여 수질현황을 파악하였다. 수질현황 파악시 고려된 수질지시성분으로는 질산성질소(NO_3-N), 염소(Cl), 불소(F), 황산이온(SO_4), 구리(Cu), 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn), 비소(As), 알루미늄(Al), 카드뮴(Cd), 트리클로로에틸렌(TCE)으로 모두 12개 항목이며, 수질현황분석시 이용된 자료내역은 표 4-2-1에 있다.

<표 4-2-1> 유역별 수질분석 현황

구 분		양음이온	수 질 기 준			
			먹는물	농업용	생활용	공업용
계	계	283	91(23)	108(72)	30	11
	충적	140	7(4)	15(15)	1	-
	암반	142	84(19)	92(56)	29	11
	지표수	1	-	1(1)	-	-
HS-1	충적	13	-	-	-	-
	암반	12	9(3)	13(12)	-	-
HS-2	충적	13	1	-	-	-
	암반	16	4(2)	12(10)	3	-
HS-3	충적	51	3(3)	14(14)	1	-
	암반	48	31(1)	6(1)	3	-
	지표수	1	-	1(1)	-	-
HS-4	충적	6	2	-	-	-
	암반	5	5(2)	1(1)	-	-
HS-5	충적	7	-	1(1)	-	-
	암반	14	5(2)	17(6)	7	-
HS-6	충적	11	1(1)	-	-	-
	암반	13	11(3)	19(11)	2	3
HS-7	충적	22	-	-	-	-
	암반	20	6(3)	16(7)	9	8
HS-8	충적	10	-	-	-	-
	암반	7	9(2)	5(5)	5	-
HS-9	충적	7	-	-	-	-
	암반	7	4(1)	3(3)	-	-

※ 지하수영향조사서, 온천공조사보고서, 화성시 교육청 수질분석자료를 참조함,
양음이온 조사 및 수질기준의 ( ) 내서는 지하수관리조사시 분석함

가. 질산성질소(NO_3-N)

지하수내 질산성질소 함량에 대하여 총 512개의 자료를 분석한 결과 평균 7.4mg/*l*(0.0~75.9mg/*l*)의 함량을 갖는 것으로 조사되었다(표 4-2-3, 그림 4-2-1). 이는 질산염의 최대배경값 37mg/*l*(질산성질소 환산값 : 8.4mg/*l*) 보다는 낮지만 분석대상 관정의 66% 이상이 암반지하수(평균 5.3mg/*l*)인 것을 고려할 때 평균수치 상으로 보더라도 질산성질소에 대하여 오염이 상당히 진행된 것으로 생각된다(충적지하수 평균 : 11.4mg/*l*).

유역별로 살펴볼 때 HS-4, HS-8 유역의 질산성질소 평균값이 각각 11.3mg/*l*와 14.6mg/*l*로 나타나 오염이 우려되며, 나머지 유역의 일부 지역에서도 농업용수 질기준인 20mg/*l*를 초과하는 관정도 상당수 조사되었다(그림 3-2-21~22).

질산성질소 함량이 높게 나타나는 지역은 대체로 영농 및 축산활동에 의한 비료, 퇴비 및 축산분뇨의 영향이 지하에 미치기 때문인 것으로 조사되었으며, 특히 HS-4 유역인 장안면은 영농활동, HS-8 유역인 양감면은 축산활동(>영농활동)에 의하여 지하수내 질산성질소 함량이 높은 것으로 동위원소 조사에서 나타났으므로(그림 3-2-30) 이들 지역에 대하여는 시비량의 조절과 축산시설의 관리가 필요할 것으로 생각된다.

나. 염소(Cl)

조사지역 498개의 지하수내 염소이온농도를 분석한 결과 평균 52.9mg/*l*(0.0~2351.2mg/*l*)의 함량을 갖는 것으로 조사되었다. 특히 HS-1, HS-2, HS-3 유역의 서해안 일부지역에서는 직접적인 해수의 영향이 나타나기도 하며, HS-6 유역도 간접적인 영향이 나타나는 것으로 조사되었다(그림 3-2-20, 그림 3-2-25).

조사지역 지하수의 염소이온농도 평균값이 최대배경값(20.3 mg/*l*) 보다 높고, 일반적 지하수의 수질유형인 Ca-HCO_3 type 보다는 해수 및 인위적인 오염에 의한 Ca-Cl과 Na-Cl type의 지하수가 화성시 전역에 걸쳐 분포하는 것으로 보아(그림 3-2-24) 해안을 제외한 내륙지역의 염소는 해무(sea spray) 또는 생활하수 등의 유입에 의한 것으로 판단된다.

염소의 먹는물수질기준인 250mg/*l*를 초과하는 경우는 총 13개소(2.6%)로 HS-2 유역의 서신면 백미리 1개소, HS-3 유역의 남양동 3개소, 장덕동 1개소, 우정면 매향리 4개소, 석천리 1개소, 화수리 1개소, 장안면 어은리 2개소로 조사되었다.

다. 불소(F)

조사지역 355개의 지하수내 불소이온농도를 분석한 결과 평균 0.205mg/*l* (0.000~4.013mg/*l*)의 함량을 갖는 것으로 조사되었다. 유역별로 살펴볼 때 HS-9, HS-5, HS-6 유역순으로 평균함량이 높게 나타났다.

불소의 먹는물수질기준인 1.5mg/*l*를 초과하는 경우는 총 8개소(2.3%)로 HS-3 유역의 장덕동 1개소, 팔탄면 율암리 2개소, HS-5 유역의 매송면 원평리 1개소, HS-6 유역의 봉담읍 당하리 1개소, 왕림리 1개소, HS-9 유역의 동탄면 중리 2개소로 조사되었다.

라. 황산이온(SO_4)

조사지역 355개의 지하수내 황산이온농도를 분석한 결과 평균 12.9mg/*l* (0.0~152.6mg/*l*)의 함량을 갖으며, 최대배경값은 14.0mg/*l* (그림 3-2-26)인 것으로 조사되었다. 먹는물 수질기준인 200mg/*l*를 초과하는 경우는 없으나 HS-5, HS-1, HS-9, HS-2 유역순으로 평균값이 높게 나타났다.

마. 구리(Cu)

조사지역 355개의 지하수내 구리농도를 분석한 결과 평균 0.012mg/*l* (0.000~1.533mg/*l*)의 함량을 갖으며, HS-3 유역의 장안면 수촌리 1개소만 먹는물 수질기준인 1.0mg/*l*를 초과한다.

바. 철(Fe)

조사지역 355개의 지하수내 철농도를 분석한 결과 평균 0.027mg/*l* (0.000~4.599mg/*l*)의 함량을 갖으며, 철의 먹는물수질기준인 0.3mg/*l*를 초과하는 관정은 5개소(1.4%)로 HS-1 유역의 송산면 신천리 2개소, 용포리 1개소와 HS-3 유역의 활초동 1개소, HS-7 유역의 정남면 발산리 1개소로 조사되었다.

사. 망간(Mn)

조사지역 355개의 지하수내 망간농도를 분석한 결과 평균 0.060mg/*l* (0.000~6.401mg/*l*)의 함량을 갖으며, 망간의 먹는물수질기준인 0.3mg/*l*를 초과하는 관정은 총 14개소(3.9%)로 HS-2 유역의 마도면 백곡리 1개소, HS-3 유역의 남양동 1

개소, 북양동 1개소, 활초동 1개소, 우정면 석천리 1개소, HS-5 유역의 매송면 야목리 1개소, 원평리 1개소, 비봉면 구포리 1개소, 쌍학리 1개소, HS-6 유역의 봉담읍 당하리 1개소, HS-7 유역의 봉담읍 수기리 1개소, 정남면 관항리 1개소, HS-8 유역의 향남면 요리 1개소와 HS-9 유역의 동탄면 금곡리 1개소로 조사되었다.

아. 아연(Zn)

조사지역 355개의 지하수내 아연농도를 분석한 결과 평균 0.297mg/*l* (0.000~15.048mg/*l*)의 함량을 갖으며, HS-1 유역을 제외하고 모든 유역에서의 최대값이 아연의 먹는물수질기준인 1.0mg/*l*를 초과하는 것으로 조사되었다.

아연의 먹는물수질기준을 초과하는 경우는 총 24개소(3.2%)로 HS-2 유역의 서신면 백미리 2개소, 사곳리 1개소, 상안리 2개소, HS-3 유역의 무송동 1개소, 우정면 이화리 2개소, 장안면 금의리 1개소, 석포리 1개소, 팔탄면 서근리 1개소, 율암리 1개소, HS-4 유역의 장안면 사랑리 1개소, HS-5 유역의 매송면 숙곡리 1개소, 원평리 1개소, 봉담읍 내리 1개소, 수영리 1개소, HS-6 유역의 팔탄면 가재리 1개소, HS-7 유역의 봉담읍 수기리 1개소, 정남면 귀래리 1개소, 태안읍 기산리 1개소, HS-8 유역의 양감면 송산리 1개소, 향남면 요리 1개소, HS-9 유역의 동탄면 신리 1개소로 조사되었다.

보통의 경우 기준치 이상의 아연함량은 관정의 파이프에서 용탈되는 경우가 많다.

자. 비소(As)

조사지역 498개의 지하수내 비소농도를 분석한 결과 평균 0.002mg/*l* (0.000~0.201mg/*l*)의 함량을 갖으며, HS-6 유역의 장안면 수촌리 1개소만 먹는물 수질기준인 0.201mg/*l*를 초과한다.

차. 알루미늄(Al)

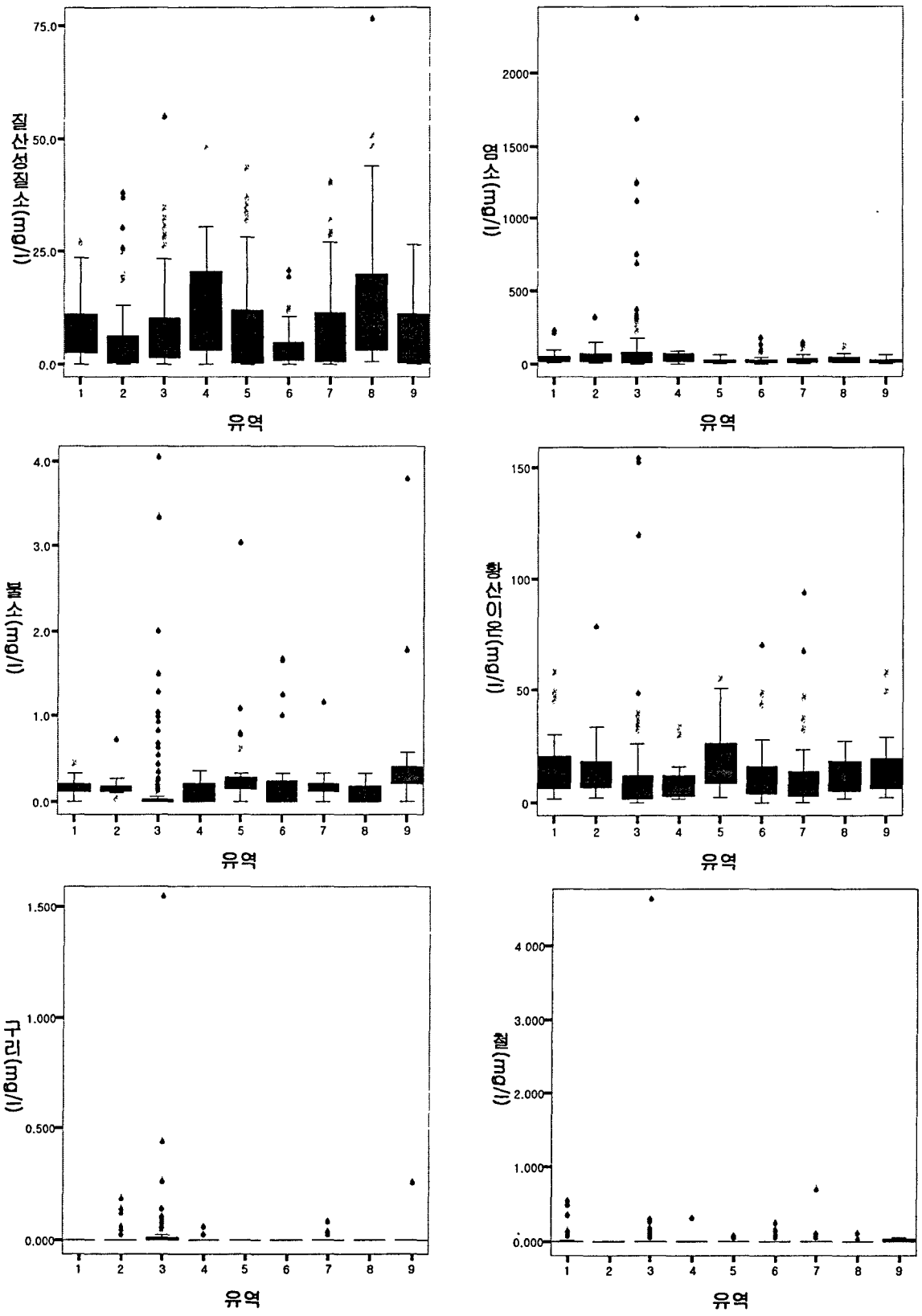
조사지역 355개의 지하수내 알루미늄농도를 분석한 결과 평균 0.007mg/*l* (0.000~0.546mg/*l*)의 함량을 갖으며, HS-1 유역의 송산면 신천리 1개소, HS-6 유역의 향남면 상신리 1개소, HS-7 유역의 정남면 발산리 1개소가 먹는물 수질기준인 0.2mg/*l*를 초과한다.

카. 카드뮴(Cd)

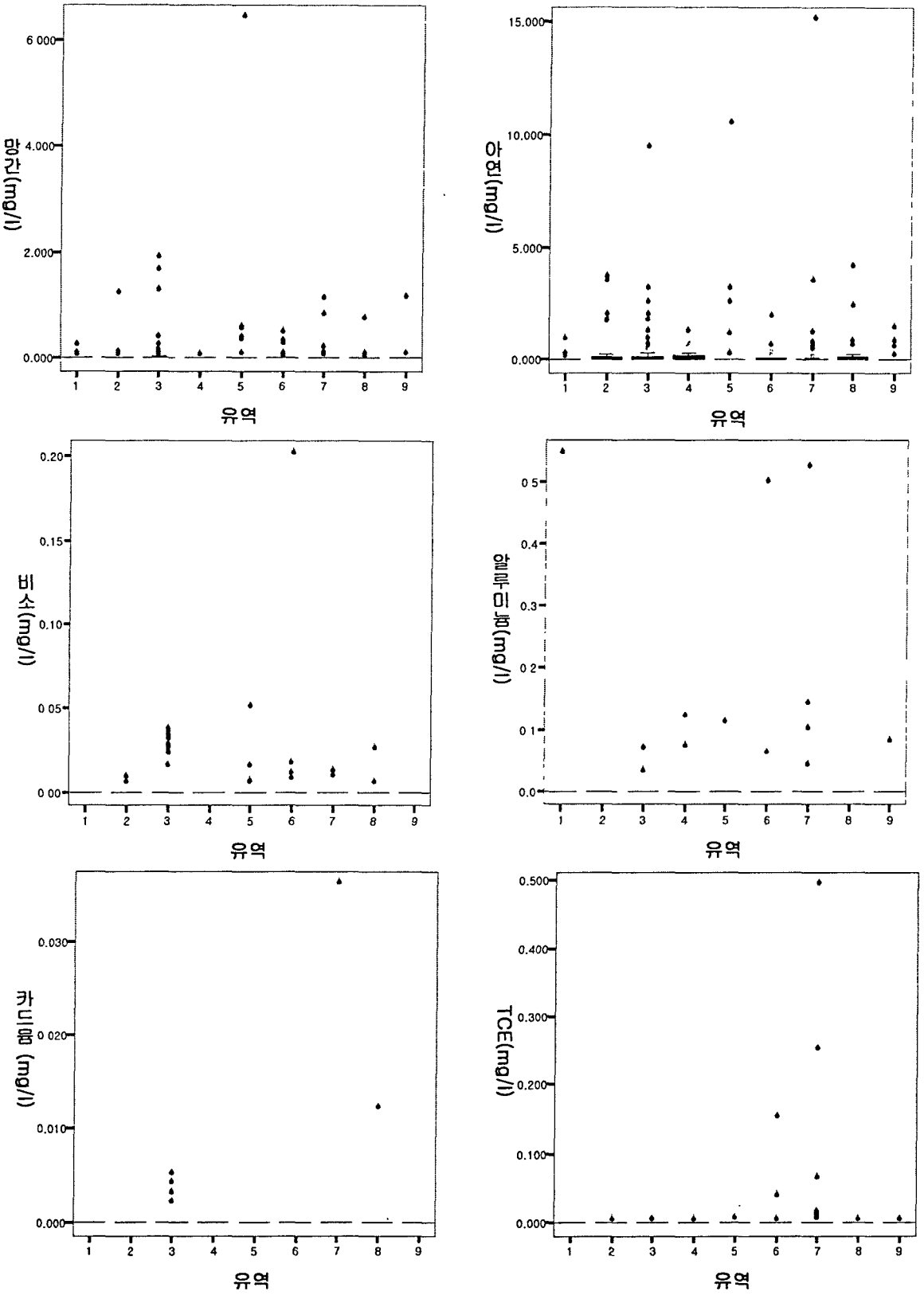
조사지역 498개의 지하수내 카드뮴농도를 분석한 결과 평균 0.000mg/*l* (0.000~0.036mg/*l*)의 함량을 갖으며, HS-7 유역의 정남면 관항리 1개소와 HS-8 유역의 향남면 요리 1개소가 먹는물 수질기준인 0.005mg/*l*를 초과한다.

타. 트리클로로에틸렌(TCE)

조사지역 233개의 지하수내 TCE농도를 분석한 결과 평균 0.005mg/*l* (0.000~0.492mg/*l*)의 함량을 갖으며, HS-6 유역의 장안면 수촌리 1개소, 봉담읍 덕우리 1개소와 HS-7 유역의 태안읍 안녕리 2개소, 정남면 괘랑리 1개소로 총 5개소가 먹는물 수질기준인 0.03mg/*l*를 초과하는 것으로 조사되었다. 또한 지방환경청과 시·도에서 조사한 2002년 지하수수질측정망 운영결과 총 조사시료 23개중 공업용으로 사용하는 관정 1개소(정남면 괘랑리)에서 TCE 1개 항목이 수질기준을 초과하는 것으로 조사되었다.



<그림 4-2-1> 유역별 수질지시성분 비교



<그림 4-2-1> 유역별 수질지시성분 비교(계속)

<표 4-2-2> 유역별 수질지시성분 비교표

[질산성질소(NO_3-N)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	512	75.9	0.0	7.4	3.1	10.0
HS-1	45	26.1	0.0	7.7	6.2	7.0
HS-2	46	37.4	0.0	6.7	2.4	9.9
HS-3	150	54.2	0.0	6.7	3.2	8.5
HS-4	18	47.1	0.0	11.3	4.5	13.3
HS-5	54	42.5	0.0	7.6	2.0	11.1
HS-6	56	20.0	0.0	3.6	1.9	4.5
HS-7	82	39.8	0.0	7.1	2.4	9.5
HS-8	39	75.9	0.4	14.6	8.8	17.0
HS-9	22	26.5	0.0	6.6	1.9	8.6

[염소(Cl)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	498	2351.2	0.0	52.9	19.0	166.6
HS-1	45	208.0	4.3	41.6	28.7	41.8
HS-2	46	295.4	6.4	46.1	21.3	56.5
HS-3	150	2351.2	0.0	108.9	24.4	292.4
HS-4	17	88.2	2.0	38.3	31.0	30.4
HS-5	49	60.9	1.0	18.3	12.3	17.0
HS-6	55	152.4	2.0	21.9	12.0	27.1
HS-7	80	120.9	0.9	25.9	20.5	24.8
HS-8	35	88.0	4.8	24.5	17.7	20.3
HS-9	21	60.7	2.0	17.0	10.4	16.0

[불소(F)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	355	4.013	0.000	0.205	0.128	0.447
HS-1	32	0.387	0.000	0.156	0.174	0.102
HS-2	32	0.684	0.000	0.148	0.136	0.120
HS-3	126	4.013	0.000	0.169	0.000	0.542
HS-4	16	0.356	0.000	0.136	0.137	0.117
HS-5	25	3.005	0.000	0.369	0.195	0.607
HS-6	33	1.633	0.000	0.291	0.193	0.427
HS-7	48	1.119	0.000	0.169	0.143	0.161
HS-8	25	0.329	0.000	0.126	0.157	0.100
HS-9	18	3.755	0.000	0.529	0.222	0.887

[황산이온(SO_4)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	355	152.6	0.0	12.9	8.3	17.6
HS-1	32	55.6	1.7	16.8	15.1	13.1
HS-2	32	77.5	2.0	14.0	9.8	13.9
HS-3	126	152.6	0.0	11.5	5.1	22.5
HS-4	16	31.0	1.5	8.8	5.0	9.1
HS-5	25	53.1	1.8	19.1	14.5	14.6
HS-6	33	68.8	0.0	12.5	8.3	15.0
HS-7	48	92.6	0.0	11.7	5.6	17.2
HS-8	25	27.5	1.8	10.6	7.7	7.2
HS-9	18	56.0	2.0	15.9	9.8	15.2

[구리(Cu)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	355	1.533	0.000	0.012	0.000	0.088
HS-1	32	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-2	32	0.173	0.000	0.016	0.000	0.042
HS-3	126	1.533	0.000	0.028	0.005	0.143
HS-4	16	0.046	0.000	0.004	0.000	0.012
HS-5	25	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-6	33	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-7	48	0.068	0.000	0.002	0.000	0.010
HS-8	25	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-9	18	0.243	0.000	0.014	0.000	0.057

[철(Fe)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	355	4.599	0.000	0.027	0.000	0.251
HS-1	32	0.490	0.000	0.046	0.000	0.124
HS-2	32	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-3	126	4.599	0.000	0.048	0.000	0.411
HS-4	16	0.282	0.000	0.018	0.000	0.071
HS-5	25	0.031	0.000	0.002	0.000	0.006
HS-6	33	0.197	0.000	0.017	0.000	0.043
HS-7	48	0.653	0.000	0.016	0.000	0.095
HS-8	25	0.070	0.000	0.003	0.000	0.014
HS-9	18	0.056	0.000	0.014	0.000	0.022

<표 4-2-2> 유역별 수질지시성분 비교표(계속)

[망간(Mn)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	355	6.401	0.000	0.060	0.000	0.390
HS-1	32	0.205	0.000	0.008	0.000	0.037
HS-2	32	1.206	0.000	0.040	0.000	0.213
HS-3	126	1.863	0.000	0.049	0.001	0.246
HS-4	16	0.023	0.000	0.001	0.000	0.006
HS-5	25	6.401	0.000	0.328	0.000	1.276
HS-6	33	0.450	0.000	0.032	0.000	0.099
HS-7	48	1.112	0.000	0.048	0.000	0.196
HS-8	25	0.726	0.000	0.031	0.000	0.145
HS-9	18	1.134	0.000	0.068	0.000	0.266

[아연(Zn)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	355	15.048	0.000	0.297	0.012	1.215
HS-1	32	0.853	0.000	0.045	0.000	0.155
HS-2	32	3.591	0.000	0.407	0.000	0.968
HS-3	126	9.363	0.000	0.268	0.062	0.940
HS-4	16	1.167	0.000	0.167	0.000	0.317
HS-5	25	10.471	0.000	0.700	0.000	2.182
HS-6	33	1.867	0.000	0.095	0.000	0.336
HS-7	48	15.048	0.000	0.473	0.000	2.215
HS-8	25	4.049	0.000	0.338	0.002	0.909
HS-9	18	1.359	0.000	0.155	0.000	0.362

[비소(As)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	498	0.201	0.000	0.002	0.000	0.011
HS-1	45	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-2	46	0.008	0.000	0.000	0.000	0.001
HS-3	150	0.037	0.000	0.005	0.000	0.011
HS-4	17	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-5	49	0.050	0.000	0.002	0.000	0.007
HS-6	55	0.201	0.000	0.004	0.000	0.027
HS-7	80	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002
HS-8	35	0.025	0.000	0.001	0.000	0.004
HS-9	21	0.000	0.000	0.000	0.000	-

[알루미늄(Al)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	355	0.546	0.000	0.007	0.000	0.050
HS-1	32	0.546	0.000	0.017	0.000	0.097
HS-2	32	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-3	126	0.066	0.000	0.001	0.000	0.006
HS-4	16	0.120	0.000	0.012	0.000	0.034
HS-5	25	0.110	0.000	0.004	0.000	0.022
HS-6	33	0.498	0.000	0.019	0.000	0.087
HS-7	48	0.523	0.000	0.017	0.000	0.079
HS-8	25	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-9	18	0.080	0.000	0.004	0.000	0.019

[카드뮴(Cd)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	498	0.036	0.000	0.000	0.000	-
HS-1	45	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-2	46	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-3	150	0.005	0.000	0.001	0.000	0.001
HS-4	17	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-5	49	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-6	55	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-7	80	0.036	0.000	0.000	0.000	0.004
HS-8	35	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002
HS-9	21	0.000	0.000	0.000	0.000	-

[트리클로로에틸렌(TCE)]

유역	분석공수	최대	최소	평균	중앙	표준편차
계	233	0.492	0.000	0.005	0.000	0.038
HS-1	22	0.000	0.000	0.000	0.000	-
HS-2	19	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
HS-3	55	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
HS-4	7	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001
HS-5	29	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001
HS-6	34	0.151	0.000	0.006	0.000	0.026
HS-7	41	0.492	0.000	0.021	0.000	0.085
HS-8	19	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
HS-9	7	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001

4.2.2 오염취약성 및 예측

가. 지하수 오염취약성(DRASTIC Potential)

DRASTIC 모델은 지하수오염 취약성에 대한 정량적인 평가방법이 아니라 정성적인 평가방법으로써 다음과 같은 4가지 기본 가정 및 식에 의해 나타낼 수 있다.

첫째, 오염원은 지표에 위치한다.

둘째, 오염물질의 지하유입은 강수에 의존한다.

셋째, 오염물질은 물과 같은 유동성을 갖는다.

넷째, 평가지역은 120,000평(100 에이커) 이상이어야 한다.

$$DRASTIC\ Potential = D_RD_W+R_RR_W+A_RA_W+S_RS_W+T_RT_W+I_RI_W+C_RC_W$$

여기서, R : 등급(rating), w : 가중치(weight)

일반적인 지역에서의 DRASTIC Potential(이하 DP)은 최고 226, 최저 23이고 농약을 사용하는 농업지역에 대해서의 DP는 최고 256, 최저 23이다. 일반적으로 DP가 높을수록 오염 취약성이 상대적으로 높고, DP가 낮을수록 오염 취약성이 상대적으로 낮은 것으로 평가된다.

본 조사에서 사용한 DRASTIC 모델의 7가지 수리지질학적 인자들에 대한 각각의 가중치와 등급은 표 4-2-3과 같다.

(ㄱ) 지하수면까지의 깊이(Depth to water)

지표면에서 최상부 대수층까지의 거리로서 지하수면까지의 깊이가 크면 클수록 오염 가능성이 적어진다.

본 조사지구내에서 지하수면까지의 깊이는 5~10m인 지역(7등급, 44.2%)과 2~5m인 지역(9등급, 43.3%)이 거의 대부분의 면적분포를 이루고 있어 서해안지역의 낮은 지형과 어느 정도 일관성을 갖고 있다. 따라서 이러한 지역에서 지하수면까지의 깊이 인자만을 고려했을 때는 상대적으로 많은 오염취약성을 갖고 있다고 평가될 수 있다.

(ㄴ) 순수 충진량(Net Recharge)

DRASTIC 모델에서 설명되는 순수 충진량은 지표면에서 지하수면에 도달하는 단위면적당 물의 양(단위: mm/년)으로 나타내고, 주 요인은 강수량이다.

본 조사지구내 순수 충진량은 지하수위변동곡선(W1, W3유역:지하수관리기본계획)과 물수지방정식(토양수분수지분석, 침투량분석, 손실량추정)에 의해서 산출된 강우함양계수의 평균치를 적용하였고, 그 결과 표 4-2-3과 같이 충진량이 100~180mm/년인 6등급과 180~250mm/년인 8등급으로 나타났다.

<표 4-2-3> DRASTIC 인자별 등급 및 면적비율

DRASTIC 인자	범 위	대표등급	면적비율
지하수면까지의 깊이 (m)	> 30	1	0.0%
	23 ~ 30	2	0.1%
	15 ~ 23	3	1.2%
	10 ~ 15	5	7.0%
	5 ~ 10	7	44.2%
	2 ~ 5	9	43.3%
	< 2	10	4.1%
순수 충진량 (mm/년)	100 ~ 180	6	19.4%
	180 ~ 250	8	80.6%
대수층매질	변성암/화성암	3	0.1%
	풍화 변성암/화성암	4	67.3%
	층상셰일/사암/석회암호층	6	0.2%
	모래/자갈	8	32.4%
토양매질	비수축성/비고형 점토	1	2.7%
	실트질 양토	4	15.5%
	양토	5	59.7%
	사질양토	6	21.2%
	모래	9	0.3%
	자갈	10	0.7%
지형경사 (%)	> 18	1	19.9%
	12 ~ 18	3	14.6%
	6 ~ 12	5	23.2%
	2 ~ 6	9	20.9%
	< 2	10	21.4%
비포화대매질	층상 석회암/사암/셰일	6	0.2%
	변성암/화성암	4	67.4%
	모래/자갈	8	32.4%
수리전도도 (m/일)	0.04 ~ 4.1	1	74.3%
	4.1 ~ 12.2	2	25.7%

㈐ 대수층 매질(Aquifer media)

본 조사지구는 경기변성암복합체 편마암과 화강편마암, 호상편마암, 춘천누층군편암류, 화강암류 등이 주를 이루는 지역으로써 대수층매질이 표 4-2-3에서 보는바와 같이 전체면적의 67.3%를 이루고 있다. 그리고 충적층이 32.4%의 면적비율을 차지하고 있다.

㈑ 토양매질(Soil media)

토양매질은 농촌진흥청 농업기술연구소에서 구축한 1:25,000 수치토양도를 이용하여 등급설정을 하였는데, 표 4-2-3과 같이 양토의 면적비율이 59.7%(등급 5)로써 가장 넓은 분포를 이루고 있고, 사질양토, 실트질양토가 각각 21.2%, 15.5%의 면적비율을 보이고 있다. 토양매질만을 고려했을 때 지하수오염취약성은 보통정도라 할 수 있다.

㈒ 지형(Topography)

지형구배를 살펴보면 3등급(지형경사 12~18%)인 지역을 제외한 나머지 지역은 거의 비슷한 면적비율을 보이고 있어 지하수오염취약성 평가시 이 지역의 지형인자에 인한 영향은 별로 크지 않은 것으로 판단된다.

㈓ 비포화대 매질의 영향(Impact of the vadose zone media)

비포화대 매질은 시추 및 정밀조사를 통하여 자료취득이 이루어져야 하나 취득자료의 부족과 그로 인한 과대평가를 조금이나마 줄이고, 객관적인 평가를 위해 지질도폭을 이용하여 추정한 결과 크게 변성/화성암지역(6등급, 67.4%)과 충적층지역(8등급, 32.4%)으로 구분지었다.

㈔ 대수층의 수리전도도(Hydraulic conductivity of the aquifer)

수리전도도는 금회조사 및 기조사 대수성시험자료(양수시험 156공, 순간수위시험 136공)의 분석 결과를 기초로 소유역별 평균치를 적용한 결과(표 4-2-3 참조) 1등급(74.3%, 0.04~4.1m/d)과 2등급(25.7%, 4.1~12.2m/d)으로 나타났다.

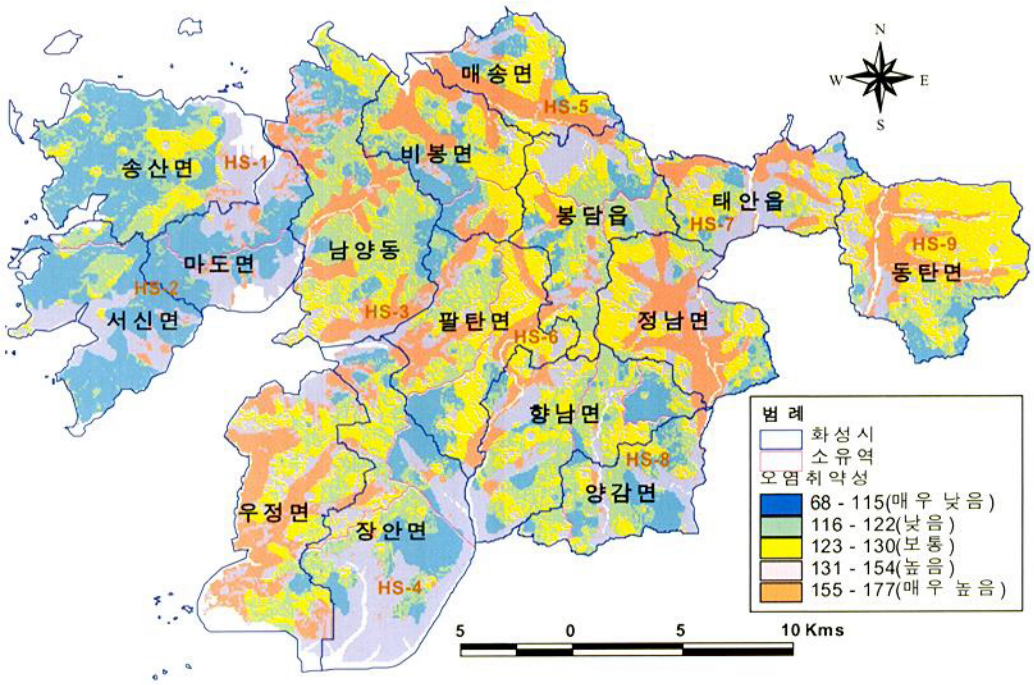
□ 일반적인 지하수 오염취약성(General DRASTIC Potential, 이하 GDP)

상기 7가지 인자를 중첩하여 통계 분석한 결과 HS-1, HS-2 유역에서는 지하수오염취약성이 매우 낮게 나타나고 있고, HS-3 유역에서는 GDP가 높은 지역(131 이상)이 낮은 지역(122 이하)보다 다소 많이 분포하고 있는 것으로 나타났다. HS-4 유역은 지하수오염취약성이 높은 지역(131~154)이 49.7%를 보이고 있고, HS-5 유역은 보통 지역과 매우 높음 지역이 각각 25.7%, 23.3%를 보임으로써 오염취약성이 상대적으로 다소 높게 평가될 수 있다. 또한, HS-6 유역은 보통인 지역이 29.4%로 가장 많이 분포하고 있고, HS-7 유역은 보통이상 지역(123 이상)이 73.9%로 나타남으로써 상대적으로 오염에 있어서 취약하다고 평가될 수 있으며, HS-8 유역은 낮은 지역(122 이하)이 유역면적의 56.0%를 차지함으로써 전반적으로는 안전한 지역으로 추론될 수 있다. HS-9 유역은 보통인 지역이 47.8%를 나타내고 있지만 높은 지역(131 이상: 34.8%)이 낮은 지역(122 이하: 17.3%)에 비해 상대적으로 많은 면적비율을 보이고 있다.

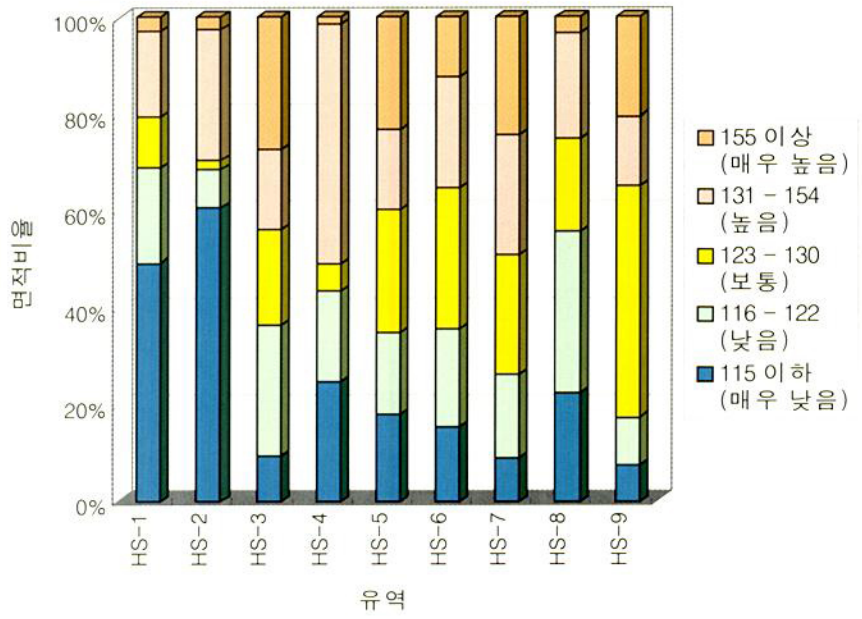
평균적으로는 HS-7 유역에서 지하수오염취약성이 136으로 가장 높게 나타나고, HS-2 유역은 118로 지하수오염취약성이 가장 낮게 나타나고 있는 것으로 평가된다. 그러나 수리지질학적인 측면에서 이러한 평가는 절대평가가 아닌 상대평가라는 점에 주의해야 할 것이다.

<표 4-2-4> 유역별 일반적인 지하수오염취약성(GDP) 면적비

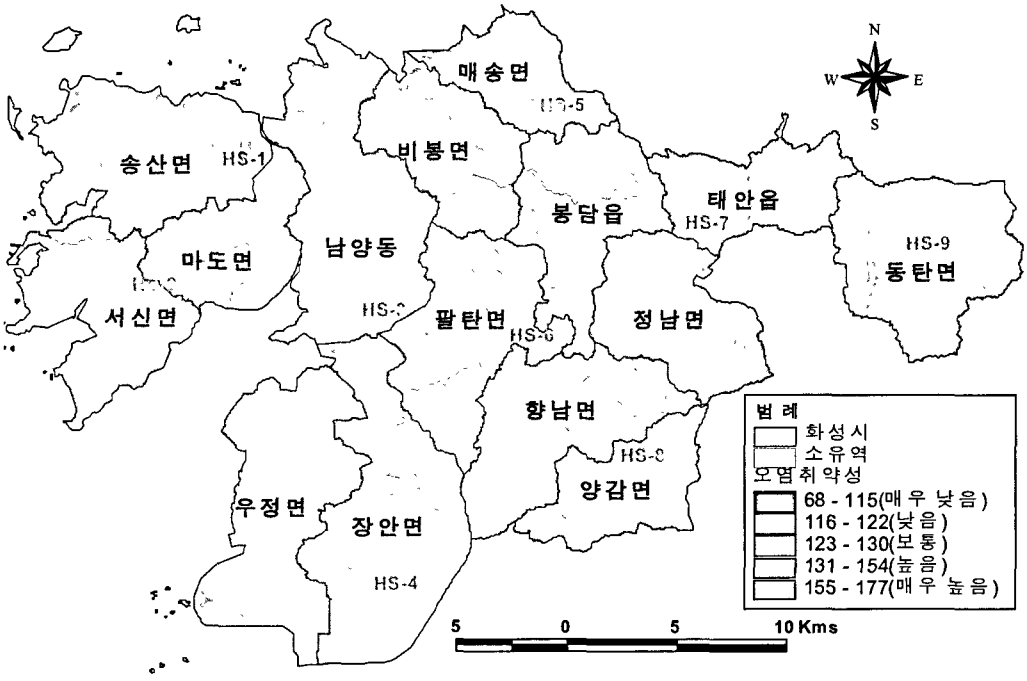
유역명	General DRASTIC Potential					
	면적비(%)					평균 GDP
	115 이하 (매우 낮음)	116 - 122 (낮음)	123 - 130 (보통)	131 - 154 (높음)	155 이상 (매우 높음)	
평균	54.9	20.2	20.6	23.4	13.0	129
HS-1	49.2	19.6	10.6	17.8	2.8	120
HS-2	60.6	8.1	2.0	26.9	2.5	118
HS-3	9.4	26.8	20.0	16.3	27.4	135
HS-4	24.5	19.0	5.6	49.7	1.2	131
HS-5	17.8	16.9	25.7	16.3	23.3	132
HS-6	15.3	20.2	29.4	22.9	12.2	130
HS-7	8.9	17.2	24.8	24.7	24.4	136
HS-8	22.5	33.5	19.2	21.7	3.2	125
HS-9	7.4	9.9	47.8	14.5	20.3	133



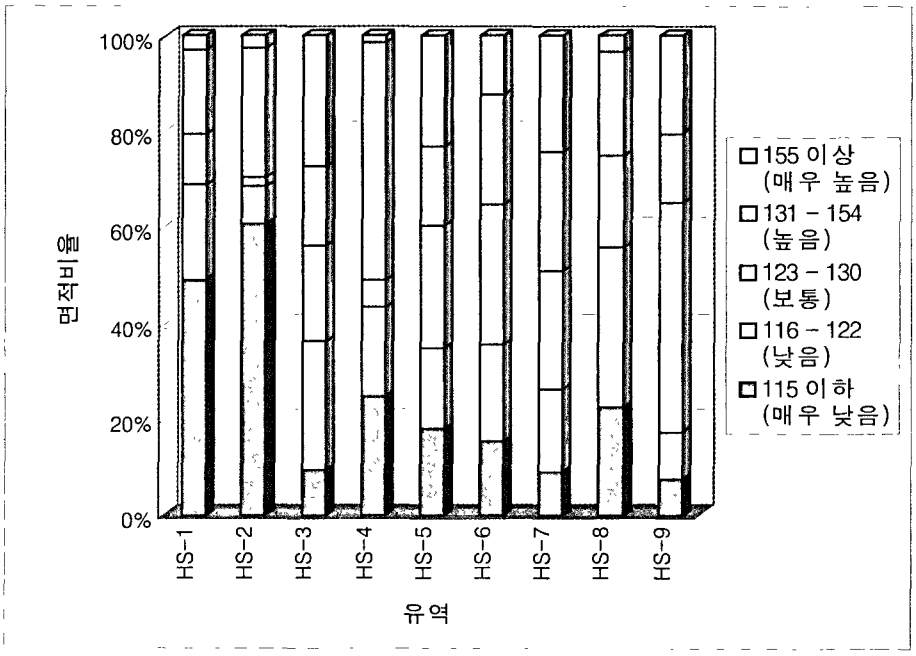
<그림 4-2-2> 일반적인 지하수오염취약성도(GDP Map)



<그림 4-2-3> 일반적인 지하수오염취약성(GDP) 면적비율



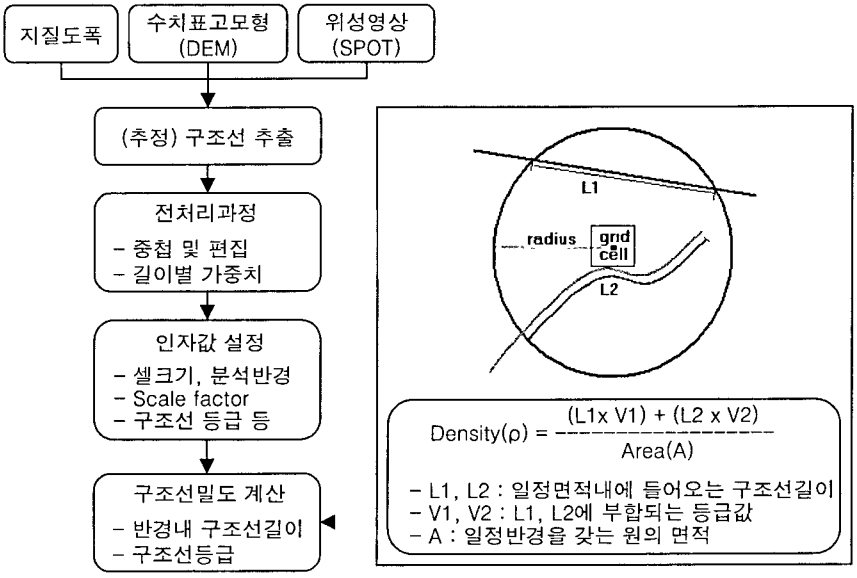
<그림 4-2-2> 일반적인 지하수오염취약성도(GDP Map)



<그림 4-2-3> 일반적인 지하수오염취약성(GDP) 면적비율

□ 변형된 지하수오염취약성(Modified DRASTIC Potential, 이하 MDP)

암반대수층 지하수의 유동이 파쇄대를 따라 움직이므로 이 영향을 최대한 반영하기 위하여 구조선밀도를 7가지 인자 이외의 부가적인 인자로 사용하였고, 그 과정은 그림 4-2-4와 같다.

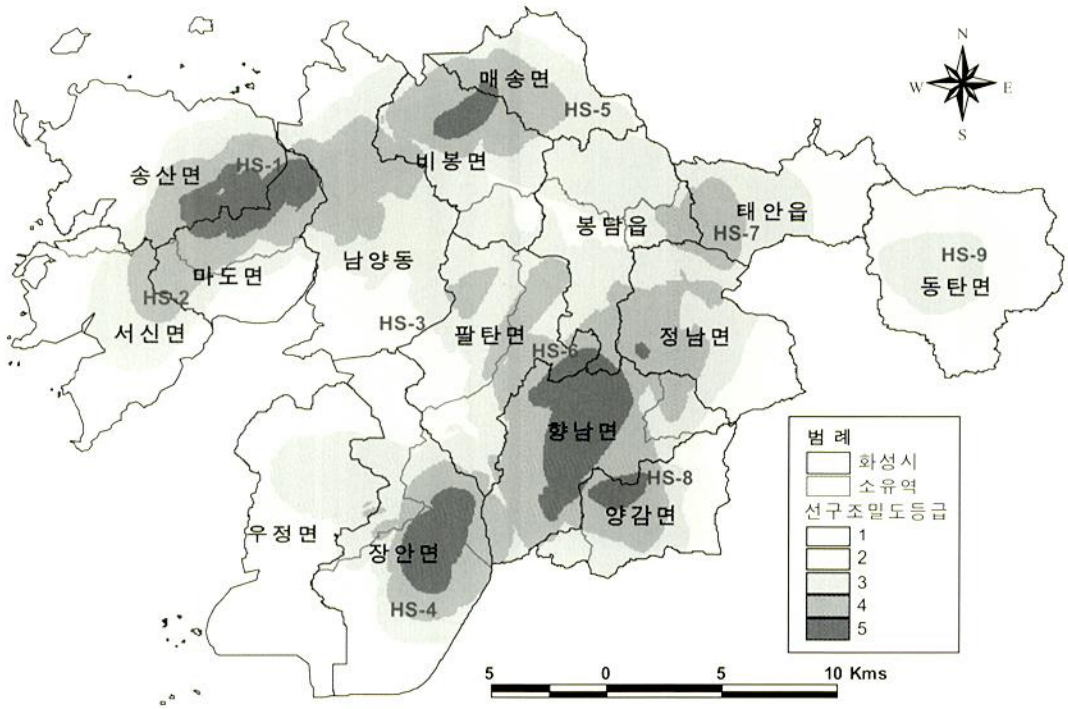


<그림 4-2-4> 구조선밀도 산정 흐름도

본 조사지구의 구조선밀도는 송산면과 마도면 경계부분(HS-1 유역)과 장안면, 향남면 일부지역이 타지역보다 상대적으로 높게 나타나고 있는데, 이 곳은 실제로 지질도폭상에서 큰 단층이 지나가는 곳이다. 마찬가지로 비봉면과 양감면 일부지역에서도 실제 단층의 영향으로 구조선밀도가 높게 나타나고 있다(그림 4-2-5).

또한, 상기 작성된 일반적인 지하수오염취약성도(그림 4-2-2)와 구조선밀도도(그림 4-2-5)를 중첩하여 나타낸 변형된 지하수오염취약성도(그림 4-2-6~7, 표 4-2-5)를 분석해보면 전반적으로 DRASTIC Potential이 상승함으로써 유역에 따른 각 그룹별 면적비율이 다소 변화를 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

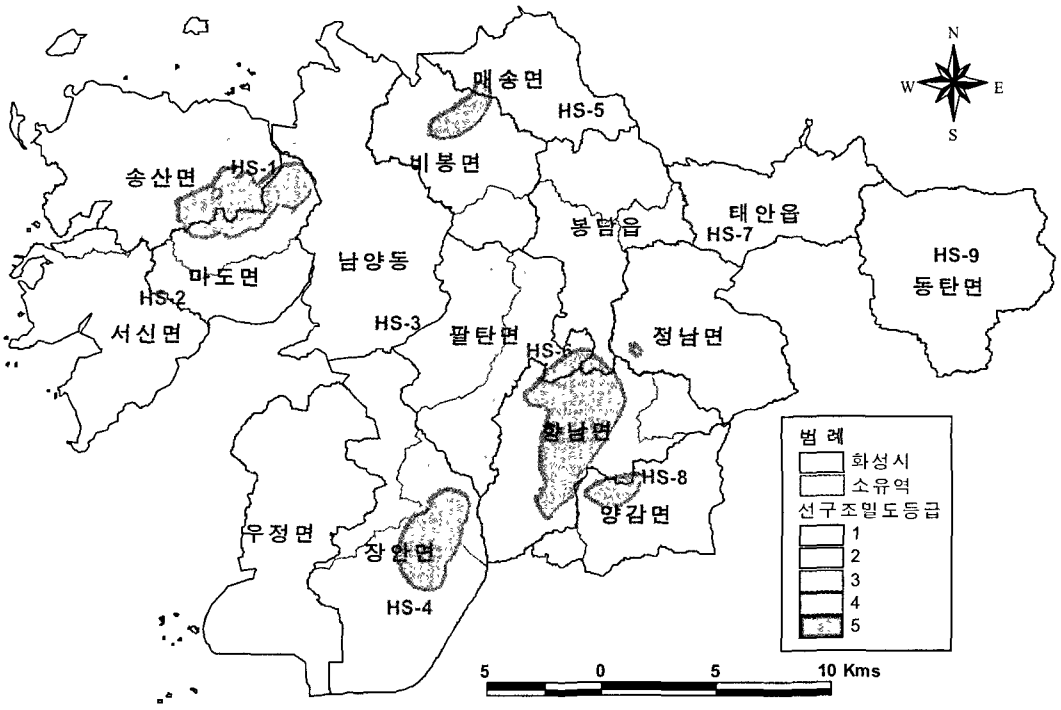
특히, HS-1, HS-4, HS-6, HS-8 유역에서는 구조선밀도의 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났으며, 전반적으로는 HS-4, HS-7 유역에서 지하수오염취약성이 높은 지역(MDP: 138 이상)이 전체면적의 50% 이상 나타남으로써 지하수개발·이용시 주의를 기울여야 할 대상지역으로 사료된다.



<그림 4-2-5> 구조선밀도도

<표 4-2-5> 유역별 변형된 지하수오염취약성(MDP) 면적비

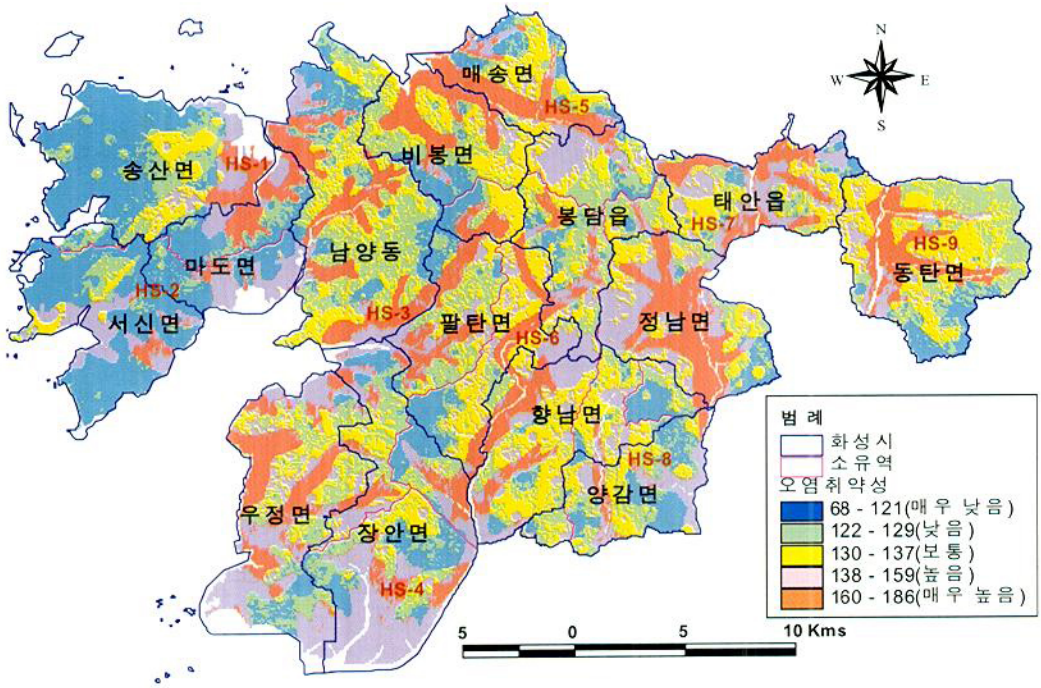
유역명	Modified DRASTIC Potential(MDP)					
	면적비(%)					평 균 MDP
	121 이하 (매우 낮음)	122 - 129 (낮음)	130 - 137 (보통)	138 - 159 (높음)	160 이상 (매우 높음)	
평균	22.9	19.2	19.8	21.8	16.3	136
HS-1	49.8	17.9	9.9	10.4	12.0	127
HS-2	59.7	8.8	4.0	23.3	4.2	124
HS-3	11.2	26.3	19.3	19.1	24.1	141
HS-4	19.0	18.1	11.2	43.0	8.8	139
HS-5	13.0	20.1	26.0	16.0	24.9	140
HS-6	11.2	17.4	29.4	23.1	19.0	139
HS-7	10.1	14.7	20.9	26.4	27.9	143
HS-8	21.2	21.8	27.5	23.9	5.6	133
HS-9	10.9	27.2	30.5	11.1	20.3	137



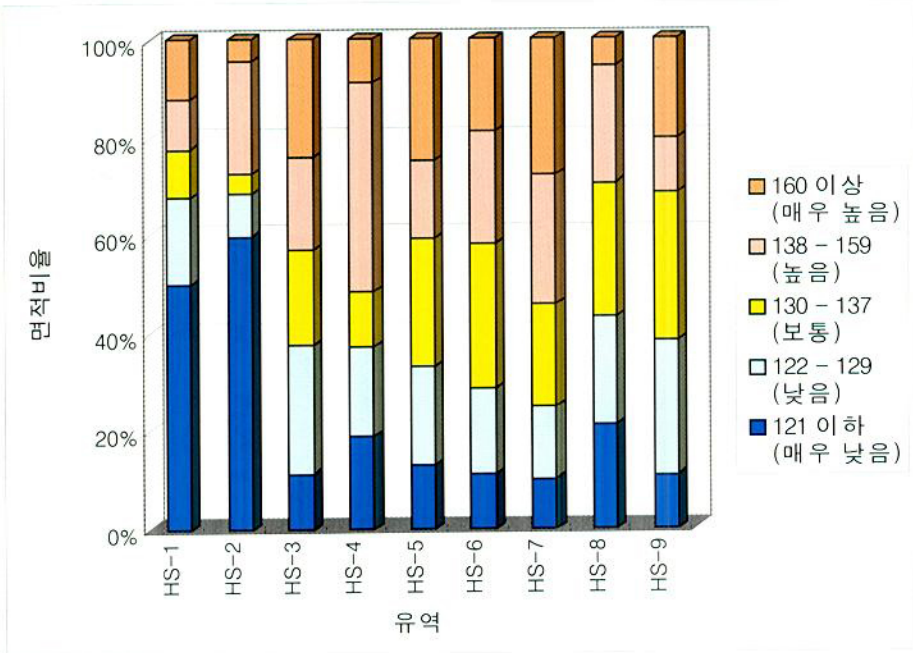
<그림 4-2-5> 구조선밀도도

<표 4-2-5> 유역별 변형된 지하수오염취약성(MDP) 면적비

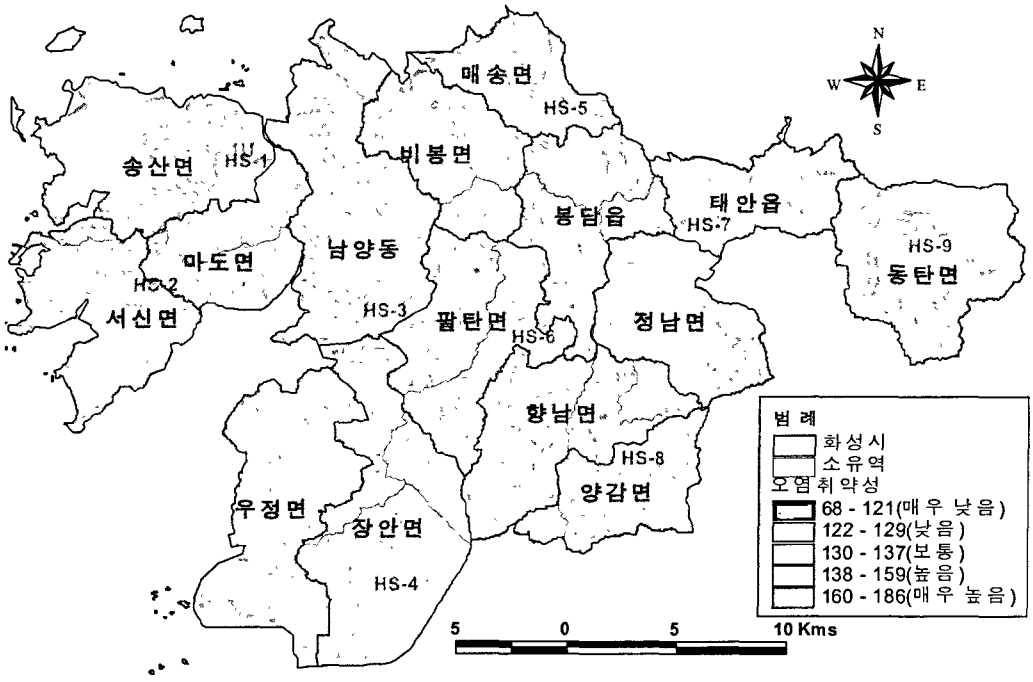
유역명	Modified DRASTIC Potential(MDP)					
	면적비(%)					평 균 MDP
	121 이하 (매우 낮음)	122 - 129 (낮음)	130 - 137 (보통)	138 - 159 (높음)	160 이상 (매우 높음)	
평균	22.9	19.2	19.8	21.8	16.3	136
HS-1	49.8	17.9	9.9	10.4	12.0	127
HS-2	59.7	8.8	4.0	23.3	4.2	124
HS-3	11.2	26.3	19.3	19.1	24.1	141
HS-4	19.0	18.1	11.2	43.0	8.8	139
HS-5	13.0	20.1	26.0	16.0	24.9	140
HS-6	11.2	17.4	29.4	23.1	19.0	139
HS-7	10.1	14.7	20.9	26.4	27.9	143
HS-8	21.2	21.8	27.5	23.9	5.6	133
HS-9	10.9	27.2	30.5	11.1	20.3	137



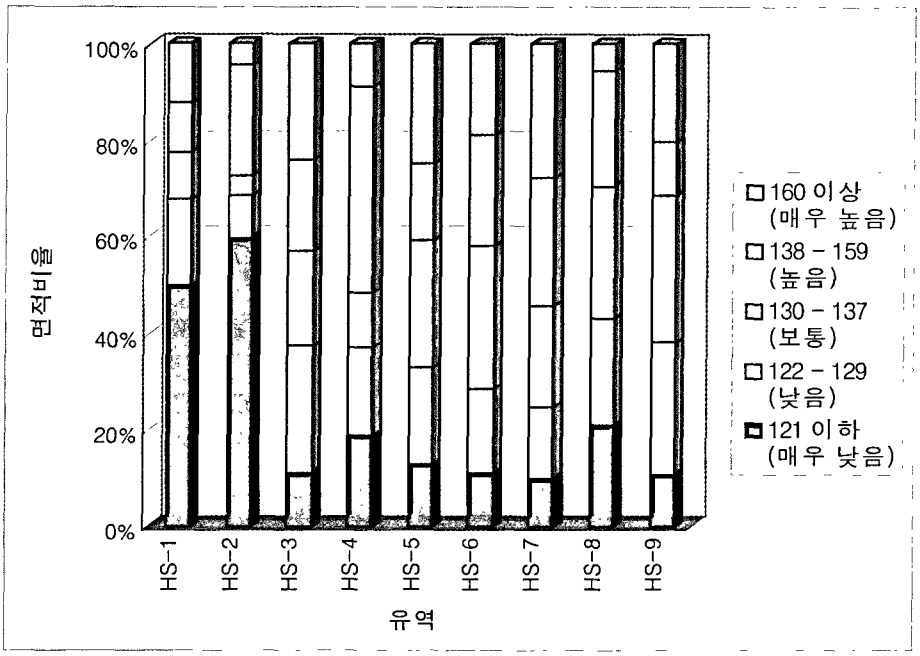
<그림 4-2-6 > 변형된 지하수오염취약성도(MDP Map)



<그림 4-2-7> 변형된 지하수오염취약성(MDP) 면적비율



<그림 4-2-6 > 변형된 지하수오염취약성도(MDP Map)



<그림 4-2-7> 변형된 지하수오염취약성(MDP) 면적비율

나. 지하수오염예측 및 현황 검토

지하수오염예측도는 지방자치단체 및 용수구역단위 지하수오염예방 및 개발정책 추진을 위한 기초적인 검토자료로서 활용될 수 있으며, 기존의 지하수오염취약성도와 각종 잠재오염원 총발생부하량도(화성시의 경우 축사, 인구, 토지이용만 적용함)를 중첩시킴으로써 수리지질학적인 평가에서 잠재오염원에 대한 영향까지 종합적인 상대평가가 가능하기 때문에 **'지하수오염예측도'**라 명명하였다.

본 내용에서 잠재오염원은 축사, 인구, 토지이용에만 국한되었다는 점과 실제 모든 요소를 감안한 지하수오염예측도는 아닌 점에 주의를 바라고, 지역과 상황에 따라서 이름은 달리 명명될 수도 있으므로 본 자료 활용시에는 이점에 특별한 주의를 바라는 바이다.

그림 4-2-8은 지하수오염예측도를 작성하기 위한 모식도로서 지하수유동에 영향을 미치는 요소와 오염물질 거동에 영향을 미치는 여러 인자들 중 대표성 있는 주요 잠재오염원 인자들에 대해 단위면적당 오염발생부하량을 산정하고 이를 모두 합산하여, 표 4-2-6의 기준에 의해 9가지로 그룹화함으로써 최종적인 지하수오염예측도를 작성하였다(그림 4-2-9~10).

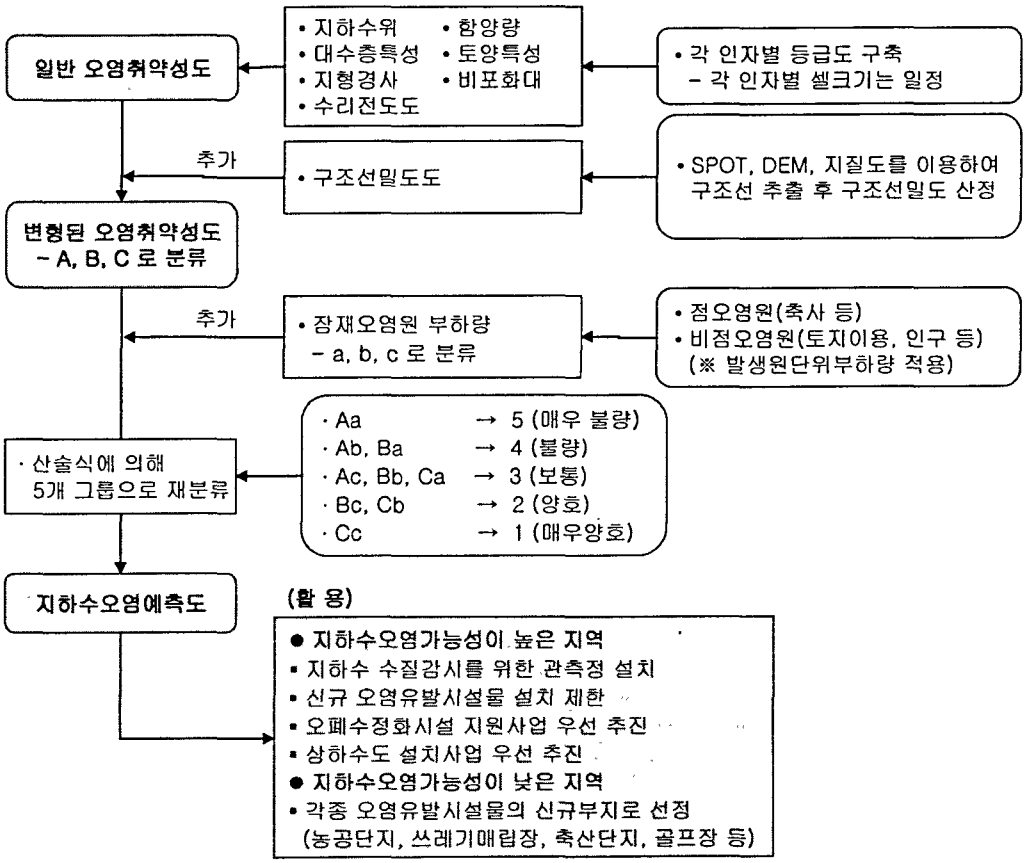
표 4-2-6은 변형된 지하수오염취약성(MDP)과 총오염발생부하량(3.1.2절 참고)을 서로 연계시킨 표이며 A, B, C, a, b, c의 분류는 정규분포에서 등면적 기준에 의하여 구간을 설정하였다. 그리고 Ab-Ba, Ac-Bb-Ca, Bc-Cb는 각각 동일한 그룹이지만 일정지역에서 오염취약성이 큰 비중을 차지하는지 혹은 오염부하량이 큰 비중을 차지하는지에 따라 서로 다른 성질로 분류될 수 있다. 그러나 본 사업에서는 복잡성을 피하고자 동일색상을 설정하여 도면을 작성하였다(그림 4-2-9).

결과적으로 변형된 지하수오염취약성도(MDP)에서는 지하수관리대상지역 우선순위(MDP가 138 이상이며 각 유역면적의 50% 이상 분포하는 지역을 대상으로 함)가 HS-7, HS-4, HS-3 유역 등으로 나타났지만 지하수오염예측도에서는 HS-4, HS-3, HS-8 유역(Aa, Ab, Ba 면적의 합이 큰 순위를 대상으로 함)으로 순위변동이 일어났는데, 이는 3.1.2절의 표 3-1-14의 잠재오염원별 발생부하량이 지역별로 차이를 보임에 따라 그 영향이 반영된 것으로 판단된다. 즉, HS-8 유역에 서는 지하수오염취약성이 비교적 낮게 나타나지만, 잠재오염원 발생부하량이 가장 높게 나타남으로써 지하수관리대상지역으로 분류되고 있다.

또한, 행정구역별로는 남양동과 장안면이 지하수오염취약성과 잠재오염원 발

생부하량이 상대적으로 높게 나타남으로써 지하수관리대상지역으로 분류되고 있다. 반면에 HS-2와 HS-1 유역은 지하수오염가능성이 가장 낮게 나타남으로서 향후 지하수시설물 개발·이용에 보다 적합한 지역으로 나타나고 있다.

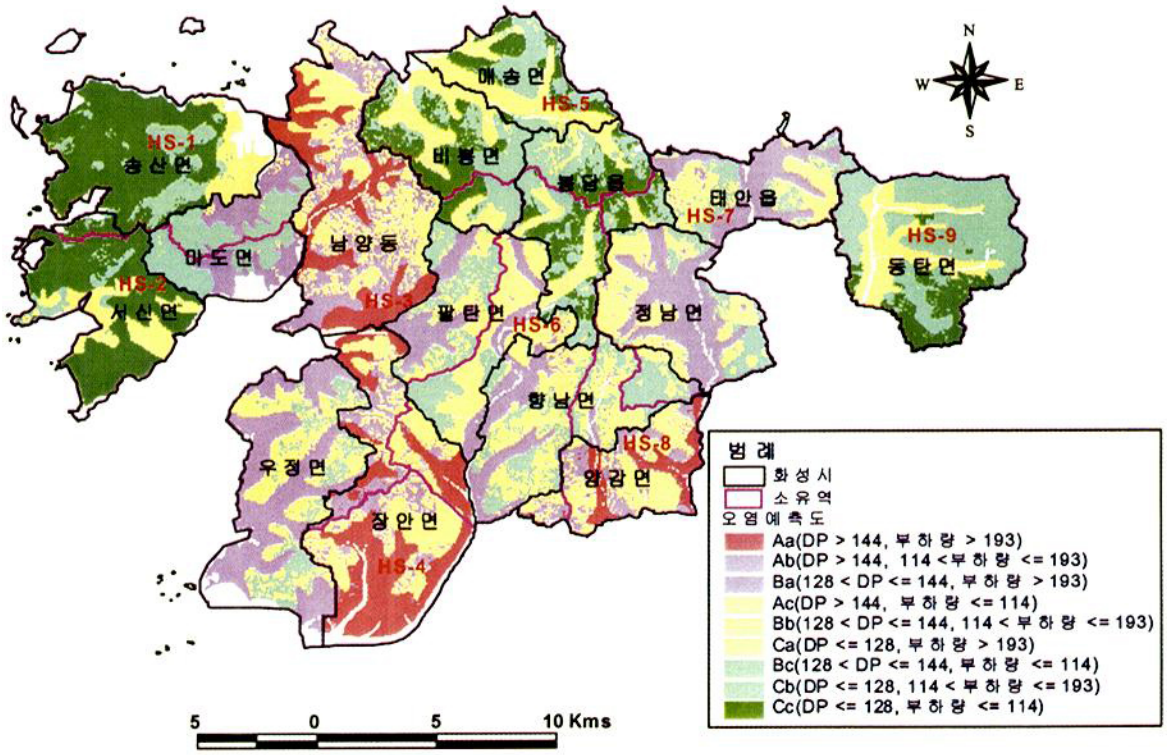
따라서 국토개발에 따른 지하수 및 각종 잠재오염 시설물 인·허가시 '지하수오염예측도'를 기초자료로써 활용함으로써 향후 발생가능한 지하수오염에 미리 대비하고, 엄청난 복구비용 예산을 절감할 수 있으리라 사료된다.



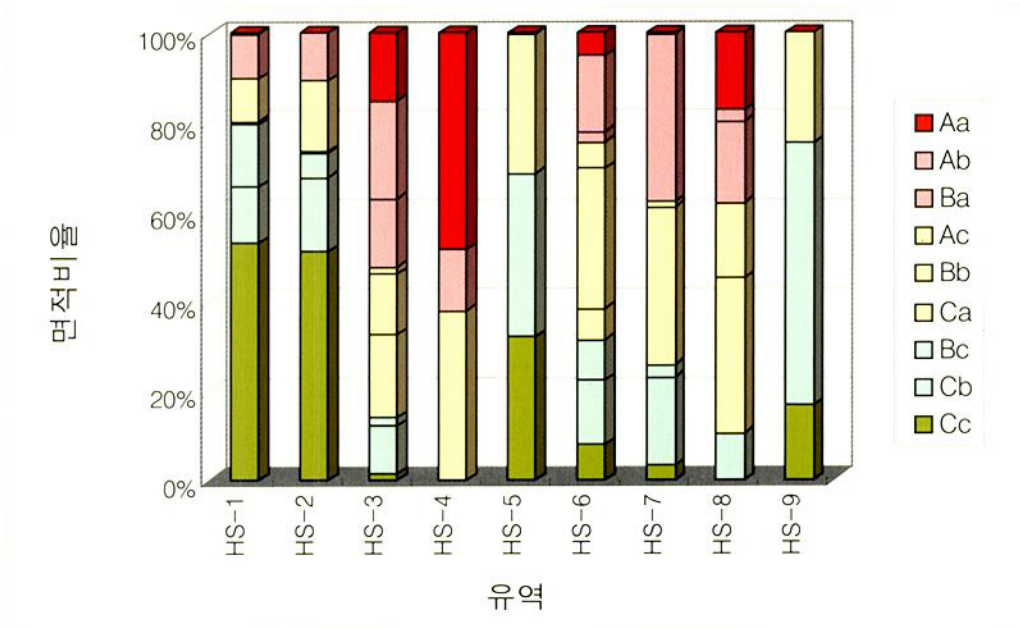
<그림 4-2-8> 지하수오염예측도 작성 모식도

<표 4-2-6> 지하수오염예측도 등급 분류표

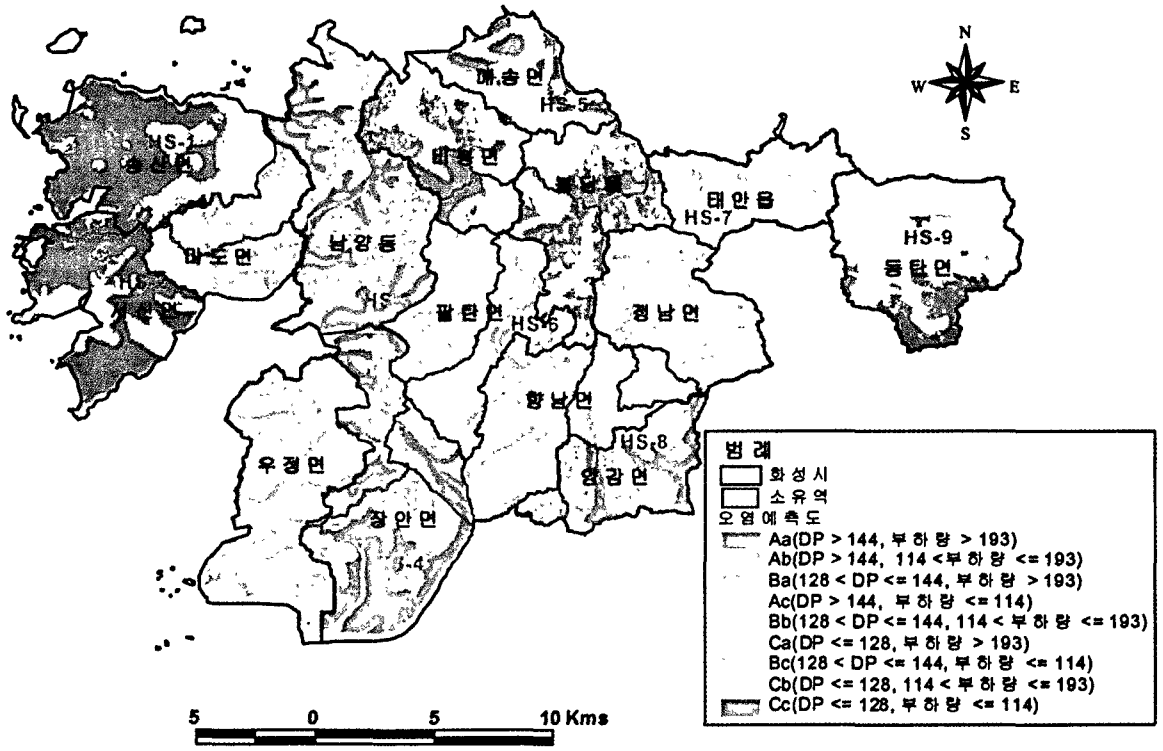
총오염발생부하량 / 변형된 오염취약성			총오염발생부하량(Kg/일/Km²)		
			a(높음)	b(보통)	c(낮음)
			> 193	114-193	≤ 114
오염취약성	A (높음)	> 144	Aa	Ab	Ac
	B (보통)	128-144	Ba	Bb	Bc
	C (낮음)	≤ 128	Ca	Cb	Cc



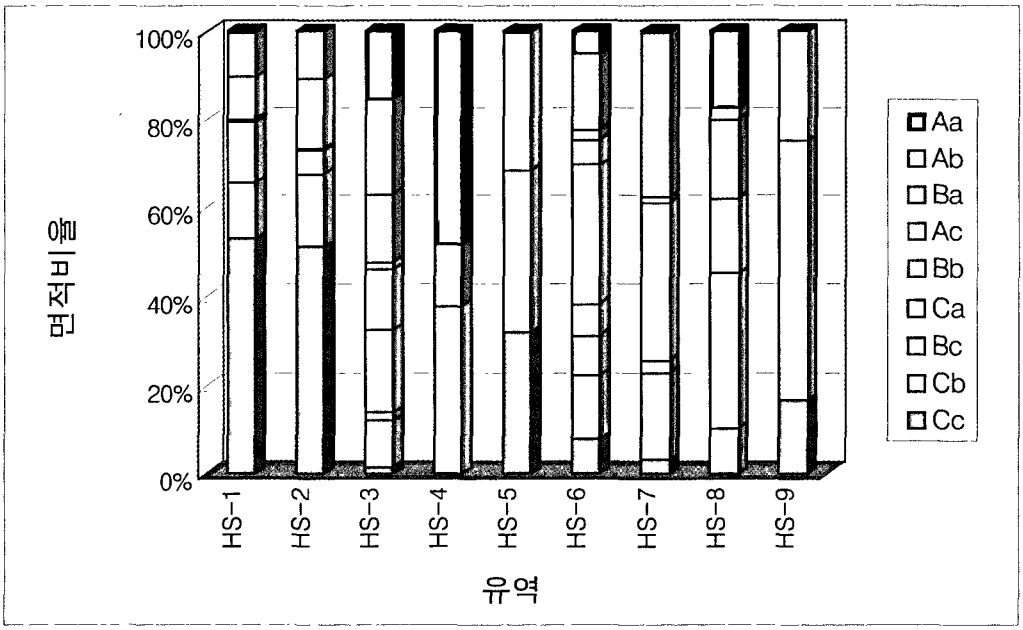
<그림 4-2-9> 지하수오염예측도



<그림 4-2-10> 지하수오염예측도 등급별 면적비



<그림 4-2-9> 지하수오염예측도



<그림 4-2-10> 지하수오염예측도 등급별 면적비

<표 4-2-7> 지하수오염예측도 등급별 면적비율(%)

등급 / 분류 / 유 역	Aa	Ab	Ba	Ac	Bb	Ca	Bc	Cb	Cc
	> 144 > 193	> 144 114-193	128-144 > 193	> 144 <= 114	128-144 114-193	< 128 > 193	128-144 <= 114	< 128 114-193	< 128 <= 114
HS-1	0.0	10.1	-	9.5	0.7	0.1	13.9	12.8	52.9
HS-2	-	10.5	-	15.8	0.4	-	5.6	16.6	51.1
HS-3	15.1	21.8	15.6	1.4	13.7	18.7	1.9	10.5	1.3
HS-4	48.5	-	13.7	-	-	37.8	-	-	-
HS-5	0.0	-	0.0	31.3	-	0.1	36.6	-	32.0
HS-6	5.1	17.0	2.3	5.8	31.5	7.0	9.0	14.6	7.7
HS-7	0.0	37.7	-	1.1	35.4	-	3.0	19.6	3.3
HS-8	17.2	2.5	18.1	-	17.1	34.6	0.0	10.4	-
HS-9	-	-	-	24.7	0.0	-	58.6	-	16.8

*등급분류 상단 : 오염취약성, 하단 : 발생오염부하량(Kg/일/Km^2)

V. 지하수 관리대책

5.1 관리현황 및 개선대책

5.1.1 현황 및 문제점

가. HS-1 유역

송산면과 마도면 일부지역으로 서해와 접해 있으며 북쪽으로 시화방조제가 위치한다. 면소재지 및 인근지역을 제외한 기타지역은 상수도보급이 되지 않아 사설관정을 이용하고 있어 단위면적당 관정밀도도가 25.9공/㎢로 9개 소유역 중 가장 높다.

지하수수질 일제조사결과 일부 관정은 질산성 질소가 수질기준을 초과하는 것으로 조사되어 관정 인근 오염원에 대한 관리가 필요한 것으로 판단되며, 해안과 접한 지역에서는 지하수 개발시 해수침입에 주의하여야 할 것으로 판단된다.

나. HS-2 유역

단위면적당 관정밀도도가 12.7공/㎢로 비교적 높은 유역에 해당하나, 대부분 상수도가 보급되지 않는 지역에서 가정용으로 사용하는 관정으로 공당 지하수 이용량은 적은 편이며, 지하수 이용량 대 적정개발가능량 비율이 40.6%로 화성시 9개 소유역 평균보다 낮아 현재까지 지하수 수량에는 문제가 없는 지역으로 판단된다.

해안과 접한 지역에서는 지하수 개발시 해수침입에 주의하여야 할 것으로 판단된다

다. HS-3 유역

지하수 이용량 대 적정개발가능량 비율이 44.3%로 소유역 평균이용량 보다 낮아 현재까지 지하수 수량에는 문제가 없는 지역으로 판단된다.

수질검사결과 염소이온농도가 해안 인접지역에서 수질기준을 초과하여 해수침투가 우려되므로, 해수침투 영향을 지속적으로 관측하기 위해 2002년 5월에 자동관측기기를 설치하여 수위 및 수질에 대한 모니터링을 실시하고 있다.

지하수자원에 영향을 미칠 수 있는 축사, 폐수시설 등의 점오염원이 6.1개소/㎢로 9개 소유역 평균보다 많은 분포를 나타내며, 일부지역은 축사가 밀집되어 있어 축산폐수에 대한 관리대책이 필요한 것으로 판단된다.

라. HS-4 유역

단위면적당 지하수이용량 및 관정밀도가 낮아 현재까지 수량에는 별다른 문제가 없는 지역이나, 비점오염원 면적이 전체면적의 47%로 9개 소유역중 가장 높고 지하수수질에 대한 일제조사결과 유역별 질산성질소 평균값이 가장 높아 비점오염원에 살포되는 화학비료 및 농약 과다사용에 따른 지하수 오염이 우려되므로 비료 및 농약사용에 대한 관리대책이 필요한 것으로 판단된다.

마. HS-5 유역

지하수 이용량 대 적정개발가능량, 단위면적당 지하수이용량 및 관정밀도도가 9개 소유역 중 가장 낮은 유역으로 현재까지 지하수 수량에는 문제가 없는 지역으로 판단된다.

오염취약성 평균지수가 높고 일부지역은 축사가 밀집되어 있어 축산폐수에 대한 관리대책이 필요한 것으로 판단된다.

바. HS-6 유역

본 유역은 신규공장의 지속적인 증가로 지하수 이용량 대 적정개발가능량 비율이 높고 단위면적당 지하수이용량이 많은 유역으로 일부지역은 상수도 보급이 이루어지고 있으나 공업 및 생활용수 공급에 필요한 지하수 이용량도 상당히 많은 지역이다.

제조업체가 많이 입주하고 있는 지역으로 지하수수질관리를 위하여 공단내 배수로 정비, 저장시설 및 폐기물의 적정관리가 필요하며, 숙박 및 음식점 밀집지역은 생활오수 등에 의한 지하수오염방지를 위해 하수관거의 불비·부실 등에 대한 관리가 필요하다.

사. HS-7 유역

본 유역은 신도시 개발이 진행중인 태안읍을 포함하여, 정남면과 봉담읍으로 구성된 지역으로 60% 정도의 상수도 보급률을 나타내고 있으나 유입인구의 증가 및 기존지하수의 지속적인 사용으로 단위면적당 지하수이용량이 많고 이용량 대 적정개발가능량 비율이 95.7%로 높은 비율을 나타내고 있어 지하수 수량관리가 요구되는 유역으로 판단된다.

지하수자원에 영향을 미칠수 있는 잠재오염원 조사결과 제조업체가 많이 입주하고 있는 지역으로 지하수수질관리를 위하여 공단내 배수로 정비, 저장시설 및 폐기

물의 적정관리가 필요하며, 숙박 및 음식점 밀집지역은 생활오수 등에 의한 지하수오염방지를 위해 하수관거의 불비·부실 등에 대한 관리가 필요하다.

아. HS-8 유역

지하수이용량 및 관정밀도도는 높은 유역이나 현재까지 지하수 장애 현상은 발생하지 않고 있어 수량에는 문제가 없는 지역으로 판단된다.

지하수자원에 영향을 미칠 수 있는 축사, 폐수시설 등의 점오염원이 7.1개소/㎢로 9개 소유역 중 2번째로 많은 분포를 나타내며, 단위면적당 오염부하량이 가장 높고 수질현황 파악을 위한 질산성질소 일제조사 결과 유역 평균값이 9.7㎎/ℓ로 높아 생활하수, 축산폐수 등에 의해 국부적으로 지하수 오염이 진행중인 것으로 판단된다.

자. HS-9 유역

본 유역은 동탄면 지역으로 지하수이용량 및 단위면적당 관정밀도가 높지 않아 현재까지 지하수 수량에는 문제가 없는 지역으로 판단되며, 암반지하수 부존에 유리한 구조선밀도 평균값이 가장 낮은 유역이므로 향후 지하수 개발시 정밀조사가 필요할 것으로 사료된다.

지하수수질에 영향을 미칠 수 있는 점오염원 및 비점오염원 비율이 9개 유역 평균이하이며, 수질현황파악을 위한 질산성질소 일제조사 결과 유역 평균값이 5.2 ㎎/ℓ로 낮아 현재까지 지하수수질은 양호한 유역으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하여 소유역별로 각각의 주요항목에 대한 조사 및 측정값을 A~E의 5개 등급으로 분류하여 나타내었다(표 5-1-1~3). A등급에 가까울수록 양호한 상태를 나타내고, E등급으로 갈수록 상태가 나쁜 것으로 표현하였다. 여기서의 등급분류는 절대적인 값으로는 의미를 갖지 못하며, 단지 화성시 용수구역 내에서 상대적인 비교 값으로 표현된 것이다.

<표 5-1-1> 지하수수량에 대한 종합평가

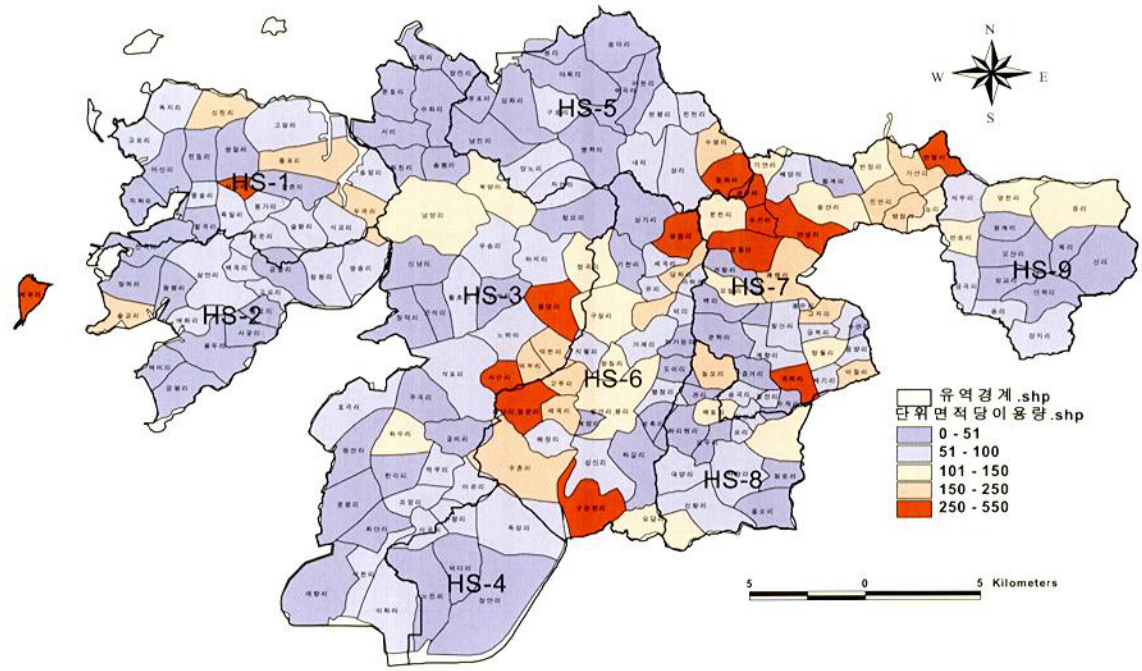
유역	단위면적당 지하수이용량 (천㎥/년/㎢)		단위면적당 관정밀도도 (공/㎢)		이용량/ 적정개발가능량 (%)		평균강수량 (㎜/년)		구조선밀도 평균값	
HS-1	80.8	C	25.9	E	56.9	C	1,214	D	2.3	C
HS-2	56.6	A	12.7	D	40.6	B	1,192	D	2.0	D
HS-3	68.0	C	7.3	B	44.3	B	1,313	C	2.0	D
HS-4	68.6	C	4.9	A	44.5	B	1,319	C	2.6	C
HS-5	55.0	A	4.9	A	35.9	A	1,311	C	2.9	B
HS-6	118.4	D	8.4	C	75.9	D	1,335	C	3.3	A
HS-7	149.1	E	17.6	D	95.7	E	1,329	C	2.5	C
HS-8	94.9	D	11.5	C	59.1	C	1,368	A	3.0	B
HS-9	63.3	B	7.9	B	39.9	A	1,352	B	1.7	E
평균	84.1		10.8		55.2		1,304		2.5	

※ A:양호, B:약간양호, C:보통, D:약간불량, E:불량

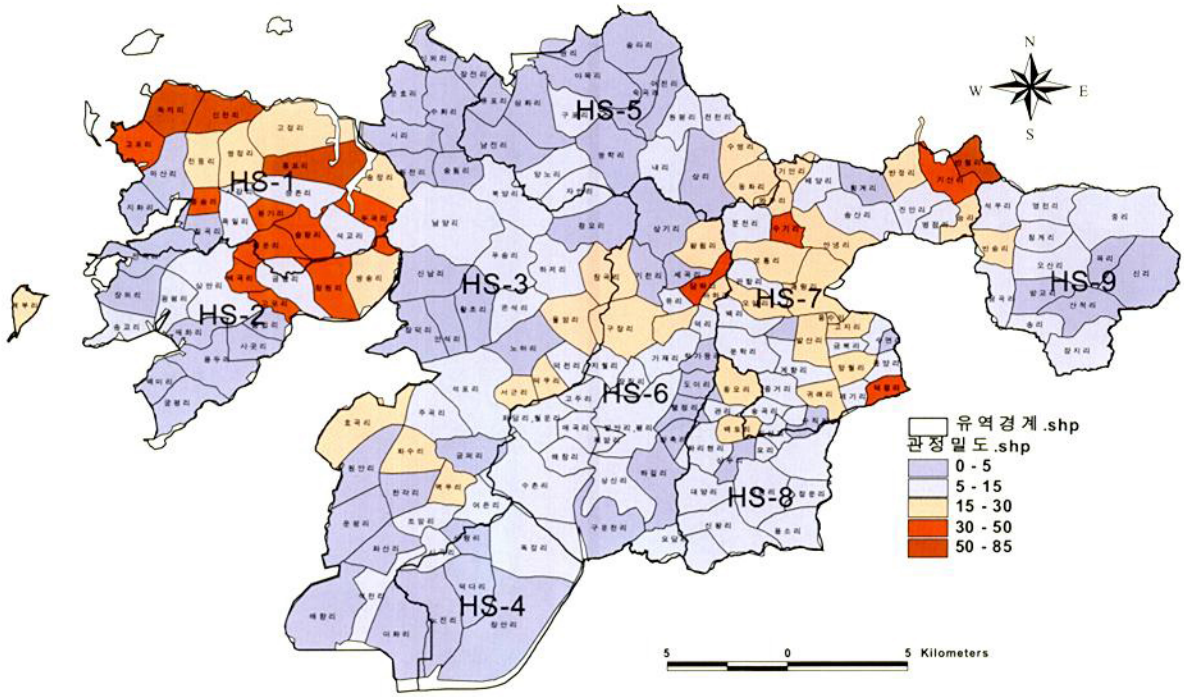
<표 5-1-2> 지하수수질에 대한 종합평가

유역	{DRASTIC 지수 + 구조선밀도} 평균값		단위면적당 오염부하량 (kg/일/㎢)		단위면적당 점오염원 (개소/㎢)		비점오염원면적 / 유역면적 (%)		질산성질소 일제조사 평균값 (㎎/ℓ)	
HS-1	127	B	0.135	C	3.1	B	41	C	7.0	C
HS-2	124	A	0.168	C	2.9	B	34	B	6.4	C
HS-3	141	D	0.309	E	6.1	D	38	C	7.0	C
HS-4	139	D	0.186	C	1.3	A	47	E	10.8	E
HS-5	140	D	0.126	B	4.0	C	36	C	7.3	C
HS-6	139	D	0.123	B	6.3	D	38	C	4.4	A
HS-7	143	E	0.232	D	7.6	E	44	D	6.3	C
HS-8	133	C	0.320	E	7.1	E	40	C	9.7	D
HS-9	137	C	0.035	A	4.2	C	29	A	5.2	B
평균	136		0.182		4.75		38		7.1	

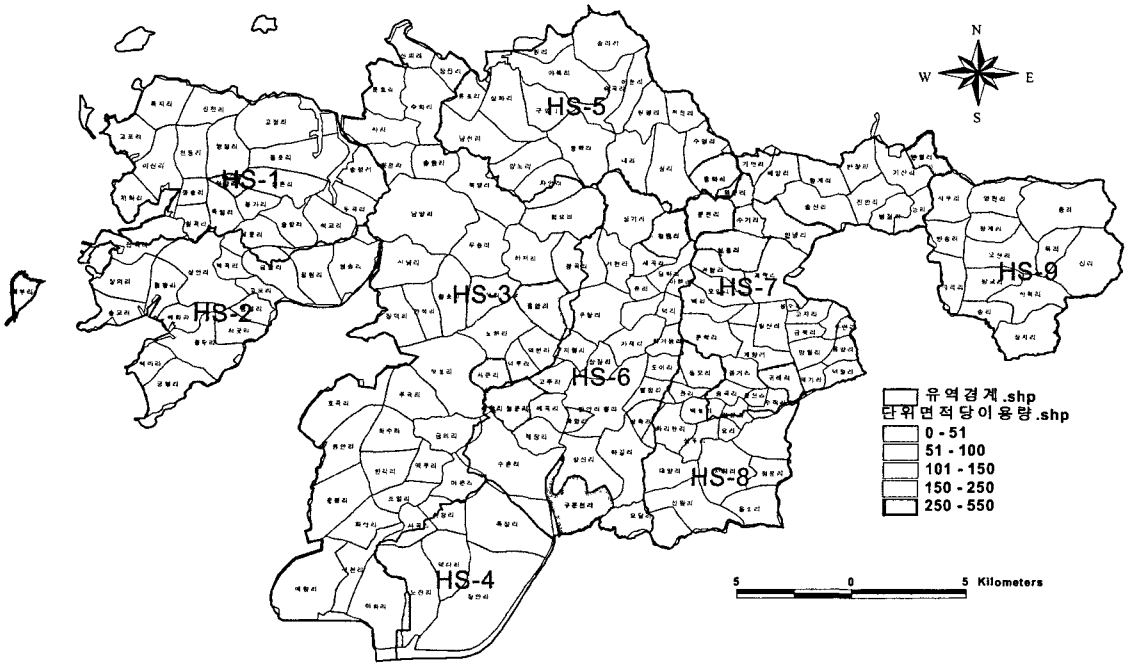
※ A:양호, B:약간양호, C:보통, D:약간불량, E:불량



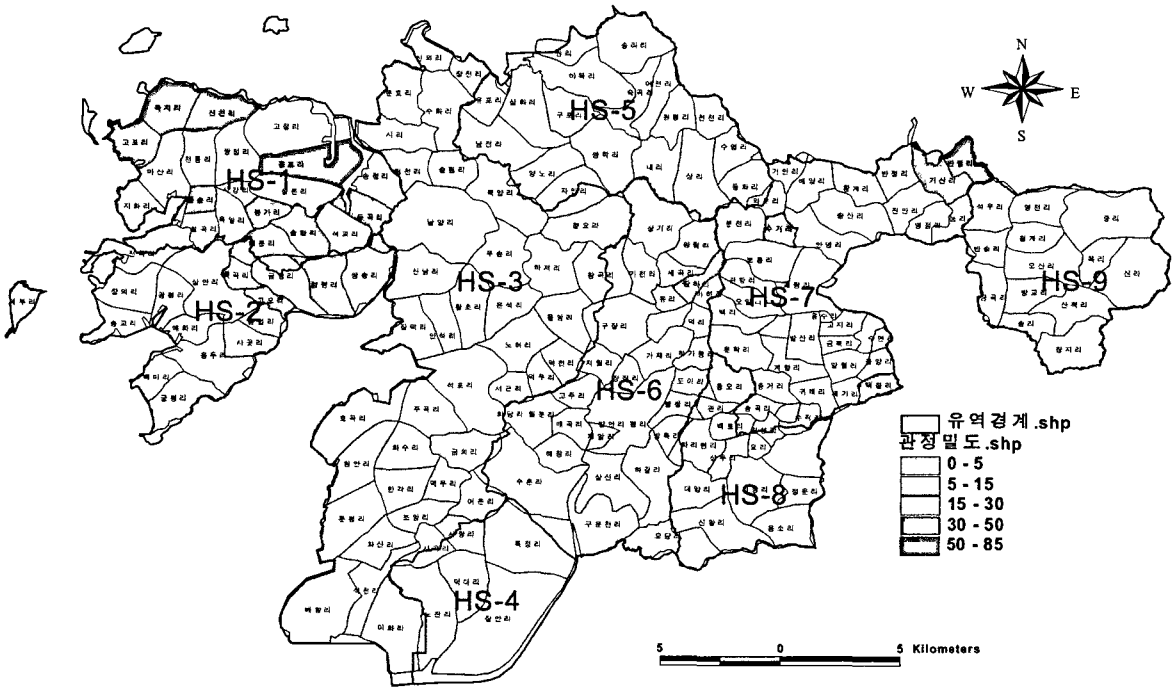
<그림 5-1-1> 단위면적당 지하수이용량(천㎥/년/㎢)



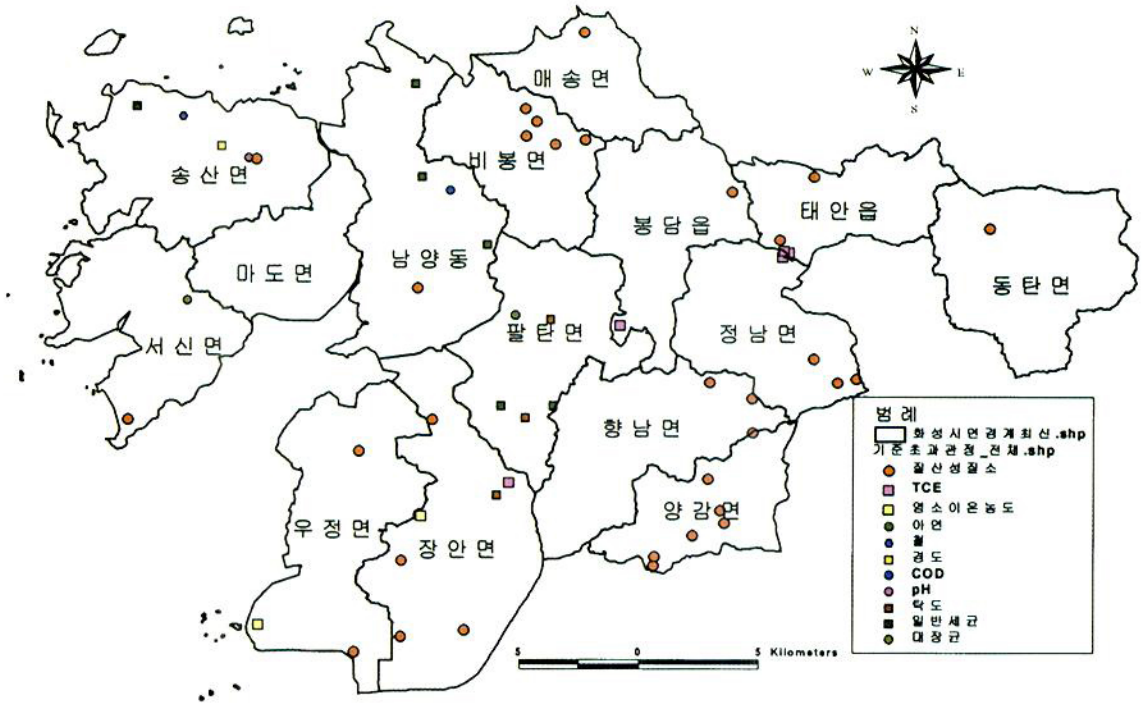
<그림 5-1-2> 단위면적당 관정밀도도(공/㎢)



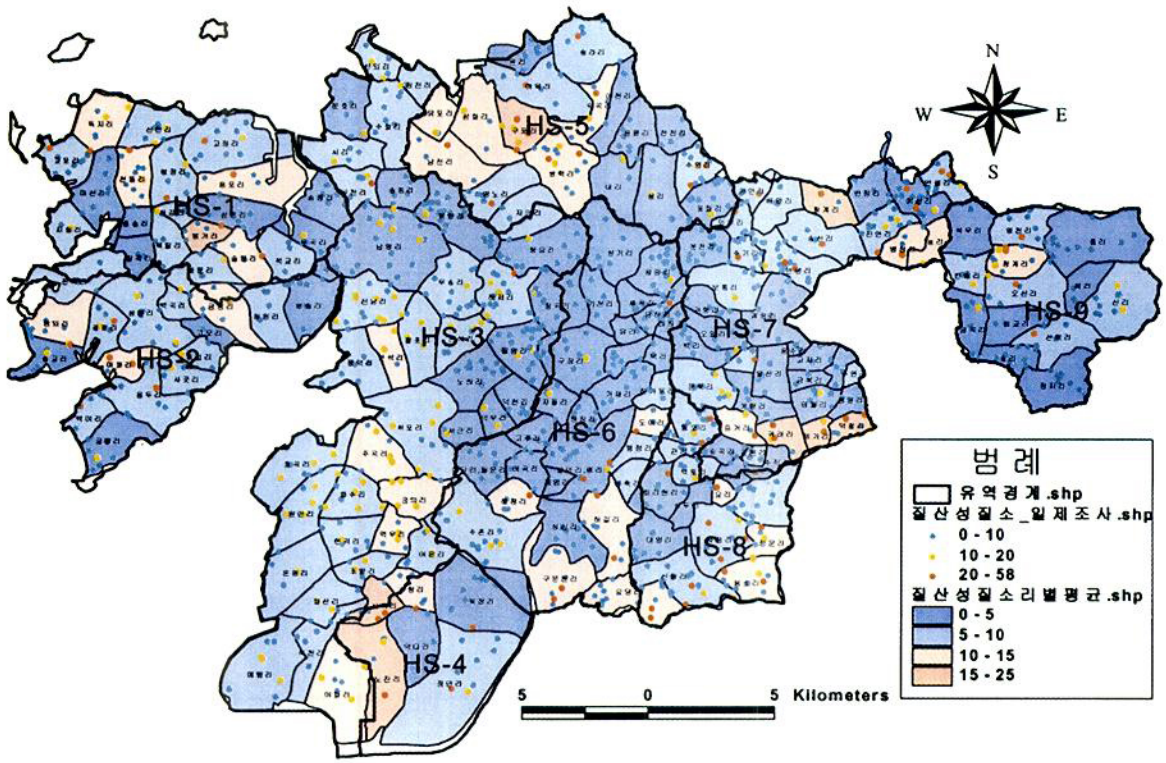
<그림 5-1-1> 단위면적당 지하수이용량(천㎥/년/㎢)



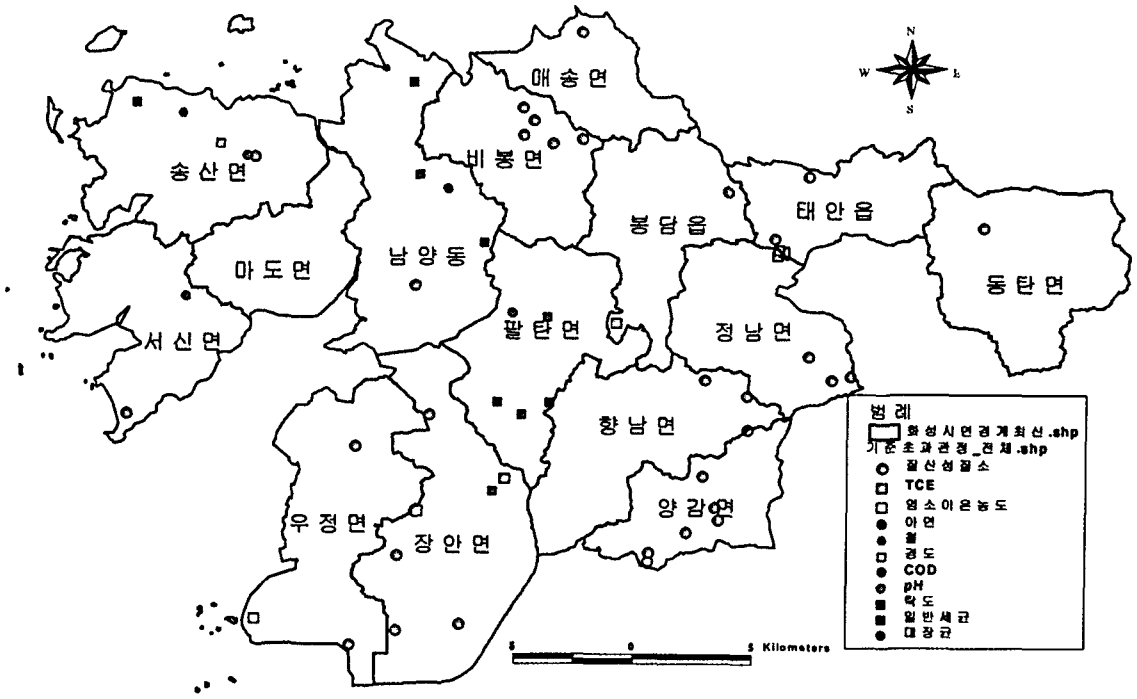
<그림 5-1-2> 단위면적당 관정밀도도(공/㎢)



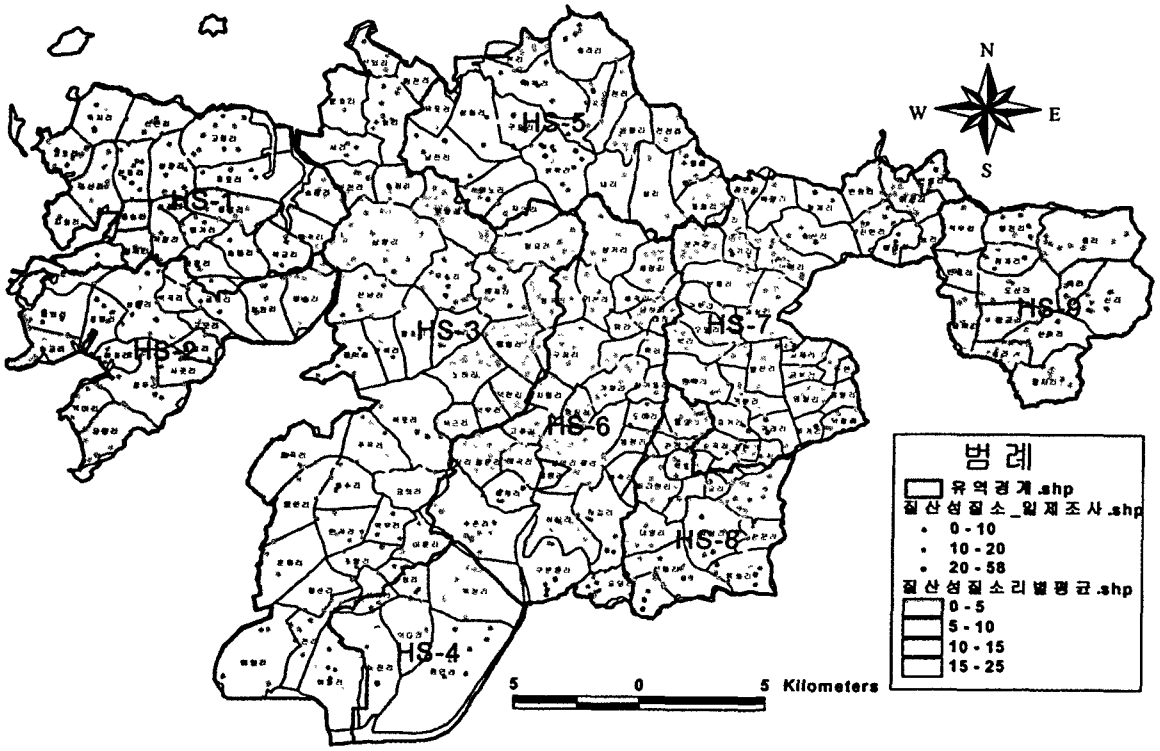
<그림 5-1-3> 먹는물/농업용수 수질기준 초과관정 위치



<그림 5-1-4> 질산성질소 일제조사 현황



<그림 5-1-3> 먹는물/농업용수 수질기준 초과관정 위치

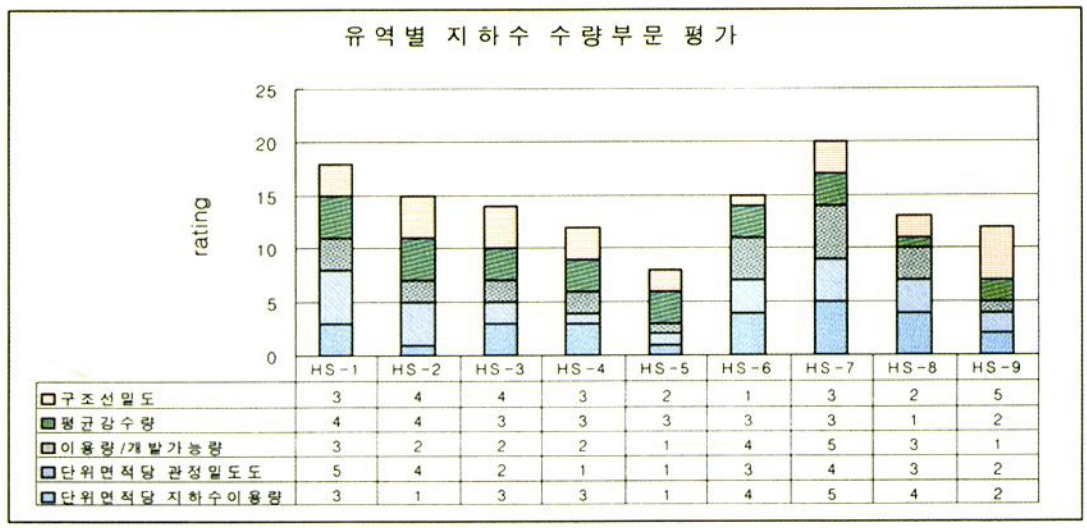


<그림 5-1-4> 질산성질소 일제조사 현황

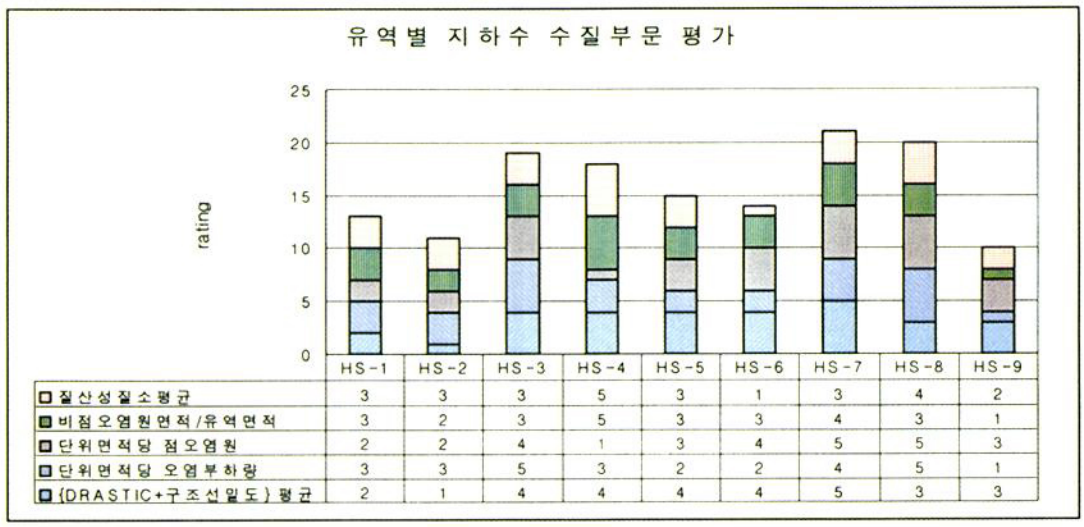
그림 5-1-5~6에는 화성시 지하수의 수량 및 수질에 대한 유역별 현황에 대하여 항목별로 나타내 보았다. 표 5-1-1~2에 대하여 수량/수질 각 5개 항목의 등급에 A→1, B→2, C→3, D→4, E→5 식으로 값을 부여하여 그림 5-1-5에는 유역별로 각 항목에 대한 종합을, 그림 5-1-6에는 수량/수질 부문별 오각형도를 작성하여 시급히 관리하여야 하는 유역과 항목에 대한 평가를 해보았다.

그림 5-1-5에서 나타난 지하수 수량/수질별 종합을 살펴본 결과

- 수량부문 : HS-7, HS-1, HS-2, HS-6 유역순으로 관리요함
- 수질부문 : HS-7, HS-8, HS-3, HS-4 유역순으로 관리요함



	HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5	HS-6	HS-7	HS-8	HS-9
구조선밀도	3	4	4	3	2	1	3	2	5
평균강수량	4	4	3	3	3	3	3	1	2
이용량/개발가능량	3	2	2	2	1	4	5	3	1
단위면적당 관정밀도도	5	4	2	1	1	3	4	3	2
단위면적당 지하수이용량	3	1	3	3	1	4	5	4	2



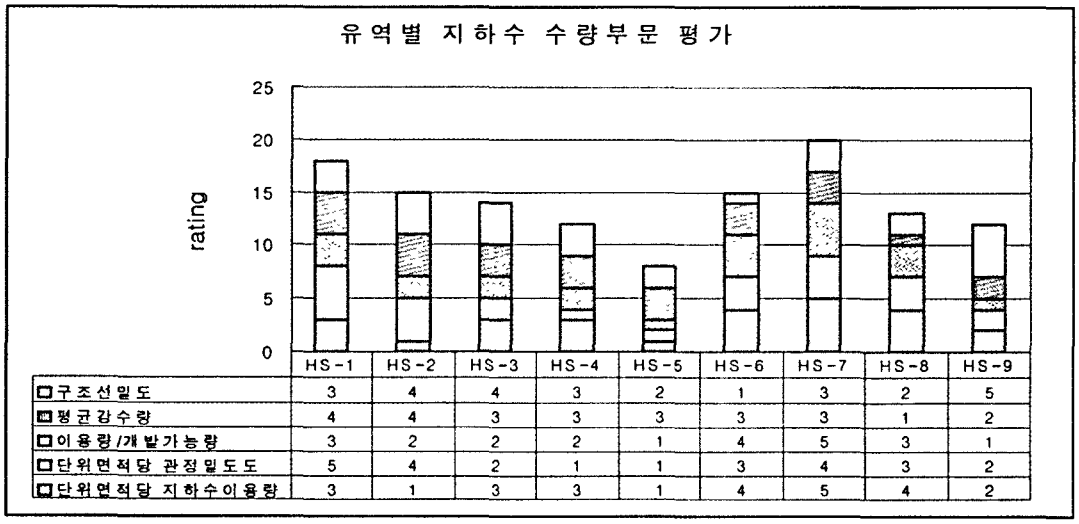
	HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5	HS-6	HS-7	HS-8	HS-9
질산성질소평균	3	3	3	5	3	1	3	4	2
비점오염원면적/유역면적	3	2	3	5	3	3	4	3	1
단위면적당 점오염원	2	2	4	1	3	4	5	5	3
단위면적당 오염부하량	3	3	5	3	2	2	4	5	1
{DRASTIC+구조선밀도} 평균	2	1	4	4	4	4	5	3	3

<그림 5-1-5> 지하수 수량/수질 종합평가

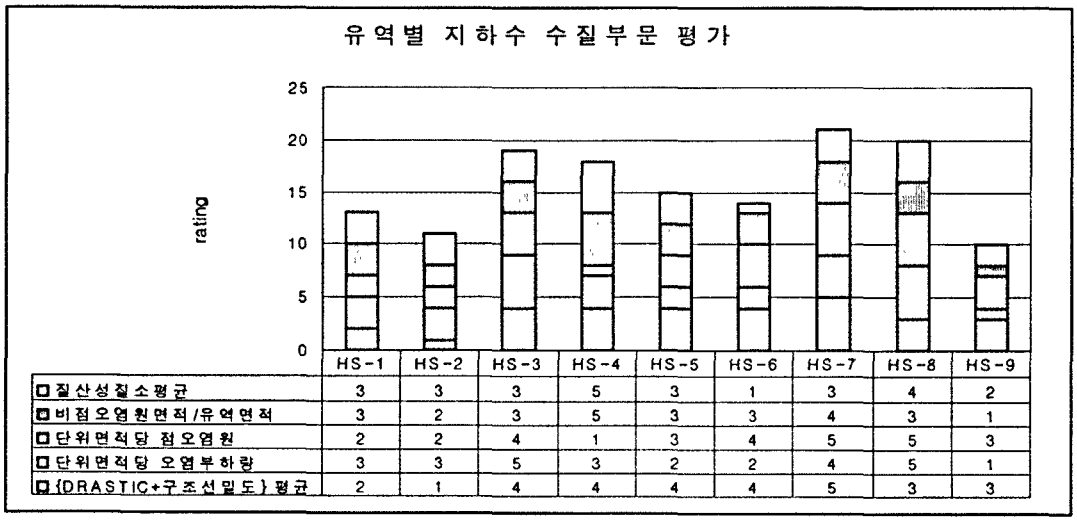
그림 5-1-5~6에는 화성시 지하수의 수량 및 수질에 대한 유역별 현황에 대하여 항목별로 나타내 보았다. 표 5-1-1~2에 대하여 수량/수질 각 5개 항목의 등급에 A→1, B→2, C→3, D→4, E→5 식으로 값을 부여하여 그림 5-1-5에는 유역별로 각 항목에 대한 총합을, 그림 5-1-6에는 수량/수질 부문별 오각형도를 작성하여 시급히 관리하여야 하는 유역과 항목에 대한 평가를 해보았다.

그림 5-1-5에서 나타난 지하수 수량/수질별 총합을 살펴본 결과

- ㅇ 수량부문 : HS-7, HS-1, HS-2, HS-6 유역순으로 관리요함
- ㅇ 수질부문 : HS-7, HS-8, HS-3, HS-4 유역순으로 관리요함



	HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5	HS-6	HS-7	HS-8	HS-9
□구조선밀도	3	4	4	3	2	1	3	2	5
□평균강수량	4	4	3	3	3	3	3	1	2
□이용량/개발가능량	3	2	2	2	1	4	5	3	1
□단위면적당 관정밀도도	5	4	2	1	1	3	4	3	2
□단위면적당 지하수이용량	3	1	3	3	1	4	5	4	2

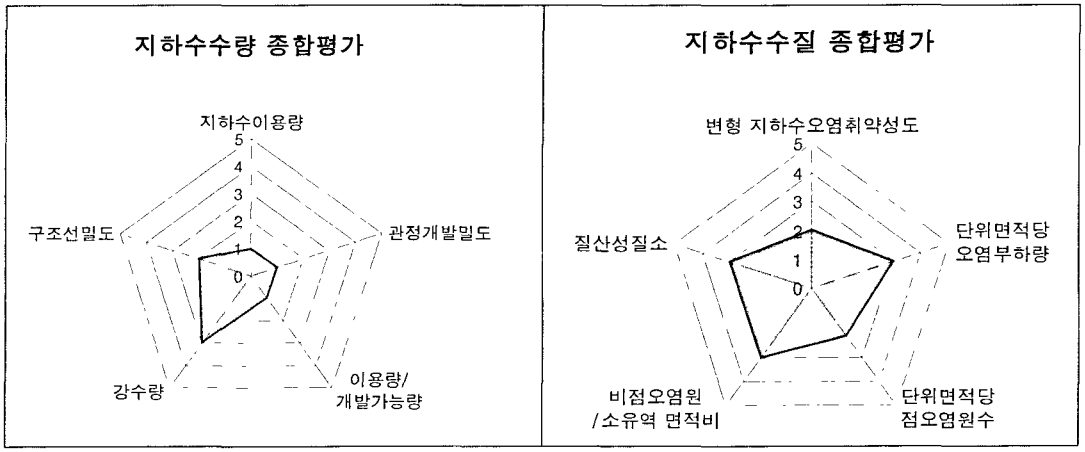


	HS-1	HS-2	HS-3	HS-4	HS-5	HS-6	HS-7	HS-8	HS-9
□질산성질소평균	3	3	3	5	3	1	3	4	2
□비점오염원면적/유역면적	3	2	3	5	3	3	4	3	1
□단위면적당 점오염원	2	2	4	1	3	4	5	5	3
□단위면적당 오염부하량	3	3	5	3	2	2	4	5	1
□{DRASTIC+구조선밀도} 평균	2	1	4	4	4	4	5	3	3

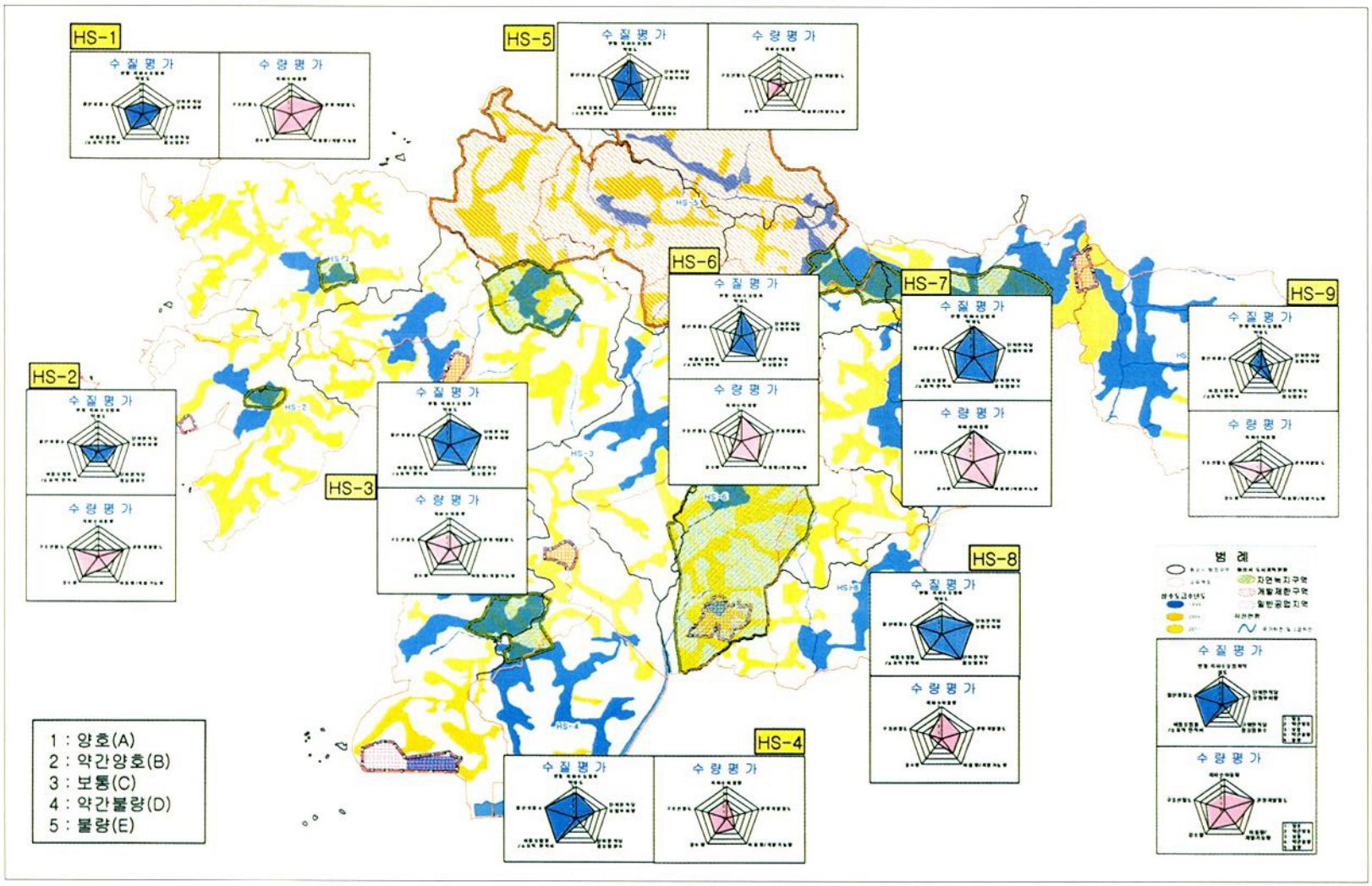
<그림 5-1-5> 지하수 수량/수질 종합평가

그림 5-1-6에서는 아래 그림의 각 항목별 오각형 선분의 길이가 길수록 즉, 5에 가까울수록 해당 항목에 문제가 많은 것을 나타내며 전체적으로 오각형 면적이 넓을수록 그 유역은 지하수 수량/수질 부문에 대하여 전반적인 문제가 있음을 의미한다.

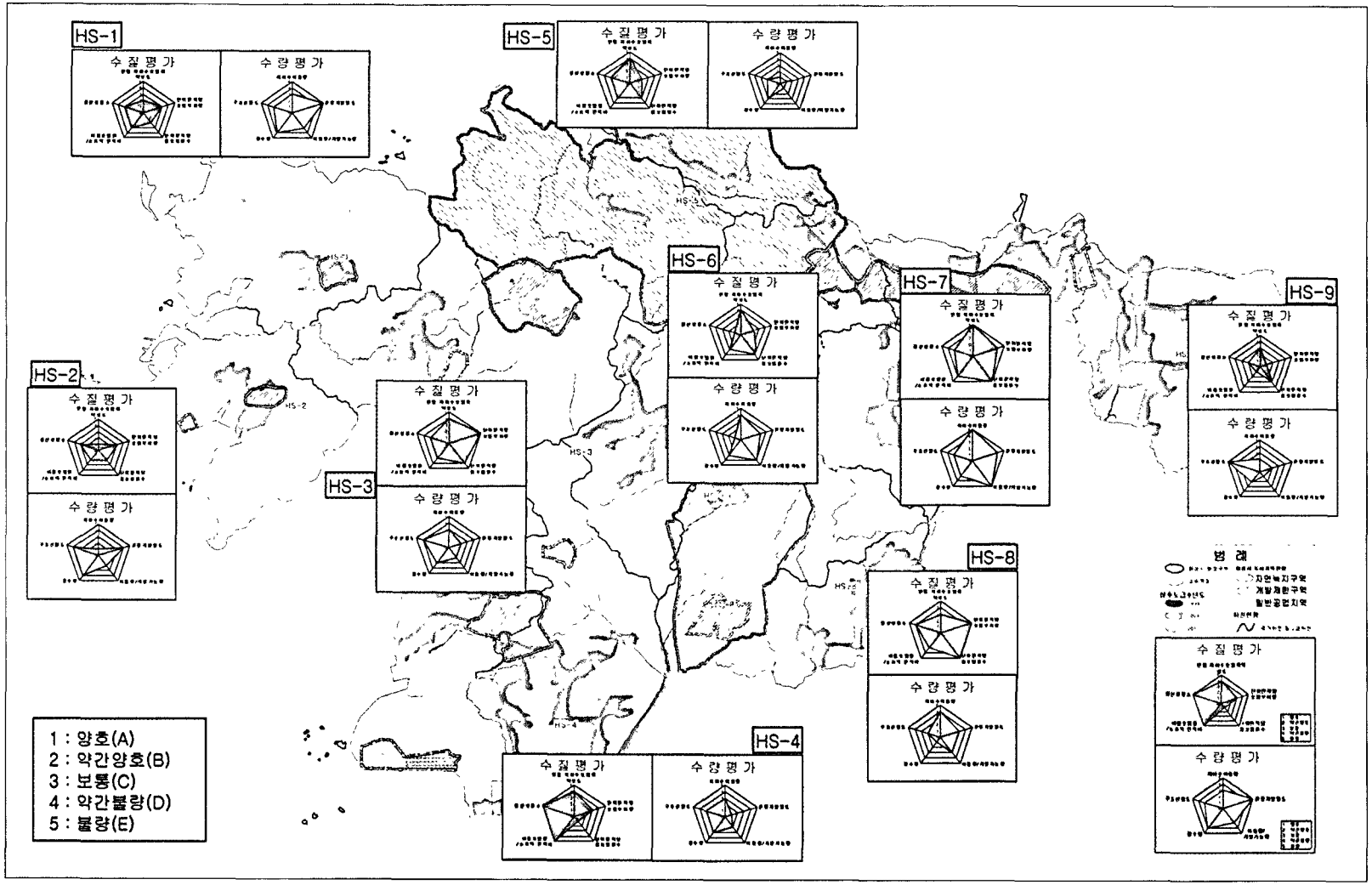
그러나, 각 항목에 대한 가중치 설정에 대한 연구결과가 없기 때문에 현재는 유역별 각 항목에 대한 정성적 평가만 가능하고 앞으로 지하수의 수량 및 수질관리에 필요한 상기 평가방법에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.



상기한 지하수 수질 및 수량에 대한 항목별 평가에 대하여 표 5-1-3에 그 내용과 대책방안을 기술하였다.



<그림 5-1-6> 지하수 수량/수질 종합현황도



<그림 5-1-6> 지하수 수량/수질 종합현황도

<표 5-1-3> 유역별 수량·수질 문제점 및 개선방안

(상단 : 수량 / 하단 : 수질)

구분 / 유역	TYPE	문제점	개선방안	모니터링	
				자동	수동
HS-1	CECDC	· 관정밀도도 높음	· 소규모 사설관정 급증에 대한 대책 필요	○	-
	BCBCC	-	-		
HS-2	ADBDD	· 강수량최저(해안인접→바다로 유출되는 수량 多)	· 강수의 바다 유출을 줄이기 위한 지표수 저류시설 필요	-	○
	ACBBC	-	-		
HS-03	CBBCD	-	-	○	-
	DEDCC	· 축사 등 점오염원 밀도 높음 · 해수침투	· 축사 및 해수침입에 대한 관리대책 필요		
HS-4	CABCC	-	-	-	○
	DCAEE	· 비 점오염원 면적비율 최대 · 질산성질소 평균값 가장 높음	· 비료 및 농약 사용에 대한 관리대책 필요		
HS-5	AAACB	-	-	-	○
	DBCCC	· 오염취약성 높음 · 일부지역 수질기준 초과	· 점오염원에 대한 관리대책필요		
HS-6	DCDCA	· 이용량/적정개발가능량 : 75.9%	· 사설관정 급증에 대한 대책 필요	○	-
	DBDCA	· 점오염원 밀도 높음	· 점오염원에 대한 관리대책 필요		
HS-7	EDECC	· 이용량/적정개발가능량 : 95.7%	· 사설관정 급증에 대한 대책 필요	○	-
	EDEDC	· 오염취약성 높음 · 점오염원 밀도 높음	· 점오염원에 대한 관리대책 필요		
HS-8	DCCAB	-	-	-	○
	CEECD	· 점오염원 밀도 높음 · 일부지역 수질기준 초과	· 점오염원에 대한 관리대책 필요		
HS-9	BBABE	· 암반지하수 부존에 유리한 구조선 밀도 가장 낮음	· 암반지하수 개발시 정밀조사 필요	-	-
	CACAB	-	-		

5.1.2 개선대책

가. 지하수 수질오염 방지 대책

지하수 수질 오염을 방지하기 위한 대책은 오염원관리에 의한 오염물질의 지하 침투방지 대책, 염수침입에 의한 지하수 오염방지 대책, 폐공이나 불량 시공된 관정 등과 같은 오염물질 이동경로의 차단 대책, 오염된 지하수의 정화 대책 등으로 구분할 수 있다. 화성시의 지하수, 지질 및 토양특성을 고려할 때 다음과 같은 지하수 수질오염 방지 대책이 요구된다.

- o 지하수 오염 취약성이 큰 지역을 지하수자원 보전지구로 지정하여 오염유발 시설물의 입지를 제한
- o 소규모 오염물질 배출시설의 관리
- o 축산폐수 배출시설의 관리
- o 농약, 비료 사용량 감소에 의한 비점오염원 관리
- o 해수침입우려지역을 지하수자원 특별관리 구역으로 설정하여 지하수 이용량을 적정수준으로 유지하고 개발심도를 제한
- o 지하수 오염방지시설이 불량하거나 불량 시공된 관정의 보수를 통한 오염경로 차단

1) 소규모 오염물질 배출시설의 관리

잠재오염원중 오수·분뇨및축산폐수처리에관한법률, 토양환경보전법, 수질환경보전법 등에서 정하는 허가 또는 신고대상 시설은 오염방지시설을 설치하고 있으나 다른 시설들은 오염방지시설이 설치되어 있지 않아 이들 시설에 의한 지하수 오염이 예상된다.

화성시에 분포하는 소규모 오염배출시설로는 소규모 축사, 비닐하우스 등의 난방을 위한 소규모 유류탱크 등이 있으며, 이들 시설에 대한 최소한의 오염방지시설을 설치토록 하여 지하수 오염을 예방하고, 행정기관이 정기적인 점검을 실시하여 오염물질의 누출 및 배출여부를 감독하여야 한다.

2) 축산폐수배출시설의 관리

축산폐수는 발생량에 비해 오염부하량이 매우 큰 폐수로 미처리시 토양오염 및 지하수 수질악화를 초래하며 악취 및 해충피해 등으로 쾌적한 생활환경을 해치는 주요 오염원의 하나로 인식되고 있다.

화성시 축산폐수배출시설은 대부분 톱밥발효돈사, 톱밥발효우사 및 교반식톱밥발효시설을 이용하여 축산폐수를 처리하고 있으며, 축산업의 영세성으로 축산폐수처리시설 설치농가 및 처리시설의 처리율이 낮아 실제적인 오염저감효과는 크지 않은 실정이다.

현행 국내법에서는 축산폐수의 관리 또는 방류수 수질기준 등이 호소·하천 등의 공공수역의 수질관리를 위해 그 기준이 설정되어 있어, 2001년 남양동지역 조사시에는 가뭄으로 인한 하천수량의 현저한 감소로 하천바닥이 축산폐수의 부유물로 피복 되어 악취를 발생시키기도 하였다.

화성시 축산폐수배출시설의 관리대책은 다음과 같다.

- ㅇ축산관련법규의 강화 또는 자치법규 제정
  - 갈수기 및 가뭄발생시 호소/하천의 수량변동에 따른 자정작용을 고려한 배출기준 강화
- ㅇ축산폐수 공공처리시설의 확대보급
- ㅇ가축분뇨의 퇴비화 장려
  - 축분, 톱밥 등의 퇴비원료 및 생산비료의 유통구조 개선
- ㅇ비용이 경제적이고, 유지관리가 용이한 축산폐수처리시설의 개발 및 보급
- ㅇ지하수오염 취약성이 높은 지역에 대한 축산폐수 배출시설 설치 제한
  - 지하수자원 보전등급별 제한이나,
  - 오·폐수 관련시설물의 설치 또는 이미 설치된 시설물들에 의한 상대적인 지하수 오염취약성 정도를 평가하고 오염의 가능성을 예측하는데 사용되어지는 DRASTIC과 같은 간접평가법을 도입하여 시설물 설치에 따른 허가·신고사항에 반영
  - 축산폐수 및 처리시설에서의 처리수 방류(또는 배출)의 원칙적 금지
- ㅇ가축사육두수가 밀집된 지역에 대해서는 토지면적당 가축사육 두수 허가제를 신중히 검토하여 오염가능성을 분산시킴
  - 단위면적당 총질소(T-N) 원단위 오염부하량도 이용

3) 비료 및 농약에 의한 오염방지대책 강구

지하수중의 질산성질소성분은 축산폐수뿐만 아니라 화학비료에서 유래된 비율도 상당히 높은 것으로 나타나고 있다.

농약은 그 특성상 지하수오염 위해 성분이 매우 크기 때문에 오염의 징후가 발견된 이후에는 그 지역 전체의 지하수 사용이 불가능하게 되는 매우 심각한 오염물질로 특히 관리가 요구되는 물질이다.

비료 및 농약에 의한 오염방지대책은 다음과 같다.

- o 지하수환경에서 오염물질이 나타내는 특성분석과 오염물질에 대한 지하수환경의 취약성분석에 따른 농약과 비료의 사용지침을 마련하여야 한다.
  - 현재 미국 EPA 등 외국에서 지하수 수문환경의 오염가능성 우선 순위 평가에 사용되는 DRASTIC(또는 PESTICIDE index)등을 이용하거나, 화성시의 지하수환경에 적합한 오염가능성 평가법을 연구/개발하여 적용
  - 농약/비료 종류별 지하수 오염취약성 특성분석에 대한 연구
  - 토양특성별, 지질매체별 지하수 오염취약성 정도에 대한 연구
  - 농약/비료 종류별 사용가능 종류, 양에 대한 사용지침 마련
- o 농약/비료 사용에 대한 자치법규 및 관리지침 마련이 필요하다.
  - 농약 판매 등록시 거쳐야 하는 오염위험성 평가법 기준설정 및 파악결과에 따른 허가
  - 오염위험성이 높은 농약의 판매 및 사용금지 조치
  - 비료의 시비기준 명시
  - 지역별 지하수의 질산성질소 평균함유량에 따른 비료사용량 제한
- o 농가에 대한 주민 홍보 및 교육을 지속적으로 실시하여야 한다.
  - 화학비료 및 농약 과다사용에 다른 지하수 오염의 심각성 홍보 및 교육
  - 특히 수질오염지역에 대한 주민교육 및 홍보활동을 강화하여 사용량을 점차 억제시킴

4) 해안변지역 지하수 개발심도 제한

- o 해안변 지역에서의 염수침입에 의한 수질악화를 방지하기 위해 지하수 부존형태별 적정 개발심도의 기준을 마련하여 시행함이 필요하다.
- o 해수침입 우려지역에 대하여 지하수자원 특별관리구역으로 설정하여 지하수 개발심도 제한과 지하수 개발/이용에 대한 관리를 지속적으로 하여야 한다.

5) 부실관정을 통한 지하수 수질오염 방지대책

수질조사결과 관정 시설에 대한 그라우팅 등 오염방지 의무 규정이 적용된 지하수법 시행 이후 개발된 관정의 수질이 시행 이전 관정에 비하여 양호한 것으로 조사되었다. 그러므로 노후화 또는 부실관정을 통한 지하수수질 오염을 방지하기 위하여는 다음과 같은 사항들이 개선되어야 할 것이다.

- o 기존부실관정에 대한 대책
  - -수질검사를 강화하여 사용목적별 수질기준에 적합지 않은 관정에 대하여는 지하수시설물 보수명령으로 보수기간에 대한 일정기간 유예기간을 두며 불응시나 보수후 수질검사 결과 기준치 미달 관정에 대하여는 원상복구 처리하여야 함
  - -지하수이용허가 연장신청시 수질검사 결과 기준에 미달된 관정에 대하여는 이용허가연장불허 조치 하여야 함
- o 신규 개발관정에 대한 대책
  - -완벽한 지하수오염방지시설 설치와 지표오염물질 유입방지를 위한 그라우팅시설의 설치를 위하여 지하수개발표준시방서 기준설정과 감리제도 도입으로 지하수수질오염을 사전에 예방하여야 함

나. 지하수의 효율적인 개발·이용 대책

1) 지하수 개발·이용 제도의 개선

- o 현행 지하수법에 허가대상 관정은 지하수개발·이용허가의 유효기간을 5년으로 하고 연장허가를 받도록 규정하고 있으나, 신고대상에 대해서는 신고후 사용기간에 대한 제한규정이 없으므로 관정 사용 용도별로 사용기간을 부여하고 계속 사용하고자 할시 재이용 신고를 받도록 함으로써 지하수 시설물 관리는 물론 지하수 환경 및 보전/관리 측면에서 필요한 사항으로 판단된다.
- o 특히 민간인이 사용하는 사설관정의 경우 현재는 최초의 이용신고로 별도의 행정기간의 규제 없이 무분별하게 장기간 사용하고 있어 지하수 보전/관리를 체계적으로 하기 위한 법적 장치로 용도별/목적별에 따른 이용기간의 제한이 필요하다.
- o 또한 지속적인 지하수정보화(DB/GIS) 추진을 위하여 지하수개발·허가/신고시

관정 위치에 대한 GPS측량성과를 첨부 제출토록 하여 NGIS와 연계관리가 가능하도록 개선할 필요가 있다.

o 지하수영향조사서 작성대상 개선(안)

현행 지하수법상 지하수개발 이용/허가 관정에 대하여 지하수영향조사서를 작성토록 하고 있어, 작성대상이 아닌 소규모 관정은 굴착심도와 관련 없이 신고에 의해 쉽게 허가됨에 따라, 소규모 사설 관정 급증의 원인이 되며, 또한 공동이용 형태가 이루어지지 않고 있으므로 지하수영향조사서 작성대상 및 관련사항을 조정하여 제도적으로 개선함으로써 요건을 강화하여야 할 것으로 판단된다.

o 기대효과

- 모든 사설관정에 대한 지하수 시설물 불량관정에 대한 정비 및 규제가 가능하다.
- 사용이 불필요한 방치상태의 관정에 대한 행정조치가 가능하다.
- 관정감소 효과 및 필요시 인근 관정 공동이용을 가능케 할 수 있다.
- 지하수 환경오염예방 및 효율적인 지하수 보전/관리가 가능하다.

2) 오염원에 따른 관정개발 위치 규제

지하수개발위치가 지하수의 오염을 유발시킬 수 있는 하수관이나 특정오염원(정화조, 오/폐수배출시설 등) 등의 점오염원 위치로부터 일정거리 이내지역에 대한 개발을 제한함으로써 지하수 오염을 사전에 예방하여야 한다.

3) 지하수개발/이용시설공사의 감리제 도입

시공부실로 인한 지하수오염을 방지하기 위해 관정개발/시설변경/원상복구시 자격 있는 감리기관으로부터 감리를 받도록 의무화함으로써 행정기관의 지하수의 인력부족해소와 효율적인 지하수관리를 수행할 수 있다.

부실감리를 방지하기 위해 감리기관의 자격요건 및 등록취소 요건 등을 강화하여 시행함으로써 시공부실을 사전에 예방하여야 한다.

5.2 계획수립

5.2.1 지하수관리방안

가. 지하수관리 기본방향의 전환이 요구됨

ㅇ지하수는 국민의 공동자산으로 보전·관리하기 위하여 현재의 공개념 관리체제를 확고히 하고 향후 수자원의 완벽한 보전관리를 위한 「공수(公水)적 관리체계」의 기틀을 마련하여야 하며, 국민의 의식전환을 위한 지속적인 홍보활동 등의 추진이 요구됨

ㅇ 지하수의 공수와 공개념의 구분

-공수(公水) : 지하수를 토지소유권과 분리된 별개의 공공의 자원으로 규정하고 소유권을 국유로 하여 사적인 개발·이용 규제(하와이주, 이스라엘, 이란, 독일 등)

-공 개 념 : 지하수를 토지소유권의 일부로 보고 그 개발·이용에 일정한 공적 규제를 가하는 것(오스트리아, 영국, 우루과이, 칠레 등)

ㅇ공수적 관리의 근거

-지하수는 특정 토지에 공정되지 않고 수문순환을 계속하는 공공의 자원이고, 적절한 보전·관리 없이는 고갈되고 마는 유한한 자원이므로, 국가는 헌법 제120조에 근거하여 행정적 규제를 가할 수 있으며(지하자원의 채취개발, 이용에 관하여 특허제도)

-현행 하천법 제3조는 지하수와 같은 순환계의 수자원인 지표수 하천에 관하여 "하천은 이를 국유로 한다"고 명백히 규정하고 있으므로, 지하수의 소유권을 국유로 선언하는 입법정책을 채택한다 하더라도 지하수의 특성상 토지소유권의 본질적 침해에 해당하지 않는 정당한 입법이 될 수 있을 것으로 판단되며 외국의 입법례에서도 지하수의 소유권을 국유로 선언하고 일반적 금지를 채택한 입법례가 발견되고 있는 것은 이를 간접적으로 증명하고 있음.

-따라서, 지하수 소유권을 국유로 선언하는 입법정책을 채택하여 지하수를 국가 전체 수자원의 일부로 보고 국유로서 관리할 책임을 국가에서 부여함으로써,

-공적자원에 대한 지하수 개발·이용 행위 및 지하수 오염행위 규제 등 양과 질에 대한 체계적 관리가 가능해지고, 지하수이용에 대한 사용료 부과의 법률적 근거가 마련됨으로써 지하수 관리에 대한 투자 효율화의 극대화를 기

대할 수 있음

-그러나 지하수의 소유권을 국유로 확정하는 입법에 있어 토지소유권자의 기득권을 본질적 및 급진적으로 침해하는 입법은 헌법상 과잉금지원칙의 위반으로서 위헌소지가 있으므로 타법률과의 상호관계에 대한 정밀분석과 일정한 한계를 부여하는 것이 필요하므로 현재 지하수의 공개념 관리체제를 강화하고, 주민의식 전환을 위한 지속적인 교육 및 홍보 활동으로 향후 공수적 관리체제에 대한 준비가 필요할 것임

나. 지하수 과다개발·이용지역에 대한 특별관리방안 수립 필요

ㅇ화성시 9개 소유역의 지하수이용량 대 적정개발가능량 비율은 평균 55.2% 수준이며, 이중 75%를 초과하는 유역은 HS-6 유역 및 HS-7 유역이다.

ㅇ상기 2개 유역은 기상이변에 의해 가뭄이 장기화되면 이용량대비 함양량 부족에 따른 수위강하와 지하수이용량 증가에 따른 국지적인 지하수 장애 발생이 우려되므로 이에 대한 특별관리방안이 필요함

다. 소규모 사설관정개발 급증에 대한 대책 마련 필요

ㅇ1일 양수능력이 일정규모이하(생활용 100m^3/일, 농업용 150m^3/일)의 지하수개발에 대해 신고에 의해 개발이 가능하여 지하수영향조사 대상에서 제외되므로 소규모 사설관정 개발이 급증하는 현상이 발생하고 있어 지하수 관정 관리를 어렵게 하는 요인이 되고 있음

-소규모 사설관정 이용허가 요청에 대한 검토와 규제방안에 대한 제도적 장치가 필요함

-조사지역의 관정 7,461개소 중 허가는 2%인 131개소이며, 나머지 98%는 신고 관정

ㅇ지하수영향조사 대상을 조정하여 대수층의 능력에 맞는 지하수개발·이용이 이루어질 수 있도록 제도적 보완이 요구되고 있음

-지하수영향조사 작성대상, 조사항목, 심의방법 등 개선 필요

라. 이미 개발된 관정의 이용체계 개선 필요

ㅇ지하수 신고·이용허가제도 시행에 따른 지하수 관정 소유주의 독점적·배

타적 이용으로 지하수 이용의 불공평을 초래하고 있으며, 공동자산개념이 희박하여 이용량이나 공동이용 등을 고려하지 않고 우선 개발함으로써 과다개발을 초래하고 있음

ㅇ기 개발관정의 이용효율을 높이고 관정의 공동이용 활성화 방안을 강구하여 신규 관정개발 요인을 감소하여야 함

마. 지하수오염방지를 위한 관정시공기준과 시공감리제 도입 필요

ㅇ해안지역은 염수침투에 의하여 지하수수질 부적합 확률이 높은 특징이 있으므로 지역여건에 적합한 관정 시공기준 마련이 필요함

ㅇ관정시공 전 과정을 공무원이 지도·감독할 수 없으므로 관정시공 감리제도를 도입하여 시공기준 및 설계대로 시공할 수 있는 제도 마련이 필요함

ㅇ법 제정 이전에 개발된 관정에 대해서는 일정기간내 보호시설 등 오염방지시설을 설치토록 주민계몽 및 행정지도하여 부실 관정을 통한 지하수오염을 예방하여야 함

바. 지하수부존 및 산출 특성의 과학적 규명

ㅇ기상·수문지질특성을 고려한 「물수지분석 모형」 개발과 정확한 적정이용가능량 산정 필요

ㅇ오염물질의 거동·확산 등 지하수오염 메카니즘 파악 및 오염지하수 복구방안 마련

사. 지하수 전담조직 및 인력 확충

ㅇ효율적인 지하수의 보전·관리를 위하여 지하수조사·연구분야 전담팀 구성이 요구됨

ㅇ지하수관리를 위한 「지하수담당」 직제 신설이 필요함

5.2.2 보전·관리계획

가. 지하수 오염방지를 고려한 토지이용 원칙의 정립

ㅇ지하수오염 취약성 정도에 따른 등급설정과 등급별 토지이용의 설정 기준 정립으로 효율적인 지하수의 수질보전을 기하여야 함

나. 광역용수 공급체계 구축

ㅇ공공적·총량적 지하수 관리체계의 효율성 확보

ㅇ소규모 관정개발을 지양하고 지하수 공동이용의 원칙 확립

ㅇ용수공급체계의 불균형 해소

다. 수자원개발·이용의 다원화

ㅇ21세기 물부족 사태에 적극 대처하고 한정된 지하수의 수량보전을 위하여 지표수-지하수 연계이용 체제 구축

라. 지하수보전·관리에 소요되는 재원확보

ㅇ지하수보전·관리에 소요되는 재원확보와 이용자의 지하수 보전의식을 고취하기 위하여 지하수원수대금부과·징수에 대한 법적 근거 마련

ㅇ단, 농·축·수산·임업 등의 1차 산업과 공공관련 목적용의 지하수이용은 국가 정책 사업임을 감안하여 부과대상에서 면제 등의 고려가 요구됨

마. 지하수 환경조사의 지속적인 추진

ㅇ수문지질 환경에 대한 지속적인 조사추진으로 지하수부존 실체 규명으로 지하수관리의 과학적 관리기반 구축

바. 지하수정보종합관리시스템 구축운영

ㅇ화성시 전역에 대한 GIS 구축확대로 생태계, 경관, 보전·관리와 연계한 종합적인 지하수정보의 체계적 관리

사. 지하수보전 교육·홍보활동 강화

ㅇ주민의 공동자산인 지하수의 중요성과 보전의 필요성에 대하여 교육과 대중 홍보매체를 통한 지속적인 홍보활동 강화로 지하수의 공개념 확립과 향후 공수적 관리체제에 대한 주민의식 전환의 기반 구축

5.2.3 추진계획

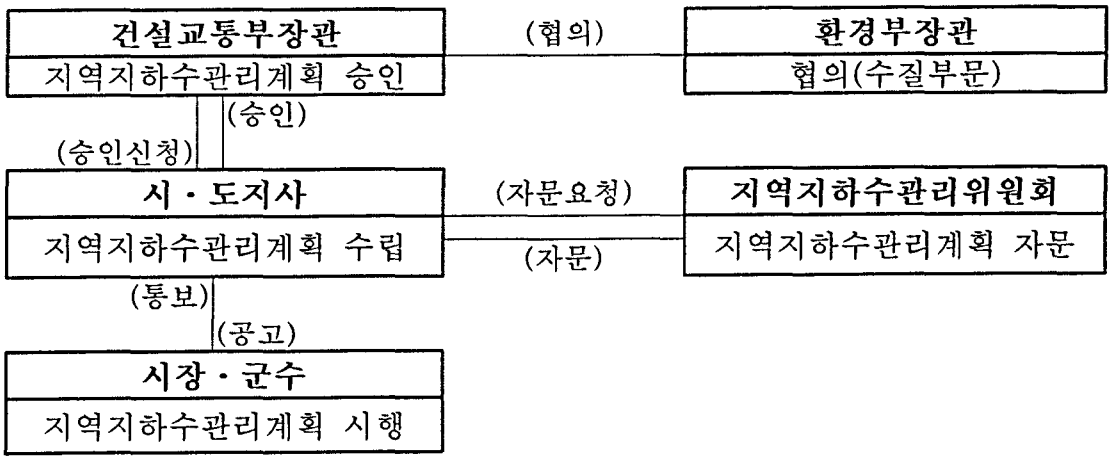
최근 빈번한 기상이변, 지표수개발의 한계, 수질오염 등으로 농촌지역 지하수 개발수요가 지속적으로 증가하여, 농업용으로 이용하는 지하수 비중이 전체이용량의 52%를 차지하고 있으며, 농업·생활겸용의 경우 54%에 달하고 있다(2001, 지하수조사연보, 건교부).

또한, 농촌지역의 용수수요도 논용수 외에 생활용수, 밭용수, 축산용수, 공업용수 등 다양해지고 있을 뿐만 아니라, 도시화·산업화로 잠재오염원 증가, 농약·비료 과다사용에 의한 수질 악화 등 농촌지역 지하수의 질적·양적 환경이 위협받고 있으며 주로 암반지하수를 개발·이용하므로 폐공 발생율이 높고 오염이 되었을 경우 정화·복원이 어려운 실정이다.

'94년 지하수법 제정이후 '97, '99, 2001년의 3차례에 개정으로 개발·이용 및 수질기준이 대폭강화 되었고, 국내 지하수자원의 중장기 종합관리대책으로 '96년 12월에 "지하수관리 기본계획"을 수립하였으며, 수자원장기종합계획(2001. 7)과 연계하여 2002년 12월에 보완되었다.

지하수관리기본계획의 연도별 추진계획에는 2002년부터 2011년까지 364백ha(194억원)에 대한 수맥조사와 농촌지하수관리조사 257지구(380억원) 및 해수침투조사관측망105개소(15억원)의 설치·운영를 포함한 지하수 조사·개발 및 보전관리 부문과 지하수 수질관리 및 정화 부분에 대한 추진계획을 포함하고 있다.

지하수법에 의한 법정 계획으로는 국가의 지하수관리 기본계획과 연계하여 시·도 지사가 수립 시행하는 지역지하수관리계획 수립·시행이 있으며 계획의 수립 절차는 그림 5-2-1 같다.



<그림 5-2-1> 지역지하수관리계획의 수립절차

지하수관리기본계획의 연도별 추진계획에 근거하여 화성시 지하수 개발·이용 및 보전·관리를 위한 지하수사업의 연차별 추진계획을 요약하면 표 5-2-1과 같다.

<표 5-2-1> 화성시 지하수 조사·개발 및 보전관리 부문 사업 추진계획

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th colspan="10">연 도</th></tr>
<tr><th>'02</th><th>'03</th><th>'04</th><th>'05</th><th>'06</th><th>'07</th><th>'08</th><th>'09</th><th>'10</th><th>'11</th></tr>
<tr><td rowspan="2">지하수 기초조사</td><td>정 밀 지하수조사</td><td colspan="5"></td><td colspan="5">화성시외 35개 시·군 20.8천㎢</td></tr>
<tr><td>광 역 지하수조사</td><td></td><td colspan="2">한강권</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">지하수개발조사</td><td colspan="5">조사 및 설계</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="7">개발·운영</td></tr>
<tr><td>지역지하수 관리계획</td><td>경기도 화성시</td><td colspan="3">도별 세부추진계획 수립</td><td colspan="7">선정된 시·군지역에 대한 계획 수립</td></tr>
<tr><td colspan="2">농촌지하수 관리조사</td><td colspan="2">화성시 687㎢</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="2">수맥조사</td><td colspan="10">전국일원 364백ha</td></tr>
<tr><td rowspan="4">지하수 관측망</td><td>국가지하수 관 측 망</td><td colspan="3">전국 118개소 설치</td><td colspan="7">전국 320개소 운영·관리</td></tr>
<tr><td>보조지하수 관 측 망</td><td>지침 마련</td><td colspan="2">계획 수립</td><td colspan="7">시·군별 30~50개소 (전국 10,000개소 설치 및 운영)</td></tr>
<tr><td>해수 침투 조사관측망</td><td colspan="4"></td><td colspan="6">화성시 해안변 2개소 설치 및 관측망 운영</td></tr>
<tr><td>수질측정망</td><td colspan="10">운영·관리</td></tr>
</table>

지역지하수관리계획 수립·시행 계획은 특별시장·광역시장은 2005년까지 관할지역 전체에 대하여 세부적인 지역지하수관리계획을 수립 완료하고 필요시 수정·보완하며, 도지사는 2004년까지 지역지하수관리계획이 필요한 시·군 선정 등 지역지하수관리계획 수립 추진방안을 마련하고, 2011년까지 연차적으로 선정된 시·군에 대한 지역지하수관리계획을 수립토록 되어 있다.

지하수 관측망은 관측 대상과 관측망 운영 목적에 따라 국가 지하수 관측망, 보조 지하수 관측망, 지하수 수질측정망 및 해수침투 조사관측망으로 구분된다.

건설교통부에서 운영하는 국가 지하수 관측망은 전국을 대상으로 지역 또는

유역 단위로 대표지점을 선정하여 지하수의 수위, 수질 등의 변동상황을 지속적으로 감시관측 하며 지하수위, 전기전도도, 수온 등의 항목은 자동 관측 장비를 이용하여 매일 1회 이상 관측한다.

지역지하수관측시설(보조관측망)은 국가 지하수 관측망과 연계하여 지역별로 주요 관측 대상 지점에 관측정을 설치하여 지하수 수위·수질 특성 자료를 획득하는데 있으며, 관측항목은 지하수위, 전기전도도, 수온 및 수질로 지하수위, 전기전도도, 수온 등의 항목은 매월 1회 이상 정기적으로 관측한다.

국가관측망과 보조관측망은 지하수의수질보전등에관한규칙 제6조에 의한 지하수 수질기준항목에 대하여 년 2회 이상 정기적인 수질 분석을 실시하며, 필요시에는 주 양이온, 음이온, 용존산소, 총 고용체 등 배경 수질 항목에 대한 수질 분석을 추가로 실시한다.

지하수 수질측정망은 환경부 주관으로 지방환경관서와 시·도를 통하여 전국의 지하수오염이 우려되는 지역을 대상으로 지하수오염 현황 및 오염도 변화추세 파악하고 토지이용 용도별 지하수 오염 특성을 조사하여 토지용도지역에 적합한 지하수 오염 예방 및 정화계획 수립을 위한 정책자료로 활용하기 위하여 운영하고 있으며, 2001년 기준 산업단지, 폐광산지역, 매립지, 유류저장시설 설치지역 등 오염우려지역 781개소와 농업지역, 주거지역 등 용도지역 1,184개소 등 1,965개소를 지하수수질 측정망으로 지정하여 관리하고 있다. 조사항목은 특정유해물질 10종과 일반오염물질 5종이며 상반기와 하반기에 각각 1회씩 조사하고 있다.

해수침투조사 관측망은 농림부 주관으로 농업기반공사에서 대행하여 설치·운영하고 있으며 해안 및 도서지역의 지하수위 및 수질에 대한 장기관측을 통하여 지하수 개발·이용으로 인한 해수침투 영향을 사전에 조사하여 피해예방을 수립하고 합리적인 지하수 이용관리계획을 수립하고자 수행하는 사업으로 2002년 현재 94개소(제주도 56개소, 육지 해안지역 38개소)를 설치·운영중이며 매 1시간 단위로 지하수의 수위, 수온, 전기전도도를 측정하고 있고 2011년까지 전국에 192개소 설치할 계획이다.

화성시에 있는 기존 지하수 관측망은 지방환경청 및 시·도에서 조사한 지하수수질관측망 13개소가 있다(표 5-2-2).

농촌지하수관리조사에서 지하수 모니터링은 강우에 따른 수위변화, 수질의 시간적 변화상태 등 재해발생에 대한 조기경보 기능과 지하수함양량 산정 등 지하수의 물리화학적인 특성규명, 지하수관리계획에 대한 성공여부의 평가수단으로 이

용된다. 지하수 모니터링은 자동 및 수동관측이 있으며 각 관측지점에 대한 설정은 지하수상태, 장애발생정도, 위해성정도 등에 따라 관측위치 및 관측대상을 지역특성에 적합하게 산정하여야 한다. 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.

화성시 농촌용수구역 관측망 설치계획은 기설관정을 이용하여 자동관측망 5개소 및 수동관측망 9개소를 계획하고 있다. 우정면에 위치할 자동관측망은 염수피해가 우려되는 지역의 수질을 관측하고, 남양동의 경우는 강우에 따른 지하수위 및 수질변동을 관측하며, 송산면은 소규모 사설관정 급증에 의한 관정밀집지역의 지하수위 및 수질변동을 관측하고, 태안읍과 팔탄면은 일대의 많은 공장들과 축사에 의한 수위강하 및 수질오염을 관측할 계획이다(표 5-1-1, 표 5-2-2).

<표 5-2-2> 화성시 농촌용수구역 지하수 관측망 현황 및 설치·운영계획

구 분	기존 지하수 관측망 현황				농촌용수구역 관측망 설치계획		비고
	국가지하수 관측망	보조지하수 관측망	지하수수질 측정망	해수침투 조사관측망	자동관측	수동관측	
합계	-	-	13	-	5	9	
태안읍	-	-	4	-	1	-	
봉담읍	-	-	1	-	-	1	
매송면	-	-	-	-	-	1	
비봉면	-	-	-	-	-	1	
마도면	-	-	-	-	-	1	
송산면	-	-	-	-	1	-	
서신면	-	-	-	-	-	1	
팔탄면	-	-	-	-	1	-	
장안면	-	-	-	-	-	-	
우정면	-	-	3	-	1	-	
향남면	-	-	3	-	-	1	
양감면	-	-	-	-	-	1	
정남면	-	-	1	-	-	1	
동탄면	-	-	1	-	-	1	
남양동	-	-	-	-	1	-	

5.3 종합 결언

1. 『화성시 농촌지하수관리조사사업』의 목적은 농촌지역에 대한 지하수 관리를 위하여 기존시설에 대한 자료 수집분석 및 현황조사, 지하수 수리 및 수질 조사·분석, 관정 및 폐공자료 등을 체계적으로 종합정리 및 정보화(DB/GIS)하여 일정 수문단위의 농촌지하수자원 관리를 총량 관리할 수 있는 토대를 형성하고, 지하수 수질·수량 모니터링을 실시하여 농촌지역의 지하수 재해를 사전 예방하며, 지역지하수관리계획 수립의 기초자료를 제공하여 합리적이고 계획적인 지하수개발계획 수립과 지속 이용가능한 지하수자원으로 최적관리 할 수 있도록 함에 있다.

2. 화성시는 한반도 중서부에 속하는 경기도의 서남 해안을 끼고 위치해 있으며 육지로는 7개시를 접하고 바다로는 남쪽의 충청남도와 경계되며 서쪽의 옹진군과 접하여 선감도, 대부도를 마주하고 있다. 행정구역상 3개읍 11개면 1개동으로 구성되어 있으며 총면적은 688㎢이며 이중 농지면적이 267㎢로서 39%를 차지한다.

3. 조사지역은 낮은 구릉지대에 둘러 쌓여있고 서북쪽은 서해바다로 동쪽에서 서쪽으로 짧은 유로가 형성되어 있으며 서해안 대단위 간척지로 남양방조제, 시화방조제 및 시공중인 화옹방조제가 존재한다.

4. 조사지역 인근 수원기상대의 1964~1996년 동안의 연평균 기온은 11.6 ℃이며, 강수량은 전국 평균강수량 1,274mm보다 다소 높은 1,289.6mm이며, 상대습도는 72.7%, 풍속은 1.5m/s, 계기증발산량은 1,051.4mm로 조사되었다.

5. 조사지역의 주요 하천은 발안천외 18개이며 모두 지방2급 하천으로 분류·관리되고 있다. 서쪽에 위치한 서신면, 마도면 및 송산면은 주요하천이 없고 유역면적이 작고 유로 연장이 짧은 소규모 하천들이 수지상 수계를 형성하며 서해로 유입된다.

6. 본 조사지역의 토지이용은 전체면적 68,765.2ha의 40%인 27,764.8ha가 임야로 이용되고, 농경지(전·답·과수원)는 전체면적의 39%인 27,105.4ha를 차지한다.

7. 본 조사지역의 유역설정은 지형도의 수계분포, DEM 자료 및 지하수계의 분수령 등을 고려하여 총 9개의 소유역으로 구분하였고, 물수지분석, 용수이용현황, 오염예측현황 및 지하수자원 평가의 기초단위로 설정하였다.

8. 2001년말 현재 화성시의 상수도시설용량은 164,400m^3/일, 급수인구 82,524명, 급수량 31,545m^3/일, 1인당 1일 급수량은 382ℓ로써 경기도 전체 333ℓ에 비해 다소 높게 나타나고 있으며, 상수도 보급률은 38.4%로 매우 낮은 편이다.

9. 간이·전용상수도 급수시설은 총231개소이며 이용 인구는 간이상수도가 17천명(7.9%), 소규모급수시설 12천명(5.6%), 전용상수도 54백명(2.5%), 이 밖에 우물 등이 98천명(45.6%)으로 상수도 보급률이 낮아 우물·샘 등을 이용하는 인구 비율이 높게 나타나고 있다.

10. 지하수 행정자료를 이용하여 분석한 조사지역의 지하수 총이용량은 7,461개소, 57,852천㎥/년으로서 화성시 농업, 축산, 생활, 공업, 하천유지용수 등을 종합한 총 용수 수요수량 대비 약 21%에 해당하며, 용도별로 살펴보면 생활용 5,099개소, 47,183천㎥/년으로서 81.6%, 공업용 250개소, 3,431천㎥/년으로서 5.9%, 농업용 2,053개소, 6,360천㎥/년으로서 11.0%, 기타 59개소, 877천㎥/년으로서 1.5%를 차지하는 것으로 나타났다.

11. 유역별 단위면적당 지하수이용량이 가장 큰 곳은 태안읍을 포함하는 HS-7 유역과 팔탄면을 포함하는 HS-6 유역으로 각각 149.1과 118.4천㎥/년/㎢이며, 매송면을 포함하는 HS-5 유역이 55.0천㎥/년/㎢의 가장 낮은 단위면적당 지하수이용량을 갖는 것으로 조사되었다. 유역별 관정개발밀도가 가장 높은 지역은 HS-8과 HS-1 유역(28.2, 25.9 공/㎢)이며, HS-4와 HS-5 유역이 가장 낮은 관정밀도인 4.9공/㎢를 보인다.

12. 잠재오염원조사결과 점오염원은 축산폐수배출시설물 1,047개소, 폐수배출시설물 717개소, 오수처리시설물 1,579개소, 쓰레기매립장 8개소, 유류저장시설물 291개소가 분포하고 있으며, 비점오염원은 화성시 면적의 39%에 해당하는 농경지와 현재 운영중인 4개의 골프장 등이 있다.

13. 조사지역의 지역별 오염정도를 파악하기 위하여 축사, 인구, 토지이용에 따른 단위면적당 오염발생부하량을 파악한 결과 가장 부하량이 큰 지역은 남양동이고 가장 작은 지역은 동탄면이다. 가축에 의한 단위면적당 오염발생부하량이 가장 크게 나타나는 지역은 남양동이고, 인구 및 토지이용에 의한 단위면적당 오염발생부하량은 태안읍에서 가장 크게 나타나고 있다.

14. 조사지역의 지질은 하부로부터 선캠브리아기 호상편마암, 규암, 편암류, 화강편마암, 우백질편마암, 반상변정질편마암과 쥬라기 섬록암, 화강암류, 백악기 사암 및 이암 그리고 제4기 퇴적물로 구성되어 있다.

15. 조사지역의 지하수유동 및 오염취약성과 관련되는 구조선을 추출하기 위하여 프랑스의 SPOT 위성자료와 수치지형도의 DEM자료를 이용하였으며, 구조선 방향빈도에 의한 주 구조선의 발달방향은 N25~45E와 N25~55W의 방향으로 분석되었다.

16. 조사지역의 지하수 개발현황 및 지하수 이용현황에 대한 기존자료를 토대로 조사지역에 분포하는 관정 4,771개소에 대한 조사공의 위치, 표고, 개발심도, 지하수위, 대수층 유형, 사용용도, 현장 및 정밀수질특성 및 수리특성 등을 조사하였다. 지하수위, 현장수질, 질산성질소는 갈수기(2001년 6월, 2002년 4~6월, 2003년 4~6월)와 풍수기(2001년 9월, 2002년 8월, 2003년 8월)로 구분하여 일제조사를 실시하였다.

   o 갈수기와 풍수기에 조사한 충적대수층 평균 지하수두는 각각 17.2m와 18.5m이며, 암반대수층 평균 지하수위는 각각 27.5m와 27.9m로 조사되었다.

o 지하수위(지표기준) 조사자료를 바탕으로 지하수두(해수면기준) 등고선도를 작성하여 지하수 함양 및 배출지역을 구분할 수 있었다. 지하수의 함양이 이루어지는 곳은 HS-3(남양동, 북양동), HS-6(봉담읍 대부분 지역), HS-9 (동탄면 동쪽지역) 유역이며, 배출지역은 주로 조사지역의 서쪽인 서해안으로 나타났다.

o 지하수두 등고선도를 바탕으로 조사지역의 지하수 유동방향도를 작성하였다. 지역적인 차이는 나타나나 전반적인 지하수 유동방향은 동고서저의 지형영향에 의하여 동쪽에서 서쪽으로 지하수 유동이 일어나고 있음을 파악하였다.

o 조사지역 지하수의 수온은 12.2~24.0℃의 분포를 보인다. 충적지하수는 갈수기에 평균 16.5℃, 풍수기에 평균 17.6℃의 온도를 보이고, 암반지하수의 경우 갈수기에는 평균 17.4℃, 풍수기에는 평균 17.1℃의 온도 분포를 보인다.

o 조사지역 지하수의 수소이온농도(pH)는 4.2~9.2(충적 4.2~8.4, 암반 4.8~9.2)의 범위를 나타내며, 갈수기와 풍수기 모두 암반지하수의 평균 pH가 0.5 높게 나타나며, 시기별로 갈수기의 pH가 풍수기보다 0.1 높게 나타난다.

o 조사지역 지하수의 전기전도도(EC)는 47~11,100 μS/㎝(충적 47~7,220, 암반 57~11,100)의 넓은 범위를 보인다. 갈수기(1,651개소)와 풍수기(1,177개소)의 전기전도도 평균값은 큰 차이를 보이지는 않으나 대체로 충적지하수가 암반지하수보다 높은 전기전도도 값(갈수기 충적 480, 암반 434 ; 풍수기 충적 478, 암반 409)을 보인다. 일반적으로 순수한 천층지하수의 전기전도도 값(300 μS/㎝ 이하)과 비교할 때 조사지역의 일부 지하수는 해수의 영향 혹은 인위적인 오염의 영향을 받은 것으로 생각된다. 특히 해수의 영향이 나타나는 곳은 HS-1, 2, 3 유역의 서해안 인접지역인 것으로 추정되며, 이 지역은 정밀조사 및 지하수 모니터링 등 계속적인 주의 관찰을 요한다.

o 조사지역 지하수의 질산성질소 함량은 충적지하수의 경우 0.1~47.1㎎/*l*, 암반지하수의 경우 0.1~58.3㎎/*l*의 값을 갖는 것으로 조사되었으며, 질산성질소 농도가 높게 나타나는 지점을 선정하여 질소안정동위원소의 자연존재비를 측정·분석함으로써 지하수 오염원별 특성을 규명하고자 하였다.

17. 질산성질소 함량이 높게 나타나는 곳을 주변환경에 따라 3그룹(영농지역, 주거지역, 축산지역)으로 분류하여 질소동위원소조사를 실시하고 주변환경에 따른 질산성질소의 질소오염원 구성비를 분석한 결과 영농지역은 화학비료의 영향이 76.5%, 관정 인근에 위치한 축사 및 생활하수의 영향이 23.1%로 나타났으며, 주거지역 및 축산지역은 동물성유기물인 축산분뇨와 생활오수의 영향이 각각 48.8%, 57.1%, 화학비료의 영향이 50.6%, 42.4%로 높게 나타나는 것으로 조사되어, 본 조사지역 지하수의 질산성질소의 오염원은 두 가지 이상에서 기원한 것으로 판단할 수 있다.

18. 지하수내 화학특성을 살펴보기 위하여 풍수기 일제조사시 282개소의 지하수에 대하여 양·음이온분석을 실시하였다. 조사지역 지하수의 수질유형은 Ca-HCO_3 type이 48.6%, Ca-Cl type이 42.64%, Na-Cl type이 4.3%, Na-HCO_3 type이 4.6%로 나타나, 바다의 영향이 기타 내륙지역에 비하여 높게 나타나고 있음이 조사되었다.

19. 조사지역 잠재오염원 분포를 고려하여 주변 농경지 토양에 대한 오염정도를 파악하고자 채취·분석한 20개 시료의 토양오염도 평균값은 토양환경보전법의 농경지 토양오염우려기준을 초과하지 않는 것으로 조사되었다.

   ○ 토양오염도조사 20지점중 수은(Hg)이 토양환경보전법상 오염우려기준을 초과하는 매송면 송라리 송라매립장 인근 답(5.83㎎/㎏)에 대해서는 정밀조사가 필요한 것으로 사료된다.

20. 조사지역의 대수층 수리특성을 알아보기 위하여 순간수위변화시험과 양수시험을 실시하였고 그 결과와 기 조사자료를 이용한 결과는 다음표와 같다.

유 역	충적대수층					암반대수층				
	충적층 두께(m)	K (m/일)	K (cm/초)	T (m^2/일)	S	개발심도 (m)	개발량 (m^3/일)	K (m/일)	T (㎡/일)	S
평균	11.9	2.43	2.81E-02	130.34	1.70E-01	196	201	0.04	6.02	1.46E-01
HS-1	11.4	1.26	1.46E-02	-	-	133	168	0.04	4.05	9.18E-03
HS-2	10.3	1.21	1.40E-02	-	-	411	160	0.02	10.67	1.47E-02
HS-3	10.6	5.59	6.47E-02	175.56	1.70E-01	199	140	0.03	3.20	6.27E-02
HS-4	15.6	1.37	1.58E-02	-	-	218	228	0.08	9.95	3.05E-02
HS-5	10.7	1.30	1.51E-02	-	-	126	129	0.03	3.61	7.53E-02
HS-6	12.4	3.78	4.38E-02	-	-	227	226	0.03	5.42	2.22E-02
HS-7	13.9	2.59	3.00E-02	-	-	146	150	0.02	8.00	1.11E-01
HS-8	14.3	2.89	3.34E-02	-	-	155	162	0.05	5.68	1.33E-01
HS-9	8.3	1.81	2.11E-02	85.11	-	150	450	0.03	3.64	8.58E-01

21. 조사지역의 지하수개발가능량 산정은 물수지분석과 지하수위변동곡선해석에 의한 평균함양량을 지하수개발가능량으로 보고 안전율 80%를 고려하여 구한 적정지하수개발가능량은 104,847천㎥/년이다. 조사지역의 적정개발가능량 대 지하수이용량은 평균 55.2%로 조사되었고, 특히 HS-6와 HS-7 유역은 그 비가 75% 이상으로 조사되어 지역적으로 적정개발가능량 대비 지하수이용량이 타유역보다 높은 것으로 나타났다.

22. 지하수오염취약성 및 오염예측 결과 전반적으로 수계주변에 발달한 충적층에서는 상대적으로 그 값들이 높게 나타나나 산악지역은 비교적 낮은 값을 보이고 있다. 유역별로는 HS-5 유역이 지하수오염가능성이 가장 높고, HS-2 유역이 가장 낮게 나타나며, 구조선밀도의 의한 영향을 고려한 변형된 지하수오염취약성도에서는 HS-7, HS-3, HS-5 유역 순으로 오염에 취약한 것으로 나타났다. 잠재오염원 부하량을 고려한 오염예측도는 발생부하량의 지역별 차이에 의해 HS-4, HS-7, HS-3 유역 순으로 오염에 취약한 비율이 높게 나타난다.

※ 상기 작성된 오염예측도는 오염가능성을 판단하기 위한 것이나 적용인자가 가축, 인구, 토지이용에 대한 발생부하량을 적용하였기에 실제 오염진행 상태와 상이할 수 있으며, 향후 정밀연구를 통한 타당성 검토가 요망됨.

23. 단위면적당 지하수이용량, 관정밀도도, 이용량/적정개발가능량 및 구조선밀도도 등을 종합하여 지하수 수량측면에서 판단할 때 현재 양호한 유역은 HS-5, HS-4, HS-03 유역이며, 불량한 유역은 HS-7, HS-6유역이다.

24. 오염취약성지수, 단위면적당 오염부하량, 점오염원밀도, 비점오염원 면적비 및 질산성질소 일조조사 평균값을 종합하여 지하수 수질측면에서 판단하면 HS-2, HS-1, HS-9 유역이 양호하며, HS-7, HS-8, HS-4유역이 문제시되는 유역이다.

25. 본 조사는 기 개발된 관정현황과 현장조사자료를 정보화하였으며 잠재오염원 분포, 수질현황, 오염취약성, 오염예측과 지하수 개발가능량 산정에 대한 조사를 실시하여 종합적인 지하수 지리정보시스템(GIS)을 개발하였다. 금번 조사자료를 기초로 지하수 모니터링을 실시할 예정이며 지하수 장애발생가능성 예측 및 재해 예방, 지역지하수관리계획 유형선정 등의 종합적인 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

    본 조사결과의 성과인 **'농촌지하수관리시스템'**과 향후 추진할 지하수모니터링을 활용하여 기 개발관정의 효율적인 관리와 개발예정지역에 대한 계획적이고 합리적인 지하수개발·이용을 유도함이 바람직할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설교통부, 1969~1999, 한국수문조사연보
건설교통부, 1999, 지하수업무수행지침서
건설교통부, 1998~2002, 지하수조사연보
건설교통부, 1998~2002, 지하수관측연보
건설교통부, 2000, 한국하천일람
건설교통부, 2001, 수자원장기종합계획
건설교통부, 2002, 지하수관리기본계획
건설교통부, 한국수자원공사, 1998, 함평-나주지역 지하수기초조사보고서
건설교통부, 한국수자원공사, 2001, 곡성지역 지하수기초조사보고서
건설교통부, 한국수자원공사, 2001, 전주-완주지역 지하수기초조사보고서
건설교통부, 한국수자원공사, 2000, 지하수관련 제도개선방안 연구보고서
건설교통부, 한국수자원공사, 2000, 영덕지역 지하수 기초조사 보고서
건설교통부, 한국수자원공사, 2002, 거창지역 지하수기초조사보고서
건설교통부, 광업진흥공사, 2000, 해남지역 지하수 기초조사 보고서
과학기술부, 한국자원연구소, 2000, 해수침투 평가, 예측 및 방지기술 개발
국무총리실수질개선기획단, 2000, 물·환경관련 연구과제 보고서

농림부, 농업기반공사, 1996, 용기지구 농어촌용수구역 조사보고서
농림부, 농업기반공사, 1996, 평서지구 농어촌용수구역 조사보고서
농림부, 농업기반공사, 1996, 화태지구 농어촌용수구역 조사보고서
농림부, 농업기반공사, 1997, 평포지구 농어촌용수구역 조사보고서
농림부, 농업기반공사, 1997, 화비지구 농어촌용수구역 조사보고서
농림부, 농업기반공사, 1997, 화서지구 농어촌용수구역 조사보고서
농림부, 농업기반공사, 1997, 화남2지구 농어촌용수구역 조사보고서

농림부, 농업기반공사, 1998, 지하수관측망 유지관리방안
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, 2002, 농촌지하수관리조사 실무지침서
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, 1994, 수문조사실무편람
농업기반공사, 1996, 지하수모델링교육교재
농업기반공사, 1997, 지하수사업업무지침
농업기반공사, 1998, 지하수보전관리
농업기반공사, 1998, 지하수영향조사실무지침
농업기반공사, 1982~2002, 화성시 해당 수맥조사보고서
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, 2002, 일별증발량
학술진흥재단, 2000, 농촌지역 지하수의 수질변동에 관한 연구(3차년도 결과보고서)
화성시, 2000, 화성시 수도정비기본계획

지질자원연구원, 1972, 남양도폭 지질보고서
지질자원연구원, 1989, 화성지구 온천공 조사보고서
지질자원연구원, 1993, 발안도폭 지질보고서
지질자원연구원, 1996, 임실지역 지하수부존 조사연구

지질자원연구원, 1996, 지하수보전·환경 교육교재
지질자원연구원, 1997, 화성군 율암리 온천공 조사보고서
지질자원연구원, 1999, 서울-남천점 지질도폭 설명서

환경부, 1999, 환경기본통계편람
환경부, 2001, 상수도통계
환경부, 2001, 환경통계연감
환경부, 2001, 환경산업총람
환경부, 2001, 영산강수계 물관리종합대책
환경부, 2002, 2001년 지하수 수질측정망 운영결과
환경부, 2002, 2001년 토양측정망 운영결과
환경부, 2002, 토양측정망운영
한국과학기술연구원, 1998, 오염토양분석 Workshop

김남형, 1998, 지하수수문학
김시원, 김철기, 이기춘, 1996, 농업수리학
문상호, 함세영, 우남칠, 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, 이진종, 최봉종, 1998, 수질조사 및 분석
한정상, 1998, 지하수환경과 오염
한찬, 한정상, 1999, 3차원 지하수모델과 응용

김규한, Nakai, N., 1988, 남한의 지하수 및 강수의 안정동위원소 조성, 지질학회지, Vol. 24, p. 37-46
김남진, 윤성택, 김형수, 정경문, 김규범, 2001, 지구통계 기법을 활용한 울진 지역 천부지하수의 수질 및 수리지구화학 특성 해석

류순호, 최우정, 한광현, 1999, 질소동위원소분석을 이용한 경기도지역 지하수 중 질산태질소 오염원 규명, 한국토양비료학회지, Vol. 32, No. 1

박세창, 윤성택, 채기탁, 이상규, 2002, 서해 연안지역 천부지하수의 수리지구화학 : 연안 대수층의 해수 혼입에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회지, 제7권, 제1호

송영철, 고용구, 유장걸, 1999, $\delta^{15}N$값을 이용한 제주도 지하수 중의 질산염 오염원 조사, 지하수환경학회지, 제6권, 제3호

오윤근, 현익현, 1997, $\delta^{15}N$값을 이용한 제주도 지하수중의 질산성질소 오염원추정에 관한 연구, 지하수환경학회지, 제4권, 제1호

우남칠, 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

Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, p. 1702-1703

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.

Joong-Hyuk Min, Seong-Taek Yun, 2002, Nitrate contamination of alluvial groundwaters in the Nak dong River basin, Korea, Geosciences Journal, Vol. 6, No. 1

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 $^{15}N/^{14}N$ 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

[지하수영향조사서]

경기지질, 2000, 장안 어은리 지하수개발을 위한 지하수영향조사서

농업기반공사, 1998, 감적지구 지하수영향조사서

농업기반공사, 1998, 독정지구 지하수영향조사서

농업기반공사, 1998, 웃하일지구 지하수영향조사서

농업기반공사, 1998, 채경지구 지하수영향조사서

농업기반공사, 1999, 화성군'99농촌농업생활용수개발산업 신천지구 지하수영향조사서

농업기반공사, 1999, 화성군'99농촌농업생활용수개발사업 용포지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 1999, 화성군'99농촌농업생활용수개발산업 월문지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 1999, 화성군'99농촌농업생활용수개발사업 호곡지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 백곡지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 칠곡지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 화성군 농촌농업생활용수 지하수개발사업 거목지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 화성군 정주생활권 생활용수 지하수조사 및 개발산업 자안2지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 화성군 농업용수 지하수 기초조사 및 개발사업 당하지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 화성군 농업용수 지하수 기초조사 및 개발사업 쌍학지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 화성군 농업용수 지하수 기초조사 및 개발사업 증거지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2000, 화성군 정주생활권 농업용수 지하수조사 및 개발사업 천천2지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2001, 화성군 농업용수 지하수 기초조사 및 개발사업광평지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2001, 화성시2001년도 농촌·농업생활용수 지하수개발사업 노하지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2001, 화성시2001년도 농촌·농업생활용수 지하수개발사업 상두지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2001, 화성시 쌍학지구 농업용수 지하수 개발사업 쌍학지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2001 화성시2001년도 농촌·농업생활용수 지하수개발사업 자안지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2002, 화성시 2002년 농촌농업 생활용수 개발사업 길성지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2002, 2002년 수맥조사 덕천지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2002, 2002년 수맥조사 도장지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2002, 화성시 2002년 농촌농업 생활용수 개발산업 수촌지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2002, 2002년 수맥조사 율암지구 지하수영향조사서

농업기반공사, 2003, 화성시 농업용 지하수개발사업 내2지구 지하수영향조사서
농업기반공사, 2003, 화성시 농업용 지하수개발사업 송라지구 지하수영향조사서
동서엔지니어링주식회사, 1999, 주식회사 보락 지하수영향조사서
대웅토건주식회사, 2001, 화성시 장안면 수촌리 지하수 영향조사 보고서
동명산업개발주식회사, 2002, 신대한정유지하수개발공사중 지하수영향조사보고서
성광응용지질, 1998, 화성율암지구 생활용수용 지하수개발을 위한 지하수영향조사서
상지기건주식회사, 2001, 온석리 47외 1개소 생활, 농업용수 지하수 영향조사서
상지기건(주), 2002, 원예연구소 농업용수 지하수 영향조사서
상지기건(주), 2002, 원예연구소 농업용수 추가 지하수 영향조사서
상지지건(주), 2003, 풍성주택(주) 생활용수 지하수 영향조사서
우진개발, 2000, 화성군 남양면 활초리 한울수련의 집 신축에 의한 지하수영향조사서
우진중공업주식회사, 2003, 동희에이시에스 지하수영향조사서
(주)성신엔지니어링, 1999, 반월리 고려산업개발(주)아파트신축현장 지하수영향조사보고서
주식회사긴동아건설, 2000, 경기직업전문하교 암반관정 개발공사 지하수 영향조사 보고서
진보지질주식회사, 2000, 경도제약(주) 지하수개발사업 지하수영향조사서
주식회사제일공영, 2000, 남성레미콘 심정개발공사 지하수영향조사서
지수엔지니어링 주식회사, 2000, 동양계전공업(주) 공업용수·음용수 개발공사 지하수영향조사 보고서
주식회사경기지질, 2000, 수원대학교 관정개발에 따른 지하수 영향조사보고서
지오텍엔지니어링, 2001, 경기요양병원 지하수시설 이용·허가에 따른 지하수영향조사서
지오엔지니어링(주), 2001, 경기유지공업(주) 지하수영향조사
주식회사도성기술공사, 2001, 경기도 화성시 북양동 205-1번지 지하수영향조사서
주식회사좋은물, 2001, 내리지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사무한건설, 2001, (주)발안식염온천 생활용 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식화사협승건설, 2001, 병점공장부지 지하수영향조사서
주식회사좋은물, 2001, 배양지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사대명엔지니어링, 2001, 주식회사 보락 지하수영향조사서
주식회사좋은물, 2001, 상기지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사좋은물, 2001, 서신면 송교리 지하수 개발·이용을 위한 지하수 영향 조사 보고서
주식회사좋은물, 2001, 수화지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서

주식회사좋은물, 2001, 월문지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
지수엔지니어링(주),2002, 경기도 농업기술원의 한해대비 농업용수 관정개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사무한건설, 2002, [주] 국순당 지하수 이용에 따른 지하수영향조사서
주식회사무한건설, 2002, 일진경금속(주) 수원공장 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
중앙개발주식회사, 2002, 일진전기 공장부지 지하수 영향조사
지수엔지니어링(주), 2002, 태안읍 안녕리 37-106번지의 목용용수 사용을 위한 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식화사지오공간, 2002, 화성시 팔탄면 하저리 980-1번지의 토지전용허가에 따른 지하수개발에 의한 용수확보의 적정성평가를 위한 지하수영향조사서
주식회사지앤테크, 2002, 협성대학교 지하수개발·이용에 따른 지하수영향조사서
주식회사무한건설, 2003, 문학2지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사지앤테크, 2003, 문학3지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사지앤테크, 2003, 서근지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사도성기술공사, 2003, 화성시 정남면 문학리 723 번지 지하수영향조사서
주식회사무한건설, 2003, 천천4지구 농업용수 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
주식회사도성기술공사, 2003, 화성시 팔탄면 화당리 67번지 지하수영향조사서
천지산업개발, 2000, 서근리 심정개발공사 지하수영향조사서
창일건설(자), 2000, 남경화학공업(주) 공업용수 지하수 영향조사서
창일건설(자) 2000, 축산기술연구소 생활용수 지하수 영향조사서
창일건설, 1997, 화성(상)휴게소 지하수개발에 따른 지하수영향조사서
한일지하수개발주식회사, 2002, 화성(상,하)휴게소심정개발공사 중 지하수영향조사서
한일지하수개발(주), 2003, 지월지구 지하수영향조사서

농촌지하수관리시스템

여 백

목 차

1. 화남2지구 농촌지하수관리시스템 193
2. 농촌지하수관리시스템 구성 195
2.1 시스템 구성체계 195
2.2 시스템 설명 197
- 입력시스템 197
- 조회시스템 198
- 분석시스템 199
- 관리자시스템 210
2.3 시스템 운영 212

표 목 차

<표 1-1> DB/GIS화된 화남2지구 지하수관정과 잠재오염원 자료 193
<표 1-2> 농촌지하수 관리시스템 구성내역 194

그 림 목 차

<그림 2-1> 농촌지하수관리시스템 구성 체계도 195
<그림 2-2 > 시스템개발 목표 196
<그림 2-3> 개발 소프트웨어 196
<그림 2-4> 현장자료 입력시스템 197
<그림 2-5> Web 조회시스템 초기화면 198
<그림 2-6> 관정위치도(속성, 사진, 양수시험결과, 주상도) 199
<그림 2-7> 지하수 수위등고선도 200
<그림 2-8> 지하수 유동방향도 201
<그림 2-9> 가상관정포획구간도 202

<그림 2-10> 관정포획구간도(WHPA) 203
<그림 2-11> 잠재오염원현황도 203
<그림 2-12> 일반 DRASTIC Map 204
<그림 2-13> 변형 DRASTIC Map 205
<그림 2-14> 지하수오염예측도 205
<그림 2-15> 양음이온분석(Stiff Diagram) 206
<그림 2-16> 양음이온분석(Piper Diagram) 207
<그림 2-17> 유역별 지하수수량현황도 207
<그림 2-18> 현장수질현황도(EC, pH, TDS, NO_3-N) 208
<그림 2-19> 물리탐사측선도 209
<그림 2-20> 구조선도/구조선밀도도 209
<그림 2-21> 용수이용현황도 210
<그림 2-22> 관리자시스템의 사용자관리 초기화면 211
<그림 2-23> 관측정 모니터링 211

농촌지하수관리시스템

1. 화남2지구 농촌지하수관리시스템

『농촌지하수관리시스템』은 지하수기초자료 및 오염원에 대한 자료를 DB/GIS로 구축함으로써 지하수 관리의 토대가 되는 DB Bank와 지하수 정보를 시간적·공간적으로 분석할 수 있는 의사결정시스템 역할을 담당하게 된다. 이를 위하여 행정자료 및 신규자료의 지속적인 갱신이 필수적이며, 행정담당자 및 일반인으로 하여금 지하수자원에 대한 정보를 공유할 수 있게 하여야 한다.

조사지구 내에서 조사된 지하수관정 및 잠재오염원 자료를 모두 입력하여 농촌지하수관리시스템에 DB 및 GIS로 구축된 현황은 표 1-1과 같다. 조사대상은 2001년 3월 현재의 지하수 및 잠재오염원의 행정자료를 기준으로 하였고, 위치확인 불가 및 미조사 시설은 DB만으로 구축하였고, 확인결과 소멸된 시설의 경우는 DB에서 제외하였다.

<표 1-1> DB/GIS화된 화남2지구 지하수관정과 잠재오염원 자료

구분	시설형태	DB구축	GIS구축
지하수관정		1,039	1,023
잠재오염원	축사	557	547
	폐수배출시설	85	85
	오수배출시설	198	198
	주유소	111	28
	쓰레기매립지	2	2
	소계	1,709	860

화남2지구 농촌지하수관리시스템은 지하수관리에 필요한 부수적인 여러 프로그램들이 포함되어 있는데, 현장조사자료를 DB화하기 위한 입력시스템, 일반인/업체/지자체/도본부 담당자를 위한 조회시스템, 본사/도본부 직원을 위한 분석시스템, 모든 자료관리를 위한 관리자시스템으로 구성되어 있다(표 1-2).

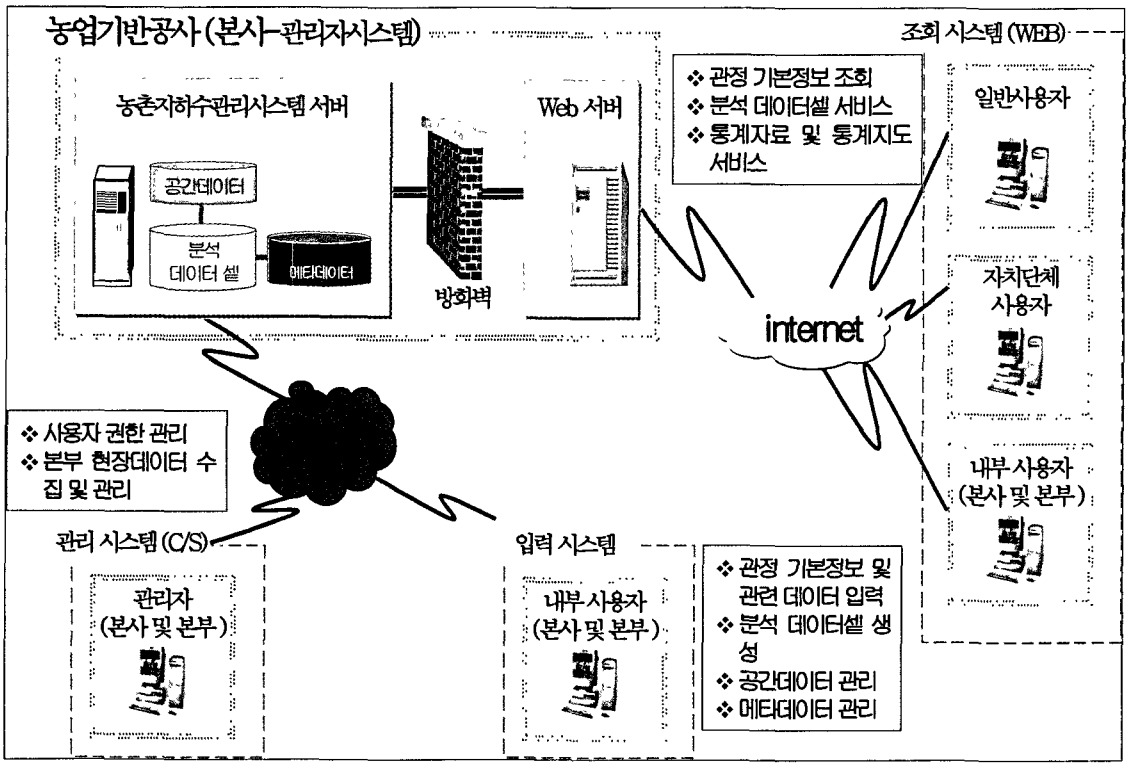
<표 1-2> 농촌지하수 관리시스템 구성내역

농촌지하수관리시스템	입력 시스템	현장조사표(양식) 입력	WEB 조회 시스템	일반 사용자
		관정정보 내역		- 관정 조회/검색/출력
		잠재오염원 내역		- 잠재오염원 조회/검색/출력
		물리탐사내역		- 영향조사 기초자료
		조사양식표 출력		지자체 사용자
		기존 자료 Import		- 관정 조회/검색/출력
	분석 시스템	관정 위치도		- 잠재오염원 조회/검색/출력
		지하수위등고선도/유동방향도		- 인/허가 기초자료 출력
		관정포획 구간도(WHPA)		- 수량/수질 기초자료
		잠재오염분포도		- 통계현황
		변형된 DRASTIC 주제도		본사 및 본부 담당자
		오염예측현황도		- 관정 조회/검색/출력
		지하수보전관리등급도		- 잠재오염원 조회/검색/출력
		PIPER DIAGRAM		- 영향조사보고서 기초자료
		STIFF DIAGRAM		- DB 입/출력
		수량/수질 분포도		- 통계현황
		현장수질(EC, pH, NO3-N 등)		- 각종 주제도 분석/출력
		용수이용 현황도	관리자 시스템	사용자 관리
		물리탐사 측선도		HomePage 운영
		선구조/선구조밀도도		DB/Web 서버 운영
				자료 검증 및 통합
				기초자료 신규 생성
				DB 표준화 관리
				관측망 운영

2. 농촌지하수관리시스템 구성

2.1 시스템 구성 체계

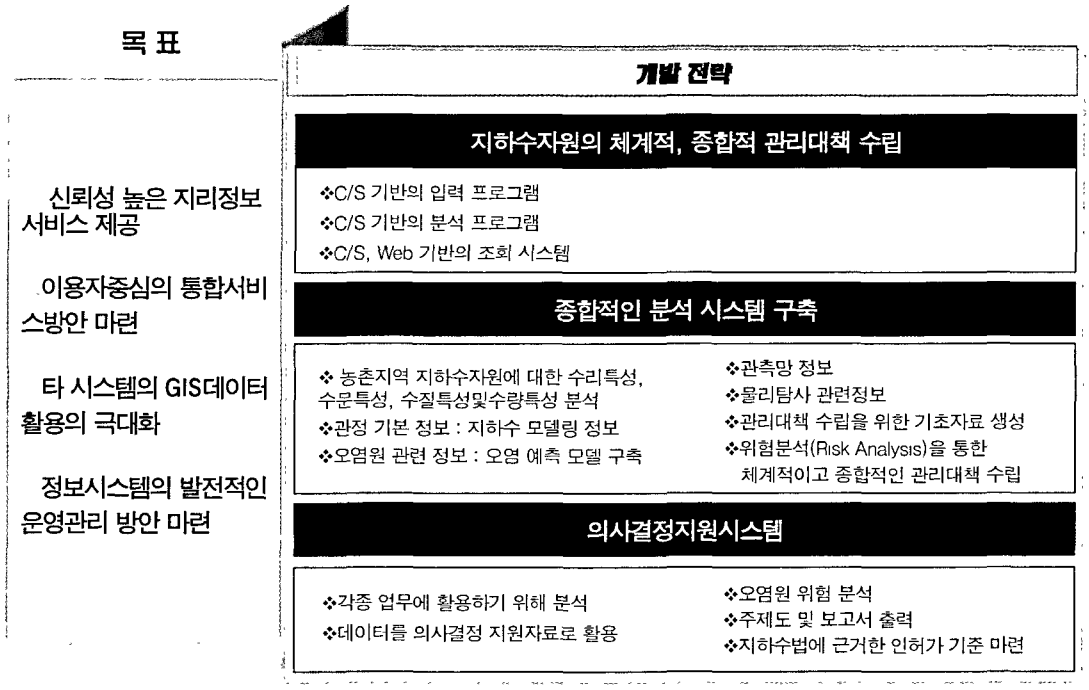
'03~'05년에 구축되는 농촌지하수관리시스템 구성도로써 입력시스템, 조회시스템, 분석시스템, 관리자시스템으로 구성되어 있다. 입력시스템은 현장에서 바로 조사된 자료를 입력할 수 있도록 되어있고, 분석시스템은 이러한 입력된 자료를 기초로 여러 가지 주제도 분석 기능을 제공한다. 그리고 Web 조회시스템은 인터넷에서 각종 분석된 주제도를 조회, 검색, 출력할 수 있고, 사용자별로 일부 기능은 제한하고 있다. 관리자시스템은 시스템 사용자 관리, 관측망 운영, DB/Web 서버관리 등의 기능을 제공한다.



<그림 2-1> 농촌지하수관리시스템 구성 체계도

- 시스템 개발 목표

시스템 개발목표는 데이터의 질을 향상시키고, 사용자중심의 시스템을 구축함으로써 활용성을 극대화시키고 또한, 관리운영상의 편의를 제공한다.



<그림 2-2 > 시스템개발 목표

- 개발 소프트웨어

우리 부서에서 갖고 있는 소프트웨어를 최대한 활용하여 개발함으로써 도본부 직원들도 쉽게 접근이 가능하다.

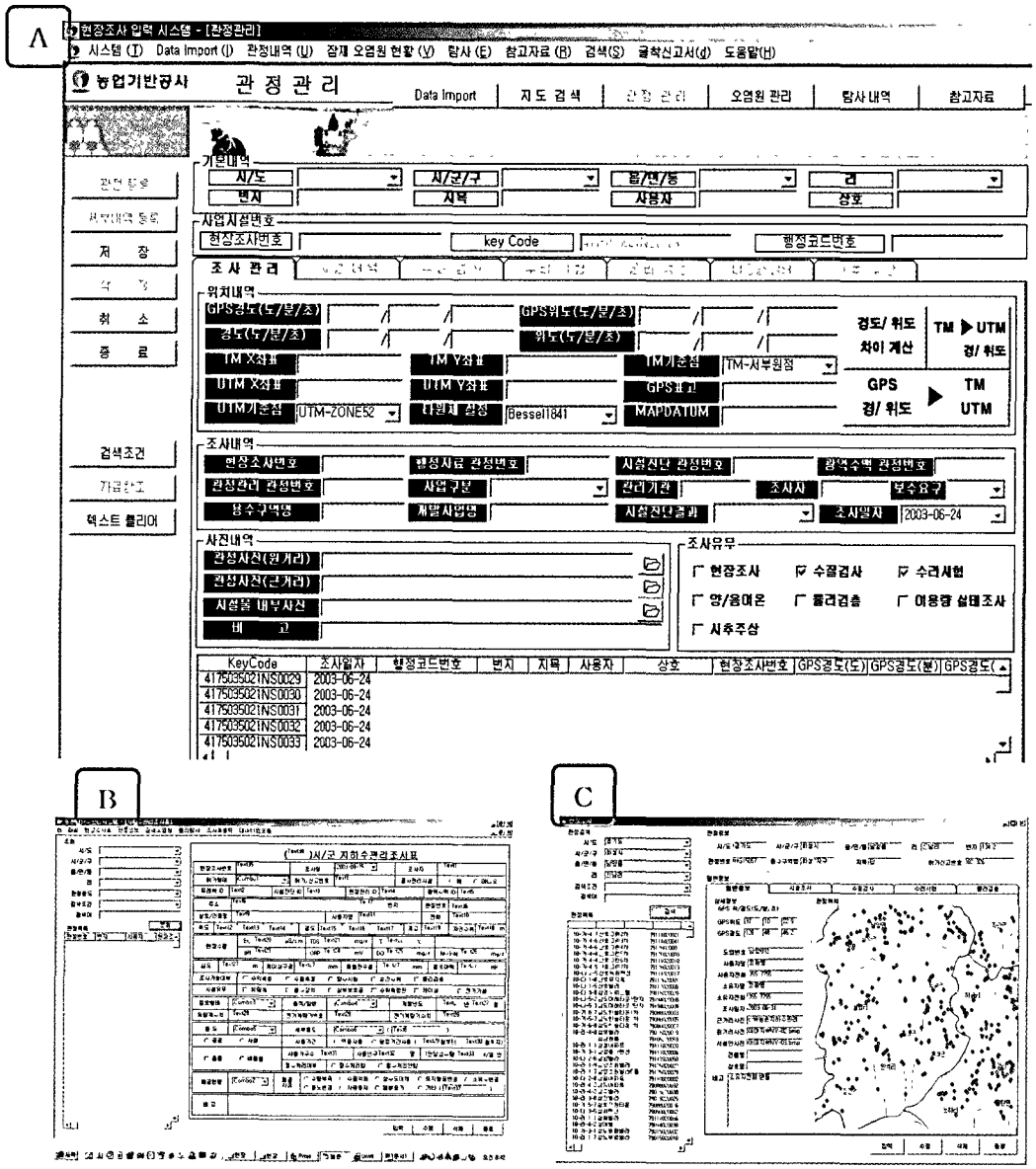
현장 입력 시스템	☐ Visual Basic 6.0 ☐ MapObjects 2.x
분석 시스템	☐ ArcMap 9.x, Spatial Analysist Extention ☐ ArcObject With Visual Basic 6.x
Web 조회 시스템	☐ 개발언어 : Java, HTML, Asp, Jsp ☐ Suvlet : TomCAT ☐ Web Server : IIS 5.0 ☐ Map Server : ArcIMS 4.x ArcMap (필요시 ArcMap과 연동)
관리자 시스템	☐ Visual Basic 6 ☐ ArcObjects

<그림 2-3> 개발 소프트웨어

2.2 시스템 설명

- 입력시스템

현장에서 조사되는 모든 자료(관정위치, 시설내역, 각종 오염원내역, 물리탐사 등)를 입력함으로써 DB 표준화를 구성하고, 모든 분석자료의 기초자료를 형성한다.



<그림 2-4> 현장자료 입력시스템

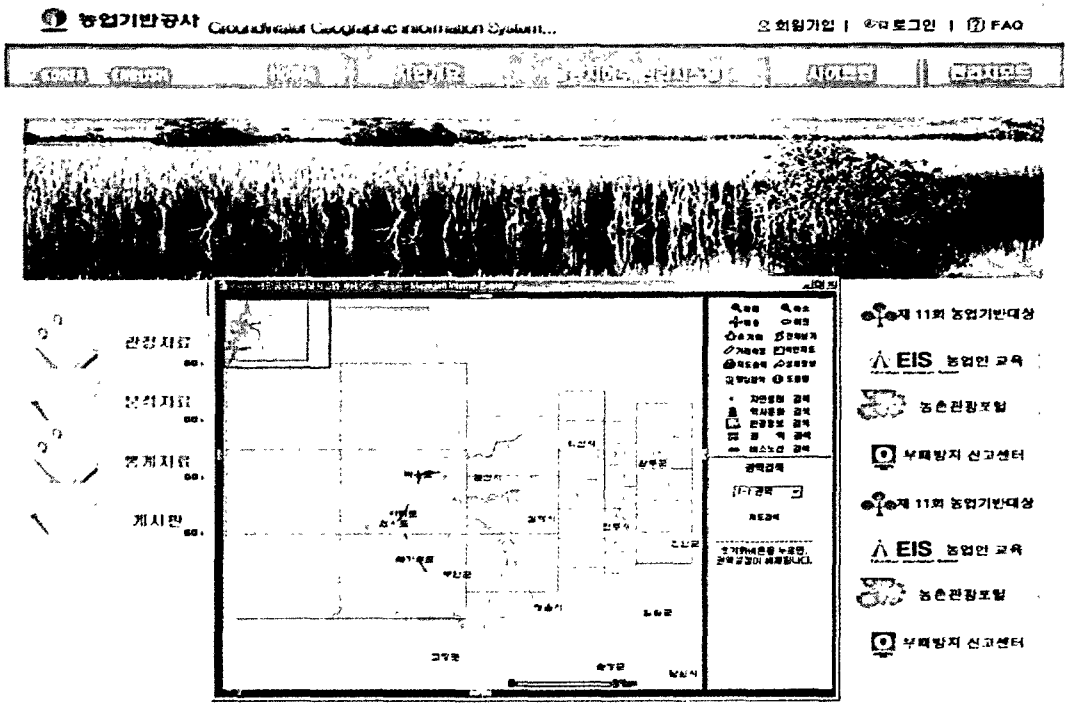
· A: 신규 관정/오염원 및 세부항목 입력시 위치정보 및 좌표를 표기하고, 사진을 링크함으로써 개별관정 내역 출력시 사진이 포함된 현장조사

표를 볼 수 있다.

- B: 현장조사표 양식에 의해 자료를 입력할 수 있도록 함으로써 현장에서 시간, 인력낭비를 줄일 수 있다.
- C: 정확한 위치에 자료가 입력되었는지를 현장에서 바로 확인할 수 있도록 함으로써 보다 신뢰성있는 자료를 취득할 수 있다.

- 조회시스템

조회시스템은 인터넷을 통하여 일반인과 산학연 관련 종사자, 지자체 담당 공무원, 도본부 및 본사직원들이 이용할 수 있으며 지도서비스도 받아볼 수 있다.



<그림 2-5> Web 조회시스템 초기화면

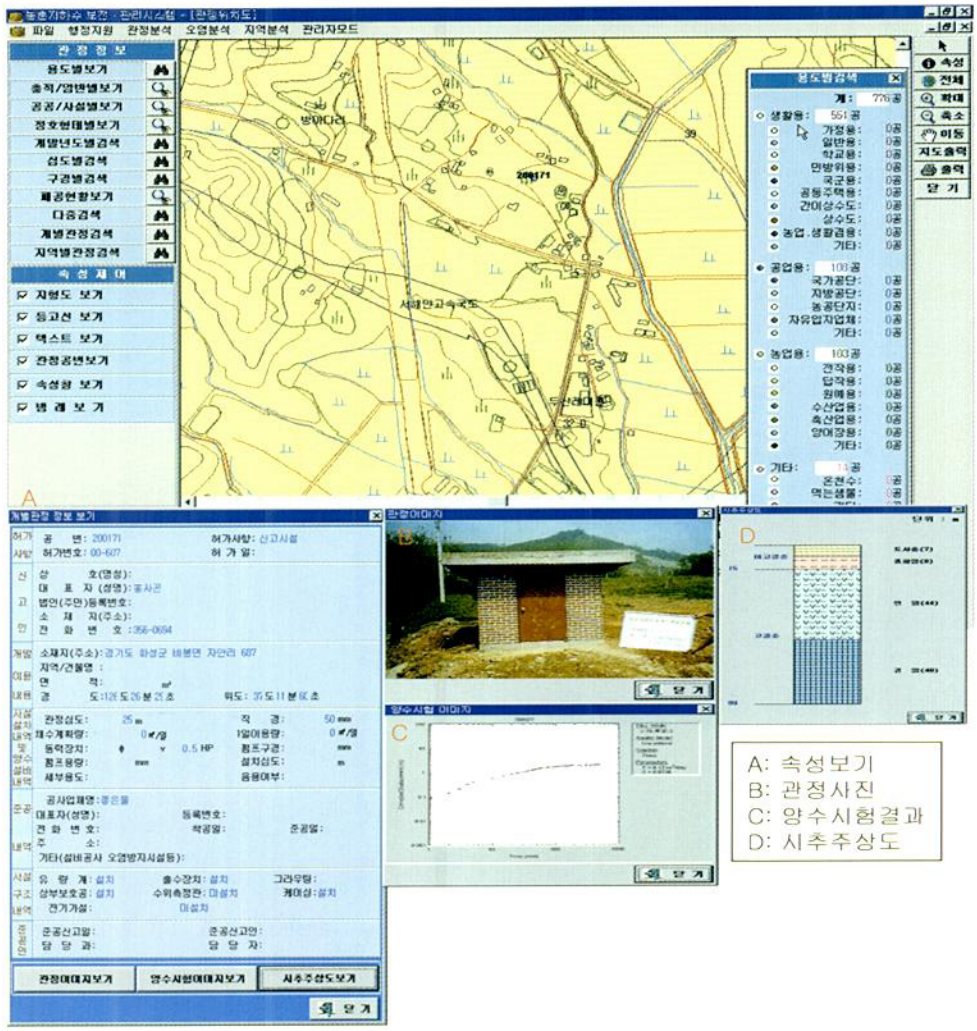
- 일반 사용자인 경우 관정 및 잠재오염원에 대해서 조회/검색/출력을 할 수 있고, 영향조사반경내 수리특성 및 오염원현황을 보여줄 수 있다.
- 지자체 담당자인 경우 관정 및 잠재오염원에 대한 조회/검색/출력 기능과 인허가관련 참고자료, 수질/수량 기초자료, 기본 통계현황을 볼 수 있다.
- 본사 및 본부 직원인 경우는 관정 및 잠재오염원에 대한 조회/검색/출력,

영향조사보고서 기초자료 생성, DB 입/출력, 통계분석, 각종 주제도 분석이 가능하다.

- 분석시스템

ㅇ 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 있다.



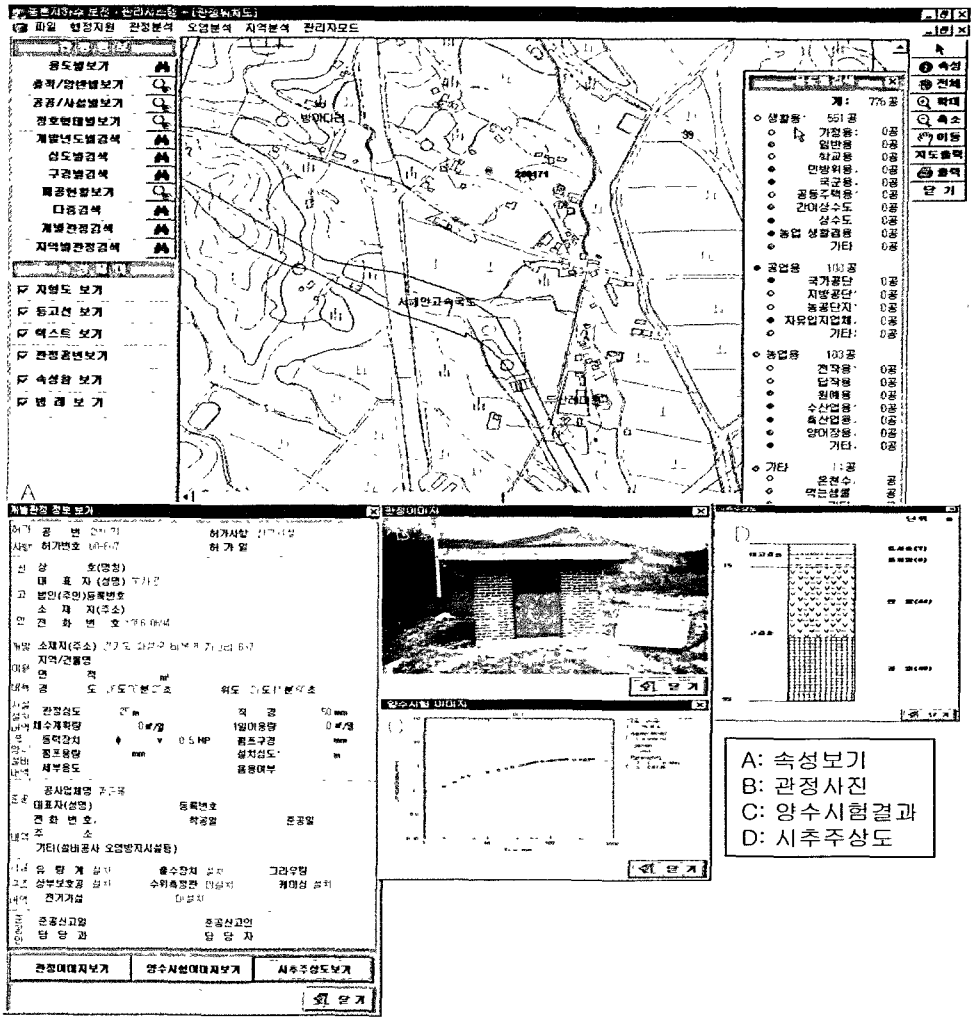
<그림 2-6> 관정위치도(속성, 사진, 양수시험결과, 주상도)

영향조사보고서 기초자료 생성, DB 입/출력, 통계분석, 각종 주제도 분석이 가능하다.

- **분석시스템**

o 관정위치도

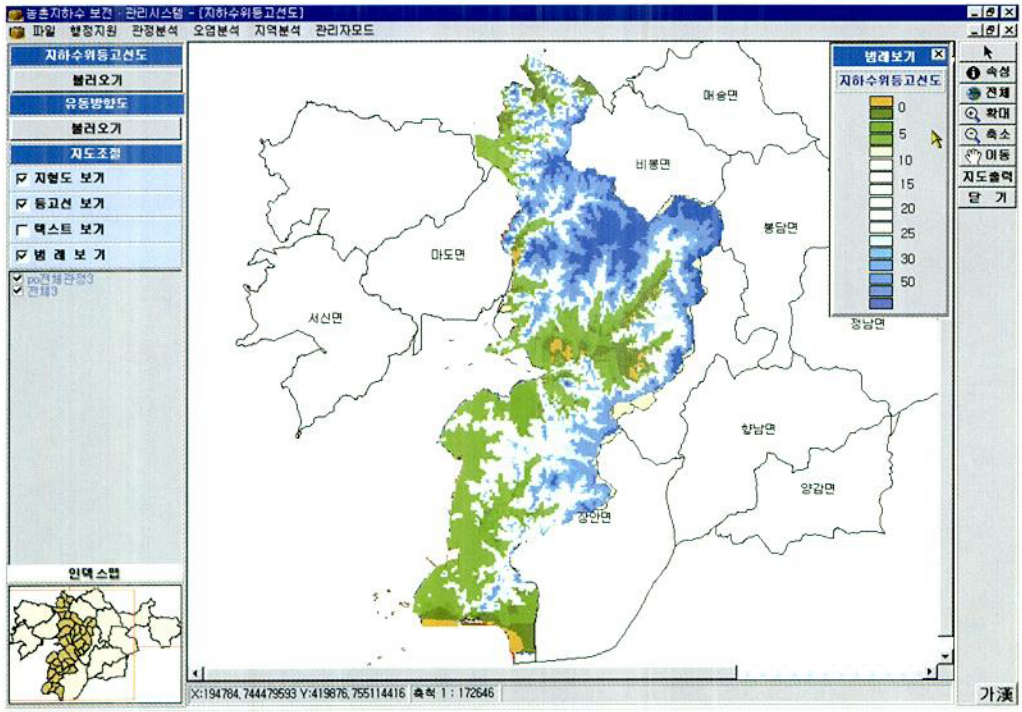
DB의 X, Y 좌표에서 관정의 위치가 자동으로 생성되도록 구축되어 있으며 새로 생성된 관정 및 기존의 관정에 대해 각종 검색 조건을 이용하여 관정의 위치를 색상별로 표시하도록 구축되어 있으며 또한 각 관정에 대한 정보를 확인함으로써 관정 이미지, 관정에 관련된 시추주상도, 양수시험 이미지 등을 검색할 수 있다.



<그림 2-6> 관정위치도(속성, 사진, 양수시험결과, 주상도)

o 지하수위 등고선도

기설관정 및 신규 관정에 대한 지하수위 자료를 입력하면 그 자료를 이용하여 지하수위 등고선도를 생성하게 된다. 지형도에서 추출한 DEM 자료와 지하수위 자료는 그리드 분석을 통해 셀로 작성되며 내삽법(Interpolation)을 이용하여 셀값을 산출한다. 이러한 셀값을 이용하여 표고값과 수위값을 계산하여 수위등고선을 자동으로 그릴 수 있도록 프로그램이 설계되어 있다.



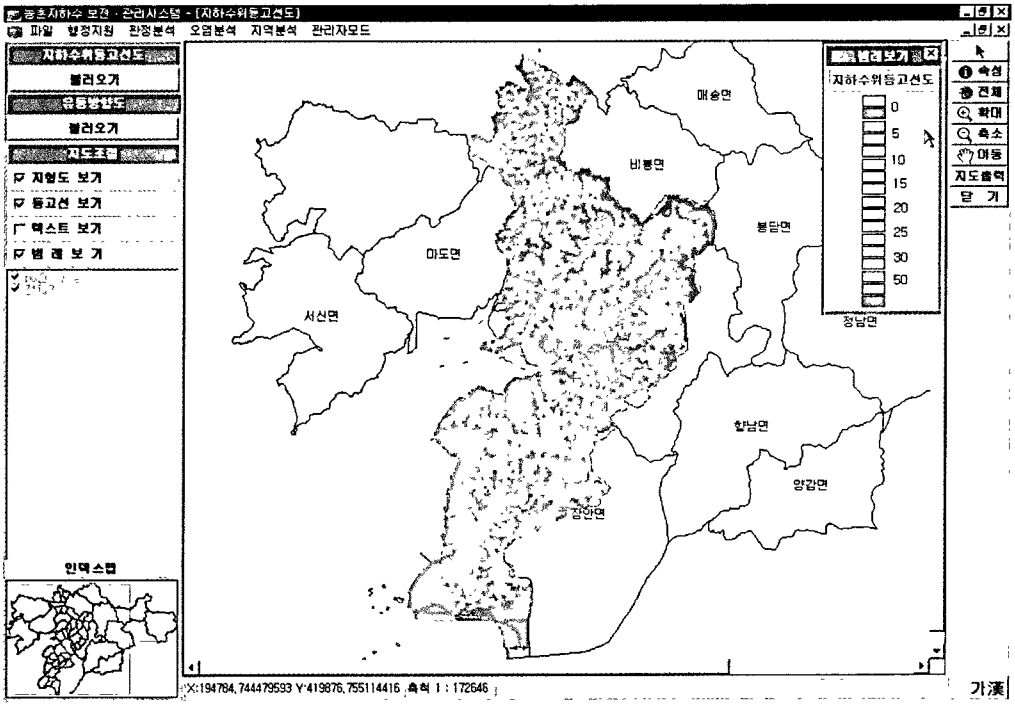
<그림 2-7> 지하수 수위등고선도

o 지하수 유동방향도

지하수 유동방향도는 지하수위 등고선도의 수두차를 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.

o 지하수위 등고선도

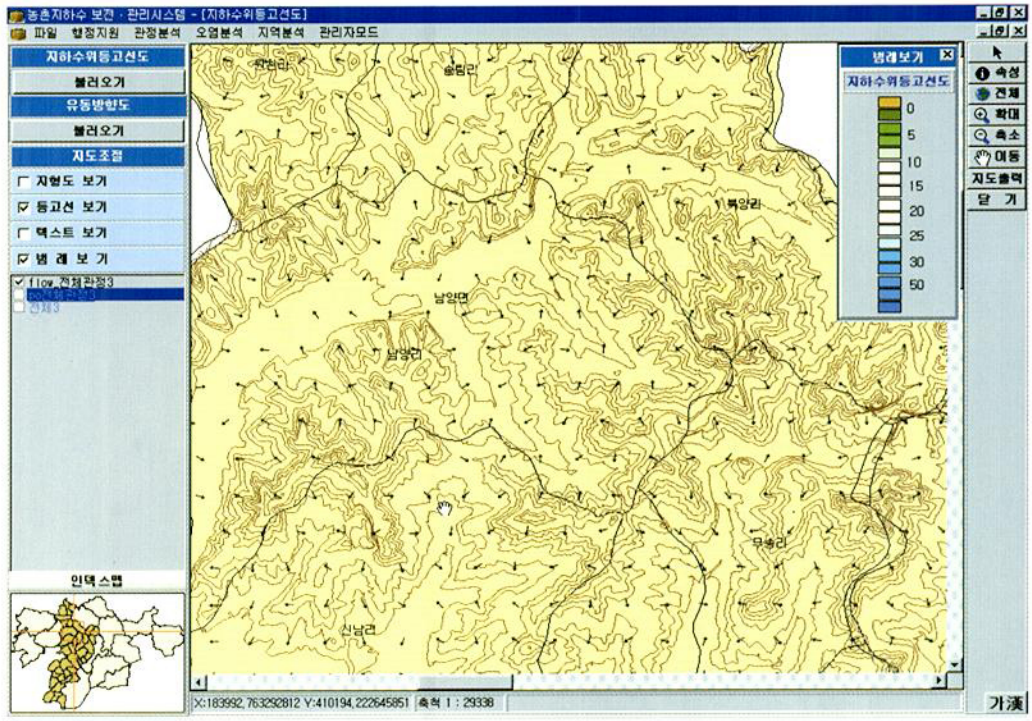
기설관정 및 신규 관정에 대한 지하수위 자료를 입력하면 그 자료를 이용하여 지하수위 등고선도를 생성하게 된다. 지형도에서 추출한 DEM 자료와 지하수위 자료는 그리드 분석을 통해 셀로 작성되며 내삽법(Interpolation)을 이용하여 셀값을 산출한다. 이러한 셀값을 이용하여 표고값과 수위값을 계산하여 수위등고선을 자동으로 그릴 수 있도록 프로그램이 설계되어 있다.



<그림 2-7> 지하수 수위등고선도

o 지하수 유동방향도

지하수 유동방향도는 지하수위 등고선도의 수두차를 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.

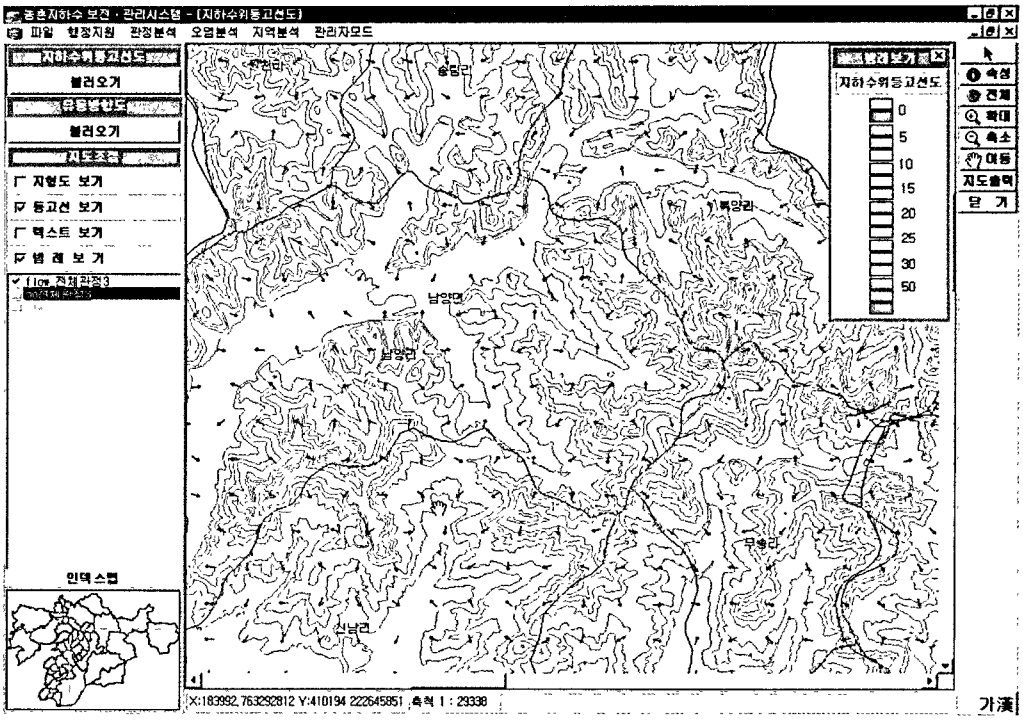


<그림 2-8> 지하수 유동방향도

o 가상관정 포획구간도

가상관정 포획구간도는 신규 지하수 관정개발 인허가시 해당 지역에 지하수개발 입지조건 분석이 가능하도록 작성된 프로그램이다. 이 프로그램을 이용하면 해당지역의 신규 관정입지 조건에 대하여 판단할 수 있는 근거를 제시할 수 있다. 영향권 반경은 Shultze, Weber, Jacob 공식에 의해 반경이 산출되어진다. 또한 평균 값을 이용하여 영향권 반경을 구할 수도 있다.

영향권 반경을 산출하기 위한 수리상수는 현장조사를 통해 얻어진 자료와 기존 조사실적 자료를 이용하여 계산된 값이다. 그리고 공식에 의해 산출된 반경안에 DRASTIC 지수, 오염원현황, 신고허가관정현황, 주변관정의 EC, TDS, 온도, pH 등의 자료를 자동으로 나타나게 함으로써 지하수개발이 적정한 지역인지 판단할 수 있도록 구축되어 있다.

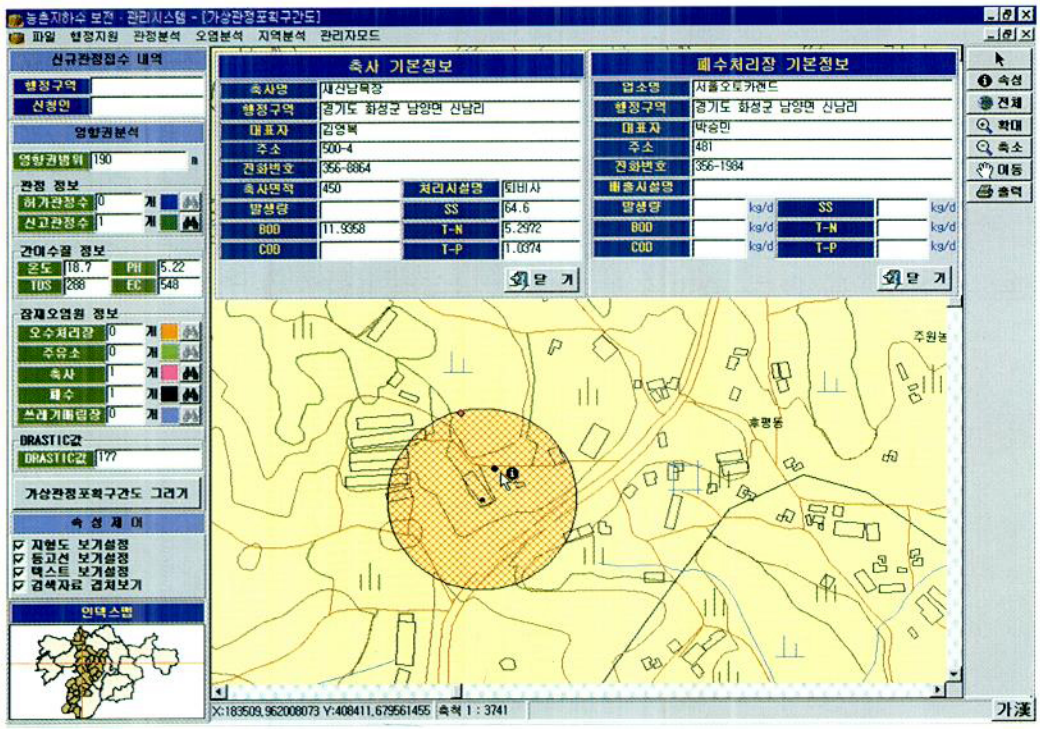


<그림 2-8> 지하수 유동방향도

o 가상관정 포획구간도

가상관정 포획구간도는 신규 지하수 관정개발 인허가시 해당 지역에 지하수개발 입지조건 분석이 가능하도록 작성된 프로그램이다. 이 프로그램을 이용하면 해당지역의 신규 관정입지 조건에 대하여 판단할 수 있는 근거를 제시할 수 있다. 영향권 반경은 Shultze, Weber, Jacob 공식에 의해 반경이 산출되어진다. 또한 평균 값을 이용하여 영향권 반경을 구할 수도 있다.

영향권 반경을 산출하기 위한 수리상수는 현장조사를 통해 얻어진 자료와 기존 조사실적 자료를 이용하여 계산된 값이다. 그리고 공식에 의해 산출된 반경안에 DRASTIC 지수, 오염원현황, 신고허가관정현황, 주변관정의 EC, TDS, 온도, pH 등의 자료를 자동으로 나타나게 함으로써 지하수개발이 적정한 지역인지 판단할 수 있도록 구축되어 있다.



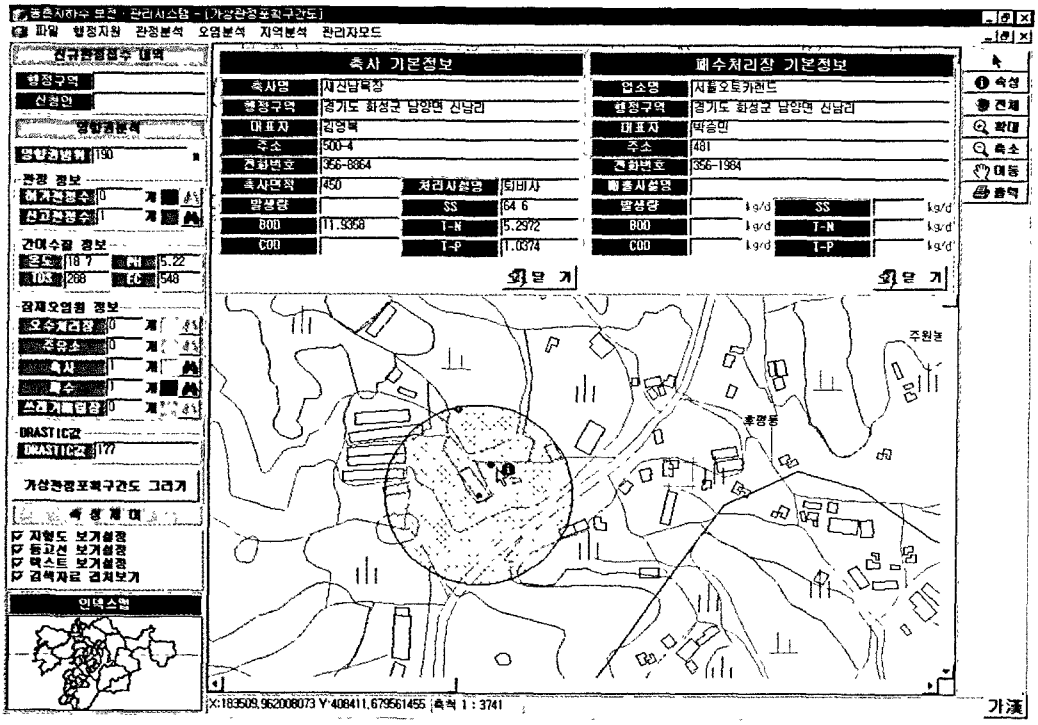
<그림 2-9> 가상관정포획구간도

○ 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 산정한다. 따라서 보다 현실에 가까운 영향권 검토를 할 수 있는 것이다.

WHPA 입력 인자는 양수량, 투수량계수, 동수구배, 유동방향, 저류계수, 유효공극률, 대수층 두께 등이 있으며 양수량과 대수층 두께는 사용자로부터 입력을 받으며 나머지는 지역 값을 가지고 있다.

가상관정포획구간도와 마찬가지로 입력자료의 대부분은 지역 값으로 입력되어 있으며 입력된 자료를 이용하여 영향권 검토를 하거나 실제 자료를 입력하여 영향권을 검토할 수 있다.



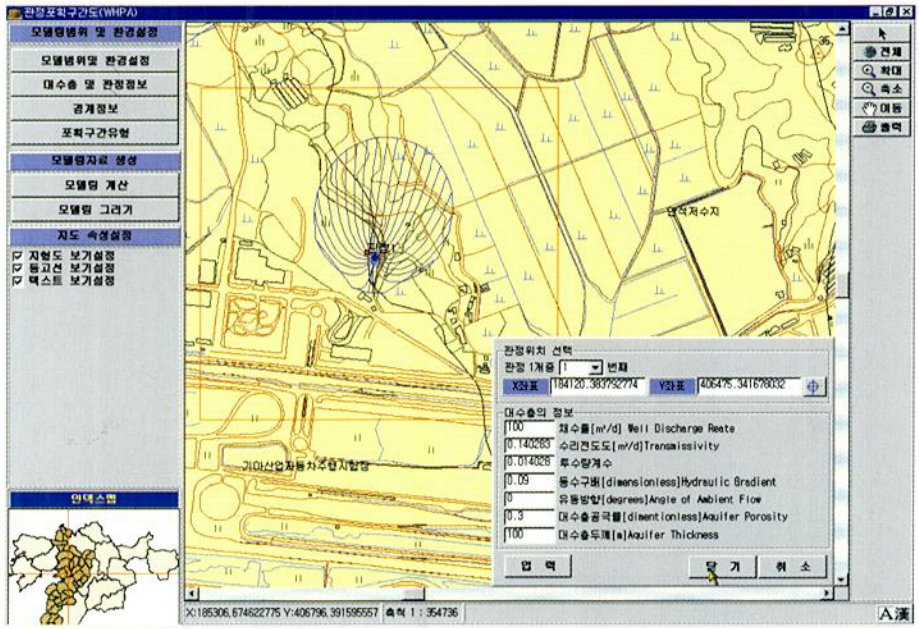
<그림 2-9> 가상관정포획구간도

o 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 산정한다. 따라서 보다 현실에 가까운 영향권 검토를 할 수 있는 것이다.

WHPA 입력 인자는 양수량, 투수량계수, 동수구배, 유동방향, 저류계수, 유효공극률, 대수층 두께 등이 있으며 양수량과 대수층 두께는 사용자로부터 입력을 받으며 나머지는 지역 값을 가지고 있다.

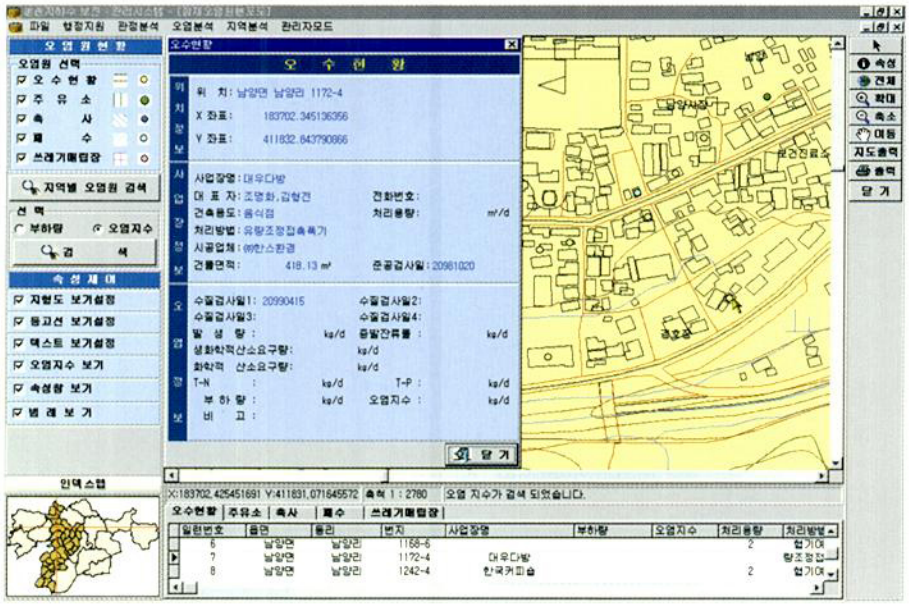
가상관정포획구간도와 마찬가지로 입력자료의 대부분은 지역 값으로 입력되어 있으며 입력된 자료를 이용하여 영향권 검토를 하거나 실제 자료를 입력하여 영향권을 검토할 수 있다.



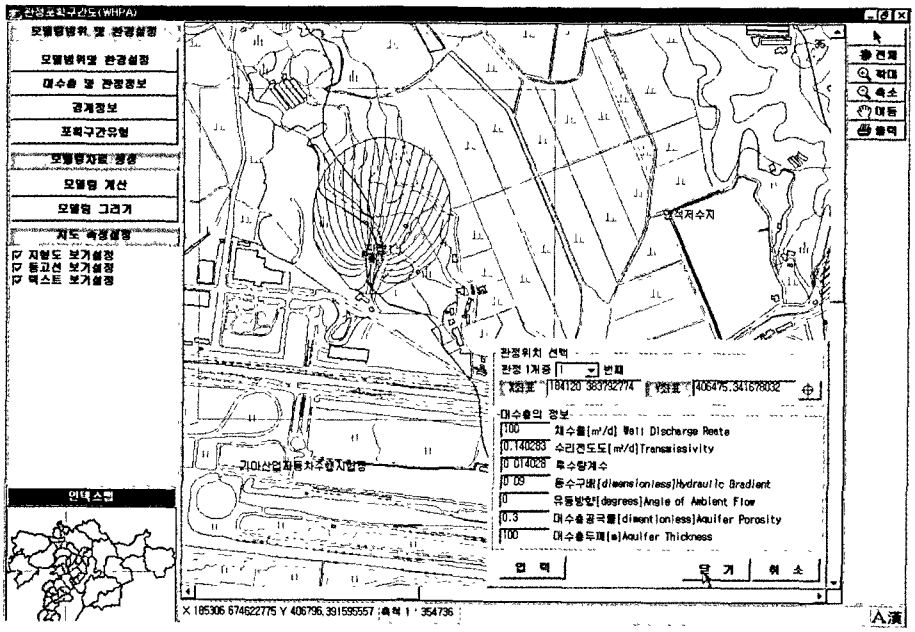
<그림 2-10> 관정포획구간도(WHPA)

○ 잠재오염원 분포도

조사된 오염원의 위치 표현과 동시에 각종 오염원의 정보를 표현해주며 오염원별 BOD, COD, TN, TP, SS 값을 해칭(Hatching)함으로써 주제도간의 중첩시 투명성을 유지하도록 하였다.



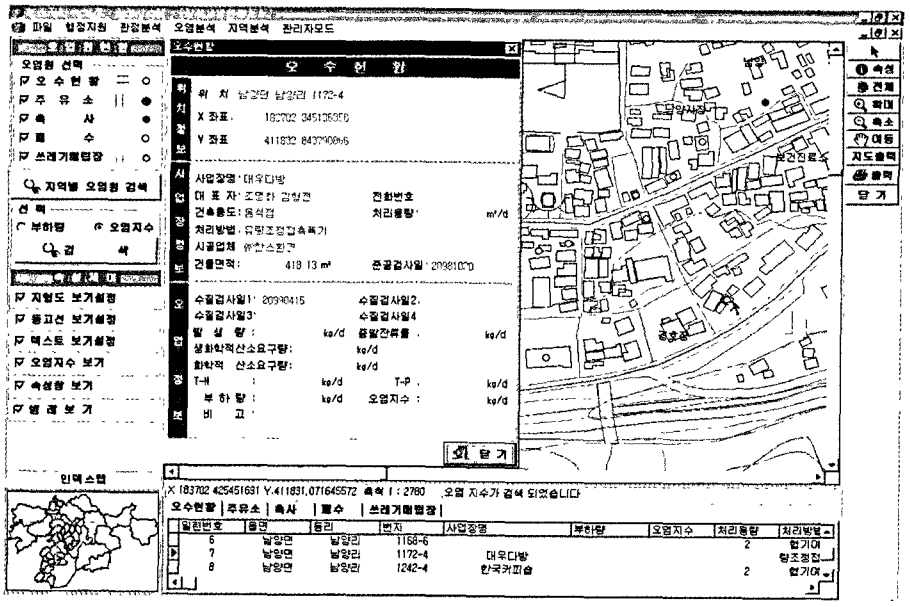
<그림 2-11> 잠재오염원현황도



<그림 2-10> 관정포획구간도(WHPA)

o 잠재오염원 분포도

조사된 오염원의 위치 표현과 동시에 각종 오염원의 정보를 표현해주며 오염원별 BOD, COD, TN, TP, SS 값을 해칭(Hatching)함으로써 주제도간의 중첩시 투명성을 유지하도록 하였다.



<그림 2-11> 잠재오염원현황도

○ 일반 DRASTIC 주제도

Depth to Water : 지하수위 범위에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.

Recharge : 순수 함양량의 범위에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.

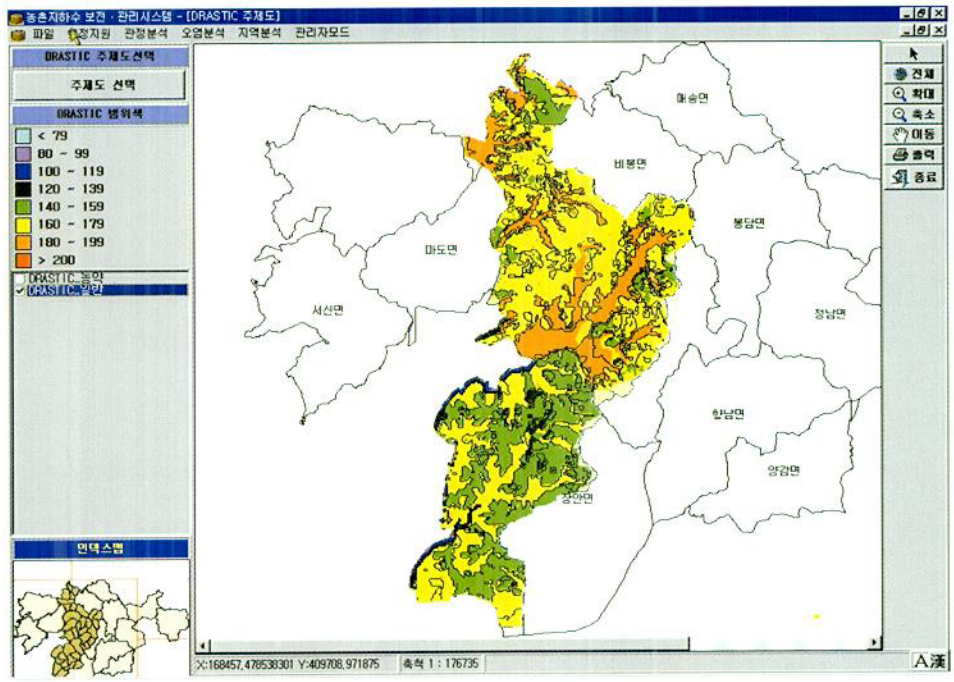
Aquifer Media : 지질분류에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.

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 2-12> 일반 DRASTIC Map

○ 변형 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 변형 DRASTIC 주제도를 생성할 수 있다.

o 일반 DRASTIC 주제도

Depth to Water : 지하수위 범위에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.

Recharge : 순수 함양량의 범위에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.

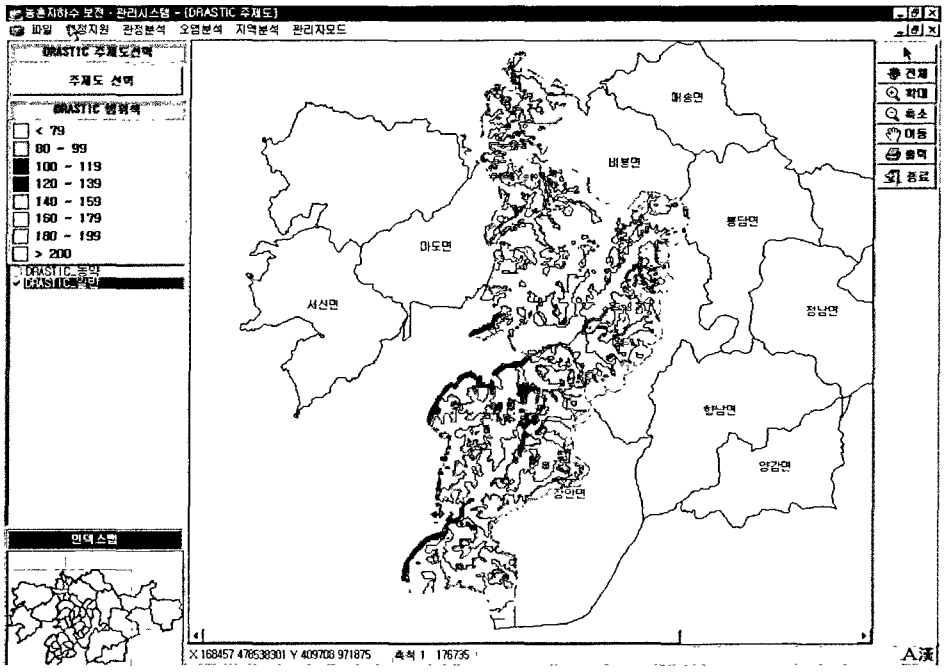
Aquifer Media : 지질분류에 따른 등급 및 가중치를 적용한다.

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.

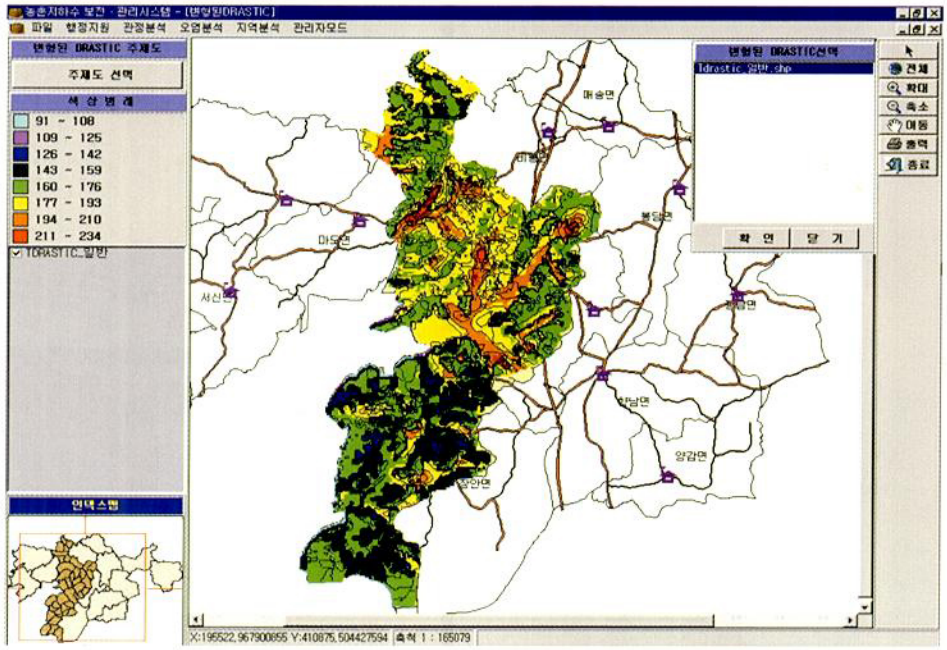
Hydraulic Conductivity: 대수층의 수리전도도에 따른 등급 및 가중치를 적용한다. 각 인자값들의 요소를 중첩시킴으로 나온 범위에 따른 DRASTIC 주제도를 생성한다.



<그림 2-12> 일반 DRASTIC Map

o 변형 DRASTIC 주제도

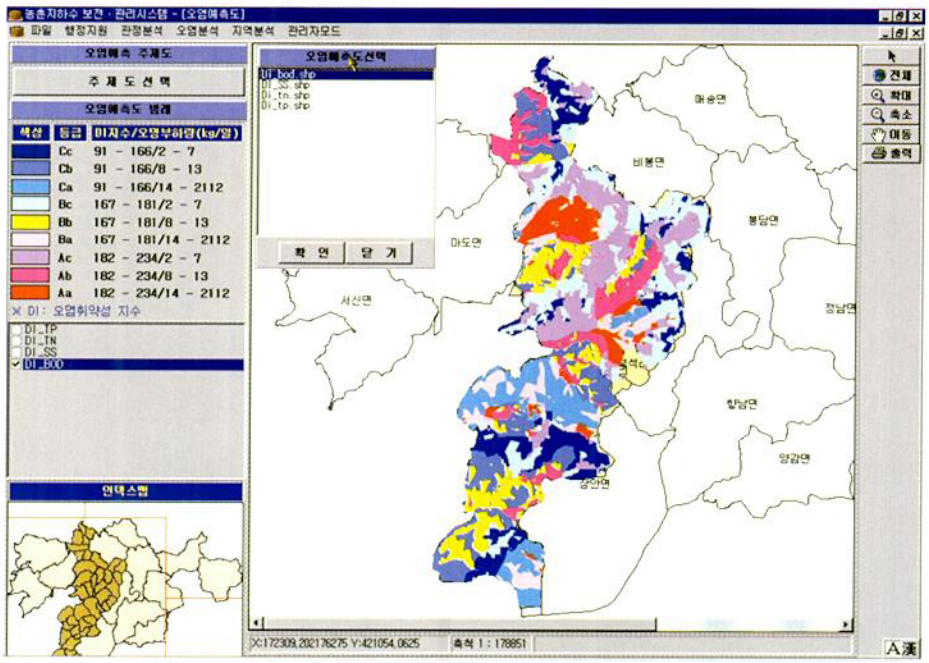
지질도, 위성영상, DEM에서 추출한 구조선을 이용하여 일정 격자별 밀도를 구하고 이를 일정범위로 분류하여 선구조밀도도를 구축하고 또한 감독 분류에 의한 토지이용 분류를 하여 각각에 등급을 설정함으로써 토지이용도를 구축한다. 그리고 이들 자료는 일반 DRASTIC 주제도와 중첩됨으로써 최종적인 변형 DRASTIC 주제도를 생성할 수 있다.



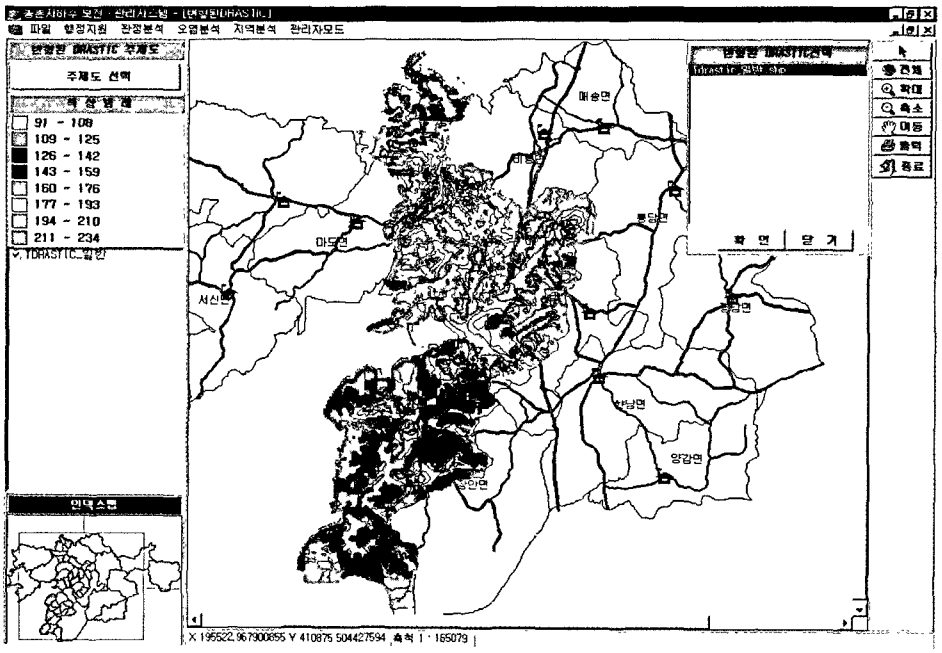
<그림 2-13> 변형 DRASTIC Map

○ 오염예측도

잠재오염원에 대한 원단위 발생부하량 값 3개 그룹으로 분류하고 변형 DRASTIC 주제도와 중첩함으로써 최종적인 오염예측도를 구축한다.



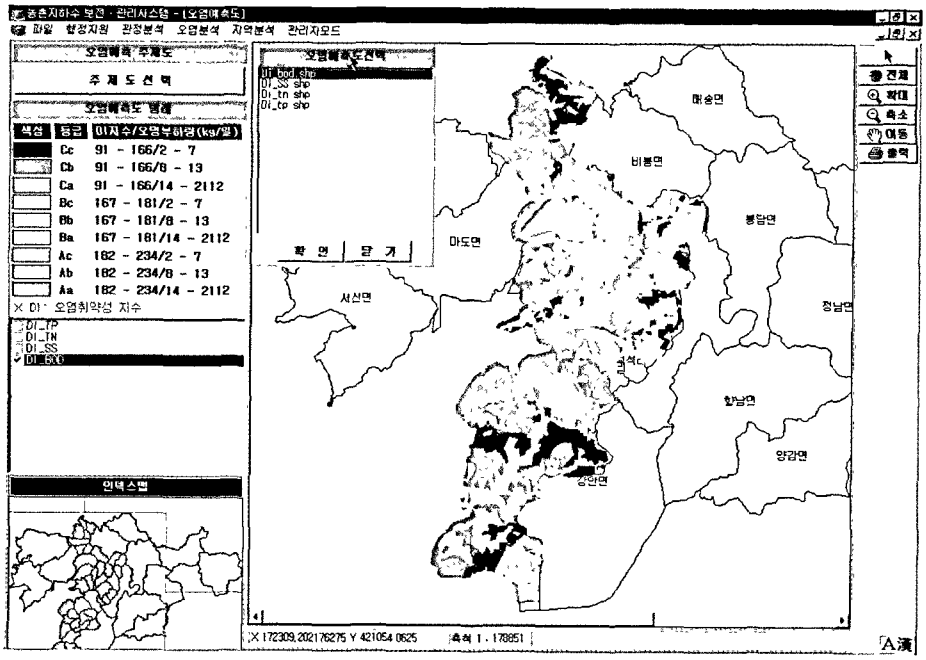
<그림 2-14> 지하수오염예측도



<그림 2-13> 변형 DRASTIC Map

○ 오염예측도

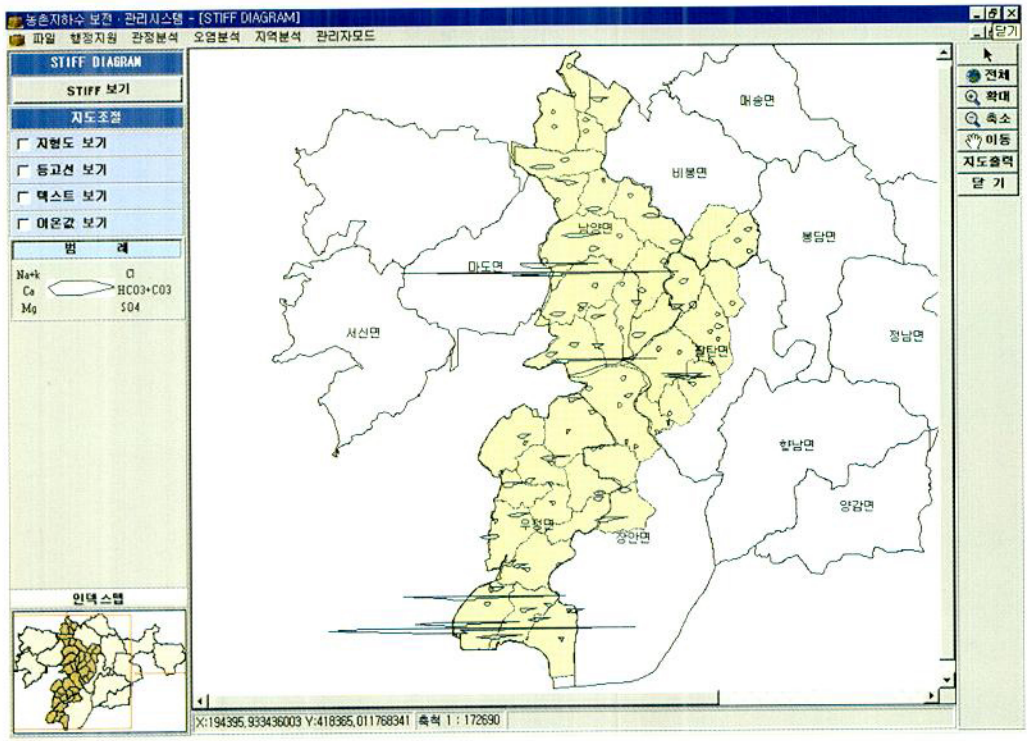
잠재오염원에 대한 원단위 발생부하량 값 3개 그룹으로 분류하고 변형 DRASTIC 주제도와 중첩함으로써 최종적인 오염예측도를 구축한다.



<그림 2-14> 지하수오염예측도

○ Stiff Diagram

지하수조사에 있어서 각 시료채취지점의 수질분석 결과를 이러한 Stiff Diagram으로 도식화하면, 동일기원의 지하수는 같은 형태의 모양을 나타내고 해수의 영향을 받는 경우는 좌우로 긴 형태를 띄므로 지하수 유형 파악에 유용하게 사용할 수 있다. 이온들 값을 이용하여 관정을 중심으로 표현하고 자료 추가시 자동적으로 그래프가 그려진다.



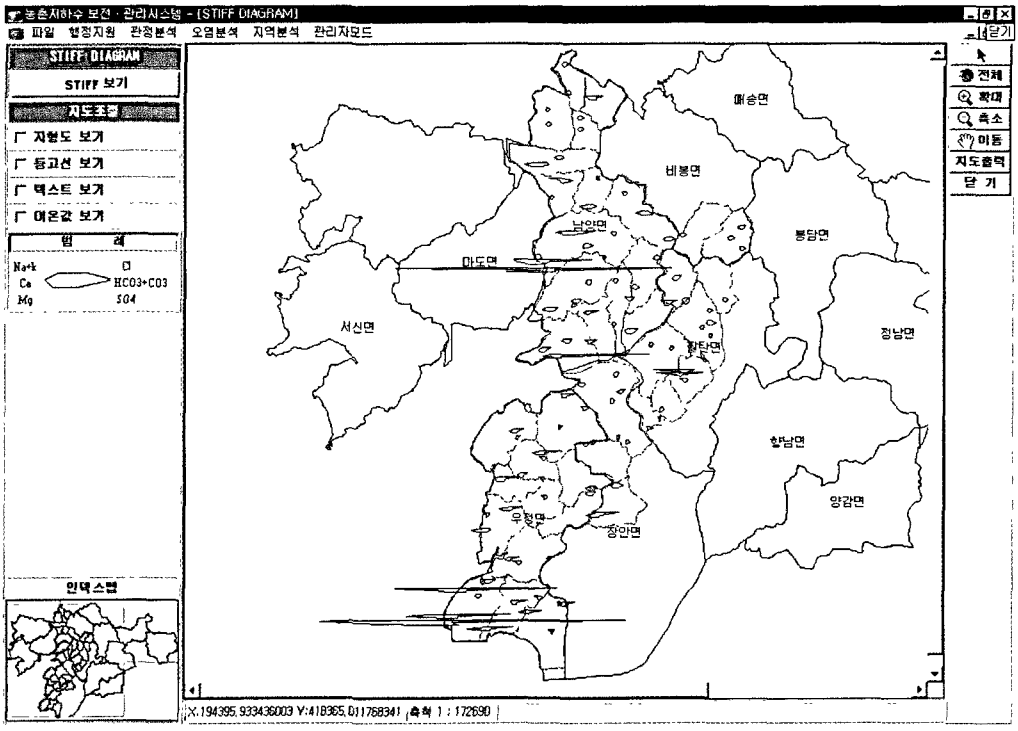
<그림 2-15> 양음이온분석(Stiff Diagram)

○ 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_4, CO_3, HCO_3 이온의 당량농도를 역시 백분율로 환산하여 도시한다. 양이온과 음이온이 도시된 점을 상부에 있는 다이아몬드형 그래프에 도시하여 지하수의 유형분석과 진화 및 혼합작용을 분석하는데 이용한다.

○ Stiff Diagram

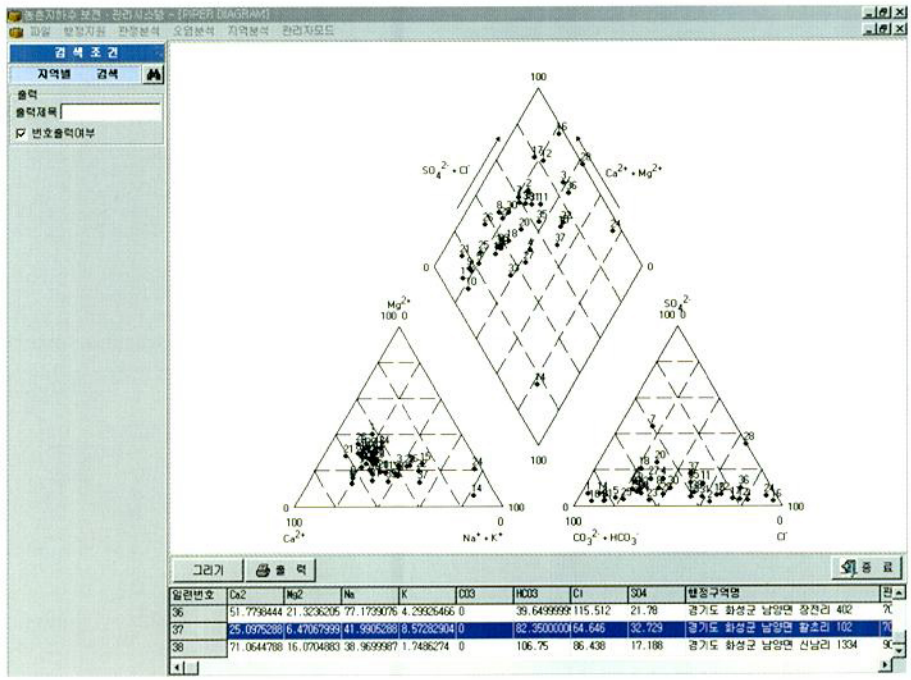
지하수조사에 있어서 각 시료채취지점의 수질분석 결과를 이러한 Stiff Diagram으로 도식화하면, 동일기원의 지하수는 같은 형태의 모양을 나타내고 해수의 영향을 받는 경우는 좌우로 긴 형태를 띄므로 지하수 유형 파악에 유용하게 사용할 수 있다. 이온들 값을 이용하여 관정을 중심으로 표현하고 자료 추가시 자동적으로 그래프가 그려진다.



<그림 2-15> 양음이온분석(Stiff Diagram)

○ Piper Diagram

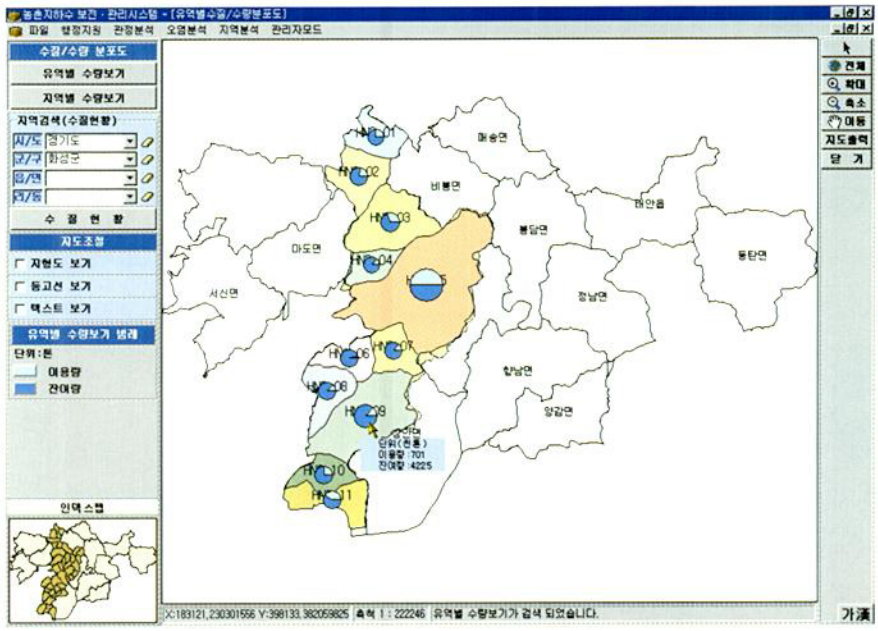
Piper Diagram은 하단에 두 개 삼각형 중 왼쪽은 주 양이온인 K, Na, Mg, Ca의 당량농도를 백분율(meq/l %)로 환산하여 도시하고 오른쪽 삼각형에는 주 음이온인 Cl, SO_4, CO_3, HCO_3 이온의 당량농도를 역시 백분율로 환산하여 도시한다. 양이온과 음이온이 도시된 점을 상부에 있는 다이아몬드형 그래프에 도시하여 지하수의 유형분석과 진화 및 혼합작용을 분석하는데 이용한다.



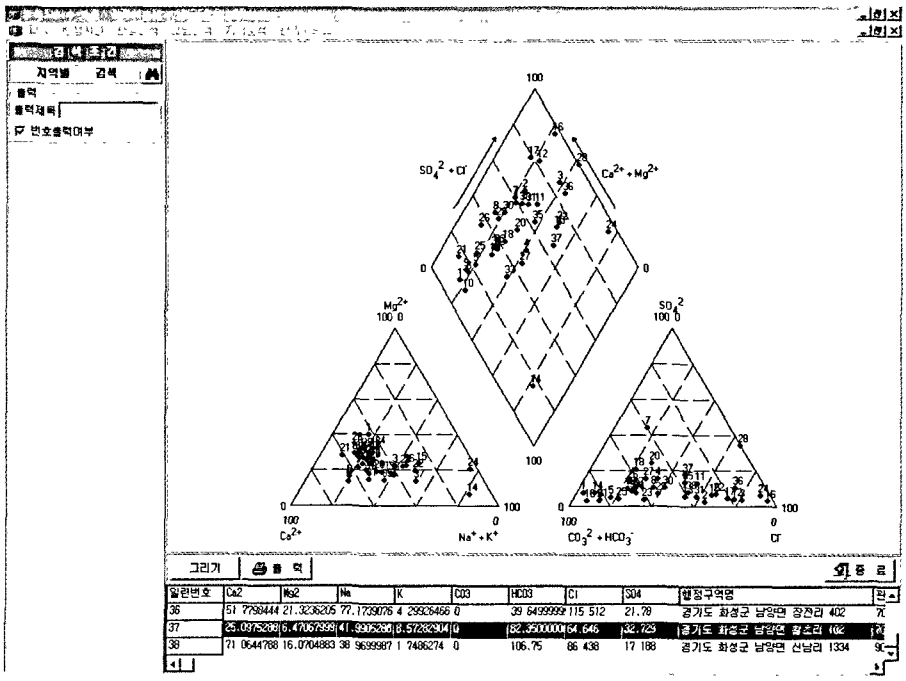
<그림 2-16> 양음이온분석(Piper Diagram)

○ 지역, 유역별 수량/수질 분포도

행정구역이나 유역내의 수량을 부존량, 개발량, 잔여량 등으로 표시하여 지하수 이용관리에 활용할 수 있도록 가시화 하였다.



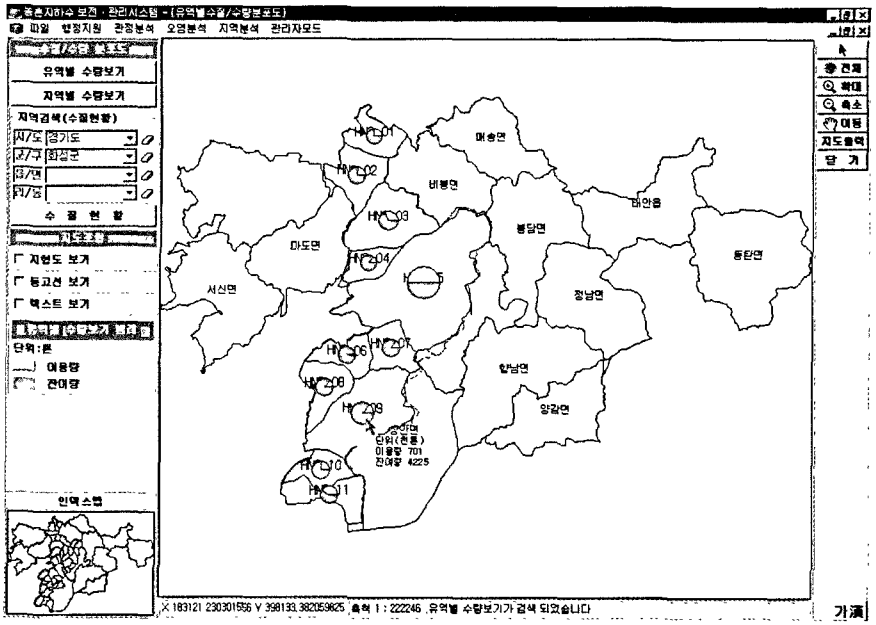
<그림 2-17> 유역별 지하수수량현황도



<그림 2-16> 양음이온분석(Piper Diagram)

o 지역, 유역별 수량/수질 분포도

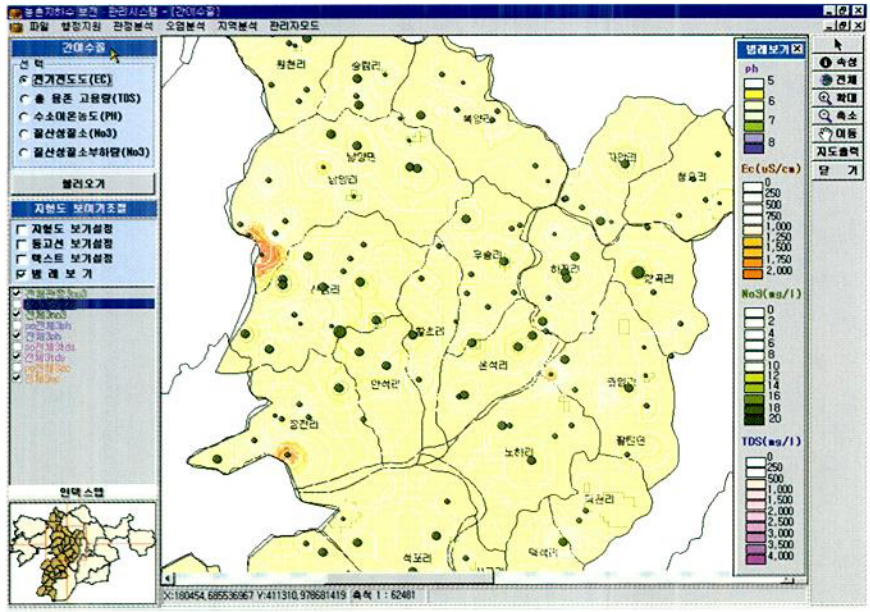
행정구역이나 유역내의 수량을 부존량, 개발량, 잔여량 등으로 표시하여 지하수 이용관리에 활용할 수 있도록 가시화 하였다.



<그림 2-17> 유역별 지하수수량현황도

○ 현장수질

지하수 현장수질 조사에 의해 취득한 자료를 이용하여 행정구역별, 소유역별 지하수 수질오염 정도(EC, TDS, pH, NO_3-N Equipotential map)를 표시할 수 있고, 더불어 전반적인 취약지역을 상대 비교할 수 있다. 이를 이용하면 지역별 수질에 대한 판단 근거를 제시할 수 있으며 지하수 이용관리나 수질오염 관리가 가능하다.



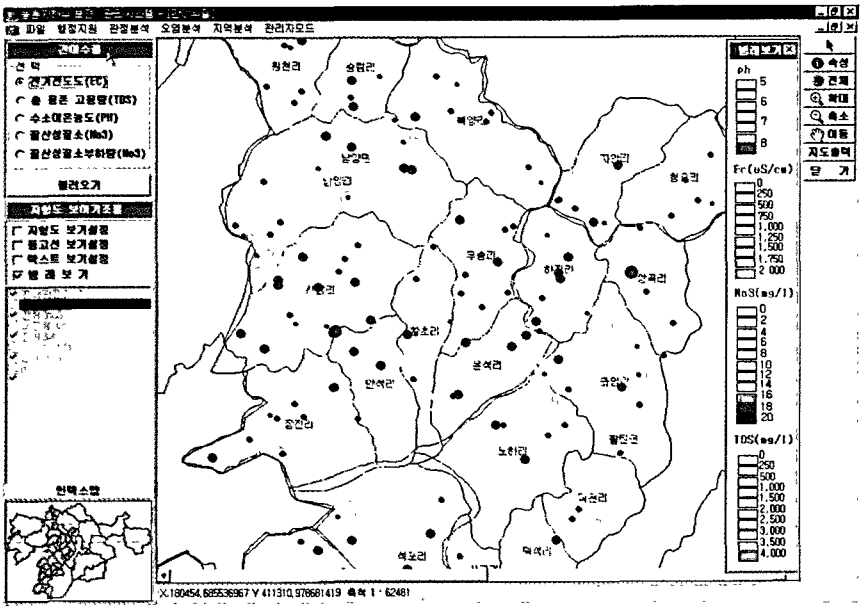
<그림 2-18> 현장수질현황도(EC, pH, TDS, NO_3-N)

○ 물리탐사 측선도

현장조사 입력프로그램에서 각종 탐사현황 자료를 입력하면 아래 <그림 2-19>처럼 자동으로 탐사지점을 나타낼 수 있고, 이 지점들을 선택하면 탐사결과 그림이 보여진다. 또한, 축척에 따라서 그림을 출력할 수 있으므로 보고서 등의 첨부자료로서 활용할 수 있다.

o 현장수질

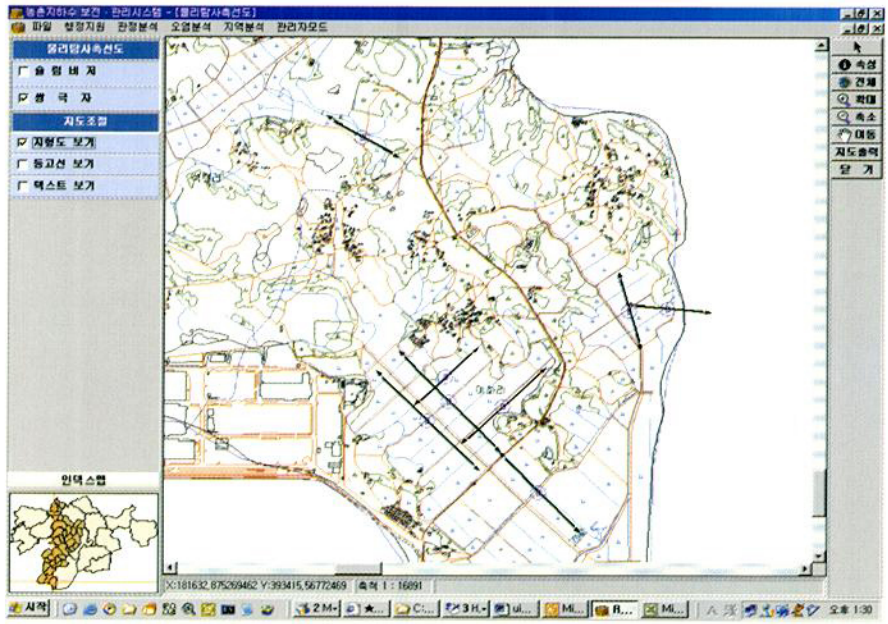
지하수 현장수질 조사에 의해 취득한 자료를 이용하여 행정구역별, 소유역별 지하수 수질오염 정도(EC, TDS, pH, NO_3-N Equipotential map)를 표시할 수 있고, 더불어 전반적인 취약지역을 상대 비교할 수 있다. 이를 이용하면 지역별 수질에 대한 판단 근거를 제시할 수 있으며 지하수 이용관리나 수질오염 관리가 가능하다.



<그림 2-18> 현장수질현황도(EC, pH, TDS, NO_3-N)

o 물리탐사 측선도

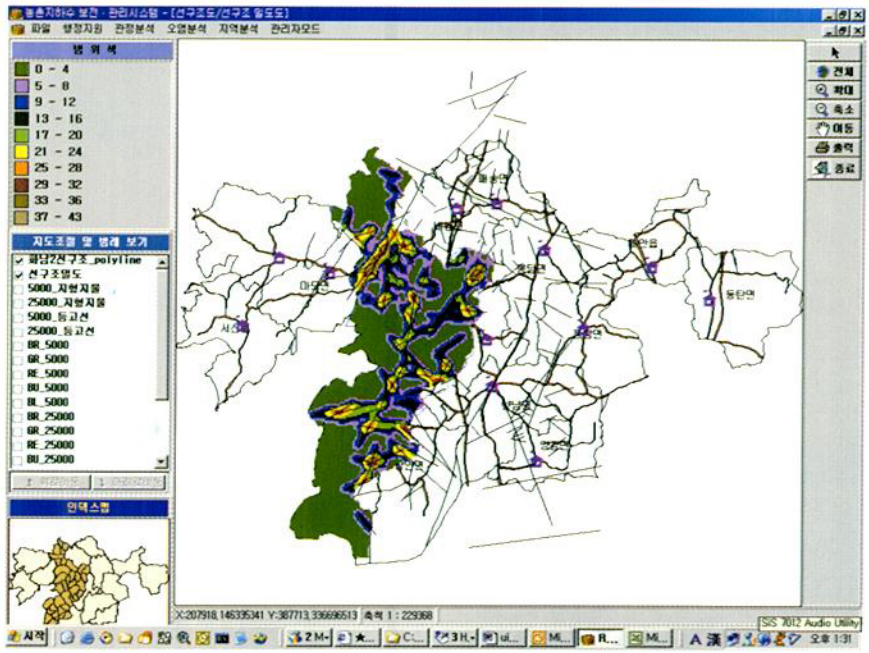
현장조사 입력프로그램에서 각종 탐사현황 자료를 입력하면 아래 <그림 2-19>처럼 자동으로 탐사지점을 나타낼 수 있고, 이 지점들을 선택하면 탐사결과 그림이 보여진다. 또한, 축척에 따라서 그림을 출력할 수 있으므로 보고서 등의 첨부자료로서 활용할 수 있다.



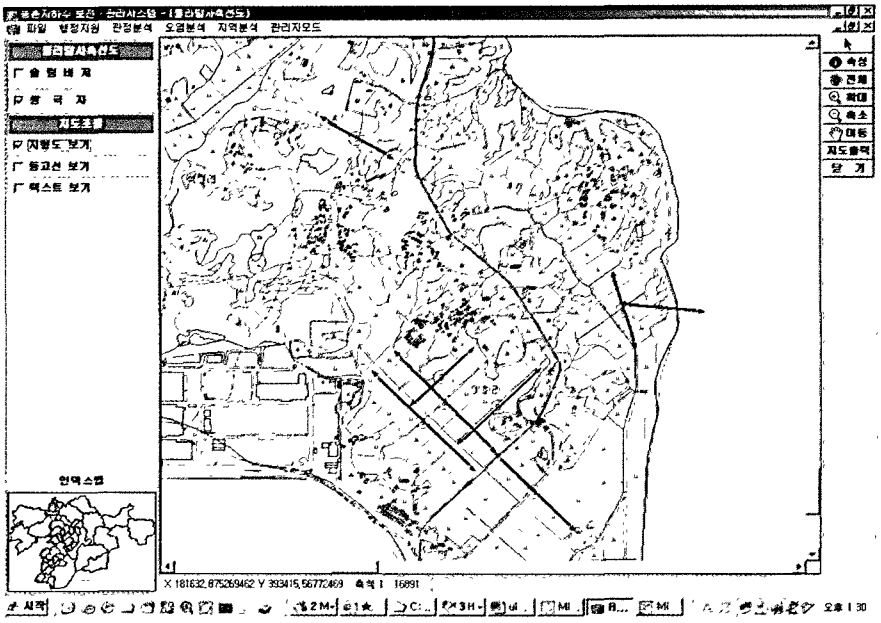
<그림 2-19> 물리탐사측선도

o 선구조조/선구조밀도도

선구조 및 선구조밀도를 분석함으로써 관정개발시 기초자료로써 활용할 수 있고, 또한 관리자 측면에서는 지하수오염 측면에서 주 관심대상지역으로 볼 수 있다.



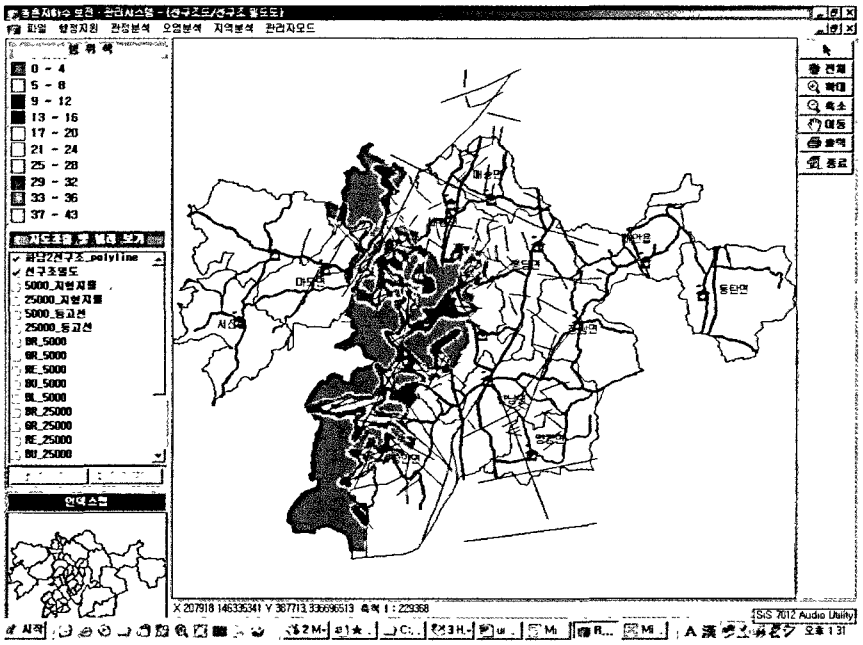
<그림 2-20> 구조선도/구조선밀도도



<그림 2-19> 물리탐사측선도

o 선구조조/선구조밀도도

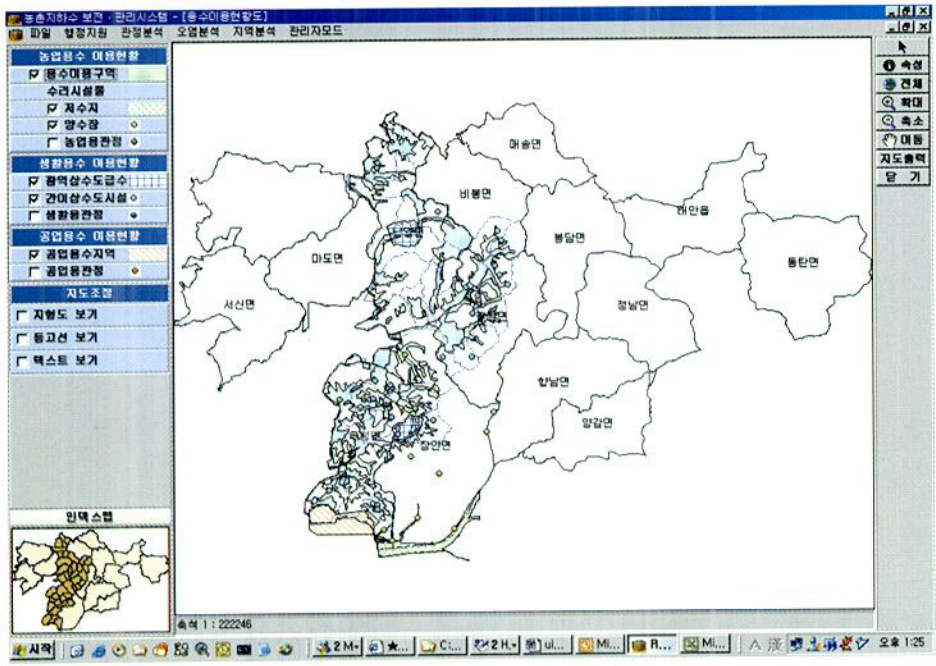
선구조 및 선구조밀도를 분석함으로써 관정개발시 기초자료로써 활용할 수 있고, 또한 관리자 측면에서는 지하수오염 측면에서 주 관심대상지역으로 볼 수 있다.



<그림 2-20> 구조선도/구조선밀도도

o 용수이용현황도

농업용수이용구역과 공업용수, 생활용수 이용지역을 개략적으로 표현함으로써 전체적인 용수이용현황을 알 수 있다. 또한 각 용수이용별로 지하수 관정개발 현황을 알 수 있음으로 인해 향후 재해 발생시 적절히 조치할 수 있는 기초자료로써 활용 가능하다.



<그림 2-21> 용수이용현황도

- **관리자시스템**

관리자가 사용하는 부분으로써 다음과 같은 기능을 수행한다.

· 사용자 관리: 사용자 추가/삭제, 접근/차단 등의 기능

· HomePage 운영: 지하수자원에 대한 정보를 지속적으로 제공, 업그레이드하는 기능

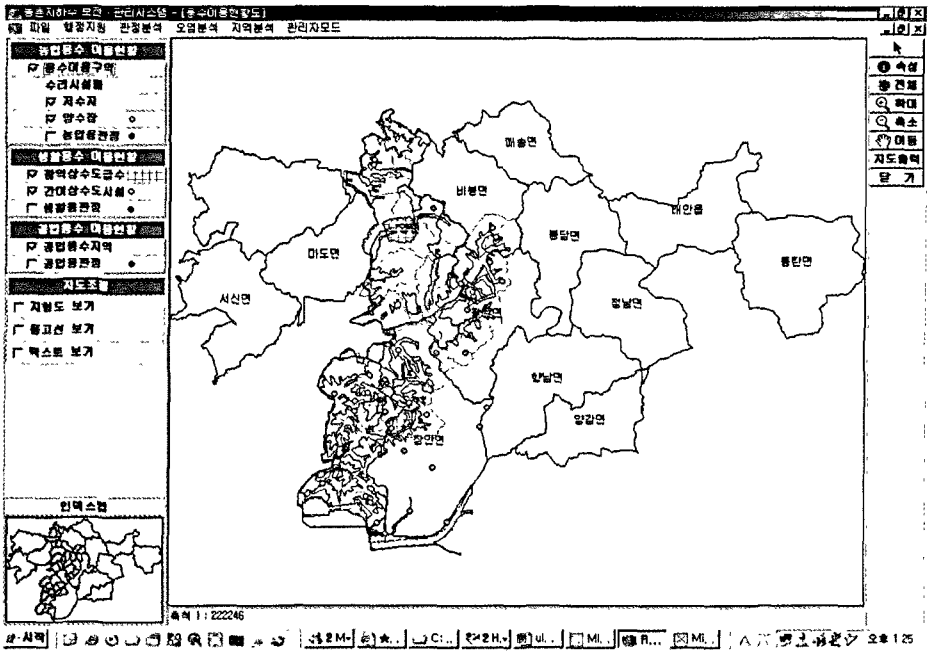
· DB/Web 서버운영: 신규 지하수자원 정보를 DB화하고 서버를 운영

· 자료검증 및 통합관리: 도본부/본사에서 신뢰성있는 자료를 DB화할 수 있도록 검증하고, 분산된 DB를 통합관리하는 기능

· 기초자료 신규생성: 계속적으로 변하는 기초자료를 신규 생성하고, WebGIS에서 볼 수 있는 기능을 수행

o 용수이용현황도

농업용수이용구역과 공업용수, 생활용수 이용지역을 개략적으로 표현함으로써 전체적인 용수이용현황을 알 수 있다. 또한 각 용수이용별로 지하수 관정개발 현황을 알 수 있음으로 인해 향후 재해 발생시 적절히 조치할 수 있는 기초자료로써 활용 가능하다.



<그림 2-21> 용수이용현황도

- 관리자시스템

관리자가 사용하는 부분으로써 다음과 같은 기능을 수행한다.

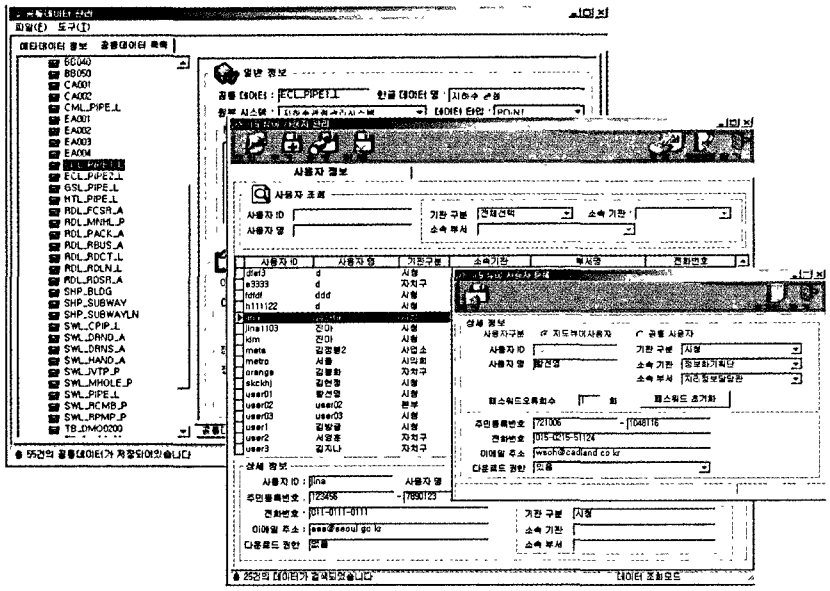
· 사용자 관리: 사용자 추가/삭제, 접근/차단 등의 기능

· HomePage 운영: 지하수자원에 대한 정보를 지속적으로 제공, 업그레이드하는 기능

· DB/Web 서버운영: 신규 지하수자원 정보를 DB화하고 서버를 운영

· 자료검증 및 통합관리: 도본부/본사에서 신뢰성있는 자료를 DB화할 수 있도록 검증하고, 분산된 DB를 통합관리하는 기능

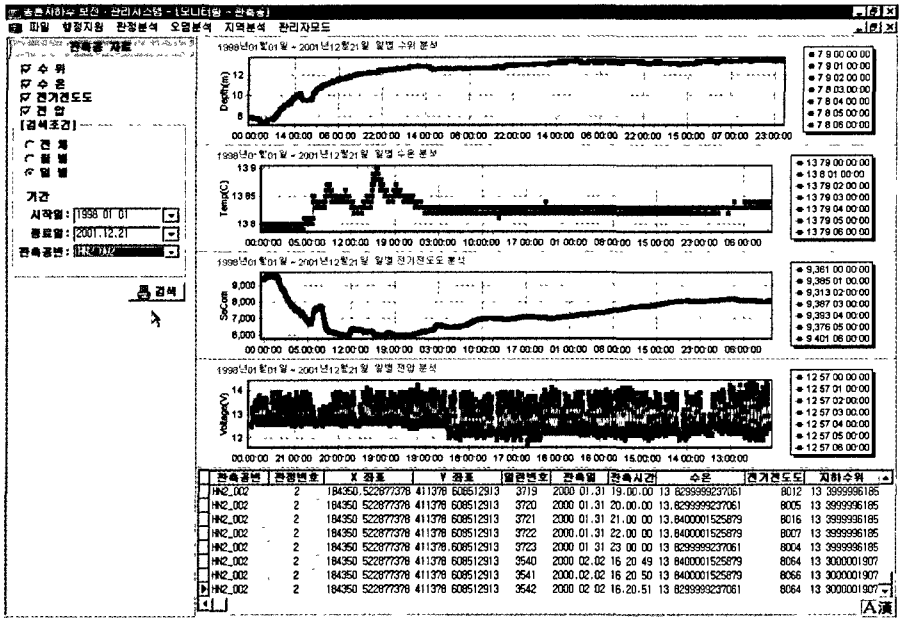
· 기초자료 신규생성: 계속적으로 변하는 기초자료를 신규 생성하고, WebGIS에서 볼 수 있는 기능을 수행



<그림 2-22> 관리자시스템의 사용자관리 초기화면

· DB 표준화 관리: 관리상의 편의를 위해 각종 분산된 DB를 표준화하는 기능

· 관측망 운영: 관측망에서 서버로 들어오는 자료들에 대한 관리와 관측망 추가 및 삭제 등 전반적인 운영을 담당



<그림 2-23> 관측정 모니터링

2.3 시스템 운영

가. 시스템운영을 의한 조직 및 인력

- 시스템운영을 위해서는 최소한 시스템운영자 1인이 필요하다. 본 인원은 기본적인 프로그램을 유지하는데 구성되는 요원으로써 기본적인 작업 이외에 새로운 자료의 갱신 등에는 한계가 있으므로, 효율적인 자료갱신을 위하여 지하수 담당부서 및 점오염원 담당부서 등이 긴밀히 협조하여 지속적 자료관리가 가능하도록 전담 조직을 두어 모든 자료를 관리하는 것을 권장한다.
- 시스템을 전담하는 조직에서는 화성시에서 행정적으로 관리되고 있는 자료의 고유번호 등을 부여하고 데이터베이스를 설계함으로써 기존의 행정조직에서 관리되고 있는 자료와 연계하여 시스템을 운영할 수 있도록 지원해 주어야 한다.

나. 소프트웨어 및 하드웨어의 유지/보수

- ARC/INFO는 유지/보수 계약을 체결하여 지속적이 운영관리 및 기능향상을 하도록 권장하며, 기존의 소프트웨어에 대해서도 지속적인 기능향상(Upgrade)을 실시하여야 한다.
- 하드웨어는 지속적으로 좋은 성능의 장비가 나오고 있으므로 일정 기간을 두어 중앙연산장치를 포함한 장비의 교체 또는 기능향상 및 저장매체의 자료량의 증가속도와 고장 등을 고려하여 필요에 따라 확장을 권장한다.

다. 데이터의 갱신

- 잘못된 데이터의 갱신주기는 년차별 갱신, 재조사에 따른 갱신, 수시 갱신 등으로 구분 된다.
- 지하수 관정에 관련된 허가 자료는 효율적인 지하수 관리를 위해 수시 갱신이 필요하다.
- 잠재오염원에 관련된 자료는 년차별 갱신이 필요하다. 본 과업에서 조사된 잠재오염원자료는 각 시/군의 환경관리과 및 환경위생과, 소방서 등 여러 기관에서 수집하였다.

o 잠재오염원자료의 지속적인 관리를 위해서는 각 시군 및 소방서 등 관련기관과 긴밀히 협조하여 고유번호에 의한 지속적인 관리를 권장한다.
o 지하수위 등고선도는 금회 조사된 지하수위로 작성된 등고선도를 구축하였다. 향후에도 학술조사 및 재조사에 따른 지하수위 등고선도가 작성될시 재조사에 따른 갱신을 하여야 한다.
o 착정주상도는 지하지질에 대한 지식이 있는 전문인력의 관리 하에 추가적인 갱신 및 추가자료를 입력하여야 한다.

라. 시스템의 보안

o 시스템에서 데이터 및 운영적인 보안을 위해 전문적인 운영요원이 작업을 하여야 한다.
o 시스템 운영관리자는 시스템의 관리를 위해 비밀번호 부여, 시스템에 접근통제, 사용자에게 수시 교육 등 최대한의 노력을 기울여야 한다.

마. 자료의 공개

o 구축된 자료는 화성시에서 시스템 운영요원 및 관리자가 보안등급에 따라 일반 공개 또는 비공개를 결정하여야 한다.
o 일반공개로 결정된 자료는 화성시의 인터넷 자료실에 등재하여, 지하수에 관련된 정보를 원하는 주민 및 지하수 관련 전문가에게 자료를 제공하고, 다양한 분야의 전문가들이 자료를 이용할 수 있도록 하여야 한다.
o 자료를 이용하여 연구한 결과들은 추후 화성시 지하수를 관리하는데 많은 부분에 기여할 수 있도록 한다.

여 백

자 문 결 과

여 백

검 토 의 견 서

1. 과 제 명 : 농촌지하수관리조사사업 자문회의

2. 자문위원 : 소속 : 한국지질자원연구원 **성명 :** 성익환

3. 검토의견

- 방대한 분야 및 분량의 조사사업이 이루어졌으며, 기존 수문지질도와 차별화가 되면서, 내용적으로 각 chapter별 나열식으로 나열하였으나, 이들을 연결하여 해석 분석할 수 있는 편집력이 좀 부족함

- 전국의 농업용수의 이용율이 높은 관계로 상기 조사 format을 발전시킬 수 있는 제도적인 장치가 필요할 것임

- 특히 농기반의 인력 및 조직이 타부처 어떤 조직보다 우세함으로 이 인력과 조직을 활용할 수 있고 보다 더 보강할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

- 농림부에서는 건교부나 환경부와 설립한 토론을 통해 농업용수에 한해서 만이라도 중장기적으로 지하수관리조사보고서를 작성할 수 있는 제도적인 장치 마련이 필요

- 보고서의 조사기간이 1년, 2년, 3년 등의 의견이 다원화됨에 따라 혼동이 생기므로, 단위지역당 조사기간이 1년인지 2년인지 구분을 명확히 할 필요가 있음

- 관리시스템 구축 성과는 크다고 보나, 보다 현실성 있고 타부처와 호환성이 있으며 누구나 접근할 수 있어야 하며 개방이 가능하여야 겠음

- 지하수관리에만 치중하지 말고 지표수-지하수를 연계한 시스템 구축이 필요, 농업용수가 성수기 때는 농업용수로서, 비수기 때는 생활용수로서 사용토록 하기 위해 이를 사후관리차원에서 농업기반공사에서 주력하여야 되겠음

- 사후관리를 위한 인력조직 강화 측면에서 농림부에 지원요청이 적극적이어야 할 것임

검 토 의 견 서

1. 과 제 명 : 지하수관리조사사업 자문회의

2. 자문위원 : 소속 : 연세대학교 성명 : 우남칠

3. 검토의견

1) 지하수는 시간에 따라서 양과 질이 지속적으로 변함
   - 결과적으로 이와 같은 관리조사 사업은 주기적으로 반복되고, 지속적인 모니터링(관측)과 자료의 update 및 해석이 필수적이다.
   - 사후 모니터링에 대한 예산 확보가 필요함

2) 사업의 체계에서 전술한(1)의 지속적 모니터링과 feed-back system이 고려될 필요가 있음

3) 오염취약성도와 오염예측도는 현장 담당자(공무원)들에게 가장 활용성이 큰 부분임
   - 정확한 사용방법과 한계성에 대한 명시가 필요함.

4) 대단히 많은 중요한 현장자료를 수집하였음
   - 자료의 활용방안이 실제 적용되도록 단순화가 필요함
   - 수량·수질 종합결과는 수치화하면 쉽게 이해될 것임.

검 토 의 견 서

1. 과 제 명 : 지하수관리조사사업 자문회의

2. 자문위원 : 소속 : 한국수자원공사 **성명 :** 원종호

3. 검토의견

1) 대상지역의 지하수 관리에 필요한 사항들에 검토분석이 전반적으로 잘 이루어진 것으로 판단됨.

2) 보고서 내용 중 일부 추가 검토 또는 보완이 필요한 사항은 다음과 같음

- "2.2.3 산업 및 경제" 중 "<표 2-2-7> 산업단지 지정현황"의 면적 단위가 "㎢"로 기재되어 있는 바 이는 오타로 추정되므로 확인 수정 필요
- "3.1.1 지하수 현황"과 "3.1.2 잠재오염원 현황, 가. 점오염원"의 기술에 있어 분석의 기준 연도를 명시할 필요가 있음
- "3.2 지하수 산출특성" 편에서 암반대수층을 지질도상의 지층 구분에 따라 분류하여 지질별 수리특성 등을 분석하였는 바, 시기 및 암상에 따라 세분된 지층을 수리적 특성에 따라 수문지질단위로 재분류하여 분석하는 것이 보다 바람직한 것으로 사료됨
- "4.1.1 이용량 분석, 라. 용수이용 특성 및 수요전망"에 있어 생활용수와 공업용수에 대해서도 농업용수와 축산용수는 5년 단위로 수요 전망을 실시할 필요가 있음
- "4.2.2 오염취약성 및 예측"
  - 현 보고서에서는 GDP와 MDP 분석결과를 나타낸 도표에서 산정된 지수를 6~8단계로 구분하여 제시하고 있으나, "수문지질도 제작 및 관리지침('98.12, 건설교통부)"에서 지하수 오염취약성은 "대단히 낮음", "낮음", "중간", "높음", "대단히 높음"의 5개 등급으로 구분하고 있으므로 이 기준에 따라 대상지역의 오염취약성 등급을 재분류하는 것이 바람직함
- "5.1 관리현황 및 개선대책"
  - 지하수 수량과 수질에 대한 유역별 종합평가(<표 5-1-1~3> 관련)에 있어 각기 5개 항목을 선정하고 5개 등급으로구분, 단순조합하여 평가하였는 바, 향후 각 항목별 평가와 가중치 부여에 관한 연구("parametric study")를 실시하면 보다 합리적인 평가가 이루어질 수 있을 것임

검 토 의 견 서

1. 과 제 명 : 농촌지하수관리조사사업 자문회의

2. 자문위원 : 소속 : 고려대학교 성명 : 윤성택

3. 검토의견

(1) 전반적인 검토 의견

- 본 조사는 국내 농촌지하수의 최적 개발.이용.보존 관리를 위한 기초조사의 일환으로 수행되었는바, 이러한 조사는 향후 국내의 물관리 차원에서 매우 중요한 것으로서 앞으로도 지속 수행되어야 할 것임.
- 본 조사에서는 경기 화성군 일대의 지하수를 대상으로 목적에 부합되는 조사들을 항목별로 체계적으로 수행하였음. 특히, 그동안의 지하수 조사 보고서와는 달리, 지하수 수질(및 지화학) 자료를 비중 있게 수집 해석하였고 또한 비교적 장기간(약 3년)에 걸쳐 방대한 자료들을 수집/해석함으로써, 신뢰성과 활용성이 매우 높은 우수한 조사 결과를 도출하였다고 평가됨.
- 전반적으로, 수행성과가 매우 우수하다고 평가됨.

(2) 항목별 검토 의견

1. **질소동위원소 자료를 활용한 오염원 해석 관련**: 최근 국내 지하수의 수질과 관련하여 질산성질소는 가장 중요한 모니터링 항목으로 부각되고 있으며, 따라서 그를 잘 관리함이 무엇보다 중요함. 이를 위해서는 질산성질소의 오염원 규명이 선행되어야 함. 본 조사에서는 그동안의 국내 지하수 조사 중에서는 선도적으로 60개 시료에 대한 질소동위원소 분석을 통하여 유역별 오염원을 정량적으로 파악하고자 시도하였음. 다만, 지하수의 질소동위원소비는 단순히 오염원의 종류 뿐 아니라 대수층 내에서의 지화학 반응들(예: 탈질반응 등)에 의하여 좁은 지역 내에서도 다양하게 달라지므로, 단순한 동위원소질량보존 모델을 적용한 오염원 해석은 자칫 오류를 낳을 수 있음. 따라서 자료를 평가하는데 있어 이러한 한계성이 내재되어 있음을 본문 중에 명확히 기재하길 바람.
2. **오염취약성도와 오염예측도 등의 표현 관련**: 이러한 도면은 지하수 관리에 있어 가장 중요한 성과물인바, 누구나 한눈에 그 정도를 쉽게 알아볼 수 있도록 해야 함. 이에, 그 등급을 표현한 색이 오염가능성이 큰 곳(빨강)부터 낮은 곳(파랑)의 순으로 점차 변화되도록 재조정하길 바람. 아울러, 이러한 도면의 활용에 있어서 고려되어야할 제한점(한계)이 있다면 이들에 대하여도 명기할 필요가 있음.
3. **수량/수질 종합 평가 및 개선 방안 제안(종합) 관련**: 전반적으로 결론 도출 과정이 상당히 합리적이고 우수함. 다만, 1) 본 조사지역의 경우 지하수 수질은 인위적인 오염(질산성 질소로 대표됨) 뿐 아니라, 여러 자료들을 통하여 볼 때 지역적으로는 해수의 혼입(또는 침투)에 의한 영향을 상당히 받는 것(EC, TDS, Cl, Na, SO4 등으로 대표)으로 판단되는바, 이 문제에 대한 평가와 개선(및 최소화) 방안이 보완 기재되어야 할 것으로 생각됨. 2) 현재 개발가능량 대비 지하수이용량이 현저히 높은 일부 지역에 대해서는 '지하수개발제한지구' 지정을 추천함이 필요함. 아울러, 3) 평가 항목별로 가중치를 부여하여 점수화하는 소위 '종합정량평가(scoring)시스템'을 제안하는 수준의 추가 기재가 포함되었으면 좋겠음.

검 토 의 견 서

1. 과 제 명 : 농촌지하수관리조사사업 자문회의

2. 자문위원 : 소속 : 서울대학교 **성명 :** 이강근

3. 검토의견

1. 지하수가 농업활동이나 농촌지역에서 차지하는 비중이나 중요성을 감안할 때 대단히 적합한 조사사업이라고 판단되며, 앞으로 지속적으로 발전, 확대 추진되어 가는 것이 바람직하다.

2. 이 조사사업이 실제적으로 농촌지역의 주민들이나 지자체의 해당관서에서 지하수 활용이나 지하수보전·관리사업 계획을 수립하거나 추진해 가는데 바로 기초 자료로 이용되기 위해서는 축적되는 조사 자료의 활용에 대해서 집중적인 연구가 필요하며, 이를 위해서는 수요자 (지역 주민 및 해당 행정부서의 실무자)들로부터 설문을 받아서 활용에 필요한 list를 만들고 그 것을 충족시켜가는 연구를 추진하는 것이 바람직하다.

3. 지하수관리 기본계획에 의거하여 실시하기로 되어 있는 전국 지하수 관측망과 각 지역의 보조 지하수 관측망 사업과 본 사업에서 나오는 조사 자료가 상호 활용되면 좋겠다. 특히 향후 보조지하수 관측망의 선정과 운영에 본 조사사업에서 얻은 결과가 적극 활용되는 방향으로 일이 추진되면 좋겠다.

4. 자료의 데이터베이스화 작업에서 한국수자원공사의 지하수 데이터베이스(향후 지하수정보센터의 자하수 자료 정보화사업)와 상호 호환성을 가질 수 있도록 긴밀한 협조관계 구축이 필요하다.

5. 조사보고서 작성에서(화성시 농촌지하수관리조사보고서의 예를 보면), 조사의 내용과 방법 및 결과가 일반 조사보고서 형태로 편집되어 있다. 그러나 본 사업은 농어촌지역 소유역단위로 장소를 옮겨가며 계속 추진되어가야 할 성격의 사업이다. 따라서 각 조사지역에 공통적으로나 필수적으로 포함되는 조사방법과 분석 방법등은 예컨대 "농촌지하수관리조사를 위한 기본조사 편람(가칭)"을 작성하여 별책으로 편집하고, 각 유역에는 조사, 분석의 결과와 특이사항 및 지하수 관리 대책을 중점적으로 다루는 것을 검토해 보는 것이 좋겠다. 별책의 내용으로는 자연환경 및 인문환경 조사 항목과 방법, 지하수 현황 조사 항목과 방법, 오염원 조사 항목과 방법, 수리시험 내용과 방법, 오염취약성 분석 방법 등이 포함될 수 있을 것으로 보인다.

6. 기본 현장 조사시에 조사 항목(현황조사나 수질 항목 등)을 checklist로 만들어서 보고서 마지막 부분 부록에 넣는 것이 좋겠다. 그렇게 하면 해당 지역 주민이나 관심있는 사람들이 기본적으로 어떤 항목이 조사되고 검토되었는지 알 수 있어서 짧은 시간에 내용을 파악하는데 도움이 될 것이다.

검 토 의 견 서

1. 과 제 명 : 지하수관리조사사업 자문회의

2. 자문위원 : 소속 : 연세대학교 **성명 :** 한정상

3. 검토의견

쪽	의견내용
2, 51	지하수 수위등고선도, 지하수두 등고선 등 술어 통일, 등수위선, 등수위선도 등으로
19	건교부와 농림부가 각각 시행한 경기도 지역의 지하수 이용현황이 크게 다르지 않도록 수정보완 내용을 명기
52,69	EC분포농도, NO_3-N 농도분포 등을 제시한 그림 중에서 OO XX등 symbol의 설명필요
54	등수위선도는 해당지역의 지형고도, 분수령 및 하천호소와 같은 경계조건을 고려하여 반드시 손으로 작성 할 것
63	대수성 수리특성 인자의 분포가 정규분포가 아닐때는 그 평균값 중앙값을 사용치 말고 범위로 표기하되 극값을 제외한 범위를 15± α의 형태로 표기하면 어떨지?
65	그림에서 점으로 표현한 것에 대한 설명 필요
82	Piper diagram에서 나타난 수질 분포결과를 이용하여 지하수의 Evolution 과정을 언급할 필요가 있음 Ⅲ zone(Ca-HCO_3) → Ⅰ zone(Ca-Cl, Na-Cl)으로의 evolution 과정을 설명(가능하면) .
126	지하수 함양량 산정 가운데 SCS법은 우리나라와 같이 지형기복이 심한 지형고도차에 의한 유출량을 고려치 않으므로 본 역에 적용하는 것은 적절치 않음 <그림4-1-15> 지하수 이용량 대 적정개발 가능량이 80% 이상되는 지역을 제시하였는데 이들 지역은 개발제한 지구로 지정토록 추천해야함이 옳을 것임
143	오염가능성이 큰 지역은 적색의 진한 색깔, 오염가능성이 적은 지역은 청색으로 표기하여 한눈으로 알아볼수 있도록 도면을 작성(작성기준에 준하여)
147	MDP와 총오염발생부하량을 SAFE(Soil Aquifer Field Evalutaion)이나 Flemish 지역의 오염가능성 분류법을 응용하여 지하수 오염 예측도를 작성한 것은 특이한 방법으로서 권장할 만한 방법임
151	지하수 관리대책과 종합결언 1) 현지하수 이용량이 개발가능량을 초과하거나 80%이상되는 지역은 지하수 보전지역 중 지하수 개발제한지역으로 지정하도록 제시하기 바람 2) 지하수의 산출량이나 개발가능량이 많으면서 이용량이 적은 지역, 또는 용수이용량이 부족한 지역은 지하수 개발 유망지역으로 지정하여 지역 지하수 관리계획수립시 정밀조사가 가능하도록 제시하기 바람 전반적으로 매우 양호한 보고서임. 수고했습니다. 2003. 12. 11.