

발 간 등 록 번 호
71-3940000-000080-01

수문지질도 등록번호
HG-2008-GY



고양시 지하수 기초조사 부록 I : 조사편

2009. 8



고양시
Goyang City

목 차

1. 서 론

1.1 조사배경 및 목적	1-1
1.2 조사위치	1-2
1.2.1 지리적 위치	1-2
1.2.2 행정구역 현황	1-2
1.3 과업의 내용 및 범위	1-4
1.3.1 조사기간	1-4
1.3.2 조사내용	1-4

2. 수문지질 환경

2.1 하천 및 유역구분	2-1
2.1.1 하천 현황	2-1
2.1.2 유역 구분	2-10
2.2 기상	2-12
2.3 지형	2-14
2.3.1 개요	2-14
2.3.2 지형특성	2-16
2.3.3 유역별 지형 특성	2-19
2.4 지질 및 지질구조	2-20
2.4.1 지질개요	2-20
2.4.2 지질각론	2-21

2.4.3 지질구조	2-25
2.5 지표피복	2-30
2.5.1 원격탐사	2-30
2.5.2 토양	2-35
2.5.3 토지이용(Land Use Map)	2-38
2.5.4 식생	2-39

3. 지하수 개발과 이용

3.1 지하수 개발 · 이용 현황	3-1
3.1.1 지하수 시설현황	3-1
3.1.2 지하수 이용현황	3-6
3.2 지하수 개발 · 이용 특성	3-17
3.2.1 공당 지하수 이용량	3-17
3.2.2 단위 면적당 지하수 이용량	3-17
3.2.3 지하수 개발 밀도	3-18
3.3 산업경제 현황	3-22
3.3.1 산업경제	3-22
3.3.2 용수이용현황	3-23
3.3.3 용수수급전망	3-29
3.3.4 시설확충계획	3-32

4. 세부수리지질조사

4.1 조사개요	4-1
4.2 지표수 유량/수질 관측조사	4-2
4.2.1 지표수 관측지점 선정	4-2

4.2.2 관측조사계획	4-3
4.2.3 지표수 유량 관측	4-5
4.2.4. 지표수 수질 관측	4-6
4.3 지하수 관측조사	4-8
4.3.1 개요	4-8
4.3.2 지하수 수위 관측	4-12
4.3.3 지하수 수질 관측	4-12
4.3.4 지하수위 자동관측	4-14
4.4 전기비저항 탐사	4-19
4.4.1 개요	4-19
4.4.2 탐사위치	4-19
4.4.3 탐사방법	4-20
4.4.4 탐사결과	4-21
4.5 시추 및 착정조사	4-29
4.5.1 조사방법	4-30
4.5.2 조사성과	4-33
4.6 물리검층	4-37
4.6.1 개요	4-37
4.6.2 조사결과	4-40
4.7 대수성시험	4-44
4.7.1 단계대수성시험	4-44
4.7.2 장기양수시험 및 회복시험	4-49
4.8 충전층 시료 실내분석	4-55
4.8.1 개요	4-55
4.8.2 조사위치	4-56
4.8.3 조사결과	4-58

4.8.4 수리전도도 산정결과	4-58
4.9 성과종합	4-59
4.9.1 총적지하수	4-59
4.9.2 암반지하수	4-60
 5. 지하수 부존 및 산출 특성	
5.1 수문지질단위 분류	5-2
5.1.1 수문지질단위 설정	5-2
5.1.2 유역별 수문지질단위 분포	5-4
5.2 지하수 수위분포	5-7
5.2.1 지하수 수위 및 심도분포	5-8
5.2.2 지하수 수위변동 특성	5-11
5.2.3 지표수 유량 변동 및 인근 지하수위 변동 특성	5-18
5.3 지하수 유동체계	5-21
5.3.1 지하수 수리경사	5-21
5.3.2 지하수 함양·중간 및 배출체계	5-23
5.3.3 지하수 유동방향	5-25
5.3.4 지하수 유동체계	5-26
5.4 대수층 수리특성	5-28
5.4.1 자료구축	5-28
5.4.2 수문지질단위별 지하수 수리특성	5-30
5.4.3 지질구조와 지하수 산출특성	5-34
5.4.4 총적층 심도 및 구성물질	5-35
5.4.5 지형과 지하수 산출특성	5-38
5.5 수문지질 특성 평가	5-40

5.5.1 지하수 산출성	5-40
5.5.2 평가 기준	5-40
5.5.3 수문지질 특성평가	5-45
5.6 지하수 함양량 및 개발가능량	5-53
5.6.1 지하수 함양량 평가	5-53
5.6.2 지하수 개발가능량	5-83

6. 지하수 수질 및 오염취약성 평가

6.1 배경수질	6-1
6.1.1 수질분석 대상지점 선정 및 시료채취	6-1
6.1.2 분석항목 및 방법	6-4
6.1.3 이화학 분석 결과	6-6
6.1.4 구역별 배경수질	6-12
6.1.5 수문지질단위별 배경수질	6-14
6.2 주요 항목 수질분석	6-16
6.2.1 지하수 수질기준	6-16
6.2.2 용도별 수질기준 검토	6-17
6.3 잠재오염원현황	6-19
6.3.1 기초 환경시설 현황	6-19
6.3.2 잠재오염원 조사	6-21
6.4 오염취약성 평가	6-23
6.4.1 DRASTIC 시스템	6-24
6.4.2 DRASTIC 시스템의 적용	6-26
6.4.3 오염취약성 평가	6-29

7. 지하수 개발 및 보전

7.1 지하수 개발 유망지역	7-1
7.1.1 충적지하수 개발 유망지역	7-1
7.1.2 암반지하수 개발 유망지역	7-1
7.1.3 지하수 개발방안	7-3
7.2 지하수 보전 필요지역	7-3
7.2.1 기본방향	7-3
7.2.2 지하수 수량관리	7-4
7.2.3 지하수 수질관리	7-8

8. 결 론

8-1

9. 수문지질도

9.1 개 요	9-1
9.2 기본현황도 및 수문지질도	9-2
9.2.1 기본현황도	9-2
9.2.2 수문지질도(주도면)	9-3
9.3 주제도	9-5
9.3.1 수질현황도	9-5
9.3.2 지하수 유동체계도	9-6
9.3.3 지하수 오염취약성도	9-7
9.3.4 지하수 심도분포도	9-8
9.3.5 선형구조 분포도	9-8

표 차 례

<표 1- 1> 고양시의 위치	1-2
<표 1- 2> 행정구역 현황	1-3
<표 1- 3> 세부 과업 내용	1-5
<표 2- 1> 고양시 하천 현황	2-2
<표 2- 2> 하천수질 환경기준	2-5
<표 2- 3> 호소수질 환경기준	2-6
<표 2- 4> 환경부 수질측정망 현황	2-7
<표 2- 5> 고양시 중권역 및 표준유역 현황	2-10
<표 2- 6> 서울기상관측소 현황	2-12
<표 2- 7> 고양시 기상현황	2-13
<표 2- 8> 경상도에 따른 지형 분류	2-15
<표 2- 9> 지형고도 및 지형경사의 면적분포	2-17
<표 2-10> 유역별 지형특성 및 유역특성 인자	2-19
<표 2-11> 선형구조의 방향별 특성	2-26
<표 2-12> 선형구조밀도 특성	2-29
<표 2-13> Landsat-5 TM의 파장별 특성	2-31
<표 2-14> 토양군 분류	2-35
<표 2-15> 고양시 토양형 분류	2-36
<표 2-16> 과업지역에서 산출되는 토양형 및 성질	2-37
<표 3- 1> 지하수 개발·이용 실태조사 결과 분류	3-2
<표 3- 2> 행정구역별 지하수 개발·이용 현황(기존/신규)	3-2
<표 3- 3> 행정구역별 지하수 시설현황(용도별)	3-3
<표 3- 4> 용도별 지하수 산정 이용자료 현황	3-9
<표 3- 5> 세부용도별 지하수 이용량 산정기준	3-10
<표 3- 6> 용도별 지하수 이용 현황	3-11
<표 3- 7> 세부용도별 생활용 지하수 시설 및 이용 현황	3-12

<표 3- 8> 세부용도별 공업용 지하수 시설 및 이용 현황	3-12
<표 3- 9> 세부용도별 농업용 지하수 이용 시설 현황	3-13
<표 3-10> 세부용도별 기타용 지하수 이용 시설 현황	3-13
<표 3-11> 행정구역별 지하수 이용 현황	3-14
<표 3-12> 유역별 지하수 이용 현황	3-15
<표 3-13> 행정구역별 공당 지하수 이용량	3-17
<표 3-14> 유역별 공당 지하수 이용량	3-17
<표 3-15> 행정구역별 단위면적당 지하수 이용량	3-17
<표 3-16> 유역별 단위면적당 지하수 이용량	3-17
<표 3-17> 행정구역별 지하수 개발 밀도	3-18
<표 3-18> 유역별 지하수 개발 밀도	3-18
<표 3-19> 농가, 농가인구 및 경지면적 현황	3-22
<표 3-20> 축산가구 및 마리 현황	3-22
<표 3-21> 업종별 사업체수 및 종사자수	3-23
<표 3-22> 급수지역 상수도 이용현황	3-24
<표 3-23> 상수도 공급시설 현황	3-24
<표 3-24> 정수시설 현황	3-25
<표 3-25> 미급수지역 상수도 이용현황	3-25
<표 3-26> 생활용수 이용현황	3-26
<표 3-27> 공업용수 이용현황	3-27
<표 3-28> 고양시 경지면적	3-28
<표 3-29> 단위용수량	3-28
<표 3-30> 농업용수이용현황	3-28
<표 3-31> 고양시 용수이용 현황	3-29
<표 3-32> 용수공급 시설현황	3-30
<표 3-33> 목표연도별 장래상수도 수요량 총괄(일최대)	3-30
<표 3-34> 목표연도별 장래상수도 수요량 총괄(일최대)	3-31
<표 4- 1> 세부수리지질 조사 내역	4-1
<표 4- 2> 하천 유량/수질 관측지점 선정표	4-3
<표 4- 3> 지표수 유량측정 시기	4-5
<표 4- 4> 지표수 유량측정 성과	4-5

<표 4- 5> 조사별 측정항목 및 수량	4-9
<표 4- 6> 행정구역별 관측망 현황	4-10
<표 4- 7> 유역별 관측망 현황	4-10
<표 4- 8> 지하수 관측조사	4-12
<표 4- 9> 유역별 수질변동특성	4-12
<표 4-10> 전기비저항탐사 해석결과(A-1 신원지구)	4-22
<표 4-11> 전기비저항탐사 해석결과(A-2 화전지구)	4-23
<표 4-12> 전기비저항탐사 해석결과(A-3 신평지구)	4-25
<표 4-13> 전기비저항탐사 해석결과(R-1 성석지구)	4-26
<표 4-14> 전기비저항탐사 해석결과(R-2 원신지구)	4-27
<표 4-15> 전기비저항탐사 해석결과(R-3 효자지구)	4-28
<표 4-16> 지하지질구성	4-34
<표 4-17> 표준관입시험 성과	4-34
<표 4-18> GYE16094 수압시험 결과	4-36
<표 4-19> 착정조사 결과표	4-37
<표 4-20> 물리검층 결과	4-42
<표 4-21> 단계대수성시험 분석결과	4-49
<표 4-22> 신규착정공 · 관측공 대수성시험 결과	4-52
<표 4-23> 충적지하수 기존공 대수성시험 결과	4-53
<표 4-24> 암반지하수 기존공 대수성시험 결과	4-53
<표 4-25> 입경분석을 이용하여 K를 산정하는 제반 경험식과 최적 적용조건	4-56
<표 4-26> 기본 물성 시험 결과	4-58
<표 4-27> 비고결층 시료의 입경분석을 통한 수리전도도 산정결과	4-58
<표 4-28> 화전지구의 조사성과	4-59
<표 4-29> 주교지구의 조사성과	4-61
<표 5- 1> 지하수계에 영향을 미치는 시 · 공간적 변화 요인	5-1
<표 5- 2> 지하수계를 규제하는 물리적 요소	5-1
<표 5- 3> 조사지역내의 수문지질 단위별 지질 및 암상	5-3
<표 5- 4> 수문지질단위의 유역분포	5-5
<표 5- 5> 유역별 수문지질단위 분포	5-6
<표 5- 6> 대수층에 따른 지하수위 변동특성	5-11

<표 5- 7> 유역별 지하수위 변동특성	5-12
<표 5- 8> 창릉천 지표수 유량변동과 지하수위 변동양상	5-19
<표 5- 9> 공릉천 지표수 유량변동과 지하수위 변동양상	5-20
<표 5-10> 유역별 평수기 지하수 수리경사	5-22
<표 5-11> 지하수 함양·배출지역 선정 기준	5-23
<표 5-12> 지하수 함양-중간-배출체계 분류	5-24
<표 5-13> 유역별 지하수 산출특성 분석을 위한 우물자료 구축현황	5-28
<표 5-14> 수문지질단위별 우물 양수량	5-30
<표 5-15> 수문지질단위별 비양수량	5-30
<표 5-16> 수문지질단위별 투수량계수	5-30
<표 5-17> 수문지질단위별 저류계수	5-30
<표 5-18> 지질·암상단위 및 수문지질단위 분류	5-33
<표 5-19> 충적층 두께 추정을 위한 입력자료	5-35
<표 5-20> 수문지질 특성평가 분류 기준	5-44
<표 5-21> 주제도 작성 항목 및 활용 자료	5-45
<표 5-22> 수문지질 특성평가(충적·암반별)와 예상 지하수 산출량	5-52
<표 5-23> 강우관측소 제원	5-54
<표 5-24> 강우 관측기록 보유현황	5-54
<표 5-25> 유역별 티센계수	5-56
<표 5-26> 유역별 면적강우량 및 수자원총량	5-56
<표 5-27> 고양시 지역의 연도별 월평균 온도(℃)	5-58
<표 5-28> 고양시 지역의 연도별 월평균 일조시간(hr)	5-59
<표 5-29> 고양지역의 월평균 증발산량	5-60
<표 5-30> 유역별 증발산량	5-60
<표 5-31> TANK 모형 매개변수(고양시지역, 소유역 210)	5-62
<표 5-32> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(임진강 합류점)	5-64
<표 5-33> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(계양천)	5-65
<표 5-34> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(공릉천 하류)	5-66
<표 5-35> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(공릉천 상류)	5-67
<표 5-36> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(창릉천)	5-68
<표 5-37> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(행주대교 수위표)	5-69

<표 5-38> 유출분석 결과(32년 평균)	5-70
<표 5-39> 수문학적 물수지 분석 결과(32년 평균)	5-71
<표 5-40> 선행토양함수조건(AMC)	5-73
<표 5-41> 농경지역 및 삼림지역의 유출곡선지수(AMC II)	5-74
<표 5-42> 도시지역의 유출곡선지수(AMC II)	5-75
<표 5-43> 유역별 SCS-CN	5-76
<표 5-44> SCS-CN법에 의한 지하수 함양량 및 함양률	5-77
<표 5-45> 지하수위 관측지점별 함양계수	5-79
<표 5-46> 지하수위 관측지점별 토양·토지이용 및 기반암 분류	5-80
<표 5-47> 유역별 및 상관인자별 지점함양계수	5-81
<표 5-48> 유역별 함양계수	5-82
<표 5-49> 고양지역의 지하수 함양량	5-82
<표 5-50> 지하수위 강하곡선 해석에 의한 10년에 1회 발생빈도를 갖는 가뭄시 지하수 함양량	5-84
<표 5-51> 지하수 함양량 및 지하수 개발가능량	5-84
<표 6- 1> 유역별 지하수 수질분석 지점	6-2
<표 6- 2> 수문지질별 지하수 수질분석 지점	6-3
<표 6- 3> 수질분석 항목	6-4
<표 6- 4> 주요 양·음이온 분포	6-8
<표 6- 5> 총용존고형물 농도 분포	6-9
<표 6- 6> 파이퍼 다이어그램을 통한 수질 유형 분류 결과	6-11
<표 6- 7> 먹는물 수질기준(실제음용에 사용하는 지하수 및 간이상수도 원수) ...	6-16
<표 6- 8> 지하수 수질기준(신고/허가 용도 및 실제 사용 용도 조사)	6-17
<표 6- 9> 용도별 수질기준 적용시 기준초과 항목	6-18
<표 6-10> 오염원현황	6-19
<표 6-11> 건설폐기물현황	6-19
<표 6-12> 생활폐기물현황	6-20
<표 6-13> 축산현황	6-20
<표 6-14> 오수발생량 및 처리시설	6-21
<표 6-15> 분뇨발생량 및 처리시설	6-21
<표 6-16> 축산폐수발생량	6-21

<표 6-17> 잠재오염원 조사 결과	6-21
<표 6-18> DRASTIC 평가 기준	6-25
<표 6-19> 입도분포를 고려한 대수층 매질에 대한 평가 기준	6-27
<표 6-20> 토양매질 등급	6-27
<표 6-21> 충적층 비포화대 매질 등급	6-28
<표 6-22> 수리전도도 등급	6-28
<표 6-23> 유역별 오염취약성 지수	6-30
<표 6-24> 오염취약성 지수	6-30
<표 7- 1> 지하수 개발방안	7-3
<표 7- 2> 유역별 개발가능량·이용량 및 개발여유량	7-4
<표 7- 3> 행정구역별 개발가능량·이용량 및 개발여유량	7-5
<표 7- 4> 행정구역별 잠재오염원 분포 및 오염취약성 평가 지수 및 분포형태 ...	7-8
<표 7- 5> 행정구역별 지하수 오염위험 유형	7-9
<표 7- 6> 행정구역별 지하수 오염 위험 유형 및 지하수수질 분석결과	7-10
<표 7- 7> 유해물질 오염원별 지하수 수질관리 방안	7-11
<표 9- 1> 수문지질도 구성	9-1
<표 9- 2> 기본현황도 수록 내용	9-2
<표 9- 3> 우물 구분코드 및 기호	9-2
<표 9- 4> 수문지질도(주도면) 수록 내용	9-3
<표 9- 5> 수질현황도 수록 내용	9-5
<표 9- 6> 수질시료채취 우물 구분코드 및 기호	9-5
<표 9- 7> 지하수 유동체계도 수록 내용	9-6
<표 9- 8> 지하수 오염취약성도 수록 내용	9-7
<표 9- 9> 토양분류 기호	9-7
<표 9-10> 잠재오염원의 분류기호	9-7
<표 9-11> 지하수 심도분포도 수록 내용	9-8
<표 9-12> 선형구조 분포도 수록 내용	9-8

그 림 차 례

<그림 1- 1> 행정구역 현황	1-3
<그림 1- 2> 고양시 지하수 기초조사 흐름도	1-6
<그림 2- 1> 고양시 주요 하천	2-1
<그림 2- 2> 고양시 하천 모식도	2-3
<그림 2- 3> 하천도 및 수계밀도도	2-4
<그림 2- 4> 환경부 수질측정망 위치도	2-7
<그림 2- 5> 수온 변화	2-8
<그림 2- 6> PH 변화	2-8
<그림 2- 7> 용존산소량(DO) 변화	2-8
<그림 2- 8> 생물화학적 산소요구량(BOD) 변화	2-9
<그림 2- 9> 화학적 산소요구량(COD) 변화	2-9
<그림 2-10> 부유물질량(SS) 변화	2-9
<그림 2-11> 고양시 유역현황	2-11
<그림 2-12> 고양시 유역별 음영기복도	2-11
<그림 2-13> 서울기상관측소 전경	2-13
<그림 2-14> 지형고도 분포	2-18
<그림 2-15> 지형경사 분포	2-18
<그림 2-16> 경사방향 분포	2-19
<그림 2-17> 지질계통도	2-21
<그림 2-18> 지질별 분포 면적비	2-23
<그림 2-19> 고양시 지질도	2-24
<그림 2-20> 고양시 수문지질단위 분포	2-24
<그림 2-21> 선형구조 분포 Rose Diagram	2-26
<그림 2-22> 선형구조 분포도	2-27
<그림 2-23> 선형구조 밀도도	2-29
<그림 2-24> 과업지역 위성영상	2-34

<그림 2-25> SCS토양형에 따른 토양 분포도(농업과학기술원)	2-36
<그림 2-26> 토지피복도(Land Use Map)	2-38
<그림 2-27> 임상밀도도	2-39
<그림 3- 1> 지하수 개발·이용 실태조사 결과	3-3
<그림 3- 2> 지하수 개발·이용 실태조사 결과(분류)	3-4
<그림 3- 3> 행정구역별 지하수 이용 현황	3-16
<그림 3- 4> 유역별 지하수 이용 현황	3-16
<그림 3- 5> 행정구역 및 유역별 지하수 개발 밀도	3-18
<그림 3- 6> 지하수 개발·이용특성	3-19
<그림 3- 7> 장래용수수급계획	3-32
<그림 4- 1> 지표수 유량/수질 관측망 위치도	4-4
<그림 4- 2> 지표수 수문곡선	4-6
<그림 4- 3> 지표수 수질 경시곡선(pH)	4-6
<그림 4- 4> 지표수 수질 경시곡선(EC)	4-7
<그림 4- 5> 지표수 수질 경시곡선(온도)	4-7
<그림 4- 6> 지하수 단주기 관측조사 지점	4-11
<그림 4- 7> 지하수 장주기 관측조사 지점	4-11
<그림 4- 8> 평수기 EC 등치선도(암반)	4-13
<그림 4- 9> 평수기 EC 등치선도(충적)	4-13
<그림 4-10> 지하수위 자동관측망	4-15
<그림 4-11> 지하수위 자동관측 수문곡선	4-17
<그림 4-12> 전기비저항탐사 위치도	4-20
<그림 4-13> 지층단면도(A-1 신원지구)	4-21
<그림 4-14> 지층단면도(A-2 화전지구)	4-23
<그림 4-15> 지층단면도(A-3 신평지구)	4-24
<그림 4-16> 지층단면도(R-1 성석지구)	4-26
<그림 4-17> 지층단면도(R-2 원신지구)	4-27
<그림 4-18> 지층단면도(R-3 효자지구)	4-28
<그림 4-19> 시추 및 착정 조사위치도	4-29
<그림 4-20> 수압시험 결과에 따른 Lugeon pattern의 해석	4-32
<그림 4-21> 시추공벽 촬영 및 절리면의 전개화상	4-40

<그림 4-22> 물리검층 결과	4-42
<그림 4-23> R-2 주절리 방향정보	4-43
<그림 4-24> R-2 공내영상촬영 대표구간	4-43
<그림 4-25> 수위강하량과 우물손실과의 관계	4-47
<그림 4-26> 대수성시험 위치도	4-51
<그림 4-27> 충적층 시료채취 위치도(상:유역별, 하:토양형별)	4-57
<그림 5- 1> 수문지질단위별 분포면적비	5-3
<그림 5- 2> 수문지질단위 분류도	5-4
<그림 5- 3> 유역별 수문지질단위 면적 분포	5-5
<그림 5- 4> 유역별 수문지질단위 면적 분포	5-6
<그림 5- 5> 지하수 수위특성 분석을 위한 관측자료 위치도	5-7
<그림 5- 6> 평수기 지하수수위와 지형고도의 회귀분석	5-8
<그림 5- 7> 평수기 지하수수위 분포도	5-9
<그림 5- 8> 평수기 지하수심도 분포도	5-10
<그림 5- 9> 창릉천 유역의 연간 지하수위 변동특성	5-12
<그림 5-10> 계양천 유역의 연간 지하수위 변동특성	5-14
<그림 5-11> 공릉천상류 유역의 연간 지하수위 변동특성	5-15
<그림 5-12> 공릉천하류 유역의 연간 지하수위 변동특성	5-17
<그림 5-13> 임진강합류점 유역의 연간 지하수위 변동특성	5-18
<그림 5-14> 창릉천 지표수 유량 및 지하수위 측정 지점	5-19
<그림 5-15> 공릉천 지표수 유량 및 지하수위 측정 지점	5-20
<그림 5-16> 평수기 지하수 수리경사도	5-22
<그림 5-17> 평수기 지하수 함양·중간 및 배출지역	5-24
<그림 5-18> 평수기 지하수 유동방향	5-25
<그림 5-19> 지하수 유동체계의 모식도	5-26
<그림 5-20> 유동체계의 규모를 고려한 함양 및 배출체계	5-27
<그림 5-21> 평수기 지하수 유동체계도	5-27
<그림 5-22> 지하수 수리특성 분석대상 우물위치도	5-29
<그림 5-23> 수문지질별 수리자료 분포특성	5-31
<그림 5-24> 선형구조 밀도와 지하수 산출특성	5-34
<그림 5-25> 충적층 두께 추정을 위한 입력자료	5-36

<그림 5-26> 충적층 심도 분포도	5-37
<그림 5-27> 충적층 구성물질 분포도	5-37
<그림 5-28> 지형고도와와 지하수 산출특성	5-38
<그림 5-29> 지형경사와 지하수 산출특성	5-39
<그림 5-30> 각 요소별 수문지질 특성평가 결과	5-47
<그림 5-31> 수문지질 특성평가 결과	5-49
<그림 5-32> 암반대수층 수문지질 특성평가결과와 표본우물의 상관관계	5-51
<그림 5-33> 충적대수층 수문지질 특성평가결과와 표본우물의 상관관계	5-51
<그림 5-34> 산출능력에 따른 대수층 분류도	5-52
<그림 5-35> 강우 티센망도	5-55
<그림 5-36> TANK 모형의 구조	5-63
<그림 5-37> 고양시의 CN분포	5-76
<그림 5-38> 유역별 수자원총량, 지하수 함양량 및 개발가능량	5-85
<그림 5-39> 행정구역별 수자원총량, 지하수 함양량 및 개발가능량	5-85
<그림 6- 1> 수질분석 대상 관정 위치도(유역별)	6-2
<그림 6- 2> 수질분석 대상 관정 위치도(수문지질별)	6-3
<그림 6- 3> 시료채취 및 분석 방법	6-5
<그림 6- 4> 이온균형오차 분포그래프	6-7
<그림 6- 5> 주요 양·음이온 농도분포	6-8
<그림 6- 6> 암반-충적 지하수 TDS 분포	6-9
<그림 6- 7> 조사지역의 대수층별 파이퍼 다이어그램	6-10
<그림 6- 8> 파이퍼 다이어그램을 통한 수질 유형 분류 (Back, 1961)	6-11
<그림 6- 9> 유역별 지하수 파이퍼다이어그램	6-13
<그림 6-10> 수문지질단위별 지하수 파이퍼다이어그램	6-15
<그림 6-11> 수질기준 초과지점 분포	6-18
<그림 6-12> 잠재오염원 분포도	6-22
<그림 6-13> 수정 DRASTIC 시스템 작업과정 흐름도	6-24
<그림 6-14> 오염취약성 평가도	6-30
<그림 7- 1> 충적지하수 개발유망지점	7-2
<그림 7- 2> 암반지하수 개발유망지점	7-2
<그림 7- 3> 유역별 지하수 이용률	7-5

<그림 7- 4> 행정구역(읍면)별 지하수 이용률	7-7
<그림 7- 5> 행정구역(동)별 지하수 이용률	7-7
<그림 7- 6> 고양시 오염 위험 유형	7-10
<그림 9- 1> 수문지질단위 암상 및 층서와 지질기호	9-3
<그림 9- 2> 대수층의 분류	9-4
<그림 9- 3> 수질 Stiff Diagram	9-5
<그림 9- 4> 지하수 유동체계 구분 및 색상 기준	9-6

1. 서론

1.1. 조사배경 및 목적

1.2. 조사위치

1.3. 과업의 내용 및 범위

1. 서론

1.1. 조사배경 및 목적

수자원은 인간생활의 영위 및 산업활동에 필수 불가결한 기본 요소로서 국내에서는 지난 40여년간 국가 산업의 발전과 고도 경제 성장을 안정적으로 뒷받침하기 위한 수자원 개발과 용수공급의 노력이 꾸준히 지속·추진되어 왔다. 그러나 그동안 국내 수자원 공급의 주종을 이루어온 지표수의 확보는 개발 적지 부족 하천 수질 악화 및 환경적인 욕구 등으로 개발 여건이 점차로 불리해지고 있으며, 기상 이변에 따른 가뭄 등으로 인해 수자원으로서 지하수의 중요성에 대한 사회적 인식이 나날이 증대되고 있다

"지하수조사연보(2007, 국토해양부, 한국수자원공사)"에 따르면 2006년말 현재 전국의 지하수 이용량은 지하수 개발가능량 대비 32.1% 수준인 37.4억 m^3 /년으로 수량 측면에서는 개발의 여지가 충분한 것으로 평가되었으나 한편으로는 산업화, 도시화에 따른 각종 오염원의 증가로 인해 청정수자원인 지하수가 수질 오염에 노출되어 있어 적극적인 보전 관리의 필요성 또한 대두되고 있는 실정이다. 그러나 지하수는 그 특성상 보이지 않는 지하에서 유동할 뿐 아니라 지역별로 지하수에 대한 기초 정보의 부족으로 합리적인 개발·이용과 체계적인 보전·관리가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라, 정부에서는 1993년 지하수법을 제정, 시행하였으며 이후 2008년까지 5차례 걸친 개정을 통해 지하수 관리를 강화하고 있으며 1996년에는 우리나라 지하수 관리의 기틀인 지하수관리기본계획을 수립하고 2002년 동계획을 재수립, 2007년에는 보완하는 등 지하수의 종합적인 관리를 위한 기반을 마련하였다. 또한 개정된 지하수법에서는 정부의 지하수관리기본계획과 연계하여 지방자치단체별로 지역의 특성에 적합한 지역지하수관리계획을 수립하여 시행하도록 의무화하였다

고양시는 지속적인 산업화, 도시화로 인해 용수수요가 급증하여 왔으며, 특히 지하수는 도시지역의 생활용수, 산업화에 따른 공업용수 및 농촌지역의 생활 농업용수로서 중요한 부분을 차지하고 있다. 이에 따라 고양시 지하수의 체계적이고 종합적인 관리를 위한 기본현황 및 고양시 지하수에 관련된 제반 특성을 파악하기 위해 "고양시 지하수 기초조사 및 정보시스템구축" 사업을 시행하게 되었다. 본 조사의 목적은 고양시에 대한 지하수의 부존 및 산출 특성, 개발·이용 특성 및 수질 특성 등을 종합적으로 조사 평가하여 수문지질도를 작성하고 이를 토대로 합리적인 지하수의 개발·이용과 체계적인 보전·관리를 위한 지하수관리 계획 수립에 기초자료를 제공하는 데 있다.

1.2. 조사위치

1.2.1. 지리적 위치

고양시의 수리적 위치는 극남점이 북위 37°34'인 덕양구 현천동으로 남동쪽의 서울시와 남서쪽의 김포시의 경계지역이고 극북점은 북위 37°41'인 덕양구 벽제동이다. 또한 극동점은 동경 126°56'인 덕양구 효자동으로 양주군과의 경계지점이며 극서점은 동경 126°45'인 일산 서구 구산동으로 파주시와 경계를 이루고 있으며, 동서간/남북간의 연장거리는 각각 27.0km, 18.0km이다.

고양시는 경기도의 서쪽에 위치하고 있으며 남동쪽으로 서울시와 접하고 북동으로 양주군, 북서로 파주시 남서쪽으로 한강을 경계로 김포시와 대하고 있고 군사분계선과 불과 20km 떨어진 곳에 위치하고 있다.

지세는 북동부가 높고 남서부가 완경사인 경동지형으로 인근해안까지 평탄하고 기름진 넓은 평야지대로 이루어져 있으며, 북한산과 한강을 끼고 있다. 북동부지역은 태백산맥의 철령에서 갈라져 나온 광주산맥의 한 여맥이 도봉산(717m), 북한산(836.5m)등의 준봉을 이루고 있고 중앙지역은 구릉성 양산지대로서 산림이 울창하며 북한산지에서 발원하는 공릉천(30.3km), 창릉천(22.5km)이 흐르고 있다.

토질은 오랜 침식작용과 한강에 의한 토사운반 작용으로 덕은동에서 구산동일대에 걸쳐 범람원성 충적지를 이뤄 토지가 매우 비옥하다. 또한, 구릉지대에서는 과수재배와 관상수 화훼류, 고등채소 재배에 적합하여 대도시를 대상으로 한 농업이 발전해 왔다

1.2.2. 행정구역 현황

“고양시 통계연보(2007)”에 따르면 행정구역상 조사지역의 면적은 267.31km²로 3구 39개 동으로 구성되어 있다. 고양시의 인구현황은 337,745세대, 919,365명으로 구성된다.

<표 1-1> 고양시의 위치

시청소재지	경도			위도			연장거리
	방위	지명	동경	방위	지명	북위	
고양시 덕양구 주교동 600번지	극동	효자동	126°56'	극남	현천동	37°34'	동서간 27km 남북간 18km
	극서	구산동	128°45'	극북	벽제동	37°41'	

주) 통계연보(2007, 고양시)

<표 1-2> 행정구역 현황

행정구역	면적 (km ²)	동		세대수	인구 (인)	인구밀도 (명/km ²)
		행정	법정			
덕 양 구	165.44	19	32	146,896	384,385	2,323
일산동구	59.09	11	13	90,376	242,902	4,111
일산서구	42.78	9	8	100,476	292,078	6,827
계	267.31	39	53	337,745	919,365	3,439

주) 통계연보(2007, 고양시)



<그림 1-1> 행정구역 현황

1.3. 과업의 내용 및 범위

“고양시 지하수 기초조사 및 정보시스템구축”은 고양시의 기획·주관 아래 계약사인 (주)도화종합기술공사에 의하여 수행하였으며 주요 과업은 지하수 기초조사, 지하수 정보시스템, 지하수관리계획 등 3개 부문으로 구성되어 있다.

1.3.1. 조사기간

- 총조사기간 : 2006. 6. 30 ~ 2009. 08. 03 (840일, 중지 251일)
- 1 차 년 도 : 2006. 6. 30 ~ 2007. 02. 22 (240일)
- 2 차 년 도 : 2007. 4. 05 ~ 2008. 04. 03 (365일)
- 3 차 년 도 : 2008. 4. 04 ~ 2009. 08. 03 (235일, 중지 251일)

1.3.2. 조사내용

가. 지하수 기초조사

1) 기본현황조사

- 기존자료 수집 및 정리
- 용수시설 및 이용현황 자료 수집 분석
- 기상수문 자료 수집 및 분석
- 원격탐사
- 지형 및 지질조사
- 수질현황 및 잠재오염원조사
- 정천현황조사
- 지하수 수위/수질 관측망 설정조사
- 지표수 유량/수질 관측망 설정조사
- 기본현황자료 분석 및 세부조사계획 수립

2) 세부수리지질조사

- 지하수 수위/수질 관측조사
- 지표수 유량/수질 관측조사
- 지구물리탐사
- 시추 및 착정조사
- 지구물리검층
- 대수성시험
- 실내분석
- 측량

3) 종합분석 및 평가

- 수문지질단위 분류 및 수리특성 평가
- 지하수 및 지표수 수위/유량 특성 분석
- 지하수 및 지표수 수질 특성 분석
- 대수층의 분류 및 지하수 유동체계 분석
- 지하수 함양량 및 개발가능량 평가
- 지하수 오염취약성 평가
- 지하수 개발 유망지구 선정 및 개발방안 검토
- 지하수 보전·관리방안 검토
- 기술자문

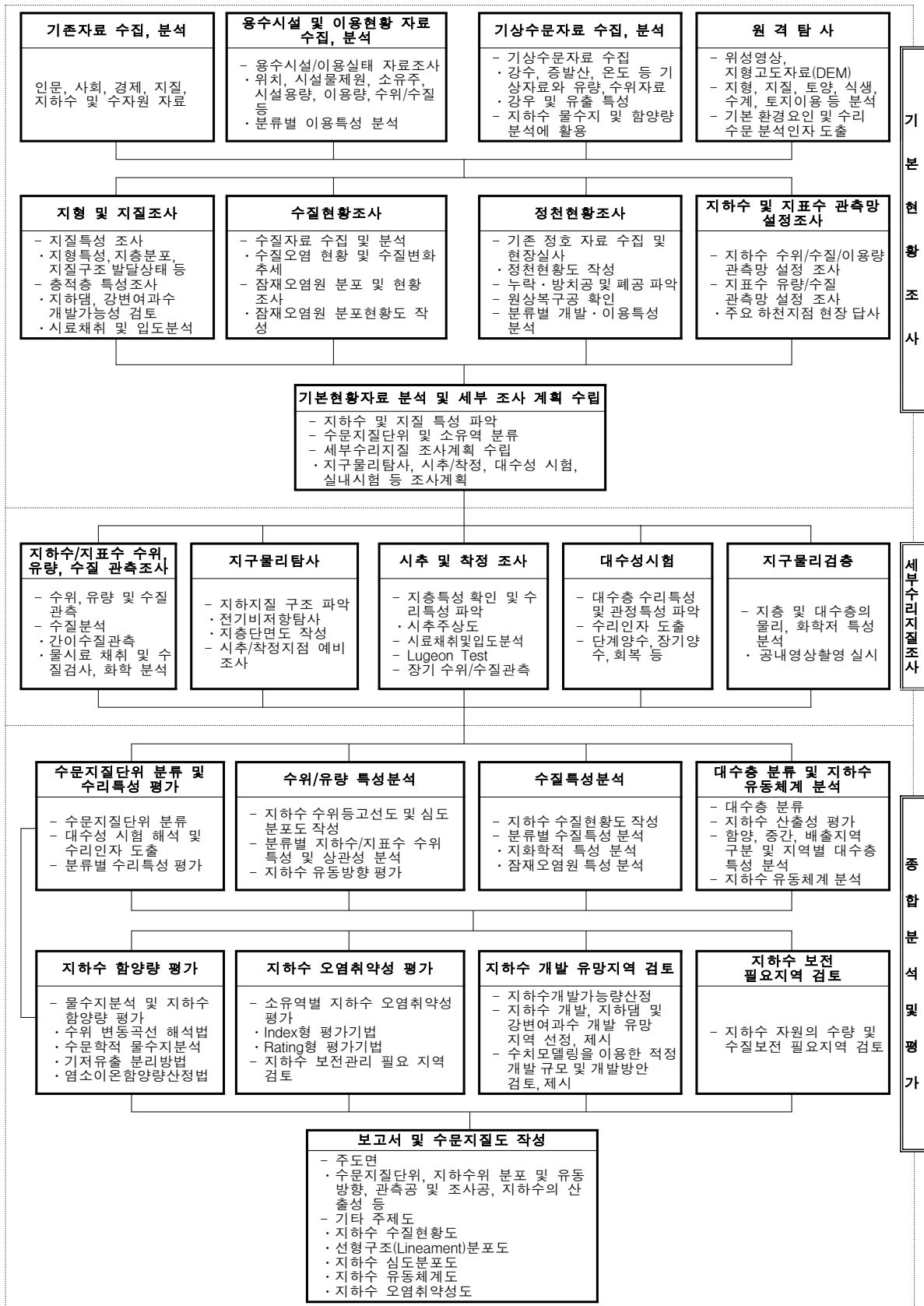
4) 수문지질도 및 보고서 작성

나. 지하수 정보시스템

다. 지하수관리계획

<표 1-3> 세부 과업 내용

I. 지하수 기초조사(1, 2차년도)			
○ 기본현황조사			
· 기존현황 및 용수시설 현황조사	1식	· 총적층시료채취	6개소
· 기상수문조사	1식	· 수질현황 및 잠재오염원조사	1식
· 원격탐사	1식	· 지하수수위/수질관측망설정조사	140공
· 정전현황조사/원상복구공확인	6,800/400공 (16,091/612)	· 지표수유량/수질관측망설정조사	2개소
· 지형 및 지질조사	40km ²	· 기본현황자료분석/세부조사계획수립	1식
○ 세부수리지질조사			
· 지하수/지표수 관측조사			
- 지하수위단기일제조사	140공	· 물리검층	1식
- 지하수위/수질장기관측조사	80공	· 대수성 시험	
- 지하수이용량모니터링	150공	- 착정공 양수시험	2회
- 자동관측(6개소 400일)	2,400공·일	- 기존공 양수시험	10회
· 지표수유량/수질관측조사	2개소	· 수질분석	
· 전기비저항탐사(수직탐사)	55점	- 주요 수질항목 분석	80회
		- 화학분석	80회
· 시추조사	2공	· 실내 시험(입도분석)	10회
· 착정조사	2공		
○ 종합분석 및 평가			
· 수문지질단위 분류 및 수리특성 평가	1식	· 지하수 오염취약성 평가	1식
· 지하수 및 지표수 수위/유량 특성 분석	1식	· 지하수개발유망지구선정및개발방안검토	1식
· 지하수 및 지표수 수질 특성 분석	1식	· 지하수 보전·관리방안 검토	1식
· 대수층의 분류 및 지하수 유동체계 분석	1식	· 기술자문	1식
· 지하수 함양량 및 개발가능량 평가	1식		
○ 수문지질도 및 보고서 작성			
· 기본현황도	1종	· 성과 보고서(보고서, 부록I, 부록II)	1식
· 부속도면(주제도)	5종		
II. 지하수 정보시스템(3차년도)			
III. 지하수관리계획(3차년도)			



<그림 1-2> 고양시 지하수 기초조사 흐름도

2. 수문지질환경

2.1. 하천 및 유역구분

2.2. 기상

2.3. 지형

2.4. 지질 및 지질구조

2.5. 지표피복

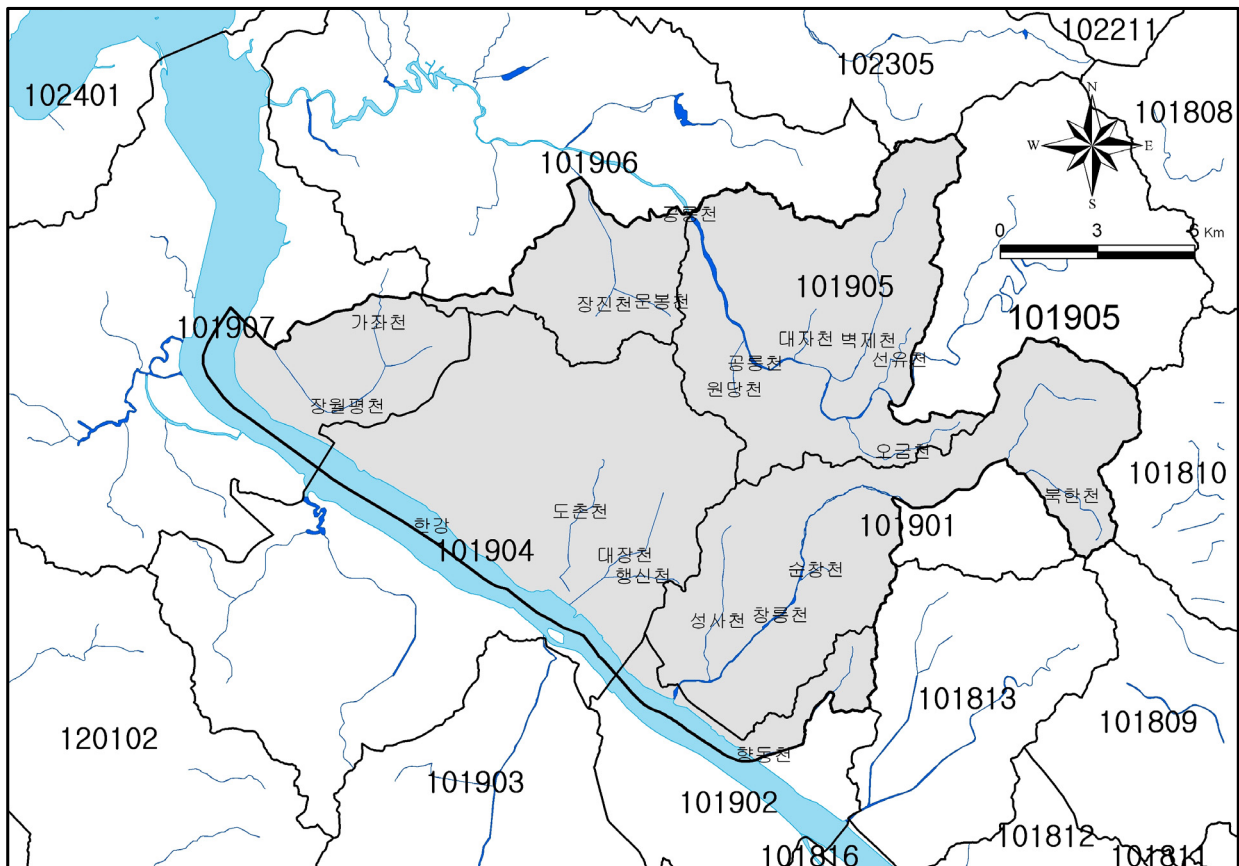
2. 수문지질환경

2.1. 하천 및 유역구분

2.1.1. 하천 현황

가. 하천 현황

고양시 내 하천현황은 "한국하천일람(2004, 국토해양부)"에 따르면 국가하천인 한강과 지방2급 하천인 공릉천, 창릉천 등 총 19개 하천이 있으며, 한강으로 직접 유입되는 하천에는 향동천, 창릉천, 대장천, 도춘천, 장월평천, 공릉천이 있으며, 고양시의 소유역 구분은 크게 한강으로 직접 유입되는 하천에 의한 소유역과 공릉천과 합류하여 한강으로 유입되는 공릉천 소유역으로 구분된다. 고양시의 하천현황은 <그림 2-1> 및 <표 2-1>과 같고, 하천모식도는 <그림 2-2>에 나타내었다.

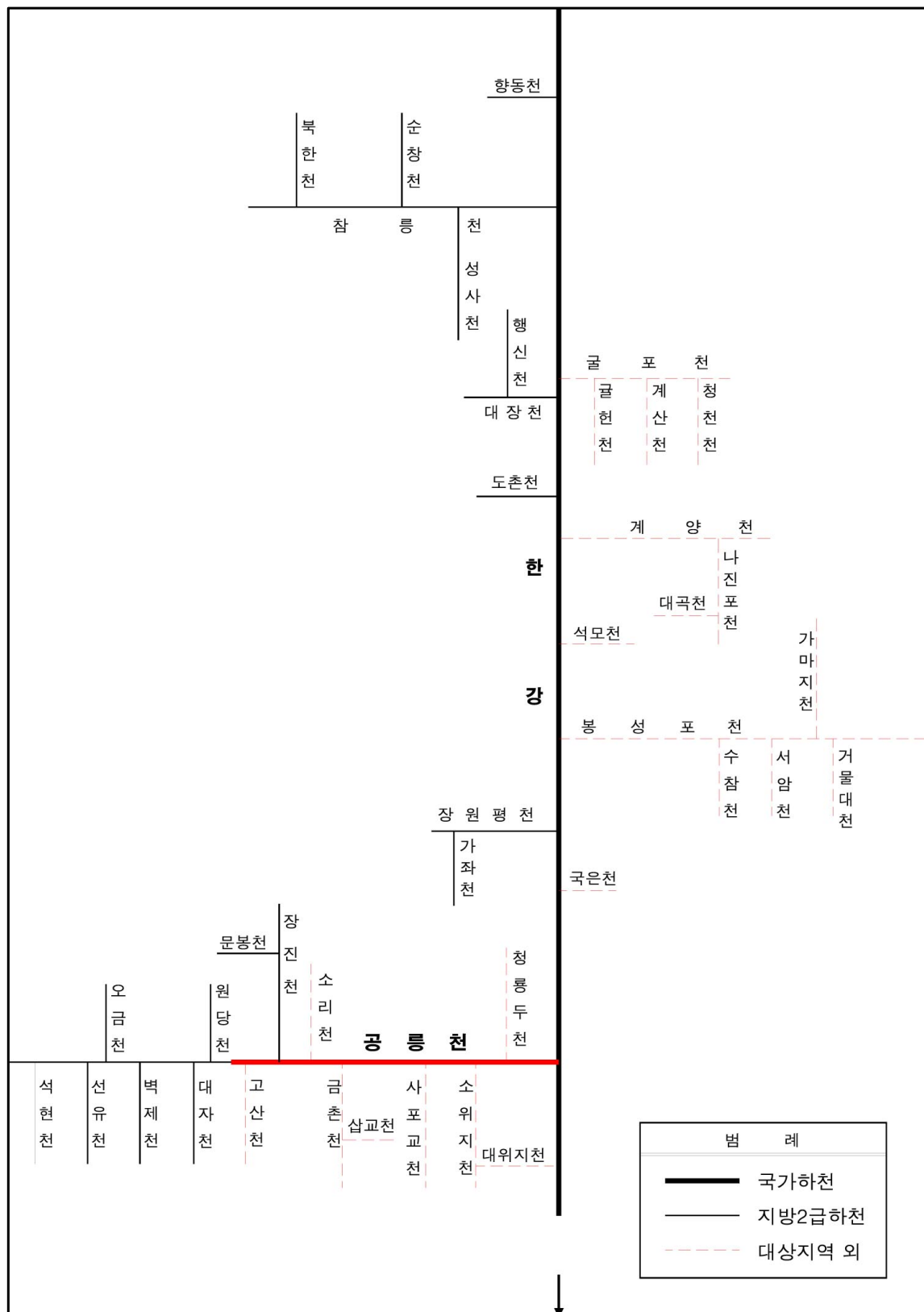


<그림 2-1> 고양시 주요 하천

<표 2-1> 고양시 하천 현황

하천명	본류	제1 지류	제2 지류	제3 지류	하천 등급	기점				종점				하천 연장 (km)	유로 연장 (km)	유역면적 (km ²)
						시도	시군구	읍면동	경계	시도	시군구	읍면동	경계			
한강	한강				국가	충북	단양	가곡	사평리 하일천 (지방2)합류점	경기	김포	월곶	용강리유도31m산 정부터 남북으로 그은 직선	265.36	494.44	*35,770.41 25,952.60
향동천	한강	향동천			지방2	경기	고양	신도	신도리	경기	고양	신도	한강(국가) 합류점	4.5	4.8	7.71
창릉천	한강	창릉천			지방2	경기	고양	신도	신도리	경기	고양	신도	한강(국가) 합류점	17.6	22	79.75
북한천	한강	창릉천	북한천		지방2	경기	고양	신도	신도리	경기	고양	신도	창릉천(지방2) 합류점	4.5	4.7	5.54
순창천	한강	창릉천	순창천		지방2	경기	고양	신도	신도리	경기	고양	신도	창릉천(지방2) 합류점	2	2.5	4.17
성사천	한강	창릉천	성사천		지방2	경기	고양	신도	신도리	경기	고양	지도	창릉천(지방2) 합류점	5	6	10.68
대장천	한강	대장천			지방2	경기	고양	지도	지도리	경기	고양	지도	한강(국가) 합류점	5.6	7.6	18.5
행신천	한강	대장천	행신천		지방2	경기	고양	지도	지도리	경기	고양	지도	한강(국가) 합류점	2.6	7	2.85
도촌천	한강	도촌천			지방2	경기	고양	원당	원당리	경기	고양	지도	한강(국가) 합류점	6.5	6.5	12.4
장월평천	한강	장월평천			지방2	경기	고양	송포	송포리	경기	파주	교하	한강(국가) 합류점	8.32	11	34.52
가좌천	한강	장월평천	가좌천		지방2	경기	고양	송포	송포리	경기	고양	송포	장월평천(지방2) 합류점	2.56	2.5	5.42
공릉천	한강	공릉천			지방2	경기	양주	장흥	부곡리	경기	고양	벽제	공릉천(국가) 기점	28.95	29.65	125.6
선유천	한강	공릉천	선유천		지방2	경기	고양	벽제	벽제리	경기	고양	벽제	공릉천(지방2) 합류점	2.5	4.1	2.28
오금천	한강	공릉천	오금천		지방2	경기	고양	신도	신도리	경기	고양	신도	공릉천(지방2) 합류점	4.75	5.22	2.84
벽제천	한강	공릉천	벽제천		지방2	경기	고양	벽제	벽제리	경기	고양	벽제	공릉천(지방2) 합류점	7.4	9.5	15.45
대자천	한강	공릉천	대자천		지방2	경기	고양	벽제	벽제리	경기	고양	벽제	공릉천(지방2) 합류점	2.5	2.87	4.88
원당천	한강	공릉천	원당천		지방2	경기	고양	원당	원당리	경기	고양	벽제	공릉천(지방2) 합류점	2.5	4.5	7.68
장진천	한강	공릉천	장진천		지방2	경기	고양	벽제	벽제리	경기	파주	교하	공릉천(지방2) 합류점	6	9.68	12.56
문봉천	한강	공릉천	장진천	문봉천	지방2	경기	고양	벽제	벽제리	경기	고양	벽제	장진천(지방2) 합류점	1.75	2.01	2.23

출처) 한국하천일람(2004, 국토해양부)

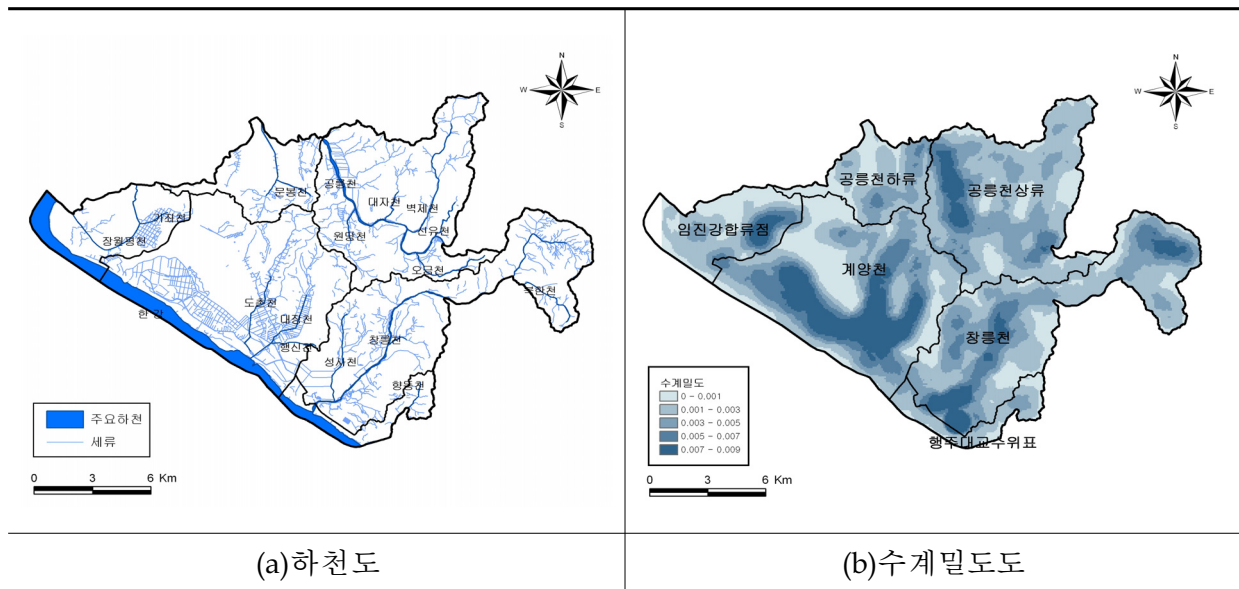


<그림 2-2> 고양시 하천 모식도

나. 수계밀도

수계밀도는 1:25,000 수치지형도에서 추출한 하계망 중 농수로, 농업용수로 등을 삭제하고, 하계망이 끊어진 오류지역을 수정하여 작성한 하계망도를 사용하여 분석하였다. 수계밀도는 단위면적(km²)에 대한 하천의 유로연장(km)의 비로 나타낸다.

조사지역에서는 공릉천 및 창릉천 유역에서 지류들이 다른 지역에 비해 상대적으로 발달해 있으며 계양천은 경작으로 인한 수로 발달로 높은 수계밀도를 보이고 있다.



주) 하천도 : 수치지도 1:25,000(국립지리원) 중 하천에 해당하는 레이어

<그림 2-3> 하천도 및 수계밀도도

다. 하천수질

환경부에서는 수역별, 항목별로 수질환경기준을 설정하여 관리하고 있다. 수역별로는 하천, 호소 및 공단배수 등으로 구분하고 항목별로는 생활환경기준인 8개 항목(pH, BOD, COD, SS, DO, 총대장균군수, 총질소, 총인)과 사람의 건강보호기준 9개 항목 (Cd, As, CN, Hg, 유기인, Pb, 6가크롬, PCB, 음이온계면활성제)으로 구분하고 있다. 또한 등급별로는 하천 및 호소에 5개 등급(I ~ V 등급)으로 구분하여 각각 기준을 차등 설정하여 관리하고 있다. 환경부에서 설정 관리하는 하천 및 호수수질기준은 아래 표와 같다.

<표 2-2> 하천수질 환경기준

등급		기준					
		수소이온 농도(pH)	생물화학적 산소요구량 (BOD)(mg/L)	부유물질량 (mg/L)	용존산소량 (mg/L)	대장균군(균수/100mL)	
						총대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	Ia	6.5~8.5	1 이하	25 이하	7.5 이상	50 이하	10 이하
좋음	Ib	6.5~8.5	2 이하	25 이하	5.0 이상	500 이하	100 이하
약간 좋음	II	6.5~8.5	3 이하	25 이하	5.0 이상	1,000 이하	200 이하
보통	III	6.5~8.5	5 이하	25 이하	5.0 이상	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV	6.0~8.5	8 이하	100 이하	2.0 이상	-	-
나쁨	V	6.0~8.5	10 이하	쓰레기 등이 떠있지 아니할것	2.0 이상	-	-
매우 나쁨	VI	-	10 초과	-	2.0 미만	-	-

비고

1. 등급별 수질 및 수생태계 상태

- 가. 매우 좋음 : 용존산소가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 여과살균 등 간단한 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음
- 나. 좋음 : 용존산소가 많은 편이고 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계로 여과침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음
- 다. 약간 좋음 : 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계로 여과침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용할 수 있음
- 라. 보통 : 보통의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 일반 생태계로 여과 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 마. 약간 나쁨 : 상당량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 농업용수로 사용하거나 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음
- 바. 나쁨 : 다량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 산책 등 국민의 일상생활에 불쾌감을 유발하지 아니하며, 활성탄 투입, 역삼투압 공법 등 특수한 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 사. 매우 나쁨 : 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살기 어려움
- 아. 용수는 당해 등급보다 낮은 등급의 용도로 사용할 수 있음
- 자. 수소이온농도(pH) 등 각 기준항목에 대한 오염도 현황 용수처리방법 등을 종합적으로 검토하여 그에 맞는 처리방법에 따라 용수를 처리하는 경우에는 당해 등급보다 높은 등급의 용도로도 사용할 수 있음.

<표 2-3> 호소수질 환경기준

등급		기준								
		수소이온 농도 (pH)	화학적산소 요구량 (COD) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	총질소 (T-N) (mg/L)	클로로필-a (Chl-a) (mg/m ³)	대장균군 (균수/100mL)	
									총대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	Ia	6.5~8.5	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	10 이하
좋음	Ib	6.5~8.5	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II	6.5~8.5	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III	6.5~8.5	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV	6.0~8.5	8 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하	-	-
나쁨	V	6.0~8.5	10 이하	쓰레기 등이 떠있지 아니할것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하	-	-
매우 나쁨	VI	-	10 초과	-	2.0 미만	0.15 초과	1.5 초과	70 초과		

비고

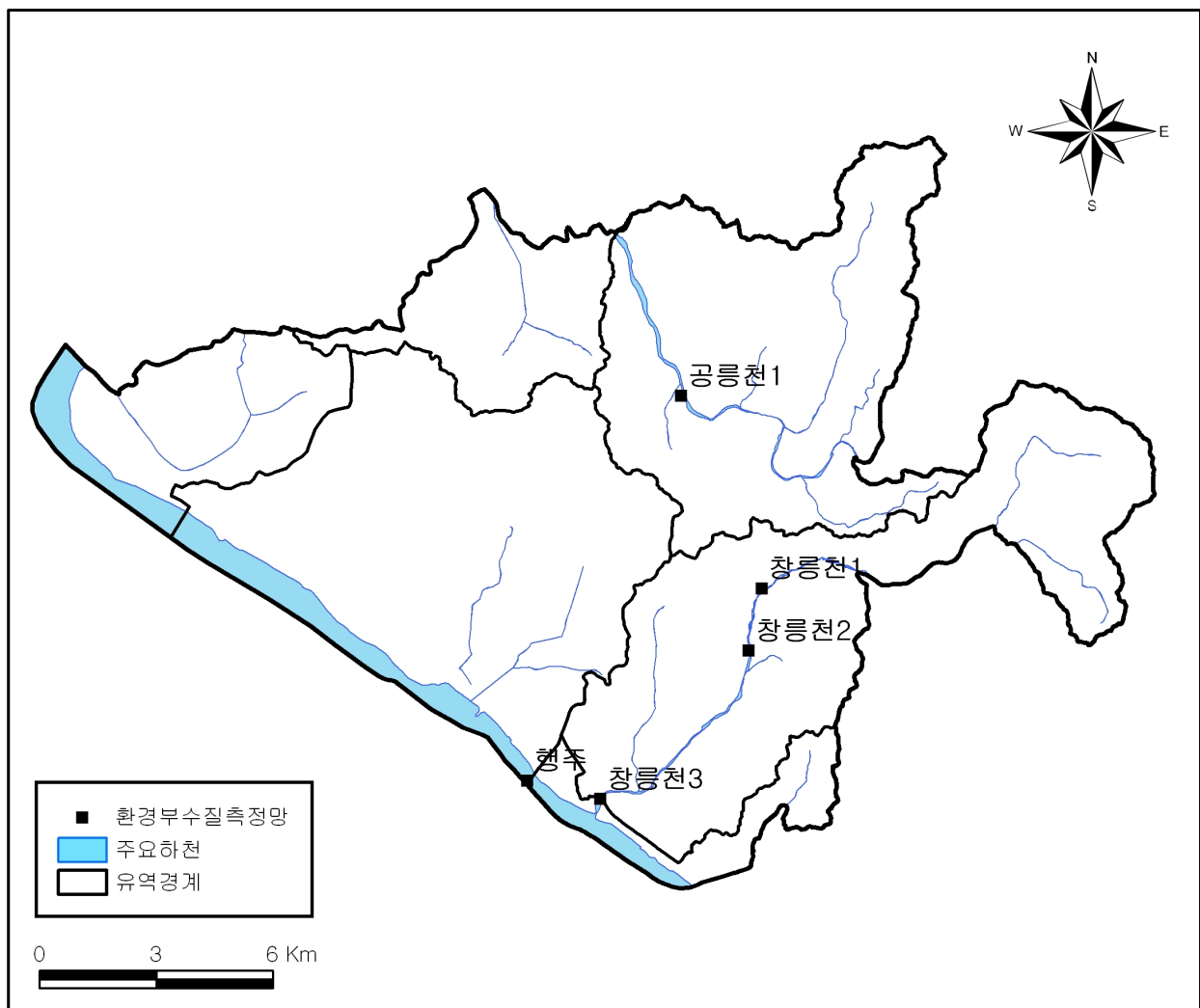
1. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7 미만일 경우에는 총인의 기준을 적용하지 아니하며, 그 비율이 16 이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 아니한다
2. 등급별 수질 및 수생태계 상태는 가목(2) 비고란 제1호와 같다.
2. 상태(캐릭터) 도안 모형 및 도안 요령은 가목(2) 비고란 제2호와 같다.

고양시에는 5개소의 환경부 수질 관측망이 설치 운영 중이고 대부분은 하천수질에 대한 관측소로써 공릉천 1개소, 창릉천 3개소 및 한강 1개소가 있으며, 조사기관은 경기도 4개소와 환경유역환경청 1개소로 이루어져 있다. 이들 관측소의 제원은 아래 표와 같으며 개략적인 위치는 그림에 도시하였다.

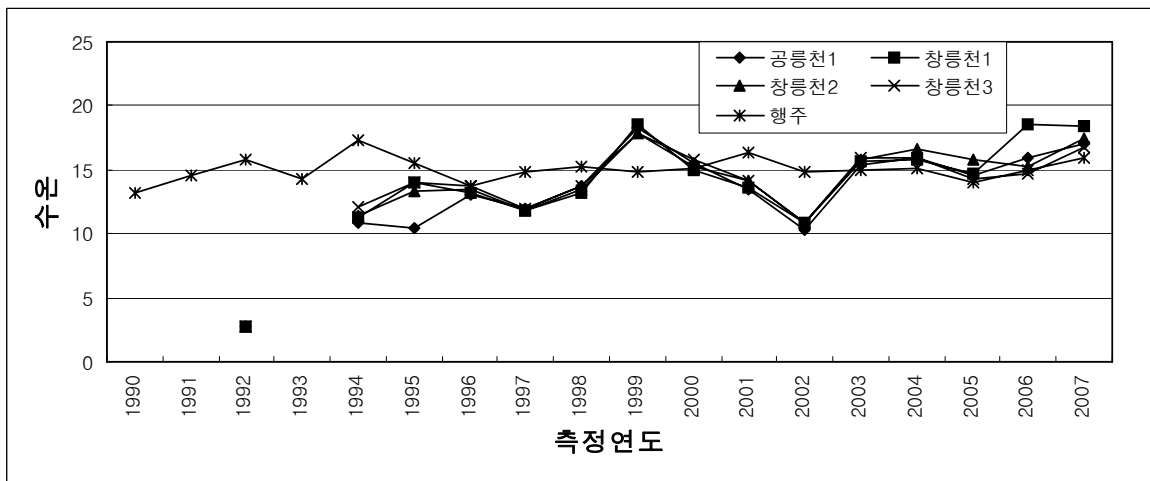
<표 2-4> 환경부 수질측정망 현황

구 분	측정소명	주 소	상세지점	조사기관
하천수	공릉천	경기도 고양시 신원동	벽제교	경기도
하천수	창릉천1	경기도 고양시 삼송동	덕수교	경기도
하천수	창릉천2	경기도 고양시 용두동	화전교 밑 보	경기도
하천수	창릉천3	경기도 고양시 행주외동	창릉교	경기도
하천수	행주	경기도 고양시 행주외동	행주대교 중앙부	한강유역환경청

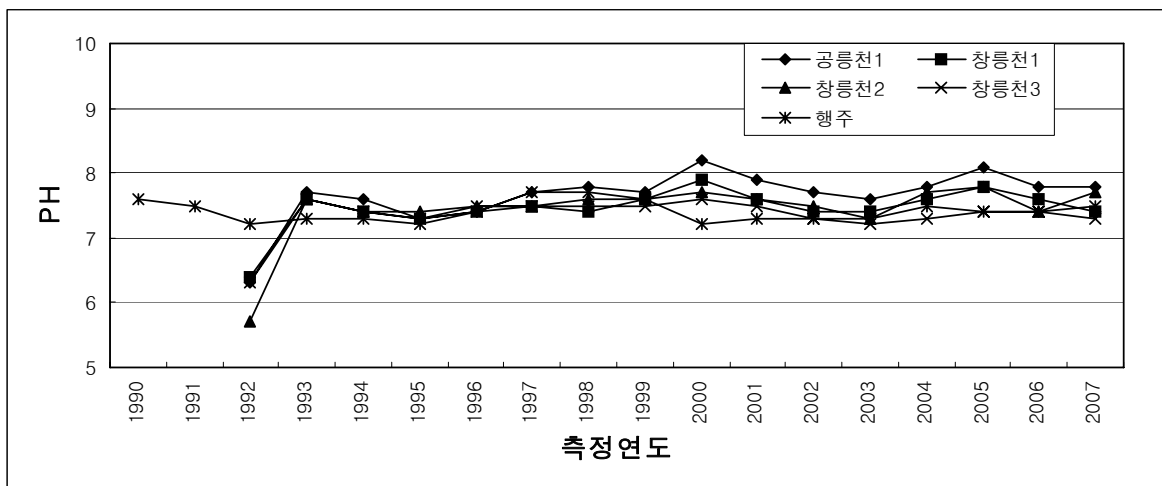
자료출처) 환경부 수질 측정망(2007.12.기준, <http://www.nier.go.kr/potal/weis/>)



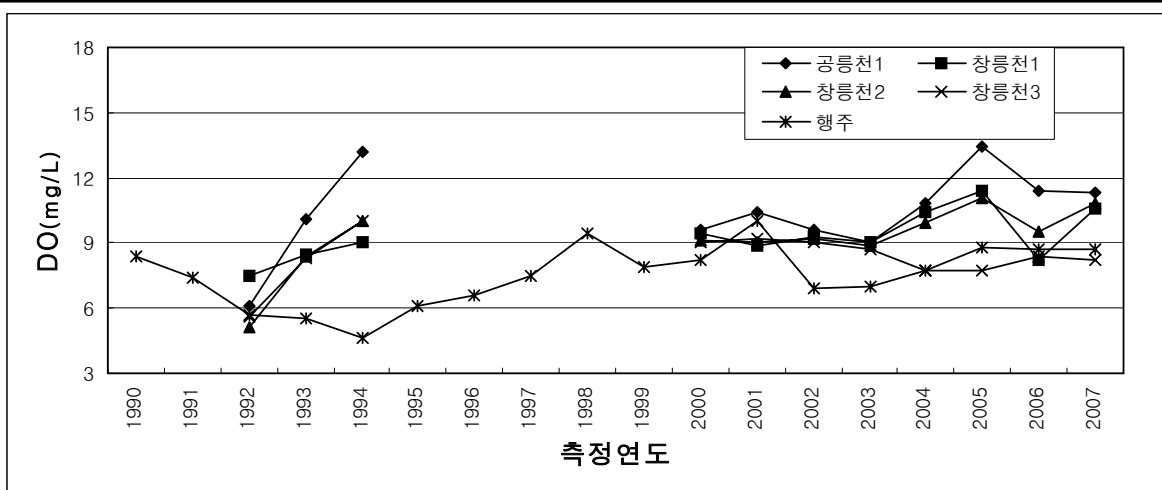
<그림 2-4> 환경부 수질측정망 위치도



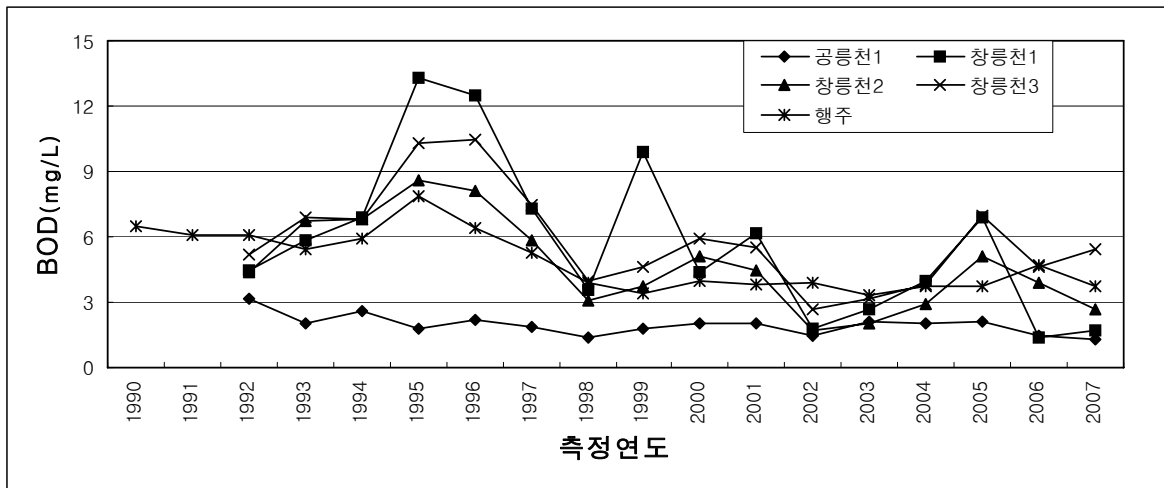
<그림 2-5> 수온 변화



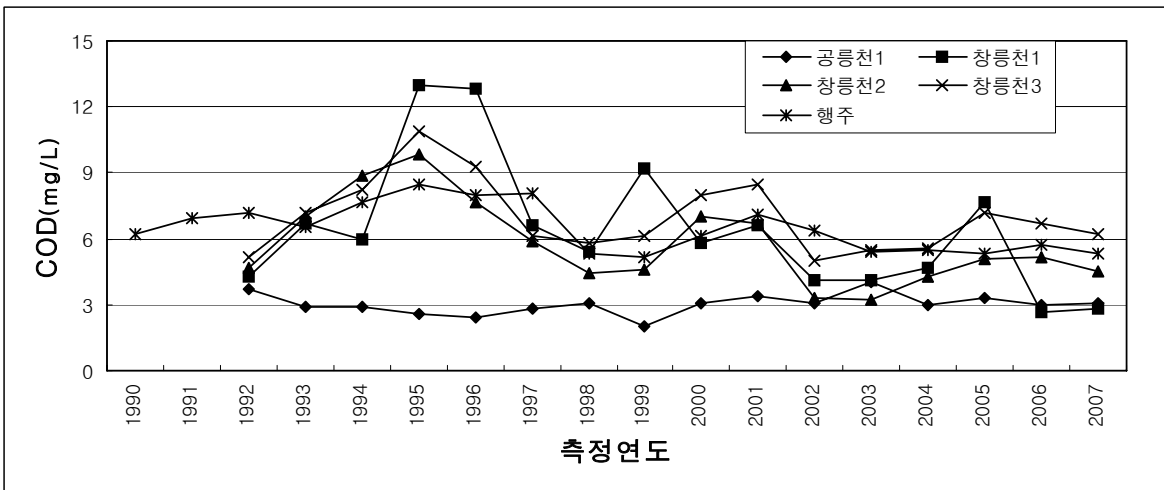
<그림 2-6> pH 변화



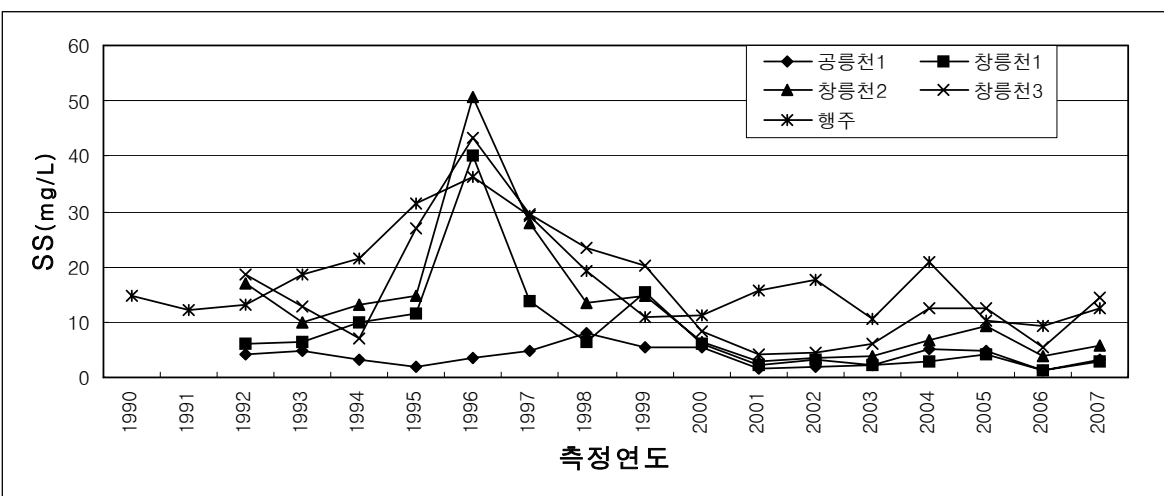
<그림 2-7> 용존산소량(DO) 변화



<그림 2-8> 생물화학적 산소요구량(BOD) 변화



<그림 2-9> 화학적 산소요구량(COD) 변화



<그림 2-10> 부유물질량(SS) 변화

2.1.2. 유역 구분

본 조사에서는 수계분포와 지형 및 각 지류의 본류하천 표준유역 등을 고려하여 조사지역을 6개 유역으로 세분하여 지하수 이용현황 물수지분석 및 지하수자원 평가의 기초단위로 설정하였다. 유역경계는 현재 한국수자원공사에서 수행중인 유역조사 사업에서 설정한 수자원단위지도를 기초로 하였으며 세부경계는 행정경계를 크게 벗어나지 않도록 하여 본 조사의 분석성과를 유역단위와 행정구역단위로 제시할 수 있도록 하였다

지하수의 부존 및 산출 특성은 지형 지질특성에 크게 지배되므로 전반적인 지하수의 특성을 파악하기 위해서는 행정구역보다 수리·수문 조건이 유사한 조건을 갖는 하천 유역으로 구분하여 조사, 분석하는 것이 효율적이다

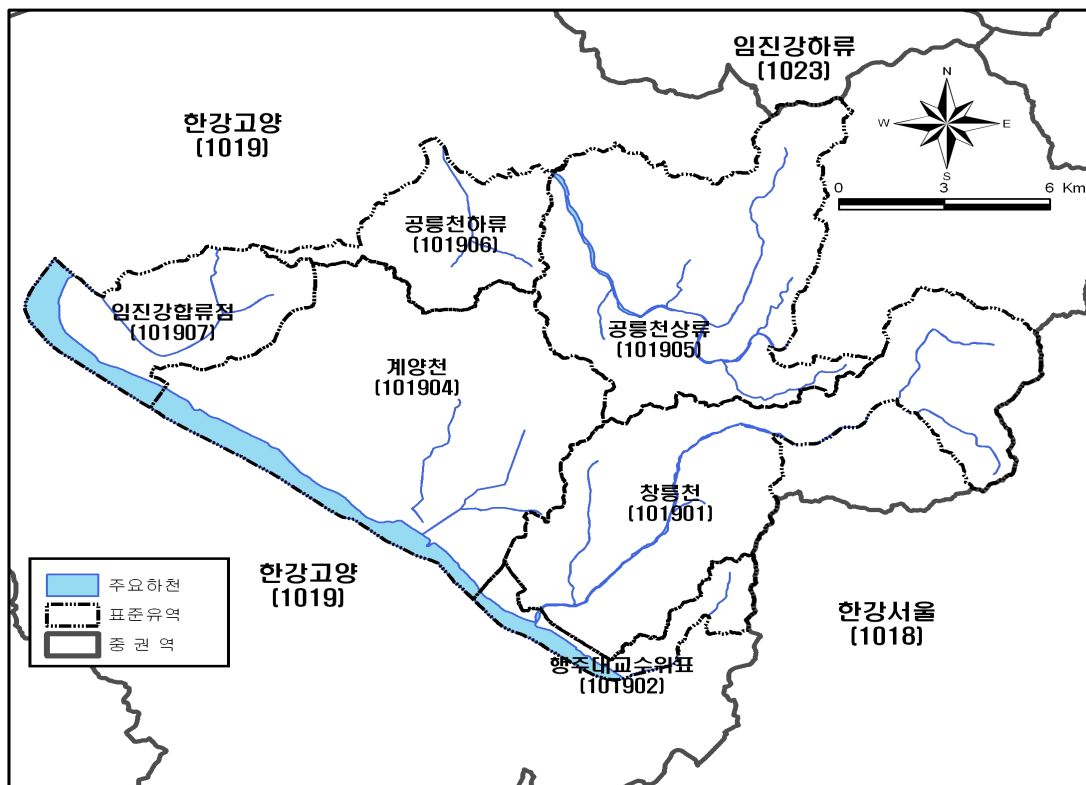
국토해양부에서 제작한 수자원단위지도에서는 대유역권을 기준으로 큰 지류하천들이 자연적으로 합류하는 지점에서 유역을 분류하였으며 국가하천, 지방 1급 및 지방 2급 하천의 합류점을 기준으로 유역단위를 세분하였다

금번 조사에서는 유역경계를 수자원 단위지도의 표준유역을 기초로 하되 세부경계는 행정경계를 크게 벗어나지 않도록 조정함으로써 조사 성과를 유역 및 행정구역 단위로 제시할 수 있도록 하였다.

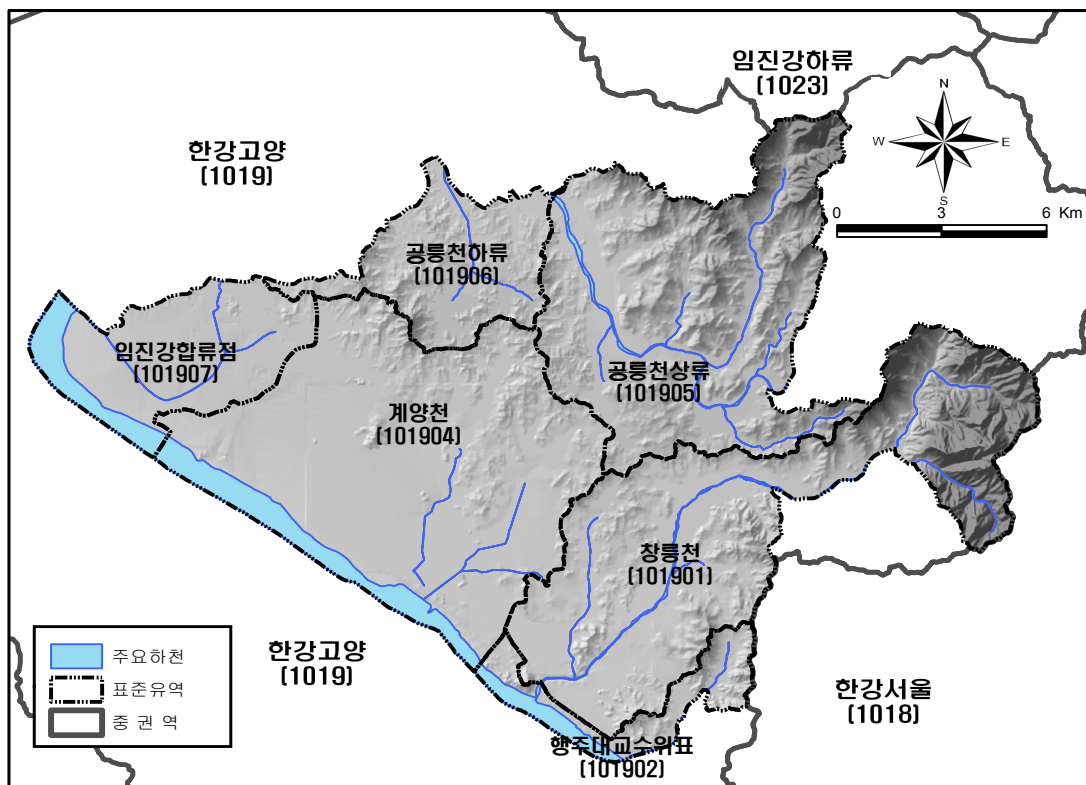
고양시는 대권역상 한강권역에 속하며, 중권역으로는 한강고양 유역(1019)에 해당된다. 표준유역으로는 창릉천 유역(101901), 행주대교수위표 유역(101902), 계양천 유역(101904), 공릉천상류 유역(101905), 공릉천하류 유역(101906), 임진강합류점 유역(101907)에 해당된다. 이들 중 계양천 및 임진강합류점 유역은 주로 김포시와 파주시에 더 넓은 지역을 차지하는 것으로 본권역내에는 하천이 분포하진 않지만 한국수자원공사 유역구분에 따라 유역명을 적용하였다.

<표 2-5> 고양시 중권역 및 표준유역 현황

대권역	중권역		표준유역(유역)			
	유역명	코드	유역명	코드	면적(km ²)	구성비(%)
합 계	1개		6개		267.31	100.0%
한강	한강고양	1019	창릉천	101901	67.74	25.34%
			행주대교수위표	101902	10.36	3.88%
			계양천	101904	79.05	29.57%
			공릉천상류	101905	63.60	23.79%
			공릉천하류	101906	21.11	7.9%
			임진강합류점	101907	25.45	9.52%



<그림 2-11> 고양시 유역현황



<그림 2-12> 고양시 유역별 음영기복도

2.2. 기상

고양시는 경기도의 서쪽에 위치하고 있으며 남동쪽으로 서울시와 접하고 북동으로 양주군, 북서로 파주시 남서쪽으로 한강을 경계로 김포시와 대하고 있고 군사분계선과 불과 20km 떨어진 곳에 위치하고 있다.

고양시에는 기상관측소가 없으며 고양시와 가장 근접한 관측소는 서울시 종로구에 위치한 서울기상관측소가 있다. 서울기상관측소는 1907년에 관측을 개시하여 현재까지 운영중이며, 본 과업에서는 서울기상관측소의 최근 30개년(1978~2007)간 기상자료를 이용하여 본 유역의 기상현황을 조사하였다.

<표 2-6> 서울기상관측소 현황

관측지점	위					
------	---	--	--	--	--	--

주) H:노장의 해발높이, Hb:수은기압계의 해발높이, ht:온도계의 지상높이, ha:풍속계의 지상높이, hr: 우량계의 지상높이

위·경도는 한강유역조사 현장조사 결과임

출처) 기상청(<http://web.kma.go.kr>)

한강유역조사(2004, 국토해양부/한국수자원공사)



<그림 2-13> 서울기상관측소 전경

최근 30년(1978~2007) 서울기상관측소 기상자료에 의하면 고양시의 연평균기온은 12.4°C 이고, 상대습도는 65.0%이며, 평균풍속은 2.3㎞/hr로 나타났다. 소형증발량의 연평균치는 1085.0 mm 이고, 연평균강수량은 1409.5mm로 나타났으며, 6~9월에 연강수량의 72%가 집중하여 발생하였다.

<표 2-7> 고양시 기상현황

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전 년
기 온 (°C)	평균	-2.4	0.1	5.6	12.3	17.7	22.1	24.8	25.5	21.0	14.7	7.2	0.4	12.4
	최고	13.5	18.7	21.7	29.8	31.9	35.0	38.4	37.0	32.8	29.2	23.5	16.2	38.4
	최저	-19.2	-16.0	-8.2	-3.4	5.4	8.8	15.4	15.7	6.3	-2.0	-11.1	-16.2	-19.2
신적설	(cm)	13.2	7.6	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	8.1	38.5
소형증발	(mm)	36.8	46.3	83.5	121.1	142.0	134.9	110.2	120.7	107.2	89.6	53.3	39.4	1085.0
평균풍속	(㎞/hr)	2.4	2.6	2.8	2.8	2.5	2.2	2.2	2.1	1.9	2.0	2.2	2.3	2.3
최대풍속	(㎞/hr)	15.7	15.0	13.3	17.7	14.0	12.5	13.7	12.3	12.5	14.7	13.3	15.2	17.7
상대습도	(%)	60.9	59.0	58.5	56.9	62.9	69.4	78.8	76.2	69.5	64.3	62.5	61.5	65.0
최소습도	(%)	10.0	10.0	8.0	8.0	8.0	13.0	24.0	22.0	19.0	10.0	10.0	14.0	8.0
젖점온도	(°C)	-9.4	-7.7	-2.7	3.1	9.7	15.7	20.6	20.8	14.8	7.4	0.0	-6.7	5.5
평균운량	(cm)	4.6	4.7	5.0	5.1	5.5	6.3	7.4	6.6	5.5	4.5	4.7	4.6	5.4
해면기압	(hPa)	1024.7	1023.1	1019.6	1015.0	1011.3	1007.7	1006.4	1008.1	1013.7	1019.2	1022.8	1025.1	1016.4
일사량	(MJ/m ²)	8.4	11.7	15.1	18.1	19.8	17.9	15.8	15.0	15.1	13.2	8.8	7.4	13.9
일조시간	(hr)	154.8	162.2	192.3	204.3	217.1	177.7	127.7	149.6	175.6	198.7	151.1	151.1	2062.4
강수량	(mm)	21.0	23.2	45.4	71.2	102.6	147.3	370.6	354.3	147.6	52.0	51.4	23.0	1409.5

2.3. 지형

일반적으로 지형은 암상·지질구조 및 지구조운동 등 지질작용에 의하여 형성되며 지형 조건과 지질의 상관 관계에 따라 지표수의 지하 유입 지하수의 부존과 산출특성이 결정된다. 지형은 지하수의 함양 및 배출조건과 밀접한 관련이 있으며 지질은 지하수의 부존 및 산출특성을 지배하는 주된 요소이다. 본 조사에서는 각종 수치도형자료 및 현장조사자료를 전산입력하였으며, 이를 토대로 원격탐사 및 GIS분석 기법을 적용하여 각 주제별 상호 중첩 분석을 실시함으로써 정량적인 판단을 유도하였다

2.3.1. 개요

지하수와 관련된 지형특성, 하천특성 및 유역특성은 다음과 같은 정량적인 인자를 사용하여 분석였다.

가. 지형 인자

지형은 암상, 지질구조 및 침식 등의 복합 작용에 의하여 생성되는 것으로 지하수의 함양과 배출은 지형의 개폐성, 위치, 고도, 경사 및 기복도 등의 지형 인자에 크게 영향을 받는다. 수문지질과 관련하여 고려되는 주요 지형 인자를 약술하면 다음과 같다

- 지형의 개방성은 가장 중요한 지형요소로 개방형(open structure) · 폐쇄형(closed structure) · 부분 개방형으로 분류.
 - 순상지, 고원지대, 중산간 분지 등은 개방형으로 침식작용이 활발하여 지형 개석이 심하고 지하수의 유동과 배출이 원활하며 대수층은 비교적 고지대에 분포
 - 탁상지의 요부 또는 산간 함몰지대 등은 폐쇄형으로 대수층은 대부분 저지대에 분포하고 불투수층으로 덮여 피압조건을 형성하며 자연상태에서 지하수의 유동과 배출이 미약하나 지하수의 저류성은 높음
 - 부분 개방형은 깊은 계곡, 침강지역 상부구간, 융기한 지반의 사면구간으로 대부분의 지역은 폐쇄되고 일부 구간만 개방되어 지하수의 유동과 배출이 개방된 지역에 집중하여 발생.
- 위치에 따른 분류
 - 고원지대, 산사면, 산간 분지, 산간 계곡, 하천 평야, 해안평야.
- 지형 고도 및 개석 상태
 - 지형고도, 개석정도, 경사도에 따라 지하수의 함양 배출 결정.
 - 고도 ≤ EL.250m, 침식깊이(고도차) ≤ 50m 지형 : 배수 불량.

- 250m<고도≤500m, 50m<침식깊이≤300m : 배수 양호
- 고도>500m, 침식깊이>300m : 배수 매우 양호
- 지형 개석에 따른 수계 밀도가 높을수록 지하수 배출 양호
- 지형 경사
 - 지형 경사가 급할수록 유출율이 높아 지하수 함양 조건이 불리
 - 경사도에 따른 지형 분류는 <표 2-3>과 같음.

<표 2-8> 경사도에 따른 지형 분류

경 사 도 (%)	지형 분류
0~2	평탄지(flat~almost flat)
2~7	완경사지(gently sloping)
8~13	경사지(sloping)
14~20	준경사지(moderately steep)
21~55	급 경사지(steep)
>55	급준 경사지(very steep)

나. 하천 및 유역특성 인자

하천 및 유역특성에 관한 용어에 관한 “하천설계기준(2000, 한국수자원학회)”상의 정의는 아래와 같다.

- 하천길이(Stream Length, L_w)는 유역내의 모든 하천의 총길이 하천길이는 하도용량에 관계되므로 하천길이가 커질수록 유역반응이 증가($L_w = \sum L_i$).
- 유로연장은 유역출구점으로부터 본류 하천을 따라 지도상에 표시된 하천 시작점까지의 거리.
- 하상경사는 유역출구점과 지도상의 하천시작점 두지점간의 표고차이를 두지점사이의 유로연장으로 나눈 값. 통상 백분율로 표시.
- 하상계수는 특정년도의 최대유량과 최소유량의 비
- 평균폭은 유로연장을 유역면적으로 나눈 값
- 유역길이(Drainage length, L_b)는 유역출구점에서 유역내 최대 고도점까지의 거리
- 유역면적(Drainage area, A_w)은 평면상으로 투영된 총 면적.
- 형상인자(Form factor, R_f)는 유역면적과 유역길이의 제곱의 비로 정의되는 무차원의 계수이다($R_f = \frac{A_w}{L_b^2}$).
- 형상계수(Shape factor, R_s)는 유역면적과 동일한 면적을 갖는 원의 직경(D_c)과 유역

의 주하천길이(L_c)의 비($R_s = \frac{L_c}{D_c} = L_c \left(\frac{4A_w}{\pi} \right)^{-1/2}$). 이는 형상인자를 원형 유역으로 정규화한 값.

- 유역밀도(Drainage density, D)는 유역면적(A_w)과 유역내 전체 하천의 총연장(L_w) 비($D = \frac{L_w}{A_w}$).

다. 수치고도자료 분석

공간상에 나타난 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현하는 방법을 지형고도 자료(DEM, Digital Elevation Model)라 한다. 본 조사에서는 1:25,000 수치지형도를 지형 데이터 베이스로 변환한 후 지형곡면을 모사한 TIN(Triangulated Irregular Network)를 발생시켜 DEM을 작성하였다.

곡면의 경사 및 경사방향은 TIN 발생시 지형곡면을 모사하는 노두값을 기초로 연산되며, 지표면의 최대 경사를 표시하는 경사각과 경사방향은 유출 계산시면 안정도 분석 및 여러 가지 환경적 영향을 분석하는데 필요한 중요한 기본 자료이다 TIN자료가 갖는 경사각 및 경사방향 자료는 임의 해상도로 다시 격자자료로 변환 가능하며 이를 통해 절대고도 경사·경사방향 등 다양한 지형분석이 가능하다

2.3.2. 지형특성

조사지역의 지형은 과업지역을 북서남동으로 흐르는 한강에 의하여 넓은 하상과 충적 평야가 발달하고 있고 북동-남서방향으로 갈수록 가파르지며, 구성물질의 분포와 물리적특성, 지질구조 등과 같은 지질학적 특성과 밀접한 연관성을 보인다

본 지역의 지형발달은 동부가 서부에 비해 높은 산지를 형성하는 것으로 서부지역은 낮은 구릉을 이루고 있는 노년기 지형이며, 동부지역은 높은 산지를 형성하고 있다. 험한 산악 지형을 이루는 동부지역은 북쪽으로부터 계명산(520.0m), 노고산(487.0m), 북한산(838.5m)이 대체로 북북동-남남서 방향으로 산맥을 이루며 발달하고 있다.

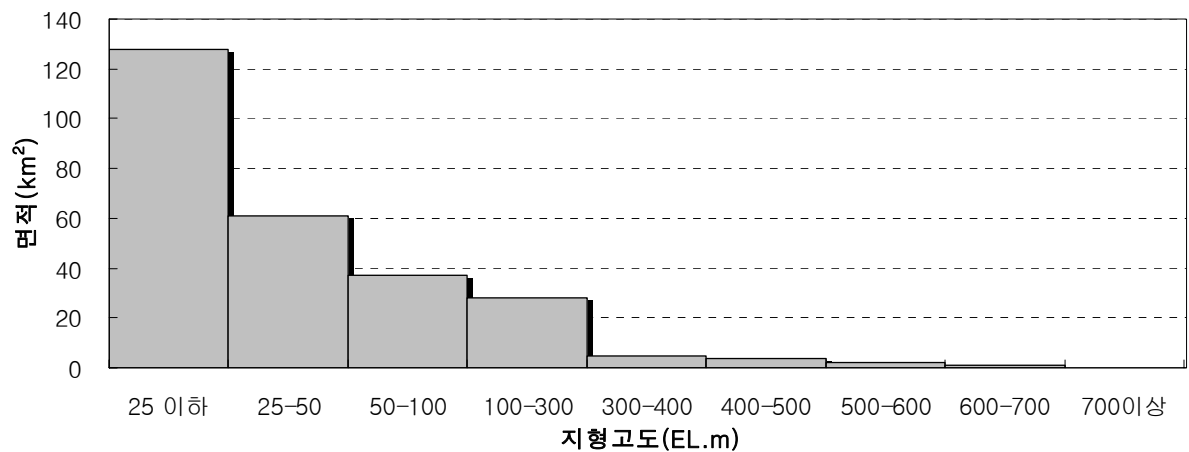
수계는 서부지역이 동부지역에 비해 잘 발달하며 전반적으로 동쪽의 고산지대에서 서쪽 방향으로 흐르는 수계를 형성한다. 북동-남서 방향과 북북서-남남동 방향의 선상구조가 존재하고 이들 선상구조를 따라서 V-형의 직선형 계곡과 수계가 발달하며 모든 수계는 임진강의 2차 수계인 공릉천과 창릉천으로 합류된다 이들 하천의 주변을 따라서 서부지역에 충적층이 광범위하게 분포하는 평야지대가 형성되어 있다

2. 수문지질환경

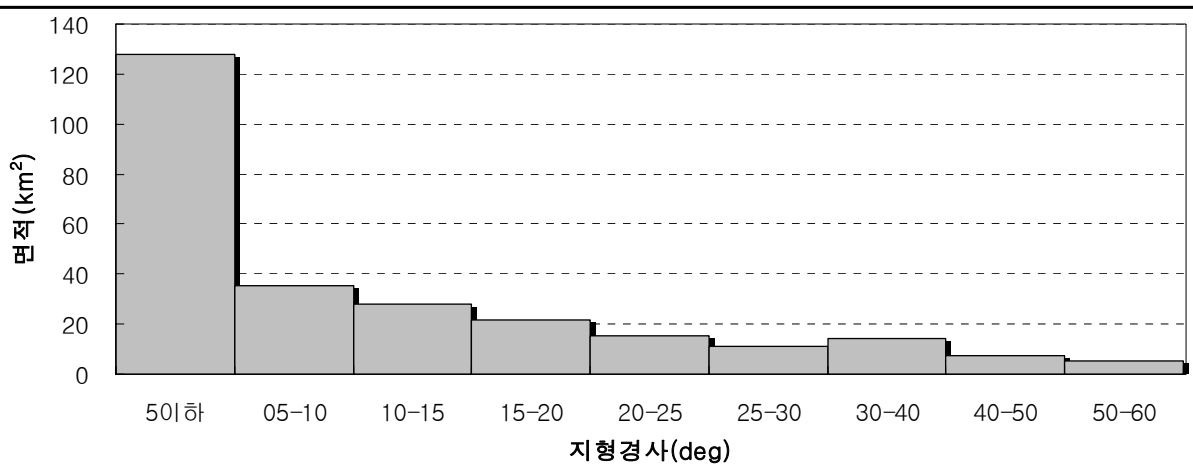
다음 그림은 국토지리정보원에서 제작한 1:25,000 국가수치지형도를 이용하여 제작한 수치지표고모형(DEM)과 그로부터 분석된 지형경사방향도 및 지형경사도이며 표는 지형고도 및 지형경사별 면적분포를 나타낸다

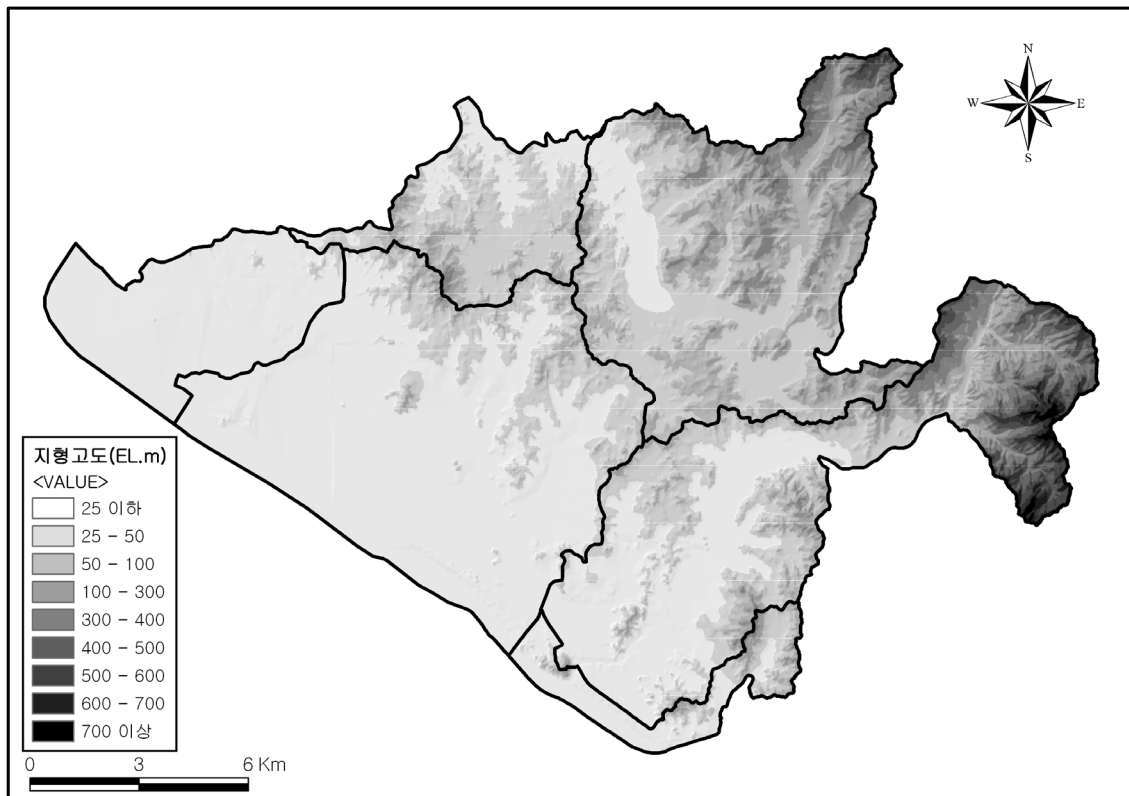
<표 2-9> 지형고도 및 지형경사의 면적분포

지형고도 (EL.m)	25이하	25-50	50-100	100-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700이상
면적(km ²)	128.37	61.33	37.41	28.17	4.93	3.86	2.20	0.81	0.19
비율(%)	48.03	22.95	14.0	10.54	1.84	1.45	0.82	0.30	0.07

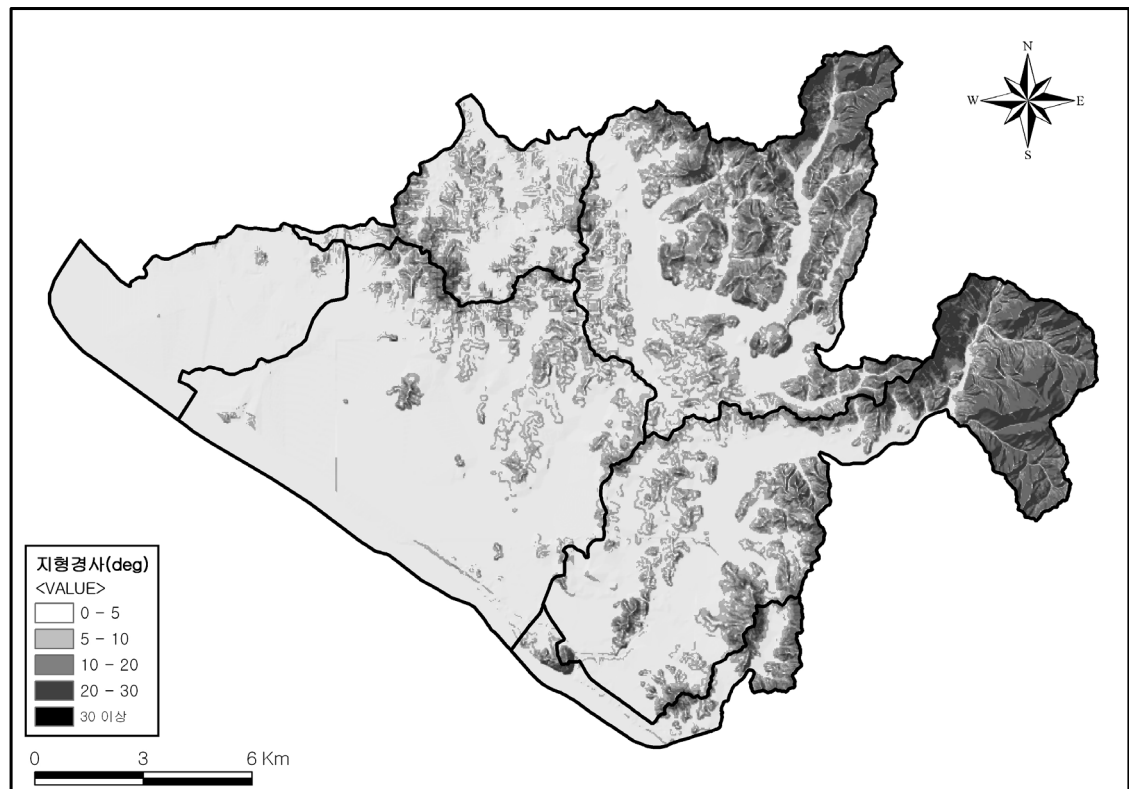


지형경사 (deg)	5 이하	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	40-50	50이상
면적(km ²)	128.45	35.31	28.06	21.48	15.51	11.31	14.23	7.67	5.29
비율(%)	48.05	13.21	10.5	8.04	5.80	4.23	5.32	2.87	1.98

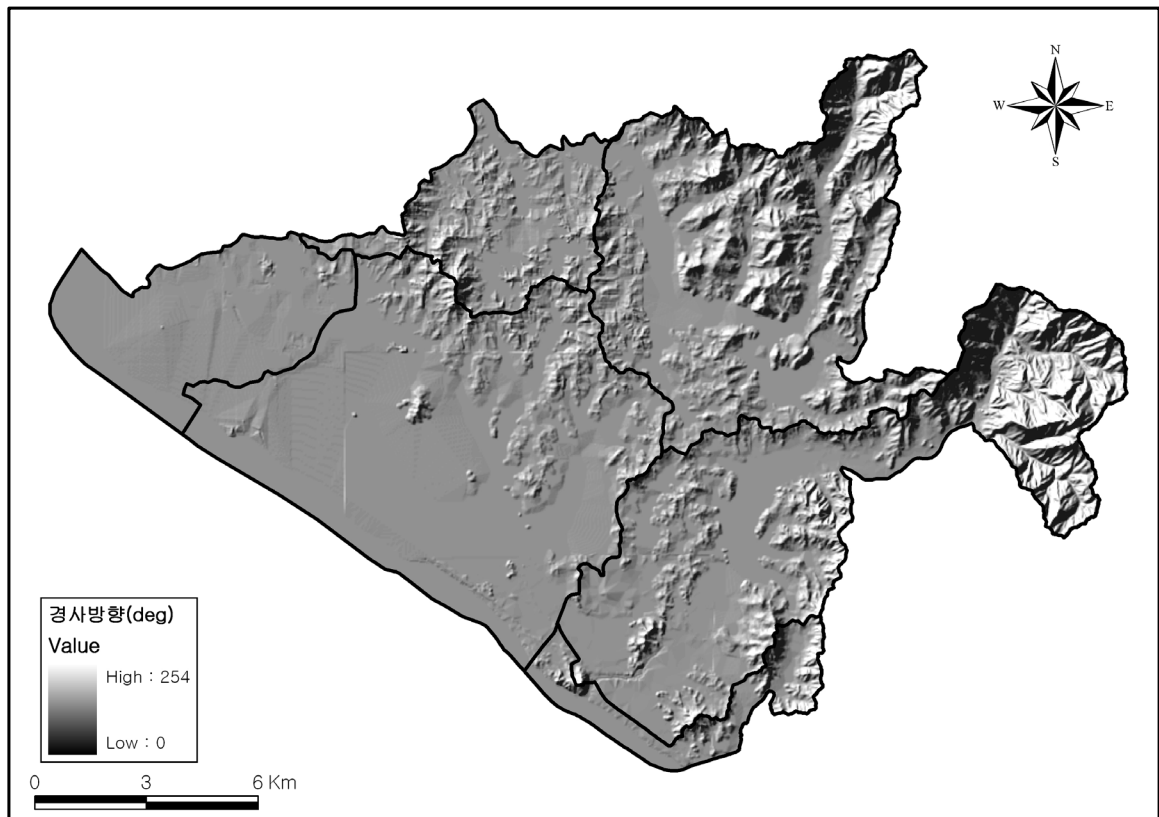




<그림 2-14> 지형고도 분포



<그림 2-15> 지형경사 분포



<그림 2-16> 경사방향 분포

2.3.3. 유역별 지형 특성

조사지역 유역은 전술한 바와 같이 1개의 대권역과 1개의 중권역, 6개의 표준유역으로 구분되어 있으며, 이를 바탕으로 유역별 지형특성을 분석하여 기술하였다. 유역과 하천의 지형학적인 특성 중 지형고도, 지형경사에 대한 면적분포를 유역별로 산정하였다. 이를 조사하기 위해 수치지형도와 수자원 단위지도의 표준유역 경계를 이용하였다.

<표 2-10> 유역별 지형특성 및 유역특성 인자

유역명		지형고도(m)				지형경사(°)		
		평균	최대	최소	표준편차	평균	최대	표준편차
고 양 시		49.9	807.5	0.0	55.6	5.6	55.8	3.3
한강고양	창릉천	112.7	807.5	0.0	154.3	10.1	55.8	10.4
	행주대교수위표	30.2	176.0	0.0	33.3	6.5	36.2	7.6
	계양천	17.9	168.0	0.0	15.5	2.1	34.1	3.6
	공릉천상류	86.4	523.6	20.0	71.2	9.1	42.1	7.8
	공릉천하류	40.4	182.0	16.0	19.7	5.0	28.8	4.7
	임진강합류점	12.0	48.0	0.0	8.2	0.8	16.8	1.4

2.4. 지질 및 지질구조

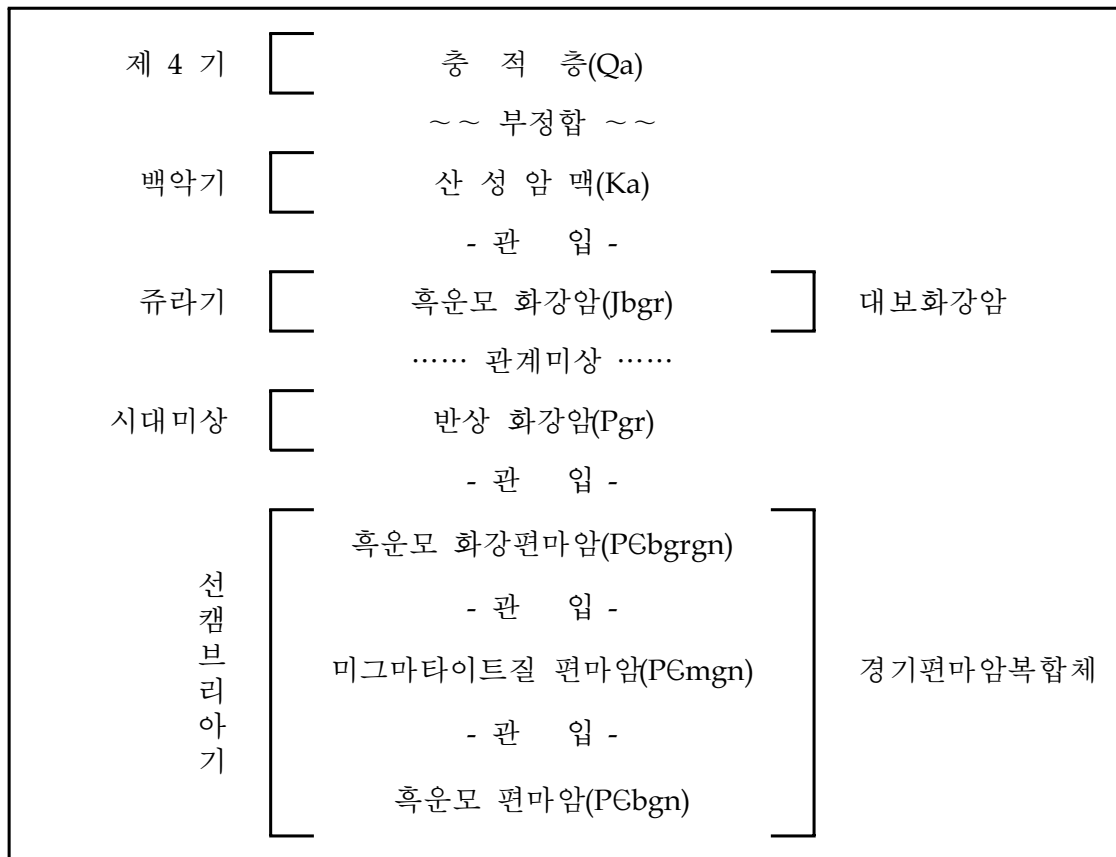
2.4.1. 지질개요

고양시 일대의 지질은 크게 세 지역으로 구분할 수 있는데, 기저부를 이루는 선캄브리아기의 변성암류(흑운모편마암, 미그마타이트질편마암, 화강암질편마암)가 넓게 저지대에 분포하고 있으며, 북동-남서방향을 경계로 중생대 화강암류(흑운모화강암, 맥암류) 및 시대미상의 반상화강암이 관입하여 남동부에 고지대를 형성하며 이를 부정합으로 덮는 제2기 충적층이 한강변을 따라 남서부에 넓은 평야지대를 이루고 있다.

선캄브리아기 암석은 퇴적기원의 변성암인 흑운모편마암이 기반암을 형성하고 미그마타이트질편마암이 북동부지역에서 이와 접하며, 이들을 관입한 화성기원의 흑운모 화강편마암으로 구성되어 있다. 변성퇴적암류인 흑운모편마암은 변성분화작용에 의하여 우백대와 우흑대로 구성된 호상구조가 잘 발달하고 지역적으로 다양한 양상의 암상으로 구성되어 있다. 또한, 미그마타이트질 편마암은 이들 변성퇴적암류가 미그마타이트화 작용을 받아 형성된 것으로 선캄브리아기 암석의 광역엽리 주향방향과 유사한 북북동남남서 방향으로 신장된 타원체 형태로 분포한다. 야외에서 흑운모편마암과 미그마타이트질 편마암은 변성작용 동안에 부분용융된 화강암질 용체가 모암을 관입한 미그마타이트화 작용의 정도여부에 따라 구분되어 진다. 변성화강암류인 흑운모 화강편마암은 전반적으로 담회색을 띠며 세립질에서 거정질까지 다양한 입도변화가 존재하며 암 경계부를 따라 압쇄구조가 잘 발달한다.

경기편마암복합체에 해당되는 본 지역의 편마암류는 오랜 지질시대를 거치는 동안 지각변동에 의하여 수차례의 변형을 겪었으며 이로 인해 구조적 요소인 습곡 단층 및 절리가 잘 나타난다.

중생대 쥐라기 흑운모 화강암은 서울주변에 분포하는 저반의 일부로서 대보화강암의 연장부에 해당하는 것으로 야외에서 확인시 담회색의 장석을 함유하고 있으며 반상화강암은 장석이 백색 내지 가끔 반정을 함유하는 특징을 보인다.



<그림 2-17> 지질계통도

2.4.2. 지질각론

가. 선캠브리아기 변성암류(P**C**bgn, P**C**mgn, P**C**bgrgn를 포함)

선캠브리아기의 변성암류들은 경기편마암복합체의 일부에 속하며 전기-중기 원생대의 퇴적기원 및 화성기원의 변성암류로 구성된다. 본역에서는 주로 퇴적기원 변성암인 흑운모편마암과 변성작용동안에 퇴적기원 변성암이 부분용융되어 형성된 미그마타이트질 편마암으로 구성되어 있으며 야외에서의 구분은 부분용융된 화강암질 용체가 모암을 관입한 미그마타이트화 작용의 정도 여부에 따라 구분한다(서울, 고양도폭).

선캠브리아기 변성암류 중 흑운모 화강편마암은 0.47%로 일부 지역에 소규모로 분포하고 있어 수문지질단위 분류시 준편마암에 포함시켰다

1) 흑운모 편마암(P**C**bgn)

본 암층은 김옥준(1973)에 의하여 정의된 경기편마암복합체의 부천층군과 시흥층군에 속하며, 변성암류의 최하부에 위치하며 조사지역의 대부분을 차지한다. 지역적으로 모암의 성분

차이가 있고, 흑운모의 함량에 따라 암상이 다소 불균질하게 나타나며 대부분은 우백대와 우흑대가 수mm ~ 1cm의 폭으로 호상구조를 이루고 있다. 엽리는 대부분 규칙적으로 발달하나 소습곡이 발달한 부분과 미그마타이트화 작용의 영향을 받은 지역은 부분적으로 불규칙하게 나타난다. 변성작용 동안에 부분용융된 화강암 용체가 수mm ~ 수cm의 두께로 엽리에 평행하게 관입되었으며, 화강암물질의 관입량에 따라 미그마타이트질 편마암으로 구분된다(고양도폭).

2) 미그마타이트질 편마암(Pcmgn)

본 암층은 퇴적기원의 편마암 혹은 편암이 변성작용동안에 부분용융된 화강암질 성분을 갖는 물질이 모암내로 관입되어 형성되었다. 이 암체는 고양시 벽제동 일대와 고양시 고봉산지역에 소규모로 산출된다.

화강암질 용체는 전반적으로 엽리면에 평행하게 관입하였으며 부분적으로 엽리면을 사교하거나 절단한다. 이질기원 혹은 사질기원의 모암성분에 따라서 미그마타이트화 작용의 강도가 차이가 나타나는 것으로 이질기원은 마그마타이트화 작용이 심하게 발생한 반면 사질기원의 암상은 미약하거나 부분적으로 발생하였다고양도폭).

3) 흑운모 화강편마암(Pebgrgn)

본 암층은 흑운모 편마암을 관입하여 일부지역에 소규모로 분포하고 있으며 풍화정도가 심해 노두의 확인이 어렵다. 이 암석은 담회색을 띠고 입자는 중립내지 세립질로서 입상변정질 조직을 가지며 전단운동에 의해 부분적으로 엽리가 강하게 발달하지만 전반적으로 엽리의 발달강도가 약하여 괴상내지는 약한 편리상으로 나타난다(서울도폭).

나. 시대미상(Pgr를 포함)

본 암층은 돛형의 타원체로 산출되며 흑운모편마암을 관입하고 있으나 흑운모화강암과 직접 접촉하는 곳이 없어 상호관계는 명확히 알 수 없지만 흑운모화강암보다 더 오래된 심성 관입암체인 것으로 사료된다(서울도폭).

시대미상의 반상화강암은 분포비가 0.83%로 매우 소규모로 분포하므로 수문지질단위 분류시 트라이아스-기후라기 산성관입화성암에 포함시켰다.

1) 반상화강암(Pgr)

암상은 중립질 석기에 약 1cm내외의 크기를 갖는 장석반정을 함유하고 있다. 야외에서의 산상은 일반적으로 다른 화강암과 같이 괴상이며 박리등이 발달하나 곳에 따라 미약하게 엽리가 보이기도 한다. 흑운모 화강암은 담홍색의 장석을 함유하고 있으나 반상화강암은 장석이 전부 백

색을 띠우며 가끔 반정을 함유하는 것이 육안상 관찰를 통해 차이를 알 수 있다(서울도폭).

다. 쥐라기 화성암류(Jbgr를 포함)

본 암층은 흑운모 편마암을 관입하고 있으며 대부분 조립질로서 곳에 따라서는 각섬석을 소량 함유하기도 하는데 일반적으로 편리가 발달하여 있다(서울, 고양도폭).

1) 흑운모화강암(Jbgr)

본 암층은 남동부지역에서 흑운모 편마암과 미그마타이트질편마암을 관입하며 분포하고 있으며 중립질 내지 조립질 입상조직을 갖고 장석의 풍화정도에 따라 담회색에서 담홍색까지 다양한 색을 보인다.

암상은 주로 석영, 정장석, 사장석, 흑운모 등으로 구성되며 저어콘이 수반된다. 흑운모는 부분적으로 녹리석으로 변질되어 있으며 드물게 견운모화된 부분이 있다(서울, 고양도폭).

라. 백악기 화성암류(Ka를 포함)

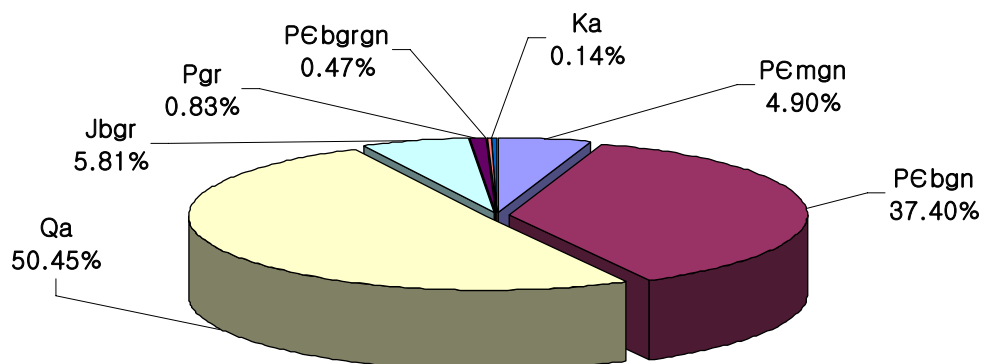
백악기 화성암류에 해당되는 맥암은 0.14%로 매우 미약한 분포를 보이므로 수문지질 단위분류시 트라이아스-쥐라기 산성관입화성암에 포함시켰다.

1) 맥암류(Ka)

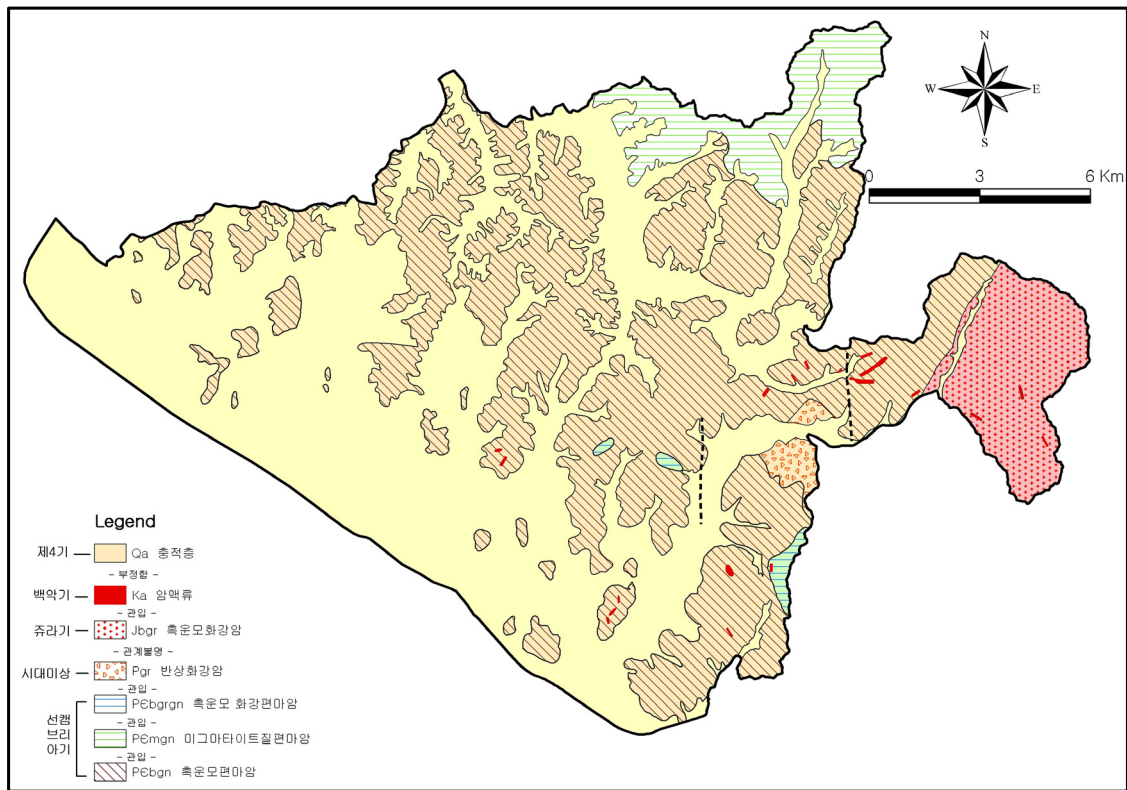
산성암맥류로 석영맥과 규장암맥이며 그 외 흑운모 화강암 분포지내에서는 반화강암도 산출된다(서울, 고양도폭).

라. 충적층(Qa)

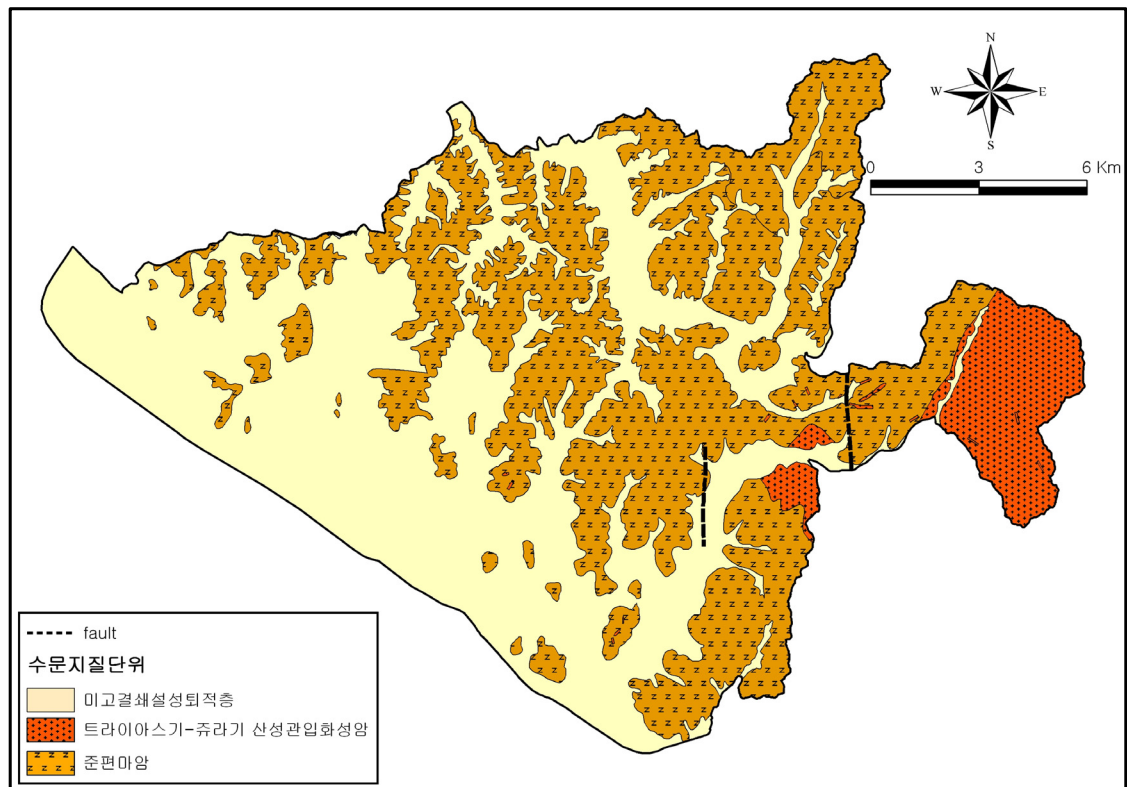
충적층은 창릉천과 공릉천의 주변부와 한강변 일대를 따라 평야지대가 매우 광범위하게 분포한다. 구성물질은 역질 혹은 사질물로 구성되며 점토질 물질은 사질이나 역질 물질에 비해 소량 분포한다. 제4기 지층으로 이전의 모든 암체를 부정합으로 덮고 있다.



<그림 2-18> 지질별 분포 면적비



<그림 2-19> 고양시 지질도



<그림 2-20> 고양시 수문지질단위 분포

2.4.3. 지질구조

가. 선형구조 분석

선형구조(Lineament)는 직선 혹은 완곡의 지형요소로서, 인접한 표면 및 천부 지형요소와 구분이 분명한 단층, 파쇄대, 습곡축 등의 지질구조선 혹은 암석경계를 따라 나타난다. 이러한 요소는 원격탐사 자료에서 지형의 기복 변화 및 화소의 명암차에 의해 구분이 가능하며, 지질 구조선과 관련된 선형구조는 특히 지하수 부존과 매우 밀접한 관련이 있다 따라서 본 절에서는 조사지역의 선형구조를 추출하고 이에 대한 밀도분석을 통해 후술될 수문지질특성평가지 이용토록 하였다.

1) 선형구조 추출

본 분석에서 선형구조는 Landsat TM 영상자료와 지형고도자료 및 항공사진을 이용하여 추출하였다. 우선 자동화된 방법을 적용하여 Landsat TM 자료로부터 선형구조를 추출한 후, 축척편차 및 태양광 편중에 따른 선택적 증감효과에 의하여 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 지형고도자료 및 수계망을 이용한 육안 판독을 통해 추출된 선형구조에 대한 보정을 실시하였다. 선형구조 분석은 항공사진 판독·지질도 분석을 통해 크고 작은 선형구조를 추출하고, 서로 다른 태양방위각으로 작성된 음영기복도와 중첩·비교하여 선형구조를 추가·연장·연결 및 수정하였으며, Landsat TM 영상자료와 음영기복도 및 항공사진을 여러차례 중첩하여 추출된 선형구조에 대한 수정작업을 반복한 후 수치지도를 이용하여 하천 및 도로 등 선형구조로 오인될 요소를 확인하였다. <그림 2-22>는 조사지역의 영상으로부터 얻어진 선형구조 분포도이다. 본 조사에서 추출한 선형구조 개수는 총 225개이고 총연장은 1,229km이며, 선형구조의 최소연장이 0.174km, 최대연장이 41.930km, 평균연장은 5.848km이다.

2) 선형구조 방향분석

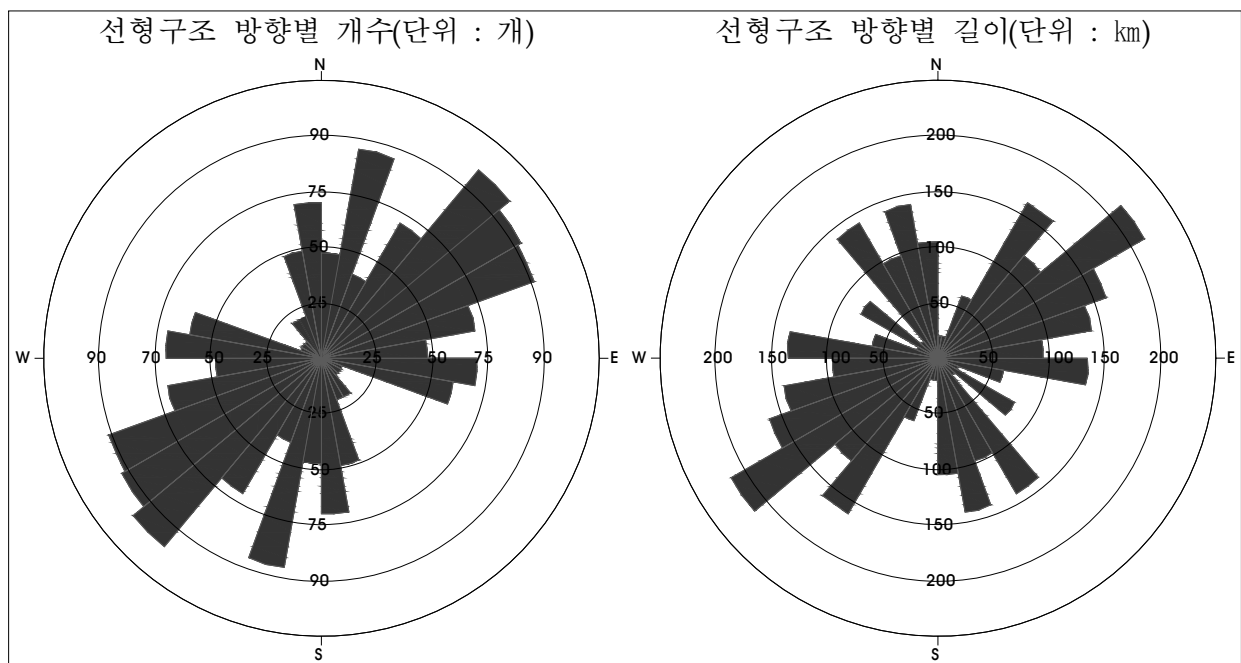
선형구조는 여러 학자들에 의해 지질학적, 공학적인 용도로 이용되어 왔다. 이들은 선형구조를 광역적으로 정의하는데 선형구조의 방향성을 이용하였으며 구조해석, 암상과의 연관성 산출 및 지하수 부존 평가 등에 이용하였다. 이를 위해서는 선형구조의 광역적인 분포양상에 대한 서술이 선행되어야 한다. 선형구조 방향 분석은 선형구조의 빈도분석과 선형구조의 연장성에 대한 정보를 가지고 있는 각 선형구조의 빈도에 길이를 가중치로 곱한 길이 분석을 함께 실시하였다.

조사지역의 선형구조에 대한 방향별 개수 및 연장에 대한 분석 결과는<표 2-11>와

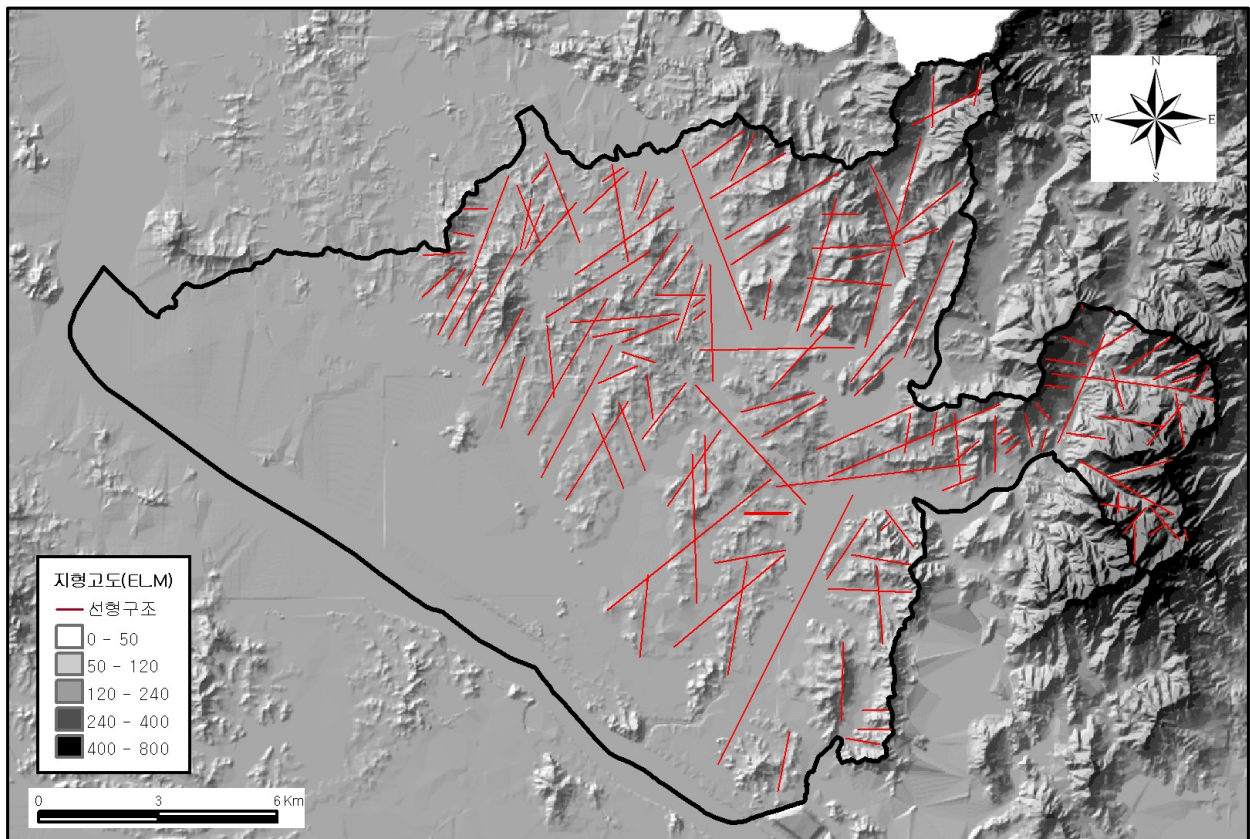
같으며, 방향별 빈도 및 연장에 따른 로즈도표(rose diagram)는 <그림 2-21>에 함께 표시하였다. 빈도분석은 각 방향별로 분포하는 선형구조의 빈도수 합을 나타낸 것이고 연장분석은 각 방향별로 분포하는 선형구조 길이 합의 전체 선형구조 길이 합에 대한 백분율(%)값을 나타낸 것이다. 빈도분석과 길이분석 모두에 있어서 길이는 N40~70E 방향이 가장 우세하고 N20~30E가 부방향으로 나타나고 빈도는 N40~60E 방향이 가장 우세하고 N10~40W가 부방향으로 나타난다.

<표 2-11> 선형구조의 방향별 특성

방향(°)		계	90-80	80-70	70-60	60-50	50-40	40-30	30-20	20-10	10-0
NW	갯수	296	69	56	8	9	9	18	14	49	64
	연장(km)	765.48	130.21	62.56	15.39	72.69	12.21	137.90	89.04	139.82	104.65
방향(°)		계	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
NE	갯수	628	47	85	34	63	99	97	94	67	42
	연장(km)	1161.82	64.62	170.22	57.21	155.99	119.56	207.74	156.67	132.56	95.25



<그림 2-21> 선형구조 분포 Rose Diagram



<그림 2-22> 선형구조 분포도

3) 선형구조 밀도분석

선형구조의 밀도분석은 선형구조의 지역적인 분포를 파악하는데 매우 유용하다. 선형구조 밀도분석시 고려되는 선형구조 인자는 선형구조의 수, 선형구조 조(set)의 수 및 선형구조의 총길이 등이 있는데 이들 중 하나만을 이용하거나 또는 여러 요소 정규화한 후 합을 분석한다. 이중 선형구조 수와 총 길이의 합을 이용하여 밀도를 계산하는 방법이 가장 보편적인 분석방법이다. 본 분석에서는 기존의 밀도분석 방법과 선형구조 특성중 지하수 산출에 가장 큰 영향을 미치는 선형구조의 연장성을 가중치로 고려한 밀도분석 등 다양한 밀도분석을 실시하였으며, 후술될 '5장 지하수 부존 및 산출특성에서 우물 수리상수자료를 이용하여 지하수 산출성간의 상관관계를 규명하였다. 본 분석에서 적용한 선형구조 밀도분석은 아래와 같다.

선형구조 밀도를 계산할 단위체로 Hardcastle(1996)에 의해 제안된 원형격자를 채택하였으며, 이는 사각격자에 비해 격자 중심점으로부터 연산범위가 일정한 장점을 갖으며 인접 원형격자와 중첩시켜 밀도계산시 격자 경계부에서 발생하는 단절현상(tapering)을 부드럽게 해주는 장점을 갖는다. 원형격자의 크기(radius)와 간격(grid spacing)은 일반적으로 약 30~50%

정도 중첩되고 격자내에 약 10~15개 정도의 선형구조가 포함되도록 설정하였다. 본 분석에서는 다양한 크기와 간격으로 연산을 실시한 후 선형구조와 중첩시켜 선형구조의 분포를 가장 잘 표현하는 원형격자의 크기와 간격을 적용하였다. 이에 따라 반경 약 1.41km의 원형격자에 대해 2km의 연산간격을 적용하여 20×21의 375개 격자망을 구성하여 선형구조 밀도를 분석하였다. 각 원형격자에 해당하는 선형구조 수와 길이를 각각 추출하고 이를 통해 선형구조의 밀도를 연산하였다. 이때 선형구조 수와 길이에 대한 단위를 무차원으로 변환하기 위해 전체 격자의 합을 이용하여 정규화(normalization)하였으며, 이는 기존의 격자 평균이나 최대값을 이용한 경우에 비해 확률개념이 적용되어 밀도곡면의 체적이 동일하게 유지되고 선형구조의 공간분포 특성에 따른 밀도 변화를 보다 잘 표현하게 된다. 이 경우 두 요소의 밀도값은 각각 0~1까지의 범위를 보이고 결과적으로 확률적인 기대치를 의미하며 원시자료가 갖는 자료분포도 변형되지 않는다. 이상의 밀도분석 방법을 식으로 표현하면 아래와 같다.

Den_i (단위격자의 선형구조 밀도) =

$$\frac{F_i(\text{격자내 선형구조 총수})}{\Sigma F(\text{모든격자의 선형구조 수 합})} + \frac{D_i(\text{격자내 선형구조 총길이})}{\Sigma D(\text{모든격자의 선형구조 총길이 합})}$$

본 분석에서는 여기에 선형구조 연장성을 가중치로 고려하고 선형구조 교차점수를 추가한 밀도분석을 병행하였다. 이는 밀도분석시 원형격자내에 해당하는 부분만을 연산하는 단점을 보완하고 지하수 산출성에 영향을 미치는 대규모 선형구조를 부각시키는 효과가 있다. 연장성을 고려한 선형구조 밀도분석을 간단히 표현하면 아래와 같다.

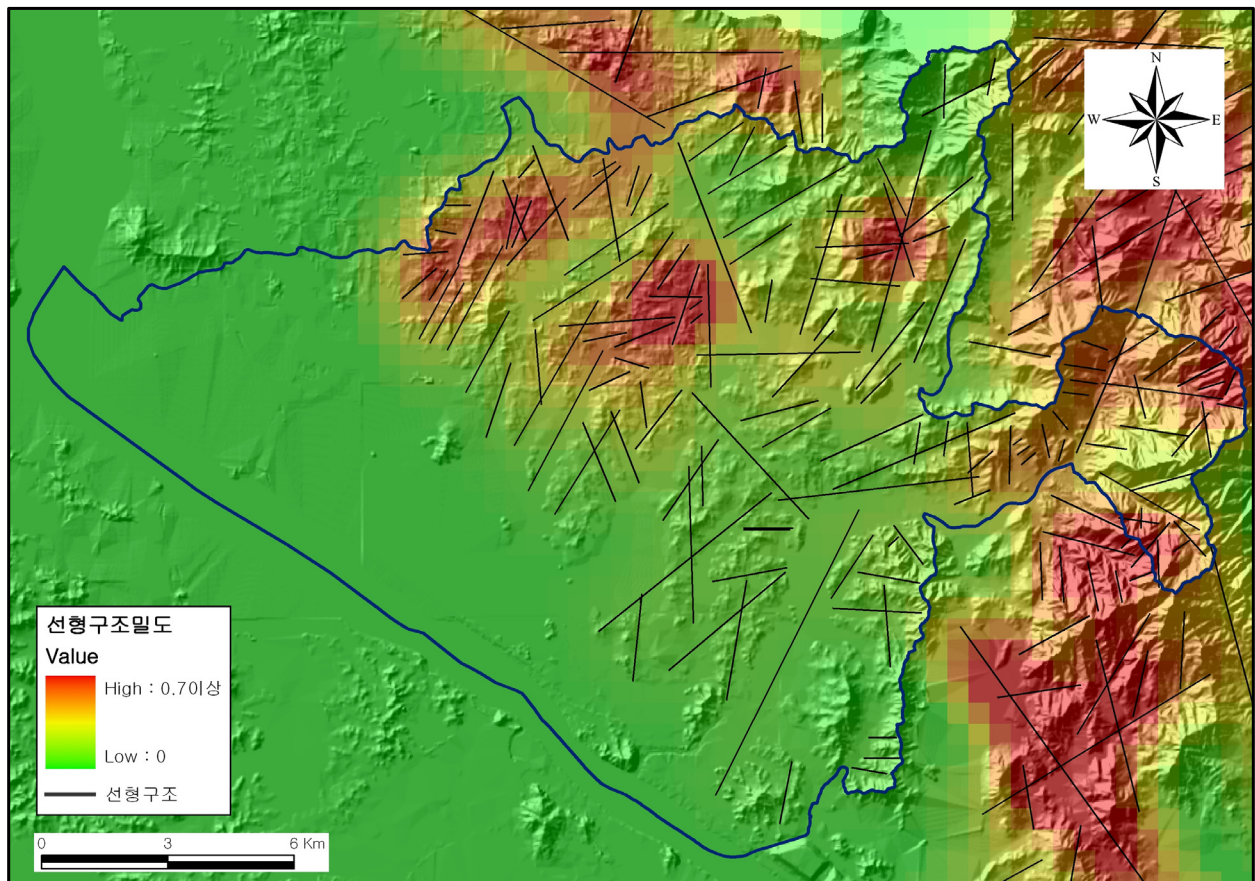
Den_i (단위격자의 연장가중 선형구조 밀도) =

$$\begin{aligned} & \frac{F_i(\text{격자내 선형구조 총수})}{\Sigma F(\text{모든격자의 선형구조수 합})} + \\ & \frac{F_i(\text{격자내 연장가중 선형구조 총수})}{\Sigma F(\text{모든격자의 연장가중 선형구조수 합})} + \\ & + \frac{D_i(\text{격자내 연장가중 선형구조 총길이})}{\Sigma D(\text{모든격자의 선형구조 총길이 합})} + \\ & \frac{D_i(\text{격자내 선형구조 총길이})}{\Sigma D(\text{모든격자의 연장가중 선형구조 총길이 합})} + \\ & + \frac{C_i(\text{격자내 선형구조 교차점 수})}{\Sigma C(\text{모든격자의 선형구조 교차점 수 합})} \end{aligned}$$

상술한 과정에 따라 구한 각 격자 당 선형구조의 수·총길이 및 연장성을 가중치로 추가 고려한 선형구조 밀도에 대한 통계적인 특성은 다음과 같다

<표 2-12> 선형구조밀도 특성

구 분	단위	최대	최소	평균	표준편차
격자당선형구조총수	개수	0.4219	0.0103	0.0381	0.0649
격자당선형구조개수밀도	$10^{-2} \times \text{개수} / \text{km}^2$	0.4218	0.0103	0.0381	0.0649
격자당선형구조총길이	$10^{-2} \times \text{km} / \text{km}^2$	0.4240	0.0000	0.0381	0.0689
격자당선형구조교차점밀도	개수/ km^2	0.75	0.0000	0.04	0.08
선형구조의 밀도		1.42	0.0100	0.11	0.08



<그림 2-23> 선형구조 밀도도

2.5. 지표피복

2.5.1. 원격탐사

가. 개요

원격탐사란 조사하려는 어떤 대상이나 지역을 근접하거나 접촉하지 않고 원거리에서 항공기 및 인공위성 등의 탑재기에 설치된 센서를 이용하여 조사 대상체(지표, 대기 등)로부터 반사 또는 방사된 전자기에너지를 파장대별로 측정하고 이들 자료를 이용하여 대상물이나 현상에 대한 정보를 얻는 것이다. 원격탐사는 광역 조사지역에 대한 초기 개략탐사의 기본이 되는 탐사방법으로, 원격탐사 자료의 경제성 및 정확도가 입증되고 자료 취득이 용이해짐에 따라 거의 모든 분야에서 이용되고 있으며 최근에는 컴퓨터의 하드웨어 및 소프트웨어의 급격한 발달로 인해 그 활용성이 더욱 급증되고 있다.

원격탐사자료를 이용한 지질학적 연구는 지질구조의 특성을 파악하기 위한 선구조 연구, 지질경계의 분석, 암상연구, 위성자료와 기타 지질학자료(지구물리, 지화학 자료 등)의 종합적인 연구 등 다양하며 특히 선구조 분석은 광상탐사, 지하수탐사, 자연재해 분석 및 구조해석에서 기초 자료로 많이 활용되고 있다.

선구조는 직선 혹은 완곡의 지형요소로써 인접한 표면 및 천부의 지형요소와 구분이 명확한 단층, 파쇄대, 습곡축 등의 지질구조선과 암석경계를 따라 나타나며 이러한 요소들은 원격탐사 자료에서 지형의 기복 변화 및 화소의 명암차에 의해 구분이 가능하다 이에 따라 항공사진, 위성영상자료 및 수치표고모형을 이용한 선구조 연구와 야외에서 조사된 절리, 단층들과 같은 불연속면에 대한 연구가 많은 연구자들에 의해 시행되어 왔다. 이렇게 추출된 선구조는 실제로 기존 지질도상의 대규모의 단층 습곡 등과 같은 구조적 불연속면을 잘 반영하는 것으로 알려져 있다.

본 과업은 고양시의 지하수 관련 인자를 추출하기 위한 예비조사 과정에서 광역적인 특징분석을 위하여 Landsat-5 TM 자료를 이용하였다. Landsat 위성은 1972년 NASA에서 처음으로 발사하였으며, 현재는 Landsat-7 ETM 위성이 운영 중에 있다. <표 2-13>은 Landsat-5 TM의 밴드별 특성을 표현한 것으로 TM 센서는 가시광 영역뿐만 아니라 근적외선(NIR; Near Infrared), 중적외선(MIR; Mid Infrared) 및 열적외선(TIR; Thermal Infrared) 영역의 7개의 밴드를 가지고 있다.

<표 2-13> Landsat-5 TM의 파장별 특성

구분	파장(μm)	공간해상도(m)	파장대역	특 징
1	0.45~0.52	30	가시광선(청)	물에 잘 통과하며, 식생과 토양의 구별 및 식생종류, 인공구조물 구별
2	0.53~0.60	30	가시광선(녹)	식생의 구별과 활성도에 대한 정보 획득 및 인공구조물 구별
3	0.63~0.69	30	가시광선(적)	식생의 종류 구별 및 인공구조물 식별 가능
4	0.76~0.90	30	근적외선	토양 수분 함량과 식생의 종류, 활성도 및 biomass에 대한 정보
5	1.55~1.75	30	중적외선	식생과 토양 수분함량에 대한 정보 획득 및 눈과 구름의 구별
6	10.4~12.5	120	열적외선	지표면 온도 분석 및 토양의 수분 함량에 대한 정보 분석
7	2.08~2.35	30	중적외선	암석과 광물의 종류 구별 등과 같은 지질학적 적용

본 과업에서는 고양시의 지표수 및 지하수 개발과 관련된 정보들을 Landsat-5 TM 자료를 이용하여 분석하였으며 기본적으로 추출하고자 하는 정보는 선구조 분석 토지피복도, NDVI를 통한 식생의 상태, 해수온도 분석을 통한 지하수의 용출 지점 분석이다 또한 다양한 지형분석을 위하여 수치고도자료(DEM ; Digital Elevation Model)를 이용하였으며, 조사 대상 지역에 대한 고도분포, 경사분포도 및 경사방향도를 작성하였다

나. 원격탐사 자료처리

원격탐사자료는 자료 획득과정에서 탑재기의 자세 지구자전 등 여러 요인으로 인한 기하학적 왜곡이 있어 지구좌표와 일치되지 않으며 대체로 low radiance, low contrast histogram 특성을 보이므로 육안으로 지상의 물체를 식별 판독하는 것이 매우 어렵다. 따라서 이러한 인공위성자료의 기하학적 보정을 실시하고 판독 및 분석에 적합하도록 하기 위해서는 전처리, 영상강조 및 특징 추출 등의 자료처리가 필요하다

인공위성이나 항공기를 통하여 관측된 자료는 관측시의 기기 상태나 대기조건 위성의 자세, 그리고 최종적으로 사용할 지도의 투영법에 따른 많은 오류 및 왜곡을 먼저 보정한 후에 다음 단계의 처리를 수행하게 된다. 이와 같이 본격적인 처리를 하기 전에 영상 자체가 가지는 왜곡을 보정하는 과정을 전처리라 한다. 전처리 과정은 방사보정, 잡음보정, 그리고 기하학적 보정 등이 있다.

1) 전처리 및 보정

인공위성이나 항공기를 통하여 관측된 자료는 관측시의 기기 상태나 대기조건 위성의 자세, 그리고 최종적으로 사용할 지도의 투영법에 따른 많은 오류 및 왜곡을 먼저 보정한 후에 다음 단계의 처리를 수행하게 된다. 이와 같이 본격적인 처리를 하기 전에 영상 자체가 가지는 왜곡을 보정하는 과정을 전처리라 한다. 전처리 과정은 방사보정, 잡음보정 그리고 기하학적 보정 등이 있다.

가) 방사보정

방사보정은 분광감식기의 결함 및 감응도 변화 대기흡수 및 산란 그리고 태양광조사 방향에 의한 음영효과 등의 원인으로 야기되는 화소값의 방사왜곡(Radiometric distortion)을 보정하는 과정으로, 잡음보정

잡음이란 센서의 결함, 신호의 디지털화 또는 자료 저장과정에 기인해 나타나는 영상 자료에서의 불필요한 왜곡이다. 이러한 잡음은 검파기(detector)의 주기적 drift 또는 기능 불량으로부터 구성 센서 사이의 전자기적 간섭, 자료전송과 저장과정에서 간헐적 단절 등에 의해 발생되는데 systematic stripping 또는 banding, linedrop, random noise 등이 있다. 잡음보정은 median 필터, 평균 필터, FFT 등을 이용한 방법이 널리 활용되고 있다.

나) 잡음보정

잡음이란 센서의 결함, 신호의 디지털화 또는 자료 저장과정에 기인해 나타나는 영상 자료에서의 불필요한 왜곡이다. 이러한 잡음은 검파기(detector)의 주기적 drift 또는 기능 불량으로부터 구성 센서 사이의 전자기적 간섭, 자료전송과 저장과정에서 간헐적 단절 등에 의해 발생되는데 systematic stripping 또는 banding, linedrop, random noise 등이 있다. 잡음보정은 median 필터, 평균 필터, FFT 등을 이용한 방법이 널리 활용되고 있다.

다) 기하학적 보정

기하학적 보정은 영상이 원래 가지고 있는 기하학적 왜곡을 보정하는 처리과정으로 보정의 원인을 체계적으로 분석한 결과를 사용하여 보정하는 시스템 보정 처리와 왜곡의 원인을 고려하지 않고 단지 왜곡의 정도만을 분석한 후 수집된 영상과 기준 지도간을 연결하는 보정식을 구하여 영상의 왜곡을 보정하는 지상기준점(GCP) 보정 처리가 사용된다. 시스템 보정은 이미지 획득 당시의 왜곡변수가 다양하여 완벽한 보정이 어렵기 때문에 일반적으로 지상기준점 보정을 이용한다. 기하보정은 이미지를 실세계 공간좌표를 부여하는 과정으

로 지도에서의 투영법인 TM, UTM, 위·경도 형태로 좌표변환을 하였다. 이때 영상의 각 화소값은 새로운 좌표로 재배열되어야 하며, 재배열 방법은 보통 nearest-neighbor, bi-linear, cubic convolution이 많이 사용된다.

2) 영상강조

영상의 육안판독, 분석을 용이하게 하기 위하여 영상에 있는 특징을 증가시키는 것을 영상강조라 한다. 대부분의 강조 기술은 크게 점 연산 또는 지역 연산으로 구분될 수 있다. 점 연산은 하나의 영상자료에 있는 각 화소의 밝기 값을 각기 독립적으로 변화시키며 지역 연산은 주변 화소의 밝기 값을 이용해 각 화소의 밝기 값을 변화시킨다. 점 연산과 지역 연산은 단일 밴드 또는 Multi-image composites의 각각의 밴드에도 적용될 수 있다. 가장 널리 이용되고 있는 영상강조 기술은 대비도 강조(contrast enhancement), 공간필터링(spatial filtering), 다중영상강조(multi-image enhancement)로 다음과 같다.

가) 대비도 강조

대비도 강조 기법은 자료의 히스토그램을 조작하여 밝은 것은 더욱 밝게 어두운 것은 더욱 어둡게 함으로써 물체간의 식별을 쉽게 해주는 것으로 목적에 따라 linear, logarithmic, exponential, power stretch 등과 같은 대수적 변환곡선을 사용하거나 히스토그램의 분포형태를 변환하는 히스토그램 정규화(normalization), 평활화(equalization) 등을 이용하였다.

나) 공간필터링

영상에서 서로 다른 밝기로 접하는 부분을 경계라 하고 해안선, 단층선, 암상의 경계, 수계 등 선형의 특징을 갖는 지표 현상들이 이에 포함된다. 경계선 강화는 공간영역에서 first derivative, Sobel, Canny, Laplacian 등의 국부적 연산자를 이용한 공간필터링과 주파수 영역에서 후리에 변환에 의한 고주파 통과 필터링 기법이 주로 이용된다. 공간 필터링은 보통 kernel 또는 convolution mask라 부르는 공간 필터를 이용, 마스크 내의 특성에 따라 계수를 부여하여 순차적인 처리를 통해 새로운 자료를 생성해 낸다. 이 때, 고주파 통과 필터링 또는 공간 필터링에 의해 필터된 영상은 원자료의 정보 손실을 줄이기 위해 원래 영상에 빼거나 더하는 방법들도 이용되고 있다.

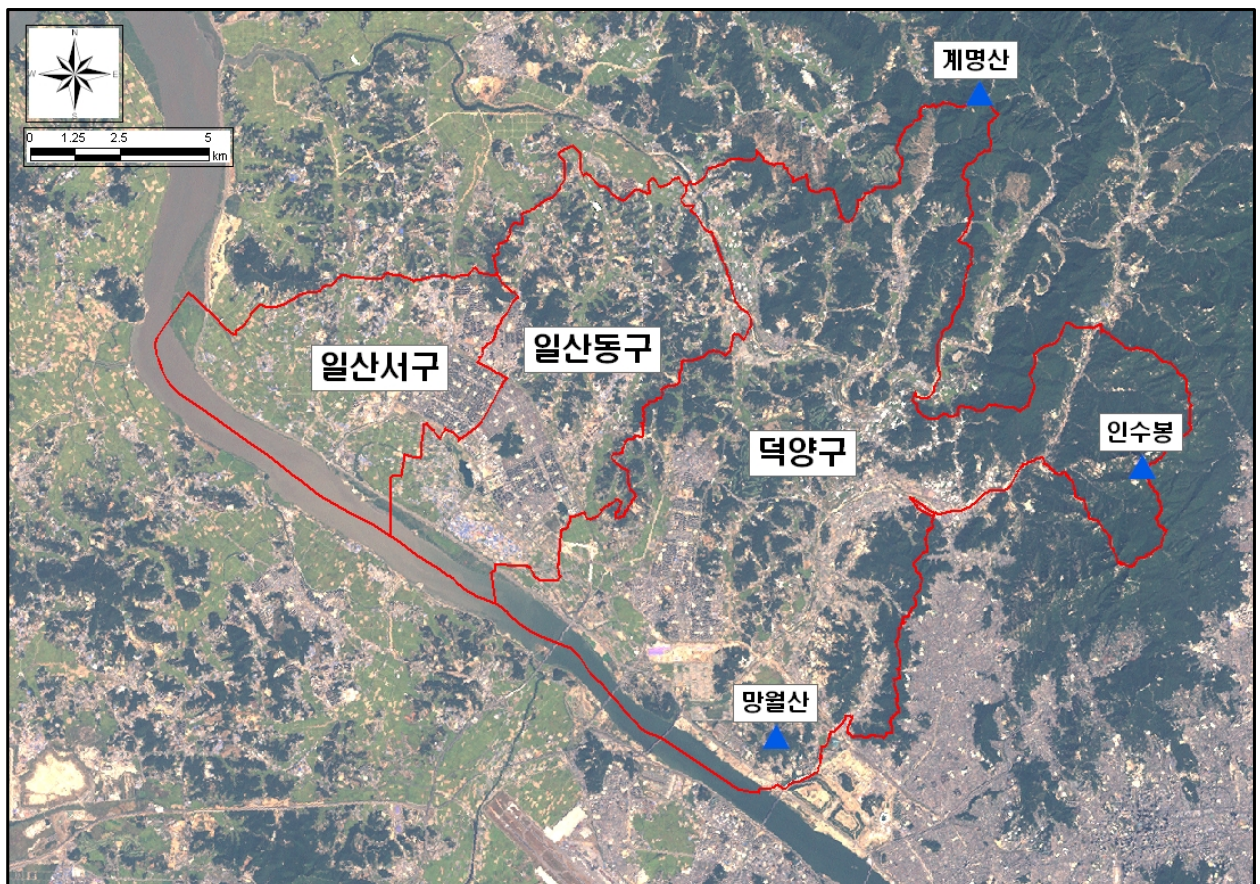
다) 다중영상강화

일반적으로 위성자료의 각 밴드간 상관관계는 매우 높게 나타나므로 색합성 영상이나

단일 밴드 영상에서 추출될 수 있는 정보량은 비슷하다고 볼 수 있다 따라서 이러한 위성 자료로부터 더 많은 정보를 얻기 위해서 밴드간 rationing, 산술적 연산이나 주성분 분석 등의 다변수 통계기법을 이용한 기법이 많이 활용되고 있다.

밴드 rationing은 암석들 사이의 분광학적 특성을 향상시키고 태양광 조사 방향과 지형의 기록에 의한 화소 밝기의 변화를 줄이므로 다중분광대 영상에서 암상과 변질대 mapping에 널리 이용된다.

주성분 분석은 원격탐사에 있어 분광 차이를 최대화하기 위해 널리 사용되는 통계적 기술로 데이터의 압축, 잡음분해, 변화벡터(change detection) 등에 자주 활용된다. 기본원리는 여러 차원으로 구성된 원자료의 최대 분산방향에 일치되도록 원좌표 축을 이동 회전시키고, 자료의 평균값을 새로운 좌표축의 원점으로 하여 원자료를 새로운 차원의 자료로 변환하는 것으로 이러한 과정은 지표 물질간의 공간분별 능력을 증진시킨다 특히, 일차 주성분 영상은 지형학적 특징을 잘 반영하는 것으로 알려져 왔다



<그림 2-24> 과업지역 위성영상

2.5.2. 토 양

조사지역의 토양 피복상태를 확인하기 위해 농업과학기술원에서 발간한 정밀토양도(1:25,000)를 이용하여 토양형을 구분하였다.

가. 토양군 분류

유역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미치고 토양의 성질에 따라 침투능이 상이하므로 총 강수량 중 직접유출로 유하하는 유효우량의 크기에도 영향을 주는 중요한 인자이다. 본 과업의 토양분포를 조사하기 위하여 1/25,000 정밀토양도를 이용, 과업지역에서 산출되는 토양형의 종류 및 그 성질을 <표 2-16>에 정리하였다.

토양의 성질을 양적으로 표시하기란 힘든 일이므로 SCS는 토양의 침투능을 기준으로 <표 2-14>와 같이 4개의 토양군으로 분류하였다. 토양의 침투능은 A, B, C, D 순이며 유출율은 이의 역순이다.

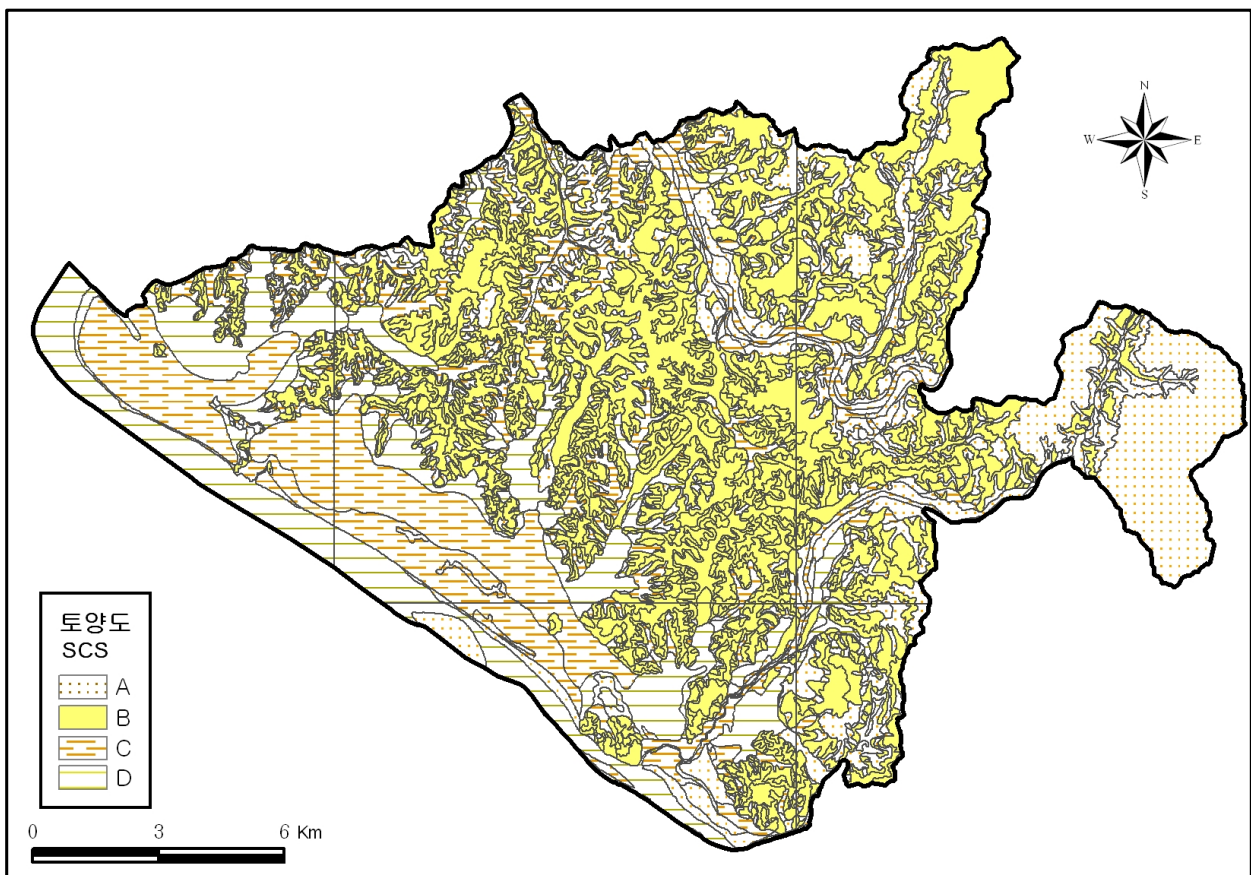
<표 2-14> 토양군 분류

토 양 군	토 양 의 성 질
A	침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질, 배수 매우 양호 낮은 유출율(Low runoff potential)
B	침투율이 대체로 크고 자갈이 섞인 사질토, 배수 대체 양호
C	침투율이 대체로 작고, 대체로 세립 사질 토양층, 배수 대체 불량
D	침투율이 대단히 작고, 점토질 종류의 토양으로 거의 불투성 배수 대단히 불량, 높은 유출율(High runoff potential)

“유출율 추정을 위한 토양수문군의 분류(정정화 등, 1995)”에서는 <표 2-15>와 같이 우리나라 378개 토양통(Soil series)을 A, B, C, D 4개의 토양 수문군으로 분류하였으며 기준은 토성, 배수등급, 투수성, 투수저해토층의 유무 및 출현 깊이, 지하수위 등 침투수량을 지배하는 요인들을 적용, 각 특성요인을 계수화하여 객관적이고 체계적으로 평가할 수 있도록 하였다.

<표 2-15> 고양시 토양형 분류

토양군	조사지역의 토양형	분포면적(km ²)
A	AFA, APC, AFC, APG, AFD	56.66
B	ANB, RAB RAC, ANC, RAD, REA, RSC	117.32
C	AFB, ANA, APA, APB, MAA, MVB, MSA, MUA, RAA, RYC	52.18
D	APD, MAB, MAC, MSB, RSA, RXA, RO	41.15



<그림 2-25> SCS토양형에 따른 토양 분포도(농업과학기술원)

<표 2-16> 과업지역에서 산출되는 토양형 및 성질

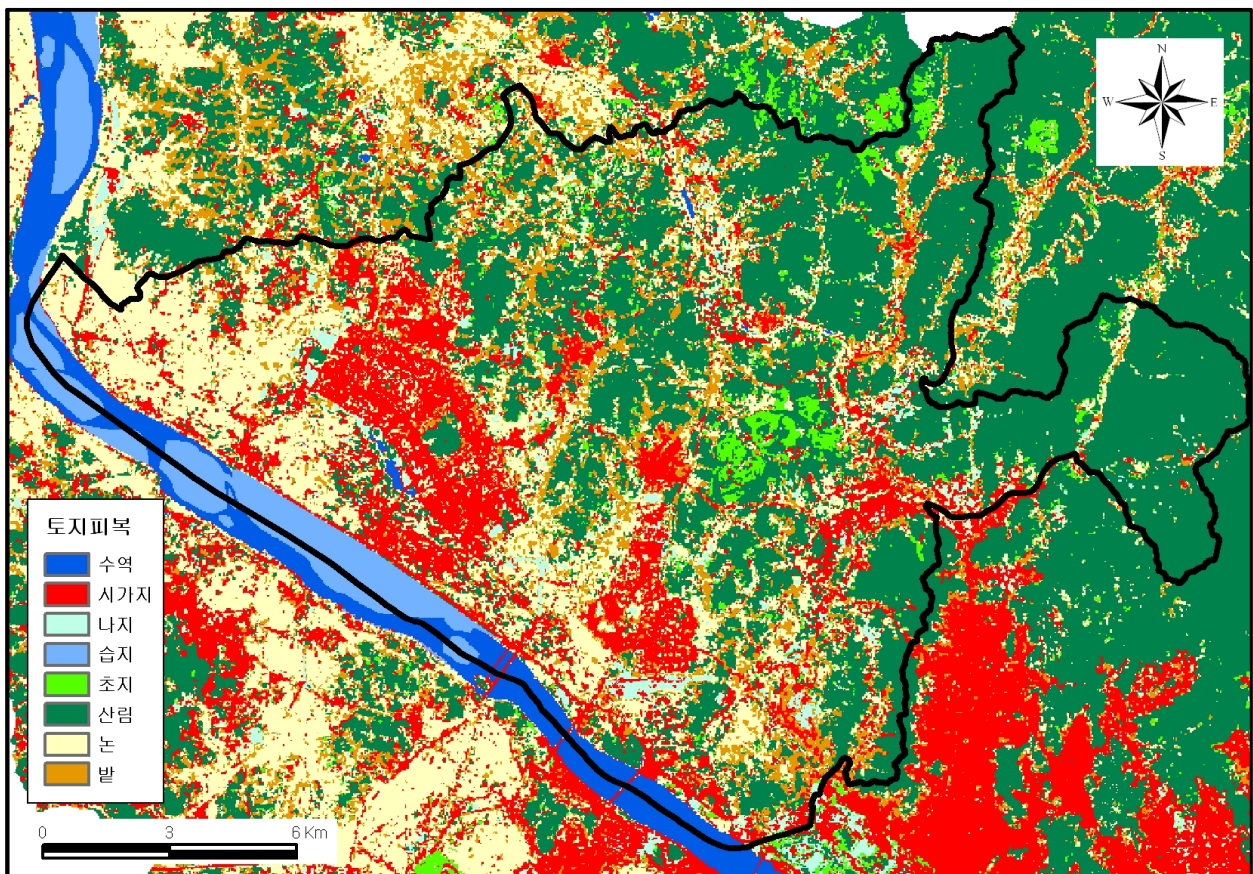
지형	SOIL	토양형 및 성질	지형	SOIL	토양형 및 성질
내륙 평탄	DN	약간 양호, 사양질, 충적층	선상지/ 곡간지	JoC	양호, 사양질, 충적붕적층
	Gt	약간 양호, 사양질, 충적층		KAB	약간 양호, 사양질, 충적붕적층
	Hh	매우 불량, 사양질, 충적층		NkB	약간 양호, 사양질, 충적붕적층
	Jd	양호, 사양질, 충적층		OcB	매우 불량, 식양질, 충적붕적층
	Np	약간 불량, 미사 사양질, 충적층		PxB	양호, 사력질, 충적붕적층
	Pt	약간 불량, 미사 식양질, 충적층		SAB	양호, 사양질, 충적붕적층
	SE	약간 불량, 사양질, 충적층		SuB	양호, 사양질, 충적붕적층
	Yl	약간 양호, 미사 사양질, 충적층		WaB	양호, 식양질, 충적층
산록 경사지	SqC	양호, 사력질, 붕적층		WdB	양호, 식양질, 충적층
	SqD	양호, 사력질, 붕적층		WoB	약간 양호, 사양질, 충적층
	StC	양호, 역질, 붕적층		YdB	매우 불량, 사양질, 충적붕적층
	YcB	약간 양호, 미사 식양질, 붕적층		YeB	매우 불량, 사양질, 충적붕적층
산악지	CaF2	매우 양호, 식양질, 잔적층	용암류대지	SfB	양호, 미사 사양질, 충적층
	CmF2	매우 양호, 식양질, 잔적층			
	DpE2	매우 양호, 사양질, 잔적층	저구릉지/ 구릉지	AsC2	양호, 식양질 , 잔적층
	DpF2	매우 양호, 사양질, 잔적층		AsD2	양호, 식양질 , 잔적층
	DsE2	매우 양호, 사력질, 잔적층		OnC2	양호, 사양질, 잔적층
	GeF2	매우 양호, 사양질 , 잔적층		OnD2	양호, 사양질, 잔적층
	SgE2	매우 양호, 사양질, 잔적층		OnE2	양호, 사양질, 잔적층
	SgF2	매우 양호, 사양질, 잔적층		YaC2	양호, 사양질, 잔적층
	SmF2	매우 양호, 사양질, 잔적층		YaD2	양호, 사양질, 잔적층
	SNE2	매우 양호, 사양질 , 잔적층	하천변	Gz	약간 양호, 사양질, 충적층
선상지/ 곡간지	AnC	양호, 식양질 , 붕적층		Hf	매우 양호, 사질, 충적층
	BeB	양호, 식양질, 충적붕적층		Hr	매우 양호, 사력질, 충적층
	BeC	양호, 식양질, 충적붕적층		Nd	매우 양호, 사질, 충적층
	BjB	양호, 식양질, 충적붕적층			
	BqB	약간 양호, 식양질, 충적붕적층	해안평탄	Gw	불량, 미사 사양질, 충적층
	CGC	약간 양호, 식양질, 충적붕적층		Jb	약간 불량, 미사 식양질, 충적층
	DkB	약간 불량, 식양질 , 충적붕적층		Mg	약간 불량, 미사 사양질, 충적층
	HEB	약간 불량, 사양질, 충적붕적층	홍적대지	GpB	양호, 식질, 홍적층
	JiB	약간 불량, 식양질, 충적붕적층		HdB	약간 양호, 식질, 홍적층
	JoB	양호, 사양질, 충적붕적층		HjB	약간 양호, 식질, 홍적층

주) 출처 : 농업과학기술원

2.5.3. 토지이용(Land Use Map)

위성영상 처리 기법 중 가장 많이 사용되는 영상분류는 토지의 피복 상태 및 토지이용 현황을 분석하기 위한 방법이다. 영상분류 방법은 감독분류(Supervised Classification)와 비감독분류(Unsupervised Classification)로 구분된다.

감독분류는 지형도 등과 같은 보조 자료를 이용해 교사지역(training region)을 설정하여 전체 영상에 대한 분류를 실시하는 방법이다 즉 교사지역의 통계치를 이용하여 그 교사지역과 유사한 화소들을 그 교사지역의 항목(분류항목)에 해당시킴으로써 분류를 실시하는 방법이다. 토지이용 분석은 Landsat TM 영상을 기하학적으로 보정한 후 영상처리를 통해 구축하였다. 이러한 영상처리는 ER-MAPPER를 사용하여, 감독 분류법으로 수역, 시가지, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭 등 총 8개로 분류하였다. 추출된 토지이용도는 ARC/INFO의 GRID 형태로 변환하여 공간 DB로 구축하였으며 토지이용도는 Landsat TM 영상의 해상도가 30m×30m이어서 격자 크기도 30m×30m로 설정하였다. 분석결과 산림과 경작지 및 시가지가 대부분을 차지하며 <그림 2-26>과 같다.



<그림 2-26> 토지피복도(Land Use Map)

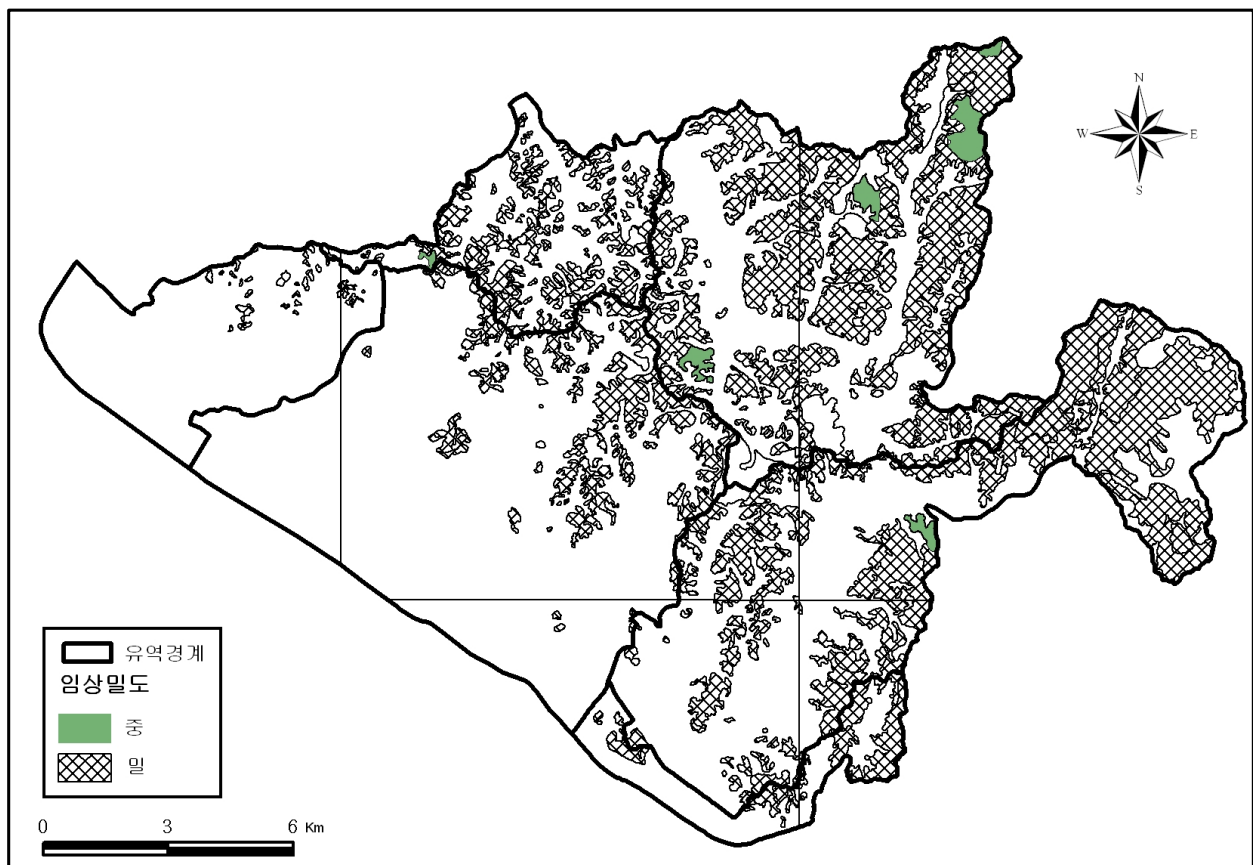
2.5.4. 식 생

가. 식생지수

인공위성이나 항공기를 이용하여 관측한 다중 분광대 영상자료는 지상의 대상물이 각 파장대별로 독특한 특성을 나타내므로 이 특성을 이용하면 원하는 정보를 추출해 낼 수 있다. 특히, Landsat 등 지상관측 위성의 주 관심 범위인 육지 표면의 영상 자료는 95% 이상이 토양과 식생에 관한 정보를 포함하고 있으므로 이 영상 자료를 이용하면 지표면의 식생 분포나 식생 밀집도를 추정하는 것이 가능하다

나. 임상밀도

금번 분석에서는 산림청에서 발간한 산림지리정보시스템 수치지도(임상도, 1:25,000)를 활용하여 조사지역의 산림분포 상태를 확인하였다. 산림지리정보시스템 수치지도에는 임상·경급·영급 및 소밀도가 기록되어 있다.



<그림 2-27> 임상밀도도

3. 지하수 개발과 이용

3.1. 지하수 개발 · 이용 현황

3.2. 지하수 개발 · 이용 특성

3.3. 산업경제 현황

3. 지하수 개발과 이용

3.1. 지하수 개발·이용 현황

3.1.1. 지하수 시설현황

국토해양부와 한국수자원공사에서는 매년 지하수 이용현황 및 조사현황 등을 종합 정리하여 “지하수조사연보”를 발간하고 있으며, 여기에는 각 행정구역별 지하수 이용 및 시설현황, 지하수 수질현황, 지하수 시공업 및 영향조사기관 등의 현황자료가 포함되어 있다.

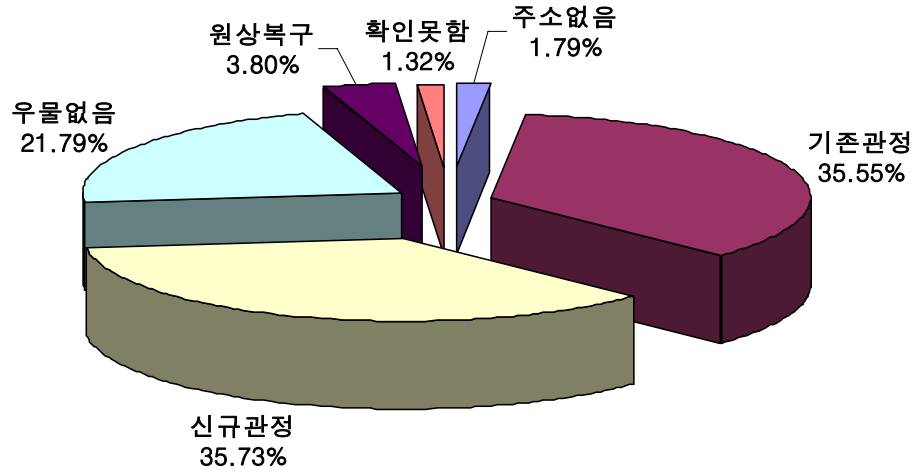
본 조사에서는 보다 정확하고 신뢰성 높은 지하수 개발·이용 실태 자료의 획득을 위하여 고양시 전지역을 대상으로 2006년 9월~2007년 3월까지 지하수 개발·이용 실태조사를 실시하였다. 이에 따라 수집한 자료를 종합·정리하여 16,091개소의 우물자료를 구축하였으며, 별도로, 2007년 8월까지 고양시에 신고된 785개소의 지역행정자료를 추가한 결과 16,876개소로 집계되었다. 총용도별 및 행정구역별 지하수 현황은 <표 3-1>과 같다. 상기 자료를 토대로 고양시 전지역에 대해 조사원의 현장방문을 통한 전수조사를 시행하였다. 조사 과정에서 확인된 우물의 위치는 1:1,000, 1:5,000 지형도에 표기하고, 대축척 지도가 미발간된 지역은 GPS를 이용하여 좌표를 추출하고 조사양식에 의거 관리 위치, 이용, 시설, 폐공, 수질현황을 기재하였다. 현장조사시 본 조사의 효율적 수행을 위하여 간이양수시험 대상 우물 이용량의 모니터링이 가능한 시설을 갖춘 우물을 별도로 표시하고 또한 지하수 수위·수질 관측망 선정을 위해 수위·수질 관측 가능여부를 표시하였다. 조사 확인된 우물의 위치 좌표는 1:5,000, 1:25,000 수치지형도(TM 중부원점) 및 GPS에서 취득하였으며 실내작업이 완료된 우물은 “지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리지침(2003, 국토해양부, 한국수자원공사)”에 의거 우물코드를 부여하고 행정구역으로 구분하였다.

충적지하수를 대상으로 한 우물은 10,671개소로 전체의 66.32%를 차지하고 나머지 800개소는 암반지하수를 대상으로 한 우물이고, 4,620개소는 확인이 불가능한 시설이다. 대부분 지하수는 수원으로 사용하고 있으며 우물 형태는 대부분 관정과 우물의 형태로 개발되었으며 일부지역에는 인력관정 형태로 이용되고 있는 시설도 있다.

행정구역별로 지하수 개발·이용 실태조사결과를 정리한 결과 기존/신규시설 11,471개소 중 덕양구에 62.7%인 7,191개소가 분포하며 일산동구에 2,929개소로 25.5%를 차지하며, 일산서구에 11.8%가 분포하고 있다.

<표 3-1> 지하수 개발·이용 실태조사 결과 분류

구 분	합계	주소없음	기존관정	신규관정	우물없음	원상복구	확인못함
개소수	16,091	288	5,721	5,750	3,507	612	213



- 주) 기존관정 : 이용실태자료, 현장조사가 일치하는 지하수시설
주소없음 : 이용실태자료상에 주소가 없어 현장조사가 불가능한 지하수시설
신규관정 : 이용실태자료상에는 없었으나 현장조사를 통해 확인된 지하수시설
원상복구 : 이용실태자료상에 있는데 현장조사시 원상복구 확인된 지하수시설
우물없음 : 중복으로 기재되었거나 소멸된 지하수시설
확인못함 : 주민의 조사거부 등으로 정확한 위치를 확인할 수 없는 지하수시설

<표 3-2> 행정구역별 지하수 개발·이용 현황(기존/신규)

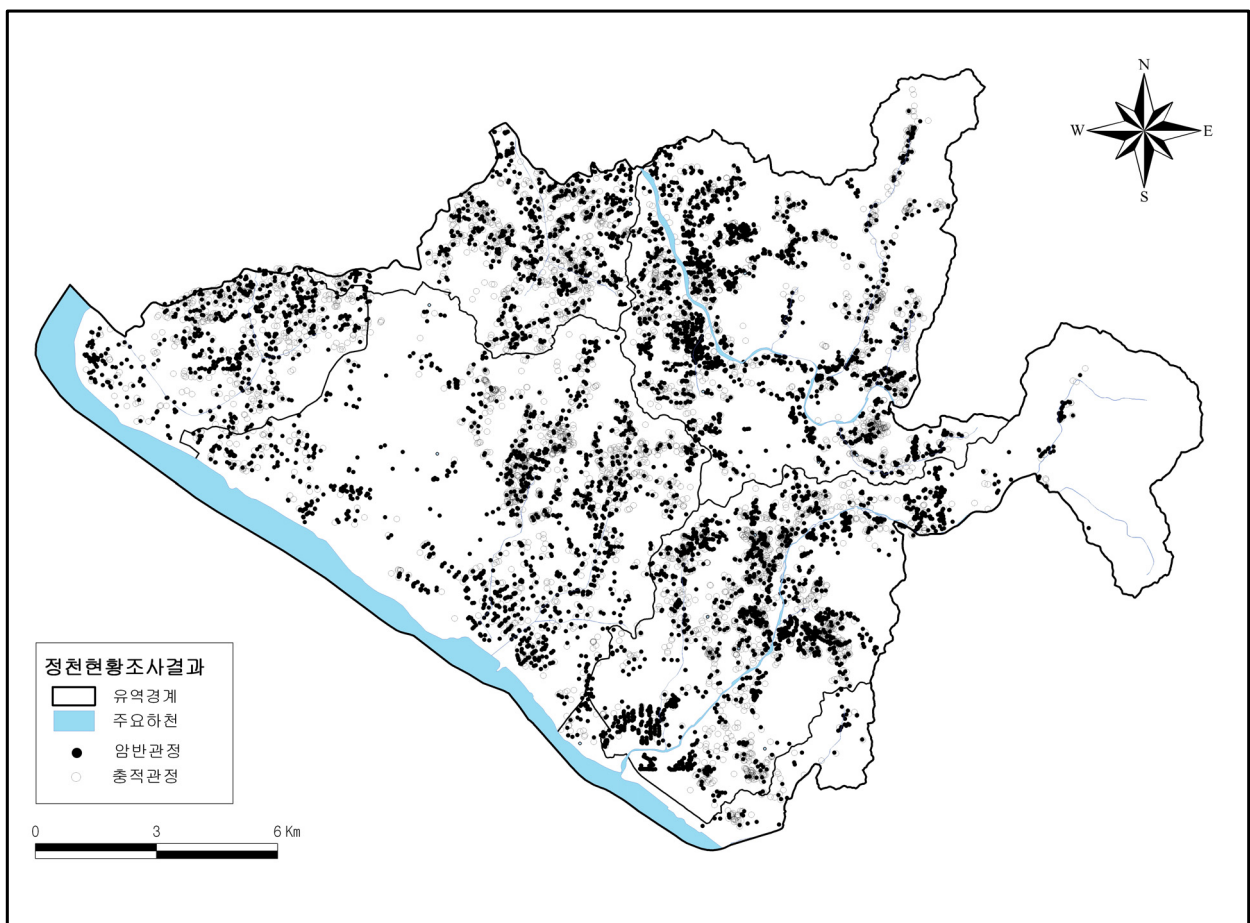
구 분	합계	이용공	방치공	비고
기존시설전체	5,721	5,636	85	
덕양구	3,367	3,296	71	
일산동구	1,685	1,676	9	
일산서구	669	664	5	
신규시설전체	5,750	5,705	45	
덕양구	3,824	3,797	27	
일산동구	1,244	1,230	14	
일산서구	682	678	4	

3. 지하수 개발과 이용

<표 3-3> 행정구역별 지하수 시설현황(용도별)

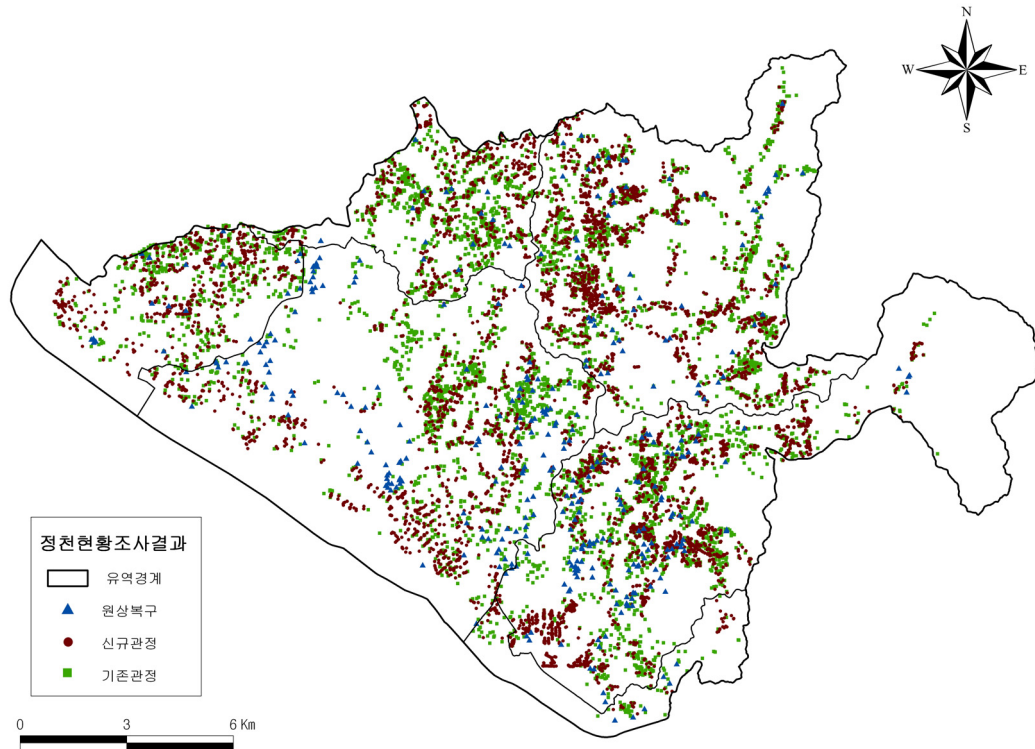
구 분	면적(km ²)*	세대수*	인구(명)*	용도별 우물수(개소수)				
				계	생활용	공업용	농업용	기타
고양시	267.31	337,745	919,365	11,471	6,130	45	5,295	1
덕양구	165.44	146,896	384,385	7,191	3,015	25	4,150	1
일산동구	59.09	90,376	242,902	2,929	2,046	10	873	0
일산서구	42.78	100,473	292,078	1,351	1,069	10	272	0

주) 자료출처 : *통계연보(2007, 고양시), 지하수 개발·이용실태 조사결과

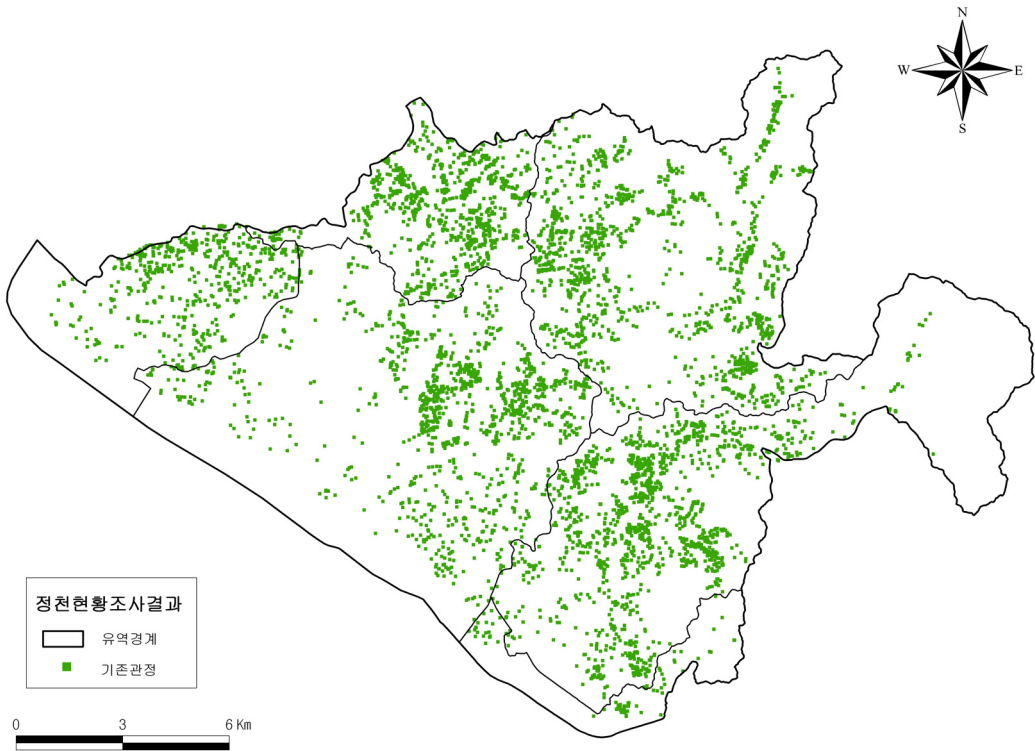


<그림 3-1> 지하수 개발·이용 실태조사 결과

(a) 우물 있음(기존관정+신규관정) 및 원상복구공(12,083)

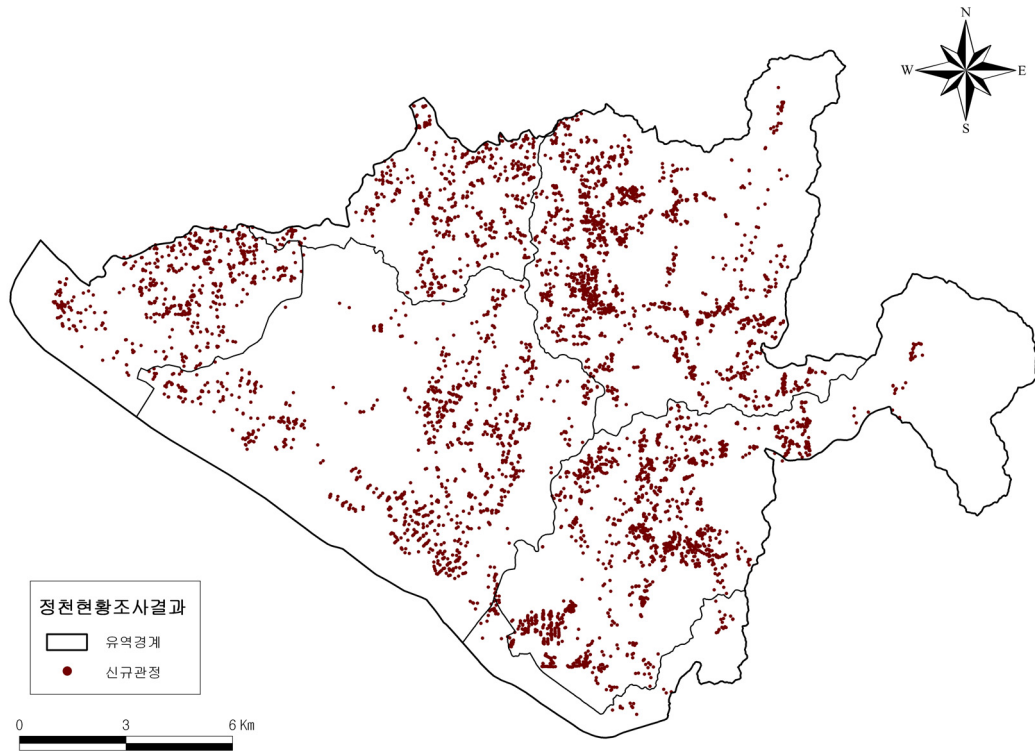


(b) 기존관정(5,721)

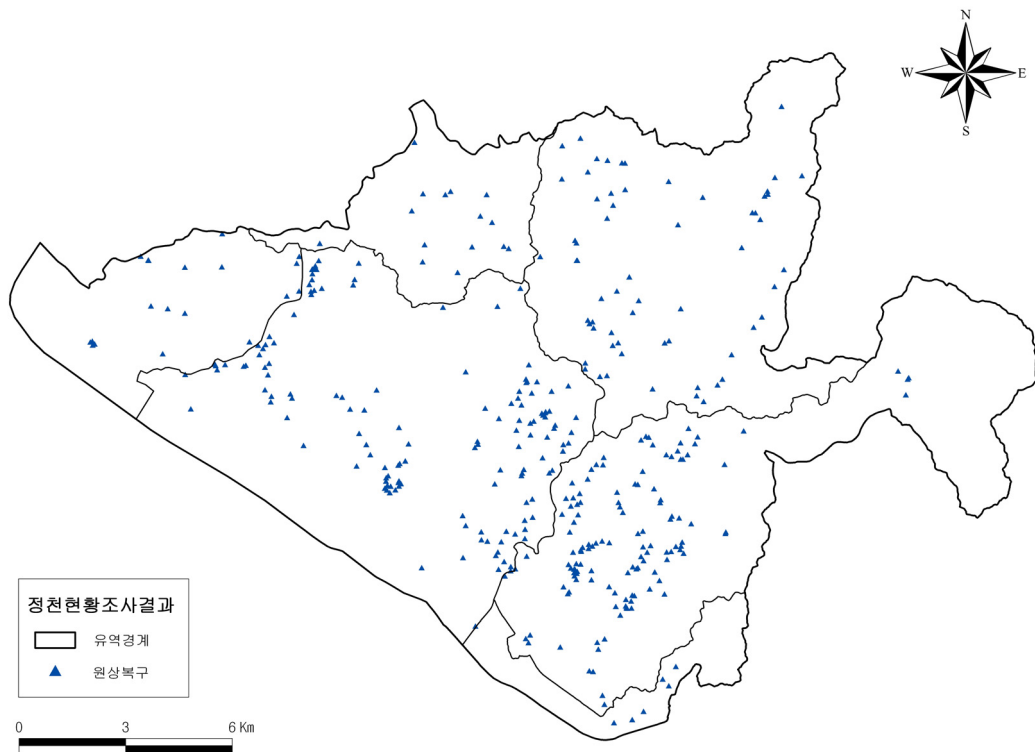


<그림 3-2> 지하수 개발·이용 실태조사 결과(분류)

(c) 신규관정(5,750)



(d) 원상복구(612)



<그림 3-2> 지하수 개발·이용 실태조사 결과(계속)

2006년 말 기준으로 작성된 “2007년 지하수 조사연보”(국토해양부, 2007. 12)에서는 고양 시에서 개발·이용중인 우물의 수를 6,966개소로 집계하여 보고하였으며, 지역개발행정자료(2007년 3월 30일기준)에는 경미시설을 포함한 총 10,013개소의 자료가 입력되어 있다. 이들 자료가 금번 조사결과와 차이를 보이는 이유는 지하수 조사연보는 2006년 말 기준 자료로 집계 시점이 금번 조사의 시점과 다소 차이를 보여 이 기간 동안 폐공 혹은 신규 개발에 따른 차이일 수 있으나 그 차이는 크지 않을 것으로 판단되며, 주된 요인은 지하수 조사연보는 관계법률에 의하여 허가 또는 신고된 지하수 개발·이용 현황 자료를 토대로 하므로 이외의 허가 또는 신고되지 않은 경미시설로 인한 차이일 것으로 판단된다. 지역개발행정자료는 현장 굴착 이전에 허가 혹은 신고 등의 행정처리 단계인 자료, 혹은 사용자가 폐공처리 후 행정조치하지 않은 시설 등이 포함되어 있어 다소 차이를 보일 수 있다.

3.1.2. 지하수 이용현황

본 절에서는 전술한 지하수 개발·이용 실태조사 결과를 토대로 조사지역의 지하수 개발·이용실태를 분석하고 세부조사계획수립에 참고로 하였다.

지하수 개발·이용현황은 공간적으로는 행정구역과 유역별로 나누어 집계할 수 있으며, 행정구역별 통계는 지하수 개발·이용에 대한 행정처리 및 관리차원에서 용이하나 수리적인 의미를 갖기 힘들며, 유역별 통계는 지하수 개발가능량 및 이용량 등에 대한 수리적인 경계를 따라 집계되나 행정처리 및 관리가 모호하다. 따라서 본 조사에서는 행정구역 및 유역별 통계를 함께 제시하여 장단을 보완하였다.

또한 지하수 개발·이용 특성을 파악하기 위해 지하수 이용 용도를 구분하며 현재 국토해양부 및 한국수자원공사에서는 생활용, 공업용, 농업용 및 기타 등 크게 4가지 용도로 나누어 구분하며, 세부적으로 다음과 같다.

생활용 지하수는 일반적으로 일상 생활에 사용되는 경우로서 음용 위생용, 요리용, 세탁용, 청소용, 난방용, 수영장, 세차용, 잔디급수용, 정원용, 도시정원, 공원, 소방용, 공공건물 급수용, 공공목욕탕용 및 관광용 등을 포함한다. 생활용 우물은 10가지 세부용도로 구분되는데, “지하수 업무수행 지침서”(2006, 국토해양부)에서 정의한 내용은 다음과 같다.

- 가 정 용 : 개인주택 등에 설치된 시설로서 일반가정에서 가정생활을 영위하기 위해 사용하는 시설을 말한다. 하수도 사용료를 부과하는 경우의 가정용으로 분류된 시설을 포함한다.
- 일 반 용 : 식당, 여관, 목욕탕, 세차장, 수영장, 빌딩 및 소규모 개인사업체 등

에서와 같은 영업용 목적과 공원 박물관, 도서관등에서와 같은 비영업용 목적으로 이용하는 곳에 설치된 시설을 말한다 하수도 사용료를 부과하는 경우의 영업용 욕탕용으로 분류된 시설을 포함한다.

- 학 교 용 : 유치원, 초·중·고등학교 및 대학교 등에서 학교의 유지를 위하여 설치된 시설을 말한다.
- 민 방 위 용 : 민방위기본법에 의거하여 국가 또는 지방자치단체가 비상급수용으로 설치한 시설을 말한다. 단, 민간인이 개발·이용하는 지하수시설을 비상급수용으로 지정하는 시설은 해당되지 않는다
- 국 군 용 : 국방군사시설사업에 관한 법률에 의하여 군부대 또는 군 관련기관에 설치된 시설을 말한다.
- 공 동 주 택 용 : 아파트, 빌라, 연립주택 등 대규모 주거시설에 비상용 또는 상시용으로 설치되어 공동으로 이용하도록 설치된 시설을 말한다. 주택 건설기준 등에 관한 규정에 의거하여 설치된 시설을 포함한다. 하수도사용료를 부과하는 경우의 가정용으로 분류된 시설을 포함한다
- 간이상수도용 : 광역 또는 지방상수도 미급수 지역에서 공동마을용으로 설치된 시설을 말한다.
- 상 수 도 용 : 광역상수도 또는 지방상수도의 수원으로 설치된 시설을 말한다
- 농업·생활겸용 : 농번기에는 농업용으로 사용하고 농한기에는 생활용으로 사용하는 시설로 농어촌지역의 생활·농업 겸용으로 개발한 시설을 포함한다.
- 기 타 용 : 상기 세부용도로 구분이 불가능한 생활용 시설을 말한다

공업용은 국가공단용, 지방공단용, 농공단지용, 자유입지업체용 및 기타 등 5가지 세부용도로 구분된다. 국가공단용·지방공단용·농공단지용은 각각 국가공단·지방공단·농공단지내 공장시설에 설치된 시설을 말한다. 자유입지업체용이란 공단지역이 아닌 일반 공장에서 개발한 시설을 말한다. 기타는 상기 세부용도로 구분이 불가능한 경우를 말한다

- 국 가 공 단 : 국가공단 내 공장시설에 설치된 시설을 말한다.
- 지 방 공 단 : 지방공단 내 공장시설에 설치된 시설을 말한다.
- 농 공 단 지 : 농공단지 내 공장시설에 설치된 시설을 말한다.
- 자유입지업체 : 공단지역이 아닌 일반 공장에서 개발한 시설 및 하수도사용료 부과시설 중 산업용으로 구분된 시설을 말한다.
- 기 타 용 : 상기 세부용도로 구분이 불가능한 공업용 시설을 말한다

농업용 우물은 전작용, 답작용, 원예용, 수산업용, 축산용, 양어장용 및 기타 등 7가지 세부용도로 구분된다. 전작용 및 답작용은 각각 밭·논에 설치되어 밭·논농사에 사용되는 시설이며, 원예용은 원예를 목적으로 설치된 시설을 뜻한다. 수산업용·축산용은 수산업·축산업을 목적으로 개발된 시설이며, 양어장용은 양어장 운영을 목적으로 개발된 시설을 뜻한다.

- 전 작 용 : 밭에 설치되어 밭농사에 사용되는 시설을 말한다.
- 답 작 용 : 논에 설치되어 논농사에 사용되는 시설을 말한다.
- 원 예 용 : 원예를 목적으로 설치된 시설을 말한다.
- 수산업용 : 수산업을 목적으로 개발된 시설을 말한다.
- 축산용 : 축산업을 목적으로 개발된 시설을 말한다.
- 양어장용 : 양어장 운영을 목적으로 개발된 시설을 말한다.
- 기 타 용 : 상기 세부용도로 구분이 불가능한 경우를 말한다.

기타용은 지하수법에는 규정되어 있지 않으나, 관련법에 의거 허가 또는 인가 등을 받고 온천수 및 먹는샘물 개발·이용을 하는 경우와 기타 분류가 곤란한 경우를 포함한다

- 온 천 수 : 온천용으로 개발되어 사용되는 시설을 말한다. 즉, 온천법에 의하여 개발되어 설치된 시설을 말한다.
- 먹는샘물 : 먹는 샘물(혹은 광천음료수)로 개발된 시설을 말한다. 즉, 먹는물관리법에 의거 시판용으로 개발되는 먹는 샘물의 수원 시설을 말한다.
- 기 타 용 : 상기의 세부용도로 구분이 되지 않는 시설을 말한다.

가. 지하수 이용량 산정

지하수 조사연보에는 지하수 이용량을 산정하여 제공하고 있지만 이는 실제 사용량이라기 보다는 양수능력이나 취수계획량을 근거로 산정한 값으로 실제 이용량과는 많은 차이가 있다. 따라서 적용한 자료는 금회 이용량조사 결과와 고양시 상하수도사업소에서 고지하는 지하수 사용량 자료를 위주로 선정하였으며 필요에 따라 “지하수 조사연보”(2007, 국토해양부)를 활용하여 고양시의 지하수 이용량을 산정하였다

금회 지하수 이용량 모니터링 조사는 2007년 4월~2008년 3월까지 1년동안 고양시에 분포하는 농업용, 생활용 및 공업용 지하수시설 150개소를 대상으로 실시하였으며, 적용은 일년내 이용량이 없거나 10(m^3 /년/공)이하의 이용량을 갖는 5공을 제외한 145개소에 대해서 분석을 실시하였다.

지하수 사용량 자료는 주로 동지역을 대상으로 매월 고지되며, 금번 조사에서는 2007

3. 지하수 개발과 이용

년 부과된 자료에 대하여 분석하였다. 지하수 사용량 자료는 지하수 시설의 세부용도나 우물의 제원에 대해서는 기재되어 있지 않으므로 금번 지하수 개발·이용실태조사 결과와 대비하여 297개소를 추출하였으며, 이들 자료를 분석에 이용하였다. 지하수 사용량 자료는 용도별로는 생활용 중 일반용에 집중되는 경향을 보인다.

<표 3-4> 용도별 지하수 산정 이용자료 현황

용도	세부용도	지하수사용량자료	금회조사	비고
계		297	145	
생활용	가정용	47	24	
	일반용	218	85	
	학교용	-	-	
	민방위용	3	3	
	국군용	-	-	
	간이상수도	2	-	
	공동주택용	13	1	
	농업생활겸용	1	-	
	기타	-	1	
공업용	국가공단	-	-	
	농공단지	-	-	
	자유입지	2	1	
	기타	-	-	
농업용	전작용	4	13	
	답작용	1	9	
	원예용	6	6	
	축산용	-	2	
	양어장용	-	-	
기타	온천용	-	-	

이용량 산정에 필요한 자료가 부족하거나 혹은 없는 경우는 지하수 조사연보에서 해당 세부용도에 해당하는 공당 지하수 이용량을 사용하였다.

지하수 조사연보는 대부분 지방자치단체나 공무원이 입력한 자료에 근거해 우물수 및 이용량을 산정하므로 각 시설별로 정확한 이용량을 기재하는데 한계가 있으나 전국적으로 구축된 자료이므로 전체적인 수치는 일정 수준 이상의 신뢰도를 가진다고 보고 금회 이용량 모니터링 조사에서 부족한 부분을 보완하였다.

따라서, 보다 정확한 지하수 이용량을 산정키 위해서는 현장에서 개발·이용중인 우물을 성실히 조사하고 이에 따라 지역별, 용도별 특성을 감안해 지하수 이용량 모니터링 계획을 수립해 1년 이상 장기간의 관측이 필수적이다

금번 조사에서 지하수 이용량 산정을 위한 산정기준은<표 3-5>에 일괄 정리하였다.

<표 3-5> 세부용도별 지하수 이용량 산정기준

용도	세부용도	산정기준	공당연평균이용량 (m ³ /년/공)
생활용	가정용	금회 모니터링 조사와 지하수 사용량 자료의 평균 공당이용량 적용	2,324.3
	일반용	금회 모니터링 조사와 지하수 사용량 자료의 평균 공당이용량 적용	3,385.2
	학교용	지하수 사용량 자료의 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	9,693.5
	민방위용	지하수 조사연보상 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	6,563.3
	공동주택용	지하수 사용량 자료의 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	1,926.1
	간이상수도	지하수 사용량 자료의 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	137,678
	상수도	상수도용 지하수 없음	-
	농업생활겸용	지하수 사용량 자료의 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	420
	기타	지하수 조사연보상 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	2796.74
공업용	국가공단	국가공단 지하수 없음	-
	지방공단	지방공단 지하수 없음	-
	농공단지	농공단지 지하수 없음	-
	지유입지업체	지하수 사용량 자료의 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	5,043.5
	기타	기타 지하수 없음	-
농업용	전작/답작용	금회 이용량 모니터링 조사결과 평균 공당이용량 적용	1,893.3
	원예용	금회 이용량 모니터링 조사결과 평균 공당이용량 적용	2,962.0
	수산업	수산업 지하수 없음	-
	축산업	금회 이용량 모니터링 조사결과 평균 공당이용량 적용	1,369.5
	양어장용	지하수 조사연보상 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	21,900
	기타	지하수 조사연보상 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	4,309.5
기타	온천용	지하수 조사연보상 해당세부용도 평균 공당이용량 적용	5,003
	먹는샘물	먹는샘물 지하수 없음	-
	기타	기타 지하수 없음	-

상기의 기준에 따르면 2007년 3월말 현재 조사완료된 11,471개 우물의 연간 이용량은 $31,702 \times 10^3 \text{ m}^3 / \text{년}$ 으로 분석되었으며, 행정구역별, 용도별 및 유역별 우물수와 이용량을 분석한 결과는 다음과 같다.

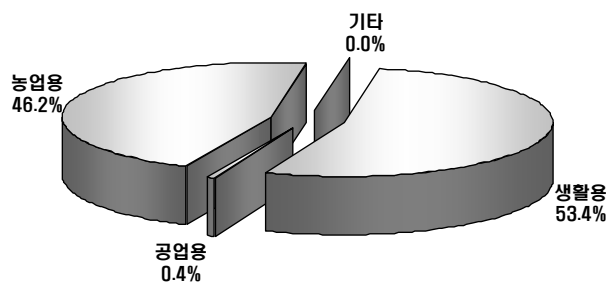
나. 용도별 지하수 이용 현황

고양시의 지하수 이용시설은 총 11,471개소이며, 이 중 생활용은 6,130개소, 공업용은 45개소, 농업용은 5,295개소, 기타는 1개소이다.

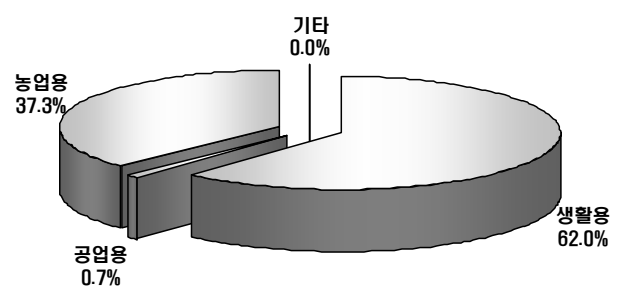
고양시의 지하수 이용량은 총 $31,702 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 이며, 이 중 생활용은 $19,641 \text{ m}^3/\text{년}$, 공업용은 $226 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$, 농업용은 $11,830 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$, 기타는 $5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 나타났다.

<표 3-6> 용도별 지하수 이용 현황

구 분		합 계	생활용	공업용	농업용	기타용
시설수	공수	11,471	6,130	45	5,295	1
	비율 %	100%	53.4%	0.4%	46.2%	0.0%
이용량	$10^3 \text{ m}^3/\text{년}$	31,702	19,641	226	11,830	5
	비율 %	100%	62.3%	0.7%	37.3%	0.0%



(a) 지하수 이용 시설 수



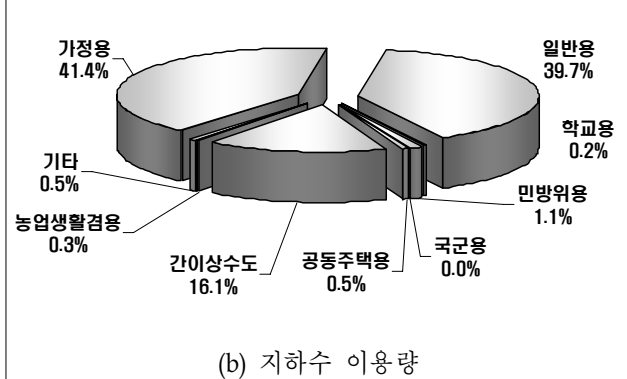
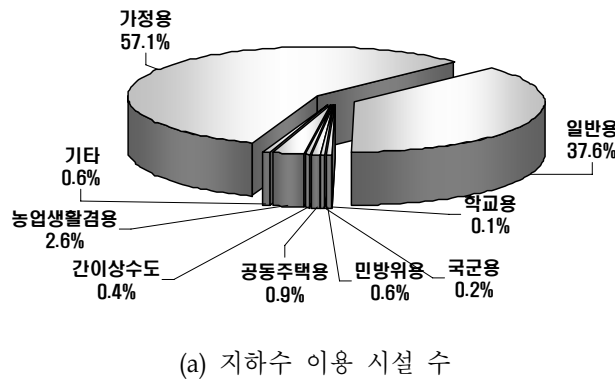
(b) 지하수 이용량

1) 생활용 지하수 이용 현황

고양시의 생활용 지하수 우물은 모두 6,130개소로 전체의 53.4%를 차지하며, 세부 용도별로는 가정용이 3,502개소로 약 57.1%, 일반용은 2,306개소로 37.6%를 차지하는 것으로 전체 생활용의 94.7%를 이용하고 있으며, 농업생활겸용(158개소), 간이상수도용(23개소)등이 큰 비중을 차지하고 있다. 이용량은 가정용 $8,139 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$, 일반용 $7,804 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$, 간이상수도 $3,165 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 등의 순으로 나타났다.

<표 3-7> 세부용도별 생활용 지하수 시설 및 이용 현황

구 분		합 계	가정용	일반용	학교용	민방위용	국군용	공동주택용	간이상수도	농업생활겸용	기타
시설수	공수	6,130	3,502	2,306	4	34	10	54	23	158	39
	비율 %	100%	57.1%	37.6%	0.1%	0.6%	0.2%	0.88%	0.4%	2.6%	0.6%
이용량	10 ³ m ³ /년	19,641	8,139	7,804	38	221	0	102	3,165	65	107
	비율 %	100%	41.5%	39.7%	0.2%	1.1%	0.0%	0.5%	16.1%	0.3%	0.5%



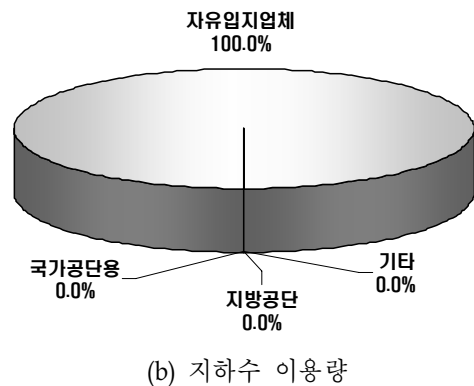
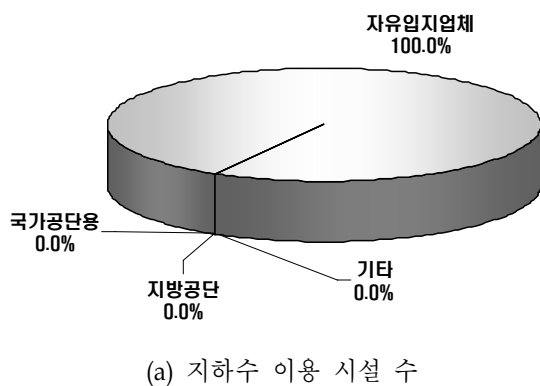
2) 공업용 지하수 이용 현황

고양시의 공업용 지하수는 45개소로 전체 지하수 시설의 0.4%에 불과하다. 세부용도별로는 자유임지업체만이 45개소를 차지하고 있다.

이용량은 자유임지업체 226×10³m³/년으로 나타났다.

<표 3-8> 세부용도별 공업용 지하수 시설 및 이용 현황

구 분		합 계	자유임지업체용	비 고
시설수	공수	45	45	-
	비율 %	100%	100%	-
이용량	10 ³ m ³ /년	226	226	-
	비율 %	100%	100%	-



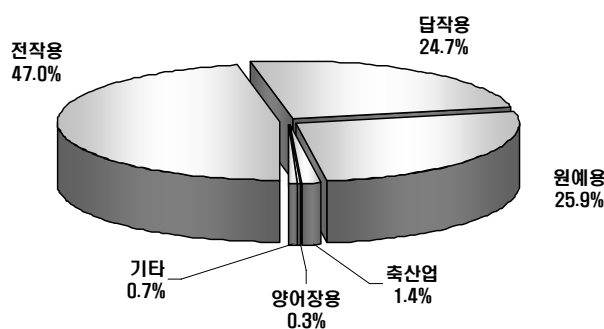
3) 농업용 지하수 이용 현황

고양시에서 개발된 농업용 우물은 전체 우물의 46.2%인 5,295개소로 전작용(2,491개소, 47.0%)로 가장 많이 차지하고 있으며, 원예용(1,371개소, 25.9%) 및 답작용(1,308개소, 24.7%)이 전체 농업용 우물의 97.6%로 대부분을 차지하고 있다.

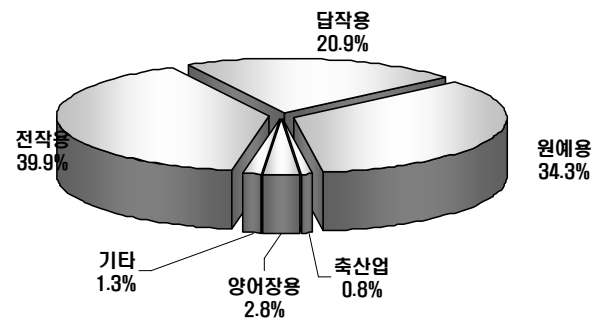
농업용 지하수의 이용량은 $11,830 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 조사되었으며, 이중 전작/답작용이 $7,190 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 61.8%를 차지하며 원예용은 $4,060 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 34.3%를 차지하는 것으로 나타났다.

<표 3-9> 세부용도별 농업용 지하수 이용 시설 현황

구 분		합계	전작용	답작용	원예용	축산업	양어장용	기타용
시설수	공수	5,295	2,491	1,308	1,371	74	15	36
	비율 %	100%	47.0%	24.7%	25.9%	1.4%	0.3%	0.7%
이용량	$10^3 \text{ m}^3/\text{년}$	11,830	4,715	2,475	4,060	99	327	154
	비율 %	100%	39.9%	20.9%	34.3%	0.8%	2.8%	1.3%



(a) 지하수 이용 시설 수



(b) 지하수 이용량

4) 기타용 지하수 시설 및 이용 현황

고양시에는 온천수 1개소의 기타용 지하수가 개발되어 있다

<표 3-10> 세부용도별 기타용 지하수 이용 시설 현황

구 분		합계	온천수	비 고
시설수	공수	1	1	
	비율 %	100%	100%	
이용량	$10^3 \text{ m}^3/\text{년}$	5	5	
	비율 %	100%	100%	

다. 행정구역별 지하수 이용 현황

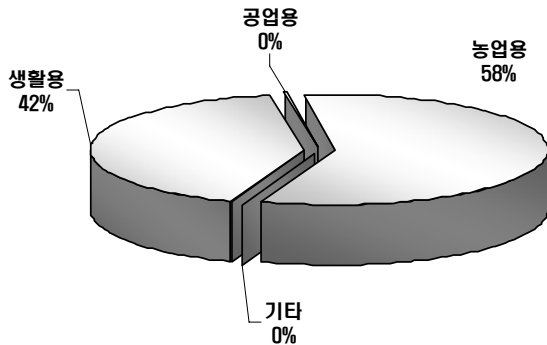
행정구역별 지하수 이용 시설수는 덕양구가 7,191개소로 고양시 전체 지하수 이용 시설수의 62.7%를 차지하고 있고, 일산동구 2,929개소, 일산서구 1,351개소의 순으로 분포하고 있다.

이용량은 덕양구가 $20,099 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 으로 전체 이용량의 63.4%를 차지하며, 일산동구 $7,714 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ (24.3%), 일산서구 $3,889 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ (12.3%)의 순으로 이용량이 많이 분포하고 있다.

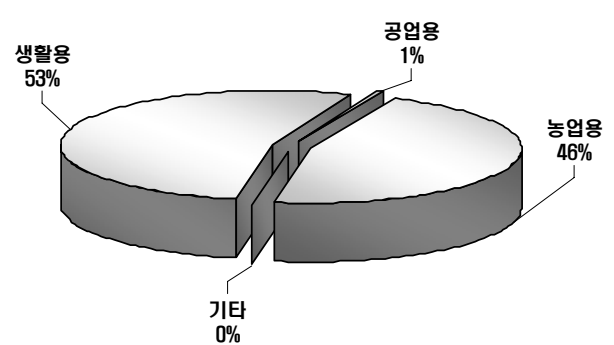
<표 3-11> 행정구역별 지하수 이용 현황

(단위 : 개소, $10^3 \text{m}^3/\text{년}$)

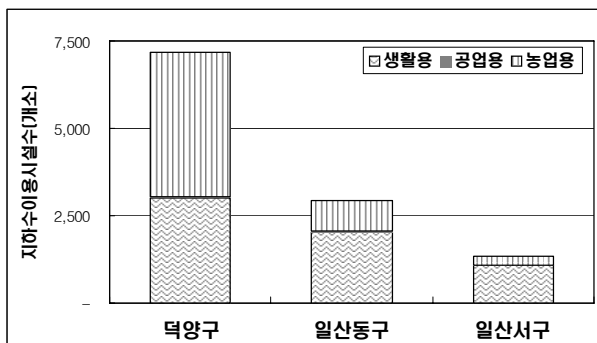
구 분	총계		생활용		공업용		농업용		기타용	
	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
고양시	11,471	31,702	6,130	19,641	45	226	5,295	11,830	1	5
덕양구	7,191	20,099	3,015	10,705	25	126	4,150	9,263	1	5
일산동구	2,929	7,714	2,046	5,668	10	50	873	1,996	-	-
일산서구	1,351	3,889	1,069	3,268	10	50	272	571	-	-



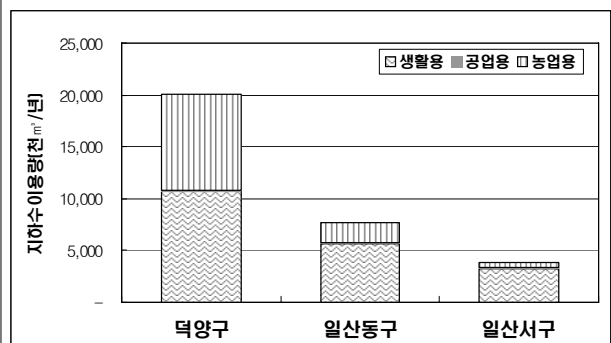
(a) 지하수 이용 시설 수(덕양구)



(b) 지하수 이용량(덕양구)



(a) 지하수 이용 시설 수(고양시)



(b) 지하수 이용량(고양시)

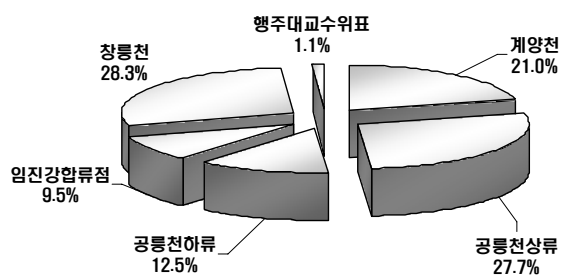
라. 유역별 지하수 이용 현황

유역별 지하수 이용 시설 현황은 창릉천 유역과 공릉천상류 유역이 3,243개소와 3,174개소로 가장 많이 개발되어 있으며, 행주대교수위표 유역이 122개소로 가장 적게 개발되어 있다. 이용량은 공릉천상류 유역이 $9,151 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$, 창릉천 유역이 $8,674 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 으로 각각 28.9%, 27.4%를 차지하며, 행주대교수위표 유역은 $456 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 으로 1.4%를 차지한다.

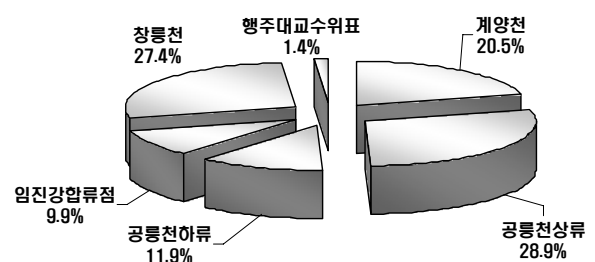
<표 3-12> 유역별 지하수 이용 현황

(단위 : 개소, $10^3 \text{m}^3/\text{년}$)

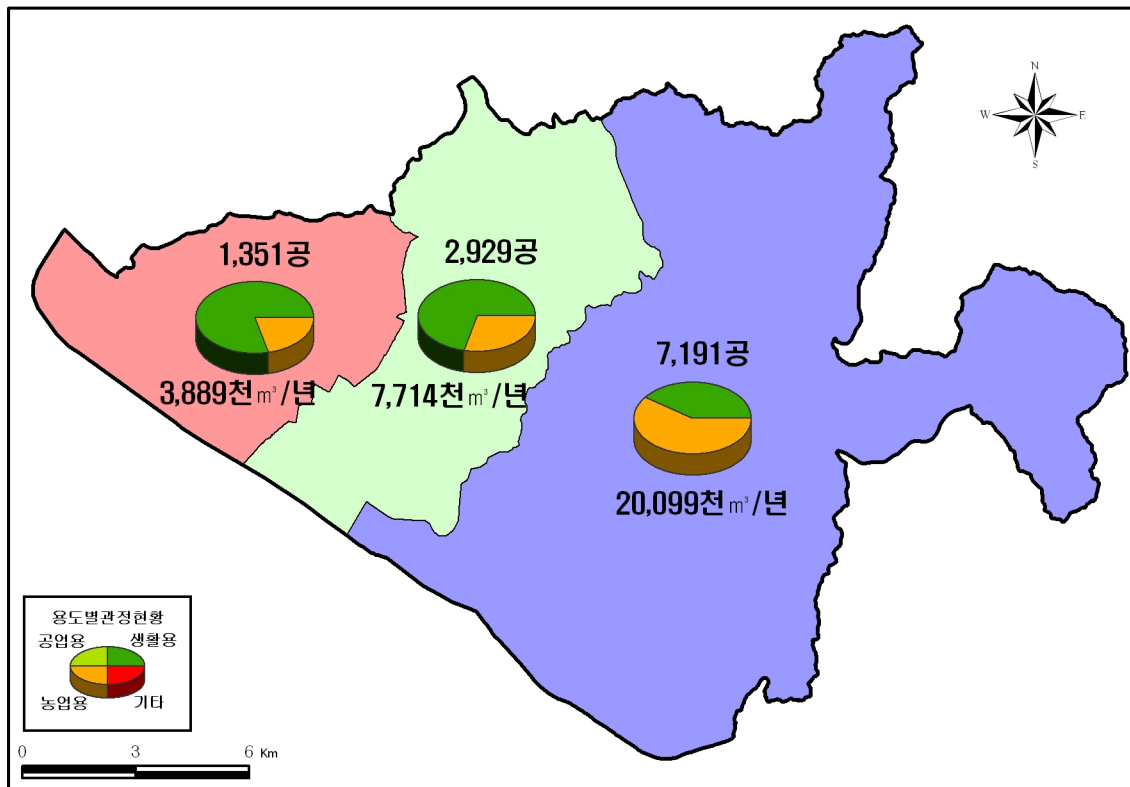
구 분	총계		생활용		공업용		농업용		기타용	
	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
합계	11,471	31,702	6,130	19,641	45	226	5,295	11,830	1	5
창릉천	3,243	8,674	1,339	4,546	13	66	1,890	4,057	1	5
행주대교수위표	122	456	81	361	2	10	39	85	-	-
계양천	2,411	6,485	1,129	3,531	10	50	1,272	2,904	-	-
공릉천상류	3,174	9,151	1,494	5,177	7	35	1,673	3,939	-	-
공릉천하류	1,431	3,785	1,180	3,262	9	45	242	478	-	-
임진강합류점	1,090	3,151	907	2,764	4	20	179	367	-	-



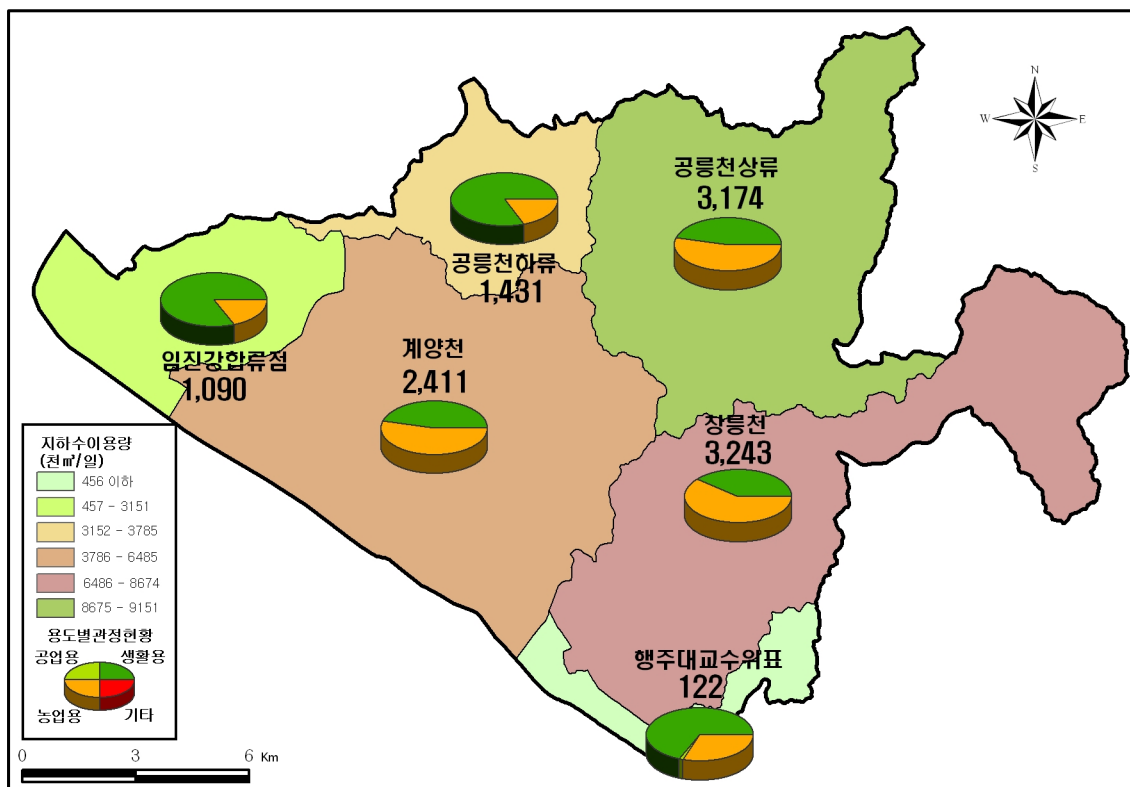
(a) 지하수 이용 시설 수



(b) 지하수 이용량



<그림 3-3> 행정구역별 지하수 이용 현황



<그림 3-4> 유역별 지하수 이용 현황

3.2. 지하수 개발·이용 특성

본 절에서는 지하수 개발 이용실태 조사 성과와 금번 조사에서 선정한 이용량을 이용하여 공당 지하수 이용량, 단위면적당 지하수 이용량, 지하수 개발 밀도 등을 행정구역 및 유역별로 집계하여 고양시에서 개발 이용중인 지하수 시설의 개발 이용 특성을 분석하였다

3.2.1. 공당 지하수 이용량

조사지역의 공당 지하수 이용량은 $2.76 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{공}$ 으로 나타났으며, 행정구역별로 보면 일산서구에서 $2.88 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{공}$ 으로 가장 높은 공당 지하수 이용량을 보인다.

유역별로는 행주대교수위표 유역에서 $3.74 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{공}$ 으로 높은 공당 지하수 이용량을 보인다.

<표 3-13> 행정구역별 공당 지하수 이용량 (단위 : $10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{공}$)

구 분	고양시	덕양구	일산동구	일산서구
공당이용량	2.76	2.80	2.63	2.88

<표 3-14> 유역별 공당 지하수 이용량 (단위 : $10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{공}$)

구 분	고양시	계양천	공릉천상류	공릉천하류	임진강합류점	창릉천	행주대교수위표
공당이용량	2.76	2.69	2.88	2.65	2.89	2.67	3.74

3.2.2. 단위 면적당 지하수 이용량

조사지역의 단위면적당 지하수 이용량은 $118.60 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 이며, 일산동구가 $130.55 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 로 가장 높다. 유역별로는 일산동구가 포함된 공릉천하류 유역이 $179.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{km}^2$ 로 크게 나타났다.

<표 3-15> 행정구역별 단위면적당 지하수 이용량 (단위 : $10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{km}^2$)

구 분	고양시	덕양구	일산동구	일산서구
공당이용량	118.60	121.49	130.55	90.91

<표 3-16> 유역별 단위면적당 지하수 이용량 (단위 : $10^3 \text{ m}^3/\text{년}/\text{km}^2$)

구 분	고양시	계양천	공릉천상류	공릉천하류	임진강합류점	창릉천	행주대교수위표
공당이용량	118.6	82.04	143.88	179.3	123.81	128.05	44.02

3.2.3. 지하수 개발 밀도

고양시 전체 지하수 개발 밀도는 42.91공/㎢이며, 덕양구(43.46공/㎢), 일산동구(49.56공/㎢), 일산서구(31.58공/㎢)의 순으로 개발 밀도가 높게 나타났다.

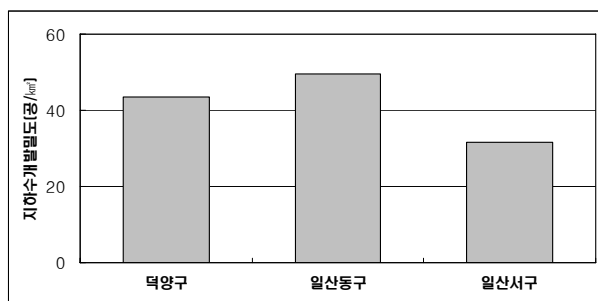
유역별로는 공릉천하류 유역이 67.78공/㎢로 높은 개발밀도를 보이며 공릉천상류(49.90공/㎢)유역, 창릉천(47.87공/㎢)유역의 순으로 나타났다. 행주대교수위표 유역이 11.77공/㎢로 낮은 개발밀도를 보이는데 이는 산지로 형성된 지형적 특성에 기인한 것이다

<표 3-17> 행정구역별 지하수 개발 밀도

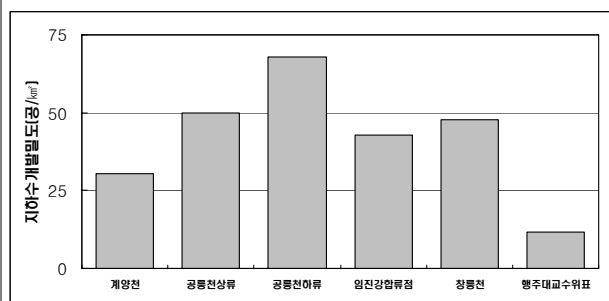
구 분	고양시	덕양구	일산동구	일산서구
면적(㎢)	267.31	165.44	59.09	42.78
개소수(공)	11,471	7,191	2,929	1,351
개발밀도(공/㎢)	42.91	43.46	49.56	31.58

<표 3-18> 유역별 지하수 개발 밀도

구 분	유역면적(㎢)	우물수(공)	개발밀도(공/㎢)	비고
합계	267.31	11,471	42.91	
창릉천	67.74	3,243	47.87	
행주대교수위표	10.36	122	11.77	
계양천	79.05	2,411	30.49	
공릉천상류	63.60	3,174	49.90	
공릉천하류	21.11	1,431	67.78	
임진강합류점	25.45	1,090	42.82	



(a) 행정구역별



(b) 유역별

<그림 3-5> 행정구역 및 유역별 지하수 개발 밀도

3. 지하수 개발과 이용

(a) 행정구역별 공당 지하수 이용량



(b) 유역별 공당 지하수 이용량



<그림 3-6> 지하수 개발·이용특성

(c) 행정구역별 단위면적당 지하수 이용량



(d) 유역별 단위면적당 지하수 이용량



<그림 3-6> 지하수 개발·이용특성(계속)

(e) 행정구역별 지하수 개발밀도



(f) 유역별 지하수 개발밀도



<그림 3-6> 지하수 개발·이용특성(계속)

3.3. 산업경제 현황

3.3.1. 산업경제

고양시의 농업, 제조업, 축산업, 관광업 등 산업현황을 정리하였다.

가. 농업 현황

고양시의 농가수는 6,110가구이며, 농가인구는 20,790명으로 전체인구대비 2.3%에 해당한다. 경지면적은 1,903.7ha, 생산량은 9,093.4톤이다.

<표 3-19> 농가, 농가인구 및 경지면적 현황

구 분	농가 (가구)	농가인구 (인)	식량작물 생산							
			계(ha)		미곡(ha)		맥류(ha)		두류,서류,잡곡	
			면적(ha)	생산량 (톤)	면적(ha)	생산량 (톤)	면적(ha)	생산량 (톤)	면적(ha)	생산량 (톤)
고양시	6,110	20,790	1,903.7	9,093.4	1,754.0	8,402.0	4.0	7.4	145.7	684.0

주) 통계연보(2007, 고양시)

나. 축산업

고양시의 축산가구 중 한육우, 젖소, 돼지, 닭을 사육하는 가구수 및 각각의 마리수는 <표 3-20>과 같다.

<표 3-20> 축산가구 및 마리 현황

한육우		젖소		돼지		닭	
사육호수	마리수	사육호수	마리수	사육호수	마리수	사육호수	마리수
124	5,242	94	5,750	58	43,299	73	670,000

주) 통계연보(2007, 고양시)

다. 제조업 현황

총 1,783개의 사업체에서 21,172명이 종사하고 있으며 생산액은 387,367백만원이다. 업종별로는 출판인쇄복제 업체가 311개 등록되어 가장 많으며, 다음으로는 가구및기타 업체가 282개, 고무및플라스틱 제조업체가 135개, 기타기계및장비 업체가 133개 순이다.

<표 3-21> 업종별 사업체수 및 종사자수

합 계		자동차및트레일러		전자부품,영상등		고무및플라스틱		음식료품제조업		기타기계및장비		조립금속	
사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)
1,783	21,172	10	85	54	1,038	135	1,249	89	1,097	133	1,531	157	1,507
출판인쇄복제		섬유제품		봉제의복모피		기타전기기계/변환		1차금속산업		가구및기타		비금속광물제품	
사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)	사업체 (개소)	종사자 (인)
311	4,622	61	736	33	582	116	1,342	7	103	282	2,758	55	621

주) 통계연보(2007, 고양시)

3.3.2. 용수이용현황

가. 생활용수이용 현황

생활용수는 급수방식에 따라 광역 및 지방상수도에 의해 급수되는 상수도 급수지역과 간이상수도, 전용상수도, 소규모 급수시설, 기타시설(우물, 샘)에 의해 급수되는 상수도 미급수지역으로 나누어진다. 생활용수이용 현황은 상수도 급수지역과 미급수지역의 이용량을 조사하고 생활용 지하수 이용량을 더하여 산정하였다

$$\text{생활용수 이용량} = \text{상수도 급수지역 이용량} + \text{상수도 미급수지역 이용량} \\ + \text{생활용지하수 이용량}$$

상수도 급수지역의 생활용수 이용량은 매년 환경부에서 발간하는“상수도통계”에서 총인구에 대한 상수도 급수인구의 비율인 급수보급률(%)과 1인당 1일 급수량(ℓ)을 통하여 산정한 상수도급수량을 이용하였다 상수도 미급수지역의 생활용수 이용량은 간이상수도 전용상수도, 소규모 급수시설 등을 통하여 공급되는 생활용수량을 조사해야 하지만 이러한 시설들의 실제 급수량을 파악하기는 곤란하므로 상수도 미급수지역의 급수인구와 1인당 1일 급수량(ℓ)을 곱하여 산정하였다.

1) 급수지역 상수도 이용현황

2006년말 기준 급수지역의 상수도 이용현황은 “상수도통계(2007, 환경부)”와 “통계연보(2007, 고양시)”를 이용하여 조사하였다.

고양시의 2006년말 기준 총인구 919,365명 중 급수인구는 887,187명으로 96.5%의 급수보급률을 나타냈으며, 전국 평균 91.3%보다 높은 것으로 조사되었다. 1인당 1일 급수량은 301ℓ로 전국 평균 단위급수량 363ℓ보다 낮게 나타났다.

<표 3-22> 급수지역 상수도 이용현황

구 분	총인구 (명)	급수인구 (명)	보급률 (%)	시설용량 (m ³ /일)	급수량 (m ³ /일)	1인당1일급수량 (ℓ)
전 국	49,598,796	45,269,820	91.3	28,181,737	16,432,945	363
경 기 도	11,106,831	10,248,274	92.3	6,131,900	3,576,648	349
고 양 시	919,365	887,187	96.5	448,000	266,601	301

출처) ① 상수도통계연보(2007, 환경부) ② 통계연보(2007, 고양시)

고양시는 현재 수도권광역상수도 183,000m³/일, 일산정수장 250,000m³/일 및 지방상수도인 고양정수장 15,000m³/일(가동중지 상태)을 포함해 총 448,000m³/일의 시설용량을 확보하고 있다.

<표 3-23> 상수도 공급시설 현황

취수장	수원	취수용량 (m ³ /일)	정수장명	시설용량(m ³ /일)			비고 (관리주체)
				계	생활	공업	
계		448,000		448,000	448,000	-	
팔당2	팔당댐	30,000	와부	30,000	30,000	-	수공
팔당3	팔당댐	96,000	덕소	96,000	96,000	-	수공
-	팔당댐	57,000④	-	57,000	57,000	-	수공
자양	한강	250,000	일산	250,000	250,000	-	수공
고양	공릉천	15,000	고양	15,000	15,000	-	고양시

주) ① 와부정수장 Q=215천m³/일(의정부 97, 고양 30, 남양주 43, 구리 45)

② 덕소정수장 Q=200천m³/일(의정부 63, 고양 96, 남양주 24, 양주 17)

③ 고양정수장 가동중지 상태임.

④ 수도권 광역VI단계사업 관련

출처) 권역별 급수체계구축 기본계획보고서(한강하류권)(2004. 6, 국토해양부/한국수자원공사)

3. 지하수 개발과 이용

고양시는 수도권광역상수도인 와부정수장과 덕소정수장에서 각각 30,000m³/일, 96,000m³/일을 공급받고, 수도권 광역VI단계사업에 의해 57,000m³/일을 공급받으며, 일산정수장에서 250,000m³/일, 지방상수도인 고양정수장에서 15,000m³/일을 공급받고 있다. 일산정수장은 일산신도시에 용수를 공급하기 위하여 한국수자원공사에서 건설하여 관리하고 있으며 고양정수장은 공릉천 상류에 취수탑을 건설하여 15,000m³/일을 공급받고 있으나, 현재 가동중지 상태에 있다.

<표 3-24> 정수시설 현황

정수장	시설용량(m ³ /일)	처리방식	시설연도	수 원
계	448,000			
와부	30,000	침전 및 급속여과	1994	팔당
덕소	96,000	침전 및 급속여과	1999	팔당
-	57,000 *	-	-	팔당
일산	250,000	침전 및 급속여과	1993	한강
고양	15,000	침전 및 급속여과	1984	공릉천

주) * 수도권 광역VI단계사업 관련

출처) 권역별 급수체계구축 기본계획보고서(한강하류권)(2004. 6, 국토해양부/한국수자원공사)

2) 미급수지역 상수도 이용현황

미급수지역은 간이상수도, 전용상수도, 소규모 급수시설, 기타시설을 이용하여 간이급수를 하는 지역으로 이 지역의 이용현황은 총인구에서 급수인구를 제외한 미급수인구에 미급수지역의 단위이용량을 곱하여 산정하였다. 미급수지역의 단위이용량은 “수자원장기종합계획 보완(2006. 12, 국토해양부, 한국수자원공사)”에서 적용한 2006년부터 2020년까지 미급수지역 원단위 215ℓ pcd를 적용하였다. 고양시 미급수지역의 생활용수 이용량은 6,918m³/일로 조사되었다.

<표 3-25> 미급수지역 상수도 이용현황

구 분	총인구 (명)	급수인구 (명)	미급수인구 (명)	미급수지역 이용량 (m ³ /일)
고양시	919,365	887,187	32,178	6,918

출처) 수자원장기종합계획 보완(2006. 12, 국토해양부, 한국수자원공사)

3) 생활용지하수 이용현황

생활용지하수 이용현황은 “지하수조사연보(2007, 국토해양부)” 자료를 이용하였으며, 생활용지하수 우물의 개수는 총 4,998공으로 사용량은 20,037천 m^3 /년(54,897 m^3 /일)으로 조사되었다.(출처 : 국가지하수 정보센터(www.gims.go.kr)에서 다운로드 가능)

4) 생활용수이용 현황

생활용수이용 현황은 상수도 급수지역의 이용량과 미급수지역의 이용량 및 생활용 지하수 이용량을 합하여 산정하였다 고양시의 생활용수 이용량은 328,416 m^3 /일로 나타났다.

<표 3-26> 생활용수 이용현황 (단위 : m^3 /일, 천 m^3 /년)

구 분	계		상수도 급수지역		상수도 미급수지역		생활용 지하수	
	일사용량	연간 사용량	일사용량	연간 사용량	일사용량	연간 사용량	일사용량	연간 사용량
생활용수	328,416	119,872	266,601	97,309	6,918	2,525	54,897	20,037

나. 공업용수 이용현황

공업용수는 공장에서 사용되는 모든 용수 즉 원료용수, 제품처리용수, 세정용수, 보일러용수 등을 말하며, 업종과 규모, 생산액, 부가가치, 출하액, 제품종류에 따라 서로 다르게 나타난다. 따라서 공업용수의 이용현황을 산정하기 위해서는 각 공단별 또는 공장별 급수실적을 조사하여 급수사용량을 파악하여야 하지만 공단 또는 공장별 급수실적의 자료취득이 어려우며, 소규모 공단 및 농공단지는 생활용수와 공업용수의 사용량이 서로 혼재되어 순수 공업용수 사용량의 분리가 어렵고 자료 취득이 어려운 실정이다 또한, 조사기관 및 조사방법마다 상당한 차이가 있고 정기적으로 발표되는 자료가 없어 정확한 공업용수 파악이 어려운 실정이며, 수집된 각종 공단관련 자료들도 공단제원 및 용수사용량이 미흡하여 신뢰도가 떨어진다.

고양시지역에 대한 상수도통계 및 고양시 상하수도사업소의 공업용 급수량은 전무한 것으로 조사되었다. 따라서 본 조사에서 공업용수 이용현황은 공업용 지하수 이용량만을 공업용수 이용량으로 산정하였다

고양시 공업용수 이용량은 “지하수조사연보(2007, 국토해양부)”의 공업용 지하수 이용량인 1,222 m^3 /일로 조사되었다.

<표 3-27> 공업용수 이용현황

(단위 : m³/일, 천m³/년)

구 분	계		공업용수 공급량		공업용지하수 이용량		비 고
	일사용량	연간 사용량	일사용량	연간 사용량	일사용량	연간 사용량	
공업용수	1,222	446	-	-	1,222	446	

출처) 지하수조사연보(2007, 국토해양부)

다. 농업용수 이용현황

농업용수는 수리시설 및 농업용수 이용특성상 수많은 수리시설물로부터 공급되는 농업용수의 사용량 및 공급계통을 파악하여야 하지만 현실적으로 사용량 및 공급계통을 파악하기에는 한계가 있다. 따라서 본 과업에서는 농업용수 이용현황을 정확하게 파악하기가 어려우므로 물소모량이 많은 답작지와 관개전에 대한 이용량으로 한정하고 이에 대한 경지면적을 집계한 후 각각의 면적에 원단위를 곱하여 아래의 산정기준에 따라 산정하였다 또한, 우물이나 이동식 양수 시설은 일시적인 시설로 개소당 양수량도 크지 않으므로 농업용수 산정시 배제하는 것이 통례이며, 본 조사에서 채택한 경지면적과 단위 용수량에 의한 농업용수 산정법은 수원을 구분하지 않으므로 우물을 이용한 농업용수의 산정은 중복될 우려가 있다. 따라서 농업용 지하수 이용량은 농업용수 이용현황에서 제외하였다

$$\begin{aligned}
 \text{농업용수 이용량} &= \text{수리안전답면적} \times \text{수리안전답 원단위} \\
 &+ \text{수리불안전답면적} \times \text{수리불안전답 원단위} \\
 &+ \text{관개전면적} \times \text{관개전 원단위}
 \end{aligned}$$

1) 경지면적 현황

경지면적은 조사기관과 시기 조사목적 등에 따라 다소 차이가 나며 조사기관에 따라서 세부 행정단위별로 각각 다르게 나타나므로 다음의 기준 및 절차에 따라서 경지면적 현황을 파악하였다.

가) 수리안전답 및 수리불안전답 면적

수리안전답 및 수리불안전답의 면적은 "농촌용수수요량조사 종합보고서(1999, 농림부, 농어촌진흥공사)"의 수리안전답과 수리불안전답의 면적비를 이용하여 "통계연보(2007, 고양시)"의 경지면적에 이 비율을 적용하여 산정하였다

나) 관개전 면적

관개전의 면적은 “농촌용수수요량조사 종합보고서(1999, 농림부, 농어촌진흥공사)”의 관개전과 비관개전의 면적비를 이용하여 “통계연보(2007, 고양시)”의 경지면적에 이 비율을 적용하여 산정하였다.

<표 3-28> 고양시 경지면적

구 분	합 계	논 면 적			밭 면 적		
		소 계	수리안전답	수리불안전답	소 계	관개전	비관개전
경지면적(ha)	5,139	2,265	2,245	20	2,874	-	2,874
면적비	-	1.0000	0.9913	0.0087	1.0000	0.0000	1.0000

출처) 농촌용수수요량조사 종합보고서(1999, 농림부, 농어촌진흥공사), 통계연보(2007, 고양시)

2) 농업용수량 산정

농업용수 이용현황은 경지면적에 단위용수량을 곱하여 산정하였으며 단위용수량은 “수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사 보고서(1996, 국토해양부, 한국수자원공사)”에서 산정한 값을 적용하였다.

<표 3-29> 단위용수량

구 분	수리안전답	수리불안전답	관개전	비 고
단위용수량(mm)	1,049.3	682.1	490.9	팔당하구

출처) 수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사(1996. 4, 국토해양부, 한국수자원공사)

고양시 농업용수 이용량은 수리안전답 23,557천m³/년, 수리불안전답 136천m³/년으로 총 23,693천m³/년으로 산정되었다.

<표 3-30> 농업용수 이용현황

구 분	농업용수량	수리안전답	수리불안전답	관개전	비 고
농업용수(천m ³ /년)	23,693	23,557	136	0	

라. 용수이용 현황 총괄

고양시에 대한 2006년 말 기준의 용수이용 현황을 파악한 결과 생활용수 이용량은 119,872천m³/년이고, 공업용수 이용량은 446천m³/년이며, 농업용수 이용량은 23,693천m³/년으로 총 용수이용량은 144,011천m³/년으로 나타났다.

<표 3-31> 고양시 용수이용 현황

(단위 : 천 m^3 /년)

구 분	계	생활용수	공업용수	농업용수	비 고
용수이용량	144,011	119,872	446	23,693	

3.3.3. 용수수급전망

가. 용수수급 시설현황

고양시지역의 용수수요 추정은 "고양시 수도정비기본계획 변경 보고서(2007.12, 고양시)"의 자료를 검토하였다.

고양시 상수도 시설은 1984년말에 준공된 고양정수장의 통수를 시작으로 하여 시승격에 따른 인구의 증가와 생활수준 향상으로 꾸준한 증가요인을 갖고 있으며 1988년말에는 수도권 광역상수도 3단계 통수에 따른 $Q=30,000m^3$ /일을 확보하여 광역상수도 보급이 시작되었다.

1992년말에는 일산신도시 용수공급 계획의 일환으로 한강계통 일산정수장이 1995년도를 목표로한 1단계 사업 $Q=150,000m^3$ /일이 준공되었다. 그후 한강계통 일산정수장이 사업을 확장하여 목표연도 2001년도로한 2단계 $Q=100,000m^3$ /일이 1995년말에 준공되었으며 목표연도 2001년으로한 수도권 광역상수도 5단계 사업($Q=96,000m^3$ /일) 및 6단계($57,000m^3$ /일)가 1997년 및 2001년말에 준공되었다. 그리고 목표연도 2013년으로 하고 있는 한강하류권 급수체계구축 1차사업에 있어서 고양시는 $Q=59,000m^3$ /일을 한국수자원공사에서 배분받아 현재 일산2정수장을 건설중에 있다.

고양시 자체정수장인 고양정수장은 상수원 오염심화 및 취수량 부족($Q=5,000\sim 6,000m^3$ /일)으로 시설용량의 약 37%를 생산하고 상류지역 상수원 보호구역 지정에 따른 고양시 선유, 대자, 오금동 및 양주군 삼하, 삼상리 주역 주민의 지속적인 민원제기로 2004년 4월부터 생산을 중지하고 있으며 환경부장관의 허가를 받아 폐지를 계획하고 있다

고양시는 유희중인 고양정수장 용량을 제외한 총 용수 수요량 $492,000m^3$ /일을 확보하고 있다.

<표 3-32> 용수공급 시설현황

시 설 명	수 원 명	시설용량(m ³ /일)	목표년도	비 고
고양정수장	공릉천	(15,000)	-	2004년 4월 가동중단 5,6단계 또는 일산2정수장으로 계통변경 일산2정수장으로 계통변경(2008년)
수도권 광역상수도 3단계	팔당댐호소	30,000	1992	
일산정수장 1단계	한강잠실수중보	150,000	1995	
일산정수장 2단계	한강잠실수중보	100,000	2001	
수도권 광역상수도 5단계	팔당댐호소	96,000	2001	
수도권 광역상수도 6단계	팔당댐호소	57,000	2006	
계		492,000		

주) 계획중인 일산2정수장 포함시 507,000(m³/일)임

출처) 고양시 수도정비기본계획 변경 보고서(2007. 12, 고양시)

나. 장래 상수수요량 총괄

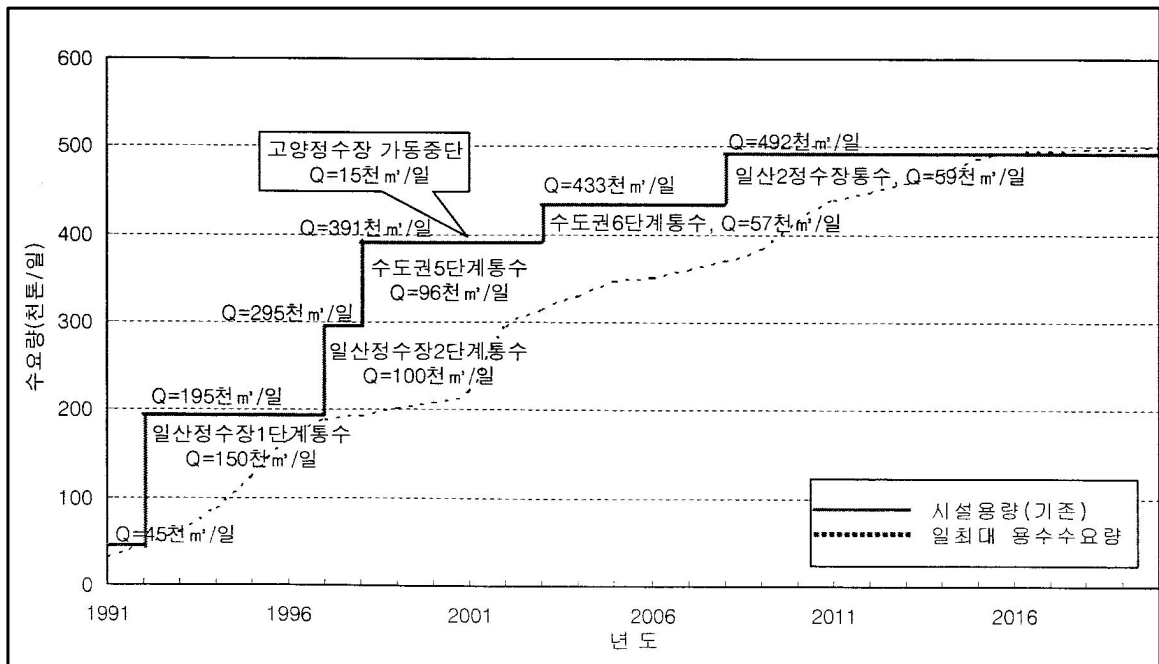
고양시 장래계획인구에 따른 상수수요량, 군용수, 한국국제전시장, 고양관광문화단지 조성계획 및 동국대학교에 따라 추정한 상수도 수요량 총괄계획은 아래 <표 3-33>와 같다.

<표 3-33> 목표연도별 장래상수도 수요량 총괄(일최대)

(단위 : 천m³/일)

구 분	2006	2011	2016	2020	비 고
장래계획인구에 대한 수요량	333.3	385.1	420.4	428.1	
군용수	13.0	13.9	13.9	13.9	
한국국제전시장	3.4	17.3	26.2	26.2	
고양관광문화단지	-	22.0	30.6	30.3	
동국대학교	-	-	0.6	0.6	
계	349.7	492.0	491.7	499.4	

출처) 고양시 수도정비기본계획 변경 보고서(2007. 12, 고양시)



<그림 3-7> 장래용수수급계획

장래 목표연도 2016년에는 현재 확보된 시설용량으로 공급이 가능하나 장기목표연도인 2020년에는 7,400m³/일이 부족한 것으로 나타나 있다. 이에 따라서 고양시는 한국수자원공사에게 추가 배분을 요구하였으며 한국수자원공사에서는 한강하류 1차 수도권광역 의정부계통 여유량 등을 활용하여 장래용수수급에 지장이 없도록 수립하였다

3.3.4. 시설확충계획

가. 수원 및 취수시설

고양시는 목표연도인 2016년까지 용수부족이 발생하지 않으며 장기 목표연도인 2020년의 부족분에 대해서는 한국수자원공사에서 추가 배분 받는 것으로 협의하였으므로 수원 및 취수시설에 대한 확장계획은 없는 것으로 검토되었다.

나. 정수시설

고양정수장은 1984년 준공되어 2004년 4월까지 운영되어 왔으나, 이후 수량확보가 어렵고 시설이 노후되었으며 대체시설(수도권 광역상수도)이 확보되어 현재는 운휴 중에 있다.

고양정수장 계통의 취수시설에 대한 확장계획은 없으므로 고양정수장에 대한 확장계획은 검토하지 않았다.

4. 세부수리지질조사

4.1. 조사개요

4.2. 지표수 유량/수질 관측조사

4.3. 지하수 관측조사

4.4. 전기비저항 탐사

4.5. 시추 및 착정조사

4.6. 물리검층

4.7. 대수성시험

4.8. 총적층 시료 실내분석

4.9. 성과종합

4. 세부수리지질조사

4.1. 조사개요

본 장에서는 금번 조사과정에서 수행된 수리지질 조사 성과를 종합하여 수록하였다. 금번 수리지질조사에는 지표수 및 지하수 관측 전기비저항탐사, 시추조사, 착정조사 및 대수성시험, 물리검층, 수질분석 및 토양 입도분석 등이 포함되어 있다.

지표수 및 지하수 관측조사는 지하수 개발 이용 실태 조사 성과를 바탕으로 조사계획을 수립하여 2007년 5월부터 1년 동안 관측을 수행하였으며, 지하수 이용량조사는 2007년 5월부터 조사를 수행하여 2008년 3월까지 관측을 수행하였다.

전기비저항탐사는 원격탐사 및 지형분석의 성과를 토대로 대수층 발달이 양호할 것으로 예상되는 지점 중 충적지하수 3개 지역, 암반지하수 3개 지역을 선정하여 총 6개 지역에서 55점의 수직법 탐사를 실시하였다.

시추 및 착정조사는 전기비저항탐사 결과를 토대로 선정한 2개소에서 실시하였으며, 이는 충적/암반지하수 각각 1개소로 구성된다. 시추조사와 병행하여 표준관입시험과 수압시험을 실시하였으며, 착정 조사공에 대해서는 물리검층 및 대수성 시험을 수행하였으며 12개 기존 우물에서도 대수성시험을 실시하였다.

실내시험은 표준관입시험 및 지표 지질조사 과정에서 10개 토양시료를 채취하여 입도분석을 수행하였다. 또한 수질분석은 80개소 우물에서 주요수질분석 항목 26개와 이화학분석 18개 항목에 대해서 조사가 이루어졌다.

이상 언급한 수리지질조사의 내역은 <표 4-1>에 정리한 바와 같다.

<표 4-1> 세부수리지질 조사 내역

조 사 항 목	수 량 및 회 수	비 고
지하수 관측조사	140개소	단주기관측 80 장주기관측 140 자동수위관측 6개 지점
지표수 관측조사	2개소	지표수 유량, pH, 수온 및 전기전도도
전기비저항 탐사	수직-100m 15점, 50m 40점	충적층 3개소, 암반층 3개소
시추조사	2개소 (암반1, 충적1)	
착정조사	2개소 (암반1, 충적1)	
물리검층	2개소 (충적/암반착정 각 1개소)	공내 영상촬영(암반착정)
대수성시험	14개소 (착정 2개소, 기존 12개소)	단계, 장기(24시간, 8시간), 회복시험
실내시험	10개소 (표준관입시료 4개, 충적층시료 6개)	입도분석
수질분석	80개소(충적40개소, 암반 40개소) 분석시기 : 2007년 10월	수질관련 주요수질분석 26항목 이화학 분석: 18항목

4.2. 지표수 유량/수질 관측조사

강우는 지상으로 도달하는 과정에서 증발 혹은 식물에 의해 차단되거나 지표면의 저지대나 요부(凹部)에 저류되어 일부는 손실되고 나머지는 토양 내부로 침투한다. 이때 강우강도가 침투능을 초과하게 되면 침투량을 제외한 나머지 강우량은 지표면으로 흐르게 되는데 이를 표면 유출(Surface Runoff)이라 한다. 표면유출은 보통 충류를 이루며 하류로 흘러 수로(Channel)를 형성하고, 이들이 모여 하천을 이루어 최종적으로 바다로 유입된다. 이러한 순환과정에서 지하로 침투된 물은 흙의 공극을 채운 후 수평·수직으로 이동하며, 수평이동에 따라 낮은 지표면으로 다시 유출되는데 이를 중간유출(Subsurface Runoff)이라 하고, 여기서 표면유출과 중간유출을 통칭하여 직접유출(Direct Runoff)이라 한다.

본 조사에서는 지표수 유량을 현장 측정하였으며 이와 병행하여 간이수질을 측정하였다

4.2.1. 지표수 관측지점 선정

가. 선정 절차

1) 예비 선정 (기존자료검토에 따른 도상선정)

- 수자원기초조사 편람(한국수자원공사, 1999)보고서의 제1편 수문조사 제4장 유량측정의 관측소 배치 및 위치선정 평가목록에 의해1차로 도상에서 기존 국가 관측망 지점을 참고로 하여 관측지점을 선정

2) 최종 선정 (현장확인 및 종합평가에 따른 최종선정)

- 예비 선정된 지점에 대하여 현장답사를 실시하고 기 조사자료를 분석하여 수계분포, 유역 등을 고려하여 총 2개소의 지표수 유량/수질 관측지점을 선정

나. 선정 기준

- 유량변화, 수계와의 관련성 등 각 유역을 대표할 수 있는 지점일 것
- 수류의 방향이 일정하고 정상류일 것
- 수류가 너무 급격하거나 너무 완만하지 않을 것
- 하상변동이 작아 유량측정의 정확도가 보장될 수 있는 곳
- 갈수시에도 유량측정이 가능한 곳
- 여울이나 사수역이 없고, 유수가 안정되어 갈수시에도 측정이 가능한 곳
- 대안 및 관측구간을 한 눈에 볼 수 있는 곳

- 유량을 안전하게 측정할 수 있는 곳

다. 선정 일정

- 예비선정 : 2006. 10. 1. ~ 2006. 10. 30
- 대상지점 : 11개소
- 정밀현장답사 : 2006. 11. 1 ~ 2006. 11. 10
- 조사지점 : 11개소 답사

라. 조사위치 선정

<표 4-2> 하천 유량/수질 관측지점 선정표

구 분	지점명	하천명	측정여부	현장답사결과	최종번호
GYR01	지영교	공릉천		유량변동이 큼	
GYR02	여무시교	공릉천		수심이 얕음	
GYR03	벽제교	공릉천		상류에 교량공사 중	
GYR04	곡릉교	공릉천		하폭이 넓음	
GYR05		공릉천	○		GYRF-1
GYR06	새솔다리	창릉천		수심이 얕음	
GYR07	삼송교	창릉천		유로와 하상변동이 심함	
GYR08	창릉교	창릉천		수심이 얕음	
GYR09		창릉천	○		GYRF-2
GYR10	화전교	창릉천		하상폭이 넓음	
GYR11	화도교	창릉천		수심이 얕음	

4.2.2. 관측조사계획

지표수 유량·수질 관측은 2007년 5월~2008년 3월의 기간 중에 매월 1회, 풍수기와 갈수기 각 1회씩 각 관측소별로 총 14회 실시하였다.

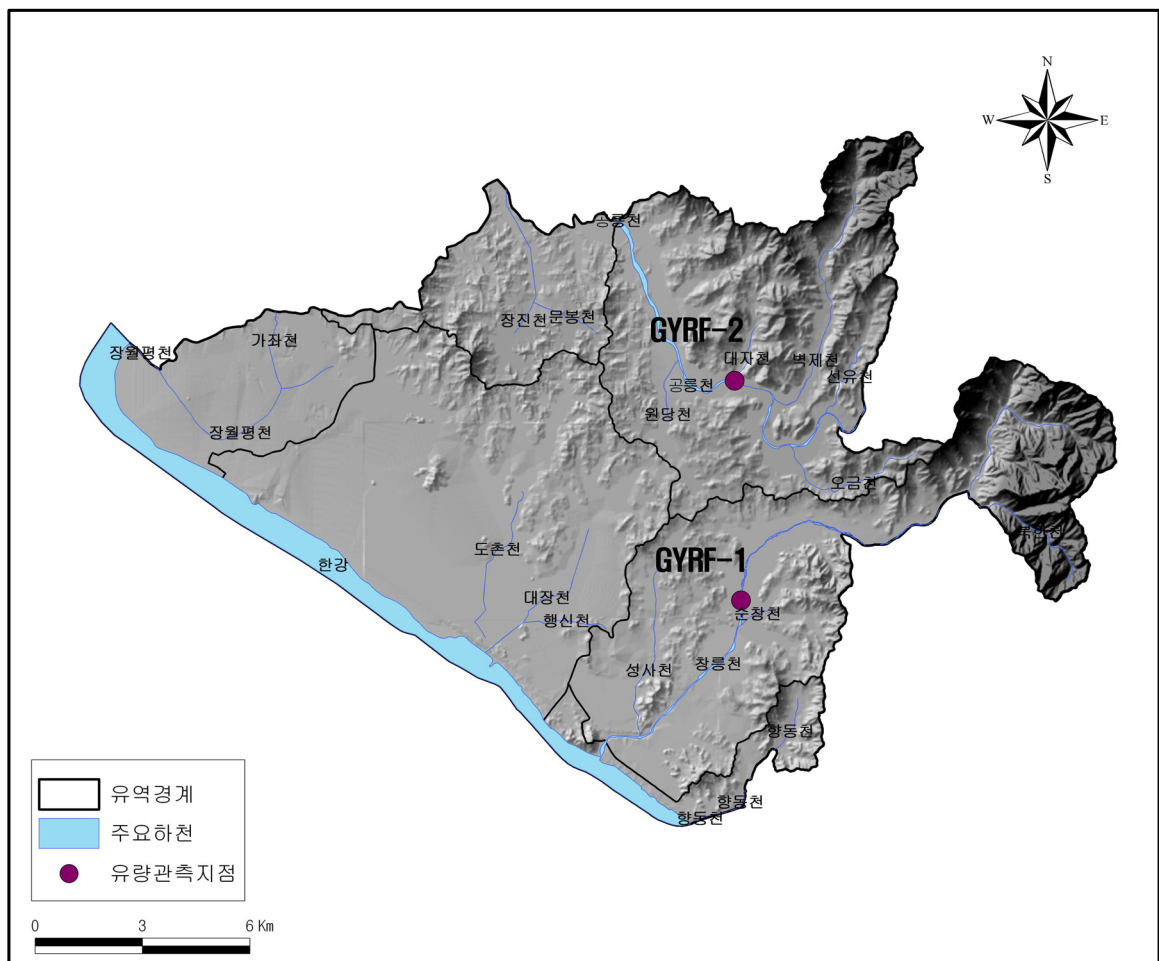
지표수 유량·수질 관측 지점의 위치는<그림 4-1>에 나타난 바와 같다.

가. 조사 항목

- 지표수 유량과 pH, 수온, TDS, 전기전도도 등 수질을 측정

나. 조사 방법

- 지하수 수위/수질관측조사와 연계분석을 위해 동일시기에 측정을 수행
- 매월 1회(풍수기와 갈수기 각 2회), 총 14회 측정
- 지표수 유량측정방법 : 지표수 유량 측정지점에 대하여 하천 횡단측량을 실시하여 하천단면을 이용한 방법을 적용



<그림 4-1> 지표수 유량/수질 관측망 위치도

4.2.3. 지표수 유량 관측

가. 유량측정

금번 유량측정에서는 직접유량측정법인 유속계에 의한 측정법을 사용하였다 측정지점에서 측정선은 유수흐름 방향에 수직으로 설정하고 측정선 상에서 하상 굴곡이 급변하는 지점을 기준으로 전 하폭에 걸쳐 약 1~3m 간격으로 수심과 유속을 측정하는 과정을 3회 반복함으로써 측정오차를 최소화하였다.

조사지역은 지표수의 복류로 인해 유량이 크지 않아 측정이 어려운 시기가 있어 이러한 시기에는 조사지점 외에 조사지점 상·하류에서 유량측정이 가능한 지점으로 측정지점을 변경하여 측정하여 최선의 성과가 도출될 수 있도록 노력하였다

금번 조사의 지표수 유량 측정 시기는 <표 4-3>에 정리하였으며, 측정 성과는 <표 4-4>에 나타내었다.

<표 4-3> 지표수 유량측정 시기

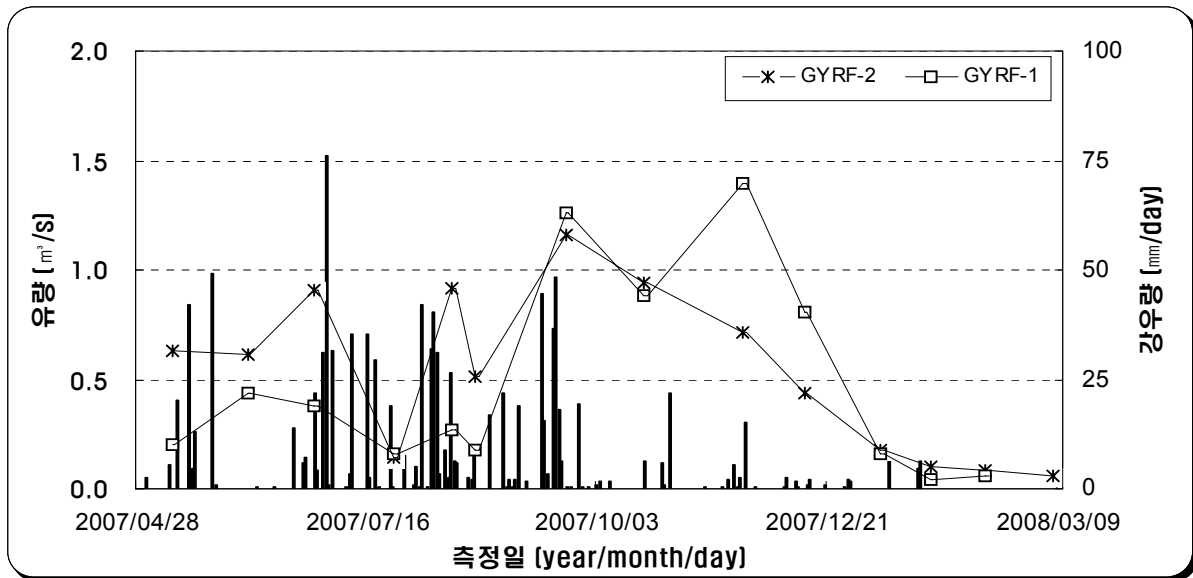
시기(차수)	2007										2008			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
일시	5.10	6.05	6.28	7.25	8.14	8.22	9.22	10.19	11.22	12.13	1.08	1.25	2.13	3.7

(주) □ : 2007년 ■ : 2008년

<표 4-4> 지표수 유량측정 성과

측정지점	측정지점명	하천 유역	유량(m^3/sec)		
			평균	최대	최소
GYRF-1	창릉교 인근	창릉천	0.48	1.39	0.05
GYRF-2	공릉교 인근	공릉천 상류	0.55	1.16	0.04

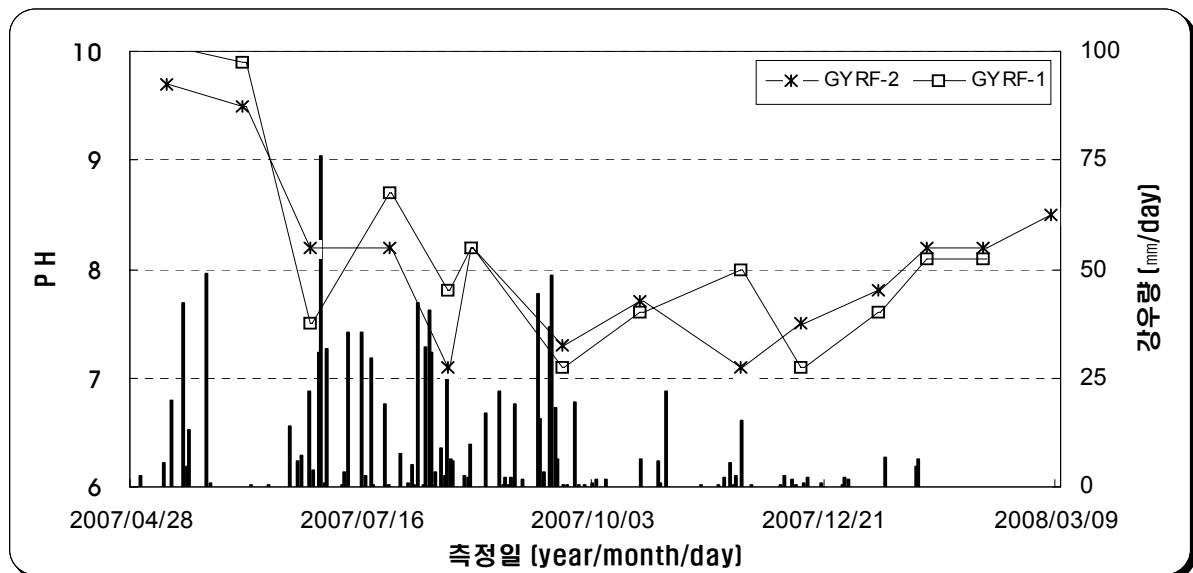
금번조사에서 작성된 지표수 수문곡선은 상류에 위치한 공릉천 유량측정지점이 창릉천지점과 유사한 하폭과 수심을 형성하고 있으나 유량은 공릉천지점이 상대적인 빠른 유속으로 인해 창릉천지점보다 많게 나타난다. 하지만 8월 이후 시점부터는 하류의 창릉천지점에 유입된 토사로 인해 수위 및 하상의 굴곡이 형성되어 상류의 공릉천지점보다 많은 유량을 단기적으로 나타나는 현상을 보인다. 이를 <그림 4-2>에 나타내었으며, 서울기상관측소의 일강수량자료를 함께 도시하였다.



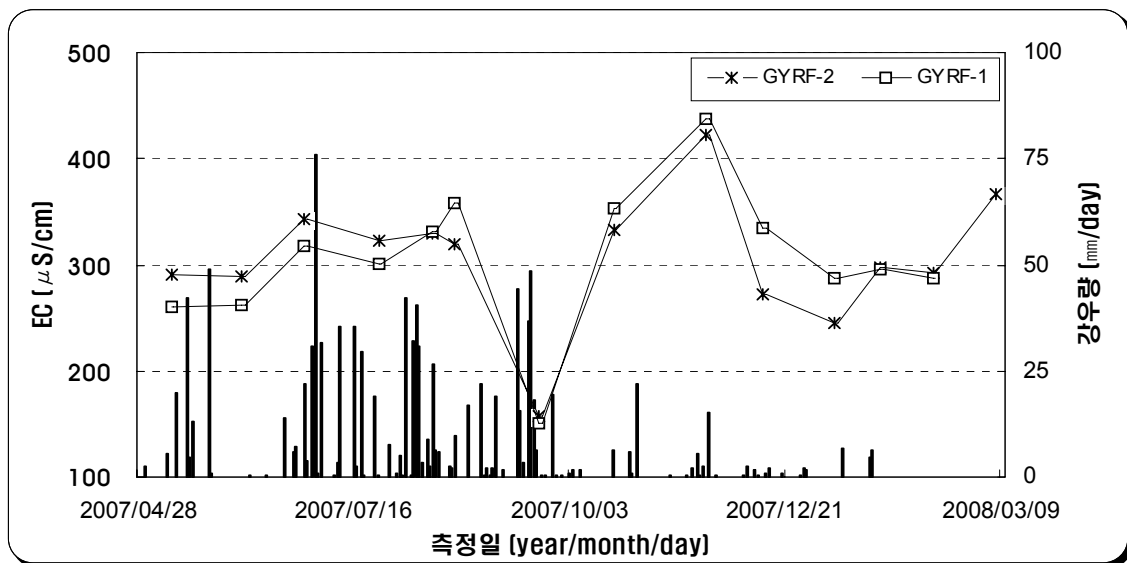
<그림 4-2> 지표수 수문곡선

4.2.4. 지표수 수질 관측

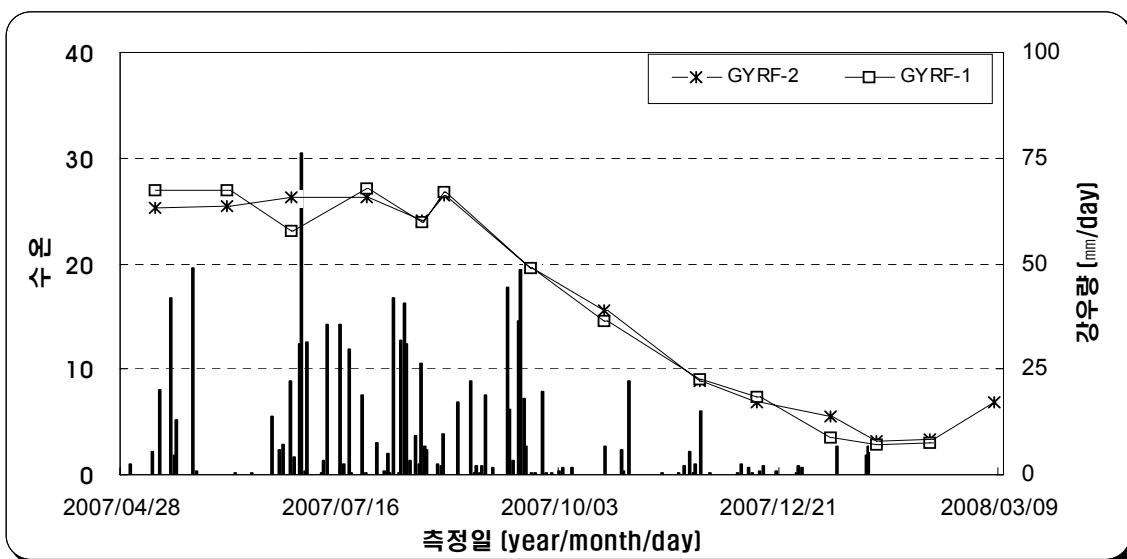
지표수 유량측정과 함께 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 및 온도의 3개의 수질 항목을 측정하였다. 측정결과는 <표 4-4> 및 <그림 4-3>에 나타난 바와 같고, 측정일지는 부록(II)에 수록하였다.



<그림 4-3> 지표수 수질 경시곡선(pH)



<그림 4-4> 지표수 수질 경시곡선(EC)



<그림 4-5> 지표수 수질 경시곡선(온도)

지표수 수질은 PH가 4~5월 높은치를 보이다가 7월 이후 수치가 낮아져 잦은 변동을 보이나 12월 이후 다시 상승하는 경향을 보여 강우량의 영향을 잘 반영하는 것으로 판단된다. 또한, EC는 9월 측정시 급격히 낮은 값은 당일 강우로 늘어난 유량과 시료채취시 포함된 빗물의 영향으로 판단되며, 11월 측정시 높은 값은 상류로부터 많은 생활폐수의 유입과 상대적으로 유량감소로 인한 변화로 판단된다. 수온은 23~27℃내외에서 8월말 이후 점차 낮아지다가 2월 이후 상승하는 경향을 보인다.

4.3. 지하수 관측조사

4.3.1. 개요

지하수위는 수문기상 조건 및 지하수의 양수 등에 따라 연중 끊임없이 변화하고 있다. 특히 동해안의 하천의 경우 대부분 하상경사가 급하고 유로연장이 짧으며 하천의 대부분은 하방침식이 주를 이루고 있으며, 이렇게 하방침식에 의해 부서진 모래, 자갈 및 부유물 등에 의해 하류부 충적층의 두께는 10~20m 정도로 두껍게 발달하고 있다. 또한 하구 주변 해안은 모래에 의한 해수욕장의 발달이 양호하다. 특히, 지하수위 분포 형태는 하류의 충적층의 지질매체 분포 및 주변의 하천의 수리적인 특성과 밀접하게 관련 있는 것으로 나타나고 있다. 일반적으로 지하수위의 강하 및 상승은 다음과 같은 여러 가지 요인에 의해 발생한다.

- 강우에 의한 지하수 함양
- 정호장에서의 채수
- 조석간만에 의한 Tidal Effect
- 대기압의 변동 및 바람의 영향
- 관정설치 주변의 하중변화
- Earth Tide(지구의 상하운동)

고양시의 지하수위 변동은 상기한 요인중에서 앞의 세가지 요인에 의하여 주로 발생한다. 또한 지하수위의 변동은 대부분 대수층의 특성과 관련이 있는 것으로 나타나고 있다. 지하수위의 변동 특성은 장기적인 관측 자료에 의한 변화 추이 분석을 통하여 얻을 수 있으며, 그 특성은 대수층의 성격과 그 능력을 평가할 수 있는 기본자료로 이용할 수 있고 지하수의 유동방향 및 부존특성 등을 제시해 주며 또한 대수층의 변동에 대한 단기적 예측의 직접적인 지표가 될 수 있다.

본 조사에서는 '3.1. 지하수 개발·이용 현황' 성과를 토대로 조사지역에 분포하는 기설 우물 중 지역적 대표성을 가지면서 지하수위 및 간이수질측정이 가능한 우물을 대상으로 관측지점을 선정하여 전술한 지표수 유량·수질측정과 동시기에 총 14회(장주기관측 140공 3회, 단주기관측 80공 11회)에 걸쳐 현장조사를 실시하였다.

가. 지하수 단주기 및 장주기 관측조사

1)관측지점 선정

지하수 개발·이용실태 조사 성과를 기초로 아래의 관측지점 설정기준에 따라 소유역의 면적을 고려하여 지하수 수위·수질 관측이 가능한 우물이 등분포될 수 있도록 하였다

- 관측지점 수는 유역면적비를 고려하여 배치
- 충적지하수 관측지점은 정호제원이 양호한 우물(우물심도와 지하수심도를 고려)을 선택하여 가능한 등분포하도록 배치
- 암반지하수 관측지점은 선형구조 및 단층대에 인접한 우물을 선정
- 암반지하수 및 충적지하수 관측이 가능한 우물이 인접한 경우 비교목적으로 선정
- 도서 및 해안인근 지역에서는 해안으로부터 내륙 방향으로 방향성을 안배.
- 지표수 유량·수질 측정지점과 연계
- 가능한한 지하수 이용이 적은 우물을 선정

기존 지하수 기초조사시는 지하수 개발·이용실태 조사를 전지역을 대상으로 전수조사 후 그 성과에 기초하여 지하수 수위·수질 관측망을 설정하였으나 금번 조사에서는 조사 예정을 고려하여 지하수 수위·수질 관측망을 먼저 설정하고 지하수 개발·이용 실태조사를 실시하였다.

본 조사에서 단주기 관측이 이루어질 지하수 수위·수질 측정지점에서는 각 지점에서 지하수위와 전기전도도(EC), 수소이온농도(pH), 수온 등 간이수질현황을 측정할 것이다. 이와 아울러 6개소의 지하수 자동수위관측기를 설치하였으며 대기압보정은 기상청자료를 토대로 실시하였다.

<표 4-5> 조사별 측정항목 및 수량

조 사 구 분	수량(개소)	빈 도	측 정 항 목	비 고
지하수위 장주기관측조사	140	분기별 1회 총3회	지하수위	
지하수위/수질 단주기관측조사	80	매월 1회 총14회	지하수위, 수질 (pH, 수온, EC)	
지하수 이용량 모니터링	150	매월 1회 총12회	지하수 이용량	
자동수위 관측조사	6	1일4회 400일	지하수위	
지표수 관측조사	2	매월 1회 14회	지표수유량, 수질 (pH, 수온, EC)	

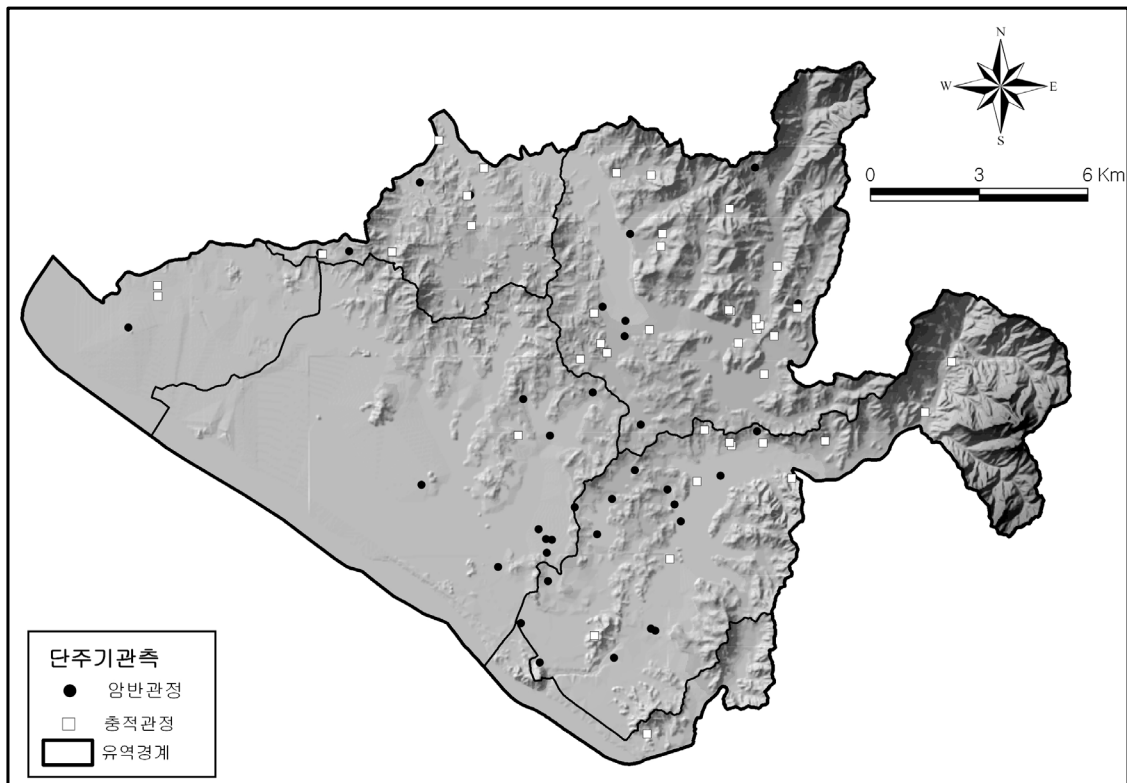
<표 4-6> 행정구역별 관측망 현황

행정 구역	면적 (km ²)	면적비 (%)	장주기관측			단주기관측			비고
			총계	암반	충적	총계	암반	충적	
고양시	267.31	100%	140	41	99	80	37	43	
덕양구	165.44	61.9%	101	31	70	64	30	34	
일산동구	59.09	22.1%	26	5	21	10	4	6	
일산서구	42.78	16.0%	13	5	8	6	3	3	

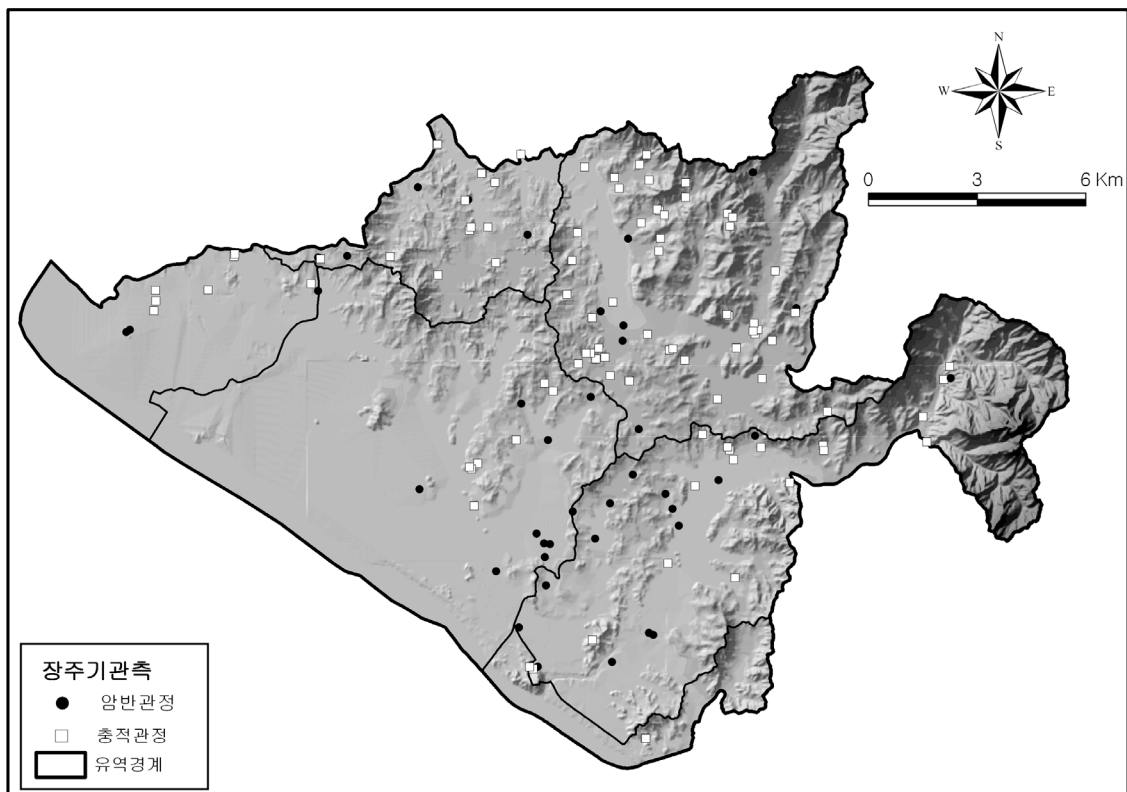
주) 참고문헌 : 고양통계연보(2007, 고양시)

<표 4-7> 유역별 관측망 현황

유역	면적 (km ²)	면적비 (%)	장주기관측			단주기관측			비고
			총계	암반	충적	총계	암반	충적	
고양시	267.31	100.0%	140	41	99	80	37	43	
창릉천	67.74	25.34%	36	17	19	28	16	12	
행주대교수위표	10.36	3.88%	2	0	2	1	0	1	
계양천	79.05	29.57%	16	9	7	10	9	1	
임진강합류점	25.45	9.52%	10	3	7	3	1	2	
공릉천하류	21.11	7.9%	19	5	14	10	4	6	
공릉천상류	63.60	23.79%	57	7	50	28	7	21	



<그림 4-6> 지하수 단주기 관측조사 지점



<그림 4-7> 지하수 장주기 관측조사 지점

4.3.2. 지하수 수위 관측

금번 조사의 지하수 수위 관측은 2007년 5월 ~ 2008년 3월까지 측정하였으며 조사 결과는 부록(II)에 수록하였다.

본 조사에서 관측한 지하수위를 설정한 강우티센에 따라 해당 지역의 강우기록과 함께 수문곡선을 작성하였다.

금회 지하수위 관측 성과와 지하수위 자동관측 성과를 이용하여 지하수 등수위 분포도 및 등심도선도를 작성하여 지하수 유동체계를 규명하였으며(제6장에 수록), 지하수위 변동특성 분석 및 인근 지표수 유량측정 지점과 연계한 강우·지표수 유량 및 지하수위간의 변동양상 분석시 기초자료로 이용하였다

<표 4-8> 지하수 관측조사

회수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	2007년										2008년			
시작일자	5.10	6.05	6.28	7.25	8.14	8.22	9.22	10.19	11.22	12.13	1.08	1.25	2.13	3.7
조사구분					장주기 관측	풍수기				장주기 관측		갈수기		장주기 관측

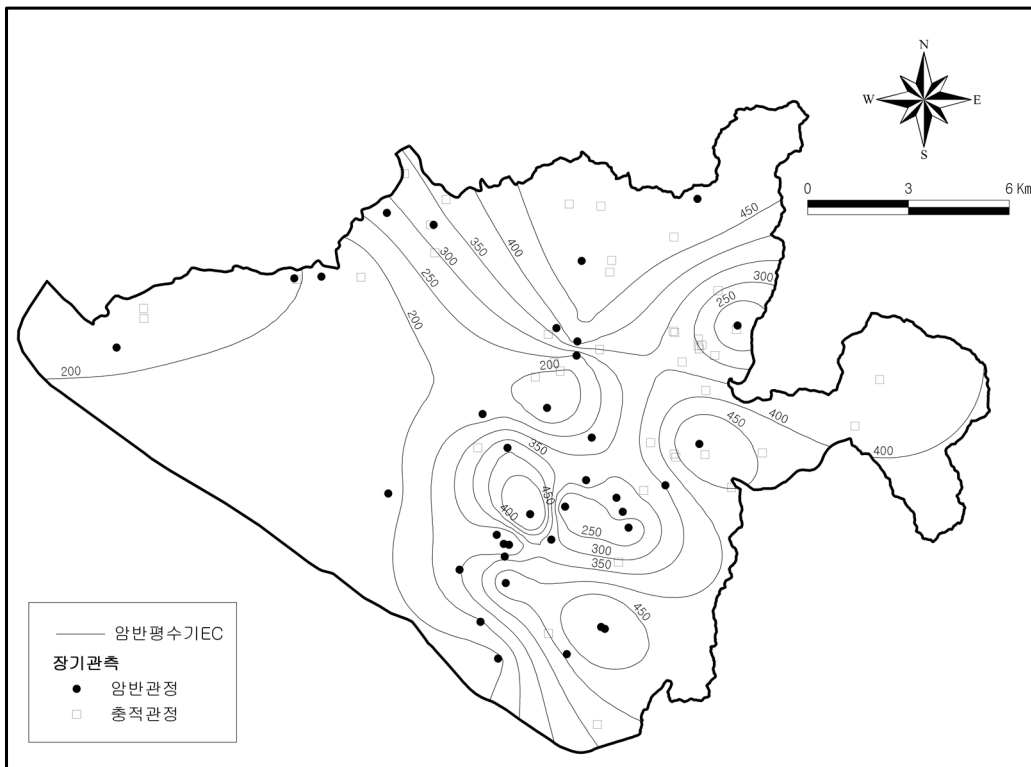
4.3.3. 지하수 수질 관측

금번 조사의 지하수 수질 관측은 전술한 지하수위 관측과 병행하여 실시하였으며이를 토대로 조사지역내의 지하수 전기전도도 및 수소이온농도 분포도를 작성하고 유역별 수질변화 형태를 분석하였다. 지하수질은 관측시기와 시료채취 심도에 따라 시공간적으로 변화가 다양하다. 따라서 1년간 측정한 지하수 전기전도도 및 수소이온농도 분포도를 작성키 위해 평균 지하수위와 가장 근접한 관측일을 기준으로 정하여 비교분석을 실시하였다

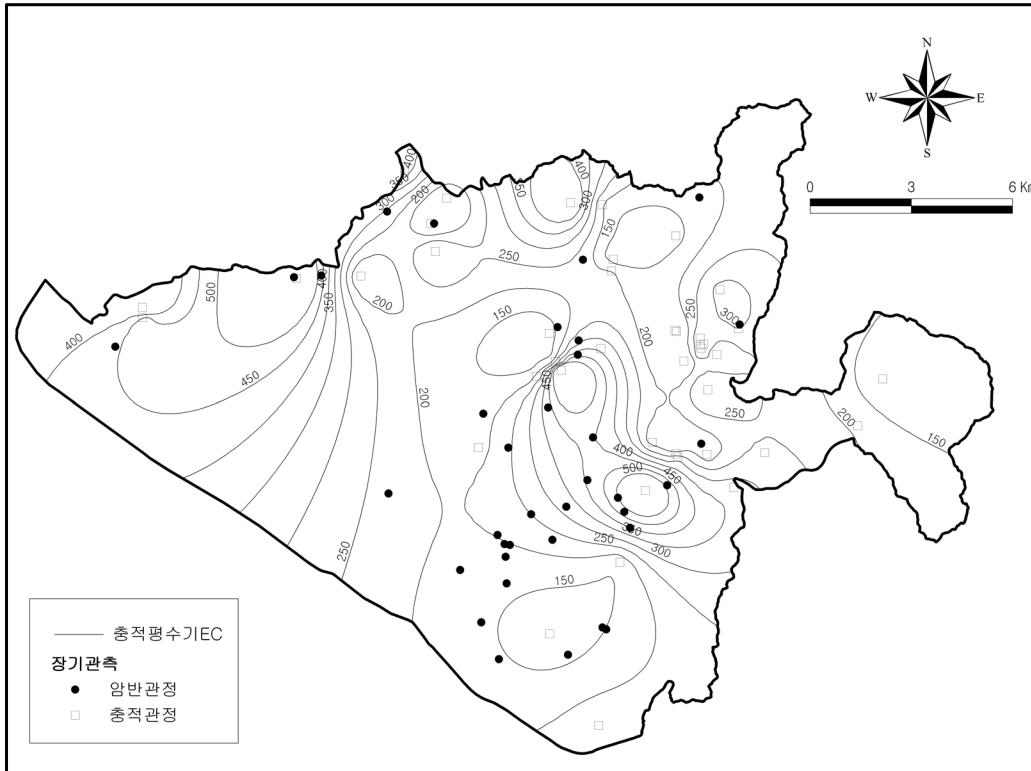
수소이온농도의 경우 충적우물은 6.54~7.32, 암반우물은 6.78~7.04의 분포범위를 보였으며 충적/암반우물의 수소이온농도가 대체로 비슷한 경향을 보였다. 전기전도도의 경우 충적우물에서 216~379 μ S/cm, 암반우물에서 236~343 μ S/cm로 분포하여 충적우물과 암반우물의 변화폭은 비슷한 경향을 보였다.

<표 4-9> 유역별 수질변동특성

대수층	유역	EC(μ S/cm)				pH			
		평균	최대	최소	중간값	평균	최대	최소	중간값
암반	창릉천	343	695	139	309	6.78	8.00	6.20	6.70
	계양천	252	472	115	221	7.04	8.00	6.20	7.00
	공릉천상류	327	583	146	324	6.71	7.50	6.00	6.70
	공릉천하류	236	394	87	248	6.97	7.80	6.30	7.00
	임진강합류점	279	359	207	285	6.78	7.30	6.60	6.70
충적	창릉천	222	810	80	182	6.82	8.10	6.20	6.80
	행주대교수위표	231	247	201	232	6.77	7.60	6.60	6.70
	계양천	235	283	176	246	6.77	6.90	6.60	6.80
	공릉천상류	216	651	86	205	6.71	8.70	6.00	6.60
	공릉천하류	288	800	92	236	6.54	7.40	6.10	6.50
	임진강합류점	379	499	240	393	7.32	9.10	6.70	7.20



<그림 4-8> 평수기 EC 등치선도(암반)



<그림 4-9> 평수기 EC 등치선도(충적)

4.3.4. 지하수위 자동관측

본 조사에서는 아래 그림과 같이 6개소 지점에 자동수위 관측기를 설치하여 1년간 6시간 간격으로 1일 4회씩 지하수위 자동관측을 실시하였다. 자동수위 관측기 설치위치는 <그림 4-10>과 같다.

가. 계측자료 오차보정

지하수위 자동측정장비는 네덜란드 Van Essen Instruments사의 Diver로서, 압력센서에 걸리는 상부의 수압을 수두로 환산하여 데이터 시스템에 기록·저장하는 장치이다. Diver와 같은 압력센서 장비는 표준대기압 1,013hPa을 기준으로 이보다 기압이 높으면 실제 수압보다 더 큰 값을 기록한다

$$p = p_{atm} + \gamma h$$

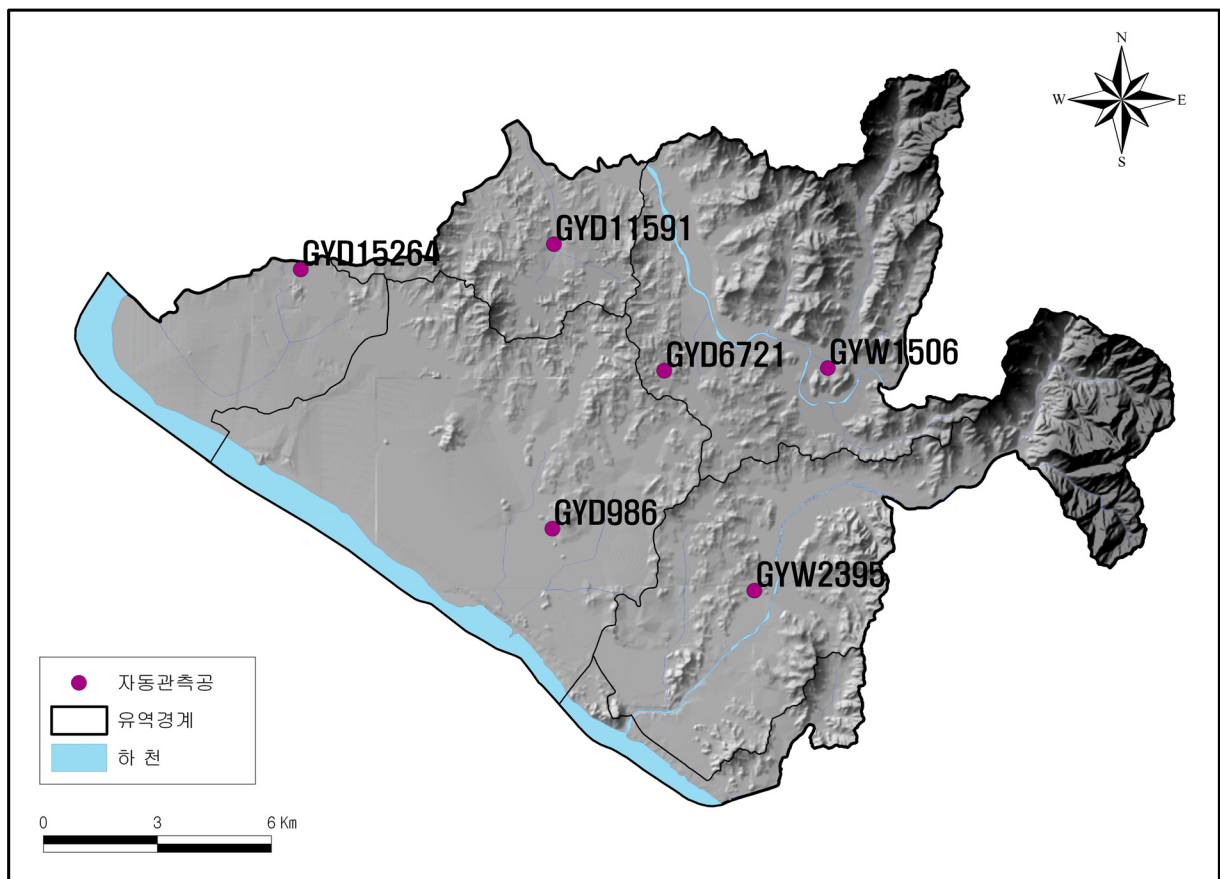
때문에 대기압 자료를 입수하여 표준 대기압과의 차이를 고려하여 압력을 보정해 주어야 한다. 즉, 대기압이 1hPa 증가할 때 물깊이는 1.020408cm 증가하여 기록되므로 그만큼 빼주어야 한다.

나. 대기압과 지하수위 변동효과분석

일반적으로 대기압의 변화는 자유면대수층보다 피압대수층에 개발된 우물의 수위변화에 더 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 대기압이 크면 지하수위가 낮아지는데 압력의 변화에 대한 지하수위 변화의 비는 대수층의 기압효율(barometric efficiency)로 표현된다.

$$B = \frac{\lambda \Delta h}{\Delta P_a}$$

여기서, B 는 기압효율, λ 는 물의 비중, Δh 는 지하수위변동, ΔP_a 는 기압변화이고 대부분의 관측된 기압효율은 20~70% 정도이다. 기상자료를 이용하여 보정한 결과 대기압이 증가하면 우물의 수위는 떨어지고 대기압이 감소하면 우물의 수위는 증가함을 알 수 있다. 그러나 이 둘의 전체변동수위관계는 다소 불규칙하게 나타나 가장 개연성이 있는 기간을 선택하여 그래프화 하였다. 이러한 효과를 감안하여 지하수위를 보정하였으며 자동관측이 완료되는 시점에 분석을 실시하고 결과를 수록하였다



<그림 4-10> 지하수위 자동관측망

다. 관측지점별 지하수위 변동 특성

본 절에서는 6개 지하수 자동관측지점을 대상으로 지하수위 변동특성 등을 검토 분석하였다. 관측기간은 2007년 5월 8일부터 2008년 6월 10일까지 400일이며 1일 6시간 간격으로 측정된 지하수위 자료를 대상으로 하였다. 자동관측 지점별 지하수위를 강우주상도와 함께 그래프로 나타내어 분석하였다.

일반적으로 지하수위 단주기 계측자료를 분석하면 관측정 설치지역의 지하수위 변동 특성을 연도별, 계절별 및 월별 등으로 파악할 수 있다. 즉, (1) 우기와 건기의 강수량의 변화가 지하수위의 장기적인 변동(long-term variations)에 미치는 영향; (2) 지하수위 변동의 계절적인 변화(seasonal variations); (3) 국지적으로 지하수를 많이 이용하는 곳에서 짧은 기간에 많은 변동을 보이는 단기간 변동(short-term variations) 등이 그것이다. 지하수를 상수도로 이용하는 경우에는 뚜렷한 일변화를 보이고 산업용과 도시공급용으로 사용할 경우에는 주간변화를 보이기도 한다.

가) GYD986

초기수위는 EL. 7.53m였으며, 관측수위의 평균은 EL. 8.02m이며, 최고수위 EL. 8.90m, 최저수위 EL. 7.28m의 범위를 보인다. 측정결과 본 관측공이 강우량에 따라 급격한 수위변동을 보이지는 않지만 전체적으로 상승과 하강이 강우량을 잘 반영하는 것으로 나타난다

나) GYW1506

초기수위는 EL. 56.40m였으며, 관측수위의 평균은 EL. 56.96m이며, 최고수위 EL. 57.20m, 최저수위 EL. 56.20m의 범위를 보인다. 측정결과 본 관측공이 강우량의 영향을 크게 받지 않고 0.5m내외의 수위변동이 일어난다.

다) GYW2395

초기수위는 EL. 10.12m였으며, 관측수위의 평균은 EL. 11.13m이며, 최고수위 EL. 13.02m, 최저수위 EL. 9.92m의 범위를 보인다. 측정결과 본 관측공은 7월과 9월의 강우량이 수위변화에 잘 반영되어 상승하고 그 이후 하강하는 경향을 나타낸다

라) GYD6721

초기수위는 EL. 23.91m였으며, 관측수위의 평균은 EL. 24.41m이며, 최고수위 EL. 25.74m, 최저수위 EL. 23.62m의 범위를 보인다. 측정결과 본 관측공은 강우량의 영향을 잘 반영하는 것으로 나타난다.

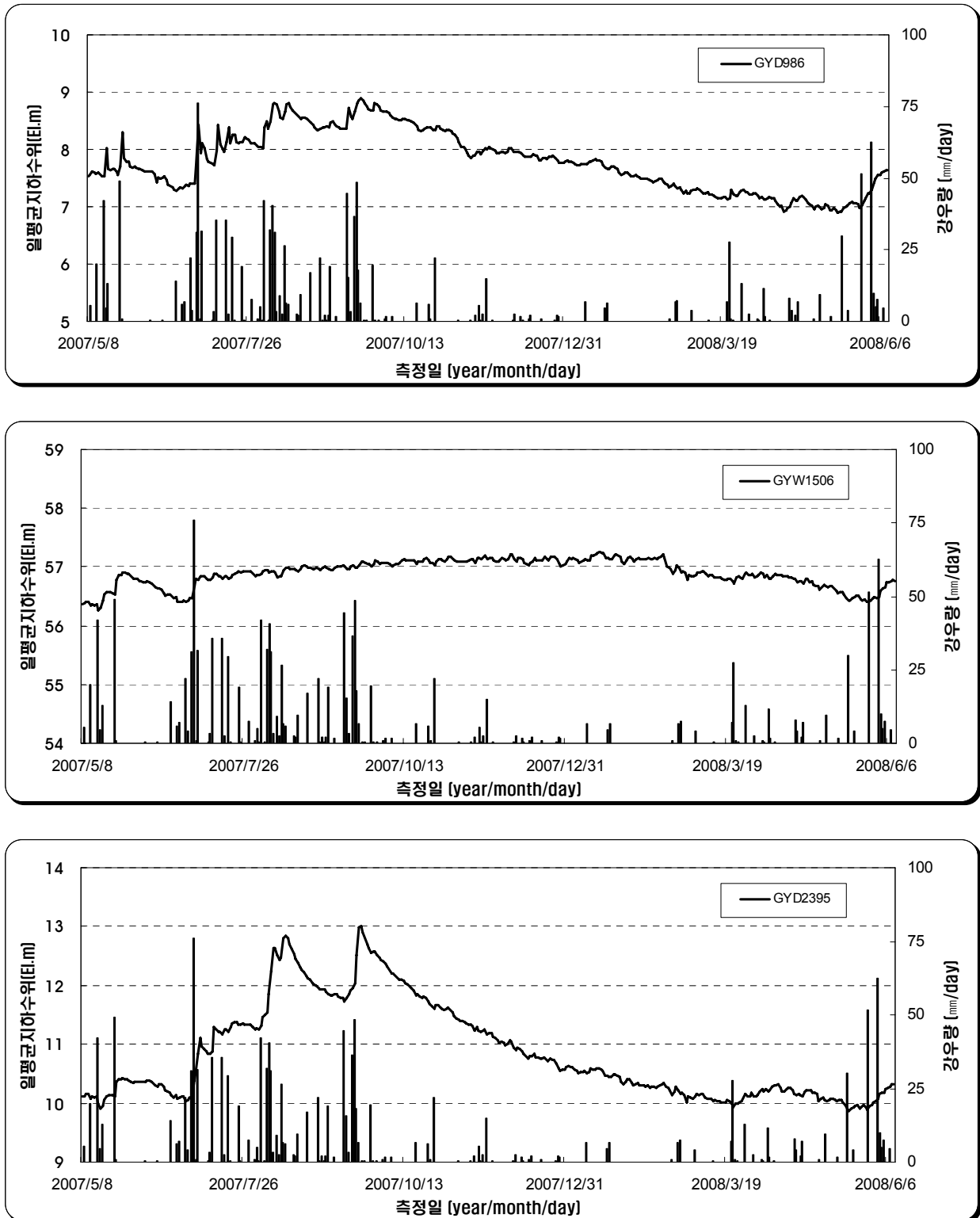
마) GYD11591

초기수위는 EL. 42.05m였으며, 관측수위의 평균은 EL. 43.24m이며, 최고수위 EL. 44.77m, 최저수위 EL. 41.58m의 범위를 보인다. 측정결과 본 관측공은 강우량의 영향을 잘 반영하는 것으로 나타나나 잦은 수위변동은 생활용으로 사용됨으로 발생하는 것으로 판단된다

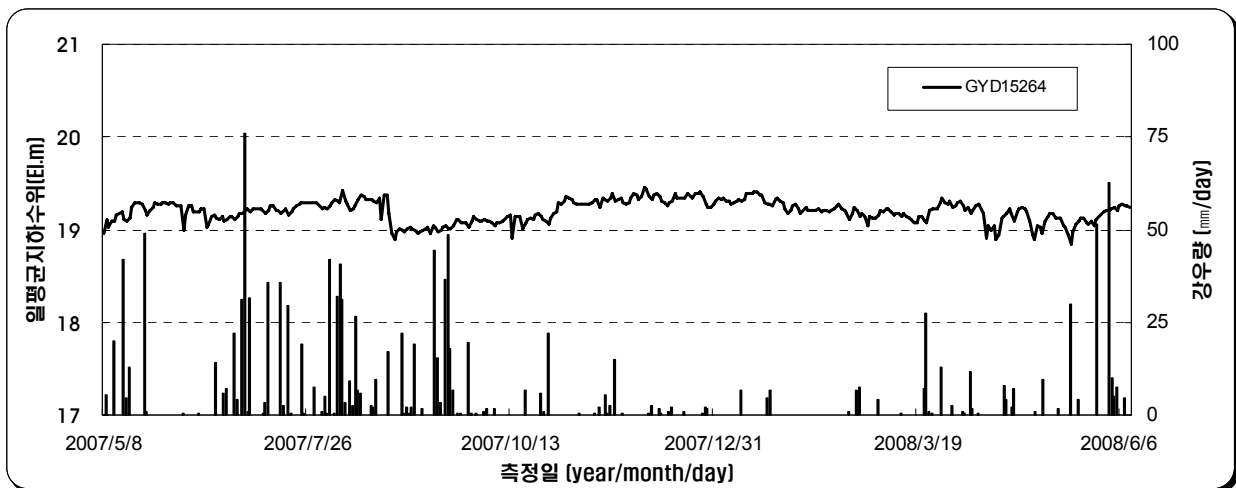
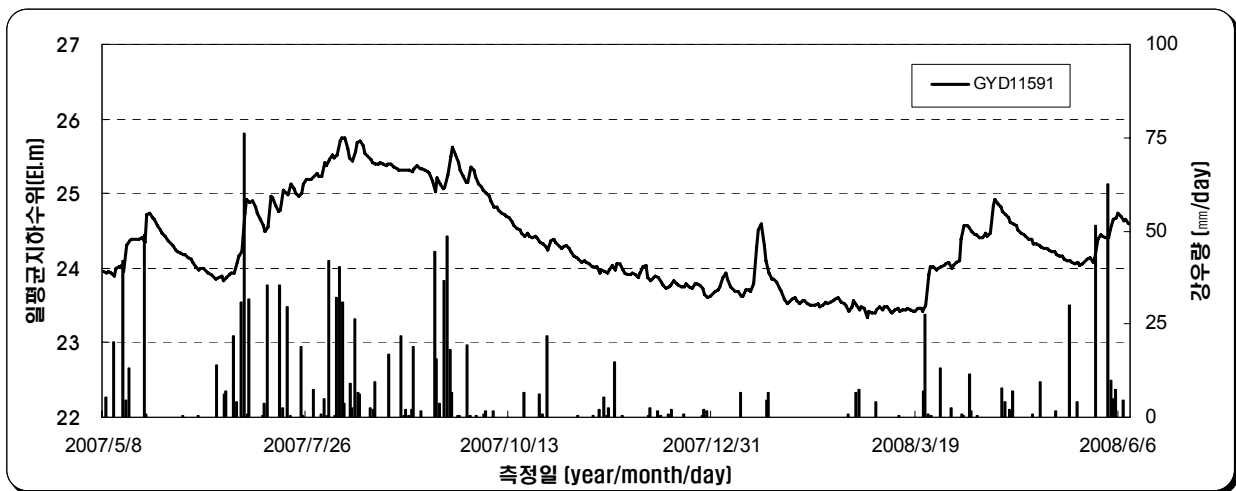
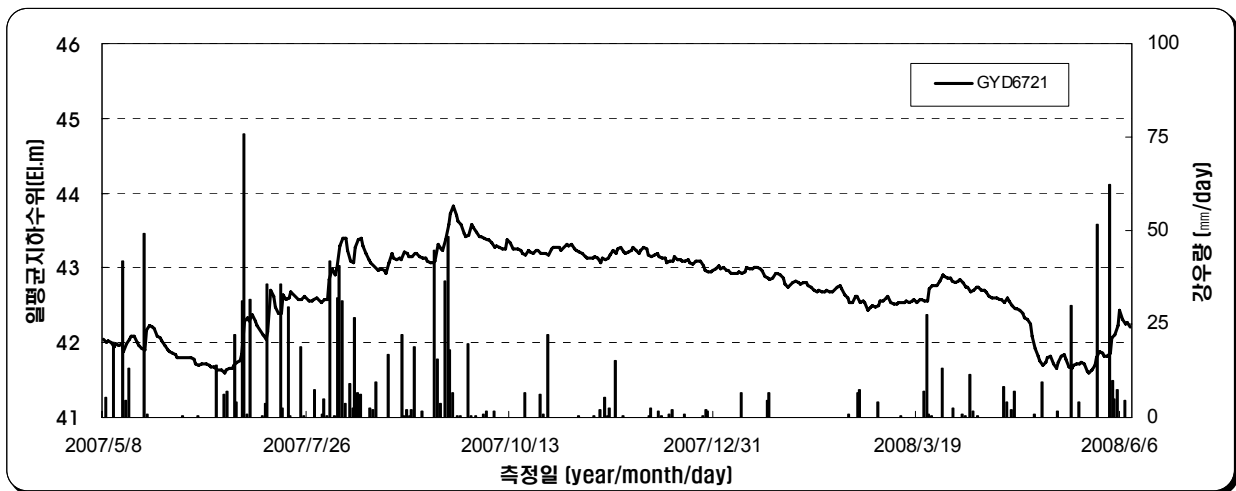
바) GYD15264

초기수위는 EL. 18.96m였으며, 관측수위의 평균은 EL. 19.22m이며, 최고수위 EL. 19.45m, 최저수위 EL. 18.89m의 범위를 보인다. 측정결과 강우량의 영향을 크게 받지 않고 일정한 수문곡선을 보이거나 이는 관측공이 평소에 사용되지 않다가 여름에 농업용으로 사용되어 수위변동에 영향을 미친 것으로 판단된다.

이상의 충적지하수 관측지점에서의 지하수 수문곡선은<그림 4-11>에 정리된 바와 같으며 강우티센에 해당하는 서울관측소의 강우기록을 함께 도시하였다



<그림 4-11> 지하수위 자동관측 수문곡선



<그림 4-11> 지하수위 자동관측 수문곡선(계속)

4.4. 전기비저항 탐사

4.4.1. 개요

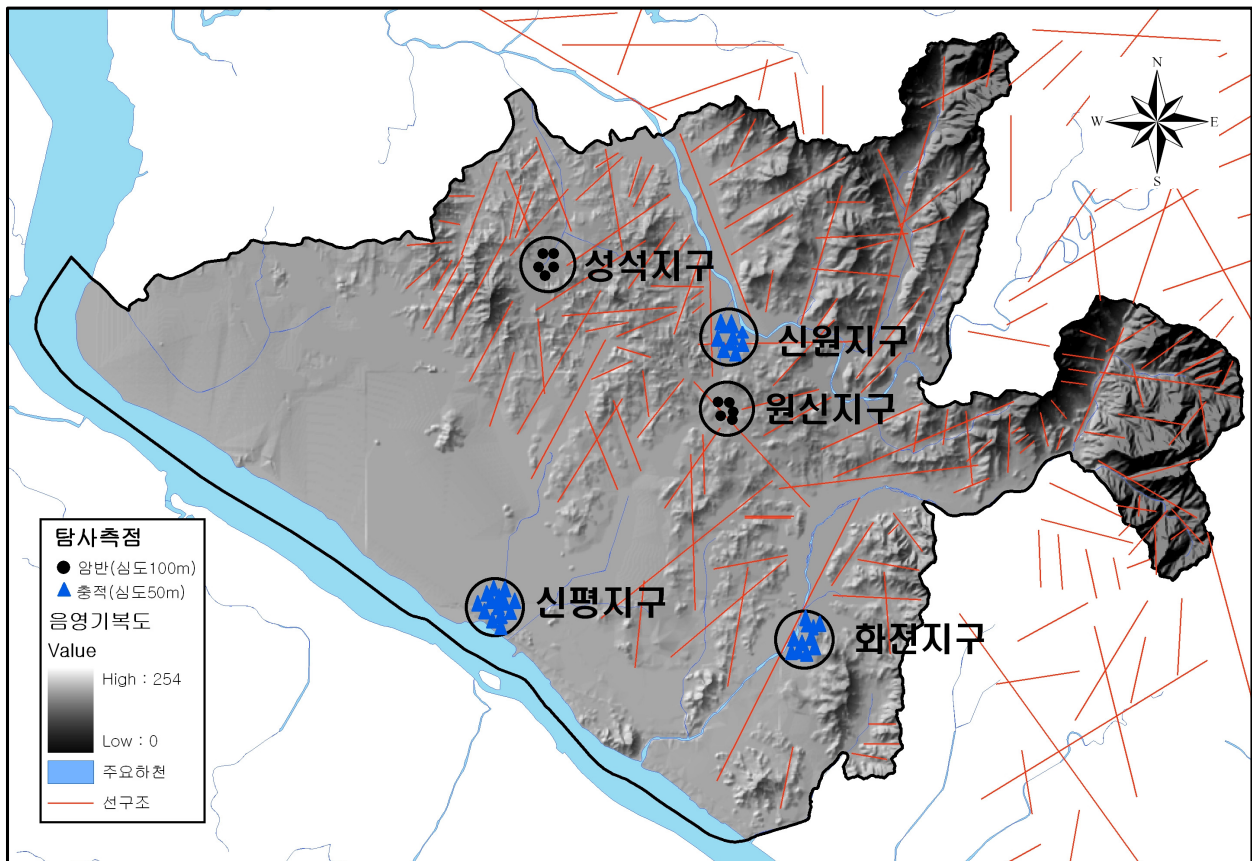
지구물리탐사는 지하매질의 물리적 성질의 차이에 기인하여 발생하는 다양한 현상들을 계측하고 그 계측된 자료를 해석하여 지하매질의 구조 및 성질을 알아내는 탐사 방법이다. 지구물리탐사는 조사 대상체의 물성과 적용탐사 기술 등에 따라 그 조사 방법과 응용분야가 매우 넓고 관측되는 물리량의 특성도 다양한데, 특히 지하수조사에서는 전기비저항 탐사가 많이 활용되고 있다. 전기비저항 탐사는 암석이나 광물의 전기전도도의 차이에 따라 발생하는 전위차를 측정하여 지하지층에 대한 정보를 추정하는 탐사법으로서 비파괴 조사이라는 잇점이 있으며 경제적이면서 동일한 기준으로 반복 계측이 가능하다는 관점에서 매우 효율적인 기법으로 알려져 있다. 전기비저항 탐사법은 전류의 크기 각 전극에서의 전위의 크기 및 각 전극간의 거리들을 정량적으로 측정 가능한 값들을 취급함으로써 정량적인 해석이 가능하고, 또 그 이론도 비교적 잘 발전되어 있어서 이론적 계산치와 현장측정치를 비교 해석할 수 있다는 점에서 매우 과학적이라 할 수 있다.

본 조사에서는 충적층 조사대상지역에서는 미고결층의 분포 범위와 규모를 파악하고 암반지하수 조사대상지역에서는 지질구조대의 발달 지하지층 분포, 함수대의 발달 상태 등을 파악하여 세부 조사 지점을 선정하는데 주 목적을 두고 전기비저항탐사를 실시하였다.

4.4.2. 탐사위치

본 조사에서 수행된 원격탐사·지형분석 및 지질 조사 성과를 토대로 GIS 중첩기법을 적용하여 고양시의 전반적인 대수층 발달 상태를 개략적으로 파악하고 기왕의 우물 개발실적 및 지하수 영향조사 보고서 등의 자료를 토대로 대수층 분류를 상호 보완하였다이를 통해 보다 객관적인 대수층 평가를 통해 전기비저항탐사 및 시추조사 위치를 선정하였다.

탐사위치 선정을 위한 선행 대수층평가는 수문지질특성 평가 기준을 수문기상 지형(고도·고도차·수계밀도·경사도)·지질(충적층두께·충적층구성물질·암상·선형구조밀도) 및 지표피복(토양·토지이용)으로 단순화하여 적용하였다. 본 선행 대수층평가는 과업초기에 이루어져 오류수정 및 보완이 완료되지 않은 입력자료를 이용하고 기 수행된 지하수 기초조사에서 이용한 평가 기준을 숙련자의 경험에 의거 조사지역에 적합하게 수정하여 적용하는 등 미비한 점이 있으나, 조사초기의 제한된 정보를 최대한 이용하여 광범위한 조사지역 중 대수층 발달상태가 양호한 지점을 도출토록 하였다.



<그림 4-12> 전기비저항탐사 위치도

4.4.3. 탐사방법

본 조사에서는 수직 전기비저항탐사(sounding method)를 실시하였으며, 이는 지표면상의 한 점에서 지하 심도에 따른 전기비저항의 수직적 변화를 측정하고 그 결과를 다른 지질 자료와 대비시켜 지하구조를 상세히 알고자 할 때 이용되는 탐사법이다. 전극 배열방법은 전위전극은 고정한 상태에서 전류전극만을 이동하는 술럼버저 배열을 이용하였다. 술럼버저 배열은 전류전극만을 이동하므로 작업과정이 간편하고 전체작업과정에서 전위전극의 위치는 고정되므로 전위전극부근의 지표면의 국부적인 불균질 매질에 의한 잡음효과도 모든 측정에서 동일하게 되므로 탐사효과의 능률을 높일 수 있다는 장점이 있다.

전기비저항탐사 측정배치도는 부록Ⅱ)에 수록하였다.

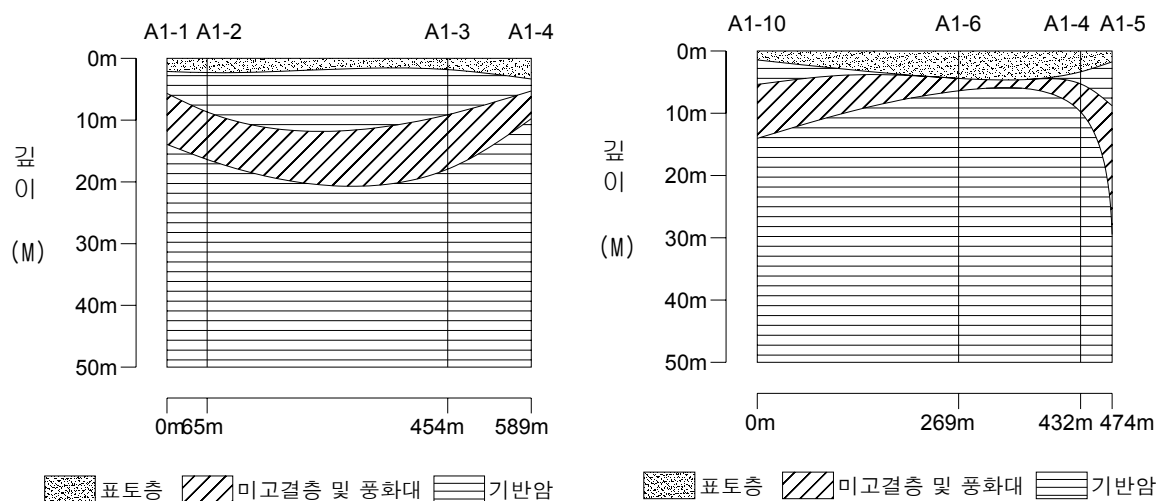
4.4.4. 탐사결과

계획된 지구별로 충적층 및 암반층 지하수의 부존특성 파악을 위한 전기비저항 탐사를 실시하였으며 그 결과를 부록(Ⅱ)에 수록하였다.

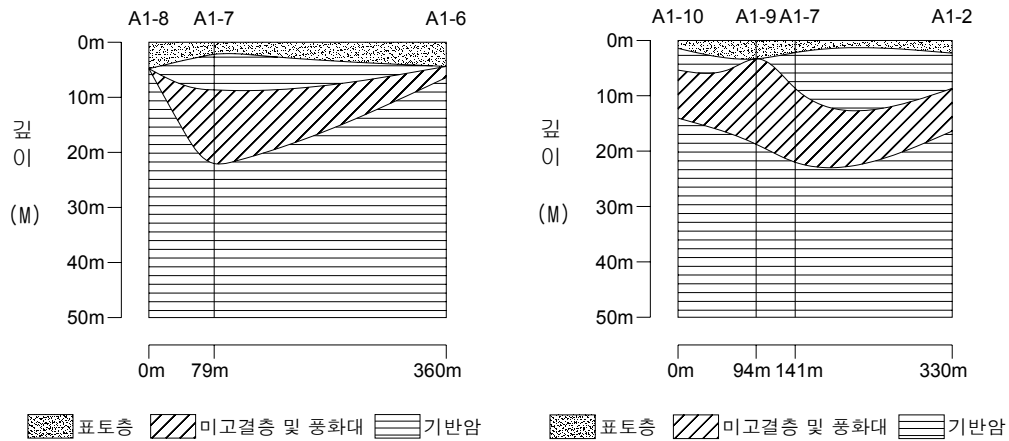
가. 충적층 지하수 전기비저항 탐사 결과

1) A-1 신원지구

본 조사 지역은 고양시 덕양구에 속한 지역으로, 공릉천 하류부에 위치하고 북동~남서방향으로 넓은 평야와 북서측의 저구릉지가 분포하고 있다 하상 퇴적층의 분포 양상 및 충적층 지하수 개발 가능성을 검토하기 위하여 심도50m를 기준으로 총 10점의 전기 비저항 수직 탐사를 실시하였으며 그 결과는 아래의 표와 같다. 탐사의 해석은 주로 수평 3층 구조로 하였으며 표토층, 미고결층 및 풍화대, 기반암으로 구분하였다. 이중 표토층은 최상부 지층으로 지표하 1.4~4.8m 구간에서 87~370Ω-m의 비저항치를 보인다 제2층인 미고결층 및 풍화대는 충적층구간을 포함한 지층으로 본 조사에서는 지표하 최소3.3m 하부구간에서 최대 29.5m구간까지 분포하는 것으로 판단되며 비저항치는 27~797Ω-m의 범위를 보인다. 미고결층 및 풍화대 하부의 기반암 구간은 최소 1.4m 구간에서 발달하였으며 지점에 따라 191~5,050Ω-m의 비저항치를 보인다 또한 기반암 하부 일부 저비저항대가 분포하는 지점은 암반의 파쇄구간으로 보인다. 충적층의 층후가 비교적 얇게 나타나며 충적지하수 개발 위치로 부적합한 것으로 판단된다



<그림 4-13> 지층단면도(A-1 신원지구)



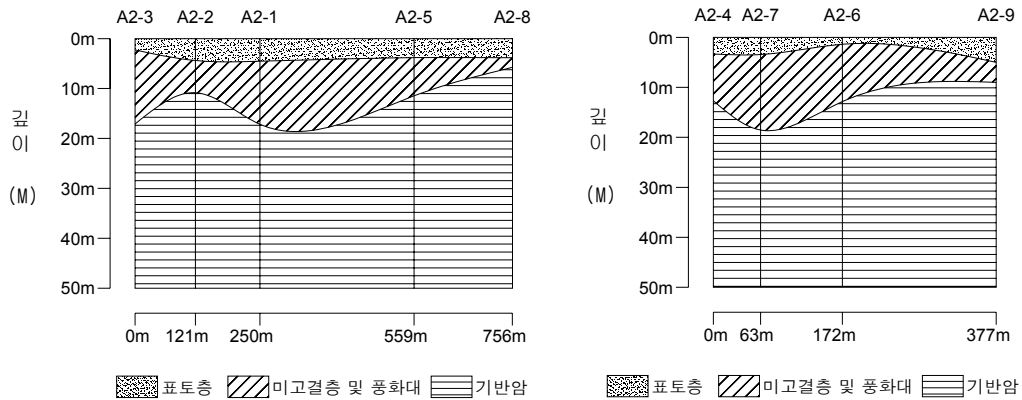
<그림 4-13> 지층단면도(A-1 신원지구)(계속)

<표 4-10> 전기비저항탐사 해석결과(A-1 신원지구)

공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω -M)	지하지질	공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω -M)	지하지질
A1-1	0.0~2.1	240	표토층	A1-6	0.0~4.4	150~267	표토층
	2.1~5.7	944	기반암		4.4~6.4	301~499	미고결층 및 풍화대
	5.7~14.00	464	미고결층 및 풍화대		6.4이하	2431	기반암
	14이하	805이상	기반암		-	-	-
A1-2	0.0~2.0	331	표토층	A1-7	0.0~2.3	247	표토층
	2.0~8.7	964~1509	기반암		2.3~8.7	692	기반암
	8.7~16.4	797	미고결층 및 풍화대		8.7~22.0	150	미고결층 및 풍화대
	16.4이하	3044	기반암		22.0이하	273~997	기반암
A1-3	0.0~1.8	407	표토층	A1-8	0.0~4.8	113~370	표토층
	1.8~9.1	1093~1435	기반암		4.8이하	1125~3204	기반암
	9.1~17.9	792	미고결층 및 풍화대		-	-	-
	17.9이하	5050	기반암		-	-	-
A1-4	0.0~3.3	479~481	표토층	A1-9	0.0~3.3	260	표토층
	3.3~5.3	842	기반암		3.3~18.7	310~349	미고결층 및 풍화대
	5.3~9.8	249	미고결층 및 풍화대		18.7이하	1102	기반암
	9.8이하	3864	기반암		-	-	-
A1-5	0.0~1.7	87	표토층	A1-10	0.0~1.4	263	표토층
	1.7~8.8	463	기반암		1.4~5.4	802~1047	기반암
	8.8~29.5	27	미고결층 및 풍화대		5.4~14.0	503	미고결층 및 풍화대
	29.5이하	191~996	기반암		14.0이하	3047	기반암

2) A-2 화전지구

본 조사 지역은 고양시 덕양구 화전동의 서남부에 위치하며 창릉천의 직하류 구간으로 비교적 넓은 충적층이 발달되어 있다. 이 지역에 대하여 총 10점의 전기 비저항 수직 탐사를 실시하였으며 그 결과는 아래의 표와 같다. 탐사결과 표토층은 위치에 따라서 지표하 1.4m~9.0m 구간에 분포하며 32~258Ω-m의 비저항치를 보인다. 미고결층 및 풍화대는 지표하 최소 5.8m 구간에서 최대 23.8m구간까지 분포하는 것으로 판단되며 비저항치는 32~605Ω-m의 비저항값을 보인다. 기반암 구간은 최소 5.8m이하 구간에서 발달하였으며 지점에 따라 58~1,500Ω-m의 비저항치를 보인다. 측점 A2-1지역이 충적층 및 풍화대 구간이 5.8m~23.8m에 분포하므로 다른 측점위치보다 착정위치로 유리할 것이다.



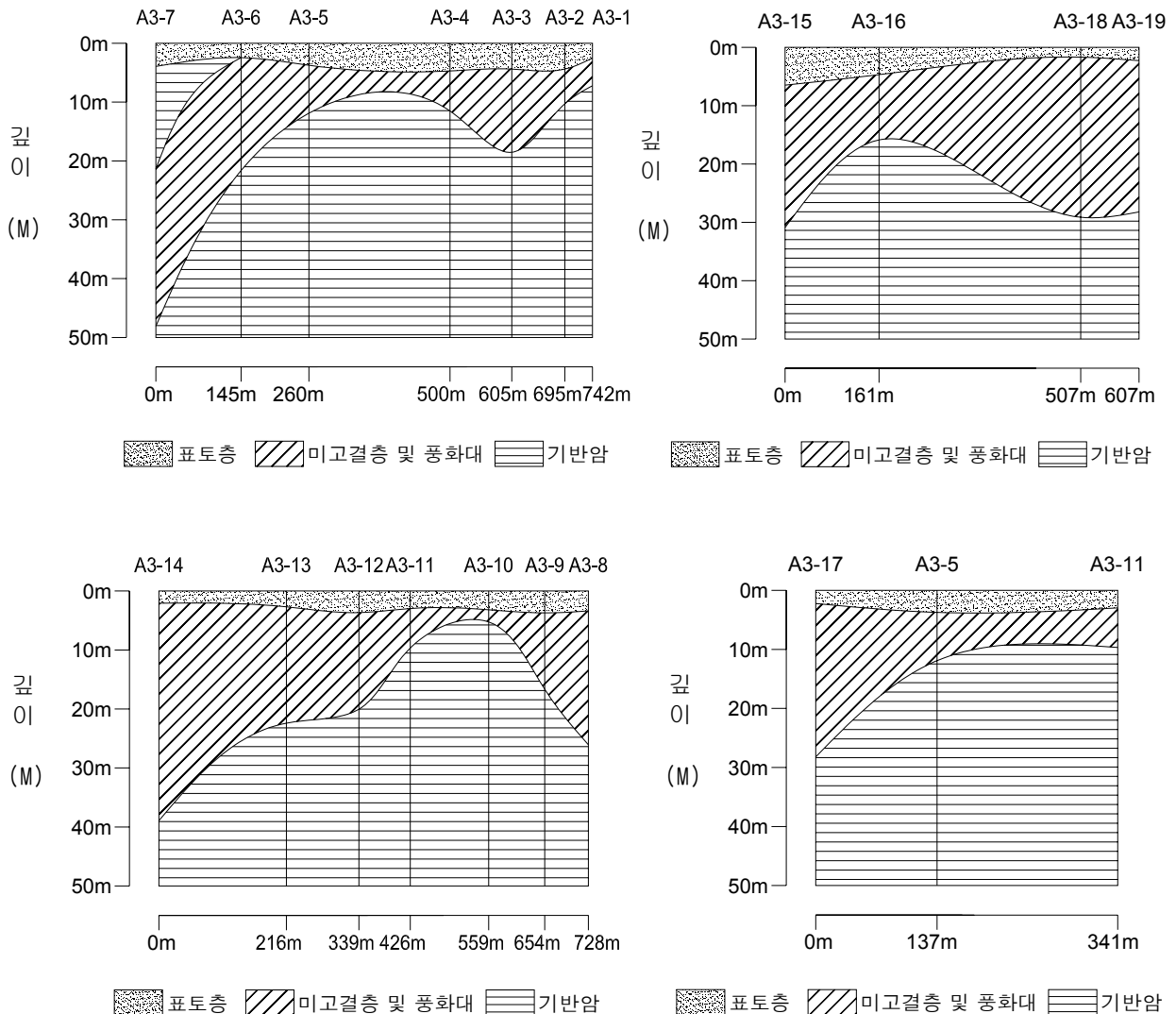
<그림 4-14> 지층단면도(A-2 화전지구)

<표 4-11> 전기비저항탐사 해석결과(A-2 화전지구)

공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω-M)	지하지질	공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω-M)	지하지질
A2-1	0.0~4.5	117	표토층	A2-6	0.0~1.4	59	표토층
	4.5~17.2	186~252	미고결층 및 풍화대		1.4~12.0	84~144	미고결층 및 풍화대
	17.2이하	324~1161	기반암		12.0이하	1527	기반암
A2-2	0.0~4.4	38	표토층	A2-7	0.0~3.4	47~105	표토층
	4.4~10.8	79~406	미고결층 및 풍화대		3.4~18.5	105~220	미고결층 및 풍화대
	10.8이하	1501	기반암		18.5이하	192~939	기반암
A2-3	0.0~2.3	74	표토층	A2-8	0.0~3.8	38~120	표토층
	2.3~17.1	37~66	미고결층 및 풍화대		3.8~5.8	92~318	미고결층 및 풍화대
	17.1이하	1100	기반암		5.8이하	1111	기반암
A2-4	0.0~3.3	69	표토층	A2-9	0.0~5.0	100	표토층
	3.3~12.7	171~208	미고결층 및 풍화대		5.0~9.0	32~605	미고결층 및 풍화대
	12.7이하	127~993	기반암		9.0이하	2094	기반암
A2-5	0.0~3.8	101~258	표토층	A2-10	0.0~9.0	72	표토층
	3.8~11.5	94~406	미고결층 및 풍화대		9.0~23.8	46~77	미고결층 및 풍화대
	11.5이하	1377	기반암		23.8이하	58~978	기반암

3) A-3 신평지구

본 조사 지역은 고양시의 서남부에 위치하며 한강의 구하상지역으로 충적층이 넓게 분포하고 있으며 하천유지 수량이 많은 지역이다 이 지역에 대하여 총 20점의 전기 비저항 수직 탐사를 실시하였으며 그 결과는 아래의 표와 같다 탐사결과 표토층은 조사지점에 따라 지표하 1.7~6.5m 구간에 분포하며 9~344Ω-m의 비저항치를 보인다 미고결층 및 풍화대는 지표하 최소 1.7m 구간에서 최대 48.1m구간까지 분포하는 것으로 판단되며 비저항치는 15~402Ωm의 비저항값을 보인다 기반암 구간은 최소5.3m이하 구간에서 발달하였으며 지점에 따라 176~1154Ω-m의 비저항치를 보인다 미고결층 및 풍화대구간 및 기반암 구간은 표토층 하부에 위치하며 조사지점에 비교적 두껍게 분포한다



<그림 4-15> 지층단면도(A-3 신평지구)

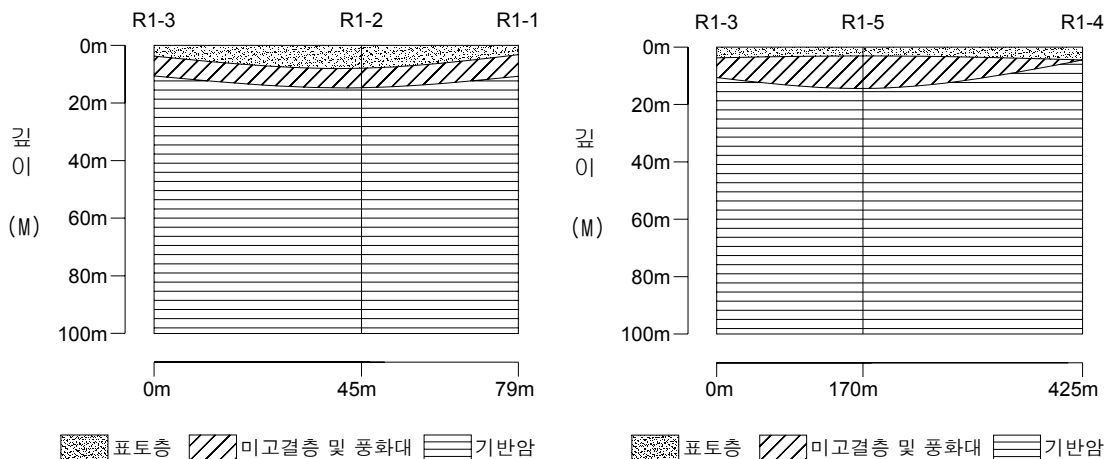
<표 4-12> 전기비저항탐사 해석결과(A-3 신평지구)

공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω -M)	지하지질	공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω -M)	지하지질
A3-1	0.0~2.5	67	표토층	A3-11	0.0~3.0	333	표토층
	2.5~7.2	31~281	미고결층 및 풍화대		3.0~9.7	40~167	미고결층 및 풍화대
	7.2이하	1141	기반암		9.7이하	1063	기반암
A3-2	0.0~4.4	344	표토층	A3-12	0.0 ~3.6	39~79	표토층
	4.4~10.3	24~402	미고결층 및 풍화대		3.6~20.0	52	미고결층 및 풍화대
	10.3이하	1154	기반암		20.0이하	51~999	기반암
A3-3	0.0~4.4	9~40	표토층	A3-13	0.0~2.7	111	표토층
	4.4~18.52	15~21	미고결층 및 풍화대		2.7~22.4	58~86	미고결층 및 풍화대
	18.52이하	1001	기반암		22.4이하	112~1005	기반암
A3-4	0.0~4.7	15~30	표토층	A3-14	0.0~2.1	98	표토층
	4.7~11.5	72~107	미고결층 및 풍화대		2.1~38.9	75~158	미고결층 및 풍화대
	11.5이하	1008	기반암		38.9이하	996	기반암
A3-5	0.0~3.7	25	표토층	A3-15	0.0~6.5	22~35	표토층
	3.7~11.9	47~152	미고결층 및 풍화대		6.5~30.9	23~34	미고결층 및 풍화대
	11.9이하	1005	기반암		30.9이하	999	기반암
A3-6	0.0~2.4	88	표토층	A3-16	0.0~4.7	73	표토층
	2.4~21.6	27~82	미고결층 및 풍화대		4.7~15.8	15~58	미고결층 및 풍화대
	21.6이하	1001	기반암		15.8이하	1026	기반암
A3-7	0.0~3.9	23~60	표토층	A3-17	0.0~2.2	52	표토층
	3.9~21.3	176	기반암		2.2~28.2	120~158	미고결층 및 풍화대
	21.3~48.1	107	미고결층 및 풍화대		28.2이하	999	기반암
	48.1이하	993	기반암		-	-	-
A3-8	0.0~3.4	54	표토층	A3-18	0.0~1.7	52	표토층
	3.4~26.1	23~62	미고결층 및 풍화대		1.7~29.1	73~130	미고결층 및 풍화대
	26.1이하	1000	기반암		29.1이하	1001	기반암
A3-9	0.0~3.7	124	표토층	A3-19	0.0~2.3	103	표토층
	3.7~16.7	26~95	미고결층 및 풍화대		2.3~28.2	142~249	미고결층 및 풍화대
	16.7이하	1006	기반암		28.2이하	1000	기반암
A3-10	0.0~3.2	22~42	표토층	A3-20	0.0~2.7	45	표토층
	3.2~5.3	59~138	미고결층 및 풍화대		2.7~29.6	98~103	미고결층 및 풍화대
	5.3이하	1010	기반암		29.6이하	110~995	기반암

나. 암반지하수 전기비저항 탐사 결과

1) R-1 성석지구

본 조사 지역은 공릉천의 하류부에 위치하며 북동~남서 방향으로 넓은 평야와 북서측의 저구릉지가 분포하고 있다 이 지역에 대하여 심도 100m를 기준으로 총 5점의 전기비저항 수직 탐사를 실시하였으며 그 결과는 아래의 표와 같다 표토층은 주로 지표에서부터 최소 3.0m에서 최대 8.0m에 분포하며 29~132Ω-m의 비저항치를 보인다 미고결층 및 풍화대는 표토층 하부에 발달하고 지표하 3.0m~14.7m에 분포하며 비저항치는 92~1,399Ω-m의 범위를 보인다 기반암 구간은 최소 4.5m이하 구간에서 발달하였으며 지점에 따라 303~3,004Ω-m의 비저항치를 보인다 기반암에서는 조사지역 전반적으로 특이한 이상대가 관찰되지 않는다.



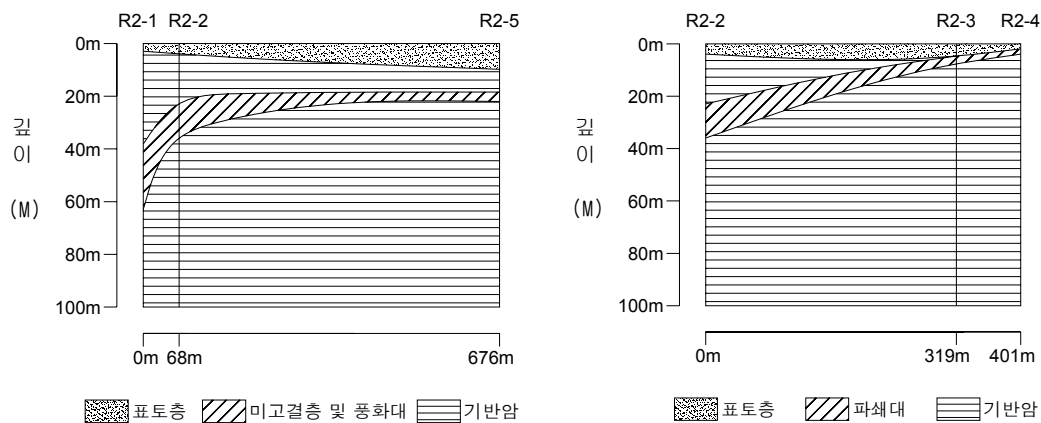
<그림 4-16> 지층단면도(R-1 성석지구)

<표 4-13> 전기비저항탐사 해석결과(R-1 성석지구)

공변	심도 (m)	전기비저항 (Ω-M)	지하지질	공변	심도 (m)	전기비저항 (Ω-M)	지하지질
R1-1	0.0~3.3	102	표토층	R1-4	0.0~4.5	95~132	표토층
	3.3~10.8	156~1399	미고결층 및 풍화대		4.5이하	500~3004	기반암
	10.8이하	1413	기반암		-	-	-
R1-2	0.0~8.0	102	표토층	R1-5	0.0~3.0	60	표토층
	8.0~14.7	92~290	미고결층 및 풍화대		3.0~14.4	187	미고결층 및 풍화대
	14.7이하	1777	기반암		14.4이하	499~1503	기반암
R1-3	0.0~3.7	29~111	표토층	-	-	-	-
	3.7~10.6	203	미고결층 및 풍화대		-	-	-
	10.6이하	303~999	기반암		-	-	-

2) R-2 원신지구

본 조사 지역은 고양시 덕양구에 속하며 북동쪽으로 공릉천이 곡류하고 공릉천 북쪽 하류에서 갈라져 나온 원당천이 서남쪽으로 흐른다. 저구릉지의 산지가 발달하고 남서측으로는 주거지가 분포하고 있다. 이 지역에 대하여 심도 100m를 기준으로 총 5점의 전기 비저항 수직 탐사를 실시하였으며 그 결과는 아래의 표와 같다. 표토층은 주로 지표에서부터 최소 1.9m에서 최대 9.8m에 분포하며 59~131 Ω -m의 비저항치를 보인다. 표토층 하부의 저비저항대는 기반암 사이에 분포하고 있으며 암반의 파쇄구간으로 판단되며 지표하 1.9m~62.9m에 분포하고 비저항치는 272~423 Ω -m의 값을 띤다. 기반암 구간은 지표하 최소 2.9m이하 구간에서 발달하였으며 지점에 따라 325~1,460 Ω -m의 비저항치 범위를 보인다. 또한 R2-1, 2 지점은 기반암 하부에 파쇄대가 발달되어 있어 지하수의 산출이 용이한 지점으로 판단된다.



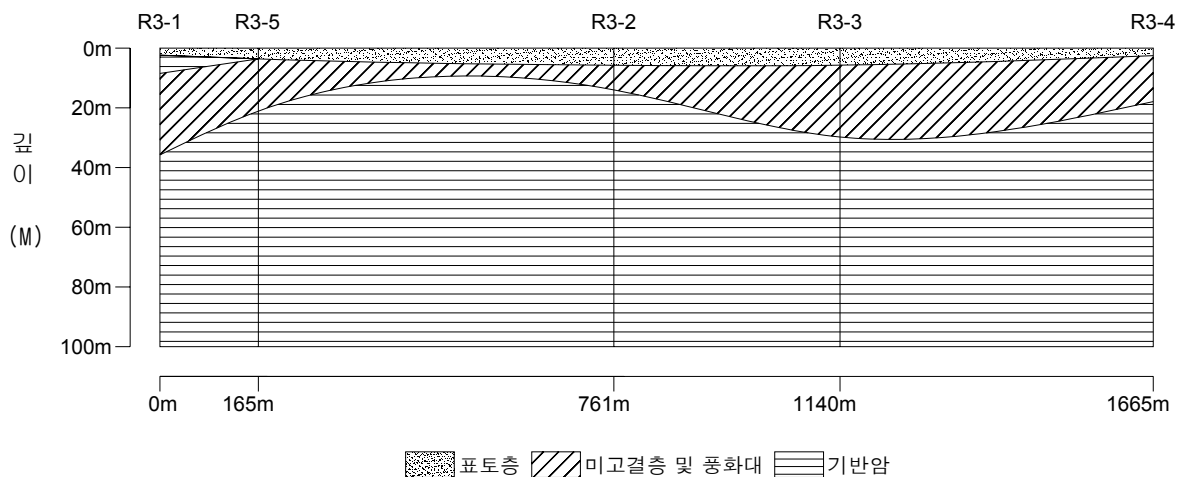
<그림 4-17> 지층단면도(R-2 원신지구)

<표 4-14> 전기비저항탐사 해석결과(R-2 원신지구)

공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω -M)	지하지질	공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω -M)	지하지질
R2-1	0.0~2.9	77	표토층	R2-4	0.0~1.9	81	표토층
	2.9~38.1	469	기반암		1.9~3.9	303~673	파쇄대
	38.1~62.9	300	파쇄대		3.9이하	568~1096	기반암
	62.9이하	402~1001	기반암				
R2-2	0.0~3.9	130	표토층	R2-5	0.0~9.8	131	표토층
	3.9~22.9	1460	기반암		9.8~18.4	390	기반암
	22.9~36.0	423	파쇄대		18.4~22.0	278	파쇄대
	36.0이하	325~949	기반암		22.0이하	997	기반암
R2-3	0.0~4.6	59	표토층	-	-	-	-
	4.6~7.7	272	파쇄대				
	7.7이하	440~969	기반암				

3) R-3 효자지구

본 조사 지역은 고양시 덕양구에 속하며 북한산의 북사면을 끼고 북동에서 남서로 길게 놓여 있다. N45W방향으로 흑운모화강암과 편마암의 암종 경계부로서 창릉천 상류부에서 골짜기를 이루어 하천을 형성하고 있으며 하천을 따라 농경지 및 나대지가 소규모로 분포하고 있다. 이 지역에 대하여 심도 100m를 기준으로 총 5점의 전기 비저항 수직 탐사를 실시하였으며 그 결과는 아래의 표와 같다. 표토층은 주로 지표로부터 최소 2.3m에서 최대 5.7m에 분포하며 186~606Ω-m의 비저항치를 보인다 표토층 하부에 미고결층 및 풍화대 구간은 지표하 2.5m~35.8m에 분포하고 비저항치는 85~300Ω-m의 값을 띤다. 기반암 구간은 지표하 최소 2.3m이하 구간에서 발달하였으며 지점에 따라 210~1,023Ω-m의 비저항치를 보인다 또한 R3-1지점은 기반암 상부 구간에서 미고결층 및 풍화대가 중간에 발달되어 있다



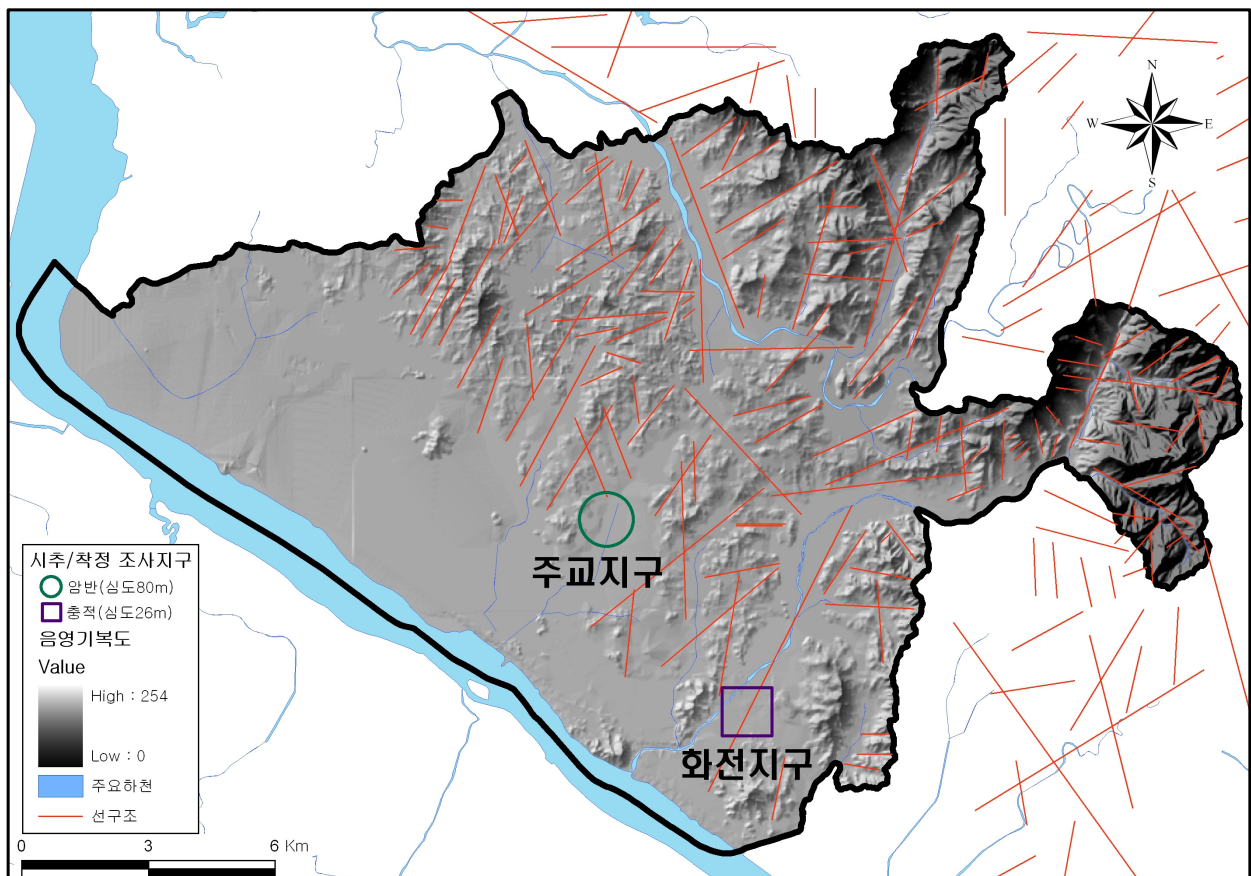
<그림 4-18> 지층단면도(R-3 효자지구)

<표 4-15> 전기비저항탐사 해석결과(R-3 효자지구)

공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω-M)	지하지질	공번	심도 (m)	전기비저항 (Ω-M)	지하지질
R3-1	0.0~2.3	318	표토층	R3-4	0.0~2.5	216	표토층
	2.3~8.5	658	기반암		2.5~17.9	85	미고결층 및 풍화대
	8.5~35.8	217~300	미고결층 및 풍화대		17.9이하	210~1021	기반암
	35.8이하	972	기반암		-	-	-
R3-2	0.0~5.7	606	표토층	R3-5	0.0~3.6	186	표토층
	5.7~14.0	194	미고결층 및 풍화대		3.6~21.1	208	미고결층 및 풍화대
	14.0이하	614~969	기반암		21.1이하	304~1009	기반암
R3-3	0.0~5.7	476	표토층	-	-	-	-
	5.7~29.8	91	미고결층 및 풍화대		-	-	-
	29.8이하	404~1023	기반암		-	-	-

4.5. 시추 및 착정조사

기존자료 분석 결과와 지표지질조사 및 전기비저항탐사 등의 자료를 종합 검토하여 대수성이 양호한 곳으로 예상되는 지점에 대하여 지하지질 분포상태와 대수층 수리특성인(대수리전도도, 투수량계수, 저류계수, 비양수량 등)을 정량적으로 파악하기 위하여 총 2개 지역에서 시추조사 및 착정조사를 실시하였다. 시추조사는 지하 지질분포 상태를 파악하기 위하여 충적지하수, 암반지하수 각 1개소씩 총 2개소에서 시추조사지점 인근에서 실시하였다. 시추조사시 표준관입시험과 수압시험을 병행하였으며 착정조사 후 물리검층과 대수성시험을 실시하였다. 또한 시추조사시 획득한 표준관입시험료와 6개소의 미고결 퇴적층 시험료에 대해서는 입도분석을 실시하였다.



<그림 4-19> 시추 및 착정 조사위치도

4.5.1. 조사방법

가. 시추조사

시추조사는 지층구성, 투수특성, 및 시료채취를 위하여 충적층 및 암반층을 굴착하였다. NX($\Phi 75.4\text{mm}$)로 굴착한 다음 PVC 유공관과 무공관을 설치하였다. 시추작업 종료후에 공내에 잔존하는 이물질을 제거하기 위해 공내 청소를 깨끗이 하고 시추공의 보호를 위해 보호공을 설치하였다. 시추시 미고결 지층들에 대하여 KSF 2318 규정에 의거하여 표준관입시험(SPT)을 실시하여 지층의 N치를 구하였고, 그 결과를 주상도에 수록하였다. 표준관입시험 후 채취한 시료는 공변, 심도, 날짜, 지질, N치를 표기한 시료병에 넣어 시료상자에 보관하였다. 암반구간에서 채취한 코아도 심도순으로 배열하여 시료상자에 보관하였다.

나. 수압시험

1) 개요

암반층에서의 투수특성 평가를 위해서는 시추조사와 병행하여 수압시험(Lugeon test)을 시행한다. 암반대수층같은 파쇄공극매체(Fractured media)의 대수성 수리 특성은 일반적으로 1차 공극보다 2차 공극인 절리·파쇄대·균열대 및 단층 등의 지배를 받는다.

결정질암에서는 이런 2차 공극을 통해서 지하수 유동이 일어나므로 수압시험은 이들 구간의 수리적 특성을 파악하는데 매우 유용한 현장측정 방법이다. 수압시험의 주된 목적은 다음과 같다.

- 암질지수(RQD) 및 코아회수율(core recovery)과 수리전도도와의 상관관계
- 지하수 유동에 결정적인 영향을 미치는 2차 유효공극 중 절리, 파쇄대, 균열대 및 단층 등과 같은 지질구조대와 수리전도도 관계 규명

2) 시험 및 해석 방법

수압시험은 시추공의 특정구간에 packer를 설치하고, 이 구간에서 일정한 압력으로 물을 주입하여 단위시간 동안에 지층으로 주입된 물의 양을 측정하여 시험구간의 수리전도도를 산출하는 방법이다. 수압시험에서는 팩커의 설치방법에 따라 single packer 방식과 double packer 방식으로 구분한다. single packer 방식은 시추조사를 진행하면서 하향식(down stage)으로 수압시험을 실시하고, double packer 방식은 시추조사를 완료한 후 시험구간의 이동 방법에 따라 상향식(up stage)으로 시험을 실시한다.

본 과업에서는 암반 시추조사공을 대상으로 현장여건에 따라 5~10m 시험구간을 대

상으로 double packer 방식을 이용하여 하향식 또는 상향식으로 수압시험을 수행하였으며 파쇄가 심하여 packer의 설치가 어려운 구간은 제외하였다. 압력은 가압에서 감압방식으로 1, 3, 5, 7, 9, 7, 5, 3, 1kg/cm²의 5단계를 연속적으로 주입하였고, 각 단계별 측정시간은 최소 10분간 시행하였다.

Lugeon값은 유효주입압력이 10kg/cm²일 때를 기준으로 하지만, 규정압력 이외의 압력에서는 다음 식으로 환산하여 구하였다.

$$L_u = \frac{10Q}{PL} = \frac{10Q_0}{P}$$

Q : 분당 주입량 (ℓ/min)
P : 유효주입압력(kgf/cm²)

Q₀ : 단위 길이에 대한 분당 주입량 (ℓ/min/m)
L : 시험구간(m)

암반을 균질, 등방으로 가정하여 Darcy의 법칙을 적용하면 다음 식으로 Lugeon 값을 수리전도도(K, cm/sec)로 환산할 수 있다.

$$K = \frac{2.3 \cdot (Q/60)}{2\pi HL} \times \log \frac{L}{r} = \frac{Q}{H} \cdot C$$

K : 투수계수(cm/sec)
r : 공반경(cm)

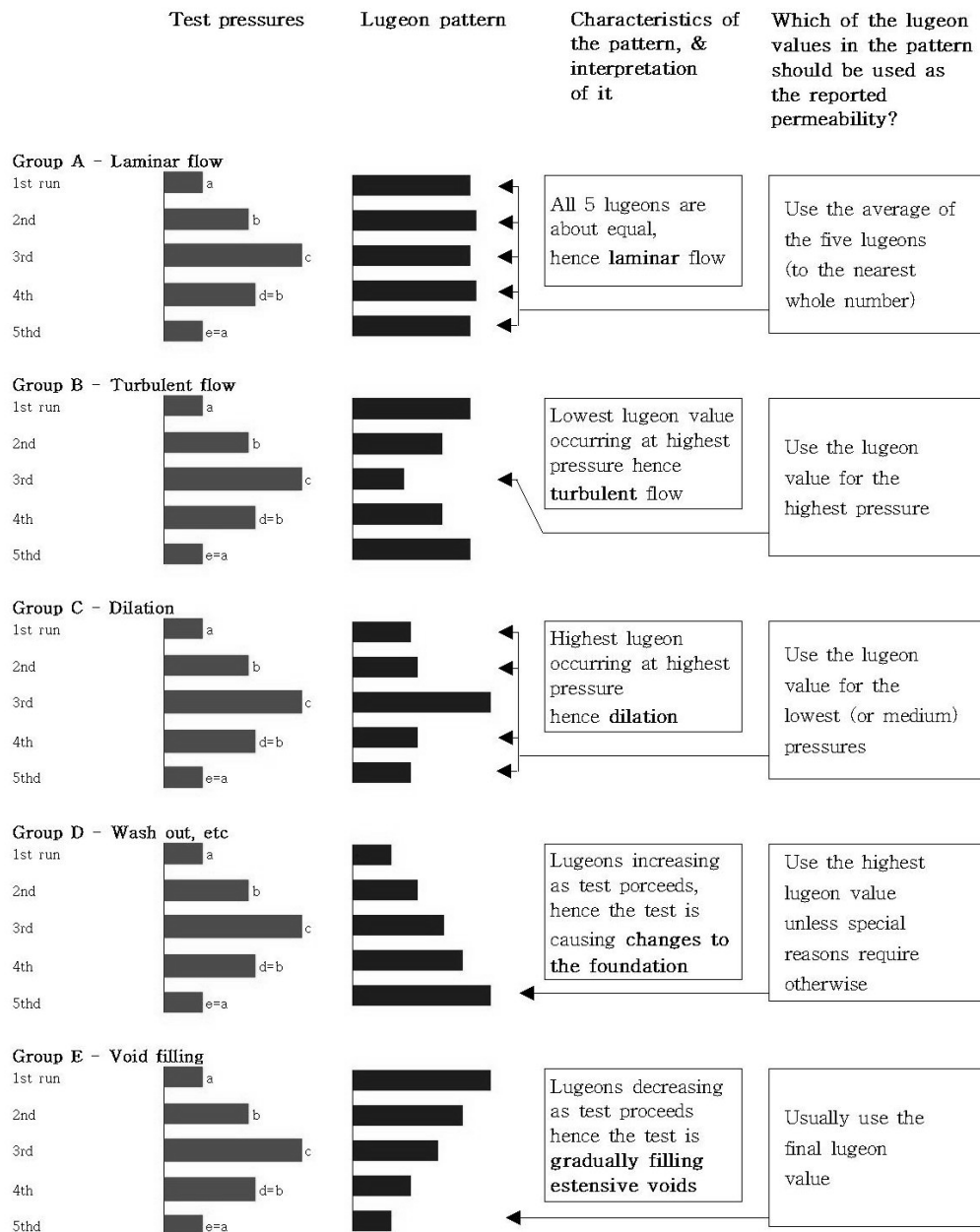
Q : 주입수량(cm³/sec)
H : 총수두(cm)

L : 시험구간(cm)

시험공경이 40~80mm의 경우 1Lu은 대략 1×10⁻⁵ cm/sec 정도이다. Houlsby(1992)는 <그림 4-22>와 같이 각각의 유효 주입압력에 대한 환산 Lugeon 값의 형태로 암반의 수리지질특성을 5개의 그룹으로 분류, Lugeon 값을 해석하는 방법을 제시하였다.

- Group A(Laminar flow) : 층류이고, 압력과 주입량이 비례하며 각 단계에서 계산되는 Lugeon값이 거의 비슷하므로 Lugeon 값은 평균값을 적용.
- Group B(Turbulent flow) : 주입수의 압력에 의해 균열이 막히거나 균열의 폭이 넓을 때 또는 두 가지 경우가 복합적으로 작용할 때 나타나는 양상으로 최대압력에서 가장 작은 Lugeon 값이 계산되므로 Lugeon 값은 최대압력의 Lugeon 값을 적용.
- Group C(Dilation) : 주입수에 의해 일시적으로 균열이 열리거나 암체가 수축될 때 나타나는 양상으로 최대압력에서 가장 큰 Lugeon 값이 계산되며 Lugeon 값은 최소 (또는 중간) 압력의 Lugeon 값을 적용.
- Group D(Wash-out) : 주입수에 의해 균열의 틈새에 협재되어 있던 충전물이 이동하거나, 암체의 변형이 발생하여 영구적으로 균열이 확장될 때 나타나며 Lugeon값은 주입압력의 변화에 상관없이 시험이 진행되는 동안 커지므로 마지막 단계의 최대값을 적용.

- Group E(Void filling) : 시험이 진행되는 동안 주입수가 연결성이 없는 균열이나 공극을 채울 때 나타나는 현상으로 Guerra(1968)는 이 현상이 부분적으로는 주입수가 미세한 균열에 압력을 가할 때 일어나는 모세관 저항에 기인하는 것으로 설명하며 Lugeon 값은 주입압력의 변화에 상관없이 시험이 진행되는 동안 작아지므로 마지막 단계의 값을 적용.



* Calculated using direct proportion to relate to Lugeon's "definition" pressure of 10 bars

Note: This figure gives general patterns only. Discretion is necessary in adapting these to the variations met in practice

<그림 4-20> 수압시험 결과에 따른 Lugeon pattern의 해석

다. 착정조사

1) 개요

금번에 설치한 착정조사공은 시험정으로 활용하며 비고결암 대수층의 착정조사공에서는 $\Phi 300\text{mm}$ 로 풍화대 하부 연암층 상부까지 굴착한 후 $\Phi 200\text{mm}$ 정호자재를 설치하였는데 지하수위 상부까지는 무공관, 지하수위 하부의 포화대에는 유공관을 설치하였다 지표하 3m까지는 지표오염물질의 유입을 방지하기 위해서 Grouting을 실시하였다.

암반대수층의 착정조사시 비고결암층에는 $\Phi 300\text{mm}$ 굴착 후 $\Phi 200\text{mm}$ 무공관을 설치하였고, 하부 암반구간에서는 $\Phi 200\text{mm}$ Button Bit를 사용하여 공저까지 충격회전식 공법으로 굴착하고 나공상태를 유지하였다

착정조사 완료 후 고압공기 압축기를 이용하여 공내에 잔존된 이물질을 제거하기 위한 공내청소(Air surging)를 청수가 나올 때까지 시행하였으며, 보호공을 설치하였다. 착정조사시 산출된 시료는 매 3m 간격으로 채취하여 심도순으로 시료상자에 보관하였다

착정주상도의 지하지질은 시추주상도와 동일하게 표기하였으며 시추주상도를 바탕으로 전술한 조사 결과 외에 지하수위, 케이싱 설치심도, 스크린 설치구간 등을 동시에 표기하였다.

4.5.2. 조사성과

가. 시추조사

지하지질 분포상태, 지층의 암상변화, 단열구조상태, 상대적인 투수성, 수질의 수직적 변화 등 대수층 특성과 대수성 시험을 통한 대수층 수리특성을 파악하기 위하여 미고결암 및 암반 대수층을 대상으로 시추조사를 실시하였다 미고결암 대수층을 대상으로 한 시추공은 덕양구 화전동에 설치하였는데, 조사지역에 발달되어 있는 미고결암층의 분포범위와 규모를 파악하고, 대표 지층의 입도특성 및 심도특성 등을 분석하고자 풍화대 하부 암반층 상부까지 굴착하였다. 암반대수층을 대상으로 한 시추공은 1차 공극 보다는 단층, 파쇄대 등의 2차 공극을 따라 유동 및 저류되기 때문에 전기비저항탐사에 의해 확인된 지질구조선들이 발달한 지점에 설치하였다. 시추공은 조사완료 후 대수성시험의 관측정 및 시험정으로 각각 활용되었다.

시추조사에 의한 지하지질구성 및 표준관입시험 성과는 다음<표 4-16~17>와 같다.

<표 4-16> 지하지질구성

구 분	공 번	행정구역	지층구성(m)							SPT (회)
			점토	모래	풍화암	연암	보통암	경암	계	
총계			11.1	27.7	5.4	5.6	44.2	12.0	106.0	28
충적지하수	GYE16092	덕양구 화전동	4.8	16.2	3.7	1.3	-	-	26.0	16
암반지하수	GYE16094	덕양구 주교동	6.3	11.5	1.7	4.3	44.2	12.0	80.0	12

<표 4-17> 표준관입시험 성과

구 분	공 번	심도(m)															
		1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	16.5	18.0	19.5	21.0	22.5	24.0
충적 지하수	GYE16092	13/30	4/30	5/30	3/30	3/30	5/0	15/30	28/30	14/30	24/30	26/30	19/30	42/30	50/10	50/7	50/4
암반 지하수	GYE16094	7/30	9/30	8/30	2/30	5/30	4/30	10/30	14/30	28/30	50/26	50/18	50/3	-	-	-	-

1) 충적지하수

가) 화전지구(GYE16092)

본 시추공의 위치는 고양시의 남측에 위치하며 서류하고 있는 한강으로 유입되는 지류를 따라 형성된 충적층 분포지역으로 시추공은 지표에서 26m 까지를 공경 75.4mm(NX) 로 굴착하여 지하지질 분포 상태를 확인하였다 시추결과 이 지점의 최상위층은 매립층으로서 지표하 0.0~2.2m까지 황갈색의 자갈 섞인 실트질 모래로 구성되어 있으며 매립토층의 하부는 퇴적층으로서 지표하 2.2~12.6m까지 분포한다. 퇴적층은 상부로부터 실트질모래, 실트질 점토, 모래층이 각각 2.1m, 4.8m, 3.5m의 층후로 분포하고 있으며 실트질 모래층은 암회색을 띠며 매우느슨에서 느슨한 상대밀도를 나타내고 암회색의 실트질점토층은 연약에서 보통의 연경도를 보인다. 하부의 모래층은 황갈색을 띠며 보통조밀한 상대밀도를 나타낸다 지표하 12.6m에서부터는 기반암이 풍화정도에 따라 풍화토, 풍화암, 연암의 순으로 나타나고 있으며, 8.4m의 층후로 풍화토가 황갈색을 띠며 보통조밀에서 조밀한 상대밀도를 나타내고 기반암의 풍화암은 암갈색을 띠며 3.7m의 층후를 보이고 SPT 시료 회수시 실트 및 중·조립질의 모래로 분해되어 채취되었다. 지표하 24.7~26.0m까지는 흑운모편마암의 연암으로 암편 및 단주상 코아상으로 시료 채취되었다.

2) 암반지하수

가) 주교지구(GYE16094)

본 지구는 고양시 서중앙에 위치하며, 한강의 지류인 대장천을 따라 충적평야가 형성된 지역으로 기반암은 화강편마암으로 형성되어 있다. 본 조사공은 지표하 심도 80.0m까지를 공경 75.4mm(NX)로 굴착하여 지하 지질 분포 상태를 확인하였다 시추 결과 이 지점의 최상위층은 매립층으로서 지표하 0.0~2.3m까지 황갈색의 점토질 모래로 구성되어 있으며, 느슨한 상대밀도를 나타내고 있다. 매립토층의 하부는 퇴적층으로 지표하 2.3~11.5m까지 분포한다. 상부 퇴적층은 지표하 2.3~8.6m까지 황갈색을 띠는 점성토층이 분포하며 부분적으로 1.6m의 층후에서는 실트가 우세한 점성토층이 혼재하며 매우연약에서 단단한 범위의 연경도를 나타낸다. 하부 퇴적층은 황갈색의 실트질 모래 및 모래로 구성되며 매우느슨에서 보통조밀한 상대밀도를 보인다. 지표하 11.5m부터는 기반암이 풍화정도에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암, 경암의 순으로 나타나고 있으며, 6.3m의 층후로 풍화토가 황갈색을 띠며 보통조밀에서 조밀한 상대밀도를 나타내고 기반암의 풍화암은 암갈색을 띠며 1.7m의 층후를 보이고 SPT 시료 회수시 실트 및 중·조립질의 모래로 분해되어 채취되었다. 지표하 19.5~23.8m 구간에서 기반암인 편마암의 연암이 분포하며 심한풍화, 약함~매우약한 상태를 나타낸다. TCR은 72~86%, RQD는 0~5%의 분포로 나타났다. 지표하 23.8~56.0, 65.0~77.0m까지는 보통암이 분포하며 심한풍화~약간풍화, 약함~강한 상태를 보인다. TCR은 53~100%, RQD는 0~61%의 분포를 나타내었으며 파쇄대는 35.0~35.1m, 36.0~37.0m, 44.9~45.2m, 46.9~47.2m, 48.3~48.6m, 49.2~50.0m, 54.6~54.9m, 55.5~55.6m, 68.3~68.5m, 71.5~71.6m, 73.7~73.75m, 76.9~77.0m 부근에서 확인되었다. 지표하 56.0~65.0, 77.0m이후로는 경암이 분포하며 보통풍화~약간풍화, 보통강함~강함 상태를 보인다. TCR은 100%, RQD는 50~79%의 분포를 나타내었으며 파쇄대는 65.1~65.5m, 78.3~79.9m 부근에서 확인되었다.

나. 수압시험

암반에서의 투수성을 판단하기 위하여 double packer식 방법으로 암반시추공 1공에 대해 수압시험을 실시하였으며 그 성과를 요약하면 <표 4-18>과 같다. 또한 수압시험 결과와 P-Q곡선은 부록에 수록하였다. 일반적으로 P-Q곡선은 주입 압력이 증가함에 따라 주입량이 정비례하여 증가하나, 암반의 균열의 성장 즉, 균열의 확장 또는 균열내의 충전물의 이동에 따른 확장/폐쇄 등의 영향으로 반드시 정비례 관계를 나타내지는 않는다.

1) 주교지구(GYE16094)

본 공에서의 수압시험은 암반구간인 20~80m에서 5m 간격으로 12회를 시행하였다. 수압시험 결과, Lugeon value는 0.09~3.15이고, 투수계수는 $7.32 \times 10^{-7} \sim 4.64 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 로, 평균 $2.29 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 이다.

<표 4-18> GYE16094 수압시험 결과

구간 (BGL-m)	Lugeon Pattern	Lu	K(cm/sec)	비고
20~25	Turbulent Flow	2.81	4.64E-05	
25~30	Dilation	1.88	2.96E-05	
30~35	Dilation	1.71	2.73E-05	
35~40	Wash-Out	2.74	1.74E-05	
40~45	Turbulent Flow	2.52	4.63E-05	
45~50	Wash-Out	3.15	2.87E-05	
50~55	Void Filling	0.59	9.23E-06	
55~60	Wash-Out	1.89	1.14E-05	
60~65	Turbulent Flow	1.60	2.65E-05	
65~70	Turbulent Flow	1.51	2.56E-05	
70~75	Dilation	0.09	7.32E-07	
75~80	Dilation	0.45	5.63E-06	
최소값		0.09	7.32E-07	
최대값		3.15	4.64E-05	
평균		1.75	2.29E-05	

다. 착정조사

1) 화전지구(GYE16093)

본 지역은 고양시 남동측에 위치하며, 서남하는 창릉천이 한강과 합류하는 구하상퇴적층으로 대수층은 지표하 9.1m에서 12.6m까지 자갈 섞인 모래로 구성된 두께 3.5m의 하상퇴적층과 풍화토층(G.L- 12.6m~21.0m) 그리고 기반암의 심하게 풍화된 풍화암층(G.L- 21.0m~22.0m)이 이에 해당한다.

시험정의 정호자재는 유공관의 경우 대수층 구간인 하상퇴적층과 풍화대가 분포하는 지표하 9.0m에서 22.0m까지 13m를 설치하였고, 무공관은 지표로부터 9.0m구간까지 설치하였다.

굴착완료후 측정한 지하수위는 지표하 3.79m이고, 현장에서 실시한 간이양수시험결과 지하수 산출량은 약 $100 \text{m}^3/\text{일}$ 이다.

2) 주교지구(GYE16095)

본 지역은 서남하는 대장천을 따라 형성된 구하상퇴적지역으로 대수층은 지표하 2.3 ~ 11.5m까지 모래 및 자갈 섞인 실트질 모래로 구성된 두께 9.2m의 하상퇴적층과 풍화토층 (BGL -11.5m ~ -17.8m) 그리고 풍화암층 (BGL. -17.8m ~ -19.5m)으로 구성된 풍화대이다.

시험정의 정호자재는 지표로부터 19.5m까지의 퇴적층과 풍화대 구간에 무공관을 설치하였고, 지표하 19.5m부터 80m까지 나공상태로 굴진하였다.

굴착완료 후 측정한 지하수위는 지표하 5.71m이고, 현장에서 실시한 간이양수시험결과 지하수 산출량은 약 30m³/일 이다.

<표 4-19> 착정조사 결과표

구 분	공 번	행정구역	지층구성							정호자재(m)		간이양수시험 (㎥/일)	지하수위 (B.G.L-m)
			점토	모래	풍화암	연암	보통암	경암	계	유공관	무공관		
총계			11.1	27.7	2.7	4.3	44.2	12.0	102.0	13.0	28.6		
충적 지하수	GYE16093	덕양구 화전동	4.8	16.2	1.0	-	-	-	22.0	13.0	9.0	100	3.79
암반 지하수	GYE16095	덕양구 주교동	6.3	11.5	1.7	4.3	44.2	12.0	80.0	0.0	19.6	30	5.71

4.6. 물리검층

4.6.1. 개요

지하수 개발공에 대한 물리검층은 대수층의 특성을 정성적으로 이해하는데 중점을 두고 있으며, 수리지질학적인 특성을 규명하는데 기본자료로 이용되고 있다. 물리검층은 공내에 측정장비를 투입하여 공 주변의 지층으로 인한 자연적인 물리현상이나 측정장비로부터 인공적으로 발생시킨 물질(음파, 전자, 감마선 등)이 지층을 통과하여 다시 측정장비로 돌아오는 양을 연속적으로 측정하고 이를 해석하는 지층 평가의 한 방법이다. 물리검층 자료는 시추작업 과정이나 암석감정에서 얻어지는 자료와는 달리 지층의 각종 성질을 본래 상태에 가깝게 나타내어 주므로 지층을 정량적으로 분석하는데 필요한 유용한 정보를 제공한다.

금번 착정조사지점에서의 전기검층, 감마선 검층, 공내 카메라, 유속, 전기전도도 검층은 대수층의 기하학적 분포양상을 분석하고 지층의 암상변화, 파쇄대의 위치 및 두께, 시추공의 영상화, 지하수의 유동방향과 속도 등 대수층 특성을 파악코자 실시하였다.

각각의 물리검층 방법에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

가. 감마선 검층

모든 지층은 방사성원소를 함유하고 있으므로 이로부터 방출되는 자연감마선의 강도를 측정하여 지하지질 상태를 추정할 수 있다. 자연상태에서 암석이 가지고 있는 방사성 원소의 대부분은 U, Th, K40 등이며 α , β , γ 선과 중성자, 양자 등의 방사선이 방출된다. 그 중 감마선은 물질에 대한 투과율이 매우 높은 성질을 가지고 있어 자연방사능 검사에 주로 이용된다. 감마선 검층은 자연 상태에서 방출되는 감마선의 총량을 측정하는 검층법으로 공내에 투입된 probe내의 scintillation counter에 검출되는 감마선세기(단위:API)를 측정하여 이루어진다. 이 값은 주로 세일 함량을 반영하는데, 이는 퇴적암 중에서 세일이나 점토가 방사능 동위원소(주로 K40)를 가장 많이 함유하고 있기 때문이다. 또한 단층 또는 파쇄대에서 단층 점토에 의한 감마선 방출 강도가 높게 나타나서 감마선 검층은 비교적 높은 에너지를 가지고 쉽게 물체를 투과하기 때문에 케이싱이 설치된 곳에서 측정이 가능하여 시추공이 케이싱된 경우 전기비저항이 매우 큰 지층의 경우, 이수과 지층수 간에 염도의 차가 없는 경우 등에 자연전위 검층 대용으로 이용되며, 세일이나 비세일성 지층의 위치결정에 유용하게 이용된다. Geologger-3030(OYO, JAPAN) 의 Natural gamma 손대를 이용하였다. 측정단위는 us/cm이다.

나. 전기검층

지층의 모든 암석과 광물은 전기적 성질에 따라 각각의 전도도(비저항의 역수)를 갖는다. 이 전기전도도는 암석 및 광물의 화학성분, 균열, 공극, 공극을 채우고 있는 물의 성질 및 온도 등에 따라 결정되어지며 일반적으로 대수층을 이룰 수 있는 단층 및 균열대 등은 주변 지층에 비해 전기비저항값이 낮게 나타난다. 전기검층은 지표 전기 비저항 탐사와 같이 2개의 전류 전극과 2개의 전위 전극을 수직으로 이동하면서 전기 비저항을 측정한다. 시추공 굴착 후 케이싱을 설치하지 않은 구간에서 지하수 또는 이수로 채워진 상태에서 전류전극과 전위전극을 공내로 내리면서 전극 주변의 비저항을 측정하여 심도에 따른 비저항 곡선을 얻는다. 전극 배치방법에 따라서 단-노말법(Short Normal), 장-노말법(Long Normal), 래터럴법(Lateral)이 있다. 일반적으로 대수층 자체의 전기저항은 대수층 내에 포함된 지하수의 고용물(Solid) 함량에 반비례한다. 측정장비는 Geologger-3030(OYO, JAPAN) 의 전기검층용 손대를 이용하였다. 측정단위는 Ohm-m이다.

다. 공내 유속 측정

유속검층은 지하수의 유동 속도는 유동경로의 평균속도를 의미하는 평균선형유속(average liner velocity : V)으로서 지하수의 동수구배, 공극률 및 수리전도도 등에 좌우되는

함수이다. 실제로 지하수의 흐름은 중력 작용에 의하여 수두가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. 그런데 지하수의 흐름은 매우 느려 유속을 측정하려면 장시간이 소요된다. 이러한 지하수의 흐름을 측정하기 위하여 열원(heat pulse)이 지하수 이동보다 빠르게 이동한다는 원리를 이용하여 인위적으로 지하수체 내에 열원을 가하여 공내에 투입된 센서를 이용하여 측정한다. 측정장비명은 Geologger-3030(OYO, JAPAN) 의 HeatPulse Flowmeter 손대를 이용하였다. 측정단위는 m/d 혹은 cm/sec이다.

라. 전기전도도 측정

전기전도도 검층은 착정공내 지하수의 전기전도도(Electrical Conductivity)를 측정하는 것으로서 공내 지하수의 수직적인 수질변화를 파악할 수 있다. 착정 공내의 지하수 흐름에 안전된 후에 측정해야 하며 단위는 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이다. 금번 조사에서는 Geologger-3030(OYO, JAPAN) 의 Groundwater Quality 손대를 사용하여 공내의 지하수가 안정된 상태에서 측정 단자를 하향식으로 이동시키면서 지하수면하에서 공저까지 연속 측정하였다.

마. 공내 카메라 검층(Bore Hole TV log)

1) 개요

시추공 내부와 공벽 상태를 확인하기 위해서 시추공 영상촬영(Borehole Image Processing System)를 이용해 시추공벽을 심도에 따라 연속적으로 360° 촬영한 다음 이를 고해상도 영상파일로 변환시키고 처리함으로써 원지반 상태의 이미지를 얻는 탐사기법이다.

2) 시험 및 해석방법

가) 시험방법

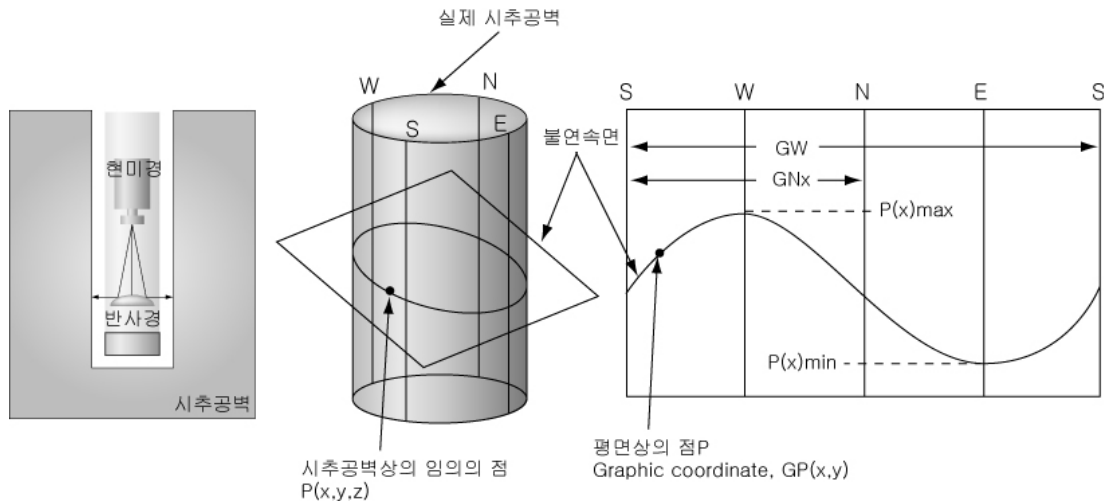
- 시험공 준비 후 camera ,cone mirror, Azimuth Sensor, Inclination 측정기 등이 장착된 Probe를 하향 winch에 연결 후 공내 삽입한다.
- Probe를 하향시켜가며 공벽상태를 연속적으로 촬영한다(이때 공벽영상은 Probe에 장착된 cone mirror를 통해 360°방향으로 들어와 연속적인 심도로 촬영되며 촬영되는 영상자료는 digital로 전환되어 자동으로 disk에 저장된다).
- 시험 중에 본체의 화면상에서 공벽상태의 영상이 화면상으로 display이 됨에 따라 시험과 함께 직접적인 공벽상태 관찰을 시험종료심도 까지 병행한다
- 촬영완료후 저장된 digital 영상자료를 분석 program을 사용하여 영상으로 출력하여 불연속면의 발달상태에 대한 분석과 화상 출력을 수행토록 한다

나) 해석방법

- 불연속면의 영상을 화상으로 전개하여 불연속면 분포심도 및 형태의 구분 개구정도를 파악하고 또한 불연속면의 주향과 경사는 일련의 불연속면을 마우스로 Pointing 하여 나타내지는 sine curve에 대해 다음 식으로 계산한다.

$$\text{경사각(Dip angle)} = \tan^{-1}(H/2r) \quad \text{Dip direction} = \theta$$

- 화면상에서 계산된 불연속면의 개구폭도 Point한 2점간의 실거리로서 계산
- 최종적으로 불연속면들에 대한 주향 및 경사각들에 대한 통계적 분석이 실시되어 주, 부 불연속면군에 대한 분류가 수행된다



<그림 4-21> 시추공벽 촬영 및 절리면의 전개화상

4.6.2. 조사결과

가. 화전지구(GYE16093)

1) 자연감마검층

자연감마검층 결과 26~38CPS의 자연감마값을 나타내고 평균 30CPS로써 일반적인 값의 범위에 속한다. 그래프에서 특정 심도에서 큰 변화가 없어 지층의 급격한 변화는 없는 것으로 판단된다. BGL. -2m 전후의 측정치는 매립에 의한 이상값으로 판단되고 BGL. -12.7m~-18.7m의 부분적인 상승은 점토질 토층에 기인한 것으로 판단된다

GYE16093공의 검층결과로 부분적인 단열외에 인지할만한 특이치는 없는 것으로 판단된다.

2) 지하수 유향유속

유향유속 결과 중 케이싱이 없는 나공구간을 대상으로 측정을 실시하였다 BGL. -21m에서 측정한 결과는 N77W(283°) 방향으로 일일 0.731m/일 이동하는 것으로 나타났으며 단위를 환산하면 초당 8.458E-04cm/sec로 유속이 측정되었다.

나. 주교지구(GYE16095)

1) 전기검층

전기검층 결과 단노말 비저항은 12~2440ohm-m범위를 보이고 장노말 비저항은 21~3840ohm-m를 나타낸다. 비저항그래프에서 초기는 지하수위 상부로 인해 값이 높게 나오며 지하수위 하부부터 약 18m 까지의 0값에 가까운 저비저항은 스틸케이싱의 영향이다 그러므로 18m 이후부터 실제 비저항값으로 해석할 수 있다 18m 이후 점차 비저항이 증가하는 양상을 보이며 단열대를 따라 저비저항 구간이 다소 많이 분포하는 것을 볼 수 있다 비저항 검층으로부터 저비저항 이상대를 산출하면BGL. -28.0m, -36.2m, -39.9m, -41.8m, -46.1m, -50.9m, -55.8m, -59.9m, -66.2m, -72.0m, -74.0m, -79.9m이고 이중 폭이 넓은 파쇄대 혹은 단열대를 추정하면 BGL. -40.1m~-42.0m, -53.8m~-56.5m, -65.2m~67.2m, -72m~-76m 구간이다. GYE16095호공의 검층결과로 12개의 저비저항 이상대를 추출 하였고 이중 4개 구간을 파쇄대로 추정하였다.

2) EC 검층

전기전도도 검층결과 전기전도도 범위는 55.5~71.8 μ S/cm로 나타나고 전체적으로 일정하다 마지막에 증가하는 양상을 나타낸다. BGL. -80m 부근에 갑자기 증가하는 것은 비저항검층 결과로 보아 파쇄대에 의한 지하수 유입보다는 공저에 슬라임 및 전도성 입자가 가라앉아 있는 것으로 추정되어 해석에서 제외하였다. 평균적으로 58 μ S/cm의 범위를 보이는데 이중 부분적으로 값이 커지는 부분은 지하수 유입에 의한 교란으로 해석된다

3) 자연감마검층

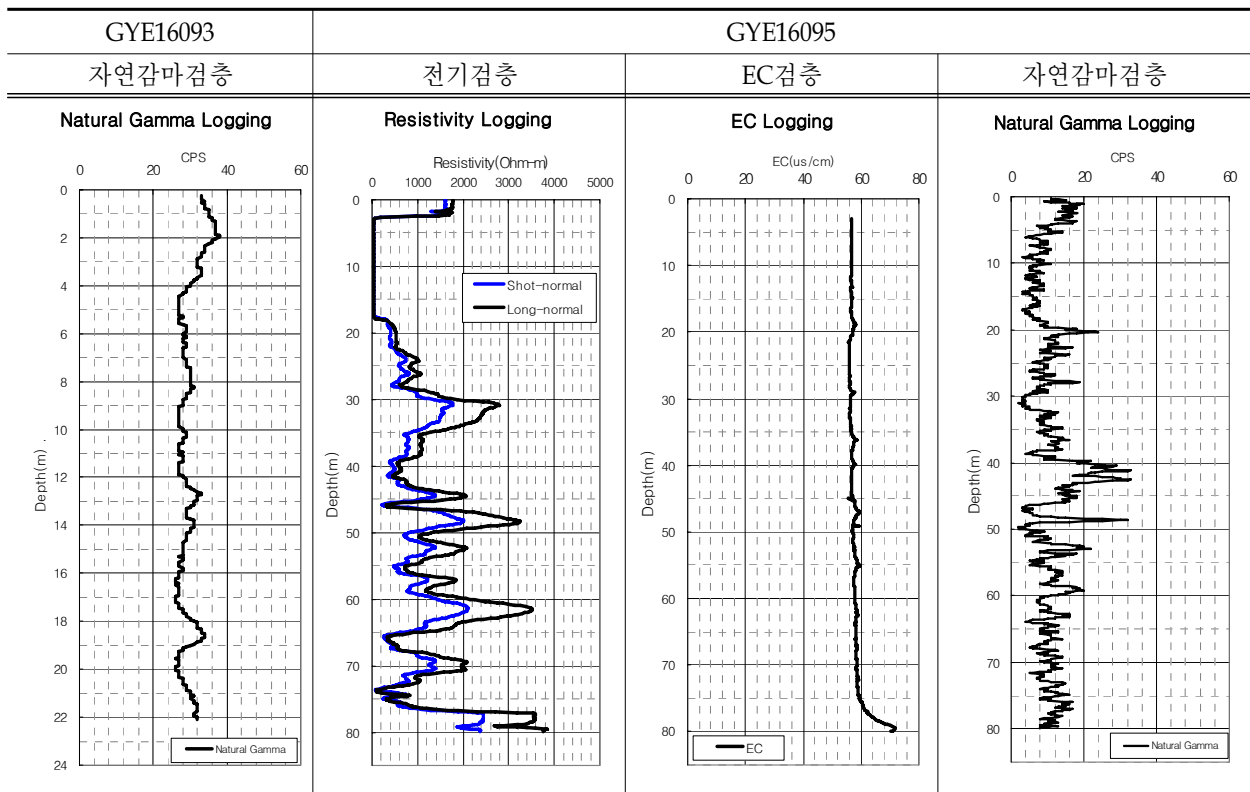
자연감마검층 결과 2~33CPS의 자연감마값을 나타내고 평균 10CPS로써 일반적인 값보다 약간 낮은 편에 속한다. 토층구간에서는 평균적으로 높은 값을 보이다 암반에서는 암질 변화에 따른 변화를 보인다. 이중 절리내 점토성분에 기인한 것으로 보이는 구간은 BGL. -27m~-28m, -40m~-42m, -59m 구간이 저비저항대와 일치하여 단열내 점토성분이 자연감마값에 영향을 미친 것으로 분석된다.

4) 지하수 유향유속

유향유속은 케이싱이 없는 나공구간을 대상으로 BGL. -20m~-70m에서 10m 간격으로 측정하였으며 측정한 결과는 대체적으로 하부로 갈수록 유속이 느려지는 경향을 보이나 부분적으로 파쇄가 심한 곳은 유속이 빠르게 나타난다. GYE16093과 비교하여도 암질 및 RQD와 유속 대비가 양호하게 나타난다. 유향은 189~222°이며 평균 S32W(212°) 방향으로 평야를 따라 한강방향으로 흐른다. 유속은 일일 0.104~1.311m/일의 범위를 보이고 평균 0.59m/일로 이동하는 것으로 나타났다. 이를 단위를 환산하면 초당 6.86E-04cm/sec로 유속이 측정되었다.

<표 4-20> 물리검층 결과

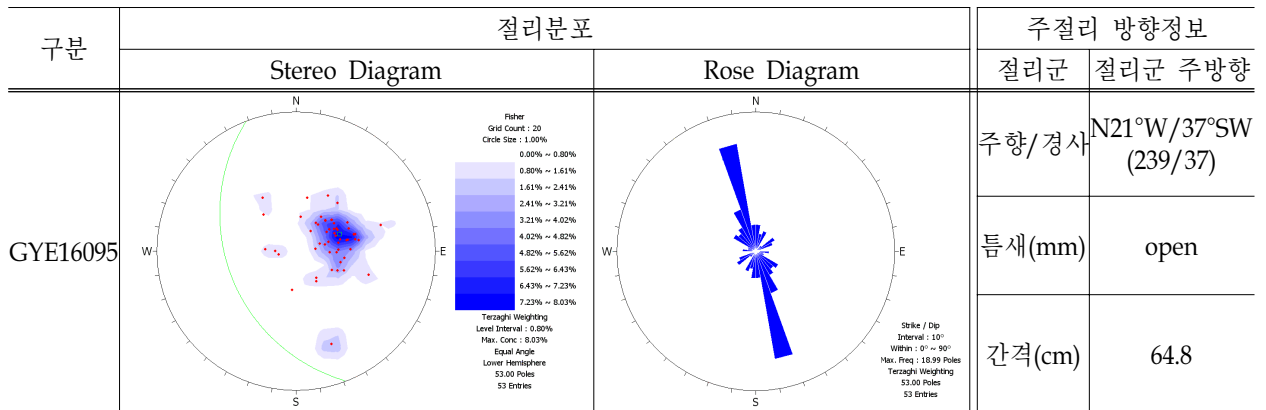
공번	심도 (Gl.-m)	유속		유향 (Degree MN)	비고
		(m/day)	(cm/sec)		
GYE16093	21	0.731	8.458E-04	N77W(283)	
GYE16095	20	1.311	1.517E-03	189	
	30	0.640	7.408E-04	222	
	40	0.853	9.878E-04	210	
	50	0.387	4.480E-04	213	
	60	0.104	1.199E-04	220	
	70	0.262	3.034E-04	218	
	평균	0.610	6.862E-04	191	



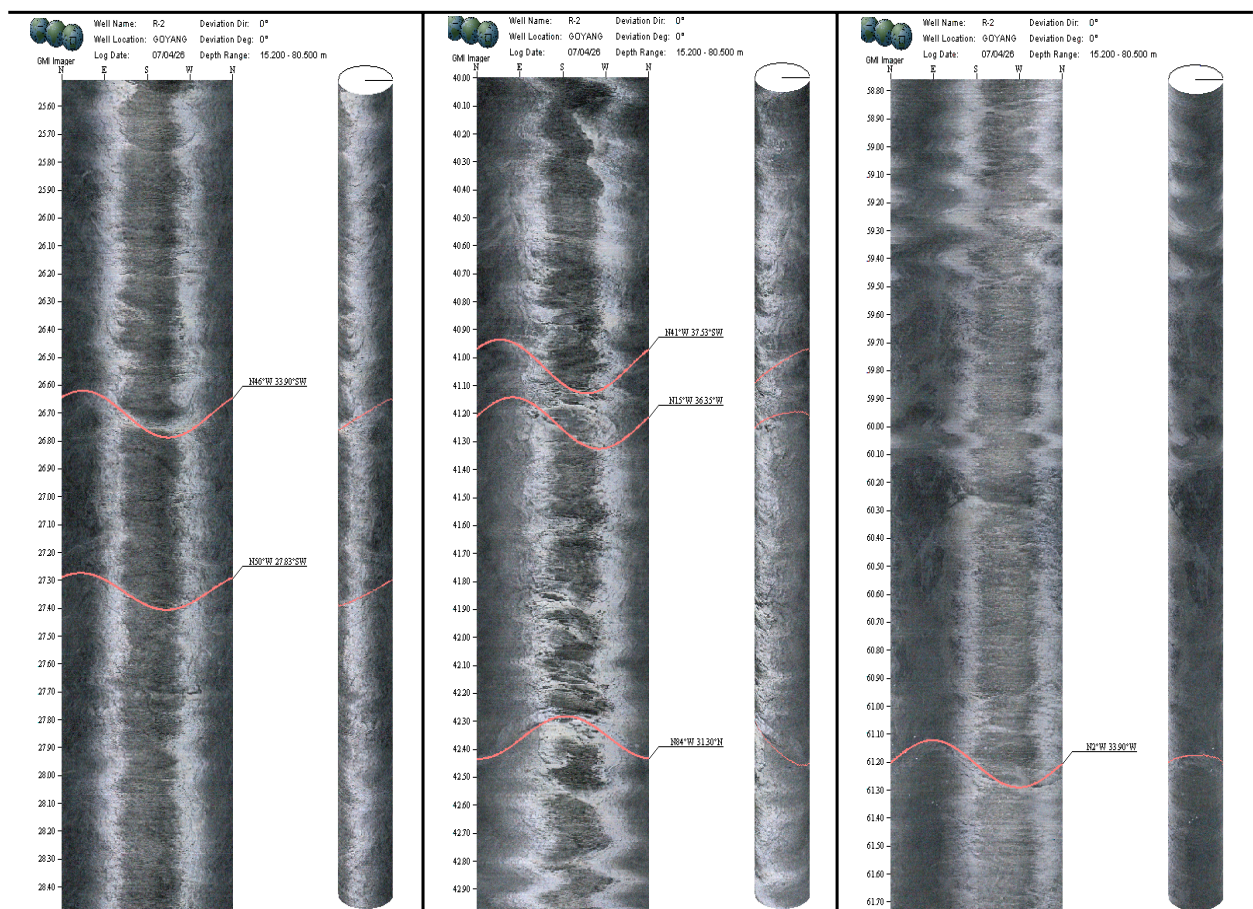
<그림 4-22> 물리검층 결과

마. 시추공 영상촬영 결과

시추공 영상촬영 결과 투수성 절리의 주방향은 N21°W/ 37°SW로 나타났으며 주절리의 간격은 평균적으로 64.8cm 마다 존재하는 것으로 나타났다. 케이싱은 BGL. -19.5m 내외에 분포하고 대수층은 BGL. -27m~-28m, -40m~42m, -59m으로 해석된다.



<그림 4-23> GYE16095 주절리 방향정보



<그림 4-24> GYE16095 공내영상촬영 대표구간

4.7. 대수성시험

대수성시험은 대수층의 수리지질학적 특성을 규명하여 대수층에 저류되어 있는 지하수를 정량적으로 평가하고자 실시한다. 여기에서 대수층의 수리지질학적 특성이란 물 전달능력과 저류능력을 의미하며 기본적인 대수성 수리상수로는 투수량계수(transmissivity), 수리전도도(hydraulic conductivity), 저류계수(storativity) 및 비산출율(specific yield) 등이 있다. 이외에 다수의 관측정을 이용하여 대수층의 이방성(formation anisotropy)도 조사할 수 있다.

본 조사에서는 착정지점 2개소(충적층 지하수 1개소, 암반층 지하수 1개소)를 대상으로 대수성시험(Aquifer test)을 실시하였다.

시추 및 착정지점에 대해서 단계 대수성시험을 실시하였다. 대수층의 특성을 규정짓는 수리지질 인자를 파악하기 위하여 실시한 대수성시험의 개요는 다음과 같다.

- 단계 대수성시험(Step drawdown Test)
 - 대수층 수두 손실계수(Aquifer loss coefficient)
 - 우물 수두 손실계수(Well loss coefficient)
 - 우물 효율(Well efficiency)
- 장기 대수성시험(Long term Pumping Test)
 - 수리지질인자를 정밀하게 파악하기 위한 시험
 - 투수량계수(Transmissivity)
 - 저류계수(Storativity=비산출율(Specific Yield))
 - 수리전도도(Hydraulic Conductivity)
- 회복시험(Recovery Test)
 - 시험정의 시험결과에 대한 검증자료 획득
 - 잔류수위(Residual Drawdown), 투수량계수

4.7.1. 단계대수성시험

가. 개요

단계대수성시험은 양수량을 변화시켜가며 실시하는 대수성 시험의 일종으로 펌프 흡입구와 우물유공관을 통하여 지하수흐름이 발생할 때 수위강하량의 변화를 측정하는 방식으로 이루어진다. 이 시험은 피압대수층에서 수위강하량을 예측하는 Cooper and Jacob(1946)의 이론식으로 해석 가능하다.

$$s = \frac{0.183Q}{T} \cdot \log \frac{2.25Tt}{r^2S}$$

s : 수위강하량(m)

Q : 양수량(m^3 /일)

T : 투수량계수(m^2 /일)

t : 양수경과시간(일)

r : 영향반경(m)

S : 저류계수(무차원)

정류상태(Steady flow)시 우물내부의 수위강하는 다음과 같고

$$s_w = BQ$$

위의 식으로부터,

$$B = \frac{0.183}{T} \cdot \log \frac{2.25Tt}{r^2S}$$

s_w : 우물내부의 수위강하량(m)

B : 정류상태시 대수층의 수두손실계수(m^2 /일)

$r=r_w$: 우물반경(m)

가 유도된다.

한편, Jacob(1946)에 따르면 지하수가 우물유공관을 통해 빠른 속도로 유입되고 수리경사가 커지면 위 공식으로 예측되는 것보다 더 큰 수위강하가 발생하게 된다 이것은 대수층의 지하수가 시험정 내로 유입될 때 스크린을 통해 생기는 손실과 펌프흡입에 따른 손실 등이 가산되기 때문이라 하였다 이러한 우물손실(Well loss)은 난류에 원인이 있으므로 우물수위 강하량 s_w 는 대수층 손실과 우물손실의 합이라고 보고 다음과 같은 일반식으로 표현하였다

$$s_w = BQ + CQ^n$$

B : 대수층 수두손실계수(Aquifer loss coefficient)

C : 우물 수두손실계수(Well loss coefficient)

n : 난류의 정도를 나타내는 지수 ($2 \leq n \leq 3$ 범위 상수. $n=2$ 가 합리적이라고 제안)

Rorabaugh(1958)은 정류상태에서 지하수강하량은 $s_w = BQ + CQ^n$ 이고, 난류(trubulent flow) 상태에서는 $s_w = BQ + CQ^n$ 이라 정의하였다. 즉 정류상태에서의 우물손실은 Q에 비례하고, 난류상태에서는 Q의 n제곱에 비례한다. 우물손실에는 우물내의 손실뿐만 아니라 공 주변의 막힘과 공 주변의 균열의 발달상태에 따라 생기는 손실도 포함된다

Cooper and Jacob(1946)은

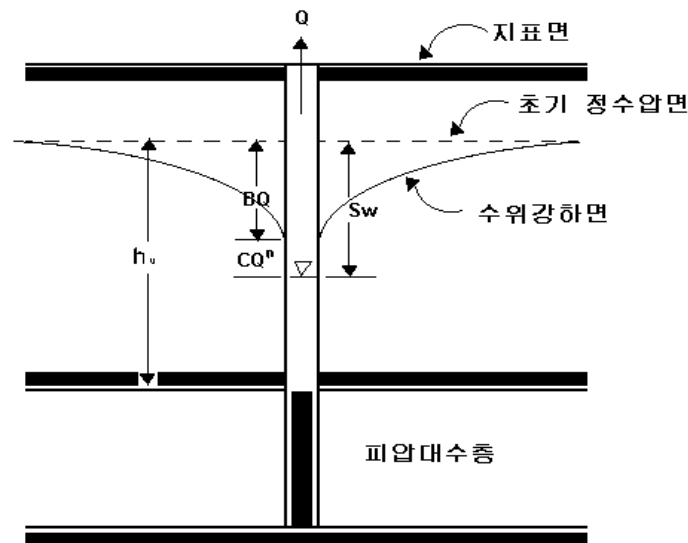
$$u = r^2 \frac{s}{4Tt} < 0.03$$

의 조건이 만족되어야 하며, 각 단계별 양수량은 수위강하량들이 반대수그래프상에서 직선으로 접시될 수 있도록 충분한 시간동안 유지시킬 것을 강조하였다. 다음의 <그림 4-25>은 수위강하량(s_w)과 대수층수두손실(BQ) 및 우물수두손실(CQ^n)의 관계를 나타낸 것이다.

우물효율(Ew)은 총수위강하량에 대한 대수층의 손실량을 의미하며 백분율로 나타낸다

$$Ew = \frac{BQ}{S_w} = \frac{BQ}{BQ + CQ^n} \times 100(\%)$$

위의 식에 의하면 양수량(Q)이 증가함에 따른 수위강하량(S_w)이 상대적으로 커짐을 알 수 있다. 이는 수위강하를 일으키는 요인인 대수층수두손실(BQ)과 우물수두손실(CQ^n) 중 양수량이 증가할수록 우물수두손실이 차지하는 비율이 점점 커지기 때문이다. 즉, 양수량이 증가할수록 우물의 산출능력에 비해 양수되는 우물의 효율이 떨어지게 되므로 적절한 수위를 계속 유지할 수 있는 양수량이 필요하다. 양수량을 수위강하로 나눈 값을 비양수량이라고 하며, 비양수량은 수위강하 1m에 대하여 일정한 양의 지하수를 비례적으로 양수할 수 있다는 의미이다. 비양수량의 역수는 수위강하를 양수량으로 나눈 값으로 비수위강하량이 된다. 우물에 공급되는 물의 양이 펌프로 양수하는 용량보다 많은 경우에는 수위강하가 일찍 멈추어지고 일정한 양을 양수하여도 수위가 변하지 않는 지점 즉 양수량과 수위가 평형을 이루는 지점을 안정수위라고 한다. 적정양수량의 의미는 양수량과 수위강하가 균형을 이루어 우물의 능력에 적절하게 양수할 수 있는 양으로서 단계대수성시험을 통하여 안정수위를 유지하며 양수할 수 있는 양수량을 말한다.



<그림 4-25> 수위강하량과 우물손실과의 관계

나. 시험 및 해석 방법

단계대수성시험은 일정시간 간격으로 양수량을 변화시키며 실시하는 대수성시험으로서, 양수정의 대수층손실과 우물손실 및 우물효율(Well Efficiency)등을 알 수 있다. 또한 장기대수성시험의 예비단계로서 양수량수위강하량 곡선을 이용하여 적정 양수량과 한계수위강하량도 산출할 수 있다. 단계 대수성시험 분석에서는 Jacob법 및 직선법을 이용하였고, 이들 방법으로부터 구해진 값들의 평균으로 대수층의 수두손실계수(B) 및 우물수두손실계수(C)를 산정하였다.

각 시험정 및 관측정에서는 간이양수시험 결과를 토대로 4단계로 양수량을 점차 증가시켰으며, 각 단계별 양수량을 일정하게 유지시키면서 시험기간 동안의 수위강하량을 측정하였다. 각 단계마다 발생한 수위강하량은 1mm 단위까지 측정이 가능한 Submersible pressure transducer(MODEL PXD 261)를 이용하여 측정하였으며, 이를 Hermit-3000 data logger에 기록하였다.

Jacob(1950)에 우물손실은 양수량의 제곱에 비례하며 이를 식으로 나타내면

$$s_w = C_w Q^2$$

s_w : 수위강하량

C_{wi} : 우물수두손실계수(일/ m⁵)

Q : 양수량(m³/일)

이며, 각 단계마다 수위강하량과 양수량을 측정한 결과로 1단계와 2단계에서 우물수두손실계수(C_1)를 구하면 다음과 같다.

$$C_1 = \frac{\Delta s_{w2} / \Delta Q_2 - \Delta s_{w1} / \Delta Q_1}{\Delta Q_2 - \Delta Q_1}$$

Δs_w : 각 단계별 수위 강하량

ΔQ : 각 단계마다 양수량

마찬가지로 2~3단계와 3~4단계 및 4~5단계 그리고 5~6단계에서의 우물수두손실계수를 결정할 수 있으며, 이들의 평균값은 그 시험정의 우물수두손실계수가 된다 또한 우물수두손실계수가 결정되면 대수층 수두손실계수도 계산할 수 있다 직선법은 $n=2$ 로 적용하여 다음 식으로 나타낼 수 있다(Todd, 1980, Rorabaugh, 1987).

$$\frac{s_w}{Q} = B + CQ$$

Q 에 대하여 $\frac{s_w}{Q}$ 를 도시하면 직선의 기울기가 우물손실계수 C 에 해당하며, $\frac{s_w}{Q}$ 축에서의 교점은 대수층 손실계수 B 를 나타낸다.

다. 분석결과

본 조사의 대수성시험 대상 시험정은 2개소로 암반지하수 대상 시험정과 충적지하수 대상 시험정이 각각 1개소씩이다. 각 시험정에서 실시한 단계양수시험 결과는 <표 4-21>와 같으며 <표 4-21>는 직선법으로부터 얻은 대수층수두손실계수(B , aquifer loss constant)와 우물수두손실계수(C , well loss constant)를 정리한 것이다.

충적대수층에 대한 시험결과 대수층 수두 손실계수는 7.03×10^{-5} 일/ m^2 이며 우물수두손실계수는 9.85×10^{-2} 일/ m^5 의 값을 보인다. 우물효율은 95.80%이다.

암반대수층에 대한 시험결과 대수층 수두 손실계수는 1.39×10^{-2} 일/ m^2 이며 우물수두손실계수는 5.42×10^{-1} 일/ m^5 의 값을 보인다. 우물효율은 59.88%이다.

각 시험정에서 실시한 단계대수성시험의 분석결과는 <표 4-21>에 정리하였으며, 단계대수성시험결과 그래프는 부록에 수록하였다

<표 4-21> 단계대수성시험 분석결과

구분	공번	ΔQ_1	ΔQ_2	ΔQ_3	ΔQ_4	ΔS_1	ΔS_2	ΔS_3	ΔS_4	대수층수두 손실계수 (일/ m ³)	우물수두 손실계수 (일/ m ⁵)	우물 효율 (%)	비 고
		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	s_1	s_2	s_3	s_4				
충적	GYE16093	30	20	20	30	3.01	2.12	2.07	3.36	7.03E-05	9.85E-02	95.80	
		30	50	70	100	3.01	5.13	7.20	10.56				
암반	GYE16095	15	5	10	20	11.78	5.77	6.80	40.25	1.39E-02	5.42E-01	59.88	
		15	20	30	50	11.78	17.55	24.35	64.60				

4.7.2. 장기양수시험 및 회복시험

가. 개요

야외에서 대수층의 수리지특성을 파악하기 위하여 수행하는 대수성시험은 양수정에서 지하수 배출로 인하여 발생하는 경과시간별 수위변화를 측정하고 또한 양수 중지 후 수위 회복을 관측하여 이들로부터 대수성 수리상수들을 산출한다 1935년 C.V, Theis(USGS)는 대수층 내에서의 지하수흐름과 도체내에서의 열흐름의 유사성을 이용하여 부정류상태(unsteady state)하에 있는 지하수흐름에 관한 지배식의 해를 구한 바 있다 특히 양수로 인한 새로운 평형상태가 이루어지기 전의 대수층의 수력학적 특성을 결정하는 공식을 Theis 비평형식이라고 하는데, 대부분의 경우, 새로운 평형상태란 거의 형성되지 않으며, 형성되더라도 수개월에서 수년이 걸린다. 그러므로 정상상태에 도달하기 이전의 상태 즉 부정류 또는 비정상류 상태하에서 대수층의 투수량계수나 저류계수는 비평형방정식인 Theis 식으로 구해야 한다. Theis 식의 가정은 다음과 같다.

- 지하수의 흐름은 Darcy 법칙을 따른다.
 - 대수층은 균질하고 등방성이며, 일정한 두께를 가지고 경사져 있지 않으며, 대수층의 범위는 무한하다.
 - 시험정과 관측정은 대수층을 완전히 관통하고 공경은 무한소이다
- 투수량계수와 저류계수를 계산하는데 사용되는 Theis의 비평형식은

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

T : 투수량계수(m³/min/m),

Q : 양수량(m³/min)

s : 수위강하량(m), S : 저류계수

r : 양수정에서 관측정까지의 거리(m)

t : 경과시간(min), $W(u) : \text{정호함수} \left(u = \frac{r^2 s}{4Tt}, W(u) : \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \right)$

이 식은 형태상 T와 S에 관하여 형태상 직접 풀 수가 없으므로 u값과 W(u)값을 양대수방안지에 작도해 놓은 대수성시험 표준곡선을 이용하는 방법이 고안되었다 야외에서 획득한 자료(경과시간, 수위강하)를 양대수 방안지에 작도한 야외곡선을 서로 표준곡선과 서로 중첩시켜 일치점을 구하면 T와 S를 구할 수 있는데 이를 표준곡선중첩법이라고 한다. Theis식은 포괄적인 평균값을 반영하므로 오늘날 일반적으로 이용되고 있다

회복시험법(recovery test)은 양수시험 정지시점으로부터 시험정과 관측정에서 경과시간별 회복수위를 관측한 결과를 이용하여 투수량계수를 구하는 방법이다 특히 기간-회복수위법은 수위하강법에서 취득한 결과와 비교검토하여 합성분석할 수 있으며 채수상에서보다 더욱 합리적인 투수량계수도 얻을 수 있다 Theis(1935)는 회복시험에서 취득한 경과시간별 수위변화 자료들로부터 투수량계수를 결정하는 보정법을 다음과 같이 일반화하였다

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[\ln\left(\frac{t}{t'}\right) - \ln(S) \right]$$

s : 잔류수위강하량(m) Q : 채수량(m³/일) T : 투수량계수(m²/일)

t : 양수개시후 경과시간(일) t' : 양수종료후 경과시간(일)

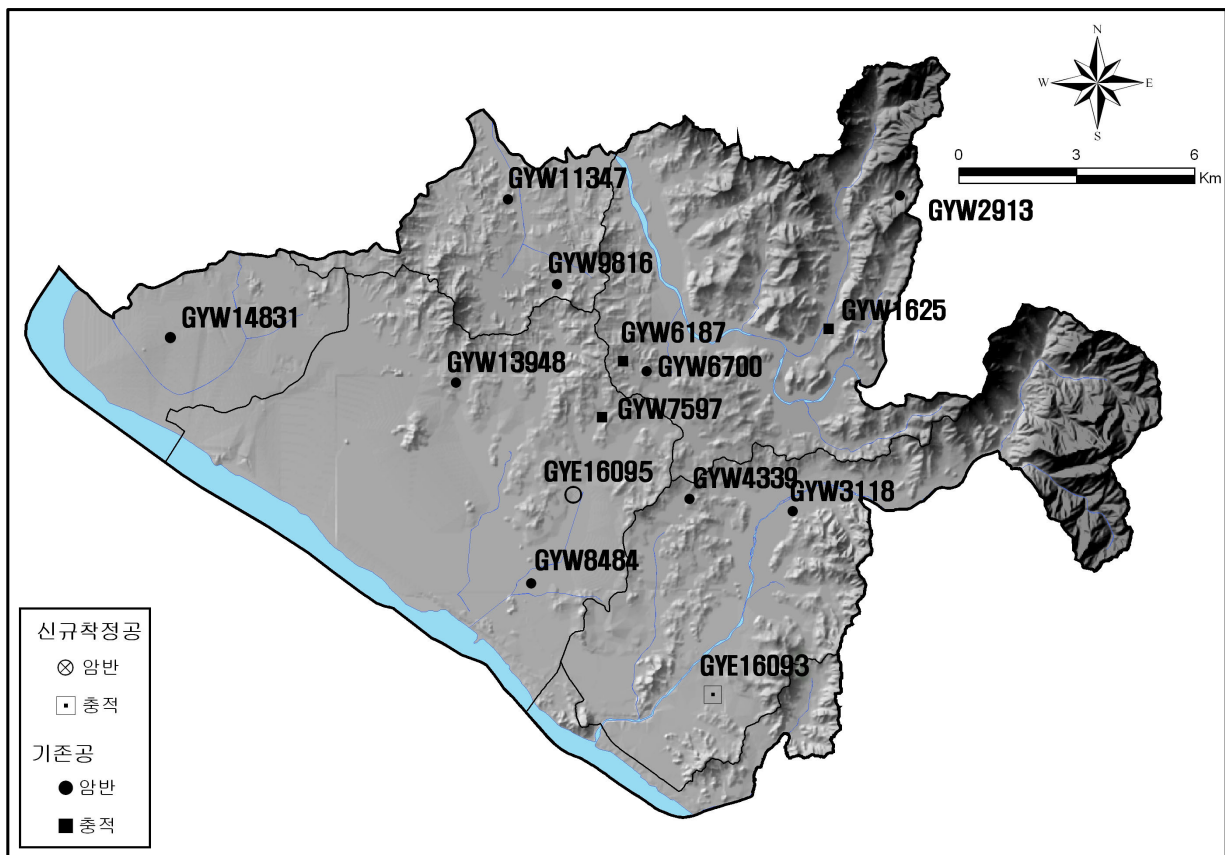
S : 채수상과 회복상의 저류계수의 비

상기 식으로부터 편대수방안지상에 잔류 수위강하량(s)은 산술눈금인 수직축에, t/t'는 대수눈금인 수평축에 도시하였을 때 그 직선으로부터 투수량계수를 산출할 수 있다

나. 시험방법

본 과업에 대상 충적층과 암반층에 설치한 2개소의 착정조사지점을 시험정으로 또한 해당 시추조사지점 2개소는 관측정으로 이용하여 단계대수성시험 성과를 토대로 토출량을 일정하게 유지하여 정율시험법으로 24시간 이상 중단없이 장기대수성시험을 실시하였다 대수성시험에서 토출량 규모는 간이양수시험시 파악한 토출량을 참조하여 매 시험정마다 적정한 수중모타펌프를 선정하여 결정하였으며, 토출량의 측정은 적산유량계를 사용하였다 수위강하량은 시험정 및 관측정들에서는 1mm 단위까지 연속적으로 자동측정이 가능한 Submersible pressure transducer(MODEL PXD-261)을 적정심도에 설치하고, Hermit 3000

data logger system으로 측정하였다. 대수성시험 종료 후에는 수중모터펌프의 가동을 중지하고 시험정과 관측정에서 회복되는 수위상승율을 측정하였다. 대수성시험 일보는 채수상과 회복상으로 구분하여 부록(II)에 수록하였다. 각 시험정 및 그 인근에 설치한 관측정들에서 취득한 경과시간별 수위변동자료들은 log-log와 lin-log 법으로 채수상과 회복상의 곡선으로 작도하였으며 충적층 대수층에서 대수성수리특성 분석시 Cooper-Jacob법, Theis곡선법 및 Moench법을 적용하였고, 암반대수층의 경우 Cooper-Jacob법, Theis곡선법 및 Moench법을 적용하였다.



<그림 4-26> 대수성시험 위치도

라. 분석결과

신규착정공 2개소에서 실시한 대수성시험 결과 충적대수층의 투수량계수는 $1.00 \sim 15.50 \text{ m}^2/\text{일}$ 의 범위를 나타냈으며, 평균 $5.21 \text{ m}^2/\text{일}$ 을 보였다.

암반대수층의 투수량계수는 $0.23 \sim 2.54 \text{ m}^2/\text{일}$ 의 범위를 나타냈으며, 평균 $1.00 \text{ m}^2/\text{일}$ 을 보였다. 시추 및 착정조사 2개소, 4개공에 대한 장기대수성 시험 및 회복시험 결과는 <표 4-22>에, 분석 그림 및 결과그래프는 부록(II)에 수록하였다.

<표 4-22> 신규착정공 · 관측공 대수성시험 결과

대수층 구 분	공변	거리 (r, m)	양수량 (m ³ /일)	심도 (m)	MP (m)	자연 수위 (BGL,m)	대수층 두 개 (m)	수 위 강하량 (m)	비 양 수 량 (m ³ /일)	수리상수		분 석 방법
										T(m ³ /일)	K(m/일)	
충적 화전 지구	GYE16092	7.5	-	26	0.12	3.4	22.72	5.28		1.45	6.37E-02	Theis법 (Confined)
										3.14	1.38E-01	Cooper-Jacob법 (Confined)
										1.00	4.42E-02	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
										11.10	4.89E-01	Theis 회복법
		평균								4.17	1.84E-01	
	GYE16093	0.1	110	22	0.33	3.79	18.54	11.66	9.43	3.40	1.83E-01	Theis법 (Confined)
										3.30	1.78E-01	Cooper-Jacob법 (Confined)
										2.79	1.50E-01	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
										15.50	8.36E-01	Theis 회복법
		평균								6.25	3.37E-01	
최 소				22	0.12	3.40	18.54	5.28		1.00	4.42E-02	
최 대				26	0.33	3.79	22.72	11.66		15.50	8.36E-01	
평 균				24	0.23	3.60	20.63	8.47		5.21	2.60E-01	
암반 주교 지구	GYE16094	5.0	-	80	0.10	5.18	74.92	7.68	-	1.09	1.46E-02	Theis법 (Confined)
										1.24	1.66E-02	Cooper-Jacob법 (Confined)
										1.06	1.41E-02	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
										2.54	3.39E-02	Theis 회복법
		평균								1.48	1.98E-02	
	GYE16095	0.1	40	80	0.40	5.71	74.69	37.64	1.06	0.31	4.19E-03	Theis법 (Confined)
										0.75	1.00E-02	Cooper-Jacob법 (Confined)
										0.30	1.10E-02	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
										0.23	3.01E-03	Theis 회복법
		평균								0.53	7.05E-03	
최 소				80	0.10	5.18	74.69	7.68		0.23	3.01E-03	
최 대				80	0.40	5.71	74.92	37.64		2.54	3.39E-02	
평 균				80	0.25	5.45	74.81	22.66		1.00	1.34E-02	

기존공 12개소에서 대수성시험을 실시한 결과 충적대수층의 투수량계수는 27.0~1,218.0m³/일의 범위를 나타냈으며, 평균 282.7m³/일을 보였다. 암반대수층의 투수량계수는 0.016~355.3 m³/일의 범위를 나타냈으며, 평균 19.782m³/일을 보였다.

<표 4-23> 충적지하수 기존공 대수성시험 결과

공번	위치	양수량 (m ³ /일)	심도 (m)	MP (m)	자연 수위 (BGL, m)	대수층 두께 (m)	수위 강하량 (m)	비양 수량 (m ³ /일)	수리상수		분석방법
									T(m ² /일)	K(m/일)	
GYW-7597	덕양구 주교동	133	8.0	0.12	2.02	6.1	0.02	6650	1218.0	199.7	Neuman법 (Unconfined)
									323.0	53.0	Theis 회복법
	평균								770.5	126.3	
GYW-1625	덕양구 대자동	22	18.1	0.12	3.36	14.86	0.30	73.33	46.2	3.1	Neuman법 (Unconfined)
									27	1.82	Theis 회복법
	평균								36.6	2.5	
GYW-6187	덕양구 원당동	22	5.6	0.41	1.16	4.85	0.50	44.0	38.9	8.0	Neuman법 (Unconfined)
									43.2	8.9	Theis 회복법
	평균								41.0	8.5	
최 소			5.6	0.12	1.16	4.85	0.02	44.0	27.0	1.82	
최 대			18.1	0.41	3.36	14.86	0.50	6650.0	1218.0	199.7	
평 균			10.6	0.22	2.18	8.60	0.27	2255.8	282.7	45.7	

<표 4-24> 암반지하수 기존공 대수성시험 결과

공번	위치	양수량 (m ³ /일)	심도 (m)	MP (m)	자연 수위 (BGL, m)	대수층 두께 (m)	수위 강하량 (m)	비양 수량 (m ³ /일)	수리상수		분석방법
									T(m ² /일)	K(m/일)	
GYW-14831	일산구 구산동	3	100	1.10	5.92	95.18	6.59	0.46	0.474	4.98E-03	Theis법 (Confined)
									0.474	4.98E-03	Cooper-Jacob법 (Confined)
									0.072	7.57E-04	Theis 회복법
	평균								0.340	3.57E-03	
GYW-6700	덕양구 원당동	36	104	0.24	3.26	100.98	55.08	0.65	0.105	1.04E-03	Theis법 (Confined)
									0.130	1.29E-03	Cooper-Jacob법 (Confined)
									0.127	1.26E-03	Theis 회복법
	평균								0.121	1.20E-03	
GYW-11347	일산구 설문동	13	100	0.67	2.58	98.09	29.89	0.43	0.037	3.78E-04	Theis법 (Confined)
									0.058	5.92E-04	Cooper-Jacob법 (Confined)
									0.016	1.61E-04	Papadopoulos-Cooper 법 (Confined)
									0.046	4.74E-04	Theis 회복법
	평균								0.039	4.01E-04	

<표 4-24> 암반지하수 기존공 대수성시험 결과(계속)

공번	위치	양수량 (m ³ /일)	심도 (m)	MP (m)	자연 수위 (BGL, m)	대수층 두께 (m)	수위 강하량 (m)	비양 수량 (m ³ /일)	수리상수		분석방법
									T(m ³ /일)	K(m/일)	
GYW-4339	덕양구 성사동	122	100	0.68	6.10	94.58	5.54	22.02	21.350	2.26E-01	Theis법 (Confined)
									21.350	2.26E-01	Cooper-Jacob법 (Confined)
									22.900	2.42E-01	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
									19.570	2.07E-01	Theis 회복법
	평균								21.293	0.225	
GYW-8484	덕양구 토당동	66	100	0.20	2.76	97.44	23.61	2.80	1.885	1.93E-02	Theis법 (Confined)
									2.101	2.16E-02	Cooper-Jacob법 (Confined)
									2.731	2.80E-02	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
									4.907	5.04E-02	Theis 회복법
	평균								2.906	2.98E-02	
GYW-3118	덕양구 벽제동	18	150	1.10	8.33	142.77	44.35	0.41	0.100	6.98E-04	Theis법 (Confined)
									0.111	7.75E-04	Cooper-Jacob법 (Confined)
									0.068	4.73E-04	Theis 회복법
	평균								0.093	6.49E-04	
GYW-13948	일산구 풍동	79	150	0.85	9.17	141.68	18.11	4.36	2.604	1.84E-02	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
									6.849	4.83E-02	Theis 회복법
	평균								4.727	3.34E-02	
GYW-9816	일산구 문봉동	74	150	0.69	3.28	147.41	23.24	3.18	1.060	7.19E-03	Theis법 (Confined)
									1.257	8.53E-03	Cooper-Jacob법 (Confined)
									2.604	1.77E-02	Papadopulos-Cooper법 (Confined)
									26.45	1.79E-01	Theis 회복법
	평균								7.843	5.32E-02	
GYW-2913	덕양구 동산동	111	120	0.44	3.19	117.25	1.64	67.68	42.430	3.62E-01	Theis법 (Confined)
									48.310	4.12E-01	Cooper-Jacob법 (Confined)
									355.300	3.03	Theis 회복법
	평균								198.410	1.69	
최 소			100	0.2	2.6	94.6	1.6	0.4	0.016	1.61E-04	
최 대			150	1.1	9.2	147.4	55.1	67.7	355.300	3.03	
평 균			119	0.7	5.0	115.0	23.1	11.3	19.782	1.73E-01	

4.8. 총적층 시료 실내분석

4.8.1. 개요

입도분석은 체분석 방법을 이용하였으며 그 결과는 입경가적곡선으로 도시하여 부록에 수록하였다. 체분석에 의한 입도분석은 일반적으로 자갈 또는 모래와 같이 조립토를 대상으로 한 시험방법으로 결과 표시는 횡축에 입경(mm), 종축에 통과중량백분률(%)로 구성된 입경가적곡선으로 표시된다. 입경가적곡선의 기울기가 완만하면 '좋은 입도(Well graded)'라 하며 그 기울기가 급하거나 어느 특정한 입경에 치우치면 '나쁜 입도(Pooly graded) 또는 균등 입도(Uniformly graded)'라 한다. 입경가적곡선에서 통과중량 백분율 10%, 20%, 30%, 60%에 해당되는 입경을 각각 D_{10} , D_{20} , D_{30} , D_{60} 이라 할 때, D_{10} 을 흙의 유효입경(Effective grain size)이라 하고 이들로부터 균등계수(Uniformity coefficient, C_u) 및 곡률계수(Coefficient of curvature, C_g)를 아래식으로 나타낼 수 있다.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \quad C_g = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

균등계수는 조립등의 입도분포가 좋고 나쁜 정도를 나타내는 계수로서 그 값이 크면 흙이 입도분포가 넓은 범위의 입경으로 구성되어 있음을 뜻한다 일반적으로 입도분포의 좋고 나쁨의 판정기준은 다음과 같다.

- 입도가 좋다. : $C_u \geq 10, 1 < C_g \leq \sqrt{C_u}$
- 균등입도, 입도가 나쁘다. : $C_u < 10$
- 계단입도, 입도가 나쁘다. : $C_u \geq 10, C_g < 1$ 또는 $C_g > \sqrt{C_u}$

1992년에 Milan Vukovic 교수 등이 개발한 MVASKF 전산 프로그램을 이용하여 Slichter, Byer, Sauerbrei, Krueger, Zunker 및 USBR 방법 등으로 해당 총적층대수층의 수리전도도를 산정하였다. 특히 MVASKF program을 이용하여 수리전도도를 산정하는데 적용하는 경험식과 최적 적용 조건 역시 <표 4-25>에 제시하였으며 본 program에서 입경분석치를 이용하여 산정하는 기본적인 경험식은 아래와 같다

$$K = g/\mu \cdot C(n)\Psi \cdot d_e^2$$

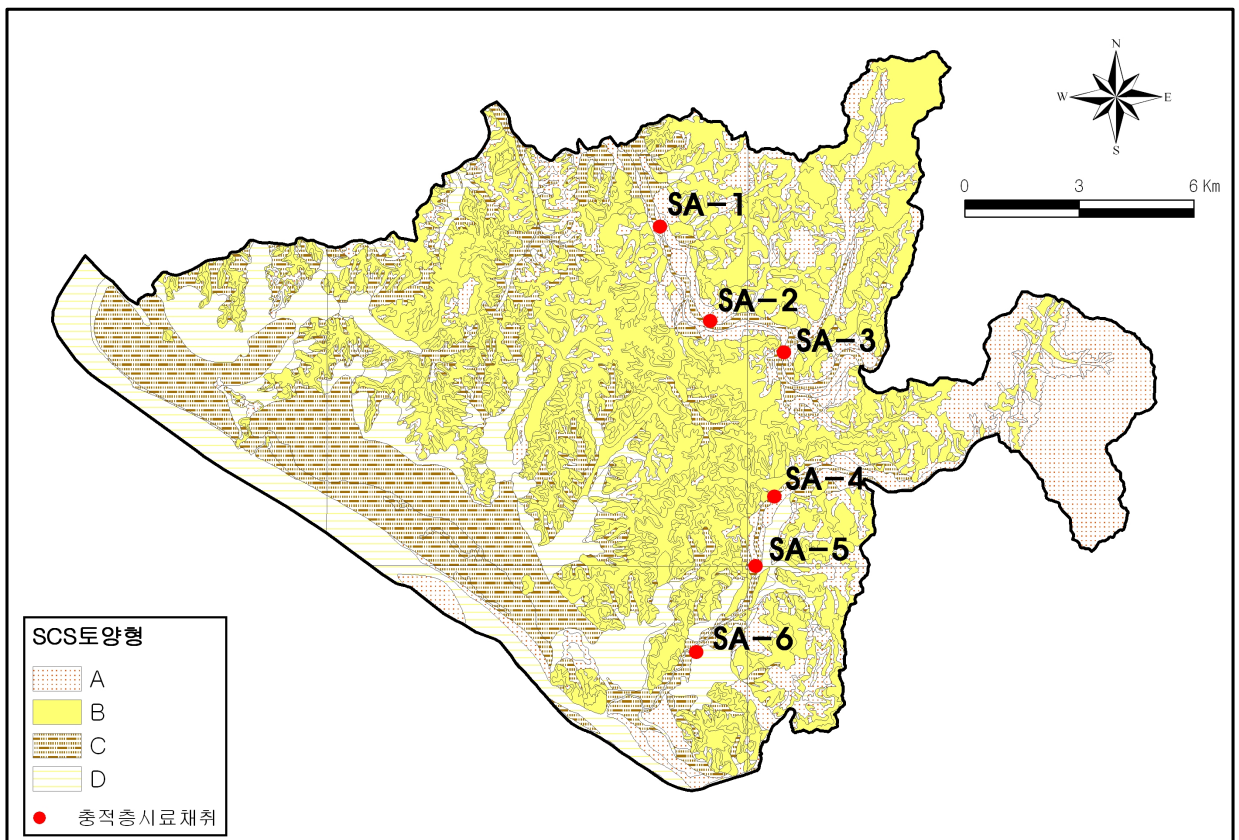
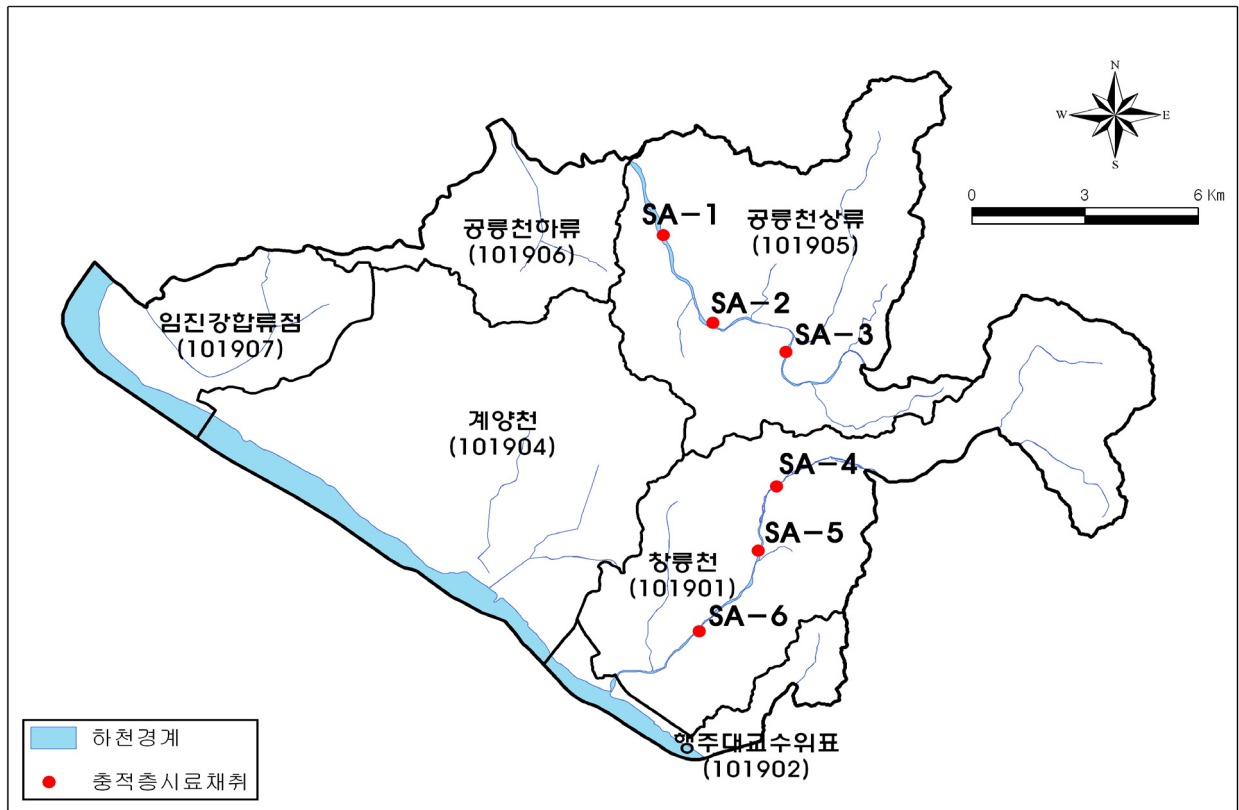
여기서 g : 중력가속도, μ : 유체의 동점성계수(poise), C : 각 경험식 별로 적용하는 상수, $\Psi(n)$: 공극율 함수, d_e : 유효입경이다.

<표 4-25> 입경분석을 이용하여 K를 산정하는 제반 경험식과 최적 적용조건

방법	경험식	최적 적용 조건	비고																		
Slichter (1898)	$K = \frac{\mu}{v} \times 10.0219 \times n^{3.287} (\text{ms}^{-1})$ $K = 4,960 \times n^{3.287} \times d_e^2 (\text{md}^1)$ <일반식> $K = \frac{\mu}{v} \times 10^{-2} \times n^{3.287} \times d_{10}^2$	0.01mm<d _e <5mm	d _e =d ₁₀ μ : 점성계수(poise) γ : 유체의 단위중량 n : 공극률																		
Beyer (1964)	$K = \left(4.5 \times 10^{-3} \log \frac{500}{n}\right) d_e^2, (\text{ms}^{-1})$ <일반경험식> $K = \frac{\mu}{v} (6 \times 10^{-3} \log \frac{500}{n}) d_e^2$	0.06mm<d ₁₀ <0.6mm 1<Cu<20	d _e =d ₁₀ n : 공극률																		
Sauerbrei	$K = 3.49 \frac{n^3}{(1-n)^2} T \cdot d_e^2, (\text{cms}^{-1})$ 여기서 T = 1.05×10⁻⁶ · $\frac{\mu}{v}$ <일반식> $K = \frac{\mu}{n} \cdot 3.75 \times 10^{-3} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot T \cdot d_e^2$	모래 및 사질점토 d<0.5mm	μ : 유체의 점성계수(ms ⁻¹) d _e =d ₁₇																		
Kruger	$K = 240 \cdot \frac{n}{(1-n)^2} \cdot d_e^2, (\text{md}^{-1})$ t=0℃ 일때의 K값임 $\frac{1}{d_e} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta g_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta g_i \cdot 2}{d_{\max} + d_{\min}}}$ <일반식> $K = \frac{\mu}{v} \cdot 4.35 \times 10^{-5} \cdot \frac{n}{(1-n)^2} \cdot d_e^2$	중립질 모래 Cu > 5	Δ g _i : 시료전체 중량 대 특정 범위의 입경을 가진																		
Kozney (1953)	$K = 7.94 \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} T \cdot d_e^2 (\text{cms}^{-1})$ 여기서 $\frac{1}{d_e} = \frac{3}{2} \frac{\Delta g_1}{d_1} + \sum_{i=2}^n \frac{\Delta g_i}{d_i}$ $\frac{1}{d_i} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{d_{i\max}} + \frac{1}{d_{i\min}} \right)$ t=18℃ 일 때 T = 1 $K_{10} = 5400 \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_{10}^2 (\text{md}^{-1})$ <일반식> $K = 8.3 \times 10^{-3} \cdot \frac{\mu}{v} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_e^2$	조립질 모래	d ₁ : 최종 fraction의 최대경 Δ g _i : 가장 세립질 ∴ 최종 fractiond 에 해당하는 부분의 중량 d _i : fraction의 평균입경 d _i max: i fraction의 최대입경 d _i min : i fraction의 최소입경 K ₁₀ : 10℃ 일때의 수리전도도																		
Zunker (1930)	$K = C \cdot \frac{n}{(1-n)} \cdot (1+0.034t) \cdot d_e^2 (\text{md}^{-1})$ $\frac{1}{d_e} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\Delta g_1}{d_1} + \sum_{i=2}^n \Delta g_i \left(\frac{d_{i\max} - d_{i\min}}{d_{i\max} \cdot d_{i\min} \ln \frac{d_{i\max}}{d_{i\min}}} \right)$ <일반식> $K = \frac{\mu}{v} \cdot C_z \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot d_e^2$ 상기 식들에서 <table><thead><tr><th>토양형태</th><th>C</th><th>CZ</th></tr></thead><tbody><tr><td>원형 smooth한 입자로 균질모래</td><td>1160</td><td>2.4×10-3</td></tr><tr><td>비균질모래</td><td>680</td><td>1.4×10-3</td></tr><tr><td>비균질 성분</td><td>580</td><td>1.2×10-3</td></tr><tr><td>불균질한 형태를 가진 점토질</td><td>340</td><td>0.7×10-3</td></tr><tr><td>불균질 성분</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	토양형태	C	CZ	원형 smooth한 입자로 균질모래	1160	2.4×10-3	비균질모래	680	1.4×10-3	비균질 성분	580	1.2×10-3	불균질한 형태를 가진 점토질	340	0.7×10-3	불균질 성분			세립~중립질모래 d > 0.0025mm	
토양형태	C	CZ																			
원형 smooth한 입자로 균질모래	1160	2.4×10-3																			
비균질모래	680	1.4×10-3																			
비균질 성분	580	1.2×10-3																			
불균질한 형태를 가진 점토질	340	0.7×10-3																			
불균질 성분																					
USBR	$K = 0.36 \times d_{20}^{2.3} (\text{cms}^{-1})$ <일반식> $K = 4.8 \times 10^{-4} \times d_{20}^{2.3} \times \frac{\mu}{v} \times d_{20}^2$ at 15℃	중립질모래 Cu < 5	d ₂₀ : 20% 통과입경 d _e = d ₂₀																		

4.8.2. 조사위치

시추조사시 표준관입시험 후 주대수층을 형성하는 토층을 대상으로 시료를 채취하였다 또한 시추조사지점과 중복되지 않으며 조사지역내에서 각 유역별로 미고결층을 대표할 수 있는 6개소를 선정하여 토양시료를 채취하여 입도분석을 실시한다



<그림 4-27> 충적층 시료채취 위치도상유역별, 하:토양형별)

4.8.3. 조사결과

총 10개 시료를 대상으로 기본 물성 시험 및 입도분석 시험 결과는 다음과 같다

<표 4-26> 기본 물성 시험 결과

No.	심도 (m)	입경(mm)								U.S.C.S
		D ₀	D ₅	D ₁₀	D ₂₀	D ₄₀	D ₆₀	D ₈₀	D ₁₀₀	
GYE16092	10.5	0.02	0.036	0.066	0.23	0.72	1.6	3.3	19	SW-SM
	12.0	0.02	0.038	0.077	0.27	1.1	2.7	7.5	19	SW-SM
GYE16094	9.0	0.045	0.05	0.056	0.071	0.12	0.18	0.3	2	SM
	10.5	0.035	0.05	0.073	0.160	0.50	1.09	2.3	20	SW-SM
SA-1	0.5	0.07	0.16	0.3	0.53	0.73	1.95	10	19	SP
SA-2	0.5	0.05	0.34	0.45	0.62	0.80	1.6	2.7	19	SP
SA-3	0.5	0.065	0.095	0.155	0.31	0.66	1.2	1.9	20	SW
SA-4	0.5	0.07	0.44	0.67	1.35	2.5	3.4	4.4	18	SP
SA-5	0.5	0.07	0.31	0.435	0.59	0.91	1.5	2.4	9	SP
SA-6	0.5	0.05	0.43	0.57	0.88	1.75	2.7	3.7	10	SP

4.8.4. 수리전도도 산정결과

유효입경은 사질토의 투수성과 밀접한 관계가 있는 것으로 사질토의 수리전도도(K)는 Slichter, Sauerbrei, 및 Zunker 등이 제시한 <표 4-25>의 경험식에 의해 간접적으로 추정 할 수 있다. 위의 방법을 적용하여 산출한 수리전도도는 <표 4-27>과 같으며, 분석한 결과 전체 층적층에서의 평균 수리전도도의 범위는 $3.18 \times 10^{-5} \sim 5.74 \times 10^{-3}$ cm/sec 이다.

<표 4-27> 비교결층 시료의 입경분석을 통한 수리전도도 산정결과

번호	수 리 전 도 도 (cm/sec)						
	SLICHTER	BEYER	SAUERBREI	KRUEGERR	ZUNKER	USBR	평균
GYE16092	4.35E-06	-	2.51E-05	1.19E-04	7.52E-05	-	5.59E-05
	5.74E-06	-	3.33E-05	1.53E-04	9.29E-05	-	7.12E-05
GYE16094	1.28E-05	-	2.38E-05	-	8.22E-05	8.24E-06	3.18E-05
	6.26E-06	3.64E-05	1.93E-05	1.50E-04	1.06E-04	-	6.36E-05
SA-1	2.04E-04	7.60E-04	5.22E-04	1.62E-03	1.39E-03	-	8.99E-04
SA-2	7.66E-04	1.95E-03	-	-	2.87E-03	1.20E-03	1.70E-03
SA-3	4.65E-05	1.95E-04	1.37E-04	5.88E-04	5.01E-04	-	2.94E-04
SA-4	1.27E-03	-	-	9.41E-03	6.54E-03	-	5.74E-03
SA-5	7.32E-04	1.83E-03	-	-	3.17E-03	1.07E-03	1.70E-03
SA-6	9.77E-04	2.94E-03	-	-	4.16E-03	2.69E-03	2.69E-03

4.9. 성과종합

본 절에서 사전 수문지질평가를 통해 선정된 지하수 부존 및 산출 유망지점에 대해 실시한 전기비저항탐사·시추조사·표준관입시험·수압시험·착정조사·대수성시험·공내영상촬영 및 실내입도분석 등 본 과업의 각종 조사성과를 지점별로 망라하여 각 조사성과를 유기적으로 연계·분석하였다. 본 과업의 조사는 광범위한 조사지역을 대상으로 2개소에서 세부수리지질조사를 실시하여 조사지역의 전체적인 대수층을 규명하는데는 한계가 있으나 제한적인 조사물량을 사전 수문지질특성평가를 통해 조사성과를 극대화할 수 있도록 체계적인 조사계획을 수립하였으며, 제한적인 본 과업의 조사성과를 바탕으로 기왕의 지하수 조사실적을 보조자료로 활용하여 향후 지하수 부존 및 산출 특성 분석시 조사 및 분석성과의 지역화를 통해 효율적인 분석체계를 확립하였다. 각 수리지질조사 지점별 시추조사, 표준관입시험, 수압시험, 착정조사, 공내영상촬영 및 대수성시험 등의 성과를 종합하면 다음과 같다.

4.9.1. 충적지하수

가. 화전지구(GYE16092, GYE16093)

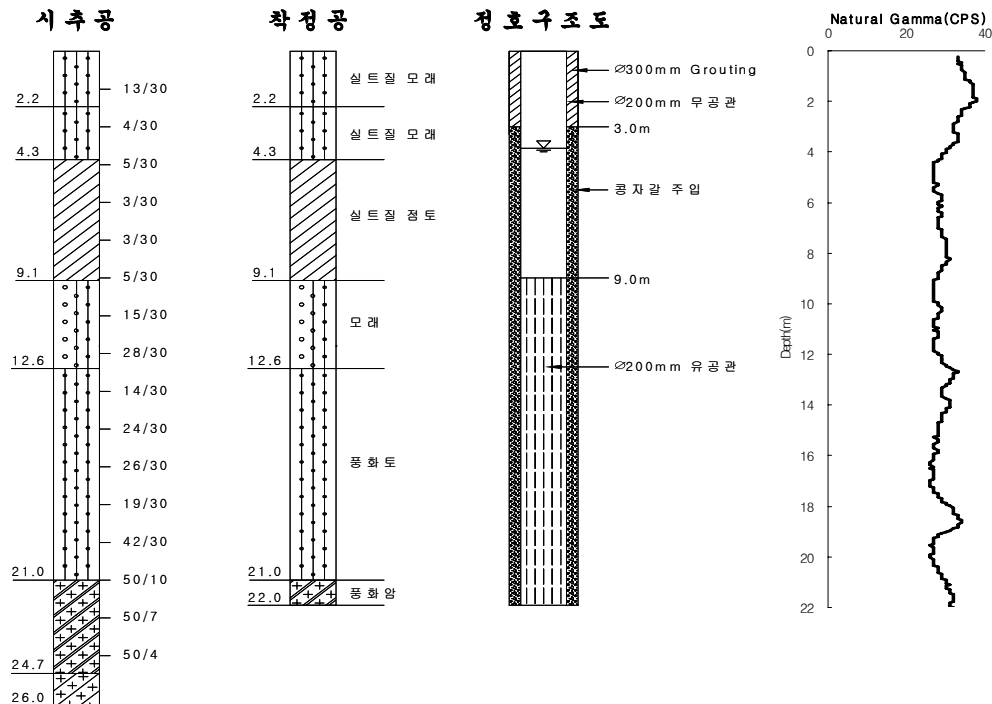
본 지역은 고양시의 남측에 위치하며 창릉천의 직하류 구간으로 충적층 분포지역의 입지조건이 충적지하수 산출에 매우 유리한 지점이다. 전기비저항 탐사결과 충적층 및 풍화대가 최대 BGL. -23.8m로 조사되었으며, 시추조사결과 모래층이 상부에 4.1m, 하부에 11.9m의 층후로 분포하며 모래층 상부와 하부 사이에 4.8m 층후의 점토층이 분포한다. 충적층 하부로 풍화대가 3.7m 정도로 확인되었다. 대수성시험 결과 비양수량 9.43m³/일, 수리전도도 $4.42 \times 10^{-2} \sim 8.36 \times 10^{-1}$ m/일, 투수량계수 1.00~15.50m³/일, 저류계수 $3.16 \times 10^{-4} \sim 1.38 \times 10^{-1}$ 로 분석되어, 충적지하수의 산출성이 양호한 것으로 조사되었다. 시추조사시 지하수위는 BGL. - 3.8~3.4m로 조사되었다.

<표 4-28> 화전지구의 조사성과

관측정	위치	전기비저항			층서(BGL-m)	SPT/TCR	입도분석 (분류, K(cm/sec))	수압시험	
		지층	분포(GL-m)	$\Omega \cdot m$				Lu	K(cm/sec)
GYE16092	덕양구 화전동	충적층	1.4~9.0	32~258	모래 ~ 4.3 실트 ~ 9.1 모래 ~ 12.6	4/30~13/30 3/30~ 5/30 5/30~28/30	SW-SM, $5.59 \times 10^{-5} \sim 7.12 \times 10^{-5}$	-	-
		풍화대	5.8~23.8	32~605	풍화토 ~ 21.0 풍화암 ~ 24.7	14/30~42/30 50/10~50/ 4			
		기반암	풍화대 이하	58~1,500	연암 ~ 26.0	82/41			

<표 4-28> 화전지구의 조사성과(계속)

시험정	위치	대수성 시험			
		양수량/비양수량	T(m ³ /일)/평균	K(m/일)/평균	S/평균
GYE16093	덕양구 화전동	110m ³ /일 / 9.43m ³ /일	1.00 ~ 15.50 /5.21	4.42×10^{-2} ~ 8.36×10^{-1} / 3.37×10^{-1}	3.16×10^{-4} ~ 1.38×10^{-1} / 6.13×10^{-2}
		물 리 검 측			
		자연감마검층(CPS)		유향유속검층(cm/sec)	
		2 ~ 33 /10		1.199×10^{-4} ~ 1.517×10^{-3} / 6.862×10^{-4}	



4.9.2. 암반지하수

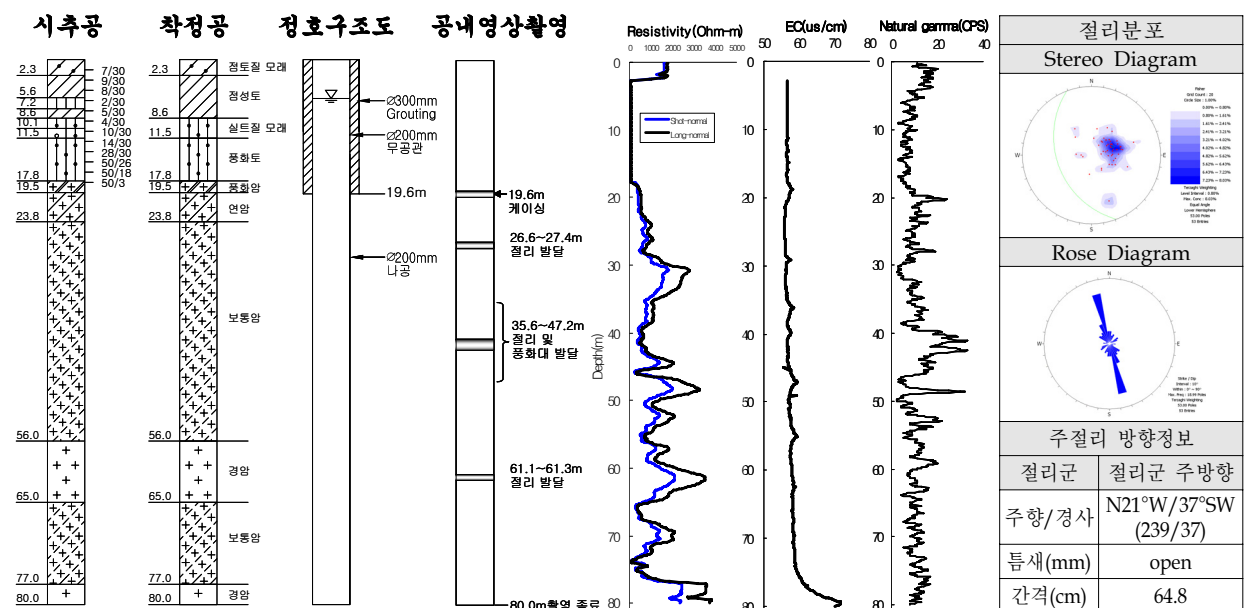
가. 주교지구 (GYE16094, GYE16095)

본 지구는 고양시의 중서부측에 위치하며 한강수계인 대장천을 중심으로 발달한 충적층이대규모 경작지를 이루며 기반암은 화강편마암으로 구성되어있다. 시추조사 결과 모래 점토 및 실트질모래가 11.5m까지 분포하며 그 하부로 풍화대가 19.5m 층후로 확인되었다. 확정조사 후 실시한 대수성 시험결과 비양수량 1.06m³/일, 수리전도도 2.88×10^{-3} ~ 3.29×10^{-2} m/일, 투수량계수 0.23~2.54m³/일, 저류계수 1.95×10^{-4} ~ 1.02×10^{-1} 로 조사되어 다른 암반지하수 조사지점에 비해 대수층의 산출성이 다소 떨어지는 것으로 보인다 시추지점에서의 지하수위는 BGL.- 2.9~2.3m로 조사되었다.

<표 4-29> 주교지구의 조사성과

관측정	위치	전기비저항			층서 (BGL-m)	SPT/TCR	입도분석 (분류, K(cm/sec))	수압시험	
		지층	분 포(GL-m)	Ω·m				Lu	K(cm/sec)
GYE16094	덕양구 주교동	충적층	5.06~12.0	120~1177.1	모래 ~2.3	7/30	SM,3.18X10 ⁻⁵ SW-SM,6.36X10 ⁻⁵	0.09	7.32X10 ⁻⁷ ~ 4.64X10 ⁻⁵
					점토 ~8.6	2/30~ 9/30			
					모래 ~11.5	4/30~10/30			
					풍화토~17.8	14/30~50/18			
		풍화대	5.06~36.0	64.1~399.6	풍화암~19.5	50/3		3.15	
					연암 ~23.8	72/ 5~ 86/ 0			
		기반암	풍화대 이하	442~1698.7	보통암~56.0	96/42~100/56		m: 1.75	m:2.29X10 ⁻⁵
					경암 ~65.0	100/50~100/79			
					보통암~77.0	93/28~100/61			
					경암 ~	100/67			

시험정	위치	대수성 시험			
		양수 량/비양수량	T(m³/일)/평균	K(m/일) / 평균	S / 평균
GYE16095	덕양구 주교동	40m³/일 / 1.06m³/일	0.23 ~ 2.54 /1.00	2.88×10 ⁻³ ~ 3.29×10 ⁻² / 1.30×10 ⁻²	1.95×10 ⁻⁴ ~ 1.02×10 ⁻¹ / 1.76×10 ⁻²
		물 리 검 측			
		전기검층(ohm-m)	EC검층(μs/cm)	자연감마검층(CPS)	유 향유 속 검 층(cm/sec)
		단노말12~2440 장노말21~3840	55.5~71.8 /58	2~33 /10	1.199×10 ⁻⁴ ~ 1.517×10 ⁻³ / 6.862×10 ⁻⁴



5. 지하수 부존 및 산출특성

5.1. 수문지질단위 분류

5.2. 지하수 수위분포

5.3. 지하수 유동체계

5.4. 대수층 수리특성

5.5. 수문지질 특성 평가

5.6. 지하수 함양량 및 개발가능량

5. 지하수 부존 및 산출 특성

지하수계(groundwater regime)는 기상·수문·지형·지질 및 지표 피복 상태 등 제 환경의 조합 및 상호작용에 따라 종합적으로 형성되는 동역학적 시스템으로서 지하수계에서 발생하는 복합적인 작용과 지하수 산출 특성을 총체적으로 이해하기 위해서는 시스템을 구성하는 기본 요소의 물리적 특성에 대한 규명이 필요하다. 지하수계를 구성하는 기본 요소로는 지하수 함양과 배출의 균형 수문과 지질의 연관성 및 함양에서 배출에 이르는 지하수의 유동 과정에 영향을 미치는 각 요소 사이의 상관 관계를 들 수 있다. 지하수계에 영향을 미치는 동적인 변화 요인은 공간적 요인과 시간적 요인으로 구분되며 시간·공간적으로 지하수 수량·수질 조건의 변화특성을 지배하는 제반 물리적 인자를 분석하여 지하수의 기원·산출 및 유동상태를 규명하는 것이 수문지질특성 분석의 일반적인 절차이다. 지하수계에 영향을 미치는 시·공간적인 요인과 이를 규제하는 물리적 요소는 <표 5-1> 및 <표 5-2>에 각각 요약한 바와 같다.

<표 5-1> 지하수계에 영향을 미치는 시·공간적 변화 요인

시간적 요인	공간적 요인
· 초 단기변화 : 지진 · 단기 변화(시간, 일 단위) : 대기압·기온 및 조석 · 장기 변화 : 대기순환·태양운동 · 초장기 변화 : 지구조 운동 · 초장기 기상변화	· 기상 : 대기와 암석권 사이의 물 순환 · 수문 : 하천 및 호소 · 식생·토양 : 통기대의 물 · 토양 함수비 · 지질 : 암석권의 변화 · 인위적 요소 : 토지 개발이용 및 굴착

<표 5-2> 지하수계를 규제하는 물리적 요소

구 분	내 용
· 수문·기상	· 지하수 함양 : 강수량·유출량·증발량 · 지하수 배출 : 수계의 발달(수계 밀도)
· 지질 조건	· 지층 고유의 물성(공극률 및 투수성등) · 지질구조 : 지하수의 부존 및 유동
· 지형 조건	· 지형고도 · 지형기복(지형개석 및 침식) : 지하수 배출 · 지형경사 : 하천 유출 및 지하수 함양율
· 지표 피복 상태	· 토양 : 수평·수직분포, 함수비, 비포화대 두께, 동결심도 · 식생·임상 : 지표유출 저감, 강수 차단, 토양 증발 억제, 엽면 증발, 지하수 함양

본 장에서는 세부수리지질 조사의 성과와 기존의 지하수 개발 실적을 망라하여 기상 수문·지형·지표피복 및 지질 등 지하수계에 영향을 미치는 중요한 물리적 요인에 대한 현황 분석을 실시하였다.

본 조사에서는 기초조사의 성과로 도출된 방대한 양의 자료를 효율적으로 관리 처리하여 유기적이고 심화된 결론을 유도하고 분석성과를 가시적으로 표현하고자 분석 기초자료 일체를 전산 입력한 후 공간정보를 부여하여 GIS DB를 구축하였다. 이에 대해 최신 GIS기법을 적용, 자료 상호간의 오류수정 및 중첩분석을 실시하여 기초자료간의 모순을 최소화하고 기초자료의 불확실성이 결론에 미치는 영향을 최대한 배제하도록 하였다 또한 기존의 수작업에 의한 주관적 판단에 의존하였던 수문지질평가에 대해 각 분야별 최종성과와 세부지하수조사 성과를 연계하여 정량화한 수문지질특성 분류표를 작성하고 이에 관한 작업절차를 표준화하였다.

5.1. 수문지질단위 분류

5.1.1. 수문지질단위 설정

조사지역의 지질도는 암석의 생성시대 및 생성원인 암상의 특성 등을 기준으로 분류하여 지층의 종류가 복잡하고 이해하기 어려운 부분이 있으므로 이를 수문지질단위로 단순화시키는 작업이 필요하다. “지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침(2006, 국토해양부)”에서 지질 및 암상을 지하수의 수리적 특성을 고려하여 14개의 수문지질단위로 분류하였으며, 본 과업에서도 이 지침에 의거 수문지질단위를 설정하였다(<표 5-3>).

수문지질단위상 충적층을 이루고 있는 미고결쇄설성퇴적층은 일반적으로 지하수의 산출성이 큰 대수층을 형성할 수 있는 가능성이 크다고 할 수 있으며 열과 압력에 의해 변성작용을 받은 변성암은 상대적으로 지하수 산출성이 낮은 편에 속한다

조사지역에 분포하는 총 7개의 지질단위를 지하수 특성을 고려하여 유사한 수문지질단위로 재분류하면 분포면적이 1%이하인 산성암맥류와 반상화강암은 면적이 너무 작아 분류해석시 어려우므로 관입화성암의 트라이아스기-쥬라기산성관입화성암으로, 정편마암은 변성암의 준편마암에 포함시켜 <표 5-4>와 같이 3개의 수문지질단위로 분류하였다

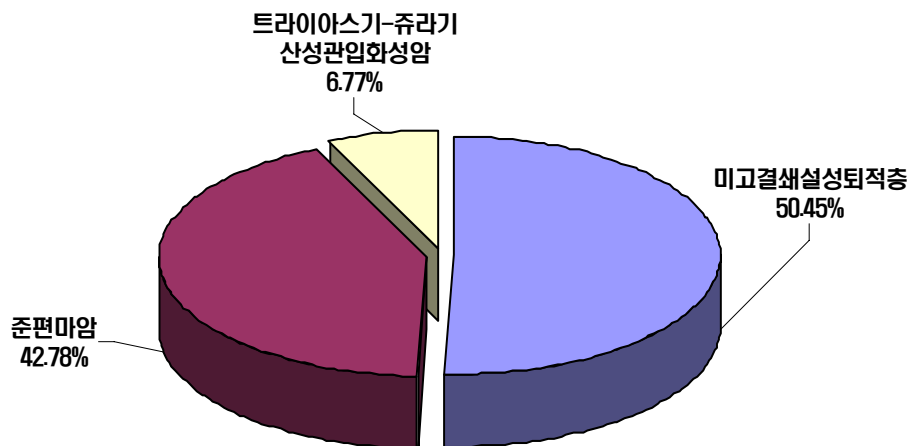
수문지질단위별 면적분포를 보면 미고결쇄설성퇴적층이 가장 넓은 면적(50.45%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 준편마암(42.78%), 트라이아스기-쥬라기산성관입화성암(6.77%)의 순서로 분포하고 있다.

5. 지하수 부존 및 산출 특성

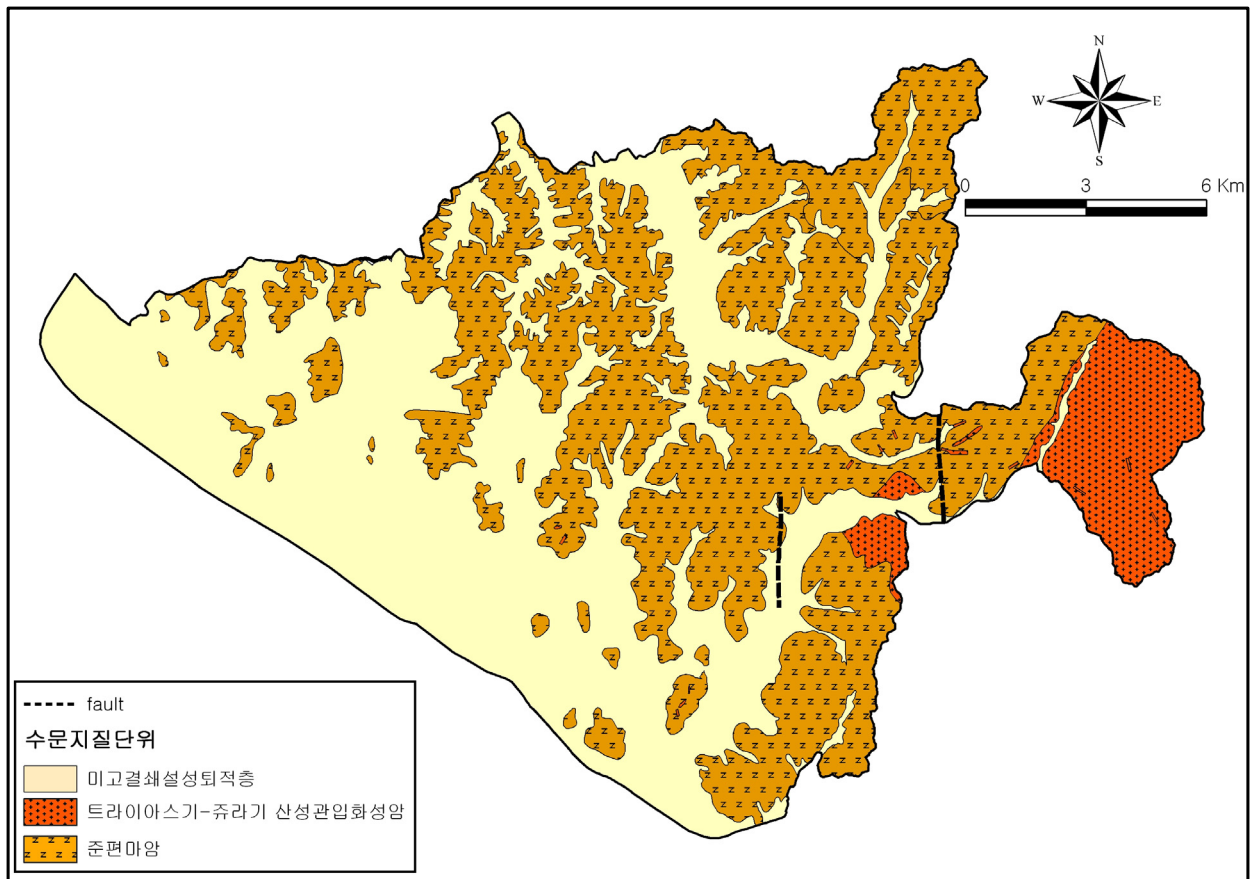
본 조사에서 설정한 수문지질단위 분류는 현장조사와 기존 지하수 수리시험 관련 자료 수집 및 재해석을 통해 수리상수를 도출하고 이를 고려하여 정량적인 분류를 하는데 이용되었으며, 이에 대한 자세한 기술은 '5.4. 대수층 수리 특성에서 언급하기로 하고 본 절에서는 수문지질단위 설정에 관해서는 간략히 언급하기로 한다 <그림 5-1>은 상기의 수문지질단위 분류기준에 따라 조사지역의 지질분포를 수문지질단위로 도시한 것이다

<표 5-3> 조사지역내의 수문지질 단위별 지질 및 암상

지질단위					수문지질단위				
시대	기호	지질단위	암상	구성비(%)	명칭		면적(km ²)	구성비(%)	산출성*
제4기	Qa	충적층	흙,모래,자갈	50.45	미고결 쇄설성 퇴적층		134.85	50.45	큼
백악기	Ka	산성암맥류	산성암	0.14	관입 화성암	-	0.37	0.14	-
쥬라기	Jbgr	흑운모화강암	흑운모화강암	5.81	관입 화성암	트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암	15.52	5.80	낮음
시대미상	Pgr	반상화강암	반상화강암	0.83	관입 화성암	-	2.21	0.83	-
선캠브리아기	PCbgrgn	흑운모화강편마암	흑운모화강편마암	0.47	변성암	-	1.26	0.47	-
	PGmgn	미그마타이트질편마암	미그마타이트질편마암	4.90	변성암	준편마암	113.10	42.31	보통
	PGbgn	흑운모편마암	흑운모편마암	37.40					



<그림 5-1> 수문지질 단위별 분포면적비



<그림 5-2> 수문지질단위 분류도

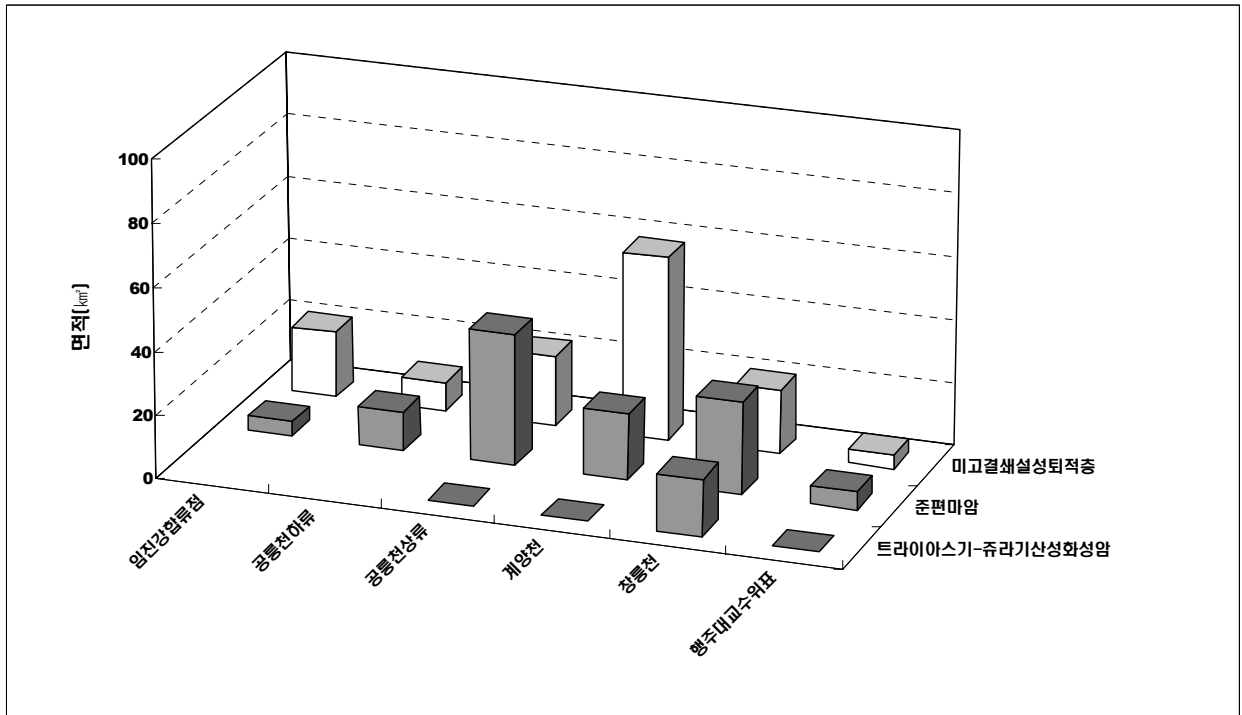
5.1.2. 유역별 수문지질단위 분포

미고결쇄설성퇴적층은 전체 분포 면적의 43.02%에 해당하는 58.01km²가 계양천 유역내에 분포하며, 임진강합류점 유역과 공릉천상류 및 창릉천 유역에 각각 15.10 ~ 16.31%, 그 외의 유역에서 6.70%(공릉천하류)와 3.39%(행주대교수위표)의 분포양상을 보이며, 조사지역 내 수문지질단위 중 분포면적 134.85km²(50.45%)로 가장 넓게 분포한다.

트라이아스기-쥬라기산성관입화성암은 과업지역내 18.10km², 약 6.77%로 소규모에 해당되며, 그 중 99.17%가 창릉천 유역에 분포하고 공릉천상류, 계양천 및 행주대교수위표유역에 0.1%내외로 분포한다. 임진강합류점 및 공릉천하류 유역에서는 분포하지 않는다

준편마암은 과업지역내 114.78km²로 약 42.78%를 차지하며, 그 중 36.29%에 해당하는 41.50km²가 공릉천하류 유역에 분포하고 창릉천, 계양천 및 공릉천하류 유역은 10.56 ~ 25.74%, 그 외의 유역은 5% 이내로 행주대교수위표 유역과 임진강합류점 유역이 분포하며 조사지역내 미고결쇄설성퇴적층과 더불어 넓은 지역에 분포한다

5. 지하수 부존 및 산출 특성



<그림 5-3> 유역별 수문지질단위 면적 분포

<표 5-4> 수문지질단위의 유역별 분포

(단위 : km²)

구분	미고결쇄설성퇴적층		트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암		준편마암		유역합계	
	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
창릉천	20.36	15.10%	17.95	99.17%	29.43	25.74%	67.74	25.34%
행주대교 수위표	4.58	3.39%	0.01	0.06%	5.77	5.05%	10.36	3.88%
계양천	58.01	43.02%	0.04	0.22%	21.00	18.36%	79.05	29.57%
공릉천 상류	22.00	16.31%	0.10	0.55%	41.50	36.29%	63.60	23.79%
공릉천 하류	9.03	6.70%	0.00	0.00%	12.08	10.56%	21.11	7.9%
임진강 합류점	20.87	15.48%	0.00	0.00%	4.58	4.00%	25.45	9.52%
수문지질 합계	134.85	100%	18.1	100%	114.36	100%	267.31	100.0%

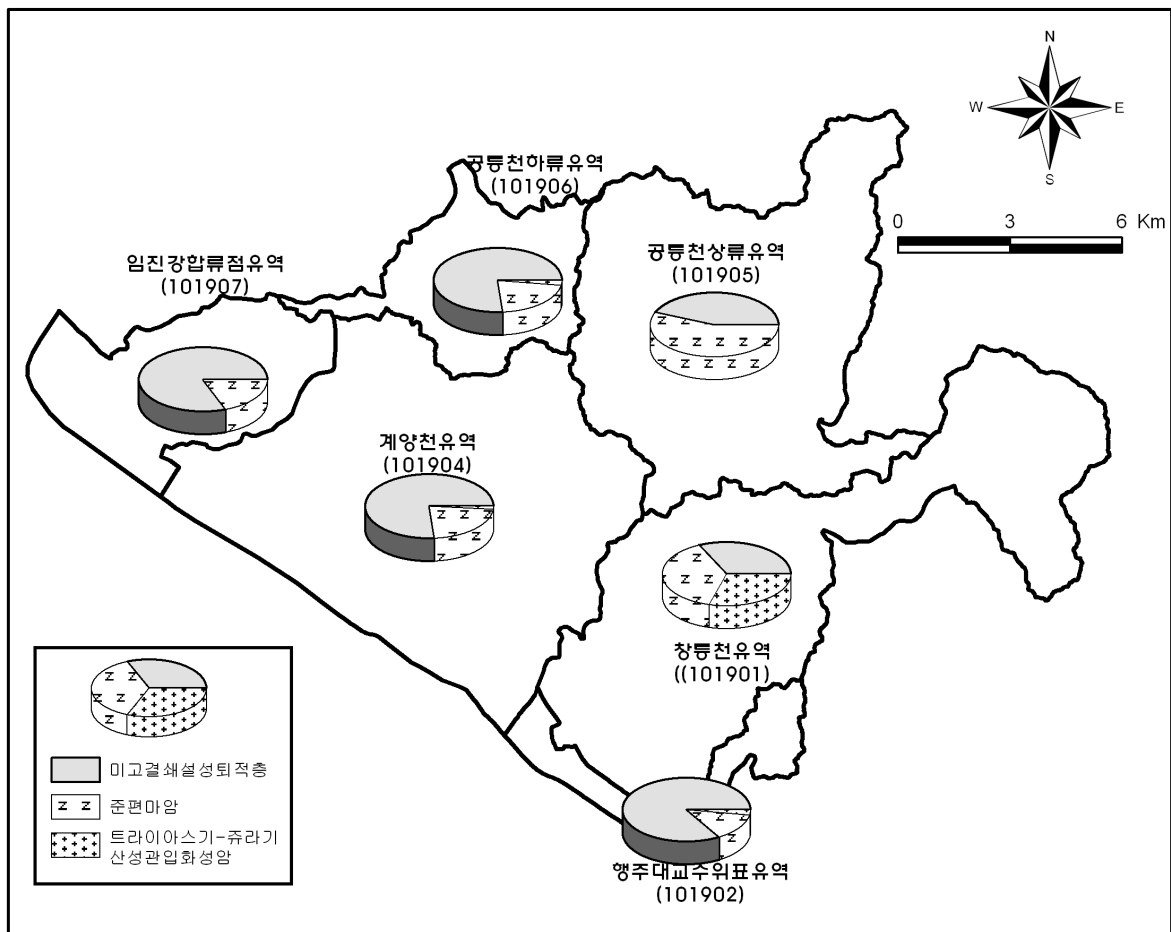
주) 비율 : 수문지질단위의 유역별 면적 백분율(해당유역의 해당수문지질면적/해당수문지질의 총면적×100)

<표 5-5> 유역별 수문지질단위 분포

(단위 : km²)

구분	미고결쇄설성퇴적층		트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암		준편마암		유역합계	
	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
임진강 합류점	20.87	82.02%	-	-	4.58	17.98%	25.45	100%
공릉천 하류	9.03	42.78%	-	-	12.08	57.22%	21.11	100%
공릉천 상류	22.00	34.59%	0.1	0.16%	41.50	65.25%	63.60	100%
계양천	58.01	73.38%	0.04	0.05%	21.00	26.57%	79.05	100%
창릉천	20.36	30.05%	17.95	26.51%	29.43	43.44%	67.74	100%
행주대교 수위표	4.58	44.17%	0.01	0.10%	5.77	55.73%	10.36	100%
수문지질 합계	134.85	50.45%	18.1	6.77%	114.36	42.78%	267.31	100%

주) 비율 : 유역별 수문지질단위의 면적 백분율(해당유역의 해당수문지질면적/해당수문지질의 총면적×100)

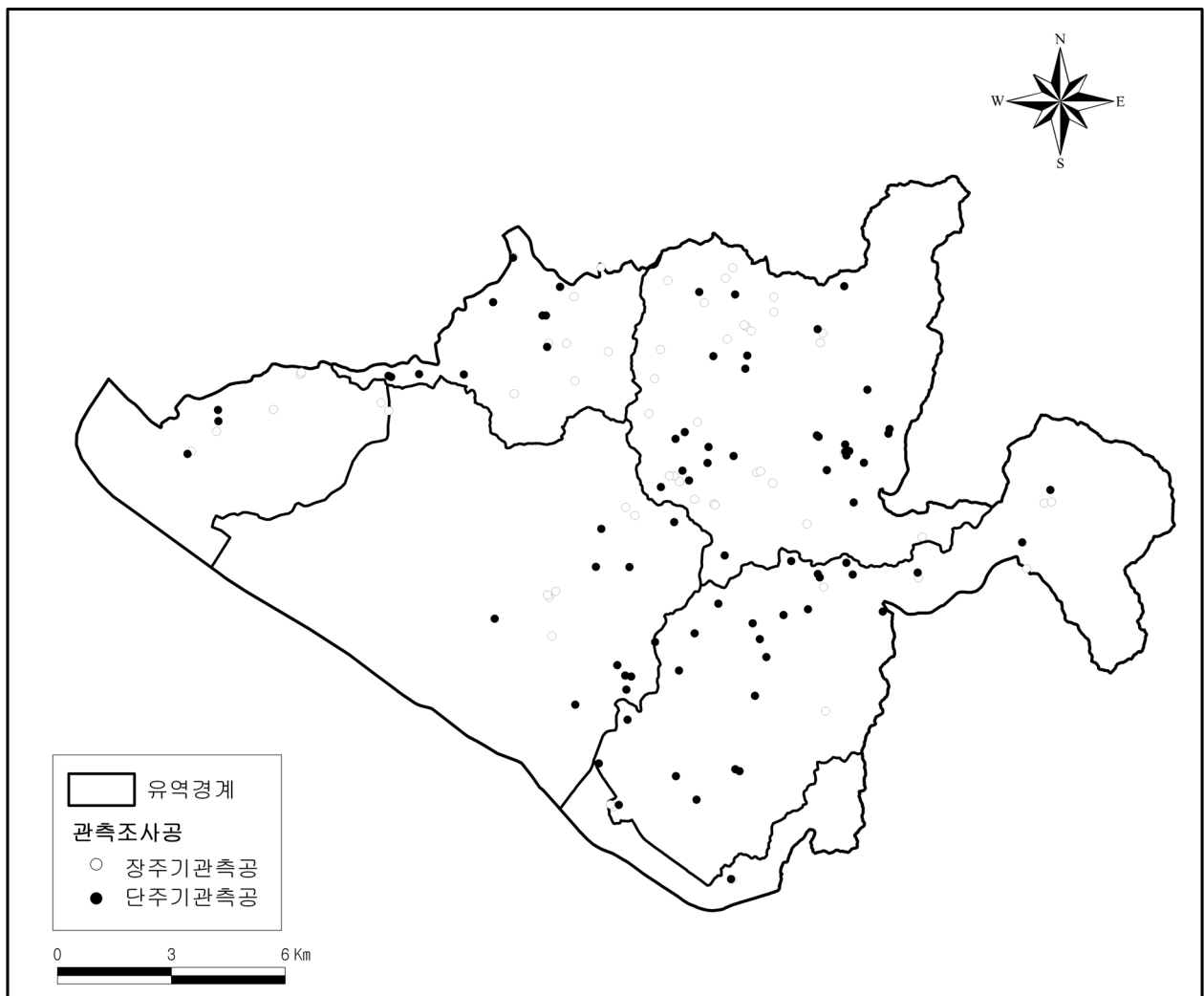


<그림 5-4> 유역별 수문지질단위 면적 분포

5.2. 지하수 수위분포

과업지역의 광역적 지하수위의 분포 및 변화양상을 파악하고 장기적인 수위의 변동특성을 분석하기 위해서 단주기 관측 자료가 있는 80개소의 지하수위 자료를 분석하였다

‘4.3. 지하수 관측조사에서 선정된 관측공의 표고자료와 그 지점에서 관측된 지하수심도 자료를 이용하여 지하수수위 자료로 변환하였고 조사지역의 평수기 지하수수위 자료를 이용하여 지하수 등수위선도를 작성하였다 또한 작성된 평수기 지하수수위 자료를 이용하여 지하수 등심도선도를 작성하였으며, 지하수수위 변동특성 및 강우와 지표수유량 변동과도 연계하여 조사지역의 전반적인 지하수수위 변동특성을 규명하였다



<그림 5-5> 지하수 수위특성 분석을 위한 관측자료 위치도

5.2.1. 지하수 수위 및 심도분포

가. 평수기 지하수위 산정

평수기 지하수의 등수위선도 작성을 위해 지하수위의 단주기관측이 시행된 4회의 측정기간중 연중 평수기에 해당되는 시기를 다음과 같이 산정하였다

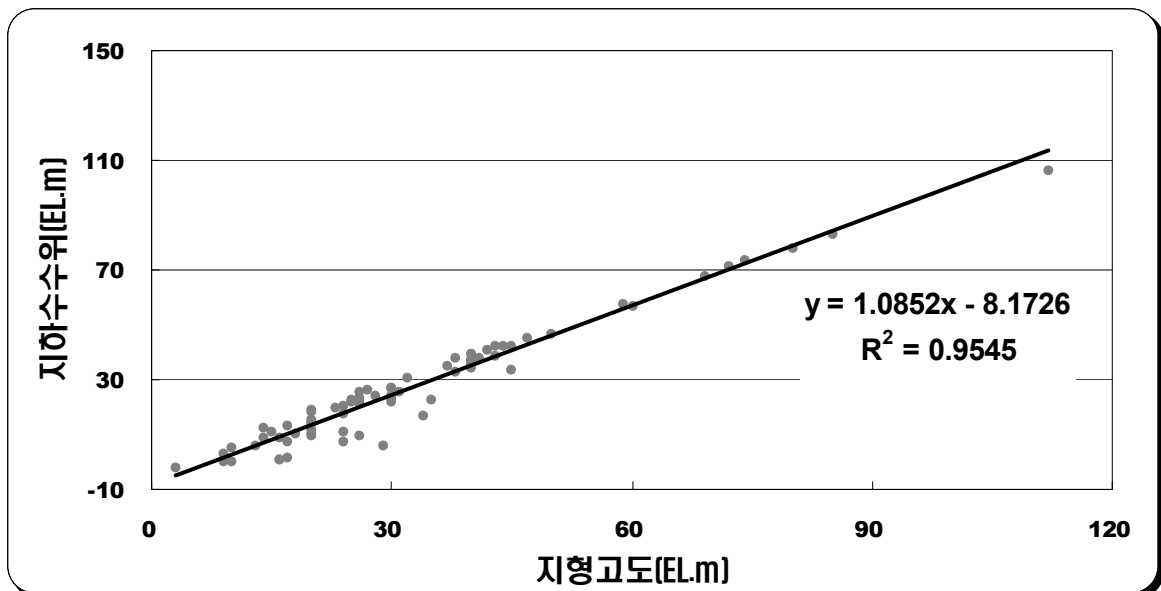
- 관측 지하수 심도의 평균에서의 변동치의 자료 분포를 통해 평균 중간값 등 1년간의 변화양상을 분석하여 2회차, 5월 관측치 80개의 우물 중 75개를 대상으로 평수기 지하수위 산정에 이용하였다

나. 지하수위 등고선

본 조사에서는 장기관측 2차조사(2007년 5월) 시기를 평수기 수위가 형성된 시기로 선정하고, 평수기의 장기관측 80공의 자료를 취합하여 평수기 지하수 등수위선도를 작성하였다

일반적으로 지하수수위는 지형고도와 높은 상관관계를 가진다 본 조사지역의 지하수 수위와 지형고도간의 상관성을 파악하기 위하여 회귀분석(regression analysis)을 실시하였다.

자료에 대한 선형회귀선은 $y = 1.0852x - 8.1726$, 결정계수는 0.9545로 지형고도와 지하수위의 상관성이 높은 것으로 나타났다



<그림 5-6> 평수기 지하수수위와 지형고도의 회귀분석

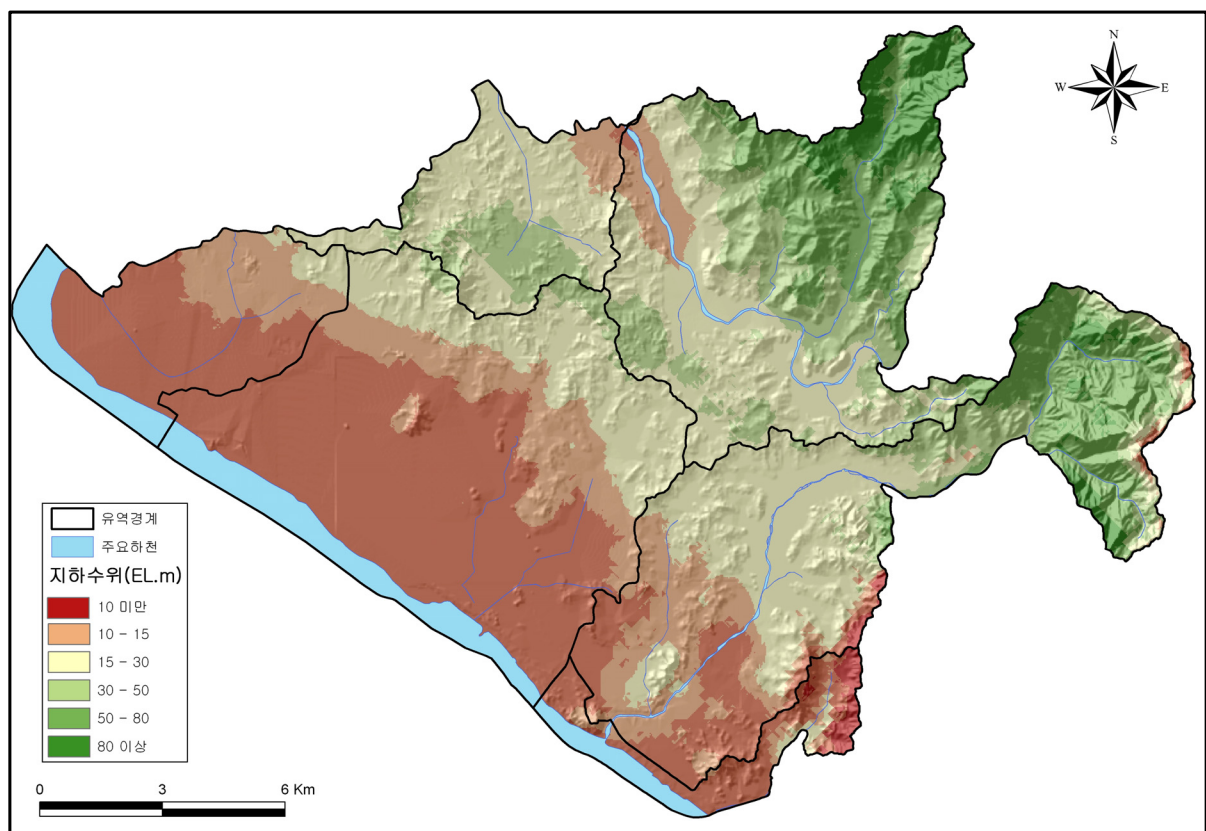
따라서 지형고도와 지하수수위 자료를 이용하여 ArcGIS에서 제공하는 공간분석통계기법(GeoSpatial Statistic Analysis)인 Universal Cokriging 기법으로 지하수수위를 모사하였다

5. 지하수 부존 및 산출 특성

지하수수위 자료는 75개의 관정으로부터 얻어진 지하수수위 자료와 부족한 지하수수위 자료를 보완하기 위해 하천으로부터 추출한 21개 지점의 하천수위 자료를 사용하였다 지형고도 자료는 DEM자료에서 300m간격으로 추출한 2944개 지점의 지형고도 자료를 사용하였다

Universal Cokriging 분석시 지하수수위 및 지형고도 자료에 적용한 variogram model · sill · range · nugget · lag size · lag number · neighborhood number 등의 입력인자와 최종 모사치와 실측자료와의 통계오차를 확인하였으며 이를 통해 모사된 평수기 지하수수위 분포는 <그림 5-7>와 같다. 모사된 평수기 지하수의 분포를 보면 고도가 높은 산악지역은 지하수수위가 높게 형성된 반면 평지와 하천지역은 지하수수위가 낮게 형성되어 지형의 특징을 잘 반영하고 있는 것으로 보인다.

모사치 Cross Validation 결과 고도 120m 이하에서는 상관성이 높게 나타나나, 지형고도가 높은 지대와 한강인근 도심발달지역에서는 실측치와 모사치간에 상관성이 떨어지는 경향이 나타난다. 이는 지하수 관측망이 비교적 저지대에 분포하고 있는 반면 조사지역의 지형고도가 높은 지역과 도심발달지역은 관측 가능한 우물이 없어 지하수위 자료의 부족으로 분석시 모사한 결과와 실제 조사한 자료의 차이가 발생한 것으로 판단된다

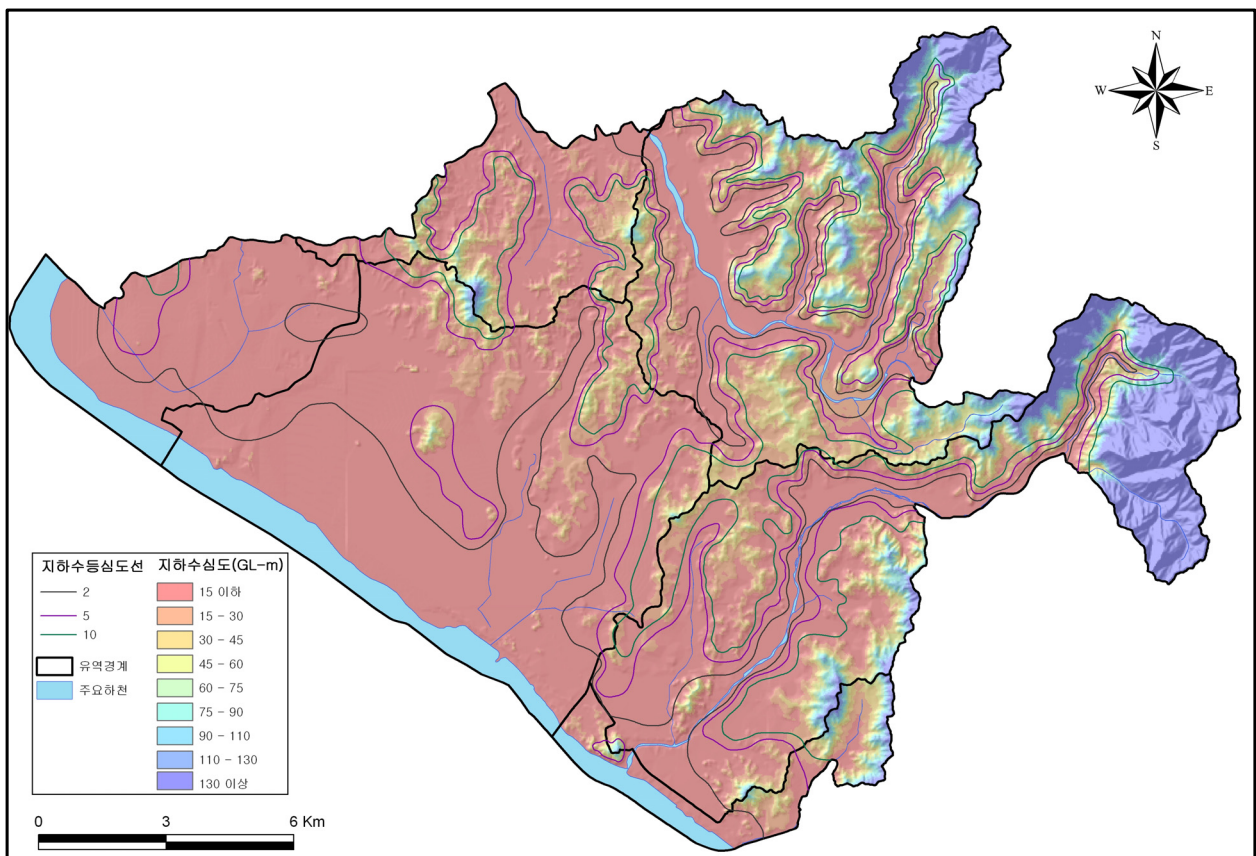


<그림 5-7> 평수기 지하수수위 분포도

다. 지하수심도 분석

조사지역의 평수기 지하수심도 분포는 지형 DEM자료와 전술한 평수기 지하수수위 분석결과의 차를 이용하여 모사하였다 이러한 방법은 지하수수위 관측지점의 지하수심도만을 이용하여 모사하는 기존의 한계를 보완하여 조사지역 전체에 대한 지하수심도 분포를 좀 더 명확히 모사할 수 있다.

모사된 평수기 지하수심도 분포도는 <그림 5-8>에 나타내었다. 표고가 높은 지역은 지하수심도가 깊게 모사되었으며, 표고가 낮은 지역은 지하수심도가 얕게 모사되었다 또한 하천주변 역시 지하수심도가 얕게 모사되어 본 분포도는 지형 및 하천의 특징을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.



<그림 5-8> 평수기 지하수심도 분포도

5.2.2. 지하수 수위변동 특성

2007년 5월~2008년 3월까지 측정된 수동 측정 자료를 바탕으로 지하수의 수위 변동 특성을 분석하였다.

유역별 연간 지하수위 변동 특성 분석하고 이를 유역별 강우량과 비교하였으며 지표수의 유량 변동과 지하수위의 변동특성 비교하였다

가. 최대-최소 수위 변동 특성

관측한 지하수위의 각 관측지점별 최대 수위와 최소 수위의 차를 계산한 지하수위 변동폭은 충적우물의 경우 최대 4.9m, 최소 -10.3m이며, 암반우물의 경우 최대 10.5m, 최소 -17.1m로 나타났다.

유역별로 암반우물은 창릉천 유역이 지하수위 변동폭이 27.6m로 가장 크고 임진강합류점 유역이 3.4m로 작게 나타났다. 또한, 충적우물은 공릉천하류 유역이 12.1m로 가장 크고 계양천이 0.5m로 가장 작다. 암반우물은 높은산지의 영향으로 창릉천 유역에서 가장 크게 나타나고 충적우물은 평야 및 하천의 영향으로 계양천 유역이 가장 작은 변동폭을 나타낸다

또한, 암반우물이 충적우물보다 수위변동폭이 크게 나타나는 것은 관측공 주변에서 사용중인 우물분포 빈도가 크기 때문인 것으로 판단된다

<표 5-6> 대수층에 따른 지하수위 변동특성

구 분	지하수위(EL+m)			지하수위 변동폭(m)		비고
	평균*	최대	최소	최대*	최소*	
암반지하수	8.71	108.0	-19.9	10.5	-17.1	
충적지하수	18.50	83.1	-10.90	4.9	-10.3	

주) 평균* : 각 수위관측지점별 최대 수위와 최소 수위의 차에 대한 평균

최대*, 최소* : 공별 평균수위와 매 관측수위와의 차이에 대한 최대·최소값

나. 유역별 연간 수위변동 특성

각 유역의 관측 회차별 평균 변동량($MeanFluc_j$)을 구하여 연간 수위 변동 특성을 분석하였다. 지하수위 평균 변동량은 해당 유역의 지하수위 변동폭을 대표하며 수직축(평균 지하수위 변동량)의 '0'을 기준으로 수위가 상대적으로 높은 시기(+)와 낮은 시기(-)를 가시적으로 표현하였다.

회차별 평균 변동량은 각 관측정별 평균수위($AVG(EL_i)$)를 산정하고, 각 관측정에서 측정된 수위($GW(EL_i)$)와 평균수위의 차를 구해 변동량을 산정한 후 산술평균하였다

$$MeanFluc_j = AVG[GW(EL.)_{ij} - AVG(EL.)_i]_j \quad (i : \text{관측정}, j : \text{관측시기})$$

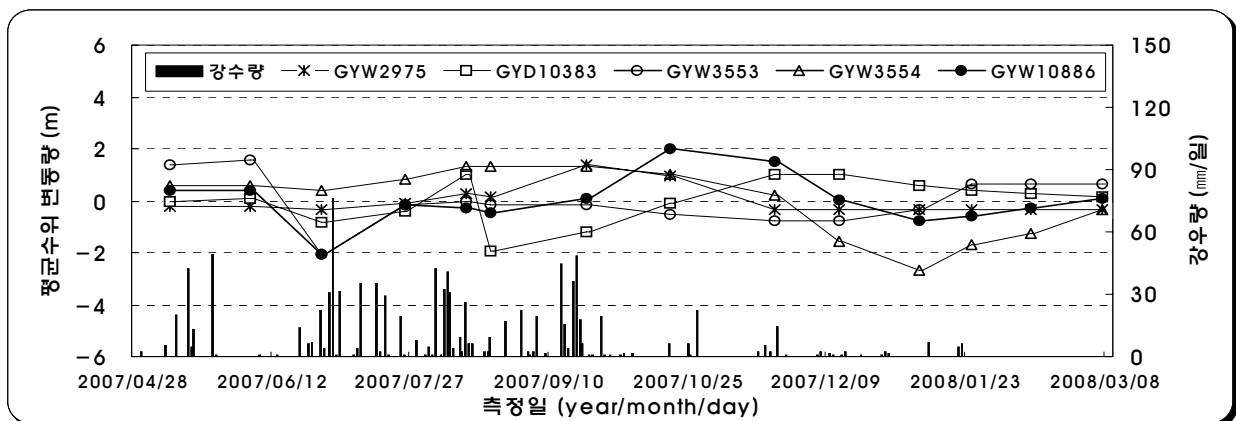
관측 지점 중 인위적 요소에 큰 영향을 받은 지점을 제외한 80개소에 대해 분석을 시행하며, 이중 전회 관측이 시행된 우물은 별도로 분석하여 비교하였다 유역별 연간 강우량 자료와 비교하여 강우량과 수위 변동 상관관계를 분석하면 다음과 같다

<표 5-7> 유역별 지하수위 변동특성

대수층	유역	지하수위(EL+m)			지하수위 변동(m)			비고
		평균	최대	최소	최대	최소	변동폭	
암반	창릉천	8.6	37.9	-19.9	10.5	-17.1	27.6	
	계양천	10.0	27.2	0.6	4.2	-4.3	8.4	
	공릉천상류	38.7	108.0	0.5	4.1	-4.9	9.0	
	공릉천하류	24.6	36.5	15.8	5.0	-3.8	8.8	
	임진강합류점	8.6	10.5	7.1	1.8	-1.6	3.4	
충적	창릉천	31.4	83.1	8.6	1.8	-2.3	4.1	
	행주대교수위표	12.7	13.0	12.4	0.3	-0.3	0.6	
	계양천	19.0	19.3	18.8	0.3	-0.2	0.5	
	공릉천상류	43.3	79.4	25.5	0.7	-0.9	1.6	
	공릉천하류	26.9	36.6	12.4	1.8	-10.3	12.1	
	임진강합류점	6.2	12.0	-34.0	4.9	-4.9	9.7	

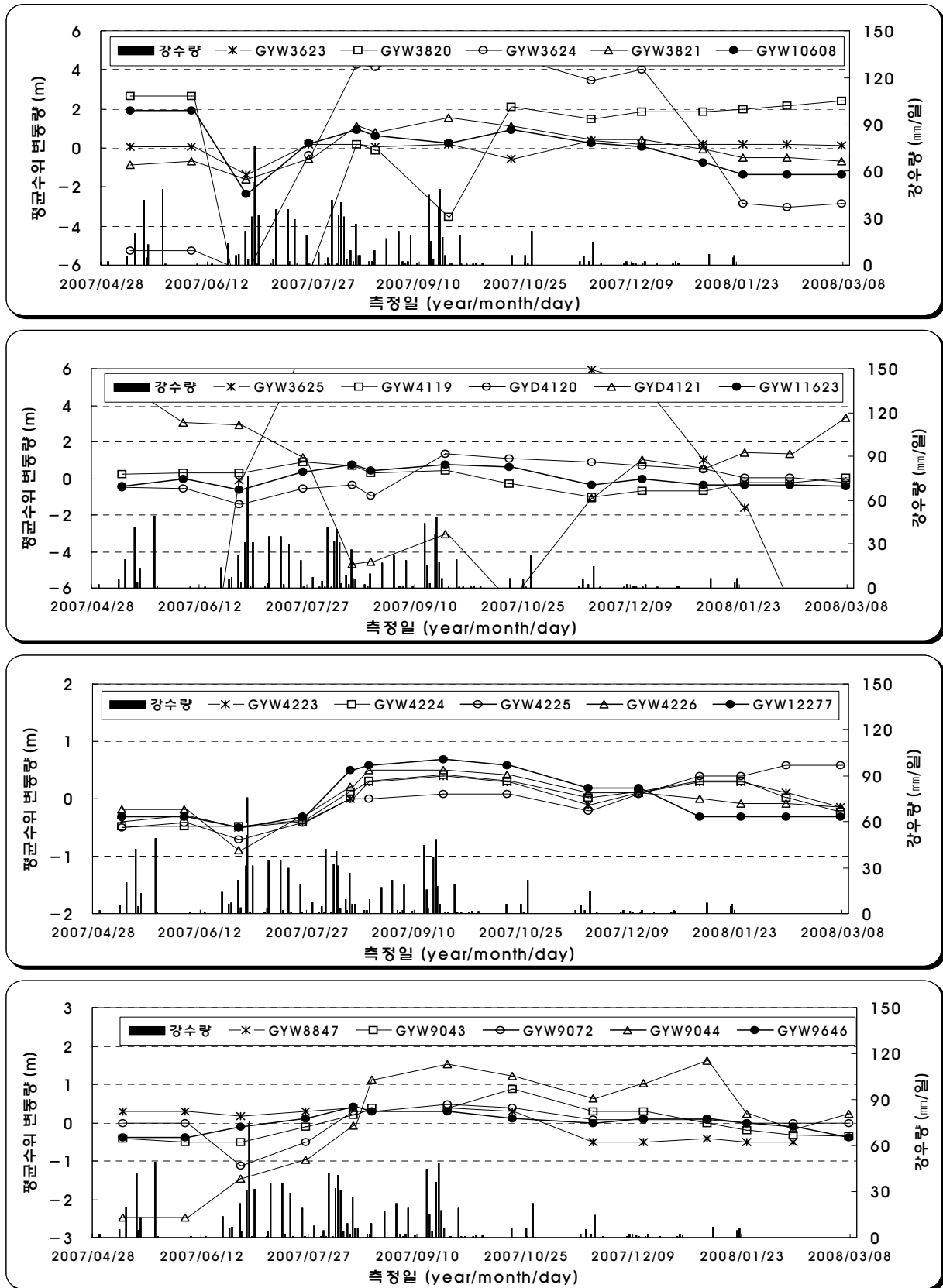
1) 창릉천 유역

전체 27개 관측정에 대해 조사 실시한 창릉천 유역의 충적지하수 우물은 지하수위가 약 EL. 8.6~83.1m에 걸쳐 분포하고 암반지하수 우물은 약 EL. -19.9~24.2m에 걸쳐 분포하며 각각의 평균은 31.4m와 6.7m를 보인다. 지하수위변동은 충적지하수 우물의 지하수위가 최대 1.7m와 최소 -2.5으로 변동폭이 4.2m의 차이를 보이고 암반지하수 우물은 최대 7.8m와 최소 -19.8m로 변동폭이 27.6m의 큰 차이를 보인다.

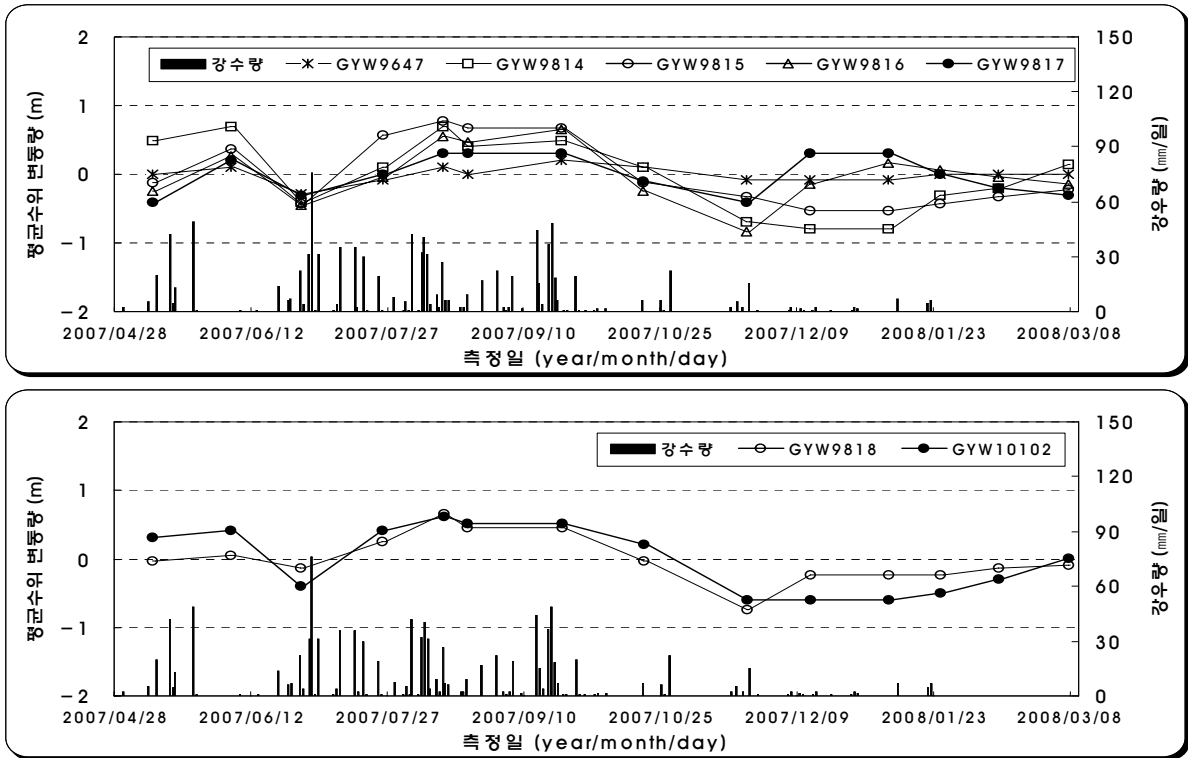


<그림 5-9> 창릉천 유역의 연간 지하수위 변동특성

5. 지하수 부존 및 산출 특성



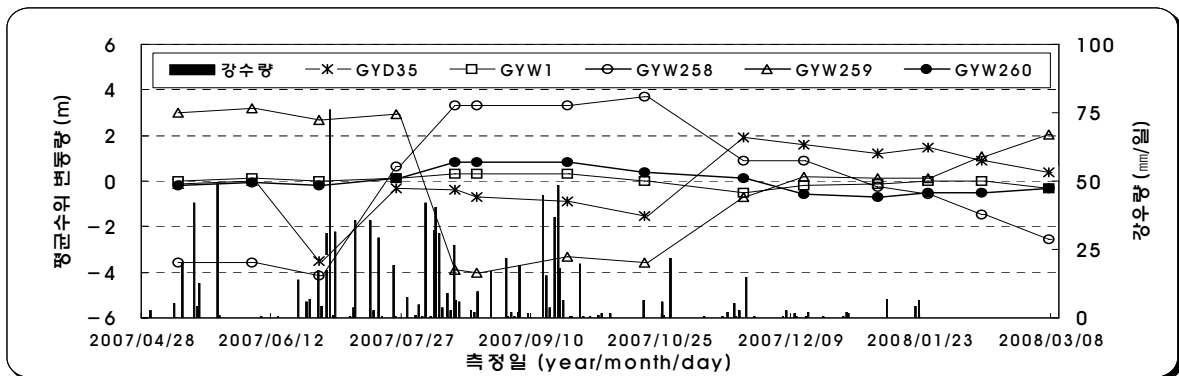
<그림 5-9> 창릉천 유역의 연간 지하수위 변동특성(계속)



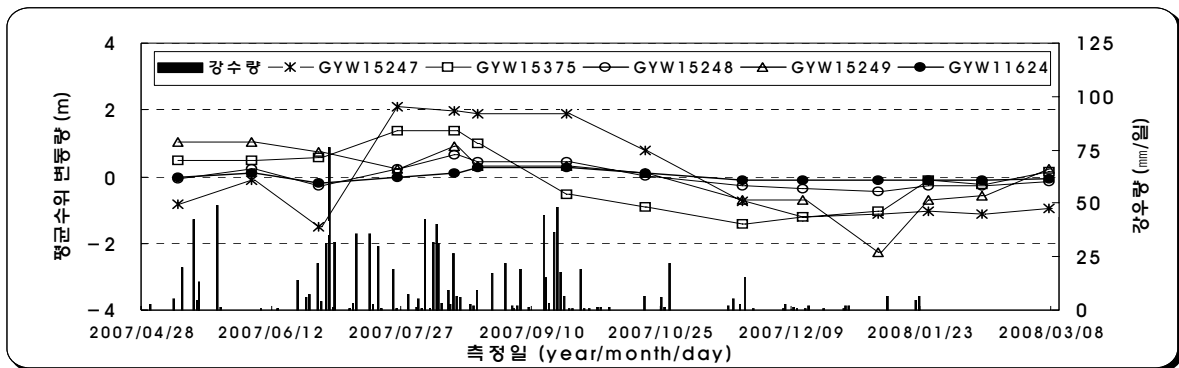
<그림 5-9> 창릉천 유역의 연간 지하수위 변동특성계속)

2) 계양천 유역

전체 10개 관측정에 대해 조사 실시한 계양천 유역의 충적지하수 우물은 지하수위가 약 EL. 18.8~19.3m에 걸쳐 분포하고 암반지하수 우물은 약 EL. 0.6m~27.2m에 걸쳐 분포하며 각각의 평균은 19.0m와 10.0m를 보인다. 지하수위변동은 충적지하수 우물의 지하수위가 최대 0.3m와 최소 -0.2m으로 변동폭이 0.5m의 차이를 보이고 암반지하수 우물은 최대 3.5m와 최소 -4.4m로 변동폭이 7.9m의 큰 차이를 보인다.



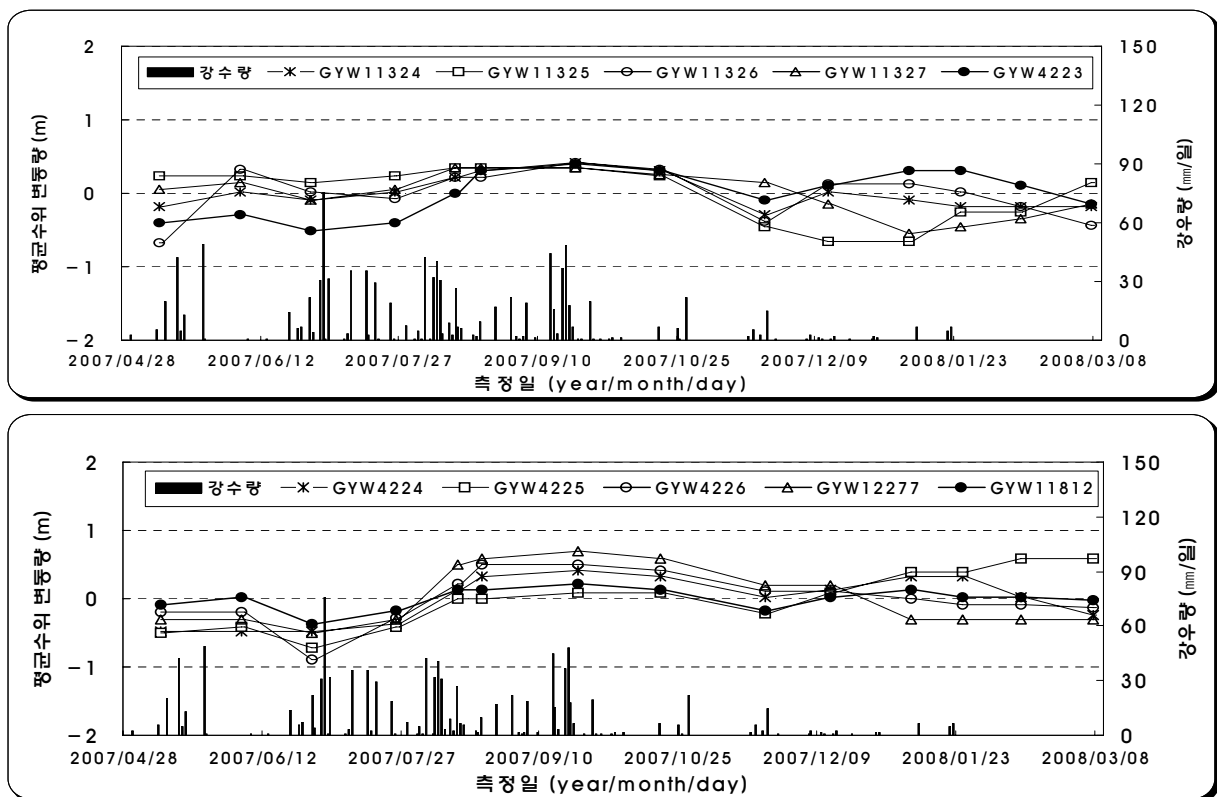
<그림 5-10> 계양천 유역의 연간 지하수위 변동특성



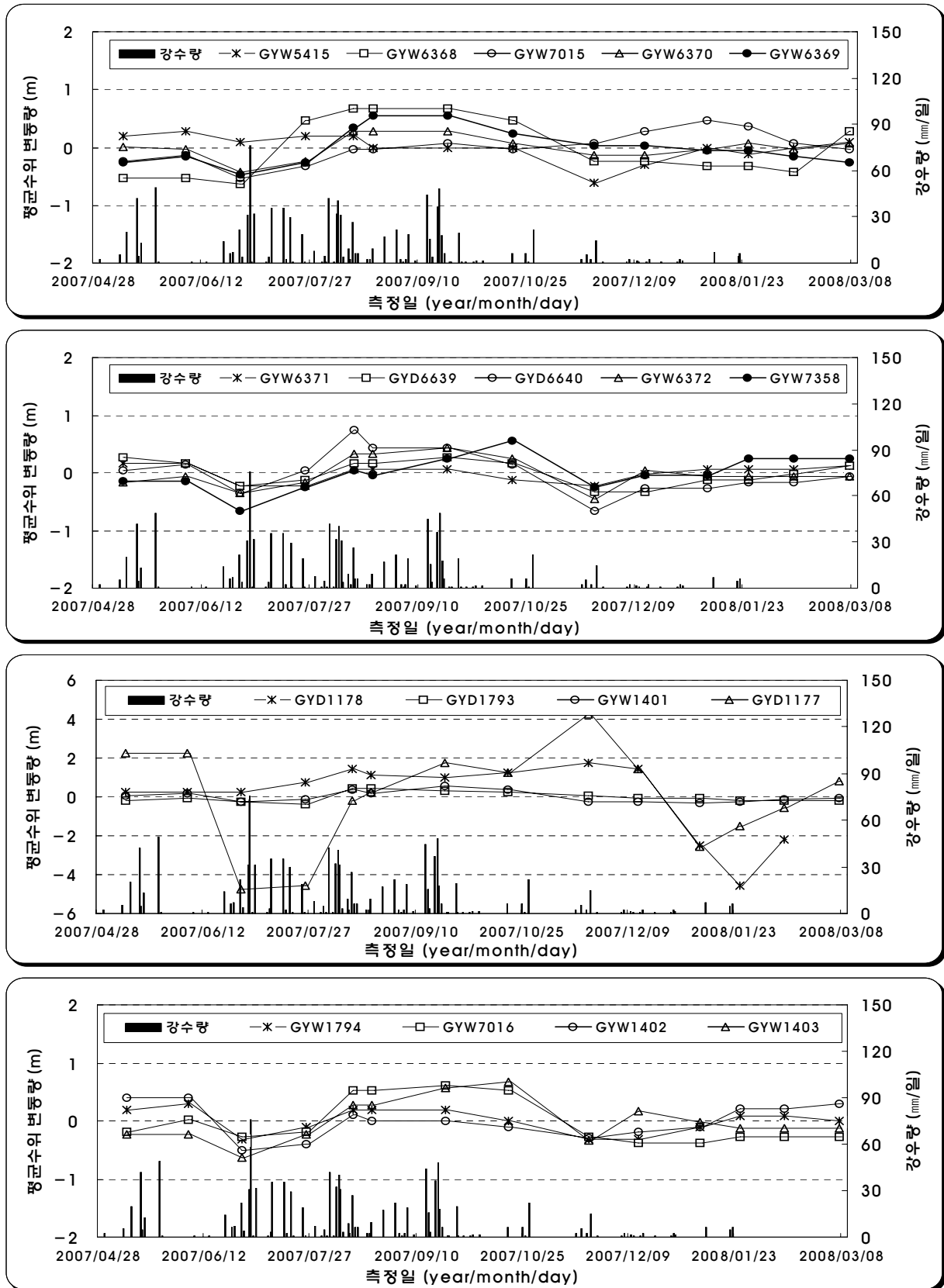
<그림 5-10> 계양천 유역의 연간 지하수위 변동특성(계속)

3) 공릉천상류 유역

전체 28개 관측정에 대해 조사 실시한 공릉천상류 유역의 충적지하수 우물은 지하수위가 약 EL. 25.5~79.4m에 걸쳐 분포하고 암반지하수 우물은 약 EL. -0.5~108.0m에 걸쳐 분포하며 각각의 평균은 43.3m와 38.7m를 보인다. 지하수위변동은 충적지하수 우물의 지하수위가 최대 0.7m와 최소 -0.9m로 변동폭이 1.6m의 차이를 보이고 암반지하수 우물은 최대 4.3m와 최소 -4.7m로 변동폭이 9.0m의 큰 차이를 보인다.



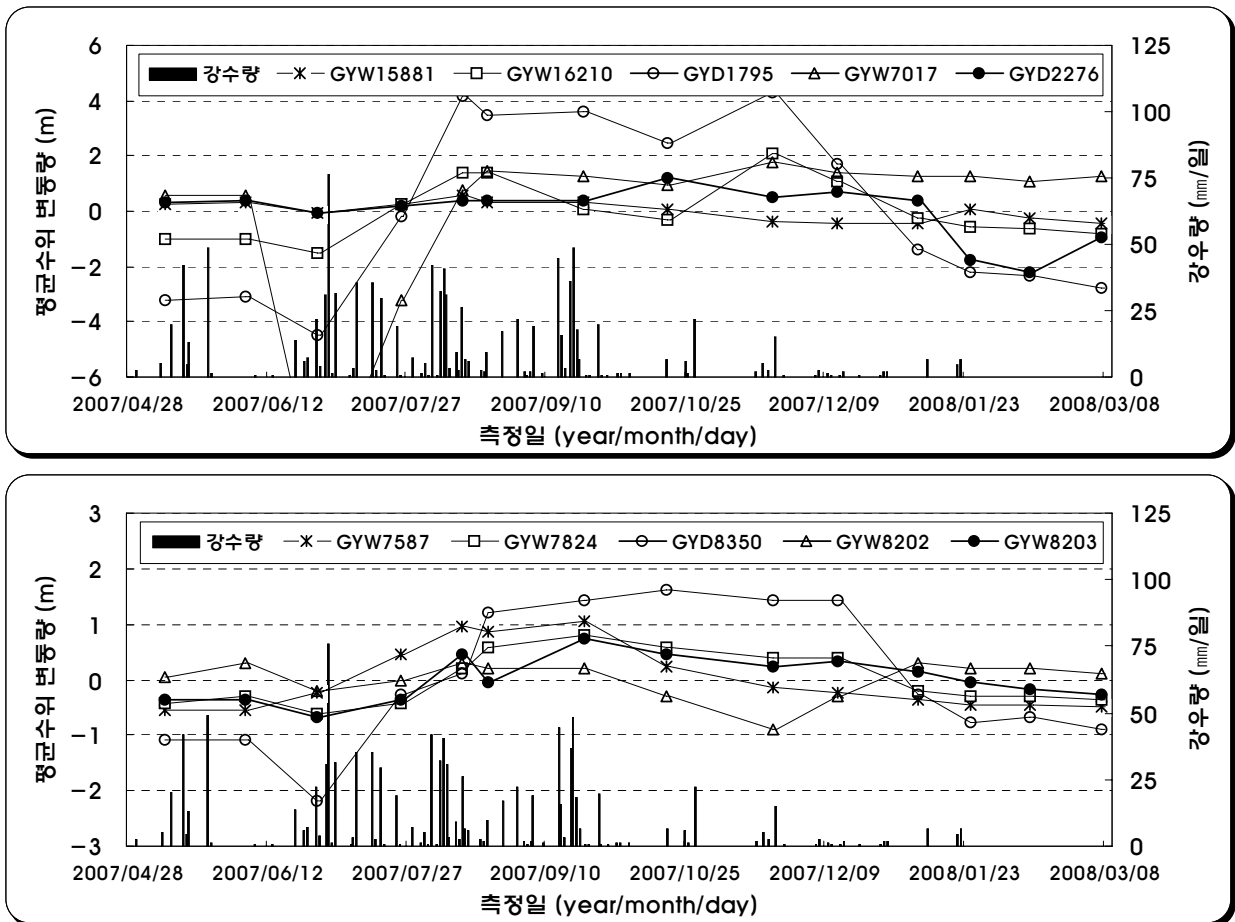
<그림 5-11> 공릉천상류 유역의 연간 지하수위 변동특성



<그림 5-11> 공릉천상류 유역의 연간 지하수위 변동특성(계속)

4) 공릉천하류 구역

전체 10개 관측정에 대해 조사 실시한 공릉천하류 구역의 지하수위는 충적지하수 우물이 약 EL. 12.4~36.6m에 걸쳐 분포하고 암반지하수 우물은 약 EL. 15.8m~36.5m에 걸쳐 분포하며 각각의 평균은 26.9m와 24.7m에 위치한다. 지하수위변동은 충적지하수 우물의 지하수위가 최대 1.9m와 최소 -10.2m으로 변동폭이 12.1m의 차이를 보이고 암반지하수 우물은 최대 4.1m와 최소 -4.7m로 변동폭이 8.8m의 차이를 보인다. GYD1795는 인근의 세차장의 지하수 사용으로 인해 변동폭이 크게 나타났다.

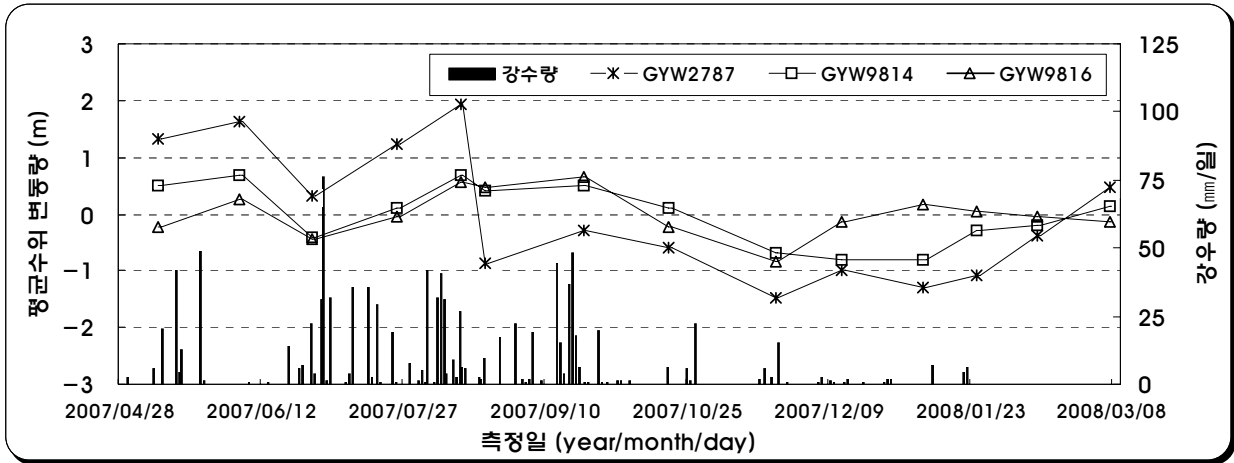


<그림 5-12> 공릉천하류 구역의 연간 지하수위 변동특성

5) 임진강합류점 구역

전체 3개 관측정에 대해 조사 실시한 임진강합류점 구역의 지하수위는 충적지하수 우물이 약 EL. -34.0~12.0m에 걸쳐 분포하고 암반지하수 우물은 약 EL. 7.1~10.5m에 걸쳐 분포하며 각각의 평균은 4.9m와 8.5m에 위치한다. 지하수위변동은 충적지하수 우물의 지하수

위가 최대 6.3m와 최소 -32.9으로 변동폭이 39.3m의 차이를 보이고 암반지하수 우물은 최대 2.0m와 최소 -1.4m로 변동폭이 3.4m의 차이를 보인다.



<그림 5-13> 임진강합류점 유역의 연간 지하수위 변동특성

고양시 지하수위는 계절별 강수량의 변화 및 지하수 양수에 지배적인 영향을 받아 지속적으로 변화하며, 우물의 지속적인 이용으로 인하여 3~5월사이에 지하수의 변동량이 높은 수치를 보이는데, 이는 인위적인 영향으로 자연적인 지하수위 변동보다 더욱 크게 나타나고 있다.

5.2.3. 지표수 유량 변동 및 인근 지하수위 변동 특성

지표수 유량 측정, 인근 지하수 수위 관측성과 인근 강우관측소의 강우량을 비교분석하였다. 지표수 유량 변동이 지연시간 없이 지하수위 변동에 영향을 준다는 가정 하에 같은 시기에 측정된 값들의 상관성을 분석하여 지연시간이 있을 경우 실제보다 낮은 상관성을 보일 수도 있다.

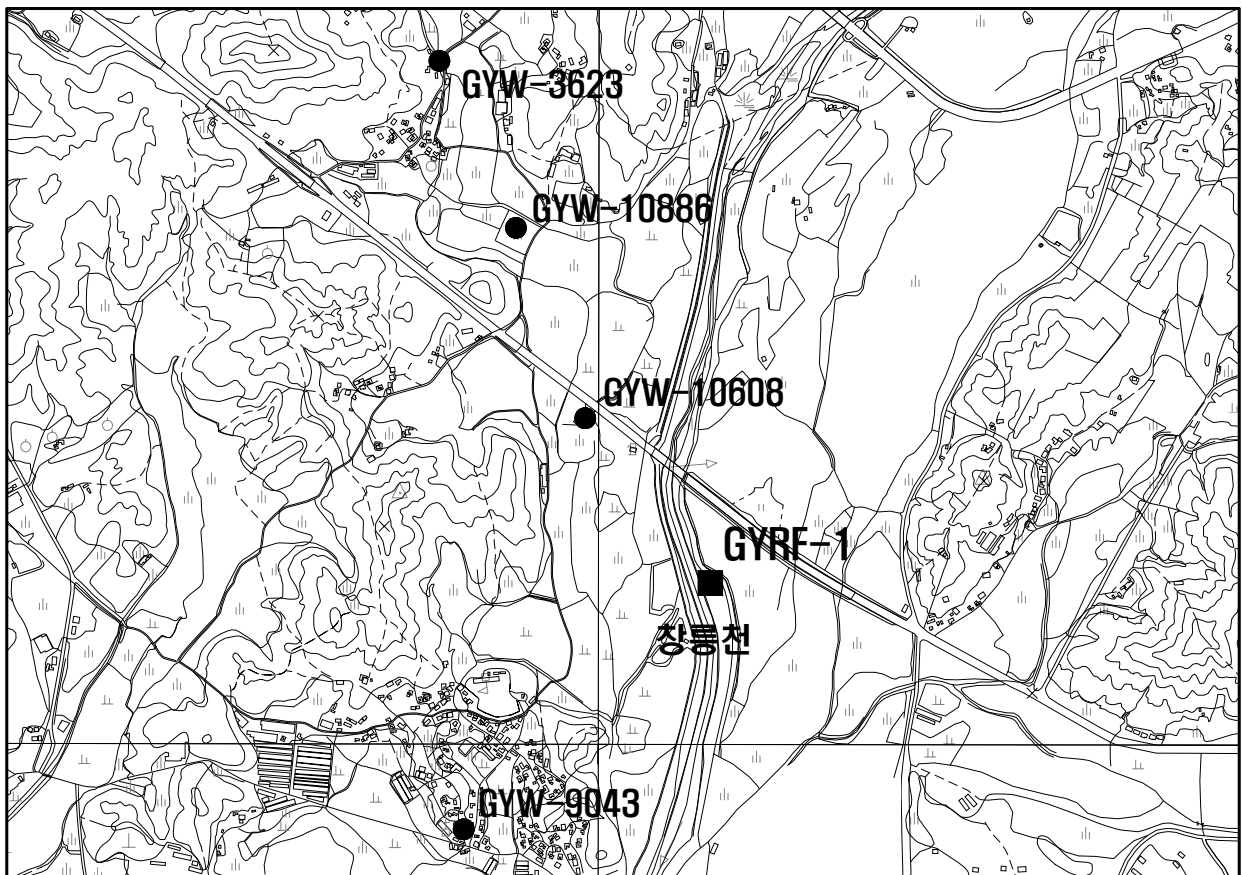
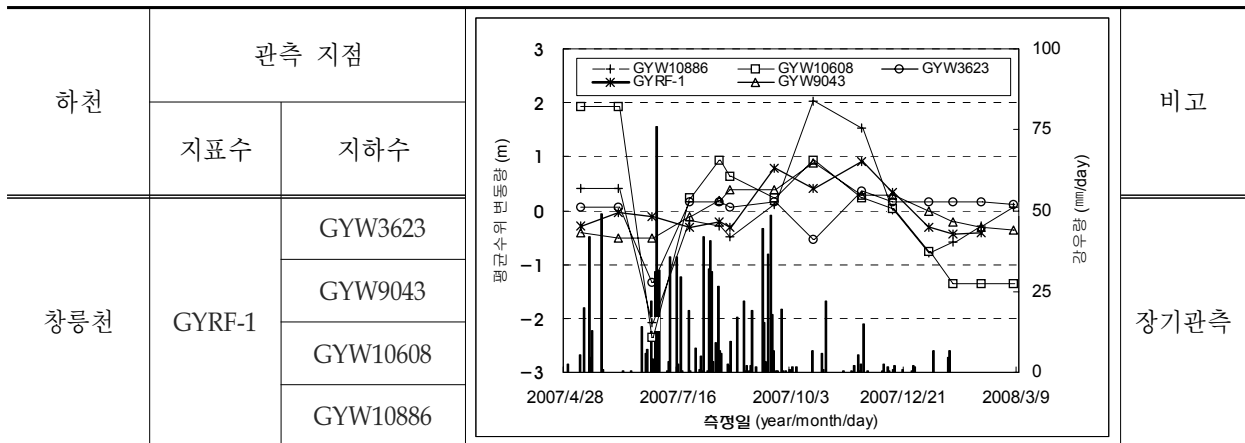
가. 창릉천

GYRF-1(창릉교)에서 지표수 유량을 측정하였으며, 반경 1.5km내 지하수 관측지점은 장기관측 4개소(GYW3623, 9043, 10608, 10886)가 분포한다.

분석결과 지표수는 변동없이 지속되다가 풍수기 이후 상승 후 감소하는 특징을 보이고, 지하수는 GYW3623공에서 일시적으로 7월달에 급격한 감소 후 상승하는 경향을 보이거나 지표수의 변동과 높은 상관성을 보인다 반면, 그 외 공들은 전반적으로 지표수 유량변동이 거의 반영되지 않은 것으로 판단된다.

5. 지하수 부존 및 산출 특성

<표 5-8> 창릉천 지표수 유량변동과 지하수위 변동양상

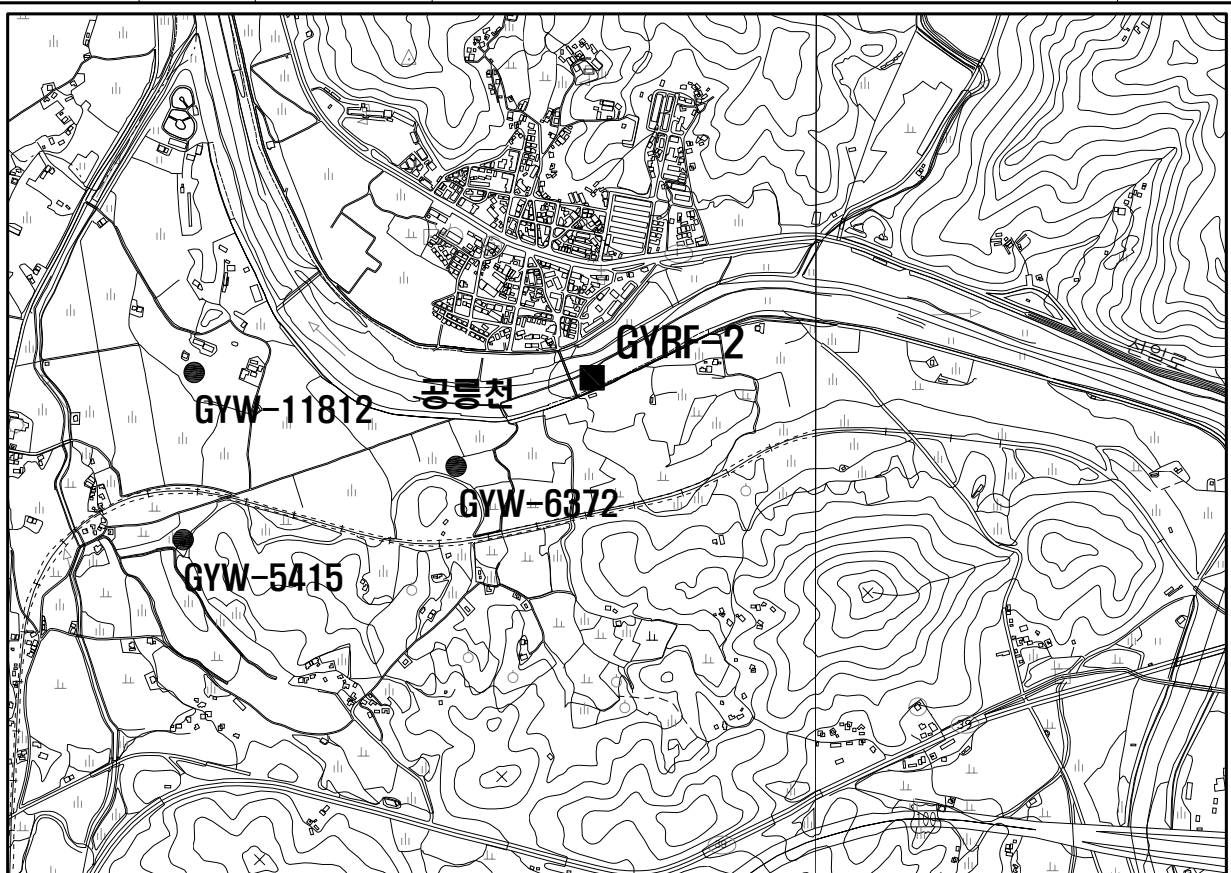
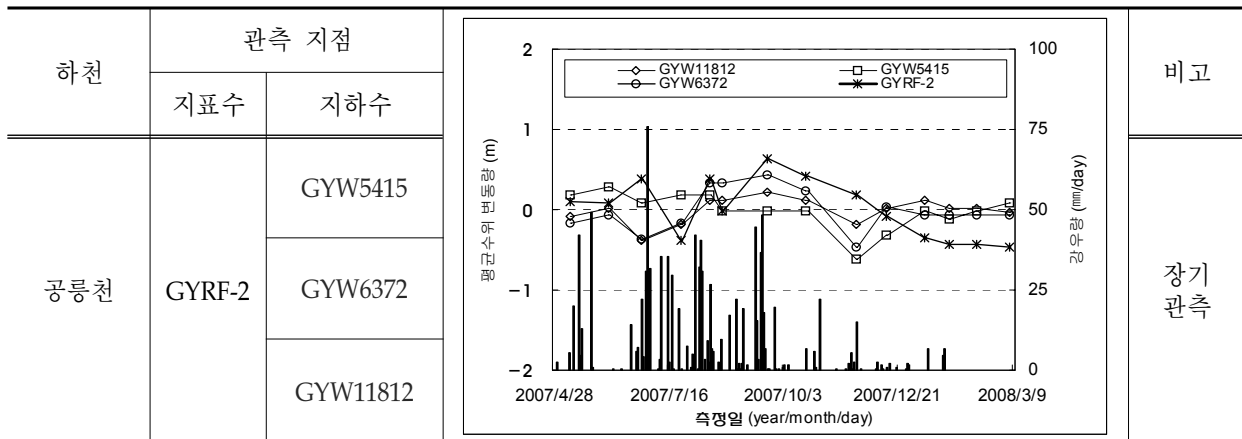


<그림 5-14> 창릉천 지표수 유량 및 지하수위 측정 지점

나. 공릉천

GYRF-2(공릉교)에서 지표수 유량을 측정하였으며, 반경 1.5km내 지하수 관측지점은 장기관측 3개소(GYW5415, 6372, 11812)가 분포한다. 분석 결과 지표수는 강우의 영향에 따른 변동이 잘 반영되어 나타나고, 지하수는 전반적으로 변동없이 지속되다가 일시 감소하는 특징을 보여 지표수 유량변동과는 9월 이후 다소 높은 상관성을 반영하는 것으로 판단된다.

<표 5-9> 공릉천 지표수 유량변동과 지하수위 변동양상



<그림 5-15> 공릉천 지표수 유량 및 지하수위 측정 지점

5.3. 지하수 유동체계

지하수는 역학적 에너지, 열 에너지 그리고 화학적 형태의 에너지를 가지고 있으며 이러한 에너지는 공간적으로 항상 변하기 때문에 에너지의 총합이 큰 지역에서 낮은 지역으로 이동하려는 경향이 있다.

분석된 조사지역의 평수기 지하수수위 분포에 대해 수리적인 접근법(hydraulic approach) 및 수동력학적 접근법(hydrodynamic approach)에 근거하여 수리수두(hydraulic head) 및 전수두(total head)를 분석하여 수리경사도를 작성하였다 이러한 지하수수위 분포에 따른 분석성과와 지형 및 수문지질을 고려하여 함양 및 배출지역을 분류하였으며 일련의 지하수수위 분석을 통해 유추 가능한 결과를 종합하여 지하수 유동체계를 규명함으로써 고양시의 수문지질 특성평가와 오염취약성 평가 및 지하수 관리 방안수립에 활용하였다

5.3.1. 지하수 수리경사

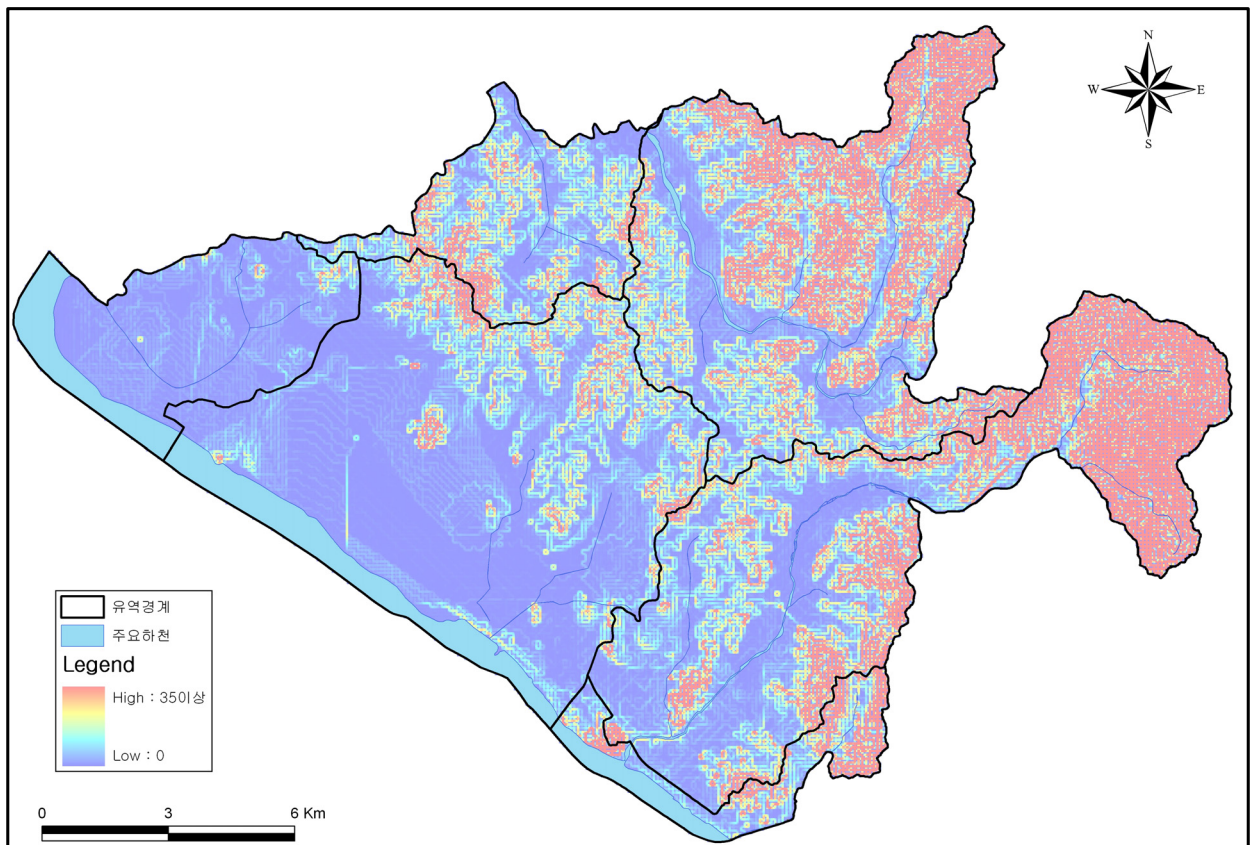
지하수 함양지역(recharge area)은 대수층 내로 물을 충전시켜주는 지역을 일컫는다(한정상, 1998). 대수층으로 함양되는 지하수의 주 근원은 강수 혹은 대수층 주변에 발달된 하천 및 호수이며, 함양지역의 위치 및 규모는 대수층의 분포상태·강수량·지형 및 표면 토양 등의 제반 인자에 좌우된다. 또한, 표면하수(subsurface water)의 흐름은 수리적인 유출(hydraulic discharge)과 증발유출(evaporation discharge)을 포함한 지하수의 유출과 포화대로부터의 유출(phreatic water discharge) 및 부유수의 유출(perched water discharge)로 구분되며(한정상, 1998), 이중 수리적인 유출과 포화대로부터의 유출이 발생하는 지역은 배출지역(discharge area)에 해당된다. 자유면 지하수는 지하수면의 기복에 영향을 받으며 주변에 발달되어 있는 이득하천이나 호수의 위치 대수층의 수직 및 수평수리전도도의 비율과 대수층의 포화두께 및 폭 등에 따라 좌우된다 따라서 본 조사에서는 기분석된 평수기 지하수면(water-table surface)을 기초로 GIS 공간분석 기법을 적용하여 평수기 지하수면에 대한 수리경사도(hydraulic gradient map)를 작성하였다.

30m 간격으로 모사된 지하수수위 자료에 대해 3×3의 이동마스크를 구성하여 해당격자를 둘러싼 8개의 격자방향으로 지하수수위 경사를 구해 이중 최대경사를 갖는 방향으로 지하수 유동이 발생하므로 최대경사값을 해당격자의 수리경사로 결정하였다 이때 구해진 최대경사의 방향을 이용하여 후술될 지하수 유동체계 분석에 적용하였다 수리경사는 지하수수위의 수평방향 증분과 수직방향 증분의 비인 무차원 단위를 적용하였으며 이에 따른 조사지역의 평수기 지하수 수리경사 특성은 <표 5-10>와 같다.

$$\text{수리경사}(\%) = \frac{\text{지하수수위 수직증분}(m)}{\text{지하수수위 수평증분}(m)}$$

<표 5-10> 유역별 평수기 지하수 수리경사

유역	최소	최대	평균	표준편차
총계	0.007	33.35	5.94	4.45
임진강합류점	0.041	6.89	1.04	1.41
공릉천상류	0.105	31.29	9.59	9.08
공릉천하류	0.084	20.88	6.26	5.36
계양천	0.027	14.21	2.18	3.28
창릉천	0.007	26.97	6.50	7.48
행주대교수위표	0.204	33.35	10.09	13.85



<그림 5-16> 평수기 지하수 수리경사도

지형의 기복이 평탄한 지역이 많은 임진강합류점 유역은 지하수의 기복이 다른 지역에 비해 평탄하게 나타나고 있다. 이 지역은 최대 지하수 수리경사의 기복이 최대 6.89로 완만하게 나타났다. 지형의 기복이 가장 심한 공릉천상류 유역은 평균 지하수 수리경사가 9.59로 가장 높게 나타나고 있다. 고양시의 지하수 수리경사는 지형의 특성을 잘 반영하고 있다

5.3.2. 지하수 함양·중간 및 배출체계

지형기복 상태(DEM 및 음영기복도)·주요 하천 및 호수와의 상호관계 및 국지적 지하수 유동의 형태를 고려하여 과업지역의 지하수 함양·중간 및 배출지역을 분류하였다. 일반적으로 지하수 함양지역은 고지대에 분포하고 비포화대가 두꺼워 지하수심도가 깊은 반면 배출지역은 저지대에 위치하며 지하수심도는 상대적으로 얇게 형성된다 따라서 지하수 유동체계는 수평면적 관점에서는 지하수 등수위선과의 관계 수직면적 관점에서는 지하수면의 수리경사도와의 관계로 유추할 수 있다

수평면적 관점에서 볼 때 함양지역에서는 지하수 등수위선이 고립·폐곡형을 이루어 지하수 유선망이 발산하는 형태를 띠며 배출지역에서는 지하수 등수위선이 개방형을 이루어 수렴하는 형태를 보인다. 반면 수직적 관점에서 볼 때는, 함양지역에서는 지하수 유선망 벡터가 상대적으로 큰 음의 기울기를 갖고 수리경사면이 평탄하며 배출지역에서는 지하수 유선망 벡터가 상대적으로 큰 양의 기울기를 갖으며 수리경사면이 급하고 중간지역에서는 두 양상이 점이적으로 나타난다.

함양지역 가운데 고도가 높은 고지대인 경우 지하수는 높은 위치에너지를 가지며 지하수의 수리경사는 지형경사와 마찬가지로 급하게 형성되는 반면 배출지역 가운데 평지지역은 수리경사도 완만하며 지하수수위의 등고선 간격이 상대적으로 넓게 형성된다 이러한 조건을 정리하면 <표 5-11>와 같으며, 지하수 함양 및 배출체계에 영향을 주는 인자와 이와 관련된 주변 인자의 형상을 고려하여 본 과업지역의 지하수 유·출입 체계에 따른 함양·중간·배출지역은 <그림 5-17>과 같다.

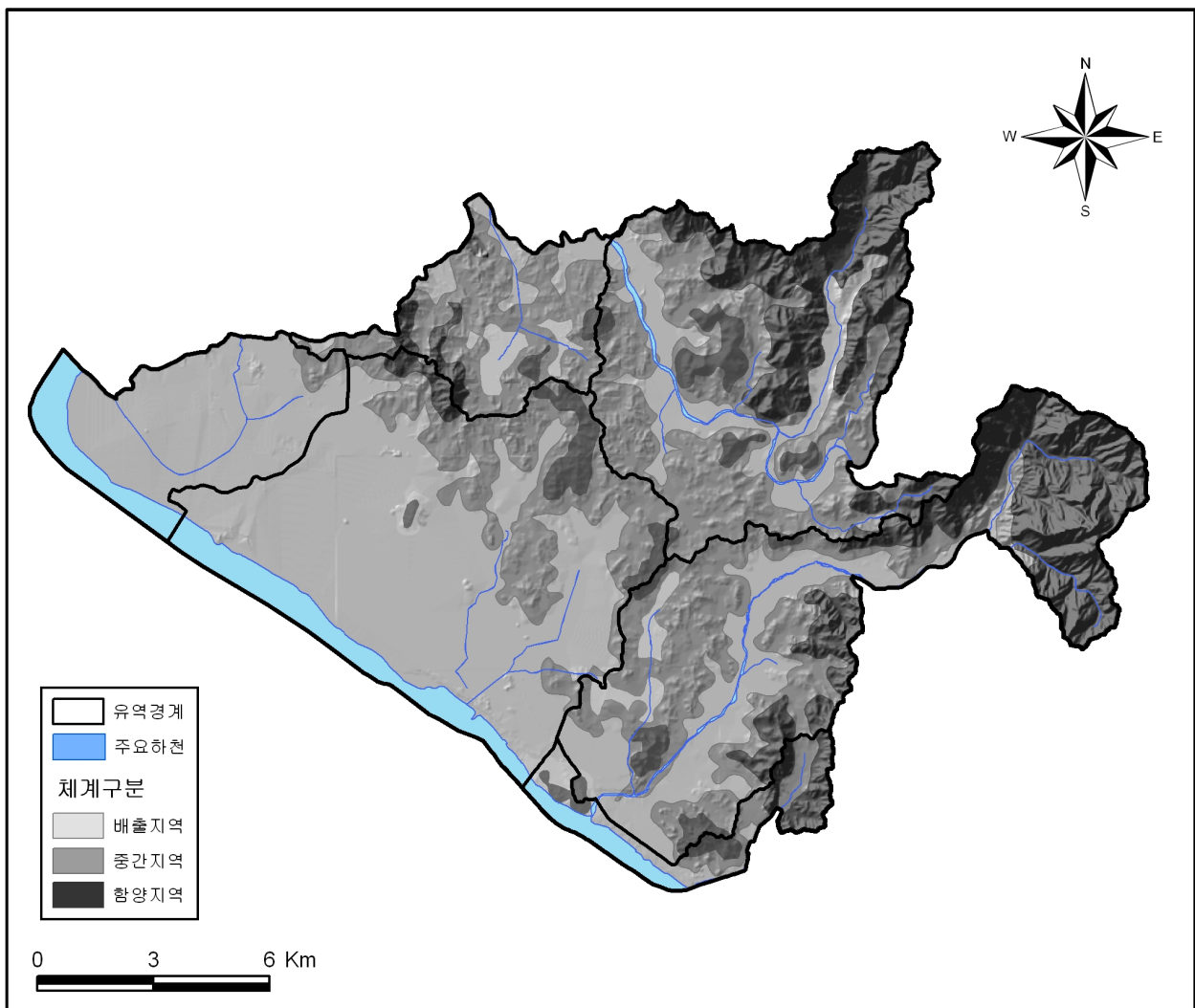
<표 5-11> 지하수 함양·배출지역 선정 기준

함양지역(Recharge area)	배출지역(Discharge area)
지하수심도로 규명	
1. 고지대	1. 저지대 & 하천, 샘, 침출면(seepage) 지역
2. 지하수심도가 비교적 깊은 지역	2. 지표부근 & 지하수 심도가 얇은 지역
수평면적 관점 (Horizontal view)	
3. 지하수수위 등수위선이 고립폐곡선 형태	3. 등수위선이 개방형에서 수렴형이 되는 지역
4. 지하수 유선망이 발산하는 지역	
수직면적 관점 (Vertical view)	
5. 지하수 유선망 벡터가 상대적으로 큰 음의 기울기	4. 지하수 유선망 벡터가 상대적으로 큰 양의 기울기
6. 수리경사면이 평탄	5. 수리경사면이 급함
7. 지하수수위 수리경사가 급함	6. 수리경사가 완만하고, 등고선 간격이 넓음
※ 중간지역은 두 양상이 점이적으로 나타나는 지역	

<표 5-12> 지하수 함양-중간-배출체계 분류

(단위 : km², %)

유역	계	함양지역		중간지역		배출지역	
		면적	비율(%)	면적	비율(%)	면적	비율(%)
총 계	267.31	57.24	21.41	95.26	35.64	114.81	42.95
계양천	77.97	4.10	7.17	19.88	20.87	53.99	47.02
공릉천상류	62.94	22.85	39.93	29.10	30.54	10.99	9.57
공릉천하류	22.2	2.15	3.75	14.85	15.59	5.20	4.53
임진강합류점	23.94	-	-	0.86	0.90	23.09	20.11
창릉천	68.06	24.93	43.56	26.24	27.55	16.88	14.70
행주대교수위표	12.2	3.20	5.59	4.34	4.56	4.66	4.06

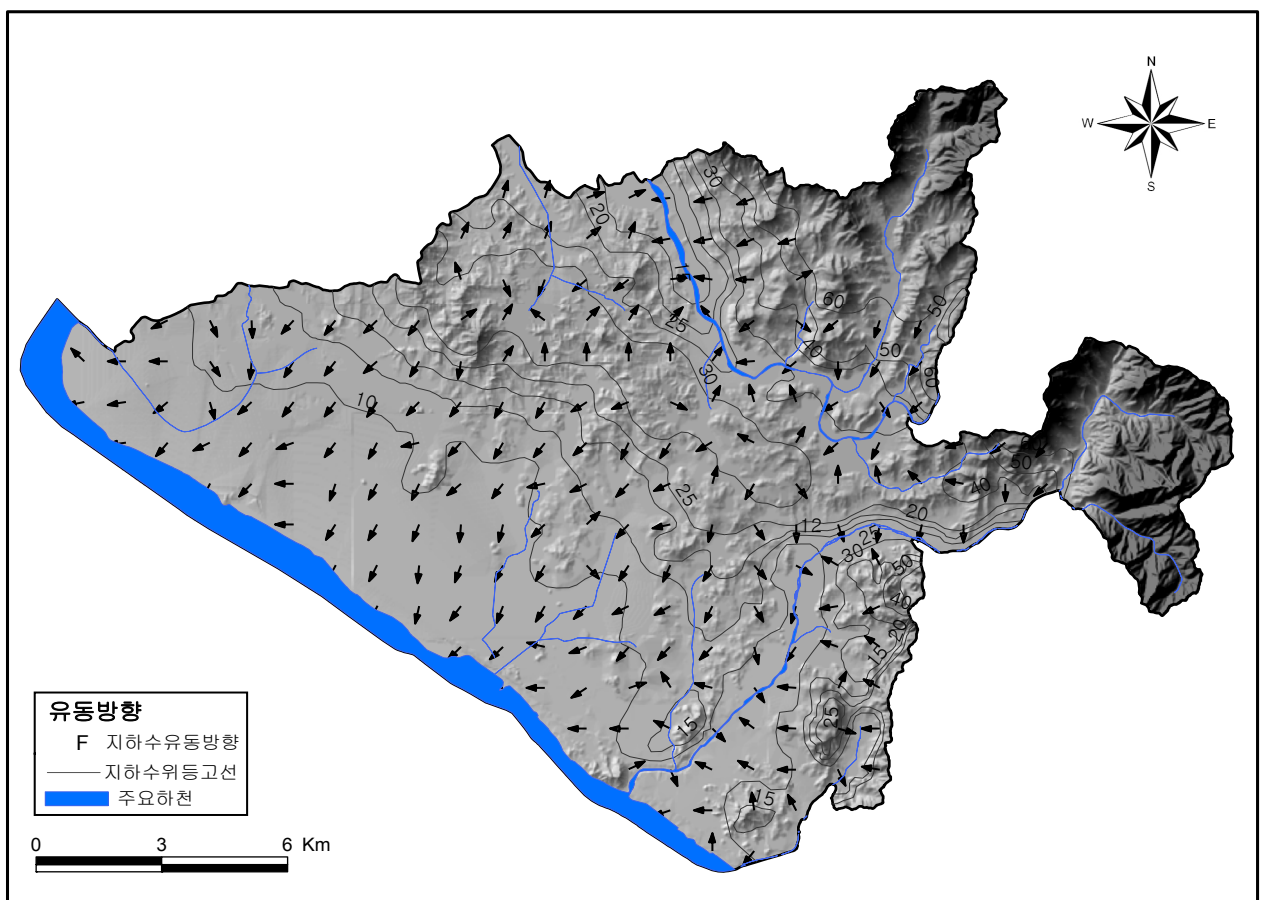


<그림 5-17> 평수기 지하수 함양·중간 및 배출지역

5.3.3. 지하수 유동방향

지하수는 에너지의 차이에 따라 대수층매질을 통하여 지하수 등수위선의 연직 방향으로 형성된 유선을 따라 유동하므로, 수리경사가 최대인 방향을 지하수 유동방향으로 추정하였다. 지하수 함양·배출체계 및 대수층 분포특성을 고려하여 작성한 평수기 지하수 유동방향은 다음과 같다.

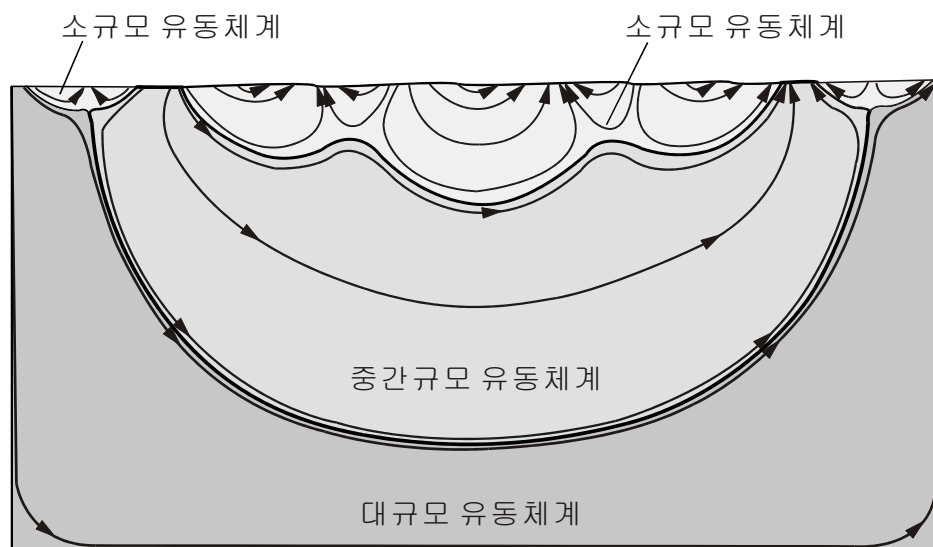
지형고도가 높은 지하수의 분수령과 같은 함양지역과 하천의 배출지역의 특성이 잘 반영되는 것으로 나타났다.



<그림 5-18> 평수기 지하수 유동방향

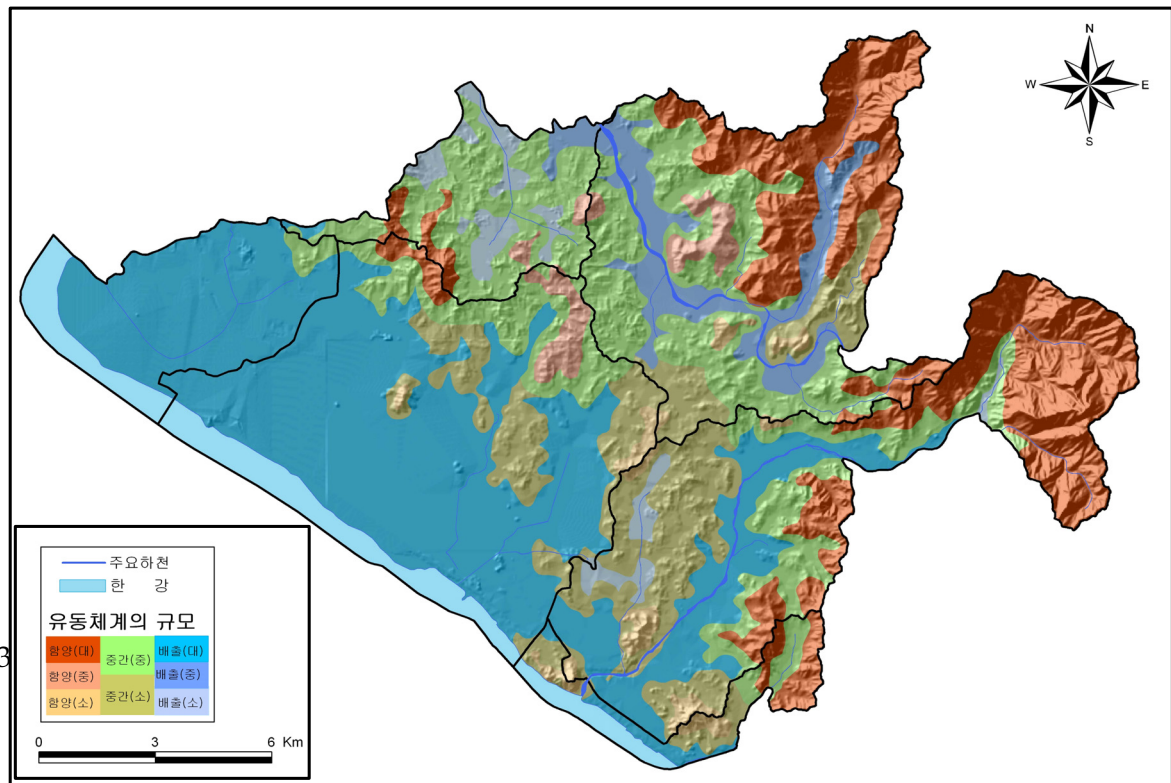
5.3.4. 지하수 유동체계

지형이 뚜렷한 국지적 기복을 가지면, 소규모 유동체계(국지적인 지하수 유동계)가 형성될 수 있는데, 이는 지형기복이 지하수면의 기복을 유발하기 때문이다. 소규모 유동체계에서는 지형적으로 높은 곳에 함양지역이 위치하며, 유출지역은 인접한 낮은 지형에 위치한다. 또한, 지하수면의 기복도가 뚜렷할수록 소규모 유동계의 깊이가 깊어진다고 알려져 있다 (Toth, 1963). 중간규모 유동계(중간 유동계)는 함양지역과 유출지역 사이에 적어도 하나 이상의 소규모 유동체계를 포함하는 것을 말한다. 대규모 유동체계(광역 유동계)에서 지하수 분수령에 함양지역이 존재하고 계곡부분에 유출지역이 존재하는 경우를 말하며 유동계는 유역의 지형과 형태에 따라 다르게 나타난다(손호웅 외, 2003). 유동체계의 규모는 아래 그림 같이 모식적으로 나타낼 수 있다.

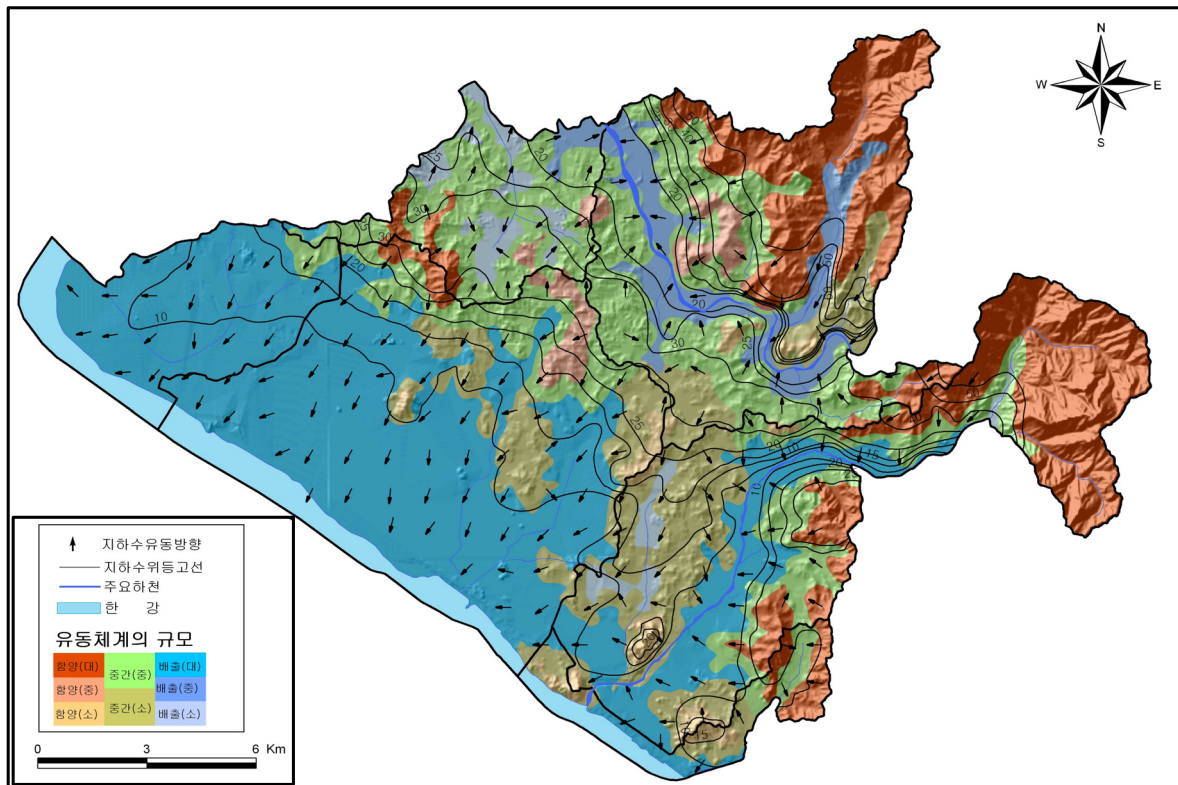


<그림 5-19> 지하수 유동체계의 모식도

본 조사지역의 경우 대규모 유동체계는 함양지역의 경우는 창릉천 유역의 북동쪽과 공릉천상류 북쪽에 형성되며, 배출지역의 경우는 계양천 및 임진강합류점 유역의 북서쪽으로 형성되었을 것으로 사료된다. 지형적 분수령에서 각 인근 유출지역인 하천으로 이동하는 창릉천과 공릉천상류 유역에 중간규모 유동체계가 형성되며 수리경사의 변화가 심한 산지와 지형고도가 낮은 하천지역에서 형성되는 국지적 분지지역에 소규모 유동체계가 형성될 것으로 사료된다. 유동체계의 규모를 고려한 함양배출 지역의 구분은 <그림 5-20>와 같다.



<그림 5-20> 유동체계의 규모를 고려한 함양 및 배출체계



<그림 5-21> 평수기 지하수 유동체계도

5.4. 대수층 수리특성

본 절에서는 금번조사에 구축한 고양시의 우물특성자료 데이터베이스에 대한 통계처리 및 자료 분석을 통하여 지역별로 지하수 산출 특성을 도출하고 지하수 보존과 산출에 중대한 영향을 미치는 지질, 지질구조, 충적층 분포, 지형 등의 요인과 지하수 산출특성의 상관관계를 정량적으로 규명함으로써 고양시에 분포하는 대수층 수문지질 특성평가를 위한 기준을 제시하였다.

5.4.1. 자료구축

대수층의 투수성을 나타내는 주요인자는 수리전도도(hydraulic conductivity)와 투수량계수(transmissivity)이며, 저류성을 지시하는 주요인자에는 저류계수(storativity), 비저류계수(specific storage coefficient) 및 비산출률(specific yield) 등이 있다.

본 조사에서는 지하수 부존 및 산출특성 분석을 위해 투수량계수(T), 수리전도도(K), 저류계수(S), 비양수량(SPC), 양수량(Q)과 시추내역 등이 기록된 지하수 우물특성 자료를 수집·입력하여 총 620개의 지하수 부존 및 산출특성 분석을 위한 기초자료 데이터베이스를 구축하였으며 유역별 자료 분포는 <표 5-13> 및 <그림 5-22>과 같다.

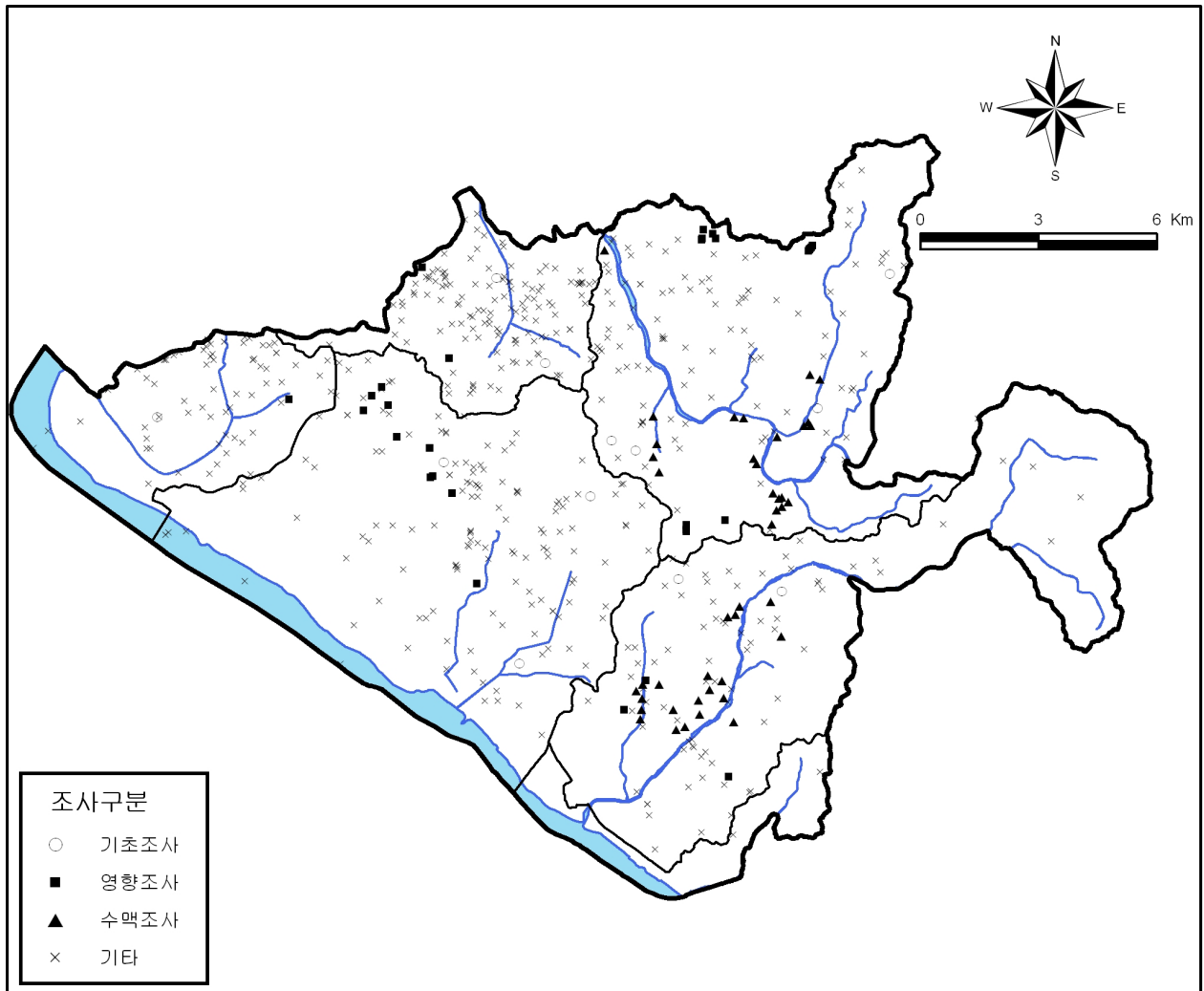
<표 5-13> 유역별 지하수 산출특성 분석을 위한 우물자료 구축현황

유역	면적 (km ²)	자료출처														
		총계			기초조사			영향조사서			수맥조사자료			기타		
		계	충적	암반	계	충적	암반	계	충적	암반	계	충적	암반	계	충적	암반
계	267.31	620	440	180	13	5	8	43	1	42	43	38	5	521	396	125
임진강 합류점	25.45	69	61	8	1	1	-	1	-	1	0	-	-	67	60	7
공릉천 하류	21.11	135	106	29	2	-	2	6	-	6	0	-	-	127	106	21
공릉천 상류	63.60	144	104	40	4	2	2	14	1	13	22	21	1	104	80	24
계양천	79.05	162	98	64	4	1	3	16	-	16	0	-	-	142	97	45
창릉천	67.74	109	70	39	2	1	1	6	-	6	21	17	4	80	52	28
행주대교 수위표	10.36	1	1	-	0	-	-	-	-	-	0	-	-	1	1	-

주) 기타 : 국가지하수정보센터자료(GIMS) 521공

5. 지하수 부존 및 산출 특성

본 절에서 지하수 수리특성 분석을 위한 기초자료로 사용된 620개의 우물특성 자료 중 암반지하수에 대한 우물자료는 약 28.0%인 180개소인 반면, 충적 지하수에 대한 우물자료는 71.0%인 440개소이다. 이 중 617개 우물자료에 양수량이 기록되어 있으며 비양수량 투수량 계수 및 저류계수 등 수리상수 자료가 모두 기록된 우물은 47개소이다. 이외에 비양수량, 투수량 계수 및 저류계수가 기록된 우물은 각각 49개소, 56개소, 47개소이다.



<그림 5-22> 지하수 수리특성 분석대상 우물위치도

5.4.2. 수문지질단위별 지하수 수리특성

금번분석에서는 전 항에서 언급한 620개 우물자료를 대상으로 양수량, 비양수량, 투수량 계수, 저류계수에 대한 4개 수리상수를 통계분석하여 수문지질단위별로 수리특성을 파악하였으며 그 결과를 아래에 정리하였다.

<표 5-14> 수문지질단위별 우물 양수량(단위 : m³/일)

구분	미고결쇄설성퇴적층	트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암	준편마암
개소수	441	5	171
최대	737.00	70.00	450.00
최소	10.00	40.00	3.00
평균	46.52	52.80	81.16
중앙값	30.00	55.00	60.00
표준편차	65.96	12.56	64.95

<표 5-15> 수문지질단위별 비양수량(단위 : m³/일)

구분	미고결쇄설성퇴적층	트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암	준편마암
개소수	6	-	43
최대	6650.00	-	32.90
최소	8.04	-	0.08
평균	1142.08	-	4.34
중앙값	55.84	-	2.07
표준편차	2698.46	-	7.98

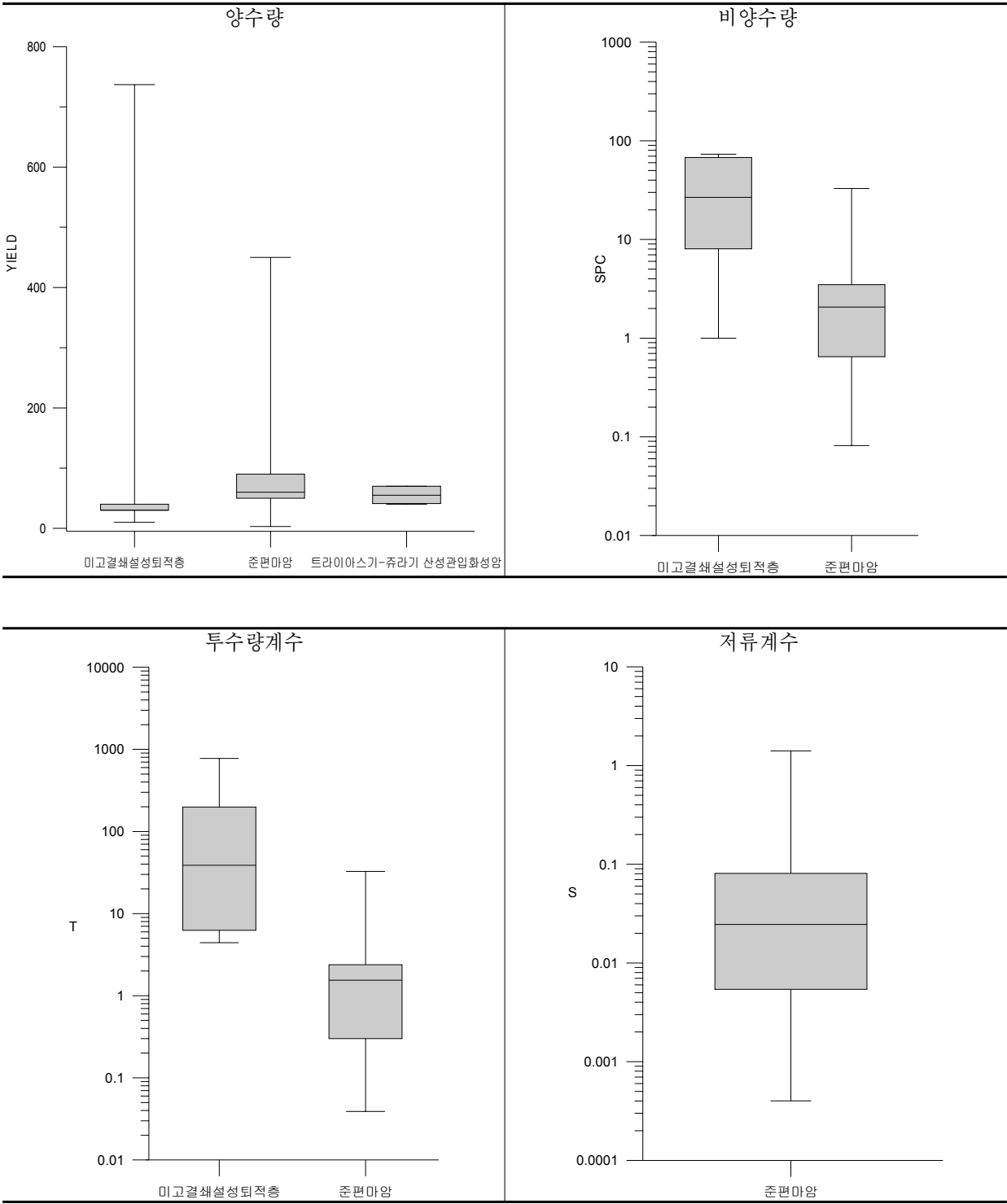
<표 5-16> 수문지질단위별 투수량계수(단위 : m²/일)

구분	미고결쇄설성퇴적층	트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암	준편마암
개소수	6	-	50
최대	770.50	-	32.69
최소	4.43	-	0.04
평균	176.20	-	4.31
중앙값	38.80	-	1.54
표준편차	299.95	-	8.05

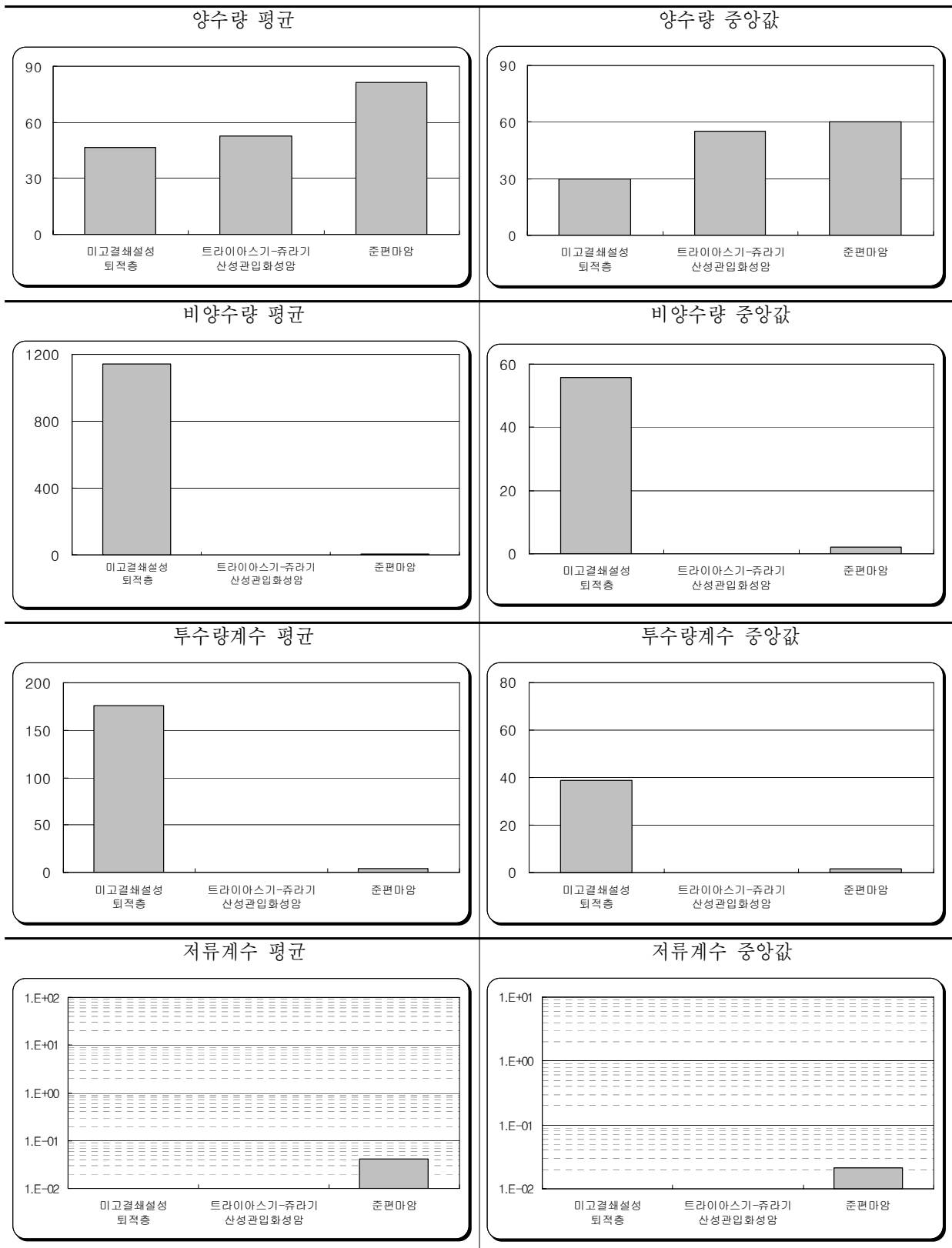
<표 5-17> 수문지질단위별 저류계수

구분	미고결쇄설성퇴적층	트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암	준편마암
개소수	-	-	41
최대	-	-	0.2250
최소	-	-	0.0004
평균	-	-	0.0420
중앙값	-	-	0.0216
표준편차	-	-	0.0546

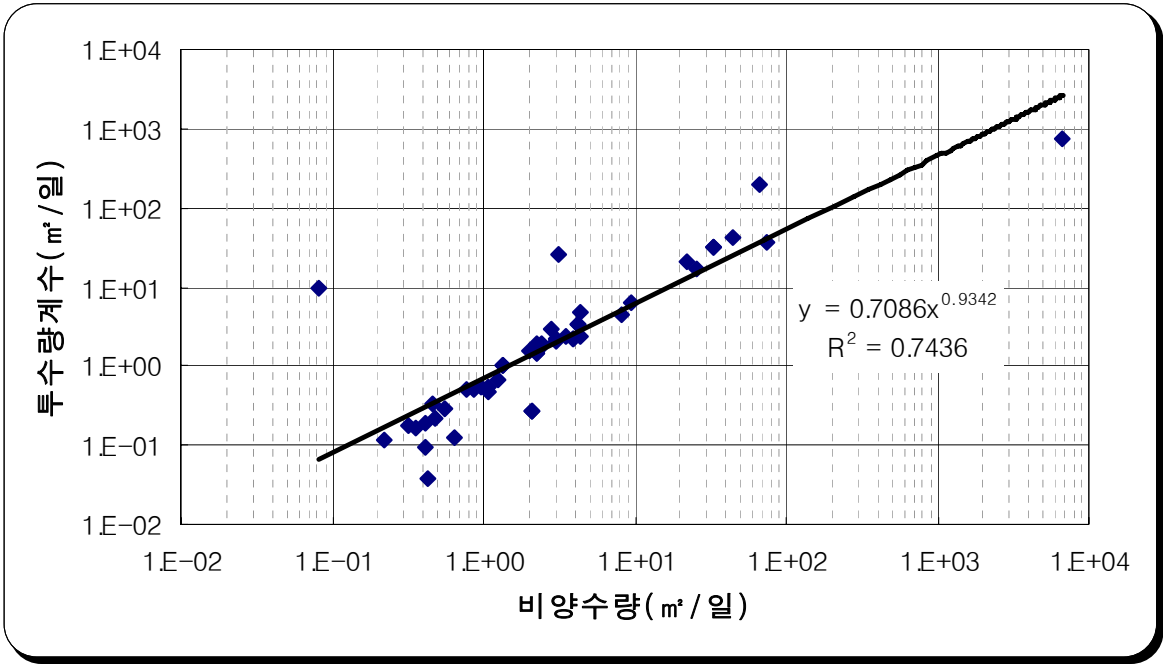
5. 지하수 부존 및 산출 특성



<그림 5-23> 수문지질별 수리자료 분포특성



<그림 5-23> 수문지질별 수리자료 분포특성(계속)



상기 수리 및 산출특성 자료의 상관성을 분석한 결과 그림과 같이 나타났다 비양수량대 투수량계수간의 상관식 $T = 0.7086 \times SPC^{0.9342} (R^2 = 0.7436)$ 이 도출되었으며 결정계수가 0.7436으로 비교적 높은 상관성을 보인다.

사. 수문지질단위분류

<표 5-18> 지질·암상단위 및 수문지질단위 분류

지질단위			수문지질단위				
시대	기호	지질단위	명칭	비양수량(m³/일)	산출성*	투수량계수(m³/일)	투수성
제4기	Qa	충적층	미고결쇄설성퇴적층	8.04~6650.0 (1142.08/55.84)	큼	4.43~770.50 (176.20/38.80)	큼
쥬라기	Ka	산성암맥류	트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암	-	낮음	-	낮음
	Jbgr	흑운모화강암					
	Pgr	반상화강암					
선캄브리아기	PGbgrgn	흑운모화강편마암	준편마암	0.08~32.90 (4.34/2.07)	보통	0.04~32.69 (4.31/1.54)	보통
	PGmggn	미그마타이트질편마암					
	PGbgn	흑운모편마암					

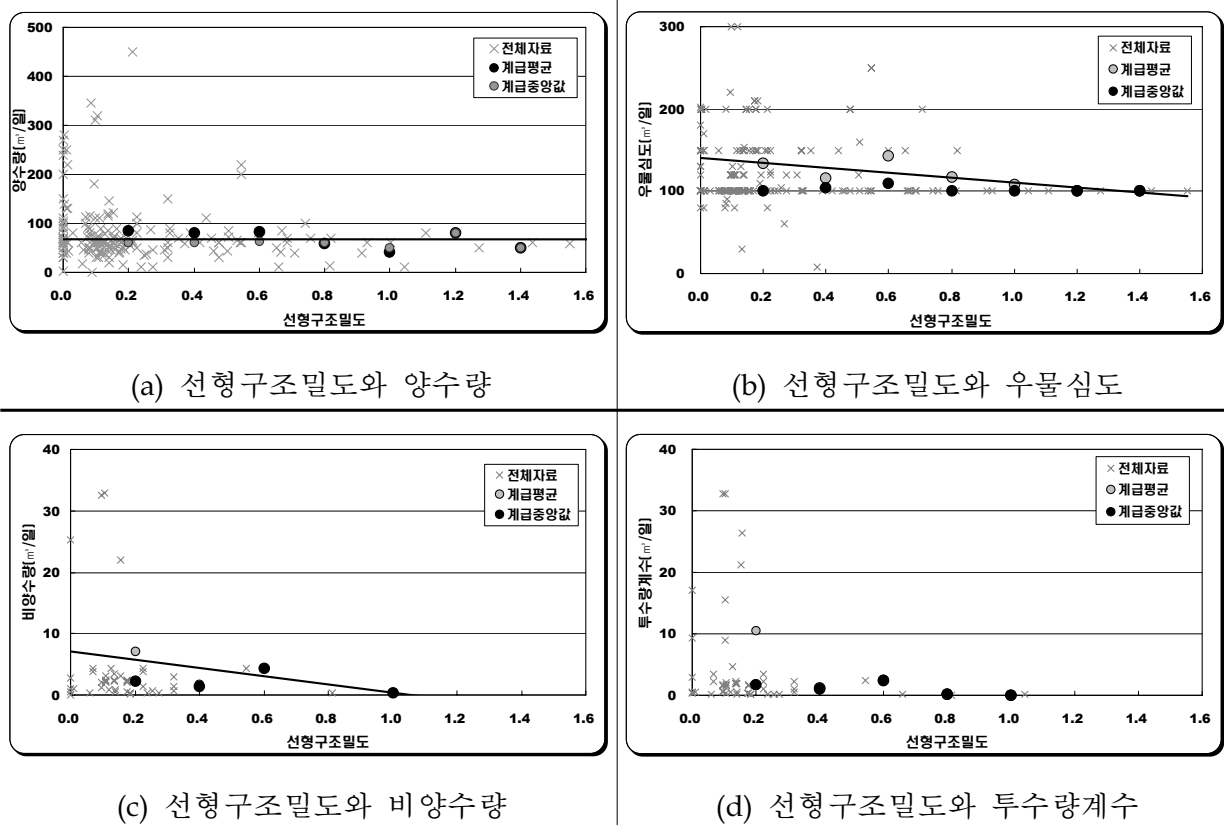
주) 산출성* : (평균/중앙값)

고양시는 미고결쇄설성퇴적층, 트라이아스기-쥬라기산성관입화성암, 준편마암 등 3개의 수문지질단위로 구분할 수 있다

5.4.3. 지질구조와 지하수 산출특성

금번 조사에서는 선형구조밀도 분석 결과와 암반우물의 산출특성과의 상관관계를 분석함으로써 지질구조에 따른 지하수 산출 특성을 검토하였다

아래 그림은 선형구조와 암반지하수 우물의 양수량 비양수량, 투수량계수 및 우물심도와의 상관관계를 도시한 것으로 여기서 십자표는 전체 자료, 회색원은 선형구조밀도 0.2단위별 평균값을, 검정원은 중앙값을 각각 나타낸 것이다.



<그림 5-24> 선형구조밀도와 지하수 산출특성

양수량 자료가 기록된 617개소에 대하여 선형구조밀도와의 상관관계를 분석하였다 선형구조밀도를 0.2 단위로 구분하여 분석한 결과 양수량과 상관관계는 없는 것으로 나타났다 우물심도가 기록된 617개소에 대한 상관관계 분석결과 선형구조밀도와 특별한 상관관계를 보이지 않는 것으로 나타났다.

비양수량의 경우 49개소의 자료를 대상으로 분석한 결과 선형구조밀도가 증가할수록 비양수량은 감소하는 경향을 보이고 있으나 결정계수가 0.6039로 낮게 나타났다.

56개소의 투수량계수 자료를 대상으로 선형구조밀도와의 상관관계를 분석하였다고 결과 선형구조밀도와 특별한 상관관계를 보이지 않는 것으로 나타났다

5.4.4. 총적층 심도 및 구성물질

금번 지하수기초조사의 수리지질조사 자료와 기존자료를 바탕으로 124개소의 시추자료와 총적층심도 추정이 가능한 55개 측정점의 전기비저항탐사 자료를 포함한 총 179개의 자료를 이용하여 고양시의 총적층 심도분포를 추정하였다 총적층 심도를 추정하기 위해 이용한 자료는 <표 5-19>와 같으며, 이들의 위치는 <그림 5-25>에 나타내었다.

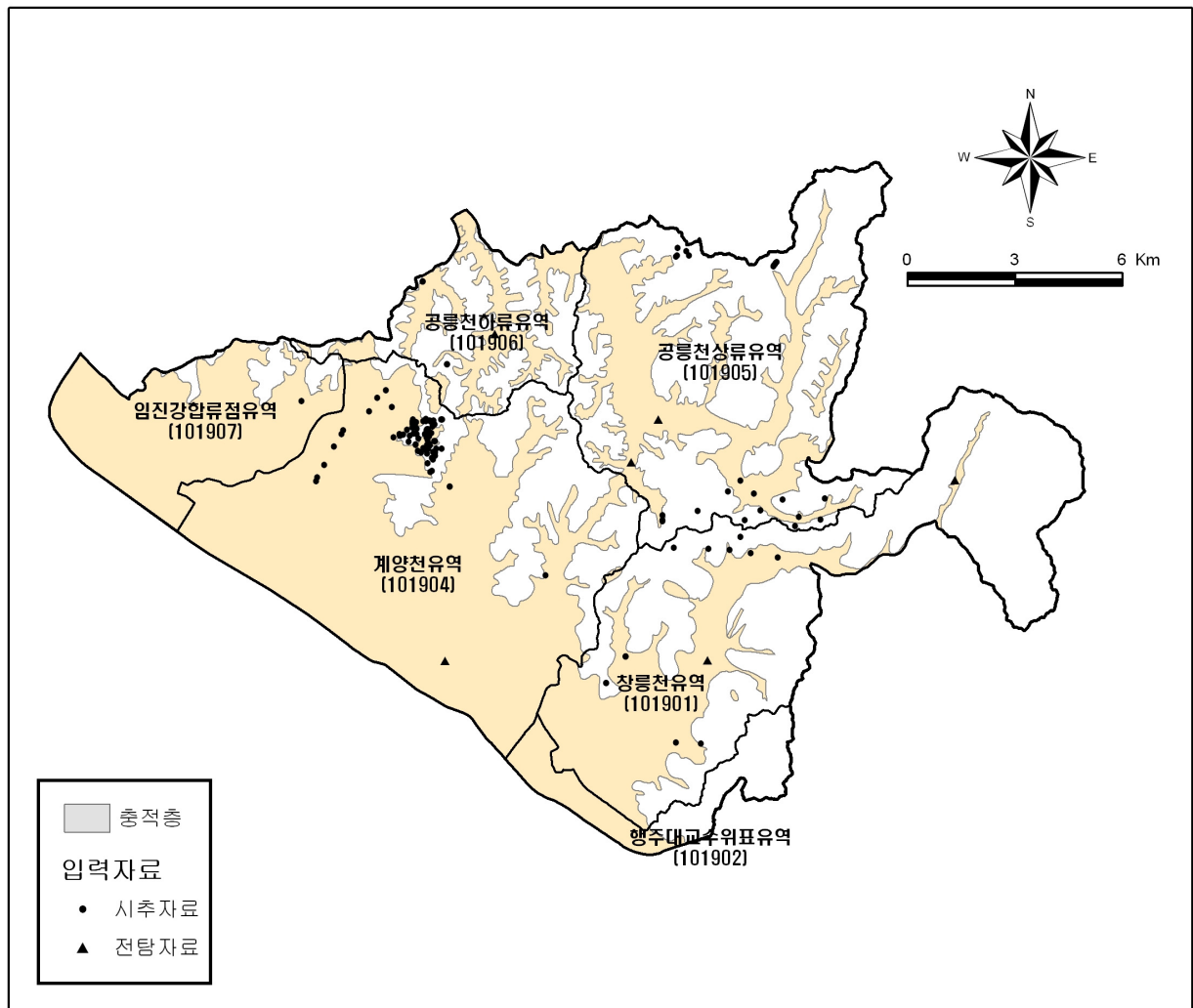
<표 5-19> 총적층 두께 추정을 위한 입력자료

(단위 : km², 개소, 측정점, m)

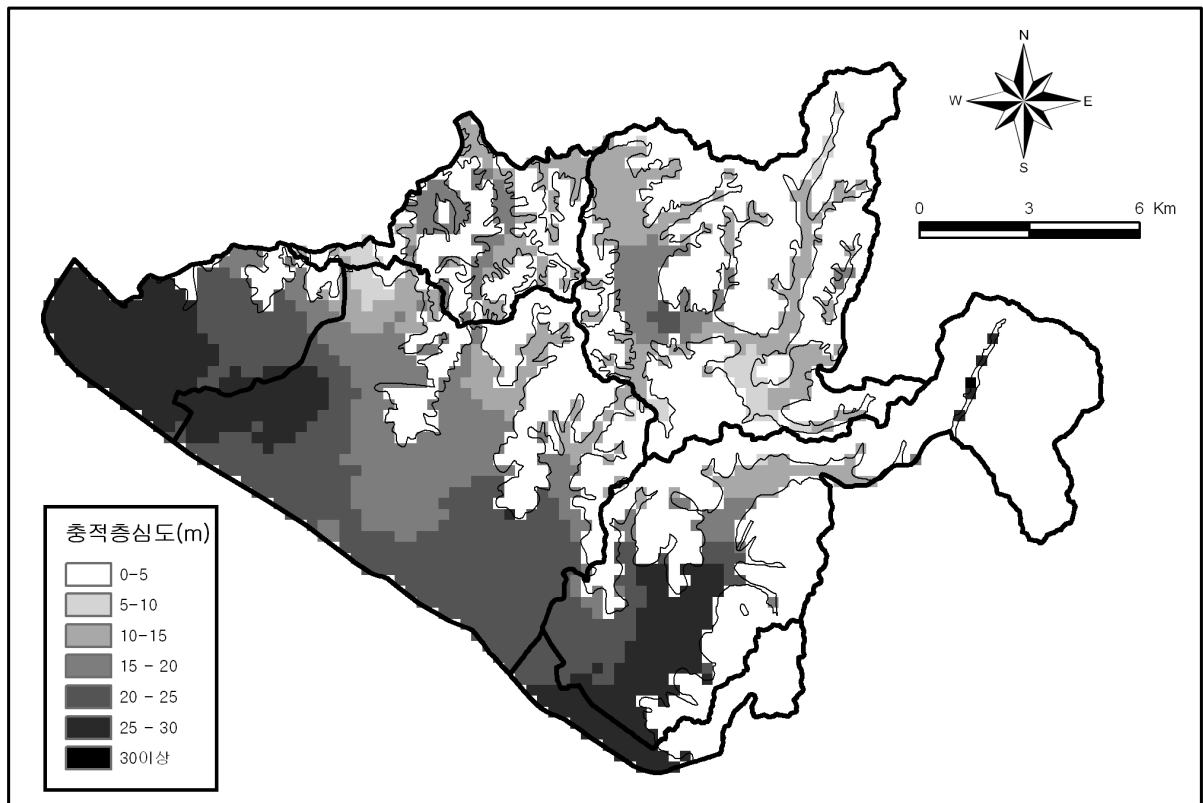
구역	면적	계				시추자료				전탐자료			
		개소수	평균	최대	최소	개소수	평균	최대	최소	개소수	평균	최대	최소
계	267.31	179	15.4	38.9	3.9	124	15.1	35.0	4.0	55	15.7	38.9	3.9
임진강 합류점	25.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
공릉천 하류	21.11	11	14.2	26.0	4.5	6	17.5	26.0	11.0	5	11.0	14.7	4.5
공릉천 상류	63.60	39	12.9	38.1	3.9	24	9.6	20.0	4.0	15	16.3	38.1	3.9
계양천	79.05	101	18.3	38.9	5.3	81	16.5	30.0	6.0	20	20.2	38.9	5.3
창릉천	67.74	28	16.1	35.0	5.8	13	16.9	35.0	6.0	15	15.3	29.8	5.8
행주대교 수위표	10.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

상기 자료를 이용하여 구역별로 총적층 두께를 추정해본 결과 고양지역의 총적층 심도는 3.9m에서 38.9m에 이르기까지 나타났으며, 평균 총적층심도는 15.4m 정도이다. 구역별 평균 총적층심도는 계양천 구역(18.3m)이 가장 깊었으며, 다음으로 창릉천(16.1m), 공릉천하류 구역(14.2m), 공릉천상류 구역(12.9m) 순으로 나타났고 한강의 하류에 해당되는 계양천 구역과 고산지대에서 발원한 창릉천 구역은 하류로 갈수록 총적층이 깊게 분포하는 것으로 추정되었다.

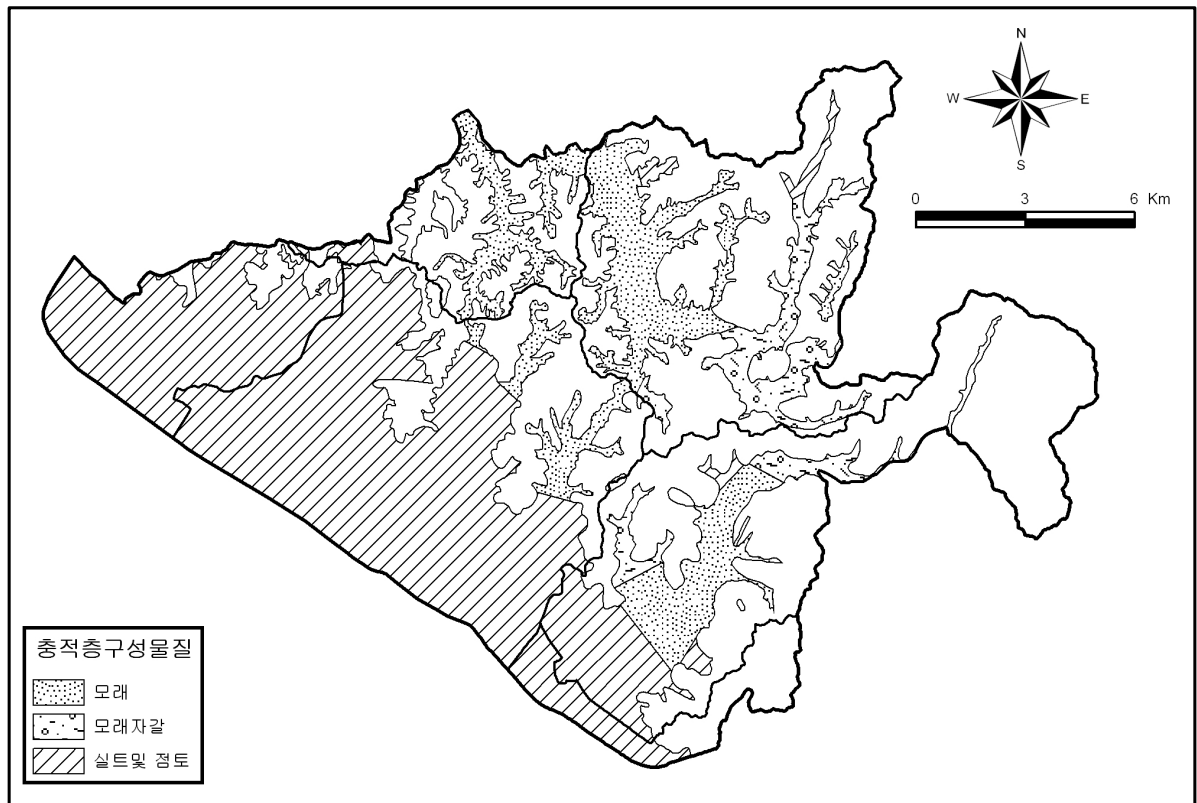
위의 결과를 바탕으로 충적층 심도분포도를 작성하였으며 지층상태가 세부적으로 기록된 238개의 자료로부터 충적층 대표 구성물질을 분류한 결과는 다음과 같다 이들 충적층심도 및 구성물질 분석 결과는 '5.5. 수문지질 특성평가'에서 충적층에 대한 지하수 산출특성과의 상관성 분석시 기초자료로 이용하였다



<그림 5-25> 충적층 두께 추정을 위한 입력자료



<그림 5-26> 충적층 심도 분포도



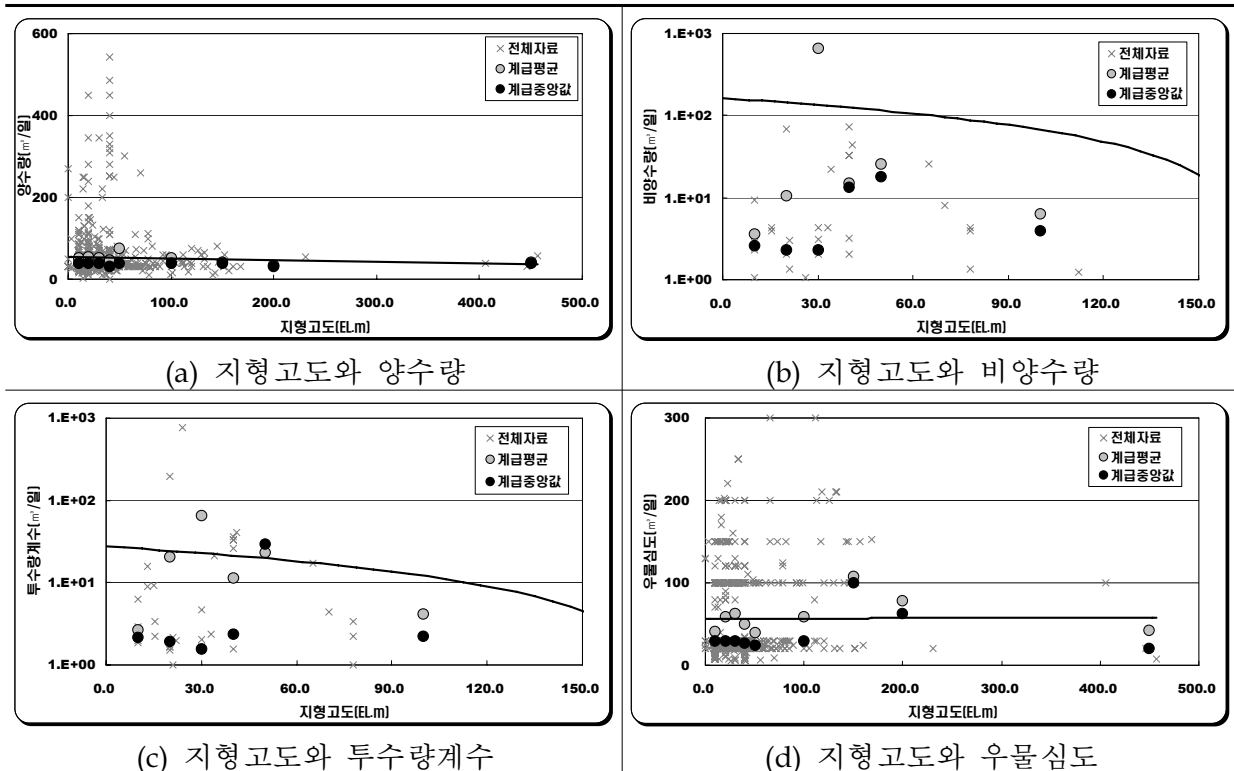
<그림 5-27> 충적층 구성물질 분포도

5.4.5. 지형과 지하수 산출특성

본 항에서는 지형과 지하수 산출성의 상관관계를 보다 정량적으로 파악하여 수문지질특성평가에 필요한 기본 자료와 기준을 제시하였다 따라서 우선 GIS 공간분석 기법을 활용, 수리특성이 기록된 우물 주변의 지형 특성을 지형고도 단위경사 등을 고려하여 일반화한 후에 지하수 산출특성과의 상관관계를 규명하였다

가. 지형고도와 지하수 산출특성

지형고도에 따른 지하수의 산출특성 분석을 위하여 지형고도5m 단위로 투수량계수와 비 양수량의 평균값을 산정하였다 <그림5-28>의 (a)는 조사지역을 대상으로 지형고도와 양수량의 상관관계를 도시한 것으로 전반적으로 지형고도가 증가할수록 뚜렷한 상관관계는 나타나지 않는 것으로 보인다. (b)는 조사지역을 대상으로 지형고도와 비양수량의 상관관계를 도시한 것으로 전반적으로 지형고도가 증가할수록 비양수량이 감소하는 경향을 보인다 (c)는 지형고도와 투수량계수의 관계를 나타낸 것으로 역시 지형고도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. (d)는 지형고도와 우물심도의 관계를 나타낸 것으로 고도가 증가할수록 뚜렷한 상관관계는 나타나지 않는 것으로 보인다

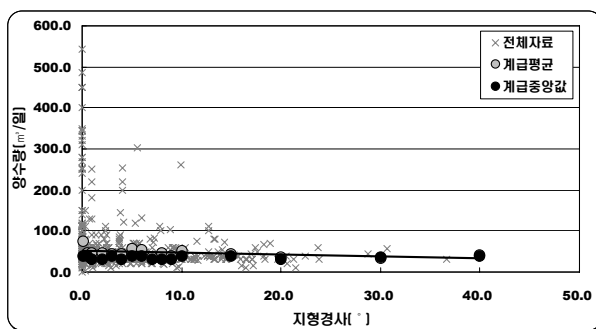


<그림 5-28> 지형고도와 지하수 산출특성

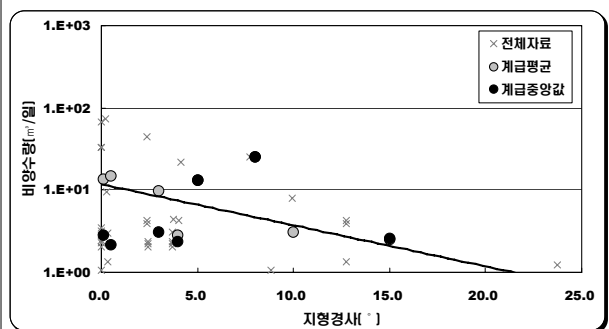
나. 단위경사와 지하수 산출특성

지형경사와 지하수 산출특성의 상관관계를 규명하기 위해 GIS 중첩기법을 적용하여 수리상수가 기록된 우물에서의 지형경사를 추출하였다. GIS 분석 성과로 도출된 지형경사도를 기초로 우물위치에서의 지형경사는 우물위치에서 300m 반경을 설정하여 이에 대한 평균 지형경사를 우물이 갖는 지형경사로 적용하였다. 각 우물위치에서 지형형상과 지하수 유동 방향을 고려하여 적절한 다각형을 작성하여 대표지형경사를 획득하여야 하나 자료처리량을 고려하여 300m의 원형경계를 채택하였다.

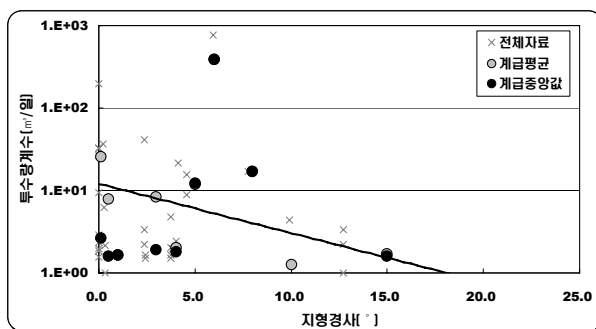
조사지역의 지형경사와 양수량 간에는 뚜렷한 상관관계는 나타나지 않으나 비양수량의 경우 지형경사가 증가할수록 비양수량이 감소하는 경향이 다소 나타난다. 우물심도는 지형경사가 증가할수록 일부 증가하는 양상을 보인다. 전반적으로 지형경사가 증가할수록 우물의 산출성은 감소하는 것으로 나타났다.



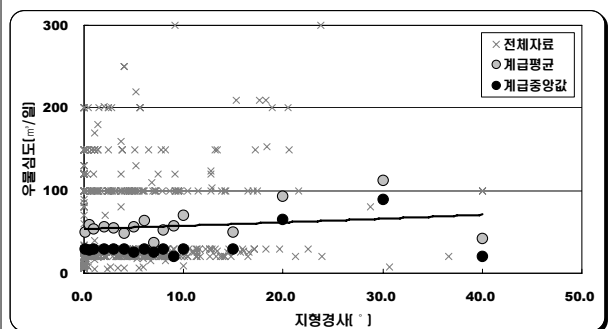
(a) 경사와 양수량



(b) 경사와 비양수량



(c) 경사와 투수량계수



(d) 경사와 우물심도

<그림 5-29> 지형경사와 지하수 산출특성

5.5. 수문지질 특성 평가

5.5.1. 지하수 산출성

일반적으로 지역 단위의 수문지질 특성은 해당 지역에 분포하는 대수층의 대표적 산출성과 수리성을 토대로 평가하는 것이 원칙이나 현실적으로 광범위한 지역에 불규칙하게 분포하는 다양한 대수층의 산출성과 수리성에 대한 실측자료는 제한적이다 따라서 지역단위 수문지질 특성평가에서는 지하수 산출에 대한 가용 자료와 지하수 영향 요인의 상관성 분석을 통하여 도출된 성과를 전 지역에 확대하여 대입하는 간접적인 평가방법을 적용하는 것이 효율적이다.

금번 조사에서는 본 조사의 현지조사 성과와 기존의 지하수 조사실적을 취합한 620개소의 우물 수리 특성자료와 상술된 수문·기상, 지형, 지질 및 지표피복 등에 관한 GIS기반의 수치도면을 중첩·분석을 통해 지하수 부존과 산출 특성을 지배하는 주요 요인별로 가중치(weight) 및 배점(rate)을 따라 평점을 도출하여, 지하수 산출성에 따른 세부 등급기준을 설정하고 조사지역 전반의 대한 수문지질 특성을 객관적으로 평가하여 지하수 산출능력에 따라 대수층을 분류하였다

본 절에서는 이상치를 제외한 투수량계수와 비양수량 및 양수량과의 상관분석을 통해 지하수 산출성을 평가하였다

5.5.2. 평가 기준

수문지질 특성에 영향을 미치는 4대 요소 중 지질은 지하수의 유동과 산출 등 지하수문계를 수문·기상, 지형 및 지표 피복 등은 지표수 유출 및 지하수 함양과 배출 등 지표수문계를 각각 규제한다. 본 항에서는 기상·수문, 지형, 지질 및 지표 피복 등 4개 항목에 대한 요인 분석을 통하여 수문지질 특성의 분석 및 평가에 필요한 기준을 마련하였다

조사지역의 수문지질특성 평가에서는 지하수문계에 직접 영향을 미치는 지질측면에 가장 비중을 높게 두고 지형, 지표피복, 기상·수문 등의 순서로 가중치를 정하였으며 아래와 같이 각 요인별로 세부 평가 항목과 등급을 설정하였다

조사지역을 암반 대수층으로 평가하고 충적층 분포지역을 별도로 충적 대수층에 대한 영향인자로 평가하여, 수문지질평가 기준을 암반지하수와 충적층 지하수에 대해 차등 적용하였다.

가. 수문 기상

- 지하수 함양 가능성(groundwater recharge potential) : 침투율/증발율
 - $Rc = (1-Kr) \cdot P / E$
 Rc : 함양계수, Kr : 유출계수, P : 강수량, E : 증발산량
 - $Rc \geq 1.3$ 함양조건 양호, $0.5 \leq Rc < 1.3$ 함양조건 보통, $Rc \leq 0.5$ 함양조건 불량
- 조사지역은 기상 및 강우 특성이 유사하며 함양계수는 1.86~2.10로 지역별 지하수 함양 가능성이 별다른 차이가 없으므로 가중치를 5%로 낮게 책정

나. 지표 피복

- 지표 피복은 가중치를 10%로 책정하고 토양 분포 및 식생·토지 이용 등을 평가
- 비포화대의 토양 특성과 토지이용 및 산림특성의 지하수 함양에 대한 기여도를 고려
- 토양(Soil cover)
 - 토양은 토양형에 따라 배수특성을 달리하며 모재의 특성에 따라 비포화대를 통한 대수층으로의 지하수 함양에 기여
 - 배수특성에 따른 SCS분류와 본 과업의 입도분석성과 및 모재특성을 종합하여 A~D까지 4개 등급으로 평가

유형	배점	토 양 특 성
A	4	모재가 충적기원이고 입도에 따른 통일분류상 조립질 모래(SW~SP)에 해당
B	3	모재는 충적기원이 아니며 통일분류상 조립질 모래에 해당하는 토양형
C	2	모재가 충적기원이나 통일분류상 세립토에 해당하는 토양형
D	1	모재가 충적기원이 아닌 세립토에 해당하는 토양형 및 기반암 노출지역

- 토지 이용(Landuse & Vegetation Cover)
 - 수면지역(하천, 호소 등)·농경지(논·밭)·산림 및 초지·도심지 및 도로 등 지표 피복 상태에 따라 강우의 유출 및 대수층으로의 함양에 기여
 - 산림은 지표유출 저감, 적설 축진 및 토양 증발 억제 효과로 토양 수분 축적 및 지하수 함양 기간 연장에 기여
 - 식생 성장기에 엽면 증발 효과 증대로 지하수 함양량 감소
 - 원격탐사의 토지이용분류 성과와 임상도를 바탕으로 5등급으로 분류하여 배점을 부여하고, 산림은 임상도의 밀도등급을 바탕으로 소, 중, 밀로 구분하여 차등 평가

- 수면지역 6점, 밀도가 높은 산림 지역 5점, 초지, 경작지 및 중간밀도 산림지역 등은 3점, 밭 및 나대지 2점, 저밀도 산림지역, 도로 및 주거지역 등은 1점으로 각각 배점

다. 지형

- 지형요인은 지하수의 함양·배출조건 및 산출에 상당한 영향을 미치는 관계로 가중치를 25%로 책정
- 지형에 관한 사항을 고도·고도차(기복)·경사 및 경사군으로 나누어 세부 평가 항목으로 설정하여 다중평가를 통해 지하수계에 미치는 지형요소의 영향을 반영
- '5.4.5. 지형과 지하수 산출 특성의 분석성과에 의거 가중치 및 배점 산정
- 지형 고도(15점)
 - 지형고도와 투수량계수의 상관관계에 기초하여 격자별 평균고도에 따라 배점을 부여

고도(EL.m)	50미만	50~100	100~150	150~200	200~300	300~500	500이상
배 점	15	13	12	10	8	7	6

- 단위 경사(10점)
 - 단위경사와 투수량계수의 상관관계에 기초하여 격자별로 단위경사에 따라 배점을 부여

단위경사(°)	0~1	1~4	4~8	8~12	12~15	15이상
배 점	10	8	6	4	2	0

라. 지질

- 지하수에 영향을 미치는 지질학적 요인은 암상과 지질 구조가 조합을 이룬 수문지질구조(hydrogeological structure)이므로 지하수의 분포특성을 지배하는 지질구조와 지하수체 및 대수층의 상관관계를 반영
- 지하수에 영향을 미치는 지질학적 요인은 암상과 지질 구조가 조합을 이룬 수문지질구조(hydrogeological structure)이므로 지하수의 분포특성을 지배하는 지질구조와 지하수체 및 대수층의 상관관계를 반영
- 지질은 지하수의 부존 및 산출을 직접 규제하는 점을 고려하여 가중치를 60%로 책정
 - 대수층을 암반대수층과 충적대수층으로 구분하여 평가
 - 암반대수층은 전 조사지역에 분포하는 암상 및 선형구조 발달상태에 따라 평가
 - 충적대수층은 충적층의 구성물질과 두께에 따라 평가
- 암반층은 암상과 선형구조밀도에 따라 평가

5. 지하수 부존 및 산출 특성

• 암상/수문지질단위(30점)

- 암상은 수문지질단위와 투수량계수 및 양수량의 상관관계 분석 결과에 따라 배점

수문지질단위	준편마암	트라이아스기-쥬라기산성관입화성암
배 점	30	20

• 선형구조밀도(30점)

- 암반대수층의 산출성을 연장성을 고려한 선형구조밀도에 따라 배점

선형구조밀도	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4이상
배 점	5	15	20	30	10

• 충적층은 대수층의 구성물질과 두께에 따라 평가

• 충적층 구성물질(30점)

- 대수층의 입도 분포 및 투수성에 따라 해양성 점토/실트(빨), 점토/실트, 모래, 자갈 및 전석으로 구분하여 배점 특히 해안지역의 해양성 점토/실트(빨)은 0점 처리

구성물질	실트/점토	모래	모래/자갈
배 점	5	25	30

• 충적층의 두께(30점)

- 조사지역의 대수층 두께 분포를 분석하여 6등급으로 구분하여 두께에 따라 배점

두께(m)	5미만	5~10	10~15	15~20	20이상
배 점	5	15	20	25	30

이상 적용한 조사지역의 수문지질 특성 평가 기준을 요약한 결과는 아래 표와 같다

<표 5-20> 수문지질 특성평가 분류 기준

평가항목	가중치	세부 항목		배점	평 점									
수문/ 기상	5	함양가능성		5	0<Rc≤0.5			0.5<Rc≤1.3			1.3< Rc			
					1			3			5			
지표피복	10	토양분포		4	A		B		C			D		
					4		3		2			1		
		토지이용		6	시가지지역	나대지	경작지	산림(밀도)						수면지역
								소	중		밀			
					1	2	3	1	3	5	6			
지형	25	고도(El.m)		15	50미만	50~100	100~150	150~200	200~300	300~500	500이상			
					15	13	12	10	8	7	6			
		단위 경사(°)		10	0~1	1~4	4~8	8~12	12~15	15이상				
					10	8	6	4	2	0				
지질	60	충적층	구성 물질	30	실트/점토			모래			모래/자갈			
					5			25			30			
			두께 (m)	30	5미만	5~10	10~15	15~20	20이상					
					5	15	20	25	30					
		암반층	암상	30	트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암					준편마암				
					20					30				
			선형 구조 밀도	30	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4이상					
					5	10	15	20	30					

<표 5-21> 주제도 작성 항목 및 활용 자료

평가 항목	주제도	활용 자료
수문·기상	· 지하수 함양성 평가도(과업지역 동일)	· 강우량, 유출량, 증발산, 물수지분석 자료
지표 피복	· 토양 분포도 · 토지이용분류	· 토양도 · 원격탐사 성과
지형	· 지형고도 분포도 · 지형경사 분류도 · 지형고도 및 경사군 분류도	· 수치지도 · DEM 및 음영기복도 · 원격탐사 지형분석 성과
지질	· 수문지질 단위 분류도 · 지질구조선 분포도 · 충적층 두께 및 구성물질 분포도	· 지질도 및 수문지질도 · 위성영상 및 항공사진 판독자료 · 전기비저항탐사, 시추 및 착정 조사 자료

5.5.3. 수문지질 특성평가

본 조사의 물수지분석 토지이용, 임상도, 토양분포, 지형고도, 경사, 수문지질 및 선형구조 분석 등 각종 성과물을 총 망라하여 300m 격자로 전환하여 각 주제도면을 완성하였다. GIS 공간분석기법을 적용하여 수문지질특성 평가를 실시하였으며 이를 지하수 산출성 표본자료와 상관분석하여 수문지질특성에 따른 지하수 산출성을 도출하였다

가. 지표피복요소

조사지역의 지표피복인자평가를 통해 비포화대의 토양특성과 토지이용 및 산림특성이 지하수 함양에 대한 기여를 고려하였다.

지표피인자중 토양요소는 모재의 특성과 입도분석성파에 의거한 분류결과 국제수문개발계획(IHP)에서 분류한 SCS토양형과 유사하나 부분적인 차이를 나타냈으며 본 과업지역의 특성을 반영하여 IHP의 SCS토양형 분류를 수정·적용하였다. 모재가 하성충적 및 충적에 유래한 기원이고 입도에 따른 통일분류상 조립토중 모래에 해당하는(SW~SP) 토양형을 A등급, 충적기원은 아니지만 통일분류상 조립토중 모래에 해당하는 토양형을 B등급, 모재는 충적기원이나 통일분류상 세립토에 해당하는 토양형을 C등급, 나머지 세립토에 해당하는 토양형을 D등급으로 분류하고 각 4~1점을 배점하였다.

토지이용은 수면지역 6점, 산림밀도가 높은 지역 4점, 초지 및 논에 해당하는 지역은 3점, 주거지 및 도로에 해당하는 지역은 1점을 배점하였다.

지표피복 평가 결과 과업지역은 2~10까지 평가되었으며, 평가점 8이상의 지표피복이 양호한 지역은 일산서구 가좌동, 일산동구 성석동, 풍동, 식사동, 지영동, 덕양구 성사동, 원흥동, 용두동, 선유동, 대자동 등이다.

나. 지형요소

지형요소는 격자에 해당하는 지역의 평균고도 및 경사도를 이용한 요소와 과업지역을 소유역을 기본으로 주하천 방향을 따른 지형경사의 변화에 따라 세분한 구역을 설정하여 이를 고려하였다.

지형요소에 대한 평가 결과 6~25까지 평가되었으며, 20점 이상으로 지형상태가 양호한 것으로 평가된 지역은 한강과 인접한 고양시 남서부의 평양지대와 공릉천과 창릉천을 따라 높게 나타나고, 고산지대인 북동부로 갈수록 낮아져 지형특성이 잘 반영되어 나타난다.

다. 지질요소

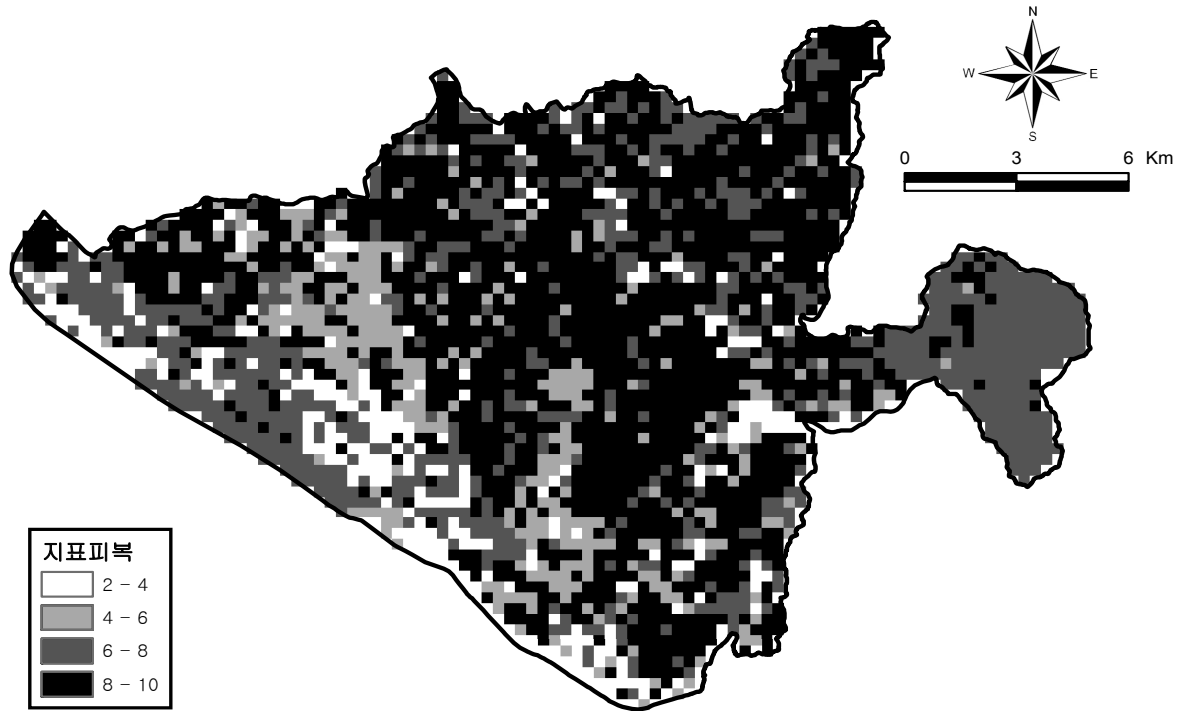
지질요소는 조사지역 전체에 대해 암반대수층에 영향을 미치는 수문지질단위 및 선형구조에 관한 요소로 평가하고 충적층이 발달한 지역은 충적대수층에 영향을 미치는 충적층 두께 및 구성물질로 평가하여 충적층이 분포하는 지역은 두가지 대수층에 대해 각각 평가하였다.

지질요소 중 암상은 투수량계수·비양수량 및 개발양수량을 고려하여 산출성이 가장 높게 평가된 준편마암을 30점, 트라이아스-쥬라기산성관입화성암을 20점을 배점하였다. 또한, 암반지하수의 산출성에 대한 기여가 큰 선형구조의 발달상태를 총30점으로 평가하였다. 또한 충적층은 표본자료의 지층구성상태를 기준으로 주 대수층이 갖는 입도구성에 따라 점토/실트, 모래, 모래/자갈로 구분하고 각각 5~30까지 배점하고 충적층의 두께에 따라 다시 5~30점을 배점하여 평가하였다.

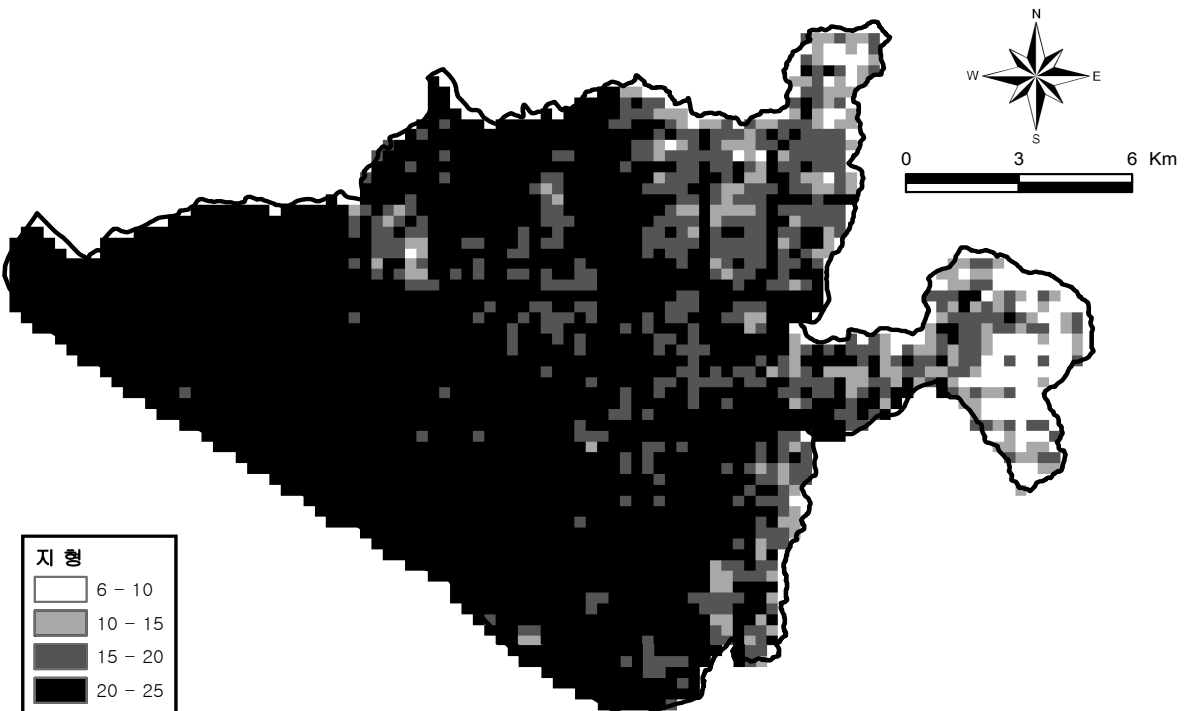
충적층에 대한 평가는 10~60까지 평가되었으며, 50이상으로 양호하게 평가된 지역은 덕양구 도내동, 화전동, 사리현동, 원당동 등이다.

암반층에 대한 평가는 20~60까지 평가되었으며, 40이상으로 양호하게 평가된 지역은 일산서구 성석동, 사리현동, 식사동, 설문동과 덕양구 고양동, 신원동, 지축동, 탄현동, 주교동 등이다.

(a) 지표피복

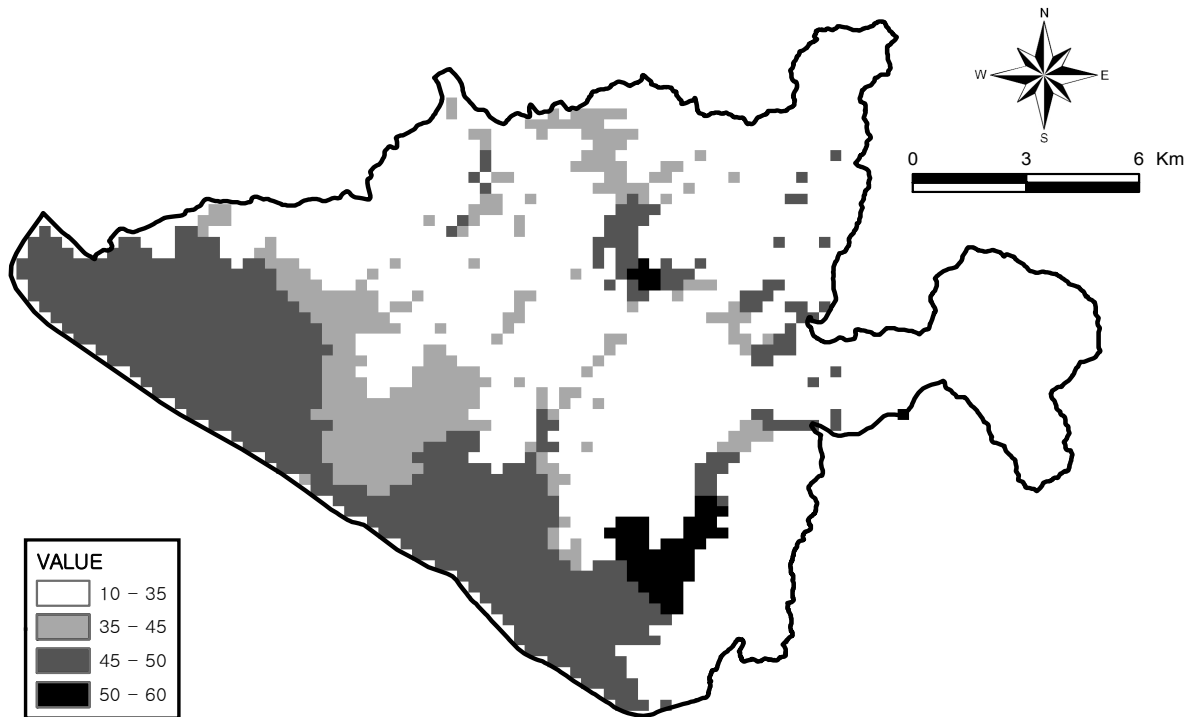


(b) 지형

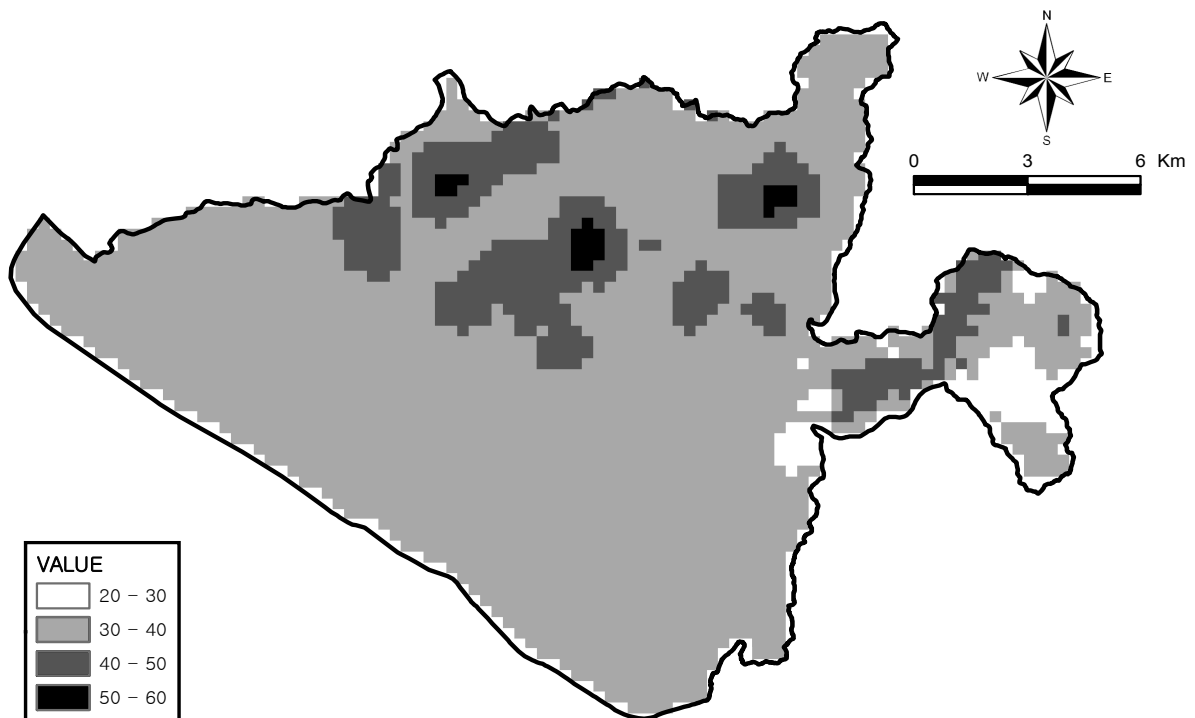


<그림 5-30> 각 요소별 수문지질 특성평가 결과

(c) 지질(충적)



(c) 지질(암반)



<그림 5-30> 각 요소별 수문지질 특성평가 결과(계속)

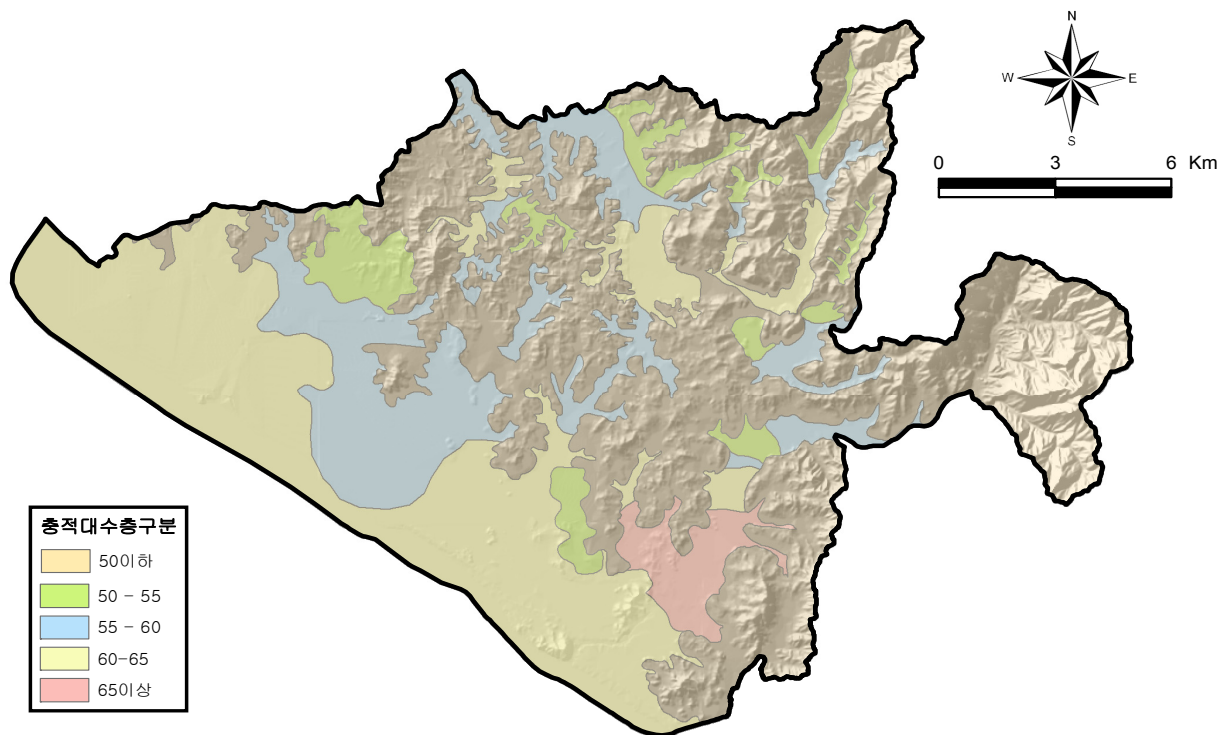
라. 수문지질특성 종합평가

본 항에서는 전술한 지표피복, 지형 및 지질 요소 등의 항목별 평가 결과를 종합하여 조사지역의 수문지질특성을 평가하였다 수문지질특성 종합 평가에서는 충적층 지하수는 충적층 분포 지역, 암반지하수는 전 조사지역에 대하여 각각 평가를 실시하였으며 이에 따른 평가 결과는 <그림 5-31>에 도시한 바와 같다.

충적층 분포지역의 수문지질특성에 대한 종합 평점은 41~74의 범위를 나타내며 이 중에서 평점이 65점 이상으로 수문지질 특성이 상대적으로 양호하게 평가된 지역은 덕양구 화전동, 도내동, 용두동, 사리현동, 원당동, 대장동 등이다.

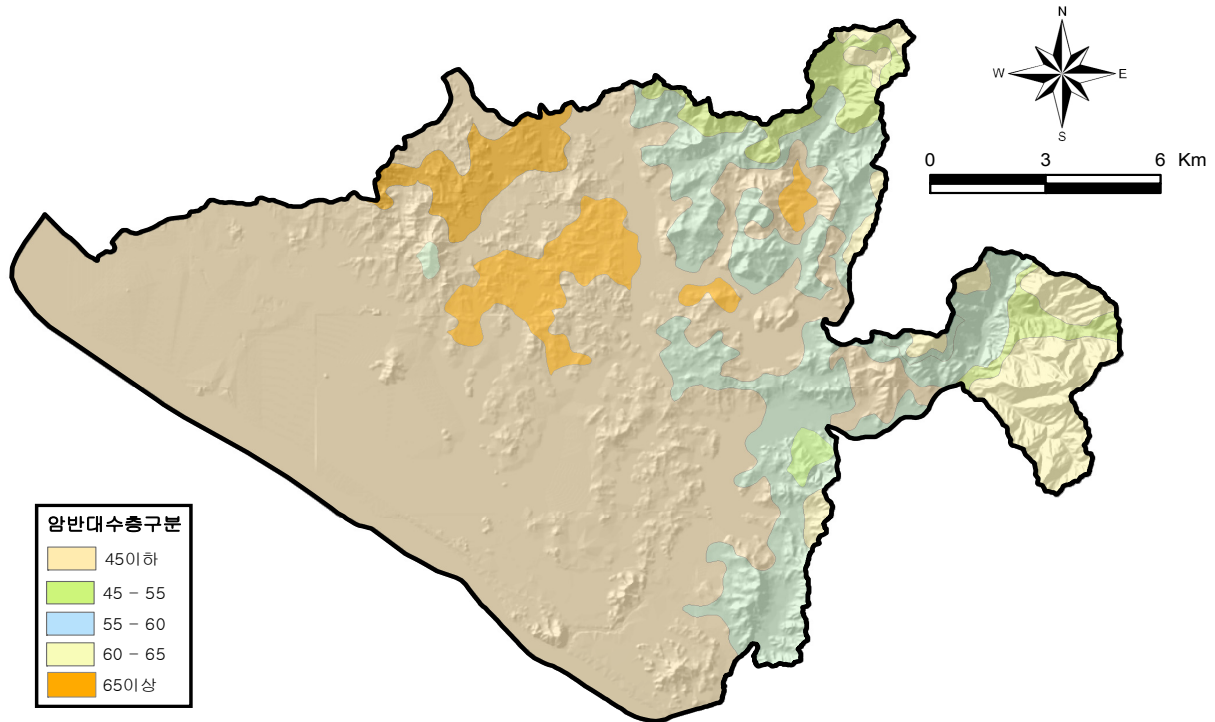
암반대수층에 대한 수문지질 특성평가 결과 조사지역은 39~75로 평가되었으며, 이 중 평점이 65점 이상으로 수문지질 특성이 상대적으로 양호하게 평가된 지역은 일산동구 풍동, 식사동, 성석동, 사리현동, 설문동, 주교동, 고양동 등이다.

(a) 충적지하수



<그림 5-31> 수문지질 특성평가 결과

(b) 암반지하수



<그림 5-31> 수문지질 특성평가 결과(계속)

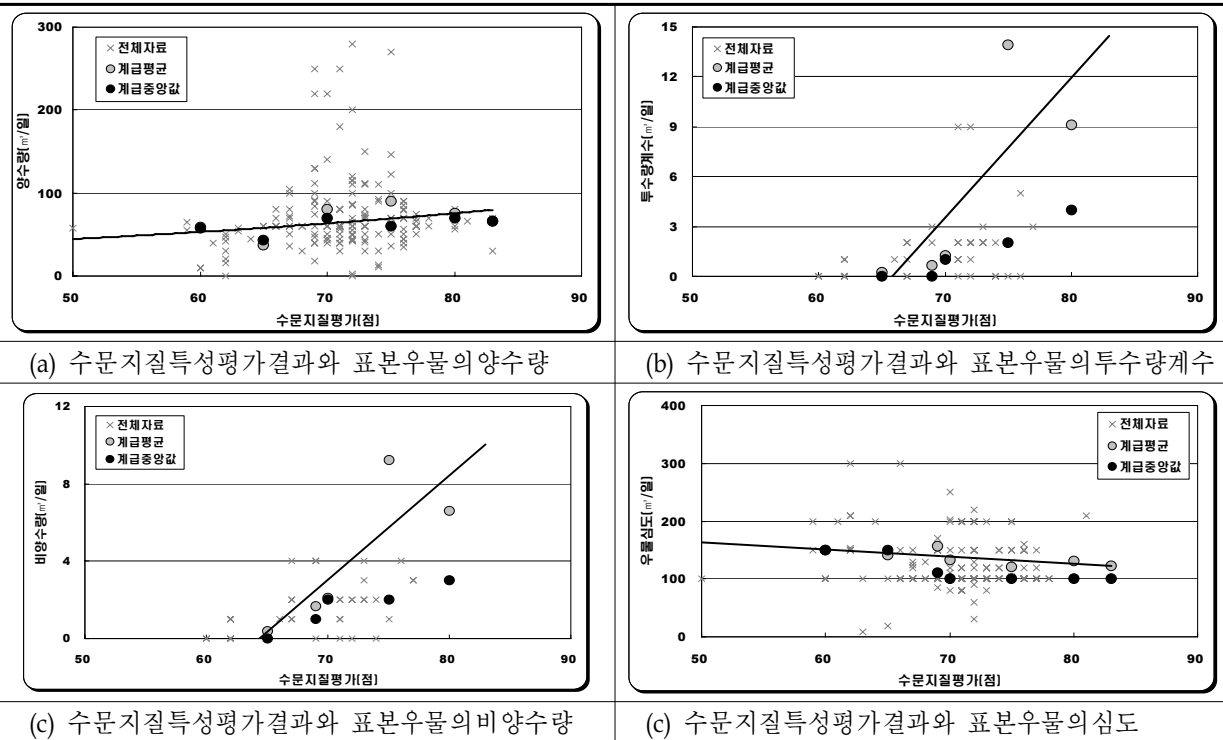
마. 수문지질 특성 평가 점수와 지하수 산출량의 상관관계

본 항에서는 전항에서 수행한 수문지질 특성평가 결과를 검증하고 수문지질 특성평가 결과와 우물의 산출량 자료의 상관성 분석을 통하여 평가 점수에 따른 지하수 산출량을 정량적으로 도출하여 최종적으로 이를 토대로 조사지역의 대수층 능력을 단계별로 분류하였다

금번 분석에서는 '5.4. 대수층 수리특성과 마찬가지로 양수량이 기록된 우물자료와 투수량계수가 기록된 우물자료 및 해당 우물 소재지의 수문지질특성 평가 점수의 상관관계를 GIS 공간분석 기법을 적용하여 분석하였다

암반대수층 수문지질 특성평가와 양수량 비양수량 및 투수량계수의 관계는 <그림 5-32>과 같으며, 조사지역의 암반대수층에서 수문지질평가45이하는 30m³/일 이하, 65이상은 120m³/일 이상의 지하수 산출이 예상된다

5. 지하수 부존 및 산출 특성

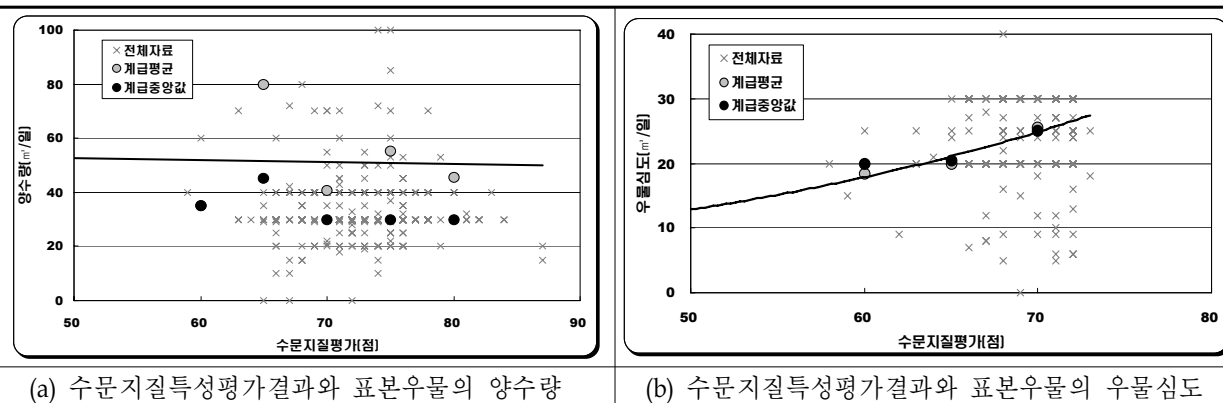


<그림 5-32> 암반대수층 수문지질 특성평가결과와 표본우물의 상관관계

충적대수층에 대한 수문지질 특성평가 결과와 지하수 양수량이 증가하는 양의 상관관계가 뚜렷이 나타나지는 않는데 이는 양수량 자체의 값이 우물의 최대양수량이 아닌 우물시설물의 양수능력이 반영된 결과인 것으로 판단된다.

충적대수층 수문지질 특성평가 결과와 양수량 우물심도와의 상관관계를 분석하였으나 상관성은 나타나지 않는다.

<그림 5-33>의 수문지질 특성평가와 지하수 산출성의 관계를 통해 조사지역의 대수층 능력분류결과이다.

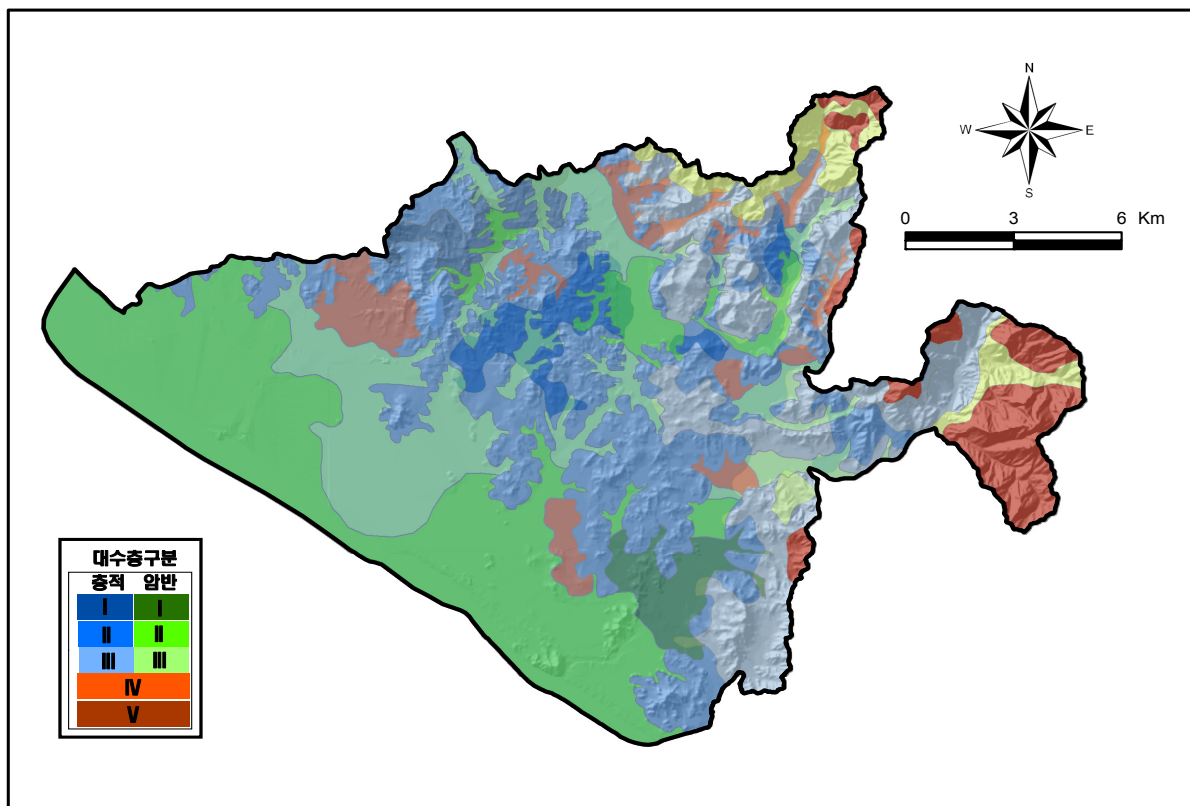


<그림 5-33> 충적대수층 수문지질 특성평가결과와 표본우물의 상관관계

본 수문지질 특성평가에 따른 예상 지하수 산출량은 지하수 산출성에 영향을 주는 인자와 우물 산출량 자료에 의거한 통계적인 량으로 우물 산출량 자료의 분포 및 신뢰도에 따라 그 결과가 좌우되며 향후 평가인자의 수정이나 우물 산출량 자료의 추가에 따라 그 양이 변동될 수 있다. 따라서 본 조사에서는 수문지질 특성평가 결과와 대수층의 산출능력의 상관관계보다 다소 작게 예상 산출량을 설정하였으며 향후 지속적인 조사와 보완을 통해 보다 실제에 가까운 대수층 평가가 이루어 질 수 있을 것으로 보인다

<표 5-22> 수문지질 특성평가(충적·암반별)와 예상 지하수 산출량

등급	충적대수층		암반대수층	
	수문지질 특성평가	예상산출량(m ³ /일)	수문지질 특성평가	예상산출량(m ³ /일)
I	65 이상	120 이상	65 이상	120 이상
II	60 ~ 65	90 ~ 120	60 ~ 65	90 ~ 120
III	55 ~ 60	60 ~ 90	55 ~ 60	60 ~ 90
IV	50 ~ 55	30 ~ 60	45 ~ 55	30 ~ 60
V	50 이하	30 이하	45 이하	30 이하



<그림 5-34> 산출능력에 따른 대수층 분류도

5.6. 지하수 함양량 및 개발가능량

본 장에서는 지하수 함양계수를 이용하여 지하수 개발가능량을 산정하고 '수문지질 특성 평가'를 통해 도출된 지하수 개발 유망지점과 향후 조사지역의 용수수급전망을 고려하여 종합적인 지하수 개발·공급방안을 수립하였다.

"지하수관리 기본계획(2007, 국토해양부, 한국수자원공사)"에 따르면 지하수 개발가능량은 "물 순환체계가 파괴되지 않고 지하수 장애를 일으키지 않는 범위 내에서 지속적으로 대수층으로부터 양수할 수 있는 지하수량"으로 정의하고 있다.

지하수 개발 가능량의 산정방법은 지하수 유역별 지형과 지질 대수층의 수리특성·양수 이용방법 및 수질 등에 따라 다양할 수 있으나 일반적으로 지하수의 함양과 배출이 평형이 되도록 연간 함양량을 초과하지 않는 범위 내에서 결정하게 된다

지금까지 지하수 기초조사에서 지하수 함양량 산정에는 물수지 분석방법과 기저유출 분석 방법 및 충적층 대상의 지하수 배출량 산정 등이 주로 이용되었다 그러나 엄격한 의미에서 지하수 함양량은 기저유출량 외에 지하유출량과 양수이용량 등이 포함되어야 하며 이에 지하수관리기본계획에서도 유역의 지하수 함양특성을 보다 잘 설명할 수 있는 지하수위 감쇠곡선을 통해 지하수 함양계수를 추정하여 지하수 개발가능량을 산출하였다 금회 조사에서는 지하수 함양량 산정을 위해 지하수위 변동곡선 해석법을 기본으로 하고 SCS-CN 유출곡선을 적용한 지하수 물수지 분석 TANK 모형을 이용한 수문학적 물수지 분석을 병행하여 지하수 개발가능량을 종합적으로 검토하였다

5.6.1. 지하수 함양량 평가

가. 물수지 분석을 통한 지하수 함양량 분석

조사지역의 유역은 전에 언급하였듯이 6개의 수자원 단위지도 표준유역으로 구성된다. 금회 지하수 물수지를 위한 수문분석에서는 상기에 언급한 고양시(267.31km²)의 6개 표준유역에 대하여 각각에 대한 강우량 증발량분석 및 유출량 분석을 수행하였다

1) 수문관측현황

물수지 분석을 위한 유출량 산정의 기준이 되는 고양시 인근에는 기상청관할 서울관측소와 국토해양부관할 김포, 의정부 관측소를 포함하여 총 3개의 강우관측소가 존재한다

이 중 조사지역에 영향을 미칠 수 있고 수문분석에서 요구되어지는 30년 이상의 자료가 축적되어 있는 관측소는 고양시 인근에 있는 서울, 김포, 의정부관측소로 조사되었다

<표 5-23> 강우관측소 제원

관측소명	지명	경도	위도	해발고	관측개시일	관할기관	기종
서울	서울특별시 종로구 송월동 1번지	126-57-00	37-34-00	85.4	1907-10-01	기상청	자기
김포	경기도 김포시 사우면 263-1 김포시청	126-43-06	37-36-45	20	1962-07-01	국토해양부	자기
의정부	경기도 의정부시 의정부동 중앙초교	127-02-59	37-44-30	42	1916-06-01	국토해양부	자기

<표 5-24> 강우 관측기록 보유현황

관측소	년도	자료 보유년도						비고
		~ 1973이전	1980	1985	1990	1995	2007	
서울								
김포								
의정부								

2) 강우량

강우분석에서는 수문분석의 기본자료가 되는 유역별 평균강우량 등 제 수문량을 산정하여 이를 토대로 유역내 유출량 및 증발산량 분석을 통하여 지하수개발 가능량 산정을 위한 기초자료로 활용하였다.

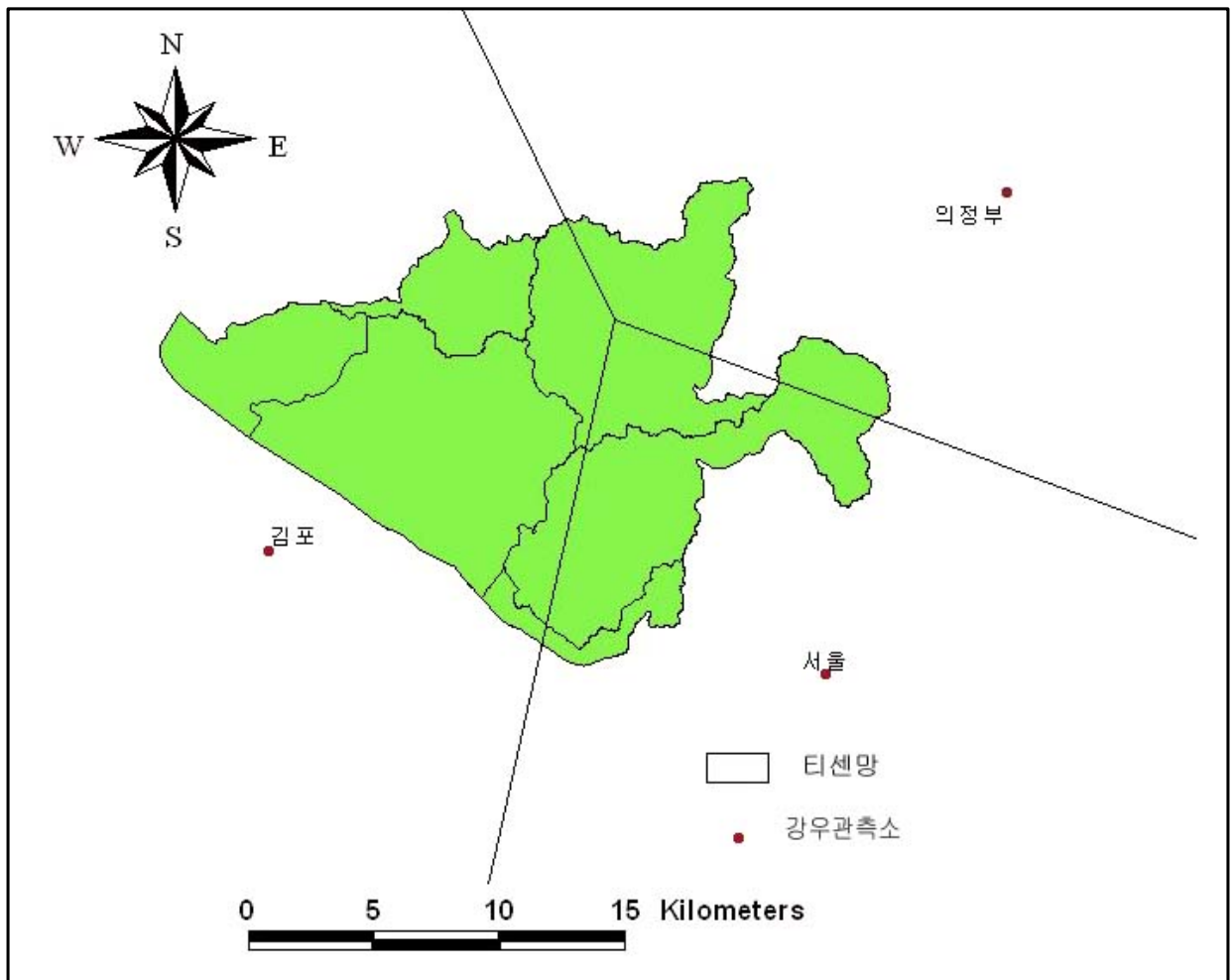
강우분석은 6개 표준유역을 지배하는 각 관측소의 강우 사상이 서로 상이하여 강우에 대한 산악효과를 최대한 고려하기 위해서는 등우선법의 적용이 바람직하나 관측소의 수가 부족하여 등우선을 정확하게 도시할 수 없는 점을 감안하여 금번 강우분석에서는 인근 우량 관측소의 관측자료를 최대한 활용하여 객관적으로 손쉽게 적용 가능한 티센법을 채택하여 평균강우량을 산정하였다. 따라서 금번 강우분석은 전술한 인근의 국토해양부 및 기상청 관할 3개 강우관측소를 중심으로 티센망을 작성하여 수행하였으며 강우관측자료 중 미계측치 및 이상치에 한하여 수정·보정하여 사용하였다.

강우분석시 적용한 티센망도는 <그림 5-35>과 같으며, 유역별 티센계수와 면적강우량은 <표 5-27>, <표 5-28>와 같다. 이때 강우관측소의 자료보유기간을 고려하여 2종류의 티센망을 작성하여 강우분석에 이용하였다. 강우보정에 사용한 기법으로는 인근 관측소의 강

우분포 경향과 거리의 상관관계를 고려하여 강우량을 보완해 주는 RDS법(Reciprocal Distance Squared Method)을 적용하였으며 이는 다음과 같다.

$$R_x = \sum_{i=0}^n a_i R_i, \quad a_i = \frac{1/D_i^2}{\sum 1/D_i^2}$$

x : 관측점 X의 결측치 a_i : 관측점 i의 가중인자 R_i : 관측점 i의 강우량
 n : 주위관측점 수 D_i : i관측소와의 거리



<그림 5-35> 강우 티센망도

<표 5-25> 유역별 티센계수

구분	서울	김포	의정부	합계
임진강합류점	-	1.0000	-	1.00
계양천	-	1.0000	-	1.00
공릉천 하류	-	1.0000	-	1.00
공릉천 상류	0.2922	0.2914	0.4164	1.00
창릉천	0.7332	0.1364	0.1304	1.00
행주대교 수위표	0.7162	0.2838	-	1.00

<표 5-26> 유역별 면적강우량 및 수자원총량

구분	임진강합류점	계양천	공릉천 하류	공릉천 상류	창릉천	행주대교 수위표	고양시전체
유역면적(km ²)	25.45	79.05	21.11	63.60	67.74	10.36	267.31
면적강우량(mm)	1,220	1,220	1,220	1,321	1,360	1,341	1,284
수자원총량 (천m ³ /년)	31,041	96,417	25,748	84,009	92,153	13,897	343,266

3) 증발산량

증발산은 지표로부터의 증발과 식생에 의한 증산을 포함하며 증발산량은 그 유역의 기상조건과 지층의 수분 함량 및 식생상태 등 자연 조건에 영향을 받는다

자연 상태에서 실제 증발량을 측정하여 신뢰도가 높은 장기자료를 축적하기란 불가능하므로 일반적으로 계기증발계의 측정자료와 기상자료 등을 이용한 경험공식에 의해 증발산량을 추정한다.

증발산량은 잠재증발산량(Potential Evapotranspiration)과 실제증발산량(Actual Evapotranspiration)으로 구분된다. 잠재증발산량은 최대 가능 증발산량을 의미하며 증발산에 필요한 충분한 수분을 공급받을 때, 즉 유역의 토양이 수분으로 완전 포화되어 있는 상태일 때 발생하며 자유수표면의 증발량에 가까운 값을 갖게 된다 잠재증발산은 온도, 일조시간, 바람, 상대습도 및 대기압 등에 영향을 받는다.

증발산량을 산정하는 방법에는 기상자료와의 상관방법으로 Thornthwaite방법과 Turc 방법, 에너지수지방법으로 Penman방법, 경험식으로 대표적인 Blaney-Criddle 방법이 있다.

본 조사에서는 고양시 인근 서울기상관측소에서 관측되는 기상자료를 이용하여 Thornthwaite방법으로 증발산량을 산정하였다. 서울기상관측소는 1907년 개시 이래로 충분한 기상자료가 축적되어 증발산량 산정에 적합한 자료제공이 가능하며 과업지역의 잠재증발산량은 1961~2007년까지 47년간의 기상자료에 Thornthwaite방법을 적용하여 산정하였다.

Thornthwaite방법은 원통형증발산계를 이용하여 측정한 증발산과 기온과의 상관을 이용하여 증발산량을 추정하는 방법으로 1개월 이상의 기간에 대해 적용된다. 월평균온도 $T_m(^{\circ}\text{C})$ 인 월증발산량 ET 는 다음과 같다.

$$ET_x = 1.62 \left(\frac{10 T_m}{J} \right)^a$$

여기서 $a = (675 \times 10^{-9})J^3 - (771 \times 10^{-7})J^2 + (179 \times 10^{-4})J + 0.492$, ET_x 는 월잠재증발산량 (cm/월), J 는 연열지수(annual heat index)로 월평균온도의 함수로 계산된다. 기온이 영하인 달은 계산에서 제외된다.

$$J = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.5}$$

위 식에서 ET_x 는 1개월을 30일로 취하고 일출에서 일몰까지의 시간인 일조시간을 12시간으로 취했을 때 월증발산량이다. 따라서 평균기온이 T_m 인 특정월의 실제증발산량은 다음과 같이 보정된다.

$$PE_A = PE_x \frac{DN}{360}$$

여기서 PE_A 는 실제증발산량(cm/월), D 는 특정월의 일수, N 은 일조시간이다.

따라서 일조시간 조정인자 $\frac{DN}{360}$ 은 특정지역의 실제 월평균 일조시간에 따라 달라진다.

고양지역 연도별 월평균 온도와 일조시간은 다음 <표 5-27>, <표 5-28>과 같다.

<표 5-27> 고양시의 연도별 월평균 온도(℃)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	년평균
1961	-5.2	-0.9	5.4	11.7	17.3	21.9	26.2	26.8	21.5	15.6	8.9	-0.7	12.38
1962	-3.4	-0.7	3.2	10	17.6	21.1	26.1	25.1	20.3	13.6	6.4	1.1	11.70
1963	-9.2	-2.5	5.5	11.4	16.9	21.2	24.5	25.7	20.5	13.5	6.5	0.8	11.23
1964	-0.1	-3.5	3.8	14.1	18.6	21.6	24.7	26.3	20.3	13.8	6.3	0.2	12.18
1965	-4.2	-1.2	2.7	10.3	17.3	22.1	24.1	24.4	20.9	14.8	7	-2	11.35
1966	-4.7	0.1	4.8	11.8	18.3	20.5	23.6	26.7	19.7	14.4	5.9	-3	11.51
1967	-4.5	-2.4	4.8	11.8	19.3	21.3	25.5	26.7	20.7	14.5	6.5	-4.9	11.61
1968	-4	-4.4	4.4	12.6	17.2	21	24.7	24.9	20.9	13	7.6	3.1	11.75
1969	-3.5	-2.7	2.9	10.6	16.4	20	24	24.8	20.8	13.9	5	-2	10.85
1970	-4.8	-0.2	0.4	12.2	18.7	20.5	23	25.9	21.2	14.9	5.7	-1.1	11.37
1971	-2.4	-0.7	2	11.2	16.6	21.6	23.9	24.6	20.6	13	8.7	-1	11.51
1972	0.8	-0.6	5.3	11.5	16.4	21.7	25.7	23.1	19	13.8	5.2	0.6	11.88
1973	0.4	0.6	4.5	12.4	17.4	21.4	26.8	25.9	20.3	13	4.7	-3	12.03
1974	-2.5	-2.1	3.7	10.7	16.7	19.7	23.5	25.1	20.6	12.6	5.4	-0.5	11.08
1975	2.7	-0.8	4.4	13.3	16.7	21.4	24.9	27	22.6	15.4	9	-1.6	12.92
1976	-3.8	2.8	4.8	11.3	16.7	21.3	23.1	23.7	19.9	13.7	3.5	0.4	11.45
1977	-6.7	-2.4	5.4	12.5	17.4	22.5	26	24.6	21.5	16.7	7.6	2.4	12.29
1978	-2.4	-2.5	4.2	11.5	18.5	21.9	26.4	25.8	20.9	14.5	7.9	1.6	12.36
1979	0.9	0.6	6	11.2	16.5	21.4	24.3	25.4	20.1	15.9	5.7	1.4	12.45
1980	-3.7	-3.1	5.2	10.1	16.5	21.6	22.7	22.8	19.6	13	8.6	-3.8	10.79
1981	-7	-1.4	5.7	11.9	15.9	21.8	25.4	24.5	20	13.4	3.6	0.1	11.16
1982	-3.6	0.6	5.9	12.3	17.9	21.9	25.1	25.4	20.8	15.8	7.9	-0.1	12.49
1983	-1.7	-1.7	6.4	13.6	18.5	22.2	23.6	26	22	14.2	6.7	-1.1	12.39
1984	-5.9	-3.5	2.5	12.1	18.2	22.6	25.2	26.3	20.1	13.8	8.1	-0.9	11.55
1985	-5.9	-0.3	4.3	11.6	18.1	22.1	25.3	26.3	20.2	14.7	5.6	-3.4	11.55
1986	-5.4	-3.3	4.9	11.9	17.1	21.9	23.5	24.5	19.9	12.7	5.2	1.9	11.23
1987	-3	-0.1	4	10.8	17	22.4	23.7	24.4	20.1	15.5	7.5	0.9	11.93
1988	-2.1	-1.5	4.3	11.3	17.9	22.3	24.4	26.4	21.4	15	5.5	0.1	12.08
1989	0.8	2.4	6.1	14.3	17.9	21.2	24.5	25.5	20.7	13.6	7.1	1.4	12.96
1990	-3.2	2.7	7.2	11.3	16.2	20.7	24.9	26.4	21.1	15.4	10	0.8	12.79
1991	-2.6	-0.9	4.9	13	17.5	22.6	24.3	25.5	21.1	13.8	6.5	2.2	12.33
1992	-0.2	0.7	7.6	12	16.4	20.9	24.8	24.8	20.9	14	6.2	1.5	12.47
1993	-1.9	1	5.8	10.6	18.2	21.3	23.3	23.2	21.2	13.4	8.5	-0.2	12.03
1994	-0.9	0.8	4	15.2	17.9	22.8	28.5	27.6	21	15.2	9.3	1.1	13.54
1995	-2.1	1.2	6	11.3	17.1	21.6	24.5	26	20	15.5	6.2	-1	12.19
1996	-2.2	-1.6	4.9	10.2	18.4	22.3	24.4	26	22	14.5	6.1	1.6	12.22
1997	-3.3	0.7	6.8	13	17	23.4	26.1	26.8	20.2	13.4	8.8	1.8	12.89
1998	-1.4	3.4	7.3	15.6	19	21.9	24.9	25	23	17	7.3	2.3	13.78
1999	-0.8	0.7	6.7	13.9	17.5	23.1	25.9	26	22.9	14.3	7.9	0.4	13.21
2000	-2.1	-1.7	6.3	11.9	17.5	23.7	26.8	26.2	20.7	14.9	7	0.9	12.68
2001	-4.2	-0.3	5	13.6	19.1	22.5	25.9	26.5	22.4	16.5	7	-0.6	12.78
2002	0.3	2.9	7.6	13.6	18.2	22.2	25.2	24.2	21.6	12.8	4	1.7	12.86
2003	-2.6	2.7	6.5	13.2	19.6	21.5	23.8	24.1	20.9	13.9	9.5	0.7	12.82
2004	-1.6	2.3	6.3	13.1	17.6	23.2	24.8	26.1	21.7	15.2	9.1	1.9	13.31
2005	-2.5	-1.9	4.1	13.2	17.7	22.7	25.3	25.1	21.8	14.7	8.6	-3.9	12.08
2006	-0.2	0.1	5.2	11.6	18.4	21.8	23.1	27	21.1	17.9	8.4	1.4	12.98
2007	0.4	4	6.1	11.4	18.1	23.2	24.2	26.5	21.5	15.1	6.7	1.8	13.25
월평균	-2.7	-0.4	5.0	12.1	17.6	21.8	24.8	25.5	20.9	14.5	6.9	0.0	12.17

5. 지하수 부존 및 산출 특성

<표 5-28> 고양시의 연도별 월평균 일조시간(hr)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	년평균
1961	5.11	6.23	6.86	7.58	7.26	5.33	2.92	3.64	5.61	6.55	4.89	5.11	5.59
1962	6.08	6.43	6.17	6.43	9.65	6.74	5.36	3.58	4.71	6.54	4.30	4.21	5.85
1963	6.81	6.98	7.26	4.11	4.72	5.09	3.16	5.81	7.01	7.98	5.58	3.88	5.70
1964	4.25	6.53	6.21	4.69	7.22	6.55	3.04	4.27	4.64	6.02	5.14	5.34	5.32
1965	5.35	6.56	7.01	7.34	6.78	8.12	3.59	2.76	8.15	7.26	4.66	4.77	6.03
1966	5.95	4.92	5.34	7.08	8.19	6.56	2.97	6.24	5.39	6.03	5.83	5.38	5.82
1967	6.65	6.31	6.94	6.31	9.24	6.27	5.10	3.87	6.31	8.02	5.25	5.02	6.27
1968	6.09	8.09	7.39	9.14	5.94	7.70	4.17	6.73	7.31	6.27	5.09	3.82	6.48
1969	4.45	5.21	6.15	5.03	6.51	7.53	3.96	5.89	4.29	7.06	4.87	4.39	5.44
1970	5.59	5.83	7.89	7.93	7.55	4.72	2.49	3.99	3.96	6.42	5.69	3.59	5.47
1971	3.55	5.53	6.53	7.73	7.02	5.32	2.77	3.92	5.49	7.72	5.70	5.70	5.58
1972	4.04	4.13	5.53	5.66	6.17	6.86	5.20	4.30	6.33	6.12	3.01	3.81	5.10
1973	3.71	5.67	6.54	5.87	8.02	4.49	4.99	3.60	4.91	5.24	4.34	5.23	5.22
1974	6.64	4.76	6.07	6.27	7.00	7.18	2.12	4.32	6.39	5.67	4.55	3.99	5.41
1975	5.74	6.24	6.21	6.97	6.24	5.25	2.76	6.57	4.85	5.33	5.73	5.97	5.66
1976	6.02	4.66	6.51	6.93	7.73	6.05	4.05	3.05	6.84	6.07	5.40	5.39	5.73
1977	6.09	6.72	5.58	7.39	6.93	7.84	4.31	6.75	6.20	6.77	4.65	3.55	6.06
1978	4.69	5.64	7.45	6.87	8.56	5.69	3.93	3.85	5.14	6.63	4.95	3.82	5.60
1979	3.71	4.09	5.99	6.44	8.03	3.15	4.53	5.25	5.50	6.94	4.85	3.83	5.19
1980	3.86	6.68	6.68	5.23	7.78	5.45	2.35	2.46	6.55	6.17	4.10	5.80	5.26
1981	5.92	5.63	7.25	7.20	6.82	7.26	4.83	5.66	7.08	6.58	4.71	4.61	6.13
1982	5.69	6.44	7.30	8.41	6.28	8.07	6.57	4.16	8.42	7.27	5.36	4.96	6.58
1983	5.42	6.06	6.76	6.80	7.91	8.52	2.69	5.47	5.79	5.58	5.54	6.13	6.06
1984	5.51	7.34	6.89	6.80	8.75	6.64	5.28	4.88	6.26	7.84	5.31	5.40	6.41
1985	6.11	5.08	7.16	7.11	6.95	6.68	5.11	4.82	3.97	6.24	4.46	5.88	5.80
1986	6.48	6.96	7.05	8.31	7.94	6.23	3.89	4.90	6.29	5.46	5.40	4.09	6.08
1987	5.43	6.16	6.08	6.74	8.11	7.41	3.29	4.15	7.52	5.95	4.91	5.35	5.92
1988	5.41	6.64	7.16	8.40	7.77	7.14	3.25	6.54	7.09	7.34	6.80	4.63	6.52
1989	3.06	6.04	6.14	8.24	7.78	6.81	4.86	6.51	5.91	6.85	5.27	4.43	5.99
1990	4.57	3.31	5.33	6.24	4.89	3.61	3.77	6.78	5.67	7.84	4.54	4.48	5.09
1991	6.16	6.12	5.79	8.45	7.87	6.40	3.80	6.57	6.12	8.23	6.19	3.63	6.28
1992	4.33	6.73	5.70	6.89	7.65	8.05	3.71	5.50	5.82	6.46	4.48	4.45	5.81
1993	4.56	5.65	5.69	6.18	7.54	4.67	5.22	5.50	7.92	7.36	3.59	4.80	5.72
1994	5.02	6.28	6.96	7.40	6.95	7.26	6.18	6.63	7.72	6.04	5.13	5.02	6.38
1995	6.15	7.14	4.94	7.99	7.27	6.76	4.73	4.43	6.50	6.97	6.67	5.93	6.29
1996	6.07	6.44	6.12	8.25	8.52	4.32	4.72	4.54	7.03	5.67	4.96	4.72	5.95
1997	4.78	6.74	7.30	7.57	5.59	7.59	5.43	6.65	6.77	7.66	5.55	4.68	6.36
1998	5.19	5.40	7.13	5.49	6.93	5.46	4.43	3.68	6.58	6.52	5.58	5.99	5.70
1999	5.94	5.68	6.38	7.60	7.58	7.25	4.21	5.21	4.00	5.24	6.12	5.31	5.88
2000	3.49	4.98	4.93	5.22	4.46	4.43	3.49	3.64	3.88	4.24	3.42	3.44	4.13
2001	3.13	4.18	4.87	5.93	5.26	3.36	2.66	5.44	6.05	4.09	3.94	3.96	4.41
2002	3.24	3.71	4.15	5.75	5.65	5.43	2.71	1.69	3.98	4.73	3.15	2.61	3.90
2003	2.98	3.39	3.36	4.19	5.51	3.39	2.79	2.68	3.35	6.31	3.80	5.81	3.96
2004	5.69	6.65	7.15	7.01	5.38	5.05	2.75	4.77	5.61	8.15	5.22	6.23	5.80
2005	6.18	6.35	7.16	6.65	7.59	4.61	2.56	3.33	3.79	6.45	5.75	6.51	5.58
2006	5.20	6.16	6.51	4.53	6.42	5.19	1.11	5.71	6.52	5.97	5.12	5.14	5.30
2007	5.87	6.13	4.75	6.39	6.36	5.84	2.95	3.41	2.84	5.51	6.28	4.54	5.07
월평균	5.15	5.84	6.30	6.74	7.07	6.07	3.85	4.77	5.83	6.45	5.02	4.79	5.66

고양시의 월평균 증발산량은 다음 <표 5-29>과 같다.

<표 5-29> 고양시의 월평균 증발산량

월	월평균온도 (℃)	평균일조시간 (hr)	월열지수	잠재증발산량 (mm)	일조시간 보정인자	실제증발산량 (mm)
1	-2.66	5.15	-	-	-	-
2	-0.40	5.84	-	-	-	-
3	5.02	6.30	1.01	13.2	0.54	7.1
4	12.12	6.74	3.77	45.5	0.56	25.5
5	17.59	7.07	6.60	76.7	0.61	46.7
6	21.82	6.07	9.12	103.8	0.51	52.5
7	24.79	3.85	11.04	124.2	0.33	41.1
8	25.48	4.77	11.50	129.1	0.41	53.0
9	20.90	5.83	8.54	97.7	0.49	47.5
10	14.46	6.45	4.92	58.3	0.56	32.4
11	6.94	5.02	1.64	20.8	0.42	8.7
12	0.03	4.79	0.00	0.0	0.41	0.0
합계			58.14	669.4		314.7

고양시 지역의 47년 연평균 실제증발산량은 314.7mm로, 면적평균 강우량 1,284.2mm의 약 25%로 산정되었다.

과업지역내 6개 소유역에 대한 실제증발산량의 산정을 위해서는 각각의 수역을 대표할 수 있는 기상관측소 및 장기간의 기상자료의 축적이 필수적이냐 인근 지역의 가용한 기상관측소는 서울 기상관측소 1개소로 제한되어 있기 때문에 서울 관측소 자료를 이용하여 산정한 47년간 연평균 실제증발산량과 앞서 산정한 면적강우량을 이용하여<표 5-30>과 같이 각각 소유역에 대한 증발산량을 산정하였다

<표 5-30> 유역별 증발산량

유역명	유역면적 (km ²)	강우량 (mm)	수자원총량 (천m ³ /년)	증발산량 (천m ³ /년)	증발산률(%)
임진강합류점	25.45	1,220	31,041	8,008	26%
계양천	79.05	1,220	96,417	24,875	26%
공릉천 하류	21.11	1,220	25,748	6,643	26%
공릉천 상류	63.60	1,321	84,009	20,013	24%
창릉천	67.74	1,360	92,153	21,316	23%
행주대교 수위표	10.36	1,341	13,897	3,260	23%
고양시 전체	267.31	1,284	343,266	84,116	25%

4) 유출분석

유출량 분석은 하천에서 수위와 유량을 지속적으로 측정하여 작성된 수위유량관계곡선(H-Q curve)을 이용하는 방법과 유역의 지형 및 지질적 특성 등을 고려하여 간접적으로 분석하는 방법이 있다.

유출은 지표면으로 직접 유출하거나 일단 지하로 침투한 후 유동하다가 지하 유출수 형태로 유출하는 경우와 중간에서 일시적인 저류 작용을 받고 유출하는 경우 등이 있으며 지표물에 부착·흡수되어 증발산되는 현상 등도 있다. 또한 강설에 의한 강하·적설로 장기간 지표에 저류된 후 융설에 의한 유출 등 복잡한 작용을 형성하고 있다.

본 과업 지역 유출량 분석의 수행방법을 요약하면 다음과 같다.

- 수문분석에서 유역내의 제 수문량을 평가하기 위한 유출량 산정에는 실측유량자료를 이용하는 방법, 실측수위와 Rating Curve를 이용하는 방법, 장기유출 모델링에 의한 유출량 분석방법 및 인접지역의 실측유량 자료를 이용하여 산정하는 비유량법 등이 있다.
- 조사지역 내에 위치한 수위관측소의 수위 및 수위유량관계가 장기간 확보되어 있지 않아 일본에서 보편적이며 이용되고 있으며 그 유효성을 인정받은 TANK 모형을 본 과업의 현지조사 성과 및 기존 보고서들의 분석성과를 통해 비교하여 유출계수 및 침투계수 등 가장 적합한 TANK 모형의 매개계수를 선정하여 적용하고 이를 근거로 33년간(1976년~2007년)의 유출량을 분석하였다.

가) TANK 모형의 특징

TANK 모형은 1956년 일본의 국립방재과학기술센타에서 제안된 이래 유출 분석법으로서 널리 이용되고 있으며, 특히 저수해석에 있어서 높은 평가를 받고 있다. 탱크모형은 모델 구조가 단순·명확하며 가감승제만으로 유출해석이 가능하며 비선형 효과를 표현할 수 있고 고수·저수를 포함하여 해석할 수 있는 범용성을 지니고 있기 때문에 수문자료가 충분하지 않은 지역에서도 탱크모형은 보편적 유효성을 인정받고 있다.

나) TANK 모형의 구조

TANK 모형은 각 탱크의 측벽에 유출공이, 바닥에는 하단으로 유입하는 침투공이 부착된 Orifice형의 탱크를 직렬로 연결·구성된다. 강우가 1단 탱크에 들어가면 유출량은 각 단의 유출공에서 나오는 수량이며, 유출공 및 침투공에서 유출하는 수량은 단위시간 dt 에 대한 각 유출공의 수두(h , H)의 비율로 결정되고, 유출계수(λ)·침투계수(K)·탱크내 저류고

(H) · 유출고(q) · 침투고(S)에 따른 수지계산을 통해 유량으로 환산된다. 수면까지의 수심을 h로 하면, 유출고(q)와 침투고(S)는 다음과 같다.

$$q = h \cdot \lambda, \quad S = H \cdot K$$

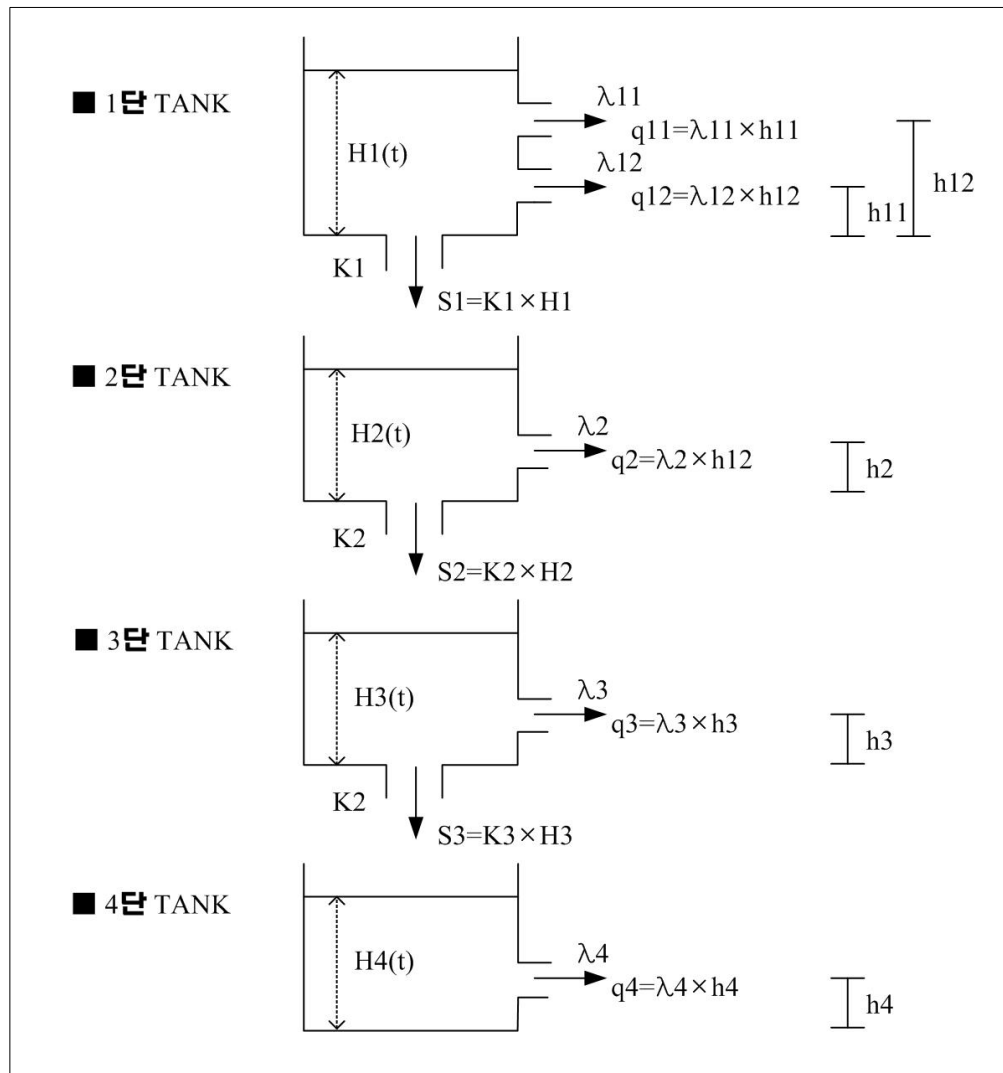
1단 탱크는 표면 유출인 직접유출을 분담하고, 2단 탱크는 중간유출을, 3단 탱크는 손실량을, 마지막 4단 탱크는 기저유출을 분담한다고 가정하고 <그림 5-36>와 같이 임의 시각 t에서 발생하는 저류심(H1(1)), t+dt 시각에서 발생하는 저류심을(H1(2))로 하면 H1(2)-H1(1) = dH1/dt 가 된다. 단 · 장기 유출분석에서 탱크의 수는 유역의 지형·지질적 특성을 고려하여 적합한 형태를 채택하면 된다.

다) 계수의 추정

본 과업에서는 TANK 모형의 표준형인 직렬 4단 탱크를 채택하고, 유역의 지형 지질 특성에 부합되도록 각 TANK 모형의 매개변수를 추정하였다. 매개변수는 “수자원장기종합계획(2020)(2000, 국토해양부/한국수자원공사)”에서 산정된 권역별 추정 매개변수 중 본 과업구간인 고양시가 포함되어 있는 수자원 단위지도 1019 중권역의 매개변수를 금번 탱크모형 분석에 활용하였으며 <표 5-31>와 같다.

<표 5-31> TANK 모형 매개변수(고양시, 적용중권역 1019)

구 분	A ₁₁	A ₁₂	A ₂	A ₃	A ₄	B ₁	B ₂	B ₃	비고
수자원 장기종합계획	0.4561	0.1404	0.0792	0.1098	0.0955	0.0042	0.0095	0.0004	A : 유출공계수 B : 침투공계수 H : 유출공높이 S : 초기저류고
구 분	H ₁₁	H ₁₂	H ₂	H ₃	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	
수자원 장기종합계획	66.0	28.0	10.0	8.0	21.0	9.0	115.0	195.0	



<그림 5-36> TANK 모형의 구조

라) 유출분석

TANK 모형의 유출분석 결과는 <표 5-32>~<표 5-37>와 같으며, 월별·연도별로 비교적 안정된 유출률을 나타내었다. 본 유출분석을 통해 1976년~2007년의 32년간의 고양시의 연평균 유출량은 $260,443 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 조사되었으며 연평균 수문총량인 $343,266 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 의 75.87%로 분석되었다.

총 유출량 중 직접유출, 중간유출 및 기타 손실을 포함한 기저유출 등으로 유출성분을 분리하여 유출분석을 수행한 결과는 <표 5-38>과 같으며, 고양시 지역의 기저유출량은 수문총량의 24.36%에 해당하는 $83,637 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{년}$ 으로 일간 $229 \times 10^3 \text{ m}^3$ 이 기저유출되는 것으로 분석되었다.

<표 5-32> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(임진강 합류점)

(단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1976	16.6	33.8	23.3	11.3	16.9	10.5	64.8	274.7	56.6	21.1	14.4	13.3	557.3
1977	15.1	11.2	37.3	131.3	31.7	16.1	357.6	35.3	27.5	9.7	10.3	27.4	710.5
1978	22.5	13.2	13.9	10.8	7.4	88.9	40.8	7.4	5.9	5.6	5.2	5.3	226.9
1979	5.2	5.6	12.9	83.8	29.2	230.1	155.4	259.4	20.6	14.6	10.1	10.9	837.8
1980	13.1	10.7	10.2	99.6	18.0	14.7	133.3	183.2	48.4	16.6	13.4	12.3	573.5
1981	14.3	12.6	16.7	15.4	27.8	32.8	290.4	106.4	186.3	22.7	21.0	19.0	765.4
1982	17.3	14.4	14.7	13.9	47.2	15.7	155.9	229.8	24.0	13.2	71.1	54.7	671.9
1983	19.1	15.8	25.0	38.2	47.0	18.6	215.1	61.6	89.6	70.1	21.2	19.7	641.0
1984	18.7	16.5	16.9	15.6	60.7	27.8	136.2	178.0	293.0	22.6	18.4	18.1	822.5
1985	17.7	16.1	21.9	37.0	104.6	20.9	83.4	113.1	234.9	111.5	25.6	26.0	812.7
1986	32.1	20.8	21.6	19.4	16.8	17.5	236.6	150.1	72.9	30.0	27.2	25.3	670.3
1987	27.1	21.9	22.9	22.8	46.4	65.6	313.0	358.3	86.1	25.1	23.0	22.0	1034.2
1988	20.5	18.1	18.8	29.2	19.6	39.9	274.1	36.7	50.7	21.8	17.4	17.6	564.4
1989	24.2	19.6	84.6	21.5	19.6	63.1	136.8	236.4	93.5	36.9	31.3	26.0	793.5
1990	29.0	48.4	46.6	77.9	35.7	494.9	394.1	186.5	601.0	33.9	27.0	29.5	2004.5
1991	25.6	22.6	24.6	24.0	44.1	30.4	286.6	84.6	158.4	29.6	26.8	27.9	785.2
1992	47.4	27.3	33.3	24.9	80.2	89.7	70.7	148.8	82.9	43.0	42.6	45.0	735.8
1993	31.2	39.1	31.3	52.2	110.2	88.0	348.7	161.5	34.7	29.0	32.3	29.5	987.7
1994	26.0	22.1	24.0	24.4	85.6	31.4	182.6	89.9	53.6	149.9	30.6	29.1	749.2
1995	27.5	23.1	24.4	22.5	22.1	19.1	399.2	536.2	59.7	29.4	24.6	23.3	1211.1
1996	21.8	20.2	20.9	21.3	23.4	113.9	328.9	51.1	26.8	37.9	22.8	21.8	710.8
1997	21.0	18.5	28.4	27.4	155.0	41.8	226.3	136.3	35.0	24.9	32.8	41.5	788.9
1998	24.5	22.5	42.6	42.9	40.6	82.7	303.1	651.0	86.6	46.6	29.2	27.0	1399.3
1999	24.1	20.7	36.7	64.5	37.6	30.2	118.3	711.4	188.2	57.2	65.8	33.3	1388.0
2000	83.9	28.3	26.8	22.6	25.1	23.9	53.6	487.6	224.4	31.5	26.6	30.7	1065.0
2001	37.3	27.1	29.0	24.0	20.4	58.6	582.3	167.8	25.9	35.3	22.1	21.3	1051.1
2002	25.2	20.8	21.8	51.8	90.1	24.0	174.2	288.3	59.9	27.6	24.4	23.4	831.5
2003	22.5	19.6	25.2	40.4	97.4	75.9	326.7	487.0	194.1	36.6	43.2	32.1	1400.7
2004	28.1	37.2	34.1	32.8	78.8	63.9	372.2	86.5	196.1	35.6	37.6	29.5	1032.4
2005	27.7	22.9	23.9	44.3	38.5	66.8	239.9	161.5	144.6	104.6	30.7	29.3	934.7
2006	27.6	26.8	27.0	22.5	212.2	35.0	755.7	61.5	30.6	23.8	19.6	20.3	1262.6
2007	20.5	18.0	19.3	20.7	43.3	25.7	201.4	157.8	116.4	37.8	27.1	98.1	786.1
평균	25.5	21.7	26.9	37.2	54.2	64.3	248.7	215.2	112.8	38.6	27.4	27.8	900.2

5. 지하수 부존 및 산출 특성

<표 5-33> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(계양천)

(단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1976	16.6	33.8	23.3	11.3	16.9	10.5	64.8	274.7	56.6	21.1	14.4	13.3	557.3
1977	15.1	11.2	37.3	131.3	31.7	16.1	357.6	35.3	27.5	9.7	10.3	27.4	710.5
1978	22.5	13.2	13.9	10.8	7.4	88.9	40.8	7.4	5.9	5.6	5.2	5.3	226.9
1979	5.2	5.6	12.9	83.8	29.2	230.1	155.4	259.4	20.6	14.6	10.1	10.9	837.8
1980	13.1	10.7	10.2	99.6	18.0	14.7	133.3	183.2	48.4	16.6	13.4	12.3	573.5
1981	14.3	12.6	16.7	15.4	27.8	32.8	290.4	106.4	186.3	22.7	21.0	19.0	765.4
1982	17.3	14.4	14.7	13.9	47.2	15.7	155.9	229.8	24.0	13.2	71.1	54.7	671.9
1983	19.1	15.8	25.0	38.2	47.0	18.6	215.1	61.6	89.6	70.1	21.2	19.7	641.0
1984	18.7	16.5	16.9	15.6	60.7	27.8	136.2	178.0	293.0	22.6	18.4	18.1	822.5
1985	17.7	16.1	21.9	37.0	104.6	20.9	83.4	113.1	234.9	111.5	25.6	26.0	812.7
1986	32.1	20.8	21.6	19.4	16.8	17.5	236.6	150.1	72.9	30.0	27.2	25.3	670.3
1987	27.1	21.9	22.9	22.8	46.4	65.6	313.0	358.3	86.1	25.1	23.0	22.0	1034.2
1988	20.5	18.1	18.8	29.2	19.6	39.9	274.1	36.7	50.7	21.8	17.4	17.6	564.4
1989	24.2	19.6	84.6	21.5	19.6	63.1	136.8	236.4	93.5	36.9	31.3	26.0	793.5
1990	29.0	48.4	46.6	77.9	35.7	494.9	394.1	186.5	601.0	33.9	27.0	29.5	2004.5
1991	25.6	22.6	24.6	24.0	44.1	30.4	286.6	84.6	158.4	29.6	26.8	27.9	785.2
1992	47.4	27.3	33.3	24.9	80.2	89.7	70.7	148.8	82.9	43.0	42.6	45.0	735.8
1993	31.2	39.1	31.3	52.2	110.2	88.0	348.7	161.5	34.7	29.0	32.3	29.5	987.7
1994	26.0	22.1	24.0	24.4	85.6	31.4	182.6	89.9	53.6	149.9	30.6	29.1	749.2
1995	27.5	23.1	24.4	22.5	22.1	19.1	399.2	536.2	59.7	29.4	24.6	23.3	1211.1
1996	21.8	20.2	20.9	21.3	23.4	113.9	328.9	51.1	26.8	37.9	22.8	21.8	710.8
1997	21.0	18.5	28.4	27.4	155.0	41.8	226.3	136.3	35.0	24.9	32.8	41.5	788.9
1998	24.5	22.5	42.6	42.9	40.6	82.7	303.1	651.0	86.6	46.6	29.2	27.0	1399.3
1999	24.1	20.7	36.7	64.5	37.6	30.2	118.3	711.4	188.2	57.2	65.8	33.3	1388.0
2000	83.9	28.3	26.8	22.6	25.1	23.9	53.6	487.6	224.4	31.5	26.6	30.7	1065.0
2001	37.3	27.1	29.0	24.0	20.4	58.6	582.3	167.8	25.9	35.3	22.1	21.3	1051.1
2002	25.2	20.8	21.8	51.8	90.1	24.0	174.2	288.3	59.9	27.6	24.4	23.4	831.5
2003	22.5	19.6	25.2	40.4	97.4	75.9	326.7	487.0	194.1	36.6	43.2	32.1	1400.7
2004	28.1	37.2	34.1	32.8	78.8	63.9	372.2	86.5	196.1	35.6	37.6	29.5	1032.4
2005	27.7	22.9	23.9	44.3	38.5	66.8	239.9	161.5	144.6	104.6	30.7	29.3	934.7
2006	27.6	26.8	27.0	22.5	212.2	35.0	755.7	61.5	30.6	23.8	19.6	20.3	1262.6
2007	20.5	18.0	19.3	20.7	43.3	25.7	201.4	157.8	116.4	37.8	27.1	98.1	786.1
평균	25.5	21.7	26.9	37.2	54.2	64.3	248.7	215.2	112.8	38.6	27.4	27.8	900.2

<표 5-34> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(공릉천 하류)

(단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1976	16.6	33.8	23.3	11.3	16.9	10.5	64.8	274.7	56.6	21.1	14.4	13.3	557.3
1977	15.1	11.2	37.3	131.3	31.7	16.1	357.6	35.3	27.5	9.7	10.3	27.4	710.5
1978	22.5	13.2	13.9	10.8	7.4	88.9	40.8	7.4	5.9	5.6	5.2	5.3	226.9
1979	5.2	5.6	12.9	83.8	29.2	230.1	155.4	259.4	20.6	14.6	10.1	10.9	837.8
1980	13.1	10.7	10.2	99.6	18.0	14.7	133.3	183.2	48.4	16.6	13.4	12.3	573.5
1981	14.3	12.6	16.7	15.4	27.8	32.8	290.4	106.4	186.3	22.7	21.0	19.0	765.4
1982	17.3	14.4	14.7	13.9	47.2	15.7	155.9	229.8	24.0	13.2	71.1	54.7	671.9
1983	19.1	15.8	25.0	38.2	47.0	18.6	215.1	61.6	89.6	70.1	21.2	19.7	641.0
1984	18.7	16.5	16.9	15.6	60.7	27.8	136.2	178.0	293.0	22.6	18.4	18.1	822.5
1985	17.7	16.1	21.9	37.0	104.6	20.9	83.4	113.1	234.9	111.5	25.6	26.0	812.7
1986	32.1	20.8	21.6	19.4	16.8	17.5	236.6	150.1	72.9	30.0	27.2	25.3	670.3
1987	27.1	21.9	22.9	22.8	46.4	65.6	313.0	358.3	86.1	25.1	23.0	22.0	1034.2
1988	20.5	18.1	18.8	29.2	19.6	39.9	274.1	36.7	50.7	21.8	17.4	17.6	564.4
1989	24.2	19.6	84.6	21.5	19.6	63.1	136.8	236.4	93.5	36.9	31.3	26.0	793.5
1990	29.0	48.4	46.6	77.9	35.7	494.9	394.1	186.5	601.0	33.9	27.0	29.5	2004.5
1991	25.6	22.6	24.6	24.0	44.1	30.4	286.6	84.6	158.4	29.6	26.8	27.9	785.2
1992	47.4	27.3	33.3	24.9	80.2	89.7	70.7	148.8	82.9	43.0	42.6	45.0	735.8
1993	31.2	39.1	31.3	52.2	110.2	88.0	348.7	161.5	34.7	29.0	32.3	29.5	987.7
1994	26.0	22.1	24.0	24.4	85.6	31.4	182.6	89.9	53.6	149.9	30.6	29.1	749.2
1995	27.5	23.1	24.4	22.5	22.1	19.1	399.2	536.2	59.7	29.4	24.6	23.3	1211.1
1996	21.8	20.2	20.9	21.3	23.4	113.9	328.9	51.1	26.8	37.9	22.8	21.8	710.8
1997	21.0	18.5	28.4	27.4	155.0	41.8	226.3	136.3	35.0	24.9	32.8	41.5	788.9
1998	24.5	22.5	42.6	42.9	40.6	82.7	303.1	651.0	86.6	46.6	29.2	27.0	1399.3
1999	24.1	20.7	36.7	64.5	37.6	30.2	118.3	711.4	188.2	57.2	65.8	33.3	1388.0
2000	83.9	28.3	26.8	22.6	25.1	23.9	53.6	487.6	224.4	31.5	26.6	30.7	1065.0
2001	37.3	27.1	29.0	24.0	20.4	58.6	582.3	167.8	25.9	35.3	22.1	21.3	1051.1
2002	25.2	20.8	21.8	51.8	90.1	24.0	174.2	288.3	59.9	27.6	24.4	23.4	831.5
2003	22.5	19.6	25.2	40.4	97.4	75.9	326.7	487.0	194.1	36.6	43.2	32.1	1400.7
2004	28.1	37.2	34.1	32.8	78.8	63.9	372.2	86.5	196.1	35.6	37.6	29.5	1032.4
2005	27.7	22.9	23.9	44.3	38.5	66.8	239.9	161.5	144.6	104.6	30.7	29.3	934.7
2006	27.6	26.8	27.0	22.5	212.2	35.0	755.7	61.5	30.6	23.8	19.6	20.3	1262.6
2007	20.5	18.0	19.3	20.7	43.3	25.7	201.4	157.8	116.4	37.8	27.1	98.1	786.1
평균	25.5	21.7	26.9	37.2	54.2	64.3	248.7	215.2	112.8	38.6	27.4	27.8	900.2

5. 지하수 부존 및 산출 특성

<표 5-35> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(공릉천 상류)

(단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1976	16.7	18.1	17.1	32.4	24.8	12.5	151.5	246.5	61.5	17.7	14.6	13.2	626.6
1977	12.9	10.7	18.6	69.9	41.0	15.6	315.9	47.4	81.9	17.2	20.3	19.0	670.4
1978	20.8	14.1	14.9	13.8	11.3	66.1	116.4	157.4	24.2	15.3	22.6	31.5	508.4
1979	16.8	14.3	17.0	68.4	42.9	114.3	220.1	169.5	39.9	24.6	19.6	18.7	766.1
1980	18.5	16.5	16.2	61.3	31.9	31.4	166.8	243.0	188.9	25.5	21.0	19.9	840.9
1981	22.1	19.1	20.8	24.7	70.8	25.7	204.4	142.5	174.3	58.8	33.2	30.4	826.8
1982	29.0	21.8	22.1	20.6	36.5	20.7	175.4	233.6	53.3	24.9	54.2	54.7	746.8
1983	27.8	23.4	29.2	39.7	49.2	32.1	258.0	219.4	138.7	44.4	30.2	28.6	920.7
1984	26.1	22.4	83.0	24.4	29.2	32.8	217.9	115.1	207.5	29.6	24.6	43.8	856.4
1985	153.9	37.6	34.2	31.7	71.2	35.7	127.4	140.3	149.2	88.9	82.7	37.8	990.6
1986	36.4	31.5	39.8	30.4	34.5	160.5	341.0	172.3	266.1	38.0	33.5	33.0	1217.0
1987	32.7	32.4	32.3	31.5	53.1	62.8	378.9	231.3	131.9	35.3	31.8	31.1	1085.1
1988	29.7	26.4	28.4	33.6	28.8	47.3	195.0	104.8	74.5	38.0	31.2	33.9	671.6
1989	32.8	27.9	66.4	29.5	58.7	89.6	234.9	219.6	75.2	38.1	57.6	35.7	966.0
1990	32.4	36.2	43.2	60.6	66.1	254.7	318.6	166.5	376.6	67.9	41.4	39.1	1503.3
1991	34.6	29.2	34.6	31.6	35.0	33.0	346.1	279.9	122.5	39.1	36.0	34.1	1055.7
1992	35.5	30.2	33.2	30.6	69.9	73.6	259.7	176.3	68.2	50.9	52.0	45.5	925.6
1993	35.9	32.0	39.4	35.2	137.5	90.6	307.0	163.1	47.1	37.6	34.5	35.6	995.5
1994	32.6	28.4	30.6	36.1	91.1	37.5	132.4	419.3	82.2	118.5	40.9	37.3	1086.9
1995	34.5	29.3	34.3	38.7	33.4	30.3	257.4	587.9	138.6	50.6	37.0	35.4	1307.4
1996	32.5	28.9	29.3	28.3	33.6	71.9	259.1	315.9	101.0	40.2	35.4	34.8	1010.9
1997	34.8	29.6	37.4	31.3	87.4	49.5	349.2	163.3	38.8	36.5	32.7	40.7	931.2
1998	32.9	28.5	34.6	52.7	87.5	61.9	262.2	684.1	87.6	58.7	36.8	33.9	1461.4
1999	31.4	27.3	32.5	49.4	75.2	58.7	224.7	559.3	290.6	56.2	53.6	39.7	1498.6
2000	44.3	33.2	32.3	29.3	53.8	37.7	221.7	302.5	205.2	41.0	34.4	36.2	1071.6
2001	36.0	30.3	32.8	30.1	30.0	59.3	471.2	240.7	65.2	73.4	35.5	33.3	1137.8
2002	33.4	29.3	31.4	32.3	142.6	33.2	343.1	270.6	63.0	36.2	31.0	30.1	1076.2
2003	28.9	25.6	30.8	50.2	112.5	73.6	362.3	527.3	247.4	43.3	49.4	38.4	1589.7
2004	34.0	30.1	33.0	38.5	91.8	77.9	423.3	112.1	159.5	40.1	38.8	40.3	1119.4
2005	33.3	27.9	29.1	46.0	41.9	87.8	267.8	218.6	155.9	117.2	35.8	34.5	1095.8
2006	33.0	32.1	32.0	28.4	174.4	49.2	743.4	72.7	38.5	30.0	26.1	27.0	1286.8
2007	26.7	23.3	25.9	37.3	60.5	32.2	200.5	223.0	144.1	45.4	32.6	44.8	896.3
평균	33.8	26.5	32.4	37.5	62.8	61.2	276.7	247.7	128.1	46.2	36.3	34.1	1023.2

<표 5-36> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(창릉천)

(단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1976	16.9	37.1	22.1	14.2	19.2	11.6	97.4	304.9	60.6	17.6	15.4	15.8	632.8
1977	14.3	11.3	14.1	116.9	44.0	18.9	316.4	42.9	55.9	15.3	29.8	25.3	705.1
1978	22.5	14.2	19.5	14.6	11.2	154.6	194.0	173.0	32.4	17.6	14.8	18.1	686.5
1979	15.7	13.9	19.3	83.0	52.8	192.7	179.4	193.6	26.0	22.5	17.2	17.1	833.2
1980	21.1	16.6	16.5	109.8	36.5	32.3	193.6	240.4	101.4	24.5	20.4	20.2	833.3
1981	21.0	18.2	23.3	22.4	52.3	40.8	310.0	102.7	158.9	31.6	30.9	25.4	837.5
1982	26.2	20.6	21.1	20.1	47.9	21.8	127.3	209.0	35.7	20.9	64.2	72.2	687.0
1983	25.7	21.2	31.3	39.0	53.8	25.3	244.6	135.9	177.5	58.2	28.2	26.7	867.4
1984	24.6	21.3	27.5	22.1	23.0	37.8	199.3	167.1	305.1	29.3	24.9	28.6	910.6
1985	51.0	31.8	33.0	40.2	106.6	30.4	128.8	243.0	172.0	124.5	49.7	42.5	1053.5
1986	38.2	27.1	31.5	27.1	29.5	68.4	302.1	236.0	145.0	42.0	38.0	33.4	1018.3
1987	36.8	33.6	30.8	31.1	65.9	86.9	455.7	351.5	123.3	34.6	34.2	31.1	1315.5
1988	28.8	25.1	25.9	32.9	26.9	42.1	255.6	56.9	44.9	30.4	25.5	26.0	621.0
1989	28.7	24.9	87.5	28.0	31.6	94.5	224.9	239.4	89.1	38.4	107.7	35.7	1030.4
1990	32.9	51.1	57.4	72.9	65.5	350.3	395.8	181.1	510.2	41.4	37.3	37.8	1833.7
1991	32.8	28.1	40.3	33.2	41.1	35.9	365.4	123.1	126.4	38.7	33.3	33.2	931.5
1992	36.3	29.5	34.9	34.9	105.3	64.3	188.4	276.8	94.6	60.9	59.9	56.1	1041.9
1993	38.0	42.3	38.7	39.8	120.2	108.0	326.3	170.7	47.5	36.5	35.0	36.8	1039.8
1994	32.0	27.7	29.9	34.0	76.6	35.6	151.3	206.2	75.1	146.4	43.5	38.8	897.1
1995	34.3	28.8	35.7	33.1	32.8	30.0	322.3	628.3	82.3	42.2	35.4	34.5	1339.7
1996	31.9	28.4	30.7	34.5	38.8	117.5	370.2	162.8	59.2	40.5	43.2	36.2	993.9
1997	33.6	28.7	40.4	36.3	149.6	69.1	274.7	124.0	36.9	36.3	41.5	57.5	928.6
1998	33.9	29.0	37.9	65.4	92.5	84.8	281.2	967.0	100.0	69.7	38.1	35.5	1835.0
1999	32.4	27.6	36.4	65.3	57.0	68.0	141.0	562.8	325.9	65.0	42.6	38.2	1462.2
2000	45.5	32.9	32.2	28.3	35.8	32.3	120.0	390.5	219.2	39.2	33.1	33.3	1042.3
2001	37.9	30.8	37.1	30.7	28.4	39.6	529.7	283.9	46.4	53.5	33.4	31.4	1182.8
2002	32.6	27.9	29.7	39.0	111.2	32.8	199.6	443.7	81.2	37.5	33.3	31.6	1100.1
2003	29.9	26.6	34.8	55.9	114.2	70.3	364.0	563.9	242.3	43.3	48.6	39.2	1633.0
2004	34.2	37.8	38.2	37.9	94.6	98.6	429.3	130.6	150.4	40.0	39.7	43.8	1175.1
2005	33.5	28.1	29.8	51.3	45.7	90.0	230.5	216.2	165.7	129.1	37.6	35.6	1093.1
2006	35.2	29.9	32.2	29.5	113.3	77.0	833.2	92.2	43.2	31.9	29.0	30.3	1376.9
2007	29.9	25.9	39.8	48.9	70.2	34.8	202.7	192.0	158.9	45.4	34.1	34.7	917.3
평균	30.9	27.4	33.1	42.9	62.3	71.8	279.8	262.9	127.9	47.0	37.5	34.5	1058.0

5. 지하수 부존 및 산출 특성

<표 5-37> 탱크모형에 의한 유역 평균유출고(행주대교 수위표)

(단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1976	16.9	37.1	22.1	14.2	19.2	11.6	97.4	304.9	60.6	17.6	15.4	15.8	632.8
1977	14.3	11.3	14.1	116.9	44.0	18.9	316.4	42.9	55.9	15.3	29.8	25.3	705.1
1978	22.5	14.2	19.5	14.6	11.2	154.6	194.0	173.0	32.4	17.6	14.8	18.1	686.5
1979	15.7	13.9	19.3	83.0	52.8	192.7	179.4	193.6	26.0	22.5	17.2	17.1	833.2
1980	21.1	16.6	16.5	109.8	36.5	32.3	193.6	240.4	101.4	24.5	20.4	20.2	833.3
1981	21.0	18.2	23.3	22.4	52.3	40.8	310.0	102.7	158.9	31.6	30.9	25.4	837.5
1982	26.2	20.6	21.1	20.1	47.9	21.8	127.3	209.0	35.7	20.9	64.2	72.2	687.0
1983	25.7	21.2	31.3	39.0	53.8	25.3	244.6	135.9	177.5	58.2	28.2	26.7	867.4
1984	24.6	21.3	27.5	22.1	23.0	37.8	199.3	167.1	305.1	29.3	24.9	28.6	910.6
1985	51.0	31.8	33.0	40.2	106.6	30.4	128.8	243.0	172.0	124.5	49.7	42.5	1053.5
1986	38.2	27.1	31.5	27.1	29.5	68.4	302.1	236.0	145.0	42.0	38.0	33.4	1018.3
1987	36.8	33.6	30.8	31.1	65.9	86.9	455.7	351.5	123.3	34.6	34.2	31.1	1315.5
1988	28.8	25.1	25.9	32.9	26.9	42.1	255.6	56.9	44.9	30.4	25.5	26.0	621.0
1989	28.7	24.9	87.5	28.0	31.6	94.5	224.9	239.4	89.1	38.4	107.7	35.7	1030.4
1990	32.9	51.1	57.4	72.9	65.5	350.3	395.8	181.1	510.2	41.4	37.3	37.8	1833.7
1991	32.8	28.1	40.3	33.2	41.1	35.9	365.4	123.1	126.4	38.7	33.3	33.2	931.5
1992	36.3	29.5	34.9	34.9	105.3	64.3	188.4	276.8	94.6	60.9	59.9	56.1	1041.9
1993	38.0	42.3	38.7	39.8	120.2	108.0	326.3	170.7	47.5	36.5	35.0	36.8	1039.8
1994	32.0	27.7	29.9	34.0	76.6	35.6	151.3	206.2	75.1	146.4	43.5	38.8	897.1
1995	34.3	28.8	35.7	33.1	32.8	30.0	322.3	628.3	82.3	42.2	35.4	34.5	1339.7
1996	31.9	28.4	30.7	34.5	38.8	117.5	370.2	162.8	59.2	40.5	43.2	36.2	993.9
1997	33.6	28.7	40.4	36.3	149.6	69.1	274.7	124.0	36.9	36.3	41.5	57.5	928.6
1998	33.9	29.0	37.9	65.4	92.5	84.8	281.2	967.0	100.0	69.7	38.1	35.5	1835.0
1999	32.4	27.6	36.4	65.3	57.0	68.0	141.0	562.8	325.9	65.0	42.6	38.2	1462.2
2000	45.5	32.9	32.2	28.3	35.8	32.3	120.0	390.5	219.2	39.2	33.1	33.3	1042.3
2001	37.9	30.8	37.1	30.7	28.4	39.6	529.7	283.9	46.4	53.5	33.4	31.4	1182.8
2002	32.6	27.9	29.7	39.0	111.2	32.8	199.6	443.7	81.2	37.5	33.3	31.6	1100.1
2003	29.9	26.6	34.8	55.9	114.2	70.3	364.0	563.9	242.3	43.3	48.6	39.2	1633.0
2004	34.2	37.8	38.2	37.9	94.6	98.6	429.3	130.6	150.4	40.0	39.7	43.8	1175.1
2005	33.5	28.1	29.8	51.3	45.7	90.0	230.5	216.2	165.7	129.1	37.6	35.6	1093.1
2006	35.2	29.9	32.2	29.5	113.3	77.0	833.2	92.2	43.2	31.9	29.0	30.3	1376.9
2007	29.9	25.9	39.8	48.9	70.2	34.8	202.7	192.0	158.9	45.4	34.1	34.7	917.3
평균	30.9	27.4	33.1	42.9	62.3	71.8	279.8	262.9	127.9	47.0	37.5	34.5	1058.0

<표 5-38> 유출분석 결과(32년 평균)

유역명	유역면적 (km ²)	강우량 (mm)	수자원총량 (10 ³ m ³ /년)	직접유출량 (10 ³ m ³ /년)	중간유출량 (10 ³ m ³ /년)	기저유출량 (10 ³ m ³ /년)	유출총량 (10 ³ m ³ /년)	유출률 (%)
임진강합류점	25.45	1,220	31,041	12,656	3,436	6,820	22,910	73.81%
계양천	79.05	1,220	96,417	39,309	10,671	21,183	71,162	73.81%
공릉천 하류	21.11	1,220	25,748	10,497	2,850	5,657	19,003	73.81%
공릉천 상류	63.6	1,321	84,009	31,559	10,726	22,791	65,077	77.46%
창릉천	67.74	1,360	92,153	36,427	11,378	23,865	71,669	77.77%
행주대교 수위표	10.36	1,341	13,897	5,682	1,620	3,321	10,623	76.44%
고양시 전체 (32년평균)	267.31	1,284	343,266	136,130	40,681	83,637	260,443	75.87%

5) 수문학적 물수지

유역내 수문순환 과정에서 수문제량을 평가 위해서는 수문학적인 물수지 분석이 필요하다. 수문학적 물수지 분석 방법은 장기간에 걸친 평균적인 평형상태를 가정하기 때문에 중간과정에서의 동적인 수문·수리상태를 고려하지 못하는 결점이 있으나 지역적인 부존량의 정도를 파악하고 대수층의 초기 및 경계조건을 설정하는데 있어 필수적이다

수문학적인 물수지 분석방법은 일정 수역내의 강우량과 직접·중간유출, 증발산량, 기저유출(기타 손실량 포함)간에 수문평형이 유지되는 것으로 보아 다음과 같이 표현된다

$$G = P - DR - ET \pm IU$$

G : 기저유출(기타 손실량 포함)

P : 강우량

DR : 직접·중간유출량

ET : 증발산량

IU : 타유역으로부터의 지하수 유출입량

5. 지하수 부존 및 산출 특성

수문학적 물수지 분석 결과 조사지역인 고양시의 수자원총량은 $343,266 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 으로
서 이중 24.13%에 해당하는 $82,832 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 이 증발산으로 손실되고 75.87%에 해당하는
 $260,443 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 이 유출되는 것으로 분석되었다.

총유출을 직접유출, 중간유출, 기저유출로 분리하여 분석한 결과 수자원총량의
51.51%에 해당하는 $176,811 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 이 직접 또는 중간유출 형태로 유출되고, 지하수 함양
량에 해당하는 기저유출량은 수자원총량의 24.36%인 $83,637 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 으로 산정 되었다. <표
5-39>은 이를 정리한 것이다.

<표 5-39> 수문학적 물수지 분석 결과(32년 평균)

유역명	유역면적 (km^2)	강우량 (mm)	수자원총량 ($10^3 \text{m}^3/\text{년}$)	증발산량 ($10^3 \text{m}^3/\text{년}$)	유출량 ($10^3 \text{m}^3/\text{년}$)	지하수함양량* ($10^3 \text{m}^3/\text{년}$)	지하수함양률 (%)
임진강합류점	25.45	1,220	31,041	8,130	16,091	6,820	21.97%
계양천	79.05	1,220	96,417	25,254	49,981	21,183	21.97%
공릉천 하류	21.11	1,220	25,748	6,744	13,347	5,657	21.97%
공릉천 상류	63.60	1,321	84,009	18,933	42,285	22,791	27.13%
창릉천	67.74	1,360	92,153	20,484	47,805	23,865	25.90%
행주대교 수위표	10.36	1,341	13,897	3,274	7,302	3,321	23.90%
고양시 전체 (32년평균)	267.31	1,284	343,266	82,832	176,811	83,637	24.36%

주) 지하수함양량* : 기저유출량+기타손실량

나. SCS-CN을 이용한 지하수 함양량 분석

SCS-CN방법은 미국토양보존국(U.S. Soil Conservation Service)에서 개발한 방법으로 호우로 인한 유출량 자료가 없을 경우에도 토질특성과 식생피복상태 등에 관련 자료를 사용하여 지표 유출량 산정을 신뢰도 있게 구할 수 있는 방법이다.

1) 기본 가정 및 이론

SCS는 총우량과 유효우량간의 관계를 다음과 같은 식으로 표시하였다

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

여기서 P 는 호우별 총우량(mm)이며 I_a 는 강우 초기의 손실우량(mm), S 는 유역의 최대잠재보유수량(mm)이고 Q 는 직접유출량에 해당하는 유효우량(mm)이다. 초기손실 I_a 는 유출이 시작되기 전에 생기는 차단이라든지, 침투, 지면저류 등을 포함하며 최대잠재보유수량 S 와는 다음과 같은 관계를 가진다고 가정하였다.

$$I_a = \beta S$$

여기서 β 는 초기흡수계수로서 $\beta=0.2$ 를 채택하였고, 수문학적 물수지에 의해 다음 식이 성립한다.

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

위 식에서 최대잠재보유수량 S 는 호우와 유역특성에 따라 결정되며, SCS에서 개발한 유출곡선지수(CN)를 도입하면 다음과 같이 표현된다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254(\text{mm})$$

2) 유출곡선지수(CN) 산정

유출곡선지수는 토양의 형태, 토지이용의 형태와 선행강우 등의 기상조건에 따라 결정된다. 또한 동일한 토양조건에 대해서도 토지의 이용이나 식생피복 상태에 따라서도 다른 유출·침투형태를 가지므로 이러한 조건을 고려하여 CN을 산정하게 된다.

대상지역의 토양상태에 따른 분류는 정밀토양도를 이용하여 분류하게 되며 이를 이용한 토지 이용에 따른 CN은 <표 5-41>, <표 5-42>과 같이 산정한다. 이때 선행토양함수조건을 고려한 AMC조건에 따라 각기 다른 CN값이 산정되며, 여기서 선행토양함수조건이란 특정 호우사상의 5일~30일 전에 내린 강우에 의해 유역 토양중의 수분함량을 표시한 것으로서 토양의 습윤도를 나타내는 지표이다.

본 과업에서는 1년을 성수기(6, 7, 8, 9)와 비 성수기로 구분하여 산정되는 5일 선행강우량(P5)을 기준으로 선행토양함수조건을 고려하였으며 그 내용은 <표 5-40>과 같다. 그리고 AMC조건이 변화될 때에는 아래의 식에 의한 AMC의 관계에 의해 환산된 값을 이용하여 CN을 산정하여야 한다.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

<표 5-40> 선행토양함수조건(AMC)

AMC	5일 선행강수량(mm)	
	비 성수기(1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12월)	성수기(6, 7, 8, 9월)
I	< 13	< 36
II	13 - 28	36 - 53
III	> 28	> 53

주) 하천설계기준(2005, 한국수자원학회)

<표 5-41> 농경지역 및 삼림지역의 유출곡선지수(AMC II)

식생피복 및 토지이용 상태	피 목 처 리 상 태	토양의 수문학적 조건	토 양 형			
			A	B	C	D
휴경지(fallow)		-				
이랑 경작지(row crops)	경사경작(straight row)	배수나쁨	77	86	91	94
	경사경작	배수 좋음	72	81	88	91
	등고선 경작(contoured)	배수나쁨	67	78	85	89
	등고선 경작	배수 좋음	70	79	84	88
	등고선, 테라스 경작	배수나쁨	65	75	82	86
	등고선, 테라스 경작	배수 좋음	66	74	80	82
	경사 경작	배수나쁨	62	71	78	81
	경사 경작	배수 좋음	65	76	84	88
	등고선 경작	배수나쁨	63	75	83	87
	등고선 경작	배수 좋음	63	74	82	85
조밀 경작지 (small grains)	등고선 경작	배수나쁨	61	73	81	84
	등고선, 테라스 경작	배수나쁨	61	72	79	82
	등고선, 테라스 경작	배수 좋음	59	70	78	81
	경사경작	배수나쁨	66	77	85	89
	경사경작	배수 좋음	58	72	81	85
	등고선 경작	배수나쁨	64	75	83	85
	등고선 경작	배수 좋음	55	69	78	83
	등고선 테라스 경작	배수나쁨	63	73	80	83
	등고선 테라스 경작	배수나쁨	51	67	76	80
		배수 좋음	68	79	86	89
콩과 식물(close-seeded legumes) 또는 윤번초지(rotation meadow)		배수나쁨	49	69	79	84
		배수보통	39	61	74	80
	등고선 경작	배수 좋음	47	67	81	88
	등고선 경작	배수나쁨	25	59	75	83
	등고선 경작	배수보통	6	35	70	79
		배수 좋음	30	58	71	78
초지(meadow)		배수 좋음	45	66	77	83
		배수나쁨	36	60	73	79
		배수보통	25	55	70	77
삼림(woods)		배수보통	25	55	70	77
관목숲(forests)		배수 좋음	56	75	86	91
농가(farmsteads)	매우 듕성 듕성	-	59	74	82	86
		-				

주) 하천설계기준(2005, 한국수자원학회)

<표 5-42> 도시지역의 유출곡선지수(AMC II)

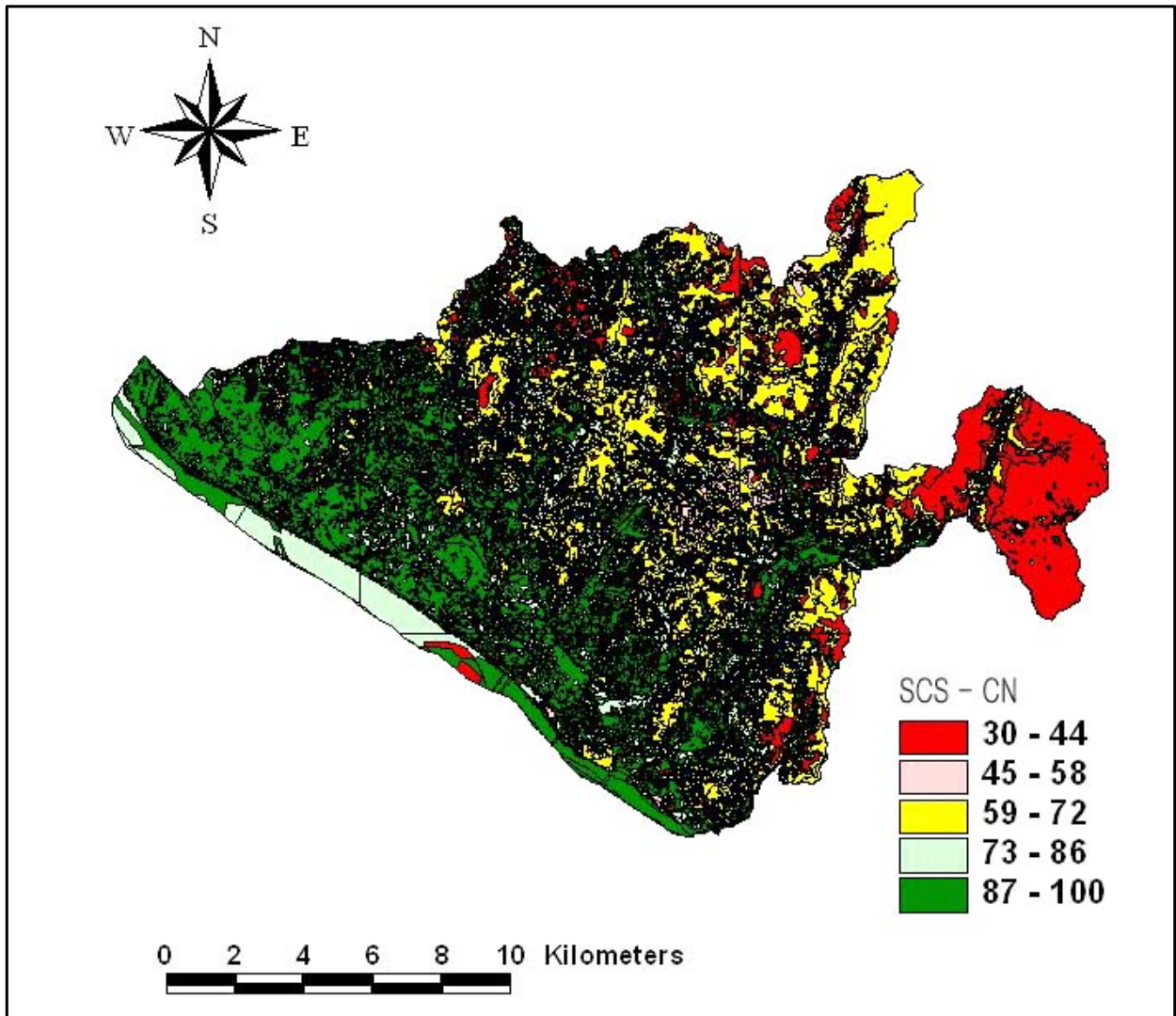
피 복 상 태	평균불투수율 (%)	토 양 형			
		A	B	C	D
<완전히 개발된 도시지역> (식생처리 됨)					
개활지(잔디, 공원, 골프장, 묘지 등)					
나쁜 상태(초지 피복률이 50% 이하)	-	68	79	86	89
보통 상태(초지 피복률이 50- 75%)	-	49	69	79	84
양호한 상태(초지 피복률이 75% 이상)	-	39	61	74	80
불투수 지역:					
포장된 주차장, 지붕, 접근로(도로 경계선을 포함하지 않음)	-	98	98	98	98
도로와 길:					
포장된 곡선길과 우수거(도로 경 계선을 포함하지 않음)	-	98	98	98	98
포장길;배수로(도로 경계선을 포함)	-	83	89	92	93
자갈길(도로 경계선을 포함)	-	76	85	89	91
흙길(도로 경계선을 포함)	-	72	82	87	89
도시 지역:					
상업 및 사무실 지역	85	89	92	94	95
공업 지역	72	81	88	91	93
주거지역(구획지 크기에 따라):					
150 평 이하	65	77	85	90	92
300 평	38	61	75	83	87
400 평	30	57	72	81	86
600 평	25	54	70	80	85
1,220 평	20	51	68	79	84
1,440 평	12	46	65	77	82
<개발중인 도시지역>		77	86	91	94

주) 하천 설계기준(2005, 한국수자원학회)

이상과 같은 방법으로 고양시의 정밀토양도와 토지이용도를 중첩시켜 산정된 CN에 대하여 면적가중평균을 통해 산정된 각 유역별 CN 값은 <표 5-43>과 같다. 또한, 고양시 전체에 대하여 토지이용별 CN값 분포도는 <그림 5-37>과 같다.

<표 5-43> 유역별 SCS-CN

유역명	임진강합류점	계양천	공릉천 하류	공릉천 상류	창릉천	행주대교 수위표	고양시 전체
유역면적(km ²)	25.45	79.05	21.11	63.60	67.74	10.36	267.31
CN	88.52	83.33	69.93	62.67	64.66	76.18	72.84



<그림 5-37> 고양시의 CN분포

3) 지하수 함양량 산정

지하수 함양량(I_{GW})은 년 총강수량(Pyear)에서 지하로 함양되는 부분이 차지하는 양을 의미하며, 타 유역으로 지하수 유·출입이 없다는 전제하에 다음 식에 따라 분석 한다.

$$G = P - DR - ET$$

G : 지하수 함양량

P : 강우량

DR : 직접유출량

ET : 증발산량

지하수 함양량 계산결과 고양시의 수자원총량 $343,266 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 중 증발산량 $83,656 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 과 직접유출량 $229,520 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 을 제외한 $30,090 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 으로 지하수 함양률은 약 8.77%로 산정되었으며, 그 결과는 <표 5-44>와 같다.

<표 5-44> SCS-CN법에 의한 지하수 함양량 및 함양률

유역명	유역면적 (km^2)	강우량 (mm)	수자원총량 ($\text{천m}^3/\text{년}$)	증발산량 ($\text{천m}^3/\text{년}$)	직접유출량 ($\text{천m}^3/\text{년}$)	함양량 ($\text{천m}^3/\text{년}$)	함양률 (%)
임진강합류점	25.45	1,220	31,041	7,977	22,081	984	3.17%
계양천	79.05	1,220	96,417	24,710	67,050	4,657	4.83%
공릉천 하류	21.11	1,220	25,748	6,621	16,553	2,574	10.00%
공릉천 상류	63.60	1,321	84,009	19,914	53,559	10,536	12.54%
창릉천	67.74	1,360	92,153	21,180	60,576	10,398	11.28%
행주대교 수위표	10.36	1,341	13,897	3,254	9,702	941	6.77%
고양시 전체	267.31	1,284	343,266	83,656	229,520	30,090	8.77%

다. 지하수위 강하곡선 해석법

지하수위 수문곡선은 시간 경과에 따른 지하수위 변동을 도시한 곡선이다. 지하수위 변동 요인은 지하수 함양, 대기압의 변동, 조석간만에 의한 해수면 수위변동 지면에서의 증발산 작용, 하천으로의 유출 및 지하공극을 통한 지하유출 등이 있지만 이중 강우의 지하침투에 의한 지하수 함양과 하천배수에 의한 기저유출이 지하수위 변동의 가장 중요한 요인이다. 강우 침투에 의한 자유면 대수층의 지하수위 변동과정은 대수층의 비포화대 흐름특성과 토양 습윤상태·지표면 피복상태 등 많은 인자들의 영향을 받아 매우 복잡하다. 강우량을 변수로 하는 지하수위 예측모델이 여러 가지 제시되어 있으나 본 과업에서는 이중 널리 사용되고 있으며 “지하수 관리기본계획”에서 채택한 시계열 분석 모델을 적용하였으며 “지하수 관리기본계획”과 동일한 절차로 분석하였다. Viswanathan 등(1983)은 자유면 대수층의 시추공에서 강우와 지하수위 관계를 다음과 같은 시계열 회귀모델에 의거 지하침투를 결정짓는 토양계수를 구하였고, 이때 무강우 기간동안의 수위강하는 다음과 같이 표현된다

$$Y_t = Y_0 e^{-\lambda t}$$

Y_0 : 기준시점에서의 지하수위

Y_t : t시점에서의 지하수위

λ : 배수와 관련된 상수

이는 하천 유량 수문곡선에서 기저유출 지수곡선식과 같은 형태이다. 실제로 현장에서 관측된 지하수위 수문곡선은 하천유출 수문곡선과 유사한 양상을 보이며 수위상승기간의 수문곡선은 강우 유형 및 침투특성에 따라 좌우되므로 뚜렷한 유형을 찾기 힘들다. 수위하강기간에는 일정한 하강곡선 형태를 보여준다. 즉, 무강우기간의 지하수위 강하 수문곡선을 자연로그 축에 도시하면 직선형태로 변환되며 각각의 지하수위 강하기간의 하강직선들의 기울기는 거의 유사하다. 하강직선의 기울기(λ)는 대수층의 배수와 관련된 상수로 대수층의 특성을 지시하며 이를 통해 해당지역의 대수층 비산출율과 지하수함양계수를 유추할 수 있다

1) 함양계수 산정

하천 기저유출량에 대한 Barnes(1939)의 식을 기초로 유역내 다른 함양원 및 양수이용량도 없는 경우, 지하수 포장량(V)의 변화율은 기저유출량과 증발산량(E_t) 및 지하유출량(Q_g)의 합과 같으며, 지하수 포장량의 감소는 하천배수에 의한 기저유출이 주된 요인이므로 다음과 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{Q_0}{A \cdot S_y} \cdot e^{-kt}$$

A : 대수층 면적

S_y : 비산출률(specific yield)

h : 대수층 수도(포화대 두께)

Q_0 : t_0 시점에서의 유출량

k : 지하수위 강하 감쇠상수

또한 풍수기의 총 강우량이 기저유출로 배수되는 기간을 t_m 이라면, 수위 강하 감쇠상수와 지하수 함양계수(α)는 $\alpha = \frac{\gamma}{k \cdot t_m}$ 의 관계를 갖으며, 장기간 무강우시 지하수위 최대강하량(s_m)은 $s_m - s = s_m e^{-kt}$ 이다. 따라서, 임의의 상수 δ 를 선택하여 $s_m - s = \delta \cdot s_m$ 이 될 때의 시간을 t_m 이라 하면 다음의 식을 유도할 수 있다.

$$\alpha = \frac{1}{\ln(1/\delta)} \cdot \gamma = const. \cdot \frac{s_{30}}{s_m} = 0.145 \cdot \frac{s_{30}}{s_m} = 0.145 \cdot (1 - e^{-30k})$$

s_{30} : 1개월간 무강우시 지하수위 월 강하량

따라서, 금번 조사에서 2007년 5월 8일부터 2008년 6월 10일까지 400일간 6시간 간격으로 4회측정한 6개소의 지하수위 관측자료를 이용하여 최대 수위 강하량을 계산하고 수위 강하 곡선을 작도하여 30일 간격의 수위 강하량을 획득하였다 또한, 수위 강하량 곡선에서 수위 강하 구간을 평행이동하여 여러 개의 강하곡선이 서로 연결 중복되도록 작도하여 지하수위강하 대표곡선을 작성하고 $k-\alpha$ 관계에서 지하수 함양계수를 유도하였다 총 6개 지점의 지하수위 자료에 대해 δ 를 0.001 ~ 0.01까지 변화시키며 유도한 함양계수는 다음과 같다.

<표 5-45> 지하수위 관측지점별 함양계수

지점명	유역	s_{30} (m)	α			R^2
			평균	최대	최소	
GYW2395	창릉천	1.346	0.089	0.094	0.082	0.999
GYD986	계양천	1.189	0.148	0.157	0.137	0.997
GYW1506	공릉천상류	0.948	0.196	0.209	0.182	0.992
GYD6721	공릉천상류	1.379	0.126	0.134	0.116	0.993
GYD11591	공릉천하류	0.678	0.057	0.61	0.53	0.999
GYD15264	임진강합류점	0.505	0.185	0.171	0.197	0.995a

지하수위 측정 지점별 평균 함양계수는 GYW1506이 0.196으로 가장 높고, GYD11591가 0.057로 가장 낮게 분석되었다.

2) 유역별 지하수 함양계수 산정

전술한 함양계수는 관측지점 주변에 한정된 것이므로 유역별 지하수 함양량을 산정하기 위해서는 각 지하수 관측지점별 함양계수와 해당 관측지점이 갖는 지하수 함양인자등과의 상관성을 파악하여 지하수 함양계수를 지역화하여야 한다. 강우의 자연 함양에 영향을 주는 인자는 강우형태(비, 눈 등), 지형특성, 토양, 지질, 식생 및 토지이용 등 매우 다양하나, 모든 인자들과의 상관성을 분석하기는 지하수위 관측지점 부족 등으로 인해 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 조사에서 “지하수 관리기본계획”에서 지하수 함양계수에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 판단한 토양·토지이용 및 기반암과 지하수 함양계수와의 상관성을 분석하고 이를 토대로 유역별 지하수 함양계수를 산정하였다.

원격탐사, GIS 분석 및 현지조사를 통해 분석된 토양 토지이용 및 기반암 분석자료를 토대로 관측지점별 200m 반경 내에서 가장 우세한 인자로 적용하였으며 이는 <표 5-46>와 같다.

<표 5-46> 지하수위 관측지점별 토양·토지이용 및 기반암 분류

지점명	유역	함양계수(α)	토양형	토지이용	기반암
GYW2395	창릉천	0.089	B	농경지	변성암
GYD986	계양천	0.148	B	시가지	변성암
GYW1506	공릉천상류	0.196	A	농경지	변성암
GYD6721	공릉천상류	0.126	B	농경지	변성암
GYD11591	공릉천하류	0.057	C	시가지	변성암
GYD15264	임진강합류점	0.185	B	농경지	변성암

각 인자는 ‘5.5. 수문지질 특성평가에서 분류하였듯이 토양은 A~D형, 토지이용은 수역/습지, 시가지, 초지/나지, 산림 및 농경지로 구분하였으며 기반암은 본 조사에서 설정한 수문지질단위로 분류하였다. 각 유역별로 토양, 토지이용 및 기반암의 분포면적을 고려한 함양계수의 평균치는 다음 표와 같다.

5. 지하수 부존 및 산출 특성

<표 5-47> 유역별 및 상관인자별 지점함양계수

(단위 : km²)

유역	구분	토양					토지이용			기반암		
		계	A	B	C	D	계	시가지	농경지	계	화성암	변성암
고양시	평균	0.130	0.196	0.137	0.057	-	0.126	0.103	0.149	0.134	-	0.134
	면적	267.31	56.65	117.33	52.18	41.15	267.3	37.58	88.47	267.31	17.56	249.75
	개소수	6	1	4	1	-	6	2	4	6	-	6
임진강 합류점	평균	0.185	-	0.185	-	-	0.185	-	0.185	0.185	-	0.185
	면적	25.49	0.35	3.83	9.52	11.79	25.49	3.95	15.66	25.49	-	25.49
	개소수	1	-	1	-	-	1	-	1	1	-	1
계양천	평균	0.148	-	0.148	-	-	0.148	0.148	-	0.148	-	0.148
	면적	78.96	4.11	30.28	27.05	17.52	78.95	25.28	27.89	78.96	5.19	73.77
	개소수	1	-	1	-	-	1	1	-	1	-	1
공릉천 하류	평균	0.057	-	-	0.057	-	0.057	0.057	-	0.057	-	0.057
	면적	21.15	3.72	11.26	4.45	1.72	21.14	1.53	8.56	21.15	-	21.15
	개소수	1	-	-	1	-	1	1	-	1	-	1
공릉천 상류	평균	0.161	0.196	0.126	-	-	0.161	-	0.161	0.161	-	0.161
	면적	63.63	18.21	40.21	4.62	0.59	63.62	4.68	14.06	63.63	0.13	63.5
	개소수	2	1	1	-	-	2	-	2	2	-	2
창릉천	평균	0.089	-	0.089	-	-	0.089	-	0.089	0.089	-	0.089
	면적	67.68	26.86	27.81	5.69	7.32	67.67	-	19.85	67.68	17.39	50.29
	개소수	1	-	1	-	-	1	-	1	1	-	1

주) 각 항목별 함양계수의 평균은 산술평균 계는 면적대비 평균임

조사지역 전역에 대한 상관인자별 분포면적을 고려한 지하수 함양계수는 토양유형을 따른 경우, 토지이용 유형을 따른 경우, 기반암 유형을 따른 경우로 분석되었으며 이에 대해 각 인자가 상대적으로 지하수 함양계수에 어느 정도 영향을 미치는지를 확인하였다 이를 위해, 측정지점에서의 지하수 함양계수는 각 인자에 가중치가 고려된 다음의 간단한 선형방정식으로 표현된다고 가정하였다.

$$R_0 = S_w \cdot S_i + L_w \cdot L_j + B_w \cdot B_k$$

R_0 : 지하수 관측지점에서 산정된 지하수 함양계수

S_w, L_w, B_w : 각각 토양, 토지이용, 기반암에 대한 가중치

S_i, L_j, B_k : 각각 토양, 토지이용, 기반암의 유형별 함양계수

이에 의해 미측정 지점의 함양계수는 상기 식의 함양계수에 유역별 평균함양계수를 적용하여 다음과 같이 산정할 수 있다

$$R_c = S_w \cdot \overline{S_i} + L_w \cdot \overline{L_j} + B_w \cdot \overline{B_k}$$

$\overline{R_0}$: 미관측 지점에서의 지하수 함양계수

S_w, L_w, B_w : 각각 토양, 토지이용, 기반암에 대한 가중치

$\overline{S_i}, \overline{L_j}, \overline{B_k}$: 각각 토양, 토지이용, 기반암의 유형별 평균 함양계수

따라서 실측지점 6개소의 R_0 와 R_c 를 각각 구해 이들의 오차를 최소로 하는 가중치를 찾을 수 있다. 즉, $S_w + L_w + B_w = 1$ 을 만족하며, $\Sigma(R_0 - R_c)^2$ 을 최소로 하는 값이다. 조사지역 전체에 대한 최적의 상관인자별 가중치는 S_w, L_w, B_w 가 각각 1.00, 0.00, 0.00로 분석되었으며, 이를 적용한 함양계수와 실측치를 통한 함양계수의 평균오차로 분석되었다. 이를 통한 조사지역의 평균 함양계수는 0.089로 분석되었으며 각 유역별로는 아래 표와 같다.

<표 5-48> 유역별 함양계수

유역	함양계수				비 고
	적용	토양	토지이용	기반암	
고양시	0.133	0.133	0.454	0.134	
임진강합류점	0.163	0.158	0.185	0.185	
계양천	0.148	0.148	0.148	0.148	
공릉천 하류	0.057	0.057	0.057	0.057	
공릉천 상류	0.151	0.148	0.161	0.161	
창릉천	0.089	0.089	0.089	0.089	
행주대교 수위표	0.089	0.089	0.089	0.089	인근 유역값 적용

라. 지하수 함양량 산정

본 항에서는 전술된 지하수 물수지를 통한 함양량과 SCS-CN 법에 의한 함양량, 지하수위 강하곡선 해석을 통해 도출된 함양계수를 이용하여 조사지역의 지하수 함양량을 산정하였다.

분석결과, 지하수 함양률은 지하수 물수지에 의해서는 수자원총량 대비 24.36%, SCS-CN 법 수자원총량 대비 8.77%, 지하수위 강하곡선 해석에 의해서는 수자원총량 대비 13.3%로 산정되었다.

금번 조사에서는 조사지역 전반의 지하수 함양률을 추정할 수 있고 이수안전도를 고려하여 지하수 함양율이 다소 낮게 산정된 지하수위 강하곡선 해석에 의한 지하수 함양률을 이용하여 조사지역의 지하수 함양량을 산정하였으며 이를 유역별로 정리하였다.

<표 5-49> 고양시의 지하수 함양량

구 분	유역면적 (km ²)	면적강우량 (mm)	수자원총량 (10 ³ m ³ /년)	지하수함양량 (10 ³ m ³ /년)	함양율 (%)
고양시	267.31	1,284.2	343,266.2	42,921.0	13.3
임진강합류점	25.45	1,219.7	31,041.4	5,059.7	16.3
계양천	79.05	1,219.7	96,417.3	14,269.8	14.8
공릉천 하류	21.11	1,219.7	25,747.9	1,467.6	5.7
공릉천 상류	63.60	1,320.9	84,009.2	12,685.4	15.1
창릉천	67.74	1,360.4	92,153.5	8,201.7	8.9
행주대교 수위표	10.36	1,341.4	13,896.9	1,236.8	8.9

주) 면적강우량은 32년 평균 강우를 적용

조사지역인 고양시 267.31km²에 대한 지하수위 강하곡선 해석에 의한 평균 지하수 함양률은 13.3%로 30년 평균 강우에 의한 수자원총량 343,266.2천m³/년 중 42,921.0천m³/년 정도가 대수층으로 함양되는 것으로 분석되었다

5.6.2. 지하수 개발가능량

지하수는 강우 및 표류수가 자연적으로 지하로 함양되어 유동 및 배출을 지속하면서 영구적으로 순환하는 재생 수자원으로서 대수층은 지하수 유동통로와 천연 지하 저류지(Groundwater Reservoir)의 기능을 갖는다. 지하수 부존량 혹은 개발가능량의 산정시 지역별 지하수 부존특성 및 정책방향에 따라 지하수 저류량(Aquifer Storage), 함양량(Recharge Rate), 지속산출량(Sustainable Yield), 안전채수량(Safe Yield) 등 다양한 개념이 적용된다. 일반적으로는 다음과 같이 지하수 부존량을 지하수 함양량의 개념으로 정의한다

$$Q_s = Q_n + w/\Delta t + \Delta Q$$

Q_s : 지하수 부존량(Safe Groundwater Yields)

w : 대수층 저류량(Aquifer Storage)

Q_n : 지하수 자연함양량(Natural Groundwater Recharge Rate)

ΔQ : 지하수 인공함양량(Artificial Recharge Rate)

통상적으로 지하수 부존량 산정시는 하천 수문곡선 분리법 수리동력학적 방법, 물수지 분석 및 지하수위 변동분석 등의 기법이 적용되며 금번 분석에서는 전절에서 분석된 바와 같이 조사지역에 보다 적절한 것으로 판단되는 지하수위 변동분석을 채택하였다. 지하수위 강하곡선 해석법을 통한 유역별 함양계수를 토대로 지하수 함양량은 다음과 같이 유역별 강우량에 면적 및 강우 함양계수를 적용하여 유역별 지하수 함양량을 산정할 수 있다

$$\text{유역별 지하수 함양량} = \text{강우함양계수} \times \text{유역별 강수량} \times \text{유역별 면적}$$

이는 강우함양계수와 유역면적에 대해 유역강수량의 선택에 따라 지하수 함양량이 좌우된다. 우리나라의 수자원 특성과 이수안전도를 고려한 “지하수 관리기본계획”의 지하수 개발가능량 산정에 따라 본 조사에서는 10년에 1회 발생빈도를 갖는 가뭄시 지하수 함양량을 지하수 개발가능량으로 적용키로 하고 지하수 개발 가능량 산정시 상기 식의 유역별 강수량에 10년에 1회 발생 빈도를 갖는 강우량을 적용하여 이에 상응하는 지하수 개발량을 산정하였다.

<표 5-50> 지하수위 강하곡선 해석에 의한 10년에 1회 발생빈도를 갖는 가뭄시 지하수 함양량

구 분	유역면적 (km ²)	면적강우량 (mm)	수자원총량 (10 ³ m ³ /년)	지하수함양량 (10 ³ m ³ /년)	함양율 (%)
고양시	267.31	1,087.1	290,592.2	36,197.8	10.5
창릉천	67.74	1,216.2	82,385.5	7,332.3	8.0
행주대교 수위표	10.36	1,160.6	12,023.5	1,070.1	7.7
계양천	79.05	954.1	75,421.6	11,162.4	11.6
공릉천 상류	63.60	1,200.3	76,338.7	11,527.1	13.7
공릉천 하류	21.11	954.1	20,141.1	1,148.0	4.5
임진강합류점	25.45	954.1	24,281.8	3,957.9	12.8

주) 면적강우량은 32년 평균 강우를 적용

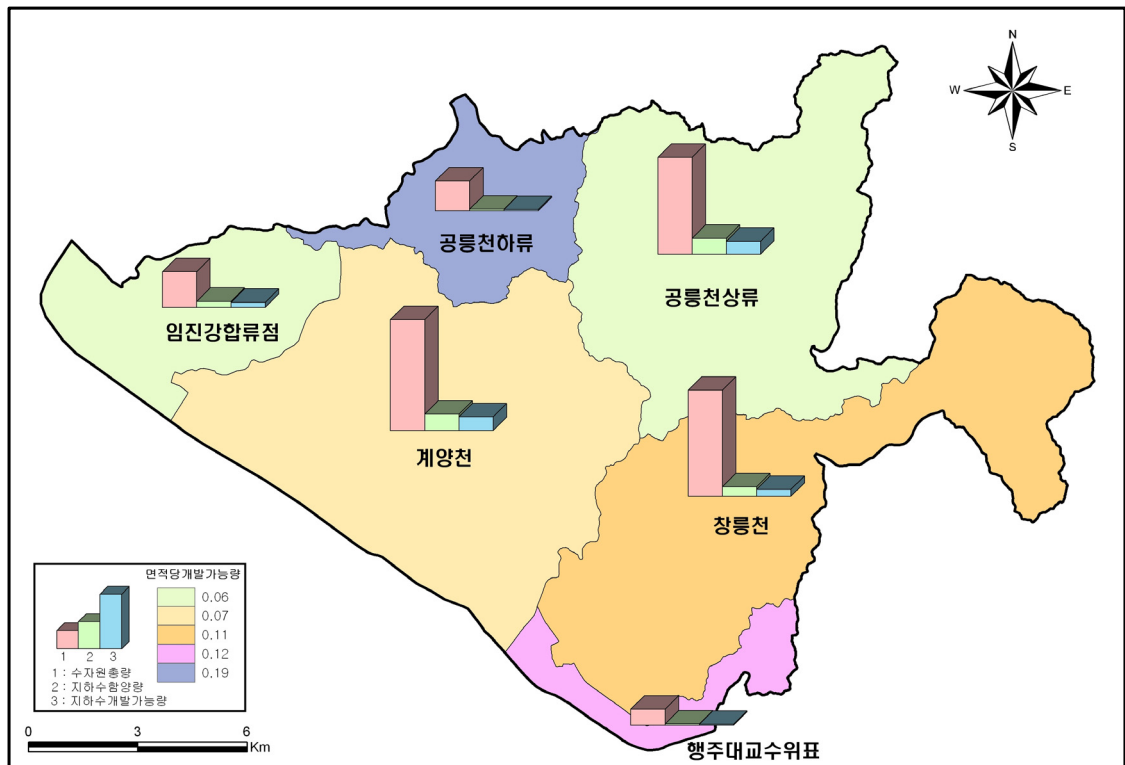
이상의 분석 성과를 종합한 조사지역의 수자원총량 및 지하수 함양량과 지하수 개발가능량은 아래 표와 같으며, 강우량은 32년 평균 강우량으로 수자원총량과 지하수 함양량은 32년 평균 강우량을 적용하였으며, 지하수 개발가능량은 10년에 1회 발생빈도를 갖는 가뭄시 강우량을 적용한 결과다.

<표 5-51> 지하수 함양량 및 지하수 개발가능량

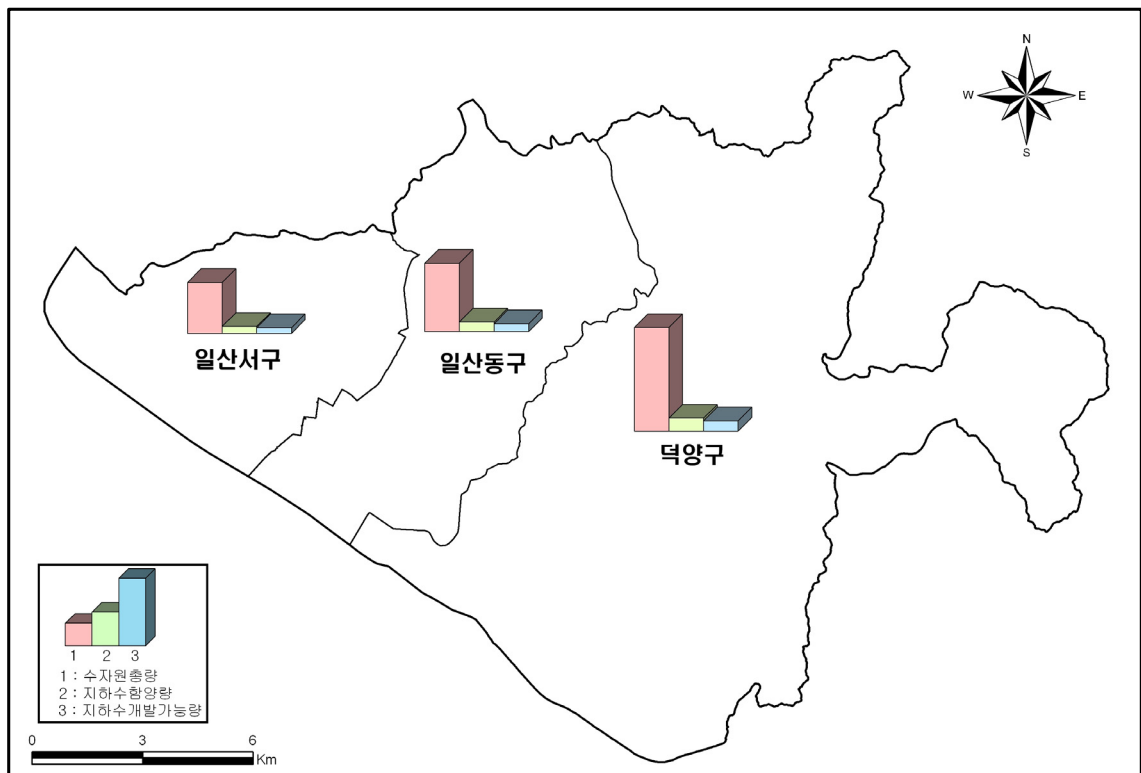
구 분	유역면적 (km ²)	면적강우량 (mm)	수자원총량 (10 ³ m ³ /년)	지하수함양량		지하수개발가능량	
				10 ³ m ³ /년	%	10 ³ m ³ /년	%
고양시	267.31	1,284.2	343,266.2	42,921.0	13.3	36,197.8	10.5
창릉천	67.74	1,360.4	92,153.5	8,201.7	8.9	7,332.3	8.0
행주대교 수위표	10.36	1,341.4	13,896.9	1,236.8	8.9	1,070.1	7.7
계양천	79.05	1,219.7	96,417.3	14,269.8	14.8	11,162.4	11.6
공릉천 상류	63.60	1,320.9	84,009.2	12,685.4	15.1	11,527.1	13.7
공릉천 하류	21.11	1,219.7	25,747.9	1,467.6	5.7	1,148.0	4.5
임진강합류점	25.45	1,219.7	31,041.4	5,059.7	16.3	3,957.9	12.8

- 32년 평균 강우량은 1,284.2mm/년, 수자원 총량은 343,266.2천m³/년, 10년 빈도 가뭄시 강우량은 1,087.1mm/년, 수자원 총량은 290,592.2천m³/년이다.
- 지하수 함양량은 지하수위 강하곡선 해석법으로 산정된 함양량 42,921.0천m³/년을 적용하였다
- 지하수 개발가능량은 10년 빈도 가뭄시 지하수위변동법에 의한 함양량인 36,197.8천m³/년을 적용하였다.

유역별 수자원총량·지하수함양량 및 지하수 개발가능량을 유역별로 그래프로 표시하고 소유역별 개발가능량을 바탕색으로 적용해 보다 가시적으로 표현하였다 유역면적에 의해 상기 3가지 수량이 좌우되므로 면적으로 나누어 상대적인 평가가 비교가 가능토록 바탕색을 적용하였다.



<그림 5-38> 유역별 수자원총량, 지하수 함양량 및 개발가능량



<그림 5-39> 행정구역별 수자원총량, 지하수 함양량 및 개발가능량

6. 지하수 수질 및 오염취약성 평가

6.1. 배경수질

6.2. 주요 항목 수질분석

6.3. 잠재오염원현황

6.4. 오염취약성 평가

6. 지하수 수질 및 오염취약성 평가

6.1. 배경수질

본 장에서는 고양시 지하수 수질현황을 규명하기 위해 먹는물 및 용도별 수질분석과 이화학분석을 실시하였다. 아울러 잠재오염원 현황조사 및 지하수 오염취약성 평가를 통해 지하수 개발 및 관리방안 수립시 활용하였다.

6.1.1. 수질분석 대상지점 선정 및 시료채취

가. 수질분석 대상지점 선정

수질 분석 및 화학분석을 위해 지하수 개발 이용실태 조사시 수질시료 채취가 가능한 것으로 조사된 우물을 대상으로 충적지하수와 암반지하수를 구분하여 대상지점을 선정하였다.

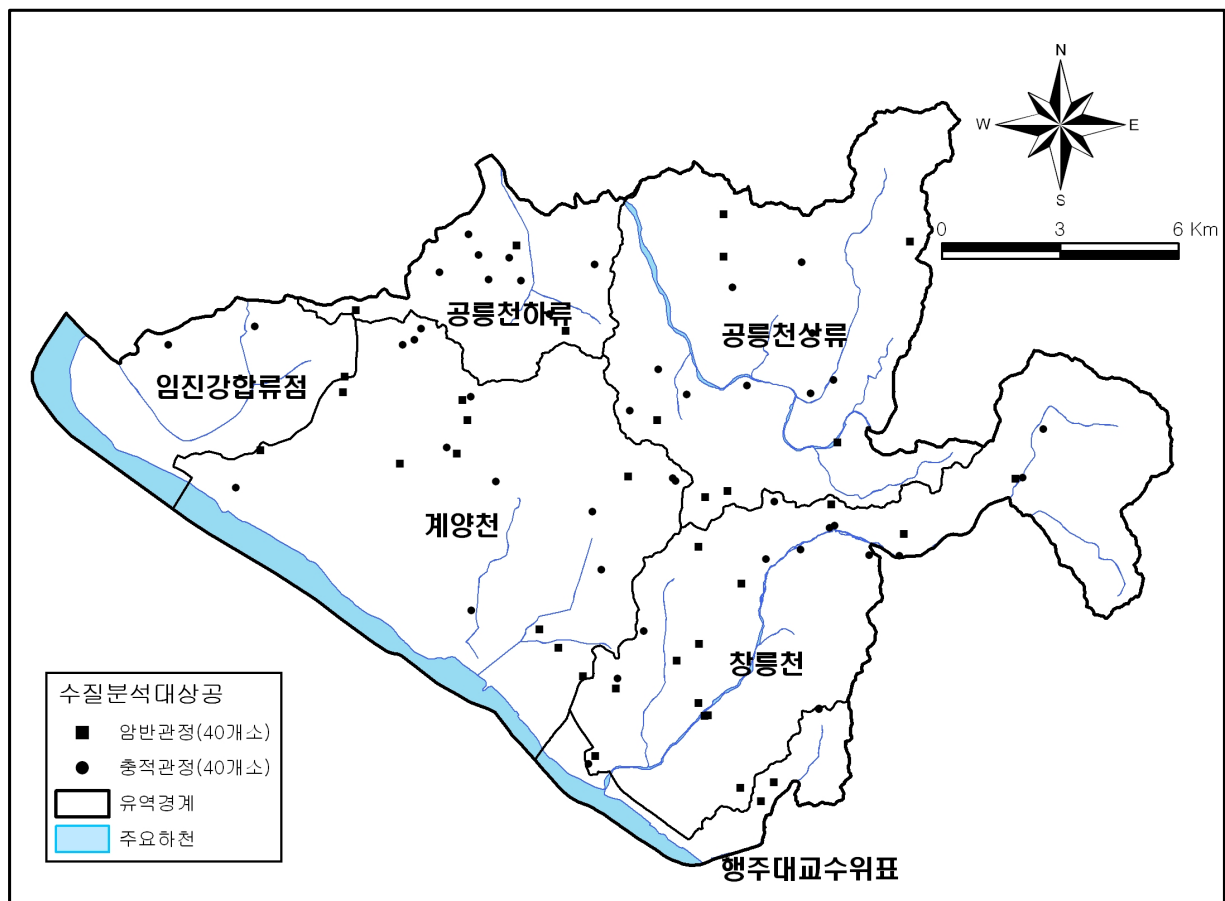
조사지역 관정 중에서 수질시료 채취가능공과 단주기 관측망 중에서 유역 및 수문지질단위별 면적비를 고려하여 배치하였으며 먹는물 및 용도별 기준의 수질분석을 실시하였으며, 화학분석은 분석오차를 고려하여 총 90개소에서 실시하고 이중 15%이내 범위에 해당되는 80개 관정에 대하여 분석하였다. 행정구역 및 유역별 수질분석대상 지점은 <표 6-1>에 정리된 바와 같으며, 그 위치는 <그림 6-1>과 같다.

나. 시료채취

현장측정 및 시료채취는 대표성을 확보하기 위해 온도와 EC, 산화환원전위(Eh)값이 일정해질 때까지 충분히 양수한 후 공기와의 접촉을 최대한 피하기 위해 flow cell을 통한 정상류 상태(steady state)하에서 수행하였다. 채수 지점에서 주요성분 분석용 시료는 무균 채수병에 2ℓ를 채수하였고, 양이온과 음이온 분석용 시료는 각 20ml, 10ml vial에 채수하였으며, 휘발성유기물질 분석용 시료를 2개 채수하였다. 채수 시료는 동일 압력 하에서 공극 크기 0.45μm인 셀룰로스 질산염막 필터에 통과시켜 부유 물질을 제거한 후 용기에 담았다. 특히, 양이온 분석용 시료에 대해서는 채수 용기 표면에서 발생하는 양이온의 흡착과 용존 이온의 침전 및 미생물의 성장과 산화를 방지하기 위하여 농질산을 첨가함으로써 수소이온 농도를 pH 2이하로 유지하였다. 모든 채수 시료의 운반 및 저장 과정 동안에는 아이스박스 와 냉장고를 이용하여 항상 4℃의 저온 상태를 유지하였다.

<표 6-1> 유역별 지하수 수질분석 지점

유역명		면적(km ²)	면적비	수질분석		비고
				수량	비율(%)	
101901	창릉천	67.74	25.34%	25	31.25	
101902	행주대교수위표	10.36	3.88%	3	3.75	
101904	계양천	79.05	29.57%	22	27.50	
101905	공릉천상류	63.60	23.79%	16	20.00	
101906	공릉천하류	21.11	7.9%	11	13.75	
101907	임진강합류점	25.45	9.52%	3	3.75	
계		267.31	100%	80	100.0	

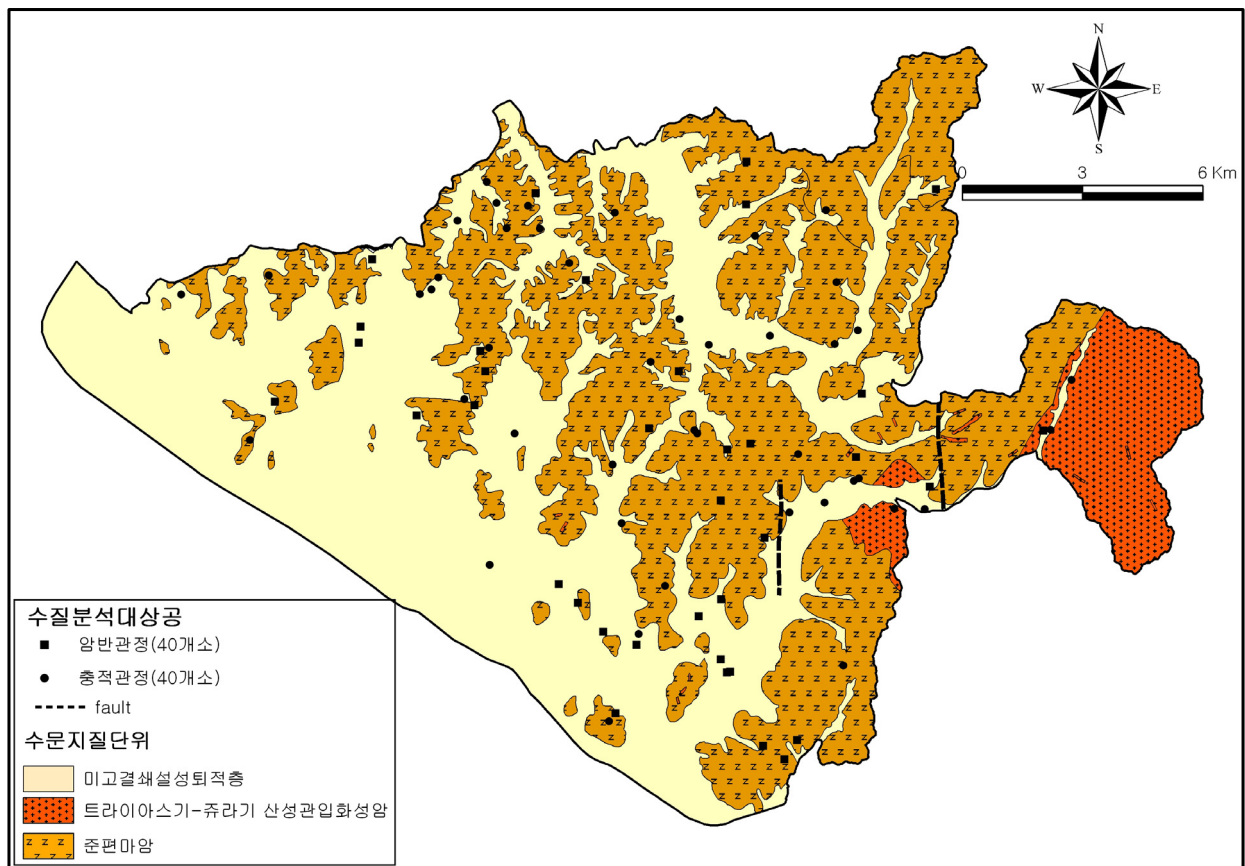


<그림 6-1> 수질분석 대상 관정 위치도(유역별)

6. 지하수 수질 및 오염위약성 평가

<표 6-2> 수문지질별 지하수 수질분석 지점

수문지질단위	면적(km ²)	면적비	화학분석		비 고
			수량	비율(%)	
미고결쇄설성퇴적층	134.85	50.45	43	53.75	
트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암	18.1	6.77	3	3.75	
준 편 마 암	114.36	42.78	34	42.50	
계	267.31	100.0	80	100.0	



<그림 6-2> 수질분석 대상 관정 위치도(수문지질별)

6.1.2. 분석항목 및 방법

가. 수질분석 항목

금번 채취한 시료는 우석생명과학원(주)에 의뢰하여 분석하였다. 분석 대상 원소는 수/암 반응정도 및 인위적인 오염을 지시하는 이화학분석 항목인 주요 용존 무기이온종과 지하수 수질관련 26개 항목에 대한 분석을 수행하였다.

<표 6-3> 수질분석 항목

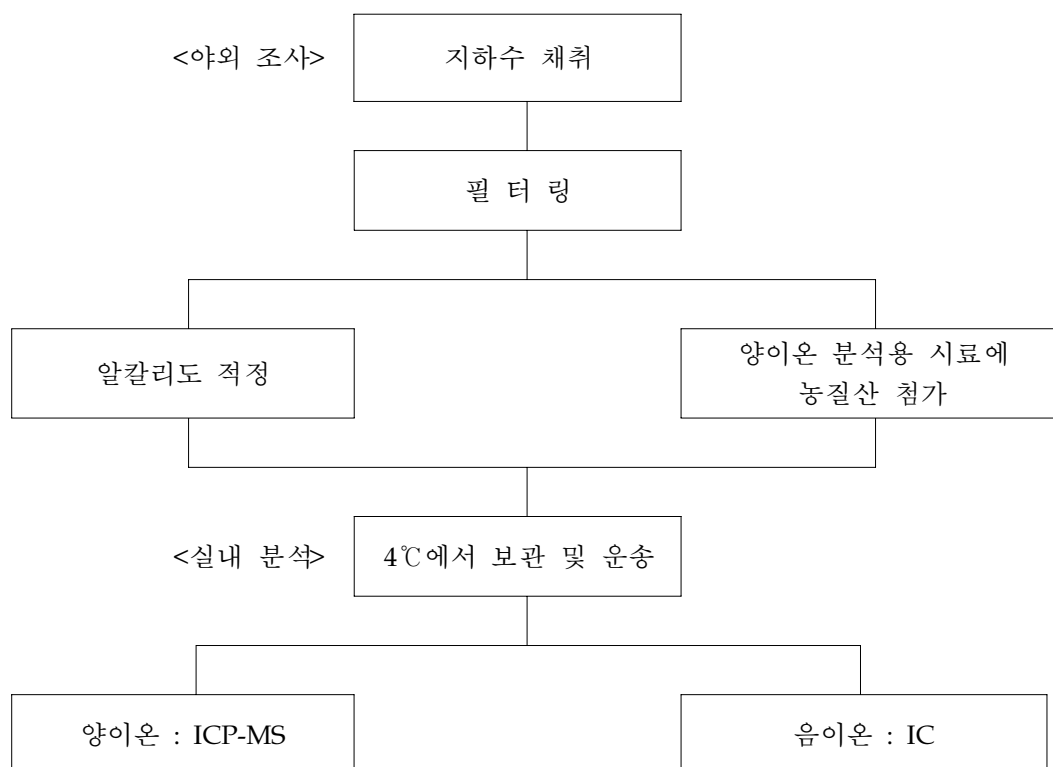
분류	수질항목
현장 측정 항목 (5개)	pH, EC, Eh, 수온, 알칼리도
이화학분석 (주요용존무기이온종) (18개)	Na, K, Ca, Mg, SiO ₂ , Al, Fe, Mn, Zn, SO ₄ , CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , F, Br, NO ₂ , PO ₄
수질관련 주요성분 분석 (26개)	총대장균군, 납, 비소, 수은, 시안, 6가크롬, 암모니아성질소, 카드뮴, 페놀, 다이아지논, 파라티온, 페니트로티온, 총트리할로메탄(THMs), 클로로포름, 테트라클로로에틸렌(PCE), 트리클로로에틸렌(TCE), 1,1,1-트리클로로에탄, 디클로로메탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 1,1-디클로로에틸렌, 사염화탄소, 과망간산칼륨소비량, 탁도

나. 시료채취 및 분석방법

- 1) 물시료의 채취는 “지하수의 수질 보전 등에 관한 업무처리 지침 (2004, 환경부)” 기준을 따라 수행하였다.
- 2) 알칼리도 적정은 수시료채취 현장에서 실시하며 부득이하게 수행이 불가할 경우 따로 시료를 채취하여(필터링 없이 no head space 시료) 실내에서 당일 적정하였다.
- 3) 필터링은 주사기용 마이크로 필터를 사용하여 현장에서 수행하였다.
- 4) 시료채취시, 현장 수질측정 및 알칼리도 적정시 각각 디지털 사진촬영 실시하였다.
- 5) 현장수질 측정항목 : 온도, pH, EC(ORION 4-STAR)
- 6) 채취된 시료는 냉매와 함께 아이스박스에 보관하고 스티로폼 상자에 담아(냉매포함) 수질분석기관으로 당일(혹은 익일 새벽) 발송하였다.
- 7) 주요 양이온 이외에 납, 비소, 수은, 시안, 6가크롬, 카드뮴 등의 중금속 원소도 ICP-MS로 정확한 분석을 실시하였다.

8) 수질분석기관 : 우석생명과학원(주), 서울대학교 농업과학공동기기센터(NICEM)

주요 용존 양이온의 정량 분석은 Perkin Elmer사의 유도결합플라즈마 방출분광분석기(ICP-AES, Model XL3000)를, 주요 용존 음이온의 정량분석은 Dionex사의 이온크로마토그래피(IC, Model 120)를 이용하여 수행하였다. 자료 처리 과정에서 투입된 이온 함량 자료는 측정값의 재현성(reproducibility)과 최저 측정한계를 고려한 quality control 하에서 분석된 자료이며, 시료 채취로부터 분석에 이르는 일련의 과정은 <그림 6-2>의 표준 방법(standard method)에 따라 수행되었다.



<그림 6-3> 시료채취 및 분석 방법

6.1.3. 이화학 분석 결과

본 절에서는 지하수 시료에 대한 화학분석 결과를 파이프 다이어그램(Piper Diagram)에 도시하여 지하수의 유형을 분류하여 지하수의 기원 및 오염 경향을 평가하였다

지하수의 화학적 유형에 미치는 영향을 파악하기 위하여 시기별 충적지하수, 암반지하수로 구분하고, 지역별 오염 경향을 평가하기 위해 유역별로 분석 결과를 도시하였다. 지하수의 화학적 유형은 파이프 다이어그램상에서 $\text{Ca}-\text{Cl}$ $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ $\text{Na}-\text{HCO}_3$ $\text{Na}-\text{Cl}$ 형 4가지로 구분된다. 삼각형의 각 꼭지점은 각 성분의 함량이 100%인 점이다. 세 성분이 모두 존재하는 경우에 분석결과는 삼각형의 내부에 표시된다. 두 삼각형 사이의 마름모 형태의 도표를 사용하여 물 시료의 양이온과 음이온 성분을 나타낼 수 있다

물이 대수층을 통하여 흐르는 동안 주변 암석과의 반응에 의하여 고유의 화학성분을 형성한다고 보는데 이와 같이 대수층 내에서 화학조성이 다른 지하수체를 표현하는데 수리화학상(Hydrochemical facies)란 용어를 사용한다.

본 조사지역의 수문지질은 동측의 트라이아스쥬라기산성관입화성암(흑운모화강암 및 반상화강암)이 소규모로 분포하고, 준편마암(흑운모편마암, 미그마타이트질편마암, 화강편마암)이 중앙부 및 북동측에 위치하며, 미고결쇄설성퇴적층은 남서부에 넓게 나타난다. 유역단위 평가도 시행하였다.

가. 이온전하오차(CBE) 검토

시행된 화학분석치를 검증하기 위하여 일반적인 방법인 이온균형오차(Charge balance error, CBE)를 계산하였다. 이는 모든 이온의 농도를 당량(Equivalent per liter) 단위로 환산하고, 양이온과 음이온 각각의 총합을 구해 다음의 식으로 그 결과를 비교하게 된다

$$CBE(\%) = \frac{\sum_Z \times m_c - \sum_Z \times m_a}{\sum_Z \times m_c + \sum_Z \times m_a}$$

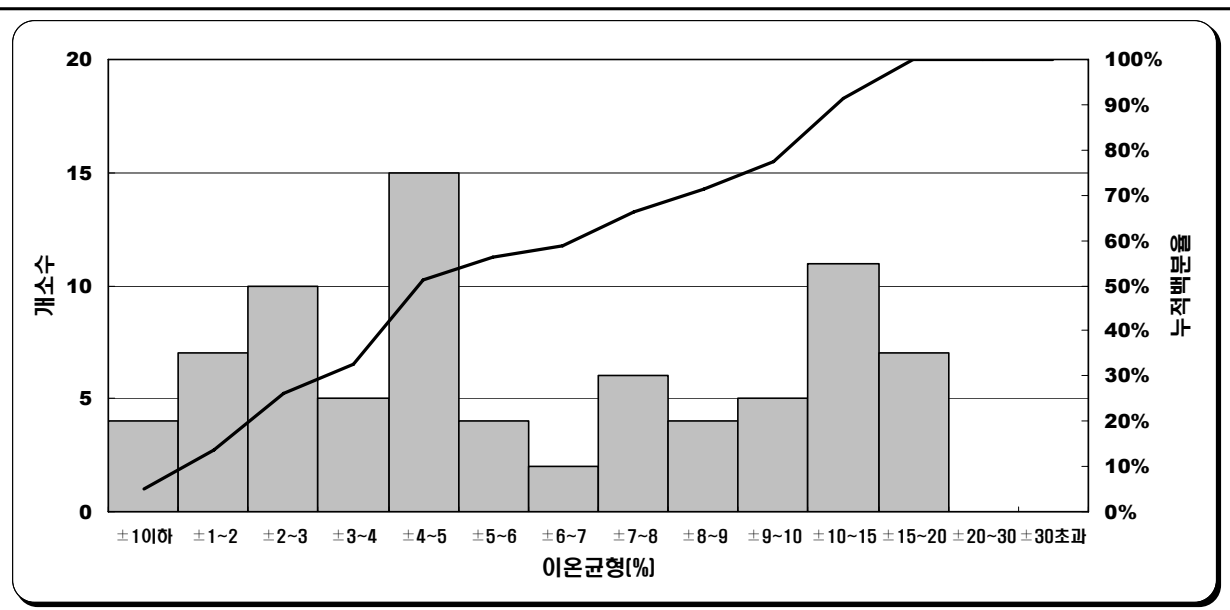
여기서, Z 는 이온의 전하수,
 m_c 는 양이온의 몰농도,
 m_a 는 음이온의 몰농도를 나타낸다.

CBE가 수 % 이내에 속하지 않으면, 화학분석 자체에 문제가 있거나 또는 상당한 양이 존재하지만 분석이 되지 않은 이온들이 있음을 의미한다. 만약 전하균형오차가 0이라면 양이온의 몰농도합과 음이온의 몰농도 합이 같다. 그러나 이것은 오차가 전혀 없다는 의미

6. 지하수 수질 및 오염위약성 평가

가 아니라, 음이온에 의한 오차가 양이온에 의한 오차에 의해 정확하게 지워졌다는 의미일 뿐이다. Fritz(1994)는 기존에 출간된 학술지의 논문들을 대상으로 CBE를 조사하였는데, 그 결과 (-) 오차보다는 (+)오차가 더 많이 나타남을 발견하였으며, 따라서 어떤 음이온이 체계적으로 덜 분석되고 있음을 제시하였다. 그는 이것이 현장보다는 실내에서 측정되는 알칼리니티(Alkalinity) 때문이라고 보았는데, 즉 시료가 실험실까지 도착하는 과정에서 탄산염 물질이 침전되어 결과적으로 중탄산 이온이 제거되기 때문이며 본 조사에서는 이러한 오차를 최소화하기 위하여 현장에서 바로 알칼리니티 측정을 실시하였고 분석결과에서도 (-)오차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 본 조사에서 수 % 범위 외에 나타나는 CBE는 화학분석 자체의 오류보다는 분석되지 않은 이온들에 기인한 것으로 판단된다.

금번 조사에서는 CBE 값이 $\pm 15\%$ 미만인 분석치가 전체 90개 중 80개(88.8%)로 분석되었다. 이를 벗어나는 시료는 각 이화학농도의 분포 해석에서는 적용하였으나 수질유형 분류 및 해석에서는 제외하였다.



<그림 6-4> 이온균형오차 분포그래프

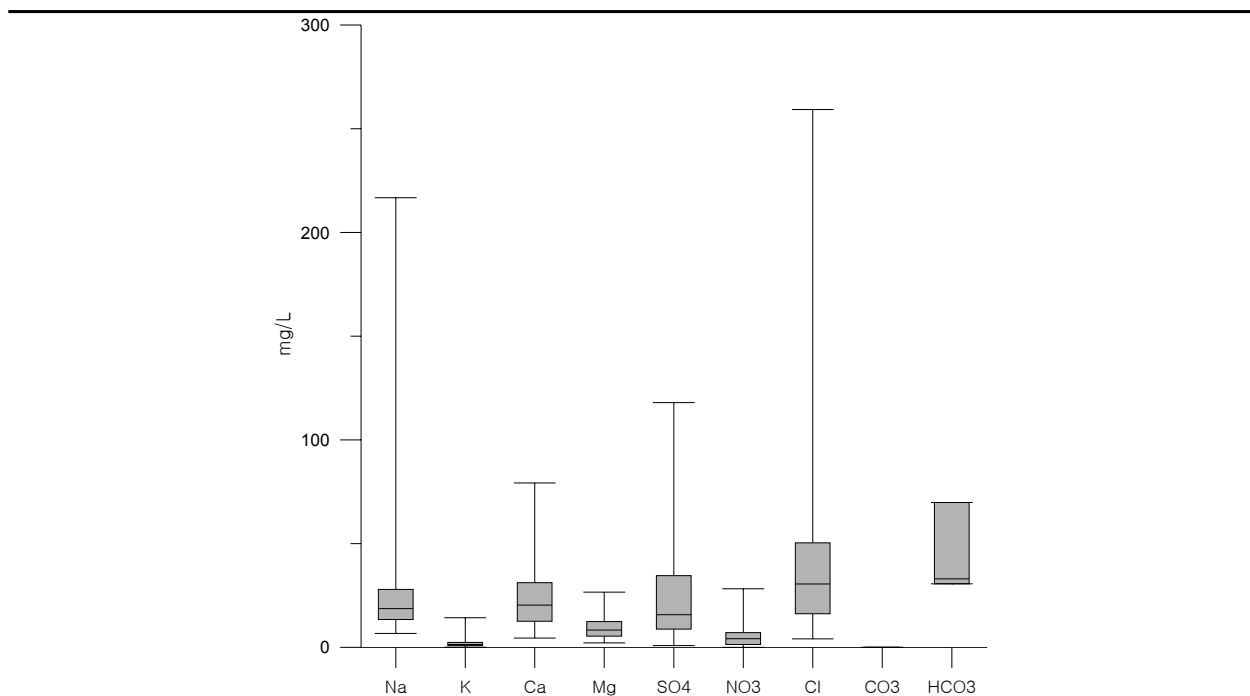
나. 주요 양음이온 분포 검토

주요 양이온인 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 와 주요 음이온인 NO_3^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} 의 분포범위와 평균 표준편차 등을 정리하면 아래 내용과 같다.

<표 6-4> 주요 양·음이온 분포

(단위 : mg/ℓ)

구분	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
최대	216.70	14.25	79.19	26.64	118.00	28.24	259.26	0.00	269.50
최소	6.71	0.06	4.51	2.15	0.85	0.00	4.07	0.00	13.48
평균	26.62	2.02	22.74	9.45	25.34	5.10	36.29	0.00	85.81
중간값	18.66	1.42	20.34	8.34	15.69	4.14	30.55	0.00	65.54
표준편차	31.59	2.07	12.88	5.30	23.52	4.93	34.91	0.00	56.10



<그림 6-5> 주요 양·음이온 농도분포

다. 배경수질

채수된 시료 전체에 대해 전반적인 지하수의 수질 유형을 파악하기 위해서 대수층 유형별로 암반지하수와 충적 지하수로 분류하여 파이퍼 다이어그램에 도시하여 보았다 수질 유형을 도시하기 전하균형이 $\pm 15.0\%$ 이내의 범위를 벗어나는 시료는 제외하여 <그림 6-7>에 도시하였다.

시료채취는 암반지하수 40개소, 충적지하수 40개소 등 총 80개소를 대상으로 1회 실시하였으며, 분석결과 총용존고형물(Total Dissolved Solid, TDS)은 암반지하수의 경우 53.09~779.59mg/ℓ, 평균값 235.40mg/ℓ를 보였고, 충적지하수의 경우 57.86~445.27mg/ℓ, 평균값 191.35mg/ℓ의 범위를 보였다.

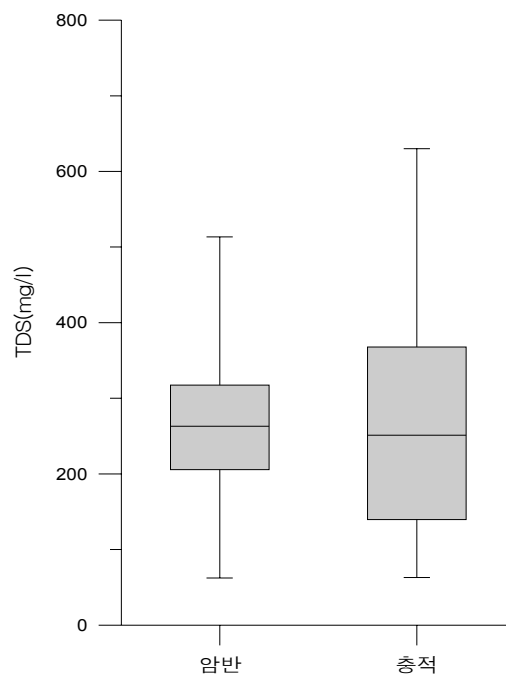
6. 지하수 수질 및 오염위약성 평가

<표 6-5> 총용존고형물 농도 분포

(단위 : mg/ℓ)

구분	암반	충적
최소	53.09	57.85
최대	779.59	445.27
평균	235.40	191.35
표준편차	141.48	109.29

암반지하수가 충적지하수 보다 약간 높은 TDS 값을 보이고 있으며, 평균 및 최대값의 분포범위는 넓은 경향을 보이고 있다



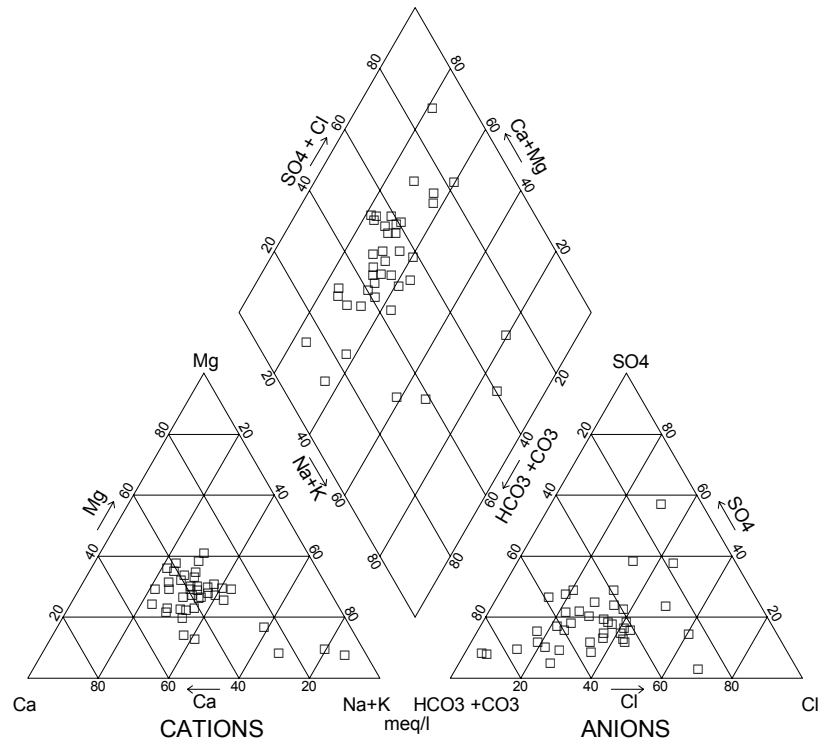
<그림 6-6> 암반-충적 지하수 TDS 분포

일반적으로 오염되지 않은 천부지하수는 Ca-HCO_3 유형을 나타내나, 농업활동이나 생활하수 등의 인위적인 오염원에 의해 영향을 받게 되면 Ca-Cl 형을 보이며, 지질내체와의 수암반응을 통하여 Na-HCO_3 유형으로 바뀌게 된다.

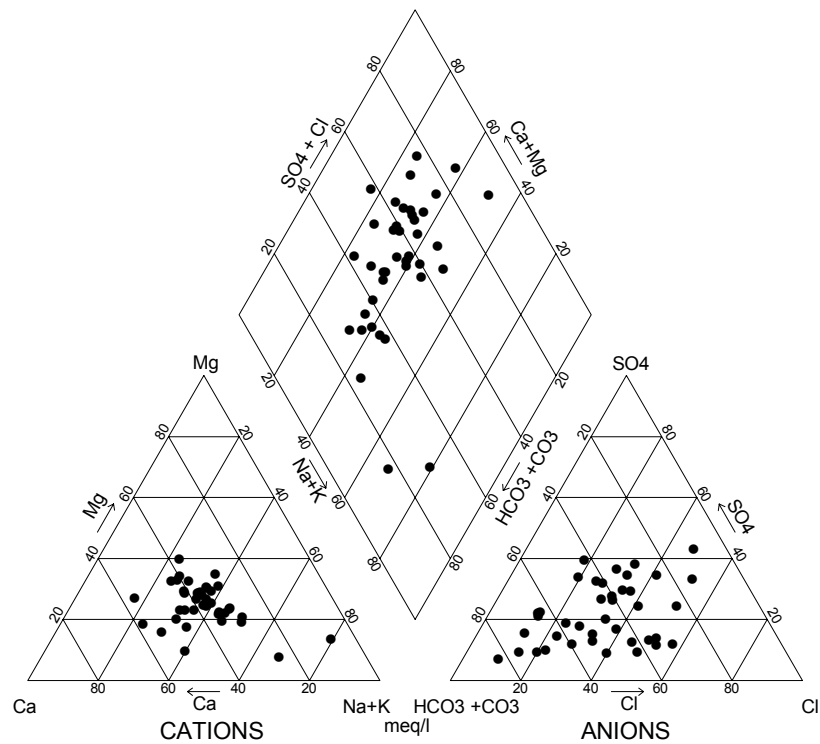
분석결과 암반지하수의 경우 Ca-Cl 과 Ca-HCO_3 유형이 각각 18개소로 전체의 90%로 가장 많고, Na-HCO_3 유형과 Na-Cl 유형 각각 5%로 나타났다.

충적지하수의 경우 Ca-Cl 유형이 23개소로 전체의 57.5%로 가장 많고, Ca-HCO_3 유형이 32.5%, Na-HCO_3 와 Na-Cl 유형이 각각 5%와 2.5% 순으로 나타났다.

(a) 암반지하수



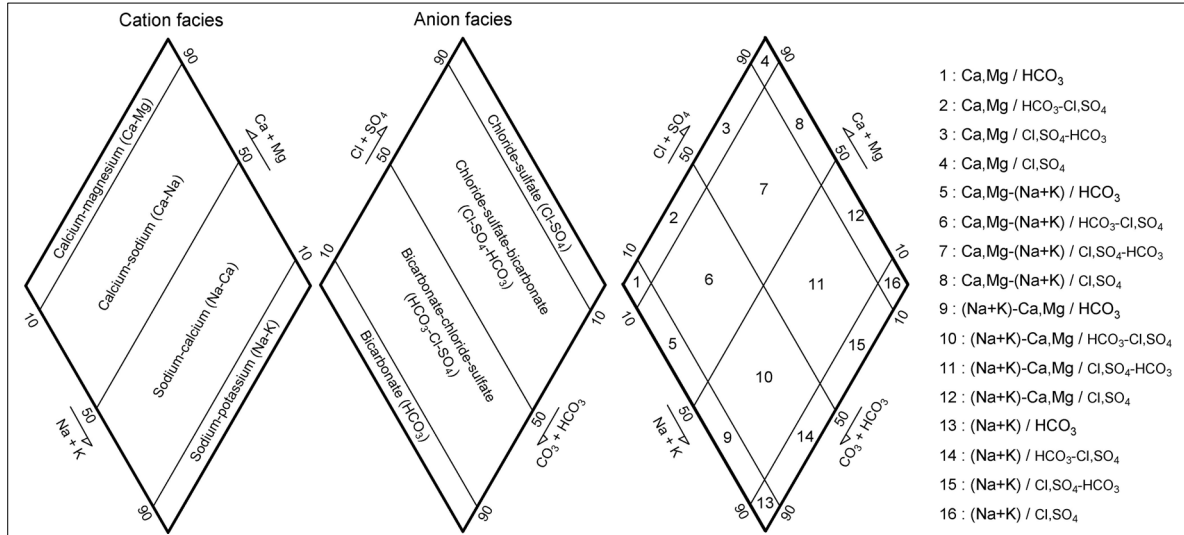
(b) 충적지하수



<그림 6-7> 조사지역의 대수층별 파이퍼 다이어그램

6. 지하수 수질 및 오염위약성 평가

분석된 전체 시료의 수질유형을 이온함량비에 따라 더 정량으로 구분하기 위해서 <그림 6-8>에서 제시된 방법을 적용하여 수질유형을 구분해 보았으며 충적지하수와 암반지하수 각각에 대한 수질 유형 분류 결과를<표 6-6>에 나타내었다.



※ 양이온 Ca^{2+} 와 Mg^{2+} 의 상대함량과 음이온 SO_4^{2-} 와 Cl^- 의 상대함량(우측의 수질유형에서 쉼표 (comma)로 구분됨)은 각각의 삼각다이아그램으로 확인해야함.

W<그림 6-8> 파이퍼 다이아그램을 통한 수질 유형 분류 (Back, 1961)

<표 6-6> 파이퍼 다이아그램을 통한 수질 유형 분류 결과

영역 번호	수질 유형 분류 (Water Type)	암반지하수		충적지하수	
		개수	비율	개수	비율
1	Ca,Mg/HCO ₃	-	-	-	-
2	Ca,Mg/HCO ₃ -Cl,SO ₄	-	-	-	-
3	Ca,Mg/Cl,SO ₄ -HCO ₃	-	-	-	-
4	Ca,Mg/Cl,SO ₄	-	-	-	-
5	Ca,Mg-(Na+K)/HCO ₃	-	-	-	-
6	Ca,Mg-(Na+K)/HCO ₃ -Cl,SO ₄	18	45.0%	13	32.5%
7	Ca,Mg-(Na+K)/Cl,SO ₄ -HCO ₃	18	45.0%	23	57.5%
8	Ca,Mg-(Na+K)/Cl,SO ₄	-	-	-	-
9	(Na+K)-Ca,Mg/HCO ₃	-	-	-	-
10	(Na+K)-Ca,Mg/HCO ₃ -Cl,SO ₄	2	5.0%	2	5.0%
11	(Na+K)-Ca,Mg/Cl,SO ₄ -HCO ₃	2	5.0%	1	2.5%
12	(Na+K)-Ca,Mg/Cl,SO ₄	-	-	1	2.5%
13	(Na+K)/HCO ₃	-	-	-	-
14	(Na+K)/HCO ₃ -Cl,SO ₄	-	-	-	-
15	(Na+K)/Cl,SO ₄ -HCO ₃	-	-	-	-
16	(Na+K)/Cl,SO ₄	-	-	-	-

6.1.4. 유역별 배경수질

가. 임진강합류점 유역

임진강합류점 유역은 좁은 유역면적으로 우물의 분포가 미약하여 충적2개소, 암반 2개소에서 수질분석을 실시하였다. 총용존고형물의 범위는 충적우물에서 232.48~252.54(평균 242.51)mg/ℓ, 암반우물은 135.51~259.05(평균 197.28)mg/ℓ의 범위를 보인다.

나. 공릉천하류 유역

공릉천하류 유역은 충적 6개소, 암반 4개소에서 수질분석을 실시하였다. 총용존고형물의 범위는 충적우물에서 92.09~445.27(평균 196.30)mg/ℓ, 암반우물은 77.92~210.17(평균 152.27)mg/ℓ의 범위를 보인다. 수질 유형은 전체적으로 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 와 Ca-Cl 유형이 우세한 것으로 나타났다.

다. 공릉천상류 유역

공릉천상류 유역은 충적 9개소, 암반 8개소에서 수질분석을 실시하였다. 총용존고형물의 범위는 충적우물에서 84.32~353.35(평균 160.68)mg/ℓ, 암반우물은 70.38~326.63(평균 178.66)mg/ℓ의 범위를 보인다. 수질 유형은 전체적으로 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 와 Ca-Cl 유형이 우세한 것으로 나타났다.

라. 계양천 유역

계양천 유역은 충적 12개소, 암반 13개소에서 수질분석을 실시하였다. 총용존고형물의 범위는 충적우물에서 57.85~426.32(평균 151.81)mg/ℓ, 암반우물은 102.53~779.59(평균 292.23)mg/ℓ의 범위를 보인다. 수질 유형은 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 와 Ca-Cl 유형이 우세한 것으로 나타났다.

마. 창릉천 유역

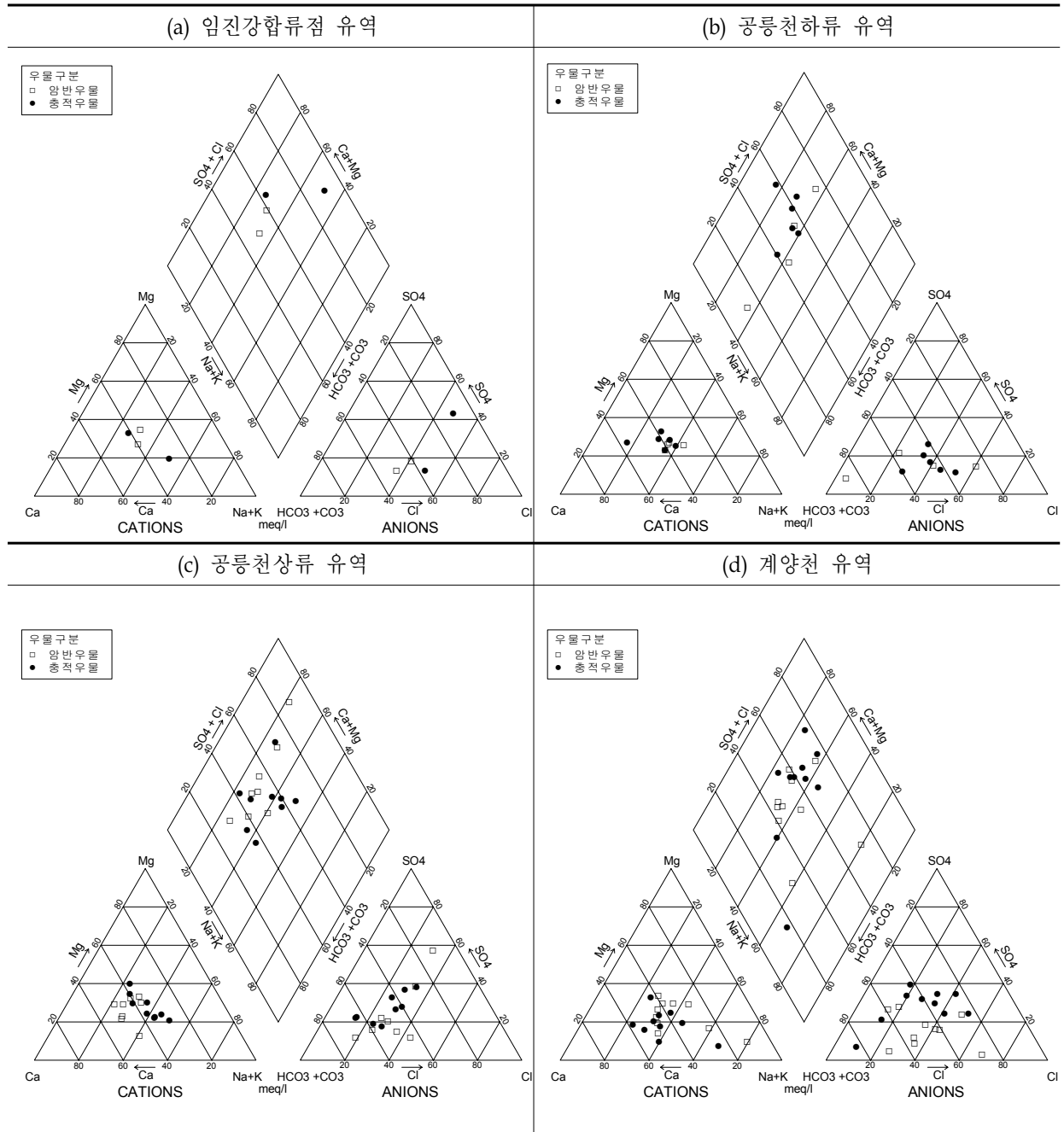
창릉천 유역은 충적 10개소, 암반 10개소에서 수질분석을 실시하였다. 총용존고형물의 범위는 충적우물에서 65.91~356.09(평균 232.62)mg/ℓ, 암반우물은 53.09~694.64(평균 240.63)mg/ℓ의 범위를 보인다. 수질 유형은 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 와 Ca-Cl 유형이 대부분을 차지하고 있다.

바. 행주대교수위표 유역

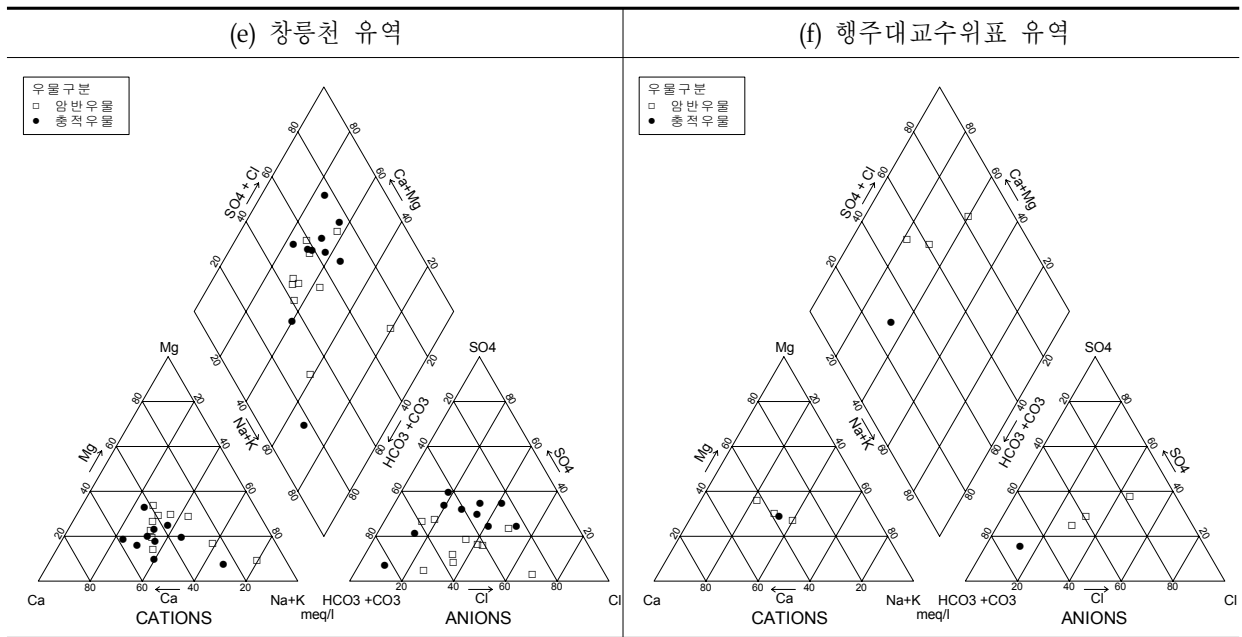
행주대교수위표 유역은 높은 지형분포와 좁은 유역면적으로 우물의 분포가 미약하여 충적 1개소, 암반 3개소에서 수질분석을 실시하였다. 총용존고형물의 범위는 충적우물에서

6. 지하수 수질 및 오염위약성 평가

397.31mg/ℓ, 암반우물은 204.40~346.52(평균 259.26)mg/ℓ의 범위를 보인다. 수질 유형은 Ca-Cl 유형이 우세한 것으로 나타났다.



<그림 6-9> 유역별 지하수 파이퍼다이아그램



<그림 6-9> 유역별 지하수 파이퍼다이아그램(계속)

6.1.5. 수문지질단위별 배경수질

가. 미고결쇄설성퇴적층

미고결쇄설성퇴적층 지하수의 경우 분석 결과 Ca-Cl 유형이 25개소로 전체의 61%로 가장 많고, Ca-HCO₃ 유형이 12개소로 전체의 29%, Na-Cl 유형과 Na-HCO₃ 유형이 각각 5% 순으로 나타났다.

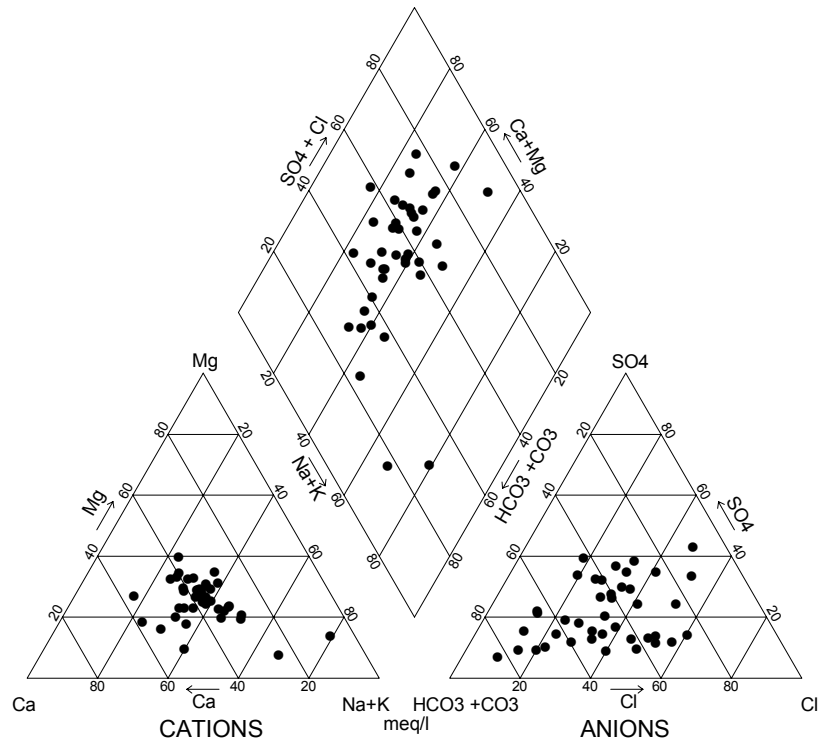
나. 트라이아스기-쥬라기산성관입화성암

트라이아스기-쥬라기산성관입화성암 지하수의 경우 높은 지형분포와 좁은 면적으로 인해 해당되는 우물이 1개소가 존재하여 분석에서 제외하였다

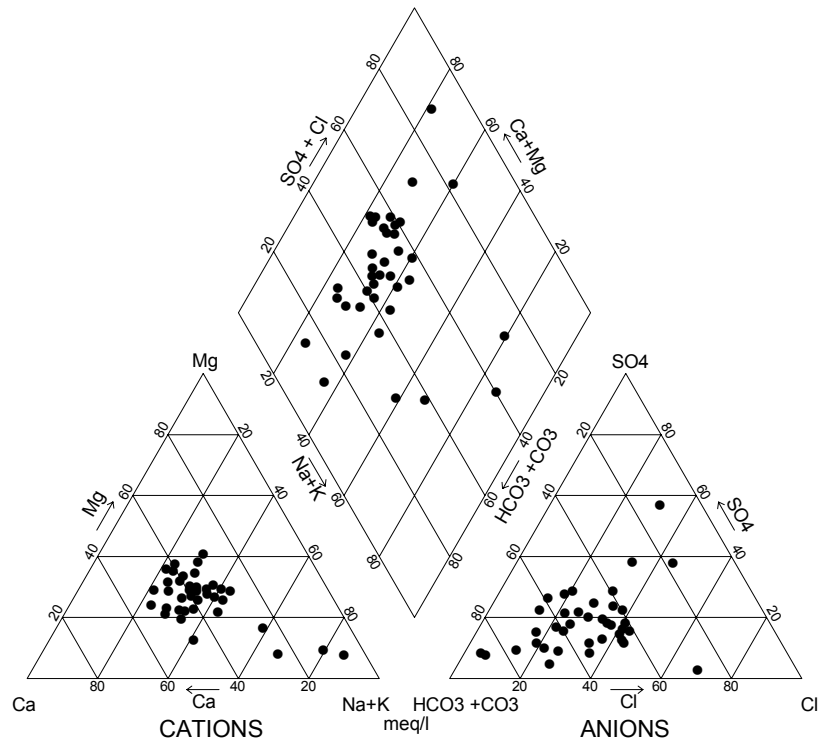
다. 준편마암

준편마암 지하수의 경우 분석 결과 Ca-HCO₃와 Ca-Cl 유형이 19개소와 16개소로 전체의 각각 46%, 39%에 해당되고, Na-Cl 유형과 Na-HCO₃ 유형은 각각 2개소로 5%를 차지하고 있다.

(a) 미고결쇄설성퇴적층



(b) 준편마암



<그림 6-10> 수문지질단위별 지하수 파이퍼다이아그램

6.2. 주요 항목 수질분석

수질분석 시료채취시 정전현황조사 결과 및 주민 면담조사를 통한 지하수 용도 파악하였으며 전체분석결과 지하수의 실제 용도별 수질기준을 적용하여 기준초과 여부를 검토하였다

6.2.1. 지하수 수질기준

<표 6-7> 먹는물 수질기준(실제음용에 사용하는 지하수 및 간이상수도 원수)

항목	검사항목	기준	항목	검사항목	기준
미생물에 관한 항목	일반세균	100CFU/㎖이하	건강상 유해영향 유기물질에 관한 항목	벤젠	0.01mg/ℓ 이하
	총대장균군	불검출/100㎖		톨루엔	0.7mg/ℓ 이하
	대장균/분원성대장균군	불검출/100㎖		에틸벤젠	0.3mg/ℓ 이하
건강상 유해영향 무기물질에 관한 항목	납	0.05mg/ℓ 이하		크실렌	0.5mg/ℓ 이하
	불소	1.5mg/ℓ 이하		1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/ℓ 이하
	비소	0.05mg/ℓ 이하		사염화탄소	0.002mg/ℓ 이하
	세레늄	0.01mg/ℓ 이하		1,2-디브로모3-클로로프로판	0.003mg/ℓ 이하
	수은	0.001mg/ℓ 이하	심미적영향 물질에관한 항목	경도	300mg/ℓ 이하
	시안	0.01mg/ℓ 이하		과망간산칼륨소비량	10mg/ℓ 이하
	6가크롬	0.05mg/ℓ 이하		냄새	무취
	암모니아성질소	0.5mg/ℓ 이하		맛	무미
	질산성질소	10mg/ℓ 이하		동	1mg/ℓ 이하
	카드뮴	0.005mg/ℓ 이하		색도	5도이하
	보론	0.3mg/ℓ 이하		세제	0.5mg/ℓ 이하
건강상 유해영향 유기물질에 관한 항목	페놀	0.005mg/ℓ 이하		수소이온농도	5.8-8.5
	다이아지논	0.02mg/ℓ 이하		아연	1mg/ℓ 이하
	파라티온	0.06mg/ℓ 이하		염소이온	250mg/ℓ 이하
	페니트로티온	0.04mg/ℓ 이하		증발잔류물	500mg/ℓ 이하
	카바릴	0.07mg/ℓ 이하		철	0.3mg/ℓ 이하
	1,1,1-트리클로로에탄	0.1mg/ℓ 이하		망간	0.3mg/ℓ 이하
	테트라클로로에틸렌	0.01mg/ℓ 이하		탁도	1NTU이하
	트리클로로에틸렌	0.03mg/ℓ 이하		황산이온	200mg/ℓ 이하
	디클로로메탄	0.02mg/ℓ 이하		알루미늄	0.2mg/ℓ 이하

주) 먹는물수질기준및검사등에관한규칙(환경부령 제215호, 2006.7.4)

6. 지하수 수질 및 오염위약성 평가

<표 6-8> 지하수 수질기준(신고/허가 용도 및 실제 사용 용도 조사)

항 목		기 준		
		생활용수	농업용수	공업용수
일 반 오염물질 (5개)	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0
	대장균군수(MPN/100ml)	5000이하	-	-
	질산성질소(mg/ℓ)	20이하	20이하	40이하
	염소이온(mg/ℓ)	250이하	250이하	500이하
특 정 유해물질 (10개)	카드뮴(mg/ℓ)	0.01이하	0.01이하	0.02이하
	비소(mg/ℓ)	0.05이하	0.05이하	0.1이하
	시안(mg/ℓ)	불검출	불검출	0.2이하
	수은(mg/ℓ)	불검출	불검출	불검출
	유기인(mg/ℓ)	불검출	불검출	0.2이하
	페놀(mg/ℓ)	0.005이하	0.005이하	0.01이하
	납(mg/ℓ)	0.1이하	0.1이하	0.2이하
	6가 크롬(mg/ℓ)	0.05이하	0.05이하	0.1이하
	트리클로로에틸렌(mg/ℓ)	0.03이하	0.03이하	0.06이하
	테트라클로로에틸렌(mg/ℓ)	0.01이하	0.01이하	0.02이하
	1,1,1-트리클로로에탄(mg/ℓ)	0.15이하		
	벤젠(mg/ℓ)	0.015이하		
	톨루엔(mg/ℓ)	1 이하		
	에틸벤젠(mg/ℓ)	0.45이하		
	크실렌(mg/ℓ)	0.75이하		

주) 지하수의 수질보전등에관한규칙(환경부령 제215호, 일부개정 2006)

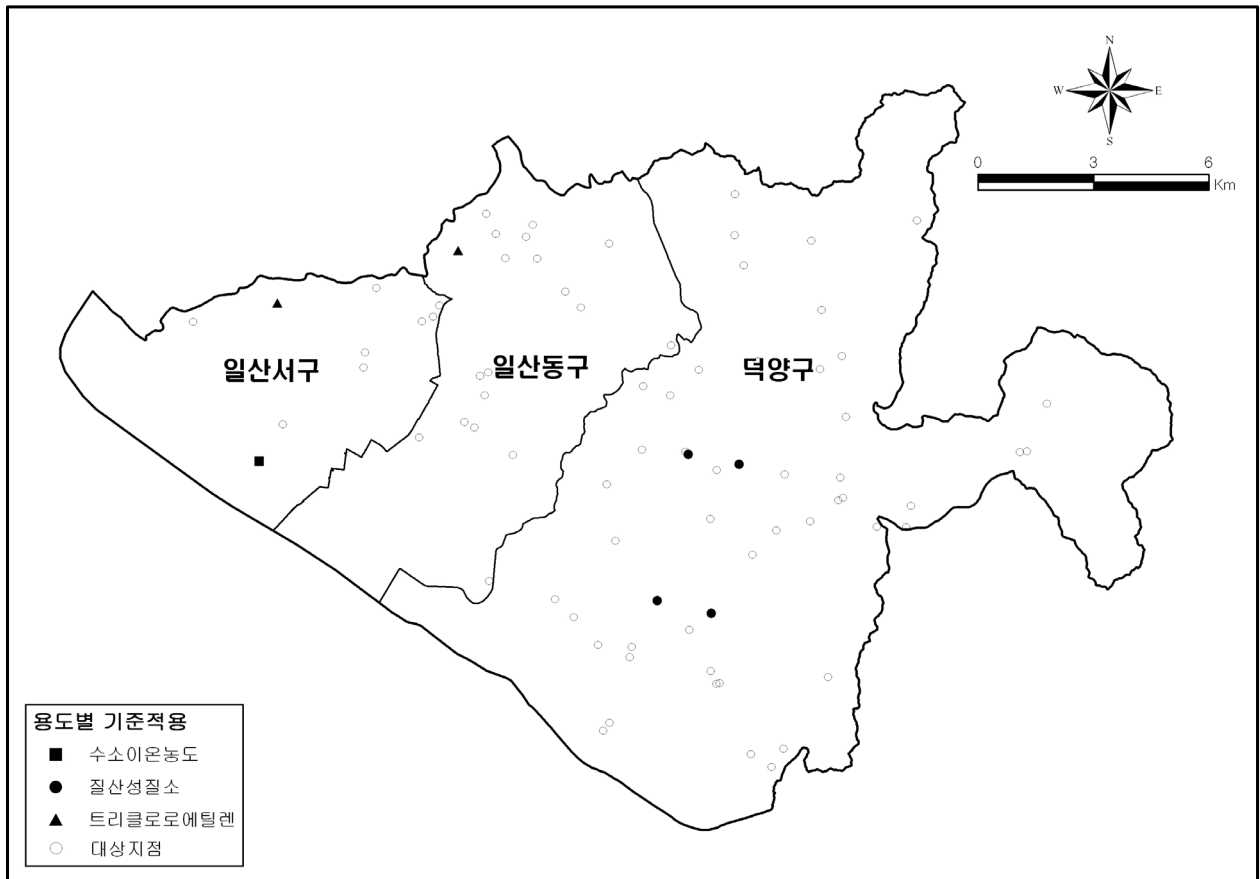
6.2.2. 용도별 수질기준 검토

전체 분석결과에 대하여 대상지점의 지하수 사용 용도별 수질기준을 각각 적용하여 분석하였다. 기준을 초과한 지점은 7개소로 나타났다.

전체 80공 중 생활용수 수질기준 초과항목은 4개소에서 수소이온농도(1.25%), 질산성질소(2.5%), 트리클로로에틸렌(1.5%)이 기준을 초과하였고 농업용수 수질기준 초과항목은 3개소 모두 질산성질소(3.75%)가 기준을 초과하였으며, 먹는물 기준 수질항목 중 대장균군수(52.4%), 수소이온농도(1.25%), 질산성질소(15.0%), 암모니아질소(2.5%), 불소(1.25%), 트리클로로에틸렌(1.25%), 탁도(25.0%), 알루미늄(15.0%), 아연(8.75%), 망간(11.25%), 철(11.25%)항목이 각각 기준을 초과하여 검출되었다. 나머지 항목에서는 모든 시료가 수질 기준을 만족하였다. 검토한 결과 생활용수 수질기준 항목 중 질산성질소와 트리클로로에틸렌 초과지점은 잠재오염원과 연관하여 축산시설 세차장 및 주유소의 노후로 인해 관리가 미흡하여 기준 초과한 것으로 판단되며, 항목별로 종합하면 <표 6-9>와 같다.

<표 6-9> 용도별 수질기준 적용시 기준초과 항목

기준초과항목	지하수 용도								비 고
	생활 용수(공)	비율(%)	농업 용수(공)	비율(%)	먹는물(공)	비율(%)	계(공)	비율(%)	
수소이온농도	1	1.25	-		1	1.25	1	1.25	
대장균군수	-		-		42	52.5	42	52.50	
질산성질소	1	1.25	3	3.75	12	15	16	20.00	
암모니아질소			-		2	2.5	2	2.50	
불 소	-		-		1	1.25	2	2.50	
트리클로로에틸렌	2	2.5	-		2	2.5	2	2.50	
탁도	-		-		20	25	20	25.00	
알루미늄	-		-		12	15	12	15.00	
아 연	-		-		7	8.75	7	8.75	
철	-		-		9	11.25	9	11.25	
망 간	-		-		9	11.25	9	11.25	
합 계	4		3		117	-	124	-	



<그림 6-11> 용도별 수질기준 초과지점 분포

6.3. 잠재오염원현황

본 절에서는 고양시의 오염원현황을 파악하기 위해 통계연보와 환경관련 통계자료를 기초로 기초환경시설현황을 정리하여 이를 기초로 현장조사를 통해 점오염원의 위치를 파악하였다

6.3.1. 기초 환경시설 현황

오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분되는데 점오염원은 점원위치에서 오염물질이 배출되는 것으로 정화조, 지하 저장탱크, 지표 저류시설, 폐관정 등이 있으며, 비점오염원은 넓은 지역에서 오염물질이 광범위하게 확산되는 것으로 농약 및 비료 살포 등의 농업오염원과 매립지, 산성강우 등을 거론할 수 있다.

통계연보에 따르면, 점오염원은 폐수배출시설은 588개소이며, 비점오염원은 전 2,265ha, 답 2,874ha로 집계되었다.

<표 6-10> 오염원현황

구 분	점오염원(개소수)						비점오염원	
	폐수배출시설						논경지(ha)	
	소개	1종	2종	3종	4종	5종	전	답
총 계	588	-	-	3	12	573	2,265	2,874

주) 통계연보(2007, 고양시)

가. 일반폐기물 발생 및 처리현황

고양시의 생활 폐기물 관리구역 면적은 267.31km², 구역내 인구는 919,365명이다.

고양시의 폐기물 및 처리시설 현황은 <표 6-11>~<표 6-16>과 같다.

<표 6-11> 건설폐기물 현황

(단위 : 톤/일)

발생량 및 처리현황	총계	건설폐재류					가연성건설폐기물				비가연성건설폐기물			건설 폐토석	혼합 건설폐기물
		폐콘크리트	폐아스팔트 콘크리트	폐벽돌	폐블럭	폐기와	폐목재	폐합성수지	폐섬유	폐벽지	건설오니	폐금속류	폐유리		
발생량	1,881.2	859.2	331.9	0.7	0.1	0.0	16.2	5.0	0.1	0.0	10.9	0.0	0.0	167.1	490.0
매립	53.8	1.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.1
소각	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	4.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
재활용	1,821.0	857.6	331.9	0.6	0.1	0.0	14.4	0.5	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	167.1	437.9

주) 전국 폐기물 통계(2007, 환경부)

<표 6-12> 생활폐기물 현황

(단위 : 톤/일)

구분	발생량 처리현황	총계	가연성							불연성					재활용품							
			소계	음식물 채소류	종이류	나무류	고무 폐혁류	플라스 틱류	기타	소계	연 탄재	금속 초자 류	토사 류	기타	소계	종이 류	병류	고철 류	캔류	플라스 틱류	기타	음식 물류
총 계	발생량	646.7	235.5	0.3	128.3	13.4	27.4	46.3	19.8	14.1	10.8	0.6	0.9	1.8	397.1	53.7	57.5	35.4	5.8	16.7	13.5	214.5
	매립	74.3	60.1	-	28.3	4.7	5.4	16.3	5.4	14.1	10.8	0.6	0.9	1.8	0.1	-	-	-	-	-	0.1	-
	소각	175.1	175.1	-	100.0	8.7	22.0	30.0	14.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	재활용	397.3	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	397.0	53.7	57.5	35.4	5.8	16.7	13.4	214.5
가정 폐기물	발생량	644.2	235.2	-	128.3	13.4	27.4	46.3	19.8	13.2	10.8	0.6	0.9	0.9	395.8	53.2	57.3	34.9	5.8	16.7	13.4	214.5
	매립	73.3	60.1	-	28.3	4.7	5.4	16.3	5.4	13.2	10.8	0.6	0.9	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	소각	175.1	175.1	-	100.0	8.7	22.0	30.0	14.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	재활용	395.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	395.8	53.2	57.3	34.9	5.8	16.7	13.4	214.5
사업 장생 폐기물	발생량	2.5	0.3	0.3	-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	0.9	1.3	0.5	0.2	0.5	-	-	0.1	-
	매립	1.0			-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	0.9	0.1	-	-	-	-	-	0.1	-
	소각				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	재활용	1.5	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	0.5	0.2	0.5	-	-	-	-

주) 전국 폐기물 통계(2007, 환경부)

<표 6-13> 축산현황

구분	총 계		허가대상시설		신고대상시설		신고미만시설	
	농가수(호)	마리수(두)	농가수(호)	마리수(두)	농가수(호)	마리수(두)	농가수(호)	마리수(두)
총 계	336	204693	24	31042	215	169,003	97	4648
젖 소	72	5036	1	75	39	4,654	32	307
소·말	143	9215	7	1540	97	7,186	39	489
돼 지	89	62867	16	29427	60	33,189	13	251
양·사슴	1	4	-	-	0	0	1	4
닭·오리	31	127571	-	-	19	123,974	12	3597

주) 축산폐수 처리통계(2004, 환경부)

나. 오수분뇨 및 축산폐수 발생 및 처리현황

과업지역의 전체 오수발생량은 $267,534\text{m}^3/\text{일}$ 이며 이중 하수처리 구역내 발생량이 $238,803\text{m}^3/\text{일}$ (89.2%)를 차지하고 있다.

<표 6-14> 오수발생량 및 처리시설

(단위 : $\text{m}^3/\text{일}$)

오 수 발 생 량			오수처리시설(개소)		
계	하수처리구역내	하수처리구역외	계	하수처리구역내	기타지역
267,534	238,803	28,731	3,980	-	3,980

주) 하수도통계(2007, 환경부)

<표 6-15> 분뇨발생량 및 처리시설 (단위 : $\text{m}^3/\text{일}$)

발 생 량			처리시설		비고
계	처리대상량	처리대상제외	시설용량	처리량	
1,248	15	1,233	162	299	

주) 하수도통계(2007, 환경부)

<표 6-16> 축산폐수발생량

축산폐수발생량($\text{m}^3/\text{일}$)			
계	젖소	소·말	돼지
904	229	135	540

주) 축산폐수 처리통계(2004, 환경부)

6.3.2. 잠재오염원 조사

2007년 6월 20일 ~ 2007년 8월 20일까지 총 788개소의 잠재오염원에 대한 현장조사를 실시하였다.

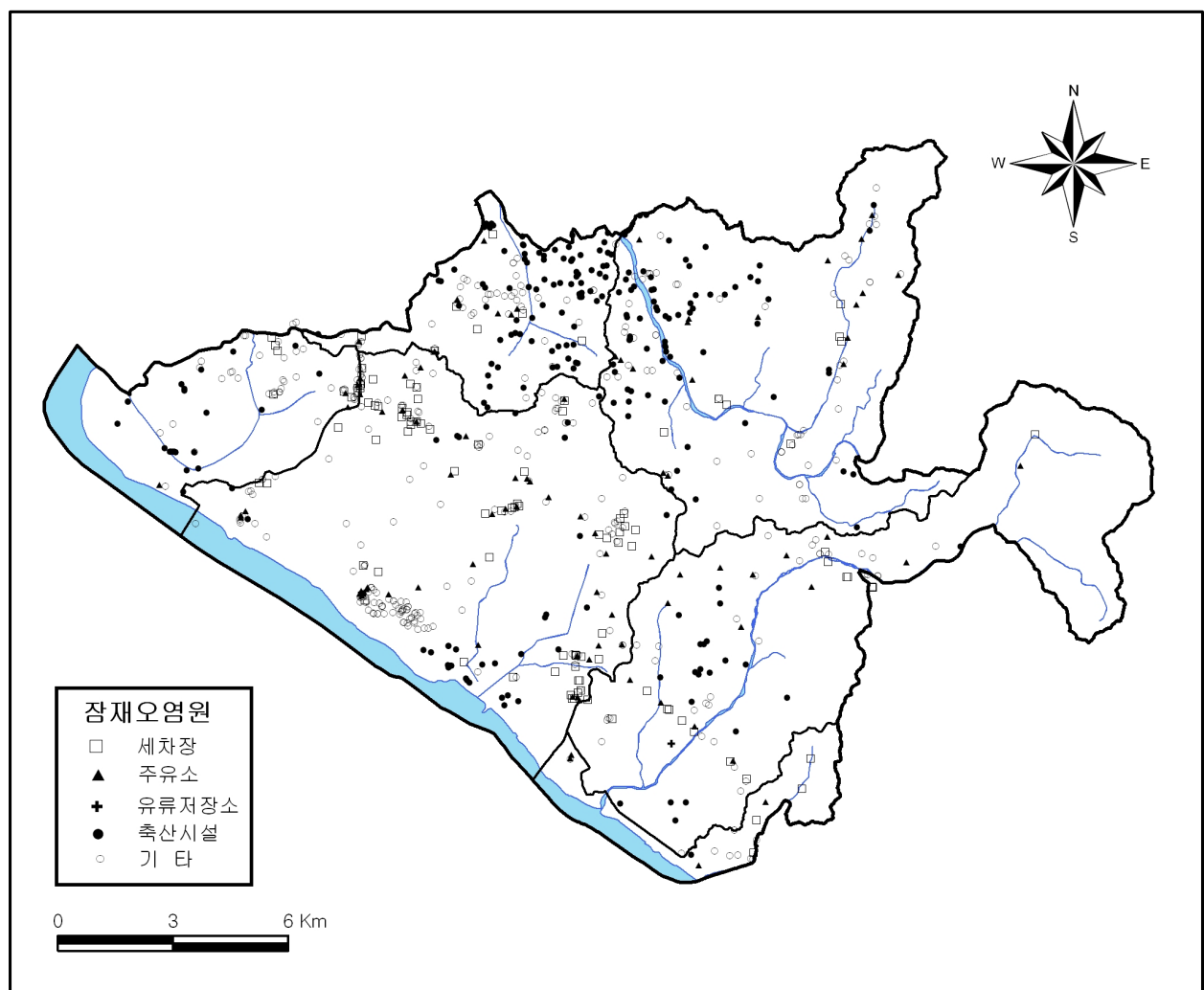
<표 6-17> 잠재오염원조사 결과

(단위 : 개소)

총계	축산시설	주유소	세차장	유류저장소	기타
788	241	92	109	3	343

잠재오염원의 분류 기준 중 보편적으로 알려진 6군 33종의 경우 대상범위가 광범위하여 현장조사에 적용키는 무리가 있다 따라서 본 조사에서는 해당 시군에서 관리중인 환경관련 자료와 주유소 및 축산농가에 대한 자료를 확보하고 이를 우선으로 현장조사를 실시하였으며, 조사일지는 부록에 수록하였다.

본 조사에서는 잠재오염원의 분류기준을 “지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침(국토해양부, 한국수자원공사, 2006)”에서 제시한 축산시설, 주유소, 세차장, 유류저장소, 기타 의 5가지로 분류하였으며, 조사일지에는 세부분야를 기재하였다. 축산시설은 각종 축산 농가 및 농장, 기타에는 제조시설, 정비업소, 하수처리시설, 세탁시설 등이 포함된다.



<그림 6-12> 잠재오염원 분포도

6.4. 오염취약성 평가

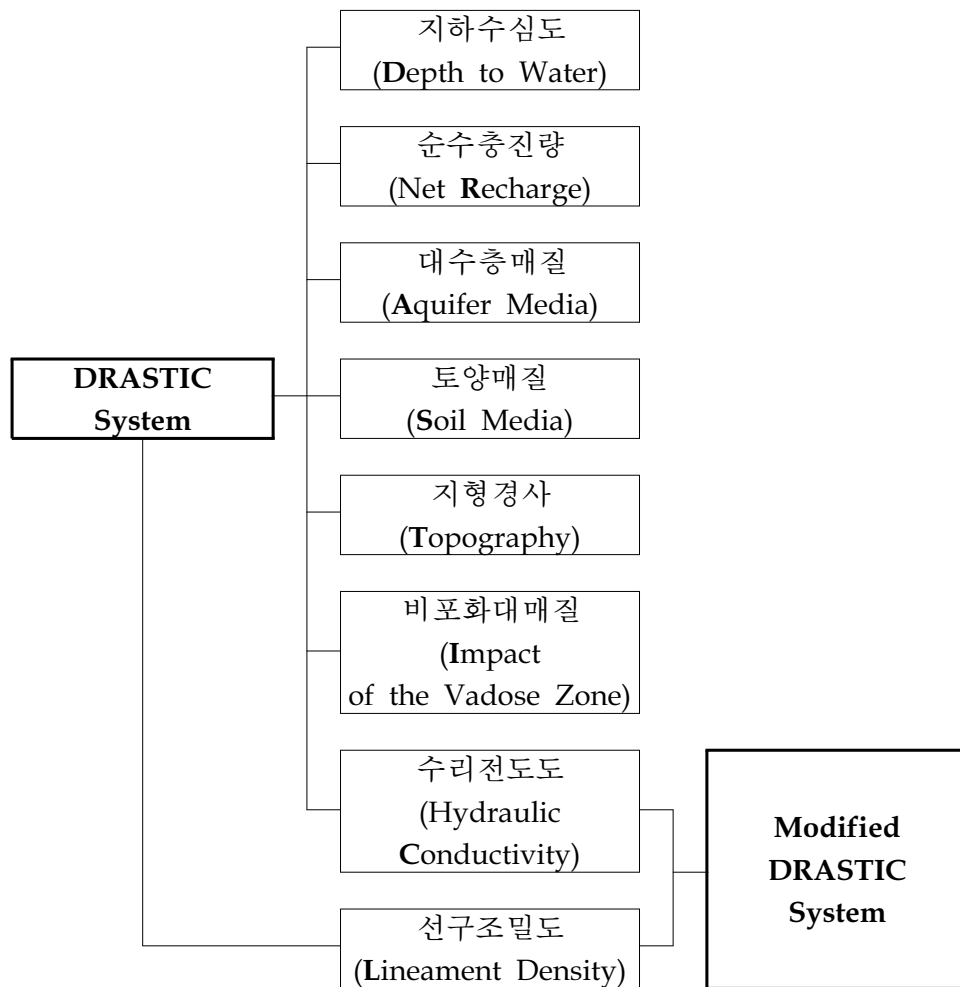
수자원으로서 지하수의 효율성은 적절한 수질을 지속적으로 유지하면서 소요 수량을 안정적으로 공급하는데 있으므로, 지하수자원의 효율적 이용과 체계적인 관리를 위해서는 지하수의 산출 특성과 함께 지하수 오염에 대한 정확한 평가 및 예측이 필요하다. 지하수에 영향을 미치는 잠재 오염원은 그 종류가 다양하고 변화양상 또한 매우 유동적인 관계로 오염 원인 분석과 오염 물질의 이동 경로에 대한 예측이 어려우며 지표수와 달리 지하수는 일단 오염 물질이 대수층으로 유입 확산되면 이의 정화와 원상복구에는 엄청난 비용과 시간이 소요된다. 따라서 경제적이고 효율적인 지하수 관리를 위해서는 적절한 오염방지 대책을 마련하여 지하수 및 대수층을 오염원으로부터 사전에 차단하는 것이 필수적이다. 합리적인 지하수의 오염방지 대책을 수립하기 위해서는 해당 지역의 잠재 오염원 분포현황 및 지역별 수문지질 특성에 따른 지하수의 오염취약성을 정확하게 평가하여 이를 토대로 이들의 상호작용과 기타 토지이용 등 인위적 요인에 따른 지하수의 오염가능성을 예측하는 것이 중요하다.

본 과업에서는 1987년 미국 환경청(EPA)에서 개발한 DRASTIC 시스템을 적용하여 고양시의 지하수 오염취약성을 평가하였다. DRASTIC 시스템은 대상 지역의 수문지질특성을 토대로 지하수 오염취약성을 간접적으로 평가하는 기법으로 지하수위 심도(D), 자연 함양량(R), 대수층 매질(A), 토양매질(S), 지형(T), 비포화대 매질의 영향(I), 수리전도도(C) 등 7개의 구성인자 별로 지하수 오염물질의 유입 및 이동성 등과의 상관성에 따라 가중치와 등급범위를 설정하여 곱한 값들을 합산하여 구한 DRASTIC 지수를 토대로 지하수의 상대적인 오염취약성을 평가한다.

그러나 DRASTIC 모델은 미국의 수리지질학적 환경에 적합하도록 개발된 것이므로 이 모델을 사용하는 세계 여러 나라들은 각자 자기나라의 수리지질학적인 특성에 맞는 수정 DRASTIC 모델을 사용하고 있다(Barry and Myers, 1990).

금번 조사에서는 지하수 오염 가능성을 예측하고 보다 효율적인 지하수 관리를 위해서 정성적인 평가방법인 DRASTIC 모델을 이용하여 연기지역의 지하수 오염취약성을 평가하였다. 우리나라의 대수층이 대부분 암반 대수층인 점을 고려하여 지하수의 유동이 잘 되는 파쇄대의 영향을 최대 반영하기 위하여 부가적인 인자인 선구조 밀도를 반영하여 분석하였다.

수정 DRASTIC 시스템의 평가절차는 <그림 6-13>과 같으며, 본 조사에서는 전술된 각종 성과를 기반으로 GIS 공간분석 기법에 의거 각 항목별 주제도면을 작성하고 이를 중첩하여 평가하였다.



<그림 6-13> 수정 DRASTIC 시스템 작업과정 흐름도

6.4.1. DRASTIC 시스템

DRASTIC 시스템은 1987년 미국 EPA와 NGWA(National Groundwater Association)에서 지하수 오염취약성의 정성적인 평가를 목적으로 개발한 것으로 오염물질은 강수에 혼합되어 지표에서 지하로 이동된다는 가정을 전제로 한 광역적인 예비 분석 시스템이다. DRASTIC 시스템에서 적용되는 기본 가정은 다음과 같으며, 구성 인자별 평가 기준은 <표 6-18>에 요약한 바와 같다.

- 1) 오염원은 지표 상에 위치
- 2) 오염물질의 지하유입은 강수량에 의존
- 3) 오염물질은 물과 함께 유동
- 4) 평가 대상 지역 면적은 0.4km² 이상

6. 지하수 수질 및 오염취약성 평가

<표 6-18> DRASTIC 평가 기준

평가항목	단위	등 급						가중치
1)지하수위 심도(D)	m	1.5미만 10	1.5-5 8	5-10 5	15-20 3	20-30 2	30이상 1	5(5)
2) 자연 함양량(R)	mm/년	50.8미만 1	50.8-101.6 3	101.6-177.8 6	177.8-254.0 8	254.0이상 9		4(4)
3)대수층 매질(A)		등급 범위			대표 등급			3(3)
· 괴상 셰일		1~3			2			
· 변성암/회성암		2~5			3			
· 풍화 변성암/화성암		3~5			4			
· 빙퇴석		4~6			5			
· 충상셰일사암,석회암호층		5~9			6			
· 괴상 사암		4~9			6			
· 괴상 석회암		4~9			6			
· 모래, 자갈		4~9			8			
· 현무암		2~10			9			
· 용식 석회암		9~10			10			
4)토양 매질(S)		등급 범위						2(5)
· 박층 또는 암반 노출		10						
· 자갈		10						
· 모래		9						
· 갈탄		8						
· 수축성/고형 점토		7						
· 사질Loam		6						
· Loam		5						
· 실트질 Loam		4						
· 점토질 Loam		3						
· Muck		2						
· 비수축성/비고형 점토		1						
5)지형 경사(T)	%	2미만 10	2-6 9	6-12 5	12-18 3	18이상 1		1(3)
6)비포화대 매질(I)		등급 범위			대표 등급			5(4)
· 압층(Confining Layer)		1			1			
· 실트질 점토		2~6			3			
· 셰일		2~5			3			
· 석회암		2~7			6			
· 사암		4~8			6			
· 충상 석회암 사암, 셰일		4~8			6			
· 실트,점토 섞인 모래,자갈		4~8			6			
· 변성암/화성암		2~8			4			
· 모래, 자갈		6~9			8			
· 현무암		2~10			9			
· 용식 석회암		8~10			10			
7)수리전도도(C)	m/일	0.2-2 1	2-7 2	7-16 4	16-23 6	23-46 8	46이상 10	3(2)
8)선형구조밀도(L)		0-0.2 1	0.2-0.4 2	0.4-0.6 3	0.6-0.8 4	0.8이상 5		1.5(1.5)

주) ()는 농약에 의한 오염취약성 고려 시의 가중치

※DRASTIC potential = $D_R \cdot D_W + R_R \cdot R_W + A_R \cdot A_W + S_R \cdot S_W + T_R \cdot T_W + I_R \cdot I_W + C_R \cdot C_W + L_R \cdot L_W$ (R:점수, W:가중치)

DRASTIC 지수는 지하수 오염에 대한 취약성과 민감성을 상대 평가하는 것이며 지하수의 오염도를 직접적으로 나타내는 것은 아니다. 일반적인 평가방법에서 DRASTIC 지수는 23~226의 범위에 있으며, 농업지역에서 농약에 의한 오염가능성을 고려할 경우에는 DRASTIC 지수는 23~256의 범위를 갖는다. DRASTIC 지수는 값이 클수록 상대적으로 지하수 오염 가능성이 높고, DRASTIC 지수가 작으면 지하수 오염 가능성이 상대적으로 낮음을 지시한다. DRASTIC 시스템은 지하수의 개발 및 보전 관리에 유용하게 활용될 수 있는 기초자료로서 지역단위의 토지이용, 수자원계획 수립, 지하수 정화와 원상 복구 및 기초환경 시설의 입지 선정 등에 필요한 정보의 제공이 가능하다

6.4.2. DRASTIC 시스템의 적용

과업지역에 대한 지하수 오염취약성 평가를 위해 300m×300m 격자망을 설정하고 GIS를 이용한 지형, 지질분석 및 '5. 지하수 부존 및 산출 특성의 성과로부터 8개 인자(선형구조 밀도추가)에 대한 기본 정보를 추출하였다. 과업지역의 특성을 고려하여 수정 DRASTIC 평가를 수행하였다. 각 인자에 대한 주제도면 작성 및 분석을 세론하면 다음과 같다

가. 지하수위 심도[Depth to Water Table]

지하수위 심도는 지표면에서 지하수면까지의 깊이로서 지하수위 심도가 클수록 지표 오염물질의 지하 유입 가능성이 적다 '5. 지하수 부존 및 산출 특성의 지하수 심도분포에 대한 분석성과를 기초로 6개 등급으로 분류하여 전술한 격자자료를 구축하였다. 조사지역은 전체적으로 DRASTIC지수 3 이상이며, 일부 산악지역이 1에 해당한다.

나. 자연 함양량[Net Recharge]

지하수 함양량은 강수량에서 증발산량과 직접 유출량을 뺀 값으로 본 조사에서는 고 양기상대의 강수량자료와 계기증발량 자료를 이용하여 실제 잠재증발산량을 계산하였으며 조사지역의 5개 유역별로 실시한 유량 실측자료를 기초로 SCS-CN을 이용하여 함양량을 산정 적용하였다. 조사지역을 6개 소유역으로 구분하여 유역단위로 산정한 지하수의 자연 함양량은 38.55mm~164.94mm의 분포를 보이며 DRASTIC 등급으로는 1,3,6에 해당한다.

다. 대수층 매질

DRASTIC에서 말하는 대수층은 유용하게 사용할 수 있을 정도로 충분히 많은 양의 물을 채수할 수 있는 지하 암석층으로 총 7개의 범위로 나누며, 각각에 대해서 등급이 설정되어 있다. 각 범위를 나누는 기준은 파쇄대, 절리면의 분포 정도, 분급 그리고 세립질의 양

등이다(Aller et al., 1987).

조사지역에 분포하는 대수층은 모래 자갈로 구성된 공극성의 충적 대수층과 화강암류 및 편마암류 등으로 구성된 열극성의 암반 대수층으로 대별된다 따라서 암반 대수층은 3, 8 등급의 2개 등급으로 나누었으며 충적층 대수층에서는 입도분포를 각각 반영하여 대수층의 매질을 평가하였다 등급이 높을수록 투수성이 높아 오염취약성이 높아짐을 의미한다

<표 6-19> 입도분포를 고려한 대수층 매질에 대한 평가 기준

대수층 매질	당초등급	본 조사에서 적용한 등급			
충적대수층(모래 및 자갈)	4-9	입도 분포를 고려한 조정등급			
		점토 및 실트	모래	모래자갈	자갈
		3	5	7	8

라. 토양 매질

토양 매질은 강수의 지하침투에 큰 영향을 미치는 지표피복인자로서 일반적으로 토양 단면에서 통기대(Vadose Zone) 또는 비포화대(Unsaturated Zone) 상부의 부식토양을 의미한다. 지하수 오염성 평가에서는 지표 상부 토양의 투수성 및 배수에 직접 영향을 미치는 토양의 입도, 점착력, 수축/팽창성 및 토양의 피복 두께 등이 중요하다 그러나 토양의 수문학적 SCS분류를 DRASTIC의 토양매질 평가에 직접 적용하는 데에는 다소 무리가 있으므로 '6.5 수문지질 특성평가에서 정밀토양도(1:25,000, 농림수산식품부)를 기초로 침투율, 배수 및 유출성 및 현장 입도분석성과를 고려하여 재분류한 토양분류성과를 기초로 토양매질을 평가하였으며 조정된 평가등급은 <표 6-20>과 같다.

<표 6-20> 토양매질 등급

토양매질	토양분류	등급
박층 및 암반노출	A	10
모래질	B	9
사질 Loam	C	6
점토질 Loam	D	3

마. 지형

지형경사는 지하수의 함양과 직접 유출을 지배하는 인자로서 지형 경사가 급할수록 유속이 높아져 유출율은 증가하고 함양율은 감소하는 반면에 완만한 경사지형에서는 반대

현상이 나타나며 이에 따라 지하수의 오염 가능성이 높아진다 GIS를 이용한 지형분석 성과를 토대로 지형경사에 따른 오염취약성을 평가하였다

바. 비포화대 매질의 영향

일반적으로 비포화대 매질은 토양층 하단에서 지하수면 상단 사이의 포화되지 않은 구간을 지칭한다. 따라서 물이 비포화대 구간을 따라 하부로 유동하는 과정에서 생물학적 분해, 중화작용, 여과, 화학반응, 흡착 및 분산 등이 발생된다 피압 대수층의 경우 대수층을 구속하는 압층은 대부분 오염물질의 대수층 내로 유입을 차단하므로 비포화대 매질의 영향이 가장 낮은 등급을 적용된다. 조사지역은 충적지하수의 대부분이 자유면 지하수 형태의 천층 지하수이다. 충적지하수의 경우는 충적층 구성물질에 따라 분류하였으며 암반대수층에 있어 비포화대 매질은 지질분류에 의해 영향을 나누었다

<표 6-21> 충적층 비포화대 매질 등급

비포화대 매질	당초등급	본 조사에서 적용한 등급
실트질 점토	2-6	3
실트·점토 섞인 모래 및 자갈	4-8	6
모래 및 자갈	6-9	8

사. 대수층의 수리전도도

대수층의 수리전도도는 충적층과 암반층으로 구분하여 금번에 실시한 대수성 시험 성과와 전술한 지하수 수리상수에 관한 표본우물 자료를 통해 수문지질별 대수층의 대표적인 수리전도도를 도출하여 확대 적용하였다 본 조사에서 적용한 수문지질별 수리전도도 및 평가 등급은 <표 6-22>에 정리된 바와 같다. 충적대수층은 전체적으로 10등급으로 분포한다.

<표 6-22> 수리전도도 등급

수문지질	수리전도도(m/일)	등급
미고결쇄설성퇴적층	5.5	2
트라이아스-쥬라기산성관입화성암	-	-
준편마암	0.24	1

아. 선형구조 밀도

영상자료상에 나타나는 선구조는 기반암의 구조를 반영하여 지표면상에 나타나는 선

(Hobs, 1904), 영상 또는 지역위에 나타나는 선형의 지형적 또는 색조상의 특징으로 구조적인 약대를 대표하는 것(Sabins, 1978), 기계적 혹은 화학적 풍화에 보다 민감한 균열대의 차별풍화에 의해 기인하는 것(Mollard, 1962)으로 주로 단층, 절리 및 습곡축 등의 지질구조선을 나타낸다. 단층과 절리 등과 관련된 선구조는 지하수 유동과 부존성을 결정하므로 지하수와 밀접한 관련이 있으나, 선구조의 연장성에 따른 지하수 부존성과 규모의 관계는 아직 정확히 규명되지는 않았다. 그러나 큰 규모의 선구조를 따라 그 주변부에 2차적인 균열구조가 우세하게 발달될 것으로 예상됨에 따라 지하수 부존성을 높여 줄 것으로 보인다 그리고 소규모의 선구조도 지역적으로 고르게 발달되고 이들의 교차점이 많을수록 지하수 산출량이 증가할 수 있다. 본 조사에서는 연장성을 고려한 선형구조밀도를 적용하였고 5개 등급으로 설정하였다.

6.4.3. 오염취약성 평가

본 절에서는 전술한 바와 같이 과업지역을 300m×300m 격자 단위로 분할하여 DRASTIC 시스템의 구성 인자별로 해당되는 오염지수를 산정하고 이를 합산하여 구한 격자 단위의 DRASTIC 지수를 토대로 조사지역의 오염취약성 분포도를 작성하였다 DRASTIC 분석에 따른 유역별 통계는 <표 6-23>과 같으며, 조사지역의 DRASTIC 지수는 48.5~175.5의 범위를 보이며 이에 따른 오염취약성 분류는 <표 6-24>와 같다.

전체적으로 과업지역의 북동부와 동부의 경계에 해당하는 고도가 높은 지역은 지수가 낮게, 그리고 중앙부에서 한강인근의 평지(충적층 분포지)로 갈수록 지수가 높게 평가되었다. 이는 지하수위 심도가 지형고도와 밀접한 관련을 가지고 분석됨에 따른 영향으로 생각된다. 또한 산지에서도 선형구조밀도가 높게 나타나는 지역에서 오염취약성 지수가 상대적으로 높은 경향을 보이고 있다.

행정구역별로는 일산동구 성석동, 설문동 및 식사동과 덕양구 내유동, 관산동, 원당동, 주교동, 대자동, 현천동, 도내동, 용두동, 삼송동, 행신동 등의 일부지역에서 오염취약성이 매우 높게 분석되었다. 반면, 덕양구 향동, 지축동, 벽제동, 선유동, 오금동 등은 오염취약성이 매우 낮은 것으로 분석되었다.

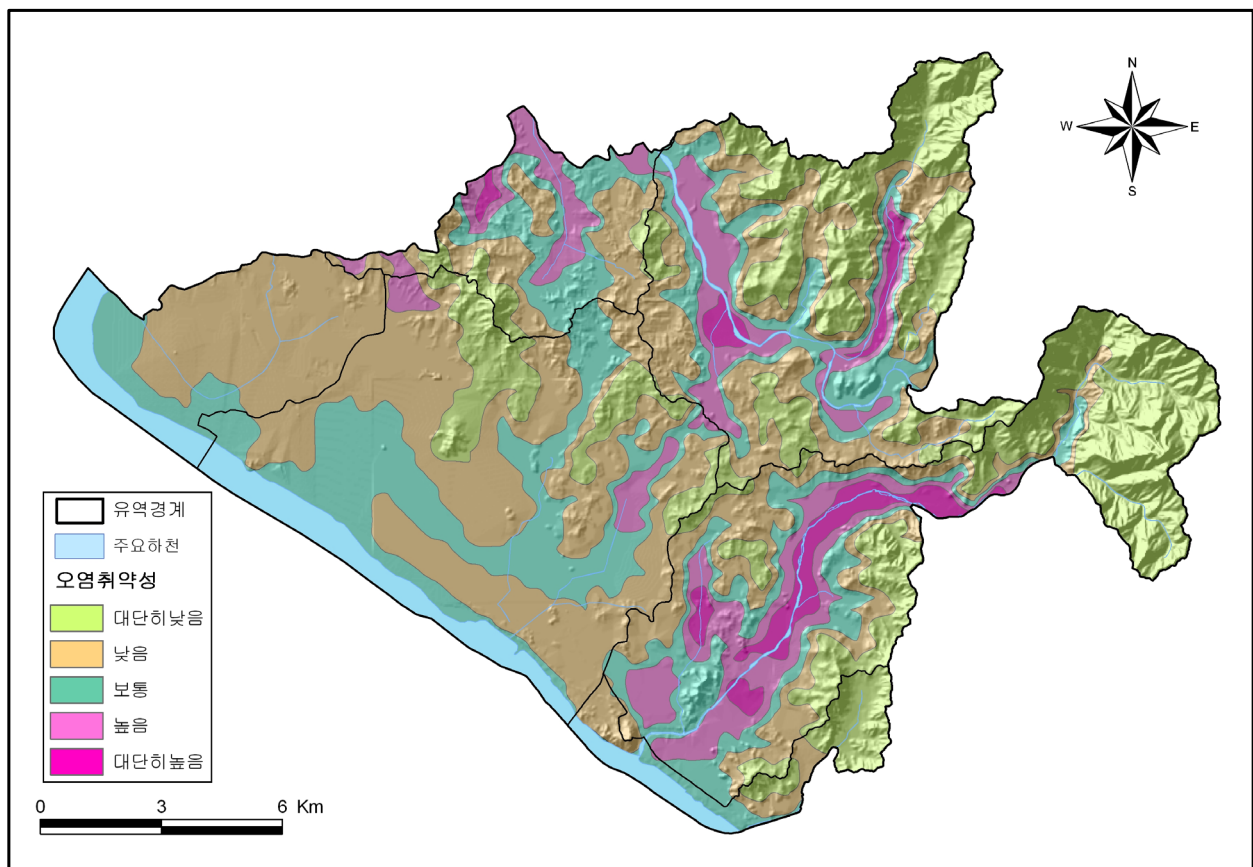
조사지역내의 상대적인 오염취약성 정도를 구분하기 위하여 지수에 따라 5단계로 오염취약성이 매우 높은 지역, 높은 지역, 중간 지역, 낮은 지역, 매우 낮은 지역을 구분하였다. 상대적인 오염취약성을 비교하기 위하여 Index-누가면적비를 도출하여 변곡점이 나타나는 4개 지점의 값을 경계로 오염취약성도를 분류하였다

<표 6-23> 유역별 오염취약성 지수

소유역	오염취약성 지수			
	평균	최대	최소	편차
창릉천	104.5	174.0	48.5	31.7
행주대교수위표	89.6	125.5	48.5	23.8
계양천	104.3	147.5	53.5	17.3
공릉천상류	100.9	175.5	65.5	28.4
공릉천하류	112.8	158.0	65.5	23.2
임진강합류점	100.0	115.5	69.5	12.5

<표 6-24> 오염취약성 지수

오염취약성	오염취약성 지수	분포면적(km ²)
대단히 낮음	90이하	67.60
낮음	90~110	95.39
보통	110~130	70.37
높음	130~150	24.56
대단히 높음	150 이상	7.93



<그림 6-14> 오염취약성 평가도

7. 지하수 개발 및 보전

7.1. 지하수 개발 유망지역

7.2. 지하수 보전 필요지역

7. 지하수 개발 및 보전

7.1. 지하수 개발 유망지역

본 절에서는 '5.5 수문지질특성평가 성과 및 본 조사의 각종 성과를 망라하여 충적지하수 및 암반지하수 개발유망지점을 도출하였다

7.1.1. 충적지하수 개발 유망지역

수문지질 특성평가 결과 수리특성이 좋은 지점이 4개 지구가 선정되었으나 오염취약성의 위험성을 고려한 지역과 개발가능량대비 이용량이 100%를 넘는 지역을 제외한 결과 대화지구 1개소가 충적 지하수 개발 유망지점으로 도출되었다 한강인근으로 충적층이 두껍고 평야가 넓게 발달한 지역으로 지하수 부존량에 대한 정밀조사를 거친 후 비상급수 및 보조수자원으로의 개발이 추천된다

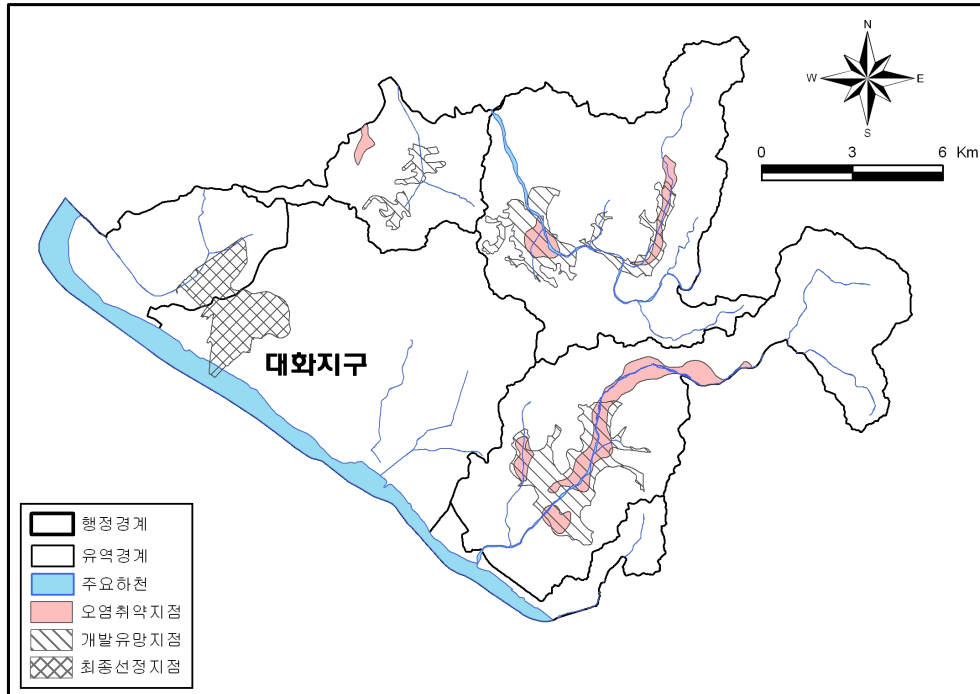
- 충적지하수 개발유망지점 : 1개 지역(대화지구)
 - 토양피복은 수문학적 SCS분류에 따라 A형과 C형이 주를 이루며, 토지이용은 대부분 농경지로 이용되고 있음.
 - 지형고도는 대부분 EL. 20이하의 저지대로 지형경사는 완만함
 - 흑운모편마암이 기반암으로 구성되어 있으며, 충적층 구성물질은 실트 및 모래가 주를 이루고 충적층 심도는 평균 15m이상 나타남.

7.1.2. 암반지하수 개발 유망지역

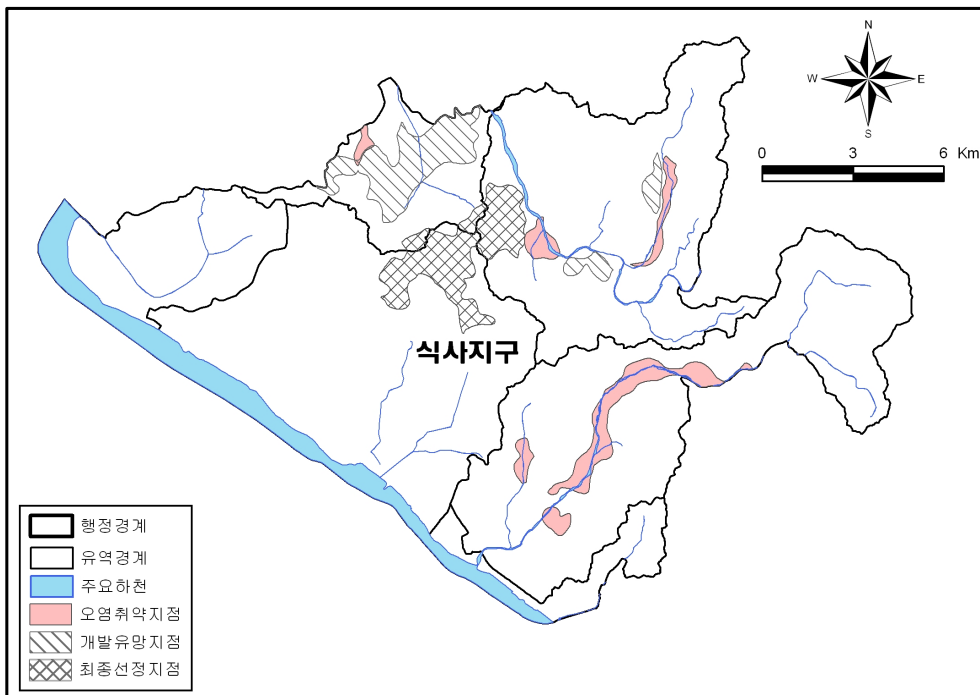
고양시는 지질 및 수문지질이 단순하고 단층 등의 대규모 지질구조의 발달이 미약하여 선형구조밀도 및 지형요소에 의해 지하수 산출성이 좌우되므로 암반지하수 개발 유망지점은 연장성이 좋은 선형구조밀도와 관련된 지역을 우선적으로 선정하였다 수리특성이 좋은 지점은 3개 지구가 선정되었으나 오염취약성의 위험성을 고려한 지역과 개발가능량대비 이용량이 100%를 넘는 지역을 제외한 결과 식사지구 1개소가 암반지하수 개발 유망지점으로 도출되었다.

- 암반지하수 개발유망지점 : 1개 지역(식사지구)
 - 토양은 수문학적 SCS분류에 따라 A형과 B형으로 구성되며, 토지이용은 농경지로 이용되고 있으며 주변산림은 밀도가 낮음.
 - 지형고도는 EL. 50~150m 정도이며, 지질은 흑운모편마암이 분포함.

- 소규모로 산재하는 N60°E방향과 N30°E의 선형구조들은 공통천방향과 평행한 N20°W방향과 교차하며 발달하는 것으로 선형구조밀도가 0.8이다.



<그림 7-1> 충적지하수 개발유망지점



<그림 7-2> 암반지하수 개발유망지점

7.1.3. 지하수 개발방안

본 절에서는 전술된 지하수 개발유망지점과 용수공급전망 및 가뭄피해를 고려하여 조사 지역의 지하수 개발 및 이용계획을 개략적으로 수립하였다

전술한 지하수 개발유망지점 중 조사지역의 상수도 보급율과 지하수 개발가능량 및 이용량에 따른 지하수 개발여유량을 고려하여 지하수 수량 및 수질 측면에서 개발 잠재력이 높은 지역을 선정하고 개발 및 공급지간의 인접성을 고려하여 지하수 개발방안을 수립하였다

<표 7-1> 지하수 개발방안

지역현황		개발방안			
지구명	대상지역	대상	형태	심도 (m)	예상개발량 (m ³ /일/공)
대화지구	일산동구 성석동, 설문동	충적지하수	우물군	20	120
식사지구	일산동구 식사동, 사리현동	암반지하수	심정	100	90

하천이나 충적층 발달이 미약한 도서지역의 특성상 충적지하수 개발을 위해서는 보다 상세한 수리지질학적 조사가 선행되어야 할 것이며 무리한 대형 관정 개발이나 소형 관정의 무분별한 이용을 자제해야 할 것이다. 그리고 향후 용수수요와 수리지질학적 조사를 병행해 연차적으로 지역단위 개발계획을 수립해 체계적인 수원개발에 의한 안정적인 용수수급에 만전을 기해야 할 것이다.

7.2. 지하수 보전 필요지역

7.2.1. 기본방향

지하수 보전관리의 기본적인 목적은 지하수의 개발 이용 과정 또는 주변 사회적 자연적 환경요건의 변화에 의하여 발생할 수 있는 여러 가지 장애현상으로부터 지하수자원을 사전에 보호함으로써 궁극적으로 지하수 이용의 안정성을 확보하고 장애 발생시 적절한 사후처리 대책을 수립, 시행하여 지하수환경을 원상복원 함으로써 지하수의 수원으로서의 기능을 회복, 유지시켜 후손에게 풍부한 양질의 지하수자원을 물려주는 데 있다

이에 따라 정부에서는 지하수 관리기본계획을 수립하여 다음과 같이 지하수 보전 및 관리를 위한 기본방향을 제시한 바 있다.

- 국가 지하수사업의 통합관리체계 구축

- 각 지역 실정에 적합한 지하수 보전관리 추진
- 지하수 오염방지를 위한 폐공 및 실패공 관리 철저
- 지하수 관측망 확충 및 지하수 자료의 종합관리 체계 구축
- 지하수관리 조직의 보강 및 교육훈련 강화

금번 고양시 지하수 기초조사에서는 앞으로 고양시에서 시행할 고양시 지하수관리기본 계획 수립에 필요한 기본 방향과 지침을 마련하기 위하여 유역단위로 제시한 지하수 관련 현황과 분석 결과를 행정구역 단위로 분류·정리하고 이를 토대로 지하수의 수량 수질 및 종합적인 측면에서 보전과 관리가 필요한 지역을 도출하여 지역 실정에 적합한 지하수 관리 방안을 제시하였다.

7.2.2. 지하수 수량관리

본 절에서는 지하수 개발가능량 연간 이용량, 지하수 이용률, 개발여유량 및 우물밀도 등을 종합하여 유역 및 세부 행정구역 단위별로 지하수 과다 이용·개발 지역을 도출하였으며, 도출된 지역에 대하여 수량관리 측면에서 지하수 관리 방향을 제시하였다

가. 지하수 개발·이용 과다지역 검토

본 항에서는 ‘유역별 지하수 이용현황과 ‘지하수 개발가능량 산정에서 도출한 유역 및 소유역별 지하수 개발가능량 연간 이용량, 지하수 이용률, 개발여유량 및 우물밀도 등을 종합하여 <표 7-2>에 정리하였다.

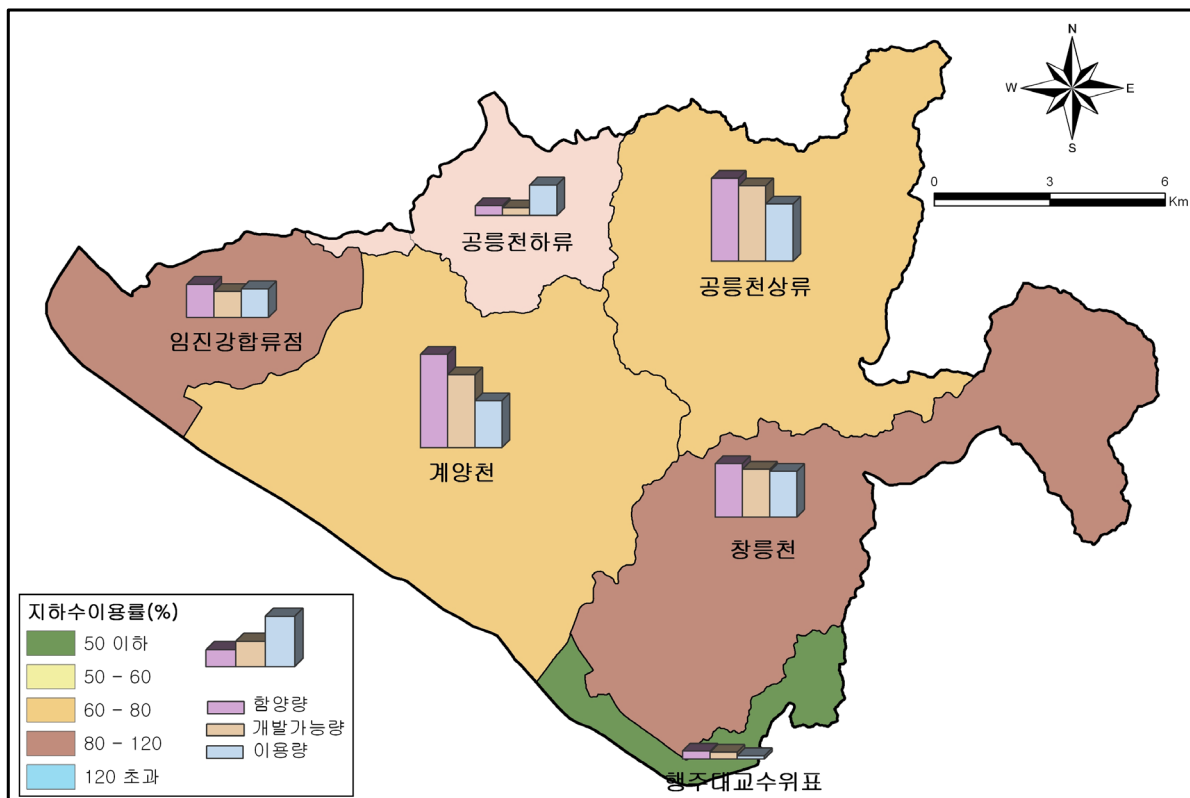
<표 7-2> 유역별 개발가능량·이용량 및 개발여유량 (단위 : 10³m³/년)

구분	면적(km ²)	수문총량	함양량	개발가능량	년이용량	이용률	개발여유량
총 계	267.31	343,266.2	42,921.0	36,197.8	31,702	87.6	4,495.8
임진강합류점	25.45	31,041.4	5,059.7	3,957.9	3,151	79.6	806.9
계양천	79.05	96,417.3	14,269.8	11,162.4	6,485	58.1	4,677.4
공릉천하류	21.11	25,747.9	1,467.6	1,148.0	3,785	329.7	-2,637.0
공릉천상류	63.6	84,009.2	12,685.4	11,527.1	9,151	79.4	2,376.1
창릉천	67.74	92,153.5	8,201.7	7,332.3	8,674	118.3	-1341.7
행주대교수위표	10.36	13,896.9	1,236.8	1,070.1	456	42.6	6,14.1

7. 지하수 개발 및 보전

<표 7-2>에 의하면 고양시의 수자원 총량은 $343,266.2 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 이며, 지하수 개발가능량은 $36,197.8 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 이다. 연간 지하수 이용량은 $31,702 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 이며, 이에 따라 지하수 개발 여유량은 $4,495.8 \times 10^3 \text{m}^3/\text{년}$ 으로 산정되었다. 지하수 이용률은 약 87.6%로 전국 평균 34.3%(2007 지하수조사연보, 국토해양부)에 비해 높은 편이다.

고양시의 지하수 개발·이용 특성을 행정구역으로 나누어 분석 정리한 결과는 <표 7-3>과 같다.



<그림 7-3> 유역별 지하수 이용률

<표 7-3> 행정구역별 개발가능량·이용량 및 개발여유량

(단위 : $10^3 \text{m}^3/\text{년}$)

구분	면적(km^2)	수문총량	함양량	개발가능량	년이용량	이용률(%)	개발여유량
총계	267.31	343,276.2	4,2921.0	36,197.8	31,702.0	87.6	4,495.8
덕 양 구	165.44	218,459.1	26,271.3	23,028.7	20,095.1	87.3	2,933.5
일산동구	59.09	73,721.0	8,768.4	6,998.6	7,715.4	110.2	-716.7
일산서구	42.78	51,086.1	7,881.3	6,170.5	3,891.5	63.1	2,279.0

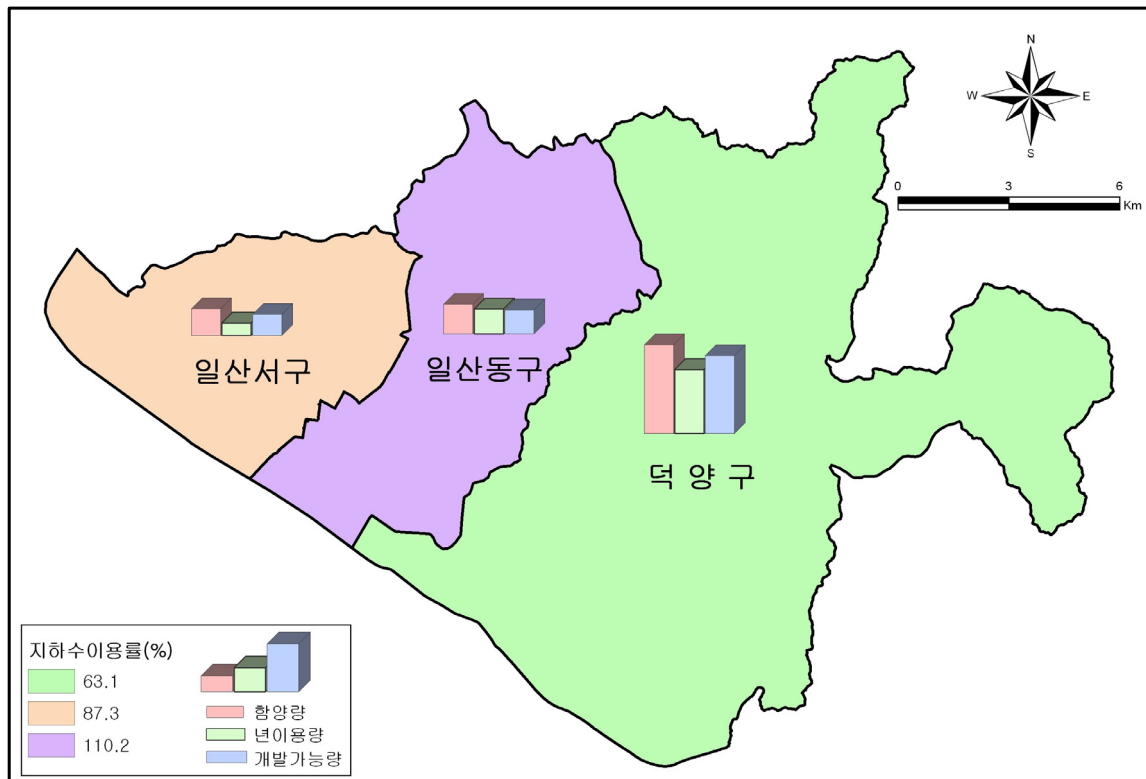
<표 7-3>에 의하면 구별로는 일산동구가 110.2%의 이용률을 보이고 있으나 동별로는 100%초과하는 동이 고양시 전체에 다수 분포하므로 광역적인 지하수 관리대책이 필요한 것으로 판단된다.

동별 지하수 과다 이용지역을 살펴보면 덕양구는 원흥동(277.6%), 삼송동(196.7%), 내곡동(180.5%), 도내동(176.8%), 행주내동(163.4%) 등이고, 일산동구는 설문동(346.1%), 성석동(287.2%), 문봉동(297.9%), 지영동(178.9%) 등이며, 일산서구는 가좌동(139.3%), 덕이동(142.3%)로 나타났으며 이들 지역에 대해서는 적절한 조치가 필요한 상황이다

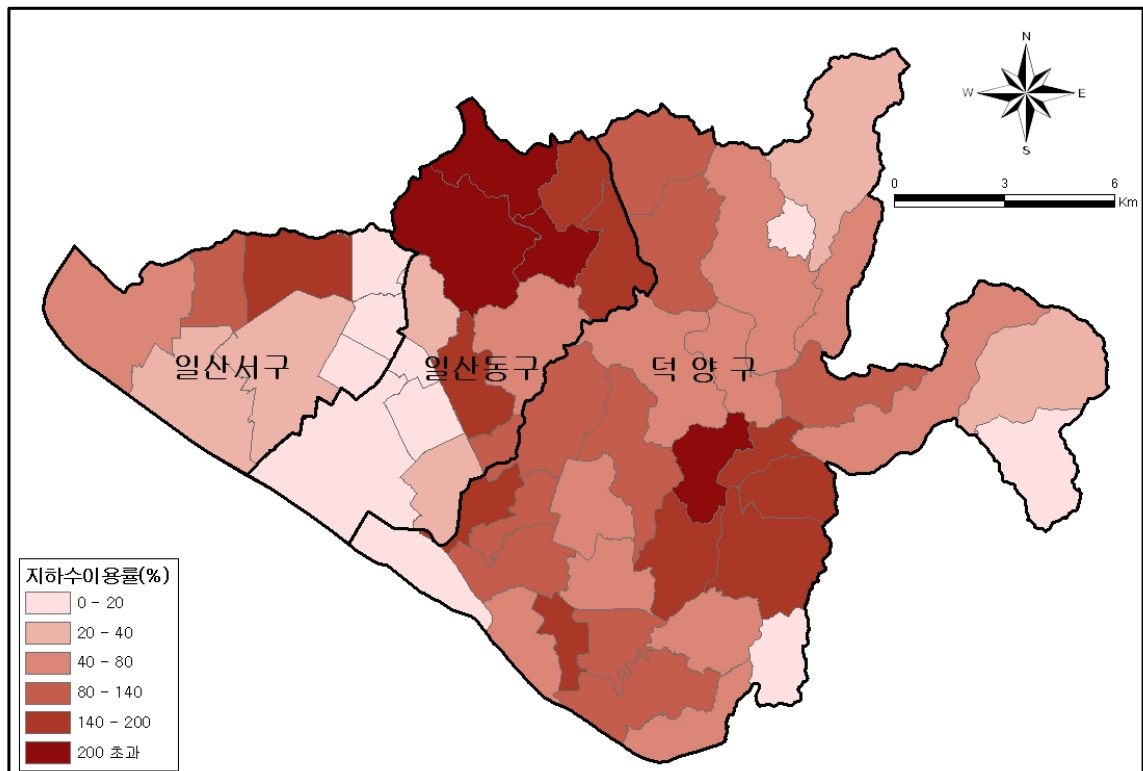
나. 지하수 수량 관리방안

기본적으로 고양시의 지하수 관리는 금번조사에서 구축된 지하수위 관측망을 기초로 지속적으로 지하수위 및 수질을 관측하고 관측자료를 토대로 지하수 장애 발생이 우려되는 경우 채수량 조절, 지하수 개발·이용 제한 등 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다 특히 상수도 취수원 및 지하수 과다 이용지역 등 주요지점에 대해서는 지하수 감시정을 설치하여 대규모 장기양수에 따른 영향을 계속 감시함으로써 지하수위 급강하, 지하수원 고갈, 오염물질 유입 등의 지하수 장애 요인을 사전에 예측하여 적절한 보호대책을 마련하여야 할 것이다

또한 지하수 이용량이 개발가능량을 크게 초과하는 지역을 대상으로는 정밀 수리지질 조사 및 장기 지하수 수위 관측을 실시하여야 하며 동지역에 지자체 관리가 가능한 보조관측공 설치와 활용을 적극 유도하고 설문동, 성석동, 문봉동, 원흥동 등 지역에 지하수 사용량을 제한하는 방안을 마련하는 것이 바람직하다. 이외에 상대적으로 높은 지하수 이용률을 보이는 지역을 대상으로도 광범위하고 지속적인 지하수 관측 및 감시가 필요하다



<그림 7-4> 행정구역(읍면)별 지하수 이용률



<그림 7-5> 행정구역(동)별 지하수 이용률

7.2.3. 지하수 수질관리

금번 조사의 잠재오염원 현장조사 성과와 오염취약성 평가를 이용하여 고양시의 지하수 오염 위험 유형을 4가지 유형으로 분리하여 행정구역별 잠재오염원 수를 집계하였다

이에 따르면 조사지역의 행정구역별 잠재오염원의 개소수는 다양한 범위를 보이며<표 7-4>에 정리한 바와 같다. 또한 지하수 오염취약성은 행정구역별로 오염취약성 지수의 평균치를 구하여 오염취약성을 구분하였으며 오염취약성 분류에 따른 행정구역 수는<표 7-4>에 정리한 바와 같다.

<표 7-4> 행정구역별 잠재오염원 분포 및 오염취약성 평가 지수 및 분포형태

잠재오염원			오염취약성평가		
등급	가중 개소수	행정구역수	등급	취약성지수	행정구역수
1	20 이상	9	I	대단히높음	-
2	15~19	9	II	높음	1
3	9~14	6	III	중간	12
4	4~8	11	IV	낮음	35
5	3 이하	18	V	대단히낮음	5

행정구역수		오염취약성 평가 등급				지하수 오염 위험 유형				
		I	II	III	IV	등급	I	II	III	IV
잠재 오염원 등급	1	-	-	3	6	1	유형1		유형2	
	2	-	-	2	6	2				
	3	-	-	-	6	3	유형3			
	4	-	1	5	5	4				
	5	-	-	2	12	5	유형4			

잠재오염원의 등급은 잠재오염원 수를 기준으로 1~5까지로 분류하였으며, 행정구역 별 정동별 오염취약성 점수의 평균값을 <표 7-4>의 기준에 따라서 I 등급에서 V 등급까지 구분하여 나타내었다. 이 두 가지 기준을 바탕으로 지하수 오염 위험 유형을 분류하였으며 유형1과 유형2는 잠재오염원이 집중된 유형으로 유형(1-II, 2-II)은 오염취약성 평가 결과 오염이 취약한 지역으로 수질에 대한 집중적인 관리가 필요한 지역이다

유형2(1-III, 1-IV, 2-III, 2-IV)는 오염취약성은 크지 않으나 상대적으로 오염사고가 발생할 확률이 높아 별도의 관리가 필요한 지역으로 선정하였다. 또한 유형3과 유형4는 잠재오염원 분포 밀도가 낮고 산재하는 등급으로 잠재오염원 등급이 3~4로 상대적으로 큰 지역은 유형3(3-II, 4-II)으로 잠재오염원 등급이 5로 낮은 지역은 유형4(5-I)로 구분하였다.

이에 따른 고양시의 오염 위험 유형은<표 7-5> 및 <그림 7-6>과 같다.

<표 7-5> 행정구역별 지하수 오염위험 유형

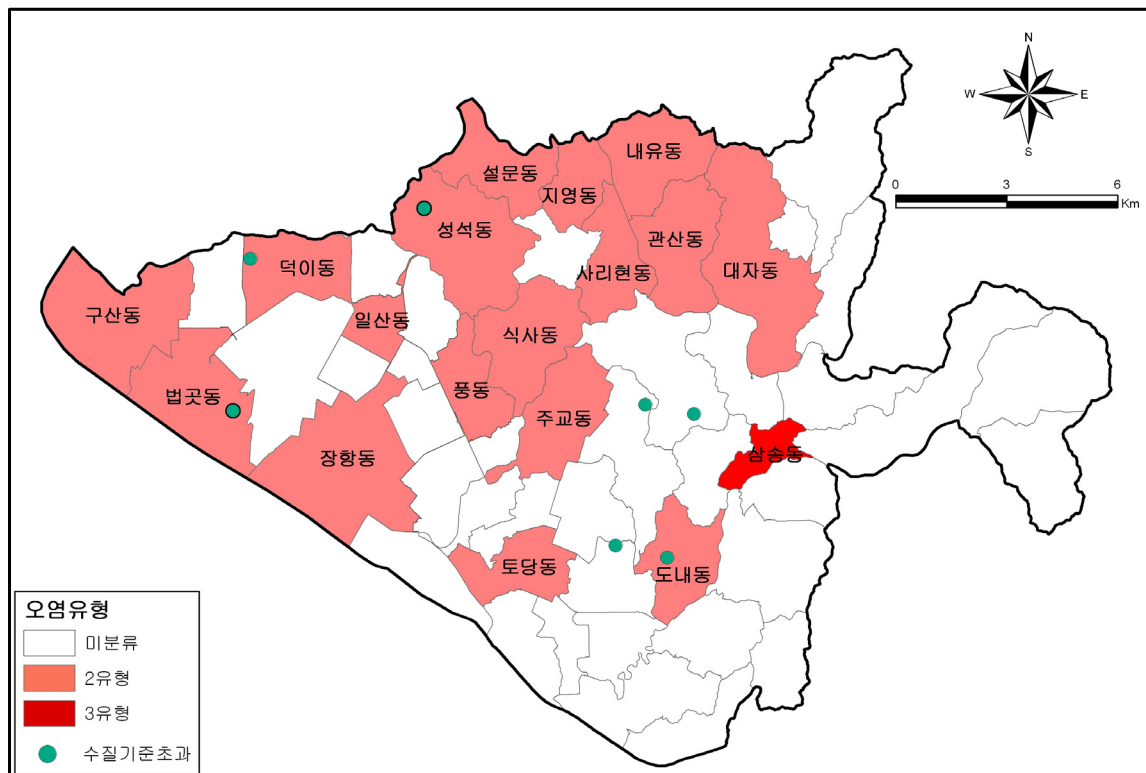
읍면	법정동, 법정리	오염위험 유형	잠재오염원 등급	오염취약성 평가 등급
덕 양 구	관산동	2	2	IV
	내유동	2	2	IV
	대자동	2	2	IV
	도내동	2	2	III
	삼송동	3	4	II
	주교동	2	2	IV
	토당동	2	1	IV
일산동구	사리현동	2	1	IV
	설문동	2	1	III
	성석동	2	1	III
	식사동	2	1	IV
	장항동	2	1	III
	지영동	2	1	IV
	풍 동	2	2	IV
일산서구	구산동	2	2	IV
	덕이동	2	1	IV
	법곶동	2	2	III
	일산동	2	1	IV

가. 지하수 수질 오염 우려지역 검토

본 절에서는 위에서 평가된 지하수 오염위험 지역과 금회 분석된 수질 결과를 종합하여 오염위험지역으로 분류된 지역에서의 수질이 각 지하수시설의 용도별 기준을 초과하는 지역을 인지하여 향후 집중적인 관리가 이루어 질 수 있도록 검토하였다 이미 제 6장에서는 수질분석을 실시한 80개소의 우물에 대한 분석 결과를 검토하여 용도별 기준에 따르는 수질 기준 적용 결과를 나타내었다

<표 7-6> 행정구역별 지하수 오염 위험 유형 및 지하수수질 분석결과

읍면	법정동	오염위험 유형	잠재오염원 등급	오염취약성 평가 등급	수질분석결과 기준초과항목
덕양구	관산동	2	2	Ⅳ	
	내유동	2	2	Ⅳ	
	대자동	2	2	Ⅳ	
	도내동	2	2	Ⅲ	질산성질소
	삼송동	3	4	Ⅱ	
	성사동	-	4	Ⅳ	질산성질소
	주교동	2	2	Ⅳ	
	원당동	-	3	Ⅳ	질산성질소
	토당동	2	1	Ⅳ	
	행신동	-	4	Ⅲ	질산성질소
일산동구	사리현동	2	1	Ⅳ	
	설문동	2	1	Ⅲ	
	성석동	2	1	Ⅲ	트리클로로에틸렌
	식사동	2	1	Ⅳ	
	장항동	2	1	Ⅲ	
	지영동	2	1	Ⅳ	
	풍동	2	2	Ⅳ	
일산서구	구산동	2	2	Ⅳ	
	덕이동	2	1	Ⅳ	트리클로로에틸렌
	법곶동	2	2	Ⅲ	수소이온농도
	일산동	2	1	Ⅳ	



<그림 7-6> 고양시 오염 위험 유형

오염유형이 높고 용도별 지하수 수질기준을 초과하는 수질관리 필요지역은 다음과 같다

- 덕양구 도내동(유형 2)
 - 유해물질인 질산성질소가 기준치를 초과하였으며 주변의 오염원에 대한 정밀조사 및 관리가 필요함
- 일산동구 성석동(유형 2), 일산서구 덕이동(유형 2)
 - 유해물질인 트리클로로에틸렌이 기준치를 초과하였으며 주변 지하수시설에 대한 오염관리가 필요함
- 일산동구 법곶동(유형 2)
 - 수소이온농도가 기준치를 초과하였으며 주변 지하수시설에 대한 오염관리가 필요함

상기 지역 이외에도 오염유형과 수질분석 결과를 참고하여 향후 발생할 수 있는 지하수 오염방지를 위해 대책을 수립하여야 한다 지하수는 지표수와 달리 일단 대수층 및 지하수가 오염되면 원상복구가 불가능하거나 복구에 많은 비용과 시일이 소요된다따라서 가장 경제적인 지하수 수질관리는 지하수 및 대수층을 오염원으로부터 철저히 차단되도록 사전에 보호하는 것이다.

나. 지하수 수질관리방안

일반적으로 지하수의 수질관리는 특정지역을 지하수 보전구역으로 지정하여 구역 내에서 지하수 오염원 및 오염 유발행위를 규제하는 광역적 관리방안과 각종 우물을 통한 지표의 오염물질이 대수층 내부로 유입되는 것을 방지하기 위한 취수정 보호대책 등 국지적인 관리방안 등이 있다.

이러한 대책과 함께 지속적으로 지하수 개발 및 이용현황을 파악하고 잠재오염원 및 지하수 오염유발 시설에 대한 관리와 정기적인 수질검사가 필수적이다또한 지하수 개발 이용에 따른 지하수 오염의 사전 방지를 위한 홍보활동 강화와 노후화된 우물의 원상복구 및 시설 개선등 체계적인 우물시설의 정비가 필요하다

<표 7-7> 유해물질 오염원별 지하수 수질관리 방안

오염원	오염기원	관리 방안
트리클로로에틸렌	금속세정제	오염대수층 정화계획 수립
질산성질소	화학비료, 축산분뇨, 생활오수	장기적인 수질 모니터링 오염원 상세규명

8. 결 론



8. 결 론

1. 고양시의 수리적 위치는 극남점이 북위 37°34'인 덕양구 현천동으로 남동쪽의 서울시와 남서쪽의 김포시의 경계지역이고 극북점은 북위 37°41'인 덕양구 벽제동이다. 또한 극동점은 동경 126°56'인 덕양구 효자동으로 양주군과의 경계지점이며 극서점은 동경 126°45'인 일산서구 구산동으로 파주시와 경계를 이루고 있으며 동서간/남북간의 연장거리는 각각 27.0km, 18.0km이다.
2. 최근 30년(1978~2007)간 서울기상관측소 기상자료에 의하면 고양시의 연평균기온은 12.4°C이고, 상대습도는 65.0%이며, 평균풍속은 2.3m/s로 나타났다. 소형증발량의 연평균치는 1085.0mm이고, 연평균강수량은 1409.5mm로 나타났으며, 6~9월에 연강수량의 72%가 집중하여 발생하였다.
3. 고양시에 용수이용 현황은 생활용수 이용량이 121,322천m³/년이고, 공업용수 이용량이 446천m³/년이며, 농업용수 이용량이 49,387천m³/년으로 총 용수이용량은 171,175천m³/년으로 나타났다.
4. 고양시 지하수 개발과 이용

1) 행정구역별지하수이용 현황

(단위 : 개소, 10³m³/년)

구분	총계		생활용		공업용		농업용		기타용	
	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
고양시	11,471	31,702	6,130	19,641	45	226	5,295	11,830	1	5
덕양구	7,191	20,099	3,015	10,705	25	126	4,150	9,263	1	5
일산동구	2,929	7,714	2,046	5,668	10	50	873	1,996	-	-
일산서구	1,351	3,889	1,069	3,268	10	50	272	571	-	-

2)유역별지하수이용 현황

(단위 : 개소, 10³m³/년)

구분	총계		생활용		공업용		농업용		기타용	
	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
합계	11,471	31,702	6,130	19,641	45	226	5,295	11,830	1	5
계양천	2,411	6,485	1,129	3,531	10	50	1,272	2,904	-	-
공릉천상류	3,174	9,151	1,494	5,177	7	35	1,673	3,939	-	-
공릉천하류	1,431	3,785	1,180	3,262	9	45	242	478	-	-
임진강합류점	1,090	3,151	907	2,764	4	20	179	367	-	-
창릉천	3,243	8,674	1,339	4,546	13	66	1,890	4,057	1	5
행주대교수위표	122	456	81	361	2	10	39	85	-	-

5. 고양시 유역현황

대권역	중권역		표준유역(유역)			
	유역명	코드	유역명	코드	면적(km ²)	구성비(%)
합 계	1개		6개		267.31	100.0%
한강	한강고양	1019	창릉천	101901	67.74	25.34%
			행주대교수위표	101902	10.36	3.88%
			계양천	101904	79.05	29.57%
			공릉천상류	101905	63.60	23.79%
			공릉천하류	101906	21.11	7.9%
			임진강합류점	101907	25.45	9.52%

6. 지형은 북서-남동으로 흐르는 한강에 의하여 넓은 하상과 충적평야가 발달하고 있고 북동-남서방향으로 갈수록 가파르지며, 동부가 서부에 비해 높은 산지를 형성하고 있고 서부지역은 낮은 구릉을 이루고 있는 노년기 지형이 발달하고 있다. 수계는 서부지역이 동부지역에 비해 잘 발달하며, 전반적으로 동쪽의 고산지대에서 서쪽방향으로 흐르는 수계를 형성한다.

7. 유역별 지형특성

유역명		지형 고도(m)				지형 경사(°)		
		평균	최대	최소	표준편차	평균	최대	표준편차
고 양 시		49.9	807.5	0.0	55.6	5.6	55.8	3.3
한강고양	창릉천(101901)	112.7	807.5	0.0	154.3	10.1	55.8	10.4
	행주대교수위표(101902)	30.2	176.0	0.0	33.3	6.5	36.2	7.6
	계양천(101904)	17.9	168.0	0.0	15.5	2.1	34.1	3.6
	공릉천상류(101905)	86.4	523.6	20.0	71.2	9.1	42.1	7.8
	공릉천하류(101906)	40.4	182.0	16.0	19.7	5.0	28.8	4.7
	임진강합류점(101907)	12.0	48.0	0.0	8.2	0.8	16.8	1.4

8. 고양시 일대의 지질은 크게 세 지역으로 구분할 수 있는데 기저부를 이루는 선캄브리아기의 변성암류(흑운모편마암, 미그마타이트질편마암, 화강암질편마암)가 전반적으로 넓게 저지대에 분포하고, 남동부지역에는 북동-남서방향을 경계로 중생대 화강암류(흑운모화강암, 맥암류) 및 시대미상의 반상화강암이 관입하여 고지대를 형성하며 이를 부정합으로 덮는 제4기 충적층이 한강변을 따라 남서부에 저지대 및 구릉지역에 넓게 분포하고 있다.
9. 선형구조 빈도분석과 길이분석 모두에 있어서 길이는 N40~70E 방향이 가장 우세하고 N20~30E가 부방향으로 나타나고 빈도는 N40~60E 방향이 가장 우세하고 N10~40W가 부방향으로 나타난다.

10. 고양시 지하수 기초조사 세부수리지질조사 내역

조 사 항 목	수량 및 회수	비 고
지하수 관측조사	140개소	단주기관측 80 장주기관측 140 자동수위관측 6지점
지표수 관측조사	2개소	지표수 유량, pH, 수온 및 전기전도도
전기비저항 탐사	수직-100m 15점, 50m-40점	충적층 3개소, 암반층 3개소
시추조사	2개소 (암반1, 충적1)	
착정조사	2개소 (암반1, 충적1)	
물리검층	2개소 (충적/암반착정 각 1개소)	공내영상촬영
대수성시험	14개소 (착정 2개소, 기존 12개소)	단계, 장기(24시간, 8시간), 회복시험
실내시험	10.개소 (표준관입시험 4개, 충적층시험 6개)	입도분석
수질분석	80개소(충적40개소, 암반 40개소) 분석시기 : 2007년 10월	수질관련 주요수질분석 26항목 이화학 분석: 18항목

11. 시추조사 결과

구분	공번	행정구역	지층구성(m)							SPT (회)
			점토	모래	풍화암	연암	보통암	경암	계	
총계			11.1	27.7	5.4	5.6	44.2	12.0	106.0	28
충적지하수	GYE16092	덕양구 화전동	4.8	16.2	3.7	1.3	-	-	26.0	16
암반지하수	GYE16094	덕양구 주교동	6.3	11.5	1.7	4.3	44.2	12.0	80.0	12

12. 수문지질단위별 면적분포를 보면 미고결쇄설성퇴적층이 가장 넓은 면적(50.45%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 준편마암(42.78%), 트라이아스기-쥬라기산성관입화성암(6.77%)의 순서로 분포하고 있다.

13. 수문단위의 유역별 면적분포는 미고결쇄설성퇴적층이 전체 분포 면적의 43.02%에 해당하는 58.01km²가 계양천유역내에 분포하며 임진강합류점유역과 공릉천상류 및 창릉천 유역에 각각 15.10 ~ 16.31%, 그 외의 유역에서 6.70%(공릉천하류)와 3.39%(행주대교수위표)의 분포양상을 보이며 조사지역 내 수문지질단위 중 분포면적 134.85km² (50.45%)로 가장 넓게 분포한다.

구분	미고결쇄설성퇴적층		트라이아스기-쥬라기 산성관입화성암		준편마암		유역합계	
	면적	비율	면적	비율	면적	비율	면적	비율
창릉천	20.36	15.10%	17.95	99.17%	29.43	25.74%	67.74	25.34%
행주대교수위표	4.58	3.39%	0.01	0.06%	5.77	5.05%	10.36	3.88%
계양천	58.01	43.02%	0.04	0.22%	21.00	18.36%	79.05	29.57%
공릉천상류	22.00	16.31%	0.10	0.55%	41.50	36.29%	63.60	23.79%
공릉천하류	9.03	6.70%	0.00	0.00%	12.08	10.56%	21.11	7.9%
임진강합류점	20.87	15.48%	0.00	0.00%	4.58	4.00%	25.45	9.52%
수문지질합계	134.85	100%	18.1	100%	114.36	100%	267.31	100.0%

주)비율 : 수문지질단위의 유역별 면적 백분율(해당유역의 해당수문지질면적/해당수문지질의 총면적×100)

14. 유역별 지하수위 변동특성

대수층	유역	지하수위(EL+m)			지하수위 변동(m)			비고
		평균	최대	최소	최대	최소	변동폭	
암반	임진강합류점	8.5	10.5	7.1	2.0	-1.4	3.4	
	공릉천하류	24.7	36.5	15.8	4.1	-4.7	8.8	
	공릉천상류	38.7	108.0	0.5	4.3	-4.7	9.0	
	계양천	10.0	27.2	0.6	3.5	-4.4	7.9	
	창릉천	8.6	37.9	-19.9	7.8	-19.8	27.6	
충적	임진강합류점	4.9	12.0	-34.0	6.3	-32.9	39.3	
	공릉천하류	26.9	36.6	12.4	1.9	-10.2	12.1	
	공릉천상류	43.3	79.4	25.5	0.7	-0.9	1.6	
	계양천	19.0	19.3	18.8	0.3	-0.2	0.5	
	창릉천	31.4	83.1	8.6	1.7	-2.5	4.1	
	행주대교수위표	12.7	13.0	12.4	0.3	-0.3	0.6	

15. 평수기 지하수위가 형성된 시기를 선정하고 지하수 등수위선도를 작성하여 ArcGIS의 공간분석통계기법(GeoSpatial Statistic Analysis)인 Universal Cokriging 기법으로 지하수수위를 모사하였다
16. GIS 공간분석 기법을 적용하여 평수기 지하수 수리경사도를 작성하여 조사지역의 함양-배출체계를 규명하였으며, 지하수 유동방향을 분석하였다
17. 함양, 중간 및 배출체계와 이에 따른 유동체계의 규모를 고려하여 조사지역을 8단계로 구분하고, 유동체계의 규모에 따른 함양배출의 양적인 측면을 고려하여 분석하였다. 또한, 조사지역의 평수기 지하수위 등수위선, 지하수 등심도선, 지하수 수리경사, 지하수 유동방향 및 지하수 함양배출체계와 지형기복상태, 주요하천 및 호수 등을 중첩 분석하여 고양시의 지하수 유동체계를 종합적으로 규명하였다
18. 수문지질 특성을 평가하기 위해 기상/수문, 지형, 지질, 지표피복 등 지하수 부존 및 산출을 지배하는 4대 요소에 대한 정량적인 산출특성분석 결과를 토대로 가중치와 배점을 설정하고 GIS기법을 적용하여 객관적으로 평가하였으며 이를 지하수 산출성 표본자료와 상관분석하여 수문지질특성에 따른 지하수 산출성을 도출하였다
19. 물수지분석, SCS-CN, 지하수위감소곡선법을 이용하여 고양시 지하수의 함양량과 개발가능량을 산정하였으며 그 결과 적용된 지하수 함양율은 13.3%로 분석되었다.
 - 32년 평균 강우량은 1,284.2mm/년, 수자원 총량은 343,266.2천m³/년, 10년 빈도 가뭄시 강우량은 1,016.8mm/년, 수자원 총량은 290,592.2천m³/년이다.
 - 지하수 함양량은 지하수위 강하곡선 해석법으로 산정된 함양량 42,921.0천m³/년을 적용하였다
 - 지하수 개발가능량은 10년 빈도 가뭄시 지하수위변동법에 의한 36,197.8천m³/년을 적용하였다.

구 분	유역면적 (km ²)	면적강우량 (mm)	수자원총량 (10 ³ m ³ /년)	지하수함양량		지하수개발가능량	
				10 ³ m ³ /년	%	10 ³ m ³ /년	%
고양시	267.31	1,284.2	343,266.2	42,921.0	13.3	36,197.8	10.5
임진강합류점	25.45	1,219.7	31,041.4	5,059.7	16.3	3,957.9	12.8
계양천	79.05	1,219.7	96,417.3	14,269.8	14.8	11,162.4	11.6
공릉천 하류	21.11	1,219.7	25,747.9	1,467.6	5.7	1,148.0	4.5
공릉천 상류	63.60	1,320.9	84,009.2	12,685.4	15.1	11,527.1	13.7
창릉천	67.74	1,360.4	92,153.5	8,201.7	8.9	7,332.3	8.0
행주대교 수위표	10.36	1,341.4	13,896.9	1,236.8	8.9	1,070.1	7.7

20. 대상지점의 지하수 용도별 수질기준을 적용하여 분석한 결과 생활용수 수질기준 초과 항목은 4개소로, 수소이온농도, 질산성질소, 트리클로로에틸렌이 기준을 초과하였고, 농업용수 수질기준 초과 항목은 3개소로 모두 질산성질소가 기준을 초과하였으며 먹는물 기준 수질항목에서는 대장균군수, 수소이온농도, 질산성질소, 암모니아질소, 트리클로로에틸렌, 탁도, 알루미늄, 아연, 망간, 철 항목이 각각 기준을 초과하여 검출되었다

기준초과항목	지하수 용도				비 고
	생활용수	농업용수	먹는물	계	
수소이온농도	1	-	1	1	
대장균군수	-	-	42	42	
질산성질소	1	3	12	16	
암모니아질소	-	-	2	2	
불 소	-	-	1	2	
트리클로로에틸렌	2	-	2	2	
탁도	-	-	20	20	
알루미늄	-	-	12	12	
아 연	-	-	7	7	
철	-	-	9	9	
망 간	-	-	9	9	
합 계	4	3	117	124	

21. 암반지하수-충적지하수 모두 경우 Ca,Mg-(Na+K)/HCO₃-Cl,SO₄와 Ca,Mg-(Na+K)/Cl,SO₄-HCO₃ 유형이 가장 우세하게 나타났다
22. Modified DRASTIC 기법을 이용하여 오염취약성평가를 실시하였으며 그 결과 지형고도 및 선형구조밀도와 연관되어 결과가 도출되었으며 지수는 48.5~175.5 범위를 보임.
23. 지하수 개발유망지점은 수문지질 특성평가 결과 수리특성이 좋은 지점을 선정하였으나 오염취약성의 위험성과 개발가능량대비 이용량이 100%를 넘는 지역을 제외한 결과, 충적지하수 개발유망지점은 대화지구 1개소와 암반지하수 개발유망지점 식사지구 1개소를 최종 선정하였다.
24. 지하수 개발가능량 지하수 이용량을 고려하여 유역별/행정구역별로 지하수 수량관리가 필요한 지역을 도출하였다. 유역별 지하수 이용률은 창릉천과 공릉천하류가 100%초

과 사용하고 있으며 행정구역별 지하수 이용률은 일산동구에서 100%를 초과하여 사용하는 것으로 이에 대한 수량관리가 필요한 상황이다

(단위 : 10³m³/년)

	구분	면적(km ²)	수문총량	함양량	개발가능량	년이용량	이용률	개발여유량
유역별	총 계	267.31	343,266.2	42,921.0	36,197.8	31,702	87.6	4,495.8
	임진강합류점	25.45	31,041.4	5,059.7	3,957.9	3,151	79.6	806.9
	계양천	79.05	96,417.3	14,269.8	11,162.4	6,485	58.1	4,677.4
	공릉천하류	21.11	25,747.9	1,467.6	1,148.0	3,785	329.7	-2,637
	공릉천상류	63.6	84,009.2	12,685.4	11,527.1	9,151	79.4	2,376.1
	창릉천	67.74	92,153.5	8,201.7	7,332.3	8,674	118.3	-1341.7
	행주대교수위표	10.36	13,896.9	1,236.8	1,070.1	456	42.6	6,14.1
행정구역별	총계	267.31	343,276.2	42,921.0	36,197.8	31,702.0	87.6	4,495.8
	덕 양 구	165.44	218,459.1	26,271.3	23,028.7	20,095.1	87.3	2,933.5
	일산동구	59.09	73,721.0	8,768.4	6,998.6	7,715.4	110.2	-716.7
	일산서구	42.78	51,086.1	7,881.3	6,170.5	3,891.5	63.1	2,279.0

25. 고양시 지하수 오염위험 유형을 잠재오염원 현장조사 성과와 오염취약성 평가를 이용하여 4가지 유형으로 구분하였고 행정구역별로 관리가 필요한 지역을 나타내었다.

읍면	법정동	오염위험 유형	잠재오염원 등급	오염취약성 평가 등급	수질분석결과 기준초과항목
덕 양 구	관산동	2	2	Ⅳ	
	내유동	2	2	Ⅳ	
	대자동	2	2	Ⅳ	
	도내동	2	2	Ⅲ	질산성질소
	삼송동	3	4	Ⅱ	
	성사동	-	4	Ⅳ	질산성질소
	주교동	2	2	Ⅳ	
	원당동	-	3	Ⅳ	질산성질소
	토당동	2	1	Ⅳ	
	행신동	-	4	Ⅲ	질산성질소
일산동구	사리현동	2	1	Ⅳ	
	설문동	2	1	Ⅲ	
	성석동	2	1	Ⅲ	트리클로로에틸렌
	식사동	2	1	Ⅳ	
	장항동	2	1	Ⅲ	
	지영동	2	1	Ⅳ	
	풍 동	2	2	Ⅳ	
일산서구	구산동	2	2	Ⅳ	
	덕이동	2	1	Ⅳ	트리클로로에틸렌
	법곶동	2	2	Ⅲ	수소이온농도
	일산동	2	1	Ⅳ	

9. 수문지질도

9.1. 개요

9.2. 기본현황도 및 수문지질도

9.3. 주제도

9. 수문지질도

9.1. 개 요

수문지질도란 지형도와 지질도를 기본도로 활용하여 지하수의 부존과 산출 특성 및 개발 이용에 관련된 제반 정보를 종합하여 도면화한 것으로 조사 종류와 정밀도 및 그 용도에 따라 기재 내용과 축적을 달리한다. 수문지질도에는 기본적으로 지하지질 분포 및 층서 지하수위 분포, 지하수의 유동 방향, 대수층의 수리적 특성, 지하수의 수질 특성 및 오염상태, 지하수의 부존 규모, 우물과 샘의 위치 등 지하수 관련 정보가 포함되어야 한다.

금번 고양시의 수문지질도는 전술된 지질 및 지하수위 분포상대 대수층의 수리특성, 수질과 산출 특성, 오염취약성, 지하수 개발 및 관리방안 등 지하수 관련정보의 분석성과를 바탕으로 국내에서 개발된 수문지질도 등을 참고로 하여 “수문지질도 제작 및 관리지침(2006, 국토해양부, 한국수자원공사)”에 따라 기본현황도와 주제도로 구분 작성하였으며, 지침에 따라 수문지질도의 작성 축척인 1/50,000으로 하였다.

<표 9-1> 수문지질도 구성

도면명	항 목	내 용
1. 수문지질도	1. 수문지질단위분류	· 지층시대, 경계, 암상, 지질구조, 유역분수계
	2. 지하수 수위/수질 관측 우물, 시험정, 국가지하수 관측소	· 우물번호, 우물형태, 우물심도/자연수위
	3. 지하수위	· 지하수위 등고선(EL.m), 지하수 유동방향
	4. 대수층 분류	· 공극형태, 지하수 산출성
	5. 지하지질	· 지층 수평/수직분포, 지하수 유동방향
	6. 지질구조	· 단층 및 추정단층
2. 지하수 유동체계도	1. 유역구분	· 6개유역
	2. 지하수위	· 지하수위 등고선(EL.m)
	3. 지하수 함양/배출	· 함양/중간/배출지역 구분 및 유동규모
	4. 지하수 유동방향	· 지하수 유동방향
3. 지하수 수질현황도	1. 지하수 수위/수질 관측 우물, 시험정, 국가지하수 관측소	· 우물번호, 우물형태, 우물심도/자연수위
	2. 지하수 수질현황	· Stiff Diagram, EC분포
4. 지하수 오염취약성도	1. 토양피복	· SCS 토양분류
	2. 지하수 오염취약성	· DRASTIC지수에 의한 지하수 오염취약성 평가
	3. 잠재오염원	· 잠재오염원 조사위치 산업단지 현황
5. 지하수 심도분포도	1. 지하수 수위/수질 관측 우물, 시험정, 국가지하수 관측소	· 우물번호, 우물형태, 우물심도/자연수위
	2. 지하수 심도	· 지하수위 등심도선
6. 지질 구조선 분포도	1. 지질구조선	· 단층 및 선형구조
	2. 선형구조밀도	· 선형구조밀도
	3. 암반지하수의 수리상수자료	· 우물심도, 양수량, 비양수량, 투수량계수

9.2. 기본현황도 및 수문지질도

9.2.1. 기본현황도

수문지질 기본현황도에는 기본적으로 조사지역의 수리수문 현황과 지질현황을 수록하여 각 대수층의 분포와 산출량 등 지하수의 부존 특성에 관한 사항을 수록함을 원칙으로 작성하였다.

<표 9-2> 기본현황도 수록 내용

구 분	기호 및 색깔
지형 및 지명	회색
수계(조사구역)	수계 : 청색 실선
유역경계	직경 1.5mm인 원을 2mm간격으로 연속적으로 표현
조사 및 관측공	우물 유형별로 기호를 달리 하여 황적색으로 표시
조사지역위치도	우측 상단 여백에 기입

지형도는 기본적인 요소 중의 하나로 지표지형과 도로 및 지명 등의 위치정보 뿐 아니라, 수계, 유역, 토지이용현황 등 기초적인 수문 정보를 제시해준다 이를 위해 국립지리원 발간 김포, 일산, 고양, 공항, 서울의 1:25,000 지형도를 기본으로 하고, 수치지도로 중부원점 좌표를 사용하여 회색으로 표시하였다

- 수계 : 하천, 농수로는 청색 선으로 표시하였다.
- 유역경계는 직경 1.5mm인 원을 2mm 간격으로 연속적으로 표현하였다.
- 조사공 및 관측공 : 금번 조사에서 실시한 지하수 수위 및 수질 관측 지점을 우물 형태 등에 따라 <표 9-3>과 같이 우물코드/기호를 달리하여 구분하였으며 동일한 황적색으로 표시하였다.

<표 9-3> 우물 구분코드 및 기호

우물코드		기 호	비 고	
구 분	우물형태구분			
우물 (지하수 수위/수질 관측지점)	조사용 관측공	채래식우물 D 관 정 W	①	
	조사시추/착정공	E	■	
	국가지하수관측망	M	Ⓜ	

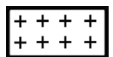
예) GY우물구분(W,G,D)일련번호 : GYW00001

9.2.2. 수문지질도(주도면)

<표 9-4> 수문지질도(주도면) 수록 내용

구 분	기호 및 색깔	비고
지형, 수계, 분수령 등 기본현황		<표 9-2>
지질암상 및 층서	- 지질 경계선, 지질구조 : 흑색선 - 수문지질 암상 : 회색 기호	<그림 9-1>
수문지질단위(대수층) 분류	진한 청색~엷은 청색(4단계), 진한 녹색, 엷은 녹색, 엷은 갈색, 진한 갈색으로 면처리	<그림 9-2>
지하수위 등수위선 및 지하수 유동방향	보라색선 및 화살표	
조사/관측공	- 우물 유형별로 기호를 달리 하여 황적색으로 표시 - 지하수 수위(EL.m)/우물 깊이(Depth.m) 병기	<표 9-2,3>

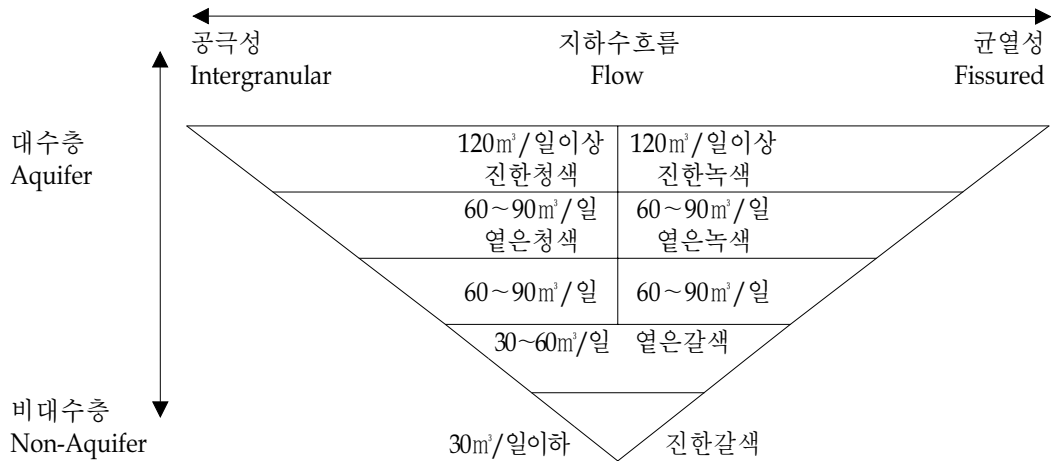
- 수문지질단위 : 조사지역의 지질단위를 수문지질 특성에 따라 미고결쇄설성퇴적층 트라이아스기-쥬라기산성관입화성암, 준편마암의 3개로 분류하였다.

지질시대 Geologic Age	지층명 Geologic Formation	수문지질단위 Hydrogeologic Units
제4기 Quaternary	 ~ 부정합 ~ unconformity 충적층 Alluvium	미고결쇄설성퇴적층 Unconsolidated Clastic Sediments
쥬라기 Jurassic	 - 관입 - Intrusion 흑운모화강암 Granite	트라이아스-쥬라기산성관입화성암 Triassic-Jurassic Acidic Intrusive Igneous Rocks
선캠브리아기 Precambrian	 흑운모편마암 Gneiss	준편마암 Orthogneiss

<그림 9-1> 수문지질단위 암상 및 층서와 지질기호

수문지질단위의 기호는 <그림 9-1>과 같으며 이를 이용하여 회색 면처리를 하였고 지질 경계와 지질구조는 흑색선으로 표시하였다

수문지질 특성평가에서 기상 지형, 지질, 지표피복 등의 인자를 고려하여 분석한 결과를 토대로, 암반대수층과 충적대수층 각각의 대수층을 분류하고 분석된 예상산출량을 함께 표시하였다.



<그림 9-2> 대수층의 분류

- 지하수 등수위선 : 본 조사에서 1년간 실시한 80개소의 지하수 수위관측성과와 6개소의 자동관측 성과를 종합하여 평수기 지하수위에 해당하는 2007년 5월의 지하수위에 대해 지하수위 등수위선을 작성하고 등고선 단계는 10m, 15m, 30m, 40m, 50m, 60m 로 하여 보라색 선(0.8point)으로 표시하였다.
- 지하수 유동방향을 보라색 선(0.8point) 및 화살표로 작성하였다.
- 지하수 관측공의 우물코드와 기호는 <표 9-3>과 같으며, 평수기의 지하수 수위(EL.m)와 우물깊이(Depth.m)를 병기하였다.
- 지질단면도 : 기존의 지질도 및 현장지질조사 자료를 토대로 한 방향의 단면선을 설정하여 지질단면도를 작성하고, 이를 기본도의 하단 여백에 부속도면으로 수록하였다. 단면도의 축적에 해당하는 scale bar를 우상단에 기입하였고, 단면도의 수직축적은 과장하여 표현하였다.
- 단면선에 절단되는 하천은 파랑색, 지질구조선은 흑색선(0.5point), 지질단위는 <그림 9-1>의 범례를 따라 주 도면과 삽입도면을 일치시켰고 단면상에 지하수의 2차원 유동 방향을 표기하였다.

9.3. 주제도

9.3.1. 수질현황도

<표 9-5> 수질현황도 수록 내용

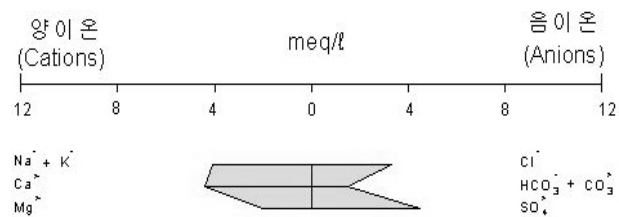
구 분	기 호 및 색 깔	비 고
지형, 수계, 분수령 등 기본현황		<표 9-2>
지하수 수질 관측공	- 우물 유형별로 기호를 달리하여 황적색으로 표시 - 지하수 수위(EL.m)/우물깊이(Depth.m)병기	<표 9-6>
전기전도도 분포	오렌지색 등농도선(0.8point)으로 표시	
수질분석결과	주황색 면처리	<그림 9-3>

- 지하수 수질관측공: 금본 조사에서 2007년 9월에 지하수 수질시료를 채취해 이화학분석을 실시한 80개소를 아래 <표 9-6>과 같이 표시하였다.

<표 9-6> 수질시료채취 우물 구분코드 및 기호

우물 코드			기 호	비 고
구 분	우물 형태구분			
우물 (지하수 수질시료 채취지점)	조사용 관측공	채 래식우물 D		
		관 정 W		
	조사시추/착정공	E		
	국가지하수관측망	M		

- 전기전도도 : 금번 간이지하수 수질측정망 80개 지점에서의 전기전도도 측정 결과를 토대로 전기전도도의 분포를 오렌지색 등농도선(0.8point)으로 표시하였다.
- 수질분석결과 : 80개소의 우물에서 실시한 양이온 및 음이온 분석결과를 <그림 9-3>와 같이 Stiff Diagram을 작성하여 시험정 중앙에 주황색으로 면처리하여 표시하였다



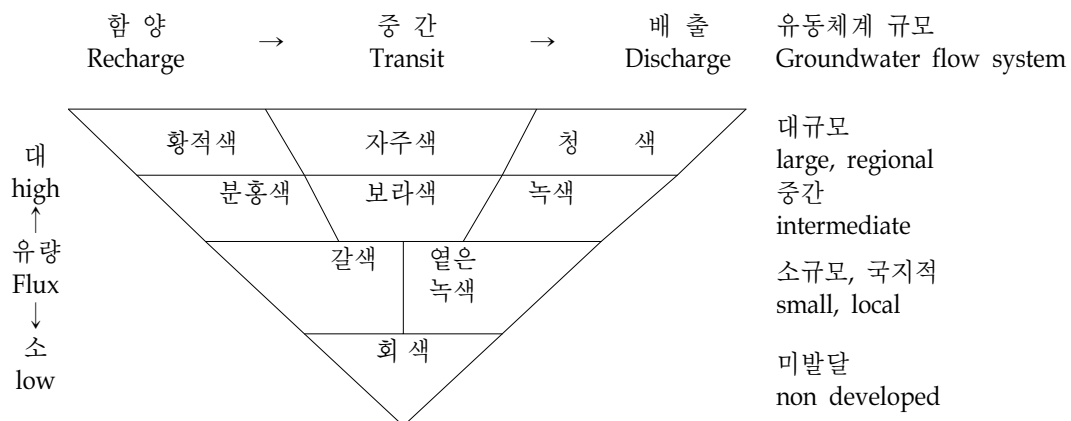
<그림 9-3> 수질 Stiff Diagram

9.3.2. 지하수 유동체계도

본 과업에서는 지형 고도, 경사, 고도차, 수계의 영향을 분석한 지형평가결과를 바탕으로 지하수위 등심도 분포, 동수경사 등을 종합하여 함양 중간 및 배출지역을 도출하였다. 또 유동체계의 규모는 소유역권 단위로 유량을 추정하고 대규모 단층 등 지질구조의 영향을 고려하여 판단하였다.

<표 9-7> 지하수 유동체계도 수록 내용

구 분	기 호 및 색 깔	비 고
지형, 수계, 분수령 등 기본현황		<표 9-2>
지하수 유동체계	- 함양, 중간, 배출지역을 유동규모에 따라 분류 - 적색, 자주색, 청색, 분홍색, 보라색, 갈색, 녹색, 연록색, 옅은회색으로 먼처리	<그림 9-4>
지하수 등수위선 및 유동방향	보라색 선 및 화살표	



<그림 9-4> 지하수 유동체계 구분 및 색상 기준

- 지하수 등수위선 : 본 조사에서 1년간 실시한 80개소의 지하수 수위관측성과와 6개소의 자동관측 성과를 종합하여 평수기 지하수위에 해당하는 2007년 5월의 지하수위에 대해 지하수위 등수위선을 작성하고 등고선 단계는 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 40m, 50m, 60m로 하여 보라색 선(0.8point)으로 표시하였다.
- 지하수 유동방향을 보라색 선(0.8point) 및 화살표로 작성하였다.

9.3.3. 지하수 오염취약성도

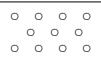
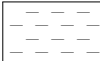
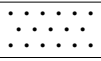
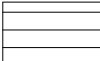
- 오염취약성 : DRASTIC 시스템을 고양시의 지질 및 수리적 특성을 고려하여 수정 보완하여 사용하였다.
- 오염취약성 평가 결과를 토대로 오염 취약성을 “대단히 높음”, “높음”, “중간”, “낮음”, “대단히 낮음”의 5개 등급으로 분류하여 색깔로 면처리하여 표현하였다

<표 9-8> 지하수 오염취약성도 수록 내용

구 분	기 호 및 색 깔	비 고
지형, 수계, 분수령 등 기본현황		<표 9-2>
지하수 오염취약성(DRASTIC)	- 오염취약성을 대단히 높음~대단히 낮음까지 5단계로 분류 - 주홍색, 담홍색, 노란색, 연두색, 진한녹색 면처리	
토양분포	- 토양형을 수문학적 SCS 토양형으로 분류 - 회색 기호로 면처리	<표 9-9>
잠재오염원	잠재오염원을 기호로 표시	<표 9-10>

- 토양 분포 : SCS 분류기준을 적용하였다

<표 9-9> 토양분류 기호

SCS 토양분류	기호	비고	SCS 토양분류	기호	비고
Type A		Highest infiltration rate	Type C		Moderately low infiltration rate
Type B		Moderately high infiltration rate	Type D		Lowest infiltration rate

- 잠재오염원 : 조사된 주요 잠재오염원은 세차장 주유소, 축산단지, 기타-특정수질유해물질, 기타-유해화학물질 등 5가지로 구분하여 표시하였다

<표 9-10> 잠재오염원의 분류 기호

구분	기호	대상	구분	기호	대상
세차장			기타-특정수질유해물질		
주유소		유류관련 판매소	기타유해화학물질		
축산단지		각종 축산농가 등			

9.3.4. 지하수 심도분포도

지하수 심도분포도는 지하수 등심도 분석에 대한 결과를 토대로 지형도에 지하수위 등심도선을 기호와 선으로 표시하고, 본 조사에서 실시한 지하수위 관측지점을 전술한 <표 9-3>에 따라 함께 도시하여 작성하였다.

<표 9-11> 지하수 심도분포도 수록 내용

구 분	기 호 및 색 깔	비 고
지형, 수계, 분수령 등 기본현황		<표 9-2>
지하수 등심도선	보라색 실선	
지하수위 관측공	- 우물 유형별로 기호를 달리하여 황적색으로 표시 - 지하수 심도(GL.m)/우물깊이(Depth.m)병기	<표 9-3>

9.3.5. 선형구조 분포도

선형구조 및 선형구조 밀도는 금번 조사에서 추출한 선형구조를 적색실선으로 표시하였다. 선형구조의 연장성을 고려한 선형구조밀도를 단계적으로 면처리하였다

지질구조와 연관성이 높은 암반지하수를 대상으로 금번 조사에서 실시한 대수성시험 자료 및 기 수행된 지하수 관련 조사의 수리상수를 종합하여 우물개발심(GL.m), 양수량(m^3 /일), 비양수량(m^3 /일), 투수량계수(m^2 /일) 항목을 표시하였다.

수문지질단위 : 조사지역의 지질단위를 수문지질 특성에 따라 미고결쇄설성퇴적층 트라이아스기-쥬라기산성관입화성암, 준편마암의 3개로 분류하였다.

<표 9-12> 선형구조 분포도 수록 내용

구 분	기 호 및 색 깔	비 고
지형, 수계, 분수령 등 기본현황		<표 9-2>
선형구조 밀도	열은 청색에서 짙은 청색으로 단계적으로 면처리	
선형구조	적색 실선	
암반지하수의 수리상수 자료	우물심도 양수량, 비양수량, 투수량계수를 병기	

주 의 사 항

1. 본 보고서는 고양시가 발간한 「고양시 지하수 기초조사 부록 I : 조사편」입니다.
2. 본 보고서의 내용을 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 발행처와 사전 협의를 하여야 하며 무단복제를 금합니다.

발 간 등 록 번 호

71-3940000-000080-01

수문지질도 등록번호

HG-2008-GY

고양시 지하수 기초조사 부록 I : 조사편

- ☐ 발행기관 : 고양시
- ☐ 발 행 일 : 2009년 8월
- ☐ 발 행 처 : 고양시 상하수도사업소 맑은물보전과
경기도 고양시 일산서구 대화동 2320
TEL : (031) 929-4193
FAX : (031) 929-4200