

제 1 차년도
중간보고서

제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구

A Study of Artificial Groundwater Recharge
in Cheju Area

연 구 기 관
농 어 촌 진 흥 공 사
1995. 12.

농 립 수 산 부



제 출 문

농림수산부 장관 귀하

본 보고서를 “제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구” 과제의
중간보고서로 제출합니다.

1995. 12. .

주관연구기관명 : 농어촌진흥공사

총괄연구책임자 : 이 종 선

연 구 원 : 김 병 도

 " : 이 기 철

 " : 김 영 업

협동연구기관명 : 제주대학교 해양연구소

협동연구책임자 : 윤 정 수

요 약 문

I. 제 목

제주지역지하수 인공함양에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

한반도의 최남단에 위치한 제주도는 전국 년평균 강수량 1,300~1,400mm를 30%이상 상회하는 1,800~1,900mm의 강우를 기록하고 있으나 지형·지질 특성상 약 110회의 화산활동에 따라 투수성 지층이 넓게 분포하며 한라산을 중심으로 동서방향 74km, 남북방향 32km인 타원형의 형태로 급경사를 이루고 있다. 이러한 특성상 많은 강우량은 많은 양의 지하유입(44%)과 또한 하천에서의 빠른 유출이라는 2중 성격을 내포하고 있다. 그러나 년강우량의 58% 이상이 6~9월의 4개월 동안 집중적으로 내리는 실정을 감안하고 투수속도가 빠른 지층이라는 점을 감안하면 실제 지하로 유입되는 강우량은 이보다 적다고 판단할 수 있으며 일부 해안지역에서는 대수층으로의 해수침입이 관찰되어 지하수에 염분(Cl^-) 함유량의 과다로 인한 생활용수로 활용이 어려운 실정이다. 이러한 실정을 감안하여 제주지역 지하수 함양량을 증대시키고 염수침입에 따른 고염도화 현상을 방지할 수 있는 연구개발의 필요성이 대두되었으며 이러한 공법이 적용될 수 있는 성과가 나

타난다면 제주지역의 가뭄해소 및 염수 침입방지와 수자원 이용·관리 측면에 크게 기여할 것이며 가뭄에 어려움을 겪고 있는 육지부에 대하여도 장기적인 용수확보 측면에 크게 기여하게 될 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 제주지역의 풍부한 강우를 지하에 인공적으로 함양시켜 지하수 포장량을 증대시키고 담수체의 확대에 따른 해수침입 억제 효과를 확인할 수 있도록 조사지역에 대한 지형·지질조사, 강우시 하천에 유출되는 유출량을 지하에 유입시킬 수 있는 유입공을 설치하고 지하에 유입된 지하수에 의한 지하수 포장체 변화여부를 확인하기 위한 관측공을 설치하고 3차원 지하수 유동모델링을 사용하여 인공함양에 의한 대수층의 지하저류 증대방안의 효과 여부를 규명하는데 있다. 또한 염수침입에 따른 고염도화의 진행여부를 확인하기 위하여 대수층별 수질분석과 지하수 함양에 따른 주변지역의 토양특성 변화를 확인하는데 있다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 조사지역은 해안변에 위치하여 조석의 영향을 매우 심하게 받고 있는 지역이다. 따라서 1차년도에 시행한 조사는 조석의 영향을

고려하지 않은 대수층의 수리상수산출 및 지하수위 변화만을 파악하였으므로 기대에 미흡하다고 판단된다. 그러나 2차년도 조사계획에 포함된 조석수위관측과 장기·단계별 양수시험시 지하수 수리상수가 정확하게 산출된다면 본 조사지역과 유사한 제주도 해안지역의 지하수 함양과 염수침입 억제에 관하여 기대할 만한 성과를 거양할 수 있을 것으로 판단된다.

목 차

1. 과제명	9
2. 연구개발사업목표	9
가. 최종 연구개발 사업목표	9
나. 당해년도 연구개발 사업목표	12
3. 계획대비 진도표	15
<진도설명>	15
가. 중산간지역 하천별 홍수유출량검토	17
나. 지구선정 및 지하수 유입공설치	17
다. 장기관측망 관측조사와 연계한 함양효과분석	18
라. 지하수모델링 기법에 의한 지하수포장 예측분석	19
4. 주요 연구개발 사업내용 및 중간결과	20
가. 중산간지역 하천별 홍수유출량조사	20
(1) 수문 및 기상	20
(2) 지 형	33
(3) 하계망분석	35
(4) 지 질	41
(5) 하천유역의 질리계분석	49
(6) 토양조사	51
(7) 하천유출량 및 함양량조사	59

나. 지구선정 및 지하수 유입공설치	72
(1) 지하수 인공함양을 위한 유입공설치	72
(2) 함양효과 관측을 위한 관측공설치	75
(3) 대수층시험 및 수질검사	78
다. 장기관측망 관측조사와 연계한 함양효과분석	120
(1) 조사지역의 정천 및 이용현황조사	120
(2) 지하수위조사	123
(가) 제주도 지하수의 부존형태	123
(나) 지하수위 변동분석	126
(다) 인공함양에 따른 지하수위 변동분석	127
라. 지하수모델링 기법에 의한 지하수포장 예측분석	136
(1) 모델링 구축을 위한 자료수집 및 현장조사	141
(2) 지하수 유동모델구축	142
(3) 강우와 증발산량 입력	144
(4) 관측정에서의 수위관측자료 검토	146
5. 기대되는 성과	149
6. 문제점 및 건의사항	150
7. 기타사항	151

농수산 기술개발사업 중간보고서

1. 과제명 : 제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구

2. 연구개발 사업목표

가. 최종 연구개발 사업목표

세계적인 기상이변에 따른 가뭄과 홍수, 지구온실화 등으로 우리나라는 온 국민이 '93~'95년 극심한 가뭄으로 농·공·생활용수 등의 부족으로 매우 어려운 실정에 있었으며 이러한 자연재해를 극복하기 위하여 처절한 투쟁을 전개하였으나 장기적인 안목에서 이에 대처할만한 방안은 인간의 능력을 초월하고 있을 뿐이었다.

한반도의 최남단에 위치한 제주도는 전국 년평균강우량 1,300~1,400mm를 30% 이상 상회하는 1,800~1,900mm의 강우량을 기록하고 있으며 지형·지질 특성상 수회(약 110회)의 화산활동에 따라 투수성 지층이 넓게 분포하며 한라산(표고 1,950m)을 중심으로 동서방향 74km, 남북방향 32km인 타원형인 형태로 급경사를 이루고 있다. 이러한 특성상 많은 강우량은 많은 양의 지하유입(44%)과 또한 하천에서의 빠른 유출이라는 2중적인 성격을 내포하고 있다. 그러나 년강우량의 58% 이상이 6~9월의 4개월동안 집중적으로 내리는 실정을 감

안하고 투수속도가 빠른 지층이라는 점을 감안하면 실제 지하로 유입되는 강우량은 이보다 적다고 판단할 수 있으며 일부 해안지역에서는 대수층으로의 해수침입이 관찰되어 지하수에 염분(Cl^-)함유량의 과다로 인한 생활용수로의 사용이 어려운 지역이 발생하고 있다.

이러한 실정을 감안하면 매년 증가하는 각종 용수와 UR에 대응할 수 있는 고소득 작물재배에 필요한 청정용수 등의 증가와는 반대현상인 이상가뭄으로 인한 제주지역 지하수 함양량의 감소와 해수침입에 따른 고염도화 피해를 방지하기 위하여는 지하수를 인공으로 함양시켜 지하수 포장량을 증대시킬 수 있는 방안에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

지하수를 인공으로 함양시키는 데에는 여러가지 시설물들이 필요하겠으나 지역여건과 경제적측면(공사비와 유지관리비 등)을 고려하여 하천에 유입공을 굴착하여 강우시 일시에 유출되는 강우를 지하에 함양시킬 수 있는 공법으로 채택 하였으며 이러한 공법채택으로 함양효과가 가시화 되면 제주지역의 가뭄해소 및 염수침입방지와 수자원 이용·보전·관리에 크게 기여할 것이며 가뭄에 어려움을 겪고 있는 육지부에 대하여도 장기적인 용수확보 측면에서도 크게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

다음 <표 2-1>은 이러한 목표를 달성하기 위하여 필요한 조사 항목별 추진 목표이다.

<표 2-1> 최종연구개발사업 목표.

연구 목표	설 계 내 용
○ 관련자료 수집 및 연구계획 수립총괄	<ul style="list-style-type: none"> - 관련자료 수집분석 - 연구방향설정 - 연구업무별 업무분장 - 연구계획진행 총괄
○ 중산간지역 하천, 홍수유출량 조사	<ul style="list-style-type: none"> - 제주지역 기상자료분석 : 기온, 강수량(강우, 강설), 풍속, 습도 - 동부지역 지형·지질조사 : 지형분류, 경사 및 표고분석, 조사 지역 및 주변지역의 지질학적특성 - 물수지분석 - 강수량분석 - 유출량분석 - 함양량분석
○ 지구선정 및 지하수 유입공설치	<ul style="list-style-type: none"> - 인공함양공설치 지구선정 - 지하수 유입공설치 - 지하수 산출상태조사 : 지하수 분포상태, 주대수층의 심도 및 지질, 용천수, 용출지점의 지질구조, 대수층의 유형별 지하수 산출량평가. - 대수층시험 : 투수량계수산출, 저류계수, 비양수량, 영향권예측
○ 장기관측망 관측 조사와 연계한 함양효과 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 조사지역의 정천현황 및 이용현황조사 - 지하수위조사(조사공 및 기존 관측조사공) - 조사지역 상부의 오염원 현황조사 - 강우함양에 따른 함양효과 분석
○ 지하수모델링 기법에의한 지하수 포장변화 예측분석	<ul style="list-style-type: none"> - 기존자료를 활용한 조사구역의 모델링활용으로 최적지구선정 - 대수층시험 결과에 따른 적정함양공수산출 - 함양에 따른 지하수포장체 변화가능성 예측 및 효과분석
○ 대규모 지하수 함양공법제시	<ul style="list-style-type: none"> - 연구결과 종합분석 - 최적의 함양공법 개발제시 - 염수침입 억제를 위한 개발심도 및 적정양수량 산정 - 타지역 인공함양 가능성 검토

나. 당해년도 연구개발 사업목표

지하에 부존되어 있는 물이라고 해서 모두 지하수라 할 수는 없다. 정호를 통해 사용가능량의 물을 투수시킬 수 있는 능력을 가진 고결 및 비고결암내에 부존된 물을 지하수라 할 수 있다. 또한 지하수는 어떤 곳에서나 부존 될 수 있는 것은 아니다. 고로 지하수탐사란 사용가능량의 지하수가 부존되어 있는 지역을 여러가지 조사 및 탐사법을 이용하여 찾는 수단을 의미한다. 이와 같이 지하수를 찾는 방법은 가장 과학적이고 합리적인 지식을 동원한다고 하더라도 지하수를 포함하고 있는 암석 자체의 성질을 파악하지 못한다면 소기의 목적을 달성할 수 없을 것이다. 따라서 가장 기본적으로 지하수를 찾아내기 위하여는 다음과 같이 조사를 선행하여야 할 것이다.

(1) 정확히 표시할 수 있는 水文地理地質圖를 작성하여 암석의 지하분포상태를 규명하여야 한다. 특히 지질구조면에 중점을 두어 이들 암석이 지질적인 면에서 오래전에 地壓力의 영향을 받아 지하수가 잘 투수될 수 있는 구조적인 성질을 내재하고 있는지 여부를 알아두어야 한다.

(2) 기존 정호에 대한 자료수집 및 조사를 시행한다. 즉 조사지역 내에 기 설치된 정호에 대한 제반자료를 수집하여야 한다. 기존 정호의 심도, 위치, 지하수면의 지표하심도, 채수량, 지하수의 온도, 대수층의 종류, 정호의 형태, 정호의 직경, 계절변화에 따른 지하수위의 변동에 관한 사항을 기재하여야 한다. 이와 같은 자료를 수집시에는 암석시료, 지하수가 부존된 지층, 대수층의 투수능력, 각 지층마다의 자연

수위의 지표하 심도, 대수성 시험자료, 각 층에서의 채수가능량, 대수성시험시의 지하수위강하 등을 최대한 확보하여야 한다.

(3) 기존 정호의 지하수위심도와 지하수위 측정지점의 표고를 구하여 지하수위의 해발표고를 구한다. 상기 자료를 활용하여 지하수위 중 동일한 표고를 나타내는 지점을 서로 연결하여 地下水位等高線圖 (Ground Water Table Map)를 작성한다. 이러한 지하수위등고선도는 지하수를 부존하고 있는 대수층의 지표하심도를 나타낼 뿐만아니라 지하수의 이동방향을 제시하므로 지하수조사에는 매우 중요한 자료이다.

이와 같은 조사결과에 의한 보고서와 수리지질도 및 지하수위등고선도를 이용하여 지하수를 개발할 수 있는 지역을 찾아낼 수 있으며 어떤 종류의 물을 어느정도 개발가능한 가를 알아낼 수도 있다.

조사목적이 여하하든간에 상기와 같은 조사결과는 차기에 시행될 사업을 위해서 뿐만이 아니라 후에 시행가능한 대·소규모 용수개발에 확고한 기초자료가 될 것이다. 또한 대수층에서의 지하수유출 및 대수층으로의 지하수유입에 관한 자료를 파악하여야 한다. 즉 대수층에 정호를 설치하여 지하수를 채수하기 이전에는 수문순환과정에 따라 대수층으로 물의 유출 및 유입현상이 평형을 이루고 있으나 일단 지하수를 채수하면 그 평형이 일시에 깨져 유입량보다 유출량이 증가되어 새로운 평형상태를 이루려면 충전현상이 더 크게 일어나든가 자연유출량이 감소되어야 한다. 그러므로 지하수를 채수해야 하는 지역에서는 지하수탐사를 시행하기 이전에 수문평형에 관한 요소를 확정하여야 한다. 그외 지하수조사의 가장 직접적이고 정확한 방법으로는 조사대상지점에 시험시추를 실시하여 각 지층으로부터 시료를 채취한 후 이를 감정하여 지질주상도를 작성하여 지하에 분포 발달된 지층의 수

리성을 파악할 수 있다. 이렇게 가장 기초적이며 일반적인 지하수 조사방법을 활용하여 금번에 시행하게 될 “제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구”에 필요한 기초자료를 획득하고자 1차년도 조사항목을 다음<표 2-2>와 같이 설정하여 조사에 착수하게 되었다.

<표 2-2> 당해년도 연구개발 사업목표

연구 목표	설 계 내 용
○ 중산간지역 하천별 홍수유출량 검토	<ul style="list-style-type: none"> - 조사구역 반경 1km를 포함하는 지역의 지표지질조사, 박편제작 및 현미경 관찰 - 토양조사 - 인공함양량조사 - 하천유출량조사
○ 지구선정 및 지하수 유입공설치	<ul style="list-style-type: none"> - 지하수 인공함양을 위한 유입공설치 (계획 3공, 실적 4공) - 함양효과 관측을 위한 관측공설치(2공) - 대수층시험 및 수질검사
○ 장기관측망 관측조사와 연계한 함양효과 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 조사지역의 정천 및 이용현황조사 - 지하수위조사(관측조사공 및 주변지역 기존 관측조사공)
○ 지하수모델링 기법에 의한 지하수포장 예측분석	<ul style="list-style-type: none"> - 모델링 구축을 위한 자료수집 및 현장조사 - 지하수유동 모델구축 - 강우와 증발산 입력 - 관측정에서의 수위관측자료 검토

3. 계획대비 진도표

구 분 연구개발내용	연구 개발 기간(월)												진도 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
중산간지역 하천 홍수 유출량조사						—	—	—	—	—	—	—	100
지구선정 및 지하수 유입공설치			—	—	—	—	—						100
장기관측망관측 조사와 연계한 함양효과 분석	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
지하수모델링 기법에 의한 지하수포장 예측분석							—	—	—	—	—	—	100
총괄진도													100

(당초계획 - - -, 진도 ———)

<진도설명>

(1) 중산간지역 하천홍수 유출량조사 : 지하수 유입공이 설치되어 있는 신천리 천미천지역을 중심으로 반경 1km 이내의 지표지질조사를 완료하고 지표지질 조사시 채취한 암석시료의 광물성분 파악을 위한 박편에 대한 현미경 관찰과 또한 인공함양 이후에 토양에 함수비

증가로 인한 토양성분 비교를 위한 현재의 토양조사 및 유출량과 함양량에 대한 조사분석이 시행.

(2) 지구선정 및 지하수 유입공설치 : 강우시 하천을 통하여 유출되는 강우를 인공함양 시킬 수 있는 유입공과 함양된 유입량에 의해 지하수위 변화를 측정할 수 있는 관측공을 선정하고 동부지역에서 유역이 가장 크며 장비투입이 용이한 천미천 하부에 조사지역을 선정하여 유입공(4공, 140m), 및 관측공(2공, 100m)을 굴착하였습.

(3) 장기관측망 관측조사와 연계한 함양효과 분석 : 천미천에 설치된 관측공과 유입공 주위에 분포되어 있는 관정에서의 함양효과를 분석하기 위하여 주변지역 정천현황과 이용현황 상태를 조사하였으며 기존의 관측공으로 활용하고 있는 지구와 연계하여 신설 관측공 1개소와 기존 관측망 지구에서는 자동관측기를 설치하여 1시간에 1회씩, 신설 관측공 1공에서는 2회/1주씩 수위변화를 측정하고 있음.

(4) 지하수모델링 기법에 의한 지하수포장 예측분석 : 신천리 지역의 지하수 인공함양효과를 분석하기 위하여 실제 현장의 수리조건을 수학적 수치모델화하여 실제 현장의 지하수 현상을 반영토록 구축하였다. 또한 강우나 양수 또는 함양에 따른 지하수 유동변화를 수치모델내에서 분석하여 보므로써 실제 현장에서의 지하수 유출입량 변화에 따른 대수층의 변화를 예측하여 인공함양에 의한 대수층의 지하수 저류 증대방안의 효과여부를 규명 중에 있음.

가. 중산간지역 하천별 홍수유출량 검토

지하수를 개발하거나 조사를 위한 지구선정을 하는데 있어서는 조사지역을 포함하는 주변지역의 지형지질, 수문 및 기상자료를 일차로 수집하여야 하며 이에따라 지하수 인공함양공 설치를 계획하고 있는 천미천 일대의(반경 1km) 지표지질조사시 관찰된 대표암석에 대한 시료를 채취하고 광물의 성분, 분포상태, 생성과정 등의 분석을 위한 현미경 관찰을 실시하였다.

水文에서 가장 중요한 요소로 작용할 수 있는 기상현황(강우량, 온도, 바람)에 대하여 조사를 실시하였으며 함양공이 설치된 천미천의 유입량 및 유출량이 검토되었다. 또한 지하수의 이동 통로가 되는 토양의 성질은 지하수의 유입과 축적이 이루어지는 것으로서 토양의 특성이 중요한 인자로 작용할 수 있을 것으로 판단되며 향후 지하수 인공함양에 따른 토양성분의 비교검토를 위하여 토양조사가 실시되었다.

나. 지구선정 및 지하수 유입공 설치

최종 연구목표에 밝혔듯이 지하수를 인공으로 함양하고 해수침입을 방지하기 위한 유입공은 지하수의 부존성이 희박하고 해수의 침입으로 인한 담수의 염수화로 생활용수 사용이 어려운 지역에 설치되어야 한다. 동부지역에서 유역이 가장 크고 해안에 인접하여 상기 조건들이 충족될 수 있는 천미천에 설치토록 계획하였다. 또한 본 지역

은 기오염(염수화)이 진행중인 지역으로서 강우시 하천유출에 의한 오수의 유입이 있다 하더라도 하부 지역에 기존의 관정들이 전무한 상태로서 오염에 대한 우려도 제거될 수 있었다.

이러한 조건들을 감안하여 강우시 하천을 통하여 유출되는 강우를 인공함양시킬 수 있는 유입공과(4공 140m) 유입된 강우에 의한 함양효과를 확인할 수 있도록 유입공의 상·하부에 2공의(100m) 관측공을 설치하였다.

다. 장기관측망 관측조사와 연계한 함양효과 분석

지하수위 자료는 지하수 포장체의 규모, 대수층의 성격과 능력, 지하수 유동방향 판단 및 대수층변동 예측 뿐만아니라 총체적인 지하수 거동파악을 통한 지역별 지하수 개발가능량을 설정하는데 필수적인 기본자료가 된다. 단, 이러한 지하수위 자료는 수문·기상조건, 양수 등에 따라 년중 끊임없이 변화하므로 단기간에 측정된 자료보다는 건기·우기를 통해 장기적이며 연속적인 수위관측이 필요하다.

천미천에 설치된 인공함양공에서의 함양효과를 관측하기 위하여 함양공의 상·하류부에 각각 1공(공당 심도 50m)의 관측공을 설치하였으며 제주도 장기관측망 조사사업 조사가 진행되고 있는 관측지구(D-31 하천지구) 1지구를 선정하여 본 연구사업과 연계하여 조사를 실시하였다.

금번에 설치한 관측공(관측 A공)은 자동수위관측기를 설치하여 관측공이 완료된 이후부터 1시간에 1회씩 연속적으로 수위를 계속 측정하고 있으며 D-31(하천)지구 역시 본 조사 시행 이전부터 자동수위 관측기에 의한 수위관측을 지속하고 있다. 관측 B공은 1주일에 8시간 씩 수위관측을 실시하고 있으며 상기 3공에서의 관측된 자료에 의해 수위변동을 파악하였다.

라. 지하수모델링기법에 의한 지하수포장 예측·분석

지하수 Model을 사용함으로써 지하수의 효율적 관리양상, 효과의 예측, cost와 Benefit 등을 예측할 수 있으나 이는 그 예측의 값이 어느정도 실제 환경과 일치되느냐에 따라 Model의 가치가 인정될 수 있다. 그러므로 Model화가 효과적으로 짜여진다면 지하수자원의 관리를 위해 최적의 예측방법이 될 수 있다.

예측의 목적을 위해 Modeling을 사용할 때 정확한 실제 자료가 필수적이며 또한 System화 할 수 있는 변형의 이론적 근거가 Model의 결정적 역할을 한다. 마찬가지로 본 조사지역에서 지하수 인공함양 효과를 예측·분석 하기 위하여 실제 현장의 수리조건을 수학적 수치모델화하여 실제 현장의 지하수현상을 반영토록 구축코자 하였다. 또한 강우나 양수 또는 함양에 따른 지하수 유동변화를 수치모델내에서 분석하여 봄으로써 실제 현장에서의 지하수 유출입량 변화에 따른 대수층의 변화를 예측하여 인공함양에 의한 대수층의 지하수증대방안의 효과 여부를 규명하고자 하였다.

4. 주요 연구개발 사업내용 및 중간결과

가. 중산간지역 하천별 홍수유출량 검토

본 조사지역에 위치하고 있는 천미천의 홍수시 유출량 검토를 위하여 다음과 같은 순서로 조사를 진행하였다.

(1) 수문 및 기상

(가) 위치

천미천 하류의 인공함양지역은 제주도 남제주군 성산읍 신천리, 표선읍 하천리 상동부락에 위치하고 있다. 지리적으로는 동경 127° 50' 47", 북위 33° 20' 45"에 위치하며 조사지역 주변에는 달산봉, 풍남동굴, 표선해수욕장 등이 분포하고 있다(그림 4-1).

(나) 일반적인 기후특성

제주도는 유라시아 대륙의 동단에 위치하고 있어 대륙동안의 기후적 특성이 잘 나타난다. 즉 계절에 따라서 대륙성과 해양성의 기후가 뚜렷하게 구분되어 나타난다. 또한 전면이 바다로 둘러싸여 있으며 중앙부에는 해발 1,950m의 한라산이 위치하고 있으므로 제주도 근해의 해류, 지형등이 복잡하게 기후인자로 작용한다. 조사지역을 포함하는 성산지역의 기후는 W. Koppen의 구분에 의하면 비교적 연중 습윤하고 여름에 고온인 온대습윤기후(cfa) 지역에 해당한다.

(다) 기온

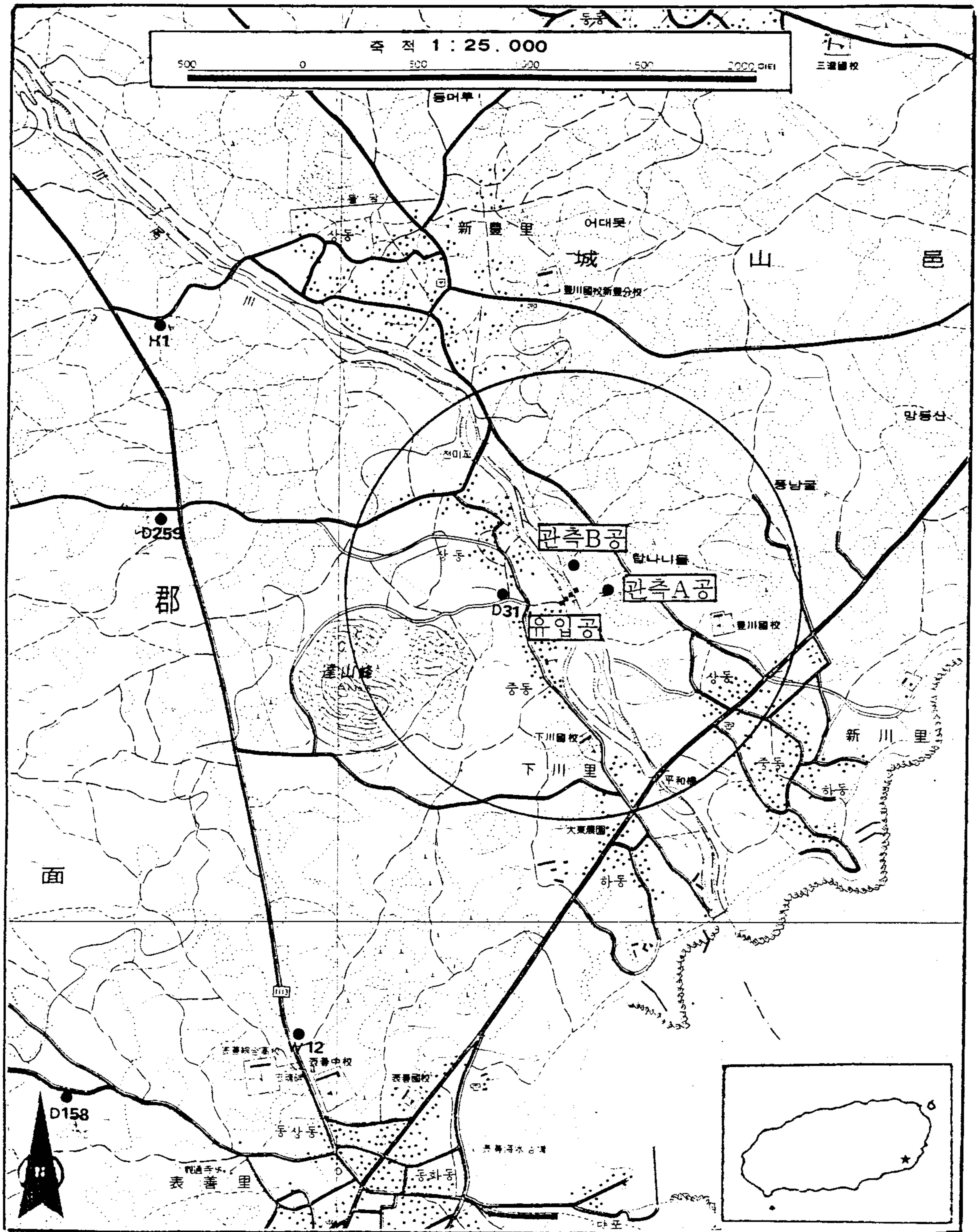
성산포지역의 연평균 기온은 15.3℃이다. 조사지역은 위도상으로 북위 33° 20' 45" 정도에 위치하고 있으며, 주변의 해양에는 연중 난류가 흐르고 있으므로 최한월인 1월 평균기온이 5.3℃로서 온화한 날씨를 보인다. 일최저 기온의 평균값은 1월에 가장 낮아 1.3℃이지만, 연중 0℃이하인 경우는 거의 없다.

최난월인 8월의 평균기온은 26.4℃로 한반도의 내륙지역과 비슷한 분포이다. 일 최고 기온의 평균값은 8월에 29.6℃로 가장 높으며, 한반도의 내륙지방과 비슷하거나 오히려 낮은 분포이다.

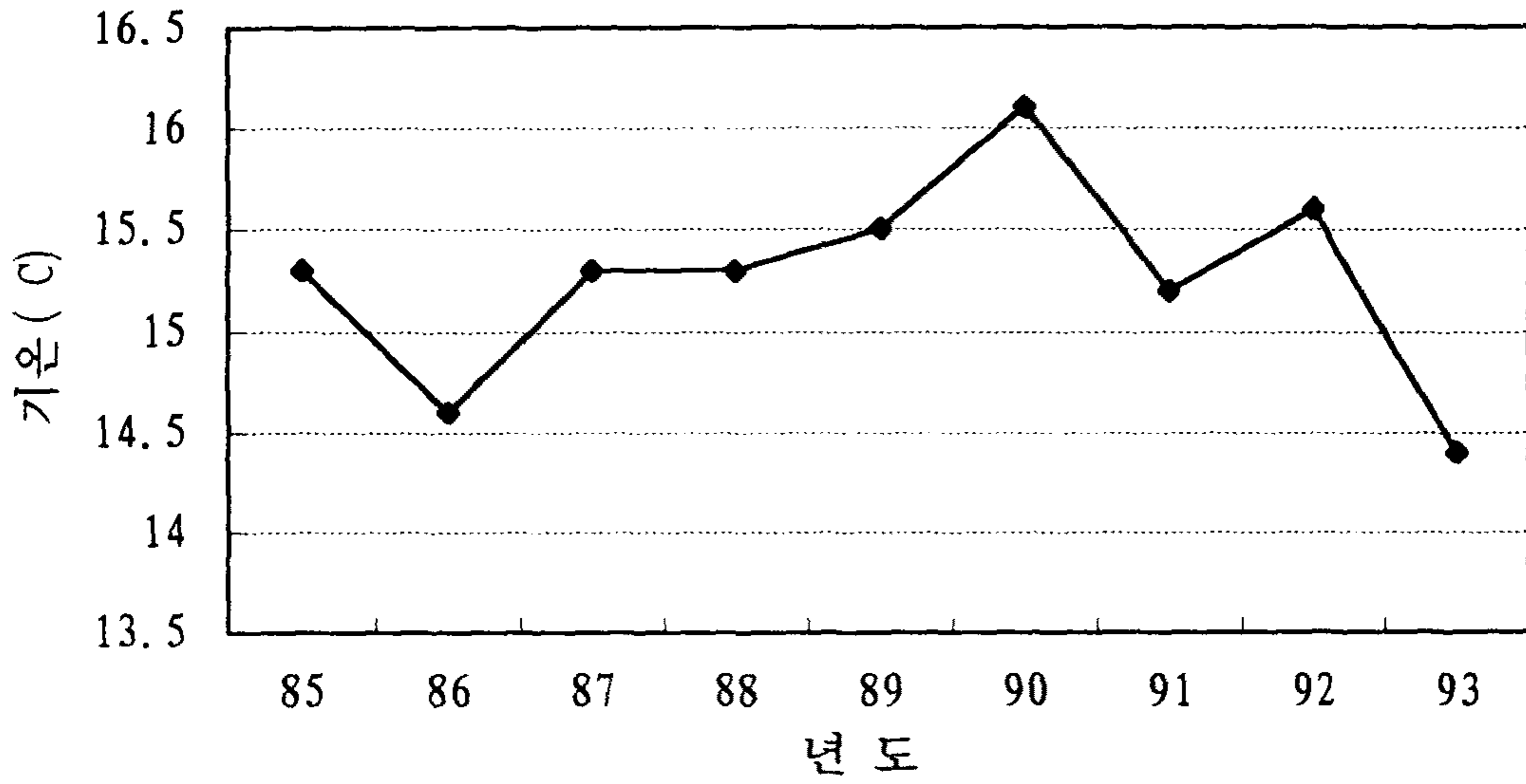
본 조사지역을 포함하는 성산포 지역의 기온변화를 보면 최근 9년간의 연평균 기온은 <표 4-1>에서와 같이 15.3℃로 나타나고 있으며, 12월, 1월, 2월, 3월은 3.5℃~10.4℃의 기온 분포범위를 나타내고 그 외에는 11.0℃~28.2℃의 기온 분포범위를 나타내고 있다. 이들의 변화는 <그림 4-2>에서 보는 바와 같다.

<표 4-1> 성산포지역 월별 기온(℃)

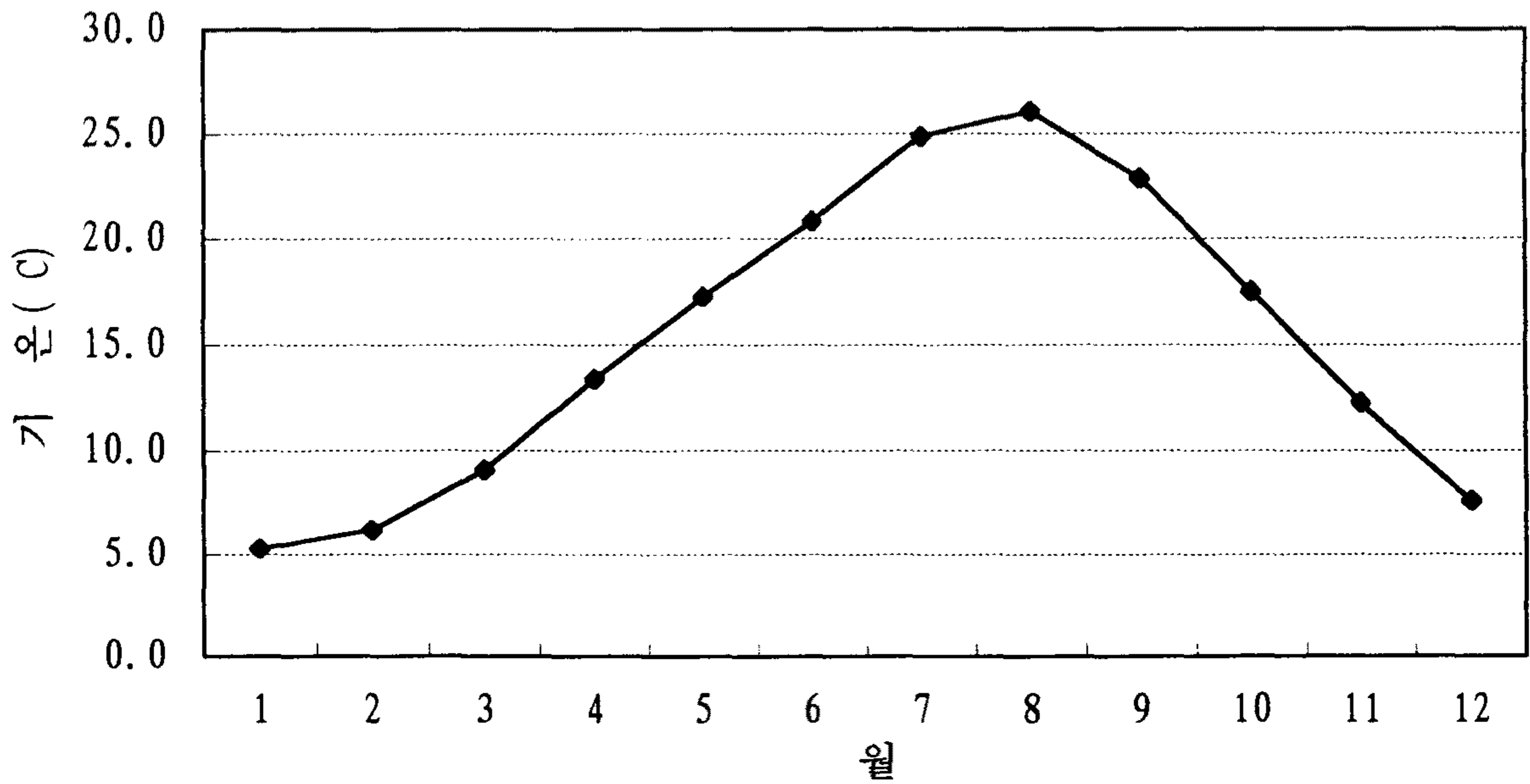
연도	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Mean
1985	3.5	6.6	8.7	13.4	18.0	21.0	26.1	27.0	24.2	18.3	11.5	5.8	15.3
1986	3.9	3.5	8.5	13.4	17.2	21.0	23.8	26.2	21.2	16.1	11.5	8.8	14.6
1987	5.6	6.5	8.6	12.7	16.9	20.9	24.3	26.3	21.9	19.6	13.1	7.7	15.3
1988	5.9	5.5	8.2	13.2	17.6	21.3	26.1	26.0	23.1	18.1	11.0	7.2	15.3
1989	7.4	7.5	9.2	15.0	17.5	20.0	24.8	26.0	23.1	16.8	11.7	7.4	15.5
1990	4.3	8.3	10.0	12.9	17.7	21.9	26.4	28.2	23.7	18.1	13.8	7.3	16.1
1991	5.9	5.4	9.4	13.5	16.6	21.2	25.0	24.8	23.2	16.7	11.9	8.7	15.2
1992	6.7	6.2	10.4	13.9	17.0	20.0	25.0	26.5	23.5	17.0	11.9	8.8	15.6
1993		6.1	8.5	12.3	16.7	20.1	22.5	23.7	21.7	16.6	13.5	6.7	14.4
Mean	5.3	6.2	9.1	13.5	17.3	20.9	25.2	26.4	23.0	17.6	12.1	7.7	15.3



<그림 4-1 조사지역 위치도>



<그림 4-2> 성산지역 최근 9년간 년평균 기온분포 ('85-'93)

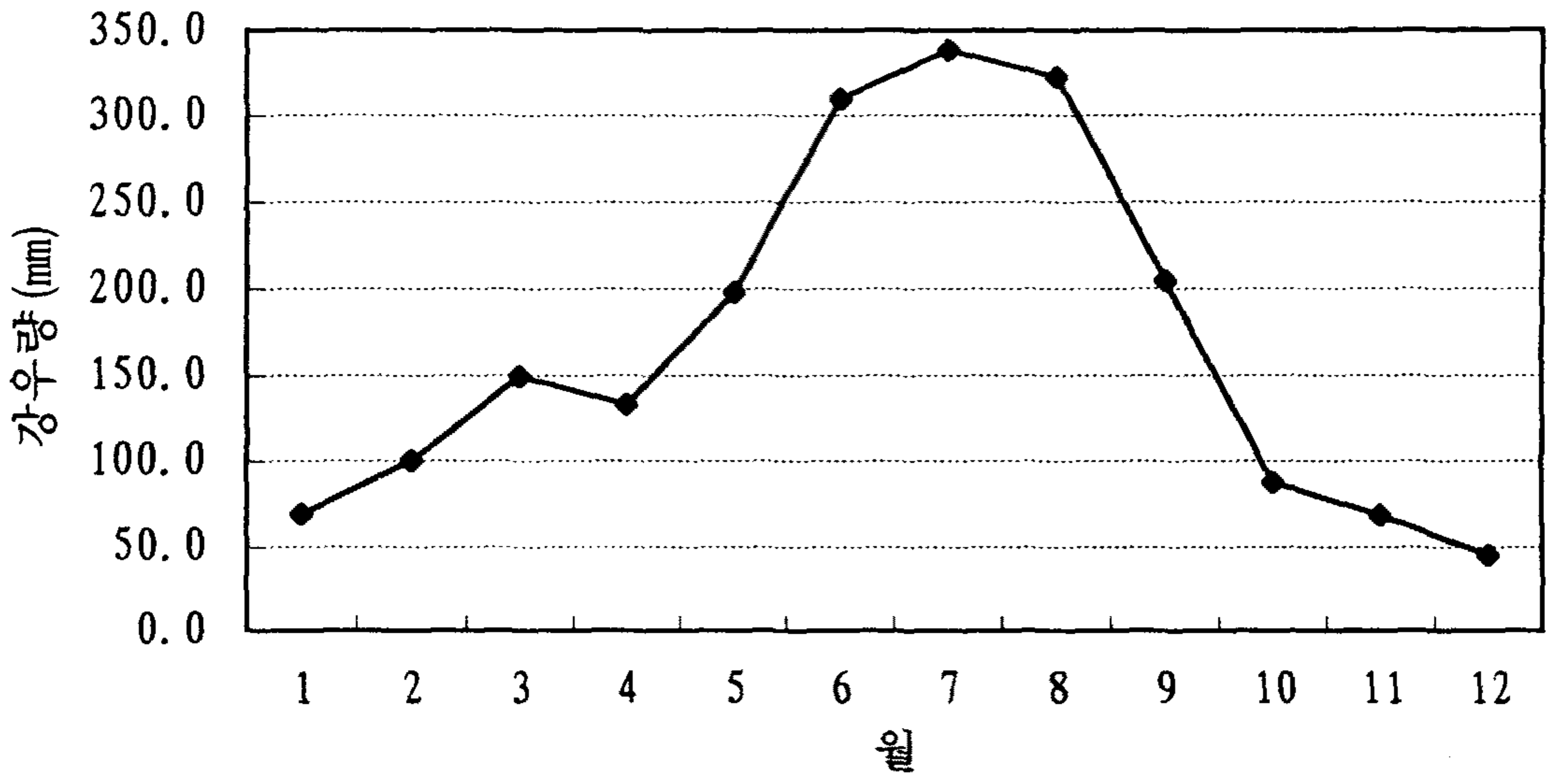


<그림 4-3> 성산지역 월별 평균 기온분포

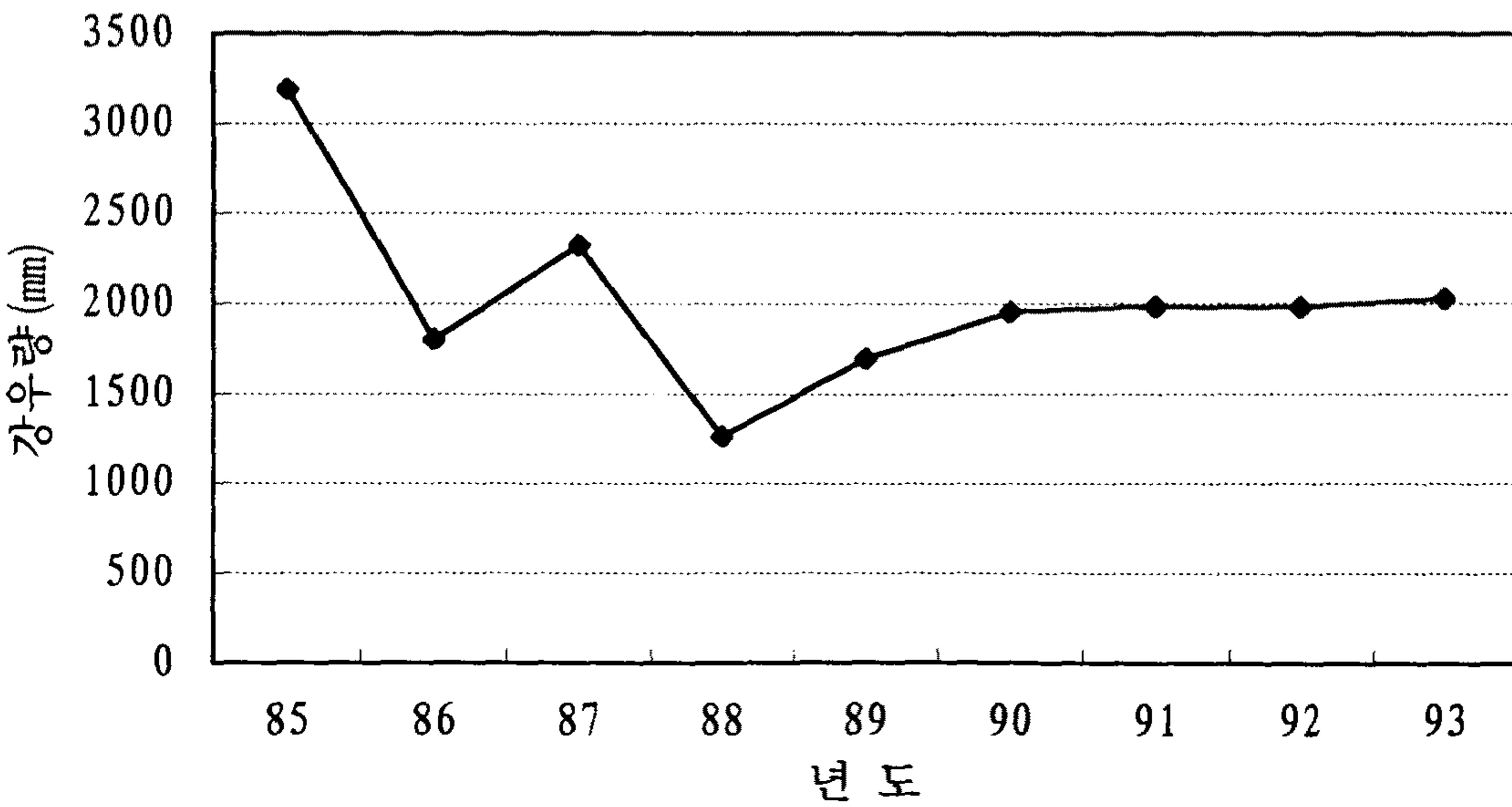
최근 9년간의 기온분포는 그림 4-2에서 보는 바와 같이 1993년에 14.4℃로 최소치를 보였고, 1988~1989년 사이는 15.2℃ 그리고 1990년 이후에는 15.3℃로 비교적 고른 연평균 기온 분포를 보인다. 반면에 1년간의 기온분포는 그림 4-3에서 보는 바와 같이 다양한 변화, 즉 12월에서 2월 사이는 6℃내외에 분포하고 6월에서 9월 사이는 22℃까지 상승하였다가 10월에서부터 월평균 5.1℃씩 하강하기 시작하여 다음 1월까지 하강을 계속하는 특징을 보인다. 이러한 대기의 기온변화는 직접적으로 물의 순환 과정에 영향을 준다. 특히 증발, 증발산, 식물의 성장등은 물의 양적인 면에서도 영향을 주며 기온의 차이에 의한 식물의 성장여부 등은 유출현상, 물의 흐름 상태에도 많은 영향을 준다.

(라) 강수량

성산포지역의 연평균 강수량은 2,024.7mm로서 한반도에서 비가 많이 내리는 지역에 해당한다. '93년도 성산지역 강수량이 가장 많은 달은 8월로 783.0mm이며, 가장 적은 달은 1월로 46.9mm이다. 강수량의 계절적 분포를 보면, 겨울철(12, 1, 2월)에는 10.9%로 다른지역에 비하여 겨울 강수량이 많은 편인데, 이는 겨울철의 북서계절풍과 지형에 의한 것이다. 여름철(6, 7, 8월)에는 55.4%를 차지한다. 봄과 겨울에는 각각 19.2%, 14.5%를 차지하고 있다. 이처럼 조사지역이 우리나라의 다른지역에 비하여 봄철에도 많은 비가 내리고 있는데, 이는 봄철에 양자강 유역이나 화남지방에서 발생하여 북동진하는 온대성 저기압이 남해상을 통과하면서 강수를 형성하기 때문에 나타나는 현상이다.



<그림 4-5> 성산지역 월별 평균 강우량분포



<그림 4-4> 성산지역 9년간 년평균 강우량분포 ('85-'93)

<표 4-2> 성산포지역 월별 강수량(1985~1993)

연도	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	Mean
1985	30.2	155.7	222.4	192.9	188.7	841.1	523.7	288.3	193.9	419.7	85.5	51.8	3,193.9	266.1
1986	45.8	35.2	64.9	123.7	92.2	313.0	470.8	267.0	229.1	67.6	12.9	79.1	1,801.3	150.0
1987	55.2	64.7	151.7	163.8	168.4	281.5	698.9	579.9	68.0	16.2	70.0	5.2	2,323.5	193.6
1988	18.2	36.0	165.1	138.5	205.3	201.2	163.3	194.3	78.5	15.8	25.4	22.8	1,264.4	105.4
1989	21.4	133.5	71.1	55.3	170.2	283.6	199.8	126.3	311.2	115.1	90.8	17.8	1,696.1	141.3
1990	118.3	175.2	82.9	173.8	162.4	304.3	173.4	127.8	418.7	68.3	115.6	31.6	1,952.3	162.7
1991	105.0	122.2	189.0	115.2	271.1	285.0	340.3	186.6	239.7	12.5	29.6	87.6	1,983.8	165.3
1992	81.4	59.2	269.2	161.0	330.5	88.0	325.4	352.2	209.5	7.5	47.5	50.0	1,981.4	165.1
1993	46.9	117.0	127.2	71.5	191.0	186.5	152.5	783.0	91.5	63.6	138.7	56.0	2,025.4	168.8
Mean	69.2	99.8	149.3	132.9	197.8	309.4	338.7	322.8	204.5	87.4	68.4	44.7	2,024.7	168.7

한편 본 지역을 포함하는 성산포지역의 1985년도 부터 1993년도까지의 월별 강수량 분포를 보면 <표 4-2>와 같이 월평균 강수량은 168.7mm이고 월별 변화는 5월에서 9월 까지만 월평균 강수량보다 많은 강수를 보여주고 있다. 이는 제주도가 연평균 강수량중 약 68%이상이 5월에서 9월 사이에 집중적으로 내리고 있음을 알 수 있으며, 이중 약 56%가 증발, 혹은 지표유출로 바다로 유실되고 있다.

(마) 바람

조사지역의 풍향별 출현 발생비율을 보면 서북서풍이 9.3%, 북서풍이 17.7%, 북북서풍이 11.2%로 북서풍계 바람이 우세하게 불고 있음을 보여준다. 계절별로 보면 남서풍계의 바람이 37.7%로 가장 우세하며 6, 8월에는 뚜렷한 탁월풍이 나타나지 않는다. 정온의 비율은

5.6%이다. 월별 정온비율은 여름철인 6~8월에 9% 내외이며 겨울철인 12~2월에는 2%내외이다. 풍향별 평균 풍속은 동북동풍이 3.8m/sec로 가장 강하고 서풍이 1.7m/sec로 가장 낮다.

조사지역의 연평균 풍속은 3.0m/sec로 도서지방인 점을 감안하면 낮은 값이다. 월별로는 겨울철인 2월에 3.8m/sec으로 가장 높고 그 외에도 동계인 11~4월에 3.0m/sec이상을 보인다. 순간 최대풍속의 극값 5위 까지는 모두 여름철인 7~8월에 나타나고 있어 태풍의 영향으로 판단된다. 겨울철의 순간 최대풍속은 북서풍이 14.5m/sec를 기록할 때도 있으며 폭풍에 해당하는 13.9m/sec 이상인 강풍현상일도 있다. 그러나 이러한 현상도 앞에서 논의된 바와 같이 성산포관측소가 이 지역의 값을 잘 반영하여 주지 못하여 나타난 결과이며 편형수의 분포로 보아 강풍현상일은 덜 나타날 것으로 추정된다.

(바) 증발산량

증발산은 수면으로 부터의 증발과 식물로 부터의 증발을 합한 것으로서 수분이 기체상태로 대기로 환원되는 모든 것을 포함하는 것이다. 이는 기상학적인 인자이외로 식물의 종류, 식물의 밀도, 잎 표면의 크기 등의 식물 요소 뿐만 아니라 토양의 공극율, 투수계수, 입자의 크기, 토양의 함수율등에 직접적으로 영향을 받는다. 증발산량의 추정방법에는 측정에 의한 방법, 이론적방법, 기후인자와의 상관관계에 의한 방법 등이 있다.

본 조사지역에 대한 증발산량 추정은 이론적 방법에 의한 것으로 Penman(1984), Thomthwaite(1954), Turc(1975) 등의 공식에 의해 각각 산출하여 물수지 계산에 의해 검토하였다. 증발산 산정의 이론적

방법으로서는 공기동력학적 방법과 에너지 보존법칙의 방법이 사용되었으나, 증발산의 경우에는 식물 표면으로 부터의 증발이 고려되어야 하므로 자유수면에서와 같은 공기 동력학적 방법은 사용될 수 없다. 즉, 증발산량 산정은 자유수면 및 식물의 표면으로 부터의 증발량이 계산되어야 한다. Turc공식에 의한 증발산량 계산은 토양내 포함되어 있는 수분의 증발과 지표면 식물에 의한 증발산량을 포함한 것으로 본 조사지역내 평균기온과 강수량은 성산포 관측소에서 측정된 자료를 인용하였다. 이 자료를 이용하여 증발산량을 다음과 같이 산출하였다.

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

$$\begin{aligned} \text{여기서 } L &= 300 + 25T + 0.05T^3 \\ P &= 2025.4\text{mm} \\ T &= 14.4^\circ\text{C} \\ L &= 809.3\text{mm} \end{aligned}$$

따라서 증발산량은 750.2mm 이다.

(사) 지표유출 및 총진량

지상에 도달한 강수량의 일부는 흙의 표면을 통하여 침투하고 그 초과분은 흙의 표면으로 흘러 유출을 하게 된다. 따라서 강우로 부터 야기되는 유출은 침투량에 크게 영향을 미치며, 침투량의 계산은 강우와 유출의 관계에서 필수적인 요소이다. 강우로부터의 유출은 흙의 건조상태에 따라 크게 달라진다. 매우 건조한 상태에서의 흙은 무한대에 가까운 투수율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강우의 영향으로 흙의 함

수량이 큰 상태라면 같은 강수량이라 할지라도 건조상태보다 많은 유출을 야기시킨다.

이와 같이 흙의 초기 함수상태에 따라 침투량은 직접적으로 영향을 받기 때문에 강우로부터 발생하는 유출의 양을 결정하는 요인이 된다. 강수량으로 부터 침투에 의한 손실을 뺀 값을 초과 강수량 또는 지표유출이라 하며, 지표유출량 계산방법에는 지수법, W지수법, S.C.S 방법(Soil Conservation Service method)등이 있으나, 본 조사지역에서는 S.C.S 방법을 이용하여 다음과 같이 유출량을 계산하였다.

※ S.C.S 방법

미국 농무성의 S.C.S 방법은 초과강수량 또는 직접 유출량을 구하는 방법으로서 다음과 같은 간단한 공식을 제시하였다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

여기서 F는 시간(t)에서 흙의 저류량

S는 흙이 완전 포화되었을 경우 저류량

Q는 직접 유출량(mm)

P는 누적강수량(mm)이다.

즉, 강우로 부터 발생하는 직접유출량은 흙이 최대로 저류할 수 있는 양(S)과 실제로 흙으로 흡수되는 물의 양(F)의 함수로 표시되며, 직접유출량과 강수량과의 차이이다. 즉, $F=P-Q$ 이며, 이관계를 식 ①에 대입하면

$$Q = \frac{P^2}{P + S} \quad \text{②}$$

이된다.

식 ②는 강우가 시작되면서 부터 즉시 유출이 발생하는 경우이나 실제로 강우발생 초기에는 강우의 전부가 침투되면 유출이 발생하는 것은 강우강도에 따라 다르나 얼마간의 시간이 경과된 후에 발생하는 것이 보통이다.

따라서 초기의 침투를 고려한다면 식 ②의 P값에서 초기손실(I_a)를 제하여야 한다. S.C.S는 경험에 의하여 $I_a=0.2S$ 로 만들었으며, 이관계를 식 ②에 대입하면

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

$$Q = 0, P < 0.2S$$

를 얻을 수 있다. 따라서 S의 결정은 침투의 진행상태에 따라 크게 다르며, 또한 침투는 흙의 종류, 지표의 상태등에 따라 다르기 때문에 S.C.S는 이러한 흙의 종류, 지표상태에 따라 S를 구하는 방법을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad \text{④}$$

여기서 CN은 Curve Number로서 S.C.S에서 흙의 종류 및 지표의 상태에 따라 정한 지수이다. S.C.S에서는 식③과 식④를 사용하여 직접유출 또는 초과강우량을 계산하는데 있어서 고려되어야 할 사항을

다음 세가지로 구분하였다.

- (1) 흙의 종류
- (2) 토지의 사용용도
- (3) 흙의 초기 함수상태

따라서 위의 세가지 요소는 식 ④의 CN값에 의하여 직접유출량 계산에 반영되었으며, CN의 값도 이에 따라 구분되어야 한다.

S.C.S에서는 흙의 종류를 유출발생 가능정도에 따라 <표 4-3>과 같이 A·B·C·D의 네가지로 구분하였다.

<표 4-3> S.C.S의 흙의 분류

흙의 분류	특 성
A	최저 유출 발생 가능성이 있는 진흙, silt가 거의 없는 깊은 모래층 또는 자갈층
B	유출 발생 가능성이 다소 높은 사질토이며 침수율은 평균보다 높으나 다소 진흙이나 silt가 포함된 흙
C	유출발생 가능성이 B분류보다는 높은 흙으로서 진흙과 silt가 많이 섞여 얇은 층을 구성하며 침투율은 평균보다 다소 낮은 흙
D	유출 발생 가능성이 가장 높은 흙으로서 대부분이 silt로서 불침수층과 직접 접하여 있는 흙

<표 4-4> S.C.S에서 초기 함수상태 분류

분 류	흙의 초기함수 상태		비 고
	유 한 기	성 숙 기	
I	< 12.7mm	< 36mm	매우 건조상태
II	12.7~28.0mm	36~53mm	보통
III	> 28.0mm	> 53mm	매우 포화상태

흙의 초기함수상태의 결정은 선행강우에 따라 구분된다. 따라서 조사지역내 1993년도 주요 호우때 일어날 수 있는 지표 유출량 계산은 표에 수록하였다.

초기 함수 조건	I	II	III
CN값	53	72	87
S값	225	99	38

<표 4-5> 시간별 지표유출량(Pe) (1993년 1월~12월 사이)

날 짜	강수량(mm)	초기함수조건	CN	저류량	지표유출량 (mm)
2/20~21	77.7	II	72	99	21.4
3/14~15	62.0	I	53	225	1.2
4/28~29	60.5	I	53	225	1.0
6/ 1~ 2	54.0	I	53	225	0.3
6/22~23	61.5	I	53	225	1.1
7/16~17	70.0	I	53	225	2.5
8/ 7~ 8	162.2	II	72	99	84.3
8/10	72.5	I	53	225	3.0
8/13~14	184.0	II	72	99	102.4
8/15~16	122.0	III	87	38	85.9
8/17~18	54.0	I	53	225	0.4
8/18~19	65.0	II	72	99	14.2
10/28~29	57.1	I	53	225	0.6
11/ 6~ 7	56.3	I	53	225	0.5
총 계					318.8

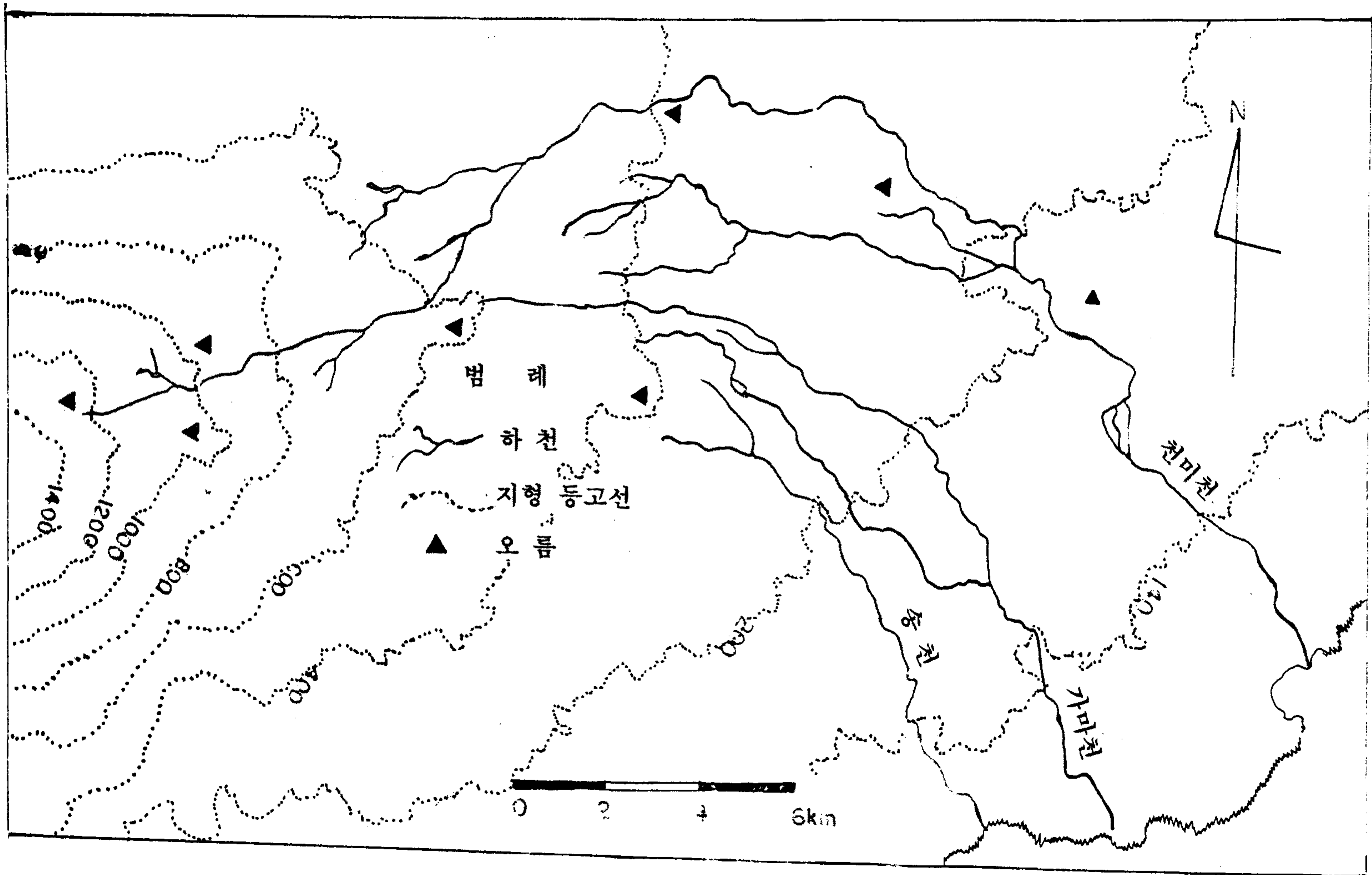
여기서 총강우량 2,025.4mm 중 318.8mm가 지표유출되는데 이는 총강우량중 15.7%에 해당된다. 총 강우량 2,025.4mm에서 지표유출량 318.8mm를 제하고 난 값은 증발산량, 투수량, 그리고 토양내 저장된 물이 되는데 증발산량은 앞에서 계산된 바에 의하면 750.2mm가 되므로 실제 조사지역에 분포한 토양층내에 저장된 양의 변화를 무시할 때, 대수층내로 유입되는 지표수 충전량(R)은

$$\begin{aligned}
 \text{지표수 충전량} &= \text{총강우량} - \text{지표유출량} - \text{증발산량} \\
 &= 2,025.4 - 318.8 - 750.2 \\
 &= 956.4\text{mm가 된다.}
 \end{aligned}$$

따라서 본 지역내 물수지 균형은 연평균 강수량 2,025.4mm중 318.8mm가 지표로 유출되고, 750.2mm가 증발산 되고 난 나머지 956.4mm가 지하로 유입되는데 이중 일부는 토양대로 저장되고 나머지는 대수층내로 침투되어 지하수위를 형성하는 실투수량으로 계산된다. 이 실투수량중 일부가 본역내의 생활용수, 공업용수 및 농업용수로 이용되고 있으며, 나머지는 기저유동하는 물수지 균형을 갖는다.

(2) 지형

본 연구지역의 천미천과 가마천 유역은 한라산맥 북동벽의 흩뜰은 오름(1,391m)에서부터 시작하여 동쪽 및 남동방향으로 뻗어 있으며, 지형은 서고동저(西高東低)가 일반적인 경향이다. 산계는 크게 보



<그림 4-6> 천미천 지역의 지형도

아 한라산체를 정상으로 하는 순상화산체를 이루며, 하천분포 지역에는 흙붉은 오름(표고 1,391m), 성널 오름(표고 1,215m), 물장 오름(표고 920m), 거문 오름(표고 713m), 구두리 오름(표고 518m), 산굼부리(표고 308m), 성불 오름(표고 320m), 병곳 오름(표고 287m), 남산봉(표고 179m), 달산봉(표고 137m) 등이 응립하고 있어 하천의 발원(發源)이 되는 분수령이 되고 있다. 지형 형태를 보면 <그림 4-6>에서 보는 바와 같이 표고 400m 이하 지역은 완만한 용암대지가 넓은 범위에 걸쳐 분포하며 표고가 점차 높아짐에 따라 산악지대 및 고산지대로 지형 형태가 점이적인 변화를 보인다.

수계(水系)는 지형 형태가 한라산체를 정상으로 하여 원추상을 이루고 있어 방사상수계를 나타낸다. 그러나 본 도의 동·서 양측 사면은 남·북측 사면에 비하여 경사가 완만하고 용암대지가 넓게 발달하는 관계로 하천 발달이 빈약하다.

천미천은 한라산 흙붉은 오름(표고 1,391m)에서 발원하여 조천읍과 구좌읍을 거치면서 우회하여 표선면과 성산읍을 경계로 남류(南流)하는 총연장 37.1km, 유역면적이 9,614ha를 갖는 도내 최대의 건천 하천이다.

(3) 하계망의 분석

(가) 천미천과 가마천의 하계망

하계망은 특정한 유역분지내에서 하천의 본류(本流)와 그보다 많은 지류(支流)가 합류하여 이루는 하천의 망(網)을 말한다. 하계망은

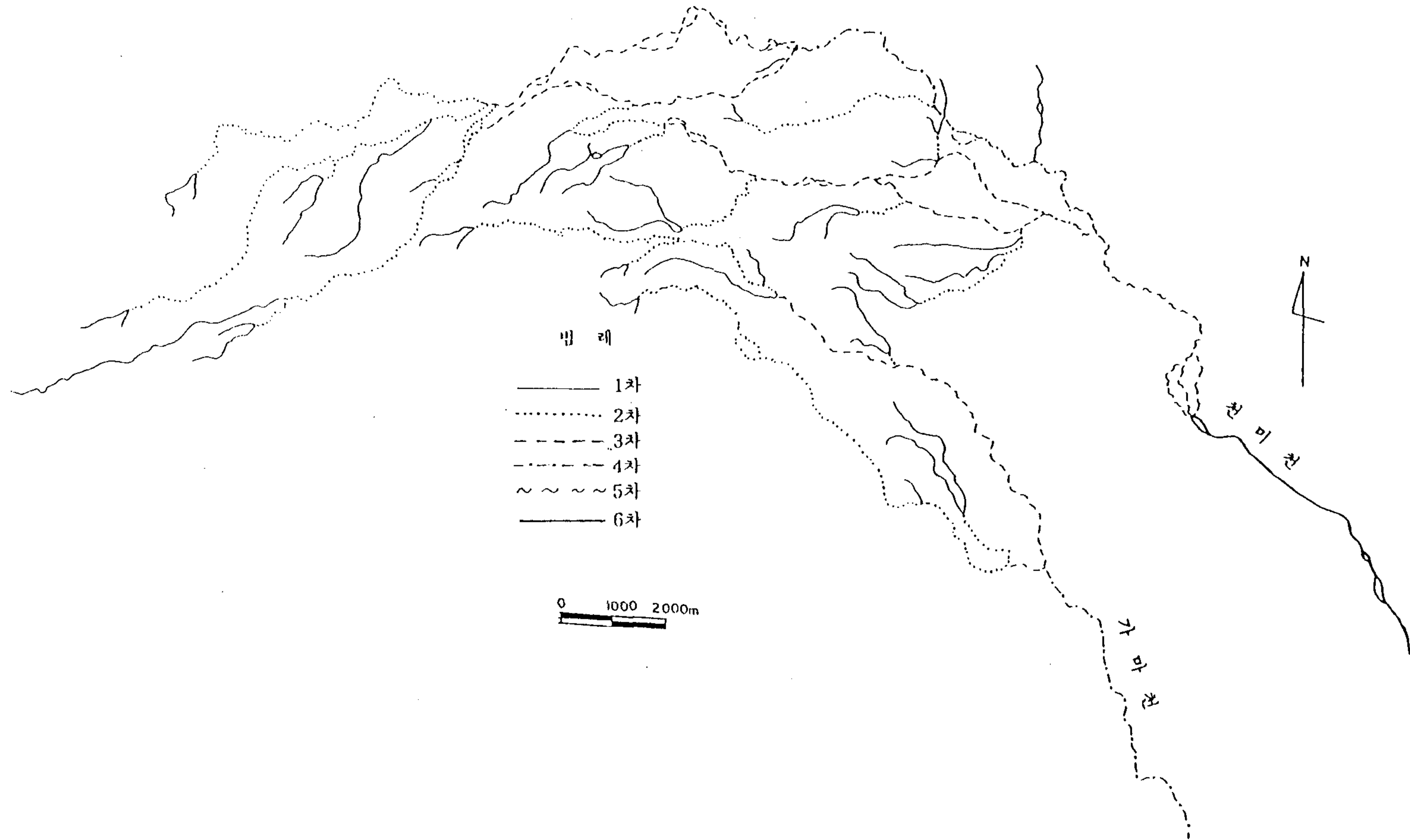
유역분지내의 지질, 식생, 기후 등의 영향을 매우 잘 반영하기 때문에 일찍부터 연구대상이 되어 왔으며 근래에는 하계망 자체에 어떤 법칙성이 존재한다는 사실이 밝혀져 다각적인 연구가 시도되고 있다.

지표경관의 발달은 그 지역을 구성하고 있는 각개의 소유역들에 발달하고 있는 지형변화의 총화에 해당된다. 제주도과 같은 다우(多雨) 기후환경에서는 우수(流水)의 작용이 침식지형에 큰 영향을 미치기 때문에 화산지형이 하천의 우수에 의한 침식관계를 연구하는 것은 의미 있는 일이라고 생각한다. 천미천과 가마천의 하계망을 전체적으로 볼 때 수지상수계(樹枝狀水系)를 이루고 있다. 하계망의 집중은 불투수층과 관계가 깊은데 투수율이 높은 표선리 현무암층이 넓게 분포하고 경사가 완만한 한라산체의 동부와 서부지역은 천미천과 가마천 등 일부 하천 분포지역을 제외하고는 하천발달이 극히 빈약하다. 천미천과 가마천 유역의 하계망 집중 현상을 보면 특히 천미천 중류지역에서가 복잡한 하계망 발달을 보이며 해안저지대의 하천 본류지역에서는 하계밀도가 낮다. 하천 발달방향의 전체적인 경향은 하천 중상류 유역에서는 EEN 방향이고 중하류 유역에서는 EES 방향이며 이러한 주향을 횡단하는 소지류들이 많이 존재한다.

(나) 천미천과 가마천의 하천수 분석

하천의 수는 하천 차수별로 정리하여 측정하였다. 천미천과 가마천 유역의 하천 수를 각 차수별로 정리하면 <그림 4-7>과 같다.

분지율을 천미천과 인근한 가마천 별로 구분하여 계산한 결과는 <표 4-6>과 같다.



<그림 4-7> 친미천과 가마천의 하천차수 분포도

<표 4-6> 하천 차수와 분지율

하천 차 수	천 미 천		가 마 천		비 고
	갯수	분지율	갯수	분지율	
1	29	2.07	13	2.60	
2	14	2.33	5	1.67	
3	6	1.50	3	3.00	
4	4	1.33	1		
5	3	3.00			
6	1				
평 균		2.50		2.42	

천미천의 하천 차수는 6차까지 나타나며 1차 하천은 29개, 2차 하천은 14개, 3차 하천 6개, 4차 하천 4개, 5차 하천 3개, 6차 하천 1개로 각각 나타나고 있다. 가마천의 하천 차수는 1차 하천은 13개, 2차 하천 5개, 3차 하천 3개, 4차 하천은 1개로 각각 나타나고 있다. 하천수의 법칙에 따르면 하수가 높아짐에 따라 하천의 수효는 3의 n 배수가 가장 이상적이라고 하나 본 유역에서는 이러한 이론이 정확하게 들어맞지 않는다.

분지율의 경우 천미천 수계는 2.50이며, 가마천은 2.42로서 천미천이 다소 큰 분지율을 보이고 있으며 연구지역 전체의 평균은 2.24이다. 이러한 분지율의 의미는 연구된 우리 나라 타 하천과 비교하면 북한강 수계는 약 6.72로 나타나고 있어 천미천과 가마천보다 아주 높음을 알 수 있다. 분지율이 작다는 것은 이들 하천보다 급사면을 흐르고 침식의 진행시간이 짧다는 것을 의미한다.

어떤 하천 차수의 하천 평균길기와 그보다 한 단계 낮은 하천 차수의 하천 평균길기와의 비율을 하천의 길이 비율이라고 한다. <표 4-7>은 천미천과 가마천의 하천 차수별 하천길기와 길이 비율을 정리한 것이다.

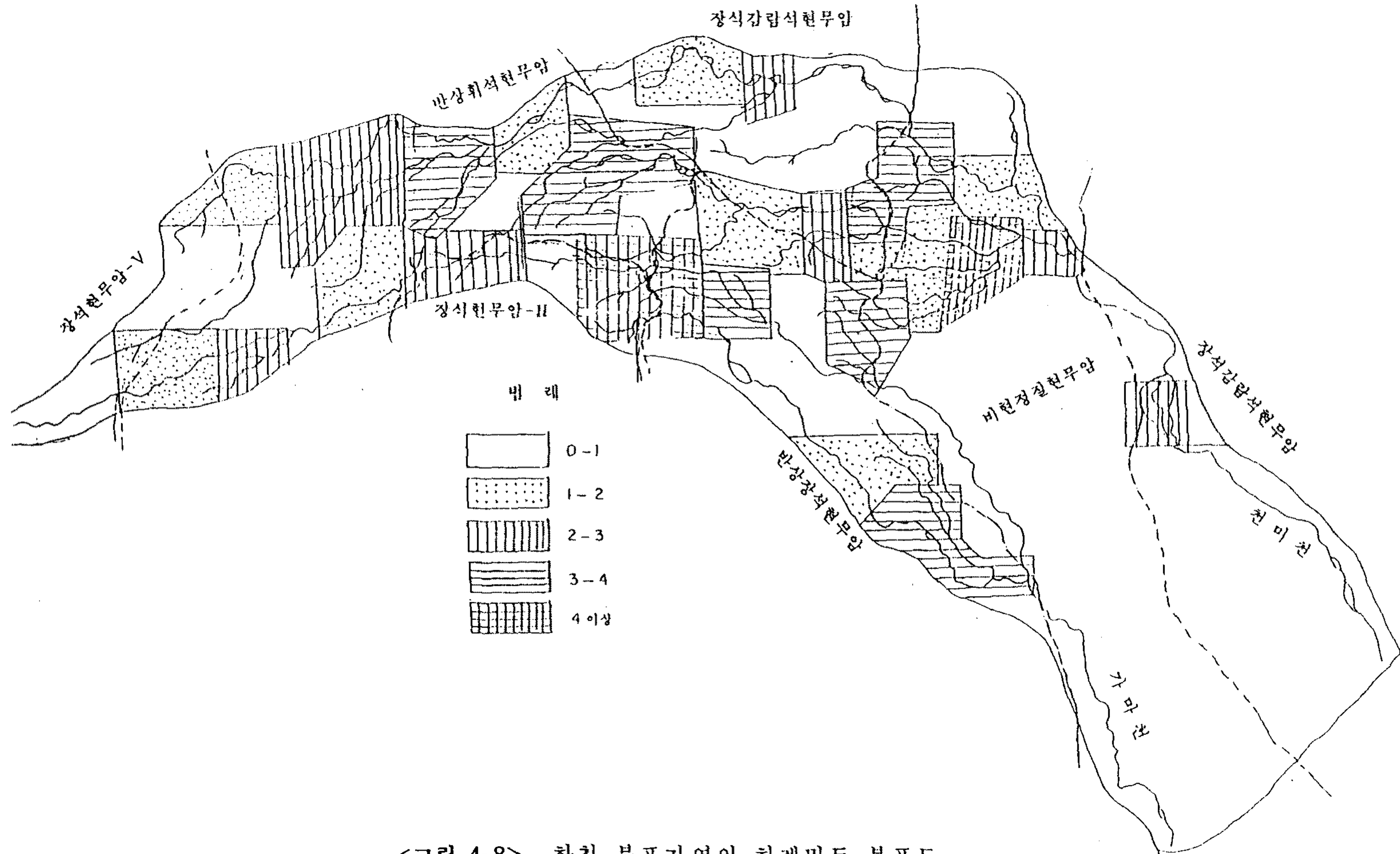
천미천의 경우 하천 길이비율은 상류역에서 1.02, 중류역에서 1.43~3.09, 하류역에서 1.03~1.32로 하천 상류유역과 하계망 발달이 완전치 못한 하류역에서 그 비율이 낮은 값을 나타낸다. 가마천의 경우도 전체평균 1.35로 낮아 하계망 발달이 완전치 못함을 의미한다.

<표 4-7> 하천 길기와 길이 비율

하천길이 차 수	천 미 천		가 마 천		비고
	총길이(m)	길이비율	총길이(m)	길이비율	
1	44,000	1.02	17,150	0.50	
2	42,950	1.43	34,250	3.32	
3	29,950	3.09	10,300	1.25	
4	9,700	1.03	8,250		
5	9,450	1.32			
6	7,140				
평균		1.32		1.35	

(다) 하계밀도

하계밀도는 지형의 침식진행과정에 따라 달라지며 그 대·소는 기복량과 경사에 따라 지배된다. 그 값은 물의 침투가 용이한 지역에서



<그림 4-8> 하천 분포지역의 하계밀도 분포도

는 작고 불투수성 지역에서는 크며 고지에서는 저지대보다 작고, 경사지에서는 특히 작다고 하였다. 본 연구지역 내에서 하계밀도의 분포를 알기위해 지형도를 각 1km²의 방안으로 나누어 각 방안의 4변이 절단하는 골짜기의 총화는 그 방안의 하계밀도를 계산하여 그 값의 분포를 작성하였다. <그림 4-8>은 천미천과 가마천유역의 하계밀도 분포도이다. 여기서는 5단계로 구분하여 하계밀도를 정리하였다.

천미천유역에서 가장 큰 하계밀도를 보이는 곳은 제동목장부근 반상휘석현무암과 장석감람석현무암 및 분석구가 혼재 분포하는 지역과 성읍2리 마을부근 비현정질현무암과 장석감람석현무암이 분포하며 소지류(小支流)가 합류되는 지역이며, 가장 낮은 밀도를 보이는 지역은 하천 상류의 장석현무암 분포지역과 하류역의 투수성이 좋은 장석감람석현무암 분포지역이다.

가마천의 경우 가장 큰 밀도분포지역은 소록산부근 장석현무암II와 반상휘석현무암 및 반상장석현무암이 혼재 되어 있는 지역이며, 가장 낮은 밀도를 보이는 지역은 하천 하류역의 비현정질현무암이 분포하는 지역이다.

(4) 지 질

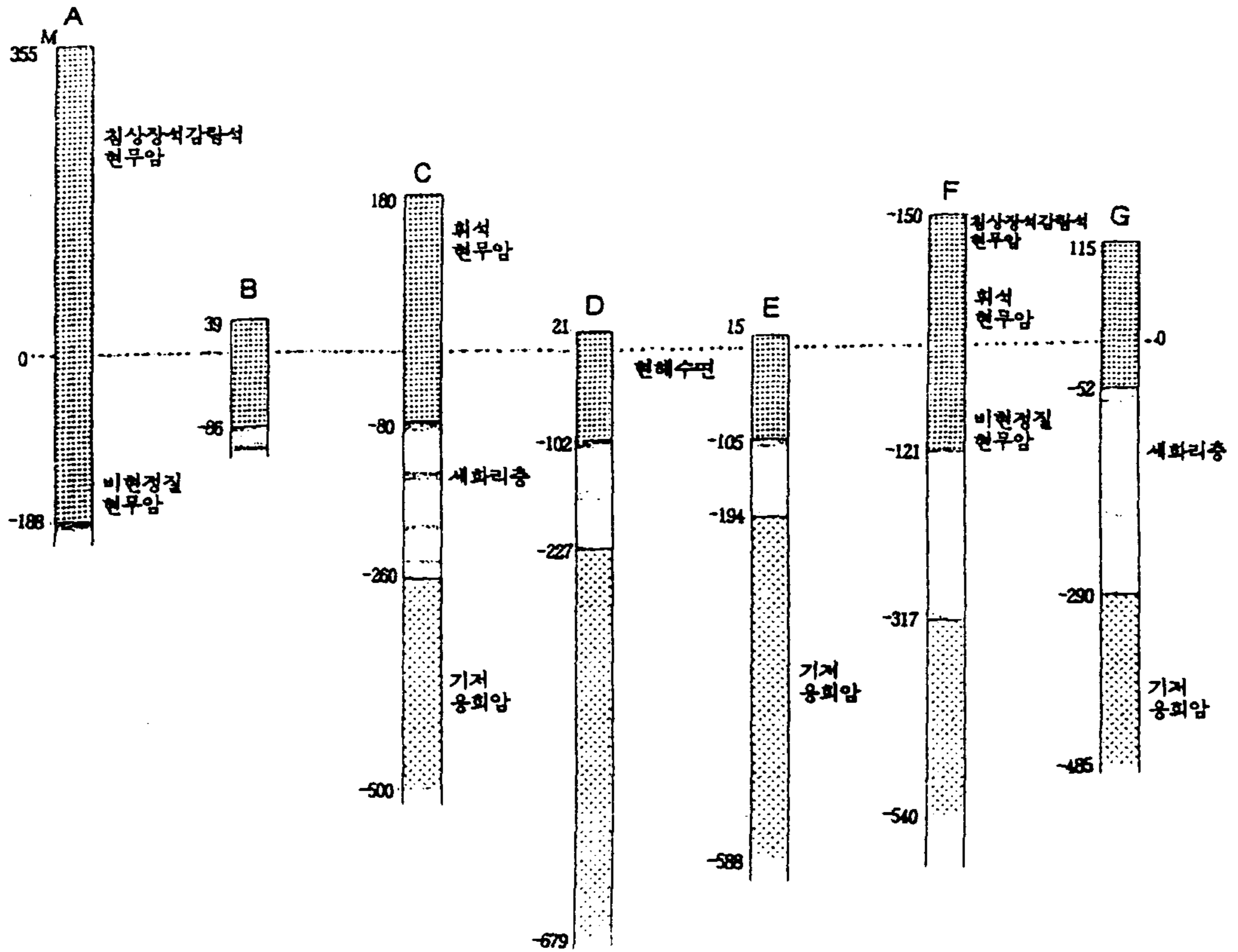
(가) 제주도 화산암류의 수직분포

제주도의 지표지질은 여러 종류의 현무암류와 화산퇴적암 및 화산쇄설물이나 토양 등으로 구성되어 있다. 지표에서 관찰되는 이들 현무암류는 수차의 분출활동에 의하여 이루어져 있음을 지형적으로 구분할 수 있으며 서로 다른 암상을 띄기도 하다. 그러나 지표에서 확

인되는 암종별 분출 순서를 제주도 하부에서까지도 규명하여야 제주도의 전체적인 화산활동을 해석할 수 있을 것이다. 이와 같은 심부지질의 해석은 오직 시추자료에 의해서만 가능한데 제주도에서는 다행히 1971년도부터 지하수개발이 본격적으로 시작된 이후 수백여 지점에서 코아를 기록한 보고서들이 발간되어 있어 이들에 의한 심부지질을 해석할 수 있는 좋은 자료들로 인용되고 있다.

<그림 4-9>에서 보는 바와 같이 제주도의 현무암류는 세화리층을 부정합적으로 덮고 있으며 기존의 심부시추 결과 애월읍 광평리에서는 해수면 아래 188m까지 연속되며, 남원읍 신흥리에서는 해수면 아래 52m까지 연속되고 있다. 평균적으로 현무암의 분포는 해수면을 기준으로 하부 약 100m에서부터 분포하기 시작한다. 따라서 제주도에 분포하는 현무암의 전체 두께는 지역적으로 차이를 보이고 있을 뿐만 아니라 지형고도에 따라 커다란 차이를 나타내고 있다. 제주도 현무암류의 수직변화는 같은 종류의 암상으로 구성되어 있으면서도 여러 번의 분출이 반복되면서 구성되어 있기도 하며 혹은 이들 속에 포함되어 있는 장석이나 감람석 혹은 휘석 등의 반정여부와 SiO_2 의 함량 등이 서로 다른 현무암류로 구성되어 있기도 하다.

기존의 시추자료들은 지형고도 약 200m 이하에 주로 밀집되어 있기 때문에 한라산체를 이루는 제주도 중심부에 대한 지하지질을 해석할 수 있는 자료들이 부족하나 해안을 따라서 대체로 평탄한 저지대에서는 시추자료를 중심으로 해석이 가능하다. 기존의 시추자료들에 의하면 제주도 서남부지역인 고산이나 모슬포지역은 하부로부터 지표까지 대부분 장석과 감람석의 작은 반정들을 포함하여 침상의 구조를 보이는 현무암류가 약 20회 이상 분출이 반복하면서 형성되어 있으며



<그림 4-9>

제주도 여러지역에서 시추결과 제주도의 심부지질은 최하부에 기저용회암류를 기저로 하여 심도 약 -200m에서 -100m까지는 퇴적층 및 그 상부에는 현무암류로 크게 구분되고 있다(A: 북제주군 애월읍 광평리, B: 북제주군 조천읍 신촌리, C: 북제주군 구좌읍 세화리, D·E: 북제주군 구좌읍 종달리, F: 북제주군 구좌읍 송당리 G: 남제주군 남원읍 신흥리)

남부인 중문과 서귀포지역일대는 하부에 주로 조면암류가 분포하며 지표에 가까워지는 부분에서는 거정의 장식반정을 많이 포함하는 현무암류가 분포한다. 한편 서북부지역인 한림과 제주지역일대는 하부에 장식과 감람석을 포함하는 현무암류가 주로 분포하며 상부는 반상의 휘석현무암류가 분포하는 지역이 많은 편이다. 제주도 동북부지역에서는 심부로부터 휘석반정을 많이 포함하고 있는 현무암류가 우세하며 거정의 장식반정도 간혹 출현하고 있다. 지표부근에서는 침상의 장식과 감람석을 포함한 현무암류가 분포하기도 한다. 그러나 침상의 장식감람석현무암이 간혹 깊은 심도에서도 시대를 달리하여 분포하고 있는 지역들도 있다. 그러나 이들 현무암류의 수직분포는 적어도 20여회 이상이나 반복되는 화산분출에 의하여 이루어졌을 뿐만 아니라 각 분출마다 암상이 변할 수 있기 때문에 일률적으로 어떠한 암종의 변화를 이룬다고 말할 수는 없다.

(나) 사업지구 주변지역의 지질

조사지역의 지표지질은 지형과 밀접한 관계를 보이고 있다. 즉, 대체로 평탄한 용암대지에는 휘석과 감람석의 결정들이 포함되어 있는 현무암으로 구성되어 있으며 이들은 원거리에서 유동되어온 까닭으로 유동구조를 보이고 있다. 이와 대조적으로 달산봉의 분화구는 용암이나 스크리아와 같은 쇄설성 암편들로 구성되어 있다. 이 분화구의 낮은 기슭에는 화산쇄설성 암편들이 미약한 층리구조를 보이고 있으며 현무암을 덮고 있는 곳들도 있다. 인공함양 부근지역에 분포하는 화산암류의 암석별 특징은 다음과 같다.

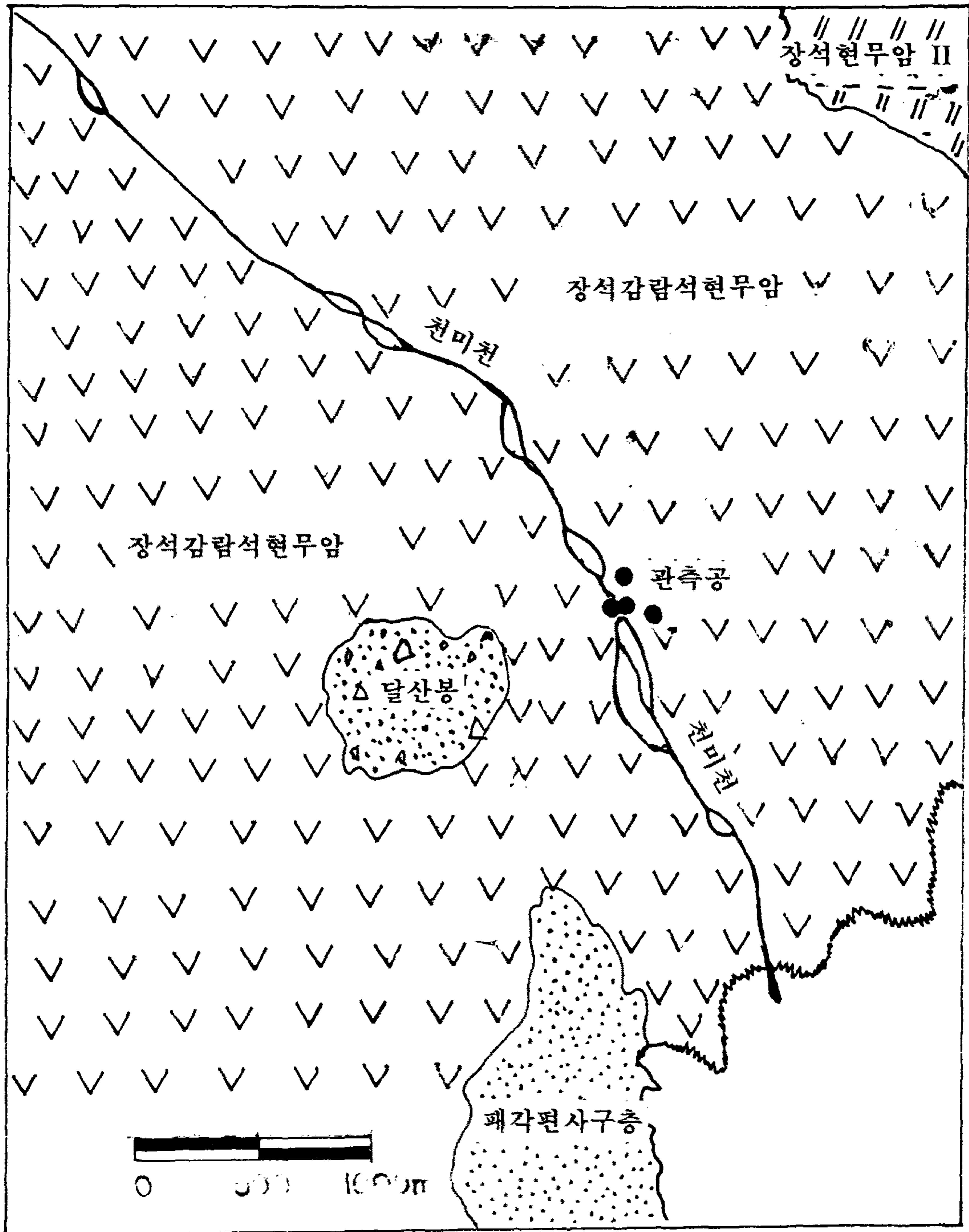
- 장석감람석현무암

본 암은 조사지역 전역에 걸쳐 가장 넓게 분포하며 3~5° 이내의 거의 평탄한 지표면을 이루고 있다<그림 4-10>. 본 암의 상부는 후기에 분출한 용암들로 피복 되어 있어 용암분출지의 위치는 현재 확인할 수 없다.

본 암은 지역적으로 약간의 변화를 보이거나 대체로 회색 내지는 암회색을 띄우며 침상의 장석과 감람석을 반정으로 함유하고 있다. 본 암 즉, 장석감람석현무암은 원종관(1976)에 의해 표선리 현무암으로 명명되었으며 적어도 5회이상의 화산분출이 있었으며 구갑상절리 및 용암동굴들이 본암에 발달되어 있다고 기술하였다.

농업진흥공사에서 발간된 1:100,000의 지질도에 의하면 본암은 제주도 전역의 저지대에 광범위한 분포를 보이고 있으며 본역의 지하수 개발공 D-259에 현무암들 사이에 화산쇄설층이 협재되어 있는 점과 접촉부분에서의 적색화된 Baked 대의 형성 및 기공의 변화등에 의하여 11회의 화산분출이 있었음을 알 수 있다. 본암은 하천 중·하류의 하저에서 비현정질현무암과 부정합적으로 접촉대를 이루어 이어지면서 유동구조의 큰 골을 따라 분포하고 이들 구조의 작은 주름을 따라 절리구조가 잘 발달되어 있어 지하수의 수직강하에 좋은 통로역할을 하기도 한다.

한국자원연구소에서 측정한 본암의 연령은 고지자기에 의한 시대 구분 및 K-Ar에 의한 절대년대 측정결과 장석감람석현무암은 K-Ar 측정결과 $0.63m \pm 0.03$ 을 얻었다.



<그림 4-10> 천미천 및 주변지역의 지질도

- 장석현무암

본암은 <그림 4-10>에서와 같이 조사지역 북동쪽 삼달국교 주변에서 장석감람석현무암과 부정합적으로 접촉하며 분포하고 있다. 암상은 회색 내지는 암회색을 띠며 현저한 반상구조를 갖고 있음이 특징이며 기공들이 많이 내포되어 있다. 지형적으로 표선리현무암이 분포하는 지역과 거의 동일하게 평탄한 저지대를 이루고 있으나 독자봉 북서지역에서 표선리현무암과 접촉부에서는 장석현무암지역의 약간 높은 고도를 보이고 있어 본 화산암들의 분출시기가 서로 상이함을 알 수 있다. 본 암에도 불규칙하게 잘 발달된 절리 및 파쇄대 구조가 지하수의 유동로 역할을 하는 것으로 보인다.

현미경 사진 1은 인공함양 시추공 주변 장석감람석현무암 노두에서 채취한 시료의 현미경 사진이다. 가늘고 긴 장석(가장 긴것은 1mm)이 알바이트쌍정을 보이며 대체로 한방향으로 나열되어 있다. 이는 용암이 흐를 때에 그 방향으로 길이의 방향을 유동구조로 보이는 것이다.

사진에서 큰 입자들은 감람석이고 작은 입자들은 휘석이다. 검고 작은 입자들은 대부분 자철석이지만 큰 것은 기공이다. 위에 적은 광물은 그 모양이 대체로 장석, 휘석, 감람석, 자철석 순으로 적어지지만 각 광물의 분량을 측정하지는 못하였다. 자철석의 양은 적다.

현미경 사진 2는 삼달국교 부근에서 채취한 장석현무암의 현미경 사진이다. 흰 것은 대부분 사장석인데 표품 1에 비해 장석의 부피가 크고 길며 함량이 많다. 검은 부분은 자철석과 기공이 대부분이며, 비교적 넓은 사장석에는 알바이트쌍정이 잘 발달되어 있다.

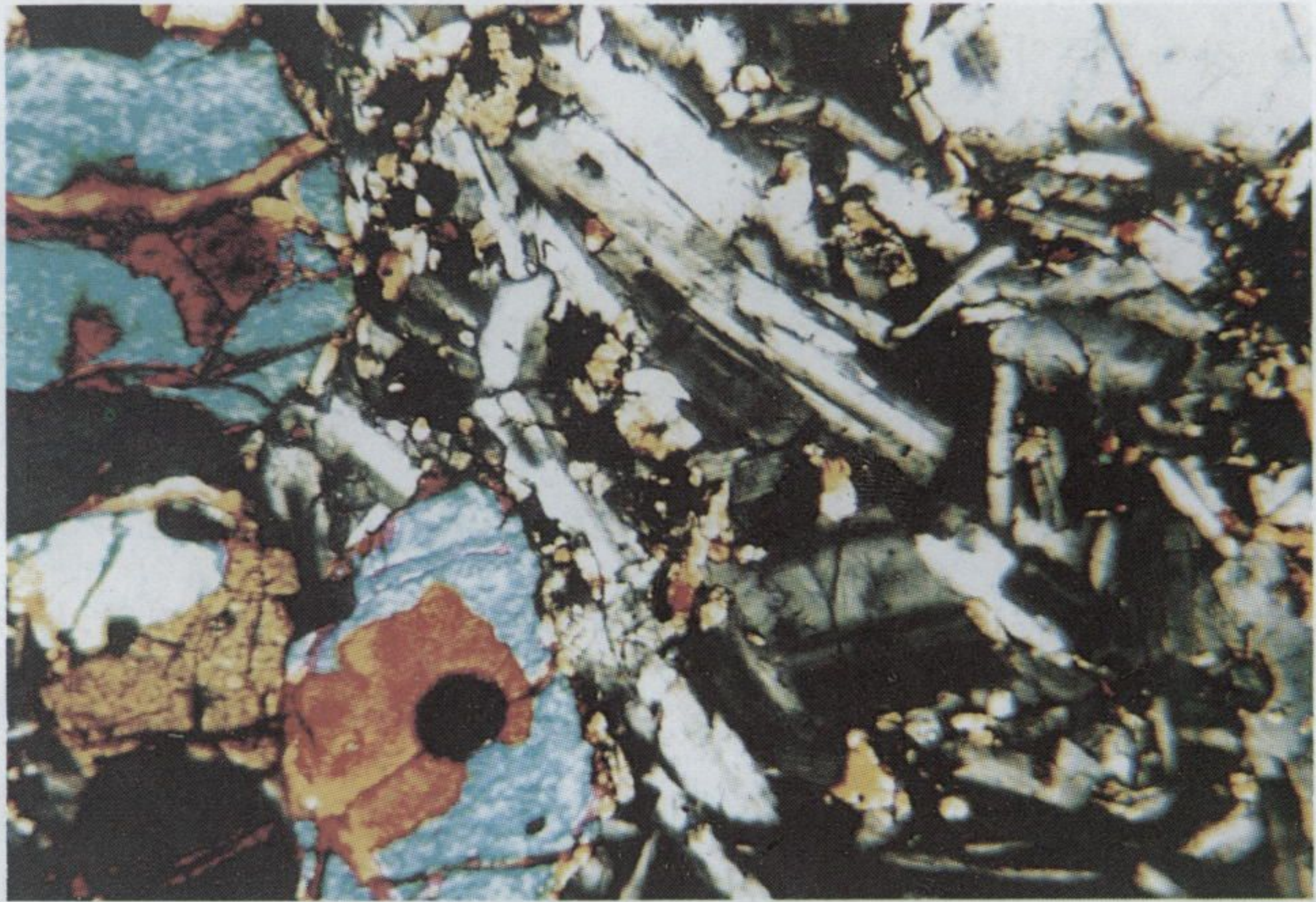


사진 1: 장석감람석현무암의 현미경사진



사진 2: 장석현무암의 현미경사진

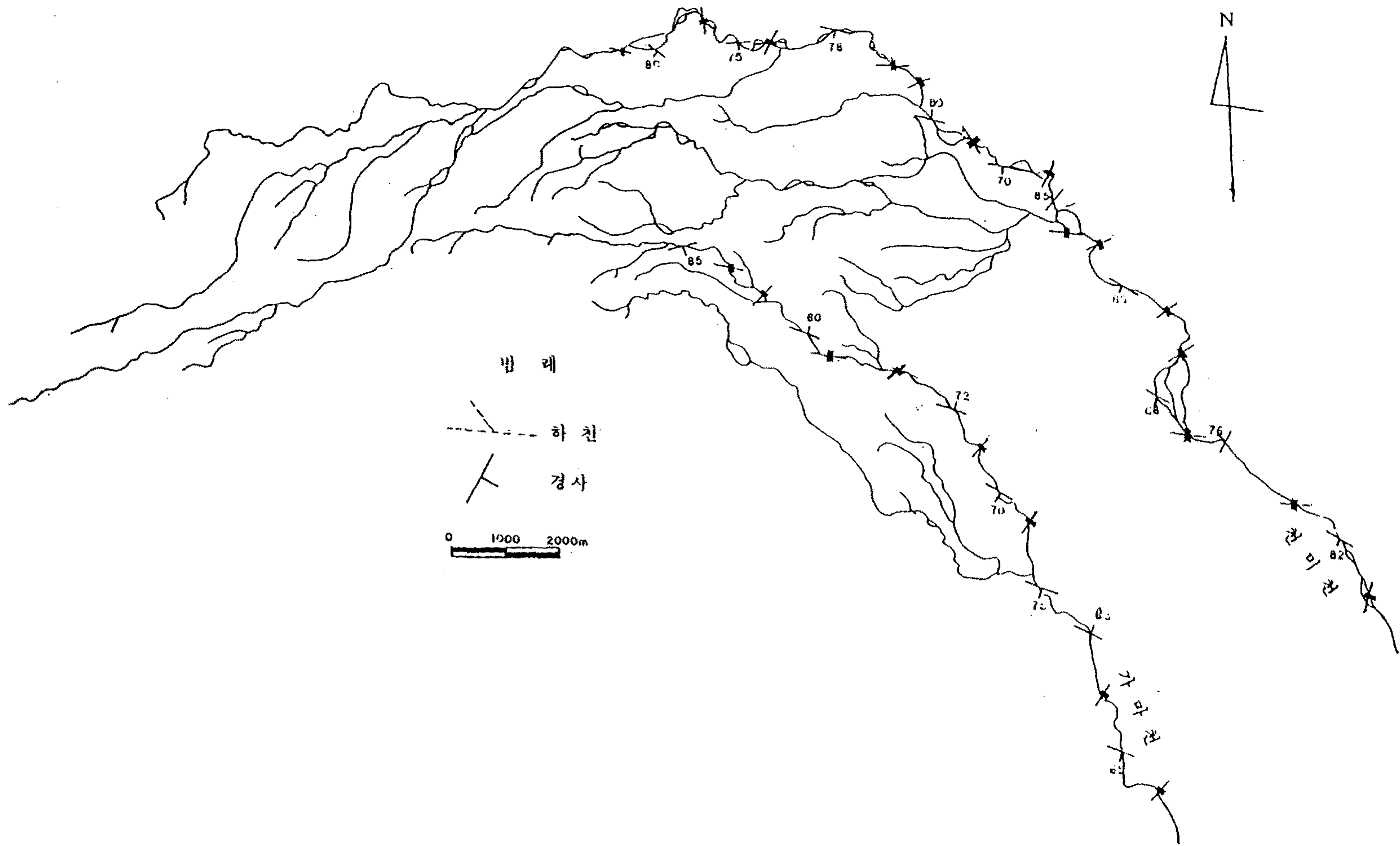
(5) 하천 유역의 절리계분석

110회 이상 화산 분출과 그에 수반되거나 그 후에 있었던 용기와 관련하여 형성된 제주도와 같은 화산암 분포지역에 있어서의 지질구조는 용암의 분출장소와 분출형식에 따라 일차적으로 지질구조가 결정되며, 또한 절리계와 용암층 자체내의 용암동굴의 붕괴와 같은 구조도 하계망의 형태결정과 지하수 함양 및 지하수의 유로와 유향역할을 하고 있다.

조사지역의 절리측정은 <그림 4-11>에서와 같이 총 67개 노두에서 135개의 측정치를 구하였다. <그림 4-11>에서 숫자는 경사를 표시하며 절리계의 방향과 하천과 지하수의 유향과 유로가 부분적으로 일치하는 곳이 여러 곳에서 관찰되어 절리계가 본 역 하계망과 관계가 있음을 의미한다.

<표 4-8>에서 천미천 절리계의 주향빈도를 보면 $N16^{\circ} \sim 25^{\circ} W$, $N26^{\circ} \sim 35^{\circ} W$, $N56^{\circ} \sim 65^{\circ} W$ 에 각각 17.91%, 16.42% 및 16.42%를 차지하고 있어 이들 급간의 차지하는 비중은 50.75%나 된다. 한편 조사지역의 절리계는 서로 한 다른 방향으로 교차되어 나타나는데, NE 방향으로 발달하는 절리계는 $N66^{\circ} \sim 75^{\circ} E$ 가 23.5%로 최대의 높은 빈도를 보이며, 그 다음으로 $N46^{\circ} \sim 55^{\circ} E$, $N56^{\circ} \sim 65^{\circ} E$ 가 26.48%를 차지하고 있어 천미천의 유로방향과 부분적으로 일치하고 있기도 하다.

한편 가마천 유역에 분포하는 화산암류에 대한 절리계의 주향빈도를 보면 <표 4-8>에서 보는 바와 같이 $N16 \sim 25^{\circ} W$ 가 26.19%로 최대의 빈도를 보이고 $N36 \sim 45^{\circ} W$ 는 16.67%로 보여 전체에서 이들 급간의 차지하는 비중은 42.86%나 된다. NW 방향과 직교하는 절리



<그림 4-11> 하천유역의 절리계 분포도

계는 N 56~ 65° E 및 N 76~ 85° E가 전체의 43.58%로 높은 빈도를 나타내고 있다.

<표 4-8> 하천 분포지역의 절리계 분석

주 향	천 미 천		가 마 천		주 향	천 미 천		가 마 천	
	빈 도	%	빈 도	%		빈 도	%	빈 도	%
N 1~ 5° W	2	3.00			N 1~ 5° E	1	1.47	2	4.35
N 6~15° W	7	10.45	4	9.52	N 6~15° E	6	8.82	5	10.87
N16~25° W	12	17.91	11	26.19	N 16~25° E	7	10.29		
N26~35° W	11	16.42	7	16.67	N 26~35° E	2	2.94	5	10.87
N36~45° W	5	7.46			N 36~45° E	7	10.29	7	15.22
N46~55° W	9	13.43	4	9.52	N 46~55° E	9	13.24	1	2.17
N56~65° W	11	16.42	5	11.91	N 56~65° E	9	13.24	10	21.74
N66~75° W	6	8.96	4	9.52	N 66~75° E	16	23.52	5	10.87
N76~85° W	2	2.99	6	14.29	N 76~85° E	10	14.71	10	21.74
N86~89° W	2	2.99	1	2.38	N 86~89° E	1	1.47	1	2.17
Total	67		42		Total	68		46	

(6) 토양조사

(가) 제주도 토양의 개황

토양은 인간을 비롯한 모든 생물체가 그 위에 근거하여 삶을 영위하는 기본적인 자원이며, 순수 토양학적인 면을 고려하면 지표면에 위치하여 식물생육의 터전을 마련하는 것으로서 토양모재가 기후와 생물들의 작용을 받아 변화하면서 환경조건과 평형이 되기 위하여 항

상 변화하고 있는 자연체이다.

이러한 토양은 하나의 배양기와 같이 생물체가 태양에너지를 축적, 변화시키고 물질을 순환시키는 역할을 할 뿐만아니라 대기오염과 수질오염의 물질들이 최종 집적지로 유입되어 축적되는 곳이며, 또한 토양은 토양에 유입된 오염물질이 하향이동에 의하여 지하수로 이동하는 것을 방지해 주는 역할을 한다.

제주도 토양은 대부분 화산회토로서 전면적의 약 76%를 점하고 있으며 일반적인 화산토의 특성에 따라 가비중이 적고 투수성이 크며 토양내에서 인산 고정력이 크므로 유효 인산함량이 매우 적다. 또한 제주도 토양은 지역에 따라 토양의 물리·화학적 성질 및 오염물질의 흡착과 이동등 오염물질 여과능에 관여하는 성질이 다른 4개의 토양이 존재한다.

제주도 전지역에 대한 정밀 토양조사를 실시하여 토양의 토성, 지형조건, 배수조건, 토심과 암역(岩礫)의 유무, 자연식생등에 따라 63개 토양통으로 분류하였으며, 이들 지역에서 밝혀진 중요한 토양통을 중심으로 이와 유사한 토양을 묶어 <그림 4-12>와 같이 4개의 토양군으로 대별하였다(제주도 정밀토양도, 1976).

동귀-구업-용흥 토양군은 지형이 용암류 평탄지로 배수가 양호하며 암갈색인 비화산회토로서 미사질식양토 내지 식질 토양으로서 본 토양군의 분포면적은 제주도의 18%인 328km²로서 주로 북제주군 해안변에 넓게 분포되어 있으며 경사는 대체로 30% 미만이다.

중엄-오라-구좌 토양군은 지형이 용암류 대지로서 배수가 양호내지 매우 양호하며 농암갈색 화산회토로써 주로 미사질 식양토로 자갈과 바위가 혼재되어 있는 토양으로서 중산간지역에 넓게 분포되어 있

으며 분포면적은 제주도의 44%인 798km²에 달한다.

평대-행원-민악 토양군은 지형이 용암류 대지로서 배수가 양호한 흑색 화산회토로서 주로 미사질 식양토로 자갈 혹은 등근바위가 혼재되어 있는 토양으로서 주로 본 도의 중산간지역에 분포하며 분포면적은 제주도의 23%인 418km²에 달한다.

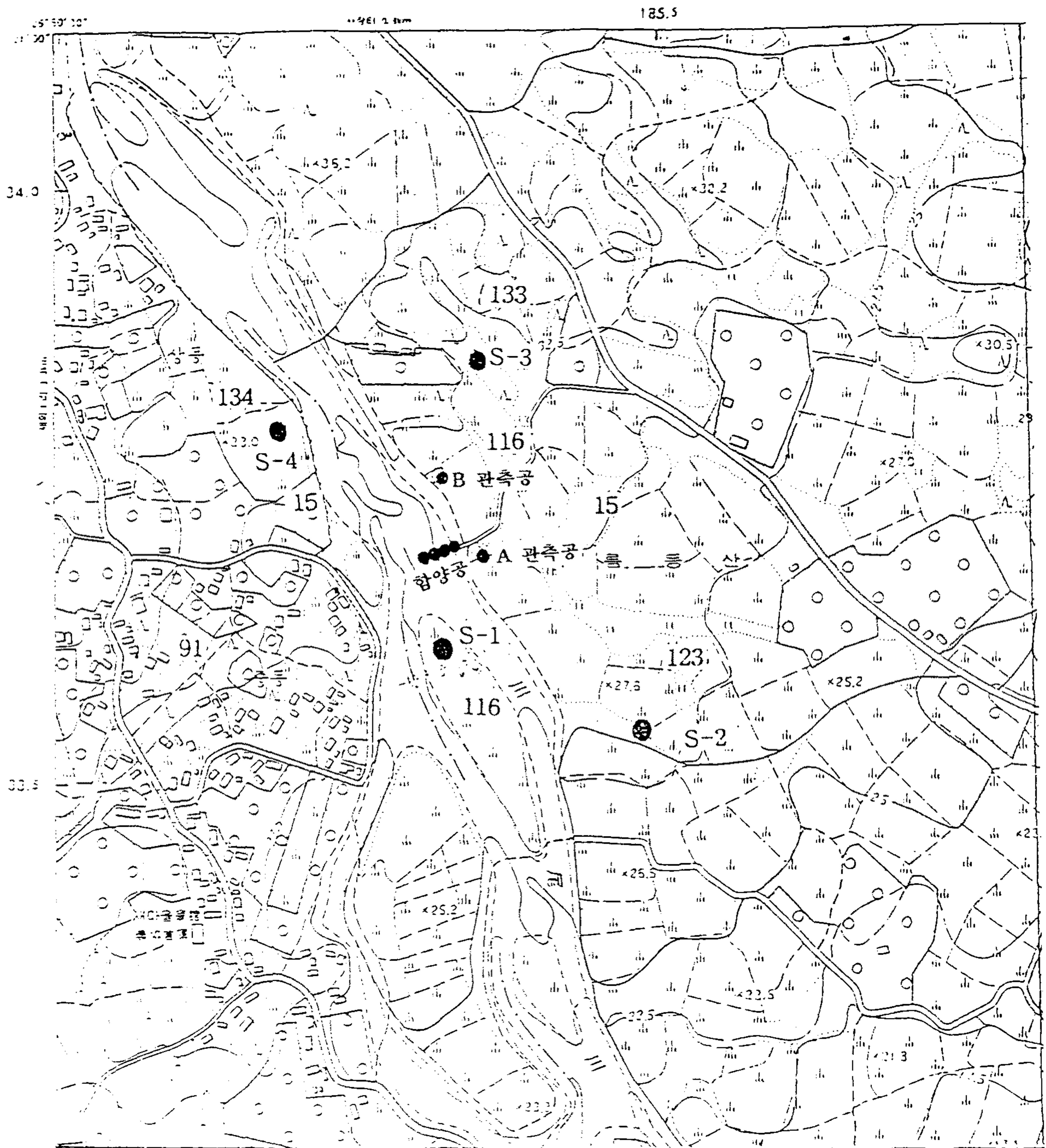
흑악-노로-적악 토양군은 지형이 산악지로서 배수가 양호하며 농암갈색인 미사질 식양토로 자갈 혹은 등근바위를 함유한 토양으로 주로 해발 700m이상인 삼림지대에 분포하고 있으며 분포면적은 약 266km²로써 제주도 면적의 15%에 해당된다.

(나) 조사범위 및 방법

사업지역 및 인근지역의 토양의 성질을 조사하기 위하여 조사범위는 사업지역 중심반경 1km이내로 하였으며, 시료채취는 <그림 4-12>에서와 같이 사업지구 북쪽 인근 토양(S-3) 및 북서쪽 토양(S-3)과 남쪽 토양(S-1) 및 남동쪽 인근토양(S-2)을 각각 채취하였다.

S-1은 천미천의 하천 범람지였으며, S-2 및 S-3는 농경지로서 밀감을 재배하는 과수원이었다. S-4도 농경지로서 시료채취 지역은 감자를 재배하고 있었다.

토양시료의 채취는 100cm³용 코어 토양시료 채취기(core soil sampler)를 사용하여 시료당 5개를 채취하였다. 토양시료의 화학적 성질은 농촌진흥청 토양화학분석법을 참고로 하여 수행하였고, 토양시료의 물리적 성질은 농촌진흥청 토양물리 분석법을 참고로 하여 입도, 투수계수등을 조사하였다.



<그림 4-12> 토양 조사범위, 토양시료 채취 지점(S-1, S-2, S-3, S-4)
 구좌동 : 15, 오라동 : 91, 제주동 : 116,
 제주동 : 123, 중엄동 : 134, 133

(다) 결과

1). 조사지역의 토양통

사업지역내 토양통은 1:25,000 축척의 제주도 정밀토양도(농업진흥청, 1976)를 참고로 하여 분류하였다.

사업지역 및 인근지역의 토양통은 <그림 4-12>에서와 같이 제주통(토양통 번호 116, 123), 중엄통(토양통번호 133, 134), 구좌통(토양통번호 15), 오라통(토양통번호 90, 91), 하천범람지(토양통 번호 172)으로 장석-감람석현무암을 기반으로한 농암갈색 화산회토로 분류된다.

이들 각 토양통에 대한 특징을 살펴보면 다음과 같다.

● 구좌통

구좌통은 미사식양계(微砂植壤系) 화산회토에 속하나 새로운 분류 방법에 의하면 coarse silty, ashy, nonacid thermic family of Andic Lithic Udorthents에 속한다. 이 토양의 표토는 농암회갈색의 바위가 있는 미사질양토이고 바로 하부에는 단단한 현무암의 암반대가 분포한다. 기반까지의 깊이는 10~50cm범위이다. 전 토층을 통하여 현무암의 자갈이 10~20% 정도이고 염기포화도는 35%이하이다. 토양반응은 강한 산성내지 약한 산성이고 유기물 함량은 5~20% 범위이며 인산 흡수계수는 2,000mg/100g이상이다.

표토는 일반적으로 두께가 보통인 농암회갈색 또는 회갈색의 미사질양토 또는 바위가 있는 미사질 양토이다. 기층은 암황갈색 또는 농암황갈색의 미사질 토양으로서 단단한 현무암의 암반상부에 있다. 이 토양은 보통 단단한 암반상부에 표토가 있다.

- 제주통

제주통은 미사식양질계 화산회토에 속하나 새로운 분류방법에 의하면 fine silty, ashy, thermic family of Andic Hapludults에 속한다. 이 토양의 표토는 농암갈색의 미사질양토이며 토심은 진갈색의 미사질양토이다. 토양의 모재는 현무암이며 용암류 대지에 분포한다.

토심은 100~150cm 범위이며 암반까지의 깊이는 2m이상이다. 토양 반응은 전단면을 통하여 일반적으로 강한 산성이고 염기포화도는 35% 이하이다. 표토는 농암갈색, 농암회갈색 혹은 암갈색의 양토내지 미사질 식양토이다. 심토는 진갈색, 갈색, 암황갈색의 미사질양토, 식양토 및 미사질식양토이고 발달도가 보통인 약간 풍화된 잔돌과 돌이 많다. 기층에는 진갈색, 황갈색 또는 암황갈색의 미사질양토 또는 양토이다.

- 오라통

오라통은 미사식양질 하부에 식양질계인 화산회토에 속하나 새로운 분류방법에 의하면 fine silty over fine loamy, ashy, thermic family of udif Eutrandedepth에 속한다. 이 토양의 표토는 자갈이 있는 암회갈색의 미사질양토이고 심토는 자갈이 있는 암갈색의 미사질식양토이며 기층은 암황갈색의 자갈이 있는 미사질 토양이다. 토양의 모재는 현무암에 기인된 화산회로서 용암류 대지에 분포한다.

토심은 100~150cm 범위이며 암반까지의 깊이는 2m이상이다. 토양 반응은 매우 강한 산성내지 약한 산성이며 염기포화도는 50% 이상이다. 표토는 갈색내지 암갈색 또는 암회갈색의 자갈이 있는 미사질양토이고 심토는 암갈색, 암회갈색 또는 암황갈색의 자갈이 있는 미사질

양토 또는 미사질식양토이며 기층은 암갈색 또는 암황갈색의 자갈이 있는 미사질식양토 또는 미사질양토이다. 전층을 통해 자갈의 함량은 약 10~35%이다.

- 중엄통

중엄통은 미사식양질계 화산회토에 속하나 새로운 분류방법에 의하면 fine silty, ashy, thermic family of Typic Dystrandeps에 속한다. 이 토양의 표토는 암회갈색의 미사질 양토이며 토심은 암황갈색이고 약 50cm 하부에 현무암의 암반층이 나타난다. 토양의 모재는 화산회이며 용암대지에 분포한다.

암반까지의 깊이는 50~100cm 범위이며 토양반응은 강한 산성내지 약한 산성이다. 유기물 함량은 5~10%이며 인산 흡수계수는 2,000mg/100g 이상이다. 표토는 암회갈색 또는 농암회갈색의 미사질 양토 또는 양질세사토로 표토에 10~20%정도의 자갈이 있다. 토심은 갈색내지 암갈색 또는 암황갈색의 미사질양토 또는 자갈이 있는 미사질양토이며 하부에는 현무암의 암반이 있다. 토양 배수는 양호하고 투수성은 약간 빠르며 유거는 보통이다.

2) 조사지역 토양의 물리적성질

조사지역 토양의 물리적 성질 분석은 입도, 투수계수등을 조사하였다. 토양의 입도분석은 채취된 시료 50g을 취하여 230mesh의 체를 사용하여 습식 체질한 후 조립부와 세립부로 나누어, 조립부는 1φ 간격으로 sieve shaker를 사용하여 건식 체질한 후 입도별 중량 백분율

을 구하였고, 세립부는 2%의 확산제, 50cc를 첨가하여 시료를 확산시킨 후 피펫방법에 의해 1 ϕ 간격으로 분석한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 따라서 조사지역 토양의 입도는 <표 4-9>와 같다.

조사지역 토양의 입도분포는 <표 4-9>와 같이 미사함량이 57.8~73.6%로 매우높은 미사질식양토이며, 자갈함량은 S-1시료에서 8.9%로 다소높은 함유량을 보였다.

<표 4-9> 조사지역 토양의 입도분석치

시 료	토 심 (m)	자갈함량 (%)	입 도(%)					토 성 명
			조 사	중 사	세 사	미 사	점 토	
S-1	18.0	8.9	3.6	2.9	1.8	72.6	19.1	미사질양토
S-2	4.8	6.7	2.4	2.7	2.1	73.6	19.3	미사질식양토
S-3	16.0	2.7	0.7	0.6	5.2	68.4	25.1	미사질식양토
S-4	14.0	2.9	0.8	0.6	3.1	57.8	37.7	미사질식양토

조사지역내 토양의 투수속도 측정은 등수두 시험기를 이용하여 투수계수를 구하였다. 따라서 조사지역 토양의 투수계수는 <표 4-10>과 같다.

<표 4-10> 조사지역 토양의 투수 속도

시 료	투수속도(cm/hr)
S-1	27.1
S-2	12.5
S-3	12.4
S-4	13.6

투수속도는 토양을 통과하는 오염물질이 하향이동을 예측하는데 중요한 자료로 이용될 수 있다. 투수속도가 빠른 경우 물에 용해되어 있는 오염물질은 토양의 공극을 통하여 하향 이동하기 때문에 토양과의 접촉시간과 면적이 적어 흡착에 의해 여과되는 양이 적기 때문에 쉽게 하향이동하여 지하수로 유입될 수 있다. 그러나 투수속도가 느린 경우 오염물질을 함유한 물이 토양의 미세공극을 통과하면서 토양입자에 의해 흡착되어 여과되거나 토양층 밑까지 도달하지 못하기 때문에 지하수 오염위험성이 작아진다.

조사지역 토양의 투수속도는 <표 4-10>과 같이 12.4~27.1cm/hr로 비교적 빠르며 특히 하천범람지 토양인 S-1시료에서는 투수속도가 27.1cm/hr로 최대값을 보이고 있어 오염물질이 쉽게 물과 함께 하향이동되어 지하수로 유입될 가능성이 매우 큰 조건을 갖고 있다.

(7) 하천유출량 및 인공함양량조사

지하수의 산출상태를 파악하는 목적은 대부분이 개발가능량을 결정하기 위함에 있다. 수문계의 물리적인 형태나 물리적인 형태의 수리성을 결정한 후 각 형태의 수리적인 관계를 규명한 후에 도달할 수 있다. 또한 각종 함수층의 수리성과 그 분포 및 수직적인 지질분포를 파악하여 어떠한 조건하에서 물이 유입, 유출되는가를 파악하여야 한다. 이러한 물의 물리적인 형태를 이해하므로써 지표수계나 지하수계의 양계를 통해서 흐르는 물의 양을 결정지을 수 있으며, 이러한 물 수요를 설정하는 것을 물수지분석이라 한다.

물수지분석은 일정한 지역내에 유입되는 강우량과 유출되는 증발

산량, 직접유출량 그리고 그 지역내에 저류되는 인공함양량이 항상 평형조건을 이룬다는 가정하에 기초를 둔 것이며 이러한 평형을 소위 수문평형방정식이라 부르며 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서 I : 유입량(Inflow)
O : 유출량(Outflow)
 ΔS : 저류량의 변화

상기식에서 각 인자는 다음과 같은 요소로 구성되어 있다.

- 유입량요소 = 지표수유입+표면하수유입+강우+유입수
- 유출량요소 = 지표수유출+표면하수유출+증발확산+소비된물+유출수
- 저류량요소 = 지표수저류량변화+지하수부존량변화+토양변화

이러한 가정하에서 본 조사지역인 천미천에서의 1차적인 하천유출량을 조사하기 위해 강우기인 7~9월중 100mm 이상의 강수를 기록한 5차에 걸쳐 유출량조사를 실시하였다.

조사대상 지역은 <그림 4-13>에서 보는바와 같이 남제주군 성산읍 신천리의 천미천 하류지역에 해당하며 인공함양공은 천미천 바닥에 No-1, 2, 3, 4로 4공을 착정하였으며, 관측공 A관정은 함양공에서 동남측으로 약 42m 지점에 위치하며 B관측공은 함양공에서 북동쪽으로 약 48m거리에 위치한다.

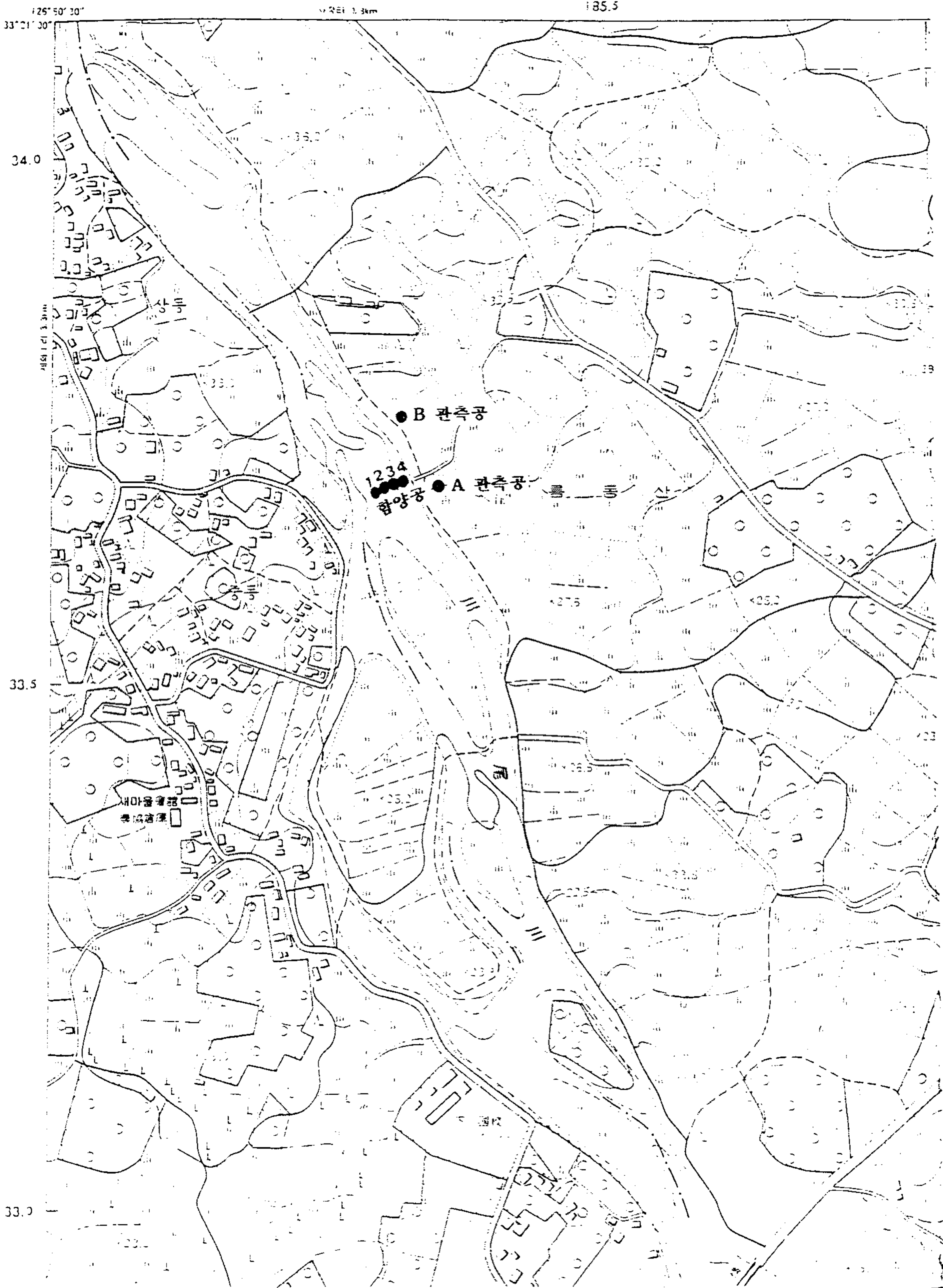
함양량 측정방법은 회전식 유속계인 CM-1A형 High Speed Current Meter를 이용하여 다량의 강우시 천미천을 통하여 유출되는 하천수가 하상에 수직으로 착정된 4개의 함양공을 통해 유입되는 곳

에서의 유속(V), 물기둥의 높이(H), 넓이(W)를 구하여 유입량(Q)을 계산하였다.

지하수위 관측은 A관측공에 자동수위 관측기기를 설치하여 다량의 강수시 천미천을 통해 유출되는 하천수가 자연유하식 함양공을 통해 함양됨에 따른 자연수에 변화양상을 연속측정하도록 하였고, B관측공은 설치된 조사용 P.V.C홀 속으로 전선줄을 삽입하여 테스터기에 의해 mm눈금까지 측정하였다.

<그림 4-13>은 조사지역의 인공함양공과 수위관측공의 위치도이다. 인공함양공 No-1, 2, 3, 4는 해안선에서 내륙쪽으로 약 1.63km지점에 위치하며 착정심도는 No-1, 4 관정은 40m이고, No-2, 3 공은 30m이며, 이들 착정공의 구경은 24cm이다. A관측공은 해안선에서 내륙쪽으로 약 1.5Km에 위치하며 B관측공은 해안선에서 부터 내륙쪽으로 약 1.75Km에 위치해 있다. 한편 성산포지역의 7월과 8월의 강수량은 <표 4-9>와 같다. 이중 7~8월에 천미천에 하천유출이 있었던 3차에 걸친 하천유출량 및 지하수유입량에 대한 측정결과는 다음과 같다.

1995년 7월 1일부터 7월 3일까지 성산포 지역 총강우량이 317.5mm의 강우의 영향으로 7월 2일 10:00 부터 12:00까지 천미천에서 하천 유출량($Q=V \times H \times W$, 유속 2.5m/sec, 물기둥 0.96m, 넓이 37.41m)은 약 $646,000\text{m}^3/2\text{hr}$ 였으며 이때 관정 반지름이 0.12m인 함양공에서 측정된 유속(V)은 3.3m/sec 였다. 따라서 1개 공당 함양된 유입량 $Q=\pi \times R^2 \times V=3.14 \times 0.0114 \times 3.3=537.2\text{m}^3/\text{hr}$ 로 4개 공에 유입된 함양량은 $2148.8\text{m}^3/\text{hr}$ 으로 2시간 동안 $4,297.6\text{m}^3/2\text{hr}/4\text{공}$ 정도가 유입되는 것으로 관측되었다. 7월 2일 12:00부터 7월 2일 20:00까지의 천미천의 하천유출량(유속 3.6m/sec, 물기둥 1.88m, 넓이 37.41m)은 약



<그림 4-13> 조사지역 관정 분포도

7,291,897m³/8hr였으며, 이때 함양공에서 측정된 유속은 평균 4.4m/sec로 1개공당 함양량은 $Q=3.14 \times 0.014 \times 4.4$ 는 716.2m³/hr이며 4개공 유입된 총함양량은 2,864.8m³/hr정도로 8시간동안 총 22,918m³가 유입되는 것으로 관측되었다.

<표 4-9> 성산포 지역의 강수량(1995년 7월~8월)

일 시	강수량(mm)	일 시	강수량(mm)
7/ 1	10.0	8/ 5	5.5
7/ 2	302.0	8/ 6	0.5
7/ 3	5.5	8/10	0.5
7/ 4	2.0	8/18	0.5
7/ 5	36.0	8/19	12.5
7/ 6	46.5	8/20	52.0
7/ 7	225.0	8/21	14.0
7/ 8	0.5	8/22	23.0
7/22	4.0	8/23	4.0
7/23	140.0	8/25	11.5
7/24	7.5	8/29	42.5

한편 7월 2일 20:00부터 7월 3일 10:00까지의 천미천의 하천유출량 (유속 2.3m/sec, 물기둥 0.8m, 넓이 37.41m)은 3,469,253m³/14hr.로 이때 함양공에서 측정된 유속은 평균 3.1m/sec였고 1개공당 함양량은 504.6m³/hr.로 이들 4개공에 동시에 유입된 함양량은 약 2,018.4m³/hr. 정도로 14시간 동안 총 28,257m³가 유입되는 것으로 관측되었다. 그러나 7월 7일 하루동안에 225.0mm의 강우가 내려 7월 7일 01:00부터 03:00까지 천미천에서의 하천유출량(유속 1.2m/sec. 물기둥 0.5m)은

약 161,611m³/2hr였으며 이때 함량공에서 측정된 유속은 2.0m/sec였으며, 4개의 함량공을 통해 유입된 유량은 2,604m³/2hr로 관측되었으며, 7월 7일 03:00부터 10:00까지 천미천의 하천유출량 (유속 2.7m/sec, 물기둥 0.98m)은 약 2,494,468m³/7hr였으며, 이때 함량공에서 측정된 유속은 3.5m/sec였으며 1개공당 함량된 유입량은 약 570m³/hr로 4개공을 통해 동시에 유입된 함양량은 약 15,960m³/7hr/4공으로 관측되었다. 이러한 결과를 알기쉽게 도표화 하였으며 세부 산출내역은 다음과 같다<표 4-10>.

<표 4-10> 천미천의 하천 유출량 및 함양량

구분	일자	시간	강우량 (mm)	유출시간	유출량	함양량 (1공기준)
1차	7. 1	20:00~24:00	10.0			
	7. 2	00:00~24:00	302.0	10:00~12:00(2시간)	646,448m ³ / 2hr	1,074m ³ / 2hr
				12:00~20:00(8시간)	7,291,897m ³ / 8hr	5,729m ³ / 8hr
				20:00~7/3. 07:00 (14시간)	3,469,253m ³ /14hr	7,064m ³ /14hr
7. 3	00:00~07:00	5.5				
2차	7. 6	03:00~24:00	46.5			
	7. 7	00:00~15:00	225.0	01:00~03:00(2시간)	161,611m ³ /2hr	651m ³ /2hr
				03:00~10:00(7시간)	2,494,468m ³ /7hr	3,988m ³ /7hr
			10:00~18:00(8시간)	1,445,881m ³ /8hr	3,906m ³ /8hr	
3차	7.22	22:00~24:00	4.0			
	7.23	00:00~24:00	140.0	08:00~13:00(5시간)	1,269,994m ³ /5hr	2,523m ³ /5hr
				13:00~18:00(5시간)	1,904,318m ³ /5hr	2,929m ³ /5hr
			18:00~22:00(4시간)	206,862m ³ /4hr	1,041m ³ /4hr	

* 7월 1일 20:00부터 7월 3일 10:00까지

1. 7월 1일부터 7월 3일까지 성산포지역 총강수량? 317mm

날 짜	시 간	강 수 량	비 고
7월 1일	20:00 - 24:00	10mm	
7월 2일	00:00 - 24:00	302mm	
7월 3일	00:00 - 07:00	5mm	총 317mm

2. 천미천의 하천 유출시간 ?

1995년 7월 2일 10:00부터 7월 3일 10:00까지

3. 천미천의 하천 유출기간의 우수 유출량

1) 천미교에서 측정

① 7월 2일 10:00부터 12:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 2.5\text{m/sec}$

● 물 기 등(m) : $H = 0.96\text{m}$

● 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$

● 유 량(Q) : $V \times H \times W$

$$\begin{aligned} \therefore \text{유량}(Q) &= 89.784\text{m}^3/\text{sec} = 5,387.04\text{m}^3/\text{min} \\ &= 323,222.4\text{m}^3/\text{hr}. \\ &= 646,444.8\text{m}^3/2\text{hr} \end{aligned}$$

② 7월 2일 12:00부터 20:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 3.65\text{m/sec}$

● 물 기 등(m) : $H = 1.88\text{m}$

● 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$

● 유 량(Q) : $V \times H \times W$

$$\begin{aligned} \therefore \text{유량}(Q) &= 253.19088\text{m}^3/\text{sec} = 15,191.4528\text{m}^3/\text{min} \\ &= 911,487.168\text{m}^3/\text{hr}. \\ &= 7,291,897.4\text{m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

③ 7월 2일 20:00부터 7월 3일 10:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 2.3\text{m/sec}$

● 물 기 등(m) : $H = 0.80\text{m}$

● 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$

● 유 량(Q) : $V \times H \times W$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유량}(Q) &= 68.8344\text{m}^3/\text{sec} = 4,130.064\text{m}^3/\text{min} \\ &= 247,803.84\text{m}^3/\text{hr.} \\ &= 3,469,253.8\text{m}^3/14\text{hr}\end{aligned}$$

2) 관측공에서 인공함유량(1개공 기준)

① 7월 2일 10:00부터 12:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 3.3\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12\text{m})^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유 량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 3.3 \\ &= 0.1492128\text{m}^3/\text{sec} = 8.952768\text{m}^3/\text{min} \\ &= 537.16608\text{m}^3/\text{hr.} \\ &= 1,074.33\text{m}^3/2\text{hr}\end{aligned}$$

② 7월 2일 12:00부터 20:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 4.4\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12\text{m})^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유 량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 4.4 \\ &= 0.1989504\text{m}^3/\text{sec} = 11.937024\text{m}^3/\text{min} \\ &= 716.22144\text{m}^3/\text{hr.}\end{aligned}$$

$$= 5,729.77\text{m}^3/8\text{hr}$$

③ 7월 2일 20:00부터 7월 3일 10:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 3.1\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12\text{m})^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{유량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 3.1 \\ &= 0.1401696\text{m}^3/\text{sec} = 8.410176\text{m}^3/\text{min} \\ &= 504.61056\text{m}^3/\text{hr}. \\ &= 7,064.55\text{m}^3/14\text{hr} \end{aligned}$$

* 7월 6일 03:00부터 7월 7일 18:00까지

1. 7월 6일부터 7월 7일까지 성산포지역 총 강수량? 272mm

날 짜	시 간	강 수 량	비 고
7월 6일	03:00 - 24:00	46.5mm	
7월 7일	00:00 - 15:00	225.0mm	

2. 천미천의 하천 유출시간 ?

1995년 7월 7일 01:00부터 7월 7일 18:00까지

3. 천미천의 하천 유출기간의 우수 유출량

1) 천미교에서 측정

① 7월 7일 01:00부터 03:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 1.2\text{m/sec}$

● 물 기 둥(m) : $H = 0.50\text{m}$

● 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$

- 유 량(Q) : $V \times H \times W$
- ∴ 유량(Q) = $22.446\text{m}^3/\text{sec} = 1,346.76\text{m}^3/\text{min}$
 $= 80,805.6\text{m}^3/\text{hr.} = 161,611.2\text{m}^3/2\text{hr}$

② 7월 7일 03:00부터 10:00까지

- 유속(m/sec) : $V = 2.7\text{m/sec}$
- 물 기 둥(m) : $H = 0.98\text{m}$
- 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$
- 유 량(Q) : $V \times H \times W$
- ∴ 유량(Q) = $98.98686\text{m}^3/\text{sec} = 5,939.2116\text{m}^3/\text{min}$
 $= 356,352.696\text{m}^3/\text{hr.}$
 $= 2,494,468.9\text{m}^3/7\text{hr}$

③ 7월 7일 10:00부터 7월 7일 18:00까지

- 유속(m/sec) : $V = 2.2\text{m/sec}$
- 물 기 둥(m) : $H = 0.61\text{m}$
- 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$
- 유 량(Q) : $V \times H \times W$
- ∴ 유량(Q) = $50.20422\text{m}^3/\text{sec} = 3,012.253\text{m}^3/\text{min}$
 $= 180,735.19\text{m}^3/\text{hr.} = 1,445,881.54\text{m}^3/8\text{hr}$

2) 관측공에서 인공함유량(1개공 기준)

① 7월 7일 01:00부터 03:00까지

- 유속(m/sec) : $V = 2.0\text{m/sec}$
- 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$
- $R = 0.12\text{m}$
- $R^2 = (0.12\text{m})^2 = 0.0144\text{m}^2$
- ∴ 유 량(Q) = $\pi \times R^2 \times V$
 $= 3.14 \times 0.0144 \times 2.0$
 $= 0.090432\text{m}^3/\text{sec} = 5.42592\text{m}^3/\text{min}$

$$= 325.5552\text{m}^3/\text{hr.} = 651.1104\text{m}^3/2\text{hr}$$

② 7월 7일 03:00부터 10:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 3.5\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12\text{m})^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{유량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 3.5 \\ &= 0.158256\text{m}^3/\text{sec} = 9.49536\text{m}^3/\text{min} \\ &= 569.7216\text{m}^3/\text{hr.} = 3,988.05\text{m}^3/7\text{hr} \end{aligned}$$

③ 7월 7일 10:00부터 7월 7일 18:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 3.0\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12)^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{유량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 3.0 \\ &= 0.135648\text{m}^3/\text{sec} = 8.13888\text{m}^3/\text{min} \\ &= 488.3328\text{m}^3/\text{hr.} = 3,906.66\text{m}^3/8\text{hr} \end{aligned}$$

* 7월 22일 22:00부터 7월 23일 22:00까지

1. 7월 22일부터 7월 23일까지 성산포지역 총 강수량? 144mm

날 짜	시 간	강 수 량	비 고
7월 22일	22:00 - 24:00	4.0mm	
7월 23일	00:00 - 24:00	140.0mm	

2. 천미천의 하천 유출시간 ?

1995년 7월 23일 08:00부터 7월 23일 22:00까지

3. 천미천의 하천 유출기간의 우수 유출량

1) 천미교에서 측정

① 7월 23일 08:00부터 13:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 2.3\text{m/sec}$

● 물 기 둥(m) : $H = 0.82\text{m}$

● 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$

● 유 량(Q) : $V \times H \times W$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유량}(Q) &= 70.55526\text{m}^3/\text{sec} = 4,233.3156\text{m}^3/\text{min} \\ &= 253,998.9\text{m}^3/\text{hr.} = 1,269,994.68\text{m}^3/5\text{hr}\end{aligned}$$

② 7월 23일 13:00부터 18:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 2.8\text{m/sec}$

● 물 기 둥(m) : $H = 1.01\text{m}$

● 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$

● 유 량(Q) : $V \times H \times W$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유량}(Q) &= 105.79548\text{m}^3/\text{sec} = 6,347.7288\text{m}^3/\text{min} \\ &= 380,863.728\text{m}^3/\text{hr.} = 1,904,318.7\text{m}^3/5\text{hr}\end{aligned}$$

③ 7월 23일 18:00부터 22:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 0.8\text{m/sec}$

● 물 기 둥(m) : $H = 0.48\text{m}$

● 넓 이(m) : $W = 37.41\text{m}$

● 유 량(Q) : $V \times H \times W$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유량}(Q) &= 14.36544\text{m}^3/\text{sec} = 861.9264\text{m}^3/\text{min} \\ &= 51,715.584\text{m}^3/\text{hr.} = 206,862.34\text{m}^3/4\text{hr}\end{aligned}$$

2) 관측공에서 인공함유량(1개공 기준)

① 7월 23일 08:00부터 13:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 3.1\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12\text{m})^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 3.1 \\ &= 0.1401696^3/\text{sec} = 8.410176\text{m}^3/\text{min} \\ &= 504.61056\text{m}^3/\text{hr.} = 2,523.0528\text{m}^3/5\text{hr}\end{aligned}$$

② 7월 23일 13:00부터 18:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 3.6\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12\text{m})^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 3.6 \\ &= 0.1627776\text{m}^3/\text{sec} = 9.766656\text{m}^3/\text{min} \\ &= 585.99936\text{m}^3/\text{hr.} = 2,929.997\text{m}^3/5\text{hr}\end{aligned}$$

③ 7월 23일 18:00부터 22:00까지

● 유속(m/sec) : $V = 1.6\text{m/sec}$

● 관정반지름(m) : $12\text{cm} = 0.12\text{m}$

$$R = 0.12\text{m}$$

$$R^2 = (0.12)^2 = 0.0144\text{m}^2$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{유량}(Q) &= \pi \times R^2 \times V \\ &= 3.14 \times 0.0144 \times 1.6 \\ &= 0.0723456\text{m}^3/\text{sec} = 4.340736\text{m}^3/\text{min} \\ &= 260.44416\text{m}^3/\text{hr.} = 1,041.78\text{m}^3/4\text{hr}\end{aligned}$$

나. 지구선정 및 지하수 유입공설치



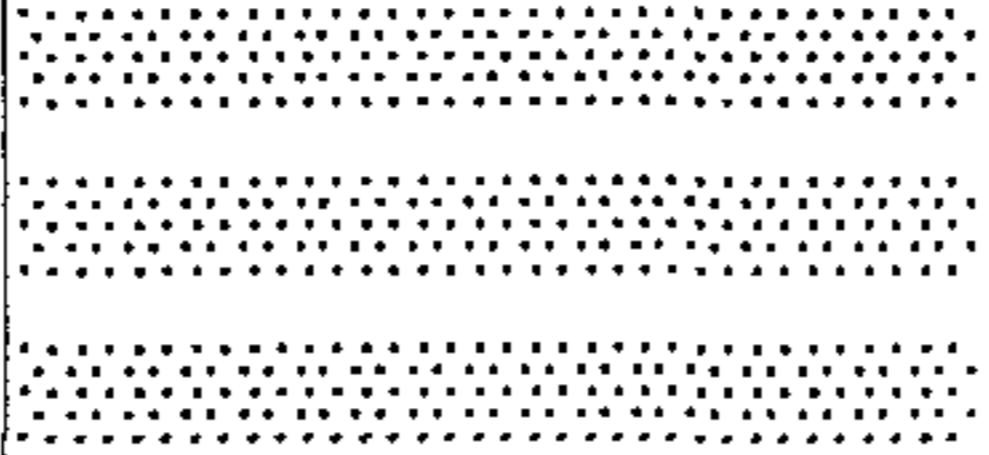




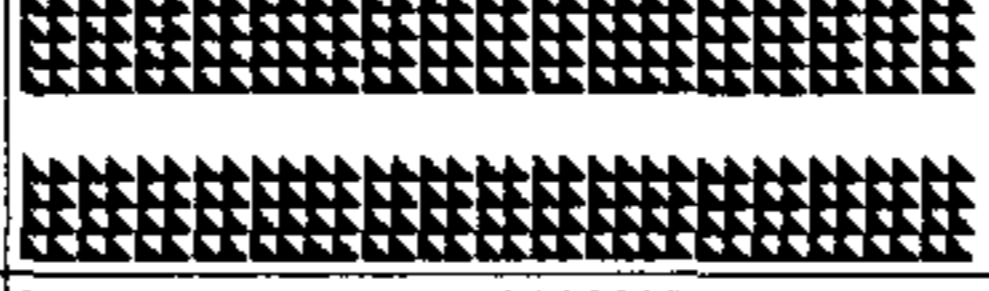
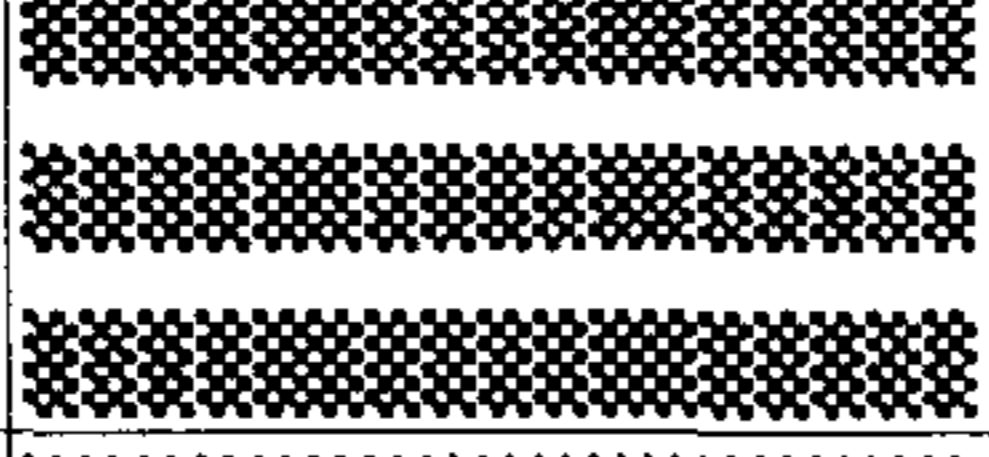


(1) 지하수 인공함양을 위한 유입공설치

하천에서 일시에 유출되는 강우를 인공적인 방법으로 함양시킬 수 있는 방법으로는 하상에서 정호를 형성시켜 지층내의 대수층을 통하여 자연 유입시키는 방법이 최상이라 할 수 있겠다. 즉, 제주도 지하수의 부존형태중 기저지하수체의 lens두께를 확대시킨다는 개념일 것이다.




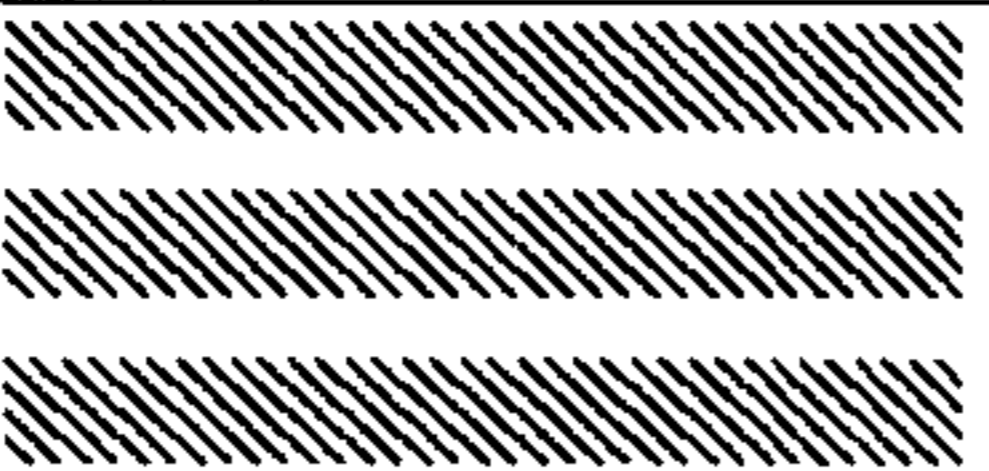
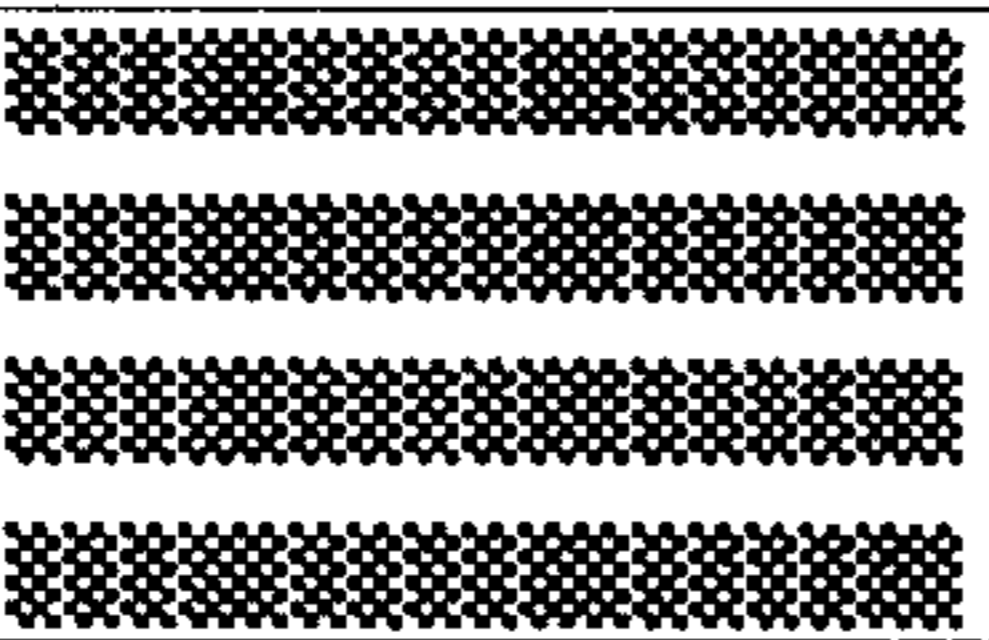


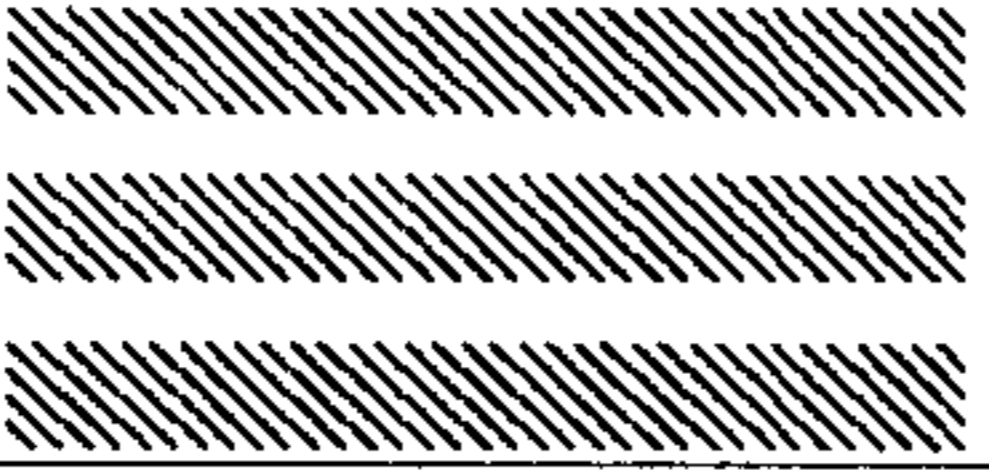
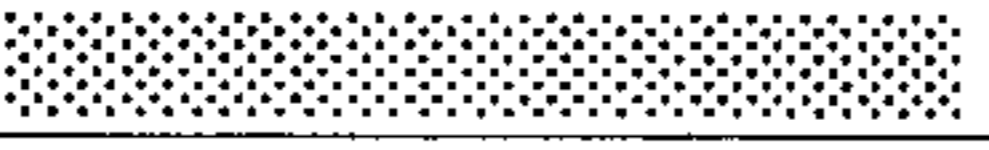

대규모의 하상굴착을 실시하여 많은 양의 유수량을 주입시킬 수 있는 방법도 있겠지만 하부 지층의 대수층 발달 상태를 인지할 수 없는 상태에서의 하상굴착은 많은 시간과 경비가 소요되리라 판단된다. 이러한 판단하에 동부지역에서 유역면적이 가장 광활하며 유로가 긴 천미천의 하부지역에 함양공의 위치를 선정하였으며 본 조사지역은 이미 해수의 침입으로 기저지하수체중의 담수렌즈가 약간얕아진 상태하에 있어서 만약 상부로부터의 유입될 수 있는 오염물질(생활하수등 오폐수)이 유입될지라도 기 부존되어 있는 지하수 수질오염에 대한 우려가 해소될 수 있는 차원에서 천미천하부지역에 위치를 선정하였다.

당초 3공(50m/공당)의 유입공을 설치할 계획으로 천미천하상에 착정을 실시하였으나 착정결과 대수층이 상부에 발달되어 있는 관계로 유입량의 증대를 도모코자 4공의 유입공을 설치하였다(총 심도 140m).

관측공 지질 주상도

지구명	유입1호공	위 치	남제주군 성산읍 신천리	표 고	27.89m	자연수위	26.539m
심도(m)	총후(m)	주 상 도		지 질	비 고		
2.5	2.5			연 암	다공질 FOB, gray		
3.0	0.5			풍화암	다공질 dark brown		
8.0	5.0			사 력	다공질 FOB RQD=10 dark gray		
13.0	5.0			연 암	기공 다소 적은 연질 FOB, gray		
15.0	2.0			풍화암	기공적은 연질 FOB, 풍화, 파쇄심함		
16.0	1.0			경 암	치밀질 FOB, gray		
20.0	4.0			풍화암	다공질 FOB, 파쇄. 풍화발달 RQD=20		
24.0	4.0			경 암	치밀질 FOB, gray		
29.0	5.0			풍화암	다공질연암이나 풍화혼적 (홍점토 점착)		
35.0	6.0			사 력	화성쇄설층과 연암파쇄대 혼재		
40.0	5.0			연 암	기공다소 있으나 암질은 견고한 FOB, gray		

관측공 지질 주상도

지구명	유입4호공	위치	남제주군 성산읍 신천리	표고	27.89m	자연수위	26.539m
심도(m)	층후(m)	주상도	지질	비고			
7.0	7.0		연암	다공질 FOB, dark brown, 하부파쇄대발달(RQD=20-30)			
11.0	4.0		연암	치밀질 FOB, gray			
13.0	2.0		풍화암	다공질 FOB, 점토 점착			
17.0	4.0		연암	기공 적은 연질 FOB, gray			
22.0	5.0		풍화암	다공질 FOB, 풍화 파쇄발달로 사력 화, dark brown			
24.0	2.0		경암	치밀질 FOB, gray			
26.0	2.0		풍화암	다공질 FOB, 풍화(점토)			
30.0	4.0		연암	다공질 FOB, dark gray			
32.0	2.0		사력	화성쇄설층 + 파쇄대			
40.0	8.0		연암	다공질 FOB, gray			

굴착된 유입공에서 채취된 core를 관찰한 결과 지표하 4~5m, 17~22m, 26~32m부근에서 매우 양호한 대수층으로 판단할 수 있는 사력 및 다공질연암등 파쇄대 발달이 양호한 지층들이 관찰되었다. 이러한 대수층은 강우시 정호내로 유입된 유수들이 빠른 속도로 함양될 수 있는 충분한 조건을 갖춘 지층이라 할 수 있겠다. 또한 1호공의 굴착결과 30m하부에는 대수층의 발달이 미약하여 2-3호공은 30m에서 굴착을 중단하고 4호공은 1호공과의 지층대비를 위하여 40m까지 굴착하였으며 공당 설치간격은 각각 1m씩이다.






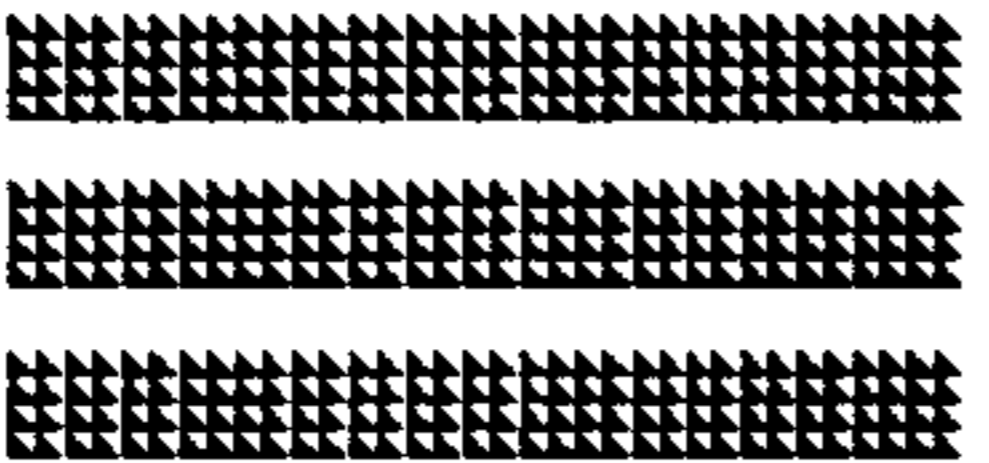
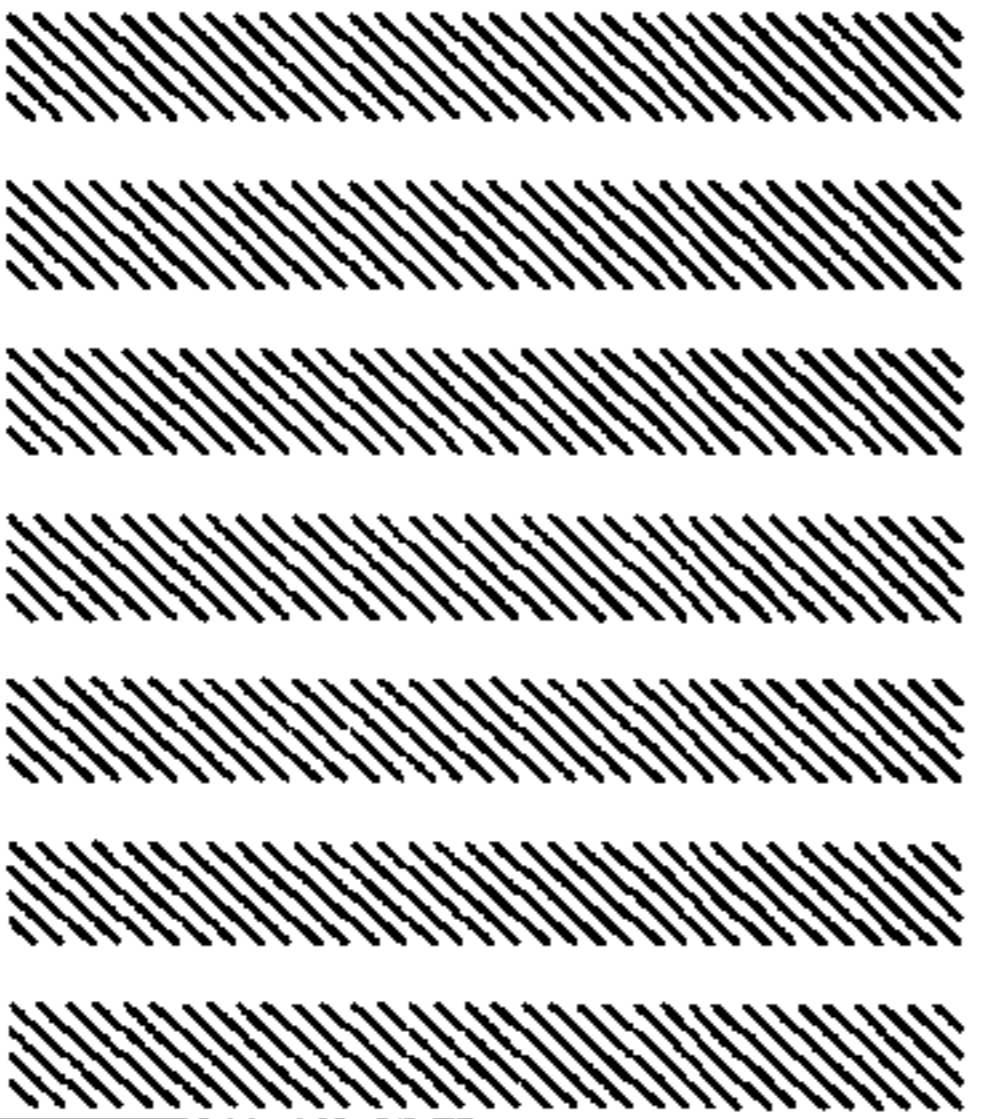
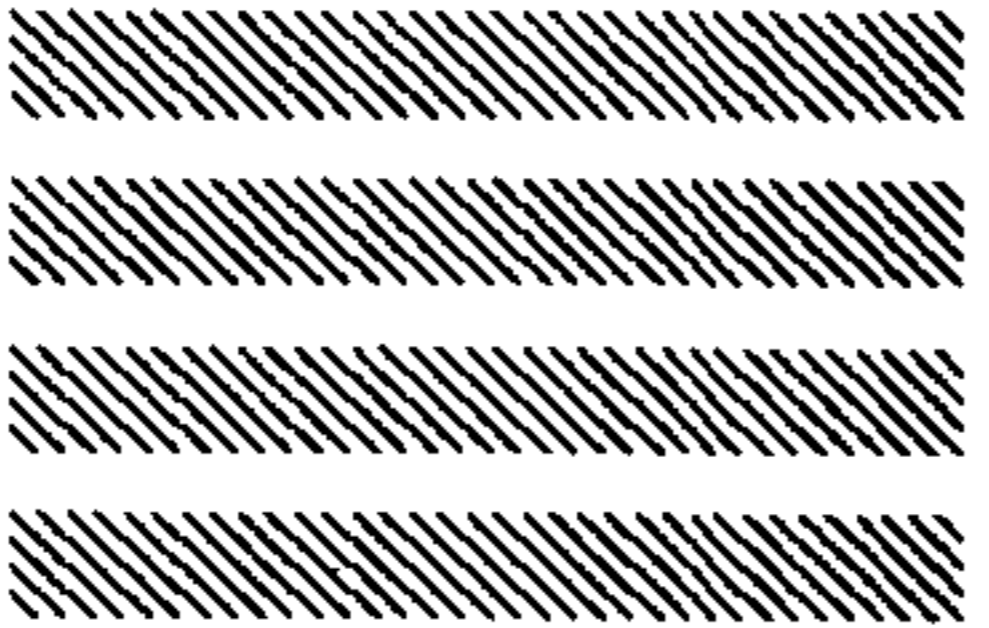


(2) 함양효과 관측을 위한 관측공 설치

하상에 굴착된 함양공을 통하여 강우시 유수가 함양된 효과를 판단하기 위하여는 지하수위의 변화(수위상승, 하강)를 파악할 수 있도록 관측공을 설치하여야 한다. 이러한 함양효과를 관측하기 위하여 유입공의 상부 및 하부에 각각 1공씩(심도 : 50m/공당)의 관측공을 설치하였다.

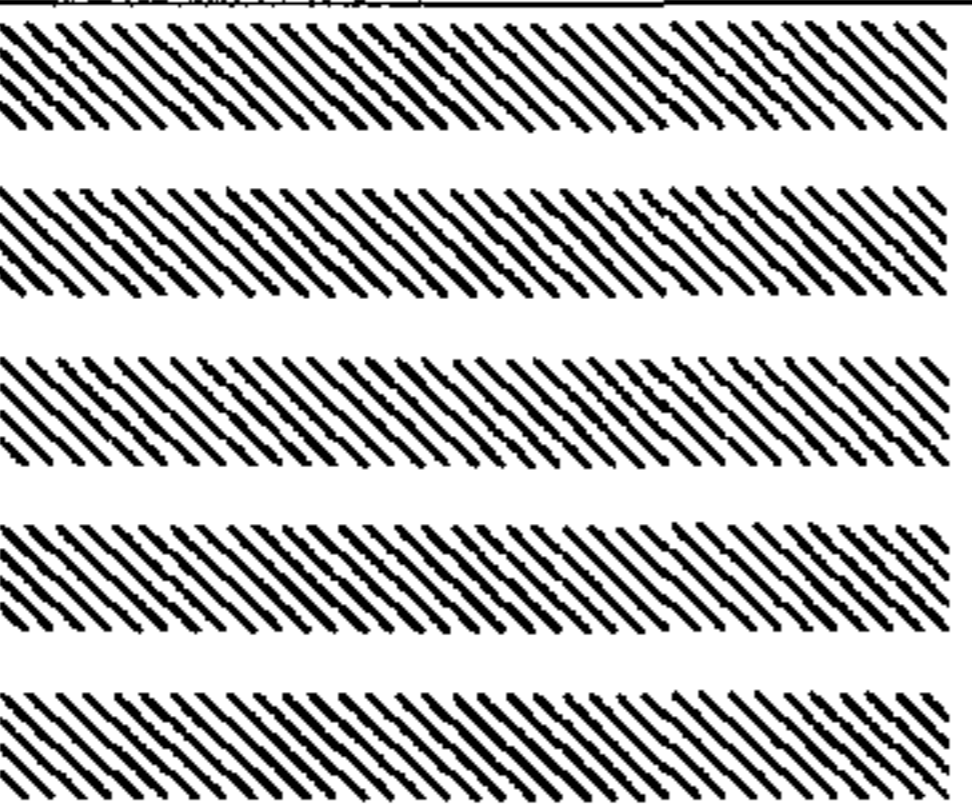
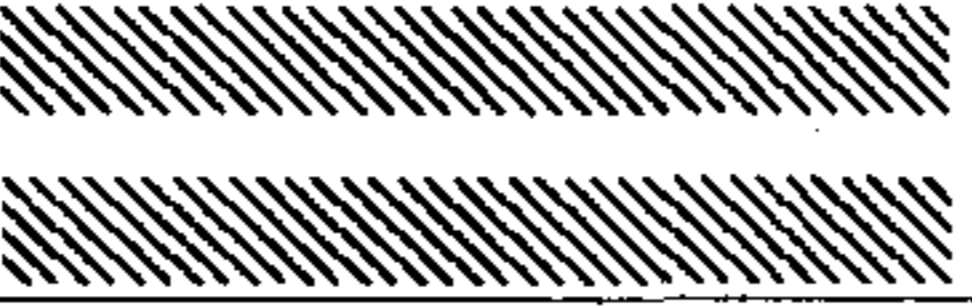









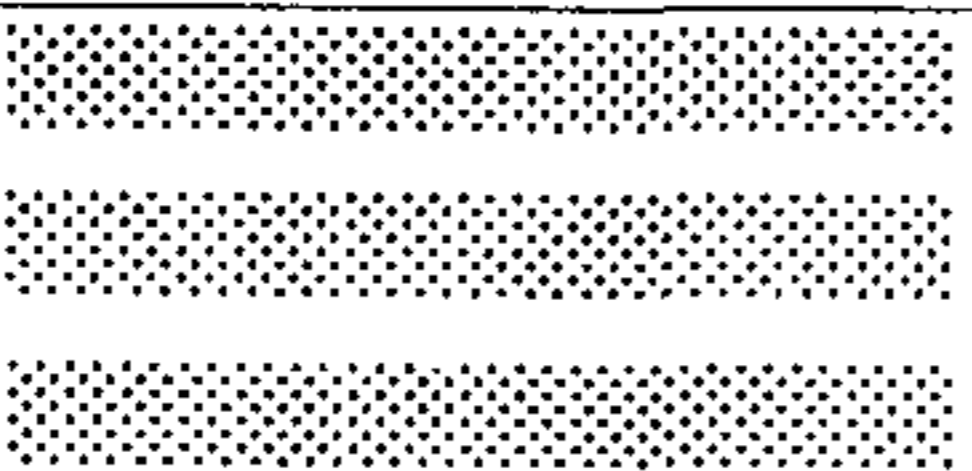
관측A공은 유입공의 동남쪽하부 약 42m지점에 위치하며 관측B공은 함양공의 북동쪽 약 48m지점에 위치하고 있다. 관측공의 구경은 6"(150mm)이며 유입시 강우에 의한 수위변화 및 대수성 시험시 하부 대수층까지의 관통 여부를 파악할 수 있도록 유입공의 심도보다 더 깊게 50m까지 굴착하였다.

굴착된 코어 logging에 따른 공별 지층내역은 다음과 같다.

관측공 지질 주상도

지 구 명	관측A공	위 치	남제주군 성산읍 신천리	표 고	30.53m	자연수위	29.08m
심도(m)	층후(m)	주 상 도		지 질	비 고		
6.2	6.2			연 암	다공질 FOB, gray(상부점토 점착)		
10.0	3.8			연 암	기공적은 FOB, dark gray		
12.0	2.0			풍화암	다공질 FOB		
20.0	8.0			연 암	기공 적은 FOB, gray		
22.0	2.0			풍화암	다공질 FOB, 파쇄발달		
27.0	5.0			경 암	다공질 FOB, 암질견고, gray		
39.0	12.0			연 암	다공질 FOB, 상부점토점착, dark gray		
44.0	5.0			연 암	기공 다소 있으며 gray		
46.0	2.0			사 력	파쇄로 사력화, gray		
50.0	4.0			연 암	기공있으나 암질 견고 FOB, gray		

관측공 지질 주상도

지구명	관측B공	위 치	남제주군 성산읍 신천리	표 고	30.85m	자연수위	29.727m
심도(m)	층후(m)	주 상 도		지 질	비 고		
10.0	10.0			연 압	다공질 FOB, gray 5m부근 파쇄발달		
13.0	3.0			연 압	기공적이고 11m부근 소규모 파쇄존재		
17.0	4.0			연 압	다공질 FOB, gray		
21.0	4.0			연 압	기공 다소 적은 FOB		
22.5	1.5			연 압	다공질 FOB, dark gray		
25.0	2.5			연 압	기공 적은 FOB, gray		
27.0	2.0			연 압	다공질 FOB, dark gray		
30.0	3.0			경 압	기공 적은 FOB, light gray		
32.0	2.0			연 압	다공질 FOB, 파쇄발달		
33.0	1.0			연 압	다공질 FOB, RQD=80이상		
37.0	4.0			연 압	기공 적은 FOB, light gray		
40.0	3.0			사 력	화성쇄설층		

(3) 대수층시험 및 수질검사

대수층시험은 굴착공에 대한 2차적인 평가로서 여기에는 대수층의 수리적 성격규명과 우물의 지하수 산출능력 평가등 2가지의 목적이 있다. 각 우물에서 실시된 양수시험 결과는 지층이 함유하는 지하수의 양적 계산이나 이동량등의 수리지질학적 계산을 위한 기초 자료로 활용하게 되는데 대수층시험을 위해서는 장기양수시험을 실시하고 적정양수량 산출을 위해서는 단계양수시험을 실시하여야 한다.

지하의 물은 암석이나 토양에 발달되어 있는 공극내에 포화되어 있으므로 이 공극의 성질 특히 수리적 성질에 따라 물의 이동이나 투수능력이 결정된다. 수리적 성질에는 투수량계수(T), 저류계수(S)등이 있으며 이들은 어떤 지층(대수층)의 투수계수(K)에 대수층의 두께(B)를 곱하여 투수량계수(T)가 산정되며 그 식은 $T=K \times B$ 로 단위는 $L^2/T(m^2/min, m^2/day)$ 이다. 또한 수리전도도(K)는 물을 통과시킬 수 있는 지층의 능력으로 $L/T(m/min, m/day)$ 의 단위로 표현된다.

저류계수는 양수에 의하여 배출된 지하수의 양과 그 배출의 결과로 생긴 지하수면의 저하에 따라 일어나 감소된 체적과의 양비로서 자유면지하수에서는 유효공극율과 대등한 의미를 갖는다. 이들 두 상수가 알려지면 어떤 지구내에서의 지하수에 대한 양적 평가도 가능하다. 즉 저류계수가 알려지면 어떤 지구의 지층의 체적중에 있는 물의 총량중에서 취수할 수 있는 양이 계산되며 투수량계수로서는 어떤 조건하에서의 지하수의 이동량이 알려지지 때문에 물의 취수량 계산이나 자연상태에서의 지하수 이동량 등을 알 수 있게 된다. 그러나 피압상태에서의 지하수에서는 저류계수가 유효공극율을 정확하게 의미하지 않게 되므로 저류계수값의 이용으로 취수량의 계산은 거의 불가능하다.

양수정으로부터 일정한 거리에 있는 관측정에서의 수위강하는 시간에 따라 처음에는 강하폭이 크나 시간이 지남에 따라 그 폭은 작아지고 시간에 대한 수위강하곡선은 일정한 관계선으로 나타나게 된다.

수위강하는 양수정에 가까울수록 크며 양수량이 많으면 그 폭도 커진다. 금번 조사에서는 신천지구의 수리적 성격과 산출능력을 평가하고자 2차에 걸친 양수시험을 실시하였다. 1차는 7월 27일 17:40분부터 7월 28일 00:50분까지 약 7시간 양수를 실시하였으며 2차는 8월 31일 15:00부터 9월 1일 21:00분까지 30시간 양수를 실시하였다. 또한 양수정이 위치한 지역은 천미천 하상에 위치하며 유입정의 굴착후 코아검층(Core logging)시 나타난 지층의 대수능력이 매우 양호한 파쇄대 및 사력으로 판명되어 1공씩의 개별 양수시험보다는 2개의 관정에서 동시에 양수를 실시하였다. 특히 양수시 가장 정확하게 측정되어야 할 자료는 주변공에서 발생하는 수위변화이다. 이러한 점을 감안하여 본 양수시험시에는 자동수위측정기를 관측정에 설치하여 정확한 수위변화를 측정코자 하였으며 1차에 실시한 양수시험은 유입공 1호와 4호에 30Hp수중모터펌프를 각각 1대씩 지표하 30m지점에 설치하고 320kw급 발전기를 사용하여 양수를 실시하였다.

위에서도 언급하였듯이 본 지구는 대수성이 매우 양호한 지층으로 구성되어 있는 관계로 양수개시 1분후에 3角 notch를 이용한 일류수심이 1호공에서는 18cm, 4호공에서는 20cm를 기록하였으며 Barr의 실험공식 $Q=0.014H^{5/2}$ 에 의한 양수량은 각각 $1,660m^3/D$, $2,160m^3/D$ 합계 $3,820m^3/D$ 이 토출되었다. 이 토출량은 양수가 계속되는 동안 전혀 토출량의 증감이 없이 계속되었으며 7월 28일 18:25분에 측정된 수온은 $17.6^{\circ}C$, EC는 $223\mu s$ 를 기록하였다.

관측정에서의 수위변화를 측정하기 위하여 관측A공은 Well Sentinel 3000type 자동수위측정기를, 유입2호공과 관측B호공에는 CR-10자동수위측정기를 설치하고 수위변화를 측정하여 자료의 정확성 및 연속성을 기하였으며, 이때 관측공별로 측정된 수위는 다음과 같다.

(단위 : m)

측정시간	관측 A공	관측 B공	유입2호공	하천D-31	비 고
7,27 17:30	29.087	29.727	26.539		
17:40	29.091	29.724	26.544		양수시작
17:41	29.096	29.725	26.546		
17:42	29.093	29.732	27.007		
17:43	29.093	29.733	27.158		
17:45	29.098	29.734	27.171		
17:50	29.10	29.743	27.17		
18:00	29.107	29.76	27.165	39.38	
19:00	29.126	29.796	27.172	39.40	
20:00	29.12	29.787	27.164	39.396	
21:00	29.089	29.78	27.118	39.376	
22:00	29.038	29.728	27.039	39.347	
23:00	28.981	29.677	26.961	39.294	
24:00	28.93	29.635	26.883	39.25	
7,28 00:50	28.906	29.616	26.838		양수정지
00:51	28.903	29.617	26.794		회복수위측정
00:52	28.906	29.621	26.827		
00:53	28.908	29.616	26.353		
00:54	28.906	29.616	26.356		
00:55	28.906	29.614	26.356		

8월 31일 15:00부터 9월 1일 21:00까지 30시간 동안 실시한 2차 양수시에는 1차양수시 토출량에 의한 수위변화가 미미하여 수중모터펌

프 용량이 더 큰 40Hp펌프 2대를 설치하여 양수를 실시하였다. 그 결과는 양수를 시작한지 3분후인 15:03분에 일류수심이 20cm, 2,160m³/D, 4호공에서는 일류수심이 21cm, 2,445m³/D로 총 4,605m³/D이 토출되어 1차시보다는 약 785m³/D정도가 더 토출되었으며 15:15분에 측정된 토출량은 1호공이 일류수심 20.5cm, 2,298m³/D, 4호공은 일류수심 21.5cm, 토출량 2,592m³/D로 총 4,890m³/D이 측정 되었으며 18:00시에 측정된 토출량은 15:15분에 측정된 토출량과 같은 4,890m³/D이 토출되었다. 이때 주변에 있는 관측A공, 하천 D-31지구 및 4호 유입 공에 설치된 자동수위관측기에서 측정된 대표적인 수위를 살펴보면 다음과 같다.

(단위 : m)

일 시 및 시 간	관측A공	하 천 D-31	유입4호공	일 시 및 시 간	관측A공	하 천 D-31	유입4호공
8.31,15:00	29.194	39.624	26.871	9.1,08:00	29.304	39.693	26.982
16:00	29.185	39.608	26.870	09:00	29.344	39.730	27.037
17:00	29.196	39.612	26.882	10:00	29.371	39.754	27.058
18:00	29.220	39.628	26.905	11:00	29.379	39.770	27.060
19:00	29.254	39.656	26.934	12:00	29.368	39.758	27.063
20:00	29.287	39.685	26.966	13:00	29.342	39.746	27.025
21:00	29.318	39.705	26.987	14:00	29.296	39.709	26.991
22:00	29.329	39.722	26.997	14:00	29.251	39.677	26.949
23:00	29.322	39.723	27.003	15:00	29.220	39.640	26.895
24:00	29.293	39.697	26.972	16:00	29.207	39.628	26.898
9.1 01:00	29.251	39.665	26.930	17:00	29.209	39.628	26.900
02:00	29.212	39.628	26.890	18:00	29.227	39.632	26.896
03:00	29.183	39.608	26.870	19:00	29.251	39.652	26.936
04:00	29.174	39.595	26.875	20:00	29.276	39.681	26.925
05:00	29.187	39.608	26.888	21:00	29.285	39.689	26.942
06:00	29.220	39.628	26.919	22:00			
07:00	29.258	39.656	26.959				

1, 2차에 걸쳐 측정된 수위는 자동수위관측기를 이용하여 양수초기 수위강하를 확인하기 위하여 1분마다 측정토록 setting 하였다. 그 결과 1차 양수시험시 양수정에서 1m떨어진 유입 2호공에서는 양수가 개시된지 2분만에 46.1cm의 수위강하가 있었으며 다시 1분후에 15.1cm의 수위강하현상이 발생하였다. 그 이후 유입 2호공에서 관측된 수위는 배출된 양수량과는 관계없이 수위가 거의 변동이 없는 것으로 판명되었다. 양수가 계속되는 동안 수위는 당초 수위를 회복하지는 못하였지만 그림에서와 같이 계속 상승하는 형태를 보여주고 있다. 또한 주변에 위치한 관측공에서 보여주는 수위변화도 양수시에는 약간 떨어지는 것 같이 관찰되지만 전체적인 윤곽으로 추정할 때 본 지역에서 발생하는 수위변화는 양수량에 의한 수위변화라기 보다는 조석에 의한 영향에 좌우된다고 할 수 있다(또한 관측 B호공에서는 양수를 시작하고서도 전혀 수위변화 상태를 인지 할 수 없었다).

따라서 양수가 진행되고 시간이 경과함에 따라 수위변화 곡선이 명확하지 않은 상태에서 본 지역의 대수층 수리상수를 산출하기란 매우 어려운 형편이라 할 수 있다. 그러나 여기에서는 1차양수시 정류상태에 도달되었다고 판단되는 양수 80분후 각 관측정의 수위강하 자료와 양수량을 대입하여 투수량계수를 구하였다.

일반적으로 양수시험시 대수층에서 지하수를 어느 정도 채수하면 양수정에서부터 영향추(core of depression)가 형성되기 시작하여 점이적으로 양수정이나 그 지점으로 부터 먼 곳을 향해 지하수 흐름은 정상상태로 변하며 동시에 영향추도 안정된 상태로 바뀌기 시작한다. 그러다가 영향권이 하천이나 호소와 같은 충전지역에 도달하고 지표수가 대수층으로 유입하기 시작하여 지하수 채수량과 그 충전량이 동일

하게 되면 지하수위강하는 더 이상 일어나지 않고 定水位(安定水位)에 도달한다. 고로 안정상태에 도달하기 이전의 상태, 즉 부정류 및 비정상상태하에서 대수층의 투수량계수나 저류계수는 반드시 비평형방정식으로 구해야 한다. 그러나 지하수 흐름이 일단 정류나 정상상태에 도달하면 지하수의 흐름이 정상상태에 도달한 연후에 대수층의 제반 수리적인 성질을 간단한 식을 이용하여 구할 수 있다. 여기에서는 Thiem의 식을 이용하여 구하였다.

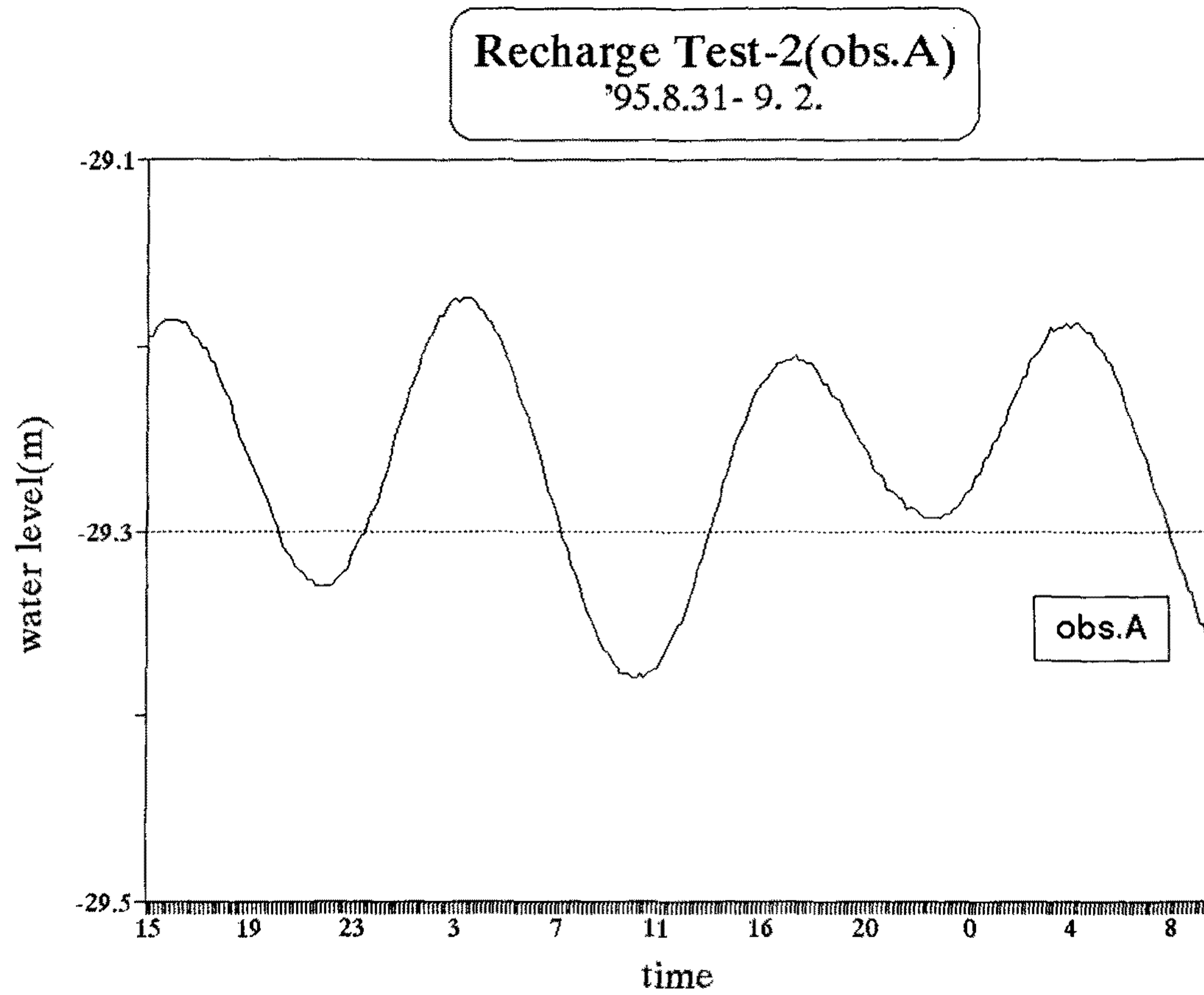
$$T = \frac{2.3Q \text{ Log } r_2/r_1}{2\pi(s_2-s_1)} \quad \text{----- (식)}$$

양수정에서 $3,820\text{m}^3/\text{D}$ 의 지하수를 채수할 때 정류상태에 도달하는 양수 80분후의 관측정(유입공2)에서 수위강하(s_2) 62.8cm와 관측B공의 수위강하(s_1) 7.2cm로 (s_2-s_1)을 구하고 양수정에서 관측정(유입공2)까지 거리 1m(r_1), 관측B공까지 거리 48m(r_2)를 상기식에 적용하여 산출한 투수량계수(T)는 $4,230\text{m}^3/\text{일}$ 이며 2차 양수시험시에는 $4,890\text{m}^3/\text{D}$ 의 지하수를 채수하여 12분후 정류상태에 도달하는 시점의 관측정(유입4호공) 수위강하(s_2) 0.7cm와 관측A공의 수위강하(s_1) 0cm로 (s_2-s_1)을 구하고 양수정에서 관측정(유입4호공)까지 거리 1m(r_1), 관측A공까지 거리 42m(r_2)를 상기식에 적용하여 산출한 투수량계수(T)는 $415,302\text{m}^3/\text{일}$ 이었다.

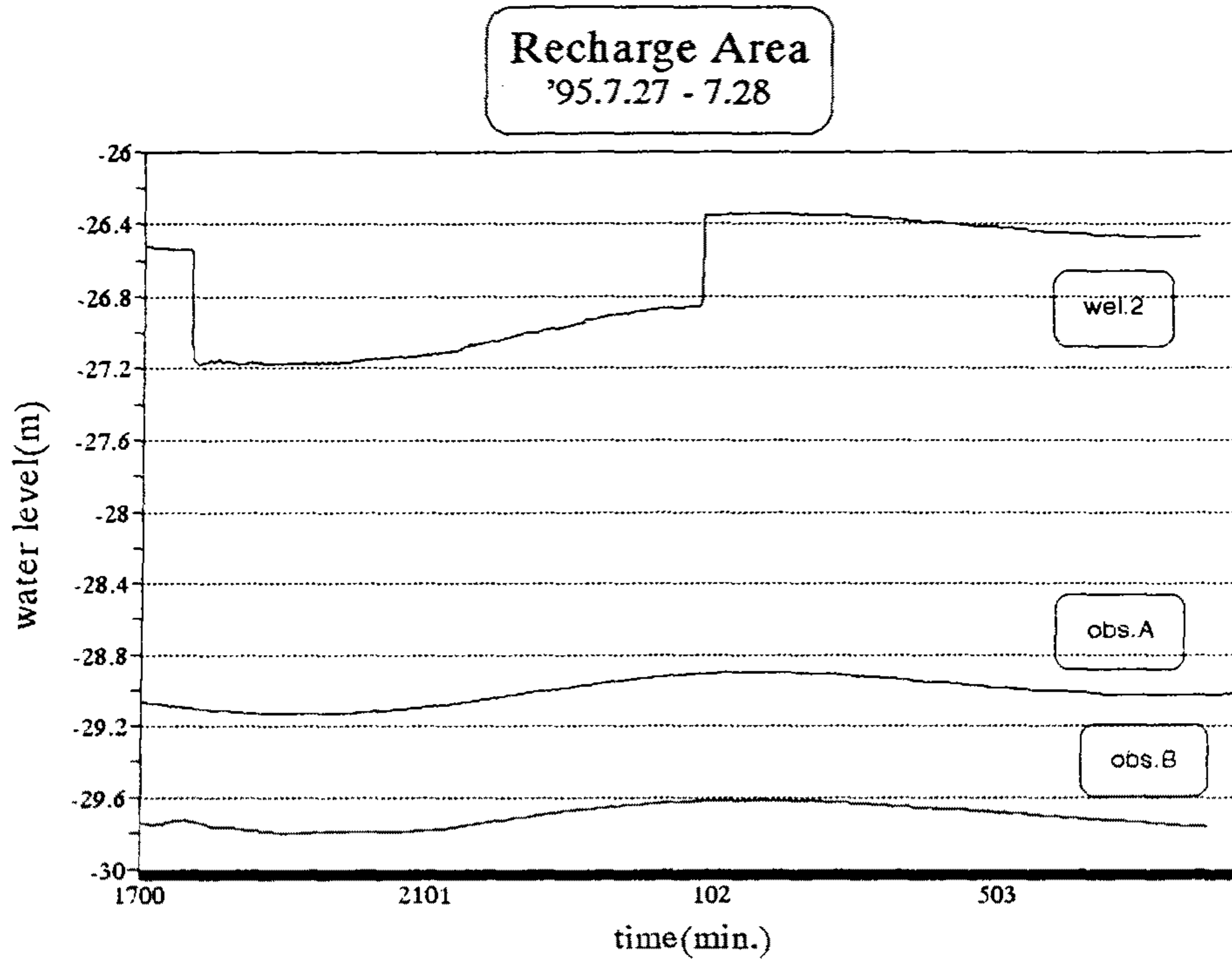
상기한 1, 2차 양수시험에 의한 수리상수계산은 1차 양수시험시는 간조, 2 양수시험시는 간조에서 만조로 변하는 밀물상태에서 실시되었으나 조석에 의한 영향이 명확히 고려되지 않았으며 투수량계수가

높아 양수에 의한 수위강하가 미약하고 상대적으로 해안에서 가까운 지리적특성 때문에 조석에 의한 영향이 심하게 나타나고 있음을 감안하여 볼 때<그림 4-14> 조석영향이 적은 간조상태에서 실시한 1차 양수시험에 의한 투수량계수 산정은 실제 투수량계수에 근접한다고 볼 수 있으나 조석영향(밀물)을 많이 받은 2차 양수시험에 의한 투수량계수 산정은 실제 투수량계수보다 훨씬 크게 나타나 향후 본 지역에서의 수리상수 산출은 반드시 조석영향의 정량적 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다. <그림 4-15, 16>은 1, 2차에 걸쳐서 실시한 양수시험시 관측공에서 측정된 자연수위변화 곡선 Graph이며 이때 출력된 수위자료들이다.

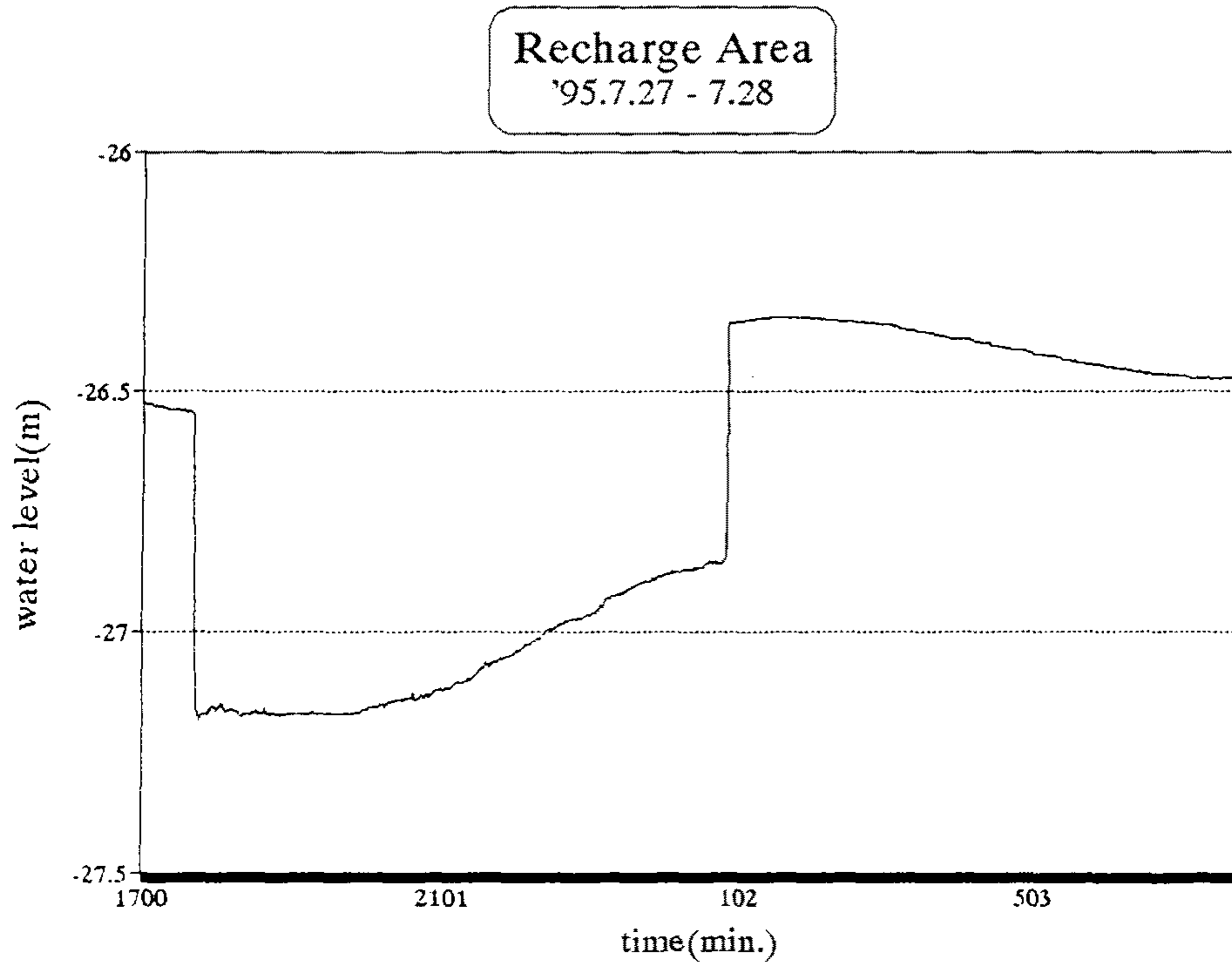
8월 31일 실시한 2차양수시험시 유입1호공과 4호공에서 채취한 수질시료를 제주도보건환경연구원에 검사 의뢰한 결과 대장균을 제외한 조사 전항목이 먹는물수질기준에 적합한 양호한 수질로 판명되었다. 특히 본 조사지역이 염수가 침입한 지역으로서 관측조사공으로 활용하고 있는 하천(D-31)지구가 활용되지 못하고 있는 점을 생각하면 염소이온 농도(cl^-)가 32~33mg/l정도 검출된다는 사실은 2차년도 조사시 굴착심도 변화에 따른 대수층별 수질분석이 요구된다. 다음은 2차양수시 채취한 시료를 분석한 수질검사성적서이다.



<그림 4-14> 관측공 A공에서 조석영향이 관찰된 자연수위변화

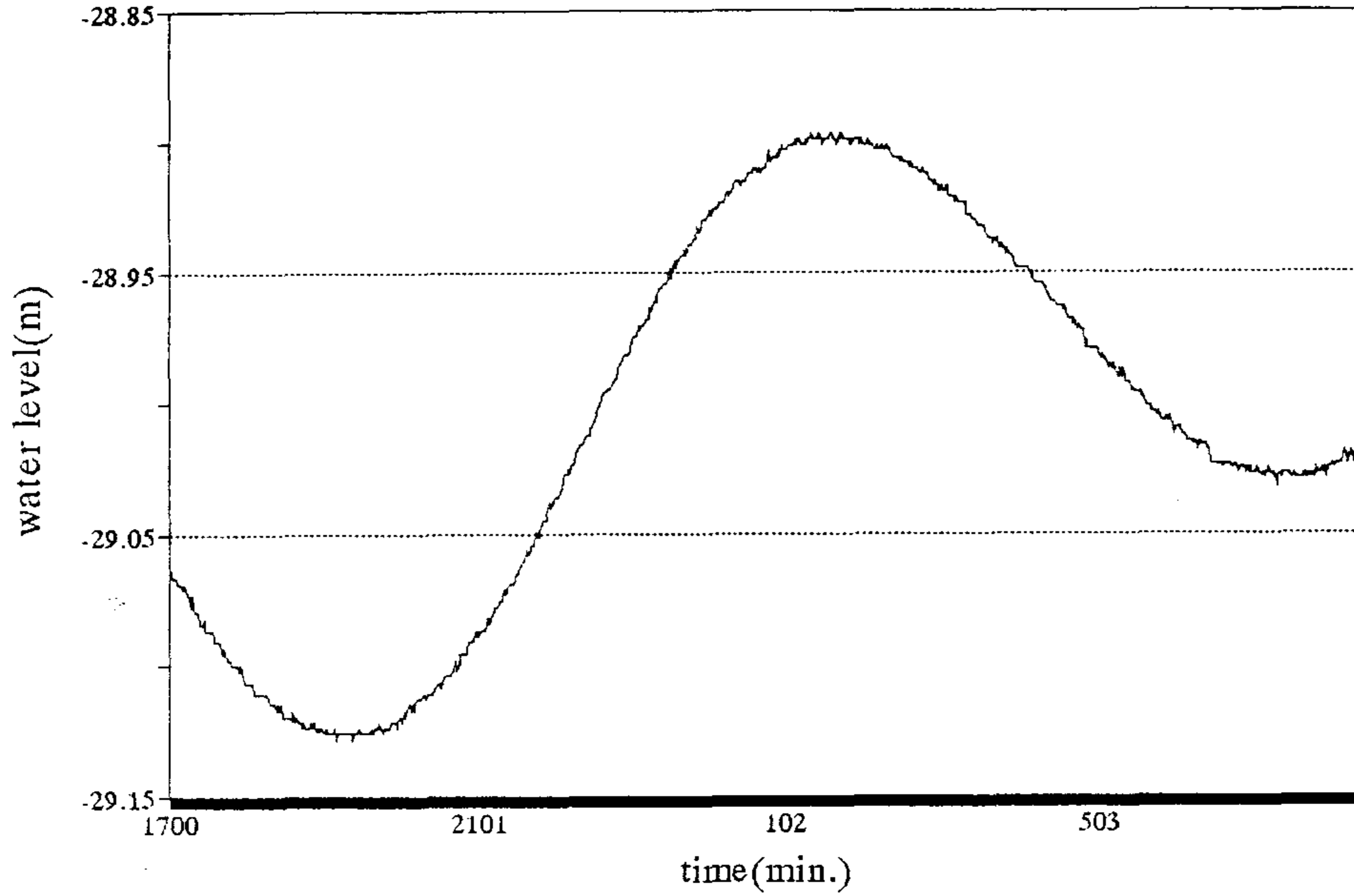


<그림 4-15> 1차 양수시험시 수위변화('95. 7. 27. ~ 7. 28)



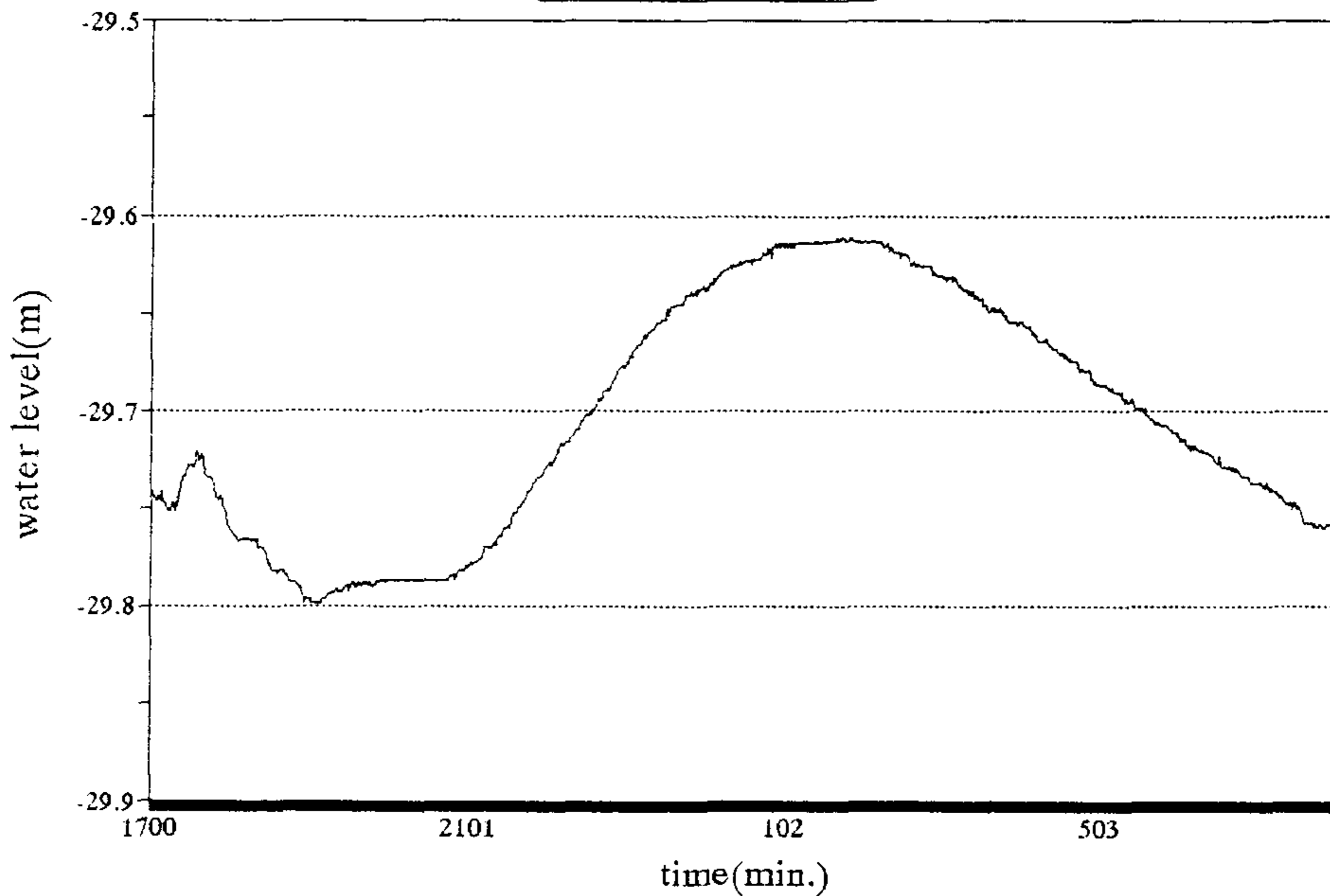
<그림 4-15a> 1차 양수시험시 유입2호공 수위변화

Recharge Area
'95.7.27 - 7.28



<그림 4-15b> 1차 양수시험시 관측 A공 수위변화

Recharge Area
'95.7.27 - 7.28



<그림 4-15c> 1차 양수시험시 관측 B공 수위변화

1차 양수시험('95. 7.27- 7.28)

month	date	time	water level WEL. 2	obs. A	obs. B	Hachun(D-31)
7	27	1700	-26.524	-29.065	-29.736	-39.351
7	27	1701	-26.524	-29.062	-29.739	
7	27	1702	-26.524	-29.065	-29.742	
7	27	1703	-26.524	-29.067	-29.743	
7	27	1704	-26.524	-29.067	-29.745	
7	27	1705	-26.524	-29.067	-29.745	
7	27	1706	-26.524	-29.069	-29.743	
7	27	1707	-26.526	-29.069	-29.747	
7	27	1708	-26.53	-29.069	-29.741	
7	27	1709	-26.53	-29.069	-29.747	
7	27	1710	-26.532	-29.071	-29.747	
7	27	1711	-26.531	-29.069	-29.748	
7	27	1712	-26.534	-29.071	-29.75	
7	27	1713	-26.534	-29.073	-29.751	
7	27	1714	-26.534	-29.073	-29.751	
7	27	1715	-26.533	-29.073	-29.751	
7	27	1716	-26.534	-29.073	-29.746	
7	27	1717	-26.534	-29.078	-29.746	
7	27	1718	-26.537	-29.073	-29.748	
7	27	1719	-26.535	-29.078	-29.751	
7	27	1720	-26.537	-29.08	-29.747	
7	27	1721	-26.539	-29.08	-29.746	
7	27	1722	-26.539	-29.08	-29.741	
7	27	1723	-26.539	-29.08	-29.738	
7	27	1724	-26.539	-29.084	-29.734	
7	27	1725	-26.539	-29.084	-29.733	
7	27	1726	-26.538	-29.084	-29.733	
7	27	1727	-26.539	-29.082	-29.733	
7	27	1728	-26.539	-29.087	-29.727	
7	27	1729	-26.538	-29.087	-29.728	
7	27	1730	-26.539	-29.087	-29.727	
7	27	1731	-26.541	-29.087	-29.727	
7	27	1732	-26.54	-29.087	-29.728	
7	27	1733	-26.541	-29.087	-29.729	
7	27	1734	-26.542	-29.089	-29.725	
7	27	1735	-26.54	-29.089	-29.72	
7	27	1736	-26.542	-29.091	-29.72	
7	27	1737	-26.544	-29.091	-29.725	
7	27	1738	-26.542	-29.091	-29.724	
7	27	1739	-26.542	-29.091	-29.722	
7	27	1740	-26.544	-29.091	-29.724	

7	27	1741	-26.546	-29.096	-29.725	
7	27	1742	-27.007	-29.093	-29.732	
7	27	1743	-27.158	-29.093	-29.733	
7	27	1744	-27.158	-29.096	-29.734	
7	27	1745	-27.171	-29.098	-29.734	
7	27	1746	-27.186	-29.098	-29.734	
7	27	1747	-27.176	-29.098	-29.735	
7	27	1748	-27.174	-29.1	-29.739	
7	27	1749	-27.174	-29.1	-29.739	
7	27	1750	-27.17	-29.1	-29.743	
7	27	1751	-27.171	-29.1	-29.745	
7	27	1752	-27.17	-29.1	-29.744	
7	27	1753	-27.168	-29.102	-29.743	
7	27	1754	-27.161	-29.102	-29.745	
7	27	1755	-27.167	-29.1	-29.749	
7	27	1756	-27.161	-29.102	-29.75	
7	27	1757	-27.155	-29.102	-29.752	
7	27	1758	-27.153	-29.104	-29.753	
7	27	1759	-27.161	-29.107	-29.757	
7	27	1800	-27.165	-29.107	-29.76	-39.38
7	27	1801	-27.159	-29.107	-29.761	
7	27	1802	-27.159	-29.107	-29.762	
7	27	1803	-27.157	-29.107	-29.763	
7	27	1804	-27.148	-29.107	-29.764	
7	27	1805	-27.155	-29.107	-29.765	
7	27	1806	-27.164	-29.111	-29.765	
7	27	1807	-27.168	-29.111	-29.767	
7	27	1808	-27.166	-29.111	-29.766	
7	27	1809	-27.166	-29.111	-29.765	
7	27	1810	-27.164	-29.111	-29.765	
7	27	1811	-27.164	-29.111	-29.765	
7	27	1812	-27.164	-29.111	-29.765	
7	27	1813	-27.159	-29.111	-29.766	
7	27	1814	-27.166	-29.111	-29.765	
7	27	1815	-27.166	-29.111	-29.765	
7	27	1816	-27.166	-29.111	-29.765	
7	27	1817	-27.166	-29.113	-29.767	
7	27	1818	-27.17	-29.113	-29.765	
7	27	1819	-27.174	-29.115	-29.765	
7	27	1820	-27.176	-29.115	-29.767	
7	27	1821	-27.18	-29.115	-29.765	
7	27	1822	-27.172	-29.115	-29.77	
7	27	1823	-27.172	-29.115	-29.77	
7	27	1824	-27.172	-29.118	-29.769	
7	27	1825	-27.174	-29.115	-29.77	
7	27	1826	-27.174	-29.118	-29.77	
7	27	1827	-27.176	-29.115	-29.772	

7	27	1828	-27.172	-29.12	-29.774	
7	27	1829	-27.166	-29.12	-29.779	
7	27	1830	-27.17	-29.12	-29.777	
7	27	1831	-27.168	-29.12	-29.779	
7	27	1832	-27.164	-29.12	-29.781	
7	27	1833	-27.172	-29.12	-29.782	
7	27	1834	-27.17	-29.12	-29.782	
7	27	1835	-27.168	-29.122	-29.782	
7	27	1836	-27.172	-29.118	-29.782	
7	27	1837	-27.17	-29.12	-29.783	
7	27	1838	-27.172	-29.122	-29.782	
7	27	1839	-27.17	-29.122	-29.782	
7	27	1840	-27.161	-29.12	-29.781	
7	27	1841	-27.172	-29.122	-29.781	
7	27	1842	-27.172	-29.122	-29.782	
7	27	1843	-27.172	-29.122	-29.784	
7	27	1844	-27.174	-29.124	-29.784	
7	27	1845	-27.176	-29.122	-29.786	
7	27	1846	-27.174	-29.124	-29.788	
7	27	1847	-27.172	-29.124	-29.788	
7	27	1848	-27.174	-29.124	-29.788	
7	27	1849	-27.176	-29.124	-29.788	
7	27	1850	-27.174	-29.124	-29.788	
7	27	1851	-27.179	-29.122	-29.789	
7	27	1852	-27.174	-29.124	-29.789	
7	27	1853	-27.172	-29.122	-29.791	
7	27	1854	-27.175	-29.126	-29.791	
7	27	1855	-27.177	-29.124	-29.793	
7	27	1856	-27.177	-29.124	-29.794	
7	27	1857	-27.172	-29.126	-29.796	
7	27	1858	-27.174	-29.124	-29.798	
7	27	1859	-27.173	-29.124	-29.796	
7	27	1900	-27.172	-29.126	-29.796	-39.4
7	27	1901	-27.173	-29.126	-29.796	
7	27	1902	-27.174	-29.126	-29.796	
7	27	1903	-27.17	-29.124	-29.798	
7	27	1904	-27.172	-29.126	-29.798	
7	27	1905	-27.172	-29.126	-29.798	
7	27	1906	-27.174	-29.126	-29.798	
7	27	1907	-27.175	-29.126	-29.798	
7	27	1908	-27.173	-29.126	-29.798	
7	27	1909	-27.172	-29.126	-29.798	
7	27	1910	-27.17	-29.124	-29.798	
7	27	1911	-27.172	-29.129	-29.797	
7	27	1912	-27.172	-29.126	-29.796	
7	27	1913	-27.172	-29.126	-29.796	
7	27	1914	-27.172	-29.126	-29.796	

7	27	1915	-27.172	-29.126	-29.794
7	27	1916	-27.172	-29.126	-29.794
7	27	1917	-27.168	-29.126	-29.794
7	27	1918	-27.166	-29.126	-29.793
7	27	1919	-27.172	-29.126	-29.793
7	27	1920	-27.172	-29.126	-29.793
7	27	1921	-27.172	-29.126	-29.793
7	27	1922	-27.172	-29.126	-29.791
7	27	1923	-27.172	-29.126	-29.792
7	27	1924	-27.172	-29.129	-29.793
7	27	1925	-27.173	-29.126	-29.792
7	27	1926	-27.172	-29.126	-29.793
7	27	1927	-27.172	-29.126	-29.793
7	27	1928	-27.171	-29.124	-29.791
7	27	1929	-27.172	-29.126	-29.79
7	27	1930	-27.168	-29.126	-29.789
7	27	1931	-27.17	-29.126	-29.792
7	27	1932	-27.168	-29.126	-29.789
7	27	1933	-27.17	-29.126	-29.788
7	27	1934	-27.172	-29.126	-29.789
7	27	1935	-27.172	-29.126	-29.788
7	27	1936	-27.171	-29.126	-29.791
7	27	1937	-27.172	-29.124	-29.789
7	27	1938	-27.171	-29.126	-29.789
7	27	1939	-27.171	-29.126	-29.788
7	27	1940	-27.171	-29.124	-29.789
7	27	1941	-27.172	-29.124	-29.79
7	27	1942	-27.171	-29.122	-29.788
7	27	1943	-27.172	-29.122	-29.788
7	27	1944	-27.169	-29.124	-29.789
7	27	1945	-27.172	-29.124	-29.788
7	27	1946	-27.172	-29.124	-29.79
7	27	1947	-27.172	-29.126	-29.788
7	27	1948	-27.171	-29.124	-29.79
7	27	1949	-27.17	-29.124	-29.79
7	27	1950	-27.169	-29.124	-29.789
7	27	1951	-27.171	-29.124	-29.788
7	27	1952	-27.169	-29.124	-29.788
7	27	1953	-27.168	-29.122	-29.787
7	27	1954	-27.167	-29.122	-29.788
7	27	1955	-27.17	-29.122	-29.787
7	27	1956	-27.168	-29.122	-29.787
7	27	1957	-27.164	-29.124	-29.788
7	27	1958	-27.164	-29.122	-29.788
7	27	1959	-27.164	-29.12	-29.786
7	27	2000	-27.164	-29.12	-29.787 -39.396
7	27	2001	-27.164	-29.122	-29.787

7	27	2002	-27.162	-29.118	-29.787
7	27	2003	-27.158	-29.12	-29.786
7	27	2004	-27.158	-29.118	-29.787
7	27	2005	-27.156	-29.118	-29.786
7	27	2006	-27.156	-29.118	-29.787
7	27	2007	-27.158	-29.115	-29.787
7	27	2008	-27.156	-29.115	-29.787
7	27	2009	-27.156	-29.118	-29.786
7	27	2010	-27.156	-29.115	-29.787
7	27	2011	-27.152	-29.118	-29.787
7	27	2012	-27.152	-29.115	-29.787
7	27	2013	-27.154	-29.113	-29.786
7	27	2014	-27.152	-29.113	-29.787
7	27	2015	-27.156	-29.113	-29.787
7	27	2016	-27.149	-29.113	-29.787
7	27	2017	-27.151	-29.111	-29.787
7	27	2018	-27.149	-29.111	-29.787
7	27	2019	-27.147	-29.111	-29.786
7	27	2020	-27.149	-29.113	-29.787
7	27	2021	-27.145	-29.111	-29.786
7	27	2022	-27.145	-29.111	-29.787
7	27	2023	-27.143	-29.111	-29.786
7	27	2024	-27.145	-29.111	-29.787
7	27	2025	-27.143	-29.111	-29.786
7	27	2026	-27.143	-29.111	-29.787
7	27	2027	-27.143	-29.109	-29.786
7	27	2028	-27.143	-29.109	-29.787
7	27	2029	-27.141	-29.107	-29.786
7	27	2030	-27.145	-29.107	-29.787
7	27	2031	-27.139	-29.109	-29.787
7	27	2032	-27.141	-29.107	-29.787
7	27	2033	-27.139	-29.107	-29.786
7	27	2034	-27.139	-29.104	-29.787
7	27	2035	-27.139	-29.104	-29.786
7	27	2036	-27.13	-29.104	-29.787
7	27	2037	-27.128	-29.104	-29.788
7	27	2038	-27.141	-29.104	-29.787
7	27	2039	-27.141	-29.104	-29.786
7	27	2040	-27.143	-29.102	-29.787
7	27	2041	-27.143	-29.102	-29.786
7	27	2042	-27.141	-29.098	-29.787
7	27	2043	-27.139	-29.102	-29.786
7	27	2044	-27.133	-29.1	-29.786
7	27	2045	-27.135	-29.1	-29.786
7	27	2046	-27.139	-29.1	-29.787
7	27	2047	-27.137	-29.096	-29.784
7	27	2048	-27.133	-29.096	-29.784

7	27	2049	-27.131	-29.096	-29.784	
7	27	2050	-27.137	-29.096	-29.783	
7	27	2051	-27.133	-29.096	-29.786	
7	27	2052	-27.131	-29.096	-29.783	
7	27	2053	-27.126	-29.093	-29.782	
7	27	2054	-27.127	-29.091	-29.781	
7	27	2055	-27.122	-29.091	-29.782	
7	27	2056	-27.122	-29.091	-29.782	
7	27	2057	-27.122	-29.091	-29.781	
7	27	2058	-27.12	-29.087	-29.782	
7	27	2059	-27.12	-29.087	-29.779	
7	27	2100	-27.118	-29.089	-29.78	-39.376
7	27	2101	-27.12	-29.089	-29.779	
7	27	2102	-27.12	-29.087	-29.779	
7	27	2103	-27.118	-29.087	-29.777	
7	27	2104	-27.116	-29.087	-29.779	
7	27	2105	-27.118	-29.087	-29.779	
7	27	2106	-27.118	-29.084	-29.778	
7	27	2107	-27.117	-29.082	-29.777	
7	27	2108	-27.115	-29.082	-29.777	
7	27	2109	-27.111	-29.082	-29.776	
7	27	2110	-27.111	-29.084	-29.776	
7	27	2111	-27.107	-29.082	-29.774	
7	27	2112	-27.105	-29.08	-29.771	
7	27	2113	-27.105	-29.08	-29.769	
7	27	2114	-27.107	-29.078	-29.769	
7	27	2115	-27.107	-29.078	-29.769	
7	27	2116	-27.107	-29.078	-29.77	
7	27	2117	-27.105	-29.076	-29.769	
7	27	2118	-27.103	-29.076	-29.77	
7	27	2119	-27.105	-29.076	-29.767	
7	27	2120	-27.099	-29.073	-29.768	
7	27	2121	-27.1	-29.071	-29.767	
7	27	2122	-27.098	-29.073	-29.768	
7	27	2123	-27.1	-29.071	-29.765	
7	27	2124	-27.098	-29.069	-29.764	
7	27	2125	-27.094	-29.069	-29.764	
7	27	2126	-27.092	-29.069	-29.764	
7	27	2127	-27.088	-29.069	-29.76	
7	27	2128	-27.083	-29.069	-29.76	
7	27	2129	-27.079	-29.067	-29.76	
7	27	2130	-27.081	-29.067	-29.759	
7	27	2131	-27.075	-29.065	-29.758	
7	27	2132	-27.079	-29.065	-29.759	
7	27	2133	-27.077	-29.062	-29.755	
7	27	2134	-27.062	-29.062	-29.752	
7	27	2135	-27.067	-29.062	-29.752	

7	27	2136	-27.069	-29.06	-29.752
7	27	2137	-27.075	-29.06	-29.75
7	27	2138	-27.066	-29.056	-29.749
7	27	2139	-27.066	-29.058	-29.749
7	27	2140	-27.067	-29.058	-29.749
7	27	2141	-27.066	-29.058	-29.747
7	27	2142	-27.062	-29.054	-29.746
7	27	2143	-27.062	-29.054	-29.746
7	27	2144	-27.064	-29.054	-29.744
7	27	2145	-27.058	-29.049	-29.742
7	27	2146	-27.056	-29.051	-29.742
7	27	2147	-27.056	-29.051	-29.741
7	27	2148	-27.058	-29.049	-29.741
7	27	2149	-27.054	-29.047	-29.74
7	27	2150	-27.054	-29.047	-29.737
7	27	2151	-27.054	-29.045	-29.736
7	27	2152	-27.052	-29.045	-29.735
7	27	2153	-27.052	-29.045	-29.734
7	27	2154	-27.052	-29.045	-29.734
7	27	2155	-27.049	-29.043	-29.734
7	27	2156	-27.046	-29.04	-29.733
7	27	2157	-27.047	-29.038	-29.733
7	27	2158	-27.047	-29.04	-29.73
7	27	2159	-27.041	-29.038	-29.728
7	27	2200	-27.039	-29.038	-29.728 -39.347
7	27	2201	-27.043	-29.036	-29.726
7	27	2202	-27.043	-29.036	-29.726
7	27	2203	-27.037	-29.036	-29.727
7	27	2204	-27.037	-29.036	-29.726
7	27	2205	-27.035	-29.034	-29.727
7	27	2206	-27.033	-29.032	-29.725
7	27	2207	-27.028	-29.029	-29.724
7	27	2208	-27.028	-29.027	-29.719
7	27	2209	-27.028	-29.027	-29.721
7	27	2210	-27.028	-29.027	-29.719
7	27	2211	-27.024	-29.027	-29.716
7	27	2212	-27.02	-29.025	-29.716
7	27	2213	-27.016	-29.027	-29.717
7	27	2214	-27.016	-29.023	-29.716
7	27	2215	-27.02	-29.023	-29.715
7	27	2216	-27.011	-29.023	-29.715
7	27	2217	-27.016	-29.023	-29.715
7	27	2218	-27.011	-29.018	-29.714
7	27	2219	-27.009	-29.018	-29.713
7	27	2220	-27.005	-29.016	-29.712
7	27	2221	-27.005	-29.016	-29.711
7	27	2222	-27.005	-29.016	-29.709

7	27	2223	-27.003	-29.016	-29.709	
7	27	2224	-27.001	-29.014	-29.709	
7	27	2225	-26.997	-29.012	-29.709	
7	27	2226	-26.995	-29.012	-29.705	
7	27	2227	-26.996	-29.012	-29.704	
7	27	2228	-26.998	-29.012	-29.705	
7	27	2229	-26.994	-29.009	-29.703	
7	27	2230	-26.994	-29.009	-29.702	
7	27	2231	-26.993	-29.007	-29.701	
7	27	2232	-26.991	-29.007	-29.702	
7	27	2233	-26.986	-29.007	-29.7	
7	27	2234	-26.989	-29.003	-29.701	
7	27	2235	-26.984	-29.001	-29.699	
7	27	2236	-26.984	-29.001	-29.699	
7	27	2237	-26.984	-29.001	-29.699	
7	27	2238	-26.978	-28.998	-29.697	
7	27	2239	-26.982	-28.996	-29.694	
7	27	2240	-26.978	-28.996	-29.695	
7	27	2241	-26.978	-28.994	-29.693	
7	27	2242	-26.978	-28.996	-29.694	
7	27	2243	-26.975	-28.994	-29.69	
7	27	2244	-26.977	-28.994	-29.689	
7	27	2245	-26.974	-28.994	-29.689	
7	27	2246	-26.976	-28.992	-29.689	
7	27	2247	-26.974	-28.992	-29.688	
7	27	2248	-26.978	-28.99	-29.689	
7	27	2249	-26.974	-28.99	-29.686	
7	27	2250	-26.97	-28.99	-29.685	
7	27	2251	-26.972	-28.987	-29.685	
7	27	2252	-26.972	-28.985	-29.683	
7	27	2253	-26.97	-28.985	-29.683	
7	27	2254	-26.967	-28.985	-29.679	
7	27	2255	-26.963	-28.983	-29.678	
7	27	2256	-26.965	-28.983	-29.677	
7	27	2257	-26.967	-28.981	-29.676	
7	27	2258	-26.965	-28.981	-29.677	
7	27	2259	-26.961	-28.981	-29.677	
7	27	2300	-26.961	-28.981	-29.677	-39.294
7	27	2301	-26.961	-28.979	-29.674	
7	27	2302	-26.961	-28.976	-29.675	
7	27	2303	-26.955	-28.976	-29.671	
7	27	2304	-26.955	-28.974	-29.672	
7	27	2305	-26.953	-28.974	-29.671	
7	27	2306	-26.955	-28.974	-29.672	
7	27	2307	-26.944	-28.97	-29.67	
7	27	2308	-26.948	-28.972	-29.669	
7	27	2309	-26.949	-28.97	-29.668	

7	27	2310	-26.938	-28.97	-29.667
7	27	2311	-26.932	-28.97	-29.665
7	27	2312	-26.93	-28.97	-29.665
7	27	2313	-26.932	-28.968	-29.664
7	27	2314	-26.932	-28.968	-29.661
7	27	2315	-26.928	-28.968	-29.662
7	27	2316	-26.928	-28.963	-29.66
7	27	2317	-26.928	-28.965	-29.662
7	27	2318	-26.927	-28.965	-29.659
7	27	2319	-26.928	-28.963	-29.659
7	27	2320	-26.926	-28.961	-29.658
7	27	2321	-26.923	-28.959	-29.658
7	27	2322	-26.921	-28.961	-29.657
7	27	2323	-26.923	-28.959	-29.655
7	27	2324	-26.919	-28.956	-29.654
7	27	2325	-26.917	-28.956	-29.655
7	27	2326	-26.919	-28.956	-29.655
7	27	2327	-26.913	-28.954	-29.655
7	27	2328	-26.917	-28.954	-29.653
7	27	2329	-26.91	-28.954	-29.653
7	27	2330	-26.91	-28.954	-29.653
7	27	2331	-26.911	-28.952	-29.653
7	27	2332	-26.91	-28.948	-29.65
7	27	2333	-26.906	-28.952	-29.647
7	27	2334	-26.908	-28.948	-29.65
7	27	2335	-26.904	-28.945	-29.646
7	27	2336	-26.902	-28.948	-29.646
7	27	2337	-26.902	-28.945	-29.646
7	27	2338	-26.9	-28.948	-29.646
7	27	2339	-26.9	-28.945	-29.645
7	27	2340	-26.9	-28.945	-29.645
7	27	2341	-26.896	-28.943	-29.645
7	27	2342	-26.898	-28.943	-29.645
7	27	2343	-26.898	-28.943	-29.645
7	27	2344	-26.898	-28.941	-29.645
7	27	2345	-26.894	-28.943	-29.641
7	27	2346	-26.898	-28.941	-29.641
7	27	2347	-26.898	-28.939	-29.641
7	27	2348	-26.896	-28.939	-29.641
7	27	2349	-26.891	-28.939	-29.64
7	27	2350	-26.891	-28.937	-29.64
7	27	2351	-26.889	-28.937	-29.638
7	27	2352	-26.894	-28.937	-29.64
7	27	2353	-26.889	-28.937	-29.64
7	27	2354	-26.887	-28.932	-29.637
7	27	2355	-26.887	-28.934	-29.64
7	27	2356	-26.887	-28.934	-29.637

7	27	2357	-26.887	-28.932	-29.638	
7	27	2358	-26.885	-28.932	-29.637	
7	27	2359	-26.883	-28.93	-29.637	
7	27	2400	-26.883	-28.93	-29.635	-39.25
7	28	1	-26.881	-28.93	-29.638	
7	28	2	-26.881	-28.93	-29.636	
7	28	3	-26.883	-28.928	-29.638	
7	28	4	-26.881	-28.928	-29.637	
7	28	5	-26.879	-28.926	-29.634	
7	28	6	-26.879	-28.928	-29.634	
7	28	7	-26.875	-28.926	-29.635	
7	28	8	-26.879	-28.926	-29.632	
7	28	9	-26.877	-28.926	-29.633	
7	28	10	-26.876	-28.923	-29.631	
7	28	11	-26.876	-28.926	-29.631	
7	28	12	-26.876	-28.923	-29.629	
7	28	13	-26.874	-28.923	-29.63	
7	28	14	-26.872	-28.923	-29.629	
7	28	15	-26.87	-28.923	-29.628	
7	28	16	-26.868	-28.921	-29.628	
7	28	17	-26.87	-28.919	-29.627	
7	28	18	-26.872	-28.919	-29.627	
7	28	19	-26.87	-28.919	-29.626	
7	28	20	-26.868	-28.919	-29.624	
7	28	21	-26.872	-28.921	-29.624	
7	28	22	-26.87	-28.919	-29.627	
7	28	23	-26.872	-28.919	-29.624	
7	28	24	-26.863	-28.917	-29.625	
7	28	25	-26.869	-28.917	-29.625	
7	28	26	-26.866	-28.915	-29.624	
7	28	27	-26.868	-28.915	-29.624	
7	28	28	-26.866	-28.915	-29.625	
7	28	29	-26.865	-28.915	-29.623	
7	28	30	-26.866	-28.917	-29.623	
7	28	31	-26.865	-28.915	-29.624	
7	28	32	-26.861	-28.915	-29.623	
7	28	33	-26.861	-28.915	-29.623	
7	28	34	-26.859	-28.915	-29.622	
7	28	35	-26.859	-28.912	-29.623	
7	28	36	-26.857	-28.912	-29.623	
7	28	37	-26.851	-28.912	-29.622	
7	28	38	-26.855	-28.912	-29.624	
7	28	39	-26.857	-28.91	-29.621	
7	28	40	-26.855	-28.91	-29.622	
7	28	41	-26.855	-28.91	-29.622	
7	28	42	-26.853	-28.91	-29.622	
7	28	43	-26.857	-28.912	-29.622	

7	28	44	-26.857	-28.91	-29.62	
7	28	45	-26.855	-28.912	-29.618	
7	28	46	-26.857	-28.912	-29.619	
7	28	47	-26.857	-28.91	-29.62	
7	28	48	-26.851	-28.91	-29.619	
7	28	49	-26.853	-28.91	-29.616	
7	28	50	-26.838	-28.906	-29.619	
7	28	51	-26.794	-28.903	-29.617	
7	28	52	-26.827	-28.906	-29.621	
7	28	53	-26.353	-28.908	-29.616	
7	28	54	-26.356	-28.906	-29.616	
7	28	55	-26.356	-28.906	-29.614	
7	28	56	-26.356	-28.906	-29.616	
7	28	57	-26.356	-28.906	-29.614	
7	28	58	-26.354	-28.903	-29.616	
7	28	59	-26.354	-28.906	-29.614	
7	28	100	-26.354	-28.903	-29.615	-39.229
7	28	101	-26.354	-28.901	-29.614	
7	28	102	-26.355	-28.903	-29.616	
7	28	103	-26.354	-28.903	-29.614	
7	28	104	-26.354	-28.903	-29.616	
7	28	105	-26.354	-28.903	-29.614	
7	28	106	-26.352	-28.903	-29.616	
7	28	107	-26.352	-28.901	-29.614	
7	28	108	-26.352	-28.901	-29.616	
7	28	109	-26.351	-28.901	-29.614	
7	28	110	-26.351	-28.901	-29.615	
7	28	111	-26.352	-28.899	-29.614	
7	28	112	-26.351	-28.899	-29.614	
7	28	113	-26.351	-28.901	-29.614	
7	28	114	-26.349	-28.899	-29.614	
7	28	115	-26.349	-28.899	-29.614	
7	28	116	-26.349	-28.901	-29.614	
7	28	117	-26.349	-28.901	-29.614	
7	28	118	-26.348	-28.901	-29.613	
7	28	119	-26.349	-28.899	-29.614	
7	28	120	-26.347	-28.901	-29.614	
7	28	121	-26.349	-28.899	-29.614	
7	28	122	-26.348	-28.899	-29.613	
7	28	123	-26.347	-28.899	-29.614	
7	28	124	-26.348	-28.897	-29.612	
7	28	125	-26.349	-28.899	-29.614	
7	28	126	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	127	-26.347	-28.899	-29.613	
7	28	128	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	129	-26.347	-28.899	-29.614	
7	28	130	-26.347	-28.897	-29.613	

7	28	131	-26.347	-28.899	-29.614	
7	28	132	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	133	-26.347	-28.901	-29.612	
7	28	134	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	135	-26.347	-28.899	-29.613	
7	28	136	-26.345	-28.899	-29.612	
7	28	137	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	138	-26.347	-28.897	-29.612	
7	28	139	-26.347	-28.897	-29.612	
7	28	140	-26.347	-28.897	-29.612	
7	28	141	-26.347	-28.899	-29.611	
7	28	142	-26.349	-28.899	-29.612	
7	28	143	-26.349	-28.901	-29.611	
7	28	144	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	145	-26.347	-28.899	-29.611	
7	28	146	-26.347	-28.897	-29.61	
7	28	147	-26.347	-28.899	-29.611	
7	28	148	-26.345	-28.897	-29.612	
7	28	149	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	150	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	151	-26.345	-28.899	-29.612	
7	28	152	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	153	-26.347	-28.899	-29.611	
7	28	154	-26.345	-28.901	-29.611	
7	28	155	-26.347	-28.901	-29.612	
7	28	156	-26.346	-28.899	-29.612	
7	28	157	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	158	-26.347	-28.899	-29.612	
7	28	159	-26.347	-28.899	-29.614	
7	28	200	-26.347	-28.899	-29.612	-39.229
7	28	201	-26.349	-28.901	-29.614	
7	28	202	-26.348	-28.899	-29.614	
7	28	203	-26.348	-28.901	-29.612	
7	28	204	-26.346	-28.901	-29.612	
7	28	205	-26.348	-28.901	-29.613	
7	28	206	-26.348	-28.901	-29.613	
7	28	207	-26.349	-28.901	-29.613	
7	28	208	-26.346	-28.899	-29.612	
7	28	209	-26.349	-28.901	-29.612	
7	28	210	-26.35	-28.901	-29.612	
7	28	211	-26.348	-28.901	-29.612	
7	28	212	-26.348	-28.903	-29.612	
7	28	213	-26.352	-28.903	-29.613	
7	28	214	-26.352	-28.903	-29.614	
7	28	215	-26.351	-28.901	-29.612	
7	28	216	-26.352	-28.903	-29.613	
7	28	217	-26.351	-28.903	-29.612	

7	28	218	-26.35	-28.901	-29.616	
7	28	219	-26.35	-28.903	-29.616	
7	28	220	-26.352	-28.903	-29.615	
7	28	221	-26.352	-28.903	-29.614	
7	28	222	-26.352	-28.901	-29.618	
7	28	223	-26.354	-28.903	-29.616	
7	28	224	-26.354	-28.903	-29.616	
7	28	225	-26.354	-28.906	-29.617	
7	28	226	-26.354	-28.906	-29.619	
7	28	227	-26.354	-28.906	-29.618	
7	28	228	-26.354	-28.906	-29.619	
7	28	229	-26.354	-28.906	-29.618	
7	28	230	-26.354	-28.906	-29.621	
7	28	231	-26.354	-28.906	-29.619	
7	28	232	-26.354	-28.908	-29.62	
7	28	233	-26.353	-28.906	-29.619	
7	28	234	-26.354	-28.908	-29.62	
7	28	235	-26.354	-28.908	-29.619	
7	28	236	-26.354	-28.908	-29.62	
7	28	237	-26.356	-28.908	-29.62	
7	28	238	-26.354	-28.908	-29.622	
7	28	239	-26.355	-28.91	-29.622	
7	28	240	-26.356	-28.908	-29.625	
7	28	241	-26.354	-28.91	-29.624	
7	28	242	-26.355	-28.91	-29.623	
7	28	243	-26.355	-28.91	-29.625	
7	28	244	-26.356	-28.91	-29.625	
7	28	245	-26.355	-28.91	-29.624	
7	28	246	-26.357	-28.912	-29.625	
7	28	247	-26.357	-28.912	-29.625	
7	28	248	-26.357	-28.912	-29.626	
7	28	249	-26.357	-28.912	-29.625	
7	28	250	-26.357	-28.91	-29.625	
7	28	251	-26.357	-28.912	-29.625	
7	28	252	-26.357	-28.912	-29.625	
7	28	253	-26.357	-28.912	-29.625	
7	28	254	-26.357	-28.915	-29.625	
7	28	255	-26.361	-28.915	-29.625	
7	28	256	-26.357	-28.915	-29.625	
7	28	257	-26.359	-28.915	-29.63	
7	28	258	-26.359	-28.917	-29.629	
7	28	259	-26.361	-28.915	-29.63	
7	28	300	-26.361	-28.917	-29.63	-39.233
7	28	301	-26.361	-28.917	-29.631	
7	28	302	-26.361	-28.919	-29.63	
7	28	303	-26.361	-28.919	-29.631	
7	28	304	-26.361	-28.917	-29.63	

7	28	305	-26.361	-28.919	-29.631
7	28	306	-26.361	-28.919	-29.631
7	28	307	-26.361	-28.917	-29.633
7	28	308	-26.363	-28.917	-29.631
7	28	309	-26.363	-28.919	-29.632
7	28	310	-26.365	-28.921	-29.631
7	28	311	-26.363	-28.921	-29.631
7	28	312	-26.363	-28.921	-29.633
7	28	313	-26.365	-28.921	-29.631
7	28	314	-26.364	-28.923	-29.631
7	28	315	-26.367	-28.921	-29.632
7	28	316	-26.367	-28.921	-29.635
7	28	317	-26.368	-28.923	-29.636
7	28	318	-26.367	-28.923	-29.635
7	28	319	-26.368	-28.923	-29.638
7	28	320	-26.37	-28.923	-29.638
7	28	321	-26.37	-28.923	-29.637
7	28	322	-26.37	-28.923	-29.638
7	28	323	-26.37	-28.928	-29.637
7	28	324	-26.37	-28.928	-29.64
7	28	325	-26.37	-28.928	-29.638
7	28	326	-26.371	-28.928	-29.64
7	28	327	-26.372	-28.93	-29.638
7	28	328	-26.374	-28.93	-29.638
7	28	329	-26.374	-28.93	-29.642
7	28	330	-26.374	-28.93	-29.641
7	28	331	-26.376	-28.93	-29.642
7	28	332	-26.374	-28.932	-29.643
7	28	333	-26.376	-28.932	-29.642
7	28	334	-26.376	-28.932	-29.642
7	28	335	-26.376	-28.932	-29.645
7	28	336	-26.374	-28.932	-29.646
7	28	337	-26.38	-28.932	-29.645
7	28	338	-26.378	-28.934	-29.645
7	28	339	-26.378	-28.937	-29.647
7	28	340	-26.38	-28.937	-29.649
7	28	341	-26.378	-28.937	-29.649
7	28	342	-26.379	-28.937	-29.647
7	28	343	-26.384	-28.939	-29.648
7	28	344	-26.383	-28.937	-29.647
7	28	345	-26.385	-28.937	-29.649
7	28	346	-26.383	-28.937	-29.648
7	28	347	-26.385	-28.941	-29.649
7	28	348	-26.385	-28.939	-29.647
7	28	349	-26.385	-28.941	-29.649
7	28	350	-26.385	-28.939	-29.649
7	28	351	-26.385	-28.941	-29.653

7	28	352	-26.387	-28.941	-29.65	
7	28	353	-26.387	-28.943	-29.651	
7	28	354	-26.387	-28.941	-29.654	
7	28	355	-26.387	-28.943	-29.655	
7	28	356	-26.389	-28.943	-29.654	
7	28	357	-26.391	-28.943	-29.655	
7	28	358	-26.391	-28.943	-29.654	
7	28	359	-26.391	-28.945	-29.655	
7	28	400	-26.391	-28.948	-29.654	-39.25
7	28	401	-26.391	-28.948	-29.655	
7	28	402	-26.391	-28.948	-29.656	
7	28	403	-26.391	-28.948	-29.655	
7	28	404	-26.391	-28.948	-29.654	
7	28	405	-26.391	-28.948	-29.654	
7	28	406	-26.391	-28.948	-29.656	
7	28	407	-26.391	-28.948	-29.656	
7	28	408	-26.391	-28.948	-29.657	
7	28	409	-26.391	-28.948	-29.657	
7	28	410	-26.391	-28.95	-29.657	
7	28	411	-26.391	-28.95	-29.656	
7	28	412	-26.391	-28.952	-29.661	
7	28	413	-26.393	-28.95	-29.659	
7	28	414	-26.394	-28.952	-29.661	
7	28	415	-26.395	-28.954	-29.661	
7	28	416	-26.396	-28.954	-29.661	
7	28	417	-26.396	-28.954	-29.662	
7	28	418	-26.396	-28.954	-29.664	
7	28	419	-26.396	-28.954	-29.664	
7	28	420	-26.396	-28.954	-29.664	
7	28	421	-26.398	-28.954	-29.664	
7	28	422	-26.398	-28.956	-29.664	
7	28	423	-26.398	-28.956	-29.662	
7	28	424	-26.4	-28.956	-29.664	
7	28	425	-26.4	-28.959	-29.664	
7	28	426	-26.4	-28.959	-29.666	
7	28	427	-26.4	-28.961	-29.666	
7	28	428	-26.404	-28.961	-29.668	
7	28	429	-26.403	-28.961	-29.668	
7	28	430	-26.404	-28.961	-29.668	
7	28	431	-26.404	-28.961	-29.668	
7	28	432	-26.404	-28.963	-29.671	
7	28	433	-26.404	-28.963	-29.67	
7	28	434	-26.404	-28.963	-29.671	
7	28	435	-26.406	-28.963	-29.67	
7	28	436	-26.406	-28.963	-29.673	
7	28	437	-26.406	-28.963	-29.67	
7	28	438	-26.408	-28.965	-29.672	

7	28	439	-26.407	-28.963	-29.672	
7	28	440	-26.408	-28.965	-29.674	
7	28	441	-26.411	-28.968	-29.673	
7	28	442	-26.411	-28.968	-29.674	
7	28	443	-26.411	-28.968	-29.674	
7	28	444	-26.411	-28.968	-29.674	
7	28	445	-26.413	-28.97	-29.674	
7	28	446	-26.413	-28.968	-29.674	
7	28	447	-26.413	-28.97	-29.676	
7	28	448	-26.413	-28.972	-29.68	
7	28	449	-26.413	-28.97	-29.678	
7	28	450	-26.413	-28.972	-29.679	
7	28	451	-26.413	-28.972	-29.678	
7	28	452	-26.413	-28.972	-29.679	
7	28	453	-26.413	-28.972	-29.68	
7	28	454	-26.413	-28.979	-29.679	
7	28	455	-26.413	-28.976	-29.678	
7	28	456	-26.413	-28.979	-29.682	
7	28	457	-26.413	-28.979	-29.681	
7	28	458	-26.415	-28.979	-29.684	
7	28	459	-26.417	-28.979	-29.683	
7	28	500	-26.415	-28.979	-29.686	-39.286
7	28	501	-26.417	-28.979	-29.685	
7	28	502	-26.419	-28.979	-29.687	
7	28	503	-26.42	-28.979	-29.686	
7	28	504	-26.421	-28.979	-29.687	
7	28	505	-26.42	-28.981	-29.686	
7	28	506	-26.421	-28.981	-29.687	
7	28	507	-26.42	-28.983	-29.686	
7	28	508	-26.421	-28.981	-29.687	
7	28	509	-26.422	-28.983	-29.686	
7	28	510	-26.421	-28.983	-29.689	
7	28	511	-26.42	-28.985	-29.688	
7	28	512	-26.423	-28.985	-29.689	
7	28	513	-26.422	-28.987	-29.688	
7	28	514	-26.425	-28.985	-29.69	
7	28	515	-26.426	-28.987	-29.69	
7	28	516	-26.426	-28.985	-29.69	
7	28	517	-26.426	-28.987	-29.69	
7	28	518	-26.428	-28.987	-29.691	
7	28	519	-26.428	-28.987	-29.69	
7	28	520	-26.428	-28.99	-29.691	
7	28	521	-26.426	-28.99	-29.69	
7	28	522	-26.43	-28.987	-29.694	
7	28	523	-26.43	-28.99	-29.693	
7	28	524	-26.43	-28.987	-29.696	
7	28	525	-26.43	-28.99	-29.693	

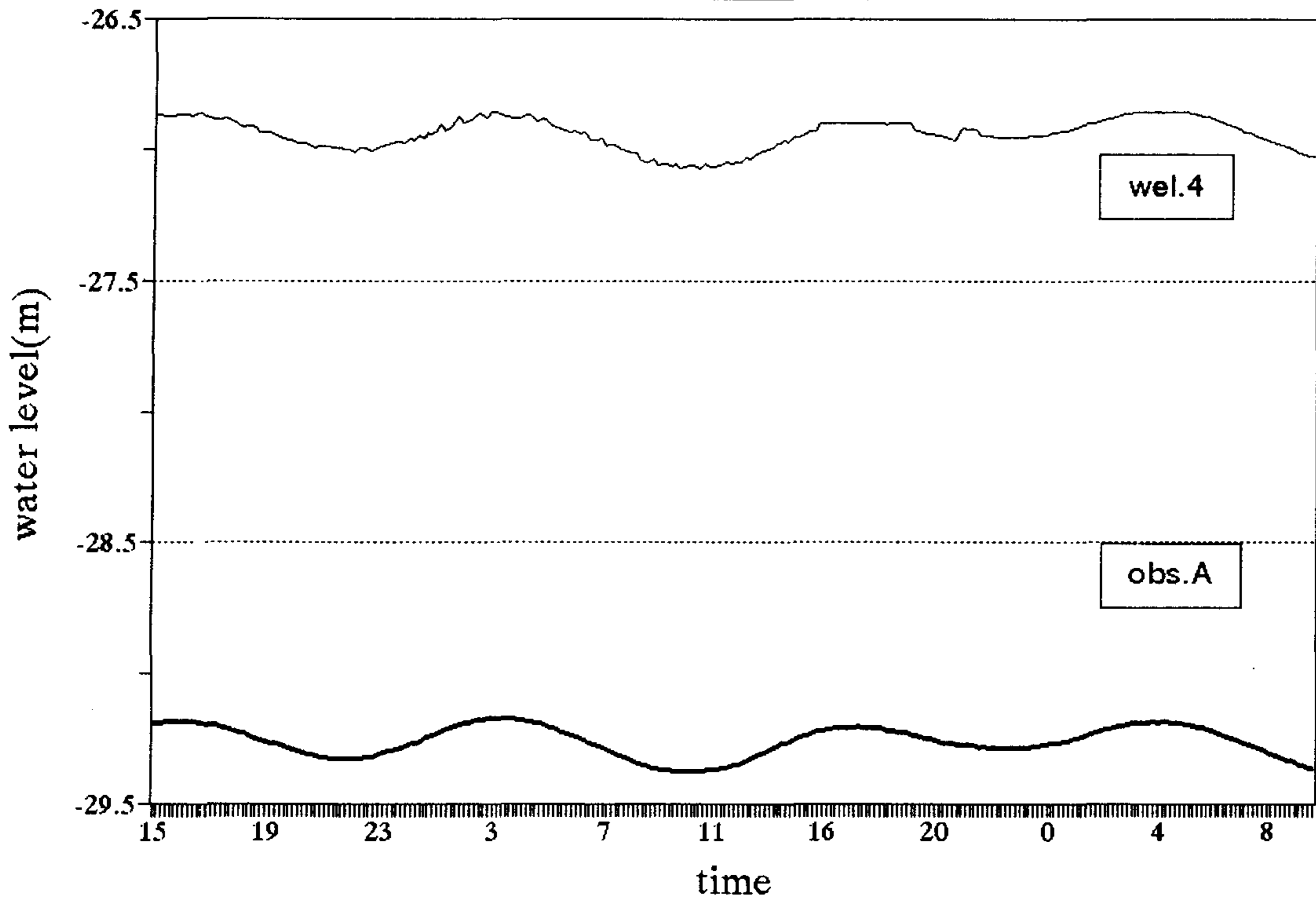
7	28	526	-26.432	-28.992	-29.696	
7	28	527	-26.434	-28.992	-29.695	
7	28	528	-26.435	-28.992	-29.694	
7	28	529	-26.436	-28.992	-29.695	
7	28	530	-26.436	-28.996	-29.698	
7	28	531	-26.436	-28.994	-29.698	
7	28	532	-26.436	-28.996	-29.699	
7	28	533	-26.436	-28.996	-29.698	
7	28	534	-26.436	-28.996	-29.699	
7	28	535	-26.439	-28.996	-29.698	
7	28	536	-26.438	-28.996	-29.698	
7	28	537	-26.438	-28.998	-29.7	
7	28	538	-26.435	-28.996	-29.698	
7	28	539	-26.439	-28.998	-29.7	
7	28	540	-26.442	-28.998	-29.702	
7	28	541	-26.441	-28.998	-29.702	
7	28	542	-26.442	-29.001	-29.702	
7	28	543	-26.441	-29.001	-29.704	
7	28	544	-26.442	-29.001	-29.703	
7	28	545	-26.441	-29.003	-29.705	
7	28	546	-26.443	-29.001	-29.706	
7	28	547	-26.443	-29.003	-29.705	
7	28	548	-26.443	-29.003	-29.706	
7	28	549	-26.443	-29.003	-29.705	
7	28	550	-26.443	-29.005	-29.706	
7	28	551	-26.443	-29.003	-29.707	
7	28	552	-26.443	-29.005	-29.708	
7	28	553	-26.443	-29.005	-29.707	
7	28	554	-26.443	-29.007	-29.707	
7	28	555	-26.443	-29.007	-29.707	
7	28	556	-26.443	-29.007	-29.708	
7	28	557	-26.445	-29.005	-29.709	
7	28	558	-26.443	-29.007	-29.71	
7	28	559	-26.443	-29.007	-29.709	
7	28	600	-26.445	-29.005	-29.711	-39.311
7	28	601	-26.447	-29.007	-29.711	
7	28	602	-26.447	-29.007	-29.711	
7	28	603	-26.449	-29.009	-29.711	
7	28	604	-26.449	-29.012	-29.712	
7	28	605	-26.449	-29.009	-29.711	
7	28	606	-26.449	-29.009	-29.715	
7	28	607	-26.449	-29.009	-29.714	
7	28	608	-26.447	-29.009	-29.715	
7	28	609	-26.451	-29.009	-29.714	
7	28	610	-26.451	-29.012	-29.715	
7	28	611	-26.449	-29.012	-29.716	
7	28	612	-26.452	-29.012	-29.718	

7	28	613	-26.451	-29.014	-29.717
7	28	614	-26.452	-29.014	-29.72
7	28	615	-26.451	-29.014	-29.717
7	28	616	-26.454	-29.014	-29.719
7	28	617	-26.452	-29.014	-29.717
7	28	618	-26.454	-29.016	-29.719
7	28	619	-26.452	-29.014	-29.719
7	28	620	-26.452	-29.016	-29.72
7	28	621	-26.455	-29.016	-29.719
7	28	622	-26.456	-29.016	-29.72
7	28	623	-26.456	-29.018	-29.719
7	28	624	-26.456	-29.014	-29.721
7	28	625	-26.456	-29.016	-29.721
7	28	626	-26.458	-29.016	-29.721
7	28	627	-26.458	-29.016	-29.721
7	28	628	-26.458	-29.016	-29.721
7	28	629	-26.458	-29.016	-29.723
7	28	630	-26.46	-29.018	-29.722
7	28	631	-26.458	-29.018	-29.723
7	28	632	-26.458	-29.023	-29.725
7	28	633	-26.458	-29.023	-29.726
7	28	634	-26.46	-29.023	-29.727
7	28	635	-26.46	-29.023	-29.724
7	28	636	-26.46	-29.023	-29.723
7	28	637	-26.462	-29.023	-29.728
7	28	638	-26.462	-29.023	-29.729
7	28	639	-26.46	-29.023	-29.728
7	28	640	-26.46	-29.023	-29.728
7	28	641	-26.46	-29.025	-29.728
7	28	642	-26.462	-29.025	-29.729
7	28	643	-26.462	-29.023	-29.728
7	28	644	-26.462	-29.023	-29.729
7	28	645	-26.462	-29.023	-29.728
7	28	646	-26.464	-29.023	-29.73
7	28	647	-26.464	-29.023	-29.728
7	28	648	-26.464	-29.023	-29.73
7	28	649	-26.462	-29.025	-29.729
7	28	650	-26.464	-29.025	-29.73
7	28	651	-26.464	-29.023	-29.73
7	28	652	-26.464	-29.025	-29.73
7	28	653	-26.464	-29.027	-29.733
7	28	654	-26.464	-29.025	-29.734
7	28	655	-26.466	-29.025	-29.733
7	28	656	-26.464	-29.025	-29.734
7	28	657	-26.464	-29.025	-29.733
7	28	658	-26.466	-29.025	-29.735
7	28	659	-26.464	-29.027	-29.737

7	28	700	-26.466	-29.025	-29.737	-39.331
7	28	701	-26.465	-29.025	-29.736	
7	28	702	-26.464	-29.027	-29.737	
7	28	703	-26.465	-29.025	-29.737	
7	28	704	-26.466	-29.027	-29.737	
7	28	705	-26.465	-29.027	-29.737	
7	28	706	-26.466	-29.027	-29.737	
7	28	707	-26.465	-29.027	-29.736	
7	28	708	-26.466	-29.027	-29.737	
7	28	709	-26.465	-29.025	-29.736	
7	28	710	-26.465	-29.027	-29.739	
7	28	711	-26.469	-29.027	-29.738	
7	28	712	-26.469	-29.029	-29.739	
7	28	713	-26.469	-29.027	-29.736	
7	28	714	-26.468	-29.029	-29.741	
7	28	715	-26.469	-29.027	-29.739	
7	28	716	-26.471	-29.027	-29.739	
7	28	717	-26.471	-29.025	-29.741	
7	28	718	-26.471	-29.027	-29.741	
7	28	719	-26.471	-29.027	-29.742	
7	28	720	-26.471	-29.027	-29.741	
7	28	721	-26.469	-29.029	-29.744	
7	28	722	-26.471	-29.027	-29.742	
7	28	723	-26.471	-29.029	-29.744	
7	28	724	-26.471	-29.032	-29.744	
7	28	725	-26.471	-29.029	-29.743	
7	28	726	-26.471	-29.027	-29.746	
7	28	727	-26.471	-29.027	-29.747	
7	28	728	-26.471	-29.029	-29.748	
7	28	729	-26.469	-29.027	-29.747	
7	28	730	-26.469	-29.027	-29.748	
7	28	731	-26.471	-29.027	-29.747	
7	28	732	-26.471	-29.027	-29.748	
7	28	733	-26.471	-29.027	-29.75	
7	28	734	-26.471	-29.027	-29.747	
7	28	735	-26.469	-29.029	-29.747	
7	28	736	-26.469	-29.029	-29.75	
7	28	737	-26.471	-29.029	-29.748	
7	28	738	-26.471	-29.027	-29.75	
7	28	739	-26.471	-29.029	-29.751	
7	28	740	-26.471	-29.029	-29.755	
7	28	741	-26.471	-29.029	-29.755	
7	28	742	-26.471	-29.029	-29.757	
7	28	743	-26.469	-29.029	-29.757	
7	28	744	-26.469	-29.029	-29.757	
7	28	745	-26.471	-29.029	-29.756	
7	28	746	-26.469	-29.027	-29.757	

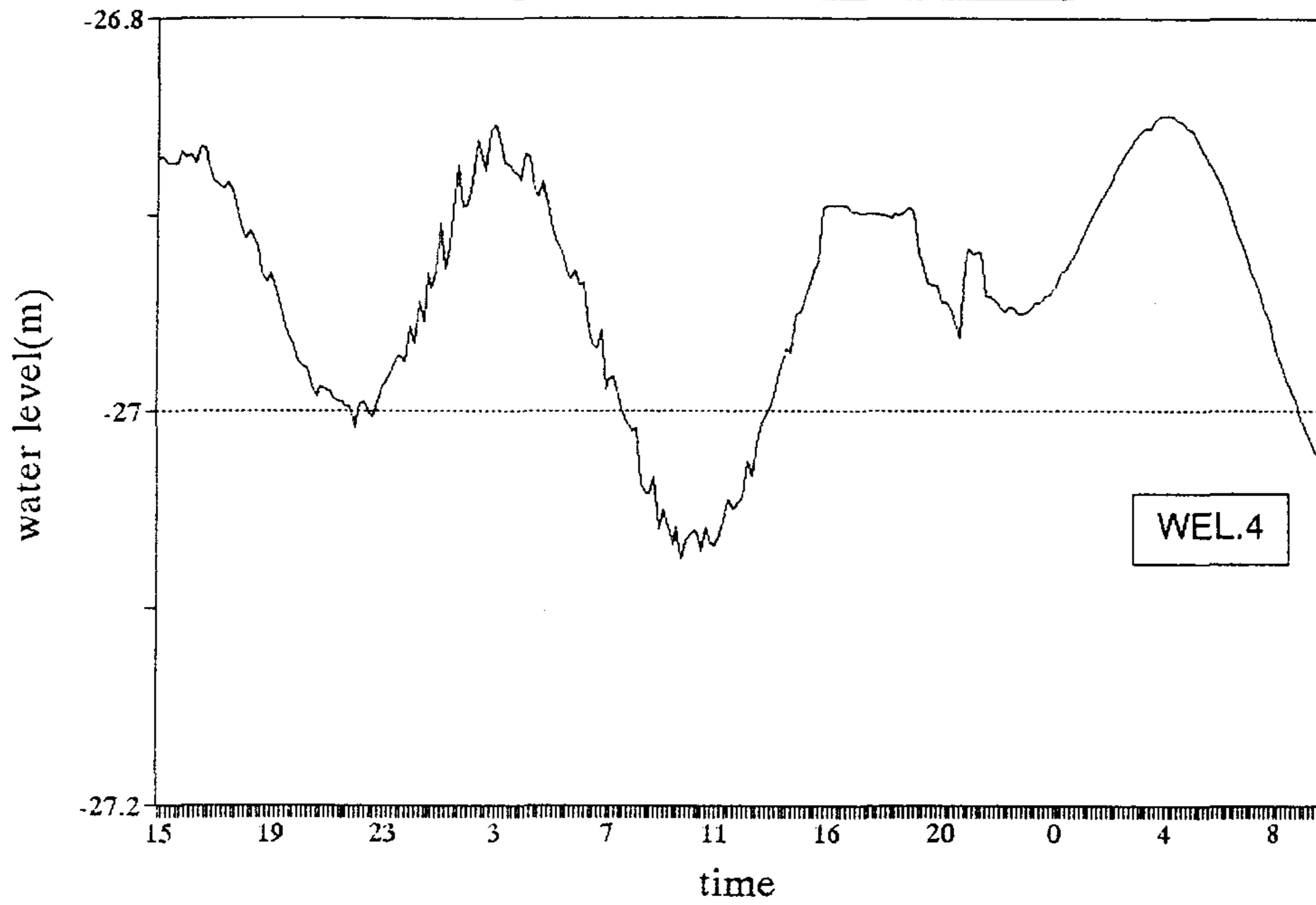
7	28	747	-26.471	-29.027	-29.757	
7	28	748	-26.468	-29.027	-29.757	
7	28	749	-26.471	-29.029	-29.756	
7	28	750	-26.469	-29.029	-29.759	
7	28	751	-26.469	-29.027	-29.757	
7	28	752	-26.471	-29.029	-29.76	
7	28	753	-26.469	-29.027	-29.76	
7	28	754	-26.469	-29.029	-29.757	
7	28	755	-26.469	-29.027	-29.758	
7	28	756	-26.469	-29.025	-29.76	
7	28	757		-29.027	-29.759	
7	28	758		-29.027	-29.759	
7	28	759		-29.027	-29.759	
7	28	800		-29.025	-29.757	-39.335
7	28	801		-29.027	-29.758	
7	28	802		-29.027	-29.757	
7	28	803		-29.025	-29.758	
7	28	804		-29.029	-29.757	
7	28	805		-29.025		
7	28	806		-29.025		
7	28	807		-29.025		
7	28	808		-29.023		
7	28	809		-29.023		
7	28	810		-29.023		
7	28	811		-29.025		
7	28	812		-29.023		
7	28	813		-29.023		
7	28	814		-29.023		
7	28	815		-29.023		
7	28	816		-29.023		
7	28	817		-29.023		
7	28	818		-29.02		
7	28	819		-29.018		
7	28	820		-29.02		
7	28	821		-29.023		
7	28	822		-29.02		
7	28	823		-29.02		
7	28	824		-29.018		
7	28	825		-29.02		
7	28	826		-29.023		
7	28	827		-29.02		
7	28	828		-29.025		
7	28	829		-29.02		

Recharge Test-2
'95.8.31- 9. 2.

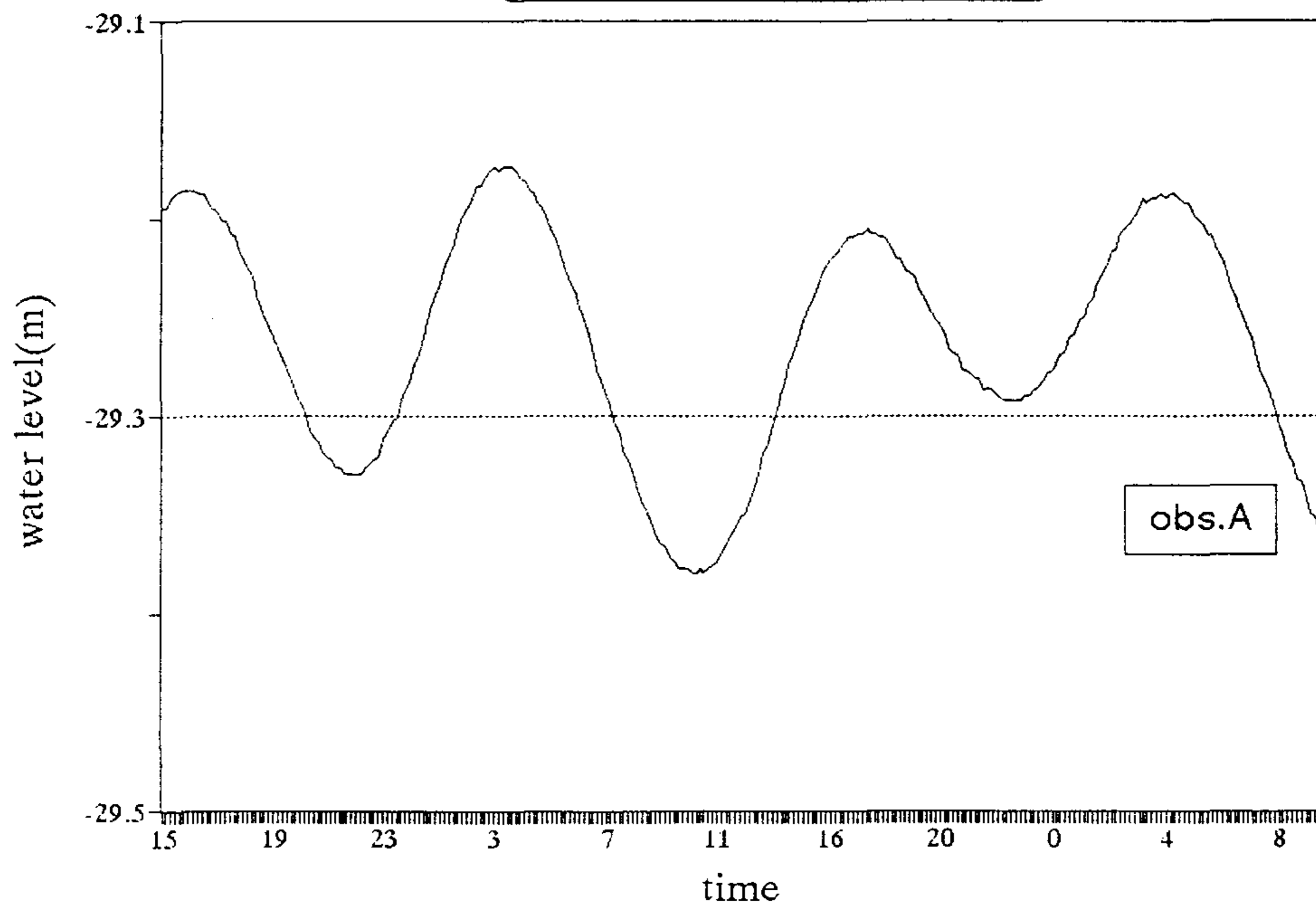


<그림 4-16> 2차 양수시험시 관측A공, 유입4호공 수위변화('95. 8.31 ~9.2)

Recharge Test-2(WEL.4)
'95.8.31- 9. 2.



Recharge Test-2(obs.A)
'95.8.31- 9. 2.



<그림 4-16a> 2차 양수시험시 수위변화(유입 4호공, 관측 A공)

2차 양수시험('95. 8. 31~ 9. 2)

month	date	time	min.	wel.4	obs. A	Hachun(D-31)
8	31	15	0	-26.871	-29.194	-39.624
8	31	15	10	-26.87	-29.194	
8	31	15	20	-26.874	-29.19	
8	31	15	30	-26.874	-29.187	
8	31	15	40	-26.873	-29.185	
8	31	15	50	-26.867	-29.185	
8	31	16	0	-26.87	-29.185	-39.608
8	31	16	10	-26.869	-29.185	
8	31	16	20	-26.874	-29.187	
8	31	16	30	-26.865	-29.187	
8	31	16	40	-26.866	-29.192	
8	31	16	50	-26.875	-29.194	
8	31	17	0	-26.882	-29.196	-39.612
8	31	17	10	-26.884	-29.201	
8	31	17	20	-26.886	-29.201	
8	31	17	30	-26.883	-29.207	
8	31	17	40	-26.888	-29.209	
8	31	17	50	-26.894	-29.216	
8	31	18	0	-26.905	-29.22	-39.628
8	31	18	10	-26.912	-29.225	
8	31	18	20	-26.908	-29.229	
8	31	18	30	-26.911	-29.238	
8	31	18	40	-26.917	-29.245	
8	31	18	50	-26.929	-29.249	
8	31	19	0	-26.934	-29.254	-39.656
8	31	19	10	-26.93	-29.26	
8	31	19	20	-26.937	-29.265	
8	31	19	30	-26.947	-29.271	
8	31	19	40	-26.957	-29.276	
8	31	19	50	-26.963	-29.282	
8	31	20	0	-26.966	-29.287	-39.685
8	31	20	10	-26.974	-29.293	
8	31	20	20	-26.976	-29.298	
8	31	20	30	-26.978	-29.307	
8	31	20	40	-26.987	-29.311	
8	31	20	50	-26.992	-29.313	
8	31	21	0	-26.987	-29.318	-39.705
8	31	21	10	-26.988	-29.32	
8	31	21	20	-26.989	-29.322	
8	31	21	30	-26.993	-29.326	
8	31	21	40	-26.995	-29.326	
8	31	21	50	-26.995	-29.329	

8	31	22	0	-26.997	-29.329	-39.722
8	31	22	10	-26.997	-29.329	
8	31	22	20	-27.008	-29.329	
8	31	22	30	-26.996	-29.329	
8	31	22	40	-26.995	-29.326	
8	31	22	50	-27.001	-29.324	
8	31	23	0	-27.003	-29.322	-39.723
8	31	23	10	-26.995	-29.32	
8	31	23	20	-26.987	-29.311	
8	31	23	30	-26.984	-29.307	
8	31	23	40	-26.978	-29.302	
8	31	23	50	-26.972	-29.3	
9	1	0	0	-26.972	-29.293	-39.697
9	1	0	10	-26.975	-29.287	
9	1	0	20	-26.957	-29.282	
9	1	0	30	-26.965	-29.273	
9	1	0	40	-26.944	-29.267	
9	1	0	50	-26.954	-29.26	
9	1	1	0	-26.93	-29.251	-39.665
9	1	1	10	-26.937	-29.245	
9	1	1	20	-26.93	-29.238	
9	1	1	30	-26.904	-29.232	
9	1	1	40	-26.928	-29.223	
9	1	1	50	-26.916	-29.218	
9	1	2	0	-26.89	-29.212	-39.628
9	1	2	10	-26.875	-29.205	
9	1	2	20	-26.896	-29.198	
9	1	2	30	-26.894	-29.194	
9	1	2	40	-26.883	-29.19	
9	1	2	50	-26.862	-29.183	
9	1	3	0	-26.87	-29.183	-39.608
9	1	3	10	-26.878	-29.179	
9	1	3	20	-26.857	-29.176	
9	1	3	30	-26.854	-29.174	
9	1	3	40	-26.862	-29.176	
9	1	3	50	-26.873	-29.174	
9	1	4	0	-26.875	-29.174	-39.595
9	1	4	10	-26.878	-29.174	
9	1	4	20	-26.879	-29.176	
9	1	4	30	-26.882	-29.179	
9	1	4	40	-26.869	-29.181	
9	1	4	50	-26.87	-29.185	
9	1	5	0	-26.888	-29.187	-39.608
9	1	5	10	-26.891	-29.192	
9	1	5	20	-26.882	-29.194	
9	1	5	30	-26.894	-29.201	
9	1	5	40	-26.907	-29.207	

9	1	5	50	-26.915	-29.212	
9	1	6	0	-26.919	-29.22	-39.628
9	1	6	10	-26.925	-29.225	
9	1	6	20	-26.933	-29.232	
9	1	6	30	-26.928	-29.236	
9	1	6	40	-26.936	-29.245	
9	1	6	50	-26.934	-29.251	
9	1	7	0	-26.959	-29.258	-39.656
9	1	7	10	-26.965	-29.265	
9	1	7	20	-26.968	-29.276	
9	1	7	30	-26.958	-29.282	
9	1	7	40	-26.988	-29.289	
9	1	7	50	-26.983	-29.296	
9	1	8	0	-26.982	-29.304	-39.693
9	1	8	10	-26.992	-29.309	
9	1	8	20	-26.999	-29.318	
9	1	8	30	-27.005	-29.322	
9	1	8	40	-27.01	-29.329	
9	1	8	50	-27.009	-29.337	
9	1	9	0	-27.037	-29.344	-39.73
9	1	9	10	-27.042	-29.349	
9	1	9	20	-27.042	-29.353	
9	1	9	30	-27.033	-29.36	
9	1	9	40	-27.06	-29.364	
9	1	9	50	-27.05	-29.366	
9	1	10	0	-27.058	-29.371	-39.754
9	1	10	10	-27.068	-29.373	
9	1	10	20	-27.058	-29.377	
9	1	10	30	-27.075	-29.377	
9	1	10	40	-27.066	-29.377	
9	1	10	50	-27.063	-29.379	
9	1	11	0	-27.06	-29.379	-39.77
9	1	11	10	-27.064	-29.377	
9	1	11	20	-27.071	-29.379	
9	1	11	30	-27.058	-29.377	
9	1	11	40	-27.067	-29.375	
9	1	11	50	-27.068	-29.373	
9	1	12	0	-27.063	-29.368	-39.758
9	1	12	10	-27.052	-29.364	
9	1	12	20	-27.045	-29.36	
9	1	12	30	-27.05	-29.355	
9	1	12	40	-27.046	-29.351	
9	1	12	50	-27.043	-29.349	
9	1	13	0	-27.025	-29.342	-39.746
9	1	13	10	-27.033	-29.335	
9	1	13	20	-27.02	-29.329	
9	1	13	30	-27.008	-29.318	

9	1	13	40	-27.003	-29.313	
9	1	13	50	-26.999	-29.304	
9	1	14	0	-26.991	-29.296	-39.709
9	1	14	10	-26.979	-29.287	
9	1	14	20	-26.974	-29.282	
9	1	14	30	-26.967	-29.273	
9	1	14	40	-26.97	-29.267	
9	1	14	50	-26.95	-29.26	
9	1	15	0	-26.949	-29.251	-39.677
9	1	15	10	-26.941	-29.245	
9	1	15	20	-26.934	-29.24	
9	1	15	30	-26.928	-29.236	
9	1	15	40	-26.924	-29.229	
9	1	15	50	-26.896	-29.223	
9	1	16	0	-26.895	-29.22	-39.64
9	1	16	10	-26.895	-29.218	
9	1	16	20	-26.895	-29.214	
9	1	16	30	-26.895	-29.212	
9	1	16	40	-26.895	-29.209	
9	1	16	50	-26.898	-29.209	
9	1	17	0	-26.898	-29.207	-39.628
9	1	17	10	-26.899	-29.207	
9	1	17	20	-26.899	-29.205	
9	1	17	30	-26.899	-29.207	
9	1	17	40	-26.899	-29.207	
9	1	17	50	-26.899	-29.209	
9	1	18	0	-26.9	-29.209	-39.628
9	1	18	10	-26.9	-29.212	
9	1	18	20	-26.902	-29.216	
9	1	18	30	-26.899	-29.22	
9	1	18	40	-26.9	-29.22	
9	1	18	50	-26.898	-29.225	
9	1	19	0	-26.896	-29.227	-39.632
9	1	19	10	-26.898	-29.229	
9	1	19	20	-26.92	-29.236	
9	1	19	30	-26.924	-29.238	
9	1	19	40	-26.934	-29.243	
9	1	19	50	-26.936	-29.247	
9	1	20	0	-26.936	-29.251	-39.652
9	1	20	10	-26.945	-29.254	
9	1	20	20	-26.945	-29.258	
9	1	20	30	-26.947	-29.265	
9	1	20	40	-26.955	-29.267	
9	1	20	50	-26.963	-29.269	
9	1	21	0	-26.925	-29.276	-39.681
9	1	21	10	-26.917	-29.276	
9	1	21	20	-26.92	-29.278	

9	1	21	30	-26.919	-29.28	
9	1	21	40	-26.919	-29.28	
9	1	21	50	-26.941	-29.287	
9	1	22	0	-26.942	-29.285	-39.689
9	1	22	10	-26.944	-29.287	
9	1	22	20	-26.947	-29.289	
9	1	22	30	-26.949	-29.291	
9	1	22	40	-26.947	-29.291	
9	1	22	50	-26.947	-29.291	
9	1	23	0	-26.95	-29.291	-39.689
9	1	23	10	-26.95	-29.291	
9	1	23	20	-26.949	-29.289	
9	1	23	30	-26.947	-29.289	
9	1	23	40	-26.945	-29.287	
9	1	23	50	-26.945	-29.285	
9	2	0	0	-26.942	-29.282	-39.689
9	2	0	10	-26.94	-29.278	
9	2	0	20	-26.937	-29.276	
9	2	0	30	-26.934	-29.273	
9	2	0	40	-26.93	-29.269	
9	2	0	50	-26.928	-29.267	
9	2	1	0	-26.923	-29.26	-39.677
9	2	1	10	-26.92	-29.258	
9	2	1	20	-26.913	-29.251	
9	2	1	30	-26.909	-29.249	
9	2	1	40	-26.905	-29.243	
9	2	1	50	-26.9	-29.24	
9	2	2	0	-26.895	-29.232	-39.648
9	2	2	10	-26.891	-29.227	
9	2	2	20	-26.886	-29.223	
9	2	2	30	-26.883	-29.216	
9	2	2	40	-26.878	-29.216	
9	2	2	50	-26.873	-29.207	
9	2	3	0	-26.869	-29.205	-39.628
9	2	3	10	-26.866	-29.203	
9	2	3	20	-26.862	-29.198	
9	2	3	30	-26.858	-29.194	
9	2	3	40	-26.857	-29.19	
9	2	3	50	-26.856	-29.192	
9	2	4	0	-26.856	-29.19	-39.616
9	2	4	10	-26.852	-29.19	
9	2	4	20	-26.85	-29.187	
9	2	4	30	-26.85	-29.19	
9	2	4	40	-26.85	-29.187	
9	2	4	50	-26.85	-29.187	
9	2	5	0	-26.852	-29.19	-39.61
9	2	5	10	-26.853	-29.192	

9	2	5	20	-26.856	-29.192	
9	2	5	30	-26.857	-29.198	
9	2	5	40	-26.861	-29.201	
9	2	5	50	-26.865	-29.203	
9	2	6	0	-26.869	-29.207	-39.62
9	2	6	10	-26.873	-29.209	
9	2	6	20	-26.877	-29.216	
9	2	6	30	-26.882	-29.22	
9	2	6	40	-26.887	-29.227	
9	2	6	50	-26.891	-29.234	
9	2	7	0	-26.898	-29.238	-39.644
9	2	7	10	-26.904	-29.245	
9	2	7	20	-26.911	-29.249	
9	2	7	30	-26.916	-29.256	
9	2	7	40	-26.923	-29.26	
9	2	7	50	-26.929	-29.267	
9	2	8	0	-26.934	-29.276	-39.681
9	2	8	10	-26.94	-29.282	
9	2	8	20	-26.949	-29.287	
9	2	8	30	-26.953	-29.296	
9	2	8	40	-26.965	-29.304	
9	2	8	50	-26.971	-29.309	
9	2	9	0	-26.976	-29.318	-39.717
9	2	9	10	-26.984	-29.322	
9	2	9	20	-26.989	-29.331	
9	2	9	30	-26.995	-29.333	
9	2	9	40	-27.004	-29.342	
9	2	9	50	-27.008	-29.349	
9	2	10	0	-27.014	-29.351	-39.75
9	2	10	10	-27.02	-29.36	
9	2	10	20	-27.024	-29.362	

[별지 제2호 서식]

제주도보건환경연구원

(064) 42-4002, 46-0843

문서번호 : 보연65460- 3036

시행일자 : 1995 년 9월 15일

받 음 : 제주시 이도이동 1176-50 농어촌진흥공사 김병도 보 냐 : 보건환경연구원장

제 목 : 먹는물 수질검사 성적



위와같이 먹는물 수질기준 등에 관한규칙 제3조제2항의 규정에 의하여 아래와 같이 수질 검사 성적서를 교부합니다.

1. 검체내용

검 체 명	지하수	외리근거		접수번호	1533
채수장소	농진공(남군 포선면 신천지구 1호공)	채수일시	'95. 9. 1	접수일시	'95. 9. 1
채수방법	지찰시료	검사목적	원수(참고용)		

2. 수질검사 결과

검 사 항 목	기 준	검 사 결 과	검 사 항 목	기 준	검 사 결 과
1. 일반세균수 (Total Colonies)	100CFU/ml 이하	76	10. 암모니아성 질소(NH ₃ -N)	0.5mg/l 이하	0.00
2. 대장균군 (Coliform Group)	음성/50ml	양성	11. 질산성질소 (NO ₃ -N)	10mg/l 이하	3.4
3. 납(Pb)	0.05mg/l 이하	0.00	12. 카드뮴(Cd)	0.01mg/l 이하	0.000
4. 불소(F)	1mg/l 이하	0.0	13. 페 놀 (Phenol)	0.005mg/l 이하	0.000
5. 비소(As)	0.05mg/l 이하	0.000	14. 총트리할로 메탄(THM)	0.1mg/l 이하	×
6. 셀레늄(Se)	0.01mg/l 이하	0.000	15. 다이아지논 (Diazinon)	0.02mg/l 이하	0.000
7. 수은(Hg)	불 검 출	0.000	16. 파라티온 (Parathion)	0.06mg/l 이하	0.000
8. 시안(CN)	"	0.00	17. 말라티온 (Malathion)	0.25mg/l 이하	0.000
9. 6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.05mg/l 이하	0.00	18. 페니트로치 온(Fenitrothion)	0.04mg/l 이하	0.000

검사항목	기준	검사결과	검사항목	기준	검사결과
19. 카바릴 (Carbaryl)	0.07mg/ℓ 이하	0.000	32. 동(Cu)	1mg/ℓ 이하	0.00
20. 1,1,1-트리클로로에탄(1,1,1-TCE)	0.1mg/ℓ 이하	0.000	33. 색도(Color)	5도 이하	1
21. 테트라클로로에틸렌(PCE)	0.01mg/ℓ 이하	0.000	34. 세제(음이온계면활성제:ABS)	0.5mg/ℓ 이하	0.0
22. 트리클로로에틸렌(TCE)	0.03mg/ℓ 이하	0.000	35. 수소이온농도(pH)	5.8 ~ 8.5	8.5
23. 디클로로메탄(Dichloromethane)	0.02mg/ℓ 이하	×	36. 아연(Zn)	1 mg/ℓ 이하	0.03
24. 벤젠(Benzene)	0.01mg/ℓ 이하	×	37. 염소이온(Cl ⁻)	150mg/ℓ 이하	32
25. 톨루엔(Toluene)	0.7mg/ℓ 이하	×	38. 증발잔류물(RE)	500mg/ℓ 이하	128
26. 에틸벤젠(Ethyle Benzene)	0.3mg/ℓ 이하	×	39. 철(Fe)	0.3mg/ℓ 이하	0.00
27. 크실렌(Xylene)	0.5mg/ℓ 이하	×	40. 망간(Mn)	0.3mg/ℓ 이하	0.00
28. 경도(Hardness)	300mg/ℓ 이하	59	41. 탁도(Turbidity)	2도 이하	적
29. 과망간산칼륨소비량(KMnO ₄ Consumed)	10mg/ℓ 이하	0.6	42. 황산이온(SO ₄ ²⁻)	200mg/ℓ 이하	5
30. 냄새(Odor)	무취	적	43. 알루미늄(Al)	0.2mg/ℓ 이하	0.00
31. 맛(Taste)	무미	적	판정	상기와 같음(대장균균 기준치 초과)끝.	
비고	※ 이 성적서는 지니고 온 시험용 재료에 대한 것이며, 선전 및 광고용으로 쓸 수 없습니다.				

[별지 제2호 서식]

제주도보건환경연구원

(064) 42-4002, 46-0843

문서번호 : 보연65460- 3036

시행일자 : 1995 년 9월 15일

발 음 : 제주시 이도이동 1176-50 능어촌진흥공사 김병도 보 냐 : 보건환경연구원



제 목 : 먹는물 수질검사 성적

위와같이 먹는물 수질기준 등에 관한규칙 제3조제2항의 규정에 의하여 아래와 같이 수질 검사 성적서를 교부합니다.

1. 검체내용

검 체 명	지하수	외력근거		접수번호	1533
채수장소	농진공(남군 포선면 신천지구 4호공)	채수일시	'95. 9. 1	접수일시	'95. 9. 1
채수방법	지참시료	검사목적	원수(참고용)		

2. 수질검사 결과

검 사 항 목	기 준	검 사 결 과	검 사 항 목	기 준	검 사 결 과
1. 일반세균수 (Total Colonies)	100CFU/ml 이하	68	10. 암모니아성 질소(NH ₃ -N)	0.5mg/l 이하	0.02
2. 대장균군 (Coliform Group)	음성/50ml	양성	11. 질산성질소 (NO ₃ -N)	10mg/l 이하	4.0
3. 납(Pb)	0.05mg/l 이하	0.00	12. 카드뮴(Cd)	0.01mg/l 이하	0.000
4. 불소(F)	1mg/l 이하	0.0	13. 페 놀 (Phenol)	0.005mg/l 이하	0.000
5. 비소(As)	0.05mg/l 이하	0.000	14. 총트리할로 메탄(THM)	0.1mg/l 이하	×
6. 셀레늄(Se)	0.01mg/l 이하	0.000	15. 다이아지논 (Diazinon)	0.02mg/l 이하	0.000
7. 수은(Hg)	불 검 출	0.000	16. 파라티온 (Parathion)	0.06mg/l 이하	0.000
8. 시안(CN)	"	0.00	17. 말라티온 (Malathion)	0.25mg/l 이하	0.000
9. 6가크롬(Cr ⁺⁶)	0.05mg/l 이하	0.00	18. 페니트로치 온(Fenitrothion)	0.04mg/l 이하	0.000

검사항목	기준	검사결과	검사항목	기준	검사결과
19. 카바릴 (Carbaryl)	0.07mg/ℓ 이하	0.000	32. 동(Cu)	1mg/ℓ 이하	0.00
20. 1,1,1-트리클로로에탄(1,1,1-TCE)	0.1mg/ℓ 이하	0.000	33. 색도(Color)	5도 이하	1
21. 테트라클로로에틸렌(PCE)	0.01mg/ℓ 이하	0.000	34. 세제(음이온계면활성제:ABS)	0.5mg/ℓ 이하	0.0
22. 트리클로로에틸렌(TCE)	0.03mg/ℓ 이하	0.000	35. 수소이온농도(pH)	5.8 ~ 8.5	8.5
23. 디클로로메탄(Dichloromethane)	0.02mg/ℓ 이하	×	36. 아연(Zn)	1 mg/ℓ 이하	0.02
24. 벤젠(Benzene)	0.01mg/ℓ 이하	×	37. 염소이온(Cl ⁻)	150mg/ℓ 이하	33
25. 톨루엔(Toluene)	0.7mg/ℓ 이하	×	38. 증발잔류물(RE)	500mg/ℓ 이하	137
26. 에틸벤젠(Ethyle Benzene)	0.3mg/ℓ 이하	×	39. 철(Fe)	0.3mg/ℓ 이하	0.00
27. 크실렌(Xylene)	0.5mg/ℓ 이하	×	40. 망간(Mn)	0.3mg/ℓ 이하	0.00
28. 경도(Hardness)	300mg/ℓ 이하	58	41. 탁도(Turbidity)	2도 이하	적
29. 과망간산칼륨소비량(KMnO ₄ Consumed)	10mg/ℓ 이하	0.3	42. 황산이온(SO ₄ ²⁻)	200mg/ℓ 이하	5
30. 냄새(Odor)	무취	적	43. 알루미늄(Al)	0.2mg/ℓ 이하	0.02
31. 맛(Taste)	무미	적	판정	상기와 같음(대장균군 기준치 초과)끝.	
비고	※ 이 성적서는 지니고 온 시험용 재료에 대한 것이며, 선전 및 광고용으로 쓸 수 없습니다.				

다. 장기관측망 관측조사와 연계한 함양효과 분석

(1) 조사지역의 정천 및 이용현황조사

사업지역인 성산읍 신천리, 신평리 및 표선면 하천리 지역을 포함하는 인근 지역에서 개발 이용중인 지하수관정 현황은 관용관정 4개소, 시설관정 61개소로 총 65개소가 개발·이용 중에 있다.

(가) 관용관정 개발현황

1) 생활용수

위 치	공 번	지구명	채수량 (m ³ /일)	시 설 년 도	총인구	급수인구	시설용량 (m ³ /일)	급수량 (m ³ /일)	비 고
표선 하천	H-1	하천2	1,500	'90	1,182	1,182	300	222	
"	D-31	하천	1,598	'74			300		
계	2공		3,098				600		

2) 농업용수

위 치	공 번	지구명	채수량 (m ³ /일)	활 용 계 획 량 (m ³ /일)	물 리 면 적(ha)			이용량 (m ³ /일)	비 고
					전 작	생활(명)	계		
표선 하천	D-259	하천	1,000	800	10	-	10	1,000	
"	F-32	"	1,500	900	-	382	382	222	
계	2공		2,500	1,700	10	382	392	1,222	

(나) 시설관정 개발현황

(단위 : m³/일)

위 치	생활용수		공업용수		농업용수		수산용수		계	
	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량
성산 신천	-	-	5	330	2	10.7	26	81,651.1	33	81,996.8
성산 신평	-	-	1	3	2	51.0	12	43,945.2	15	43,999.2
표선 하천	2	5.3	7	2,846	-	-	4	16,368.0	13	19,219.3
계	2	5.3	13	3,179	4	61.7	42	141,969.3	61	145,215.3

구 분	위 치			표고 (m)	심도 (m)	자 연 수 위 (m)	안 정 수 위 (m)	토 출 구 경 (mm)	모 타 동 력 (kw)	개발 년도	이용량 (m ³ /일)	비고
	읍·면	동·리	번 지									
생활용	표선면	하천리	1442	80.0	110.0	87.0	90.0	50.0	7.5	'88	2.0	
	"	"	1497	115.0	110.0	96.0	98.0	50.0	7.5	'88	3.3	
공업용	성산읍	신평리	62	20.0	70.0	18.0	22.0	50.0	15.0	'78	3.0	
	"	신천리	13	5.0	15.0	3.0	5.0	100.0	11.0	'70	50.0	
	"	"	"	5.0	15.0	3.0	5.0	150.0	11.0	'70	200.0	
	"	"	"	5.0	15.0	3.0	5.0	80.0	11.0	'70	50.0	
	"	"	205	5.0	15.0	6.0	7.0	100.0	11.0	'90	30.0	
	"	"	"	5.0	15.0	6.0	7.0	100.0	11.0	'90	0.0	미이용
	표선면	하천리	1703	65.0	80.0	67.0	69.0	40.0	0.75	'91	1.0	
	"	"	2465	120.0	130.0	80.0	85.0	50.0	7.5	'92	15.0	
	"	"	81	50.0	17.0	5.0	8.0	150.0	19.0	'89	1,666.7	
	"	"	"	50.0	20.0	5.0	8.0	150.0	19.0	'90	833.3	
	"	"	2213	85.0	95.0	56.0	63.0	50.0	11.0	'91	30.0	
"	"	79	20.0	20.0	5.0	8.0	150.0	11.0	'91	150.0		
"	"	"	20.0	20.0	5.0	8.0	150.0	11.0	'91	150.0		
농업용	성산읍	신평리	1303	40.0	120.0	85.0	86.0	40.0	2.20	'90	1.0	
	"	"	1680	240.0	145.0	115.0	120.0	50.0	7.50	'90	50.0	
	"	신천리	434	10.0	27.0	15.0	20.0	50.0	2.20	'92	6.7	
	"	"	515-2	13.0	18.0	12.0	14.0	50.0	2.20	'89	4.0	
수산양 식업용	성산읍	신평리	35	5.0	50.0	3.0	5.0	125.0	15.0	'89	2,880.0	
	"	"	"	5.0	50.0	3.0	5.0	125.0	15.0	'89	2,880.0	
	"	"	16	5.0	50.0	5.0	8.0	200.0	22.0	'91	3,333.3	
	"	"	"	5.0	50.0	5.0	8.0	200.0	22.0	'91	3,333.3	
	"	"	"	5.0	50.0	5.0	8.0	200.0	22.0	'91	3,333.3	
	"	"	"	5.0	50.0	5.0	8.0	200.0	22.0	'91	3,333.3	
	"	"	17	5.0	43.0	5.0	8.0	100.0	5.50	'90	660.0	
	"	"	18	5.0	65.0	4.0	5.0	200.0	22.0	'89	5,328.0	
	"	"	"	5.0	65.0	4.0	5.0	150.0	22.0	'89	2,880.0	
	"	"	"	5.0	65.0	4.0	5.0	200.0	22.0	'89	5,328.0	
	"	"	"	5.0	65.0	4.0	5.0	200.0	22.0	'89	5,328.0	

구 분	위 치			표고 (m)	심도 (m)	자 연 수 위 (m)	안 정 수 위 (m)	토 출 구 경 (mm)	모 타 동 력 (kw)	개 발 년 도	이용량 (m ³ /일)	비 고	
	읍·면	동·리	번 지										
수산양 식업용	성산읍	신천리	206	5.0	50.0	5.0	6.0	150.0	15.0	'90	3,600.0		
	"	"	"	5.0	50.0	5.0	6.0	150.0	15.0	'90	3,600.0		
	"	"	"	5.0	50.0	5.0	6.0	150.0	15.0	'90	3,600.0		
	"	"	214	5.0	65.0	3.0	5.0	120.0	11.0	'88	1,666.7		
	"	"	"	5.0	65.0	3.0	5.0	120.0	11.0	'88	1,666.7		
	"	"	"	5.0	65.0	3.0	5.0	120.0	11.0	'88	1,666.7		
	"	"	215	3.0	50.0	5.0	6.0	80.0	7.5	'89	1,728.0		
	"	"	"	3.0	50.0	5.0	6.0	125.0	22.0	'89	3,456.0		
	"	"	220	5.0	67.0	4.0	6.0	150.0	11.0	'88	1,800.0		
	"	"	"	5.0	67.0	4.0	6.0	150.0	11.0	'88	1,800.0		
	"	"	"	5.0	67.0	4.0	6.0	150.0	11.0	'88	1,800.0		
	"	"	"	5.0	67.0	4.0	6.0	150.0	11.0	'88	1,800.0		
	"	"	345-1	3.0	40.0	2.0	4.0	150.0	15.0	'88	2,160.0		
	"	"	"	3.0	40.0	2.0	4.0	150.0	22.0	'88	2,736.0		
	"	"	"	3.0	40.0	2.0	4.0	100.0	15.0	'88	2,160.0		
	"	"	"	3.0	40.0	2.0	4.0	100.0	22.0	'88	2,736.0		
	"	"	406	3.0	40.0	2.0	4.0	150.0	30.0	'89	3,600.0		
	"	"	"	3.0	40.0	2.0	4.0	150.0	22.0	'89	3,600.0		
	"	"	"	3.0	40.0	2.0	4.0	150.0	22.0	'89	3,600.0		
	"	"	"	3.0	40.0	2.0	4.0	125.0	11.0	'89	2,880.0		
	"	"	412	2.0	67.0	3.0	6.0	150.0	22.0	'89	5,000.0		
	"	"	"	2.0	67.0	3.0	6.0	150.0	22.0	'89	5,000.0		
	"	"	"	2.0	67.0	3.0	6.0	150.0	22.0	'89	5,000.0		
	"	"	"	2.0	67.0	3.0	6.0	200.0	30.0	'89	5,000.0		
	"	"	"	2.0	67.0	3.0	6.0	150.0	30.0	'89	5,000.0		
	"	"	"	2.0	67.0	3.0	8.0	150.0	30.0	'89	5,000.0		
	"	표선면	하천리	62-1	5.0	66.0	4.0	5.0	150.0	15.0	'87	3,456.0	
	"	"	"	"	5.0	66.0	3.0	5.0	150.0	22.0	'87	3,456.0	
	"	"	"	"	5.0	66.0	3.0	5.0	150.0	22.0	'87	3,456.0	
	"	"	"	2213	5.0	66.0	3.0	6.0	150.0	22.0	'87	6,000.0	

(2) 지하수위조사

(가) 제주도지하수의 부존형태

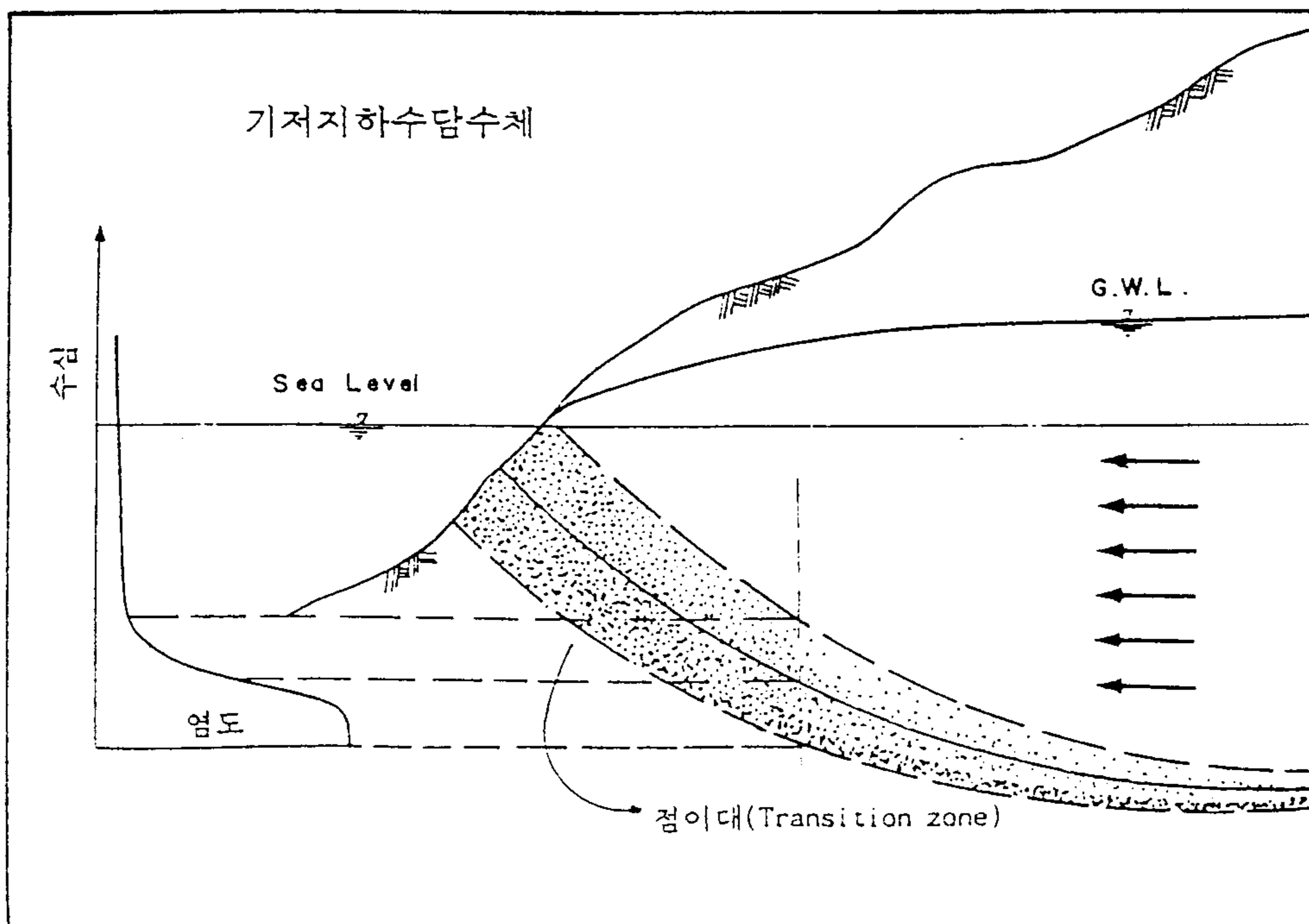
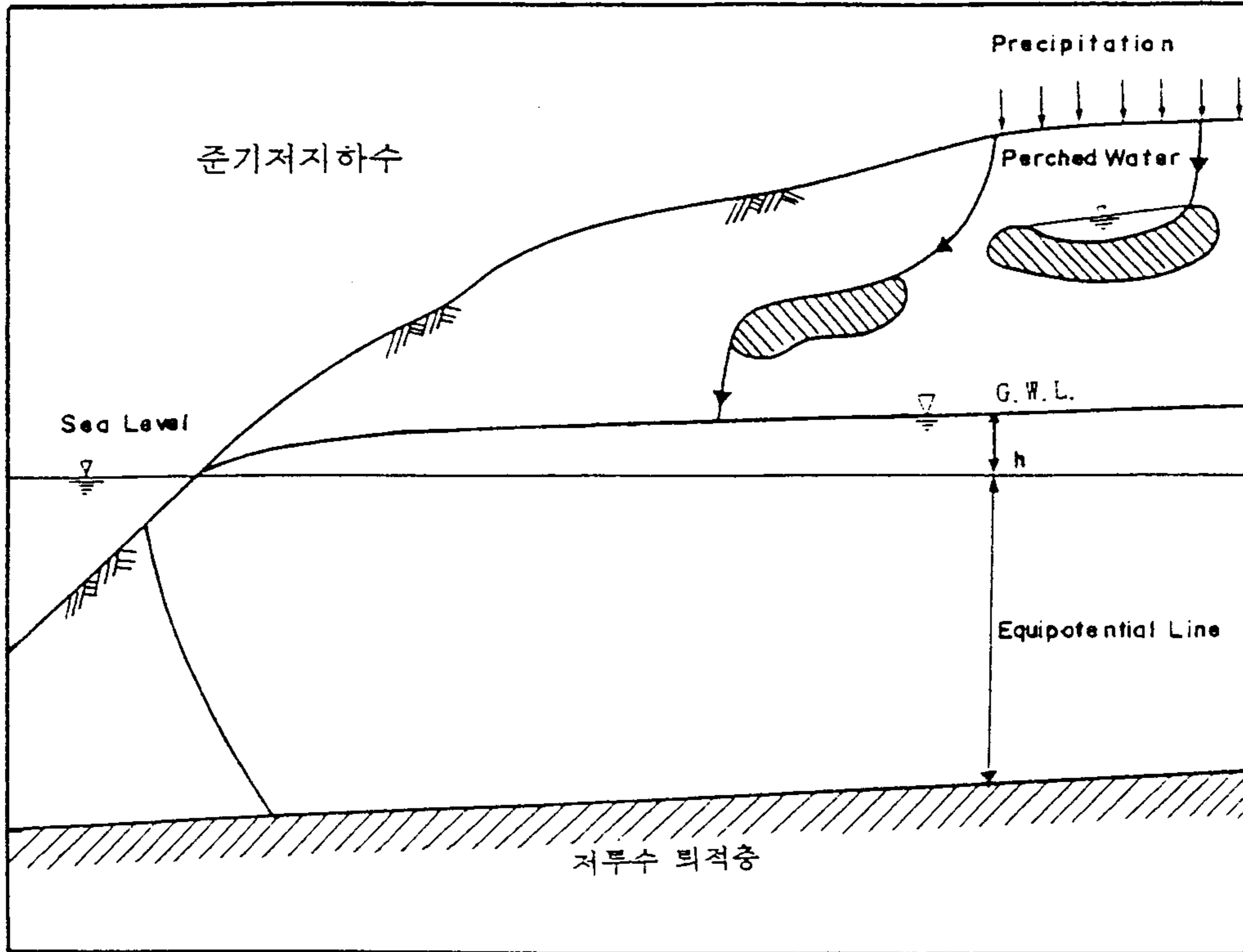
제주도의 지하수 부존형태는 화산도 특유의 지형 및 지질조건 때문에 기저지하수, 상위지하수 및 주수로 대별한다(농어촌진흥공사, 1980)

상위지하수는 강수가 중력에 의해 투수성 균열을 통해 지하로 침투하다 기저지하수체에 도달하기 전에 불투수성 치밀질 암석이나 점토층과 만나게 되면 더이상의 수직강하를 하지 못하고 그 지층위의 부유수체(compartment)형태로 부존하는 형이며, 상기 조건을 갖춘 지역으로는 지하에 서귀포층과 성산층이 분포하는 서귀포 및 남원 서부 지역과 제주지역의 중산간 일부 지역에만 국한되어 분포하고, 지하수 위도 갈수기와 풍수기에 따라 매우 가변적이며 그 수량도 매우 한정적이라 하였다.

기저지하수는 지표로부터 유입된 지하수가 섬 하부까지 침투 하강하여 바닷물과의 비중차(1:1.025)때문에 담수체가 해수위에 lens의 형태로 떠 있는 상태로 부존하게 되는 것을 말하며, 기저지하수는 본도 전역에 걸쳐 풍부한 수량이 부존되고 있으나 본도의 110회 이상의 화산분출로 지하지질이 다양한 종류의 용암류와 화산쇄설물, 퇴적암류 등으로 구성되어 있어 투수성이 균일하지 못하므로 담수 lens체가 이상적인 형태로 형성되어 있지 않은 것으로 추정하였다.

한편, 한국수자원공사(1993)는 제주도의 지하수를 지하지질구조와 산출상태에 따라 상위지하수, 기저지하수, 준기저지하수로 대별할 수 있다 하였다<그림 4-17>.

각 부존 형태별로 특성을 살펴보면 상위지하수는 본도의 중산간지



<그림 4-17> 제주도 지하수의 부존 형태
-124-

대 및 고지대와 남부 해안지역에 걸쳐 광범위하게 분포하는데 그 부존 상태에 따라 세 가지 유형으로 세분 할 수 있다 하였다. 첫째는 비포화 대 내에서 단속적으로 보존되어 타 대수층과 수리적인 연결성이 없는 부유 지하수로서 지금까지 통상 상위지하수로 불리워 온 유형의 지하수이다. 둘째는 대수층 상부에 기반을 이루고 있는 저투수성 퇴적층이 해수면 상부에 위치한 경우이며, 셋째는 퇴적층이 해수면 하에 위치하나 지하수위가 높게 형성되며 조석의 영향을 받지 않는 지하수체이다.

상위지하수체는 해수와는 직접적인 접촉이 없어 대체적으로 수질이 양호하나 독립적 또는 국지적으로 분포하여 그 규모가 작으므로 강수량 및 계절에 따라 유량과 수위변화가 심하게 나타난다고 하였다.

본 도에서 가장 풍부한 수자원인 기저지하수는 동부지역, 즉 조천에서 남원 구간의 해안으로부터 내륙 깊숙이 까지 분포하고 있으며 서부지역의 한림, 고산 및 한경 등 일부 지역에서도 해안변을 따라 분포하고 있는 것으로 분석된다. 기저지하수는 상위지하수와는 달리 담수체 상하부가 항상 유동상태에 있으며 담수체의 변화에 따라 해수의 수평 및 수직운동의 일어나게 되며, 해수와 담수의 접촉면은 렌즈의 수축, 팽창과 조석의 영향으로 인하여 뚜렷한 경계면을 갖기보다는 담수와 해수가 혼합된 점이대를 갖는데 제주도와 같이 투수성이 큰 지층으로 구성된 지역에서 점이대의 두께는 담수체의 크기가 큰 상류지역에서는 얇게 형성되며 해안쪽으로 갈수록 두꺼워지다가 해안 유출지점에서는 렌즈의 전 두께가 점이대로 구성된다<그림 4-17>. 따라서 해안 용출수에 염분이 함유되며, 해안부근에 관정을 개발할 경우 염수의 역상(upconing)에 의한 해수침입이 발생하기 쉽다. 이러한 현상이 현재 문제가 되고 있는 동부지역, 특히 구좌, 성산지역 용출수 및 해안

부근 관정의 염분함량이 높게 나타나고 있는 이유로 설명 될 수 있다.

준기저지하수는 하부가 불투수성 또는 난대수성 지층에 의하여 해수와의 직접적인 접촉이 차단되어 기저지하수와 비교할 때 채수에 따른 해수침입 우려가 상대적으로 적으므로 용수개발에 그 중요성이 크다. 준기저지하수의 부존 여부는 상기한 저투수성 지층이 대수층 하부 분포 위치에 따라 결정되는데, 본 도 하부에 투수성이 낮은 퇴적층이 넓게 분포하고 있는 것으로 추정되므로 광범위하게 분포할 것으로 예상되나 현재까지 부존이 확인된 곳은 서부 해안지역과 북부의 삼양 및 신촌지역 남부 서귀포의 자굴이지역 등이다.

(나) 지하수위 변동분석

지하수위 자료는 지하수 포장체의 규모, 대수층의 성격과 능력, 지하수 유동방향 판단 및 대수층 변동 예측뿐만 아니라 총체적인 지하수 거동과악을 통한 지역별 지하수 개발가능량을 설정하는데 필수적인 기본 자료가 된다.

일반적으로 지하수위는 수문, 기상조건, 양수등에 따라 년중 끊임 없이 변화하며 특히 제주도는 지하지질구조가 투수성이 큰 지질매체로 구성되어 있어 수위변동도 각종 요인에 의해 큰 폭으로 나타나고 있는 것으로 추정하고 있다. 지하수위 변동은 강우량, 증발산량, 정호정에서의 양수량, 조석간만에 의한 영향등의 요인에 의해 발생하고 있으며, 본도에서의 지하수위 변화는 수역별 대수층의 유형과 지질구조, 양수량, 강우량, 조석간만에 의한 영향의 특성에 따라 수역별로 상이하게 나타나고 있다.

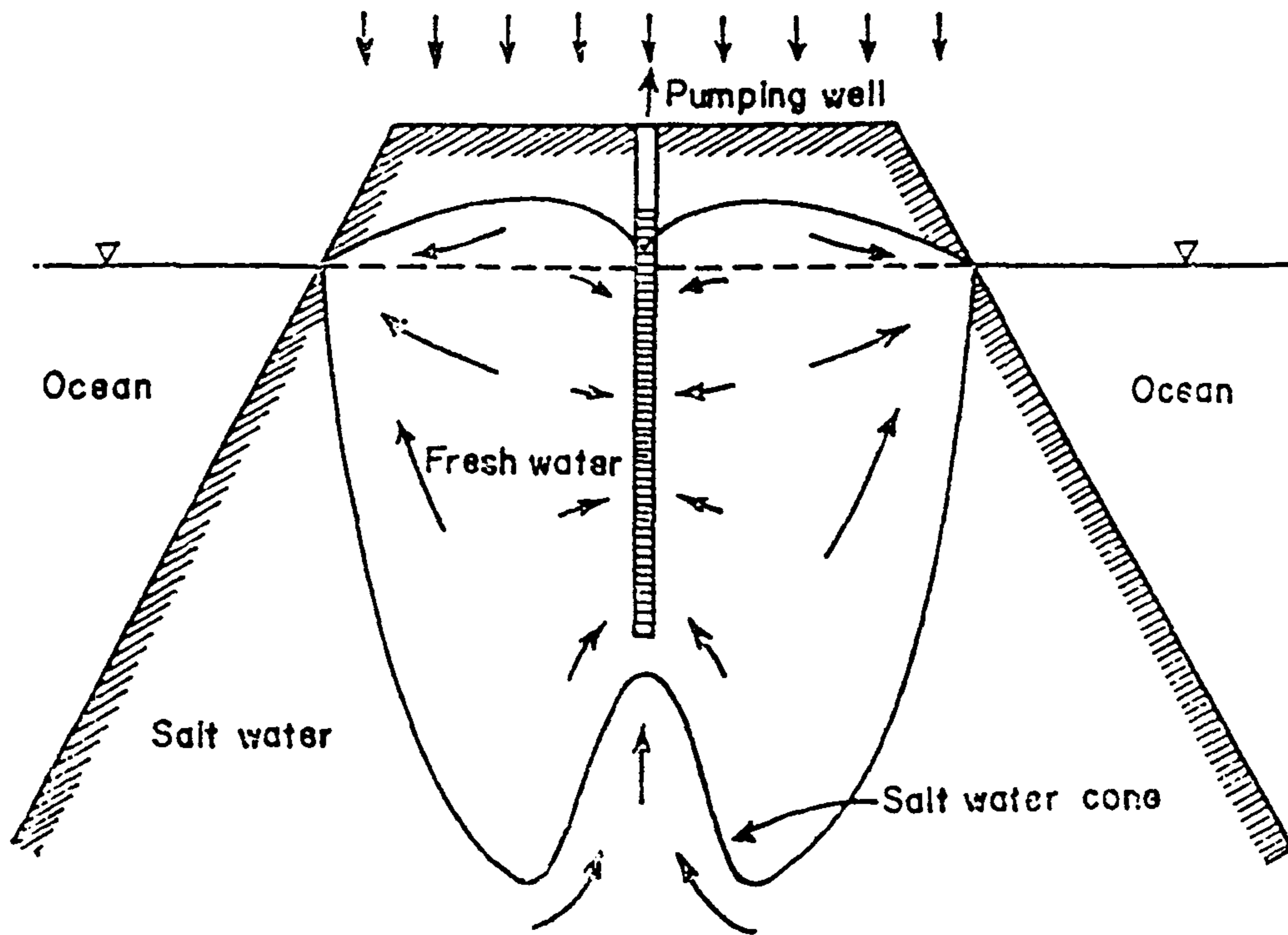
섬지방의 지하수위 변동요인은 주로 조석간만에 의한 영향이 관측되며 그 변동폭과 영향권은 해안변지역의 수리지질학적 특성과 조차 등의 조건에 따라 가변적으로 나타나고 있다. 그리고 강우량의 변화와 양수량에 의해서 지하수 수위가 단기적 및 계절적 변동을 유발시키는 가장 근본적인 요인이 되고 있다.

제주도와 같은 섬지역에서의 담수 lens체의 두께는 조석운동, 대수층의 불균질성, 개발에 따른 지하수의 불규칙한 소모량 등에 따라 복잡한 유동상태를 이루고 있어 해수와 동적 평형을 유지하는 것으로 밝혀졌고 담수체와 해수가 접하는 곳에서는 어떤 폭을 갖는 점이대가 형성되어 있다. 이러한 점이대는 조석의 영향, 함양량과 유출량의 변동, 기타 양수량에 의한 지하수위의 변화에 따라 확산되며 일시에 많은 양의 지하수를 심정공에서 양수할 경우 담수 lens체 하부에는 갑작스런 국부적인 변위현상이 일어나 <그림 4-18>처럼 염수는 상향운동을 일으키게 되어 넓은 점이대가 형성되며 기존 대수층내로 염수가 침입될 가능성이 있다.

(다) 인공함양에 따른 지하수위 변동분석

다음은 인공함양공법을 채택하여 지하수위를 상승시킴으로 해서 해수로 오염된 지하수를 원상태로 회복시킨 시공사례이다.

<그림 4-19a>는 미국 캘리포니아 Manhattan Beach의 해안지방에서 해안선 가까이 부존하는 담수 lens가 얇은 기저지하수를 적정채수량이므로 과잉 채수로 인한 절대수위가 해수준면 이하로 하강된 상태로 해수가 기존 담수 lens내로 침입한 예를 나타낸 그림이다. 이를



<그림 4-18> 과잉 양수때 역상승현상 모식도

원상태로 회복할 계획으로 해안선에서 약 2,000ft 떨어진 지점에 담수 재투입용 관정을 뚫었다. 담수를 재투입하기 전에는 압력수위(절대수위)가 평균 해수면보다 약 6~12ft 밑에 있었으며 <그림 4-19a>는 해수로 오염된 지하수를 원상태로 회복시키기 위하여 오염된 지하수의 해안선에서 부터 각각 500ft, 1,000ft, 1,500ft, 2,000ft 떨어진 지점에 담수 투입용으로 다시 새로운 관정을 설치한 것을 나타낸 그림이다.

<그림 4-19a>에서 D는 1953년 2월 12일 부터 3월 10일까지 약 한달간 계속투입한 결과 상승된 절대수위이다. B는 12월 12일 부터 6월 15일 까지 약 6개월간 담수투입 결과 서서히 절대수위가 상승하여 해수준면 위로 약간 노출되기 시작함을 보여준다. A는 담수투입후 9개월후에 절대수위가 해수준면 보다 아주 높게 올라가 원상태로 복원된 모습을 보여준다. <그림 4-19b>는 <그림 4-19a>의 실험상태를 알기 쉽게 나타낸 것이다. <그림 4-20>은 담수 투입하기를 2년간이나 계속한 결과 원상태로 복원된 모습을 나타낸 그림이다. 그러나 2,500~6,000ft 사이의 지역에 lens상태에 침입한 해수가 그냥 남아 있으나 계속적으로 담수를 투입하면 원상태로 회복된다고 하였다.

사업지구를 포함하는 제주도 동부 일부 지역은 서귀포층이 결층으로 지하수를 받쳐 줄만한 차수층이 없고 투수성이 양호한 현무암류 및 스코리아층이 주로 분포함으로 담수 lens체가 얇으며 해수와 담수의 접촉면은 lens의 수축 팽창과 조석의 영향등으로 담수와 해수가 혼합된 점이대를 갖고 있다. 이 점이대의 두께는 내륙쪽인 상류지역에는 얇게 형성되어 있으며 해안쪽으로 갈수록 두꺼워 지고 있다. 이러한 이유로 동부 일부 지역은 내륙부 6km까지 해수가 침입된 지역이 관측되며 해안에서 1km까지 구간은 염분도가 1,000ppm을 초과한 지

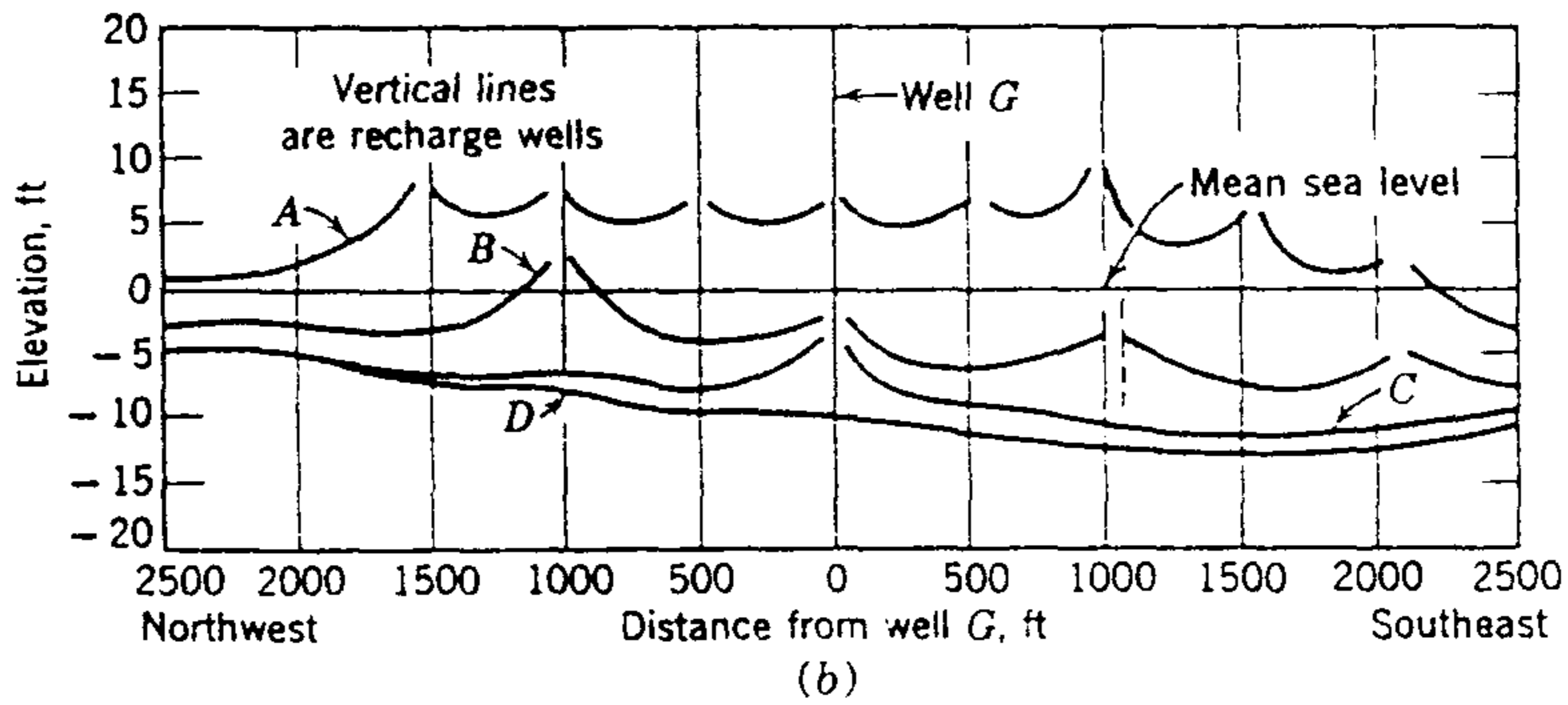
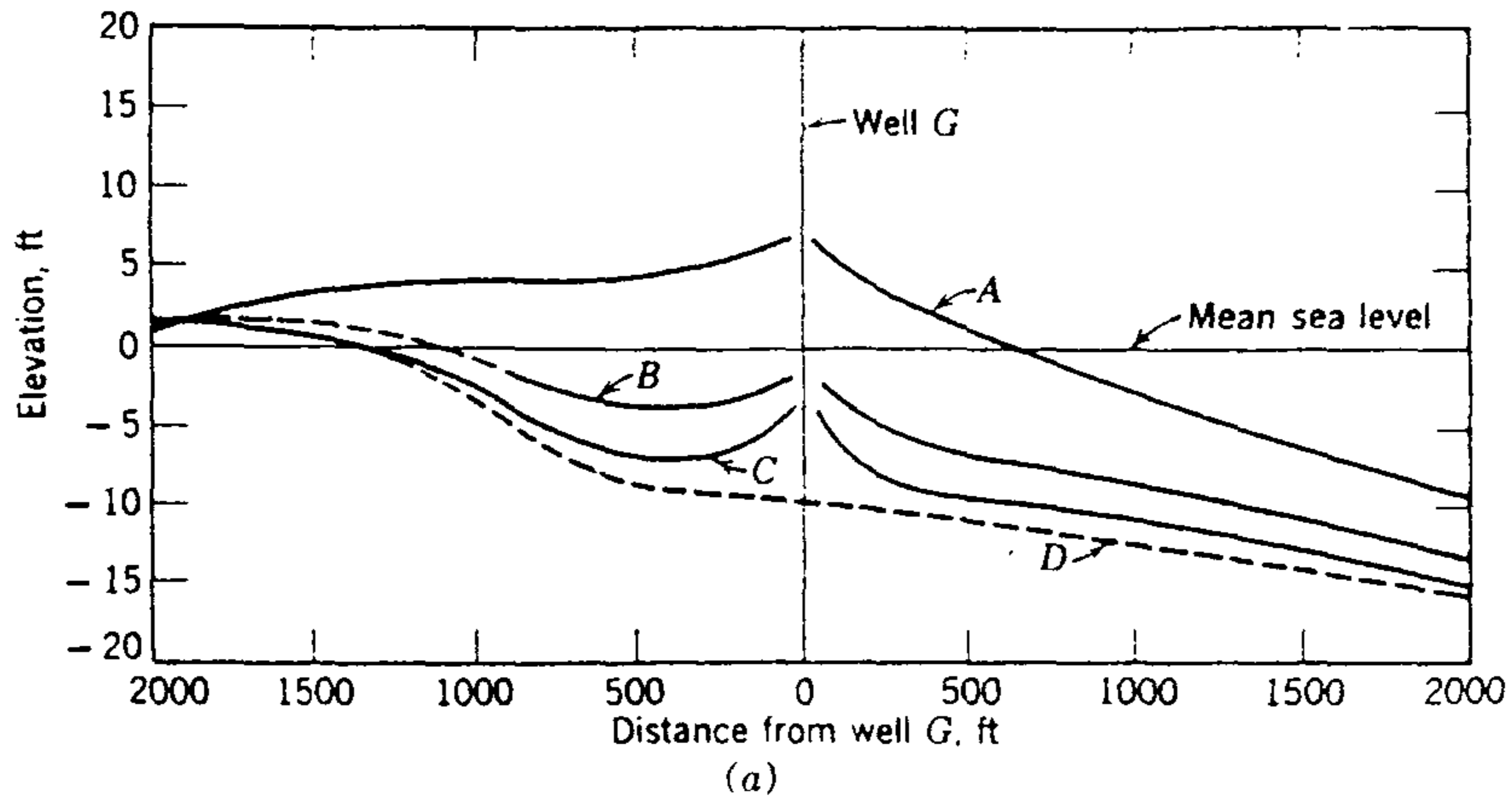
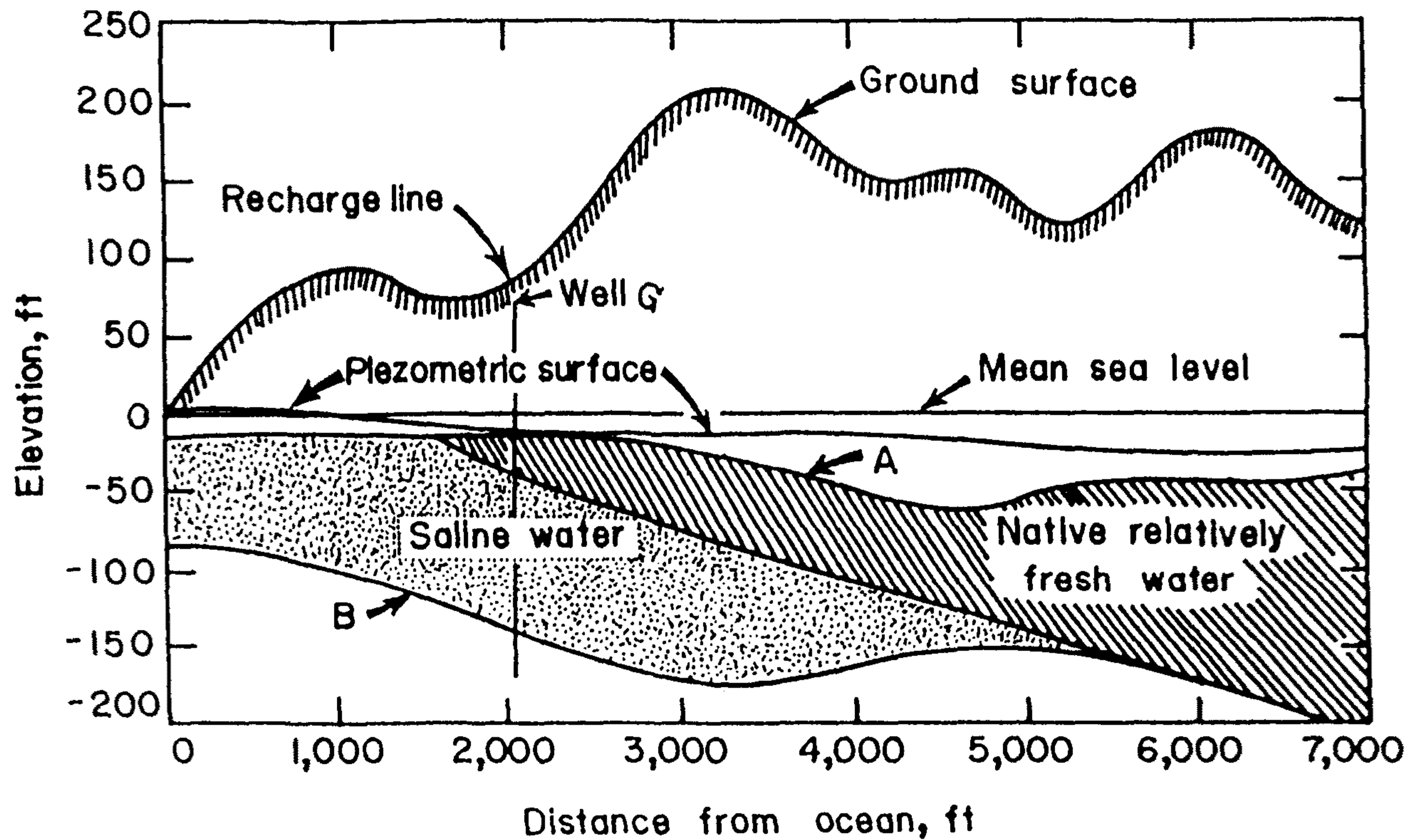


Fig. 15 Profiles of piezometric surfaces (a) normal to and (b) along the line of recharge wells, Manhattan Beach, Calif. A—Sept. 16, 1953; B—June 15, 1953; C—March 10, 1953; and D—static water level prior to beginning of recharge on Feb. 12, 1953 (after Laverty and van der Goot¹⁹).

<그림 4-19a> 해수 침입 지역의 인공함양 과정 모식도



Sea water intrusion at Manhattan Beach, Calif, prior to recharge A—upper boundary of aquifer; B—lower boundary of aquifer (after Laverty and van der Goot).

<그림 4-19b> 과잉양수에 의한 해수가 침입한 예

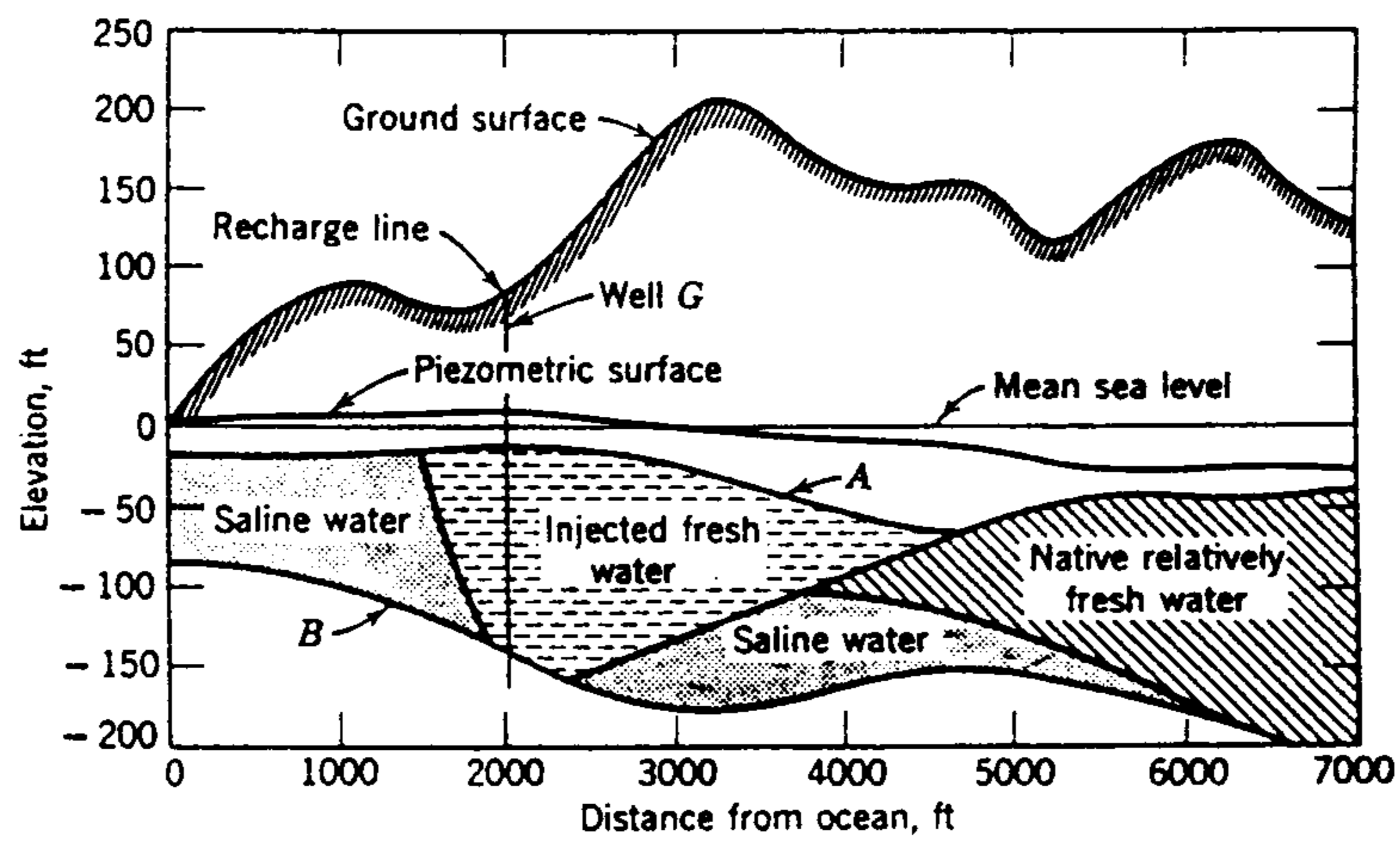


Fig. 16 Sea water intrusion at Manhattan Beach, Calif., two years after beginning of recharge. *A*—upper boundary of aquifer; *B*—lower boundary of aquifer (after Laverty and van der Goot¹⁹).

<그림 4-20> 인공함양에 따른 지하수위 상승 모식도

역도 분포하고 있다. 본 조사는 해수가 침입하여 지하수의 염분도가 높게 나타나는 지역에 인공함양을 실시하므로써 침입된 해수를 원상태로 회복할 목적으로 조사연구를 실시하게 되었다.

<그림 4-13>은 조사지역의 인공함양공과 수위관측공의 위치도이다. 인공함양공 No-1, 2, 3, 4는 해안선에서 내륙쪽으로 약 1.63km 지점에 위치하며 착정심도는 No-1, 4관정은 40m이고, No-2, 3공은 30m이며, 이들 착정공의 구경은 24cm이다. A관측공은 해안선에서 내륙쪽으로 약 1.5km에 위치하며 B관측공은 해안선에서 부터 내륙쪽으로 약 1.75km에 위치해 있다. 한편 성산포지역의 7월과 8월의 강수량은 <표 4-9>와 같다. <표 4-9>에서 보는 바와 같이 조사지역에 강우가 시작되기 전인 7월 1일 A관측공에서 관측된 평균자연수위는 29.425m로서 해수준고 1.105m를 유지하고 있었다. 그러나 7월 1일부터 7월 3일 까지 성산포 측후소에서 기록된 강우는 317.5mm로서 이 강우의 영향으로 관측정에서 관측된 지하수위는 7월 2일 1.523m, 7월 3일 2.214m로서 각각 0.418m, 0.109m의 수위상승을 기록하였다(7월 1일 대비). 7월 3일 이후에도 강우는 미약하나마 계속적으로 본 조사지역에서 기록되어 수위는 계속 상승하는 추세를 보여 주고 있다. 7월 7일 225.0mm의 강우를 기록하였던 때에는 해수준면 이상 2.603m까지 수위가 상승하였던 경우를 알 수가 있다. 또한 하천(D-31)지구에서 관측된 지하수위 또한 7월 2일에는 0.505m, 7월 3일에는 0.998m, 7월 7일에는 1.497m까지 상승하였으며 이후에는 계속 강우가 시작되는 7월 1일의 수위를 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 여기에서 주목하여야 할 점은 강우시 천미천에 설치된 유입공에서 보다 천미천에서 멀리 떨어진 하천(D-31)지구에서의 강우에 의한 수위상승폭이 더 크다는

<표 4-11> 일별 자연수위 측정내역(관측 A공)

('95.6.23- 10.31)(단위 : M)

일자	6월		7월		8월		9월		10월	
	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고
1			29.473	1.057	29.046	1.484	29.261	1.269	29.324	1.206
2			29.424	1.106	29.075	1.455	29.266	1.264	29.313	1.217
3			28.956	1.574	29.102	1.428	29.296	1.234	29.369	1.161
4			28.331	2.199	29.128	1.402	29.328	1.203	29.391	1.139
5			28.634	1.896	29.156	1.374	29.288	1.242	29.380	1.150
6			28.790	1.740	29.192	1.338	29.264	1.266	29.377	1.153
7			28.861	1.669	29.218	1.312	29.260	1.270	29.386	1.144
8			27.877	2.653	29.228	1.302	29.264	1.266	29.379	1.151
9			28.004	2.526	29.215	1.315	29.251	1.279	29.381	1.149
10			28.242	2.288	29.206	1.324	29.267	1.263	29.382	1.148
11			28.354	2.176	29.202	1.328	29.282	1.248	29.362	1.168
12			28.427	2.103	29.210	1.320	29.298	1.232	29.365	1.165
13			28.489	2.041	29.213	1.318	29.320	1.210	29.383	1.147
14			28.570	1.960	29.219	1.311	29.343	1.187	29.383	1.147
15			28.626	1.904	29.237	1.293	29.365	1.165	29.379	1.151
16			28.654	1.876	29.278	1.252	29.341	1.189	29.382	1.148
17			28.697	1.833	29.319	1.212	29.325	1.205	29.397	1.134
18			28.752	1.778	29.349	1.181	29.275	1.255	29.374	1.156
19			28.817	1.713	29.369	1.161	29.324	1.206	29.378	1.152
20			28.899	1.631	29.372	1.158	29.313	1.217	29.379	1.151
21			28.978	1.552	29.377	1.153	29.288	1.242	29.340	1.190
22			29.018	1.512	29.374	1.156	29.296	1.234	29.331	1.199
23	29.487	1.043	29.042	1.489	29.351	1.179	29.275	1.255	29.337	1.193
24	29.507	1.023	28.920	1.610	29.331	1.199	29.221	1.309	29.348	1.182
25	29.466	1.064	28.816	1.714	29.317	1.213	29.226	1.304	29.357	1.173
26	29.442	1.088	28.897	1.633	29.316	1.214	29.244	1.286	29.374	1.156
27	29.445	1.085	28.950	1.580	29.307	1.223	29.241	1.289	29.362	1.168
28	29.449	1.081	28.993	1.537	29.311	1.219	29.277	1.253	29.354	1.176
29	29.470	1.060	28.995	1.535	29.285	1.245	29.307	1.223	29.348	1.182
30	29.472	1.058	29.009	1.521	29.292	1.238	29.321	1.209	29.392	1.138
31			29.043	1.487	29.252	1.278			29.435	1.095

일별자연수위 측정내역(하천 D-31공)

('95.6. 23 - 10.31)(단위 : M)

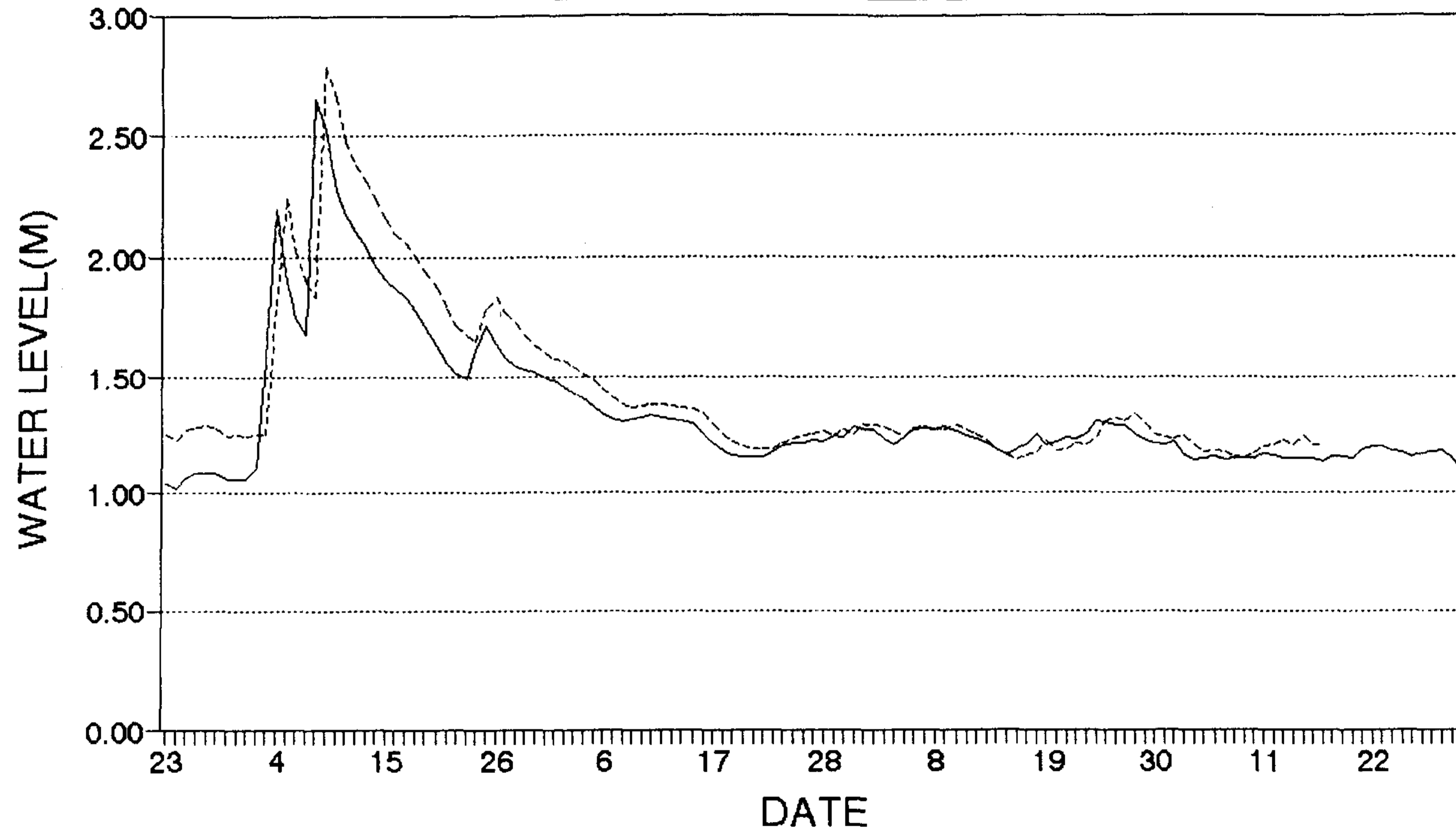
일자	6월		7월		8월		9월		10월	
	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고	자연수위	해수준고
1			39.702	1.249	39.378	1.572	39.660	1.290	39.714	1.236
2			39.698	1.252	39.384	1.566	39.664	1.286	39.716	1.234
3			39.696	1.254	39.412	1.538	39.673	1.277	39.702	1.248
4			39.145	1.805	39.439	1.511	39.692	1.258	39.749	1.201
5			38.709	2.241	39.467	1.483	39.711	1.239	39.774	1.176
6			38.933	2.017	39.501	1.449	39.676	1.274	39.766	1.184
7			39.061	1.889	39.543	1.407	39.671	1.279	39.771	1.179
8			39.119	1.831	39.573	1.377	39.685	1.265	39.792	1.158
9			38.162	2.788	39.586	1.364	39.685	1.266	39.801	1.149
10			38.285	2.665	39.576	1.374	39.665	1.286	39.784	1.166
11			38.467	2.483	39.570	1.380	39.683	1.267	39.757	1.193
12			38.568	2.382	39.570	1.380	39.696	1.254	39.746	1.204
13			38.640	2.310	39.580	1.370	39.724	1.226	39.729	1.221
14			38.714	2.236	39.583	1.367	39.762	1.188	39.746	1.204
15			38.796	2.154	39.590	1.360	39.788	1.162	39.704	1.246
16			38.854	2.096	39.611	1.339	39.812	1.138	39.746	1.204
17			38.891	2.059	39.656	1.294	39.791	1.159	39.748	1.202
18			38.942	2.008	39.699	1.251	39.773	1.177		
19			39.004	1.946	39.732	1.218	39.725	1.225		
20			39.079	1.871	39.754	1.196	39.769	1.181		
21			39.165	1.785	39.757	1.193	39.759	1.191		
22			39.240	1.711	39.763	1.187	39.737	1.213		
23	39.697	1.253	39.277	1.673	39.763	1.187	39.744	1.206		
24	39.726	1.224	39.301	1.649	39.739	1.211	39.709	1.241		
25	39.681	1.269	39.166	1.784	39.720	1.230	39.640	1.310		
26	39.666	1.284	39.117	1.833	39.704	1.246	39.628	1.322		
27	39.666	1.284	39.178	1.772	39.700	1.250	39.640	1.310		
28	39.679	1.271	39.225	1.725	39.694	1.256	39.613	1.337		
29	39.702	1.249	39.279	1.671	39.701	1.249	39.654	1.296		
30	39.698	1.252	39.321	1.629	39.686	1.264	39.696	1.254		
31			39.349	1.601	39.699	1.252				

점이다<표 4-11>. 더구나 강우가 시작된 7월 2일 2개소(관측공, 하천 지구)에서 측정된 지하수위도 하천지구에서 약 4시간 정도 빨리 상승하고 있는 것을 확인할 수가 있었다. 이러한 이유는 비록 강우시 천미천(유입공)에 막대한 양의 유출이 이루어졌지만 '93년도 수자원개발공사에서 실시한 하천지구의 투수량계수(T)는 $8.28E \times 10^4 m^3/일$ 로서 유입공에서 1차 양수시험시 측정된 투수량계수(T) $4.23E \times 10^3 m^3/일$ 보다 무려 20배 정도 더 큰 것으로 추정할 수 있다. 그러나 더욱 자세한 원인 규명에 대하여는 2차년도에 실시할 예정인 조석에 의한 수위변화 상태가 규명된 연후에야 판단이 가능할 것으로 생각된다. <그림 4-21, 22>은 자동수위측정기가 설치된 관측 A공과 하천(D-31)지구에서 관측된 자연수위 Graph이다.

라. 지하수모델링 기법에 의한 지하수포장 예측분석

신천리 지역의 지하수 인공함양효과를 분석하기 위하여 실제 현장의 수리조건을 수학적 수치모델화하여 실제 현장의 지하수 현상을 반영토록 구축하였다. 또한 강우나 양수 또는 함양에 따른 지하수 유동변화를 수치모델 내에서 분석하여 보므로써 실제 현장에서의 지하수 유출입량 변화에 따른 대수층의 변화를 예측하여 인공함양에 의한 대수층의 지하수 저류 증대방안의 효과여부를 규명하고자 하였다. 지하수유동 수치모델은 미국 국립지질연구소(USGS)에서 개발 확용 중인 3차원 지하수 유동모델링 MODFLOW-EM 프로그램을 사용하였으며, '95년 1차년도에는 모델 구축을 위한 자료수집과 기본적인 대수층 모델을 구축하였고 완전한 모델구축 및 인공함양 효과 분석은 '96년 2차년도에 시행할 계획이다.

obs.A - D-31
('95.6.23 - 10.31)

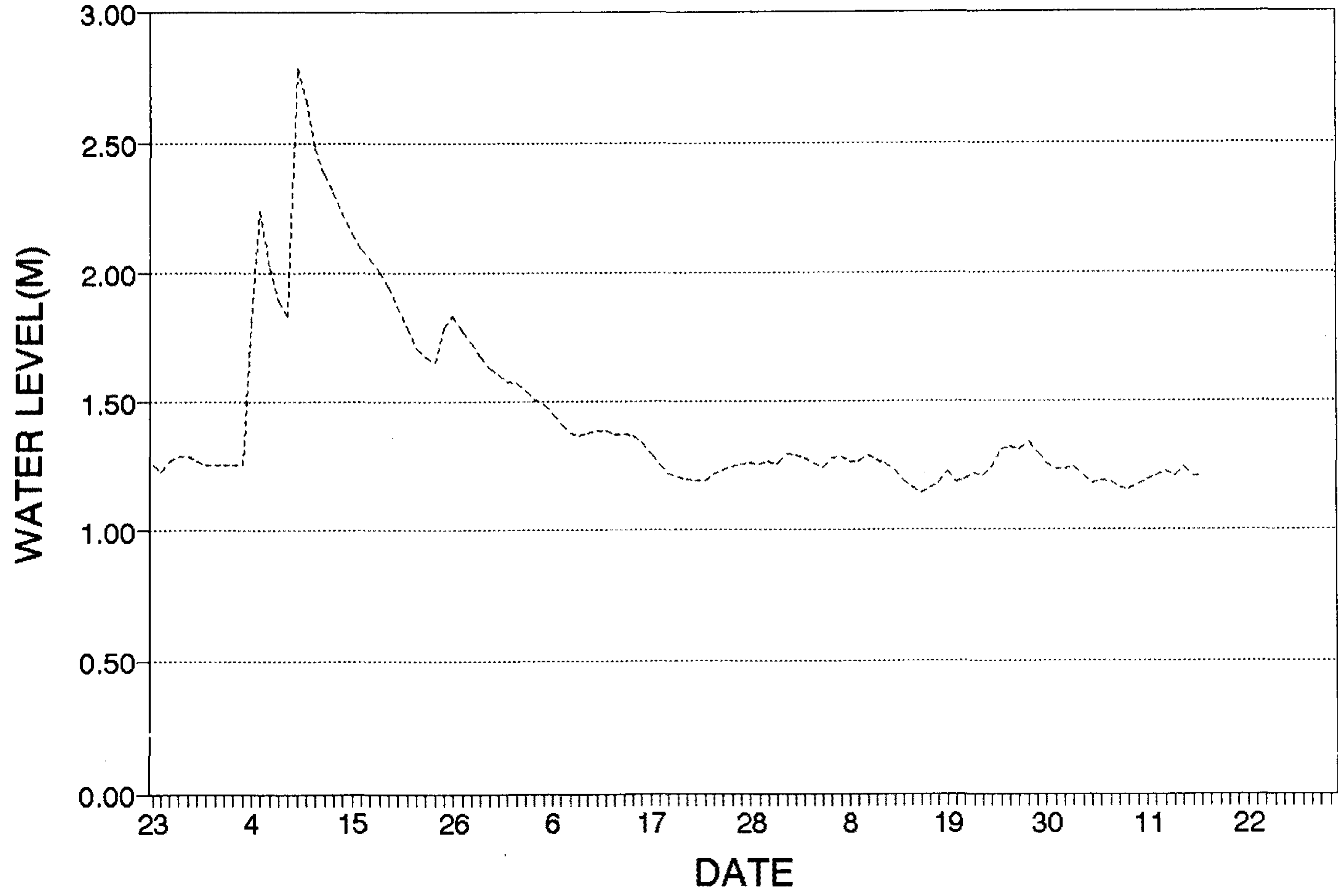


— obs.A - - - - D-31

<그림 4-21> 관측A공, D-31호공에서 측정된 자연수위변화(해수준면기준)

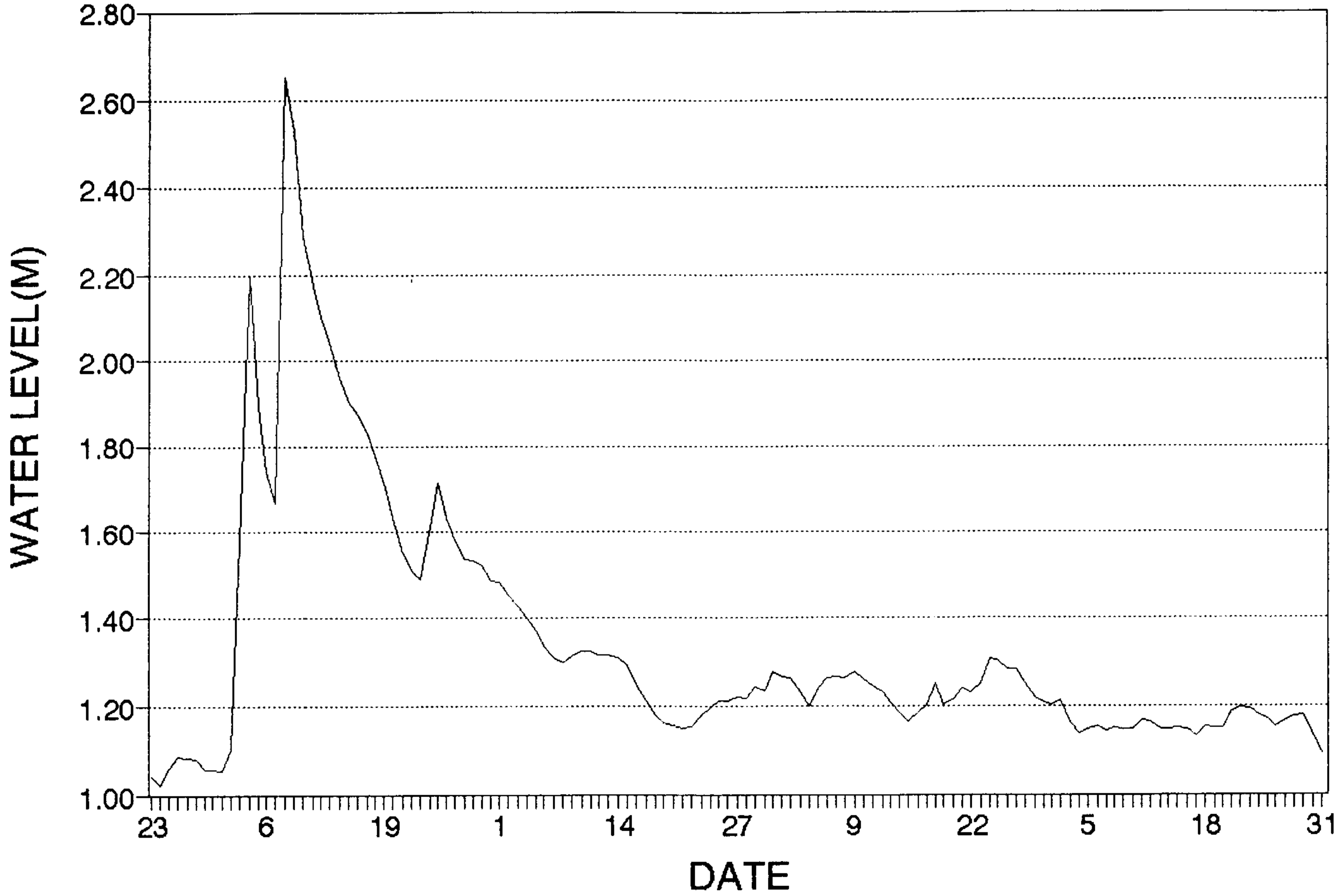
HACHUN(D-31)

('95.6.23 - 10.31)



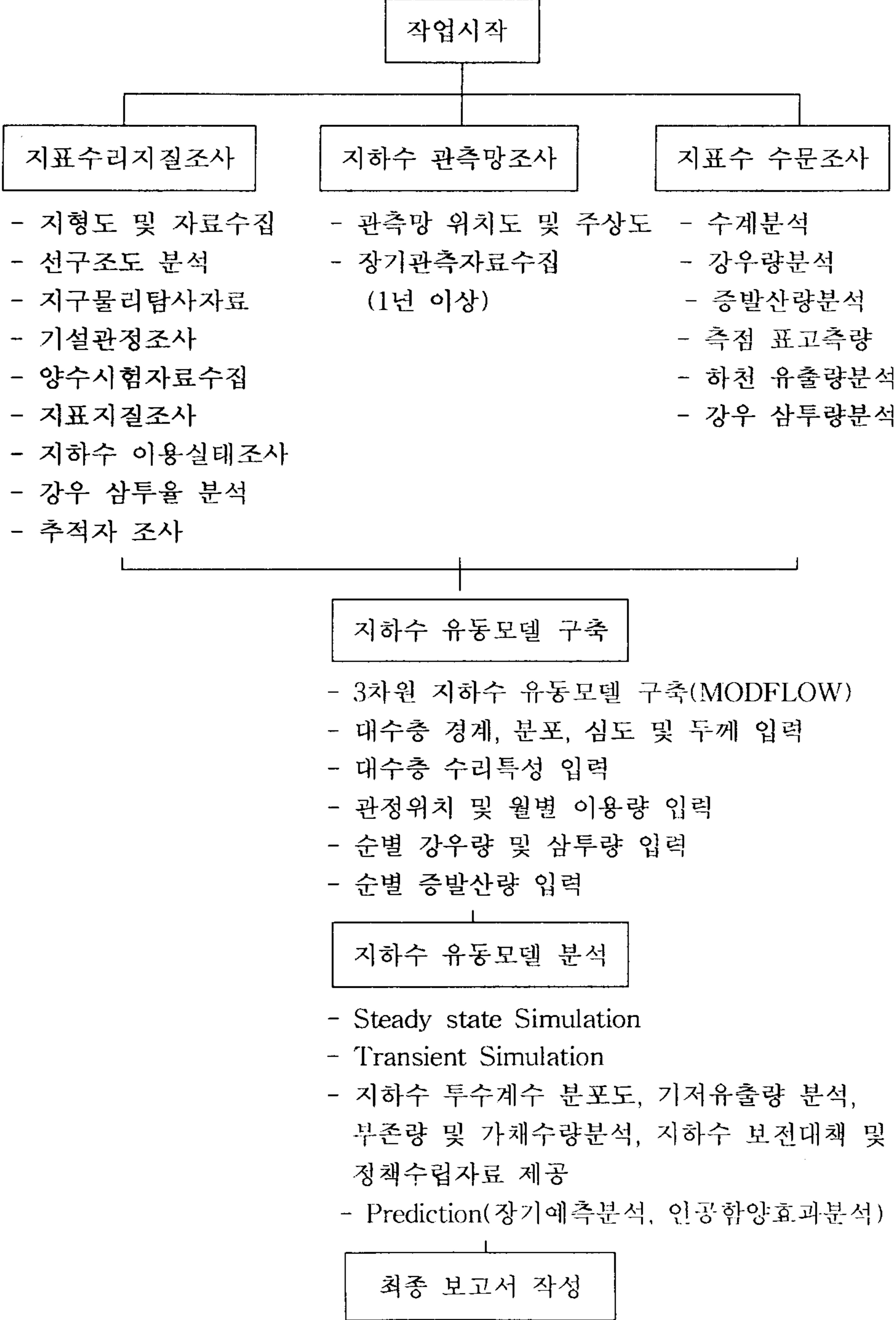
<그림 4-22b> 하천(D-31)지구에서 측정된 자연수위변화(해수준면기준)

obs.A
('95.6.23.- 10.13)



<그림 4-22a> 관측A공에서 측정된 자연수위변화(해수준면기준)

지하수 유동 모델링 분석 작업 흐름체계도



'95년 1차년도 지하수수문 모델링 분석은 관측정설치가 완료된 7월부터 지하수문 조사에 착수하여 초기 모델 구축까지를 시행하였으며, 상기 흐름체계도에 의하면 초기 Steady state Simulation까지 시행되었다. 이후 자료 보완을 위한 조사가 계속되면 이 자료에 의해 초기 모델의 신뢰도 확인과 보정 후 인공함양 효과분석을 차기 년도에 시행할 계획이다.

(1) 모델링 구축을 위한 자료수집 및 현장조사

지하수 유동모델 구축에 필요한 자료로서는 다음과 같은 기본적인 대수층의 자료들이 필요하다.

- 대수층별구조 : 지형도, 지질구조도, 대수층심도, 두께, 방향별 투수계수, 저류계수
- 대수층 경계조건 : 대수층경계부의 조건, 수직·수평과 바닥층의 불투수경계
- 관정의 조건 : 관정의 위치, 심도, 양수 또는 유입시기와 양수량
- 수위자료 : 자연수위 관측자료 1년 이상
- 변화경계조건 : 바다, 하천, 용출수 위치와 용출량 등 그 수량이 변하는 경계조건들은 최소 1년 이상의 관측자료가 필요하다.
- 수문자료 : 강우와 증발산량은 최소 1년 이상 실측자료가 필요하며 향후 예측모델을 위해서는 통상 30년 이상의 기상수문 분석자료(빈도별 강우분석 등)가 필요하다.

o. 자료수집 및 현장조사

- 1차조사 : '95. 7. 21부터 7. 31일 까지 11일간에 걸쳐 지하수 유동모델링 분석을 위한 현장답사 및 양수시험에 공동참여하여 자료를 수집하였다. 기타 대수층구조 자료 및 경계조건자료 관정의 조건자료들을 수집하였고 하천 수문분석을 위한 조사도 참여하였다.

- 2차 조사 : '95. 9. 21 ~ 10. 6(16일)동안 기본 모델 구축을 위한 기본 지형 자료와 대수층구조, 경계부들을 입력하고 1년간의 기상자료를 입력하여 1차 모델을 구축하였다.

(2) 지하수 유동모델 구축

가) 대수층구조 및 특성 입력

대수층 구조의 입력시 일반적인 제주지하수 대수층의 특성인 수직절리의 발달과 높은 투수계수를 고려하고 바다로 둘러 쌓여 염수와 의 비중차에 의한 담수렌즈 형태를 모델화 시키고자 하였다. 이러한 대수층의 특성을 1개의 자유면 대수층으로 모델화하고 담수렌즈의 두께는 Ghyben-Herzberg의 이론에 의한 담수 두께를 대수층의 분포와 심도로 하였다.

인공함양 유입공에서 실시한 양수시험 자료는 $4,500\text{m}^3/\text{일}$ 의 양수를 하면서 관측정 A, B와 양수정에 자동수위관측기를 설치하여 수위 자료를 얻었으나 수위자료가 표선 앞바다의 조석차에 의한 영향을 크게 받아 대수층의 수리계수를 얻을 수 없었다. 조석영향을 받는 곳에서는 그 지배식의 형태가 다르므로 이 식에 의한 투수계수 산출을 위

해서는 표선면 앞 바다에서 파도의 영향을 받지 않고 순수한 조석현상을 측정할 수 있는 장치(관정 혹은 방파제)에 장기관측 장비를 설치하고 현장의 관정에서 관측되는 조석현상과 시간차를 구하여 얻을 수 있으므로 이 시험을 차기년도에 시행하고자 한다.

나) 대수층의 물리적 경계조건 입력

제주도의 대수층 특성상 해안의 조석 간만의 차는 해안변 대수층에 지대한 영향을 미치므로 이의 분석이 가능한 모델링 프로그램에 의한 정밀분석이 필요하나(미국의 세계 모델링 협회에서 공인하는 AQUASEA Program 등) 프로그램이 고가로서 현재 농진공이 보유치 못하여 현재 보유한 MODFLOW 프로그램으로도 해안가를 GHB 경계로 설정하고 Stress Period를 시간별, 조석변화를 Stress별 조건으로 입력하여 분석이 가능하나 이 경우에도 장기분석은 불가능하며 단기간(1 ~ 10일) 분석만이 가능하다. 하지만 본 연구사업의 목적이 인공함양에 의한 대수층의 변화분석이므로 단기 조석분석은 하지 않기로 하였으며, 향후 프로그램 구입이 가능해지면 바다의 조석차에 의한 장기분석을 할 수 있으리라 본다.

본 신천지구의 지표수 직접유출은 제주도 중심인 한라산 동부로부터 발원하고 있고 지하수 대수층 부존형태와 유로를 그 곳부터 조사하기는 불가능하므로 남북방향으로는 유입공의 위치로부터 상류부 3km지점으로부터 남쪽 1.5km 바다까지를 모델구역으로 하고 동서방향으로는 지형도상의 지표수 유역을 포함하도록 설정하였다. 상류부의 대수층이 단절된 점을 감안하여 상류부를 GHB경계로 설정하여 대수

층 상류부로부터의 지하수 유동을 고려하였다. 인공함양공이 설치된 천미천은 간헐하천으로 강우시만 하천유출이 있으므로 MODFLOW 프로그램상의 하천경계는 고려하지 않았다.

(3) 강우와 증발산 입력

대수층내 지하수 유동 모델링 분석에서 대수층에 가장 크게 영향을 미치는 3대 요소로서

- 1) 대수층의 구조와 특성 즉 대수층분포 및 투수계수, 저류계수 등과 같은 대수층 수문 특성
- 2) 대수층으로의 유입량인 강우의 지하삼투량
- 3) 유출량중 가장 큰 요소인 증발산량이라 말할 수 있다.

이 중 대수층의 구조와 특성은 지하수 수문조사에서 구할 수 있으며 증발산량의 추정도 기상자료와 그간의 학계에서의 연구된 Modified Penman 산출식과 같이 신뢰도와 범용성 있는 조사가 가능하나 지하삼투량은 별도 정밀분석이 필요하다. 제주도 대수층의 특성에 대하여 지표수 수문직과 지하수수문직이 체계적으로 공동 조사연구한 자료는 구하기 힘들었고 다만 그간의 지하수 보고서들에서 육지부의 15.20%보다 훨씬 높은 40~50%의 지하삼투량을 수문분석한 보고서를 접할 수 있었다.

○ 강우량 입력

MODFLOW 프로그램에서 강우는 1년간의 실제 강우량과 강우별, 토양별 삼투율을 입력하고 그때의 1년간 수위관측자료를 확인점점토록 되어 있으나 관측공 개발 이후 수위관측자료가 아직 1년치가 조사되지 않았고, 강우량이 많고 삼투율 또한 제주도 지층구조 특성상 육

지에 비해 워낙 높아 대수층에 대한 영향이 지대할 것이므로 이에 대한 별도 조사가 필요하게 되었다. 이를 위해 '96년에 별도의 삼투율 모델링 분석이 필요함은 앞서 언급한 바 있으며, 그 결과에 따라 지하수유동 모델링 분석도 가능하리라 판단된다.

실제 1차 현장조사 기간중인 7월 22일 21시부터 23일 24시까지 27시간동안 강수량 140mm가 조사지역인 신천지구 유역에 내렸으며 이때 23일 12시(100mm강우)까지는 하천유출량이 없었다. 따라서 제주도의 지하수 수문분석을 위하여는 강우의 지하 삼투량에 대한 정밀분석이 절실히 필요하며 이를 '96년 사업에서 강수량별로 분석하기로 제안한다. 10mm강우시 부터 10mm씩 증가할 때마다 지표 삼투율을 유역내 하천에서 직접 유출 측량에 의하여 조사분석하여 강수량별로 지하삼투율을 측정할 필요가 있다. 이는 지하수 유동분석에서 3대 영향인자의 하나인 지하 삼투율이 제주도에서는 특히 육지부에 비하여 월등히 높고 강수량도 많아 지하수에 막대한 영향을 미치기 때문에 이것에 대한 지표수 직접유출 모델분석과 별도 지하수삼투 모델링 분석 없이는 지하수 유동모델링 자체가 무의미하리라 판단되며 이를 조사분석하면 앞으로 제반 제주지하수 분석에 기초자료로 활용이 가능하며 제주지하수 관리에도 큰 기여를 할 수 있으리라 판단된다.

○ 증발산량 입력

증발산량에 대한 분석은 근래 국내외 수문계에서 인정받고 있는 Modified Penman 산출식에 의한 증발산량 산출값을 모델에 이용하고자 하였으나 이 또한 지표수 수문식이 조사에 참여하는 '96년에 분석되고 입력될 것이다.

(4) 관측정에서의 수위관측자료 검토

대수층의 수리상수 산출을 위한 양수시험자료 분석시 그리고 '95년 6월 20일부터 시작된 관측정에서의 장기 자연수위 관측자료에서의 자료를 검토하였다.

2개의 관측공에서의 7월 27일부터 28일까지의 자연수위는 표선면 남쪽바다의 조석현상을 S자형태로 그대로 받고 있었으며 그 수위차는 약 30cm였다. 이때 당일의 조석차가 240cm였고 해안으로부터 관측정까지의 거리가 1.5km였다. 24일 새벽까지 140mm이상의 강우가 있었고 천미천의 하천유출은 약 25일 14시까지였다. 관측정 신천 A와 신천 B에서 7월 27일부터 9월 2일까지 관측된 수위자료는 지하수 유출이 강우에 의한 영향으로 1m정도의 수위상승을 보이나 양수시험에 의한 수위변화는 10~20cm로 거의 변화를 보이지 않고 다만 바다의 조석영향만을 받고 있었다. 확실한 인공함양 효과는 지하수 유동모델에 필요한 조사가 완료되는 '96년 하반기에나 분석이 가능하겠지만 현재까지의 부분적인 자료인 양수시험과 관측정의 수위관측자료에서 유추해 볼 때 조사지역의 대수층은 유입공에 의한 함양효과가 거의 없는 것으로 예상된다. 이는 제주도 대수층의 특성인 빠른 지하수 유속에 기인한다고 예측되며 이처럼 빠른 지하수 유속은 엄청난 지하수량의 자유로운 바다로의 유출을 의미하며 제주도 자원의 손실이라 생각된다. 따라서 '96년 2차년도에 좀더 정밀한 조사에 의하여 이에 대한 명확한 이론적 규명과 증거자료 수집이 필요하며 이경우 대량 유출에 대한 대책마련도 가능케 될 것이다. 당초 본 연구의 목적인 함양공에 의한 제주지하수 인공함양 효과는 현재까지의 조사자료로 볼 때 효과

가 미약할 것으로 보이는 징후가 있지만, 지하수 유동 모델분석에 의한 정확한 규명은 1차년도인 '95자료수집과 분석으로는 부족하다.

○ 향후 작업

- Steady State Simulation : 기초 모델로 입력된 대수층의 물리적 특성계수들이 얼마나 실제 현장의 지하수유동 특성을 대변하는 가치 있는 모델로서 구축이 되었는지를 확인하는 단계로서 '95년 작업계획된 부분이다.

- 기초 모델구축 후 모델 확인 : 1년간 수위관측자료와 그 때의 기상자료를 그대로 입력하여 구축된 모델이 지하수 유입과 기저유출량에 따라 변화하여 최종 지하수 자연수위로서 산출된 변화값이 1년간 실측된 수위자료와 유사한 변화를 보여야 하고 이처럼 모델의 신뢰성이 확인되어야만 지하수모델은 구축이 완료되어 이후 모델에 의한 장기 예측도 가능하다. 이를 위해서는 1년간의 기상자료와 수위관측자료가 필요하지만 금회 '95년 사업량에서는 기상자료 수집은 가능하나 수위관측자료가 부족하여 2차년도 공정으로 계획되었다.

○ 지하수 모델링 중간평가 및 대책

제주지하수 인공함양에 관한 연구사업에서 지하수유동 모델분석 부분의 '95년 사업계획인 기초 모델 구축은 완료하였으며, 1년간의 수위관측 자료와 강우시 직접유출 분석, 삼투량 모델분석 등을 차기년도에 시행할 계획이다. '95년 지하수 수문조사 과정에서 높은 투수계수

와 수위관측자료에서 유추하면 강우에 의한 지하수 함양 효과는 미약할 것으로 추정되고 있으며, 이에 대한 정확한 판단은 앞서 명시한 대로 '96년 지하수 수문조사 과정에서 다음과 같은 조사가 시행되고 그 자료를 이용하여 지하수 수문 모델링을 해야한다.

- 장기 지하수위 관측자료 : 1년 이상
- 하천 유출 수문 분석 : 강우량별
- 지하수 삼투량 수문분석
- 강우량분석
- 추적자 시험
- 강우 유역 분석
- 지하수 수문 분석

제주지하수의 보전과 관리를 위하여는 상기 조사는 물론, 조석차에 의한 대수층 영향 분석도 시행한다면 제주지하수에 대한 좀더 정밀한 분석과 대책수립이 가능할 것이다.

5. 기대되는 성과

강우에 일시적으로 하천에서 유출되는 막대한 양의 유출량을 지하에 인공적으로 함양시키는데 가장 중요한 사항은 지하수를 함양시킬 수 있는 대수층의 투수성 및 저장성에 대한 평가일 것이다.

1차년도에 시행한 지하수를 함양시킬 수 있는 유입공(4공)에 대한 검증결과 매우 양호한 대수층의 발달로 많은 양의 지하수를 함양시킬 수 있을 것이라는 판단을 할 수 있었다. 그러나 수위관측 자료에서 나타난 강우 직후의 강우에 의한 수위상승과 강우가 종료되고 하천의 유량이 전무해진 건천이 되었을 때 즉시 수위강하 현상이 발생하는 현상은 제주도 지질특성상 매우 빠른 투수속도에 의해 저장되어 지는 시간이 매우 짧다는 것이다. 이는 큰 하천에서 일시에 유출되는 유출량을 저장시키기에는 1차년도에 시행한 4공의 유입공으로는 부족한 공수라 할 수 있겠다. 따라서 2차년도에는 많은 양의 유입공 설치와 충분한 수위관측자료, 강우에 의한 유입·유출, 증발산량, 지하삼투율 등 제반 뒷받침할 수 있는 자료들이 갖추어졌을 때 함양효과 분석이 충실해질 수 있을 것으로 기대된다.

1차년도 조사시에 구축된 Modeling은 3차원 유동Model인 MODFLOW-EM을 사용하여 분석하고자 하였으나 양수에 의한 수위강하보다는 조석간만의 차에 의한 수위변화가 더욱 현저한 양상을 보여주었다. 따라서 지금까지 개발되지 않았던 조석간만에 의한 대수층 영향분석을 위한 조건에 충족될 수 있는 program의 개발 필요성이 대두되었다.

6. 문제점 및 건의사항

지하수 인공함양에 관한 연구는 강수량, 지하수위 관측자료, 하천 유출에 관한 수문분석(강수량별), 지하수 삼투량 수문분석, 강수량분석, 추적자시험, 강우유역분석, 지하수 수문분석, 조석차에 의한 대수층 영향분석 등 매우 많은 인자가 복잡한 절차를 걸쳐서 해석되어야 하며 이러한 인자들이 장기간에 걸친 Modeling 분석에 의해 실행되고 검증되어야 하는 관계로 1차년도 연구결과만 가지고서 향후 활용방안을 논하는 것은 시기상조라 할 수 있겠으나 상기 조사항목들에 대한 장기간의 조사와 분석이 2차년도 조사계획에 포함된 조석수위관측, 대수층별 수질분석과 함께 장기 및 단계별 양수시험에 의해 해석되어지리라 판단되며 이러한 계획에 의한 2차년도 조사가 이루어질 수 있도록 적극적인 지원을 바라마지 않으며 이러한 조사성과가 만족할만하다고 판단되면 제주도 지하수의 보전·관리는 물론 지속적인 한발피해에 직면하고 있는 육지부에서의 활용방안도 검토될 수 있을 것이다.

7. 기타사항

제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구는 국내에서 최초로 시도된 과제로서 가뭄과 염수피해에 직면하고 있는 제주지역의 수자원 확보 및 보전·관리에 기여할 수 있는 방안을 강구하고자 시도되었다.

그러나 1차년도 조사성과는 현재까지의 조사자료로 볼 때 미흡하다고 하겠으나 2차년도의 조사계획에 포함된 수문분석, 조수위관측 및 장단기 단계별 대수시험을 통한 염수침입 경로등이 파악되고 함양효과 분석을 위한 적절한 수치모델을 적용한다면 대규모 지하수 인공함양에 관한 지하수 포장예측과 염수피해를 예측할 수 있는 적정개발량 및 개발 심도를 결정할 수 있는 획기적인 결과가 도출될 수 있을 것으로 판단된다.

중 간 보 고 서

과제명 : 제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구

1994년도 농수산 기술개발사업에 의하여 연구 개발중인 제주지역 지하수인공함양에 관한 연구개발사업의 1차년도 중간보고서를 붙임과 같이 제출합니다.

붙임 : 중간보고서 부

1995.