

## 제주 동부지역 지하수 인공함량에 관한 연구

윤정수\* · 박상운\* · 신희섭\*\*  
\*제주대학교 해양과학대학 해양학과  
\*농어촌진흥공사 제주지사

### A Study of Artificial Groundwater Recharge in East Area, Cheju Island

Jeung-Su Youn\* · Sang-Woon Park\* · Heau-Sub Shin\*\*  
*\*Department of Oceanography, Cheju National University*  
*\*\*Rural Development Corporation*

#### Abstract

The purpose of this study is to examine the comprehensive field test of the artificial groundwater inflow method where the east confined aquifer selected for study that was badly degraded by sea water.

The stream order of Cheunmichen has the 6th order whereas Kamachen is the 4th order. The bifurcation ratio is 2.50 in the Cheunmi stream and 2.42 in the Kama stream, which indicates that the studied stream is flows steeper slope region and belong to the short period of erosional streams.

Average annual precipitaion is 2,024.9mm. Total precipitation in 4 months from June to September amounts to 48% out of annual precipitaion and them run off the stream flows. Evapotranspiration is about 750.2mm, estimating the run-off of the surface is about 318.8mm and total amonut of the recharge to aquifer is 956.4mm/yr. in study area.

The surface run-off of cheunmichen were calculated as about 10825.790m<sup>3</sup>/24hr. and the total amount of inflow from the 4 recharge wells to aquifer is about 55.468m<sup>3</sup>/ 24hr., when precipitation is about 312mm from July first to third in 1995 in study area.

Injection was begin in 4 wells from July second to third in 1995, the groundwater levels for observatory A well is increase to 0.418m, 0.109m respectively rather than that the original levels.

## I. 서 론

물은 지구표면의 대부분을 차지하는 해양으로부터 증발하여 구름이 되어 비나 눈으로 지표에 내려서, 하천수나 지하수를 이룬 후 다시 바다로 흘러 들어가는 물의 순환을 반복하고 있다.

하천유역에 내린 비는 푸른 삼림과 초원을 적시며 토양에 침투되어 지하에 머무르다가 용출수 형태로 하천과 합류하여 수량을 증가시킨다. 이처럼 수자원은 일반 광물처럼 한번 사용하면 없어져버리는 재생 불가능한 유한한 자원이 아니고 합리적으로 관리만 잘 하면 영구히 사용할 수 있다는 이점이 있다.

생활수준의 향상과 환경오염에 대한 관심이 높아지면서 많은 사람들은 우리의 식수가 깨끗하고 맛있는 물로 있어주기를 바라고 있다. 그러나, 보도에 의하면 산업화에 따른 인구의 급속한 도시집중과 수자원의 지나친 낭비때문에 다가올 21세기엔 물 때문에 전쟁이 일어날 것이라는 우려가 나오고 있다. 즉, 수자원 고갈과 이에 따른 수자원 확보를 위해 국가간 갈등이 심화되면서 무력 충돌도 불가피하다는 것이다.

지난 '70년부터 본격적으로 착수한 제주의 지하수개발은 '95년말 현재까지 약 3,740여개소의 지하수개발공이 산재 분포하며, 또한 지속적인 지하수개발의 증가로 인해 지하수위 하강을 비롯한 해안지역의 해수침입, 지하수 수질의 오염화, 해안변 용출수의 고갈 및 용출량 감소, 각종 용수의 부족 문제가 심각하게 대두되고 있다.

김[1]에 의하면 제주도 해안에서는 1km까지 지하수에 염소이온함량이 1,000ppm 이상을 나타내고, 특히 동부지역은 해안에서 6km지점까지 염소함량이 크게 증가하여 농업용수로 이용하기도 불가능하며, 1989년도에 농진공에서 193관정에 대한

지하수위 측정조사결과에 의하면 그간의 제주도의 평균 지하수위 강하량이 개발당시보다 1.4m 강하 하였으며, 이중 28%에 해당하는 시설관정에서 염소함량이 음용수 수질기준치를 초과한 것으로 분석되었다.

이러한 실정을 감안하면 매년 증가하는 각종용수와 이상가뭄으로 인한 제주지역 지하수 함양량의 감소 및 해수침입에 따른 고염도화 피해를 방지하기 위하여는 풍수기에 유출되는 지표수를 인공으로 대수층내로 함양시켜 지하수 포장량을 증대시킬 수 있는 방안에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

Laverty and Van der Goot[2]는 과잉양수 등에 의한 해수가 침입한 캘리포니아의 맨하탄 해안지방에서 인공함양에 의한 담수 lens를 원상태로 회복시키고 대수층의 지하수 저류 증대방안의 효과를 규명하였다.

따라서 본 연구는 지하수 담수 lens층이 얇고 해수침입으로 인한 담수의 염수화로 지하수의 각종 용수 사용이 어려운 제주도 동부지역에서 하천유역의 가장크고 해안에 인접한 천미천 하류역에 유입공을 굴착하였으며, 강우시 유출되는 지표수를 지하에 함양시키므로써 염수침입 방지와 해수침입으로 오염된 대수층을 자연정화시키는 방법을 검토하였다.

## II. 연구방법

본 연구는 야외조사와 실내연구에 의하여 이루어졌다. 야외조사는 주로 천미천이며 인공함양지역은 남제주군 성산읍 신천리, 표선면 하천리 상동부락의 천미천 하류역에 위치하고 있다(Fig. 1). 강우시 하천을 통하여 유출되는 지표수를 인공함양 시킬수 있는 유입공 4공을 천미천 하상에 설치하였다. 인공함양공은 해안선에서 내륙으로 약 1.63km지점에 위치하며 착정심도는 No-1, 4관정은 40m이고, No-2, 3공은 30m이며, 이들 착

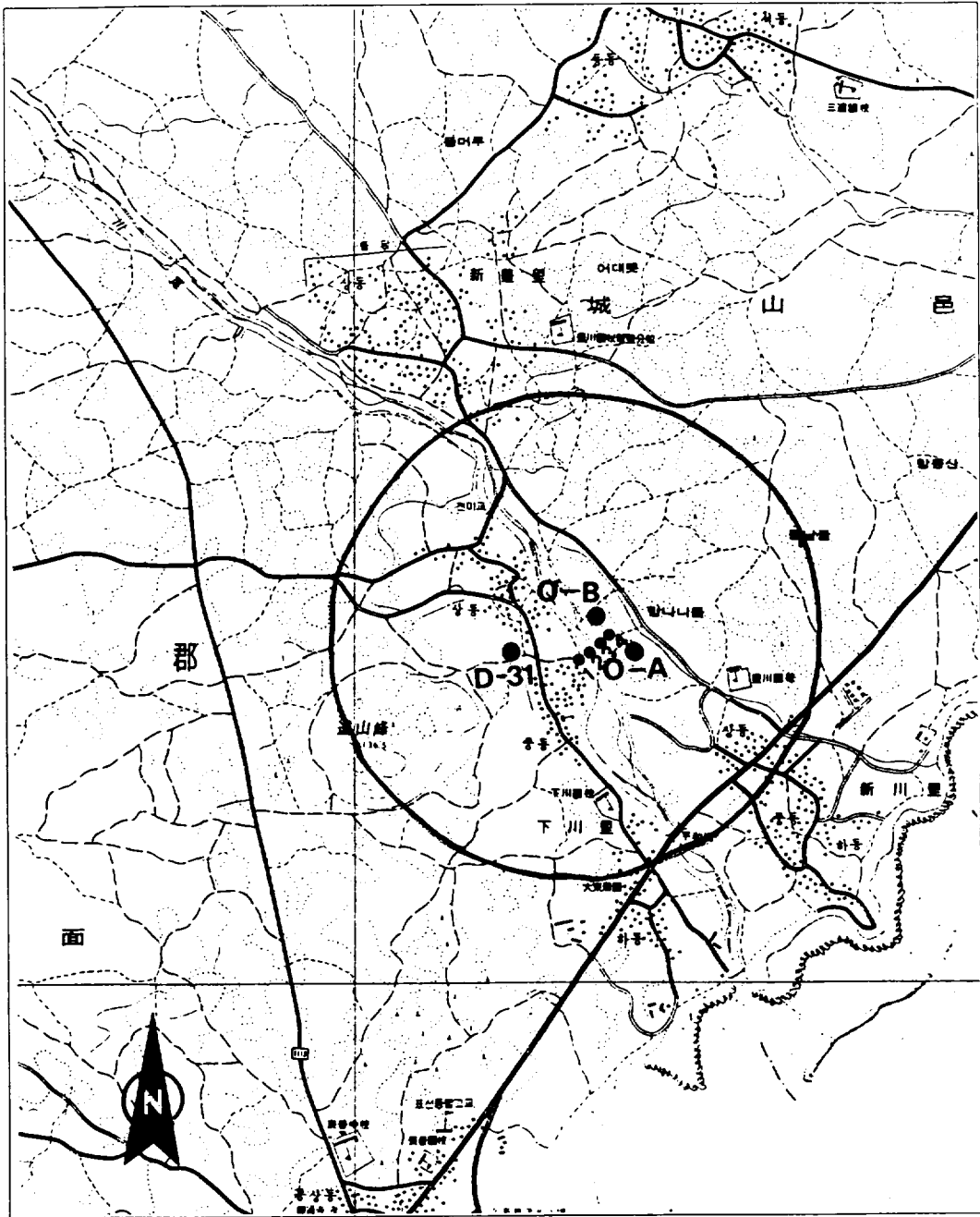


Fig. 1. Study area and sampling site

Note. O-A,B : observatory wells, No. 1, 2, 3, 4 : recharge wells

정공의 구경은 24cm이다.

함양량 측정방법은 회전식 유속계인 CM-1A형 High Speed Current Meter를 이용하여 다량의 강우시 천미천을 통하여 유출되는 하천수가 하상에 수직으로 착정된 4개의 함양공을 통해 지하로 유입되는 곳에서의 유속(V), 넓이(W), 관경반지름(R)을 구하여 유입량( $Q = \pi R^2 V$ )을 계산하였다.

천미천에 설치된 인공함양공에서의 함양효과를 관측하기 위하여 함양공의 상·하류지역에 각각 1공의 관측공을 설치하였다(Fig. 1). 관측공 A관정은 함양공에서 동남측으로 약 42m 지점에 위치하며 B관측공은 함양공에서 북동쪽으로 약 48m 거리에 위치한다.

지하수위 관측은 A관측공에 자동수위 관측기기를 설치하여 다량의 강우시 천미천을 통해 유출되는 하천수가 자연유하식 함양공을 통해 함양됨에 따른 자연수위의 변화양상을 연속 측정하도록 하였고, B관측공은 설치된 조사용 P.V.C.홀 속으로 전선줄을 삽입하여 테스트기에 의해 mm눈금까지 측정하였다.

또한 천미천의 하천유형을 밝히기 위해 Strohler(3)의 방법을 적용하여 하계망을 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 천미천과 가마천의 하계망

##### 1) 하천차수 분석

하천의 수는 하천 차수별로 정리하여 측정하였다. 천미천과 가마천 유역의 하천 수를 각 차수별로 정리하면 Fig. 2와 같다.

분지율을 천미천과 인근한 가마천별로 구분하여 계산한 결과는 Table 1과 같다.

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 n배수가 가장 이상적이라고 하나 본 유역에서는 이러한 이론이 정확하게 들어맞지 않는다(Horton(4)).

분지율의 경우 천미천 수계는 2.50이며, 가마천은 2.42로서 천미천이 다소 큰 분지율을 보이고 있으며 연구지역 전체의 평균은 2.24이다.

Table 1. Stream number and bifurcation ratio.

Stream order	Cheunmi R.		Kama R.		Remark
	Nu	Rb	Nu	Rb	
1	29		13		
2	14	2.07	5	2.60	
3	6	2.33	3	1.67	
4	4	1.50	1	3.00	
5	3	1.33			
6	1	3.00			
Average		2.50		2.42	

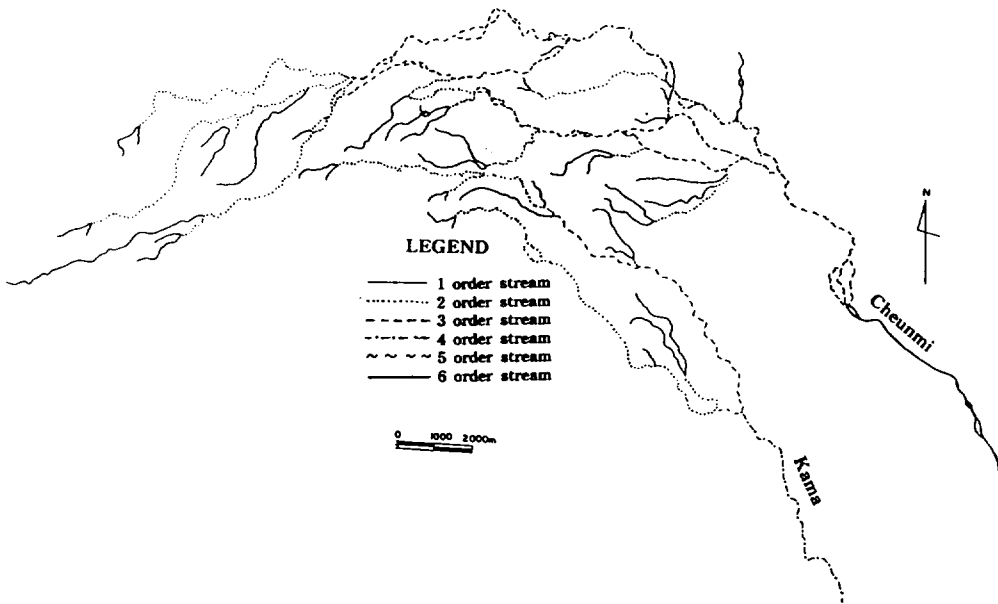


Fig. 2. Stream order of the Cheunmi and Kama river

Table 2. Stream length and length ratio

Stream order	Cheumichen		Kamachen		Remark
	Total length(m)	Length ratio	Total length(m)	Length ratio	
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				
Average		1.32		1.35	

이러한 분지율이 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 침식이 진행시간이 짧다는 것

을 의미한다(Strahle[5]).

어떤 하천 차수의 하천 평균길이가 그보다 한 단계 낮은 하천 차수의 하천 평균길이의 비율을 하천의 길이 비율이라고 한다. Table 2는 천미천과 가마천의 하천 차수별 하천길이

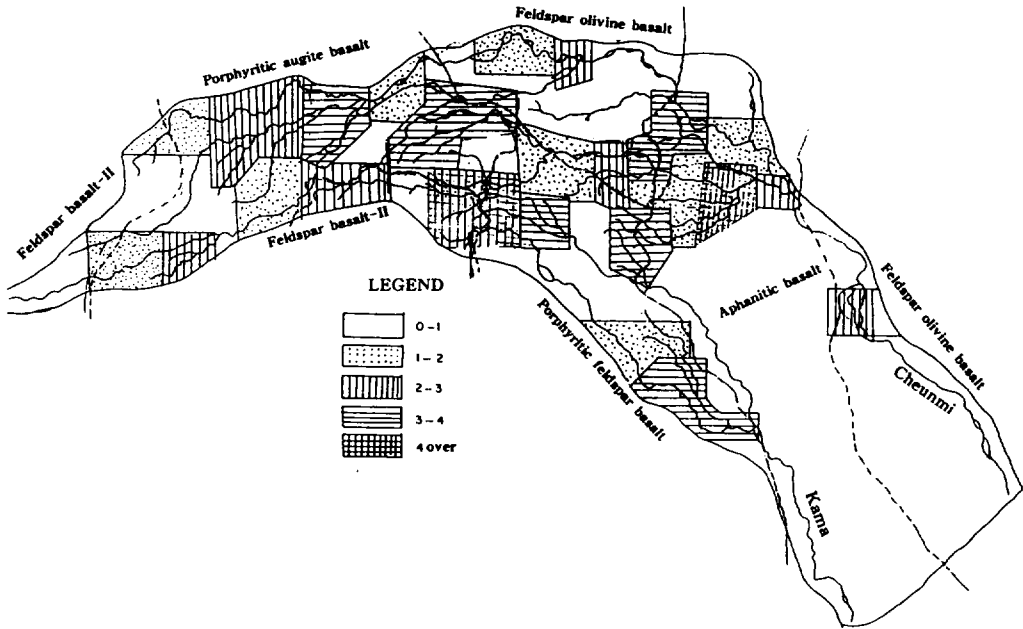


Fig. 3. Drainage density map of the study area

와 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.

## 2) 하계밀도

하계밀도는 지형의 침식진행과정에 따라 달라지며 그 대·소는 기복량과 경사에 따라 지배된다. 그 값은 물의 침투가 용이한 지역에서는 작고 불투수성 지역에서는 크며 고지에서는 저지대보다 작고, 경사지에서는 특히 작다고 하였다(Strahle(3)). 본 연구지역 내에서 하계밀도의 분포를 알기위해 지형도를 각 1km<sup>2</sup>의 방안으로 나누어 각 방안의 4번

이 절단하는 골짜기의 총화는 그 방안의 하계 밀도를 계산하여 그 값의 분포를 작성하였다. Fig. 3은 천미천과 가마천유역의 하계밀도 분포도이다. 여기서는 5단계로 구분하여 하계 밀도를 정리하였다.

천미천유역에서 가장 큰 하계밀도를 보이는 곳은 계동목장 부근 반상회석현무암과 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 밀도 분포지역은 소록산부근 장석현무암II와 반상회석현무암 및 반상장석현무암이 혼재 되어 있는 지역이며, 가장 낮은 밀도를 보이는 지역은 하천 하류역

의 비현정질현무암이 분포하는 지역이다.

## 2. 조사지역의 수문분석

### 1) 강수량

성산포지역의 연평균 강수량은 2,024.9mm로서 한반도에서도 비가 많이 내리는 지역에 해당한다. 1985년부터 1993년까지의 월별 강수량 분포를 보면 강수량이 가장 많은 달은 7월로 338.7mm이며, 가장 적은 달은 12월로 44.7mm이다(Fig. 4). 강수량의 계절적 분포를 보면, 겨울철(12, 1, 2월)에는 10.5%로 다른지역에 비하여 겨울 강수량이 많은 편인데, 이는 겨울철의 북서계절풍과 지형에 의한 것이다. 여름철(6, 7, 8월)에는 48.2%를 차지한다. 봄과 겨울에는 각각 23.6%, 17.7%를 차지하고 있다. 이처럼 조사지역이 우리나라의 다른지역에 비하여 봄철에도 많은 비가 내리고 있다.

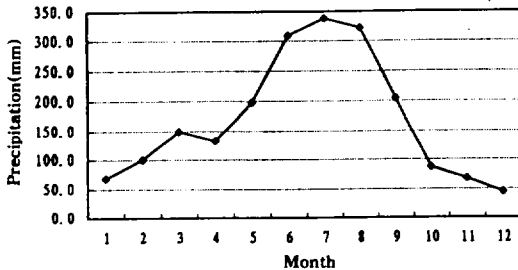


Fig. 4. Variation of monthly mean precipitation on sungsan area(1983~1993)

### 2) 증발산량

증발산은 수면으로부터의 증발과 식물로부터의 증발을 합한 것으로서 수분이 기체 상태로 대기로 환원되는 모든 것을 포함하는 것이다. 이는 기상학적 인자 이외로 식물의 종류, 식물의 밀도, 잎 표면의 크기등의 식물

요소 뿐만아니라 토양의 공극율, 투수계수, 입자의 크기, 토양의 함수율등에 직접적으로 영향을 받는다(Turk(6)). 증발산량의 추정 방법에는 측정에 의한 방법, 이론적 방법, 기 후인자와의 상관관계에 의한 방법등이 있다.

본 조사지역에 대한 증발산량 추정은 이론적 방법에 의한 것으로 Thomthwaite(7), Turk(6)등의 공식에 의해 각각 산출하여 물수지 계산에 의해 검토하였다. Turk(6)공식에 의한 증발산량 계산은 토양내 포함되어 있는 수분의 증발과 지표면 식물에 의한 증발산량을 포함한 것으로 본 조사지역내 평균기온과 강수량은 성산포 관측소에서 측정된 자료인  $L=300+25T+0.05T^3$ ,  $P=2025.4$  mm를 인용하였다. 이 자료를 이용하여 증발산량을 다음과 같이 산출하였다.

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

따라서 조사지역의 증발산량은 750.2mm이다.

### 3) 지표유출 및 충전량

지상에 도달한 강우량의 일부는 흙의 표면을 통하여 침투하고 그 초과분은 흙의 표면으로 흘러 유출을 하게 된다. 따라서 강우로부터 야기되는 유출은 침투량에 크게 영향을 미치며, 침투량의 계산은 강우와 유출의 관계에서 필수적인 요소이다(White(8)). 강우로부터의 유출은 흙의 건조상태에 따라 크게 달라진다. 매우 건조한 상태에서의 흙은 무한대가까운 투수율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강우의 영향으로 흙의 함수율이 큰 상태라면 같은 강우라 할지라도 건조상태보다 많은 유출을 야기시킨다. 지표유출량 산정방법은 미국 농무성의 S.C.S 방법(Soil Conservation Service Method)을 이용하여 산출하였다.

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

여기서 Q : 직접유출량  
 P : 누적강우량  
 S : 흙이 완전히 포화되었을 경우  
 저류량

조사지역의 선행 강수량에 따른 흙의 초기  
 함수상태의 결정은 Table 3과 같이 구분된  
 다. 따라서 조사지역내 1993년도 주요 호우

때 일어날 수 있는 지표 유출량 계산은 Table  
 4에 수록하였다.

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

**Table 3.** Initial values of hydrous quantity in soils

Condition of initial hydrous	I	II	III
CN value	53	72	87
S value	225	99	38

**Table 4.** Surface runoff in study area(1993, January~November)

Date	Precipitation (mm)	Hydrous condition	CN	Recharge	Surface runoff (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
Total					318.8



강수량 - 지표유출량 - 증발산량 = 956.4mm  
가 된다.

따라서 본역내 물수지 균형은 연평균 강수량 2,025.4mm 중 318.8mm가 지표로 유출되고, 750.2mm가 증발산 되고 난 나머지 956.4mm가 지하로 유입되는데, 이중 일부는 토양내로 저장되고 나머지는 대수층내로 침투되어 지하수위를 형성하는 실투수량으로 계산된다. 이 실투수량중 일부가 본역내의 생활용수, 공업용수 및 농업용수로 이용되고 있으며, 나머지는 기저유동하는 물수지 균형을 갖는 것으로 사료된다.

### 3. 하천유출량 및 인공함양량 분석

지하수의 산출상태를 파악하는 목적은 대부분이 개발가능량을 결정하기 위함이다. 이는 수문계의 물리적인 형태나 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 물수요를 결정하는 것을 물수지분석이라 한다(Baumann(9)).

물수지분석은 일정한 지역내에 유입되는 강수량과 유출되는 증발산량, 직접유출량 그리고 그 지역내에 저류되는 인공함양량이 항상 평형조건을 이룬다는 가정하에 기초를 둔다. 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 부존형태 중 기저지하수체의 lens두께를 확대시킨다는 개념이다. 본 조사지역인 천미천에서의 1차적인

하천유출량을 조사하기 위해 강우기인 7~9월중 100mm이상의 강수를 기록한 5차에 걸쳐 유출량조사를 실시하였다.

Fig. 5는 조사지역의 인공함양공과 수위관 측공의 위치도이다. 인공함양공 No-1, 2, 3, 4는 해안선에서 내륙쪽으로 약 1.63km 지점에 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 조사지역의 7월과 8월의 강수량에 따른 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/sec였다. 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  $2,148.8\text{m}^3/\text{hr}$ 으로 2시간 동안  $4,297.6\text{m}^3/2\text{hr}$  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  $7,291,897\text{m}^3/8\text{hr}$ 였으며, 이때 함양공에서 측정된 유속은 평균 4.4m/sec로 1개공당 함양량은  $Q = 3.14 \times 0.014 \times 4.4 = 716.2\text{m}^3/\text{hr}$ 이며 4개공에 유입된 총함양량은  $2,864.8\text{m}^3/\text{hr}$  정도로 8시간 동안 총  $22,918\text{m}^3$ 이 유입되는 것으로 관측되었다. 한편 7월 2일 20:00부터 7월 3일 10:00까지의 천미천의 하천유출량(유속

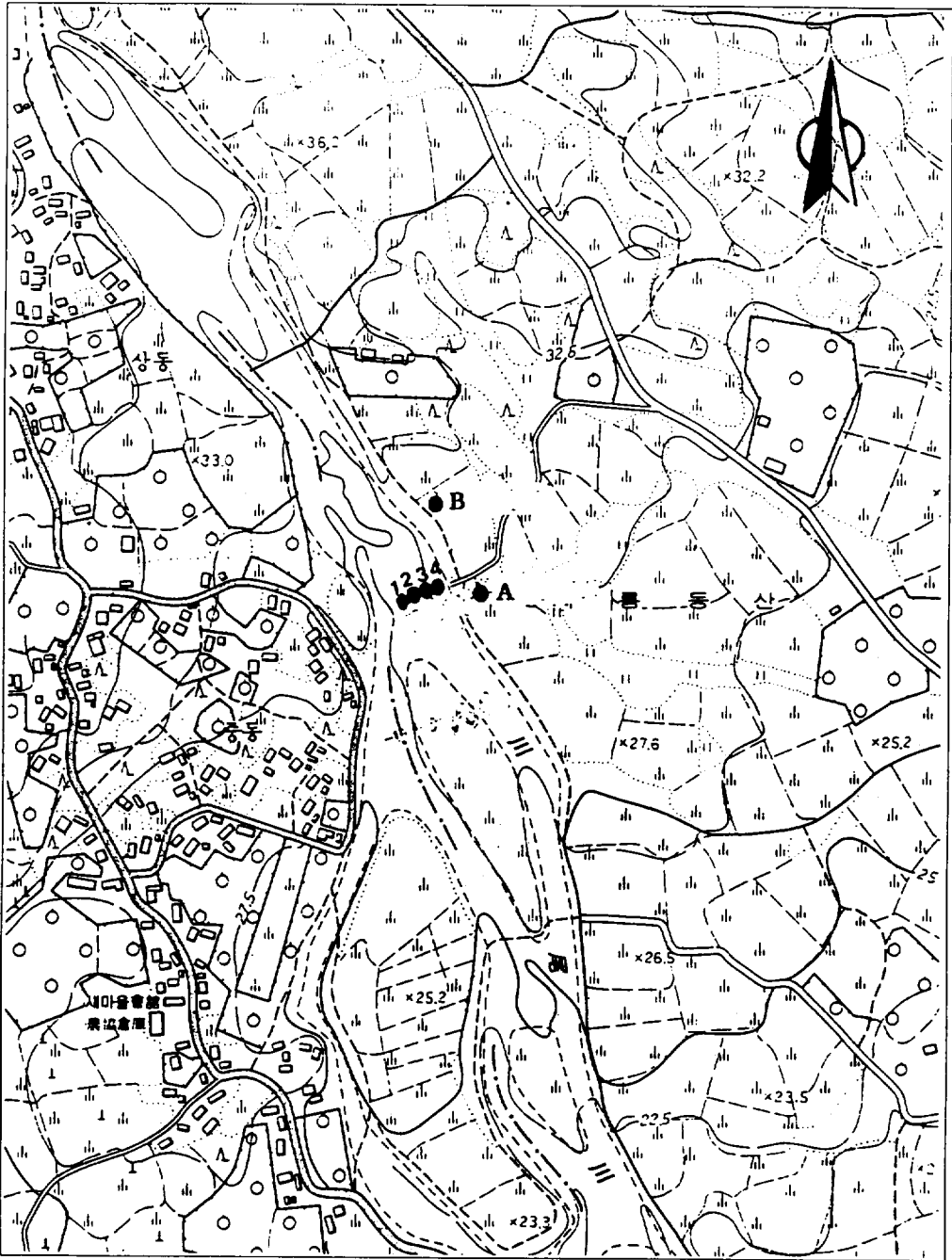


Fig. 5. Location map of the observatory and recharge wells  
(A,B : observatory wells. No. 1, 2, 3, 4 : recharge wells)

2.3m/sec, 물기둥 0.8m, 넓이 37.41m)은 3,469,253m<sup>3</sup>/14hr.로 이때 함양공에서 측정된 유속은 평균 3.1m/sec였고 1개공당 함양량은 504.6m<sup>3</sup>/hr.로 이들 4개공에 동시에 유입된 함양량은 약 2,018.4m<sup>3</sup>/hr.정도로 14시간 동안 총 28,257m<sup>3</sup>이 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 161,611m<sup>3</sup>/2hr였으며 이때 함양공에서 측정된 유속은 2.0m/sec였으며, 4개의 함양공을 통해 유입된 유량은 2,604m<sup>3</sup>/2hr로 관측되었으며, 7월 7일 03:00부터 10:00까지 천미천의 하천유출량(유속 2.7m/sec, 물기둥 0.98m)은 약 2,494,468m<sup>3</sup>/7hr였으며, 이때 함양공에서 측정된 유속은 3.5m/sec

였으며 1개공당 함양된 유입량은 약 570m<sup>3</sup>/hr.로 4개공을 통해 동시에 유입된함양량은 약 15,960m<sup>3</sup>/7hr/4공으로 관측되었다. 또한, 7우리 23일 13:00부터 18:00까지 천미천의 하천유출량(유속 2.8m/sec, 물기둥 1.01m)은 약 1,904,319m<sup>3</sup>/hr.였으며, 이때 함양공에서 측정된 유속은 3.6m/sec였으며 1개공당 함양된 유입량은 약 596m<sup>3</sup>/hr.로 4개공을 통해 지하로 유입된 함양량은 약 11,720m<sup>3</sup>/5hr.로 조사되었다. 이들 관측결과를 도표화 한 세부 산출내역은 Table 5와 같다.

#### 4. 인공함양에 따른 관측정의 지하수위 변동분석

지하수의 자료는 지하수 포장체의 규모, 대수

Table 5. Run-off and recharge in cheunmi stream.

Section	Date	Time	Precipitation (mm)	Outflow time	Run-off	Recharge (one well)
1 order	7. 1	20:00~24:00	10.0			
	7. 2	00:00~24:00	302.0	10:00~12:00(2hr.)	646,448m <sup>3</sup> /2hr.	1,074m <sup>3</sup> /2hr.
				12:00~20:00(8hr.)	7,291,897m <sup>3</sup> /2hr.	5,729m <sup>3</sup> /2hr.
				20:00~7/3 07:00(14hr.)	3,469,253m <sup>3</sup> /14hr.	7,064m <sup>3</sup> /14hr.
7. 3	00:00~07:00	5.5				
2 order	7. 6	03:00~24:00	46.5			
	7. 7	00:00~15:00	225.0	01:00~03:00(2hr.)	161,611m <sup>3</sup> /2hr.	651m <sup>3</sup> /2hr.
				03:00~10:00(7hr.)	2,494,468m <sup>3</sup> /7hr.	3,988m <sup>3</sup> /7hr.
10:00~18:00(8hr.)				1,445,881m <sup>3</sup> /8hr.	3,906m <sup>3</sup> /8hr.	
3 order	7.22	22:00~24:00	4.0			
	7.23	00:00~24:00	140.0	08:00~13:00(5hr.)	1,269,994m <sup>3</sup> /5hr.	2,523m <sup>3</sup> /5hr.
				13:00~18:00(5hr.)	1,904,318m <sup>3</sup> /5hr.	2,929m <sup>3</sup> /5hr.
18:00~22:00(4hr.)				206,862m <sup>3</sup> /4hr.	1,041m <sup>3</sup> /4hr.	

층의 성격과 능력, 지하수 유동방향 판단 및 대수층 변동예측 뿐만 아니라 총체적인 지하수 거동파악을 통한 지하수 개발가능량을 설정하는데 필수적인 기본자료가 된다.

일반적으로 지하수위는 수문, 기상조건, 양수등에 따라 년중 끊임없이 변화하며 특히 제주도는 지하지질 구조가 투수성이 큰 지질매체로 구성되어 있어 수위변동도 각종요인에 의해 큰폭으로 나타나고 있는 것으로 추정하고 있다. 지하수위 변동은 강우량, 증발산량, 정호정에서의 양수량, 조석간만에 의한 영향등의 요인에 의해 발생하고 있으며(Jacob[10]; Robinsion[11]; Bredehoeft[12]), 본 도에서의 지하수위 변화는 수역별 대수층의 유형과 지질구조, 양수량, 강우량, 조석간만에 의한 영향의 특성에 따라 수역별로 상이하게 나타나고 있는 것으로 보고 있다(농어촌진흥공사[13]).

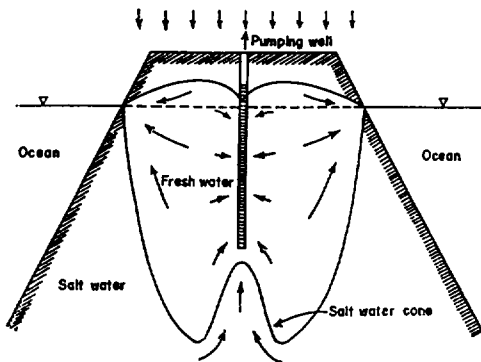


Fig. 6. Fresh-water lens condition with pumping well

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 담수체

와 해수가 접하는 곳에서는 어떤폭을 갖는 점 이대가 형성되어 있다(윤[14]). 이러한 점이대는 조석의 영향, 함양량과 유출량의 변동, 기타 양수량에 의한 지하수위의 변화에 따라 확산되며 일시에 많은 량의 지하수를 심정공에서 양수할 경우 담수 lens체 하부에는 갑작스런 국부적 변위현상이 일어나 Fig. 6처럼 염수는 상향운동을 일으키게 되어 넓은 점이대가 형성되며 기존 대수층내로 염수가 침입될 가능성이 있다(Todd[15]).

인공함양공법을 채택하여 지하수위를 상승 시킴으로써 해서 해수로 오염된 지하수를 원상태로 회복시킨 성공사례로 Fig. 7은 미국 캘리포니아 Manhattan Beach의 해안지방에서 해안선 가까이 부존하는 담수 lens가 얇은 기저지하수를 적정 채수량 이상으로 과잉 채수로 인한 절대 수위가 해수준면 이하로 하강된 상태로 해수가 기존 담수 lens내로 침입한 예를 나타낸 그림이다(Laverty and Van der Goot[2]). 이를 원상태로 회복할 계획으로 해안선에서 약 2,000feet 떨어진 지점에 담수 재투입용 관정을 뚫었다. 담수를 재투입하기 전에는 압력수위가 평균 해수면보다 약 6~12ft 밑에 있었으며 Fig. 8b는 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.

Fig. 8a에서 D는 1953년 2월 12일 부터 3월 10일까지 약 한달간 계속투입한 결과 상승된 절대수위이다. B는 12월 12일 부터 6월 15일까지 약 6개월간 담수투입결과 서서히 절대수위가 상승하여 해수준면위로 약간 노출되기 시작함을 보여준다. A는 담수투입 후 9개월후에 절대수위가 해수준면 보다 아주 높게 올라가 원상태로 복원된 모습을 보여준다. Fig. 9는 담수 투입하기를 2년간이나 계

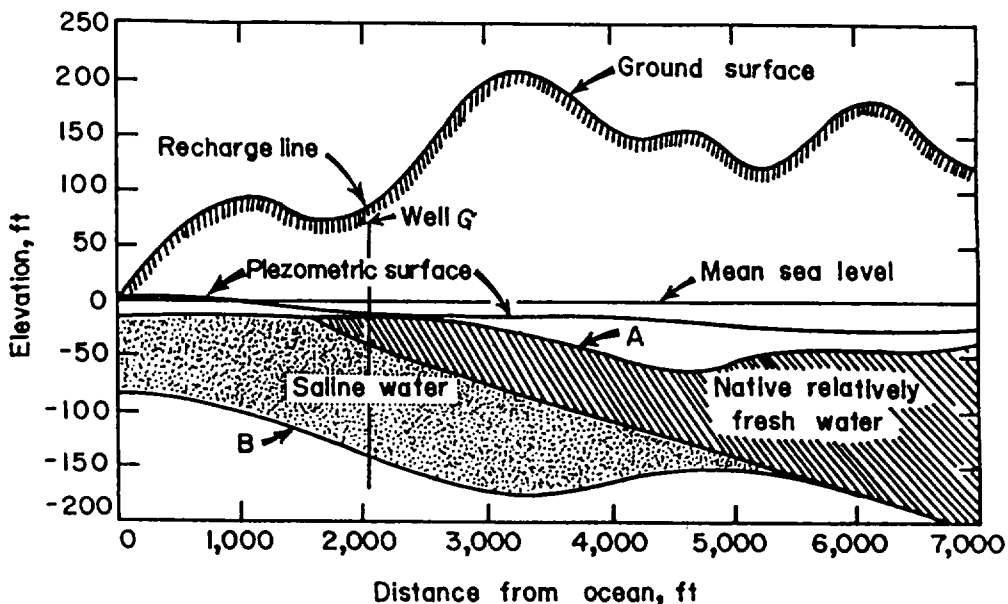


Fig. 7. Sea water intrusion at Manhattan Beach, Calif. prior to recharge A-upper boundary of aquifer; B-lower boundary of aquifer (after Laverty and van der Goot)

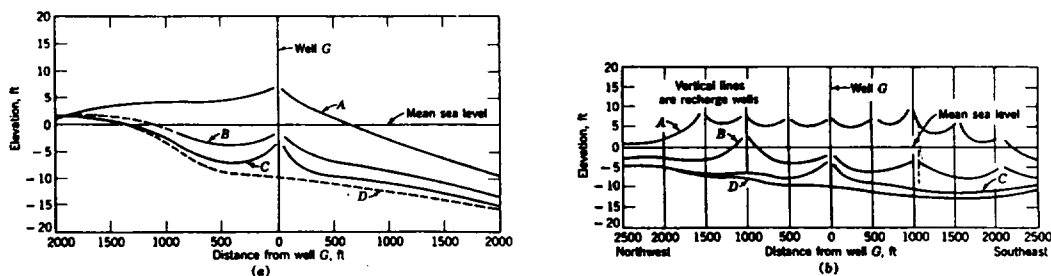


Fig. 8. Profiles of piezometric surfaces (a) normal to and (b) along the line of recharge wells. Manhattan Beach, Calif. A-Sept. 16, 1953; B-June 15, 1953; C-March 10, 1953; and D-static water level prior to beginning of recharge on Feb. 12, 1953 (after Laverty and van der Goot<sup>19</sup>)

속한 결과 원상태로 복원된 모습을 나타낸 그림이다. 그러나, 2,500ft~6,000ft 사이의 지역에 lens상태에 침입한 해수가 그냥 남아

있으나, 계속적으로 담수를 투입하면 원상태로 회복된다고 하였다.

사업지구를 포함하는 제주도 동부일부 지역

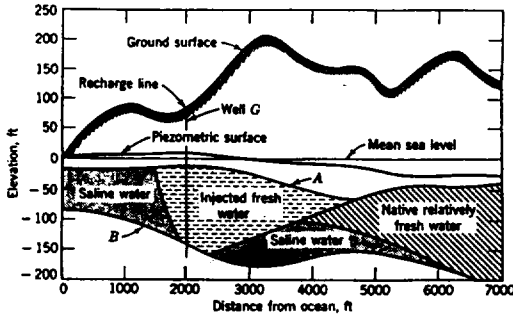


Fig. 9. Sea water intrusion at Manhattan Beach, Calif., two years after beginning of recharge. A-upper boundary of aquifer; B-lower boundary of aquifer (after Laverty and van der Goot<sup>19</sup>)

은 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 동부일부 지역은 내륙부 6km까지 해수가 침입된 지역이 관측되며 해안에서 1km까지 구간은 염분도가 1,000ppm을 초과한 지역도 분포하고 있다(김[1]). 본 조사는 해수가 침입하여 지하수의 염분도가 높게 나타나는 지역에 인공함양을 실시하므로써 침입된 해수를 원상태로 회복할 목적으로 조사연구를 실시하게 되었다.

Fig. 10은 조사지역의 인공함양공과 수위 관측공에서 강우에 의한 인공함양에 따른 관측공 A와 D-31공에서 수위변화 상태를 나타낸 것이다. 인공함양공 No-1, 2, 3, 4는 해안선에서 내륙쪽으로 약 1.63km지점에 위치

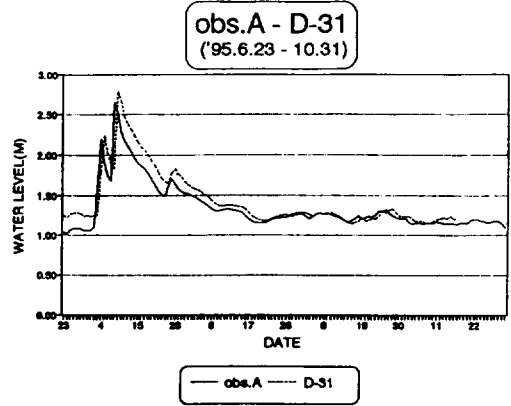


Fig. 10. Fluctuation of groundwater level of observatory A and D-31 wells

하며 착정심도는 No-1, 4 관정은 40m이고, No-2, 3 공은 30m이며, 이들 착정공의 구경은 24cm이다. A관측공은 해안선에서 내륙쪽으로 약 1.5km에 위치하며 D-31관측공은 해안선에서 부터 내륙쪽으로 약 1.75km에 위치해 있다. 조사지역에 강우가 시작되기 전인 7월 1일 A 관측공에서 측정된 자연수위는 29.425m로서 해수준고 1.105m를 유지하고 있었다. 그러나 7월 1일부터 7월 3일까지 성산포 측우소에서 기록된 강우는 317.5mm로서 이 강우의 영향으로 관측정에서 관측된 지하수위는 7월 2일 1.523m, 7월 3일 2.214m로서 주입정에서의 인공함양에 따라 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, 7

월 3일에는 0.998m, 7월 7일에는 1.497m 까지 상승하였으며 이후에는 계속 강우가 시작되는 7월 1일의 수위를 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 대수층으로의 해수침입이 관찰되어지는 제주도 일부 해안지역에 인공함량공법을 채택하여 지하수위를 상승시킴으로서 해수침입에 따른 고염도화 현상을 방지하고 해수로 오염된 지하수를 원상 회복시키므로써 수자원 이용, 관리 측면에 크게 기여할 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

1. 천미천과 가마천은 수지상 수계를 이루고 있으며, 하천의 차수는 천미천은 6차수, 가마천은 4차수로 나타나며, 분지율은 천미천이 2.50, 가마천이 2.42로 모두가 작은 값을 나타내고 있어 이들 모두 급사면을 흐르고 하천 침식의 진행기간이 짧은 하천에 속한다.
2. 조사지역의 년평균 강수량은 2,024.9 mm로 한반도에서 비가 많이 내리는 지역에 해당하며, 이 중 약 48% 이상이 6월에서 9월 사이에 내리고 있다.
3. 조사지역의 증발산량은 약 750.2mm로 산출되었으며, 연평균 강우량중 약318.8 mm가 지표로 유출되고, 본역에 발달한 대수층내로 유입되는 지표수 충전량은 약 956.4mm정도이다.
4. 1995년 7월 1일부터 7월 3일까지 성산포지역 총강우량이 312mm일때 조사지역 천미천의 하천유출량은 10,825,790m<sup>3</sup>/24hr.였으며 이때 4개의 유입공을 통해 함양된 유입량은 55,468m<sup>3</sup>/24hr.로 관측되었다. 271.5mm의 강우기인 7월 6~7일의 경우 천미천의 하천유출량은 4,101,960m<sup>3</sup>/18hr., 유입공을 통해 함양된 지표수 유입량은 34,180m<sup>3</sup>/18hr.

였고, 144mm의 강우기인 7월 22~23일의 경우 하천유출량은 3,381,174m<sup>3</sup>/14 hr.이며 이때 4개공을 통해 함양된 양은 약 25,972m<sup>3</sup>/14hr.로 관측되었다.

5. 1995년 7월 1일 A관측공의 평균 자연수위는 29.425m로서 1.105m의 해수준고를 유지하고 있었으나 317.5mm의 강우기때 7월 2일 A관측공의 자연수위는 1.523m, 7월 3일 2.214m로서 인공함량에 따라 0.418m, 0.109m의 수위상승을 기록 하였으며, D-31 관측공에서도 7월 2일에는 0.505m, 7월 3일에는 0.998m의 수위 상승효과를 확인할 수 있었다.

#### V. 참고문헌

1. 김천수, 1992. 제주도 지하수 환경의 오염취약성, 대한광산지질학회 제8회 학술강연, p.13~28.
2. Laverty, F. B. and Van der Groot, H. A., 1955. Development of a fresh-water barrier in southern California for the prevention of sea water intrusion, Jour. Amer. Water Works Assoc. v. 47, p.886~908.
3. Strahle, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology, Amer. Geophy. Union, v. 38, p.913~920.
4. Horton, R. E., 1945. Erosional developement of stream and their drainage basins, Bull. Geol. Soc. Amer., v. 56, p.275~370.
5. Strahle, A. N., 1956. Quantitative slope analysis. Bull. Geol. Amer., v. 67, p.571~596.
6. Turk, L. J., 1975. Diurnal fluctuations of water tables induced by

- atmospheric pressure changes. J. Hydrol., v.26, p.1~16.
7. Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geog. Rev., 38, Amer. Bull., v.79, p.19~46.
  8. White, W.N., 1932. A method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil, U. S. Geol. Surv. water-supply paper 659-A.
  9. Baumann, P., 1955. Groundwater phenomena related to basin recharge, Proc. Amer. Soc. Civil Engrs., v.81, p.806~815.
  10. Jacob, C. E., 1939. Fluctuations in artesian pressure produced by passing railroad trains as shown in a well on Long Island, New York. Trans. Amer. Geophys. Union, v.20, p.666~674.
  11. Robinsion, T. W., 1939. Earth tides shown by fluctuation of water levels in wells in New Mexics and Iowa, Trans. Amer. Geophy. Union, v.20, p.656~660.
  12. Bredehoeft, J. D., 1967. Response of well-aquifer systems to earth tides, J. Geophys. Res., v. 72, p.3075~3087.
  13. 농어촌진흥공사, 1973. 제주도와 Oahu도의 지하수, 지하수 73-2, p.1~167.
  14. 윤정수, 1996. 제주도 해안지하수의 지역별 수위변화와 수질특성, 농공기술, No. 50, p.3~24.
  15. Todd, D. K., 1980. Groundwater hydrology. John wiley & Sons, p.25 1~294.