

## 이천지역의 지하수 부존특성

김 연기\*1, 최 순학\*1

\*1 : 한국자원연구소

### 1. 서 론

地下水의 부존특성을 결정해주는 주 요인으로는 降水量, 蒸發量, 流出量, 地形, 水系, 土壤, 植生 그리고 토지이용등 여러가지가 있으나, 무엇보다도 중요한 요인은 地下水를 저류시킬 수 있는 분포암석의 종류와 그 암석의 水文地質學的 특성이다.

우리나라는 堆積岩으로부터 火山岩에 이르기까지 꽤 다양한 종류의 암석이 전국토를 형성하고 있어 地下水의 부존특성도 이러한 분포암석에 따라 특징지어진다.

地下水는 크게 두 종류 즉 모암이 오랫동안 비·바람등에 의해 風化된 후 침식 운반되어 江이나 河川邊에 퇴적되어 모래와 자갈을 형성하고 있는 沖積層에 부존되어있는 淺層地下水和 基盤岩內의 空隙을 따라 貯留되어 있는 岩盤地下水등으로 분류된다.

淺層地下水는 보통 우리나라 5대 강변이나 산간 계곡하부의 곡간평야, 낙동강의 김해 평야 그리고 김제 만경평야등 넓은 평야지에 부존되어 있다.

岩盤地下水는 강원도 石灰岩洞窟內에 地下河川을 형성하여 흐르는 막대한 양의 地下水가 있으나 水質面에서 花崗岩보다 떨어진다. 그리고 花崗岩이나 花崗片麻岩의 심부에서 岩盤의 균열을 따라 유동하는 양질의 地下水가 지역에 따라 상당량 산출되고 있다. 특히 火山島인 濟州道에는 熔岩類사이나 空隙構造가 잘 발달된 玄武岩內에 막대한 양의 地下水가 흐르고 있으며 火山形成時 생긴 熔岩터널등은 地下水가 흐를 수 있는 마치 파이프와 같은 역할을 하고있어 1日 수천톤의 신선한 地下水를 얻을 수 있는 세계적인 地下水로 알려져 있다. 한편 우리나라의 變成岩地帶에서는 地下水의 透水率이나 貯留係數가 다른 암석보다는 좋지않아 分布岩石중 地下水가 부존하기에는 다소 불리한 조건을 갖고있다.

이천지역은 남쪽에서 북쪽으로 흘러 남한강에 유입되는 福河川流域으로서 농업용수와 생활용수의 地下水 의존도가 매우 높으며 곳곳에 목장및 골프장이 산재되어있고 또한 큰 공장이 있어 공업용수로의 이용도가 매우 높은 곳이다.

### 2. 내 용

#### 1) 地質 및 地質構造

조사지역의 地質은 선캄브리아기의 變成岩 複合體와 주라기의 黑雲母 花崗岩, 複雲母花崗岩 및 斑狀 花崗岩등의 火成岩類 그리고 백악기의 각종 암맥들로 分布되어 있다. 조사지역의 암석별 分布를 보면 黑雲母 花崗岩이 광범위하게 分布하고 있으며 서부지역에는 變成岩 複合體가 그리고 동부지역에는 複雲母 花崗岩이 分布하고 있다. 이밖에 斑狀花崗岩이 소규모로 分布하고 있으며, 남북방향의 우세한 석영맥등 암맥들이 여러

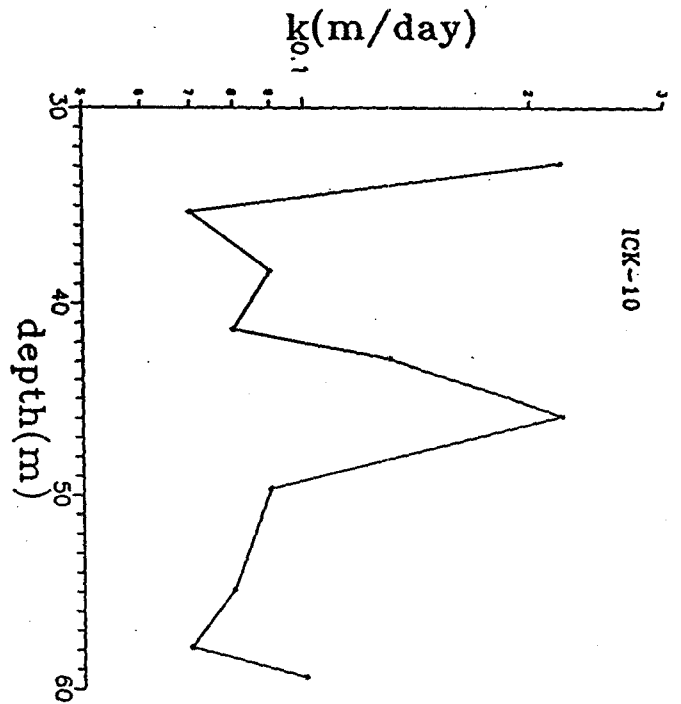
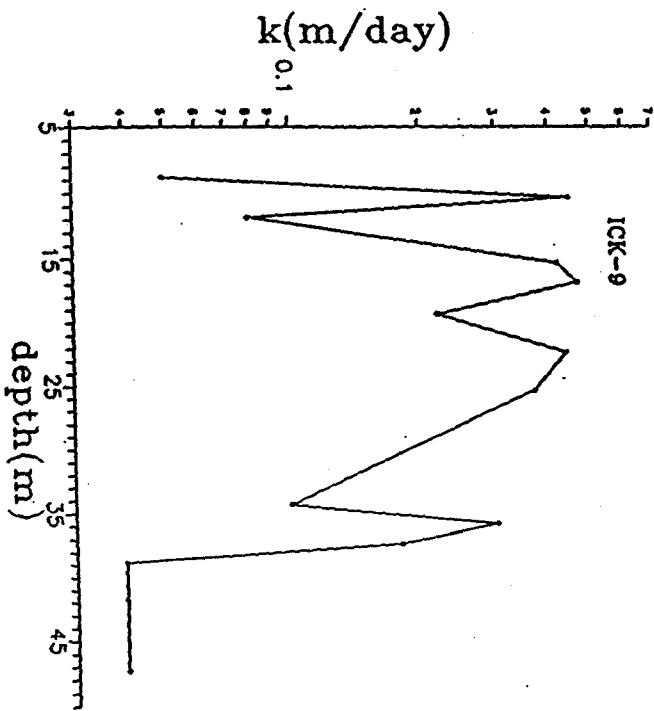
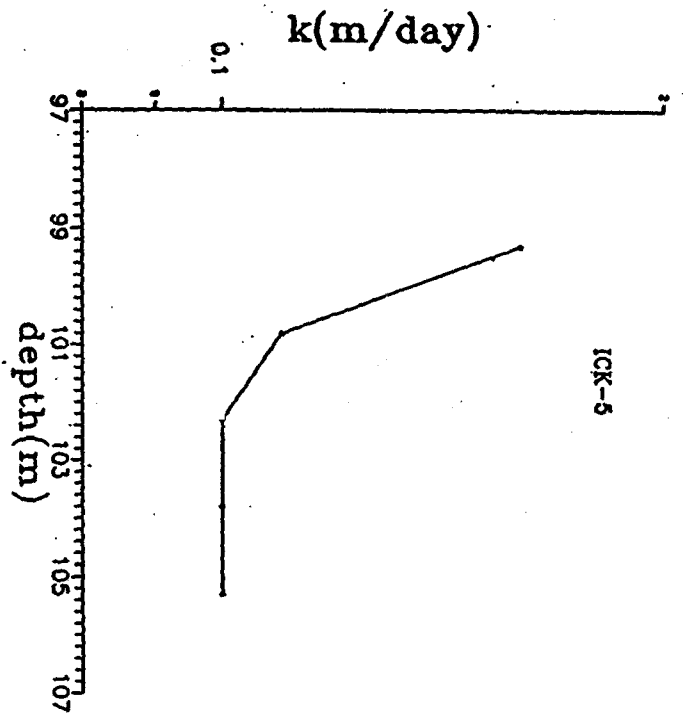
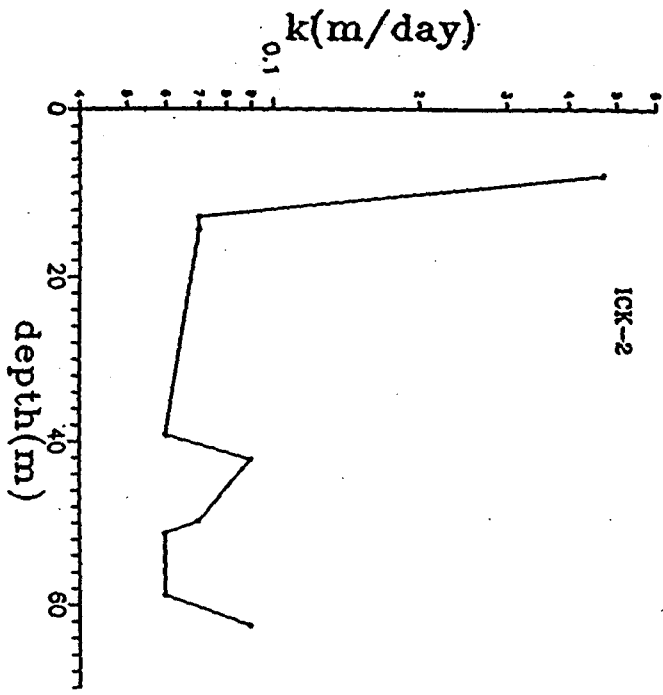


Fig. 1. 深度에 따른 透水係數의 變化

곳에서 花崗岩類를 貫入하고 있다.  
地質계통과 암석각론은 다음과 같다.

제4기	沖積層 --不整合--
백악기	岩脈類 —貫入—
쥬라기	斑狀 花崗岩 複雲母 花崗岩 黑雲母 花崗岩 —貫入—
선캠브리아기	變成岩 複合體

조사지역내에 발달된 構造線은 중앙부를 가로지르는 큰 단층과 항공사진에 의한 數條의 線構造들이 판독되었으며, N20°E - N20°W 방향이 우세하다.

## 2) 水理試驗

가. 현장투수시험(Fig. 1)

### (1) ICK-2

透水係數값은 0.07m/day에서 0.47m/day로 hydraulic conductivity는 poor에 속한다. Fig. 7-1에서 보듯이 약간의 變化는 보이고 있으나 이러한 變化區間에서 hydraulic conductivity의 분류는 의미가 없다. 이 結果는 試驗試錐 및 揚水試驗結果와도 잘 일치하고 있다. 그리고 코아검층결과에서도 ICK-2號孔이 位置하는 지역의 分布岩石은 黑雲母 花崗岩으로 큰 構造帶는 보이지 않는 치밀한 암석이다.

### (2) ICK-5

掘進深度는 110m이었으나 深度 99m까지는 沖積層 및 풍화가 심한 구간으로 試驗이 불가능하여 深度 99m부터 試驗을 실시하였다. 산출된 透水係數값은 0.10m/day에서 0.16m/day로 poor하다. 이는 深度 99m 하부의 帶水層 발달은 아주 빈약함을 의미하고 있으며, 主帶水層은 상부의 風化帶이다.

### (3) ICK-9

透水係數 값은 0.03m/day에서 0.44m/day로 hydraulic conductivity 분류상 poor에 속하며, 試驗試錐結果에서도 균열등 構造帶의 발달은 아주 빈약하다. 따라서 본공이 위치하고 있는 黑雲母 花崗岩地域에서의 地下水 개발을 위해서는 精密地質構造調査가 이

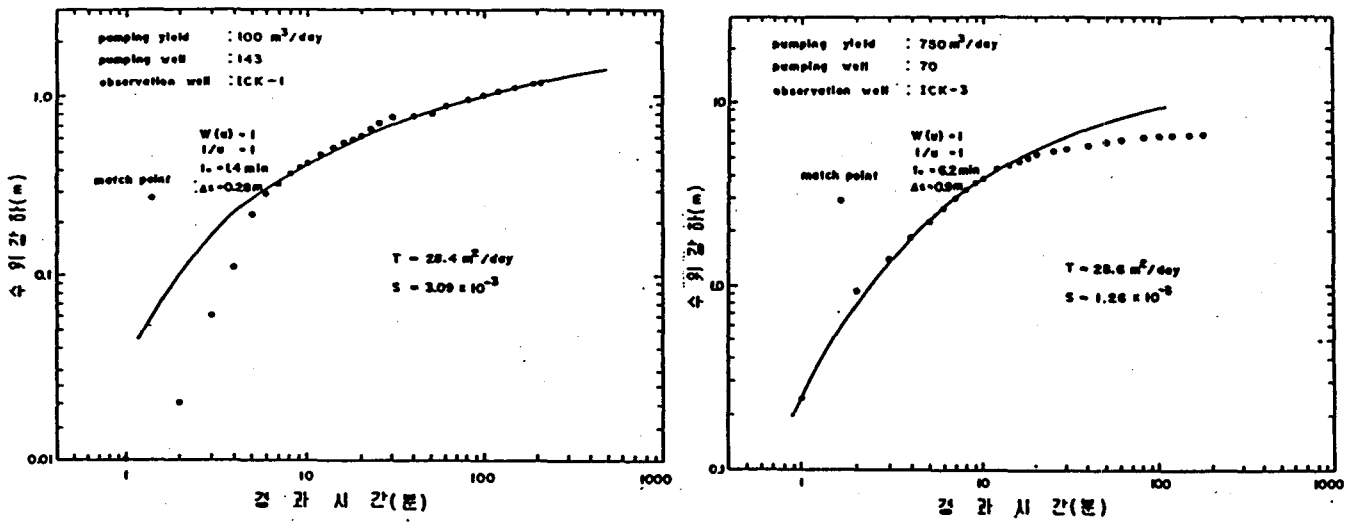


Fig. 2. 時間-水位降下 (Theis式)

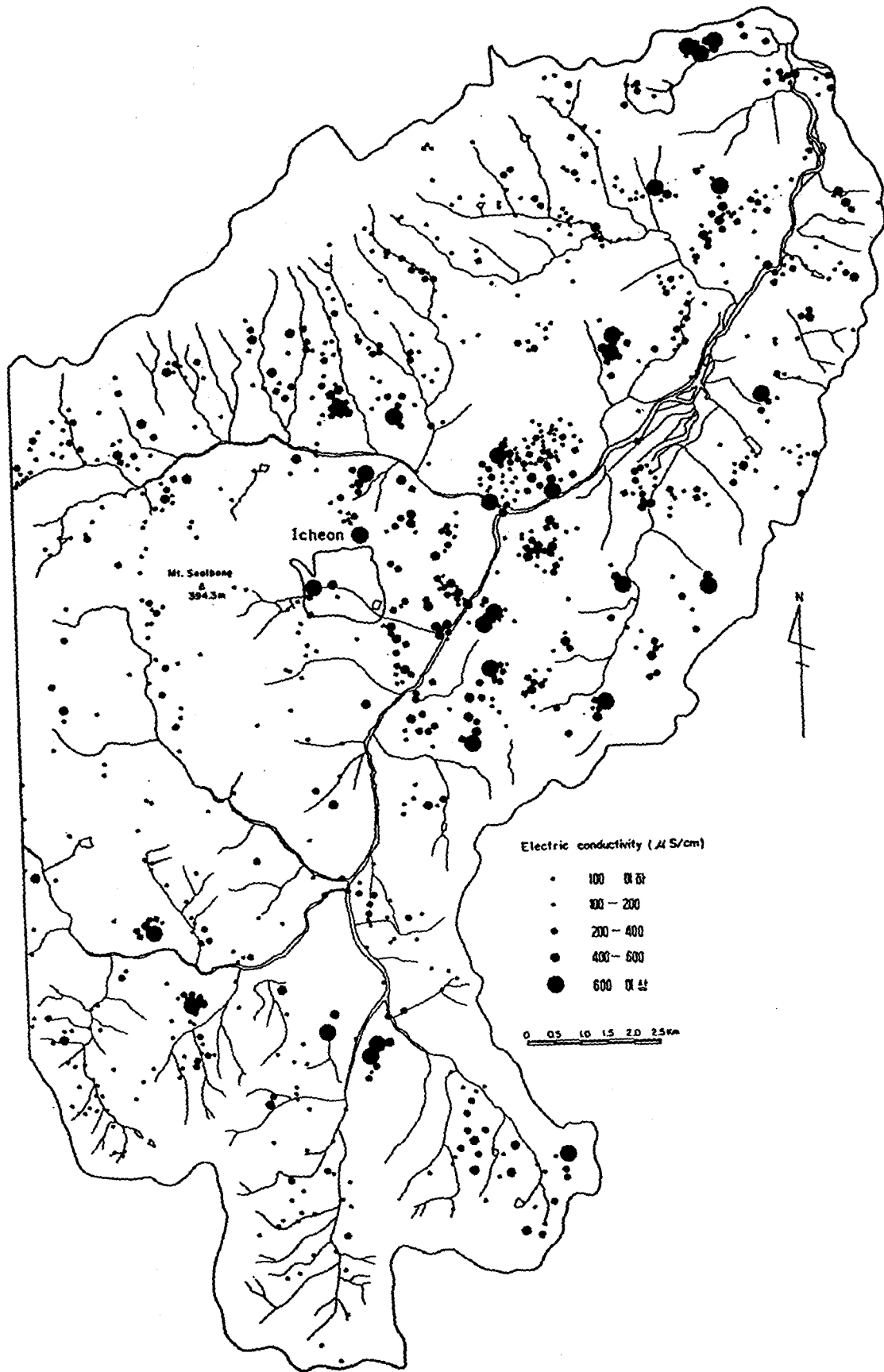


Fig. 3. 利川地域 EC 分布圖

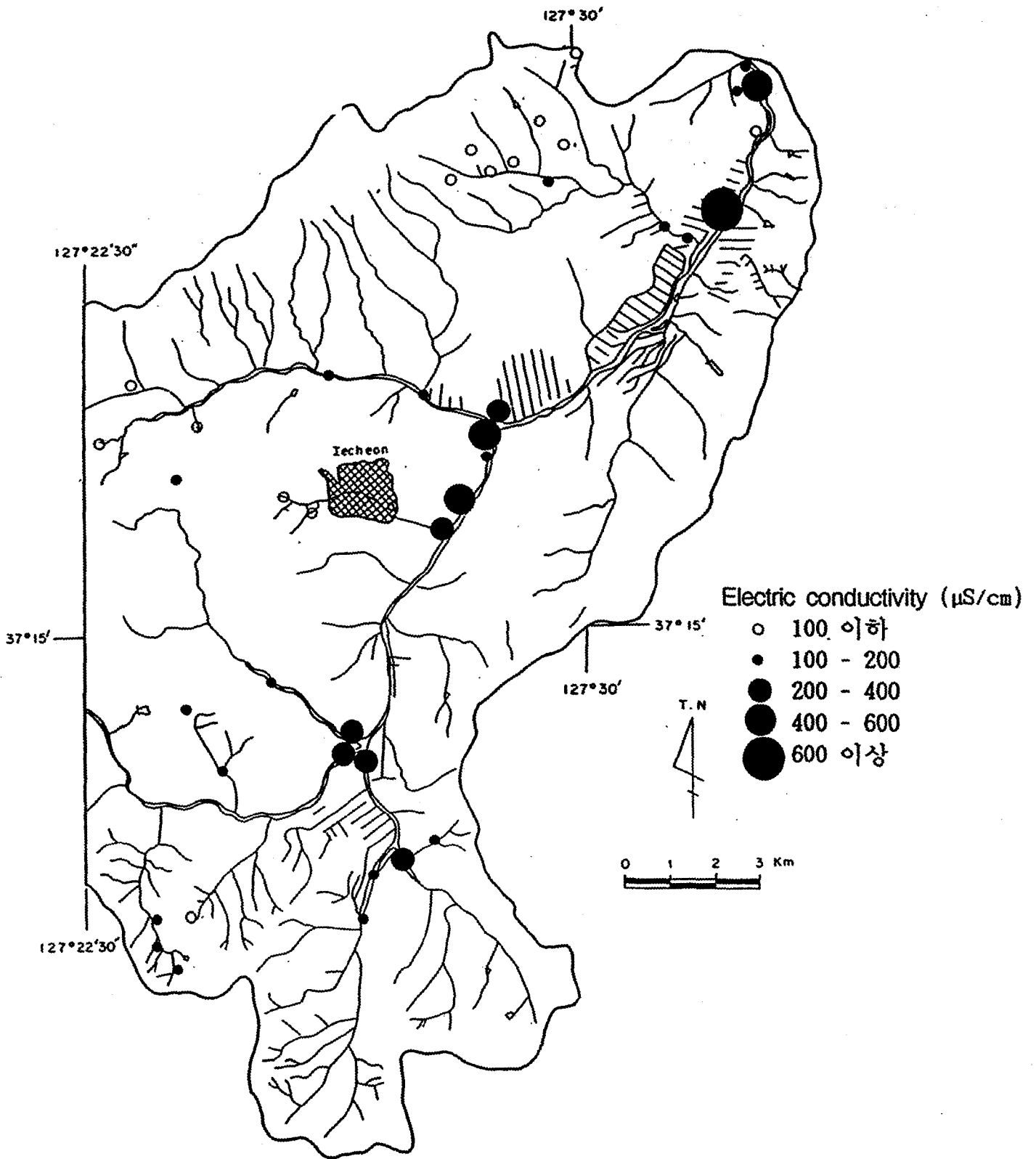


Fig. 4. Distribution of electric conductivity along the river

루어져야 한다.

#### (4) ICK-10

掘進深度는 60m이었으나 深度 32m까지는 沖積層 및 完全風化帶이기 때문에 透水試驗이 불가능하여 深度 32m부터 試驗을 실시하였다.

透水係數값은 0.07m/day에서 0.22m/day로 hydraulic conductivity분류상 poor에서 moderate에 속한다. 그러나 深度에 따른 透水係數값의 變化는 일정하지는 않지만 구간별로 變化가 심하다. 따라서 이러한 變化구간들이 主帶水層으로 판단되며 이 結果는 코아검층(core logging)과도 잘 일치하고 있다. 그러나 빈약한 透水性에 비해서 揚水試驗 結果 揚水 능력은 아주 양호한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 帶水層이 될 수 있는 構造帶등의 연속성에 기인되기 때문이다.

#### 나. 揚水試驗

揚水試驗結果 얻은 時間-水位降下 資料의 해석은 帶水層내의 흐름, 帶水層의 두께를 고려하여 Theis식과 Jacob식으로 해석하였다(Fig. 2)

양수시험결과 2개소에서 산출된 수리상수 값은 자유면대수층(unconfined aquifer) 내지 반대수층(semi-confined aquifer)의 특징을 보여주고 있다.

### 3) 地下水 水質

#### 가. 物理的 特性

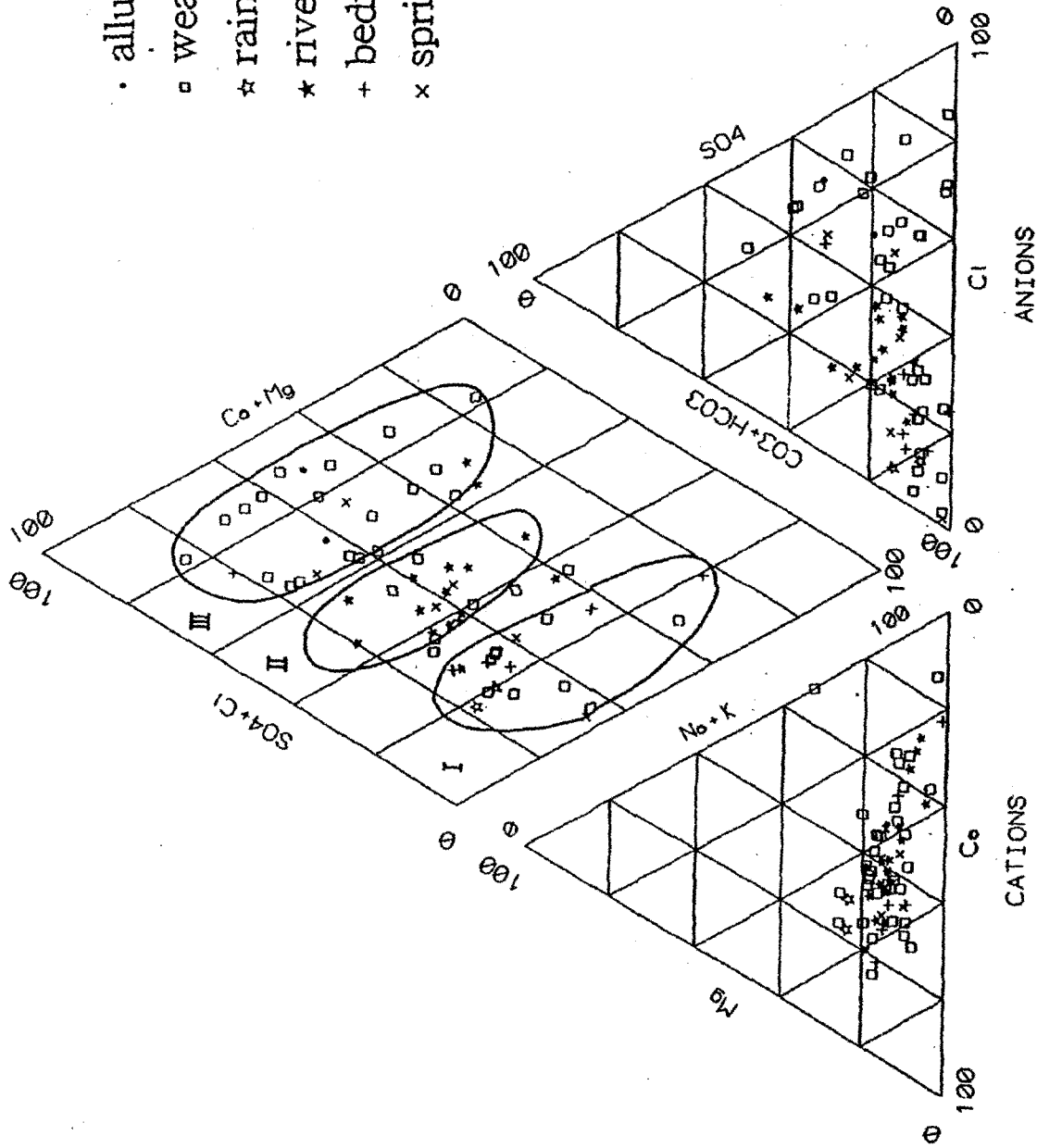
조사지역에 分布하는 地下水의 物理的 特性을 알기 위하여 大型管井, 小型管井, 人力管井(우물), 샘, 降水 및 河川水등 총 983개소에 대해 pH, EC 및 수온을 測定하였다.

조사지역은 아직까지는 오염이 덜된 상태이나 지역별로 오염이 되어가고 있음을 보여주고 있다(Fig. 3). 그러나 설봉산을 중심으로 한 지역을 수질 측정된 결과 EC 값이 대부분  $100\mu\text{S}/\text{cm}$  이하로서 자연상태의 깨끗한 수질을 보여주고 있다. 따라서 이러한 지역은 장기적으로 양질의 地下水를 보존하기 위해서는 地下水 保存地域으로 선정되어야 한다.

그리고 하천수가 오염되어 가고 있는 현상을 파악하기 위하여 짧은 기간(1995. 6. 1 - 6. 2)내에 거의 동시에 EC 값을 측정하여, 이 측정치를 Fig. 4와 같이 투영하였다. Fig. 4에서 보는바와 같이 최상류 즉 소지류에서의 측정치는 거의  $100\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하로서 오염되지 않은 상태를 보여주고 있으나 하류로 갈수록 EC 값이 높아지고 있다. 이러한 현상은 주위의 오염원들, 즉 생활하수, 공장폐수, 축산폐수등에 의해 하천수가 오염되었음을 보여주고 있다.

#### 나. 化學的 特性

PIPER DIAGRAM



- alluvium
- ◻ weathered zone
- ☆ rain
- ★ river
- + bedrock
- × spring

Fig. 5. Piper diagram에서 각 地下水의 分布



水質分析은 現場分析과 실내分析으로 이루어 졌는데 물속에 용존되어 있는 기체성분인 탄산가스(free CO<sub>2</sub>)와 음이온중 변하기 쉬운 중탄산이온(HCO<sub>3</sub>)과 탄산이온(CO<sub>3</sub>)등은 現場에서 습식으로 分析하였으며, 나머지 성분에 대한 分析은 실내에서 실시되었는데 주로 原子吸光分析器(Atomic Absorption Spectrometer : AAS)를 利用하였다.

시료채취는 총 983관측지점중 수질 및 지질 특성을 고려하여 다음과 같이 총 90개소를 선정하여 化學分析을 실시하였다.

하천수	15개소	강수	2개소
샘	7개소	층적층지하수	2개소
풍화대지하수	52개소	암반층지하수	12개소

分析結果를 토대로하여 水質特性을 파악하기 위해 주성분인 양이온의 Na, K, Ca, Mg와 음이온의 Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>의 함량비를 epm으로 환산한 후, 地下水 특성별로 Piper의 trilinear diagram에 투영하였다.

Piper diagram은 Na+K와 Ca+Mg 및 Cl + SO<sub>4</sub>와 HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub>의 epm 백분율을 key diagram에 표시한 것이고 양이온은 Na+ K, Mg 및 Ca를 그리고 음이온에서는 Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub>의 관계를 백분율로 환산하여 각각 삼각 diagram에 투영한 것이다.

diamond형의 key diagram은 양이온과 음이온의 백분율로서 다음과 같이 4가지로 분류할 수가 있다.

1. Ca - HCO<sub>3</sub>형으로 대표되는 carbonate hardness type
2. Na - HCO<sub>3</sub>형으로 대표되는 carbonate alkali type
3. Ca - SO<sub>4</sub> 혹은 Ca - Cl형의 noncarbonate hardness type
4. Na - SO<sub>4</sub> 혹은 Na - Cl형의 noncarbonate alkali type

조사지역의 地表水 및 地下水 水質을 다음과 같이 帶水層 특성에 맞게 구분하여 水質특성을 분류하였다(Fig. 5).

- (1)降水(rain) : Ca와 HCO<sub>3</sub>가 우세한 Ca - HCO<sub>3</sub>형의 noncarbonate hardness type에 속한다.
- (2)沖積層地下水(alluvium) : 음이온에서 Cl이 양이온에서는 Na가 약간 우세한 Na - Cl형의 noncarbonate alkali type에 속한다.
- (3)風化帶地下水(weathered zone) : 특이한 형태는 보이지 않지만 양이온에서 Ca가 우세하고 음이온에서는 Cl이 우세한 Ca - Cl형의 noncarbonate hardness type에 속한다.
- (4)岩盤地下水(bedrock) : 양이온에서는 Ca가 음이온에서는 HCO<sub>3</sub>가 우세한 Ca-HCO<sub>3</sub>형의 carbonate hardness type에 속한다.
- (5)샘(spring) : 양이온에서는 Ca가 음이온에서는 HCO<sub>3</sub>가 우세한 Ca-HCO<sub>3</sub>형의

carbonate hardness type에 속한다.

(6) 河川水(river water) : 양이온에서는 Ca가 음이온에서는 HCO<sub>3</sub>가 우세한 Ca-HCO<sub>3</sub>형의 carbonate hardness type에 속한다.

최종적으로 조사지역에 分布하는 지표수와 地下水 전체를 Fig. 5와 같이 Piper diagram에 투영한 결과 다음과 같이 3개 group으로 구분되어 나타나고 있다.

group I은 降水, 岩盤地下水, 샘

group II은 샘, 河川水

group III은 沖積層地下水, 風化帶地下水, 샘이 해당된다.

group I은 充填地域(recharge area)에 해당되고 group III은 排出地域(discharge area)에 해당되며, group II은 中間地域에 해당된다. 즉 본역에 분포하는 地表水 및 地下水의 유동형태는 다음과 같이 되고 있음을 알 수가 있다.

降水 → 岩盤地下水 → 샘 → 河川水 → 風化帶地下水 → 沖積層地下水

그리고 성분상 특징을 보면 양이온은 충전지역이나 배출지역에 상관없이 Ca가 우세하고 음이온은 충전지역에서 배출지역으로 갈수록 HCO<sub>3</sub> 이온은 감소하고 SO<sub>3</sub> + Cl은 증가하고 있다.

그리고 분석결과 음용수 기준에 90시료중 37개만이 음용이 가능한 것으로 나타났다. 대부분 NO<sub>3</sub> 성분이 기준을 초과하고 있으며 이는 생활오수에 의한 오염에 기인된 것으로 판단된다. 이러한 오염을 방지하기 위해서는 정화조 설치등 생활구조 개선이 이루어져야 한다.

#### 4) 地下水 賦存 特性

조사지역의 地下水 賦存 特性을 분포지질별로 기술하면 다음과 같다.

1) 河床 堆積層(alluvium) : 유수에 의하여 상류로부터 운반되적된 하상퇴적층으로 층의 두께는 5 - 20m 이며 구성물질은 주로 조립질의 모래로 되어 있어 투수성은 양호한 편이다. 地下水 賦存能力(groundwater potential)은 지역적인 차이는 있으나 146 - 1,100 m<sup>3</sup> /day의 범위를 보이고 있다.

2) 斑狀 花崗岩(porphyrific granite) : 신선하고 치밀하여 地下水 賦存能力은 미약하나 국부적으로 발달한 균열대등의 구조대에서 어느정도의 地下水 부존을 기대할 수가 있다. 地下水 賦存能力은 50 - 200 m<sup>3</sup> /day 정도이다.

3) 複雲母 花崗岩(two mica granite) : 운모광물이 우세한 거정질 花崗岩으로 지표에서

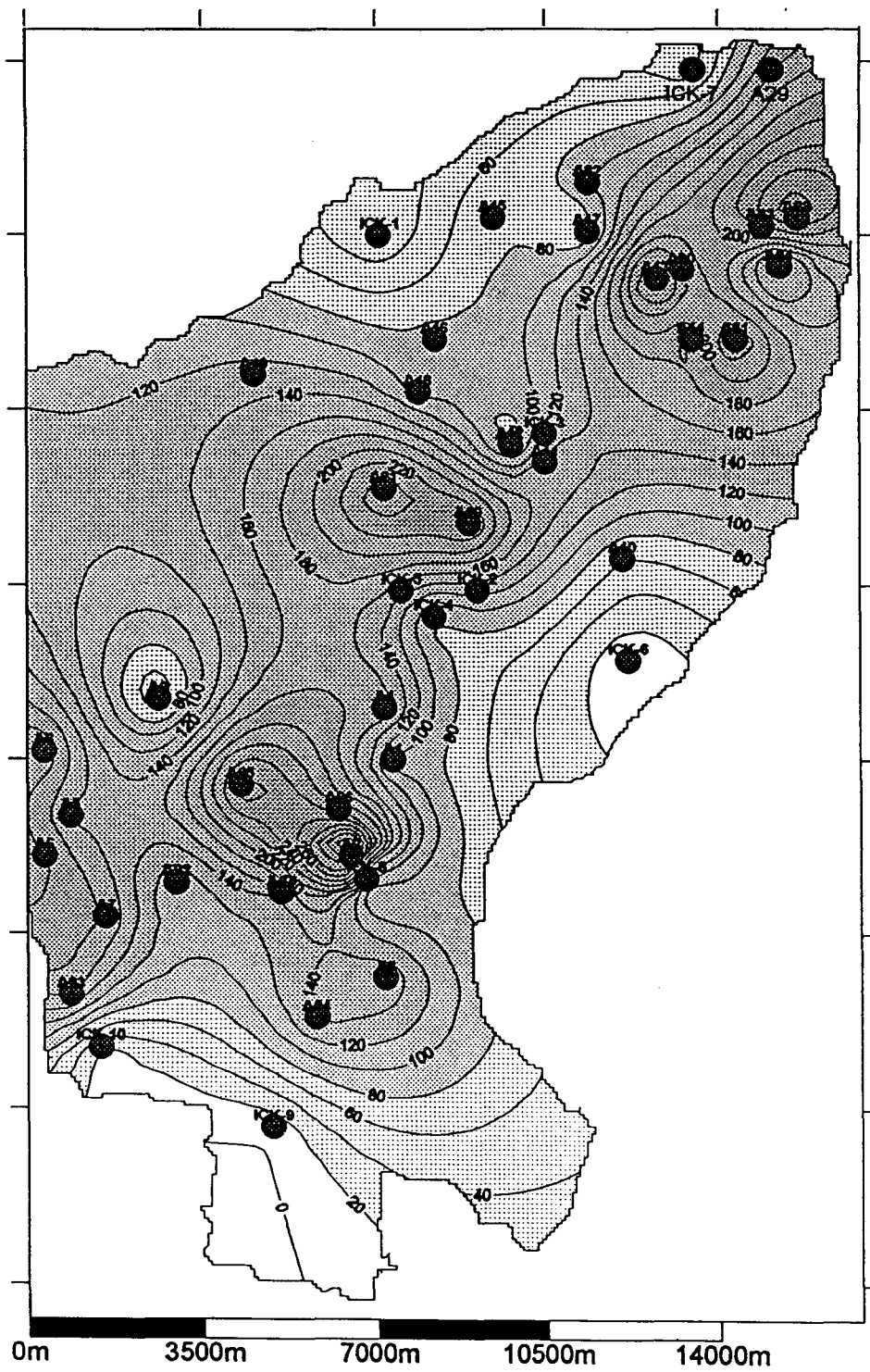


Fig. 6. 沖積層 및 風化帶 地下水의 比産出量 分布

는 풍화를 쉽게 받아 저구릉지 혹은 산록 지형을 이루고 있다. 풍화대를 대상으로한 地下水 개발이 기대되나 地下水 賦存能力은 20 - 100m<sup>3</sup> /day 으로 아주 빈약하다.

4) 黑雲母 花崗岩(biotite granite) : 주구성광물이 석영, 장석으로된 巨晶質 花崗岩으로 풍화에 약하여 지역적으로 20 - 50m 두께의 풍화대를 형성하고 있는가하면 지표부근에서 바로 신선한 암석이 나타나기도 한다. 地下水 賦存能力은 10 - 700m<sup>3</sup> /day로 지역에 따라 차이가 많이 나고 있다.

5) 變成岩 複合體(metamorphic complex) : 주로 黑雲母 片麻岩, 斑狀 片麻岩 그리고 花崗 片麻岩으로 구성되어 있다. 地下水 賦存能力은 10 - 100m<sup>3</sup> /day 으로 아주 빈약하다.

比產出量에 의한 부존특성은 조사지역 동북부에서 比產出量값은 200m<sup>3</sup> /day/m 이상이며 중부지역에서는 200m<sup>3</sup> /day/m 이상 그리고 남부지역에서는 200m<sup>3</sup> /day/m 이상을 보인다. 이러한 높은 比產出量을 보이는 지역은 하천부근에 분포하는 투수성이 좋은 하상퇴적층에 기인된 것으로 판단된다(Fig. 6).

## 5) 結 言

(1) 地形은 장년기말 내지는 노년기말에 해당되며 수계는 수지상형태를 나타내고 있다. 調查地域內的 分布地質은 선캠브리아기의 變成岩 複合體, 쥬라기의 黑雲母 花崗岩, 複雲母 花崗岩 및 斑狀 花崗岩, 백악기의 岩脈類 그리고 제4기의 沖積層으로 分布되어 있다.

(2) 調查地域의 分布地質別 水理常數 및 帶水層의 특성은 다음과 같다.

地 質	T(m <sup>2</sup> /day)	S	K(m/day)	대수층 특성
變成岩 複合體	29.5	3.57*10 <sup>-3</sup>		highly fractured zone
黑雲母 花崗岩 風化帶	24.6	1.36*10 <sup>-3</sup>		completely weathered zone
黑雲母 花崗岩			0.03-0.44	highly fractured zone
斑狀 花崗岩			0.07-0.22	highly fractured zone, shear zone
沖積層				coarse sand

(3) 調查地域의 地下水의 物理的 특성은 다음과 같다.

지 역	pH	EC(μS/cm)	T(℃)	비 고
여주군 홍천면	5.19 - 7.93	39 - 893	9.0-22.4	북부지역
이천군 백사면	4.66 - 7.27	20 - 691	8.9-21.7	북부지역
이천군 신둔면	4.72 - 6.70	52 - 999	9.2-23.8	중앙부지역
이천군 이천면	5.60 - 7.82	62 - 772	9.0-28.1	중앙부지역
이천군 부발읍	5.14 - 6.35	33 - 800	10.4-17.6	중앙부지역
이천군 호법면	5.16 - 9.26	38 - 940	8.8-24.9	중앙부지역
이천군 마장면	5.28 - 6.95	36 - 455	7.8-19.3	남부지역
이천군 대월면	5.08 - 7.49	72 - 534	12.7-24.2	남부지역
이천군 모가면	5.02 - 6.59	46 - 921	8.8-29.4	남부지역

(4) 조사지역의 지표수 및 지하수의 수질조성상 특징을 Piper의 Trilinear diagram의 분류에 의하면 降水(rain), 岩盤地下水(bedrock), 샘(spring) 및 河川水(river water)는 Ca-HCO<sub>3</sub>형의 noncarbonate hardness type, 沖積層地下水(alluvium)는 Na-Cl형의 noncarbonate alkali type 그리고 風化帶地下水(weathered zone)는 Ca-Cl형의 noncarbonate hardness type에 속한다

(5) 본역에 분포하는 地表水 및 地下水의 유동형태는 다음과 같다.

降水 → 岩盤地下水 → 샘 → 河川水 → 風化帶地下水 → 沖積層地下水

그리고 성분상 특징을 보면 양이온은 충진지역이나 배출지역에 상관없이 Ca가 우세하고 음이온은 충진지역에서 배출지역으로 갈수록 HCO<sub>3</sub> 이온은 감소하고 SO<sub>3</sub> + Cl은 증가하고 있다.

(6) 조사지역의 분포지질별 地下水 賦存 特性은 다음과 같다.

河床 堆積層(alluvium) : 유수에 의하여 상류로부터 운반되적된 하상퇴적층으로 층의 두께는 5 - 20m 이며 구성물질은 주로 조립질의 모래로 되어 있어 투수성은 양호한 편이다. 地下水 賦存能力(groundwater potential)은 지역적인 차이는 있으나 146 - 1,100m<sup>3</sup> /day의 범위를 보이고 있다.

斑狀 花崗岩(porphyrific granite) : 신선하고 치밀하여 地下水 賦存能力은 미약하나 국부적으로 발달한 균열대등의 구조대에서 어느정도의 地下水 부존을 기대할 수가 있다. 地下水 賦存能力은 50 - 200m<sup>3</sup> /day정도이다.

複雲母 花崗岩(two mica granite) : 운모광물이 우세한 巨晶質 花崗岩으로 지표에서는 풍화를 쉽게 받아 저구릉지나 산록 지형을 이루고 있다. 풍화대를 대상으로한 地下水 개발이 기대되나 地下水 賦存能力은 20 - 100m<sup>3</sup> /day 으로 아주 빈약하다.

## 參 考 文 獻

1. 김연기외,1992 : 韓國水文地質圖 및 報告書(加南地域 揚花川流域)
2. GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN,1980 : Hydrogeological Map of the

Southern Yonezawa, Yamagata Prefecture

3. GEOLOGICAL SURVEY OF VICTORIA,1980 : Hydrogeological Map of Western Port Basin, Australia

4. David B. Mcwhorter and Daniel K. Sunada,1984 : Groundwater hydrology and hydraulics pp. 19-27

5. David & Todd, 1959 : Ground hydrology pp. 61-77

6. Mark J. Hammer & Kenneth A. Mackichan, 1981 : Hydrology and quality of water resources pp.41-79

7. R. Allan Freeze & John a. Cherry, 1979 : Groundwater pp 247- 252

8. Ralph C. Heath, 1983 : Basic groundwater hydrology pp. 12-13

9. Robert C. Earllougher, Jr, 1977 : Advances in well test analysis pp. 4-21