

## 유성온천지역의 지질구조 및 지온분포 연구

### Characterization on the Geological Structures and Geothermal Gradient Distribution in the Yusong Area

정 지 곤 (Jeong, Ji-Gon)  
서 만 칠 (Suh, Man-Cheol)  
김 경 수 (Kim, Kyung-Soo)  
황 형 중 (Hwang, Hyung-Joong)

충남대학교 지질학과  
공주대학교 지질환경과학과  
한국원자력연구소  
충남대학교 지질학과

#### 요약 / ABSTRACT

유성온천장을 중심으로 북측 인접지역에서의 온천개발 가능성을 평가하기 위하여 주변의 지질구조와 지온분포에 관한 연구를 시도하였다. 연구지역 주변지역에서 온천수 형성과 관련된 요인은 단층과 암맥이며 물탐자료와 지온측정자료 해석결과는 이를 어느 정도 뒷받침하고 있다.

EW 예상 단층선은 본 지역의 북부를 스쳐 지나가며 N40°W 예상 단층선은 본 지역의 서측에서 EW의 예상 단층과 교차한다. 이러한 예상 단층의 위치는 선구조선의 분석, 물탐자료 및 지온측정의 결과에서 잘 반영된다. 연구지역 내에는 3개조의 암맥이 관입되어 있는 것으로 판단된다. 지온측정 결과 지온 이상대와 암맥의 위치는 서로 일치하며, 지하 1m와 0.5m 사이의 온도차는 3°C 이상이다. 지하 1m와 0.5m 사이의 온도차 2.5°C 이상의 지온 이상대는 연구지역 내에서 N80°W의 방향으로 형성되어 있다. 암맥의 경사는 암맥의 직선적인 분포나 노두에서의 조사결과로부터 거의 수직인 것으로 판단된다.

온도 이상대 분포와 암맥의 위치로부터 연구지역 내에서 온천수 부존 가능 위치로 세 곳을 들 수 있으며 이들 지점에서 40°C 이상의 온천수를 확보할 수 있는 깊이는 170~200m 내외로 추정된다.

A study on the geological structure and geothermal gradient distribution was carried out to evaluate the feasibility of developing a new geothermal field in the Yusong area. It is suggested that geothermal water in the Yusong area is closely related with faults, dykes, and their dipping characteristics with the study of geothermal gradient distribution.

A fault of EW direction locates in northern boundary of the study area and another fault of N40°W crosses the EW fault at the western part of the study area. Locations of faults are recognized quite well by lineaments, geophysical exploration and geothermal gradient distribution characteristics. Three

sets of dyke are found in the study area. According to the result of the geothermal gradient distribution study, the location of geothermal anomaly belt and dykes coincide each other, and the area has the temperature gradient of larger than  $3^{\circ}\text{C}$  between the depths of 0.5m and 1.0m below ground surface. The thermal anomaly belt those temperature gradient is larger than  $2.5^{\circ}\text{C}$  between the depths of 0.5m and 1.0m below ground surface is expected in the direction of  $\text{N}80^{\circ}\text{W}$  in the study area. The dipping of dyke is almost vertical according to the linear distribution of dykes on surface and the results of geophysical survey.

From the distribution of geothermal anomaly belt and the locations of dyke, three locations for the development of hot spring water could be recommended and the depth that ensure over  $40^{\circ}\text{C}$  geothermal water is estimated as 170~200m below the ground surface.

## 서 언

온천은 온도, 삼투압 등의 물리적 성질 및 수소 이온 농도(pH), 화학성분 등에 의하여 50여종으로 분류할 수 있으며, 유성온천은 덕산, 해운대, 백암 온천과 함께 라듬천(방사능천)에 속한다. 유성온천에 대한 문헌으로 가장 오랜 것은 「동국여지승람(東國輿地勝覽)」으로 제17권에 “溫泉 在儒城縣東三理 我太祖卜宅于鷄龍山 太宗講武于任實之時 浴于此”라고 기록되어 있다. 태종 즉위시 태조의 목욕 사실이 기록되어 있는 것으로 보아 적어도 500년 전부터 이곳 유성은 온천으로 알려져 있었으며 작은 목욕시설이나마 구비하고 있었으리라 믿어진다.

유성온천지역은 현재 온수 사용량이 공급능력을 초과하여 온천수위가 강하하고 있으며 증가하는 관광수요에 부응하고자 온천지구 확대를 고려하고 있다. 그리하여 본 연구지역 (Fig. 1) 일대에 대하여 각종 평가 조사를 수행하여온 바 있다(화랑대연구소, 1993).

연구지역을 포함한 유성지역은 소규모의 집수역을 형성하고 있으며 이 집수역에 발달된 하천과 지하수의 유출구에 해당되는 곳이 유성지역이다.

본 연구에서는 연구지역을 중심으로 동서 10km, 남북 12.5km의 131.3km<sup>2</sup>의 지역(Fig. 1)을 설정하여 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 이용한 선구조선 해석과 단열(fracture)조사를 통한 지질구조 해석을 실시하였으며, 또한 연구지역에 대한 정밀 지질조사와 지온조사가 실시되었다.

## 지형 및 지질

유성지역은 대전분지의 서북부에 해당되며 연구지역은 유성지역의 북동측변에 위치한다. 동시에 연구지역을 중심으로 소규모의 집수역이 형성되어 있으며 집수역에 발달된 하천이나 지하수의 유출구에 해당되는 곳이 유성지역이다. 이 지역을 유성집수역이라 부르고자 한다(Fig. 1).

유성집수역은 대전분지 전체의 약 1/3의 면적을 점하며 금병산-우술산-갑하산-도덕봉-백운봉-빈계산-구봉산과 이들로부터 연장 발달된 능선으로 둘러싸여 있으며 그 사이에  $\text{N}40^{\circ}\text{W}$ , EW,  $\text{N}40^{\circ}\text{E}$ , NS의 유로를 갖는 지족천, 유성천, 건천 및 갑천이 각각 동남류, 동류 및 동북류하여 갑천에 유입된다. 따라서 연구지역은 유일한 동측 유출구의 길목에 자리잡고 있어 이 지역에 집수된 지하수, 표층수, 하천수는 연구지역의 지표나 지하를 경유하게 된다.

유성집수역의 지질은 편마상 화강암과 이를 관입한 중생대의 복운모화강암 및 이들을 관입한 산성맥암으로 구성되어 있다(Fig. 2). 연구지역의 북서부에 분포되어 있는 편마상 화강암은 본 지역에서 가장 고기의 암체로서 이 암체의 관입시기는 1:50,000 유성도폭(박희인외, 1977)에는 중생대 이전의 시대미상으로 되어 있고, 한국 심성암 동위원소 연대지도(한국자원연구소, 1995)에는 190Ma~119Ma로서 유라기로 보고되어 있다. 이 암체를 관입한 복운모화강암의 관입시기는 유성도폭(박희인외, 1977)에서 백악기로 추정하였다. 산성맥암은 석영반암과 그레노피어로 구성되어 있으며 복운모화강암과 성인적으로 밀접한 관계가 있는 것으로 보아 백

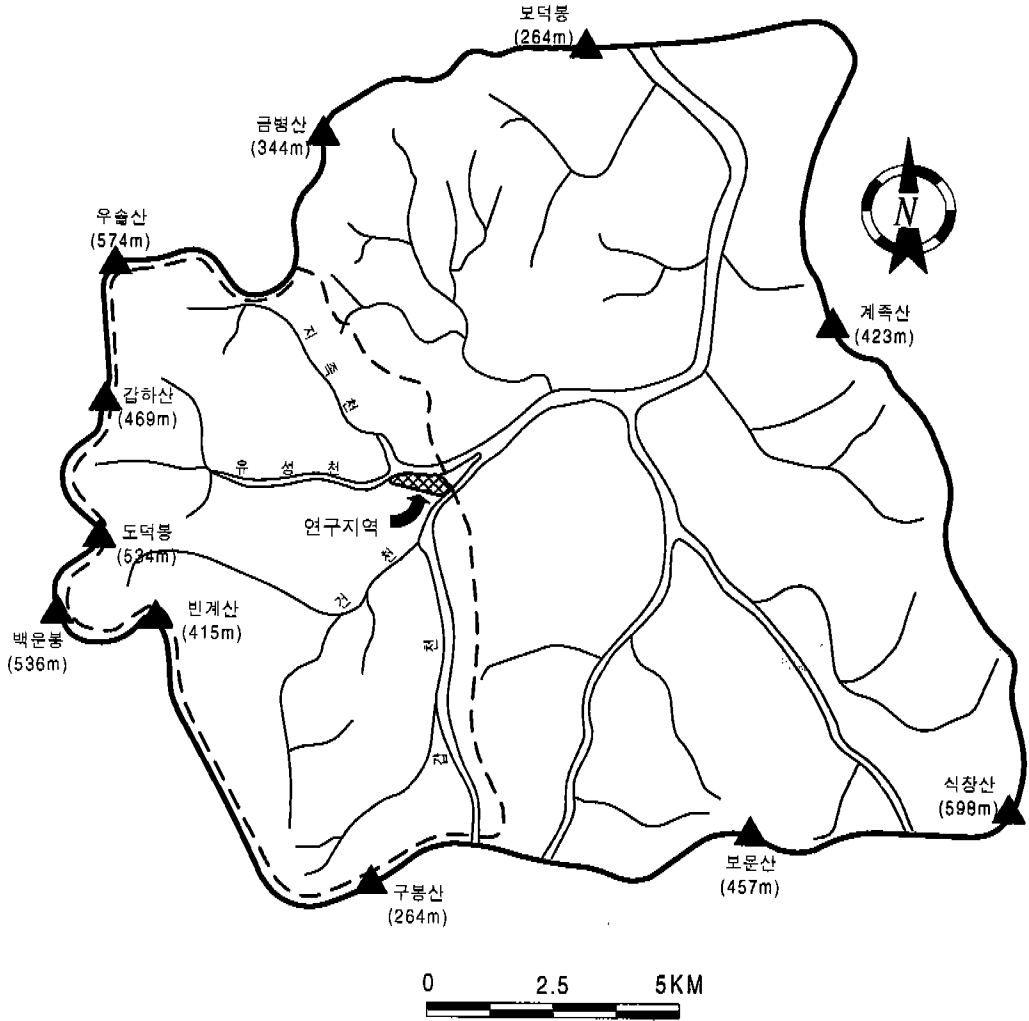


Fig. 1. Boundary of the Taejon basin (heavy line) and Yusong catchment area (dashed line).

악기 관입암체로 생각한다.

유성집수역에 대한 기 조사자료 중 유성도폭(박희인의, 1977)에서는 본 역내에서 확인되는 단층은 없으며, 단지 하천을 이루는 구조선의 방향과 후기에 모임을 관입한 NS계열의 맥암군을 특징으로 기재하였다.

1982년에 발간된 대전북부의 용융지질도(한국동력자원연구소, 1982))와 대전북부 갑천유역의 수리지질도(한국동력자원연구소, 1982)에서는 좀 더 자세한 조사가 수행되었는데, 공허 노은동에 위치하는 왕가산의 동측 사면을 따라 NS방향의 단층, 유

성에서 용담리를 잇는 NW방향의 단층, 궁동과 신성동을 잇는 산의 동측을 따르는 NS방향의 단층, 그리고 NS계열의 백암군에 대하여 기재하였다. 유성과 삼재를 잇는 EW방향에 대하여는 수리지질도에서만 단층으로 기재하였다. 그러나, 이들 단층에 대하여는 야외 또는 도학적 증거를 충분히 기술하지 않아 객관적인 판단을 내릴 수는 없다.

연구지역에서의 기 조사결과(화랑대연구소, 1988; 1993)에 의하면 단열체계는 NS계열이 우세하고, 이차적으로 EW계열이 분포하는 것으로 조사되었다. 이 조사보고서는 온천공들의 배열방향과 일치하는

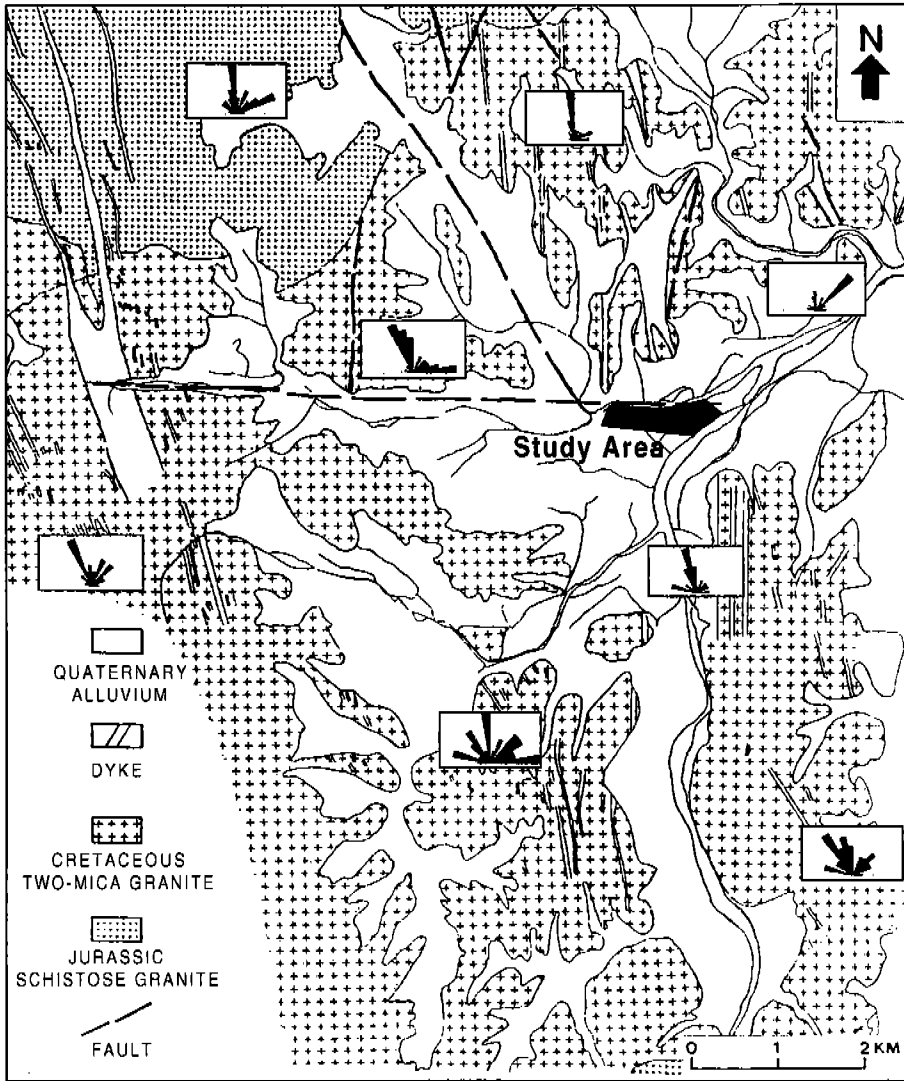


Fig. 2. Geological map of the Yusong area.

EW방향의 단층은 확인할 수 없었으며, 단지 동서 방향의 지열 reservoir 구조가 추정될 수 있다고 언급하였다.

위 자료들에 의하면 유성온천지역 주변에 발달된 지질구조선은 NS계열의 맥암군의 관입에 우선적으로 지배되며, 갑천, 지족천, 탄동천, 대전천 등이 이와 관련되는 것으로 볼 수 있다. 소규모의 EW계열의 구조선은 유성천과 현재까지 개발된 온천공들의 배열방향과 일치하는 것으로 정리된다.

연구지역 주변의 지질(Fig. 5)은 북운모화강암과 이를 관입한 석영반암으로 구성되어 있다. 연구지역의 북측에 분포되어 있는 암맥은 3개조가 있는데 그 중 동측의 것은 궁동으로부터 연구지역의 동부 충적층을 경유하여 연구지역의 동남부에 있는 월평동 능선의 서측사면에 분포되어 있는 석영반암과 연결되고, 1개조는 연구지역의 중앙부를 NS방향으로 통과하여 남쪽으로 연장될 것으로 본다. 충남대학교 정문 서측 능선을 따라 발달된 암맥은 연구지

역의 서부 층적층을 경유하여 NS~10°E 방향으로 남쪽으로 연장될 것으로 본다.

유성천과 거의 일치되어 있는 EW 방향의 단층은 연구지역 내 혹은 이와 북측으로 접하여 통과할 것으로 보이며 지족천과 거의 일치되어 있는 N40°W 방향의 단층은 연구지역의 서측을 스쳐지날 것으로 보여 이들 단층은 두 하천이 만나는 지점 부근에서 교차할 것으로 보인다.

이상의 사실을 종합할 때, 유성천과 지족천은 단층에 의하여 형성된 하천이니 만큼 맥암에 의한 능선의 방향인 NS를 거의 직각으로 교차하거나 사교하여 있으며 두 하천이 만나는 장소, 즉, 단층이 만나는 장소가 곧 유성집수역의 동변부에 위치한 연구지역에 해당되고, 지형으로 보나 지질구조로 보나 이 지역에서 가장 많은 지하수가 부존될 수 있는 입지적 조건을 갖춘 것으로 볼 수 있다.

### 단열 및 선구조선 분포특성

연구지역을 중심으로 1km<sup>2</sup>면적의 격자 88개(조사면적 88km<sup>2</sup>)를 설정하여 각 조사격자에 분포하는 노두에서 측선법(scanline survey)을 이용하여 단열자료를 취하였다. 노두가 없거나 접근 불가능한 지역을 제외하고 총 30개 지점에서 trace length가 1.0m 이상인 428개의 단열자료를 얻었다.

현장에서 조사된 자료와 위성사진에서 분석한 선구조선에 대하여는 rose diagram과 stereo net을 이용하여 통계처리하였다.

#### 방향성

DEM자료 상에서 연구지역을 중심으로하여 주변에서 확인되는 선구조선을 분석하여 보면 주 방향은 NS~N40°W이고, 이차 방향은 EW방향이 우세하다(Fig. 3). 그러나 선구조선 모두가 tectonic

structure를 의미하는 것은 아니므로 지표에서 확인되는 단열(대)의 방향성과 연관된다고 볼 수는 없다.

조사된 전체 단열자료, 화강암 분포지역에서 조사된 단열자료, 그리고 맥암류에 분포하는 단열자료를 분석한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 각 경우의 선구조선과 단열자료의 방향성을 정리하면 Table 1로서 설명될 수 있다.

선구조선 및 측선법으로 조사된 단열자료의 조사지점별 분석결과는 몇 개의 조사지점을 제외하고는 암종별에 따른 방향성의 변화는 찾아 볼 수 없으며, 남북방향을 중심으로 서쪽으로 약 40°, 동쪽으로는 약 30°의 범위를 갖는 주 방향과 N40°E에서 EW까지 폭 넓게 분포하는 이차 방향으로 요약된다. 단열의 주 방향은 맥암류에 분포하는 단열을 제외하면 전체적으로 NS를 중심으로 서쪽으로 우세하게 분포한다. 맥암류에 분포하는 단열의 집중도(degree of clustering)는 화강암에서의 것에 비하여 폭 넓게 분산되는 경향을 보인다. 이차 방향성은 맥암류에서는 빈도수가 극히 적고, 화강암에서 우세하게 나타난다. 경사각은 주 방향이 SW와 NE로 나뉘어지는데 반하여 이차 방향은 NW쪽으로의 경사만을 갖는 것으로 밝혀졌다. 선구조선의 주 방향과 이차 방향은 단열자료의 방향성과 비교할 때 분석오차를 고려할 경우 전체적인 경향과 다를 바 없는 것으로 보여진다. 암종별 단열 분포특성도 큰 차이는 없으며, 단지 맥암류의 이차 방향성의 분포 범위와 빈도수가 적다는 점이 차이점이다. 한편, sub-horizontal 단열조는 맥암류에 분포하는 단열계에서 우세하게 나타나는데 응력제거로 인한 판상절리로 보여진다. 이들의 방향성은 주 방향과 동일하고, 다만 경사각이 0~30°E의 범위를 갖는다.

Table 1. Preferred orientation of the lineaments and fractures.

구 분	선구조선 자료	전체 단열자료	화강암 단열자료	맥암류 단열자료
Primary Orientation	NS~N40°W	NS~N30°W	NS~N30°W	N40°W~N30°E
Secondary Orientation	EW	N80°E~EW	N80°E~EW	N80°E~EW

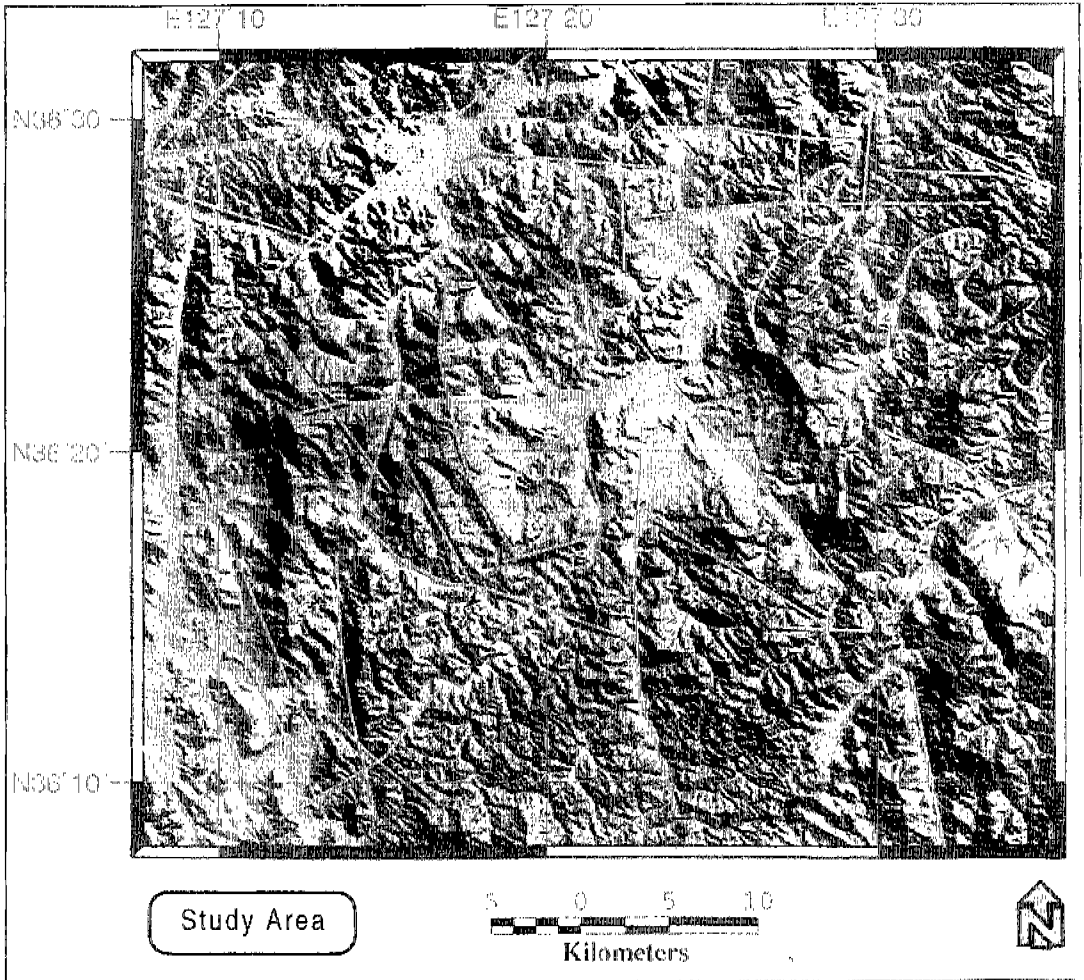


Fig. 3. Lineaments identified from Digital Elevation Model.

### 연구지역 주변의 지질구조

연구지역 인근은 모두 충적층으로 덮여 있기 때문에 주변지역의 지질구조적 특성을 참고로하여 합수 가능성이 있는 단열대를 추정하였다.

기존 조사자료와 금번에 조사된 선구조선 분석 및 단열조사 결과를 토대로 연구지역을 중심으로 주변지역의 지질구조를 종합해 보면, 이 지역을 지배하는 지질구조는 N40°W인 지족천, NS의 갑천과 맥암군들, N30°E의 단열, 그리고 EW의 유성천 방향으로 정리할 수 있다. 이 지역에서 가장 특징적인 지질학적 구조는 연구지역에서부터 서쪽 박정자

까지의 지역에 잘 발달되어 있는 NS방향의 맥암군들이고, 이들이 유성천지역의 지질구조 해석에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.

이 지역에 폭 넓게 분포하는 백악기 복운모화강암의 관입 후 N40°W방향의 소위 지족천단층(추정)이 생성되었을 것으로 사료된다. 지족천을 단층으로 본다면 이와 평행하게 발달하는 단열들은 지족천단층의 발달과 관련되는 구조로 보여진다. 이와 예각으로 발달하는 N30°E의 단열군들은 지족천단층의 conjugate fracture set로 해석된다. 따라서, 지족천단층과 N30°E방향의 단열군들을 shear



fracturing의 결과로 가정하면, 이 두 방향의 구조선들을 이분하는 갑천과 맥암군의 NS방향은 최대수평주응력( $\sigma_1$ )방향에 해당된다. 이 방향을 따라서 발달하는 단열들은 extension 또는 tension fracture의 특성을 갖는 것으로 해석될 수 있다(Ronald, 1985). 따라서, 이들 단층 및 단열들은  $\sigma_1$ 방향으로 작용하는 응력에 수반되어 생성되었을 것으로 사료된다. 금번 조사결과만으로는 NS방향의 단열군들이 tension인지 extension fracture인지 현장에서 밝힐 수 없었지만 이 단열군들은 공히 구조적으로 약대(weak zone)를 이루는 특성을 갖는다. 이 후 백악기 말기에 우리나라 전역에 광범위하게 일어났던 화성작용은 이 약대들을 따라서 산성맥암을 관입시켰을 것으로 보인다. 이러한 일련의 지질구조적 운동의 결과로서 현재 유성지역 주변에 NS계열의 맥암군이 집중적으로 발달된 것으로 해석할 수 있다.

한편, EW방향의 구조선은 유성천의 방향으로 대표되는데, 이 방향과 평행한 단열은 화강암과 맥암에서 모두 발달하고 있으나 맥암군에서의 발달빈도가 상대적으로 적은 편이다. 이 구조선의 생성시기도 전술한 맥암류 관입 이전인 것으로 보인다.

이상과 같은 지질구조적 특성을 근거로 하여 기존 은천지구와 연구지역 내로 구조선을 연장시키므로써 분포 가능한 단열대를 추정할 수 있다(Fig. 5). 이들 구조선의 존재 및 함수성 여부에 대한 결론은 지구물리탐사 및 시추조사 등의 후속조사에 의해 실질적으로 규명되어야 하지만, 현재 취수되고 있는 은천공들의 배열, 주변지역의 선구조선 및 단열체계의 분포특성 등을 고려하면 잠재적 함수성 단열대로 추정할 수 있다. 지질구조적으로 함수성 단열대일 가능성이 있는 구조선으로는 N40°W의 지축천방향, NS방향의 맥암군 방향, 그리고 EW의 유성천방향의 구조선을 추정할 수 있다. N30°E 내외의 방향을 갖는 단열군들은 소규모로 발달된 shearing fracture일 가능성이 높기 때문에 상대적으로 함수대일 가능성이 희박한 것으로 판단된다.

Fig. 4. Stereographic pole plots of the fractures measured from the study area (lower hemisphere).

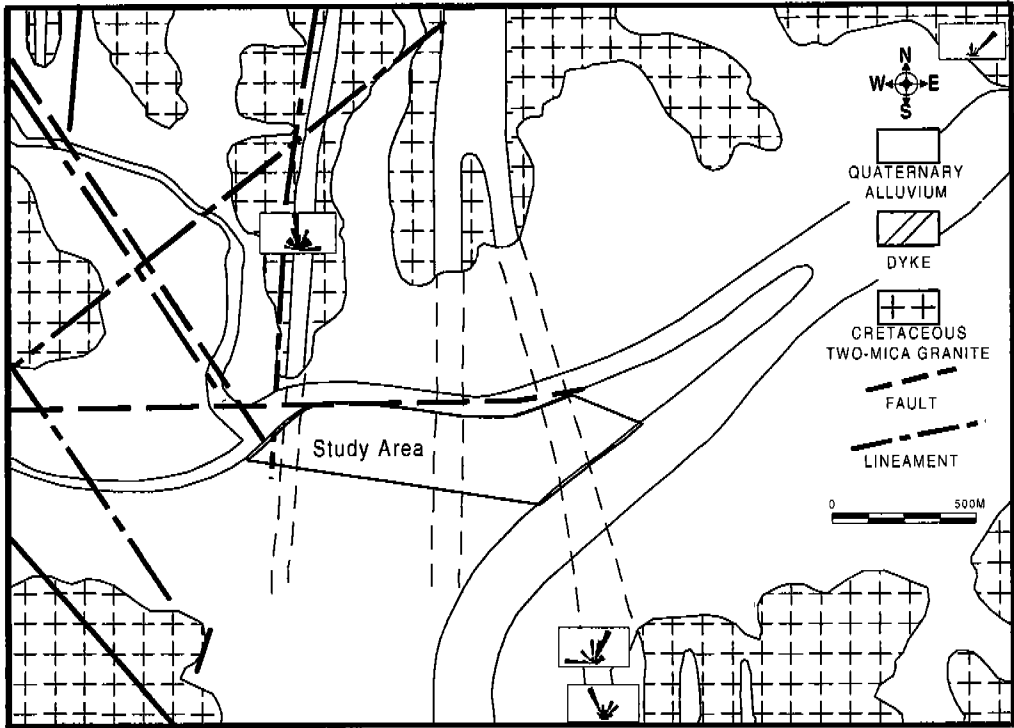


Fig. 5. Map of the geological structures around the study area.

## 지 온 분 포

### 지온측정 및 보정

지온측정은 계절적으로 지표면과 지하의 지온경사를 가장 잘 나타낼 수 있는 시기에 해당하는 겨울철에 실시하였으며, 측정일자는 장기간 비 또는 눈이 오지 않아 지하수위가 낮은 때를 선택하였다. 먼저 측정위치를 광과거리측정기를 이용하여 25m 간격으로 격자망을 구성하고 (Fig. 6), 지온측정을 위한 측정공을 간시추기를 이용하여 1.0m 깊이로 시추한 후 시추공을 밀봉하였다. 연구지역의 모든 시추공을 준비한 후, 하루 중 기온변화가 가장 적은 것으로 추정되는 이른 새벽부터 측정을 시작하였다. 지온측정은 측정공별로 지표면, 지하 0.5m 깊이, 지하 1.0m 깊이의 3점에서 디지털온도계를 이용하여 측정하였다. 각 측정에서 지온을 측정하는 동안 조사지역의 중앙부에 기점(base station)을 설정하고 매 30분마다 지온을 측정하여 보정자료로

이용하였다.

각 측정에서 측정된 지온을 심도별로 나타낸 결과 지표부근에서의 온도는 측정시각에 의하여 지배됨을 알 수 있었다. 측정시각에 따른 일변화 영향은 예상대로 지하로 갈수록 감소하여 지하 1.0m 깊이에서는 지온의 분포를 비교적 잘 나타내주고 있다. 그러나 지온경사를 구하기 위해서는 시간에 따른 온도보정이 필수적이다.

기점의 지표면, 지하 0.5m, 지하 1.0m에서 측정된 지온은 Fig. 7과 같다. 지표면에서의 온도는  $-3.2^{\circ}\text{C} \sim 1.9^{\circ}\text{C}$ , 지하 0.5m에서는  $1.9^{\circ}\text{C} \sim 4.0^{\circ}\text{C}$ , 지하 1.0m에서는  $4.7^{\circ}\text{C} \sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 의 온도변화를 보이고 있다. 지하 1.0m에서는 오전 9시경이 최저온도를 나타내어 모든 측정치를 1997년 1월 27일 오전 9시값으로 환산하였다.

### 지온 및 지온경사 분포

측정시각에 따른 일변화 보정을 실시한 후의 지온분포는 지표의 경우  $-3.7^{\circ}\text{C} \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ , 지하 0.5m의



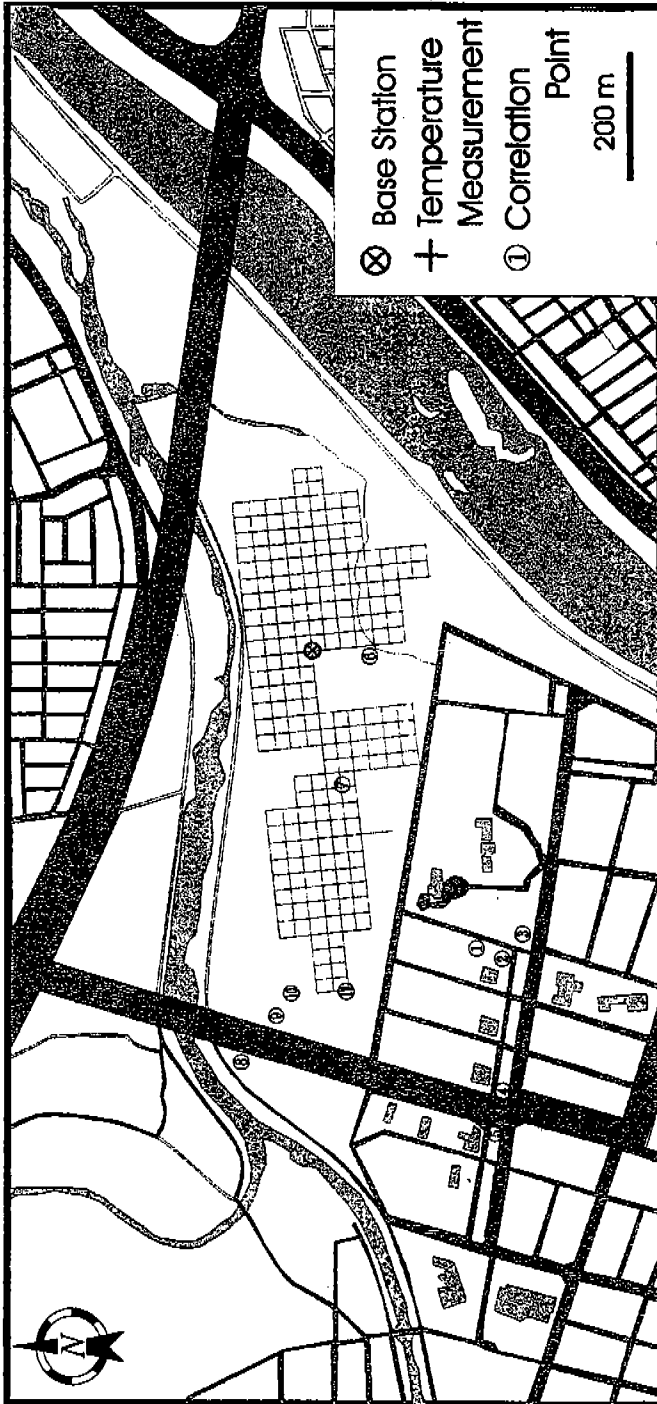


Fig. 6. Location map of the geothermal gradient prospecting.

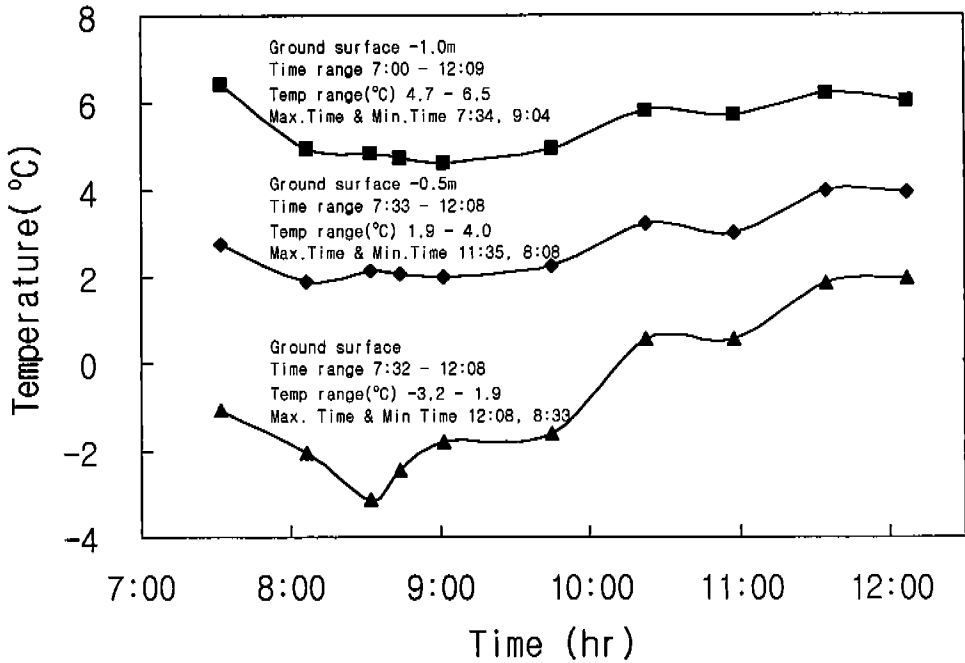


Fig. 7. Temperature variations in terms of the measuring depth and time at the base station.

경우 0.2°C~4.2°C, 지하 1.0m의 경우 4.3°C~7.7°C 범위의 온도분포를 보이고 있다(Fig. 8). 지하 0.5m 및 지하 1.0m에서의 온도분포는 전반적으로 연구지역의 동북부 지역이 서남부 지역보다 상대적으로 높은 경향을 보이고 있다. 특히 지하 1.0m에서의 온도분포를 보면 고온이상대가 N80°W 방향으로 발달된 경향을 보이고 있다.

지온경사는 지하 0.5m-지표면, 지하 1.0m-지하 0.5m, 지하 1.0m-지표면사이의 온도차를 구하여 등치선도를 작성하였다(Fig. 9). 측정구간이 지표부근인 관계로 기온변화에 의하여 지표면에서의 지온의 변화가 비교적 심하기 때문에 상기 세 종류의 지온경사 중 지하 1.0m-지하 0.5m사이의 지온경사(Fig. 9b)를 바탕으로 해석하였다.

지온경사가 가장 큰 곳은 (150m, -100m) 지점으로서 약 4.5°C/0.5m의 비정상적으로 높은 지하증온률을 보이고 있다. 이 지점은 기존의 유성온천지역에서 사용한 온수가 배출되는 작은 도랑과 가장 인접한 지역이기 때문에 정확한 해석을 내리기는 곤란하지만 다른 지점들에 비하여 지온경사가 높은 것으로 판단된다. 이 지점의 높은 지온경사는 북쪽

으로 연장되어 (100m, 100m) 지점에서도 4.5°C/0.5m의 높은 지온경사를 보이고 있다. 이는 이 부근을 북서-남동방향으로 지나는 관입암맥의 영향으로 판단된다.

또한 (-100m, -50m) 지점에서 3.3°C/0.5m의 높은 지온경사를 보이는데 이 역시 그 북쪽에 존재하는 관입암맥의 남쪽 연장선상에 있는 것으로 판단된다. 연구지역 서측경계부의 (-550m, 0m) 지점부근에서 3.7°C/0.5m 정도의 높은 지온경사를 보이고 있다. 높은 지온경사가 서쪽으로 더 연장되는지를 파악하기 위하여 1997년 3월 9일 측정된 결과 측정 ⑧은 지온경사가 0.1°C/0.5m, 측정 ⑨는 0.25°C/0.5m, 측정 ⑩은 0.2°C/0.5m, 측정 ⑪은 -0.05°C/0.5m이었다(Fig. 6 참조). 이러한 현상은 충남대부지의 서쪽 야산에 발달된 남북방향으로 달리는 암맥의 연장선상에 놓이는 것으로 해석된다. 여기서 지온경사가 음의 값이 나오는 것은 기온이 따뜻해져 지표의 온도가 상승하였기 때문이다. 즉, 지표면과 지하의 지온경사를 잘 나타낼 수 있는 겨울철에 측정된 값과는 직접적인 대비가 어렵지만 측정 ⑪에서의 1997년 1월 27일 09시 현재 지온경사가 3.5°C/0.5m 이

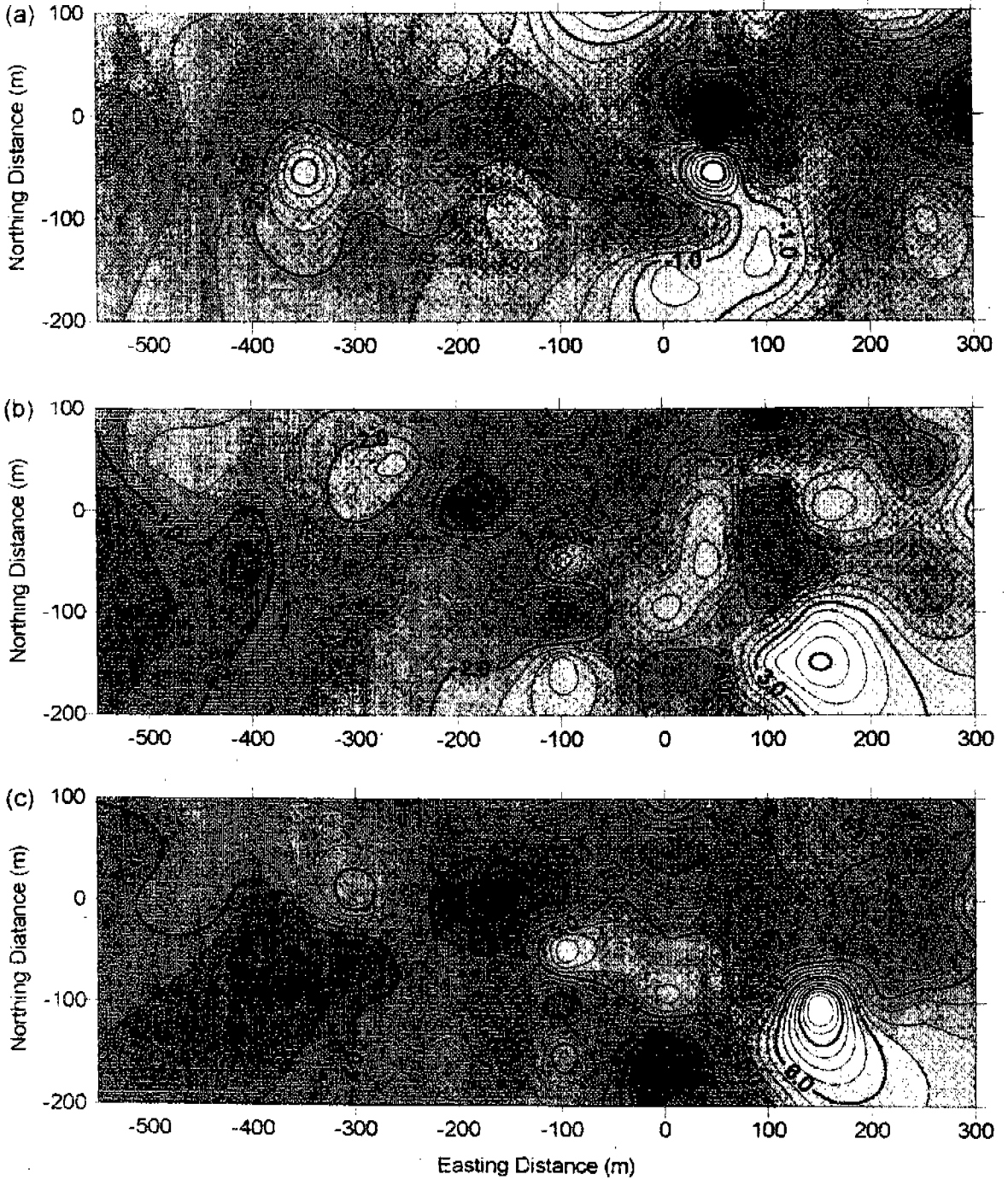


Fig. 8. Results of the geothermal gradient distribution corrected from daily fluctuation. (a) ground surface, (b) ground surface -0.5m, (c) ground surface -1.0m

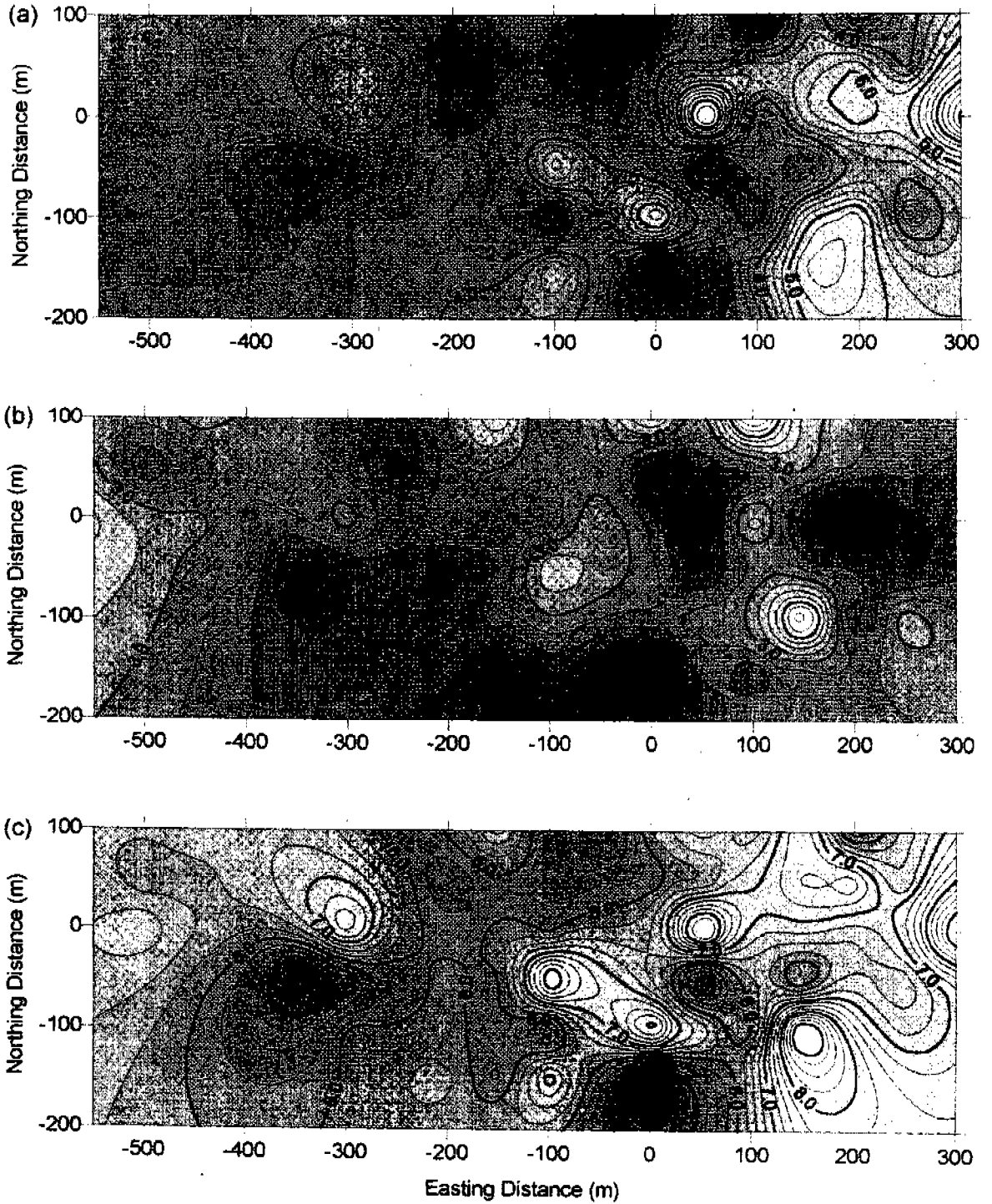


Fig. 9. Characteristics of the geothermal gradient distribution. (a)  $T_{0.5}-T_{0.0}$ , (b)  $T_{1.0}-T_{0.5}$ , (c)  $T_{1.0}-T_{0.0}$

있음을 감안할 때 측정 ⑨, ⑩은 이 보다 더 큰 지온경사를 갖는 것으로 해석된다.

연구지역의 온도 경사는 이상징후가 있는 곳에서 평균 3.5°C/0.5m의 높은 지온경사를 갖는 것으로 판단된다. 이와 같은 높은 지온경사는 측정기간이 겨울철이기 때문에 지표부근이 냉각되어 있기 때문으로 해석된다.

지온탐사 결과 밝혀진 세 곳의 지온경사 이상지역 중 동쪽과 중앙부의 이상지역은 야외지질조사 결과 밝혀진 연구지역 북부 관입암맥의 남쪽 연장선 상에 위치하는 것으로 판단된다. 그러므로 암맥은 지온경사 이상을 일으키는 주요 원인으로 고려해 볼 수 있다.

연구지역 인근의 국군휴양소 부근, 동아오피스텔, 흥인장 및 대온장 부근과 연구지역 내에 시추된 2호공과 3호공(화랑대연구소, 1993 : Fig. 6에서 각각 측정점 ⑥, ⑦)에서의 지온 경사를 측정하여 기 성공한 온천공의 깊이(40°C 온수 기준)와의 관계를 조사하였다(Table 2). 온천공의 수가 충분치 못하여 정확한 관계규명은 어렵지만 지온경사와 온천개발 성공실도는 일반적으로 지수함수적으로 반비례한다(Fig. 10). 연구지역의 지표 지온경사 ( $T_{1.0}-T_{0.5}$ ) 분포가 3.5°C/0.5m 정도이므로 이를 Fig. 10의 그래프에 적용하면 약 170~200m 깊이에서 온천수가 확보될 것으로 추정된다.

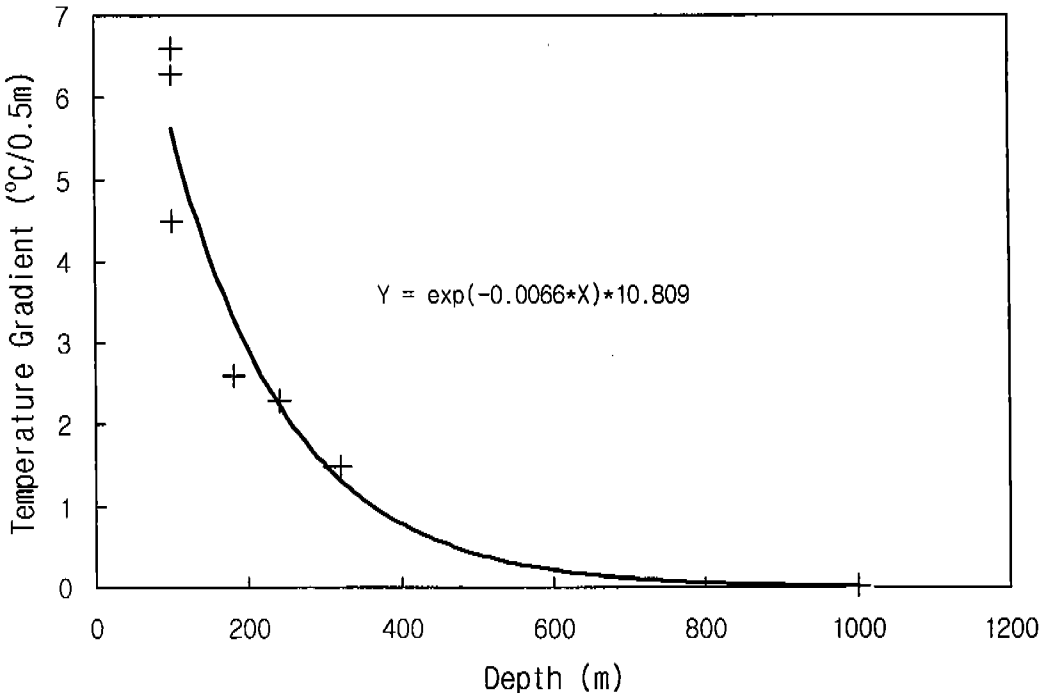


Fig. 10. Relationship between the potential hot aquifer depth and the geothermal gradient at ground surface.

Table 2. Geothermal gradient at the ground surface versus well depth that ensures over 40°C geothermal water in the Yusong area (See Fig. 6).

측점	위 치	시추깊이(m) (40°C 도달)	지온경사(°C/0.5m) 97.1.27 09:00 현재	비 고
1	국군휴양소 주변	100	6.3	
2	국군휴양소 주변	100	4.5	
3	국군휴양소 주변	100	6.6	
4	홍인장앞 정원	300 - 325	1.5	
5	대은장앞 정원	320	1.5	
6	연구지역내 2호공	180	2.6	(화랑대연구소, 1993)
7	연구지역내 3호공	240	2.3	(화랑대연구소, 1993)
8	비온천지구(추정)	1000	0.015	추 정

### 유성온천의 부존특성

현재까지 알려진 바로는 유성지역을 포함하여 우리나라의 대부분 온천수가 지하수의 유입에 의하여 생성된다. 따라서 온천수의 생성조건은 지하수와 열원으로 나뉘어지며 열원이 있는 곳에 지하수가 유입되어 일정한 온도 이상이 되면 온천수가 된다. 이상 두가지 온천 형성요인과 관련하여 기존 유성온천지역을 포함하는 연구지역의 특징은 다음과 같다.

이 지역에 지하수가 충전될 수 있는 여건은 세가지 사실이 만족되기 때문이다. 첫째, 유성집수역의 유출구에 위치한다. 지형에서 설명한 바와 같이 유성집수역에 집수된 지하수, 표층수, 하천수가 유출되는 길목에 연구지역이 위치하고 있기 때문에 풍부한 지하수를 기대할 수 있다. 둘째, 2개조의 단층이 교차하는 곳이다. 지질구조에서 설명한 바와 같이 이 지역은 EW의 단층(유성온천-삼재)과 N40°W의 단층(유성온천-용담리)이 연구지역의 서측, 즉, 지족천과 유성천이 만나는 곳에서 교차한다. 따라서 이 지역은 특히 지하수의 부존이 양호할 것으로 기대되는 곳이다. 셋째, 암맥과 단층이 교차하는 곳이다. 연구지역 주변 지질구조도(Fig. 5)에서 밝힌 바와 같이 이 지역은 단층과 3개조의 맥암이 교차한다. 일반적으로 맥암은 치밀 견고하기 때문에 지표 가까이에서 용력방출이나 단층활동에 의해 모

암인 중립 내지 조립질 복운모화강암보다 파쇄될 가능성이 더 크다. 이것은 기존 유성온천 개발공의 시추 결과, 시추공이 암맥을 통과할 때 많은 지하수가 확보되는 것으로 보아 암맥이 지하수저류체의 역할을 하고 있는 것으로 보인다. 따라서 동일한 단층이 지나갈 경우 암맥을 통과하는 위치가 지하수를 풍부히 저장할 수 있으며, 연구지역은 이상 세가지 사실을 만족하는 곳이라 할 수 있다.

유성지역의 열원은 정확히 원인이 밝혀진 바는 없으나, 현재까지 전국적으로 화강암체에서 개발된 80여개의 소위 균열성 온천(임정웅, 1997)의 부류에 속하고, 확실한 것은 열원이 지표가까이에 존재하는 점이다. 그 증거는 과거 유성지역 온천개발 사례를 탐문해 보면 대략 100m 내외에서 모두 40°C 내외의 온천수를 개발한 예로 알 수 있다. 최근에 여타 지역에서 행하고 있는 온천개발은 지하자연증온물(1°C/25~30m)에 의존하여 심도 1,000m 내외의 파쇄대까지 굴진하는 경향(소위 심부지하수형 온천 : 임정웅, 1995)이 있으나 유성지역은 그 점에 있어서는 예외이다. 다만, 온도점층 결과(화랑대연구소, 1993)에 의하면 적정 온천개발심도는 그동안의 장기 채수에 따른 지하수위 강하와 천부지하수의 유입 등에 기인하여 심도 200m 내외로 하향되고 있는 추세이다.

유성지역의 경우 비교적 지표가까이에 온천수가 부존하는 현상에 대하여는 학자에 따라서 여러 가지 가능성이 제기될 수 있을 것이다. 금번 연구의

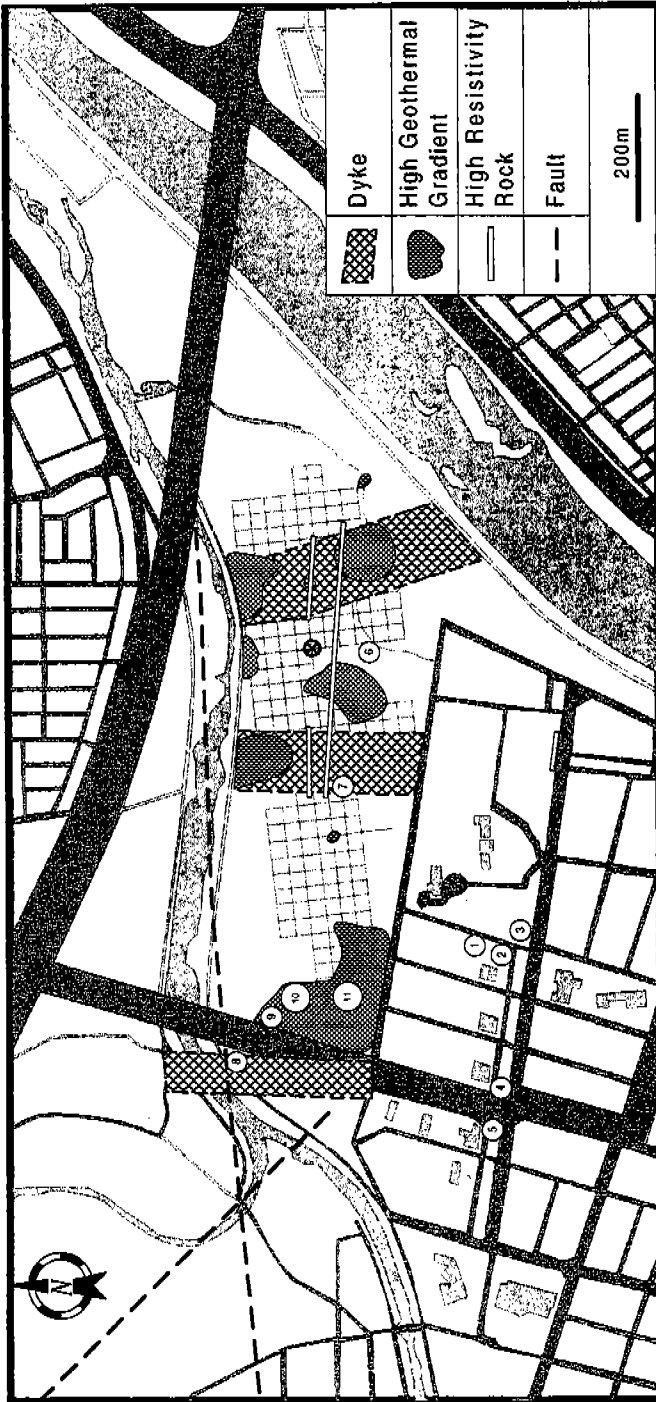


Fig. 11. Proposed locations for the development of hot water resources in the study area.

결과만으로는 지온이상대와 이 지역에 밀집되어 있는 맥암류와의 관계를 우선적으로 고려하여 검토해보고자 한다. 지표가까이에 열원이 존재하고 동시에 암맥의 위치와 지온이상대가 상관관계를 갖는다는 현상은 다음과 같이 설명될 수 있을 것이다. 첫째, 모암에 비해 파쇄정도가 심한 것으로 보이는 맥암류는 심부까지 강수가 함양되어 온도가 상승된 지하수가 압력상승으로 인하여 지표쪽으로 순환하는 주요 통로가 될 가능성이 높다. 즉, 맥암류가 파쇄되고 이러한 파쇄대가 심부순환하는 지하수의 주요 통로가 될 경우 이 부근에서 수온이 높아지며, 지온이상대도 이로써 설명 가능하다(이장근, 1998). 또 다른 가능성으로는 복운모화강암에 관입한 세립질 내지 미정질 맥암은 백악기 화강암이 분포되어 있는 다른 지역과 마찬가지로 열원이 지하심부에 존재한다 해도 양호한 열전도체로 작용하여 지표가까이 까지 열을 전달할 수도 있을 것으로 생각된다. 맥암에 의한 열전도 가능성은 지표로부터 300m 이내에서 채수되는 온천지역(예; 마금산, 부곡, 동래, 수안보 온천지역)에 공통적으로 수 많은 맥암류가 관입되어 있다는데서 생각해 볼 수 있다. 이러한 가능성을 뒷받침 해주는 것은 연구지역에서 실시한 지온측정의 이상대와 이 지역을 통과하는 암맥의 위치가 일치하는 점이다(Fig. 11).

정리하면, 유성온천의 부존특성은 강수가 지하로 함양되어 비교적 긴 유동시간을 가지고 심부 열원의 전달에 의해 가열된 단순가열성 온천인 것으로 사료된다. 따라서 유성지역은 지하증온물에 의한 열원이 아니라 지표부근 열이상대의 형성에 의한 것이기 때문에 겨울철에 지표부근에서 지온을 측정할 경우에 온도차를 충분히 감지할 수 있으며, 이 온도차는 유성온천 지역을 벗어난 지역과 비교할 때 4~6℃에 달한다. 온도차가 평균 6℃일 때 약 100m 깊이에서 온천수를 확인할 수 있으며 온도차가 전혀 없을 때는 지하증온물에 의한 것으로 판단해서 온천수 부존 깊이와의 상관관계를 생각할 수 있다 (Fig. 10).

## 토의 및 결론

연구지역에서 온천수 형성과 관련된 요인은 단층과 암맥의 분포이며, 이것은 DEM자료, 물리탐사

자료 및 지온측정자료로서 뒷받침되고 있다.

EW 예상 단층선은 본 지역의 북부를 스쳐 지나가며 N40°W 예상 단층선은 본 지역의 서측에서 EW의 것과 교차한다. 이러한 예상 단층의 위치는 DEM자료, 물리탐사자료와 지온측정의 결과에서 잘 반영된다. 즉, 물탐결과(농어촌진흥공사 충남지사, 1997)는 연구지역의 동측에서 서측(단층의 교차지점)으로 갈수록 비저항값이 낮아지며, 남부에서 북부로 갈수록 비저항값은 낮아진다. 지온측정값은 측정 시각에 따른 오차를 보정한 후의 지온분포가 지표의 경우 -3.7~0.2℃, 지하 0.5m의 경우 0.2~4.2℃, 지하 1.0m의 경우 4.3~7.7℃의 범위를 갖는다. 이와 같이 연구지역의 모든 지점에서 지하 1.0m의 깊이의 온도가 0.5m 깊이에서의 온도보다 높다. 그러나 위에 소개한 두 단층의 교차지점 부근인 연구지역 서측의 암맥에서는 유일하게 온도차가 그 반대이다. 이는 풍부한 지하수의 충전에 의한 영향이거나 지온차가 뚜렷하지 않은 시기에 측정하였기 때문인 것으로 해석된다.

지표지질조사와 물리탐사를 통하여 확인된 3개 조의 암맥이 연구지역에 관입되어 있는 것으로 판단된다. 지온측정 결과 지온 이상대와 암맥의 위치는 서로 일치하며 (온도차 3℃ 이상), 온도차 2.5℃ 이상의 이상대는 연구지역 내에서 N80°W의 방향으로 형성되어 있다. 이 방향은 대정15년(1926)에 군인휴양소 내에서 시추한 온천공 11개의 배열방향과 일치하며, 이 지역의 단층선의 방향과도 거의 평행하다. 앞에서 설명한 바와 같이 암맥이 화강암체의 심부로부터 데워진 지하수의 주요 유동로 혹은 저류체 역할을 하거나 열원을 지표가까이 까지 전달시키는 전도체의 역할을 하는 것으로 생각할 때 지온 이상대와 암맥의 위치가 일치됨은 필연적인 결과로 간주된다.

암맥의 경사는 지질도에 표시한 바와 같이 암맥의 직선적인 분포나 물리탐사자료 해석으로 부터 거의 수직인 것으로 판단된다.

화랑대연구소(1988, 1993)의 조사에 의하면 연구지역 내에서 방사선 강도가 비교적 낮은 3개 지점(109cps 이하)을 선정하여 시추를 하였다. 3개 지점을 연결하는 방향은 N80°W로서 지온측정에 의한 이상대와 거의 평행하나 약 50m 가량 남쪽에 해당된다. 야외에서 확인한 바에 의하면 3개 시추지점



중 1, 3호공은 이 지역에 분포한 암맥내에 있으나, 2호공은 50m 이상 거리가 있다. 깊이에 따른 공내 지온측정 결과 450m심도에서 1, 3호공의 온도는 각각 36.6℃와 47℃를, 2호공은 260m심도에서 26℃를 보이며, 양수시험 결과는 1, 2, 3호공에서 각각 300 m<sup>3</sup>/일, 886m<sup>3</sup>/일, 450m<sup>3</sup>/일이다. 공내 지온측정 결과와 시추주상도를 비교할 때 1호공에서는 맥암이 165m~188m에서 잡히는데 지온은 150m~185m에서 급등하며, 3호공에서는 95m~110m에서 맥암이 잡히는데 지온은 100m부터 급등함을 보인다. 이러한 사실은 온천수를 가열시킨 열원과 암맥과의 밀접한 관련성을 재 확인시켜 주는 것이다.

앞으로 이 지역에 대하여 더욱 명확히 파악하여야 할 점은 물리탐사를 이용한 암맥의 경사와 EW 방향 단층선의 위치 및 경사의 확인이다. 그러나 현재까지 알려진 자료로서 온천수 부존 가능 위치를 지적하면 온도 이상대와 암맥이 만나는 세 곳을 들 수 있으며(Fig. 11), 이들 지역에서 40℃ 이상의 온천수를 확보할 수 있는 깊이는 170~200m로 추정된다.

## 사 사

본 논문은 1996년도 교육부 학술조성연구비 (과제번호 BSRI 96-5418)에 의하여 수행되었음을 밝힌다. 연구지역에 대한 물탐자료를 제공한 농어촌진흥공사에 감사드린다.

## 참 고 문 헌

- 농어촌진흥공사 충남지사, 1997, Personal communication.
- 박희인, 정지곤, 이준동, 1977, 한국지질도-유성도 폭, 자원개발연구소.
- 이강근, 1998, Personal communication.
- 임정웅, 1997, 신규개발 온천의 특성, 21세기 지하수환경과 환경 국제학술심포지움, 한국자원연구소.
- 임정웅, 1995, 한국의 지열분포와 온천의 특성, 21세기 지하수환경과 환경 학술심포지움, 한국자원연구소, 한국지하수자원보존협의회.
- 한국동력자원연구소, 1982, 수리지질도 설명서 - 대전북부(갑천유역).
- 한국동력자원연구소, 1982, 응용지질도 - 대전북부.
- 한국자원연구소, 1995, 한국 심성암 동위원소연대 지도.
- 화랑대연구소, 1993, 유성온천 확대예정지구 조사결과 보고서, 대전광역시 유성구청, 48p.
- 화랑대연구소, 1988, 유성온천지구 외곽지역의 온천부존가능 조사연구, 대전시, 205p.
- Ronald A.N., 1985, Geologic analysis of naturally fractured reservoir, Gulf Pub. Com.
- 
- 정지곤, 황형중  
충남대학교 자연과학대학 지질학과  
대전광역시 유성구 궁동 220  
TEL : (042) 821-6424  
FAX : (042) 822-9690
- 서만철  
공주대학교 지질환경과학과  
충남 공주시 신관동 182  
TEL : (0416) 50-8512  
FAX : (0416) 50-8479  
e-mail : suh@geophysics.kongju.ac.kr
- 김경수  
한국원자력연구소 심부지질환경특성연구분야  
대전광역시 유성구 덕진동 150  
TEL : (042) 868-2030  
FAX : (042) 868-2063  
Homepage : <http://www.kaeri.re.kr/geoenv>  
e-mail : kskim@nanum.kaeri.re.kr/  
kaeri13@chollian.net