

## 유성지구 지열수자원의 산출 및 수위변동 특성

문상호\* · 하규철 · 김영식 · 조성현

한국지질자원연구원 지하수지열연구부

## Characteristics of Water Levels and Occurrences of Thermal Groundwater at the Yuseong Spa Area

Sang Ho Moon\*, Kyoochul Ha, Yungsik Kim and Sung-Hyeon Cho

Groundwater and Geothermal Resources Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

Water levels of thermal groundwater ( $>30^{\circ}\text{C}$ ) were recorded from March 2002 to June 2006 at several monitoring wells within the Yuseong spa area. Using these data, we elucidated the long-term cyclic fluctuations of thermal groundwater levels with 1 year period. We also observed a noticeable water level variation with periods of 0.5, 1 and 7 days in most monitoring wells, which indicates relatively good hydraulic connectivity within the main hotspring area. By comparing water level variations among several wells, we found out that E-W and N-S trending geological structures should be an important control factor for emplacement and flow of thermal groundwater in the study area. It may be also inferred that geothermal source is highly associated with the hydraulic connectivity of aquifers at the Yuseong spa area.

**Key words :** Yuseong, thermal groundwater, water level variation, cyclic fluctuation, hydraulic connectivity

유성지구 지열수의 산출 특성 및 수위적 연결성을 파악하기 위하여 2002년 3월부터 2005년 6월까지 장기 수위 관측을 실시하였다. 관측된 수위 자료를 이용하여 수위변동 주기 분석을 실시한 결과, 대부분의 관측공에서 0.5일, 1일, 7일 주기성이 확인되었다. 7일 주기성은 온천지대에서의 독특한 양수 행태로 인해 발생되는 인위적 현상으로서, 연구 지역내 관측공들의 수리적 연결성이 양호한 것을 반영하였다. 수위 영향 관계를 분석한 결과, E-W 방향성과 N-S 방향성의 지질구조가 지열수 저류체의 발달 및 지열수 유동에 중요한 규제 요소로 작용되고 있음이 확인되었다. 전반적으로 지열수의 열원과 대수층의 수리적 연결성과는 상호 연관성이 있을 것으로 해석된다.

**주요어 :** 유성, 지열수, 수위변동, 주기적 변동, 수리적 연결성

### 1. 서 언

유성온천은 1917년에 온천이 발견된 이후로 현재까지 40개 이상의 온천공이 개발·활용되어 왔으며, 국내 유수의 온천휴양지를 대변하듯이 온천의 산출 특성 및 지질 관련 조사·연구가 많이 수행되어 왔다. 유성지구 온천 및 지열수의 산출 특성과 관련된 조사·연구로는 내무부(1983), 충남(1988), 임정웅 외(1990), 유성구 온천개발사업소(1997), 김전영 외(2000), 문상호 외(2001b, 2002, 2003, 2004, 2005) 등이 있으며, 유

성온천지구 주변의 지질 관련 연구·보고로는 박희인 외(1977), 한국동력자원연구소(1982), 건설교통부 외(2004) 등이 있다. 이 외에도 화랑대연구소(1988, 1993), 유성구 온천개발사업소(1997), 정지곤 외(1997) 등은 지온 및 물리탐사 자료를 활용하여 유성온천 대수층의 발달 특성 및 이와 관련된 지질구조를 추정하기도 하였다.

이와 같이, 국내 여타 온천지구에 비하여 유성온천지구에 대하여는 지열수의 산출 특성, 지질 및 지질구조 등과 관련하여 비교적 많은 조사·연구 결과가 보

\*Corresponding author: msh@kigam.re.kr

고되어 왔으나, 아직까지 수위변동 양상을 고려한 수리지질학적 연결성(hydrogeological connectivity) 및 대수층 특성에 대하여는 연구가 미흡하다. 본 연구에서는 유성온천지구 지열수 대수층의 수리지질학적 산출 특성을 검토하기 위하여 다수의 온천공을 대상으로 3~5년간 장기적인 수위변동 양상을 관측하였으며, 이 관측 결과를 이용하여 수위변동 주기 분석, 수위 영향 관계 분석 등을 실시하였다. 또한 지질 및 지질구조, 선구조 분석, 수리지질학적 특성 분석 결과를 종합하여 유성온천지구에서의 지열수 저류체의 산출 특성에 관하여 논의하였다.

## 2. 지질 및 지질구조

연구지역인 유성온천 부근의 지질은 쥐라기 복운모 화강암, 백악기 석영반암 그리고 제4기 충적층으로 구성되어 있다. 유성온천지구의 위치는 진잠천, 유성천, 반석천이 갑천에 합류되는 지점으로서 유성 집수구역의 배출구 가까이에 위치하며(Fig. 1), 이러한 합류 지

점 주변에는 다수의 맥암류들이 산출하고 있다. 특히, 유성온천지구 북측에는 3개조의 석영반암맥이 발달하며, 이들 중 1개조의 암맥이 온천지구 중앙부를 NS 방향으로 통과하여 남쪽으로 연장될 것으로 추정하였다(정지곤 외, 1997). 실제로 화랑대연구소(1988, 1993)의 시추 자료에 의하면, 온천지구내에는 다수의 암맥이 산출하고 있다. 대전지역에서 산출되는 맥암류들은 절리의 발생 빈도가 높을 뿐 아니라 신장성 단열 계로 판단되므로 지하수 및 지열수 부존 및 유동에 중요한 역할을 하는 함수성 단열대로 추정하였다(건설교통부 외, 2004). 또한, 정지곤 외(1997)는 연구지역에서의 지온 이상대가 맥암류의 위치와 매우 밀접한 상관관계를 보인다고 보고하였으며, 이로 보아 맥암이 지열수의 열원 혹은 열전도 통로로서 중요한 역할을 할 것으로 추정하였다.

대전지역에서 나타나는 리니어먼트들은 N20°-30°W, N10°-20°W, N20°-30°E, N50°-60°E, NS~N10°E 등의 방향성을 보인다(건설교통부 외, 2004). 전반적으로 북북서 방향(N20°-30°W)의 리니어먼트들은 연장은 짧지만 다수 분포하는 반면에, 북북동 방향(N20°-30°E)의 리니어먼트들은 소수이지만 연장성이 매우 좋게 나타난다. 남-북 방향성(NS~N10°E)의 리니어먼트는 드물지만 평균 길이가 가장 길게 나타난다. 연구지역 주변의 리니어먼트로서 대표적인 것은 공주시 반포면 학봉리 부근-삽재-유성구 봉명동(연구지역 인근 북측)-서구 둔산동-대덕구 용전동으로 연장되는 것이 있으며, 이는 총 연장 길이 약 16 km로서 동-서 방향으로 뚜렷한 방향성을 보이는 리니어먼트이다(Fig. 1). 이 리니어먼트는 물리탐사 자료(유성구 온천개발사업소, 1997), 지온 측정 자료(정지곤 외, 1997), DEM 자료(문상호 외, 2005) 등으로 추정해 볼 때 단층 등의 지질구조일 것으로 판단된다. 그러나 이 리니어먼트의 동측 연장선 부근 즉 유성온천지구 부근에는 충적층이 넓게 분포하고 있어 야외에서의 지질구조 확인이 어렵다. 연구지역에서 나타나는 또 다른 리니어먼트로는 유성구 장대동에서 조치원쪽으로 발달하는 N40°W 방향의 것이 있으나, 이 리니어먼트 역시 분포 지역에 충적층이 넓게 발달하여 단층 등 지질구조의 증거를 확인하기는 힘들다. 이밖에도 대덕구와의 경계인 갑천을 따라 발달하는 것 등 유성구에서 연장성이 비교적 좋은 남-북 방향의 리니어먼트들이 관찰된다. 연구지역은 이들 3개 리니어먼트가 교차하는 지점 부근에 위치한다.

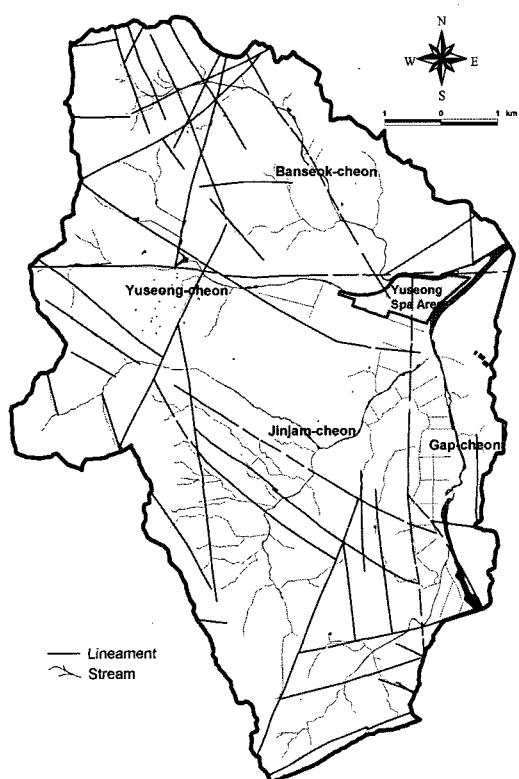
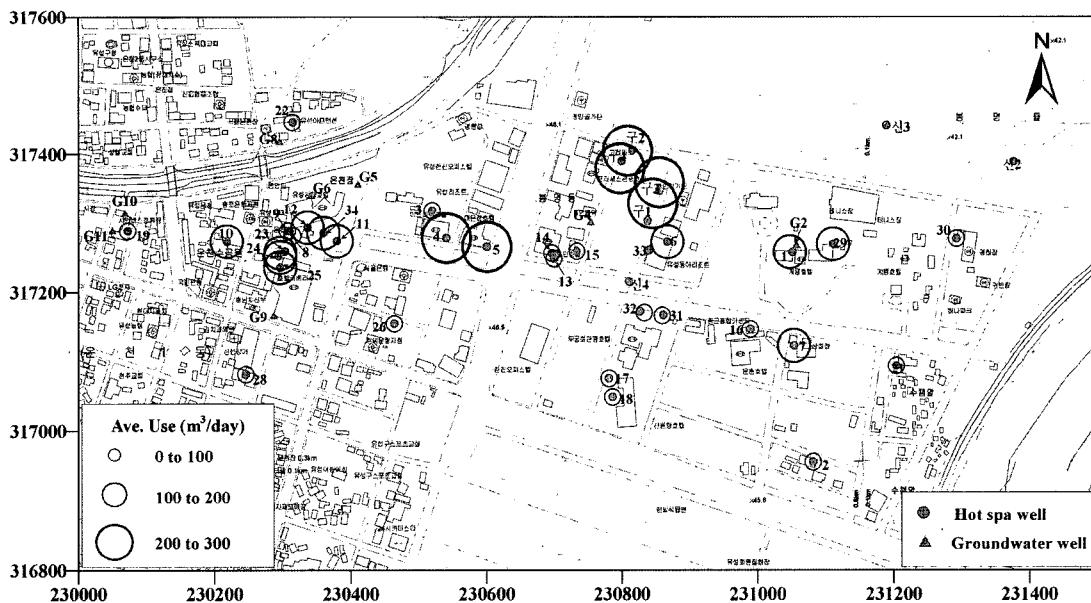


Fig. 1. Location map of the study area showing the stream and lineament distribution.



**Fig. 2.** Location of identified hotspring and groundwater wells at the Yuseong spa area. Open circles indicate the average values of daily geothermal water use.

### 3. 지열수자원의 이용 특성

유성온천은 1920년대에 현 유성호텔(온천지구 서측)의 구관 자리에서 자연 용출하는 온천을 개발한 것이 최초인 것으로 알려져 있다. 1925년에는 군인휴양소(온천지구 동측), 1932년 이후에는 지금의 리베라 호텔(유성호텔 남측) 자리인 만년장에서 온천이 발견되었다는 기록이 있다(내무부, 1983). 이와 같은 초기 온천 개발 지점은 아직도 유성지구내 지열수 대수총의 중심 대를 이루고 있다. 유성온천은 1981년 9월 22일에 온천지구(개발면적 574,000 m<sup>2</sup>)로 지정되었고, 1993년에는 범위가 북동쪽으로 확대됨으로써 총 면적 934,045 m<sup>2</sup>(282,550평)의 온천지구가 되었다. 유성지구에서의 지열수자원은 현재 모두 온천수로 활용되고 있으나, 온

천수 이용 허가량에 비해 실제 이용량은 해마다 감소되어 가는 추세로서 향후 지열수자원의 다양한 활용을 모색해야 할 시점에 있다.

내무부(1983) 자료에 의하면, 유성지구에는 1980년 대에 이미 심도 100~350 m 범위의 온천공 31개가 개발되었으며, 이중 24개의 활용공 심도가 대부분 300m 내외로서 현재까지도 이 심도를 유지하고 있다. 1980년대 당시의 1일 채수량은 6,150 m<sup>3</sup>/일, 용출온도는 26~53°C 범위로 기록되었다. 따라서, 연구지역에서는 350 m 이내의 비교적 얕은 심도에서 50°C 이상의 지열수 산출이 가능한 것이다. 유성온천지구내에서 현재 위치가 확인되는 온천공은 모두 41개(개인 소유공 33개, 공영개발공 8개)이며(Fig. 2), 이중 사용하고 있는 것은 약 34개(개인 31개, 공영 3개) 정도로 파악된

**Table 1.** Variations in annual use of thermal groundwater resources in the Yuseong spa area from 1990 to 2005 (unit: m<sup>3</sup>/day)

year	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
private	1,167,378	1,210,405	1,352,927	1,927,975	1,799,298	1,379,960	1,296,372	1,261,795
municipal	-	-	-	4,840	101,125	152,086	198,206	304,640
sum	1,167,378	1,210,405	1,352,927	1,927,975	1,900,423	1,532,046	1,494,578	1,566,435
year	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
private	927,381	973,995	1,101,087	984,727	983,499	795,078	710,571	452,241
municipal	320,117	403,674	427,007	405,971	378,931	324,400	255,976	229,359
sum	1,247,498	1,377,669	1,528,094	1,390,698	1,362,430	1,119,478	966,547	681,600

\*data from Yuseong-gu office

다. 2005년 현재 개인 소유공의 온천수 총 이용허가량은  $8,971 \text{ m}^3/\text{일}$ 이며, 온천수 용출온도는  $27\sim58^\circ\text{C}$ 의 범위이다. 용출온도  $50^\circ\text{C}$  이상의 온천공은 초기에 개발된 리베라호텔, 유성관광호텔, 계룡스파텔(군인휴양소)에 위치하며, 용출온도  $40\sim50^\circ\text{C}$  범위의 온천공은 리베라 호텔, 유성관광호텔, 아드리아 호텔, 대온장, 유성파크 등에 위치함으로써 고온의 지열수 산출이 주로 동-서 방향의 땅 모양을 이루고 있다. 공영 개발 온천공은 유성구 온천개발사업소에서 1991년 이후 공동급수 용으로 개발한 것으로, 8개 개발공 중 현재 4개공만 활용되고 있으며 37개 업소에 온천수를 공급하고 있다.

공영 개발공의 굴착 심도는 215~450 m 범위, 용출온도는  $41.5\sim57^\circ\text{C}$  범위, 전체 허가량은  $2,150 \text{ m}^3/\text{일}$ 이다.

Table 1은 1990년 이후 2005년까지 16년간의 온천수 사용량을 정리한 것이다. 개인 소유공의 온천수 사용량은 1993년도에 급증하였으나 이후 서서히 감소하는 추세를 보였다. 1998년과 1999년도에는 외환위기의 여파로 온천수 사용량이  $1,000,000 \text{ m}^3/\text{년}$  이하로 급감하였으며 2000년도 이후 지속적으로 감소하였다. 공영개발 온천공은 1993년 이후 2000년까지 지속적으로 온천수 사용량이 증가하다가 2001년 이후로는 개인 소유공의 경우와 마찬가지로 온천수 사용량이 감소하는 추세를 보

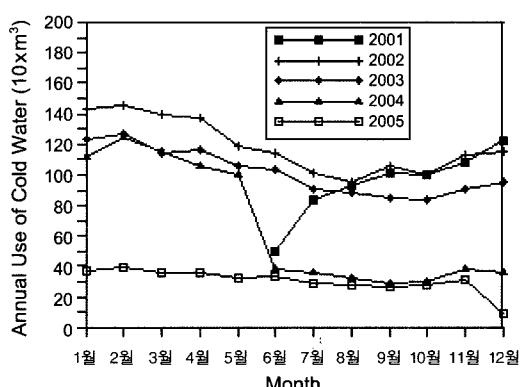
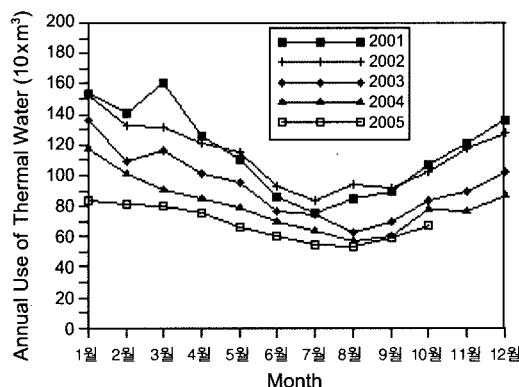


Fig. 3. Monthly variation trend of thermal and cold groundwater use at the Yuseong spa area.

Table 2. Comparison of annual use of geothermal water resources among several companies at the Yuseong spa area  
(unit:  $\text{m}^3/\text{day}$ )

company	2001	2002	2003	2004	2005
municipal	405,971	378,931	324,400	255,976	229,359
Liviera Hotel	160,703	194,480	81,988	49,676	0
Yuseong Hotel	233,334	214,612	202,495	200,948	139,404
Daeonjang	155,493	162,299	147,504	148,771	110,951
Gyeryong Spatel	122,151	138,334	138,435	138,845	92,208
Kyunghajang	19,826	25,020	20,876	11,244	8,112
Hong-in Hotel	103,730	45,690	40,989	44,115	30,752
Adria Hotel	19,733	13,301	8,083	7,453	4,432
Shinseongjang	9,398	24,802	13,587	0	0
Samhwajang	1,593	1,055	1,683	1,067	659
Bulrhajang	16,554	14,328	12,259	13,058	8,025
Yuseong Park	30,724	27,467	23,762	5,758	0
Sangajang	17,746	13,647	11,120	11,563	2,142
Chungsujang	1,080	969	330	216	160
Dongajang	3,559	5,103	2,206	1,779	642
Yujinjang	62,192	55,890	54,939	56,420	48,932
Dong-a Officetel	26,911	39,096	28,533	13,609	0
New Seoul Weontang	0	7,406	6,289	6,049	5,822
sum	1,391,063	1,362,796	1,119,843	966,912	681,904

\*data of 2005 comprises only Jan. to Oct. (data from Yuseong-gu office)

였다. 유성온천지구내 온천수 일일 이용 허가량은 총 11,121 m<sup>3</sup>에 달하지만, 실제로 개인과 공영 모두를 포함한 일평균 온천수 이용량이 2001년에 3,810 m<sup>3</sup>/일, 2002년에 3,732 m<sup>3</sup>/일, 2003년에 3,067 m<sup>3</sup>/일, 2004년에 2,648 m<sup>3</sup>/일, 2005년에 2,242 m<sup>3</sup>/일(10월까지의 자료)로서 매년 이용허가량의 35% 이내이며 점차적으로 감소되는 추세를 보이고 있다. 이러한 온천수 사용량 감소 추세는 유성지구내 지하수 및 지열수의 전반적인 수위 상승 유발 요인이 되고 있다(문상호 외, 2005).

Fig. 3는 2001년 이후 유성온천지구에서의 월별·연도별 온천수 및 지하수 이용량 추이를 나타낸 것이다. 온천수 사용량은 전반적으로 7~8월에 가장 적었으며 이후부터 1월까지는 사용량이 점진적으로 증가하다가 1월부터 7~8월까지 다시 사용량이 감소하는 경향을 보였다. 지하수 사용의 전반적인 양상도 온천수와 유사하나 최근 들어 지하수는 10월경까지도 사용량이 감소되는 경향을 보였다. 이와 같은 월별 온천수 및 지하수 사용량 변화양상은 온천지구내 지열수 및 지하수의 1년 주기 수위변동 양상에 직접적인 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

2001년도의 연간 온천수 이용량 100,000 m<sup>3</sup> 이상인 업소는 리베라호텔, 유성관광호텔, 흥인호텔, 대온장, 계룡스파텔, 유성구 온천개발사업소 등으로서, 각각 160,703 m<sup>3</sup>, 233,334 m<sup>3</sup>, 103,733 m<sup>3</sup>, 155,493 m<sup>3</sup>, 122,151 m<sup>3</sup>, 405,971 m<sup>3</sup>의 이용량을 보였다(Table 2). 2001년도부터 2005년까지 업소별로 온천수 이용량을 보면, 공영 개발공의 온천수 이용량이 가장 많았으며 개인 업소로는 유성관광호텔, 리베라호텔과 대온장의 이용량이 가장 많았다(Fig. 2). 연간 온천수 이용량이 10,000~100,000 m<sup>3</sup>인 업소는 경하장, 아드리아호텔, 블로장, 유성파크, 상아장, 유진호텔, 동아오피스텔 등이며, 연간 온천수 이용량이 10,000 m<sup>3</sup> 미만인 업소는 신성장, 삼화장, 청수장, 동아장 등이다. 무궁화관광호텔과 운천관광호텔은 온천수의 사용이 없었다. 이와 같이 유성관광호텔·리베라호텔·대온장·공영개발공·계룡스파텔 등 온천수 사용량이 많은 온천공들의 위치가 동서 방향으로 일직선으로 분포하는 것은 이 지역의 지열수 대수층 발달이 동서 방향의 지질학적 구조와 관련되기 때문으로 이해된다.

#### 4. 수위변동 특성 분석

##### 4.1. 장기 수위변동 특성

Fig. 4는 2002년 3월부터 2005년 6월까지 유성호텔

(Fig. 1의 No. 11), 아드리아호텔(No. 4), 무궁화관광호텔(No. 32), 계룡스파텔(No. 29)에 대하여 장기적인 수위변동을 관측한 결과이다. 4개 관측공 중 유성관광호텔과 계룡스파텔, 아드리아호텔은 모두 온천수 이용량이 비교적 많은 것들이지만, 무궁화관광호텔은 관측 당시에 사용되지 않던 공이다.

연구지역에서 지열수의 장기적 수위변동 패턴은 온천수 및 지하수 이용량의 변화 추세(Table 1)와 밀접한 관련이 있다. 온천지구의 서쪽에 위치하는 유성관광호텔(Fig. 4(a))에서 2002년 9월 4일부터 2002년 11월 20일까지는 수위가 전반적으로 낮아지는 시기로서, 이 시기에 관측된 최대, 최소, 평균 및 최빈 수위 심도는 각각 지표하 71.3 m, 20.6 m, 40.5 m, 36.8 m이며, 1회 양수시 수위강하는 최대 약 40 m 정도로 비교적 큰 폭의 수위강하량을 보였다. 2002년 11월 20일부터 2004년 2월 18일까지는 관측자료가 없으나, 아드리아호텔과 계룡스파텔의 관측자료에 의하면 하강→상승→하강의 cycle을 이루었을 것으로 추정된다. 2004년 2월 18일부터 2004년 10월 19일까지는 수위가 전반적으로 높아지는 시기로, 이 시기의 최대, 최소, 평균 및 최빈 수위 심도는 각각 지표하 61.0 m, 14.7 m, 29.0 m, 23.1 m이며, 후기로 갈수록 양수시의 수위변동 폭은 줄어들고 비양수시의 수위는 상대적으로 상승하는 추세를 보였다. 2004년 10월 20일부터 2005년 2월 21일까지는 수위관측 자료가 없으나, 다른 관측공들(무궁화관광호텔, 아드리아호텔)에서의 수위변동 양상으로 볼 때, 수위가 점차 하강되는 시기로 추정되며, 이후 2005년 2월 22일부터 2005년 6월 1일까지는 다시 수위가 상승하는 패턴을 보였다. 2005년 2월 22일부터 2005년 6월 1일까지의 시기에 최대, 최소, 평균 및 최빈 수위 심도는 각각 지표하 76.0 m, 15.4 m, 26.7 m, 28.5 m이다. 이와 같이, 유성관광호텔에서의 약 3년간 수위변동 양상을 살펴 볼 때, 8월 20일경에 수위가 가장 높게 나타났으며 이 때 비양수시의 수위 심도는 지표하 약 15 m 내외인 것으로 파악되었다. 전반적으로 비양수시의 수위 심도는 지표하 15~30 m 범위에서 변동하여 최고점과 최저점의 수위차는 15 m 정도로 나타났다.

온천지구 동측에 위치한 계룡스파텔의 수위(Fig. 4(b))는 2002년 3월 15일부터 2003년 10월 7일까지 관측되었다. 이 공에서의 1회 양수과정에서 나타나는 최대 수위강하량은 약 60 m 정도로 연구지역내 다른 공들에 비해 1회 양수시의 수위강하량이 비교적 크게 나타났다. 2002년 3월 15일부터 9월 9일 기간중에 최대 수

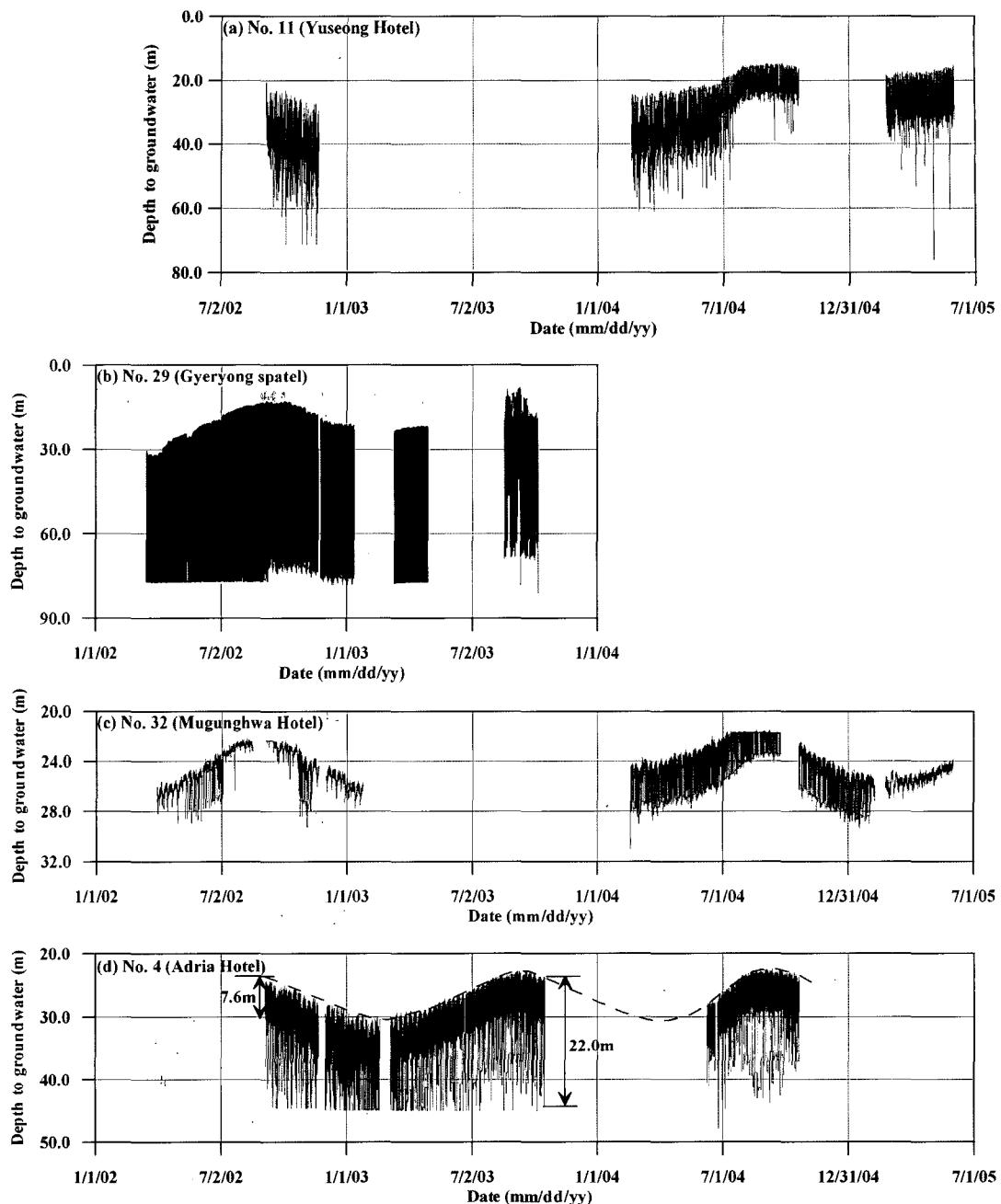


Fig. 4. Cyclic fluctuations of thermal groundwater level at the Yuseong spa area.

위 심도가 그래프상에 나타나지 않지만 양수과정의 진폭과 경향으로 볼 때 1회 양수시에 지표하 약 90 m 이상 심도까지 수위가 낮아졌을 가능성이 있다. 그러나, 다른 공들처럼 양수가 중단되면 즉시 비양수시의 안정수위 상태로 회복되려는 경향을 잘 보여주었다. 비양수시의 수위 심도는 지표하 10~30 m 내외에서 변

동하며, 비양수시 수위에서의 최고-최저점간 수위차는 20 m 범위를 보였다.

온천지구의 중앙 지역에 위치하는 아드리아호텔(Fig. 4(d))에서는 1회 양수시 평균 수위강하량 15 m内外, 최대 수위강하량은 22 m 정도를 보였다. 비양수시의 수위 심도는 지표하 23.2~30.8 m 범위에서 변동하여

최고점과 최저점의 수위차는 7.6 m 정도로 추정된다. 중앙 지역의 또 다른 관측정인 무궁화관광호텔(Fig. 4(c))은 관측기간 동안 사용되지 않은 공이었지만, 인근

에서의 양수작업으로 인해 심하게 수위가 변동하는 양상을 보였다. 주변 양수에 의한 순간 수위강하량은 를 때는 약 4 m 정도, 작을 때는 약 1~1.5 m 내외의 범

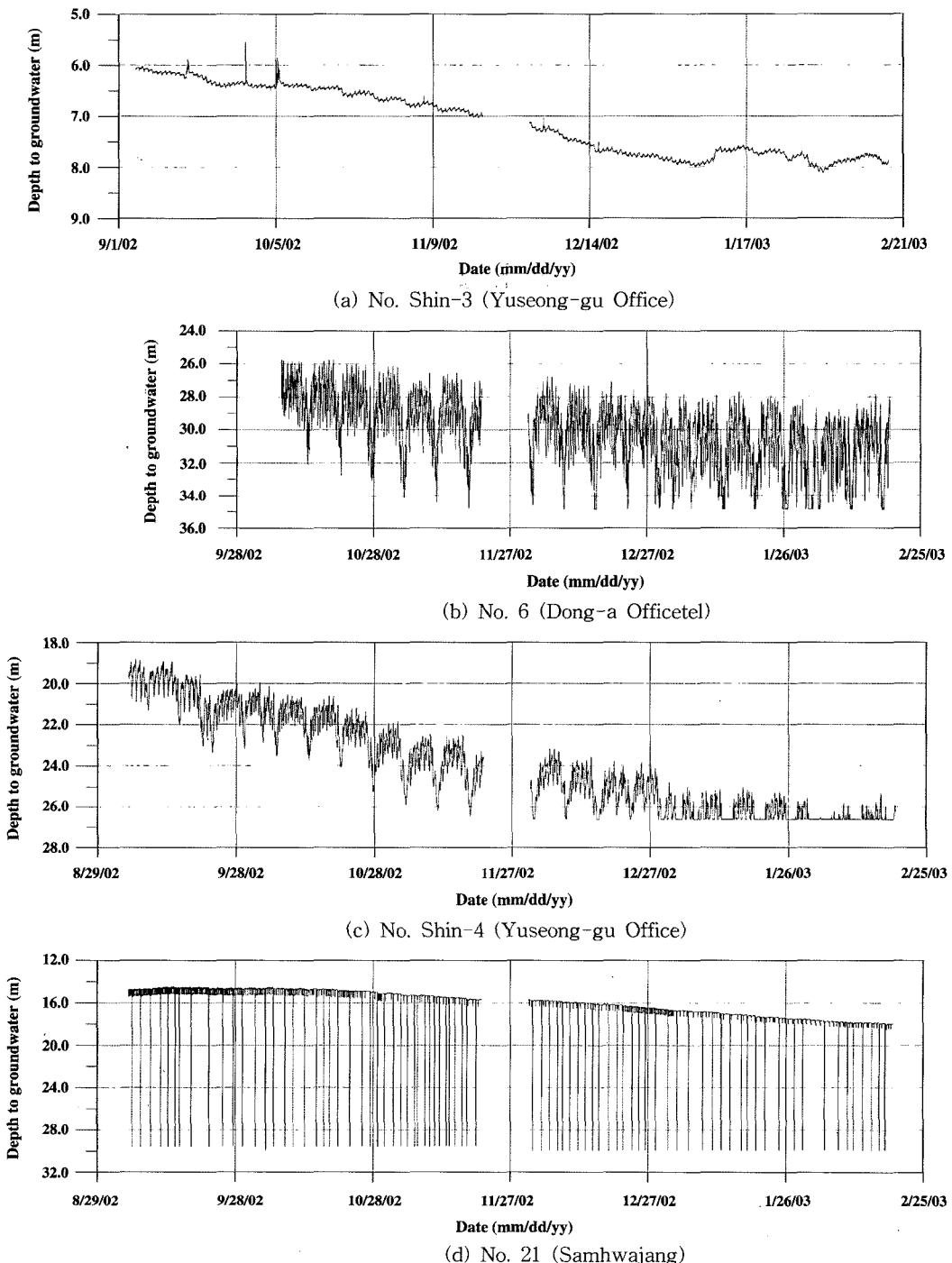


Fig. 5. Daily variations of thermal groundwater level at the Yuseong spa area.

위를 보였으며, 이러한 수위 상승·하강 패턴은 모두 주변지역의 양수 영향이라고 할 수 있다. 비양수시의 수위 심도는 지표하 21.5~26.5 m 범위에서 변동하여 최고·최저점간의 수위차는 5 m 정도이며, 관측 후기로 가면서 최고점의 수위가 약간씩 높아지는 경향을 보였다.

관측 위치별로 비양수시의 수위 심도 변화를 비교해 보면, 유성관광호텔은 지표하 심도 15~30 m로서 약 3년간 15 m 내외의 변동폭을 보였고, 계룡스파텔, 아드리아호텔, 무궁화관광호텔의 비양수시 수위 심도는 각각 지표하 심도 10~30 m, 23.2~30.8 m, 21.5~26.5 m이며, 이의 장기 변동폭은 각각 20 m, 7.6 m, 5m 정도였다. 연구지역에서는 동단과 서단에서 비수기 성수기간의 비양수시 안정수위차가 15~20 m로서 비교적 큰 반면에, 중심대에서는 5~7.6 m로서 비수기 성수기간 수위차가 적은 것으로 나타났다. 한편, 시기별로 비양수시의 수위 심도를 비교해 보면, 비수기의 최고 수위점이 2002년에서 2005년으로 가면서 전반적으로 높아져가는 추세를 보였다. 유성관광호텔에서는 2002년 9월에 비해 2004년 9월의 수위가 높아졌으며, 계룡스파텔에서는 2002년 10월보다 2003년 10월의 최고점 수위가 높게 관찰되었다. 무궁화관광호텔에서도 2002년 9월경보다 2004년 9월경의 최고점 수위가 더 높게 나타났다. 따라서, 비수기의 최고 수위점이 2002년에 비해 2005년으로 가면서 전반적으로 높아져가는 추세를 보여 주었는데, 이는 유성지구에서의 연간 온천수 및 지하수 사용량(Table 1, Fig. 3)이 점차 감소되는 것과 연관이 있다.

Fig. 5는 동아오피스텔(Fig. 1의 No. 6), 공영개발공신4번(No. Shin-4)과 신3번공(No. Shin-3), 삼화장(No. 21)에 대하여 2002년 9월부터 2003년 2월까지 약 6개 월간의 수위변동을 관측한 것이다. 동아오피스텔은 적은 양이긴 하나 수시로 이용되고 있었으며, 삼화장은 10~20회/월 정도로 적은 양으로 이용되는 공이다. 한편, 신3번과 신4번공은 관측 기간 중에는 사용 기록이 없다. 4개 관측공에서의 비양수시 수위는 관측 초기인 2002년 9월 이후 점진적으로 수위가 하강해 가는 양상을 보여 Fig. 4에서 동일 기간 중에 관찰된 전반적인 수위 하강과 동일한 수위변동을 보였다. 비양수시의 수위 심도에 대한 전반적인 변동 패턴을 볼 때, 삼화장을 제외한 3개 관측공에서는 주말에 수위가 하강하였다가 주중에는 다시 상승되는 양상을 반복함으로써 국내 온천지대에서의 1주일 단위의 전형적인 수위 변동 패턴을 보여 주었다. 그러나, 온천지구의 동남단에 위치하는 삼화장(No. 21)에서는 1주일 단위의 수위변동

양상이 관찰되지 않았다.

#### 4.2. 수위변동 주기 분석

수위변동 주기 분석을 위해 적용된 기법은 푸리에 변환(Fourier Transform)으로, 시간 영역의 관측 자료를 주파수 영역으로 변환함으로써 관측 자료에 내포된 주파수 특성을 파악하는데 효율적이다(Davis, 1973; Lynn and Fuerst, 1998). 관측 자료를 푸리에 변환하기 전에 신호 대 잡음의 비율을 높이기 위하여 원 자료를 직접 푸리에 변환하기보다는 자기상관계수를 구해서 이를 푸리에 변환하게 되면 주파수 또는 주기를 보다 명확히 추출할 수 있다. 또한 장기적인 경향성을 제거하기 위하여 선형 회귀식 혹은 2차 다항 회귀식을 구하거나 이동 평균값을 구함으로써, 이들과 원 자료를 빼주는 방식으로 장주기 성분을 제거하고 관심있는 주파수 또는 주기 성분만을 추출할 수 있도록 전처리를 수행하였다. 주어진 시계열자료  $x(t)$ 의 푸리에 변환  $X(\omega)$ 는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} \quad (1)$$

여기서  $\omega$ 는 각 주파수(angular frequency)로서  $f$ 를 주파수로 할 때  $\omega = 2\pi f$ 로 주어진다. 푸리에 변환  $X(\omega)$ 는 일반적으로 복소수량이므로 실수항과 허수항으로 구분하여 표시하면, 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$X(\omega) = R(\omega) + iI(\omega) \quad (2)$$

이를 진폭과 위상의 항으로 표시하면,

$$X(\omega) = |X(\omega)| e^{i\phi(\omega)} \quad (3)$$

이다. 여기서  $|X(\omega)|$ 를 진폭 스펙트럼,  $\phi(\omega)$ 를 위상 스펙트럼이라고 하며,

$$|X(\omega)| = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)} \quad (4)$$

$$\phi(\omega) = \tan^{-1}[I(\omega)/R(\omega)] \quad (5)$$

이다.

어떤 함수를 자기 자신에 대하여 상관을 실시하는 경우를 자기상관(autocorrelation)이라고 한다. 자기상관 계수는 연속함수의 경우 식(6)과 이산형 시계열의 경우 식(7)과 같이 표시된다.

$$\phi_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau) dt \quad (6)$$

$$\phi_{xx}(\tau) = \sum_i x_i x_{i+\tau} \quad (7)$$

자기상관 값은  $\tau=0$ 일 때 최대가 되며, 만일 어떤

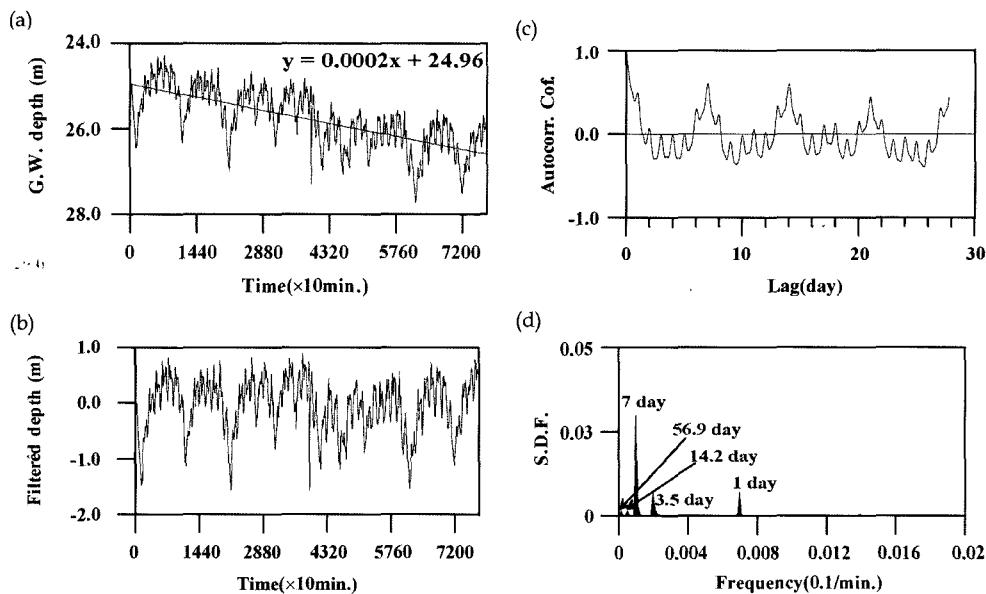


Fig. 6. Spectrum analysis of water level records at No. 32 well(Mugunghwa Hotel).

(a) raw data(2002.12.01~2003.01.23), (b) filtered data, (c) auto-correlation coefficient, (d) frequency and their spectral density function

시계열의 자기상관계수 중 상당한 크기의 값을 나타내는 이차적인 극대치가 존재하면, 이러한 시계열에는 유사한 모양을 가지는 신호가 특정한 시간 간격을 두고 되풀이되어 나타남을 의미한다. 따라서 자기상관은 어떤 함수의 주기성(periodicity)을 측정하는 것으로 생각할 수 있다.

자기상관함수로부터 스펙트럼 밀도함수를 직접 구할 수 있는데, 이는 다음과 같은 식 (8)로 나타내어진다.

$$S.D.F. = X(\omega)X^*(\omega) = |X(\omega)|^2 \quad (8)$$

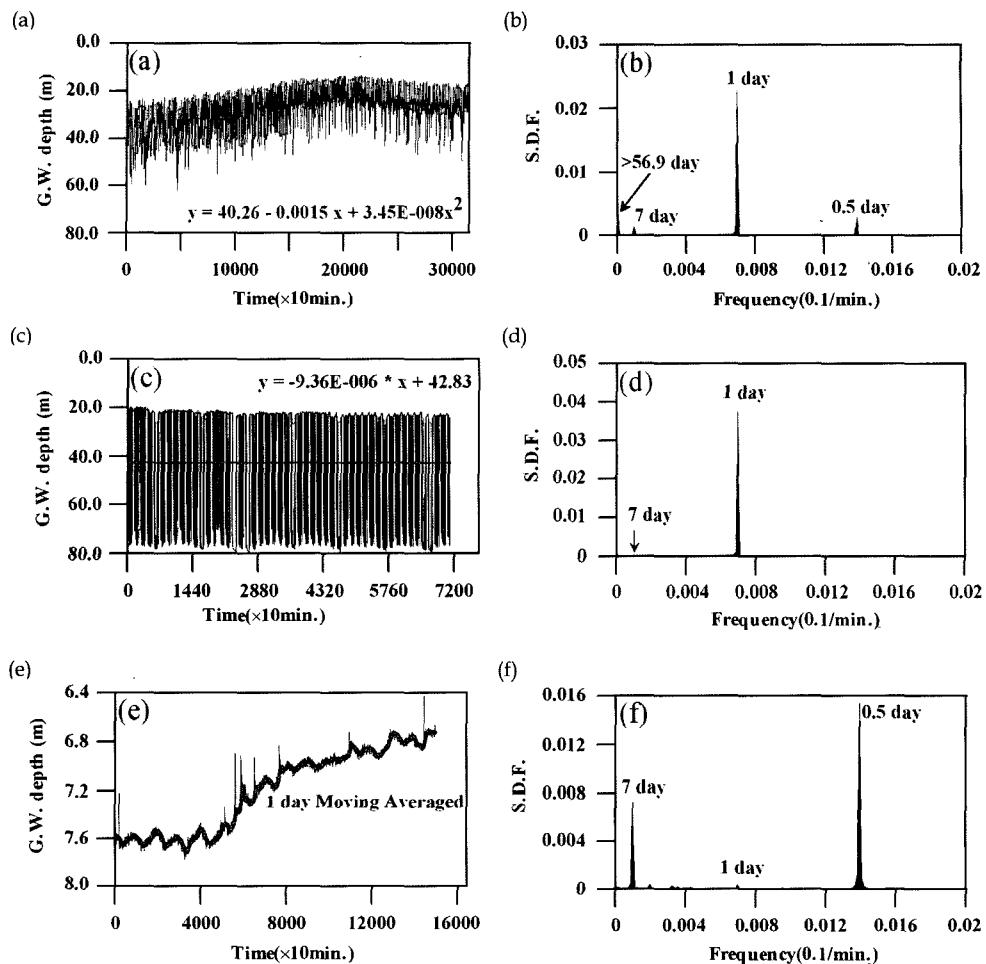
$X(\omega)$ 은  $x(t)$ 에 대한 푸리에 변환이고,  $X^*$ 는  $X(\omega)$ 의 공액복소수이다. 이런 스펙트럼 밀도함수는 각 주파수 ( $\omega$ ) 혹은 주파수( $f$ )에 따른 값과 함께 도시하면 우세한 주기 성분을 추출할 수가 있다.

지하수위는 강우, 대기압, 조석운동 등 자연조건의 변화 뿐 아니라 양수공에서의 양수작업에 의하여 상승과 하강을 반복하고 있으며, 이를 영향이 복합적으로 작용하여 수위를 변동시킨다(Freeze and Cherry, 1979). 온천지구에서는 지하수 및 지열수의 이용 빈도가 일상생활의 주기성과 밀접하게 연계되어 나타나므로, 양수에 의한 수위변화가 1일, 1주일, 1년 등의 간격으로 주기성을 보일 수 있으며 반복적으로 상승·하강하는 수위변동 패턴이 자주 관찰될 수 있다(임정웅 외, 1998; 문상호 외, 1999). 이러한 수위변동 주기의

분석을 위하여 오랜 기간 동안 수위변동 자료를 수집하였으며, 중단기적인 주기성을 확인하기 위하여 자료가 결측되지 않은 관측공들(Fig. 1의 No. 32, No. 11, No. 29, No. Shin-3)을 대상으로 주기 분석을 실시하였다.

무궁화관광호텔(No. 32)에서의 수위변동 주기 분석은 2002년 12월 1일 00:00부터 2003년 1월 23일 16:20까지 관측된 수위 자료를 이용하였다(Fig. 6(a)). 일정한 주기성이 나타나며 이를 분석하기 위하여, 대상기간 동안 선형적으로 감소되는 회귀식과 이식으로부터 원 수위를 빼주는 방식으로 수위 자료를 필터링하였다(Fig. 6(b)). 필터링된 지하수위에 대하여 자기상관계수를 구하고(Fig. 6(c)), 이를 푸리에 변환하여 주기를 분석한 결과(Fig. 6(d)) 1일, 3.5일, 7일에서 우세한 주기성이 나타났다. 이 외에도 미약하긴 하나 14.2일, 56.9일의 주기 성분도 관찰되었다. 이 관측공은 사용이 안 되는 공임에도 불구하고, 주변 지하수공 또는 온천공의 사용 주기인 1일, 3.5일, 7일의 주기성을 나타내었으며, 이로 보아 주변공의 영향이 뚜렷하며 수리지질학적으로 주변과 잘 연결되어 있음을 알 수 있다.

유성관광호텔(No. 11)에서의 수위변동 주기 분석은 2003년 4월 23일 09:00부터 2003년 11월 28일 11:30까지 관측된 수위 자료를 이용하였다(Fig. 7(a)). 무궁화관광호텔에서와 같은 방법으로 장기적 경향을 필



**Fig. 7.** Spectrum analysis of water level records at No. 11(Yuseong Hotel), No. 29(Gyeryong Spatel) and No. Shin-3 well(Yuseong-gu Office).

(a) raw data(2003. 04. 23~2003. 11. 28) and (b) frequency of No. 11 well, (c) raw data(2002. 11. 23~2003. 01. 12) and (d) frequency of No. 29 well, (e) raw data(2002. 12. 01~2003. 11. 28) and (f) frequency of No. Shin-3 well

터링한 수위 자료에 대하여 자기상관계수를 구해서 푸리에 변환한 결과, 이 공에서도 0.5일, 1일, 7일, 56.9 일의 주기성이 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 7(b)). 12시간 또는 하루, 그리고 주말(7일)마다 양수가 반복되는 것이 반영된 것으로 보인다.

계룡스파텔(No. 29)에서의 수위변동 주기 분석은 2002년 11월 23일부터 2003년 1월 12일까지 관측된 수위 자료를 이용하였다(Fig. 7(c)). 분석 결과, 1일 주기가 매우 강하게 나타났으며, 7일 주기성도 미약하나마 관찰되었다(Fig. 7(d)). 이 공에서는 1일 약 10회 정도의 양수작업이 지속적으로 반복되고 있으나 분석 결과 이에 대한 주기성을 나타나지 않았다.

공영개발 신3번공(No. Shin-3)에서의 수위변동 주기 분석은 2002년 12월 1일부터 2003년 11월 28일까지 관측된 수위 자료를 이용하였다(Fig. 7(e)) 이 공은 사용하지 않는 공이기 때문에, 수위변동 양상이 자체 양수에 의한 주기성이 아니라 주변 양수공이나 자연적인 요인에 의한 주기성을 반영하고 있다. 이 공에 대하여는 1시간, 12시간, 1일, 10일의 이동평균한 자료를 필터링하여 분석하였다. Fig. 7(f)는 1일 이동평균으로 필터링된 수위 자료에 대하여 자기상관계수 분포를 구하고 이를 푸리에 변환하여 주기를 추출한 것이다. 주기 분석 결과, 1시간 이동평균에 의한 주기성은 0.5일만 나타났으나, 12시간과 1일 이동평균에 의한 주기성은

다른 관측공들과 마찬가지로 0.5일, 1일, 7일 주기가 뚜렷하게 나타났다. 한편, 10일 이동평균에 의한 주기 성에서는 1일 주기가 사라진 반면에 14일, 57일 주기가 매우 강하게 나타났다.

상기와 같이, 연구지역내에서의 관측공들에서는 공통적으로 0.5일, 1일, 7일의 주기성이 뚜렷하게 관찰된다. 일반적으로 0.5일과 1일 주기 성분은 인위적인 양수에 의해서도 발생될 수 있지만 조석운동 및 대기압 변화에 의해서도 발생될 수 있기 때문에 수리지질학적인 연결성을 논의하기가 어렵다. 그러나, 1주일 주기 성분은 온천 이용객이 주말에 집중됨에 따라 야기되는 양수 주기이고 온천지구에서의 독특한 양수 행태이다 (이봉주 외, 2001, 2002). 금번 연구에서 주기 분석이 수행된 대부분의 관측공에서 이러한 1주일 주기 성분이 잘 관찰되는 것은 연구지역 대수총의 수리적 연결성이 매우 좋다는 것을 지시한다.

### 4.3. 수위 영향 관계

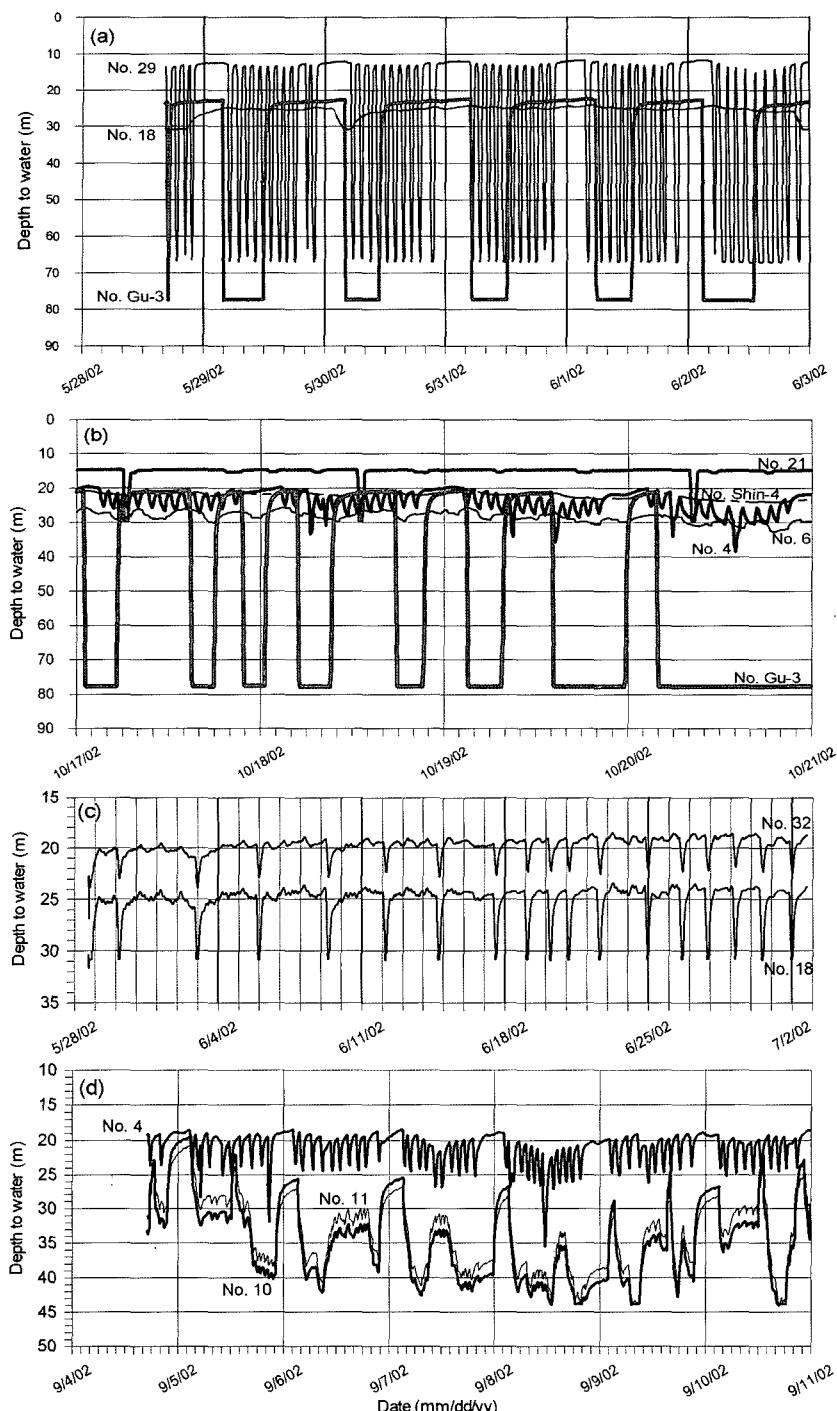
연구지역에는 약 40개 정도의 온천공이 활용되고 있으며, 이들은 인접한 온천공들간에 밀접한 수위 영향 관계를 보이고 있다. 따라서, 하나의 관측공에서 측정된 수위가 인근 어느 공의 양수에 의한 영향인지 정량적으로 알아내기가 불가능할 정도이다. 이와 같이 밀접한 수위 영향권내에 있는 공들에서 수리상수 역시 산출해 내기란 매우 어려운 일이다. 그러나, 문상호 외 (2002, 2005)는 몇 개 관측공에서의 자체 양수작업에 따른 양수량 환산과 수위변동 관측 자료를 이용하여 수리상수 산출을 시도한 바 있으며, 이에 의해 유성관광호텔 온천수공원(No. 10), 삼화장(No. 21), 계룡스파텔(No. 29) 3개공에 대한 투수량계수가 각각 42.14~72.86 m<sup>2</sup>/day, 55.10 m<sup>2</sup>/day, 21.66 m<sup>2</sup>/day 범위인 것으로 보고하였다. 이와 같은 수리상수는 일반적인 암반 대수총과 비교할 때 투수성이 매우 좋은 것이며, 따라서 연구지역내 관측공들간의 수위 영향관계가 뚜렷이 나타날 수 있음을 지시한다.

장기 수위 관측된 온천공들의 수위변동 상황을 상호 비교해 볼으로써 수위 영향관계의 유무 및 정성적인 수리적 연결 상태를 분석 할 수 있다(문상호 외, 2001a). 수위 영향 관계는 동일 관측 시기의 수위변동 패턴을 서로 비교해 볼으로써 수위 동조 현상의 유무를 근거로 판단하였다. 우선 2002년 3월부터 2005년 6월까지 장기적인 수위변동 패턴을 비교해 보았을 때 (Fig. 4), 유성관광호텔, 아드리아호텔, 무궁화관광호텔, 계룡스파텔에서 1년을 주기로 비양수시의 수위가 상승

과 하강을 반복하는 형태의 sine 곡선을 나타내는 것 이 뚜렷하며, 4개 관측공 모두 비양수시의 수위가 2월 중순에서 3월 초순까지 저수위를 보이고 9월 중순에서 10월 초순까지 고수위를 유지하는 전형적인 온천 성수기-비수기 순환 패턴을 보여 주었다. 이러한 1년 주기의 지하수위 변동 패턴은 강수량의 계절적 변화에 의해서도 나타나는 것이 일반적이다. 연구지역 인근의 암반지하수공에서 건설교통부 외(2004)가 2003년 7월부터 2004년 9월까지 자동 관측한 수위 자료를 보면, 강수량의 계절적 변화에 의한 암반 지하수위의 변동폭은 1년에 1 m 내외인 것으로 나타났다. 따라서, 연구지역에서 1년 주기로 반복되는 5~20 m 정도의 큰 수위 변동폭은 온천수 및 지하수 이용량의 변화에 직접적인 연관성이 있는 것으로 판단된다. 이와 같이, 연구지역내 모든 관측공에서 장기적인 수위변동 cycle을 보이며 수위 동조 현상이 관찰되는 것으로 보아, 유성지구에서는 서단 부근의 유성관광호텔로부터 중간 지점의 아드리아호텔, 무궁화관광호텔을 지나 동단 부근의 계룡스파텔까지 동서 방향의 온천 중심대가 직접적인 수위 영향권내에 속해 있음을 알 수 있다.

2002년 9월부터 2003년 2월까지 약 6개월간 동아오피스텔(Fig. 1의 No. 6), 공영개발공 중 신4번(No. Shin-4)과 신3번공(No. Shin-3), 삼화장(No. 21)에 대한 수위변동 패턴을 비교해 보았을 때(Fig. 5), 삼화장을 제외하고는 모두 1주일 주기의 수위 변동 패턴을 보여 주말에 수위가 하강되었다가 주중에는 다시 상승되는 것이 반복되었다. 이러한 1주일 주기의 수위 동조 현상 외에도 3개 관측공들에서는 장기적인 수위 변동 패턴 역시 동조 현상을 보였다. 즉, 관측 초기인 2002년 9월 이후 점진적으로 수위가 하강하다가 모두 2003년 1월 10일경부터 2월 7일경까지는 수위 하강 양상에서 멎거나 오히려 수위가 약간 상승했다가 다시 하강하였으며 이후 다시 수위가 상승하는 공통된 양상을 보였다. 이러한 동조 현상으로 볼 때, 북북동 방향으로 배열된 3개 관측공들은 수리적 영향 관계에 있는 것으로 판단된다.

공영 개발 구3번 온천공(Fig. 1의 No. Gu-3)과 인근공들간의 영향관계를 분석하기 위해서 2002년 5월 28일~6월 3일 및 10월 17일~10월 21일의 4~5일간의 수위변화 양상을 비교하였다(Fig. 8). 구3번공은 연구지역내의 다른 관측공들과는 달리 1일 2~3회 정도만 양수작업을 실시하지만 1회 양수시 지속시간이 매우 길게 유지되므로 이 공에서의 양수는 주변 관측공의 수위에 지속적인 영향을 줄 수 있다. Fig. 8(a)는



**Fig. 8.** Comparison of groundwater level fluctuations at several hot-spring wells within the Yuseong spa area.

구3번공과 이의 동~동남동측 약 250 m 거리의 계룡스파텔(No. 29), 남~남서남측으로 약 300 m 거리의 온천관광호텔(No. 18)간의 수위변화 양상을 비교해 본

것이다. 구3번공의 양수가 지속되는 동안에는 29번과 18번공의 비양수시 수위가 전반적으로 점차 하강해가는 경향을 보였다. 반면에, 구3번공의 양수작업이 중단

되어 구3번공 자체의 수위가 상승 중에 있을 때는 다른 두 공의 수위 역시 상승하는 추세를 보였다. 즉, 구3번공의 양수에 의해 29번과 18번공의 수위 동조 현상이 관측되었으며, 구3번공을 중심으로 동쪽 방향으로 약 250 m 이상의 범위 및 남쪽 방향으로 약 300 m 이상의 범위까지 수리적으로 연결되어 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 8(b)는 구3번공에서의 반복적인 양수작업에 따라 인근에 위치한 신4번공(No. Shin-4), 아드리아호텔(No. 4), 동아오피스텔(No. 6) 그리고 삼화장(No. 21)에서 나타난 수위변동 양상을 비교한 것이다. 그럼에 서 보듯이, 2002년 10월 17일부터 10월 21일까지 구3번공에서는 총 8회의 양수작업이 있었으며, 양수시간은 1시간~20시간 이상 지속되었다. 구3번공에서 양수시 양수정의 수위강하는 매우 급격하게 발생되어 지표하 80 m 이하의 심도까지 급강하하며 양수가 중단되면 회복 또한 급속히 이루어진다. 구3번공의 양수와 회복이 반복되는 시간에 따라 아드리아호텔, 동아오피스텔, 신4번공들의 수위변화가 동조되는 현상이 뚜렷하다. 특히, 10월 20일에는 구3번공의 양수 지속시간이 매우 길었던 시기로서, 이 시기에 관찰되는 나머지 3개공의 수위변동 양상은 구3번의 양수작업에 매우 민감하게 반응하고 있음을 잘 보여주고 있다. 따라서, 아드리아호텔-신4번공-동아오피스텔-구3번공을 연결하여 구3번공의 서쪽 320 m 거리까지 수리적으로 상호 영향권내에 있는 것으로 해석된다. 한편, 동측의 삼화장(No. 21)은 구3번공에 의한 수위 영향이 관찰되지 않았다. 또한, 삼화장은 자체 양수 이외에는 비양수시의 수위변동이 거의 관찰되지 않는 것으로 보아 인근에 있는 계룡스파텔(No. 29)에 의한 수위 영향도 없는 것으로 판단된다. 계룡스파텔은 구3번공의 양수에 의해 비양수시의 수위변동에 영향관계를 보이지만, 자체의 양수작업이 1일 10회 정도로 매우 잦게 발생되고 있는 계룡스파텔이 삼화장, 동아오피스텔, 신3번, 신4번 등 인근 관측공들의 수위변동에 가시적인 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 8(c)는 온천관광호텔(No. 18), 무궁화관광호텔(No. 32)간의 수위 영향관계를 분석하기 위하여 2002년 5월 28일~7월 2일의 수위를 비교한 것이다. 18번공과 32번공의 수위변동은 완전히 동일한 형태를 보여 양자간의 수리적 연결성은 매우 양호한 것으로 판단되었다.

Fig. 8(d)는 온천수공원(No. 10)과 인근공들과의 영향관계를 분석하기 위해서 2002년 9월 4일~9월 11일의

수위변화 양상을 비교한 것이다. 11번공의 수위변동은 10번공의 수위변동과 거의 같은 양상을 보여 양자간의 수리적 연결성은 매우 양호한 것으로 나타났다. 10번공의 양수 주기가 11번공에서 정확하게 반영되고 있어, 다른 공들과 11번공과의 수위변화 비교는 10번공의 수위변화 비교와 동일한 것으로 간주할 수 있다. 10번공, 11번공은 인근의 양수작업에 의해 수시로 수위변동을 일으키고, 이는 리베라호텔의 온천수 이용과 관계된 것으로 추정된다. 유성호텔의 10번 및 11번공과 아드리아호텔의 4번공들간에는 수리적 연결 상태를 판단하기가 쉽지 않다.

이상의 내용을 종합해 볼 때, 연구지역에서는 구3번공의 양수작업에 의해 사방으로 수위 영향이 있는 것으로 관찰된다. 즉, 구3번공에 의한 수위 영향은 서쪽으로 320 m(Fig. 1의 No. 4), 동쪽으로 250 m(No. 29), 남쪽으로 350 m(No. 18) 범위에 걸쳐 발생되는 것으로 파악되었다. 연구지역에서 수리적 연결성이 매우 좋은 것으로 판단되는 것은 무궁화관광호텔(No. 32)-온천관광호텔(No. 18)의 남-북 방향과 온천수공원(No. 10)-유성관광호텔(No. 11)의 동-서 방향이며, 비교적 수리적 연결성이 양호한 것으로 판단되는 것은 아드리아호텔(No. 4)-신4번공(No. Shin-4)-동아오피스텔(No. 6)의 동-서 방향, 구3번공(No. Gu-4)-계룡스파텔(No. 29)의 동-서 방향, 그리고 신4번공(No. Shin-4)-동아오피스텔(No. 6)-신3번공(No. Shin-3)의 북-북동 방향 등이다. 이로 볼 때, 연구지역에서는 동-서 방향의 수리적 연결성이 가장 우세하게 나타나지만 유성관광호텔(No. 11)과 아드리아호텔(No. 4)의 중간 지점에서 수리적 연결이 불량하며, 무궁화관광호텔(No. 32)과 온천관광호텔(No. 18) 부근에서는 남-북 방향의 수리적 연결성이 매우 강하게 나타났다.

## 5. 지열수 저류체의 산출 특성에 대한 고찰

유성온천의 대수층 발달, 온천수 유동 및 지열원과 관련된 지질구조에 대하여는 내무부(1983), 화랑대연구소(1988, 1993), 유성구 온천개발사업소(1997), 정지곤 외(1997), 건설교통부 외(2004) 등이 보고한 바 있다. 이들 연구·보고를 종합해 보면, 연구지역에서 지열수 유동 및 열원과 관련된 지질은 석영반암, 석영백, 염기성 맥암 등 맥암류들일 것으로 추정되며, 단열체계로는 N-S 계열과 E-W 계열로 추정된다.

상기 연구 결과와 선구조 분석 결과(Fig. 1)를 종합해 볼 때, 유성온천지구에서의 지열수 배태에는 다음

**Table 3.** Summary of outflowing temperature data observed from 2001 to 2005 at the Yuseong spa area (unit: °C)

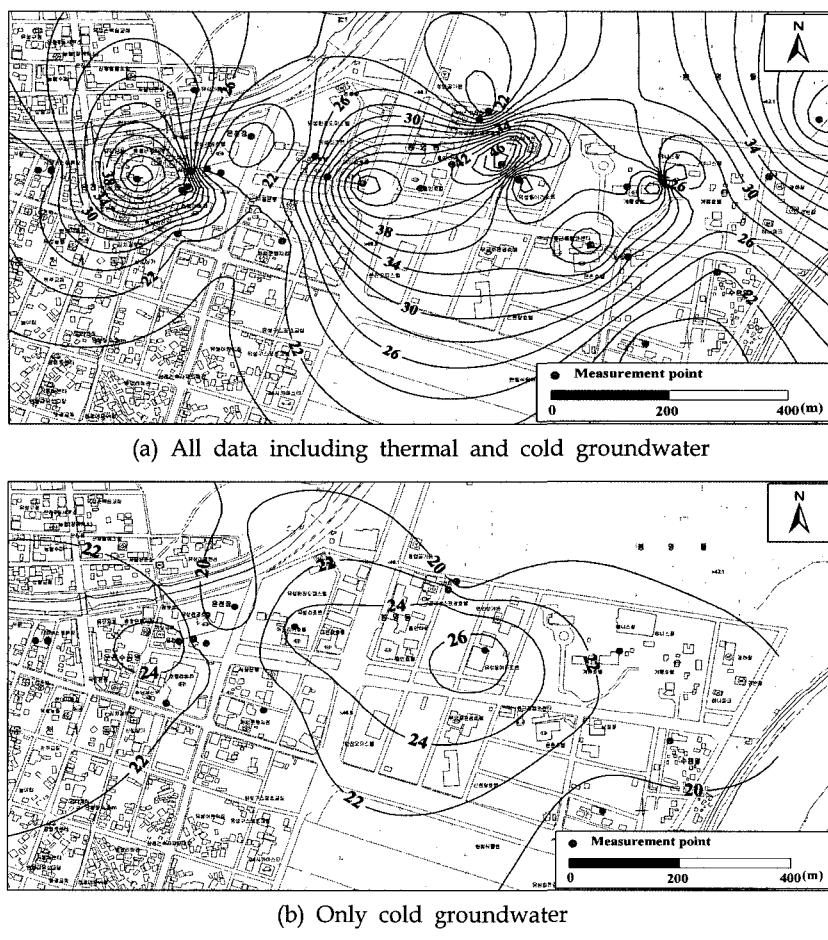
Well No.	Year	2001	2002	2003	2004	2005	Well No.	Year	2001	2002	2003	2004	2005
		2001	2002	2003	2004	2005			2001	2002	2003	2004	2005
Gu-1	-	-	51.1	51.2	51.4	16	-	29.3	29.8	30.0	-	-	
Gu-2	-	-	18.2	-	-	19	22.9	23.0	22.4	-	-	-	
Gu-3	46.5	44.2	45.7	47.1	46.8	21	-	-	21.5	-	-	-	
Gu-4	-	-	23.0	-	-	22	-	-	30.7	-	-	-	
Shin-2	-	-	26.5	-	-	23	-	-	34.8	-	-	-	
1	-	-	33.0	-	-	24	40.4	39.1	38.4	-	-	-	
2	-	-	18.3	-	-	25	37.8	37.2	-	-	-	-	
3	-	-	25.2	-	-	26	-	-	20.4	-	-	-	
4	-	-	34.3	-	-	29	43.5	-	40.8	-	-	-	
5	41.1	46.0	42.5	43.0	46.3	30	-	33.4	33.0	-	-	-	
6	-	-	27.6	-	-	34	-	-	21.4	-	-	-	
7	-	-	30.0	-	-	G1	20.8	-	21.0	-	-	-	
8	-	-	25.9	-	-	G4	-	-	41.9	-	-	-	
9	-	-	38.3	-	-	G5	17.8	18.0	17.7	17.5	17.4	-	
10	47.0	46.6	46.6	40.4	40.6	G9	21.6	22.4	21.4	-	-	-	
12	-	-	20.5	-	-	G11	21.0	20.9	-	22.3	22.8	-	
14	37.0	36.9	35.8	-	-								

과 같은 4가지 지질구조가 중요한 규제 요인으로 작용된 것으로 해석할 수 있다; 공주시 반포면 학봉리-삼재-유성구 봉명동-서구 둔산동-대덕구 용전동으로 연장되는 E-W의 유성천 방향의 리니어먼트, 유성구 장대동-조치원쪽으로 발달하는 N40°W의 지족천 방향 리니어먼트, 봉명동-원신흥동-서구 도안동으로 연장되는 남북 방향의 리니어먼트, 석영반암과 석영맥의 발달 방향: N-S 방향의 맥암군 방향.

유성온천지구는 상기 4개 규제 요소가 교차하거나 이들에 의해 둘러싸인 영역내에 위치한다. 이 영역내에서도 지열수를 이용하기 위해 개발된 온천공의 위치는 불노장(Fig. 1의 No. 19)에서 경하장(No. 30)까지 동-서 방향으로 약 1.2 km 범위, 뉴서울원탕(No. 22)에서 동아장(No. 2)까지 남-북 방향으로 약 480 m 범위로서 지열수 개발 범위는 동-서 방향으로 기다란 직사각형 모양이다. 이들 온천공은 유성구의 온천 관리 대장에서 토출온도 30 이상인 것으로 기록되어 있는 것들로 온천 개발 초기의 용출온도에 근거된 것으로 볼 수 있으며, 이러한 개발 범위가 유성지구 지열수 저류체의 발달 범위 한계가 될 것으로 추정된다.

연구지역에서 2001년부터 2005년까지 5년간 측정된 양수온도 자료(Table 3) 중 최대 양수온도 자료를 근거로 온도 분포도를 그려 보면 Fig. 9와 같다. 서단의 불노장에서는 2001년부터 2005년까지 5년간 지하수 및 온천수 모두 양수온도가 20.9~23.0°C 범위를 보여 불노장 인근 지역에서는 양수온도 30°C 이상의 지열수

산출이 어려운 상황이다. 동단의 경우, 경하장은 양수온도 33.0~33.4°C 범위를 보여 경하장 인근에서는 양수온도 30°C 이상의 지열수 산출이 어느 정도 가능할 것으로 예상된다. 그러나, 경하장 북동측 인근에서 새로이 공영 개발된 신2번공(No. Shin-2)의 양수온도는 26.5°C에 불과하여 경하장에서 동측 또는 북동측으로 그다지 멀지 않은 범위까지만 30°C 이상의 지열수 확보가 가능할 것으로 판단된다. 북단의 경우, 뉴서울원탕(No. 22), 구2번(No. Gu-2)과 구4번(No. Gu-4), 신2번(No. Shin-2)의 양수온도가 각각 30.7°C, 18.2~23.0°C, 26.5°C로서 이들을 동-서로 잇는 선이 30°C 이상의 지열수 확보 가능 한계가 될 것으로 보인다. 한편, 유성구온천개발사업소(1997)의 온도검증 자료에 의하면, 뉴서울원탕-구4번-구2번-신2번을 잇는 선 가까이에 분포하는 3개 신규 공영개발공(1, 2, 3호공) 중 갑천 가까이 위치하는 공(1호공)의 공저(350m 심도) 온도가 31°C로 측정되었을 뿐 그 외의 2호공(Fig. 1의 No. Shin-2)과 3호공(Fig. 1의 No. Shin-3)에서는 심도 300~350 m 이내에서 30°C 이상의 지열수 확보가 어려울 것으로 나타나 뉴서울원탕-구4번-구2번-신2번을 동-서로 잇는 선이 지열수 산출의 북쪽 한계가 될 수 있음을 뒷받침해 준다. 남단의 경우에는, 청수장(Fig. 1의 No. 26), 유진호텔(No. 7), 삼화장(No. 21), 동아장(No. 2)의 양수온도가 각각 20.4°C, 30.0°C, 21.5°C, 18.3°C로 측정되어 청수장-삼화장을 동-서로 잇는 선보다 아래쪽에서는 지열수 확보가 어려울 것으로 판단된다.

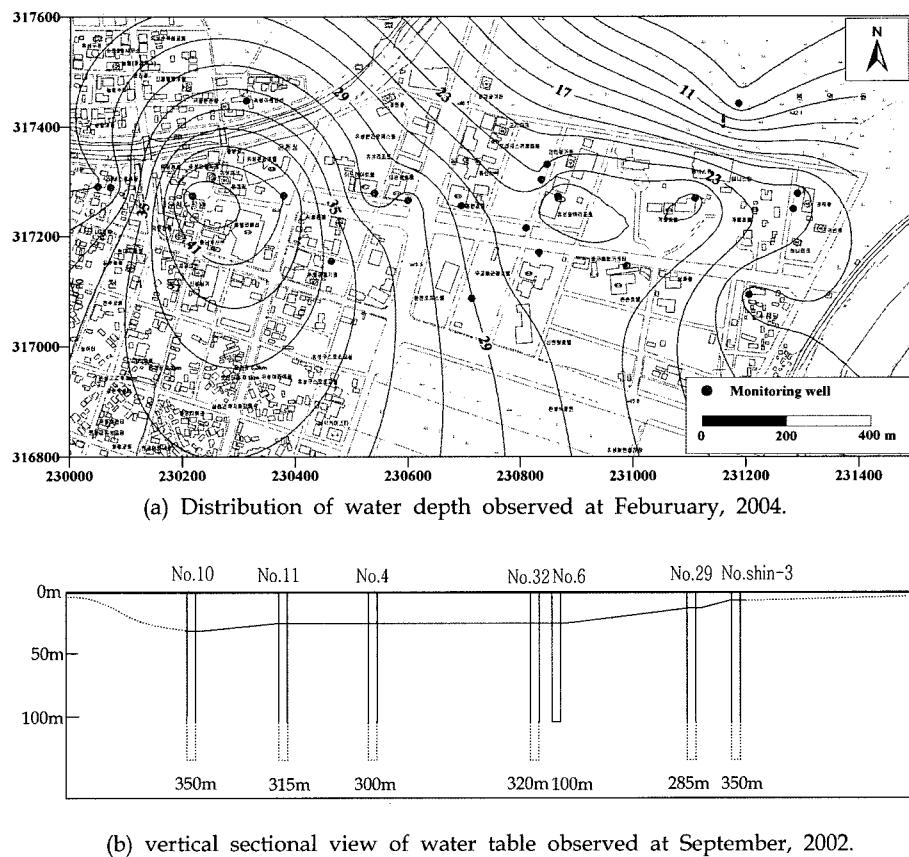


**Fig. 9.** Distribution pattern of outflowing temperature of thermal and cold groundwater at the Yuseong spa area.

다. 이 선의 좌측 연장선상으로 리베라호텔에서 개발한 지하수공(Fig. 2의 G9)이 실제로 양수온도 21.4~22.4°C 범위를 보여 이러한 가정을 뒷받침해 준다. 이상과 같이 지열의 입장에서만 고찰해 볼 때, 유성지구에서 2005년 현재 30°C 이상 양질의 지열수를 확보할 수 있는 범위로서 지열수 산출의 중심대를 이루는 지역은 동~서 1,200 m, 남~북 300 m 정도의 범위 이내로서 과거의 유성구 온천 관리대장 기록에 근거한 것 보다는 남~북 방향의 범위가 축소된다.

한편, 지하수 및 운천수의 양수온도 자료를 이용한 온도 분포도(Fig. 9(a), (b))에서 볼 때, 상기 지열수 산출 중심대가 동~서 방향으로 모두 연속성이 있는 온도 분포를 보여주는 것이 아니라, 유성관광호텔과 아드리아호텔 사이에서 온도의 불연속성이 있음을 보여 주고 있다. 이러한 온도의 불연속성은 청수장(No. 26)과 아드리아호텔의 양수온도가 20.4~25.2°C, 유성관광

호텔내 지하수공의 양수온도가 21.4~22.4°C 정도로 낮게 측정되었기 때문에 나타나는 현상이다. 유성구 온천개발사업소(1977)의 온도 검증 자료에 의하면, 유성지구 중심대(신4번공과 무궁화관광호텔)에서는 30°C 이상의 공내 온도가 심도 70~120 m 범위에서 나타난다. 따라서, 지열수 산출의 중심대에서는 일반적으로 100 m 내외의 심도에서 30°C 이상의 지열수 확보가 가능할 것으로 판단됨에도 불구하고, 청수장(No. 26)-아드리아호텔-유성관광호텔 지점에서 저온의 지하수가 산출되는 현상은 연구지역의 열원이 동서 방향으로 연속성을 유지하지 못함을 의미한다. 이러한 불연속성은, 수위 영향관계 분석에서 언급한 바와 같이, 유성관광호텔(No. 11)-아드리아호텔(No. 4)의 중간 지점에서 나타나는 수리적 연결성의 불량 상태와 일치되는 현상이다. 이로 볼 때, 연구지역내에서 지열수의 열원과 대수층의 수리적 연결성과는 상호 연관성이 있을 것으로 판단된다.



**Fig. 10.** Distribution and vertical section of water depth at the Yuseong spa area.

Fig. 10(a)는 성수기 중 하나인 2004년 2월의 수위 심도 분포도이다. 수위가 관측된 공들은 대부분 사용되고 있는 공들로서 빈번한 양수가 이루어지기 때문에 비양수시의 최고점 수위를 찾아내기는 쉽지 않았으나, Fig. 10(a)는 가능한 양수 중단 후 회복 과정에서 수위가 최고점에 도달된 것으로 판단되었을 때의 수위를 측정한 결과이다. 이 시기에 측정된 수위 심도 중 온천수공원이 지표하 43m 정도로서 가장 깊게 나타났으며, 이를 중심으로 서측의 수위 심도 등고선이 매우 가파르게 나타나 온천수공원 서측 인근이 유성온천지구 지열수 대수층의 경계 부근임을 추정케 한다. 온천수공원을 중심으로 대온장·홍인호텔·동아리조트·계룡스파텔을 연결하는 동측 방향으로는 수위가 완만하게 높아지는 양상을 보이며, 계룡스파텔 부근에서 북측 혹은 북동측 방향으로 다시 수위 등고선이 조밀하게 나타나고 있다. Fig. 10(b)는 자동 수위관측 자료에 의한 비양수시 수위 심도 단면도로서, 비수기 중 하나인 2002년 9월의 자료이다. 이 그림에서도 온천수공원을 중심으로

동측 방향으로 동아오피스텔 부근까지 주로 수위가 하강되어 있는 수위하강의 중심대를 형성하고 있으며, 동아오피스텔에서 계룡스파텔쪽으로 수위가 완만하게 상승되어 있는 양상이 관찰된다. 이와 같이, Fig. 10(a)와 (b)의 수위 심도 분포를 종합해 볼 때, 지열수 유동은 온천지구의 동측 방향에서 서측 방향으로 완만하게 이루어지고 있음을 추론케 한다. 즉, 지열수의 충진이 계룡스파텔의 동측 혹은 북동측 방향으로부터 이루어지며, 온천수공원의 서측 인근이 유성온천지구에서 수위 영향의 경계를 이루는 것으로 해석된다.

## 6. 결 언

연구지역에서의 장기 수위변동 양상을 관측하고 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 비양수시의 수위 심도에 대한 전반적인 변동 패턴을 살펴 볼 때, 관측공들 대부분이 1주일 주기의 수위 상승과 하강을 반복함으로써 주말에 수위가 하강하

고 주중에 수위가 하강하는 온천지대에서의 전형적인 양상을 보였다.

(2) 유성관광호텔, 아드리아호텔, 무궁화관광호텔, 계룡스파텔에서 2002년 3월부터 2005년 6월까지 장기적으로 관찰된 수위변동 양상은 1년을 주기로 수위가 상승·하강을 반복하는 sine 곡선 형태를 보였다. 비수기에 관찰되는 비양수시의 최고 수위 심도는 2002년에서 2005년으로 가면서 점차 높아져가는 추세를 보였으며, 이러한 장기적 수위 상승 추세는 2001년 이후 온천수 및 지하수 이용량의 감소에 따른 결과이다.

(3) 2002년부터 2005년까지 유성관광호텔에서의 비양수시 수위 심도는 지표하 15~30 m로서 3년간 15 m 내외의 변동폭을 보였다. 계룡스파텔, 아드리아호텔, 무궁화관광호텔에서의 비양수 수위 심도는 각각 지표하 10~30 m, 23.2~30.8 m, 21.5~26.5 m로, 장기 변동폭이 각각 20 m, 7.6 m, 5 m 정도였다. 지역별로 비수기 성수기간의 비양수시 수위차를 비교해 보면, 연구지역 동단과 서단에서는 15~30 m로 수위차가 비교적 큰 것으로 나타났다. 반면에, 중심대에서는 비수기 성수기간 수위차가 5~7.6 m로 상대적으로 수위변동이 적은 것으로 나타났다.

(4) 연구지역의 관측공들에서는 공통적으로 0.5일, 1 일, 7일의 주기성이 뚜렷하게 관찰되었다. 이중 1 주일 주기 성분은 온천지구에서의 독특한 양수 행태를 반영하는 인위적인 요소로, 연구지역 대수총의 수리적 연결성이 매우 좋다는 것을 지시하였다.

(5) 연구지역에서 수리적 연결성이 매우 좋은 것으로 판단된 것은 무궁화관광호텔-온천관광호텔의 남·북 방향과 온천수공원-유성관광호텔의 동·서 방향이다. 이 외에도, 수리적 연결성이 양호한 것으로 판단되는 것은 아드리아호텔-신4번공-동아오피스텔의 동·서 방향, 구3번공-계룡스파텔의 동·서 방향, 그리고 신4번공-동아오피스텔-신3번공의 북·북동 방향 등이다. 전반적으로 동·서 방향의 수리적 연결성이 우세한 것으로 판단되었지만, 유성관광호텔과 아드리아호텔의 중간 지점에서는 수리적 연결성이 불량한 것으로 나타났다.

(6) 연구지역 부근에 발달한 것으로 추정되는 지질구조는 다음의 방향성을 보이는 것들이다; ① 공주시 반포면 학봉리-삽재-유성구 봉명동-서구 둔산동-대덕구 용전동으로 연장되는 E-W의 유성천 방향의 리니어먼트 ② 유성구 장대동-조치원쪽으로 발달하는 N40°W의 지족천 방향 리니어먼트 ③ 봉명동-원신흥동-서구 도안동을 연결하는 NS 방향의 리니어먼트 ④ 석영반암과 석영맥의 발달 방향인 N-S 방향. 금번 연구 결과, E-W

방향과 N-S 방향의 수리적 연결성이 매우 좋은 것으로 판단되어 E-W 방향성과 N-S 방향성의 지질구조사 연구지역내 지열수 저류체의 발달과 지열수 유동의 규제 요소로서 상당히 중요한 역할을 하였음이 확인되었다.

(7) 양수 온도 분포에 의할 때, 지열수 산출의 중심대는 1,200 km × 300 m 범위로서 동서로 긴 띠 모양을 이루는 것으로 나타났다. 수위 심도 분포로 볼 때, 지열수 유동은 이 영역의 동축 방향에서 서축 방향으로 이루어지며, 온천수공원의 서축 인근이 유성온천지구에서의 수위 영향의 경계를 이루는 것으로 해석되었다.

## 사 사

본 연구 논문은 한국지질자원연구원 기본사업인 ‘지하수 시스템 통합 해석 기술 개발(I)’ 과제의 일환으로 수행되었으며, 자료 중 일부는 한국지질자원연구원의 ‘유성온천지구 온천자원조사 보고서(5차년도 최종보고)’를 활용하였습니다. 논문에 대하여 세심한 심사와 유익한 조언을 해주신 한국수자원공사의 원종호 박사님과 (주)지오그린21의 이진용 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 건설교통부, 한국수자원공사, 한국지질자원연구원 (2004) 대전지역 지하수 기초조사 보고서. 274p.
- 김건영, 고용권, 김천수, 배대석, 박맹언 (2000) 유성지역 지열수의 지구화학적 특성 연구. 지하수환경, 7(1). p. 32-46.
- 내무부 (1983) 온천지. 722p.
- 문상호, 이철우, 김형찬, 염병우, 기원서, 이대하, 김용제, 김석중, 성기성, 이봉주, 최순학 (1999) 온양온천지구 온천수 자원조사 보고서. 한국자원연구소, 242p.
- 문상호, 김석중, 황학수, 기원서, 고동찬, 하규철, 성기성, 염병우, 이철우, 조민조, 이태섭 (2001a) 청도 용암온천 지구 온천수자원조사연구 보고서. 한국지질자원연구원, 259p.
- 문상호, 고동찬, 하규철, 김석중, 이철우, 조민조 (2001b) 유성온천지구 온천자원조사 보고서 -1차년도 중간보고-. 한국지질자원연구원, 79p.
- 문상호, 고동찬, 하규철, 김석중 (2002) 유성온천지구 온천 자원조사 보고서 -2차년도 중간 보고-. 한국지질자원연구원, 119p.
- 문상호, 고동찬, 하규철, 김석중 (2003) 유성온천지구 온천 자원조사 보고서 -3차년도 중간 보고-. 한국지질자원연구원, 80p.
- 문상호, 고동찬, 하규철, 조성현, 김영식, 김석중 (2004) 유성온천지구 온천자원조사 보고서 -4차년도 중간보고-. 한국지질자원연구원, 96p.
- 문상호, 하규철, 조성현, 고동찬, 김영식, 김석중 (2005) 유성온천지구 온천자원조사 보고서 -5차년도 최종보고-.

- 유성구 온천개발사업소·한국지질자원연구원, 291p.
- 박희인, 이준동, 정지곤 (1977) 한국지질도 유성도폭 지질도 (1:50,000) 및 설명서. 한국자원 개발연구소.
- 유성구 온천개발사업소 (1997) 유성온천지구 부존자원조사보고서. 445p.
- 이봉주, 문상호, 조병욱, 성익환, 이철우 (2001) 스펙트럼 분석을 통한 지하수위 변동의 원인 규명. 지질학회지, 37(2), p. 287-296.
- 이봉주, 문상호, 임무택, 기원서, 고동찬 (2002) 주기 양수에 의한 대수층의 수리적 연결성 진단. 지질학회지, 38(1), p. 115-124.
- 임정웅, 조병욱, 이봉주, 염병우, 성기성, 김상연 (1990) 유성지구 온천공조사보고서. 한국 동력자원연구소, 42p.
- 임정웅, 이철우, 배두종, 문상호, 이종철, 이승구, 성기성 (1998) 이천(안홍)지구 온천공 영향 평가 조사보고서. 한국자원연구소, 온천조사보고서 98-1(No. 259), 253p.
- 정지곤, 섬만철, 김경수, 황형중 (1997) 유성온천지역의 지질구조 및 지온분포 연구. 지질공학, 7(3), p. 173-190.
- 충남 (1988) 온천부존자원 조사연구.
- 한국동력자원연구소 (1982) 수리지질도 설명서-대전북부 (감천유역).
- 화랑대연구소 (1988) 유성온천지구 외곽지역의 온천부존 가능 조사연구. 대전시, 205p.
- 화랑대연구소 (1993) 유성온천 확대예정지구 조사결과 보고서. 대전직할시 유성구청, 48p.
- Davis, J. C. (1973) Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A. (1979) Groundwater. Prentice Hall.
- Lynn, P. A. and Fuerst, W. (1998) Introductory digital signal processing with computer application. John Wiley & Sons, New York.

---

2006년 8월 16일 원고접수, 2006년 10월 2일 게재승인.