

## 동래온천의 수리지질학적 특성과 수위변화

이동영\* · 임정웅\*

### Hydrogeological Characteristics and Groundwater Table Fluctuation of Dongrae Hot Spring

Dong Young Lee\* and Jeong Ung Lim\*

**ABSTRACT:** Dongrae is one of the most famous hot spring resort area in the Republic of Korea. The water temperature ranges 50°C~66\*. The chemical composition of the thermal water is quite different from normal groundwater. Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> are the main components, measured more than 75%, Ca<sup>++</sup> is contained about 22% and the other ions such as SO<sub>4</sub> or HCO<sub>3</sub> are the minor components. The heat source is uprising along the fracture zone of granite which is indicated as a subsurface high temperature belt. During the research period of 1991~1992, the groundwater table was lowered down to the depth of about 100 m according to continuous increase of daily use of thermal water. The groundwater table was fluctuated with an amplitude of day, week or season. The groundwater table was the lowest at 18:00 h in a day and also lowest at the weekend for the week period. There was a relevant relationship between drawdown and the amount of thermal water use on a long term base. To protect such a rapid drawdown of groundwater table, Dongrae resort area is now asked to take strong municipal control for the daily use of thermal water.

#### 서 언

우리 나라에는 현재 24개의 기존 온천이 있으며, 근래에는 여러 지역에서 신규 온천이 새로이 개발되고 있는 중이다. 기존의 온천들은 온천수 이용량이 계속적으로 증가하여 온천수위가 하강하고 있으며, 최근에는 여러 온천지역에서 온천수자원의 고갈이 우려되고 있다. 이와 같은 온천수자원의 고갈을 방지하기 위하여 수자원의 종합적인 평가조사가 요구되고 있으나 기존의 온천지역들은 위락시설들이 밀집되어 있으며 온천의 사유화에 따라 온천수자원의 종합평가에 필요한 자료의 수집이 실질적으로 어려운 편이다. 부산 동래온천에서는 최근에 온천지역 종합개발사업의 일환으로 온천수의 합리적 이용을 위한 종합적인 평가조사가 1991.1~1992.2월 사이에 실시되었다. 이번 조사에서는 온천공 소유자들 모두가 조사에 협조를 하였기에 전체적인 온천수자원의 평가조사가 가능하였으며, 조사 결과 온천수의 계절적인 이용변화와 수위변동 및 온천수의 화학적 특성들에 대한 종합평가를 실시할 수 있었다(임정웅외 1992). 이 논문은 조사 결과를 요약한 내용으로서 온천수자원의 장기적인 이용대책 마련에 필요한 기초자료의 분석과, 또한 기존의 다른 온천지역들에서도 온천수자원의 보전을 위하여 이와 같

은 종합조사의 필요성을 제시하는 것이 본 연구의 목적이었다.

#### 동래온천의 연혁

동래온천은 우리나라 온천 중에서 가장 오래된 온천으로, 신라시대부터 이용되어 왔다는 내용이 삼국유사에 기록되어 있다. 한편, 조선시대에도 동래온천에서 목욕이 성행했다는 내용이 동국여지승람 등에 기록되어 있다. 그러나 근대적인 의미의 온천으로 발전하기 시작한 것은 1910년대 이후이다. 초기에는 현재의 온천지구에서 지포나 혹은 약 5 m 이내의 얇은 심도의 천공에서 자분하는 온천수를 이용하였다. 1920년도에는 온천수의 이용이 증가하여 43개의 온천공이 개발되어 온천수 이용량이 증가하게 되었으며, 이웃한 온천공들 사이에 서로 채수량에 대한 분쟁을 일으키기도 하였다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 부산시에서는 1926년도에 시유공 하나를 개발하여 적당량으로 분배하는 공유공으로 지정하면서 개인 소유의 공들은 모두 폐쇄하였다. 1942년도에는 온천수 이용자들로 구성된 소위 동래온천주식회사를 설립하여 온천장의 효율적인 이용을 도모하였으며, 1946년도에 동래온천주식회사의 운영권을 부산시가 인수하게 되었다. 그러나 1960년도 이후부터는 토지소유권자들이 개별적으로 온천개발을 시작하였으며, 1970년대에는 이들의 개

\*한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Daejeon 365-350, Korea)

발공이 40개 이상으로 다시 늘어나게 되었다. 이러한 무질서한 온천수 개발을 규제하기 위하여 부산시에서는 1970년 7월부터 기존의 동래온천지역을 관광지구로 고시하여 온천의 신규 개발을 억제하였다. 또 1981년 9월부터는 새로운 온천법에 의해 관광지구를 온천지구로 지정 고시하여 모든 지하 굴착행위를 규제하고 기존온천공들을 등록하여 관리하게 되었다. 현재는 24개의 사유공과 6개의 시유공이 있으며 온천수 이용량은 매년 증가하고 있는 추세이다. 특히 최근에는 정부에서 이 지구를 온천 재개발 사업지구로 설정하여 대단위의 위탁시설이 건설되었으며, 앞으로도 호텔등이 추가로 건설될 예정으로서 온천수의 이용이 급증할 것으로 예상된다.

### 기존의 온천조사

동래온천에 대한 최초의 지질조사는 1922년에 지질조사소의 구마다(駒田 亥久雄)에 의하여 시도되었다. 이때는 주로 지질조사, 온천조사, 용출량조사가 이루어졌으며, 또한 Radium Emanation 분석이 실시되었다. 제 2회 조사로서 1923년도에는 19개의 시험추공들을 중심으로 온천 및 용출량조사를 실시하였으며 “조선지질조사요보 제 2권, 동래온천조사보문”에 보고되었다. 당시의 조사결과에 의하면, 약 40개의 온천공으로부터 일일 626 m<sup>3</sup>의 온천수가 자분하였으며 이들의 심도는 6~9m가 일반적이었다. 당시의 최고수온은 68℃로 기록되었다. 구마다는 1924년과 25년에도 조사를 계속하여 “조선 지질조사요보 제 3권과 7권”에 그 결과를 요약하였다. 그후 동래온천에 대한 수리지질학적인 조사는 이루어지지 않았으나, 시대변화에 따라 온천개발이 계속되었으며 온천수의 이용량도 계속 증가하여 새로운 문제점들이 서서히 발생하기 시작하였다. 1983년도에는 부산직할시에서 동아지질(주)에 의뢰하여 온천지구내의 온천수자원 평가조사와 적정양수량 산정 및 그에 따른 영향권을 규명하기 위한 지구물리탐사, 시추조사 및 양수시험을 실시하였으며, 조사 결과 1일 확보 가능수량을 4,000 m<sup>3</sup>으로 추정한다. 그러나, 이 조사 이후에도 온천수자원의 관리에는 별다른 개선이 없었으며 수위는 계속적으로 하강하였다.

### 동래온천의 개발 및 이용

동래 온천지구내의 온천공은 조사 당시 시유공 6개와 사유공 24개공이 개발되어 있었으며(Fig. 1) 평균 굴착심도는 120 m 정도로서 대부분이 80~100 m에 설치되어 있는 수중양수기에 의해 온천수를 양수하고 있었다. 조사기간동안 사용중에 있었던 온천공들은 부산직할시 소유 3개공(3, 4, 5호)과 사유 13개공이었으며 나머지 공들은 양수가 일시적으로 중

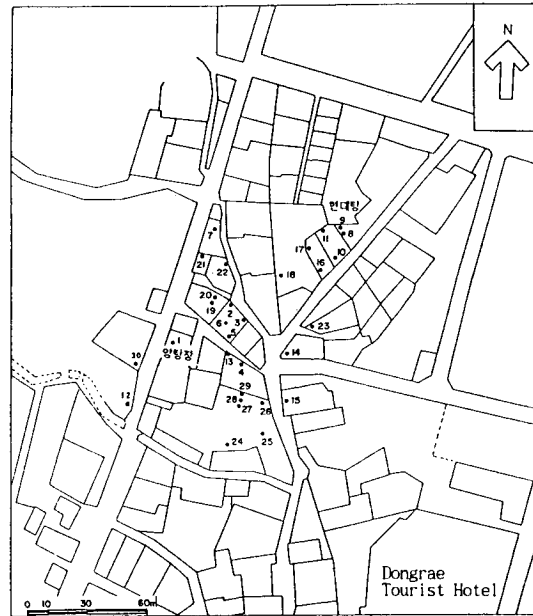


Fig. 1. Location of pumping wells for thermal water at Dongrae hot spring resort area(The number corresponds with the pumping wells on Table 1).

단되었거나 일부는 거의 폐공되어버린 상태이었다(Table 1). 또한 기존의 온천개발지역 중심으로부터 북서쪽으로 약 270 m 떨어져 있는 온천 고시지역 밖의 금정산 산록하부에서 4개공이 새로이 굴착되어 온천지역의 대단위 위탁시설에 온천수를 공급할 계획으로 부산직할시의 사용 허가를 요청한 상태였다.

조사기간 사용중인 온천공들 중에서 시간별 양수량이 관측되고 있는 공은 부산 직할시 소유 3개공 뿐이었으며, 다른 사유공들에서는 양수량 측정이 전혀 이루어지지 않고 있었다. 따라서 각각의 사유공들에 대한 사용량을 산정하기 위하여 수중양수기의 사용시간을 측정하여 이를 양수량으로 환산하는 방법을 택하였다. 각각의 온천공에 설치되어 있는 수중양수기의 배전판에 전력사용시간 적산계를 부착하여 모터 사용시간을 측정하고 이로부터 양수량을 환산하였다. 부산 직할시에서는 보통 월 1회의 검침으로 월별 온천수 사용량을 산출하여 하수도 사용료 산출 근거로 이용하고 있으나, 이번 조사기간 동안에는 한국자원연구소 자체적으로 91년 3월 9일부터 조사기간이 만료될 때까지 매일 9시~10시 사이에 수중양수기 사용시간을 검침하여 1일 양수량을 계산하였다. 이와 같은 양수량 산정 결과, 조사기간 동안의 동래온천 지구내 온천수 총 이용량은 1일 평균 1520 m<sup>3</sup>/day로 조사되었다. 조사기간 동안 1일 최대양수량은 92년 10월 18일로서 2,640 m<sup>3</sup>/day를 기록하였으며, 최소양수량은 91년 7월 24일의

Table 1. Pumping wells for thermal water at the Dongrae hot spring area at the year of 1991.

Owner	Well No.	Well D.(mm)	Depth(m)	Depth of Pump(m)	Pump Capa. HP	Mean Yield of Gr. Wa.	Water Tem (C)	Remarks
City well	Meas. We	250	210	210				
	1	200	100					Not in Use
	2	250	120					Not in Use
	3	250	120	110	35			in Use
	4	200	120	100	5			in Use
	5	200	120	100	5			in Use
	6	250	120					Recleaned
Dongwon H.	7	150	120	100	5			in Use
Hyundai Hotel	8	150	105	105	5			in Use
	9	150	110	110	10			in Use
Baekrim Hotel	10	150	115	100	10			Not in Use
	11	150	120	98	10			in Use
Munhwa Hotel	12	150	107	90	3			Not in Use
Jungang Hotel	13	150	115	불명	10			in Use
Oncheon Hotel	14	150	115	100	10			
Bulro Hotel	15	150	120	100	10			
	16	150	125	120	10			Stopped
Cheonil Hotel	17	150	120	100	10			Stopped
	18	150	100	100	10			Stopped
Keumcheon Hotel	19	150	120	100	10			Not in Use
	20	150	115	100	10			
Kyungdong	21	150	125					
Mansoo Hotel	22	150	120	119				Stopped
	23	150	120					
Nokcheon Hotel	24	150	120	100	10			Not in Use
	25	200	125	100	20			
	26	150	125	100	10			Not in Use
	27	200	120	100	10			
	28	200	120	100	10			in Use
	29	200	125	100	10			Not in Use
Jeil Hotel	30	125	110	100	10			Not in Use

693 m<sup>3</sup>/day을 나타냈다(Table 2). 그러나 1일 총 양수량의 변화는 대체로 주기성을 보이고 있으며, 온천수 사용 성수기인 10월~3월과 비성수기인 4월-9월사이의 양수량에는 약 600 m<sup>3</sup> 이상의 차이를 보이고 있다. 또한 요일에 따라서도 큰 차이를 보이며, 토요일과 일요일은 사용량이 급증하는 반면 수요일과 목요일에는 최소의 사용량을 기록하고 있다. 이와 같이 동래온천지구에서 이용되는 일별 온천수의 총량은 주기별 계절별 변화를 보이고 있다.

수위변화 관측

온천수위 변화는 지하수의 유입과 온천수의 배출 관계에서 결정되는 부존량의 양적 증감의 결과이다. 일반적으로 지표수의 직접 유입은 심도가 깊어질수록 시간적으로 큰 변화를 보이지 않기 때문에 온천수위 변화의 주된 원인은 온천수의 인위적인 양수에 의한 것으로 볼 수 있다. 특히 동래온천지역은 장기간에 걸친 양수로 온천수위의 심도는 이미 상당한 깊이까지 하강하여 있는 상태로서, 주변의 수문조건에 따른 일반 지하수위의 변화는 온천수위에 영향을 크게 미치지 못하고 있다. 조사가간동안 온천수위관측은 시유 2호공과, 신규의 온천개발공에서 실시되었다. 특히 이 지구의 온천수위는

Table 2. Groundwater table fluctuation according to daily use of thermal water for the period of 1991-1992.

Date of Measur.	Use of Thermal Water			GW Table at City Well No. 2			GW Table at Private Well 2			
	Priva.	Public	Total	Lowest	Heighest	Daily Flu.	Lowest	Heighest	Daily Flu.	
1991										
3. 17	S	950	1053	2003			84.2	81.9	2.7	
18	M	735	1041	1776			83.3	82.5	0.8	
19	T	576	1021	1597			83.0	81.7	1.3	
20	W	608	1093	1701			83.0	81.6	1.4	
21	T	705	1017	1722			83.7	81.4	2.3	
23	S	794	1034	1828			84.3	82.1	2.2	
24	S	915	992	1907			84.1	82.8	1.3	
25	M	716	964	1680			83.2	82.2	1.0	
26	T	648	1022	1670			83.4	81.2	2.2	
4. 20	S	650	1103	1753		73.5	83.5	81.3	2.7	
21	S	566	1016	1582		74.1	84.4	81.8	2.6	
22	M	557	1082	1639	79.7	74.8	4.9	83.4	82.2	1.2
23	T	483	1060	1543	79.1	73.7	5.4	81.9		
24	W	316	1055	1371	78.7	75.5	3.2	82.7	81.1	2.6
25	T	454	1042	1496	72.1	72.1	5.0	82.2	80.5	1.7
26	F	481	1093	1574	78.6	71.7	6.9	83.0	80.6	2.4
27	S	1037	1068	2105	78.9	73.5	5.4	83.5	81.4	2.1
5. 7	T	411	1032	1443	78.3	72.9	5.4	82.8	81.1	1.7
8	W	343	1079	1442	77.8	72.5	5.5	82.4	80.7	1.7
9	T	359	868	1227	76.8	71.8	5.0	82.1	80.9	1.2
10	F	471	1005	1476	78.1	71.4	6.7	82.0	80.2	1.8
11	S	488	984	1472	78.7	72.3	6.4	80.9	79.4	1.5
12	S	624	995	1619		72.9		81.9	79.6	2.2
13	M	460	1002	1462	78.3	74.6	3.7	79.8	77.7	2.1
14	T	371	9888	1359				81.9	79.1	2.8
6. 11	T	301	778	1079	78.1			78.1		
12	W	181	745	926	74.2			74.2		
13	T	369	709	1078	73.6			73.6		
14	F	337	759	1096	73.7			73.7		
15	S	345	802	1147	76.1			76.1		
16	S	412	850	1262	77.2			77.2		
17	M	358	786	1144	74.8			74.8		
18	T	275	784	1059	74.7			74.7		
7. 9	T	250	718	968	75.5			75.5		
10	W	150	717	867	74.5			74.5		
11	T	242	722	964	73.1			73.1		
12	F	302	697	999	73.7			73.7		
13	S	402	733	1135	73.0			73.0		
14	S	394	766	1160	76.7			76.7		
15	M	309	785	1094	73.3			73.3		
16	T	270	699	939	73.4			73.4		
8. 20	T	197	675	872				73.4		
21	W	142	570	712	73.9	69.9	4.0	73.9	69.9	4.0
22	T	264	685	949	73.1	68.9	4.2	73.1	68.9	4.2
23	F	269	648	917	72.7	69.7	3.0	72.7	69.7	3.0
24	S	316	803	1119	74.0	67.3	6.7	74.0	67.3	6.7
25	S	332	834	1166	76.1	68.5	7.6	76.1	68.5	7.6
26	M	263	706	969	74.2	67.3	4.9	74.2	67.3	4.9
27	T	269	710	979	76.1	69.7	7.4	76.1	69.7	7.4
28	W	253	694	947	76.0	70.6	5.4	76.0	70.6	5.4
9. 16	M	389	785	1174	77.5	72.7	4.8	77.5	72.7	4.8
17	T	282	679	961	78.1	71.5	6.6	78.1	71.5	6.6
18	W	295	856	1151	78.2	71.7	6.5	78.2	71.7	6.5

Table 2. continued.

Date of Measur.	Use of Thermal Water			GW Table at City Well No. 2			GW Table at Private Well 2			
	Priva.	Public	Total	Lowest	Heighest	Daily Flu.	Lowest	Heighest	Daily Flu.	
1991										
9. 19	T	320	832	1152	78.2	71.9	6.3	78.2	71.9	6.3
20	F	383	872	1255	80.2	71.9	8.1	80.2	71.9	8.1
21	S				82.4	72.7	9.7	82.4	72.7	9.7
22	S	858	585	1443		69.4			69.4	
23	M				72.6	66.8	5.8	72.6	66.8	5.8
24	T	558	918	1476	77.7	67.9	5.8	77.7	67.9	5.8
10. 10	T	1043	1088	2131	76.2	74.7	1.5	78.4	77.5	0.9
11	F	1041	1158	2199		75.1		79.2	77.7	1.5
12	S	957	885	1842	78.4	71.3	7.1	79.0	76.9	2.1
13	S	1167	938	2105		73.3		80.2	77.8	2.4
14	M	1139	820	1959		72.8		79.1	78.1	1.0
15	T		886			71.8		79.0	77.1	1.9
16	W	1021	809	1830	77.3	71.5	5.8	78.0	77.1	0.9
17	T	903	867	1770	75.6	70.4	5.2	78.3	77.2	1.1
18	F	1703	937	2640	78.1	70.7	7.4	78.9	76.8	2.1
11. 15	F	975	922	1897	81.9	78.3	3.6	81.9	78.3	3.6
16	S	1038	866	1904	82.9	78.6	4.3	82.9	78.6	4.3
17	S	1115	858	1973	84.6	80.6	4.0	84.6	80.6	4.0
18	M	1023	866	1904	82.9	80.9	2.0	83.1	81.0	2.1
19	F	946	926	1872	82.3	79.5	2.8	82.3	79.5	2.8
20	W	910	911	1821		79.1			79.2	
21	T	762	891	1653	83.3	80.5	2.8	83.4	80.5	2.9
22	F	979	941	1910	83.9	80.5	3.4	83.9	80.6	3.3
23	S	985	913	1898	84.4	80.1	4.3	84.3	80.1	4.2
12. 1	S	1091	959	2050	87.3	82.3	5.0	87.3	82.4	4.9
2	M	995	968	1963	85.5	84.3	1.2	85.5	84.3	1.2
3	T	802	993	1795	85.0	81.9	3.1	85.0	82.0	3.0
4	W	701	1025	1726	84.8	81.4	3.4	84.8	81.4	3.4
5	T	831	997	1828						
6	F	888	996	1884	85.4			85.4		
7	S	1060	971	2031	86.5			86.5		
8	S	1082	949	2031	87.9			87.9		
1992										
1. 4	S	1048	896	1944				84.4	81.6	2.8
5	S	991	831	1822				85.7	82.3	3.4
6	M	995	841	1836				84.7	82.5	2.2
7	T	847	891	1738				84.7	81.1	3.6
8	W	877	861	1738				83.4	80.8	2.6
9	T	898	914	1812					81.5	
10	F	843	879	1722						
11	S	1019	846	1865						
12	S	1225	810	2035				86.9		
2. 15	S	860	1193	2053				88.6	86.4	2.2
16	S	972	1221	2193				89.2	86.9	2.3
17	M	908	1188	2096				88.9	87.4	1.5
18	T	1204	1133	2337				88.4	87.3	1.1
19	W	998	1081	2079				88.9	86.9	2.0
20	T	904	1095	1999				88.3	87.2	1.1
21	F	821	1127	1948				88.1	87.0	1.1
22	S	893	1185	2078					86.1	

시간별, 일별 변화량이 아주 크기 때문에 지속적인 수위변화 관측이 필요한 지구로서, 일시적인 수위관측으로는 어떤 해

석도 할 수 없었다. 따라서 이번 조사에서는 자동수위 기록기를 설치하여 지속적인 수위관측을 시도하였으나 온천수

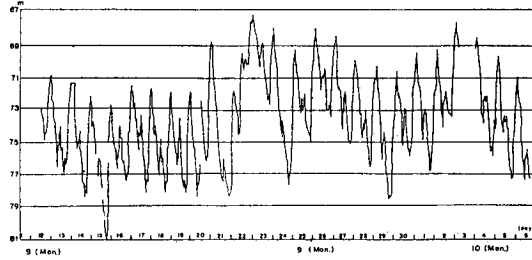


Fig. 2. Example of daily fluctuation of groundwater table for the period of Sept. to Oct. 1991 at the pumping well No.2 belonging to Busan City.

위가 깊고 수위의 변화가 커서 수위 측정에 어려움이 많았다.

**시소유 제2호공의 수위변화**

부산직할시 소유의 온천공들은 제 2, 3, 4 및 제 5호 등 모두 6개공의 양수정이 불과 수 미터의 거리를 두고 굴착되어 있으며, 이들은 동래 온천지구의 거의 중심부에 놓여 있다. 이들 중에서 제 2호공은 조사 당시 이용되지 않고 있어 연속적인 수위관측을 실시할 수 있었다. 제 2호공은 개발한지가 이미 오래된 공으로 공의 내부가 깨끗하지 못하여 수위관측이 매우 어려운 실정이었으며, 더욱이 수위심도가 70m 이하에 위치하는 한편, 1일 수위 변동폭이 약 5m 이상을 나타내고 있어 수위기록이 간헐적으로 중단된 기간도 있었다.

제 2호공에서의 수위변화는 최고수위와 최저수위간의 1일 변화폭이 약 5m 범위로서 매일 오전 1시에 가장 높은 수위를 기록한다. 그후 오전 6시까지 하강하다가 다시 상승하여 오후 2시부터 다시 하강하여 일일중 온천수 사용량이 가장 많은 오후 6시에 일일 최저 수위를 기록하고 있다(Fig. 2). 전체적인 변화는 1주일을 주기로 하여 최고 수위와 최저 수위가 변화하고 있음을 알 수 있다. 즉, 일주일 중에서 일요일의 수위가 최저를 나타내며, 목요일의 수위가 반대로 가장 높다. 이는 온천수의 이용이 일요일이 가장 많고 수, 목요일이 가장 적다는 해석이 된다. 또한 요일중에서도 국경일등의 휴일이 있는 날은 일요일의 수위와 같이 낮은 수위를 기록하고 있다. 이와 같이 일주일을 주기로 수위의 하강과 상승은 반복되고 있으며, 그 변화폭은 4월의 측정 초기부터 8월 첫 주까지는 일요일에서 목요일까지는 평균 2.76m 상승하고 목요일에서 일요일까지는 평균 2.45m 하강하고 있다. 또한 8월 두번째 주부터는 이와 반대로 일요일에서 수요일까지는 2.45m 상승하고 목요일에서 일요일까지는 2.75m 하강하고 있다. 이는 수위가 일주일을 주기로 매주마다 평균 약 30cm의 수위 차이를 나타내고 있음을 의미한다. 년중 변화는 측정기간이 일년이 되지 못하여 정확히는 밝힐 수 없으나, 조사 기간중의

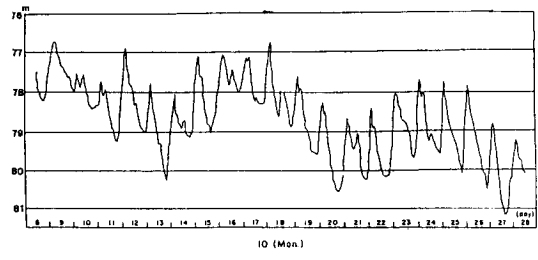


Fig. 3. Example of daily fluctuation of groundwater table for the period of Oct. 1991 at the pumping well No.2 belonging to the private company near Dongrae hot spring area.

가장 낮은 수위는 12월 8일의 87.9m이며, 가장 높은 수위는 9월 23일 66.8m이었다.

**신규 개발공의 수위변화**

온천장 중심 지역으로부터 약 270m 떨어진 거리에 위치하는 신규 개발 3호공에서 91년 2월 21일부터 5월 21일까지, 그리고 제 4호공에서는 10월 8일부터 조사기간이 완료될 때까지 자동수위 기록계에 의한 수위관측을 실시하였다. 이 개발공들은 동래온천의 양수정들로부터 멀리 떨어져 수위 변화폭이 적고 또 최근에 굴착된 공으로서 공내가 깨끗하여 수위관측은 거의 중단없이 실시되었다. 관측 결과에 의하면, 온천수위는 지표로부터 약 80~90m 하부에 머물며, 1일 변화폭은 보통 2~3m 이내였다(Fig. 3). 전체적인 수위변화의 양상은 시영 2호공과 유사한 모양을 보이고 있다. 주간 수위변화는 일요일이 최저의 수위를 기록하며 수요일이나 목요일이 가장 높은 수위를 나타내고 있다. 1일 변화폭은 대부분 2m 이내였으나, 91년 10월 이후부터는 약 2m 이상의 변화폭을 기록하고 있다. 일주일 동안의 변화폭은 평균 약 1.5m를 나타내고 있다. 조사기간중 최저수위는 92년 2월 3일의 90.6m, 최고수위는 10월 9일의 76.8m이었다. 이와 같이 1주일간의 수위변화 양상이 시영 2호공의 수위변화 양상과 같은 형태를 보이고 있다는 것은, 온천장 중심에서의 양수가, 이로부터 270m 떨어진 신규 개발공에까지 미치고 있음을 의미한다. 그러나 기존 온천장에서의 양수에 의한 영향은 중심지대에서 1일 변화가 5m인데 비하여 훨씬 적은 2m에 그치고 있다. 이는 양수의 영향은 거리가 멀어 질수록 적어지기 때문일 것이다.

**온천수의 지화학적 특성**

**온천의 용출 온도**

동래 온천은 용출 온도가 우리나라에서 가장 높은 온천

Table 3. Temperature(°C), pH, Electrical conductivity( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) and salinity(ppm) of thermal water of Dongrae hot spring.

Well no.	91. 5. 3.			91. 6. 12.			91. 7. 6.			91. 7. 12.			91. 8. 27.			92. 2. 14.							
	Tem	pH	EC	Sal.	Tem.	pH	EC	Sal.	Tem.	pH	EC	Sal.	Tem.	pH	EC	Sal.	Tem.	pH	EC	Sal.			
City-3																							
City-4	65.0	7.76	2140	1.08	64.7	7.66	2710	1.36	64.5	7.92	2860	1.29	65.0	8.05	2450		64.3	7.39	2380	1.19	66.9	7.95	1570
City-5	65.5	7.46	2440	1.11													65.3	7.45	2430	1.21	64.5	8.00	1545
City-6																					67.3	8.03	1576
Dongwon	56.5	7.77	1624	0.81	57.8	7.60	2080	1.04	56.2	7.83	1870	0.94					56.2	7.86	1660	0.83	55.6	8.06	1150
Hyundai	62.1	7.92	2100	1.08	59.8	7.92	2370	1.18	59.4	7.97	1896	0.95									61.8		
Mansoo	66.7	8.18	2560	1.19	64.9	7.94	2380	1.17	64.2	8.16	2570	1.28											
Baekrim	54.0	7.84	1250	0.62	58.0	7.84	2410	1.11									65.1	7.74	2510	1.24			
Jungang					65.9	7.74	2620	1.32	65.7	7.87	2500	1.25	65.9	8.05	1950		63.2	7.50	2220	1.13	66.6	7.89	1570
Nok-2					59.2	7.51	1763						61.5	7.95	1930						62.2	7.82	1534
Nok-3					55.6	7.36							43.5	7.51	1420								
Nok-4					38.5	7.14	1405																
Bulroja																	48.6	7.79	1845	0.92			
Keunch.																	64.3	7.37	2290	1.13			

중의 하나일 뿐 아니라, 용존성분도 매우 높은 편이다. 조사기간 동안에는 기존 온천공들에서 양수되는 온천수들에 대한 용출 온도가 여러번 측정되었다. 온천수의 용출 온도는 모두 55°C 이상을 보이고 있으며, 그의 범위는 최고 67.3°C에서 최저 55°C이다(Table 3). 만수장, 중앙여관 및 시소유공들이 밀집하고 있는 중심대에서는 65°C의 높은 온도를 보이는 반면, 외곽지대로 나갈수록 온도는 떨어져 55°C까지 감소하고 있다. 각각의 온천공에 있어서 온도의 계절적인 변화는 커다란 차이를 보이지 않고 있으나, 5월에서 7월 사이에는, 온도가 약간 하강하는 경향이 나타나고 있다. 시소유 4호공은 0.5°C가 낮아졌으며, 만수장과 현대장에서는 약 2°C가 떨어지고 있다. 이와 같이 5월에 비하여 7월에 용출온도가 떨어지는 이유는, 7월에 온천수의 비수기에 해당하여 지하수위가 상승하고 또 집중 호우에 의하여 지표부근의 지하수가 쉽게 유입하는 결과로 해석된다.

**pH, EC 및 염도**

조사기간 동안에 용출 온도의 측정과 함께 pH, 수비전도도(EC) 및 염도(Salinity) 등이 여러번 측정되었다. 동래 온천의 온천수는 대부분이 pH 7.5~8.0 사이의 약 알칼리성을 띠고 있으며, 그 중에서 만수장과 현대장 및 시영 4호공에서 가장 높은 수치를 보이고 있다. 특히 만수장의 pH 값은 가장 높은 수치인 8.18을 기록하고 있다. 대체로 용출 온도가 높을수록 pH 값은 높으며, 이러한 관계로 말미암아 온천지구 중심부에

가까울수록 pH의 값도 증가하는 경향을 보이고 있다. 지하 심부에 있는 열수의 근원은 이 보다도 더 높은 pH 값을 갖고 있으나, 열수의 상승 과정에서 지하수와 혼합되면서 그의 값은 떨어지게 된 것으로 본다. 온천수의 전해질 물질의 총량에 따라 값을 달리하는 수비전도도(EC)는 총고형물의 양과 비례하고 있다. 즉 EC 값은 단위면적당 전류가 통할수 있는 양으로서 수질중에서 이온화 될 수 있는 성분을 많이 포함할수록 EC 값은 증가한다. 이 지구 온천수의 EC 값은 대체로 1500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이상의 높은 수치를 보이고 있다. 일반 지하수가 보통 100~300  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 EC 값을 보이는데 비하면, 온천수는 지하수보다 5~10배의 높은 농도를 갖는다. 이는 동래온천의 온천수 중에는 이온화 될 수 있는 화학성분들이 많이 포함되어 있기 때문이다.

**온천수의 화학적 성분**

온천수는 지표로부터 들어간 물이 지하 깊은 곳으로 침투하여 지하 심부로부터 생성된 열과 화학성분을 공급받아 상승한 지하수이다. 이 때문에 온천수는 일반 지하수보다는 용존 성분의 함량이 높으며 특수한 성분을 함유하는 경우도 많다. 온천수의 주요 양이온으로서 Na, K, Ca 와 Mg, 그리고 음이온으로서 Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> 및 CO<sub>3</sub>의 8가지 성분이 용존 성분의 거의 대부분을 차지하고 있다. 이들 주요 성분의 조성비 차이에 의하여 수질의 특성이 결정된다. 온천수에서는 이들 주요 성분 이외에도 여러 다른 성분들이 미량으로 포

**Table 4. Chemical analysis of thermal water from different pumping well of Dongrae hot spring.**

Contents	Priv. -1	Priv. -2	Priv. -3	Priv. -4	City-3	City-4	City-5	Dongwon	Hyundai	Mansoo	Baekri	Nokch-2	Nokch-4	Jungang
T-Solid	585.0	608.0	772.0	57.0	952.0	963.0	998.0	778.0	907.0	1052.0	580.0	932.0	715.0	935.0
K	2.67	1.92	5.67	4.43	6.87	6.14	6.17	5.13	6.38	6.65	5.97	6.36	4.21	6.68
Na	111.0	95.0	181.0	73.0	236.0	258.0	259.0	213.0	245.0	273.0	172.0	231.0	191.0	234.0
Ca	43.7	47.2	47.6	47.6	58.5	62.5	61.7	48.1	57.7	63.6	43.5	61.0	61.6	58.9
Mg	5.18	8.66	1.80	5.97	0.16	2.64	1.69	0.21	0.32	2.11	1.27	0.27	1.48	5.49
Fe	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	ND	ND	ND
Li	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	0.12	0.12	0.10	0.11	0.12	0.06	0.11	0.09	0.12
Sr	0.21	0.20	0.24	0.41	0.32	0.68	0.65	0.44	0.53	0.68	0.41	0.36	0.37	0.32
Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Tr	Tr	Tr	ND	ND	ND
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	0.38	0.78	0.09	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.09	0.06	0.50	0.05	0.39	0.04
Cl	212.0	206.0	310.0	09.0	398.0	433.0	439.0	336.0	402.0	460.0	233.0	387.0	282.0	404.0
SO <sub>4</sub>	33.2	32.0	49.5	50.4	69.6	72.9	74.4	57.5	71.9	75.5	50.7	70.2	65.0	69.6
F	0.80	0.60	1.50	1.10	1.60	1.80	1.80	1.40	1.80	1.90	1.40	1.60	0.04	1.80
HCO <sub>3</sub>	49.2	46.2	38.6	40.3	44.3	47.7	40.3	52.2	53.7	29.8	135.7	58.0	124.3	47.2
CO <sub>3</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Free CO <sub>2</sub>	6.40	7.46	1.80	3.84	1.52	3.62	4.26	3.20	5.76	5.33	7.03	2.82	7.58	2.60
H <sub>2</sub> S	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SiO <sub>2</sub>	52.8	53.3	51.0	51.6	49.3	48.3	49.1	49.7	47.3	46.7	31.8	48.2	39.8	49.5



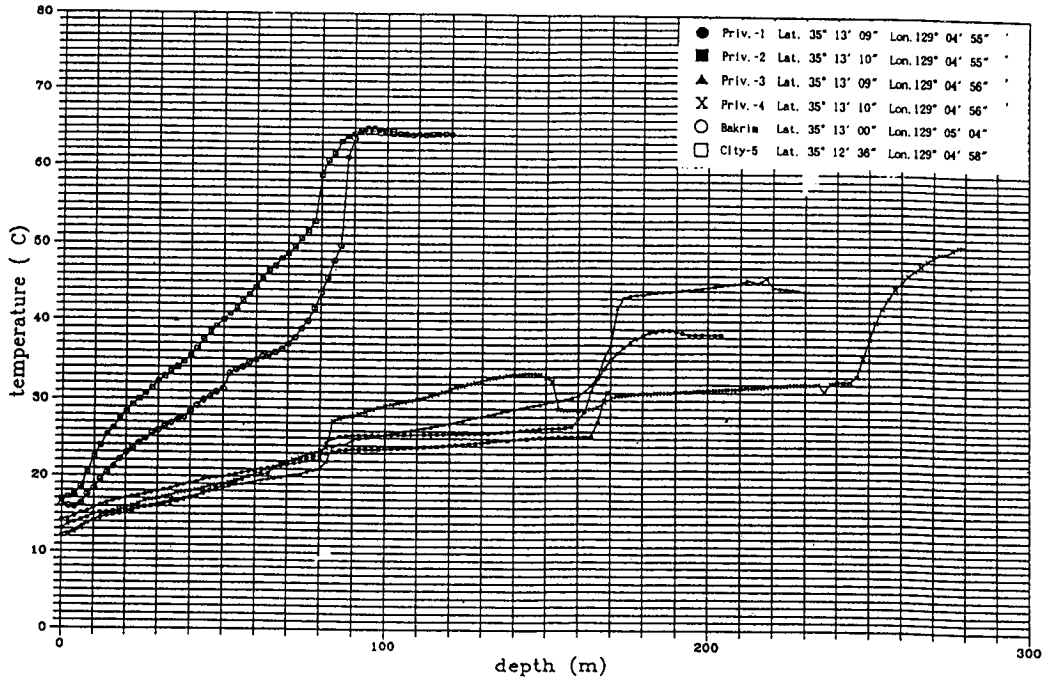


Fig. 4. Temperature logging at the pumping well No.2 owned by Pusan city and 4 wells recently developed near Dongrae.

함되어 있다. 기존 온천지역에서 10개의 온천공들에서 물시료를 채취하여 수질분석을 실시하였다. 수질 성분 중에서 변하기 쉬운 성분들인  $CO_3$ ,  $HCO_3$ , free  $CO_2$  및  $H_2S$ 는 현장 분석을 실시하였으며, 그 외의 성분들은 실험 분석을 하였다. Table 4 에서 보는 바와 같이 시료당 20개 성분의 분석을 실시하였으며, 서로의 비교를 위하여 신규 개발공의 분석을 함께 실시하였다. 온천수의 주요 성분은 Na, Ca, Cl,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ ,  $SiO_2$  들로 나타나며, 이들 성분은 30 ppm 이상의 농도를 보이고 있다. 이와 같은 주요 성분들의 상대적인 성분 비교를 위하여 각 성분의 절대 농도인 ppm을 음이온과 양이온으로 구별하여 당량비(equivalent per million)값으로 환산하여 비교하였다. 즉, 주요 양이온인 K, Na, Ca, Mg과 주요 음이온인 Cl,  $SO_4$ ,  $CO_3$ ,  $HCO_3$  의 함량을 epm으로 환산하여 이 값을 다시 백분율로 계산한 결과, 양이온 중에서는 Na의 성분비가 모든 온천수에서 약 75%를 차지하며, Ca가 약 22%, 그리고 K, Mg가 2~3%를 차지하고 있다. Na은 녹천 4호의 71.6%로부터 동원장의 78.4%의 범위를 보인다. 또한 중앙여관에서는 Mg가 3.3%를 차지하며, 다른 온천장들에서는 약 1% 미만의 Mg 조성비를 보이고 있다. 이와 같이 온천수의 수질조성은 약간씩 차이는 있으나, 전체적으로 유사한 양이온 함량을 보인다. 한편 주요 음이온 중에서는 Cl이 약 80% 그리고  $SO_4$  와  $HCO_3$ 가 각각 10% 정도의 수질조성비를 보이고 있다. 백

림탕과 녹천 4호에서 Cl 함량비가 적은 반면에  $SO_4$ 와  $HCO_3$ 의 함량비가 높은 편이며, 다른 온천수들에서는 서로 유사한 수질을 보인다. 이와 같은 온천수질의 성분은 Piper의 분류에 의하면 Na-Cl 형을 보이고 있으며, 음이온과 양이온의 8가지 주요성분을 제외한 기타 성분들 중에서는  $SiO_2$ 의 함량이 많다.  $SiO_2$ 는 지열 평가의 가장 중요한 요소 중의 하나로 일반적으로 고온의 온천에서는 높은 함량을 갖는다. 백림탕을 제외하고는 40 ppm 이상을 보이며, 동원장에서는 최저치인 49.7 ppm을 보인다. 다른 성분들 중에서는 F를 제외하고는 1 ppm 미만이거나 거의 측정불가의 ND를 보이고 있다. F는 녹천 4호의 1.15 ppm으로부터 만수장의 1.90 ppm 사이의 함량을 보이고 있다.

### 물리검층

온천 개발공에서 하부의 지질구조와 수직적인 온도변화를 해석하기 위하여 온도, 자연감마선, 자연전위차검층 등을 실시하였다. 기존 온천지역에서는 시영 2호공과 백림장의 온천공 및 신규개발지역 4개공에서 물리검층을 실시하였다. 실제로 온천지구내에 사용하지 않는 온천공들이 여러 개 있었으나 대부분의 공에는 수중양수기가 설치되어 있어 측정이 불가능하였다.

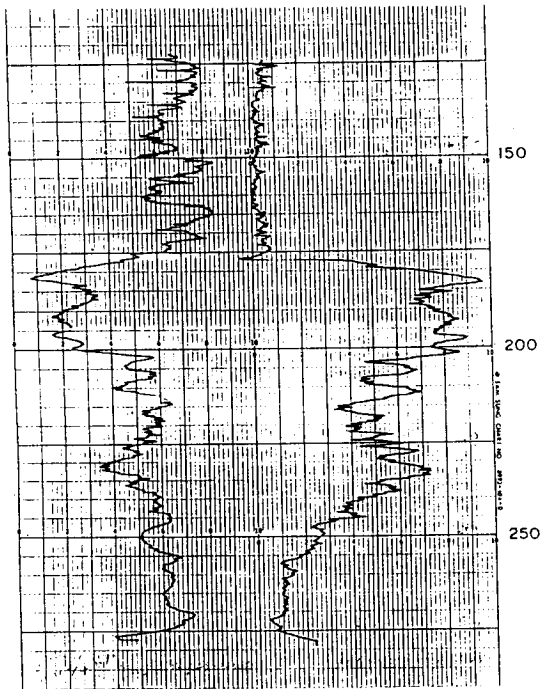


Fig. 5. Resistivity logging at the recently developed well No. 4 near Dongrae.

온도검층은 시영 2호공과 백림탕의 온천공 및 신규 개발 지역의 4개공에서 실시하였다. 기존 온천지역에서는 수위가 약 80 m 에 위치하고 있기 때문에 수온의 수직변화 측정은 그 이하 심도에서부터 가능하였다(Fig. 4). 시영 2호공과 백림탕의 온천공들에서는 서로 비슷한 온도 상승곡선을 보이고 있다. 수위가 위치한 80 m 심도에서 약 90 m 까지는 수온이 급상승하여 약 65°C를 가르키고 있다. 그러나 90 m 에서부터 측정가능 심도인 약 120 m 까지는 온도의 변화가 극히 적은 편이다. 이러한 온도 상승 특징은 동래온천의 열원이 일부 심도구간에 국한하고 있음을 지시하며 이는 파쇄대와 같은 지질구조선을 따라 열원이 상승하고 있는 특징을 보인다. 신규 개발지역의 4개공에서 온도검층 결과 이들은 모두 근 거리에 밀집되어 있어 서로 유사한 온도 상승 분포를 보이고 있다. 지하수위가 위치한 약 82 m 심도에서 부터 약 160 m 심도까지는 수온의 상승이 극히 적으나 160 m에서 180 m 구간에서 온도가 급변하고 있다. 280 m 까지 굴착된 4호공에서는 245 m 에서 다시 온도가 상승하고 있다. 이와 같이 신규 개발지역이 비록 동래온천의 중심대로 부터는 떨어져 있어 온도상승율은 낮은 편이다. 그러나 온도 상승의 변화는 비슷한 양상을 띠고 있어 동래온천 중심지역과 유사한 지질구조로 연결되어 있음을 지시하고 있다.

비저항탐사 결과는 신규개발 4호공의 검층 결과를 예로

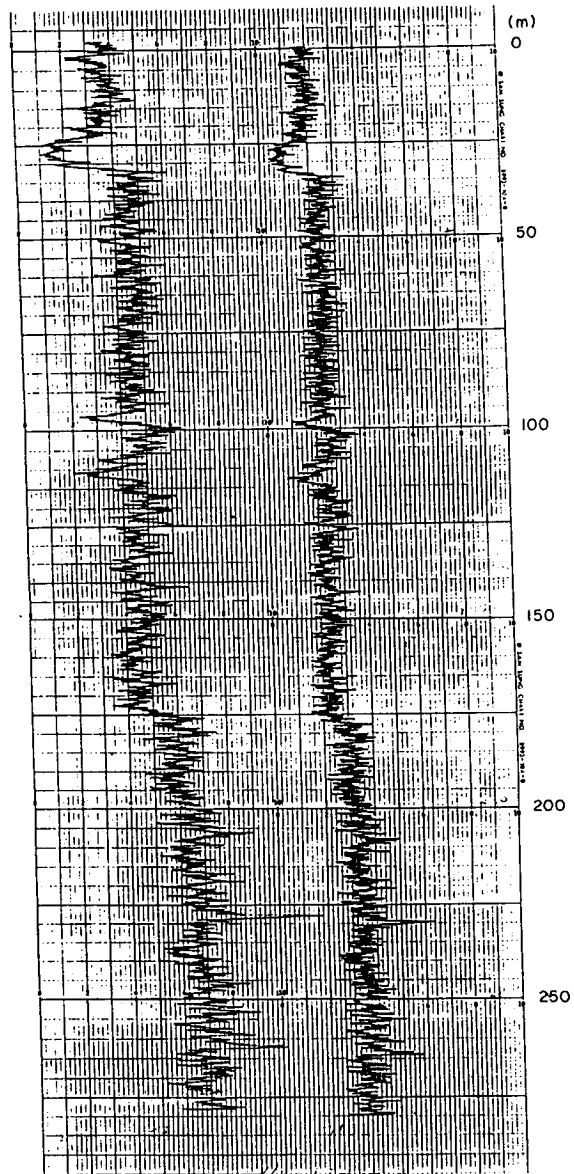


Fig. 6. Gamma logging at the recently developed well No. 4 near Dongrae.

하였는데, Fig. 5에서 보듯이, 150 m 심도까지는 비저항 값의 변화가 거의 보이지 않으나, 그 이하부터는 갑작스러운 증가가 여러 곳에서 나타난다. 250 m 이하에서 비저항치가 감소하는 것은 온천수 유동구간으로 해석된다. 자연감마선 검층에서도 175 m 심도를 변곡구간으로 하여 소규모적이거나 여러 피크들이 나타나는 것으로 보아 지하수유동을 가능하게 하는 절리나 파쇄대가 발달하여 있는 것으로 해석할 수 있다(Fig. 6).

Table 5. Hydrogeological characteristics of Dongrae hot spring.

Pumping Well	Pumping m <sup>3</sup> /day	R. Draw-down(m)	Observation Well	Transmissivity Coef. (m <sup>2</sup> /min)	Storage Coef
Privat. -1	260	8.49	Privat.-4	1.55×10 <sup>-2</sup>	1.32×10 <sup>-5</sup>
Privat. -2	270	8.41	Privat.-1	4.01×10 <sup>-2</sup>	7.18×10 <sup>-6</sup>
			Privat.-4	4.28×10 <sup>-2</sup>	1.12×10 <sup>-4</sup>
Privat. -3	950	7.49	Privat.-1	5.49×10 <sup>-2</sup>	4.35×10 <sup>-4</sup>
			Privat.-4	5.69×10 <sup>-2</sup>	1.32×10 <sup>-4</sup>
Privat. -4	640	7.11	Privat.-1	1.26×10 <sup>-2</sup>	1.33×10 <sup>-6</sup>
			Privat.-2	1.22×10 <sup>-2</sup>	5.70×10 <sup>-5</sup>
Mean				3.356×10 <sup>-2</sup>	1.070×10 <sup>-4</sup>

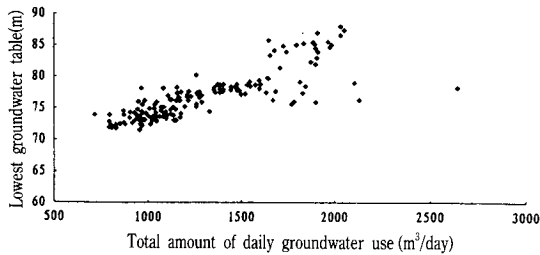


Fig. 7. The lowest groundwater table from the ground surface in a day at the pumping well No. 2, owned by Pusan city according to the total amount of daily groundwater use at Dongrae hot spring.

### 대수층의 수리적 특성

지하수 유동속도나 지하지층내에 저류될 수 있는 지하수의 양적 평가 등은 지층의 수리적 성격을 대표할 수 있는 수치로서 대수층의 종합평가를 위한 필수적인 기초자료이다. 동래온천의 기저 지질은 화강암류로서 시추자료와 공내 물리검층 결과에서 보듯이 엄격한 의미의 대수층은 발달되어 있지 않다. 그러나 대수층으로 간주될 수 있는 파쇄대가 여러 구간에서 발달하여 있어 이들의 평균적인 수리상수도 큰 의미를 가질 수 있다. 이와 같은 수리적 상수를 구하기 위하여 신규개발된 4개의 개발공에서 장기 양수시험과 단계 양수시험을 실시하였다. 장기 양수시험은 24시간의 양수기간 동안 양수공과 관측공에서 수위를 관측하여 Theis 방법에 의해 수리상수를 계산하였다. 단계 양수시험에서는 4시간을 기준으로 단계적으로 양수량을 증가하면서 수위를 관측하여 적정양수량을 산정하였다. 측정결과 신규개발지역의 평균투수량 계수는  $3.356 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$  이며 저류계수는  $1.070 \times 10^{-4}$  을 보였다(Table 5).

### 온천수자원 종합평가

온천수위는 주변지역의 수문과 지질 및 지하수의 공급, 배출등에 의하여 결정되는 유동적인 수리변수이다. 수문으로는 강수와 증발 및 지표유출 등의 상호관계에서 결정되는 지하침투량이 수위변화에 지배적 역할을 하며, 지하로 침투된 지하수가 이동 및 저류하는 과정은 대수층의 수리적 성격에 지배를 받게 된다. 온천수자원은 거의 대부분이 지하수의 유입에 의존하고 있으나, 그의 순환과정은 명확히 밝혀져 있지 않다. 단지 상당한 거리와 심도를 경유하여 온천 대수층으로 들어 오고 있을 것으로 추정될 뿐이다. 온천수의 배출은 자연상태에서는 지표유출이나 지하유출로 이루어지나, 과잉 양수 여부가 논의 될 정도로 지하수위가 하강한 지역에서는 거의 전부가 인위적인 양수로 인한 유출로만 해석할 수 있다. 따라서 이 지역의 온천수자원 평가를 위하여서는 온천 부존량의 증감을 표시하는 온천수위 변화의 관측은 매우 중요하다. 우리나라의 다른 온천도 모두 비슷한 상태이지만, 동래온천은 온천수위 변화에 대한 장기적인 기록의 보존은 고사하고 단편적인 관측 자료마저 찾을 수 없는 처지이다. 이러한 상태에서는 장기적인 안목에 따른 정확한 판단은 거의 불가능하다고 봐야 한다. 그러나 동래온천 조사에서는 조사기간 동안 몇개의 공에서 거의 일년간에 걸친 온천수위 관측을 실시하여 온천자원의 평가에 필요한 기초 자료를 제공하였다. 동래온천지구의 지하수위는 양수량의 증감에 따라 직접적인 영향을 받고 있으며 일차함수의 관계를 가르키고 있다(Fig. 7). 따라서 온천수위를 어느 일정 심도에 유지하려면 이에 따른 양수량을 결정하여 동래온천지역 전체에서 온천수 총사용량에 대한 제재가 필수적으로 요구되고 있다.

### 결 론

동래온천의 개발과정과 현재의 온천수 이용 현황을 파악하여 앞으로 예상되는 온천수자원의 고갈을 방지하기 위하여 동래온천의 수리지질학적 특성에 대한 기초자료를 조사분석하였다. 온천고시지역내에는 약 120 m 심도까지 굴착된 24개 온천공이 개발되어 있다. 추가 개발은 제한을 받고 있으나 온천수 사용량의 규제는 없기 때문에 온천수위는 계속적으로 하강되어 조사기간이었던 1992년도에는 일일 평균사용량 1520 m<sup>3</sup>/day이었으며 지하수위는 약 100 m 까지 하강되어 있었다. 동래온천의 성인은 화강암으로 구성된 기반암의 파쇄대를 따라 상승한 열원이 지하수를 덩힘으로 형성되어 있으며 양수온도는 약 65°C이다. 수질은 Na 과 Cl-이온이 약 75% 이상이며 Ca 가 22% SO<sub>4</sub>와 HCO<sub>3</sub>가 약 10%

이상으로 구성되어 있다. 온천수위는 온천수이용량에 직접적으로 영향을 받고 있다. 하루에도 약 5m 이상의 변화를 보이며 주기별 계절별로도 차이를 보이고 있다. 온천수자원의 고갈을 방지하기 위하여는 온천수위가 어느 일정심도 이하까지 떨어지지 않도록 전체적인 이용량조절이 필수적으로 요구되고 있다.

## 사 사

본 연구는 동래온천의 온천수를 이용하고 있는 부산직할시 상수도 본부와 동래관광호텔 및 사설온천공을 소유하고 있는

온천장들의 협조로 야외 기초조사가 이루어졌기에 이분들께 감사함을 드린다.

## 참고문헌

- 駒田亥久雄(1923). 東來溫泉調査報文. 朝鮮地質調査要報 第2券 地質調査所
- 임정웅, 이동영, 김연기, 최영섭, 염병우, 이종민(1992). 부산동래 지구 온천부존량 조사보고서. 한국자원 연구소, 234p.
- 이동영, 임정웅, 염병우(1994). 자연감마선 검층에 의한 암층구분 및 지질구조해석. 지질학회지, 제30권, p.467-474.

1995년 2월 14일 원고접수