

## 대구시 지하수의 수질에 대한 지화학적 연구

이인호\* · 이재영\* · 김통권\*\*

### Geochemical Study on the Quality of Groundwater in Daegu City, Korea

In Ho Lee\*, Jae Yeong Lee\* and Tong Kwon Kim\*\*

**ABSTRACT** : Geochemical characteristics of groundwater, based on chemical analyses of 54 water samples, differ among main rocks of Haman formation, Panyawoel formation, andesite and granite in Daegu area in relation to mineralogical and chemical compositions of the rocks. Concentrations of most solutes are higher in groundwaters of Haman and Panyawoel formations than in those of andesite and granite. High concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in groundwaters of the sedimentary rocks result mainly from reaction of  $\text{CO}_2$ -charged water with calcite and weathered feldspars. Average groundwaters in the sedimentary rocks are oversaturated with respect to calcite. Major types of groundwaters are hard  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  and  $\text{CaSO}_4\text{-CaCl}_2$  with hardness of 442 mg/l for Haman formation and 275 mg/l for Panyawoel formation whereas they are soft  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  with hardness 35 mg/l for andesite and 39 mg/l for granite.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  type results mainly from calcite-dissolution and  $\text{CaSO}_4\text{-CaCl}_2$  from pyrite and partly from domestic pollutants.  $\text{CaSO}_4\text{-CaCl}_2$  type may indicate that groundwaters in the sedimentary rocks are more evolved geochemically than those in the igneous rocks, but it is not obvious because the type might be affected by pyrite dissolution and domestic pollutions. Acid rain is buffered by active calcite in the sedimentary rocks. In the igneous rocks acid rain might react with gibbsite and other forms of  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , that might have accumulated as weathering products of primary silicates, and is buffered.

## 서 언

최근에 실시된 대구지역 지하수의 수리지질 및 수리지화학적 연구 (이재영 등, 1992; 성익환 등, 1995)에 의하면 대구시 중심부의 지하수는 대부분 생활하수와 산업폐수로 인하여 심하게 오염되어 있으며 271개 지하수정 중 거의 반이상 (54%)은 식수로서는 부합하지 않은 것으로 밝혀 졌다. 따라서 앞으로 대구시의 오염된 지하수를 정화 및 보호하기 위해서는 지질환경이 수질에 미치는 영향을 지화학적으로 연구할 필요가 있다.

그런데 본 역 지하수의 수질은 대수층의 암류에 따라 다르며 특히 암류의 광물 및 화학조성이 지하수의 지화학적 특성에 미치는 영향이 크기 때문에 (Lee *et al.*, 1992) 여기서는 암류별로 화학적 수질을 연구하였다. 암류는 편의상 퇴적암과 화성암으로 구분하고 퇴적암에서

는 함안층과 반야월층, 화성암에서는 안산암과 화강암을 선택하여 해당 지역의 지질과 지하수를 조사하고 지하수의 화학성분, 형분류, Eh-pH, 지하수정 심도에 따른 성분의 변화, 오염 그리고 이들에 영향을 미치는 요인으로서 암석의 구성광물과 화학조성 및 암석에 수반된 기타 광물로서 방해석, 황철석 및 깃사이트에 대하여 검토하였다.

## 수리지질

대구지역은 충적층에 일 채수량이 500~1,000  $\text{m}^3$  (신천고기하상퇴층) 내지 300~800  $\text{m}^3$  (일부 충적층)되는 대수층도 있으나 일반적으로 심도가 얇고 자갈과 모래등이 적어 지하수의 발달이 빈약하다. 이에 비해 대구 중심부에 넓게 분포하는 반야월층에는 일 채수량이 100~500  $\text{m}^3$ 인 렌즈상의 대수층이 많으며 일 채수량이 300~1,000  $\text{m}^3$ 나 되는 대수층대도 넓게 발달한다 (김영기, 1976; 윤상규 등, 김영기, 이동영, 1979; 이재영 등, 1992). 금번 연구대상이 된 지하수는 함안층, 반야월층, 안산암, 화강암지대

\* 경북대학교 지질학과 (Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

\*\* 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining & Materials, Taejon 305-350, Korea)

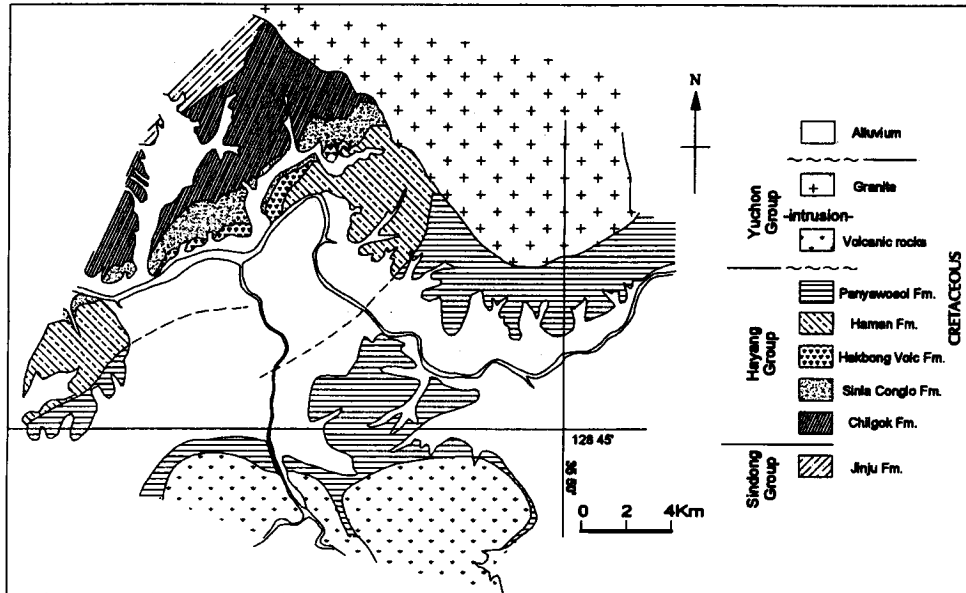


Fig. 1. Geological map of Daegu area (by Jang, 1994).

의 암반 지하수이며 해당 대수층의 지질은 다음과 같다. 지질도는 Fig. 1에 있다.

#### 함안층

본 층은 사암층이 빈약하여 대수층은 발달되어 있지 않으나 파쇄대에 약간의 지하수대가 있다. 신암동의 한 시추공에서는 심도 82 m에서 일 290 m<sup>3</sup>가 채수된 바 있다 (김영기, 1976). 암질은 주로 니암, 니질세일 및 사암으로 구성되어 있으나 서부쪽은 세일층, 동부쪽은 니암, 그리고 최하부는 사암이 우세하다. 서부쪽의 세일층에는 니회암이 협재되어 있으며 암색은 주로 산화환경의 저색을 띠나 니암중에는 환원환경의 녹회색을 띠는 것도 있고 저색과 녹색이 교호되기도 한다. 본 층은 방해석으로 많이 충전되어 있고 37.8~56.4%나 되는 장석류도 대부분 고령토화되어 있으며 방해석으로 1.2~19.2%정도 교대되어 있다 (김종근, 1990). 일부 지역은 단층파쇄대를 제외한 단열구조대에서 0.5 m~1 cm의 방해석 세맥과 약간의 황철석이 관찰된다. 1995년에 시추된 대구시민운동장의 300 m 코아에 의하면 표토밀 6.5~203 m는 주로 세일, 203~300 m는 사질세일, 사암 및 함역사암으로 되어 있으며 55.3~100 m과 249~295 m사이에서는 약 1 mm의 방해석 세맥이 다수 관찰된다 (성익환 등, 1995).

#### 반야월층

본 층은 대수층의 발달이 양호하다. 암질은 주로 흑색-암회색 세일로 구성되어 있으며 곳에 따라 녹회색 니질 세일이 교호된다. 연속성이 없는 저색 니암질 세일 및 사암과 니회암도 포함되어 있다. 남부 두산동 일대에는 암회색 내지 흑색의 점판암질 세일이 분포한다. 본 층에는 방해석이 많이 충전되어 있고 32.3~63.6%나 되는 장석류도 방해석으로 1.8~10.2%정도 교대되어 있으며 대부분 고령토화되어 있다 (김종근, 1990). 1995년에 시추된 신천고수부지 300 m코아에 의하면 지표 6.7 m 밑에서 300 m까지가 주로 세일로 되어 있으며 거의 모든 깊이에서 1~2 mm의 방해석 세맥이 관찰된다. 특히 85~143 m간에는 황철석이 방해석 중에 산점되어 있으며 104~105 m, 124~125 m 및 177.5~185 m사이에서는 방해석의 용해로 형성된 공동이 관찰된다 (성익환 등, 1995).

#### 주산안산암질암

본 암은 조면안산암, 각력질안산암, 응회암, 안산암으로 분류된다. 조면안산암은 산성산 산정부근과 가창단층선 남측면 및 안지랭이 남부 산록에 소규모로 발달하며 암색은 암회색 내지 회색을 띤다. 사장석은 침상반정으로 나타나며 관입접촉에 의한 변질작용도 약간 관찰된다. 신천상류지역에 있는 달성광산 부근 열수변질 안산암에는 황철석이 산점되어 있다 (이재영, 이진국, 1995). 각력질 안산암은 화도에 해당하는 부분으로 산성산의 최정상과 산

체의 주구성암이다. 암색은 녹회색 내지 암녹색을 띠며 치밀 견고하여 높은 지형을 형성한다. 본 암의 외측은 강력질 안산암이고 내측은 석영안산반암질 강력암의 암상을 띤다. 반정은 주로 정장석, 사장석, 석영, 휘석 등으로 되어 있고 기질은 석영과 점토광물로 되어 있으며 정장석은 부분적으로 변질되어 있다 (원종관, 김중배, 1971).

**팔공산화강암**

본 암은 흑운모 및 흑운모-각섬석 화강암으로 모달조성에 의하면 몬조화강암에 해당한다. 주구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모로 되어 있으며 자철석, 인회석, 전기석이 수반된다. 일부 장석류는 견운모화되어 있다 (Hong, 1983). 본 암은 풍화에 약하여 만장년기 지형을 이루고 산괴내 일부 지역에는 신기 하성층으로 된 소규모의 평야가 형성되어 있다. 산복에는 절리 주변에 애추가 발달하고 일부 계곡에는 둥글게 마모된 화강암구로 된 테루스가 분포한다. 본 암의 관입으로 혼펠스화된 변성퇴적암은 풍화에 강하여 팔공산보다 높지는 않으나 병풍 모양으로 험한 환상산맥을 형성하고 있다 (이재영, 1993).

**시료의 채취 및 화학분석**

대구시내 학교들의 지하수정 깊이는 대부분 120 m (이재영 등, 1992)이나 기타 지하수정의 깊이와 채수파이프의 깊이는 거의 알 수 없다. 따라서 시수는 매정호마다 3분 정도 뽑아 낸 후 평균시료로서 취하였다. 시수는 1995년 6월과 11월 2회에 걸쳐 함안층에서 16개, 반야월층에서 22개, 안산암질암에서 3개, 팔공산화강암에서 2개, 혼펠스에서 1개 그리고 철곡층, 현무암에서도 암류간 지하수 성분의 차이를 비교하기 위하여 수개 채취하였다 (Fig. 2). 그 후 1996년 12월에도 팔공산화강암에서 3개, 안산암질암에서 8개를 더 채수하여 분석한 자료 (김종근, 이재영, 1997)도 이용하였다. pH, Eh, EC 및 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 채수시 현지 측정하였다. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 한국동자연 (1984) 발간 <지구화학 시료분석법>에 있는 중화적정법 (4.3 알칼리도, alkalinity, p. 949-951 참조)을 이용하였으며, 양이온 분석을 위한 시료는 포리에틸렌비닐에 넣고 음이온 분석을 위한 시료는 유리관 튜브에 넣어 휴대용 아이스박스로 한국자원연구소로 운반하여 AA와 ICP로 분석하였다 (성익환 등, 1995). 그 측정치와 분석결과는 암류별로 재분류하여 Table 1에 정리하였다. 3개 시추공의 코아는 방해석과 황철석의 유무를 확인하기 위하여 실내에서 육안 및 경하 관찰하였다.

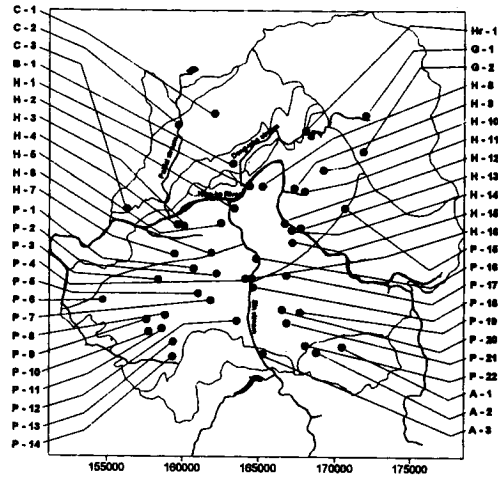


Fig. 2. Map showing sampling sites of groundwaters in Dae-gu area.

**수리지화학**

**지하수의 화학적 수질**

자연수의 수질을 물리적, 화학적 및 생물학적 수질로 구분할 때 화학적 수질에는 용존물, pH, Eh, 알칼리도, COD, BOD 등이 포함된다. 여기서는 화학적 수질중 지질과 밀접한 관련을 가지는 지하수의 용존성분, 형, Eh-pH 및 심도에 따른 농도의 변화를 검토한다.

**용존 성분**

본 역 지하수의 주성분은 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>인데 대수층 암석의 주요 구성광물인 장석류는 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 및 Ca<sup>2+</sup>, 각섬석과 휘석류는 Mg<sup>2+</sup>, 방해석은 Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 및 Mg<sup>2+</sup>, 그리고 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 황철석과 관련된다. Ca<sup>2+</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 다른 공급원으로 석고도 고려할 수 있으나 본 역 대수층 암석에서는 아직 기재된 자료가 없으므로 현재로서는 확실하지 않다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 주로 황철석과 관련되나 대기중의 SO<sub>2</sub>에서도 공급된다. Cl<sup>-</sup>는 생활하수와 겨울의 도로해빙염 그리고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 정화조와 대기중의 NH<sub>3</sub> 및 NO<sub>2</sub>에 관련되는데 차도와 주택이 많은 함안층지역에서 더 높다.

주성분의 농도는 Table 1에서 보는 바와 같이 퇴적암의 지하수가 화성암의 지하수보다 거의 모든 성분이 현저히 높는데 퇴적암에서는 함안층의 지하수가 반야월층의 지하수보다 전 성분이 높고 화성암에서는 Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 이외의 성분은 화강암의 지하수가 안산암의 지하수보다 낮다. 이처럼 주성분의 농도는 대수층의 암류에 따

**Table 1.** Chemical analyses of groundwaters in Daegu area.  
a) Sampled in June, 1995.

ID	Depth (m)	Temp (°C)	pH-1	Eh-1 (mV)	EC-1 (μS/cm)	TDS-1	DO-1	K-1	Na-1	Ca-1	Mg-1	Cl-1	SO <sub>4</sub> -1	NO <sub>3</sub> -1	HCO <sub>3</sub> -1	Mn	Fe-1	Al-1	Zn-1	Cd
H-1	150	19.9	7.17	100	109.7	527	7.2	2.65	61.40	101.00	33.00	115.00	197.00	34.90	90	0.03	0.03	0.49		
H-2	120	18.6	6.5	155	103.4	451	3.1	14.50	64.80	90.30	24.30	100.00	125.00	94.40	80	0.02	0.03	0.47		
H-3	130	21.3	8.27	160	80.2	398	10.1	13.20	28.30	86.50	20.50	113.00	63.90	3.59	175	0.02	0.01	0.41		
H-4	100	19.4		200	153.9	762	3.1	2.32	74.50	204.00	50.20	114.00	234.00	0.80	95	0.99	0.15	0.57		
H-5	100	15	7.69	233	90.6	432	8.5	2.20	34.00	107.00	34.30	74.80	112.00	74.50	175	0.02	0.55	0.04		
H-6	108	15.4	7.53	197	110.8	541	4.8	1.86	41.80	144.00	42.90	84.30	299.00	1.44	250	0.01	0.5	0.5		
H-7	130	17.1	7.84	200	110.5	554	4.8	1.28	26.20	148.00	51.20	82.40	22.10	22.9	230	0.01	0.73	0.07		
H-8	125	17.3	7.38	221	65.9	344	5.4	0.98	27.00	67.10	30.80	40.60	62.80	13.50	200	0.01	0.43	0.25		
H-9	120	20.4	7.07	255	74.5	319	4	2.09	23.80	72.00	22.50	74.90	67.10	69.30	76	0.4	0.01	0.44		
H-10	120	18.6		200	50.0	329	5.1	11.40	28.40	85.50	15.60	62.30	61.30	15.20	85	0.5	0.39			
H-11	120	16.4	7.41	44	97.1	276	5.8	1.94	16.50	57.70	15.80	27.50	71.30	30.40	76	0.01	0.38			
H-12	120	17.5	7.15	64	175.6	876	3.8	1.45	100.00	253.00	49.30	68.00	760.00	1.50	180	0.01	0.73			
H-13	120	18.1	7.18	0	234.0	1214	5.2	3.42	139.00	446.00	45.5	39.60	1280	0.01	175	0.21	1.19	0.2		
H-14	0	15.4	7.88	208	116.9	573	8.9	1.98	56.90	136.00	37.50	99.50	302.00	35.90	250	0.01	0.49			
H-15	110	16.5	7.31	184	108.8	535	3.5	2.10	22.70	94.30	36.12	39.96	56.51	6.43	190	0.02	0.07	0.03		
H-16	120	19.7	6.97	200	43.8	215	4.6	7.47	26.20	36.20	8.90	44.90	45.10	1.89	75	0.21	0.5	0.28		
average		17.8	7.40	168.07	107.73	521.27	5.38	4.55	47.34	135.17	32.36	71.05	237.47	24.78	154	0.31	0.10	0.51	0.12	
P-1	100	18.3		214	50.0	389	4.3	5.60	5.60	40.00	30.20	18.20	75.10	4.15	250		0.01	0.35		
P-2	120	16.7	7.34	141	114.4	564	5.9	1.37	44.70	140.00	48.20	114.00	158.00	46.90	250		0.05	0.65	0.2	
P-3	133	16.7	7.71	181	76.9	308	10.7	1.88	19.60	91.90	34.80	60.40	48.80	37.40	300		0.02	0.5	0.14	
P-4	120	19.4	7.47	200	56.5	279	6.9	0.74	21.20	49.60	16.40	73.60	64.10	0.45	75	0.04	0.38	0.36		
P-5	19		7.94	443	77.4	390	5.7	1.34	26.20	94.10	36.20	72.00	82.00	0.01	170		0.02	0.49	0.37	
P-6	100	16.5	7.42	273	84.1	421	6.8	1.22	25.3	80.6	49	83.4	86.5	1.12	250		0.01	0.4		
P-7		16.6	7.93	188	85.8	419	8.8	1.40	27.40	98.10	40.20	90.80	60.00	5.51	250		0.01	0.52	0.05	
P-8	120	18.8	7.17	136	86.7	436	6.9	1.98	33.80	74.90	39.20	97.10	33.80	3.07	250	0.2	0.06	0.42		
P-9	100	16.8	7.08	53	33.4	169	3.4	2.80	15.30	37.40	10.50	24.20	7.77	1.99	150		0.06	0.28		
P-10	120	17.7	7.4	200	64.8	311	4.1	1.44	16.00	84.30	13.30	56.80	97.40	15.50	100		0.01	0.48		
P-11	120	15.8	7.71	315	74.9	379	9.8	2.80	36.80	39.20	22.70	83.20	22.80	3.09	250		0.01	0.25		
P-12	120	15.6	7.56	669	52.8	268	4.2	1.90	26.80	55.30	21.60	32.10	17.60	8.68	110		0.01	0.32		

(unit : mg/ml)

Table 1. a) Continued.

ID	Depth (m)	Temp (°C)	pH-1	Eh-1 (mV)	EC-1 (µS/cm)	TDS-1	DO-1	K-1	Na-1	Ca-1	Mg-1	Cl-1	SO <sub>4</sub> -1	NO <sub>3</sub> -1	HCO <sub>3</sub> -1	Mn	Fe-1	Al-1	Zn-1	Cd
P-13	120	17.8	8.21	183	42.9	208	7.1	1.08	57.00	19.00	8.57	30.20	14.40	1.45	120	0.01	0.01	0.18	0.08	
P-14	120	19		200	50.0	319	3.5	0.50	18.50	24.80	7.30	6.18	10.10	1.42	100	0.07	1.07	0.23		
P-15	150	12.2	7.42	154	51.1	256	3.8	1.60	18.20	68.10	16.20	26.15	68.34	1.14	122		0.01	0.69		
P-16	180	17.1	7.43	128	72.5	364	7.4	4.40	59.00	56.60	13.70	69.10	99.90	48.30	73		0.01	0.34		
P-17	135	17	7.4	239	50.8	357	8.9	1.37	4.48	11.80	1.61	11.60	1.70	4.14	24		0.02	0.17	0.31	
P-18	102	19.7	7.25	204	64.6	321	4	1.98	22.10	75.60	13.40	98.90	69.40	47.50	80	0.01	0.01	0.38		
P-19	131	16.3	7.35	248	29.1	148	10.1	0.59	7.50	32.10	6.64	6.18	10.10	0.75	100		0.01	0.25		
P-19	131	16.3	7.7	221	29.0	143	4.3	1.44	13.30	27.70	7.93	11.20	12.80	27.30	70	0.01	0.01	0.26		0.01
P-20	120	16.8	6.94	200	74.9	367	2.6	1.84	31.00	78.50	28.40	63.90	43.40	1.68	90	0.78	0.09	0.33		
P-21	110	19.9	7.34	220	66.3	320	9.8	0.91	21.40	53.90	23.80	15.20	82.10	1.21	110		0.01	0.31		
P-22	150	16.9	7.11	200	75.0	377	4.6	3.20	24.20	89.00	25.00	37.70	133.00	0.46	85	1.65	1.07	0.48		
average		17.1	7.44	221.06	59.09	303.65	6.08	1.84	25.46	54.49	17.94	44.74	46.15	10.19	123	0.39	0.15	0.35	0.15	0.01
C-1	130	19.1	7.65	257	59.4	298	10.2	1.16	16.90	71.20	21.10	60.60	41.70	38.60	95		0.01	0.37		
C-2	30	17.1		200	50.0	200	1	10.10	43.10	66.30	20.90	39.90	66.60	45.10			0.01	0.34		
C-3	100	19.9	7.55	280	116.2	568	7.4	0.70	37.10	223.00	8.36	9.83	495.00	3.85	140	0.01	0.01	0.6		
average		18.1	7.65	228.50	54.70	249.00	5.60	5.63	30.00	68.75	21.00	50.25	54.15	41.85	95	0	0.01	0.36		
A-1	180	16.4		230	19.6	98	7.6	1.13	14.30	18.40	2.46	9.73	11.00	19.00			0.06	0.19		
A-2	300	19.2	7.83	219	44.2	207	19.1	0.51	36.40	47.20	2.79	15.10	89.80	3.15	100	0.07	0.03	0.31		
A-3	100	18.4	6.82	46	49.7	257	4.6	1.86	19.50	56.40	16.3	34.2	41	3.64	140	1.32	0.14	0.4	0.26	
average		17.8	7.83	224.50	31.90	152.50	13.35	0.82	25.35	32.80	2.63	12.42	50.40	11.08	100	0.07	0.05	0.25		
G-1	100	15.5	7.29	228	30.1	140	9.8	1.48	15.00	26.00	5.04	16.10	10.70	32.90	50		0.03	0.21		
G-2	146	12.7	7.64	209	30.1	146	9	4.99	14.10	20.00	13.30	9.92	34.20	37.20	50		0.01	0.24		
average		14.1	7.47	219.00	30.10	143.00	9.40	3.24	14.6	23.00	9.17	13.01	22.45	35.05	50		0.02	0.23		
Hr-1	130	18.7	7.71	231	49.1	249	8.1	0.75	19.00	44.90	11.90	9.92	83.10	0.81	80		0.01	0.37		
B-1	130	19.1	7.92	206	71.6	371	9.4	1.14	27.90	79.50	30.00	21.10	106.00	13.10	170	0.01	0.01	0.39		

Table 1. b) Sampled in November, 1995.

ID	Depth (m)	Temp (°C)	pH-2	Eh-2 (mV)	EC-2 (µS/cm)	TDS-2	DO-2	K-2	Na-2	Ca-2	Mg-2	Cl-2	SO <sub>4</sub> -2	NO <sub>3</sub> -2	HCO <sub>3</sub> -2	Mn	Fe-2	Al-2	Zn-2	Cd
H-1	150	19.9	6.96	100	140.2		7.2	5.1	80.3	140	34.2				290.5	0.03	0.03	0.02		0.12
H-2	120	18.6	6.34	155	97.6		3.1	22	90.7	111	23.5				260.5	0.02	0.03	0.01		1.82
H-3	130	21.3	8.26		62.5		9	16	28.4	88.6	18.7				160.5	0.02	0.03	0.02		0.01
H-4	100	19.4	6.76	200	153.5		3.1	4.3	145	222	53.9				468.8	0.99	0.15	0		0.02
H-5	100	15	7.1	217	90.6	439	9.4	5.5	60.7	117	31.7	45.33	122.7	87	241.9			0.01	0.01	
H-6	108	15.4	7.59	13	109.5	520	10.6	2.9	52.8	155	46.1				276.5			0.01	0.03	
H-7	130	17.1	7.81	274	116.5	565	9.8	2.4	29	169	53.8	46.17	190.8	20.3	119			0.01	0.01	
H-8	125	17.3	7.34	206	64.2		5.5	2	38.6	72.8	29.7				170.5			0.01	0.01	0.21
H-9	120	20.4	6.56	255	86.9		4	5.5	32.9	135	25.5				132.5	0.4		0.04	2.16	
H-10	120	18.6	7.06	200	76.0		5.1	17	37.1	113	18.7				160.5	0.5	0.5	0.02	0.09	
H-11	120	16.4	7.28	44	59.9		5.8	2.2	18.8	89.5	21.5				131.5	0.01		0.01	1.23	
H-12	120	17.5	7.27	0	166.6	827	4.1	2.9	146	276	38.5	44.53		1.4	174			0.01	0.06	
H-13	120	18.1	7.06	34	24.0	1188	4.3	7.4	254	494	54.6	40.02		0.6	175			0.01	0.18	
H-14	0	15.4	7.98	246	119.6	608	9.4	3.6	80.2	162	37.9	43.9	221.2	35.3	155			0.01	0.11	
H-15	110	16.5	7.38	232	69.3	326	4.8	2.1	22.7	94.3	36.1	39.96	56.51	8.97	258.4			0.01	0.1	
H-16	120	19.7	6.87	200	41.1		4.6	9.1	22.7	52	8.88				125.5	0.21	0.5	0.01	0.46	
average		17.8	7.24	162.57	89.19			6.99	70.64	156.75	33.27	43.32	147.80	23.85	200.67	0.31	0.30	0.01	0.43	
P-1	100	18.3	7.06	214	90.0	438	4.3	5.7	47.4	133	30.2	49.6	72.91	35.3	120.6			0.01	1.46	
P-2	120	16.7	7.34	-9	131.4	641		2.9	44.7	178	62.1	58.19	167.1	107	121			0.01	0.39	
P-3	133	16.7	7.76	200	77.1	382	9.5	2.2	20.6	104	36.2	40.91	52.57	46.5	98			0.01	0.01	
P-4	120	19.4	7.46	200	58.3		6.9	1.5	25.8	84.4	19.4				130.5	0.04	0.38	0.02	0.17	
P-5	19	19	7.97	240	75.1	366	1.7	4.5	26.1	103	35.4	39.84	88.47	0.62	99.5			0.01	0.23	
P-6	100	16.5	7.29	160	74.2	369	4	2.49	28.88	89.12	41.02	39.59	89.17	8.99	235.5			0.02	0.35	
P-7		16.6	7.93		85.8			0.4	27.4	98.1	40.2				100.5					
P-8	120	18.8	7.12		84.2		8.3	2.9	37.2	102.5	38.4				250.5	0.2	0.06	0.01	0.91	
P-9	100	16.8	7.17	53	38.7	190.2		2.8	20.5	52	14.3	28.48	10.87		61.4			0.02	0.48	
P-10	120	17.7	7.46	200	62.7		4.1	2.3	19.1	113	14.7				129.2			0.03	1.08	
P-11	120	15.8	7.18	78	77.1	380	1	2.8	36.8	86.6	46.1	42.27	26.5	10.8	150.5			0.01	3	
P-12	120	15.6	7.26	669	50.0	246	3.2	2.7	22.8	64.2	21.2	27.64	17.22		97.5			0	0.3	

Table 1. b) Continued.

ID	Depth (m)	Temp (°C)	pH-2	Eh-2 (mV)	EC-2 (µS/cm)	TDS-2	DO-2	K-2	Na-2	Ca-2	Mg-2	Cl-2	SO <sub>4</sub> -2	NO <sub>3</sub> -2	HCO <sub>3</sub> -2	Mn	Fe-2	Al-2	Zn-2	Cd
P-13	120	17.8	7.69		41.5		9.7	1.9	49.6	23.4	9.2				185.5	0.01		0.01		0.07
P-14	120	19	7.49	200	26.8		3.5	1.2	24.1	30.9	3.49				130.5	0.07	1.07	0.01	0.4	
P-15	150	12.2	7.51	224	51.1	256	7	1.6	18.2	68.1	16.2	26.15	68.34	21.4	177.3			0.01	0.36	
P-16	180	17.1	6.89	128	61.7	288	7.4	6.9	60.2	58.6	12.3	36.76	95	65.8	123.2			0	0.71	
P-17	135	17	7.72	393	28.4	133.4	9.4	2	22.2	38	7.66	24.15	23	19.2	175.5			0.03	0.03	
P-18	102	19.7	7.13	204	63.8		4.4	3.2	22.2	91	18.7				96.5	0.01		0.01	0.34	
P-19	131	16.3	7.18	248	27.0		9.9	1.5	12.1	45.4	9.24				138.2			0.01	0.2	
P-19	131	16.3	7.49		29.1		4.7	2	12.4	33.5	7.92				135.2	0.01	0.01	0.01	0.004	0.01
P-20	120	16.8	6.98	200	74.8		2.6	3	38.1	104	31.9				170.5	0.78	0.09	0.01	0.1	
P-21	110	19.9	7.32		64.8		9.5	1.8	28.4	83.8	31.7				200.5			0	0.01	
P-22	150	16.9	6.83	200	73.5		4.6	3	24.8	82.2	24.3				160.5	1.65	4.3	0.02		0.01
average		17.1	7.31	235.08	55.35	249	5.95	2.47	27.42	69.14	20.44	30.91	40.16	24.82	146.06	0.39	1.11	0.01	0.53	0.01
C-1	130	19.1	7.75		52.0		10.1	2.1	18.1	89.1	19.3				207.3			0.01	0.03	
C-2	30	17.1	7.81	227	54.8	271	1	2.3	23.9	93.4	18.6	39.39	25.11	2.04	140.5			0.01	0.28	
C-3	100	19.9	7.5	280	111.9			1.7	48.5	281	10.8				363.6	0.01		0.01	0.39	
average		18.1	7.78	227.00	53.40	271	5.55	2.20	21.00	91.25	18.95	39.39	25.11	2.04	173.90	0.01		0.01	0.16	
A-1	180	16.4	8		157.7		5.5	1.5	10.4	19.7	1.41				90.3		0.06	0.01	0.01	
A-2	300	19.2	7.72		45.4		3.7	1.4	40.3	60.2	2.82				147.2	0.07	0.03	0.01	0.06	
A-3	100	18.4	6.77		50.7		2.9	3.1	23.1	67.9	16.2				202.5	1.32	1.27	0.01	0.28	
average		17.8	7.86		101.55		4.60	1.45	25.35	39.95	2.12				118.75	0.07	0.05	0.01	0.04	
G-1	100	15.5	7.13		25.6		10.3	2	14.5	29.6	5.09				61.6		0.03	0.01	0.06	
G-2	146	12.7	7.6	210	31.4	156	10.8	5	12.8	40	6.67	19.4	30.77	57.9	63.1			0.01	0.4	
average		15.5	7.13	0.00	25.60	0	10.30	2.00	14.50	29.60	5.09	0.00	0.00	0.00	61.60		0.03	0.01	0.06	
Hr-1	130	18.7	7.64	231	47.1		8.1	1.5	18.3	72	12.1				192.3			0.01	0.01	
B-1	130	19.1	7.4	203	33.9		9.1	4.6	18.8	38.9	7.54				53.5	0.01		0.07	0.08	

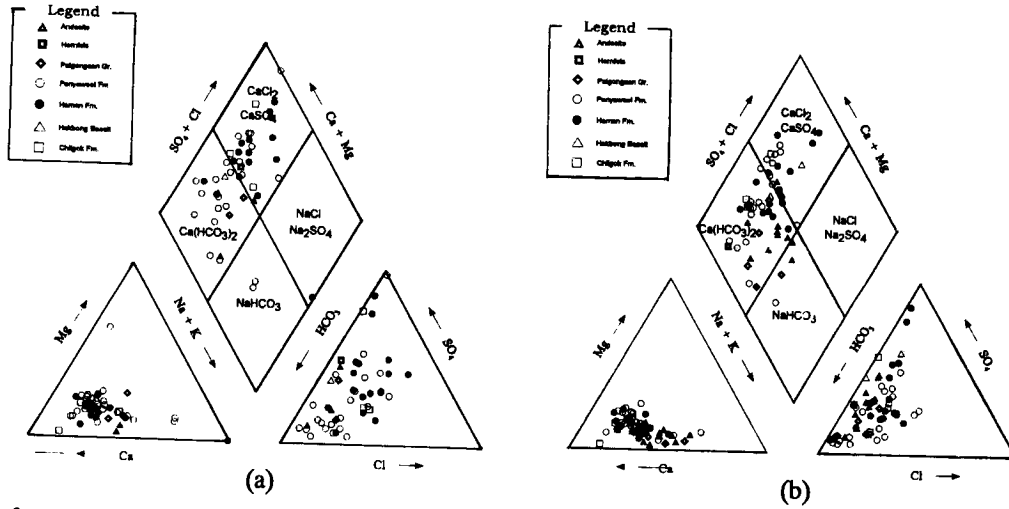


Fig. 3. Piper diagrams of groundwater in Daegu area. (a) piper diagram of table 1a, (b) piper diagram of table 1b

라서 현저한 차이가 있으며 일부 성분은 계절에 따라서도 농도에 변화를 보인다. 예로  $Ca^{2+}$  농도는 기온의 상승으로  $HCO_3^-$  농도가 감소되는 6월에 낮고  $SO_4^{2-}$ 와  $Cl^-$ 의 농도는 강우량이 많은 6월에 높은 경향을 보인다. 대구 지역의 강수량은 기상청자료 (1961~90년도)에 의하면 6월 (128.7 mm)이 11월 (37.4 mm)의 보다 약 3.5배 많다. 따라서 파쇄대를 통해 지표수가 많이 유입되었을 것으로 기대된다.

**지하수형의 분류**

대구지역 함안층과 반야월층에는 대수층의 주요 구성 광물인 사장석과 방해석의 성분이 반영된  $Ca(HCO_3)_2$ 형과 생활하수와 황철석의 영향을 받았을 것으로 생각되는

$CaSO_4$ - $CaCl_2$ 형의 지하수가 발달하는데  $Ca(HCO_3)_2$ 형은 오염이 덜한 반야월층이 더 우세하고  $CaSO_4$ - $CaCl_2$ 형은 주택가가 많고 급호강쪽에 연한 함안층이 우세한 편이다. 계절 (6월과 11월)적으로는 함안층은 11월보다 6월에  $CaSO_4$ - $CaCl_2$ 형이 많이 나타나나 오염이 덜한 반야월층은 6월과 11월간에 거의 차이가 없다 (Fig. 3, Table 2). 따라서 대구시 중심부 퇴적암지대의 지하수형은 주로 석회질 암질에 의하여 결정되지만 오염의 영향도 있음을 알 수 있다.

팔공산 화강암에서는 주로  $Ca(HCO_3)_2$ 형 (홍영국 등, 1993; 김중근, 이재영, 1997)이 발달하고 안산암에서는  $Ca(HCO_3)_2$  및  $CaSO_4$ - $CaCl_2$ 형 (김중근, 이재영, 1997)이 발달하는데 안산암의  $CaSO_4$ - $CaCl_2$ 형은 화학조성은 Ca

Table 2. Types of groundwater in Daegu area

Rocks	Types	6/1995				11/1995			
		$Ca(HCO_3)_2$	$CaSO_4$ - $CaCl_2$	$NaHCO_3$	$Na_2SO_4$ - $NaCl$	$Ca(HCO_3)_2$	$CaSO_4$ - $CaCl_2$	$NaHCO_3$	$Na_2SO_4$ - $NaCl$
Sedimentary rocks	Haman Fm.	3	12		1	7	9		
	Panyawoel Fm.	12	8	2		12	9	1	
	Chilgog Fm.		3			2	1		
	total	15	23	2	1	21	19	1	0
Igneous rocks	Andesite	2	1			3+4*	4*		
	Granite	2				2+3*			
	Basalt	1							
	total	5	1			12	5		
Hornfels		1			1*	1			

Figures are the numbers of groundwater samples which were analysed.

\* Kim, Lee (1997)



(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>형에 매우 가깝다.

지하수의 암류별 평균경도는 함안층이 500 mg/l, 반야월층이 233 mg/l로 경수이고, 화강암이 90 mg/l, 안산암이 100 mg/l로 연수이며, 경도는 6월보다 11월에 높게 나타난다. 따라서 대구지역 지하수는 대구분지 외각의 화성암지대에서 발달한 연수질의 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>형 지하수가 분지의 중심부 퇴적암지대로 오면서 경수질의 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 및 CaSO<sub>4</sub>-CaCl<sub>2</sub>형의 지하수로 수질이 변화하는 것이 특징이라 볼 수 있다.

**Eh-pH**

대구지역 지하수의 Eh-pH는 과거에도 수차 조사된 바 (이재영 등, 1992; 성익환 등, 1995) 있으며, 금번 조사에서도 pH=6.5~8.3, Eh=1~443 mv로 약산성 내지 알칼리성의 전이환경에 해당된다. Eh는 지표수의 혼입으로 인하여 지하수로서는 높은 편이다 (Fig. 4). pH와 Eh는 암류에 따라 각각 조금씩 다른데 pH는 함안층과 반야월층의 지하수는 중성~알칼리성이고 안산암과 화강암의 지하수는 약산성~중성이다. Eh는 공단과 주택지가 많은 함안층과 반야월층의 지하수가 오염이 적은 화성암의 지하수보다 낮다. 퇴적암과 화성암의 지하수가 중성~알칼리성을 띠는 것은 주로 암석내 방해석과 장석류에 관련된다. Eh와 pH값은 계절에 따라 서로 약간의 차이를 보이는데

Table 1의 자료로 계산해보면 pH는 35개 정호중 21개 (60%)가 11월에 더 낮고 Eh는 33개 정호중 8개 (24.3%)는 6월에 그리고 7개 (21.1%)는 11월에 더 높다. 그러나 18개 (54.5%)는 계절에 따른 차이가 없다. 일반적으로 지하수는 깊고 지표수의 혼입이 없으면 계절적 영향을 받지 않으나 심도가 얇고 파쇄대가 발달한 지층에서는 지표수에 의한 영향이 크기 때문에 Eh에 변화가 많다. 대구시내 지하수정은 현재 약 2810개 (성익환 등, 1995)나 되는데 금번 조사된 지하수정의 평균 Eh는 함안층에서 168 mv, 반야월층에서 221 mv로 대부분은 지표수의 유입과 오염으로 Garrels, Christ (1965)에 의하여 Eh-pH도에 표시된 지하수의 Eh영역 (약 -100~200 mv)보다 높은 Eh치를 가진다 (Table 1 참조).

**지하수정 심도에 따른 성분변화**

안산암과 화강암의 지하수는 지하수정 깊이가 100 m의 지하수보다 200 m의 지하수가 주성분의 농도가 현저히 높고 방해석에 대한 평균 포화지수 (SI, saturation index)도 100 m 지하수는 안산암과 화강암에서 수 10<sup>-3</sup>로 불포화 (SI<1)이나 200 m 지하수는 안산암에서 1.7, 화강암에서 1.8로 과포화 (SI>1)이다 (Table 3). 따라서 지표에서 장석이 풍화될 때 용출된 중탄산칼슘은 100 m 정도의 깊이에서는 농도가 매우 낮아 방해석으로서 침전되지 않으나 200 m의 지하수에서는 곳에 따라 침전될 수 있을 것으로 기대된다. 석고는 200 m에서도 SI가 0.33 및 1.4×10<sup>-3</sup>로 너무 낮기 때문에 석고로서 침전되기 어렵다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 안산암의 지하수가 화강암의 것보다 대체로 높고 200 m 지하수가 100 m 지하수에 비하여 평균 8배 정도 높은데 이는 안산암의 심부에 황철석이 산점되어 있을 가능성을 암시한다.

함안층과 반야월층에서는 지하수정의 평균심도가 120~130 m이나 주성분의 농도는 화성암류의 지하수에 비하여 매우 높으며 방해석에 대한 평균 SI는 각각 2.8 (함안층)와 1.9 (반야월층)로 과포화상태에 있다. 그리고 이온강도 (ionic strength, I=½Σm<sub>i</sub>z<sub>i</sub><sup>2</sup>)와 활성도계수 (γ<sub>i</sub>)를 고려하여 mca<sup>2+</sup>mco<sub>3</sub><sup>2+</sup>를 계산하면 함안층 지하수는 2.82 Ka, 반야월 지하수는 2.24 Ka이다. 따라서 양 퇴적암 지하수대 특히 평균치보다 농도가 더 높은 지하수층에서는 방해석이 쉽게 침전될 것으로 기대되며 이는 양층에 방해석이 많이 충전되어 있는 사실과 일치한다. 계산은 함안층과 반야월층 지하수의 주성분 농도 (mol/l)를 (1)식에 대입하여 I을 구하고 이를 (2)식에 대입하여 γ<sub>i</sub>를 구한 다음 (3)식에서 mca<sup>2+</sup>mco<sub>3</sub><sup>2+</sup>를 구하였다 (Appelo, Postma, 1993).

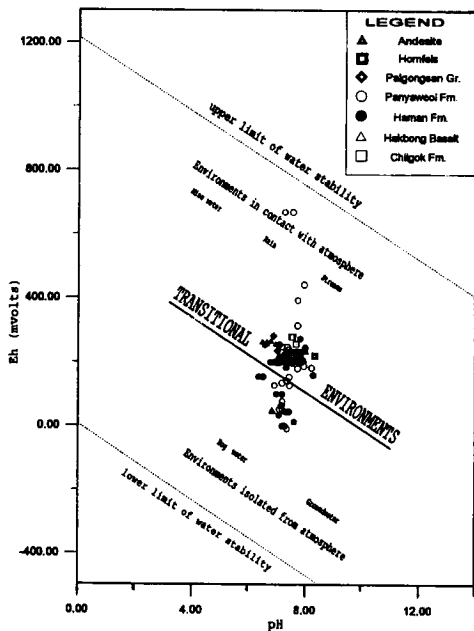


Fig. 4. Eh-pH diagram of groundwater in Daegu area. Plotted by the data in Table 1 and other data (Kim, Lee, 1997)

**Table 3.** Calculation of SI (saturation index) of groundwaters in Daegu area

Area	Depth (m)	pH	Eh (mv)	Concentration								SI=log (IAP/K)	
				Ca <sup>2+</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		[Ca <sup>2+</sup> ][CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]/k	[Ca <sup>2+</sup> ][SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/k	
				mg/l	mol/l	mg/l	mol/l	mol/l	mg/l	mol/l	k=10 <sup>-6.3</sup> calcite	k=10 <sup>-4.6</sup> gypsum	
Andesite	ca 100	6.74	256	4.93	1.23×10 <sup>-4</sup>	17.88	2.93×10 <sup>-4</sup>	8.07×10 <sup>-8</sup>	8.28	8.6×10 <sup>-5</sup>	2.99×10 <sup>-3</sup> <1	4.03×10 <sup>-5</sup> <1	
	ca 200	7.74 (av.)	220	36.15	9.02×10 <sup>-4</sup>	70.5	1.16×10 <sup>-3</sup>	3.18×10 <sup>-6</sup>	67.6	7.04×10 <sup>-4</sup>	0.867<1	0.024<1	
		7.88 (max)	213	46.3	1.16×10 <sup>-3</sup>	76.0	1.25×10 <sup>-3</sup>	4.74×10 <sup>-6</sup>	74.6	7.77×10 <sup>-4</sup>	1.65>1	0.33<1	
Granite	ca 100	6.87	283	5.23	1.30×10 <sup>-4</sup>	18.35	3.01×10 <sup>-4</sup>	1.12×10 <sup>-7</sup>	5.16	5.4×10 <sup>-5</sup>	4.4×10 <sup>-3</sup> <1	2.67×10 <sup>-4</sup> <1	
	ca 200	7.2 (av.)	229	17.2	4.29×10 <sup>-4</sup>	63.22	1.04×10 <sup>-3</sup>	8.23×10 <sup>-7</sup>	7.90	8.2×10 <sup>-5</sup>	0.107<1	1.34×10 <sup>-3</sup> <1	
		7.37 (max)	223	17.6	4.39×10 <sup>-3</sup>	68.32	1.12×10 <sup>-3</sup>	1.32×10 <sup>-6</sup>	8.22	8.6×10 <sup>-5</sup>	1.76>1	1.4×10 <sup>-3</sup> <1	
Haman Fm.	ca 120	7.38	164	127.17	3.17×10 <sup>-3</sup>	150.13	2.46×10 <sup>-3</sup>	2.96×10 <sup>-6</sup>	235.09	2.43×10 <sup>-3</sup>	2.83>1	0.29<1	
Panyawoel Fm.	ca 130	7.47	273	67.71	1.69×10 <sup>-3</sup>	150.33	2.46×10 <sup>-3</sup>	3.64×10 <sup>-6</sup>	77.19	0.80×10 <sup>-3</sup>	1.86>1	0.05<1	

Data : Kim, Lee (1997) for igneous rocks, and table 1 for sedimentary rocks.  
 [CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]=10<sup>-10.3</sup>×[HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]/10<sup>pH</sup>, IAP : ion activity product.

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2 = \frac{1}{2} [(Na^+) + 4(Mg^{2+}) + 4(Ca^{2+}) + (HCO_3^-) + (Cl^-) + 4(SO_4^{2-})] \quad (1)$$

mi=이온 i의 mol/l,  
 Zi=이온 I의 전하  
 함안층 지하수의 I=0.0175,  
 반야월층 지하수의 I=0.00971

$$\log \gamma_i = -A z_i^2 \left( \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3I \right) \quad (2)$$

A=온도계수  
 온도 20°C에서 A=0.5042이므로

$$\log \gamma_i = \log \gamma_{Ca^{2+}} = \log \gamma_{CO_3^{2-}} = -0.5042(2)^2 \left( \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3I \right)$$

ka=활성도적  
 함안층 지하수의 log<sub>γ</sub>Ca<sup>2+</sup>=0.596  
 반야월층 지하수 log<sub>γ</sub>Ca<sup>2+</sup>=0.668

$$mCa^{2+} mCO_3^{2-} = K_a / (\gamma_{Ca^{2+}})(\gamma_{CO_3^{2-}}) \quad (3)$$

함안층 지하수는 K<sub>a</sub>/(0.596)<sub>2</sub>=2.82 K<sub>calcite</sub>  
 반야월 지하수는 K<sub>a</sub>/(0.668)<sub>2</sub>=2.24 K<sub>calcite</sub>

**수질에 미치는 광물학적 요인**

함안층과 반야월층의 주요 구성광물인 장석은 고령토 화되고 방해석으로 교대되어 있으며 양 퇴적암에는 방해석과 황철석이 포함되어 있기 때문에 지하수의 수질은 이들의 영향이 크다. 장석류는 화성암류에서도 주요 구성광물이 되나 비교적 신선한 상태에 있으므로 덜 용해된다.

따라서 주요 성분의 농도는 함안층>반야월층>화강암>안산암의 순위를 보이며 퇴적암쪽이 현저히 높다. 광물별 검토는 다음과 같다.

**주조암 광물**

퇴적암류의 지하수 : 본 역 퇴적암층 지하수의 Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> 및 K<sup>+</sup>는 사장석과 K-장석 및 방해석에 관련되는데 이들 장석류는 풍화가 많이 되어 있기 때문에 화강암이나 안산암의 장석류에 비하여 쉽게 용출된다. 그리고 방해석은 퇴적암 중의 장석류를 교대한 또는 공극을 채운 형태로 산출되는데 그 함량 (함안층 13.6%, 반야월층 9%)은 장석류의 함량 (함안층 39.2%, 반야월층, 24.2%)에 비하면 적지만 탄산수에 쉽게 분해될 수 있으므로 Ca<sup>2+</sup>와 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 주 공급원이 된다. Mg<sup>2+</sup>의 농도도 Ca<sup>2+</sup>의 1/4.4 (함안층) 및 1/3.2 (반야월층)로 매우 높은편인데 Mg-점토광물인 녹니석은 함안층은 0.48%, 반야월층은 2.48% (김종근, 1990)로 소량이고 유색광물은 잘 관찰되지 않으므로 방해석이 일부 Mg<sup>2+</sup>로 치환되어 있을 것으로 생각된다. (Hsü, 1967)에 의하면 K=[Mg<sup>2+</sup>]/[Ca<sup>2+</sup>]>0.67이면 방해석은 Mg<sup>2+</sup>로 교대되어 돌로마이트화될 수 있는데 함안층과 반야월층 지하수의 평균 K는 각각 0.39, 0.63로 적어도 교대작용은 충분히 일어났을 것으로 기대된다. 반야월층내 사장석을 교대한 방해석은 전자현미분석자료 (김종근, 1990)에 의하면 0.37%의 MgO를 함유하고 있다. 함안층 지하수는 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 제외한 성분은 모두 반야월층 지하수보다 농도가 높는데 함안층이 반야월층보다 장석류와 방해석의 양이 많은 사실과 일치한다 (Table 4). 황철석에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 공급되며 Cl<sup>-</sup>은 암석보다는 생활하수와 도로해빙염에 의한 오염과 관련된다.

**Table 4.** Feldspar (%) and calcite (%) in sedimentary formations in Daegu area.

Formation		feldspar (%)			calcite (%)		pyrite
		total	plagioclase	K-feldspar	replaced	pore-filled	disseminated
Haman	range	23.6~48.6	9.0~29	0.4~23.4	0.4~19.2	0.2~8.4	minor
	average	39.2	15	7.5	8.5	5.1	
Panyawoel	range	18.6~33.8	3.2~12.0	0.0~20.0	1.8~10.2	1.6~4.0	minor
	average	24.2	6.9	5.9	5.3	2.7	

Data source; Kim (1990)

K<sup>+</sup>는 Na<sup>+</sup>와 Ca<sup>2+</sup>에 비하여 그 농도가 현저히 낮은데 이는 정장석의 양이 사장석에 비하여 적고 K-장석은 풍화에 강하며 K<sup>+</sup>는 점토광물에 흡착이 잘 되기 때문이다. Na<sup>+</sup>는 풍화에 약한 사장석류에서 공급되고 K<sup>+</sup>처럼 점토광물에 쉽게 흡착되지 않으므로 지하수에 많이 용존한다. 주성분간의 농도비는 공급된 광물과 오염 등의 영향을 받으므로 농도비를 통하여 관련 광물의 양과 조성 및 오염 등을 추리하는데 도움이 된다. 예로 Ca<sup>2+</sup>/Na<sup>+</sup>비는 방해석의 양, 사장석의 An/Ab비 및 생활하수와 도로해빙염 (NaCl)에 의한 오염 등을 고려할 수 있는데 함안층 지하수가 낮은 Ca<sup>2+</sup>/Na<sup>+</sup>비를 보이는 것은 함안층의 사장석이 반아월층 사장석보다 Ab량이 많을 가능성과 주택지와 공장들이 많은 함안층지하수의 오염 정도와 관련될 것으로 생각된다. Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>비는 함안층의 지하수가 반아월층의 지하수보다 높은 것은 방해석의 양에 관계된다. 양 층에 포함된 세맥의 방해석양은 아직 규명되어 있지 않으나 사장석 중 방해석양은 함안층이 높다. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>비는 함안층의 지하수가 반아월층의 지하수보다 낮는데 함안층에 황철석이 더 많이 있을 가능성이 있다.

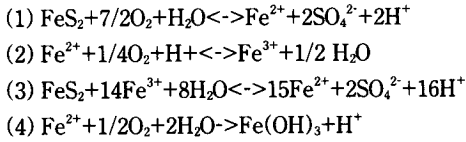
화성암류의 지하수: 본 역 화성암류 지하수의 주성분인 Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> 및 K<sup>+</sup>는 주로 사장석과 K-장석에, 그리고 Mg<sup>2+</sup>는 각섬석과 흑운모 등에 관련되는데 이들 광물의 풍화에 의한 일반적 용해도는 대체로 각섬석>사장석>K-장석>흑운모로 서로 다르기 때문에 이들 원소의 지하수 중 용존량은 본 역 하천수의 경우 (이재영외, 1992)처럼 암석 중 화학성분의 함량과 반드시 일치하지는 않는다. 지하수 중 용존량은 주로 해당 광물의 용해도과 함량 및 물에서의 원소의 성질과 관련된다. 예로, 본 역 화강암 지하수의 주요 성분의 용존량과 순위는 Ca<sup>2+</sup> 19.53 ppm>Na<sup>+</sup> 14.10 ppm>Mg<sup>2+</sup> 4.33 ppm> K<sup>+</sup> 1.5 ppm (김종근, 이재영, 1997)로 Ca<sup>2+</sup>가 제일 높고 K<sup>+</sup>가 제일 낮는데 본 팔공산 화강암의 광물조성을 보면 사장석 31.7%, K-장석 33.2%, 각섬석 0.82%, 흑운모 3.13% (Hong, 1983)로 함량은 K-장석이 제일 높지만 이는 풍화에 강하고 일단 용출된 K<sup>+</sup>는 점토광물에 쉽게 흡착 제거되기 때문에 지하수 중

용존량은 Mg<sup>2+</sup>보담다 오히려 낮아진다. 그리고 An는 Ab보담도 쉽게 분해되기 때문에 지하수 중에는 더 많이 농축될 수 있다. 상기 주요 원소의 화강암 중 함량은 K<sub>2</sub>O 4.10%, Na<sub>2</sub>O 3.94%, CaO 1.85%, MgO 0.75% (Hong, 1983)로 지하수 중 용존량과 일치하지 않는다. 안산암 지하수도 주요 원소의 암석 중 함량은 Na<sub>2</sub>O 4.02%, CaO 3.84%, K<sub>2</sub>O 2.81%, MgO 1.25% (김종근, 이재영, 1997)로 Na<sub>2</sub>O가 제일 높고 MgO가 제일 낮지만 지하수에서의 용존량과 순위는 Ca<sup>2+</sup> 12.74 ppm> Na<sup>+</sup> 7.31 ppm> Mg<sup>2+</sup> 2.73 ppm> K<sup>+</sup> 0.81 ppm로 화강암 지하수와 같은 경향을 보인다.

금번 조사에서도 지하수의 주요 성분 (Table 1 참조)은 암류와 계절에 따라 용존량에는 차이가 있으나 화강암과 안산암 지하수 모두 같은 Ca<sup>2+</sup>> Na<sup>+</sup>> Mg<sup>2+</sup>> K<sup>+</sup>의 함량 순위를 보인다.

**황철석**

황철석은 함안층과 반아월층의 여러 층위에서 세맥 및 산점상으로 산출되며 안산암의 열수변질대에도 포함되어 있다. 황철석은 산화환경에서 쉽게 분해되어 황산과 황산철을 형성하고 이들은 강한 분해력을 가지고 있어서 암석에 포함되어 있으면 암석 성분을 지하수에 많이 녹히게 된다. 특히 방해석은 쉽게 분해되므로 지하수에 다량의 Ca<sup>2+</sup>를 공급하게 된다. 본 역 신천고수부지의 반아월층 시추공 104~105 m, 124~125 m, 177.5~185 m구간에는 방해석이 황철석에 의하여 용탈되어 공동이 형성되어 있다 (성익환 등, 1995). 일반적으로 광산지대에서는 황철석은 (1)산소 (2)박테리아 (3)산소와 박테리아에 의한 산화의 3가지 형태로 분해 (Lundgren, Silver, 1980)되지만 본 퇴적층에서는 황철석은 파쇄대를 통하여 유입된 용존 산소에 의하여 산화된 것으로 생각된다. 즉, Fe<sup>2+</sup>는 Fe<sup>3+</sup>로 산화되고 Fe<sup>3+</sup>는 황철석과 계속 반응하여 산성수를 형성하고 주변 암석성분을 분해하고 지하수 성분에 영향을 준다. 그리고 지표에서 (4)가수분해되어 Fe(OH)<sub>3</sub>로 침전한다.



**방해석**

대구지역에 산성우 (권세목 등, 1993)가 내리나 함안층과 반야월층에는 방해석과 석회질성분이 많이 포함되어 있기 때문에 지하수가 산성화될 우려는 없다. 양 층의 주 구성광물인 장석류도 경하관찰에 의하면 대부분 고령토화되어 있고 방해석으로 교대되어 있다. 따라서 대구지역에 산성우가 내려도 퇴적암 지역에서는 방해석에 의하여 완충되며 탄산수에 의한 분해와 가수분해로 지하수는 중성~약알칼리성을 띤다. 암류별 지하수의 평균 pH는 함안층이 7.4, 반야월층이 7.5, 안산암이 7, 화강암이 7.1로 모두 음용수 기준치 (pH=5.8~8.5)내에 해당한다. (1)방해석이 탄산수로 분해될 때 계산상 pH는 약 8.3이고 (2)가수분해될 때는 9.9가 된다. 따라서 탄산이 많은 지표쪽보다 탄산이 없는 심부쪽 지하수가 높은 pH를 가지게 된다. Table 3에서 보는 바와 같이 안산암과 화강암의 지하수는 지하수정의 심도가 100 m의 것은 약산성이고 심도 200 m의 것은 약알칼리성을 띤다. 계산식은 다음과 같다. 아래 계산에서 K값은 Appelo, Postma (1993)가 편집한 자료를 이용하였다.



$$K = \frac{m_{Ca^{2+}} \cdot m_{HCO_3^-}^2}{m_{CO_3^{2-}} \cdot m_{H^+}^2} = \frac{m_{HCO_3^-} \cdot m_{HCO_3^-} \cdot m_{H^+}}{m_{H_2CO_3}}$$

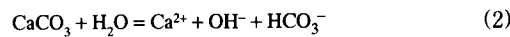
$$= \frac{10^{-8.45} \times 10^{-6.352}}{10^{-10.329}} + 10^{-4.5}$$

$$\frac{1/2 \times m_{HCO_3^-} \cdot m_{HCO_3^-}}{m_{H_2CO_3}} = \frac{1/2 \times m_{HCO_3^-}^2}{10^{-5}} = 10^{-4.5}$$

$\therefore m_{HCO_3^-} = 10^{-3.06}$

$$\frac{m_{H^+} \cdot m_{HCO_3^-}}{m_{H_2CO_3}} = \frac{m_{H^+} \cdot 10^{-3.06}}{10^{-5}} = 10^{-6.4}$$

$(H_+) = 10^{-6.4} \cdot 10^{-1.84} = 10^{-8.34} \therefore pH=8.34$



$$K = \frac{m_{Ca^{2+}} \cdot m_{OH^-} \cdot m_{HCO_3^-}}{m_{CO_3^{2-}} \cdot m_{H^+} \cdot m_{HCO_3^-}} = \frac{m_{Ca^{2+}} \cdot m_{CO_3^{2-}} \cdot m_{OH^-} \cdot m_{H^+} \cdot m_{HCO_3^-}}{m_{H^+} \cdot m_{CO_3^{2-}}}$$

$10^{-8.3} \times 10^{-14} / 10^{-10.3}$

$m_{OH^-} = m_{Ca^{2+}} = m_{HCO_3^-} = 10^{-12} = 10^{-4} \text{ mole/l}$

$10^{-4} \text{ mole/l} \therefore pH = 10$

그런데  $m_{Ca^{2+}} = 3/2 m_{OH^-} = 3/2 m_{HCO_3^-}$

$m_{OH^-} = 2/3 \times 10^{-12} = 0.874 \times 10^{-4} \text{ mole/l}$

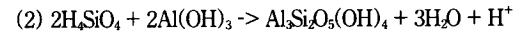
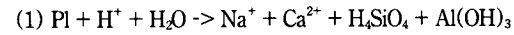
$= 10^{-0.058} \times 10^{-4} = 10^{-4.06}$

$m_{H^+} = 10^{-9.94} \therefore pH \approx 9.9$

방해석의 완충작용은 지하수의 산성화를 막는다는 효과가 있으나 함안층과 반야월층은 방해석이 많이 충전되어 있으므로 오염된 지표수가 쉽게 유입되고 황철석이 수반된 곳에서는 방해석의 분해로 공동이 형성되고 지반함몰로도 발전될 문제점을 안고 있다. 따라서 전철의 건설로 인하여 발생하는 지하수 수위의 변화가 황철석에 미칠 수 있는 영향에 대한 연구가 필요하다.

**김사이트**

팔공산화강암은 K-장석이 33.18%, 사장석이 31.72%로 장석이 65%나 된다. 특히 사장석은 풍화에 약하여 (1)탄산수에 의하여 쉽게 분해되는데 규산은 유실이 빠르고 Al-규산염 및 산화물은 난용성이므로 토양과 열극같은 빈틈에 김사이트가 집적된다 (이수재, 김수진, 1994). 중탄산염은 매우 가용성이므로 토양에는 잔존되지 않고 대부분 유실된다 (Sverdrup, Warfving, 1988). 따라서 화강암지대 지표부에서는 방해석에 의한 완충작용은 기대하기 어렵고 화강암의 열극에 집적되는 김사이트가 산성우에 대한 주요 완충체가 된다 (Nordstrom and Ball, 1986). 김사이트는 (2)규산과 결합하면 고령석이 된다.



김사이트 등으로 다소 완충된 산성우는 대수층으로 내려 가는 과정에서 장석류에서 용출되어 나온  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ 의 용액으로 희석되고 더욱 완충된다. Table 5에서 보는 바와 같이 산성우 (권세목 등, 1993)는 증발산으로 농축되기 때문에 pH가 4.5에서 3.3로 낮아 지나 김사이트의 완충작용으로 다시 4.6로 증가한다. 증발산량은 약 3.6배 (민정덕, 1973)이므로 편의상 4배로 계산하였다. 공산부근 지하수는 장석류에서 용탈되어 나온  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ 의 용액으로 더욱 완충되고 희석된다. 본 역 화강암 지하수의 pH는 7.1~7.6이다.

**지하수의 오염**

대구지역 지하수의 오염은 생활하수, 산업폐수, 광산폐수, 농축산폐수, 대기오염 모두와 관련되나 특히 생활하

**Table 5.** pH change of acid rain by buffering of gibbsite. unit :  $\mu\text{mol/l}$  except for (1) (mg/l)

pH	H <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	remark
4.51		0.81	0.68	2.00	0.16	0.92		1.02		4.11	2.0	1	(1)
	30.9	20.7	29.6	49.9	6.6	51.1		28.8		42.8	32.7	1	(2)
3.27	133.1*	20.7	29.6	49.9	6.6	0		28.8		42.8	83.8*	1	(3)
	532	82.8	118.4	399.2	52.8	0		115.2		342.4	335.2	4	(4)
4.59	25.7	82.8	118.4	399.2	52.8	0	170	115.2		342.4	335.2	4	(5)

(1) acid rain (Kwon *et al.* (1993)), (2) figures in (1) were divided by each atomic weight to get mol/l.  
 (3)  $83.2 = 32.7 (\text{NO}_3^-) + 51.1 (\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-)$  due to the reaction " $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ "  
 (4) figures in (3) were multiplied by evapotranspiration factor 4  
 (5) pH changes from 3.27 to 4.59 by buffering and Al<sup>3+</sup> dissolves from gibbsite.

수, 산업폐수 및 대기오염물질이 주요 요인이 되고 퇴적층에는 파쇄대가 많고 지하수정이 2810개나 될 정도로 지하수가 무질서하게 개발되어 왔기 때문에 공단지대는 물론 주택지대도 심하게 오염되어 있다. 생활하수와 대기오염물질에 관련되는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 보면 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 평균농도는 6월과 11월에 함안층 지하수가 약 25 ppm과 24 ppm, 반야월층 지하수가 약 10 ppm과 25 ppm으로 음용수 기준치 (약 < 46 mg/l)보다 낮으나 기준치를 초과하는 지하수정이 양 층에 각각 3개나 있다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 전자가 약 237 ppm과 148 ppm이고 후자가 약 46 ppm과 40 ppm으로 함안층 지하수가 6월에 음용수 기준치 (< 200 mg/l)를 초과한다. 이들 오염물질과 관련되는 산성우 (권세목 등, 1993)의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 평균농도는 공업지역이 2.1 ppm, 1.4 ppm, 7.4 ppm이고 녹지가 1.5 ppm, 0.6 ppm, 3.5 ppm이나 된다.

공단폐수에 기인되는 중금속류를 보면 Mn와 Zn는 각각 음용수 기준치인 0.3 mg/l와 1 mg/l를 넘지 않고 Cd도 모두 음용수 기준치 (< 0.01 ppm)이하인데 이는 함안층과 반야월층의 장석, 방해석 및 점토광물과 주로 관련된다. 지하수는 장석과 방해석으로 중성 내지 약알카리성을 띄기 때문에 중금속류는 수산화물과 탄산염류로 침전되고 또 고령토에 의하여 흡착·교환되어 제거되기 때문이다. 그 결과 하천수는 심하게 오염되어 있어도 지하수는 대부분 음용수 기준이하의 농도를 보인다 (이재영 등, 1992). 이상의 인위적인 오염원외에도 황철석이나 방해석은 지하수의 수질을 저하기키는 요인이 된다. 황철석은 Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 오염원이 되고 방해석은 물의 경도를 높인다. 화강암의 지하수는 경도 95 mg/l의 단물이나 함안층, 반야월층의 지하수는 경도가 442 mg/l, 275 mg/l의 센물이다.

**결 언**

대구지역 지하수의 지화학적 특징은 대수층의 광물 및

화학조성과 밀접한 관계를 가진다. 주요 성분인 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>의 농도는 모두 퇴적암류 (함안층, 반야월층)의 지하수가 화성암류 (안산암, 화강암)의 지하수보다 높는데 이는 퇴적암류는 방해석 세맥이 많고 지구성광물인 장석류도 풍화를 많이 받아 고령토화되면서 방해석으로 교대되어 있기 때문이다. 그리고 함안층 지하수가 반야월층 지하수보다 농도가 높은 것은 방해석 등의 가용성 성분이 함안층에 더 많을 가능성을 제시하는데 경하관찰에 의하면 장석의 방해석화는 함안층 (1.2~19.2%)이 반야월층 (1.8~10.2%)보다 높다. Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 안산암의 지하수가 그리고 K<sup>+</sup>는 화강암의 지하수보다 더 높는데 이는 두 암류의 Ca-장석 및 K-장석의 양과 관계된다.

지하수의 전체적인 Eh-pH영역은 대체로 pH는 6.5~8.3, Eh는 1~443 mv로 약산성 내지 알카리성의 전이환경 영역에 해당한다. pH는 퇴적암지대가 중성~알카리성, 화성암대가 약산성~중성을 띄며 Eh는 지표수의 혼입으로 지하수로서는 대체로 높은 편이나 생활하수와 산업폐수로 오염이 심한 함안층과 반야월층지대는 오염이 적은 화성암지대보다 낮다.

함안층과 반야월층에는 평균경도 500 mg/l과 233 mg/l의 Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 및 CaSO<sub>4</sub>-Cl<sub>2</sub>형의 경수가 발달하고 팔공산 화강암과 앞산 안산암에는 평균경도 90 mg/l와 100 mg/l의Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 형의 연수가 발달한다. 따라서 대구지역 지하수는 대구분지 외각의 화성암지대에서 발달한 연수질의 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>형 지하수가 분지의 중심부 퇴적암지대로 오면서 경수질의 Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 및 CaSO<sub>4</sub>-CaCl<sub>2</sub>형의 지하수로 수질이 변화하는 것이 특징이라 볼 수 있다. Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>형은 함안층과 반야월층에서는 주로 방해석에 관련되고 화강암과 안산암에서는 사장석에 관련된다. CaSO<sub>4</sub>-Cl<sub>2</sub>형은 황철석 및 오염원과 관련된다. CaSO<sub>4</sub>-Cl<sub>2</sub>형의 지하수는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도도 높다.

방해석과 황철석의 유무는 지하수의 수질에 중요한 영향을 준다. 즉, 방해석은 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>형 센물의 요인이 되

고 산성수에 대하여는 김사이트와 같이 원충작용을 하며 지하수의 산성화를 억제한다. 황철석은 산과 황산철의 공급원이 되며 지하수를 산성화하여 방해석을 분해한다. 따라서 오염된 지표수가 많이 유입되고 황철석이 산화되는 환경에서는 방해석의 분해로 공동이 형성되고 지반함몰로 발전할 문제점을 안고 있다.

## 사 사

본 연구는 1996년도 교육부의 기초과학연구소 학술연구 조성비로 수행되었으며 전략광물자원 연구센터의 부분 지원이 있었다. 본 연구를 수행하는 과정에서 대학원생 김석기군, 김은지양, 김병철군이 실내의 작업을 도와 주었으며 특히 한국자원개발연구소의 성익환박사의 협조에 감사한다.

## 참고문헌

- 권세목, 박희옥, 정철수, 이명숙, 박신정, 배도용, 김종우 (1993) 이온 크로마토그래피법에 의한 빗물중의 이온물질 연구. 대구보건환경연구원, 보건환경, 5권, p. 312-331.
- 김영기 (1976) 반아월층의 지하수 운동에 관한 연구. 광상지질, 9권, p. 225-240.
- 김종근 (1990) 대구-건천지역 상부 경상층군 사암의 퇴적변질. 경북대학교 대학원 교육학석사논문, 54p.
- 김종근, 이재영 (1997) 대구지역에 분포하는 약수의 지구화학적 특징. 한국환경위생학회, 23권, p. 56-65.
- 민경덕 (1973) 한국의 증발산 Climatonomy. 한국기상학회지, 10권, p. 19-27.
- 성익환, 조병욱, 이봉주, 김석중, 김통권, 김원영, 이병태, 황상기, 이재명, 김영기, 장태우, 이인호, 김석기, 김귀환, 이강근, 김윤영, 배광욱, 현윤정 (1995) 지하수 오염방지 및 음용화 기술 연구. 과학기술처 KR-95 (S)-2, 459p.
- 원종관, 김중배 (1971) 경산도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 윤상규, 김영기, 이동영 (1979) 대구지역 수리지질조사. 자원개발연구소 조사연구보고, 6권, p. 165-196.
- 이수재, 김수진 (1994) 남산화강암의 풍화 및 광물-물 반응에 관한 연구. 한국광물학회지, 7권, p. 40-48.
- 이재영 (1993) I. 자연환경 : 팔공산 자연공원 생태계 조사 보고서. 대구시, p. 37-64.
- 이재영, 이진국 (1995) 달성광산의 지질, 광상, 환경오염 및 지하학적 광해지감 방안에 대한 조사연구. 경북대 환경과학연구소 보고서, 24p.
- 이재영, 김영기, 김창동 (1992) 대구시 지하수의 수질과 지질 환경과의 관계 및 수질오염에 대한 지하학적 연구. 경북대 환경과학연구소, 54p.
- 이재영, 김영기, 이진국, 서정울 (1992) 대구시 지하수의 금속 오염에 대한 지하학적 연구. 지질공학, 2권, p. 173-200.
- 장기홍 (1978) 경상분지의 층서, 퇴적 및 지구조. 지질학회지, 14권, p. 120-135.
- 홍영국, 박종권, 전효택, 문치성, 김성제, 지세정, 성익환, 김통권, 박희열 (1993) 지질환경에서 유해원소들의 지하학적 분산연구 (I). 과학기술처, KR-93 (T)-10, 464p.
- 한국동력자원연구소 (1984) 지구화학시료 분석법. 4.3 알칼리도 (alkalinity), 1029p.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D (1993) Correction for solubility calculations. In: Geochemistry, groundwater and pollution. p. 49-55. A.A. Balkema publisher, 536p.
- Garrels, R.M. and Christ, C.L. (1965) Natural limits of Eh and pH. In: Solutions, minerals, and equilibria. p. 379-383. Harper & Row.
- Hong, Y.K. (1983) Petrology and geochemistry of Jurassic and Cretaceous granites South Korea. Ph.D. Thesis, London University.
- Hong, Y.K. (1993) Petrology and geochemistry of the Cretaceous Palgongsan granite, South Korea. J. Korea Inst. Min. Geol., v. 16, p. 83-109.
- Hsu, K.J. (1967) Chemistry of dolomitic formation. In: Carbonate rocks (Ed. by G.V. Chilingar, H.J. Bissel and R. W. Fairbridge) p. 169-191. Elsevier Amsterdam.
- Lee, J.Y., Koh, I.S., Lee, J.K., Lee, I.H., Seo, J.Y. (1992) A study on the effects of some geological environments on the quality of groundwater in Taegu City. Kyung-pook Nat. Univ. J. of Environmental Sci. v. 6, p. 31-40.
- Lundgren, D.G. and Silver, M. (1980) Ore leaching by bacteria. Ann. Rev. Microbiol. 34, p. 263-283.
- NRC (National Research Council) (1986) Acid deposition: Long Term Trends, National Academy Press, Washington D.C.
- Nordstrom, D.K. and Ball, J.W. (1986) The geochemical behavior of aluminium in acidified surface waters. Science 232, p. 54-56.
- Sverdrup, H.U. and Warfving, P. (1988) Weathering of primary silicate minerals in the natural soil environment in relation to a chemical weathering model. Water Air Soil Poll. v. 38, p. 387-408.

1997년 8월 12일 원고접수