

## 부산 지역 지하수의 수질오염 특성

### The Characteristics of Groundwater Quality in the Pusan Area

정상용·강동환·심병완

부경대학교 지구환경과학부

#### 요 약 문

부산 지하수의 오염실태와 그 특성을 파악하기 위하여 1996년과 1997년에 분석된 지하수 수질자료 중에서 pH, TS,  $\text{KMnO}_4$  소비량, Cl,  $\text{SO}_4$  등을 통계분석 하였다. 각 성분의 평균치는 pH가 모두 7.3, TS는 216.0 mg/l 와 242.3 mg/l,  $\text{KMnO}_4$  소비량은 2.6 mg/l 와 6.3 mg/l, Cl은 35.7과 50.1mg/l,  $\text{SO}_4$ 는 25.4와 33.9mg/l 이다. 2년 동안 pH의 음용수 기준치 초과 비율은 0.55와 0.47%, TS는 1.89와 2.50%,  $\text{KMnO}_4$  소비량은 0.73과 1.17%, Cl은 1.41과 2.18%, 그리고  $\text{SO}_4$ 는 0.37과 0.86% 이다. 따라서 성분별로 비교해 볼 때, pH의 음용수 기준치 초과비율이 가장 적고, Cl의 초과비율이 가장 크다. Cl 및  $\text{SO}_4$  이온의 음용수 기준치(각각 100 mg/l, 200mg/l) 초과지점과 이 이온들의 평균치보다는 훨씬 큰 100 mg/l 이상되는 지점들의 분포를 분석한 결과, 해안가보다는 내륙에 더 많이 초과지점들이 분포한다. 따라서 부산지하수는 해수에 의한 영향보다는 내륙에서 생활하수나 기타원인(공장폐수, 오염된 하천수, 폐기물 매립 등)에 의한 오염이 훨씬 큰 것으로 보인다. 1996년에 5개 성분의 음용수 기준치 초과비율은 5.06%이고, 1997년의 초과비율은 6.87%로 전년도에 비하여 약간 증가하였다. 그러나 부산이 바다에 접하고 또한 인구과밀 지역임을 고려할 때, 부산의 지하수 수질은 양호한 편이다. 따라서 앞으로 부산 지하수의 보전 및 관리가 적절하게 진행된다면 부산에서 지하수는 시민의 생활용수로서의 역할을 증대해 나갈 수 있을 것이다.

#### I. 서론

전국 제 2 도시인 부산은 경제·사회적으로 우리나라의 중심도시이며, 또한 항구도시로서 국제사회의 중심지 역할을 하고 있다. 그러나 부산의 주 용수를 공급하고 있는 낙동강의 수질은 크게 개선되지 않고 있으며, 생활용수를 비롯한 각종 용수의 사용량은 계속 증가되고 있다. 특히 상당수의 부산 시민들은 상수도 대신에 약수와 지하수를 주 식수로 이용하고 있는 실정이어서 부산에서 지하수는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 부산의 현재 지하수 이용량<sup>1)</sup>은 7,909 개소의 지하수공에서 약 66,752,600m<sup>3</sup>/년으로 서울을 비롯한 6대 도시중 최대이다. 이 양은 서울의 1.4배, 6대 도시중 지하수 이용량이 가장 적은 인천의 약 3.7배 이상이다. 부산의 지하수는 생활용수로 53,229,200m<sup>3</sup>/년, 공업용수로 7,262,700m<sup>3</sup>/년, 농업용수로

1,331,500m<sup>3</sup>/년 이용<sup>2),3)</sup>되고 있어서, 부산에서 지하수의 약 80%가 생활용수로 이용되고 있다. 그런데 부산은 해안가에 위치하고 있어서 지하수가 해수의 영향을 받고 있으며, 내륙에서는 생활하수, 공장폐수, 오염된 하천수, 폐기물 매립, 주유소 기름유출, 농약·비료 등에 의하여 지하수가 오염되고 있다. Figure 1의 부산시 행정구역도에 의하면 부산시는 14개 구와 1개 군으로 구성되어 있으며, 그 중 강서구에는 낙동강과 미고결상태의 하구 퇴적층을 포함하고 있다.

본 연구에서는 부산보건환경연구원에서 1996년과 1997년의 2개년에 걸쳐 분석한 지하수 수질자료 중에서 지하수오염의 대표성분인 pH, TS, KMnO<sub>4</sub>소비량, Cl, SO<sub>4</sub> 등의 자료를 수집하여 통계학적인 분석<sup>4)</sup>을 실시하였다. 통계학적인 분석내용으로는 각 행정구역별로 5개 수질항목의 최소 및 최대치와 평균치의 산출, 음용수기준치 초과 비율의 산출과 수질항목별 상관성을 분석하는 것이다. 이러한 연구는 현재 이용되고 있는 부산지하수의 오염상태와 그 특성을 파악할 수 있을 뿐만아니라, 앞으로 부산 지하수의 보전 및 관리를 위한 기본계획 수립에도 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

## II. 지하수 수질 자료 현황

현재까지 부산보건환경 연구원에서 수집된 부산시 수질자료는 1996년과 1997년 2년동안 약 3,000 여개이다. 수집된 자료들의 위치는 주소로만 나타나 있어서, 통계적 분석을 위하여 경위도 좌표로 변환하였다. 동일시기의 동일 주소에서 여러개의 수질자료가 있는 경우에는 한 개의 자료만을 이용하게 되어, 자료수가 약간 줄어들었다. 최종적으로 1996년도의 자료수는 1636개, 1997년도의 자료수는 1282개로 정리되었다. 행정구역별 수질자료수는 Table 1에 있다. 2년간의 자료수가 가장 많은 구는 해운대구, 금정구, 기장군 등이며, 자료가 10개 이하인 곳은 강서구와 중구이다. Figure 2와 3은 각각 1996년과 1997년의 수질분석 자료의 위치를 나타낸다. Table 2에서는 행정구역별로 수질자료가 조사되어, 수질항목별 최소값과 최대값 그리고 구 전체의 평균값이 정리되어 있다. 부산시 전체적으로 볼 때, 1996년도 자료에서 pH의 범위는 1.9 ~ 9.1 이고 평균치는 7.3이다. TS의 범위는 3 ~ 2386 mg/l 이고 평균치는 215.7 mg/l 이다. KMnO<sub>4</sub> 소비량의 범위는 0.3 ~ 435.0 mg/l 이고 평균치는 2.6 mg/l 이다. Cl의 범위는 0 ~ 746.0 mg/l 이며, 평균치는 35.7 mg/l 이다. SO<sub>4</sub>의 범위는 0.0 ~ 1,259.0 mg/l 이며, 평균치는 25.4 mg/l 이다.

Table 1. The number of groundwater quality data used for statistical analysis.

행 정 구 역	1996년도	1997년도	행 정 구 역	1996년도	1997년도
강 서 구	7	3	사 상 구	16	15
금 정 구	309	143	사 하 구	127	71
기 장 군	198	186	서 구	65	54
남 구	116	84	수 영 구	157	96
동 구	14	8	연 제 구	113	75
동 래 구	137	93	영 도 구	64	52
부 산 진 구	143	74	중 구	5	2
북 구	27	16	해 운 대 구	138	310
합 계	1636	1282			

Table 2. The statistical values of groundwater quality data in the Pusan area

행정구역	수질 항목 내용	pH		TS		KMnO <sub>4</sub>		Cl		SO <sub>4</sub>	
		'96	'97	'96	'97	'96	'97	'96	'97	'96	'97
강서구	최소값	6.7	7.3	67	185	0.6	0.6	4	31	3	60
	최대값	8.5	7.5	758	381	4.4	3.8	334	46	82	142
	평균	7.7	7.4	217.4	264.7	2.0	1.8	61.6	40.3	20.9	107.3
금정구	최소값	5.8	5.5	31	39	0.3	0.3	1	4	0	0
	최대값	8.2	8.3	500	861	110.6	10.1	209	170	129	339
	평균	7.0	7.2	168.8	192.4	2.2	1.3	27.6	31.0	20.4	28.2
기장군	최소값	5.9	6.2	37	33	0.3	0.6	0	2	0	0
	최대값	8.6	8.8	647	584	11.3	5940.8	257	339	75	229
	평균	7.5	7.5	177.8	187.4	1.7	33	23.5	33.0	14.2	22.6
남구	최소값	4.3	5.9	49	59	0.3	0.6	1	3	0	0
	최대값	8.9	8.4	583	815	7.6	14.3	140	181	101	385
	평균	7.3	7.2	232.3	285.7	1.9	1.4	37.1	49.1	27.8	46.6
동구	최소값	6.8	6.2	57	102	0.9	0.6	3	33	3	1.1
	최대값	7.9	8.2	866	482	12.3	5.1	746	541	116	126
	평균	7.3	7.2	327.1	261.3	3.6	1.8	119	127.1	49.2	44.2
동래구	최소값	5.9	5.4	7.3	42	0.3	0.3	2	3	0	0
	최대값	8.5	8.5	2386	1196	346	9.8	282	141	1259	346
	평균	7.1	7.2	259	250.9	4.2	1.2	40	40.8	43.8	43.7
부산진구	최소값	5.9	6.4	30	53	0.3	0	1	3	0	0
	최대값	8.3	8.3	741	595	258	6.3	325	365	120	122
	평균	7.3	7.3	264.9	239.4	3.8	1.2	45.9	51.3	31.9	38.6
북구	최소값	6.6	6.8	56	78	0.3	0.6	2	4	0	2
	최대값	8	8.1	755	709	5.4	44.2	41	149	76	275
	평균	7.3	7.2	167.6	238.5	1.6	3.8	14.2	40.4	17.4	53.1
사상구	최소값	6.3	6.8	61	56	0.9	0.6	2	7	0	0
	최대값	8.2	8.3	312	8553	435	27.8	62	3631	65	85
	평균	7.2	7.3	148.7	1121	29.0	4.4	20.9	299.5	16.5	31
사하구	최소값	5	6.3	44	35	0.3	0.3	1	5	0	0
	최대값	9	8.5	467	604	6.3	4.5	95	207	120	102
	평균	7.5	7.3	240	251.4	1.7	1.2	34.5	48.6	28.1	38.1
서구	최소값	1.9	6.8	3	99	0.3	0.6	1	7	0	0
	최대값	8.3	7.9	776	676	13.3	9.8	229	333	72	142
	평균	7.3	7.3	246.6	262.2	1.9	1.3	42.2	62.2	18.7	31.5
수영구	최소값	6.2	6.2	45	24	0.3	0.3	1	1	0	0
	최대값	9.1	8.2	678	448	28.3	106	386	113	88	78
	평균	7.3	7.2	237.8	241.1	2.1	2.1	42.3	43.3	24	32.5
연제구	최소값	6.1	6.5	51	56	0.3	0.6	1	2	0	0
	최대값	8.1	8.3	658	1023	15.6	174.1	229	217	412	476
	평균	7.2	7.3	211	206.4	2.2	3.8	37	35.7	26.0	32.0
영도구	최소값	6.4	6.4	48	80	0.3	0.5	6	1	0	0
	최대값	8.9	8	959	669	22	106	403	280	154	229
	평균	7.4	7.2	226.6	225.2	2.0	3.3	46.1	53.2	19.6	35.2
중구	최소값	7.1	7	64	53	0.6	0.9	3	2	3	0
	최대값	8.5	8.2	485	96	5.4	1.6	100	9	56	2
	평균	7.8	7.6	174	74.5	2.1	1.3	48	5.5	26.8	1.0
해운대구	최소값	6	4.1	57	7	0.3	0	2	0	0	0
	최대값	8.8	8.3	927	14886	6.5	30.3	530	5942	457	843
	평균	7.3	7.3	215.7	252.9	2.6	1.5	35.7	61.2	25.4	35.2
합계	최소값	1.9	4.1	3	7	0.3	0	0	0	0	0
	최대값	9.1	8.8	2386	14886	435	5940.8	746	5942	1259	843
	평균	7.3	7.3	215.7	242.5	2.6	6.4	35.7	50.1	25.4	33.9

1997년도 자료에서 pH의 범위는 4.1 ~ 8.8이고, 평균치는 7.3이다. TS의 범위는 7 ~ 14,886 mg/l 이고, 평균치는 242.5 mg/l 이다. KMnO<sub>4</sub> 소비량의 범위는 0.0 ~ 5,940.8 mg/l 이고, 평균치는 6.4 mg/l 이다. Cl의 범위는 0 ~ 5,942 mg/l 이고, 평균치는 50.1 mg/l 이다.

SO<sub>4</sub>의 범위는 0 ~ 843 mg/l 이며, 평균치는 33.9 mg/l 이다. 1996년과 1997년의 5개 수질자료의 평균치를 비교해 볼 때, pH는 같고, TS, KMnO<sub>4</sub> 소비량, Cl, 그리고 SO<sub>4</sub>는 모두 증가하였다. 1996년과 1997년의 수질자료가 모두 동일지점에서 채취되어진 것은 아니지만, 대체적으로 1997년도에 부산시의 지하수 수질이 1996년도에 비하여 악화되어진 것으로 보인다.

Table 3에서는 수질항목별, 행정구역별 음용수 기준치 초과건수가 정리되어 있다. 1996년도에는 동구에서 음용수 기준치 초과 비율이 28.57%로 가장 높고, 1997년도에는 사상구에서 33.33%로 가장 높게 나타냈다. 그러나 이들 지역의 분석건수는 각각 14개와 15개로 상당히 적기 때문에 이 비율이 동구와 사상구 전체 지하수를 반영하지는 않는다. 1996년에 150개 이상 분석한 지역은 금정구, 기장군, 수영구이며, 음용수기준치 초과비율은 각각 1.29%, 3.02%와 7.64%이며, 수영구가 음용수기준 초과 비율이 높은 편이다.

1997년에는 해운대구가 310개, 기장군이 186개, 금정구가 143개 분석되었으며, 음용수 기준 초과비율은 각각 8.06%, 5.91%, 5.59%이다. 기장군과 금정구가 2년동안 계속해서 많이 분석되었는데, 음용수기준 초과가 각각 2.95배, 4.33배 증가하였다. 부산시 전체에서 1996년과 1997년의 2년 동안 pH의 음용수 기준치 초과 비율은 0.55와 0.47%, TS 초과비율은 1.89와 2.50%, KMnO<sub>4</sub> 초과비율은 0.73과 1.17%, Cl 초과비율은 1.41과 2.18%, 그리고 SO<sub>4</sub> 초과비율은 0.37과 0.86% 이다. 따라서 성분별로 비교해 볼 때, pH의 음용수 기준치 초과비율이 가장 적고, Cl의 초과비율이 가장 크다. TS의 초과비율이 가장 크지만, TS는 증발잔유물로서 전체 성분을 반영한다. 부산지하수에서 Cl 이온의 함량이 높은 이유는 부산이 바다에 인접하여 지하수에 해수의 침입가능성이 큰 것과, 또 다른 이유는 Cl 이온은 비반응성 물질이므로 지하매질과 반응하지 않고 계속 지하수에 축적되기 때문이다.

Figure 4와 5는 1996년과 1997년의 수질자료 중 pH의 음용수기준 초과지점을 나타낸다. 1996년에는 총 1636개 지점의 수질자료 중에서 기장읍, 해운대구, 수영구, 서구, 영도구에서

Table 3. The number of groundwater quality data in excess of drinking standard.

구	pH		TS		KMnO <sub>4</sub>		Cl		SO <sub>4</sub>		합 계		비율(%)	
	5.8~8.5		500mg/l		10mg/l		150mg/l		200mg/l		'96	'97	'96	'97
	'96	'97	'96	'97	'96	'97	'96	'97	'96	'97				
강서구	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2/7	0/3	28.57	0
금정구	0	2	0	3	2	1	2	1	0	1	4/309	8/143	1.29	5.59
기장군	1	2	1	2	1	1	1	5	0	1	4/198	11/186	2.02	5.91
남구	2	0	1	5	0	1	0	1	0	1	3/116	8/84	2.59	9.52
동구	0	0	1	0	1	0	2	1	0	0	4/14	1/8	28.57	12.5
동래구	0	1	4	2	1	0	3	0	1	1	9/137	4/93	6.57	4.3
부산진구	0	0	4	1	1	0	4	2	0	0	9/143	3/74	6.29	4.05
북구	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1/27	3/16	3.70	18.75
사상구	0	0	0	2	1	2	0	1	0	0	1/16	5/15	6.25	33.33
사하구	2	0	0	1	0	0	0	2	0	0	2/127	3/71	1.57	4.23
서구	1	0	4	1	1	0	1	2	0	0	7/65	3/54	10.77	5.56
수영구	1	0	6	0	2	1	3	0	0	0	12/157	1/96	7.64	1.04
연제구	0	0	2	1	1	3	3	1	1	1	7/113	6/75	6.19	11.54
영도구	1	0	3	2	1	1	1	2	0	1	6/64	6/52	9.38	11.54
중구	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0/5	0/2	0	0
해운대구	1	1	3	11	0	4	2	5	4	4	10/138	25/310	7.25	8.06
합계	9	6	31	32	12	15	23	23	6	11	81/1636	87/1282	4.95	6.79
비율(%)	0.55	0.47	1.89	2.50	0.73	1.17	1.41	2.18	0.37	0.86	4.95	6.79		

각각 1개소, 그리고 남구와 사하구에서 2개소만 음용수 기준치를 초과하고 있다. 1997년에는 기장읍, 철마면, 금정구, 동래구, 해운대구에서 모두 1개소만 음용수 기준치를 초과한다. Figure 6과 7은 TS의 음용수 기준초과 지점을 나타낸다. 1996년에는 수영구에서 6개소 지점이 초과하였으며, 동래구, 부산진구, 서구에서 각각 4개소, 영도구와 해운대구에서 각각 3개소, 연제구에서 2개소, 그리고 나머지 구에서 1개소 이하만이 음용수 기준치를 초과한다.

1997년에는 남구에서 5개소로 가장 많으며, 금정구에서 3개소, 기장군, 동래구, 사상구, 영도구에서 각각 2개소, 그리고 나머지 구에서 1개소 이하가 음용수 기준치를 초과한다.

Figure 8과 9는  $KMnO_4$  소비량의 음용수 기준초과 지점을 나타낸다. 1996년에는 금정구와 수영구에서 각각 2개소가 음용수 기준을 초과하고 있으며, 나머지 구에서는 1개소 이하이다. 1997년에는 연제구에서 3개소, 사상구에서 2개소가 음용수 기준치를 초과하였고, 나머지 구에서는 1개소 이하이다. Figure 10과 11은  $Cl$  이온의 음용수 기준초과 지점을 나타낸다. 1996년에는 부산진구가 4개소, 동래구, 수영구, 연제구가 각각 3개소, 금정구, 동구, 해운대구가 각각 2개소가 음용수 기준치를 초과하며, 나머지 구에서는 1개소 이하이다. 1997년에는 음용수 기준초과 지점이 기장군과 해운대구가 각각 5개소, 부산진구 사하구, 서구, 영도구가 각각 2개소이며, 나머지 구에서는 1개소 이하이다.  $Cl$  이온의 초과지역은 다른 수질항목에 비하여 비교적 넓게 분포하며, 초과지점은 해안가 뿐만 아니라 내륙에도 많이 있다.  $Cl$  이온은 비반응성 물질로 토양이나 암석과 반응을 일으키지 않기 때문에 오염의 지시자로 이용될 수 있다. 따라서  $Cl$  이온의 음용수 기준치 초과지점의 분포를 볼 때, 바닷가에 위치한 부산 지하수의 해수에 의한 오염은 그다지 크지 않으며, 생활하수나 기타 원인(공장폐수, 오염된 하천수, 폐기물 매립 등)에 의한 오염이 더 큰 것으로 사료된다.

Figure 12와 13은  $SO_4$  이온의 음용수 기준초과 지점을 나타낸다. 1996년에는 해운대구가 4개소, 동래구와 연제구가 각각 1개소에서만 초과하고, 나머지 구에서는 모두 기준치 이내이다. 1997년에는 해운대구에서 4개소가 음용수 기준치를 초과하며, 나머지 구에서는 1개소 이하이다.  $SO_4$ 는 해수의 주성분인데, 바닷가에 위치한 부산의 지하수에 크게 나타나지 않고 있으며, 내륙에 위치하는 지하수에서 기준치를 더 많이 초과하고 있다. 따라서  $Cl$  이온의 음용수 기준치 초과지점에 대한 분석에서와 마찬가지로 부산지하수의 오염은 해수에 의한 영향보다는 생활하수나 기타 원인에 의한 오염이 더 크다고 할 수 있다.

Figure 14와 15는  $Cl$  이온의 농도가  $100\text{ mg/l}$  이상되는 지점을 나타낸다. 1996년에는 총 45개 지점이 초과되며, 행정구역상으로는 금정구 4개, 동래구 4개, 연제구 5개, 수영구 4개, 부산진구 9개, 동구 3개, 해운대구 5개, 기장군 5개 그리고 서구에 1개 지점이다. 1997년에는 총 43개 지점이 초과되며, 기장군 8개, 해운대구 7개, 부산진구 4개, 남구 4개, 사하구 4개, 서구 4개, 영도구 3개, 금정구 2개, 동래구 2개, 그리고 동래구, 북구, 수영구, 연제구에서 각각 1개 지점이다.

$Cl$  이온이  $100\text{ mg/l}$  이상이면 음용수 기준치 이내이지만 부산의 일반 지하수 수질(1996년 평균  $35.7\text{ mg/l}$ , 1997년 평균  $50.1\text{ mg/l}$ )에 비교할 때 2배 이상이므로 오염에 의한 특성으로 볼 수 있다. Figure 14와 15에서도 Figure 10과 11에서와 같이 해안가보다는 내륙에서 고농도의  $Cl$  이온이 검출되고 있다.

Figure 16과 17은  $SO_4$  이온의 농도가  $100\text{ mg/l}$  이상되는 지점을 나타낸다. 1996년에는 총 27개 지점이 초과되며, 행정구역상으로는 금정구 6개, 해운대구 7개, 동래구 7개, 부산진구 4개, 그리고 동구, 사하구, 영도구에서 각각 1개 지점이다. 1997년에는 총 41개 지점이 초과되며, 행정구역상으로는 해운대구 14개, 동래구 5개, 금정구 3개, 기장군 3개, 남구 3개, 부산진구 3개, 그리고 북구, 서구, 연제구, 영도구가 각각 2개씩이며, 동구가 1개 지점이다.

SO<sub>4</sub> 이온이 100 mg/ℓ 이상이면 음용수 기준치이내이지만, 부산의 일반지하수 수질 (1996년 평균 25.4 mg/ℓ, 1997년 평균 33.9 mg/ℓ)에 비교하면 3배 이상이므로 오염에 의한 특성으로 볼 수 있다. Figure 16과 17에서도 Figure 12와 13에서와 같이 해안가보다는 내륙에서 고농도의 SO<sub>4</sub> 이온이 검출되고 있다. 따라서 1996년과 1997년의 Cl 이온과 SO<sub>4</sub> 이온 자료에서 100 mg/ℓ 이상되는 지점을 검토해 보면, 부산지하수가 해수에 의한 영향보다는 내륙에서 생활하수나 기타 원인에 의한 오염이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

### Ⅲ. 수질자료의 상관성 분석

부산지하수의 수질중 급변 조사된 pH, TS, KMnO<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> 등 5가지 성분들 상호간의 상관성을 파악하기 위하여 선형회귀분석 (Linear Regression Analysis)을 실시하였다. 각 성분의 연도별 상관성분석 결과가 Table 6에 있다. pH와 TS의 연도별 상관성분석은 Figure 18 (a)와 (b)에 있으며, 상관계수는 -0.10092와 -0.09002로서 상관성이 매우 낮다. pH와 KMnO<sub>4</sub>의 연도별 상관성 분석은 Figure 19 (a)와 (b)에 있으며, 상관계수는 -0.03953과 -0.05886로서 pH와 TS의 상관성보다 더 낮다. Cl과 SO<sub>4</sub>의 연도별 상관성 분석은 Figure 20 (a)와 (b)에 있으며 상관계수는 0.25034와 0.24116로서 약간의 상관성을 갖고 있다. Cl과 TS의 연도별 상관성 분석은 Figure 21 (a)와 (b)에 있으며 상관계수는 0.59125와 0.58859로서 상당한 상관성을 갖고 있다. 따라서 증발 잔유물의 증가는 염소이온 농도의 증가에 많은 영향을 받고 있다.

KMnO<sub>4</sub>와 Cl의 연도별 상관성 분석은 Figure 22 (a)와 (b)에 있으며 상관계수는 0.24263와 0.03695로서, 1997년 자료가 1996년 자료에 비하여 상관성이 매우 떨어진다. 1996년 자료에서는 어느정도 상관성을 갖고 있다. KMnO<sub>4</sub>와 TS의 연도별 상관성 분석은 Figure 23 (a)와 (b)에 있으며 상관계수는 0.168과 0.09253로서, 1997년 자료가 1996년 자료에 비하여 상관성이 매우 떨어진다. 1996년 자료에서는 약간의 상관성을 갖고 있다. KMnO<sub>4</sub>와 SO<sub>4</sub>의 연도별 상관성 분석은 Figure 24 (a)와 (b)에 있으며 상관계수는 -0.02747와 0.10931로서 상관성이 매우 낮은 편이다. SO<sub>4</sub>와 TS의 연도별 상관성 분석은 Figure 25 (a)와 (b)에 있으며 상관계수는 0.57332와 0.75815로서 상관성이 매우 높다. 또한, 1997년 자료가 1996년 자료에 비하여 상관성이 크게 증가하였다.

이상 수질자료의 상관성 분석에 의하면 Cl과 TS, SO<sub>4</sub>와 TS의 상관성이 상당히 큰 편이다. 따라서 부산지하수 수질에서 Cl과 SO<sub>4</sub>의 증가가 TS의 증가에 결정적인 영향을 주기 때문에, 부산 지하수오염의 주요성분은 Cl과 SO<sub>4</sub> 이온이라고 추론할 수 있다. 그런데 Cl과 SO<sub>4</sub>의 증가는 해수침입보다는 생활하수나 기타의 원인에 더 큰 요인이 있다.

Table 4. Correlation coefficients of groundwater quality data

항 목 년 도	pH - TS	pH - KMnO <sub>4</sub>	Cl - SO <sub>4</sub>	Cl - TS	KMnO <sub>4</sub> - Cl	KMnO <sub>4</sub> - SO <sub>4</sub>	KMnO <sub>4</sub> - TS	SO <sub>4</sub> - TS
1996년	-0.10092	-0.03953	0.25034	0.59125	0.24263	-0.02747	0.168	0.57332
1997년	-0.09002	-0.05886	0.24116	0.58859	0.03695	0.10931	0.09253	0.75815

#### IV. 결 론

1. 통계분석에 이용된 수질자료는 1996년도에 분석된 1636개, 1997년도에 분석된 1282개이며, 분석항목은 pH, TS,  $\text{KMnO}_4$  소비량, Cl,  $\text{SO}_4$  등의 5개이다. 1996년도와 1997년도 각 성분의 평균치는 pH가 모두 7.3, TS는 216.0 mg/l 와 242.3 mg/l,  $\text{KMnO}_4$  소비량은 2.6 mg/l 와 6.3 mg/l, Cl은 35.7과 50.1mg/l,  $\text{SO}_4$ 는 25.4와 33.9mg/l 이다. 2개년도의 수질을 비교할 때 pH는 같지만, 다른 성분들은 모두 1997년도에 증가되었다.
2. 1996년에 150개 이상 분석한 지역은 금정구, 기장군, 수영구이며, 음용수기준치 초과비율은 각각 1.29%, 3.02%와 7.64%이다. 수영구가 음용수 초과비율이 높은 편이다. 1997년에는 해운대구가 310개, 기장군이 186개, 금정구가 143개 분석하였으며, 음용수 기준 초과비율은 각각 8.06%, 5.91%, 5.59%이다. 기장군과 금정구가 2년동안 계속해서 많이 분석하였는데, 음용수 기준 초과가 각각 2.95배와 4.33배 증가하였다. 부산시 전체에서 1996년과 1997년의 2년 동안 pH의 음용수 기준치 초과 비율은 0.55와 0.47%, TS 초과비율은 1.89와 2.50%,  $\text{KMnO}_4$  초과비율은 0.73과 1.17%, Cl 초과비율은 1.41과 2.18%, 그리고  $\text{SO}_4$  초과비율은 0.37과 0.86% 이다. 따라서 성분별로 비교해 볼 때, pH의 음용수 기준치 초과비율이 가장 적고, Cl의 초과비율이 가장 크다.
3. Cl 및  $\text{SO}_4$  이온의 음용수 기준치(각각 100 mg/l, 200mg/l) 초과지점과 이 이온들의 평균치(1996년: Cl 35.7mg/l,  $\text{SO}_4$  25.4; 1997년: Cl 50.1mg/l,  $\text{SO}_4$  33.9mg/l)보다는 훨씬 큰 100 mg/l 이상되는 지점들의 분포를 분석한 결과, 해안가보다는 내륙에 더 많이 초과지점들이 분포한다. 따라서 부산지하수는 해수에 의한 영향보다는 내륙에서 생활하수나 기타원인(공장폐수, 오염된 하천수, 폐기물 매립 등)에 의한 오염이 훨씬 큰 것으로 나타났다.
4. 1996년의 1659개 수질자료중 pH, TS,  $\text{KMnO}_4$  소비량, Cl,  $\text{SO}_4$  등 5개 성분의 음용수 기준치 초과비율은 5.06%이고, 1997년 1310개 수질자료중 음용수 기준치 초과비율은 6.87%로 전년도에 비하여 약간 증가하였다. 그러나 부산이 바다에 접하고 또한 인구과밀 지역임을 고려할 때, 부산의 지하수 수질은 양호한 편이다. 따라서 부산 지하수 수질의 보전과 관리를 위하여 앞으로 많은 노력을 한다면, 지하수는 부산시민의 생활용수에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 건설교통부, 지하수 조사년보 (1997)
- 2) 내무부, 한국도시연감 (1997)
- 3) 부산광역시, 부산통계월보 (1997)
- 4) SPSS Korea, SPSS Base 7.5 for Windows (1997)