

질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$)에 의한 지하수 오염에 관한 연구

수질보전과

강 성 원

Nitrate Nitrogen Pollution in the Ground Water

Water Preservation Division

Seong-Won Kang

Abstract

In order to study on nitrate nitrogen pollution in the ground water, analysis of ground waters were carried out at 117 sites of Busan, for four years, from 1998 to 2001.

The range of nitrate nitrogen was 0.1~19.3㎍/L in all sites, and 17 sites were detected over drinking water standards(below 10㎍/L) and the concentrations were higher than that of tap water and natural mineral springs in Busan. We can not find out any correlationship between the concentration of nitrate nitrogen and the depth of ground water but a good relationship was shown with chloride concentration.

Nitrate nitrogen concentration of a flat and densely populated area was higher than that of steep gradient and high altitude area. It seems that leakage of domestic sewage is a source of ground water pollution. Deeply digging ground water is not beneficial in the water quality and quantity because soil layer is very thin as a matter of geology of Korea.

Readjustment of sewer is necessary to improve water quality of urban ground water.

Key Words : nitrate nitrogen, ground water, depth

서 론

지표수에 의존하였으나, 인구의 증가와 산업의 발달로 인하여 지표수의 오염, 댐 우리나라는 과거 먹는물 공급을 주로 에 의한 용수공급의 한계 및 물 소비량의

증가로 점차 심화되고 있는 물 수요·공급의 물 균형을 해소하기 위하여 지하수의 이용량이 증가하기 시작하였다.

물은 인간생존에 있어 필수요소로서 생물체의 70~80%가 물로 구성되어 있으며, 사람은 물을 마시지 않고 1주일 이상 생존할 수 없다고 한다. 성인 1명이 하루에 2.75리터의 물을 섭취해야 하는데 정상보다 체내에 5%정도의 물만 부족해도 혼수상태에 빠지게 된다고 한다.

또한 물은 생물체의 생존 뿐 아니라 경제활동에도 필수적인 요소다. 농사를 짓기 위해서는 농업용수가 필요하고 공장을 가동하기 위해서는 공업용수가 필요하다.

우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm로 세계 평균 970mm의 1.3배에 달하나 연간 1인당 강수량은 약 3,000톤으로써 세계 평균의 1/11에 불과하다. 그나마 강수량의 2/3가 여름 장마철 때 일시에 바다로 쓸려 내려가 이용할 수 있는 물은 매우 제한되어 있다. 그래서 평상시 하천에 흐르는 물이 적고 이는 곧 하천의 환경용량이 적다는 의미가 된다. 이렇게 적은 환경용량을 가진 국토에 인구밀도는 세계 3위인 상황 하에서 우리나라의 물 관리는 세계적으로도 손꼽힐 정도로 어려운 조건을 가지고 있다. 따라서 지표수에 비해 상대적으로 오염이 안된 지하수의 이용이 절실한 상태이고 현재 지하수의 개발은 꾸준한 증가세를 보여왔다.

건교부의 1998년도 지하수 조사연보에 따르면, 1997년말 기준 우리나라의 연간

지하수 개발 가능량 133억톤에 비하여 총 이용량은 24.5%(33.8억톤)에 머물러 장래 물 부족에 대비한 대체 수원으로 지하수의 가치가 매우 높음을 알 수 있다.

질산성질소에 의한 지하수 오염 문제는 1960년대에 미국 일리노이즈주 데카토르시 주변의 얇은 우물속에서 질산성질소의 농도가 높아 먹는물 수질기준을 초과하는 사태가 있었다. 1970년대는 이 문제가 세계 각지에서 나타나서 덴마크에서는 과거 3년간 지하수 중의 질산성질소 농도가 3배 증가하였고 일본 각지에서는 우물의 질산성질소 농도가 23년간 약 4배로 증가했다고 보고하고 있다. 이러한 지하수의 질산성질소 오염 원인으로는 비료의 과잉사용, 가정오수의 지하침투, 축산폐기물의 부적절한 관리 등이 있다.

전국적으로 지하수 관련 연구논문은 일반적인 지하수 수질특성 및 수질변동, 폐기물매립장의 수질환경, 지하수 이용실태 등에 관한 연구였고, 지하수 깊이에 따른 질산성질소 오염 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구는 현재 부산시내 민방위 비상급수시설로 사용되는 것 중 비교적 수량이 많은 해운대구, 수영구, 남구, 동구, 중구의 지하수 117개 지점을 조사했다. 조사 내용은 지하수 깊이별로 98년부터 2001년까지 4년간의 측정결과를 이용, 먹는물 수질측정 항목 중 질산성질소, 암모니아성질소, 염소이온, 황산이온, 과망간산칼륨소비량, 경도, 아연, 구리, 납, 카

드름 항목을 지점별 농도 분포와 지하수 깊이별 농도 분포 등 지하수의 수질현황을 파악하여 수질관리 방안을 강구하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료

부산광역시 자치구 중 연안지역에 위치하고 있는 해운대구, 수영구, 남구, 동구, 중구에서 사용하고 있는 지하수 117개 지점을 대상으로 하였는데, 지하수 깊이 12m에서 400m까지 각 지점들의 해발고도(altitude)를 조사하였으며 그 지점들은 학교, 아파트, 목욕탕 등 수량이 많은 대형 지하수를 선정하였다. 지점별 위치, 지하수 깊이 및 고도는 Table 2에 나타나 있다.

시료 채취는 1998년도부터 2001년까지 4년 간의 분기별 또는 년3회 이상 채수한

지점을 재료로 하여 조사 연구하였다.

2. 분석항목 및 분석방법

분석을 위한 시료는 경질유리 또는 멸균 용기에 채수되어 먹는물 수질측정항목 중 질산성질소, 암모니아성질소, 염소이온, 황산이온, 과망간산칼륨소비량, 경도, 아연, 구리, 납, 카드뮴항목을 먹는물 공정 시험법에 따라 실험하였으며 아래 Table 1은 분석항목에 대한 실험방법을 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 지하수의 지점별, 항목별 농도분포

지하수의 지점별, 항목별, 용도별 농도 범위 및 평균치는 별첨에 나타내었고 지점별 각 성분의 농도 분포는 Fig. 3~7과 같다.

Table 1. Analytical methods and instruments

Parameters	Unit	Experimental method
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	Phenate Method
NO ₃ ⁻ -N, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	mg/L	Ion Chromatographic Method : Waters 600E, SYCAM
Zn, Cu, Pb, Cd	mg/L	Atomic Absorption Spectrometric Method : Varian SpectraAA-400
Hardness	mg/L	EDTA Titrimetric Method
KMnO ₄ Consumed	mg/L	Titrimetric Method

Table 2. The location of sampling sites

No	Site	Address	Gu	Depth (m)	Altitude (m)
1	Sunmin Church	Woo	Haeundae	110	30
2	Dongbaek Middleschool	Jung	"	235	50
3	Jangsan park	Jwa	"	130	30
4	Bansong 2dong	Bansong	"	167	100
5	3 Battalion down	"	"	165	120
6	79 APT	Jaesong	"	174	30
7	Haeundae Highschool	Woo	"	40	40
8	Shindong Beach	"	"	120	50
9	Royalsence Village	"	"	105	40
10	Samjinmarina APT	"	"	100	50
11	Samjingreen APT	"	"	100	10
12	Haeundae Industrial Highschool	"	"	140	40
13	Samhwan APT	"	"	150	20
14	Mama Villa	Jung	"	70	40
15	Dalmagiwoosung Villa	"	"	150	130
16	Dusandonguk APT	Jwa	"	230	50
17	Dongbu APT	"	"	100	40
18	Byuksan 2 APT	"	"	100	50
19	Byuksan 1 APT	"	"	150	40
20	Youngnam APT	"	"	100	70
21	Samsung APT	"	"	150	40
22	Kolon APT(1)	"	"	130	30
23	Kyungnam APT	"	"	60	50
24	Kolon APT(2)	"	"	130	30
25	Buheung Middleschool	"	"	150	40
26	Kunyoung 1APT(1)	"	"	150	40
27	Sangrok APT	"	"	70	50
28	Jwadong Respect-for-age hall	"	"	150	30
29	Daewoo 1 APT	"	"	150	100
30	Saemaul Safe	"	"	150	120

Table 2. continued

No	Site	Address	Gu	Depth (m)	Altitude (m)
31	KyungnamSunkyung APT	Jwa	Haeundae	100	90
32	Kunyoung 1APT(2)	"	"	150	40
33	Daelim 1 APT	"	"	100	40
34	Seabottom Relay station	Songjung	"	90	10
35	Kumsadaewoo APT	Banyeo	"	180	20
36	Banyeohyundai 3 APT	"	"	150	150
37	Edendongsan APT	"	"	250	150
38	Hyundai APT	"	"	150	180
39	Banyeo Elementaryschool	"	"	80	40
40	Kunyoung APT	Bansong	"	180	90
41	Kumsu Bath-house	Jaesong	"	200	150
42	Jangsan APT	"	"	150	220
43	Glory APT	"	"	240	160
44	Kumho APT	"	"	150	70
45	Mangmi Elementaryschool(old)	Mangmi	Suyoung	12	20
46	Mangmi Elementaryschool(new)	"	"	150	20
47	Suyoung Elementaryschool	Gwangan	"	150	20
48	Gwangan APT	"	"	31	30
49	Gwangan Girl Middleschool	"	"	30	10
50	Suyoung Middleschool	"	"	150	20
51	Officials Training Instiute	Gwangan	Suyoung	350	40
52	Haeundae Educational Institute	Namcheon	"	150	40
53	Youth Trainingcenter	"	"	310	180
54	Busan Girl Commercial Highschool	Mangmi	"	150	110
55	Namil Highschool	"	"	150	80
56	Donga Middleschool	"	"	125	70
57	Jungang Church	Namcheon	"	400	50
58	Chunga Bath-house	Suyoung	"	150	20
59	Samsung APT	Mangmi	"	100	70
60	Hansin APT	"	"	100	90

Table 2. continued

No	Site	Address	Gu	Depth (m)	Altitude (m)
61	Hyundaihanuri APT	Mangmi	Suyoung	150	80
62	Hyundai APT	"	"	150	20
63	Haesu Bath-house	"	"	100	20
64	Gwangwon APT	"	"	200	40
65	Gwangan APT	"	"	110	30
66	Dongsanwon	Gwangan	"	150	30
67	Chungsan Bath-house	"	"	130	30
68	Okryon Temple	Minlak	"	150	70
69	Choryang Elementaryschool	Choryang	Dong	145	50
70	Busan Middleschool	"	"	170	40
71	Seo Middleschool	Sujeong	"	202	60
72	Jungang Elementaryschool	"	"	60	20
73	Yukwoo Bath-house	"	"	50	30
74	Tae-A Motel	"	"	80	20
75	Guibin Motel	"	"	84	20
76	Kyunghee APT	Sujeong	Dong	130	90
77	Dongsin Bath-house	"	"	110	60
78	Nakeon Bath-house	"	"	80	30
79	Saemaul Safe	"	"	200	30
80	Nakwon House	"	"	54	80
81	Dongne Bath-house	"	"	100	50
82	Baekcho Bath-house	"	"	140	40
83	Euksu Bath-house	"	"	20	60
84	Sujung Greenvilla	"	"	20	70
85	Daedong Mansion	Dongwang	Chung	273	50
86	Bosu Elementaryschool	Bosu	"	80	40
87	Bosudong Office	"	"	290	30
88	Euksu Bath-house	"	"	70	30
89	Busan Industrial Highschool	Daeyeon	Nam	78	30
90	Seokpo Elementaryschool	"	"	70	20

Table 2. continued

No	Site	Address	Gu	Depth (m)	Altitude (m)
91	Civil Defence Educational Center	"	"	150	30
92	Solbat	Yongho	"	80	20
93	Yongho Elementaryschool	"	"	21	20
94	Unsan Elementaryschool	"	"	185	60
95	Munhyeon Elementaryschool	Munhyeon	"	96	50
96	Yaksu bath-house	Daeyeon	"	200	30
97	Newbando Bath-house	"	"	120	30
98	Jangbaek APT	"	"	150	80
99	Daeyeon green Commercial Apt	"	"	200	80
100	Daeyeon Church	"	"	102	30
101	Oyang Yangi APT	Daeyeon	Nam	98	40
102	Dongil APT	"	"	150	30
103	Dongbo Villa	"	"	100	40
104	Gaman Bath-house	Gaman	"	90	20
105	Shinseong Bus	"	"	80	20
106	Gwangwon APT	Munhyeon	"	120	80
107	Jungwon Bath-house	"	"	150	30
108	Munhyeon Bath-house	"	"	100	20
109	Daeyeon Elementaryschool	Daeyeon	"	80	40
110	Baekun Elementaryschool	Yongho	"	78	50
111	Yongho Middleschool	"	"	100	20
112	Yongsan Elementaryschool	"	"	60	20
113	Busan Business Training Institute	Yongdang	"	100	50
114	Gaman Girl Middleschool	Gaman	"	70	70
115	Sungi Industrial Highschool	Uam	"	180	50
116	Munhyeon Girl Highschool	Munhyeon	"	80	10
117	Sungdong Elementaryschool	"	"	60	10

1.1 질산성질소 및 암모니아성질소

질산성질소는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 농도 범위가 전 조사지점에서 0.1~19.3mg/L 였으며, 지점71에서 19.3mg/L으로 가장 높았고, 지점40에서 가장 낮은 수치를 보였다. 먹는물 수질기준 10mg/L을 초과하는 지점은 지점 47, 70, 71, 72, 73, 77, 78, 82, 83, 84, 86, 90, 91, 104, 105, 114, 117 등 17개 지점이었다. 그리고 Table 4-1~4-3에서 보면 전체 지점 가운데 학교지역 28개 지점, 아파트 47개 지점, 목욕탕(숙박업) 19개 지점을 살펴보면 학교지역은 농도 범위가 0.1~19.3mg/L으로 평균 농도가 8.9mg/L이고, 아파트지역은 0.1~12.2mg/L이며 평균치는 3.6mg/L이며, 목욕탕지역은 0.2~18.9mg/L으로 평균치는 8.1mg/L로 나타났다.

그리고 부산 시내 약수터의 질산성질소(ND~8.5mg/L)보다 지하수 수질이 다소 높게 나타났다. 그리고 부산 시내 상수도 수 질산성질소(3~4mg/L)보다 높은 지점이 전체 117개 지점 중 68개였다.

암모니아성질소는 전 조사지점에서 거의 검출되지 않았으나, 지점49에서 4.75mg/L로 가장 높았으며, 그 외 지점78과 지점 81은 0.03~0.04mg/L범위로 먹는물 기준치 0.5mg/L 이하로 나타났다. 그리고 지점94는 0.35mg/L으로 먹는 물 기준치에 육박 하였다. 특히 지점49의 농도는 먹는 물 기준치를 약 10배 초과하고 있었다.

1.2 염소이온, 황산이온

염소이온은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 4~146mg/L의 범위로 지점85가 가장 낮

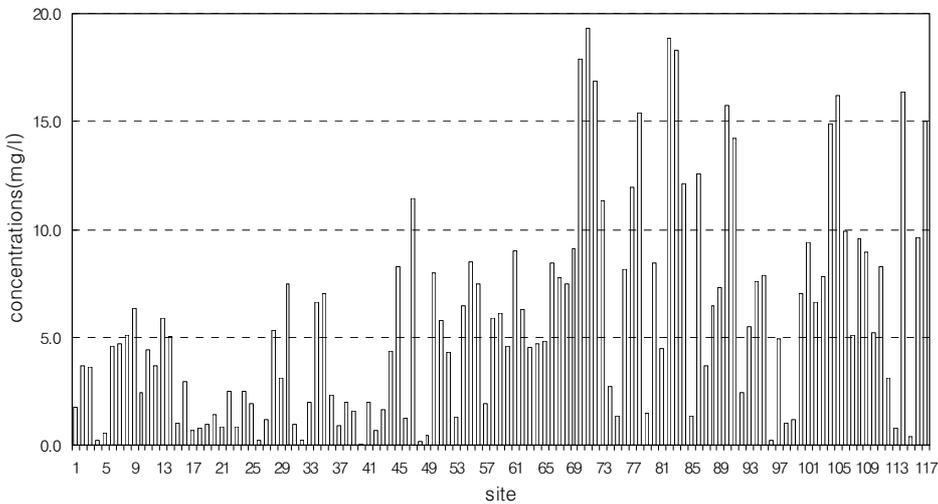


Fig. 1. Mean concentration of NO₃⁻-N at sampling sites.

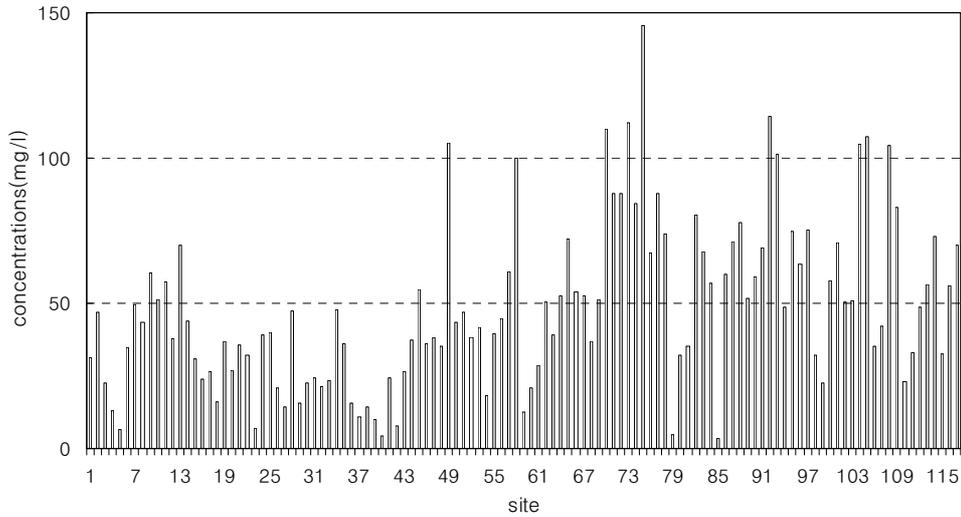


Fig. 2 Mean concentration of Cl⁻ at sampling sites.

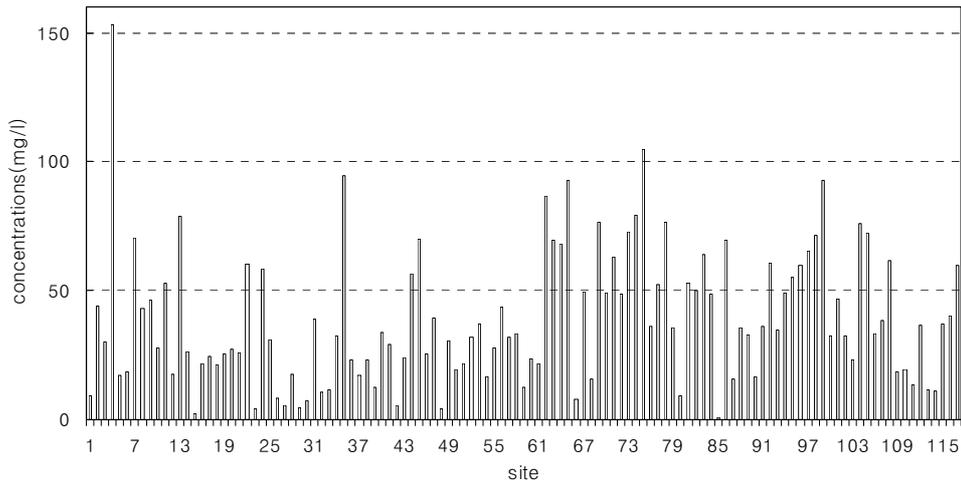


Fig. 3. Mean concentration of SO₄²⁻ at sampling sites.

게 나왔고, 지점75가 146mg/L으로 가장 높게 나왔다. 조사 지점 모두 먹는물 수질기준 250mg/L 이하이나, 부산시내 약수터의 수질(3~24mg/L)보다 다소 높다. 농도가 100mg/L이상은 지점49, 58, 70, 73, 75, 92, 93, 104, 105, 108과 같이 10개 지점으로 나타났으며 바다에 근접한 지점이 대체로 많았지만 그 영향은 다

소 적은 것으로 보여 지고 오히려 생활하수의 영향을 받은 것으로 사료된다.

황산이온의 전체 지점 농도 범위는 1~153mg/L이며 지점85가 최저이며 지점 153이 153mg/L로 가장 높게 나왔다. 황산이온도 전 지점이 먹는물 수질기준 200mg/L 이하를 만족하였다. 황산이온은 자연수중에 존재하며 공장 배출수, 화석연료의 연소, 금속의 소성과정, 화석연료의 연소, 금속의 소성과정, 대기중의 광화학반응 등에 의해 생성되는데 농도가 100mg/L 이상인 지점은 지점4와 지점75 등 2곳에 불과하여 해수나 생활하수의 영향은 다소 적은 것으로 판단된다.

염소이온과 황산이온의 지점별 농도 분포는 Fig. 2, 3에 나타나 있고, 지점별로 조사한 결과는 별첨과 같다.

1.3 과망간산칼륨 소비량

전체 조사 지점 과망간산칼륨 소비량의

범위는 0.3~3.4mg/L였으며, 지점 81이 3.4mg/L으로 가장 높게 나타났으며 먹는물 기준치 10mg/L를 초과한 지점은 없었다. 먹는물 측정항목 중의 과망간산칼륨 소비량은 COD(화학적 산소요구량)와는 달리 유기물 외에 환원성 무기물이 기여하는 양도 포함되어 있으므로 대부분의 지점은 직접적인 오염원 보다 지층구조에 의한 영향이 큰 것으로 추측된다.(Fig. 4)

1.4 경도

전 조사 지점에서 경도의 농도 범위는 14~308mg/L였으며 지점14에서 가장 낮게 나왔고 지점82는 308mg/L으로 가장 높게 나타났으며 먹는물 기준치 300mg/L을 초과하였다. 지점별 조사 결과는 별첨과 Fig. 5에 나타나 있다.

전체 지점을 구별로 분류하여 농도를 평균치로 나타내면 해운대구가 91.8mg/L,

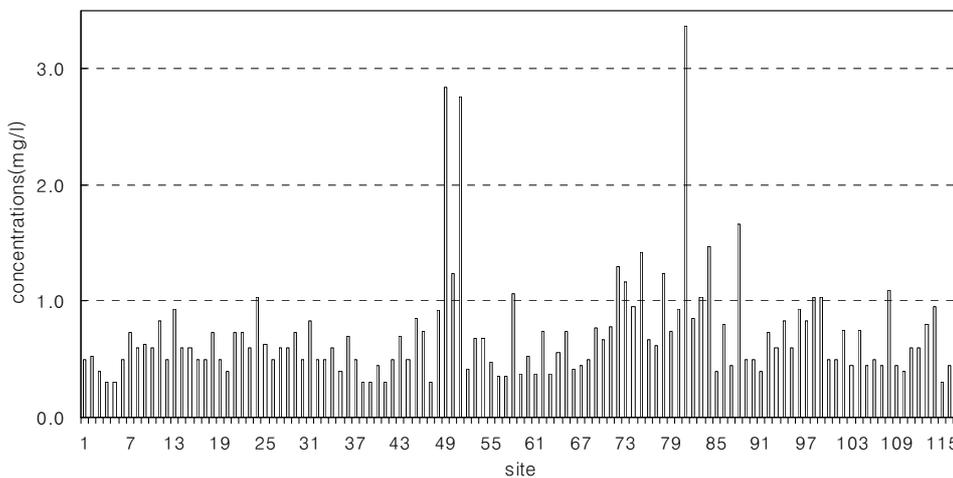


Fig. 4. Mean concentration of $KMnO_4$ consumed at sampling sites.

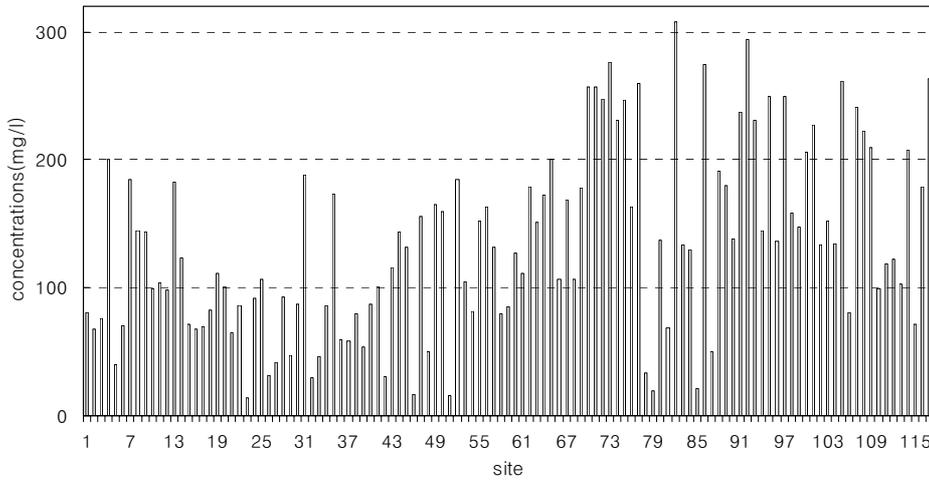


Fig. 5. Mean concentration of hardness at sampling sites.

수영구가 125.1mg/L, 동구가 184.2mg/L, 중구가 134.3mg/L, 남구가 179.3mg/L로 조사되었는데 전체적으로 높게 나타났으며 경도가 150mg/L 이상인 물은 경수(hard water)라 하는데 동구, 남구 지역의 지하수가 이에 해당된다. 경도는 Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ 등의 2가 양이온을 탄산칼슘 농도로 환산하여 표시한 것인데, 이들 지역에서 다소 높게 나타난 것은 주로 지질과 토양에서 용출되어서 나타나기 때문이다.

1.5 아연, 구리, 납, 카드뮴

아연은 0.008mg/L에서 최고 1.278mg/L이며 지점11에서 가장 낮게 나왔고 지점 50에서 1.278mg/L 으로 먹는물 기준치를 초과하였다. 그 외 지역은 먹는물 기준치를 만족한다. 수영구와 남구는 안산암 지

질로 대부분의 지점에서 아연의 농도가 다소 높게 나타났다. 아연은 지각 중에 70mg/l 정도 함유되어 있고, 자연수 중에는 10µg/l 이하로 존재하고 있다.

지점별 구리의 농도 범위는 ND~0.273 mg/L였으며, 가장 높게 검출된 곳이 지점 25이다. 구리의 먹는물 기준치는 1mg/L 이하인데 전 지점이 기준치를 만족한다.

납과 카드뮴은 전 지점이 불검출로 나타나 있다. 각 지점별 평균치는 별첨과 같다.

2. 질산성질소 오염원인 규명

질산염은 단백질이나 유기물질의 부패, 발효, 산화 등의 분해과정에서 생성되어 토양에 침투하여 물속에 존재하게 되는 물질로 외부 오염의 경과 정도를 간접적으로 알 수 있으며, 질산염이 과다 함유

된 물을 음용시 신체에 빠르게 흡수되어 세균의 환원작용에 의해 생체내에서 질산염이 쉽게 아질산염으로 변하여 혈액 중의 hemoglobin과 산소의 결합력이 떨어져서 methemoglobin을 생성하게되어 빈혈 증상이 나타날 수 있다. 따라서 지하수 수질이 질산성질소로 오염된 원인을 규명하기 위하여 수질항목과 지하수 깊이 및 고도간의 상관관계를 알아보고 수질항목 상호간의 상관관계를 구하였다.

2. 1 지하수 깊이와 질산성 질소와의 상관관계

Fig. 6은 질산성질소 농도와 지하수 깊이 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 여기서 보면 지하수 깊이는 200m까지는 거의 상관성이 없고 205m에서 400m까지는 지하수 깊이가 깊어 질수록 질산성질소 농도가 감소하는 경향이 있다. 전체

적으로는 지하수 깊이에 따라 질산성질소 농도가 감소하는 경향이 있었으나 상관계수 $r = 0.2632$ 로 매우 낮은 상관계수 값을 보여 지하수를 깊이 파도 질산염 오염이 감소되는 경향을 찾을 수 없었다. 이것은 우리나라 지질은 고생대라서 불과 5~10m만 파면 화강암이 노출되어 지하수를 저장할 수 있는 대수층이 거의 없는 실정이다.

그래서 지하수를 깊이 파면 팔수록 토양층의 여과 효과가 증가되어 양질의 지하수를 얻을 것으로 생각되지만 우리나라의 경우는 10m 이상 깊이 파들어 가도 그곳은 토양층이 아니고 불투수성 암반층이기 때문에 그곳에는 물이 없고 오염된 표층수가 그냥 흘러 들어오기 때문에 토양여과 효과가 없어 지하수가 오염될 수 밖에 없다.

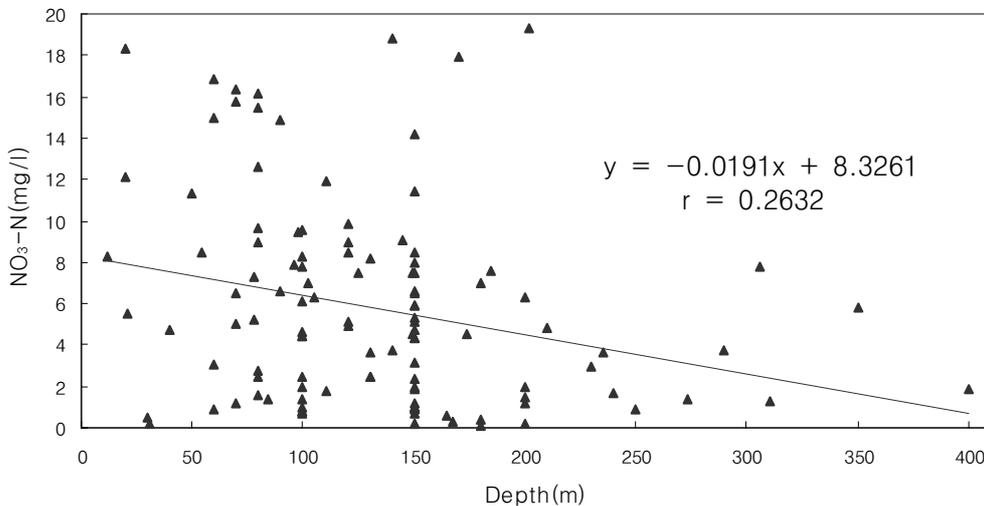


Fig. 6. Relation between NO₃-N and depth of wells.

Table 3. Mean concentrations of NO₃⁻-N in altitude range

Altitude Range(m)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
0 ~ 50	5.8
51 ~ 100	7.3
101 ~ 150	3.0
> 151	1.4

2. 2 지하수 위치 고도와 질산성질소 농도와의 상관관계

Fig. 7은 질산성질소 농도와 지하수가 위치하는 고도간의 상관관계를 나타낸 것이다. 여기서 보면 지하수 위치 고도가 80m까지는 질산성질소 농도가 10mg/L을 초과하는 곳이 많았으나 80m에서 200m까지는 고도가 높을수록 질산성질소의 농도가 하향 추세임을 알 수 있다. 그리고 Table 3을 보면 고도범위가 0~50m, 51~100m까지는 질산성질소 농도의 평균치가 5.8mg/L 또는 7.3mg/L이나 101m이상은 질산성질소가 1.4~3mg/L을 나타내었다. 그래서 지대가 낮고 인구가 밀집되고 하수가 모이는 지역의 지하수는 고지대의 지하수보다 질산성질소 농도가 높은 것을 알 수 있다.

2. 3 염소이온 농도와 질산성질소 농도와의 상관관계

Fig. 8은 염소이온 농도와 질산성질소 농도 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 염소이온의 증가에 따라 질산성질소 농도가 증가하는 정의 상관관계를 가지고 있으며 상관계수는 0.5361로 나타났다. 질산성

질소는 가정 하수의 암모니아성질소가 산화되어 생긴 것이고 염소이온은 가정 하수로 초래된 것이므로 도시 각 가정의 정화조 유출수가 부실한 하수관거에 방류되어 운반되는 과정에서 지하로 누출되어 도시의 지하수가 가정 하수에 의해 오염되었음을 나타내고 있다. 그래서 도시의 지하수 오염을 방지하기 위해서는 각 가정의 정화조 유출수가 배수로에 방류되는 것을 차단하기 위하여 찾집 관거를 각 가정 정화조 유출구까지 연장 설치하여 이들이 모두 도시 하수도 계통을 따라 하수종말처리장까지 이송되도록 하는 하수도 시설정비가 시급하다.

2.4 경도와 질산성질소와의 상관관계

Fig. 9는 경도와 질산성질소와의 관계를 나타낸 것으로 경도는 식품에 함유되어 있고, 공산품에도 존재하여 질산성질소와 같은 오염물질과 연관이 있어 경도가 증가하면 질산성질소 농도가 증가하는 정의 상관관계를 가지고 있다.

2.5 경도와 지하수 깊이와의 상관관계

Fig. 10 은 지하수 깊이와 경도와의 관

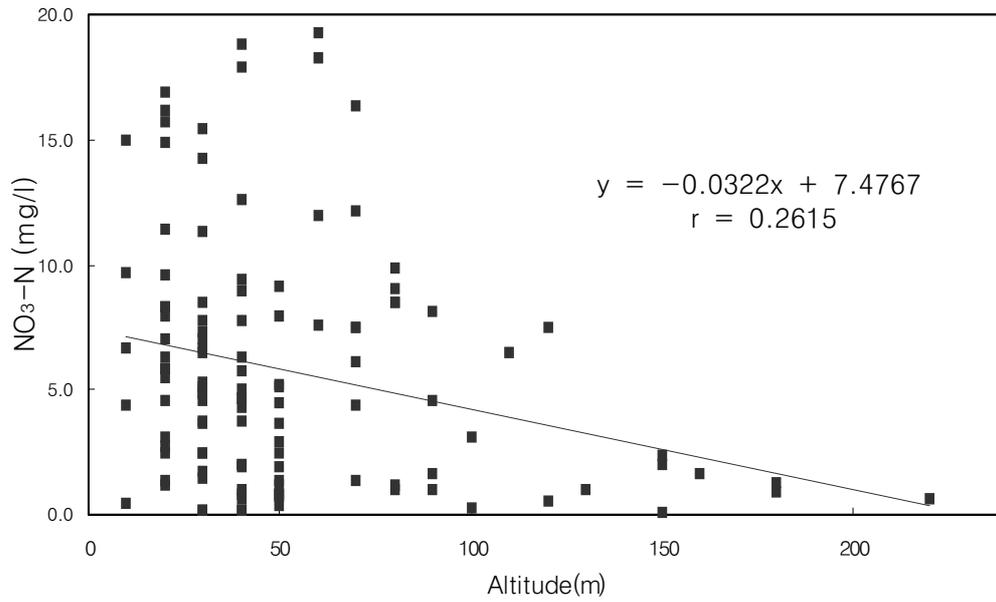


Fig. 7. Relation between NO₃-N and altitude of wells.

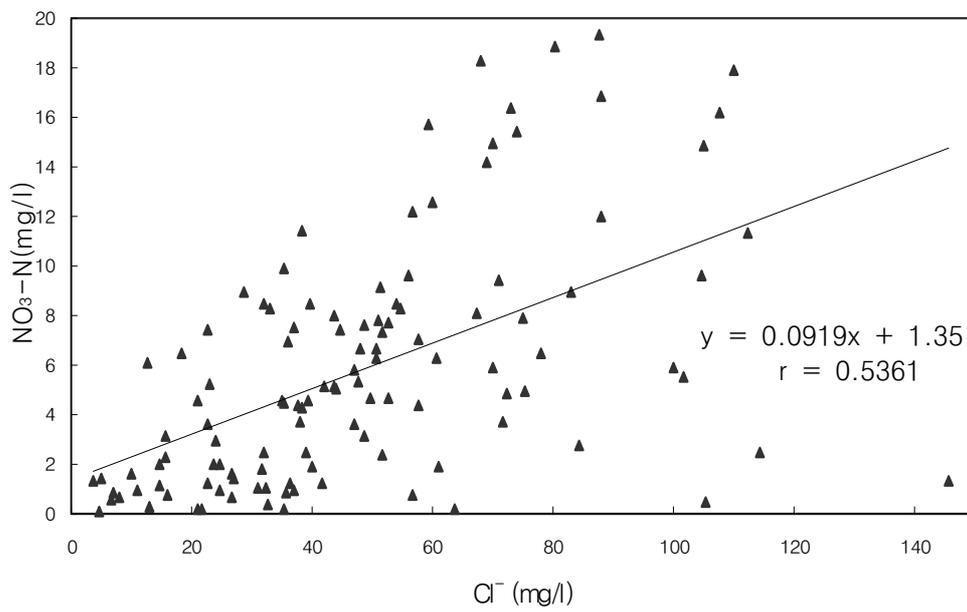


Fig. 8. Relation between NO₃⁻-N and Cl⁻ of wells.

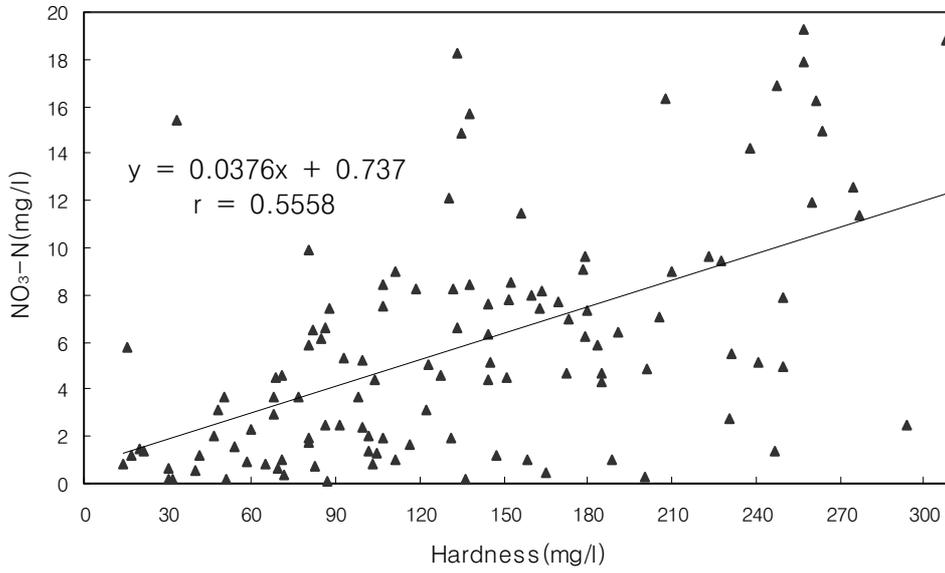


Fig. 9. Relation between NO₃⁻-N and hardness of wells.

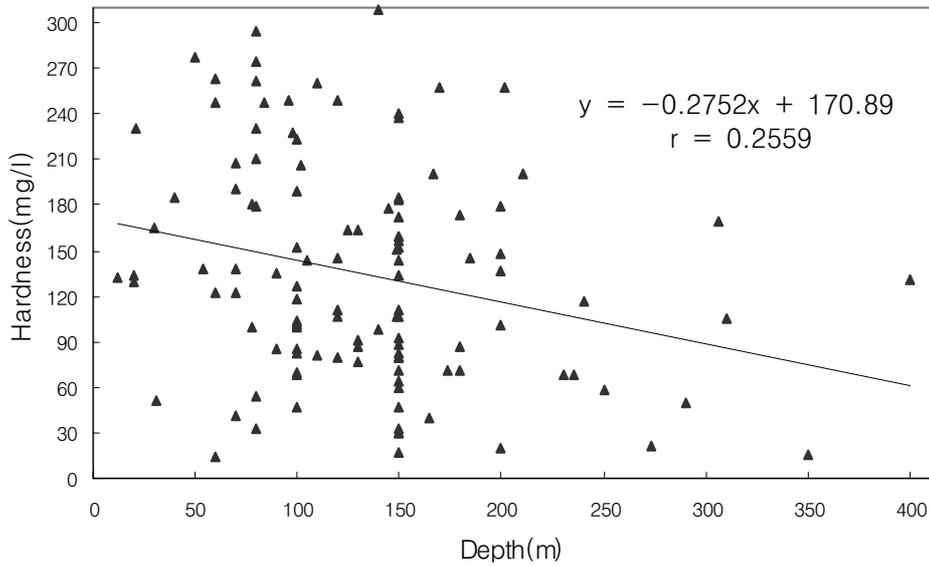


Fig. 10. Relation between hardness and depth of wells.

계를 나타낸 것으로 경도는 깊이와는 상관성이 거의 없고 오히려 깊이에 따라 감소하는 경향을 보였다. 경도는 일반적으로 지층에서 용출된 칼슘과 마그네슘이 기원이기 때문에 지하수 깊이가 깊을수록 경도가 높게 나올 것으로 기대했다. 그러나 경도는 깊이와는 상관성이 없고 오히려 하수 기원 오염물질인 질산성질소와 상관성이 있는 것으로 보아서 경도는 하수오염이 원인인 것으로 추정된다.

2.6 지하수 용도별 질산성질소 농도 비교

Table 4-1에서 4-3은 전체 지점을 학교지역, 아파트, 목욕탕지역 세 부분으로 나누었는데 그 중 학교지역은 질산성질소의 농도범위가 0.1~19.3mg/L으로 평균농도가 8.9mg/L이고, 아파트지역은 0.1~12.2 mg/L이며 평균치는 3.6mg/L이며, 목욕탕지

역은 0.2~18.9mg/L으로 평균치는 8.1mg/L로 나타났다. 질산성질소의 농도가 가장 높은 학교지역은 일정 면적에 많은 수의 학생들에 의한 분변 이 부실한 하수관거로 유출되어 지하수가 오염된 것으로 판단되고, 목욕탕지역도 마찬가지로 많은 양의 오염된 물이 지하수를 오염시켰다.

그리고 아파트 지역은 인구밀집 형태이나 하수도가 비교적 잘 정비되어 있고 자체에서 관리가 잘 되고 있어 오염이 덜 된 것으로 생각된다.

결 론

부산시내 해운대구, 수영구, 동구, 중구, 남구지역에서 현재 사용 중인 민방위 비상급수시설인 117개 지점에 대하여

Table 4-1. Mean concentrations of NO₃⁻-N in school area

Site No.	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	Site No.	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
2	3.7	89	7.3
7	4.7	90	15.7
12	3.7	93	5.5
39	1.6	94	7.6
45	8.3	95	7.9
47	11.5	109	9.0
50	8.0	110	5.2
54	6.5	111	8.3
55	8.5	112	3.1
56	7.5	114	16.4
69	9.1	115	0.4
70	17.9	116	9.7
71	19.3	117	15.0
72	16.9	Average value	8.95
86	12.6		

Table 4-2. Mean concentrations of NO₃⁻-N in apartment area

Site No.	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	Site No.	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
6	4.6	36	2.3
8	5.1	37	0.9
9	6.3	38	2.0
10	2.4	40	0.1
11	4.4	42	0.7
13	5.9	43	1.6
14	5.0	44	4.4
15	1.0	48	0.2
16	2.9	59	6.1
17	0.7	60	4.6
18	0.8	61	9.0
19	1.0	62	6.3
20	1.4	64	4.7
21	0.9	65	4.8
22	2.5	76	8.1
23	0.9	84	12.2
24	2.5	85	1.3
26	0.2	98	1.0
27	1.2	99	1.2
29	3.1	101	9.4
31	1.0	102	6.7
32	0.2	103	7.8
33	2.0	106	9.9
35	7.0	Average value	3.58

Table 4-3. Mean concentrations of NO₃⁻-N in bath house & hotel area

Site No.	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	Site No.	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)
41	2.0	81	4.5
58	5.9	82	18.9
63	4.5	83	18.3
67	7.8	88	6.5
73	11.3	96	0.2
74	2.7	97	4.9
75	1.4	104	14.9
77	12.0	107	5.1
78	15.4	108	9.6
80	8.5	Average value	8.13

1998년도에서 2001년까지 먹는 물 수질 기준 항목 중 질산성질소 외 9개 항목을 지점별, 지하수 깊이 및 고도별로 조사하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 질산성질소는 전 조사 지점에서 0.1~19.3 mg/L 범위로 17개 지점이 먹는물 수질 기준치(10mg/L이하)를 초과하였고, 수돗물이나 약수보다 농도가 높았다.
2. 질산성질소는 지하수 깊이와는 상관성이 없고 염소이온 농도와 정의 상관관계를 가지고 있었으며 고도가 높은 경사지 보다는 평지 인구 밀집지역에서 농도가 높은 것으로 보아 가정 하수의 유입이 도시 지하수 오염의 원인으로 보인다.
3. 우리나라 지질 구성의 특성상 토양층이 매우 얇기 때문에 지하수를 10m 이상 깊이 파는 것은 수질과 수량 면에서 별 도움이 되지 못하는 것으로 나타났다.
4. 도시 지하수 수질을 개선하기 위해서는 분류식 오수 관거의 정비가 시급하다.

참고문헌

1. 환경부, 환경백서, 2001.
2. 박석기, 안승구, 엄석원 : 먹는물의 수

질관리, 동화기술, 15, 151, 1996.

3. 원종훈, 양한섭 : 부산수산대학 구내 음료수의 수질에 대하여, 부산수대연보 18(1, 2), 99~118, 1978.
4. 조갑제 : 지질에 따른 지하수질의 특성에 관한 연구, 부산대학교공학석사논문, 30~56, 1997.
5. 김현실 : 부산지역 일부 약수터의 수질 특성에 관한 연구, 부경대학교공학석사 논문, 17~50, 2002.
6. 부산광역시 보건환경연구원, 부산시내 지역별 지하수의 수질특성에 관한 연구, 1~20, 1995.
7. 강원도 보건환경연구원, 지하수 수위와 수질의 변동에 관한 연구, 9 : 108~114, 1998.
8. 강원도 보건환경연구원, 강원도 지하수의 이용실태와 수질청정도에 관한 연구, 11 : 123~128, 2000.
9. Freeze, R. A. and Cherry, J. A. : Groundwater, *Prentice Hall, Inc.*, p604, 1979.
10. *Journal of the Korean Society of Grounwater Environment*, Vol. 4, No, 175~184, 1997.
11. 수자원공사. 지하수세상, <http://ground-water.kowaco.or.kr/>.
12. 한정상, 우남철, 김창훈, 최미정, 김형돈 : 지하수 수질기준 타당성 검토 및 조정방안 연구, (사)대한지하수환경학회, 8~20, 1999.
13. 첨단환경기술, 지하수의 질산오염 대책,

- 26~35, 2001.
14. 환경부, 먹는물 수질관리지침서(WHO), 246~253, 1998.
 15. 환경부, 먹는물공정시험방법, 환경부 고시 제2000-75호.
 16. 반응부 : 낙동강 유역의 지질과 지역. 낙동강사람들 12호, 65~72.
 17. 금원출판주식회사. 일본약학회편 위생시험법·해설, 921~983, 1990.
 18. Young CP, Morgan-Jones M. A hydrogeochemical survey of the chalk groundwater of the Bansted area, Slurry, with particular-reference to nitrate. *Journal of the Institute of Water Engineers and Scientists*, 34 : 213~236, 1980.
 19. APHA-AWWA-WPCF, Standard methods for the Examination of water and waste water 18th ED, 1992.
 20. 박중현, 2000년대 물문제, 경성대학교 환경문제연구소 초청세미나 초록, 1998.

별첨 (Appendix)

Range and mean concentrations of inorganic constituents in the ground water at each sites

consti- tuent site	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	KMnO ₄ consumed (mg/L)	Hardness (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)
1	0.9~4.2 (1.8)	ND (ND)	13~50 (32)	5~14 (10)	0.3~0.9 (0.5)	73~88 (81)	0.122~0.340 (0.231)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
2	1.2~9.0 (3.7)	ND (ND)	20~70 (47)	30~55 (44)	0.3~0.9 (0.5)	56~80 (68)	0.164~0.166 (0.165)	ND~0.023 (0.010)	ND (ND)	ND (ND)
3	0.8~9.3 (3.6)	ND (ND)	10~29 (23)	26~34 (30)	0.3~0.6 (0.4)	74~79 (77)	0.019~0.020 (0.020)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
4	ND~0.5 (0.3)	ND (ND)	10~15 (13)	125~163 (153)	0.3~0.4 (0.3)	167~200 (200)	0.090~0.098 (0.093)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
5	0.4~0.8 (0.6)	ND (ND)	6~7 (7)	16~18 (17)	0.3~0.4 (0.3)	35~45 (40)	0.006~0.018 (0.012)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
6	3.6~4.1 (4.6)	ND (ND)	31~39 (35)	17~20 (19)	0.3~0.9 (0.5)	70~71 (71)	0.037~0.089 (0.063)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
7	4.2~4.8 (4.7)	ND (ND)	41~58 (50)	55~86 (71)	0.6~1.0 (0.7)	184~186 (185)	0.022~0.036 (0.029)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
8	4.8~5.4 (5.1)	ND (ND)	25~62 (44)	40~46 (43)	0.3~0.9 (0.6)	140~150 (145)	0.028~0.030 (0.029)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
9	5.3~7.4 (6.3)	ND (ND)	45~76 (61)	40~53 (47)	0.3~0.9 (0.6)	143~145 (144)	0.298~0.348 (0.323)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
10	1.0~3.4 (2.4)	ND (ND)	26~77 (52)	22~34 (28)	0.3~0.9 (0.6)	94~105 (100)	0.018~0.022 (0.020)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
11	3.3~6.3 (4.4)	ND (ND)	36~70 (58)	46~60 (53)	0.3~1.9 (0.8)	92~115 (104)	ND~0.013 (0.008)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
12	3.3~4.1 (3.7)	ND (ND)	22~55 (38)	13~22 (18)	0.3~0.9 (0.5)	96~100 (98)	0.060~0.068 (0.064)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
13	4.8~7.4 (5.9)	ND (ND)	50~90 (70)	74~84 (79)	0.3~1.9 (0.9)	170~196 (183)	0.072~0.178 (0.125)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
14	4.7~5.6 (5.0)	ND (ND)	35~60 (44)	22~31 (27)	0.3~0.9 (0.6)	121~125 (123)	0.019~0.025 (0.022)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
15	0.6~1.6 (1.0)	ND (ND)	15~50 (31)	2~3 (3)	0.3~0.9 (0.6)	69~73 (71)	0.198~0.930 (0.564)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
16	2.2~3.4 (2.9)	ND (ND)	15~35 (24)	21~23 (22)	0.3~0.6 (0.5)	64~72 (68)	0.017~0.092 (0.055)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
17	0.5~1.0 (0.7)	ND (ND)	15~40 (27)	17~32 (25)	0.3~0.9 (0.5)	61~78 (70)	0.009~0.030 (0.020)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
18	0.6~0.9 (0.8)	ND (ND)	10~22 (16)	20~23 (22)	0.3~1.2 (0.7)	82~83 (83)	0.018~0.027 (0.023)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
19	0.5~1.8 (1.0)	ND (ND)	34~40 (37)	15~36 (26)	0.3~0.9 (0.5)	110~111 (111)	0.041~0.047 (0.044)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
20	1.2~1.6 (1.4)	ND (ND)	18~36 (27)	25~30 (28)	0.3~0.6 (0.4)	81~122 (102)	0.022~0.030 (0.026)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
21	0.3~1.3 (0.9)	ND (ND)	21~54 (36)	13~39 (26)	0.3~1.1 (0.7)	60~69 (65)	0.012~0.024 (0.018)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
22	1.1~3.9 (2.5)	ND (ND)	21~43 (32)	25~85 (61)	0.3~1.5 (0.7)	60~105 (87)	0.016~0.044 (0.030)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)

Appendix continue

consti- -uent site	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	KMnO ₄ consumed (mg/L)	Hardness (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)
23	0.3~1.5 (0.9)	ND (ND)	4~10 (7)	3~6 (4)	0.3~0.9 (0.6)	13~15 (14)	0.022~0.030 (0.026)	0.009~0.015 (0.013)	ND (ND)	ND (ND)
24	1.5~3.4 (2.5)	ND (ND)	16~61 (39)	37~80 (59)	0.6~1.8 (1.0)	80~110 (92)	0.012~0.045 (0.029)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
25	1.2~4.3 (1.9)	ND (ND)	33~47 (40)	30~32 (31)	0.3~1.1 (0.6)	92~121 (107)	0.051~0.054 (0.053)	0.196~0.331 (0.273)	ND (ND)	ND (ND)
26	ND~0.3 (0.2)	ND (ND)	12~30 (21)	6~11 (9)	0.3~0.6 (0.5)	31~33 (32)	0.071~0.539 (0.305)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
27	0.5~1.6 (1.2)	ND (ND)	13~16 (15)	3~10 (6)	0.3~0.9 (0.6)	41~42 (42)	0.050~0.153 (0.102)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
28	3.1~7.8 (5.3)	ND (ND)	39~56 (48)	4~31 (18)	0.3~0.9 (0.6)	88~97 (93)	0.222~0.330 (0.276)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
29	2.1~3.8 (3.1)	ND (ND)	10~21 (16)	3~7 (5)	0.3~1.2 (0.7)	46~49 (48)	0.098~0.119 (0.109)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
30	5.3~8.9 (7.5)	ND (ND)	22~23 (23)	5~10 (8)	0.3~0.9 (0.5)	86~89 (88)	0.099~0.159 (0.129)	0.018~0.032 (0.022)	ND (ND)	ND (ND)
31	0.2~1.8 (1.0)	ND (ND)	23~26 (25)	21~57 (39)	0.3~1.4 (0.8)	185~192 (189)	0.020~0.024 (0.022)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
32	0.1~0.4 (0.2)	ND (ND)	11~33 (22)	6~15 (11)	0.3~0.9 (0.5)	29~31 (30)	0.243~0.995 (0.619)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
33	0.6~3.5 (2.0)	ND (ND)	10~35 (24)	11~12 (12)	0.3~0.9 (0.5)	42~51 (47)	0.019~0.021 (0.020)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
34	3.4~8.9 (6.6)	ND (ND)	24~72 (48)	30~35 (33)	0.3~0.9 (0.6)	72~100 (86)	0.029~0.083 (0.056)	0.028~0.035 (0.031)	ND (ND)	ND (ND)
35	5.3~9.0 (7.0)	ND (ND)	31~41 (36)	83~106 (95)	0.3~0.6 (0.4)	166~180 (173)	0.113~0.233 (0.173)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
36	1.8~2.7 (2.3)	ND (ND)	14~17 (16)	17~29 (23)	0.3~0.9 (0.7)	55~64 (60)	0.025~0.108 (0.067)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
37	0.7~1.2 (0.9)	ND (ND)	8~14 (11)	14~20 (17)	0.3~0.9 (0.5)	52~65 (59)	0.018~0.023 (0.021)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
38	1.7~2.3 (2.0)	ND (ND)	12~17 (15)	21~25 (23)	0.3~0.4 (0.3)	75~85 (80)	0.020~0.026 (0.023)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
39	0.3~2.4 (1.6)	ND (ND)	6~14 (10)	12~13 (13)	0.3~0.4 (0.3)	51~57 (54)	0.013~0.014 (0.014)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
40	ND~0.1 (0.1)	ND (ND)	4~5 (5)	32~36 (34)	0.3~0.6 (0.5)	85~89 (87)	0.006~0.013 (0.010)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
41	1.1~2.9 (2.0)	ND (ND)	11~38 (25)	27~31 (29)	0.3~0.4 (0.3)	89~114 (102)	0.012~0.159 (0.086)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
42	0.2~1.5 (0.7)	ND (ND)	7~8 (8)	5~6 (6)	0.3~0.6 (0.5)	29~32 (31)	0.018~0.035 (0.027)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
43	1.3~1.8 (1.6)	ND (ND)	26~27 (27)	19~29 (24)	0.3~0.9 (0.7)	105~127 (116)	0.139~0.242 (0.191)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
44	3.0~5.5 (4.4)	ND (ND)	35~40 (38)	49~64 (57)	0.3~0.9 (0.5)	141~147 (144)	0.040~0.075 (0.058)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)

Appendix continue

consti- uent site	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	KMnO ₄ consumed (mg/L)	Hardness (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)
45	6.2~11.8 (8.3)	ND (ND)	46~61 (55)	64~79 (70)	0.6~1.6 (0.9)	125~141 (132)	0.174~0.234 (0.202)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
46	1.0~1.5 (1.2)	ND (ND)	24~61 (36)	20~28 (26)	0.6~1.3 (0.7)	11~27 (17)	0.071~0.22 (0.114)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
47	8.1~16.6 (11.5)	ND (ND)	29~53 (38)	26~57 (39)	0.3~0.4 (0.3)	131~185 (156)	0.017~0.039 (0.023)	ND~0.015 (0.009)	ND (ND)	ND (ND)
48	ND~0.3 (0.2)	ND (ND)	28~43 (35)	2~6 (4)	0.6~1.6 (0.9)	34~71 (51)	0.091~0.195 (0.116)	ND~0.010 (0.007)	ND (ND)	ND (ND)
49	ND~1.4 (0.5)	2.48~7.5 (4.75)	86~122 (105)	29~35 (31)	1.2~3.8 (2.8)	160~172 (165)	0.115~0.220 (0.142)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
50	4.9~9.6 (8.0)	ND (ND)	42~45 (44)	18~22 (19)	0.6~3.2 (1.2)	146~170 (160)	0.461~3.580 (1.278)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
51	4.6~6.9 (5.8)	ND (ND)	43~53 (47)	20~26 (22)	1.6~4.1 (2.8)	5~25 (16)	0.024~0.109 (0.055)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
52	2.4~5.8 (4.3)	ND (ND)	35~44 (38)	29~35 (32)	0.3~0.6 (0.4)	165~207 (185)	0.018~0.044 (0.026)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
53	ND~4.3 (1.3)	ND (ND)	24~74 (42)	35~39 (37)	0.6~1.3 (0.7)	81~150 (105)	0.026~0.144 (0.080)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
54	4.4~8.5 (6.5)	ND (ND)	12~28 (18)	11~14 (17)	0.6~1.2 (0.7)	68~105 (82)	0.011~0.028 (0.017)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
55	7.1~9.9 (8.5)	ND (ND)	32~45 (40)	20~39 (28)	0.3~0.6 (0.5)	151~155 (152)	0.032~0.081 (0.057)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
56	6.4~9.5 (7.5)	ND (ND)	40~47 (45)	38~50 (44)	0.3~0.6 (0.4)	157~169 (163)	0.057~0.332 (0.240)	ND~0.013 (0.008)	ND (ND)	ND (ND)
57	0.7~3.5 (1.9)	ND (ND)	43~84 (61)	30~35 (32)	0.3~0.6 (0.4)	114~152 (131)	0.014~0.032 (0.021)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
58	4.7~7.5 (5.9)	ND (ND)	82~129 (100)	25~45 (34)	0.6~1.6 (1.1)	57~120 (80)	0.012~0.035 (0.020)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
59	4.6~8.4 (6.1)	ND (ND)	11~16 (13)	10~17 (13)	0.3~0.6 (0.4)	81~95 (85)	0.051~0.183 (0.100)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
60	3.5~7.9 (4.6)	ND (ND)	12~27 (21)	18~27 (24)	0.3~0.6 (0.5)	119~148 (127)	0.319~0.928 (0.480)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
61	7.1~11.7 (9.0)	ND (ND)	25~35 (29)	19~24 (22)	0.3~0.6 (0.4)	106~119 (111)	ND~0.033 (0.028)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
62	5.2~8.8 (6.3)	ND (ND)	39~59 (51)	77~93 (87)	0.6~1.6 (0.7)	124~190 (179)	ND~0.057 (0.036)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
63	3.7~5.8 (4.5)	ND (ND)	27~45 (39)	58~82 (69)	0.3~0.6 (0.4)	138~175 (151)	0.022~0.047 (0.037)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
64	3.6~6.5 (4.7)	ND (ND)	51~54 (53)	60~77 (68)	0.3~1.2 (0.6)	167~181 (172)	0.023~0.087 (0.065)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
65	3.8~6.7 (4.8)	ND (ND)	61~77 (72)	83~102 (93)	0.6~1.0 (0.7)	154~221 (201)	0.099~0.435 (0.266)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
66	7.3~9.7 (8.5)	ND (ND)	49~60 (54)	6~12 (8)	0.3~0.6 (0.4)	102~115 (107)	0.039~0.135 (0.077)	0.008~0.018 (0.013)	ND (ND)	ND (ND)
67	6.6~8.6 (7.8)	ND (ND)	51~55 (53)	45~54 (50)	0.3~0.6 (0.5)	161~176 (169)	0.027~0.049 (0.039)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)

Appendix continue

consti- tuent site	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	KMnO ₄ consumed (mg/L)	Hardness (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)
68	5.0~11.5 (7.5)	ND (ND)	31~40 (37)	15~18 (16)	0.3~0.6 (0.5)	97~113 (107)	0.062~0.377 (0.148)	0.029~0.036 (0.033)	ND (ND)	ND (ND)
69	5.5~11.2 (9.1)	ND (ND)	44~66 (51)	56~88 (77)	0.3~1.6 (0.8)	165~199 (178)	0.097~0.358 (0.205)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
70	15.5~20.2 (17.9)	ND (ND)	91~145 (110)	34~59 (49)	0.3~1.6 (0.7)	235~279 (257)	0.094~0.264 (0.124)	0.010~0.026 (0.019)	ND (ND)	ND (ND)
71	16.5~22.8 (19.3)	ND (ND)	69~137 (88)	59~67 (63)	0.3~1.3 (0.8)	221~280 (257)	0.333~0.992 (0.571)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
72	14.3~20.1 (16.9)	ND (ND)	72~115 (88)	44~52 (49)	1.0~1.6 (1.3)	203~276 (248)	0.053~0.319 (0.147)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
73	11.0~11.6 (11.3)	ND (ND)	109~119 (112)	70~75 (73)	0.6~1.6 (1.2)	269~282 (277)	0.019~0.046 (0.032)	0.012~0.020 (0.016)	ND (ND)	ND (ND)
74	2.6~2.8 (2.7)	ND (ND)	82~90 (84)	78~80 (79)	0.6~1.3 (1.0)	225~233 (231)	0.100~0.128 (0.108)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
75	0.9~1.8 (1.4)	ND (ND)	144~149 (146)	103~109 (105)	1.3~1.8 (1.4)	239~244 (247)	0.069~0.203 (0.130)	0.010~0.013 (0.012)	ND (ND)	ND (ND)
76	6.6~9.6 (8.1)	ND (ND)	39~110 (67)	24~44 (36)	0.3~1.6 (0.7)	146~172 (163)	0.021~0.214 (0.065)	ND~0.012 (0.008)	ND (ND)	ND (ND)
77	9.4~13.7 (12.0)	ND (ND)	68~107 (88)	42~57 (52)	0.3~1.6 (0.6)	251~274 (260)	0.027~0.040 (0.031)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
78	13.3~20.9 (15.4)	ND~0.05 (0.03)	24~106 (74)	31~84 (76)	0.6~2.2 (1.2)	12~80 (33)	0.009~0.030 (0.019)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
79	1.2~2.5 (1.5)	ND (ND)	2~10 (5)	12~58 (36)	0.3~1.6 (0.7)	3~45 (20)	0.070~0.311 (0.185)	0.011~0.059 (0.035)	ND (ND)	ND (ND)
80	7.2~9.5 (8.5)	ND (ND)	25~43 (32)	7~12 (9)	0.3~1.6 (0.9)	118~150 (137)	0.014~0.029 (0.020)	0.012~0.029 (0.022)	ND (ND)	ND (ND)
81	3.0~5.9 (4.5)	0.03~0.05 (0.04)	21~45 (35)	37~88 (53)	2.2~5.1 (3.4)	59~86 (69)	0.013~0.021 (0.016)	ND~0.031 (0.013)	ND (ND)	ND (ND)
82	17.7~21.2 (18.9)	ND (ND)	71~86 (80)	46~55 (50)	0.6~1.6 (0.9)	293~322 (308)	0.011~0.054 (0.029)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
83	15.9~24.5 (18.3)	ND (ND)	37~93 (68)	33~87 (64)	0.3~1.6 (1.0)	92~182 (133)	0.120~0.324 (0.214)	ND~0.027 (0.013)	ND (ND)	ND (ND)
84	7.5~17.8 (12.2)	ND (ND)	34~83 (57)	23~69 (49)	0.6~2.2 (1.5)	85~181 (130)	0.014~0.268 (0.100)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
85	0.6~2.1 (1.3)	ND (ND)	1~8 (4)	ND~3 (1)	0.3~0.6 (0.4)	11~33 (22)	0.025~0.057 (0.039)	0.009~0.022 (0.016)	ND (ND)	ND (ND)
86	10.5~15.7 (12.6)	ND (ND)	32~74 (60)	57~81 (70)	0.3~1.3 (0.8)	83~430 (274)	0.024~0.123 (0.094)	ND~0.024 (0.011)	ND (ND)	ND (ND)
87	1.7~5.7 (3.7)	ND (ND)	50~115 (72)	5~27 (16)	0.3~0.6 (0.5)	35~65 (50)	0.053~0.119 (0.086)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
88	5.8~6.9 (6.5)	ND (ND)	60~110 (78)	29~44 (36)	0.6~3.4 (1.7)	150~245 (191)	0.025~0.080 (0.044)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
89	6.7~7.8 (7.3)	ND (ND)	50~54 (52)	28~40 (33)	0.3~0.6 (0.5)	164~193 (180)	0.027~0.058 (0.044)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)

Appendix continue

consti- uent site	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	KMnO ₄ consumed (mg/L)	Hardness (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)
90	13.8~17.1 (15.7)	ND (ND)	50~65 (59)	16~18 (17)	0.3~0.6 (0.5)	134~142 (138)	0.021~0.038 (0.032)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
91	12.2~15.8 (14.2)	ND (ND)	63~75 (69)	33~40 (36)	0.3~0.6 (0.4)	216~255 (238)	0.031~0.045 (0.036)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
92	1.3~3.2 (2.4)	ND (ND)	106~125 (114)	52~70 (61)	0.6~1.0 (0.7)	245~340 (294)	0.246~0.522 (0.424)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
93	4.3~6.7 (5.5)	ND (ND)	96~107 (102)	33~37 (35)	0.6~0.8 (0.6)	231~232 (231)	0.081~0.085 (0.083)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
94	5.9~11.5 (7.6)	0.09~0.49 (0.35)	38~55 (49)	37~58 (49)	0.3~1.4 (0.8)	114~176 (145)	0.159~0.284 (0.214)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
95	7.8~8.0 (7.9)	ND (ND)	71~79 (75)	54~55 (55)	0.6~0.8 (0.6)	244~255 (250)	0.702~0.982 (0.842)	ND~0.012 (0.008)	ND (ND)	ND (ND)
96	ND~0.3 (0.2)	ND (ND)	57~68 (64)	56~68 (60)	0.6~1.6 (0.9)	103~169 (136)	0.019~0.033 (0.026)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
97	4.2~5.7 (4.9)	ND (ND)	75~76 (75)	63~68 (65)	0.6~1.3 (0.8)	242~256 (249)	0.030~0.058 (0.045)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
98	ND~2.1 (1.0)	ND (ND)	15~45 (32)	56~90 (71)	0.6~1.6 (1.0)	126~195 (159)	0.244~0.658 (0.472)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
99	ND~2.8 (1.2)	ND (ND)	18~26 (23)	83~101 (93)	0.6~1.6 (1.0)	107~202 (147)	0.410~0.952 (0.739)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
100	6.2~7.8 (7.0)	ND (ND)	57~59 (58)	32~33 (33)	0.3~0.9 (0.5)	198~210 (206)	0.037~0.058 (0.046)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
101	8.9~9.8 (9.4)	ND (ND)	68~75 (71)	42~50 (47)	0.3~0.9 (0.5)	221~236 (227)	0.048~0.064 (0.054)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
102	5.9~7.4 (6.7)	ND (ND)	44~57 (51)	27~38 (33)	0.6~0.9 (0.8)	133~134 (134)	0.054~0.132 (0.093)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
103	6.6~9.0 (7.8)	ND (ND)	46~56 (51)	22~23 (23)	0.3~0.6 (0.5)	145~159 (152)	0.025~0.039 (0.032)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
104	13.5~16.3 (14.9)	ND (ND)	102~108 (105)	70~82 (76)	0.6~0.9 (0.8)	12~257 (135)	0.024~0.061 (0.043)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
105	15.9~16.5 (16.2)	ND (ND)	105~110 (108)	72~73 (73)	0.3~0.6 (0.5)	254~269 (262)	0.040~0.044 (0.042)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
106	5.0~15.5 (9.9)	ND (ND)	14~64 (35)	20~58 (33)	0.3~0.6 (0.5)	72~96 (80)	0.019~0.072 (0.039)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
107	3.4~6.8 (5.1)	ND (ND)	14~70 (42)	16~61 (39)	0.3~0.6 (0.5)	233~249 (241)	0.029~0.036 (0.033)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
108	7.0~13.1 (9.6)	ND (ND)	54~141 (105)	33~90 (62)	0.6~1.3 (1.1)	64~382 (223)	0.014~0.055 (0.035)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
109	8.3~9.6 (9.0)	ND (ND)	77~89 (83)	17~20 (19)	0.3~0.6 (0.5)	195~225 (210)	0.060~0.066 (0.063)	0.009~0.024 (0.012)	ND (ND)	ND (ND)
110	4.5~6.3 (5.2)	ND (ND)	22~25 (23)	14~27 (20)	0.3~0.6 (0.4)	67~116 (99)	0.012~0.033 (0.020)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
111	7.9~8.7 (8.3)	ND (ND)	32~34 (33)	13~14 (14)	0.3~0.6 (0.6)	109~128 (119)	0.056~0.077 (0.067)	0.010~0.041 (0.027)	ND (ND)	ND (ND)

Appendix continue

consti- uent site	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	KMnO ₄ consumed (mg/L)	Hardness (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)
112	1.7~4.5 (3.1)	ND (ND)	45~52 (49)	25~48 (37)	0.3~0.6 (0.6)	115~129 (122)	0.103~0.150 (0.127)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
113	0.6~1.0 (0.8)	ND (ND)	13~100 (57)	7~16 (12)	0.6~1.2 (0.8)	59~147 (103)	0.038~0.095 (0.067)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
114	14.9~17.8 (16.4)	ND (ND)	64~82 (73)	10~12 (11)	0.6~1.3 (1.0)	201~214 (208)	0.056~0.058 (0.057)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
115	0.2~0.6 (0.4)	ND (ND)	31~34 (33)	32~42 (37)	0.3~0.4 (0.3)	65~78 (72)	ND~0.028 (0.014)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
116	9.6~9.7 (9.7)	ND (ND)	53~59 (56)	35~46 (41)	0.3~0.6 (0.5)	177~181 (179)	0.054~0.062 (0.058)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)
117	11.5~18.1 (15.0)	ND (ND)	64~76 (70)	45~75 (60)	0.3~0.4 (0.3)	254~273 (264)	0.025~0.028 (0.027)	ND (ND)	ND (ND)	ND (ND)

※ () : mean value, ND : none detective