

# 지하수의 성분 등 조사와 한·일 비교

(한·일해협 연안 시도현 환경기술교류)

### 3.2.3 조사결과

Table 3-2-3 Result of water quality analysis

General item results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7
		temperature	water temperature	pH	DO	electric conductivity	color	Turbidity
		℃	℃	—	mg/L	μS/cm	degree	NTU
GN-A	1st	32.0	21.7	8.0	5.3	347.0	<1	<0.5
	2nd	13.0	16.7	7.6	5.4	369.0	<1	<0.5
	3rd	15.0	16.0	7.7	6.4	387.0	<1	<0.5
GN-B	1st	20.0	15.7	7.0	9.2	145.0	<1	<0.5
	2nd	16.0	15.7	7.0	6.4	154.2	<1	<0.5
	3rd	13.0	15.6	7.4	6.6	161.7	<1	<0.5
GN-C	1st	29.0	16.5	7.1	11.6	161.0	<1	<0.5
	2nd	14.0	15.8	6.8	5.0	186.3	<1	<0.5
	3rd	9.0	15.7	7.1	5.7	190.1	<1	<0.5
GN-D	1st	30.0	16.9	6.7	7.4	147.0	<1	<0.5
	2nd	14.0	16.3	6.6	8.3	193.0	<1	<0.5
	3rd	7.0	16.6	6.8	6.4	170.7	<1	<0.5
GN-E	1st	31.0	17.9	7.2	6.3	158.0	<1	<0.5
	2nd	14.0	16.1	7.4	7.2	211.0	<1	<0.5
	3rd	10.0	16.1	7.3	6.4	184.0	<1	<0.5

Ion analysis results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
GN-A	1st	14.15	4.76	15.77	79.30	<0.05	0.07	0.88	0.82	49.01	13.78	<0.02
	2nd	12.91	0.00	14.96	79.30	<0.05	0.09	0.92	1.15	42.33	14.06	<0.02
	3rd	12.33	0.19	15.36	83.26	<0.05	0.09	3.40	1.06	42.92	14.81	<0.02
GN-B	1st	6.33	19.47	8.76	34.50	<0.05	0.05	0.61	1.08	18.42	4.71	<0.02
	2nd	6.20	18.59	8.33	34.50	<0.05	<0.05	0.58	1.29	18.54	4.35	<0.02
	3rd	5.98	20.17	8.70	42.57	<0.05	<0.05	2.12	1.21	18.44	4.76	<0.02
GN-C	1st	3.56	11.74	9.92	45.70	<0.05	0.59	0.72	0.78	24.39	2.89	<0.02
	2nd	3.98	10.41	9.15	45.70	<0.05	0.86	0.66	1.05	21.31	2.40	<0.02
	3rd	4.14	9.85	8.95	54.24	<0.05	1.03	2.49	0.99	23.99	2.46	<0.02
GN-D	1st	1.73	25.28	6.33	33.60	<0.05	<0.05	0.57	1.52	16.89	4.92	<0.02
	2nd	2.05	27.28	6.42	33.60	<0.05	<0.05	0.53	1.70	16.68	4.60	<0.02
	3rd	1.83	27.36	6.74	38.51	<0.05	<0.05	2.02	1.71	18.68	5.13	<0.02
GN-E	1st	1.21	8.36	11.92	43.80	<0.05	0.05	0.73	0.65	19.55	4.38	<0.02
	2nd	1.40	9.51	13.93	43.80	<0.05	<0.05	0.72	0.89	17.70	4.38	<0.02
	3rd	1.52	9.03	12.56	46.85	<0.05	<0.05	2.65	0.79	20.70	4.70	<0.02

## Heavy metal analysis results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Mn	Fe	Al	Pb	Cu	Ni	Zn	As	Ge	V	Si
		μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L
GN-A	1st	<0.1	190.60	1.10	0.10	3.80	4.00	<1.0	12.80	2.60	<0.1	16.16
	2nd	0.80	78.90	9.90	<0.1	1.00	5.70	<1.0	11.80	<0.1	0.80	7.79
	3rd	1.20	1.00	5.60	<0.1	4.60	4.20	2.00	8.20	4.50	0.70	7.40
GN-B	1st	<0.1	70.30	<1.0	<0.1	1.50	0.60	<1.0	1.00	2.00	0.20	11.95
	2nd	13.70	<1.0	2.80	<0.1	0.80	1.00	2.40	0.90	4.80	<0.1	10.17
	3rd	3.10	<1.0	2.90	<0.1	12.60	0.70	3.20	<0.1	4.70	0.70	9.72
GN-C	1st	<0.1	106.20	8.40	<0.1	2.60	0.90	29.80	<0.1	0.10	0.50	12.03
	2nd	1.90	<1.0	3.80	<0.1	1.20	<0.5	5.90	0.70	<0.1	1.10	9.90
	3rd	0.70	<1.0	4.50	<0.1	7.00	<0.5	6.90	<0.1	6.10	1.10	9.23
GN-D	1st	<0.1	71.50	<1.0	<0.1	3.20	0.90	1.20	<0.1	<0.1	2.70	14.05
	2nd	0.20	<1.0	2.90	<0.1	1.50	<0.5	3.10	<0.1	4.20	2.70	11.92
	3rd	<0.1	<1.0	2.70	<0.1	14.30	<0.5	11.60	<0.1	4.40	2.50	11.80
GN-E	1st	<0.1	81.10	<1.0	<0.1	2.60	0.70	184.70	<0.1	4.00	3.60	15.24
	2nd	0.10	<1.0	4.20	<0.1	1.70	<0.5	50.40	0.70	2.50	3.80	13.14
	3rd	6.10	<1.0	3.00	<0.1	11.30	1.00	98.40	<0.1	5.70	3.40	12.60

### 3.2.4 수질특성

#### 3.2.4.1 주요 이온성분

Hexa diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-2-2에 나타내었다.

지점별 수질유형은 GN-A는 Ca-HCO<sub>3</sub>, 지점 GN-B는 Ca-HCO<sub>3</sub>, 지점 GN-C는 Ca-HCO<sub>3</sub>, 지점 GN-D는 Ca-HCO<sub>3</sub>, 지점 GN-E는 Ca-HCO<sub>3</sub>로 모두 같은 수질유형을 나타내었다.

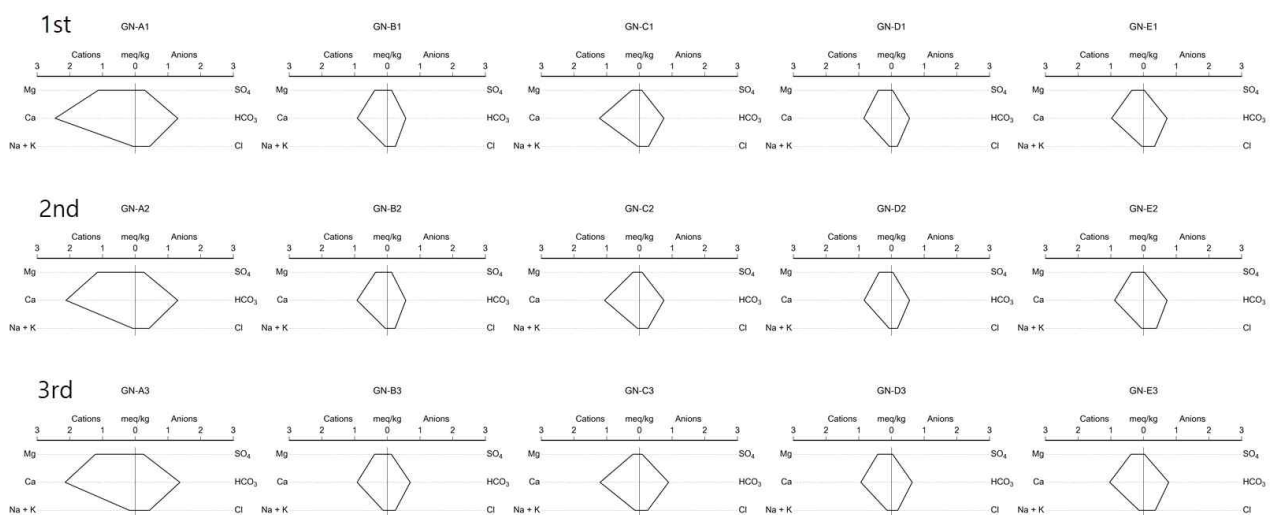


Fig. 3-2-2 Comparison of water quality types using Hexa-diagram

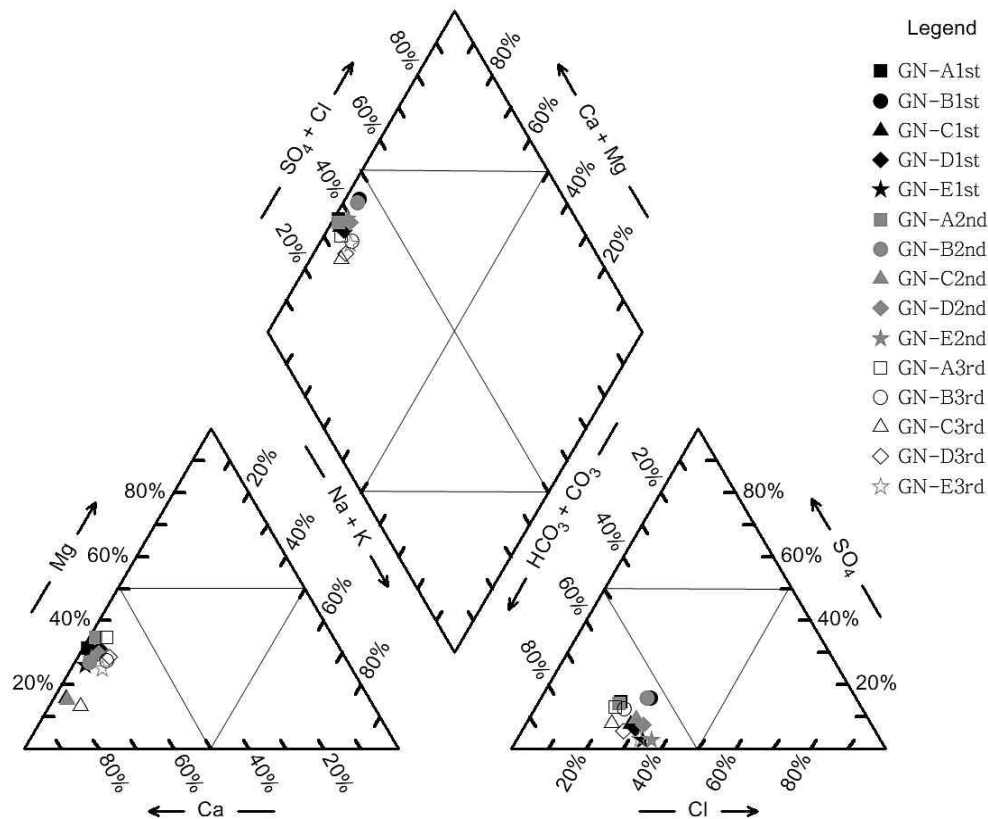


Fig. 3-2-3 Piper(Trilinear) diagram

Table 3-2-4 Water quality types of groundwater

sampling frequency	A	B	C	D	E
1st	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
2nd	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
3rd	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>

Piper(Trilinear) diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-2-3, Table 3-2-4에 나타내었다. GN-A ~ GN-E 5개 지점 모두에서 Ca-HCO<sub>3</sub>의 수질유형을 보였다. Piper(Trilinear) diagram의 I 구역에 속하며, 전형적인 석회암 지질의 영향을 받는 수질특성을 보였다.

#### 3.2.4.2 중금속

각 지점별 중금속 농도 비교는 Fig. 3-2-4에 나타내었다.

지점 GN-A에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Fe 1.00~190.60 µg/L, Al 1.10~9.90 µg/L, Cu 1.00~4.60 µg/L, Ni 4.00~5.70 µg/L, As 8.20~12.80 µg/L, Si 7.40~16.16 mg/L의 범위로 나타났으며, Al, Ni, As 항목은 다른 지점보다 높은 농도를 보였다. 그리고 Mn, Pb, Zn, Ge, V 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었다.

지점 GN-B에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Cu 0.80~12.60 µg/L, Ni 0.60~1.00 µg/L,

Ge 2.00~4.80 µg/L, Si 9.72~11.95 mg/L의 범위로 나타났으며, Ge, Si 항목은 다른 지점보다 대체적으로 높은 농도를 보였다. 그리고 Mn, Fe, Al, Zn, As, V 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Pb 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 GN-C에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Al 3.80~8.40 µg/L, Cu 1.20~7.00 µg/L, Zn 5.90~29.80 µg/L, V 0.50~1.10 µg/L, Si 9.90~12.03 mg/L의 범위로 나타났으며, Al, V, Si 항목은 다른 지점과 비슷하거나 다소 높은 농도를 보였다. 그리고 Mn, Fe, Ni, As, Ge 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Pb 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 GN-D에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Cu 1.50~14.30 µg/L, Zn 1.20~11.60 µg/L, V 2.50~2.70 µg/L, Si 11.80~14.05 mg/L의 범위로 나타났으며, V, Si 항목은 다른 지점보다 대체적으로 높은 농도를 보였다. 그리고 Mn, Fe, Al, Ni, Ge 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Pb와 As 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 GN-E에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Cu 1.70~11.30 µg/L, Zn 50.40~184.70 µg/L, Ge 2.50~5.70 µg/L, V 3.40~3.80 µg/L, Si 12.60~15.24 mg/L의 범위로 나타났으며, Zn, Ge, V, Si 항목은 다른 지점과 비슷하거나 대체적으로 높은 농도를 보였다. 그리고 Mn, Fe, Al, Ni, As 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Pb 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

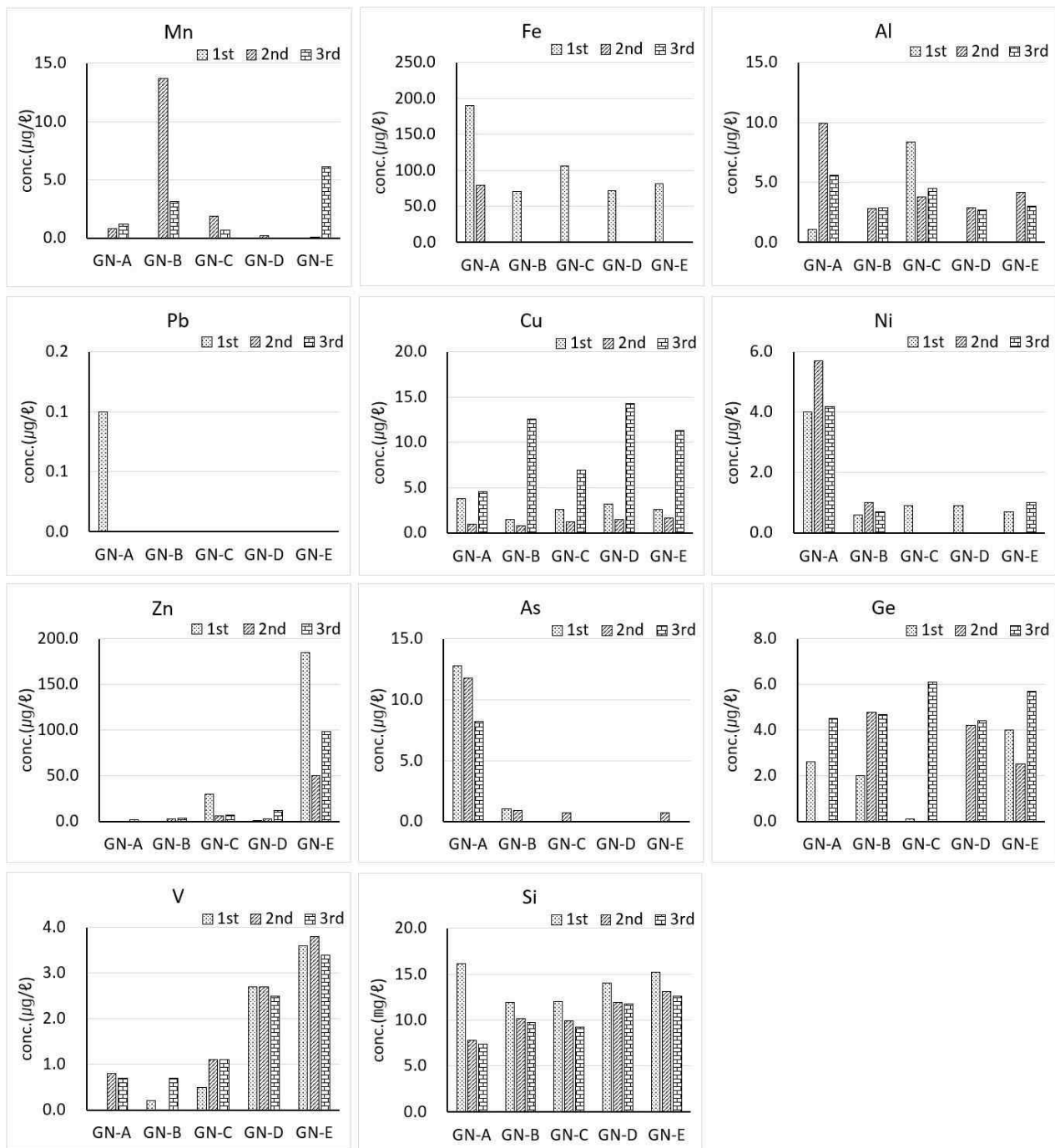


Fig. 3-2-4 Concentration of heavy metals(그림 교체)

### 3.1.5 정리

- Hexa diagram을 이용한 수질분석에서 시료채취 시기(1차, 2차, 3차)별 수질변화는 나타나지 않고 안정된 수질을 보였으며, 수질유형 또한 모든 지점에서  $\text{Ca-HCO}_3$ 의 1가지 수질을 가지고 있었다. 이러한 수질은 석회암류에 의한 영향으로 조사지점이 농촌 및 주거지역에 위치해 있지만 지하수를 형성하는 환경은 비슷한 것으로 보여진다.
- Piper(Trilinear) diagram에서는 모든 지점이 I 구역의  $\text{Ca-HCO}_3$  type으로 나타났다.

· 중금속은 한국의 먹는물 수질기준에 모두 적합하였다. 수질기준에 포함되어 있지 않은 Ni, V, Si은 모든 지점에서 각각 0.60~5.70 ug/L, 0.20~3.80 ug/L, 7.40~16.16 mg/L의 범위로 검출되었으나 먹는물 안전성에는 영향을 주지는 않는 것으로 보여진다.

### 3.3 Jeollanamdo

#### 3.3.1 조사지점

조사지점은 Fig. 3-3-1, 조사지점 현황은 Table 3-3-1에 나타내었다.

지점 JN-A는 여수시 봉계동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 130m, 양수량은 100 m<sup>3</sup>/d이고, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 유문암(Rhyolite)이다.

지점 JN-B는 담양군 용면에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 320m, 지하수 주변은 숲으로 우거진 산 중턱에 있으며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 변상화강암(Schistose granite)이다.

지점 JN-C는 구례군 산동면에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 110m, 양수량은 50 m<sup>3</sup>/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 반상변정질편마암(Porphyroblastic Gneiss)이다.

지점 JN-D는 영암군 영암면에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 102m, 양수량은 300 m<sup>3</sup>/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 홍색장석화강암(Pink-feldspar granite)이다.

지점 JN-E는 영광군 법성면에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 148m, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 홍농안산암(Hongnong andesite)이다.

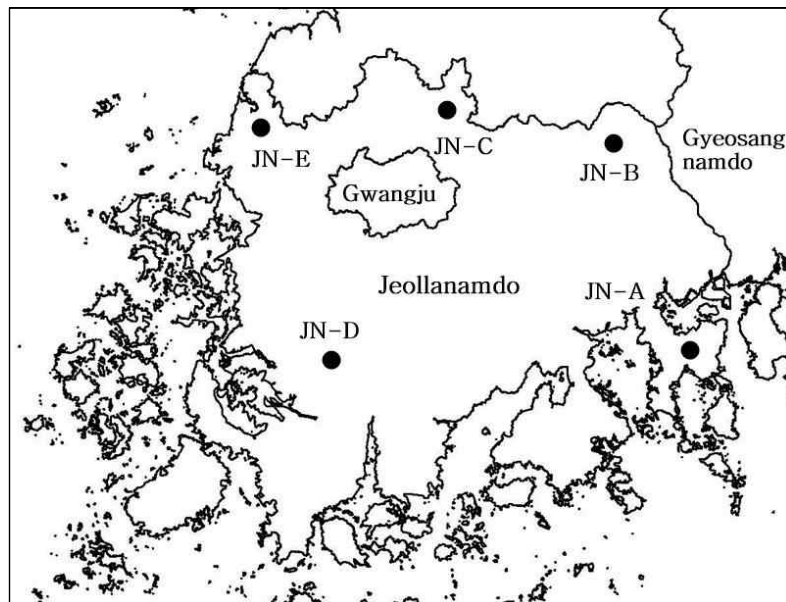


Fig. 3-3-1 Map of sampling sites

Table 3-3-1 Sampling sites status

Sampling sites	Location	well type	well depth m	pump discharge m3/d	use	situation around the well	geology (Rocktype)
JN-A	Bonggyedong, Yeosusi	machine well	130	100	drinking water	Residential area	Rhyolite
JN-B	Yongmyeon, Damyanggun	machine well	320	zzz	drinking water	Rural area	Schistose granite
JN-C	Sandongmyeon, Guryegun	machine well	110	50	drinking water	Residential area	Porphyrobl astic gneiss
JN-D	Yeongameup, Yeongamgun	machine well	102	300	drinking water	Residential area	Pink-feldspar granite
JN-E	Beopseongmyeon, Yeonggwanggun	machine well	148	zzz	drinking water	Residential area	Hongnong andesite

## 3.3.2 조사일자

조사 시간과 강수량은 Table 3-3-2에 나타내었다.

조사기간은 2018년 2월부터 2019년 3월까지 14개월간 3회 실시하였다.

강수량은 기상청 자료에서 조사지점 소재지와 가장 가까운 관측지점의 데이터를 활용하였다.

각 지점별 조사시간 중 일기는 대체로 맑거나 흐리고 강우량이 있는 날은 없었다.

Table 3-3-2 Sampling time and date

Sampling sites	sampling frequency	sampling date			sampling time	weather					
						The day		The day before		Two days before	
		Year	Month	Day		Rainfall(mm)		Rainfall(mm)		Rainfall(mm)	
JN-A	1st	2018	9	13	11:50	Rain	-	sunny	-	sunny	-
	2nd	2019	1	23	12:30	sunny	-	sunny	-	sunny	-
	3rd	2019	2	19	12:10	Rain	-	sunny	-	sunny	-
JN-B	1st	2018	9	14	10:46	Cloudy	-	Rain	-	sunny	-
	2nd	2019	1	18	11:20	sunny	-	sunny	-	sunny	-
	3rd	2019	2	26	11:40	sunny	-	sunny	-	sunny	-
JN-C	1st	2018	9	13	10:44	Cloudy	-	sunny	-	sunny	-
	2nd	2019	1	21	11:20	sunny	-	Cloudy	-	Cloudy	-
	3rd	2019	2	26	10:44	sunny	-	sunny	-	sunny	-
JN-D	1st	2018	9	14	14:00	Cloudy	-	Rain	-	sunny	-
	2nd	2019	1	17	14:10	sunny	-	sunny	-	Cloudy	-
	3rd	2019	2	22	14:00	Cloudy	-	sunny	-	sunny	-
JN-E	1st	2018	9	14	15:32	Cloudy	-	Rain	-	sunny	-
	2nd	2019	1	18	14:10	sunny	-	sunny	-	sunny	-
	3rd	2019	2	25	15:40	sunny	-	sunny	-	sunny	-



### 3.3.3 조사결과

Table 3-3-3 Result of water quality analysis

General item results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7
		temperature	water temperature	pH	DO	electric conductivity	color	Turbidity
		℃	℃	—	mg/L	μS/cm	degree	NTU
JN-A	1st	21.0	22.0	8.1	5.1	241.0	<1	<0.5
	2nd	3.0	13.2	8.0	7.8	258.0	<1	<0.5
	3rd	4.0	6.8	7.6	7.0	258.0	<1	<0.5
JN-B	1st	23.0	20.4	7.8	8.0	211.0	<1	<0.5
	2nd	0.0	14.3	7.4	8.0	221.0	<1	<0.5
	3rd	5.0	12.9	7.3	6.2	197.0	<1	<0.5
JN-C	1st	20.0	17.0	7.7	2.6	365.0	<1	<0.5
	2nd	-1.0	15.9	7.6	1.1	360.0	<1	<0.5
	3rd	5.0	15.9	7.5	1.5	359.0	<1	<0.5
JN-D	1st	26.0	18.4	6.9	7.3	144.0	<1	<0.5
	2nd	4.0	16.5	6.8	6.7	183.0	<1	<0.5
	3rd	9.0	15.4	7.4	8.3	142.0	<1	<0.5
JN-E	1st	24.0	17.9	7.5	3.1	356.0	<1	<0.5
	2nd	2.0	10.5	7.5	6.5	378.0	<1	<0.5
	3rd	8.0	5.9	7.5	7.7	377.0	<1	<0.5

Ion analysis results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
JN-A	1st	21.10	0.00	10.85	34.35	<0.05	0.46	13.68	0.72	34.21	1.34	<0.02
	2nd	20.60	2.04	17.93	39.26	<0.05	0.44	14.18	5.00	35.91	1.89	<0.02
	3rd	20.80	1.99	13.72	40.08	<0.05	0.40	13.90	1.19	34.61	1.91	<0.02
JN-B	1st	7.80	7.71	22.20	24.54	<0.05	1.05	12.73	0.72	25.02	1.50	<0.02
	2nd	11.10	6.47	17.90	22.90	<0.05	2.00	13.97	0.79	20.15	1.22	<0.02
	3rd	9.50	6.25	19.29	54.80	<0.05	1.67	13.71	3.65	20.18	1.24	<0.02
JN-C	1st	21.40	0.00	12.18	17.99	<0.05	0.66	18.82	2.66	18.14	5.07	<0.02
	2nd	18.50	0.40	18.76	61.34	<0.05	0.86	20.28	7.30	42.79	5.09	<0.02
	3rd	17.10	0.00	13.02	62.98	<0.05	0.82	19.07	3.00	46.48	4.91	<0.02
JN-D	1st	2.10	5.67	17.85	28.63	<0.05	0.42	14.08	0.98	10.46	1.13	<0.02
	2nd	2.70	5.31	16.08	16.36	<0.05	0.57	13.89	1.37	10.11	1.12	<0.02
	3rd	2.60	5.23	20.72	15.54	<0.05	0.50	14.55	4.91	10.47	1.18	<0.02
JN-E	1st	24.30	2.48	55.83	62.16	<0.05	0.33	19.25	0.53	44.65	2.27	<0.02
	2nd	20.20	5.98	56.17	32.72	<0.05	0.53	19.78	0.70	47.63	2.75	<0.02
	3rd	24.40	3.41	57.12	30.26	<0.05	0.41	19.83	0.62	46.73	2.24	<0.02

## Heavy metal analysis results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Mn	Fe	Al	Pb	Cu	Ni	Zn	As	Ge	V	Si
		μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L
JN-A	1st	6.00	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	1.15	14.00	>0.1	>0.1	0.25	13.70
	2nd	20.00	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	4.00	>0.1	>0.1	0.27	14.59
	3rd	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	7.00	>0.1	>0.1	0.23	14.36
JN-B	1st	9.00	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	0.86	17.00	>0.1	>0.1	0.39	9.88
	2nd	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	5.00	>0.1	>0.1	0.25	8.73
	3rd	136.00	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	14.00	>0.1	>0.1	0.30	8.78
JN-C	1st	62.00	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	1.67	15.00	>0.1	>0.1	0.27	10.32
	2nd	71.00	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	0.51	6.00	>0.1	>0.1	0.22	10.35
	3rd	63.00	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	3.00	>0.1	>0.1	0.21	10.12
JN-D	1st	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	0.52	155.00	>0.1	>0.1	0.92	21.34
	2nd	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	0.68	300.00	>0.1	>0.1	0.73	21.21
	3rd	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	115.00	>0.1	>0.1	0.77	21.07
JN-E	1st	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	1.42	49.00	>0.1	>0.1	1.14	11.51
	2nd	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	60.00	>0.1	>0.1	1.36	10.77
	3rd	>0.1	>1.0	>1.0	>0.1	>0.5	>0.5	24.00	>0.1	>0.1	1.22	10.82

### 3.3.4 수질특성

#### 3.3.4.1 주요 이온성분

Hexa diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-3-2에 나타내었다.

지점별 수질유형은 JN-A는  $\text{Ca-HCO}_3$ , 지점 JN-B는  $\text{Ca-Cl}$ ,  $\text{Ca-HCO}_3$ , 지점 JN-C는  $\text{Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Ca-SO}_4$ , 지점 JN-D는  $\text{Na-Cl}$ , 지점 JN-E는  $\text{Ca-Cl}$ 로 나타났다. 따라서 조사지점 5개소 모두 다른 수질유형을 보였다. 특히 JN-B, JN-C 지점은 시료채취 시기별 수질변화를 보이고 있었으며, 나머지 JN-A, JN-D, JN-E 지점은 안정된 수질을 가지고 있었다.

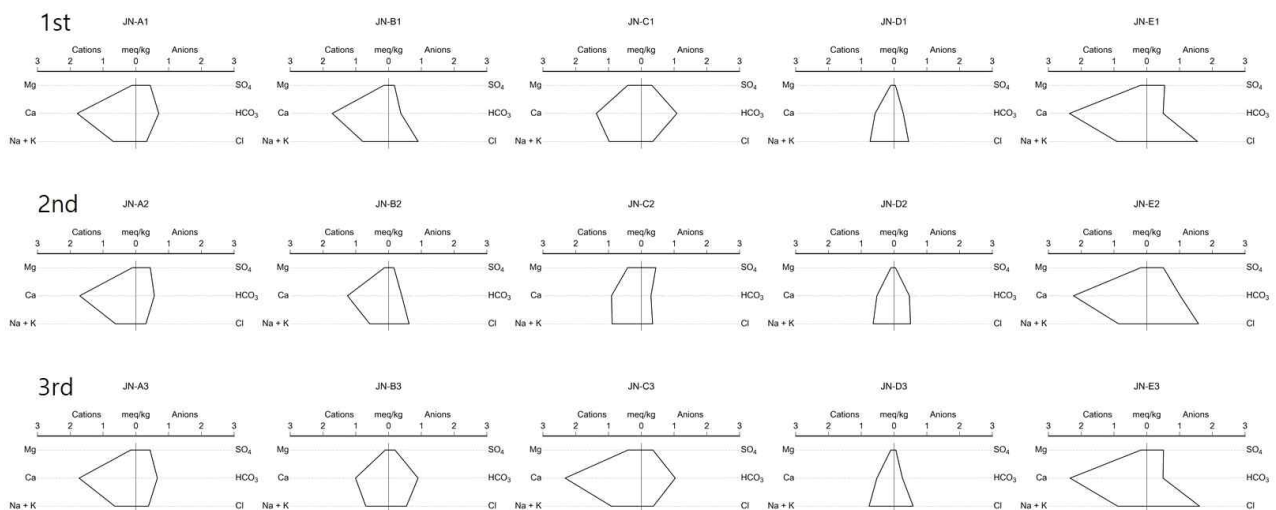


Fig. 3-3-2 Comparison of water quality types using Hexa-diagram

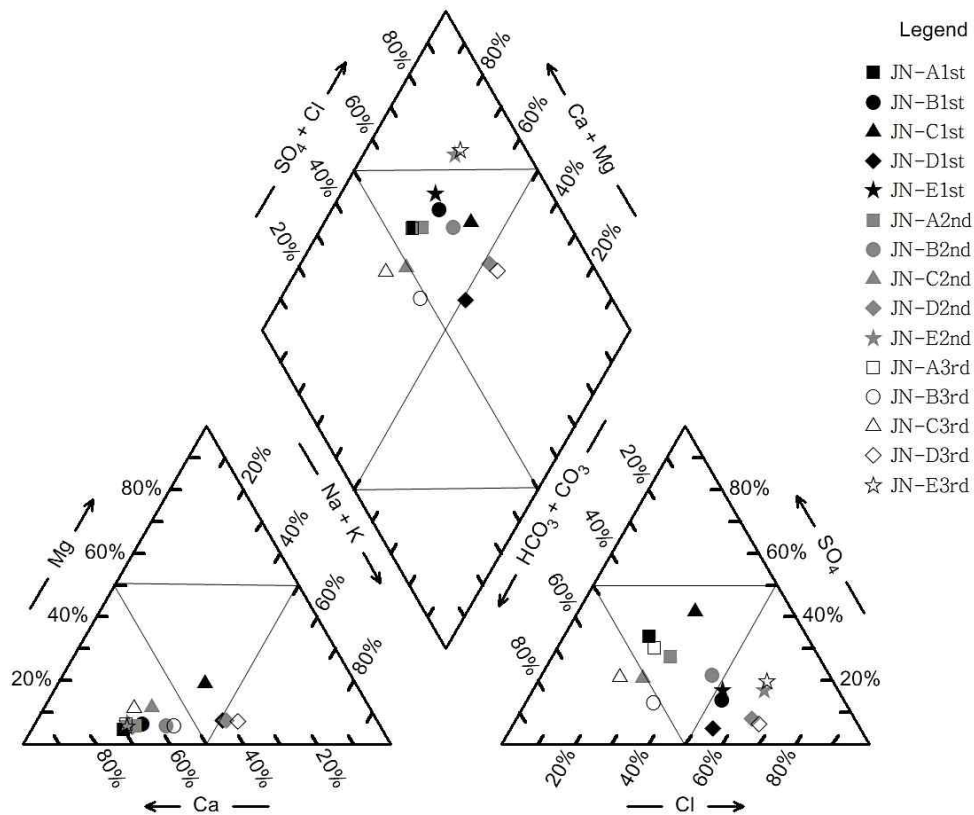


Fig. 3-3-3 Piper(Trilinear) diagram

Table 3-3-4 Water quality types of groundwater

sampling frequency	A	B	C	D	E
1st	mixed type	mixed type	mixed type	Na-Cl	mixed type
2nd	mixed type	mixed type	Ca-HCO <sub>3</sub>	Na-Cl	Ca-Cl
3rd	mixed type	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Na-Cl	Ca-Cl

Piper(Trilinear) diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-3-3, Table 3-3-4에 나타내었다. 전라남도지역의 지하수는 5개 지점 모두 다른 유형의 수질을 보였다. JN-A 지점은 수질 성분 중 주요성분을 구분할 수 없는 혼합된 형태의 V 구역의 mixed type을 보였으며, JN-B와 JN-C 지점은 mixed type과 Ca-HCO<sub>3</sub>의 수질유형, JN-D는 Na-Cl의 수질유형, JN-E는 mixed type과 Ca-Cl의 수질유형으로 나타났다.

#### 3.3.4.2 중금속

각 지점별 중금속 농도 비교는 Fig. 3-3-4에 나타내었다.

지점 JN-A에서 3회 조사 중 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Zn 4.00~14.00 µg/L, V 0.23~0.27 µg/L, Si 13.70~14.59 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 Mn은 3회 조사 중 2회

6.00~20.00 ug/L, Ni은 1회 1.15 ug/L로 보고하한치 이상 검출되었으며, Fe, Al, Pb, Cu, As, Ge는 3회 모두 보고하한치 이하로 조사되었다.

지점 JN-B에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Mn 62.00~71.00 ug/L, Zn 3.00~15.00 ug/L, V 0.21~0.27 ug/L, Si 10.12~10.35 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 Mn은 3회 조사 중 2회 9.00~136.00 ug/L, Ni은 1회 0.86 ug/L로 보고하한치 이상 검출되었으며, Fe, Al, Pb, Cu, As, Ge는 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 조사되었다.

지점 JN-C에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Zn 5.00~17.00 ug/L, V 0.25~0.39 ug/L, Si 8.73~9.88 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 Ni은 3회 조사 중 2회 0.51~1.67 ug/L로 보고하한치 이상 검출되었으며, Fe, Al, Pb, Cu, As, Ge는 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 조사되었다.

지점 JN-D에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Zn 115.00~300.00 ug/L, V 0.73~0.92 ug/L, Si 21.07~21.34 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 Ni은 3회 조사 중 2회 0.52~0.68 ug/L로 보고하한치 이상 검출되었으며, Mn, Fe, Al, Pb, Cu, As, Ge는 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 조사되었다.

지점 JN-E에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Zn 24.00~60.00 ug/L, V 1.14~1.36 ug/L, Si 10.77~11.51 mg/L의 범위로 나타났다. 그리고 Ni은 3회 조사 중 1회 1.42 ug/L로 보고하한치 이상 검출되었으며, Mn, Fe, Al, Pb, Cu, As, Ge는 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 조사되었다.

### 3.3.5 정리

- Hexa diagram을 이용한 수질분석에서 시료채취 시기(1차, 2차, 3차)별 수질변화는 JN-A, JN-D, JN-E 지점에서 안정된 수질을, JN-B, JN-C 지점은 수질변화가 있는 것으로 나타났다. 농촌과 주거지역에 위치해 있으며 먹는물로 사용되고 있지만 지하수를 형성하는 환경이 다른 것으로 보여진다.
- Piper(Trilinear) diagram에서는 I, II, III, V 구역에 분포하고 있다. I 구역은 전형적인 심층지하수 형태로 JN-C(2회, 3회), JN-B(3회)에서 Ca-HCO<sub>3</sub> type이며, II 구역은 JN-E(2, 3회)으로 Ca-Cl type, III 구역은 JN-D 지점으로 해수의 간접적인 영향을 받는 Na-Cl type, V 구역은 JN-A, JN-B(1, 2회), JN-C(1회), JN-E(1회)으로 mixed type이며 여러 가지 지하수 유형을 나타내고 있다.
- 중금속은 한국의 먹는물 수질기준에 모두 적합하였다. 수질기준에 포함되어 있지 않은 Ni, V, Si는 각각 0.51~1.67 ug/L, 0.21 ~ 1.36 ug/L, 8.73~21.34 ug/L의 범위에서 검출되었으나 먹는물 안전성에 영향을 주지는 않는 것으로 보여진다.

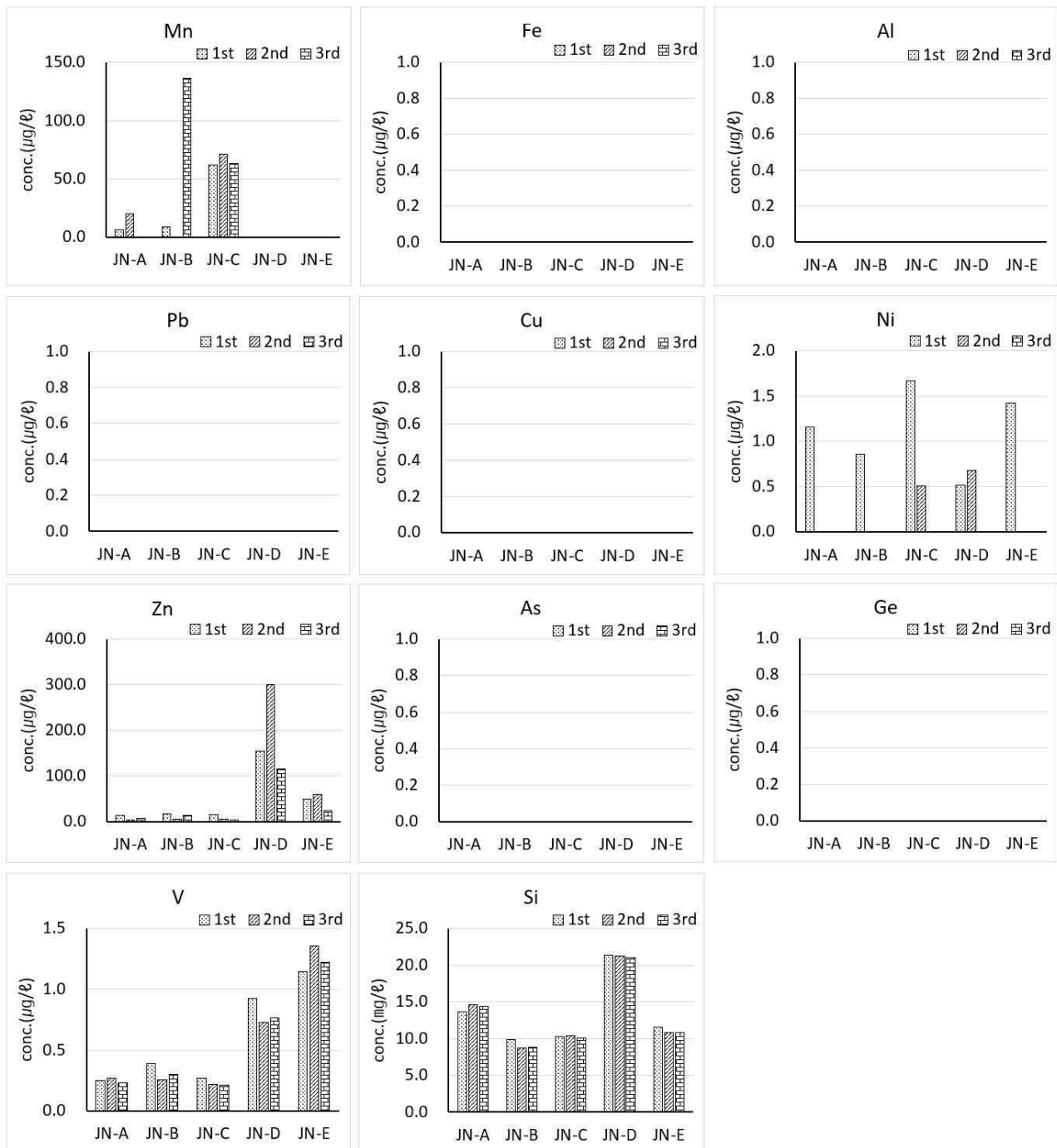


Fig. 3-3-4 Concentration of heavy metals(그림 교체)

### 3.4 Jeju-do

#### 3.4.1 조사지점

조사지점은 Fig. 3-4-1, 조사지점 현황은 Table 3-4-1에 나타내었다.

지점 JJ-A는 서귀포시 표선면에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 170m, 양수량은 800  $\text{m}^3/\text{d}$ 이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 농업용수로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 현

무암(Basalt)이다.

지점 JJ-B는 제주시 애월읍에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 220m, 양수량은 1200 m<sup>3</sup>/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 농업용수로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 현무암(Basalt)이다.

지점 JJ-C는 서귀포시 강정동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 160m, 양수량은 750 m<sup>3</sup>/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 농업용수로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 조면암(Trachyte)이다.

지점 JJ-D는 제주시 아라동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 190m, 양수량은 800 m<sup>3</sup>/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 농업용수로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 현무암(Basalt)이다.

지점 JJ-E는 서귀포시 구좌읍에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 220m, 양수량은 800 m<sup>3</sup>/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 농업용수로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 현무암(Basalt)이다.

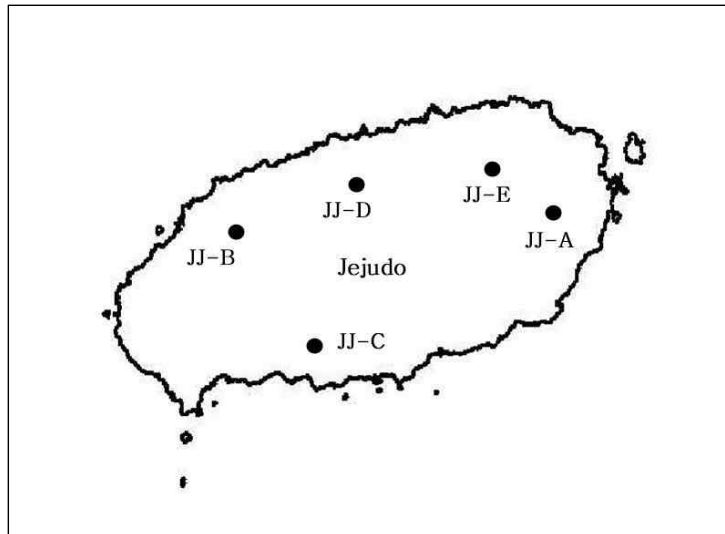


Fig. 3-4-1 Map of sampling sites

Table 3-4-1 Sampling sites status

Sampling sites	Location	well type	well depth m	pump discharge m3/d	use	situation around the well	geology (Rocktype)
JJ-A	Pyoseonmyeon, Seogwiposi	machine well	170	800	Agricultural water	Rural area	Basalt
JJ-B	Aewoleup, Jeju	machine well	220	1200	Agricultural water	Rural area	Basalt
JJ-C	Gangjeongdong, Seogwiposi	machine well	160	750	Agricultural water	Rural area	Trachyte
JJ-D	Aradong, Jeju	machine well	190	800	Agricultural water	Rural area	Basalt
JJ-E	Gujwaeup, Jeju	machine well	220	800	Agricultural water	Rural area	Basalt

### 3.4.2 조사일자

조사 시간과 강수량은 Table 3-4-2에 나타내었다.

조사기간은 2018년 2월부터 2019년 3월까지 14개월간 3회 실시하였다.

강수량은 기상청 자료에서 조사지점 소재지와 가장 가까운 관측지점의 데이터를 활용하였다.

각 지점별 조사시간 중 강수량은 시료채취 1회차 당일 JJ-D 지점, 1일전 JJ-B 지점, 2일전 JJ-B에서 각각 2.1mm 3.5mm, 0.8mm의 강수량을 보였으나 지하수에 미치는 영향은 미미할 것으로 보여진다.

Table 3-4-2 Sampling time and date

Sampling sites	Number of sampling	sampling date			sampling time	weather					
						The day		The day before		Two days before	
		Year	Month	Day		Rainfall(mm)		Rainfall(mm)		Rainfall(mm)	
JJ-A	1st	2018	2	22	14:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	2nd	2018	11	26	13:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	3rd	2019	1	22	14:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
JJ-B	1st	2018	3	6	16:30	sunny	—	rainy	3.5	rainy	0.8
	2nd	2018	11	26	15:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	3rd	2019	1	18	13:30	sunny	—	sunny	—	sunny	—
JJ-C	1st	2018	2	23	15:30	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	2nd	2018	11	26	14:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	3rd	2019	1	18	11:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
JJ-D	1st	2018	2	19	11:30	rainy	2.1	cloudy	—	cloudy	—
	2nd	2018	11	26	10:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	3rd	2019	1	22	10:30	sunny	—	sunny	—	sunny	—
JJ-E	1st	2018	2	22	12:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	2nd	2018	11	26	11:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—
	3rd	2019	1	22	13:00	sunny	—	sunny	—	sunny	—

### 3.4.3 조사결과

Table 3-4-3 Result of water quality analysis

General item results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7
		temperature	water temperature	pH	DO	electric conductivity	color	Turbidity
		℃	℃	—	mg/L	μS/cm	degree	NTU
JJ-A	1st	7.0	14.5	7.6	9.5	93.9	<1	<0.5
	2nd	15.1	16.5	7.5	9.5	98.3	<1	<0.5
	3rd	8.3	15.2	7.7	9.5	97.2	<1	<0.5
JJ-B	1st	10.0	14.5	8.0	9.0	104.8	<1	<0.5
	2nd	16.1	16.2	8.0	8.8	110.1	<1	<0.5
	3rd	9.0	15.1	8.4	9.0	104.2	<1	<0.5
JJ-C	1st	12.2	14.0	7.6	9.1	59.7	<1	<0.5
	2nd	15.2	16.0	7.6	9.1	38.0	<1	<0.5
	3rd	7.4	15.0	8.0	9.3	23.6	<1	<0.5
JJ-D	1st	9.5	14.0	7.7	9.1	90.8	<1	<0.5
	2nd	14.2	15.7	7.5	9.2	89.1	<1	<0.5
	3rd	8.0	15.0	7.5	9.2	93.5	<1	<0.5
JJ-E	1st	5.0	14.6	7.9	8.8	117.5	<1	<0.5
	2nd	15.2	16.6	7.8	8.9	119.3	<1	<0.5
	3rd	8.5	15.5	7.9	9.1	118.1	<1	<0.5

Ion analysis results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
JJ-A	1st	1.64	2.01	6.44	40.26	0.00	0.00	7.12	2.38	4.58	3.81	<0.02
	2nd	1.69	2.63	6.84	41.40	0.00	0.07	7.32	2.52	5.17	3.81	<0.02
	3rd	1.55	2.13	6.53	43.70	0.00	0.05	7.00	2.50	5.22	4.07	<0.02
JJ-B	1st	1.65	3.50	6.62	42.20	0.00	0.00	5.78	3.45	5.09	4.10	<0.02
	2nd	1.78	3.43	6.69	45.20	0.00	0.09	9.21	3.85	5.26	3.82	<0.02
	3rd	1.72	3.34	6.54	48.40	0.00	0.07	8.77	3.73	5.42	3.99	<0.02
JJ-C	1st	1.35	1.10	4.48	25.20	0.00	0.00	5.40	1.76	2.86	1.88	<0.02
	2nd	1.41	1.08	4.29	22.60	0.00	0.07	5.17	2.06	3.25	1.90	<0.02
	3rd	1.21	0.91	4.03	27.10	0.00	0.05	4.87	1.91	3.33	1.99	<0.02
JJ-D	1st	1.59	3.52	6.77	35.50	0.00	0.00	8.05	3.12	3.77	3.24	<0.02
	2nd	2.25	4.47	7.64	27.60	0.00	0.07	7.22	2.32	4.34	3.01	<0.02
	3rd	2.22	6.15	8.14	49.00	0.00	0.05	7.35	2.43	4.94	3.45	<0.02
JJ-E	1st	2.13	1.99	8.30	51.97	0.00	0.00	10.54	3.23	5.94	4.32	<0.02
	2nd	1.99	2.26	8.37	49.00	0.00	0.08	10.73	3.29	6.35	3.86	<0.02
	3rd	1.91	2.21	8.33	53.00	0.00	0.06	10.20	3.29	6.61	4.06	<0.02



## Heavy metal analysis results

sampling name	sampling frequency	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Mn	Fe	Al	Pb	Cu	Ni	Zn	As	Ge	V	Si
		μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L
JJ-A	1st	<0.1	11.30	<1.0	0.25	<0.5	<0.5	<1.0	0.43	<0.1	8.45	21.54
	2nd	<0.1	11.55	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	<1.0	0.83	<0.1	16.13	22.29
	3rd	<0.1	8.45	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	<1.0	0.34	<0.1	3.74	19.34
JJ-B	1st	<0.1	<1.0	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	10.26	0.23	<0.1	4.24	20.16
	2nd	<0.1	<1.0	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	<1.0	0.45	<0.1	8.66	20.23
	3rd	<0.1	18.12	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	2.50	0.44	<0.1	8.62	21.54
JJ-C	1st	<0.1	17.89	4.52	<0.1	<0.5	0.67	<1.0	0.82	<0.1	16.44	22.29
	2nd	<0.1	9.02	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	15.89	0.37	<0.1	4.11	19.34
	3rd	<0.1	15.65	<1.0	<0.1	<0.5	1.12	8.55	0.32	<0.1	4.99	20.16
JJ-D	1st	<0.1	20.54	2.66	<0.1	<0.5	<0.5	<1.0	0.60	<0.1	9.69	20.23
	2nd	<0.1	19.24	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	2.62	0.40	<0.1	8.75	21.86
	3rd	<0.1	19.07	4.41	<0.1	<0.5	0.80	<1.0	0.81	<0.1	15.96	22.99
JJ-E	1st	<0.1	9.30	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	17.56	0.36	<0.1	4.03	18.78
	2nd	<0.1	16.83	<1.0	<0.1	<0.5	1.21	7.60	0.35	<0.1	5.02	19.38
	3rd	<0.1	25.11	2.45	<0.1	0.51	0.58	<1.0	0.62	<0.1	10.70	19.99

### 3.4.4 수질특성

#### 3.4.4.1 주요 이온성분

Hexa diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-4-2에 나타내었다.

지점별 수질유형은 JJ-A는 Mg-HCO<sub>3</sub>, Na-HCO<sub>3</sub>, 지점 JJ-B는 Mg-HCO<sub>3</sub>, Na-HCO<sub>3</sub>, 지점 JJ-C는 Na-HCO<sub>3</sub>, 지점 JJ-D는 Na-HCO<sub>3</sub>, 지점 JJ-E는 Na-HCO<sub>3</sub>로 나타났다. 따라서 조사지점 5개소 중 JJ-A(or JJ-B), BS-C(BS-D or BS-E) 등 2개의 다른 수질유형을 보였다.

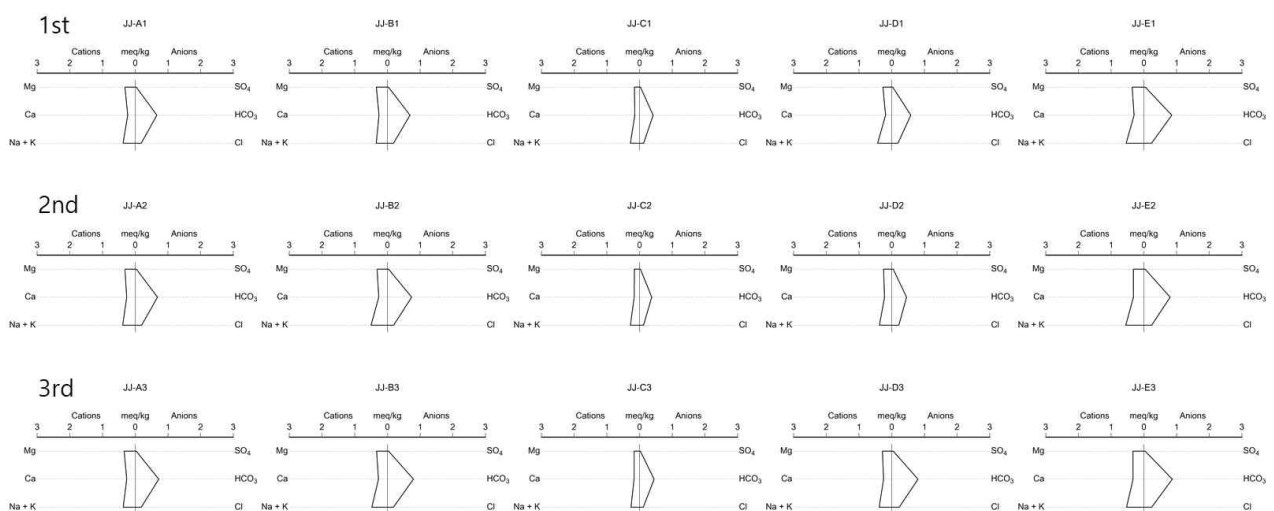


Fig. 3-4-2 Comparison of water quality types using Hexa-diagram

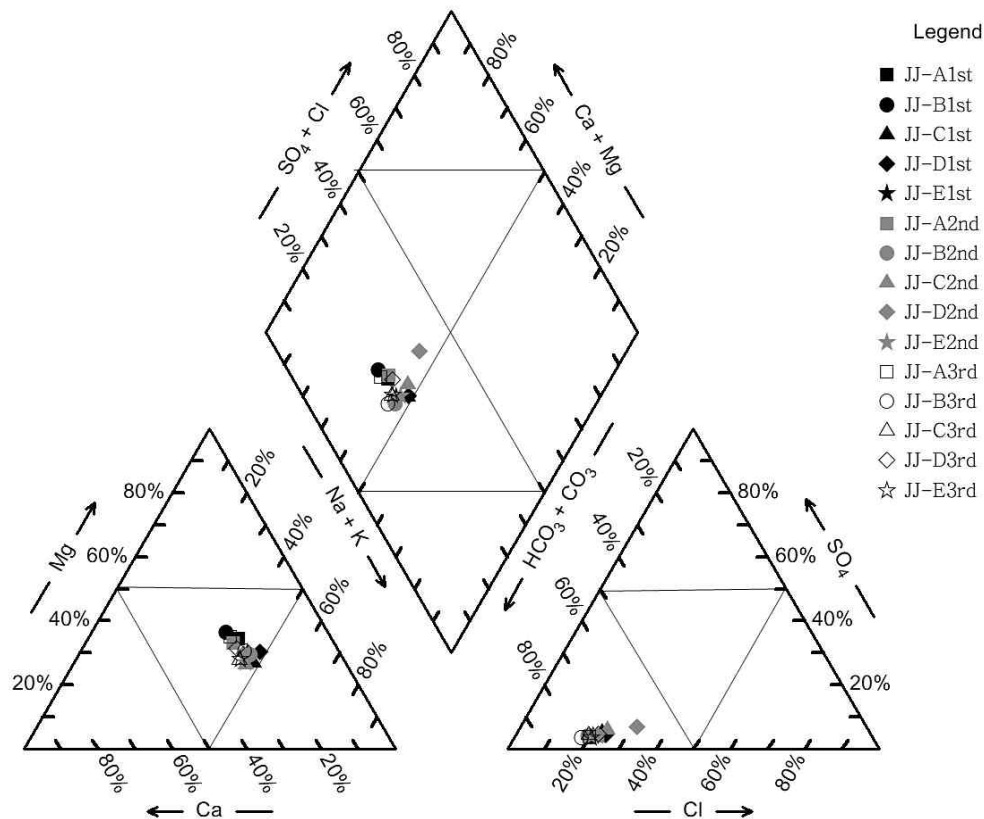


Fig. 3-4-3 Piper(Trilinear) diagram

Table 3-4-4 Water quality types of groundwater

sampling frequency	A	B	C	D	E
1st	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
2nd	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
3rd	Mg-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>

Piper(Trilinear) diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-4-3, Table 3-4-4에 나타내었다. 제주도지역의 지하수는 5개 지점 모두 Piper(Trilinear) diagram의 I 구역에 속하며, Na-HCO<sub>3</sub>(Mg-HCO<sub>3</sub>)의 수질유형을 보였다. 전형적인 심층지하수의 수질특성을 가지고 있으며, 화산활동에 의한 현무암질로 이루어진 지역 특성에 영향을 받아 이온함량이 적은 수질특성을 나타내었다.

#### 3.4.4.2 중금속

지점 JJ-A에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Fe 8.45~11.55 µg/L, As 0.34~0.83 µg/L, V 3.74~16.13 µg/L, Si 19.34~22.29 mg/L의 범위로 나타났으며, 특히 Fe, Si는 다른 지하수의 수질 보다 비슷하거나 높게 나타났다. 그리고 Pb 항목은 3회 조사 중 1회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Mn, Al, Cu, Ni, Zn, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 JJ-B에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 As 0.23~0.45 µg/L, V 4.24~8.66 µg/L, Si

20.16~21.54 mg/L의 범위로 나타났으며, 특히 As, V, Si는 다른 지하수의 수질보다 비슷하거나 높게 나타났다. 그리고 Fe, Zn 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Mn, Al, Pb, Cu, Ni, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 JJ-C에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Fe 9.02~17.89 µg/L, As 0.32~0.82 µg/L, V 4.11~16.44 µg/L, Si 19.34~22.29 mg/L의 범위로 나타났으며, 특히 V, Si는 다른 지하수의 수질과 비슷하게 나타났다. 그리고 Al, Ni, Zn, 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Mn, Pb, Cu, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 JJ-D에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Fe 19.07~20.54 µg/L, As 0.40~0.81 µg/L, V 8.75~15.96 µg/L, Si 20.23~22.99 mg/L의 범위로 나타났으며, 특히 Fe, Si는 다른 지하수의 수질보다 비슷하거나 높게 나타났다. 그리고 Al, Ni, Zn 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Mn, Pb, Cu, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 JJ-E에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Fe 9.30~25.11 µg/L, As 0.35~0.62 µg/L, V 4.03~10.70 µg/L, Si 18.78~19.99 mg/L의 범위로 나타났으며, 특히 Fe, As, V, Si는 다른 지하수의 수질보다 비슷하거나 높게 나타났다. 그리고 Al, Cu, Ni, Zn 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Mn, Pb, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

#### 3.4.5 정리

- Hexa diagram을 이용한 수질분석에서 시료채취 시기(1차, 2차, 3차)별 수질변화는 나타나지 않고 안정된 수질을 보였으며, 수질유형 또한 모든 지점에서 Na-HCO<sub>3</sub>(또는 Mg-HCO<sub>3</sub>)의 수질유형을 가지고 있었다. 이러한 수질은 화산활동에 의해 형성된 현무암 지질로서 오염되지 않은 전형적인 심층지하수의 형태이다. 또한 농촌지역에 위치해 있어 지하수를 형성하는 환경은 비슷한 것으로 보여진다.
- Piper(Trilinear) diagram에서는 모든 지점이 I 구역의 Mg-HCO<sub>3</sub>(또는 Na-HCO<sub>3</sub>) type으로 나타났다.
- 중금속은 한국의 먹는물 수질기준에 모두 적합하였다. 수질기준에 포함되어 있지 않은 Ni은 5지점 중 3지점에서 0.58~1.21 ug/L, V, Si은 모든 지점에서 각각 3.74 ~ 16.44 ug/L, 18.78 ~ 22.99 mg/L의 범위에서 검출되었으나 먹는물 안전성에는 영향을 주지는 않는 것으로 보여진다.

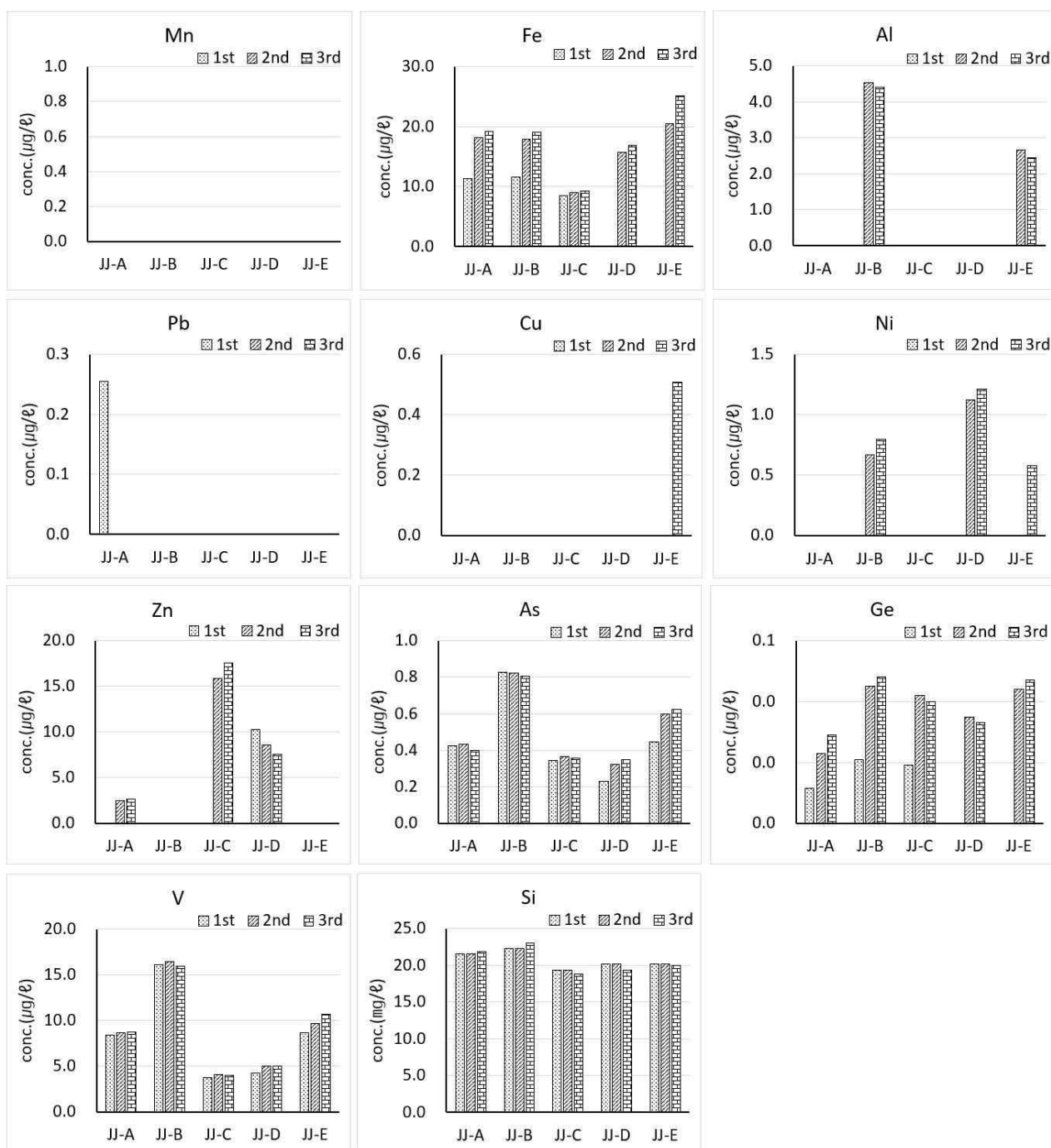


Fig. 3-4-4 Concentration of heavy metals(그림 교체)

## 4.2 조사결과 분석 (Korea)

### 4.2.1 이온성분

#### 4.2.1.1 Hexa diagram

한국의 부산, 경상남도, 전라남도, 제주도 지역의 조사지점은 각각 5개 총 20개소이며, 각 지점별로 3회 조사한 평균값을 이용하여 Hexa diagram을 그렸으며 Fig.4.2.1에 나타내었다.

경상남도와 제주도는 모든 조사지점(A, B, C, D, E)이 거리에 관계없이 지점별 같은 유형의 Hexa diagram을 보였으며, 부산은 5개 지점 중 3개소(B, D, E), 1개소(A), 1개소(C)에서, 전라남도는 2개소(A, C), 1개소(B), 1개소(D), 1개소(E)에서 각각 다른 Hexa diagram을 나타내어 지역 및 지점별 특징을 파악할 수 있다.

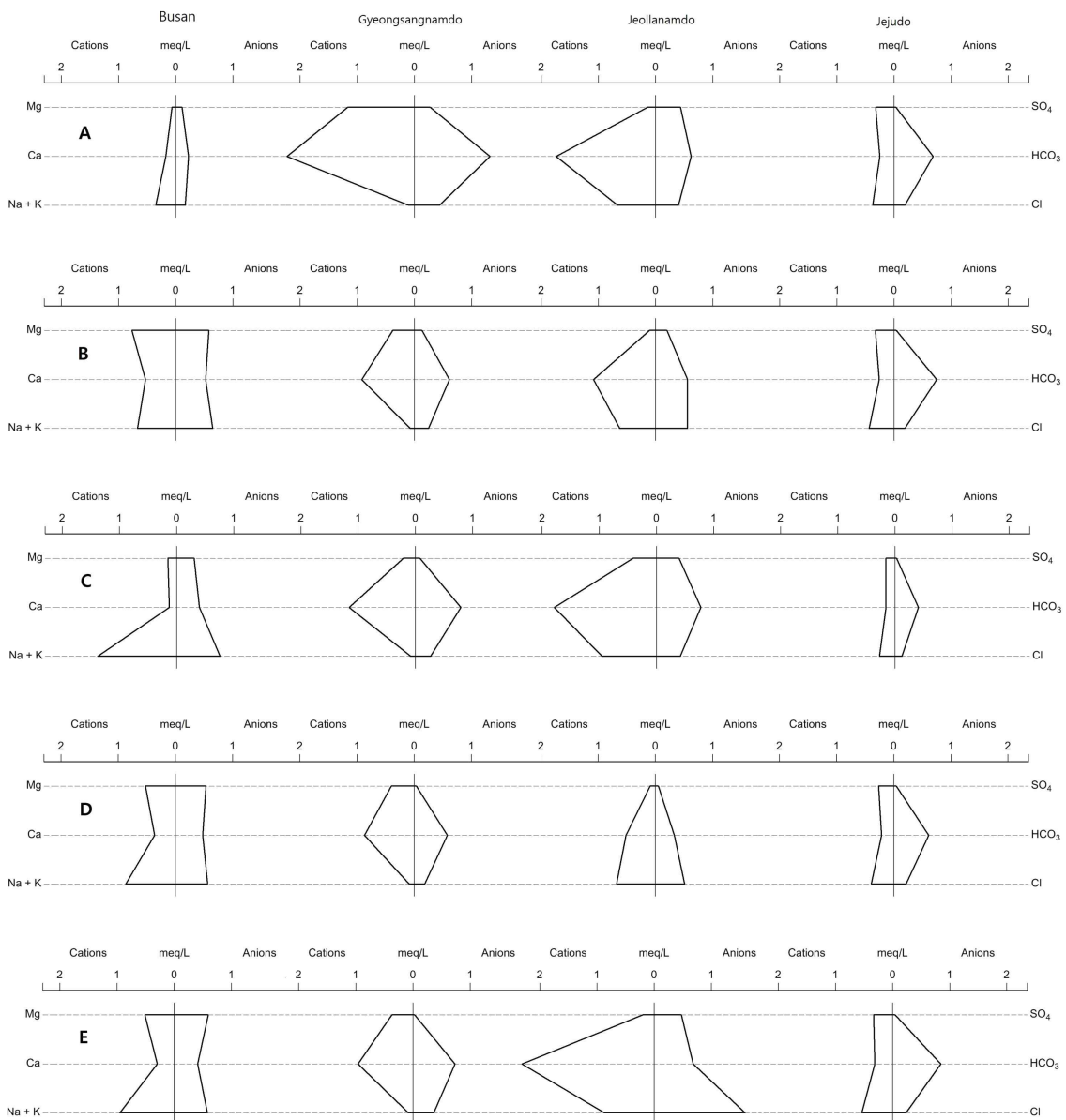


Fig.4.2.1 Comparison of water quality types using Hexa-diagram

#### 4.2.1.2 Trilinear (Piper) diagram

한국의 부산, 경상남도, 전라남도, 제주도 지역의 각 조사지점 5개소에 대한 3회 조사결과의 평균값을 이용하여 Trilinear(Piper) diagram을 도시하였으며 Fig.4.2.2에 나타내었다. 한국의 경우 지역에 따른 뚜렷한 수질유형을 나타내고 있었다. 경상남도와 제주도는 각 지역별 조사지점이 비슷한 수질유형을 나타내고 있으며 I type에 해당된다. 특히 경상남도지역은 양이온 중 Ca비율이 높고 음이온은 Mixed zone에, 제주도지역은 양이온은 Mixed zone에 위치해 있지만 음이온은 높은  $\text{HCO}_3$  형태를 보였다. 따라서 두 지역이 같은 I type에 위치해 있지만 다른 수질유형을 나타냈다. 부산지역의 B, D 지점은 V type, A, C와 E 지점은 III type에 위치해 있다. 그리고 전라남도지역의 A, B, C와 E 지점은 V type, D 지점은 III type에 포함되어 있다. 이러한 수질유형은 지하수의 굴착 깊이와 지질층의 암석조성에 의하여 결정되어진다. 특히 한국의 경우 경상남도지역 E 지점의 지하수 굴착 깊이는 35m로 가장 낮으며, 그 이외의 지점은 100~320m 깊이의 심층지하수로 이루어져 있어 각 지역별 지질에 의한 영향을 뚜렷이 보여주고 있다.

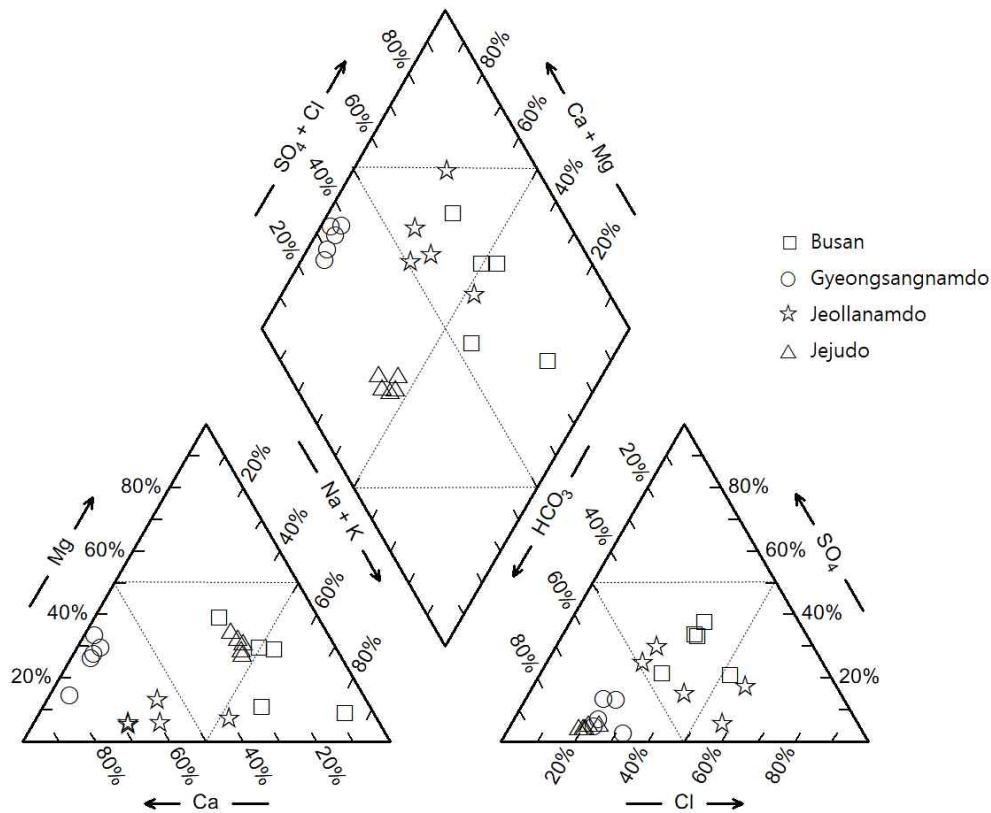


Fig.4.2.2 Comparison of water quality types using Trilinear (Piper) diagram

#### 4.2.1.3 수질조성

조사 지점별 주요 수질조성은 Table 4.2.1에 나타내었다.

부산지역의 B와 D 지점은 Mixed type이며, A, C와 E 지점은 각각  $\text{Na-HCO}_3$ ,  $\text{Na-Cl}$ 와  $\text{Na-Cl(or Na-SO}_4\text{)}$ 의 수질조성을 나타내었다. 경상남도지역은 A, B, C, D와 E 지점 모두  $\text{Ca-HCO}_3$ 의 수질조성을, 전라남도지역의 A, B, C와 E 지점은 Mixed type, D 지점은  $\text{Na-Cl}$ 의 수질조성을 나타내고 있다. 제주도지역은 A와 B 지점은  $\text{Mg-HCO}_3\text{(or Na-HCO}_3\text{)}$ , C, D와 E 지점은  $\text{Na-HCO}_3$ 의 수질특성을 보였다.

Table 4.2.1 Water quality type

Points	Busan	Gyeongsangnamdo	Jeollanamdo	Jejudo
A	Na-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mixed type	Mg-HCO <sub>3</sub> , Na-HCO <sub>3</sub>
B	Mixed type	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mixed type	Mg-HCO <sub>3</sub> , Na-HCO <sub>3</sub>
C	Na-Cl	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mixed type	Na-HCO <sub>3</sub>
D	Mixed type	Ca-HCO <sub>3</sub>	Na-Cl	Na-HCO <sub>3</sub>
E	Na-SO <sub>4</sub> , Na-Cl	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mixed type	Na-HCO <sub>3</sub>

## 4.2.2 중금속

### 4.2.2.1 검출률

한국의 부산, 경상남도, 전라남도, 제주도지역 각 조사지점 5개소에 대한 3회 조사결과의 평균값을 산출하고, 보고하한치와 비교한 검출 율은 Table 4.2.2에 나타내었다. 검출 율이 90% 이상인 항목은 Zn, V와 Si이며, 평균농도 범위는 <1.0~190.0 ug/L, 0.2~16.2 ug/L와 8.4~23.3 mg/L로 조사되었다. 그리고 검출 율 범위가 50 ~ 90%인 항목은 Mn, Fe, Al, Cu, Ni, As와 Ge로 중금속 11개 항목 중 7개 항목이 해당되며, 검출 율이 50% 이하는 Pb 항목이 해당된다.

Table 4.2.2 Detection rate, Maximum Value

Statistics	Unit : Si [mg/L], other metals [ug/L]										
	Mn	Fe	Al	Pb	Cu	Ni	Zn	As	Ge	V	Si
Detection rate	60%	55%	50%	25%	55%	70%	90%	70%	50%	100%	100%
Maximum value	65.3	90.2	5.6	0.2	6.4	4.6	190.0	10.9	4.1	16.2	23.3
Minimum value	<0.1	<1.0	<1.0	<0.1	<0.5	<0.5	<1.0	<0.1	<0.1	0.2	8.4

### 4.2.2.2 최대값

각 중금속 항목의 최대값은 Mn 65.3 ug/L, Fe 90.2 ug/L, Al 5.6 ug/L, Pb 0.2 ug/L, Cu 6.4 ug/L, Ni 4.6 ug/L, Zn 190 ug/L, As 10.9 ug/L, Ge 4.1 ug/L, V 16.2 ug/L와 Si 23.3 mg/L로 조사되었다.

### 4.2.2.3 최소값

각 중금속 항목의 최소값은 V와 Si를 제외한 Mn 등 9개 항목에서 보고하한치 이하로 검출되었다. V, Si 항목의 최소값은 각각 0.2 ug/L, 8.4 mg/L로 나타났다.

### 4.2.2.4 농도 분포

한국측의 중금속 항목별 농도 범위에 따른 검출개수 히스토그램은 그림 Fig. 4.2.3에 나타내었다. 측정횟

수는 4개지역 20개 지점으로 지점별 평균농도를 사용하였으며, X축은 농도범위, Y축은 검출개수(빈도)를 적용하였다. Mn, Fe, Cu, Zn, V의 가장 높은 농도범위는 10-100, 100-1000 ug/L이며, Mn, Fe, Cu는 0 ug/L 가 높은 검출빈도를 보이고 있으나 Zn과 V은 1-10, 10-100과 0.1-1, 1-10 ug/L에 검출빈도가 높게 나타났다. Al, Ni, As, Ge의 가장 높은 농도범위는 1-10 ug/L이다. Pb은 가장 높은 농도범위는 0.1-1 ug/L이지만 0 ug/L 검출빈도가 20개 중 19개로 나타나 대부분이 불검출 된 것으로 조사되었다. Si 최고 농도범위는 20-50 mg/L이며, 10-20 mg/L범위의 검출빈도는 14개로 전체 빈도수의 70%에 해당된다.

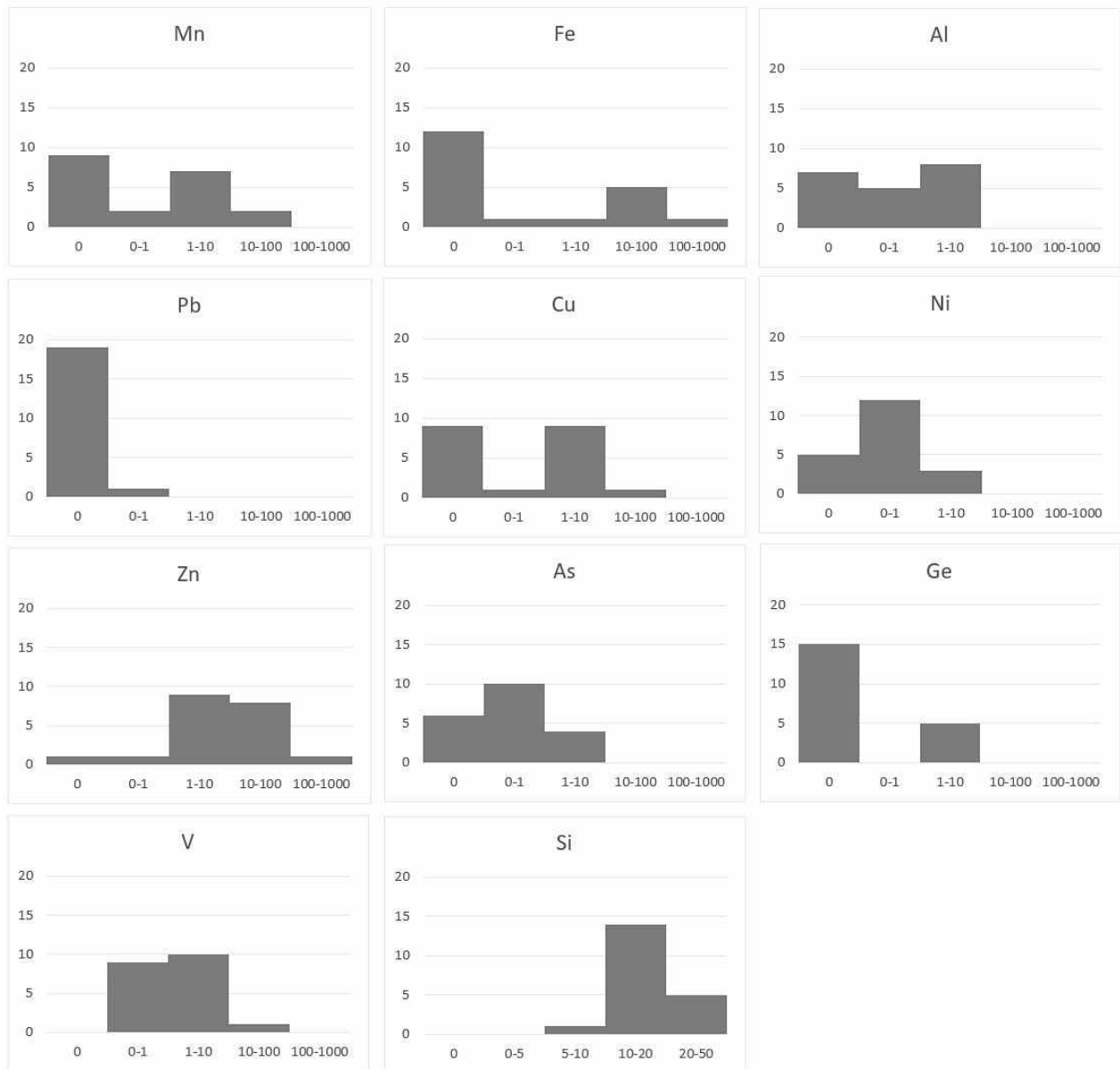


Fig.4.2.3 Histogram of heavy metal concentrations by Items

\* X : Detection count, Y : Concentration(Si : mg/L, Other metals : ug/L)



## V 공동조사의 결과 및 성과

### 5.1 공동조사의 결과

#### 5.1.2 중금속

한국과 일본의 지하수 중금속 성분에 대한 히스토그램을 비교하였다. Al, Cu, Zn, As, Ge, V, Si 성분은 양국간에 서로 비슷한 수질특성을 가지고 있었다. Al은 0, 1-10 ug/L 범위에서 검출빈도가 높았으며, 한국은 각각 7개(35%), 8개(40%), 일본은 7개(35%), 10개(50%)로 나타났다. Cu는 한국이 0, 1-10 ug/L 범위에서 각각 9개(45%), 9개(45%)의 검출빈도를 나타냈지만, 일본측은 0, 1-10 ug/L에서 각각 7개(35%), 6개(30%)의 검출빈도로 조사되었다. Zn은 1-10, 10-100 ug/L 범위에서 검출빈도가 높았으며, 한국은 각각 9개(45%), 8개(40%), 일본은 8개(40%), 5개(25%)로 조사되었다. As는 0-1 ug/L 범위에서 검출빈도가 가장 높았다. 한국은 10개(50%), 일본은 14개(70%)로 나타났다. Ge은 0 ug/L에서 가장 높은 검출빈도를 보였으며, 한국은 15개(75%), 일본은 19개(95%)를 보였다. V은 0-1, 1-10 ug/L 범위에서 검출빈도가 높았으며, 한국은 각각 9개(45%), 10개(50%), 일본은 7개(35%), 10개(50%)로 조사되어 양국간에 비슷한 검출빈도를 보였다. Si는 5-10, 10-20, 20-50 mg/L 범위에서 높은 검출빈도를 보였으며, 한국은 각각 1개(5%), 14개(70%), 5개(25%), 일본은 5개(25%), 9개(45%), 5개(25%)의 검출빈도를 보였다. 그러나 Mn, Fe, Pb, Ni에서 양국간의 뚜렷한 차이를 보였다. Mn의 검출빈도는 일본 0-1 ug/L 범위에서 13개, 한국 0 ug/L 9개, 0-1 ug/L 범위에서 7개로 나타났다. Fe는 일본 1-10 ug/L 범위에서 10개(50%), 한국 0 ug/L에서 12개(60%)이며, Pb는 일본 0-1 ug/L 범위에서 13개(65%), 한국 0 ug/L에서 12개(60%), Ni는 한국 0-1ug/L 범위에서 12개(60%), 일본 0 ug/L에서 13개(65%)로 조사되었다.

따라서 조사지점은 대체로 육상 오염원에 의해 오염되지 않은 깨끗한 지하수로 이루어져 있으며, 중금속의 결과 또한 육상 오염원에 의한 영향보다는 토양 및 지질층에 함유된 중금속 성분이 용탈되어 이루어진 수질특성으로 보여 진다.