

지하수의 성분 등 조사와 한·일 비교

(한·일해협 연안 시도현 환경기술교류)

II. 조사방법

2.1 조사지점

한국과 일본 조사지점은 Fig. 2-1-1에 나타내었고, 조사지점별 위치는 Table 2-1-1, Table 2-1-2에 나타내었다.

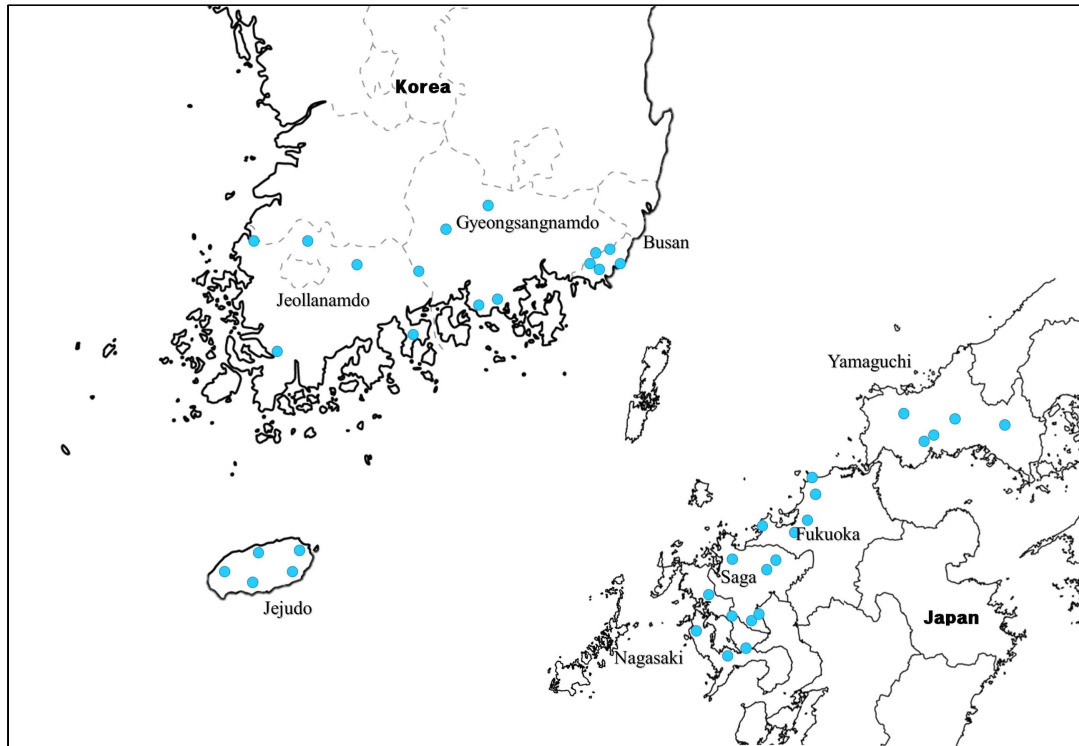


Fig. 2-1-1 sampling sites in Korea and Japan

조사대상 지하수는 한국의 부산 BS-A ~ BS-E 지점 5개소, 경상남도 GN-A ~ GN-E 지점 5개소, 전라남도 JN-A ~ JN-E 지점 5개소, 제주도 JJ-A ~ JJ-E 지점 5개소로 총 20개소를 지역적 대표성을 고려하여 조사지점으로 선정하였다.

일본의 야마구치 YG-A ~ YG-E 지점 5개소, 후쿠오카 FO-A ~ FO-E 지점 5개소, 사가 SG-A ~ SG-E 지점 5개소, 나가사키 NS-A ~ NS-E 지점 5개소로 총 20개소를 지역적 대표성을 고려하여 조사지점으로 선정하였다.

따라서 조사에 참여한 한국과 일본 지하수는 총 40개소이다.

Table 2-1-1 Sampling sites and Location in Korea

| Area | Sampling sites | Location |
|-----------------|----------------|-------------------------------|
| Busan | BS-A | Gaegeumdong, Busanjingu |
| | BS-B | Sajikdong, Dongnaegu |
| | BS-C | Hwamyeongdong, Bukgu |
| | BS-D | Jwadong, Haeundaegu |
| | BS-E | Guseodong, Geumjeonggu |
| Gyeongsangnamdo | GN-A | Hapcheoneup, Hapcheongun |
| | GN-B | Sangnimyeon, Goseonggun |
| | GN-C | Sancheongeup, Sancheonggun |
| | GN-D | Agyangmyeon, Hadonggun |
| | GN-E | Hyangchondong, Sacheonsi |
| Jeollanamdo | JN-A | Bonggyedong, Yeosusi |
| | JN-B | Yongmyeon, Damyanggun |
| | JN-C | Sandongmyeon, Guryegun |
| | JN-D | Yeongameup, Yeongamgun |
| | JN-E | Beopseongmyeon, Yeonggwanggun |
| Jejudo | JJ-A | Pyoseonmyeon, Seogwiposi |
| | JJ-B | Aewoleup, Jejusi |
| | JJ-C | Gangjeongdong, Seogwiposi |
| | JJ-D | Aradong, Jejusi |
| | JJ-E | Gujwaeup, Jejusi |

Table 2-1-2 Sampling sites and Location in Japan

| Area | Sampling sites | Location |
|-----------|----------------|---------------------|
| Yamaguchi | YG-A | Mine city |
| | YG-B | Yamaguchi city |
| | YG-C | Yamaguchi city |
| | YG-D | Yamaguchi city |
| | YG-E | Iwahuni city |
| Fukuoka | FO-A | Itoshima city |
| | FO-B | Nakagawa town(City) |
| | FO-C | Munakata sity |
| | FO-D | Fukutsu city |
| | FO-E | Sue city |
| Saga | SG-A | Saga city |
| | SG-B | Saga city |
| | SG-C | Tara town |
| | SG-D | Tara town |
| | SG-E | Imari city |
| Nagasaki | NS-A | Isahaya City |
| | NS-B | Higashisonogi town |
| | NS-C | Sasebo City |
| | NS-D | Saikai City |
| | NS-E | Nagayo town |

2.2 조사기간 및 방법

2.2.1 조사기간

조사기간 및 조사횟수는 Table 2-2-1-1과 Table 2-2-1-2에 나타내었다.

한국 부산의 조사기간은 1차 2018.6.21., 2차 2018.9.11., 3차 2019.2.18. 시료채취를 실시하였고, 경상남도 1차 2018.6.7.~2018.6.22. 2차 2018.9.31.~2018.10.9. 3차 2019.2.21.~2019.3.5. 시료채취를 하였다. 전라남도 1차 2018.9.13.~2018.9.14. 2일간, 2차 2019.1.17.~2019.1.23.과 3차 2019.2.19.~2019.2.26. 시료를 채취하였으며, 제주도는 1차 2018.2.19.~2018.3.6., 2차 2018.11.26., 3차 2019.1.18.~1.22. 시료채취를 하였다.

Table 2-2-1-1 Sampling date in Korea

| Area | Sampling No. | Sampling date | | | Remarks |
|-----------------|--------------|---------------|-------|-------|---------|
| | | Year | Month | Day | |
| Busan | 1st | 2018 | 6 | 21 | |
| | 2nd | 2018 | 9 | 11 | |
| | 3rd | 2019 | 2 | 18 | |
| Gyeongsangnamdo | 1st | 2018 | 6 | 7~22 | |
| | 2nd | 2018 | 9~10 | 31~9 | |
| | 3rd | 2019 | 2~3 | 21~5 | |
| Jeollanamdo | 1st | 2018 | 9 | 13~14 | |
| | 2nd | 2019 | 1 | 17~23 | |
| | 3rd | 2019 | 2 | 19~26 | |
| Jejudo | 1st | 2018 | 2~3 | 19~6 | |
| | 2nd | 2018 | 11 | 26 | |
| | 3rd | 2019 | 1 | 18~22 | |

Table 2-2-1-2 Sampling date in Japan

| Area | Sampling No. | Sampling date | | | Remarks |
|-----------|--------------|---------------|-------|-----|---------|
| | | Year | Month | Day | |
| Yamaguchi | | | | | |
| | | | | | |
| Fukuoka | | | | | |
| | | | | | |
| Saga | | | | | |
| | | | | | |
| Nagasaki | | | | | |
| | | | | | |

2.2.2 측정방법

조사항목에 대한 분석방법은 Table 2-2-2-1에 나타내었다.

일반항목은 기온 등 7개이며, 기온, 수온은 온도측정기, pH는 유리전극법, 전기전도도는 전도도법, DO는 한국은 전극법, 일본은 전극법과 적정법을 같이 사용하고 있다. 색도는 한국이 전극법, 일본은 흡광도법, 탁도는 한국이 광산란법, 일본은 흡광도법을 사용하고 있어 일부항목에서 측정방법 차이가 있었다.

이온항목은 11개이며, 한국과 일본 모두 동일한 시험방법을 사용하고 있다. 중탄산이온을 제외한 나머지 10개 항목에서 이온크로마토 그래피법을 사용하고 있고, 중탄산이온은 적정법을 사용하고 있다.

중금속항목은 11개이며, Si(규소)를 제외한 10개 항목에서 ICP-MS 분광광도법을 사용하고 Si는 한국은 ICP 분광광도법, 일본은 흡광광도법을 사용하고 있다.

Table 2-2-2-1 Analysis method by Items

| Items | | | Methods |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------|--|
| General items (7) | 기온 | Temperatures | Thermometer |
| | 수온 | Water temperatures | Thermometer |
| | pH | Hydrogen ion concentration | Glass electrode method |
| | 전기전도도 | Electric conductivity | Electrode method |
| | DO | Dissolved oxygen | KR Electrode method JP Electrode method, Titrimetry |
| | 색도 | Chromaticity | KR Electrode method JP Absorptiometry |
| | 탁도 | Turbidity | KR Light Scattering Method JP Absorptiometry |
| Ion items (11) | SO ₄ ⁴⁻ | Sulfate ion | Ion chromatography |
| | NO ₃ ⁻ | Nitrate | Ion chromatography |
| | Cl ⁻ | Chlorine ion | Ion chromatography |
| | HCO ₃ ⁻ | Bicarbonate ion | Titrimetry |
| | NO ₂ ⁻ | Nitrite | Ion chromatography |
| | F ⁻ | Fluorine ion | Ion chromatography |
| | Na ⁺ | Sodium | Ion chromatography |
| | K ⁺ | Potassium | Ion chromatography |
| | Ca ₂ ⁺ | Calcium | Ion chromatography |
| | Mg ₂ ⁺ | Magnesium | Ion chromatography |
| | NH ₄ ⁺ | Ammonium | Ion chromatography |
| Heavy metal (11) | Mn | Manganese | ICP-mass spectrometry |
| | Fe | Iron | ICP-mass spectrometry |
| | Al | Aluminum | ICP-mass spectrometry |
| | Pb | Lead | ICP-mass spectrometry |
| | Cu | Copper | ICP-mass spectrometry |
| | Ni | Nickel | ICP-mass spectrometry |
| | Zn | Zinc | ICP-mass spectrometry |
| | As | Arsenic | ICP-mass spectrometry |
| | Ge | Germanium | ICP-mass spectrometry |
| | V | Vanadium | ICP-mass spectrometry |
| | Si | Silicon | KR ICP-OES JP Absorptiometry |

* KR : Korea, JP : Japan

2.2.2 조사방법

한국측의 시료채취, 보관 및 분석방법은 먹는물공정시험기준(Drinking Water Quality Test Standards in South Korea)에 준하여 시행하였다.

2.3 해석방법

2.3.1 Hexa diagram

Hexa diagram은 물 시료의 주요 이온성분의 구성을 시각적으로 보여주기 위하여 다각형 모양의 도표에서 가운데 수직으로 0 축을 중심으로 오른쪽에는 음이온, 왼쪽에는 양이온이 위치하게 된다. 단위는 meq/L가 사용된다. 주로 지하수의 수질 흐름을 시각화하거나 지점별 시간에 따른 이온성분 변화를 표시하는데 사용되어 진다.

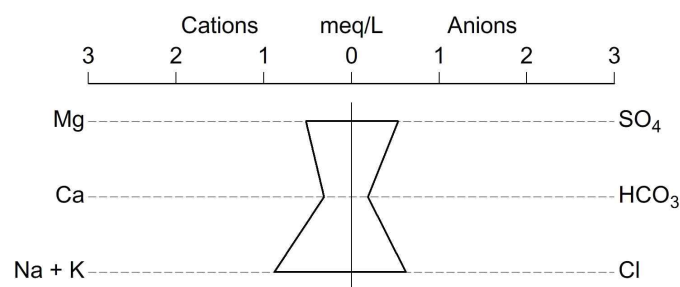


Fig. 2-3-1 Hexa diagram

2.3.2 Piper(Trilinear) diagram

지하수의 수질 특성을 분석하기 위한 그래프로서 주요 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$)과 음이온($\text{HCO}_3^{-}+\text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} , Cl^{-})의 당량농도(equivalent concentration)의 상대적인 비율을 삼각형과 마름모 형태의 도표에 도시한 것이다. 왼쪽아래에 있는 삼각도표에는 양이온의 상대적 비율이 도시되고 오른쪽 아래에 있는 삼각도표에는 음이온의 상대적 비율이 도시된다. 그리고 중간 위쪽에 있는 마름모 도표에는 아래 양 삼각도표의 바깥쪽 경계선과 나란한 선을 확장함으로써 양이온과 음이온의 상대 비율이 함께 도시되게 된다. Piper(Trilinear) diagram은 시각적으로 물의 특성을 표현함으로써 여러 지역에서 채취된 지하수의 수질 유형을 한눈에 파악하는데 유용하게 사용될 수 있다.

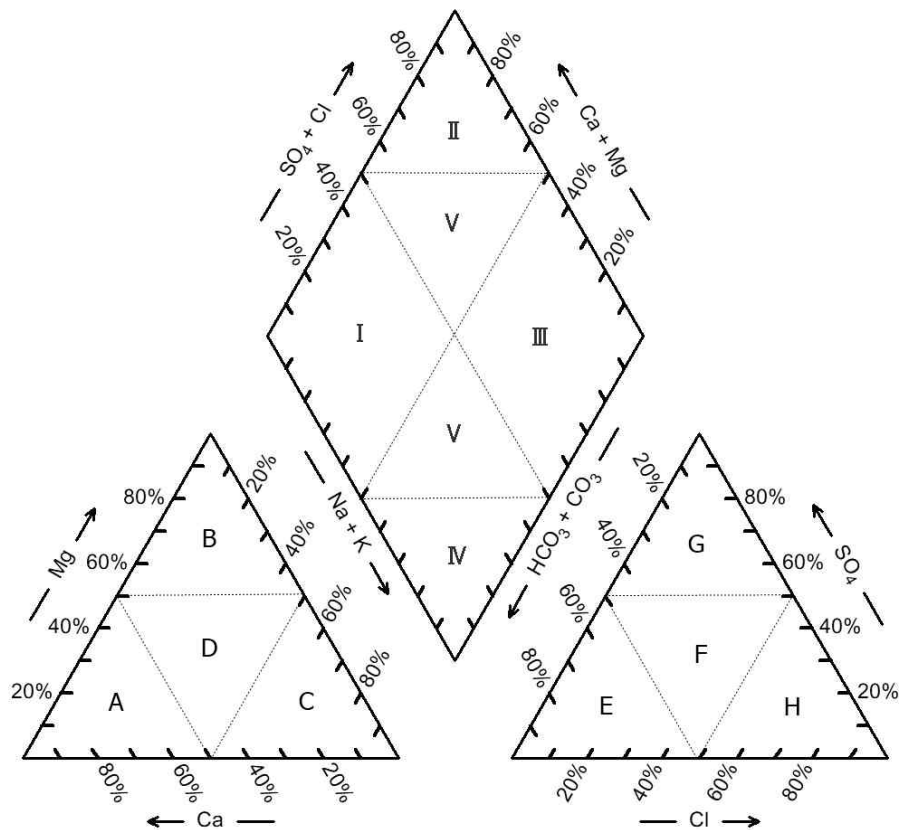


Fig. 2-3-2 Piper(Trilinear) diagram

• Piper(Trilinear) diagram interpretation for groundwater

I : Ca-HCO_3 , Mg-HCO_3 type

II : Ca-Cl , Ca-SO_4 type

III : Na-Cl , Na-SO_4 type

IV : Na-HCO_3 type

V : Mixed type

A : Ca type

B : Mg type

C : Na + K type

D : No dominant type

E : HCO_3 type

F : SO_4 type

G : Cl type

H : No dominant type

2.3.3 중금속 해석

- 각 지역별 조사지점과 측정회수, 중금속 농도에 따른 Histogram을 작성하여 비교하였다.
- 국가별 보고 하한치 이상 검출된 항목의 검출율을 계산하고, 최고값, 최소값 등을 산정하여 중금속 결과를 비교분석하였다.
- 항목별 중금속 농도 범위에 따른 검출빈도를 계산하여 항목별 빈도수를 파악하고 먹는물(음용수) 수질기준과 비교하였다.

2.4 보고 하한치

조사항목에 따른 보고하한치는 Table 2-4-1에 나타내었다.

보고하한치는 여러 분석기관이 측정값을 일률적으로 평가하기 위해 편의적으로 설정하는 공통의 하한치를 말하며, 탁도 항목에서 한국은 NTU(Nephelo-metric Turbidity Unit), 일본은 도(度) 단위를 사용하고 있는 특징을 가지고 있다.

Table 2-4-1 Lower reporting limit by items

| Items | | | Lower reporting limit* |
|----------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| General items (7) | 기온 | Temperatures | - |
| | 수온 | Water temperatures | - |
| | pH | Hydrogen ion concentration | - |
| | 전기전도도 | Electric conductivity | 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| | DO | Dissolved oxygen | 0.5 mg/L |
| | 색도 | Chromaticity | 1 도 |
| | 탁도 | Turbidity | KR 0.5 NTU, JP 0.5 도 |
| Ion items (11) | SO_4^{4-} | Sulfate ion | 0.1 mg/L |
| | NO_3^- | Nitrate | 0.05 mg/L |
| | Cl^- | Chlorine ion | 0.1 mg/L |
| | HCO_3^- | Bicarbonate ion | 5 mg/L |
| | NO_2^- | Nitrite | 0.05 mg/L |
| | F^- | Fluorine ion | 0.05 mg/L |
| | Na^+ | Sodium | 0.1 mg/L |
| | K^+ | Potassium | 0.1 mg/L |
| | Ca_2^+ | Calcium | 0.1 mg/L |
| | Mg_2^+ | Magnesium | 0.1 mg/L |
| | NH_4^+ | Ammonium | 0.02 mg/L |
| Heavy metal (11) | Mn | Manganese | 0.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Fe | Iron | 1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Al | Aluminum | 1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Pb | Lead | 0.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Cu | Copper | 0.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Ni | Nickel | 0.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Zn | Zinc | 1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | As | Arsenic | 0.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Ge | Germanium | 0.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | V | Vanadium | 0.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| | Si | Silicon | 5 mg/L |

*보고 하한치는 여러 분석기관이 분석한 값에 대해 일률적으로 평가하기 위해 편의적으로 설정하는 공통의 하한치를 말한다.

III. 각 시·도·현의 조사결과

3.1 Busan

3.1.1 조사지점

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

지점 BS-A는 부산진구 개금동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 152m, 양수량은 200 m³/d이고, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 흑운모화강암(Biotite granite)이다.

지점 BS-B는 동래구 사직동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 100m, 양수량은 100 m³/d이고, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 화강섬록암(Granodiorite)이다.

지점 BS-C는 북구 화명동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 120m, 양수량은 40 m³/d이고, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 각감석 화강암(Amphibole granite)이다.

지점 BS-D는 해운대구 좌동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 130m, 양수량은 100 m³/d이고, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 라필리응회암류(Lapilli tuff)이다.

지점 BS-E는 금정구 구서동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 100m, 양수량은 60 m³/d이고, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 화강암류(Granite)이다.

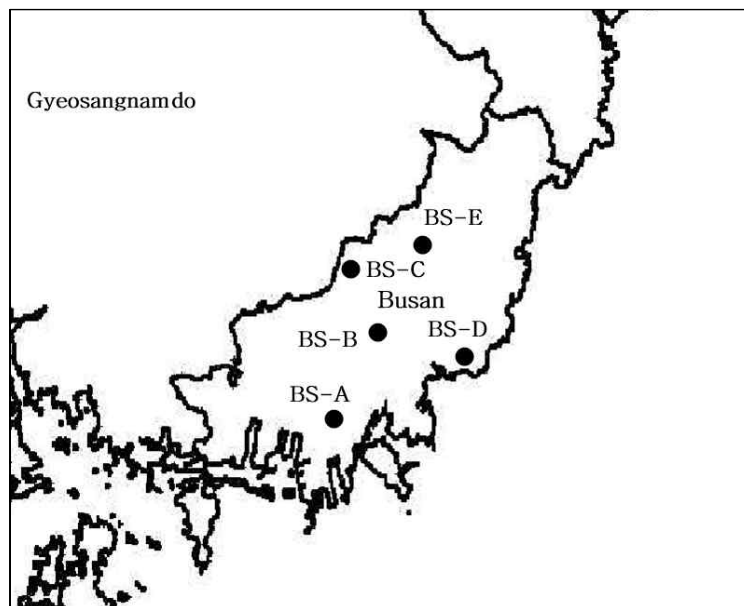


Fig. 3-1-1 Map of sampling sites

Table 3-1-1 Sampling sites status

| Sampling sites | Location | well type | well depth m | pump discharge m ³ /d | use | situation around the well | geology (Rocktype) |
|----------------|-------------------------|--------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|
| BS-A | Gaegu-dong, Busan-jingu | machine well | 152 | 200 | drinking water | Residential area | Biotite granite |
| BS-B | Sajik-dong, Dongnaegu | machine well | 100 | 100 | drinking water | Residential area | Granodiorite |
| BS-C | Hwamyeong-dong, Bukgu | machine well | 120 | 40 | drinking water | Residential area | amphibolite granite |
| BS-D | Jwadong, Haeundaegu | machine well | 130 | 100 | drinking water | Residential area | lapilli tuff |
| BS-E | Guseodong, Geumjeonggu | machine well | 100 | 60 | drinking water | Residential area | granite |

3.1.2 조사일자

조사 시간과 강수량은 Table 3-1-2에 나타내었다.

조사기간은 2018년 2월부터 2019년 3월까지 14개월간 3회에 걸쳐 시료채취하고 분석하였다.

강수량은 기상청 자료에서 조사지점 소재지와 가장 가까운 관측지점의 데이터를 활용하였다.

각 지점별 조사시간 중 1회차를 제외하고는 모두 맑은 날씨를 보였다. 그러나 1회차 조사 2일전에 6.8 mm 강우량을 기록했으나 강우량이 적어 지하수에 영향은 없는 것으로 보여진다.

Table 3-1-2 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) | |
| BS-A | 1st | 2018 | 6 | 21 | 12:00 | sunny | - | cloudy | - | rainy | 6.8 |
| | 2nd | 2018 | 9 | 11 | 14:30 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| | 3rd | 2019 | 2 | 18 | 13:50 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| BS-B | 1st | 2018 | 6 | 21 | 13:00 | sunny | - | cloudy | - | rainy | 6.8 |
| | 2nd | 2018 | 9 | 11 | 13:30 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| | 3rd | 2019 | 2 | 18 | 14:30 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| BS-C | 1st | 2018 | 6 | 21 | 15:00 | sunny | - | cloudy | - | rainy | 6.8 |
| | 2nd | 2018 | 9 | 11 | 16:40 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| | 3rd | 2019 | 2 | 18 | 16:50 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| BS-D | 1st | 2018 | 6 | 21 | 11:00 | sunny | - | cloudy | - | rainy | 6.8 |
| | 2nd | 2018 | 9 | 11 | 11:00 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| | 3rd | 2019 | 2 | 18 | 15:30 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| BS-E | 1st | 2018 | 6 | 21 | 10:00 | sunny | - | cloudy | - | rainy | 6.8 |
| | 2nd | 2018 | 9 | 11 | 16:00 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |
| | 3rd | 2019 | 2 | 18 | 16:20 | cloudy | - | sunny | - | sunny | - |

3.1.3 조사결과

일반항목, 주요 이온, 중금속 조사결과 Table 3-1-3에 나타내었다.

Table 3-1-3 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 |
| BS-A | 1st | 30.0 | 17.0 | 7.8 | 4.9 | 70.5 | <1 | <0.5 |
| | 2nd | 23.0 | 16.0 | 7.8 | 3.9 | 78.9 | <1 | <0.5 |
| | 3rd | 8.0 | 15.0 | 7.9 | 2.0 | 66.2 | <1 | <0.5 |
| BS-B | 1st | 30.0 | 19.2 | 7.4 | 5.2 | 185.7 | <1 | <0.5 |
| | 2nd | 23.0 | 18.5 | 7.3 | 4.0 | 214.6 | <1 | <0.5 |
| | 3rd | 10.0 | 17.5 | 7.5 | 2.2 | 200.6 | <1 | <0.5 |
| BS-C | 1st | 30.0 | 16.5 | 7.6 | 4.3 | 165.3 | <1 | <0.5 |
| | 2nd | 22.0 | 17.1 | 7.9 | 2.8 | 180.1 | <1 | <0.5 |
| | 3rd | 9.0 | 17.0 | 7.9 | 2.0 | 162.7 | <1 | <0.5 |
| BS-D | 1st | 29.0 | 18.5 | 6.5 | 5.0 | 177.2 | <1 | <0.5 |
| | 2nd | 22.0 | 18.0 | 6.4 | 3.6 | 191.8 | <1 | <0.5 |
| | 3rd | 9.0 | 15.5 | 6.3 | 2.4 | 170.7 | <1 | <0.5 |
| BS-E | 1st | 29.0 | 17.5 | 6.8 | 4.5 | 173.4 | <1 | <0.5 |
| | 2nd | 23.0 | 17.0 | 6.7 | 3.9 | 188.5 | <1 | <0.5 |
| | 3rd | 9.0 | 16.5 | 6.6 | 2.6 | 177.1 | <1 | <0.5 |

Ion analysis results

| sampling name | sampling frequency | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|
| | | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | F ⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | NH ₄ ⁺ |
| | | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L |
| BS-A | 1st | 5.46 | 5.64 | 6.13 | 13.10 | <0.05 | 0.48 | 7.61 | 0.32 | 3.63 | 0.75 | <0.02 |
| | 2nd | 5.36 | 6.19 | 6.18 | 14.63 | <0.05 | 0.44 | 7.82 | 0.35 | 3.82 | 0.76 | <0.02 |
| | 3rd | 4.66 | 4.63 | 5.31 | 13.54 | <0.05 | 0.50 | 8.05 | 0.37 | 2.95 | 0.80 | <0.02 |
| BS-B | 1st | 23.98 | 10.50 | 19.21 | 31.96 | <0.05 | <0.05 | 14.05 | 1.27 | 9.93 | 7.21 | <0.02 |
| | 2nd | 28.66 | 12.09 | 25.23 | 35.21 | <0.05 | <0.05 | 15.21 | 0.88 | 11.87 | 10.33 | <0.02 |
| | 3rd | 30.83 | 13.35 | 24.47 | 28.17 | <0.05 | <0.05 | 15.26 | 0.83 | 10.03 | 10.45 | <0.02 |
| BS-C | 1st | 14.22 | 6.53 | 24.26 | 27.08 | <0.05 | 0.50 | 30.34 | 0.49 | 2.84 | 1.83 | <0.02 |
| | 2nd | 15.67 | 5.41 | 27.16 | 26.54 | <0.05 | 0.54 | 32.11 | 0.57 | 2.79 | 1.95 | <0.02 |
| | 3rd | 14.25 | 5.45 | 29.54 | 19.50 | <0.05 | 0.58 | 31.75 | 0.49 | 2.06 | 1.74 | <0.02 |
| BS-D | 1st | 24.01 | 6.28 | 17.34 | 30.88 | <0.05 | <0.05 | 17.68 | 2.47 | 7.64 | 5.98 | <0.02 |
| | 2nd | 27.04 | 5.46 | 20.78 | 31.42 | <0.05 | <0.05 | 19.15 | 2.91 | 8.07 | 6.78 | <0.02 |
| | 3rd | 25.64 | 5.54 | 22.02 | 24.40 | <0.05 | <0.05 | 18.54 | 2.80 | 6.26 | 6.31 | <0.02 |
| BS-E | 1st | 25.54 | 8.50 | 17.21 | 27.63 | <0.05 | 0.13 | 20.39 | 0.26 | 6.13 | 5.75 | <0.02 |
| | 2nd | 29.32 | 9.20 | 20.89 | 27.08 | <0.05 | 0.12 | 22.26 | 0.32 | 6.47 | 6.25 | <0.02 |
| | 3rd | 31.19 | 9.59 | 23.74 | 20.52 | <0.05 | 0.19 | 22.50 | 0.45 | 5.29 | 6.76 | <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 |
| BS-A | 1st | <0.1 | <1.0 | <1.0 | <0.1 | <0.5 | <0.5 | 1.73 | 0.96 | <0.1 | 0.11 | 10.37 |
| | 2nd | <0.1 | <1.0 | <1.0 | <0.1 | 0.69 | <0.5 | 2.59 | 0.89 | <0.1 | 0.60 | 10.18 |
| | 3rd | <0.1 | <1.0 | 1.25 | <0.1 | <0.5 | <0.5 | 1.64 | 0.92 | <0.1 | <0.1 | 9.94 |
| BS-B | 1st | 0.22 | 4.08 | 2.23 | 0.14 | 6.62 | 0.86 | 47.43 | 0.23 | <0.1 | 1.32 | 14.88 |
| | 2nd | 1.11 | <1.0 | 1.40 | 0.16 | 6.35 | <0.5 | 46.16 | 0.18 | <0.1 | 2.17 | 17.85 |
| | 3rd | 0.25 | <1.0 | 1.03 | <0.1 | 6.36 | 0.64 | 35.23 | 0.13 | <0.1 | 1.64 | 16.44 |
| BS-C | 1st | <0.1 | <1.0 | <1.0 | <0.1 | 1.25 | <0.5 | 6.05 | 1.73 | <0.1 | 0.28 | 8.97 |
| | 2nd | 0.14 | <1.0 | <1.0 | <0.1 | 0.61 | <0.5 | 14.60 | 2.27 | <0.1 | 0.92 | 7.77 |
| | 3rd | <0.1 | <1.0 | <1.0 | <0.1 | 0.68 | <0.5 | 4.61 | 2.55 | <0.1 | 0.21 | 8.51 |
| BS-D | 1st | 17.91 | <1.0 | <1.0 | 0.16 | 5.13 | <0.5 | 6.59 | 0.32 | <0.1 | 1.07 | 23.21 |
| | 2nd | 16.96 | <1.0 | <1.0 | 0.29 | 6.98 | <0.5 | 8.53 | 0.41 | <0.1 | 1.67 | 21.27 |
| | 3rd | 12.26 | <1.0 | <1.0 | 0.16 | 3.82 | <0.5 | 4.91 | 0.40 | <0.1 | 1.18 | 22.92 |
| BS-E | 1st | 0.10 | <1.0 | <1.0 | <0.1 | 1.18 | <0.5 | 5.58 | 0.86 | <0.1 | 0.10 | 23.22 |
| | 2nd | 0.53 | <1.0 | <1.0 | 0.10 | 2.24 | <0.5 | 12.27 | 1.09 | <0.1 | 0.55 | 22.01 |
| | 3rd | 0.23 | <1.0 | <1.0 | <0.1 | 1.23 | <0.5 | 8.36 | 1.07 | <0.1 | <0.1 | 24.66 |

3.1.4 수질특성

3.1.4.1 주요 이온성분

Hexa diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-1-2에 나타내었다. 1차, 2차, 3차에 걸친 수질분석결과와 지점별 수질유형이 모두 비슷하게 나왔다. 이는 지점별 수질이 안정적이며 계절 및 기후에 따른 수질변화도 거의 없는 것으로 보여 진다. Hexa diagram에 의한 수질유형은 BS-A와 BS-B, BS-D, BS-E, 그리고 BS-C의 3가지 형태를 갖고 있으며, BS-C 지점은 강한 Na-Cl의 수질을 나타내었다. BS-A 지점은 이온성분이 적은 깨끗한 수질을 보여주며, BS-B, BS-D, BS-E 지점은 전형적인 심층지하수의 수질 형태를 보였다.

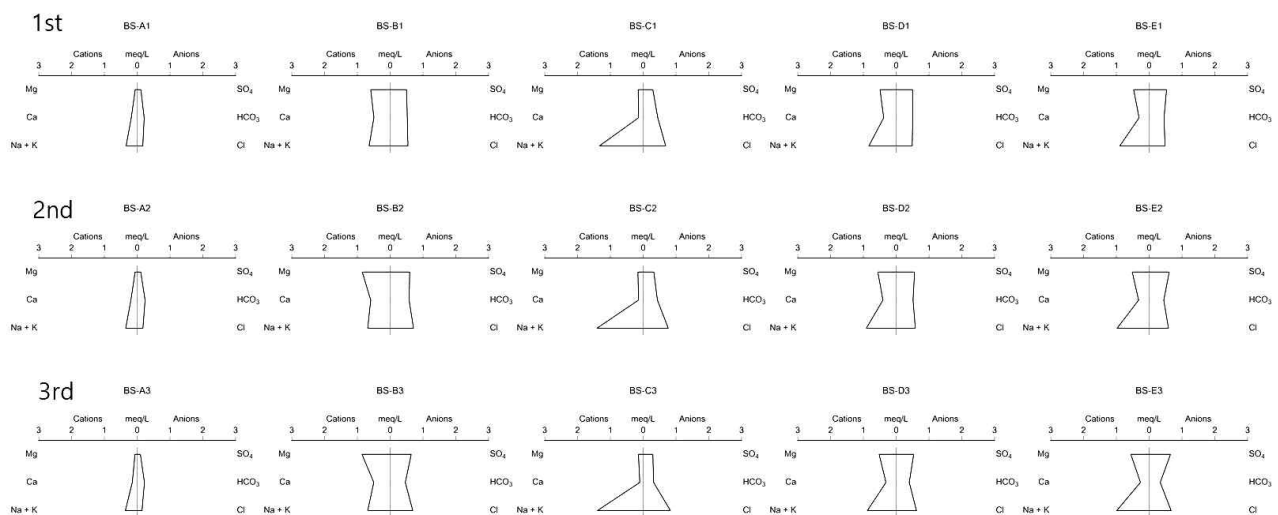


Fig. 3-1-2 Comparison of water quality types using Hexa-diagram

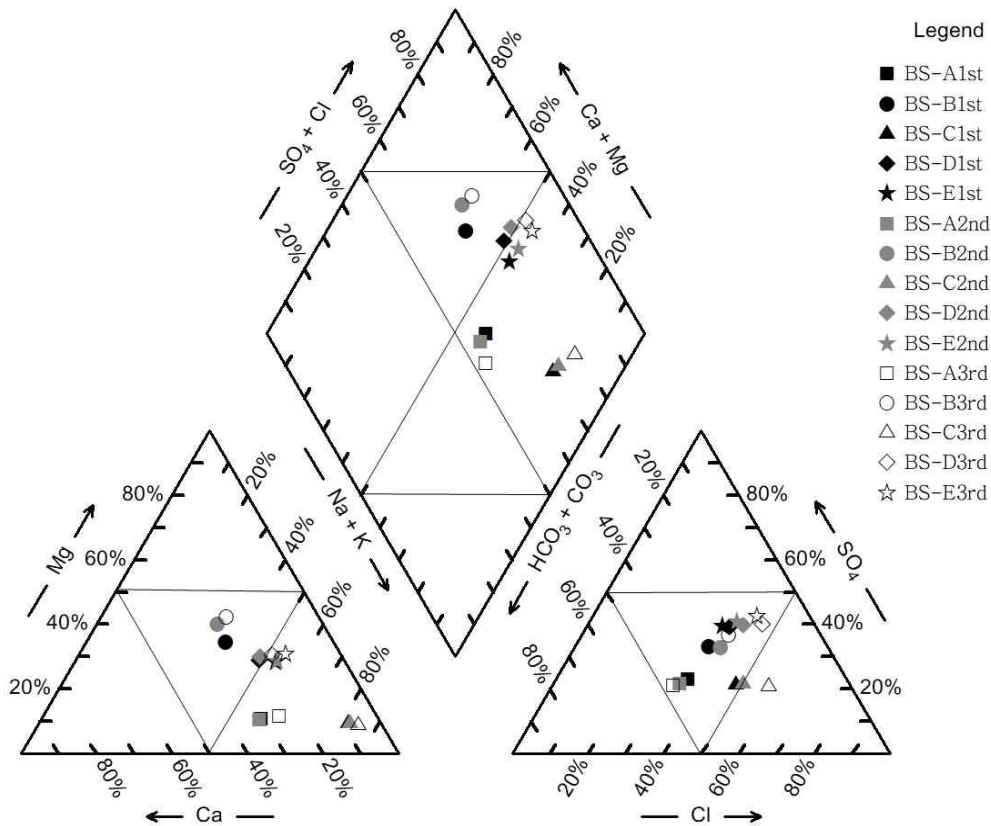


Fig. 3-1-3 Piper(Trilinear) diagram

Table 3-1-4 Water quality types of groundwater

| Number of Sampling | A | B | C | D | E |
|--------------------|---------------------|------------|-------|------------|--------------------|
| 1st | Na-HCO ₃ | mixed type | Na-Cl | mixed type | Na-SO ₄ |
| 2nd | Na-HCO ₃ | mixed type | Na-Cl | mixed type | Na-SO ₄ |
| 3rd | Na-HCO ₃ | mixed type | Na-Cl | Na-Cl | Na-Cl |

Piper(Trilinear) diagram을 이용한 수질유형은 Fig. 3-1-3, Table 3-1-4에 나타내었다. Piper(Trilinear) diagram 구역별 구분은 I : Ca-HCO₃, Mg-HCO₃ type, II : Ca-Cl, Ca-SO₄ type, III : Na-Cl, Na-SO₄ type, IV : Na-HCO₃ type, V : Mixed type의 수질형태를 갖는다. BS-A는 Na-HCO₃, BS-B는 mixed type, BS-C는 Na-Cl, BS-D는 mixed type과 Na-Cl, BS-E는 Na-Cl과 Na-SO₄형의 수질유형을 보였다. 해수의 간접영향이나 부산지역에 넓게 분포된 화강암지질 영향으로 인한 심층지하수의 특징으로 보여진다.

3.1.4.2 중금속

지점 BS-A에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Zn 1.64~2.59 µg/L, As 0.89~0.96 µg/L, Si 9.94~10.37 mg/L의 범위로 나타났으며, 다른 지하수의 수질보다 높은 농도를 보이는 항목은 없었

다. 그리고 Cu, V 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Mn, Fe, Pb, Ni, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 BS-B에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Mn 0.22~1.11 µg/L, Cu 6.35~6.62 µg/L, Zn 35.23~47.43 µg/L, As 0.13~0.23 µg/L, V 1.32~2.17 µg/L, Si 14.88~17.85 mg/L의 범위로 나타났으며, 특히 Al, Cu, Zn, V 항목은 다른 지하수 수질보다 다소 높은 농도를 나타내었다. 그리고 Fe, Pb, Ni 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 BS-C에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Cu 0.61~1.25 µg/L, Zn 4.61~14.60 µg/L, As 1.73~2.55 µg/L, V 0.21~0.92 µg/L, Si 7.77~8.97 mg/L의 범위로 나타났으며, As 항목은 다른 지하수 수질보다 높은 농도를 나타내었다. 그리고 Mn 항목은 3회 조사 중 1회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Fe, Al, Pb, Ni, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 BS-D에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Mn 12.26~17.91 µg/L, Pb 0.16~0.29 µg/L, Cu 3.82~6.98 µg/L, Zn 4.91~8.53 µg/L, As 0.32~0.41 µg/L, V 1.07~1.67 µg/L, Si 21.27~23.21 mg/L의 범위로 나타났으며, Mn, Cu, V, Si에서 다른 지하수 수질보다 높거나 비슷한 농도를 나타내었다. 그리고 Fe, Al, Ni, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

지점 BS-E에서 3회 모두 보고하한치 이상 검출된 항목은 Mn 0.10~0.53 µg/L, Cu 1.18~2.24 µg/L, Zn 5.58~12.27 µg/L, As 0.86~1.09 µg/L, Si 22.01~24.66 mg/L의 범위로 나타났으며, Si 항목은 다른 지하수 수질보다 높은 농도를 나타내었다. 그리고 Pb, V 항목은 3회 조사 중 1~2회 보고하한치 이상으로 검출되었으며, Fe, Al, Ni, Ge 항목은 3회 조사 모두 보고하한치 이하로 나타났다.

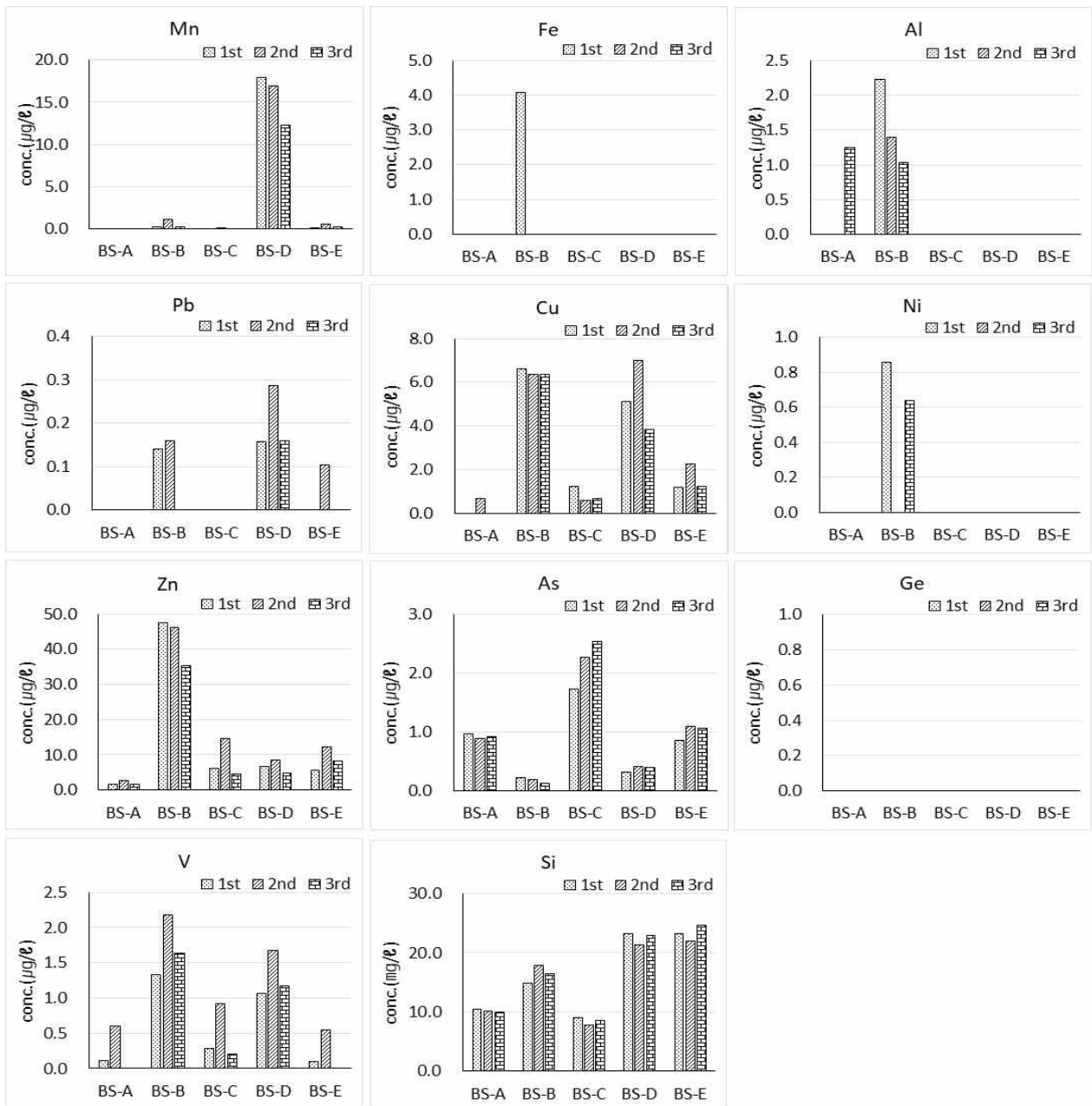


Fig. 3-1-4 Concentration of heavy metals

3.1.5 정리

- Hexa diagram을 이용한 수질분석에서 시료채취 시기(1차, 2차, 3차)별 수질변화는 모든 지점에서 나타나지 않고 안정된 수질을 보였으나 수질유형은 BS-A와 BS-B, BS-D, BS-E, 그리고 BS-C의 3가지 수질을 가지고 있어 도심지 주거지역에 위치해 있지만 지하수를 형성하는 환경이 다른 것으로 보여진다.
- Piper(Trilinear) diagram에서는 BS-A, BS-C, BS-E 지점이 III구역 Na-Cl, Na-SO₄ type으로 BS-B, BS-D 지점은 여러 가지 이온이 비슷하게 혼합된 Mixed type으로 나타났다. 지리적 영향으로 인한 해수의 밀접한 영향과 화강암지질의 심층지하수 특징을 나타내고 있다.
- 중금속은 한국의 먹는물 수질기준에 모두 적합하였다. 수질기준에 포함되어 있지 않은 Ni, V, Si 중 Ni

은 BS-B지점에서 0.64~0.86 ug/L, V와 Si는 모든 지점에서 각각 0.10~2.17 ug/L, 7.77~24.66 mg/L의 범위로 검출되었으나 먹는물 안전성에는 영향을 주지는 않는 것으로 보여진다.

3.2 Gyeongsangnamdo

3.2.1 조사지점

조사지점은 Fig. 3-2-1, 조사지점 현황은 Table 3-2-1에 나타내었다.

지점 GN-A는 함천군 함천읍에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 105m, 양수량은 650 m³/d이고, 지하수 주변은 주거지역에 해당되며 생활용수로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 퇴적암류(Sedimentary rock)이다.

지점 GN-B는 고성군 상리면에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 122m, 양수량은 150 m³/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 화강암(Granite)이다.

지점 GN-C는 산청군 산청읍에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 110m, 양수량은 98 m³/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 퇴적암류(Sedimentary rock)이다.

지점 GN-D는 하동군 악양면에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 100m, 양수량은 200 m³/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 먹는물로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 반상변정질편마암(Porphyroblastic Gneiss)이다.

지점 GN-E는 사천시 향촌동에 위치해 있으며 기계식으로 굴착한 지하수이다. 심도는 35m, 양수량은 288 m³/d이고, 지하수 주변은 농경지 지역에 해당되며 농업용수로 사용하고 있다. 대표적인 지질은 역암(Conglomerate)이다.

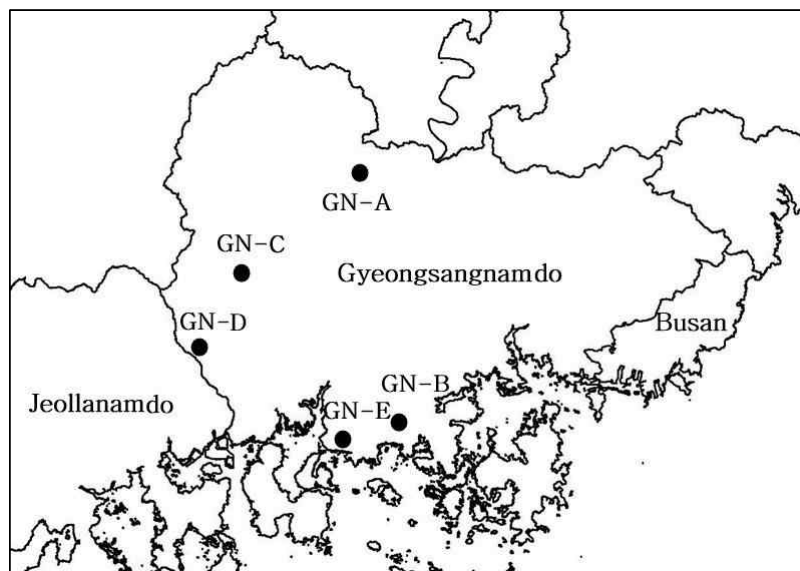


Fig. 3-2-1 Map of sampling sites

Table 3-2-1 Sampling sites status

| Sampling sites | Location | well type | well depth m | pump discharge m3/d | use | situation around the well | geology (Rocktype) |
|----------------|----------------------------|--------------|-----------------|------------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|
| GN-A | Hapcheoneup, Hapcheongun | machine well | 105 | 650 | Life water | Residential area | Sedimentary rock |
| GN-B | Sangnimyeon, Goseonggun | machine well | 122 | 150 | drinking water | Rural area | Granite |
| GN-C | Sandheongeup, Sandheonggun | machine well | 110 | 98 | drinking water | Rural area | Sedimentary rock |
| GN-D | Agyangmyeon, Hadonggun | machine well | 100 | 200 | drinking water | Rural area | Porphyroblastic Gneiss |
| GN-E | Hyangchondong, Sacheonsi | machine well | 35 | 288 | Industrial water | Rural area | Conglomerate |

3.2.2 조사일자

3.1.2 조사일자

조사 시간과 강수량은 Table 3-2-2에 나타내었다.

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

강우량은 기상청 자료에서 조사지점 소재지와 가장 가까운 관측지점의 데이터를 활용하였다.

각 지점별 조사시간 중 GN-B 지점의 2회차 시료채취 1일전에 30.3mm, GN-D와 GN-E 지점의 3회차에 각각 42.4, 42.4mm의 강우량을 보였으나 지하수에 영향을 미치고 있는지는 판단할 수 없었다.

Table 3-2-2 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) | |
| GN-A | 1st | 2018 | 6 | 7 | 14:10 | sunny | — | sunny | — | rainy | 0.1 |
| | 2nd | 2018 | 10 | 31 | 13:50 | sunny | — | sunny | — | cloudy | — |
| | 3rd | 2019 | 3 | 5 | 13:55 | cloudy | — | sunny | — | sunny | — |
| GN-B | 1st | 2018 | 6 | 11 | 14:06 | cloudy | — | rainy | 1.4 | cloudy | — |
| | 2nd | 2018 | 11 | 9 | 13:20 | cloudy | — | rainy | 30.3 | rainy | 0.5 |
| | 3rd | 2019 | 2 | 27 | 14:40 | cloudy | — | cloudy | — | cloudy | — |
| GN-C | 1st | 2018 | 6 | 18 | 10:20 | cloudy | — | sunny | — | cloudy | — |
| | 2nd | 2018 | 10 | 29 | 14:10 | rainy | 0.5 | rainy | 3.0 | rainy | 0.5 |
| | 3rd | 2019 | 2 | 22 | 14:00 | sunny | — | sunny | — | sunny | — |
| GN-D | 1st | 2018 | 6 | 22 | 10:10 | cloudy | — | sunny | — | sunny | — |
| | 2nd | 2018 | 11 | 1 | 12:10 | sunny | — | sunny | — | sunny | — |
| | 3rd | 2019 | 2 | 21 | 11:30 | sunny | — | sunny | — | rainy | 42.4 |
| GN-E | 1st | 2018 | 6 | 22 | 14:50 | sunny | — | sunny | — | sunny | — |
| | 2nd | 2018 | 11 | 1 | 14:40 | sunny | — | sunny | — | sunny | — |
| | 3rd | 2019 | 2 | 21 | 14:05 | sunny | — | sunny | — | rainy | 42.4 |

