

대전지역 자연샘물 및 공동우물의 수질 및 수리화학적 특성

정찬호^{1*} · 박충화¹ · 이광식²

¹대전대학교 지구시스템공학과, ²기초과학지원연구원 동위원소연구그룹

Water Quality and Hydrochemistry of Natural Springs and Community Wells in Daejeon Area

Chan Ho Jeong^{1*}, Chung Hwa Park¹ and Kwang Sik Lee²

¹Department of Geological Engineering, Daejeon University, Daejeon, 300-716, Korea

²Isotope Research Group, Korea Basic Science Institute, Daejeon, 305-600, Korea

The sixty natural springs and community wells used as a drinking water in the Daejeon area are mainly located at the parks and the natural green districts. The purpose of this study is to investigate the characteristics of water quality and the contamination of the springs and the wells, and to suggest the management strategy for the springs and wells. For this study, we undertook water quality data from Daejeon City. According to the statistic analysis of water quality data, unacceptable rate as a drinking water was about 28 percent in 1999 and 24.5 percent in 2000, respectively. Major unacceptable factor is coliform, and others are bacteria, yersinia, color, turbidity, Fe and F. The unacceptable rate shows a roughly positive relationship with precipitation, that is, it shows highest rate during a rainy season between June and September. The major contamination source is likely to be the excrement of wild animals around natural springs and wells. Most of springs are vulnerable to the contamination of coliform and bacteria because of short residence time and shallow circulation in subsurface environment. The water samples collected from 31 springs or wells show weak acidic pHs, the electrical conductivity ranging from 63 to 357 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and the hydrochemical types of Na(Ca)-HCO₃ and Ca-HCO₃. The groundwater samples of low total dissolved solid(TDS) belong to Na(Ca)-HCO₃ type, and the groundwater of high total dissolved solid is shifted towards Ca-HCO₃ type in the chemical composition. These hydrochemical characteristics indicate that most natural springs is in the early stage of geochemical evolution. The natural springs should be closed during a rainy season, which shows a high contamination rate. We suggest that a protection barrier around the springs should be built to keep wild animals away from the springs.

Key words : natural springs, shallow groundwater, coliform, hydrochemistry, weak acid, wild animals

도시지역에는 소위 약수라고 지칭되는 먹는물 공동시설이 지정되어 있다. 먹는물 공동시설은 도시외곽의 자연녹지나 공원의 등산로를 따라서 자연적으로 솟아나는 샘의 형태와 인위적으로 굴착하여 개발한 우물지하수로 구분된다. 본 연구에서는 대전지역 60개 지역 먹는물 공동시설에 대한 1999년~2000년 동안의 수질자료를 보건환경연구원으로부터 협조 받아 통계분석과 수질오염의 원인을 해석하였다. 음용수 부적합율은 1999년에 28%, 2000년에 24.5%를 각각 보였다. 부적합 요인은 대장균류가 대부분이고 일반세균, 여시니아균, 탁도, 색도, 철, 불소 등의 초과가 확인되었다. 월별 강수량과 부적합율과의 관계를 비교해 볼 때 강수량이 집중되는 6월~9월 사이에 부적합율이 현저하게 높다. 세균류에 의한 오염은 먹는물 시설주변에 서식하는 야생동물들의 배설물이 주요 오염원으로 추정된다. 그리고 대부분의 먹는물 공동시설은 물의 순환 주기가 짧은 천부지하수(자연샘)이므로 강수직후에 지표부의 세균류가 빠르게 물을 오염시키는 것으로 보인다. 먹는물 공동시설중 31곳에서 물 시료를 채취하여 물리화학적 성분을 분석하였다. 그들의 전기전도도는 63~357 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위를 보이며, 평균 107 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로 대전지역 일반지하수에 비해 훨씬 낮다. pH는 대부분이 7이하로 약산성의 특성을 보인다. 수리화학적 유형은 TDS가 낮은 물의 경우 Na(Ca)-HCO₃형이고 TDS가 높아질수록 Ca-HCO₃형인 특성을 보인다. 먹는물 공동시설의 효율적 관리를 위해서는 시설 입구에 들짐승들의 접근

*Corresponding author: chjeong@dju.ac.kr

을 막을 수 있는 방호벽을 설치하고 주변의 청결상태를 유지하여야 할 것이다. 그리고 강우가 집중되는 장마철에는 시설을 잠정적으로 폐쇄하는 것이 바람직 할 것이다.

주요어 : 먹는물 공동시설, 천부지하수, 대장균, 수리화학, 약산성, 야생동물

1. 서 론

대도시의 자연녹지 지역의 등산로나 공원 등에 분포하고 있는 자연 샘을 일반인 사이에서는 약수라고 지칭한다. 약수의 행정적 명칭은 먹는물 공동시설이다. 먹는물 공동시설의 정의는 다음과 같다. 다수인에게 먹는물을 공급할 목적으로 개발하였거나 자연히 형성된 약수터, 샘터 및 우물 등을 말하며 먹는물 공동시설 중 이용인구가 50인 이상으로 구청장이 지정하였거나 50인 미만이면 구청장이 특별히 수질관리가 필요하다고 지정하는 시설을 말한다(대전광역시, 2000).

대전광역시는 면적이 약 540 km²이며 인구가 약 130만 명의 대도시이다. 대전시의 물 수요는 상수도와의 약 22,000여개의 지하수공에서 공급되고 있다(대전광역시, 2000). 그러나 일반시민들의 수돗물에 대한 불신으로 도심외곽지의 공원 등지에 분포하는 자연샘물(약수)에 대한 선호도가 비교적 높은 편이다. 대전광역시에서 관리되고 있는 먹는물 공동시설은 2000년말 60개소가 있으며 1일 이용인원은 약 16,465명으로 집계되어 있다. 대전광역시의 5개 구별로 이용현황을 보면 동구가 7개소에 1,130명/일, 중구가 21개소에 3,500명/일, 서구가 11개소의 2,100명/일, 유성구가 4개소의 1,450명/일, 대덕구가 17개소의 8,285명/일 이다(대전광역시, 1999; 2000).

대전광역시의 먹는물 공동시설에 대한 수질 관리는 대전광역시 5개 구청의 환경보호과에서 담당하고 있다. 수질관리를 위하여 정기 및 수시 수질검사를 실시하고 있다. 정기수질검사는 분기별 1회, 년 4회 먹는물 관리법 규정에 의하여 수질기준 45개 항목과 여시니아균을 검사한다. 수시 수질검사는 강우 직후 또는 갈수기 등 수질오염이 우려되어 별도 검사가 필요하다고 판단되는 때, 또는 맛이나 색깔 등의 이상으로 이용자 등의 별도 요청이 있을 때 미생물항목 등 기본 6개 항목에 대한 수질검사를 실시하고 있다.

본 연구의 목적은 대전광역시에 분포하는 먹는물 공동시설의 수질특성과 수질오염에 대한 원인을 규명하고, 수리화학적 특성을 밝히는데 있다. 그리고 수질관리를 위한 효율적인 방안을 제시하는데 있다.

2. 분포와 수질특성

2.1. 분포

연구지역의 먹는물 공동시설은 두 가지 형태로 구분된다. 하나는 자연샘의 지하수이고, 또 다른 하나는 인위적으로 시추하여 개발한 지하수이다. 자연샘 형태의 대부분은 공원의 등산로와 자연녹지대에 분포한다. 지하 100~150 m 심도의 지하수를 개발한 먹는물 공동시설은 동구의 용천약수터(시료번호 1), 서구의 오량약수터(시료번호 36), 유성구의 가정골약수터(시료번호 40), 왕가봉약수터(시료번호 42), 승림골약수터(시료번호 43), 대덕구의 안산약수터(시료번호 57), 고봉약수터(시료번호 58)등 총 7개소이다. 그리고 심도 5~10 m 정도의 층적층 지하수인 공동우물은 5곳(시료번호 6, 28, 34, 59, 60)이 있다. Fig. 1은 대전광역시의 토지이용도와 먹는물 공동시설의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 그들의 분포를 보면 중구지역은 보문산의 사정공원에 서구지역은 월평공원지역에 집중적으로 분포하고 있다. 동구와 대덕구에서는 식장산과 계족산 공원에 일부 분포하고, 자연녹지와 개발제한지역에 주로 분포한다. 유성구의 약수터 4곳중 1곳(시료번호 41)을 제외하고 모두 심도 150 m 내외의 암반지하수이다.

2.2. 수질특성

먹는물 공동시설의 수질은 년간 4회에 걸쳐 분석을 실시하고 있다. 수질분석은 각 구청별 환경보호과에서 분기별로 물시료를 채취하여 대전광역시 보건환경연구원에서 분석업무를 수행하고 있다. 본 연구에서는 보건환경연구원에서 분석한 수질자료를 협조 받아 이들 자료를 통계처리 및 해석을 실시하였다.

년도별 및 개발 형태별 수질특성 : 먹는물 공동시설의 년도별 음용수 수질기준 적합 및 부적합을 보면 1999년에 총 분석건수 342건으로 그 중 음용수 적합이 246건, 부적합이 96건으로 부적합율이 28%를 차지하였다(Fig. 2a). 개발 형태로 세분하면 자연샘이 261건 중 187건이 적합하고 74건이 부적합으로 28.4%의 부적합율을 보였고, 천부지하수인 공동우물은 총 28회 분석에 17건이 합격되었고 11건이 부적합하여 부적합

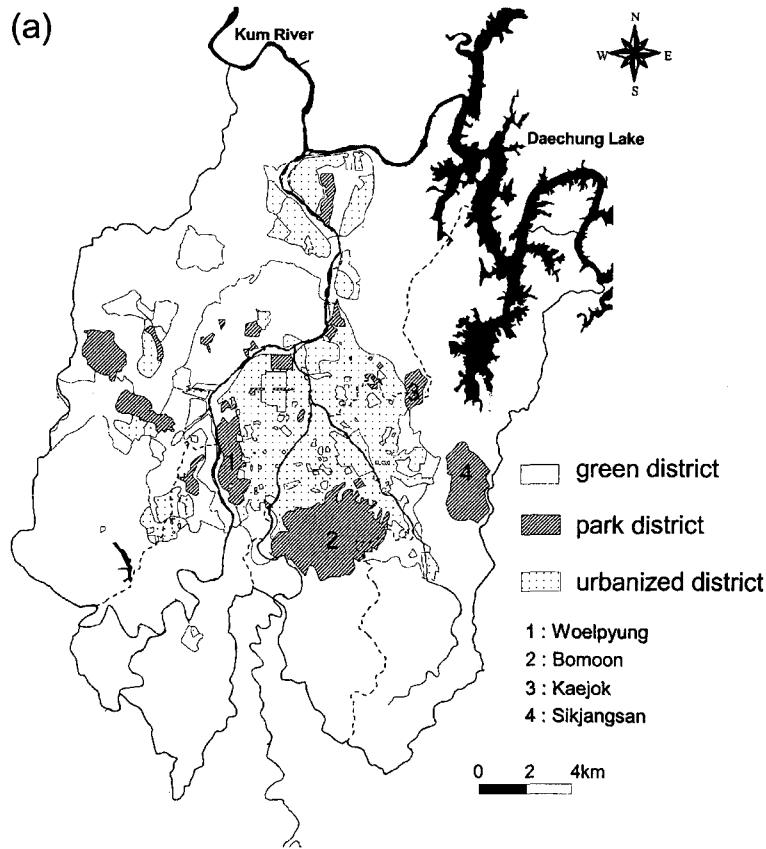


Fig. 1. Land use pattern of Daejeon area(a) and distribution map of the natural springs and the community wells used as a drinking water in Daejeon area(b). 1: Youngcheon spring, 2: Youngsookol spring, 3: Okjeongsan spring, 4: Oghsaem spring, 5: Jipujae spring, 6: Ahnsamkol spring, 7: Dongmogkol spring, 8: Bomoonsukcheon spring, 9: Soojeongam spring, 10: Sangbong Spring, 11: Nambosal spring, 12: Chungun spring, 13: Kohchoksa(2) spring, 14: Sungsoocheon spring, 15: Songhaks a(upper) spring, 16: Kachejae spring, 17: Bosukcheon spring, 18: Jangsoocheon spring, 19: Okkae spring, 20: Moam spring, 21: Myoungsoocheon spring, 22: Sangdang spring, 23: Bomoonsukgansoo spring, 24: Boomooncheon spring, 25: Daebocheon spring, 26: Kochoksa(3) spring, 27: Seroocheon spring, 28: Ganumkol community well, 29: Naewonsa spring, 30: Upper Naewonsa spring, 31: Goosuncheon spring, 32: Doorubong spring, 33: Seodangkol spring, 34: Myoungam community well, 35: Baewool spring, 36: Ohmyang spring, 37: Mokreon spring, 38: Galmasuksoocheon spring, 39: Woopyoung spring, 40: Gajeongkol spring, 41: Ssangam spring, 42: Wanggabong spring, 43: Soongrimkol spring, 44: Daechung spring, 45: Imchung spring, 46: Daechang spring, 47: Wadong spring, 48: Sanjeongsukgan spring, 49: Kaejoksan spring, 50: Ssangoksam spring, 51: Beraesa spring, 52: Battangkol spring, 53: Woojoksan spring, 54: Namdo spring, 55: Daecheol spring, 56: Mootaekol spring, 57: Ansan spring, 58: Kobong spring, 59: Jangdong community well, 60: Samjeongdong community well.

율이 39.3%를 보이며, 심부지하수 유형의 약수는 33건 분석에 1건만이 부적합을 보였다. 먹는물 기준 부적합율은 총적층 지하수인 공동우물이 가장 높고, 그 다음 자연샘 그리고 심부지하수가 가장 낮은 부적합율을 보인다.

부적합 요인을 보면 대장균 검출이 72%로 대부분을 차지하고, 여시니아균의 검출이 18%, 일반세균 초과가 5%, 불소가 1%이다(Fig. 2b). 시설의 개발형태별로 부

적합 내용을 보면 자연샘의 경우 대장균군이 58건, 여시니아균이 16건을 보였고, 총적층 지하수인 공동우물은 대장균군이 9건, 일반세균이 4건을 각각 보였다. 그리고 심부지하수는 불소 1건이 초과되었다.

2000년도의 수질분석 자료를 보면 총 310건 수질분석 항목 음용수 적합이 234건 부적합이 76건으로 부적합율이 24.5%를 보인다(Fig. 3a). 1999년과 비교하면 약간 낮은 부적합율을 보인다. 부적합 요인은 대장균 검

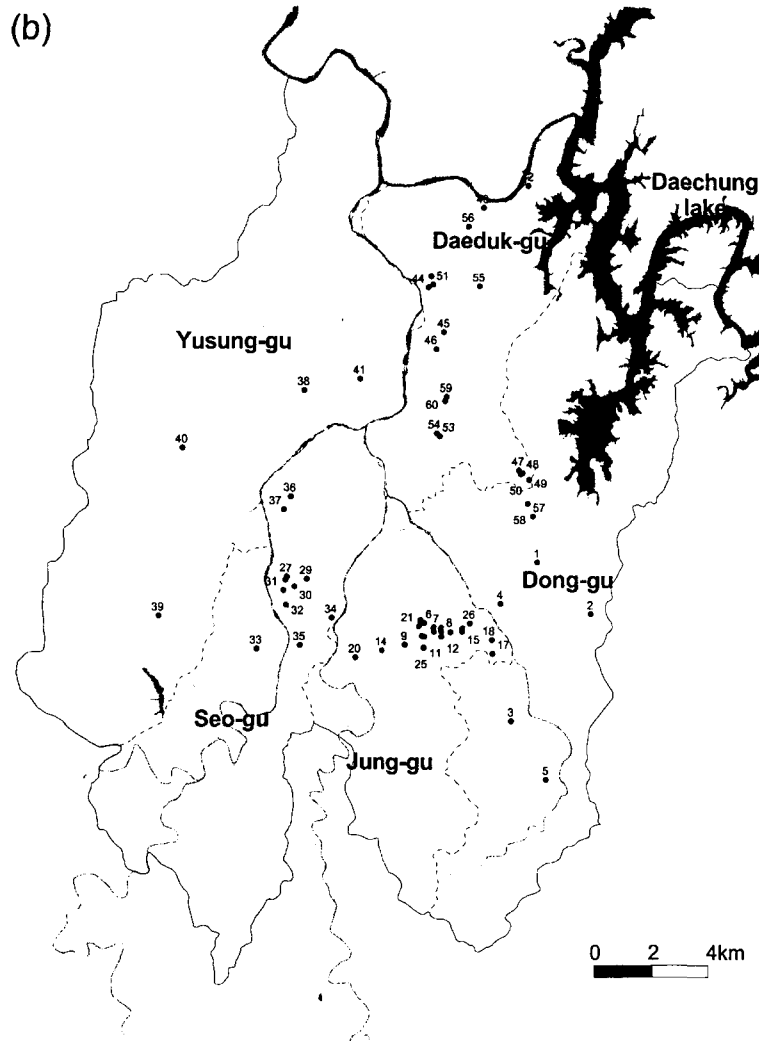


Fig. 1. Continued.

출이 71건으로 79%를 차지하여 가장 높다. 그 다음 일반세균의 초과가 19건으로 11%를 차지하고, 그 외 탁도, 색도, 여시니아균이 각각 2건 불소와 철의 초과가 각각 1건으로 집계되었다(Fig. 3b). 부적합 요인의 건수는 시료 1개당 중복되는 요인이 있으므로 부적합 건수보다 많은 회수로 집계된다. 이상에서와 같이 먹는물 공동시설의 수질오염은 대장균, 일반세균과 같은 세균류에 의한 오염이 90%를 차지한다.

부적합 내용을 세부적으로 구분하면 자연샘의 경우 총 247건 분석에 부적합이 60건으로 부적합율이 24.3%를 보였다. 총적층 지하수인 공동우물은 31건 분석에 12건이 부적합하여 38.7%의 부적합율을 보인다.

심부 지하수는 31건 분석에 4건이 부적합하여 12.9%의 부적합율을 보인다. 부적합요인을 세부적으로 보면 자연샘의 경우 대장균군이 55건, 여시니아균이 2건, 일반세균이 8건, 불소 1건, 색도 1건, 철 1건, 탁도 2건이 각각 기준치를 초과하였다. 천부지하수 공동우물의 경우 총 12회 부적합중 대장균군 검출이 12건, 일반세균이 2건, 탁도 및 색도가 각각 1건 초과되었다. 그 중 일반세균과 탁도 및 색도는 대장균군 검출과 동시에 확인된 부적합 요소이다. 심부지하수의 경우에는 대장균군이 1건, 일반세균 2건, 불소가 1건이 기준에 초과되었다. 1999년도와 2000년도의 수질의 전체적인 부적합 내용을 비교하면 2000년에 대장균군과

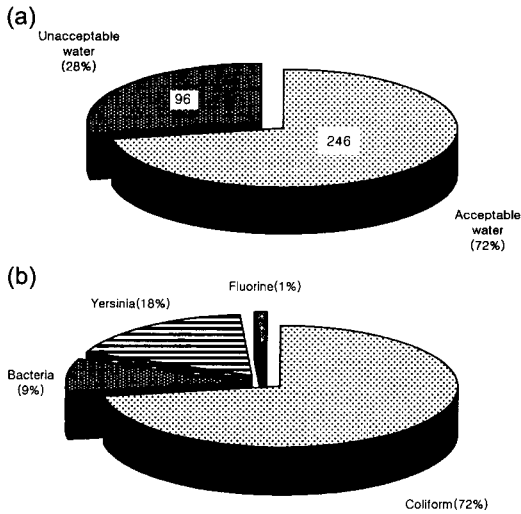


Fig. 2. Diagram showing acceptable percent(a) and unacceptable factors(b) as a drinking water of natural springs and community wells in 1999.

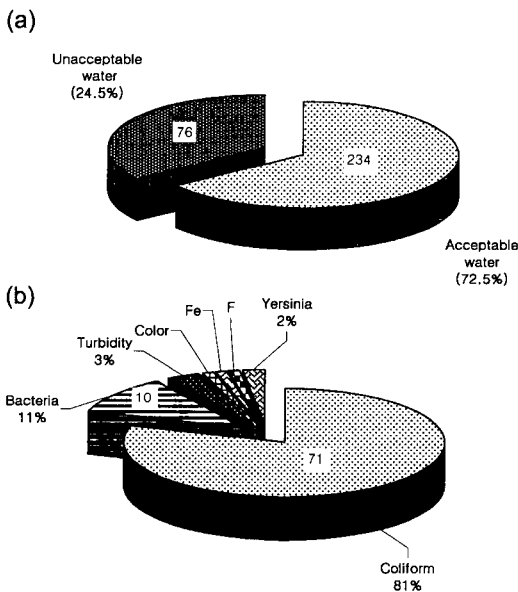


Fig. 3. Diagram showing acceptable percent(a) and unacceptable factors(b) as a drinking water of natural springs and community wells in 2000.

일반세균의 초과가 약간 증가하였고, 여시니아균의 초과는 감소하였다.

지역별 수질특성 : 먹는물 공동시설의 음용수 부적합율을 지역별 및 토지이용별로 구분하여 보았다. 분포지역을 행정구역별로 구분하여 음용수 수질기준 적합과 부적합율에 대한 1999년과 2000년의 결과는 Fig.

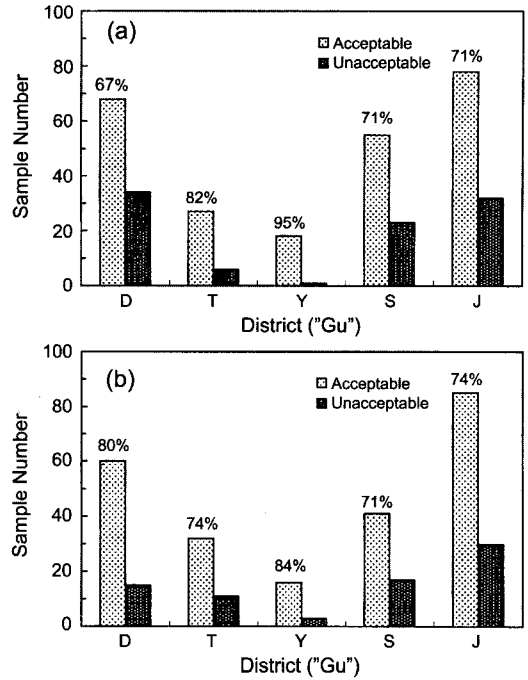


Fig. 4. Diagram showing the acceptable and the unacceptable sample numbers as a drinking water of natural springs and community wells in the Daejeon area between 1999 (a) and 2000(b). D : Daeduk-gu, T : Tong-gu, Y : Yusung-gu, S : Seo-gu and J : Jung-gu.

4에서 보여준다.

동구에는 7곳의 먹는물 공동시설이 분포하는데 모두가 녹지대(공원포함)에 분포하며 자연샘 5곳, 심부지하수형 1곳, 천부공동우물 1곳이다. 부적합율은 1999년에 22%를 보이다가 2000년에는 25.6%로 약간 증가하였다. 공동우물의 부적합율이 40%, 자연샘이 21%의 부적합율을 보인 반면 심부지하수는 모두 음용수 적합한 것으로 나타났다.

중구의 경우 21개 먹는물 공동시설 모두가 보문산공원에 분포한다. 시설중 38번만이 공동우물이고 나머지 모두는 보문산 공원내 자연샘 형태이다. 부적합율은 1999년에 29.4%에서 2000년에는 26.1%를 보인다.

서구에는 11개소의 먹는물 공동시설이 있으며 월평공원과 녹지대에 분포한다. 그중 36번 시설이 심부지하수이고, 34번이 공동우물이며, 나머지는 모두는 자연샘의 형태이다. 부적합율은 1999년에 28.7%에서 2000년에 29.3%를 보인다.

유성구에는 4곳의 먹는물 공동시설이 있다. 자연샘인 41번을 제외하고 모두가 심부지하수의 형태이다. 유성구의 먹는물 공동시설은 녹지대에 분포한다. 1999년

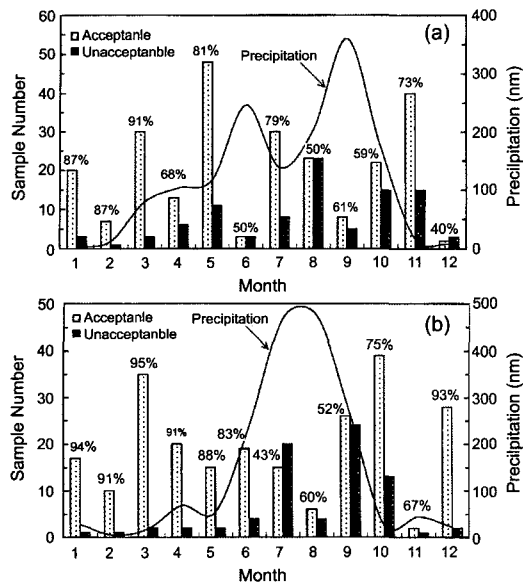


Fig. 5. Diagram showing the monthly acceptable and the unacceptable sample numbers as a drinking water of natural springs and community wells, and monthly precipitation in the Daejeon area between 1999 (a) and 2000(b).

과 2000년에 송림골 약수터에서 불소가 각각 1건 초과되었다.

대덕구에는 17개소의 먹는물 공동시설이 분포한다. 대덕구에는 57번, 58번 시설이 심부지하수이며, 59번, 60번이 공동우물이다. 토지이용별 분포를 보면 51번~54번 시설은 계족산 공원에 분포하며, 57, 58번 시설은 도시화지역 아파트단지 인근에 분포한다. 44, 45, 47, 48, 49, 50, 59, 60번 시설은 녹지대이며 46, 55, 56번 시설은 도시화된 지역으로 공단지역과 인접하고 있다. 부적합율은 1999년에 28.3%에서 2000년에는 20%로 약간 감소하였다.

월별 수질변화와 강수량과의 관계 : 수질 부적합을 월별로 보면 Fig. 5a에서와 같이 1999년도의 경우 8월, 9월, 10월에 높은 부적합 율을 보인다. 6월과 12월에도 부적합 율은 높지만 분석건수가 적어 전체적인 경향을 파악하는데는 부적합하다. Fig. 5b는 2000년도의 수질 부적합율을 보인다. 7월, 8월, 9월에 부적합 율이 매우 높은 특징을 보인다.

월별 강수량과 먹는물 공동시설의 수질오염과의 관계를 알아보기 위하여 대전지역의 월별 강수량의 분포를 먹는물 공동시설의 수질 적합·부적합을 나타내는 도표에 중첩시켜 보았다. Fig. 5a를 보면 1999년도에

강수량의 증감과 먹는물의 수질 부적합 정도가 일부를 제외하고 대체적으로 유사한 경향을 보인다. Fig. 5b를 보면 2000년도에는 6~9월에 강수량이 집중되는 시기에 수질 부적합이 높음을 알 수 있다. 따라서 강수량과 수질 부적합율은 대체적으로 비례하는 경향을 보인다.

수질오염의 원인 : 먹는물 공동시설의 주요 오염요소인 대장균은 사람이나 포유동물의 대장속에 살고 있는 세균이다. 물 속에 대장균이 검출된다는 것은 사람의 분뇨나 포유동물의 배설물을 통해서 유입되는 것이 일반적이다. 여시니아균은 가축이나 야생동물의 장내세균으로 동물의 배설물에서 검출되며 정상적인 사람의 대장에서는 서식하는 균은 아니다. 일반세균은 자신의 번식을 위해 탄소원으로 유기화합물을 이용하는 종속영양세균의 일부로서 사람의 체온과 비슷한 35°C에서 생장하는 세균을 통칭한다(Zuane, 1997). 대부분의 먹는물 시설은 자연녹지 지역에 분포하므로 인위적인 특별한 오염원이 존재하지 않는다. 따라서 대장균을 비롯한 세균류에 의한 오염의 원인은 시설주변에서 서식하는 야생짐승들의 배설물의 유입을 고려할 수 있다. 먹는물 공동시설의 대부분이 인적이 드문 산지에 분포하므로 여러 종류의 야생동물들의 서식할 수 있는 자연환경을 갖추고 있다. 아울러 시설의 대부분은 등산로를 따라 분포하는 자연샘이거나 심도가 얇은 우물로 물의 순환주기가 짧은 천부지하수이다. 즉, 강수가 지하로 침투한 후 토양층과 풍화대를 거쳐 암반 심부까지 긴 유동경로를 가지지 않고 얇은 심도를 거친 후 지표면을 통해 다시 솟아나므로 만약 지표부에 오염물이 존재한다면 그것의 유입이 매우 쉽게 진행될 것이다. 특히 강수량이 집중되는 장마기간에는 지표부의 오염물이 보다 빠른 속도로 유입될 수 있을 것이다.

3. 수리화학 분석방법

3.1. 시료채취 및 현장측정

먹는물 공동시설 시료의 수리화학적 특성을 알아보기 위하여 60개 시설중 약수터 30곳, 공동우물 1곳에서 물 시료를 채취하였다. 시료채취는 1999년 6월에서 7월 사이에 이루어졌다. 구별로 채취된 시료를 보면 동구에서 2점(시료번호 4, 5), 중구에서 10점(시료번호 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 21, 23), 서구에서 8점(시료번호 29, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39), 유성구에서 4점(시료번호 40, 41, 42, 43), 대덕구에서 7점(시료번호 45, 47, 49, 50, 52, 53, 57)을 각각 채취하였다.

물 시료는 양이온 및 미량원소 분석용 60 ml, 음이온 분석용 60 ml 으로 각각 구별하여 채취되었다. 양이온 분석용 시료는 농질산을 가하여 pH 2 이하가 되도록 산성화시켜 분석 전까지 냉장 보관하였다. 물 시료 채취시 0.45 μm 의 여과지를 이용하여 이물질 등을 여과하였다. 약수의 pH, Eh, 용존산소 함량, 전기전도도 등은 Orion사의 휴대용 측정기를 이용하여 현장에서 직접 측정하였다. 그리고 약수내 HCO_3^- 농도는 0.05N 농도의 염산을 이용한 산중화적정법으로 현장에서 측정하였다.

3.2. 화학분석

물 시료에 대한 화학성분은 원자흡광분광분석기(Unicam model 989 Flame AAS and Flameless AAS)를 이용하여 K, Fe 원소를 분석하였고, 유도결합쌍 플라즈마 원자방출분광분석기(Shimadzu 모델 ICPS-1000 III, ICP-AES)와 유도결합쌍 플라즈마 질량분석기(Fison model PQ III, ICP-mass)로 Na, Ca, Mg, Sr, Si 등의 주요원소와 Li, Mn, Al, Ba, Pb, Cu, Cr, Co, Zn, As, Cs 등의 미량원소를 각각 분석하였다. 이상의 성분분석은 기초과학지원연구원에서 실시되었다. 물 시료에서 HCO_3^- 를 제외한 용존 음이온 성분인 SO_4 , Cl, NO_3 , F 등은 이온크로마토그래피(Dionex 4500 i)로 대전대학교의 수리지구환경실험실에서 분석하였다.

4. 수리화학적 특성

물시료에 대한 pH, Eh, 전기전도도, 용존산소함량, 양이온과 음이온 성분, 그리고 미량원소 등과 같은 수리화학적 특성에 대한 분석결과는 Table 1에 정리되어 있다. 화학분석자료의 정확성을 검토하기 위해서 분석된 총양이온과 총음이온 함량을 당량으로 환산하여 전하균형을 계산하였다.

4.1. 현장측정자료

먹는물 공동시설에서 채취된 물시료의 pH는 5.87~8.3의 범위를 보인다. 지푸재약수(시료번호 5), 송림골약수(시료번호 43), 계족산약수(시료번호 49)만이 7이상의 pH를 보이고, 나머지 약수는 pH 7이하를 보여 대부분이 약산성의 특성을 보인다. Eh는 50~298 mV 범위를 보인다.

먹는물 공동시설의 물시료의 전기전도도는 52.8-357 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보인다. 전기전도도가 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하의 시료는 18곳, 100~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위의 전기전도

도를 보이는 시료는 11곳, 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상을 보이는 시료는 2곳이다. 전기전도도의 평균값은 107 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로 대전지역 지하수의 평균 145 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (대전광역시, 2000)보다 낮은 값을 보인다. WATEQ4F 프로그램(Ball and Nordstrom, 1992)으로 계산된 물 시료의 총용존고형물질(TDS)은 68~302.5 mg/l의 범위를 보인다. 용존산소 함량은 2.67~9.91 mg/l의 범위를 보여 대부분 지하수로서 높은 농도를 보인다. 물 시료의 온도는 지역 별로 차이를 보여 13.3~17.9°C의 범위를 보인다.

4.2. 화학조성

대전지역의 먹는물 공동시설 31개소에서 채취된 지하수의 양이온, 음이온 및 미량원소 성분은 Table 1에서 정리되어 있다. 양이온 성분을 보면 Na는 4.17~19.2 mg/l의 범위를 보이고, K성분은 0.1~2 mg/l 범위의 낮은 농도함량을 보인다. Ca성분은 3.21~50.3 mg/l의 농도범위로 가장 풍부한 양이온 성분이다. 동구의 지푸재약수(시료번호 5)와 대덕구의 안산약수(시료번호 57)가 각각 37.9 mg/l, 50.3 mg/l로 높은 함량을 보인다. Mg 성분은 0.44~5.10 mg/l의 농도범위로 대부분 낮은 함량을 보인다.

음이온 성분으로는 HCO_3^- 이 21~135 mg/l의 농도범위로 가장 풍부한 성분이다. Cl 성분은 1.40~17.4 mg/l의 범위를, SO_4 는 0~35.3 mg/l의 농도범위를 각각 보인다. 대덕구의 안산약수(시료번호 57)를 제외하면 대부분의 시료에서 Cl과 SO_4 의 함량이 10 mg/l 이하이거나 약간을 상회하는 낮은 함량을 보인다. F는 0.0~1.95 mg/l의 범위를 보인다. 유성구에 분포하는 송림골약수(시료번호 43)에서만 불소의 음용수 수질기준 1.5 mg/l를 초과하고, 나머지 시료는 모두 기준치 이하의 낮은 함량을 보인다. 분뇨와 질소비료 등 인간활동과 관련된 오염원으로부터 유입되는 것으로 알려진 NO_3^- 는 0.35~10.6 mg/l의 농도범위를 보인다. 이는 음용수 수질기준 44.5 mg/l 보다 훨씬 낮은 함량을 보인다. 그러나 먹는물시설 주변에 인간활동과 관련된 특별한 오염원이 없는 것을 고려하면 물시료의 NO_3^- 의 오염원은 시설주변에 서식하는 야생동물의 배설물로 추정된다. SiO_2 성분은 7.74~41.5 mg/l의 범위를 보인다.

미량원소 성분으로 Fe, Sr 성분은 1 mg/l 이하의 낮은 함량을 보인다. 그 외 Li, Al, Cr, Mn, Cu, Zn, Ba, Pb, U의 성분의 경우 쌍암약수(시료번호 41)시료에서 Al, Cu, Zn 등의 성분이 다른 시료보다 다소 높은 함량을 보인다. 대덕구의 발탕골약수(시료번호 52)는 다른 약수와 비교하여 높은 Ba의 함량을 보이고,

Table 1. Physicochemical data of water samples collected from natural springs and community wells used as a drinking water in the Daejeon area.

Sample No.	Sampling date	pH	Eh (mV)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	EpCO ₂	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	E.N. (%)
4	06-29	6.84	273	110	117.4	5.0	14.3	17.3	8.55	1.70	11.7	2.13	30.8	45.8	0.62	2.91	7.83	5.08	3.60
5	06-29	7.65	239	217	211	5.5	13.9	8.3	4.17	0.57	37.9	3.51	15.7	135	0.51	1.88	5.14	6.32	-2.59
8	07-23	6.34	298	63	71.2	5.0	16.5	29.2	8.31	0.76	4.73	0.73	25.2	31.2	0.15	3.60	0.76	1.55	1.18
9	07-23	6.41	298	77	83.4	4.2	15.2	12.3	8.20	0.87	7.05	1.43	25.2	35.6	0.19	3.50	3.29	3.25	2.39
10	07-23	6.41	291	53	68.2	5.3	13.3	18.6	8.02	0.46	3.21	0.44	27.4	20.3	0.27	3.55	2.04	2.39	2.79
11	07-23	6.73	285	154	152.8	5.1	15.1	41.1	7.06	1.11	22.1	3.83	30.2	85.3	N.D.	2.89	1.88	4.40	4.66
13	07-23	6.86	285	116	106.7	5.4	14.7	14.7	7.29	1.01	15.0	1.76	18.8	40.7	0.20	4.33	10.6	6.77	5.53
14	07-23	5.87	298	66	79	4.4	14.0	97.5	9.61	0.46	4.66	0.78	27.6	28.8	0.22	5.48	1.17	N.D.	5.32
15	07-23	6.54	296	142	125.3	4.0	15.1	35.5	8.53	1.45	15.5	4.00	25.0	56.8	0.17	4.59	9.98	9.34	3.09
18	07-23	6.43	95	111	132.1	4.7	15.0	62.5	8.58	1.38	13.4	3.54	22.7	59.5	N.D.	4.08	8.62	10.1	-2.45
21	07-23	6.57	284	64	79.4	5.2	15.5	19.0	7.53	0.76	5.57	0.91	27.4	27.9	0.24	3.59	2.15	3.03	2.69
23	07-23	6.04	298	61	76.1	4.6	13.3	58.5	7.91	0.60	5.03	0.69	27.8	26.1	0.24	3.77	2.51	1.24	4.57
29	07-13	6.32	271	63	88.9	4.7	14.6	42.4	9.26	1.25	4.34	0.59	32.3	34.5	0.73	2.36	1.04	2.30	-2.30
32	07-13	6.42	266	63	85.6	5.5	13.7	30.4	9.11	1.32	4.25	0.63	30.2	31.7	0.82	1.59	3.11	2.62	-1.14
33	07-13	5.92	104	62	94.1	3.9	15.2	108.0	11.6	0.65	4.03	0.57	29.7	33.6	N.D.	3.48	2.62	7.41	-4.62
34	07-13	6.38	91	77	99.5	4.1	14.7	41.0	10.9	0.67	7.89	0.76	24.6	36.6	N.D.	3.49	6.10	8.38	-1.14
35	07-13	6.34	97	99	128.2	4.0	15.5	82.0	7.08	1.09	12.5	3.37	25.9	64.1	N.D.	4.42	6.94	2.15	-3.59
36	07-13	6.32	86	127	156.4	4.3	13.9	99.3	10.9	1.24	17.2	2.64	31.9	73.8	N.D.	7.38	11.1	N.D.	-0.37
37	07-13	6.41	288	65	85.7	5.4	16.5	32.9	6.72	0.37	5.81	1.13	30.8	31.0	N.D.	2.56	4.71	2.47	-1.32
39	07-13	6.15	273	56	68	4.0	14.2	36.2	7.63	0.81	3.46	0.75	25.5	21.1	0.66	1.57	2.97	3.52	3.80
40	07-05	6.13	50	156	199.7	3.7	14.5	192.8	15.8	0.94	22.1	2.42	41.5	97.6	N.D.	4.26	9.38	5.40	0.87
41	07-05	6.92	200	75	102.8	4.9	14.9	15.3	7.43	1.02	9.57	0.54	30.6	48.2	0.99	1.40	0.35	1.68	-2.66
42	07-05	6.62	277	76	94.6	5.9	14.6	24.1	9.02	0.10	6.41	1.00	29.5	38.7	0.80	3.80	2.76	1.93	-4.05
43	07-05	8.30	274	176	148.4	2.7	16.4	1.2	16.7	0.48	20.8	1.51	7.7	88.5	1.95	2.37	0.59	7.18	3.51
45	07-02	6.68	165	89	109.6	6.4	15.1	26.0	9.31	0.65	9.62	2.18	25.7	49.4	N.D.	2.27	7.73	2.48	1.58
47	07-02	6.55	167	96	111.2	5.5	15.5	36.1	8.14	1.65	12.3	2.12	24.0	47.3	N.D.	4.36	4.63	6.52	3.40
49	07-02	7.65	189	161	166.1	4.2	16.1	6.0	8.49	0.72	24.2	2.90	22.2	97.0	0.98	2.78	1.25	5.22	-0.19
50	07-02	6.25	70	97	120.3	3.3	13.9	70.7	10.9	0.97	11.1	1.60	27.6	48.2	N.D.	4.58	8.27	6.85	-0.31
52	07-02	6.49	36.4	102	117.1	9.9	14.6	35.9	9.34	2.00	6.49	2.83	28.2	36.7	N.D.	4.50	7.93	12.6	-4.76
53	07-02	6.74	249	100	105.9	4.7	15.7	26.9	5.79	0.79	12.5	2.21	20.1	55.6	0.63	2.14	1.29	4.57	-1.73
57	07-02	6.48	245	357	302.5	5.0	17.8	128.6	19.2	1.48	50.3	5.10	37.0	128	0.17	17.4	7.70	35.3	5.00

N.D. : not detected, E.N. : Ion balance error

Table 1. Continued.

Sample No.	Sr (µg/l)	Fe (µg/l)	Li (µg/l)	Al (µg/l)	Cr (µg/l)	Mn (µg/l)	Cu (µg/l)	Zn (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	Pb (µg/l)	U (µg/l)
4	0.22	0.02	2.8	1.9	N.D.	N.D.	12.9	9.2	2.4	17.2	N.D.	N.D.
5	0.20	0.06	0.7	2.9	1.4	1.9	10.9	4.8	N.D.	7.5	N.D.	N.D.
8	0.19	N.D.	2.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	19.1	N.D.	N.D.
9	0.19	N.D.	4.4	2.2	N.D.	8.3	56.6	63.7	N.D.	17.0	1.8	N.D.
10	0.14	N.D.	2.6	8.9	N.D.	2.1	N.D.	1.4	N.D.	15.0	N.D.	N.D.
11	0.21	N.D.	4.7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.2	N.D.	7.8	N.D.	N.D.
13	0.25	N.D.	3.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	10.3	N.D.	N.D.
14	0.20	N.D.	3.7	5.4	N.D.	N.D.	N.D.	1.1	N.D.	15.1	N.D.	N.D.
15	0.22	N.D.	5.6	N.D.	N.D.	N.D.	1.0	2.5	N.D.	11.0	N.D.	N.D.
18	0.11	0.05	4.2	13.7	N.D.	N.D.	12.5	5.6	N.D.	22.8	N.D.	N.D.
21	0.27	N.D.	4.2	2.7	N.D.	N.D.	N.D.	1.1	N.D.	10.9	N.D.	N.D.
23	0.20	N.D.	4.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18.1	N.D.	N.D.
29	0.10	0.07	2.4	11.8	1.2	2.3	37.1	10.2	N.D.	3.6	N.D.	N.D.
32	0.10	0.09	2.3	21.7	1.2	3.4	25.5	17.3	N.D.	1.6	N.D.	N.D.
33	0.07	0.30	1.2	20.2	N.D.	N.D.	7.0	2.8	N.D.	17.2	N.D.	N.D.
34	0.08	0.04	1.9	8.5	N.D.	N.D.	12.8	7.1	N.D.	14.1	N.D.	N.D.
35	0.13	0.49	2.1	17.5	N.D.	N.D.	55.9	15.1	N.D.	22.5	N.D.	N.D.
36	0.17	0.04	6.3	11.5	N.D.	N.D.	9.2	8.8	N.D.	22.5	N.D.	N.D.
37	0.20	N.D.	3.2	18.5	N.D.	N.D.	N.D.	2.1	N.D.	10.5	N.D.	N.D.
39	0.10	0.03	1.5	16.5	N.D.	N.D.	15.9	6.7	N.D.	2.1	N.D.	N.D.
40	0.23	0.04	13.5	8.2	N.D.	N.D.	4.9	3.8	N.D.	11.9	N.D.	36.2
41	0.14	0.85	6.3	48.9	1.9	6.1	164.0	162.0	N.D.	1.8	7.6	12.2
42	0.16	0.37	4.9	1.9	N.D.	1.2	86.6	82.2	N.D.	1.5	1.6	1.9
43	0.34	N.D.	14.2	2.3	N.D.	13.2	N.D.	7.5	13.4	191.0	N.D.	73.6
45	0.12	0.07	7.8	46.9	N.D.	17.8	11.9	11.3	3.2	37.8	N.D.	2.2
47	0.10	0.05	1.6	15.3	N.D.	N.D.	12.0	7.7	N.D.	47.5	N.D.	1.1
49	0.35	0.04	15.6	1.3	N.D.	3.8	25.6	10.8	11.2	4.6	N.D.	7.6
50	0.15	0.05	11.4	12.7	N.D.	1.4	10.0	4.6	N.D.	23.2	N.D.	N.D.
52	0.13	0.25	2.6	56.4	N.D.	2.3	44.8	59.6	N.D.	86.0	N.D.	N.D.
53	0.22	0.04	2.3	3.2	1.2	N.D.	9.2	3.4	N.D.	6.4	N.D.	N.D.
57	0.80	N.D.	49.2	1.4	N.D.	1.3	2.4	10.5	6.9	9.9	N.D.	15.5

N.D. : not detected

승림골약수(시료번호 43)의 U함량은 다른 시료보다 높은 73.6 ppb를 보인다.

4.3. CO₂함량

지하수의 CO₂함량을 파이퍼도와 종합하여 지하수의 지화학적 진화와 인위적 오염정도를 파악하는 간접적인 자료로 활용된 바 있다(Jeong, 2001). 먹는물 공동시설 물시료의 CO₂의 함량을 계산하기 위하여 Neal *et al.*(1998a, 1998b)에 의해 제시된 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$EpCO_2 = (0.95 * Alk_{Gran} \text{ in } \mu Eq/l \text{ units} + 10^{6-pH}) * 10^{(6-pH)/(6.46-0.0636 * t^{\circ}C)} \quad (1)$$

상기 식에서 0.95는 농도를 활동도 개념으로 변환하기 위하여 고려한 평균값이며, t[°]C는 시료의 온도를 각각 의미한다. 상기식에서 Alk_{Gran}는 Neal *et al.*(1998a)에 의해 제시된 다음 식을 이용하여 Gran 알카리도를 계산하여야한다.

$$Alk_{Gran} \text{ in } \mu Eq/l \text{ units} = Alk_{4.3} \text{ in } \mu Eq/l \text{ units} - 50 \mu Eq/l \quad (2)$$

식 (2)에서 알카리도는 pH 4.3를 종말점으로 하고, 50 μEq/l은 pH 4.3에서의 수소이온 농도를 나타낸다. EpCO₂ 값은 지하수의 pH와 공급되는 CO₂ 함량에 의해 주로 결정된다. 화강암지역에서 지하수의 지화학적 진화는 pH가 증가하는 일반적인 경향이다(정찬호 등, 1997). 따라서 지하수의 진화는 EpCO₂의 감소를 유도할 것이다.

대전지역 먹는물 공동시설 물시료의 EpCO₂를 계산해 보면 대기와 평형상태의 CO₂ 압력(10^{-3.5} atm)보다 대부분 높은 범위를 보인다. 토양층내 일반적으로 알려진 CO₂압력은 일반적으로 10^{-1.5}~10^{-2.5} atm의 범위이다(Appelo and Postma, 1996). 이 범위에 해당되는 EpCO₂는 6.9~87.2로 환산된다. 5, 43, 49 시료는 EpCO₂가 1.2~8.3의 범위로 토양층의 최저 CO₂ 함량과 비슷하거나 낮은 값을 보인다. 물 시료의 pH가 약 알칼리성이고 비교적 높은 TDS를 보여 지화학적 진화가 어느 정도 진행된 지하수임을 의미한다(Fig. 6). 시료번호 14, 33, 36, 40, 57번에 해당되는 시료는 EpCO₂가 97.5~192.8의 범위로 일반적인 토양층의 CO₂ 함량보다 높은 값을 보인다. 이들중 14, 33 시료는 pH 6이하의 산성조건과 100 mg/l 이하의 낮은 TDS의 함량을 보여 지하수 진화의 초기단계 특성을 보인다. 반면 100~150 m 지하에서 개발한 암반지하수인 36, 40, 57 시료는 156.4~302.5 mg/l 범위의

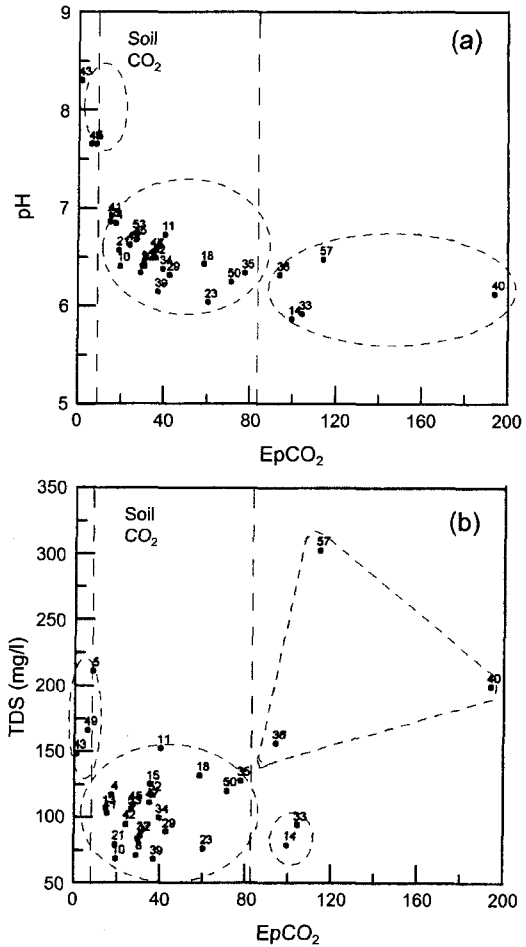


Fig. 6. Relationship of TDS and pH against EpCO₂ of water samples collected from natural springs and community wells used as a drinking water.

비교적 높은 TDS 함량을 보이지만 pH는 6.13~6.48 범위로 약산성을 보인다. 그 외 시료의 EpCO₂는 12.3~82의 범위에 속하여 일반적 토양층내 CO₂함량과 거의 유사한 값을 보인다(Fig. 6). 이상에서와 같이 EpCO₂를 근거로 보면 일부시설을 제외한 대부분의 먹는물 공동시설은 토양층과 풍화대의 천부 유동경로를 거쳐 지표면으로 솟아나는 자연샘으로 지하수의 수리화학적 진화과정의 초기단계에 있음을 의미한다. 이와 같은 해석은 앞에서 설명된 약산성의 pH, 낮은 무기이온함량과 같은 지하수 진화 초기단계에서 보여주는 수리화학적 특성 과도 잘 일치한다.

4.4. 수리화학적 유형

먹는물 공동시설의 물시료에 대한 주요 화학성분을

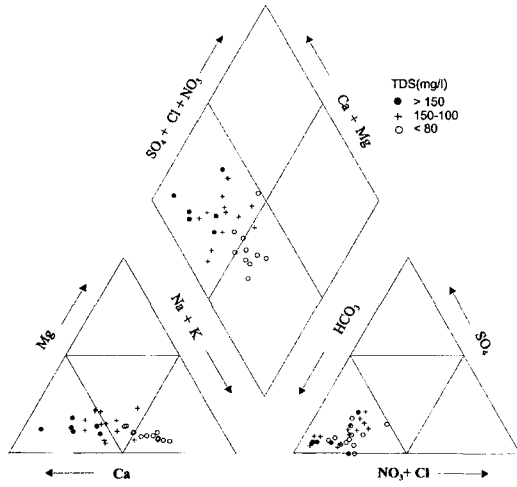


Fig. 7. Trilinear plot of the chemical composition of water samples collected from natural springs and community wells in the Daejeon area.

파이퍼도(Piper, 1944)에 도시하였다. 물시료의 화학적 유형은 Ca-HCO₃형에서 Na(Ca)-HCO₃형까지 분포한다 (Fig. 7). 음이온 성분으로는 HCO₃의 함량이 우세한 반면 양이온의 경우 시료에 따라서 차이를 보인다. 먹는물 공동시설 지하수의 수리화학적 유형을 총용존고형물질(TDS)을 기준으로 구분하여 도시한 결과 TDS가 낮은 시료는 Na(Ca)-HCO₃ 영역에 주로 분포하고 TDS가 높아질수록 화학적 유형은 Ca-HCO₃형을 보인다. 이와 같은 화학적 유형과 TDS와의 관계는 일반적인 화강암지역 지하수의 화학적 진화경향인 낮은 TDS의 Ca-HCO₃형에서 높은 TDS의 Na-HCO₃형으로의 진화(정찬호 등, 1997; 김건영 등, 2000)와는 다른 양상을 보인다. 그러나 먹는물 시설의 자연샘이나 우물의 대부분은 순환심도가 얇고, 물의 순환주기가 짧은 천부지하수이므로 충분한 물-암석 상호반응에 의한 수리화학적 진화과정을 적용할 수는 없을 것이다. 일부 암반지하수를 제외한 대부분 먹는물 지하수의 수리화학적 특성은 토양대와 풍화대의 광물조성에 의해 결정되었을 것이다.

5. 결 론

대전지역 1999년~2000년 동안의 먹는물 공동시설 지하수의 수질자료를 통계 분석한 결과 음용수 부적합율은 1999년에 28%, 2000년에 24.5%를 각각 보였다. 부적합 요인은 대장균류가 72~80%로 대부분이고, 다

음으로 일반세균, 여시니아균, 탁도, 색도, 불소, 철이 일부 약수터에서 기준치를 초과한다. 음용수 부적합 정도는 강수량이 집중되는 6월~9월 사이에 현저하게 높다. 대장균과 세균류와 같은 주요 오염원은 시설주변에 서식하는 야생동물들의 배설물의 유입이 주요 요소로 보인다. 그리고 자연샘과 공동우물의 대부분이 물의 순환 주기가 짧은 천부지하수이므로 강수직후에 지표부의 세균류가 빠르게 천부지하수의 수질을 오염시키는 것으로 보인다.

먹는물 공동시설중 31곳에 대한 수리화학적성분을 보면 전기전도도가 63~357 μS/cm 범위를 보이며, 평균 107 μS/cm으로 대전지역 일반지하수에 비해 훨씬 낮다. 물 시료의 대부분은 pH 7이하로 약산성의 특성을 보인다. 그리고 CO₂의 함량은 토양자연상태의 함량범위와 유사함을 보인다. 이와 같은 수리화학적 특성은 먹는물로 이용되는 자연샘과 공동우물이 천부유동경로를 거친 수리화학적 진화과정의 초기단계에 있음을 의미한다. 수리화학적 유형은 TDS 낮은 지하수의 경우 Na(Ca)-HCO₃형이고 TDS가 높아질수록 Ca-HCO₃형의 특성을 보인다.

현재 대전시의 먹는물 공동시설에 대한 수질관리는 분기별 먹는물 수질기준의 45개 항목을 검사하여 음용수 적합 도는 부적합 판정하여 그에 따라 음용 가능과 불가능을 시설 앞에 고시하고 있는 정도이다. 약수는 공원, 녹지대 등 인위적인 오염원이 없는 지역에서 산출되는 중요한 지하수자원의 일종으로 지속적으로 유지되어야 할 것이다. 먹는물 공동시설의 대장균과 세균류에 의한 오염을 방지하기 위해서는 최소한 시설입구 부분을 야생동물의 출입을 제한할 수 있는 방호벽이 설치되어야 할 것이며, 시설주변의 청결상태를 유지하여야 할 것이다. 아울러 장마철이나 강수가 집중되는 기간에는 음용수로 사용을 제한하여야 할 것이다. 먹는물 공동시설의 수질에 대한 보다 과학적이고 체계적인 관리를 위해서는 대전광역시와 대학등 전문가관과 연계된 체계적인 관리망 구축이 필요하다.

참고문헌

김건영, 고용권, 김천수, 배대석, 박맹언 (2000) 유성지역 지열수의 지구화학적 특성 연구. 지하 수환경학회지, v. 7, p. 32-46.
대전광역시 (1999) 대전광역시 시정통계수첩. 31p.
대전광역시 (2000) 지하수관리 중장기 계획수립. 531p.
정찬호, 김통권, 김천수, 김수진 (1997) 편마암-물 상호반응에 의한 지하수의 지화학적 진화 및 이차광물 생성에 대한 반응경로 모델링. 한국광물학회지, v. 10, p.

- 43-53.
- Appelo, C.P.J. and Postma, D. (1996) *Geochemistry, groundwater and pollution*. A. A. Balkema Publisher, Rotterdam, 536p.
- Ball, J.W. and Nordstrom, D.K. (1992) User's manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of minor, tracer and redox elements in natural waters. U. S. Geol. Surv., Open File Rep. 91-183, 189p.
- Piper, A.M. (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions of American Geophysical Union*, v. 25, p. 914-923.
- Neal, C., House, W.A. and Down, K. (1998a) An assessment of excess carbon dioxide partial pressures in natural waters based on pH and alkalinity measurements. *The Science of the Total Environment*, v. 210/211, p. 173-185.
- Neal, C., House, W.A., Jarvie, H.P. and Eatherall, A. (1998b) The significant of dissolved carbon dioxide in major lowland rivers entering the North Sea. *The Science of the Total Environment*, v. 210/211, p. 187-203.
- Jeong, C.H. (2001) Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. *Journal of Hydrology*, v. 253, p. 194-210.
- Zuane, J.D. (1997) *Handbook of drinking of water quality*. 2nd(ed.), Van Nostrand Reinhold, 575p.

2002년 1월 9일 원고접수, 2002년 10월 24일 게재승인.