

대전지역 도심하천의 수리화학적 및 동위원소적 특성

정찬호* · 문병진

대전대학교 지반설계정보공학과

Hydrochemical and Isotopic Characteristics of Major Streams in the Daejeon Area

Chan Ho Jeong* and Byung Jin Moon

Dept. of Geotechnical Design Engineering, Daejeon University

In this study, the hydrochemical and the isotopic characteristics of major streams in the Daejeon area were investigated during rainy and dry seasons. The stream water shows the electrical conductivity of the range of 37~527 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and pH 6.21~9.83. The chemical composition of stream waters can be grouped as three types: the upper streams of Ca(Mg)-HCO₃ type, Ca(Mg)-SO₄(Cl) type of middle streams flowing through urban area, and Na(Ca)-HCO₃(Cl, SO₄) type of the down streams. Based on in-situ investigation, the high pH of stream waters flowing through urban area is likely to be caused by the inflow of a synthetic detergent discharging from the apartment complex. The electrical conductivity of stream waters at a dry season is higher than those of at a rainy season. We suggest that the hydrochemical composition of stream waters in the Daejeon area was affected by the discharging water from the sewage treatment facilities and anthropogenic contaminants as well as the interaction with soil and rocks. δD and $\delta^{18}\text{O}$ values of the stream waters show the relationship of $\delta\text{D}=6.45\delta^{18}\text{O}-7.4$, which is plotted at a lower area than global meteoric water line(GMWL) of Craig(1961). It is likely that this isotopic range results from the evaporation effect of stream waters and the change of an air mass. The isotope value shows an increasing trend from upper stream to lower stream, that reflects the isotopic altitude effect. The relationship between $\delta^{13}\text{C}$ and $\text{E}p\text{CO}_2$ indicates that the carbon as bicarbonate in stream water is mainly originated from CO₂ in the air and organic materials. The increasing trend of $\delta^{13}\text{C}$ value from upper stream waters to lower stream waters can be attributed to the following reasons: (1) an increasing dissolution of CO₂ gas from a contaminated air in downtown area of the Daejeon, and (2) the increment of an inorganic carbon of groundwater inflow into stream by base flow. Based on the relationship between $\delta^{34}\text{S}$ and SO₄ of stream waters, the stream waters can be divided into four groups. SO₄ content increases as a following order: upper and middle Gab stream < Yudeung stream < Daejeon streams < lower Gab stream, whereas $\delta^{34}\text{S}$ value decreases as above order. $\delta^{34}\text{S}$ value indicates that sulfur of stream waters is mainly originated from atmosphere, and is additionally supplied by pyrite source according to the increase of sulfate content. The sulfur isotope analysis of a synthetic detergent and sewage water as a potential source of the sulfur in stream waters is furtherly needed.

Key words : stream in urban area, chemical type, sulfur and carbon isotopes, the sewage treatment plant, contaminants

이 연구에서는 대전지역 주요 도심하천인 갑천, 유등천, 대전천을 대상으로 하천수의 수리화학적 특성과 산소, 수소, 황, 탄소 동위원소 특성을 분석하였다. 하천수 시료는 풍수기와 갈수기 2차례 채취되었다. 하천의 수리화학적 특성은 상류에서는 Ca(Mg)-HCO₃ 유형을 보이다가 도심권을 통과하면서 Ca(Mg)-SO₄(Cl)유형으로 전이되고 하류에서는 Na(Ca)-HCO₃(Cl, SO₄) 유형으로 변화하였다. 이와 같은 화학적 유형의 변화는 자연적 영향뿐만 아니라 하수처리장의 방류수와 인위적 오염물질의 유입에 의한 영향이 관련된 것으로 해석된다. 전반적으로 풍수기에 비해 갈수기에 하천수의 전기전도도 값이 높은 특성을 보여준다. 갑천하류는 하수종말처리장의 방류수가 합류되면서 수질이 급격하게 변화한다. 하천수의 pH는 상류에서 중성을 보이다가 도심권을 지나면서 최고 pH 9.8의 고알칼리성을 보인다. 이는 현장조사결과 아파트의 우수관을 통한 세제 유입에 기인하는 것으로 보인다. 하천수의 산소-수소 동위원소 관계식은

*Corresponding author: chjeong@dju.kr

$\delta D = 6.45\delta^{18}O - 7.4$ 으로 Craig의 순환수선보다 다소 하향 이동되어 도시된다. 이는 기단의 변화와 하천수의 표면 증발 효과에 의한 것으로 보인다. 뿐만 아니라, 상-하류사이에 고도효과를 반영하는 동위원소 조성 값의 차이를 보여준다. 하천수의 $\delta^{13}C$ 값은 $-19.5 \sim -7.8\text{‰}$ 범위로 대기중 이산화탄소와 유기물 기원의 범위에 해당된다. 전반적으로 하천수의 상류에서 하류로 향할수록 $\delta^{13}C$ 값이 높아지므로 CO_2 의 기원이 상류에서는 주로 유기물기원에서 도심권에서는 오염된 대기와 지하수의 기저유출로 인한 무기기원의 비율이 높아지기 때문으로 해석된다. $\delta^{34}S-SO_4$ 함량 관계도에서 하천수를 4개 그룹(갑천중·상류, 유등천, 대전천, 갑천하류)으로 구분하였다. 황산염의 농도는 갑천중상류 < 유등천 < 대전천 < 갑천하류의 순서로 높아지는 반면 $\delta^{34}S$ 값은 감소하는 경향을 보인다. 이는 하천별 황산염의 증가에 따른 공급원이 다르다는 것을 의미한다. 하천수내 황의 기원은 대기기원을 중심으로 황산염의 농도가 높아질수록 황철석의 영향이 큰 것으로 해석된다. 그러나 하천수에 유입되는 생활하수 등에 대한 황동위원소 자료가 없으므로 이에 대한 영향에 대해서는 향후 연구되어야할 과제이다.

주요어 : 도심하천, 화학적 유형, 황·탄소동위원소, 하수처리장, 오염물질

1. 서 론

우리나라 대도시에 발달되어 있는 도심하천의 공통적인 문제는 수량부족으로 인한 건천화와 수질오염으로 집약될 수 있다. 도심하천의 맑고, 풍부한 수량의 유지는 도시환경적 측면에서 매우 중요한 과제이다. 대전광역시에는 540 km^2 의 면적에 인구 150 만명의 대도시이다(Daejeon metropolitan city, 2006). 대전광역시에 발달되어 있는 하천수계로는 대전천, 유등천, 갑천 등의 3대 하천이다. 대전천은 대전-금산 경계부인 만인산이 발원지로 도심권을 통과하여 유등천과 합류된다. 유등천은 금산에서 발원이 되어 대전의 중심부를 관통하다가 대전천과 합류한 후 갑천으로 흘러 들어간다. 갑천의 본류는 충남과 전북의 경계를 이루는 대둔산이 발원지로 대전시로 유입되면서 건천, 유성천, 지족천, 탄동천등의 소하천과 합류한다. 소하천과 합류한 갑천은 도심 중심부를 지나면서 유등천과 합류한다. 갑천하류는 북쪽으로 흘러 대청댐에서 방류되는 물과 다시 합류하여 금강으로 유입된다. 대전지역에 발달된 하천수계는 Fig. 1에서 보여준다.

도심 하천수의 수질을 위협하는 가장 중요한 요소는 생활하수의 유입인데 대전시의 경우 각 건축물에서 발생하는 모든 생활하수는 차집 관거를 통하여 하수종말처리장으로 이송되며 하천으로 직접 방류되지는 않는다. 이송된 생활하수는 BOD 20 ppm 이하로 처리된 후 하천으로 방류된다. 이러한 하수처리에도 불구하고 도심하천의 수질은 2-3급수의 수질에 머물고 있는 실정이다(Daejeon metropolitan city, 2000). 도심하천의 수질이 1-2급수의 수준으로 개선되지 않는 것은 비록 생활하수가 하천으로 직접 유입되지 않지만 다른 과정을 통하여 도심하천으로 오염물질의 유입가능성을 고려할 수 있다.

그 동안 대전지역 하천수에 대한 연구로는 3대 하천의 수리학적 특성조사(Kang and Bae, 1995), 3대 하천과 유입지천의 수질현황(Kang et al., 1996), 3대 하천의 수질 및 식물플랑크톤상에 관한 연구(Kang, 2000) 등이 이루어진 바 있다. 이들의 연구는 주로 하천 수질의 지표인 BOD, 총인, 총질소 등의 수질인자에 대한

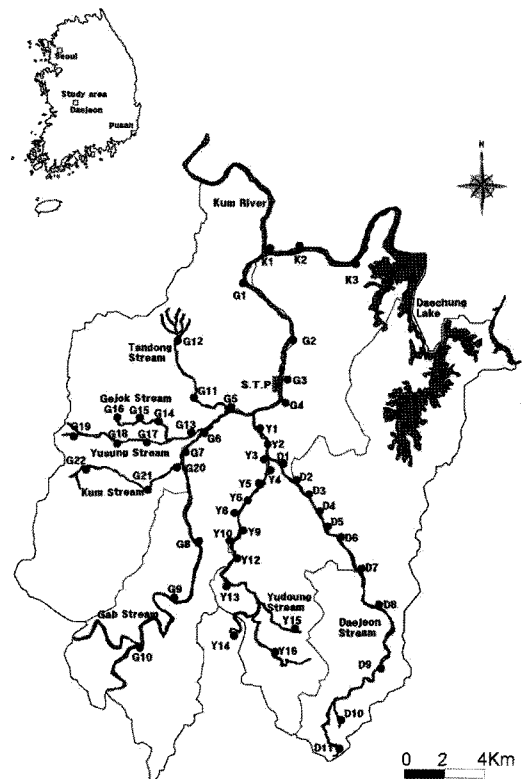


Fig. 1. Location map showing the points of water samples collected from major streams in the Daejeon area. S.T.P.: sewage treatment plant.

분석이 이루어졌다. 국내 하천수의 수질화학 및 동위원소에 대한 연구로는 Kim and Shim(2001)와 Kim and Seo(1997)에 의해 한강수계의 하천수와 한강수에 대한 지화학적 특성 및 용존이온의 기원에 대해서 연구된 바 있고, Kim and Lee(2002)은 한강수계 하천수의 안정 동위원소 조성을 분석하여 수계별 동위원소 조성특성을 소개한 바 있다. Ryu *et al.*(2008)은 한강수계의 하천수에 대한 수리화학적 특성과 동위원소 조성에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 Lee and Lee (1999)은 남한의 강수와 하천수의 수소, 산소 동위원소 조성을 지역별 시기별로 측정하여 비교분석한 바 있다.

그 동안 도심권 혹은 도심주변의 하천수에 대한 수리지구화학적 및 동위원소적 연구는 주로 한강에 한정되어 수행되었고, 도심권을 통과하는 대전의 도심 하천수에 대한 연구는 수행된 바 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 그 동안 연구된 바 없는 대전광역시를 통과하는 주요 하천의 하천수에 대한 수리지구화학적 특성과 동위원소적 특성을 분석하여 하천수의 수리지구화학 오염과 용존이온들의 기원을 해석하고자 하였다. 그리고 하천수내 탄소의 기원과 황산염의 기원을 동위원소 분석을 통하여 해석함으로써 그들의 지질학적 혹은 인위적 오염 기원 등을 밝히고자 하였다. 이를 위하여 하천별, 상하류별, 시기별로 하천수의 시료를 채취하여 수리화학적 특성을 비교 분석하고, $\delta^{18}O$ 와 δD 동위원소 특성을 분석하였다. 그리고 용존성분중 중탄산과 황산염 성분에 대한 $\delta^{13}C$ 와 $\delta^{34}S$ 동위원소 분석을 실시하여 하천수의 탄소와 황 성분의 기원을 해석하였다.

1.1. 지질특성

하천수의 수리화학적 특성이 지질특성에 의해서 영향을 받을 수 있으므로 여기서는 대전지역의 지질특성을 간략하게 기술하고자 하였다. 대전지역은 선캄브리아기의 변성암류와 옥천층군으로 알려진 변성퇴적암류, 그리고 이를 관입한 시대미상의 심성암류와 중생대의 화강암류로 구성되어 있다 (Park *et al.*, 1977; Lee *et al.*, 1980) (Fig. 2).

대전북부지역에 분포한 변성암류는 대체로 흑운모 호상편마암이다. 옥천층군으로 알려진 본 역의 변성퇴적암류는 주로 동부와 남부에 국한되어 분포한다. 변성퇴적암류는 주로 규암과 천매암, 그리고 소규모의 석회암으로 구성된다.

중생대 쥐라기의 화강암류는 상기 변성암류와 변성퇴적암류를 관입하였다. 주로 편상화강암, 흑운모화강암, 복운모화강암으로 구성된다. 이들 화강암류는 대전

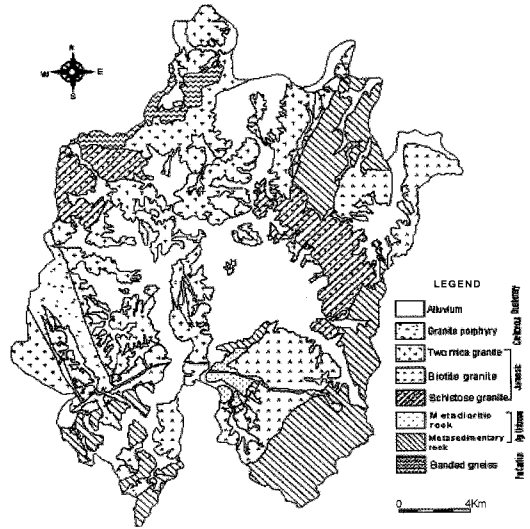


Fig. 2. Geologic map of Daejeon area.

지역 남측과 동측의 일부지역을 제외한 전 지역에서 광범위하게 발달한다. 편상화강암은 서북부와 동부지역에 분포하며 중립질이며 편상구조가 현저하다. 중립질의 흑운모화강암은 본 연구지역 남부를 중심으로 하여 남측과 서측으로 발달하며 변성퇴적암을 관입하였다. 복운모화강암은 대전지역 대부분에 걸쳐 가장 넓게 분포하며 상기의 모든 암석을 관입하였다. 암질은 중립 내지는 세립질이며 흑운모가 백운모에 비해 압도적으로 많지만, 페그마타이트가 밀집 발달하는 지역에서는 백운모의 함량이 증가하는 경향이 있다.

백악기의 반암류들은 상기의 암석들을 모두 관입한다. 반암류들은 남북 혹은 N10°W 관입방향을 갖는 유백색 혹은 담홍색의 암석이다. 본 암의 암상은 주로 석영반정이 뚜렷한 것이 많으나 지역에 따라 변화가 심하여 규모가 작은 암맥에서는 석영반정이 뚜렷하지 않은 규장질인 것도 있다. 그리고 대전 중심부는 최고 심도가 약 20m의 충적층으로 구성된다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취 및 현장측정

대전지역 3대 주요 하천과 지천 등 총 52 개 지점에서 현장수질측정과 하천수에 대한 시료채취가 이루어졌다. 시료채취는 장마기간을 포함한 강수량이 많은 2001년 8월(풍수기)과 강수량이 적은 시기인 2002년 3월(갈수기)로 두 차례 이루어 졌다. 하천별 현장측정 및 시료채취는 갑천에서 10점(G1~G10), 대전천에서 11

점(D1~D11), 유등천에서 16점(Y1~Y16)을 채취하였고, 갑천의 지천인 탄동천에서 2점(G11~G12), 지족천에서 4점(G13~G16), 유성천에서 3점(G17~G19), 건천에서 3점(G20~G22)을 채취하였다. 그리고 갑천과 대청호의 물이 합류되는 금강에서 3점(K1~K3)을 채취하였다. 대전지역 하천과 각 하천별 시료채취지점은 Fig. 1에서 보여준다.

하천수의 화학성분을 분석하기 위하여 현장에서 양이온 분석용 60 mL, 음이온 분석용 60 mL로 각각 구별하여 채취하였다. 아울러 산소, 수소 동위원소 분석용 60 mL도 동시에 채취하였다. 그리고 황 및 탄소 동위원소 분석을 위한 시료는 4리터이상 충분한 양을 채취하였다. 양이온 분석용 시료는 농질산을 첨가하여 pH 2 이하가 되도록 하여 양이온 및 미량원소 성분의 침전 또는 용기에 흡착되는 것을 방지하고자 하였다. 물 시료 채취시 0.45 μm 의 여과지를 이용하여 이물질 등을 제거하였다. 채취된 시료는 휴대용 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반된 후 분석 전까지 냉장보관되었다.

하천수의 수질중 시간에 따라서 변할 수 있는 몇 가지 수질항목에 대해서 휴대용 측정기로 현장에서 직접 측정하였다. pH는 Orion 290A 모델의 휴대용측정기로 전기전도도는 Orion 142 모델의 휴대용측정기로 각각 측정하였다. 용존산소 함량과 수온은 Orion 150모델의 휴대용측정기로 측정하였다. 그리고 하천수의 알카리도는 측정된 pH 범위에서 존재 가능한 탄산염의 화학종으로 HCO_3^- , CO_3^{2-} 의 함량을 0.05 N 농도의 염산을 이용한 산중화적정법으로 현장에서 측정하였다.

2.2. 화학분석

물 시료에 대한 화학성분은 원자흡광분광분석기(Unicam model 989 Flame AAS and Flameless AAS)를 이용하여 K, Fe 원소를 분석하였고, 유도결합쌍 프라즈마 원자방출분광분석기(Shimadzu model ICPS-1000 III, ICP-AES)와 유도결합쌍 프라즈마 질량분석기(Fison model PQ III, ICP-mass)를 이용하여 Na, Ca, Mg, Sr, Fe, Si 등의 주요 성분을 분석하였다. 양이온 성분은 한국기초과학지원연구원서 분석되었다. 물 시료에서 HCO_3^- 를 제외한 용존 음이온 성분인 SO_4 , Cl, NO_3 , F 등은 대전대학교의 이온크로마토그래피(Dionex 120i)로 분석하였다.

2.3. 동위원소분석

하천수에 대한 산소 및 수소동위원소 분석을 실시하

였다. 안정동위원소 분석절차는 Coleman *et al.*(1982)과 Kendall and Coplen (1985)의 방법이 적용되었다. 분석의 정밀도는 산소동위원소 $\pm 0.1\%$, 수소동위원소는 약 $\pm 1.0\%$ 이다. 분석은 한국기초과학지원연구원의 안정동위원소 질량분석기(VG Isotech PRISM II)를 이용하였다.

하천수의 탄소 동위원소 분석을 위하여 물 시료를 pH 11 이상으로 알카리화한 다음 BaCl_2 용액을 이용하여 탄산 성분을 BaCO_3 으로 침전시켰다. 침전물은 실험실에서 자연 건조시킨 다음 약 104% H_2PO_4 와 90°C에서 24시간동안 반응시켜 발생하는 CO_2 가스를 포집하였다(Swart *et al.*, 1991). 포집된 CO_2 가스는 한국기초과학지원연구원의 안정동위원소 질량분석기(VG Isotech사의 PRISM II model)를 이용하여 탄소 동위원소 조성을 분석하였다. 탄소 동위원소의 분석정밀도는 약 $\pm 0.1\%$ 이다.

황 동위원소 분석을 위하여 현장에서 하천수 시료를 채취한 후 농염산을 이용하여 pH 4 이하로 조절한 후 염화바륨(BaCl_2)을 첨가하여 하천수내 황산염의 성분을 황산바륨(BaSO_4)으로 침전시켰다. 침전된 황산바륨으로부터 Yanagisawa와 Sakai (1983)의 방법에 따라 순수한 SO_2 가스를 분리하여 황 동위원소를 분석하였다. 분리된 SO_2 가스는 한국기초과학지원연구원의 안정동위원소 질량분석기(VG Isotech사의 PRISM II model)를 이용하여 황 동위원소 조성을 분석하였다. 분석정밀도는 약 $\pm 0.2\%$ 이다.

$\delta^{34}\text{S}$ 분석을 위한 표준시료는 CDT(the troilite phase of the Canon Diablo Meteorite)를 사용하며 이의 $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 비는 0.0450이다. $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ 에 대한 표준시료는 V-SMOW를 사용하였다.

2.4. 통계분석

하천수의 화학분석 자료에 대해서 S-plot 프로그램을 이용하여 성분별 평균값, 25% 분위수, 75% 분위수 등의 분포를 포함하는 통계자료인 박스-휘스커(Box-Whisker) 다이어그램을 작도하였다. 박스-휘스커 다이어그램에서 평균값과 제1사 분위수, 제3사 분위수를 박스로 표기하고, 상하의 펜스(lower and upper inner fences)는 제1사분위수-1.5×IQR 값보다 큰 자료 중에 가장 작은 값을, 그리고 제3사 분위수+1.5×IQR 값보다 작은 자료 값 중에 가장 큰 값의 위치를 각각 의미한다. 여기서, IQR(Inter Quantile Range)은 제3사 분위수(75%분위수)와 제1사 분위수(25%분위수)의 차이를 의미한다. 그리고 상하펜스마깁에 존재하는 점들

은 값이 극히 크거나 작은 값을 의미한다.

3. 수리화학적 특성

3.1. 현장수질측정자료

하천수 시료에 대한 pH, Eh, 전기전도도, 용존 산소량, 온도 등 현장 수질측정 자료를 Table 1에 제시하였다. 하천수의 수량은 강수가 하천으로 직접 유입(Direct infiltration)되거나, 강수 후 지표상으로 유출(Run-off)되어 하천으로 유입되거나, 지하수의 중간유출(Inter-flow) 또는 기저유출(Base flow)에 의해 하천으로 유입되는 수량에 의해 결정된다(Hem, 1992). 따라서 하천수의 수리화학적 특성은 강수의 화학조성, 지표유출시 토양 및 암석과의 반응정도, 하천의 중간 또는 기저부분에서 유출되는 지하수의 수질특성, 그리고 생활하수 등의 오염물질의 유입과 같은 다양한 요소에 의해 영향을 받는다.

3.1.1. pH

대전광역시 도심하천 구간별 pH 변화는 Fig. 3에 도시화하였다. pH는 풍수기에 갑천 중·상류(G5~G22)에서는 6.33~9.83의 범위를 보이고, 갑천 하류(G1~G4)에서는 6.96~7.47의 범위를 보인다. 갈수기에는 갑천

중·상류에서 6.34~9.49의 범위를 갑천 하류에서는 6.21~9.37 범위를 각각 보여 강수량에 따른 pH 변화는 중·상류에서는 뚜렷하지 않은 반면, 하류에서는 차이를 보인다. 갑천 일부구간에서 pH 9이상의 고알칼리성의 특성을 보인다. 유등천의 경우 풍수기에는 pH 6.93~9.67의 범위를 갈수기에는 6.93~9.41의 범위로 전체 범위에서는 큰 차이를 보이지는 않지만 시료채취 지점별로는 차이를 보인다. 특히 중류구간인 도심권에서는 최고 pH 10에 가까운 고알칼리성의 특성을 보인다. 대전천은 풍수기에 pH 6.58~9.78의 범위를 갈수기에는 6.55~9.74의 범위를 보여 계절에 따른 pH의 변화는 크지 않지만 도심권 하천수는 다른 하천과 마찬가지로 높은 pH 특성을 보인다. 금강의 경우 풍수기와 갈수기의 pH가 7.05~7.70범위와 7.37~7.90의 범위를 각각 보여 큰 차이를 보이지 않는다.

Fig. 4는 하천별 pH 변화에 대한 박스휘스커(Box-Whisker) 통계 다이어그램이다. 다이어그램에서 풍수기와 갈수기 하천수 전체 pH 평균값은 7.92와 7.76을 각각 보여 약 알칼리성의 특성을 보인다. 유등천과 대전천의 pH 평균은 각각 8.82와 8.95로 갑천보다 높은 특징을 보인다. 이는 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이 유등천과 대전천의 도심권에서 최대 pH 10에 가까운

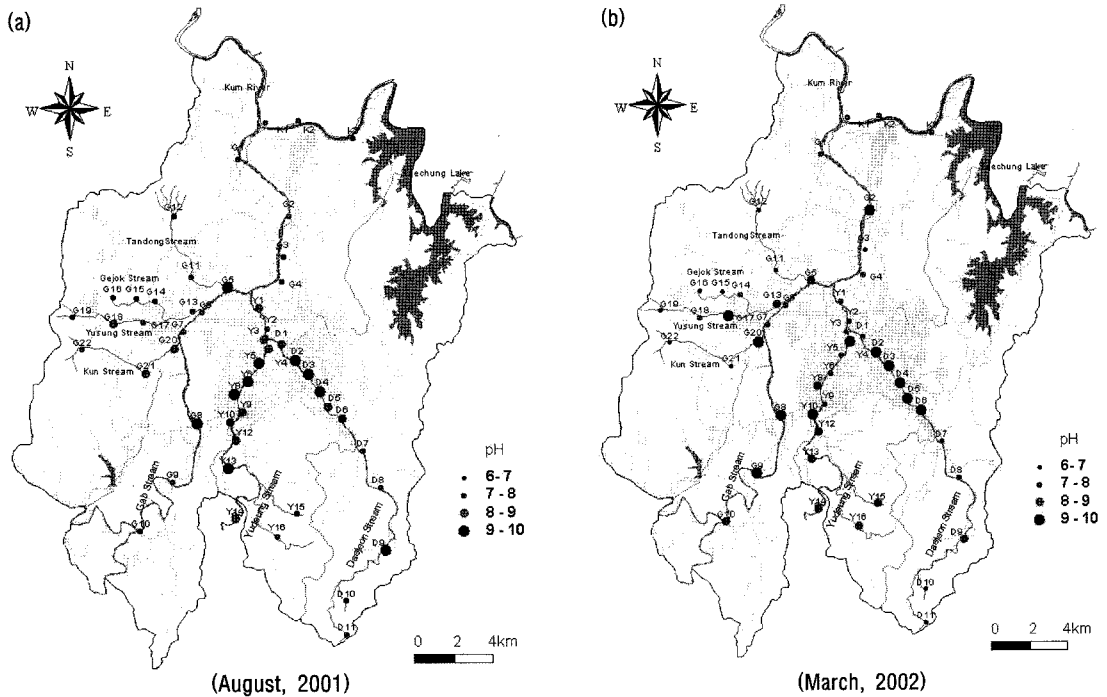


Fig. 3. Map showing the variation of pHs along major streams in the Daejeon area. (a) August, 2001, (b) March, 2002.

Table 1. Physicochemical compositions of water samples collected from major streams in Daejeon area

Sample No	Sampling Date (Y/M/D)	pH	T (°C)	EC (μS/cm)	DO (mg/L)	E _p CO ₂ ²	K	Na	Ca	Mg	Fe	Sr	SiO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₂	NO ₃	F	E(%)
G1	01/8/22	7.49	31.1	313	3.55	7.18	8.40	38.4	25.0	5.32	0.19	0.15	11.4	82.4	39.2	41.5	0.99	11.6	N.D.	0.98
	02/3/13	7.64	14.3	469	9.94	8.30	12.7	63.1	28.9	6.57	0.06	0.16	5.46	175	49.5	50.3	N.D.	11.8	0.26	-4.28
G2	01/8/22	7.39	31.0	325	2.74	9.95	8.60	40.2	25.7	5.28	0.12	0.17	11.3	91.5	40.8	45.3	1.42	12.3	N.D.	-1.41
	02/3/24	9.37	12.9	464	11.5	0.14	11.4	64.9	30.5	7.12	0.06	0.18	7.66	150	58.4	66.5	N.D.	10.7	0.13	-4.06
G3	01/8/22	6.96	29.8	359	2.57	27.5	9.30	44.9	25.6	5.32	0.06	0.15	11.4	94.6	47.9	52.3	N.D.	15.3	N.D.	-4.01
	02/3/24	6.21	12.6	476	8.85	208	11.3	64.5	29.4	6.93	0.05	0.16	7.04	148	59.6	63.0	N.D.	12.8	N.D.	-4.55
G4	01/8/22	7.45	29.7	211	2.01	7.73	5.70	15.3	27.8	3.82	0.15	0.15	8.17	82.0	21.2	19.3	0.53	2.97	N.D.	2.51
	02/3/24	7.35	12.4	274	-	10.2	5.22	29.0	32.4	5.08	0.18	0.15	2.03	115	22.3	33.5	N.D.	7.13	0.17	1.39
G5	01/8/22	9.83	29.3	151	4.49	0.03	3.80	11.9	20.4	3.54	0.09	0.11	7.27	75.6	13.2	10.0	N.D.	N.D.	N.D.	2.41
	02/3/24	8.67	13	318	-	0.47	5.54	43.7	20.5	3.40	0.05	0.15	0.64	111	30.0	21.5	N.D.	5.15	0.27	2.25
G6	01/8/22	7.90	27.5	157	4.52	5.39	3.60	12.4	20.4	3.60	0.18	0.12	7.70	69.2	13.9	10.8	N.D.	2.21	N.D.	4.36
	02/3/14	7.73	9.9	247	7.45	2.82	4.78	32.5	25.2	4.25	0.05	0.14	3.91	90.6	23.0	34.2	N.D.	8.60	0.16	2.50
G7	01/8/22	7.90	26.1	156	4.80	2.44	4.10	12.5	20.3	3.55	0.45	0.16	7.59	72.0	13.8	10.5	N.D.	2.31	N.D.	3.50
	02/3/14	7.73	9.6	264	7.30	3.51	5.12	34.3	24.6	4.31	0.06	0.13	3.59	94.8	23.2	37.9	N.D.	8.30	N.D.	1.22
G8	01/9/1	9.13	30.4	150	6.59	0.15	3.70	10.5	21.0	3.89	0.08	0.11	8.32	75.8	10.4	9.66	N.D.	N.D.	0.20	4.69
	02/3/21	9.49	13.5	176	-	0.05	3.85	16.1	24.7	4.18	0.07	0.12	1.20	78.3	17.7	14.4	N.D.	7.15	0.17	3.73
G9	01/9/1	7.96	26.7	148	3.98	2.39	3.00	10.0	20.9	3.83	0.06	0.11	8.19	81.0	10.1	9.30	N.D.	N.D.	N.D.	1.81
	02/3/21	9.14	12.5	178	-	0.10	3.81	16.6	23.4	3.88	0.05	0.11	3.04	70.1	19.6	14.7	N.D.	12.1	0.24	2.06
G10	01/9/1	6.51	24.4	153	4.71	64.8	3.10	7.84	22.6	4.40	0.06	0.09	9.41	78.6	8.17	13.4	N.D.	4.78	N.D.	0.97
	02/3/21	8.40	13	153	-	0.51	2.56	10.7	23.2	3.89	0.12	0.11	2.25	65.9	12.5	16.6	N.D.	6.80	0.14	2.98
G11	01/9/1	7.43	24.4	320	4.91	11.2	6.50	26.8	24.1	4.79	0.54	0.20	10.2	111	31.3	9.32	0.57	3.70	0.16	-0.65
	02/3/24	6.45	12.5	297	9.95	107	7.74	30.4	24.2	4.60	0.09	0.17	14.9	138	29.0	11.4	N.D.	2.14	0.23	-3.92
G12	01/9/1	6.90	23.8	217	4.41	31.7	2.10	18.6	24.9	5.20	0.05	0.18	11.1	93.0	20.2	7.65	N.D.	4.21	0.20	4.20
	02/3/24	6.36	13.1	237	11.3	85.6	2.62	28.4	25.9	5.31	0.08	0.19	22.6	98.8	29.1	9.40	N.D.	7.60	N.D.	4.79
G13	01/8/21	7.06	28.3	236	3.75	26.0	8.00	22.1	28.0	4.51	0.21	0.21	9.65	112	28.4	9.69	N.D.	3.58	0.15	0.60
	02/3/14	8.48	9.7	389	11.2	0.83	10.00	55.2	32.8	6.63	0.10	0.25	12.5	128	69.8	17.1	N.D.	11.8	0.48	2.17
G14	01/9/1	7.59	28.2	270	5.16	6.64	7.60	29.8	29.5	5.53	0.05	0.23	11.8	96.0	42.7	14.5	N.D.	10.2	0.28	2.46
	02/3/24	7.46	15.2	289	12.4	6.77	7.26	40.8	28.6	4.19	0.05	0.21	22.7	98.8	51.5	12.9	N.D.	13.2	0.27	2.32
G15	01/9/1	6.89	23.3	277	4.39	29.7	4.70	36.6	25.0	3.87	0.22	0.20	8.28	87.0	51.2	6.86	N.D.	4.80	0.26	2.75
	02/3/24	6.39	12.7	266	10.9	82.0	5.76	37.9	26.7	3.65	0.06	0.19	20.3	103	51.6	8.54	N.D.	9.17	0.19	-0.67
G16	01/9/1	6.67	22.4	140	3.78	44.5	2.20	9.99	18.3	2.24	0.07	0.13	4.79	78.0	7.14	3.74	N.D.	2.25	0.00	-0.03
	02/3/24	6.62	13.3	91.9	11.8	18.6	1.71	9.57	11.4	1.24	0.07	0.07	13.5	41.2	6.90	3.30	N.D.	5.70	0.21	4.18
G17	01/9/1	7.15	24.8	212	3.75	16.4	3.80	16.7	28.5	4.51	0.08	0.20	19.6	86.0	17.4	14.5	N.D.	10.6	0.33	4.55
	02/3/21	9.33	12.3	163	-	0.07	3.76	17.8	21.1	2.96	0.21	0.13	12.9	78.3	12.3	9.8	N.D.	9.90	0.45	3.65

Table 1. Continued

Sample No	Sampling Date (Y/M/D)	pH	T (°C)	EC (μS/cm)	DO (mg/L)	EpCO ²	K	Na	Ca	Mg	Fe	Sr	SiO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₂	NO ₃	F	E(%)
G18	01/9/1	8.72	31.2	181	6.63	0.37	3.30	13.1	19.8	2.80	0.15	0.11	11.0	71.7	12.7	10.1	N.D.	6.89	0.43	-0.13
	02/3/24	7.39	13.6	100	11.1	2.83	2.66	8.20	13.0	1.47	0.05	0.06	8.66	37.1	8.1	6.7	N.D.	7.60	0.19	3.82
G19	01/9/1	6.33	24.3	49.5	4.79	13.1	0.50	3.36	3.25	0.74	0.05	0.03	1.58	12.0	1.77	2.82	N.D.	2.92	0.49	0.59
	02/3/24	6.80	9	37.0	11.7	0.51	0.31	3.22	3.84	0.95	0.05	0.02	8.56	6.8	3.4	3.1	N.D.	5.40	0.43	4.58
G20	01/9/1	8.95	31.2	256	7.32	0.33	10.1	31.1	24.7	4.38	0.50	0.17	9.37	109	32.0	13.9	N.D.	2.86	0.33	2.59
	02/3/21	9.45	13.8	268	-	0.07	9.87	41.8	19.9	3.21	0.27	0.13	9.69	107	25.1	35.5	0.51	6.20	N.D.	0.45
G21	01/9/1	8.45	30.4	277	7.01	1.37	11.0	39.4	21.4	3.72	0.31	0.16	7.96	142	26.1	8.72	0.45	2.41	N.D.	1.31
	02/3/24	6.38	15.7	332	5.82	1.24	9.14	42.4	27.6	4.73	0.12	0.19	16.7	149	35.5	24.7	N.D.	5.40	N.D.	-2.50
G22	01/9/1	7.76	29.1	56.7	5.33	1.64	0.70	4.02	8.49	1.36	0.18	N.D.	2.91	36.0	1.52	1.50	N.D.	2.04	0.49	0.37
	02/3/24	6.34	11.2	52.4	10.7	9.22	0.77	3.90	6.70	1.18	0.08	0.03	9.13	15.0	4.39	4.17	N.D.	5.80	0.46	3.94
K1	01/9/11	7.70	27.6	572	4.57	8.38	11.0	98.3	36.4	5.38	0.07	0.16	11.5	156	74.1	78.6	N.D.	13.9	N.D.	2.37
	02/3/13	7.77	12.3	274	9.67	3.54	6.28	41.4	24.4	4.03	0.09	0.12	8.62	107	26.1	38.6	N.D.	7.10	0.16	1.38
K2	01/9/11	7.43	24.6	118	4.38	4.51	2.40	8.10	14.9	3.07	0.04	0.09	6.57	45.8	7.77	11.5	N.D.	5.50	0.14	3.82
	02/3/13	7.90	12.5	142	11.0	1.52	3.27	12.2	18.1	3.42	0.09	0.10	7.32	61.8	10.5	15.1	N.D.	5.10	N.D.	2.74
K3	01/9/11	7.05	26.1	101	3.39	10.0	2.20	6.20	13.5	3.08	0.02	0.09	6.59	43.0	5.78	8.54	N.D.	5.79	0.00	4.81
	02/3/13	7.37	10.9	111	11.5	4.77	2.61	7.63	15.9	3.48	0.05	0.10	7.44	57.6	6.12	8.70	N.D.	5.10	0.20	3.15
D1	01/8/24	8.28	27.1	325	7.54	1.94	6.60	23.0	45.6	7.79	0.24	0.24	16.7	137	32.4	34.4	0.46	5.26	0.15	1.45
	02/3/9	7.58	9.8	294	11.2	6.74	5.77	21.2	44.6	7.51	0.24	0.23	16.1	128	28.3	35.3	N.D.	15.0	N.D.	0.60
D2	01/8/24	9.78	30.4	287	8.86	0.04	6.90	23.0	38.4	6.14	0.20	0.20	13.1	94.6	34.0	36.6	0.37	8.29	N.D.	2.82
	02/3/9	9.03	13.3	292	-	0.22	5.78	22.0	43.0	7.31	0.18	0.22	15.6	117	29.9	35.1	N.D.	16.8	N.D.	1.17
D3	01/8/24	9.15	30.3	296	8.40	0.20	7.30	24.1	35.8	7.07	0.18	0.18	15.1	104	36.6	34.1	N.D.	9.11	N.D.	0.28
	02/3/9	9.74	14.2	284	-	0.03	5.86	24.6	38.4	7.71	0.14	0.21	16.5	95	35.4	38.4	N.D.	22.2	N.D.	0.82
D4	01/8/24	9.71	31.4	273	9.75	0.04	5.80	19.6	37.6	5.92	0.10	0.18	12.7	82.4	27.4	32.5	N.D.	17.2	N.D.	4.54
	02/3/9	9.65	16.2	266	-	0.04	5.38	18.9	38.4	6.85	0.19	0.20	14.7	94.8	24.9	35.9	N.D.	21.5	0.23	1.20
D5	01/8/24	8.98	32.4	279	6.68	0.24	4.60	16.8	38.5	7.46	0.07	0.19	16.0	86.0	21.5	42.6	N.D.	14.8	N.D.	3.75
	02/3/9	9.54	16.6	261	12.3	0.05	4.74	16.6	38.6	7.11	0.11	0.19	15.2	92.6	23.2	38.4	N.D.	22.2	N.D.	0.45
D6	01/8/24	8.9	31.3	259	7.76	0.21	4.50	14.3	35.4	7.19	0.18	0.18	15.4	71.7	18.2	43.0	N.D.	16.1	N.D.	4.31
	02/3/9	9.48	17.7	251	12.7	0.05	5.17	15.5	37.6	7.07	0.05	0.19	15.1	82.4	22.3	40.1	N.D.	23.7	N.D.	1.13
D7	01/8/24	7.06	27.6	192	9.84	11.8	3.50	11.0	25.2	5.75	0.10	0.10	12.3	51.9	12.0	40.9	N.D.	9.10	N.D.	2.54
	02/3/9	6.55	18	234	11.0	29.4	5.13	15.5	29.6	7.06	1.37	0.12	15.1	53.6	24.1	43.3	N.D.	24.3	0.17	0.10
D8	01/8/24	7.35	29	179	5.96	7.04	2.90	7.06	26.1	1.13	0.10	0.10	13.1	59.5	7.01	36.2	N.D.	5.47	N.D.	4.21
	02/3/9	7.74	11.9	201	11.6	1.79	2.46	8.06	28.2	6.47	0.07	0.10	13.8	51.4	13.7	33.8	N.D.	17.3	0.25	2.88
D9	01/8/24	9.35	31	165	8.79	0.08	2.40	8.53	23.5	5.75	0.10	0.10	12.3	67.0	8.10	29.3	N.D.	2.90	N.D.	2.31
	02/3/9	8.76	13.6	175	10.0	0.16	2.42	10.5	24.3	5.74	0.07	0.09	12.3	49.4	13.9	34.2	N.D.	12.1	N.D.	2.25

Table 1. Continued

Sample No	Sampling Date (Y/M/D)	pH	T (°C)	EC (μS/cm)	DO (mg/L)	EpCO ²⁻	K	Na	Ca	Mg	Fe	Sr	SiO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₂	NO ₃	F	E(%)
D10	01/8/24	6.58	20.4	65.5	4.52	15.3	0.60	3.73	8.39	2.68	0.06	0.06	5.73	23.0	1.52	15.7	N.D.	N.D.	0.20	3.90
	02/3/9	6.99	9.9	63.1	10.5	3.27	0.70	3.54	7.58	2.30	0.20	0.04	4.92	18.5	2.68	13.0	N.D.	7.70	0.55	-4.04
D11	01/8/24	7.80	25	140	5.90	3.48	1.30	3.66	24.9	5.14	0.05	0.07	11.0	82.0	1.92	15.3	N.D.	3.84	N.D.	2.18
	02/3/9	6.81	8.3	115	9.95	16.0	1.04	3.21	19.9	3.99	0.07	0.05	8.54	53.6	2.59	20.2	N.D.	7.50	N.D.	-0.15
Y1	01/8/24	8.90	30.1	243	7.80	0.39	5.60	17.5	36.0	6.00	0.36	0.20	12.8	115	22.2	22.9	N.D.	1.87	N.D.	2.89
	02/3/9	7.74	8.7	262	12.6	5.25	5.68	52.8	43.2	10.7	0.18	0.32	22.8	144	72.9	31.2	N.D.	11.0	N.D.	2.24
Y2	01/8/21	7.47	28	229	3.44	9.29	3.70	12.3	34.0	5.65	0.24	0.16	12.1	106	13.4	20.6	N.D.	3.12	N.D.	3.71
	02/3/9	7.54	12.7	309	12.1	8.58	5.98	23.0	45.4	7.86	0.68	0.25	16.8	149	35.8	37.7	N.D.	13.3	0.13	-4.54
Y3	01/8/21	8.06	30	207	4.83	2.43	3.70	10.4	33.6	5.51	0.30	0.15	11.8	105	12.1	21.0	N.D.	2.89	N.D.	2.62
	02/3/10	6.93	10.8	233	8.26	32.5	3.94	11.3	40.2	5.80	0.27	0.14	12.4	140	15.7	24.5	N.D.	9.00	N.D.	-4.85
Y4	01/8/21	8.93	30.4	210	5.06	0.35	3.80	11.0	33.7	5.58	0.17	0.15	11.9	111	12.5	19.4	N.D.	2.69	N.D.	1.82
	02/3/10	9.41	12	238	9.95	0.11	4.00	11.5	40.6	5.88	0.14	0.14	12.6	144	15.0	23.8	N.D.	8.50	0.29	-4.82
Y5	01/8/21	9.67	29.6	167	5.09	0.05	2.60	8.45	28.0	4.65	0.12	0.11	9.95	82.0	9.22	18.2	N.D.	2.82	0.19	4.17
	02/3/10	7.36	12.5	238	9.30	11.2	4.35	11.1	37.4	5.27	0.60	0.13	11.3	130	14.3	23.3	N.D.	9.60	0.27	-4.70
Y6	01/8/21	9.07	30.4	185	6.15	0.20	3.00	9.80	30.2	5.00	0.09	0.12	10.7	87.0	11.0	21.7	N.D.	3.45	0.17	3.71
	02/3/11	7.74	13.9	230	9.38	3.55	4.95	12.6	38.2	4.77	0.23	0.12	10.2	98.8	15.7	28.6	N.D.	11.5	N.D.	2.27
Y8	01/8/21	9.26	30.4	179	5.74	0.11	3.00	9.84	28.3	4.79	0.08	0.11	10.2	79.0	10.9	21.5	N.D.	3.44	0.15	4.56
	02/3/13	8.63	17.3	221	11.1	0.56	3.42	14.4	37.8	5.05	0.15	0.12	10.8	120	16.8	32.0	N.D.	10.4	0.17	-4.11
Y9	01/8/21	8.79	29.3	172	5.39	0.37	2.90	7.52	28.9	4.88	0.08	0.11	10.4	85.0	8.05	17.0	N.D.	3.70	N.D.	5.03
	02/3/14	7.90	13	197	9.07	2.77	2.94	7.98	35.4	5.18	0.08	0.11	11.1	111	11.1	21.4	N.D.	10.6	N.D.	-2.50
Y10	01/8/21	8.57	31.1	170	5.60	0.63	2.60	7.00	28.1	4.79	0.13	0.11	10.2	88.0	7.43	17.0	N.D.	3.80	0.17	2.26
	02/3/15	9.05	17.4	192	12.7	0.19	2.92	7.76	33.5	4.86	0.05	0.10	10.4	105	11.1	21.5	N.D.	10.5	0.15	-3.34
Y12	01/8/21	8.84	31.8	167	6.24	0.33	2.70	6.59	28.5	4.10	0.05	0.10	8.77	86.0	7.07	16.9	N.D.	3.07	0.24	2.23
	02/3/17	8.12	13.1	194	10.1	1.63	2.92	7.78	34.5	5.02	0.05	0.11	10.7	109	11.0	21.3	N.D.	11.1	0.26	-3.54
Y13	01/8/21	9.15	33.1	158	4.91	0.15	2.80	6.44	26.6	4.43	0.05	0.10	9.48	81.0	7.09	16.9	N.D.	3.17	0.19	2.68
	02/3/18	8.90	15	185	11.4	0.25	2.64	7.39	33.3	4.93	0.08	0.10	10.5	98.8	10.8	21.3	N.D.	10.8	0.18	-1.82
Y14	01/8/21	8.38	31.1	175	5.23	1.01	3.10	6.96	29.7	4.82	0.29	0.10	10.3	91.0	7.88	19.5	N.D.	3.37	N.D.	2.02
	02/3/19	8.65	13	202	10.8	0.50	3.18	7.36	37.5	5.59	0.07	0.10	12.0	113	11.6	24.8	N.D.	11.8	0.21	-2.94
Y15	01/8/21	6.93	28.4	57.6	4.80	8.20	0.70	4.97	7.69	1.13	0.05	0.05	2.42	27.5	1.93	9.00	N.D.	2.82	N.D.	-1.76
	02/3/20	8.50	11.8	49.5	10.4	0.09	0.77	4.97	5.63	0.82	0.05	0.03	1.75	16.5	2.91	4.80	N.D.	6.10	0.25	1.82
Y16	01/8/21	7.90	25.6	291	4.64	3.71	4.20	7.61	53.3	8.97	0.18	0.18	19.2	110	4.05	78.4	N.D.	4.43	0.18	2.68
	02/3/21	8.97	15.4	258	10.7	0.27	3.97	7.89	49.2	7.74	0.05	0.15	16.6	128	6.6	64.7	N.D.	8.70	0.19	-3.36

E,C.: Electrical conductivity, D.O.: Dissolved oxygen, T: Temperature, E: Charge balance error
 -: Not measured, N.D.: Not Detection

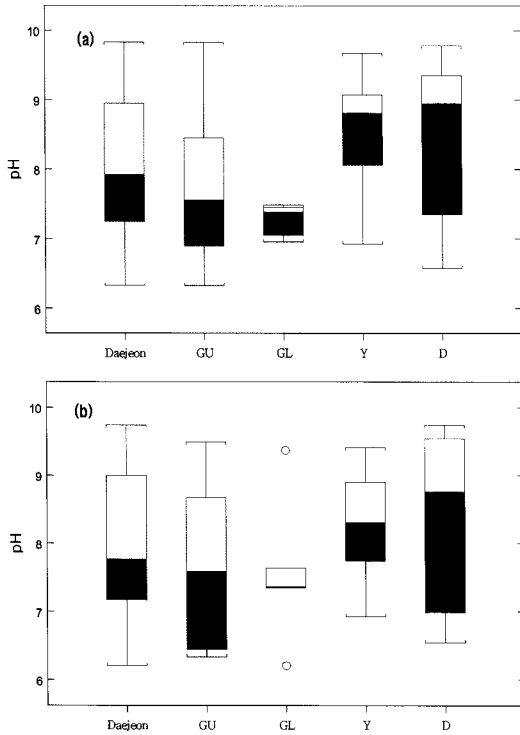


Fig. 4. Box-Whisker diagram showing the statistical values of pHs of stream water samples in the Daejeon area: (a) August 2001, (b) March 2002. GU: Upper Gab Stream, GL: Lower Gab Stream.

고알카리성 때문인데, 이와 같은 고알카리성의 원인은 자연적 반응에 의한 것보다는 도심권의 대규모 아파트 단지에서 유출되는 일부 생활하수 중의 세제와 관련된 것으로 보인다. 아파트의 설계구조를 보면 앞뒤베란다에 설치된 우수관은 아파트 옥상의 강수가 모여 관로를 통하여 하천으로 유입되도록 설계되어 있다. 그러나 가구에 따라서 아파트 베란다에서 청소 및 세탁을 함으로서 발생하는 생활오수가 우수관을 통하여 배수되어 이들이 하천으로 유입되어 하천수를 알카리화시키는 것으로 판단된다. 현장조사 시 아파트단지주변을 통과하는 하천에서 비누거품을 쉽게 확인할 수 있어 이와 같은 사실을 뒷받침하고 있다.

3.1.2. 전기전도도

하천별 전기전도도 특성은 Fig. 5에서 도시하였다. 풍수기의 갑천 중·상류의 전기전도도는 49.5~320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보이고, 갑천 하류에서는 211~359 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 높아진다. 유등천의 전기전도도는 57.6~291 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보이고, 대전천에서는 65.5~325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범

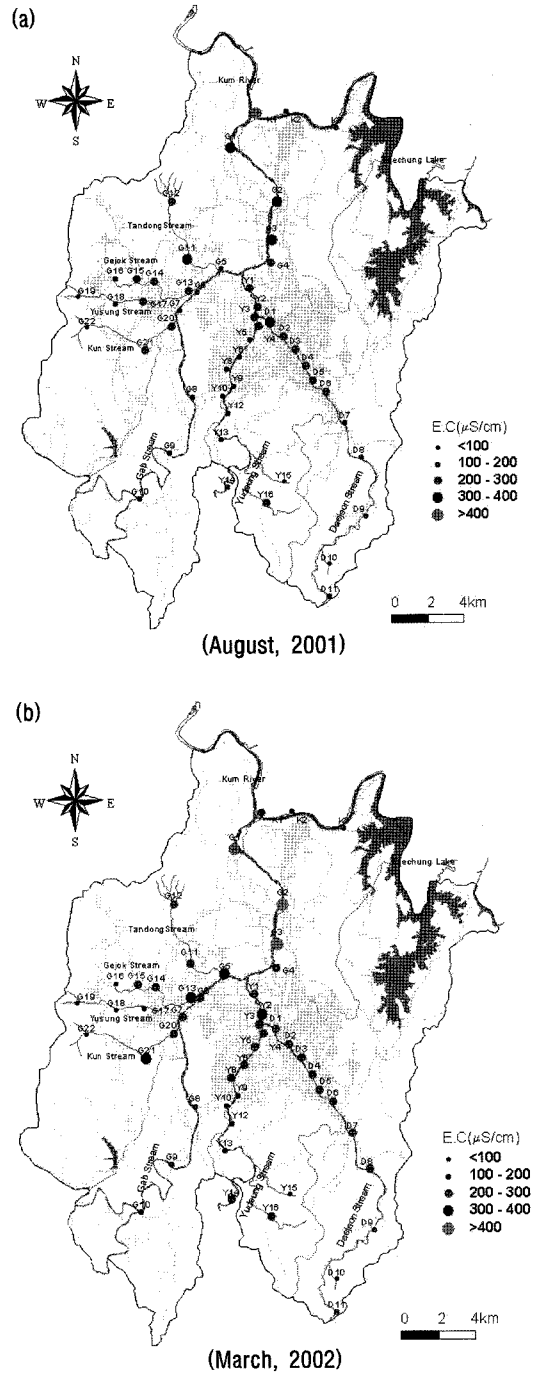


Fig. 5. Map showing the variation of electrical conductance along major streams in the Daejeon area. (a) August, 2001, (b) (March, 2002).

위를 보여 유등천 보다 높은 값을 보인다. 금강의 경우 101~572 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위의 전기전도도값을 보인다. 갈

수기에는 갑천 중·상류의 전기전도도는 37~389 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보이고, 갑천 하류의 전기전도도는 274~476 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위로 풍수기에 비해 높은 값을 보인다. 유등천의 전기전도도는 49.5~309 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위를, 대전천의 경우 63.1~294 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위를, 금강은 111~142 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 전체적으로 풍수기보다 갈수기에 더 높은 전기전도도 값을 보인다.

Fig. 6은 하천수의 전기전도도에 대한 박스-휘스커(Box-Whisker) 통계 다이어그램이다. 갑천하류와 유등천의 전기전도도 값이 대전천과 갑천중·상류에 비해 높은 값을 보인다. 그리고 풍수기보다 갈수기에 전기전도도의 평균값이 높은 특성을 보인다. 특히 갑천하류는 풍수기에 비해 갈수기에 전기전도도 값의 큰 증가를 보인다. 이는 풍수기에는 하천수에 전기전도도 값이 낮은 강수의 유입량이 갈수기에 비해 상대적으로 많기 때문으로 해석되며, 갈수기에는 강수의 보다는 지하수의 중간유출수와 일부생활하수의 유입 등으로 전기전도도가 높아지는 것으로 해석된다. 갑천하류 지점

(G1~G3)은 대전광역시 하수종말처리장의 방류수가 합류되는 구역으로 건기에 하천수량의 감소로 방류수의 희석정도가 풍수기에 비해 낮은 것에 기인하는 것으로 보인다. 하수종말처리는 BOD 20 ppm을 방류수 기준으로 하여 하루에 763,000 m^3 의 처리수를 방류하고 있다(대전광역시, 2000). 이와 같은 높은 방류수 기준에 의해 갑천 하류의 전기전도도는 중상류에 비해 크게 증가한다. 금강(K1~K2)의 전기전도도는 풍수기와 갈수기에 100~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 낮은 범위를 보인다.

하천의 상, 중, 하류로 구분하여 보면 상류에서는 대체적으로 100~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위의 전기전도도 값을 보이다가 중류인 도심권을 통과하면서 200~300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 증가하고, 하류에서는 300~400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 지속적으로 증가하는 경향을 보인다. 이런 변화는 갈수기에서 더 뚜렷하다. 이 같은 전기전도도의 변화는 상류에서 상대적으로 전기전도도 값이 낮은 강수와 중간유출수의 영향이 크고, 하류로 향할수록 전기전도도 값이 상대적으로 높은 지하수와 생활하수의 유입량이 증가하고, 하상퇴적물과의 반응으로 광물질의 함량이 증가하기 때문으로 해석된다.

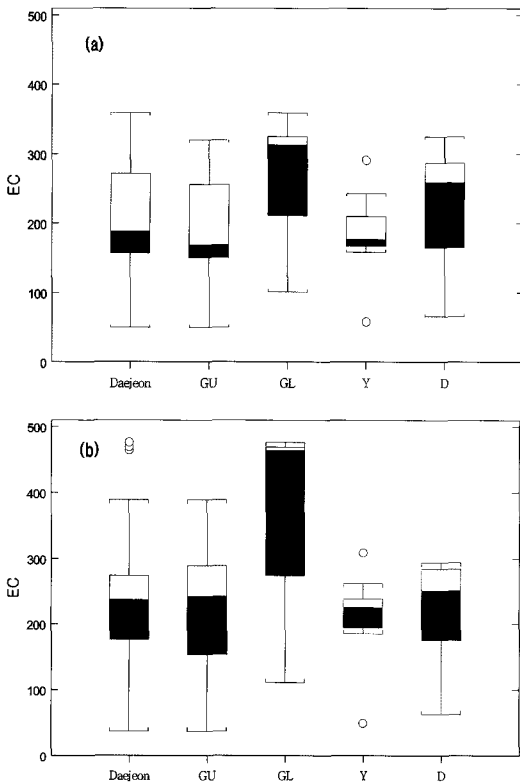


Fig. 6. Box-Whisker diagram showing the statistical values of electrical conductance of stream water samples in the Daejeon area. (a) August 2001, (b) March 2002.

3.1.3. 용존산소 및 온도

하천수의 용존산소량은 수질의 등급을 결정하는 중요한 요소로 유기오염의 정도를 평가하는 기준으로 이용된다. 물 속에 용존 산소는 공기 중 유리산소가 물에 용해되거나, 식물의 광합성으로부터 분리, 농집된 산소에서 기원한다(Choi, and Kim, 1997). 일반적으로 10 mg/L 이상의 용존산소를 함유하면 1급수의 특성을 갖는다. 풍수기의 갑천 중·상류의 용존산소량은 3.75~7.32 mg/L의 범위를 보이고, 갑천 하류의 용존산소량은 2.01~3.55 mg/L, 유등천의 용존산소량은 3.44~7.80 mg/L, 대전천의 용존산소량은 4.52~9.75 mg/L, 금강의 용존산소량은 3.39~4.57 mg/L의 값을 보인다. 갈수기의 갑천 중·상류의 용존산소량은 5.82~9.49 mg/L의 값을 보이고, 갑천 하류의 용존산소량은 8.85~11.5 mg/L의 범위를, 유등천의 용존산소량은 8.26~12.7 mg/L, 대전천의 용존산소량은 9.95~12.7 mg/L, 금강의 용존산소량은 9.87~11.5 mg/L의 값을 보이고 있다. 풍수기에 비해 갈수기에 더 높은 용존산소 함량을 보인다. 이는 갈수기의 대기온도가 풍수기에 비해 낮아 대기중 산소가 하천수에 용해되는 정도가 높아졌기 때문으로 해석된다.

하천수의 수온은 풍수기에 20.4~32.4°C의 범위를 보이고, 갈수기에는 8.7~17.4°C의 온도범위를 보여

계절과 측정시간에 따른 차이를 보인다.

3.2. 주요 원소성분

대전광역시 3대 하천 및 지천 시료에 대한 주요 화학성분 자료는 Table 1에 정리되어 있다. 화학분석자료의 신뢰성을 확인하기 위해서 분석된 총 양이온과 총 음이온 함량을 당량으로 환산하여 전하균형을 계산하였다. 모든 시료의 전하균형은 $\pm 5\%$ 미만으로 분석자료의 신뢰도가 높은 것으로 확인되었다.

Fig. 7은 풍수기와 갈수기에 하천수의 양이온 및 음이온에 대한 박스-휘스커(Box-Whisker) 통계 다이어그램이다. 풍수기에 가장 풍부한 이온은 Ca이며, 그 다

음으로 Na, Mg, K의 순서를 보인다. Na 함량은 풍수기와 갈수기에서 큰 차이를 보이는 반면, K, Ca, Mg 함량 평균값은 풍수기와 갈수기에 따라 큰 차이를 보이지는 않는다. 음이온의 경우 HCO_3^- 성분이 가장 우세한 것으로 나타났다. 그 다음으로 SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- 순서를 보인다. 갈수기에 하천수의 음이온 성분의 평균값은 풍수기보다 높아졌음을 보인다.

3.2.1. 양이온 성분

Fig. 8은 하천별, 시기별 주요 양이온 성분의 농도분포를 박스-휘스커 다이어그램으로 나타낸 그림이다. 하천별, 시기별 평균적인 이온농도 특성을 보면 K 성분은 갑천하류에서 평균적으로 8.5~11 mg/L의 농도범위

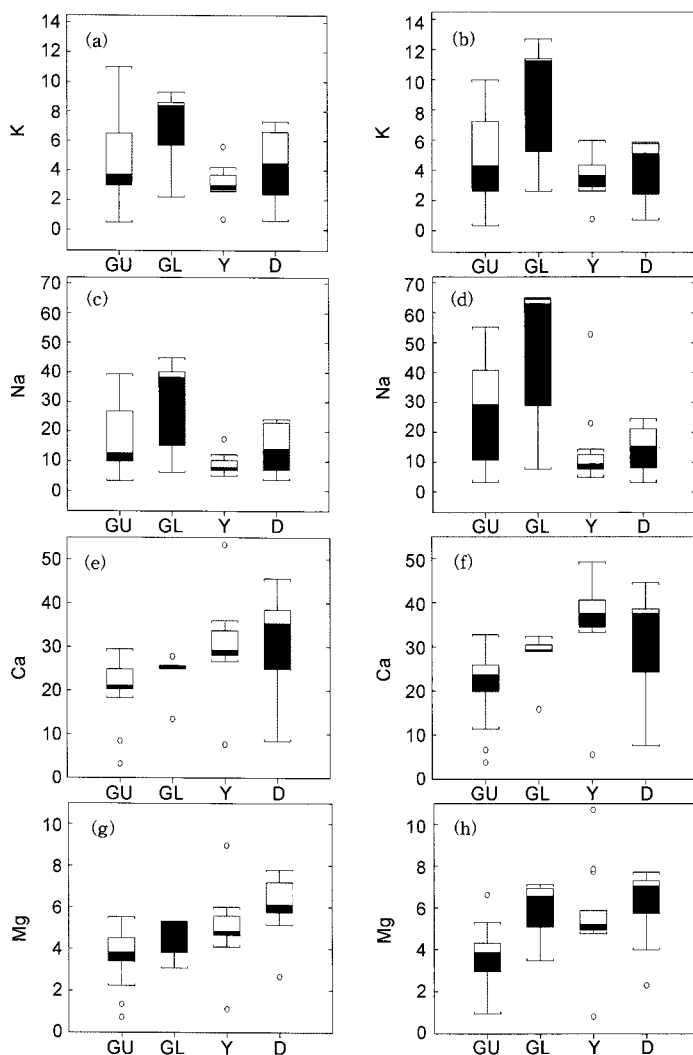


Fig. 7. Box-Whisker diagram showing the statistical values of major cations of stream waters samples in the Daejeon area. (a), (c), (e) and (g) : August 2001, (b), (d), (f) and (h) : March 2002.

로 대전천, 갑천중·상류, 유등천의 평균 4 mg/L 내외와 비교하면 상당히 높은 값을 보인다. Na 함량도 갑천하류가 다른 하천에 비해 훨씬 높은 평균농도를 보인다. 하천별 Na의 함량은 풍수기에 갑천하류, 대전천, 갑천중·상류, 유등천의 순서를 보이고, 갈수기에는 갑천상류가 대전천보다 더 높은 함량을 보인다. Ca과 Mg 성분의 경우 대전천에서 가장 높은 농도 값을 보이고, 유등천, 갑천하류, 갑천중·상류의 순서로 낮은 값을 보인다. 다만 Mg 성분의 경우 갈수기에는 대전천, 갑천하류, 유등천, 갑천중·상류의 순으로낮아지는 경향을 보인다. 시기별로는 일부성분(Mg)을 제외한 대부분의 하천에서 풍수기에 비해 갈수기에 더 높은 양이온의

함량을 보인다.

K, Na성분이 갑천하류에서 높은 것은 하수종말처리장의 방류수의 영향 때문으로 보인다. 대전천에서 높은 Ca, Mg 함량을 보이는 것은 대전천의 상류는 옥천 변성퇴적암의 석회암지역을 통과하지만 다른 하천들은 화강암지역을 통과하는 것을 고려하면 지질의 영향이 반영된 것으로 추정된다.

3.2.2. 음이온 성분

Fig. 9는 하천수 시료내 주요 음이온 성분에 대한 박스휘스커 다이어그램이다. 주요 음이온중 중탄산(HCO₃)이 가장 풍부한 성분으로 풍수기에 12.0~156 mg/L범

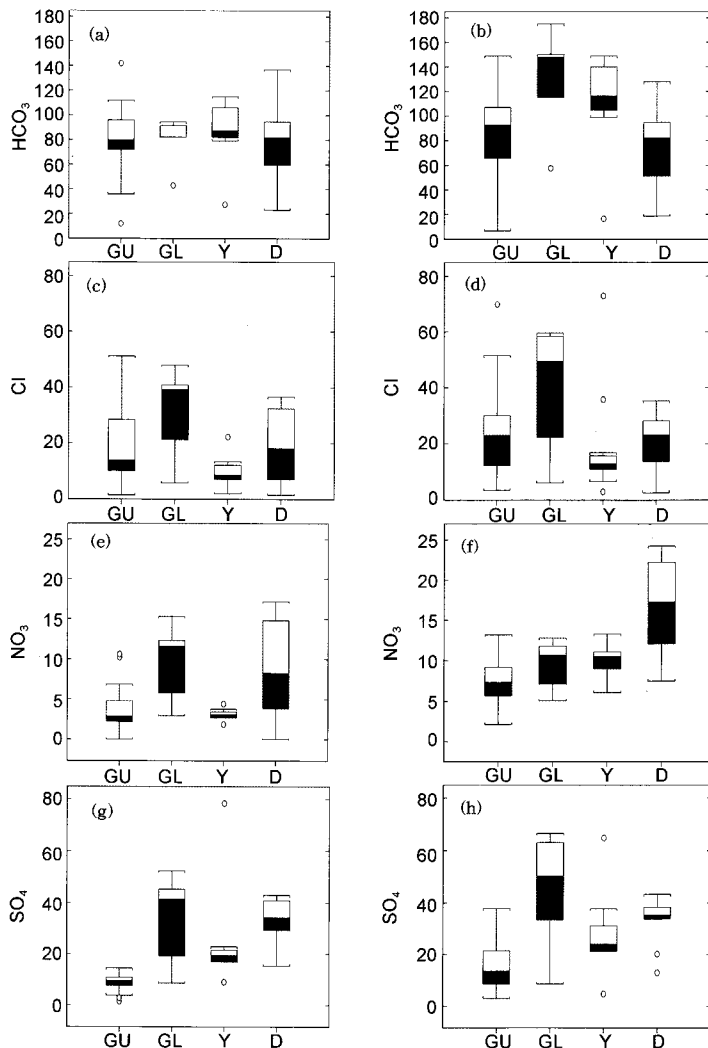


Fig. 8. Box-Whisker diagram showing the statistical values of major anions of stream waters samples in the Daejeon area. (a), (c), (e) and (g) : August 2001, (b), (d), (f) and (h) : March 2002.

위의 농도를 보이고, 갈수기에 6.8~175 mg/L 범위의 농도를 각각 보인다 (Fig. 7). 중탄산의 농도는 풍수기에는 하천별 평균농도의 차이가 크지 않지만, 갈수기에는 하천별로 큰 차이를 보인다. 특히 갑천하류에서 갈수기에 높은 증가를 보인다. 하천수 내 중탄산 성분의 기원은 대기중 CO₂의 용해, 토양내 유기물의 분해로부터 생성되는 CO₂의 용해, 중탄산을 함유한 지하수의 기저유출, 그리고 하상퇴적물중 탄산염광물의 용해 등에 의해 공급될 수 있다. 갑천하류에서 갈수기에 중탄산의 함량이 높은 것은 하수종말처리장으로부터 방류되는 방류수 내 유기물의 함량이 높기 때문으로 해석된다.

하천수내 황산염(SO₄) 성분은 풍수기에 1.5~78.6 mg/L 농도를, 갈수기에 3.1~66.5 mg/L의 범위를 각각 보여 하천지점별 큰 차이를 보인다. 황산염이온(SO₄) 성분은 황철석과 같은 황화광물의 산화 작용에 의해 공급되거나 화석연료나 공장에서 배출되는 대기중의 이산화황(SO₂)에 의해 영향을 받는다 (Hem, 1992). 황산염과 중탄산의 황성분과 탄소성분의 기원에 대해서는 후술될 동위원소 특성에서 언급하였다.

하천수의 염소(Cl) 성분은 갈수기에 1.52~74.1 mg/L, 풍수기에 2.59~72.9 mg/L의 범위를 각각 보인다. Cl의 기원은 Cl을 함유하는 광물의 용해 혹은 생활하수 등에 의해 공급될 수 있다. 갑천하류에서 높은 Cl의 함량은 하수종말처리장의 방류수의 유입 때문으로 해석된다.

질산염(NO₃) 성분은 풍수기에 0~17.2 mg/L 범위를 갈수기에 2.14~24.3 mg/L의 범위를 보여 갈수기에 약간 높은 값을 보인다. 하천수내 질산염 성분은 대기와 토양으로부터 공급되는 것과 질소비료, 정화조, 생활하수 등 오염원으로부터 공급되는 것으로 구분된다 (Hem, 1992). 하천수내 질산염의 농도가 높은 것은 생활하수 등 오염물질 유입의 영향으로 보인다. 일부 하천에서는 NO₂가 소량으로 검출되었다. 하천수 내 불소(F)의 함량은 0.55 mg/L 이하로 낮은 값을 보여 준다.

하천별로 보면 풍수기에는 갑천하류에서 Cl, SO₄, NO₃의 농도가 다른 하천에 비해 높은 함량을 보인다. 갑천하류에 이어 대전천>유등천>갑천중·상류의 순서로 일부를 제외한 음이온의 함량이 낮은 특성을 보인다. 그러나 갈수기에는 풍수기와 다른 양상을 보여 준다. HCO₃의 함량은 갑천하류>유등천>갑천중·상류>대전천의 순서를 보이고, Cl의 농도는 갑천하류>대전천~갑천중·상류>유등천 순서를 보인다. NO₃농도의 경우에는 대전천>유등천~갑천하류>갑천중·상

류의 순서를 보인다. SO₄의 함량은 갑천하류>대전천>유등천>갑천중·상류의 순서를 보인다.

그리고 하천별 음이온의 평균적인 농도는 양이온 성분과 마찬가지로 풍수기보다 갈수기에서 더 높은 특성을 보인다. 이는 풍수기에 이온함량이 낮은 강수량이 많아 하천수의 이온성분의 농도가 희석된 결과로 보인다.

금강의 경우에는 HCO₃의 농도는 풍수기에 43~156 mg/L의 농도를 갈수기에는 57.6~107 mg/L의 농도를 각각 보여 갈수기에 더 높은 함량특성을 보인다. 그러나 Cl, NO₃, SO₄ 성분들은 갈수기보다 풍수기에 더 높은 농도를 보인다. 이것은 대전 도심하천의 특성과는 반대되는 현상으로 금강으로 유입되는 갑천의 수

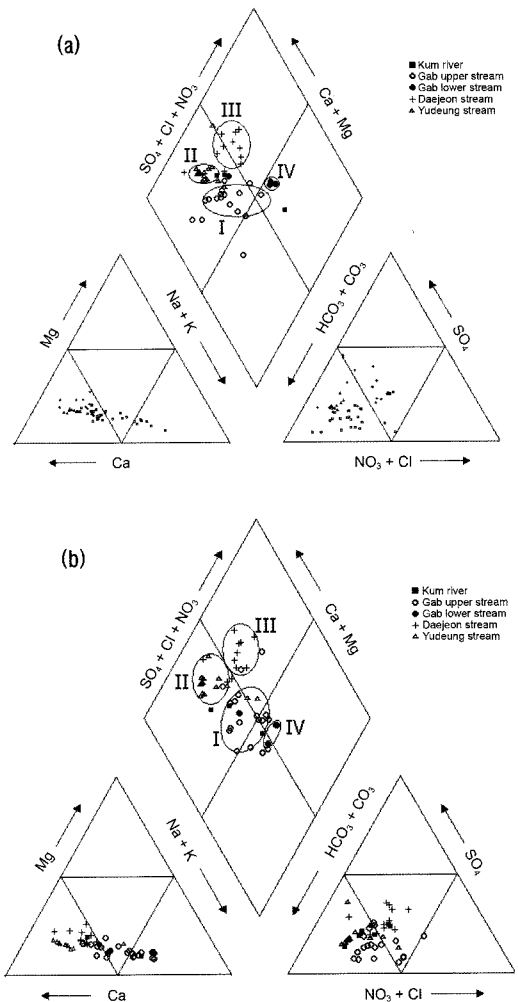


Fig. 9. Trilinear plots showing chemical composition of stream water samples in the Daejeon area. (a) August 2001, (b) March 2002.

리화학적 특성보다는 수량에 주된 영향을 미치는 대청호의 수리화학적 특성 변화에 더 큰 영향을 받는 것으로 추정된다.

3.3. 수리화학적 유형

Fig. 10은 대전광역시 3대 하천수의 화학성분을 풍수기와 갈수기로 구분하여 파이퍼도(Piper, 1944)에 도시하였다. 하천수내 질산염(NO₃)의 농도가 수질특성에 영향을 미칠 정도의 함량을 보이므로 파이퍼 원도에 질산염을 추가한 수정된 파이퍼도를 만들었다(Jeong, 2001). Fig. 10(a)에서의 하천수의 수리화학적 유형을 보면 크게 4개의 그룹으로 구분된다. 그룹 I은 갑천상류에 해당되며 주로 Ca-HCO₃ 유형의 영역에 분포한다. 그룹 II는 유등천과 금강이 주로 이 그룹에 해당되며, Ca(Mg)-HCO₃ 유형을 보인다. 그룹 III은 대전천으로 Ca-HCO₃ 유형과 Ca(Mg)-SO₄(Cl)유형의 경계부분에 걸쳐서 분포한다. 그룹 IV에는 갑천하류가 속하며 Na-(SO₄+Cl, HCO₃) 유형을 보인다. Fig. 10(b)를 보면 갈수기에 하천수의 수리화학적 유형은 풍수기에 비하여 전반적으로 Ca(Mg)-SO₄(Cl) 유형과 Na-(SO₄+Cl, HCO₃) 유형으로 약간 전이되었음을 보여준다. 이와 같은 수리화학적 유형의 전이는 하천수내 SO₄, Cl, NO₃의 농도가 높아져 풍수기에 비하여 갈수기에 수리화학적으로 수질이 악화됨을 보여준다. 하천수의 화학성분이 하천별로 구분되는 것은 수질화학적 특성에 영향을 미치는 요소가 서로 다르게 관여되었음을 의미한다. 그룹 III의 대전천과 그룹 IV의 갑천 하류는 SO₄, NO₃, Cl,

Na 등의 함량이 증가하는 것으로 보아 방류수와 인위적 오염물질 유입의 영향이 큰 것으로 보인다. 그룹 I의 갑천 중상류와 그룹 II의 유등천은 화학적 유형에서 큰 차이를 보이지는 않지만 약간의 차이는 자연적인 요소와 인위적 요소가 모두 관여된 것으로 판단된다. 즉, 지하수의 유입, 지질분포의 차이, 생활하수의 유입 정도 등의 차이에 의한 것으로 보인다.

4. 동위원소적 특성

안정동위원소인 ¹H/²H, ¹²C/¹³C, ¹⁶O/¹⁸O 및 ³²S/³⁴S의 동위원소 조성비는 지구환경연구에 유용한 동위원소로 알려져 있다. 이 연구에서는 대전지역 도시 하천수에 대한 상기 동위원소들을 분석하여 물의 순환과정에서의 하천수의 동위원소적 특성과 황 및 이산화탄소의 기원을 해석하고자 하였다. 분석자료는 Table 2에 제시하였다.

4.1. 산소 및 수소 동위원소

대전지역 3대 하천수의 δD값은 -51‰~-71‰의 범위를 보이고 δ¹⁸O 값은 -9.5‰~-16‰의 범위를 보이고, 산소-수소 동위원소비는 δD=6.45δ¹⁸O-7.4로서 이는 Craig(1961)의 순환수선(global meteoric water line: δD=8δ¹⁸O+10)보다 다소 하향 이동되어 도시된다(Fig. 11). 이와 같은 특성은 기단특성의 변화와 하천수의 표면 증발효과에 의한 것으로 보인다(Kim and Lee, 2002; Lee and Lee, 1999).

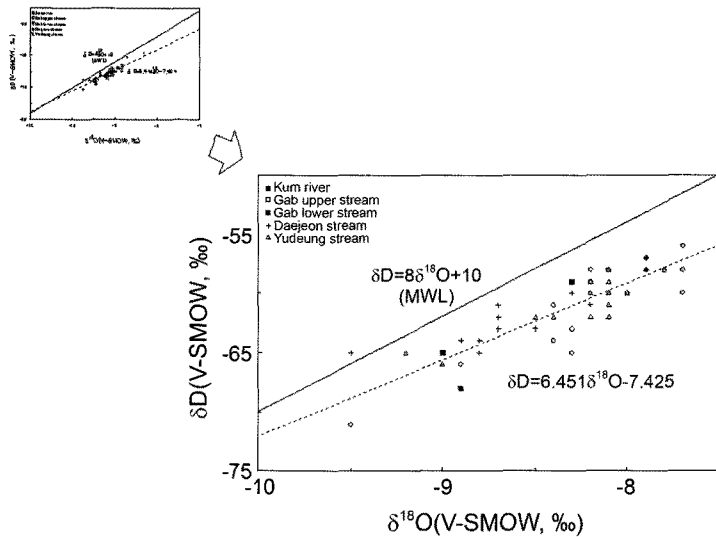


Fig. 10. Diagram of δ¹⁸O versus δD values of major stream water in the Daejeon area.

Table 2. Isotope composition of water samples from major streams in Daejeon City

Sample No	Stream	Sampling Date	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}, \text{PDB})$	$\delta^{18}\text{O}(\text{V-SMOW}, \text{‰})$	$\delta^2\text{H}(\text{V-SMOW}, \text{‰})$	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰}, \text{CDT})$
G1	Gab stream	8/22	-9.9	-7.9	-57	5.0
G2	Gab stream	8/22	-8.4	-7.9	-58	4.8
G3	Gab stream	8/22	-11.5	-7.9	-58	4.7
G4	Gab stream	8/22	-12.4	-6.6	-48	4.9
G5	Gab stream	8/22	-10.1	-7.7	-56	7.5
G6	Gab stream	8/22	-12.3	-7.7	-56	6.3
G7	Gab stream	8/22	-13.5	-7.7	-58	7.1
G8	Gab stream	9/1	-11.9	-7.4	-51	7.0
G9	Gab stream	9/1	-13.3	-7.7	-56	5.9
G10	Gab stream	9/1	-15.7	-7.8	-58	4.6
G11	Tandong stream	9/1	-12.0	-8.1	-58	9.0
G12	Tandong stream	9/1	-15.4	-8.2	-58	7.9
G13	Gejok stream	8/22	-14.9	-8.1	-58	9.4
G14	Gejok stream	9/1	-13.9	-8.2	-59	7.4
G15	Gejok stream	9/1	-15.6	-8.4	-64	6.1
G16	Gejok stream	9/1	-16.4	-8.9	-66	-
G17	Yusung stream	9/1	-13.7	-8.3	-63	6.5
G18	Yusung stream	9/1	-8.2	-8.4	-61	-
G19	Yusung stream	9/1	-	-9.5	-71	6.1
G20	Gun stream	9/1	-10.8	-7.7	-60	8.9
G21	Gun stream	9/1	-11.3	-8.3	-65	7.3
G22	Gun stream	9/1	-14.8	-8.0	-60	-
K1	Kum River	9/11	-7.8	-8.3	-59	3.4
K2	Kum River	9/11	-10.5	-9.0	-65	3.7
K3	Kum River	9/11	-12.3	-8.9	-68	5.0
Y1	Yudeung stream	8/24	-10.2	-7.8	-58	5.9
Y2	Yudeung stream	8/21	-	-8.1	-58	4.6
Y3	Yudeung stream	8/21	-11	-8.1	-61	-
Y4	Yudeung stream	8/21	-11.5	-8.0	-60	4.6
Y5	Yudeung stream	8/21	-10.8	-8.1	-59	-
Y6	Yudeung stream	8/21	-12.2	-8.1	-60	3.0
Y8	Yudeung stream	8/21	-12.2	-8.2	-60	3.1
Y9	Yudeung stream	8/21	-11.9	-8.1	-62	2.7
Y10	Yudeung stream	8/21	-12.1	-8.2	-62	2.7
Y11	Yudeung stream	8/21	-	-9.0	-66	-
Y12	Yudeung stream	8/21	-13.2	-8.5	-62	-
Y13	Yudeung stream	8/21	-12.8	-8.2	-59	2.3
Y14	Yudeung stream	8/21	-13.5	-8.4	-62	-
Y15	Yudeung stream	8/21	-18.8	-9.2	-65	-
Y16	Yudeung stream	8/21	-13.9	-9.0	-66	-4.3
D1	Daejeon stream	8/24	-	-8.2	-61	3.8
D2	Daejeon stream	8/24	-12.5	-8.3	-60	3.8
D3	Daejeon stream	8/24	-13.6	-8.5	-63	2.9
D4	Daejeon stream	8/24	-19.1	-8.7	-63	2.3
D5	Daejeon stream	8/24	-14	-8.7	-62	1.9
D6	Daejeon stream	8/24	-12.3	-8.8	-64	1.2
D7	Daejeon stream	8/24	-18.7	-8.8	-65	-
D8	Daejeon stream	8/24	-19.5	-8.9	-64	1.4
D9	Daejeon stream	8/24	-11.5	-8.7	-61	0.4
D10	Daejeon stream	8/24	-19.5	-9.5	-65	-6.0
D11	Daejeon stream	8/24	-16.3	-9.5	-65	-

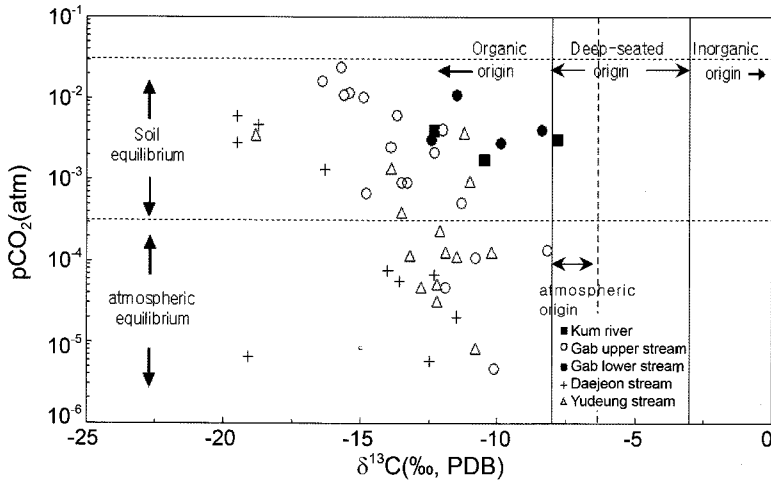


Fig. 11. Diagram showing the relationship between $\delta^{13}\text{C}$ and P_{CO_2} of major stream water in the Daejeon area.

하천별로 보면 갑천의 δD 값은 $-48\text{‰}\sim-71\text{‰}$ 의 범위를 보이고 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 $-6.6\text{‰}\sim-9.5\text{‰}$ 의 범위를 보인다. 고지대인 상류에서 저지대인 하류로 갈수록 δD 와 $\delta^{18}\text{O}$ 의 값이 대략적으로 높아지는 경향을 보이고 있다. 이는 동위원소의 고도효과를 반영하는 것으로 해석된다. 특히 갑천의 G4 지점의 δD 값은 -48‰ 와 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 -6.6‰ 의 값으로 다른 지점보다 높은 값을 보이는 것은 인근의 대화공단에서 유입될 수 있는 오수의 영향으로 추정된다.

유등천과 대전천의 δD 값은 $-55\text{‰}\sim-66\text{‰}$, $-60\text{‰}\sim-65\text{‰}$ 의 범위를 각각 보이고 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 $-7.8\text{‰}\sim-9.2\text{‰}$, $-8.2\text{‰}\sim-9.5\text{‰}$ 의 범위를 각각 보인다. 갑천과 비슷하게 대략적으로 고지대인 상류에서 저지대인 하류로 갈수록 δD 와 $\delta^{18}\text{O}$ 의 값이 높아지는 경향을 보이고 있다. Y11 지점은 Y10 하천과 인접한 하천바닥의 작은 틈을 따라 솟아나는 용천수(지하수)로 δD 와 $\delta^{18}\text{O}$ 값이 다른 하천수에 비해 낮은 특성을 보인다.

금강 시료중 K2, K3는 대청호에서 내려오는 물로 δD 값은 $-65\text{‰}\sim-68\text{‰}$ 을 보이고, $\delta^{18}\text{O}$ 값은 $-8.9\text{‰}\sim-9.0\text{‰}$ 의 범위를 보인다. K1지점은 대청호에서 나오는 물과 갑천하류가 만나는 지점으로 δD 값은 -59‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 값은 -8.3‰ 으로 K2, K3보다 높은 값을 보인다. 이와 같이 높은 값을 보이는 것은 갑천 하류와 합류하면서 갑천의 영향 때문으로 보인다.

4.2. 탄소 동위원소

일반적으로 용존무기탄소(Dissolved Inorganic Carbon, DIC)는 유기물의 산화, 탄산염암의 풍화, 대기기원 등

다양한 요인들에 의해 영향을 받는다(Clark and Fritz, 1997). 대기 중 이산화탄소의 $\delta^{13}\text{C}$ 는 약 $-6.4\sim-8.0\text{‰}$ 로 알려져 있다(Cerling *et al.*, 1991; Kendall and McDonnell, 1998). 유기기원의 탄소 동위원소 조성은 $-24\sim-30\text{‰}$ 범위로 평균 약 -27‰ 값을 보인다(Vogel, 1993). 탄산염광물 기원은 $\delta^{13}\text{C}$ 는 -3.0‰ 이상으로 알려져 있다(Harris *et al.*, 1997).

대전지역 도시하천수의 $\delta^{13}\text{C}$ 의 범위는 $-19.5\sim-7.8\text{‰}$ 의 범위로 대기중 이산화탄소와 유기물 기원의 범위에 해당된다. Fig. 12는 $\delta^{13}\text{C}$ 와 pCO_2 의 상관관계를 보여 주고 있다. pCO_2 는 하천수의 CO_2 의 분압으로 pH, 중탄산 이온농도 등의 자료를 이용하여 WATEQ4F 프로그램(Ball and Nordstrom, 1992)으로 계산하였다. 하천수의 pCO_2 는 $4.62\times 10^{-6}\sim 2.43\times 10^{-2}$ atm으로 계산이 되었다. 대기의 평균 pCO_2 는 $10^{-3.5}$ atm 정도이고, 유기물이 풍부한 토양내의 pCO_2 는 $10^{-1.5}\sim 10^{-2.5}$ atm 범위가 일반적이다(Clark and Fritz, 1997). 따라서 대전 지역 하천수의 CO_2 는 대기와 유기물에 의해 주로 공급되었음을 시사한다. 하천별로 보면 갑천의 경우 중·상류에서는 대략적으로 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 와 높은 pCO_2 의 범위를 보이다가 하류로 흘러가면서 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 pCO_2 의 값이 높아진다. 대전천의 경우 중·상류에서 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 높은 pCO_2 의 범위를 보이다가 하류로 흘러가면서 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 낮은 pCO_2 의 범위를 보인다. 일부 하류지점(D4)에서 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 의 범위를 보이고 있다. 유등천의 경우 대략적으로 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 와 낮은 pCO_2 의 범위를 보이고 있으나, 상류인 Y15는 높은 pCO_2 값을 가진다. 전반적으로 하천의 상류에서 하류로 향할수록

$\delta^{13}\text{C}$ 값이 높아지는 경향을 보인다. 이는 상류에서 주로 유기물의 영향이 크다가 하류로 향할수록 도시의 대기오염에 의한 CO_2 용해도 증가와 지하수의 기저유출에 의한 무기기원의 영향이 점차적으로 높아지기 때문으로 해석된다.

4.3. 황 동위원소

용존된 황 성분은 주로 SO_4^{2-} 의 형태로 존재한다. SO_4^{2-} 의 안정동위원소의 조성은 황의 기원과 산화-환원 반응에 대한 정보를 제공한다.

대전지역 하천수 시료(풍수기)의 $\delta^{34}\text{S}$ 의 값은 $-6\sim+9.4\%$ 의 범위를 보이고, $\delta^{34}\text{S}$ 와 SO_4 함량과의 관계도에서 하천수는 4개의 그룹으로 구분하였다(Fig 12). 첫 번째 그룹(I)은 SO_4 의 함량이 $2.82\sim14.59\text{ mg/L}$ 범위이고, $\delta^{34}\text{S}$ 값이 $3.7\sim9.4\%$ 범위를 보이는 갑천상류와 금강이 이에 해당된다. 두 번째 그룹(II)는 $\delta^{34}\text{S}$ 의 값이 $2.3\sim5.9\%$ 범위를 보이며, SO_4 함량이 그룹(I) 보다 약간 높은 $17\sim22.9\text{ mg/L}$ 의 범위의 농도를 보이는 유등천 대부분의 시료이다. 세 번째 그룹(III)은 주로 대전천으로 $\delta^{34}\text{S}$ 값이 $0.4\sim5.9\%$ 의 범위를 보이고, SO_4 함량은 유등천과 갑천 상류보다 높은 $29.3\sim43.0\text{ mg/L}$ 의 범위를 보인다. 네 번째 그룹(IV)은 갑천 하류로 $\delta^{34}\text{S}$ 값은 $4.7\sim5.0\%$ 의 범위를 보이고, SO_4 함량은 $41.4\sim52.3\text{ mg/L}$ 의 범위로 하천수 중 가장 높은 함량을 보인다. 유등천과 대전천의 상류에 해당되는 Y16, D10 시료는 $\delta^{34}\text{S}$ 값이 -4.3% 과 -6.0% 을 각각 보여 가장 낮은 동위원소 조성 값을 보인다.

황산염의 농도는 갑천중·상류 < 유등천 < 대전천 < 갑천하류의 순서로 높아지는 반면 $\delta^{34}\text{S}$ 값은 감소하는 경향을 보인다. 이는 하천별 황산염의 증가에 따른 공급원이 다르다는 것을 의미한다. 하천수에 용존되어 있는 SO_4^{2-} 의 대부분은 석고/경석고, 황철석, 그리고 인위적인 오염물에 의해 공급된다(Thode, 1991; Grasby et al., 1997). 황산염의 기원을 해석하기 위하여 지금까지 알려진 황동위원소 조성 값에 따른 기원으로 $\delta^{34}\text{S}^{\text{대기}} = +5.5\%$ (Yu and Park, 2004), $d^{34}\text{S}^{\text{황철석}} = -13.5\%$ (Ryu, et al., 2008), $\delta^{34}\text{S}^{\text{중발암}} = +25\%$ (Spence and Telmer, 2005)의 자료를 활용하였다. 이상의 근거로 보면 대전지역 하천수는 대기기원을 중심으로 황산염의 농도가 높아질 수록 황철석의 영향이 큰 것으로 해석할 수 있다. 그러나 하천수에 유입되는 생활하수 등에 대한 황동위원소 자료가 없으므로 이들에 의한 영향에 대해서는 향후 연구되어야 할 과제이다.

5. 결 론

이 연구에서는 대전광역시 3대 도심 하천(갑천, 유등천, 대전천)을 대상으로 하천수의 수리화학적 특성과 동위원소적 특성을 조사하였다. 하천수의 수리화학적 특성은 상류에서는 $\text{Ca}(\text{Mg})\text{-HCO}_3$ 유형을 보이다가 중류인 도심권을 통과하면서 $\text{Ca}(\text{Mg})\text{-SO}_4(\text{Cl})$ 유형을 보이고, 하류에서는 $\text{Na}(\text{Ca})\text{-HCO}_3(\text{Cl}, \text{SO}_4)$ 의 유형으로 전이되는 특성을 보인다. 하천의 화학성분은 대전천, 유등천, 갑천의 중·상류와 갑천하류로 구분하여 차이를

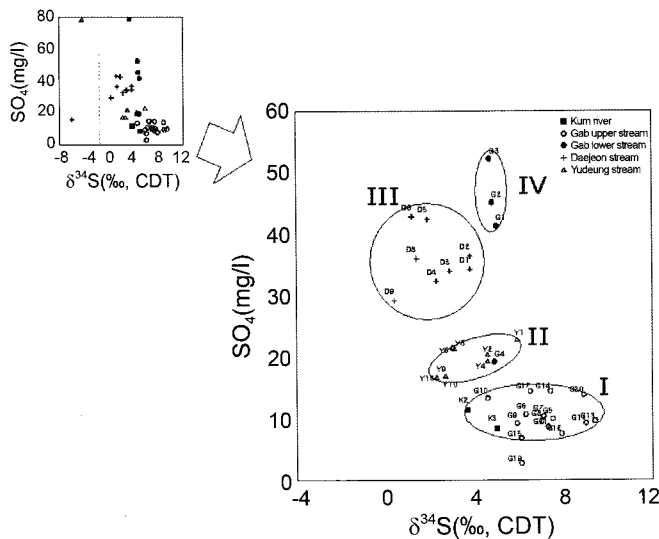


Fig. 12. Diagram showing the relationship between $\delta^{34}\text{S}$ level and SO_4 content of major streams in the Daejeon area.

보인다. 풍수기에 비하여 갈수기에 화학성분의 함량이 높은 특성을 보인다. 대전지역 도심하천수의 하천별, 상하류별 수리화학적 특성 차이는 대기성분의 특성, 하천수의 유동에 따른 주변 암석 및 토양과의 반응, 생활하수의 유입, 지하수의 기저유출(피압유출 포함), 하상퇴적물과의 반응 등 복합적인 요인들이 관여된 것으로 보인다.

하천수의 전기전도도는 37~527 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보이고, pH는 6.21~9.83 범위로 시료채취 지점에 따라서 다양한 변화를 보인다. 특히 도심권의 하천수에서 pH 9 이상의 고알칼리성을 보이는 것은 하천주변에 조성된 아파트 밀집단지에서 유출되는 합성세제에 의한 것으로 추정된다. 화학성분의 관점에서 하천수의 수질 오염은 구도심권을 통과하는 대전천과 하수종말처리장의 처리수가 방류되는 갑천하류가 가장 취약한 것으로 평가된다.

하천수의 δD 와 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 -51‰~-71‰ 범위와 -16‰~-9.5‰ 범위를 각각 보인다. 하천수의 순환수 선은 $\delta\text{D}=6.45\delta^{18}\text{O}-7.4$ 의 관계식을 보여 Craig의 순환수선보다 약간 낮은 특성을 보이는데 이는 기단의 변화와 하천수의 표면증발효과 때문으로 보인다. 아울러 하천상류에서 하류로 향할수록 δD 와 $\delta^{18}\text{O}$ 값이 높아지는 동위원소의 고도효과를 보여준다.

하천수의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 pCO_2 값을 보면 하천수내 중탄산과 CO_2 는 대기, 유기물 그리고 갑천하류의 방류수중 유기물로부터 기원된 것으로 보인다. 전반적으로 하천의 상류에서 하류로 향할수록 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 높아지는 경향을 보인다. 이는 상류에서 주로 유기물의 영향이 크다가 하류로 향할수록 도시의 대기오염에 의한 CO_2 의 용해도 증가와 지하수의 기저유출량의 증가로 인한 무기기원(암석기원)의 영향이 점차적으로 높아졌기 때문으로 추정된다.

SO_4 와 $\delta^{34}\text{S}$ 의 관계로 보면 대전지역 하천수는 4개의 그룹으로 구분된다. 동위원소 조성과 황산염의 농도를 기준으로 볼 때 갑천의 하류는 하수종말처리장의 영향으로 높은 황산염의 농도를 보이고, 대전천과 유등천 중하류에서 $\delta^{34}\text{S}$ 값이 높아지는 것은 아파트 밀집단지에서 유출되는 합성세제의 영향으로 추정된다. 아울러 대전천의 경우에는 구도심권의 생활하수의 유입의 영향도 무시할 수 없을 것이다.

시민들의 생활과 밀접한 도시하천의 수질을 개선시키기 위해서는 오염물질이 하천으로 직접 유입되는 것을 차단하고, 아파트 우수관을 통한 하천으로의 합성세제 유입의 차단, 그리고 하수종말처리장에서의 하천

수의 방류기준의 강화가 필요하다.

사 사

물 시료에 대한 양이온 성분과 안정동위원소는 한국 기초과학연구원 대덕본원에서 분석되었다.

참 고 문 헌

- 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, 189pp.
- Cerling, T.E., Solomon, D.K., Quade, J. and Bowman, J.R. (1991) On the isotopic composition of carbon in soil carbon dioxide, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 55, p. 3403-3405.
- Choi, S.W. and Kim, E.S. (1997) Medical environmental geochemistry, A translation library of Korea Research Foundation, 201, Chunkwang, 434p.
- Clark, I. and Fritz, P. (1997) Environmental isotopes in hydrology, Lewis Publishers, 328p.
- Coleman, M.L., Shepherd, T.J., Durhham, J.J., Rouse, J.E. and Moore, G.R. (1982) Reduction of water with zinc for hydrogen isotope analysis. *Anal. Chem.*, v. 54, p. 993-995.
- Craig, H. (1961) Isotopic variation in meteoric water, *Science*, v. 133, p. 1702-1703.
- Daejeon metropolitan city (2000) Long-term strategy plan of groundwater management, 531p.
- Daejeon metropolitan city (2006) Annual report of statistics of Daejeon metropolitan city, 135p.
- Grasby, S.E., Hutcheon, I. and Krouse, H.R. (1997), Application of the stable isotope composition of SO_4 to tracing anomalous TDS in Nose Creek, southern Alberta, Canada, *Applied Geochemistry*, v. 15, p. 67-77.
- Harris, C., Stock, W.D. and Lanham, J. (1997) Stable isotope constraints on the origin of CO_2 gas exhalations at Bongwan, Natal, South africa, *J. of Geology*, v. 100, p. 261-266.
- Hem, J. D. (1992) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, USGS water-supply paper 2254, 263p.
- 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.
- Kang, C.M. (2000), Study on plankton phases and water quality of major streams in Dajeon city, *K. of Env. Sci.* v. 5, p. 275-284.
- Kang, H. and Bae, S.W. (1995) Hydraulic investigation of major stram in Daejeon city, Report of environmental research, Chungnam University, v.13, p. 106-120.
- Kang, H., Bae, S.W. and Han, E.J. (1996) Water quality status of major stream in Daejeon city, Report of environmental research, Chungnam University, v.14, p.

- 27-41.
- Kendall, C. and Colpen, T.B. (1985) Multisample conversion of water to hydrogen by zinc for stable isotope determination. *Anal. Chem.*, v. 57, p. 1438-1440.
- Kendall, C. and McDonnell, J.J. (1998) *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*, Elsevier, Amsterdam, 839p.
- Kim, K.H. and Lee, S.H. (2002) Oxygen and hydrogen isotopic composition of stream waters in the Han river basin, *Econ. Environ. Geology*, v.35, p. 113-120.
- Kim, K.H. and Seo, H.Y. (1997) The geochemical characteristics of the river water in the Han river drainage basin, *J. of Korean society of groundwater environment*, v. 4, p. 130-143.
- Kim, K.H. and Shim, E.S. (2001) Geochemical characteristics and origin of dissolved ions in the Han river, *Econ. Environ. Geology*, v.34, p. 539-553.
- Lee, K.S. and Lee, C.B. (1999) Oxygen and hydrogen isotopic composition of precipitation and river waters in South Korea, *J. of Geological Society of Korea*, v. 35, p.73-84.
- Lee, S.M., Kim, Y.S. and Na, K.C. (1980) Explanatory text of geologic map Daejeon sheet(1:50,000), Korea, Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 26p.
- Park, H.I., Lee, J.D. and Jeong, J.K. (1997) Explanatory text of geologic map Yusung sheet(1:50,000), Korea, Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 21p.
- Piper, A.M. (1944), A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, *Transactions of American Geophysical Union*, v. 25, p. 914-923.
- Ryu, J.S. Chang, H.W. and Lee, K.S. (2008) Hydrogeochemistry and isotope geochemistry of the Han River system : A summary, *J. of Geological Society of Korea*, v. 44 p.467-477
- Spence, J. and Telmer, K. (2005) The role of sulfur in chemical weathering and atmospheric CO₂ fluxes: Evidence from major ions, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, and $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ in rivers of the Canadian Cordillera, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 69, p. 5441-5458.
- Swart, P.K., Burns, S.J. and Leder, J.J. (1991) Fractionation of the stable isotopes of oxygen and carbon in carbon dioxide during the reaction of calcite with phosphoric acid as a function of temperature and technique, *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*, v. 86, p.89-96.
- Thode, H.G. (1991) Sulfur isotopes in nature and the environment: an Overview, In: Krouse, H.R. and Grinenko, V.A.(eds), *Stable isotopes: Natural and anthropogenic sulfur in the environment SCOPE 43*, John Wiley & Sons, 1-26.
- Vogel, J.C. (1993) Variability of carbon isotope fractionation during photosynthesis, In: *Stable isotope and Planet Carbon-Water Relations*(Ehleringer, J.R., Hall, A.E. and Fraguhar, G.D., eds, 1993), p. 29-38, Academic press, San Diego, CA.
- Yanagisawa, F. and Sakai, H. (1983), Thermal decomposition of barium sulfate-vanadium pentoxide-silica glass mixtures for preparation of sulfur dioxide in sulfur isotope ratio measurements, *Anal. Chem.*, v. 55, p. 985-987.
- Yu, J.Y. and Park, Y. (2004) Sulfur isotopic and chemical compositions of the natural waters in Chuncheon area, Korea, *Applied Geochemistry*, v. 19, p. 843-853.

2009년 6월 9일 원고접수, 2009년 8월 10일 게재승인