

대구시 지하수의 금속 오염에 대한 지화학적 연구 A geochemical study on the metal contamination of groundwater in Taegu City

이재영(Lee, Jae Yeong)
김영기(Kim, Young Ki)
이진국(Lee, Jin Kook)
서정울(Suh, Jeong Yul)

경북대학교 지질학과
경북대학교 지질학과
경북대학교 환경과학연구소
경북대학교 지질학과

요 약/Abstract

대구시 중심부의 지하수는 신천과 범어천 등의 하천수를 주 공급원으로 하기 때문에 그 수질은 이들 하천수의 영향을 많이 받고 있다. 그리고 하천의 수질은 하천이 발원한 지역의 암류와 밀접한 관계를 가지므로 안산암과 문조니암을 상류에 두고 있는 신천과 범어천의 수질은 이들 화성암류의 영향을 받게 된다. 마찬가지로 반야월층이나 함안층에서 발원하는 하천의 수질은 이들 퇴적암류의 영향을 받고 있다.

본 역 상류천의 pH는 하천이 발원하는 암류에 따라 차이를 보이는데 화성암류(안산암, 문조니암)지역은 약산성-중성이고 퇴적암류지역은 약알칼리성을 띤다. Ca와 Mg 함량은 퇴적암류지역 하천이 화성암류지역 하천보다 현저히 높으나, Na 함량은 퇴적암류지역 하천이 화성암류지역 하천보다 약간 높은 경향을 보이며, K 함량은 안산암지역보다 반야월층이 오히려 약간 낮은 경향을 띤다. 중금속원소의 함량도 역시 주택지대와 공장지대가 있는 퇴적암류지역 하천이 비오염 화성암류지역 하천보다 높은 경향을 띤다. NO₃-N 함량도 퇴적암류지역 하천이 화성암류지역 하천보다 높다.

지하수의 수질은 암층의 여과작용에 의하여 오염하천수에 비하면 금속이온의 함량이 현저히 낮으나 화성암지대의 오염되지않은 상류천 수질에 비하면 많이 오염되어 있다. 그리고 오염의 정도도 주택지대가 있는 반야월층지역보다 공장지대가 있는 함안층지역에서 심하다. pH는 반야월층(7.59)과 함안층(7.34)지역이 비슷하나 주원소(K, Na, Ca, Mg, Cl, SO₄, NO₃)의 함량은 함안층지역이 반야월층지역 보다 대체로 높은 경향을 보인다. 중금속원소의 함량은 양 지층의 지역간에 근소한 차이를 보이나, 오염이 심한 공단천과 달서천 부근의 함안층 지하수는 Cu, Pb, Zn, Mn, Fe의 함량이 높다.

The quality of groundwater in the central part of Taegu City is influenced by upstreams of Sin-stream and Beomeo-stream because the stream waters are main source of the groundwater, and chemical composition of the upstream waters has close relationship with andesite and monzonite in the igneous rock terrain.

The pH of upstreams are weak acid ~ neutral in the igneous rock area and weak alkaline in the sedimentary rock area. Contents of Ca^{2+} and Mg^{2+} in the streams are apparently high, and Na^+ content is only slightly high in the sedimentary rock area. But K^+ content is lower in the Panyaweol formation area than in the monzonite area. The contents of heavy metals and NO_3^- are also higher in the sedimentary rock area of residential sections and industrial complexes than those in the igneous rock area.

The groundwater is contaminated in comparison to the upstream water of the igneous rock areas, and there are some differences in pollution level between the Panyaweol formation area of residential sections and the Haman formation area of industrial complexes. K, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4 and NO_3 contents in the Haman formation area are relatively higher than those in the Panyaweol formation area. But pH is nearly equal in the two areas. The content of heavy metal ions is still lower than the drinking water standard of Korea and only slightly differs in the two sedimentary rock areas. But the groundwater in the Haman formation area is considerably contaminated by Kongdan-stream and Dalseo-stream.

서 언

자연수 성분의 변화는 지질 및 기상과 관련된 자연적인 요인과 생활하수, 산업 및 광산폐수 등과 관련된 인위적 요인에 의한 것(강영호외, 1989)으로 구분할 수 있는데 빗물과 하천수가 지하로 침투해 들어 가서 형성된 지하수는 자연 및 인위적인 요인의 영향을 모두 받게 된다. 대구시와 같은 도시의 지하수는 지표의 많은 부분이 아스팔트나 세멘트로 포장되어 있어서 빗물이 직접 지하로 침투해 들어 가는 경우는 드물고 하천수와 상류지역의 토양수가 주요 공급원이

될 것으로 생각된다.

따라서 대구시 지하수의 수질은 시를 관류하는 하천들의 상류지역 지질의 영향을 많이 받게 되며 주택지대와 공단지대에서는 생활하수와 공단폐수의 영향을 많이 받게 될 것으로 생각된다. 특히 달서천 하류와 공단천 부근의 지하수는 공단폐수에 의한 오염이 심한 것으로 알려졌다(서정을, 1991).

대구시 지하수의 수질은 생활하수와 산업폐수로 오염된 금호강과 지류들(이수남, 1982; 최옥진 외, 1990)의 유입으로 오랜 기간 오염되어 왔으나 현재까지 얼마나 오염되었는지를 파악하기

어렵다. 왜냐하면 오염되기전의 과거 수질에 대한 체계적인 분석자료가 거의 없고, 기존 자료도 주로 농, 공, 생활용수, 음용수 등의 사용 목적으로 분석되었으며, 또 중금속원소는 어느 일정한 기준치 이하의 함량은 분석되지 않았기 때문이다.

과거에도 대구시 지하수에 대한 수리지질학적 조사연구가 실시된 바 있으며(김영기, 1974; Sung, 1991). 이들 자료를 기초로 하여 대구시 중심부를 흐르는 신천이나 달서천 및 공단천 부근의 지하수를 대상으로 그 오염실태를 정확히 파악하려면 이들 지하수가 주택지대나 공장지대에서 생활하수와 산업폐수로 오염되지않은 상류천의 자연적인 수질을 먼저 조사하고 이를 배경치로 하는 것이 가장 바람직하리라 생각된다. 즉 대구시 지하수의 수질은 상류천의 지질조건과 관련하여 연구되어야 하며 주택지대와 공장지대 지하수의 오염실태는 이를 기초자료로 하여 조사연구되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 대구시 지하수의 수질과 지질환경과의 관계 및 수질오염에 대한 지화학적 연구의 일환으로 상류에서는 암류별로 오염되지 않은 하천수를 채취 분석하고 이를 기준으로 하여 지하수의 오염실태를 파악코져 하였다. 일반적으로 자연수가 중금속으로 얼마나 오염되었는지를 평가할 때 음용수의 수질기준치에 대하여 몇배가 되는지에 초점을 맞추고 있으나 실은 하/폐수에 의하여 오염되지 않은 자연수라 할지라도 지질조건에 따라 서로 다른 배경치를 가지므로 본 연구에서는 오염정도를 기술함에 있어 원소별로 구분해서 그 원소의 배경치를 기준으로 비교 검토하였으며, 아울러 음용수기준치와도 비교 검토하였다. 그리고 하류에서는 주택지대와 공장지대별로 상류천에 대한 하류천의 오염실태를 파악하였고, 대구 시내 초, 중, 고등학교 25개교와 공단지대 4개 지점, 총 29개 지하

수정에서 채수한 지하수의 분석결과와 비교 검토하므로서 무기성분을 중심으로 대구시 중심부 지하수의 오염실태를 연구코져 하였다.

지 질 개 요

대구지역에는 정상계 하양층군의 퇴적암류가 북서부에서 동남방향으로 칠곡층, 신라 역암층, 학봉변암, 함안층, 반야월층의 순으로 넓게 분포하고 있고 남부에는 유천층군의 안산암질암이 이를 부정합으로 덮고 있다(장기홍, 1978; 김종근, 1990). 본 역 남부에는 불국사 화강암인 본조니암이 안산암질암을 관입하고(원종관, 김기태, 1966; 이재영외, 1971) 북동부에서 팔공산 화강암이 함안층을 관입하고 있으며, 그 접촉부는 심히 혼펠스화 되어 있다. 본 연구지역의 지질을 기 자료(김영기, 1974; 윤상규외, 1979)를 중심으로 요약하면 다음과 같다(Fig. 1).

함안층

본 층은 대구분지의 저지대를 점하며 행정구역상으로는 대명동-효목동-검사동을 잇는 선의 북쪽에 위치한다. 본 층은 주로 니암, 니질세일 및 사암으로 구성되나 서부는 세일, 동부는 니암, 최하부에는 사암이 우세하다. 서부의 세일층에는 박층의 니회암이 협재하는 곳도 있다. 암색은 주로 산화환경의 저색을 띠나 니암 중에는 환원환경의 녹회색을 띠는 것도 있으며, 저색과 녹회색이 교호되기도 한다. 저색은 상부로 갈수록 감소하는 경향이 있다. 본 층의 주향경사는 대체로 서부에서는 N60°-70°E, 20°-30°SE; 중부에서는 N65°-80°E, 5°-15°SE; 동부에서는 N65°-75°E, 10°SE 을 보인다.

반야월층

본 층은 함안층과 경계하여 그 남쪽에 분포하

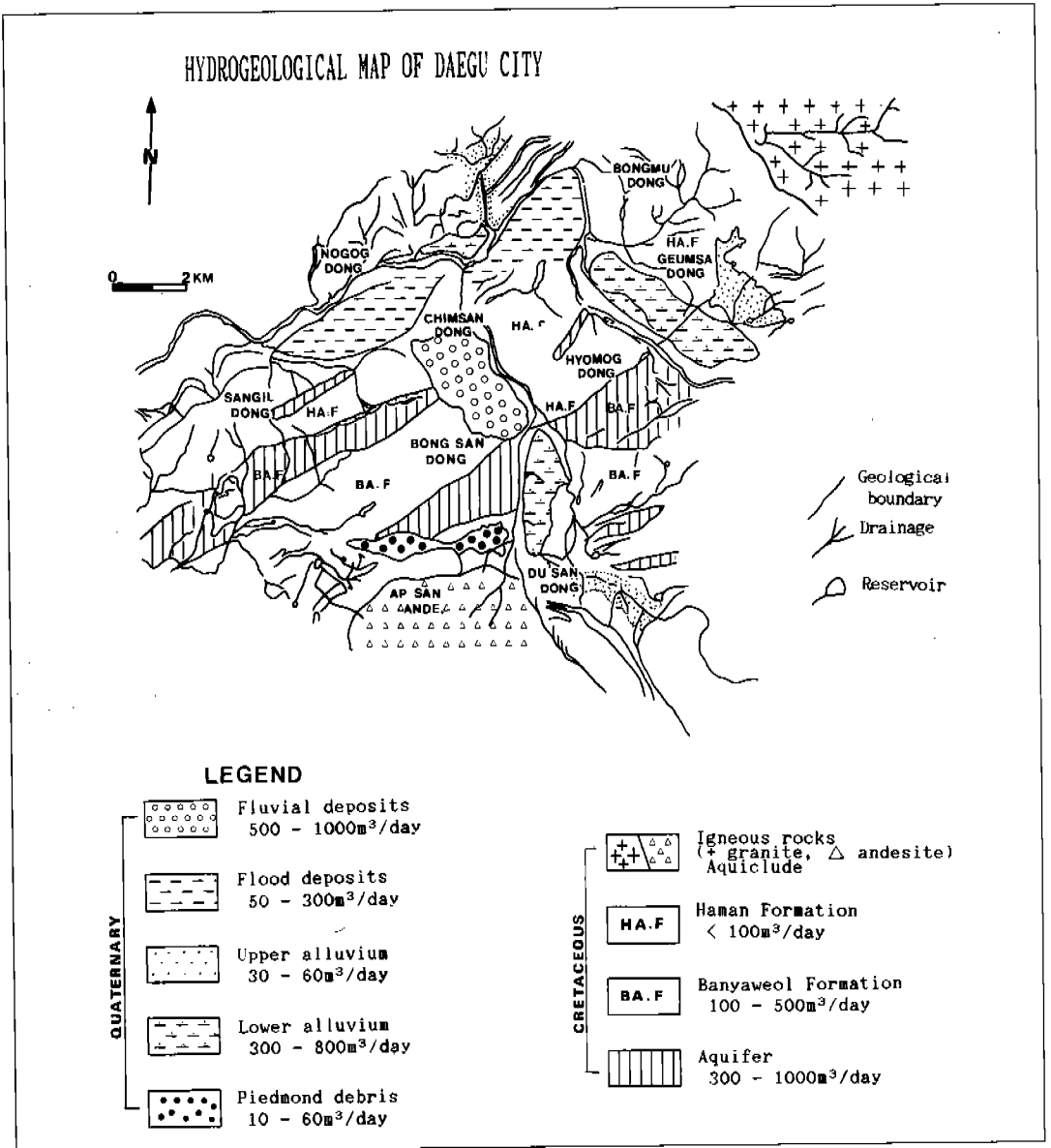


Fig. 1 Geological and hydrogeological map of Taegu City.

는데 행정구역상으로는 본리동-대명동-효목동-검사동을 잇는 선의 남쪽에 위치한다. 남부에서는 산성산의 안산암질암으로 피복 혹은 관입되어 있다. 본 층은 주로 흑색-암회색 세일로 구성되나 곳에 따라 녹색의 니암질세일이 교호되며 연속성이 없는 저색의 니암질세일 및 사암과 니

회암도 간혹 관찰된다. 그리고 두산동 일대에는 암회색 내지 흑색의 점판암질세일이 분포하며 본 역 밖 하양, 유천지역에서는 석회암 및 석회질 니암이 본층에 협재한다(Woo et al., 1992). 본 층의 주향경사는 대체로 N60°-70°E, 10°-20°SE를 보인다.

안산암질암

본 암은 조면안산암, 각력질안산암, 응회암, 안산암질암으로 분류되는데 조면안산암은 산성 산 산정 부근과 가상단층선 남측면 및 안지랭이 남부 산록에 소규모로 발달하며 암색은 암회색 내지 회색을 띤다. 사장석은 침상반정으로 나타나며 관입접촉에 의한 변질작용도 약간 관찰된다. 각력질안산암은 火道에 해당하는 부분으로 산성산 최정상과 산성산체의 주구성암체이다. 암색은 녹회색 내지 암녹색을 띠며 치밀 견고하여 높은 지형을 형성한다. 본 암의 외측은 각력질안산암이며, 내측은 석영안산반암질각력암의 암상을 띤다. 반정은 주로 정장석, 사장석, 석영, 휘석 등으로 구성되어 있으며 기질은 석영과 점토광물로 되어 있다. 정장석은 부분적으로 변질되어 있는 것이 관찰된다.

몬조니암

본 암은 가창댐의 서부계곡 일대에 각력질안산암을 암주상으로 관입하고 있으며 신천 최상류에도 분포한다(원종관, 김중배, 1971). 등립조립질의 본암은 달성광상의 관련암으로 알려져 있으며 주변 안산암은 열수변질되어 있다(원종관, 김기태, 1966).

조성광물은 정장석, 사장석, 흑운모로 되어 있으며 현미경 관찰에 의하면 정장석과 사장석의 함량비가 거의 같고 녹색의 흑운모와 약간의 각섬석이 관찰된다.

충적층

본 층은 사행하는 금호강의 유역에 넓게 분포하고 있으며, 금호강에 유입되는 다수의 하천들에도 소규모로 발달한다. 본 층은 주로 사력층으로 되어 있으며 점토층은 두께가 얇다. 본 역 미고결대수층의 대부분은 본 층에 해당한다.

지형과 수계

대구시 일대의 지형과 수계는 지질조건과 밀접한 관계를 가지고 발달해 있다. 북부의 팔공산 화강암과 접촉변질대는 200-300m의 산지를 이루며, 남부의 안산암질암은 앞산(685m)을 정점으로 하여 산계를 이루어 동부와 서부에서 높은 지형을 이루고 있는 접촉변질대와 더불어 전형적인 대구분지를 형성한다. 수계도 단층 및 퇴적암과 화성암류의 접촉경계선을 따라 발달한 경향을 보이며 금호강은 대구시의 중앙부를 사행하여 대체로 서류하고, 지천들은 금호강에 대하여 북편에서는 팔거천, 동화천, 남편에서는 신천의 3개 큰 천이 금호강으로 합류되고, 기타 중소천으로는 북편에는 불로천, 율하천, 방촌천 등이 있고 남편에는 달서천, 범어천등이 있다.

상류 하천수의 성분과 지질과의 관계

試水 채취

試水는 상류지역 비오염지대를 선택하여 총 20개 지점에서 채수하였으며 암류별로는 안산암류지대 3지점, 몬조니암지대 4지점, 화강암지대 4지점, 함안층지대 3지점, 반야월층지대 3지점, 혼펠스지대 3지점이다(Fig. 2). 각 지점에서는 해당 암류와의 성분비교를 위하여 암석시료도 같이 총 20개를 채취하였다. 시수는 1990년 6월에서 8월사이에 비오기전 적당한 날을 택하여 약 1 l 플라스틱병에 채취하였으며 pH 및 Eh는 현지에서 측정하고 기타 성분은 실내에서 원자흡수분광분석기 및 분광광도계로 분석하였다. 시수는 용존물질의 침전을 막기위하여 약간의 산처리를 하였다.

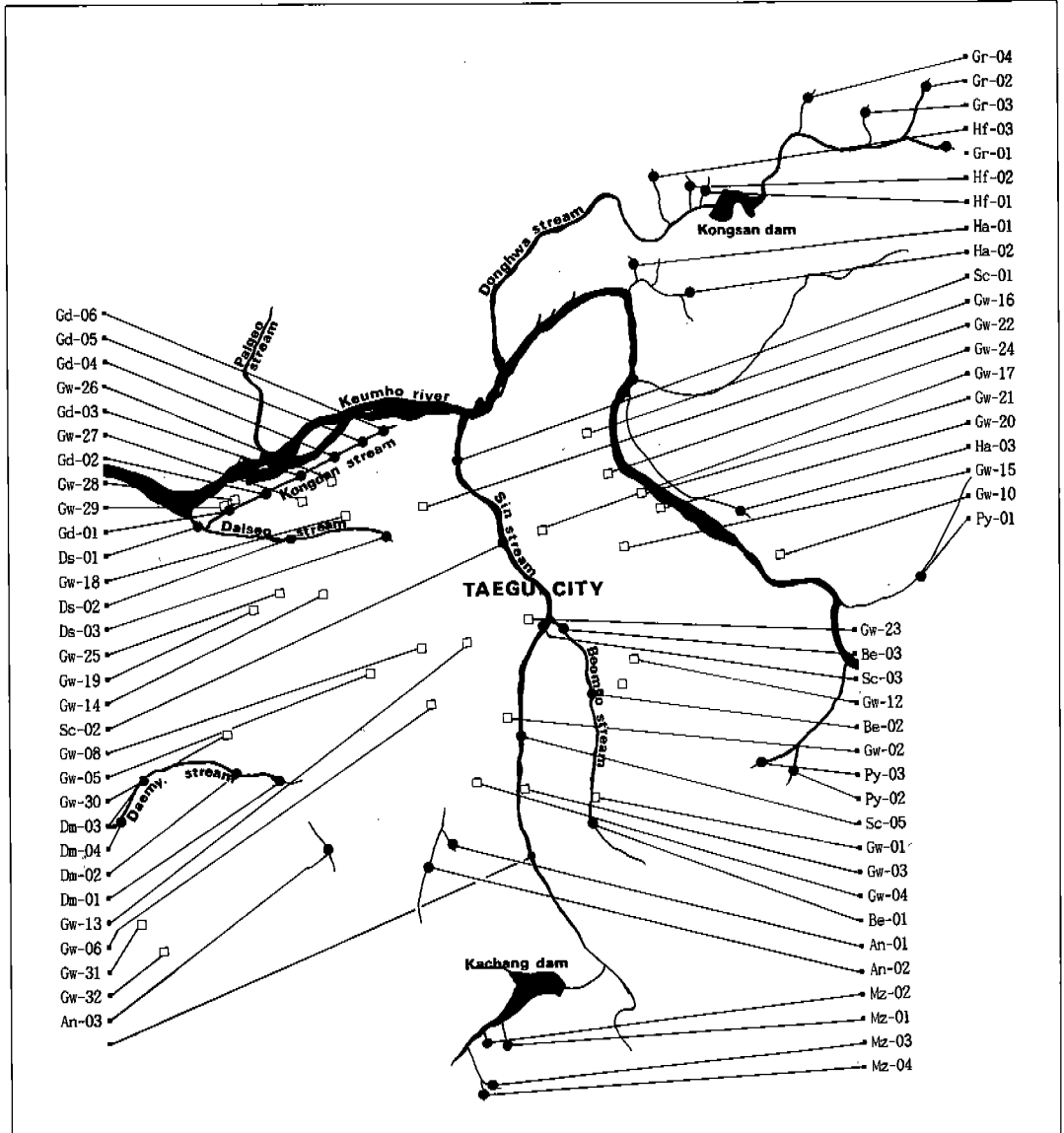


Fig. 2 Map showing the sampling points of streams and groundwaters.

하천수의 성분은 상류 지역에 분포하는 암석의 광물 및 화학조성에 큰 영향을 받게 되므로 상류천의 성분과 암석의 화학조성과의 관계를 규명하기 위하여 암석과 상류천의 주·미량원소를 분석하고(Table 1 및 2) 비교하였다. 퇴적암류는 풍화작용에 대하여 비교적 강하나 화성암류는

염기성암일수록 약하며 주원소(K, Na, Ca, Mg 등)와 각종 미량원소를 용출한다(Goldich, 1938; Harriss, 1966). 그리고 달성폐광산으로부터는 각종 중금속원소가 용출되고 이들 이온들은 하천수의 pH-Eh 조건에 따라 용존 또는 이차광물로서 침전(이진국의, 1989)하여 상류천 용

Table 1 Chemical analyses of rocks in the study area.

a) major elements

unit : %, () : average

Rock	Ca	Mg	K	Na
Andesite	1.77-1.81 (1.79)	0.42 (0.42)	1.57-1.63 (1.59)	1.15-1.19 (1.17)
Monzonite	1.67-2.22 (1.93)	0.78-0.89 (0.83)	1.45-1.54 (1.5)	1.57-1.59 (1.58)
Granite	1.08-1.17 (1.12)	0.27-0.36 (0.31)	1.54-1.63 (1.58)	1.22-1.44 (1.38)
Haman- formation	5.13-5.23 (5.17)	2.64-2.67 (2.65)	1.17-1.19 (1.18)	0.90-0.92 (0.91)
Panyaweol- formation	0.12-10.87 (7.05)	0.16 (0.16)	1.49-1.53 (1.51)	1.81-1.83 (1.82)
Hornfels	4.58-4.64 (4.61)	3.07-3.09 (3.08)	1.17-1.19 (0.27)	1.91-1.93 (1.92)

b) trace elements

unit : %, () : average

Rock	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
Andesite	5-15 (7)	14-33 (22)	26-29 (28)	7-8 (8)	7 (7)
Monzonite	5-16 (11)	<5 (<5)	29-31 (30)	9-14 (12)	10 (10)
Granite	3-8 (5)	23-24 (28)	55-57 (56)	4-7 (5)	5-6 (5)
Haman- formation	83-93 (89)	5-21 (14)	103-105 (104)	47-50 (49)	18 (18)
Panyaweol- formation	5 (5)	<5 (<5)	46-47 (46)	5-6 (5)	3 (3)
Hornfels	83-93 (89)	5-21 (14)	103-105 (104)	47-50 (49)	18 (18)

Table 2 Chemical analyses of upstream waters in the study area.

a) major elements

unit : ppm, () : average

Area	Ca	Mg	K	Na	pH	Eh
Andesite	5.32-6.35 (5.72)	2.45-3.78 (2.93)	0.92-1.87 (1.30)	5.97-7.11 (6.56)	6.22	0.27
Monzonite	3.14-6.89 (5.74)	2.27-3.24 (2.88)	0.97-2.69 (1.60)	4.11-9.51 (6.35)	6.85	0.23
Granite	3.71-5.68 (4.38)	2.32-3.71 (2.87)	0.56-2.63 (1.28)	3.49-7.58 (5.43)	7.05	0.28
Haman formation	29.39-30.08 (29.70)	7.79-13.89 (11.70)	3.60-5.20 (4.64)	10.96-12.74 (11.90)	8.65	0.31
Panyaweol formation	42.70-46.23 (44.30)	17.70-19.70 (18.80)	1.36-1.68 (1.49)	4.81-8.24 (6.66)	7.97	0.22
Hornfels	34.17-39.18 (36.30)	11.28-12.32 (11.83)	0.88-1.07 (0.97)	8.49-9.96 (9.12)	7.49	0.21
Fresh water ¹⁾	15	4.1	2.3	6.3		
WHO ²⁾	200	150		200		

b) trace elements

unit : ppb, () : average

Area	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Mn	Fe
Andesite	1	ND	25-33 (29)	8-10 (8)	3-6 (3)	1-7 (3)	1-17 (6)	15-43 (33)
Monzonite	ND	ND	12-34 (20)	5-7 (6)	4-10 (2)	1	ND	11-41 (20)
Granite	ND	ND	12-27 (18)	3-8 (4)	4-10 (5)	2-3 (2)	2-4 (2)	12-20 (15)
Haman formation	8-12 (10)	8-26 (11)	30-84 (50)	5-12 (8)	16-19 (14)	5-14 (9)	19-39 (27)	20-70 (40)
Panyaweol ormation	5-13 (8)	5-11 (6)	27-109 (59)	4-12 (7)	2-20 (4)	3-5 (4)	28-110 (58)	40-50 (46)
Hörnfels	ND	ND	9-12 (10)	1-13 (7)	ND	1-2 (2)	19-58 (42)	20-40 (30)
Fresh water ¹⁾	3	3	20	1.5	0.1	0.032	15	100
WHO ²⁾	1	0.05	5			0.005	0.1	0.3
Korea ³⁾	<1	<0.1	<1			<0.01	<0.3	<0.3

1) average abundances cited by Turekian(1977)(unit : ppb)

2) world health organization standard(unit : ppm)

3) drinking water standard of Korea(unit : ppm)

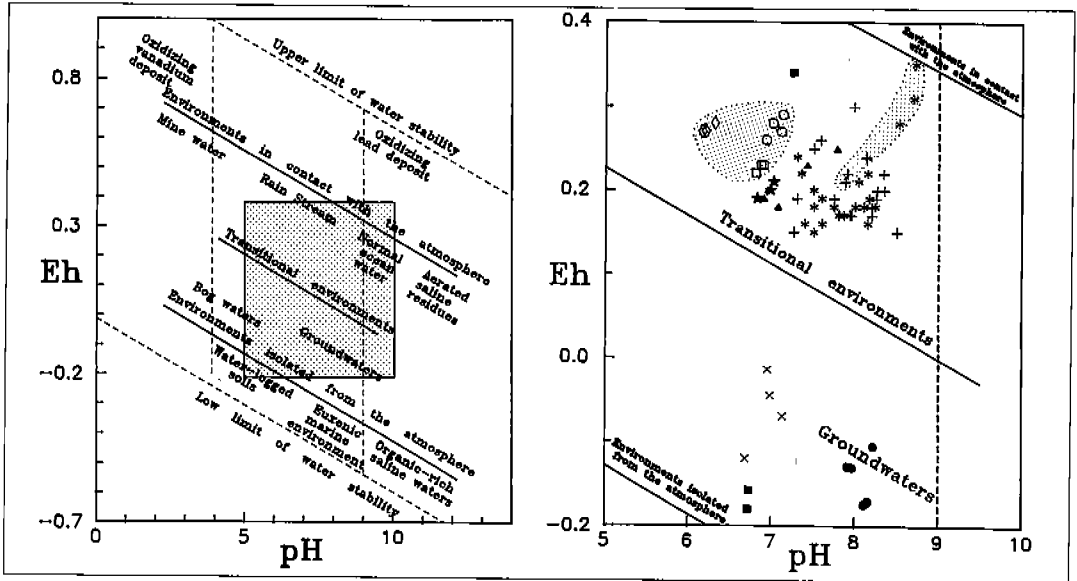


Fig. 3 Eh-pH diagrams for streams and groundwaters in Taegu City.

Symbols : In shaded portion, stream water from andesite(\diamond), monzonite(\square), granite(\circ), and Panyaweol(+), and Haman formation(*); groundwater from Panyaweol(+), and Haman formation(*); stream water from Sin-stream(\blacktriangle), Beomeo-stream(\star), Daemyeong-stream(X), Dalseo-stream(\blacksquare) and Kongdan-stream(\bullet)

존량에 영향을 미칠 수 있다.

수소이온 농도(pH)와 산화전위(Eh)

암류별 pH와 암석성분과의 관계 - 본 역 상류천의 pH는 화성암류지역은 대략 약산성-중성(6.2-7.1)을 띄고 퇴적암류지역은 약알칼리성(7.9-8.1)을 띈다. 화성암류지역의 pH는 안산암(6.2-6.3), 몬조니암(6.8-6.9), 화강암(6.7-7.1)으로 화강암지역이 가장 높고, 퇴적암류지역은 반야월층(7.9-8.1), 함안층(8.5-8.7)으로 함안층지역 하천수가 대구지역 전 암류중에서 제일 높다. 그러나 혼펠스화된 곳에서는 7.5로 낮아진다.

본 역 상류천이 화성암류지역에서 약산성-중성, 퇴적암류지역에서 약알칼리성을 띄는 것은 해당 암류의 광물 및 화학조성과 밀접한 관계를 가지는데, 장석류는 풍화를 받게되면 장석의 종류에

따라 칼슘, 칼륨 및 나트륨의 탄산염을 형성하게 되고 이들 염류는 강염기의 금속과 약산의 탄산으로 되어 있으므로 물에 녹으면 알칼리성을 띄게 된다. 일반적으로 퇴적암류 지역의 하천은 산성을 띄는데 반하여 본 역 퇴적암류의 상류천이 약알칼리성을 띄는 이유는 본 역의 반야월층과 함안층은 장석 및 다량의 석회질 성분을 함유하기 때문이다.

pH-Eh 조건 - pH는 Eh와 더불어 자연수 성분의 산출상태와 농도 등에 중요한 영향을 준다. pH는 지표수가 접촉하게 되는 토양과 암석의 광물조성 및 화학조성의 영향을 많이 받고, Eh는 물의 공기와의 접촉조건, 즉 토양수인지 또는 지하수와의 혼합수인지에 따라 많은 영향을 받게 된다. 같은 Eh값이라도 pH값이 높으면 자연수는 공기와의 접촉이 잘 되고 있음을 지시한다(Rose et al., 1979). 따라서 pH=6.8-

6.9, Eh=0.22-0.23인 몬조니암지역 상류천과 pH=8.52-8.72, Eh=0.28-0.35인 함안층지역 상류천을 비교하면 함안층지역의 상류천은 공기와의 접촉이 좋은 일반적인 지표수이고 몬조니암지역의 상류천은 토양수 또는 지하수가 혼입

되었을 가능성이 있다(Fig.3). 또한 pH는 자연수 중 무기염류의 용존량과 광물의 안정영역을 지배하는 중요한 요인이 되며, 하천수 중 각종 금속이온이 탄산염, 수산화물, 황산염, 유화물 등의 화합물로 침전하느냐 또는 자연수 중에 용존

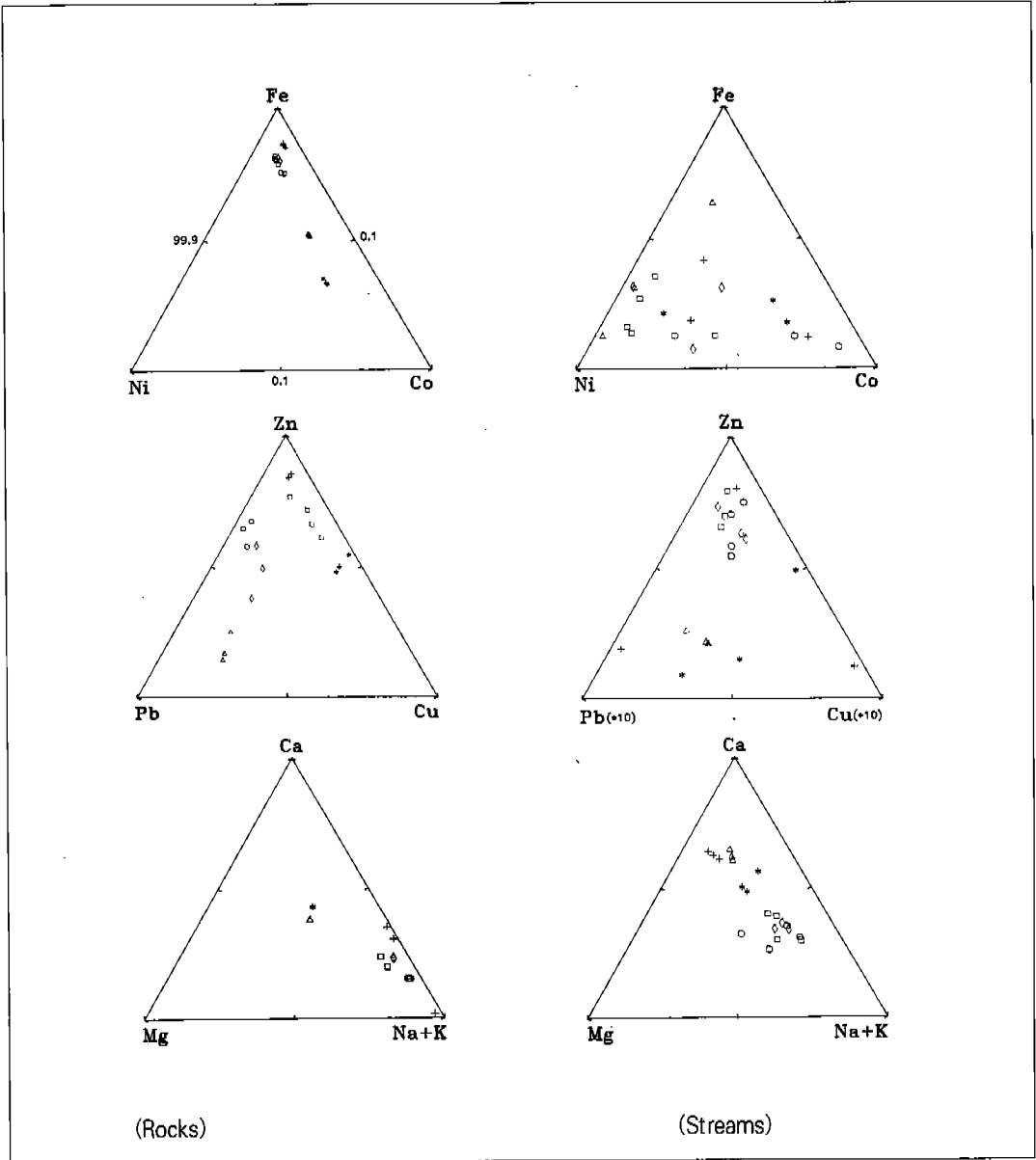


Fig. 4 Triangle diagram of chemical element contents in rocks and upstreams. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

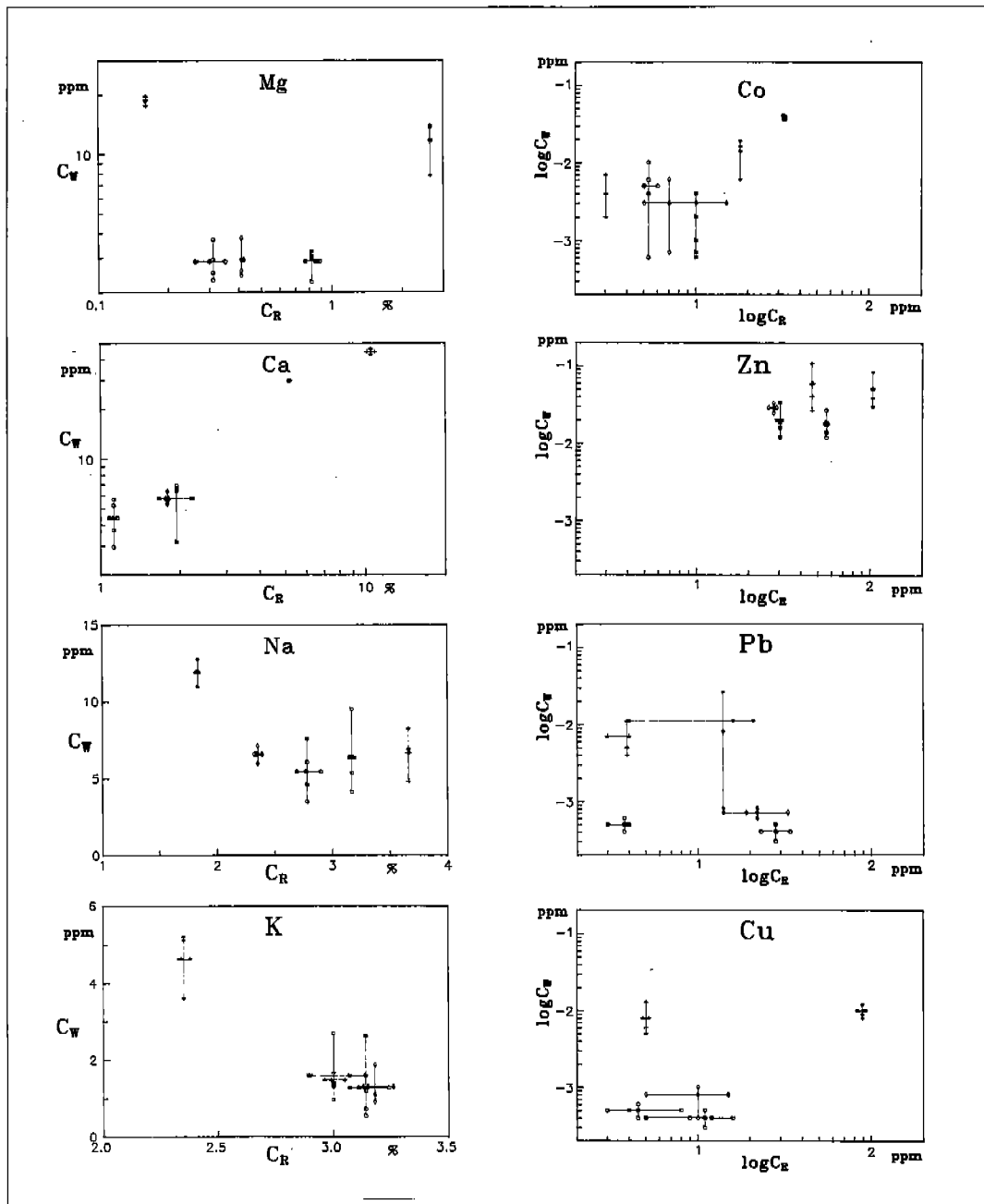


Fig. 5 Comparison of chemical element contents between rocks(CR) and upstreams(CW). Symbols are the same as those used in Fig. 3.

해 있으나 하는 것은 주로 pH-Eh의 요인에 의하여 좌우된다(Xingfu and Gholamhoss, 1989). K, Na, Ca 등의 주원소는 지질학적

pH영역 내에서 이온상태로 존재하나 금속미량 원소들은 pH가 중성 이상이 되면 대개 탄산염, 수산화물등의 화합물로 침전하게 된다. 본 역 하

천수의 Eh-pH영역은 Fig.3와 같다.

주원소

각 암류의 하천수 중 주원소 함량 - 주원소의 함량은 퇴적암류 하천수가 화성암류 하천수보다 높는데 함안층은 K(4.6ppm), Na(11.9 ppm)이, 반야월층은 Ca(7.1ppm)과 Mg(0.2 ppm)가 가장 높고, 화강암(K=1.28ppm, Na=5.43ppm, Ca=4.38ppm, Mg=0.31ppm)은 원소 모두가 제일 낮다. 퇴적암류 하천은 화강암의 하천에 비하여 K는 3배, Na는 2배, Ca는 10배, Mg는 6배정도 함량이 높다(Table 2). 이들 주 원소의 용존량은 하천의 여러가지 지화학적 요인의 지배를 받으나 일차적으로는 해당지역의 암류 및 암질과 밀접한 관계를 가진다.

하천과 암석의 함량 비교 - 하천수 중 주원소 함량이 퇴적암류지역이 화성암류지역보다 높은 것은 암류의 암질 및 화학조성과 밀접한 관계를 가지기 때문인데 암석에서 용출된 주원소의 함량을 성분삼각도 및 $\log C_R/\log C_W$ 로 비교해 보면(Fig. 4,5) K, Na함량은 함안층지역의 하천수가 가장 높으나 암석은 제일 낮고, Mg는 반야월층의 하천수가 제일 높다. 이러한 반대현상을 보이는 것은 이들 원소가 퇴적암에서는 가용성의 상태로 존재하기 때문이다.

미량원소

미량원소는 음용수 수질검사에 포함되며 대구 지역 공단폐수와 달성폐광산수에서도 검출되는 중금속중에서 택하여 비교하였다.

암석 중 Cu, Pb, Zn, Ni, Co함량은 화성암류가 퇴적암류 보다 높으나 하천수 중 함량은 퇴적암류지역이 높다. 즉 안산암(Pb=22ppm), 몬조니암(Cu=11ppm, Ni=12ppm, Co=10ppm)이 반야월층(Cu=5ppm, Pb<5 ppm, Ni=5,

Co=3)보다 함량이 높지만 하천수에서는 반야월층지역(Cu=8ppb, Pb=6ppb, Ni=7ppb, Co=4ppb)이 안산암지역(Pb=1ppb)과 몬조니암지역(Cu<1ppb, Ni=6ppb, Co=2ppb)보다 높게 나타난다.

퇴적암류지역 내에서도 지층간에 차이를 보인다. 즉 Cu함량은 함안층지역(10ppm)이 반야월층지역(8ppm)보다 약간 높으나, Pb함량은 함안층지역(11ppm)이 반야월층지역(6ppm)보다 2배정도 높고, Zn, Mn, Fe 함량은 반대로 반야월층지역(59, 58, 46ppm)이 함안층지역(50, 27, 40ppm)보다 높다. Ni 함량은 퇴적암지역(5-12ppm)과 화성암지역(3-10ppm)간에 차이가 적다. Co, Cd 함량은 퇴적암지역(2-20ppm, 3-14ppm)이 화성암지역(3-10ppm, 1-7ppm)보다 높으며 퇴적암지역에서는 함안층지역이 반야월층지역 보다 높다.

상류천 수질에 미치는 지질학적 영향

상류하천수의 금속성분은 해당암류의 화학성분, 광물조성 및 물리적 성질과 밀접한 관계를 가지며, Eh-pH 조건에 따라 탄산염, 수산화물, 산화물 등으로 침전 또는 점토광물에 흡착된다. 그리고 본 역 신천 상류에는 달성폐광산이 위치하고 있어서 이로부터 인체에 유해한 중금속원소(이진국의,1989)가 유입될 것으로 생각된다.

주원소

본 역 상류에 있는 안산암류, 몬조니암 및 화강암 등의 화성암류에서 분해되어 나오는 K, Na, Ca, Mg 성분과 관련있는 조암광물로는 장석류, 준장석, 운모류, 각섬석, 휘석 등이 있으며 장석은 K, Na, Ca; 준장석, 운모는 K; 각섬석, 휘석은 Ca, Mg와 주로 관련된다

Table 3 Aqueous species of trace elements.

Element	Aqueous species
Copper	Cu^{2+} , $Cu(OH)_2$, $CuHCO_3^+$, $CuCl_3^-$, $CuCl_2^-$
Lead	Pb^{2+} , $PbCO_3^0$, $Pb(OH)^+$, $Pb(OH)_2^0$, soluble organic matter, complexes with Cl^- and HCO_3^-
Zinc	Zn^{2+} , $Zn(OH)_2^0$, soluble organic complexes, floating live organisms
Nickel	Ni^{2+}
Cobalt	Co^{2+} , organic complexes
Cadmium	Cd^{2+} , $Cd(OH)_2^0$, $CdHCO_3^+$

(Sverdrup and Warfvinge, 1988; Goldich, 1938; Harriss and Adams, 1966). 그리고 점토광물은 K, Na, Ca, Mg과 관련되고, 함안층과 반야월층의 퇴적암류에서는 석회질성분의 영향을 많이 받는다.

퇴적암류도 광물조성에 따라 원소의 용출량이 다르며 방해석이 많으면 Ca 용출량이 증가하고 변질된 장석류는 Ca, K, Na 용출량을 증가시킨다. 점토광물도 많으면 중금속의 흡착에 영향을 준다. 본 역 상류천의 주원소(Na, K, Ca, Mg)와 중금속원소(Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd 등)의 용존량이 화성암지역에서 보다 퇴적암지역에서 더 높은 것도 이와 관련되며 실제로 함안층과 반야월층의 퇴적암류에는 화성암류인 안산암, 화강암, 문조니암에 비하여 주원소의 공급원이 되는 장석, 탄산염, 칼슘, 점토광물 등이 많이 포함되어 있다.

이들 주원소의 용출량은 구성광물의 용해도와도 관계되는데, Ca 함량은 암석과 하천수에서 모두 다른 원소보다 높으며 암석 중 Ca 함량은 반야월층(7.05%)은 화강암(1.12%)의 3.6배밖에 되지 않으나 하천수에서는 반야월층(44.3ppm)이 화강암(4.38ppm)보다 7.7배나 높다. 이는 이미 일부 언급된 바와 같이 퇴적암류 중 Ca 화합물은 화성암류중의 것보다 더 가용성의 상태로 있기 때문이다. K와 Na의 함량은 암석에서는 서로 유사하나 하천수에서는 Na가 현저히

높다. 이는 K-장석은 Na-장석에 비하여 풍화에 대하여 강하며(Goldich, 1938) 일단 용출되어 나온 K⁺은 Na⁺에 비하여 교질물에 더 쉽게 흡착되어 물에서 제거되기 때문이다.

미량 중금속 원소

본 역 암석 중 미량원소가 어떤 형태로 존재하는지는 본 연구의 대상에 포함되어 있지 않으므로 직접 확인되지 않았다. 화학분석결과와 미량원소들의 지화학적 특징으로 부터 판단해 볼 때 문조니암과 안산암 등 화성암류에서는 단독 광물로서 산출되는 것이 아니고 주로 규산염 조암광물의 격자 중에 미량원소로 들어가 있다. 퇴적암류에서는 함안층 중 미량원소 함량이 Cu의 경우 89ppm인데도 하천수에는 단지 10ppb만 용존되어 있는 것으로 보아 가용성의 2차광물로 존재하지는 않을 것으로 생각된다. 미량 중금속 원소의 하천수 중 산출상태는 단순이온 이외에 복합이온으로 존재하며(Table 3) pH-Eh의 변화에 따라 침전한다.

하천수의 성분과 음용수기준의 비교

우리나라 음용수 기준치에 의하면 미량중금속 원소의 함량은 $Cu < 1ppm$, $Pb = 0.1ppm$, $Zn < 1ppm$, $Cd = 0.01ppm$, $Mn = 0.3ppm$, $Fe = 0.3ppm$ 이고(환경처, 1991) Ni과 Co의 함량은

명시되어 있지 않으나 인체에 영향이 있을 것으로 생각된다.

상기 기준치에 대하여 본 역 상류천의 미량원소의 용존량을 비교해보면 중금속원소 모두가 음용수 기준치보다 훨씬 낮은 값을 보인다. 즉, Cu와 Zn 함량은 함안층지역 하천이 각각 0.089 ppm, 0.104ppm으로 가장 높고 Pb 함량은 반야월층지역 하천이 0.014ppm으로 가장 높으나 모두 음용수기준치보다 훨씬 낮으며 유독한 중금속인 Cd(Stephenson and Hackie, 1988)함량도 함안층지역 하천이 가장 높으나 평균치가 0.009ppm로 음용수기준치 이하이다. 그리고 Mn과 Fe함량은 반야월층지역 하천이 가장 높으나 각각 0.058ppm과 0.005 ppm으로 역시 음용수 기준치보다 낮다.

따라서 본 역 상류천의 수질은 중금속원소에 의한 오염은 없고 상류지역에 인위적인 오염을 발생시키지 않는 한 지하수의 공급원으로서 문제가 되지 않을 것으로 보인다. 그러나 Cd함량은 한국음료수 기준치 및 WHO치 보다도 높은 것이 있고, Turekian(1977)의 담수평균치에 비하면 본 역 상류천은 대체로 조금씩 높은 편이다(Table 2).

하류 하천수의 성분 및 오염

하류 하천수의 성분

신천 중/하류의 오염지대를 주택지대, 공단지대로 구분하고 공단지대는 공단천, 달서천을 대상으로 하고 주택지대의 하천은 다시 상류에 주로 화성암류가 분포하는 하천(신천, 범어천)과 퇴적암류인 반야월층이 분포하는 하천(대명천)으로 세분하여 총 21개 지점에서 시수를 채취 분석하고 하류 하천수의 오염상태를 상류 비오염 하천수를 배경치로 하여 비교 검토하였다. 하천별로는 신천 5개 지점, 범어천 3개 지점, 대명천 4개 지점, 달서천 3개 지점, 공단천 6개 지점이다(Fig. 2). 시수는 상류 하천수와 정확한 비교를 위하여 같은 기간에 채수되었다. pH는 주택지대에서 오염이 제일 적은 범어천은 6.9, 공장지대에서 오염이 제일 심한 공단천은 8.1로 나타났으며, 대체로 주택지대는 중성, 공장지대는 약알카리성을 띤다. 주택지대 내에서는 상류에 안산암류와 몬조니암을 가진 신천(pH=7.2)이 반야월층을 상류에 가진 대명천

Table 4 Chemical analyses of polluted downstream waters, Taegu city.

a) major elements

unit : ppm, (): average

Stream	K	Na	Ca	Mg	NO ₃ -N	NH ₃ -N
Sin stream	6.46-16.19 (11.65)	31.46-76.90 (59.10)	12.01-67.19 (32.70)	5.59-12.43 (8.80)	3.0-34.3 (15.5)	0.1-1.8 (0.64)
Beomeo stream	12.26-17.99 (14.24)	7.62-62.04 (38.27)	26.99-37.22 (31.70)	5.59-12.43 (8.77)	12.3-14.7 (13.3)	0.1-0.3 (0.16)
Daemyong stream	13.84-15.15 (14.50)	65.48-70.21 (67.90)	37.63-62.08 (46.26)	9.18-11.84 (10.26)	17.6-19.6 (17.4)	0.1-0.3 (0.18)
Gongdan stream	10.23-15.02 (13.09)	75.26-152.1 (110.32)	25.46-69.51 (39.70)	6.62-39.03 (14.97)	5.6-41.4 (27.3)	0.1-0.4 (0.3)
Dalseo stream	14.37-18.60 (16.43)	77.02-120.20 (101.80)	10.28-38.20 (25.06)	9.12-10.83 (9.80)	14.6-17.0 (15.5)	0.1 (0.1)

b) trace elements

unit : ppb, () : average

Stream	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Mn	Fe
Sin stream	ND	ND-5 (1)	53-173 (96)	7-80 (24)	11-29 (18)	4-6 (5)	210-390 (286)	6-29 (17)
Beomeo stream	ND	ND	47-65 (58)	3-14 (9)	1-13 (8)	ND-3 (2)	150-184 (171)	6-9 (7)
Daemyong stream	ND	ND	57-202 (118)	ND-8 (8)	1-20 (5)	3-4 (4)	130-170 (145)	6-21 (14)
Kongdan stream	ND-22 (12)	ND-32 (3)	118-337 (180)	24-90 (44)	ND-29 (17)	4-7 (5)	78-310 (152)	8-52 (26)
Dalseo stream	ND-80 (26)	ND	48-210 (112)	8-44 (19)	5-19 (12)	3-9 (5)	120-320 (190)	7-47 (21)

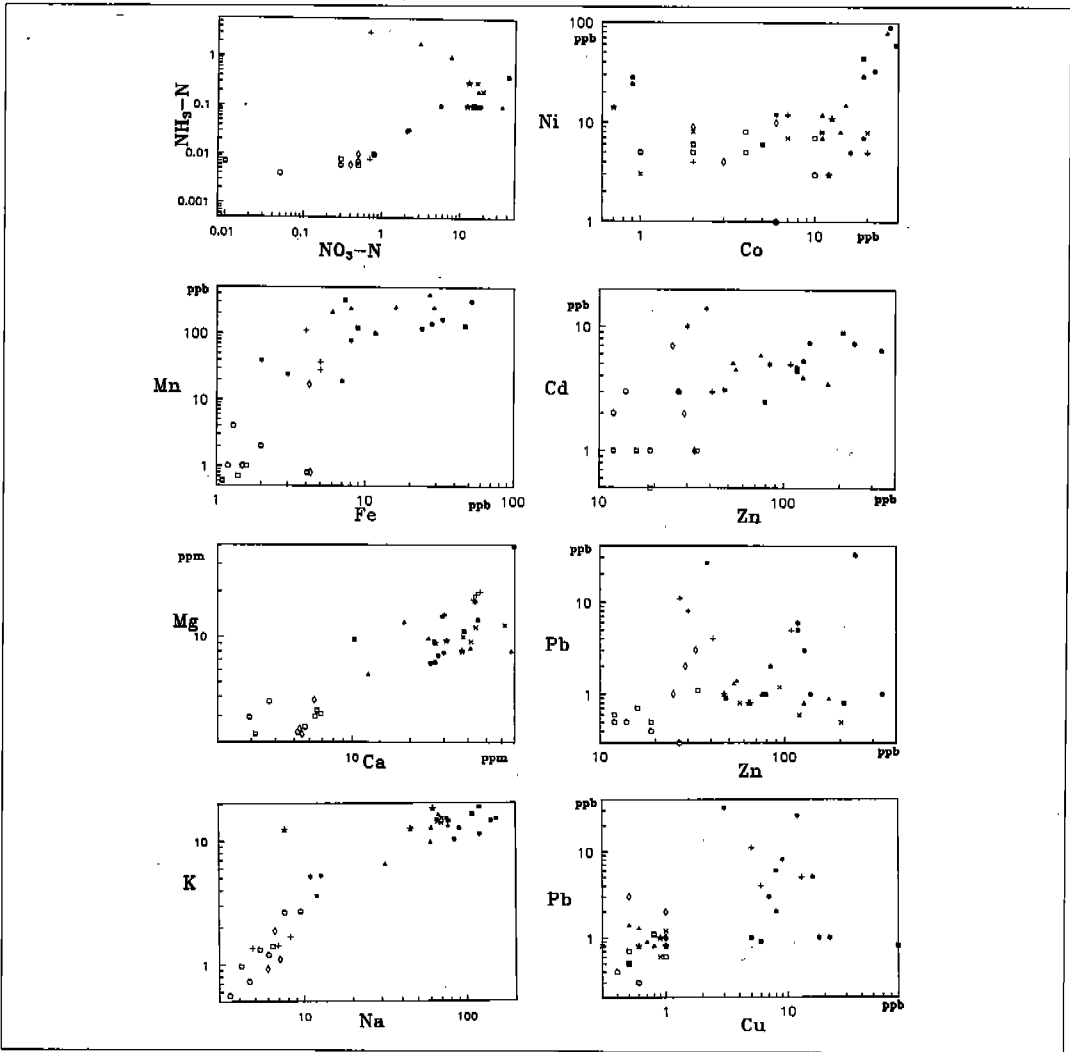


Fig. 6 Comparison of chemical element contents between upstreams and polluted downstreams. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

(pH=6.9)보다 약간 높은 pH를 보였다. E_{11} 는 범어천은 0.20V, 공단천은 -0.15V로 주택지대는 산화환경, 공장지대는 환원환경에 접시된다 (Fig. 3). 공단천에서 E_h 가 낮게 나타나는 것은 유기물을 비롯한 많은 오염물질이 하천의 자정 능력 이상으로 공급되기 때문이다. 원소별 함량 (Table 4) 및 하천의 오염상태 (Fig. 6)는 다음과 같다.

주원소

Na 함량은 공단지대 하천이 주택지대 하천보다 약 2배정도 높게 나타나며 공단지대에서는 공단천이 염색공단이 있는 곳에서 122ppm으로 가장 높고 주택지대에서는 범어천이 38.3ppm으로 가장 낮다.

주택지대와 공단지대 하천의 Na 함량을 각각의 해당 상류하천과 비교하면 상기표에서 보는 바와 같이 주택지대 하천은 상류하천의 약 6-10배가 되고 공단지대 하천은 상류하천의 약 9-10배가 된다. 범어천의 Na 함량이 낮은 것은 신천보다 생활하수의 영향이 적을 뿐 아니라 자연수로 희석되고, 반대로 공단천에서 Na 함량이 특히 높은 것은 염색공단의 폐수에 기인되는 것으로 생각된다. 그리고 함안층의 상류천이 반야월층의 상류천보다 2배정도 높은 것도 한 요인이 된다.

K 함량은 전체적으로는 주택지대와 공단지대 하천간에 큰 차이가 없으나 3개의 하천별로 비교하면 공장지대의 제일 높은 달서천(16.4ppm)은 주택지대에서 제일 높은 대명천(14.5ppm)보다 높으며 공단지대의 제일 낮은 공단천(13.2ppm)도 주택지대에서 제일 낮은 신천(11.3ppm)보다는 높다.

Ca 함량은 주택지대의 하천이 공단지대의 하천보다 오히려 높은 경향을 보인다. 즉, 주택지대의 신천(32.7ppm)과 범어천(31.7ppm)은 공

단지대의 달서천(25.1ppm)보다 높고 주택지대의 대명천(46.3ppm)은 공단지대의 공단천(39.7ppm)보다 높다.

주택지대 하천이 공장지대 하천보다 Ca함량이 높은 것은 주택지대의 하천은 Ca의 함량이 높은 반야월층을 관류하기 때문이다. 마찬가지로 주택지대내에서도 대명천이 신천, 범어천보다 현저히 높은 것은 대명천 상류의 반야월층이 신천과 범어천 상류의 몬조니암과 안산암보다 Ca 함량이 현저히 높기 때문으로 생각된다.

Mg 함량은 공단지대 하천이 주택지대 하천보다 높은 경향을 보인다. 즉, 공단지대의 달서천(9.8ppm)은 주택지대의 신천(8.8ppm)과 범어천(8.8ppm)보다 높고 공단천(15ppm)은 대명천(10.3ppm)보다 현저히 높다.

주택지대에서는 대명천이 신천과 범어천보다 Mg의 함량이 높는데, 이는 Ca의 경우와 같다. 그리고 상류보다 중/하류에서 Mg함량이 낮은 것은 탄산염으로서의 침전, 점토광물에의 흡착 등에 기인되는 것으로 생각된다.

공단지대와 주택지대 하천의 성분은 다음 페이지 표와 같다.

미량 원소

중금속은 거의 대부분 하류천이 상류천 보다 높은 함량을 보인다. 단, 철은 수산화철로서의 침전이 용이하여 1/2 - 1/3정도 감소되어 나타난다. 주택지대와 공단지대의 하천간에도 약간의 차이가 있으며 상류 암질의 영향이 반영되어 있다. Cu는 공단지대가 현저히 높고 Pb, Zn, Ni, Co도 약간 높은 경향을 보이며 Mn은 달성 폐광산을 상류에 가진 신천이 286ppm으로 공단지대의 하천보다도 현저히 높게 나타난다. 이는 달성광산의 주광석광물인 철망간중석과 관련되는 것으로 생각된다.

	공단지대 하천	주택지대 하천
Na	공단천(110.3ppm)>달서천(101.8pp)	대명천(67.9ppm)>신천(59.1ppm)>범어천(38.3ppm)
	* × 10배 × 9배	** × 10배 × 9배 × 6배
K	달서천(16.4ppm)>공단천(13.1ppm)	대명천(14.5ppm)>범어천(14.2ppm)>신천(11.7ppm)
	** × 3.5배 × 3배	* × 9배 × 9배 × 8배
Ca	공단천(39.7ppm)>달서천(25.1ppm)	대명천(46.3ppm)>신천(32.7ppm)>범어천(31.7ppm)
	** × 1.3배 × 0.85배	* × 1.1배 × 0.74배 × 0.72배
Mg	공단천(15.0ppm)>달서천(9.8ppm)	대명천(10.3ppm)>신천, 범어천(8.8ppm)
	* × 1.3배 × 0.84배	** × 0.55배 × 0.47배

*=함안층 상류천, **=반야월층 상류천

주택지대의 하천간에도 중금속원소의 함량에 약간의 차이를 보이는데, 이는 상류의 압류와 관계가 된다. 즉, 몬조니암(Zn=30ppm, Ni=12ppm, Co=12ppm)과 안산암(Zn=28ppm, Ni=8ppm, Co=7ppm)은 반야월층(Zn=46ppm, Ni=5ppm, Co=3ppm)에 비하여 Zn 함량은 낮고 Ni, Co 함량은 높는데 몬조니암과 안산암을 상류에 가진 신천도 반야월층을 상류에 가진 대명천보다 Zn는 낮고 Ni, Co는 높다.

마찬가지로 공단지대의 하천간에도 함량에 약간의 차이를 보인다. 즉, Zn, Ni, Co는 오염이 심한 공단천이 달서천보다 높고 공단천 자체도 염색공단쪽보다 다른 공장지대에서 조금씩 높게 나타난다.

NH₃-/NO₃-N

NH₃ 함량은 주택지대 하천이 공단지대 하천보다 높은 경향을 보이나 NO₃ 함량은 공단지대 하천이 주택지대 하천보다 약간 높은 편이다. 공단지대에서는 오염이 가장 심한 공단천(27.3 ppm)이 달서천(15.5 ppm)보다 2배정도 높고 주택지대내에서는 오염이 덜한 범어천(13.3 ppm)이 신천(15.5ppm)이나 대명천(17.4 ppm)보다도 다소 낮다.

지하수의 분포 및 대수층의 암질

본 역 지하수의 수질은 암층의 여과작용에 의하여 하류의 오염된 하천수에 비하면 주원소 및 중금속원소의 함량이 현저히 낮으나 화성암지대의 상류천 수질에 비하면 상당히 오염되어 있으며 오염의 정도도 주택지대가 있는 반야월층보다 공장지대가 있는 함안층에서 심하다. 본 역 지하수의 분포, 대수층의 암질, 성분의 거동 및 수질오염에 대하여 상술하면 다음과 같다.

대수층은 총적층에도 많이 발달하나 지표수의 영향을 많이 받아 오염되기 쉬운데 반해 지하 심부 암층의 대수층은 지표수의 직접적인 오염으로부터 안전하며 양질의 지하수가 많다. 대구지역 지하수의 부존실태(김영기, 1976)는 총적층에는 일 채수량이 500-1,000m³(신천의 고기 하상 퇴적층) 내지 300-800m³(일부 총적층)의 대수층도 있으나 일반적으로 심도가 얇고 자갈과 모래등이 적어 지하수의 발달이 빈약한 편이다. 이에 비해 대구 중심부에 넓게 분포하는 반야월층에는 일 채수량이 100-500m³나 되는 렌즈상 대수층이 많은데, 이는 함안층에도 일부 발달하며, 일 채수량이 300-1,000m³나 되는 대수층대도 반야월층에는 넓게 발달한다. 함안층과 반야월층내 지하수의 분포 및 암질을 기 자료(김영기, 1974)를 중심으로 요약하면 다음과 같다

(Fig. 2).

함안층

본 층은 대수성이 빈약하나 신암동과 중리동-이현동-원대의 일부 지역에 소규모로 분포하는 함안층에 지하수가 부존한다. 신암동지역 한 시추공에서는 심도 82m에서 290m³/일이 채수된 바 있으며 중리동-이현동-원대의 함안층은 사암 및 니회암층으로 되어있어 지하수 부존이 가능하다. 단 본 암층은 저색 니암층이 협재해 있어 다른 대수층보다는 투수성이 미약하며 심도 100m 내외에서 채수가 가능할 것으로 기대되며 채수량은 150m³/일로 추정된다. 함안층이라 할지라도 절리대나 파쇄대가 발달한 곳은 지하수가 부존할 수 있으며 100m³/일 내외가 채수된다.

지하수의 여과 및 수질에 중요한 영향을 미치는 본 층의 광물조성과 입도를 살펴보면 사암은 주로 장석(정장석)사장석)과 석영으로 구성되어 있으며 장석은 고령토화 된 것이 많다. 입도는 대체로 0.02-0.2mm인데 입자간에는 점토광물로 채워져 있으며 백운모도 관찰된다. 니암은 주로 석영, 정장석, 백운모, 갈색점토광물, 적철석으로 구성되어 있으며 장석은 역시 고령토화되어 있다. 입도는 대체로 0.02-0.05mm이다. 니회암은 주로 입도가 0.03-0.8mm정도의 석영, 장석(정장석)사장석) 및 방해석으로 구성되어 있으며 기질은 석회질 점토광물로 되어 있다. 함안층에는 정장석이 많지만 고령토화 된 것이 많아 암석 중 실제 K함량은 반야월층보다 낮을 수 있다.

반야월층

본 층에는 니회암, 사질세일 및 사암층의 호층이 많이 발달하고 니회암에는 공극이 형성되어 있

어서 본 층은 함안층에 비해 대수성이 크다. 이들 대수성이 큰 호층은 상부층보다는 하부층쪽에 많이 발달하며 지하수의 부존량도 하부로 갈수록 증가한다. 대구 중심부에 넓게 분포하는 반야월층에는 일 채수량이 300-1,000m³나 되는 대수층대가 넓게 발달하며 일 채수량이 100-500m³나 되는 대수성이 양호한 렌즈상 사암층도 많이 있다.

본 층의 광물조성과 입도는 하부에 협재된 사암의 경우 입도가 0.5-1.5mm의 亞圓狀의 석영, 정장석 및 사장석으로 구성되고 이들 입자간에는 불투명광물과 약간의 백운모가 관찰되며, 흑색세일은 극세립의 점토광물로 구성되고 입도가 0.02mm정도의 석영입자도 약간 포함된다. 그리고 녹회색 니암질세일은 점토광물로 구성되어 있으나 운모와 입도가 0.05mm정도의 아각상 석영립도 관찰된다.

상기 양 층의 장석 및 점토질은 지하수가 형성되는 과정에서 수질을 중성 내지 알카리성으로 되게 하여 대부분의 중금속을 침전 혹은 흡착하는 등의 제작용을 통하여 본 층에 배태되어 있는 지하수의 수질에 중요한 영향을 주었을 것으로 생각된다.

지하수 성분의 거동과 수질오염

지하수는 대구시내에 소재하는 국, 중, 고등학교를 대상으로 하여 먼저 25개 지점에서 채수하였으며 종합검토때 다시 오염이 심한 공단천 주변의 4개 지점을 추가하였다. pH와 Eh는 현지에서 측정하고 기타 성분은 실내에서 분석하였다(Table 5). 지하수의 성분변화는 Fig.7에 있다.

신천 중류와 하류의 지하수

신천은 안산암류와 본조니암 지역에서 발원하여 대구시 중심부를 지나는데 본 역의 중류에서

반아월층을 관류하고 하류에서 반아월층과 함안층 상부에 발달한 충적층을 지나 금호강에 유입된다. 지하수정은 신천의 동편에서는 거의 함안

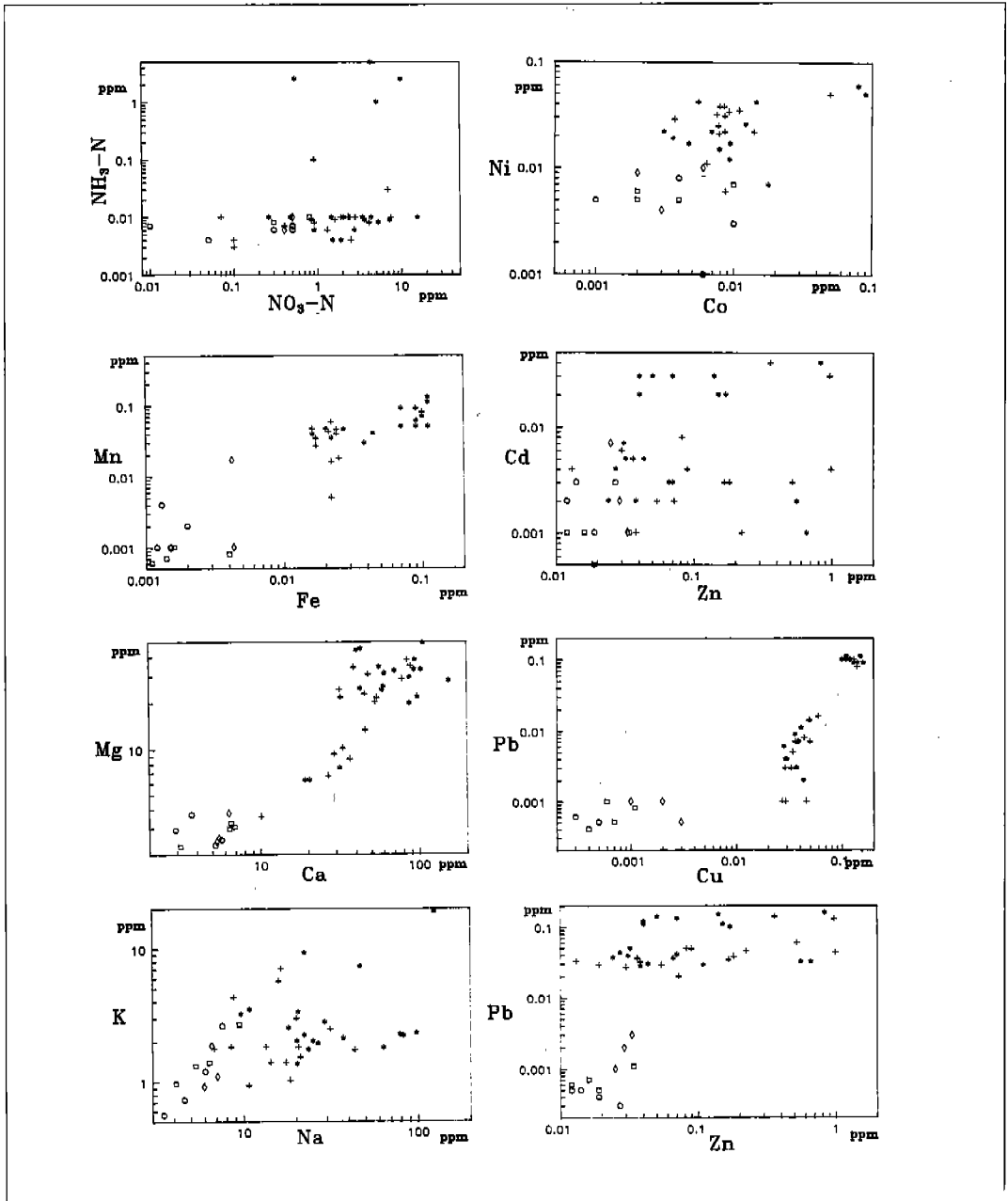


Fig. 7 Comparison of contents between upstreams of igneous rocks and groundwaters. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

Table 5 Chemical analyses of groundwater from the downtown of Taegu City.

a) major elements

No	Site	Depth	pH	Eh	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	NO ₃
1	Dusan E	95m	7.45	0.22	15.66	1.93	44.24	12.89	35.6	34.8	0.5
2	Daebong E	131m	7.82	0.19	17.09	1.27	37.24	18.35	50.8	30.4	3.1
3	Susung E	130m	7.67	0.29	5.56	1.45	9.53	2.72	7.2	20.7	0.8
4	Kungil H	120m	7.48	0.22	13.24	5.64	45.27	19.08	40.9	47.1	0.2
5	Jungri E	131m	7.83	0.17	36.15	4.67	60.62	24.01	33.8	49.7	6.95
6	Daemyeon E	131m	7.4	0.27	7.72	3.61	23.16	11.66	15.97	34.9	2
8	Gunam H	130m	7.28	0.18	38.9	1.59	86.58	27.57	75.5	82.05	2.95
9	Taegu E	130m	7.67	0.17	22.06	2.54	35.34	9.63	72.5	56.67	1.2
11	Bonri E	131m	7.95	0.21	9	1.76	27.53	16.2	30.9	113.7	1.35
13	Kyungsang E	115m	7.65	0.17	19.47	1.43	81.54	23.24	84.1	57.4	1.3
14	Namsan E	131m	7.72	0.18	34.94	1.96	93.2	31.98	111.9	70.3	1.6
23	Dongin E	130m	7.13	0.18	26.15	9.63	37.73	7.49	37.3	46.3	17.1
Range of average			7.13-	0.17-	5.56-	1.27-	9.53-	2.72-	7.2-	20.7-	0.2-
Panyaweol formation			7.95	0.29	38.90	9.63	93.20	31.98	137.2	113.7	17.1
(Total average)			(7.59)	(0.20)	(20.50)	(3.12)	(48.50)	(16.58)	(49.71)	(53.67)	(3.25)

No	Site	Depth	pH	Eh	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	NO ₃
7	Dongsan E	130m	7.37	0.21	17.09	1.91	64.08	25.77	62.8	58	3.1
10	Bangchon E	112m	7	0.21	13.35	5.54	33.1	9.37	21.7	67.03	2.2
12	Beomeo E	135m	7.63	0.21	22.09	1.69	57.81	17.56	39.3	45.2	6.8
15	Duksung E	130m	7.48	0.21	21.39	2.28	91.04	30.17	75.5	48.03	12.3
16	Kyungsang H	130m	7.05	0.2	23.25	2.1	64.78	25.38	64.07	30.4	6.1
17	Sinam E	130m	6.87	0.26	65.26	10.39	62.71	18.96	88.47	64.97	25.2
18	Inji E	132m	7.43	0.19	25.47	1.93	87.19	27.6	137.2	48.6	4.3
19	Yihyun E	130m	7.6	0.19	27.36	2.11	70.07	34.56	99.5	152.6	5.6
20	Ayang E	130m	7.5	0.21	46.41	2.75	34	9.03	41	116.7	4.8
21	Sinam M	130m	7.13	0.19	31.32	2.77	56.72	18.71	42.8	47.5	3.4
22	Dalsan E	130m	7.33	0.2	34.89	4.84	75.33	21.03	49.7	97.3	4
24	Bokhyun M	130m	7.73	0.19	22.71	3.01	64.58	27.5	59.7	49.4	2.4
25	Pyungri E	130m	7.35	0.19	24.52	3.62	54.08	31.87	71	56.8	2.6
Range of average			6.87-	0.19-	13.35-	1.91-	33.10-	9.03-	21.70-	30.4-	2.2-
Haman formation			7.73	0.26	65.26	10.39	91.04	34.56	137.20	152.60	12.3
(Total average)			(7.34)	(0.20)	(28.85)	(3.46)	(62.73)	(22.89)	(65.60)	(67.89)	(6.37)

대구시 지하수의 금속 오염에 대한 지화학적 연구

26	factory p. 1	8.0	0.18	78.89	2.26	87.26	29.37	56.61	19.54	4.36
27	factory p. 2	7.5	0.18	10.84	3.49	20.40	6.29	4.70	19.54	1.44
28	dyeing p. 2	7.5	0.20	63.28	1.79	86.8	19.87	20.04	31.04	0.54
29	dyeing p. 1	7.3	0.24	98.12	2.31	154.21	28.04	23.65	33.54	0.47
Range of average industry area (Average)		7.3-8.0 (7.6)	0.18-0.24 (0.20)	10.84-98.12	1.79-3.49	20.40-154.21	6.29-29.37	4.70-56.61	15.54-33.54	0.4-4.36

E = elementary school, M = middle school, H = high school

b) trace elements

unit: ppm

No	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Mn	Fe	HCO ₃
1	0.016	0.060	0.520	0.031	0.0086	0.003	0.050	ND	89.1
2	0.014	0.049	0.089	0.035	0.0114	0.004	0.047	0.016	38.4
3	0.007	0.038	0.181	0.025	0.0077	0.003	0.034	0.017	40.3
4	0.008	0.044	0.991	0.034	0.0092	0.004	0.025	ND	90.3
5	0.007	0.036	0.036	0.042	0.0055	0.005	0.036	ND	150.7
6	0.007	0.050	0.082	0.011	0.0064	0.008	0.004	ND	-
8	0.001	0.029	0.019	0.006	0.0087	ND	0.059	0.022	134.2
9	0.003	0.033	0.013	0.032	0.0075	0.004	0.027	0.017	-
11	ND	0.032	0.038	0.021	0.0078	0.001	0.018	0.025	89.1
13	ND	0.020	0.072	0.029	0.0037	0.002	0.043	0.021	93.9
14	0.001	0.046	0.223	0.038	0.0085	0.001	0.040	0.011	39.6
23	0.009	0.036	0.066	0.017	0.0094	0.003	0.034	ND	36.0
average	0.006	0.039	0.194	0.027	0.008	0.003	0.035	0.011	66.8

No	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Mn	Fe	HCO ₃
7	0.005	0.034	0.166	0.038	0.0079	0.003	0.016	0.022	130.5
10	0.001	0.027	0.030	0.022	0.0086	0.006	0.005	0.022	32.3
12	0.003	0.019	0.054	0.022	0.0141	0.002	0.046	0.024	92.1
15	0.002	0.043	0.027	0.007	0.0177	0.004	0.034	0.022	111.0
16	0.011	0.041	0.070	0.042	0.0145	0.003	0.029	0.038	114.7
17	ND	0.032	0.655	0.015	0.0078	0.001	0.046	0.027	159.8
18	0.004	0.030	0.043	0.026	0.0122	0.005	0.039	0.016	140.3
19	0.003	0.037	0.024	0.017	0.0047	0.002	0.043	ND	157.4
20	0.007	0.039	0.031	0.012	0.0093	0.007	0.016	ND	96.4
21	0.004	0.029	0.109	0.015	0.0079	ND	0.021	ND	96.4
22	0.006	0.028	0.038	0.022	0.0069	0.002	0.040	0.044	158.6
24	0.014	0.050	0.032	0.019	0.0036	0.005	0.046	ND	133.0
25	ND	0.032	0.456	0.022	0.0031	0.002	0.047	0.020	100.0
average	0.005	0.034	0.133	0.021	0.009	0.003	0.033	0.018	116.9
26	0.09	0.13	0.07	0.09	nd	0.03	0.09	0.07	93.3
27	0.11	0.15	0.14	nd	0.04	0.03	0.05	0.09	18.3
28	0.09	0.14	0.05	nd	nd	0.03	0.13	0.11	123.5
29	0.09	0.16	0.83	0.06	0.08	0.04	0.11	0.11	110.5
average.	0.095	0.145	0.27	0.037	0.03	0.03	0.095	0.095	86.3

Samples of Nos. 26-29 from industry area are in Haman formation.

충지역에 위치하며 서편에서는 주로 반야월층에 위치하나 일부가 함안층에도 위치하므로 동편의 지하수는 함안층 암질의 영향을 받고 서편의 지하수는 양 암층의 영향을 받게 될 것으로 생각된다.

본 역 신천의 중류에서 하류쪽으로(No.3, 2, 23, 17, 22) 지하수정 수질 변화를 보면 Table 5-a에서 보는 바와 같이 Na, K, Ca, Mg 함량은 대체로 중류에서 보다 하류에서 높아지는 경향을 보이는데, 이는 대수층의 암질과 생활하수에 관련되는 것으로 생각된다. 함량의 증가 경향은 Na와 Ca이 K보다도 더 현저하고 Mg은 미약하다. 대수층 암질이 수질에 미치는 영향은 No.22와 No.17 지하수정에서 찾아 볼 수 있다. 양 지하수정은 같은 함안층지역에 있는데도 No.22 지하수정이 Ca함량이 높다. 이는 상류쪽에 있는 반야월층의 영향으로 생각된다. 반야월층은 본 연구에서 밝혀진 바와 같이 함안층보다 Ca와 Mg함량이 높다(Table 1).

생활하수, 공장폐수 및 대기오염과도 관련되는 NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl⁻ 함량도 Table 5-a에서 보는 바와 같이 대체로 중류에서 보다 하류쪽 지하수에서 높은 경향을 보이며, 함량이 증가하는 경향은 SO_4^{2-} 가 NO_3^- 와 Cl⁻에 비하여 현저하다.

미량중금속원소의 함량을 보면 Table 5-b에서 보는 바와 같이 대부분의 원소는 대체로 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보이는데, 이는 지하수의 공급원인 상류수가 하류쪽으로 흘러 내려오면서 그리고 대수층 내의 유동과정(임영진, 1988)에서 용존되어 있던 금속이 pH-Eh 환경의 변화로 침전 또는 점토(Reid and McDuffie, 1981)와 유기물등에 흡착되어 제거되기 때문으로 생각된다(Cherry, 1984). 그러나 상류천의 수질, 대수층의 암질 등에 따라 반드시 일정하지는 않다.

충적층지역 내 반야월층 지하수

미고결층인 충적층지역 내 지하수는 고결층지역 내의 지하수에 비하여 하천수의 영향을 많이 받게 된다. 또한, 신천에 인접한 지하수정의 수질은 먼 곳에 있는 지하수에 비하여 신천수의 영향을 더 많이 받게 된다.

본 역의 신천에 인접해 있는 No.2와 23, 그리고 먼 곳에 있는 지하수정 No.9와 13을 선택하여 그 수질을 비교해보면 Na 함량은 불규칙하게 보이나 전자는 후자에 비하여 K함량은 높고 반대로 Ca와 Mg 함량은 낮은 경향을 보이는데, 이는 전자가 생활하수로 오염된 신천의 영향을 많이 받기 때문이다. Ca와 Mg의 함량차는 No.9와 13 지하수정 간에서도 볼 수 있는데, 이것도 상기한 신천으로 부터의 거리와 밀접한 관련이 있다.

NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl⁻함량도 신천에 인접한 No.2, 23 지하수정이 먼 곳에 있는 지하수정에 비하여 보다 낮게 나타난다. 이는 신천에 의한 희석작용으로 생각된다.

미량중금속 원소는 대수층의 암질과 지화학적 환경의 영향에 민감하며 함량의 변화에서 정확한 경향성을 유추해 내기가 쉽지는 않다. Cu, Pb, Zn, Co등의 함량은 신천에 인접한 지하수정에서 높고 먼 곳에 있는 지하수정에서 낮는데 이는 전자는 하천에 의한 오염 그리고 후자는 지하수가 이동하는 과정에서 대추층의 암질과 지하수의 지화학적 조건의 변화로 더 많이 침전되기 때문이 아닌가 생각된다.

미고결층과 고결층지역의 반야월층 지하수

미고결층(충적층)은 대기와 지표수의 유통(김영기, 1976)이 용이하여 화학적풍화가 잘 일어나므로 충적층지역 하부지층의 지하수는 미고결층 암석에서 용해되어 나온 성분으로 농축될 수 있

다. 그러나 주변에 하천이 지나가는 곳에서는 우기가 되면 하천의 영향으로 희석될 수 있다. 이에 반하여 고결층(암층)지역의 지하수는 하수의 유통도 용이하지 않으므로 대수층의 암질에 따라 수질에 차이가 생기게 된다.

반야월층의 충적층지역에서 No.2, 23, 9, 13 지하수정과 고결층지역에서 No.5, 6, 8 지하수정을 선정하여 반야월층의 주요 화학성분인 Ca, Mg 함량을 중심으로 그 수질을 비교해 보면 충적층지역의 지하수는 Ca, Mg 함량이 고결층의 지하수보다도 대체로 낮게 나타나는데 신천의 영향이 적은 No.13 지하수정은 Ca 함량이 높다. 따라서 충적층지역 내 지하수는 고결층지역 지하수에 대하여는 물론, 같은 충적층지역의 지하수에 대하여도 하천에 의한 영향으로 수질에 차이가 생길 수 있다.

고결층의 지하수는 하천에 의한 영향이 적고, 투수가 잘되지 않으므로 그 수질은 No.5, 6, 8 지하수정에서 볼 수 있는 바와 같이 대수층을 구성하는 암질에 따라 현저한 차이 또는 유사성이 생길 수 있을 것으로 생각된다. 그 한 예로 No. 6 지하수정이 다른 고결층 지하수보다 낮은 Ca, Mg 함량을 보이는 것은 인접한 안산암질암의 영향으로 생각된다.

NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- 등의 함량은 암질의 영향, 하천에 의한 희석, 그리고 주택지의 하수와 공장폐수에 의한 여러가지 영향을 받으므로 고결층과 미고결층 간에 복잡한 양상을 보인다. Cl은 대체로 충적층지역 지하수가 고결층지역 지하수보다 높은 경향을 보이거나 NO_3^- 는 반대로 고결층지역 지하수가 충적층지역 지하수보다 높은 경향을 보인다. 그리고 충적층지역 내 지하수도 신천에 가까운 No.2, 23 지하수정은 먼 No.9, 13, 14 지하수정에 비하여 NO_3^- 는 높고 SO_4 와 Cl 함량은 낮다.

함안층과 반야월층의 지하수

고결층지역 내 대수층은 미고결층지역 내 지하수에 비하여 지표수의 직접적인 유입이 없으므로 대수층의 암질이 지하수의 수질에 미치는 주요인이 되나 수위가 낮은 대수층은 수위가 높은 인접 대수층의 영향도 받게 되므로 지형이 낮은 지역의 지하수는 높은 지역의 지하수로 부터 영향을 받게 된다. 따라서 본 역 지하수의 수질도 지형고도가 가장 낮은 곳에 있는 함안층의 지하수는 인접해 있는 반야월층 지하수의 영향을 받게 되며, 또한 반야월층의 지하수는 윗쪽에 위치해 있는 안산암류 내지는 몬조니암의 영향을 받게 될 것으로 기대된다. 그리고 본 역 퇴적층은 SE방향으로 경사져 있으므로 지하수정이 지표에서는 반야월층지역에 위치할지라도 함안층과 접하는 곳의 지하수정은 실제 하부에서는 함안층 내에 존재하고 그 영향을 받게 된다.

함안층과 반야월층의 지하수 수질을 체계적으로 비교하기 위해서는 양 층의 대표적 지하수정을 여러곳 착정하여 심도별로 수질을 분석하고 암질과 비교 검토하는 것이 가장 이상적인 방법이나 본 연구는 기존 지하수정을 대상으로 하는 것이므로 채수가능한 지하수정을 지층별로 3개씩 선택하여 비교하였다. 물론 3개 지하수정만으로는 각 암층을 대표할 수 없으나 가급적 넓은 지역을 대표할 수 있도록 반야월층에서 No.1, 6, 5, 함안층에서 No.15, 19, 25을 선택하여 비교 검토하였다. 단 No.5 지하수정은 상위의 반야월층과 하위의 함안층이 동시에 착정되어 양 대수층의 영향을 모두 받을 가능성이 있다.

분석결과 Table 5에서 보는 바와 같이 Na, K 함량은 함안층의 지하수가 반야월층의 지하수보다 높은 경향을 보이는데 No.5 지하수정만은 반야월층지역에 있음에도 오히려 함안층보다도 높은 함량을 보이는 것은 No.5 지하수정은 함

안층과의 접촉부에 위치하고 있어 그 하부에는 함안층의 영향을 받기 때문이 아닌가 생각된다.

Ca, Mg함량은 함안층의 지하수가 반야월층의 지하수보다 높은 경향을 보이는데 Mg함량은 암석의 함량과 일치하나 Ca함량은 불일치한다. 그런데 이러한 경향은 각층의 화학분석치 및 상류 하천수의 함량과 반대가 되는 양상을 보이고 있으므로 함안층 지하수에서 Ca, Mg 함량이 높게 나타나는 것은 해당 함안층의 암질에 관계되기 보다도 함안층이 반야월층보다 지형적으로 낮은 위치에 있기 때문에 반야월층의 영향을 받은 것으로 생각되며 마찬가지로 반야월층 지하수는 안산암의 영향을 받았을 것으로 생각된다. 따라서 두 퇴적층의 지하수 수질은 대수층의 암질외에도 지하수의 수위에 따라 유입원이 고려되어야 되고 체계적인 검토를 위해서는 심도별 수질의 비교가 필요할 것으로 생각된다.

NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻도 금속 주원소와 마찬가지로 반야월층에서 보다 함안층 지하수에서 높게 나타나는데 이는 주택지대 및 공단지대가 주로 함안층지역에 밀접해 있기 때문으로 생각된다.

미량중금속원소는 주원소와는 반대로 반야월층 보다 함안층에서 낮게 나타나는데 이는 하류 지역으로 갈수록 침전 및 흡착에 유리한 지화학적 및 지질학적 조건의 변화에 기인되는 것으로 생각된다. 즉, 본 역 퇴적암류는 석회성분이 많

아 자연수는 중성 내지 약알칼리성을 띄게 되며 점토질 성분도 많기 때문에 중금속원소는 침전 및 흡착에 의하여 지하수로 부터 제거될 수 있다.

HCO₃⁻와 Ca 함량의 관계

HCO₃⁻ 함량은 일반적으로 Ca 함량과 밀접한 관계를 가지는데 본 역 지하수의 경우도 그 관계가 외관상 불규칙하게 보이나 Table 6에 의하면 HCO₃⁻가 130ppm이상이 되는 지하수정은 모두 8개인데 이중 6개가 함안층지역에 위치하며 Ca 함량은 60ppm이상이 되는데 HCO₃⁻가 40ppm이하의 지하수정 5개는 모두 반야월층에 위치하고, Ca 함량은 No.14 지하수정을 제외하고는 모두 40ppm이하이다. 그리고 함안층의 상기 6개 지하수정중 4개와 반야월층 지하수정은 모두 충적층지역내에 위치한다.

이상의 사실에서 부터 충적층지역 지하수의 Ca함량은 대수층의 암질외에도 탄산의 농도와 관계됨을 알 수 있다. 그리고 지형이 낮은 쪽에 있는 함안층의 지하수가 반야월층보다도 높은 Ca와 HCO₃⁻ 함량을 보이며 같은 지층에서도 고결층보다도 공기와 자연수의 유통이 잘 되는 미고결층으로 피복된 지층의 지하수가 HCO₃⁻와 Ca 함량이 높은 경향을 보인다.

Table 6 Comparison of HCO₃⁻ and Ca contents in groundwaters.

unit : ppm

Element	5	8	7	19	18	17	22	24
HCO ₃ ⁻ (>130ppm)	150.7	134.2	130.5	157.4	140.3	159.8	158.6	133.0
Ca (> 60ppm)	60.6	86.6	64.1	70.1	87.2	62.7	75.3	64.6
formation	p	p	h	h	ha	ha	ha	ha
HCO ₃ ⁻ (<40ppm)	2	3	10	14	23	h=Haman formation		
Ca (<40ppm)	38.4	40.3	32.3	39.6	36.0	p=Panyaweol formation		
formation	37.2	9.5	33.1	93.2	37.7	ha/pa=alluvium area		
	pa	pa	pa	pa	pa	of Haman / Panyaweol formation		

지하수 수질의 계절적 변화

지하수 수질의 계절적 변화를 알아보기 위하여 금속 주원소는 2월, 9월 그리고 비금속 주원소는 2월, 7월, 9월에 걸쳐 채수분석하고 비교 검토하였다. 물론 지하수 수질은 지표수처럼 우수에 의하여 직접적으로 큰 영향을 받지 않으나, 본 역에서는 대수층이 금호강과 하천들의 인접수역에 있는지 또는 먼 곳에 있는지에 따라 계절적 영향이 다를 수 있으며, 각 수역에서는 지표수의 유통이 잘되는 층적층의 유무, 파쇄대의 발달정도, 공극과 투수성의 조건, 주택지와 공장 지대의 오염차이 그리고 지하수 사용량의 과소에 따른 지표수 유입량의 대소 등 제조건에 따라 지하수의 수질은 서서히 영향을 받게 될 것으로 생각된다.

상기 모든 조건에 대한 계절적 영향은 확인할 수 없으나 강과 하천으로 부터의 원근, 지질조건에 대하여 주원소의 계절적 변화를 보면 다음과 같다(Table 7).

4개 금속 주원소 중 가장 불용성인 Mg은 다른 주원소에 비하여 우기때 지표수 중 함량이 가장 감소하며 지하수에도 그 영향이 가장 잘 반영된다. 본 역에서는 거의 모든 지하수정에서 2월

에 비하여 9월에 감소되어 나타난다. Ca은 대수층 자체에 많이 함유되어 있기 때문에 우기에 희석되어도 대수층으로 부터 쉽게 공급받게 되므로 Mg만큼 감소현상을 보이지 않는다. Na, K는 대수층의 주원소가 아니므로 Ca보다는 영향이 지하수에 덜 반영된다. SO_4^{2-} 는 난용성의 화합물을 형성하므로 Cl보다 함량의 감소가 잘 되며 지하수에서도 Cl보다 희석이 현저한 편이다.

신천/금호강의 인접수역에서는 지하수정 10개정 중 5개정(No.10, 20, 3, 17, 22)이 우기의 수량증가로 지하수의 Na, K, Ca, Mg 함량이 전부(신천) 또는 일부(금호강)가 감소된 것으로 나타나고 있으나 인접수역 밖의 지하수정(함안층에서 No.7, 12; 반야월층에서 No.9, 13)은 Mg을 제외하고는 희석에 의한 함량의 감소를 거의 볼 수 없으며 오히려 약간의 함량증가를 보인다. 신천 인접수역은 가상단층이 지나가는 곳으로 층적층 뿐아니라 파쇄대의 발달이 지표수의 유통을 원활하게 해줄 것으로 생각된다 (Table 7-a, b)

수량의 증가에 대하여 지질조건이 미치는 영향으로서는 지하수정 No.4와 No.6에서 찾아 볼 수 있는데 양 지하수정은 신천의 수량증가에

Table 7 Content ratio of groundwater(Sep/Feb)
a) Groundwater near Sin-stream and Keumho-river.

Stream/river	No	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO_4^{2-}
Sin-stream	3	0.63	0.64	0.88	0.50	0.77	0.98
	17	0.05	0.15	0.22	0.15	0.04	0.98
	22	0.5	0.31	0.54	0.92	1.1	0.92
	2	1.4	0.81	1.3	0.68	1.1	79.1
	23	1.3	1.1	1.4	0.99	1.0	1.1
Keumho-river	10	0.63	0.57	1.0	0.84	0.99	1.4
	20	0.12	1.5	1.1	0.78	0.31	0.77
	16	1.6	0.65	1.1	0.63	1.2	1.2
	21	1.3	1.9	0.94	0.54	0.76	1.0
	24	1.2	0.80	1.3	0.60	0.99	0.89

b) Groundwater of Sin-stream.

Formation	No.	Na	K	Ca	Mg	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Haman	7	1.5	1.1	1.7	0.67	1.0	0.86
	12	1.1	1.2	1.1	0.61	0.92	0.82
Panyaweol	9	1.1	1.8	0.55	0.44	0.14	0.44
	13	1.2	1.0	1.1	0.61	1.0	0.89

c) Groundwater near andesite.

Formation	No.	Na	K	Ca	Mg	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Panyaweol	4	0.66	0.97	0.98	0.66	0.94	0.89
	6	0.75	0.67	0.73	0.74	1.3	0.68

d) Groundwater of residential and industry area.

Area	No.	Na	K	Ca	Mg	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
residence	13	1.2	1.0	1.1	0.61	1.0	0.89
	14	1.2	0.56	1.2	0.67	0.98	0.96
industry	18	1.5	0.90	0.5	0.71	0.98	28.2

의하여 Na 함량이 감소된 것이 아니고 우기에 안산암으로 부터 Na 함량이 낮은 지표수의 많은 유입으로 함량이 낮아진 것으로 생각된다 (Table 7-c). No.13, 14와 No.18간에 보이는 함량차이는 No.18은 공단지대의 영향이 아닌가 생각된다(Table 7-d).

종합 및 결론

대구시 지하수의 수질은 지하수의 원 공급원인 상류천의 수질, 대수층의 암질 및 하천의 지화학적 환경과 밀접한 관계를 가진다. 그러나 주택지대와 공장지대에서는 생활하수와 산업폐수로 오염된 하천수의 유입으로 심히 오염되어 왔고, 더우기 원 수질을 파악할 수 있는 체계적이고 정밀한 내용의 기자료가 거의 없기 때문에 오염되기전의 대수층의 원 수질을 파악할 수 없다. 원 수질을 추적하는 효과적인 방법은 오염되지 않은 지역에서 암류별로 측정해서 그 수질을 직접 조사하는 것이 되겠으나 본 연구는 보다 기본

적인 자료수집에 목적을 두고 지하수의 공급원이 되는 상류천의 수질과 지질조건에 중점을 두고 조사연구하였다. 오염되지 않은 상류천의 수질은 해당 지역의 암류와 암류별 광물 및 화학적 조성과 밀접한 관계를 가지며 흐르는 과정에서 그리고 대수층을 유동하는 과정에서 수계의 지화학적 환경의 변화에 따라 용존성분에 변화를 가지게 된다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 본 역 상류 암석의 주원소의 함량과 상류천 용존량의 관계를 보면 퇴적암류의 Ca함량(함안층=5.17ppm, 반야월층=7.05ppm)은 화성암류(안산암=1.79ppm, 문조니암 =1.93ppm) 보다 현저히 높고 상류천의 Ca용존량도 퇴적암지역의 하천(함안층지역=29.7ppm, 반야월층지역=44.3ppm)이 화성암지역의 하천(안산암지역=5.72ppm, 문조니암지역=5.74ppm)보다 현저히 높아 암류와 하천수간에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 그러나 타 주원소의 용존량은 암석의 함량과 부분적으로 일치하지 않는다. 즉,

Mg함량은 암석은 화성암류가 반야월층보다 높으나 하천수는 반야월층지역 하천이 화성암류지역 하천보다 높고 K함량은 암석은 화성암류가 함안층보다 높으나 하천수는 함안층지역 하천이 화성암류지역 하천보다 높으며 Na함량은 암석은 화성암류가 함안층보다 높으나 하천수는 함안층지역 하천이 화성암류지역 하천보다 높은 경향을 보인다. 이는 암류를 구성하는 광물조성과 상류천의 지화학적 환경의 차이에 기인되는 것으로 생각된다. K, Na, Mg등은 화성암류에서는 주로 난용성의 규산염으로 존재하고 퇴적암에서는 가용성의 염류로 존재하기 때문에 충분한 풍화를 받아 가용성의 풍화산물로 존재하지 않는 한 화성암류의 함량이 퇴적암류의 함량보다 높아도 반드시 하천수에서도 높게 나타나지 않는다.

2) 본 역 상류 암석의 미량중금속원소(Cu, Zn, Co)의 함량은 화성암류가 퇴적암류보다 현저히 낮고, 상류천의 용존량도 화성암지역의 하천이 퇴적암지역의 하천보다 낮아 미량중금속원소도 역시 암류와 하천수간에 밀접한 관계가 성립됨을 알 수 있다. 그러나 미량중금속원소는 특히 하천수의 지화학적 환경에 민감하여 침전, 점토광물에의 흡착 등에 의하여 암석 원래의 함량과는 관계없는 변화를 보일 수 있다.

3) 본 역 상류천의 암류별 무기물 함량을 WHO 및 한국음료수 기준치와 비교해 보면 대체로 전원소가 기준치보다 낮고 화성암류 지역 하천수는 퇴적암류지역 하천수보다 현저히 낮은 함량을 보이므로 상류천의 수질과 암류는 지하수 수질과 관련해서 지화학적으로 별다른 문제는 없다. 단, 퇴적암류(함안층 또는 반야월층)는 주원소 함량이 모두 담수의 일반적 평균치보다 2-4배가 높고 중금속원소도 Cd는 한국음료수 기준치 및 WHO치 보다 높은 것도 있으므로 유의해야 한다.

4) 신천 주변에는 많은 주택이 밀집하여 있고 달서천과 공단천 주변에는 서대구공업단지, 비산염색공단, 대구제철공업단지가 있다. 이들로부터 배출되는 각종 폐수는 처리후 배출되는 것으로 생각되나 현재 대부분의 하천은 심히 오염되어 있다. 따라서 본 역 하류천의 주택지대와 공단지대의 무기물의 용존량을 보면 상류천의 용존량에 비하여 현저히 증가한 경향을 보인다.

5) 본 역 반야월층과 함안층 지하수의 무기물 용존량은 오염된 하류천의 용존량보다는 낮으나 상류천의 자연함량에 비하여 다소 높다. 이는 지하수도 오염에 노출되어 있음을 의미한다.

이상을 종합해 볼 때 지하수의 원 공급원인 상류천의 수질은 상류지질과 밀접한 관계를 가지고 있으며 하류에서는 지층의 여과작용으로 오염하천수로 부터 직접 오염되지는 않았으나 본 역 지하수도 산업화와 도시인구의 증가 및 지하수의 무절제한 개발로 오염되어 왔음을 암시한다. 따라서 식수의 가장 안전하고 영구공급원인 지하수를 식수로 사용할 수 있는 수자원으로 서 보존하기 위해서는 먼저 상류천의 보호와 수질에 대한 체계적인 연구가 필요하고 생활하수, 산업폐수의 관리는 철저히 하고 지하수의 과학적 개발에 노력해야 한다.

참 고 문 헌

- 강영호외, 1989. 환경과학. 형설출판사, pp. 174-178.
 김영기, 1974. 대구시 일대의 수리지질. 101p.
 김영기, 1976. 반야월층의 지하수 운동에 관한 연구. 광산지질, 9, pp.225-240.
 김종근, 1990. 대구-건천지역 상부 경상구층군 사암의 퇴적변질. 경북대 대학원 교육학석사 논문. 54p.
 원종관, 김기태, 1966. 달성광산 부근의 지질과

- 광화작용에 대하여. 지질학회지, 2, pp.52-68.
- 원종관, 김중배, 1971, 경산도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 윤상규, 김영기, 이동영, 1979, 대구지역 수리지질 조사. 조사연구보고, 6, 자원개발연구소, pp.165-196.
- 이수남, 1982, 대구시 주요 하천수의 중금속 오염 조사연구. 영남대 환경대학원 석사학위논문, 29p.
- 이재영외, 1971, 안산암지대 광화작용의 지화학적 연구. R-71-41, 25p.
- 이진국, 최옥진, 이재영, 1989, 달성폐광산에 의한 중금속오염에 관한 조사연구. 경북대 환경과학연구소 논문집, 3, pp.13-36.
- 임영진, 1988, 대구시에 분포하는 함안층의 지하수 유동. 경북대 이학석사학위논문. pp. 30-42.
- 장기홍, 1978, 경상분지의 층서, 퇴적 및 지구조. 지질학회지, 14, pp.120-135.
- 최옥진, 이진국, 이재영, 1990, 경산시 남천의 수질오염에 관한 지화학적 연구. 경북대 환경과학연구소 논문집, 4, pp.69-97.
- Goldich, S.S., 1938, A study in rock weathering. *J. Geol.*, 46, pp.17-58.
- Harriss, R.C. and Adams, J.A.S., 1966, Geochemical and mineralogical studies on the weathering of granitic rocks. *Am. Jour. Sci.*, 264, pp.146-173.
- Reid, J.C. and McDuffie, B., 1981, Sorption of trace on clay minerals and river sediments; Effects of pH and Cd concentration in a synthetic river water medium. *Water, air, and soil pollution*, 15, pp. 375-386.
- Rose, W.A., Hawkes, H.E. and Webb, J.S., 1979, Eh-pH relationships: In *Geochemistry in mineral exploration* (2nd ed.), Academic press, pp.181-190.
- Stephenson, M. and Mackie, G.L., 1988, Total cadmium concentration in the water and littoral sediments of central Ontario lakes. *Water, air, and soil pollution*, 38, pp.121-136.
- Sung Ig-Hwang, 1991, Etude des ressources en eau de la region de Taegu (Coree), Doctiur these, Universite D'orteans, 272p.
- Sverdrup, H. and Warfvinge, P., 1988, Weathering of primary silicate minerals in the natural soil environment in relation to a chemical weathering model. *Water, air, and soil pollution*, 38, pp.387-408.
- Woo, K.S., Lee, K.C. and Paik, K.H., 1992, Depositional environments and carbon-ate diagenesis of the upper Hayang Group in the Kyongsang basin, Kyongsangbuk-do, Korea: Sedimentary basin in the Korean peninsula and adjacent seas, Harnlimwon Publisher, Seoul, Korea, pp.138-167.
- Xingfu, X. and Gholamhoss, I.S., 1989, Effect of pH on chemical forms and plant availability of cadmium, zinc, and lead in polluted soil. *Water, air, and soil pollution*, 45, pp.265-274.