

한강상류 하상퇴적물과 인근유역육상지질과의 지화학적 상관관계

이연희* · 지정만** · 오재경***

*한국시설안전기술공단 기초지반팀, **인하대학교 지구환경공학부, ***인하대학교 생물해양학부

Geochemical Relationship Between Stream Sediments and Regional Geology of the Upstream for the Hahn River Drainage Basin, Korea.

Yeon Hee Lee*, Jeong Mahn Chi** and Jae Kyung Oh***

*Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Ilsan 411-410, Korea

**School of Earth & Environmental Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

***Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

This study was carried out to define the geochemical and mineralogical relationship between stream sediments and regional geology on upstream of Hahn river area. Geochemical characteristic including for major elements, trace elements and rare earth elements of the South and North Hahn river bed sediments are similar to those of acid igneous rocks which are distributed around both Hahn river basin. The chemical variation of major elements against SiO₂ and trace elements contents between South and North Hahn river bed sediments doesn't show the difference. REE patterns of both area show a distinct negative Eu anomaly, but total contents of rare earth elements are higher in North Hahn river sediments than South Hahn river sediments. The heavy minerals in the river bed sediments in this study area are identified as tremolite-actinolite, hematite-magnetite, common hornblende, ilmenite, garnet, epidote, rutile and sphene. In conclusion, it is elucidated that South and North Hahn river bed sediments are being originated from igneous rocks or metamorphic rocks which contains medium-high grade metamorphic minerals and components of originated from sedimentary rocks those of pelitic or calcareous rocks are eroded away as solution or suspended load.

Key words : South and North Hahn river, rare earth elements, heavy mineral

하상퇴적물은 기반암의 풍화에 의해 가장 직접적인 영향을 받기에 본 연구에서는 한강 상류인 남한강유역과 북한강 유역의 하상 퇴적물을 대상으로 지화학적 분석자료를 통해 인근육상암석과의 상관관계와 근원암에 관하여 유추하였다. 지화학적 분석을 통해 연구지역 하상퇴적물들의 주성분원소, 미량성분원소, 희토류원소 등의 분석자료를 비교한 결과 다음과 같은 경향성을 나타내었다. 본 연구지역 주성분 원소들의 분산 경향성은 남한강 하상퇴적물의 경우 산성 화성암의 일반적인 경향을 나타내었고, 북한강 하상퇴적물 역시 산성 화성암의 일반적인 경향을 나타냈다. 두 지역의 주성분 원소 분산 경향성은 서로 유사한 분산경향을 나타냈으며, 미량 성분 원소의 함량치 역시 두 지역에서 거의 유사하게 나타났다. 희토류원소의 REE pattern은 두 지역 모두 Eu에서의 부의 이상이 뚜렷하게 나타나며 산성 화성암 기원의 희토류원소 pattern과 전체적으로 유사한 경향을 나타냈다. 희토류원소의 함량에 있어서는 남한강 하상퇴적물에 비해 북한강 하상퇴적물의 함량이 훨씬 높게 나타났다. 중광물은 남한강 하상퇴적물의 경우 주로 투각섬석-양기석, 적철석·자철석이 관찰되었고, 북한강 하상퇴적물의 경우 투각섬석-양기석, 보통각섬석이 대체로 관찰되었다. 그 밖에 티탄철석, 석류석 군, 녹엽석, 금홍석, 스피넬 등이 소량 관찰된다. 이는 두 지역의 인근 유역 육상지질이 대체로 변성암류와 화성암류가 주를 이루는 점과 조화적이다. 따라서 본 연구지역인 남한강과 북한강의 하상퇴적물은 대부분 화성암 기원 또는 변성암 기원의 성분으로 구성되며 퇴적암 기원의 성분은 거의 전부 뜯김 또는 녹은짐으로 제거된 것으로 본다.

주요어 : 남한강, 북한강, 희토류원소, 중광물

1. 서 론

지금까지 한강 유역에 관한 연구는 한강수계 분지 내 하천수의 지구화학적 특성(서혜영 등, 1997), 한강 유역의 현생퇴적물에 관한 연구(소철섭 등, 1974), 한강퇴적물에 함유된 오염물질의 존재형태와 이동에 관한 연구(전상호, 1990), 남한강의 하안단구에 관한 연구(임창주, 1989), 남한강 중·상류 분지의 지형연구(박희두, 1990) 등 수질적인 특성과 지형적 특성에 관한 다수의 연구결과가 발표되어 비교적 널리 조사가 이루어졌으나, 한강 상류인 남한강·북한강 유역 하상 퇴적물의 지구화학적특성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 남한강·북한강 유역의 하상퇴적물과 인근유역의 육상지질과의 지화학적 상관관계를 규명하는데 목적이 있으며 이를 위하여 주 성분, 미량성분, 희토류 성분등의 지구화학적 특성과 광물암석학적 연구를 실시하였다.

이에 본 연구에서는 선캠브리아기 경기 편마암 복합체, 용문산 편마암층군, 장낙층군, 용두리 편마암 복합체, 의암층군과 중생대 관입 화성암류가 널리 분포하고 있는 북한강 유역과 선캠브리아기 경기 편마암 복합체, 유라기 화강암류, 용두리편마암복합체, 대보화강암, 불국사통 화강암류, 옥천계 문주리층, 계명산층이 분포해있는 남한강 유역의 수계를 따라 하상퇴적물시료를 채취하였다(Fig. 1).

본 연구지역의 지질에 관한 자료는 1:50,000 지질도폭을 이용하였으며, 양수리도폭(홍승호 등, 1981), 청평도폭(김정환 등, 1981), 가평도폭(김옥준 등, 1974), 춘

천도폭(이대성 등, 1974), 충주도폭(김기완 등, 1965), 목계도폭(박봉순 등, 1971)등이다.

본 연구지역 중 북한강 유역에는 소양강댐, 화천댐, 춘천댐, 의암댐, 청평댐 등이 위치하고 있어 이들 댐 시설의 건설에 따른 퇴적물의 재이동 또는 혼합이 예상되므로 샘플시료가 원위치에서의 것이라고 확신하기에는 다소 곤란한 점이 있다. 남한강 유역의 주요지천으로는 섬강, 달천강, 평창강이 있고, 충주지역에는 충주댐이, 달천강 상류에는 괴산댐이 있다.

2. 지질개요

2.1. 남한강 유역 지질

남한강은 강원도 태백 검용소에서 발원하여 평창강(平昌江)과 합류한 후 단양을 지나 제천에서 충주호를 이루고, 달천강과 섬강(巖江)이 합쳐 여주와 양평을 지나 양수리에서 북한강과 합류한다. 시료를 채취한 남한강 유역 인근 지질은 대체로 선캠브리아기 변성암류(호상 흑운모 편마암, 반상 변정질 편마암, 석영 장식질 편마암 등)과 중생대 화성암류(여주 화강암, 반상 화강암, 유라기 흑운모 화강암, 옥천계 문주리층, 계명산층 등)가 넓게 분포해 있고, 북한강 지역에 비해 유로를 따라 층적층이 넓게 형성되었으며, 소지류 역시 매우 잘 발달해 있다.

2.2. 북한강 유역 지질

북한강은 강원도 휴전선 이북의 단발령에서 발원하여 금강천, 수입천 등과 합치면서 춘천일대에서 소양

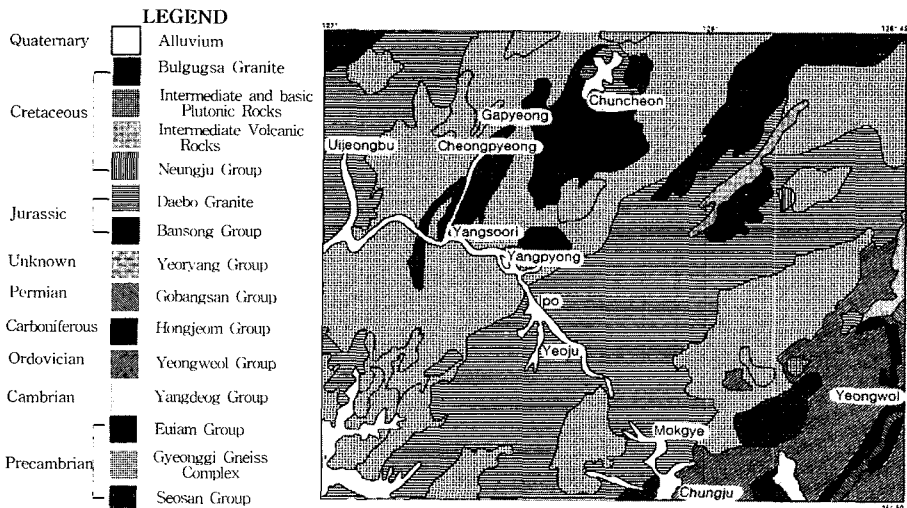


Fig. 1. Geological map of the study area. (referred from 1/250,000 quadrangles of Seoul, Chuncheon and Daejeon).

강, 가평일대에서 홍천강 등의 많은 대소지류들과 합류하여 형성되며 양수리에서 남한강과 합류하여 한강 본류를 이룬다. 본 연구의 조사대상 북한강유역 지질은 대부분 선캠브리아기 변성암류(경기편마암 복합체, 용문산 호상편마암, 장낙층군, 용두리 편마암 복합체, 의암층군 등)가 주를 이루고, 곳곳에서 관입한 화성암류가 분포해 있다.

2.3. 시료채취

본 연구지역의 시료채취는 한강 본류로의 합류점인 양수리를 기점으로 실시하였고, 북한강과 남한강의 전체 유역 면적과 유로연장이 굉장히 광범위하며 각각의 지형적 특징으로 인해 각각 발원지까지의 시료 채취는 약간의 어려움이 있었다.

북한강의 경우 충적지가 발달하지 못한 산지 지형의 영향으로 하상퇴적물 시료채취가 용이하지 못했으며 수계 전역에 걸쳐 다수 존재하는 댐 건설과 관련한 하상퇴적물 재이동 혼합의 영향을 최소화하고자 댐 인근지역에서의 시료 채취는 배제하였다. 수계를 따라 충적지가 넓게 발달한 남한강 유역의 경우 곳에 따라 수심이 깊은 곳에서는 시료 채취가 불가능하였으나 전반적인 시료 채취는 용이하였다. 충주댐부근에서의 시료채취는 지형조건과 외부영향에 의한 퇴적물 이동을 고려하여 실시하지 않았다.

홍수에 의한 영향을 줄이기 위해 우기가 시작되기 전에 양수리를 기점으로 하여 각각 북한강 상류와 남한강 상류로 이동하면서 강변을 따라 5 km간격으로 하상퇴적물 시료를 채취하였고, 수계폭이 넓은 지점에서는 수계폭을 등분한 가장자리와 중심부에서 채취하였으며, 또한 지류가 합류하는 지점에서도 채취하였다 (Fig. 2). 시료는 Van Veen Grab을 이용하여 1~2 kg 씩 채취한 후 4분법으로 분류하여 약 250~300 g 씩 채취하였다.

본 연구의 하상퇴적물 시료채취지역은 북위 37°30'~38°00', 동경 127°15'~127°45' 범위의 북한강 유역에서 11개 지점에서 18개의 시료를, 북위36°50'~37°40', 동경127°15'~128°45' 범위의 남한강 유역에서는 29개 지점에서 33개 시료를 채취하였다.

3. 화학분석

3.1. 분석방법

세립의 하상퇴적물 시료는 200 mesh 이하의 고운 분말로 만들어 주성분원소분석을 위한 XRF분석, 미량 성분원소와 희토류원소 분석을 위한 ICP분석을 기초과학지원연구소에 의뢰하여 실시하였다. 인하대학교 기기 분석실에서 분말로 준비한 시료에 대해 XRD분석을 실시하여 세립질 퇴적물의 주 구성광물 확인을 실시하였

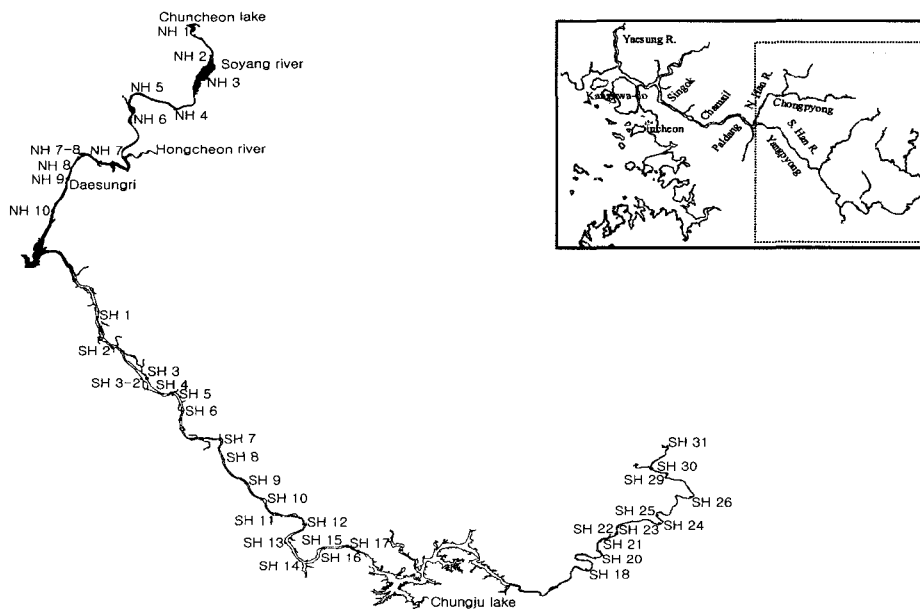


Fig. 2. Sampling site of the study area.

다. 분석조건은 전압 40 kV, 전류 25 mA, Cu target, 주사속도 0.1%/sec로 하였다. 모든 하상퇴적물 시료에 대한 성분 구성비 분석 결과치에 근거하여 다수의 시료에서 점토구성비가 나타나지 않고 모래입자가 평균 80% 이상의 구성비를 나타내므로 점토에 대한 별도의 XRD 분석을 실시하지 않았다. 테트라브로모에탄(tetrabromoethane)중액을 이용한 비중분리법으로 중광물을 분리하였고, 분리된 중광물을 연마편으로 제작하여 반사현미경하에서 가능한 감정을 실시하였다. 남한

강 하상퇴적물은 33개 연마편에 대해 204 point, 북한강 하상퇴적물은 18개 연마편에 대해 148 point의 EPMA 분석을 실시하여 중광물을 감정하고 빈도를 조사하였다.

남한강 하상퇴적물 시료와 북한강 하상퇴적물 시료의 주성분원소 분석치와 CIPW norm 계산에 의한 광물비는 Table 1, 2에 미량성분원소 분석치는 Table 3, 4에 나타내었고, Table 5, 6은 희토류원소 분석치를 Table 7, 8은 각각의 퇴적물 시료로부터 분리한 중광물

Table 1. Major element analysis and CIPW norm of stream sediments from the South Hahn river (wt. %).

Sample No.	SH1	SH2	SH2-2	SH3	SH3-2	SH4	SH5	SH6	SH7	SH8	SH9	SH10	SH11	SH12	SH13	SH13-2
SiO ₂	77.73	71.03	70.92	75.69	73.13	83.33	82.83	80.50	81.62	77.30	73.41	77.69	73.77	78.82	76.28	70.41
Al ₂ O ₃	11.41	14.49	15.78	12.64	13.06	9.20	9.27	10.15	9.91	11.43	13.15	10.90	11.75	9.72	12.20	12.72
Fe ₂ O ₃	1.60	3.00	1.38	1.69	2.78	0.51	0.78	1.33	0.87	1.84	2.38	2.07	3.18	2.79	1.67	4.42
TiO ₂	0.27	0.40	0.35	0.26	0.45	0.09	0.13	0.22	0.13	0.31	0.31	0.29	0.39	0.34	0.24	0.57
MnO	0.03	0.05	0.04	0.03	0.06	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.07	0.07	0.03	0.09
CaO	1.05	1.26	0.93	0.88	1.73	0.60	0.72	0.97	0.81	1.07	1.78	1.74	2.34	1.67	1.11	1.91
MgO	0.74	1.10	0.50	0.61	1.04	0.42	0.50	0.62	0.53	0.71	1.08	0.91	1.36	0.89	0.64	1.12
K ₂ O	3.75	3.66	5.59	4.51	3.63	3.51	3.27	3.36	3.47	3.70	3.90	3.35	3.31	2.81	4.12	3.26
Na ₂ O	2.10	2.76	3.08	2.16	2.44	1.76	1.69	1.84	1.88	1.96	2.41	1.95	1.94	1.67	2.55	2.06
P ₂ O ₅	0.08	0.10	0.07	0.07	0.10	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.09	0.07	0.11	0.08	0.06	0.16
L.O.I.	1.24	2.16	1.36	-0.17	1.58	0.53	0.73	0.93	0.71	1.58	1.43	0.97	1.79	1.14	1.10	3.29
Total	100.00	100.00	100.00	98.38	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Sample No.	SH14	SH16	SH18	SH20	SH21	SH22	SH23	SH24-1	SH24-2	SH24-3	SH24-4	SH24-5	SH25	SH26	SH29	SH30	SH31
SiO ₂	76.33	60.18	64.26	73.10	71.46	66.93	72.49	74.88	74.45	71.56	71.16	74.69	73.04	75.70	71.37	68.96	76.74
Al ₂ O ₃	10.98	13.03	12.79	12.08	12.31	12.30	11.78	10.80	11.06	11.95	12.22	11.39	11.07	10.06	11.48	11.24	10.60
Fe ₂ O ₃	3.22	6.49	4.23	2.96	4.11	3.88	3.42	2.85	2.63	2.95	3.31	2.40	3.39	2.46	2.57	3.99	3.90
TiO ₂	0.35	0.96	0.57	0.37	0.47	0.45	0.41	0.33	0.34	0.39	0.43	0.32	0.37	0.29	0.39	0.52	0.47
MnO	0.05	0.11	0.08	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03
CaO	1.54	5.12	4.77	2.11	2.46	4.65	2.43	2.43	2.51	2.70	2.98	2.10	2.99	2.79	3.26	4.35	2.72
MgO	0.93	3.70	1.70	1.16	1.17	1.67	1.17	1.05	1.08	1.18	1.30	1.06	1.27	1.18	1.28	1.45	1.05
K ₂ O	3.02	2.74	2.75	2.99	2.82	2.57	3.00	2.86	2.91	3.07	3.06	3.10	2.70	2.69	3.14	2.82	3.02
Na ₂ O	1.96	2.53	1.45	1.48	1.42	1.30	1.60	1.38	1.46	1.44	1.33	1.54	1.32	1.48	1.54	1.29	0.87
P ₂ O ₅	0.09	0.22	0.13	0.09	0.09	0.10	0.09	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.08	0.08	0.09	0.06
L.O.I.	1.54	4.91	7.27	3.61	3.62	6.09	3.54	3.30	3.44	4.61	4.04	3.27	3.71	3.24	4.85	5.25	3.74
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.46

Table 2. Major element analysis and CIPW norm of stream sediments from the North Hahn river (wt. %).

Sample No.	NH1-1	NH1-3	NH2-3	NH3-3	NH4-1	NH4-2	NH4-3	NH5	NH6-2	NH6-3	NH7-1	NH7-2	NH7-3	NH7-8	NH8-0	NH8-1	NH9-1	NH10-1
SiO ₂	74.56	76.38	76.51	73.88	74.38	77.67	77.48	75.53	79.84	78.60	65.31	76.49	68.01	77.71	75.38	73.56	71.39	74.50
Al ₂ O ₃	13.32	12.59	12.82	13.45	12.93	11.86	12.07	12.59	10.71	11.31	18.37	12.06	16.25	11.45	12.28	11.97	14.08	10.83
Fe ₂ O ₃	4.48	3.12	1.98	3.30	3.50	2.33	2.13	3.48	2.27	3.04	6.67	2.71	5.59	1.92	3.80	4.00	4.23	5.38
TiO ₂	0.48	0.39	0.19	0.45	0.45	0.26	0.24	0.42	0.25	0.32	0.83	0.39	0.70	0.20	0.43	0.72	0.58	1.35
MnO	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.07	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.02	0.04	0.08	0.05	0.11
CaO	0.69	1.00	1.20	1.34	1.27	0.78	0.70	1.00	0.86	0.75	0.98	1.09	1.30	1.06	1.08	1.55	1.41	1.03
MgO	1.30	0.79	0.39	1.11	1.15	0.72	0.60	1.10	0.75	0.93	1.97	0.92	1.83	0.75	1.08	1.36	1.54	1.25
K ₂ O	3.04	3.30	3.03	3.39	3.43	3.96	4.17	3.43	3.30	3.09	3.48	3.64	3.46	4.37	3.60	3.96	3.70	2.68
Na ₂ O	1.21	1.92	3.26	2.57	2.20	1.87	2.00	1.80	1.64	1.33	1.87	2.09	2.17	1.83	1.57	1.92	2.30	1.10
P ₂ O ₅	0.05	0.03	0.01	0.06	0.06	0.04	0.03	0.08	0.04	0.06	0.19	0.03	0.13	0.02	0.05	0.07	0.07	0.17
L.O.I.	2.07	2.10	0.76	1.50	1.56	3.07	1.46	1.73	1.06	1.79	5.45	1.24	3.82	0.95	1.57	1.18	2.22	1.47
Total	99.18	99.56	99.44	99.59	99.41	99.51	99.44	99.50	99.69	99.46	99.72	99.45	99.49	99.33	99.31	99.19	99.35	98.40

분석치를 나타낸 것이다.

4. 지구화학적 고찰

4.1. 주성분원소 지구화학

주성분 원소 분석에서는 남한강, 북한강의 하상퇴적물 모두 SiO₂ 성분이 산성암의 SiO₂ 성분 함량에 속하는 높은 함량을 나타내고, 상대적으로 북한강 하상퇴적물의 주성분원소 함량이 남한강 하상퇴적물의 평균 주성분원소 함량보다 약간 높은 특징을 나타낸다.

남한강 하상퇴적물은 인근 유역 육상지질인 선캄브리아기 변성암류와 이들을 관입한 중생대 화강암류의 영향을 많이 받아 K₂O, Fe₂O₃, Na₂O 함량이 상대적으로 많이 나타났고, 상류 쪽으로 갈수록 CaO 함량이 증가하면서 평균함량이 많은 것은 상류에서 중류일대에 이르는 석회암지대의 영향에 기인 한 듯하다. 그리고 인근 유역에 편마암류가 넓은 지역에 걸쳐 분포하는 북한강 하상퇴적물은 Al₂O₃, K₂O, Na₂O 함량이 많이 나타나고 편마암류 중 흑운모를 포함한 우흑질대의 우세로 인해 Fe₂O₃ 함량이 많은 경향을 나타낸다.

Table 3. Trace element concentrations of stream sediments from the South Hahn river (ppm).

Sample No. Component	SH1	SH2	SH2-2	SH3	SH3-2	SH4	SH5	SH6	SH7	SH8	SH9	SH10	SH11	SH12	SH13	SH13-2
Li	17.86	28.04	24.71	17.52	20.25	9.57	11.91	14.34	13.79	13.78	21.36	19.48	19.72	16.79	17.92	25.99
V	18.11	32.29	12.24	18.77	14.82	6.30	8.19	16.22	16.30	16.03	28.24	25.65	31.44	27.16	14.73	42.33
Cr	14.14	20.78	6.35	12.02	25.19	4.78	7.94	11.99	9.28	12.28	25.05	18.50	26.65	19.26	16.20	37.38
Co	5.21	10.01	4.94	5.51	6.91	1.51	2.73	4.47	2.76	5.76	6.88	6.41	8.79	7.90	5.16	12.87
Ni	2.23	7.51	<2	<2	5.93	<2	<2	2.82	<2	<2	4.91	3.95	6.13	3.46	11.54	10.15
Cu	6.66	10.14	4.39	5.02	8.95	2.57	4.71	5.20	4.23	5.67	8.14	6.71	10.38	8.49	7.76	15.23
Zn	29.52	53.82	37.18	43.31	50.37	14.61	21.84	26.32	19.81	39.83	43.96	32.80	69.01	35.31	39.77	97.53
Ga	12.40	20.28	16.47	12.77	17.29	7.55	6.95	8.93	7.52	14.28	17.19	14.06	16.79	14.08	15.47	21.29
Rb	133.00	144.08	211.76	128.88	135.87	99.78	69.65	92.94	99.08	122.39	150.95	123.60	124.10	96.26	156.52	97.89
Sr	182.6	204.0	249.6	171.0	203.5	166.5	155.4	180.5	188.8	189.9	250.7	216.8	176.1	162.2	250.7	203.2
Y	8.67	10.73	8.38	9.60	14.90	2.99	5.67	6.90	5.41	10.21	12.20	14.28	17.51	15.82	8.80	22.25
Zr	13.89	34.54	18.12	7.76	16.30	19.39	25.32	14.57	29.83	17.04	49.11	41.93	6.66	45.93	32.65	12.38
Nb	6.13	6.73	4.48	16.83	16.93	2.28	3.61	6.25	5.34	5.19	7.58	12.71	33.47	9.78	11.94	25.37
Cs	2.52	3.57	3.53	2.89	2.91	1.36	1.57	1.78	1.82	2.02	3.43	2.15	2.74	2.11	2.57	3.69
Ba	737.8	676.9	942.1	784.5	699.8	867.3	748.1	790.7	855.9	875.3	838.4	802.5	709.9	625.8	941.2	704.0
Hf	1.16	1.60	0.98	2.43	1.72	1.13	1.25	1.69	1.47	1.11	2.04	1.89	3.38	1.99	1.72	3.44
Pb	25.32	26.07	36.23	31.62	28.29	20.01	19.85	21.31	20.80	25.79	29.21	22.29	22.14	18.93	25.91	29.56
Th	8.96	12.07	21.67	13.44	17.58	4.99	5.64	8.46	5.33	9.42	11.58	9.87	11.93	10.51	8.48	21.92
U	1.80	2.29	3.01	2.09	2.51	0.93	1.14	1.44	1.28	2.20	2.25	1.85	2.16	1.73	1.53	4.26

Sample No. Component	SH14	SH16	SH18	SH20	SH21	SH22	SH23	SH24-1	SH24-2	SH24-3	SH24-4	SH24-5	SH25	SH26	SH29	SH30	SH31
Li	19.59	17.95	39.64	29.71	31.38	33.73	31.84	30.52	34.59	36.05	38.27	31.18	28.97	24.05	30.43	30.07	7.11
V	29.26	60.57	44.34	27.78	39.47	43.02	29.49	25.02	27.62	33.55	34.29	25.58	34.17	52.87	33.10	48.11	<1.3
Cr	21.57	38.39	43.60	31.64	39.47	36.66	36.80	29.27	27.87	33.30	35.29	31.18	33.68	21.55	28.97	32.32	27.24
Co	7.69	18.94	15.36	10.39	12.50	11.49	11.74	9.01	9.21	10.01	10.69	8.53	10.65	6.51	10.95	14.53	2.69
Ni	4.96	10.97	16.60	9.90	12.26	12.47	11.74	8.51	8.71	9.26	9.69	8.53	13.62	6.01	10.47	15.79	13.68
Cu	11.67	14.55	22.48	14.36	19.94	22.21	15.93	12.51	12.31	14.00	14.14	12.47	12.74	9.29	12.78	15.44	13.20
Zn	72.64	91.48	81.26	48.31	61.29	60.13	55.59	42.28	46.53	48.32	51.44	42.15	48.54	39.59	52.09	63.89	47.51
Ga	17.85	29.66	23.53	17.88	19.86	21.27	18.79	16.01	13.44	18.78	17.64	15.59	18.08	15.53	14.12	15.03	<1.3
Rb	98.51	98.19	116.39	73.80	117.45	100.42	110.41	104.87	95.83	110.15	115.20	111.11	81.44	88.25	109.94	94.96	100.94
Sr	161.7	242.3	148.9	126.3	126.0	141.3	131.0	122.1	116.4	117.9	114.1	123.0	111.9	154.3	149.7	116.3	92.16
Y	13.79	24.80	18.70	12.22	16.40	14.59	12.72	10.59	9.57	11.80	12.92	10.96	11.75	7.94	11.90	13.88	10.20
Zr	31.24	48.61	93.15	4.35	18.63	84.82	9.92	59.29	51.75	53.83	72.56	45.80	36.65	51.87	75.70	38.09	56.03
Nb	10.86	39.16	10.95	11.50	8.88	7.99	7.86	6.22	5.98	7.23	5.71	7.60	6.74	11.28	11.17	8.14	11.71
Cs	2.77	2.19	5.08	3.97	4.81	4.31	4.33	3.65	3.89	4.28	4.36	3.84	3.80	2.32	3.32	3.25	3.11
Ba	608.4	586.8	437.0	488.9	491.3	441.0	489.1	453.8	476.2	446.7	438.4	483.4	436.8	517.2	568.1	434.5	426
Hf	1.98	2.20	3.23	3.06	3.26	2.88	2.51	2.21	2.04	2.28	2.68	2.24	1.37	2.12	2.73	2.33	1.98
Pb	20.75	17.31	27.55	24.14	32.39	25.97	27.15	33.49	21.06	24.86	30.25	21.58	21.63	22.17	24.25	23.21	22.00
Th	10.23	14.60	13.12	9.48	14.08	12.34	10.28	8.64	8.63	9.43	10.29	7.93	10.24	8.27	9.80	10.74	9.41
U	1.76	2.42	2.80	2.15	3.10	2.65	2.33	1.88	1.80	2.12	2.23	1.88	2.10	1.58	1.98	2.15	1.96

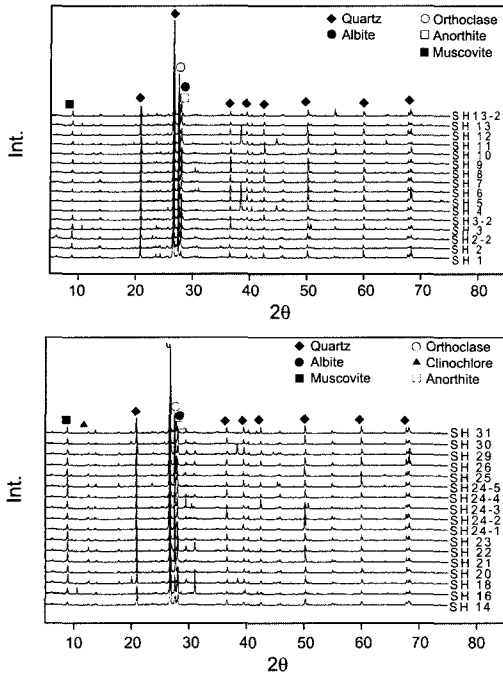


Fig. 3. X-ray diffractometer patterns for powdered South Hahn stream sediments.

Fig. 5, 6은 본 연구지역 남한강과 북한강 하상퇴적물 시료의 SiO₂에 대한 주성분원소들의 관계를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 5의 남한강 하상퇴적물 시료의 경우 전체적으로는 반비례 관계를 뚜렷이 나타내는 Fe₂O₃, MnO, CaO를 비롯하여 Al₂O₃, TiO₂, MgO,

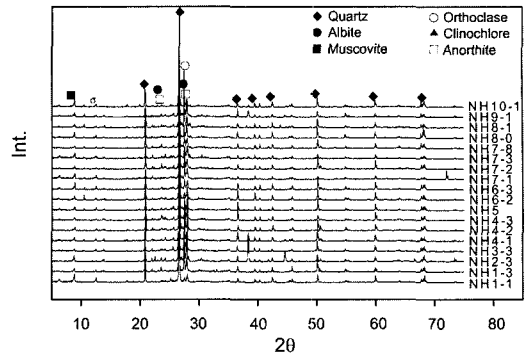


Fig. 4. X-ray diffractometer patterns for powdered North Hahn stream sediments.

P₂O₅이 미약한 반비례 관계를 나타내고, Na₂O, Na₂O+K₂O는 상관관계를 나타내지 않는다. Fig. 6의 북한강 하상퇴적물 시료는 Fe₂O₃, TiO₂, MnO, MgO, P₂O₅이 뚜렷한 반비례 관계를 CaO, Na₂O은 미약한 반비례 관계를 나타내고, K₂O와 Na₂O+K₂O는 상관관계를 나타내지 않는다.

본 연구지역의 주성분원소 지구화학 검토결과 산성 화성암의 SiO₂ 함량을 나타내고, 또한 SiO₂에 대한 Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, P₂O₅, MnO 성분원소들의 분산경향성도 산성 화성암의 일반적 분산경향성과 유사하게 반비례관계를 나타내는 것으로 보아 남한강 하상퇴적물 및 북한강 하상퇴적물의 기원이 되는 주변 변성암류가 산성 화성암 기원일 것으로 유추된다. 이

Table 4. Trace element concentrations of stream sediments from the North Hahn river (ppm).

Sample No.	NH1-1	NH1-3	NH2-3	NH3-3	NH4-1	NH4-2	NH4-3	NH5	NH6-2	NH6-3	NH7-1	NH7-2	NH7-3	NH7-8	NH8-0	NH8-1	NH9-1	NH10-1
Component																		
Li	48.77	8.57	7.04	6.98	6.4	6.26	5.53	8.17	5.82	6.59	12	4.97	11.45	3.56	6.52	5.16	6.96	4.28
V	1.54	2.95	<1.3	2.87	0.39	2.06	1.71	2.98	<1.3	0.32	5.85	0	5.03	<1.3	3.42	2.83	0.06	<1.3
Cr	52.3	26.04	4.89	42.45	37.15	23.1	18.5	43.78	26.17	30.69	76.75	23.91	70	22.68	37.44	43.22	57.84	52.58
Co	9.71	2.22	0.70	7.97	1.89	1.95	1.64	2.22	1.85	2.1	3.8	2.23	3.74	2.02	2.56	3.32	3.1	3.90
Ni	19.23	9.61	0.44	13.5	13.16	8.18	7.47	14.18	9.69	12.73	32.28	10.64	25.2	9.08	14.64	15.77	20.97	14.96
Cu	15.47	10.93	3.24	8.49	12.89	7.72	7.16	12.01	8.27	12.82	25.50	7.02	18.95	6.17	13.24	13.54	15.91	15.93
Zn	53.36	36.78	28.84	52.21	44.41	31.88	33.18	44.54	32.73	47.05	98.79	36.92	80.46	27.17	45.46	47.26	59.15	47.83
Ga	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3
Rb	128.52	114.90	113.57	138.91	141.95	154.81	149.67	154.43	128.65	125.08	173.69	137.17	168.14	128.26	133.14	135.97	165.19	104.06
Sr	85.25	111.2	106.4	144.2	132	109.8	106.5	101	105.9	79.35	107.9	138.7	128.3	266	162.5	228.6	161.4	83.32
Y	11.26	11.65	7.68	13.63	11.45	6.73	6.01	14.02	7.82	10.77	16.68	8.39	16.51	5.48	12.31	20.84	13.22	57.87
Zr	13.52	26.09	22.94	43.78	10.47	112.6	16.15	40.79	4.94	8.33	63.32	15.69	43.82	5.21	10.66	36.45	12.76	162
Nb	12.85	14.77	10.57	14.81	14.79	10.54	9.14	13.80	8.52	10.28	26.56	14.22	22.06	11.46	19.43	37.65	23.99	41.63
Cs	4.18	2.56	1.99	2.66	2.86	2.65	2.51	4.30	2.61	3.26	6.17	2.35	5.15	2.03	3.43	2.69	4.13	2.29
Ba	561.1	603.2	418.1	645.4	640.6	765.8	714	563.3	658.9	635.9	661.3	716.1	665.4	1071	829.9	888.5	707.6	513.3
Hf	0.79	1.17	1.08	2.13	1.18	0.79	0.73	1.67	0.73	0.89	2.40	0.69	1.94	0.63	1.14	1.68	1.91	6.75
Pb	19.14	21.11	16.14	24.29	23.22	24.62	27.52	23.03	23.07	24.36	30.13	22.48	26.45	28.93	23.77	29.97	27.03	25.57
Th	18.67	19.37	17.76	28.62	16.03	10.73	11.93	19.38	9.83	14.77	33.60	14.09	28.41	9.81	18.40	42.54	22.14	224.05
U	1.85	1.61	2.01	2.74	1.72	1.25	1.25	2.87	1.43	1.92	3.87	1.40	3.00	0.97	2.07	4.06	2.57	18.69

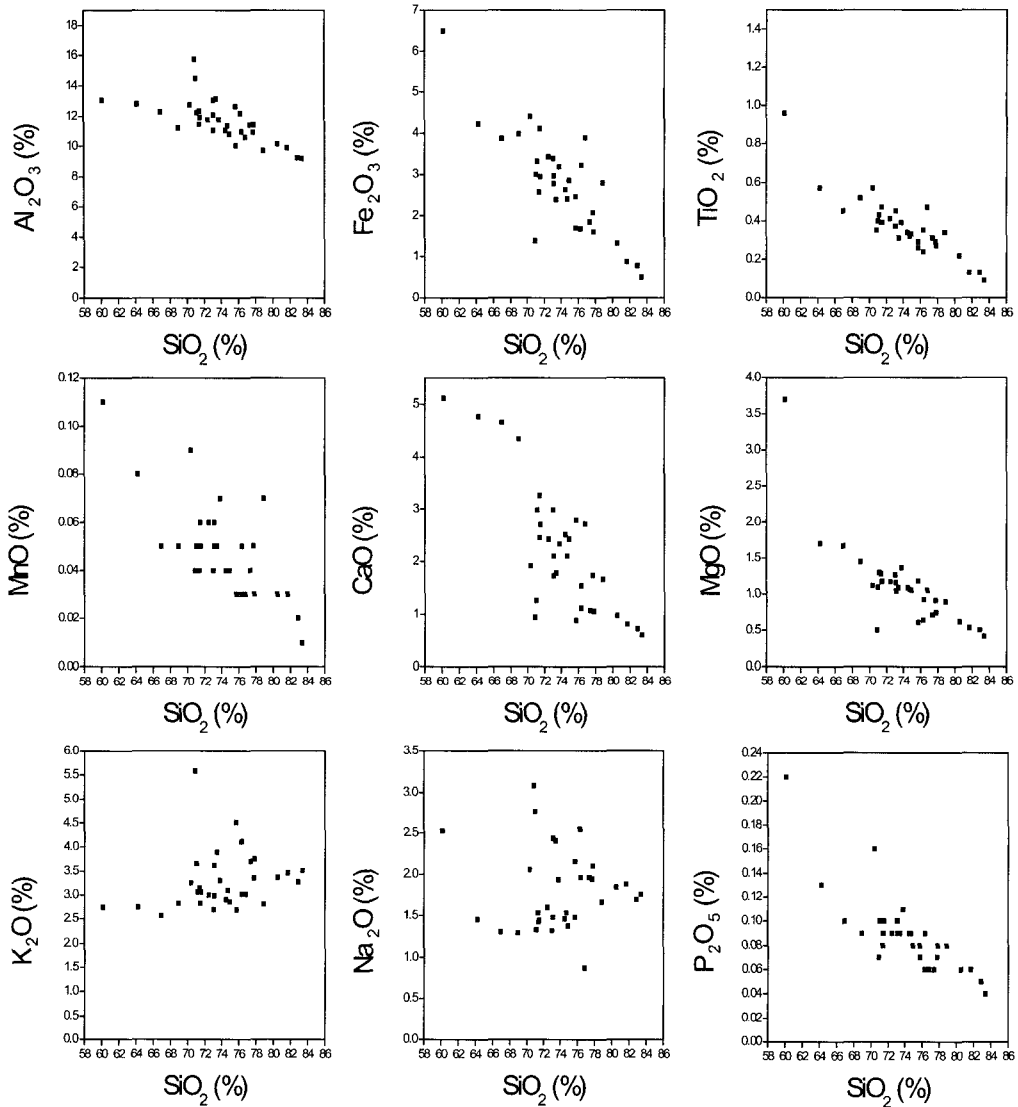


Fig. 5. Chemical variation of major elements against SiO₂ for South Hahn stream sediments.

는 Table 10의 미량성분 함량에서도 입증된다.

4.2. 미량성분원소 지구화학

Table 3의 남한강 하상퇴적물 미량성분 함량치를 보면 하류부근의 Ni 함량은 2 ppm 이하의 수치를 나타내고, Rb 함량은 평균 113 ppm(70~212 ppm), Sr 함량은 평균 165 ppm(92~250 ppm), Ba 함량은 평균 631 ppm(426~942 ppm)으로 다른 미량성분 원소에 비해 상대적으로 크게 나타난다. Table 4의 북한강 하상퇴적물 미량성분 함량치에서는 Ga의 함량이 모두 1.3 ppm 이하의 수치를 나타내는데 이는 Ga이 많이

농집되는 장석과 운모의 풍화에 따른 영향으로 볼 수 있다. 남한강 하상퇴적물의 경우와 마찬가지로 북한강 하상퇴적물의 경우도 Rb이 평균 139 ppm(104~174 ppm), Sr이 평균 131 ppm(83~266 ppm), Ba이 평균 681 ppm(418~1071 ppm)으로 큰 함량을 나타낸다. 미량성분 Rb, Sr, Ba 원소의 높은 함량으로 보아 남한강과 북한강 하상퇴적물 모두 칼륨 장석, 사장석, 흑운모 등의 함량이 상당량 있을 것으로 추정되며, 이는 Fig. 3, Fig. 4의 XRD 분석결과를 보아도 장석류의 주 회절피크가 많이 나타남을 알 수 있다.

Table 10은 본 연구지역의 미량 금속성분 평균 함유

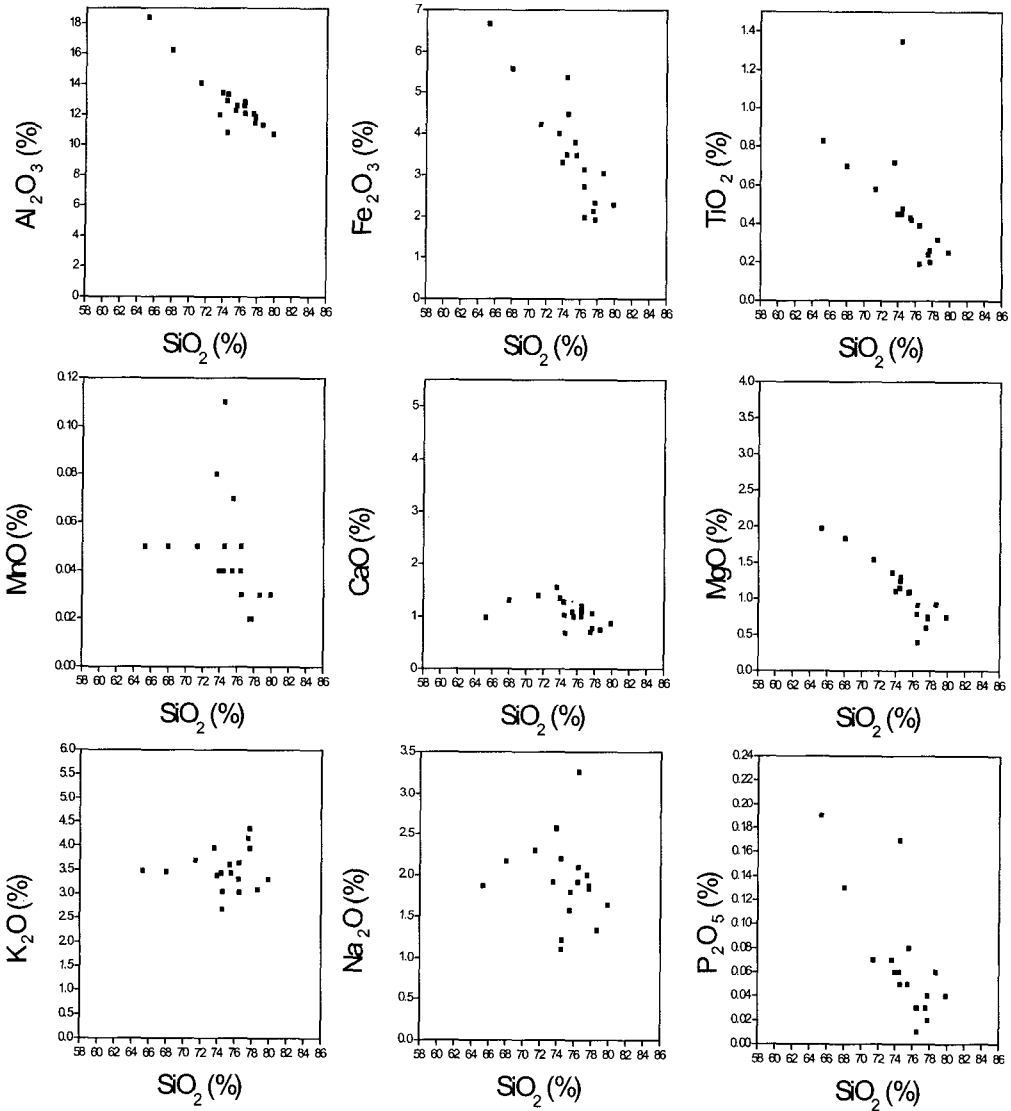


Fig. 6. Chemical variation of major elements against SiO₂ for North Hahn stream sediments.

량을 기존의 자료 또는 기존 연구발표의 평균량과 비교하여 나타낸 것이다. 남한강 유역 하상퇴적물의 미량금속성분 평균함량치는 Jwa and Moutte(1990)의 인제-홍천지역에 분포하는 쥘라기 화강암류의 미량원소 평균 수치와 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 본 연구 지역의 지질 중 중생대 쥘라기 화강암류가 북한강 유역 보다 남한강 유역에서 중류부터 하류에 이르기까지 광범위하게 분포하고 있는 점과 상관성이 있을 것으로 본다. 상대적으로 남한강 하상퇴적물의 경우 초염기성 암에 많이 함유되는 Co 평균 함유량이 북한강 하상퇴적물의 평균함유량보다 2배 이상 높은 값을 나타내는

것이 특징적이다.

4.3. 희토류원소 지구화학

Table 5와 6에서 희토류원소의(La/Lu)CN 는 남한강 하상퇴적물이 10.32~52.87(평균 16.94), 북한강 하상퇴적물이 20.31~107.72(평균 33.09)를 나타내고, 두 지역 모두에서 대체로 중희토류원소에 비해 경희토류원소가 큰 경사를 나타낸다. Table 6에서 다른 북한강 하상퇴적물 시료들의 희토류 원소 함량에 비해 이상치를 나타내는 NH10-1을 제외한 ΣLREE 함량은 180.37 ppm, ΣHREE 함량은 12.17 ppm, ΣREE 함

Table 5. Rare earth element concentrations of stream sediments from the South Hahn river (ppm).

Sample No. Component	SH1	SH2	SH2-2	SH3	SH3-2	SH4	SH5	SH6	SH7	SH8	SH9	SH10	SH11	SH12	SH13	SH13-2	
La	25.68	31.58	49.43	29.56	40.05	9.99	12.84	20.99	12.61	21.44	31.09	24.68	32.28	26.81	19.16	47.78	
Ce	47.47	59.39	93.74	57.00	77.56	18.15	24.48	39.19	23.39	40.11	59.96	47.34	63.14	51.70	35.83	92.92	
Pr	5.32	6.90	10.45	6.38	9.10	2.04	2.82	4.38	2.64	4.74	6.71	5.54	7.27	5.86	4.14	10.76	
Nd	18.59	24.57	35.79	22.57	32.89	7.01	9.99	15.29	9.23	17.03	23.67	19.91	26.19	20.90	14.72	38.65	
Sm	3.36	4.50	6.01	4.17	6.10	1.30	1.92	2.79	1.76	3.28	4.34	3.77	4.97	3.86	2.79	7.26	
Eu	0.69	0.87	0.76	0.67	1.00	0.39	0.45	0.56	0.49	0.70	0.93	0.82	0.87	0.78	0.69	1.10	
Gd	3.26	4.31	5.23	3.89	5.83	1.10	1.76	2.59	1.62	3.17	4.16	3.71	4.98	4.14	2.62	7.25	
Tb	0.34	0.47	0.49	0.41	0.65	0.08	0.18	0.27	0.16	0.36	0.47	0.45	0.62	0.51	0.30	0.88	
Dy	2.02	2.62	2.43	2.30	3.57	0.68	1.19	1.61	1.15	2.22	2.77	2.88	3.75	3.18	1.91	5.04	
Ho	0.31	0.40	0.30	0.35	0.55	0.09	0.18	0.24	0.18	0.35	0.45	0.52	0.65	0.57	0.31	0.85	
Er	0.96	1.21	0.92	1.05	1.62	0.34	0.58	0.76	0.60	1.09	1.35	1.60	2.03	1.82	0.99	2.54	
Tm	0.10	0.13	0.08	0.12	0.19	0.02	0.06	0.08	0.06	0.13	0.16	0.21	0.27	0.25	0.12	0.32	
Yb	0.86	1.04	0.71	0.92	1.38	0.32	0.54	0.69	0.56	1.01	1.19	1.56	1.96	1.83	0.95	2.26	
Lu	0.12	0.15	0.10	0.13	0.19	0.05	0.07	0.10	0.08	0.14	0.17	0.22	0.28	0.27	0.14	0.32	
ΣLREE	101.10	127.79	196.19	120.36	166.71	38.88	52.51	83.20	50.11	87.30	126.71	102.07	134.71	109.91	77.34	198.46	
ΣHREE	7.98	10.33	10.27	9.16	13.99	2.69	4.56	6.34	4.41	8.47	10.72	11.17	14.53	12.57	7.34	19.47	
ΣREE	109.09	138.12	206.46	129.52	180.70	41.57	57.07	89.54	54.52	95.78	137.43	113.23	149.24	122.48	84.68	217.93	
(La/Lu) _{CN}	21.21	21.97	52.87	23.60	21.60	22.83	17.71	21.76	15.49	15.31	18.95	11.34	12.07	10.32	14.30	15.42	
Sample No. Component	SH14	SH16	SH18	SH20	SH21	SH22	SH23	SH24-1	SH24-2	SH24-3	SH24-4	SH24-5	SH25	SH26	SH29	SH30	SH31
La	28.31	46.85	34.54	23.06	36.30	29.75	26.72	21.42	21.58	23.56	25.19	19.95	21.91	19.96	23.25	27.56	25.03
Ce	53.37	103.49	67.26	44.23	69.41	56.68	52.11	41.49	41.54	45.52	48.52	38.49	42.41	38.30	44.43	53.24	48.27
Pr	6.11	10.49	7.60	5.07	7.87	6.63	5.92	4.75	4.74	5.20	5.54	4.41	4.86	4.42	5.15	6.14	5.50
Nd	21.51	38.07	27.25	18.11	27.89	23.82	21.45	17.02	16.97	18.74	19.94	15.79	17.64	15.79	18.45	22.28	19.68
Sm	4.00	7.17	5.07	3.41	5.03	4.38	3.98	3.19	3.14	3.48	3.71	2.95	3.33	2.93	3.43	4.09	3.55
Eu	0.78	1.59	1.03	0.74	0.91	0.85	0.79	0.67	0.65	0.72	0.75	0.63	0.68	0.60	0.77	0.82	0.73
Gd	4.04	7.60	5.42	3.44	5.03	4.39	3.96	3.19	3.06	3.51	3.75	2.99	3.41	2.83	3.46	4.18	3.53
Tb	0.49	0.95	0.67	0.41	0.60	0.52	0.46	0.37	0.34	0.41	0.44	0.35	0.40	0.30	0.41	0.49	0.41
Dy	2.99	5.52	3.94	2.53	3.52	3.14	2.77	2.29	2.13	2.55	2.73	2.23	2.51	1.87	2.50	2.99	2.31
Ho	0.51	0.95	0.68	0.43	0.61	0.54	0.46	0.39	0.35	0.44	0.47	0.38	0.43	0.30	0.43	0.51	0.39
Er	1.54	2.77	1.99	1.31	1.86	1.67	1.43	1.18	1.08	1.33	1.44	1.19	1.31	0.93	1.29	1.56	1.16
Tm	0.19	0.35	0.25	0.16	0.24	0.21	0.17	0.14	0.13	0.16	0.18	0.14	0.16	0.11	0.16	0.19	0.14
Yb	1.37	2.42	1.75	1.22	1.74	1.58	1.30	1.08	0.99	1.23	1.33	1.13	1.22	0.85	1.18	1.42	1.12
Lu	0.19	0.33	0.26	0.18	0.25	0.23	0.19	0.16	0.14	0.18	0.19	0.16	0.18	0.12	0.18	0.21	0.15
ΣLREE	114.07	207.66	142.75	94.60	147.41	122.11	110.98	88.55	88.61	97.21	103.65	82.23	90.83	82.00	95.49	114.14	142.75
ΣHREE	11.32	20.89	14.96	9.68	13.84	12.28	10.73	8.79	8.22	9.80	10.52	8.59	9.63	7.31	9.61	11.54	14.96
ΣREE	125.39	228.54	157.71	104.29	161.25	134.39	121.70	97.34	96.84	107.01	114.17	90.82	100.46	89.30	105.10	125.68	157.71
(La/Lu) _{CN}	15.22	14.43	13.83	13.11	14.79	13.31	14.69	14.13	15.35	13.73	13.38	12.53	12.83	16.81	13.40	13.77	13.83

Table 6. Rare earth element concentrations of stream sediments from the North Hahn river (ppm).

Sample No. Component	NH1-1	NH1-3	NH2-3	NH3-3	NH4-1	NH4-2	NH4-3	NH5	NH6-2	NH6-3	NH7-1	NH7-2	NH7-3	NH7-8	NH8-0	NH8-1	NH9-1	NH10-1
La	44.29	42.14	24.30	65.86	38.42	22.44	20.57	45.18	26.48	36.90	79.14	31.59	67.23	22.43	41.06	99.45	53.44	505.54
Ce	86.00	81.33	43.67	125.67	72.88	43.53	39.08	87.07	50.50	71.35	152.50	58.01	130.42	41.44	82.45	198.16	101.05	994.64
Pr	9.67	8.93	4.81	14.01	8.15	4.80	4.33	9.88	5.70	8.11	16.98	6.66	14.50	4.50	8.95	22.08	11.46	111.15
Nd	33.60	30.78	16.12	48.16	28.31	16.75	15.01	34.58	19.85	28.43	57.52	23.01	49.78	15.37	30.98	75.29	40.05	377.94
Sm	5.67	5.30	2.88	8.19	4.97	3.08	2.75	6.12	3.45	4.98	9.46	4.04	8.43	2.77	5.55	12.66	6.93	62.63
Eu	0.84	0.81	0.54	1.04	0.95	0.78	0.69	0.95	0.75	0.88	1.33	0.80	1.27	0.82	0.97	1.34	1.10	3.04
Gd	5.37	5.00	2.77	7.65	4.79	2.86	2.53	5.86	3.29	4.82	8.99	3.72	8.05	2.48	5.35	12.03	6.48	58.21
Tb	0.65	0.53	0.32	0.77	0.52	0.31	0.29	0.65	0.35	0.52	0.91	0.39	0.83	0.26	0.69	1.24	0.68	5.37
Dy	2.90	2.85	1.76	3.73	2.79	1.68	1.87	3.41	1.94	2.74	4.57	2.11	4.13	1.40	3.11	6.04	3.43	22.07
Ho	0.45	0.46	0.29	0.53	0.44	0.26	0.24	0.63	0.31	0.42	0.68	0.33	0.62	0.22	0.49	0.86	0.60	2.61
Er	1.31	1.37	0.86	1.51	1.26	0.76	0.68	1.56	1.18	1.17	2.26	0.95	1.74	0.66	1.40	2.39	1.44	6.01
Tm	0.15	0.16	0.09	0.16	0.14	0.07	0.06	0.18	0.09	0.12	0.31	0.10	0.20	0.06	0.16	0.27	0.16	0.53
Yb	1.13	1.23	0.86	1.29	1.11	0.68	0.63	1.41	0.78	0.95	1.59	0.82	1.47	0.62	1.27	1.95	1.23	3.47
Lu	0.16	0.17	0.12	0.18	0.15	0.09	0.09	0.20	0.11	0.13	0.23	0.11	0.20	0.08	0.18	0.27	0.17	0.48
ΣLREE	180.06	169.29	92.32	262.93	153.69	91.38	82.42	183.78	106.74	150.65	316.93	124.11	271.63	87.33	169.96	409.00	214.04	2054.94
ΣHREE	12.12	11.78	7.07	15.83	11.20	6.72	6.38	13.90	8.04	10.87	19.54	8.53	17.23	5.79	12.65	25.04	14.18	98.75
ΣREE	192.18	181.06	99.40	278.75	164.89	98.10	88.80	197.67	114.78	161.51	336.47	132.64	288.86	93.12	182.62	434.04	228.22	2153.69
(La/Lu) _{CN}	29.25	25.14	20.31	37.40	26.74	24.57	24.41	23.78	25.90	29.59	35.77	30.02	33.91	27.26	23.87	37.55	32.50	107.72

량은 192.54 ppm을 나타내며, (La/Lu)CN 평균은 28.70 (20.31~37.55)으로 NH10-1 함량을 포함했을 경우보다 전반적으로 낮은 평균 함량치를 보인다. Kim *et al.*(1998)에 의하면 계명산층 내의 알카리 화강암 중 희토류 함량이 우세하고 강한 Eu 부의 이상을 보이는 군은 희유원소 광상과 밀접하게 수반되어 산출하며 암석 조작용이 보다 세립으로 파쇄 또는 교대 작용을 받은 흔적이 나타나기도 한다고 했다. 이상치를 나타내는 북한강 하상퇴적물 시료 중 타시료에 비해 예외적으로 높은 함량을 보이는 NH10-1의 희토류 원소 함량도 이러한 영향이 있었을 것으로 유추된다.

Table 11은 남한강과 북한강 하상퇴적물의 희토류원소 함량 분석치(Table 5, Table 6)의 평균값을 나타낸 것으로, 본 연구지역의 희토류원소 평균함량을 Kim(1992)에 의한 대보화강암, 불국사 화강암의 희토류성분 함량분석치와 비교해보면, 남한강 하상퇴적물은 유사한 범위에서 결과치를 보이고, 남한강 하상퇴적물보다 좀 더 많은 희토류 함량을 나타내는 북한강 하상퇴적물은 Kim *et al.*(1998)에 의한 충주지역 계명산층 내의 알카리 화강암의 희토류 함량 분석값과 비교해 볼 수 있다. 또한 북한강 하상퇴적물의 Σ REE 함량이 남한강 하상퇴적물의 함량 값보다 2배 이상 월등히 크게

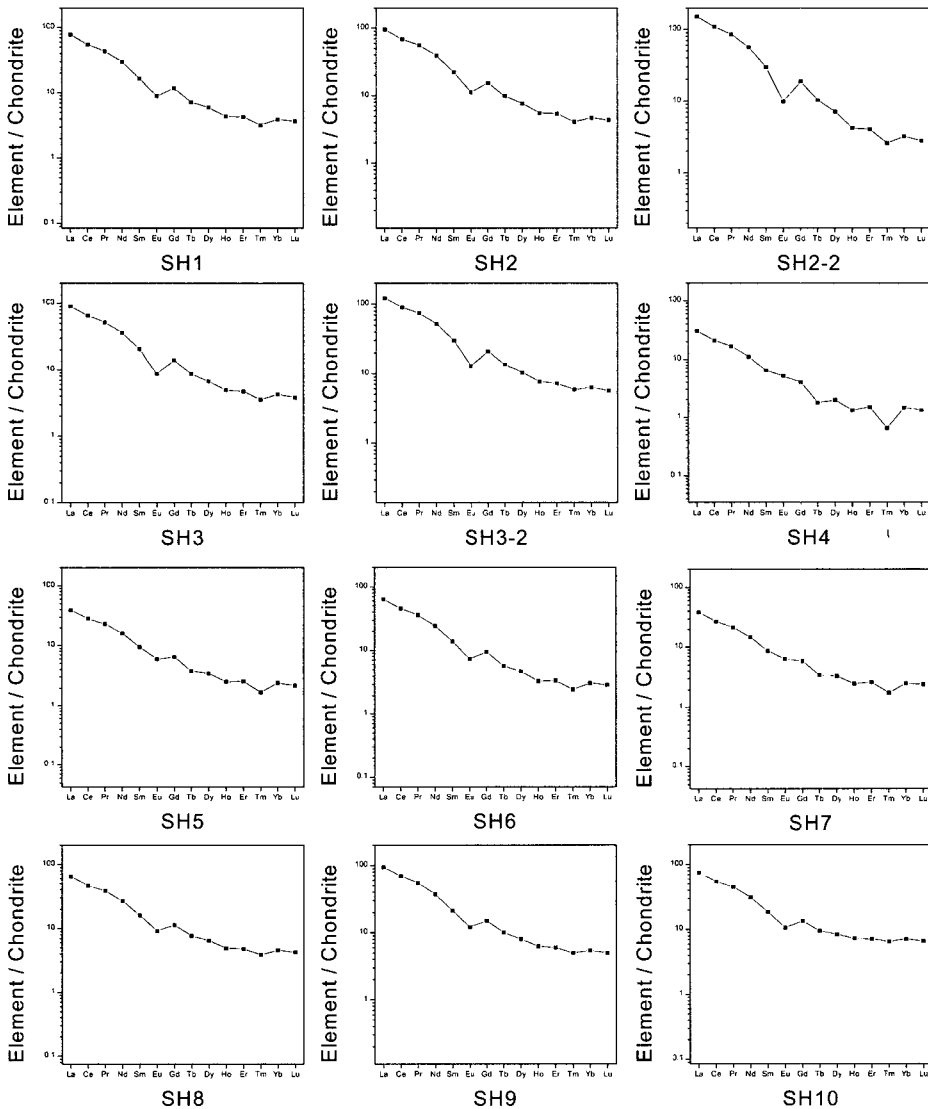


Fig. 7. Chondrite-normalized REE distribution patterns for South Hahn stream sediments.

나타남을 알 수 있고, 이상치 NH10-1시료의 함량을 제외한 함량과 비교하여도 크게 나타나는데, 이는 북한강의 지형적 요인으로 보아 풍화의 진행보다 퇴적물 운반력이 남한강보다 훨씬 더 큼을 의미한다.

Henderson(1984)에 의하면 규산질 암석들의 희토류 원소 함량중 석영 섬록암, 토날라이트, 화강섬록암의 (La/Lu)CN 범위는 0.34~413이고, Eu 부의 이상의 (La/Lu)CN 범위는 8.9~66이며 문조화강암(monzogranites)과 섬장화강암(syenogranites)의 Eu 부의 이상의 (La/Lu)CN 범위는 1.1~22로 나타난다. 남한강과 북한강 하상퇴적물의 희토류 원소 경사범위는 석영

섬록암, 토날라이트, 화강섬록암과 Eu 부의 이상의 범위에 존재하며 특히 북한강 하상퇴적물은 부화를 나타내는 NH10-1을 제외한 함량분석치가 Eu 부의 이상의 범위에 존재한다.

남한강과 북한강 하상퇴적물 시료의 희토류원소 분석치를 Nakamura(1974)에 의한 콘드라이트로 표준화된 형태를 각각 도시한 것이 Fig. 7과 8이다. 남한강 하상퇴적물의 REE 패턴은(Fig. 7) 대체로 LREE는 급 경사를 나타내는 반면 HREE는 완만한 경사를 나타내며, 시료 중 SH4, SH7, SH13 시료는 Eu 에서의 부의 이상이 아주 미약하게 나타난다. 분석시료 33개에

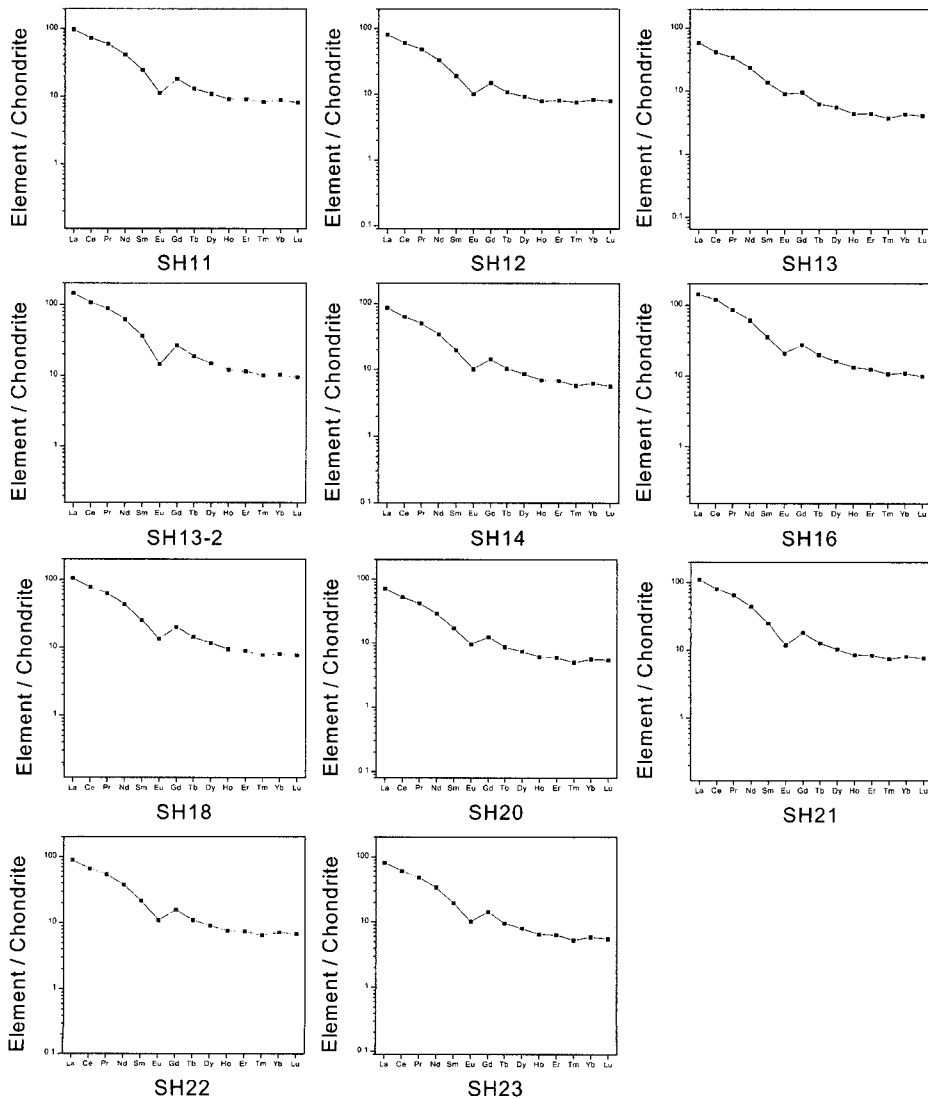


Fig. 7. Continued.

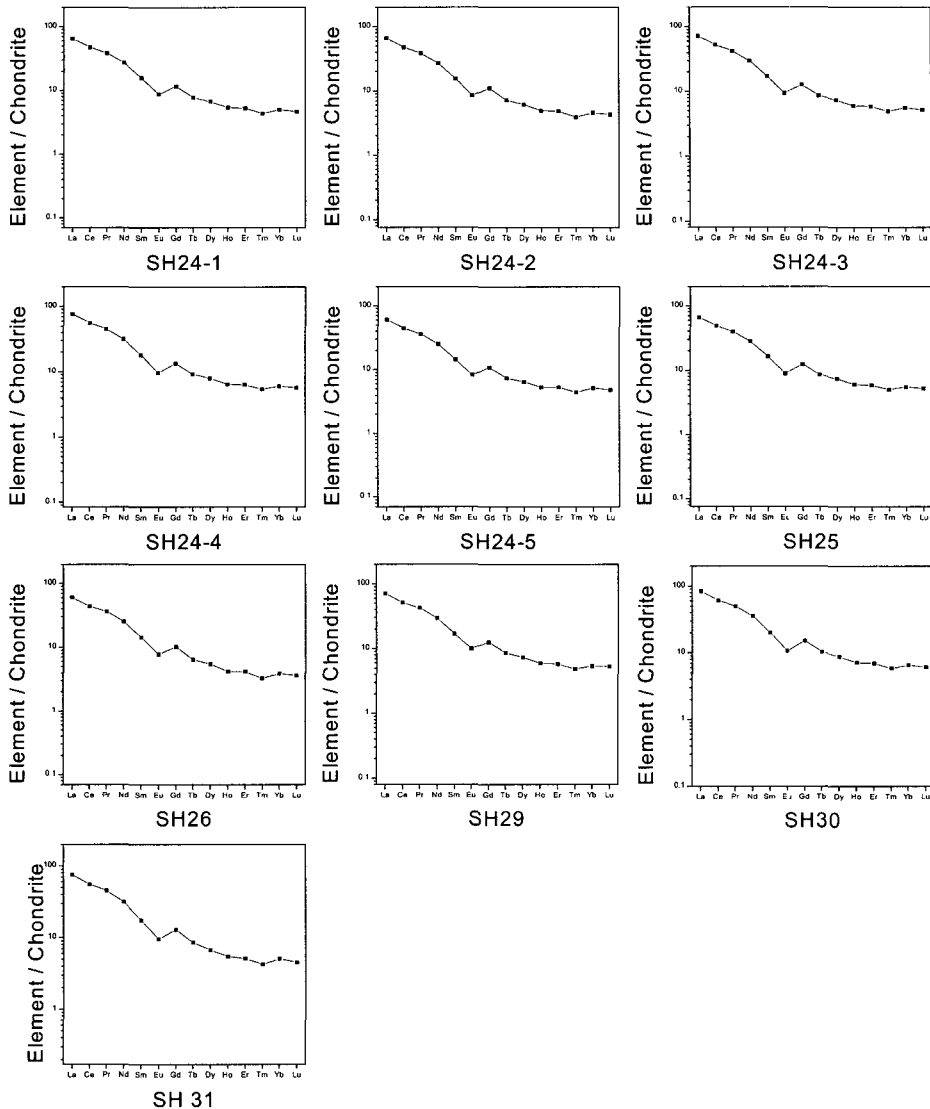


Fig. 7. Continued.

대한 희토류성분 패턴은 전체적으로 일치하나 SH4에서는 희토류원소의 부화가 다른 시료들에 비해 미약하게 나타나면서 Eu 부의 이상이 미약하게 나타남을 알 수 있다. 북한강 하상퇴적물의 REE 패턴은(Fig. 8) 남한강 하상퇴적물의 REE 패턴에 비해 LREE뿐만 아니라 HREE도 급경사를 나타낸다. NH4-2, NH4-3, NH7-8 시료에서 Eu 부의 이상이 매우 미약하게 나타나고, NH10-1에서는 매우 뚜렷한 Eu 부의 이상을 나타낸다. 분석시료 18개에 대해 유사한 부화정도를 가지고 전체적으로 일치하는 패턴을 나타내지만 NH10-1에서 뚜렷한 Eu 부의 이상과 HREE의 급경사를 나타낸다.

전체적으로 남한강 하상퇴적물과 북한강 하상퇴적물의 희토류원소의 콘드라이트 표준화 경향성을 보면, 두 지역 모두 화성암의 희토류원소 경향성과 유사함을 나타낸다.

4.4. 중광물 지구화학

Table 12는 주성분 분석치를 근거로 한 CIPW norm 계산에 의한 중광물의 함량과 하상퇴적물로부터 중광물 분리실험결과 산출한 중광물 평균 함량을 나타낸 것이다.

화학분석치에 의한 CIPW norm 결과와 중광물 분

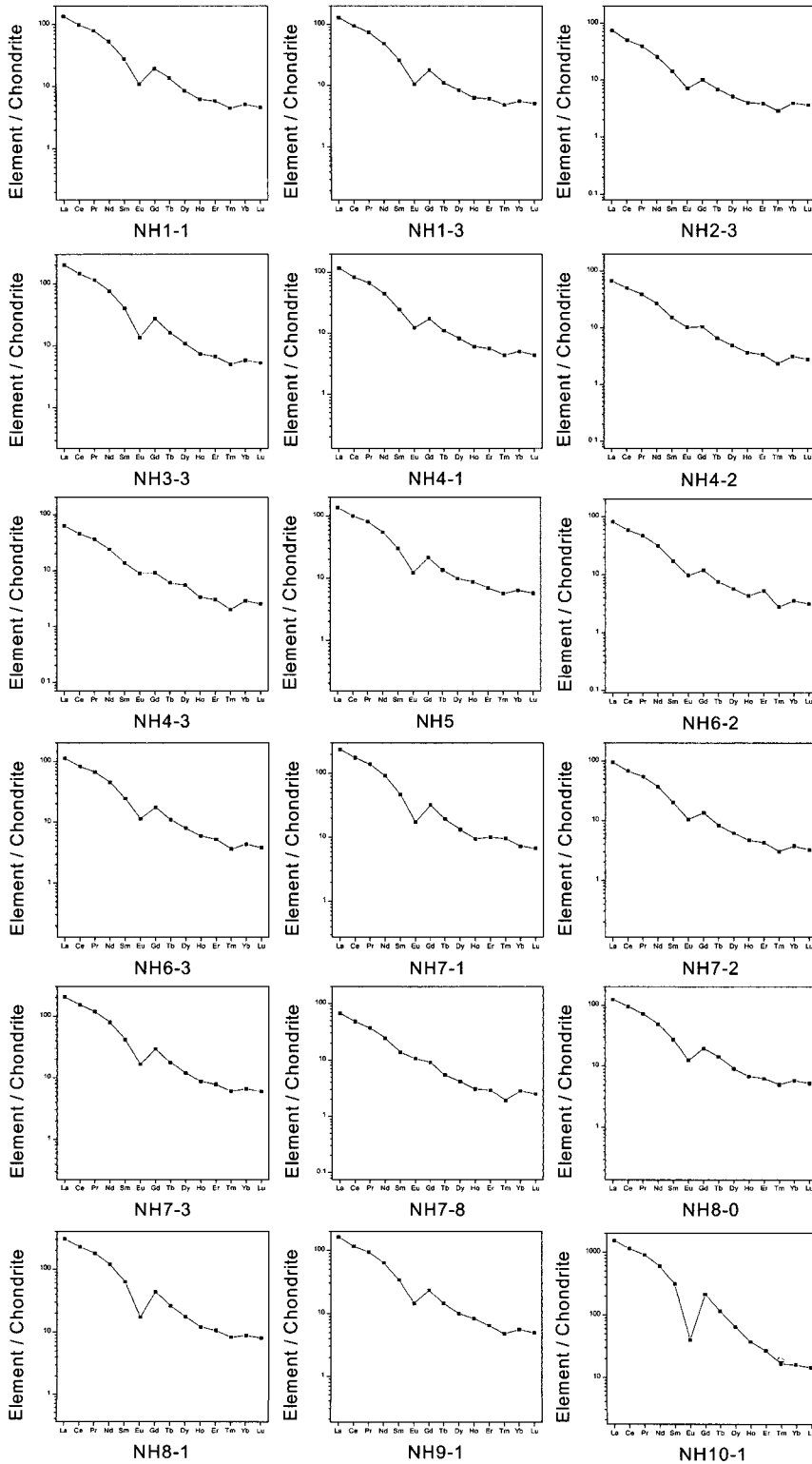


Fig. 8. Chondrite-normalized REE distribution patterns for North Hahn stream sediments.

Table 7. EPMA analysis for heavy mineral of stream sediments from the South Hahn river.

Oxide % Point	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Total	Mineral
SH1	43.682	12.444	0.897	0.036	11.181	14.729	0.190	1.903	0.774	11.279	97.115	common hornblende
SH1	45.356	9.170	1.415	0.057	15.427	11.753	0.311	1.132	0.622	10.910	96.153	tremolite-actinolite
SH1	0.012	0.000	54.094	0.013	44.396	0.126	1.848	0.000	0.000	0.000	100.489	ilmenite
SH1	54.855	1.323	0.032	0.050	10.638	16.357	0.238	0.199	0.072	12.528	96.292	tremolite-actinolite
SH1	0.016	0.043	0.067	0.000	90.487	0.000	1.208	0.023	0.007	0.000	91.851	hematite+magnetite
SH1	47.056	8.043	1.250	0.026	12.749	14.030	0.392	1.202	0.763	12.042	97.553	tremolite-actinolite
SH1	47.546	6.480	1.153	0.742	12.300	13.669	0.311	1.080	0.562	12.225	96.068	tremolite-actinolite
SH3	29.351	1.496	36.089	0.003	1.405	0.000	0.109	0.045	0.009	27.657	96.164	sphene
SH3	44.253	9.838	0.720	0.122	15.852	11.269	0.310	1.287	1.017	11.786	96.454	tremolite-actinolite
SH3	0.394	0.504	0.113	0.077	85.244	0.023	0.028	0.061	0.000	0.000	86.444	hematite+magnetite
SH3	0.003	0.021	53.584	0.007	44.500	0.143	0.781	0.000	0.000	0.009	99.075	ilmenite
SH3	42.887	10.350	1.204	0.013	17.998	9.862	0.406	1.249	1.028	11.784	96.781	common hornblende
SH6	29.906	6.624	30.284	0.004	0.447	0.012	0.169	0.000	0.016	28.446	95.908	sphene
SH6	43.688	9.757	1.202	0.023	20.977	8.636	0.559	1.432	1.231	11.557	99.062	tremolite-actinolite
SH6	36.851	23.417	0.000	0.000	12.643	0.009	0.699	0.027	0.000	22.325	95.971	epidote
SH6	0.002	0.149	0.056	0.046	91.697	0.000	0.193	0.027	0.000	0.000	92.170	hematite+magnetite
SH6	52.444	2.392	0.330	0.016	11.415	15.890	0.258	0.219	0.205	11.145	94.314	tremolite-actinolite
SH6	48.569	7.415	0.442	0.163	10.156	15.421	0.224	0.982	0.154	11.193	94.719	tremolite-actinolite
SH7	48.506	4.715	0.127	0.099	13.760	13.140	0.250	0.327	0.295	12.409	93.628	tremolite-actinolite
SH7	38.352	20.504	0.702	0.000	3.240	0.245	0.110	0.016	0.016	36.431	99.616	garnet group
SH11	3.301	2.153	0.051	0.047	83.584	0.884	0.003	0.042	0.006	0.000	90.071	hematite+magnetite
SH11	52.104	3.143	0.156	0.075	12.493	15.253	0.315	0.519	0.212	12.424	96.694	tremolite-actinolite
SH11	1.986	1.301	4.491	0.034	79.915	0.161	0.031	0.037	0.260	0.000	88.216	hematite+magnetite
SH11	52.446	4.156	0.091	0.601	10.352	15.810	0.242	0.304	0.114	12.328	96.444	tremolite-actinolite
SH13	38.436	30.353	0.012	0.000	4.748	0.068	0.194	0.000	0.019	23.653	97.483	epidote
SH13	39.106	22.272	0.467	0.000	1.816	0.033	0.080	0.002	0.003	36.971	100.750	garnet group
SH13	53.362	3.148	0.060	0.101	11.527	16.334	0.301	0.316	0.136	12.555	97.840	tremolite-actinolite
SH13	34.632	20.880	0.015	0.000	28.068	0.437	13.079	0.027	0.000	0.607	97.745	garnet group
SH24-4	53.208	2.736	0.076	0.016	8.769	17.813	0.662	0.267	0.100	12.269	95.916	tremolite-actinolite
SH24-4	44.102	10.191	0.669	0.052	19.385	8.720	0.295	0.925	0.611	11.128	96.078	common hornblende
SH24-4	0.915	0.647	1.189	0.030	84.469	0.016	0.038	0.034	0.065	0.000	87.403	hematite+magnetite
SH24-4	28.369	1.924	34.913	0.004	2.197	0.049	0.091	0.000	0.001	26.312	93.860	sphene
SH24-5	36.485	25.475	0.047	0.010	9.899	0.043	0.404	0.000	0.016	23.265	95.644	epidote
SH24-5	36.839	23.993	0.136	0.000	11.288	0.072	0.098	0.000	0.011	23.646	96.083	epidote
SH24-5	0.076	0.082	0.029	0.045	91.401	0.020	0.011	0.000	0.036	0.000	91.700	hematite+magnetite

Table 8. EPMA analysis for heavy mineral of stream sediments from the North Hahn river.

Oxide % Point	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Total	Mineral
NH1-3	53.122	2.099	0.015	0.001	19.268	11.788	0.304	0.173	0.150	11.983	98.903	tremolite-actinolite
NH1-3	0.032	0.015	51.071	0.036	45.303	0.077	1.392	0.000	0.000	0.000	97.926	ilmenite
NH1-3	0.025	0.009	50.252	0.004	45.800	0.054	1.353	0.015	0.012	0.000	97.524	ilmenite
NH1-3	0.014	0.005	52.299	0.042	46.503	0.175	0.567	0.020	0.000	0.000	99.625	ilmenite
NH4-2	0.014	0.002	52.220	0.000	45.369	0.053	1.926	0.000	0.000	0.000	99.584	ilmenite
NH4-2	0.009	0.000	53.810	0.005	45.884	0.109	1.052	0.024	0.024	0.000	100.917	ilmenite
NH4-2	0.000	0.000	52.887	0.022	46.510	0.058	0.970	0.051	0.000	0.000	100.498	ilmenite
NH4-2	36.347	21.422	0.260	0.000	14.159	0.028	0.429	0.000	0.000	22.386	95.031	epidote
NH4-3	0.004	0.017	52.801	0.015	43.961	0.062	2.429	0.002	0.000	0.000	99.291	ilmenite
NH4-3	46.403	10.100	0.713	0.013	15.764	11.470	0.276	1.200	0.468	11.011	97.418	tremolite-actinolite
NH4-3	49.115	6.655	0.706	0.139	15.325	13.194	0.211	0.798	0.227	12.054	98.424	tremolite-actinolite
NH4-3	0.030	0.006	53.871	0.037	44.416	0.000	2.229	0.016	0.008	0.000	100.613	ilmenite
NH4-3	51.905	5.513	0.205	0.194	6.816	19.326	0.204	0.721	0.107	11.714	96.705	tremolite
NH6-2	44.523	10.821	1.059	0.000	17.618	9.705	0.298	0.999	0.622	11.428	97.073	common hornblende
NH6-2	0.004	0.011	52.493	0.000	45.929	0.382	0.561	0.004	0.000	0.000	99.384	ilmenite
NH6-2	0.806	0.128	93.291	0.015	0.257	0.017	0.015	0.019	0.032	0.063	94.643	rutile

Table 8. Continued.

Oxide % Point	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Total	Mineral
NH6-2	39.237	23.432	0.000	0.031	27.387	9.610	0.493	0.000	0.006	0.980	101.176	garnet group
NH6-2	0.038	0.001	54.120	0.028	45.000	0.354	0.322	0.002	0.000	0.000	99.865	ilmenite
NH6-2	41.673	12.549	1.371	0.018	19.339	7.898	0.204	1.636	0.501	11.607	96.796	common hornblende
NH7-2	54.129	3.680	0.219	0.020	6.808	19.692	0.096	0.447	0.207	13.129	98.427	tremolite-actinolite
NH7-2	41.188	10.824	1.094	0.046	21.567	7.444	0.618	1.535	1.211	11.299	96.826	common hornblende
NH7-2	46.036	10.533	0.520	0.085	13.057	13.320	0.900	0.463	0.664	11.500	97.078	common hornblende
NH7-2	0.021	0.000	50.968	0.039	43.468	0.052	2.010	0.009	0.000	0.000	96.567	ilmenite
NH7-2	39.469	11.487	1.319	0.000	19.424	6.680	0.346	1.491	0.861	10.426	91.503	common hornblende
NH7-8	52.071	2.851	0.125	0.202	13.812	14.824	0.294	0.327	0.159	12.377	97.042	tremolite-actinolite
NH7-8	53.344	0.921	0.017	0.033	13.331	15.493	0.394	0.131	0.019	12.221	95.904	tremolite-actinolite
NH7-8	53.356	1.525	0.097	0.135	13.269	15.145	0.300	0.189	0.084	12.517	96.617	tremolite-actinolite
NH7-8	50.218	3.859	0.198	0.042	14.961	13.482	0.336	0.405	0.284	12.023	95.808	tremolite-actinolite
NH7-8	53.220	2.149	0.134	0.000	13.301	15.232	0.374	0.233	0.133	12.768	97.544	tremolite-actinolite
NH7-8	53.171	2.272	0.206	0.013	13.351	14.720	0.419	0.236	0.123	11.856	96.367	tremolite-actinolite
NH10-1	50.154	4.808	0.343	0.094	12.947	14.345	0.333	0.492	0.341	12.267	96.124	tremolite-actinolite
NH10-1	0.064	0.000	0.071	0.000	89.450	0.004	0.083	0.000	0.000	0.000	89.672	hematite+magnetite
NH10-1	41.202	14.418	1.387	0.053	18.752	7.399	0.260	1.167	1.145	11.333	97.116	common hornblende
NH10-1	50.628	3.892	0.208	0.076	8.712	17.805	0.360	0.461	0.149	11.839	94.130	tremolite-actinolite
NH10-1	0.024	0.000	53.069	0.009	44.461	0.110	1.820	0.018	0.005	0.000	99.516	ilmenite

Table 9. Average composition of major elements (%).

Area	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Study area										
South Hahn river.	73.99	11.66	2.76	0.37	0.05	2.20	1.10	3.29	1.81	0.09
North Hahn river.	74.84	12.83	3.55	0.48	0.05	1.06	1.09	3.50	1.93	0.07
Other data										
Calc alkalic Granites.	72.08	13.86	2.53	0.37	0.06	1.33	0.52	5.46	3.08	0.18
Alkali Granites.	73.86	13.75	1.91	0.20	0.05	0.72	0.26	5.13	3.51	0.14
Quartz diorites.	66.15	15.56	4.78	0.62	0.08	4.65	1.94	1.42	3.90	0.21

Other data: Nockolds(1954); Fe₂O₃* : Total (FeO+Fe₂O₃)

Table 10. Average trace metal contents (ppm).

	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Study Area						
South Hahn river	24.74	8.45	7.33	11.04	48.73	24.94
North Hahn river	38.31	3.16	13.99	11.96	47.11	24.49
Other data						
Shale ^a	90	19	68	45	95	20
Sandstone ^a	35	0.3	2	19	16	7
Carbonate rock ^a	11	0.1	20	4	20	9
Igneous rock ^a	100	25	75	55	70	13
Hornblende-biotite granodiorite ^b	23.27		8.69		59.96	27.75
Porphyritic biotite granite ^b	13.64		5.96		53.86	35.50
Equigranular biotite granite ^b	31.96		15.02		46.16	42.92
Two-mica granite ^b	3.32		2.74		37.88	48.87

Other data : ^aTurekian and Wedepohl(1961); ^bJwa *et al.*(1990).

Table 11. Concentrations of rare earth elements. (ppm)

Area	LREE	HREE	REE
Study area			
South Hahn river	110.86	10.33	121.19
North Hahn river	284.51	16.98	301.49
Other data			
Daebo granite ^a			100180
Bulguksa granite ^a			100240
Alkali granite ^b			129.414022.08

Other data: ^a Kim(1992); ^b Kim *et al.*(1998)

Table 12. Heavy mineral parts for South and North Hahn river.

Average Content (%)	South Hahn river	North Hahn river
CIPW norms	8.21	11.25
Stream sediments.	2.81	3.26

Table 13. Heavy mineral contents separated from sediments.

	Sediments (g)	Heavy mineral parts (g)	Weight percents (%)
SH1	26.04	0.87	3.36
SH2	23.03	0.46	1.99
SH2-2	27.93	0.25	0.91
SH3	26.40	0.55	2.09
SH3-2	30.40	1.70	5.60
SH4	28.92	0.09	0.33
SH5	31.09	0.32	1.03
SH6	30.72	0.73	2.38
SH7	30.38	0.29	0.96
SH8	24.25	0.50	2.06
SH9	25.78	0.60	2.31
SH10	29.64	1.18	3.97
SH11	24.77	1.22	4.91
SH12	31.61	1.53	4.84
SH13	30.48	0.51	1.68
SH13-2	25.02	1.17	4.67
SH14	19.92	0.70	3.53
SH16	27.50	2.70	9.84
SH18	23.10	0.46	2.01
SH20	26.46	0.30	1.12
SH21	31.02	1.31	4.23
SH22	30.09	0.62	2.05
SH23	25.36	0.76	3.01
SH24-1	26.93	0.49	1.81
SH24-2	27.36	0.50	1.82
SH24-3	32.68	0.46	1.42
SH24-4	29.24	0.69	2.37
SH24-5	30.27	0.30	1.00
SH25	29.86	1.06	3.56
SH26	27.51	0.81	2.95
SH29	26.90	0.36	1.33
SH30	30.94	1.21	3.90
SH31	29.60	1.07	3.60
NH1-1	26.89	0.90	3.33
NH1-3	27.34	0.95	3.47
NH2-3	24.96	0.28	1.13
NH3-3	24.81	0.95	3.83
NH4-1	31.71	1.24	3.90
NH4-2	27.99	0.30	1.08
NH4-3	25.03	0.20	0.81
NH5	27.67	1.02	3.68
NH6-2	30.35	0.80	2.65
NH6-3	24.87	0.28	1.14
NH7-1	20.69	0.60	2.90
NH7-2	21.92	0.83	3.81
NH7-3	22.16	0.79	3.54
NH7-8	30.02	0.67	2.24
NH8-0	34.70	1.40	4.04
NH8-1	27.92	1.87	6.68
NH9-1	26.28	1.00	3.80
NH10-1	30.47	2.03	6.67

리실험을 통해 산출한 결과 중광물의 함량은 3배 이상의 상당한 차이를 나타냄을 알 수 있다. 이러한 함량의 차이는 중광물의 구성성분으로서의 금속성분이 화학적풍화에 의해 이온화 된 후 점토광물에 흡착되거나 용존상태인 영향과 비중선별에 의한 중광물 분리실험 과정에서의 오차발생의 영향도 있을 것으로 생각된다.

Table 13은 남한강과 북한강 하상퇴적물 총 51개 샘플에 대해 테트라브로모에탄(tetra- bromoethane) 비중액을 사용하여 원심분리기로 중광물을 분리한 결과 표이다. 광물 분석은 모래 크기 퇴적물의 중광물에 대한 광물 감정만 실시하였다.

Table 14와 15는 남한강과 북한강 중광물의 EPMA 분석결과 출현 빈도를 나타낸 것이다.

본 연구지역의 중광물 감정결과는 Blatt(1982)에 의하면 주로 화성암 혹은 변성암의 근원암에서 기원된 중광물들의 빈도가 높게 나타났다. 남한강의 경우 투각섬석-양기석, 적철석·자철석, 북한강의 경우 투각섬석-양기석이 대부분이었다. 이는 인근 유역 육상지질이 대체로 변성암류와 화성암류가 주를 이루는 점과 조화적이다.

소철섬, 이기형(1974)에 의하면 한강유역의 현생퇴적물 중 중광물은 주로 자철석, 티탄철석, 석류석, 각섬석, 휘석, 남정석, 저어콘, 모나자이트, 녹염석 등이 산출되며 빈도는 하류로 내려오면서 자철석, 티탄철석 등은 감소하는 경향을 나타내고, 저어콘과 녹염석은 증가하는 경향을 나타낸다고 했다.

4.5. 주 구성광물 지구화학

Fig. 3은 남한강 하상퇴적물의 XRD 분석결과를 나타낸 것으로, 주변 육상지질의 주 구성광물인 석영, 정장석, 알바이트(albite), 아노르다이트(anorthite)의 회절피크가 나타났다. 정장석의 회절피크가 알바이트, 아노르다이트의 회절피크보다 강하게 나타났고, 녹니석(clinocllore)은 시료 SH18~SH31에서 매우 미약한 회절피크를 나타낸다. 북한강 하상퇴적물의 XRD 분석결과를 나타낸 Fig. 4를 보면 남한강 XRD 분석결과와 마찬가지로 석영, 정장석의 회절피크가 나타났고, 알바이트, 아노르다이트에 대한 정장석의 회절피크가 남한강 하상퇴적물 분석결과보다 상대적으로 더 강하게 나타났으며 모든 시료에 대해 녹니석의 미약한 회절피크가 나타났다.

성분 구성비 분석결과에 의해 남한강과 북한강 하상퇴적물의 점토광물에 대한 별도의 XRD 분석을 실시

Table 14. Comparison of heavy mineral contents in the stream sediments from the South Hahn river(****very abundant, ***abundant, **intermediate, *poor, *rare).

	Tremolite actinolite	Hematite magnetit	Common hornblende	Ilmenite	Garnet	Epidote	Sphene	Rutile	Augite
SH1	****	*	*	*					
SH2	**	*							
SH2-2		*		**				**	
SH3	*	*	*	*			*		
SH3-2	**	*		*	*				
SH4									
SH5	*			*					*
SH6	***	*				*	*		
SH7	*				*				
SH8	*	**							
SH9	**					**			
SH10			*						
SH11	**	**							
SH12	*	**							*
SH13	*				**	*			
SH13-2	*			*					
SH14									
SH16		*							
SH18		*						*	
SH20									
SH21	*	*							
SH22		*	*						
SH23	*	*							
SH24-1							*		
SH24-2									
SH24-3		*							
SH24-4	*	*	*				*		
SH24-5		*				**			
SH26	**	*							
SH29	**								
SH30									
SH31		*							

Table 15. Comparison of heavy mineral contents of the stream sediments from the North Hahn river(****very abundant, ***abundant, **intermediate, *poor, *rare).

	Tremolite actinolite	Hematite magnetit	Common hornblende	Ilmenite	Garnet	Epidote	Sphene	Rutile
NH1-1	*	*		*	****			
NH1-3	*			***				
NH2-3		****		*			*	
NH3-3	****						*	
NH4-1	*			*				
NH4-2				***		*		
NH4-3	***			**				
NH5	**		**					
NH6-2			**	**	*			*
NH6-3	**	*	*****	**				*
NH7-1								
NH7-2	*		***	*				
NH7-3			**	*	****			*
NH7-8	*****							
NH8-0	*****							*
NH8-1	*	**	**	**	*			
NH9-1	*		**		*			
NH10-1	**	*	*	*				

하지 않았기에 점토광물인 녹니석은 다른 주 구성광물에 비해 상대적으로 회절피크가 낮고 미약하게 나타났다. 점토들은 대부분 뜬 짐으로 용이하게 유수에 의해 운반 제거된 것으로 보인다.

남한강과 북한강의 하상퇴적물 XRD 분석결과는 각각 주요 구성광물의 회절피크에서 유사하게 나타나기도 하나 상대적으로 약간씩 차이를 보이기도 한다.

5. 결 론

1. 본 연구지역 주성분 원소들의 분산 경향성은 남한강 하상퇴적물과 북한강 하상퇴적물이 각각 SiO_2 에 대한 Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , P_2O_5 , MnO 성분원소들의 반비례 관계를 나타내는 산성 화성암의 일반적 분산경향성을 나타내고 있다. 남한강 하상퇴적물의 경우 인근유역 지질중 석회암 지대가 분포해 있어 이로 인한 CaO 함량분포가 다소 높게 나타난다.

2. 모래 크기 퇴적물에 대한 중광물 감정을 실시한 결과 본 연구지역의 중광물은 주로 근원암이 화성암 혹은 변성암에서 기원된 중광물들의 빈도가 높게 나타났다. 남한강 하상퇴적물의 경우 투각섬석-양기석, 적철석-자철석이, 북한강 하상퇴적물의 경우 투각섬석-양기석, 보통 각섬석, 티탄철석이 많이 나타났다. 남한강과 북한강에서 각각 석류석 군, 녹염석, 금홍석, 스펀등의 중광물이 소량 관찰된다. 이는 인근 유역 육상지질이 대체로 변성암류와 화성암류가 주를 이루는 점과 조화적이다.

3. 남한강 하상퇴적물과 북한강 하상퇴적물의 REE 패턴에서 각각 Eu 부의 이상을 뚜렷이 나타내고 두 지역의 희토류원소 분포들도 각각 한강 상류 유역에 분포하고 있는 화성암 기원의 희토류원소의 REE 패턴과 유사한 분포를 나타낸다. 희토류원소 함량은 상대적으로 북한강 하상퇴적물의 희토류원소 함량이 남한강 하상퇴적물의 희토류원소 함량에 비해 훨씬 많이 나타났다.

4. 세립질 퇴적물의 XRD 분석 결과 남한강 하상퇴적물과 북한강 하상퇴적물 각각은 정장석의 회절피크가 강하게 나타났다. 그리고 일부 남한강 시료와 북한강 전 시료에 대해 녹니석(clinocllore)의 회절피크가 나타났다.

5. 본 연구지역에 대한 지구화학적 검토결과 남한강 하상퇴적물과 북한강의 하상퇴적물은 대부분 화성암 기원 또는 변성암 기원의 경향성을 나타내는 특징을 보인다.

사 사

본 연구 중 일부 남한강 하상퇴적물의 화학분석 측정결과는 “2000 기초과학지원연구소 연구기자재 공동 활용사업”에 의한 결과이며, 이에 사의를 표한다.

본 연구는 인하대학교 해양학과 오재경 교수의 한국 학술진흥재단 선도연구자지원(과제번호 KRF-99-041-H00014)의 일부 지원하에 수행되었으며 이에 사의를 표한다.

참고문헌

- 김규한 (1992) 남한의 일부 중생대 화강암류의 지구화학적 연구. 광산지질, 제25권, p. 435-446.
- 김기완, 이홍규 (1965) 한국지질도 충주도폭 설명서. 국립지질조사소.
- 김옥준 등 (1974) 한국지질도 가평도폭 설명서. 국립지질광물연구소.
- 김정환 등 (1981) 한국지질도 청평도폭 설명서. 한국동력자원연구소.
- 박봉순, 여상철 (1971) 한국지질도 목계도폭 설명서. 국립지질조사소.
- 박희두 (1990) 남한강 중·상류 분지의 지형연구. 동국대학교 대학원 박사학위 논문.
- 서혜영, 김규한 (1997) 한강수계 분지 내 하천수의 지구화학적 특성. 대한 지하수환경학회지, 제4권, p. 130-143.
- 소철섭 등 (1989) 한국지질도 이포도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소.
- 소철섭, 이기형 (1974년) 한강유역의 현생퇴적물에 관한 연구. 광산지질, 제7권, p. 87-100.
- 여상철, 이인기 (1975) 한국지질도 여주도폭 설명서. 국립지질광물연구소.
- 원종관 등 (1978) 한국지질도 양평도폭 설명서. 자원개발연구소.
- 이대성 등 (1974) 한국지질도 춘천도폭 설명서. 국립지질광물연구소.
- 임창주 (1989) 남한강의 하안단구에 관한 연구. 동국대학교 대학원 박사학위 논문.
- 지정만 등 (1989) 한국지질도 문막도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소.
- 홍승호 등 (1981) 한국지질도 양수리도폭 설명서. 한국동력자원연구소.
- Blatt et al. (1981) Quartz in mudrocks as an indicator of distance from shoreline Blaine Formation (Permian) western Oklahoma. Jour. Sed. Petrology, v. 51, p. 1259-1266.
- Henderson and P. (1984) Rare earth element geochemistry. Elsevier Science Publishing Company INC., p. 237-360.
- Jae-Young Yu et al. (1994) Geochemical characteristics of the surface water depending on the bed rock types in the Chuncheon area. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 30, p. 307-324.
- Jin-Seop Kim et al. (1998) A geochemical study of the alkali granite in the Kyeomyeongsan Formation. Econ. Environ. Geol., v. 31, p. 349-360.
- Nakamura and N. (1974) Determination of REE, Ba, Fe,

Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 44, p. 757-775.
Yong-Joo Jwa and Jacques Moutte (1990) A study on Jurassic granitic rocks in the Inje-Hongcheon district,

South Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea.*, v. 26, p. 418-427.

2002년 6월 29일 원고접수, 2004년 2월 5일 게재승인.