

# 양구 수입천 단구의 빙기 퇴적물의 특성에 대한 연구

김종연\* · 신원정\*\*

## A Study on the Characteristic of Sediment Particles of Glacial Period in the Suip river, Yanggu

Jong Yeon Kim\* · Won Jeong Shin\*\*

**요약 :** 우리나라에서는 다수의 빙기 퇴적층이 보고된 바 있다. 이들의 대부분은 물리적인 특성 등에 근거하여 빙기 풍성 퇴적층인 퇴스층으로 분류되었으며, 화학적 조성상의 특징 등에 대해서는 상당한 논란이 있어 왔다. 본 연구에서는 빙기인 MIS 6에 퇴적된 것으로 알려진 강원도 양구군 방산면의 하안 단구 퇴적층에 대한 입도 분석 및 화학적 분석을 통하여 해당 퇴적층의 형성 특성을 파악하였다. 본 연구에서는 XRF 분석을 통하여 화학적인 조성을 파악하고 풍화 관련 지표를 제시 하였으며, XRD분석을 통하여 퇴적층내의 조성 광물 및 점토 광물을 파악하였다. 연구의 결과 색상은 풍성 퇴적층과 유사하나, 입도의 조성이 알려진 풍성 퇴적층에 비하여 조립질이고 분급이 불량한 것으로 나타났다. 해당 층의 화학적 조성은 풍화의 진행으로 일라이트대에 속하는 것으로 나타났으며, 퇴적 이후 사면으로부터의 물질 공급 등에 의한 교란으로 인해 화학 조성의 변화가 일관되지는 않은 것으로 나타났다. XRD 분석 결과, 석영의 피크가 가장 크게 나타났으며 일라이트의 피크가 카올리나이트 보다 큰 것으로 나타났다. 이는 퇴적 이후 기후 환경의 영향으로 해석된다. 또한 일부 구간에서 장석의 피크가 큰 것으로 나타나 미풍화 물질의 공급과 같은 교란이 있었음이 드러났다.

**주요어 :** 빙기하성퇴적층, 풍화작용, 퇴스, 점토광물

**Abstract :** There are some previous studies on the sedimentary deposits of glacial period in Korea. Most of these deposits are identified as loess or loess like aeolian deposits based on physical characteristics, while chemical composition of these deposits caused debate on the origins and the natures. The characteristics of the fluvial terrace deposits found from Suip river, Bangsan, Yanggu-gun, Gangwon-do which the burial age of its particles belong to MIS 6, are analyzed using granulometric studies and geochemical analysis in this study. The result from XRF used to find chemical composition and weathering related indices, while XRD results are used to identify the rock forming minerals and clay minerals. The color of the deposits showed similarity with previously reported loess lays, however these are coarser and far poorly sorted than the loess. These deposits are located at illite zone by the chemical composition and some layer affected by the post-depositional disturbance caused by additional supply of unweathered material. The quartz peaks are dominant for all samples. For the clay minerals, illite peaks are stronger than those of kaolin. It must be the effect of climatic characteristics ever since the deposition event of the area. The strong feldsapr peaks are also found and it could be the result of post-depositional disturbances.

**Key Words :** Fluvial deposits of glacial period, Weathering, Loess, Clay minerals

\*충북대학교 사범대학 지리교육과 부교수(Associate Professor, Department of Geography Education, Chungbuk National University, terraic@cbnu.ac.kr)

\*\*서울대학교 사범대학 지리교육과 석사과정(Master Student, Department of Geography Education, Seoul National University, tlnsjswjd@snu.ac.kr)

## I. 서론

1950년대 이후의 지형학의 발달은 다양한 과학적 정량 분석 기법을 활용하여 연구 대상 지형의 특성을 파악하는데 많은 관심을 기울여 왔다. 지형학의 연구 대상을 형성과정으로 구분하자면 퇴적형 지형과 풍화·침식형 지형으로 구분할 수 있으며 이들의 특성을 파악하기 위하여 여러 기법들이 제안되어 왔다. 그 가운데 우리나라의 경우 화학적인 분석들은 제자리 풍화층의 풍화 환경 추론을 위한 기법들이 제안되고 활용되어 왔으며, 퇴적 지형의 경우 주로 풍성 기원의 퇴스 퇴적층으로 추정되는 층들의 기원지 파악 등을 위한 연구가 진행되었다. 그러나 퇴적층에서도 풍성 기원이 아닌 하천이나 해안 퇴적층 내의 물질에 대한 지형학적인 고찰은 제한적으로만 이루어졌다. 이전의 연구들은 우리나라의 빙기에 형성된 대표적인 퇴적층으로 중국 또는 한반도 주변 기원의 풍성 퇴적층인 퇴스 기원 퇴적층으로 판단해 왔다(박동원, 1985; 박충선 등, 2007). 빙기에 형성된 퇴적층들의 경우 평균 입경과 분급 등을 포함하는 입도 조성상의 특징, 풍화의 진행 정도를 나타내는 다양한 지표 등을 활용하여 그 특성이 파악되어 왔다. 그러나 이들의 화학적 조성의 경우 연구자에 따라 해당 물질의 기원지를 다르게 인식할 정도의 차이가 존재한다고 알려져 있다. 일부 연구자들의 경우 다른 국가의 풍성 퇴적층 물질과의 화학적 조성 차이를 근거로 해당 물질의 기원지를 황토 고원이 아닌 한반도 주변 또는 주변 유역 분지로 판단하였으며, 일부에서는 황토 고원 기원 물질의 한반도 퇴적 이후 변형 가능성을 제기하였다(박충선 등, 2007). 그러나 이러한 연구들은 해당 퇴적층의 성격을 먼저 정의한 이후 그 퇴적물의 특성으로 화학적 조성이 제시되어졌다는 한계가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 연대가 알려진 하안 단구 퇴적층을 대상으로 하여 단구 퇴적물의 화학 조성 특징, 물리적 특징들을 파악하여 퇴적층의 성격과 형성 과정 등을 살피고자 한다. 본 연구 지역의 퇴적층은 장석 IRSL을 이용한 매몰 연대 측정 결과 중심 연대들이 빙기로 나타난 층들이며, 그 성인에 대해서는 추가적인 분석이 필요한 것으로 판단된 바 있다(김종연 · 홍성찬, 2014). 이에 따라 본 연구에서는 양구 수입천에 위치하는 낭구미 단구 퇴적층의 구성 물질에 대한 입도 분석 및 지화학적인 분석을 통하여 퇴적층의 특성을 밝히고자 하였다.

또한 퇴적물 분석에 활용될 수 있는 지화학적인 분석 기법의 활용을 통하여 이전에 보고된 다른 퇴적층들과의 특성을 비교하고, 이후의 활용 방안을 탐색하고자 하였다.

## II. 연구 지역 개관

연구가 이루어진 양구 수입천은 강원도 양구군 방산면 일대를 유역 분지로 하는 하천으로 휴전선 이북의 지혜산(1232.0m) 인근에서 발원하며 유역 면적은 약 320.49km<sup>2</sup>이며, 유로 연장 50.29km에 달한다. 수입천 유역의 연 강수량은 1074.6mm이며, 연간 유량은 유출부에서 191.1 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/년이다. 수입천 유역의 해발 고도는 누적 값으로 볼 때 1,200m이상 0.4%, 1,000m이상 6.8%, 800m이상 26.8%, 600m이상 55.3%, 400m 이상 85.4%로 나타나 600m 이상의 산악지역이 차지하는 비중이 높은 편이다. 하구 유출부를 기준으로 보면 유역 분지 평균 해발 고도는 683.5m수준이고, 평균 경사는 20.67°이다(양구군, 2000).

본 연구 지역의 지질은 선캄브리아기 퇴적암 기원의 경기 편마암 복합체와 중생대 관입 화강암이 주를 이루며, 고원생대의 편암이 기저 암석을 이루고 노출되어있다(그림 1). 기저 편암류와 경기편마암 복합체의 시흥층군에 속하는 것으로 판단되는 흑운모 편마암은 충상 단층(thrust fault)의 관계를 나타내고 있다. 이 편마암이 변성되면서 '석류석 화강편마암'이 관입되었으며, 그 이후

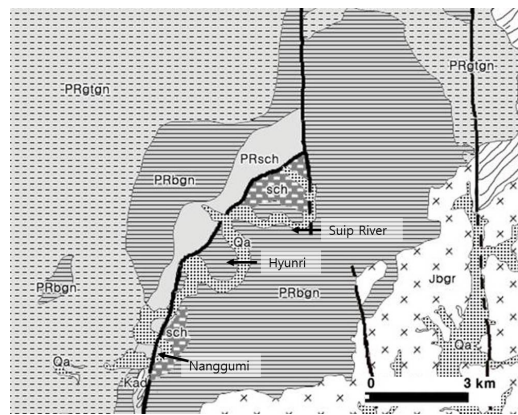


그림 1. 연구 지역의 지질도

출처: 김종연 · 홍성찬, 2014.

\* 한국지질자원연구원 자료 수정.

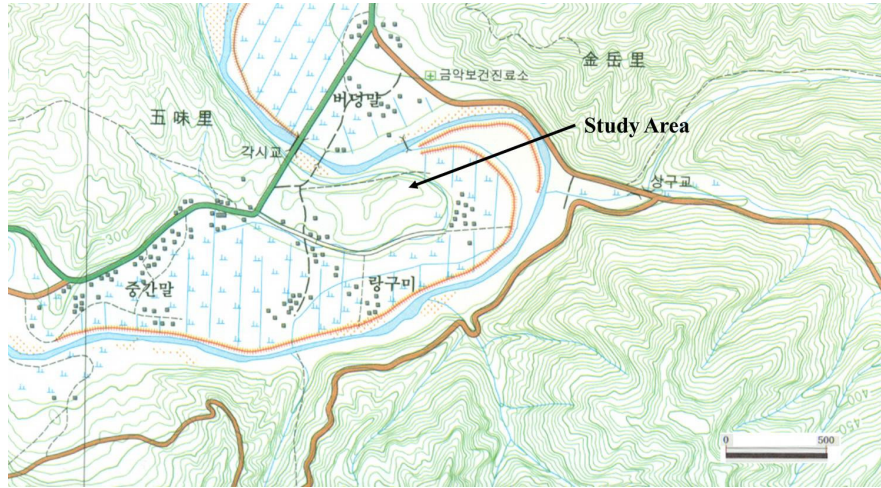


그림 2. 연구 지역의 위치

8억 5천만년~1억 7천만년의 시기에 방산 배사 구조가 형성되었다. 이후 송현 충상 단층에 의해 이전의 구조들이 교란되었으며 현재도 하천 유로의 상당 부분이 이러한 구조선들의 영향을 받는 것으로 보인다. 특히 배사구조에 의한 암석의 분포와 암석 간의 경계는 하천의 유로에 영향을 주는 것으로 보인다(김유홍·황재하, 2009a). 수입천의 유로는 고원생대의 편암(PRsch)와 시대 미상의 편암(sch)의 경계가 주를 이루고 있다. 수입천이 이 암석들의 경계부를 따라 흐르고 있으며 금악리와 낭구미 부근까지의 구간에서는 편마암 지역을 침식하는 곡류를 진행한다.

본 연구가 이뤄진 양구 낭구미 단구는 강원도 양구군 방산면 오미리에 위치하는 것(그림 2)으로 수입천의 활주 사면 부분에서 현 하상의 범람원을 제외한 2단의 단구가 확인된 바 있다(김종연·홍성찬, 2014). 연구 지역에서 수입천의 하상 고도는 해발 219.2m 이며, 해발 고도 250~255m 수준의 평탄한 면인 L2면이 나타나고 있으며, 장석을 이용한 IRSL 연대 측정 결과  $124.42 \pm 20.86$  ka BP경의 것으로 플라이스토세 중기에 해당하며, 간빙기인 MIS 5e 또는 빙기인 MIS 6에 속하는 것으로 나타났다. 이보다 상부인 해발 고도 260~270m대의 구릉 정부 인근에 L3로 판단된 단구가 확인되었으며, 이 층의 세립질 퇴적층은  $165.67 \pm 40.26$  ka의 매물 연대를 나타내고 있다. 이는 플라이스토세 중기의 하부로 MIS 6/7에 해당한다. 중심 연대로 본다면 빙기인 MIS 6에 해당한다.

본 연구에서는 단구 내의 3개 지점에 대하여 수직적으

로 시료를 채취하여 총 18개 지점에 대한 입도 분석을 실시하여 입도조성의 특성을 파악하였다. 2개 지점의 시료들에 대해서는 XRD 분석을 실시하였으며 9개 시료에 대해서는 XRF 분석을 병행하였다. XRF 분석 결과에 대해서는 풍화의 정도를 나타내는 지표를 계산 하고 삼각도의 형태로 특성의 차이를 설명하였다.

### III. 시료의 입도 특성

시료의 채취는 L3면과 L2면의 단면에서 이루어졌다. L3는 L2와 10~20m 정도의 고도 차이를 보이면서 정상 부분에 남측으로 경사진 평탄한 면이 형성되어 관찰되고 있으며(그림 3-A), 해발 고도는 260~270m로 나타나고 있다. 한편 L3의 일부가 도로로 절단되면서 단면이 노출되었으며 이 층의 상부에서 시료를 채취하였다. 북측으로 연결된 이 단면을 NGM 1단면으로 명명하였으며, 앞서 논의한 장석 연대 측정이 이루어졌다.

L3면의 상부로 보이는 산지 쪽에도 평탄한 면이 나타나 있으며, 사면 측에 노출된 노두에는 상대적으로 세립질 토양이 나타나고 있다. 이 층의 최상부에는 지표에서 약 1m 하부 구간에 사면과 평행한 방향으로 배치된 각력 물질들이 나타나고 있으며, 이들은 입자의 형상 등에 기반하여 볼 때 하천 퇴적층은 아닌 것으로 판단되었다(그림 3-D).

NGM 3 시료는 NGM 1의 보조 시료 성격을 지니는 시



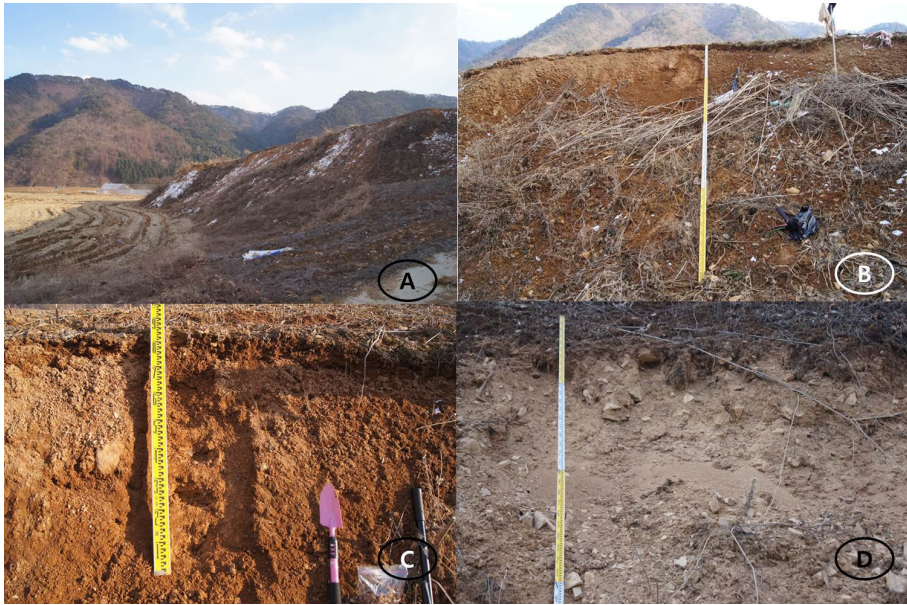


그림 3. NGM 1 시료 지점

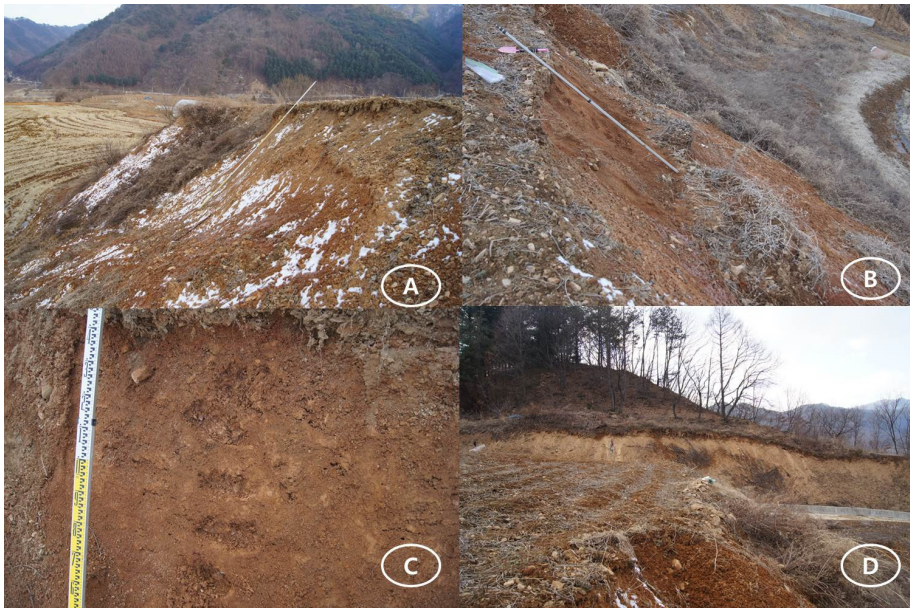


그림 4. NGM 3시료 지점

료로 하부 농경지의 확장 과정에서 만들어진 급경사면의 상부에서 채취하였다(그림 4A). 해당 사면은 경지 정리 과정에서 급경사면으로 노출되었으며 이후 사면 붕괴 과정에서 새로운 단면이 노출되어 교란 없는 층의 관찰이 가능하였다(그림 4B). 이 단면의 지표면은 전반적

으로 평탄한 편이며 밭으로 이용되고 있는 중이고 일부 분묘가 존재한다. 또한 표면에 원력이 산재한 양상을 보이고 있으며 원력의 원마도는 L2층 하부에서 관찰되는 수입천의 하상 기원력들과 유사한 수준을 보여준다. 다만, 해당원력들은 표면에서의 이동이 이뤄진 관계로 연

표 1. L3 지점의 퇴적물 특성

시료명	심도(cm)	평균 입경( $\phi$ )	분급( $\phi$ )	토색(Munsell)	P.C.C.S 색상
NGM 1-1	20~25	4.9~5.7	1.6~2.1	10YR 6/4	Light Yellowish Brown
NGM 1-2	30~35	4.1~5.6	1.8~3.3	10YR 6/6	
NGM 1-3	40~45	2.8~6.3	1.6~2.4	10YR 7/6	Dull Orange Yellow
NGM 1-4	65~70	4.3~6.2	1.3~3.0		
NGM 1-5	80~85	2.4~6.1	1.3~3.2	10YR 7/4	Light Yellowish Brown
NGM 3-1	30~35	5.3~6.7	1.1~2.1	10YR 6/4	
NGM 3-2	40~45	4.5~6.7	1.1~1.9		
NGM 3-3	55~60	3.7~6.7	1.1~2.1		
NGM 3-4	70~75	5.8~6.7	1.1~1.6		
NGM 3-5	80~85	5.6~6.7	1.1~1.9		

대 측정 등은 불가능한 상황이었다.

두 부분의 시료들에 대한 입도 분석 및 색상에 대한 분석 결과는 표 1과 같다. 입도 분석은 서울대학교 지리교육과의 Sympatec GmbH의 HELOS Particle size analysis의 장비를 이용하여 진행하였으며, 토색은 습기에 의한 영향을 제거하기 위하여 건조 후 토색척과의 대비를 통하여 판별하였다.

NGM 1의 경우 토색은 10YR 6/4 계열이 우세한 것으로 나타나고 있으며 우리나라의 전형적인 제자리 풍화층의 적색토들의 색상이 아닌 풍화된 퇴스층의 색상으로 지시되는 갈색 층에 가까운 양상을 보여 주고 있다(황상일 등, 2011). 이전 연구에서 보고된(김종연·홍성찬, 2014) 대자율(magnetic susceptibility) 역시 NGM 1의 경우 80~89( $10^{-5}$  SI), NGM 3의 경우 62~76( $10^{-5}$  SI)의 값을 보이고 있어 통상적인 제자리 풍화 고토양층에 비하여 낮은 수준을 보이고 있으며 퇴스층에 근사한 양상을 보여 주고 있다. 그러나 대자율의 경우 주변으로부터 공급되는 철분과 같은 자화 물질의 양 역시 측정값에 영향을 미치기 때문에 이를 퇴스와 같은 특정 물질로 단정할 수 있는 근거로 보기에는 어려운 점이 있다.

각 시료의 평균 입경은 파이( $\phi$ )로 재계산되었으며, 평균 입경과 분급은 비교를 위하여 Folk와 Ward의 기법을 이용하여 처리되었다(조성권 등, 1995).

한편 표면에서 하부로 가면서 전반적으로 퇴적물의 최대 입경이 증가하고, 가장 하부의 입경이 가장 크게 나타났다. 전반적으로 상부는 조립 실트가 나타나고 하부로 가면서 세립 모래가 나타나는 양상으로 상향 세립화의 경향성을 지시한다고 볼 수 있다. 그러나 표에 나타나는 바와 같이 하부에서도 조립 입자의 출현이 나타

나고 있어 전체적인 최대값이나 평균 만으로 의미를 논하기는 어려운 것으로 보인다. 이러한 경향성은 입도상에 나타나는 쌍봉 구조에 의한 것으로 보인다. 즉 세립질 중심의 퇴적층에 조립 물질이 들어온 것으로 보인다. 특히 하부에서 나타나는 불량한 분급은 이러한 현상에 의한 것으로 판단된다. 또한 입경은 전반적으로 퇴스층으로 알려진 퇴적층들에 비하여 조립질이다(황상일 등, 2011). NGM 3에서는 하부로 가면서 세립질이 우세하게 나타나고 있으며 하부는 세립 실트가 가장 우세하게 나타나는 것으로 나타나는 경향성을 보여 준다. 물론 해당 입자들의 크기가 작고 분급이 매우 불량하다는 점을 감안한다면 이러한 평균 입경의 차이는 큰 의미를 찾기 어려운 면이 있다고 보여진다. 상부의 불량한 분급은 이 퇴적물의 성격이 동일한 수준의 에너지에서 집단적으로 쌓여 형성된 퇴적층이 아닐 가능성을 시사한다. 물론 시료 채취 구간의 폭이 통상적으로 알려진 풍성 퇴적층의 연간 퇴적량 등에 비하여 매우 큰 관계를 상세한 층간의 차이가 드러나기 어려웠을 가능성도 있다고 볼 수 있으며, 바람에 의한 퇴적 과정과 하천에 의한 퇴적 과정이 교차하여 나타날 경우 분급이 불량한 상황을 지시할 가능성이 크다고 보여진다. 그러나 세립질 부분의 경우에도 알려진 퇴스층에 비하여 조립으로 나타나고 있다. 한편 NGM 3 하부의 퇴적층은 입경이 작고 분급이 양호하다. 물론 전반적인 입경은 알려진 퇴스층보다 조립질로 나타나고 있으며, 해당 지역의 위치들을 감안할 경우 풍성 퇴적의 가능성은 크지 않은 것으로 보인다.

L2 부분은 L3 부분보다 7~8m 정도 낮은 부분으로 수입천의 공격 사면 부분에 해당하는 단애의 상부에 속하며 L3에서 L2까지 부드럽게 연결되는 부분의 하부에 해





그림 5. L2 상부의 사실 퇴적층 단면과 퇴적물 특성

표 2. L2 상부 지점의 퇴적물 특성

시료명	심도(cm)	평균 입경( $\phi$ )	분급( $\sigma$ )	토색(Munsell)	P.C.C.S 색상
NGM 2-1	30~35	5.9~6.6	1.1~2.3	10YR 6/4	Light Yellowish Brown
NGM 2-2	40~45	4.1~6.6	1.5~2.3	10YR 7/4	Dull Orange Yellow
NGM 2-3	60~70	3.8~6.7	1.1~2.0	10YR 6/4	Light Yellowish Brown
NGM 2-4	75~80	3.6~6.7	1.1~2.0	10YR 7/4	Dull Orange Yellow

당한다(그림 5-A). 노두 관찰에 의하면 이 부분은 생경한 각력과 원력이 끼어 있는 세립 퇴적물로 구성되어 있다(그림 5-B, C). 수입천의 전반적인 유로 변동 상황을 고려한다면 해당 퇴적층은 직접적인 하천의 작용이나 사면 상부로부터의 물질 이동에 의하여 형성된 것으로 보인다.

전반적으로 NGM 2 시료들은 상부에서 하부로 가면서 입경이 증가하는 양상을 보이고 있다(표 2). 물론 입경의 변동에도 불구하고 평균적인 입경은 실트에 속하는 것으로 볼 수 있으며, 분급이 불량한 상황으로 볼 수 있다. 현장 조사에서 나타난 대로 하천 기원 물질(자갈)이 관찰되는바(그림 5-D) 이와 관련된 범람성 퇴적물의 유입이 일어난 것으로 보는 것이 타당한 것으로 보인다. 또한 전반적인 색상은 갈색으로 볼 수 있으며 풍화 작용에 의한 적색화 등은 나타나지 않는 것으로 볼 수 있다.

#### IV. 퇴적층에 대한 XRF 분석

퇴적층에 대한 화학적 조성은 XRF와 XRD 분석을 통하여 이루어졌으며 충북대학교 공동 실험실습관의 장비들을 이용하였다. XRF분석은 충북대학교 공동실험실습관이 보유한 WD-XRF 방식 장비인 Rigaku사의 ZSX Primus-II를 이용하여 분석하였다. 각 원소의 검출은 중광물의 경우 Scintillation counter (SC) 방식을, 경광물의 경우 Flow proportional counter (F-PC) 방식을 이용하였다. 풍화와 관련되어 분석이 이뤄지는 조암 광물로는 주광물로 산화물인 이산화규소( $\text{SiO}_2$ ), 산화철( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), 산화칼륨( $\text{K}_2\text{O}$ ), 산화마그네슘( $\text{MgO}$ ), 산화칼슘( $\text{CaO}$ ), 산화나트륨( $\text{Na}_2\text{O}$ ) 등 7가지 광물과 소량 원소인 산화망간( $\text{MnO}$ ), 오산화인( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), redox 민감 광물인 V, Cr, As, Sb, U 그리고 희토류인 La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb가 있으며(Weijden and Weijden, 1995), 본

연구에서는 산화물 이외의 다른 산화물과 원래의 원소들을 추가 분석하였으나, 희토류 분석은 하지 않았다.

XRF를 이용한 분석결과를 이용하여 토양의 조성을 파악한 결과는 기본적으로 시료 속에 들어 있는 원소들의 상대적인 비율을 활용하게 되며 토양이나 풍화 산물의 경우 이산화규소에 비하여 상대적으로 화학적 용출에 안정적인 알루미늄, 철 등과 같은 원소의 함량 비중을 통하여 비율의 변화를 파악하게 된다. 특히 이 비율은 풍화의 진행 정도를 파악하는데 널리 이용되고 있다. 그러나 일부 풍화 환경에서는 이러한 가정이 성립되기 어려우며 특히 암석이 등질적이지 않은 경우 이러한 분석은 오류를 유발할 가능성이 상존한다. 분석 자료의 비교와 제시에 대해서는 선행 연구들과 마찬가지로 일차적으로 질량비(wt%)을 사용하여 제시하였다(표 3). 화학적인 분석 지표는 몰비율을 산출하여 계산하였다.

화학 분석의 결과 NGM 1의 경우 최상부에서 이산화규소의 비율이 가장 낮고 하부로 가면서 비율이 높아지는 것으로 나타나고 있다. 화학적 풍화와 관련이 깊은 것으로 알려진 산화 칼슘과 산화 나트륨, 산화 칼륨의 경우 상이한 비율의 변동을 보이는 것으로 나타나고 있다. 산화 칼슘은 최하부를 제외하고는 일정한 수준이 유지되는 것으로 보이는데 반하여 산화 나트륨의 경우 전반적으로 1% 이내의 극히 낮은 비율을 보이고 있으며, 상부에서 낮은 비중을 보이는데 비하여 하부로 내려가면서 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 산화 칼륨의 경우 상부에서 낮고 하부에서 증가하는 경향이 나타나고

있으며 전반적으로는 0.2% 내외의 수준을 보여 주고 있다. 다만 최하부는 그보다 큰 값을 보여주고 있다. 풍화의 진행에 따라서 다른 양이온이 용출되고 점토 광물로 변화하면서 그 상대적인 비율이 증가 하는 것으로 알려진 산화 알루미늄의 경우 상부와 하부에서 유의할 만한 변동을 보여 주지 않으며 일정한 경향성 역시 나타나지 않는다. 그러나 산화 철의 경우 상부에 비하여 하부로 가면서 크게 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이러한 경향성으로 보았을 때 NGM 1의 경우 상부는 풍화가 상당히 진행된 데 비하여 하부의 풍화 진행은 진전되지 않은 것으로 잠정적으로 판단할 수 있다.

NGM 2의 경우 하부의 두 시료는 화학적 조성비가 거의 동일한 데 비하여 상부의 세 시료는 서로 다른 성격을 보여주고 있다. 특히 NGM 2-3시료의 경우 조성비에서의 차이가 상대적으로 큰 편으로 외부로부터의 물질 유입 또는 교란의 가능성을 상정할 수 있다. 특히 다른 시료들에 비해 철과 알루미늄의 함량이 높아 사면 상부에서의 풍화 층의 사면 이동 등을 고려할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 원래 퇴적층 성격의 화학적 조성 차이에 기인하는 것일수도 있다. 이에 대해서는 이후 논의할 것이다.

한편 산화 칼슘의 중량비는 하부로 가면서 증가하는 양상이 나타나지만 역시 0.2% 내외로 전반적으로 낮은 함량비를 보인다고 볼 수 있다. 산화 나트륨은 최상부에서 상대적으로 높은 값을 보이다가 하부 시료들에서는 안정적인 값을 나타내고 있다. 산화 칼륨은 최상부 시료

표 3. L3 퇴적층의 화학 분석 결과

(wt%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	CIA
NGM 1-1	51,8	22,2	2,64	6,95	0,27	0,20	1,47	0,10	0,11	85,88
NGM 1-2	51,6	22,1	2,60	6,88	0,25	0,20	1,49	0,10	0,11	86,04
NGM 1-3	56,9	20,4	3,09	5,39	0,54	0,19	1,16	0,08	0,06	81,71
NGM 1-4	57,1	21,9	3,73	4,71	0,68	0,18	1,05	0,08	0,04	79,96
NGM 1-5	56,4	22,2	3,46	4,85	0,78	0,27	1,17	0,09	0,07	80,07
NGM 2-1	58,4	19,6	2,32	5,05	0,99	0,11	1,13	0,09	0,05	82,03
NGM 2-2	55,0	21,9	3,48	6,08	0,35	0,15	1,39	0,12	0,07	82,62
NGM 2-3	52,0	23,6	3,45	7,13	0,27	0,18	1,86	0,10	0,07	83,96
NGM 2-4	56,5	21,5	3,39	6,41	0,35	0,20	1,42	0,10	0,07	82,34
NGM 2-5	56,8	21,5	3,39	6,46	0,36	0,20	1,41	0,10	0,06	82,30
UCC*		15,2	3,37		3,90	4,20	2,20			

\* UCC : Upper Continental Crust

를 제외하고는 큰 차이를 보이지 않는 특성을 보이고 있다. 칼슘과 나트륨은 지구 지각 상부의 평균 값에 비하여 모두 상당히 낮은 값을 보이는 것으로 풍화의 진행에 따른 물질의 용출의 결과로 판단된다(황상일 등, 2011). 암종의 차이가 있기는 하지만 비습산 일대에서의 화강암 풍화 부분에 대한 조사 결과(유영완·김종연, 2014)와 대비하여도 동일한 추론이 가능한 것으로 보인다.

한편 풍화의 진행 정도를 파악하기 위하여 화학적 풍화 지수를 계산하였다. 가장 널리 이용되는 풍화 관련 지수인 CIA(Cheical Index of Alteration)는 Nesbitt and Young (1982)에 의해서 제안 되었으며 계산 방식은  $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + CaO + K_2O)] \times 100$  (molar ratio)이다. CIA 지수는 기본적으로 장석이 점토 광물로 변화된 정도를 나타내 주는 상대적 지수로 인식되고 있다(Nesbitt and Young, 1989; Fedo *et al.*, 1995; Yang *et al.*, 2004.) 지구적인 차원에서 본다면 퇴적층으로부터 얻어진 CIA 값은 유역 분지 내의 지표면 온도, 용출부의 위도, 토층의 깊이 등과 같은 유역 분지의 풍화 진행 역사를 전반적으로 반영하는 것으로 알려져 있다. 풍화의 진행 정도가 클수록 CIA 값은 상승하게 된다. 이러한 화학적 풍화의 진행은 암석 특히 장석류에 포함된  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  등의 양이온이 수분에 포함된  $H^+$ 와 치환되면서 용출을 수반한다. 고토양층의 경우 화학적 풍화의 진행에 따른 용출 이외에도 다른 물질의 유입과 환경 변화로 인하여 화학적 조성의 변화가 나타나기도 한다(Retallack, 1991).

CIA의 변화 경향성은 두 표본 채취 지점에서 다르게 나타난다. NGM 1의 경우 상부의 CIA 값이 가장 높고 하부로 가면서 감소하는 경향성을 보인다. 즉, 상부의 화학적 풍화 진행이 하부에 비하여 많이 진척된 것으로 볼 수 있다. 그런데 상부 시료와 하부 시료 간에는 급격한 CIA의 변화가 존재한다. NGM 1-3에서 나타나는 화학적 풍화 지수의 차이는 이산화 규소, 산화나트륨, 산화 칼륨의 함량비 증가와 산화 철, 산화 알루미늄의 비중 감소에 의한 것으로 볼 수 있다. 이러한 급격한 변화는 풍화가 어느 정도 진행된 상태에서 보다 풍화가 빠르게 진행된 물질의 공급이 발생하여 일어난 것으로 볼 수 있다. 이전에 파악된 해당 지역의 퇴적층의 매물 연대가 NGM 1의 최하부 인근에서 얻어진 점을 감안한다면 이 시료 지점의 상부의 연대는 알려진 것보다 오랜 것으로 판단할 수 있으며 사면의 상부 등 외부에서 공급된 것으로 판단해 볼 수 있다.

NGM 2에서 역시 풍화 정도의 변동이 나타난다. NGM 2-3 부분에서 CIA의 증가가 나타나며, 산화 철 성분 증가와 같은 풍화 진행 정도의 상승을 지지하는 변화에 의한 것으로 보인다. 이 역시 앞서 설명한 것과 같이 외부로부터의 풍화 진행 물질의 유입을 고려할 수 있을 것으로 보인다.

한편 각 시료들의 화학적 조성 비율을 몰비에 따라 살펴보면(그림 6), NGM 1-2, 1-1이 동일한 경향을 보이는 집단으로 구분되고, NGM 1-4, 1-5, 2-2, 2-4, 2-5가 유사한 성격을 지니는 경향성에 있는 것으로 판단할 수 있다. 이에 비하여 급격한 변화 지점으로 판단된 NGM 1-3, NGM 2-3 그리고 NGM 2-1은 이러한 경향성에서 벗어나는 시료들로 판단할 수 있다.

풍화의 진행 정도에 따른 화학적인 조성의 특성을 파악하기 위하여 사용되는 기법 중에 하나는 풍화와 관련된 원소들의 몰비를 삼각도의 형태로 활용하는 A-CN-K 삼각도와 A-CN-K-FM 삼각도 기법이 있다. 이들은 모두 불용성 잔류광물과 용출 양이온 간의 상관 비를 기반으로 하는 기법이다. 화학적 풍화의 진행에 따라서 불용성 금속은 잔류하지만 일부 양이온은 용출되며 그간의 비율은 큰 변화를 일으키게 된다. 특히 잔류성 광물인 알루미늄의 비중 확대는 화학적 풍화의 진전 정도를 나타내는 주요 지표로 활용된다(Bahlberg and Dobrzinski, 2011). 단, 사용되는 원소의 비율은 전체 원소 비율의 합인 100이 되지 않아 포함된 원소의 합을 100으로 재계산하여 지수화하게 된다. 따라서 상대적인 비율의 의미가 더욱 커지게 되어 실제 함량의 변화를 반영하지 않을 수 있다는 비판이 제기되고 있다.

우리나라의 화강암 풍화대에 대한 연구에서 이 삼각도는 풍화의 진행 정도와 환경 추론에 중요한 도구로 사용되어 왔다(김영래, 2012a; 2012b). 영암과 줄포 지역의 분석 결과에 의하면 기반암의 경우 각 지점이 삼각도의 하부에 표현되지만 풍화가 진행되면서 삼각도의 꼭지점 부분으로 이동하는 경향성을 보여 주고 있다. 삼각도의 가장 상단은 화학적 풍화가 가장 강하게 진행된 카올리나이트 부분으로 나타나며 그보다 진행 정도가 덜 된 경우 일라이트대로 표현된다(Retallack, 1991).

NGM 1집단을 이 A-CN-K삼각도에 도시해 본 결과(그림 7), 이들은 모두 일라이트대에 속하는 것으로 나타나고 있으며 NGM 1-1과 NGM 1-2가 풍화의 정도가 보다 강한 것으로 나타나고 있다. 다른 시료들은 일라이트화



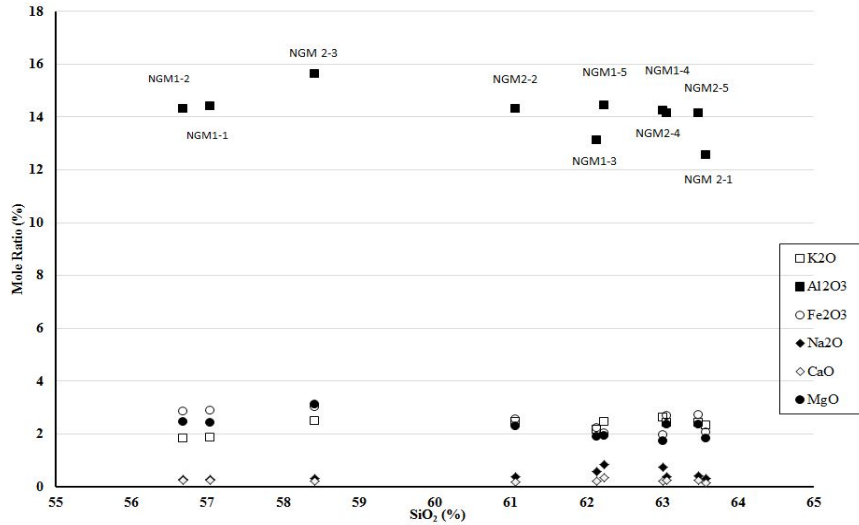


그림 6. 낭구미 L2와 L3에 대한 XRF 분석 결과

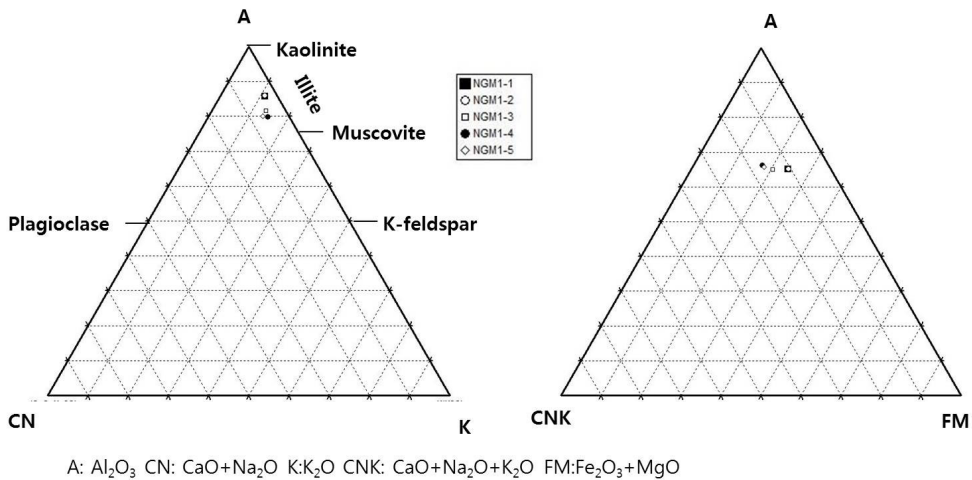


그림 7. NGM 1의 A-CN-K 및 A-CNK-FM 지수

의 강도가 낮은 것으로 볼 수 있다. A-CN-K-FM에서 역시 이들은 일라이트대에 속하는 것으로 나타나고 있다. 이후 XRD분석에서 추가적으로 논의될 것이지만, 이들의 일라이트 강도는 퇴적이 발생한 이후 상당 기간 동안 풍화를 받기는 했으나, 화학적 풍화의 중극적인 지점이라고 할 수 있는 카올리나이트에 도달하지는 못한 것으로 보인다. 특히 퇴적 이후 상당 기간 동안 냉량한 환경이었다는 점을 감안한다면 느린 화학적 풍화의 진행 정도에 영향을 주었을 것으로 보인다.

NGM 2의 경우(그림 8)에도 모든 시료들이 일라이트

대에 속하는 것으로 나타나고 있으며 진행 정도는 NGM 1-1, 1-2에 비하여는 낮고 다른 시료들 보다는 높은 상태를 보이고 있다. 또한 A-CN-K-FM 삼각도에서는 NGM 1에 비하여 더 균질적인 집단으로 나타나고 있다.

### V. 퇴적층에 대한 XRD 분석 결과

XRD(X-ray diffraction)분석은 토양이나 조암 광물의 결정 구조 특성을 파악하기 위한 분석기법으로 XRF와 함께 광물학 분야에서는 조암 광물의 특성을 파악하는

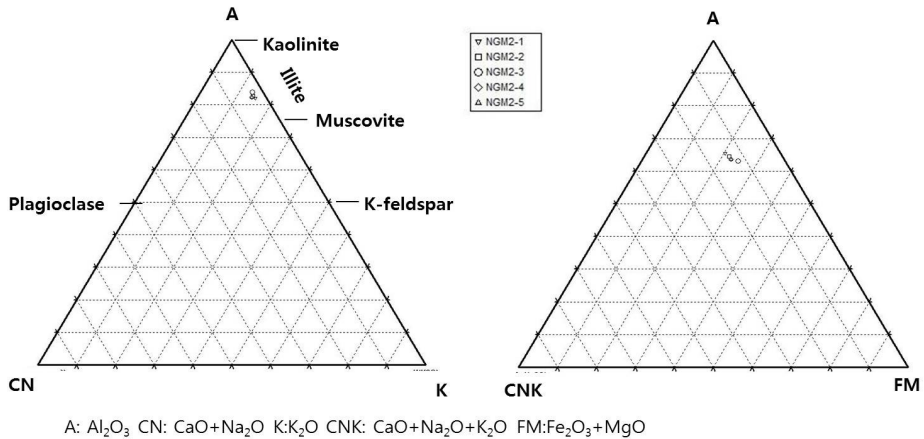


그림 8. NGM 2의 A-CN-K 및 A-CNK-FM 지수

데, 그리고 토양 지리학 및 지형학 연구에서는 점토 광물의 특성을 파악하는데 이용되어 왔다. 특히 풍화대에 나타나는 풍화 산물 특성을 파악하는 데 널리 이용되어 왔으며, 풍화 산물 형성의 기후 환경 추론에서 상당히 널리 이용되어 왔다(Eberl, 1984). 각 조암 광물 또는 점토 광물에 대한 동정은  $2\theta$ 로 표현되는 Bragg peak의 위치와 강도에 따라 이뤄지게 된다(Pecharsky and Zavalij, 2009). 층적지에 집적되는 토양들의 경우 그 화학적 조성은 퇴적 물질을 공급하는 유역 분지 내의 지질적인 특성에 의해 지배되는 것으로 알려져 있다. 즉, 기반암의 성격에 따라 퇴적 물질의 화학적 조성이 변동되는 것으로 판단될 수 있다(장용선 등, 2000). 기반암 이외에 주변에 풍화산물이 다량 존재하는 산지 등이 존재하는 경우 그의 영향으로 특정 점토 광물이 출현하는 경향을 보이기도 한다(차은지 등, 2010). 그러나 일부 광물들의 경우 시간의 경과에 따른 풍화의 진행으로 이차 광물로 변형되어 나타나게 되는 것 역시 일반적이며, 특히 철과 관련된 물질들의 경우에는 산화 작용으로 인하여 다른 물질에 결합되어 나타나는 경향이 강한 것으로 알려져 있다(김민정 등, 2008). 그동안 하천 퇴적층에 대한 XRD 분석은 제한적으로만 이루어져 왔다. 조영동·이광률(2009)은 영천 고현천에 대한 연구에서 풍화의 진행 정도를 파악하기 위한 보조적인 수단으로 XRD 분석을 활용하여 단구의 형성 시기와 시간의 경과에 따라서 점토 광물의 출현 빈도가 증가함을 보였다. 양재혁(2011)은 거제 동부 해안의 해안단구성 퇴적층에 대한 XRD 분석을 통하여 퇴적 환경의 동일성을 추론하였다.

본 연구에서의 XRD 분석은 충북대학교 공동실험실습관의 SCINTAG XDS-2000 Powder Diffractometer를 이용하여 이루어졌으며 시료의 입경을 구분하지 않고 일정한 양을 분쇄하여 사용하였다. 결과의 동정은 Moore and Reynolds(1997)을 기반으로 하였다.

NGM 1부분에 대한 XRD 분석의 결과(그림 9) 표면으로부터 하부로 내려가면서 일라이트와 카올리나이트 등 점토 광물의 피크가 크게 나타나는 경향성을 보이는 것으로 나타나고 있다. 이는 이전의 연구에서 하안 단구 퇴적층의 하부로 가면서 물질의 풍화로 인한 점토 광물의 비율이 증가하는 것으로 나타난 것과 같은 경향성으로 이해된다(조영동·이광률, 2009). 특징적인 것은 최상부의 경우 카올리나이트의 피크 수준이 최상부의 경우 일라이트 보다 강한 것으로 나타났으나, 하부로 가면서 일라이트의 강도가 강하게 나타나는 모습을 보이고 있으며, NGM 1-2의 경우 장석(Feldspar)의 피크가 강하게 나타나고 있다. 그런데 주목할 만한 사항은 이 퇴적층이 상부와 하부로 가면서 서로 다른 광물 분포의 경향성을 보인다는 것이다. 통상적으로 동일한 광물의 분포 패턴은 동일한 시기에 형성되어 동일한 환경을 경험한 것을 확인하는 수단으로 이용된다. 이러한 가설에 따른다면 이 퇴적층은 서로 간에 시기를 달리하거나 퇴적 이후의 환경의 차이를 나타내는 것으로 볼 수 있다(양재혁, 2011). NGM 1에서 역시 하부로 가면서 일라이트의 절대적인 강도는 증가하는 경향을 보여 준다. 즉, 이들이 퇴적된 이후의 풍화가 지속적으로 진행되면서 점토 광물로 변형된 것으로 볼 수 있다. 편마암과 같은 결정질 기반암

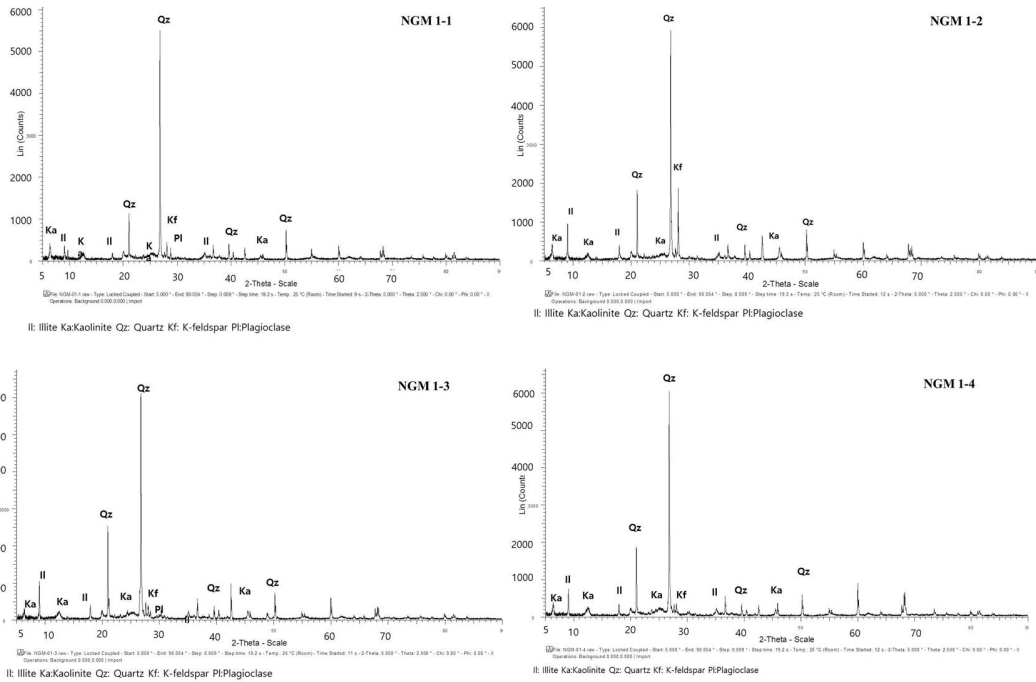


그림 9. NGM 1-1,1-2,1-3,1-4의 XRD 분석 결과

은 풍화의 진행에 따라서 일라이트류의 함량은 증가하는 경향성을 보여 준다. 즉 풍화의 진행에 따라서 일라이트와 같은 점토 광물의 피크는 증가하게 된다. 특히 제자리 풍화가 이뤄지는 경우 이러한 경향이 연속적으로 나타날 것으로 기대된다(김정진·장윤득, 2006). 카올리나이트의 피크 규모 저하와 일라이트의 피크 강화는 전반적인 풍화 환경의 차이와 관련된 것으로 판단된다. 카올리나이트의 경우 전반적으로 온난 다습한 기후 환경에서의 화학적 풍화에 따른 형성이 강조되는데 비하여 일라이트의 경우는 그보다 낮은 온도에서의 기계적 풍화 또는 풍화 초기에 나타나는 경향을 보여 준다(오경섭, 1989). 한 가지 주목할 사항은 NGM 1-3까지 증가하던 일라이트의 피크가 하부로 가면서 약해지는 현상이다. 물론 NGM 1-5에서의 석영 피크의 급증도 관찰된다(그림 10). 또한 NGM1-2에 있어서도 장석류의 강한 피크가 관찰되고 있어 생경한 물질의 유입을 상정할 수 있을 것으로 판단된다. XRF 분석 결과 CIA 가 시료 가운데 가장 높은 것으로 나타났으나 이는 화학적 조성상의 비율을 감안한 것으로 물질의 파악이 된 것은 아니라고 볼 수 있다.

NGM 1의 보조 시료로 채취된 NGM 3시료의 경우 전

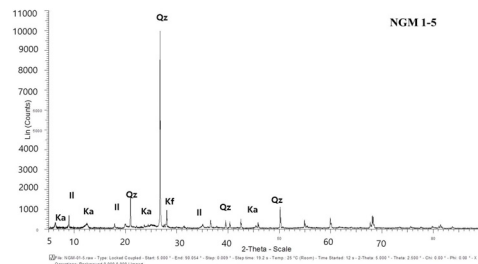


그림 10. NGM 1-5의 XRD 분석 결과

반적으로 조성의 변화가 나타나지 않고 있어 큰 변동 없이 퇴적 이후 풍화가 진행된 것으로 볼 수 있다. 한편, 장석류의 출현은 NGM 1에서와 마찬가지로 나타나고 있으며, 하부로 가면서 장석류의 피크 강도가 강해지는 것을 알 수 있다. 이는 풍화 진행 정도의 차이에 의한 것으로 판단된다. 해당 시료에 대한 XRF분석이 이뤄지지 않은 관계로 화학 조성 변화의 특성을 논하기는 불가능한 것으로 보인다.

NGM 2 시료의 경우 상부에서는 일라이트 피크가 관찰되나 NGM2-3의 경우에는 일라이트 피크가 매우 약해지는 양상이 나타나며 대신 장석류의 피크가 높아지고

있다. 특히 최하부의 NGM 2-4에서는 장식의 피크가 크게 나타나는 특성이 보여지고 있다. 이러한 결과는 XRF로 나타난 화학 조성 비율 분석 결과를 바탕으로 추론한 결과와는 상반되는 면이 있다. 전반적인 화학적 조성 비율만으로 장식류와 점토 광물에 있어서의 분별이 용이하지 만은 않다고 볼 수 있으며, 앞서 지적한 바와 같은 상대적인 비율의 문제가 상존한다고 볼 수 있다. 또한 해당 지역의 대자율 측정 결과(김종연 · 홍성찬, 2014) 역시 하부에서의 감소하는 대자율의 양상을 확인 한바 있다. NGM 2 하부의 경우 장식류의 강한 피크가 존재하며 이는 풍화 진행의 미진으로 인한 결과로 생각된다.

## VI. 결론

XRF를 이용한 분석 결과 낭구미의 퇴적층은 조성 물질의 화학적 비율의 특성상 화학적 풍화가 상당히 진행된 것으로 나타났다. 특히 이산화 규소의 비율은 전반적으로 상부에서 낮고 하부로 가면서 높아지는 유형을 보였으며 철과 알루미늄의 함량비는 상부에서 높고 하부로 가면서 낮아지는 유형을 보여 주고 있다. 이를 근거로 하여 이 퇴적층이 형성된 뒤 상당한 화학적 풍화를 받은 것으로 판단할 수 있으며 이는 이전의 하안 단구에 대한 분석 결과들과 일치하는 경향으로 판단된다. 산화 칼슘과 산화 나트륨의 경우 무게 비가 각각 0.2%, 1% 이하로 극히 소량인 것으로 나타났다. NGM 1의 경우 칼슘의 중량 비율은 일정한데 비하여 나트륨은 상부에서 하부로 가면서 감소하는 경향을 보여 준다.

입자의 색으로 본다면 연구 대상 지역의 토양 색은 전반적으로 갈색 계열로 소위 적색화가 일어나지는 않은 것으로 보인다. 또한 이 색상의 특색은 우리나라의 소위 퇴스 토양과 유사한 특성을 지닌다고 볼 수 있다. 입경의 측면에서 본다면 연구 지역의 입자들은 전반적으로 쌍봉 구조를 지니고 있다. 세립질의 입자들이 우세하지만 조립 입자들이 끼어 있어 전반적으로 분급이 불량한 편이고, 평균 입경 역시 소위 퇴스로 알려진 입자들에 비하여 조립인 것으로 나타나고 있다.

화학적 조성을 기반으로한 CIA 지수의 경우 각 시료의 상부들은 전반적으로 80% 이상의 값을 보이고 있으며 하부로 가면서 감소하는 경향이 나타났다. 그리고 일부 구간에서는 CIA 지수 값이 급격히 증가하는 양상이 나타

났다. 화학 분석만으로 본다면 이들은 상부로부터 풍화가 더 많이 진행된 물질들의 급격한 유입에 의한 것으로 보였으나, XRD 분석의 결과 장식류의 유입이 일어난 것으로 판단하는 것이 타당한 것으로 보인다. 즉 이 퇴적층은 풍화가 진행되는 과정에서 추가적인 물질의 공급이 발생한 것으로 판단된다.

퇴적층의 화학적 비중을 A-CN-K, A-CKN-FM 삼각도를 통해 살펴보았으며 NGM 1, NGM 3 의 경우 모두 풍화가 상당히 진행된 일라이트대에 속하는 것으로 나타났다. 일라이트의 형성은 물리적 풍화의 우세 환경 또는 화학적 풍화 진행의 일정한 단계를 나타내는 것으로 볼 수 있다. 즉, 해당 퇴적물들은 퇴적 이후 풍화 환경에 노출되면서 변형을 경험하는 것으로 볼 수 있다. 이들이 10 만년 이상의 기간 동안 풍화 환경에 노출되면서 카올리나이트화 하지 않은 것은 빙기 퇴적 이후 경험한 기후 환경의 특성에 따른 것으로 판단된다. 한편 이 시료들의 A-CN-K 삼각도상의 분포는 기존에 퇴스로 알려진 물질들에 대한 추정 결과와 다른 부분이 나타나고 있다. A-CKN-FM의 경우 기존의 퇴적층에 대한 연구들에 의하면 각 지역마다 특성이 다른 것으로 나타나는 데 이를 동일한 기원 물질의 단순히 풍화 정도의 차이로 보기는 곤란한 점이 있다. 또한 삼각도 내에서의 위치 역시 상당히 넓은 범위 내에서 나타나는 것으로 파악되고 있어 직접적인 대비가 어려웠다.

한편 이 시료들에 대한 XRD 분석은 일라이트의 출현 빈도의 특성이 지역별로 나타나고 있으며, 기반암 물질인 장식류의 피크 증가를 보여주고 있다. 이들을 종합하여 볼 때 이 퇴적층은 현재까지의 조사 결과에 의하면 퇴스 퇴적층으로 보기 어려운 것으로 보인다.

기존의 연구들이 제시하는 퇴스의 화학적 풍화 경향성 등은 우리나라의 기반암 풍화대에서의 화학적 풍화 경향성과 대비하여 논의되어야 할 것으로 판단된다. 또한 XRF 분석 이외에도 물질의 특성을 파악할 수 있는 다른 연구 기법을 동시에 사용하여 단순 화학적 조성비에 따른 변동에 대한 해석을 보강하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

김민정 · 김영규 · 박경심 · 전상호, 2008, “봉화군 일대 낙동



- 강변에 퇴적된 광미의 풍화에 따른 광물학적 변화,” 한국광물학회지, 21(4), 331-339.
- 김영래, 2012a, “한반도 서부 황토현 일대 적색토의 화학적 풍화 경향,” 한국지역지리학회지, 18(1), 17-26.
- 김영래, 2012b, “한반도 남서부 영암의 화강암 구릉대 적색토의 화학적 풍화 특성,” 대한지리학회지, 47(3), 315-327.
- 김유홍·황재하, 2009a, “경기육괴 동부 강원도 양구군 방산면 일대의 지질구조와 변형작용순서,” 지질학회지, 45(2), 115-126.
- 김유홍·황재하, 2009b, 「문동리도폭 지질조사보고서(축척 1:50,000)」, 한국지질자원연구원.
- 김정진·장운득, 2006, “강원도 선두리 지역 흑운모 편마암과 화강암에 대한 풍화 특성,” 한국광물학회지, 19(1), 39-48.
- 김종연·홍성찬, 2014, “양구 수입천 하류부의 지형 발달 - 암석 표면 K-장석 IRSL 매몰연대측정 결과를 기반으로,” 한국지형학회지, 21(2), 34-57.
- 박동원, 1985, “김제 정읍일대에 분포하는 퇴사상 적황색토에 대한 연구,” 지리학, 32, 1-10.
- 박충선·윤순옥·황상일, 2007, “한국퇴사 연구의 성과와 논의,” 한국지형학회지, 14(4), 29-45.
- 양구군, 2000, 「수입천하상정비기본계획」, 양구군.
- 양재혁, 2011, “거제도 동부해안에서 파악되는 홀로세 고해수준면과 지형발달과정,” 한국지형학회지, 18(1), 101-112.
- 오경섭, 1989, “화강암 풍화층의 점토조성과 풍화환경,” 지리학, 40, 31-42.
- 유영완·김종연, 2014, “암괴류 구성 암괴의 반발 강도 특성과 풍화각의 화학적 조성에 대한 연구-비슬산을 사례로,” 한국지형학회지, 21(1), 63-80.
- 장용선·엄명호·정필균·신제성, 2000, “삼고천 유역의 하해 혼성층에서 발견된 토양의 광물학적 특성,” 한국토양비료학회지, 33(6), 377-383.
- 조성권·이철우·손영관·황인걸, 1995, 「퇴적학」, 도서출판 우성.
- 조영동·이광률, 2009, “경북 영천시 고현천의 하안단구 지형 분석,” 대한지리학회지, 44(4), 447-462.
- 차은지·함세영·김현지·이정환·정재열·옥순일, 2010, “금정산 산지습지의 지질학적 특성,” 한국습지학회지, 12(2), 1-12.
- 황상일·강창혁·윤순옥, 2011, “경남 거창분지 정장리 퇴사-고토양 연속층의 퇴적물 특성과 편년,” 대한지리학회지, 46(1), 1-19.
- Bahlburg, H. and Dobrzinski, N., 2011, A review of the Chemical Index of Alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions, in Arnaud, E., Halverson, G.P. & Shields-Zhuo, G. eds., *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. Geological Society of London, Memoir, 36, 81-92.
- Eberl, D.D., 1984, Clay mineral formation and transformation in rocks and soils, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A311, 241-257.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., and Young, G.M., 1995, Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance, *Geology*, 23(10), 921-924.
- Moore, D.M. and Reynolds, R.C. Jr., 1997, *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, 2nd edition, Oxford University Press.
- Nesbitt, H.W. and Young, G.M., 1989, *Formation and diagenesis of weathering profiles*, *The Journal of Geology*, 97(2), 129-147.
- Percharysky, V.K. and Zavalij, 2009. *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Material*, Springer.
- Retallack, G.J., 1991, Untangling the effects of burial alteration and ancient soil formation, *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 19, 183-206.
- Weijden, C.H. and Weijden, R.D., 1995, Mobility of major, minor and some redox-sensitive trace elements and rare-earth elements during weathering of four granitoids in central Portugal, *Chemical Geology*, 125(3-4), 149-167.
- Yang, S.Y., Jung, H.S., and Li, C.X., 2004, Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: geochemical evidence from river sediments, *Sedimentary Geology*, 164(1-2), 19-34.

교신: 김종연, 361-763, 충북 청주시 흥덕구 내수동로 52 충북대학교 사범대학 지리교육과 (이메일 terra@cnu.ac.kr)

김종연 · 신원정

Correspondence: Jong Yeon Kim, 361-763, 52, Naesudong-ro, Heungduk-gu, Cheongju, Chungbuk Korea, Department of Geography Education, Chungbuk National University  
(Email: terraic@cbnu.ac.kr)

투 고 일: 2014년 5월 2일

심사완료일: 2014년 5월 27일

투고확정일: 2014년 5월 30일